平成31年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 地質環境長期安定性評価技術高度化開発

【付録集】

令和2年3月

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 一般財団法人電力中央研究所

【付録1】

第四紀地殻変動の評価手法の高度化に関する共同研究 国立大学法人弘前大学

pp.付 1-1~pp.付 1-26

pp.付 2-1~pp.付 2-54

- 【 付録 2 】 地質環境の長期安定性評価に係る地形・地質・断層調査技術の高度化に関する共同研究 国立大学法人京都大学
- 【付録3】

岩石・年代学的手法を用いた自然現象の影響評価手法の高度化に関する共同研究 国立大学法人山形大学・国立大学法人東京大学地震研究所

pp.付 3-1~pp.付 3-53

【 付録 4 】

断層内物質の年代測定による断層活動性評価手法に関する共同研究 石川県公立大学法人石川県立大学

pp.付 4-1~pp.付 4-13

【 付録 5 】 機械学習に基づいた断層の活動性評価手法の開発に関する共同研究 国立大学法人富山大学

pp.付 5-1~pp.付 5-67

【 付録 6 】 断層破砕帯の内部構造解析に関する共同研究 学校法人日本大学

【付録7】

隆起・沈降量の評価手法の高度化に関する共同研究 国立大学法人東京大学

pp.付 7-1~pp.付 7-34

pp.付 6-1~pp.付 6-16

【付録8】

地質環境長期安定性評価技術高度化開発委員会の開催実績 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・一般財団法人電力中央研究所

pp.付 8-1~pp.付 8-13

【付録9】

サンゴ骨格試料を用いた JAEA-AMS-TONO によるヨウ素同位体比測定の妥当性評価 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

【 付録 10 】

最新知見を踏まえた隆起・侵食データマップの整備 侵食速度データ一覧 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

pp.付 10-1~pp.付 10-12

pp.付 9-1~pp.付 9-11

- 【 付録 11 】 離水地形のマルチ年代測定に基づく隆起・侵食速度推定技術の高度化に係る分析データ と採取試料データ 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
 - pp.付 11-1~pp.付 11-44

【 付録 12 】 岩石風化模擬実験に係るデータ集 一般財団法人電力中央研究所

pp.付 12-1~pp.付 12-218

【 付録 13 】 段丘の対比・編年の高精度化に関わる文献調査収集文献一覧 一般財団法人電力中央研究所

pp.付 13-1~pp.付 13-24

本付録は、経済産業省資源エネルギー庁からの委託事業として、国立研 究開発法人日本原子力研究開発機構及び一般財団法人電力中央研究所が 実施した「平成31年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術 開発事業(地質環境長期安定性評価技術高度化開発)」に関する共同研究 の成果及び実施された委員会の議事録などを取りまとめたものである。

第四紀地殻変動の評価手法の

高度化に関する共同研究

平成 31 年度共同研究報告書

令和2年1月

国立大学法人弘前大学

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター 地層科学研究部 ネオテクトニクス研究グループ

目 次	
-----	--

1. 概要	3
1.1 共同研究件名	3
1.2 研究目的	3
1.3 実施期間	3
2. 文献レビュー	4
2.1 隆起・沈降のメカニズム	
2.1.1 プレートの沈み込みに係る隆起・沈降	
2.1.2 ローカルな隆起・沈降のメカニズム	6
2.2 過去数十万年間における隆起・沈降の傾向・速度	10
2.2.1 方法	10
2.2.2 結果	10
3. 地形・地質・地球物理学的データの重ねあわせ	17
4. まとめ	18
5. 引用文献	19

図目次

図 2.1.1	ローカルな隆起・沈降のメカニズムに関する概念図	9
図 2.2.1	10万~数十万年間の隆起・沈降の傾向・速度に係る研究が行われた地域	11
図 2.2.2	過去数十万年間に隆起・沈降の傾向・速度が変化した可能性がある地域	12
図 2.2.3	中期更新世以降の隆起・沈降速度の変化	16
図 2.2.1	地形・地質・地球物理学的データの重ね合わせ(渥美半島・浜松沖の事例)	18
表 2.2.1	データー覧	17

1.1 共同研究件名

第四紀地殻変動の評価手法の高度化に関する共同研究

1.2 研究目的

日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)では、経済産業省資源エネルギー庁から受託した「平成31年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業(地質環境長期安定性評価技術高度化開発)」において、地層処分に適した地質環境の選定に係る自然現象の影響把握及びモデル化に関連する研究課題として示された火山・火成活動、深部流体、地震・断層活動、隆起・侵食に対し、地質学、地形学、地震学、地球年代学などの各学術分野における最新の研究を踏まえた技術の適用による事例研究を通じて、課題の解決に必要な知見の蓄積や調査・評価技術の高度化を総合的に進めている。このうち隆起・侵食に関する技術的課題の一つに、過去百万から数十万年前以降の隆起・侵食を把握するための技術の拡充が挙げられる。この課題において必要となる基礎的知見の一つとして、第四紀地殻変動の一様継続性が挙げられる。

わが国の第四紀地殻変動、特に隆起・沈降速度については、多くの地域で一様継続性が成立し ていると考えられている。その一方でわが国も属するプレートの沈み込み帯では、過去数十万年 間において隆起・沈降の傾向・速度に変化が生じている場が存在するといった事例も報告されて いる。隆起・沈降の傾向・速度の将来予測の精度・確度の向上においては、こうした場に関する 情報を収集・整理・分析し、その原因についての知見を蓄積することが必要である。そこで本共 同研究では、まず、沈み込み帯における隆起・沈降のメカニズムの理解を深めるための文献レビ ューを行った。次にわが国を対象に、文献レビューを通して過去数十万年間において隆起・沈降 の傾向・速度に変化が生じている場とその内容について把握した。また、上記作業からわが国に おいて過去数十万年間に隆起・沈降の傾向・速度に変化が生じていると解釈されている場の幾つ かを事例として、今後、隆起・沈降の傾向・速度の変化をもたらす原因について検討できるよう、 既存の地球物理学的データや地形・地質データの照合・解析を行い、現状の課題について整理し た。

1.3 実施期間

令和元年8月1日~令和2年1月31日

2. 文献レビュー

2.1 隆起・沈降のメカニズム

本節では、まず、沈み込み帯に位置する島弧・海溝系においてプレート運動に起因して 100~ 1,000 km スケールの隆起・沈降をもたらすメカニズムについて説明する。次に、プレート運動の 枠組みの中で海底地形・地殻構造の不均質に起因して生じる 10~100 km スケール程度の空間ス ケールでの隆起・沈降のメカニズムについて説明する。

2.1.1 プレートの沈み込みに係る隆起・沈降

(1) 沈み込みに係る隆起・沈降

地球は、表層に粘性緩和の時間スケールが 1,000 万年程度のリソスフェアが、粘性緩和の時間 スケールが数年から数十年程度の流動しやすいアセノスフェアの上に横たわっている。このよう に粘性緩和の時間スケールが互いに異なる媒質の変形を検討する際、弾性体と粘性体の特徴を合 わせ持った粘弾性体に関する力学的挙動を検討する必要がある。このような、粘弾性体の力学的 模型の一つに、Maxwell 粘弾性体と呼ばれるバネとダッシュポットを直列につないだモデル(バ ネが弾性体、ダッシュポットが粘性体の力学的挙動を模擬する)が地震発生後のアセノスフェア の粘性緩和の説明によく用いられている(例えば、Yamagiwa et al., 2015)。以下に、Maxwell 粘 弾性体を解析に組み込んだいくつかの先行研究について紹介する。

海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込む際、それらのプレート境界では相対運動を妨げる 摩擦力が働き、地震を発生の原因となるひずみを蓄積するということはよく知られている。もし、 摩擦力が働かなかったら、海洋プレートと大陸プレートは互いに変形することなく相対運動を続 けるのだろうか。このように、プレート境界面に摩擦が働かず、スルスルとすべりが進行する現 象は「定常的な沈み込み」と呼ばれており、海洋プレートは地下深部に向かって、大陸プレート は地表に向かって相対運動することとなる。海溝型地震サイクルといった数百年程度の短い時間 スケールでは、定常的な沈み込みによる変形は非常に小さいと考えられてきたが、地質学的時間 スケールで進行し、かつ、上記のような粘弾性体においては、無視できない変動(プレート境界 面形状によって隆起量は変化するが、例えば、Fukahata and Matsu'ura(2006)では、1mの プレート境界の食い違いに対し、粘性緩和完了時には、陸域で最大約 30 mm の隆起、海溝で約 50 mm の沈降が生じている)であることが示されている(例えば、深畑, 2009)。このような粘 弾性体の変形の計算を行う場合、プレート境界面に食い違いの相対変位(もしくは相対変位速度) を与えて変形の時間発展を計算することとなり、粘性緩和が完了した際の解が定常的な沈み込み による変形量と読み替えることができる。例えば、Hashimoto et al. (2004) は、地球表層につ いて、リソスフェアを厚さ 40 km 弾性体、アセノスフェアを Maxwell 粘弾性体の二層構造で近 似し、詳細かつなめらかな三次元プレート境界面形状や各プレート境界面での相対運動速度を考 慮し、日本列島全域における定常的な沈み込みによる変形および上下変動速度を計算し、フリー エア重力異常(負の重力異常は地形の凹み、正の重力異常は地形の高まりを示す)と比較を行っ た。この結果、千島海溝・日本海溝・南海トラフ・伊豆-小笠原海溝・琉球海溝といった海溝域で の沈降と負の重力異常の再現に成功している。また、海溝から一定距離おいた陸域の隆起と正の 重力異常の再現に成功している。空間スケールで考えると、陸域の数百 km オーダーの隆起から 海溝のような数千 km オーダーの沈降がよく再現できたことになる。さらに、このような地形の 凹凸を生じさせるポイントは、法線方向の応力であり、プレート境界面の屈曲の変化と相関が高 いことが示されている。 冒頭で詳細について述べなかったが、 通常 Maxwell 粘弾性体の変形を考 える際、粘弾性体の応力とひずみの関係式(構成則)に対して、ラプラス変換を作用させ、ラプ ラス変換された領域での粘弾性問題の解を得た後、その解に対してラプラス逆変換を行い、時間 領域での解を得る。このとき、粘弾性体の構成則に含まれる二つのラメ定数も当然のことながら 時間と異なる変数に変換される。しかし、幸いなことに、粘性緩和完了時(t→∞)の解について は、ラプラス最終値定理より、せん断変形に寄与するラメ定数はゼロとなり、残り一つのラメ定 数が体積弾性率で近似できることになる。したがって、粘性緩和完了時には、粘弾性体中のせん 断変形にともなうせん断応力がゼロとなり、粘弾性体から弾性体に力が及ぼされなくなるととも に、粘弾性体中の体積の収縮・膨張にともなう変形のみが残ることとなる(深畑,2009)。Maxwell 粘弾性体は、粘性緩和完了後では流体的な挙動を示し、その流体中の準静的なせん断変形がそれ と接する弾性体の変形に全く影響を与えないということになる。

上記のような、弾性・粘弾性の成層構造を考慮した媒質中で地震時すべりを与えることで、海 成段丘の形成に関する数値シミュレーションも行われている(佐藤・松浦, 1998)。彼らは、収束 型プレート境界での地震のサイクルにともなう地殻変動について計算した。ここでは、半無限三 層構造モデルを採用し、表層は弾性体でリソスフェアを、中間層は Maxwell 粘弾性体でアセノス フェアを、基盤層はメソスフェアを弾性体で表現している。そして、地震発生領域以外のプレー ト境界は定常的にプレート相対速度ですべっている(定常的な沈み込みが生じている)ものとし て、地震と地震後に続く地殻変動が複数回に渡って生じる地震サイクルモデルを適用し、地表の 上下変動を計算した。なお、地震の繰り返し間隔は200年とし、地震間で沈降、地震時に隆起す る(リソスフェア内のプレート境界全体が地震時にすべる)モデル、地震間で隆起、地震時に沈 降する(リソスフェア内のプレート境界の上半分が地震時にすべる)モデルの二通りのシミュレ ーションを行っている。両モデルとも、地震時に隆起した領域は地震後に沈降、沈降した領域は 隆起していることが示され、これらの隆起・沈降は、アセノスフェアの粘性緩和に起因している ことが述べられている。複数の地震サイクルを通じて注目すべき点は、1 サイクルの間に生じた 地殻変動がゼロに戻るのではなく、複数のサイクルを経ることで累積する点である。そして、そ れらの変動は長期間の時間スケールで見ると隆起となり、海成段丘の形成に関連している可能性 を示唆する。佐藤・松浦(1998)は、上記の計算結果から、プレートの定常的な運動(定常的な 沈み込み)に起因する変形は決して小さくなく、無視できないとしている。

(2) 造構性侵食

世界のプレート沈み込み帯の比較より、付加体の発達する沈み込み帯と造構性侵食が起きてい る沈み込み帯の二種類が存在することが知られている(Scholl et al., 1980)。付加体は、沈み込 む側の海洋プレートに積もった堆積物が海溝付近ではぎとられて、沈み込まれる側の大陸プレー トに押し付けられることで形成される。このような付加作用の卓越する沈み込み帯の一つとして、 南海トラフが挙げられる。一方、造構性侵食は、沈み込む側の海洋プレートが沈み込まれる側の 大陸プレートを侵食し、それらの砕屑物が海洋プレートとともに地下深部へと持ち去られるとい う現象である(例えば、Huene and Scholl, 1991)など)。このような造構性侵食作用の卓越する 沈み込み帯の一つとして、日本海溝が挙げられる。世界のプレート沈み込み帯について付加作用 が卓越するか造構性侵食作用が卓越するかの分類については、Clift and Vannucchi (2004)では 約 56%、Scholl and Huene (2007)では約 75%の沈み込み帯で造構性侵食作用が卓越すること が示されており、造構性侵食作用は、世界のプレート沈み込み帯の半分以上で起こっている普遍 的な現象といえる(山本, 2010)。

造構性侵食作用のメカニズムについて言及すると、海洋プレートは海溝から沈み込む際、曲げ られることでアウターライズ近傍では伸張応力が働く。その際、海洋プレート上面に比高は数百 m規模のホルスト・グラーベン構造と呼ばれる地形の凹凸が形成される。そして、大陸プレート の土砂が凹凸に取り込まれて海洋プレートとともに地下深部へと運び込まれる。この結果、大陸 プレートの厚さは次第に薄くなり、海溝の前進(海溝がより陸側へ移動)や陸域の沈降が生じる と考えられている。上記の作用は大陸プレートの前面が削られることから、frontal erosion と呼 ばれている。また、大陸プレートの底面が削られる basal erosion と呼ばれる現象も考えられて おり、造構性侵食作用の英訳は、その両方を合わせて tectonic erosion もしくは subduction erosion と呼ばれる。造構性侵食作用が広く認知されるまでの背景には、1980年代以降の深海掘 削計画 (Deep Sea Drilling Project; DSDP)による深海掘削の功績が大きい。その一例として、 Huene and Lallemend (1990)は、日本海溝とペルー海溝の前弧斜面堆積物の解析を行い、前弧 斜面が時代とともに沈降していることを明らかにした。この結果、沈み込むプレートによって陸 域のプレートが強制的に削られ、前弧域が広域的に沈降するという現象の実証がなされた。

内陸においても造構性侵食作用の痕跡として、地質学的な特徴が報告されている。例えば、チ リ中央部西岸域では、古生代の変成帯や花崗岩類、ジュラ紀の島弧岩帯が沿岸域で狭小化、もし くは消滅が見られ、中新世から完新世の火山フロントの位置が内陸側へ移動していることから、 海溝が時間とともに前進したことが示唆され、その原因として、造構性侵食が起こったと考えら れている。

測地学的データを用いた造構性侵食に関する一つの研究として、Heki(2004)は、1996年か ら 2000 年に GEONET 観測点で得られた GNSS データを基に、西南日本(四国地方から中国地 方を横切る南海トラフの走向に対して直交方向の測線)および東北日本(東北地方を横切る日本 海溝の走向に対して直交方向の測線、)の水平・上下成分の変動速度プロファイルを作成した。西 南日本の南海トラフにおいては、付加体が発達する領域として冒頭で述べたが、変位速度のプロ ファイルは水平・上下成分ともに、南海トラフの沈み込みにともなって生じる弾性変形、すなわ ちバックスリップモデルによって、プレート境界面の固着でよく再現できることを示した。一方 で、東北日本の日本海溝においては、造構性侵食作用が卓越する領域として冒頭で紹介した。東 北日本における GNSS 変位速度のプロファイルについても、Heki (2004) は西南日本と同様の 手法で再現を試みたが、水平成分については、プレート間固着によってよく再現できることを、 上下成分については、再現性が乏しいことを示した。このような上下成分の速度データの不一致 について、彼は造構性侵食の可能性を考慮し、太平洋プレートと陸域プレート間のどの領域で質 量欠損が生じているか、その上限・下限の深さと侵食速度を矩形断層モデル(Okada, 1992)よ り推定した。火山噴火の際、地下深部よりダイクが貫入し地面が開口する。このときの地殻変動 は、tensile crack モデルで説明できるが、Heki (2004) は造構性侵食による質量欠損について、 tensile crack が閉口することで質量欠損が生じると読み替えて計算を行っている。この結果、深 さ 5 km から 90 km の範囲で造構性侵食による質量欠損が生じていること、また、その速度は年 間15mm程度に及ぶことを示した。

2.1.2 ローカルな隆起・沈降のメカニズム

(1) 海山(列)の沈み込みに伴う隆起・沈降

1) 海洋プレート地形の凹凸

一般に、海山は海底のローカルな凸地形として海洋プレート上に多く認められ、それらは日本 列島や中・南米といった沈み込み帯において陸側プレート下に沈み込んでいる。プレート運動に 伴って凸地形である海山が海溝から沈み込む際、沈み込む海山の前方(陸側)における上盤側プ レートでは鉛直上向き(押し上げ)の力が作用し、隆起を引き起こす。これとは逆に、沈み込む 海山の後方(海溝側)では鉛直下向きの力が作用することとなり、元の地形に回復するように沈 降となる(図 2.1.1 a)。また、特に海山が沈み込み始める海溝近傍では上盤側プレートの表層に 湾型の地形を形成する(例えば、Huene, 2008)。

このような凸地形を有する海洋プレートの沈み込みに起因する地殻変動の特徴は、アナログ実 験や数値解析によるシミュレーションによって再現されており、近年ではプレート境界で生じる 地震活動との関連性についても議論されている(例えば、Dominguez et al., 1998; Ruh et al., 2016)。さらに、西南日本(例えば、Park et al., 1999)、中米(例えば、Ruh et al., 2016)、南米 (例えば、Geersen et al., 2015)など国内外の沈み込み帯では実際の観測事例が多数報告されて いる。多くの場合、前弧側海域における反射法地震探査によって沈み込んだ海山の存在が明らか にされ、これに対応する上盤側プレートのローカルな隆起(海底の凸地形)が確認されている。 しかしながら、これらの事例の多くは海溝付近の前縁付加体の変形について報告されているもの であり、これまでのところ少なくとも国内においては、同様のメカニズムが大陸棚や海岸部とい った沿岸域にまで及ぶといった観測事例は示されていない。その一方で、Uchida et al. (2010) は、地震学的証拠に基づいて、東北地方三陸沿岸では、海山が沈み込む太平洋プレートからはが れ、上盤プレートに底づけされる底付け作用が生じている可能性があること、さらにはそうした 底付け作用が沿岸部の海成段丘の発達をもたらした地形学的な時間スケールでの隆起の要因であ る可能性を指摘している。

2) 低密度岩体に伴う浮力

海洋プレート上に存在する海嶺や海台は、周囲に比べて地殻が厚く低い重力異常を呈する場合 がある(例えば、Nishizawa et al., 2016)。一般に、低い重力異常は低密度物質の存在を示すが、 そのような海嶺や海台が沈み込む領域ではローカルに浮力が生じ、結果として上盤プレートの隆 起を生じさせるというモデル(図 2.1.1 b)が提案されている(例えば、Nakada et al., 2002)。 このモデルに基づく国内での研究事例として、2つの事例が挙げられる。

Nakada et al. (2002)は、ローカルな低重力異常が観測される宮崎平野を事例とした数値シミ ュレーションにより、宮崎平野で生じている隆起(例えば、長岡ほか, 2010)の定量的な説明を 試みた。その結果、下部地殻あるいはマントル最上部に低密度岩体が存在し、その浮力により宮 崎平野の隆起が説明できると指摘した。ただし、この低密度岩体が何に起因するかは特定できず

(低密度の九州-パラオ海嶺そのものを示すとは考えにくく)、九州-パラオ海嶺の沈み込みに関 連した何らかの低密度岩体であるとの見解に留められている。

Arai et al. (2017) は、琉球弧北部における反射法地震探査の結果から、深さ 6-8 km に低密度 の奄美海台が沈み込んでいることを明らかにした。さらに、この近傍で 1995 年に海台前方の海 洋地殻内で発生した M7.1 及び M6.8 の地震が正断層型の発震機構を示すことなどから、地表の 隆起との関連性については明確に言及されていないが、沈み込んだ奄美海台に強い浮力が生じた 結果生じた地震であると指摘している。

(2) マントル・ウェッジに形成された蛇紋岩体に伴う隆起・沈降

1) 低密度岩体に伴う浮力

沈み込み帯ではスラブの沈み込みに伴う温度・圧力の上昇に伴い、海洋地殻を構成する鉱物の 脱水反応が生じ、水がマントル・ウェッジに供給される。さらに、マントルの主要構成鉱物であ るかんらん石(かんらん岩)に水が供給されることで、マントル・ウェッジのコーナー部には蛇 紋石(蛇紋岩)が形成されると考えられており、その領域は serpentinized mantle wedge と呼ば れている。比較的低温の太平洋スラブが沈み込む東北日本では前弧域下での脱水が活発でないこ となどから顕著な serpentinized mantle wedge は形成されていないと考えられている。一方、比 較的高温のフィリピン海スラブが沈み込む西南日本においては、数十 km の深さで活発な脱水反

応が生じ、蛇紋岩(体)がマントル・ウェッジのコーナー部に存在すると考えられている(例えば、片山, 2016)。

一般に、蛇紋岩の密度はマントルを構成するかんらん岩に比べて顕著に小さいことが知られて おり、そのために生じる浮力によって地殻が押し上げられ、結果として地表が隆起するといった モデル(図 2.1.1b)が提案されている(例えば、Tahara et al., 2008)。このモデルに関する研究 事例は僅かであるが、地震波トモグラフィの結果をもとに、宮崎平野の隆起が蛇紋岩体の浮力に 起因すると解釈された事例がある(Tahara et al., 2008; Saiga et al., 2010)。

2) 蛇紋岩化に伴う体積膨張

マントル・ウェッジのかんらん岩に水が付加することで生じる蛇紋岩化には 25-53%もの体積 膨張を伴うことが知られている(Coleman, 1971; O'Hanley, 1992)。このマントル・ウェッジの 体積増加に起因して、その上位の地殻が押し上げられ、隆起するといったモデル(図 2.1.1 c)も 提案されている。Germanovich et al. (2012)は、前項でも述べた宮崎平野の隆起メカニズムを 説明するため、蛇紋岩化に伴う体積増加を考慮した数値シミュレーションによって、その可能性 を指摘している。

3) 地殻内のレオロジー不均質(部分溶融域、深部流体の存在)に伴う隆起・沈降

沈み込み帯に位置する日本列島の地殻には、火山下の部分溶融域のような高温領域や地殻流体 (深部流体)といった流体が分布することから、そのレオロジーも不均質であると考えられてい る。このように不均質な地殻に対して外力(プレートの沈み込みに伴うおよそ水平な圧縮応力) が作用することで局所的な非弾性変形が生じ、ローカルな隆起・沈降が生じるといったモデル(図 2.1.1 d)が提案されている(例えば、Hasegawa et al., 2005)。

特に東北日本の火山フロントでは、上部マントルから連続する部分溶融域が地殻深部に存在す ることが明らかにされており、東北脊梁山地の隆起や歪集中のほか近傍の逆断層運動がこの概念 モデルにより説明されている(例えば、Hasegawa et al., 2005)。最近では、地殻内のレオロジー 不均質を考慮した数値シミュレーションによって、このモデルの妥当性が検証されている (Shibazaki et al., 2008)。

一方、前弧域に位置するいわき群発地震活動域下の地殻深部において、M7クラスの地震を含む群発地震の発生に関与したと考えられる深部流体の存在が見出されている(Zhao, 2015; Umeda et al., 2015)。海成段丘の分布からこの領域は顕著な隆起場にあるとされ、流体分布域への側方圧縮に伴う非弾性変形(図 2.1.1 d)によって生じた可能性が指摘されている(Umeda, 2015)。

4) マントルダイアピルの上昇

マントルから上昇した高温物質(マントル・ダイアピル)が地殻へ付加(底付け)されること で、その浮力により地殻が押し上げられ、結果として山脈などが形成されるといったモデル(図 2.1.1 e)である。沈み込み帯にかかわらず、地震波トモグラフィなどの地球物理学的手法によっ てマントル深部までの構造を推定した研究において、このような解釈がなされた事例がある。一 例として Graw et al. (2016)では、地震波トモグラフィによって南極の Transantarctic 山脈下 の上部マントルにマントルダイアピルが見出され、その浮力による上昇が山脈の形成に寄与した と解釈している。



2.2 過去数十万年間における隆起・沈降の傾向・速度

2.2.1 方法

わが国において過去数十万年間を目安に隆起・沈降の傾向・速度に変化が生じている場とその 逆に 10 万~数十万年間の隆起・沈降速度が一定である場について把握するために文献レビュー を行った。そして、その結果をとりまとめたデータベース(文献リスト)を作成した。文献レビ ューは、以下のように行った。

- 対象とする内容:日本列島において過去数十万年間を目安に隆起・沈降の傾向・速度に変化が生 じている場(あるいは、その可能性がある場)とその逆に十〜数十万年間の隆起・沈降速度が 一定である場であることを絶対年代手法ないしは層序学的手法を用いて示したもの。
- 対象文献:第四紀の隆起・沈降について取り扱われている国内外の雑誌、大学紀要、研究機関の 報告書である。具体的には、国内誌 10 誌(地学雑誌、地質学雑誌、第四紀研究、地理学評論、 地形、応用地質、地理科学、季刊地理学、原子力バックエンド研究、活断層研究)、国外誌 14 誌 (Quaternary Science Reviews, Quaternary Research, Quaternary International, Quaternary Geochronology, Journal of Quaternary Science, Geomorphology, Marine Geology, Sedimentary Geology, Earth Science Reviews, Journal of Geophysical Research, The Island Arc, GEOCHRONOMETR, Geochemistry Geophysics Geosystems, Geophysical Research Letters),大学紀要 8 誌 (Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University, 駒沢地 理、熊本大学教育学部研究紀要、駿台史学、明治大学人文科学研究所紀要、鳥取大学地域学部 紀要、日本大学文理学部自然科学研究所紀要)、研究機関の報告書 2 誌(JAEA-Research, 電 力中央研究所報告)を対象とした。
- 対象期間:原則的に2001年以降現在までに出版された文献を対象とした。2001年以降とした理由は、2019年の時点において日本列島の約10万年間の隆起速度に関するデータが最も網羅的に集められたデータ集が小池・町田編(2001)による海成段丘アトラスであるためである。しかし、2001年以前の出版においても過去数十万年間に隆起・沈降の傾向・速度が変化した可能性について言及しており、重要と考えられる文献については参照した。
- 手順:文献の参照漏れを防ぐために原則的に対象文献の 2001 年以降のバックナンバー全てに目 を通し、対象とする内容に該当するものを収集した。

2.2.2 結果

収集した文献のリストを巻末に示す。また、収集した文献の対象範囲を地図上にプロットした ものを図 2.2.1 に示す。日本列島において過去数十万年間に隆起・沈降の傾向・速度に変化が生 じている場の見取り図を図 2.2.2 に示す。

【付録1】







図 2.2.2 過去数十万年間に隆起・沈降の傾向・速度が変化した可能性がある地域 主として 2001 年以降に出版された文献データに基づく。図表の ID は、巻末の文献リストの ID に対応。プレート境界は、Lovers and Meade(2010)を基に作成。

(1) 過去数十万年間に隆起・沈降の傾向・速度に変化が生じている場

過去数十万年間に隆起・沈降の傾向・速度に変化が生じている場については、1)運動様式に変化が生じた場、2)運動様式の変化が移動する場、3)運動速度が変化した場の3タイプがある。 以下に、各タイプに該当した場について記述する。

1) 運動様式に変化が生じた場

男鹿半島の安田海岸

Shirai and Tada (2002) が、浅海性堆積物の堆積相解析に基づいて、安田向斜の発達に係り 450 ka に始まった向斜西翼部の傾動に伴うゆっくりとした沈降が 130 ka 以降に隆起に転じたこ とを示している。その隆起・沈降速度は 2 地点で示されている。地点 1 では、450~180 ka まで は 0.1 mm/yr, 180~130 ka までは 0.4 mm/yr の沈降速度であり、130 ka 以降は 1 mm/yr の隆 起速度である。地点 2 では、450~180 ka までは 0.2 mm/yr, 180~130 ka までは 0.7 mm/yr の 沈降速度であり、130 ka 以降は 0.8 mm/yr の隆起速度である。沈降から隆起に転じた要因につ いて、白井(1998) は 13 万年前頃にこの地域の地殻の短縮が塑性変形によって解消可能な範囲 を超え、地殻の脆性変形が開始したことで、褶曲から逆断層による変位に変化した可能性を指摘 している。

2 大磯丘陵

山崎(1993)により 40 万年前以降に沈降域から隆起に転じていることが示されている。その 原因については、大磯丘陵の西縁を限る国府津-松田断層(逆断層)が活動を開始したためと考え られている。断層の変位速度及び大磯丘陵の隆起速度ともに徐々に増加している。

③ 富士山南西麓地域

山崎(1984)により 80 万年前以降、断層の活動場の西から東への移動に伴って隆起・沈降域 が移動することが示されている。その原因として、Yamazaki(1992)は、この地域が、プレート 収束境界である駿河トラフの北方延長という特異な場に位置するため、フィリピン海プレートの 本州下への沈み込みに伴うプレート収束境界の陸側斜面での付加体の形成において生じる覆瓦ス ラストの形成過程が、断層の活動場の移動としてあらわれている可能性を指摘した(Yamazaki, 1992)。

④ 渥美半島

白井・阿部(2001)は、浅海性堆積物の堆積相解析に基づいて渥美半島東部は、30万年前以降、 それまでの約0.2 mm/yrの沈降から約0.3 mm/yrの隆起に転じたことを指摘している。しかし、 その原因については不明である。

⑤ 浜松沖

荒井ほか(2006)は海域の地層区分に基づいて、浜松沖の前弧斜面上部では、85万年以降に現 在まで続く南南島に傾く傾動運動が生じたことを示している。そして、その原因に、古銭洲海嶺 の沈み込みを想定している。

⑥ 四国山地南西部

山下ほか(2006)は、内子盆地では、堆積物による盆地の埋積から段丘の形成に変化したタイ ミングをもって、50万年前頃に比較的安定した堆積場から隆起場に転じたと指摘している。また、

付 1-13

熊原(2002)は、僧都川及び松田川流域の河成段丘発達史に基づいて、四国山地南西部は60万年前頃に沈降あるいは安定していた堆積場から河成段丘の形成をうながす隆起場(北東-南西走向に隆起の軸をもつ曲隆運動)に転じたと推定している。このような地殻変動の傾向の変化は、宮崎平野、豊後水道、日向海盆にかけた領域の地殻変動の傾向・速度の変化の原因と同様に500~350 kaにフィリピン海プレートの沈み込み方向がNNW方向からWNW方向に変化したことに起因して西南日本弧西縁が東西圧縮変形を受けたことに起因している可能性がある。

⑦ 宮崎平野

長岡ほか(2010)により2Ma以降の地形発達史・地殻変動史がまとめられている。それによれば、1)2Ma以降に、前弧海盆の埋積物がゆっくり隆起し宮崎平野の原型が形成され、2)1Ma ~350 ka に鰐塚山地ブロックの東または南東への移動により平野南部で0.4 mm/yrの速度で沈降が生じ、3)500~350 ka にフィリピン海プレートの沈み込み方向がNNW方向からWNW方向に変化した結果、宮崎平野周辺が東西圧縮変形を受けることで、宮崎平野は曲隆にともなう隆起がはじまり、4)350 ka 以降は、九州パラオ海嶺の沈み込みや蛇紋岩ダイアピアの上昇により、平野南部において0.1 mm/yr から1 mm/yr に加速したと考えられている。

2) 運動様式の変化が移動する場

① 関東平野

関東平野の過去 40 万年間の地殻変動様式については須貝ほか(2013)が中里・佐藤(2001)、 大井・横山(2011)などの研究成果を取り込んで総括している。須貝ほか(2013)によれば、関 東平野では 3~0.5 Ma に北方向から北西方向に沈み込みの方向を変えたフィリピン海プレート の沈み込みの進行と関連づけられる傾動帯の前進にともなって、沈降中心の北への移動と沈降場 の隆起場への変換が生じている。

3) 運動速度が変化した場

下北半島の田名部平野

MIS 5e 以前に形成された 3 段の海成段丘(高位のものから蒲野沢面、東栄面、樺山面)が分 布する。しかし、東栄~樺山面形成期にかかわる田名部 A~C テフラの放射年代がはっきりしな いため、3 段の海成段丘の形成期と海洋酸素同位体比ステージとの対比が定まっていない。仮に 桑原・山崎(2000, 2001)に基づき MIS 5e 以前の 3 段の海成段丘をそれぞれ MIS 7, 9, 11 に対 比すると、MIS 5e から隆起速度が加速したことになる。その一方で、桑原(2005)が示したよ うに隆起速度が一定であると仮定し、海成段丘の高度と MIS 5e 段丘に基づく隆起速度から MIS 5e 以前の 3 段の海成段丘の形成期時期を推定すると、桑原(2006)による田名部 A~C テフラ の FT 年代と調和的な結果になる。しかし、その場合、樺山面の形成年代が、MIS6 の低海水準 期に相当するという問題が生じる。

2 能登半島

太田・平川(1979)は、能登半島の海成段丘をT, H, M 及びLの4群に区分し、さらにT面を7面、H面を4面、M面を3面に細分した。そしてそれらの分布パターンに基づき、(i) MIS 5eに対比される M1面と、それより高位の段丘面(H3面)の比高については、M1面の高度にかかわらずほぼ一定であるが、傾動の量が両地形面でほとんど変わりないことから、傾動運動が顕著になったのは MIS5e 以降であること、(ii) T面高度群が、M1面の隆起速度を外挿した時に期待される値より低いため、比較的新しい時代に隆起速度の変化が生じたこと、2点を指摘して

いる。

③ 大阪平野

内山ほか(2001)により、大阪堆積盆地では、沈降速度が40数万年前を境にそれ以前の0.7~0.5 mm/yrから0.5~0.2 mm/yr に低下したことが明らかにされている。ただし、そのテクトニクス的な要因については言及されていない。

④ 琵琶湖

里口(2010)により、琵琶湖堆積盆の北湖地域は 60~45 万年前以降に沈降が活発化しかした ことが明らかにされている。ただし、そのテクトニクス的な要因については言及されていない。

⑤ 日向海盆と豊後水道

岡村ほか(1998)は、海底堆積物の堆積パターンから 2 Ma 頃にはじまった 1 mm/yr の沈降 が、MIS 22 (約 100 万年前) 以降に 2 mm/yr と加速し、MIS 12 (約 68 万年前) 以降に 1.5 mm/yr へと減速したことを示している。

⑥ 屋久島

喜界カルデラ起源の 58 万年前頃の火砕流である小瀬田火砕流堆積物が海浜礫層中に挟まれ、 その産出高度は MIS 5e の海成段丘面の分布高度よりも数十 m は低い。そのため屋久島では、58 万年以降に隆起が加速した可能性が指摘されている(町田ほか, 2001)。しかし、その原因につい ては不明である。

(2) 隆起・沈降速度の変化

隆起・沈降速度が算出されている場における隆起・沈降速度(年平均)の変化を図 2.2.3 に示 す。図 2.2.3 に示されるように隆起・沈降速度の変動幅が±2.5 mm 以上と突出して大きいのは、 プレート境界の活断層が隆起・沈降に関与している大磯丘陵のみである。それ以外の地域の隆起・ 沈降速度の変動幅については±1.0 mm を超えることはない。

沈降から隆起に転じた地域の隆起速度の大きさについてみると、上述の大磯丘陵が最も大きく 3 mm/yr、次いで安田海岸(男鹿半島)、能登半島北部、宮崎平野が約1 mm/yr であり、それ以 外の地域は0.5 mm/yr 未満である。安田海岸は、新たに形成された逆断層により隆起している可 能性がある地域、宮崎平野は、九州パラオ海嶺の沈み込みや蛇紋岩ダイアピアの上昇にともなう 地殻の不均質に起因して隆起している可能性がある地域である。

以上、限られた事例に基づくが次の2点を指摘することができよう。

・わが国において沈降場が10万年間で300mの隆起をうながす隆起速度(3mm/yr)に転じた場は、プレート境界断層の陸上延長部となる活断層の運動に伴って隆起する場である。

・それ以外の隆起メカニズムにより隆起に転じた場の隆起速度は、最大で1 mm/yr 程度である。

【付録1】





安田海岸は Shirai and Tada (2002)、能登半島は太田・平川(1979)、関東平野は須貝ほか (2013)、大磯丘陵は山崎(1993)、渥美半島は白井・阿部(2001)、大阪平野は内山ほか (2001)、豊後水道・日向海盆は岡村ほか(1998)、宮崎平野は長岡ほか(2010)に基づく。

3. 地形・地質・地球物理学的データの重ねあわせ

過去数十万年間に隆起・沈降の傾向・速度に変化が生じていると考えられる場のうち、陸域の 十万~数十万年間の地殻変動様式と陸域から深海までの地下構造に係る情報が利用できる渥美半 島及び浜松沖を事例として、地理情報システム(GIS)を用いて既往データの重ね合わせを行っ た(図 2.2.1)。重ね合わせにおいて使用したデータの一覧を、表 2.2.1 に示す。

地殻変動の特徴についてみると、浜松~渥美半島の大陸棚~前弧斜面上部にかけてのエリアでは、85万年以降、南南東方向への傾動運動が続いている(荒井ほか,2006)。このテクトニクスの 枠組みの中で、渥美半島西部は、活断層の形成を伴わずに約30万年前に沈降から隆起に転じて、 以降、現在まで隆起傾向にある。そして渥美半島全体でみると少なくとも最近12万年間は数十 km スケールでの曲隆が生じている(図2.2.1)。

一方、浜松~渥美半島沖の海底地形と地殻の構造をみると、南海トラフよりも陸側には沈み込 んだ古錢洲海嶺の北部リッジと南部リッジ(Kodaira et al., 2004)が、南海トラフよりも海側に は銭洲海嶺が分布する。沈み込んだ古銭洲海嶺のうち南部リッジは、銭洲海嶺と同様に南海トラ フに沿って帯状に配列する(図 2.2.1)。その一方で、陸域により近い北部リッジについては反射 法地震探査データが少ないため、その西方向への連続性については不明である。しかし、海底地 形をみると、北部リッジの西方向には海丘が分布し、地形の起伏も大きいため南部リッジと同様 に沈み込んだ海山が西方向に続いていることも考えられる。

北部リッジよりも陸側の領域、すなわち曲隆が生じていると考えられる大陸棚から沿岸部にかけての領域における沈み込んだ海山の有無については、反射法地震探査データが無いため不明である。大陸棚の地形も起伏の乏しい一様な極緩傾斜(1度未満)の斜面であるため、海底地形から海山の伏在を推測することはできない。しかし、沈み込んだ海山が、スラブ上限深度までは上盤プレートの地殻変動に影響を及ぼすものと仮定すると、駿河湾〜足摺岬にかけての領域はその影響範囲が内陸部まで達している(図 2.2.1)。そのため、渥美半島沖の大陸棚の地下に沈み込んだ海山が存在する可能性が無いわけではない。沈み込む海山の規模が、沿岸域の数+kmスケールの隆起・沈降の傾向・速度の変化と一致する空間スケールであることは留意すべきことがらである。そのため、両者の関係の検討に必要となる大陸棚の地殻の構造が反射法地震探査に基づいて明らかにされることが望まれる。

データ名		出典	
隆起·沈降量		野上道男ほか(1994)	
 隆起沈降に関する調査地点		白井正明,阿部信太郎 (2001)	
DEM 陸域		ASTER GDEM	
	海域	(財)日本水路協会 M7000シリーズ	
正断層帯		荒井晃作ほか(2006)	
		Lovers and Meade (2010)	
	スラブ上限 (30km深)	地質調査総合センター研究資料集、no. 647	
海嶺	銭洲海嶺	日本第四紀地図 東京大学出版会	
	古海嶺、古海山	Park et al., (2003)	

表 2.2.1 データー覧



図 2.2.1 地形・地質・地球物理学的データの重ね合わせ(渥美半島・浜松沖の事例) 沿岸域の等値線(m)は最近 12 万年間の隆起量を示す。等深線は 200 m 間隔。使用したデータ については表 3-1 を参照。

4. まとめ

本共同研究では、沈み込み帯における隆起・沈降のメカニズムに係る既存情報を整理するとと もに、わが国において過去数十万年間に隆起・沈降の傾向・速度に変化が生じている場の情報を 収集した。その結果、限られた事例に基づくが次の2点を指摘することができた。

・わが国において沈降場が10万年間で300mの隆起をうながす隆起速度(3mm/yr)に転じた場は、プレート境界断層の陸上延長部となる活断層の運動に伴って隆起する場である。

・上記以外の隆起メカニズムにより隆起に転じた場の隆起速度は、最大で1 mm/yr 程度である。 数十万年間の隆起・沈降の傾向・速度の変化の評価に係る課題としては、沈み込んだ海嶺・海 山が上盤側プレートの 10⁴~10⁵ 年スケールでの地殻変動に与える影響とその範囲についての調 査・研究が挙げられる。その理由としては、(1) 海山の規模は数十 km 程度であるため、沿岸部 の数十 km 程度の隆起・沈降現象と空間スケールの点で調和的であること、(2) わが国の海域に は海嶺・海山や沈み込んだ海山が多数確認されており、それらが将来、大陸棚から沿岸域に達す る可能性が否定できないこと、の2点が挙げられる。

5. 引用文献

2.1.1 プレートの沈み込みに係る隆起・沈降

- Clift, P. and Vannucchi, P., Controls on tectonic accretion versus erosion in subduction zones: Implications for the origin and recycling of the continental crust, Reviews of Geophysics, vol.42, RG2001, doi:10.1029/2003RG000127, 2004.
- Fukahata, Y. and Matsu'ura, M., Quasi-static internal deformation due to a dislocation source in a multilayered elastic/viscoelastic half-space and an equivalence theorem, Geophysical Journal International, vol.166, pp.418-434, doi: 10.1111/j.1365-246X.2006.02921.x, 2006. 深畑幸俊,線形粘弾性問題の時間無限大の解,応用数理, vol.19, pp.84-96, 2009.
- Hashimoto, C., Fukui, K. and Matsu'ura, M., 3-D Modelling of plate interfaces and numerical simulation of long-term crustal deformation in and around Japan, Pure and Applied Geophysics, vol.161, pp.2053-2068, doi: 10.1007/s00024-004-2548-8, 2004.
- Heki, K., Space geodetic observation of deep basal subduction erosion in northeastern Japan, Earth and Planetary Science Letters, vol.219, pp.13-20, doi:10.1016/S0012-821X(03)00693-9, 2004.
- Huene, R.V. and Lallemand, S., Tectonic erosion along the Japan and Peru convergent margins, Geological Society of America Bulletin, vol.102, pp.704-720, 1990.
- Huene, R.V., and Scholl, D.W., Observations at convergent margins concerning sediment subduction, subduction erosion, and the growth of continental crust, Reviews of Geophysics, vol.29, pp.279-316, doi:10.1029/91RG00969, 1991.
- Okada, Y., Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bulletin of the Seismological Society of America, vol.82, No.2, pp.1018-1040, 1992.
- 佐藤利典, 松浦充宏, プレート境界における応力の蓄積過程と大地震の繰り返しに伴う地殻変動 サイクルのモデル化について, 地震 第2輯, vol.50(別冊), pp.283-292, 1998.
- Scholl, D.W., Huene, R.V., Vallier, T.L. and Howell, D.G., Sedimentary masses and concepts about tectonic processes at underthrust ocean margins, Geology, vol.8, pp.564-568, 1980.
- Scholl, D.W. and Huene, R.V., Crustal recycling at modern subduction zones applied to the past-issues of growth and preservation of continental basement crust, mantle geochemistry, and supercontinent reconstruction, Memoir of the Geological Society of America, vol.200, pp.9-32, dio:10.1130/2007.1200(02), 2007.
- Yamagiwa, S., Miyazaki, S., Hirahara, K. and Fukahata, Y., Afterslip and viscoelastic relaxation following the 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw 9.0) inferred from inland GPS and seafloor GPS/Acoustic data, Geophysical Research Letters, vol.42, pp.66-73, doi:10.1002/2014GL061735, 2015.
- 山本伸次,構造浸食作用 —太平洋型造山運動論と大陸成長モデルへの新視点—,地学雑誌, vol.119, pp.963-998, 2010.

2.1.2 ローカルな隆起・沈降のメカニズム

- Arai, R., Kodaira, S., Yamada, T., Takahashi, T., Miura, S., Kaneda, Y., Nishizawa, A. and Oikawa, M., Subduction of thick oceanic plateau and high-angle normal-fault earthquakes intersecting the slab, Journal of Geophysical Research, vol.44, pp.6109-6115, doi:10.1002/2017GL073789, 2017.
- Coleman, R.G., Petrologic and geophysical nature of serpentinites, Geological Society of America Bulletin, vol.82, pp.897-918, doi:10.1130/0016-7606(1971)82[897:PAGNOS]2.0.CO;2, 1971.
- Dominguez, S., Lallemand, S.E., Malavieille, J. and Huene, R.V., Upper plate deformation associated with seamount subduction, Tectonophysics, vol.293, pp.207-224, 1998.
- Geersen, J., Ranero, C.R., Barckhausen, U. and Reichert, C.J., Subducting seamounts control interplate coupling and seismic rupture in the 2014 Iquique earthquake area, Nature Communications, 6:8267, doi: 10.1038/ncomms9267, 2015.
- Germanovich, L.N., Genc, G., Lowell, R.P. and Rona, P.A., Deformation and surface uplift associated with serpentinization at mid-ocean ridges and subduction zones, Journal of Geophysical Research, vol.117, B07103, doi:10.1029/2012JB009372, 2012.
- Graw, J.H., Adams, A.N., Hansen, S.E., Wiens, D.A., Hackworth, L. and Park, Y., Upper mantle shear wave velocity structure beneath northern Victoria Land, Antarctica: Volcanism and uplift in the northern Transantarctic Mountains, Earth and Planetary Science Letters, vol.449, pp.48-60, dio: 10.1016/j.epsl.2016.05.026, 2016.
- Hasegawa, A., Nakajima, J., Umino, N. and Miura, S., Deep structure of the northeastern Japan arc and its implications for crustal deformation and shallow seismic activity, Tectonophysics, vol.403, pp.59-75, dio: 10.1016/j.tecto.2005.03.018, 2005.
- Huene, R.V., When seamounts subduct, Science, vol.321, pp.1165-1166, dio:10.1126/science.1162868 2008.
- 片山郁夫, 沈み込み帯での水の循環様式, 火山, vol.61, pp.69-77, 2016.
- 長岡信治, 西山賢一, 井上 弦, 過去 200 万年間における宮崎平野の地層形成と陸化プロセス 海面変化とテクトニクスに関連して–, 地学雑誌, vol.119, pp.632-667, 2010.
- Nakada, M., Tahara, M., Shimizu, H., Nagaoka, S., Uehira, K. and Suzuki, S., Late Pleistocene crustal uplift and gravity anomaly in the eastern part of Kyushu, Japan, and its geophysical implications, Tectonophysics, vol.351, pp.263-283, 2002.
- Nishizawa, A., Kaneda, K. and Oikawa, M., Crust and uppermost mantle structure of the Kyushu-Palau Ridge, remnant arc on the Philippine Sea plate, Earth Planets and Space, 68:30, doi:10.1186/s40623-016-0407-3, 2016.
- O'Hanley, D.S., Solution to the volume problem in serpentinization, Geology, vol.20, pp.705–708, doi:10.1130/0091-7613(1992)020<0705:STTVPI>2.3.CO;2, 1992.
- Park, J.O., Tsuru, T., Kaneda, Y. and Kono, Y., A subducting seamount beneath the Nankai accretionary prism off Shikoku, southwestern Japan, Geophysical Research Letters, vol.26, pp.931-934, doi:10.1029/1999GL900134, 1999.
- Ruh, J.B., Sallares, V., Ranero, C.R. and Gerya, T., Crustal deformation dynamics and stress evolution during seamount subduction: High-resolution 3-D numerical modeling, Journal of Geophysical Research, vol.121, pp.6880-6902, doi:10.1002/2016JB013250, 2016.

- Saiga, A., Matsumoto, S., Uehira, K., Matsushima, T. and Shimizu, H., Velocity structure in the crust beneath the Kyushu area, Earth Planets and Space, vol.62, pp.449-462, doi: 10.5047/eps.2010.02.003, 2010.
- Shibazaki, B., Garatani, K., Iwasaki, T., Tanaka, A. and Ito, Y., Faulting processes controlled by the nonuniform thermal structure of the crust and uppermost mantle beneath the northeastern Japanese island arc, Journal of Geophysical Research, vol.113, B08415, doi:10.1029/2007JB005361, 2008.
- Tahara, M., Uehira, K., Shimizu, H., Nakada, M., Yamada, T., Mochizuki, K., Shinohara, M., Nishino, M., Hino, R., Yakiwara, H., Miyamachi, H., Umakoshi, K., Goda, M., Matsuwo, N. and Kanazawa, T., Seismic velocity structure around the Hyuganada region, Southwest Japan, derived from seismic tomography using land and OBS data and its implications for interplate coupling and vertical crustal uplift, Physics of the Earth and Planetary Interiors, vol.167, pp.19-33, 2008.
- Uchida, N., Kirby, S.H., Okada, T., Hino, R. and Hasegawa, A., Supraslab earthquake clusters above the subduction plate boundary offshore Sanriku, northeastern Japan: Seismogenesis in a graveyard of detached seamounts? Journal of Geophysical Research, vol.115, B09308, doi:10.1029/2009JB006797, 2010.
- Umeda, K., Localized extensional tectonics in an overall reverse-faulting regime, Northeast Japan, Geoscience Letters, 2:12, doi:10.1186/s40562-015-0030-3, 2015.
- Umeda, K., Asamori, K., Makuuchi, A., Kobori, K. and Hama, Y., Triggering of earthquake swarms following the 2011 Tohoku megathrust earthquake, Journal of Geophysical Research, vol.120, pp.2279-2291. doi:10.1002/2014JB011598, 2015.
- Zhao, D., The 2011 Tohoku earthquake (Mw 9.0) sequence and subduction dynamics in Western Pacific and East Asia, Journal of Asian Earth Sciences, vol.98, pp.26-49, doi: 10.1016/j.jseaes.2014.10.022, 2015.

2.2 過去数十万年間における隆起・沈降の傾向・速度

荒井晃作, 岡村行信, 池原 研, 芦 寿一郎, 徐 垣, 木下正高, 浜松沖前弧斜面上部に発達する活 断層とテクトニクス, 地質学雑誌, vol.112, pp.749-759, 2006.

小池一之,町田 洋編,日本の海成段丘アトラス,東京大学出版会,122p,2001.

- 熊原康博,四国南西部,僧都川および松田川流域における中期更新世以降の地形発達と地殻変動, 地理学評論,vol.75, pp.553-570, 2002.
- 桑原 拓一郎, 下北半島田名部平野における海成段丘構成物の形成と相対的海面変化, 第四紀研 究, vol.44, pp.131-144, 2005.
- 桑原 拓一郎,下北半島北部に分布する正津川軽石流堆積物のジルコン・フィッション・トラック年代,地質学雑誌,vol.112, pp.294-297, 2006.
- 桑原 拓一郎, 山崎晴雄, 下北半島・田名部低地帯における海成段丘の形成と田名部累層の堆積 過程および地殻変動, 月刊地球, vol.22, pp.711-716, 2000.
- 桑原 拓一郎, 山崎晴雄, テフラから見た最近 45 万年間の恐山火山の噴火活動史, 火山, vol.46, pp.37-52, 2001.
- Loverless, J.P. and Meade, B., Geodetic imaging of plate motions, slip rates, and partitioning of deformation in Japan, Journal of Geophysical Research, vol.115, B02410,

doi:10.1029/2008JB006248, 2010.

- 町田 洋, 太田陽子, 河名俊男, 森脇 広, 長岡信治, 日本の地形 7 九州・南西諸島, 東京大学出版 会, 380p, 2001.
- 長岡信治,西山賢一,井上弦,過去200万年間における宮崎平野の地層形成と陸化プロセス 海面変化とテクトニクスに関連して-,地学雑誌,vol.119, pp.632-667, 2010.
- 中里裕臣, 佐藤弘幸, 下総層群の年代と"鹿島"隆起帯の運動, 第四紀研究, vol.40, pp.251-257, 2001.
- 岡村行信,上嶋正人,村上文敏,岸本清行,駒沢正夫,広島俊男,玉木賢策,奥田義久,中村光一, 渡辺和明,有田正史,木下泰正,西村清和,池原研,石橋嘉一,豊後水道南方海底地質図およ び説明書,1:200,000,海洋地質図, no.49,地質調査所, 1998.
- 大井信三, 横山芳春, 常陸台地の第四系下総層群の層序と堆積システムの時空変化, 地質学雑誌, vol.117 pp.103⁻120, 2011.
- 太田陽子, 平川一臣, 能登半島の海成段丘とその変形, 地理学評論, vol.52, pp.169-189, 1979.
- 里口保文, 琵琶湖堆積物の長時間スケール層序と構造運動の復元, 第四紀研究, vol.49, pp.85-99, 2010.
- 白井正明, Reconstruction of vertical crustal movement during the quaternary based on distribution of sedimentary facies and its application to crustal deformation analysis : an example of middle to Upper Pleistocene sequence at the Anded Coast, Oga Peninsula, NE Japan, 東京大学(博士論文), 1998..
- 白井正明, 阿部信太郎, 浅海成堆積サイクルの詳細な解析による地殻変動復元手法の検討, 電力 中央研究所報告研究報告, U01016, 20p, 2001.
- Shirai, M and Tada, R., High-resolution reconstruction of Quaternary crustal movement based on sedimentary facies analysis: an example from the Oga Peninsula, northern Japan, Journal of sedimentary research, vol.72, pp.386-392, dio:10.1306/102501720386, 2002.
- 須貝俊彦, 松島(大上)紘子, 水野清秀, 過去 40 万年間の関東平野の地形発達-地殻変動と氷河 性海水準変動の関わりを中心に-, 地学雑誌, vol.122, pp.921-948, 2013.
- 内山美恵子,三田村宗樹,吉川周作,大阪平野中央部,上町断層の変位速度と基盤ブロックの運動,地質学雑誌,vol.107, pp.228-236, 2001.
- 山下大輔,吉川周作,塚越 実,長岡信治,熊原康博,愛媛県大洲・内子盆地に分布する下部-中 部更新統の層序と編年,第四紀研究,vol.45, pp.463-477, 2006.
- 山崎晴雄,活断層からみた南部フォッサマグナ地域のネオテクトニクス,第四紀研究, vol.23, pp.129-136, 1984.
- Yamazaki, H., Tectonics of a plate collision along the northern margin of Izu Peninsula, Central Japan, Bulletin of the Geological Survey of Japan, vol. 43, pp.603-657, 1992.
- 山崎晴雄, 南関東の地震テクトニクスと国府津・松田断層の活動, 地学雑誌, vol.102, pp.365-373, 1993.

3. 地形・地質・地球物理学的データの重ねあわせ

荒井晃作, 岡村行信, 池原 研, 芦 寿一郎, 徐 垣, 木下正高, 浜松沖前弧斜面上部に発達する活 断層とテクトニクス, 地質学雑誌, vol.112, pp.749-759, 2006.

Kodaira, S., Iidaka, T., Kato, A., Park, J., Iwasaki, T. and Kaneda, Y., High pore fluid pressure may cause silent slip in the Nankai Trough, Science, vol.304, pp.1295-1298, 2004.

日本第四紀学会編,日本第四紀地図,東京大学出版会,110p,1987.

- 野上道夫, 守屋 以智雄, 平川一臣, 小泉武栄, 海津正倫, 加藤 内臓進, 日本の自然 4 中部, 岩 波書店, 182p. 1994.
- Loverless, J.P. and Meade, B., Geodetic imaging of plate motions, slip rates, and partitioning of deformation in Japan, Journal of Geophysical Research, vol.115, B02410, doi:10.1029/2008JB006248, 2010.
- 斎藤英二,日本列島下の海洋プレートの GIS データ作成,地質調査総合センター研究資料集, no. 647,産総研地質調査総合センター, 2017.
- 白井正明,阿部信太郎,浅海成堆積サイクルの詳細な解析による地殻変動復元手法の検討,電力 中央研究所報告研究報告, U01016, 20p, 2001.
- Park, J.O., Moore, G.F., Tsuru, T., Kodaira, S. and Kaneda, Y., A subducted oceanic ridge influencing the Nankai megathrust earthquake rupture, Earth and Planetary Science Letters, vol.217, pp.77-84, doi:10.1016/S0012-821X(03)00553-3, 2013.

付録 過去数十万年間における隆起・沈降に関する文献データベース

各文献の番号は、図 2.2.1 中の番号に対応。

- 荒井晃作,岡村行信,池原研,芦寿一郎,徐垣,木下正高,浜松沖前弧斜面上部に発達する 活断層とテクトニクス,地質学雑誌,vol.112, pp.749-759, 2006.
- 2)後藤憲央, 佐々木 俊法, 河成段丘面の比高分布から推定される伏在断層の活動性, 第四紀研 究, vol.58, pp.315-331, 2019.
- 3) 幡谷竜太,河成段丘を用いた第四紀後期の隆起量評価手法の検討(3) 一過去10万年間の隆起 量分布により明らかにされる内陸部の地殻運動一,財団法人電力中央研究所報告書,N05017, 20p,2006.
- 4) 幡谷竜太,柳田誠,佐藤賢,佐々木 俊法,宮城県川崎盆地における海洋酸素同位体ステージ 6河成段丘の認定とその意義,第四紀研究,vol.44, pp.155-167, 2005.
- 5) 幡谷竜太, 柳田 誠, 山本真哉, 佐藤 賢, 古澤 明, 新潟県魚沼丘陵北部の河成段丘の層序, 応 用地質, vol.47, pp.140-151, 2006.
- 6) 廣内大助,福井平野東縁地域の活構造と地形発達,地理学評論,vol.76, pp.119-141, 2003.
- 7) 石村大輔, 関ヶ原周辺における段丘編年と活断層の活動性, 第四紀研究, vol.49, pp.255-270, 2010.
- Ishimura, D. and Kakiuchi, Y., Chronology and processes of fluvial terrace formation in northeastern Kinki district, southwest Japan, based on cryptotephra analysis, Quaternary International, vol.246, pp.190-202, 2011.
- 9) 石村大輔, 第四紀後期の伊勢湾西岸地域の段丘形成過程と地殻変動, 地学雑誌, vol.122, pp.448-471, 2013.
- 10) Inagaki, M. and Omura, A., Uranium-series age of the highest marine terrace of the upper Pleistocene on Kikai Island, Central Ryukyus, Japan, 第四紀研究, vol.45, pp.41-48, 2006.
- 11) Ito, K., Tamura, T. and Tsukamoto, S., Post-IR IRSL dating of K-feldspar from last interglacial marine terrace deposits on the Kamikita coastal plain, northeastern Japan, Geochronometria, vol.44, pp.352-365, doi:10.1515/geochr-2015-0077, 2017.
- 12) 垣内佑哉,堤 浩之,竹村恵二,鈴木毅彦,村田昌則,琵琶湖西岸断層帯北部上寺断層の活動 による河成段丘の隆起,第四紀研究, vol.49, pp.219-231, 2010.
- 13) 金 幸隆, 六日町盆地北西縁の活断層, 第四紀研究, vol.40, pp.161-168, 2001.
- 14) 熊原康博,四国南西部,僧都川および松田川流域における中期更新世以降の地形発達と地殻 変動,地理学評論,vol.75, pp.553-570, 2002.
- 15) 桑原 拓一郎, 下北半島田名部平野における海成段丘構成物の形成と相対的海面変化, 第四紀 研究, vol.44, pp.131-144, 2005.
- 16) 桑原 拓一郎, 青森県上北平野に分布する白ベタテフラ (WP) のジルコン・フィッション・ トラック年代, 第四紀研究, vol.46, pp.433-436, 2007.
- 17) 町田 洋, 太田陽子, 河名俊男, 森脇 広, 長岡信治, 日本の地形 7 九州・南西諸島, 東京大学 出版会, 380p, 2001.
- 18) 牧野内 猛, 塚本将康, 檀原 徹, 山下 透, 内園 立男, 濃尾地盤研究委員会断面 WG, 濃尾平 野東部の地下地質, 地質学雑誌, vol.119, pp.335-349, 2013.
- 19) 松浦旅人, 新庄盆地の第四紀後期地殻変動と地形発達-地域的隆起と逆断層運動の重合-, 地理学評論, vol.79, pp.39-52, 2006.
- 20) 松浦旅人, 吉岡敏和, 古澤 明, 河成段丘面を指標にした富山県東部魚津断層帯の第四紀後期 活動性評価, 第四紀研究, vol.46, pp.19-36, 2007.

- Matsu'ura, T., Furusawa, A. and Saomoto, H., Late Quaternary uplift rate of the northeastern Japan arc inferred from fluvial terraces, Geomorphology vol.95, pp.384-397, doi: 10.1016/j.geomorph.2007.06.011, 2008.
- 22) Matsu'ura, T. and Kimura, H., Late Quaternary crustal shortening rate across the Shinjo basin, northeast Japan, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, vol.115, B11409, doi: 10.1029/2009JB006963, 2010.
- 23) Matsu'ura, T., Ueno, T. and Furusawa, A., Characterization and correlation of cryptotephras using major-element analyses of melt inclusions preserved in quartz in last interglacial marine sediments, southeastern Shikoku, Japan, Quaternary International, vol.246, pp.48-56, doi:10.1016/j.quaint.2011.03.017, 2011.
- 24) Matsu'ura, T., Kimura, H., Komatsubara, J., Goto, N., Yanagida, M., Ichikawa, K. and Furusawa, A., Late Quaternary uplift rate inferred from marine terraces, Shimokita Peninsula, northeastern Japan: A preliminary investigation of the buried shoreline angle, Geomorphology, vol.209, pp.1-17, doi:10.1016/j.geomorph.2013.11.013, 2014.
- 25) Matsu'ura, T., Late Quaternary uplift rate inferred from marine terraces, Muroto Peninsula, southwest Japan: Forearc deformation in an oblique subduction zone, Geomorphology, vol.234, pp.133-150, 2015.
- 26) Matsu'ura, T., Komatsubara, J. and Wu, C., Accurate determination of the Pleistocene uplift rate of the NE Japan forearc from the buried MIS 5e marine terrace shoreline angle, Quaternary Science Reviews, vol.212, pp.45-68, doi:10.1016/j.quascirev.2019.03.007, 2019.
- 27) 宮崎 真由美, 石村大輔, テフロクロノロジーに基づく三陸海岸北部における最終間氷期海成 段丘の形成年代と最終間氷期以降の地殻変動の再検討, 地学雑誌, vol.127, pp.735-757, 2018.
- 28) Murata, A., Takemura, K., Miyata, T. and Lin, A., Quaternary vertical offset and average slip rate of the Nojima Fault on Awaji Island, Japan, The Island Arc, vol.10, pp.360-367, doi: 10.1111/j.1440-1738.2001.00334.x, 2001.
- 29) 長岡信治, 西山賢一, 井上 弦, 過去 200 万年間における宮崎平野の地層形成と陸化プロセス –海面変化とテクトニクスに関連して–, 地学雑誌, vol.119, pp.632-667, 2010.
- 30) 中里裕臣, 佐藤弘幸, 下総層群の年代と"鹿島"隆起帯の運動, 第四紀研究, vol.40, pp.251-257, 2001.
- 31) 中村洋介, 富山県砺波平野, 高清水断層および法林寺断層の第四紀後期における活動性, 第 四紀研究, vol.41, pp.389-402, 2002.
- 32) 中村洋介, 岡田篤正, 竹村恵二, 富山平野西縁の河成段丘とその変形, 地学雑誌, vol.112, pp.544-562, 2003.
- 33) 中村洋介, 金幸 隆, ローム層のボーリング掘削に基づく富山県魚津断層南部の第四紀後期に おける上下変位速度の算出, 地理学評論, vol.77, pp.40-52, 2004.
- 34) 中村洋介, 富山平野東縁,魚津断層の第四紀後期における平均上下変位速度, 第四紀研究, vol.44, pp.353-370, 2005.
- 35) 納谷友規, 本郷 美佐緒, 植木岳雪, 八戸昭一, 水野清秀, 関東平野中央部の地下に分布する 鮮新-更新統の層序と構造運動, 地質学雑誌, vol.123, pp.637-652, 2017.
- 36) 根本直樹, 津軽半島における新第三紀以降のテクトニクス, 第四紀研究, vol.53, pp.205-212, 2014.
- 37) 大井信三,横山芳春,常陸台地の第四系下総層群の層序と堆積システムの時空変化,地質学 雑誌,vol.117 pp.103-120, 2011.

- 38) 岡村行信, 上嶋正人, 村上文敏, 岸本清行, 駒沢正夫, 広島俊男, 玉木賢策, 奥田義久, 中村 光一, 渡辺和明, 有田正史, 木下泰正, 西村清和, 池原 研, 石橋嘉一, 豊後水道南方海底地質 図および説明書, 1:200,000, 海洋地質図, no.49, 地質調査所, 1998.
- 39) 太田陽子, 平川一臣, 能登半島の海成段丘とその変形, 地理学評論, vol.52, pp.169-189, 1979.
- 40) Sato, H., Ban, F., Katoh, S. and Hyodo, M., Sea-level variations during Marine Isotope Stage 7 and coastal tectonics in the eastern Seto Inland Sea area, western Japan, Quaternary International, vol.456, pp.102-116, doi: 10.1016/j.quaint.2017.03.042, 2017.
- 41) 里口保文, 琵琶湖堆積物の長時間スケール層序と構造運動の復元, 第四紀研究, vol.49, pp.85-99, 2010.
- 42) 白井正明, 阿部 信太郎, 浅海成堆積サイクルの詳細な解析による地殻変動復元手法の検討, 電力中央研究所報告, U01016, 20p, 2001.
- 43) Shirai, M and Tada, R., High-resolution reconstruction of Quaternary crustal movement based on sedimentary facies analysis: an example from the Oga Peninsula, northern Japan, Journal of sedimentary research, vol.72, pp.386-392, dio:10.1306/102501720386, 2002.
- 44) 副田宜男, 宮内崇裕, 変動地形と断層モデルからみた出羽丘陵の第四紀後期隆起過程と上部 地殻の短縮変形, 第四紀研究, vol.46, pp.83-102, 2007.
- 45) 須貝俊彦, 松島(大上) 紘子, 水野清秀, 過去 40 万年間の関東平野の地形発達-地殻変動と 氷河性海水準変動の関わりを中心に-, 地学雑誌, vol.122, pp.921-948, 2013.
- 46) Sugai, T., Sato, T., Mizuno, K. and Sugiyama, Y., Magnitudes of sea-level falls at lowstands of the past 900,000 years inferred from gravels underlying the Nobi Plain, central Japan, Quaternary International, vol.397, pp. 422-435, doi:10.1016/j.quaint.2015.11.145, 2016.
- 47) 田力正好, 安江健一, 柳田 誠, 古澤 明, 田中義文, 守田益宗, 須貝俊彦, 土岐川 (庄内川) 流 域の河成段丘と更新世中期以降の地形発達, 地理学評論, vol.84, pp.118-130, 2011.
- 48) 田力正好,池田安隆,段丘面の高度分布からみた東北日本弧中部の地殻変動と山地・盆地の 形成,第四紀研究, vol.44, pp.229-245, 2005.
- 49)角田史雄,南部フォッサマグナ地域の足柄堆積盆地における前期更新世の撓曲とその形成過程,地質学雑誌,vol.108, pp.483-498, 2002.
- 50) 内山美恵子, 三田村宗樹, 吉川周作, 大阪平野中央部, 上町断層の変位速度と基盤ブロック の運動, 地質学雑誌, vol.107, pp.228-236, 2001.
- 51) 植木岳雪, 徳島県西部, 那賀川上流部における河成段丘の編年, 地理学評論, vol.81, pp.25-40, 2008.
- 52) Yamamoto, T., The rate of fluvial incision during tha late Quaternary period in the Abukuma Mountains, northeast Japan, deduced from tephrochronology, The Island Arc, vol.14, pp.199-212, doi:10.1111/j.1440-1738.2005.00464.x, 2005.
- 53) 山下大輔, 吉川周作, 塚越 実, 長岡信治, 熊原康博, 愛媛県大洲・内子盆地に分布する下部-中部更新統の層序と編年, 第四紀研究, vol.45, pp.463-477, 2006.
- 54) 山崎晴雄, 活断層からみた南部フォッサマグナ地域のネオテクトニクス, 第四紀研究, vol.23, pp.129-136, 1984.
- 55) 山崎晴雄, 南関東の地震テクトニクスと国府津・松田断層の活動, 地学雑誌, vol.102, pp.365-373, 1993.
- 56) 吉田英嗣, 函館平野東部の段丘地形 その変位の地形学的解釈-, 明治大学人文科学研究所 紀要, vol.80, pp.109-142, 2017.

【 付録 2 】

地質環境の長期安定性評価に係る

地形・地質・断層調査技術の高度化に関する共同研究

平成 31 年度共同研究報告書

令和2年1月

国立大学法人京都大学

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター 地層科学研究部 ネオテクトニクス研究グループ

目 次

1.	概要	5
	1.1 共同研究件名	5
	1.2 共同研究先	5
	1.3 研究目的	5
	1.4 研究内容	6
	1.5 研究期間	6
2.	地質温度計と熱年代による深部流体の温度・滞留時間の検討	7
	2.1 分析試料	7
	2.2 研究手法	8
	2.2.1 流体包有物解析	8
	2.2.2 熱年代解析	8
	2.3 分析結果	9
	2.3.1 流体包有物解析の結果	9
	2.3.2 熱年代解析の結果	9
	2.4 熱史の解釈	11
	2.5 まとめと今後の展望	13
3.	粘土鉱物の K-Ar 年代測定に基づいた断層活動性の検討	14
	3.1 Objective	14
	3.2 Two main studies carried out within financial year 2019	14
	3.2.1 Mechanical comminution and its influence of isotope signature of cla	lУ
	minerals	14
	3.3 K-Ar dating of Nobeoka drilling core samples (NOBELL)	14
4.	室内実験に基づいた、熱年代による断層活動性評価手法の高度化	16
	4.1 ジルコン FT 法のアニーリングカイネティクス	
	4.2 分析試料	
	4.3 研究手法	
_	4.4 まとめと今後の展望	17
э.	地質温度圧力計と U-Pb 年代測定法を用いた侵食史の推定	18
	0.1 研先于法	
	5.2 研先码科	
	9.3 万竹万伝	20
	9.4 石口記載 『『 地质泪座 . 圧力社の海田	20
	3.3 地員価度・圧力計の適用	22 96
C	3.0 よこのとう後の展呈 執年化学 字字線化式技種法 地形留近による山地の際短・得食温积の検討	
6.	熱中代子、于田稼生成核種伝、地形脾例による田地の陸起・侵良迥柱の使討 61 執年代学による山地の際起・得食過程の検討	21
	0.1 ボヤハナによるロ地の陸起一区及週程の便可	41 97
	6.1.9 分析試料	41 97
	613 分析手順	41 98
	614 分析結果と考察	<u>2</u> 0 29
	6.1.5 まとめと今後の展望	29

【 付録 2 】

6.2 宇宙線生成核種を用いた山地の隆起・侵食過程の検討	31
6.2.1 研究手法	
6.2.2 分析結果及びデータ解析	32
6.2.3 まとめと今後の展望	36
6.3 地形解析による山地の隆起・侵食過程の検討	
6.3.1 Stream Power Model	38
6.3.2 Sediment Flux Dependent Model	41
6.3.3 岩石強度を反映した岩盤河川侵食モデル	43
6.3.4 モデルの提案	
6.3.5 まとめと今後の展望	45
7. まとめ	
8. 引用文献	

図目次

义	2.3-1	熱年代データ vs 熱水脈からの水平距離	.11
义	2.4-1	アパタイト FT 法のアニーリング特性	12
义	5.2 - 1	Ito et al. (2013)の試料採取地点	19
义	5.4-1	KRG04 に含まれる角閃石及びその周辺の X 線マップと BSE 像	21
义	5.4-2	KRG07 に含まれる角閃石とその周辺の X 線マップ	22
义	5.5 - 1	KRG07に含まれる角閃石の化学組成プロット。	24
义	5.5 - 2	KRG04 及び KRG07 の固結深度見積もり。	25
义	6.1-1	北上山地における東経 vs.年代値プロット	30
义	6.1 - 2	阿武隈山地における東経 vs.年代値プロット	31
义	6.2 - 1	削剥速度の多様性と地形の定常・非定常の概念図	32
义	6.2-2	海成段丘岩盤中の ¹⁰ Be 深度プロファイル	34
义	6.2-3	¹⁰ Beの蓄積量を最も良く再現する最尤パラメータの決定	35
义	6.2-4	¹⁰ Be 濃度の深度分布に対するモデルカーブのフィッティング	35

表 目 次

表 2.1-1	採取試料リスト	7
表 2.3-1	流体包有物測定結果	
表 2.3-2	熱年代解析結果	
表 4.3-1	実験条件一覧	
表 5.2-1	鉱物分離の結果	
表 5.5-1	固結温度・圧力推定に用いたデータ	
表 6.1-1	鉱物分離結果	
表 6.1-2	平成 30 年度及び令和元年度の年代測定結果一覧	
表 6.2-1	阿武隈山地・北上山地における ¹⁰ Beの分析結果と削剥速度	

1. 概要

1.1 共同研究件名

地質環境の長期安定性評価に係る地形・地質・断層調査技術の高度化に関する共同研究

1.2 共同研究先

国立大学法人京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

1.3 研究目的

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(以下、「原子力機構」という。)では、経済産業省 資源エネルギー庁から受託した「平成31年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術 開発事業(地質環境長期安定性評価技術高度化開発)」において、地層処分に適した地質環境の選 定に係る自然現象の影響把握及びモデル化に関連する研究課題として示された火山・火成活動、 深部流体、地震・断層活動、隆起・侵食に対し、地質学、地形学、地震学、地球年代学などの各 学術分野における最新の研究を踏まえた技術の適用による事例研究を通じて、課題の解決に必要 な知見の蓄積や調査・評価技術の高度化を総合的に進めている。

このうち深部流体に関しては、深部流体及び非火山性熱水の形成・移動メカニズムなどの把握 のために、これらの熱水活動に伴う熱影響の定量的な検討事例の蓄積が課題として挙げられてい る。地震・断層活動については、上載法の適用が困難な断層の活動性の評価方法の整備が、隆起・ 侵食については、隆起量・侵食量の評価に反映するための、地形学的手法や堆積物の年代測定に 基づく評価方法の整備が、それぞれ技術開発課題として挙げられている。

平成 30 年度における国立大学法人京都大学(以下、「京都大学」という。)との共同研究「地質 環境の長期安定性評価に係る地形・地質・断層調査技術の高度化に関する共同研究」では、地形 学、地質学及び地球年代学などの手法を総合的に用いることで、これらの課題に係る検討を実施 した。非火山性熱水の熱影響については、熱水の温度、滞留時間、活動時期及び加熱範囲などの 推定を行うことを目的として、地質温度計(岩石が経験した温度条件を推定する手法)と熱年代 学の手法(岩石が経験した温度・時間条件を推定する手法)を組み合わせることにより、深部流体 起源の熱水脈露頭試料の鉱物分離を行った。上載法の適用が困難な断層の活動性については、断 層破砕帯物質の年代測定による活動性評価手法の高度化を目的とした K-Ar 年代測定法の適用性 確認のために、粘土鉱物試料の電子顕微鏡観察を行い、K に富んだ粘土鉱物が含まれることを確 認した。隆起量・侵食量の評価手法の整備については、近年発達した年代測定法の導入や、既存 の地形・地質学的手法の組み合わせ、あるいは数値標高モデルを用いた地形解析によって、これ までは隆起量・侵食量の評価が困難だった地域・条件下にも適用可能な手法の整備を図った。

以上を踏まえ、本年度の共同研究では、以下の検討を実施する。非火山性熱水の熱影響につい ては、昨年度鉱物分離した試料に地質温度計や熱年代学の手法を適用し、熱水の温度や滞留時間 などを検討する。上載法の適用が困難な断層の活動性については、昨年度の電子顕微鏡観察結果 を踏まえ、K-Ar年代測定に基づく活動性の評価を行う。さらに、断層の活動性評価における熱年 代学的手法の適用性を検証するため、断層近傍における熱的現象を室内実験(水熱実験など)に より再現し、熱年代のリセット条件を検討する。隆起量・侵食量の評価手法の整備については、 昨年度行った検討結果を統合的に用いて、これまでは隆起量・侵食量の評価が困難だった地域・ 条件下における隆起量・侵食量の推定手法の高度化を図る。

京都大学は、地形学、地質学及び地球年代学などの諸分野における国内最高峰の専門家がそろっており、多くの研究実績を有している。また、原子力機構は、これらの分野における各種分析

に必要な最新の装置を数多く有しており、国内でも有数の分析環境を備えている。そのため、本 共同研究を行うことにより、上記のような多様な課題に対して総合的かつ効果的に検討を進める ことができる。本共同研究を通じて、京都大学は原子力機構が有する様々な分析装置を利用し、 各種の年代測定や化学分析を行うことにより、地形学、地質学及び地球年代学などの研究をより 効果的に進めることができ、原子力機構は地形学、地質学及び地球年代学などに関する最新の技 術を活用して、地層処分に適した地質環境の選定に係る自然現象の影響把握及びモデル化の整備 を図ることができる。

なお、本共同研究は、原子力機構が経済産業省資源エネルギー庁から受託した「平成31年度高 レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業(地質環境長期安定性評価技術高度化開 発)」の一環として行うものである。

1.4 研究内容

本共同研究では、以下に示す作業を行い、成果を取りまとめる。

(1) 地質温度計と熱年代による深部流体の温度・滞留時間の検討

非火山性の深部起源の高温流体による熱影響(温度、滞留時間など)の検討を目的として、地 質温度計や熱年代を用いた解析及びデータの解釈を行う。

(2) 粘土鉱物の K-Ar 年代測定に基づいた断層活動性の検討 断層破砕帯の粘土鉱物の K-Ar 年代測定に基づき、断層の活動性や活動時期について検討する。

(3) 室内実験に基づいた、熱年代による断層活動性評価手法の高度化

断層破砕帯物質の熱年代測定に基づく断層活動性評価手法の高度化を目的として、水熱実験な どの室内実験により断層破砕帯近傍における熱年代のリセット条件について検討する。

(4) 地質温度圧力計と U-Pb 年代測定法を用いた侵食史の推定

熱年代学の手法による侵食史の検討が困難な地熱地域を対象に、地質温度圧力計と U-Pb 年代 測定法を用いた侵食史の推定を行う。また、同手法の適用性について検討する。

(5) 熱年代学、宇宙線生成核種法、地形解析による山地の隆起・侵食過程の検討

熱年代学、宇宙線生成核種法、地形解析を複合的に適用することにより、様々な時空間スケー ルにおける山地の隆起・侵食過程について検討する。

(6) 取りまとめ

上記(1)~(5)における実施・検討内容を取りまとめた報告書を作成する。

1.5 研究期間

令和元年5月8日~令和2年1月31日

【付録2】

2. 地質温度計と熱年代による深部流体の温度・滞留時間の検討

深部流体起源の熱水活動の温度や滞留時間などの検討を目的として、地質温度計と熱年代を用いた検討を行う。対象地域としては、和歌山県田辺市本宮町平治川で確認された熱水脈の露頭を 選択した。平成 30 年度は、4 か所の露頭から流体包有物測定用試料 3 点、熱年代解析用試料 13 点、U-Pb 年代測定用試料 1 点を採取した。また、熱年代解析用試料の鉱物分離を実施したとこ ろ、概ね良質な対象鉱物を得ることができた。令和元年度は、これらの試料を対象として、流体 包有物の均質化温度を用いた地質温度計測定や、フィッション・トラック(FT)法や(U-Th)/He 法などによる熱年代解析を実施した。以下に、概要を述べる。

2.1 分析試料

測定試料は、平成 30 年度に和歌山県田辺市本宮町平治川で採取した。対象とした熱水脈の露 頭は三か所で、熱水脈本体から流体包有物の均質化温度の測定用試料を各 1 点(計 3 点)、母岩 部分から熱年代測定用の試料を 4~5 点(計 13 点)、熱水脈からの距離に応じて採取した(表 2.1-1)。母岩は四万十帯白亜系の砂岩優勢砂岩泥岩互層で、その中から砂岩優勢の部分を選んで 採取した。試料の詳細は、平成 30 年度の共研報告書を参照のこと。

地点名	試料名	母岩/熱水脈	用途	脈からの距離
HJG1	HJG1-F	熱水脈	流体包有物	-
	HJG1-0m	母岩(四万十帯砂岩)	熱年代	0.0 m
	HJG1-1m	母岩(四万十帯砂岩)	熱年代	1.1 m
	HJG1-3m	母岩(四万十帯砂岩)	熱年代	3.1 m
	HJG1-10m	母岩(四万十帯砂岩)	熱年代	9.9 m
	HJG1-20m	母岩(四万十帯砂岩)	熱年代	17.1 m
HJG2	HJG2-F	熱水脈	流体包有物	-
	HJG2-0m	母岩(四万十帯砂岩)	熱年代	0.0 m
	HJG2-1m	母岩(四万十帯砂岩)	熱年代	0.7 m
	HJG2-3m	母岩(四万十帯砂岩)	熱年代	2.3 m
	HJG2-10m	母岩(四万十帯砂岩)	熱年代	10.2 m
HJG3	HJG3-UPb	母岩(熊野酸性岩類)	U-Pb年代測定	-
HJG4	HJG4-F	熱水脈	流体包有物	-
	HJG4-0m	母岩(四万十帯砂岩)	熱年代	0.0 m
	HJG4-1m	母岩(四万十帯砂岩)	熱年代	1.2 m
	HJG4-3m	母岩(四万十帯砂岩)	熱年代	4.2 m
	HJG4-10m	母岩(四万十帯砂岩)	熱年代	11.7 m

表 2.1-1 採取試料リスト

2.2 研究手法

2.2.1 流体包有物解析

地質温度計の一つに、石英や方解石などに含まれる流体包有物の均質化温度を用いた手法が知られている(例えば、佐脇,2003)。気液二相の流体包有物を含む薄片試料を加熱冷却台で加熱していくと、液相が膨張する一方、気相が収縮し、最終的に液相一相のみとなる。この時、流体包有物の内部圧力と温度は、沸騰曲線(BPC; boiling point curve)に沿って変化する。この液相一相のみになった時の温度を均質化温度(Th)と呼ぶが、液相一相の流体包有物の内部圧力は温度にしたがってアイソコアに沿って変化するため、流体の組成に応じた適当な圧力補正を均質化温度(Tr)を決定できる。

流体包有物の分析は、地熱エンジニアリング株式会社に依頼した。オリンパス株式会社製シス テム顕微鏡 BX-51 に LINKAM 社製加熱冷却装置 10035L を装着し、各試料から作成した薄片を 用いて包有物の観察・測定を行った。均質化温度の測定は、1)気泡が小さくなるまで+50℃/分 で、気相が消滅するまで+3℃/分で加熱し、およその均質化温度を把握、2)気相が出現するまで 再び冷却、3)+1℃/分でゆっくりと再加熱し気相が消失する温度(均質化温度)を正確に測定、 という手順で行った。測定は各包有物につき2回行い、データに再現性の無い包有物は棄却した。 氷点温度の測定は、1)液体窒素で流体包有物を-50℃/分で冷却・凍結、2)-20℃以下では+50℃ /分、-20℃以上では+3℃/分で加熱して、およその氷点温度を推定、3)再び冷却後、+0.1℃/ 分でゆっくり再加熱して正確な氷点温度を測定、という手順で行った。再現性の確認のため、測 定は2回ずつ行った。

2.2.2 熱年代解析

熱年代学は、放射年代測定の応用分野の一つで、加熱に伴う娘核種の散逸などによって起こる 年代値の若返りを基に、試料が経験した熱履歴を推定する学問領域である。年代値が若返る温度 は閉鎖温度と呼ばれ(Dodson, 1973)、用いる熱年代計の種類、すなわち核種と鉱物の組み合わ せに固有である。一般に引用される閉鎖温度の値は、10⁶~10⁷年間の加熱に対して、年代が若返 る温度であるが、より短時間の加熱に対しては、さらに高い温度が年代の若返りには必要となる (例えば、Reiners, 2009)。本研究では、対象とする熱水活動の熱影響の大きさを考慮して、フ ィッション・トラック(FT)法と(U-Th)/He 法を適用した。また、母岩の熱史をより詳細に制約 するため、U-Pb 法も併せて用いた。

FT 解析と U-Pb 年代測定は、株式会社京都フィッション・トラックに依頼した。アパタイトは 樹脂に埋め込み研磨し、21℃、5.5M の HNO₃溶液で 20 秒間エッチングした。FT 長測定用のマ ウントは、エッチングの前に ²⁵²Cf 片による照射処理を行い、測定可能な FT 数を増加させた (Donelick and Miller, 1991)。ジルコンは PFA テフロンシートに埋め込み研磨し、225℃の KOH-NaOH などモル共融液中で 32 時間エッチングした。FT 密度及び FT 長の測定は、高品位モニタ ー上で光学顕微鏡像を観察するモニター測定システム上で行った。ウラン濃度は東京大学平田研 究室のレーザーアブレーション型誘導プラズマ質量分析装置(Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry:以下、「LA-ICP-MS」という)を用いて実施した。²³⁸U の シグナルは、⁴³Ca と ²⁹Si を内標準として標準化し、ウラン濃度既知の Durango アパタイトまた は Nancy91500 ジルコンを外標準として濃度に換算した。FT 年代は、年代標準試料(Durango、 Fish Canyon Tuff、Tardree Rhyolite)を用いてゼータ法(Hasebe et al., 2013)により算出し た。ジルコンについては、同時に鉛同位体も測定することで、U-Pb 年代を併せて取得した。

(U-Th)/He 年代測定は、ヘリウムの定量は原子力機構東濃地科学センターで行い、ウラン・トリウムの定量はメルボルン大学に依頼した。ジルコン粒子は、顕微鏡下で Fr 較正(Farley et al.,
【 付録 2 】

1996)に用いる幾何学パラメータを測定し、Nb 製パケットに一粒子ずつ封入した。ヘリウム質 量分析装置(ASI 社製 Alphachron)を用いて、レーザー照射による加熱で結晶中の ⁴He を脱ガ スし、³He スパイクを用いた同位体希釈法により ⁴He 含有量を測定した。脱ガスした粒子は酸処 理により溶液化し、ICP-MS を用いてウラン・トリウムの含有量を測定した。ウラン・トリウム 測定の詳細は、Evans et al. (2005)を参照のこと。アパタイトについては、堆積岩中では円磨に より、Fr 較正が可能な自形の結晶が産出しないため、(U-Th)/He 年代は測定しなかった。

2.3 分析結果

2.3.1 流体包有物解析の結果

測定結果の概要を表 2.3-1 に示す。3 地点の熱水脈露頭のうち、HJG1-F では 140~145℃ (n=3)、 HJG2-F では 110~216℃ (n=10)の均質化温度が推定された。これらのうち、結晶成長に伴っ て捕獲された流体である初生包有物に限ると、HJG1-F は 144~145℃、HJG2-F は 195~211℃ とまとまりの良い値が得られた。HJG2-F の二次包有物の均質化温度は 110~216℃と幅広い値 を示すが、温度の異なる複数回の熱水活動により、その度に流体包有物が結晶中に取り込まれた と考えられる。なおHJG4-F では包有物の存在は確認できたが、熱水脈の透明度が低かったため、 均質化温度などの測定には至らなかった。

	61.17	the stat	均質化温度		氷融点温度·塩濃度			
試料名	鉱物(産状)	包有物 の種類		均質化温度	n	氷融点温度	塩濃度	
			n	(°C)		[°C]	[wt. %NaCl]	
HJG1-F	石英	初生	2	144~145	0	n.a.	n.a.	
	(鉱物脈)	二次	1	140	0	n.a.	n.a.	
	石英	初生	2	195~211	1	-5.0	7.9	
HJG2-F	(鉱物脈)	二次	8	110~216	5	-5.0~-0.4	0.7~7.9	
	石英	初生	0	n.a.	0	n.a.	n.a.	
пј04-г	(水晶片)	二次	0	n.a.	0	n.a.	n.a.	

表 2.3-1 流体包有物測定結果

包有物の種類は、Roedder (1984)の基準に従って判定した。塩濃度(NaCl 相当量)は Bodnar (1993) に基づいて算出した。測定精度は均質化温度で±0.1℃、氷融点温度で±0.3℃である。

2.3.2 熱年代解析の結果

熱年代解析の結果を表 2.3-2 と図 2.3-1 に示す。アパタイト FT 年代は 12.3~9.0 Ma、ジルコ ン FT 年代は 29.8~18.2 Ma (最若粒子集団の加重平均値)、ジルコン U-Pb 年代は 76.9~66.9 Ma (最若粒子集団の加重平均値)、ジルコン(U-Th)/He 年代は 23.6~8.7 Ma (外れ値を除いた粒 子年代) となった。いずれの手法でも試料間で比較的まとまった年代値を示し、熱水脈からの距 離に対して系統的な変化は見られなかった (図 2.3-1)。FT 長は、アパタイトで 11.6~15.4 µm、 ジルコンで 9.3~10.3 µm の平均値を示した。アパタイトの FT 長は、初期長(約 16 µm)から の短縮が確認できるものの、測定数が 0~13 本と少なく、FT 長の分布パターンは統計学的に有 意とは言えない。したがって、個々の試料の FT 長データは参考情報とみなし、以降の議論には 用いない。ジルコンの FT 長は、同じく初期長(約 11 µm)からの短縮が見られ、概して二峰性 の分布パターンを示す。したがって、再加熱による partial annealing や、partial annealing zone での滞留後の急冷、異なる熱史を有した複数の粒子集団の混合などの、複雑な熱史が予想される。 一方で、年代値と同様に、いずれの地点でも熱水脈からの距離に対する明瞭な FT 長の変化傾向 は認められなかった(図 2.3-1)。

	AFT年代	ZHe年代	ZFT年代	ZU-Pb年代
試料名	$\pm 1\sigma$	(単粒子年代)	±1σ	$\pm 2\sigma$
	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)
HJG1-0m	11.0±1.5	19.3, n.a.	23.8±2.1	73.1±1.9
HJG1-1m	9.0±1.0	8.7, 17.8	28.7±1.6	73.5±1.1
HJG1-3m	9.9±1.1	15.5, 16.2	29.8±1.8	76.9±1.4
HJG1-10m	11.0±1.3	10.3, 17.7	26.2±1.3	74.3±1.2
HJG1-20m	9.6±1.0	20.2, 53.4	27.6±2.8	69.4±2.2
HJG2-0m	12.0±1.2	12.8, 23.6	21.0±1.9	67.6±1.9
HJG2-1m	10.7±1.2	17.4, 18.5	26.2±1.6	77.3±1.5
HJG2-3m	12.3±1.5	15.9, 20.0	21.3±1.7	73.6±1.8
HJG2-10m	9.7±1.2	0.9, 18.1	28.0±2.4	66.9±1.9
HJG3-UPb	n.a.	n.a.	n.a.	14.9±0.6
HJG4-0m	9.4±1.4	n.a.	26.7±2.2	72.2±1.8
HJG4-1m	11.9±1.7	n.a.	24.4±1.9	71.9±2.0
HJG4-3m	10.2±1.2	n.a.	24.3±1.7	76.3±1.6
HJG4-10m	11.5±1.3	n.a.	18.2±1.5	74.3±1.6

表 2.3-2 熱年代解析結果

AFT: アパタイト FT、ZHe: ジルコン(U-Th)/He、ZFT: ジルコン FT、ZU-Pb: ジルコン U-Pb。 ZHe 年代は各試料につき 2 粒子ずつ測定したが、斜体で示した粒子年代は外れ値とみなして棄 却した。HJG3-UPb のジルコン U-Pb 年代のみは、原子力研究開発機構東濃地科学センターの LA-ICP-MS にて別途測定した。



図 2.3-1 熱年代データ vs 熱水脈からの水平距離 誤差範囲は、FT 年代は 1σ、U-Pb 年代は 2σ、FT 長は 1 標準誤差で示した。 (U-Th)/He の単粒子年代については、誤差の評価は行っていない。

2.4 熱史の解釈

初生流体包有物の均質化温度は、熱水脈を形成した熱水活動の到達温度を示すと考えられる。 すなわち、HJG1 地点では約 150℃、HJG2 地点では約 200℃の熱水活動で脈が形成されたこと になる。一方、熱年代解析の結果を見ると、熱によるリセットが最も期待できるアパタイト FT 年 代を含め、いずれのデータも熱水脈からの距離に応じた変化は見られない。また、HJG3・UPb の U-Pb 年代から、本地域周辺の熊野酸性岩類の形成時期は 14.9±0.6 Ma と推定されるが、冷却年 代の同時性から判断する限り、熊野酸性岩類を形成した火成活動による熱影響も認められない。

これらのデータの解釈としては、大まかに以下の3つの可能性が考えられる:(1)約10Maの 熱水活動により、露頭全体のアパタイト FT 年代がリセットされた、(2)熱水活動は約10Maよ り古いため、熱水活動に伴う熱年代の異常は、その後の隆起・侵食によって上書きされた、(3)熱 水活動は約10Maより新しいが、到達温度が低いまたは継続時間が短かったため、アパタイト FT 年代には影響を与えなかった。(1)の場合、幅10m以上の範囲にわたってアパタイト FT 年代を 完全にリセットするような熱イベントが生じたのであれば、他の熱年代計でも熱水脈の近傍では 若干のリセットが観察されると期待される。しかし、実際には他の熱年代計は約10Maより古い 年代で一様な空間分布を示している。加えて、13試料が共通の熱履歴を持つと仮定して、これら のアパタイト FT 長データを統合すると、平均長13.6 µm、標準偏差1.6 µm となり、再加熱を受 けずに上昇削剥によって徐冷された基盤岩に典型的な値(平均長12.2~13.9 µm、標準偏差1.0 ~1.6 µm; Gleadow et al., 1986)を示す。この結果は、熱水活動による再加熱と、その後の急冷 とは不調和である。したがって、この解釈は成り立たないと考えられる。(2)と(3)の解釈は、約10 Maのアパタイト FT 年代が広域的な隆起・侵食史を反映しているという点では共通だが、推定 される熱水活動の時期が異なる。両者を判別するためには、熱水脈の形成年代の測定が有効であ るが、熱水脈の主成分である石英はほぼ純粋な SiO₂の結晶なので、一般にウランやトリウムなどの放射性元素に乏しく年代測定は困難である。したがって、現段階では(2)と(3)のいずれが有力かは判断できない。

地層処分事業への影響という観点から、(2)と(3)の場合の熱水活動の熱的特徴について整理す る。(2)の場合、熱水活動の発生は、母岩の環境温度がアパタイト FT 法の閉鎖温度より高温だっ た時代である。アパタイト FT 法の閉鎖温度を 90~120℃(例えば、Ketcham et al., 1999)、地 温勾配を約 30℃/km、平均地表温度を 10~20℃程度とすると、熱水活動は地下 2~3 km 以深で 起こったと推定できる(約 10 Ma 以降の平均侵食速度は 0.2~0.3 mm/yr 程度)。また、熱水活動 による温度の上昇量は、均質化温度と環境温度の差から、20~130℃以内と計算できる。熱水活 動の時期、継続時間、熱影響の及んだ範囲などについては不明である。一方(3)の場合、熱水活動 の時期と熱影響の及んだ範囲は不明だが、継続時間の上限の制約が可能である。すなわち、約 150℃及び 200℃でアパタイト FT が有意な短縮を受けない時間なので、それぞれ数 10 年と1 ケ 月程度が上限と計算できる(図 2.4-1)。ただし、アパタイト FT 法のアニーリング特性はアパタ イトの Cl 濃度によっても若干変化するため(Carlson et al., 1999)、これらの値は暫定的な計算 結果である。深部流体起源の熱水活動の熱的特徴に係る更なる理解のためには、隆起・侵食速度 が遅く、熱水活動の想定時期より有意に古い冷却年代を産する地域(例えば六甲地域;末岡ほか, 2010)において、本研究と同様の方法論により、検討事例を蓄積していくことが望まれる。





Ketcham et al. (1999)に従って作成。FA は fannning Arrhenius モデル、FC は fanning curvilinear モデルで、それぞれ 2 通りのフィッティングパラメータの場合を示した。T は温度、t は時間、r は FT の短縮率で、r=0.93 は地質時間スケールにわたって地表温度にさらされた試料に典型的な 短縮率に相当する (Ketcham, 2005)。

2.5 まとめと今後の展望

深部流体起源の熱水活動の温度や滞留時間などの検討を目的として、紀伊半島の和歌山県田辺 市本宮町平治川の熱水脈露頭から採取した岩石試料を用いて、流体包有物の均質化温度測定と、 熱年代解析を実施した。3 か所の熱水脈露頭のうち 2 か所では、初生包有物の均質化温度が約 150℃と 200℃と推定された。一方、熱年代解析の結果では、いずれの熱水脈露頭でも、周囲の母 岩からは系統的な熱異常は検出できなかった。この原因としては、熱水活動時期が古かったため その後の隆起・侵食で年代が上書きされた、熱水活動時期は最近であるが到達温度が低いか継続 期間が短いため熱年代では検出できなかった、という 2 つの可能性が考えられる。バックグラウ ンドの隆起・侵食速度が遅い地域で、本研究と同様の方法論による検討事例を増やすことにより、 どちらのシナリオがより有力か検証できる可能性がある。

3. 粘土鉱物の K-Ar 年代測定に基づいた断層活動性の検討

3.1 Objective

K-Ar dating of authigenic and synkinematic illite has often been used to reconstruct fault zone evolution in brittle regimes (e.g., Zwingmann and Mancktelow, 2004; Zwingmann et al., 2010; Yamasaki et al., 2013; Niwa et al., 2016). Understanding thermal, mechanical, and hydrothermal effects on illite neomineralization and Ar retention in illite is important for the evaluation of K-Ar ages from fault rocks. In this collaborative research, we are conducting mechanical comminution experiments and K-Ar dating for illite-rich shales to understand the mechanical effects, and K-Ar dating for samples from a fault zone where the effects of mechanical comminution and hydrothermal alteration were well-studied.

3.2 Two main studies carried out within financial year 2019

3.2.1 Mechanical comminution and its influence of isotope signature of clay minerals

Within a pilot study the influence of physical deformation via mechanical comminution (grinding) and its influence of isotope signature of clay minerals in a set of well-defined laboratory experiments were investigated. Bern University, CH was selected as its lab facilities comprises state of the art planetary ball mill and McCrone mill and allows to conduct room temperature to elevated temperature milling experiments (to 300°C) which are not available in Japan. Recently completed rotary shearing experimental studies by Zwingmann et al. (2019) were extended to (A) planetary ball mill and (B) McCrone mill experiments at different deformation force, time and temperature conditions. The milling experiments enable to simulate conditions occurring at seismogenic depths and decipher the conditions on isotopic signatures on the first microns to millimetres during earthquake slip.

(1) Planetary ball milling

Limited experiments are reported for earth science applications but no isotopic age measurement and microstructural investigations have been reported to date in Japan or overseas. In total 11 planetary milling experiments on illite-rich Rochester shale whole rock splits (Folk, 1962) were carried out during the visit to Bern University. Rochester shale has an advantage for K-Ar dating studies because it includes no major K-bearing minerals except illite according to the X-ray diffraction analysis (Den Hartog et al., 2012).

(2) McCrone milling

The new mill type is used for applications in geology, mineralogy and materials science. 48 cylindrical elements grind the samples gently via friction and due to its unique grinding motion, it is particularly effective. The result is a short grinding time with almost no sample loss and an exceptionally narrow particle size distribution but the influence on the isotopic signatures of clays, i.e., radiogenic Ar loss at ambient and elevated temperatures (to 300°C) has so far not been studied. In total 11 McCrone milling experiments on Rochester shale whole rock splits were carried out during the visit to Bern University.

3.3 K-Ar dating of Nobeoka drilling core samples (NOBELL)

Detailed illite crystallinity investigations of Nobeoka drilling core samples (NOBELL)

provide the unique information of thermal, mechanical, and hydrothermal effects within the Nobeoka thrust (Fukuchi et al., 2014). In this study of K-Ar dating, sample disintegration and basic <2 µm clay mineral separation was conducted on 7 core samples of the NOBELL drilling core. The investigated core samples comprise 2 fresh non- weathered fault core, 3 footwall and 2 hanging wall core samples collected over a depths range of 80 to 30 m below ground surface. The obtained $<2 \mu m$ clay minerals fractions were subsequently dated by conventional K-Ar dating. Detailed accounts of the conventional K-Ar method have been given in textbooks (e.g., Dalrymple and Lanphere, 1969; McDougall and Harrison, 1999). K content was determined by ICP-OES (Agilent) and ~20 mg dry sample aliquots were dissolved with HF and HNO3 (Heinrichs and Herrmann, 1990). The samples, once in solution, were diluted to ~20 ppm K for the ICP-OES analysis. The error of K determinations of all samples and K standard (MA-N) is below 2% (2sigma). Ar isotopic determinations were performed using a procedure similar to that described by Bonhomme et al. (1975). For Ar analysis by noble gas spectrometry, ~20 mg sample splits were loaded into clean Mo foil (Goodfellow molybdenum foil, thickness 0.0125 mm, purity 99.9%), weighed and subsequently heated to 80 °C overnight to remove moisture, and reweighted using a Mettler AT20 balance. The measured dry weight was used in the K-Ar age calculation. Samples were stored in a desiccator prior to loading into the Ar-extraction vacuum line. Once loaded, the samples were heated under vacuum at 80 °C for several hours to reduce the amount of atmospheric Ar adsorbed onto the mineral surfaces during sample handling. Ar was extracted from the test portions by fusing them in a furnace attached to the vacuum line, containing an on-line ³⁸Ar spike pipette. The isotopic composition of the spiked Ar was measured with an on-line VG3600 mass spectrometer using a high Faraday cup.

The obtained K-Ar ages range from 41.4 ± 1.0 Ma (Paleogene-Eocene-Lutetian) to 27.8 ± 0.7 Ma (Paleogene-Oligocene-Chattian) and cover an age range of 13.6 Ma. Ages are referred to the timescale of Cohen et al. (2013). K concentrations are homogeneous and range from 4.78 to 5.38% indicating white mica/illite mineralogy. Radiogenic ⁴⁰Ar ranges from 92.8 to 69.7% and indicated reliable analytical conditions during the course of the study. Blanks for the extraction line and mass spectrometer were systematically determined and the mass discrimination factor was determined periodically by airshots (small amounts of air for ⁴⁰Ar/³⁶Ar ratio measurement). During the course of the study an international age standard HD-B1 (Hess and Lippolt, 1994) was analysed yielding an age of 24.34 ± 0.37 Ma with an error to reference of +0.54%. The ⁴⁰Ar/³⁶Ar airshot ratio value is 295.70 ± 0.36 . The K-Ar ages were calculated using ⁴⁰K abundance and decay constants recommended by Steiger and Jäger (1977). The age uncertainties take into account the errors during sample weighing, ³⁸Ar/³⁶Ar and ⁴⁰Ar/³⁸Ar measurements and K analysis.

- The <2 μ m age data of the two hanging wall samples range from 39.9 to 36.4 (Paleogene-Eocene-Bartonian to Paleogene-Eocene-Priabonian).
- The <2 μm age data of the two main fault zone samples range from 31.7 to 27.8 (Paleogene-Oligocene-Rupelian to Paleogene-Oligocene-Chattian).
- The <2 μm age data of three footwall samples range from 41.4 to 34.2 Ma (Paleogene-Eocene-Lutetian to Paleogene-Eocene-Priabonian) for the deepest core sample collected from 80 mbgs (meter below ground level).

【付録2】

4. 室内実験に基づいた、熱年代による断層活動性評価手法の高度化

熱年代学の手法に基づいた断層活動性評価手法の高度化を目的として、室内加熱実験を用いた 検討を行う。熱年代学の手法は、断層破砕に伴う摩擦発熱や深部流体の滞留に伴う熱異常の検出 に有効であり、断層の活動性評価への応用が期待されている(Tagami, 2012)。一方、熱年代計の カイネティクスは、フィッション・トラック(FT)法では大気中での加熱実験(例えば、Laslett et al., 1987; Tagami et al., 1998)、(U-Th)/He 法では真空中での拡散実験(例えば、Farley, 2000; Reiners et al., 2004)の結果を基に構築されているが、断層が活動する地下深部では、流体の滞 留や還元的な環境が予想され、これらの条件がカイネティクスに影響を及ぼす可能性が考えられ る。したがって、熱年代学の手法を用いて、より信頼性の高い断層活動性評価を行うためには、 これらの条件がカイネティクスに及ぼす影響について検証する必要がある。令和元年度は、地下 深部の断層帯を模した水熱環境及び還元環境における、ジルコン FT 法のカイネティクスの変化 について検討するため、ジルコンの室内加熱実験を実施した。ジルコンは、物理学的・化学的に 安定で、シュードタキライトなどの断層岩からも産出するため、断層帯の年代測定においては重 要な対象鉱物の一つとなっている(Murakami and Tagami, 2004; Yamada et al., 2012)。

4.1 ジルコン FT 法のアニーリングカイネティクス

FT のアニーリングは、非晶質な損傷部分(FT)を構成する原子が熱拡散により移動して結晶 格子を復元する過程であるため基本的には熱拡散により支配されるが、単純な娘核種濃度の一次 の速度論では記述できないことが知られている(Green et al., 1988)。したがって、室内実験及 び天然試料での検証を通じた経験的なアプローチにより、アニーリングカイネティクスを定式化 する必要がある。より具体的な手順としては、温度・時間条件を厳密に制御して加熱した試料に おいて、FT 長の短縮率の測定を系統的に行う。これらの実験データを理論式でフィッティング して地質時間スケールに外挿し、天然環境下で長期間一定温度にさらされたと期待できる試料(例 えばボーリングコア試料)との比較により、外挿の妥当性を吟味する。

熱年代計のカイネティクスでは、基本的には加熱温度と加熱時間が主要な制御要因だと考えら れているが、ジルコン FT 法以外の手法では、他の要因による影響がいくつか知られている。例 えば、アパタイト FT 法ではアパタイトの化学組成(Green et al., 1985; Burtner et al., 1994; Carlson et al., 1999)や圧力(ただしアパタイト FT 法の閉鎖深度より深部に相当する超高圧下; Wendt et al., 2002; Schmidt et al., 2014)、アパタイト(U-Th)/He 法では放射線損傷(Shuster et al., 2006; Flowers et al., 2009)やアパタイトの化学組成(Gautheron et al., 2013)、ジルコン (U-Th)/He 法では放射線損傷(Guenthner et al., 2013)による影響が指摘されている。ジルコン FT 法については、圧力(Fleischer et al., 1965; Brix et al., 2002)、水熱環境(Yamada et al., 2003)、放射線損傷(Tagami and Matsu'ura, 2019)、Hf 濃度(Tagami and Matsu'ura, 2019) について検討例があるが、現状のところ、いずれも有意な影響は報告されていない。本研究では、 地下深部の断層帯における環境を念頭に置き、Yamada et al. (2003)が行った水熱環境における 実験をより多様な温度・時間条件で行うとともに、還元環境における実験を実施した。

4.2 分析試料

分析試料は、京都大学から提供された仁左平デイサイトのジルコンを用いた。仁左平デイサイトは、岩手県二戸市に分布する中新世のデイサイトで、黒雲母 K-Ar 年代で 20.99±0.28Ma、ジルコン FT 年代で 22.8±1.0Ma の年代値が報告されている(Tagami et al., 1995)。仁左平デイサイトのジルコンは、10.83±0.10 µm の自発トラック長を有しているが、これは誘導トラック長

(11.05±0.11 µm) とも誤差範囲で一致しており、岩体形成以降、地質学的には有意なアニーリ ングを被っていないと考えられている(Yamada et al., 1995a)。そのため、仁左平デイサイトの ジルコンは、ジルコン FT 法のアニーリングカイネティクスの検討などの基礎実験において、標 準試料として用いられている(例えば、Hasebe et al. 1994; Yamada et al., 1995a,b; Yamada et al., 2003; Murakami et al., 2006; Tagami and Matsu'ura, 2019)。

4.3 研究手法

加熱実験は、スイス・ローザンヌ大学の実験装置を用いて行った。今回行った実験は、水熱加熱が5通り、還元環境での加熱が5通りの計10通りである(表 4.3-1)。加熱温度と加熱時間は、 Yamada et al. (1995b)の大気中での加熱実験結果を参考に、FTの短縮が系統的に観察できる可能性が高そうな条件を選定した。

水熱加熱試料の前処理の手順を以下に示す。水熱実験に供するジルコン試料は、バッファー及 び蒸留水と共に金製のカプセルに封入し、密封する必要がある。まず、金製のチューブを切断し て片側を溶接し、カプセルを作成する。これに、ジルコン試料と、マグネタイト・ヘマタイトを 混ぜて作成したバッファーを入れる。さらに蒸留水を加えて、実験時の温度・圧力条件において、 カプセル内が水で満たされるように調整する。なお、各段階での重量を電子天秤で秤量し、内容 物の重量を確実に記録しておく。カプセルの上端を溶接して、完全に密封する。密封されている か確認するため、90℃のオーブンで一時間加熱した後に再度秤量し、重さが変化していないこと を確認する。還元環境での加熱実験については、前処理からローザンヌ大学側に依頼したため、 詳細は割愛する。

実験環境	加熱時間(hr)	加熱温度(℃)
水熱	2	500
水熱	10	500
水熱	100	500
水熱	500	500
水熱	1,000	500
H2雰囲気	1	550
H2雰囲気	1	600
H2雰囲気	1	650
H2雰囲気	10	550
CO ₂ 雰囲気	1	600

表 4.3-1 実験条件一覧

4.4 まとめと今後の展望

熱年代学の手法に基づいた断層活動性評価手法の高度化を目的として、仁左平デイサイトのジ ルコンを用いて、室内加熱実験を実施した。地下深部の断層帯を模した水熱環境及び還元環境で、 全部で10通りの温度・時間条件で加熱実験を行った。今後の予定としては、これらの加熱試料を 用いて、FT長の測定を行い、水熱環境及び還元環境がジルコンFT法のカイネティクスに及ぼす 影響について検討する。また、より長時間の加熱実験や、アパタイトを用いた実験、(U-Th)/He法 のカイネティクスに関する検証についても検討予定である。

【付録2】

5. 地質温度圧力計と U-Pb 年代測定法を用いた侵食史の推定

地質温度圧力計を利用して花崗岩体の固結深度を決定すると同時に、岩体固結時の絶対年代を、 ジルコンの U-Pb 年代測定によって決定する。これを研究対象地域(飛騨山脈黒部地域)で複数の 岩体内の異なる地理的位置の試料について行うことで、侵食量の上限を制約する。条件がそろえ ば研究対象地域の侵食史を推定できる。

5.1 研究手法

本研究で用いる地質温度圧力計は、角閃石圧力計(Al-in-Hbl 圧力計)と角閃石—斜長石温度計である。まず、Al-in-Hbl 圧力計の原理について、Hoillister et al. (1987)及び Schmidt (1992)に 基づいた、高橋(1993)の解説をもとに簡単に述べる。

花崗岩の全岩化学組成は、SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, MgO, FeO, Fe₂O₃, CaO, Na₂O, K₂O 及び H₂O の 10 成分で近似できる。ウェット・ソリダス上における構成鉱物が、角閃石、黒雲母、斜長石、カ リ長石、石英、(チタン石、磁鉄鉱、チタン鉄鉱)のうち 2 相、メルト、H₂O であるとすると、 10 成分系で 9 相共存となり、自由度は 3 になる。角閃石を含む花崗岩質メルトのウェット・ソリ ダスは、2 kbar 以上でほぼ一定温度(約 700°C)であること及び、多くの花崗岩体で斜長石リム の化学組成はほぼ一定であることから、自由度が 2 減って 1 になり、圧力だけが変数になる。こ のときの単純化した反応式は

2 石英 +2アノーサイト + 黒雲母 = 角閃石 + カリ長石 を考えればよい。角閃石をチェルマク閃石と考えると

2SiO₂+2CaAl₂Si₂O₈ + KMg₃AlSi₃O₁₀(OH)₂ = Ca₂Mg₃Al₂Si₆Al₂O₂₂(OH)₂ + KAlSi₃O₈ と表記できるが、このとき角閃石は MgSi = AlAl のチェルマック置換が可能で、これが圧力の指 標となる (Hoillister et al., 1987; Schmidt, 1992; 高橋, 1993)。圧力と Al 量の相関には、斜長石 置換(NaSi = CaAl) もかかわっているが影響は小さい(Schmidt, 1992)。実際には、Sin = Al(Na,K) のエデナイト置換(nは空隙) によっても角閃石中の Al 量は変動するため、正確な圧力見積もり にはエデナイト置換の評価が欠かせない (Anderson and Smith, 1995)。Al-in-Hbl 圧力計の改良 は現在も続いており、さまざまなキャリブレーションがある (例えば Mutch et al., 2016)。本研 究では、従来のキャリブレーションよりも、より低圧まで適用可能な Mutch et al. (2016)のキャ リブレーション

 $P (kbar) = 0.5 + 0.331(8) * Al_{tot} + 0.995(4) * Al_{tot}^{2}$

を用いた。こうして求まった圧力は、上述の原理と整合的であること、すなわち温度・圧力図上 でウェット・ソリダス上に位置していることが必要である。その検証のため、圧力見積もりに用 いた角閃石とそれに隣接する斜長石の組成に対して、シリカに飽和した岩石中で斜長石と共存す る角閃石の Aliv 量を用いた角閃石—斜長石温度計(Blundy and Holland, 1990)を適用し、求ま った温度圧力条件がウェット・ソリダス上の条件として適当であるか否かも検証した。これらの チェックを通過したデータを用いて、花崗岩の固結深度を見積もった。

5.2 研究試料

本研究では飛騨山脈黒部地域の2地点から採取済みの岩石試料 KRG04 と KRG07 を用いて固 結温度・圧力推定を行った(図 5.2-1)。これに加え、昨年度までに未分析の同地域の岩石試料31 個について、43 枚の薄片を京都大学で作成し、温度圧力推定に必要な角閃石の有無を偏光顕微鏡 観察で調べた。これらのうち角閃石を含む試料については、14 枚のダイアモンド研磨薄片を京都 大学で作成し、うち11 試料について電子線マイクロアナライザーで、岩石組織観察と鉱物化学 組成分析を進めた。また、角閃石を含む 12 試料のジルコン分離作業を株式会社京都フィッション・トラックで行い(表 5.2-1)、U-Pb 年代測定のための試料準備を行った。

#	試料名	アパタイト粒子数	ジルコン粒子数	備考
1	KRG19-AB02 MME	$>10^{4}$	3,000	Thorite微量
2	KRG19-00	3,000	105	
3	KRG19-A01	1,000	104	
4	KRG19-A02	1,000	104	
5	KRG19-A03 granite	300	104	Py多し
6	KRG19-A03 MME	300	2,000	
7	KRG19-A04 MME	~100	500	
8	KRG19-A06	$>10^{4}$	$>10^{4}$	Thorite微量
9	KRG19-B04	5,000	$>10^{4}$	
10	KRG19-B08b granite	500	2,000	
11	KRG19-B08b mafic	500	5,000	
12	KRG19-B11	3,000	104	Thorite目立つ

表 5.2-1 鉱物分離の結果



図 5.2-1 Ito et al. (2013)の試料採取地点

lto et al. (2013)の試料採取地点(01-13)と King et al. (2020)及び末岡ほか(未公表)の試料採 取地点(101-115)を示している。既報のジルコン FT 年代とジルコン U-Pb 年代(Yamada, 1996; lto et al., 2013)はそれぞれ黒字と赤字で示している。本研究で固結温度・圧力推定を 行った試料は 04 と 07 から得られた。

5.3 分析方法

京都大学設置の波長分散型電子線マイクロアナライザーJEOL JXA-8105 による鉱物化学分析 は、ダイアモンド研磨した試料を C 蒸着後、加速電圧 15.0 kV、電流値 10 nA、ビーム径 3 μm で行った。標準試料には Astimex 社製 MINM25-53 及びその他の天然及び合成鉱物を用い、濃度 計算にあたっては ZAF 補正を適用した。ピークとバックグラウンドの計測時間は、F については それぞれ 60 秒と 30 秒、Cl については 30 秒と 15 秒、他の元素については 10 秒と 5 秒とした。

5.4 岩石記載

KRG04 及び KRG07 は、それぞれ 5.4±0.2Ma 及び 5.5±0.1Ma の U-Pb ジルコン年代を示すため(Ito et al., 2013)、黒部別山花崗岩(原山ほか, 2010)に相当する。構成鉱物は角閃石、黒雲母、斜長石、カリ長石、石英、チタン石、磁鉄鉱、燐灰石、褐簾石及びジルコンである。KRG04、KRG07 のマトリクスの黒雲母や長石類は、結晶化後の流体活動の影響により、緑泥石化及び一部セリサイト化している。

KRG04 においては、角閃石の分解も顕著で、2 次的な緑泥石やチタン石に置換される。そのため、固結圧力推定においては緑泥石化の程度が弱い箇所を用いた。角閃石のコアはリムに比べて Mg に富み Al に乏しい。マグネシオホルンブレンド組成の角閃石が大半であるがアクチノライト 組成の部分も存在する。角閃石のリムにはカリ長石など角閃石圧力計の適用に必要な鉱物が包有 されていることが X 線マップから確認でき、角閃石のリムはマトリクスの斜長石リムと接している (図 5.4-1)。

KRG07 においては、マグネシオホルンブレンド組成の角閃石はパッチ状の組成累帯構造を示 し(図 5.4·2)、コアにはチタン鉄鉱や燐灰石が包有される。一方リムには、緑泥石化した黒雲母、 斜長石、チタン石、カリ長石、燐灰石が包有され、これらの組合せに石英、磁鉄鉱、褐簾石を加 えた鉱物組合せを有するマトリクス鉱物と平衡共存していたと考えられる。斜長石のリムは An14-22 程度を示す。

【付録2】



図 5.4-1 KRG04 に含まれる角閃石及びその周辺の X 線マップと BSE 像 (a) Fe の X 線マップ (b) Mg の X 線マップ (c) Al の X 線マップ (d) K の X 線マップ (e) BSE 像 (f) BSE 像。(e)の赤四角内の拡大。角閃石と接する斜長石リムの一部は顕微鏡下で汚 濁しており、やや変質している。



図 5.4-2 KRG07 に含まれる角閃石とその周辺の X 線マップ (a) BSE 像、(b) CI の X 線マップ、(c) AI の X 線マップ、(d) Mg の X 線マップ、(e) K の X 線マ ップ

5.5 地質温度・圧力計の適用

KRG04 及び KRG07 の角閃石リムのうち、An15 以上の斜長石リムと共存する部分は、共存鉱物の観点から Mutch et al. (2016)の適用条件を満たし、マグマの固結圧力を与えうる。そのような角閃石リム組成に Mutch et al. (2016)の Al-in-Hbl 圧力計を適用して固結圧力を求めた。また、その角閃石組成と隣接する斜長石リムの組成とに、角閃石—斜長石温度計 (Blundy and Holland, 1990)を適用し、温度条件を求めた。

ただし、KRG04 では微細組織観察から、角閃石と直接接する斜長石リム最外縁部の一部に、2 次的な変質部分が認められる (図 5.4-1)。こうした部分はマグマ固結時の鉱物化学組成を保持し ていないと考えられるため、温度・圧力推定には用いないこととした。

KRG07 では、角閃石化学組成の Al vs Cl、Al vs Mg などのプロット上で、化学組成トレンド が屈曲する傾向が認められる(図 5.5-1)。図 5.5-1 で水色の点として示した分析点は、直接接す る角閃石リムと斜長石リムのペアから温度圧力見積もりを行うために用いた点である。温度・圧 力推定に用いた斜長石と直接接する角閃石リムの組成は両者にまたがる。図 5.4-2 の X 線マップ を参照すると、Cl 濃度が低い部分は Mg 濃度が高くなっており、Mg-Cl avoidance rule に従って いることがわかる。

圧力推定に用いたデータ
固結温度 ·
表 5.5-1

166 168 172 55 55 7.24 7.21 7.07 7.24 7.24 0.16 0.19 0.93 0.16 0.16 0.17 0.19 0.93 0.76 0.16 0.17 0.19 0.93 0.11 0.11 0.93 0.97 1.03 0.91 0.11 0.93 0.97 0.18 0.11 0.11 0.93 0.97 0.93 0.76 0.76 0.33 0.97 1.08 0.81 0.81 0.16 1.14 51 52 52 1.66 1.77 2.01 1.54 1.54 1.16 1.17 2.02 0.29 0.26 0.27 0.28 7.03 0.26 0.26 0.27 0.28 7.03 0.29 0.26 1.10 1.17 2.02 0.29 0.26 1.23 1.31 1.24 1.24	166 168 172 55 55 63 1 7.24 7.21 7.07 7.24 7.24 7.01 7. 0.17 0.19 0.13 0.16 0.11 0.11 0.12 0 0.17 0.18 0.15 0.11 0.11 0.11 0.12 0 0.13 0.16 1.08 0.11 0.11 0.11 0.12 0 16 16 1.4 51 52 28 32.7 1.1 0.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.2 1.2 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1	166 168 172 55 55 63 178 178 7.24 7.21 7.07 7.24 7.01 7.24 7.24 0.16 0.19 0.03 0.76 0.99 0.76 0.76 0.17 0.18 0.16 0.11 0.11 0.12 0.26 0.76 0.17 0.18 0.16 0.11 0.11 0.11 0.16 0.76 0.76 0.13 0.97 1.08 0.11 0.11 0.12 0.26 0.76 0.76 0.93 0.97 1.08 0.11 0.11 0.11 0.26 0.26 0.26 0.13 0.97 1.08 0.87 0.14 52 23 2	166 168 172 55 55 53 178 173 173 0.17 0.19 0.13 0.16 0.17 7.24 7.23	166 168 172 55 55 63 178 179 179 182 183 7.24 7.21 7.07 7.24 7.24 7.23 7.03 7.03 7.03 7.04 7.24 7.24 7.24 7.24 7.24 7.24 7.24 7.24 7.04 7.24 7.24 7.03 0.76 0.76 0.76 0.77 0.77 0.94 0.86 0.17 0.18 0.11 0.11 0.11 0.12 0.20 0.23 0.33 0.23 0.23 0.23 0.24 0.26 0.17 0.17 38.6 37.7 32.7 33.1 29.6 6.96 7.14 7.01 1.14 1.02 0.28 0.33 0.33 0.33 0.33 0.33 0.33 0.34 20.6 0.14 1.14 1.01 1.14 1.01 1.14 1.01 1.14 1.01 1.14 1.16 1.14 1.14 1.16	16 18 17 73 7
55 55 7,24 7,24 0,76 0,76 0,31 0,11 0,87 0,81 0,81 0,81 1,54 1,54 51 52 53 38.6 38.6 37.7 54 0,37 55 53 55 5,32 59 0,33 0,93 0,03 1,42 0,14 1,42 0,19 0,14 0,19 0,14 0,19 0,142 0,19 1,42 0,19 0,19 0,19 0,19 0,19 0,19 0,19 1,45 1,45 1,46 1,16 650 650	55 55 63 1 7.24 7.24 7.01 7. 0.76 0.76 0.99 0. 0.31 0.11 0.12 0. 0. 0.81 0.11 0.12 0. 0. 0. 0.81 0.11 0.12 0. 0. 0. 0. 1.54 1.53 7.26 6 0. 0. 0. 0. 1.54 0.25 0.23 7.26 6 0. 0. 1.53 0.25 0.25 7.95 6 0. 0. 1.45 1.53 7.95 6 0. <	55 55 63 178 178 7.24 7.24 7.01 7.24 7.24 0.76 0.76 0.99 0.76 0.76 0.11 0.11 0.12 0.26 0.76 0.87 1.11 0.96 0.76 0.76 0.87 1.11 0.96 0.76 0.76 0.87 1.11 0.96 0.76 0.76 154 2.12 1.11 2.96 0.76 0.76 154 1.52 2.8 2.0 0.76 0.76 0.76 154 1.54 2.10 1.73 2.17 1.73 2.13 155 0.53 0.53 1.75 1.73 1.73 142 1.54 1.05 1.05 1.05 1.05 142 1.24 1.27 1.05 1.05 1.05 1.05 0.13 0.12 0.13 1.27 1.05 1.05 1.05 1.05	55 55 53 178 178 179 179 7.24 7.24 7.01 7.24 7.23 7.23 0.16 0.76 0.99 0.76 0.76 0.77 0.77 0.11 0.11 0.95 0.96 1.10 1.10 0.11 0.11 0.95 0.96 1.10 1.10 0.13 0.21 0.20 0.33 0.33 0.88 377 32.7 33.1 29.6 33.1 29.6 696 693 726 657 668 668 660 0.13 0.13 0.13 0.13 0.13 0.25 0.32 0.33 0.33 0.33 0.33 0.33 0.33 0.33 0.33	PICE Hbl/Amiliesse L ていないないないないないないないないないないないないないないないないないないな	55 56 3 178 179 179 182 183 185 183 131 101
	63 1 7.01 7. 0.99 0. 1.111 0. 28 32.7 33 726 6 2.10 1. 7.95 6. 1.27 1. 1.27 1. 1.27 1. 0.1.27 1. 0.1.27 1. 0.1.27 1.	PI- 63 178 178 7.01 7.24 7.24 0.99 0.76 0.76 0.11 0.96 0.76 1.11 0.96 0.96 1.11 0.96 0.96 2.10 1.13 2.9.6 726 675 665 726 675 666 726 654 6.54 1.27 1.05 1.05 1.28 0.38 0.34 0.28 0.96 7.13 1.73 0.34 6.54 1.27 1.05 1.05 約月石のSiやAlit 0-23のとき 加い10.業さへの態質には認識	 FI-E HIDが 施装装 L 53 7,01 7,24 7,24 7,23 7,23 0,99 0,76 0,76 0,77 0,91 1,10 1,11 0,96 0,96 1,10 1,10 1,11 0,96 0,96 1,10 1,10 1,10 1,11 0,96 0,96 1,10 1,10 1,10 1,11 1,10 1,11 1,11	 FILE HIDIが直接接L ていない 63 178 178 179 179 182 183 7.01 7.24 7.23 7.23 7.06 7.14 0.09 0.76 0.76 0.77 0.34 0.86 0.11 0.96 0.96 110 11.0 1.14 100 1.11 0.96 0.96 110 11.0 1.14 100 2.10 1.73 1.73 2.07 2.16 34.1 2.10 1.73 1.73 2.07 2.16 1.86 0.34 0.38 0.33 0.33 0.33 0.33 0.31 700 7.25 657 666 668 668 060 713 700 7.35 657 665 73 0.37 2.31 1.16 1.20 1.73 1.73 1.73 700 7.35 654 6.34 7.83 8.33 8.33 0.35 0.35 0.33 0.36 0.24 7.88 7.83 8.31 700 7.95 6.54 6.34 7.83 7.33 0.33 0.33 0.33 0.33 0.33 1.29 1.05 1.25 1.25 1.31 1.16 1.10 1.14 1.10 1.12 1.05 1.05 1.25 1.25 1.31 1.16 1.11 1.11 1.11 1.11 1.11 1.11 1.11 1.1	 FILとHolhが遺譲度していない 53 178 179 179 182 183 185 186 7.00 7.24 7.23 7.23 7.06 7.14 7.26 7.24 0.09 0.76 0.76 0.77 0.94 0.86 0.74 0.76 0.11 0.96 0.96 1.10 114 102 0.93 0.93 1.11 0.96 0.96 1.10 114 102 0.93 0.93 2.21 33.1 29.6 33.1 29.6 33.1 33.1 29.6 31.2 33.7 33.1 29.6 33.1 33.1 29.6 31.2 30.3 0.33 2.22 6.75 6.66 6.68 6.60 7.13 701 6.73 6.1 57 0.25 1.23 1.2 1.2 1.2 1.2 1.2 1.13 1.01 0.95 1.29 6.54 6.54 7.33 7.33 8.17 7.04 6.29 5.95 1.29 1.29 1.31 1.13 1.01 0.95 1.29 1.25 1.25 1.31 1.13 1.01 0.95 1.20 2.20 2.25 5.54 1.20 2.20 2.25 5.54 1.21 1.05 1.05 1.25 1.25 1.31 1.13 1.01 0.95 1.21 1.05 1.05 1.25 1.25 1.31 1.13 1.01 0.95 1.21 1.05 1.05 1.25 1.25 1.31 1.13 1.01 0.95 1.21 1.05 1.05 1.25 1.25 1.31 1.13 1.01 0.95 1.21 1.05 1.05 1.25 1.25 1.31 1.13 1.01 0.95 1.21 1.05 1.05 2.1.25 1.31 1.13 1.01 0.95 1.21 1.05 1.05 2.30 2.4 0.9000.0000.0000.0000.0000.00000.00000.0000



【付録2】





KRG07



図 5.5-2 KRG04 及び KRG07 の固結深度見積もり。 水色の点は直接接する角閃石と斜長石のリムを用いており、 これらを信頼性が高い見積もりとして採用する。

詳細な微細組織観察を反映して、固結圧力見積もりに用いる分析点を吟味した結果、KRG04 と KRG07 からそれぞれ 1.54±0.25・2.21±0.35 kbar 及び 1.58±0.25・2.38±0.38 kbar の固結圧力が見 積もられた(表 5.5・1)。花崗岩体の上に存在する岩石の平均密度を 2700 kg/m³とし、静岩圧を 仮定すると、KRG04 と KRG07 からそれぞれ 5.8±0.9・8.3±1.3 km 及び 6.0±1.0・9.0±1.4 km の 固結深度が見積もられた(図 5.5・2)。求まった固結温度・圧力条件は、誤差の範囲内で優白質花 崗岩の含水ソリダス上にのることが確認できた(図 5.5・2)。この固結深度見積もりは、昨年度求 めた KRG16・101 の見積もりと誤差の範囲で一致する。

5.6 まとめと今後の展望

今年度は約 5.5Ma の年代を示す黒部別山花崗岩 2 試料について固結深度を 5.8±0.9 - 8.3±1.3 km 及び 6.0±1.0 - 9.0±1.4 km と見積もることができた。KRG04 について約 5.4Ma 以降の平均 削剥速度を求めると、1.0±0.2 - 1.6±0.3 mm/yr となる。また KRG07 については約 5.5Ma 以降の 平均削剥速度が 1.1±0.2 - 1.7±0.3 mm/yr と見積もられる。

図 5.5-1 に示したような、角閃石の組成変化トレンドにみられる屈曲の成因がわかれば、圧力 計適用条件である相組合せが満たされている段階を一層絞り込むことができ、マグマ固結時の温 度・圧力条件をさらに制約できる可能性がある。よって今後、微細組織観察をさらに綿密に推し 進めることで、角閃石の組成変化トレンドの屈曲の原因を探る。また今年度新たに分析を開始し た黒部川花崗岩の試料の解析と年代測定実施により、さらに新しい年代に固結した花崗岩体の固 結深度を求めることができるかもしれない。

6. 熱年代学、宇宙線生成核種法、地形解析による山地の隆起・侵食過程の検討

6.1 熱年代学による山地の隆起・侵食過程の検討

東北日本弧前弧域を対象として、地質学的タイムスケール(>10⁶⁻⁷年)における熱史及び削剥 史の推定を目的に、熱年代学を適用した。令和元年度は、新たに入手した岩石試料(主に北上山 地に分布する白亜紀花崗岩類及び古生代花崗岩類)を対象に、7 地点で鉱物分離を、5 地点でア パタイトフィッション・トラック(AFT)解析を実施した。また平成30年度に鉱物分離済みの4 試料で追加の鉱物分離を、5 試料で追加のAFT解析を行った。すなわち、合計で11 試料の鉱物 分離と10 試料のAFT解析を実施した。これらのAFTデータを基に削剥速度を推定し、東北日 本弧前弧域における熱史及び削剥史を議論する。

6.1.1 研究手法

熱年代学とは、鉱物あるいは岩石が経験した温度時間履歴(=熱史)や熱イベントの時期を推定する学問領域である。放射年代測定は、不安定な放射性親核種が、一定の時間で安定な娘核種へと遷移する放射壊変という現象に基づいており、親核種と娘核種の量比から年代を算出することができる。この時、親核種や娘核種が外界へ流出/流入しない状態(=閉鎖系)を仮定しているが、娘核種は高温では系外へ散逸してしまうため、系の開放/閉鎖は温度に強く依存する。ある温度以下の場合に閉鎖系と近似できるとき、この温度を閉鎖温度と呼ぶ。Dodson (1973)による数学的モデルの開発により、これまでに様々な手法-鉱物組み合わせの閉鎖温度が決定されてきた。熱年代計の閉鎖温度は、手法と鉱物組み合わせにより異なる(Reiners, 2009)。そのため、対象とする熱イベントの温度に応じた熱年代計を選択する必要がある。逆に閉鎖温度の違いを利用して、同一の試料に対して複数の熱年代計を適用すると、各閉鎖温度に対応して時間目盛りを入れられるため、連続的な熱史の復元が可能である。最近では、計算ソフトウェアの開発・発達などにより、高精度な熱史の逆解析が可能となってきている。

地質現象の中には温度変化を伴うものが多いため、石油の熟成度評価や断層の活動性評価など、 熱年代学の応用対象は多岐にわたる。中でも、本研究で対象とするような山地における上昇冷却 史の推定に関する研究は、1970年代のヨーロッパアルプスでの研究以降、ヒマラヤやアンデスな ど世界の主要な造山帯において実施されてきた。これら上昇冷却史に関する研究は、地下の温度 構造を仮定することで、熱史を深度情報に読み替えている。つまり、閉鎖深度(閉鎖温度に達す る深度)から地表までの上昇に要した時間が試料の年代値として得られるため、ある地点におけ る岩石の冷却速度、ひいてはその地域の平均の削剥速度を求めることができる。本研究では、地 殻浅部の熱史/削剥史の推定を目的に、比較的低い閉鎖温度(90~120℃)を持つ AFT 法を適用し た。

6.1.2 分析試料

北上山地及び阿武隈山地に分布する白亜紀花崗岩類(京都大学からの提供試料)を分析試料と して用いた。熱年代学では主に花崗岩類を対象とするが、その理由として、測定に適した自形か つ透明度の高い粗粒なアパタイト/ジルコンが豊富に産出(1,000 粒以上)することが挙げられ る。また、試料の年代が削剥による若返りであることを仮定するために、第四紀火山や地熱地帯 などの高温地域や岩脈の貫入や熱水活動などのローカルな熱影響を避ける必要がある。本研究で 対象とする北上山地及び阿武隈山地には、第四紀火山の存在は知られていない。加えて、東北日 本弧では最も広範囲に花崗岩類が露出する地域であり、研究対象として適当であると考えられる。 本研究では、新たに提供された北上山地の7試料の鉱物分離を実施した。また昨年度に用いた 北上山地及び阿武隈山地の 16 試料の内、充分量のアパタイト粒子が得られなかった4 試料について、追加で鉱物分離を実施した。分離作業は株式会社京都フィッション・トラックに依頼した。 岩石試料は粉砕及びふるい掛けの後、重液や磁石を用いて対象鉱物を濃集させた。鉱物分離の結 果を表 6.1-1 に示す。アパタイト、ジルコンともに全 11 試料で測定に充分な量の粒子数を確認 できた。

試料名	山地·地質	粉砕処理量(kg)	アパタイト粒子数(個)	ジルコン粒子数(個)
FSK19-1	北上山地·白亜紀花崗岩類	0.2	5000	~5,000
FSK19-2	北上山地•白亜紀花崗岩類	0.2	3000	10000
FSK19-3	北上山地•白亜紀花崗岩類	0.2	>10,000	10000
FSK19-5	北上山地·古生代花崗岩類	0.2	1000	10000
FSK19-7	北上山地·古生代片麻岩	0.2	>10,000	>10,000
FSK19-8	北上山地·古生代花崗岩類	0.2	3000	>10,000
FSK19-9	北上山地·白亜紀花崗岩類	0.2	10000	10000
FST18-6	阿武隈山地·白亜紀花崗岩類	1	2000	>10,000
FST18-7	阿武隈山地·白亜紀花崗岩類	2	10000	100000
FST18-8	阿武隈山地·白亜紀花崗岩類	1	10000	100000
FST18-14	阿武隈山地·白亜紀花崗岩類	2	5000	100000

表 6.1-1 鉱物分離結果

6.1.3 分析手順

(1) AFT 年代測定

FT 年代の算出のためには、親核種である ²³⁸U の濃度と、娘核種に相当する FT の密度を計測 する必要がある。年代値算出までの実験手順の流れとして、粒子の選別、固定 (マウント)、研磨、 化学処理 (エッチング) といった前処理を経て、FT 密度の測定、U 濃度の測定を行う。本研究で は、FT 法の中でも閉鎖温度が比較的低いアパタイトを対象とした年代測定を実施した。前処理 及び FT 密度の測定は、京都大学大学院理学研究科で実施し、U 濃度の測定は金沢大学に設置さ れたレーザーアブレーション型誘導プラズマ質量分析装置 (LA-ICP-MS) を用いて行った。

(2) 削剥速度の推定

北上・阿武隈山地における AFT 年代値から、それぞれの山地における削剥速度を計算した。一般に、熱年代学的手法により求められた年代値(*tc*)と平均削剥速度の関係は以下の式によって表される。

$$\frac{\Delta D}{\Delta t} = \frac{T_c - T_s}{Gt_c}$$

ここで、 $\Delta D/\Delta t$ は時刻 t_c 以降の平均削剥速度、 T_c は用いた熱年代計の閉鎖温度、 T_s は現在の地表面の温度、Gは地温勾配を表す。本研究では、AFT 法における閉鎖温度 T_c は 90~120℃を採用し、東北地方における現在の地表面の温度 T_s は 10℃とした。また地温勾配 Gは田中ほか(2004)の地温勾配データを参照し、北上山地では 20~40℃/km、阿武隈山地で 30~40℃/km とした。

6.1.4 分析結果と考察

昨年度及び今年度に得られた年代値を表 6.1-2 に示す。先行研究としては、北上山地でおよそ 140~80 Ma の AFT 年代(後藤, 2001; Fukuda et al., 未公表)、およそ 90~45 Ma のアパタイ ト(U-Th)/He (AHe) 年代(Fukuda et al., in press)が得られている。また阿武隈山地で、およ そ 100~50 Ma の AFT 年代(後藤, 2001; Ohtani et al., 2004; Fukuda et al., 2019)、およそ 65 ~50 Ma の AHe 年代(Sueoka et al., 2017)が得られている。本研究で得られた年代値は、北 上・阿武隈両山地についてそれぞれの手法において誤差 20 で先行研究に概ね整合的である。た だし、FST18-15 の AFT 年代は、十分な FT 数が測定できず誤差が大きいため参考値として扱い、 以下の議論には用いない。

東北地方の山地は東西圧縮応力によって隆起してきたと考えられている(太田ほか,2010)。そこで、北上山地と阿武隈山地のそれぞれにおいて、東西方向の年代値の傾向を考察する。先行研究のデータを含めた年代プロットを図 6.1-1 及び図 6.1-2 に示す。北上山地では、AFT 年代は東縁から東経 141.6 度付近まで徐々に若返り(140~80 Ma)、それより西側はおよそ 80 Ma で一定の年代値となっている(図 6.1-1)。一方で AHe 年代は東経 141.45 度付近より東側はおおよそ 50~40 Ma を示すが最も西側の地点ではおよそ 90 Ma という古い年代値となっており、AFT 年代と AHe 年代では傾向の違いが見られる。ただし、最も西側の地点(Fukuda et al., in press; Fukuda et al., 未公表)では、AHe 年代が閉鎖温度の高い AFT 年代より古い値を示しており、熱水活動などの局所的な短時間加熱イベントを反映している可能性がある。

阿武隈山地では、AFT 年代は畑川断層帯を境に年代値が変化し、畑川断層帯の東側の年代は西 側の年代より概ね古い年代値が得られた(図 6.1-2)。AHe 年代では AFT 年代と同じく畑川断層 帯以東で年代値はやや古くなる傾向が見られるが、誤差範囲を考慮すると有意とは言えない。ま た最も東側の地点(FST18-16)では、比較的若い AFT 年代が得られているが、AHe 年代との逆 転が起きており、北上山地同様に局所的な短時間加熱イベントを反映している可能性がある。

得られた AFT 年代値から各地点の平均削剥速度を計算した結果を表 6.1-2 に示す。求められた 平均削剥速度は、北上・阿武隈山地の全地点において 0.10 mm/yr 以下であり、両山地は 10⁷⁻⁸年 スケールで安定な削剥環境にあったと考えられる。ただし、計算された削剥速度は 10⁷⁻⁸年間の平 均値であり、10⁷⁻⁸年間にわたってこの削剥速度が継続していたわけではないことには留意したい。 今後の課題としては、削剥史の時間分解能を高めるため、FT 長を用いた熱史逆解析や、AFT 法 と AHe 法より低い閉鎖温度を持つ熱年代学的手法の適用などが望まれる。

6.1.5 まとめと今後の展望

東北日本弧の前弧域において、地質学的タイムスケールの熱史及び削剥史の推定を目的に、北上山地及び阿武隈山地の岩石試料の熱年代解析を実施した。新たに鉱物分離した試料からは、分析に十分量の鉱物を得ることができた。熱年代解析の結果、前弧域における AFT 年代の東西方向の変化は見られたものの、山地全体としては 10⁷⁻⁸ 年スケールで安定な削剥環境にあったと推定された。今後は、年代値の精度/確度の改善のための追加分析や、未測定地点での分析を進める予定である。また、より厳密な削剥史を議論するために、トラック長を用いた熱史逆解析や、より閉鎖温度が低い熱年代手法(例えば、電子スピン共鳴(Electron Spin Resonance; ESR)法やモナザイト FT 法)の導入も検討中である。

表 6.1-2 平成 30 年度及び令和元年度の年代測定結果一覧

十ルシャータ側とみや	平	成30	(年)	度》	則定	試	料
------------	---	-----	-----	----	----	---	---

#	試料名	AFT年代 ±2σ(Ma)	AHe年代 ±2σ(Ma)	ZrU-Pb年代 ±2σ(Ma)	平均削剥速度 ±1σ(mm/yr)
1	FST18-12	40.5±6.6	60.1±6.0	N/A	0.07±0.02
2	FST18-13	61.0±10.8	46.1±4.7	105.4±1.8(core)	0.04±0.01
3	FST18-16	47.5±9.5	75.9±7.7	110.3±2.1	0.06±0.01
令和元年	三度測定試料				
#	試料名	AFT年代	AHe年代	ZrU-Pb年代	平均削剥速度
		$\pm 2\sigma(Ma)$	$\pm 2\sigma(Ma)$	$\pm 2\sigma(Ma)$	$\pm 1\sigma(\text{mm/yr})$
4	FST18-11	51.7±7.4	N/A	N/A	0.05 ± 0.01
5	FST18-15	93.7±79.7	N/A	N/A	0.03±0.01
6	FST18-18	78.6±16.6	51.2±5.2	N/A	0.04 ± 0.02
7	FST18-20	$95.1{\pm}11.0$	40.8±4.9	N/A	0.03 ± 0.01
8	FST18-21	89.1±15.9	36.1±5.7	N/A	0.04 ± 0.01
9	FSK19-2	139.4±28.8	N/A	N/A	0.02±0.01
10	FSK19-3	115.4±17.2	N/A	N/A	0.03±0.01
11	FSK19-7	86.8±12.0	N/A	N/A	0.04 ±0.01
12	FSK19-8	94.6±16.4	N/A	N/A	0.03±0.01
13	FSK19-9	83.2±11.7	N/A	N/A	0.04 ± 0.01

^{#1~5} は阿武隈山地、#6~13 は北上山地の試料。

#4~8 は平成 30 年度のデータから追加分析を行った試料。



図 6.1-1 北上山地における東経 vs.年代値プロット

既報値は後藤(2001)、Fukuda et al. (未公表)、Fukuda et al. (in press) による。誤差は 1σ。



図 6.1-2 阿武隈山地における東経 vs.年代値プロット

既報値は後藤(2001)、Ohtani et al. (2004)、Fukuda et al. (2019)、Sueoka et al. (2017) に よる。薄紫色の影を付けた範囲は畑川断層帯のおおよその位置を示す。誤差は 1σ。

6.2 宇宙線生成核種を用いた山地の隆起・侵食過程の検討

テクトニクスの活発な地域における地形の発達過程は、基盤岩の隆起及び地表面の削剥によっ て支配される。ここでは、宇宙線生成核種の分析に基づき、尾根・谷を含む山地地形の定常/非定 常の判定を行う方法を検討する。また、陸域地形の発達初期段階である離水段丘を対象とし、そ れらが丘陵化してゆく過程において、どの程度まで離水年代の情報を保持しているかを検討する。 すなわち離水地形の年代と標高に基づく隆起速度の算出が、どの程度の時代まで可能であるかに ついて議論する。

6.2.1 研究手法

ー続きの山地領域内において、削剥速度の多様性の大小は、地形の状態を推察するうえで重要 な情報を与える。すなわち、図 6.2-1 A に示すように、空間的に削剥速度が一様であれば、地形 は時間的にその形状を変えない定常的な状態にあると判断される。一方、図 6.2-1 B に示すよう に、例えば稜線部と谷底部の対比において削剥速度に系統的な差異がある場合、地形は非定常な 変遷の途上にあると判定することができる。図 6.2-1 B に示されているパターンの場合は、地形 が河川の下刻に応答して急峻化してゆく途上にあると推測できる。

【付録2】



図 6.2-1 削剥速度の多様性と地形の定常・非定常の概念図

ただし、たとえ削剥速度が一様であっても、岩盤隆起速度がそれと異なっていれば、地形はその標高を変えてゆくことになる。また、削剥速度が一様であり、かつそれが岩盤隆起速度と等しい場合には、地形は動的平衡の状態にあると考えることができる。すなわち、削剥速度の空間分 布を広い範囲で定量化し、それらを地域的な隆起速度と比較することで、地形の状態を把握する ことができ、地形発達過程のモデリングに資する情報を得ることができる。

ここでは、先行研究によって複数の小流域の空間平均削剥速度や丘頂部の削剥速度が得られて いる東北日本弧の前弧域(阿武隈山地と北上山地)を対象とし、地形の平衡・非平衡状態を判定 する試みの例として、隆起によってその標高を上昇させつつあるものの、河川の下刻の影響が未 到達であるために丘陵様の地形を呈する領域に焦点をあてる。河床の岩盤及び斜面の相対的下部 に位置する露岩の表面から花崗岩類を試料として採取し、石英中の宇宙線生成核種¹⁰Be を加速 器質量分析によって測定した。¹⁰Be 濃度に基づいて得られる削剥速度を、流域の平均削剥速度や 丘頂部の削剥速度と比較し、地形の状態を議論する。

次に隆起に伴う地形の発達の最初期の段階に位置づけられる離水段丘に焦点を当てる。隆起に よって離水した平坦面は、標高の増大に伴って次第に丘陵化し、やがて原面を失って山地の一部 を構成する。海成段丘の場合、その離水年代を知ることができれば、地域的な隆起の速度を復元 することができる。段丘の離水年代決定に、宇宙線生成核種を用いた露出年代測定を援用しよう とする場合、どの程度古い時代まで遡及が可能であるか、また離水後の段丘面の削剥がどの程度 の不確かさをもたらすかを検討しておく必要がある。ここでは、西南日本に位置する年代が既知 (海洋酸素同位体ステージ5e:約125ka)の段丘及びそれよりも古い時代の高位段丘を対象に、 岩盤ボーリングコアを用いて2m程度の深さまでの石英中の10Be濃度を測定し、露出年代測定 の適用性を検証する。

6.2.2 分析結果及びデータ解析

表 6.2-1 に、阿武隈山地及び北上山地における ¹⁰Be 濃度に基づいて計算された削剥速度を示 す。阿武隈山地の斜面下部の露岩 (FST18-12、14) あるいは北上山地の河床岩盤 (FST18-18、 19) のいずれにおいても、削剥速度に大差はなく、8×10¹ ~ 1.8×10² mm/kyr の範囲であっ た。この値は、松四ほか (2014) や Nakamura et al. (2014)で得られている阿武隈山地の高標高 域の流域平均削剥速度 (8×10¹ ~ 2×10² mm/kyr) とよく一致する。またこれまでに阿武隈山 地の丘頂部について得られている削剥速度は 1×10¹ ~ 8×10¹ mm/kyr の範囲である (Mahara et al., 2010; Matsushi et al., 2010; Shiroya et al., 2010; Nakamura et al., 2014)。ここで得られ た値はそれよりやや大きく、その差異は、<10¹ mm/kyr である。これらのことは、阿武隈山地で は、尾根と谷の比高がゆっくりと増大していく傾向にあるものの、全体として強く非定常的な状 態にあるわけではないことを示唆している。北上山地では ¹⁰Be 濃度による削剥速度は報告され ていないが、ダム堆砂量に基づく数十年オーダーの流域平均削剥速度では 2.5 × 10² mm/kyr で ある(藤原ほか, 1999)。対象時間スケールが異なるため比較の精度は劣るが、¹⁰Be 濃度による 削剥速度とは大差は認められない。河床岩盤よりも流域平均の方が僅かに大きい値を示すことか ら、尾根と谷の比高はゆっくり減少している可能性もあるが、いずれにしても阿武隈山地と同様 に全体として強く非定常的な状態にあるわけではないと考えられる。こうした推察は、阿武隈山 地及び北上山地の高標高域に、広い谷底と低い残丘によって特徴づけられる景観が拡がっている こととも整合的であるといえる。

Sample ID	Quartz weight (g)	Be carrier weight (µg)	^{10/9} Be ratio* (×10 ⁻¹³)	¹⁰ Be concentration** (×10 ⁴ atoms g ⁻¹)	¹⁰ Be production rate [†] (atoms g ⁻¹ yr ⁻¹)	Denudation rate (g m ⁻² yr ⁻¹)	Surface lowering rate [‡] (mm kyr ⁻¹)
FST18-12	40.8131	303.2 ± 1.5	0.943 ± 0.077	3.15 ± 0.49	5.67 ± 0.54	377 ± 77	145 ± 30
FST18-14	36.6990	303.4 ± 1.5	0.881 ± 0.062	3.17 ± 0.48	5.92 ± 0.56	391 ± 79	150 ± 31
FST18-18	31.6908	303.3 ± 1.5	1.689 ± 0.108	8.83 ± 0.79	9.11 ± 0.90	216 ± 35	83 ± 14
FST18-19	33.2172	303.5 ± 1.5	0.799 ± 0.118	3.00 ± 0.81	6.53 ± 0.65	455 ± 138	175 ± 53

表 6.2-1 阿武隈山地・北上山地における ¹⁰Be の分析結果と削剥速度

*Normalized with a standard of KNB5-1: ^{10/9}Be = (2.709±0.030) × 10⁻¹¹ (Nishiizumi et al., 2007).

**Calcurated with background subtraction by a chemical blank with isotopic ratio of $^{10/9}Be = (3.07\pm0.61) \times 10^{-14}$.

[†]Scaled based on Stone (2000) with the reference value at sea-level high-latitude as 4.68±0.28 atoms g⁻¹ yr⁻¹.

[‡]Calcurated with rock density as 2.6 ± 0.1 g cm⁻³.

図 6.2-2 に、海成段丘のボーリングコアに対する ¹⁰Be の分析結果を示す。図には核種濃度の深 度分布をプロットするとともに、離水以前の核種獲得(いわゆるインヘリタンス)及び離水後の 削剥による核種損失を無視した場合のもっとも単純な ¹⁰Be の蓄積曲線を描いた。図 6.2-2 A の MGT サイトは、段丘の高度と面的拡がりからみて海洋酸素同位体ステージ(Marine Isotope Stage:以下、「MIS」という)5e(約 125 ka)に対比される段丘である。図 6.2-2 B の MHN サ イトは MGT よりも高位にあり、相対的に古い時代に離水したと推定される丘陵化の進行しつつ ある面である。

図 6.2-2 A をみると、MGT サイトにおける核種濃度の深度分布は、モデルカーブとおおよそ 整合的な減衰プロファイルをもち、かつ、期待される年代値 125 ka の曲線に近いか、やや超過す る傾向にある。このことは、活発な海食時にも宇宙線生成核種はわずかに蓄積しうる(離水時に 核種濃度がゼロでない)こと、及び地形が平坦で強い削剥作用が働かない(削剥速度が無視でき る程度に小さい)と推定されることを合わせて考えると、この時代の海成段丘に対しては¹⁰Be を 用いた露出年代測定(地形形成時期の決定)が十分に可能であることを意味している。

一方、MIS 5e よりも古いと推定される MHN サイト(図 6.2-2 B)においては、核種濃度の深 度減衰プロファイルはモデルカーブと明瞭に不整合的である。また、長い時間露出していた地形 に期待されるような高い核種濃度もみられない。このことは、この場所においては何らかの削剥 作用により、段丘面の最上部が失われていることを示唆する。事実、MHN サイトには表土がほ とんどみられず、地表構成物が取り去られている可能性が高い。削剥作用によって失われた物質 の厚みは大まかに言って数m以上に達するものと推定される。



図 6.2-2 海成段丘岩盤中の¹⁰Be 深度プロファイル

これら二つのサイトに対し、可能な限り確度の高い離水年代及び離水後の削剥速度の決定を試みる。離水前の核種量を 100 mm/kyr の波浪侵食によって定常状態にあるもの(1 m 以深での ¹⁰Be 濃度でおよそ 1.5×10⁴ atoms/g)として与え、離水後の削剥速度と、離水年代とをパラメー タとしてモデルカーブをフィッティングさせ、最適値を求めた(図 6.2·3)。サイト MGT では、 離水後の削剥がほぼ無視でき、露出年代の最尤値は 110 ka となった。この値は MIS 5e の段丘に 対して期待される離水年代(125 ka)に十分近いといえる。一方、サイト MHN では削剥速度 15 mm/kyr で削剥平衡状態に近いという結果であった。このとき、露出年代は約 200 ka よりも古い であろうと推測される。図 6.2·4 をみれば、いずれのモデルも、それぞれのサイトで観測された ¹⁰Be 濃度の深度分布を説明しうるものであることがわかる。図 6.2·3 と図 6.2·4 から、大まかに 言って 10 万年から 20 万年程度の時間スケールで、比較的高精度で時間情報を抽出できる状態 (MGT サイト)から、時間情報が失われ逆に地形面の削剥速度の情報が精度よく求まる状態 (MHN サイト)へと遷移しているものと捉えることができる。



図 6.2-3 ¹⁰Beの蓄積量を最も良く再現する最尤パラメータの決定



図 6.2-4 ¹⁰Be 濃度の深度分布に対するモデルカーブのフィッティング

6.2.3 まとめと今後の展望

宇宙線生成核種の濃度の空間分布あるいは深度分布を用いて、地形の定常・非定常状態を定量 的に把握する方法を検討した。一連の山地地形において、削剥速度の空間的多様性が大きければ 大きいほど、地形は非定常な状態にあって、その形状を変化させてゆくものと判断できる。その 変化速度は、宇宙線生成核種の濃度に基づいて得られる削剥速度の空間的差異から推定できる。 削剥速度と地形との対応から経験的法則を得ることができれば、地形変化のモデリングを通じ て、山地地形の発達過程をシミュレートできるだろう。より普遍的な法則性の発見とモデル化が 今後の課題であるといえる。

陸域地形の発達初期段階としての海成段丘に対し、岩盤中の¹⁰Be 濃度の深度分布を求め、核 種の蓄積モデルに照らして検討することで、時間情報抽出の限界について議論した。MIS 5e に 離水したことが明らかな段丘については、期待される年代値と整合的な結果が得られた。一方、 より古い丘陵化しつつある地形面においては、核種濃度が単純な露出の履歴から期待されるより も有意に小さく、また深度に対する核種濃度の減衰傾向もモデルと整合しなかった。このこと は、離水してから数十万年程度以上の時間が経過した古い段丘については、陸化後の削剥の影響 が、年代推定に大きな不確かさをもたらすことを意味している。すなわち試料採取の時点で、原 面の保存性について十分注意深く検討すべきであり、宇宙線の貫入深度(約1~2m)に比して 有意な厚みで地表面の削剥が進行していると判断される場合は、その場所での試料採取を避ける か、より深くまでの岩盤試料を測定対象とすべきである。

今後は、離水前の獲得核種量の推定と、削剥速度の精度良い推定が課題となる。実際に、離水 前獲得核種の量がここで設定されたものに近いこと、及び10万年程度の時間スケールで離水平 坦面上での削剥がほぼ無視しうる程度であることが確認できれば、少なくともMIS 5eよりも新 しい時代の原面残存率の高い離水段丘に対しては、日本のような湿潤温暖気候環境であっても、 宇宙線生成核種の深度プロファイルを用いた年代決定が可能であると結論できる。離水前獲得核 種量は、空間時間置換の考え方を援用して、現成海食面での核種濃度分析によって確認できる。 また、離水後の平坦面上での削剥過程としては、おそらく溶脱作用が卓越するであろうことか ら、それによる物質損失速度は、深部と浅部での基盤岩石の対比的化学組成分析によって類推で きる。同一段丘面の、より多くの地点での分析を行い、再現性を確認することもまた、今後の課 題として位置づけられるであろう。

【付録2】

6.3 地形解析による山地の隆起・侵食過程の検討

近年になって、河川流域における地殻隆起速度の時間的・空間的な変化を推定するため、河床 縦断形を逆解析する手法が考案された(Roberts and White, 2010)。ここでは、この新しい手法 を日本列島のような変動帯の地形に適用する際に大きな問題となる「基盤岩の岩石強度をモデル 中でどのように扱うか」という点について、新しいモデルを提案し、今後の研究方針を検討する。

そもそも、河川の標高は地殻の隆起速度と河川の削剥速度の差によってつねに変動しており、 さらに河川の削剥速度は河床勾配や河川流量の影響を受ける。隆起速度が長期間にわたり一定で ある河川においては、上流における侵食作用と下流における堆積作用が進むにつれ、河床の縦断 面が次第になめらかな指数関数状の曲線(平衡曲線)に近づくことが知られている。侵食作用と 堆積作用が平衡することから、河川では砕屑物の運搬だけが行われるようになり、このときの河 川を平衡河川という。平衡河川の状態にある河床勾配は流域面積の変化に応じてなだらかに変化 するが、隆起速度が変化すると、新しい平衡状態となるような河床縦断形へと移行するイベント が起こる。このとき、河床には一般に、傾斜変換点(遷急点:knickpoint)とよばれる河床勾配 の不連続点が形成される。河床高は海岸線において海抜0mに固定されているため、遷急点は河 川の下流端付近で形成され、それが上流へと伝播していき、最終的に上流端で消滅することによ って河床縦断形が新しい平衡状態に達する(大上, 2015)。すなわち、河床における傾斜変換点の 位置や上流への移流速度は、その河川の流れる地域の地形の侵食や隆起の速度の歴史を保存して いる情報であるといえる(早川・松倉,2002)。また、傾斜変換点が上流に伝播していく速度は、 その河川に、隆起速度履歴に関するどれほどまでの古い情報が残されるか、ということに関連し ている。すなわち、傾斜変換点が河川の上流端に到達して消失するまでにかかる時間が、河床縦 断形の逆解析によって地殻隆起履歴を復元することが可能な期間ということになる。

実際の河川縦断形は平衡状態ではなく、過去の隆起・沈降履歴を反映した遷移状態にある。そこで、実際に測定された河床の縦断面における河床高の観測値と、数値計算によって求められる予測値とのズレを最小化するように隆起履歴パラメータを最適化するという逆解析手法により、地殻の隆起速度の時間的・空間的な変化を復元するという手法が考案された(Roberts and White, 2010)。河川は陸上の広範囲にわたって普遍的に存在しており、河川の縦断形や流域に関する大量のデータを調査・解析することによって、それぞれの地点ごとの測定ではなく、面的な広がりを持って隆起速度の時空変化を復元することが可能になる。この手法は、Roberts and White (2010)によって開発されたもので、地殻変動に関する面的な情報が得られるというメリットがある。本手法を用いて、先行研究において、マダガスカルや、アフリカ大陸・オーストラリア大陸といった非常に大規模の時間・空間スケールにおける隆起速度履歴の復元が行われ(Roberts et al., 2012; Rudge et al., 2015)、10~100 Ma といったオーダーの地質年代における過去から現在までの隆起速度の面的な分布が推定された。

ただし、先行研究において河床縦断形の逆解析が行われた調査地域はどれも、非活動的大陸縁 に囲まれた安定大陸におけるものであった。安定大陸の隆起速度は一般に小さく、長期にわたり 一定で、大陸全体において地形勾配がなだらかに変化していく場所が多い。安定大陸においては、 本手法のような大幅な単純化を行ったモデルを適用することは妥当であるかもしれない。しかし ながら、日本列島のような、隆起速度が大きく変化し、起伏の大きい山脈に覆われた変動帯を流 れる河川に対して本手法を適用することが可能であるかは未知である。

特に問題となるのは、基盤岩の岩石強度をどのようにしてフォワードモデルで取り扱うかとい う点である。日本列島のような変動帯の地質構造は複雑であり、極端に異なる強度をもつ基盤岩 が隣接していることがある。このような場合、河川の遷急点の移動速度は地域によって大幅に変 化し、それに伴って地殻隆起速度の逆解析結果も大きく影響をうけることになる。 そこで、まず本稿では河川縦断形を計算するフォワードモデルである stream power model や sediment flux dependent model においてこれまで基盤岩の岩石強度がどのように取り扱われて きたかを概観する。そのうえで、本稿では新しいモデリング手法を提案する。

6.3.1 Stream Power Model

ここで概説する stream power model とは、河川卓越型岩盤河川における河床高変動を予測するための数値モデルである(Howard and Kerby, 1983)。まず、このモデルの適用できる範囲をはっきりさせるため、河川のタイプの定義について説明する。

岩盤河川は、河川流量が小さい時期であっても沖積(未固結)堆積物によって河床全体を覆わ れていない河川のことを指す。ただし、実際の河川では堆積物による被覆面積は洪水などで常に 変動しており、一時的にはほぼ河床全域が被覆されたり、またある時にはほとんど河床に未固結 堆積物がみられなかったりすることも起こりうる。そこで、岩盤河川についてはしばしば別の形 で定義が行われる。

水流量・勾配に基づいて推定される河川の潜在的な最大掃流砂量(限界掃流量)を Q_c とする と、岩盤河川の河床は堆積物で覆いつくされていないため、そこで運搬されている実際の掃流砂 量 Q_s は最大掃流砂量 Q_c よりも明らかに少なくなる。すなわち、岩盤河川は $Q_s < Q_c$ が長期にわ たって成り立っている河川と定義することができる(Gilbert 1877, Howard 1980, Howard et al. 1994, Montgomery et al. 1996)。 Q_c については河川流量や勾配などから何らかの経験的流砂量 式を用いることで推定が可能だが、 Q_s は基本的に上流から供給される土砂の流量によって規定さ れる。すなわち、河川のタイプが岩盤河川となるか否かは、注目している河川区間の上流の状況 によって左右されるということになる。

一方、沖積河川は河床全域が未固結堆積物(沖積)によっておおわれた河川である。さらに、 沖積河川の勾配と河床を構成する土砂の粒径に着目すると、粒径と勾配はどちらも下流へ向かっ て徐々に小さくなることが普通だが、その途中で突然両者が大幅に変化する現象がしばしば観測 されている。すなわち、河床の粒径が礫サイズから突然砂サイズに移り変わり、それと共に河床 勾配も突然緩くなる(<0.1%)のである(例えば、Ferguson et al., 2003)。この勾配の急激な変 化点を境界として、沖積河川は礫床河川と砂床河川に区分される。河床の粒径及び勾配が突然変 化する現象の原因については、土砂の運搬様式が掃流から浮流へ移りかわるためではないかと考 えられているが(Lamb and Venditti., 2016)、そのメカニズムの詳細についてはまだ完全にはわ かっていない。いずれにしても、沖積河川の場合、おおむね河川を流れる掃流砂量 Q₈は最大掃流 砂量 Q₆となっているものみなされている。つまり、長期的にみて Q₈=Q₆が成り立つ河川が沖積 河川である。前述の通り、河川の最大掃流砂量 Q₆は実験などによって求められた経験式によって 見積もることができる。このことは、沖積河川での土砂運搬量やその変化によって引き起こされ る堆積・侵食作用が、おおむねその区間での水理条件(流速場や水深)などから推定できること を意味している。

さて、沖積河川と同様に、岩盤河川の地形(河床勾配・川幅・底面形状)は、その河川におけ る堆積物流量、基盤岩の性質、ベースレベル(相対的海水準)などに応じて常に変動し続けてい る(例えば、Wohl and Ikeda 1998, Wohl et al. 1999, Wohl and Merritt 2001)。これは、岩盤河 川においては常に侵食作用が起こっており、その侵食速度は河川を移動する土砂の量などに応じ て大幅に変化するためである(例えば、Sklar and Dietrich, 2004)。後述の通り、岩盤河川の侵 食速度は河床勾配が大きく、また、河川流量が大きいほど大きくなる。また、河床勾配の大きい 地域では、掃流や浮流ではなく土石流による土砂移動が卓越するようになる。土石流の侵食速度 は一般の河川流と大きく異なるため、河川地形の特徴も土石流卓越地域では大きく変化すること が知られている (Sklar and Dietrich, 1998)。

以上をまとめると、河川には岩盤河川と沖積河川の2種類があり、さらにそれぞれは土石流卓 越型岩盤河川・河川卓越型岩盤河川及び礫床河川・砂床河川の2種類に細分されることになる。 Sklar and Dietrich (1998) は既存研究の検討結果を参照し、これら4つのタイプの河川の発達が 流域面積及び河床勾配に支配されていることを示した。すなわち、河床勾配が0.1%よりも緩い河 川はほとんどが砂床河川であるのに対し、礫床河川もしくは岩盤河川はほとんどが0.1%よりも 大きい勾配を示している。礫床河川と岩盤河川の境界はおおむね以下の経験式で表される (Montgomery et al., 1996)。

$$S = 0.07 \, A^{-0.5} \tag{1}$$

ここで、Sは河床勾配、Aは流域面積を表している。すなわち、河床勾配・流域面積が比較的大きい河川は岩盤河川となり、それらが小さい河川は礫床河川となることがわかる。さらに河床が 急勾配になると、河川は土石流卓越型岩盤河川となる。岩盤河川が土石流卓越型となる境界は明 瞭ではないが、斜面勾配にしておおよそ 8% (Wiberg and Smith, 1987)から 20% (Seidle and Dietrich, 1992)程度の間に閾値があるものと考えられている。これらの河川タイプのうち、河川 卓越型岩盤河川の侵食作用を記述するために最もよく用いられている数値モデルが stream power model である。

さて、Stream power model の導出について説明する。河川卓越型の岩盤河川においては、河 川の水流が河床侵食に重要な役割を担っていることが予想される。そこで、河川の水流が単位時 間あたりに消費するエネルギー Ω を stream power と定義した時に、単位面積当たりの河床侵食 速度 E がこの Ω に対して線形に比例すると考えるのが stream power modelの基本概念となる。 Stream power Ω は、河川の単位距離当たりの底面せん断力(底面せん断応力 τ_b と川幅 Bの 積)と流速 Uの積である。いま、 ρ_f を水の密度、gを重力加速度、Sを河床勾配とすると、水流 の底面せん断応力 τ_b は

$$\tau_b = \frac{\rho_f g A_w S}{B} \tag{2}$$

となる。河川の流量 Qwが河川の断面積 Awと鉛直・水平平均流速 Uを用いて

$$Q_{w} = A_{w}U \tag{3}$$

と表されることから、

$$\Omega = \rho_f g S Q_w \tag{4}$$

となる。このとき、stream power modelの仮定に基づくと、単位面積当たりの侵食速度 E は

$$E = \frac{K_p \Omega}{B} = \frac{K_p \rho_f g S Q_w}{B}$$
(5)

である。ここで、*K*_pは岩盤の侵食されやすさを表した比例係数である。一般に、流域面積 A が大きくなるほど河川流量 *Q*_wも増加するため、以下の関係を想定することができる。

$$Q_w = K_a A^r \tag{6}$$

ここで、*K*_a及び*r*はそれぞれ流量にかかわる経験的な係数及び指数である。また、河川の幅 *B*は河川流量 *Q*_wが増加するにつれて増していくため、以下の式で二つのパラメータの関係を表すことにする。

付 2-39

$$B = K_B Q_w^b \tag{7}$$

ここで、*K*_B及び b はそれぞれ河川の幅に関する経験的係数及び指数である。これらの式(6)及び (7)に表される関係を代入して式(5)を書き換えると、以下の関係式が導かれる。

$$E = K_{v} A^{r(1-b)} S \tag{8}$$

ここで、 $K_y = K_p \rho_f g K_a^{1-b} / K_B$ である。式(8)が stream power model の典型的な定式化であり、この式は岩盤河川の侵食速度が斜面勾配に線形に比例し、流量のプロキシである流域面積のべき乗にも比例することを示している。

一方、岩盤侵食は前述の stream power ではなく水流の底面せん断応力に比例するとの考え方 もある(Howard et al., 1994)。この考えに従うと、

$$E = K_t \tau_b \tag{9}$$

ということになる。ここで、 K_t はこの法則を採用した場合の岩石の侵食されやすさを表した比例 係数である (stream power model の K_p に相当)。この考えに基づき、流れの抵抗則として Chezy 式

 $\tau_b = \rho_f C_f U^2$ を用いることにして (C_f は無次元 Chezy 摩擦係数)、侵食速度を求めてみる。式(2)、 (6)、(7)を式(9)に代入すると、以下の式となる。

$$E = K_z A^{\frac{2r(1-b)}{3}} S^{\frac{2}{3}}$$
(10)

ここで、係数 Kzは、

$$K_{z} = K_{t} \rho_{f} \left(\frac{C_{f} K_{a}^{2(1-b)}}{K_{B}^{2}} \right)^{\frac{1}{3}}$$
(11)

である。ちなみに、Howard et al. (1994) はシェジー則ではなくマニング則を用いて式(10)とほぼ同様の式を得ているが、その場合は河床勾配 Sの指数は 0.7 となる。

いずれにしても、この種の河川流の水理量に基づいたモデルは、以下の形式をとることになる。

 $E = KA^m S^n \tag{12}$

ここで、*K*は岩石の侵食のされやすさ、河川流量と流域面積の関係(降水量・地下水への分配など)、河川幅と流量の関係、底面摩擦係数などさまざまな要素を内包した経験的係数となる。*m*は前述の通り流域面積と流量や川幅との関係を表す指数であり、*n*は狭い意味での stream power model ならば1となる。しかしながら、既存研究には前述のような*n*が1以外の値(例えば、2/3)をとるモデルや、岩盤侵食が開始されるための限界剪断応力を導入したモデルも含めて膨大なバリエーションが存在する(詳しくは Whipple, 2003 などを参照)。それでも、式(12)と類似した形をとるモデルは広い意味で stream power model と総称され、広く用いられている(Whipple, 2003)。

この stream power model を実際に計算する際に鍵となるのは二つの指数 m 及び n と係数 K の値を具体的にどう見積もるかであろう。流域面積と流量などの関係を表す指数 m は、多くの地域でおおむね 0.5 程度の値をとることが報告されている(Sklar and Dietrich, 1998)。一方、nについては、上記の通り stream power model の本来の仮定に基づけば 1 となるべき指数である。しかしながら、式(12)で現れたパラメータを経験的に実際の地形に適合させた研究を参照すると、必ずしもこの値とは 1 とは限らない。ニュージーランド Waipaoa 地域の地形遷急点移動速度を

付 2-40

解析した結果は、この地域で適合するのはn > 1であることが示されている。一方、スコットランド (Jansen et al., 2011) やアルプス (Valla et al., 2010)での遷急点移動速度の解析結果はn > 1というモデルに当てはまらず、他の地域でもおおむねn = 1と考えるのが妥当とする地形が観察されている (例えば、Whittaker and Boulton, 2012)。そのため、多くの数値計算を用いた研究では、単純化のためにn = 1を採用することがほとんどである。

それでは、Stream power model で最も重要なパラメータ Kについては、どのような値が適切 なのだろうか。この Kは地域によって大きく変化することが知られている。実際、係数 Kとおお むね比例するはずの地形遷急点の移動速度は 4 ケタ以上の範囲(i.e. 1~10⁴ cm/yr)で変化し得 ることが報告されている(Crosby and Whipple, 1999)。しかし、その値を予測することは極め て難しいのが実情である。ここまでの model 導出過程をみてわかる通り、このパラメータには 様々な要因が複合的に含まれており、それらを分離できない限りは実験などによる検証も難しい。 Whipple (2003) は、これまで提案されてきた様々な stream power model に類似したモデルを包 括できるように、式(12)を以下のように再定義した。

$$E = K_r K_c K_{\tau cr} f(Q_s) A^m S^n \tag{13}$$

ここで、*K*_rは岩石の侵食されやすさ、*K*_eは何らかの気候条件、*K*_{ter}は岩盤侵食の限界剪断応力に 関連する係数、*f(Qs)*は掃流砂輸送量に関連した関数である。しかしながら、それぞれのパラメー タを明示的に予測する関数を提示した研究は存在せず、また、これらのパラメータが独立である 保証もない。そのため、これまでの研究では、何らかの仮定を置いたうえで、経験的に各地域固 有の係数 *K*を求めることが行われている(例えば、Roberts et al., 2012)。

ここまでをまとめる。Stream Power Model は河川の何らかの水理量によって岩盤侵食速度が 決まると考える河川侵食モデルである。このモデルはシンプルで、必要とされる入力値も流域面 積及び河床勾配という DEM から容易に計測できる値であるため、これまで広く河川地形発達の フォワードモデルとして用いられてきた。地形から地殻隆起速度を求める既存の逆解析モデルも、 この Stream Power Model に強く依存している。しかしながら、モデルに必要とされる係数を明 示的に求める方法がないことが大きな弱点となっている。このことは、岩盤強度の影響を取り込 んだ逆解析モデルを構築するうえで大きな障害となる。また、モデルの前提となる stream power の仮定の妥当性についても、十分な確証はない。実際、Lague et al. (2014) は Stream Power Model のパラメータを様々な地域の地形データから検討し、多くの地域で河川遷急点の移動速度 から求められる経験的係数 ($n \approx 1.0$, $m \approx 0.5$)の値が河川侵食速度そのものから求められる値 ($n \approx 2.0$, $m \approx 1.0$)と大幅にずれていることを指摘した。このことは、Stream Power Model の理論 に根本的な欠陥がある可能性を指摘している。

6.3.2 Sediment Flux Dependent Model

2000 年代以降になって、岩盤河川の侵食に関して Stream Power Model よりも物理素過程に 即したモデルが次々と提案されている。これらのモデルは堆積物の輸送量が岩盤侵食速度を規定 すると考える点で共通しており、総称して Sediment Flux Dependent Model と呼ばれている

(Sklar and Dietrich, 2004; Chatanantavet and Parker, 2009; Johnson and Whipple, 2010)。 このモデルは、岩盤河川の侵食作用が水流そのものではなく、運搬される堆積物粒子による衝突・ 摩耗作用が引き起こすと考える。そして、一つ一つの粒子の衝突による侵食をモデル化し、そこ から巨視的な侵食の速度を導く。このモデルで特徴的なのは、単純に掃流で移動している堆積物 粒子が増えると侵食量が増すとは限らないというところである。掃流による移動量が増すと、基 盤岩が未固結土砂によっておおわれるようになる。土砂によっておおわれている領域では基盤岩 と粒子の衝突が起こらないため、むしろ侵食量が低下するのである(Sklar and Dietrich, 2004)。 すなわち、基盤岩の侵食速度は掃流輸送量が多すぎても少なすぎても小さくなり、中間的な掃流 輸送量が最大の侵食速度をもたらすということになる。

このモデルの定式化の概要を示す。まず、Vを一つの粒子の衝突による岩盤の損傷堆積とし、 Nを単位時間あたりに単位面積の基盤岩へ粒子が衝突する回数とすると、侵食速度 E は、

$$E = NV \tag{14}$$

となる。ここで、 ρ_s は基盤岩の密度である。損傷堆積が粒子の運動エネルギーに比例するとし、 Bitter et al. (1963)の研究などに基づいて、Sklar and Dietrich (2004) は1粒子当たりの基盤岩 損傷堆積 Vが

$$V = \frac{\frac{1}{2}M_p(U_i\sin\alpha)^2 - \cdot_i}{\cdot_v}$$
(15)

と考えた。ここで、 M_p は粒子一つ当たりの質量であり、 U_i は衝突速度、aは衝突角度、 $_i^i$ は損傷 が起こるための限界エネルギー、 $_v^i$ は単位体積の基盤岩を損傷させるために必要なエネルギーで ある。さらに、Sklar and Dietrich (2001)の水槽実験により、 $_v^i$ は岩石の引張強度 σ_T の二乗に比 例し、ヤング率 Yに反比例することなどが明らかになった。これらの結果を用い、 $_t^i=0$ と単純 化を行うと、式(15)は以下のようになる。

$$V = \frac{\pi \rho_s D_s^3 w_s^2 Y}{6k_v \sigma_T^2} \tag{16}$$

ここで、 $W_s = U_i \sin \alpha$ は粒子の鉛直方向の移動速度であり、 k_v は経験的係数である。また、 D_s は 粒子の直径を表していて、粒子の形状はおおむね球に近似できるものとしている。次に、粒子の 衝突回数 Nを求めるには、トータルの掃流砂量 Q_s と粒子の一回当たりの跳躍距離 L_s が必要にな る。これらのパラメータを用いて、基盤岩に衝突する粒子の個数を見積もると、

$$N = \frac{6Q_s}{\pi D_s^3 L_s} \left(1 - P_c\right) \tag{17}$$

となる。ここで、*P*。が河床の被覆率である。最初に述べた通り、掃流土砂が増えるほど河床が次 第に未固結堆積物で覆われていくため、逆に粒子の基盤岩への衝突回数は減少していくことをこ の式(17)は表している。被覆率 *P*。が単純に掃流砂量 *Q*。と最大掃流砂量 *Q*。の比に等しくなると考 えると、式(14)、(16)、(17)より以下の式が得られる。

$$E = \frac{Q_s w_s^2 Y}{L_s k_v \sigma_T^2} \left(1 - \frac{Q_s}{Q_c} \right)$$
(18)

最終的に、 Q_{c} 、 L_{s} 及び粒子の跳躍高さや速度に関する実験式を用いて、Sklar and Dietrich (2004) は以下の式を導いた。

【付録2】

$$E = k_1 \frac{Q_s}{(\tau^* / \tau_c^* - 1)^{1/2}} - k_2 \frac{Q_s^2}{D_s^{3/2} (\tau^* / \tau_c^* - 1)^2}$$
(19)

ここで、 $\tau^* = \tau_b / \rho_s RgD_s$ はシールズ無次元せん断応力、 τ_c^* は粒子始動の限界シールズ数、 $R = (\rho_s - \rho_t) / \rho_t$ は粒子水中比重である。この式に現れる二つの係数 h 及び k は、 $k_1 = 0.08YRg / k_v \sigma_T$ 及び $k_2 = 0.014Y(Rg)^{0.5} / (\tau_c^*)^{1.5} k_v \sigma_T^2 \rho_s$ と定義される。式(19)の右辺第一項は粒 子の侵食速度、右辺第二項は被覆効果を表す。

この Sediment Flux Dependent Model は、Stream Power Model に対して経験的調整パラメ ータが極端に少ないというアドバンテージを持っている。式(19)における経験的係数はわずかー つ、*k*vのみであり、これは実験によりおおよそ 10¹² 程度の値であることが明らかになっていて、 調査地域に併せて調整する必要はない。他のパラメータも、多くは普遍的に実験で求まる量か、 岩石の引張強度のように測定可能な量である。しかしながら、このモデルの重大な欠点は、堆積 物の粒径 *D*v 及び調査区間へ供給される掃流砂量 *Q*v という測定困難な量を含んでいる点にある。 これらのパラメータは現世の河川であれば一応測定可能だが、過去の河川に対して測定すること は不可能であるため、逆解析のフォワードモデルとして用いる際には重大な障害となりうる。

6.3.3 岩石強度を反映した岩盤河川侵食モデル

ここまで二つの岩盤河川侵食モデル(Stream Power Model と Sediment Flux Dependent Model)を紹介したが、本研究の主題である岩石強度を考慮したモデル構築にはどちらのモデル が適しているだろうか。

まず、Stream Power Model は圧倒的に研究例が多く、すでに岩相と河川侵食に関連した研究 は数多く行われている(例えば、Hancock et al., 2011; Han et al., 2014; Small et al., 2016)。ま た、岩相の効果を Stream Power Model に取り込んで計算を行うことのできるフリーソフトェア も公開されている(Barnhart et al., 2018)。にもかかわらず、これまで Stream Power Model に おいて岩石強度の効果を表す係数(式(13)の K)を測定可能な量から明示的に求める関数は提案 されていない。例えば、Small et al. (2016)は実験によって基盤岩の K-を求めることを試みてい るが、このパラメータが同じ河川流路内でさえも局所的な状況で大幅に変化し、予測が困難であ ることを報告している。 Wohl and David (2008)は岩盤河川のスケール則を大規模なデータに基 づく統計解析から検討し、Selby (1980)に基づいて計測した岩石強度がほとんど Stream Power Modelの係数に相関を持たないことを明らかにした。この結果をそのまま受け入れるのであれば、 岩石強度を完全に無視しても Stream Power Model は的確に河川地形の侵食過程を再現できると いうことになる。しかしながら、Wohl and David (2008)が指摘している通り、この解析結果はそ もそもシュミットハンマー試験を使って岩石強度を求める Selby (1980)の方式がこの種の解析に 不適切だったことを表している可能性が高い。いずれにしても、いまだ Stream Power Modelの 係数と岩石強度の計測結果を結びつける手法は確立していないのが実情とみるべきだろう。この 困難は、そもそも Stream Power Model において係数に理論的な裏付けが乏しく、複数の要因が 混入していることが原因であるかもしれない。

一方、sediment flux dependent model には陽に岩石強度の効果が組み込まれている。岩石の 引張強度を測定すれば、このモデルには自然な形で岩石強度が基盤岩侵食速度へ与える効果を取 り込むことができる。ところが、sediment flux dependent model が実際の地形解析に用いられ た例は極端に少なく(Lague, 2014)、ほとんどが理論的な解析の段階にとどまっている(例えば、 Chatanantavet and Parker, 2009)。これは、例えば河川遷急点が移動することで侵食速度や河 床勾配が変化し続ける状況で、計算区間へ供給される掃流砂量 Q_s を動的に推定することが困難 なことが原因であるかもしれない。

6.3.4 モデルの提案

前節まで概観した通り、現状では岩石強度を適切に評価しながら現実の岩盤河川の侵食作用を 計算することができるモデルは存在しない。このことは、強度が極端に異なる岩相が隣接する変 動帯において河床縦断形逆解析を行い、地殻隆起速度を面的に求める試みの大きな障害となって いる。

そこで、本研究は新しいモデルを提案する。これは、sediment flux dependent model を基礎 として、その弱点である *Q*。の見積りに関して以下のような仮定を置いて現実的な地形における 計算を実現しようとするものである。

仮定1:土石流卓越型岩盤河川の勾配は常に一定である。この仮定により、計算区間の最上位を 土石流卓越型岩盤河川と下線卓越型岩盤河川の境界に置けば、以下の境界条件を設定することが できる。

$$\left. Q_{s} \right|_{x=0} = k_{n} E A \right|_{x=0} \tag{20}$$

ここで、Xは河川流路に沿った空間座標であり、計算区間の上流端(土石流卓越型・下線卓越型境界)を0として、下流方向へ増えるものとする。*kn*は岩石が化学風化によって溶解したり浮流として運搬されるほど細粒になったりする効果の程度を表す経験的係数である。この式(20)は、土石流卓越型岩盤河川が一定の勾配を保つこと、言い換えれば、下線卓越型岩盤河川の上流端での侵食速度にその上流は常に追随することを示している。

仮定 2:小規模な河川支流は本流の河床侵食速度と同じ速度で基盤岩を侵食する。この仮定により、任意の地点*X*における掃流砂量 *Q*。に関する以下の式が得られる。

$$\frac{dQ_s}{dx} = k_n E \frac{dA}{dx} \tag{21}$$

流域面積Aの空間微分は、河川が流下するにつれて加わる小規模な支流の流域面積を表している。 大規模な支流の合流は合流地点におけるそれぞれの Qs を足し合わせることで得られるが、小規 模な支流や本流の河床自体の侵食による掃流砂の生成に関してはこの式(21)によって評価できる。 仮定3: 堆積物粒径 Ds の下流方向への変化は以下の関係式に従う。

$$D_{\rm s} = k_{\rm D} x^d \tag{22}$$

ここで、 ka 及び d は経験的な係数及び指数である。

実際に、上記仮定 1-3 にしたがって計算を行う際には、式(20)を積分定数として式(21)を数値 積分し、それによって得られる各地点の Qs を推定する。また、 kb 及び d については研究対象地 域の現地調査から推定する。この結果、得られた Qs 及び Ds を使って、式(19)に基づいた以下の 式を数値的に計算すると河床縦断形の時間発展を計算することができる。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = U - k_1 \frac{Q_s}{\left(\tau^* / \tau_c^* - 1\right)^{1/2}} - k_2 \frac{Q_s^2}{D_s^{3/2} \left(\tau^* / \tau_c^* - 1\right)^2} + \kappa \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2}$$
(23)

ここでηは河床面の高度、κ はクリープによる地形の拡散係数である。
6.3.5 まとめと今後の展望

ここでは、地形解析によって山地の隆起・侵食過程を検討するうえで最も大きな障害となって いる岩石強度の効果について、既存研究をレビューし問題点の抽出を行った。その結果、従来こ の分野で広く用いられてきた stream power model に岩石強度の効果を取り込むのはかなり困難 であり、近年になって研究が進みつつある sediment flux dependent model がむしろ有望である ことを明らかにした。しかしながら、後者のモデルにも大きな欠点があり、現実の地形に適用す るには大きな改善が必要である。本稿では、この問題点を改善し、実際の地形を逆解析できる可 能性のあるフォワードモデルを最後に提案した。

今後は、実際の岩石強度の測定値に基づいて新たに提案したフォワードモデルの計算を行い、 実際の地形における削剥速度や地形遷急点の移動速度との比較を行う必要がある。モデルに大き な問題が無いようであれば、東北地方の実際の地形に適用し、第四紀の島弧隆起速度の面的な復 元を試みる予定である。

7. まとめ

「地質温度計と熱年代による深部流体の温度・滞留時間の検討」では、深部流体起源の熱水活動の温度や滞留時間などの検討を目的として、熱水脈試料を対象とした流体包有物解析と、熱水脈周辺から採取した母岩試料の熱年代解析を実施した。その結果、熱水脈の初生包有物の均質化 温度が約 150℃と 200℃と推定された。一方で、熱年代計では、熱水脈からの距離に応じた年代 の変化はいずれの手法でも検出できなかった。この結果からは、約 10 Ma 以降の隆起・侵食で年 代値が上書きされた可能性と、熱水活動による加熱温度または加熱時間の不足のため熱年代に影 響を与えなかった可能性が考えられる。これらの可能性の検証には、六甲地域のようなより隆起・ 侵食速度が遅い地域における、同様のアプローチの適用が有効であると考えられる。

「粘土鉱物の K-Ar 年代測定に基づいた断層帯の活動性の検討」では、脆性変形の時期の推定 を目的として、昨年度に微細構造観察などの試料記載を実施した延岡衝上断層を貫くボーリング コア試料に対し、K-Ar 年代測定を行った。その結果、水簸で分離した<2 µm のフラクションに ついて、上盤で 39.9~36.4 Ma、中軸部で 31.7~27.8 Ma、下盤で 41.4~34.2 Ma の年代が得ら れた。さらに、破砕帯の詳細な記載に基づく第四紀の活動史が復元されている阿寺断層の露頭か らの断層ガウジ試料に対する K-Ar 年代測定にも着手した。実験的検討については、イライトを 豊富に含む米国ウェストバージニア州のシルル系 Rochester shale を用いて、遊星型ボールミル と McCrone mill による粉砕実験(粉砕が K-Ar 年代に及ぼす影響の検証)に着手した。今後は、 引き続きこれらの実験とデータの解釈を進めていく予定である。

「室内実験に基づいた、熱年代による断層活動性評価手法の高度化」では、地下深部の断層帯 により即した条件におけるジルコン熱年代計のカイネティクスの理解を目的として、水熱環境下 及び還元環境下における標準ジルコンの加熱実験を実施した。令和元年度は全 10 通りの条件で 加熱を行い、加熱時間の分布は 1~1,000 時間であった。今後は、ジルコンの FT 解析を進めると ともに、その結果を踏まえて、より多様な温度・時間条件での実験や、他の熱年代計での同様の 実験を検討する予定である。

「地質温度圧力計と U-Pb 年代測定法を用いた侵食史の推定」では、研究対象地域の侵食史推定を目的として、花崗岩試料に対する地質温度・圧力計の適用と U-Pb ジルコン年代測定の試料準備を実施した。その結果、黒部別山花崗岩について固結深度を推定でき、約5.4-5.5Ma 以降の平均削剥速度が1.0±0.2~1.7±0.3 mm/yr であると推定できた。今後は、研究対象地域の他の花崗岩体にも分析と固結深度推定の範囲を広げ、広域的な平均削剥速度の分布を推定する予定である。

「熱年代学、宇宙線生成核種法、地形解析による山地の隆起・侵食過程の検討」では、以下の 三つの検討を行った。

「熱年代学による山地の隆起・侵食過程の検討」では、東北日本弧の前弧域の北上山地・阿武 隈山地において、地質学的タイムスケールの熱史・削剥史の推定を目的に熱年代解析を実施した。 その結果、アパタイト FT 年代の東西方向の変化は見られたものの、山地全体としては 10⁷⁻⁸ 年ス ケールで安定な削剥環境にあったと推定された。今後は、年代値の精度・確度向上のための測定 FT 数及び地点数の増加に加え、より厳密な削剥史を議論するために FT 長に基づいた熱史逆解 析やより閉鎖温度が低い熱年代手法の導入も検討中である。

「宇宙線生成核種を用いた地形の隆起・侵食過程の検討」では、地形発達過程の多様な段階に おける地形面の形成年代や削剥速度の決定を目的として、¹⁰Beの加速器質量分析を実施し、デー タに解釈を与えた。その結果、山地地形の定常・非定常の判定や、離水段丘に対する年代情報・ 地形面の削剥情報の抽出に対する、本手法の適用性が確認された。今後は、多数点・複数核種の 分析データを蓄積し、確度・精度の向上を目指す。 「地形解析による山地の隆起・侵食過程の検討」では、東北地方の第四紀地殻隆起速度を面的 に復元することを目的として、文献のレビューと新たなモデルの開発をおこなった。その結果、 既存研究のモデルを変動帯に適用するうえで大きな障害となってきた岩石強度の効果を取り込み、 しかも現実の地形を解析可能なモデルを提案出来た。今後は地殻表層の実際の河川の引張強度測 定を進め、提案したモデルの検証を経て東北地方の地殻隆起速度復元を試みる。

8. 引用文献

- Anderson, J.L. and Smith, D.R., The effects of temperature and f_{02} on the Al-in-hornblende barometer, American Mineralogist, vol.80, pp.549-559, doi:10.2138/am-1995-5-614, 1995.
- Barnhart, K., Hutton, E., Gasparini, N.M. and Tucker, G.E., Lithology: A Landlab submodule for spatially variable rock properties, Journal of Open Source Software, vol.3, doi:10.21105/joss.00979, 2018.
- Bitter, J.G.A., A study of erosion phenomena part I, Wear, vol.6, pp.5-21, dio:10.1016/0043-1648(63)90003-6, 1963.
- Blundy, J.D. and Holland, T.J.B., Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer, Contributions to Mineralogy and Petrology, vol.104, pp.208-224, doi:10.1007/bf00306444, 1990.
- Bodnar, R.J., Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions, Geochimica et Cosmochimica Acta, vol.57, pp.683-684, 1993.
- Bonhomme, M.G., Thuizat, R., Pinault, Y., Clauer, N., Wendling, R. and Winkler, R., Méthode de Datation Potassium-argon, Appareillage et Technique, Technical Report, Strasbourg University, 53p, 1975.
- Brix, M.R., Stöckhert, B., Seidel, E., Theye, T., Thomson, S.N. and Küster, M., Thermobarometric data from a fossil zircon partial annealing zone in high pressure–low temperature rocks of eastern and central Crete, Greece, Tectonophysics, vol.349, pp.309-326, dio:10.1016/S0040-1951(02)00059-8 2002.
- Burtner, R.L., Nigrini, A. and Donelick, R.A., Thermochronology of lower cretaceous source rocks in the Idaho–Wyoming thrust belt, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, vol.78, pp.1613-1636, dio:10.1306/A25FF233-171B-11D7-8645000102C1865D, 1994.
- Carlson, W.D., Donelick, R.A. and Ketcham, R.A., Variability of apatite fission-track annealing kinetics: I. Experimental results, American Mineralogist, vol.84, pp.1213-1223, dio:10.2138/am-1999-0901, 1999.
- Chatanantavet, P. and Parker, G., Physically based modeling of bedrock incision by abrasion, plucking, and macroabrasion, Journal of Geophysical Research: Earth Surface, vol.114, F04018, doi:10.1029/2008JF001044, 2009.
- Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. and Fan, J.-X., The ICS International Chronostratigraphic Chart (updated), Episodes, vol.36, pp.199-204, dio:10.18814/epiiugs/2013/v36i3/002, 2013.
- Crosby, B.T. and Whipple, K.X., Knickpoint initiation and distribution within fluvial networks: 236 waterfalls in the Waipaoa River, North Island, New Zealand, Geomorphology, vol.82, pp.16-38, 2006.

- Dalrymple, G.B. and Lanphere, M.A., Potassium-Argon Dating, San Francisco (W.H. Freeman and company), 258p, dio:10.1180/minmag.1970.037.291.13, 1969.
- Den Hartog, S.A.M., Niemeijer, A.R. and Spiers, C.J., New constraints on megathrust slip stability under subduction zone P-T conditions, Earth and Planetary Science Letters, vol.353-354, pp.240-252, dio:10.1016/j.epsl.2012.08.022, 2012.
- Dodson, M.T., Closure temperature in cooling geochronological and petrological systems, Contributions to Mineralogy and Petrology, vol.40, pp.259-274, 1973.
- Donelick, R.A and Miller, D.S., Enhanced tint fission track densities in low spontaneous track density apatite using ²⁵²Cf-derived fission fragment tracks: A model and experimental observations, Nuclear Tracks and Radiation Measurements, vol.18, pp.301-307, 1991.
- Evans, N.J., Byrne, J.P., Keegan, J.T. and Dotter, L.E., Determination of uranium and thorium in zircon, apatite, and fluorite: Application to laser (U-Th)/He thermochronology, Journal of Analytical Chemistry, vol.60, pp.1159-1165, dio:10.1007/s10809-005-0260-1, 2005.
- Farley, K.A., Wolf, R.A. and Silver, L.T., The effects of long alpha-stopping distances on (U-Th)/He ages, Geochimica et Cosmochimica Acta, vol.60, pp.4223-4229, dio:10.1016/S0016-7037(96)00193-7, 1996.
- Farley, K.A., Helium diffusion from apatite: general behavior as illustrated by Durango fluorapatite, Journal of Geophysical Research, vol.105, pp.2903-2914, dio:10.1029/1999JB900348, 2000.
- Ferguson, R.I., Emergence of abrupt gravel to sand transitions along rivers through sorting processes, Geology, vol.31, pp.159-162, dio:10.1130/0091-7613(2003)031<0159:EOAGTS>2.0.CO;2, 2003.
- Fleischer, R.L., Price, P.B. and Walker, R.M., Effects of temperature, pressure and ionization of the formation and stability of fission tracks in minerals and glasses, Journal of Geophysical Reseach, vol.70, pp.1497-1502, dio:10.1029/JZ070i006p01497, 1965.
- Flowers, R.M., Ketcham, R.A., Shuster, D.L. and Farley, K.A., Apatite (U–Th)/He thermochronology using a radiation damage accumulation and annealing model, Geochimica et Cosmochimica Acta, vol.73, pp.2347-2365, dio:10.1016/j.gca.2009.01.015, 2009.
- Folk, R.L., Petrography and origin of the Silurian Rochester and McKenzie Shales, Morgan County, West Virginia, Journal of Sedimentary Petrology, vol.32, pp.539-578, dio:10.1306/74D70D17-2B21-11D7-8648000102C1865D, 1962.
- 藤原 治, 三箇智二, 大森博雄, 日本列島における侵食速度の分布, サイクル機構技報, vol.5, pp.85-93, 1999.
- Fukuchi, R., Fujimoto, K., Kameda, J., Hamahashi, M., Yamaguchi, A., Kimura, G., Hamada, Y., Hashimoto, Y., Kitamura, Y. and Saito, S., Changes in illite crystallinity within an ancient tectonic boundary thrust caused by thermal, mechanical, and hydrothermal effects: an example from the Nobeoka Thrust, southwest Japan, Earth, Planets and Space, vol.66, 12p, dio:10.1186/1880-5981-66-116, 2014.
- Fukuda, S., Sueoka, S., Hasebe, N., Tamura, A., Arai, S. and Tagami, T., Thermal history analysis of granitic rocks in an arc-trench system based on apatite fission-track thermochronology: A case study of the Northeast Japan Arc, Journal of Asian Earth Sciences: X, vol.1, 100005, https://doi.org/10.1016/j.jaesx.2019.100005, 2019.

- Fukuda, S., Sueoka, S., Kohn, B.P. and Tagami, T., (U–Th)/He thermochronometric mapping across the northeast Japan Arc: towards understanding mountain building in an island-arc setting, Earth, Planets and Space, in press.
- Gautheron, C., Barbarand, J., Ketcham, R.A., Tassan-Got, L., van der Beek, P., Pagel, M., Pinna-Jamme, R., Couffignal, F. and Fialin, M., Chemical influence on α-recoil damage annealing in apatite: Implications for (U-Th)/He dating, Chemical Geology, vol.351, pp.257-267, dio: 10.1016/j.chemgeo.2013.05.027, 2013.
- Gilbert, G.K., Report on the geology of the Henry Mountains, Government Printing Office, 160p, dio: 10.3133/70039916, 1877.
- Gleadow, A.J.W., Duddy, I.R., Green, P.F. and Lovering, J.F., Confined fission track lengths in apatite: A diagnostic tool for thermal history analysis, Contributions to Mineralogy and Petrology, vol.94, pp.405-415, dio:10.1007/BF00376334, 1986.
- 後藤 篤,日本列島の隆起準平原の平坦化の時期―フィッション・トラック年代学からのアプロー チー,科研費成果報告書,課題番号 10440144,2001.
- Green, P.F., Duddy, I.R., Gleadow, A.J.W., Tingate, P.R. and Laslett, G.M., Fission-track annealing in apatite: Track length measurements and the form of the Arrhenius plot, Nuclear Tracks, vol.10, pp.323-328, dio: 0.1016/0735-245X(85)90121-8, 1985.
- Green, P.F., Duddy, I.R. and Laslett, G.M., Can fission track annealing in apatite be described by first-order kinetics? Earth and Planetary Science Letters, vol.87, pp.216-228, dio:10.1016/0012-821X(88)90076-3, 1988.
- Guenthner, W.R., Reners, P.W., Ketcham, R.A., Nasdala, L. and Giester, G., Helium diffusion in natural zircon: Radiation damage, anisotropy, and the interpretation of zircon (U-Th)/He thermochronology, American Journal of Science, vol.313, pp.145-198, dio:10.2475/03.2013.01, 2013.
- Han, J., Gasparini, N.M., Johnson, J.P.L. and Murphy, B.P., Modeling the influence of rainfall gradients on discharge, bedrock erodibility, and river profile evolution, with application to the Big Island, Hawai'i, Journal of Geophysical Research: Earth Surface, vol.119, pp.1418-1440, dio:10.1002/2013JF002961, 2014.
- Hancock, G.S., Small, E.E. and Wobus, C., Modeling the effects of weathering on bedrock floored channel geometry, Journal of Geophysical Research Earth Surface, vol.116, F03018, doi:10.1029/2010JF001908, 2011.
- 原山 智, 高橋正明, 宿輪隆太, 板谷徹丸, 八木公史, 黒部川沿いの高温泉と第四紀黒部川花崗岩, 地質学雑誌, vol,116, pp.63-81, 2010.
- Hasebe, N., Tagami, T. and Nishimura, S., Towards zircon fission-track thermochronology: Reference framework for confined track length measurements, Chemical Geology (Isotope Geoscience Section), vol.112, pp.169-178, dio:10.1016/0009-2541(94)90112-0, 1994.
- Hasebe, N., Tamura, A. and Arai, S., Zeta equivalent fission-track dating using LA-ICP-MS and examples with simultaneous U-Pb dating, Island Arc, vol.22, pp.280-291, dio:10.1111/iar.12040, 2013
- 早川裕一, 松倉公憲, 房総半島における滝の後退速度について, 日本地形学連合 2002 年度春季研 究発表会, P13, p.465, 2002.
- Heinrichs, H. and Herrmann, A.G., Praktikum der Analytischen Geochemie, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 669p, 1990.

- Hess, J.C. and Lippolt, H.J., Compilation of K-Ar measurements on HD-B1 standard biotite, In: Odin G.S., (editor), Phanerozoic time scale, Bulletin de liaison et d'information, IUGS subcommision On Geochronology, vol.12, Paris, pp.19-23, 1994.
- Hollister, L.S., Grissom, G.C., Peters, E.K., Stowell, H. and Sisson, V.B., Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons, American Mineralogist, vol.72, pp.231-239, 1987.
- Howard, A.D., Thresholds in river regimes, Thresholds in Geomorphology, vol.227, pp.227-258, 1980.
- Howard, A.D. and Kerby, G., Channel changes in badlands, Geological Society of America Bulletin, vol.94, pp.739-752, dio:10.1130/0016-7606(1983)94<739:CCIB>2.0.CO;2, 1983.
- Howard, A.D., Dietrich, W.E. and Seidl, M.A., Modeling fluvial erosion on regional to continental scales, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, vol.99, pp.13971-13986, doi:10.1029/94JB00744, 1994.
- Ito, H., Yamada, R., Tamura, A., Arai, S., Horie, K. and Hokada, T., Earth's youngest exposed granite and its tectonic implications: the 10–0.8 Ma Kurobegawa Granite, Scientific Reports, vol.3, 1306, pp.1-5, dio:10.1038/srep01306, 2013.
- Jansen, J.D., Fabel, D., Bishop, P., Xu, S., Schnabel, C., and Codilean, A.T., Does decreasing paraglacial sediment supply slow knickpoint retreat?, Geology, vol.39, pp.543-546, dio: 10.1130/G32018.1, 2011.
- Johnson, J.P. and Whipple, K.X., Evaluating the controls of shear stress, sediment supply, alluvial cover, and channel morphology on experimental bedrock incision rate, Journal of Geophysical Research: Earth Surface, vol.115, F02018, doi.org/10.1029/2009JF001335, 2010.
- Ketcham, R.A., Forward and inverse modeling of low-temperature thermochronometry data, Reviews in Mineralogy & Geochemistry, vol.58, pp.275-314, dio:10.2138/rmg.2005.58.11, 2005.
- Ketcham, R.A., Donelick, R.A. and Carlson, W.D., Variability of apatite fission-track annealing kinetics: III. Extrapolation to geological time scales, American Mineralogist, vol.84, pp.1235-1255, dio:10.2138/am-1999-0903, 1999.
- King, G.E., Tsukamoto, S., Herman, F., Biswas, R.H., Sueoka, S. and Tagami, T., Electron spin resonance (ESR) thermochronometry of the Hida range of the Japanese Alps: validation and future potential, Geochronology, vol.2, pp.1-15, 2020.
- Lague, D., The stream power river incision model: evidence, theory and beyond, Earth Surface Processes and Landforms, vol.39, pp.38-61, dio:10.1002/esp.3462, 2014.
- Lamb, M.P. and Venditti, J.V., The grain size gap and abrupt gravel-sand transitions in rivers due to suspension fallout. Geophysical Research Letters, vol.43, doi:10.1002/2016GL068713, 2016.
- Laslett, G.M., Green, P.F., Duddy, I.R. and Gleadow, A.J.W., Thermal annealing of fission tracks in apatite; 2. A quantitative analysis, Chemical Geology (Isotope Geoscience Section), vol.65, pp.1-13, dio:10.1016/0168-9622(87)90057-1, 1987.
- Mahara, Y., Hohjo, K., Kubota, T., Ohta, T., Mizuochi, Y., Tashiro, T., Sekimoto, S., Takamiya, K., Shibata, S. and Tanaka, K., Vertical distribution of ¹⁰Be, ²⁶Al, and ³⁶Cl in the surface soil layer of weathered granite at Abukuma, Japan, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, vol.268, pp.1197-1200, dio:10.1016/j.nimb.2009.10.132, 2010.

- McDougall, I. and Harrison, T.M., Geochronology and Thermochronology by the ⁴⁰Ar/³⁹Ar Method, 2nd ed., Oxford University Press, Oxford, 269p, 1999.
- Matsushi, Y., Sasa, K., Takahashi, T., Sueki, K., Nagashima, Y. and Matsukura, Y., Denudation rates of carbonate pinnacles in Japanese karst areas: Estimates from cosmogenic ³⁶Cl in calcite, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, vol.268, pp.1205-1208, dio:10.1016/j.nimb.2009.10.134, 2010.
- 松四雄騎, 松崎浩之, 牧野久識, 宇宙線生成核種による流域削剥速度の決定と地形方程式の検証, 地形, vol.35, pp.165-185, 2014.
- Montgomery, D.R., Abbe, T.B., Buffington, J.M., Peterson, N.P., Schmidt, K.M. and Stock, J.D., Distribution of bedrock and alluvial channels in forested mountain drainage basins, Nature, vol.381, pp.587-589, dio:10.1038/381587a0, 1996.
- Murakami, M. and Tagami, T., Dating pseudotachylyte of the Nojima fault using the zircon fission-track method, Geophysical Research Letters, vol.31, doi:10.1029/2004GL020211, 2004.
- Murakami, M., Yamada, R. and Tagami, T., Short-term annealing characteristics of spontaneous fission tracks in zircon: a qualitative description, Chemical Geology, vol.227, pp.214-222, dio: 10.1016/j.chemgeo.2005.10.002, 2006.
- Mutch, E.J.F., Blundy, J.D., Tattitch, B.C., Cooper, F.J. and Brooker, R.A., An experimental study of amphibole stability in low-pressure granitic magmas and a revised Al-inhornblende geobarometer, Contributions to Mineralogy and Petrology, vol.171, doi: 10.1007/s00410-016-1298-9, 2016.
- Nakamura A., Yokoyama Y., Shiroya K., Miyairi Y. and Matsuzaki H., Direct comparison of site-specific and basin-scale denudation rate estimation by in situ cosmogenic nuclides: an example from the Abukuma Mountains, Japan, Progress in Earth and Planetary Science, vol.1, doi:10.1186/2197-4284-1-9, 2014.
- Nishiizumi, K., Imamura, M., Caffee, M.W., Southon, J.R., Finkel, R.C. and McAninch, J., Absolute calibration of ¹⁰Be AMS standards, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B, vol.258, pp.403-413, dio^{:10.1016/j.nimb.2007.01.297, 2007.}
- Niwa, M., Shimada, K., Tamura, H., Shibata, K., Sueoka, S., Yasue, K., Ishimaru, T. and Umeda, K., Thermal constraints on clay growth in fault gouge and their relationship with fault-zone evolution and hydrothermal alteration: Case study of gouges in the Kojaku Granite, Central Japan, Clays and Clay Minerals, vol.64, pp.86-107, dio: 10.1346/CCMN.2016.0640202, 2016.
- Ohtani, T., Shigematsu, N., Fujimoto, K., Tomita, T. and Iwano, H., Geochronological constraint on the brittle-plastic deformation along the Hatagawa Fault Zone, NE Japan, Earth, Planets and Space, vol.56, pp.1201-1207, dio:10.1186/BF03353341, 2004.
- 太田陽子,小池一之,鎮西清高,野上道男,町田 洋,松田時彦編,日本列島の地形学,東京大学出版会,204p,2010.
- 大上隆史, 三陸海岸北部における遷急点を伴う河床縦断形の中期更新世以降の変化, 第四紀研究, vol.54, pp.113-128, 2015.
- Reiners, P.W., Spell, T.L., Nicolescu, S. and Zanetti, A., Zircon (U-Th)/He thermochronometry: He diffusion and comparisons with ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating, Geochimica et Cosmochimica Acta, vol.68, pp.1857-1887, dio:10.1016/j.gca.2003.10.021, 2004.

- Reiners, P.W., Nonmonotonic thermal histories and contrasting kinetics of multiple thermochronometers, Geochimica et Cosmochimica Acta, vol.73, pp.3612-3629, doi: 10.1016/j.gca.2009.03.038, 2009.
- Roberts, G.G. and White, N., Estimating uplift rate histories from river profiles using African examples, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, vol.115, B02406, doi: 10.1029/2009JB006692, 2010.
- Roberts, G.G., Paul, J.D., White, N. and Winterbourne, J., Temporal and spatial evolution of dynamic support from river profiles: A framework for Madagascar, Geochemistry, Geophysics, Geosystems, vol.13, doi: 10.1029/2012GC004040, 2012.
- Roedder, E., Fluid Inclusions, Mineralogical Society of America, 644p, 1984.
- Rudge, J.F., Roberts, G.G., White, N.J. and Richardson, C.N., Uplift histories of Africa and Australia from linear inverse modeling of drainage inventories, Journal of Geophysical Research: Earth Surface, vol.120, 894-914, dio:10.1002/2014JF003297, 2015.
- 佐脇貴幸, 流体包有物一その基礎と最近の研究動向一, 岩石鉱物科学, vol.32, pp.23-41, 2003.
- Schmidt, M.W., Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer, Contributions to Mineralogy and Petrology, vol.110, pp.304-310, 1992.
- Schmidt, J.S., Lelarge, M.L.M.V., Conceicao, R.V. and Balzaretti, N.M., Experimental evidence regarding the pressure dependence of fission track annealing in apatite, Earth and Planetary Science Letters, vol.390, pp.1-7, dio:10.1016/j.epsl.2013.12.041, 2014.
- Seidl, M.A. and Dietrich, W.E., The problem of channel erosion into bedrock, Functional Geomorphology, vol.23, pp.101-124, 2013.
- Selby, M.J., A rock mass strength classification for geomorphic purposes: with tests from Antarctica and New Zealand, Zeitschrift für Geomorphologie Stuttgart, vol.24, pp.31-51, 1980.
- Shiroya, K., Yokoyama, Y. and Matsuzaki, H., Quantitative determination of long-term erosion rates of weathered granitic soil surfaces in western Abukuma, Japan using cosmogenic ¹⁰Be and ²⁶Al depth profile, Geochemical Journal, vol.44, pp.e23-e27, 2010.
- Shuster, D.L., Flowers, R.M. and Farley, K.A., The influence of natural radiation damage on helium diffusion kinetics in apatite, Earth and Planetary Science Letters, vol.249, pp.148-161, dio: 10.1016/j.epsl.2006.07.028, 2006.
- Sklar, L.S. and Dietrich, W.E., River longitudinal profiles and bedrock incision models: Stream power and the influence of sediment supply, Rivers Over Rock: Fluvial Processes in Bedrock Channels, vol.107, pp.237-260, doi:10.1029/GM107p0237, 1998.
- Sklar, L.S. and Dietrich, W.E., Sediment and rock strength controls on river incision into bedrock, Geology, vol.29, pp.1087-1090, 2001.
- Sklar, L.S. and Dietrich, W.E., A mechanistic model for river incision into bedrock by saltating bed load, Water Resources Research, vol.40, W06301, dio:10.1029/2003WR002496, 2004.
- Small, E.E., Blom, T., Hancock, G.S., Hynek, B.M. and Wobus, C.W., Variability of rock erodibility in bedrock-floored stream channels based on abrasion mill experiments, Journal of Geophysical Research: Earth Surface, vol.120, pp.1455-1469, doi: 10.1002/2015JF003506, 2015.
- Steiger, R.H. and Jäger, E., Subcommission on Geochronology: convention on the use of decay

constants in geo-and cosmochronology, Earth and Planetary Science Letters, vol.36, pp.359-362, dio:10.1016/0012-821X(77)90060-7, 1977.

- Stone, J.O., Air pressure and cosmogenic isotope production, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, vol.105, pp.23753-23759, dio^{:10.1029/2000}JB900181, 2000.
- 末岡茂,田上高広,堤浩之,長谷部徳子,田村明弘,荒井章司,山田隆二,松田達生,小村健太郎, フィッション・トラック熱年代に基づいた六甲地域の冷却・削剥史,地学雑誌,vol.119, pp.84-101, 2010.
- Sueoka, S., Tagami, T. and Kohn, B.P., First report of (U-Th)/He thermochronometric data across Northeast Japan Arc: implications for the long-term inelastic deformation, Earth, Planets and Space, vol.69, doi:10.1186/s40623-017-0661-z, 2017.
- Tagami, T., Uto, K., Matsuda, T., Hasebe, N. and Matsumoto, A., K-Ar biotite and fission-track zircon ages of the Nisatai Dacite, Iwate Prefecture, Japan: A candidate for Tertiary age standard, Geochemical Journal, vol.29, pp.207-211, dio:10.2343/geochemj.29.207, 1995.
- Tagami, T., Galbraith, R.F., Yamada, R. and Laslett, G.M., Revised annealing kinetics of fission tracks in zircon and geological implications, In: Van den Haute, P., De Corte, F. (editors), Advances in Fission-track Geochronology, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp.99-112, 1998.
- Tagami, T., Thermochronological investigation of fault zones, Tectonophysics, vol.538-540, pp.67-85, dio:10.1016/j.tecto.2012.01.032, 2012.
- Tagami, T. and Matsu'ura, S., Thermal annealing characteristics of fission tracks in natural zircons of different ages, Terra Nova, vol.31, pp.257-262, dio:10.1111/ter.12394, 2019.
- 高橋裕平,角閃石中のAl量一花崗岩類に有効な地質圧力計,地質調査所月報,vol.44, pp.597-608, 1993.
- 田中明子,山野 誠,矢野雄策,笹田政克,日本列島及びその周辺域の地温勾配及び地殻熱流量デ ータベース,数値地質図 DGM P-5,産業技術総合研究所 地質調査総合センター,2004.
- Valla, P.G., van der Beek, P.A. and Lague, D., Fluvial incision into bedrock: Insights from morphometric analysis and numerical modeling of gorges incising glacial hanging valleys (Western Alps, France), Journal of Geophysical Research: Earth Surface, vol.115, F02010, doi:10.1029/2008JF001079, 2010.
- Wendt, A.S., Vidal, O. and Chadderton, L.T., Experimental evidence for the pressure dependence of fission track annealing in apatite, Earth and Planetary Science Letters, vol.201, pp.593-607, 2002.
- Whipple, K.X., Bedrock rivers and the geomorphology of active orogens, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, vol.32, pp.151-185, 2004.
- Whittaker, A.C. and Boulton, S.J., Tectonic and climatic controls on knickpoint retreat rates and landscape response times, Journal of Geophysical Research: Earth Surface, vol.117, F02024, doi:10.1029/2011JF002157, 2012.
- Wiberg, P.L. and Smith, J.D., A theoretical model for saltating grains in water, Journal of Geophysical Research: Oceans, vol.90, pp.7341-7354, dio:10.1029/JC090iC04p07341, 1985.
- Wohl, E. and David, G.C., Consistency of scaling relations among bedrock and alluvial channels, Journal of Geophysical Research: Earth Surface, vol.113, F04013, doi:10.1029/2008JF000989, 2008.
- Wohl, E.E. and Ikeda, H., Patterns of bedrock channel erosion on the Boso Peninsula, Japan,

The Journal of Geology, vol.106, pp.331-346, dio:10.1086/516026, 1998.

- Wohl, E.E. and Merritt, D.M., Bedrock channel morphology, Geological Society of America Bulletin, vol.113, pp.1205-1212, dio:10.1130/0016-7606(2001)113<1205:BCM>2.0.CO, 2001.
- Wohl, E.E., Thompson, D.M., and Miller, A.J., Canyons with undulating walls, Geological Society of America Bulletin, vol.111, pp.949-959, 1999.
- Yamada, R., Fission track thermochronology: Thermal characteristics of fission tracks in zircon, and cooling history analysis of the granitic bodies around the northern Alps, central Japan, Doctoral Dissertation of Kyoto University, 128p, doi: 10.11501/3123276, 1996.
- Yamada, R., Tagami, T. and Nishimura, S., Confined fission-track length measurement of zircon: Assessment of factors affecting the paleotemperature estimate, Chemical Geology, vol.119, pp.293-306, dio:10.1016/0009-2541(94)00108-K, 1995a.
- Yamada, R., Tagami, T., Nishimura, S. and Ito, H., Annealing kinetics of fission tracks in zircon: an experimental study, Chemical Geology, vol.122, pp.249-258, dio: 10.1016/0009-2541(95)00006-8, 1995b.
- Yamada, K., Tagami, T. and Shimobayashi, N., Experimental study on hydrothermal annealing of fission tracks in zircon, Chemical Geology, vol.201, pp.351-357, dio: 0.1016/j.chemgeo.2003.08.009, 2003.
- Yamada, K., Hanamuro, T., Tagami, T., Shimada, K., Takagi, H., Yamada, R. and Umeda, K., The first (U-Th)/He thermochronology of pseudotachylyte from the Median Tectonic Line, southwest Japan, Journal of Asian Earth Sciences, vol.45, pp.17-23, dio:10.1016/j.jseaes.2011.08.009, 2012.
- Yamasaki, S., Zwingmann, H., Yamada, K., Tagami, T. and Umeda, K., Constraining the timing of brittle deformation and faulting in the Toki granite, central Japan, Chemical Geology, vol.351, pp.168-174, dio:10.1016/j.chemgeo.2013.05.005, 2013.
- Zwingmann, H., Den Hartog, S.A.M. and Todd, A., The effect of sub-seismic fault slip processes on the isotopic signature of clay minerals – Implications for K-Ar dating of fault zones, Chemical Geology, vol.514, pp.112-121, dio:10.1016/j.chemgeo.2019.03.034, 2019.
- Zwingmann, H. and Mancktelow, N., Timing of Alpine fault gouges, Earth and Planetary Science Letters, vol.223, pp.415-425, dio:10.1016/j.epsl.2004.04.041, 2004.
- Zwingmann, H., Yamada, K. and Tagami, T., Timing of brittle deformation within the Nojima fault zone, Japan, Chemical Geology, vol.275, pp.176-185, 2010.

岩石・年代学的手法を用いた自然現象の影響評価手法の 高度化に関する共同研究

平成 31 年度共同研究報告書

令和2年1月

国立大学法人山形大学

国立大学法人東京大学地震研究所

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター 地層科学研究部 ネオテクトニクス研究グループ

目 次

1.	概要	5
	1.1 共同研究件名	5
	1.2 研究目的	5
	1.3 実施期間	5
2.	研究内容	6
	2.1 研究概要	6
	2.2 共同研究内容	6
3.	研究手法	7
	3.1 U-Pb 年代測定・チタン濃度の同時定量技術の開発	7
	3.2 ジルコン内での分析地点の選定	7
	3.3 試料選定	8
	3.4 黒雲母 K-Ar 年代を用いた比較検討	
4.	研究成果	
	4.1 U-Pb 年代測定・チタン濃度の同時定量技術の開発	
	4.2 ジルコン内での内部構造に基づく分析地点の選定	16
	4.2.1 黒部川花崗岩体のジルコン	
	4.2.2 大崩山花崗岩体のジルコン	
	4.2.3 土岐花崗岩体のジルコン	
	4.2.4 遠野複合深成岩体のジルコン	
	4.3 ジルコンの U-Pb 年代とチタン濃度から結晶化年代・温度の導出	23
	4.3.1 黒部川花崗岩体のジルコン	
	4.3.2 大崩山花崗岩体のジルコン	
	4.3.3 土岐花崗岩体のジルコン	
	4.3.4 遠野複合深成岩体のジルコン	
	4.4 得られたジルコン結晶化年代と黒雲母 K-Ar 年代の関連	
	4.5 ジルコンの物理化学条件に基づく隆起史・侵食史の初期条件の制約	51
5.	まとめ	

図目次

义	3.1.1 土岐花崗岩体中のジルコンの CL 像 (Yuguchi et al., 2016 ³⁾)	. 7
义	3.2.1 内部構造に基づき決定された U-Pb 年代とチタン濃度のペア	. 8
义	3.3.1 黒部川花崗岩の優白質岩と優黒質岩の産状を示す写真	. 8
义	3.3.2 対象試料の温度時間履歴(t-T path)	10
义	4.2.1 黒部川花崗岩体(優白質岩)のジルコンの分析点	17
义	4.2.2 大崩山花崗岩体(黒雲母花崗岩)のジルコンの分析点	18
义	4.2.3 大崩山花崗岩体(ホルンブレンド黒雲母花崗岩)のジルコンの分析点	19
义	4.2.4 大崩山花崗岩体(ホルンブレンド黒雲母花崗閃緑岩)のジルコンの分析点	20
义	4.2.5 土岐花崗岩体 (DH6-2、DH9-10、DH13-2) のジルコンの分析点	21
义	4.2.6 遠野複合深成岩体のジルコンの分析点	22
义	4.3.1 黒部川花崗岩体のジルコンの U-Pb 年代とチタン濃度	25
义	4.3.2 黒部川花崗岩体のジルコン U-Pb 年代と結晶化年代のプロット	26
义	4.3.3 黒部川花崗岩体の①低輝度で均質な領域(A)、②オシラトリーゾーニング領域(B	;)
	から得られたデータの年代と温度の関係	27
义	4.3.4 黒部川花崗岩体のジルコン U-Pb 年代と結晶化年代のプロット	28
义	4.3.5 大崩山花崗岩体(黒雲母花崗岩)のジルコンの U-Pb 年代とチタン濃度	29
义	4.3.6 大崩山花崗岩体(ホルンブレンド黒雲母花崗岩)のジルコンの U-Pb 年代とチタ	7
	ン濃度	30
义	4.3.7 大崩山花崗岩体(ホルンブレンド黒雲母花崗閃緑岩)のジルコンの U-Pb 年代と	-
	チタン濃度	31
义	4.3.8 大崩山花崗岩体のジルコン U-Pb 年代と結晶化年代のプロット	32
义	4.3.9 大崩山花崗岩体の①低輝度で均質な領域(A)、②オシラトリーゾーニング領域(B	;)
	から得られたデータの年代と温度の関係	33
义	4.3.10 大崩山花崗岩体のジルコン U-Pb 年代と結晶化年代のプロット	34
义	4.3.11 土岐花崗岩体 (DH6-2、DH9-10、DH13-2) のジルコンの U-Pb 年代とチタン	/
	濃度	35
义	4.3.12 土岐花崗岩体のジルコン U-Pb 年代と結晶化年代のプロット	36
义	4.3.13 土岐花崗岩体 (DH6-2、DH9-10、DH13-2) の①低輝度で均質な領域(A)、②	オ
	シラトリーゾーニング領域(B)から得られたデータの年代と温度の関係	37
义	4.3.14 土岐花崗岩体のジルコン U-Pb 年代と結晶化年代のプロット	38
义	4.3.15 遠野複合深成岩体のジルコンの U-Pb 年代とチタン濃度	39
义	4.3.16 遠野複合深成岩体のジルコン U-Pb 年代と結晶化年代のプロット	40
义	4.3.17 遠野複合深成岩体の①低輝度で均質な領域(A)、	41
义	4.3.18 遠野複合深成岩体のジルコン U-Pb 年代と結晶化年代のプロット	42
义	4.4.1 黒部川花崗岩体(優白質岩)のジルコン U-Pb 年代・結晶化年代と黒雲母 K-Ar	•
	年代・その閉鎖温度のプロット	19
义	4.4.2 大崩山花崗岩体の3岩相(黒雲母花崗岩、ホルンブレンド黒雲母花崗岩、ホル、	ン
	ブレンド黒雲母花崗閃緑岩)ごとのジルコン U-Pb 年代・結晶化年代と黒雲母 K-Ar 4	F
	代・その閉鎖温度のプロット	50
义	4.4.3 遠野複合深成岩体(中心部相、主岩相、周辺部相)のジルコン U-Pb 年代・結晶	日
	化年代と黒雲母 K-Ar 年代・その閉鎖温度のプロット	50

表 目 次

表	3.3 - 1	本共同研究で対象とする岩石試料	. 9
表	3.3-2	本共同研究で対象とする岩石試料(Yuguchi et al., 2019 ²⁾)	10
表	3.4-1	本共同研究で活用する試料の黒雲母 K-Ar 年代リスト	11
表	4.1-1	学習院大学での分析条件	14
表	4.1-2	東濃地科学センターでの分析条件	15
表	4.3 - 1	黒部川花崗岩体のジルコン U-Pb 年代データ及びチタン濃度	43
表	4.3-2	大崩山花崗岩体のジルコン U-Pb 年代データ及びチタン濃度	44
表	4.3 - 3	土岐花崗岩体のジルコン U-Pb 年代データ及びチタン濃度	46
表	4.3-4	遠野複合深成岩のジルコン U-Pb 年代データ及びチタン濃度	47
表	4.4-1	本共同研究で活用する試料の黒雲母 K-Ar 年代	49

1. 概要

1.1 共同研究件名

「岩石・年代学的手法を用いた自然現象の影響評価手法の高度化に関する研究」

1.2 研究目的

わが国においては、従来から、高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全評価において重要とな る、放射性核種が地下水を介して生物圏へ移行するという「地下水シナリオ」に係る評価の信頼 性向上に資するための要素技術開発が進められている。平成 30 年 3 月に公開された「地層処分 研究開発に関する全体計画(平成 30 年度~平成 34 年度)」では、地層処分に適した地質環境の 選定及びモデル化において自然現象の影響を把握することの重要性が示されるとともに、火山・ 火成活動、深部流体、地震・断層活動、隆起・侵食に関する調査・評価技術の高度化に関する研 究開発課題が整理されている。

日本原子力研究開発機構(以下、「原子力機構」という)では、経済産業省資源エネルギー庁か ら受託した「平成 31 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業(地質環境 長期安定性評価技術高度化開発)」において、これらの自然現象の影響に関連して示された研究課 題に対して、地質学、地形学、地震学、地球年代学といった各学術分野における最新の研究を踏 まえた技術の適用による事例研究を通じて、課題の解決に必要な知見の蓄積や調査・評価技術の 高度化を総合的に進めている。このうち隆起・侵食については、隆起量・侵食量の評価に反映す るための、熱年代学的手法などを用いた隆起・侵食評価手法の整備が、技術開発課題として提示 されている。

国立大学法人山形大学(以下、「山形大学」という)と東京大学地震研究所(以下、「東大地震 研」という)及び原子力機構が実施する本共同研究では、岩石学、地球年代学などの手法を融合 的に用いることで、隆起量・侵食量の評価方法の整備に関する課題の検討を行う。深成岩体を伴 う地域の隆起量・侵食量の評価には地球年代学の中でも熱年代学的な手法が有用である。また鉱 物の組織的特徴や化学組成は、鉱物生成時の環境や温度条件を把握するための手がかりとなる。 これらの岩石学的手法と熱年代学的な手法の融合は、マグマの貫入・定置に関する情報などの、 熱年代学のみでは得られない、隆起史・侵食史の解明に資する地質情報の取得が期待できる。こ れらの手法を通じて隆起量・侵食量評価に寄与する自然現象の影響評価手法の整備及び高度化を 試みる。

山形大学は、岩石学や熱年代学などの分野で多くの研究実績を有している。東大地震研は、火 山学・岩石学への知見を有し、特に100万年よりも若い時代の火成活動評価について、年代学的 アプローチを実施できる知識と分析装置を有する。また、微量元素分析についても実績を有する。 また、原子力機構は、これらの分野における各種分析に必要な最新の装置を数多く有しており、 国内でも有数の分析環境を備えている。そのため、本共同研究を行うことにより、上記のような 課題に対して総合的かつ効果的に進めることができる。

なお、本共同研究は、原子力機構が経済産業省資源エネルギー庁から受託した「平成31年度高 レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業(地質環境長期安定性評価技術高度化開 発)」の一環として行うものである。

1.3 実施期間

令和元年8月1日~令和2年1月31日

2. 研究内容

2.1 研究概要

平成 31 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する研究開発事業(地質環境長期安定性 評価技術高度化開発)においては、研究開発課題の一項目として「隆起・侵食の調査・評価技術 の高度化」が実施されている。これは、地形学的手法や年代測定などを用いた過去百万年~数十 万年前以前からの隆起・侵食を把握するための技術の拡充を目指すものである。この背景の中で、 本共同研究では、岩石学、地球年代学などの手法を融合的に用いることで、隆起量・侵食量の評 価方法の整備に関する課題の検討を実施する。

深成岩体を伴う地域の隆起量・侵食量の評価には地球年代学的(熱年代学的)な手法が有用で ある(例えば、末岡ほか,2015¹); Yuguchi et al., 2019²)。また鉱物の組織的特徴や化学組成は、 鉱物生成時の温度条件や環境を把握するための手がかりとなる(Yuguchi et al., 2019²)。これら のことから、岩石学的手法と地球年代学的な手法の融合は、マグマの貫入・定置に関する情報な どの、熱年代学のみでは得られない、隆起史・侵食史の解明に資する地質情報の取得が可能とな る。これらの手法の構築を通じて隆起量・侵食量評価に寄与する自然現象の影響評価手法の高度 化に向けた整備を実施する。

2.2 共同研究内容

令和元年度の本共同研究では、ジルコンの U-Pb 年代に基づく結晶化年代、及びカソードルミ ネッセンス観察に基づく成長様式の解明を通じて、ジルコン成長の物理化学条件の決定手法の構 築を行う。また、ジルコンの結晶化温度を推定するためにチタン温度計を適用する。平成 30 年度 に山形大学と実施した共同研究「岩石・年代学的手法を用いた自然現象の影響評価手法の高度化 に関する研究」では、チタン濃度の定量性に課題が残った。本共同研究では、分析における干渉 元素(同位体)を低減するなど分析法の最適化を図り、LA-ICP 質量分析装置を用いたチタンの 定量分析を試みる。また、より若い年代値(~1 Ma)を示すことが予測される花崗岩帯の試料を はじめ、複数の岩体の対象試料として加える。

(1) 計画立案·情報整理

本年度の研究計画を立案するとともに、既往情報を整理し、本年度分析を行う試料の選定基準や数量を決定する。

(2) 試料選定

(1)で決定した選定基準をもとに分析対象とする鉱物試料を選定する。

(3) 鉱物試料の分析及び結果の解釈

(2)で選定した鉱物に対して前処理を行った後、組織的特徴を観察、化学組成の取得、地球年 代学的データの取得を実施する。これらの結果に基づき、得られた地質情報の解釈を行い、自然 現象の影響評価手法の高度化に向けた検討を行う。

(4) 取りまとめ

上記(1)~(3)における実施・検討内容を取りまとめた報告書を作成する。

3. 研究手法

3.1 U-Pb 年代測定・チタン濃度の同時定量技術の開発

Yuguchi et al., (2016)³⁰では、土岐花崗岩体のジルコンに対して内部構造を考慮しつつ、U-Pb 年代測定による結晶化年代の決定及びチタン濃度分析に基づく結晶化年代の決定を行った。しか しU-Pb年代測定はLA-ICP-MS、チタン濃度の定量はEPMAを用いてデータの収集を行ったた め、それぞれの年代データ、温度データと成長構造を関連づけることは未解明の課題であった(図 3.1.1)。本共同研究では、U-Pb年代測定及びチタン濃度の同時定量分析技術の開発を実施する。 U-Pb年代測定及びチタン濃度の同時定量分析には、レーザーアブレーション ICP 質量分析法 (Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry: LA-ICP-MS)を用いた。



図 3.1.1 土岐花崗岩体中のジルコンの CL 像 (Yuguchi et al., 2016³⁾) ジルコン中のクレータが LA-ICP-MS による U-Pb 年代測定地点であり、 黒丸が EPMA による Ti 濃度定量分析地点である

3.2 ジルコン内での分析地点の選定

ジルコンの結晶化年代及び結晶化温度を導出する上で、ジルコンの内部構造の把握は重要な課題である。それは内部構造が成長構造を反映するためである。この成長構造の解明のために、電子顕微鏡によるカソードルミネッセンス像観察(SEM-CL)を実施した。カソードルミネッセンス(CL)とは、電子顕微鏡で電子線を鉱物に照射した際に発する光を像としたものである。鉱物中の微量元素や格子欠陥などにより、その発光量は変化する。CL像観察により、ジルコンの内部構造を可視化でき、成長様式を捉えることが出来る。SEM-CL像観察には山形大学理学部に設置されたSEM-CL装置(JEOLIT-100A+Gatan Mini CL)、原子力機構東濃地科学センター所有のEPMA(JEOLJXA-8530F)を使用した。SEM-CL像観察に基づき、本研究での分析点は、図 3.2.1 の分析地点概念図のように、U-Pb年代・チタン濃度同時定量地点を内部構造に基づき決定する。



図 3.2.1 内部構造に基づき決定された U-Pb 年代とチタン濃度のペア (Yuguchi et al., (2016)³⁾を加筆)

3.3 試料選定

令和元年度の共同研究においては、4 つの花崗岩体から採取したジルコンを研究対象とする。 試料とした岩体は、生成年代の異なる富山県の黒部川花崗岩体、宮崎県の大崩山花崗岩体、岐阜 県の土岐花崗岩体、及び岩手県の遠野複合深成岩体からなる。生成年代の異なる岩体のジルコン を用いることで、本共同研究にて提案する手法が、一般的に有用な手法であるかを評価可能とな る。以下にそれぞれの岩体の特徴を記す。

黒部川花崗岩体は、富山県(糸魚川-静岡構造線の西方)に位置する深成岩体である。黒部川 花崗岩体は 0.8-10Ma のジルコン U-Pb 年代を有し、世界の露出する花崗岩の中で最も若い年代 を有するとされる(Ito et al., 2013⁴)。そのなかでも、本研究では Ito et al., (2013)⁴において、 最も若い 0.8Ma の年代値を有する領域から試料を採取した。ジルコン U-Pb 年代に伴う誤差は相 対誤差であるため、若い年代に付属するエラーバーは小さくなる。このため、ジルコン内部の変 化を評価する上で、黒部川花崗岩体は最適な試料と言える。また、0.8Ma の年代値を有する地域 である祖母谷温泉周辺では、優白質岩と優黒質岩が狭い領域で混在する(図 3.3.1)。本研究では、 優白質岩を実験試料として採用した(表 3.3-1)。



図 3.3.1 黒部川花崗岩の優白質岩と優黒質岩の産状を示す写真 ハンマーの長さは 39.5 cm

大崩山花崗岩体は,西南日本外帯に位置する14Maの深成岩体である。この14Maという年代 は黒雲母 K-Ar 年代,全岩 K-Ar 年代より決定されている(Shibata and Ishihara, 1979⁵)。大崩 山花崗岩体は大崩山火山-深成複合岩体の一部であり、垂直方向の組成累帯構造を持つ (Takahashi, 1986⁶)。天井部境界から標高が下がるにつれ、珪長質から苦鉄質に変化し、岩相 も黒雲母花崗岩、ホルンブレンド黒雲母花崗岩、ホルンブレンド黒雲母花崗閃緑岩へと推移する (Takahashi, 1986⁶)。大崩山花崗岩は、地殻の浅部に貫入したマグマ溜りが冷却固化した岩体 であり、鉛直方向の冷却様式がサブソリダス組織を通じて観察できる(Yuguchi and Nishiyama, 2007⁷)。このように、岩体の貫入、定置そして冷却を把握する上で、鉛直方向に変化する3岩相 に着目することが有効である。本研究では3岩相(黒雲母花崗岩、ホルンブレンド黒雲母花崗岩、 ホルンブレンド黒雲母花崗閃緑岩)から1試料ずつを選定した(表 3.3-1)。なお、大崩山花崗岩 体は今日までジルコン U-Pb 年代の報告がなく、本研究における年代値の報告は地質学的な貢献 としても重要である。

岩体名	試料数	サンプル名
黑部川 1 花崗岩体 1		優白質岩:009-2、006-2
	3	黒雲母花崗岩:052405
大崩山 花崗岩体		ホルンブレンド黒雲母花崗岩:091417
		ホルンブレンド黒雲母花崗閃緑岩:091418
十岵龙岗毕休	3	温度-時間履歴を有する試料
上 叹 化 両 石 件		DH6-2、DH9-10、DH13-2
	3 _	中心部相
速 野 復 合 深 成 岩 体		主岩相
		周辺部相

表 3.3-1 本共同研究で対象とする岩石試料

土岐花崗岩体は、岐阜県東濃地域に位置する深成岩体である。土岐花崗岩体は、美濃帯や濃飛 流紋岩に貫入したマグマ溜りが冷却固化したものであり、Yuguchi et al. (2016)³⁾や Yuguchi et al. (2019)²⁾において、おおよそ 70Ma のジルコン U-Pb 年代が報告されている。この花崗岩体中の 3 試料 (DH6-2、DH9-10、DH13-2)を研究対象とする(表 3.3-2)。これらの試料は Yuguchi et al. (2016)³⁾や Yuguchi et al. (2019)²⁾に用いられた試料であり、温度時間履歴(t-T path) に関する 情報が既に得られている(図 3.3.2)。また、平成 30 年度の共同研究「岩石・年代学的手法を用 いた自然現象の影響評価手法の高度化に関する研究」において用いた岩石試料と同様のものであ る。昨年度の共同研究では、ジルコンの結晶化温度を決定のために、LA-ICP-MS と EPMA を用 いてチタン濃度の定量分析条件の検討を行った。しかしながら、昨年度検討した分析条件では 100 ppm 以下のチタン定量分析は困難であった(平成 30 年度報告書引用⁸)。本年度は、LA-ICP-MS の新たな分析条件の検討を行い、土岐花崗岩体の試料に対して定量分析を行う。

G 1	Location and elevation				
Sample	X(northing)	Y(easting)	Depth	Altitude	
name			(mabh)* ¹	$(masl)^{*^2}$	
DH6-2	-66630.9	978.7	1010.8	-691.5	
DH9-10	-66857.4	5511.2	500.1	-224.7	
DH13-2	-65324.7	8625.8	530	-252.5	

表 3.3-2 本共同研究で対象とする岩石試料(Yuguchi et al., 2019²⁾)

*1 Depth from the ground surface: meters along borehole (mabh). *2 Altitude: meters above sea level (masl).



(左:DH6-2、中央:DH6-2、右:DH13-2)

遠野複合深成岩体は、北上山地の中央部に位置する深成岩体である。遠野複合深成岩体は3つの岩相を有している。その構成は、岩体の中心部の優白質な岩相(中心部相)、その周囲を取り囲む花崗閃緑岩・トーナル岩(主岩相),岩体西縁部に斑レイ岩(周辺部相)からなる累帯深成岩体である(御子柴・蟹沢,2008⁹)。主岩相でカリ長石 K-Ar 年代測定が行われており,109±3Maの年代が報告されている(内海ほか,1990¹⁰)。また中心部相の全岩 Rb-Sr 年代は 98±20Ma であり,主岩相と周辺部相の全岩 Rb-Sr 年代は114±13Maの報告がなされており(加々美,2005¹¹)、それぞれの岩相で貫入・定置様式が異なっていることが示唆される。御子柴・蟹沢(2008)⁹では生成プロセスとアダカイトとの関連も議論されており、それぞれの岩相でのジルコンの結晶化年代と結晶化温度の導出は、形成プロセスの解明にも有用な知見をもたらすことが可能である。本研究では3岩相のそれぞれから試料を選定した(表 3.3-1)。

3.4 黒雲母 K-Ar 年代を用いた比較検討

得られたジルコン U-Pb 年代及び結晶化温度に対して、その妥当性を検証するための比較対象 として、黒雲母 K-Ar 年代を用いる。黒雲母 K-Ar 年代の閉鎖温度は、300±50 °C (Dodson and McClelland-Brown, 1985¹²))であり、ジルコンの結晶化温度と比較して低温である。このた め、得られるジルコン U-Pb 年代は黒雲母 K-Ar 年代と同程度かそれよりも古い年代を有する。 この傾向を活用し、妥当性の検討に用いる。また、この検討はジルコン U-Pb 年代と黒雲母 K-Ar 年代の両方を取得することを意味し、各試料の温度-時間履歴(t-T path)を構築する有用なデ ータとなる。3 岩体(黒部川花崗岩体、大崩山花崗岩体、遠野複合岩体)の選定した試料に対し て実施した黒雲母 K-Ar 年代を活用する(表 3.4-1)。本年度の共同研究において4 試料の黒雲 母 K-Ar の年代測定を蒜山地質年代学研究所において実施した。残りの3 試料の年代値は山形大 学が所有する未公表データを用いる(表 3.4-1)。

岩体名	試料数	サンプル名	黒雲母K-Ar年代
黒部川 花崗岩体	1	優白質岩:009-2、006-2	本研究で実施
	」 体 3	黒雲母花崗岩:052405	山形大学所有未公表データ
		ホルンブレンド黒雲母	本研究で実施
大崩山 花崗岩体		花崗岩:091417	
		ホルンブレンド黒雲母	山形大学所有未公表データ
		花崗閃緑岩:091418	
	復合 3 — 岩体 3 —	中心部相	山形大学所有未公表データ
遠野複合 深成岩体		主岩相	本研究で実施
		周辺部相	本研究で実施

表 3.4-1 本共同研究で活用する試料の黒雲母 K-Ar 年代リスト

4. 研究成果

令和元年度に取得した研究成果を本章に記す。4.1 章で「ジルコンの U-Pb 年代測定・チタン濃度の同時定量技術の開発」を、4.2 章で「ジルコン内での内部構造に基づく分析地点の選定」を、4.3 章では「ジルコンの U-Pb 年代とチタン濃度から結晶化年代・温度の導出」に関する検討を、4.4 章において「得られたジルコン結晶化年代と黒雲母 K-Ar 年代の関連」、4.5 章では、「ジルコンの物理化学条件に基づく隆起史・侵食史の初期条件の制約」に関する検討を示す。

4.1 U-Pb 年代測定・チタン濃度の同時定量技術の開発

ジルコンの結晶化年代及びチタン温度計による結晶化温度の推定を行うため、LA-ICP-MS に よる U-Pb 同位体分析及びチタン濃度の定量分析を同時に実施する分析手法の開発を行った。 Yuguchi et al. (2016)³⁰ 及び平成 30 年度に実施した山形大学との共同研究「岩石・年代学的手法 を用いた自然現象の影響評価手法の高度化に関する研究」では、LA-ICP-MS により U-Pb 年代 測定を、EPMA を用いてチタン濃度の定量分析を実施した。2 つの分析手法では空間分解能が異 なり、EPMA でのチタン濃度の定量は(分析領域<10 µm)はLA-ICP-MS での U-Pb 同位体分 析(分析領域~20-30 µm)に比べ高い空間分解能で分析可能である。そのため、EPMA では累帯 構造の各レイヤーで定量分析を実施したが、実際の分析領域は厳密にはLA-ICP-MS での分析点 と異なるため、U-Pb 同位体分析から得られる結晶化年代とチタン濃度の定量から得られる結晶 化温度を直接関連付けることはできなかった。また、EPMA でのチタン濃度の定量下限は、およ そ 100 ppm 程度であることも判明しており、一般的な花崗岩に含まれるジルコン中のチタン濃 度(数 ppm-数+ ppm)を精確に定量することは困難である。そのため、本共同研究では、チタ ン定量において相対的に高感度である LA-ICP-MS を用いて同一分析領域から U-Pb 同位体比と チタン濃度情報の同時取得を試みた。

本分析手法において課題となるのが、数 ppm オーダーの低濃度チタンの定量である。 チタンに は、⁴⁶Ti (8.25%)、⁴⁷Ti (7.44%)、⁴⁸Ti (73.72%)、⁴⁹Ti (5.41%)、⁵⁰Ti (5.18%) の5種類の安 定同位体があり、ICP 質量分析において 46Ti+、47Ti+、48Ti+、49Ti+は、分析対象とするジルコンに 多量に存在するジルコニウムの二価イオン(⁹²Zr⁺⁺、⁹⁴Zr⁺⁺、⁹⁶Zr⁺⁺、⁹⁸Zr⁺⁺)の干渉を受ける。ま た、質量数 48 の同重体には ⁴⁸Ca、質量数 50 の同重体には、⁵⁰V、⁵⁰Cr があるため、⁴⁸Ti、⁵⁰Ti は それぞれこれらの同重体干渉を受ける。そのため、質量分析において干渉するイオンを除去でき ない場合は、同重体の存在しない 49Ti+を分析する必要があるが、同位体存在度が 5.41%と低く、 チタンの濃度が数 ppm 程度と想定される場合、感度を十分に確保することが難しい。一方で、近 年 ICP 質量分析装置の改良が進み、効率的に干渉イオンを取り除くシステムが開発され装置へと 導入されている。例えば、四重極型 ICP 質量分析装置にはコリジョン/リアクションセル (CRC) が備えられ、コリジョンモードではヘリウムなど不活性ガスを用いて運動エネルギー弁別の原理 により、干渉する多原子イオンを分離することができる。また、リアクションモードを使えば、 反応性のガス(水素、酸素、アンモニア、メタン、亜酸化窒素など)を用いることで、干渉イオ ンあるいは分析対象元素のイオンとの化学反応性の違いを利用して、特定の干渉を除去できる。 さらに、質量分離のための四重極を複数備えたトリプル四重極型の ICP 質量分析装置の登場によ り、より効率的に干渉イオンの除去ができるようになった。例えば、本研究で分析対象とするチ タンは、48Ti が最も存在度が高く、より精確な定量分析をおこなうためには最も信号強度が高く なる 48Ti を測定することが望ましいが、既述の通り複数のイオン(48Ca や 96Zr++)が干渉するこ とが問題であった。しかし、トリプル四重極型の質量分析計では CRC に酸素ガスを流し故意に チタン酸化物イオンを作り出す通称マスシフトと呼ばれる手法によって(前段の四重極の通過質 量数 Q1 = 48;後段の四重極の通過質量数 Q2 = 64)、 48 Ca や 96 Zr⁺⁺の干渉が除去可能となり、 48 Ti¹⁶O⁺の多原子イオンの形でチタンを高感度に分析することが可能となる。すなわち、数 ppm オーダーの低濃度のチタンでも高精度・高確度で定量できると期待される。

本共同研究では、学習院大学所有の LA-ICP 質量分析装置(LA: ESI 製 NWR213 (Nd:YAG laser); ICP 質量分析装置(Agilent Technology 製 Agilent8800))及び原子力機構 東濃地科学 センター所有の LA-ICP 質量分析装置(LA: Photon-machines 製 Analyte G2 (ATL Excimer laser); ICP 質量分析装置(Agilent Technology 製 Agilent7700x)を使用した。それぞれの分析 条件を表 4.1-1、表 4.1-2 に示す。なお、学習院大学での分析で用いた ICP 質量分析装置 (Agilent8800)は、トリプル四重極型の質量分析装置で、酸素ガスをリアクションガスに使用し たマスシフトモードで分析を行った。東濃地科学センターでの分析では、リアクションガス(酸 素)の使用ができないため、49Ti をチタン濃度の定量のため測定している。

U-Pb 同位体分析のブラケッティング標準試料として、標準ジルコン 91500 (Wiedenbeck et al., 1995¹³⁾)を用いた。また、得られる年代値の妥当性を評価するため、学習院大学での分析では Plešovice (337 Ma; Slama et al., 2008¹⁴⁾)、東濃地科学センターでの分析では Temora 2 (417 Ma; Black et al., 2004¹⁵⁾)、OD-3 (33.0 Ma; Iwano et al., 2013¹⁶⁾)をそれぞれ年代標準試料とし て分析した。チタンの定量では、SRM NIST610を標準試料とし、Si を内部標準としてモニター した。

本共同研究では、黒部川花崗岩体のジルコンについても分析対象とするため、²³⁸U(半減期 4.468×10⁹ 年)、²³⁵U(半減期 7.038×10⁸ 年)の半減期に対して比較的若い 100 万年(1 Ma)程 度の年代値を示す試料も対象とすることになる。およそ 200 万年より若い年代値を示す試料(特 に第四紀以降の試料は全て)について、精確な U-Pb 年代を決定するためには、ウラン系列お及 びアクチニウム系列の中間生成核種の中でも比較的長い半減期を持つ²³⁰Th(ウラン系列の中間 生成核種;半減期 7.538×10⁴ 年)と²³¹Pa(アクチニウム系列の中間生成核種;半減期 3.276×10⁴ 年)に関する初生的な放射平衡値からの分別(メルトから鉱物が生じるときに生じる固相—液相 間の元素分別に由来する)を考慮する必要がある(Sakata et al., 2017¹⁷; Sakata, 2018¹⁸))。ま た、分析領域周辺からの鉛汚染やジルコン結晶に初生的に分配される微量の非放射壊変起源鉛も 得られる年代値に大きく影響(特にジルコン中の放射起源²⁰⁷Pbの検出に影響)するため、補正 が必須となる(Sakata, 2018¹⁸)。本共同研究では、放射非平衡による効果と非放射壊変鉛の影響 については、Sakata (2018)¹⁸に従い統一的な補正を行った。

尚、ブランクの信号強度の標準偏差(o)の10倍(10o)から算出したチタンの定量下限は、学 習院大学での分析で0.1 ppm、東濃地科学センターでの分析で2.6 ppmである。東濃地科学セン ターにおいて黒部川花崗岩体、土岐花崗岩体、遠野深成岩体のジルコンの同時定量分析を実施し、 学習院大学において大崩山花崗岩体のジルコンの分析を行った。

Laser ablation system	
Instrument	NWR213 Nd:YAG laser (ESI, Portland. U.S.A.)
Cell type	Two volume cell
Laser wave length	213 nm
Pulse duration	<5 ns
Fluence	2.3-2.7 J/cm ²
Repetition rate	5 Hz
Ablation pit size	20 and 25 µm
Sampling mode	Single hole drilling
Pre-cleaning	1 shot with 90 μm
Carrier gas	He gas and Ar make-up gas combined outside ablation cell
He gas flow rate	0.40 l/min
Ar make-up gas flow rate	1.5 l/min
Ablation duration	20 and 25 s for 20 and 25 μ m, respectively
Signal smoothing device	Baffle type filled with φ 7 mm glass beads (volume: 100 ml)

表 4.1-1 学習院大学での分析条件

ICP Mass Spectrometer

Instrument RF power	Agilent8800 (Agilent Technology, Santa Clara, California, U.S.A.) 1390 W		
Data reduction	Integration of total ion counts per single ablation. Signals obtained from first few seconds were not used for data reduction, and next signals obtained from 13 or 17 s (for pit size of 20 μ m and 25 μ m) were integrated for further calculations. Signal intensity of ²³⁵ U was not monitored and ²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U is calculated assuming ²³⁸ U/ ²³⁵ U = 137.88 (Jaffey et al., 1971).		
Detection mode	Pulse counting mode		
Mass scan mode	MS/MS mode		
Collision/reaction gas and flow rate	O ₂ (0.06 ml/min) and He (1.2 ml/min)		
Octa pole bias	0.0 V		
Octa pole RF	175 V		
Energy discrimination	-6.8 V		
Monitored mass peak (amu) and permeable mass value for first quadrupole (Q1) and second quadrupole (Q2)	28 (Si; Q1 = 28; Q2 = 44), 48 (Ti ; Q1 = 48; Q2 = 64), 206 (Pb; Q1 = 206; Q2 = 207), 207 (Pb; Q1 = 207; Q2 = 207), 232 (Th; Q1 = 232; Q2 = 248), 238 (U; Q1 = 238; Q2 = 254)		
Integration time per mass peak Total integration time per reading	28 (20 ms), 48 (100 ms), 206 (100 ms), 207 (200 ms), 232 (30 ms), 238 (30 ms) 0.5057 s		
Integration time per single ablation	13 and 17 s		
Data processing	Data processing		

Gas blank	Gas blank counts were obtained for 15 s before each ablation pit.

Laser ablation system				
Instrument	Analyte G2 ATL Excimer laser (Photon-machines, Calgary. Canada)			
Cell type	Two volume cell			
Laser wave length	193 nm			
Pulse duration	<5 ns			
Fluence	2.0 J/cm ²			
Repetition rate	5 Hz			
Ablation pit size	30 μm			
Sampling mode	Single hole drilling			
Pre-cleaning	1 shot with 110 μm			
Carrier gas	He gas and Ar make-up gas combined outside ablation cell			
He gas flow rate	1.0 l/min			
Ar make-up gas flow rate	0.93 l/min			
Ablation duration	20 s			
Signal smoothing device	Homogenize type (volume: 150 ml)			
ICP Mass Spectrometer				
Instrument	Agilent7700 (Agilent Technology, Santa Clara, California, USA)			
RF power	1600 W			
Data reduction	Integration of total ion counts per single ablation. Signals obtained from first few seconds were not used for data reduction, and next signals obtained from 15 s (for pit size of 30 μ m) were integrated for further calculations. Signal intensity of ²³⁵ U was not monitored and ²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U is calculated assuming ²³⁸ U/ ²³⁵ U = 137.88 (Jaffey et al., 1971).			
Detection mode	Pulse counting mode			
Collision/reaction gas and flow rate	Non-gas mode			
Octa pole bias	-30.5 V			
Octa pole RF	130 V			
Energy discrimination	-0.4 V			
Monitored mass peak (amu) and permeable mass value for first quadrupole (Q1) and second quadrupole (Q2)	28 (Si), 49 (Ti), 206 (Pb), 207 (Pb), 232 (Th), 238 (U)			
Integration time per mass peak Total integration time per	28 (20 ms), 48 (100 ms), 206 (100 ms), 207 (200 ms), 232 (30 ms), 238 (30 ms)			
reading	0.496 s			
Integration time per single ablation	15 s			
Data processing	Data processing			
Gas blank	Gas blank counts were obtained for 15 s before each ablation pit.			

表 4.1-2 東濃地科学センターでの分析条件

4.2 ジルコン内での内部構造に基づく分析地点の選定

ジルコンの内部構造に基づき、分析点の選定を行った。これはジルコンの内部構造はその生成 温度・年代の違い(生成ステージの違い)を反映するためである(Yuguchi et al., 2016³⁾)。各 岩体のジルコンのカソードルミネッセンス(CL)観察の相違から、3つの領域に区分できる:① 均質な領域、②オシラトリーゾーニング領域、③外来性コア(inherited core)。

多くのジルコン粒子は、①低輝度で均質なコアとそれを囲む②オシラトリーゾーニング領域からなる。この構造は、均質コアがオシラトリーゾーニング領域よりも、早いタイミングかつ高温 条件で形成されたことを示している。それぞれの岩体のジルコン粒子の特徴について 4.2.1-4.2.4 章で記載する。

4.2.1 黒部川花崗岩体のジルコン

黒部川花崗岩体のジルコンに対する SEM-CL 画像を図 4.2.1 に示す。黒部川花崗岩体におい ても CL 観察より①均質な領域(図 4.2.1 A)、②オシラトリーゾーニング領域(図 4.2.1 B)、 ③外来性コアのそれぞれの領域が観察された。①から③のそれぞれの領域から、30 µm 直径の円 領域をデータ収集地点として選定した。

4.2.2 大崩山花崗岩体のジルコン

大崩山花崗岩体の3岩相(黒雲母花崗岩、ホルンブレンド黒雲母花崗岩及びホルンブレンド黒 雲母花崗閃緑岩)に対するジルコンに対する SEM-CL 画像を図 4.2.2~図 4.2.4 に示す。大崩花 崗岩体においても CL 観察より①低輝度で均質な領域(図 4.2.2 C)、②オシラトリーゾーニン グ領域(図 4.2.3 A)、③外来性コア(図 4.2.2B)のそれぞれの領域が観察された。図 4.2.2 か ら図 4.2.4 中に示した 20-25 µm 直径の円領域をデータ収集地点として選定した。

4.2.3 土岐花崗岩体のジルコン

土岐花崗岩体の3試料(DH6-2、DH9-10及びDH13-2)ジルコンに対するSEM-CL画像を図 4.2.5 に示す。土岐花崗岩体においてもCL観察より①低輝度で均質な領域(図 4.2.5 A-C)、② オシラトリーゾーニング領域(図 4.2.5 A, C)、③外来性コアのそれぞれの領域が観察された。 ①から③のそれぞれの領域から、30 µm 直径の円領域をデータ収集地点として選定した。

4.2.4 遠野複合深成岩体のジルコン

遠野複合深成岩体の3岩相(中心部相、主岩相、周辺部相)に対するジルコンに対するSEM-CL 画像を図 4.2.6 に示す。遠野複合深成岩体においても CL 観察より①均質な領域、②オシラ トリーゾーニング領域が観察された。①から②のそれぞれの領域から、30µm 直径の円領域をデ ータ収集地点として選定した。



図 4.2.1 黒部川花崗岩体 (優白質岩) のジルコンの分析点 (左図:BSE 像,右図:CL 像) A:①均質なコアと②オシラトリーゾーニングリムからなるジルコン B:①低輝度で均質なコアと②オシラトリーゾーニングリムからなるジルコン



図 4.2.2 大崩山花崗岩体(黒雲母花崗岩)のジルコンの分析点 (左図:BSE 像,右図:CL 像) A:①均質なコアと②オシラトリーゾーニングリムからなるジルコン B:④外来性コアと②オシラトリーゾーニングリムからなるジルコン C:①低輝度で均質なコアと②オシラトリーゾーニングリムからなるジルコン



 図 4.2.3 大崩山花崗岩体(ホルンブレンド黒雲母花崗岩)のジルコンの分析点 (左図:BSE像,右図:CL像)
A: ②オシラトリーゾーニング領域からなるジルコン
B: ③外来性コアと②オシラトリーゾーニングリムからなるジルコン
C: ②オシラトリーゾーニング領域からなるジルコン



 図 4.2.4 大崩山花崗岩体(ホルンブレンド黒雲母花崗閃緑岩)のジルコンの分析点 (左図:BSE像,右図:CL像)
A: ②オシラトリーゾーニング領域からなるジルコン
B: ②オシラトリーゾーニング領域からなるジルコン
C: ①低輝度で均質なコアと②オシラトリーゾーニングリムからなるジルコン



図 4.2.5 土岐花崗岩体 (DH6-2、DH9-10、DH13-2) のジルコンの分析点 (左図:BSE像,右図:CL像)

- A: (DH6-2) ①低輝度で均質なコアと②オシラトリーゾーニングリムからなるジルコン B: (DH9-10) ①均質なコアと②オシラトリーゾーニングリムからなるジルコン
- C: (DH13-2) ①低輝度で均質なコアと②オシラトリーゾーニングリムからなるジルコン



図 4.2.6 遠野複合深成岩体のジルコンの分析点 (左図:BSE 像,右図:CL 像) A:(中心部相)②オシラトリーゾーニングリムからなるジルコン B:(主岩相)②オシラトリーゾーニングリムからなるジルコン C:(周辺部相)①均質な領域からなるジルコン 4.3 ジルコンの U-Pb 年代とチタン濃度から結晶化年代・温度の導出

4.3.1 黒部川花崗岩体のジルコン

黒部川花崗岩体試料は、東濃地科学センターのLA-ICP 質量分析装置を用いて定量分析を実施 した。ジルコンの各分析点に対する U-Pb 年代(U-Th-Pb の同位体データ)及びチタン濃度を表 4.3-1 に記す。また図 4.3.1 は各岩相の分析点上に U-Pb 年代とチタン濃度を示したものである。 定量下限以下のチタン濃度も散見されるが、本報告書ではそれらが正しい濃度に近しいと仮定し、 得られたチタン濃度から Ti-in-zircon 温度計(Watson et al., 2016¹⁹⁾)を用い結晶化温度を導出 した。その際、活動度は 0.3 と仮定した。その結果、岩相及び CL 領域区分を考慮しない場合、 全ての分析点の U-Pb 年代は、約 0.5 Ma から 9 Ma の年代幅及び 636±102℃から 729±27℃の温 度幅を有する(図 4.3.2)。

図 4.3.3 は全データに対して、対象岩体の生成年代を示す①均質な領域、②オシラトリーゾー ニング領域から得られたデータの年代と温度の関係をプロットしたものである。①均質な領域か ら得られた年代値と②オシラトリーゾーニング領域から得られた年代値は整合的である。①均質 な領域から得られた温度条件は 640℃から 754℃の幅を有し、②オシラトリーゾーニング領域か ら得られた温度条件は 636℃から 779℃の幅を有しており、温度条件にも相違はない。また図 4.3.3 は外来性ジルコンを除き、CL 領域区分を考慮せず、年代と温度の関係をプロットしたもの である。その結果、優白質岩は 0.46±0.35 Ma から 1.85±0.54 Ma の年代幅及び 636±102℃から 779±27℃の温度幅を有する (図 4.3.4)。

4.3.2 大崩山花崗岩体のジルコン

大崩山花崗岩体試料は、学習院大学理学部のLA-ICP 質量分析装置を用いて定量分析を実施した。ジルコンの各分析点に対する U-Pb 年代(U-Th-Pb の同位体データ)及びチタン濃度を表4.3-2 に記す。また図 4.3.5~図 4.3.7 は各岩相の分析点上に U-Pb 年代とチタン濃度を示したものである。得られたチタン濃度から結晶化温度の導出は Ti-in-zircon 温度計(Watson et al., 2016¹⁹⁾)を用いた。その際、活動度は1と仮定した。岩相及び CL 領域区分を考慮しない場合、全ての分析点の U-Pb 年代は、約 11 Ma から 480 Ma の年代幅及び 556±14℃から 946±22℃の温度幅を有する。外来性ジルコンは、対象岩体の生成年代を示さないため、それらを除くと 11.1±0.9 Ma から 16.1±0.7 Ma の年代幅及び 556±14℃から 946±22℃の温度幅を有する(図 4.3.8)。

図 4.3.9 は全データに対して、対象岩体の生成年代を示す①均質な領域、②オシラトリーゾー ニング領域から得られたデータの年代と温度の関係をプロットしたものである。①均質な領域か ら得られた年代値と②オシラトリーゾーニング領域から得られた年代値は整合的である。それに 対して、①均質な領域から得られた温度条件は 670℃から 760℃の幅で狭いのに対して、②オシ ラトリーゾーニング領域から得られた温度条件は 560℃から 950℃の広い幅を有する。また図 4.3.10 は 3 岩相の年代と温度の関係をプロットしたものである。その結果、黒雲母花崗岩は 11.3±0.8 Ma から 14.2±1.1 Ma の年代幅及び 556±14℃から 875±25℃の温度幅を有する(図 4.3.10)。ホルンブレンド黒雲母花崗岩は 11.9±1.0 Ma から 14.7±0.7 Ma の年代幅及び 633±14℃ から 858±20℃の温度幅を有する(図 4.3.10)。ホルンブレンド黒雲母花崗閃緑岩は 11.1±0.9 Ma から 16.1±0.7 Ma の年代幅及び 611±16℃から 946±22℃の温度幅を有する(図 4.3.10)。各岩相 の間で年代と温度に大きな相違がないことを示す。

4.3.3 土岐花崗岩体のジルコン

土岐花崗岩体試料は、東濃地科学センターのLA-ICP 質量分析装置を用いて定量分析を実施した。ジルコンの各分析点に対する U-Pb 年代(U-Th-Pb の同位体データ)及びチタン濃度を表4.3-3 に記す。また図 4.3.11 には各岩相の分析点上に U-Pb 年代とチタン濃度を示す。得られたチタン濃度から結晶化温度の導出は Ti-in-zircon 温度計(Watson et al., 2016¹⁹⁾)を用いた。その際、活動度は1と仮定した。岩相及び CL 領域区分を考慮しない場合、69.4±7.3 Ma から 79.9±4.4 Ma の年代幅及び 575±51℃から 734±22℃の温度幅を有する(図 4.3.12)。

図 4.3.13 は全データに対して、対象岩体の生成年代を示す①均質な領域、②オシラトリーゾー ニング領域から得られたデータの年代と温度の関係をプロットしたものである。①均質な領域か ら得られた年代値と②オシラトリーゾーニング領域から得られた年代値は整合的である。それに 対して、①均質な領域から得られた温度条件は 629℃から 719℃の幅で狭いのに対して、②オシ ラトリーゾーニング領域から得られた温度条件は 757℃から 734℃の広い幅を有する。また図 4.3.14 は 3 試料(DH6-2、DH9-10、DH13-2)の年代と温度の関係をプロットしたものである。 その結果、DH6-2 は 72.9±4.8 Ma から 77.2±3.2 Ma の年代幅及び 629 ± 28 ℃から 734 ± 22 ℃の温 度幅を有する(図 4.3.14)。DH9-10 は 74.0±2.9 Ma から 78.3±5.0 Ma の年代幅及び 575 ± 51 ℃ から 716±21℃の温度幅を有する(図 4.3.14)。DH13-2 は 69.4 ± 7.3 Ma から 79.9 ± 4.4 Ma の年 代幅及び 666 ± 24 ℃から 717 ± 22 ℃の温度幅を有する(図 4.3.14)。各岩相の間で年代と温度に大 きな相違がないことを示す。

4.3.4 遠野複合深成岩体のジルコン

遠野複合深成岩体試料は、東濃地科学センターのLA-ICP 質量分析装置を用いて定量分析を実施した。ジルコンの各分析点に対する U-Pb 年代(U-Th-Pb の同位体データ)及びチタン濃度を表4.3・4 に記す。また図 4.3.15 は各岩相の分析点上に U-Pb 年代とチタン濃度を示したものである。チタン濃度から結晶化温度の導出は Ti-in-zircon 温度計(Watson et al., 2016¹⁹⁾)を用いた。その際、活動度は1と仮定した。岩相及び CL 領域区分を考慮しない場合、全ての分析点のU-Pb 年代は、約 110 Ma から 127 Ma の年代幅及び 613±41℃から 901±23℃の温度幅を有する。 外来性ジルコンは、対象岩体の生成年代を示さないため、それらを除くと 110.2±6.5 Ma から 127.4±7.4 Ma の年代幅及び 613±41℃から 901±23℃の温度幅を有する(図 4.3.16)。

図 4.3.17 は全データに対して、対象岩体の生成年代を示す①均質な領域、②オシラトリーゾー ニング領域から得られたデータの年代と温度の関係をプロットしたものである。①均質な領域か ら得られた年代値と②オシラトリーゾーニング領域から得られた年代値は整合的である。①均質 な領域から得られた温度条件は 613℃から 901℃の幅を有し、②オシラトリーゾーニング領域か ら得られた温度条件は 620℃から 756℃の幅を有しており、大きな差異は認められない。また図 4.3.18 は 3 岩相 (中心部相, 主岩相, 周辺部相)の年代と温度の関係をプロットしたものである。 その結果、中心部相は 110.2±6.5 Ma から 121.2±6.0 Ma の年代幅及び 612±41℃から 901±23℃ の温度幅を有する (図 4.3.18)。主岩相は 115.4±7.2 Ma から 127.4±7.4 Ma の年代幅及び 719±22℃から 767±23℃の温度幅を有する (図 4.3.18)。周辺部相は 119.9±4.1 Ma、122.9±4.3 Ma の年代及び 672±26℃、698±26℃の温度を有する (図 4.3.18)。誤差範囲を考慮すると中心部 相、主岩相と周辺部相の間で年代に大きな相違がないことを示す。結晶化温度は中心部相で 700℃ より低いプロットが多く観察される傾向が認められる。



図 4.3.1 黒部川花崗岩体のジルコンの U-Pb 年代とチタン濃度 (左図:BSE像,右図:CL像)



図 4.3.2 黒部川花崗岩体のジルコン U-Pb 年代と結晶化年代のプロット 外来性ジルコンを含む全データ(N=23)のプロット


図 4.3.3 黒部川花崗岩体の①低輝度で均質な領域(A)、②オシラトリーゾーニング領域(B)から 得られたデータの年代と温度の関係



図 4.3.4 黒部川花崗岩体のジルコン U-Pb 年代と結晶化年代のプロット 外来性ジルコンを除くデータ(N=21)のプロット



図 4.3.5 大崩山花崗岩体(黒雲母花崗岩)のジルコンの U-Pb 年代とチタン濃度 (左図:BSE 像,右図:CL 像)



図 4.3.6 大崩山花崗岩体(ホルンブレンド黒雲母花崗岩)のジルコンの U-Pb 年代とチタン濃度 (左図:BSE 像,右図:CL 像)



図 4.3.7 大崩山花崗岩体(ホルンブレンド黒雲母花崗閃緑岩)のジルコンの U-Pb 年代とチタン濃度 (左図:BSE像,右図:CL像)



外来性ジルコンを含む全データ(N=103)のプロット

【付録3】



図 4.3.9 大崩山花崗岩体の①低輝度で均質な領域(A)、②オシラトリーゾーニング領域(B)から 得られたデータの年代と温度の関係



図 4.3.10 大崩山花崗岩体のジルコン U-Pb 年代と結晶化年代のプロット 外来性ジルコンを除くデータ(N=95)のプロット 黒雲母花崗岩(N=25)、ホルンブレンド黒雲母花崗岩(N=18)、 ホルンブレンド黒雲母花崗閃緑岩(N=52)



図 4.3.11 土岐花崗岩体 (DH6-2、DH9-10、DH13-2) のジルコンの U-Pb 年代とチタン濃度 (左図:BSE像,右図:CL像)



図 4.3.12 土岐花崗岩体のジルコン U-Pb 年代と結晶化年代のプロット 外来性ジルコンを含む全データ(N=26)のプロット



図 4.3.13 土岐花崗岩体 (DH6-2、DH9-10、DH13-2) の①低輝度で均質な領域(A)、②オシラ トリーゾーニング領域(B)から得られたデータの年代と温度の関係



図 4.3.14 土岐花崗岩体のジルコン U-Pb 年代と結晶化年代のプロット 外来性ジルコンを除く DH6-2 (N=13)、DH9-10 (N=7)、DH13-2 (N=4) のプロット



図 4.3.15 遠野複合深成岩体のジルコンの U-Pb 年代とチタン濃度 (左図:BSE像,右図:CL像)



図 4.3.16 遠野複合深成岩体のジルコン U-Pb 年代と結晶化年代のプロット 外来性ジルコンを含む全データ(N=24)のプロット

【付録3】







図 4.3.18 遠野複合深成岩体のジルコン U-Pb 年代と結晶化年代のプロット 外来性ジルコンを除くデータ(N=24)のプロット 中心部相(N=10)、主岩相(N=12)、周辺部相(N=2)

濃度
ン
Ŕ
Ť
S
Ř
5
 ĩL
4
Ť
Å Å
<u>q</u>
\supset
ン
П
1
シ
Б.
¥
腃
쁹
挹
ß
臣
ШE.
<u>_</u>

表

	Comment			I	sotope ratio	s					Age (M	a))	Concentration	(g/gh)			
sample name		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	2σ ^{20k}	'Pb/ ²³⁸ U	2σ e:	error correlation 207	⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2σ	²³⁵ U- ²⁰⁷ Pb	2σ ²³	³ U- ²⁰⁶ Pb	2σ ²⁰⁵	Pb- ²⁰⁶ Pb	2σ	Si	2σ	ц	2σ T	ų	2σ U		2σ
9-2g-2-1	Inherited	0.13	0.03	0.00	0.00	0.63	0.78	0.13	121.76	24.88	7.74	1.04	4881.48	241.45	152804.00	5469.06	2.40	0.76	273.26	5.89	313.58	6.54
9-2g-3-1		0.01	0.01	0.00	0.00	0.45	0.33	0.28	9.33	8.68	0.93	0.52	3624.88	1275.56	152804.00	5468.48	2.95	0.71	235.51	5.07	216.59	4.57
9-2g-5-1		0.01	0.01	0.00	0.00	0.57	0.52	0.26	13.25	7.90	0.56	0.42	4309.92	721.97	152804.00	5468.60	1.14	0.64	214.50	4.66	391.03	8.03
9-2g-5-2		0.01	0.01	0.00	0.00	0.43	0.29	0.20	7.48	5.90	0.94	0.38	3392.92	1115.92	152804.00	5469.07	0.85	0.65	114.68	2.70	360.95	7.48
9-2g-6-1		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.07	0.48			152804.00	5468.93	3.27	0.78	197.73	4.36	259.10	5.45
9-2g-9-1		0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.13	0.09	2.80	2.07	0.96	0.20	2138.44	1230.94	152804.00	5468.68	0.84	0.60	696.35	14.32	841.75	16.95
9-2g-10-1		0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.06	0.11	1.21	2.05	0.96	0.21	700.83	3576.29	152804.00	5468.42	2.38	0.66	327.22	6.90	691.54	13.95
9-2g-11-1		0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.13	0.11	2.75	2.57	0.99	0.23	2058.34	1589.47	152804.00	5468.16	1.52	0.52	228.14	4.88	553.11	11.19
9-2g-12-1		0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.24	0.20	5.00	4.60	0.81	0.32	3134.31	1336.10	152804.00	5468.80	0.87	0.64	155.57	3.49	412.15	8.47
9-2g-12-2		0.09	0.02	0.00	0.00	0.61	0.68	0.11	83.66	16.71	1.30	0.85	4680.37	236.75	152804.00	5469.19	2.44	0.79	201.96	4.47	475.12	9.75
9-2g-19-1		0.00	0.01	0.00	0.00	0.34	0.20	0.21	4.46	5.16	0.95	0.37	2789.86	1787.72	152804.00	5468.56	1.15	0.55	129.04	2.94	334.44	6.91
9-2g-20-1		0.00	0.01	0.00	0.00	0.12	0.06	0.25	1.31	5.25	1.06	0.44	667.70	8492.05	152804.00	5468.36	2.85	0.63	110.57	2.54	250.14	5.22
9-2g-21-1		0.00	0.01	0.00	0.00	0.52	0.41	0.57	3.29	5.38	0.46	0.35	3932.56	2090.03	152804.00	5468.91	1.84	0.69	276.21	5.93	405.91	8.36
9-2g-27-1		0.01	0.01	0.00	0.00	0.41	0.26	0.19	6.44	5.07	0.92	0.34	3260.31	1131.33	152804.00	5469.09	1.66	0.67	172.31	3.86	391.69	8.09
9-2g-30-1		0.01	0.01	0.00	0.00	0.52	0.43	0.29	12.53	9.70	0.79	0.53	4016.18	994.88	152804.00	5468.60	1.59	0.64	115.71	2.67	237.51	4.99
9-2g-32-1		0.00	0.01	0.00	0.00	0.26	0.12	0.14	4.84	6.01	1.85	0.54	1902.13	2163.80	152804.00	5468.79	1.69	0.66	101.19	2.39	248.70	5.23
9-2g-35-1		0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.14	0.18	2.58	3.64	0.88	0.30	2169.32	2363.14	152804.00	5469.04	1.33	0.63	223.48	4.88	421.46	89.68
9-2g-37-1		0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.06	0.07	1.02	1.36	0.94	0.18	420.09	2945.39	152804.00	5468.79	0.80	0.62	808.37	16.59	1095.41	22.00
6-2g-1-1	Inherited	0.15	0.03	0.00	0.00	0.61	0.78	0.14	139.84	29.03	8.88	1.20	4893.96	249.95	152804.00	5468.01	2.79	0.60	81.00	1.90	176.11	3.72
6-2g-1-2		0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.07	0.06	1.07	1.00	0.78	0.13	919.19	1885.46	152804.00	5467.95	2.35	0.56	559.74	11.50	1173.80	23.46
6-2g-2-1		0.01	0.01	0.00	0.00	0.52	0.41	0.24	11.38	7.92	0.80	0.44	3938.34	894.52	152804.00	5468.03	3.46	0.62	148.53	3.27	243.84	5.07
6-2g-4-1		0.01	0.01	0.00	0.00	0.54	0.47	0.44	7.73	8.50	0.84	0.45	4154.88	1378.72	152804.00	5467.99	4.57	0.68	113.44	2.55	217.52	4.54
6-2g-24-1		0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.16	0.15	2.33	2.31	0.66	0.19	2494.10	1573.10	152804.00	5468.31	2.44	0.63	354.58	7.44	582.55	11.80

【 付録 3 】

表 4.3-5 大崩山花崗岩体のジルコン U-bb 年代データ及びチタン濃度

207Pb/235U 0.02120 (2d 206Pb/238U 9.00430 0.00220	2d en 0.00020	s ror correlation 0.44965	207Pb/206Pb 26 0.069795099 0.0126486	235U-207Pt 2 21.3 4	2a 238U-206	Pt 20	207Pb-206Pb 922.3	20 Dis 372.5	equilibrium & common Pb correct 13.9	ted 20 S.	(internal 20 Ti 152804 5502.509 4	1 20 Th 1,000678 0.228121 37	7.24627 1.323419 163.	tho 2 Th/U 1512 4.861246 0.23	J 2σ 28293 0.010586
0.00247 0.00220 0.00 0.00820 0.00260 0.00 0.01724 0.02212 0.00 0.00299 0.00223 0.00	0.00	017 021 156 018	0.59498 0.71931 0.93639 0.48621	0.062577866 0.0065476 0.201078434 0.0158783 0.075083354 0.001984 0.058061996 0.0084981	19.1 2 70.8 7 209.4 14 17.9 3	25 142 7.8 16.8 4.2 141.0 8.0 143	1.1 1.4 9.8 1.2	693.9 2835.0 1070.7 532.1	223.0 128.8 53.1 320.5	14.0 13.6 141.1 14.2	1.0 1.1 9.8 1.1	152804 5501.84 152804 5501.523 7 152804 5502.992 2 152804 5502.992 2	4.52143 0.252767 21 (555139 0.398854 56 (4.31514 1.208562 33 5.378295 0.341778 10	17.9391 5.355867 460. 6.17285 1.755919 249.6 32.5358 7.894218 652 02.9042 2.805569 293.8	5021 11.93377 0.47 5076 6.904094 0.22 5819 16.54237 0.4 5811 7.941678 0.3	73264 0.016902 25045 0.009393 50957 0.017697 50204 0.013444
0.00122 0.00190 0.00014 0.00110 0.00189 0.00013 0.00147 0.00209 0.00015 0.00132 0.00215 0.00015	0.00014 0.00013 0.00015 0.00015		0.80321 0.79685 0.82623 0.89179	0.052546685 0.0027763 0.047201853 0.0025456 0.059064232 0.0028646 0.056416596 0.0028011	13.9 1 12.4 1 17.2 1 16.9 1	12 122 11 122 13 139	0.9 0.9 1.0	309.3 59.5 468.8	120.3 128.5 105.5 78.9	12.2 12.3 13.4 13.8	8.0 8.0 6.0	152804 6533.401 1 152804 6413.519 4 152804 5504.18 2 152804 5501.314 0	7883682 103893 1 4472101 0.781694 1 2.183706 0.143329 8 0.764592 0.068268 35	179283 32051.11 4995 270773 33750.01 5002 885.007 19.95943 2521 54.2669 8.315429 4255	2.73 1452.957 23.6 1.41 1424.698 25.4 795 60.79059 0.3 0.26 101.5455 0.08	60798 0.939794 40458 0.989336 50943 0.011585 83258 0.002787
0.00307 0.00219 0.00015 0.00192 0.00211 0.00016 0.01619 0.01693 0.00082	0.00015 0.00016 0.00082		0.95131 0.64042 0.37665	0.137989011 0.0031327 0.056458605 0.0050678 0.053790526 0.006425	41.4 3 16.5 1 120.1 14 120.1 14	8.0 14.1 1.9 13.6 4.6 108.2	10 22 22 22	2202.1 470.4 362.3	39.4 198.7 269.4	12.6 13.5 108.3	0.8 0.9 5.2	152804 5502.176 152804 5501.252 5 152804 5502.919 8	7.94717 1.382875 18 6.701119 0.309739 34 6.698245 0.45783 76	854.136 40.95935 5459 46.2194 8.133279 703 6.15607 2.232369 60.8	383 130.051 0.3 303 17.63118 0.45 7514 2.304368 1.25	39624 0.011034 92276 0.016913 51021 0.059895
0.00250 0.00194 0.00010 0.00255 0.00015 0.00010 0.00255 0.000215 0.00009 0.00255 0.00052 0.00011	0.00000		0.28442 0.31454 0.31665	0.050955032 0.0089501 0.052867451 0.0065791	13.8 2 15.8 2 16.1 2	25 125 21 138 21 153	0.7	238.8 323.1 404 5	282.6 282.6	12.5 13.8 16.1	0.6	152804 5503.394 152804 5503.082 6 152804 5503.082 6	6.4655 0.351452 12 6.4675 0.351452 12 6.677778 0.361069 28	23.8898 3.312025 291. 23.8898 3.312025 291. 80.9476 6.746959 448	2985 7.942622 0.41 667 11.66323 0.62	25302 0.01624 26183 0.022161
0.00103 0.00200 0.00000	0.00008		0.38100 0.34600	0.054033522 0.0031474 0.065135802 0.0071565	15.1 15.3 18.8 18.8 2	142 134 134	0.5	196.6	231.0	14.2 13.2	0.5	152804 5502.806 5 152804 5502.806 5 152804 5502.073 7	2291916 0.293664 90 877161 0.41742 39	07.3083 9.250525 4663	2009 8.300001 0.54 021 40.34901 0.54 8489 12.04982 0.85	45232 0.018003 51043 0.029583
0.00756 0.00280 0.00012 0 0.00285 0.00216 0.00009 0 0.00476 0.00236 0.00011 0	0.00012 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	000	54318 38010 46753	0.243631267 0.0164225 0.086049218 0.0088618 0.152557889 0.0129034	91.4 7 25.6 2 49.3 4	7.0 18.1 2.8 13.9 4.6 15.2	0.8 0.6 0.7	3143.8 1339.3 2374.8	107.1 199.0 144.2	13.6 13.3 13.3	0.7 0.6 0.6	152804 5503.558 1 152804 5501.531 152804 5501.472 6	26.16023 1.300676 18 7.30545 0.389318 26 59.79149 3.397705 18	80.3287 4.557934 319. 63.0351 6.312716 399. 86.3154 4.635683 323.	5646 8.625573 0.56 2875 10.42864 0.65 987 8.621071 0.57	54295 0.020867 58761 0.023366 76652 0.021038
0.00208 0.00215 0.00008 0.000246 0.00550 0.00015 0.00015	0.00008 0.0000	000	38226 38380	0.073162332 0.0064657 0.046651122 0.002943	21.8 2 35.3 2 2000	21 13.9 24 35.4	0.9 0.9	31.4	179.0	13.5 35.5 200	0.5	152804 5501.672 4 152804 5501.931 5	L139089 0.236314 23 5.133054 0.284513 76	31.8054 5.635557 586. 60.6837 17.13727 668.	2308 14.85851 0.39 0076 16.82281 1.13	95417 0.013887 37203 0.038397
0.00270 0.00248 0.00013 0.3 0.00259 0.00202 0.00010 0.4 0.0171 0.00719 0.00009 0.4	0.00013 0.3 0.4 0.4 0.00010 0.4 0.4	0.4	7688 1727 4674	0.05865658 0.0073186 0.077356472 0.008453 0.060270503 0.0050707	20.2 2 21.6 2 18.3 1	2.7 16.0 2.6 13.0 1.7 14.1	0.8 0.7 0.6	554.4 1130.4 613.3	272.2 217.6 181.7	15.8 12.6 13.9	0.6 0.6	152804 5500.812 6 152804 5501.9 4 152804 5501.9 4	5.266757 0.3381 20 1.543004 0.25734 20 1.102295 0.234498 29	02.7159 4.961155 3355 01.3795 4.960728 444 90.8765 6.885899 804	2663 8.883519 0.66 607 11.49904 0.45 1289 19.92542 0.36	03453 0.021743 52938 0.016178 61779 0.017396
0.00339 0.00205 0.00012 0.30 0.00274 0.00204 0.00011 0.3	0.00012 0.30	0.30	9966	0.061110762 0.0091265	20.7 3 2 17.3 2	84 132 27 131	0.8	1013.9	321.0	12.8	0.7	152804 5502.57 4 152804 5501.532 4	1742616 0.267106 12 1.974649 0.277112 15	28.6602 3.386442 257 54.8319 3.93474 314	5335 7.103589 0.45 .973 8.420783 0.45	99586 0.019047 91572 0.018132
0.00116 0.00189 0.00008 0.41 0.00286 0.00219 0.00011 0.45 0.0525 0.00250 0.00012 0.58	0.00008 0.45	0.45	461 608	0.045859031 0.0040596 0.088651375 0.0084054 0.186771489 0.0124096	12.1 1 26.9 2 63.3 5	12 122 28 141 50 161	0.7	-9.8 1396.6 7713.0	213.8 181.8 100.6	12.3 13.5 13.5	0.5 0.6	152804 5500.304 152804 5500.929 5 152804 5500.929 5	6.74124 0.359986 1 5.571618 0.304076 20 0.000107 0.37538 20	1060.19 23.47482 1080 04.7371 5.001897 4523 03.2866 4.037714 476	(889 26.37072 0.5 3557 11.64033 0.4 2021 10.0041 0.4	98085 0.032316 52102 0.016033 47465 0.016840
0.00215 0.00190 0.00010 0.3461 0.00275 0.00195 0.00011 0.3676	0.00011 0.3676	0.3461	8 9	0.065762201 0.009514	14.1 2 17.8 2	122 122	0.6	348.2 798.8	325.5	122	0.6	152804 5499.175 5 152804 5499.175 5	5969069 0.321599 14 5.346856 0.290262 11	47.1709 3.714881 36624 17.9736 3.060367 280.5	9706 7.499359 0.41	01104 0.015628 19879 0.015628
0.00145 0.00200 0.00008 0.450 0.00275 0.00185 0.00017 0.475 0.0011 0.00185 0.00017 0.475	0.00008 0.450 0.475 0.475	0.450	880	0.057907739 0.0046997 0.056770631 0.0094533	16.1 1.14.6 2.14.6	129 119 119	11	526.3 482.6	367.8	12.8	0.5	152804 5500.583 2 152804 5496.346 1 152804 5496.300 5	2.763641 0.167582 3 1.67628 0.595297 72	305.435 7.173225 991. 2.38297 2.079061 196.	5031 24.28117 0.30 7792 5.546767 0.30 677 7.025002 0.31	08052 0.010452 67839 0.014803
0.00210 0.00212 0.00018 0.52714 0.00220 0.00214 0.00018 0.53714 0.00116 0.00205 0.00016 0.88840	0.00018 0.53714 0.00016 0.53714 0.00016 0.88840	0.53714		0.0420202020 0.0062904 0.047815967 0.0062904 0.048078968 0.0018816	14.2 2 14.2 2 13.7 1	12 138 138 132	112	90.2 103.2	311.8 92.5	13.9 13.9 13.3	11	152804 5496.455 5 152804 5496.455 5 152804 5495.354	2.54063 0.152753 0.152753	81.6217 4.49422 311. 133.973 25.11373	2319 8.28927 0.58 2319 8.28927 0.58 3219 76.87603 0.33	23/04 0.010285 83557 0.021215 52275 0.011474
0.00306 0.00219 0.00018 0.64096 0.09432 0.07731 0.00583 0.98225	0.00018 0.64096 0.064096 0.00583 0.98225	0.64096		0.078092377 0.0077662 0.115338921 0.0016594	23.7 3 814.1 43	3.0 14.1 3.0 480.1	34.9	1149.2 1885.2	197.5	13.6 480.2	1.0 35.0	152804 5495.993 6 152804 5499.201 1	5.128686 0.327602 19 7.79411 0.895785 1	90.9252 4.684012 328. 126.277 3.356297 910.	1578 8.680504 0.58 5239 22.63452 0.13	81278 0.020961 38686 0.005047
0.00326 0.00209 0.00019 0.52841 0.00657 0.01020 0.00079 0.83512 0.00292 0.00199 0.00017 0.59114	0.00019 0.52841 0.00079 0.83512 0.00017 0.59114	0.59114		0.05065752 0.0025727 0.05066752 0.0025727 0.073725392 0.0085905	19.5 5 69.9 6 20.3 2	52 13.5 52 65.4 12.8	5.0	823.7 225.7 1034.0	301.1 117.4 235.4	13.2 65.2 12.5	4.7	152804 5499.126 7 152804 5499.126 7 152804 5498.029 5	0.26858 0.26839 10 0.092065 0.37943 27 0.396968 0.296143 16	00.9163 2.80162/ 2222 70.6937 6.506217 4493 64.9101 4.167775 321	808 6.345/92 0.42 8926 11.72299 0.60 8156 8.625017 0.51	01685 0.018922 01685 0.02133 13234 0.018922
0.00388 0.00226 0.00014 0.57796 0.00247 0.00210 0.00013 0.40167	0.00014 0.57796 0.00013 0.40167 0.00013 0.40167	0.57796 0.40167		0.119693883 0.0101723 0.053801275 0.007831	37.1 3 15.7 2 16.4 2	8.8 14.5 2.5 13.5 2.6 13.5	60 60	362.7	151.8 328.3	13.3 13.5 13.5	0.8	152804 5499.155 5 152804 5499.295 7	2465034 0.300944 16 7.246329 0.387304 17	66.9473 4.232968 366.0 73.2049 4.373286 297.0	0.483 9.761693 0.4 0015 8.116417 0.58	45608 0.016783 83179 0.021698
0.00526 0.00257 0.00014 0.70876 0.00333 0.00256 0.00013 0.74207	0.00013 0.74207	0.70876 0.74207		0.136116166 0.0063249	66.4 5 47.6 3	5.0 16.5 8.2 16.5	0.0	2750.8 2178.4	90.1	13.6	0.7	152804 5499.456 3 152804 5499.456 3	9.03933 1.43579 15 13.01281 1.629076 27	90.7063 4.735582 5423 76.0124 6.626242 1087	3761 13.9384 0.3 228 26.91648 0.2	51289 0.012548 53868 0.008755
0.00340 0.00200 0.00014 0.42806 0.00199 0.00196 0.00012 0.4534 0.00127 0.00011 0.5550	0.00014 0.42806 0.00012 0.44534 0.00011 0.62530	0.42806 0.44534 0.62520		0.075128957 0.0110998 0.054722684 0.0065866 0.054050162 0.0024008	20.9 3 14.9 2 16.0 1	8.4 12.9 2.0 12.6	0.0 8.0	1072.0 400.9	296.8 269.6	12.6 12.6	0.7	152804 5499.701 4 152804 5499.016 5 152804 5499.016 5	L701726 0.265624 10 5.777999 0.316771 28	07.5781 2.939744 224.0 86.9888 6.851983 427.0 00 2700 11 64756 1319	0739 6.389215 0.48 5547 11.22254 0.67 811 2735506 0	80101 0.018961 71076 0.023808
0.0015 0.00202 0.00010 0.65230 0.00115 0.00202 0.00010 0.65230 0.00111 0.00207 0.00013 0.63415	0.00010 0.65230 0.65230	0.65230		0.053312209 0.0031173	15.0 1	13 13 0	0.7	342.1	132.4	13.0 13.0	0.6	152804 5499.319 1 152804 5499.319 1 152804 5500 007 7	11.09667 0.573604 18 12.09667 0.573604 18 22.17110 000000	863.819 41.06964 1827 04.0065 11.60964 2012	396 44.45666 1.01	19932 0.033478
0.00101 0.00203 0.00013 0.8652 0.00131 0.00211 0.00014 0.7197	0.00013 0.8652	0.7197		0.048890421 0.0031373	13.6 L 13.6 L 14.3 L	10 131 136 136	80	110.4	88.4 150.6	13.2 13.6	0.8 0.8	152804 5500.024 152804 5498.183 3	2.07491 0.138584 55 6.27789 0.210461 35	57.8107 12.77218 5712 54.7126 8.293559 1446	.427 136.7832 0.05 .976 35.38544 0.24	97649 0.003235 45141 0.008294
0.00137 0.00211 0.00014 0.8005 0.00131 0.00212 0.00014 0.8733	0.00014 0.8005 0.00014 0.8733	0.8005	4	0.057693308 0.0028332 0.060451886 0.0021816	16.9 1	1.4 13.6 1.3 13.6	60	518.1 619.8	107.8	13.5 13.5	0.8	152804 5499.399 2 152804 5499.403 5	0.147723 0.169768 60 0.168918 0.287484 25	09.6089 13.87714 2353 586.408 56.81292 4774	.039 56.97522 0.2 ² .782 114.4728 0.5 ⁴	59073 0.00861 41681 0.017613
0.01768 0.01733 0.00112 0.930- 0.00105 0.00204 0.00013 0.871:	0.00013 0.8713	0.930	51	0.106552616 0.0027115 0.050241115 0.0018267	230.3 14 14.2 1	4.3 110.8	0.8	206.2	46.6 84.3	110.8	0.8	152804 5499.991 152804 5498.322 2	9.47582 0.496212 18	87.5917 4.699358 1116 1506.92 33.32697 5442	.837 27.64904 0.16	57967 0.005916 76904 0.009023
00010 010000 00000 00000 00000 00000 00000 00000	0.00015 0.4945 0.8472 0.8472	0.4945	20.4	0.092051167 0.0118152 0.092051167 0.0118152 0.066612737 0.0022929	25.8 3 25.8 3 18.4 1	12.8 13.1 12.8 12.8	1.0	240.7 1468.4 825.7	243.7 71.8	12.8 12.4 12.6	0.9 0.6	152804 5545.953 6 152804 5545.953 6 152804 5546.03 5	26 100122 0 000000 0 000000 0 0 0 0 0 0 0	259.361 7.232472 431. 259.361 7.232472 431. 527.404 61.90921 8182	7798 13.71729 0.66 .657 229.6577 0.30	00679 0.012110 00679 0.025392 08873 0.011506
0.00579 0.01035 0.00059 0.727 0.00138 0.00196 0.00012 0.5658	0.00059 0.7273	0.727	3 5	0.051669659 0.0027839 0.04871355 0.0042285	72.2 5 13.3 1	5.5 66.4 1.4 12.6	3.8	270.8 134.1	123.5 204.0	66.1 12.7	3.6 0.7	152804 5550.695 5 152804 5546.312 4	0.160188 0.327285 22 1.535076 0.291118 48	27.9368 6.559053 82 85.4807 12.72166 1686	9.59 25.03107 0.27 .688 48.78091 0.28	74758 0.011456 87831 0.011233
0.00191 0.00200 0.00012 0.5466 0.00410 0.00177 0.00016 0.3739	0.00012 0.5466 0.3739	0.5466	1 2	0.06100642 0.0058024 0.070644211 0.0155764	16.9 1	129 129	0.8	639.5 947.1	204.6 451.4	12.7	0.7	152804 5547.537 5 152804 5548.893 5	659891 0.348703 28 6.160339 0.325847	84.9231 7.892145 1169 112.84 3.682549 268.4	.946 34.43246 0.24 1192 9.225648 0.45	43535 0.009843 20387 0.019925
0.00312 0.00200 0.00015 0.4019 0.00429 0.00204 0.00016 0.4395 0.00066 0.00018 0.4860	0.00015 0.4019 0.00016 0.4395 0.00014 0.4960	0.4019	000	0.059209458 0.0103432 0.085350823 0.0136721 0.074365701 0.0065107	16.5 3 24.1 4 27.6 7	11 129 13 132 141	1.0	574.8 1323.5 1051.4	379.8 310.3 730.6	12.8 12.6 13.7	0.9	152804 5546.715 1 152804 5548.127 9 152804 5548.127 9	0.593079 0.345393 21 0.312514 0.52888 18 0.010072 16	18.4235 6.256029 380. 81.5075 5.393193 335. 66 6695 4 0329001 509	2475 12.32415 0.57 4696 11.16522 0.54 2605 19.11662 0.36	74424 0.024846 41055 0.02414 82612 0.012106
0.00143 0.00208 0.00012 0.563 0.00286 0.00204 0.00015 0.399	0.00012 0.563 0.399	0.563	2 2 2	0.049252501 0.0041336 0.056579185 0.0093284	14.2 1	13.4	0.9	159.9	196.3 364.6	13.4 13.1	0.7	152804 5542 993 2 152804 5542 993 2	007908 0.159111 47	79.0794 12.53491 1614 292.298 8.037991 433	555 46.90129 0.25 966 13.84047 0.6	96725 0.011601 67355 0.028364
0.00131 0.00202 0.00011 0.62 0.00378 0.00229 0.00018 0.37	0.00011 0.62	0.62	387	0.052741141 0.0036787 0.059082629 0.0110773	14.8 1	13 13.0 3.8 14.7	0.7	317.7 570.1	158.6 408.0	13.0 14.6	0.7	152804 5541.331 152804 5543.685 4	3.38315 0.22716 47 1.075869 0.264622 15	76.4921 12.43961 2197 52.6551 4.610756 299.0	.125 63.14311 0.21 0161 10.00375 0.51	16871 0.00842 10525 0.023011
0.00541 0.00228 0.00018 0.47 0.00775 0.00247 0.00020 0.53 0.00705 0.00024 0.0016 0.53	0.00018 0.47 0.00020 0.53	0.47	271	0.104708697 0.0151274 0.149980137 0.019274	32.9 5 50.6 7 14.1 3	14.7 15 15.9 15.9	123	1709.2 2345.7	265.8 219.8	13.7 13.9	1.0	152804 5545.971 7 152804 5542.701 5	0.59341 2.522145 8 0.59341 2.522145 8	54.7921 4.705239 299. 89.4815 3.013754 232.	2764 10.08581 0.51 1151 8.065607 0.38	85505 0.018655 0.018655
0.00301 0.00222 0.0001 0.00300 0.00301 0.00222 0.0001 0.0030 0.00540 0.0000 0.0000 0.0000	0.00017 0.295	0.295	0.00	0.037071907 0.009383	11.5 3	8.0 14.3 8.4 13.1	3 = 5	-551.3	681.1 573.5	12.1	011	152804 5543.322 6 157804 5543.322 6	961201 0.407028 12 961201 0.407028 12 960566 0.507597 11	24.0516 3.899916 288. 24.0516 3.899916 288.	2596 9.714062 0.42 8596 9.714062 0.42 8800 9.768896 0.42	29453 0.01977 29453 0.01977
0.00511 0.00203 0.00020 0.43088 0.00278 0.00214 0.00017 0.50700	0.00020 0.43088 0.00017 0.50700	0.43088		0.08101922 0.016456 0.061498731 0.0081172	22.8 5 18.2 2	5.1 13.1 2.8 13.8	13 11	1221.9 656.7	399.1 283.1	12.6 13.6	11	152804 5543.626 5 152804 5544.831 4	0.53858 0.347422 91 0.050413 0.27014 25	58.5211 7.302142 633.0	2905 8.163192 0.35 0426 19.53662 0.40	97198 0.019543 08379 0.017085

Mather number 207/bi-3218 Oscilitationa Observationa Annotationa HOZZX3-76 00133 00037 00030 000017 011141 2 HOZZX3-76 00177 00133 00037 00030 000017 01114 2 HOZZX3-76 00177 00133 00035 000017 04131 00137 2 HOZZX3-75 00177 00130 00033 00031 010313 00131 2 HOZZX3-75 00177 00131 00015 00033 00033 2 HOZZX4-50 00177 00132 00031 00015 06133 006430 2 HOZZX4-51 00131 00132 00031 00014 07513 0004466 2 HOZZK4-52 00131 00015 00031 00015 06639 06641 2 HOZZK4-58 01314 00131 00021 00015 06639 16 2 HOZZK4-58 01314 00131	Comment				Isotope ra	ttios				Age ((Ma)							Elemental	concentratio	nn (g/gµ) nu	d ratio		
Display Display <t< th=""><th>Sample name</th><th>207Pb/235L</th><th>20</th><th>206Pb/238U</th><th>J 20</th><th>error correlation</th><th>207Pb/206Pb 20</th><th>235U-207Pt</th><th>20 23</th><th>8U-206Pt</th><th>20 20</th><th>7Pb-206Pb 2c</th><th>o Disequ</th><th>ilibrium & common Pb corrected 20</th><th>Si (</th><th>(internal 20</th><th>Ti</th><th>20 T</th><th>Ч</th><th>20 U</th><th></th><th>2d Th/</th><th>1 20</th></t<>	Sample name	207Pb/235L	20	206Pb/238U	J 20	error correlation	207Pb/206Pb 20	235U-207Pt	20 23	8U-206Pt	20 20	7Pb-206Pb 2c	o Disequ	ilibrium & common Pb corrected 20	Si ((internal 20	Ti	20 T	Ч	20 U		2d Th/	1 20
DCXII-56 001770 00038 00017 04030 006309 100117 17 DOXIL-57 00177 00038 000015 06013 066595145 001177 17 DOXIL-57 001285 00038 000015 06013 066751549 0004456 18 DOXIL-57 001385 00038 00013 00013 066751549 00137 18 DOXIL-58 001326 00031 00013 00013 00013 0004456 18 DOXIL-58 001311 000121 00013 00013 000133 0013335 001436 13 DOXIL-58 001311 000121 00013 00013 00013 00013 00013 00013 00013 00013 0013	40ZR5-67	0.02331	0.00375	0.00209	0.00017	0.51148	0.080994164 0.0111872	23.4	3.7	13.4	1.1	1221.3 271	5	13.0 1.0		152804 5541.84	15 4.910914	0.308617	260.5576 7	291828	441.097 14	4.04945 0.5	90704 0.025
HOZRI-77 00171 00170 00171 001711 001711 00171	10ZR2-76	0.01709	0.00339	0.00198	0.00017	0.43051	0.062509174 0.0111773	17.2	3.4	12.8	1.1	691.6 381	13	12.6 1.0		152804 5544.8	16 7.250936	0.429512 2	237.7282 6	801705 4	13.8587 13	3.39812 0.5	74419 0.024
DOZR45-39 DOZS39 DODR59 DODR450 DD0450 Z8 IDOZR4540 001320 000320 000310 001320 000310 001313 D04120 D041305 D141 D151 D00140 D151 D00140 D151 D00140 D151 D00140 D151 D00141 D151 D01414	40ZR2-77	0.01771	0.00199	0.00208	0.00015	0.63013	0.061782339 0.0053907	17.8	2.0	13.4	0.9	666.6 186	5.8	13.2 0.9		152804 5543.89	7 3.48359	0.241564	520.1983 1	3.63197	1416.58 41	1.37968 0.3	57221 0.014
DOZR4+51 00135	HOZR15-78	0.02858	0.00288	0.00231	0.00016	0.69929	0.089650429 0.006465	28.6	2.8	14.9	1.0	1418.1 137	6.1	14.2 0.9		152804 5548.5	14 3.974829	0.273594 4	457.8312 1	2.23749 14	477.533 43	3.28969 0.3	9862 0.012
HOZRL3-50 00153 00171 00072 00073 00073 00073 00073 00073 00073 00073 00074 127 HOZRL3-54 00131 00131 00131 00131 00014 07593 0005454 123 HOZRL3-54 00131 00015 00125 00014 07593 0005454 123 HOZRL3-54 00131 00015 00125 00016 055939 0005454 123 HOZRA-45 001341 000215 00016 05783 0001454 1000456 173 HOZRA-45 001461 00024 00015 05731 0000145 153 HOZRA-45 001461 00146 00146 00140 075347 113 100 HOZRA-45 001761 00015 00015 00124 00015 113 100 113 100 113 100 113 113 100 113 113 113 113 113 113 113	HOZR45-81	0.01826	0.00355	0.00208	0.00018	0.44022	0.063755356 0.0111165	18.4	3.5	13.4	1.1	733.5 369	0.3	13.2 1.0		152804 5540.1	32 6.020969	0.362847	206.7323 5	968832 30	58.4237 11	1.98347 0.5	51127 0.024
HOZRL3-27 00111 00012 000016 0.567958 0.6079569 32 HOZRL3-55 00113 000215 000016 0.57678 0.60795697 0.006995 34 HOZRL3-55 00113 000215 000016 0.57678 0.60519597 0.006993 345 HOZRA-55 00113 000215 000017 0.5811 0.006993 345 HOZRA-58 001136 000215 000217 000016 0.5458 0.009933 0.01569 345 HOZRA-48 001136 000214 000017 0.58211 0.005939 346 HOZRA-40 01136 00136 00131 00011 03113 0017439 001759 90176 9016 HOZRA-40 01137 00136 00131 00013 03131 001769 9017 9016 HOZRA-41 01137 00131 00013 03131 001769 9016 9017 9017 9017 9017 9017 HOZRA-42	IOZR45-80	0.01562	0.00174	0.00221	0.00015	0.62790	0.051328945 0.0044396	15.7	1.7	14.2	1.0	255.6 198	8.8	14.2 0.9		152804 5537.70	58 2.939534	0.206625 4	146.6844 1	1.71782 14	137.828 41	1.70565 0.3	10666 0.01
All ODD216-54 ODD215 ODD216 ODD216 ODD215 ODD215 ODD215 ODD215 ODD216 ODD215 ODD216 ODD215 ODD215 ODD216 ODD215 ODD216 ODD215 ODD215 ODD215 ODD216 ODD215 ODD216 ODD216<	HOZR12-82	0.01511	0.00127	0.00216	0.00014	0.78913	0.050793083 0.0026246	15.2	1.3	13.9	0.9	231.5 119	33	13.9 0.9		152804 5537.8.	57 2.559295	0.188408	1536.802 3	7.93957 4:	214.349 11	18.9346 0.3	54659 0.013
HOZR4-55 00141 00021 00017 00154 00043 00154 00043 00154	HOZR19-83	0.02451	0.00325	0.00215	0.00016	0.57678	0.082639707 0.0089495	24.6	3.2	13.9	1.1	1260.7 211	9.1	13.3 1.0		152804 5541.7.	27 6.707858	0.399573	441.891	11.7015 6	85.5355 20	0.91656 0.6	14592 0.026
DCRACK-38 001756 00025 00017 0.550133 0000456 173 HOZRS-39 001765 00026 00010 07778 0.65301338 0001456 173 HOZRS-30 001765 00124 000146 00114 000116 07778 0.6530538 001145 00114 HOZRS-30 011461 000146 00014 000116 07778 0.6530538 00114 00111 00111 00111 00111 00111 00111 00111 00111 00111 00111 00111 00111 00111 00111 00111 00111 001111 00111 001111	HOZR6-85	0.01841	0.00251	0.00217	0.00016	0.54885	0.061450644 0.0069928	18.5	2.5	14.0	1.0	655.0 244	11	13.8 1.0		152804 5539.4.	35 4.650026	0.29374	500.7946 1	3.07067	770.522 23	3.20023 0.6	19942 0.025
DOZRAS-90 OD145 OD014 OD14 OD014 OD14	IOZR43-88	0.01736	0.00258	0.00202	0.00017	0.56821	0.062501328 0.0076456	17.5	2.6	13.0	1.1	691.3 260	6.0	12.8 1.0		152804 5543.2	57 6.020432	0.375617	710.2642 1	8.71923 74	44.2118	23.5749 0.9	54385 0.039.
DCRX+40 00157 00164 00024 00124 00124 <	10ZR8-89	0.01464	0.00145	0.00211	0.00016	0.77178	0.050362358 0.0031629	14.8	1.4	13.6	1.0	211.8 145	5.5	13.6 1.0		152804 5540.84	11 1.835188	0.162093	766.3401 2	0.03568 3(004.053 88	8.61531 0.2	55102 0.010
DICR46-91 001576 000230 000030 000130 00131 001335 00133	HOZR24-90	0.04729	0.01064	0.00246	0.00029	0.52021	0.139472008 0.0267979	46.9	10.3	15.8	1.9	2220.7 333	3.0	14.1 1.6		152804 5543.9	16 15.58348	0.844761 8	34.56406 3	.133866 1	31.6761	5.62172 0.6	12213 0.036
DOLRU:7-02 00155 000216 000021 05300Hu 03300Hu 03300Hu <th< th=""><th>HOZR46-91</th><td>0.01891</td><td>0.00350</td><td>0.00203</td><td>0.00019</td><td>0.50124</td><td>0.067696089 0.0108335</td><td>19.0</td><td>3.5</td><td>13.0</td><td>1.2</td><td>859.3 332</td><td>22</td><td>12.8 1.1</td><td></td><td>152804 5540.9.</td><td>3 8.395597</td><td>0.488469 2</td><td>203.0377 6</td><td>.110375 3</td><td>79.4766 12</td><td>2.88756 0.5</td><td>35047 0.024</td></th<>	HOZR46-91	0.01891	0.00350	0.00203	0.00019	0.50124	0.067696089 0.0108335	19.0	3.5	13.0	1.2	859.3 332	22	12.8 1.1		152804 5540.9.	3 8.395597	0.488469 2	203.0377 6	.110375 3	79.4766 12	2.88756 0.5	35047 0.024
DOZR41.93 0.4911 0.0432 0.0032 0.0032 0.0032 0.0032 0.0032 0.0037 0.021887 0.021887 0.021887 0.021887 0.021887 0.021887 0.021887 0.031887 0.031887 0.03197 13.3 DZR41.45 0.011212 0.01032 0.00015 0.6100 0.00377 13.3 DZR41.45 0.031874 0.03177 13.3 DZR41.45 0.03167 0.01357 0.011 0.0012 0.0012 0.0012 0.01277 0.012 0.0121 0.0022 0.0002 0.002 0.002 0.002 0.0	HOZR27-92	0.01576	0.00223	0.00216	0.00018	0.58173	0.053020441 0.0060959	15.9	2.2	13.9	1.1	329.7 260	0.8	13.9 1.1		152804 5543.7.	26 5.027188	0.327386	558.3697 1	7.45866 89	95.2679	27.9591 0.7	35388 0.030
BZRAI-45 00125 000135 000135 000135 000135 000135 000135 000135 000135 000135 000135 000135 000135 000135 000135 000135 000135 000135 000135 000135 151 <th>HOZR41-93</th> <td>0.49112</td> <td>0.04351</td> <td>0.00622</td> <td>0.00050</td> <td>0.90217</td> <td>0.572264762 0.0218687</td> <td>405.7</td> <td>29.6</td> <td>40.0</td> <td>3.2</td> <td>4439.1 55.</td> <td>Ľ</td> <td>13.5 1.5</td> <td></td> <td>152804 5542.9</td> <td>15 18.86571</td> <td>1.002207 3</td> <td>309.6794 8</td> <td>815812</td> <td>507.816 10</td> <td>5.69725 0.6</td> <td>09826 0.026</td>	HOZR41-93	0.49112	0.04351	0.00622	0.00050	0.90217	0.572264762 0.0218687	405.7	29.6	40.0	3.2	4439.1 55.	Ľ	13.5 1.5		152804 5542.9	15 18.86571	1.002207 3	309.6794 8	815812	507.816 10	5.69725 0.6	09826 0.026
BZRH-46 010601 000851 000125 000125 000125 000125 000125 000125 01112 011112 011112 011112 <th>3ZR43-45</th> <th>0.01522</th> <th>0.00195</th> <th>0.00193</th> <th>0.00016</th> <th>0.63008</th> <th>0.057181874 0.0056797</th> <th>15.3</th> <th>1.9</th> <th>12.4</th> <th>1.0</th> <th>498.6 218</th> <th>8.8</th> <th>12.4 0.9</th> <th></th> <th>152804 5545.80</th> <th>8 4.916969</th> <th>0.322956</th> <th>520.9435 1</th> <th>4.09455 1</th> <th>245.481 38</th> <th>8.11451 0.4</th> <th>18267 0.0170</th>	3ZR43-45	0.01522	0.00195	0.00193	0.00016	0.63008	0.057181874 0.0056797	15.3	1.9	12.4	1.0	498.6 218	8.8	12.4 0.9		152804 5545.80	8 4.916969	0.322956	520.9435 1	4.09455 1	245.481 38	8.11451 0.4	18267 0.0170
BZR31-9 001546 0.00192 0.00202 0.00016 0.64315 0.05428592 0.0052728 15.6 BZR31-50 0.01297 0.00134 0.00195 0.00015 0.74172 0.04842 0.003341 13.1	3ZR44-46	0.01601	0.00607	0.00185	0.00023	0.33331	0.062839092 0.0224425	16.1	6.1	11.9	1.5	702.8 760	0.2	11.8 1.3		152804 5547.9.	23 5.599879	0.36034	37.18066 1	833585 1	35.3614 5.	789988 0.2	74677 0.017
BZR31-50 0.01297 0.00134 0.00195 0.00015 0.74172 0.048204842 0.003341 13.1	3ZR31-49	0.01546	0.00192	0.00202	0.00016	0.64315	0.055428592 0.0052728	15.6	1.9	13.0	1.0	429.6 212	0.0	13.0 1.0		152804 5546.5	3.718995	0.266116	217.5395 6	596238 1	357.471 41	1.40316 0.1	50253 0.006
	3ZR31-50	0.01297	0.00134	0.00195	0.00015	0.74172	0.048204842 0.003341	13.1	1.3	12.6	1.0	109.3 163	5.7	12.6 0.9		152804 5544.1.	18 4.229006	0.287991	342.2338 9	656188 21	854.093 8	84.4426 0	1991 0.004
BZR28-52 0.01396 0.00132 0.00197 0.00014 0.76940 0.051472181 0.00311 14.1	3ZR28-52	0.01396	0.00132	0.00197	0.00014	0.76940	0.051472181 0.00311	14.1	1.3	12.7	6.0	262.0 138	8.7	12.7 0.9		152804 5548.34	4.665807	0.31513	575.142	15.4938 3	741.819 11	10.7914 0.1	53707 0.006
BZR40-53 0.01447 0.00216 0.00192 0.00015 0.53939 0.054732392 0.0068711 14.6	3ZR40-53	0.01447	0.00216	0.00192	0.00015	0.53939	0.054732392 0.0068711	14.6	2.2	12.4	1.0	401.3 281	1.2	12.3 0.9		152804 5546.4	11 7.223902	0.438481 4	422.3422 1	1.67061 81	80.7948 27	7.75908 0.4	79501 0.020
BZR24-54 0.02421 0.00273 0.00185 0.00014 0.69102 0.094912577 0.0077242 24.3	3ZR24-54	0.02421	0.00273	0.00185	0.00014	0.69102	0.094912577 0.0077242	24.3	2.7	11.9	0.9	1526.3 153	3.3	11.3 0.8		152804 8002.81	37 38.61526	3.667747	1466977 5	3254.48 20	5789.19 10	091.877 54	76004 2.988

(続き)
く濃度
なびチタ
データル
Pb 年代
ライコン
1体のジ
山花崗岩
-2 大崩
表 4.3-

表 4.3-3 土岐花崗岩体のジルコン U-bb 年代データ及びチタン濃度

Col	mment				Isoto	pe ratios						Age (Ma						Col	ncentrtion ()	(g/g)			
Sample name		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	2σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	J 2σ	error corr	elation ²⁰⁷ F	b/ ²⁰⁶ Pb	2σ	²³⁵ U- ²⁰⁷ Pb	2σ ²³	³ U- ²⁰⁶ Pb	2σ ²⁰⁷]	ob- ²⁰⁶ Pb	2σ	Si	2 ₀ Ti		2σ Th	_	2σ U		2σ
DH13-11-17-1		0.08	0.01	0.0	10	00.0	0.30	0.05	0.01	82.24	12.70	72.64	3.49	370.94	345.47	152804.00	5468.21	7.57	0.95	217.15	4.75	233.33	4.90
DH13-11-17-2		0.07	0.01	0.0	10	00.0	0.24	0.04	0.01	64.32	13.16	78.54	3.95	-437.24	538.49	152804.00	5467.79	7.07	0.88	97.92	2.29	165.86	3.53
DH13-11-25		0.07	0.02	0.0	10	00.0	0.25	0.04	0.01	72.54	15.12	79.85	4.35	-162.39	519.58	152804.00	5467.71	3.98	0.67	63.51	1.58	131.89	2.85
DH13-11-C		0.08	0.04	0.0	10	00.0	0.23	0.06	0.02	81.14	35.50	69.41	7.29	441.97	984.94	152804.00	5467.66	7.14	0.84	14.81	0.53	39.38	1.00
DH6-2-22		0.10	0.01	0.0	10	00.0	0.32	0.06	0.01	92.29	11.05	75.84	3.05	541.45	259.12	152804.00	5467.61	4.48	0.70	276.90	5.86	266.28	5.49
DH6-2-3-1		0.10	0.01	0.0	10	00.0	0.32	0.06	0.01	96.15	13.40	76.26	3.51	622.73	298.80	152804.00	5467.57	3.75	0.64	164.47	3.60	188.01	3.94
DH6-2-3-2		0.11	0.02	0.0	10	00.0	0.32	0.06	0.01	102.41	16.20	76.98	4.02	743.76	333.61	152804.00	5467.50	3.26	0.59	113.00	2.55	135.92	2.90
DH6-2-7-1		0.08	0.01	0.0	10	00.0	0.30	0.05	0.01	80.96	10.53	76.63	3.07	210.64	299.49	152804.00	5467.71	4.63	0.71	266.94	5.68	279.46	5.76
DH6-2-7-2		0.10	0.01	0.0	10	00.0	0.33	0.06	0.01	95.33	11.47	75.30	3.09	630.83	256.42	152804.00	5467.72	5.38	0.73	269.22	5.73	270.17	5.58
DH6-2-6		0.08	0.01	0.0	10	00.0	0.32	0.05	0.01	81.49	90.6	74.20	2.74	300.74	249.95	152804.00	5467.57	3.80	0.68	330.27	6.93	337.02	689
DH6-2-10		0.10	0.01	0.0	10	00.0	0.34	0.06	0.01	95.60	9.83	76.83	2.78	593.60	219.65	152804.00	5467.59	5.64	0.75	402.05	8.38	343.60	7.02
DH6-2-13		0.07	0.02	0.0	10	00.0	0.24	0.05	0.01	71.36	19.05	72.92	4.81	19.38	644.58	152804.00	5467.63	6.67	0.84	62.29	1.55	92.56	2.06
DH6-2-16		0.07	0.01	0.0	10	00.0	0.27	0.04	0.01	72.83	12.40	76.94	3.66	-60.07	413.98	152804.00	5467.59	5.43	0.75	156.49	3.45	176.68	3.72
DH6-2-1		0.09	0.01	0.0	10	00.0	0.31	0.05	0.01	86.19	10.79	75.79	3.03	384.73	279.07	152804.00	5467.55	3.55	0.62	219.47	4.71	262.48	5.41
DH6-2-5-1 Inhe	arited	0.09	0.02	0.0	10	00.0	0.29	0.05	0.01	90.61	19.25	80.72	5.11	359.65	479.93	152804.00	5468.14	9.59	1.01	97.70	2.27	111.22	2.45
DH6-2-5-2		0.07	0.01	0.0	10	00.00	0.28	0.04	0.01	72.46	13.38	76.58	4.14	-61.33	447.52	152804.00	5468.07	9.23	1.01	166.95	3.66	172.12	3.65
DH6-2-2-1		60.0	0.01	0.0	10	00.0	0.34	0.05	0.01	85.91	11.59	76.10	3.62	367.99	298.20	152804.00	5467.98	2.40	0.55	98.00	2.26	239.34	4.97
DH6-2-2-2		0.08	0.01	0.0	10	00.0	0.36	0.05	0.01	82.41	9.16	77.18	3.21	236.74	248.91	152804.00	5468.00	2.41	0.60	159.10	3.49	368.66	7.53
DH9-10-11		0.07	0.02	0.0	10	00.0	0.27	0.04	0.01	72.89	16.94	78.32	5.04	-101.69	570.22	152804.00	5467.98	7.52	0.86	99.31	2.28	103.93	2.29
DH9-10-10-1		0.08	0.01	0.0	10	00.0	0.37	0.05	0.01	77.35	8.23	74.72	3.01	159.33	240.39	152804.00	5468.12	1.08	0.52	195.71	4.24	445.64	9.06
DH9-10-10-2		0.07	0.01	0.0	10	00.0	0.30	0.04	0.01	64.66	9.30	73.98	3.32	-268.19	359.37	152804.00	5468.15	1.05	0.54	106.26	2.44	314.12	6.47
DH9-10C		0.08	0.01	0.0	10	00.0	0.34	0.05	0.01	75.50	9.61	76.75	3.39	36.06	297.82	152804.00	5468.06	2.03	0.59	218.66	4.69	304.58	6.27
DH9-10-4-1		0.08	0.01	0.0	10	00.0	0.36	0.05	0.01	75.42	8.47	77.62	3.20	6.25	262.16	152804.00	5467.97	1.30	0.53	151.10	3.32	367.56	7.50
DH9-10-4-2		0.08	0.01	0.0	10	00.0	0.38	0.05	0.00	76.52	7.57	73.97	2.89	157.02	221.94	152804.00	5468.01	1.61	0.53	201.15	4.33	484.58	9.82
DH9-10-1-1		0.09	0.01	0.0	10	00.0	0.31	0.05	0.01	83.11	13.97	74.50	4.08	337.90	376.58	152804.00	5468.21	1.27	0.55	80.93	1.93	178.99	3.80
DH9-10-1-2 Inhe	arited	0.09	0.01	0.0	10	0.00	0.41	0.05	0.00	84.35	7.33	80.27	2.94	201.26	66.161	152804.00	5468.62	2.07	0.62	297.08	6.32	713.13	14.39

【付録3】

付 3-46

憲度
ン
\mathcal{U}
チ
ŭ
改
K
Ľ
Щ
٩
Ц Ц
ン
П
1
ジ
6
击 6
或岩の
采成岩の
ら深成岩の
复合深成岩の
手複合深成岩の
퇂野複合深成岩の
遠野複合深成岩の
3-4 遠野複合深成岩の

表

County mono	Comment			L	sotope ratios						Age (Ma)						Cor	ncentrtion (µ	(g/g)			
Sample name		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	2σ ²¹	⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2σ erro	r correlation 207	Pb/ ²⁰⁶ Pb	2σ	²³⁵ U_ ²⁰⁷ Pb	2σ ²³⁸	J- ²⁰⁶ Pb	2σ 207 F	b- ²⁰⁶ Pb	2σ Si		2σ Ti		2σ Th		2σ U		2σ
003-01-Zr05		0.12	0.02	0.02	0.00	0.34	0.05	0.01	112.89	16.16	117.76	6.01	11.32	342.01	152804.00	5470.04	1.89	0.73	52.67	1.45	251.19	5.32
003-01-Zr10		0.12	0.01	0.02	0.00	0.39	0.05	0.01	117.03	13.49	118.48	5.54	87.64	266.78	152804.00	5469.15	4.76	0.84	191.85	4.18	286.95	5.96
003-01-Zr14		0.13	0.02	0.02	0.00	0.34	0.05	0.01	125.29	19.51	117.80	6.51	269.88	357.45	152804.00	5468.93	2.09	09.0	56.49	1.44	146.95	3.18
003-01-Zr15		0.12	0.01	0.02	0.00	0.43	0.05	0.00	115.05	11.35	113.72	5.00	142.59	221.60	152804.00	5469.18	7.58	1.01	293.40	6.21	406.96	8.33
003-01-Zr16-01		0.13	0.02	0.02	0.00	0.36	0.05	0.01	123.65	16.05	121.19	6.01	171.37	299.91	152804.00	5469.23	5.52	0.85	111.22	2.58	225.72	4.76
003-01-Zr16-02		0.12	0.01	0.02	0.00	0.38	0.05	0.01	112.65	13.19	120.71	5.57	-54.42	279.01	152804.00	5469.05	4.17	0.77	185.85	4.06	292.11	6.06
003-01-Zr19		0.12	0.02	0.02	0.00	0.37	0.05	0.01	111.34	13.99	115.03	5.54	33.01	295.80	152804.00	5469.19	4.59	0.77	149.64	3.34	257.61	5.38
003-01-Zr21		0.11	0.02	0.02	0.00	0.31	0.04	0.01	107.68	18.42	118.60	6.51	-127.73	423.77	152804.00	5469.14	4.43	0.79	67.94	1.69	159.10	3.44
003-01-Zr22		0.12	0.02	0.02	0.00	0.31	0.05	0.01	111.79	20.39	110.23	6.46	145.27	429.97	152804.00	5468.98	4.25	0.74	40.60	1.12	132.28	2.89
+ 003-01-Zr23		0.13	0.01	0.02	0.00	0.83	0.05	0.00	123.30	4.99	117.26	4.14	241.41	55.48	152804.00	5469.15	48.42	3.16	2269.10	45.50	5522.58	109.05
004-01-Zr08		0.15	0.03	0.02	0.00	0.33	0.06	0.01	142.20	27.51	121.03	8.27	511.86	429.71	152804.00	5469.28	8.81	1.12	54.58	1.45	92.73	2.12
604-01-Zr06		0.12	0.03	0.02	0.00	0.29	0.05	0.01	117.47	26.82	123.68	8.64	-6.45	558.06	152804.00	5470.24	9.45	1.30	57.69	1.59	106.19	2.46
004-01-Zr10		0.13	0.03	0.02	0.00	0.32	0.05	0.01	128.58	25.23	122.54	8.20	241.70	455.68	152804.00	5469.38	8.95	1.15	63.52	1.64	99.70	2.27
004-01-Zr11		0.11	0.02	0.02	0.00	0.31	0.04	0.01	104.76	20.77	113.56	7.27	-01.07	486.74	152804.00	5469.91	10.22	1.28	93.49	2.30	141.15	3.13
004-01-Zr12		7.04	0.65	0.02	0.00	0.75	2.68	0.16	2116.77	82.07	121.55	8.35	6591.50	81.89	152804.00	5469.97	13.41	1.49	70.57	1.84	106.62	2.45
004-01-Zr03		0.14	0.03	0.02	0.00	0.34	0.05	0.01	131.82	22.59	124.76	7.73	260.96	394.19	152804.00	5468.94	8.69	1.08	66.66	1.68	113.11	2.51
004-02-Zr01		0.12	0.02	0.02	0.00	0.33	0.04	0.01	110.91	18.81	122.25	7.24	-126.15	416.76	152804.00	5468.55	8.77	1.03	73.18	1.77	120.19	2.62
004-02-Zr02		0.12	0.02	0.02	0.00	0.33	0.04	0.01	111.78	18.92	127.41	7.39	-209.52	423.95	152804.00	5468.54	9.41	1.02	71.12	1.73	122.56	2.66
004-02-Zr07-1		0.13	0.02	0.02	0.00	0.35	0.05	0.01	122.72	19.73	119.63	7.07	183.00	372.52	152804.00	5468.51	10.10	1.06	70.69	1.72	121.84	2.64
004-02-Zr07-2		0.12	0.02	0.02	0.00	0.33	0.04	0.01	116.70	20.33	125.88	7.60	-66.63	424.96	152804.00	5468.43	7.77	0.93	60.50	1.51	105.27	2.31
004-02-Zr08-1		0.13	0.03	0.02	0.00	0.29	0.05	0.01	120.12	27.70	122.60	8.61	71.19	556.60	152804.00	5468.42	9.83	1.03	30.79	0.89	67.41	1.56
004-02-Zr08-2		0.09	0.02	0.02	0.00	0.28	0.04	0.01	89.87	19.16	115.37	7.17	-544.20	574.38	152804.00	5468.39	11.73	1.15	74.55	1.79	102.99	2.26
017-Zr01-1		0.13	0.01	0.02	0.00	0.58	0.05	0.00	123.96	6.94	119.86	4.07	203.36	112.90	152804.00	5468.82	4.36	0.82	1213.90	24.69	1521.02	30.39
017-Zr01-2		0.13	0.01	0.02	0.00	0.53	0.05	0.00	124.37	7.87	122.44	4.29	161.39	133.82	152804.00	5468.90	4.68	0.84	541.85	11.25	1091.99	21.91

4.4 得られたジルコン結晶化年代と黒雲母 K-Ar 年代の関連

3 岩体(黒部川花崗岩体、大崩山花崗岩体及び遠野複合深成岩体)の7 試料に対する年代測定 は蒜山地質年代学研究所において実施された。カリウムの定量は、(1)分離試料の調整、(2)酸 による試料の分解、(3)試料溶液の蒸発乾固と乾固物の塩酸酸性溶液の作成、(4)試料溶液のろ 過と分取希釈、(5)炎光分光法(日立180-30型原子吸光・炎光分析装置)による定量分析という 手順で長尾ほか(1984)²⁰⁾に従って行われた。

アルゴン同位体比の測定は、130°扇型磁場・斜入出射・単収束・イオン軌道半径 15 cmのアル ゴン専用の質量分析計(HIRU, Itaya et al., 1991²¹⁾)を用い,ほぼ 100%に近い純度を持つ質量 数 38 のアルゴンをトレーサー(スパイク)として、試料から抽出されるアルゴンと混合される同 位体希釈法で定量した(長尾ほか, 1984²⁰⁾;長尾・板谷, 1988²²⁾; Itaya et al., 1991²¹⁾)。得られ た黒雲母 K-Ar 年代を表 4.4-1 に示す。

黒部川花崗岩体の優白質岩において、ジルコン U-Pb 年代と結晶化温度と黒雲母 K-Ar 年代と その閉鎖温度をプロットした図が、図 4.4.1 である。その結果、ジルコン U-Pb 年代と黒雲母 K-Ar 年代は誤差範囲内で一致する。このことは、本研究で実施したジルコン U-Pb 年代・チタン濃 度の同時定量技術の妥当性を示すものである。またジルコンの結晶化温度と黒雲母 K-Ar 系の閉 鎖温度が異なるにも関わらず年代値に相違がないことは、約 900℃から約 300℃まで岩体が急冷 したことを示す。

大崩山花崗岩体の各岩相(黒雲母花崗岩、ホルンブレンド黒雲母花崗岩、ホルンブレンド黒雲 母花崗閃緑岩)において、ジルコン U-Pb 年代と結晶化温度と黒雲母 K-Ar 年代とその閉鎖温度 のプロットを、図 4.4.2 に示す。その結果、ジルコン U-Pb 年代と黒雲母 K-Ar 年代は誤差範囲 内で一致する。このことは、大崩山花崗岩体に対しても、本研究で実施したジルコン U-Pb 年代・ チタン濃度の同時定量技術の妥当性を示すものである。またジルコンの結晶化温度と黒雲母 K-Ar 系の閉鎖温度が異なるにも関わらず年代値に相違がないことは、約 900℃から約 300℃まで岩 体が急冷したことを示す。

遠野複合深成岩体の各岩相(中心部相、主岩相、周辺部相)において、ジルコン U-Pb 年代と 結晶化温度と黒雲母 K-Ar 年代とその閉鎖温度のプロットを、図 4.4.3 に示す。その結果、それ ぞれの岩相のジルコン U-Pb 年代と黒雲母 K-Ar 年代は誤差範囲内で一致する。このことは、先 の岩体と同様に、本研究で実施したジルコン U-Pb 年代・チタン濃度の同時定量技術の妥当性を 示すものである。またジルコンの結晶化温度と黒雲母 K-Ar 系の閉鎖温度が異なるにも関わらず 年代値に相違がないことは、遠野複合深成岩体においても、貫入後、約 800℃から約 300℃まで 岩体が急冷したことを示す。

岩体名	試料数	サンプル名	黒雲母K-Ar年代
黒部川 花崗岩体	1	優白質岩:009-2、006-2	0.91±0.04 Ma
		黒雲母花崗岩:052405	12.2±0.3 Ma
大崩山 花崗岩体	大崩山 花崗岩体3黒雲母花崗岩:05240512.2±0.3ホルンブレンド黒雲母花崗岩:09141715.9±0.4ホルンブレンド黒雲母花崗閃緑岩:09141813.3±0.3中心部相114.1±2.5	15.9±0.4 Ma	
		ホルンブレンド黒雲母花崗閃緑岩:091418	13.3±0.3 Ma
		114.1±2.5 Ma	
遠野 復 合 深 成 岩 体	3	主岩相	122.6±2.7 Ma
		周辺部相	117.1±2.5 Ma

表 4.4-1 本共同研究で活用する試料の黒雲母 K-Ar 年代



図 4.4.1 黒部川花崗岩体(優白質岩)のジルコン U-Pb 年代・結晶化年代と黒雲母 K-Ar 年 代・その閉鎖温度のプロット



図 4.4.2 大崩山花崗岩体の3岩相(黒雲母花崗岩、ホルンブレンド黒雲母花崗岩、ホルンブレンド黒雲母花崗閃緑岩)ごとのジルコン U-Pb 年代・結晶化年代と黒雲母 K-Ar 年代・その閉 鎖温度のプロット



図 4.4.3 遠野複合深成岩体(中心部相、主岩相、周辺部相)のジルコン U-Pb 年代・結晶化年 代と黒雲母 K-Ar 年代・その閉鎖温度のプロット

4.5 ジルコンの物理化学条件に基づく隆起史・侵食史の初期条件の制約

本共同研究では、「ジルコンの U-Pb 年代測定・チタン濃度の同時定量技術の開発」を通じて、 「ジルコンの U-Pb 年代とチタン濃度から結晶化年代・温度の導出」を行った。これらの年代や 温度はマグマの貫入・定置・結晶化の物理化学条件に相当する。つまり、この物理化学条件は隆 起史・侵食史の初期条件と見なすことが出来る。令和元年度の共同研究では、黒部川花崗岩、大 崩山花崗岩、土岐花崗岩、遠野複合深成岩体を対象とし、結晶化年代・温度の導出を実施した。 それぞれの岩石試料の年代は、黒雲母 K-Ar 年代と整合的な値を持つ。複数岩体において黒雲母 K-Ar 年代と整合的な結晶化年代を導出できたことは、同時定量手法の妥当性を示している。つま り、本手法は隆起史・侵食史の初期条件を制約するために有効なものとなる。この初期条件以降 の冷却史(温度時間履歴)を捉えることが、隆起史・侵食史の解明へ繋がる。

本共同研究でのもう一つの課題であった「CL 像で取得される組織に応じた結晶化年代や温度の相違」を定量的に議論するためには、更なるデータの拡充が必要となる。また、U-Pb 年代やチ タン濃度の誤差をさらに小さくすることや、定量下限を低下させることが、手法の高度化の課題 として上げられる。

5. まとめ

深成岩体を伴う地域の隆起量・侵食量の評価には地球年代学的(熱年代学的)な手法が有用で ある。この地球年代学的手法と岩石学的手法の融合は、マグマの貫入・定置に関する情報などの、 熱年代学のみでは得られない、隆起史・侵食史の解明に資する地質情報の取得が可能とする。こ れらの手法の構築を通じて隆起量・侵食量評価に寄与する自然現象の影響評価手法の高度化に向 けた整備を実施した。

令和元年度の共同研究では、「ジルコンの U-Pb 年代測定・チタン濃度の同時定量技術の開発」 を実施した。この手法を用い黒部川花崗岩、大崩山花崗岩、土岐花崗岩、遠野複合深成岩体を対 象とし、「ジルコンの U-Pb 年代とチタン濃度から結晶化年代・温度の導出」を行った。これらの 年代や温度はマグマの貫入・定置・結晶化の物理化学条件に相当する。つまり、この物理化学条 件は隆起史・侵食史の初期条件と見なすことが出来る。3 岩体(黒部川花崗岩体、大崩山花崗岩 体、遠野複合深成岩体)の7 試料に対する年代測定を実施した。その結果、それぞれの岩石試料 に対するジルコン U-Pb 年代と黒雲母 K-Ar 年代は誤差範囲内で一致する。複数岩体において黒 雲母 K-Ar 年代と整合的な結晶化年代を導出できたことは、本研究で実施したジルコン U-Pb 年 代とチタン濃度の同時定量技術の妥当性を示すものである。つまり、本手法は隆起史・侵食史の 初期条件を制約するために有効なものとなる。この初期条件以降の冷却史(温度時間履歴)を捉 えることが、隆起史・侵食史の解明へ繋がる。またジルコンの結晶化温度と黒雲母 K-Ar 系の閉 鎖温度が異なるにも関わらず年代値に相違がないことは、約 900℃から約 300℃まで岩体が急冷 したことを示す。

本共同研究での課題とした「CL 像で取得される組織に応じた結晶化年代や温度の相違」を定 量的に議論するためには、更なるデータの拡充が必要となる。また、U-Pb 年代やチタン濃度の 誤差をさらに小さくすることや、定量下限を下げることが、手法の高度化の課題として上げられ る。 引用文献

- 1) 末岡 茂,堤 浩之,田上高広,低温領域の熱年代学の発展と日本の山地の隆起・削剥史研究 への応用,地球科学,vol.69, pp.47-70, 2015.
- 2) Yuguchi, T., Sueoka, S., Iwano, H., Izumino, Y., Ishibashi, M., Danhara, T., Sasao, E., Hirata, T. and Nishiyama, T., Position-by-position cooling paths within the Toki granite, central Japan: Constraints and the relation with fracture population in a pluton, Journal of Asian Earth Sciences, vol. 169, pp47-66, 2019.
- 3) Yuguchi, T., Iwano, H., Kato, T., Sakata, S., Hattori, K., Hirata, T., Sueoka, S., Danhara, T., Ishibashi, M., Sasao, E. and Nishiyama, T., Zircon growth in a granitic pluton with specific mechanisms, crystallization temperatures and U-Pb ages: Implication to the 'spatiotemporal' formation process of the Toki granite, central Japan, Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, vol.111, pp.9-34, 2016.
- 4) Ito, H. Yamada, R., Tamura, A., Arai, S., Horie, K. and Hokada, T., Earth's youngest exposed granite and its tectonic implications: The 10-0.8 Ma Kurobegawa Granite, Scientific Reports, vol. 3, doi: 10.1038/srep01306, 2013.
- 5) Shibata, K. and Ishihara, S., Rb-Sr whole-rock ages and K-Ar mineral ages of granitic rocks in Japan, Geochemical Journal, vol.13, pp.113-119, 1979.
- 6) Takahashi, M., Anatomy of a middle Miocene Valles-type caldera cluster: geology of the Okueyama volcano-plutonic complex, southwest Japan, Journal of Volcanology and Geothermal Research, vol.29, pp.33-70, doi:10.1016/0377-0273(86)90039-9, 1986.
- Yuguchi, T. and Nishiyama, T., Cooling process of a granitic body deduced from the extents of exsolution and deuteric sub-solidus reactions: Case study of the Okueyama granitic body, Kyushu, Japan. Lithos. vol.97, pp.395-421, 2007.
- 8) 日本原子力研究開発機構,電力中央研究所,平成 30 年度 高レベル放射性廃棄物等の地層処 分に関する技術開発事業 地質環境長期安定性評価技術高度化開発 報告書, 200p, 2019.
- 9) 御子柴 (氏家) 真澄, 蟹澤聰史, 北上山地, 遠野複合深成岩体の岩石化学的特徴, 地球科学, vol.62, pp.183-201, 2008.
- 10) 内海 茂, 宇都浩三, 柴田 賢, K-Ar 年代測定結果-3-地質調査所未公表資料-, 地質調査所月 報, vol.41, pp.567-575, 1990.
- 加々美寛雄,本州弧に分布する白亜紀~古第三紀花崗岩の活動と起源物質,地質学雑誌,vol.
 111, pp.441-457, 2005.
- 12) Dodson, M.H. and McClelland-Brown, E., Isotopic and paleomagnetic evidence for rates of cooling, uplift and erosion, In: Snelling J (ed) Geological Society of London Memories, vol.10, pp 315-325, doi:10.1144/GSL.MEM.1985.010.01.26, 1985.
- 13) Wiedenbeck, M., Alle, P., Corfu, F., Griffin, W.L., Meier, M., Oberli, F., von Quadt, A., Roddick, J.C. and Spiegel, W., Three natural zircon standards for U–Th–Pb, Lu–Hf, trace element and REE analyses, Geostandards Newsletter, vol.19, pp.1-23, 1995.
- 14) Sláma, J., Košler, J., Condon, D.J., Crowley, J.L., Gerdes, A., Hanchar, J.M., Horstwood, M.S.A., Morris, G.A., Nasdala, L., Norberg, N., Schaltegger, U., Schoene, N., Tubrett, M.N. and Whitehouse, M.J., Plešovice zircon - a new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis, Chemical Geology, vol.249, pp.1-35, 2008.

- 15) Black, L.P., Kamo, S.L., Allen, C.M., Davis, D.W., Aleinikoff, J.N., Valley, J.W., Mundil, R., Campbell, I.H., Korsch, R.J., Williams, I.S. and Foudoulis, C., Improved ²⁰⁶Pb/²³⁸U microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element-related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards, Chemical Geology, vol.205, pp.115–140, 2004.
- 16) Iwano, H., Orihashi, Y., Hitata, T., Ogasawara, M., Danhara, T., Horie, K., Hasebe, N., Sueoka, S., Tamura, A., Hayasaka, Y., Katsube, A., Ito,H., Tani, K., Kimura, J., Chang, Q., Kouchi, Y., Haruta, Y. and Yamamoto, K., An inter-laboratory evaluation of OD-3 zircon for use as a secondary U–Pb dating standard, Island Arc, vol.22, pp.382-394, 2013.
- 17) Sakata, S., Hirakawa, S., Iwano, H., Danhara, T., Guillong, M. and Hirata, T., A new approach for constraining the magnitude of initial disequilibrium in Quaternary zircons by coupled uranium and thorium decay series dating, Quaternary Geochronology, vol.38, pp.1-12, 2017.
- 18) Sakata, S., A practical method for calculating the U-Pb age of Quaternary zircon: Correction for common Pb and initial disequilibria, Geochemical Journal, vol.52, pp.281-286, doi:10.2343/geochemj.2.0508, 2018.
- 19) Watson, E.B, Wark, D.A., Thomas, J.B., Crystallization thermometers for zircon and rutile, Contributions to Mineralogy and Petrology, vol.151, pp.413–433, 2006.
- 20) 長尾敬介, 西戸裕嗣, 板谷徹丸, 緒方維一, K-Ar 法による年代測定, 岡山理科大学蒜山研究 所研究報告, vol. 9, pp.19-38, 1984.
- 21) 長尾敬介,板谷徹丸, K-Ar法による年代測定,地質学論集,vol. 29, pp.5-21, 1988.
- 22) Itaya, T., Nagao, K., Inoue, K., Honjou, Y., Okada, T. and Ogata, A., Argon isotope analysis by a newly developed mass spectrometric system for K-Ar dating, Mineralogical Journal, vol.15, pp.203-221, 1991.

断層内物質の年代測定による断層活動性評価手法 に関する共同研究

平成 31 年度共同研究報告書

令和2年1月

石川県公立大学法人石川県立大学

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター 地層科学研究部 ネオテクトニクス研究グループ

目	次
---	---

1.	概要	3
	1.1 共同研究件名	3
	1.2 研究目的	3
	1.3 実施期間	3
2.	研究内容	4
	2.1 はじめに	4
	2.2 測定試料と IRSL 測定のための試料及び試料調製	4
	2.3 X 線線量率の再調整	5
	2.4 アルカリ長石の IRSL 測定	5
	2.5 成長曲線の標準化	6
	2.6 IRSL 測定による基本データ	7
	2.7 IRSL フェーディング評価 1	10
	2.8 測定試料の飽和度の評価1	10
	2.9 IRSL 年代について 1	10
	2.10 ESR 年代測定1	11
3.	まとめ1	12

図目次

义	2.2 - 1	(A) 阿寺断層の分布(点線)と試料採取位置(星印)及び(B) 試料採取露頭の写真	4
义	2.3-1	Toya 標準石英試料(200 Gyy 線照射)のテスト照射による補正 RTL 強度と SAR に	よ
る	X 線再生	生照射成長線の比較例	. 5
义	2.4-1	IRSL 測定に用いた SAR 測定	. 6
义	2.5 - 1	SAR 測定による IRSL 強度の測定点と(1)式に基づく成長線のフィッティングの模	式
义			. 7
义	2.6-1	MET(50, 75, 100, 125, 225)で得られた線量応答曲線の一例(試料番号 TS3_18)	. 9
义	2.8-1	測定時加熱温度の異なる条件で得られた飽和比(<i>NI</i> IImax)	10
义	2.10-1	砂礫層から抽出した石英試料の Al 及び Ti-Li 中心の線量応答線	11

表 目	次
-----	---

表	2.6-1	IR(50, 225)実験の測定結果	8
表	2.6-2	IR(50, 125, 225)実験の測定結果	8
表	2.6-3	MET(50, 75, 100, 125, 225)実験の測定結果	9
表	2.10-1	TS6B、TS-CS2S1 及び TS-BS2L が示した年代1	12

1. 概要

1.1 共同研究件名

断層内物質の年代測定による断層活動性評価手法に関する共同研究

1.2 研究目的

日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)では、地層処分に適した地質環境の選定に係る 自然現象(火山・火成活動、深部流体、地震・断層活動、隆起・侵食等)の影響把握及びモデル 化に必要な知見の蓄積や調査・評価技術の高度化のため、地質学、地形学、地震学、地球年代学 等の各学術分野における最新の研究を踏まえた技術の適用による事例研究を通じて、課題の解決 を総合的に進めている。

このうち地震・断層活動に関しては、断層変位の有無の判定に係る年代既知の被覆層(上載地層)がない場合の断層の活動性評価が課題の一つとして挙げられている。この課題への対応として、断層内物質に着目した評価手法を確立することが有効であると考えられるが、これまでは主に定性的な特徴(鉱物粒子の形状等)に基づく検討が主体であった。断層内物質を対象とした化学組成分析や年代測定(カリウム・アルゴン(K-Ar)法、電子スピン共鳴(ESR)法、熱ルミネッセンス(TL)法、光ルミネッセンス(OSL)法等)に基づく定量的な検討も進められてきているが、これらの年代測定に基づく断層の活動性評価の信頼性を確保するためには、各手法の適用範囲の拡充や精度の向上が大きな課題となっている。そこで本共同研究では、断層活動性評価手法の高度化を目的として、断層内物質を対象とした年代測定に係る検討を行う。

共同研究先である石川県公立大学法人石川県立大学(以下、石川県立大学)は、TL 法や OSL 法等の年代測定についての高度な技術を有し、これらの手法の断層内物質への適用性検討に先駆 的に取り組んできている。原子力機構は、地震・断層活動の活動性及び影響の調査・評価技術に 関する多くの研究実績を有し、K-Ar 法等による断層内物質の年代測定手法の開発に取り組んで いる。そのため、本共同研究を行うことにより、石川県立大学は、地震・断層活動に関し原子力 機構が有する知見を取り入れることで TL 法や OSL 法等の年代測定における適用範囲の拡充を 効果的に進めることができるとともに、原子力機構においては、地層処分に適した地質環境の選 定に係る調査・評価において課題となっている上載地層がない場合の断層の活動性評価に関する 調査技術の高度化を効果的に進めることができる。

平成 30 年度の共同研究では、主に石英を対象とした ESR 法と OSL 法、及び長石類を対象と した赤外光刺激のルミネッセンスを用いた IRSL 法に着目し、断層内物質の年代測定のための手 法の検討を進めた。これらの手法の断層内物質への適用範囲の拡充や精度の向上のためには、得 られる分析値と断層の性状・構造との関係について把握することが不可欠である。そこで平成 31 年度の共同研究では、性状・構造や発達史が詳しく調べられた断層において採取された試料につ いて各年代測定手法を適用し、測定結果を比較することにより、手法ごとの適用範囲や精度、技 術的改善点について取りまとめる。

なお、本共同研究は、原子力機構が経済産業省資源エネルギー庁から受託した「平成 31 年度高 レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業(地質環境長期安定性評価技術高度化開 発)」の一環として行うものである。

1.3 実施期間

平成 31 年 4 月 23 日~令和 2 年 1 月 31 日

2. 研究内容

2.1 はじめに

断層内物質を対象とした年代測定手法の高度化として、本共同研究では、特に IRSL 法に着目 した検討を進めている。昨年度の共同研究では、測定対象となる長石の分離手法の構築、IRSL 測定装置の調整、測定手順の整備や感度変化の検討等を行った。それらの成果を踏まえたうえ で、今年度の共同研究では、特に断層摩擦等によって生じる熱が IRSL 信号に及ぼす影響を明ら かにする目的で、複数の温度設定での測定を実施し、得られたデータを検証した。また、熱的安 定性についての IRSL 信号との比較として、ESR 年代測定も併せて実施した。

2.2 測定試料と IRSL 測定のための試料及び試料調製

実験のために準備した試料は、2016年5月に岐阜県中津川市田瀬に位置する阿寺断層露頭から 北海道教育大学によって採取されたものである。採取地点と露頭写真を図 2.2・1に示す。本露頭 では、阿寺断層が北西走向・北傾斜で分布し、白亜紀後期の苗木-上松花崗岩が第四紀後期の砂 礫層に衝上している(遠田ほか,1994)。花崗岩と砂礫層の境界をなす断層沿いには、幅15~30 cm程度の断層ガウジが挟まれる。断層ガウジと接する花崗岩はカタクレーサイト化している。断 層ガウジからは3試料採取しており、TS1は花崗岩カタクレーサイトと接する白色の粘土、TS3は 断層ガウジのほぼ中央に位置する花崗岩岩片を含む乳白色の粘土、TS6Bは断層ガウジ内で最も 南西側(砂礫層側)の端に位置する厚さ約5 cmの粘土である。TSBは花崗岩カタクレーサイト、 TS-CS2S1は砂礫層試料であり、それぞれ断層ガウジの近傍で採取された。TS-BS2Lは、TS-CS2S1よりもさらに約5 m南の砂礫層から採取された。TS6BとTS-BS2Lは、昨年度の共同研究に おいて報告したものと同じ試料である。TS6B、TS-CS2S1及びTS-BS2Lについては、今年度の共 同研究ではESR測定の試料とした。一方、IRSL測定に関しては、より詳細な測定方法を検討しデ ータの確実度を保証するため、今年度の共同研究ではTS3に集中して各種の測定を進めた。IRSL 測定のための長石の分離は昨年度の報告書で述べた手順に従った。また、測定に用いた粒径も、 昨年度と同様の125~250 µmである。



図 2.2-1 (A) 阿寺断層の分布(点線)と試料採取位置(星印)及び(B) 試料採取露頭の写真 地形図は国土地理院電子地図国土 Web を利用。

2.3 X線線量率の再調整

IRSL測定には、昨年度の共同研究と同じく、石川県立大学に設置された3号機装置を用いた。 本装置には、SAR測定を行うため、再生照射用のVarian社製の小型X線装置(VF-50)が設置さ れている。昨年度の測定ではX線強度を13.7 Gy/分としたが、設置場所が変更されたことに伴い、 線量計算の中心的な項目であることから、本年度X線線量率の再測定を行った。その際、標準試 料として洞爺カルデラ(Toya:町田ほか,1987)起源の石英を用い、フェーディングの配慮が不 必要なRTL(赤色熱ルミネッセンス)法で測定した。実験は石英粒子を450℃で加熱して天然シ グナルを消去したのち、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構高崎量子応用研究所に設置 されたCo-60によるy線照射(100 Gy/h及び200 Gy/h)を行い、SAR法(X線再生照射;240秒、 479秒、719秒、959秒:テスト照射;479秒)により成長線の作成を行った。作成された成長線に y線照射(100 Gy及び200 Gy)のRTL発光強度をフィッティングすることで、単位時間(分)あ たりのX線線量率を見積もった(図 2.3・1)。7試料の標準試料測定を行った結果、X線線量率とし てそれぞれ、11.0 Gy/分、11.2 Gy/分、11.1 Gy/分、10.9 Gy/分、10.3 Gy/分、10.1 Gy/分、10.0 Gy/分が得られ、平均値は10.65 Gyであった。このX線線量率は昨年度の値(13.5 Gy/分)と比べ 約80%の強度である.本報告では新たな線量率(10.65 Gy/分)に基づいて測定試料の蓄積線量決 定を行った。



図 2.3-1 Toya 標準石英試料(200 Gyγ 線照射)のテスト照射による補正 RTL 強度と SAR に よる X 線再生照射成長線の比較例

γ線 200 Gy の RTL 強度は X 線照射 1070 秒の RTL 強度に相当する。この試料の場合、 X 線線 量率は 11.2 Gy/分である。

2.4 アルカリ長石の IRSL 測定

TS3のIRSL 測定には 3 つの手法を用いた。A. IR50 と IR225 をセットとした一般的な測定法 (IR(50, 225)と表記)、B. IR125 をその間に加えた方法(IR(50, 125, 225)と表記)、そして、C. いわゆる MET 法で、測定時のアシスト温度を 50℃、75℃、100℃、125℃、225℃と連続的に上 昇させ、それぞれの測定温度ごとの IRSL 測定を行う方法(MET(50, 75, 100, 125, 225)と表記) である。一般的な A.測定法では 50℃加熱(IR50) と 225℃加熱(IR225)で信号を得て、両者の 蓄積線量比較から精度を保証する。特に IR50 は anomalous fading(以下、フェーディング)に よるシグナル減衰の影響が大きいので、この手法が有効である。また、IR50 は IR225 より熱に 敏感であるので、試料が断層等の熱を被った場合も同様の減衰が生じると予想される。B.測定法 はA.測定法の中間的な測定温度(R125)を挟み込むことで、外部熱に対する識別向上を目的にし た。C.測定法は、B.よりさらに詳細に温度識別を行うことを目的にした。実験手順は、再生照射 を 100~400 Gy、ドーズリカバリテストとして 100 Gy、テストドーズとして 5 Gy を設定した。 プレヒートは 250℃、60 秒である。A、B、C 実験の測定手順(SAR 法)を図 2.4-1 に示した。 IRSL 測定の場合、時間とともに信号が減衰するフェーディングが起こるが、比較的安定とさ れる IR225 でも 2~10%/decade のフェーディング率(g 値)が報告されている(Huntley and Lamothe, 2001)。そのため、Buylaert et al. (2009)に基づいてフェーディング補正を行った。 フェーディング実験は IR(50, 225)、IR(50, 125, 225)、MET(50, 75, 100, 125, 225)で蓄積線量 (De)測定を終了した試料を再利用し、それぞれ 10 皿、5 皿、3 皿についてg 値を決定した。実 験は X 線照射(30 Gy)後、各測定温度の感度補正 IRSL 強度を測定した。放置時間は 0、1、 3.5、10、35、100、350 h である。



図 2.4-1 IRSL 測定に用いた SAR 測定

A) IR(50, 225)、B) IR(50, 125, 225)、C) MET(50, 75, 100, 125, 225)

2.5 成長曲線の標準化

IRSL 測定における蓄積線量決定は、人工放射線照射による IRSL 強度の測定から導かれる成 長線を描き、これに天然 IRSL 強度をフィッティングすることで得られる。後述するように本報 告で用いた試料は飽和あるいはそれに近い IRSL 強度を持つものが多かった。この場合、試料に 照射する放射線(X線)強度も飽和レベルまで上昇させることが必要である。その際、Robert and Duller(2004)によって示された以下の成長線の関数が有用である。

Standardized IRSL
$$(I) = I_0 + I_{Max} (1 - e^{-D/D_0})$$
 (1)

ここで、IRSL (*I*)は IRSL 強度、 I_0 は任意に与えるゼロ点からの IRSL 強度のずれ(本報告では 0 を適用)、 I_{Max} は IRSL 強度の上限、D は照射線量、 D_0 はトラップ数の上限に対する許容線

量である。本報告のルミネッセンス成長線作成にあたっても(1)式に基づき蓄積線量(De)の解析を進めた。実際には、SAR 法に基づいて得られた成長プロットに(1)式をフィッティングし、また任意の I_{Max} 値と D_0 値を(1)式に与え、SAR 成長プロットに最もフィットするよう最小二乗 法から I_{Max} 値と D_0 値を決定した(図 2.5-1)。

本報告で扱った相当数の試料が高蓄積線量を示すので、ここで、(1)式に関わる飽和の定義に ついて述べておく。(1)式の飽和に関する項は I_{Max} であり、成長線の IRSL 強度の飽和上限値に あたる。一方、実際の測定では、測定可能な上限蓄積線量は D_0 値の 2 倍程度である。(1)式に基 づけば、この 2 D_0 値から上限 IRSL 強度である I(2 D_0)を与えることができ、I(2 D_0)/ I_{Max} の飽和 値は常に 0.865 となる(図 2.5-1)。また一般の試料の場合、 I_{Max} に対する天然 IRSL 強度 (NI) は(2)式で表すことができる。本報告ではこの値を飽和度(Saturated rate) と呼ぶこと とする。

Saturated rate =
$$(NI/I_{Max})$$
 (2)

したがって、測定試料の飽和度が 0.865 を超えれば飽和に達しており、それ未満であれば不飽 和と定義される。



図 2.5-1 SAR 測定による IRSL 強度の測定点と(1)式に基づく成長線のフィッティングの模式 図

2.6 IRSL 測定による基本データ

今年度の共同研究で行った IRSL 測定の3種類の実験手順(図 2.4-1)のうち、まず、10 皿 を用いて行った A. IR(50, 225)の測定基本データを表 2.6-1 に示した。その結果、IR225 の天然 IRSL 強度(*NI*)は7 試料で飽和(飽和度 0.865 以上)に達しているのに対し、IR50 は多くの 試料で未飽和であった。本論では飽和に達した場合、De 値を 2*D*/値で示した(表 2.6-1)。次

の実験では、IR50 と IR225 の間にある IR125 に注目し、B. IR(50, 125, 225)の実験を 5 皿で行った。その結果を表 2.6・2 に示した。IR50 はここでも 5 皿すべてで *NI*は未飽和であるが、IR125 の *NI*は IR225 とともに全試料で飽和であると評価された。さらに詳細に評価するため、測定に IR75 と IR100 を加え、C. MET(50, 75, 100, 125, 225)の実験を 5 皿で進めた. この実験で得られた線量応答曲線の例を図 2.6・1 に示した。その結果、IR50 の *NI*は上記 2 実験と同様に未飽和であったが、MET75 以上では 3 皿の例外を除いて、飽和であることが示された(表 2.6・3)。

IR50	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
De(Gy)	242	196	221	199	184	204	196	221	184	171
NI	20.0	19.2	19.7	21.3	18.8	21.4	19.4	21.4	20.5	19.7
Imax	22.9	28.8	23.8	33	26	31.1	28.4	29.2	30.2	30.2
2D0(Gy)	242	356	252	386	288	352	342	336	324	326
De/2D0	1.03	0.55	0.88	0.52	0.64	0.58	0.57	0.66	0.57	0.52
Saturation ratio	0.87	0.67	0.83	0.64	0.72	0.69	0.68	0.73	0.68	0.65
g-value	1.35	2.55	0	1.92	2.33	1.35	3.19	4.06	2.93	4.42
age(ka)	40	32	42	33	30	34	32	36	30	28
True age (ka)		34	42	34	32	35	35	41	33	32
IR225	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
De(Gy)	198	340	212	396	254	282	370	282	299	255
NI	19.4	21.9	19.2	26.2	18.2	19.9	27.4	21.9	22.3	20.7
Imax	18.1	22.1	19.6	32	20.9	23	29.5	23.8	32.3	27.2
2D0(Gy)	198	340	212	396	254	282	370	282	512	358
De/2D0	20.07	2.24	1.92	0.85	1.02	1.00	1.33	1.26	0.58	0.71
Saturation ratio	1.07	0.99	0.98	0.82	0.87	0.87	0.93	0.92	0.69	0.76
g-value	1.28	2.42	3.11	2.58	6.9	1.28	0	1.24	2.4	7.59
age(ka)	33	56	35	56	42	47	61	47	49	42
True age (ka)	-	-	-	-	-	-	-	-	53	52

表 2.6-1 IR(50, 225)実験の測定結果

赤字 De は飽和蓄積線量、灰色塗色の Saturation ratio は飽和度 0.865 未満で未飽和試料。

IR50	11	12	13	14	15
De(Gy)	300	261	256	246	247
NI	29.2	24.1	23.3	22.6	23.6
Imax	38.9	35	31	31.5	32.3
2D0(Gy)	432	448	368	388	376
De/2D0	0.69	0.58	0.70	0.63	0.66
Saturation rate	0.75	0.69	0.75	0.72	0.73
g-value	0	4.94	0.87	0	0
age(ka)	50	43	42	41	41
True age (ka)	50	49	43	41	41
IR225	11	12	13	14	15
De(Gy)	258	256	248	254	270
NI	19.5	21.4	20	19.6	20.6
Imax	18.6	19.3	18	18.1	18.7
2D0(Gy)	258	256	248	254	270
De/2D0	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
Saturation rate	1.05	1.11	1.11	1.08	1.10
g-value	0	3.53	0	0	1.08
age(ka)	43	42	41	42	45
True age (ka)	14	-	-	-	-

表 2.6-2 IR(50, 125, 225)実験の測定結果

IR125	11	12	13	14	15
De(Gy)	366	340	334	328	372
NI	27.2	27.9	25.9	27	26.3
lmax	28	27.7	26.9	26.3	27.5
2D0(Gy)	366	340	334	328	372
De/2D0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Saturation rate	0.97	1.01	0.96	1.03	0.96
g-value	3.21	1.74	1.53	5.32	1.2
age(ka)	60	56	555	54	62
True age (ka)	-	-	-	-	-

赤字 De は飽和蓄積線量、灰色塗色の Saturation ratio は飽和度 0.865 未満で未飽和試料。

【付録4】

20

107

23.15

20.8

107

1.00

1.11

0.95

18

IR50	16	17	18	19	20	IR75
De(Gy)	300	252	241	226	222	De(Gy)
NI	24.9	23.67	23	20.76	21.66	NI
Imax	29.9	31.7	32.4	26.9	30.1	Imax
2D0(Gy)	336	368	390	306	350	2D0(Gy)
De/2D0	0.89	0.68	0.62	0.74	0.63	De/2D0
Saturation ratio	0.83	0.75	0.71	0.77	0.72	Saturation ratio
g-value	-	-	3.19	5.16	2.71	g-value
age(ka)			40	50	37	age(ka)
True age (ka)	-	-	43	58	39	True age (ka)
IR100	16	17	18	19	20	IR125
De(Gv)	260	310	240	208	262	De(Gv)
NI	21	19.8	20.17	22.81	23.64	NI
Imax	19.3	23.8	20.1	18.6	21.5	Imax
2D0(Gy)	260	350	240	208	262	2D0(Gy)
De/2D0	1.00	0.89	1.00	1.00	1.00	De/2D0
Saturation ratio	1.09	0.83	1.00	1.23	1.10	Saturation ratio
g-value	-	-	1.02	4.1	0	g-value
age(ka)			40	34	43	age(ka)
True age (ka)	-	-	~	~	7	True age (ka)
IDDDE	16	17	10	10	20	1
	202	276	10	19	20	-
De(Gy)	302	276	340	358	348	-
	17.6	18.29	16.87	16.7	16.81	-
Imax	17.7	18.3	19	18.6	19.2	-
2D0(Gy)	302	276	340	358	348	-
De/2D0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-
Saturation ratio	0.99	1.00	0.89	0.90	0.88	-
g-value	-	-	5.9	2.8	0	-
age(ka)			56	59	57	
True age (ka)	-	-	-	-	-	

表 2.6-3 MET(50, 75, 100, 125, 225)実験の測定結果

17 19 20 16 18 306 286 248 414 341 19.5 19.87 18.25 18.54 19.85 26.3 19 20 18.2 21.8 306 286 248 436 486 1.00 1.00 1.00 0.95 0.70 atio 0.99 0.85 0.75 1.03 1.00 2.77 1.26 0 41 68 56 71 56 a) --

16

270

23.3

23

270

1.00

1.01

17

288

23.47

22.6

288

1.00

1.04

18

324

24.05

23.9

324

1.00

1.01

3.02

53

19

262

28.91

21.1

262

1.00

1.37

0

43

赤字 De は飽和蓄積線量、灰色塗色の Saturation ratio は飽和度 0.865 未満で未飽和試料。



図 2.6-1 MET(50, 75, 100, 125, 225)で得られた線量応答曲線の一例(試料番号 TS3_18) MET50 の NI(赤丸)は I(2D₀)未満の領域にあり未飽和であるが、他の測定ではすべて飽和領域にある。
2.7 IRSL フェーディング評価

フェーディング実験は各 IRSL 測定温度のフェーディング率を確かめる目的で、飽和した試料 についても行った。それらの測定結果を表 2.6-1~表 2.6-3 の g-value に表記した。それぞれの 測定温度ごとに区分した場合、IR50、IR75、IR100、IR125、IR225 の g 値は以下の通りである (括弧内は測定数)。IR50 = 2.28 ± 0.40 (20)、IR75 = 1.32 ± 0.89 (3)、IR100 = 1.71 ± 1.23 (3)、 IR125 = 2.13 ± 0.57 (8)、IR225 = 2.34 ± 0.56 (20)。一般に認められる IR50 の g 値が IR225 よ り高い傾向はなく、IR50 と IR225 でも誤差内でほぼ近似の g 値を示した。したがって、IR50 と IR225 の飽和度の違いはフェーディングの強弱が原因ではないことを示している。

2.8 測定試料の飽和度の評価

フェーディングが各 IR 測定温度で大きな差がないと判断されたので、ここで(2)式に基づいて 飽和度について検討する。試料(TS3)のA.IR(50,225)、B.IR(50,125,225)、C.MET(50,75, 100,125,225)で得られた飽和度を図 2.8-1 に示した。破線の傾きは(2)式から示された 0.865 で、 このラインより上位に位置する点は飽和、下位は未飽和の領域にあたる。A、B、C 実験で得られ た飽和度は IR50 が他の IR よりいずれも右下に位置し、多くが飽和域に達していない。また、A、 B、C 実験のほとんど全ての IR75,100,125,225 は破線より左上に分布し、飽和域に達している。 したがって、断層ガウジの低温測定の IR50 だけが未飽和にある。このことは断層ガウジに低温 の加熱があり、IR50 シグナルが部分リセットした可能性と、それより高温の IR75 以上には影響 を与えていない可能性とを推定させる。加熱に対して測定温度の上昇とともに、IRSL シグナル がより保存される傾向があることが Li and Li (2013)によって示されており、今後さらなる加 熱実験等の検討が必要である。



図 2.8-1 測定時加熱温度の異なる条件で得られた飽和比(*NI/I_{max}*) A. IR(50, 225)、B. IR(50, 125, 225)、C. MET (50, 75, 100, 125, 225)。

2.9 IRSL 年代について

表 2.6-1~表 2.6-3 に示した IRSL 年代は、De が未飽和の場合(飽和度 < 0.865)、フェーディング補正を行い、年間線量(Da = 6.06 mGy/a)を用いて決定した。年間線量の値は、北海道 教育大学・日本原子力研究開発機構(2017)等の既存データを新たに再検討した値を用いた。多 くの IR50 をこの方法で補正した。前節で IR50 シグナルは部分リセットと評価されたので、IR50 年代は部分リセット年代である。一方 IR75、IR100、IR125、IR225 の場合、多くが飽和に達し ているので、真の De は 2D₀ より高いはずで、示された IRSL 年代(2D₀/Da)は下限値である。 この場合、フェーディング補正は意味がない。したがって、IR50 年代を含め、表 2.6-1~表 2.6-3 に示された年代を断層活動年代に直接関連させて議論することはできない。昨年度の共同研究で 測定を行った TS6b、TS-BS2L についても飽和比を求めたところ、いずれもほぼ 0.865 以上の値 を示した。したがって、これらの 44~95 ka の範囲にある IRSL 年代は、飽和に到達していると 考えられる。

2.10 ESR 年代測定

TS6B、TS-CS2S1 及び TS-BS2L から抽出した石英を用いて ESR 年代測定を行った。石英粒 径は 125~250 µm で、1 測定試料あたり 0.2~0.7 gを用意した。Co-60 照射は高崎量子応用研 究所第 6 照射室にて、線量率 1 kGy/h で、0.5、1.0、2.0、4.0、5.0 時間の5 ステップの照射を行 った。ESR 測定装置は日本電子製 JES-X320 で、Mn マーカーによる感度補正を行った。測定信 号は、Al 中心と Ti-Li 中心である。E'中心は TS-CS2S1 で試みたが、線量応答性に乏しかったの で、測定を中止した。ESR 測定は各ステップの照射試料ごとに 9 データ(3 アリコート×3 方位) もしくは 6 データ(2 アリコート×3 方位)の測定を行った。

その結果、各試料の Al 中心と Ti-Li 中心について、Co-60 照射に対して図 2.10-1 のような線 量応答線が得られた。外挿された蓄積線量はAl 中心で 3.3~4.2 kGy、Ti-Li 中心で 1.5~2.0 kGy であった。測定した Al 中心と Ti-Li 中心の間に蓄積線量(De)の差が認められるが、試料間の差 は小さい(表 2.10-1)。昨年度の共同研究で測定した年間線量率(外部線量率 = 3.7~4.7 mGy/a) を用いた 3 試料の ESR 年代は、Al 中心で 0.7~1.1 Ma、Ti-Li 中心で 0.32~0.52 Ma であった。 断層と接する砂礫層(TS6B、TS-CS2S1)と断層から離れた砂礫層(TSBS2L)との比較では、 断層と接する砂礫層の年代の方が古い傾向がある(表 2.10-1)。昨年度の共同研究で報告した TS6B と TSBS2L の IRSL 年代にも同様の傾向が認められる。ESR 年代は IRSL 年代と比べて 有意に古い年代を示すが、ESR 信号は IRSL 信号に比べ飽和線量が高く、また、熱や光に対して はるかに安定であることが原因と考えられる。例えば、北海道教育大学・日本原子力研究開発機 構(2016)で行った 15 分加熱による ESR 信号消失実験では、Al 中心は 500℃で, Ti-Li 中心は 300℃でほぼゼロリセットする。一方、IRSL 信号に関する予備的な実験では、5分加熱を350~ 400℃の条件で行うと、IR50 と p-P-IR225 信号はほぼリセットされる。断層と接する砂礫層と比 べ断層から離れた砂礫層の方が古い年代を示した原因は現時点では不明であるが、少なくとも断 層と接する砂礫層からの石英の ESR 信号は、断層運動における熱影響をほとんど受けていない ことは明らかである。



Sampla	De	(kGy)	D_{2} (mGy/2)	Age (Ma)			
Sample	AI	Ti-Li		AI	Ti-Li		
TS-CS2S1 3.8 1.7		3.7	1.03	0.46			
TS6B	4.2 2.0		3.8	1.10	0.52		
TSBS2L 3.3 1.5		4.7	0.32				
Sampla	De	(Gy)	D_{2} (mGy/2)	Age	(ka)		
Sample	IR50	IRIR225		IR50	IRIR225		
TS-CS2S1							
TS6B	TS6B 428 392		4.51	95	87		
TSBS2L	255	239	5.42	47	44		

表 2.10-1 TS6B、TS-CS2S1 及び TS-BS2L が示した年代

上段は ESR 年代、下段は IRSL 年代。

3. まとめ

- ・今年度の共同研究を進めるうえで、多数の試料の蓄積線量測定を正確に行うことが必要とされた。そのため、Co-60 照射された石英試料を標準試料とし、X線装置(Varian 社製 VF-50)のX線強度を決定した。7 試料測定の結果、平均値として 10.65 Gy/分が得られ、この値を蓄積線量決定に用いた。
- Robert and Duller (2004) によって示された成長曲線を示す関数に基づき、飽和度を設定した。 NIIImax=0.865を基準にこれ以上を飽和、これ未満を未飽和と定義することとした。
- ・IRSL 測定にあたり、実験方法を段階的に発展させた。最初に IR50 と IR225 をセットとした 一般的な測定、A. IR(50, 225)を採用した。その結果、今年度の共同研究で用いた試料(阿寺 断層のガウジから抽出したアルカリ長石)では、IR50 で不飽和、IR225 で飽和という結果が 示された。そこで、B. IR(50, 125, 225)、さらに C. MET(50, 75, 100, 125, 225)と実験を詳細 化した。
- ・A、B、C 実験を通して、IR50 のほとんどが未飽和、IR75、IR100、IR125、IR225 は飽和域 に達していることが明らかとなった。このことは断層ガウジに低温の加熱があり、IR50 シグ ナルが部分リセット、それより高温のIR75 以上には影響がないことが示唆された。
- ・フェーディングについて検討したが、一般に認められる IR50 の g 値が IR225 より高い傾向はなく、誤差内で近似した。このことは両者の飽和度の違いに g 値が影響していないことを示す。
- ・阿寺断層下盤側の砂礫層から抽出した石英の ESR 年代は Al 中心で 0.7~1.1 Ma、Ti-Li 中心 で 0.32~0.52 Ma であった。別途行われた ESR 信号のリセット実験に基づくと、断層運動に 伴う ESR 信号への熱影響はほとんどないと考えられる。
- ・今年度の共同研究で、IRSLの異なる温度間で飽和度の違いが明らかになった点は大きな前進である。本報告で採用した手法を他の試料にも適用し事例を拡充することや、人工加熱実験等を組み合わせて熱影響の及ぶ範囲や加熱条件を明らかにすることが今後の課題である。

引用文献

- Buyleart, J.P., Murray, A.S., Thmsen, K.J. Jain, M., Testing the potential of an elevated temperature IRSL signal from K-feldspar, Radiation Measurements, vol.44, pp.560-565, 2009.
- 北海道教育大学・日本原子力研究開発機構, 放射線損傷を用いた断層破砕帯の活動性評価手法に 関する研究, 北海道教育大学・日本原子力研究開発機構, 平成 27 年度共同研究報告書, 6p, 2016.
- 北海道教育大学・日本原子力研究開発機構, 放射線損傷を用いた断層破砕帯の活動性評価手法に 関する研究, 北海道教育大学・日本原子力研究開発機構, 平成 28 年度共同研究報告書, 8p, 2017.
- Huntley, D.J., Lamothe, M., Ubiquity of anomalous fading in K-feldspars and the measurement and correction for it in optical dating, Canadian Journal of Earth Sciences, vol.38, pp.1093-1106, 2001.
- Li, B., Li, S., The effect of band-tail states on the thermal stability of the infrared stimulated luminescence from K-feldspar, Journal of Luminescence, vol.136, pp.5-10, 2013.
- 町田 洋・新井房夫・宮内崇裕・奥村晃史, 北日本を広くおおう洞爺火山灰, 第四紀研究, vol.26, pp.129-145, 1987.
- Robert, H.M., Duller, G.A.T., Standardized growth curves for optical dating of sediment using multiple-grain aliquots, Radiation Measurements, Vol.38, pp.241-252, 2004.
- 遠田晋次・井上大栄・高瀬信一・久保内明彦・冨岡伸芳, 阿寺断層の最新活動時期:1586 年天正 地震の可能性, 地震第2 輯, vol.47, pp.73-77, 1994.

機械学習に基づいた

断層の活動性評価手法の開発に関する共同研究

平成 31 年度共同研究報告書

令和2年1月

国立大学法人富山大学

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター 地層科学研究部 ネオテクトニクス研究グループ

目 次

1. 概要
1.1 共同研究件名
1.2 共同研究先
1.3 研究目的
1.4 研究内容
1.5 研究期間
2. データベースの作成
2.1 文献収集
2.2 整理結果
3. 既往試料の化学分析
3.1 手法10
3.2 結果11
4. 機械学習による検討作業12
4.1 解析手法12
4.1.1 概要
4.1.2 解析の流れとツール13
4.2 結果18
4.2.1 線形判別分析(変数選択なし)18
4.2.2 変数選択(AIC)23
4.2.3 線形判別分析(変数選択あり)25
5. 考察
5.1 2 群の違いを表す元素に関する考察
5.2 より良い判別式に関する考察
5.3 活動性が未知の試料に対する判別式の適用
6. まとめと今後の課題
付録A 既往報告書における試料採取位置41
付録 B 既往報告書における全岩化学組成分析結果52
付録 C 既往試料の化学分析における試料採取位置
付録 D 既往試料の化学分析における全岩化学組成分析結果

図目次

义	4.1-1	結果図の例	17
図	4.2-1	線形判別分析の結果図(CASE 1)	20
図	4.2-2	線形判別分析の結果図(CASE 2)	20
図	4.2-3	線形判別分析の結果図(CASE 3)	21
図	4.2-4	線形判別分析の結果図(CASE 4)	21
図	4.2-5	重判別分析の結果図(CASE 5)	22
図	4.2-6	重判別分析の結果図(CASE 6)	22
図	4.2-7	線形判別分析の結果図(CASE 7)	26

义	4.2-8	線形判別分析の結果図	(CASE 8)	
义	4.2-9	線形判別分析の結果図	(CASE 9)	
図	$5.1 \cdot 1$	上位6元素のクロスプロ	ロット	
図	5.1-2	線形判別分析の結果図	(CASE 10)	
义	5.1^{-3}	線形判別分析の結果図	(CASE 11)	
図	5.1-4	線形判別分析の結果図	(CASE 12)	
図	5.1^{-5}	線形判別分析の結果図	(CASE 13)	
図	5.1-6	線形判別分析の結果図	(CASE 14)	
図	5.1-7	線形判別分析の結果図	(CASE 15)	
义	5.1-8	線形判別分析の結果図	(CASE 16)	
図	5.2 - 1	線形判別分析の結果図	(CASE 8')	
図	5.2-2	線形判別分析の結果図	(CASE 8")	

表 目 次

表 2.1-1	収集文献一覧	7
表 2.1-2	既往報告書一覧	8
表 2.2-1	化学組成データベースの分類一覧	8
表 2.2-2	化学組成データベースの例①	9
表 2.2-3	化学組成データベースの例②	9
表 2.2-4	化学組成データベースの例③	9
表 2.2-5	化学組成データベースの例④	9
表 2.2-6	化学組成データベースの例⑤	9
表 2.2-7	化学組成データベースの例⑥	9
表 2.2-8	化学組成データベースの例⑦	9
表 3.1-1	分析試料一覧	11
表 4.1-1	解析の流れと使用ツール	13
表 4.1-2	入力データの概要	13
表 4.1-3	解析対象試料の一覧	14
表 4.2-1	CASE 1~CASE 6 の判別式の係数 8	23
表 4.2-2	AIC により選択された元素の組合せ	26
表 4.2-3	CASE 7~CASE 9 の各元素の判別係数 6 と VIF	28
表 5.1-1	CASE 7~CASE 9 の判別式の係数 B(降順)	29
表 5.1-2	CASE 10~CASE 14 の元素の組合せ	31
表 5.1-3	CASE 10~CASE 14 の各元素の判別係数 6 と VIF	34
表 5.1-4	CASE 15~CASE 16 の各元素の判別係数 6 と VIF	34
表 5.2-1	CASE 8'~CASE 8"の各元素の判別係数 ß と VIF	38
表 5.3-1	判別式の未知試料への適用結果	38

1. 概要

1.1 共同研究件名

機械学習に基づいた断層の活動性評価手法の開発に関する共同研究

1.2 共同研究先

国立大学法人富山大学大学院理工学研究部

1.3 研究目的

わが国においては、従来から、高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全評価において重要とな る、放射性核種が地下水を介して生物圏へ移行するという「地下水シナリオ」に係る評価の信頼 性向上に資するための要素技術開発が進められている。平成 30 年 3 月に公開された「地層処分 研究開発に関する全体計画(平成 30 年度~平成 34 年度)」では、地層処分に適した地質環境の 選定及びモデル化において自然現象の影響を把握することの重要性が示されるとともに、火山・ 火成活動、深部流体、地震・断層活動、隆起・侵食に関する調査・評価技術の高度化に関する研 究開発課題が整理されている。

日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)では、経済産業省資源エネルギー庁から受託し た「平成31年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業(地質環境長期安定 性評価技術高度化開発)」において、地層処分に適した地質環境の選定に係る自然現象の影響把 握及びモデル化に関連する研究課題として示された火山・火成活動、深部流体、地震・断層活 動、隆起・侵食に対して、地質学、地形学、地震学、地球年代学等の各学術分野における最新の 研究を踏まえた技術の適用による事例研究を通じて、課題の解決に必要な知見の蓄積や調査・評 価技術の高度化を総合的に進めている。

このうち地震・断層活動に関しては、上載地層がない場合の断層の活動性評価手法の開発が技 術開発課題として提示されている。平成30年度における国立大学法人富山大学(以下、富山大 学)との共同研究「機械学習に基づいた断層の活動性評価手法の開発に関する共同研究」では、 断層帯物質である断層粘土の化学成分等の分析結果と機械学習を組み合わせることで、これらの 課題に係る検討を実施した。その結果、断層ガウジの化学組成を用いた線形判別分析により、活 断層と非活断層を区別可能な判別式を複数得ることができた。また、これらの判別式に共通する 元素の組合せから、活断層と非活断層の違いを表す元素を絞り込むことができた。しかし、本共 同研究で得られた判別式の汎化性能や線形判別分析における仮定には課題が残った。このこと は、本手法の未知試料への適用性に疑問があることを意味する。したがって、本年度の共同研究 では機械学習による検討を継続するとともに、手法の信頼度を向上させるため昨年度作成したデ ータベースの拡充を行う。

共同研究先である富山大学は、断層活動に関する応用地質学と地震地質学における多くの研究 実績と関連する情報を有しているほか、機械学習に精通している。また、原子力機構は、これら の分野における各種分析に必要な最新の装置を数多く有しており、国内でも有数の分析環境を備 えている。そのため、本共同研究を行うことにより、上記のような課題に対して活断層と非活断 層の断層粘土の化学成分を明らかにすることができ、明らかにされた断層粘土の化学成分データ を使用することで、活断層と非活断層を区別するパラメータの抽出を目的とした多変量解析等を 用いた機械学習を効果的に進めることができる。本共同研究を通じて、富山大学は断層粘土の化 学成分等のデータの拡充とともに断層に関する応用地質学等の研究を進めることができ、原子力 機構は上載地層が存在しない断層に適用可能な活動性評価手法の整備を図ることができる。 なお、本共同研究は、原子力機構が経済産業省資源エネルギー庁から受託した「平成 31 年度 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業(地質環境長期安定性評価技術高度化 開発)」の一環として行うものである。

1.4 研究内容

本共同研究では、以下に示す作業を行い、成果を取りまとめる。

- (1) データベースの作成 日本国内の断層岩の全岩化学組成が掲載された公表文献を取集し、それらのデータを取り まとめたデータベースを作成する。
- (2) 既往試料の化学分析 機械学習のためのデータベースの充実に向けて原子力機構が保有する試料を対象に化学分 析を実施し、全岩化学成分等を明らかにする。
- (3) 機械学習による検討作業 上記(1)と(2)で得られたデータに対して、多変量解析等を用いた機械学習を適用し、活断層 と非活断層の効率的な判別手法について検討する。
- (4) 取りまとめ上記(1)~(3)における実施・検討内容を取りまとめた報告書を作成する。

1.5 研究期間

令和元年5月7日~令和2年1月31日

2. データベースの作成

日本国内の断層岩の全岩化学組成が掲載された公表文献を収集し、それらのデータを取りまと めたデータベースを作成した。昨年度も同様の作業を行っており、今年度は追加文献の収集・整 理を行った。

2.1 文献収集

文献収集は、国内の活断層及び非活断層の断層ガウジの化学組成分析値が掲載されている文献 を対象として行った。表 2.1-1、表 2.1-2 に収集した文献の一覧を示す。

表 2.1-1 は論文として公表されているものの一覧である。論文の収集にあたっては、分析対象 が活断層か非活断層かが明記されていること、付加体、花崗岩質岩など多様な基盤岩を持つこと に留意した。今年度、追加文献の収集を行った結果、1本の論文を追加した(表 2.1-1着色部)。 表 2.1-2 は原子力機構において過去に実施した、断層を分析対象とした業務の報告書である。表 2.1-2 の文献番号 1~5 は、上載地層法により活断層か非活断層かが明らかになっている花崗岩質 岩中の断層を分析対象とした報告書である。文献番号 6 は、本共同研究の昨年度の報告書である。 文献番号 1~5 の試料採取位置、ブロックサンプリング試料からの採取部位、化学組成分析値など は、付録 A および付録 B に示すほか、各文献を参照されたい。

表 2.1-1 収集文献一覧

通番	著者名	発行年	論文タイトル	雑誌名	巻, 号, 頁	分析値の 出典	分析対象	活断層の 断層タイプ
1	R. Sugisaki, H.Anno, M. Adachi and H. Ui	1980	Geochemical features of gases and rocks along active faults	Geochemical Journal	14, 101-112	Table 3a, Table 3b	【活断層】跡津川断層, 牛首 断層, 根尾谷断層, 飯田断層, 富坂断層 【非活断層】中央構造線	横ずれ断層
2	K. Fujimoto, H. Tanaka, T. Higuchi, N. Tomida, T. Ohtani and H. Ito	2001	Alteration and mass transfer inferred from the Hirabayashi GSJ drill penetrating the Nojima Fault, Japan	The Island Arc	10, 401-410	Table 1	【活断層】野島断層	横ずれ断層
3	T. Matsuda, T. Arai, R. Ikeda, K. Omura, K. Kobayashi, H. Sano, T. Sawaguchi, H. Tanaka, T. Tomita, N. Tomida, S. Hirano and A. Yamazaki	2001	Examination of mineral assemblage and chemical composition in the fracture zone of the Nojima Fault at a depth of 1140 m: Analyses of the Hirabayashi NIED drill cores	The Island Arc	10, 422-429	Table 1, Table 2	【活断層】野島断層	横ずれ断層
4	Y. Hashimoto, A. Nikaizo and G. Kimura	2009	A geochemical estimation of fluid flux and permeability for a fault zone in Mugi me'lange, the Cretaceous Shimanto Belt, SW Japan	Journal of Structural Geology	31, 208-214	Table 1	【非活断層】地質境界断層	_
5	長友晃夫・吉田英一	2009	断層と割れ目系およびそ の重点鉱物を用いた阿寺 断層の地質的履歴解析	地質学雑誌	115, 10, 512-527	Table 1	【活断層】阿寺断層	横ずれ断層
6	加藤尚希・廣野哲郎・石 川剛志・大谷具幸	2015	阿寺断層田瀬露頭におけ る断層ガウジの鉱物学 的・地球科学的特徴	活断層研究	43, 1-16	Table 2	【活断層】阿寺断層	横ずれ断層
7	M. Niwa, Y. Mizuochi and A. Tanase	2015	Changes in chemical composition caused by water–rock interactions across a strike-slip fault zone: case study of the Atera Fault, Central Japan	Geofluids	15, 387-409	Table 3	【活断層】阿寺断層	横ずれ断層
8	M. Niwa, K. Shimada, T. Ishimaru and Y. Tanaka	2019	Identification of capable faults using fault rock geochemical signatures: A case study from offset granitic bedrock on the Tsuruga Peninsula, central Japan	Engineering Geology	260	Table 3, Table 4, Table 5	【活断層】白木 – 丹生断層 【非活断層】花崗岩中の断 層	逆断層

【付録5】

通番	報告書名	年度	分析値の 出典	分析対象	活断層の 断層タイプ
1	22 耐震工学 陸域断層の活動性評価に資する断層破砕部の調査・分析	平成22年度	表3.3.6-1, 表3.3.6-2	【活断層】五助橋断層,下蔦木断層	横ずれ断層
2	23 耐震工学 陸域断層の活動性評価に資する断層破砕部の調査・分析	平成23年度	表3.3.6-1	【活断層】六甲断層	横ずれ断層
3	24 耐震工学 陸域断層の活動性評価に資する断層破砕部の調査・分析	平成24年度	表3.5.7-1	【非活断層】六甲蓬莱峡	
4	25耐震工学 陸域断層の活動性評価に資する 断層破砕部の調査・分析	平成25年度	_	_	
5	26 耐震工学 陸域断層の活動性評価に資する断層破砕部の調査・分析	平成26年度	_	_	
6	機械学習に基づいた断層の活動性評価手法の開発に関する共同研究	平成30年度	付録B	【活断層】白木-丹生断層 【非活断層】花崗岩中の断層	逆断層

表 2.1-2 既往報告書一覧

2.2 整理結果

ここでは、2.1 で収集した文献に掲載されている化学組成の分析値を抽出し、化学組成データベースを作成した。このデータベースには、各試料の試料名と分析値のほか、文献中の記載に基づいて表 2.2-1 に示す二つの分類を与えた。表 2.2-2~表 2.2-8 に作成した化学組成データベースの一部を例として示す。なお、化学組成データベースは別途電子ファイルを作成した。

Type 1	説明
AF	活断層
NF	非活断層
R	母岩

表 2.2-1 化学組成データベースの分類一覧

Type 2	説明
AFB	活断層・断層角礫
AFC	活断層・カタクレーサイト
AFG	活断層・断層ガウジ
AFW	活断層・弱変形
NFB	非活断層・断層角礫
NFC	非活断層・カタクレーサイト
NFG	非活断層・断層ガウジ
NFW	非活断層・弱変形
R	母岩

【 付録 5 】

表 2.2-2 化学組成データベースの例①

連番	文献番号	Sample	type1	type2	SiO ₂	TIO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ 0	P206
1	8	GSB-C01	AF	AFC	71.46	0.22	13.19	1.37	1.88	0.09	0.45	2.12	3.01	2.60	0.12
2	8	GSB-C09	AF	AFG	70.87	0.19	12.84	1.92	0.98	0.04	0.45	1.07	2.29	2.79	0.05
3	8	GSB-C10	AF	AFG	71.29	0.20	13.04	2.61	0.04	0.06	0.44	1.12	2.40	2.63	0.05
4	8	GSB-C11	AF	AFG	68.80	0.24	13.02	2.29	0.62	0.10	0.45	3.18	2.64	2.64	0.08
5	8	GSB-C02	AF	AFG	70.39	0.21	12.59	1.78	1.21	0.07	0.43	2.42	2.43	2.78	0.06
6	8	GSB-C03	AF	AFG	70.20	0.21	12.92	2.20	0.55	0.08	0.44	2.75	2.64	2.66	0.06
7	8	GSB-C04	AF	AFC	70.09	0.22	13.06	2.32	0.51	0.10	0.46	3.05	2.72	2.63	0.05
8	8	GSB-C05	AF	AFC	69.52	0.21	12.89	2.70	0.17	0.08	0.44	2.55	2.49	2.69	0.06
9	8	GSB-C06	AF	AFG	68.34	0.21	12.80	2.70	0.12	0.05	0.45	2.85	2.43	2.65	0.06
10	8	GSB-C07	AF	AFG	69.41	0.21	13.40	1.21	1.40	0.06	0.46	2.86	2.86	2.65	0.05

表 2.2-3 化学組成データベースの例2

連番	文献番号	Sample	type1	type2	Cr ₂ O ₃	SrO	BaO	LOI	H ₂ O+	H ₂ O-	Li	Be	F	S
1	8	GSB-C01	AF	AFC				2.16	1.60	0.90		2		
2	8	GSB-C09	AF	AFG				5.18	2.30	2.90		2		
3	8	GSB-C10	AF	AFG				4.86	2.00	2.40		2		
4	8	GSB-C11	AF	AFG				5.30	1,80	1.90		2		
5	8	GSB-C02	AF	AFG				3.74	2.10	1.10		2		
6	8	GSB-C03	AF	AFG				4.13	2.10	1.20		2		
7	8	GSB-C04	AF	AFC				4.29	1.70	1.50		2		
8	8	GSB-C05	AF	AFC				4.92	2.30	1.70		2		
9	8	GSB-C06	AF	AFG				5.64	1.70	2.10		2		
10	8	GSB-C07	AF	AFG				4.63	2.10	1.40		2		

表 2.2-4 化学組成データベースの例③

連番	文献番号	Sample	type1	type2	CI	к	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu
1	8	GSB-C01	AF	AFC			6		13	20		3	20	40
2	8	GSB-C09	AF	AFG			6		9	20		2	20	10
3	8	GSB-C10	AF	AFG			6		12	20		2	20	10
4	8	GSB-C11	AF	AFG			8		11	20		2	20	10
5	8	GSB-C02	AF	AFG			7		8	20		2	20	10
6	8	GSB-C03	AF	AFG			6		10	20		3	20	20
7	8	GSB-C04	AF	AFC			6		11	20		2	20	20
8	8	GSB-C05	AF	AFC			7		11	20		3	20	10
9	8	GSB-C06	AF	AFG			6		11	20		1	20	10
10	8	GSB-007	۵F	AEG			6		12	20		3	20	10

表 2.2-5 化学組成データベースの例④

連番	文献番号	Sample	type1	type2	Zn	Ga	Ge	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo
1	8	GSB-C01	AF	AFC	60	17	2	12	77	215	25	136	7	2
2	8	GSB-C09	AF	AFG	80	17	2	5	88	127	23	135	8	2
3	8	GSB-C10	AF	AFG	70	17	1	5	87	144	26	132	8	2
4	8	GSB-C11	AF	AFG	70	17	1	5	79	153	32	161	9	2
5	8	GSB-C02	AF	AFG	70	16	2	5	79	153	25	154	8	2
6	8	GSB-C03	AF	AFG	60	16	2	5	81	226	27	133	8	2
7	8	GSB-C04	AF	AFC	50	17	1	5	80	222	26	130	7	2
8	8	GSB-C05	AF	AFC	70	17	2	5	82	172	28	150	8	1
9	8	GSB-C06	AF	AFG	70	16	2	5	80	208	27	148	8	2
10	8	GSB-C07	AF	AFG	70	16	1	12	79	227	26	145	8	2

表 2.2-6 化学組成データベースの例⑤

連番	文献番号	Sample	type1	type2	Ag	In	Sn	Sb	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd
1	8	GSB-C01	AF	AFC	1	0	3	0	3	663	30	60	6	25
2	8	GSB-C09	AF	AFG	1	0	3	0	4	669	30	50	6	26
3	8	GSB-C10	AF	AFG	1	0	5	0	5	694	29	60	6	27
4	8	GSB-C11	AF	AFG	1	0	3	0	4	636	31	59	6	28
5	8	GSB-C02	AF	AFG	1	0	2	0	4	666	25	48	5	22
6	8	GSB-C03	AF	AFG	1	0	4	0	3	924	29	56	6	25
7	8	GSB-C04	AF	AFC	1	0	2	0	3	765	29	56	6	24
8	8	GSB-C05	AF	AFC	1	0	2	0	4	721	31	66	6	27
9	8	GSB-C06	AF	AFG	1	0	2	0	4	704	30	55	6	26
10	8	GSB-C07	AF	AFG	1	0	2	0	4	858	30	58	6	26

表 2.2-7 化学組成データベースの例⑥

連番	文献番号	Sample	type1	type2	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
1	8	GSB-C01	AF	AFC	5	1	5	1	4	1	3	0	3	0
2	8	GSB-C09	AF	AFG	5	1	4	1	4	1	2	0	3	0
3	8	GSB-C10	AF	AFG	5	1	5	1	4	1	3	0	3	0
4	8	GSB-C11	AF	AFG	5	1	5	1	5	1	3	0	3	0
5	8	GSB-C02	AF	AFG	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0
6	8	GSB-C03	AF	AFG	5	1	4	1	4	1	2	0	2	0
7	8	GSB-C04	AF	AFC	5	1	4	1	4	1	2	0	2	0
8	8	GSB-C05	AF	AFC	5	1	5	1	5	1	3	0	3	0
9	8	GSB-C06	AF	AFG	5	1	5	1	5	1	3	0	3	0
10	8	GSB-C07	AF	AFG	5	1	4	1	4	1	3	0	3	0

表 2.2-8 化学組成データベースの例⑦

連番	文献番号	Sample	type1	type2	Hf	Та	W	TI	Pb	Bi	Th	U
1	8	GSB-C01	AF	AFC	4	1	1	1	15	2	9	1
2	8	GSB-C09	AF	AFG	4	1	1	1	21	1	9	1
3	8	GSB-C10	AF	AFG	4	1	1	0	19	0	9	1
4	8	GSB-C11	AF	AFG	5	1	1	1	18	0	8	2
5	8	GSB-C02	AF	AFG	4	1	1	1	18	0	8	1
6	8	GSB-C03	AF	AFG	4	1	1	1	17	2	8	1
7	8	GSB-C04	AF	AFC	4	1	1	1	14	2	8	1
8	8	GSB-C05	AF	AFC	4	1	1	1	21	1	8	1
9	8	GSB-C06	AF	AFG	4	1	1	0	20	2	8	1
10	8	GSB-C07	AF	AFG	4	1	1	1	18	1	8	2

3. 既往試料の化学分析

3.1 手法

今年度新たに化学分析を行った試料のうち、解析に用いた断層中軸部の 23 試料を表 3.1-1 に 示す(Type 1、Type 2 は表 2.2-1 に同じ)。露頭における試料採取位置、ブロックサンプリング 試料からの採取部位などは、付録 C に示すほか、各文献を参照されたい。

採取試料は、東濃地科学センター設置の高速粉砕機(安井器械株式会社製マルチビーズショッカーPV1001(S))を用いて粉砕した。試料への異質物の混染を防ぐため、試料はポリカーボネイト製の粉砕容器に入れ、粉砕にはめのう製のコーンを用いた。

全岩化学組成の分析は東濃地科学センター設置の蛍光 X 線分析装置(株式会社リガク製 ZSX Primus II)を使用し、希釈率 1:2のガラスビードにて行った。ガラスビードの作成方法及び分析方法は清水ほか(2017)に従った。分析は、主要元素(SiO₂、TiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、MnO、MgO、CaO、Na₂O、K₂O、P₂O₅の 10元素)と微量元素(Ba、Ce、Cl、Co、Cr、F、Ga、Nb、Ni、Pb、Rb、S、Sc、Sr、Th、U、V、Y、Zrの19元素)について行った。分析条件、分析誤差などについては、清水ほか(2017)に準ずる。

【 付録 5 】

試料名	母岩	Type 1	Type 2	参照
S14-1a2	江若花崗岩	AF	AFG	—
S14-1a3	江若花崗岩	AF	AFG	—
MP-07-1	江若花崗岩	NF	NFG	日本原子力研究開発機構(2013)
MP-07-2	江若花崗岩	NF	NFG	日本原子力研究開発機構(2013)
MP-07-3	江若花崗岩	NF	NFG	日本原子力研究開発機構(2013)
Ko12-1-1	江若花崗岩	NF	NFG	植木ほか(2016)
GSK1	六甲花崗岩	AF	AFG	—
GSK2	六甲花崗岩	AF	AFG	—
GSK3	六甲花崗岩	AF	AFG	—
	·六甲花崗岩	٨F	AEG	日本百工力研究閉発機構(2014)
AINIVII	・有馬層群の溶結凝灰岩	AI	AFU	口平床了刀仰无册光候件(2014)
	•六甲花崗岩	٨F	AFG	日木百子力研究開発機構(2014)
	・有馬層群の溶結凝灰岩	Al	AIO	
SGR2	美濃帯堆積岩	NF	NFG	—
SGR3	美濃帯堆積岩	NF	NFG	—
SGP5	•美濃帯堆積岩			
SUKJ	·奈川花崗岩			
NMG5	奈川花崗岩		_	—
96-g	紫尾山花崗閃緑岩		_	—
101-1	紫尾山花崗閃緑岩		—	—
118-4a	四万十带堆積岩	<u> </u>	—	—
YD-14①	四万十带堆積岩	<u> </u>	—	—
YD-142	四万十带堆積岩		—	—
YD-143	四万十带堆積岩	—	—	—
YD-14④	四万十带堆積岩		_	—
YD-145	四万十带堆積岩		_	—

表 3.1-1 分析試料一覧

3.2 結果

全岩化学組成の分析結果を付録 D に示す。微量元素については、分析下限未満のものを表中に 灰色で示す。検量線作成に用いた標準試料の組成値を上回る、または下回る値は赤太字で示した。 Ig (Ignission Loss) は、ここでは含有率の計算時に残分として取り扱う成分を表す。すなわち Ig の含有率は 100 wt.%から他の成分の合計を差し引いた値である。

4. 機械学習による検討作業

本章では、2. で作成した化学組成データベースに 3. で得られたデータを加えたものに対して、 多変量解析を用いた機械学習を適用し、活断層と非活断層の効率的な判別手法について検討した。

4.1 解析手法

4.1.1 概要

多変量解析は、複数の変数からなるデータを統計的に扱う手法であり、地球科学分野でも応用 が進んできている。例えば、Kuwatani et al. (2014)は、2011年東北地方太平洋沖地震時の津波 堆積物と非津波堆積物の化学組成(18元素)を説明変数として、多変量解析手法の一つである SVM(サポートベクターマシン)を用いて両者が高確率で分けられることを示すとともに、18元 素から最も判別率の良い元素の組合せを探索した。昨年度の本共同研究では、Kuwatani et al.

(2014)の考え方を踏襲し、活断層/非活断層の断層ガウジの化学組成データを用いて線形判別 分析を行い、その結果得られた複数の一次式が両者を誤判別なく識別できること、両者の違いを 表す元素の組み合わせが TiO₂、Al₂O₃、MgO、Na₂O、P₂O₅、Baの6元素に絞られることを示し た。また、さらに検討を進めた立石ほか(2019)は、この6元素の判別への寄与の程度が TiO₂、 MgO、P₂O₅、Na₂O、Al₂O₃、Baの順になることを明らかにするとともに、入力データに1つだ け含まれている西南日本外帯のデータが母集団からかけ離れたものであり、汎化性能を下げる可 能性があることを示した。

本年度は、更新・追加された化学組成データベースをもとに、昨年度と同様に線形判別分析を 行い、その結果について検討する。また、判別分析に用いる元素の組み合わせの選択方法につい ても、寄与の程度を参考に検討する。これにより、より汎用性の高い判別式が得られること、活 断層/非活断層の違いを表す元素をさらに絞り込むことが期待される。

多変量解析の概要については、昨年度の報告書を参照されたい。ここでは、昨年度に引き続き 実施する線形判別分析について述べる。線形判別分析は、2群が正規分布すること、等分散性を持 つことを前提として、2群が最も良く分かれる判別式を一次式(線形)で求める手法である。この 時、基準となるのは多次元における2群の中心点である。今回のように元素を説明変数とした場 合、判別式の形は以下のようになる。

判別式: $Y = \beta_1 \times SiO_2 + \beta_2 \times TiO_2 + \cdots + \alpha$

ここで、αとβは判別係数である。得られた一次式に2群のどちらか不明な試料の化学組成を 代入すると、どちらのグループに属するかが判別できる。判別の精度は、データ数が多いほど高 くなることが期待される。

4.1.2 解析の流れとツール

解析の流れと使用したツールを表 4.1-1 に示す。

順番	作業	ツール
1	入力データの整理	Microsoft Excel (<u>https://products.office.com/ja-jp/excel</u>)
2	変数選択	R (<u>https://www.r-project.org</u>)
3	線形判別分析	使用パッケージ ② glmnet, glmnetUtils
4	結果図作成	③ MASS④ ggplot2, GGally

表	4 1-1	解析の流れと使用ツール
11	T . I T I	

(1) 入力データの整理

入力データは 2. で作成した化学組成データベースに 3. で得られたデータを加えたものを元と している。これを、Microsoft Excel を用いて整理し、CSV(コンマ区切りテキスト)形式に変換 した。

線形判別分析において必要な情報は、2 群の分類とそれに付随する多変量である。今回の解析では、2 群の分類として昨年度と同様に表 2.2-1の AFG 及び NFG (活断層/非活断層の断層ガウジ)を選択した。判別分析において、質の良い結果を得るためには、できるだけ多くの入力データを準備することが肝要である。しかし、化学組成データベースに収録した試料は、必ずしも同じ元素が測定されている訳ではない。そこで、データ数が多く取れるように元素を取捨選択し、昨年度と同じ 17 元素と、そこから Nb、Pb を除いた 15 元素とした。なお、立石ほか (2019) における検討を踏まえて、外帯のデータは入力データから除いた。除外対象としたのは、Sugisaki et al. (1980)の ML7、及び Hashimoto et al. (2009)の Fault gouge の 2 試料である。表 4.1-2 に入力データの概要を、表 4.1-3 に解析対象試料の一覧を示す。

解析対象試料	試料の数	解析に使用した元素	ファイル名
			17 元素(CASE 1):
	17 元素 : 計 72 試料	Sign Tign Alage For O_{2} *	$CASE1_17 elements_$
主 9 9-1 の	(AFG51, NFG21)	$M_{2}O_{2}$, $M_{2}O_{2}$, $M_{2}O_{3}$, $Fe_{2}O_{3}$, $M_{2}O_{2}$	72samples.csv
		$K_{2}O$ $D_{2}O_{2}$ $D_{2}O_{3}$ $N_{2}O_{3}$ $N_{2}O_{3}$	
AFG 20 NFG	15 元素 : 計 77 試料 (AFG53, NFG24)	R_{20} , r_{205} , R_{0} , Sr , r , Da , Th (Nh Ph)	15 元素(CASE 2):
			$CASE2_{15}elements_{}$
			77samples.csv

表 4.1-2 入力データの概要

【付録5】

通番	試料名	タイプ	通番	試料名	タイプ	通番	試料名	タイプ	通番	試料名	タイプ
1	AU1b	AFG	21	FG02-A	AFG	41	FSW-C08	AFG	61	2301	AFG
2	AU5	AFG	22	FG02-B	AFG	42	FSW-C09	AFG	62	2504	NFG
3	AU6	AFG	23	K-19	AFG	43	FSW-C10	AFG	63	2602	NFG
4	AU8a	AFG	24	K-20	AFG	44	3-202	AFG	64	2603	NFG
5	AU8b	AFG	25	GSB-C09	AFG	45	3-203	AFG	65	Hr10A_1	NFG
6	AU9	AFG	26	GSB-C10	AFG	46	3-204	AFG	66	Hr10A_2	NFG
7	Ne3	AFG	27	GSB-C11	AFG	47	GSK1	AFG	67	Ko9-4-2_2	NFG
8	Ne4	AFG	28	GSB-C02	AFG	48	GSK2	AFG	68	Ko9-4-2_3	NFG
9	Ne5	AFG	29	GSB-C03	AFG	49	GSK3	AFG	69	SGR2	NFG
10	Ne6	AFG	30	GSB-C06	AFG	50	ARM1	AFG	70	SGR3	NFG
11	IT3	AFG	31	GSB-C07	AFG	51	ARM4	AFG	71	MP-07-1	NFG
12	IT5	AFG	32	GSB-C08	AFG	52	S14-1a_2	AFG	72	MP-07-2	NFG
13	98-10	AFG	33	GSB-C12	AFG	53	S14-1a_3	AFG	73	MP-07-3	NFG
14	99-1	AFG	34	GSB-C13	AFG	54	HRK-C05	NFG	74	Ko12-1-1	NFG
15	114-1	AFG	35	GSB-C14	AFG	55	HRK-C09	NFG	75	m003-1	NFG
16	FG01-1	AFG	36	STK-C02	AFG	56	HRK-C13	NFG	76	m003-3	NFG
17	FG01-2	AFG	37	STK-C03	AFG	57	HRK-C14	NFG	77	m003-4	NFG
18	FG03-1	AFG	38	STK-C07	AFG	58	HRK-C15	NFG			
19	FG05-1	AFG	39	STK-C08	AFG	59	1602	NFG			
20	FG06-1	AFG	40	STK-C09	AFG	60	1603	NFG			

表 4.1-3 解析対象試料の一覧

※着色したセルは15元素のケースのみで使用した試料を示す。

岩石学における化学組成の検討では、酸化物の総和を 100%として規格化されることも多い。 この場合、吸着水 (H₂O-) や構造水 (H₂O+) 及び強熱減量 (LOI; loss of ignition) などは無視 されることになる。また、鉄の酸化物については、目的により、Fe₂O₃ と FeO とが湿式分析を用 いて分けて定量される場合や、全鉄を Fe₂O₃ もしくは FeO として機器分析で定量される場合があ る。文献により、これらの扱いは様々であるものの、本研究の目的に照らせば、極力簡単な作業 で活断層と非活断層が区別される可能性を追求することが必要である。したがって、化学組成の 文献表示の 100%規格化は行わず文献値をそのまま採用する。主要元素については各酸化物の重 量%、微量元素については各元素の ppm の数値である。さらに鉄については湿式分析を不要とす べく、全鉄を Fe₂O₃ 換算することとした。具体的には、文献に Fe₂O₃、FeO それぞれの重量%が 掲載されている場合、FeO の値を 1.1114 倍して Fe₂O₃ の値と足し合わせる岩石学の一般的取り 扱いに則った。

(2) 変数選択

入力データの説明変数は表 4.1-2 の通り 17、あるいは 15 元素である。これは本来、100 に満 たないデータ数では到底分けられない次元とみなされる。一般に、説明変数の数(=次元)が増 えると、個別のデータの差異が小さくなり、判別ができなくなる(これを次元の呪いと呼ぶ)。ま た、説明変数が増えた結果、分類が細分化し、入力データに特化した判別式となってしまう場合 がある(過剰適合と呼ぶ)。その他にも、説明変数同士に極端に高い相関がある場合、標準誤差が 大きくなり、新たなデータが加わった時に推定値が大きく変化する問題がある(多重共線性と呼 ぶ)。これらはいずれも、線形判別分析の結果として得られる判別式の汎化性能を低下させる原因 となりうる。さらに、15 個の元素の組合せは約 3 万通りとなり、最適な元素の組合せの探索が困 難になる。これを回避するためには、予め判別に適した元素を選択する必要がある。そこで、赤 池情報量規準(AIC、Akaike, 1973)を使って変数選択を行った。また、選択された変数同士が多 重共線性をもつかどうかを判断するため、各変数の分散拡大係数(VIF)を算出した。

AIC は、複数の統計的モデルの良さを比較評価するための規準であり、AIC= -2×(モデルの 最大対数尤度)+2×(モデルの自由パラメータ数) の値が小さいほど予測精度の高いモデルであ るとしたものである(二宮, 1999)。R で実装されているものは、変数の組合せを変えて AIC を 逐次評価し、最も低い値を出したものを最良モデルとする。昨年度の本共同研究でも AIC による 変数選択を行っているが、今年度は変数選択の方法と結果の出力を変更した。昨年度の変数選択 の方法は、説明変数を全て含んだ状態から1ステップごとに各変数を除いてAIC を計算し、重回 帰分析の結果が最も改善する変数の組合せを逐次求めていく変数減少法と呼ばれる方法を採用し ていた。これに対して今年度は、1 ステップごとに前のステップで除いた変数を加えて AIC が改 善するかどうかを確かめる変数増減法と呼ばれる方法を採用した。なお、変数選択にはこの他に も変数増加法と呼ばれるものがある。結果の出力は、昨年度はAICのステップと残った元素だけ を示す形となっていたが、今年度はそれらとともに、重回帰分析により計算した各元素の t 値と p 値、及びそれに基づく重みが出力されるようにした。t 値と p 値はいずれも統計的仮説検定に用 いられ、本共同研究の場合は活断層と非活断層の2群における各元素の平均値が有意に異なると 言えるかどうかを検定する値となる。t値が大きく、p値が小さいほど、その元素は2群の違いを 有意に説明しうる、ということになる。 通例、p値が 0.05 (5%)を下回ると帰無仮説が棄却され、 各変数における2群の分布が等しいことを否定する。

VIF は、多重共線性の程度を表す量であり、VIF=1/(1-R²)の値が小さいほど多重共線性が低い。 ここで、R²はある説明変数(Xとする)を他の全ての説明変数で重回帰分析した時の決定係数で ある。Xを他の説明変数で9割説明できる場合のVIFは10であり、完全相関の場合はゼロ除算 となるため解が得られない。VIFが10を超えると、その変数は多重共線性の要因になっているこ とが示唆される(川端ほか, 2018など)。

これらの作業は全て、オープンソースの統計解析プログラミング言語である R で実行した。R 及び CRAN と呼ばれる R の計算ライブラリの信頼性は高く、FDA (アメリカ食品医薬局) にお ける薬事申請・報告での使用が公式に認められている。

以下に R における AIC 計算のコードを解説(#で始まる行がコードとして実行されない解説で ある)とともに示す。このコードを実行すると、最適な元素の組合せの候補が計算過程とともに aic.txt というテキストファイルに出力される。

#パッケージの読み込み

> library(glmnet, glmnetUtils, car) #入力データ(forAIC.csv)の読み込み(タイプを数値化した Z という列を追加したファイル) > data<-read.csv("forAIC.csv",header = T)</pre> #重回帰分析(目的変数 Z を説明変数候補である元素 15 個でどの程度説明できるか) > mod.full<-glm(Z ~.,data=dat) #変数を減らしたり増やしたりして AIC を計算し、改善されなくなった時に残っている変数を採用する > mod.step<-stepAIC(mod.full, direction = "both")</pre> #AIC の出力ファイルの用意 > sink("aic.txt") #AIC の結果の出力 > summary(mod.step) #出力ファイルを閉じる > sink() #VIFの出力ファイルの用意 > sink("vif.txt") #VIF の結果の出力 > vif(mod.full)

#出力ファイルを閉じる > sink()

(3) 線形判別分析

変数選択で決定した元素の組合せで線形判別分析を行った。分析は変数選択と同じく R で行った。以下に解析の一連のコードを解説とともに示す。

```
#ライブラリの読み込み
> library("MASS")
#入力データ(CASE1_*.csv)の読み込み
> data <- read.csv("CASE1_*.csv",header = T)</pre>
#2 群の分類データ列の読み込み(AFG/NFG)
> type <- data[,3]
#多変量列の読み込み(15元素の場合)
> com <- data[4:18]
#多変量列の標準化 係数比較のために必要
> com.scale <- data.frame(scale(com))</pre>
#分類データ列と多変量列の結合(教師データ作成)
> learn.data <- cbind(type, com.scale)
#線形判別分析
> Z<-lda(type ~., data = learn.data)
#一次式の係数 α
> aa <- apply(Z$means %*% Z$scaling, 2, mean)
#一次式の係数 B
> scaling <- Z$scaling
#各試料の判別得点 正負で2群の推定結果が判別できる
> score <- predict(Z)$x - aa
#type と score の結合
> df <- data.frame(type, score)
#\alpha, \beta, 判別得点の出力
> sink("CASE1_a.txt")
> aa
> sink()
> sink("CASE1_b.txt")
> scaling
> sink()
> sink("CASE1_score.txt")
> score
> sink()
```

(4) 結果図作成

線形判別分析の結果を判断しやすくするため、R のグラフ描画ライブラリ ggplot2 を用いて図 4.1-1 のような結果図を作成した。



プロットは判別得点のヒストグラムであり、横軸(LD1)が判別得点を、縦軸が頻度を表す。 図中赤色の棒が活断層(AFG)のデータ、緑色の棒が非活断層(NFG)のデータである。LD1 が正の値なら非活断層、負の値なら活断層と判別されたことになり、この図を見れば誤判別の数 が把握できる。プロットのタイトルは、以下の情報を表す。

CASE 1, FG_17elements, N=72

1 2 3

① 分析ケースの番号を示す。

②③ 線形判別分析に用いた元素の数と試料の数をそれぞれ表す。 結果図のプロット用のコードを以下に示す。

> library(ggplot2, GGally)
> g <- ggplot (df, aes (x = LD1, fill = type))
> g <- g + geom_histogram(position="stack",binwidth = 0.2, boundary=0,
colour="black",alpha=0.6,breaks=seq(-6,6,by=0.2))+scale_y_continuous(breaks =
seq(0,15,by=2),limits=c(0,15))+labs(title="CASE 1, FG_17elements, N=72")+theme_gray(base_size =
18)
> plot(g)

4.2 結果

4.2.1 線形判別分析(変数選択なし)

最初に、変数選択をしない状態で線形判別分析を2ケース行った。CASE1は昨年度と同じ17 元素(72試料)、CASE2は17元素からNbとPbを除いた15元素(77試料)である。なお、 昨年度は17元素(57試料)で同様の解析を行い、誤判別なしの結果が得られている。

(1) CASE 1:17 元素・72 試料

17 元素全てで線形判別分析を行った結果を図 4.2-1 に示す。判別率は 92%で、72 試料中 6 試料で誤判別となった。誤判別となったのは 5 試料が活断層試料、1 試料が非活断層試料で、活断層試料は六甲断層のものが 1 試料、その他 4 試料は今年度新たに追加した白木-丹生断層の試料であった。非活断層試料は江若花崗岩中の断層のものであった。

(2) CASE 2:15 元素・77 試料

15 元素全てで線形判別分析を行った結果を図 4.2-2 に示す。判別率は 92%で、77 試料中 6 試料で誤判別となった。誤判別となったのは 5 試料が活断層試料、1 試料が非活断層試料で、活断層試料は全て今年度新たに追加した白木-丹生断層の試料であった。非活断層試料は江若花崗岩中の断層のものであった。

CASE 1、CASE 2 とも、誤判別となった試料には白木-丹生断層の試料が含まれており、これ が誤判別を生む要因となっている可能性がある。これを検証するために、白木-丹生断層の試料を 除いて 17 元素と 15 元素の解析を行った。

(3) CASE 3:17 元素・67 試料(白木-丹生断層試料除く)

17 元素のデータから白木-丹生断層の試料を除いて線形判別分析を行った結果を図 4.2-3 に示 す。判別率は 100%であった。

(4) CASE 4:15 元素・72 試料(白木-丹生断層試料除く)

15 元素のデータから白木-丹生断層の試料を除いて線形判別分析を行った結果を図 4.2-4 に示す。判別率は 100%であった。

CASE 3 と CASE 4 で白木-丹生断層の試料を除いて解析を行った結果、17 元素と 15 元素のい ずれも判別率に改善が見られた。CASE 1 と CASE 2 で見られた誤判別の要因は、白木-丹生断層 のデータにあると考えられる。これは、母集団が 2 群ではなく実際には 3 群である可能性を示唆 しており、これを検証するため、白木-丹生断層試料を含めたデータで AFG を SFG(横ずれ断層) と RFG(逆断層;本共同研究のデータでは白木-丹生断層試料のみ)に分け、3 群の線形判別分析 (重判別分析と呼ぶ)を行った。

(5) CASE 5:17 元素・72 試料(3 群)

17 元素のデータを SFG、RFG、NFG の 3 群に分けて重判別分析を行った結果を図 4.2-5 に示 す。分析の結果、LD1 と LD2 の 2 つの判別得点を与える判別式が得られ、LD1 で SFG とそれ以 外が、LD2 で RFG と NFG がほぼ分かれる結果となった。LD1 では非活断層試料の誤判別が 1 試料あり、LD2 では逆断層試料の誤判別が 1 試料あった。

(6) CASE 6:15 元素・77 試料(3 群)

15 元素のデータを SFG、RFG、NFG の 3 群に分けて重判別分析を行った結果を図 4.2-6 に示 す。分析の結果、LD1 と LD2 の 2 つの判別式が得られ、LD1 で SFG とそれ以外が、LD2 で RFG と NFG がほぼ分かれる結果となった。LD1 では非活断層試料の誤判別が 1 試料あり、LD2 では 逆断層試料の誤判別が 1 試料、非活断層試料の誤判別が 5 試料あった。

CASE 5 と CASE 6 で横ずれ断層、逆断層(白木-丹生断層)、非活断層の3 群で重判別分析を 行った結果、いずれも母集団が3 群の性質を持っている可能性が示された。白木-丹生断層の化学 組成データが独立した性質を示す要因は、以下のように2 つ考えられる。

- ・逆断層と横ずれ断層が異なる化学的性質を持っている可能性。本共同研究で対象とした活断層のうち、逆断層は白木-丹生断層のみであり、他は横ずれ断層である。
- ・白木-丹生断層が他の活断層と異なる固有の化学的性質を持っている可能性。

これを検証するには逆断層のデータを増やす必要があるため、現段階では可能性以上の議論を するのは難しい。また、本共同研究の目的を踏まえると、試料数は多い方が望ましい。そこで、 これ以降の解析は、白木-丹生断層の試料を除いた CASE 4 のデータを用いて行うこととする。

表 4.2-1 に、CASE 1 から CASE 6 で得られた判別式における各元素の係数 β を示す。













【付録5】









CASE 1	β _LD1	CASE 2	β _LD1	CASE 3	β _LD1	CASE 4	β _LD1
SiO ₂	0.53	SiO_2	0.48	SiO_2	-0.74	SiO_2	-0.49
TiO_2	-1.18	TiO_2	-0.60	TiO_2	-2.28	TiO_2	-1.59
AI_2O_3	-0.88	AI_2O_3	-0.81	AI_2O_3	-1.35	AI_2O_3	-1.50
${\sf Fe}_2{\sf O}_3^*$	1.28	$Fe_2O_3^*$	0.24	$Fe_2O_3^*$	-0.77	$Fe_2O_3^*$	-0.65
MnO	-1.15	MnO	0.14	MnO	0.00	MnO	0.31
MgO	0.38	MgO	0.33	MgO	0.71	MgO	0.53
CaO	-0.11	CaO	-0.23	CaO	-1.29	CaO	-1.19
Na_2O	0.26	Na ₂ O	-0.18	Na_2O	-0.29	Na_2O	-0.24
K_2O	0.25	K_2O	-0.02	K_2O	0.22	K_2O	0.11
P_2O_5	1.04	P_2O_5	0.57	P_2O_5	1.85	P_2O_5	1.42
Rb	0.93	Rb	1.01	Rb	1.03	Rb	1.09
Sr	0.12	Sr	0.30	Sr	0.56	Sr	0.60
Υ	0.13	Υ	0.10	Y	-0.46	Y	-0.56
Nb	0.46	Ва	-0.39	Nb	0.27	Ва	-0.86
Ba	- 0.72	Th	0.02	Ва	-1.02	Th	0.62
Pb	-0.38			Pb	-0.28		
Th	0.06			Th	0.49		
CASE 5	β _LD1	β_LD2	CASE 6	β _LD1	β _LD2		
SiO_2	0.66	1.42	SiO_2	0.46	1.58		
TiO_2	2.32	0.33	TiO_2	1.64	0.82		
AI_2O_3	1.32	-0.13	AI_2O_3	1.48	0.17		
${\sf Fe}_2{\sf O}_3^*$	0.98	2.89	$Fe_2O_3^*$	0.62	1.30		
MnO	-0.23	-2.00	MnO	-0.30	-0.08		
MgO	-0.75	-0.11	MgO	-0.55	0.00		
CaO	1.39	1.12	CaO	1.24	1.08		
Na_2O	0.33	0.70	Na ₂ O	0.22	-0.09		
K_2O	-0.22	0.18	K_2O	-0.10	-0.16		
P_2O_5	-1.92	-0.18	P_2O_5	-1.44	-0.62		
Rb	-0.80	0.69	Rb	-1.02	0.84		
Sr	-0.58	-0.35	Sr	-0.61	-0.15		
Y	0.35	0.52	Y	0.57	0.94		
Nb	-0.28	0.44	Ba	0.91	0.34		
Ba	1.07	-0.11	Th	-0.66	-0.79		
Pb	0.20	-0.40					

表 4.2-1 CASE 1~CASE 6 の判別式の係数 β

4.2.2 変数選択(AIC)

Th

(1) CASE 4:15元素・72 試料(白木-丹生断層試料除く)

-0.45

-0.32

AIC の結果、15 個の元素から TiO₂、Al₂O₃、MnO、MgO、CaO、P₂O₅、Rb、Sr、Y、Ba、Th の 11 元素が最適な組合せとして抽出された。AIC の計算過程を以下に示す。Start 時点での元素 の数は 15 個で、AIC は-13.3 であった。Step ごとに元素の数が一つずつ減り、AIC が改善されて いき、最後の Step では前述の 11 個の元素が残り、AIC は-16.96 となった。

Start: AIC=-13.3 Judge ~ SiO2 + TiO2 + Al2O3 + Fe2O3 + MnO + MgO + CaO + Na2O + K2O + P2O5 + Rb + Sr + Y + Ba + Th

```
\begin{array}{l} \mathrm{Step:} \quad \mathrm{AIC}{=}{}^{-1}4.87\\ \mathrm{Judge} \sim \mathrm{SiO2} + \mathrm{TiO2} + \mathrm{Al2O3} + \mathrm{Fe2O3} + \mathrm{MnO} + \mathrm{MgO} + \mathrm{CaO} + \mathrm{Na2O} + \mathrm{P2O5} + \mathrm{Rb} + \mathrm{Sr} + \mathrm{Y} + \mathrm{Ba} + \mathrm{Th}\\ \mathrm{Step:} \quad \mathrm{AIC}{=}{}^{-1}5.9\\ \mathrm{Judge} \sim \mathrm{SiO2} + \mathrm{TiO2} + \mathrm{Al2O3} + \mathrm{Fe2O3} + \mathrm{MnO} + \mathrm{MgO} + \mathrm{CaO} + \mathrm{P2O5} + \mathrm{Rb} + \mathrm{Sr} + \mathrm{Y} + \mathrm{Ba} + \mathrm{Th}\\ \mathrm{Step:} \quad \mathrm{AIC}{=}{}^{-1}6.95\\ \mathrm{Judge} \sim \mathrm{TiO2} + \mathrm{Al2O3} + \mathrm{Fe2O3} + \mathrm{MnO} + \mathrm{MgO} + \mathrm{CaO} + \mathrm{P2O5} + \mathrm{Rb} + \mathrm{Sr} + \mathrm{Y} + \mathrm{Ba} + \mathrm{Th}\\ \mathrm{Step:} \quad \mathrm{AIC}{=}{}^{-1}6.96\\ \mathrm{Judge} \sim \mathrm{TiO2} + \mathrm{Al2O3} + \mathrm{MnO} + \mathrm{MgO} + \mathrm{CaO} + \mathrm{P2O5} + \mathrm{Rb} + \mathrm{Sr} + \mathrm{Y} + \mathrm{Ba} + \mathrm{Th}\\ \mathrm{Call:}\\ \mathrm{glm}(\mathrm{formula} = \mathrm{Judge} \sim \mathrm{TiO2} + \mathrm{Al2O3} + \mathrm{MnO} + \mathrm{MgO} + \mathrm{CaO} + \mathrm{P2O5} + \mathrm{Rb} + \mathrm{Sr} + \mathrm{Y} + \mathrm{Ba} + \mathrm{Th}, \, \mathrm{data} = \\ \mathrm{aic.data}) \end{array}
```

AIC の Summary を以下に示す。Coefficients の項に各元素のt 値とp 値、及びp 値に基づく 重みが*の数として出力されている。p 値が 0 から 0.001 の間であれば "***"、0.001 から 0.01 の 間であれば "**"、0.01 から 0.05 の間であれば "*"、0.05 から 0.1 の間であれば "." が出力され、 0.1 から 1 の間であれば何も出力されない。抽出された 11 元素のうち TiO₂、Al₂O₃、CaO、P₂O₅、 Rb、Ba が***で特に重みが高く、MgO、Th が**でそれに続く。

Call: glm(formul aic.data	la = Judge ~ Ti h)	02 + Al2O3 +]	MnO + Mg	0 + CaO + P.	2O5 + Rb + Sr + Y + Ba + Th, data =
Deviance R	Residuals:				
Min	1Q M	Iedian 3Q	Ma	х	
-0.43699	-0.12308 -0	0.01845 0.0	9901 0.4	9708	
Coefficient	s: Estimato	Std Error	t valuo	$\Pr(> +)$	Signif codes
(Intercent)	1 2/83/69	0 1986902	6 283	110-08	***
TiO2	-1 3018926	0.3199883	-4 069	0.000140	***
A12O3	-0.0905050	0.0126563	-7 151	1.38e-09	***
MnO	0 1033768	0.0542123	1 907	0.061326	
MgO	0.3458374	0.1078834	3.206	0.002161	**
CaO	-0.1105317	0.0195513	-5.653	4.62e-07	***
P2O5	4.6945047	1.3052440	3.597	0.000653	***
Rb	0.0020886	0.0003880	5.383	1.28e-06	***
Sr	0.0007945	0.0003492	2.275	0.026483	*
Y	-0.0009190	0.0004163	-2.208	0.031113	*
Ba	-0.0004492	0.0001042	-4.310	6.16e-05	***
Th	0.0118683	0.0043461	2.731	0.008283	**
Signif. code	es:				
0 '***' 0.00	1 '**' 0.01 '*' 0.0	$05 ^{\circ} 0.1 ^{\circ} 1$			
(D)				1 0 000 000	227)

Null deviance: 16.0000 on 71 degrees of freedom Residual deviance: 2.3213 on 60 degrees of freedom AIC: -16.959

Number of Fisher Scoring iterations: 2

4.2.3 線形判別分析(変数選択あり)

AIC による変数選択の結果抽出された元素を用いて線形判別分析を行った。各ケースの元素の 組み合わせを表 4.2-2 に示す。

(1) CASE 7:11 元素/15 元素・72 試料(白木-丹生断層試料除く)

15 個の元素から抽出された TiO₂、Al₂O₃、MnO、MgO、CaO、P₂O₅、Rb、Sr、Y、Ba、Th の 11 元素のデータを用いて線形判別分析を行った結果を図 4.2-7 に示す。判別率は 100%で、15 元 素全てを用いた CASE 4 の解析と同じ結果となった。VIF は全ての元素で 10 を下回っており、 明らかな多重共線性は認められない (表 4.2-3)。しかし、TiO₂ と P₂O₅ の 2 つは 8 を超えており、 かなり高い。

(2) CASE 8:8元素/15元素・72 試料(白木-丹生断層試料除く)

AIC の Summary で重みが**以上となった 8 元素 (TiO₂、Al₂O₃、MgO、CaO、P₂O₅、Rb、Ba、Th)のデータを用いて線形判別分析を行った結果を図 4.2·8 に示す。判別率は 100%で、15 元素全てを用いた CASE 4 の解析と同じ結果となった。VIF は全ての元素で 10 を下回っており、明らかな多重共線性は認められない (表 4.2·3)。TiO₂ と P₂O₅の VIF も 4~5 前後と、CASE 7 に比べ改善されている。

(3) CASE 9:6元素/15元素・72 試料(白木-丹生断層試料除く)

AIC の Summary で重みが***となった 6 元素(TiO₂、Al₂O₃、CaO、P₂O₅、Rb、Ba)のデー タを用いて線形判別分析を行った結果を図 4.2-9 に示す。判別率は 97%で、72 試料中 2 試料で 誤判別となった。誤判別となった 2 試料はいずれも非活断層試料で、境峠断層周辺の断層のもの である。VIF は全ての元素で10を下回っており、明らかな多重共線性は認められない(表 4.2-3)。 TiO₂ と P₂O₅ の VIF は CASE 8 とあまり変わらない。

CASE 7 CASE 8 CASE 9 CASE AIC**,*** AIC*** NOTE AIC ELEMENTS 11 8 6 ${\rm SiO}_2$ TiO_2 $\mathsf{AI}_2\mathsf{O}_3$ $Fe_2O_3^*$ MnO MgO CaO Na_2O K_2O $\mathsf{P}_2\mathsf{O}_5$ Rb Sr Y Ва Τh RESULT 100% 100% 97%







表 4.2-2 AIC により選択された元素の組合せ

【付録5】







CASE 9, FG_6elements, N=72

付 5-27

CASE 7	β _LD1	VIF	CASE 8	β _LD1	VIF	CASE 9	β _LD1	VIF
TiO ₂	-1.62	8.25	TiO ₂	-1.17	4.80	TiO ₂	-0.95	4.41
AI_2O_3	-1.30	1.72	AI_2O_3	-1.08	1.61	AI_2O_3	-1.09	1.57
MnO	0.31	1.37	MgO	0.40	1.45	CaO	-0.80	1.52
MgO	0.58	1.72	CaO	-0.78	1.59	P_2O_5	0.97	3.97
CaO	-1.05	1.78	P_2O_5	1.07	4.00	Rb	0.94	1.77
P_2O_5	1.41	8.02	Rb	0.91	2.32	Ba	-0.61	1.52
Rb	1.24	2.75	Ba	-0.58	1.76			
Sr	0.53	2.86	Th	0.35	2.80			
Y	-0.69	5.02						
Ва	-0.85	2.02						
Th	0.68	3.20						

表 4.2-3 CASE 7~CASE 9 の各元素の判別係数 β と VIF

5. 考察

5.1 2群の違いを表す元素に関する考察

昨年度の共同研究、及び立石ほか (2019) では、判別に強く寄与する元素は TiO₂、MgO、P₂O₅、 Na₂O、Al₂O₃、Ba という結論となった。データ数を増やした今年度の結果から、AFG と NFG の 判別に強く寄与する元素、ひいては 2 群の違いを表す元素について考察する。

|表 5.1-1 に、CASE 4 及び CASE 7 から CASE 9 の判別式の係数 β を降順で示す。今年度の分 析では、データを標準化しており、各元素にかかる係数βを直接比較することで、判別への寄与 度を測ることができる。これによれば、上位6位の元素(TiO₂、Al₂O₃、CaO、P₂O₅、Rb、Ba; CASE 9 と同じ元素)は、順位の変動はあるものの4つのケースで共通であり(表 5.1-1の網掛 け部)、これらの元素が2群の違いを表す元素の候補と見なせる。中でも、TiO₂、Al₂O₃、P₂O₅、 Rb は 3 つのケースで上位 4 位を占めている。上位 6 位の各元素間の関係を、入力データのクロ スプロットで示す(図 5.1-1)。クロスプロットの色は線形判別分析の結果図と対応しており、赤 がAFGの、青がNFGのデータである。 左上から右下にかけて配置した各元素の密度分布図から は、TiO₂、CaO、P₂O₅、Baで共通の分布パターンが認められ、NFG が低い値に集中するのに対 して、AFG はより高い値で幅広い分布を示す。このため、左下に配置した各元素間の散布図では、 これらの元素のプロットは線形に近い分布となる。中でも特に、TiO2と P2O5 は顕著な線形性を 有する。右上に配置した各元素間の相関係数でも、TiO2 と P2O5 は AFG、NFG の 2 群と非常に 高い相関を示している。次いで2群との相関が高い組合せは Al2O3 と Rb である。両者は単体の 密度分布図では2群の分布が重なっていて、判別に寄与しなさそうに見える。しかし、両者の関 係を表す散布図では、右下から左上の軸を境に2群が分散する。このようなデータの分布は、線 形判別分析の概念を2次元で表した場合の理想に近い。すなわち、この2つの元素で判別分析を 行った場合、この軸に直交する軸が判別式となる。このような元素間の関係は CASE 7 から CASE 9のVIFにも表れており、TiO₂と P_2O_5 は共通して高い値を出すが、 Al_2O_3 とRbは共存しても高 い値にならない(表 4.2-3)。線形判別分析の変数選択の観点から見ると、Al₂O₃ と Rb は判別に 強く寄与するが、TiO₂とP₂O₅はどちらか片方を除いた方が良い。後者は相関関係にあり、同じ 変数が2の入っているのと変わらないためである。従って、判別に強く寄与する元素はAl2O3と Rb、そしてTiO₂とP₂O₅のどちらかと予想される。しかし、2群の違いを表す元素という意味で は、これら4つの元素はいずれも重要と考えられる。

表 5.1-1 CASE 4,7	7, 8,	9の判別式の係数β	(降順)
------------------	-------	-----------	------

No.	CASE 4	β _LD1	β _ABS	_	CASE 7	$LD1_{\beta}$	β _ABS
1	TiO ₂	-1.59	1.59		TiO ₂	-1.62	1.62
2	AI_2O_3	-1.50	1.50		P ₂ O ₅	1.41	1.41
3	P_2O_5	1.42	1.42		AI_2O_3	-1.30	1.30
4	CaO	-1.19	1.19		Rb	1.24	1.24
5	Rb	1.09	1.09		CaO	-1.05	1.05
6	Ва	-0.86	0.86		Ва	-0.85	0.85
7	Fe_2O_3	-0.65	0.65		Υ	-0.69	0.69
8	Th	0.62	0.62		Th	0.68	0.68
9	Sr	0.60	0.60		MgO	0.58	0.58
10	Y	-0.56	0.56		Sr	0.53	0.53
11	MgO	0.53	0.53		MnO	0.31	0.31
12	SiO_2	-0.49	0.49				
13	MnO	0.31	0.31				
14	Na_2O	-0.24	0.24				
15	K_2O	0.11	0.11				

CASE 8	$LD1_{\beta}$	β_{ABS}	CASE 9	$LD1_{\beta}$	β _ABS
TiO ₂	-1.17	1.17	AI_2O_3	-1.09	1.09
Al_2O_3	-1.08	1.08	P ₂ O ₅	0.97	0.97
P_2O_5	1.07	1.07	TiO ₂	-0.95	0.95
Rb	0.91	0.91	Rb	0.94	0.94
CaO	-0.78	0.78	CaO	-0.80	0.80
Ва	-0.58	0.58	Ва	-0.61	0.61
MgO	0.40	0.40			
Th	0.35	0.35			



図 5.1-1 上位6元素のクロスプロット

以上述べてきたように、2 群の違いを表す元素は TiO₂、Al₂O₃、CaO、P₂O₅、Rb、Ba の 6 つで あり、中でも TiO₂ と Al₂O₃、P₂O₅ と Rb の 4 元素はそれぞれの組合せも含め重要と考えられる。 ここで、判別に強く寄与する元素を更に絞り込むため、TiO₂、Al₂O₃、P₂O₅、Rb の組合せで線形 判別分析を行った。各ケースの元素の組み合わせを表 5.1-2 に示す。TiO₂ と P₂O₅ は高い相関を 示すため、TiO₂ と P₂O₅が共存する組合せからは良い判別式が得られないと予想される。

(1) CASE 10:4 元素/15 元素・72 試料(白木-丹生断層試料除く)

TiO₂、Al₂O₃、P₂O₅、Rbのデータを用いて線形判別分析を行った結果を図 5.1-2 に示す。判別 率は 96%で、72 試料中 3 試料で誤判別となった。誤判別となったのは活断層試料 1 試料と非活 断層試料 2 試料で、活断層試料は阿寺断層の試料、非活断層試料は江若花崗岩中の断層と境峠断 層周辺の断層の試料であった。

(2) CASE 11:3元素/15元素・72 試料(白木-丹生断層試料除く)

TiO₂、Al₂O₃、P₂O₅のデータを用いて線形判別分析を行った結果を図 5.1-3 に示す。判別率は 76%で、72 試料中 17 試料で誤判別となった。誤判別となったのは活断層試料 15 試料と非活断 層試料 2 試料で、活断層試料は阿寺断層、五助橋断層、下蔦木断層の試料、非活断層試料は境峠 断層周辺の断層の試料であった。

(3) CASE 12:3元素/15元素・72 試料(白木-丹生断層試料除く)

TiO₂、Al₂O₃、Rbのデータを用いて線形判別分析を行った結果を図 5.1-4 に示す。判別率は 94% で、72 試料中 4 試料で誤判別となった。誤判別となったのは活断層試料 1 試料と非活断層試料 3 試料で、活断層試料は阿寺断層の試料、非活断層試料は江若花崗岩中の断層と境峠断層周辺の断層の試料であった。

(4) CASE 13:3元素/15元素・72 試料(白木-丹生断層試料除く)

TiO₂、P₂O₅、Rb のデータを用いて線形判別分析を行った結果を図 5.1-5 に示す。判別率は 94% で、CASE 12 と同じ結果であった。

(5) CASE 14:3元素/15元素・72 試料(白木-丹生断層試料除く)

Al₂O₃、P₂O₅、Rbのデータを用いて線形判別分析を行った結果を図 5.1-6 に示す。判別率は 96% で、72 試料中 3 試料で誤判別となった。誤判別となったのは活断層試料 1 試料と非活断層試料 2 試料で、活断層試料は阿寺断層の試料、非活断層試料は江若花崗岩中の断層と境峠断層周辺の断層の試料であった。

結果は予想に従うものと反するものの両方がある。TiO₂ と P₂O₅の両方を含む CASE 10、CASE 11、CASE 13 のうち、CASE 11 では顕著な判別率の低下が見られるが、CASE 10 と CASE 13 は高い判別率を示す。これら 3 つのケースの違いは Rb の有無であり、Rb のみ、含まれる全ての ケースで判別率が高い。判別係数 β から見ても、Rb は含まれる全てのケースで最も高く、逆に VIF は最も低い(表 5.1·3)。Rb と対になると考えられる Al₂O₃ は、CASE 11 の判別率低下や CASE 12 と CASE 13 で判別率が変わらないことを踏まえると、Rb よりも寄与の程度が低いと 見なせる。また、TiO₂ と P₂O₅のうち判別に寄与するのは、CASE 14 が相対的に高い判別率を示 すことから、P₂O₅ と考えられる。





CASE 10, FG_4elements, N=72

図 5.1-2 線形判別分析の結果図(CASE 10)



図 5.1-3 線形判別分析の結果図(CASE 11)



CASE 12, FG_3elements, N=72










CASE 10	β _LD1	VIF	CASE 11	β _LD1	VIF	CASE12	β _LD1	VIF
TiO_2	-0.63	4.22	TiO_2	-1.29	3.98	TiO_2	-0.31	1.59
AI_2O_3	-0.85	1.54	AI_2O_3	-0.49	1.47	AI_2O_3	-0.86	1.54
P_2O_5	0.36	3.44	P_2O_5	0.59	3.42	Rb	1.40	1.09
Rb	1.39	1.10						
CASE13	β _LD1	VIF	CASE 14	β _LD1	VIF			
TiO ₂	-1.14	3.51	AI_2O_3	-0.99	1.28			
P_2O_5	0.42	3.43	P_2O_5	-0.09	1.29			
Rb	1.16	1.04	Rb	1.44	1.03			

表 5.1-3 CASE 10~CASE 14 の各元素の判別係数 β と VIF

最後に、TiO₂、P₂O₅、Al₂O₃、Rbの判別への寄与の程度を比較するため、TiO₂ と P₂O₅、Al₂O₃ と Rbの組合せで線形判別分析を行った。TiO₂ と P₂O₅ は高い相関を示すため、多重共線性の影響で良い判別式が得られないことが予想される。これに対して Al₂O₃ と Rb の組合せは良好な判別結果を示すと考えられる。

(6) CASE 15:2元素/15元素・72 試料(白木-丹生断層試料除く)

TiO₂、P₂O₅のデータを用いて線形判別分析を行った結果を図 5.1-7 に示す。判別率は 68%で、 72 試料中 23 試料で誤判別となった。誤判別となったのは活断層試料 21 試料と非活断層試料 2 試 料で、活断層試料は跡津川断層、阿寺断層、野島断層、五助橋断層、下蔦木断層の試料、非活断 層試料は境峠断層周辺の断層の試料であった。

(7) CASE 16:2元素/15元素・72 試料(白木-丹生断層試料除く)

Al₂O₃、Rbのデータを用いて線形判別分析を行った結果図 5.1-8 に示す。判別率は 96%で、72 試料中3試料で誤判別となった。誤判別となったのは活断層試料1試料と非活断層試料2試料で、 活断層試料は阿寺断層の試料、非活断層試料は江若花崗岩中の断層と境峠断層周辺の断層の試料 であった。

CASE 15、CASE 16 ともに予想通りの結果となったが、CASE 16 は 2 つの元素だけで判別率 96%を示した。CASE 16 の結果は、3 つの元素の組合せで最も高い判別率を示した CASE 14 と 同じである。前述の CASE 10~CASE 14 についての考察から、判別への寄与の程度は Rb>Al₂O₃、 P₂O₅>TiO₂ であり、更に CASE 10~CASE 16 の結果や判別係数 β 、VIF を踏まえると、 Rb>Al₂O₃>P₂O₅>TiO₂ と見なせる(表 5.1-3、表 5.1-4)。

表 5.1-4 CASE 15~CASE 16 の各元素の判別係数 β と VIF

CASE 15	β _LD1	VIF	CASE 16	β _LD1	VIF
TiO ₂	-1.65	3.41	AI_2O_3	-1.03	1.00
P_2O_5	0.65	3.41	Rb	1.45	1.00



図 5.1-7 線形判別分析の結果図 (CASE 15)



CASE 16, FG_2elements, N=72



5.2 より良い判別式に関する考察

今年度の分析で判別率 100%となったのは、17 元素で解析を行った CASE 3、15 元素で解析を 行った CASE 4、そこから AIC で抽出した元素で解析を行った CASE 7、CASE 8 であった。こ の中で最も元素の数が少なく、汎化性能が高いと考えられるのは CASE 8 である。しかし、CASE 8 に含まれる TiO₂ と P₂O₅ は、多重共線性を持つため共存させない方が良いことが明らかになっ た。そこで、CASE 8 から TiO₂ と P₂O₅ の 2 つの元素を削減したケースをそれぞれ CASE 8'、 CASE 8"として線形判別分析を行った。

- (1) CASE 8':7元素/15元素・72 試料(白木-丹生断層試料除く)
 - Al₂O₃、MgO、CaO、P₂O₅、Rb、Ba、Th のデータを用いて線形判別分析を行った結果を CASE 8', FG_7elements, N=72



図 5.2-1 に示す。判別率は 99%で、72 試料中 1 試料で誤判別となった。誤判別となったのは 非活断層試料 1 試料で、境峠断層周辺の断層の試料であった。

(2) CASE 8":7元素/15元素・72 試料(白木-丹生断層試料除く)

TiO₂、Al₂O₃、MgO、CaO、Rb、Ba、Thのデータを用いて線形判別分析を行った結果を図 5.2-2 に示す。結果は CASE 8'と同じであった。

CASE 8'と CASE 8"では、いずれも判別率 100%にはならなったが、99%という高確率で2群 を判別することができた。5.1 の考察を踏まえると、判別性能は TiO₂を除いた CASE 8'の方がよ り高いと考えられるが、両者の結果図、及び表 5.2-1 に示す判別係数β、VIF では優劣は決め難 い。以上の結果から、活動性が既知の試料を判別する能力は CASE 8 が最も高いが、未知の試料 に対する判別性能の面では CASE 8'、あるいは CASE 8"の方が高いことが予想される。



図 5.2-1 線形判別分析の結果図(CASE 8')





付 5-37

CASE 8'	β _LD1	VIF	CASE 8''	β _LD1	VIF
AI_2O_3	-1.25	1.36	TiO_2	-0.30	2.33
MgO	0.21	1.34	AI_2O_3	-1.00	1.61
CaO	-0.59	1.52	MgO	0.40	1.45
P_2O_5	0.28	1.95	CaO	-0.56	1.48
Rb	0.94	2.28	Rb	1.06	2.12
Ba	-0.50	1.75	Ba	-0.40	1.69
Th	0.46	2.72	Th	0.25	2.78

表 5.2-1 CASE 8'~CASE 8"の各元素の判別係数 βと VIF

5.3 活動性が未知の試料に対する判別式の適用

最後に、活動性が未知の試料に対して高い判別率を示す判別式を適用し、その活動性を推定す る。対象とする試料は、境峠断層周辺の断層試料 NMG5、SGR5 及び南九州の花崗岩の断層 96g、101-1、同じく南九州の非花崗岩の断層 118-4a、YD-14①~⑤の 10 試料である。CASE 4、 CASE 7、CASE 8、CASE 8"の4つのケースの判別式を適用した結果、101-1を除いて結果は共 通であり、境峠断層周辺の断層試料はいずれも非活断層側、南九州の断層試料は活断層側の値を 示す(表 5.3-1)。101-1 試料は CASE 8"のみ活断層側の値で、他の3つの判別式では非活断層側 の値であり、相反する結果となっている。101-1の活動性は不明なため、どちらが正しいか結論を 出すことはできないが、101-1は 96-g と同じ露頭、同じ断層ガウジの試料であることから、活動 性も同じと考えられる。96-g は 4 つの判別式全てで活断層側となっており、これと同じ結果が出 たのは CASE 8"のみであることから、判別性能は CASE 8">CASE 8'の可能性がある。一方、南 九州の四万十帯堆積岩起源の試料である 118-4a と YD-14①~⑤は、断層中軸部の粘土ではない 断層角礫部分(YD-14①、③~⑤)も含めたすべてで活断層側の値となっており、YD-14 が断層 角礫部分も含めて活断層として活動している可能性と、原岩の違いが判別式の適用限界を超えた 可能性とが否定できない結果となった。これらの破砕帯が活断層か否かについては、本研究とは 異なるアプローチも含めて引き続き検討していくことが必要である。

No	Sampla	CASE 4	CASE 7	CASE 8'	CASE 8''	Estimated
110.	Sample	score	score	score	score	activity
1	NMG5	0.06	0.06	0.30	0.23	NF
2	SGR5	0.57	0.85	0.18	0.19	NF
3	96 - g	-1.89	-2.26	-0.89	-1.02	AF
4	101-1	0.44	0.15	0.14	-1.38	AF?
5	118-4a	-2.69	-2.69	-1.99	-1.40	AF
6	YD-141)	-1.70	-1.55	-1.99	-1.82	AF
7	YD-142	-2.04	-2.30	-1.77	-1.09	AF
8	YD-143	-1.58	-1.49	-1.74	-1.48	AF
9	YD-14④	-2.81	-2.63	-2.32	-1.80	AF
10	YD-14⑤	-1.26	-0.94	-1.67	-1.53	AF

表 5.3-1 判別式の未知試料への適用結果

6. まとめと今後の課題

今年度は、昨年度から試料数を増やすとともに、より定量的な評価ができる変数選択法を取り 入れて断層ガウジの化学組成を用いた線形判別分析を行った。その結果、活断層(AFG・48 試料) と非活断層(NFG・24 試料)の2群を高確率で判別する式が複数得られ、その中から汎化性能が 高いと予想される判別式を選び出すことができた。さらに、これらの判別式に共通する元素の組 合せから、活断層と非活断層の違いを表す元素を6つに絞り込むとともに、うち4つの元素(TiO₂ と P₂O₅、Al₂O₃ と Rb)が2組ずつのセットとなっていること、Al₂O₃ と Rb 以外の4つの元素 (TiO₂、CaO、P₂O₅、Ba)が同じ分布パターンを示すことを明らかにした。このような成果は、 活断層と非活断層の化学組成の違いを生むメカニズムの解明に大きく貢献するものである。

また、母集団に白木-丹生断層(逆断層)のデータを取り込んで線形判別分析を行った結果、3 群の特徴を持つ集団として認識された。この要因としては、他の活断層データとの断層タイプの 違い、あるいは白木-丹生断層固有の化学的性質という2つの可能性が考えられるが、試料数が少 ないため現段階で結論は出せない。さらに、活動性が未知の試料に対して判別式の適用を試みた ところ、判別結果と産状の比較から判別性能の評価ができる可能性や、原岩の化学的性質の差異 が判別性能の限界を超える可能性が認められた。今後、逆断層タイプの活断層も含め、より多く の断層ガウジのデータを追加することで、信頼度が高く、断層タイプの違いも識別可能な式が得 られる可能性がある。 引用文献

- Akaike, H., Information theory and an extension of the maximum likelihood principle, Proceedings of the 2nd International Symposium on Information Theory, Petrov, B. N., and Caski, F. (eds.), Akadimiai Kiado, Budapest: p. 267-281, 1973.
- 原子力規制委員会,国立研究開発法人日本原子力研究開発機構もんじゅの敷地内破砕帯の評価に ついて,http://www.nsr.go.jp/data/000161557.pdf(最終閲覧日,2019年1月29日)
- 川端一光・岩間徳兼・鈴木雅之, Rによる多変量解析, オーム社, 417pp, 2018.
- 国立大学法人富山大学・日本原子力研究開発機構,機械学習に基づいた断層の活動性評価手法の 開発に関する共同研究 平成 30 年度共同研究報告書,平成 30 年度高レベル放射性廃棄物等 の地層処分に関する技術開発事業 地質環境長期安定性評価技術高度化開発 付録集, p.45-80, 2019
- Kuwatani, T., Nagata, K., Okada, M., Watanabe, T., Ogawa, Y., Komai T. and Tsuchiya, N., Machine-learning techniques for geochemical discrimination of 2011 Tohoku tsunami deposits. Scientific Reports volume 4, Article number: 7077, 2014.
- 日本原子力研究開発機構,高速増殖原型炉もんじゅ 敷地内破砕帯の追加地質調査報告書,126p, 2013.
- 日本原子力研究開発機構,高速増殖原型炉もんじゅ 敷地内破砕帯の追加地質調査 全体とりまと め報告 補足資料,83p,2014.
- 二宮正士, AIC(赤池情報量規準:Akaike Information Criterion), 日本食品科学工学会誌, 46, 1, p.37-38, 1999.
- Niwa, M., Shimada, K., Ishimaru, T. and Tanaka, Y., Identification of capable faults using fault rock geochemical signatures: A case study from offset granitic bedrock on the Tsuruga Peninsula, central Japan. Engineering Geology, 260, 105235, 2019.
- 清水麻由子, 佐野直美, 柴田健二, 東濃地科学センターにおける蛍光 X 線分析装置を用いた岩石 試料の主要元素および微量元素の定量分析, JAEA-Testing 2016-004, 40p, 2017.
- 杉山雄一・山本博文・村上文敏・宇佐見琢哉・畠山一人・島崎裕行,柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部北 方延長域(坂井市沖〜福井市沖)における活断層の分布と活動性,活断層・古地震研究報告, No.13, p.145-185, 2013.
- 立石 良・島田耕史・植木忠正・清水麻由子・小松哲也・末岡 茂・丹羽正和・安江健一・石丸恒 存,断層ガウジの化学組成を用いた多変量解析による断層活動の有無の推定,日本地球惑星科 学連合 2019 年大会, SSS15_P27, 2019
- 植木忠正,田辺裕明,丹羽正和,石丸恒存,島田耕史,花崗岩中に発達する粘土脈の観察・分析デ ータ, JAEA-Data/Code 2016-010, 292p, 2016.

付録 A 既往報告書における試料採取位置

22 耐震工学 陸域断層の活動性評価に資する断層破砕部の調査・分析 報告書

(1) 五助橋断層 五助ダム上流露頭



五助橋断層の地質図(神戸市, 1998)(報告書 図 3.2.1-3)



五助橋断層、五助ダム上流露頭周辺のルートマップ(報告書 図 3.2.2-1)



(1) 五助橋断層 五助ダム上流露頭(続き)

五助橋断層、五助ダム上流露頭全景(報告書 図 3.2.2-4)



五助橋断層、五助ダム上流露頭スケッチ(報告書 図 3.2.2-5(1))

【付録5】

(1) 五助橋断層 五助ダム上流露頭(続き)



五助橋断層、五助ダム上流地点の試料採取状況(報告書 図 3.2.6-2 より抜粋)



五助橋断層の分析試料の状況(報告書 図 3.3.5-1)

(2) 下蔦木断層 釜無川左岸露頭



下蔦木断層の地質図(小山, 1988に加筆)(報告書 図 3.2.1-10)



下蔦木断層、釜無川左岸露頭の全景(報告書 図 3.2.2-11(2))

【付録5】

(2) 下蔦木断層 釜無川左岸露頭(続き)



下蔦木断層、釜無川左岸露頭のスケッチ(露頭上部)(報告書 図 3.2.2-13(1))



下蔦木断層、釜無川左岸露頭のスケッチ(露頭下部)(報告書 図 3.2.2-15(1))

(2) 下蔦木断層 釜無川左岸露頭(続き)



下蔦木断層、釜無川左岸露頭の試料採取状況(報告書 図 3.2.6-4)







下蔦木断層の分析試料の状況(報告書 図 3.3.5-2)

23 耐震工学 陸域断層の活動性評価に資する断層破砕部の調査・分析 報告書 (1) 六甲断層 船坂西露頭、白水峡露頭



五助橋断層の位置図(岡田・東郷 編, 2000を改変)(報告書 図 3.2-1)



(1) 六甲断層 船坂西露頭、白水峡露頭(続き)



六甲断層 船坂西露頭の試料採取位置

赤:ブロックサンプル,緑:簡易定方位サンプル,青:その他のサンプル,黄:リングサンプル(力学試験用)の採取範囲. 実線:地表付近で採取したサンプル,波線:掘削部から採取したサンプル. 水糸は横 1m 間隔,縦 0.5m 間隔.

船坂西露頭の試料採取位置(報告書 図 3.4.5-1)

断層名	地点	試料番号 (現地)	試料番号	露頭での 破砕部 区分	X線分析 (不定方位) 試料番号	X線分析 (分級定方位) 試料番号	化学分析 試料番号	F1断層からの 距離*	試料記載 (露頭レベル)
数量					10試料	20試料 (5試料x4分級)	20試料		
		FSW-B-01	FSW-B-01	1					淡青灰色、変質した弱変形流紋岩、やや軟質
		FSW-B-02	FSW-B-02	2					黄褐色~白色,弱変形流紋岩,硬質
		FSW-BL-04	FSW-BL-04	4	FSW-X01		FSW-C01		白色, 流紋岩質カタクレーサイト, 硬質, F2断層中軸部
		FSW-B-05(仮)	FSW-B-05	5			FSW-C02		黄褐色~白色,弱変形流紋岩,硬質
		FSW-B-06'(仮)	FSW-B-06	6					白色、やや破砕した流紋岩起源のカタクレーサイト、硬質
		FSW-B-06(仮)	FSW-B-07	6					白色、破砕した流紋岩起源のカタクレーサイト、硬質
				6			FSW-C03	-10.0~-7.0 cm	白色,流紋岩質カタクレーサイト,硬質
				6-7			FSW-C04	-5.0~-3.0 cm	白色~褐色、流紋岩質カタクレーサイト、硬質
				7			FSW-C05	-3.0~-1.5 cm	濃褐色カタクレーサイト, 硬質
				7	FSW-X06		FSW-C06	-1.5~-0.5 cm	濃褐色カタクレーサイト, 硬質
	船坂西			8	FSW-X07	FSW-X07	FSW-C07	-0.5~0.0 cm	黒色細粒なカタクレーサイト? 硬質, F1断層下盤側
		FOW DL 00	FOW DL 00	9	FSW-X08	FSW-X08	FSW-C08	0.0~0.5 cm	褐色ガウジ,0.0~0.5mm,軟質,F1断層上盤側
		FSW-DL-02	FSW-DL-02	9	FSW-X09	FSW-X09	FSW-C09	0.5~1.0 cm	褐色ガウジ,0.5~10mm, 軟質
六甲断層				9	FSW-X10	FSW-X10	FSW-C10	1.0~3.0 cm	褐色ガウジ, 10~20mm, 軟質
				10	FSW-X11	FSW-X11	FSW-C11	3.0~6.0 cm	面状カタクレーサイト(内),軟質
				10			FSW-C12	6.0~8.0 cm	面状カタクレーサイト(外),軟質
				11			FSW-C13	8.0~10.0 cm	淡褐色、変質花崗岩起源のカタクレーサイト、軟質
				11	FSW-X14		FSW-C14	11.0~14.0 cm	白色,変質花崗岩起源のカタクレーサイト,軟質
		FSW-B-12-2(仮)	FSW-B-08	13			FSW-C15		青灰色,変質花崗岩起源のカタクレーサイト,硬質
		FSW-B-12(仮)	FSW-B-09	12					白色、変質花崗岩起源のカタクレーサイト、軟質
		FSW-B-13(仮)	FSW-B-10	13			FSW-C16		白色、変質花崗岩起源のカタクレーサイト、硬質~やや軟質
		HSK-R-01	HSK-Rh-01	Rh					弱風化した流紋岩
		HSK-R-02	HSK-Rh-02	Rh	FSW-X17		FSW-C17		流紋岩
	the state	HSK-R-03	HSK-Rh-03	Rh			FSW-C18		流紋岩
	日水峡	HSK-Gr-01	HSK-Gr-01	Gr	FSW-X19		FSW-C19		弱変形した花崗岩、破砕脈に囲まれたコア部
		HSK-Gr-02	HSK-Gr-02	Gr			FSW-C20		弱変形した花崗岩、破砕脈に近い
		HSK-Gr-03	HSK-Gr-03	Gr					強風化、弱変形した花崗岩、小破砕脈を含む

船坂西露頭、白水峡露頭の分析試料一覧表(報告書 表 3.5.6-1)

24 耐震工学 陸域断層の活動性評価に資する断層破砕部の調査・分析 報告書





蓬莱峡及び白水峡の位置図(岡田・東郷編、2000を改変)(報告書 図 3.3-2)



蓬莱峡及び白水峡の断層露頭分布図(報告書 図 3.3-4)国土地理院2万5千分の1地形図「宝塚」を使用

【付録5】

(1) 六甲蓬莱峡断層(仮称) K-3 露頭(続き)



K地点の試料採取位置(報告書 図 3.4.5-1)



K-3 地点 露頭写真、露頭スケッチ(報告書 図 3.4.1-7、図 3.4.5-2)

付録A 引用文献

- 神戸市,六甲断層帯(神戸市地域)に関する調査,第2回活断層調査成果報告会予稿集, pp.153-162, 1998.
- 小山 彰, 下蔦木衝上断層 —糸魚川-静岡構造線の屈曲部—, 地質学雑誌, vol.94, pp.257-277, 1988.

岡田篤正,東郷正美,編,近畿の活断層,東京大学出版会,395p,2000.

地点 就料no.		F			
	分析no. 区.	(分 茶	岩種	色調	No. 1702, AUO, FEUO, FEUO MEU MEU AND MEU CAU NAU K. 12, P.V. 1701, FAU
GSB-04 助ダム上波 GSB-09 GSB-06 GSB-06	GSB-001 酸 GSB-001 酸 GSB-003 酸 GSB-003 酸 GSB-003 酸 GSB-003 酸 GSB-004 酸 GSB-005 酸 GSB-005 酸 GSB-005 酸 GSB-006 酸 GSB-006 酸 GSB-006 酸 GSB-006 酸 GSB-006 酸 GSB-006 酸 GSB-008 酸 GSB-010 酸 GSB-011 酸 GSB-013 酸 GSB-014 酸 GSB-013 酸 GSB-014 酸 GSB-013 酸 GSB-014 酸 GSB-0	(1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)	はほんどうかいしゃイト ガランジ ガランジ 通常とのタントーサイト 通常とのタントーサイト ガランジ ガランジ ガランジ ガランジ イランジ イランジ イランジ イランジ イランジ イランジ イランジ イ	憲政部合 憲法 1999年 1999 1990 100 10	$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$
GSB-06A GSB-06B GSB-06B GSB-06C	GSB-C15 款 GSB-C16 款 GSB-C17 餘 GSB-C17 餘 GSB-C18 餘 GSB-C19 衡	2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2	面状カタクレーサイト 面状カタクレーサイト 花崗岩 花崗岩	縁白色 縁白色 (黒色・)白色 (黒色・)白色 (黒色・)白色	6730 12201 12201 12201 12201 1201 10 10 1 6 14 4 200 12 65 103 1201
地点	*	播			$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
五助ダムビネ	橋 (後)	2時帯16款約 ガウジ11就体 上盤側面状 119款約の平 119款約の平 119款約の平	4の平均値 100平均値 10971サイト3款料 10710-1-サイト3款料 1071均値 17の場合は、含有量- 1下の場合は、含有量-	の平均値 の平均値 =0として平均値を計算	69:56 0.23 10:0 20:0 0.64 20:0 10:0 40:0 10:0 60:0 10:0 <t< td=""></t<>
1点 就料no.	分析no. 区.	(分 差	皆種	色調	Nb Mo Ag in Sn Sb Cs Ba La Ce Pr Nd Sn Bu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu Hf Ta W T1 Pb Bi Th U by m ppm ppm ppm ppm ppm ppm ppm ppm ppm
GSB-04 GSB-04 助ダム上演 GSB-06 GSB-05	GSB-001 6 GSB-001 6 GSB-001 6 GSB-003 6 GSB-003 6 GSB-003 6 GSB-003 6 GSB-003 6 GSB-003 6 GSB-004 6 GSB-005 6 GSB-005 6 GSB-005 6 GSB-005 6 GSB-005 6 GSB-005 6 GSB-006 6 GSB-007 6 GSB-011 6 GSB-013 6 GSB-0	等部部部部部部部部部部部部部部部部部部部部部部部部部部部部部部部部等部署等部署部署部署部署部署部署部署部署部署部署部署部署部署部署部署部署署署署、2、2、2、2	間波とあるアレーサイト オウジン オウジン 回波とタクレーサイト 回避なりクシレーサイト オウジン オウジン イロウジン イロクジン イロクジン イロクジン イロクジン イロクジン イロクジン イロクジン イロクジン イロクシン イロクシン イロクシン イサイト	後援援援援援援援援援援援援援援援援援援援援援援援援援援援援援援援援援援援援	$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $
GSB-06C	GSB-C19 陳 GSB-C19 健	治治	花崗岩 花崗岩	(黒色-)白色 (黒色-)白色	7.0 <2 0.6 < 0.1 1 < 0.2 2.0 673 22.0 673 22.0 43.0 22.1 0 2 < 1.0 2 < 0.2 3.0 43.0 32.0 3.4 0.775 3.0 0.51 2.96 0.51 1.226 0.58 1.91 0.238 1.91 0.321 3.4 0.52 < 0.5 0.44 1.2 < 0.1 7.36 1.250 < 0.5 1.2 0.5
地点エージョン	r 第	e種 :00-45-1 Gittest	1.小可松储		Nb Mo Ag In Sh Cs Ba Lat Ce Pr Nd Sh Ha Yh Lat Hf Ta W T1 Pb Bi Th U pm pm </td
u de la comunicación de la com	₽ 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	20年前10回20年 ガウジ11試術 下盤側面状: 上盤側面状: 「協岩3試料の平 19試料の平	40-4-30m 科の平均値 カタクレーサイト2款料 の平均値 5均値	の平均値 の平均値	77 0 0.7 0.0 4 1.1 4.1 5.2 5.6 5.7 5.1 5.6 5.7 5.7 5.6 5.6 5.7 5.1 5.6 5.7 5.1 5.6 5.7 5.6 5.7 5.6 5.7 5.8 5.7 5.6 5.7 5.8 5.6 5.7 5.8 5.6 5.7 5.8 5.6 5.7 5.8 5.6 5.7 5.8 5.6 5.7 5.8 5.8 5.8 5.8 5.8 5.8 5.8

付録 B 既往報告書における全岩化学組成分析結果

22 耐震工学 陸域断層の活動性評価に資する断層破砕部の調査・分析

【付録5】

22 耐震工学 陸域断層の活動性評価に資する断層破砕部の調査・分析 報告書 表 3.3.6-5 下蔦木断層 釜無川左岸露頭

							0.0	-	-	1	:				1 10	4			10.00		ļ			1	4						1	-	;		
	接近	影影no.	分析no.	区分	装箍	色調	SiO ₂ 1	CiO ₂ A	1203 Fe	203 Ft	Mn 06	Mg O	0 Cat	0 Na ₂ 4	0 K ₂ (0 P ₂ 0	⁵ LOI	total	H207	H ₂ 0	Be	ŝ	>	c	c	N	Cu	Zn	Ga	Ge A	As RI	Sr	Y	Zr	
	~~~~~	- OVE L. LA. 4			HE1. 1-4	5.44 m	wt% w	wt%	vt% w	t% w	% wt:	% wt5	% wt	% wt%	% wt%	% wt%	6 wt%	5 wt%	wt%	wt%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm 1	ppm p	ppm p	pm pr	idd mo	n ppn	ppm	ppm	
			STK-C01	破砕帯	カタクレーサイト	灰白色	75.37 0	0.096	2.13	1.38 6	.59 0.1	64 0.	13 1.	86 3.0	05 2.2	37 < 0.6	01 1.5	7.86 7	1.1	0.5	2	5	5	< 20	1	< 20	< 10	120	16	2.1	< 5	76 5	0 41.	84	
			STK-C02	破砕帯	ガウジ	赤褐色	65.53 0	141	1.03	1.21 6	.81 0.2	56 0.	38 7.	57 2.6	64 2.t	62 0.0	34 6.6	12 98.85	9 1.5	3 0.4	2	9	13	< 20	2	< 20	10	100	14	1.8	< 5 <	84 7	1 40.	73	
		STK-01	STK-C03	破砕帯	ガウジ	赤褐色	65.50 0	0.165	10.97	1.55 6	.55 0.2	91 0.	43 7.	40 2.5	59 2.4	46 0.0	0.7 .0.	5 99.02	2 1.5	5 0.7	2	9	18	< 20	3	< 20	10	110	15	1.8	< 5	82 7	4 39.	80	
			STK-C04	破砕帯	カタクレーサイト	緑色	75.28 0	0.088	1.98	1.17 6	.39 0.0	31 0.	10 0.	66 3.5	31 4.7	79 0.0	33 0.5	7 98.38	8 0.7	7 0.1	2	5	< 5	< 20	<1	< 20	< 10	< 30	16	2.2	< 5 1	56 2	7 38.	83	
			STK-C05	破砕帯	カタクレーサイト	灰白色	75.15 0	1.090.0	2.03	0.97 6	.52 0.0	66 0.	10 0.	68 3.4	44 4.4	48 0.0	32 0.8	0 98.3	5 0.7	2.0	5	5	< 5	< 20	-	< 20	< 10	40	16	2.2	< 5 1	27 4	2 36.	78	
木断層	釜無川左岸		STK-C06	破砕帯	カタクレーサイト	灰白色	75.98 0	1.089	2.07	1.11 6	.52 0.0	154 0.	13 0.	92 3.5	22 4.1	50 0.0	32 1.0	12.66 6t	9.0 0.8	3 0.5	5	5	< 5	< 20	1	< 20	< 10	40	16	2.1	< 5 1	32 4	2 34.1	79	
			STK-C07	破砕帯	ガウジ	赤褐色-褐色	68.72 0	0.209	1.87	2.58 < 0	01 0.1	03 0.	57 4.	70 2.5	57 2.4	40 0.0	04 5.2	0 98.96	6 1.6	3 1.0	2	7	21	20	4	< 20	10	80	17	2.0	< 5	81 5	3 37.	88	
		STK-02	STK-C08	破砕帯	ガウジ	赤褐色	67.76 0	1.219	1.77	0 68.1	.74 0.0	0.0	67 4.	45 2.¢	62 2.4	43 0.0	34 6.2	5 98.92	2 1.5	2.1	2	7	25	20	4	< 20	10	80	16	2.0	N N	79 10	8 36.	89	
			STK-C09	破砕帯	ガウジ	赤褐色	69.26 0	0.190	2.06	2.29 0	.67 0.2	52 0.	53 3.	99 2.5	85 1.8	89 0.0	35 4.8	0 98.85	3 1.4	1.4	57	7	20	< 20	3	< 20	10	130	16	2.4	< 5	63 12	0 46.	87	
			STK-C10	破砕帯	カタクレーサイト	灰白色	75.48 0	0.088	1.85	000.1	64 0.0	58 0.	12 0.	92 3.C	04 3.5	96 0.0	11 1.8	6 99.04	4 0.7	1.1	~	5	< 5	< 20	-	< 20	10	60	16	2.1	< 5 1	32 4	5 38.	77	
		STK-03A	STK-C11	徒岩	花崗岩	灰色	76.74 0	0.073	2.52	0.43 C	.98 0.0	19 0.	08 0.	55 3.t	51 4.	77 < 0.6	0.1 0.2	6.66 6	7 0.5	0.1	8	9	< 5	< 20	< 1	< 20	< 10	< 30	17	2.3	< 5 1	75 1	9 47.	82	
H.		七季		御守			SiO ₂ T	TiO2 A	1203 Fe	203 Ft	O Mn	O Mg	0 Cat	O Na2	0 K2C	0 P20	5 LOI	total	H ₂ O ⁺	H20	Be	ŝ	2	c	S	ïN	Cu	Zn	Ga	Ge A	As RI	Sr	Y	Zr	
7		NU DA		WEL 124			wt% w	vt%	vt% w	t% W1	% wt	% wt5	% wt	% wt%	% wt%	16 wt%	6 wt%	5 wt%	wt%	wt%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm 1	ppm p	ppm p	pm pr	pm pp	n ppn	n ppm	ppm	
				破砕帯10詞	大科の平均値		71.40 0	0.138	1.78	1.52 (	54 0.1	35 0.	32 3.	32 2.5	93 3.1	19 0.0	3.5	98.86	8 1.2	0.7	2	9	10	4	2	0	9	76	16	2.1	0	01	1 38.	81.8	
				ガウジ5試	、料の平均値		67.35 0	0.185	1.54	06.1	.55 0.1	.0 96	52 5.	62 2.t	65 2.2	36 0.0	04 5.9	98.92	2 1.5	1.1	2	7	19	8	8	0	10	100	16	2.0	0	78 5	39.	83.4	
				カタクレー	-サイト5武科の平均4	値	75.45 0	060.0	2.01	1.13 6	.53 0.0	175 0.	12 1.	01 3.5	21 4.(	02 0.0	32 1.1	8 98.8	4 0.8	3 0.4	2	ũ	1	0	-	0	2	52	16	2.1	0	25 4	9 37.	80.2	
5木断層		釜無川左岸		花崗岩1試	料の値		76.74 0	0.073	2.52	0.43 C	.98 0.0	19 0.	08 0.	55 3.t	51 4.	77 0.0	33 0.2	6.99.9	7 0.5	0.1	8	9	0	0	0	0	0	0	17	2.3	0	75 1	9 47.	82.0	
				蒙頭上部51	武料の平均値		71.37 0	0.116	1.63	1.26 0	57 0.1	62 0.	23 3.	63 3.0	01 3.5	34 0.6	3.3	3 98.6	7 1.1	3.0	2	5	7	0	1	0	4	74	15	2.0	0 1	05 6	1 39.	79.6	
				蒙頭下部5%	試料の平均値		71.44 0	0.159	1.92	1.77 6	51 0.1	0 60	40 3.	00 2.5	86 3.(	04 0.0	33 3.8	14 99.05	9 1.5	1.2	2	9	13	8	8	0	8	78	16	2.1	0	97 8	2 38.	84.0	
				全11試料の	つ平均値		71.89 0	0.132	1.84	1.42 0	.58 0.1	25 0.	29 3.	06 2.5	99 3.1	33 0.6	33 3.2	98.96	8 1.1	0.7	2	9	6	4	2	0	5	69	16	2.1	0 1	08 6	6 39.	81.8	
				米榆出限界	1以下の場合は、含4	有量=0として平均値を	を計算した.																												

付録 B 既往報告書における全岩化学組成分析結果(続き)

U d	mqq mc	4.60 2.20	2.70 2.39	3.50 2.23	9.88 1.52	1.20 1.60	0.00 1.61	7.50 1.98	3.10 1.65	3.20 2.42	4.90 1.84	1.00 2.03	U qu	mqq mc	4.36 1.94	5.00 2.13	2.72 1.75	1.00 2.03	2.98 1.99	5.74 1.90	4.05 1.95	
Bi T	id md	1.7 14	1.0 12	1.0 15	0.1	0.2 14	0.2 10	1.4 27	1.8 15	2.2 18	0.4 14	< 0.1 11	Bi T	id md	1.0 14	1.5 16	0.5 12	0.0 11	0.8 12	1.2 15	0.9 14	
Pb	ppm p	12	10	12	12	12	10	13	13	16	12	10 <	Pb	pm p	12	13	12	10	12	13	12	
Ш	1 mdd	0.53	0.53	0.50	0.87	0.79	0.77	0.45	0.48	0.44	0.70	0.84	IL	1 mdd	0.61	0.48	0.73	0.84	0.64	0.57	0.63	
M	ppm 1	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	M	ppm 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Ta	ppm	0.94	0.81	0.87	0.86	0.89	0.93	0.85	0.86	06.0	0.99	1.30	Та	ppm	0.89	0.86	0.92	1.30	0.87	0.91	0.93	
Ηf	ppm	3.3	2.8	3.0	3.3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.3	3.1	3.7	Hf	ppm	3.1	3.1	3.2	3.7	3.1	3.1	3.2	
Lu	ppm	0.693	0.618	0.646	0.663	0.601	0.581	0.583	0.577	0.782	0.702	0.803	Γn	ppm	0.645	0.641	0.648	0.803	0.644	0.645	0.659	
γp	ppm	4.24	3.83	3.97	4.08	3.75	3.64	3.64	3.66	4.84	4.33	5.09	ЧY	ppm	4.00	3.99	4.01	5.09	3.97	4.02	4.10	
Tm	ppm	0.625	0.573	0.585	0.605	0.561	0.537	0.539	0.543	0.688	0.621	0.754	Tm	bpm	0.588	0.586	0.590	0.754	0.590	0.586	0.603	
Er	ppm	4.05	3.66	3.72	3.84	3.57	3.41	3.49	3.41	4.30	3.88	4.85	Er	ppm	3.73	3.72	3.75	4.85	3.77	3.70	3.83	
Ηο	ppm	1.38	1.23	1.23	1.30	1.20	1.15	1.19	1.14	1.41	1.31	1.67	Ho	ppm	1.25	1.24	1.27	1.67	1.27	1.24	1.29	
Dy	ppm	6.71	5.90	5.94	6.30	1 5.86	5.55	5.82	5.44	6.75	6.36	5 7.94	Dy	ppm	6.07	5.98	6.16	5 7.94	6.14	5.95	6.24	
Tb	ppm	1.11	0.95	1 0.96	4 1.02	5 0.94	0.90	3 0.94	0.87	3 1.07	5 1.02	9 1.26	Tb	ppm	36.0 7	2 0.96	1.00	9 1.26	1.00	3 0.96	1.00	
Gd	ppm	0 6.35	4 5.45	4 5.44	4 5.94	5.35	4 5.19	7 5.36	0 4.90	4 5.96	2 5.75	6.95	Gd	mdd	5.57	5.45	1 5.71	5 6.95	3 5.70	1 5.45	5.70	
Eu	ppm	4 0.230	8 0.24	1 0.28	6 0.17	9 0.158	0 0.16	5 0.29'	0.300	7 0.45	3 0.195	4 0.13	Eu	ppm	9 0.250	4 0.316	4 0.18-	4 0.13	0 0.21	9 0.28	9 0.23	
Sm	ppm	5.9	5.28	5.2	6.16	5.35	5.30	5.0	0 4.90	5.7	5.93	6.5	Sm	ppm	1 5.49	5.2	5.7	6.5	5.60	5.35	5.5	
Nd	ppm	8 26.50	8 23.30	8 23.70	0 28.80	0 24.30	7 23.50	2 22.10	8 22.10	26.20	4 27.90	8 26.30	PN	ppm	1 24.84	6 23.48	6 26.20	8 26.30	1 25.32	1 24.36	24.9	
Pr	ppm	0 6.1	0 5.2	0 5.2	0 6.7	0 5.6	0 5.3	0 5.0	0 5.0	0 6.1	0 6.4	0 5.8	Pr	ppm	5 5.7	6 5.3	4 6.0	0 5.8	2 5.8	8 5.6	5 5.7	
Ce	ppm	0 58.6	0 50.1	0 50.3	0 63.6	0 53.0	0 51.4	0 46.8	0 47.8	0 59.3	0 61.6	0 53.2	Ce	ppm	8 54.2	8 50.8	8 57.6	0 53.2	2 55.1	4 53.3	4 54.1	
La	ppm	2 28.4	0 23.8	7 24.1	5 29.6	5 25.2	8 24.2	0 22.4	7 23.3	3 28.8	6 29.0	9 24.3	La	ppm	9 25.8	5 24.4	3 27.2	9 24.3	0 26.2	9 25.5	6 25.7	
Ba	m ppm	6 25	0 25	1 22	8 24	5 27	6 25	2 22	4 23	2 19	8 23	3 19	Ba	mdd 1	2 23	0 22	5 25	3 19	4 25	0 22	3 23	
Cs	mqq 1	5 3.	2 4.	2 4.	2 6.	2 3.	2 4.	2 4.	3 4	4 3.	2 3.	2 5.	Cs	n ppm	1 4.	.1 4.	.1 4.	0 5.	1 4.	1 4.	1 4.	
Sb	nqq 1	7 0.	4 < 0.	0 > 0	3 < 0.	3 < 0.	1 < 0	22 < 0.	4 0.	8.0	8 < 0.	4 < 0	$^{\mathrm{gp}}$	nqq i	1 0	.6 0.	6 0	4 0.	7 0.	5 0.	1 0	
Sn	nqq n	17	-	5	5	17	-	1.	-	-	D	I.	Sn	nqq n	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	
II	n ppr	0.5 < 0	0.5 < 0	0.5 < 0	0.5 < 0	0.5 < 0	0.5 < 0	0.5 < 0	0.5 < 0	0.5 < 0	0.5 < 0	0.5 < 0	In	n ppr	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
A Ag	n ppr	< 2 < 0	2 < 0	< 2 < 0	2 < 0	2 < 0	< 2 < 0	< 2 < 0	2 < 0	2 < 0	2 < 0	< 2 < 0	A Ag	n ppr	0	0	0	0	0	0	0	
M	n ppi	7.3 <	3.5	s.9 ×	3.8	s.9	7.3 <	7.5	7.2 <	• 6.7	7.5	> 7.e	M	n ppi	7.2	7.2	7.2	7.6	3.9	7.5	7.4	Lt.
N	bb		-		-	-							N	bb				-				均值を計算
47, 338		灰白色	赤褐色	赤褐色	緑色	灰白色	灰白色	赤褐色-褐在	赤褐色	赤褐色	灰白色	灰色										<b>第=0として平</b>
Γ		44			44	44	+1+				44						の平均値		Ť	*		は, 含有)
御行	日日	サタクレー	ガウジ	がかジ	カタクレー	カサクレー	カタクレー	ガウジ	ガウジ	ガウジ	カタクレー	花崗岩			料の平均値	時の平均値	サイト5試料	すの値	(料の平均値	(料の平均値	平均值	以下の場合
472	1	该砕帯	波砕帯	波砕帯	波砕帯	波砕帯	波砕帯	波砕帯	该砕帯	该砕帯	波砕帯	建岩	出師	13F	波砕帯10試	ガウジ5試	カタクレー	花崗岩1試準	驚頭上部5章	驚頭下部5章	全11試料の	%検出限界。
Brno F	-DI 110-	TK-C01 4	TK-C02 &	TK-C03 §	TK-C04	TK-C05 &	TK-C06 §	TK-C07	TK-C08	TK-C09 &	TK-C10 &	TK-C11 1	-		-45				-4	-4		
4	10. X	ŝ	S	01 S	S	S	ŝ	S	02 S.	S	ŝ	03A S'						左岸				
artstr	There			STK-			业		STK-			STK-	the de	NUE				釜無)				
144 AC	War						釜無川左,															
<b>地印刷</b> 化	12-11V						下萬木断層						NG 105 AL					下蔦木断層				

## 【付録5】

020	34	029	90	70	034	02	65	57	01	58	76	9	_									_			14		7		9	_		~ ~	<u>م</u>	90	30	84	70	115	18	17	51	8 6	804	73	966	4	94	5	2	< 0.1	40	12
HSK-	77.	0 5	0	0	0	0		4	× 0.	0	66	0	< 0.	~ ~	2 40	< 20	~ 1 ×	< 20	< 10	50	16	21	0 > 0	202	1T	99	10.	< 2	0	.0 V	9	v v	20	12	30.	ŝ	15.		.9	1		1 20		. <u>0</u>	0	ς,		5 -	32		25.	4
HSK-C19	76.75	19 50	0.26	0.70	0.044	0.02	3.54	4.56	0.02	0.71	99.75	0.4	< 0.1		2 10	< 20	<1>	< 20	< 10	50	17	2.2	0.0	200	45 O	66	11.0	< 2	0.7	< 0.1	7	< 0.2	4.2	14.50	34.30	4.37	17.30	0.127	5.88	1.15	7.39	10.1	0.828	5.70	0.919	3.4	1.65	0.7	31	< 0.1	26.50	4.40
HSK-C18	76.70	12.00	0.03	1.50	0.039	0.18	9.67	4.92	0.02	0.61	100.60	0.8	< 0.1	57 0	~ •	< 20	<1	< 20	< 10	40	15	1.0	0.2	100	187	94	6.4	< 2	1.0	< 0.1	°	0.7	1.1	20.20	40.90	4.57	3.35	0.487	3.21	0.51	3.13	1 98	0.322	2.17	0.362	3.2	0.72	< 0.5	31	0.1	13.80	2.86
ISK-C17	75.22	0.082	0.04	1.60	0.041	0.17	9.73	5.04	0.02	0.81	100.20	0.8	0.1	7 0	~ °	30	<1	< 20	< 10	40	16	0.9	0.2	0/1	10.7	1.01	6.7	6	1.0	< 0.1	eo	0.6	818	23.00	45.70	5.17	3 94	0.515	3.58	0.60	3.42	0.14	0.341	2.36	0.378	3.2	0.75	< 0.5	37	0.1	14.90	2.99
SW-C16 F	78.23	0.040	0.13	0.50	0.035	0.02	07.0	4.77	0.03	1.02	00.00	0.6	< 0.1	~ ~	57 13	20	<1	20	10	80	16	1.8	0.2	11	34	40.1	8.9	< 2	0.7	< 0.1	9	< 0.2	3.8	15.20	33.70	4.15	15.90	0.218	5.16	0.99	6.76	4.52	0.720	4.97	0.822	3.2	1.11	< 0.5	44	< 0.1	20.70	6.54
W-C15 FS	80.09	0.091	9.00	3.30	0.166	0.08	0.15	4.37	0.04	1.12	99.30 1	1.6	0.1	7 0	77 13	> 08	, -	20 <	10 <	40 2	16	1.2	0	90	10	85	8.4	2	0.9	0.2	16	0.2	3.0	18.60	35.40	4.01	14.40 3 99	0.257	3.61	0.64	4.10	9.63	0.415	2.74	0.444	3.0	0.81	3.8	27	0.1	15.30	7.26
/-C14 FS	9.89	0.118	0.19	0.30	0.009	0.05	0.81	4.76	0.04	1.98	0.40	1.7	0.2	4.	4 -	- 0	1	v 0	× 0	0 4	2	1.4	•		101	1.6	8.4	2	1.2	0.1	4	0.2	0.0	7.60	5.00	8.05	8.30	0.673	5.37	0.84	4.75	9.45	0.373	2.39	0.376	3.6	0.75	1.2	9	0.1	5.80	9.03
C13 FSW	.51 7	109	.64 1	.10	.014	-07	39	17	.04	.19	.99 10	.4	.5			< 2	? V	< 2	<1	21	-	.5	v :	91 	2 5 6			v	.3	.1	1	2. C	0.	.90 3	.10 6	66.	.40 2 56	.747	.06	.36	.72	46	.859	.78	.948	6.	69.	.4	.01	.6	.00	.70
12 FSW-	59 74	145 0	29 4	0 01	0 690	13 0		4	04 0	25 3	86 62	4 3	0	12	0 01	< 20	1	< 20	< 10	580	15		0	152	10.4	110	7 10	<2	3 1	1	20	0 ; 2	426	30 35	00 58	16 7	30 28 88 6	545 0	28 7	35 1	25	1 2 60	944 0	54 5	020 0	3	32	8U 1	47	0	30 15	30 10
1 FSW-0	64.0	2 0.	15.2	0	9 0.0	00		2	iö	5.5	.66	4.4	0.9	77	- 10	< 20	5	< 20	< 10	1,420	16	-1.0	32	108	30	145	12.	< 2	1.6	0.	45	<0.0 ×	23.	15.3	21.(	4.	16.0	1 0.6	6.9		6.0	9	0.0	6.1	0 1.(	4.	0.0	1	32	2.5	14.3	16.0
FSW-C1	56.85	10.35	18.40	0.40	0.04	0.32	0.56	2.40	0.05	7.46	100.60	6.0	1.6	31		< 20	0,00	< 20	10	2,150	16	2.6	0.	1:4	17	232	35.2	<2	2.4	< 0.1	12	0.6	0.02	20.60	22.40	5.51	21.90 6.43	0.67	8.59	1.87	12.80	8.40	1.27	8.49	1.33	9.6	0.79	3.9	20.1	0.6	13.80	23.90
FSW-C10	64.09	0.440	8.58	< 0.10	0.175	0.39	0.64	2.61	0.04	6.37	98.99	5.3	1.3	16	12	< 20	0,00	< 20	< 10	1,270	18	2.6	34	189	707	238	39.9	< 2	2.6	< 0.1	12	0.6	302	20.10	29.20	4.47	16.70	0.465	5.98	1.19	8.23	5.68	0.840	5.42	0.848	10.0	0.91	6.1	29	0.8	15.30	16.50
FSW-C09	60.48	0.417	14.00	< 0.10	0.161	0.33	02.0	2.66	0.08	7.08	100.40	5.0	1.7	19	11	< 20	5	< 20	< 10	1,200	18	2.5	98	6/.T	66.0	251	40.2	< 2	2.9	< 0.1	10	0.7	301	17.00	26.20	4.03	15.50	0.466	5.74	1.20	8.56	5.85	0.900	6.05	0.945	10.3	1.03	5.2	35	0.8	16.80	27.70
FSW-C08	62.42	0.466	14.92	< 0.10	0.280	0.36	0.74	2.65	0.06	6.81	100.40	5.2	1.5	16	11	< 20	0,0	< 20	< 10	1,110	19	2.7	20	188	63.7	245	42.3	< 2	2.6	< 0.1	6	0.6	325	18.00	32.40	4.00	3.87	0.415	5.34	1.11	1.70	5 26	0.778	5.18	0.848	10.8	0.99	5.6	32	0.8	15.40	21.70
FSW-C07	51.50	0.267	10.04	< 0.10	10.200	0.17	0.64	2.96	0.03	8.81	96.51	5.8	1.6	15	x o	< 20	47	20	30	3,390	19	2.5	29	108	0.020	157	26.4	2	2.0	< 0.1	æ	0.5	33.3 898	135.00	610.00	35.30	38.40	3.100	41.50	7.78	47.50	9.04 26.50	3.970	23.00	3.660	7.0	0.66	3.5	292	0.7	16.50	33.70
SW-C06	73.25	0.096	2.84	< 0.10	0.473	0.03	0.76	5.92	< 0.01	3.00	99.72	2.6	0.4	4	71 0	< 20	5	< 20	< 10	360 8	11	1.6	39	190	15.7	96	9.8	9	1.0	< 0.1	16	< 0.2	738 5	6.66	29.60	1.70	6.23	0.202	1.76	0.37	2.61	1 92	0.321	2.38	0.414	3.3	0.85	< 0.5	108	0.8	16.60	9.34
SW-C05 I	73.58	0.088	1.62	< 0.10	0.339	0.03	0.89	5.41	0.02	3.03	98.94	2.9	0.4	~ ~	N 1	06	1	20	10	260	=	1.5	30	211	13.7	1.0.1	8.7	7	0.9	< 0.1	15	< 0.2	0.3	4.42	13.80	1.11	4.04	0.128	1.27	0.27	1.97	1.55	0.264	1.94	0.363	3.0	0.85	< 0.5	87	1.0	17.30	5.79
SW-C04 F	75.51	0.088	1.30	< 0.10	0.155	0.03	0.90	5.32	0.02	2.77	99.53	2.3	0.4	.7 0		- 06	<1	20	10	140	11	1.4	30	1/3	11 8	86	8.7	5	1.0	< 0.1	14	< 0.2	1.6	3.94	8.84	0.88	3.35	0.126	0.94	0.21	1.62	1.37	0.236	1.77	0.320	3.0	0.85	< 0.5	80	0.9	15.50	4.69
W-C03 F	74.51	0.092	14.42	< 0.10	0.068	0.03	0.68	5.65	0.02	3.24	00.80	3.0	0.4	.7 ,	1	> 03	×1	20 <	10 <	20	12	1.4	13	20	11 5	82.	7.8	3	0.9	< 0.1	19	< 0.2	0.2	3.99	6.31	0.88	3.17	0.106	0.94	0.20	1.45	1.94	0.218	1.68	0.312	2.9	0.83	< 0.5 1 67	97	0.7	15.40	5.16
W-C02 FS	79.54	0.098	0.18	0.10	0.005	0.04	0.46	5.19	0.01	2.48	0.80 1	2.4	0.3	- 0	2 1	> 00	, -	× 02	> 01	10 1	=	1.3	0		00	10.0	8.5	2	1.3	0.1	91	0.2	2.0	6.15	6.22	1.28	4.44	0.123	1.11	0.25	1.87	0.40	0.274	2.11	0.378	3.2	0.95	0.5	1.40	0.4	12.80	2.68
V-C01 FS	7.33	0.093	2.59	0.20 <	0.043	0.07	0.0	4.71	> 10.0	3.19	0.80 10	3.0	0.5		4 0	v	, , ,	v 0	× 0	· 0	~	1.6	× ;		2 1 2 2	0.0	8.2	-	1.8	0.1 <	9	0.4	5.1	6.90	1.40	3.90	3.80	0.364	3.18	0.59	3.85	0.00	0.423	3.03	0.508	4.2	0.89	0.9	3 (	0.4	8.10	4.56
VSI Pot	ICP 7	ICP	ICP	R	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP <	ICP	10	AV	AV	-ICP	TCP	MS < 9	> SW	-MS < 2	-MS 3	-MS 12	-MS 1	-MS	Z SW-	IT SW-	AIG 9	TCP 11	MS	-MS 1	SM-	SM-	-MS 2	SM-	TCP 50	MS 1	-MS 2	SM-	-MS I	SW	SM-	SM-	-MS	SW	SW	SM-	SM-	SM-	SM-	SM-	-MS 30	SM	-MS 1	-MS
imit meth	FUS-	1 FUS-	FUS-	TIT	1 FUS-	FUS-	FUS-	FUS-	FUS-	FUS-		GR	GR	FUS	FUS.	FUS-	FUS-	FUS	FUS	FUS	FUS	FUS	FUS	FUS	FUS.	FUS-	FUS-	FUS	FUS-	FUS	FUS	FUS	FUS FUS-	FUS-	FUS	FUS	FUS-	5 FUS-	FUS	FUS	FUS	FUS	5 FUS-	FUS	2 FUS	FUS	FUS	FUS FUS	FUS-	FUS	FUS-	FUS
Detect. I	0.01	0.00	10.0	0.01	00.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		0.1	0.1		- 10	20	1	20	10	30	-	0.5	0,	- 0	40		0.2	2	0.5	0.1	-	0.2	1.0 8	0.05	0.05	0.01	0.05	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00.	0.1	0.01	0.05	5	0.1	0.05	0.01
Units	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	mqq	mudd	mdd	mdd	mdd	mqq	mqq	mqq	mqq	mqq	mdd	nuu	maa	ppm	bpm	mqq	mqq	mqq	mqq	mun	mdd	ppm	mqq	mun	mdd	mdd	mqq	mqq	muu	mdd	mdd	mqq	mqq	mqq	mqq	mdd	bpm	mdd	mdd
Element	Si02	Ti02	Fe203	FeO	MnO	MgO	Na20	K20	P205	IOI	total	H20+	H20-	Be	20	<u>ئ</u>	00	Ņ	Cu	Zn	Ga	Ge .	As	KD	V	Zr	and	Mo	Ag	In	Sn	s,	Ba	La	Ce	$\mathbf{Pr}$	Nd	Eu	Gd	Tb	Dy	Er.	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	N II	Pb	Bi	Th	n

付録 B 既往報告書における全岩化学組成分析結果(続き)

23 耐震工学 陸域断層の活動性評価に資する断層破砕部の調査・分析

表 3.3.6-1 六甲断層 船坂西露頭、白水峡露頭

報告書

付録 B 既往報告書における全岩化学組成分析結果(続き)

24 耐震工学 陸域断層の活動性評価に資する断層破砕部の調査・分析

## 【付録5】

### 【付録5】

付録 B 既往報告書における全岩化学組成分析結果(続き)

- ・22 耐震工学 陸域断層の活動性評価に資する断層破砕部の調査・分析
- ・23 耐震工学 陸域断層の活動性評価に資する断層破砕部の調査・分析
- ・24 耐震工学 陸域断層の活動性評価に資する断層破砕部の調査・分析

全岩化学組成分析の方法

①分析試料を粉砕し、粉末試料として以下の分析に用いた.

②Fe₂O₃/FeO 比を求めるため FeO については滴定法による分析を行った.

③H₂O+と H₂O⁻については重量法により分析を行った.

④その他の主要及び微量成分については、ThermoJarrell-Ash 社製の誘導結合プラズマ発光分析(ICP-AES; Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry) ENVIRO II ICP,及び PerkinElmer 社製の誘導結合プラズマ質量分析装置(ICP-MS; Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer) ELAN9000を用いて分析を行った.



図 3.5.7-1 ICP-MS PerkinElmer SCIEX - ELAN9000.

24 耐震工学 陸域断層の活動性評価に資する断層破砕部の調査・分析 報告書 3.5.7. 化学組成分析より抜粋

### 付録 C 既往試料の化学分析における試料採取位置

以下、「地形図は国土地理院電子地図国土 Web」を利用。

(1) 五助橋断層



GSK1: brownish clay (Gr/clay boundary) GSK2: gray clay GSK3: brownish clay (2) 六甲断層





ARM1: brownish clay (Gr/clay boundary) ARM2: gray clay ARM3: brownish clay



ARM4: brownish clay (Gr/clay boundary) ARM5: gray clay (ryolite origin)



(3) 白木-丹生断層



# 【付録5】

### (4) 境峠断層



ABONC STREAM STR

狩事乳まか(2002)



NMG1: brownish clay NMG2: gray clay NMG3: Gr. cataclasite w/greenish clay NMG4: Gr. cataclasite just beneath the fault plane NMG5: brownish clay w/brack materials NMG6: white foliated gouge



(4) 境峠断層 (続き)





SGR1: Gr. cataclasite SGR2: white clay (Gr. origin?) SGR3: black clay (chert origin?) SGR4: gray clay (Gr/chert boundary) SGR5: WNW trend clay SGR6: white clay (5) 境峠断層 (続き)





SHO1: Gr. cataclasite along the fault plane SHO2: Gr. cataclasite w/greenish clay

(5) もんじゅ剥ぎ取り地点 (β系)



# 【付録5】

### (6) 江若花崗岩中の破砕帯



### (7) 南九州せん断帯 紫尾花崗岩中の破砕帯



(8) 南九州せん断帯 四万十帯砂岩中の破砕帯





130° 27'30"E

130° 27'50″E

130° 28'10"E

130° 27'10"E



130° 28'30'

31°

YD-14bb①~③は, 樹脂固化側で YD-14①~③相当の位置

試料番号 採取位置 岩相 YD-14① 西1~2cm 褐色角礫部(礫混じり砂質) YD-14② 中軸 0cm ガウジ(やや軟質層厚2mm以下) YD-14③ 東1~2cm 褐色角礫部(礫混じり砂質) YD-14④ 東2~5cm 暗灰色砂質等粒状 YD-14⑤ 東3~6cm 褐色角礫部(礫混じり砂質) 付録C 引用文献

狩野謙一, 丸山 正, 林 愛明, 飛騨山地南部, 境峠断層の後期更新世-完新世における活動, 地質 学雑誌, vol.108, pp.291-305, 2002.

日本原子力研究開発機構,敷地内破砕帯追加地質調查 報告書,2013.

植木忠正,田辺裕明,丹羽正和,石丸恒存,島田耕史,花崗岩中に発達する粘土脈の観察・分析デ ータ. JAEA-Data/Code 2016-010, 292p, 2016.

試料名	S14-1a(2)	S14-1a③	MP-07-1	MP-07-2	MP-07-3	Ko12-1-1	GSK1 GS	K2 G5	SK3	ARM1	ARM4
	断層ガウジ 中軸部	<ul> <li>● 「</li> <li>● 「</li> <li>● ○</li> <li>● ○<th>断層ガウジ 中軸部</th><th><ul><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li></ul></th><th>断層ガウジ 中軸部 (樹脂含む)</th><th>断層ガウジ 中軸部 (古い粘土脈)</th><th>断層ガウジ (数字が小さ</th><th>中軸部 にいまど新しい</th><th>(圓)</th><th>断層ガウジ 中軸部</th><th>断層 市 車 部 の 、</th></li></ul>	断層ガウジ 中軸部	<ul><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li><li>・</li></ul>	断層ガウジ 中軸部 (樹脂含む)	断層ガウジ 中軸部 (古い粘土脈)	断層ガウジ (数字が小さ	中軸部 にいまど新しい	(圓)	断層ガウジ 中軸部	断層 市 車 部 の 、
SiO ₂ (wt.%)	76.99	77.09	77.82	75.42	71.45	72.92	71.91	71.16	71.06	65.46	62.41
$TIO_2$	0.038	0.040	0.058	3 0.058	0.063	0.044	0.2.09	0.221	0.204	0.518	0.656
$AI_2O_3$	12.64	4 12.40	12.96	3 12.73	12.29	13.79	14.01	13.92	13.64	17.22	18.54
$Fe_2O_3$	1.365	5 1.266	1.179	1.192	1.072	2.824	2.579	2.684	2.598	2.202	2.894
MnO	0.116(	0.0930	0.0260	0.0120	0.0280	0.0510	0.0490	0.0630	0.0480	0.0500	0.0230
MgO	0.636	5 0.597	0.452	0.479	0.393	0.879	0.519	0.517	0.490	0.507	0.764
CaO	0.063	0.061	0.418	3 0.421	0.374	0.217	2.510	2.946	2.357	1.400	1.453
Na ₂ O	0.98	0.99	0.71	0.63	0.74	0.77	2.70	2.71	2.57	1.02	0.79
K ₂ 0	2.891	1 3.051	4.010	3.857	3.857	3.751	2.801	2.699	2.728	2.998	2.446
$P_2O_5$	0.005(	090000	0.0080	0.0070	0.0070	0.0090	0.0530	0.0570	0.0530	0.0830	0.1210
- Tot	al 95.73	3 95.60	97.65	94.80	90.28	95.26	97.33	96.98	95.75	91.45	90.10
Ba (nnm)	10	90	100	100	202	100	787	202	69.4	358	100
Ce Ce	51	1 48		14	33	85	67	627 68	004 63	000 99	2 34 88
3 12	26	24	5	206	796	27	60	75	40	3	S <b>~</b>
őő	2.5	3 2.2	2.4	1 2.1	2.0	7.1	2.3	2.7	2.5	2.6	.9 6.6
ç		3	17	, 5	39	6	16	6	36	34	49
ш	300	3 278	386	3 428	394	604	249	374	220	1476	1281
Ga	17.4	4 17.4	17.7	/ 16.9	15.9	18.5	17.1	17.3	17.2	25.0	27.4
Nb	17.4	4 16.2	19.6	9 21.0	22.4	13.8	10.0	11.3	11.2	64.7	55.1
Ni	3.7	1 3.1	5.8	5.0	4.8	6.6	2.5	2.2	3.8	5.8	8.4
Pb	39.1	1 28.6	13.5	11.2	9.8	19.4	24.2	21.9	24.6	34.1	109.9
Rb	165.	1 171.7	256.0	0 253.3	239.2	232.4	108.4	0.06	103.2	261.8	216.2
s o	12.(	0 15.3	33.7	9.9	5.3	7.8	31.1	663.3	7.9	43.3	200.2
20	-	0.0	ς, υ 		7.7		0.9	9.9	8./	9.7 	C. /
ن مر	16.(	5 16.4	26.1	26.9	26.1	29.7	250.3	213.7	160.4	75.2	89.6
Ч	28.	1 27.0	29.6	30.2	25.4	55.6	13.0	12.7	13.1	15.8	16.1
D	5.7	7 5.4	7.L	t 8.2	6.7	28.4	1.9	3.1	2.1	3.4	8.2
>	7	4			4	9	17	18	16	45	68
7	139.7	7 133.5	120.9	9 119.9	104.6	341.2	26.9	29.6	29.4	44.7	59.2
Zr	83.	1 82.1	97.0	100.6	89.6	85.2	158.5	166.3	166.4	204.0	205.7
Ig* (wt%)	4.17	7 4.31	2.23	3 5.05	9.52	4.57	2.49	2.77	4.08	8.27	9.63
		」は定量下限	未満の測定値。	。 赤太字 は検量	■線作成に用い 	に標準試料の組成値を上回	回るまたは下回	る値。	יי       		
	、気をして、	有率の計算時	に残分として即	こり扱っ成分をま	<b>きす</b> 。すなわちle(	り 会 有 率 は 100 wt % から #	もの取ぐの心理	- を 弄 し 引し 1	て値である		

### 付録 D 既往試料の化学分析における全岩化学組成分析結果

試料名	SGR2	SGR3	SGR5	NMG5	96-g	101-1	118-4a	YD-14(])	YD-14②	YD-14③	YD-14④	YD-14⑤
	白色の 断層ガウジ	黒色の 断層ガウジ	粘土馬	粘土馬	断層ガウジ	断層ガウジ	御總部	角礫部	断層ガウジ	角礫部	角礫部	角礫部
SiO ₂ (wt.%)	70.71	68.67	70.14	77.91	64.76	59.77	70.18	72.37	62.43	68.18	67.32	70.33
TiO ₂	0.464	I 0.529	0.496	0.193	0.668	0.749	0.411	0.391	0.624	0.497	0.522	0.450
AI ₂ O ₃	14.43	14.61	14.00	11.35	15.95	12.98	13.23	13.41	16.33	14.56	15.52	13.78
$Fe_2O_3$	3.119	3.969	3.778	2.661	5.330	5.657	3.122	3.018	3.678	3.936	3.132	3.662
MnO	0.0550	0.0680	0.0690	0.0170	0.1070	0.0650	0.2610	0.0350	0.0530	0.0520	0.0350	0.0480
MgO	1.087	1.282	1.240	0.342	1.298	1.268	1.244	0.933	1.862	1.313	1.362	1.149
CaO	1.630	1.441	1.413	0.300	0.697	5.906	0.968	1.046	1.176	1.145	1.177	1.013
Na ₂ O	2.69	2.36	2.19	1.33	0.23	0.64	2.17	2.74	1.28	2.41	3.14	3.33
K ₂ O	5.024	1 3.394	3.916	3.708	4.401	3.839	2.644	3.089	3.169	3.000	3.027	2.452
$P_2O_5$	0.1530	0.1250	0.1130	0.0390	0:0030	0.2290	0.0360	0.0920	0060.0	0660.0	0.0650	0.0970
To T	tal 99.37	96.45	97.35	97.85	93.531	91.101	94.262	97.13	90.692	95.184	l 95.292	96.301
Ba (pom)	971	467	660	568	612	458	1058	1027	809	791	734	744
Ce	92	82	98	56	95	122	92	51	71	58	48	46
CI	100	) 50	53	17	253	222	3	30	10	6	23	13
Co	<u>r.</u> r	, 6.7	.8.3	3.4	8.3	10.0	13.2	4.4	11.4	8.9	10.5	10.4
ç	45	5 62	68	24	42	20	65	72	82	71	61	47
Ŀ	3242	1502	2364	576	539	525	178	311	327	326	89	223
Ga	18.2	20.7	18.6	14.9	18.8	17.6	15.5	14.9	23.0	17.6	18.0	15.3
Nb	11.5	14.1	13.2	8.2	40.2	48.1	7.6	8.6	11.1	9.4	i 9.9	8.7
iN	15.6	3 13.8	21.0	3.4	9.1	10.5	16.2	14.2	14.9	19.4	19.4	12.7
Pb	40.4	19.3	24.6	14.0	20.9	19.0	17.7	15.5	14.7	15.9	15.4	13.7
원	239.6	3 205.0	219.7	155.4	155.8	146.4	T.TT	86.4	149.0	100.2	98.8	74.8
s o	1850.9	3945.1	3306.0	126.9	19.0	11.0	9.5	56.3	66.3	71.3	2079.1	58.3
Sc	6.2	9.1	6.2	3.7	9.9	16.8	4.5	7.1	7.5	8.1	7.8	6.3
γ	156.5	9 206.1	184.4	62.8	65.6	94.2	264.3	323.9	177.1	268.8	326.1	341.7
ЧT	16.C	16.8	16.2	13.7	21.7	32.9	8.9	7.0	10.5	8.2	8.2	6.5
D	9.6	3.0	1.2	3.6	9.9	13.0	2.2	2.3	1.6	2.3	3.5	2.2
>	22	60	59	24	33	64	62	58	94	13	3 70	59
×	29.4	1 31.2	30.6	39.1	21.8	33.5	16.3	15.0	27.7	22.5	14.4	15.7
Zr	241.1	202.4	212.4	126.5	223.0	251.6	168.9	137.7	173.4	153.8	150.1	131.6
Ig* (wt.%)	-0.08	2.86	1.91	1.96	6.25	8.68	5.53	2.65	9.10	4.61	4.33	3.51
			「は定量下版	1年話の道5	÷値 - 赤大字(1:)	始量線作成に用	いた踵進計	對の組成値	キト回るまた	は下回る値		
		● *	「そう」と、「本」で、「本」で、「、「」、「、」、「、」、「、」、「、」、「、」、「、」、「、」、「、」、	「人で掛し曲」	「「「下間」「あっぽう	マート もっち	たこの今本が	索1+100 wt	「こう」のです。	1 * 1 * 9 *	。 ミニュニット・値・	がおん

付録 D 既往試料の化学分析における全岩化学組成分析結果(続き)

隆起・沈降量の評価手法の高度化に関する共同研究

# 平成 31 年度共同研究報告書

# 令和2年1月

# 国立大学法人東京大学

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター 地層科学研究部 ネオテクトニクス研究グループ
## 目 次

1.	概要4
	1.1 共同研究件名4
	1.2 研究目的4
	1.3 実施期間4
2.	ボーリングコア試料の分析手法に関する情報収集5
	2.1 指標について5
	2.2 調査・分析について7
3.	本共同研究開発における方法8
	3.1 堆積相の記載
	3.2 粒度分析
	3.3 帯磁率測定
	3.4 元素組成分析
	3.5 珪藻分析
	3.6 花粉分析
	3.7 テフラ分析9
4.	結果10
	4.1 堆積相10
	4.2 化石相17
	4.2.1 珪藻群集組成
	4.2.2 花粉群集組成
	4.3 テフラ
5.	堆積物の層序区分と対比
6.	研究開発手法の評価
7.	まとめ
8.	引用文献

## 図目次

図 2.2.	1 本共同研究における調査・分析フロー	7
図 4.1.	1 左から GC-OY2、GC-OY1 及び GC-NG1 コアの岩相柱状図	
図 4.1.	2 GC-NG1, -OY1 及び -OY2 の各コアの柱状図と堆積物の粒度、	
図 4.1.	3 代表的な層準の剥ぎ取り写真の例	
図 4.1.	4 代表的な X 線 CT 画像	
図 4.2.	1 GC-NG-1 コアの珪藻群集組成	
図 4.2.	2 GC-OY-1 コアの珪藻群集組成	
図 4.2.	3 GC-OY-2 コアの珪藻群集組成	
図 4.2.	4 GC-NG-1 コアの花粉群集組成	
図 4.2.	5 GC-OY-1 コアの花粉群集組成	
図 4.2.	6 GC-OY-2 コアの花粉群集組成	
図 4.3.	1 火山ガラスの化学組成グラフ	
図 4.3.	1 コア堆積物から認定した地層境界面と MIS との対比	

# 表 目 次

表 2.1.1	堆積年代を推定するための指標	<b>5</b>
表 2.1.2	堆積環境を推定するための指標	6
表 4.3.1	テフラー覧	23

#### 1. 概要

#### 1.1 共同研究件名

隆起・沈降量の評価手法の高度化に関する共同研究

#### 1.2 研究目的

日本原子力研究開発機構(以下、「原子力機構」という)では、経済産業省資源エネルギー庁か ら受託した「平成 31 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業(地質環境 長期安定性評価技術高度化開発)」において、地層処分に適した地質環境の選定に係る自然現象の 影響把握及びモデル化に関連する研究課題として示された火山・火成活動、深部流体、地震・断 層活動及び隆起・侵食に対し、地質学、地形学、地震学及び地球年代学などの各学術分野におけ る最新の研究を踏まえた技術の適用による事例研究を通じて、課題の解決に必要な知見の蓄積や 調査・評価技術の高度化を総合的に進めている。このうち隆起・侵食に関する技術的課題の一つ に、沿岸部の隆起・侵食を把握するための技術の高度化が挙げられる。

沿岸部では、海洋酸素同位体ステージ(Marine Isotope Stage:以下、「MIS」という)5e やそ れ以前の高海水準期の海水準高度を示す地形・地層の分布・高さに基づき、過去十万年~数十万 年間の隆起・沈降量の空間分布やその時空間変遷が把握されている。しかし、沿岸部の隆起域と 沈降域の境界域においては、MIS 5e やそれ以前の高海水準期の海成層の高度分布が不明瞭であ るため、隆起域~沈降域にかけてシームレスかつ正確に過去十万年~数十万年間の地殻変動様式 を把握することは困難となっている。そこで本共同研究では、過去十万年~数十万年前の高海水 準期の海成層の保存が期待される平野の隆起域と沈降域の境界域で採取されたボーリングコア試 料を用いて、隆起・沈降境界域における地殻変動様式の把握に必要な手法の検討を行う。具体的 には、まず、高海水準期の海成層を特定するために必要となる堆積相解析、地球化学・物理化学 的分析及びテフラ分析に関する情報を収集し、適切な手法を検討する。次いで、検討した分析手 法に基づきボーリングコア試料の詳細な記載及び分析を行い、堆積物の層序区分及びコア堆積物 と MIS との対比を行う。最後に、特定された高海水準期の海成層の高度に基づいて、隆起・沈降 境界域の地殻変動量・速度を推定し、その値と既存研究などとの比較から、本手法の妥当性や精 度の評価を行う。

#### 1.3 実施期間

平成 31 年 4 月 23 日~令和 2 年 1 月 31 日

#### 2. ボーリングコア試料の分析手法に関する情報収集

本共同研究で使用するボーリングコアは砂礫層、砂・泥層からなり、堆積年代や堆積環境(海 成層か非海成層か)を推定する必要がある。ボーリングコア試料の堆積年代及び堆積環境を推定 するために有効と考えられる指標及びその調査・分析手法についての情報を収集した。

#### 2.1 指標について

堆積年代を推定するための指標は生物学的指標・年代学的指標に分けて整理できる(表 2.1.1)。 また、堆積環境の指標については堆積学的指標、生物学的指標、化学的指標及び物理的指標に大 別できる(表 2.1.2)。

分類	指標	調查·分析手法	既存研究の事例
	珪藻化石	海性~淡水性植物プランクトンであり、顕微鏡観察による堆積物に 含まれる化石を観察し、化石基準面を区分することで堆積年代を推 定する。	本山・丸山(1998), 伊藤ほか(1999)
生物学的 指標	浮遊性有孔虫化石		伊藤ほか(1999)
10.02	放散虫化石	海性動物プランクトンであり、顕微鏡観察による堆積物に含まれる化 石を観察し、化石基準面を区分することで堆積年代を推定する。	本山・丸山(1998)
	石灰質ナンノ化石		高山ほか(1995)
	テフラ	地層中に挟在する火山灰層中のジルコン年代測定や火山ガラスの 屈折率などを用いて堆積年代の推定や地層対比を行う。	鈴木ほか(1998)
年代学的 手法	光ルミネッセンス (OSL)	堆積物中に含まれる石英や長石の光ルミネッセンスから蓄積線量を 求め、堆積年代の推定を行う。	Hardy and Lamothe(1997), Tamura et al.(2018)
	炭素同位体比(δ ¹⁴ C)	地層中に含まれる有機物や貝化石から放射炭素年代値を求め、堆 積年代を推定する。	中西ほか(2011)

表 2.1.1 堆積年代を推定するための指標

		~					
分類	指標		調查·分析手法	既存研究の事例			
堆積学的 指標	堆	積相	肉眼観察による堆積相解析(現世の堆積物や地層から組み立てられた 堆積相のモデルと、地層の岩相、堆積構造、分布形態、累重様式との比 較から堆積環境を推定する方法)から推定する。ボーリングコアでは、得 られる情報が限られるため、生物学的指標や化学的手法などの他の指 標を併用することが多い。	増田 (1988), 増田 (1992), 横山ほか(2004)			
	海生大型化石		肉眼観察による堆積物に含まれる化石と現世の海域に生息する生物や 過去に地層から産出した化石との比較から推定する。軟体動物を指標と する研究事例が多い。	横山ほか(2003), 中西ほか(2011)			
		渦鞭毛藻	海性~淡水性動植物プランクトンであり、顕微鏡観察による堆積物に含まれる化石と現世の海域に生息する種や過去に地層から産出した種との 比較から推定する。	栗田(1997), 栗田ほか(1997), 松岡(1992)			
		珪藻	海性~淡水性植物プランクトンであり、顕微鏡観察による堆積物に含ま れる化石と現世の海域に生息する種や過去に地層から産出した種との比 較から推定する。	中西ほか(2011), 千葉・澤井(2014)			
		放散虫	海性動物プランクトンであり、顕微鏡観察による堆積物に含まれる化石と 現世の海域に生息する種や過去に地層から産出した種との比較から推 定する。示準化石として利用されることが多い。	板木(2005)			
生物学的 指標	微化石	有孔虫	海性動物プランクトンであり、顕微鏡観察による堆積物に含まれる化石と 現世の海域に生息する種や過去に地層から産出した種との比較から推 定する。	長谷川ほか、(1989), 高田(2000)			
		貝形虫	海性~淡水性動物プランクトンであり、顕微鏡観察による堆積物に含ま れる化石と現世の海域に生息する種や過去に地層から産出した種との比 較から推定する。	石田・高安(2005), 入月・松原(1994)			
					石灰質ナンノ	海性動物プランクトンであり、顕微鏡観察による堆積物に含まれる化石と 現世の海域に生息する種や過去に地層から産出した種との比較から推 定する。示準化石として利用されることが多い。	平松(1998)
		花粉	顕微鏡観察による堆積物に含まれる化石の群集を対比することで地層区 分や地層対比を行う。	竹内ほか(2005), 本郷ほか(2011)			
	生痕化石	生痕相	肉眼観察による堆積物に認められる生痕化石と現世の生物活動や地層 に認められる生痕化石から組み立てられた生痕相との比較から推定す る。	Pemberton et al. (1992), 市原ほか、(1996), 下山ほか、(1999)			
	硫黄		元素分析による含有量から推定する。海成堆積物は硫黄を多く含み、 0.3~0.5wt%以上を示す。	狛 (1992), Berner (1984)			
	有機炭素/硫黄比		元素分析による含有量の比から推定する。有機炭素/硫黄比は、酸化的 な海成堆積物が3前後、汽水から内湾の堆積物が1前後を示す。	Berner and Raiswell (1983), Berner and Raiswell (1984), Sampei et al. (1997)			
	有機炭素/窒素比 炭素同位体比(δ ¹³ C)		元素分析による含有量比から推定する。有機炭素/窒素比は有機物の起源の指標であり、動植物プランクトン起源の有機物が6-9前後、陸源高等 植物が15より大きい値を示す。質量分析で求められる炭素同位体比と有 機炭素/窒素比との関係からは、有機物の起源をより細分することができ る。	Willson et al. (2005), 中 井ほか(1982)			
化学的 指標	ホウ素 ホウ素同位体比(δ ¹¹ B)		元素分析による含有量、質量分析による同位体比から推定する。海成堆 積物は非海成堆積物に比較して多くのホウ素を含み、100ppmを超える 値を示すことがある。蒸発岩の同位体比は海成で大きく、非海性で小さ い。ホウ素はイライト中に濃集しており、砕屑性のイライトが含まれると非 海成堆積物でも大きな値を示すことがある。	相澤・赤岩(1979), 石川・中村(1989), 大井(2001)			
	粘土鉱物		X線回折分析による粘土鉱物組成から推定する。海成粘土は硫化物を 多く含むため、風化に伴い生成した硫酸が粘土鉱物を分解する傾向に ある。また、海水環境下では火山砕屑物の化学的な変質が進行し易く、 スメクタイが優勢となる。	市原(1960), 江頭ほか(1999)			
	電気伝導度		懸濁液を作成して、その電気伝導度から推定する。懸濁液の電気伝導 度は、海成堆積物が1mS/cm以上、汽水成堆積物が0.6~1mS/cmを示 す。ただし、懸濁液のpHと電気伝導度は、作成過程の各処理(ろ過、乾 燥、振どう)の影響を受ける。	佐藤・横山(1992), 内園・森(2004), 内山ほか(2011)			
物理的 指標	9 色彩		色彩色差計を用いて測定した堆積物の色彩から推定する。含水状態に ある海成堆積物の色彩は固相の化学成分の濃度と存在形態と相関があ り、沖積粘性土におけるL*とa*の値と海成層との関係は0.63L*-36.7>0、- 7.42a*+5.90>0が得られている。	Nagano and Nakashima (1991), 磯野・木村(2005)			

表	2.1.2	堆積環境を推定するための指標
1	<u> </u>	

*産業技術総合研究所ほか(2017)に加筆修正した。

#### 2.2 調査・分析について

本共同研究では、前述した堆積年代及び堆積環境を推定するための指標を得るために下記の各 種分析を行った。作業のフローを図 2.2.1 に示す。

### ○堆積年代を推定する指標

- ・テフラ:テフラ分析(ジルコン年代測定、火山ガラス屈折率及び鉱物組成分析)
- o堆積環境を推定する指標
- ・堆積学的指標:ボーリングコア観察(写真撮影・剥ぎ取り)、X線CT解析、帯磁率及び粒度分析
- ·生物学的指標: 珪藻化石分析、花粉化石分析
- ・化学的指標:元素組成分析 (XRF)

得られる指標
-
堆積環境を推定する指標
(堆積学的指標)
-
堆積環境を推定する指標
(堆積学的指標)
堆積年代を推定する指標
(年代学的指標)
堆積環境を推定する指標
(堆積学的指標)
堆積環境を推定する指標
(生物学的指標)
堆積環境を推定する指標
(化学的指標)

図 2.2.1 本共同研究における調査・分析フロー

#### 3. 本共同研究開発における方法

#### 3.1 堆積相の記載

コアの半割面及び半割面を剥ぎ取りした試料を肉眼観察し、粒度の上方粗粒化/細粒化傾向や堆 積構造、貝化石、生痕化石、テフラなどに注目しつつ、縮尺5分の1で岩相を中心に記載を行っ た。剥ぎ取りは、石浜ほか(2015)などを参照しながら,礫層を除く層準を対象として実施した。 さらに、GC-OY2コアの一部の層準を対象として、X線CT解析を実施した。

#### 3.2 粒度分析

粒度分析は、堀場製作所製レーザ回折/散乱式粒子径分布測定装置 LA-960 を用い、粒径 3 mm 以下の細粒層を対象として、コアの深度方向へ 50 cm 間隔で測定した。試料を直接装置に投入し、 超音波でほぐした試料を循環させて計測した。溶媒は水を用いた。

#### 3.3 帯磁率測定

帯磁率測定は ZH instrument 製 SM30 を用いて、コアの深度方向へ 50 cm 間隔で実施した。

#### 3.4 元素組成分析

Na、Mg、Al、Si、P、S、K、Ca、Ti及びFeの10種類の主要元素について、合計50試料を 対象として、定量分析した。試料は珪藻分析用試料と同一層準で採取し、元素分析と珪藻分析の 結果を比較及び補完できるようにした。分析手法は、若林ほか(2012)を参考にして、パウダー 法によって、波長分散型蛍光線装置 Rigaku ZSX Primus IIを用いて以下のように実施した。ま ず、採取試料を40℃で12時間、恒温乾燥機で乾燥させた。次に、乾燥試料をアルミナの容器に 入れ、粉砕機を用いて10分間粉砕した。粉砕試料を内径30mm、高さ5mmの塩化ビニルリン グに入れ、タングステンカーバイド製のダイスで挟み、プレス機を用いて200 kNの圧力で加圧 成型した。成型した試料を30mmΦの分析試料ホルダーにセットし、検量線法によって定量測定 した。検量線作成には、産業技術総合研究所地質調査総合センターが提供している標準試料を用 いた。各元素の検量線はすべて1次関数を用い、決定係数は0.988~0.999である。硫黄濃度をみ ることにより陸成堆積物と海成堆積物を区別することができる(狛, 1990)ことから、主に硫黄 濃度を分析に用いた。

#### 3.5 珪藻分析

堆積物試料に含まれる珪藻の種の同定やその含有量などの分析を合計 61 試料で行った。珪藻 の分離と抽出は、試料の性状に基づき、一般的に確立された中で最適な手法により実施した。珪 藻の同定に当たっては、海生、海~汽水生、汽水生、汽水~淡水生、淡水生、その他に分類して、 海~淡水生珪藻の総数が一試料につき合計 200 個を超えるまで計数して、全体の群集組成を計算 した。珪藻化石の含有度が低く総数が 200 以下の試料については、計数できた分類種の群集組成 を参考値として計算した。分析結果は各コアの深度ごとの群集組成を示した。また、1g 試料当た りの珪藻化石の含有量を検討して、代表的な構成種及び保存状態について写真撮影を行った。浮 遊生、底生、流水生、止水生、付着生、陸生など堆積環境を推定する上で重要な個体について検 討した。その際、化石の保存状態などにも留意した。

#### 3.6 花粉分析

堆積物試料に含まれる花粉・胞子化石の種の同定やその含有量などの分析を合計 61 で行った。 花粉・胞子化石の分離と抽出は、試料の性状に基づき、一般的に確立された中で最適な手法によ り実施した。花粉・胞子化石の同定に当たっては、木本植物、草本植物、シダ植物、コケ植物、 その他に分類して、木本植物の花粉が一試料につき合計 250 個を超えるまで計数して、各分類の 群集組成を計算した。木本植物の含有度が低く総数が 250 以下の試料については、計数できた分 類種の群集組成を参考値として計算した。分析結果は各コアの深度ごとの群集組成を示した。ま た、1 g 試料当たりの花粉の含有量を検討して、代表的な構成種及び保存状態について写真撮影 を行った。気温や湿度、堆積環境を推定する上で重要な個体について検討した。その際、花粉の 保存状態などにも留意して記載した。

#### 3.7 テフラ分析

肉眼観察されたテフラのうち、最上部の風成層に挟在する試料並びにコア深度 30 m よりも浅い層準の試料を中心に採取し、分析に供した。試料は超音波洗浄機を用いて洗浄し、乾燥させたのち、実体顕微鏡及び偏光顕微鏡を用いて鉱物組成及び火山ガラスの形状を観察した。

火山ガラスはピッキングして樹脂包埋し、恒温乾燥機で固化したのち、研磨してフラットな面を出し、表面をカーボンコーティングして、SEM-EDS(日本電子株式会社製 JSM-6300LA)を用いて主成分化学分析を行った。電子銃のフィラメントにはLaB6フィラメントを用い、加速電 圧 20 KeV、分析時間(Live Time) 100 秒、火山ガラス1 片あたり1 点、1 試料当たり 20 点を目安に測定を行った。

4. 結果

#### 4.1 堆積相

各コアの岩相柱状図を図 4.1.1 に、堆積物の粒度、酸化硫黄含有率、帯磁率のコア深度方向への変化を示したグラフと柱状図を図 4.1.2 に示す。また、代表的な層準の剥ぎ取り写真を図 4.1.3 に、X線 CT 画像を図 4.1.4 に示す。



図 4.1.1 左から GC-OY2、GC-OY1 及び GC-NG1 コアの岩相柱状図

【付録7】



【付録7】



図 4.1.2 GC-NG1, -OY1 及び -OY2 の各コアの柱状図と堆積物の粒度、 酸化硫黄含有率(%)及び帯磁率(SI unit)の深度方向への変化



図 4.1.3 代表的な層準の剥ぎ取り写真の例 (左) GC-NG1 コアの深度 3~6 m(右) GC-OY1 コアの深度 46~47 m 及び 53~55 m



図 4.1.4 代表的なX線CT画像 左から順にGC-OY-2の24~25m、33~34m、36~37m、73~74m

GC-NG1、GC-OY1及びGC-OY2の各コアは未固結な礫、砂、泥層で構成され、GC-OY2コアのみ、最深部において、酸化した半固結シルト層が認められた。

岩相観察や貝化石の産出の有無、各種分析結果をもとに、GC-NG1、GC-OY1及びGC-OY2の 各コアを以下の9つの堆積相ユニットに区分した。ユニット1:風成ローム層、ユニット2:泥流 堆積物、ユニット 3: 網状河川堆積物、ユニット 4: 蛇行河川堆積物、ユニット 5: デルタフロン ト堆積物、ユニット 6: 内湾泥底堆積物、ユニット 7: 河口低地堆積物、ユニット 8: 砂質海浜堆 積物、ユニット 9: 半固結シルト層。年代観や古地理がはっきりしているコア浅部に関しては、ユ ニット 4 を泥質の氾濫原堆積物からなるサブユニット 4a と、砂質の自然堤防・クレバススプレ ー・チャネル堆積物からなるサブユニット 4b に細分した。以下では、区分した堆積ユニットごと に記載する。

なお、GC-NG1 コアの 57.4 m 以深、GC-OY1 コアの深度 72.6~69.54 m、GC-OY2 コアの深 度 79.43~43.11 m の堆積物に関しては、以下に述べる堆積相区分結果は、今後の研究の進展に よって、変更される可能性もある。

ユニット1 (風成ローム堆積物)

本ユニットは、褐色や茶褐色を呈し、全体的に粒度・色調共に均質なシルト質層で、部分的に 黄白色や淡黄色の直径 1~10 mm の軽石が散在する(GC-OY1:深度 3.0~1.75 m)。また、GC-OY1 の深度 1.2~0.7 m、GC-OY2 の 2.22~2.14 m においては暗褐色の腐植層を挟む。本ユニッ トは、GC-NG1 コアの深度 3.76~1.0 m、GC-OY1 コアの深度 2.7~0.04 m、GC-OY2 コアの深 度 3.9~0.6 m に見られる。

本ユニットは河成段丘面である宝木台地を覆う風成ローム層であると解釈できる。なお、GC-NG1の深度 1.0~0 m、GC-OY1 の深度 0.04~0 m、GC-OY2 の深度 0.6~0 m は人工盛土層で ある。

ユニット2(泥流堆積物)

本ユニットは、茶灰~灰白色を呈し、シルト~極粗砂の淘汰不良なマトリクス中に、中礫サイズ(最大3mm径)の角~亜角礫が混入する。マトリクスはシルト質の細粒分が多い傾向があり、やや上方細粒化の傾向を示す。ユニット全体において、1~3mm程度の大きさの炭質物が散在する。本ユニットは、GC-OY1コアの深度 3.88~3.00mに見られ、下位の堆積ユニットとの境界は漸移的である。

ユニット3 (網状河川堆積物)

全体として茶褐色や茶灰色を呈する礫質支持層を主体とし、一部に基質支持層も認められる。 直径 50 mm程度の礫を主とし、礫種は砂岩・安山岩・凝灰岩・チャートが見られる。基質支持層に おける基質は淘汰が悪く、砂質であるがシルトも混在する。

本堆積ユニットは、GC-NG1 コアの深度 74.6~72.4 m、52.25~51.3 m、GC-OY1 コアの深度 90.0~89.2 m、70.55~69.54 m、51.77~44.1 m、9.68~3.88 m、GC-OY2 の深度 43.11~37.4 m、11.28~6.55 m に見られる。

本ユニットは、中礫を多く含み、礫質支持の層準が卓越する特徴から、礫質網状河川環境にお ける流路堆積物を中心とした堆積物であると解釈できる。ユニット3の構成礫は、山本ほか(2009) で記載された鬼怒川現河床の礫種や、遠藤ほか(1983)、山元(2006)で示された鬼怒川低地帯 における段丘構成礫層の礫種と類似することから、帝釈山地・日光火山を後背地とする鬼怒川水 系の運搬礫を含む可能性が高い。

ユニット4 (蛇行河川堆積物)

サブユニット 4.1 (氾濫原堆積物)

シルトが主体で、極細砂~中砂層を挟む。緑灰色や茶灰、暗灰色を呈し、全体的に平行葉理が

発達する。また、砂質部においては斜交葉理が発達する箇所も存在する。1~4mm 長の炭化した 植物片が散在する。

本サブユニットは、GC-NG1 コアの深度 9.15~3.76 m、GC-OY1 コアの深度 24.7~21.3 m、 16.23~9.68 m、3.0~2.7 m、GC-OY2 コアの深度 28.9~27.55 m、15.15~11.28 m、6.55~3.9 m で見られる。

本サブユニットは、上述した堆積相の特徴から、蛇行河川帯の氾濫原において形成されたと考 えられる。また、各コアにおいて、本サブユニットの最上部は、黄褐~淡灰色で凝灰質の細砂~ シルト層となり、上述したユニット1(風成ローム堆積物)へ漸移することから、段丘化直前の フラッドローム堆積物であると解釈できる。

サブユニット 4.2 (自然堤防堆積物、河川流路堆積物)

層相は茶灰、暗灰色を示す。不淘汰の極細砂〜細礫によって構成され、約10cmごとに有機質 シルトを主とする層と極粗砂〜細礫を主とする層が互層をなしている。

本サブユニットは、GC-OY1 コアの深度 21.3~16.23 m、GC-OY2 コアの深度 27.55~15.15 m、GC-NG1 コアの深度 25.07~17.26 m で確認された。

本サブユニットは、蛇行河川の流路堆積物及び自然堤防堆積物と解釈できる。一部にクレバス 堆積物も含まれる可能性が高い。砂・シルト互層において部分的にみられる逆級化構造は、自然堤 防帯における洪水堆積物(増田・伊勢屋,1985)であると考えられる。なお、本サブユニットは、 宝木段丘面を構成するコア浅部の堆積物を対象とした認定にとどまっている。今後、さらに深部 の堆積物についても、詳細な堆積相解析を進めることによって、例え、後述するユニット7の堆 積物を細区分することによって、新たに認定される可能性が高い。

#### ユニット5 (デルタフロント堆積物)

層相は暗灰色や茶灰色を示す。砂質シルト〜中粒砂を主体に構成され、二枚貝またはカキ殻と みられる貝殻片交じりのシルト層から、平行葉理が発達した細砂層または斜交葉理が発達した中 砂層へ全体的に上方粗粒化傾向を示す。また、GC-NG1 コアでは 28.7 m 以浅の細砂主体の層に おいて、生物擾乱の痕跡が確認され、特に 27.5~25.9 m 付近において顕著である。ユニット全体 の層厚は 1.3~5.3 m である。10~50 cm ほどの間隔で、層厚 5~10 cm 程度のカキなどの 2 枚貝 の殻片密集層を複数挟在する。

本ユニットは、GC-NG1 コアの深度 31.6~25.07 m、GC-OY1 コアの深度 79.6~72.6 m、55.57 ~51.77 m 及び 31.0~24.9 m、GC-OY2 コアの深度 69.6~63.5 m、53.3~45.4 m 及び 31.25~ 28.7 m に見られる。

ユニット5は、貝化石片が産出することや、砂質堆積物を主とし、上方粗粒化傾向を示すことから、デルタフロント堆積物であると解釈できる。なお、GC-OY1の深度 55.57~51.77 m、GC-OY2 の深度 53.3~45.4 m については、浅海化する環境下で、海水面付近の高度で堆積した砂質 堆積物であると考えられるが、今後の解析によって、解釈がデルタフロント堆積物から変更され る可能性もある。

ユニット6(内湾泥底堆積物)

二枚貝の化石を含む泥質堆積物であり、二枚貝は、基質支持の摩耗破壊の進んでいない化石を 主とする。部分的に生物遺骸片支持の貝殻密集層が認められる。しばしば、生痕化石が発達し、 極細砂〜細砂の薄層が挟在することもある。GC-OY2の31.25~28.9mは大半がカキ礁によって 占められている。 このユニットは GC-NG1 の深度 57.4~52.25 m、37.85~31.6 m、GC-OY1 の深度 85.9~79.6 m、69.54~55.57 m 及び 39.9~31.0 m、GC-OY2 の深度 79.43~69.6 m、54.1~53.1 m 及び 31.25~28.9 m に見られる。

本ユニットは酸化硫黄の含有率が高く、海成珪藻化石群集を産出する細粒層であり、両 殻揃っ た二枚貝化石が直立の姿勢をとって地層中に入っている場合も多く観察され、比較的静穏な海底 で堆積したと考えられることから、内湾泥底堆積物であると解釈できる。GC-OY2の深度 79.43 ~69.6 m の堆積物は、平均粒径が極細砂と粗粒シルトの境界付近の堆積物であり、保存状態のよ い貝殻片を含むこと、その下位の堆積物が上方細粒化し、かつ海浜または河口の堆積相を示し、 上位の堆積物が上方粗粒化するデルタフロント堆積物と解釈されることなどから、内湾砂質泥底 堆積物と解釈されるが、本報告ではユニット6に含めた。

ユニット7 (河口低地堆積物)

比較的淘汰の良い砂層と泥層及び砂泥互層を主体とする。一部に細礫の薄層が挟まる。貝殻片 を含む箇所も散見される。

このユニットは、GC-NG1 コアの深度 72.4~57.4 m、51.3~37.85 m、GC-OY1 の深度 89.2~ 85.9 m、72.6~70.55 m 及び 44.1~39.9 m、GC-OY2 の深度 37.4~33.8 m、45.4~43.11 m に見 られる。

本ユニットは、今後さらに精緻な分析を進めることで、氾濫原堆積物、感潮河川堆積物、干潟 堆積物などに細分できる可能性があるが、現段階では一括して示す。

ユニット8(砂質海浜堆積物)

淘汰の良い細砂~中砂が主体で、しばしば、クロスラミナや平行ラミナが発達する。有色鉱物 の密集する葉理や微小な貝殻片を含む。

このユニットは、GC-OY2 コアの深度 63.5~54.1 m に見られる。

ユニット9(基盤地質(上総層群))

酸化して黄~褐色に変色した塊状のシルト層で、半固結している。他の堆積物と比べて、明らか に固結度が高い。

このユニットは、GC-OY2 コアの深度 86~79.43 m にみられる。本堆積ユニットは、後述のように、MIS11 に年代対比できる未固結堆積物に覆われることや、不連続的に固結度が高くなることから、上総層群に対比される。酸化硫黄含有率が低いことから、陸上の湿地ないし湖沼堆積物の可能性があるが、珪藻化石が産出せず、詳細は不明である。

#### 4.2 化石相

珪藻及び花粉の群集組成解析の結果について GC-NG-1、GC-OY-1 及び GC-OY-2 コアの順で 概要を記載する。

#### 4.2.1 珪藻群集組成

珪藻の群集組成解析結果を GC-NG-1、GC-OY-1 及び GC-OY-2 コアの順で図 4.2.1, 図 4.2.2, 図 4.2.3 に示す。

GC-NG-1 コアから分取した 17 試料の珪藻化石分析結果に基づいて、同コアの群集組成は下位 から NG1-1~8 に区分される (図 4.2.1)。 深度 71.33~71.32 m の NG1-1 は *Diadesmis contenta* や *Achnanthidium minutissimum* などの陸生種や *Fragilaria* spp.などの淡水生種で主に構成さ れ、汽水生の Actinocyclus octonarius や海生の Cyclotella spp.も数%確認された。深度 66.75~ 59.30 m の NG1-2 は Fragilaria capucina などの Fragilaria spp.や Reimeria sinuata などの淡 水生種で主に構成され、汽水生の Navicula veneta も数%確認された。深度 53.97~53.96 m の NG1-3 は Paralia sulcata や Cyclotella striata、Thalassiosira spp.などの海生種で主に構成さ れ、Fragilaria spp.などの淡水生種も 10%以上確認された。深度 48.26~45.64 m の NG1-4 は Diadesmis contenta などの陸生種や Fragilaria spp.などの淡水生種で主に構成され、汽水生の Navicula gregaria も極僅か確認された。深度 40.62~24.39 m の NG1-5 は下部から中部にかけ て Thalassiosira spp. や Paralia sulcata などの海生種で主に構成されるが、上部では淡水生の Fragilaria brevistriata などの Fragilaria spp.が大勢を示す。深度 17.71~14.68 m の NG1-6 は Diadesmis contenta などの陸生種や Eunotia praerupta var. bidens などの淡水生種で主に構成 され、海生の Cyclotella spp.も数%確認された。深度 10.26~7.26 m の NG1-7 は Eunotia tenelloides などの陸生種や Fragilaria spp.などの淡水生種で主に構成される。深度 3.81~1.25 m の NG1-8 は珪藻化石がほとんど確認できなかった。



図 4.2.1 GC-NG-1コアの珪藻群集組成

GC-OY-1 コアから分取した 23 試料の珪藻化石分析結果に基づいて、同コアの群集組成は下位 から OY1-1~7 に区分される (図 4.2.2)。コア境界から 3~4 cm 直下にあたる深度 46.24~46.23 mの試料 14 は海生種と陸生種がほぼ等量で混在して、層状の堆積構造が確認できなかったので、 コア掘削時に上位から落下したと判断して記載と解釈は省略する。深度 85.04~72.62 m の OY1-1 は珪藻化石がほとんど確認できなかったが、海生の Paralia sulcata などが極僅か確認された。 深度 69.10~63.85 m の OY1-2 は Paralia sulcata や Tryblionella granulata などの海生種で主 に構成される。深度 57.90~52.18 m の OY1-3 も珪藻化石がほとんど確認できなかったが、海生 の Paralia sulcata などが極僅か確認された。深度 42.65~27.59 m の OY1-4 は Paralia sulcata や Thalassiosira spp.などの海生種で主に構成され、汽水生や淡水生種も極僅か確認された。深 度 23.57~11.26 m の OY1-5 は Diadesmis contenta や Achnanthidium minutissimum などの 陸生種や Achnanthidium convergens や Planothidium lanceolatum などの淡水生種で主に構成 される。深度 2.10~2.09 m の OY1-6 では種が同定できる珪藻化石を確認できなかった。深度 1.15~1.13 m の OY1-7 では Nitzschia frustulum などの淡水生種で主に構成される。



図 4.2.2 GC-OY-1コアの珪藻群集組成

GC-OY-2 コアから分取した 21 試料の珪藻化石分析結果に基づいて、同コアの群集組成は下位 から OY2-1~7 に区分される(図 4.2.3)。深度 85.61~79.68 mの OY2-1 では種が同定できる珪 藻化石を確認できなかった。深度 74.21~68.87 mの OY2-2 は珪藻化石がほとんど確認できなか

ったが、海生種や海~汽水生種、淡水生種が極僅か確認された。深度 65.33~43.80 m の OY2-3 も珪藻化石がほとんど確認できなかったが、海生種や海~汽水生種が極僅か確認された。深度 37.07~30.61 m の OY2-4 は Paralia sulcata や Cyclotella striata、Tryblionella granulata など の海生種で主に構成される。深度 28.60~19.33 m の OY2-5 は Planothidium lanceolatum や Staurosira construens などの淡水生種や Achnanthidium minutissimum などの陸生種で主に構 成される。深度 15.17~11.31 m の OY2-6 は Staurosira construens var. venter や Fragilaria exigua などの淡水生種や Luticola mutica などの陸生種で主に構成される。深度 5.47~1.52 m の OY2-7 では Pinnularia subcapitata や Neidium alpinum などの陸生種や Pinnularia subcapitata var. elongata などの淡水生種で主に構成される。



#### 図 4.2.3 GC-OY-2 コアの珪藻群集組成

#### 4.2.2 花粉群集組成

花粉の群集組成解析結果を GC-NG-1、GC-OY-1 及び GC-OY-2 コアの順で図 4.2.4、図 4.2.5 及び 図 4.2.6 に示す。

GC-NG-1 コアから分取した 17 試料の花粉の分析結果に基づいて、同コアの群集組成は下位から NG1-1~6 に区分される (図 4.2.4)。深度 71.35~66.72 m の NG1-1 は胞子の含有率が花粉 よりも高く、樹木花粉はハンノキ属が優勢で、ニレ属・ケヤキ属、カバノキ属、コナラ属コナラ 亜族、クマシデ属、ハリゲヤキ属、マツ属がこれに次ぐ。深度 59.32~53.94 m の NG1-2 は草本 及び樹木花粉が優勢で、樹木花粉はクルミ属・サワグルミ属とコナラ属コナラ亜族が優勢で、トウヒ属、ブナ属、ハンノキ属、クマシデ属がこれらに次ぐ。深度 48.30~24.39 m の NG1-3 はコナラ属コナラ亜族、クルミ属・サワグルミ属、ハリゲヤキ属が優勢で、ブナ属、ツガ属、マツ属、

よりも極めて高く、樹木花粉はハンノキ属が極めて優勢で、コウヤマキ属、マツ属、ツガ属がこ れに次ぐ。深度 10.27~3.80 mの NG1-5 はスギ属が優勢で、コウヤマキ属、トウヒ属、ツガ属、 マツ属、ハンノキ属がこれに次ぐ。深度 1.29~1.25 mの NG1-6 はスギ属が極めて優勢で、コウ ヤマキ属、クマシデ属、ブナ属、マツ属がこれに次ぐ。



GC-OY-1 コアから分取した 23 試料の花粉の分析結果に基づいて、同コアの群集組成は下位から OY1-1~5 に区分される (図 4.2.5)。先述した通り試料 14 はコア掘削時に上位から落下した と判断して記載と解釈は省略する。深度 85.05~82.70 m の OY1-1 はコナラ属アカガシ亜族が優勢で、ブナ属、マツ属、ヒノキ科、ツガ属、モミ属、ハンノキ属、コナラ属コナラ亜族がこれに 次ぐ。深度 77.48~63.85 m の OY1-2 はハンノキ属が極めて優勢で、ブナ属、ツガ属、トウヒ属、 ヒノキ科、コナラ属コナラ亜族、スギ属、ニレ属・ケヤキ属がこれに次ぐ。深度 57.90~52.14 m の OY1-3 はスギ属が極めて優勢で、ハンノキ属、コナラ属コナラ亜族、ニレ属・ケヤキ属、ヒノ キ科、ブナ属、トウヒ属、クマシデ属がこれに次ぐ。深度 46.24~27.57 m の OY1-4 はハリゲヤ キ属とクマシデ属が極めて優勢で、ハンノキ属、クルミ属・サワグルミ属、コナラ属コナラ亜族、 マツ属、ツガ属、ブナ属がこれらに次ぐ。深度 23.60~15.66 m の OY1-5 はスギ属が極めて優勢 で、トウヒ属、ハンノキ属、ツガ属、マツ属、モミ属、コウヤマキ属がこれに次ぐ。深度 11.28~11.23 m の OY1-6 はマツ属が極めて優勢で、トウヒ属、コウヤマキ属、スギ属、ハンノキ属、ツ ガ属、ヒノキ科、コナラ属コナラ亜族がこれに次ぐ。深度 2.10~1.10 m の OY1-7 ではマツ属と スギ属が極めて優勢で、モチノキ属、コナラ属コナラ亜族、ヒノキ科がこれに次ぐ。

【付録7】



図 4.2.5 GC-OY-1 コアの花粉群集組成

GC-OY-2 コアから分取した 21 試料の花粉の分析結果に基づいて、同コアの群集組成は下位か ら OY2-1~7 に区分される(図 4.2.6)。深度 85.61~79.68 m の OY2-1 ではツガ属、ハンノキ 属、ニレ属・ケヤキ属が優勢で、クルミ属・サワグルミ属、コナラ属コナラ亜族、モミ属がこれ に次ぐ。深度 74.23~68.87 m の OY2-2 はコナラ属アカガシ亜族が優勢で、ヒノキ科、ブナ属、 マツ属、ツガ属、ハンノキ属、スギ属がこれらに次ぐ。深度 65.33~65.32 mの OY2-3 はハンノ キ属が極めて優勢で、ヒノキ科、スギ属、マツ属、ツガ属、ブナ属がこれに次ぐ。深度 54.07~ 43.76 mの OY2-4 はブナ属が優勢で、スギ属、マツ属、ニレ属・ケヤキ属、ハンノキ属、クマシ デ属、トウヒ属、クルミ属・サワグルミ属がこれに次ぐ。深度 37.10~28.57 m の OY2-5 はクマ シデ属が極めて優勢で、ハリゲヤキ属、コナラ属コナラ亜族、ブナ属、ハンノキ属、クルミ属・ サワグルミ属、マツ属、ツガ属がこれに次ぐ。深度26.64~15.12mのOY2-6はスギ属とハンノ キ属が極めて優勢で、トウヒ属、ヒノキ科、ツガ属、クマシデ属、マツ属、コウヤマキ属がこれ らに次ぐ。深度 11.36~11.31 m の OY2-7 はコウヤマキ属が優勢で、スギ属、マツ属、ツガ属、 トウヒ属がこれに次ぐ。深度 5.49~5.44 mの OY2-8 ではハンノキ属が極めて優勢で、ブナ属、 クルミ属・サワグルミ属、コウヤマキ属、マツ属、クマシデ属、コナラ属コナラ亜族、トウヒ属 がこれに次ぐ。深度1.53~1.48mのOY2-9ではマツ属が極めて優勢で、スギ属、コナラ属コナ ラ亜族、ニレ属・ケヤキ属、ヒノキ科がこれに次ぐ。



図 4.2.6 GC-OY-2 コアの花粉群集組成

#### 4.3 テフラ

テフラの産出頻度は、大局的には、GC-OY2、GC-OY-1 及び GC-NG1 の順で下がり、コア深 度 30 m 以浅の層準に多く認められた。分析試料ごとに結果の特徴を記載する(表 4.3.1)。各テフ ラ名は、コア名と採取深度による仮称である。火山ガラスの主成分化学組成分析の結果を図 4.3.1 に示す。

No	コア	テフラ名(仮称)	深度(m)	ガラス	有色鉱物	備考	Ν	対比先
1		OY1-2.7	2.7	pm	ho,opx,cpx	褐色風成ローム層-河成シルト境界付近の黄白色軽石層(~小磯サイズ直径、層厚約5cm) 中から採取	20	KP
2	CC 0V1	OY1-11.9	11.9	-	орх срх	※10/24,29測定ではガラス確認できず 河川相ラミナ中から採取	-	-
3	GC-011	OY1-13.46	13.46	pm	opx,cpx,ho	褐色~黒岩片多い。St~fs主体河川相ラミナ中に入る小~中礫サイズ白色軽石層(約3cm 厚)から採取	21	
4		OY1-15.6	15.6	pm	opx cpx ol?	褐色〜黒岩片多い。St〜vfs主体の河川相に入る、fs主体ラミナ中から採取	18	OY2 16.93と近い分布
5		OY2-2-2	2.2	bw	орх срх	褐色風成ローム層中に挟まる有機質土層(約10cm/厚)から採取	13	AT
6		OY2-3.32	3.32	なし	орх срх		-	-
7	GC-OY2	OY2-3.91	3.91	なし	орх срх		-	-
8		OY2-2.75	2.75	bw	opx.cpx.ho	褐色風成ローム層中に挟まる、直径ms~cs程度の白色粒子部(約15cm厚)から採取	22	AT(OY2 2.2mより近い分布)
9		OY2-2.98	2.98	pm	ho.opx.cpx	褐色風成ローム層-河成シルト境界付近の、黄白色軽石(vfs~ms程度径)層(約6cm厚)から 採取	21	KP
10		OY2-5.47	5.47	pm	opx cpx (ti)	fs~ms主体の河川相中に入る、白色軽石(約1mm径)層(8cm程度厚)から採取	-	NG1 8.5と近い分布
11		OY2-16.93	16.93	pm	орх срх	fs~cs主体河川相中に入る、小~中礫サイズ軽石層(5cm程度厚)中から採取	16	OY1 15.6と近い分布
12		NG1-2.75	2.75	pm	opx,cpx,ho	褐色風成ローム層中から採取	24	KPまたはAg-UPの可能性あり
13	3 00 101	NG1-8-62	8.62	pm	opx cpx (bt ti)	vfs~fs主体河川相中に挟まる白色粒子層(10cm程度厚)から採取	20	OY2 5.47と近い分布
14	do-Na1	NG1-12.85	12.85	pm	орх срх	fs~cs主体の河川相中に挟まる白色軽石層(直径約1~2mm、層厚約10cm)から採取	21	MzP1
15		NG1-13.48	13.48	pm	opx cpx ti	fs~g(p)主体の河川相中に挟まる白色軽石層(1~5mm径、層厚約8cm)から採取	22	MzP1
16	UT-ST1	ST1-2.75	2.75	pm(黄~白)	ho ,opx,cpx		22	KP

表 4.3.1 テフラ一覧





(c) Mz-P1 に対比されるテフラ。

#### GC-NG1-2.75

GC-NG1 コアのユニット1下部、褐色風成ローム層中から採取した。ローム層は風化が進んで おり、軽石は明瞭な純層をなしておらず、粒子も不明瞭である。火山ガラスは pm 型であり、主 な有色鉱物は卓越するものから順に opx (orthopyroxene、斜方輝石)、cpx (clinopyroxene、単 斜輝石)、ho (hornblende、普通角閃石) である。

本試料は、最終氷期の形成された宝木台地を覆う風成層であるユニット1の下部にあることや、 既知の降下テフラの分布範囲を考慮すると、赤城火山を給源とし、44 ka に噴出・降下した赤城-鹿沼軽石(Ag-KP:町田・新井, 2003)に対比される可能性が高いと考えられる。しかし、火山 ガラスの主成分化学組成分析の結果(図 4.3.1)は、Ag-KPと比べて、SiO2値が2%程度高値を 示した。本テフラは、Ag-KP または赤城湯ノロテフラ(Ag-UP.町田・新井, 2003:50ka)と対 比できる可能性はあるが、軽石層が純層として保存されている堆積環境の良い場所での再検討が 必要である。

#### GC-NG1-8.62

GC-NG1 コアのユニット 4 上部、極細砂~細砂主体の自然堤防堆積物中に層厚 10 cm で挟まる粒径 1~2 mm の白色軽石層である。火山ガラスの形態は pm 型、主な有色鉱物は opx、cpx 及 び bt(biotite、黒雲母)の順である。

主成分化学組成分析の結果、後述する GC-OY2-5.47 テフラに類似した値が得られた。

GC-NG1-12.85

GC-NG1 コアのユニット 4 上部、細砂~粗砂主体の氾濫原堆積物中に層厚 10 cm で斜交ラミ ナとして挟まる 1~mm 径の良く円磨された白色軽石層である。火山ガラスの形態は pm 型、主 な有色鉱物は opx、cpx の順である。

鉱物組成及び主成分化学組成の結果から、本テフラは、赤城水沼第1軽石(Ag-MzP1)に対比 できると考えられる。また、当テフラは河川の流れを反映した斜交ラミナ中において産出され、 円磨されている状況から、異なる地点において降下・堆積したものが河川により運搬され再堆積 したものであると考えられる。

#### GC-NG1-13.48

GC-NG1 コアのユニット4上部、細砂~極粗砂主体の自然堤防堆積物中に層厚8 cm で挟まる 粒径1~5 mm径の良く円磨された白色軽石層である。火山ガラスはpm型、主な有色鉱物はopx、 cpx の順である。鉱物組成及び主成分化学組成分析の結果からGC-NG1-12.85 と同様、赤城水沼 第1軽石(Ag-MzP1)に対比される可能性が高い。堆積状況から、このテフラも再堆積した軽石 であると考えられる。

#### GC-OY1-2.7

GC-OY1 コアのユニット 1 の最下部、深度 2.66~2.71m の褐色風成ローム層と陸成シルト層 の境界付近において、層厚 5 cm で堆積する黄白色軽石層である。火山ガラスは、軽石 (pm) 型 で、有色鉱物は ho, opx 及び cpx の順に卓越する。

有色鉱物の組成及び主成分化学組成分析の結果から、当テフラは赤城-鹿沼軽石(Ag-KP:町田・新井, 2003)に対比されると考えられる。

#### GC-OY1-13.46

GC-OY1 コア中のユニット 4-2、シルト〜細砂を主とする自然堤防堆積物中に、深度 13.4~ 13.47 m にかけ約 3 cm 厚で挟まる、小〜中礫サイズの白色軽石層から採取した。火山ガラスは pm 型が確認された。有色鉱物は opx、cpx 及び ho の順に卓越する。また、褐色〜黒色の岩片を 多く含む。

#### GC-OY1-15.6

GC-OY1 コア中のユニット4 中部、シルト~極細砂主体の河川相に深度 15.55~15.6 m に挟在 する細砂から採取した。火山ガラスは pm 型で、卓越する有色鉱物は opx、cpx 及び ol (olivine、 橄欖石)の順である。また、褐色~黒色の岩片を多く含む。

鉱物組成及び主成分化学組成分析の結果より、後述する GC-OY2-16.93 に対比される可能性がある。

#### GC-OY2-2.2

GC-OY2 コアのユニット1上部、深度2.13~2.24 mの、褐色風成ローム層に挟在する層厚11 cmの黒色有機質土層中から採取した。肉眼ではテフラ層として識別できなかったが、バブル(bw) 型の火山ガラスが見られ、卓越する有色鉱物はopx、cpxの順である。有色鉱物の組成及び主成 分化学組成分析の結果から、姶良カルデラを給源とし、29ka に噴出・降下した姶良 Tn 火山灰 (AT:町田・新井,2003)に対比される。産状から、GC-OY2-2.75の降下以降に再堆積した可能 性が考えられる。 GC-OY2-2.75

GC-OY2 コアのユニット1下部、深度 2.68~2.78 m の、褐色風成ローム層中に挟在する層厚 10 cm の極細砂~粗砂の白色層から採取した。bw 型の火山ガラスが認められ、卓越する有色鉱 物は opx、cpx 及び ho の順である。

有色鉱物の組成及び主成分化学組成分析の結果から、姶良 Tn 火山灰(AT) に対比できる。

#### GC-OY2-2.98

GC-OY2 コアのユニット1最下部の褐色風成ローム層とユニット4最上部のフラッドローム層 との境界付近である深度 2.9 m 付近から 3.03 m にかけて、層厚約 10 cm で挟在する細砂~中砂 サイズの黄白色軽石層を採取した。火山ガラスは pm 型、卓越する有色鉱物は ho、opx 及び cpx の順である。

有色鉱物の組成及び主成分化学組成分析の結果から、赤城・鹿沼軽石(Ag-KP)に対比される。

#### GC-OY2-5.47

GC-OY2 コア中のユニット4 中部、細砂~中粒砂主体の河川相中に入る、層厚8 cm 厚の良く 円磨された白色軽石(直径約1 mm)層から採取した。火山ガラスは pm型、卓越する有色鉱物 は opx、cpx の順である。鉱物組成及び主成分化学組成分析の結果より、GC-NG1-8.62 と対比さ れる可能性がある。

#### GC-OY2-16.93

GC-OY2 コア中のユニット4上部、細砂~粗砂主体の河川相中に5 cm 程度厚で入る、小~中 礫サイズ(2~4 mm 径)の白色軽石である。火山ガラスは pm 型、卓越する有色鉱物は opx cpx の順である。

鉱物組成及び主成分化学組成分析の結果より、GC-OY1-15.6と対比される可能性がある。

#### 5. 堆積物の層序区分と対比

ボーリングコアの堆積物の堆積環境に着目した層序区分を行うとともに、コア堆積物から認定 した地層境界面と MIS との対比を行った(図 4.3.1)。



図 4.3.1 コア堆積物から認定した地層境界面と MIS との対比

3本のボーリングコアは、いずれも、砂泥質海成層と礫質ないし砂泥質の陸成層の互層で構成 されている。花粉化石分析結果からアカガシ亜族の産出層準が、GC-OY2、GC-OY1の両コアの 下部の堆積相ユニット 6 (内湾泥底ないし砂質泥底堆積物) で確認された。珪藻の産出はわずか であるが、二枚貝化石を多く含み、硫黄含有率が高く、海進期から高海水準期の海底堆積物であ ることは確実である。アカガシ亜族の産出層準は、関東では中期更新世以降では MIS 11 に房総 で堆積した地蔵堂層に対比されていることから(楡井・本郷, 2018)、これらの堆積ユニットは MIS 11 に対比される (図 4.3.1)。GC-NG1 コアは、アカガシ亜族の産出層準が認められないが、コ アの基底が MIS 11 に到達していないためであると考えられる。

MIS 11 に対比される海成層の上部は、GC-OY2 コアでは上方粗粒化するデルタフロント堆積 物もしくは海浜砂に厚く覆われ、上部を MIS6 に対比される河成礫層に境される。このデルタフ ロントまたは海浜堆積物は、MIS9 または MIS7、あるいは両方の海進期~高海水準期の堆積物 に対比されると考えられるが、詳細は今後の検討課題である。一方、GC-OY1 コアは、深度 70 m 付近まで上方粗粒化し、深度 70~65 m 付近に海成泥層が堆積しており、MIS 9 に対比される可 能性を示唆するものの、MIS 7 に対比される可能性も排除できない。他方、GC-NG1 コアにおい ては、最下部に河成礫層が見られ、MIS 8 の低海水準期堆積体に対比される可能性があり、その 場合、上部のコア深度 55 m 前後の細粒層(内湾低泥堆積物)は MIS 7 に対比されることになる。 関東平野における既存研究において、MIS 7 の海成層の分布範囲は、MIS 9 や MIS 5 のそれと比 べて狭く、MIS 8 の河谷地形の制約を受けていると推定されることから(須貝ほか, 2013)、今後、 対象範囲をさらに関東平野の中央部に広げて、MIS 8 の谷地形の広域分布を明らかにしていく必 要がある。

CG-OY2 コアで MIS 6 に対比される河成礫層は、GC-OY1、GC-NG1 コアにおいても見られ、 これら 3 本のコアを対比することによって復元される河床縦断面形は、上下の堆積層の境界面よ りも急勾配である。またこの河成礫層の層厚は下流へ向かって減少する。このことは、本礫層が 海面低下期から低海水準期に堆積したことを示唆する。

MIS6に対比される河成礫層の上位には、上方細粒化する河口堆積物、内湾泥底堆積物、上方 粗粒化するデルタフロント堆積物が累重しており、これらの一連の堆積層はMIS5の海進とそれ に続く高海水準期に堆積したと解釈できる。

#### 6. 研究開発手法の評価

10 万年オーダーでの地殻変動量を推定するためには、MIS 11, MIS 9, MIS 5 及び MIS 1 の海 面上昇~高海水準期の海成層の分布を面的に追跡することが重要である。本共同研究では、MIS 11 の海成層の分布の上面高度(標高)が GC-OY1 コアの掘削地点で標高約-40 m、MIS 5 の海 成層の分布の上面高度(標高)が GC-OY2、GC-OY1 及び GC-NG1 の各コアの掘削地点におい て順に、+6 m、+5 m 及び-5~0 m であると推定された。ここで、GC-NG1 コアの標高-5~ 0mの堆積物は流路堆積物と推定でき、堆積物の上限と下限のいずれが海水面に近いか不明ない ため、GC-NG1 コアの MIS 5 の海成層の上面高度に -5~0 m と幅を持たせている。

MIS 5 の最高海面期のユースタチックな海水準は、MIS 1 の海水準+5.5~+9 m 程度と推定 されていること(Murray-Wallace and Woodroffe, 2014)を考えると、圧密沈降の影響が無視で きると仮定した場合、過去 12 万年間の上下地殻変動量(変動速度)は、GC-OY2、GC-OY1 コア 掘削地点では概ねゼロ、GC-NG1 コア掘削地点では 5~10 m の沈降(0.04~0.1 mm/年の沈降速 度)と算出される。この結果は、従来の研究成果(例えば、貝塚, 1987; Tajikara, 2000)と大き くは矛盾しない。

一方、MIS 11 の最高海面期の海水準は MIS1 の海水準と同程度ないし数 m 高かった程度であ ると推定されている(Murray-Wallace and Woodroffe, 2014)。仮に、MIS1と MIS11の海水準 が同じで、圧密の影響が無いものとして、GC-OY1 掘削地点における過去 40 万年間の上下地殻 変動速度を求めると 0.1 mm/年の沈降速度が得られる。

このように、MIS 11 の海成層と MIS 5 の海成層の堆積標高を求めることによって、過去 40 万 年間と 12 万年間の平均地殻変動速度を推定可能である。さらに、両者を比較することによって、 10 万年スケールでの地殻変動の変化傾向を推定することができる。地殻変動が安定した地域で は、MIS 10、MIS 8 及び MIS 6 の低海水準期の河川侵食によって、より古い時代の高海水準期 の堆積物が侵食される可能性があり、cut and fill によって、地層の側方対比が難しくなりがちで ある。その一方で、MIS 12 の海退とそれに続く MIS 11 の海進は、中期更新世以降に繰り返され てきた氷河性海水準変動に伴う海退—海進シーケンスのなかでも最大級の規模であり、MIS 11 の 海成段丘面や海成層が沿岸部に広く分布している。加えて、MIS 11 の細粒堆積物からはアカガ シ亜族の花粉化石が特異的に産出することから、花粉分析によって、地層対比が可能であるとい う大きな利点がある。こうしたことを考えると、MIS 11 の海成層の分布を追求し、MIS5 の海成 層の分布と比較していくことは、日本列島における長期的な地殻変動像の復元にとって有用な手 法であると考えられる。この方針の妥当性を評価し、信頼性を高めるために、本共同研究におい て詳細に層序区分ができなかった MIS 9 と MIS 7 の地層からも平均地殻変動速度を算出し、そ れらの値と MIS 11 と MIS 5 の平均地殻変動速度との比較を実施することが課題として残され る。

#### 7. まとめ

本共同研究では、過去 10 万年~数十万年前の高海水準期の海成層の保存が期待される平野の 隆起域と沈降域の境界域で採取されたボーリングコアから長期的な地殻変動様式・速度の把握に 必要な手法を整備した。さらに、整備した手法を用いて過去 40 万年間と過去 12 万年間の平均地 殻変動速度を推定し、その推定値と既存資料とを比較することで、本手法の妥当性や精度につい て評価した。

本共同研究では、MIS 11 と MIS 5 の海成層についての認定・区分は可能であったが、その間 に堆積したと考えられる MIS 9, MIS 7 の海成層の認定・区分は不十分であった。それゆえ、今 後の課題としては、MIS 9, MIS 7 の海成層の認定・区分と、その結果に基づく、MIS 11, MIS 9, MIS 7 及び MIS 5 の各時期の地層の深度から算出される地殻変動速度の比較・評価が残される。 さらに、本共同研究において整備した手法や調査における考え方が他の沿岸堆積平野にも適用可 能であるか否か、その適用性を確認することも今後の課題である。

#### 謝辞

電力中央研究所の佐々木俊法氏には、コアのX線CT解析に関して、ご指導いただいた。記して感謝いたします。

#### 8. 引用文献

2.ボーリングコア試料の分析手法に関する情報収集

- 相沢省一,赤岩英夫,北海道夕張炭田に分布する古代三紀堆積岩のホウ素含量一古堆積環境指示 元素としてのホウ素一,地球化学,vol.13, pp.32-40, 1979.
- Berner, R. A., Sedimentary pyrite formation: An update, Geochimica et Cosmochimica Acta, vol.48, pp.605-615, doi:10.1016/0016-7037(84)90089-9, 1984.
- Berner, R. A. and Raiswell, R., Burial of organic carbon and pyrite sulfur in sediments over Phanerozoic time: a new theory, Geochimica et Cosmochimica Acta, vol.47, pp.855-862, doi: 10.1016/0016-7037(83)90151-5, 1983.
- Berner, R. A. and Raiswell, R., C/S method for distinguishing freshwater from marine sedimentary rocks, Geology, vol.12, pp.365-368, 1984.
- 千葉 崇, 澤井祐紀, 環境指標種群の再検討と更新, Diatom, vol.30, pp.17-30, 2014.
- 江頭和彦, 宮崎真行, 山田惣平, 山下大輔, 磯田雅子, 安部友子, 稲葉 剛, 有明海北岸低地第四紀 堆積物の粘土鉱物組成と堆積環境及び陸上風化環境との関係, 粘土科学, vol.39, pp.65-75, 1999.
- Hardy, F. and Lamothe, M., Quaternary basin analysis using infrared stimulated luminescence on borehole cores and cuttings, Quaternary Science Reviews (Quaternary Geochronology), vol.16, pp417-426, doi:10.1016/S0277-3791(96)00105-9, 1997.
- 長谷川 四郎, 秋元和實, 北里 洋, 的場保望, 底生有孔虫にもとづく日本の後期新生代古水深指 標, 地質学論集, vol.32, pp.241-253, 1989.
- 本郷美佐緒,納谷友規,山口正秋,水野清秀,関東平野中央部埼玉県県菖蒲町で掘削された 350 m ボーリングコア (GS-SB-1)から産出した花粉化石群集,地質調査研究報告,vol.62, pp.281-318, 2011.
- 平松 力,石油探鉱における石灰質ナンノ化石の役割-その生層序学,シーケンス層序学および 古海洋学的有効性-,石油技術協会誌,vol.63, pp.258-265, 1998.
- 市原季彦, 高塚 潔, 下山正一, 生痕層序, 地質学雑誌, vol.102, pp.685-699, 1996.
- 市原優子,海成粘土層にみられる粘土鉱物の風化,地質学雑誌,vol.66, pp.812-819, 1960.
- 入月俊明, 松原尚志, 貝形虫化石群集解析に基づく下-中部中新統門ノ沢層の堆積環境の垂直変化, 地質学雑誌, vol.100, pp.136-149, 1994.
- 石田 桂, 高安克己, 島根県出雲平野西部における沖積層コアの貝形虫群集, LAGUNA, vol.12, pp.73-79, 2005.
- 石川 剛, 中村栄三, ホウ素の同位体地球・宇宙化学, 地球化学, vol.23, pp.23-34, 1989.
- 磯野陽子,木村隆行,色彩測定による堆積環境と土質特性の評価,日本応用地質学会研究発表会 講演論文集,pp.161-164,2005.
- 板木拓也, 放散虫学のススメ, 化石, vol.77, pp.45-50, 2005.
- 伊藤知佳,入月俊明,岩井雅夫,第一瀬戸内区中新統(師崎,岩村,富草層群)の珪藻示準化石と 地質年代,地質学雑誌,vol.105, pp152-155, 1999.
- 狛 武, 堆積岩の化学組成による堆積環境の研究-特に硫黄含有量による識別-, 地質調査所月 報, vol.43, pp.473-548, 1992.
- 栗田祐司, 渦鞭毛藻化石の石油探鉱への利用, 石油技術協会誌, vol.62, pp.321-327, 1997.
- 栗田祐司, 松岡數充, 小布 施明子, 堆積環境指標としての有機質微化石 (パリノモルフ), 堆積学研究, vol.44, pp.59-69, 1997.

増田 富士雄,ダイナミック地層学-古東京湾域の堆積相解析から-(その1基礎編),応用地質, vol.29, pp.28-37, 1988.

増田 富士雄, 大阪湾の完新統と上部更新統の堆積様式, 堆積学研究会報, vol.37, pp.71-77, 1992.

- 松岡敷充, 海産パリノモルフ化石群集からみた対馬・三根湾における完新世の沿岸海洋環境の変 遷, 第四紀研究, vol.31, pp.147-157, 1992.
- 本山 功, 丸山俊明, 中・高緯度北西太平洋地域における新第三紀珪藻・放散虫化石年代尺度:地磁気極性年代尺度 CK92 および CK95 への適合, 地質学雑誌, vol.104, pp171-183, 1998.
- Nagao, S. and Nakashima, S., A convenient method of color measurement of marine sediments by colorimeter, Geochemical Journal, vol.25, pp.187-197, doi:10.2343/geochemj.25.187, 1991.
- 中井信之,太田友子,藤澤 寛,吉田正夫,堆積物コアの炭素同位体比,C/N 比および FeS2 含有量 からみた名古屋港周辺の古気候,古海水準変動,第四紀研究,vol.21, pp.169-177, 1982.
- 中西利典,田辺 晋,木村克己,中島 礼,内山 美恵子,柴田康行,埼玉県三郷市彦成地区の沖積 層コア(GS-MHI-1)の堆積相・珪藻化石群集組成・物性・放射性炭素年代値,地質調査研究 報告,vol.62, pp.3-46, 2011.

大井隆夫,ホウ素同位体地球化学,日本海水学会誌,vol.55, pp.3-10, 2001.

- Pemberton, S. G., MacEachern, J. A. and Frey, R. W., Trace fossil facies models: environmental and allostratigraphic significance, Facies models: response to sea-level change, pp. 47-72, 1992.
- 産業技術総合研究所,日本原子力研究開発機構,原子力環境整備促進・資金管理センター,電力中 央研究所,平成28年度地層処分技術調査等事業沿岸部処分システム高度化開発報告書,368p, 2017.
- Sampei, Y., Matsumoto, E. and Tokuoka, T., Sulfur and organic carbon relationship in sediments from coastal brackish lakes in the Shimane peninsula district, southwest Japan, Geochemical Journal, vol.31, pp.245-262, doi: 10.2343/geochemj.31.245, 1997.
- 佐藤 万寿美,横山卓雄,粘土混濁水の電気伝導度による古環境の推定-関西国際空港ボーリン グ・コアの場合-,地質学雑誌,vol.98, pp.825-839, 1992.
- 下山正一,木下裕子,宮原百々,田中ゆか里,市原季彦,竹村恵二,旧汀線高度からみた九州の後 期更新世地殻変動様式,地質学雑誌,vol.105,pp.311-331,1999.
- 鈴木毅彦, 藤原 治, 檀原 徹, 関東・中部地方に分布する第四紀テフラのフィッション・トラック 年代, 地学雑誌, vol.107, pp348-367, 1998.
- 高田裕行,有孔虫化石群集解析にもとづく富山県小矢部市周辺の大桑層堆積時(後期鮮新世~前 期更新世)の古環境変遷,化石,vol.67, pp.1-18,2000.
- 竹内貞子, 安藤一男, 藤本 潔, 吉田明弘, 宮城県宮城野海岸平野南部地域における完新世の環境 変遷, 第四紀研究, vol.44, pp.371-381, 2005.
- 高山俊昭, 佐藤時幸, 亀尾浩司, 後藤 登美子, 第四系石灰質ナンノ化石層序と鮮新統/更新統境界 の年代値, 第四紀研究, vol.34, pp157-170, 1995.
- Tamura, T., Nicholas, W.A., Oliver, T.S. and Broole B.P., Coarse-sand beach ridges at Crowley Beach, north-eastern Australia: Their formative processes and potential as records of tropical cyclone history, Sedimentology, vol.65, pp721-744, doi:10.1111/sed.12402, 2018.
- 内山 美恵子,原 未来也,竹内美緒,木村克己,東京低地と中川低地の沖積層堆積物で作成した 懸濁液の水素イオン濃度指数及び電気伝導度,地質調査研究報告,vol.62, pp.85-104, 2011.

- 内園立男,森勇一,濃尾平野南部ボーリングコアの粘土混濁水の電気伝導度および pH 測定に基づく堆積環境の推定,第四紀研究, vol.43, pp.375-382, 2004.
- Wilson, G. P., Lamb, A. L., Leng, M. J., Gonzalez, S. and Huddart, D., Variability of organic  $\delta^{13}$ C and C/N in the Mersey Estuary, U.K. and its implications for sea-level reconstruction studies, Estuarine, Coastal and Shelf Science, vol.64, pp.685-698, 2005.
- 横山芳春,七山太,安藤寿男,大塚一広,完新統海成粘土層中に産出する軟体動物化石群と堆積 過程:瀬戸内海伊予灘海域,下灘沖海上ボーリングコアの解析結果の例,化石,vol.74, pp.7-17, 2003.
- 横山芳春,七山 太,桑原 拓一郎,安藤寿男,堆積学的手法によって明らかにされた海成段丘の 形成過程 - 青森県上北平野, MIS5e 高館面構成層での試み - ,地質ニュース, vol.595, pp.10-18, 2004.

#### 3. 本共同研究開発における方法

- 石浜 佐栄子, 笠間友博, 山下浩之, 平田大二, 新井田 秀一, 地層剥ぎ取り技法を用いた箱根火山 起源噴出物の実物標本化 - 神奈川県立生命の星・地球博物館における露頭情報の収集・保存・ 活用 - , 火山, vol.60, pp.341-348, 2015.
- 狛 武, 堆積物中の硫黄・炭素・窒素による環境解析の一例, Researches in Organic Geochemistry, vol.7, pp.47-50, 1990.
- 若林 徹, 須貝俊彦, 笹尾英嗣, 大上隆史, 濃尾平野完新統中の重金属元素濃度と分布の特徴, 地 学雑誌, vol.121, pp.441-459, 2012.

#### 4. 結果

遠藤邦彦, 高野 司, 鈴木正章, 北関東, 小貝川低地における立川期礫層の年代とその意義, 第四 紀研究, vol.22, pp.91-96, 1983.

町田 洋,新井房夫編,新編 火山灰アトラス・日本列島とその周辺,東京大学出版会,360p,2003. 増田 富士雄,伊勢屋 ふじこ,"逆グレーディング構造":自然堤防帯における氾濫原洪水堆積物 の示相堆積構造,堆積学研究会報,vol.22-23, pp.108-116, 1985.

- 山本晃一, 阿左美敏和, 田中成尚, 新 清晃, 鈴木克尚, 鬼怒川の河道特性と河道管理の課題ー沖 積層の底が見える河川-, 公益財団法人 河川環境管理財団 河川環境総合研究所, 128p, 2009.
- 山元孝弘, 宇都宮市宝積寺段丘で掘削された UT05 コアの層序記載と鬼怒川の堆積侵食履歴, 地 質調査研究報告, vol.57, pp.217-228, 2006.

#### 5. 堆積物の層序区分と対比

- 楡井 尊,本郷 美佐緒,中部日本における前期末~中期更新世の花粉生層序,第四紀研究, vol.57, pp.143-155, 2018.
- 須貝俊彦, 松島(大上) 紘子, 水野清秀, 過去 40 万年間の関東平野の地形発達-地殻変動と氷河 性海水準変動の関わりを中心に-, 地学雑誌, vol.122, pp.921-948, 2013.

### 6. 研究開発手法の評価

貝塚爽平, 関東の第四紀地殻変動, 地学雑誌, vol.96, pp.51-68, 1987.

Murray-Wallace, C.V. and Woodroffe, C.D., Quaternary Sea-Level Changes: A Global Perspective, Cambridge University Press, 504p, 2014.

Tajikara, M., Late Quaternary crustal movement around Kanto mountains, Japan, Proceedings of the Hokudan International Symposium and School on Active Faulting – Active Fault Research for the New Millenium –, pp.503-505, 2000.

# 断層破砕帯の内部構造解析に関する共同研究

# 平成 31 年度共同研究報告書

# 令和2年1月

学校法人日本大学

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター 地層科学研究部 ネオテクトニクス研究グループ

目	欠
---	---

1.	概要		3
	1.1 共同	研究件名	3
	1.2 研究	目的	3
	1.3 実施	期間	3
2.	研究内容	容	4
	2.1 はじ	めに	4
	2.2 付加	体中の断層の内部構造と透水異方性・物質移動特性に関する検討	4
	2.2.1	目的	4
	2.2.2 🗦	新第三紀付加体における検討	4
	$2.2.3$ $\pm$	先新第三紀付加体における検討	8
	2.2.4	まとめ	. 12
	2.3 火山	岩中の破砕組織に関する検討	. 13
	2.3.1	目的	. 13
	2.3.2	結果と考察	. 13
3.	まとめ		. 15

## 図目次

义	2.2.2-1	新第三紀三浦層群三崎層中に発達する面なし断層	. 5
义	$2.2.2^{-2}$	新第三紀堆積岩の"面なし断層"の岩石片および薄片写真	. 5
义	2.2.2-3	"面なし断層"と母岩の SEM 画像と二値化画像	. 6
义	2.2.2-4	SEM 画像からの空隙率測定結果(300 倍)	. 6
义	$2.2.2^{-5}$	SXAM 分析の結果(新第三紀堆積岩)	. 7
义	2.2.2-6	室内透水試験における試料整形(新第三紀堆積岩)	. 7
义	2.2.2-7	室内透水試験(変水位透水試験)の様子と透水係数の算出方法	. 8
义	2.2.2-8	室内透水試験結果(新第三紀堆積岩)	. 8
义	2.2.3-1	先新第三紀(秩父帯)堆積岩中のメランジュの露頭	. 9
义	2.2.3-2	秩父帯中の泥岩中の鱗状へき開とこれらを切る石英脈	10
义	2.2.3 - 3	室内透水試験における試料整形(先新第三紀堆積岩)	10
义	2.2.3-4	室内透水試験結果(先新第三紀堆積岩)	11
义	2.2.3-5	SXAM 分析の結果(先新第三紀堆積岩)	11
义	2.2.3-6	SXAM によるへき開を横断する方向の Fe の分布状況	12
义	2.2.4-1	物質移行モデル(左:新第三紀堆積岩、右:先新第三紀堆積岩)	13
汊	2.3.2-1	SXAM による試料 1 の面分析結果	14
汊	2.3.2-2	SXAM による試料 2 の面分析結果	15

#### 1. 概要

#### 1.1 共同研究件名

断層破砕帯の内部構造解析に関する共同研究

#### 1.2 研究目的

地層処分に適した地質環境の選定においては、火山・火成活動、深部流体の移動・流入、地震・ 断層活動、隆起・侵食といった自然現象の影響や長期的な変化を把握し、適切にモデル化するこ とが重要である。日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)では、これらの自然現象の把握 およびモデル化に関連する研究課題に対し、地質学、地形学、地震学、地球年代学等の各学術分 野における最新の研究を踏まえた技術の適用による事例研究を通じて、課題の解決に必要な知見 の蓄積や調査・評価技術の高度化を総合的に進めている。

このうち地震・断層活動に関しては、断層変位の有無の判定に係る年代既知の被覆層(上載地 層)がない場合の断層の活動性評価や、地震・断層活動による破砕等の力学的影響を把握するた めの技術の高度化が課題の一つとして挙げられている。これらの課題への対応として、断層破砕 帯内物質に着目した評価手法(例えば、破砕帯内物質を用いた年代測定や、破砕帯内物質の組成 等の違いに基づく活断層と非活断層との識別)を確立することが考えられる。その際、破砕帯内 物質の組成や内部構造の変化と、母岩の種類や断層の発達史の違いとの関係を詳細に把握するこ とが非常に重要である。そこで本共同研究では、断層の活動性や力学的影響の評価手法の高度化 に資するため、破砕帯内物質の内部構造に関する検討を行う。

原子力機構および共同研究先である学校法人日本大学(以下、日本大学)では、断層破砕帯内 物質の分析・解析に係る多くの実績をそれぞれ有している。原子力機構ではこれまでに、鉱物粒 子の表面構造解析に基づく断層活動性の検討や、K-Ar 法等による破砕帯内物質の年代測定手法 の開発に取り組んできた。日本大学では、破砕帯の重要な物質学的特性である透水構造や粒子フ ァブリック(形態や配列等)の解析に基づく断層の発達史に関する研究に精力的に取り組んでき ている。そのため、本共同研究を行うことにより、日本大学は、地震・断層活動に関し原子力機 構が有する知見を取り入れることで断層の発達史に関する研究を効果的に進めることができると ともに、原子力機構においては、地層処分に適した地質環境の選定に係る調査・評価において課 題となっている断層の活動性や力学的影響の評価に関する調査技術の高度化を効果的に進めるこ とができる。

なお、本共同研究は、原子力機構が経済産業省資源エネルギー庁から受託した「平成31年度高 レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業(地質環境長期安定性評価技術高度化開 発)」の一環として行うものである。

#### 1.3 実施期間

平成 31 年 4 月 23 日~令和 2 年 1 月 31 日
#### 2. 研究内容

### 2.1 はじめに

断層破砕帯内物質を用いた断層の活動性評価や、地震・断層活動による破砕等の力学的影響の 把握のためには、断層破砕帯内に発達する微細組織の性状や形成過程に関する情報に基づき検討 することが非常に需要である。このような破砕帯の内部構造に関しては、過去にも多数の事例研 究があり(例えば、Chester et al., 1993; Niwa et al., 2009)、地層処分のサイト選定や安全評 価において重要な水理地質特性の観点から取りまとめられた研究も知られているが(例えば、 Caine et al., 1996; Bense et al., 2013)、破砕帯の内部構造は周辺母岩や断層の発達史によって 多様な性状を呈するため、さらなる事例の蓄積が進められることが望ましい。そこで本共同研究 では、相対的に研究事例の非常に少ない付加体中の断層の内部構造と透水異方性・物質移動特性 に関する検討、および、火山岩中の破砕組織に関する検討を実施した。

#### 2.2 付加体中の断層の内部構造と透水異方性・物質移動特性に関する検討

#### 2.2.1 目的

プレートの沈み込み境界で形成される付加体は、日本列島の地質の基盤の70%以上を構成して いると考えられている(狩野・村田, 1998)ことから、高レベル放射性廃棄物の地層処分のサイ ト選定において無視できない岩種と考えられる。付加体中にはプレートの沈み込みに伴って形成 された亀裂や断層等の不連続構造が多数存在するため、仮に付加体中に放射性廃棄物が埋設され 岩盤中に放射性物質が漏洩した場合、放射性物質は地下水とともに不連続構造中を移行すること が懸念される。このため、付加体中の不連続構造が有する物質移行上の特徴を理解することが重 要である。しかしながら、付加体において透水性や物質移行の観点からの検討事例は極めて少な い。そこで本共同研究では、付加体中の断層等の不連続構造を対象として、透水異方性・物質移 動特性に係る特徴を明らかにすることを目的とする。既に、関東地方の新第三紀および先新第三 紀付加体中に観察される亀裂や断層等の不連続構造を含む試料を対象に、地質学的な観察や室内 透水試験等により、不連続構造における物質移行特性について検討されている(竹内ほか, 2019)。 これらの結果に加え、本共同研究では、特に不連続構造における透水異方性や不連続構造におけ る元素の分布状況、さらには不連続構造が地下水や物質移行に与える影響等に関して検討した。

試料は新第三紀付加体が分布する三浦層群三崎層および先新第三紀付加体である秩父帯から採 取した岩石を使用した。三崎層には、普遍的に発達する"面なし断層"(井尻ほか,1955)を含む 試料を、秩父帯では付加体を特徴づけるメランジュ中の基質部の泥岩をそれぞれ採取し、室内透 水試験、光学顕微鏡観察、走査型電子顕微鏡(SEM)観察、走査型X線分析顕微鏡(SXAM)に よる分析等を実施した。

### 2.2.2 新第三紀付加体における検討

試料を採取した神奈川県三浦半島南端に露出する三浦層群三崎層中には、面なし断層が三次元 的な網目状に普遍的に発達する(図 2.2.2-1)。この地域に分布する新第三紀堆積岩類は山本ほか (2017)によれば、付加体浅部で形成された堆積物とされている。この"面なし断層"は断層面 が癒着して剥がれにくい性質を有していることから、堆積物が未固結な環境下で形成されたもの と考えられ、プレートの沈み込みに伴う浅部での変形構造であることを示唆し、山本ほか(2017) の考え方を支持する。試料の岩石片観察・薄片観察の結果、"面なし断層"の断層部は母岩に比べ、 鉱物や岩片が細粒化していることが観察された(図 2.2.2-2)。さらに母岩と"面なし断層"部の SEM画像を300倍の拡大率で撮影し、これを二値化し空隙部分の面積を測定することで空隙率を

### 【付録6】

求めた(村上ほか,2008;図 2.2.2-3)。これを試料の複数個所で測定した結果、断層部の空隙率 の平均値は約1.2%、母岩部のそれは約2.7%となり、断層部が低い値を示した(図 2.2.2-4)。また、 SXAMによる分析では、"面なし断層"部と母岩では元素分布に相違がなく、熱水等による鉱物の 変質は確認されなかった(図 2.2.2-5)。このことは"面なし断層"が比較的浅部で形成されたこ とを示唆するものと考えられる。さらに、"面なし断層"に直交する方向(断層を含む方向)とこ れを含まない断層に平行する方向とで試料を整形し(図 2.2.2-6)、室内透水試験(変水位透水試 験)を実施した(図 2.2.2-7)。変水位透水試験では次式を用いて透水係数(k)を算出した。

$$k = \frac{aL}{A(t_1 - t_2)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$
(1)

ここで、aはピエゾ管の断面積、Lは試料の長さ、Aは試料の断面積、t₁は初期時間、t₂は一定時間 経過後の時間、h₁は時間t₁での水位、h₂は時間t₂での水位である。これらの値は、図 2.2.2-8に示 す水位の時間変化曲線から見いだされる直線部分を用いて算出される。その結果、"面なし断層" を含む試料では6.1E-9 (m/s)、含まない試料では2.0E-8 (m/s)の値が得られた(図 2.2.2-8)。この 結果は、"面なし断層"は地下水流動に対するバリアになっており、透水異方性の原因となってい ると考えられる。

以上のことから、"面なし断層"を含む岩石の透水異方性は、母岩の破砕に伴う断層部の細粒化 が関与していると考えられる。



図 2.2.2-1 新第三紀三浦層群三崎層中に発達する面なし断層



図 2.2.2-2 新第三紀堆積岩の"面なし断層"の岩石片および薄片写真



図 2.2.2-3 "面なし断層"と母岩の SEM 画像と二値化画像



図 2.2.2-4 SEM 画像からの空隙率測定結果(300 倍)

### 【付録6】



図 2.2.2-5 SXAM 分析の結果(新第三紀堆積岩)



図 2.2.2-6 室内透水試験における試料整形 (新第三紀堆積岩)





図 2.2.2-7 室内透水試験(変水位透水試験)の様子と透水係数の算出方法



# 2.2.3 先新第三紀付加体における検討

試料を採取した先新第三紀秩父帯中の付加体には、泥岩中に発達する鱗状へき開、泥岩基質中 に存在する砂岩やチャートのブロックからなるblock-in-matrix組織、砂岩泥岩互層ブロックの非 対称変形組織等、付加体中のメランジュを特徴づける組織が観察される(図 2.2.3-1)。また、泥 岩試料の岩石片やその薄片観察の結果、泥岩中に発達する鱗片状のへき開面は曲面を有し、途中 で分岐する形態で特徴づけられる。さらにこれらを切る、後生構造としての石英脈も観察される (図 2.2.3・2)。室内透水試験(変水位透水試験)ではこのへき開面に直交する方向と平行な方向 に試料を整形した(図 2.2.3・3)。透水係数を算出した結果、へき開面に平行な方向では4.2E・8 (m/s)、直交方向では2.5E-8 (m/s)の値を示した(図 2.2.3・4)。この透水異方性はわずかな差であ り、理由として鱗片状へき開のへき開面が湾曲していることや、地表部での風化により、深部の 新鮮な試料と比較して開口していること等が考えられる。このことから、先新第三紀付加体中に 発達する泥岩基質中の鱗片上へき開面は、その湾曲した形態により地下水流動や物質の選択的な 移行経路となっていることを示唆する。一方でこのへき開面を後から切る石英脈は地下水や物質 移行の経路とはなりにくいと推定される。さらに、SXAM分析の結果、へき開沿いに鉄(Fe)の 充填のみが明瞭に確認された(図 2.2.3・5)。このFeの母岩側への濃度(分析結果はカウント数) 分布を数値化したところ、Feの母岩側への顕著な拡散は確認されなかった(図 2.2.3・6)。このFe は地表付近の酸化した地下水中のFe成分の酸化によるものと考えられ、比較的新しい時期に形成 されたものである可能性もあることから、今後はより古い時期の元素の移動現象が確認できる試 料について検討することが課題である。



図 2.2.3-1 先新第三紀(秩父帯)堆積岩中のメランジュの露頭



図 2.2.3-2 秩父帯中の泥岩中の鱗状へき開とこれらを切る石英脈



図 2.2.3-3 室内透水試験における試料整形(先新第三紀堆積岩)

【付録6】



図 2.2.3-4 室内透水試験結果 (先新第三紀堆積岩)



図 2.2.3-5 SXAM 分析の結果(先新第三紀堆積岩)

【付録6】



図 2.2.3-6 SXAM によるへき開を横断する方向の Fe の分布状況

### 2.2.4 まとめ

新第三系付加体に発達する"面なし断層"および先新第三系付加体に発達する鱗片状へき開等 の不連続構造を対象とした地質試料の観察、および室内透水試験等から得られた知見に基づき、 これらの断層やへき開等の不連続構造における物質移行上の特性が概略的に明らかとなってきた。 すなわち、調査領域の新第三紀付加体中に三次元的にかつ普遍的に発達する"面なし断層"を含 む試料は透水異方性を示し、"面なし断層"で囲まれた領域の内部から外側への物質の移行が抑制 され、物質移行上の遅延効果が期待される。また、先新第三紀付加体中のメランジュを特徴づけ る鱗片状へき開は、物質移行上の選択的な経路となり得るものの、鉱物充填されたものは移行経 路としては閉塞されるものと考えられる。

以上の結果を踏まえて、新旧付加体中の不連続構造における物質移行上の特性を示す概念モデ ルを構築した(図 2.2.4-1)。新第三紀付加体では、比較的浅部で形成された"面なし断層"が三 次元的に網目状に発達し、地下水や物質の移行は"面なし断層"の内部で抑制されることが期待 される、また先新第三紀付加体では、網目状に発達した鱗片状へき開面が一般的には選択的な経 路となりえるものと考えられる。

今回の試料は地表付近の風化した試料であり実際の地下の状態とは異なる条件下にあることか ら、今後は新鮮な試料を用いることにより、より現実的な付加体中の物質移行モデルに改良して いくことが課題である。



### 図 2.2.4-1 物質移行モデル(左:新第三紀堆積岩、右:先新第三紀堆積岩)

### 2.3 火山岩中の破砕組織に関する検討

#### 2.3.1 目的

火山岩のうち流紋岩溶岩は、黒曜石部、軽石部、結晶質部等から構成され、それらには、しばしば脈状組織や破砕組織、またそれらが治癒・固着したような組織が観察される(例えば、Furukawa et al., 2019)。しかしながら、それらがいつ、どのように形成されるのかについては、多くの謎が残されている。流紋岩溶岩流出は極めて稀であることから、その流動様式を含め、破砕等の組織の研究には、過去に噴出した溶岩の断面の観察・各種分析が必要である。また、それらの組織の成因や形成環境・形成条件を明らかにすることで、破砕帯中の流体の移行特性や、流体と周辺岩石との反応に関する有益な情報が得られることが期待される。そこで本研究では、顕著な破砕状組織を示すことで知られる北海道北東部に産する約220万年前に噴出した白滝黒曜石流紋岩溶岩について、走査型X線分析顕微鏡(SXAM)により面的な化学組成分布を測定し、その破砕の伸展様式について検討を行った。測定には、以下の2種類の特徴をもつ試料を供した。試料1:ガラス質な黒曜石であり、赤色酸化した基質部が特徴的な角礫状組織が認められる。試料2:pebble サイズの球顆構造が認められ、全体に細粒な結晶質であり、一部に角礫状の組織が弱く認められる。

### 2.3.2 結果と考察

試料1は、Feを除くすべての元素について、試料に特徴的な赤色酸化した基質部の分布とは 無関係な元素分布となった(図 2.3.2-1)。これは、角礫化の際、メルトやフルイドの移動を伴 わず、水素の脱ガスにより酸化した基質部が形成されたことを示唆する。Fe は角礫部の一部で 点々とした分布を示し、酸化時に細粒な磁鉄鉱や赤鉄鉱が晶出した可能性を示す。角礫状組織の

【 付録 6 】

基質部と角礫部は、現在、完全に癒着していることから、角礫化後も、高温であったためそれら が癒着したと考えられる。

試料2については、特にKとFeについて特徴的な元素分布が認められた(図 2.3.2-2)。K は肉眼的に認められる球顆構造と調和的な分布を示していることから、過冷却状態となった際に 長石類が結晶成長し、球顆構造を形成したことを示唆する。Feは、Kと異なり球顆構造とは非 調和で、肉眼的に弱く認められる角礫状組織の縁辺部に点々と集中している。これは、角礫化時 に磁鉄鉱または赤鉄鉱が晶出したことを示唆し、冷却までに試料1に比べ時間的な余裕があっ た可能性を示す。また、球顆構造はFeの分布と全く無関係に成長していることから、破砕後に 過冷却状態となった溶岩から球顆構造が上書きするように成長したことが示唆される。

以上のように、今回の測定結果は、流紋岩溶岩の破砕が、その組織の発達に重要な役割を示していることを示唆している。今後の更なる検討により、流紋岩溶岩の流動や破砕の伸展の様子が 明らかになることが期待される。



図 2.3.2-1 SXAM による試料 1 の面分析結果 a) Fe、b) Si、c) 分析に用いた試料。赤枠は分析部分を示す。



図 2.3.2-2 SXAM による試料 2 の面分析結果 a) Fe、b) K、c) 分析に用いた試料。赤枠は分析部分を示す。

### 3. まとめ

本共同研究では、破砕帯内物質の内部構造に関し、相対的に研究事例の非常に少ない付加体中 の断層の内部構造、および、流紋岩中の破砕組織に関する検討を行った。付加体における検討で は、新第三紀および先新第三紀のそれぞれについて、特徴的な不連続構造を考慮した物質移行モ デルを提示することができた。流紋岩における検討では、元素マッピングに基づき、破砕組織の 成因について考察を進めることができた。これらの結果や考察は、断層の活動性や、地震・断層 活動による破砕等の力学的影響について、破砕体内物質を用いて検討するうえでも有用な知見と なることが期待される。

### 引用文献

- Bense, V.F., Gleeson, T., Loveless, S.E., Bour, O., Scibek, J., Fault zone hydrogeology, Earth-Science Reviews, vol.127, pp.171-192, 2013.
- Caine, J.S., Evans, J.P., Forster, C.B., Fault zone architecture and permeability structure, Geology, vol.24, pp.1025-1028, 1996.
- Chester, F.M., Evans, J.P., Biegel, R.L., Internal structure and weakening mechanisms of the San Andreas Fault, Journal of Geophysical Research, vol.98, pp.771-786, 1993.
- Furukawa, K., Uno, K., Kanamaru, T., Nakai, K., Structural variation and the development of thick rhyolite lava: A case study of the Sanukayama rhyolite lava on Kozushima Island, Japan, Journal of Volcanology and Geothermal Research, vol.369, pp.1-20, 2019.

井尻正二,藤田至則,陶山国男,面なし断層,地球科学,vol.24, pp.12-19, 1955.

狩野謙一,村田明宏,構造地質学,朝倉書店,300p,1998.

- 村上英明, 濱田秀則, 佐川康貴, 川端雄一郎, 画像解析による再生モルタルの空隙量評価手法に 関する検討, 土木学会第63回年次学術講演会講演要旨, pp.775-776, 2008.
- Niwa, M., Mizuochi, Y., Tanase, A., Reconstructing the evolution of fault zone architecture: A field-based study of the core region of the Atera Fault, Central Japan, Island Arc, vol.18, pp.577-598, 2009.
- 竹内真司, 倉田 力, 丹羽正和, 植木忠正, 物質移行の観点から見た付加体中の不連続構造の特徴, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会講演要旨, H-CG31, 2019.
- 山本由弦,千代延俊,神谷奈々,濱田洋平,斎藤実篤,付加型沈み込み帯浅部の地質構造: 房総半 島南部付加体 - 被覆層システム,地質学雑誌, vol.123, pp.41-55, 2017.

# 地質環境長期安定性評価技術高度化開発委員会の 開催実績

- A. 第1回委員会開催実績
- B. 第2回委員会開催実績

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 一般財団法人電力中央研究所

A. 第1回委員会開催実績

日	時	令和元年6月19日(水) 13時30分~17時30分
場	所	電力中央研究所大手町本部 711 会議室
審	議事項	平成 30 年度の成果と平成 31 年度の実施内容について報告し、その適切 性の観点から検討を行っていただく。
主なコメ	全体	地球物理学的な解析が重要であるという印象をもった。より高分解能・ 高解像度での解析ができるとよい。また、年代測定も重要な柱であると 感じた。年代測定技術が JAEA 東濃でまとまった形で開発・整備されて いるのは心強い。今後もその体制が維持されていくことを希望する。
		地球物理学的手法は、観測網があれば広い範囲を見られるという点で強 力である。化学分析・年代分析等は、いろいろな場所や時間スケールに応 じた手法の適用性を整理したうえで、汎用性・網羅性についても検討し、 どんな対象に対しても分析ができるように手法の開発や拡充が行われる ことを期待したい。
		現時点では「特徴的な」現象が生じた事例を対象とした検討が多いが、そ のような現象が生じなかった事例との対比が今後必要になっていくので はないかと感じた。
		広範囲に亘る分野・テーマについて、今後は的をしぼって研究がなされ ていく必要があると思われる。成果について上手に取りまとめてほしい。
ĥ	火山・火成活動 に関する調査・ 評価技術	火山の活動範囲とマグマ(部分溶融域)の水平移動はオーバーラップし ているようにみえる。マグマの水平移動のスケールも合わせると火山活 動の範囲が規定できるのではないか。
		マグマの活動範囲に関する概念モデルの妥当性を検証するために、岩石 学的なフォローが必要。
		「マントル内の流体分布・移動に関する検討」と「マグマの活動範囲に関 する検討」の二つの課題はいずれ連携していくものと思料する。したが って、地震波トモグラフィの空間分解能と精度をどこまで確保できるか が重要であろう。
	深部流体に関 する調査・評価 技術	S 波スプリッティング解析は、必ずしも既存の断層等の構造が見えるわけではなく、むしろ現在の応力場に支配されたマイクロクラックの方が 強調されて見えることも多いため、解釈する際に注意が必要である。

主な	深部流体に関 する調査・評価 技術	流体の移動は断層や亀裂を通るため「面」と考えがちであるが、実際は必ずしも亀裂全面の「面」ではなく亀裂一部の「パイプ状」の場合もあり得る。
		熊野酸性岩地域には南傾斜の貫入構造等も見られるため、スラブ起源水 が熊野酸性岩に沿って上昇していると考えると、解析結果をうまく解釈 できるかもしれない。
	地震・断層活動 に関する調査・ 評価技術	GNSS 観測で捉えられた地殻変動(ひずみの蓄積)は、南海トラフの地 震によってリセットされる可能性もある。地殻変動とリニアメントでは タイムスケールが異なるはずなので、それらを一緒にして考えるのは避 けるべきである。また、GNSS 観測により捉えられた地殻変動について、 二次元解析だけでなく、三次元解析もできるとよい。
		機械学習によって活断層と非活断層が正確に分類されるというのは大変 興味深いが、結果に対する科学的根拠に基づく意味付けをきちんと検討 する必要がある。また、今回の機械学習は57箇所に共通する元素を対象 として実施しているが、今回除外された元素も判別に対して効果を発揮 する可能性もある。
ニメント		石英水和層の計測は、段丘の年代推定に適用できる可能性もあるかもし れない。
(続き)		地震に伴って水理学的影響が生じたことが分かっている場所を検討対象 としているが、逆に水理学的影響が生じなかった場所についても検討を 実施し、違いの要因について議論するというのはいかがか。
	隆起・侵食に関 する調査・評価 技術	OSL 法を東濃コアに適用し成果が得られているようであるが TCN 法を 東濃の花崗岩が露出している地域に適用することは可能であろうか。東 濃地域は地史がやや複雑であり、シンプルな説明は難しいかもしれない が。ただし、いろいろな手法を包括的に適用できればより良いのではな いか。
		FT 年代測定について、1 億年の年代のものは隆起侵食速度が遅いという 結果が示されているが、これはいろいろなプロセスが重なった結果を見 ている可能性がある。
		解析結果を見ると 20 万年前を境に隆起速度が大きく変化しているよう に見える。将来予測がどこまで可能か検討が必要。
		離水地形のマルチ年代測定について、環流旧河谷の解析について、多少 比高が低くても、平坦面が広く残っている地点を選ぶ方がよいのではな いか。

主なコメント(続き)	隆起・侵食に関 する調査・評価 技術(続き)	段丘礫の風化に関する文献上の記載は、詳細な観察ではなく大まかな印 象として述べられているものが多いと思われるため、可能であれば現地 に出向いて確認するのがよい。
		機械的に文献を収集していくと、段丘対比が間違っているものを含めて しまう危険性があるので注意が必要。
		酸を用いて礫試料を溶解させるのは天然の風化を模擬できているのであ ろうか。むしろ鉄鉱物を生成する実験のほうがよいのではないか。

B. 第2回委員会開催実績

E	時	令和2年3月6日(金)~3月11日(水)(書面による審議)
審	議 事 項	平成 31 年度の実施内容・成果について報告し、その適切性の観点から検討を行っていただく。
主なコメント	全体	各分野により差はあるものの、それぞれの項目につき平成 31 年度に は大きな進展があったことを確認した。
		地層処分の長期安定性に関して、マグマや深部流体、地震、削剥の影響が様々な角度から検討されており、平成 31 年度においてもそれらの影響を査定するための技術の高度化が果たされている。
		4つの研究開発項目の進展において極端に遅れを感じるものはなく、各 項目で新たに見いだされた課題も妥当であり、その解決策もある程度示 されているため、今後の発展がさらに期待できる。
		平成 31 年度における本事業は4つの研究開発項目がそれぞれ順調に進展したと言える。4つの項目はそれぞれの目的のために高い技術力を培っているが、おそらく担当者の所属や専門分野の枠によって項目同士の交流が区切られているように感じられる部分があるものの、今後もこれまで通りの手法や方針に添って事業を進めても問題ないと考えられる。
	火山・火成活 動に関する調 査・評価技術	青野山単成火山群は比抵抗が低い部分が地表に向かって細く伸びた部分 に密集している、その南にもいくつかの単成火山が認められる。この部 分の地下 20km までは他の地域より比抵抗が高く、ほとんど部分溶融が 起こっていないのではないかと推定される。このような分布があること から、単純に、単成火山群下は「現在の」低比抵抗体の上部に「今後(数 万年間)も」形成されるとは言えないのではないではないか。個々の単成 火山の形成年代と今回の成果との関係の検討や、他の断面を切った検討 も必要ではないか。
		マントルウェッジにおける三次元地震波速度構造の推定における現状の 解析結果において有意な特徴がみられないのは、背弧域ではS波速度で 火山分布の特徴を捉えることができないことを示しているという可能性 はないか?「当初の研究目的を達成するのは難しいということがわかっ た」というのも重要な研究成果であると考えるので、予想された有効で あるという成果に固執することもないと思われる。もちろんデータや解 析方法を改善することにより、予想されたような成果が得られることは 期待する。

主なコメント(続き)	<ul> <li>火山・火成活動</li> <li>に関する調査・</li> <li>評価技術(続き)</li> </ul>	地震波トモグラフィの分解能が査定され、マントルウェッジにおける流 体の存在に係る議論の確かさが格段に向上したと感じる。様々な地域お よび角度の地震波トモグラフィ断面図から、マントルウェッジにおける 流体分布に関する議論が進展することを願う。
		本事業で実施された検測値データの追加により、地殻から上部マント ルにかけての空間分解能の向上が確認され、本事業において目的とす るマントルウェッジにおける流体分布の把握について既存の研究よ り精度の良い結果が得られる可能性が示されたことは評価できる。そ の一方、P波およびS波の初動データのみを用いた精度向上には限界 があることも指摘されており、今後は後続波の検測値データを積極的 に利用し、さらなる空間分解能の向上を期待する。 また、トモグラフィの実施にあたっては各種パラメータの設定値によ る結果の変化についても十分に考慮し、適切な三次元地震波速度構造 を得ることに努めてほしい。
		MT法による青野山近辺の比抵抗構造も大変明瞭で、注目する地域直下 のマグマ活動やその変遷についての議論が可能になったことがわかる。 欲を言えば。比抵抗構造から推定される近過去における火山中心の移動 ベクトルが、この地域周辺の第四紀火山の活動年代から推測される火山 中心の移動ベクトルと整合的と言えるのか検証していただきたい。整合 性が言えるならば、今後、火成活動が発現する地域を比抵抗構造から推 定できるかもしれない。また。マグマ活動の範囲に関しても現在の火山 中心から半径 15 km のままで良いのか議論できるようになるかもしれな い。
		青野山単成火山群においても平成 30 年度に整理した成層火山やカルデ ラと同等にモホ面付近の数十 km の空間スケールの部分溶融域と地殻内 へ延びる流体通路のイメージが得られたことは興味深く、有用な指標と なりうることが期待できる。地殻浅所の岩脈マグマの長距離移動の実態 解明とともに、さらに事例を整理し、モホ面付近の数十 km の空間スケ ールの部分溶融域に対して地表の第四紀火山の空間分布がどの程度の拡 がりを持ちうるのか確率的に表すことができると良いと思われる。

主なコメント(続き)	深部流体に関する調査・評価技術	深部流体判別フローの試行について、平成31年度には混合評価フローの 構築を終了することとなっているが、そのあとでストロンチウム同位体 比、放射性ヨウ素、Li、B安定同位体比などを指標とする可能性が示され ており、今回示された試案は、今後大きく改定される可能性を感じる。研 究計画を着実に実施するためには混合評価フローを早急に確定する必要 があるのではないか。
		深部流体について、フローの形でまとまっているのは利便性が高くいい と思う。Heの同位体については軽い元素であるため動きやすい点が議論 されているため、He同位体が低い場合の分類についても、さらに測定結 果に基づき選択肢を広げていけるのではないか。現在指標を増やしてい るところだと思うので、その成果が今後反映されることを期待する。
		マントル由来の判定には ³ He/ ⁴ He が最も有効だと思われるが、スラブ由 来流体の同定においては窒素同位体比(δ ¹⁵ N)も有用かもしれない。窒 素は地表物質による影響を受けやすいが化学的不活性元素であるため、 ヘリウムと同様にマントルウェッジを通過する際に通り道の鉱物から影 響を受けにくい特徴を持つ。
		S 波スプリッティング解析によるクラック方位の推定は興味深い。この 解析から得られたクラック分布の確度評価のため、温泉水の分布や化学 的特徴との整合性検証が有用ではなかろうか。
		速いS波の方向(φ)が広域応力場の最大水平圧縮応力軸の方向と異な る観測点においては、これらの観測点下の地殻において、応力場に支配 されたクラックが卓越していないことを意味しており、本宮観測点との 対応関係から深部流体の上昇と関連する可能性があるとの解釈は大変興 味深いものである。しかしながら、解析結果についてはばらつきが大き く、その信頼性については十分とは現時点の解析結果からは言えない。 今後、質の良いデータの解析をさらに進め、S波スプリッティングの空間 分布について信頼性のある結果が得られれば、S波スプリッティングの 結果の解釈の信頼性も高くなることが期待でき、深部流体の上昇につい て議論することが可能となるかもしれないため、引き続き研究を進めて ほしい。また、S波スプリッティングの結果を3次元地震波速度構造等の 他の地球物理学的結果と比較することにより、S波スプリッティングの 結果が何を反映しているのかより明確になることが期待される。

土なコメント (続き)	地震・断層活動に関する調査・評価技術	活断層地形が不明瞭な剪断帯における活構造の調査について、調査対象 は地下深部で剪断が生じているが浅部では固着しており断層が分布しな い地域であるが、この地域では浅部では弾性的に振る舞い、隣接する地 域の断層活動などで歪みが解放され、この地域では歪みが蓄積しない可 能性もあるのではないかと思われる。あるいは剪断が最近始まり、地表 の構造がまだ形成され始めたばかりで長い断層が成熟していない状態 で、今後歪みが蓄積すると既存割れ目を繋ぐような明瞭な断層が形成さ れてくる、という状況なのかもしれない。歪みが大きい地域と活断層が 密に分布する地域は必ずしも一致せず、いわゆる新潟・神戸歪み集中帯で も活断層が特にそこに集中しているわけではないようである。全国の測 地的歪みの大きい地域と活断層の分布との関係を検討するのが良いので はないだろうか。また、ここで見られる剪断歪みが近隣の構造が動くこ とにより解消可能かということも検討した方が良いかもしれない。
		活構造の検出には往々にして恣意的な判定が指摘されており、断層調査 等の信頼性向上のため、より客観的な手法や指標の導入が望まれている。 その点において DEM を用いたリニアメントの自動抽出は大変画期的な 試みだと思われる。平成 31 年度の段階では華々しい成果が得られたとは 言えないようであるが、活構造抽出にどこまで迫れるか検討の継続を切 に願いたい。
		活断層地形が不明瞭な地域でも地下の活断層が地表地形・地表構造に表 れており、それを明示できる手法が示されたと思う。
		IRSL についての長石の trap depth について、文献を調べてみることを お勧めする。また対象の試料についての trap depth の分布などを調査す る基礎的な実験を充実されることも視野に入れ、研究をさらに進めると いいと思う。
		地球化学のデータは誤差やノイズが大きいために普通は明瞭に判別できることはないが、機械学習ではきれいに判別できている。今後は、それぞれの元素の断層中の移動特性や環境応答特性と、示された判別への寄与度( $Rb > Al_2O_3 > P_2O_5 > TiO_2$ )がどのように関係するのかに関する物理・化学的な議論を展開すべき。
	1	活断層-非活断層を見極める地球化学的経験則は興味深い。S 波スプリ ッティング解析で推定されたクラックの活動度について地球化学的に制 約できるのであれば、処分地選定において危険度の評価がより確かにな ると思われる。経験則に理論が付加されることも願いたい。

主なコメント(続き)	地震・断層活動 に関する調査・ 評価技術(続 き)	機械学習の成果は面白くポテンシャルがある手法だと思うので、できた ら深部流体で提案されたように、いくつかの機械学習セットを組み合わ せたフローを考えて、断層の形態や規模などに応じた分類ができるよう になるといいと思う。そのためにはさらに多くの研究された断層のデー タが必要だと思うので、研究を進めていただきたい。
		機械学習に基づいた断層ガウジの活断層・非活断層の判別について、津 波ならば津波か通常の堆積物かのどちらかにキッチリ分かれると思う が、断層の場合、変位速度や活動間隔によって活断層と非活断層との中 間的な性質のガウジが存在する可能性はないか。もし中間的な性質のも のがあるとすれば、活動度の高低をガウジの性質から判別できる可能性 はないか。
		断層の活動性評価手法の開発について、多くのテーマが基礎的実験段階 にある。様々な年代測定手法は、計画通りに「有望手法の絞り込み」まで 持っていけるのかどうかが不透明であり、場合によっては、研究計画の 小修正も必要ではないか。
		石英水和層の厚さに基づく断層年代推定手法について、石英の破断が断 層イベントごとに複数回発生し、それに対応した破断面があると思うが、 それぞれの厚さの違いから複数のイベント年代を推定できる可能性があ るのではないか。
		地震・断層活動による水理学的影響について、松代地震震源域は明瞭な 断層を生じない群発地震発生域というかなり特殊な場所と思う。そもそ もの地震発生に流体が大きく関与していると思われる。その他の一般的 な地震断層でも同様の傾向があるか、あるとしたらどの程度かというこ とも検討する必要がある。
		MT 法電磁探査により推定した松代群発地震の活動域における二次元比 抵抗構造に示される地震の震源分布について、より高精度の震源決定結 果を用いて二次元比抵抗構造と比較すると、さらなる知見が得られる可 能性がある。

主なコメント(続き)	地震・断層活動 に関する調査・ 評価技術(続 き)	S 波スプリッティング結果については、湧水域南部に位置する観測点に おいて速い S 波の方向が広域的な最大水平圧縮応力軸の方向と一致せ ず、松代地震断層との関連が考えられる北東一南西方向に卓越すること は、この観測点下において、流体移動に関連したクラックの存在が示唆 され、現在流体が存在する領域の検出に S 波スプリッティング、二次元 比抵抗構造、三次元地波速度構造を組み合わせることは有効であること を示している。S 波の入射方位の範囲が広いデータセットを構築できれ ば、ドライなクラックか流体に飽和したクラックかについて議論できる 可能性はあるか、現状では難しいかもしれない。また、松代地震前の状況 については分からないため、S 波スプリッティングで示された結果は地 震後に生じた現象である可能性もある。本解析結果で得られる知見をど の程度の時空間スケールで適用できるかについては今後の研究結果を踏 まえて議論する必要があるだろう。
	隆起・侵食に関する調査・評価技術	隆起・侵食に関して、技術・手法の開発が本事業の主たる目的であるの で、それぞれの技術にあったレファレンスサイトがあるのは当然だと思 われる。その一方で、複数の手法の適用が可能なサイトにおいて多手法 の組み合わせ事例を増やす検討も必要である。そのような研究を拡充す ることによって、将来的には、地形や地質の特徴に応じて、どういった手 法を組み合わせれば、どのようなタイムスケールでの隆起・沈降もしく は削剥が明らかにできるかをフロー図等で整理して提示していただきた い。また、本事業で進められている分析・手法が、隆起・侵食・沈降マッ プの拡充に活かされることを期待している。これまでの成果を活かした さらなる研究開発の推進を期待する。
		熱年代学的手法や宇宙線生成核種を用いた年代測定法による特殊地形の 侵食速度の精密化や調査地域の拡大は重要であるが、隆起・侵食データ マップの網羅的構築が、近い将来に訪れる処分地選定に間に合うように は思えない。侵食に関して時空的精度が異なる複数の推定方法を使い分 け、処分地の最終地点を段階的に絞り込むための指標として機能させる ようにするのはどうだろうか。
		マルチ年代測定法の技術力向上も大変高く評価できる。IRSL 法における フェーディング評価は決定年代の確度評価に対して極めて重要であるた め、引き続き継続していただきたい。
		浅海底(大陸棚)で生じる隆起・侵食の評価手法について、クリノフォー ムの地層が累重しているのならば沈降、侵食されているのならば隆起、 という判断基準は概ねよいと思う。隆起の場合、クリノフォームが侵食 されるとあるが、ごく一部になると思うが削り残しで段丘地形となって いる箇所がある可能性はないか。詳細な海底地形図がないと難しいとは 思うが、検討の余地はあるのはないか。

主なコメント(続き)	隆起 ・ 侵 食 に 関 す る 調 査 ・ 評 価 技術 (続き)	ボーリングコアの基質の色彩測定結果がまとめられているが、このうち TKM-1 コアは地表直下の浅い部分で、a*値と b*値にほとんど差がない 結果になっている。一般に、風化に伴う褐色化では b*>a*となるはず。 a*が顕著に高い場合、熱水変質や高温酸化など風化以外の影響を考慮す る必要があると思われる。また、a*値と b*値にほとんど差がない部分に ついて、どのような風化によってそれらの変色が生じたか検討すべき。
		環流旧河谷の離水年代の推定について、今年度調査で本流の河川堆積物 と思われるものの年代が推定できたことは大きな前進で貴重な成果であ ると思う。しかし、この事業では、かなり侵食が進みその上に崖錐の堆積 が進んでいる環流旧河谷を対象に調査されている様に思われる。元々の 環流する旧河床の地形がきれいに残っている場や環流旧河谷以外にも断 片的な段丘が多く発達する場での事例研究が望まれる。
		隆起・沈降境界域における地殻変動の一様性の評価について、MIS7や9 でなく MIS11の地層が明瞭で対比しやすい、という知見が得られたこと は重要である。その他の地域でも同様な結果が得られれば、MIS11の地 層が広域的に対比できる層準として使えるということになる。海成段丘 でも MIS11 が比較的よく残っている可能性もあるのではないか。
		マルチタイムスケール侵食速度データベースについて、ダム堆砂と各種 熱年代による侵食速度の値が概ね一致するという成果は、侵食速度の一 様性とともに侵食速度推定の各手法の信頼性が高いということを示して いるため、非常に重要な成果である。
		過去数十年と過去数百年~1万年の比較から、丘陵~低地の侵食速度に 違いはないということはこれまで行われてきた地層処分の基本的な方法 に大きな影響は与えないことが明らかにできたと思われる。そうである のであれば、本項目についての研究目的は達成されたことになり、今後3 年間の研究の主たるターゲットを再考する必要があるのではないか。
		10万年間のうちに沈降から隆起に転じた場の中には、断層の活動域の移動といった現象が関与している場もあると考えられる。隆起・沈降の一様継続性に関しては、断層の活動域の変遷という観点でも整理した方が良い。

	隆起・侵食に評価技術(続き)	礫の風化実験と既存の段丘調査資料をデータベース化して集めた礫の風 化度の記載をどう結びつけるかという戦略がみえてこない。例えば、最 終的な目標が礫の風化度を用いた編年指標の整備であれば強酸を用いた 数十日の実験結果を自然界の速度論に展開する必要があると思うが、そ の方法論に問題はないか。同様に、方法論的な問題点として段丘調査デ ータベースについて、年代論を再解釈することなく情報を利用する分に はよいと思うが、研究の出発点はそこに問題があるとした点にあるので、 その問題を解決すべきではないか。今後3年間の研究計画は「野外調査」 と「室内実験の継続」となっているが、データベース化した約3800ヶ所 の野外調査や室内実験の結果を年代指標として利用可能かといった見通 しを立てる時期にきているのではないか。
主なコメント(		段丘対比・編年の論点提示と高度化について、テフラに過度に依存する のではなく、段丘堆積物の特徴や段丘面の形態や連続性などを総合的に 勘案して形成年代を推定すべきである、という論点については同意する。 しかし、当該分野の専門家は、段丘の形態や堆積物の特徴などの曖昧な 指標よりもテフラの年代の方が信用できる、という考えの方が未だに主 流であるように思われる。今回提示された考え方を広めるためには調査 事例を増やすしか方法はないと思うので、幡谷ほか(2005)のような事 例の異なる地域での検討を期待したい。 幡谷ほか(2005):宮城県川崎盆地における海洋酸素同位体ステージ6河 成段丘の認定とその意義.第四紀研究,44,155-167.
(続き)		風化模擬実験に使用した砂岩の基質を構成する鉱物種は?基質に方解石 を含む砂岩もあるようであるが、すべてではなさそうである。風化模擬 実験では、石英や長石が顕著に溶解しているわけではなさそうで、基質 鉱物の溶解が主だと想像する。基質鉱物を集めるなどして同定したうえ で、それらが溶解しているかどうかの観察を期待したい。
		HCI 溶解実験で崩壊した試料には葉理状の構造が観察できたと書かれて いるが、これは、砂岩の堆積時に形成されていた微細な堆積構造に沿っ て破断が生じたために初生的な堆積構造が観察されるようになったもの であるのか?あるいは、もともとの堆積構造とは無関係に、破断によっ て新たに生じた割れ目なのであるか?風化に伴う破断がどのような力学 的な弱面を利用して生じているのかを検討するうえで、興味深い結果で ある。
		今回の溶解実験では、Feは岩石から溶出して溶液側に移動しているよう であるが、天然の風化砂岩の場合、三価の鉄として岩石内に残留・濃集す ることが多いと思う。今回の溶解実験では、なぜ三価の鉄の岩石内での 濃集が生じないのか?また、酸を用いた溶解実験では水酸化鉄の岩石内 濃集が生じにくいのであれば、風化実験によって水酸化鉄を岩石内に濃 集させることができる実験方法を考えられるか?

主なコメント(続き)	隆起・侵食に関する。調査、調査、総合の合同では、	天然の風化礫の EPMA 分析では、元素の欠乏・濃集が観察できるもの と観察できないものとがあるとのこと。その理由について現段階で想定 しうる鉱物化学的現象や岩石物性の特徴があるか?西山・松倉(2002) によれば、Na も容易に溶出してしまうように想像できるが、今回の結 果では Na の溶出は明確ではない。また西山・松倉(2002)では、Na に富む長石が含まれている試料が多かったが、今回分析した砂岩試料で は Na 長石はほとんど含まれていなかったか? 西山賢一・松倉公憲(2002):風化による砂岩の岩石組織の変化:南九 州における四万十帯砂岩の例.地質学雑誌,108,410-413.
		四万十砂岩における皮膜形成比率や皮膜が形成されている試料の場合、 被膜のタイプの違いを生じる理由といった基礎的な事項についても、今 後可能であれば検討すべき。例えば、多段化した段丘が多数分布する同 一地域において、風化継続時間が増加するほど(=古い段丘ほど)皮膜 形成比率が増加していくという結果が得られれば興味深いと思う。
		西日本ではフィルトップ段丘の発達が弱く気候段丘モデルの適用性を判 断するのが難しいとの記述があるが、気候段丘が発達しないということ は、河床高度が気候変動にあまり影響を受けずに、隆起に応じて一様に 下刻してきた、とみなすこともできると思われる。そのような場合、単 純に段丘面の形成年代と高度から下刻速度≒隆起速度が算出可能であ る。
		西日本では段丘の発達が弱いとの記述があるが、これは隆起が弱いこと を示唆していると考えられるが、それ以外に気候変動の影響を受けにく いので河床の安定期・下刻期が存在せず、一様に下刻してきたことに起 因している可能性もあると思われる。西日本の場合、ごく断片的にでも 段丘地形が分布していれば、その年代と高度から隆起速度を算出できる 可能性はあるのではないか。

# サンゴ骨格試料を用いた JAEA-AMS-TONO による ヨウ素同位体比測定の妥当性評価

# 令和2年3月

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター 地層科学研究部 ネオテクトニクス研究グループ

1. 序論	
2. 研究手法・試料の選定	3
3. ¹²⁹ I/ ¹²⁷ I 比測定の精確さ評価の実験	5
4. ¹²⁹ I/ ¹²⁷ I比測定の精確さ評価の実験結果と考察	6
5.129I/127I 比と測定精度の関連性評価の実験	
6. ¹²⁹ I/ ¹²⁷ I 比と測定精度の関連性評価の実験結果と考察	9
7. まとめ	10
8. 引用文献	10

目 次

### 図目次

义	2-1 大気への人為的 ¹²⁹ I 放出の歴史	.4
义	2-2 アリゾナ大学の AMS で測定されたベトナム産サンゴ骨格年輪の 129 I/127 I 比	. 4
义	3-1 ¹²⁹ I/ ¹²⁷ I 比測定の精確さ評価の実験における前処理手順	. 5
义	4-1 ¹²⁹ I/ ¹²⁷ I比の前処理操作ブランク評価実験の結果	. 6
义	4-2 ¹²⁹ I/ ¹²⁷ I 比が既知のベトナム産サンゴ骨格年輪(1946-47年)試料の測定結果	. 7
义	6-1 西オーストラリア産サンゴ骨格年輪試料の ¹²⁹ I/ ¹²⁷ I 比の測定結果	. 9

ヨウ素(元素記号:I)は元素周期律表において、フッ素、塩素、臭素、アスタチンとともに第 17族に属し、これらの元素は一般にハロゲンと呼ばれる。ハロゲンは単体では非常に高い反応性 を持ち、ヨウ素、臭素の揮発性は特に高い。ヨウ素には 37 種の同位体が知られており、質量数 127 の 127 目のみが安定同位体であり、その他はいずれも放射性同位体である。放射性ヨウ素同位 体の中で、¹²⁹I は半減期が 1570 万年と非常に長く、その他の核種は半減期が 60 日未満である。 天然における¹²⁹Iの生成機構は(1)宇宙線と大気中のキセノンの反応と(2)ウランの自発核分裂 である。一方、人為的な ¹²⁹I の生成機構は(1) 核実験と(2) 核燃料再処理である(松崎, 2015)。 以上の事実から、129I/127I比が地質試料の年代測定や、過去の地球環境の復元や、核実験後の海 洋循環トレーサーとして利用できる可能性がある。加速器質量分析装置(Accelerator Mass Spectrometer:以下、AMSという)を用いた¹²⁹I/¹²⁷I比の分析は1980年代から始まっているが (例えば、Fehn et al., 1987)、現在に至っても分析用国際標準物質が未確定であることや、試 料の前処理方法が分析値に及ぼす影響が詳細に研究されていないこと、そして、地球環境におけ るヨウ素の存在形/動態に未解明な部分が多いことなどにより(天知,2008)、この分析技術の天 然試料への適用は非常に限定的である。ここでは、日本原子力研究開発機構・東濃地科学センタ ーの加速器質量分析装置(以下、JAEA-AMS-TONO という)において、129I/127I 比測定の精確 さ評価を実施するため、129I/127I比が既に報告されている天然試料を選定・測定し、既報値との 比較を行った。さらに、129I/127I比と測定精度の関連性を評価するため(一般に、129I/127I比が増 加すれば測定精度は良くなる)、核実験や核燃料再処理の影響で 129I/127I 比が数倍~数十倍以上 の規模で変動すると予想される天然試料についても測定を実施した。

#### 2. 研究手法・試料の選定

前節で述べたように、¹²⁹Iには天然での生成機構と人為的生成機構がある。1950年代半ば以降、 後者によって地球表層環境の¹²⁹I/¹²⁷I比が有意に上昇し (UNSCEAR, 2000; Reithmeier et al., 2006, 2010)、現在でも大気、土壌、海水、降水には人為起源の¹²⁹Iが有意な濃度で滞留している。 1945年~2004年における大気への人為的¹²⁹I放出量の見積りを図 2-1に示した。このような人 為起源¹²⁹Iの影響は実験室環境にも及んでいると考えられるため、各実験環境において¹²⁹I/¹²⁷I 比のバックグラウンドレベルを評価することが、天然試料の¹²⁹I/¹²⁷I比測定を実施する為の前提 条件となる。このバックグラウンド評価を経た上で、天然試料の¹²⁹I/¹²⁷I比測定の精確さ評価を 行う為には、当然のことながら、人為起源の¹²⁹Iを含んでいない試料を選定する必要がある。こ れを考慮した結果、ベトナム南部沖のコンダオ島で採取されたサンゴ骨格に刻まれている 1946-1947年の年輪試料が選定された。この年輪試料については、米国アリゾナ大学のAMS に よって¹²⁹I/¹²⁷I比が測定・報告されており([0.75~1.64]×10⁻¹²:図 2-2)、この値から人為起源 の¹²⁹I は含まれていないと判断できる(Chang et al., 2016)。

人類の核活動は 1945 年から始まったが、1950 年代初頭まではその規模が比較的小さく(図 2・1)、この期間に人為的に放出・生成された ¹²⁹I の地球環境への影響はほとんど検出されないレ ベルである。つまり、少なくとも 1950 年以前はサンゴ年輪の ¹²⁹I/¹²⁷I 比に有意な変動はなく、ほ とんど一定であった可能性が高い。図 2・2 において、1920 年~1932 年の期間の方が 1933 年~ 1950 年代初頭の期間よりも ¹²⁹I/¹²⁷I 比が有意に高くなっているが、この原因は不明である。一方、 上でも少しふれたが、1950 年代半ば~1963 年の期間は大気圏核実験が頻繁かつ大規模に実施さ れたこと、更に 1970 年代後半~1990 年代半ばの期間は核燃料の再処理により、地球表層環境中 の ¹²⁹I/¹²⁷I 比は 1940 年代以前と比べて数倍~数十倍(局所的には百倍以上)に上昇した (UNSCEAR, 2000; Reithmeier et al., 2006, 2010)。サンゴ骨格年輪にはこのような ¹²⁹I/¹²⁷I 比 の上昇も記録されていることから(図 2-2)、¹²⁹I/¹²⁷I 比と測定精度の関連性を評価するのに有用 と考えられる。この評価を実施する為に、西オーストラリア沖(インド洋)のローリーショール ズ(環礁)で採取されたサンゴ骨格年輪試料が選定された。この試料には1880年代~1990年代 の年輪が刻まれている。なお、ローリーショールズから南西約530 kmにはモンテベロ諸島があ り、同諸島では英国が1952年に1回、1956年に2回、海上あるいは地上で核実験を行っている。



図 2-1 大気への人為的 129 放出の歴史

⁽¹⁾大気圏核実験のよる放出量は核分裂収率に基づく見積値(Reithmeier et al., 2006; UNSCEAR, 2000); ⁽²⁾核燃料再処理施設からの大気への放出量(海洋への放出は含まれない: Reithmeier et al., 2006, 2010); 1986年のチェルノブイリ原発事故による大気放出量(39 GBq: Aldahan et al., 2007)を赤で示す。



図 2-2 アリゾナ大学の AMS で測定されたベトナム産サンゴ骨格年輪の¹²⁹I/¹²⁷I 比 1946-1947 年の値は[0.75~1.64]×10⁻¹²。この試料では 1959 年から人為起源¹²⁹I による明瞭な上 昇が見られる(データ出典: Chang, 2016)。

#### 3.¹²⁹I/¹²⁷I 比測定の精確さ評価の実験

この実験で用いた試料は、ベトナム南部沖のコンダオ島から採取されたサンゴ骨格試料に刻ま れていた西暦 1946-1947 年の年輪である。このサンゴ骨格年輪試料の前処理は以下の手順で行っ た(図 3·1): [1] サンゴ骨格試料を1%塩酸で処理し、骨格表面(試料重量の 6~8%)を溶解・ 除去、[2] メノウ乳鉢で粉末化、[3] 粉末試料から2g×6個をポリプロピレン遠沈管(50 mL) に分取、[4] 各々を17%リン酸21 mL で溶解、[5] 各溶液試料から0.070 mL を分取し、これを 200 倍希釈して1.7%リン酸溶液(14 mL)とし、ICP-MSで¹²⁷I 濃度を測定、[6] 各溶液試料に Woodward ヨウ素標準(0.7 mg I 当量: ¹²⁹I/¹²⁷I 比=1.5×10⁻¹⁴: Matsuzaki et al., 2015)を亜硫 酸ナトリウム溶液として添加、[7] 各溶液試料から溶媒抽出法(n-ヘキサン、濃塩酸、純水、亜 硫酸ナトリウム、亜硝酸ナトリウムを使用)でヨウ素を分離、[8] 各ヨウ素分離液に5%硝酸銀 水溶液(0.1 mL)を加えてヨウ化銀沈澱を形成し、遠心分離して上澄みを捨て、純水で洗浄後、 再び遠心分離して上澄みを捨て、凍結乾燥、[9] 各沈澱試料をニオブ粉末と混合し(沈澱:ニオ ブの重量比=1:5)、銅製カソードにプレス、[10] JAEA-AMS-TONOで¹²⁹I/¹²⁷I 比を測定。この 実験で得られた6 個の繰り返し試料の結果に基づき、¹²⁹I/¹²⁷I 比測定の精確さ評価を行った。な お、上記の前処理手順は Bautista VII et al. (2016, 2017)及び Muramatsu et al. (2008)に基 づいている。



図 3-1 ¹²⁹ //¹²⁷ | 比測定の精確さ評価の実験における前処理手順

前節で述べたように、¹²⁹I/¹²⁷I 比測定の精確さ評価を行う前提として、試料前処理環境のバッ クグラウンド¹²⁹I/¹²⁷I 比を評価する必要がある。これを行うために、前処理操作ブランク評価実 験、すなわち、サンゴ骨格試料を用いずに上記の前処理手順[4]~[10]を実施して試料調製を行っ た。サンゴ骨格試料を用いる場合と同様に、前処理操作ブランク評価実験においても6個の繰り 返し試料の結果からバックグラウンド¹²⁹I/¹²⁷I 比を評価した。

### 4. 129 | /127 | 比測定の精確さ評価の実験結果と考察

まず前処理操作ブランク評価実験の結果を図 4-1 に示すが、ここでは Woodward ヨウ素標準 の 129 J/127 I 比の値(1.5×10-14)は既に差し引かれている。図中の誤差棒はAMS 測定誤差(10) を表している。試料 4~6 は ¹²⁹I/¹²⁷I 比がほぼ一定であり、誤差も大体同じであるのに対し、試料 1~3の129 J/127 I比は相対的に高く、測定誤差も大きく、ばらつきが見られる。この原因としては 以下の事実が考えられる。JAEA-AMS-TONO で 129I/127I 比を測定する場合、通常は、ヨウ化銀 沈殿試料とニオブ粉末を混合して銅製カソードにプレスした当日に(すなわち図 3-1 の[手順 9] を行った当日に)AMSに装填して高真空状態にした後、AMSを慎重に調整して測定を開始する。 しかしながら今回の場合、試料1~3をプレスし終わった時にAMSに不調が生じたため、他の試 料のプレス作業は行わず、プレス済試料1~3は実験室の真空デシケータに保管した。その22日 後に AMS が復調したため、その日のうちに、 試料 4~6 及びベトナム産サンゴ骨格から調製した ヨウ化銀試料(6個)をプレスした上、保管していたプレス済試料 1~3 と共に AMS に装填後、 測定を実施した。つまり試料 1~3 の結果は、AMS に装填するまでの過程(実験室の真空デシケ ータで 22 日間保管) での汚染を示唆している。一方、試料 4~6 及びベトナム産サンゴ骨格から 調製した試料(6 個)についてはプレス当日に AMS に装填しているので、試料 4~6 の結果のみ をベトナム産サンゴ骨格前処理時のバックグラウンド評価として用いるべきであり、これら三つ の試料の測定値及び誤差から、バックグラウンドは[4.3±0.5]×10-14と見積もられる(誤差は1o)。



図 4-1¹²⁹I/¹²⁷I比の前処理操作ブランク評価実験の結果

ここでは Woodward ヨウ素標準の¹²⁹//¹²⁷ 比の値(1.5 × 10⁻¹⁴)は既に差し引かれており、誤差 棒は AMS 測定誤差(1σ)を表している。試料 1~3の結果は不適格であるため(本文参照)、試 料 4~6の結果から前処理操作バックグラウンドの平均値と 1σ 誤差(赤の直線及び点線)を見積 もった([4.3 ± 0.5] ×10⁻¹⁴)。 図 4-2 はベトナム産サンゴ骨格年輪試料(1946~47 年の年輪を粉末化)からの繰り返し試料 (6 個)の ¹²⁹I/¹²⁷I 比測定結果を示しているが、その計算方法は次の通りである。すなわち、以 下の各値:(1)各プレス試料のAMS 測定値から上記のバックグラウンド値([4.3±0.5]×10⁻¹⁴) を差し引いた値、(2)Woodward ヨウ素標準の¹²⁹I/¹²⁷I比(1.5×10⁻¹⁴)と各試料への添加量(0.7 mg I)(図 3-1の[手順 6])及び(3) ICP-MS による¹²⁷I 濃度測定値(図 3-1の[手順 5])を同位体 希釈の式に代入して計算した。なお、(3)の測定値から求めたサンゴ骨格(6 個の繰り返し試料) の¹²⁷I 濃度の平均値と標準偏差は4.80±0.17 ppm であり、ほぼ一定であった。図中の誤差棒は 10を示しており、AMS 測定誤差、¹²⁷I 濃度測定誤差及び同位体希釈に伴う誤差を含んでいる(誤 差伝播式による)。



図 4-2¹²⁹//¹²⁷ 比が既知のベトナム産サンゴ骨格年輪(1946–47年) 試料の測定結果 この結果は前処理操作ブランク評価実験から求めたバックグラウンドの補正を行って計算した ¹²⁹//¹²⁷ 比であり、誤差棒は1σを示す(AMS測定誤差、ICP-MSでの¹²⁷ 測定誤差、同位体希釈 誤差を含む)。試料4と6のデータを除いて計算した平均値と1σ誤差をそれぞれ赤の直線と点線 で示す([1.53±0.58]×10⁻¹²)。青色の範囲は米国アリゾナ大学による既報値:[0.75~1.64]×10⁻¹² (Chang et al., 2016)。

これら 6 個の繰り返し試料データの最小値は $[0.15 \pm 0.82] \times 10^{-12}$  (試料 6) であり、最大値は [3.77 ± 2.59] × 10⁻¹² (試料 4) である。試料 4 には他の試料と比べて明らかに大きな誤差が伴っ ており、これは AMS 測定誤差が大きいことに起因しているが、その原因は不明である。試料 1、 2、6 の相対 1 の誤差は 100%を超えているが、この主要因として考えられるものの一つとして、 今回の手法に同位体希釈が用いられていることがあげられる。アリゾナ大学で得られた結果は [1.51 ± 0.13] × 10⁻¹² (1946 年の年輪) 及び $[0.96 \pm 0.21] \times 10^{-12}$  (1947 年の年輪) であり (Chang et al., 2016)、これら二つのデータの範囲は誤差を含めると $[0.75 \sim 1.64] \times 10^{-12}$ となる (図 2-2 及び図 4-2)。この範囲と本研究のデータ (1946~47 年の年輪を粉末化→6 個の繰り返し試料を 分取して測定したデータ) の間に有意差があるとは言えないが (図 4-2)、それは、本研究の測定 誤差がアリゾナ大学の測定誤差に比べてかなり大きいこと (約 5~20 倍) が原因であることは明 らかである。本研究では、図 3-1 に示した通り、2 g のサンゴ試料 ( $^{129}I/^{127}I$  比= $10^{-12}$ レベル) をリン酸溶解したものに Woodward ヨウ素標準(1.5×10⁻¹⁴)を添加(同位体希釈)することに より、試料¹²⁹I/¹²⁷I 比を 10⁻¹⁴ レベルに下げて AMS 測定しているのに対し(Bautista VII et al. (2016, 2017)の手法に基づく)、アリゾナ大学は約 20 gのサンゴ試料をリン酸溶解することで同 位体希釈を実施せず(したがって ICP-MS による¹²⁷I 濃度測定も不要)、試料¹²⁹I/¹²⁷I 比を 10⁻¹² レベルのまま AMS 測定している(Chang et al., 2016)。このことが本研究のデータとアリゾナ 大学のデータの質の違い(誤差の大きさ及びばらつきの違い)を生んでいると考えられる。した がって、JAEA-AMS-TONO においてもアリゾナ大学と同等の前処理手法を採用すれば、同大学 と同様の誤差・ばらつきでデータを得ることができる可能性が高い。一方で、一つのサンゴ骨格 年輪から約 20 gの試料を採取するのは比較的困難であり、これをリン酸溶解するにはかなりの時 間(おそらく 1~2 日)を要し、溶液試料量も多くなり(十倍程度)、結果として溶媒抽出の労力 が大きくなるという難点がある。

図 4・2 のデータのうち、試料4のデータ(最大の誤差を伴う最大値)と試料6のデータ(バッ クグラウンドと有意差がない最小値)を除外して、残りの4試料で平均値と1σ誤差を計算する と[1.53 ± 0.58] × 10⁻¹² となり、アリゾナ大学の結果と凡そ一致する。このことは、 JAEA-AMS-TONOにおいて、人為起源¹²⁹Iを含まない天然炭酸カルシウム試料の¹²⁹I/¹²⁷I比測 定(10⁻¹²レベル)に関し、試料¹²⁹I/¹²⁷I比が2桁減少する同位体希釈法を適用した場合でも、あ る程度正確な測定ができることを示唆している。今後はこれらの結果を十分に検討し、前処理の 簡便化と測定誤差・ばらつきの縮小を目指して、最適な前処理手法及び測定条件を探って行く必 要がある。

#### 5.¹²⁹I/¹²⁷I比と測定精度の関連性評価の実験

上でも述べたように、一般に、試料の1291/1271比が大きく(小さく)なると測定精度が良く(悪 く)なる。このような 129I/127I 比と測定精度の関連性を定量的に評価するために、西オーストラ リア沖(インド洋)のローリーショールズ(環礁)で採取されたサンゴ骨格年輪試料の ¹²⁹I/¹²7I 比を測定した。この試料には1880年代~1990年代の年輪が刻まれており、さらに、試料採取地 点の近海で1950年代に地上・海上核実験が実施されていることから、人類の核活動に伴う129I/127I 比の著しい変化(数倍~数+倍以上の変化)が記録されていると考えられる。そこで、上記試料 から 12 個の骨格年輪(1933年、1939年、1944年、1950年、1956年、1963年、1966年、1969 年、1975年、1981年、1987年及び1993年)を採取し、各年輪試料に対して図 3-1の前処理手 |順を施して 129I/127I 比を測定した。 ただし、 この評価実験では前処理手順に以下の変更を施した : (1) 各年輪から採取した試料数は1個(3.6g); (2) 各試料を粉末化して17%リン酸38mLで溶 解; (3) 各溶液試料から 0.075 mL を分取し、これを 200 倍希釈して 1.7 %リン酸溶液(15 mL) とし、ICP-MS で¹²⁷I 濃度を測定; (4) ICP-MS 測定ではセシウムを内標準元素として用いた (Bautista VII et al., 2017)。そして、この変更に対応した前処理操作ブランク評価実験を実施 してバックグラウンド ¹²⁹I/¹²⁷I 比を評価し(繰り返し試料数は3個)、測定結果の補正に用いた。 サンゴから調製したヨウ化銀試料(12個)と前処理操作ブランク評価実験のヨウ化銀試料(3個) は同じ日にニオブ粉末と混合してプレスし、その日のうちに AMS に装填した。なお、上記の 12 個の骨格年輪試料の西暦年は、サンゴ骨格試料のX線写真の年輪画像から読み取ったものであり、 一部の年輪画像が不明瞭であることから、±1~2 年程度の不確実性を伴う可能性がある(年輪が 古くなるほど不確実性は増加する)。

#### 6.¹²⁹I/¹²⁷I比と測定精度の関連性評価の実験結果と考察

この実験に対応した前処理操作ブランク評価実験に基づく ¹²⁹I/¹²⁷I 比バックグラウンドは[3.2 ± 1.0] × 10⁻¹⁴ と見積もられた (n=3; 誤差は 1 $\sigma$ )。この値と第4節で求められた ¹²⁹I/¹²⁷I 比バッ クグラウンド ([ $4.3 \pm 0.5$ ] × 10⁻¹⁴: 図 4⁻¹) の間に有意差があるとは言えない。そこで、(1) 前 者のバックグラウンド値を西オーストラリア産サンゴ年輪試料 (12 個のプレス試料) の各 AMS 測定値から引き算した値、(2) Woodward ヨウ素標準の ¹²⁹I/¹²⁷I 比 ( $1.5 \times 10^{-14}$ ) と各試料への添 加量 (0.7 mg I) 及び(3) ICP-MS による ¹²⁷I 濃度測定値;これらを同位体希釈の式に代入して計 算した結果 (サンゴ骨格の ¹²⁹I/¹²⁷I 比) を図 6⁻¹ に示す (¹²⁹I/¹²⁷I 比の変動範囲が非常に広いの で対数軸で表示してある)。なお、(3)の測定値から求めたサンゴ骨格試料 (12 個) の ¹²⁷I 濃度範 囲は約 3.3~3.6 ppm であり、各濃度値の相対 1 $\sigma$  誤差は 2~5%であった。図中の誤差棒は 1 $\sigma$  を 示しており、AMS 測定誤差、¹²⁷I 濃度測定誤差及び同位体希釈に伴う誤差を含んでいる (誤差伝 播式による)。



図 6-1 西オーストラリア産サンゴ骨格年輪試料の¹²⁹//¹²⁷ 比の測定結果 この結果は前処理操作ブランク評価実験から求めたバックグラウンドの補正を行って計算した ¹²⁹//¹²⁷ 比であり、誤差棒は 1σを示す(AMS 測定誤差、ICP-MS での¹²⁷ I 測定誤差、同位体希釈 誤差を含む)。1956 年の著しい極大値は大気圏核実験によるものであり、1970 年代以降の増加傾 向は核燃料再処理施設からの影響と考えられる。1963 年以降の測定値(10⁻¹¹ レベル)の誤差は、 1950 年以前の測定値(10⁻¹² レベル)の誤差よりも明らかに小さい。1956 年の測定値(10⁻¹⁰ レ ベル)の誤差が、10⁻¹² レベルの測定値の誤差と同様の規模である理由は不明である。

1933年~1950年の期間の4試料は約1.0~3.2×10⁻¹²の¹²⁹[/¹²⁷]比を持ち、相対10誤差は27~82%である。この結果は、上述のベトナム産サンゴ骨格年輪(1946-47年)試料の結果(図4-2)と非常に良く似ている。したがって、これら4試料には人為起源¹²⁹]は含まれていないと推定できる。1956年の試料は著しく高い¹²⁹[/¹²⁷]比([6.6±3.2]×10⁻¹⁰:相対10誤差=48%)(1933年~1950年の値の約200~700倍)を持ち、これは大気圏核実験で生じた¹²⁹]の影響と考えられる。同年、このサンゴ試料の採取地点(西オーストラリア沖・ローリーショールズ環礁)から南

西約 530 km に位置するモンテベロ諸島で英国が地上核実験を 2 回実施している。1963 年~1993 年の期間の 7 試料は約 1.3~3.0×10⁻¹¹の ¹²⁹I/¹²TI 比を持ち、相対 10 誤差は 6~11 %である。こ のことは、天然炭酸カルシウム試料に本研究手法を適用した場合、¹²⁹I/¹²TI 比が 10⁻¹² レベルの試 料 (同位体希釈により 10⁻¹⁴ レベル)よりも 10⁻¹¹ レベルの試料 (同位体希釈により 10⁻¹³ レベル) の方が明らかに高精度で測定できることを示している(相対 10 誤差は約 1/3~1/10に縮小する)。 一方で、¹²⁹I/¹²TI 比が 10⁻¹⁰ レベルの 1956 年の試料 (同位体希釈により 10⁻¹¹ レベル)の相対 10 誤差 (48 %)は、10⁻¹² レベルの試料の相対 10 誤差 (27~82 %)と同様の規模であるが、これ は 1 試料のみの結果であり、前処理・測定過程で何らかの異常事象・誤りが起きた可能性がある ことから、同じ年輪部分を用いて再度前処理・測定の必要があると思われる。1975 年~1993 年 の 4 試料において ¹²⁹I/¹²TI 比の増加傾向が見られるが、これはベトナム産サンゴ骨格年輪のデー タ (図 2·2)や他の海域のサンゴ骨格年輪のデータ(フィリピン、パプアニューギニア、ソロモ ン諸島)と大体一致しており(Biddulph et al., 2006; Bautista VII et al. 2016; Chang et al., 2016)、この増加傾向は核燃料再処理施設から地球環境中に放出された ¹²⁹I の影響と考えられる (図 2·1)。

#### 7. まとめ

本研究により、人為起源¹²⁹Iを含まない天然炭酸カルシウム試料(¹²⁹I/¹²⁷I 比 = 10⁻¹² レベル) に関して、JAEA-AMS-TONO における¹²⁹I/¹²⁷I 比測定結果はアリゾナ大学の結果と凡そ一致す ることが確認できた。一方で、AMS 測定誤差およびデータのばらつきはアリゾナ大学の結果と 比べてかなり大きいことが分かった(AMS 測定誤差は 5~20 倍)。この最大の原因として考えら れるのは、本研究では試料に Woodward ヨウ素標準(¹²⁹I/¹²⁷I 比= 1.5×10⁻¹⁴)を添加して¹²⁹I/¹²⁷I 比を 10⁻¹⁴ レベルに希釈して測定しているのに対し、アリゾナ大学では多量の試料を用いて同位 体希釈を実施することなく、¹²⁹I/¹²⁷I 比が 10⁻¹² レベルのままで測定しているということである。 したがって、アリゾナ大学と同等の方法を用いれば、¹²⁹I/¹²⁷I 比が 10⁻¹² レベルの炭酸カルシウム 試料に関して、JAEA-AMS-TONO においても同大学と同様の誤差・ばらつきで測定できる可能 性が高い。また、本研究手法を用いた場合、¹²⁹I/¹²⁷I 比が 10⁻¹¹ レベルの試料(同位体希釈により 10⁻¹³ レベルになる)は 10⁻¹² レベルの試料(同位体希釈により 10⁻¹⁴ レベルになる)より明らか に高精度で測定できる(データの相対 10 誤差は約 1/3~1/10 に縮小する)ことが示された。今後 は、以上の結果に基づき、JAEA-AMS-TONO における¹²⁹I/¹²⁷I 比測定の精確さ向上に向けて、 試料前処理法、同位体希釈率、及び AMS 測定条件の最適化を図ってゆく。

本研究では ¹²⁹I/¹²⁷I 比測定の妥当性評価にサンゴ骨格試料を用いたが、その主成分は炭酸カル シウムである。炭酸カルシウムは地質環境においては石灰岩層、鉱物としては方解石やあられ石 として高頻度で見られる物質であることから、本研究は地質試料の年代測定技術開発としての側 面を持つ。さらに、温泉水や地下水からの沈殿物、すなわち石灰華として炭酸カルシウムが生成 することがあるため、本研究は深部流体を含む地下水の動態に関する研究にも拡張できると考え られる。

### 8. 引用文献

Aldahan, A., Alfimov, V. and Possnert, G., ¹²⁹I anthropogenic budget: Major sources and sinks, Applied Geochemistry, vol.22, pp.606-618, 2007.

天知誠吾,ヨウ素と微生物の相互作用−ヨウ素の揮発,濃縮,還元,酸化,吸着−,食と緑の科学, no.62, pp.9-19, 2008.

Bautista VII, A.T., Matsuzaki, H. and Sigingan, F.P., Historical record of nuclear activities
from ¹²⁹I in corals from the northern hemisphere (Philippines), Journal of Environmental Radioactivity, vol.164, pp.174-181, 2016.

- Bautista VII, A.T., Miyake, Y., Matsuzaki, H. and Siringan, F.P., A coral ¹²⁹I/¹²⁷I measurement method using ICP-MS and AMS with carrier addition, Analytical Methods, vol.9, pp.5181-5188, 2017.
- Biddulph, D.L., Beck, J.W., Burr, G.S. and Donahue, D.J., Two 60-year records of ¹²⁹I from coral skeletons in the South Pacific Ocean, Radioactivity in the Environment, vol.8, pp.592-598, 2006.
- Chang, C.-C., Iodine-129 as an oceanic tracer, Ph.D. dissertation in the University of Arizona, pp.1-93, 2016.
- Chang, C.-C., Burr, G.S., Jull, A.J.T., Russell, J.L., Biddulph, D., White, L., Prouty, N.G., Chen, Y.-G., Shen, C.-C., Zhou, W. and Lam, D.D., Reconstructing surface ocean circulation with ¹²⁹I time series records from corals, Journal of Environmental Radioactivity, vol.165, pp.144-150, 2016.
- Fehn, U., Tullai, S., Teng, R.T.D., Elmore, D. and Kubik, P.W., Determination of ¹²⁹I in heavy residues of two crude oils, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, vol.29, pp.380-382, 1987.
- 松崎浩之, ヨウ素 129 を利用した地球環境中のヨウ素の研究−メタンハイドレートの年代測定の 試みと福島第一原子力発電所事故で放出されたヨウ素 131 の復元−, SIS Letters, no.16, pp.2-13, 2015.
- Matsuzaki, H., Nakano, C., Tsuchiya, Y.S., Ito, S., Morita, A., Kusuno, H., Miyake, Y., Honda, M., Bautista VII, A.T., Kawamoto, M. and Tokuyama, H., The status of the AMS system at MALT in its 20th year, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, vol.361, pp.63-68, 2015.
- Muramatsu, Y., Takada, Y., Matsuzaki, H. and Yoshida, S., AMS analysis of ¹²⁹I in Japanese soil samples collected from background areas far from nuclear facilities, Quaternary Geochronology, vol.3, pp.291-297, 2008.
- Reithmeier, H., Lazarev, V., Rühm, W., Schwikowski, M., Gäggeler, H.W. and Nolte, E., Estimate of European ¹²⁹I releases supported by ¹²⁹I analysis in an Alpine ice core, Environmental Science & Technology, vol.40, pp.5891-5896, 2006.
- Reithmeier, H., Lazarev, V., Rühm, W. and Nolte, E., Anthropogenic ¹²⁹I in the atmosphere: overview over major sources, transport processes and deposition pattern, Science of The Total Environment, vol.408, pp.5052-5064, 2010.
- UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with scientific annexes, volume I: SOURCES Annex C, 2000.

# 最新知見を踏まえた隆起・侵食データマップの整備 侵食速度データー覧

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター 地層科学研究部 ネオテクトニクス研究グループ 「5.6 最新知見を踏まえた隆起・侵食データマップの整備」では、平成30年度の本事業で 熱年代データベース、ダム堆砂量及び宇宙線生成核種法(TCN)データより算出した侵食速度 (Sueoka and Tagami, 2019;日本原子力研究開発機構・電力中央研究所, 2019)を用いてマル チタイムスケール侵食速度データベースを作成した。また事例対象とした14山地(日高山脈、 北上山地、飯豊山地、朝日山地、三国山脈(谷川岳周辺)、阿武隈山地、丹沢山地、飛騨山脈、 木曽山脈、赤石山脈、六甲山地、紀伊山地、四国山地及び九州山地)においてマルチタイムスケ ール侵食速度プロット図を作成し、山地の侵食速度の時間変遷過程の検討をおこなった。以下に プロット図に用いた侵食速度データ(ダム堆砂量データ(表1)、TCNデータ(表2)及び熱年 代データ(表3~表10))を示す。

	ばしタ	堆砂期間	侵食速度		山地々	ゴトタ	堆砂期間	侵食速度
山地石	744	(yr)	(mm/yr)		山地石	744	(yr)	(mm/yr)
日高山脈	幌満川第3	49	0.101	_	四国山地	魚梁瀬	50	1.233
北上山地	日向	16	0.080		]]	平鍋	45	0.079
11	綱取	31	0.056		11	鏡	39	0.179
阿武隈山地	真野	22	0.107		11	津賀	53	0.074
朝日山地	木地山	52	0.250		11	坂本	12	0.182
	荒沢	51	0.336		11	別子	49	0.395
飯豊山地	加治川治水	22	0.426		11	富郷	15	0.319
	内の倉	18	0.610		11	面河第3	31	0.085
飛騨山脈	朝日小川	25	0.448		11	黒瀬	31	0.802
11	高瀬	35	3.039		11	正木	37	0.390
赤石山脈	雨畑	48	1.837		11	小見野々	47	0.425
11	畑薙第一	28	2.265	-	九州山地	祝子	42	0.349
11	赤石	25	0.823		11	北川	53	0.159
11	水窪	46	2.413		11	諸塚	53	0.268
三国山脈(谷川岳)	矢木沢	34	0.530		11	立花	52	0.433
11	相俣	52	0.185		11	岩瀬	47	0.408
11	二居	37	0.278		11	綾南	53	0.302
丹沢山地	三保	24	1.123		11	田代八重	15	0.682
紀伊山地	宮川	53	0.445					
11	三瀬谷	43	0.208					
11	椿山	27	0.360					
11	二川	47	0.319					

表 1 ダム堆砂量に基づく流域の平均侵食速度

山地名	¹⁰ Be侵食速度	$\pm 1\sigma$	年 ^{**} (yr)	山地名	¹⁰ Be侵食速度	$\pm 1\sigma$	年 [※] (yr)
		0.010	6 6 6 7		1.45	0.170	414
	0.09	0.010	7,500		0.47	0.170	414
	0.08	0.010	7,500		1.20	0.050	1,277
	0.08	0.010	7,300 6,000	木	0.06	0.130	403
	0.10	0.010	0,000	曽	0.90	0.110	023
	0.08	0.010	7,300	山	0.80	0.100	/30
<del>17</del>	0.12	0.020	5,000	脈	0.33	0.000	1,091
β¤J	0.10	0.010	6,000	74/15	0.37	0.040	1,022
武	0.10	0.010	6,000		0.47	0.050	1,277
隈	0.08	0.010	/,500		0.99	0.120	606
Ш	0.12	0.014	4,878		0.29	0.037	2,048
- Hth	0.17	0.017	3,593		0.29	0.037	2,076
10	0.12	0.003	5,172		0.51	0.079	1,1/2
	0.12 0.003 5,128 0.13 0.003 4800	5,128		1.99	0.294	302	
	0.13	0.003	4,800	飛	0.85	0.117	709
	0.13	0.004	4,615	鼮	0.65	0.085	919
	0.08	0.002	8,000	r⊷ TT	1.64	0.270	365
	0.12	0.003	5,042	旧記	0.91	0.166	663
	0.08	0.002	7,500	ДЛС	0.23	0.030	2,655
	0.77	0.090	779		0.59	0.080	1,024
	1.20	0.130	500		0.45	0.064	1,327
г.	1.25	0.140	480		1.25	0.209	478
不	0.76	0.090	789		0.48	0.062	1,247
曽	1.39	0.160	432		0.57	0.090	1,053
山	1.77	0.450	339	六	0.54	0.100	1,111
脈	0.83	0.090	723	Ē	0.66	0.140	909
/4/1	1.04	0.120	577	- 11 - 11	0.60	0.090	1,000
	3.45	0.410	174	Щ	0.50	0.080	1,200
	1.16	0.130	517	地	0.80	0.180	750
					0.37	0.050	1,622

表 2 TCN 法に基づく流域の平均侵食速度一覧

**※TCN** 法の時間スケールについては、Dunai (2010)に基づき、岩盤が 60 cm 侵食される時間 とした。

表 3	熱年代に基づく流域の平均侵食速度一覧 (1/8)	
-----	--------------------------	--

	FT年代 (Ma)				(U-	Th) / He	年代 (ハ	<b>1</b> a)			f	曼食速度	E (mm/y	r)		
山地名	AFT	+1σ	ZFT	+1σ	A-He	+1σ	Z-He	+1σ	AFT	+1σ	ZFT	+10	A-He	+1σ	Z-He	+1σ
	-	-	14.9	2.5	-	-	-	-	-	-10	1.315	0.221	-	-10	-	-
	12.7	2.0	-	-	-	-	-	-	0.527	0.120	-	-	-	-	-	-
	6.7	0.8	16.5	2.6	-	-	-	-	1.000	0.203	1.184	0.187	-	-	-	-
	6.7	1.0	-	-	-	-	-	-	1.000	0.222	-	-	-	-	-	-
	13.8	2.0	-	-	-	-	-	-	0.486	0.106	-	-	-	-	-	-
	12.8	2.0	-	-	-	-	-	-	0.522	0.118	-	-	-	-	-	-
	7.4	0.8	-	-	-	-	-	-	0.907	0.178	-	-	-	-	-	-
	10.1	1.2	-	-	-	-	-	-	0.659	0.133	-	-	-	-	-	-
	12.0	3.1	-	-	-	-	-	-	0.556	0.170	-	-	-	-	-	-
	7.4	1.1	-	-	-	-	-	-	0.902	0.199	-	-	-	-	-	-
	8.7	1.4	-	-	-	-	-	-	0.771	0.177	-	-	-	-	-	-
同	12.1	1.3	-	-	-	-	-	-	0.554	0.108	-	- 0.155	-	-	-	-
Ш	11.4	1.5	20.9	2.1	-	-	-	-	0.594	0.125	0.927	0.133	-	-	-	-
脈	10.4	- 16	10.0	3.1	-	-	-	-	- 0.656	0 144	1.175	0.219	-		-	-
	9.4	1.0	19.4	33	_	_	_	_	0.721	0.151	0.990	0.154	_	_	_	_
	9.9	1.5	-	-	-	_	-	_	0.659	0.134	-	-	-	_	-	_
	9.8	1.3	15.2	3.4	-	-	-	-	0.674	0.141	1.251	0.280	-	-	-	-
	-	-	19.8	4.1	-	-	-	-	-	-	0.954	0.198	-	-	-	-
	8.6	2.7	20.1	5.3	-	-	-	-	0.755	0.267	0.936	0.247	-	-	-	-
	-	-	40.1	7.3	-	-	-	-	-	-	0.464	0.084	-	-	-	-
	-	-	38.8	8.6	-	-	-	-	-	-	0.479	0.106	-	-	-	-
	-	-	58.6	14.1	-	-	-	-	-	-	0.297	0.072	-	-	-	-
	-	-	67.1	12.1	-	-	-	-	-	-	0.257	0.046	-	-	-	-
	-	-	93.4	3.6	-	-	-	-	-	-	0.426	0.016	-	-	-	-
北上	87.1	4.1	-	-	-	-	-	-	0.050	0.009	-	-	-	-	-	-
山地	82.4	2.5	-	-	-	-	-	-	0.084	0.015	-	-	-	-	-	-
	85.7	0.9	-	-	-	-	-	-	0.093	0.016	-	-	-	-	-	-
	66.0	4.4	-	-	49.6	1.5	-	-	0.022	0.004	-	-	0.016	0.004	-	-
	-	-	-	-	64.3	4.8	-	-	-	-	-	-	0.018	0.005	-	-
	79.5	8.0	-	-	57.0	16.8	-	-	0.022	0.004	-	-	0.017	0.007	-	-
	58.7	1.5	-	-	-	-	-	-	0.023	0.004	-	-	-	-	-	-
	61.3	3.0	-	-	-	-	-	-	0.029	0.005	-	-	-	-	-	-
	<u>59.1</u> 62.0	2.4	-	-	-	-	-	-	0.039	0.007	-	-	-	-	-	-
	67.2	2.2	-	-	-	-	-	-	0.044	0.008	-	-	-	-	-	-
	63.1	1.5	-	-		-	-	-	0.040	0.007	-	-	-	-	-	-
रन	78.6	1.7	-	-	-	-	-	-	0.043	0.008	-	-	-		-	-
[H4]	46.0	2.9		-		_	_	_	0.057	0.007	_	_		_	_	_
武	55.0	13	-	-	-	-	-		0.047	0.008	-	-	-	-	-	-
隈	62.5	1.4	-	-	- 1	-	-	-	0.040	0.007	-	-	-	-	-	-
山	58.9	1.8	-	-	-	-	-	-	0.046	0.008	-	-	-	-	-	-
地	71.1	1.8	-	-	-	-	-	-	0.049	0.009	-	-	-	-	-	-
	53.4	2.6	-	-	-	-	-	-	0.063	0.011	-	-	-	-	-	-
	100.0	5.0	86.3	3.6	-	-	-	-	0.020	0.004	0.069	0.003	-	-	-	-
	100.0	5.0	83.6	3.0	-	-	-	-	0.020	0.004	0.071	0.003	-	-	-	-
	78.7	6.3	87.4	3.4	-	-	-	-	0.028	0.005	0.077	0.003	-	-	-	-
	78.7	6.3	80.9	5.1	-	-	-	-	0.028	0.005	0.083	0.005	-	-	-	-
	93.3	4.7	102.0	4.0	-	-	-	-	0.024	0.004	0.068	0.003	-	-	-	-
	93.3	4.7	79.2	3.4	-	-	-	-	0.024	0.004	0.088	0.004	-	-	-	-
	96.2	4.5	94.9	3.7	-	-	-	-	0.027	0.005	0.081	0.003	-	-	-	-
	96.2	4.5	92.5	3.5	-	-	-	-	0.027	0.005	0.084	0.003	-	-	-	-
바마	19.1	2.4	-	-	10.3	0.3	27.2	1.7	0.099	0.021	-	-	0.103	0.027	0.129	0.018
朝日	16.8	9.7	-	-	9.6	1.6	11.0	1.2	0.112	0.068	-	-	0.111	0.034	0.320	0.053
凹地	-	-	-	-	12.3	3.1	-	-	-	-	-	-	0.090	0.033	-	-
	10.1	2.9	-	-	3.0	1.5	21.9	12.5	0.24/	0.083	-	-	0.248	0.088	0.109	0.079
	4.6	0.4	-	-	5.4	0.7	-	-	0.316	0.062	-	-	0.239	0.080	-	-
		-	3.0	0.1		-	-	-	-	-	1.727	0.058	-	-	-	-
脈行	-	-	3.3	0.2		-	-	-	-	-	1.875	0.114	-	-	-	-
三二	-	-	3.2	0.1		-	-	-	-	-	1.854	0.058	-	-	-	-
国引	<u> </u>	-	2.9	0.2	<u> </u>	-	-	-	-	-	1./08	0.118	-	-	-	-
三〇	24	- 0.2	2.9	0.2	-	-	-	-	- 0 795	- 0.170	2.700	0.191		-	-	-
		0.3	3.0	0.1		-	-	-	-	0.1/0	1.935	0.004		-		-
L		-		0.1		-		-		-		0.000		-	i	-

	FT年代 (Ma)				(U-'	Гh) / Не	年代 (N	<b>1</b> a)			f	曼食速度	E (mm/yı	r)		
山地名	AFT	+1σ	ZFT	+1σ	A-He	+1σ	Z-He	+1σ	AFT	+1σ	ZFT	+1σ	A-He	+1σ	Z-He	+1σ
	48.9	1.5	123.0	6.5	-	-10	-		0.010	0.002	0.012	0.001	-	-10	-	
	51.5	1.7	137.0	5.5	-	-	-	-	0.010	0.002	0.012	0.001	-		-	-
	45.1	1.6	123.0	4.0	-	-	-	-	0.017	0.003	0.018	0.001	-	-	-	-
	39.4	1.5	120.0	4.0	-	-	-	-	0.035	0.006	0.034	0.001	-	-	-	-
	45.8	2.0	99.1	2.9	-	-	-	-	0.025	0.004	0.035	0.001	-	-	-	-
	49.8	1.3	103.0	2.5	-	-	-	-	0.010	0.002	0.015	0.000	-	-	-	-
	-	-	126.0	4.5	-	-	-	-	-	-	0.013	0.001	-	-	-	-
	43.0	1.3	129.0	3.5	-	-	-	-	0.012	0.002	0.012	0.000	-	-	-	-
	39.6	3.5	138.0	5.0	-	-	-	-	0.034	0.007	0.029	0.001	-	-	-	-
	47.0	1.6	78.6	3.2	-	-	-	-	0.015	0.002	0.026	0.001	-	-	-	-
	-	-	60.5	1.3	-	-	-	-	-	-	0.027	0.001	-	-	-	-
	-	-	63.2	1.5	-	-	-	-	-	-	0.027	0.001	-	-	-	-
	-	-	57.5	1.6	-	-	-	-	-	-	0.018	0.001	-	-	-	-
	54.5	3.5	00.1 54.1	1.5	-	-	-	-	0.007	0.001	0.016	0.000	-	-	-	-
	-	-	54.1 1.6	0.2	-	-	-	-	-	-	1.861	0.004	-	-	-	-
	-	-	1.0	0.2	-	-	-	-	-	-	2 786	0.233	-	-	-	-
	<u> </u>	-	1.2	0.5		-	-	-		-	3.360	0.097	-	-	-	-
	<u> </u>	-	1.7	0.1		-	-	-	-	-	2.178	0.305	-	-	-	-
	-	-	0.8	0.0	-	-	-	-	-	-	1.642	0.000	-	-	-	-
	-	-	2.8	0.4	-	-	-	-	-	-	0.555	0.079	-	-	-	-
	-	-	2.0	0.3	- 1	-	-	-	-	-	0.787	0.118	-	-	-	-
	-	-	1.9	0.3	-	-	-	-	-	-	0.808	0.128	-	-	-	-
	-	-	84.5	5.2	-	-	-	-	-	-	0.051	0.003	-	-	-	-
	-	-	44.0	2.3	-	-	-	-	-	-	0.065	0.003	-	-	-	-
	-	-	1.5	0.2	-	-	-	-	-	-	3.418	0.456	-	-	-	-
	-	-	2.7	0.5	-	-	-	-	-	-	2.280	0.422	-	-	-	-
	-	-	2.4	0.4	-	-	-	-	-	-	1.006	0.168	-	-	-	-
	-	-	2.1	0.3	-	-	-	-	-	-	2.239	0.320	-	-	-	-
	-	-	1.9	0.5	-	-	-	-	-	-	3.419	0.900	-	-	-	-
飛	-	-	1.0	0.1	-	-	-	-	-	-	4.096	0.410	-	-	-	-
脚	-	-	0.7	0.1	-	-	-	-	-	-	7.406	1.058	-	-	-	-
山	-	-	1.8	0.3	-	-	-	-	-	-	2.892	0.482	-	-	-	-
脈	-	-	1.8	0.2	-	-	-	-	-	-	2.887	0.321	-	-	-	-
/4/14	-	-	1.3	0.3	-	-	-	-	-	-	4.071	0.939	-	-	-	-
	-	-	6.9	0.6	-	-	-	-	-	-	0.736	0.064	-	-	-	-
	-	-	4.6	0.3	-	-	-	-	-	-	1.118	0.073	-	-	-	-
	-	-	4.0	0.5	-	-	-	-	-	-	1.284	0.161	-	-	-	-
	-	-	1.0	0.2	-	-	-	-	-	-	3.443	1.089	-	-	-	-
	-	-	0.7	0.3	-	-	-	-	-	-	7.407	2 141	-	-	-	-
	-		0.7	0.2	-	-	-	-	-	-	5 658	1 257	-		-	-
	-	-	5.4	0.4	- 1	-	-	-	-	-	0.942	0.070	-	-	-	-
	-	-	5.4	0.5	-	-	-	-	-	-	0.936	0.087	-	-	-	-
	-	-	2.6	0.6	- 1	-	-	-	-	-	1.931	0.446	- 1	-	-	-
	-	-	6.6	0.6	-	-	-	-	-	-	0.771	0.070	-	-	-	-
	-	-	48.2	3.0	-	-	-	-	-	-	0.093	0.006	-	-	-	-
	-	-	1.5	0.2	-	-	-	-	-	-	3.148	0.420	-	-	-	-
	-	-	2.2	0.3	-	-	-	-	-	-	2.009	0.274	-	-	-	-
	-	-	1.0	0.7	-	-	-	-	-	-	4.690	3.283	-	-	-	-
	-	-	1.1	0.2	-	-	-	-	-	-	4.207	0.765	-	-	-	-
	-	-	2.2	0.2	-	-	-	-	-	-	1.505	0.137	-	-	-	-
	-	-	3.0	0.4	-	-	-	-	-	-	1.187	0.158	-	-	-	-
	-	-	2.3	0.4	-	-	-	-	-	-	1.648	0.287	-	-	-	-
	-	-	2.6	0.3	-	-	-	-	-	-	1.568	0.181	-	-	-	-
	-	-	3.5	0.6	-	-	-	-	-	-	1.204	0.207	-	-	-	-
	-	-	4.2	0.4	-	-	-	-	-	-	1.018	0.097	-	-	-	-
	-	-	56.7	5.0	-	-	-	-	-	-	0.095	0.008	-	-	-	-
	-	-	1.5	0.2	-	-	-	-	-	-	3.534	0.471	-	-	-	-
	-	-	1.6	0.3	-	-	-	-	-	-	3.328	0.624	-	-	-	-
	-	-	1.6	0.4	-	-	-	-	-	-	3.373	0.843	-	-	-	-
		-	54.6	3.4	-	-	-	-	-	-	0.056	0.004	-	-	-	-
	-	-	58.1	3.5	-	-	-	-	-	-	0.056	0.003	-	-	-	-
	-	-	1.6	0.4	-	-	-	-	-	-	2.124	0.531	-	-	-	-

表 4 熱年代に基づく流域の平均侵食速度一覧 (2/8)

表 5 熱年代に基づく流域の平均侵食速度-	-覧 (3/8)	
-----------------------	----------	--

		FT年作	ቲ (Ma)		(U-	Th) / He	年代 (ハ	Ma)			f	曼食速度	E (mm/y	r)		
山地名	AFT	±lσ	ZFT	±lσ	A-He	±lσ	Z-He	±lσ	AFT	±lσ	ZFT	±lσ	A-He	±lσ	Z-He	±lσ
	-	-	1.0	0.1	-	-	-	-	-	-	4.855	0.486	-	-	-	-
	-	-	1.5	0.6	-	-	-	-	-	-	3.134	1.254	-	-	-	-
	-	-	68.6	4.1	-	-	-	-	-	-	0.072	0.004	-	-	-	-
	-	-	23.1	1.4	-	-	-	-	-	-	0.198	0.012	-	-	-	-
	-	-	86.6	4.6	-	-	-	-	-	-	0.053	0.003	-	-	-	-
<b>A</b> \$	-	-	66.0	4.5	-	-	-	-	-	-	0.086	0.006	-	-	-	-
殿	-	-	56.2	4.2	-	-	-	-	-	-	0.091	0.007	-	-	-	-
19 <del>4</del>		-	51.5	4.5	-	-	-	-	-	-	0.007	0.007	-	-	-	-
Ц Пре		-	55.7	2.3	-	-	_	-	-		0.107	0.003	-	-	-	
лик	-	-	54.7	1.9	-	-	-	-	-	-	0.042	0.002	-	-	-	-
	-	-	74.8	2.9	-	-	-	-	-	-	0.050	0.002	-	-	-	-
	-	-	66.4	2.4	-	-	-	-	-	-	0.057	0.002	-	-	-	-
	-	-	94.2	5.9	-	-	-	-	-	-	0.041	0.003	-	-	-	-
	-	-	92.7	5.9	-	-	-	-	-	-	0.045	0.003	-	-	-	-
	-	-	62.2	3.5	-	-	-	-	-	-	0.084	0.005	-	-	-	-
	-	-	7.7	1.4	-	-	-	-	-	-	1.071	0.195	-	-	-	-
	-	-	7.9	1.3	-	-	-	-	-	-	1.020	0.168	-	-	-	-
	-	-	9.4	2.0	-	-	-	-	-	-	0.824	0.175	-	-	-	-
	H÷-	-	3.6	1.7		-	-	-			2.525	0.200		-	-	
	-	-	-	-	1.5	0.1	3.5	0.1	-	-	-	-	0.907	0.250	1.325	0.171
	-	-	-	-	1.7	0.4	3.2	0.1	-	-	-	-	0.812	0.289	1.469	0.190
再	-	-	-	-	2.1	0.1	3.7	0.7	-	-	-	-	0.655	0.178	1.269	0.288
71	-	-	6.9	0.5	1.4	0.1	3.4	0.1	-	-	1.111	0.081	0.998	0.273	1.387	0.178
	-	-	-	-	2.2	0.1	3.0	0.1	-	-	-	-	0.666	0.174	1.622	0.209
	-	-	-	-	1.7	0.8	2.9	0.1	-	-	-	-	0.846	0.459	1.704	0.223
地	-	-	4.5	0.3	2.1	0.1	3.4	0.1	-	-	1.860	0.124	0.723	0.195	1.513	0.195
	-	-	-	-	2.2	0.1	3.2	0.1	-	-	-	-	0.694	0.186	1.611	0.208
	-	-	-	-	2.5	0.1	3.5	0.1	-	-	-	-	0.606	0.163	1.469	0.189
	-	-	-	-	1.3	0.1	- 7.2	-	-	-	-	-	1.247	0.342	-	-
	-	-	-	-	2.5	0.1	1.5	0.2	-	-	-	-	0.047	0.174	3.095	0.096
			4.8	0.4	-	-	-	-	-		2.218	0.185	-	-	-	-
	2.5	0.3	-	-	-	_	-	-	1.356	0.290	-	-	-	-	-	-
	45.1	3.6	-	-	-	-	-	-	0.121	0.022	-	-	-	-	-	-
	39.4	2.0	-	-	-	-	-	-	0.157	0.026	-	-	-	-	-	-
	44.0	1.8	48.3	2.4	29.4	4.5	-	-	0.112	0.020	0.309	0.015	0.095	0.028	-	-
	42.2	1.6	57.1	2.1	32.7	2.9	-	-	0.127	0.023	0.289	0.011	0.091	0.026	-	-
	3.4	0.3	54.6	2.3	5.8	1.4	-	-	1.753	0.332	0.322	0.014	0.598	0.203	-	-
	40.9	1.5	49.3	1.7	5.3	0.7	-	-	0.143	0.024	0.345	0.012	0.651	0.173	-	-
	35.6	1.4	52.8	2.1	7.8	1.3	-	-	0.165	0.028	0.321	0.013	0.449	0.126	-	-
1	40.1	0.2	53.4	1.9	3.1	2.5	-	-	0.152	0.025	0.327	0.012	0.470	0.1//	-	-
首	3.1	0.3	42.1	1.4	2.2	0.4	-	-	1 882	0.105	0.323	0.008	1.095	0.300	-	-
	58.8	2.2	-	-	-	-	_	-	0.072	0.013	-	-	-	-	_	-
	56.1	2.3	-	-	-	-	-	-	0.087	0.016	- 1	-	-	-	-	-
אוג	64.5	3.1	-	-	32.2	3.70	-	-	0.083	0.016	-	-	0.091	0.027	-	-
	4.2	0.4	-	-	7.2	0.80	-	-	1.230	0.247	-	-	0.400	0.115	-	-
	4.6	0.4	-	-	-	-	-	-	1.168	0.228	-	-	-	-	-	-
	3.4	0.3	-	-	-	-	-	-	1.561	0.303	-	-	-	-	-	-
	18.2	1.0	-	-	4.4	0.60	-	-	0.284	0.050	-	-	0.686	0.188	-	-
	1.7	0.2	-	-	-	-	-	-	2.846	0.595	-	-	-	-	-	-
	3.3	0.3	-	-	2.3	0.20	-	-	1.444	0.284	-	-	1.170	0.317	-	-
	59.0	10.0	-	-	-	-	-	-	0.092	0.023	-	-	-	-	-	-
	-	-	45.5	1.4	-	-	10.0	5.40	-	-	0.3/4	0.012	-	-	0.030	0.151
	0.1	0.4	109.4	2.8	-	-	14.5	1.20	0.926	0.174	0.158	0.004	-	-	0.732	0.110
赤	<u>⊢ ·</u>	-	81.7 54.0	2.7	-	-	-	-	-	-	0.210	0.007	-	-	-	-
石	82	-	54.9	1.6	-	-	-	-	-	- 0.125	0.500	0.009	-	-	-	-
山	5.5	0.8	85	0.3		-	0.0 5 0	2.20	0.755	0.135	1.097	0.085	-	-	1.21/	0.530
脈	3.9	0.5	7.0	0.4		-	4.4	0.40	1.357	0.297	2.317	0.132		-	2.267	0.351
	-	-	6.9	0.4	-	-	3.4	1.10	-	-	2.398	0.139	-	-	2.989	1.037
	3.6	0.3	7.5	0.3	-	-	4.4	1.60	1.578	0.309	2.322	0.093	-	-	2.434	0.936

.1.14.14		FT年f	ቺ (Ma)		(U-	Th) / He	年代 (	Ma)			f	曼食速度	E (mm/yı	r)		
山地名	AFT	±lσ	ZFT	±lσ	A-He	±lσ	Z-He	±lσ	AFT	±lσ	ZFT	±lσ	A-He	±lσ	Z-He	±lσ
	3.3	0.3	7.1	0.3	-	-	4.8	2.40	1.742	0.349	2.494	0.105	-		2.265	1.168
	3.1	0.4	5.6	0.2	-	-	-	-	1.854	0.405	3.132	0.112	-	-	-	-
	3.9	0.3	8.2	0.3	-	-	-	-	1.434	0.255	1.957	0.072	-	-	-	-
	4.6	0.4	5.7	0.3	-	-	-	-	1.123	0.213	2.693	0.142	-	-	-	-
	4.7	0.6	6.2	0.3	-	-	-	-	1.210	0.266	2.829	0.137	-	-	-	-
	3.5	0.4	40.5	0.9	-	-	10.6	0.70	1.484	0.299	0.376	0.008	-	-	0.896	0.123
	-	-	15.2	0.5	-	-	-	-	-	-	0.572	0.019	-	-	-	-
	-	-	12.2	0.8	-	-	-	-	-	-	0.687	0.045	-	-	-	-
	-	-	12.4	0.5	-	-	-	-	-	-	0.696	0.028	-	-	-	-
	-	-	11.6	0.4	-	-	-	-	-	-	0.799	0.028	-	-	-	-
	1.2	0.3	13.2	0.6	-	-	-	-	2.948	0.906	0.827	0.038	-	-	-	-
	-	-	13.1	0.6	-	-	-	-	-	-	0.691	0.032	-	-	-	-
	0.8	0.1	88.4	2.2	-	-	-	-	3.322	0.730	0.094	0.002	-	-	-	-
	-	-	74.0	1.7	-	-	-	-	-	-	0.112	0.003	-	-	-	-
	-	-	13.0	0.7	-	-		-	-	-	0.100	0.004	-	-	-	-
	-	-	16.2	0.7		-		-		-	0.657	0.033	-	-		-
	-		9.1	0.8		-		-	-	-	1 286	0.033	-	-	-	-
	<u> </u>		24.3	1.4	-	_	-				0.490	0.042	-		_	
	-	-	98.9	7.0	-	-	-	-	-	-	0.119	0.008	-	-	-	-
	-	-	37.9	1.4	- 1	-	-	-	-	-	0.252	0.009	-	-	-	-
	-	-	17.1	1.1	-	-	-	-	-	-	0.537	0.035	-	-	-	-
*		-	<u>5</u> 3.7	2.3	-	-	-	-	-	-	0.166	0.007	-	-	-	-
	-	-	66.6	2.6	-	-	-	-	-	-	0.139	0.005	-	-	-	-
	-	-	64.4	1.8	-	-	-	-	-	-	0.173	0.005	-	-	-	-
ЦЩ	-	-	95.8	2.0	-	-	-	-	-	-	0.114	0.002	-	-	-	-
脈	-	-	11.8	0.4	-	-	-	-	-	-	0.763	0.026	-	-	-	-
	-	-	95.5	2.6	-	-	-	-	-	-	0.106	0.003	-	-	-	-
	-	-	65.3	1.9	-	-	-	-	-	-	0.150	0.004	-	-	-	-
	-	-	101.9	3.5	-	-	-	-	-	-	0.100	0.003	-	-	-	-
	1.3	0.4	20.5	0.9	-	-	-	-	2.373	0.836	0.452	0.020	-	-	-	-
	-	-	49.6	1.4	-	-	-	-	-	-	0.194	0.006	-	-	-	-
	-	-	42.1	1.2	-	-	-	-	-	-	0.378	0.011	-	-	-	-
	-	-	23.9	0.9	-	-	-	-	-	-	0.727	0.027	-	-	-	-
	-	-	38.0	1.0	-	-	-	-	-	-	0.457	0.012	-	-	-	-
	-	-	8.9	0.4	-	-	-	-	-	-	1.001	0.075	-	-	-	-
	-	-	8./	0.4	-	-	-	-	-	-	1.821	0.084	-	-	-	-
	-	-	7.9	0.4	-	-	-	-	-	-	2.247	0.114	-	-	-	-
	-	-	10.0	0.4	-	-		-	-	-	1 706	0.109	-	-	-	-
	<u> </u>	-	9.8	0.4		-	-	-		-	1.700	0.008	-	-		-
	-	_	9.2	0.4	-	-	-	-	-	-	1.777	0.007	-		-	-
	-	-	9.5	0.6	-	-	-	-	-	-	1.720	0.109	-	-	-	-
	-	-	9.8	0.7	-	-	-	-	-	-	1.640	0.117	-	-	-	-
	-	-	8.9	0.4	- 1	-	-	-	-	-	1.677	0.075	-	-	-	-
	-	-	10.6	0.4	-	-	-	-	-	-	1.225	0.046	-	-	-	-
	-	-	9.7	0.5	-	-	-	-	-	-	1.307	0.067	-	-	-	-
		-	10.9	0.5	-	-	-	-	-	-	1.149	0.053	-	-	-	-
	-	-	10.1	0.5	-	-	-	-	-	-	1.094	0.054	-	-	-	-
	-	-	18.8	1.6	-	-	-	-	-	-	0.598	0.051	-	-	-	-
	-	-	17.0	0.7	-	-	-	-	-	-	0.659	0.027	-	-	-	-
	14.1	2.5	14.2	1.0	-	-	-	-	0.263	0.066	0.799	0.056	-	-	-	-
	-	-	15.9	1.6	-	-	-	-	-	-	0.739	0.074	-	-	-	-
	-	-	17.3	1.4	-	-	-	-	-	-	0.697	0.056	-	-	-	-
紀	-	-	16.4	1.1	-	-	-	-	-	-	0.461	0.031	-	-	-	-
一伊	-	-	16.8	1.4	-	-	-	-	-	-	0.510	0.043	-	-	-	-
1 ili	<u> </u>	-	15.2	1.8	-	-	-	-	-	-	0.628	0.074	-	-	-	-
	-	-	16.0	0.9	-	-	-	-	-	-	0.445	0.025	-	-	-	-
1 45	-	-	17.5	2.0	-	-	-	-	-	-	0.356	0.041	-	-	-	-
	-	-	16.4	1.4	-	-	-	-	-	-	0.317	0.027	-	-	-	-
	-	-	16.9	1.3	-	-	-	-	-	-	0.197	0.015	-	-	-	-
	<u> </u>	-	16.4	1.7		-	-	-	-	-	0.187	0.019	-	-	-	-
		-	75.2	4.0	-	-	-	-	-	-	0.108	0.006	-	-	-	-
	- 1	-	76.6	4.4	-	-	-	-	-	-	0.110	0.006	-	-	-	-

表 6 熱年代に基づく流域の平均侵食速度一覧 (4/8)

表 7	熱年代に基づく	、流域の平均侵食速度一覧	(5/8)
-----	---------	--------------	-------

	FT年代 (Ma)				(U-'	Гh) / Не	年代 ()	<b>1</b> a)			4	曼食速度	E (mm/v	r)		
山地名	AFT	+1σ	ZFT	+1σ	A-He	+10	Z-He	+1σ	AFT	+1σ	ZFT	+10	A-He	+1σ	Z-He	+1σ
	-	10	93.1	4.6	-	-10	-	-10	-	-	0.090	0.005	-	10	-	10
	36.4	2.6	-	-	-	-	-	-	0.074	0.015	-	-	-	-	-	-
	-	-	145.1	8.2	-	-	-	-	-	-	0.058	0.003	-	-	-	-
	-	-	123.7	5.5	-	-	-	-	-	-	0.069	0.003	-	-	-	-
	-	-	143.2	6.8	-	-	-	-	-	-	0.059	0.003	-	-	-	-
	-	-	128.4	8.2	-	-	-	-	-	-	0.068	0.004	-	-	-	-
	-	-	146.4	3.7	-	-	-	-	-	-	0.061	0.002	-	-	-	-
	-	-	73.8	4.5	-	-	-	-	-	-	0.115	0.007	-	-	-	-
	-	-	116.9	5.2	-	-	-	-	-	-	0.082	0.004	-	-	-	-
	-	-	79.6	5.5	-	-	-	-	-	-	0.126	0.009	-	-	-	-
	-	-	18.7	1.3	-	-	-	-	-	-	0.606	0.042	-	-	-	-
	-	-	18.0	1.1	-	-	-	-	-	-	0.018	0.037	-	-	-	-
	-	-	131.0	5.0	-	-	-	-	-	-	0.087	0.003	-	-	-	-
	16.8	2.5	154.9	8.6			-	<u>.</u>	0 247	0.058	0.083	0.004	-		-	
	-	-	147.0	9.5	-		-		-	-	0.076	0.005	-	-	-	-
	37.3	10.4	-	-	-	-	-	-	0.087	0.029	-	-	-	-	-	-
	15.2	2.9	-	-	-	-	-		0.159	0.041	-	-	-	-	-	-
	12.9	1.8	-	-	-	-	-	-	0.184	0.041	-	-	-	-	-	-
	6.0	1.3	-	-	-	-	-	-	1.032	0.293	-	-	-	-	-	-
	5.9	1.6	-	-	-	-	-	-	0.667	0.217	-	-	-	-	-	-
	-	-	116.7	7.6	-	-	-	-	-	-	0.103	0.007	-	-	-	-
	14.4	2.2	99.3	5.6	-	-	-	-	0.285	0.067	0.128	0.007	-	-	-	-
	-	-	89.6	6.9	-	-	-	-	-	-	0.134	0.010	-	-	-	-
	-	-	11.1	1.6	-	-	-	-	-	-	1.120	0.161	-	-	-	-
	-	-	15.0	0.8	-	-	-	-	-	-	0.771	0.041	-	-	-	-
	16.4	3.2	18.2	0.9	-	-	-	-	0.217	0.058	0.616	0.031	-	-	-	-
	-	-	15.6	2.1	-	-	-	-	-	-	0.712	0.096	-	-	-	-
	-	-	<b>68.7</b>	7.5	-	-	-	-	-	-	0.152	0.017	-	-	-	-
<b>k</b> 3	-	-	81.0	5.9	-	-	-	-	-	-	0.149	0.011	-	-	-	-
	-	-	79.9	5.9	-	-	-	-	-	-	0.150	0.011	-	-	-	-
「伊	-	-	12.5	0.7	-	-	-	-	-	-	0.954	0.053	-	-	-	-
ΙЩ	-	-	/5.0	6.6	-	-	-	-	-	-	0.159	0.014	-	-	-	-
地	-	-	13.2	4.9	-	-	-	-	-	-	0.131	0.009	-	-	-	-
	-	-	53.1	6.6		-	-	-	-	-	0.198	0.002		-	_	-
	-		26.7	6.7	-		-		-		0.190	0.025	-		_	
	-	-	65.0	7.9	-	-	-		-	-	0.198	0.024	-	-	-	-
	-	-	103.6	6.0	-	-	-	-	-	-	0.081	0.005	-	-	-	-
	-	-	15.1	1.1	-	-	-	-	-	-	0.663	0.048	-	-	-	-
	-	-	136.2	5.8	-	-	-	-	-	-	0.054	0.002	-	-	-	-
	2.5	0.4	-	-	-	-	-	-	0.290	0.071	-	-	-	-	-	-
	2.5	0.3	-	-	-	-	-	-	0.290	0.064	-	-	-	-	-	-
	-	-	69.7	2.4	-	-	-	-	-	-	0.033	0.001	-	-	-	-
	-	-	67.1	2.2	-	-	-	-	-	-	0.034	0.001	-	-	-	-
	-	-	83.8	3.8	-	-	-	-	-	-	0.043	0.002	-	-	-	-
	5.0	4.0	-	-	-	-	-	-	0.293	0.241	-	-	-	-	-	-
	11.0	2.1	-	-	-	-	-	-	0.225	0.060	-	-	-	-	-	-
	11.5	1.0	-	-	-	-	-	-	0.113	0.023	-	-	-	-	-	-
	11.1	1.2	-	-	-	-	-	-	0.343	0.0/4	-	-	-	-	-	-
	-	-	08.1	3.1	-	-	-	-	-	-	0.177	0.008	-	-	-	
	10.0	1.1	10.2	0.0	-	-	-	-	0.100	0.055	0.5/0	0.028	-	-	-	-
		-	14.3	1.0		-	-	-		-	0.045	0.050		-	-	-
	15.7	22	15.4	0.9		-	-	-	0.215	0.049	0.678	0.043	-	-	-	-
	-	-	15.2	1.0	-	-	-	-	-	-	0.651	0.043		-	-	
		-	13.9	0.7	<u> </u>	-	-	-	<u> </u>	-	0 712	0.036	-	-		
		-	14.0	0.7		-	-	-	<u> </u>	-	0.601	0.030		-	-	-
		-	13.6	1.1		-	_	-	-	-	0.001	0.030		-	-	-
	$\vdash$	-	13.0	1.1		-	-	-		-	0.707	0.002		-	-	-
	H-	-	13.6	1.0		-	-	-		-	0.440	0.032	-	-	-	
	-	-	13.9	0.8	-	-	-	-	-	-	0.428	0.025	-	-	-	
	-	-	18.0	1.0	-	-	-	-	-	-	0.328	0.018	-	-	-	-
	-	-	13.4	0.7	-		-		-	-	0.440	0.023	-	-	-	-

# 【 付録 10 】

.1.16.6	FT年代 (Ma)				(U-'	Th) / He	年代 (N	Aa)			f	曼食速度	E (mm/y	r)		
山地名	AFT	±lσ	ZFT	±lσ	A-He	±lσ	Z-He	±lσ	AFT	±lσ	ZFT	±lσ	A-He	±lσ	Z-He	±lσ
	-	-	14.9	0.9	-	-	-	-	-	-	0.382	0.023	-	-	-	-
	-	-	17.1	1.2	-	-	-	-	-	-	0.315	0.022	-	-	-	-
	-	-	15.0	0.8	-	-	-	-	-	-	0.359	0.019	-	-	-	-
	-	-	14.3	0.8	-	-	-	-	-	-	0.351	0.020	-	-	-	-
	11.8	1.6	-	-	-	-	-	-	0.166	0.038	-	-	-	-	-	-
	-	-	14.1	1.6	-	-	-	-	-	-	0.436	0.049	-	-	-	-
	-	-	14.6	1.6	-	-	-	-	-	-	0.421	0.046	-	-	-	-
	-	-	13.7	0.8	-	-	-	-	-	-	0.513	0.030	-	-	-	-
	-	-	16.2	1.2	-	-	-	-	-	-	0.537	0.040	-	-	-	-
	-	-	17.6	0.6	-	-	-	-	-	-	0.421	0.014	-	-	-	-
	-	-	14.6	0.5	-	-	-	-	-	-	0.507	0.017	-	-	-	-
	-	-	15.2	0.5	-	-	-	-	-	-	0.491	0.016	-	-	-	-
	-	-	13.9	0.4	-	-	-	-	-	-	0.530	0.015	-	-	-	-
	-	-	13.4	1.0	-	-	-	-	-	-	0.029	0.073	-	-	-	-
		-	15.1	0.0		-	-	-		-	0.530	0.030	-	-	-	-
			16.6	0.5	_		_		-		0.350	0.017	-			
	-		14.5	0.5	-	-	-	-	_	-	0.542	0.019	-		-	_
	-	-	15.7	0.4	-	-	-	-	-	-	0.408	0.010	-	-	-	-
	-	-	15.0	0.4	-	-	-	-	-	-	0.427	0.011	-	-	-	-
	-	-	15.0	0.4	- 1	-	-	-	-	-	0.686	0.018	-	-	-	-
	-	-	15.1	0.6	-	-	-	-	-	-	0.577	0.023	-	-	-	-
	-	-	15.2	0.6	-	-	-	-	-	-	0.573	0.023	-	-	-	-
	-	-	14.5	0.4	-	-	-	-	-	-	0.601	0.017	-	-	-	-
	-	-	15.1	0.7	-	-	-	-	-	-	0.577	0.027	-	-	-	-
	-	-	15.8	0.6	-	-	-	-	-	-	0.551	0.021	-	-	-	-
	-	-	15.2	0.6	-	-	-	-	-	-	0.550	0.022	-	-	-	-
	-	-	13.6	0.6	-	-	-	-	-	-	0.614	0.027	-	-	-	-
	-	-	14.3	0.6	-	-	-	-	-	-	0.584	0.025	-	-	-	-
ψ-1	-	-	16.1	0.7	-	-	-	-	-	-	0.519	0.023	-	-	-	-
和	-	-	15.2	0.5	-	-	-	-	-	-	0.635	0.021	-	-	-	-
伊	-	-	15.8	0.6	-	-	-	-	-	-	0.611	0.023	-	-	-	-
ЦЦ	-	-	14.0	0.6	-	-	-	-	-	-	0.705	0.029	-	-	-	-
地	-	-	14.2	0.5	-	-	-	-	-	-	0.505	0.020	-	-	-	-
		-	13.5	0.0		-	_	-	-	-	0.546	0.021	-	-	-	-
		-	15.0	0.4	_	-		-	_	-	0.540	0.010	_	-		-
	-	-	15.9	0.5	-	-	-	-	-	-	0.395	0.012	-	-	-	-
	-	-	15.0	0.5	-	-	-	-	-	-	0.383	0.012	-	-	-	-
	-	-	15.2	0.6	-	-	-	-	-	-	0.330	0.013	-	-	-	-
	-	-	13.7	0.5	-	-	-	-	-	-	0.463	0.017	-	-	-	-
	-	-	15.6	0.6	-	-	-	-	-	-	0.659	0.025	-	-	-	-
	-	-	14.8	0.5	-	-	-	-	-	-	0.694	0.024	-	-	-	-
	-	-	14.0	0.5	-	-	-	-	-	-	0.676	0.024	-	-	-	-
	-	-	13.2	0.5	-	-	-	-	-	-	0.783	0.030	-	-	-	-
	-	-	13.3	0.5	-	-	-	-	-	-	0.723	0.027	-	-	-	-
	-	-	14.6	0.6	-	-	-	-	-	-	0.588	0.024	-	-	-	-
		-	16.0	0.5		-	-	-	-	-	0.387	0.012	-	-	-	-
	-	-	14.9	0.4	-	-	-	-	-	-	0.415	0.011	-	-	-	-
	-	-	15.3	0.5	-	-	-	-	-	-	0.404	0.013	-	-	-	-
	-	-	13.1	0.4	-	-	-	-	-	-	0.410	0.012	-	-	-	-
	-	-	14./	0.4	-	-	-	-	-	-	0.421	0.012	-	-	-	-
	<u> </u>	-	13.0	0.0	-	-	-	-	-	-	0.412	0.017	-	-	-	-
		-	13 3	0.4	-	-	-	-		-	0 447	0.011	-	-	-	-
		-	14.6	0.0		-		-		-	0.591	0.020		-	-	-
	<u> </u>	-	15.1	0.7	-	-		-		-	0.577	0.020	<u> </u>	-		-
	-	-	14.2	0.7		-	-	-		-	0.572	0.027	-	-	-	-
	<u> </u>	-	13.4	0.4		-	-	-		-	0.527	0.015	-	-	-	-
		-	15.4	0.0		-	-	-		-	0.339	0.025		-	-	-
	<u> </u>	-	15.8	0.7		-	-	-		-	0.474	0.021		-	-	-
	-	-	13.5	0.4	-	-	-	-	-	-	0.554	0.016	-	-	-	-
	-	-	13.5	0.5	-	-	-	-	-	-	0.554	0.021	-	-	-	-
	-	-	15.3	0.5	-	-	-	-	-	-	0.489	0.016	-	-	-	-
L					I		1								1	

表 8 熱年代に基づく流域の平均侵食速度一覧 (6/8)

# 【 付録 10 】

1.44.47	FT年代 (Ma)				(U-	Th) / He	- 年代 (N	1a)			ť	<b>し</b> 食速度	t (mm/y	r)		
山地名	AFT	$\pm 1\sigma$	ZFT	$\pm 1\sigma$	A-He	$\pm 1\sigma$	Z-He	$\pm 1\sigma$	AFT	±lσ	ZFT	±lσ	A-He	$\pm 1\sigma$	Z-He	±lσ
	-	-	14.7	0.4	-	-	-	-	-	-	0.509	0.014	-	-	-	-
	-	-	14.8	0.7	-	-	-	-	-	-	0.777	0.037	-	-	-	-
	-	-	13.4	0.7	-	-	-	-	-	-	0.846	0.044	-	-	-	-
	-	-	15.0	0.6	-	-	-	-	-	-	0.745	0.030	-	-	-	-
	-	-	15.2	0.5	-	-	-	-	-	-	0.757	0.025	-	-	-	-
	-	-	14.6	0.5	-	-	-	-	-	-	0.629	0.022	-	-	-	-
	-	-	15.1	0.5	-	-	-	-	-	-	0.534	0.018	-	-	-	-
	-	-	14.1	0.5	-	-	-	-	-	-	0.513	0.018	-	-	-	-
	-	-	15.2	0.5	-	-	-	-	-	-	0.455	0.015	-	-	-	-
紀	-	-	14./	0.6	-	-	-	-	-	-	0.962	0.039	-	-	-	-
	14./	0.6	-	-	-	-	-	-	0.257	0.046	-	-	-	-	-	-
	13.1	0.0	-	-	-	-	-	-	0.231	0.042	-	-	-	-	-	-
ЦЩ	13.2	0.5	-	-	-	-	-	-	0.201	0.030	-	-	-	-	-	-
地	15.6	1.1	_	_	_	-	_	-	0.127	0.042	-	_	-	-	_	
	14.6	1.0	-	-	-	-	-		0.130	0.025	-	-	-	-	-	
	14.5	1.1	-	-	-	-	-	-	0.164	0.033	-	-	-	-	-	-
	2.7	0.4	-	-	-	-	-	-	0.358	0.085	-	-	-	-	-	-
	2.7	0.3	-	-	-	-	-	-	0.317	0.069	-	-	-	-	-	-
	-	-	69.7	2.4	-	-	-	-	-	-	0.044	0.002	-	-	-	-
	-	-	67.1	2.2	-	-	-	-	-	-	0.040	0.001	-	-	-	-
	12.8	1.2	-	-	-	-	-	-	0.170	0.035	-	-	-	-	-	-
	-	-	77.8	3.4	-	-	-	-	-	-	0.044	0.002	-	-	-	-
	5.6	4.1	-	-	-	-	-	-	0.258	0.195	-	-	-	-	-	-
	56.5	4.8	68.6	2.6	-	-	-	-	0.049	0.009	0.122	0.005	-	-	-	-
	-	-	79.9	8.5	-	-	-	-	-	-	0.106	0.011	-	-	-	-
	-	-	56.6	5.5	-	-	-	-	-	-	0.150	0.015	-	-	-	-
	-	-	66.9	8.6	-	-	-	-	-	-	0.128	0.017	-	-	-	-
	65.7	4.1	42.8	1.5	-	-	-	-	0.042	0.008	0.197	0.007	-	-	-	-
	64.8	6.5	64.4	2.2	-	-	-	-	0.043	0.009	0.130	0.004	-	-	-	-
ΙЩ	64.0	4.4	63.1	1.6	-	-	-	-	0.042	0.008	0.132	0.003	-	-	-	-
地	-	-	54.2	4.4	-	-	-	-	-	-	0.142	0.012	-	-	-	-
	40.9	1.9	40.1	1.3	-	-	-	-	0.068	0.013	0.188	0.005	-	-	-	-
	<u> </u>	2.0	52.7	1.7	-	-	-	-	0.031	0.000	0.127	0.004	-	-	-	-
	40.0	2.9	59.4	2.0		-	-	-	0.020	0.005	0.121	0.003	-	-	_	
	42.0	3.9	58.8	2.0		-	-	-	0.027	0.003	0.104	0.004	-	-	-	
	<u> </u>		62.0	4.2			-				0.176	0.013	-		-	
	-	-	67.5	3.4	-	-	-	-	-	-	0.162	0.008	-	-	-	-
	-	-	65.5	3.8	-	-	-	-	-	-	0.167	0.010	-	-	-	-
	-	-	56.7	5.1	-	-	-	-	-	-	0.193	0.017	-	-	-	-
	-	-	68.6	4.6	-	-	-	-	-	-	0.159	0.011	-	-	-	-
	-	-	55.4	4.7	-	-	-	-	-	-	0.197	0.017	-	-	-	-
	-	-	58.1	4.6	-	-	-	-	-	-	0.210	0.017	-	-	-	-
	-	-	66.6	3.8	-	-	-	-	-	-	0.183	0.011	-	-	-	-
	-	-	58.5	4.2	-	-	-	-	-	-	0.187	0.013	-	-	-	-
	-	-	62.0	4.2	-	-	-	-	-	-	0.176	0.012	-	-	-	-
	-	-	67.5	3.4	-	-	-	-	-	-	0.162	0.008	-	-	-	-
凹	-	-	65.5	3.8	-	-	-	-	-	-	0.167	0.010	-	-	-	-
国	10.2	1.1	147.7	7.3	-	-	-	-	0.259	0.056	0.057	0.003	-	-	-	-
山	11.4	1.0	129.1	6.4	-	-	-	-	0.224	0.046	0.063	0.003	-	-	-	-
地	-	-	145.4	9.2	-	-	-	-	-	-	0.053	0.003	-	-	-	-
	-	-	81.5	5.7	-	-	-	-	-	-	0.094	0.007	-	-	-	-
	<u> </u>	-	08.0	5.0	-	-	-	-	-	-	0.138	0.010	-	-	-	-
	-	-	01.0	5.0	-	-	-	-	-	-	0.090	0.006	-	-	-	-
	-	-	80.7	4.6	-	-	-	-	-	-	0.082	0.004	-	-	-	-
	-	-	107.8	6.4	-	-	-	-	-	-	0.064	0.004	-	-	-	-
	-	-	97.6	5.7	-	-	-	-	-	-	0.092	0.005	-	-	-	-
	<u> </u>	-	58.8	3.0	-	-	-	-	-	-	0.139	0.007	-	-	-	-
	-	-	109.7	7.1	-	-	-	-	-	-	0.059	0.004	-	-	-	-
		-	112.4	5.5	-	-	-	-	-	-	0.057	0.003	-	-	-	-
	<u> </u>	-	100.8	4./	-	-	-	-		-	0.004	0.003	-	-	-	-
	13.5	-	215.9	0.2		-	-	-	- 0 150	-	0.009	0.004	-	-	-	-
L	13.5	1.9	215.0	25.0	-	-	-	-	0.158	0.037	0.031	0.004	-	-	-	-

表 9 熱年代に基づく流域の平均侵食速度一覧 (7/8)

# 【 付録 10 】

		FT年作	ቲ (Ma)		(U-	Th) / He	年代 (M	<b>1</b> a)			f	曼食速度	E (mm/y	r)		
山地名	AFT	±lσ	ZFT	±1σ	A-He	±lσ	Z-He	±lσ	AFT	±lσ	ZFT	±lσ	A-He	±lσ	Z-He	±lσ
	9.2	2.2	100.9	6.1	-	-	-	-	0.270	0.081	0.077	0.005	-	-	-	-
	7.2	1.2	127.8	7.1	-	-	-	-	0.315	0.077	0.055	0.003	-	-	-	-
	8.9	1.0	105.0	5.7	-	-	-	-	0.256	0.055	0.068	0.004	-	-	-	-
	8.3	1.9	94.0	5.8	-	-	-	-	0.298	0.087	0.082	0.005	-	-	-	-
	9.8	1.8	107.8	5.9	-	-	-	-	0.249	0.065	0.071	0.004	-	-	-	-
	-	-	30.4	1.4	-	-	-	-	-	-	0.248	0.011	-	-	-	-
	-	-	59.9	3.1	-	-	-	-	-	-	0.127	0.007	-	-	-	-
	-	-	17.1	0.9	-	-	-	-	-	-	0.449	0.024	-	-	-	-
	-	-	108.8	5.6	-	-	-	-	-	-	0.087	0.005	-	-	-	-
	-	-	87.7	6.3	-	-	-	-	-	-	0.108	0.008	-	-	-	-
	-	-	100.7	5.0	-	-	-	-	-	-	0.128	0.006	-	-	-	-
四	13.6	2.6	90.2	4.3	-	-	-	-	0.302	0.080	0.143	0.007	-	-	-	-
国	-	-	82.4	4.2	-	-	-	-	-	-	0.181	0.009	-	-	-	-
	-	-	97.3	5.7	-	-	-	-	-	-	0.153	0.009	-	-	-	-
	-	-	117.2	6.7	-	-	-	-	-	-	0.129	0.007	-	-	-	-
坦	-	-	117.9	6.2	-	-	-	-	-	-	0.128	0.007	-	-	-	-
	-	-	140.6	7.0	-	-	-	-	-	-	0.109	0.005	-	-	-	-
	-	-	111.7	5.6	-	-	-	-	-	-	0.140	0.007	-	-	-	-
	-	-	105.0	5.2	-	-	-	-	-	-	0.149	0.007	-	-	-	-
	-	-	92.3	3.8	-	-	-	-	-	-	0.169	0.007	-	-	-	-
	-	-	/5.3	3.6	-	-	-	-	-	-	0.207	0.010	-	-	-	-
	-	-	58.8 71.5	0.0	-	-	-	-	-	-	0.129	0.015	-	-	-	-
	-	-	/1.5	4.8	-	-	-	-	-	-	0.100	0.007	-	-	-	-
	-	-	100.0	4.8	-	-	-	-	-	-	0.110	0.008	-	-	-	-
	0.0	2.7	51.0	2.2	-	-	-	-	0.277	0.099	0.075	0.003	-	-	-	-
	-	-	01.6	3.5	-	-	-	-	-	-	0.140	0.009	-	-	-	-
	-	-	^{91.0}	/.0	-	-	-	-	-	-	0.004	0.007	-	-	-	-
		-	12.0	0.4	-	-	-	-	-	-	0.756	0.025	-	-	-	-
	-	-	14.9	0.7	-	-	-	-	-	-	0.750	0.036	-	-	-	-
	12.6	2.1	14.5	2.1	-	-	-	-	0 278	- 0.060	0.000	0.024	-	-	-	-
	11.0	2.1	15.5	2.1			-		0.278	0.009	0.725	0.099				
	17.4	8.3	15.2	12	_	_	_	_	0.206	0.105	0 740	0.058	_	_	_	_
	12.2	1.6	16.0	1.2	-		-	-	0.293	0.065	0.688	0.060	-	-	-	-
	-	-	13.1	1.6	-	-	-	-	-	-	0.850	0.104	-	_	-	_
	11.7	2.2	-	1.0	-		-		0 314	0.083	-	0.104	-		-	
	15.0	4.0	147	2.4	-	_	-	_	0.235	0.005	0 745	0.122	-	_	_	_
	7.1	2.3	-	-	-	-	-	-	0.535	0.199	-	-	-	-	-	-
	18.8	5.2	-	-	-	-	-	-	0.203	0.068	-	-	-	-	-	-
	15.2	4.2	76.8	8.6	-	-	-	-	0.233	0.078	0.145	0.016	-	-	-	-
<del>+</del>	22.1	5.8	24.0	4.1	-		-	-	0.162	0.052	0.470	0.080	-	-	-	-
	19.0	6.8	185.6	15.1	-	-	-	-	0.189	0.076	0.061	0.005	-	-	-	-
<u> </u>	8.6	2.1	76.1	4.6	-	-	-	-	0.415	0.127	0.148	0.009	-	-	-	-
ΙЩ	13.0	3.5	162.5	16.1	- 1	-	-	-	0.305	0.100	0.077	0.008	-	-	-	-
地	13.5	5.4	17.9	1.4	-	-	-	-	0.281	0.123	0.656	0.051	-	-	-	-
	-	-	55.0	9.1	-	-	-	-	-	-	0.214	0.036	-	-	-	-
	21.1	3.2	17.2	4.5	-	-	-	-	0.176	0.042	0.675	0.177	-	-	-	-
	-	-	125.7	5.1	-	-	-	-	-	-	0.065	0.003	-	-	-	-
	-	-	111.5	5.6	-	-	-	-	-	-	0.079	0.004	-	-	-	-
	13.3	1.9	115.6	5.9	-	-	-	-	0.222	0.051	0.079	0.004	-	-	-	-
	7.1	1.2	68.1	3.9	-	-	-	-	0.420	0.106	0.139	0.008	-	-	-	-
	8.8	3.3	70.4	4.9	-	-	-	-	0.342	0.143	0.136	0.010	-	-	-	-
	-	-	76.7	3.8	- 1	-	-	-	-	-	0.125	0.006	-	-	-	-
	-	-	60.2	2.9	- 1	-	-	-	-	-	0.160	0.008	-	-	-	-
	-	-	123.6	5.9	- 1	-	-	-	-	-	0.081	0.004	-	-	-	-
	-	-	103.2	5.4	-		-	-	-	-	0.099	0.005	-	-	-	-
	7.6	2.1	90.1	4.2	-	-	-	-	0.428	0.143	0.116	0.005	-	-	-	-
	-	۰.1	194.9	12 7	-	-	-	-	-	0.175	0.056	0.004	-	-	_	-
L		-	174.7	12./	· ·	-	-	-	-	-	0.050	0.004	-	-	-	-

表 10 熱年代に基づく流域の平均侵食速度一覧 (8/8)

引用文献

- Dunai T. J., Cosmogenic Nuclides: Principles, Concepts and Applications in the Earth Surface Sciences, Cambridge University Press, 198p, 2010.
- 日本原子力研究開発機構,電力中央研究所,平成 30 年度 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に 関する技術開発事業 地質環境長期安定性評価技術高度化開発 報告書,200p,2019.
- Sueoka, S., Tagami, T., Low temperature thermochronological database of bedrock in the Japanese Islands, Island Arc, vol.28, e12305, doi:10.1111/iar.12305, 2019.

【付録11】

離水地形のマルチ年代測定に基づく

隆起・侵食速度推定技術の高度化に係る試料採取

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター 地層科学研究部 ネオテクトニクス研究グループ

# 目 次

1. 概要4	
2. 内陸部を対象とした研究4	
<b>2.1</b> 地形・堆積物の観察・記載と年代測定試料の採取	4
2.1.1 TKT-TL 地点	
2.1.2 OOI 地点	
2.2 環流旧河谷のボーリングコアの分析結果	7
2.2.1 珪藻分析	
2.2.2 花粉分析 10	
2.2.3 テフラ分析	
3. 沿岸部を対象とした研究	
3.1 土佐湾北東岸における試料採取と試料観察	37
3.1.1 大山岬	
3.1.2 羽根岬	
3.1.3 行当岬	
3.2 房総半島南岸における試料採取と試料観察	42
3.2.1 地形	
3.2.2 地質	

図目次

义	2.1.1	令和元年度の試料採取地点と平成30年度のボーリング調査地点
义	2.1.2	TKT-TL 地点の地形と堆積物
义	2.1.3	OOI 地点の地形と堆積物
义	2.2.1	環流旧河谷のボーリングコアの柱状図と分析層準7
义	2.2.2	TNZ-1 コアの花粉化石ダイアグラム(木本植物)14
义	2.2.3	TKT-1 コアの花粉化石ダイアグラム(木本植物)17
义	2.2.4	TKT-2 コアの花粉化石ダイアグラム(木本植物)19
义	2.2.5	KM-1 コアの花粉化石ダイアグラム(木本植物)21
义	2.2.6	TNZ-1 コア 0.55-0.57 層準中の高温型石英中のガラス包有物の主成分分析結果24
义	2.2.7	TNZ-1 コア 0.55-0.57 層準中の火山ガラスの主成分分析結果
义	2.2.8	TNZ-1 コア 0.55-0.57 層準中の角閃石の主成分分析結果
义	2.2.9	TKT-1 コア 0.55-0.57 層準中の高温型石英中のガラス包有物の主成分分析結果 29
义	2.2.10	TKT-1 コア 0.45-0.47 及び 0.65-0.67 層準中の火山ガラスの主成分分析結果 30
义	2.2.11	TKT-1 コア 0.45-0.47 及び 0.65-0.67 層準中の角閃石の主成分分析結果 31
义	2.2.12	TKT-2 コア 1.05-1.07 層準中の高温型石英中のガラス包有物の主成分分析結果
	•••••	
义	2.2.13	TKT-2 コア 19.45-19.55 層準中の角閃石の主成分分析結果
义	2.2.14	TKT-2 コア 19.45-19.55 層準中のカミングトン閃石の主成分分析結果 36
义	3.1.1	試料採取地点の地形(大山岬)
义	3.1.2	大山岬試料薄片写真(SP-3)
义	3.1.3	試料採取地点の地形(羽根岬)
义	3.1.4	羽根岬試料薄片写真(SP-5)40
义	3.1.5	試料採取地点の地形(行当岬)41
义	3.1.6	行当岬試料薄片写真(SP-5)41
义	3.2.1	試料採取地点の地形(房総半島南岸) 42
义	3.2.2	房総半島南岸試料薄片写真(SP-1) 43

# 表 目 次

表 2.2	2.1	珪藻化石産出表	. 9
表 2.2	2.2	花粉・胞子産出数一覧表 (1/3)	11
表 2.2	2.3	花粉・胞子産出数一覧表 (2/3)	12
表 2.2	2.4	花粉・胞子産出数一覧表 (3/3)	13
表 2.2	2.5	TNZ-1 コアのテフラ分析結果	23
表 2.2	2.6	TKT-1 コアのテフラ分析結果	28
表 2.2	2.7	TKT-2 コアのテフラ分析結果	33

# 【付録11】

#### 1. 概要

本付録は、「5.2 離水地形のマルチ年代測定に基づく隆起・侵食速度推定技術の高度化」におい て実施した野外作業及び分析データに係る資料集である。2 章には、内陸部を対象とした検討に 係るデータ、3 章には沿岸部を対象とした検討に係るデータをそれぞれ示す。

#### 2. 内陸部を対象とした研究

本章では、2.1 に紀伊半島の新宮川沿いで実施した地形・堆積物の観察・記載と年代測定試料の 採取に係る内容について記す(図 2.1.1)。2.2 には新宮川沿いの環流旧河谷で採取したボーリン グコア(TKM-1, TKT-1, TKT-2 及び TNZ-1;報告書本文を参照)を対象に実施した珪藻分析、花 粉分析、テフラ分析の結果を掲載する。

#### 2.1 地形・堆積物の観察・記載と年代測定試料の採取

地形・堆積物の観察・記載と年代測定試料の採取は、TKT-TL 地点と OOI 地点の計 2 地点において実施した(図 2.1.1)。



図 2.1.1 令和元年度の試料採取地点と平成 30 年度のボーリング調査地点 黒の細線は、接峰面の等高線を示している。

### 2.1.1 TKT-TL 地点

TKT-TL 地点は、TKT-1 及び TKT-2 コアの掘削地点がある環流旧河谷を開析する支流と新宮 川との合流点に位置する(図 2.1.2)。ここでは、河床からの比高 40~50 m に露頭があり、四万 十帯の基盤岩を北西に緩やかに傾斜した不整合で覆って下位から順に河川流路堆積物(RC)、氾 濫原堆積物(FP)及び斜面堆積物(SD)と解釈できる地層を確認できる(図 2.1.2)。各地層の 特徴は、以下の通りである。

### (1) 河川流路堆積物(RC)標高: 323.7~326.3 m

標高 324.7 m よりも下位の厚さ 5~40 cm の砂層と砂礫層の互層と、それより上位の円~亜角 礫主体の砂礫層に二分される。下位の互層は灰褐色の中粒~極粗粒の砂層と円礫主体の砂礫層で 構成され、上方粗粒化を示す。上位の砂礫層は礫質支持と基質支持が緩やかに遷移して円~亜角 礫主体の中に亜角礫を若干伴う。礫径は 2~330 mm で、礫種は砂岩が主体で泥岩が 10~20%程 度混入して、本流性の河床礫に含まれる白色の酸性岩類がみられる。

### (2) 氾濫原堆積物(FP)標高: 326.3~327.3 m

厚さ 10~50 cm の細粒~中粒砂層と泥層の互層で構成される。最下位の砂層は上方細粒化を示 し、基底には円礫を伴う侵食面がみられる。その上位には斜交層理が確認でき、上部では平行層 理が卓越する。中央部の泥層は、上方細粒化した後、上方粗粒化する。最も細粒な部分には高師 小僧が認められる。最上部の砂層の堆積構造は、不鮮明であった。

### (3) 斜面堆積物 (SD) 標高: 327.3~330.3 m 以上

礫径 15~45 cm の亜角~角礫が混在する砂礫層で構成される。礫種は周辺の基盤岩露頭に認め られる四万十帯の砂岩と泥岩が主体である。

この露頭において河川流路堆積物の堆積年代を推定するための光ルミネッセンス年代測定用試料を4試料採取した(図 2.1.2)。試料採取では、光曝を防ぐために内径3 cm、長さ約 30 cm の 硬質塩化ビニル管を堆積面に直角に打ち込み、回収時には管の両端を速やかに塞いで実験室に持ち帰った。

【付録11】



図 2.1.2 TKT-TL 地点の地形と堆積物 露頭の位置図は、地理院地図を用いて作成。

2.1.2 OOI 地点

OOI 地点は標高 108.5 m、河床からの比高約 40 m の河成段丘上の湿地である(図 2.1.3)。掘 削調査により、下位より順に、レンズ状のシルト層を挟在する中礫~大礫からなる礫支持の円礫 層、円磨された中礫を稀に含む塊状細粒砂層、植物根や腐植を伴う泥層が堆積していることを確 認した。円礫層と中礫混じりの細粒砂層中には、本流性の河床礫にみられる白色の酸性岩類が含 まれる。このことから円礫層と砂層は新宮川の旧流路堆積物と解釈できる。

円礫層と砂層との境界付近には、木材の密集層が認められた。旧流路堆積物の堆積年代の推定 のため、この木材の密集層から放射性炭素(14C)年代測定試料を採取した。



図 2.1.3 OOI 地点の地形と堆積物 試料採取地点図は、地理院地図を用いて作成。

### 2.2 環流旧河谷のボーリングコアの分析結果

珪藻分析、花粉分析及びテフラ分析の試料採取層準を図 2.2.1 に示す。以下に、それぞれの分 析の結果について記す。



図 2.2.1 環流旧河谷のボーリングコアの柱状図と分析層準

### 2.2.1 珪藻分析

検出された珪藻化石は、淡水種が21分類群14属11種1変種であった(表 2.2.1)。これらの珪藻 化石は、淡水域における5環境指標種群(N、O、P、Qa及びQb)に分類された(表 2.2.1)。全 体的に珪藻化石が少なく、ほとんどの試料で殻が半分以上残存している珪藻化石は検出されなか った。以下では、コア毎に珪藻化石の特徴とその堆積環境について述べる。

### (1) TNZ-1 コア

採取試料のうち最上位の試料(TNZ-1_1)においてのみ、殻が半分以上残存している珪藻化石 は検出された(表 2.2.1)。堆積物1 g中の珪藻殻数は3.5×104個、完形殻の出現率は51.4%であり、 淡水種のみが検出された。堆積物中の珪藻殻数は非常に少ない。環境指標種群では、沼沢湿地付 着生指標種群(O)、湖沼沼沢湿地指標種群(N)、陸生珪藻A群(Qa)がわずかに検出された。

珪藻化石が少ないため、珪藻化石から復元される堆積環境は不明である。わずかに検出された 環境指標種群の特徴から、湖沼沼沢湿地~ジメジメとした陸域の影響を受けていた可能性がある。

### (2) TKT-1 コア

採取試料のうち最上位の試料(TKT-1_1)においてのみ、殻が半分以上残存している珪藻化石 は検出された(表 2.2.1)。堆積物1 g中の珪藻殻数は5.1×10⁴個、完形殻の出現率は77.2%である。 淡水種のみが検出され、堆積物中の珪藻殻数は非常に少ない。環境指標種群では、陸生珪藻A群 (Qa)、高層湿原指標種群(P)、陸生珪藻B群(Qb)がわずかに検出された。

珪藻化石が少ないため、珪藻化石から復元される堆積環境は不明である。わずかに検出された 環境指標種群の特徴から、高層湿原~ジメジメとした陸域の影響を受けていた可能性がある。

### (3) TKT-2 コア

殻が半分以上残存している珪藻化石は検出されなかった。

### (4) TKM-1 コア

殻が半分以上残存している珪藻化石は検出されなかった。

No.		分類群	種群	TNZ-1_1	TKT-1_1		
1	Amphora	spp.	?	2			
<b>2</b>	Cocconeis	placentula	W	2			
3	Cymbella	mesiana	W	2			
4	С.	spp.	?	2			
<b>5</b>	Diadesmis	contenta	Qa		4		
6	Eunotia	spp.	?				
7	Fragilaria	brevistriata	Ν				
8	<i>F.</i>	spp.	?		1		
9	Gomphonema	spp.	?	6			
10	Hantzschia	amphioxys	Qa		18		
11	Luticola	mutica	Qa	2	3		
12	Navicula	elginensis	Ο	6			
13	<i>N.</i>	spp.	?	2	5		
14	Nitzschia	spp.	?		7		
15	Pinnularia	acrosphaeria	0	1			
16	<i>P.</i>	subcapitata	$\mathbf{Q}\mathbf{b}$		2		
17	<i>P.</i>	<i>subcapitata</i> var. <i>elongata</i>	Р		8		
18	<i>P.</i>	spp.	?		5		
19	Stauroneis	phoenicenteron	Ο	3			
20	S.	spp.	?		1		
21	Staurosirella	pinnata	Ν	7			
22		Unknown	?		3		
		湖沼沼沢湿地	Ν	7			
		沼沢湿地付着生	Ο	10			
		高層湿原	Р		8		
		陸生A群	Qa	2	25		
		陸生B群	Qb		2		
		広布種	W	4			
		淡水不定•不明種	?	12	19		
		その他不明種	?		3		
		海水種					
		海~汽水種					
		汽水種					
		淡水種		35	54		
		合 計		35	57		
		完形殻の出現率(%)		51.4	77.2		
		堆積物1g中の殻数(個)		3.5E+04	5.1E+04		

表 2.2.1 珪藻化石産出表

*種群は、千葉・澤井(2014)による。

### 2.2.2 花粉分析

花粉分析の結果、花粉化石の群集解析の結果、花粉化石群集から推定される古環境(森林古植 生と古気候)についてボーリングコア毎に述べる。なお、本報告に用いた森林帯区分と名称は山 中(1979)と堀田(1980)に準拠した。

### (1) TNZ-1 コア

# 1) 分析結果

花粉・胞子化石の同定・計数結果および堆積物1g試料当たりに含まれる花粉・胞子化石量を 表 2.2.2~表 2.2.4 に示す。主な分類群は、常緑針葉樹のTsuga, Pinus, Sciadopitys, Cryptomeria, Cupressaceae, 落葉広葉樹の Carpinus / Ostrya, Betula, Alnus, Q. (Subgen, Lepidobalanus), 常緑広葉樹の Q. (Subgen, Cyclobalanopsis) および Castanopsis / Pasania などであった。また、 現在の日本列島には自生していない Hemiptelea が産出した。

堆積物1g試料当たりに含まれる花粉・胞子化石量、花粉・胞子総数に対する木本植物花粉・ 草本植物花粉およびシダ・コケ植物の胞子、同定不明・不能の化石の割合は、図 2.2.2 の左側に 示した。

各分類群の産出率は、表 2.2.2~表 2.2.4 に示した同定・計数結果に基づき、木本植物花粉の 総数を基数として算出し、図 2.2.2 の花粉ダイアグラムに示した。なお、TNZ-1 コア試料番号 4 (深度 32.88~32.90 m),試料番号 5 (深度 42.30~42.32 m)および試料番号 6 (深度 51.34~ 51.36 m) は木本植物の花粉化石総数が 250 粒に満たなかったため統計処理の対象外とし、分類 群の産出事実のみ表示した。

# 【付録11】

表	2.2.2	花粉・	胞子産出数一	·覧表	(1/3)
---	-------	-----	--------	-----	-------

	分類コード	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
試料番号	分類群 試料深度(m)	Cephalotaxus	odocarpus	lbies	Jicea	suga	inus	<ul> <li>Subgen. Diploxylon )</li> </ul>	iciad opitys	Iryptomeria	Jupressaceae	salix	dyrica –	luglans / Pterocarya	Carpinus / Ostrya	Corylus	3etula	llnus (Subgen. Alnus)	1. (Subgen. Alnaster)	agus japonica type
TN7_1 1	0.55 - 0.57	Ŭ	I	× 1	1	7	1 52	16	27	~ 7	1	•7	1	<u>ر</u>	6	0	10	~	~	1
$TNZ I_I$	0.55 0.57				'	/	JZ	40	37	20	-	1			0	4	11	6.0	70	'
TNZ-1_Z	4.00 - 4.02			1			0	1	4	39	c d	- 1		1	8	4	1	02	/3	
TNZ-1_3	15./4 - 15./6			- 1			2	2		33	4			2	15	- 1	9	/5	/2	
1 NZ-1_4	32.88 - 32.90						1			5					1		1	1	$\vdash$	
TNZ-1_5	42.30 - 42.32						1	1		2										
TNZ-1_6	51.34 - 51.36						1	2		1					2					
TKT-1_7	0.25 - 0.27			10		2			132	2										
TKT-1_8	0.75 - 0.77					+	12	14	3	64	9			1	16	3	4	38	37	1
TKT-1_9	8.89 - 8.91						1	1		1					1		1	1		
TKT-1_10	14.55 - 14.57							1												
TKT-1_11	18.42 - 18.44						1			17	1		1		7	1	2	24	40	
TKT-2_12	0.25 - 0.27				2	1		1	19	7						1				
TKT-2_13	0.95 - 0.97	1	1	2	1	3	32	37	2	154	13		1		1		1	4	2	
TKT-2_14	9.87 - 9.90							2							1	1	1			1
TKT-2_15	18.68 - 18.70								1	9										
TKM-1 16	3.81 - 3.83			1			1			6	1						1			
	分類コード	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
·····································	分類⊐—ド 分類群 試料深度(m)	Quercus (Subgen.	Q. (Subgen. Cyclobalanopsis)	Castanopsis/Pasania	Ulmus / Zelkova	Celtis / Aphananthe	Liquidambar	Rosaceae	Rutaceae	Mallotus	Sapium	Rhus	llex	Acer	Aesculus	Vitaceae	Tilia	Camellia	Araliaceae	Cornus
武 料 番 号	分類⊐ド 分類群 試料深度(m) 0.55 - 0.57	Quercus (Subgen.	Q. (Subgen.       Cyclobalanopsis)	Castanopsis/Pasania	ω Ulmus / Zelkova	Celtis / Aphananthe ∞	Liquidambar 2	Rosaceae	Rutaceae	Mallotus	Sapium	Rhus	2 Text	Acer	Aesculus	Vitaceae	Tilia 5	Camellia	Araliaceae	Cornus
試 料 番 号 TNZ-1 <u>1</u> TNZ-1 <u>1</u>	分類⊐ード 分類群 試料深度(m) 0.55 - 0.57 4.60 - 4.62	Quercus (Subgen.CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC	Q. (Subgen.           Cyclobalanopsis)	Example a constraint     Castanopsis/Pasania	$ \omega$ Ulmus / Zelkova $\sim$	Celtis / Aphananthe	Liquidambar 2	Rosaceae	Rutaceae 2	Mallotus	Sapium 5	Rhus	2 <i>Illex</i> 3	2 Acer 2	Aesculus	Vitaceae	Tilia 5	Camellia	Araliaceae 8	Cornus
試 料 番 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_3	分類⊐ード 分類群 試料深度(m) 0.55 - 0.57 4.60 - 4.62 15.74 - 15.76	1     Quercus (Subgen.       2     6       2     1       2     1       2     1       2     1	1         Q. (Subgen.           2         Cyclobalanopsis)	L     Castanopsis/Pasania	0 L C Ulmus / Zelkova	$\sim$ Celtis / Aphananthe $\sim$	Liquidambar	Rosaceae	Rutaceae	Mallotus	Sapium	L Rhus 2	2 <i>xall</i> 1 3 4	2 4 <i>cer</i>	- Aesculus	Vitaceae	Tilia 5	Camellia	Araliaccae   2	Cornus
試 料 番 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_4	分類コード 分類群	Quercus         Subgen.           0         1         1         0           0         1         1         1         0	0. (Subgen.       1     0. (Subdalanopsis)	L Castanopsis/Pasania	5     Ulmus / Zelkova       9     1       6	<ul> <li>Celtis / Aphananthe</li> <li>∞</li> </ul>	Liquidambar	Rosaceae	Rutaceae	Mallotus	Sapium	Rhus	2 <i>xəll</i> 1 3 4 1	2 4 <i>Cer</i>	Aesculus	Vitaceae	Tilia 5	Camellia	Araliaceae	Cornus
試料 番号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_4 TNZ-1_5	分類⊐ード 分類群 試料深度(m) 0.55 - 0.57 4.60 - 4.62 15.74 - 15.76 32.88 - 32.90 42.30 - 42.32	c     Quercus (Subgen.       c     91     cl       d     cl     10	c         U. (Subgen.           c         Cyclobalanopsis)	L     Castanopsis/Pasania	a     Ulmus / Zelkova	Celtis / Aphananthe	Liquidambar	Rosaceae	Rutaceae 2	Mallotus 2	Sapium	□	2 <i>xəll</i> 1 3 4	2 1 1 1	Aesculus	Vitaceae	Tilia 5	Camellia 🛛	Araliaceae   2	Cornus
武 料 番 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_4 TNZ-1_5 TNZ-1_6	分類コード 分類群	Construction         Construction<	No         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1	1     Castanopsis/Pasania	$\begin{bmatrix} 1 \\ 9 \\ -1 \\ c \\ $	Celtis / Aphananthe	Liquidambar	Rosaceae	Rutaceae 2	Mallotus 2	Sapium 2	2 <i>Rhus</i> 2	2 <i>xall</i> 1 3 4 1	2 1 2 1	Aesculus 2	Vitaceae	2 Tilia	Camellia	Araliaceae	Cornus
武 料 番 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_5 TNZ-1_6 TKT-1_7	分類⊐ード 分類群	2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2	00 C C C C C C C C C C C C C C C C C C	Image: Castanopsis/Pasania	$\begin{bmatrix} 1 \\ 9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ mus } / \text{Zelkova} $	Celtis / Aphananthe 2	Liquidambar	Rosaceae	2 2	Mallotus 8	2 Sapium	2 snyy 2	2 <i>xay</i> 1 3 4	2 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	Aesculus 8	2 S	2	Camellia 2	Araliaceae	Cornus
武 料 番 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_3 TNZ-1_4 TNZ-1_5 TNZ-1_6 TKT-1_7 TKT-1_8	分類⊐ード 分類群 対料深度(m) 0.55 - 0.57 4.60 - 4.62 15.74 - 15.76 32.88 - 32.90 42.30 - 42.32 51.34 - 51.36 0.25 - 0.27 0.75 - 0.77	5         Quercus (Subgen.           6         99         9           6         10         10	1         0         (Subgen.           1         0         5         Cyclobalanopsis)	+     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     - <td>2 Climus / Zelkova</td> <td>celtis / Aphananthe         c</td> <td>Liquidambar</td> <td>Rosaceae</td> <td>2 </td> <td>2 Mallotus</td> <td>2 Sapium 2</td> <td>2 <i>Bhuss</i></td> <td></td> <td>2 1 2 1 2 1</td> <td>2 <i>Aesculus</i></td> <td>2 Vitaceae</td> <td>2</td> <td>Camellia 2</td> <td>Araliaceae</td> <td>Cornus</td>	2 Climus / Zelkova	celtis / Aphananthe         c	Liquidambar	Rosaceae	2 	2 Mallotus	2 Sapium 2	2 <i>Bhuss</i>		2 1 2 1 2 1	2 <i>Aesculus</i>	2 Vitaceae	2	Camellia 2	Araliaceae	Cornus
武 料 番 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_3 TNZ-1_4 TNZ-1_5 TNZ-1_6 TKT-1_7 TKT-1_8 TKT-1_9	分類コード 分類群 分類群 (m) (m) (m) (m) (m) (m) (m) (m)	5         Quercus (Subgen.           6         9         9         1           1         1         1         1         1	D         D         D         D         N           1         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0	+     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     -     - <td>2 Climus / Zelkova</td> <td>celtis / Aphananthe         c</td> <td>Liquidambar</td> <td>Rosaceae</td> <td>2 </td> <td>2 Mallotus</td> <td>5         5</td> <td>2 <i>Bhuss</i></td> <td>2 <i>xəll</i> 1 3 4 1</td> <td></td> <td>2 4<i>esculus</i></td> <td>2 Vitaceae</td> <td>2 <i>Illia</i></td> <td>Camellia 2</td> <td>Araliaceae</td> <td>Cornus c</td>	2 Climus / Zelkova	celtis / Aphananthe         c	Liquidambar	Rosaceae	2 	2 Mallotus	5         5	2 <i>Bhuss</i>	2 <i>xəll</i> 1 3 4 1		2 4 <i>esculus</i>	2 Vitaceae	2 <i>Illia</i>	Camellia 2	Araliaceae	Cornus c
試料 番号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_4 TNZ-1_5 TNZ-1_6 TKT-1_7 TKT-1_8 TKT-1_9 TKT-1_10	分類コード 分類群 分類群 次類群 (m) 0.55 - 0.57 4.60 - 4.62 15.74 - 15.76 32.88 - 32.90 42.30 - 42.32 51.34 - 51.36 0.25 - 0.27 0.75 - 0.77 8.89 - 8.91 14.55 - 14.57	5         Quercus (Subgen.           1         1         1           1         1         1	D         D         D         D         N           1         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0	+     -     Castanopsis/Pasania	α         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ         Δ	N         Celtis / Aphananthe         N	Liquidambar	Rosaceae	2 	2 Mallotus	x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x	2 <i>B U u s</i>		2 1 2 1 1	1         1         1         2	2 Vitaceae	2 <i>IUII</i>	Camellia 2	Araliaceae	Cornus c
試 料 番 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_4 TNZ-1_5 TNZ-1_6 TKT-1_7 TKT-1_9 TKT-1_10 TKT-1_10	分類コード 分類群 分類群 (m) (m) (m) (m) (m) (m) (m) (m)	5         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2	2 Cyclobalanopsis)	1     1     1     1     1	α [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [	b         Celtis / Aphananthe	Liquidambar         2	Rosaceae	2 2 1 1 1 2	2 Mallotus	5         5			2 1 2 1 1	2 <i>Aesculus</i>	2 2	2	Camellia         c	Araliaceae         2	Cornus
試 料 番 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_4 TNZ-1_5 TNZ-1_6 TKT-1_7 TKT-1_7 TKT-1_9 TKT-1_10 TKT-1_11 TKT-2_12	分類コード 分類群 分類群 (m) (m) (m) (m) (m) (m) (m) (m)	5         2           7         2           1         2           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1           1         1	2 Cyclobalanopsis)	1     2       1     1       1     1	b         1         6         1         6         1         6         1         7         7         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1 <th1< th=""> <th1< th=""> <th1< th=""> <th1< th=""></th1<></th1<></th1<></th1<>	b         Celtis / Aphananthe	Liquidambar         2	Rosaceae	2 2 1 1 2	2 Mallotus	5         3apium			2 1 2 1 1	2 <i>Aesculus</i>	2 Vitaceae	2	Camellia         c	1         2         7	Cornus
試 料 番 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_4 TNZ-1_5 TNZ-1_6 TKT-1_7 TKT-1_7 TKT-1_9 TKT-1_10 TKT-1_11 TKT-2_12 TKT-2_13	分類コード 分類群 分類群 (m) (m) (m) (m) (m) (m) (m) (m)	2 <i>Quercus</i> (Subgen. 2 <i>Quercus</i> (Subgen. 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	b         Celtis / Aphananthe	Liquidambar         2	2 	2 2 1 1 2	2 Wallotus	apium	2 <i>STN UB</i> 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 xəll 1 3 4 1 1 1 2 1 2	2 1 2 1 1	2 <i>Aesculus</i> 2	2 Vitaceae	2	L Camellia	2         Araliaceae           1         1	2 Солииз Солииз
武 料 番 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_2 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_4 TNZ-1_5 TNZ-1_6 TKT-1_7 TKT-1_7 TKT-1_7 TKT-1_10 TKT-1_10 TKT-2_12 TKT-2_13 TKT-2_14	分類コード 分類群 分類群 (m) 0.55 - 0.57 4.60 - 4.62 15.74 - 15.76 32.88 - 32.90 42.30 - 42.32 51.34 - 51.36 0.25 - 0.27 0.75 - 0.77 8.89 - 8.91 14.55 - 14.57 18.42 - 18.44 0.25 - 0.27 0.95 - 0.97 9.87 - 9.90	2 <i>Quercus</i> (Subgen. 2 <i>Quercus</i> (Subgen. 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.	2 Castanopsis/Pasania	2 2 3 6 1 6 1 2 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 2 1 2 2 1 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	cellis / Aphananthe         c	2 <i>Liquidambar</i>	2 	2 2 2 2 2	2 Mallotus	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 <i>Sny</i> 2 1	2 <i>xeyl</i> 1 3 4 1 1 12 12 1	2 <i>1</i> 2 1	2 4esculus	Nitaccac	2	1	1         2           1         1	comus
武 料 番 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_2 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_4 TNZ-1_5 TNZ-1_6 TKT-1_7 TKT-1_8 TKT-1_9 TKT-1_10 TKT-1_10 TKT-2_12 TKT-2_13 TKT-2_14 TKT-2_15	分類コード 分類群 分類群 (m) (m) (m) (m) (m) (m) (m) (m)	2 <i>Quercus</i> (Subgen. 2 <i>Quercus</i> (Subgen. 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c         c <thc< th=""> <thc< th=""> <thc< th=""> <thc< th=""></thc<></thc<></thc<></thc<>	clip         clip <td< td=""><td>2 <i>Liquidambar</i></td><td>2 </td><td>2 2 2 2 2</td><td>2</td><td>2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2</td><td>2 <i>Snux</i> 1 1 1 1 1 1 1 1 1</td><td>2 xəyl 1 3 4 1 1 12 12 1</td><td>2 1 2 1 1 1 1</td><td>2 4esculus</td><td>Nitaccac</td><td>2</td><td>1         2</td><td>1         2           1         1</td><td>Cornus</td></td<>	2 <i>Liquidambar</i>	2 	2 2 2 2 2	2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 <i>Snux</i> 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 xəyl 1 3 4 1 1 12 12 1	2 1 2 1 1 1 1	2 4esculus	Nitaccac	2	1         2	1         2           1         1	Cornus
試料 番号 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_4 TNZ-1_5 TNZ-1_6 TKT-1_7 TKT-1_7 TKT-1_9 TKT-1_10 TKT-1_10 TKT-1_11 TKT-2_12 TKT-2_13 TKT-2_14 TKT-2_15 TKT-1_16	分類コード 分類群 次類群 武料深度(m) 0.55 - 0.57 4.60 - 4.62 15.74 - 15.76 32.88 - 32.90 42.30 - 42.32 51.34 - 51.36 0.25 - 0.27 0.75 - 0.77 8.89 - 8.91 14.55 - 14.57 18.42 - 18.44 0.25 - 0.27 0.95 - 0.97 9.87 - 9.90 18.68 - 18.70 3.81 - 3.83	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2         Q. (Subgen.           2         D         D         Cyclobalanopsis)           2         2         Cyclobalanopsis)         Z	L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L         L <thl< th=""> <thl< th=""> <thl< th=""> <thl< th=""></thl<></thl<></thl<></thl<>	α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α         α	x         x         x         x         x	Liquidambar	2 	2 	2 Mallotus	x         x         x         x         x           x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x         x		2 <i>xall</i> 1 3 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1		2 4esculus	Nitaccac	2	T   Camellia	2         2           1         1           1         1	Cornus

+:250粒の計数外で産出.

分類コード 1: 木本植物(針葉樹類); 2: 木本植物(広葉樹類); 3: 草本植物; 4: シダ植物; 5: コケ植物; 6: 不明花粉・胞子.

# 【 付録 11 】

# 表 2.2.3 花粉・胞子産出数一覧表 (2/3)

	分類コード	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
試料番号	分類群	ceae	south	locos	x	trum	snu	mum	pyrum	conum (Sect.Bistorta)	ect.Persicaria / iocaulon )	sct.Reynoutria )	opdiaceae	phyllaceae	nculus	ctrum	ceae (Herb)	minosae	nium	mullum
	試料深度(m)	Erica	Diosp	Symp	Styra.	Ligus	Fraxi	Vibur	Fago	Polyg	P. (Sd Echin	P.(S	Chen	Caryo	Ranu	Thali	Rosae	Legu	Gerai	Myric
TNZ-1_1	0.55 - 0.57					1			3			3	2	7	38				1	
TNZ-1_2	4.60 - 4.62	1			1		1				3	1	2			1		3		
TNZ-1_3	15.74 - 15.76						1		1				2	1				1		1
TNZ-1_4	32.88 - 32.90		1																	
TNZ-1_5	42.30 - 42.32														1					
TNZ-1_6	51.34 - 51.36																			
TKT-1_7	0.25 - 0.27				4		2	4					8	2	2				4	
TKT-1_8	0.75 - 0.77						1	2					32	4						
TKT-1_9	8.89 - 8.91					1				1										
TKT-1_10	14.55 - 14.57																			
TKT-1_11	18.42 - 18.44												5							
TKT-2_12	0.25 - 0.27	1					2	2	1			1	4	1						
TKT-2_13	0.95 - 0.97	1							1			3	19	2			1			
TKT-2_14	9.87 - 9.90																			
TKT-2_15	18.68 - 18.70										1		1							
TKM-1_16	3.81 - 3.83																			
	分類⊐ード	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4
	分類⊐ド 分類群 試料深度(m)	Umbelliferae	Gentiana	Justicia	Labiatae 6	Valeriana 🛛	Carduoideae	Artemisia	Cichorioideae ∞	Typha 🛛	Alisma 6	Sag ittaria	Gramineae	Cyperaceae	Eriocaulon	Liliaceae	Lycopodium (subgen. Urostachys)	L. (subgen. $Lycopodium$ )	Osmunda	Davallia
武 料 番 号	分類コード 分類群 就料深度(m) 0.55 - 0.57	Umbelliferae	1 Gentiana	Justicia	Labiatae 🖉	Valeriana 6	د د د د د	6 Artemisia	E Cichonioideae	Typha	Alisma 3	Sagittaria	6 Gramineae	α Cyperaceae	Eriocaulon	k Liliaceae	Lycopodium (subgen.       Lotostachys)	(L. (subgen. Lycopodium))	4 Osmunda	bavallia
試 料 番 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2	分類コード 分類群 就料深度(m) 0.55 - 0.57 4.60 - 4.62	Umbelliferae 5	1 Gentiana	Justicia	Labiatae	c Valeriana	2 Carduoideae	2 B Artemisia	L Cichorioideae	2 Typha E	41 Alisma	Sagittaria	c Gramineae 821 822	^c ^c ^b ^c ^c	Eriocaulon	k Liliaceae	Lycopodium (subgen.       Lostachys)	$\omega \left[ L. (subgen. Lycopodium) \right]_{\bullet}$	4 Osmunda	1 Davallia
試 料 番 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_3	分類コード 分類群 就料深度(m) 0.55 - 0.57 4.60 - 4.62 15.74 - 15.76	Cumbelliferae	L Gentiana	Justicia	Labiatae	Valeriana 6	α Carduoideae	121 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	G L Cichorioideae	c z Typha	Alisma 6	Sag ittaria	د د 22 د 23 د 23 د 23 د 23 د 23 د 23 د 2	6 b cyperaceae	Eriocaulon ©	k Liliaceae	Lycopodium (subgen.       L       Urostachys)	$\omega$ L. (subgen. Lycopodium)	Smunda	- 1 <u>1</u> <u>1</u> <u>1</u> <u>1</u> <u>1</u> <u>1</u> <u>1</u> <u>1</u> <u>1</u> <u></u>
試 料 番 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_4	分類コード 分類群 就料深度(m) 0.55 - 0.57 4.60 - 4.62 15.74 - 15.76 32.88 - 32.90	Cmbelliferae	1 Gentiana	Justicia	Labiatae 🖉	Valeriana 🖉	2 Carduoideae	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	G L Cichorioideae	Πурha         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε <td>→ Alisma</td> <td>Sagittaria 6</td> <td>3 8 27 2 13 8 12 2 13 2 13 5</td> <td>2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2</td> <td>Eriocaulon c</td> <td>4 F Cliliaceae</td> <td>Lycopodium (subgen.       Livostachys)</td> <td>$\infty$ L. (subgen. Lycopodium)</td> <td>▶ Osmunda ►</td> <td>4 Davallia</td>	→ Alisma	Sagittaria 6	3 8 27 2 13 8 12 2 13 2 13 5	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	Eriocaulon c	4 F Cliliaceae	Lycopodium (subgen.       Livostachys)	$\infty$ L. (subgen. Lycopodium)	▶ Osmunda ►	4 Davallia
試料 番号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_4 TNZ-1_5	分類コード 分類群 就料深度(m) 0.55 - 0.57 4.60 - 4.62 15.74 - 15.76 32.88 - 32.90 42.30 - 42.32	Cumbelliferae	Gentiana       L	Justicia	Labiatae 6	ναleriana ε	2 Carduoideae	211 120 120 120 120 120 120 120 120 120	Cichorioideae		⊲ Alisma	Sagittaria	3 273 138 15 3 3	ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε         ε	Εriocaulon ε	k F	Lycopodium (subgen.	Δ [L. (subgen. Lycopodium)	4 Osmunda	4 1 1 1 1
試料 番号 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_4 TNZ-1_5 TNZ-1_6	分類コード 分類群 対類群 武料深度(m) 0.55 - 0.57 4.60 - 4.62 15.74 - 15.76 32.88 - 32.90 42.30 - 42.32 51.34 - 51.36	Chmbelliferae	L Gentiana	Justicia	Labiatac ∞	Control Co	2 Carduoideae	3 3 3 3 3 4 7 5 9 5 1 5 9 1 5 9 1 1 5	1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1         1	□ [ ] [ ] [ ])pha [ ]	∞ ¬	Sagittaria	3 273 138 213 15 3 1 1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	Eriocaulon ε	P Liliaceae	Lycopodium (subgen.       L Urostachys)	[+] $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$ $[+]$	4 2 08munda	4 1 1 1 1 1 1
試 料 番 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_4 TNZ-1_5 TNZ-1_6 TKT-1_7	分類コード 分類群 対類群 武料深度(m) 0.55 - 0.57 4.60 - 4.62 15.74 - 15.76 32.88 - 32.90 42.30 - 42.32 51.34 - 51.36 0.25 - 0.27	Cumbelliferae	Centiana E	Justicia	Labiatae ∞	C C C C C C C C C C C C C C C C C C C	۲ د د د د د د د د د د د د د د د د د د د	3 3 3 4 4 3 6 175 159 159 1 4	G Cichorioideae	ε τ <i>Typha</i> ε	∞ Alisma	Sagittaria	د ۲۰۹۵ ۲۰۹۵ ۲۰۹۵ ۲۰۹۵ ۲۰۹۵ ۲۰۹۵ ۲۰۹۵ ۲۰۹۵	3 3 45 6 8 6 8 2 2 3 3 2 8	Eriocaulon c	P Liliaceae	Lycopodium (subgen.           L         Urostachys)		4 <i>Comunada</i>	4 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
試 料 番 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_4 TNZ-1_5 TNZ-1_6 TKT-1_7 TKT-1_8	分類コード 分類群 対類群 試料深度(m) 0.55 - 0.57 4.60 - 4.62 15.74 - 15.76 32.88 - 32.90 42.30 - 42.32 51.34 - 51.36 0.25 - 0.27 0.75 - 0.77	Cumbelliferae	Centiana E	Justicia c	∞	Γ Valeriana ∞	۲ د د د د د د د د د د د د د د د د د د د	з 3 3 3 6 175 159 116 116	2 Cichorioideae	1         C         Δ           1         1         Δ         Δ	∞ Alisma	Sagittaria	3 2733 1388 213 15 3 1 10 10 182	3 3 45 46 8 8 3 2 8 8 2 8 51	Eriocauton ε	4 P Initiaceae	4         2         Uycopodium (subgen.           4         2         Urostachys)         4	$\left  \begin{array}{c c} & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & $	4 02 2	4 96 96
試 料 番 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_4 TNZ-1_5 TNZ-1_6 TKT-1_7 TKT-1_8 TKT-1_9	分類コード 分類群 対類群 試料深度(m) 0.55 - 0.57 4.60 - 4.62 15.74 - 15.76 32.88 - 32.90 42.30 - 42.32 51.34 - 51.36 0.25 - 0.27 0.75 - 0.77 8.89 - 8.91	Cumbelliferae	Centiana c	Justicia	Σ [ Tabiatac ε	Contraction σ α α α α α α α α α α α α α α α α α α	ε         ε           2         ε           1         1	3 <i>biter biter bi</i>	2 Cichorioideae	1         1         Σ)pha         ε	∞ Alisma	Sagittaria	3 3 273 138 213 15 3 1 1 0 182	2 2 3 3 2 2 8 2 8 51 51	Eriocaulon c	F	4         2         Lycopodium (subgen.           4         2         Urostachy s)         4	$\left  \begin{array}{c c} & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & $	4 2 2	4 96 96
試料 番号 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_4 TNZ-1_5 TNZ-1_6 TKT-1_7 TKT-1_8 TKT-1_9 TKT-1_10	分類コード 分類群	Cumbelliferae	Centiana c	Justicia	Labiatae &	valeriana ∞	۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲	3 <i>biter biter bi</i>	2 Cichorioideae	1         1         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ         δ	∞ <i>Alisma</i>	Sagittaria	3 3 273 138 213 15 3 1 10 182 10 10	2 2 3 2 2 3 3 51 51 51	Eriocaulon ∞		Lycopodium (subgen.           2         Urostachys)	$\sim$ $L$ (subgen. Lycopodium)	4 2 2	4 6 6 1 1 1 1 0 6 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
試 料 番 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_4 TNZ-1_5 TNZ-1_6 TKT-1_7 TKT-1_8 TKT-1_9 TKT-1_10 TKT-1_11	分類コード 分類群 分類群 試料深度(m) 0.55 - 0.57 4.60 - 4.62 15.74 - 15.76 32.88 - 32.90 42.30 - 42.32 51.34 - 51.36 0.25 - 0.27 0.75 - 0.77 8.89 - 8.91 14.55 - 14.57 18.42 - 18.44	Cumbelliferae	Gentiana c	Justicia	Labiatae c	valeriana ∞	2 Carduoideae	3 <i>bisineatics</i> 3 3 3 3 4 1 1 5 9 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	c Cichorioideae	2 1 1 2 2 12 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	⇒ Alisma	Sagittaria	5 8 7 8 7 9 7 9 7 9 7 9 7 9 7 9 7 9 7 9 7	6         6         6           6         64         64         64           7         6         64         64           16         61         61         61	Eriocaulon &	4 F Liliaceae	Lycopodium (subgen.           2         Urostachys)	α [L. (subgen. Lycopodium) Φ	4 <i>ppunusO</i> 2 2	4 96
試 料 番 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_4 TNZ-1_5 TNZ-1_6 TKT-1_5 TKT-1_7 TKT-1_8 TKT-1_9 TKT-1_10 TKT-1_11 TKT-2_12	分類コード 分類群	Cumbelliferae	Gentiana c	Justicia	2 Labiatae	valeriana ∞	2 Carduoideae	3 3 175 159 116 80 4	2 Cichorioideae	2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	⇒ Alisma	Sagittaria	5 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	6         6         6           6         6         6         6           7         6         6         6           8         2         6         6           1         6         1         1	⊥ Eriocaulon ∞	P Tiliaceae	c         Lycopodium (subgen.           c         Lycostachys)	$\begin{array}{ c c c } \bullet & & & & \\ \bullet & & \\ \bullet$	4 <i>ppunusO</i> 2 2 3	4 96 92
試料 番子 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_4 TNZ-1_5 TNZ-1_6 TKT-1_5 TKT-1_7 TKT-1_8 TKT-1_9 TKT-1_10 TKT-1_11 TKT-2_12 TKT-2_13	分類コード 分類群	Cumbelliferae	Centiana c	2 Justicia	2 Labiatae	and a second se	2 Carduoideae	3 <i>biter biter bi</i>	8 S S S S S S S S S S S S S S S S S S S	2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	⇒ Alisma	Sag ittaria	5 8 7 8 7 9 7 9 7 9 1 9 1 9 1 9 1 9 1 9 1 9 1 9	6         6           6         6           7         6           8         2           8         2           1         1           1         1           2         2	□ Eriocaulon ∞	4 P	c         Lycopodium (subgen.           c         b         Lycostachys)	$\sim$ + $\sim$	4 <i>ppunusO</i> 2 2 3 1	4 <i>payallia</i> 96 92 5
試料 番子 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_4 TNZ-1_5 TNZ-1_6 TKT-1_7 TKT-1_8 TKT-1_9 TKT-1_10 TKT-1_11 TKT-2_12 TKT-2_13 TKT-2_14	分類コード 分類群	Cumbelliferae	Centiana c	Justicia ©	2 Labiatae	Contraction a c	2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	3 <i>biside a constraint of the second second</i>	2 Cichorioideae	2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	⇒ Alisma	Sag ittaria	5 8 7 8 7 9 7 9 7 9 1 9 1 9 1 9 1 9 1 9 1 9 1 9	6         6           6         6           7         6           8         2           1         6           1         1           1         1	Eriocaulon &	4 F F F F F F F F F F	cs         b         Lycopodium (subgen.           cs         b         J         Urostachys)	$\sim$	4 <i>ppunusO</i> 2 2 3 1	4 <i>p</i> illava 61 1 1 96 92 5
試料 番号 号 TNZ-1_1 TNZ-1_2 TNZ-1_3 TNZ-1_4 TNZ-1_5 TNZ-1_6 TKT-1_7 TKT-1_8 TKT-1_9 TKT-1_10 TKT-1_11 TKT-2_12 TKT-2_13 TKT-2_14 TKT-2_15	分類コード 分類群	c Cmbelliferae	Centiana c	Justicia 2	2	C Valeriana ∞	2 Carduoideae	3 <i>a</i> <i>b</i> <i>b</i> <i>b</i> <i>b</i> <i>b</i> <i>b</i> <i>b</i> <i>b</i>	2 2 6 Cichonoideae	3 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1	⇒ 4 <i>lisma</i>	Sagittaria	3 3 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	8         2         2         4         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6         6	Eriocaulon &	4 4	Cs         Lycopodium (subgen.           Cs         2         Urostachys)	α         μ         L. (subgen. Lycopodium)         μ	4 <i>ppunuso</i> 2 2 	4 <i>pillovallia</i> 96 92 5

# 【付録11】

# 表 2.2.4 花粉・胞子産出数一覧表 (3/3)

	分類コード		4	4	4	5	5	6
試料番号	分類 試料深り	〕群 度(m)	Polypodiaceae	monolete type spores	trilete type spores	Bryophta	unubydS	unknown pollen and spores
TNZ-1_1	0.55 -	0.57	3	108	391			102
TNZ-1_2	4.60 -	4.62		374	30	1		72
TNZ-1_3	15.74 -	15.76		111	9	3	1	82
TNZ-1_4	32.88 -	32.90		11	1			4
TNZ-1_5	42.30 -	42.32		7				1
TNZ-1_6	51.34 -	51.36		1				
TKT-1_7	0.25 -	0.27	6	612	98			108
TKT-1_8	0.75 -	0.77						
TKT-1_9	8.89 -	8.91						
TKT-1_10	14.55 -	14.57						
TKT-1_11	18.42 -	18.44						
TKT-2_12	0.25 -	0.27		44	49	3		26
TKT-2_13	0.95 -	0.97		35	54	1		82
TKT-2_14	9.87 -	9.90		1				1
TKT-2_15	18.68 -	18.70		3	1			6
TKM-1_16	3.81 -	3.83		2		5		6

	分類コード							
試 嵙 番 号	分数	頁群 度(m)	木本植物花粉数小計	草本植物花粉数小計	シダ植物胞子数小計	不明花粉·胞子数小計	花粉·胞子数合計	試料1gあたりの産出粒数 (粒/g)
TNZ-1_1	0.55 -	0.57	262	590	575	102	1529	5,778
TNZ-1_2	4.60 -	4.62	257	379	406	72	1114	72
TNZ-1_3	15.74 -	15.76	258	483	125	82	948	64
TNZ-1_4	32.88 -	32.90	18	18	12	4	52	3
TNZ-1_5	42.30 -	42.32	7	7	7	1	22	1
TNZ-1_6	51.34 -	51.36	7	3	1	0	11	1
TKT-1_7	0.25 -	0.27	262	62	840	108	1272	584
TKT-1_8	0.75 -	0.77	250	390	0	0	640	30
TKT-1_9	8.89 -	8.91	8	2	0	0	10	1
TKT-1_10	14.55 -	14.57	2	11	0	0	13	1
TKT-1_11	18.42 -	18.44	108	142	0	0	250	11
TKT-2_12	0.25 -	0.27	67	28	200	26	321	43
TKT-2_13	0.95 -	0.97	295	190	98	82	665	7,584
TKT-2_14	9.87 -	9.90	8	2	1	1	12	0.4
TKT-2_15	18.68 -	18.70	16	9	4	6	35	3
TKM-1_16	3.81 -	3.83	10	10	8	6	34	4

+:250粒の計数外で産出.

分類コード 1: 木本植物(針葉樹類); 2: 木本植物(広葉樹類); 3: 草本植物; 4: シダ植物; 5: コケ植物; 6: 不明花粉・胞子.

### 2) 群集解析

木本植物花粉の分類群の組み合わせに基づき、3帯(下位よりTNZ1-1帯,-2帯及び-3帯)の 地域花粉群集帯に区分した(図 2.2.2)。以下に各地域花粉群集帯の特徴を下位より述べる。

### ① TNZ1-1帯

本本植物花粉の産出粒数が少ない層序区間である。Pinus, Cryptomeria, Carpinus/Ostrya, Betula, Alnus, Q. (Subgen. Lepidobalanus), Q. (Subgen. Cyclobalanopsis), Castanopsis / Pasania, Ulmus/Zelkova, Celtis/Aphananthe (エノキ属/ムクノキ属), Ilex (モチノキ属), Diospyros (カキノキ属) などの分類群が産出する。

### ② TNZ1-2 帯

Alnus が極めて優勢で、Cryptomeria, Q.(Subgen. Lepidobalanus), Q.(Subgen. Cyclobalanopsis) および Carpinus / Ostrya がこれに次ぐ。常緑広葉樹の Castanopsis / Pasania を低率に伴う。 Pinaceae の分類群および Sciadopitys は極めて低率であり、Fagus はほとんど産出しない。

### ③ TNZ1-3 帯

*Pinus* が優勢で、*Q.*(Subgen. *Lepidobalanus*), *Sciadopitys* および *Q.*(Subgen. *Cyclobalanopsis*) がこれに次ぐ。*Cryptomeria* は低率であり、*Fagus* および *Castanopsis / Pasania* は極めて低率である。



#### 3) 古環境の考察(図 2.2.2)

#### ① TNZ1-1帯

木本植物花粉の産出粒数が少ない層序区間であるため、古植生・古気候についての予察を 述べる。温帯針葉樹の Pinus および Cryptomeria が、温帯落葉広葉樹の Q. (Subgen. Lepidobalanus)や暖温帯常緑広葉樹の Q. (Subgen. Cyclobalanopsis) などの分類群を伴って 産出することから、森林古植生は暖温帯上部に優占する温帯針葉樹林(中間温帯林)であっ た可能性がある。また、草本植物およびシダ・コケ植物の分類群が高率に産出することから、 堆積地周辺には氾濫原が存在していた可能性がある。古気候は温暖・湿潤であったと推定さ れる。

### ② TNZ1-2 帯

草本植物およびシダ・コケ植物の分類群が高率に産出することから、堆積地周辺には広大 な氾濫原の原野植生が存在していたと考えられる。さらに、木本植物の Alnus が極めて優勢 であり、Myriophyllum および Typha などの水生植物や Eriocaulon (ホシクサ属) および Sphagnum などの湿地生植物を伴うことから、氾濫原の後背湿地には池沼・湿地の植生や Alnus を主体とする湿地林や河辺林が存在したと推定される。また、Alnus 以外の木本植物 の花粉化石群集は温帯針葉樹の Cryptomeria, 温帯落葉広葉樹の Q.(Subgen. Lepidobalanus) および Carpinus / Ostrya, 暖温帯常緑広葉樹の Q.(Subgen. Cyclobalanopsis)からなり、 Castanopsis/Pasania を低率に伴う。これらのことから、森林古植生は照葉樹林(暖温帯常 緑広葉樹林) ~暖温帯上部に優占する温帯針葉樹林(中間温帯林) であったと考えられる。 古気候は温暖であったと推定され、温帯常緑針葉樹の Cryptomeria が高率に産出することか ら、降水量は一年を通じて多かったと考えられる。

#### ③ TNZ1-3 帯

草本植物およびシダ・コケ植物の分類群が高率に産出することから、堆積地周辺には広大 な氾濫原の原野植生が存在していたと考えられる。木本植物の Pinus が極めて優勢であり、 水生植物の Alisma はわずかに産出したがその他の水生植物の分類群および湿地生植物の分 類群を伴わないことから、前述の TNZ1・2 帯と比較すると、堆積地周辺は明るく開けた環境 で土壌水分が乾燥化した土地条件であったことが推定される。Pinus 以外の木本植物の花粉 化石群集は温帯落葉広葉樹の Q.(Subgen. Lepidobalanus)が優勢で、温帯常緑針葉樹の Sciadopitys, 暖温帯常緑広葉樹の Q.(Subgen. Cyclobalanopsis) を伴う。これらのことから、 森林古植生は照葉樹林 (暖温帯常緑広葉樹林) ~暖温帯上部に優占する温帯針葉樹林 (中間 温帯林) であったと考えられる。古気候は下位の時代と比較して温暖であったと推定され、 温帯常緑針葉樹の Sciadopitys および Tsuga が下位の帯と比較して著しく増加していること から、夏期には連続的な降水があったが冬期の降水量は少なかったと考えられる。

#### (2) TKT-1コア

#### 1) 分析結果

花粉・胞子化石の同定・計数結果および堆積物1g試料当たりに含まれる花粉・胞子化石量を 表 2.2.2~表 2.2.4 に示す。主な分類群は、常緑針葉樹の Abies, Pinus, Sciadopitys, Cryptomeria, Cupressaceae, 落葉広葉樹の Carpinus/Ostrya, Alnus, Q. (Subgen. Lepidobalanus), 常緑広 葉樹の Q. (Subgen. Cyclobalanopsis) および Castanopsis/Pasania などであった。また、現在 の日本列島には自生していない Hemiptelea が産出した。

付 11-15

堆積物1g試料当たりに含まれる花粉・胞子化石量,花粉・胞子総数に対する木本植物花粉・ 草本植物花粉およびシダ・コケ植物の胞子,同定不明・不能の化石の割合は、図 2.2.3 の左側に 示した。

各分類群の産出率は、表 2.2.2~表 2.2.4 に示した同定・計数結果に基づき、木本植物花粉の 総数を基数として算出し、図 2.2.3 の花粉ダイアグラムに示した。なお、TKT-1 コア試料番号 9 (深度 8.89~8.91 m),試料番号 10(深度 14.55~14.57 m)および試料番号 11(深度 18.42~ 18.44 m)は木本植物の花粉化石総数が 250 粒に満たなかったため統計処理の対象外とし、分類 群の産出事実のみ表示した。

### 2) 群集解析

木本植物花粉の分類群の組み合わせに基づき、3帯(下位よりTKT1-1帯,-2帯,-3帯)の地 域花粉群集帯に区分した(図 2.2.3)。以下に各地域花粉群集帯の特徴を下位より述べる。

### ① TKT1-1帯

本本植物花粉の産出粒数が少ない層序区間である。*Pinus, Cryptomeria*, Cupressaceae, *Myrica*(ヤマモモ属), *Carpinus*/ *Ostrya*, *Corylus*(ハシバミ属), *Betula*, *Alnus*, *Q*. (Subgen. *Lepidobalanus*), *Q*. (Subgen. *Cyclobalanopsis*), *Castanopsis*/*Pasania*, *Ulmus*/ *Zelkova*, *Rhus* (ウルシ属), *Ligustrum*(イボタノキ属) などの分類群が産出する。

# ② TKT1-2 帯

Alnus および Cryptomeria が優勢で、Pinus, Q.(Subgen. Cyclobalanopsis), Q.(Subgen. Lepidobalanus)および Carpinus / Ostrya がこれらに次ぐ。常緑広葉樹の Castanopsis / Pasania を低率に伴う。Tsuga, Sciadopitys, Juglans / Pterocarya および Fagus は極めて低率であり、 Abies はほとんど産出しない。

# ③ TKT1-3 帯

Sciadopitys が極めて優勢で、Q.(Subgen. Lepidobalanus)および Q.(Subgen. Cyclobalanopsis) がこれに次ぐ。Cryptomeria は低率であり、Fagus および Castanopsis / Pasania はほとんど産出しない。



### 3) 古環境の考察(図 2.2.3)

#### ① TKT1-1帯

木本植物花粉の産出粒数が少ない層序区間であるため、古植生・古気候についての予察を 述べる。温帯針葉樹の Pinus および Cryptomeria が、温帯落葉広葉樹の Q. (Subgen. Lepidobalanus)や暖温帯常緑広葉樹の Q. (Subgen. Cyclobalanopsis), Castanopsis / Pasania などの分類群を伴って産出することから、森林古植生は暖温帯上部に優占する温帯 針葉樹林(中間温帯林)であった可能性がある。また、草本植物およびシダ・コケ植物の分 類群が高率に産出することから、堆積地周辺には氾濫原が存在していた可能性がある。古気 候は温暖・湿潤であったと推定される。

#### ② TKT1-2 帯

草本植物の分類群が高率に産出することから、堆積地周辺には広大な氾濫原の原野植生が存在していたと考えられる。さらに、木本植物のAlnusが優勢であることから、氾濫原には Alnus を主体とする湿地林や河辺林が存在したと推定される。また、Alnus 以外の木本植物 の花粉化石群集は温帯針葉樹の Cryptomeria が優勢で、温帯落葉広葉樹の Q.(Subgen. Lepidobalanus) および Carpinus / Ostrya, 暖温帯常緑広葉樹の Q.(Subgen. Cyclobalanopsis)などの分類群がこれに次ぐ。これらのことから、森林古植生は照葉樹林(暖 温帯常緑広葉樹林) ~暖温帯上部に優占する温帯針葉樹林(中間温帯林) であったと考えら れる。古気候は温暖であったと推定され、温帯常緑針葉樹の Cryptomeria が高率に産出する ことから、降水量は一年を通じて多かったと考えられる。

#### ③ TKT1-3 帯

シダ・コケ植物の分類群が高率に産出することから、堆積地周辺には広大な氾濫原の原野 植生が存在していたと考えられる。木本植物の花粉化石群集は温帯常緑針葉樹の Sciadopitys が極めて優勢で、温帯落葉広葉樹の Q.(Subgen. Lepidobalanus)および暖温帯常緑広葉樹の Q.(Subgen. Cyclobalanopsis) を伴う。これらのことから、森林古植生は照葉樹林(暖温帯常 緑広葉樹林) ~暖温帯上部に優占する温帯針葉樹林(中間温帯林) であったと考えられる。 古気候は下位の時代と同様に温暖であったと推定され、温帯常緑針葉樹の *Sciadopitys* が下 位の帯と比較して著しく増加していることから、夏期には連続的な降水があったが冬期の降 水量は少なかったと考えられる。

#### (3) TKT-2 コア

#### 1) 分析結果

花粉・胞子化石の同定・計数結果および堆積物 1g 試料当たりに含まれる花粉・胞子化石量を表 2.2.2~表 2.2.4 に示す。主な分類群は、常緑針葉樹の Pinus, Cryptomeria, Cupressaceae, 落 葉広葉樹の Alnus, Q. (Subgen. Lepidobalanus), 常緑広葉樹の Q. (Subgen. Cyclobalanopsis) および Castanopsis / Pasania などであった。

堆積物1g試料当たりに含まれる花粉・胞子化石量,花粉・胞子総数に対する木本植物花粉・ 草本植物花粉およびシダ・コケ植物の胞子,同定不明・不能の化石の割合は、図 2.2.4 の左側に 示した。

各分類群の産出率は、表 2.2.2~表 2.2.4 に示した同定・計数結果に基づき、木本植物花粉の 総数を基数として算出し、図 2.2.4の花粉ダイアグラムに示した。なお、TKT-2 コア試料番号 12

(深度 0.25~0.27m), 試料番号 14 (深度 9.87~9.90 m) および試料番号 15 (深度 18.68~18.70 m) は木本植物の花粉化石総数が 250 粒に満たなかったため統計処理の対象外とし、分類群の産 出事実のみ表示した。

#### 2) 群集解析

木本植物花粉の産出粒数が250粒に達したか否かにより、3帯(下位よりTKT2-1帯,-2帯,-3帯)の地域花粉群集帯に区分した(図2.2.4)。以下に各地域花粉群集帯の特徴を下位より述べる。

#### ① TKT2-1帯

本植物花粉の産出粒数が少ない層序区間である。*Pinus, Sciadopitys, Cryptomeria, Carpinus | Ostrya, Corylus, Betula, Fagus, Q.* (Subgen. *Lepidobalanus*), *Q.* (Subgen. *Cyclobalanopsis*), *Mallotus* (アカメガシワ属) などの分類群が産出する。

#### ② TKT2-2 帯

*Cryptomeria* および *Pinus* が優勢で、*Q.*(Subgen. *Lepidobalanus*), *Q.*(Subgen. *Cyclobalanopsis*) および *Castanopsis / Pasania* がこれらに次ぐ。*Abies, Picea, Tsuga* および *Sciadopitys* は極めて低率であり、*Fagus* はほとんど産出しない。

#### ③ TKT2-3 帯

本本植物花粉の産出粒数が少ない層序区間である。*Picea*, *Tsuga*, *Pinus*, *Sciadopitys*, *Cryptomeria*, *Corylus*, *Q*. (Subgen. *Lepidobalanus*), *Q*. (Subgen. *Cyclobalanopsis*), *Ilex*, Araliaceae (ウコギ科), *Cornus* (ミズキ属), Ericaceae (ツツジ科), *Fraxinus* (トネリコ属), *Viburnum* (ガマズミ属) などの分類群が産出する。



#### 3) 古環境の考察(図 2.2.4)

#### ① TKT2-1帯

木本植物花粉の産出粒数が少ない層序区間であるため、古植生・古気候についての予察を 述べる。温帯針葉樹の Cryptomeria が、温帯落葉広葉樹の Q. (Subgen. Lepidobalanus)およ び暖温帯常緑広葉樹の Q. (Subgen. Cyclobalanopsis)などの分類群を伴って産出することか ら、森林古植生は暖温帯上部に優占する温帯針葉樹林 (中間温帯林) であった可能性がある。 古気候は温暖・湿潤であったと推定される。

# ② TKT2-2帯

温帯針葉樹の Cryptomeria および Pinus が優勢で、温帯落葉広葉樹の Q.(Subgen. Lepidobalanus), 暖温帯常緑広葉樹の Q.(Subgen. Cyclobalanopsis) および Castanopsis / Pasania などの分類群を伴う。これらのことから、森林古植生は照葉樹林(暖温帯常緑広葉 樹林) ~暖温帯上部に優占する温帯針葉樹林(中間温帯林) であったと考えられる。古気候 は温暖であったと推定され、温帯常緑針葉樹の Cryptomeria が高率に産出することから、降 水量は一年を通じて多かったと考えられる。

#### ③ TKT2-3 帯

木本植物花粉の産出粒数が少ない層序区間であるため、古植生・古気候についての予察を 述べる。温帯常緑針葉樹の Sciadopitys および Cryptomeria が優勢で、温帯落葉広葉樹の Q.(Subgen. Lepidobalanus)および暖温帯常緑広葉樹の Q.(Subgen. Cyclobalanopsis)を伴う。 これらのことから、森林古植生は照葉樹林(暖温帯常緑広葉樹林) ~暖温帯上部に優占する 温帯針葉樹林(中間温帯林) であったと考えられる。古気候は下位の時代と同様に温暖であ ったと推定され、温帯常緑針葉樹の Sciadopitys が他の分類群と比較して多く産出している ことから、夏期には連続的な降水があったが冬期の降水量は少なかった可能性がある。また、 シダ・コケ植物の分類群が高率に産出することから、この時代の堆積地周辺には広大な氾濫 原の原野植生が存在していたと考えられる。

### (4) TKM-1 コア

### 1) 分析結果

花粉・胞子化石の同定・計数結果および堆積物 1g 試料当たりに含まれる花粉・胞子化石量を表 2.2.2~表 2.2.4 に示す。試料番号 16(深度 3.81~3.83 m)から産出した分類群は、常緑針葉樹 の Abies, Pinus, Cryptomeria, Cupressaceae, 落葉広葉樹の Betula であった。

堆積物1g試料当たりに含まれる花粉・胞子化石量,花粉・胞子総数に対する木本植物花粉・ 草本植物花粉およびシダ・コケ植物の胞子,同定不明・不能の化石の割合は、図 2.2.5 の左側に 示した。

試料番号16(深度3.81~3.83 m)は木本植物の花粉化石総数が250粒に満たなかったため統計処理の対象外とし、図2.2.5の花粉ダイアグラムには分類群の産出事実のみ表示した。



図 2.2.5 KM-1 コアの花粉化石ダイアグラム(木本植物)

#### 2) 古環境の考察(図 2.2.5)

試料番号 16 (深度 3.81~3.83m) は、木本植物花粉の産出粒数が少ないため、古植生・古気候 についての予察を述べる。温帯常緑針葉樹の *Cryptomeria* の産出がやや多く、その他の温帯常緑 針葉樹の分類群 (*Abies, Pinus,* Cupressaceae) を伴う。一方、落葉広葉樹の分類群は温帯落葉 広葉樹の *Betula* がわずかに産出した。これらのことから、森林古植生は温帯針葉樹林 (中間温帯 林) であった可能性がある。古気候はやや温暖であったと推定され、温帯常緑針葉樹の *Cryptomeria* が優勢であることから、降水量は一年を通じて多かった可能性がある。また、草本 植物およびシダ・コケ植物の分類群が高率に産出することから、この時代の堆積地周辺には広大 な氾濫原の原野植生が存在していたと考えられる。

# 2.2.3 テフラ分析

#### (1) TNZ-1 コア

本地点ではテフラ起源の高温型石英が試料採取最上部0.55-0.57層準に多く含まれる(表 2.2.5)。また、バブルウォールタイプ火山ガラスが上部0.18-0.57層準にやや多く(24~29/3000) 含まれる。これより下位の層準にはほとんど火山ガラスは含まれていない。最上部に含まれる火 山ガラスの屈折率は1.495~1.501および1.509~1.515にモードが見られる。同層準には緑色普通 角閃石もやや多く含まれる。角閃石の屈折率(n2)は1.670~1.676および1.686~1.689にモード が見られる。

上部0.55-0.57層準に含まれる高温型石英中のガラス包有物の主成分を分析したところ、特徴が 鬼界葛原(K-Tz)の特徴(古澤・中村,2009)と一致した(図2.2.6)。同層準はK-Tzテフラ を混在する環境(比較的K-Tzテフラ降灰期に近い堆積期)付近に堆積したと考えられる。一方、 同層準にはバブルウォールタイプ火山ガラスおよび緑色普通角閃石が含まれている。火山ガラス は形態、屈折率および主成分元素組成が姶良丹沢 (AT) および鬼界アカホヤ (K-Ah)の特徴 (町 田・新井, 2003) と一致する (図 2.2.7)。角閃石の屈折率および主成分元素組成は三瓶浮布 (SUP) テフラの特徴 (町田・新井, 2003) と一致する (図 2.2.8)。これらのテフラ起源粒子は試料採 取層準最上部形成期より後に堆積した粒子が削剥、擾乱などの作用により、K-Tz 降灰期に近い層 準に混在したと考えられる。

	テフラ名		K-Ah,AT,SUP,Aso-4,K-Tz										SUP, Aso-4?									
	備考	Cum含む	β QultM.I.多い. Cum含む																			M.I.:ガラス包有物
	角閃石の屈折率(n2)		1.670-1.676, 1.686-1.689										1.670-1.678, 1.680-1.688									
	斜方輝石の屈折率(と)												1.700-1.705, 1.706-1.711									
	火山ガラスの屈折率	1.495-1.501, 1.512-1.514	1.496-1.501, 1.509-1.515																			
A石苗	7.3000粒子)	2.8	6.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(工業00	Cum	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1の今有景(/30	Gho	20	06	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0.2	0	0.1	0	0	0	0	0	0	国 御 で 昭 石 日
重鉱坊	Opx 1	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	Opx:斜方輝子 Gho:緑色普近 Cum:カミング
(/3000粉子)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
)形能別会有量	- md	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+− <i>J</i> Lタイプ プ プ
ルーデラスの	Bw	29	24	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	Bw: バブルウ ⁵ Pm: パミスタイ 0: 低発泡タイ
	試料番号	0.18-0.20	0.55-0.57	0.95-0.97	1.33-1.35	2.55-2.57	2.94-2.96	3.45-3.47	4.60-4.62	5.74-5.76	8.81-8.83	20.81-20.83	29.66-29.68	32.88-32.90	36.91-36.93	40.86-40.88	42.45-42.47	43.33-43.35	44.88-44.90	46.43-46.45	51.34-51.36	

表 2.2.5 TNZ-1 コアのテフラ分析結果

付 11-23

【付録11】


図 2.2.6 TNZ-1 コア 0.55-0.57 層準中の高温型石英中のガラス包有物の主成分分析結果

【 付録 11 】



図 2.2.7 TNZ-1 コア 0.55-0.57 層準中の火山ガラスの主成分分析結果

【付録11】



図 2.2.8 TNZ-1 コア 0.55-0.57 層準中の角閃石の主成分分析結果

(2) TKT-1 コア

本地点ではテフラ起源の高温型石英が試料採取上部に比較的多く含まれる(表 2.2.6)。また、 バブルウォールタイプ火山ガラスも同層準にやや多く(297~587/3000)含まれる。最上部0.25-0.27層準にバブルウォールタイプ火山ガラスの含有率スパイクが識別できる。火山ガラスの屈折 率は1.498~1.501および1.508~1.514付近の2モードに集中する。一方、025-047層準付近には 緑色普通角閃石の含有率スパイクが見られる。角閃石の屈折率(n2)は、1.670~1.680である。

上部0.55-0.57層準に含まれる高温型石英中のガラス包有物の主成分を分析したところ、特徴が K-Tzの特徴(古澤・中村,2009)と一致した(図 2.2.9)。上部にはK-Tz起源の石英が含まれ ている。このことから、試料採取層準上部形成期はK-Tzテフラを混在する環境(比較的K-Tzテ フラ降灰期に近い堆積期)にあり、擾乱などの作用でATやK-AhなどK-Tzよりかなり新しい テフラが混在した可能性がある。

また、上部の0.45-0.47及び0.65-0.67層準に含まれる火山ガラスと角閃石の主成分元素組成を分析したところ、その特徴がそれぞれ AT と三瓶浮布 (SUP) と一致することが明らかとなった(図 2.2.10~図 2.2.11)。SUP テフラは AT より若干新しい時期に降灰している。このテフラも AT 同様擾乱により混在したと考えられる。

ラ分析結果
Γ
ト
6
Ā
Π
TKT-1
2.2.6
表

日本以中	火山ガラスの	形態別含有量(	/3000粒子)	重鉱物	の含有量(/300	10粒子)	β石英	ここよーレ そに方板	会十歳十人同方法/ ^ )	る。「今日日の」の一番です。	<b>半</b> 世	<i>4</i>    
四件借与	Bw	Ът	0	Орх	Gho	Cum	(/3000粒子)	スロシンへの直打手		月內石 이泊게 平(112)	馬力	中ノノー
0.25-0.27	587	0	5	16	376	0	1	1.495-1.496, 1.498-1.501, 1.508-1.514	1.700-1.705, 1.706-1.714	1.670-1.677, 1.679-1.682	Gho自形多い	K-Ah,AT混在
0.45-0.47	297	0	0	1	297	0	1.2	1.496-1.501		1.670–1.680		AT, SUP
0.55-0.57	0	0	1	0	1	0	2					K-Tz
0.65-0.67	61	0	0	0	79	0	0.4	1.496–1.501		1.669-1.678, 1.680-1.683, 1.687-1.689		AT,SUP混在
0.85-0.87	-	0	0	0	0.5	0	0.4					
3.24-3.26	0	0	0	0	0.9	0	0			1.669–1.677		
5.62-5.63	0	0	0	0	0	0	0					
7.16-7.18	0	0	0	0	0	0	0					
10.23-10.25	0	0	0	0	0	0	0					
11.90-11.92	0.1	0	0	0	0	0	0					
12.91-12.93	0	0	0	0	0.1	0	0					
14.55-14.57	0	0	0	0	0.2	0	0					
15.58-15.60	0	0	0	0	0	0	0					
16.70-16.72	0	0	0	0	0	0	0					
17.57-17.59	0	0	0	0	0	0	0					
18.49-18.50	0	0	0	17	0.3	0	0		1.701-1.705, 1.706-1.709, 1.715-1.716	1.672-1.678, 1.684-1.691		Aso-4混在?
	Bw:バブルウォ Pm:バミスタイ 0:低発泡タイ	-1147J J 1		Opx:斜方輝石 Gho:緑色普通 Sum:カミングト	角関右 り関右							



図 2.2.9 TKT-1 コア 0.55-0.57 層準中の高温型石英中のガラス包有物の主成分分析結果



図 2.2.10 TKT-1 コア 0.45-0.47 及び 0.65-0.67 層準中の火山ガラスの主成分分析結果

【付録11】





(3) TKT-2 コア

本地点ではテフラ起源の高温型石英が試料採取上部1.05-1.07層準に多く含まれる(表 2.2.7)。 また、バブルウォールタイプ火山ガラスが上部0.25-0.87層準にやや多く(65~342/3000)含まれ る。最上部0.25-0.27層準にバブルウォールタイプ火山ガラスの含有率スパイクが識別できる。上 部に含まれる火山ガラスの屈折率は1.497~1.501にモードが見られ、上部最下部0.85-0.87層準に は1.512-1.516付近のものも含まれ Bi-modal となっている。一方上部層準付近には緑色普通角閃 石が多く含まれ、その含有量は下位へと減少する傾向にある。角閃石の屈折率(n2)は1.670~ 1.678である。

上部1.05-1.07層準に含まれる高温型石英中のガラス包有物の主成分を分析したところ、特徴が K-Tz の特徴(古澤・中村, 2009)と一致した(図 2.2.12)。同層準は K-Tz テフラを混在する 環境(比較的 K-Tz テフラ降灰期に近い堆積期)付近に堆積し、擾乱などの作用で AT や K-Ah な ど K-Tz よりかなり新しいテフラが混在したと考えられる。

また、上部に含まれる普通角閃石とカミングトン閃石の屈折率は三瓶浮布(SUP)テフラの特徴(町田・新井, 2003)と一致する(表 2.2.7)。SUPテフラはATより若干新しい時期に降灰している。このテフラもAT同様擾乱により混在したと考えられる。

本試料では、採取層準中部1.63-1.65層準にもバブルウォールタイプ火山ガラスおよび緑色普通 角閃石がやや多く含まれている。カミングトン閃石も微量含まれている。

さらに最下部19.45-19.55層準にも微量普通角閃石およびカミングトン閃石が含まれている。火 山ガラスは、屈折率の特徴から AT および K-Ah 起源と考えられる。普通角閃石およびカミング トン閃石は、主成分元素組成および屈折率の特徴から三瓶浮布(SUP)テフラ起源と考えられる (図 2.2.13~図 2.2.14)。これらの粒子は、前出 K-Tz 起源粒子の含有量スパイクより下位に含 まれること、および同層準を挟んで上下層準に火山ガラス・角閃石ともほとんど含まれていない ことなどから、何らかの作用で上部に堆積したテフラが下位へ混入した可能性が高いと考えられ る。

分析結果
ID
Γ
ト
6
R
П
TKT-2
2.2.7
表

日本系行	火山ガラスの	形態別含有量	(/3000粒子)	重鉱物	の含有量(/300	10粒子)	<i>β</i> 石英	うちょう のにため	釣井鵜石の町坊核(ゞ)	金調方の記を通って	4    
いたま ち	Bw	Pm	0	Opx	Gho	Cum	(/3000粒子)	スロシノヘジョン手	™1.7 J J 年口 0.7 J 田 打  辛 ( / )		中ノノノ
0.25-0.27	342	0	0	0.2	767	0.5	8	1.496-1.500		1.672-1.679(Gho) 1.661-1.668(Cum)	AT
0.45-0.47	191	0	0	2	243	1	17.5	1.497-1.500, 1.500-1.502	1.750-1.712, 1.729-1.735	1.671-1.677(Gho) 1.661-1.670(Cum)	AT,SUP
0.65-0.67	32	0	0	0	6	0	18.5				
0.85-0.87	65	0	0	0	112	0	14.5	1.496-1.502, 1.512-1.516		1.670-1.678	АТ, К–Аһ
1.05-1.07	1	0	0	0	2	0	35				K-Tz
1.25-1.27	0	0	0	0	0.2	0	2.5				
1.63-1.65	171	0	0	0	140	0.5	9.5	1.497-1.500, 1.510-1.516		1.671-1.679(Gho) 1.660-1.668(Cum)	AT, K-Ah
1.80-1.82	0.1	0	0	0	0	0	0				
2.05-2.07	0.1	0	0	0	0.3	0	0				
9.87-9.90	0	0	0	0	0	0	0				
17.39-17.41	0	0	0.1	0	0	0	0				
18.35-18.37	0	0	0	0	0	0	0				
18.85-18.87	0	0	0	0	0.4	0	0				
19.54-19.55	0	0	0	0	0.8	0.3	0			1.670-1.680(Gho) 1.658-1.664(Cum)	SUP
	Bw:バブルウォ Pm:パミスタイ 0:低発泡タイ	ተ– <i>ነ</i> ሁ\$ፈプ ታ		Opx : 斜方輝石 Gho : 緑色普通 Cum : カミング	5 〔角閃石 くり閃石						



図 2.2.12 TKT-2 コア 1.05-1.07 層準中の高温型石英中のガラス包有物の主成分分析結果

【付録11】



図 2.2.13 TKT-2 コア 19.45-19.55 層準中の角閃石の主成分分析結果

【付録11】



図 2.2.14 TKT-2 コア 19.45-19.55 層準中のカミングトン閃石の主成分分析結果

## 【 付録 11 】

### 3. 沿岸部を対象とした研究

本章では、土佐湾北東岸と房総半島南岸に発達する完新世の海成侵食段丘(離水ベンチを含む) を事例に実施した年代測定試料採取の概要と採取した岩石試料の観察結果を記す。

年代測定試料には、宇宙生成核種(terrestrial cosmogenic nuclide:以下、「TCN」という)年 代測定用の岩石試料と海成侵食段丘の離水時期推定に用いる¹⁴C年代測定用試料(ヤッコカンザ シなどの生物遺骸)を採取した。また、海成侵食段丘の地形的特徴を詳しく把握するため無人航 空機(unmanned serial vehicle:以下、「UAV」という)を用いた写真測量を実施した。

### 3.1 土佐湾北東岸における試料採取と試料観察

土佐湾北東岸において砂岩からなる離水ベンチが発達する大山岬、羽根岬及び行当岬において 年代測定試料の採取を実施した。以下に各岬における試料採取の概要と採取試料の岩石学的特徴 について記す。

### 3.1.1 大山岬

### (1) 地形

大山岬では、標高2m、標高4m及び標高5~6mに平坦面をもつ3段のベンチを認めること ができる(図 3.1.1)。これらのベンチには、ポットホールが発達する。

TCN 試料となる岩石試料については、これら3段のベンチ上の4地点で採取した(図 3.1.1)。 また、カキ殻と考えられる¹⁴C 年代測定試料を海蝕洞内と離水ベンチ上の Stack(図 3.1.1)の計 2地点で採取した。

### (2) 岩石学的特徵

採取した岩石試料は、SP1(細粒砂岩)、SP2(細粒~中粒砂岩)、SP3(細粒~中粒砂岩)及び SP4(細粒~中粒砂岩)の計4試料である。いずれの試料も暗灰色を呈する。淘汰の程度は試料 により異なる。

鏡下観察では、いずれの試料でも石英を主とし、稀に斜長石、角閃石、黒雲母、玄武岩質岩片 などが認められた(図 3.1.2)。石英は円~亜円の円磨度を示し、粒径は 0.2~0.5 mm 程度であ る。粒度の分布は一様ではなく、細粒の粒子が集合している部分と中粒の粒子が集合している部 分とが混在している。石英の一部には不透明鉱物を内包しているものも認められる。



図 3.1.1 試料採取地点の地形(大山岬) 上:UAV 写真。地形断面図の測線を黄色で示す。下:地形断面図。



図 3.1.2 大山岬試料薄片写真(SP-3) 左:オープンニコル、右:クロスニコル。

3.1.2 羽根岬

(1) 地形

羽根岬では、海岸線に直交する方向に層理面が発達する。単層内には、高角割れ目と低角割れ 目が発達し、そうした割れ目に沿って岩石がブロック状に剥落している。そのため、単層毎に平 坦面の段数とそれらの分布高度が異なっている。このことが、離水ベンチに相当する平坦面の認 定を困難なものにしている。

測線上には、標高3m、標高5mに平坦面を認めることができる(図 3.1.3)。また、ポットホールは、標高3~4mに分布する。TCN 試料となる岩石試料については、6地点で採取した(図 3.1.3)。また、¹⁴C年代測定用の生物遺骸試料を2地点で採取した(図 3.1.3)。

### (2) 岩石学的特徵

採取した岩石試料は SP1(粗粒砂岩)、SP2(粗粒砂岩)、SP3(中粒砂岩)、SP4(細粒砂岩)、 SP5(中粒砂岩)及び SP6(中粒砂岩)の計6試料である。いずれの試料も暗灰色を呈する。淘 汰の程度は悪い。

鏡下観察では、粒径が不ぞろいな石英を主とし、少量の斜長石、角閃石、黒雲母、玄武岩質岩 片などが認められた(図 3.1.4)。鉱物粒子は亜角~亜円の円磨度を示し、粒径は SP4 が 0.1~0.3 mm 程度、他の試料は 0.1~0.5 mm 程度が主体で、稀に 1 mm を越える粒子も存在する。石英の 大部分が不透明鉱物を内包している。



上:UAV 写真。地形断面図の測線を黄色で示す。下:地形断面図。



図 3.1.4 羽根岬試料薄片写真(SP-5) 左:オープンニコル、右:クロスニコル

## 3.1.3 行当岬

## (1) 地形

行当岬においても、羽根岬と同様に海岸線に直交する方向に層理面が発達し、単層内に形成さ れた高角割れ目と低角割れ目に沿って岩石がブロック状に剥落している。そのため、単層毎に平 坦面の段数や分布高度が異なり、離水ベンチに相当する平坦面の認定は困難である。

測線上では標高 5~6 m に小起伏面が発達する(図 3.1.3)。測線上にポットホールを確認する ことはできない。TCN 試料となる岩石試料については、5 地点で採取した(図 3.1.5)。また、¹⁴C 年代測定用の生物遺骸試料を4 地点で採取した(図 3.1.5)。

## (2) 岩石学的特徴

採取した岩石試料は SP1(中粒砂岩)、SP2(中粒砂岩)、SP3(中粒砂岩)、SP4(中粒砂岩) 及び SP5(粗粒砂岩)の計5試料である。いずれの試料も暗灰色を呈する。淘汰の程度は良い。 鏡下観察では、石英と斜長石を主とし、少量の角閃石、黒雲母、玄武岩質岩片などが認められ た(図 3.1.6)。鉱物粒子は亜角~亜円の円磨度を示し、粒径は 0.2~0.5 mm 程度で、わずかに 1.0 mm 程度の粒子も含む。石英の大部分が不透明鉱物を内包している。





図 3.1.6 行当岬試料薄片写真(SP-5) 左:オープンニコル、右:クロスニコル

### 3.2 房総半島南岸における試料採取と試料観察

### 3.2.1 地形

事例対象とした房総半島南岸には、離水波食棚(ベンチ)が分布する。試料採取地点には、標 高約2mに平坦面をもつベンチの発達が良い(図 3.2.1)。このベンチを、1923年の関東地震で 隆起した大正ベンチ(茅根・吉川, 1986)であると判断し、TCN 試料となる岩石試料をベンチ上 の4ヶ所で採取した(図 3.2.1)。以下に採取試料の概要と岩石学的特徴について述べる。



上:UAV 写真。地形断面図の測線を黄色で示す。下:地形断面図。

## 3.2.2 地質

本事例地域の大正ベンチは後期鮮新世(約3.68~3.31 Ma; 蟹江ほか, 1997、亀尾ほか, 2003) に相模トラフの陸棚斜面で堆積した千倉層群白間津層からなる(小竹, 1988、三宅, 2013)。TCN 試料採取地点は、泥岩優勢の砂岩泥岩互層からなる。泥岩部は、明褐〜明灰色を呈し主として塊

状である。砂岩部は、黒~暗褐色を呈し、まれに平行葉理を伴う細粒砂岩が主体である。一部に、 中~粗粒砂岩が認められ、所々に φ 5 mm 程度の円礫が層理面と平行に含まれる。

本研究開発では細~中粒砂岩層から1試料あたり5kg程度、計4試料をTCN 試料として採取した。

#### 3.2.3 岩石学的特徴

採取した岩石試料は SP1(細~中粒砂岩)、SP2(細粒砂岩)、SP3(中粒砂岩)及び SP4(中 粒砂岩)の計4試料である。いずれの試料も暗灰色の比較的淘汰の良い砂岩である。

鏡下観察ではいずれの試料も石英・斜長石・角閃石・輝石などを含み、まれに玄武岩質の岩片 なども認められる(図 3.2.2)。石英は亜角~亜円の円磨度を示し、粒径は最大 500 µm 程度、平 均すると 200 µm 程度の大きさである。一部、不透明鉱物を包有しているものも認められる(図 3.2.2)。



図 3.2.2 房総半島南岸試料薄片写真(SP-1) 左:オープンニコル、右:クロスニコル

引用文献

千葉 崇,澤井裕紀,環境指標種群の再検討と更新,Diatom, vol.30, pp.7-30, 2014.

- 古澤 明, 中村千怜, 石英に含まれるガラス包有物の主成分分析による K-Tz の識別, 地質学雑誌, vol.115, pp.544-547, 2009.
- 堀田 満,日本列島及び近接東アジア地域の植生図について,ウルム氷期以降の生物地理昭和 54 年度報告書, pp.39-54, 1980.
- 川上俊介, 宍倉正展, 館山地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 産業技術総合 研究所地質調査総合センター, 82p, 2006.
- 茅根 創,吉川虎雄, 房総半島南東岸における現成・離水浸食海岸地形の比較研究, 地理学評論, vol.59, pp18-36, 1986.

小竹信宏, 房総半島南端地域の海成上部新生界, 地質学雑誌, vol.94, pp187-206, 1988.

- 町田 洋, 新井房夫, 新編 火山灰アトラス-日本列島とその周辺-, 東京大学出版会, 336p, 2003. 三宅優佳, 日本堆積学会 2013 年千葉大会巡検「3.5Ma の相模トラフとその近傍での堆積作用」
- 参加報告, 堆積学研究, vol.72, pp49-53, 2013.

産業技術総合研究所,日本原子力研究開発機構,原子力環境整備促進・資金管理センター,電力中 央研究所,平成 30 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する研究開発事業 沿岸部処 分システム高度化開発報告書,356p,2019.

山中二男, 日本の森林植生, 築地書館, 223p, 1979.

# 岩石風化模擬実験に係るデータ集

一般財団法人 電力中央研究所

目 次

<ol> <li>岩石風化模擬実験の分析結果</li> </ol>	
1.1 試料性状	
1.2 光学顕微鏡観察	
1.3 目視観察	
1.4 X 線分析顕微鏡測定	
1.5 マイクロフォーカス X 線 CT スキャナーによる撮影結果	
1.6 分光測色	77
1.7 SEM 観察	
1.8 XRD 分析	
1.9 水銀ポロシメータ測定	
1.10 溶液の ICP-OES および ICP-MS 分析	
1.11 天然の風化礫に対する EPMA 元素マッピング	

図目次

义	1.1-1	浸漬前後の試料観察面のスキャン画像(1)	12
义	1.1-2	浸漬前後の試料観察面のスキャン画像(2)	13
义	1.1-3	浸漬前後の試料観察面のスキャン画像(3)	14
义	1.1-4	浸漬前後の試料観察面のスキャン画像(4)	15
义	1.2-1	試料 A 3-1 (砂岩)の薄片写真と鉱物名略称	16
义	1.2-2	試料 B 3·3(砂岩)の薄片写真	17
义	1.2-3	試料 C 2-1 (砂岩) の薄片写真	18
义	1.2-4	試料 D 2-2 (砂岩) の薄片写真	19
义	1.2-5	試料 E 2-3(砂岩)の薄片写真	20
义	1.2-6	試料 F 2-6 (砂岩)の薄片写真	21
义	1.2-7	試料 G 1-3(砂岩)の薄片写真	22
义	1.2-8	試料 H 4-1(砂岩)の薄片写真	23
义	1.2-9	試料 I 4·3(砂岩)の薄片写真	24
义	1.2-10	試料 J 2-5(泥岩)の薄片写真	25
义	1.2-11	試料 K 4-2(砂岩)の薄片写真	26
义	1.3-1	30 日浸漬試料の浸漬中目視観察結果	27
义	1.3-2	60日浸漬試料の浸漬中目視観察結果	28
义	1.3-3	120日浸漬試料の浸漬中目視観察結果(1)	29
义	1.3-4	120日浸漬試料の浸漬中目視観察結果(2)	30
义	1.3-5	酸変更 60 日浸漬試料の浸漬中目視観察結果(1)	31
义	1.3-6	酸変更 60 日浸漬試料の浸漬中目視観察結果(2)	32

図 1.42       XGT 測定時の各試料のマッビングエリア(2)	义	1.4-1	XGT 測定時の各試料のマッピングエリア(1)	.34
図 1.4-3       XGT 満定時の各試料のマッピングまりア(3)       36         図 1.4-4       XGT による AI のマッピング結果(1)       37         図 1.4-5       XGT による AI のマッピング結果(2)       38         図 1.4-6       XGT による Ca のマッピング結果(2)       39         図 1.4-7       XGT による Ca のマッピング結果(2)       40         図 1.4-8       XGT による Ca のマッピング結果(2)       41         図 1.4-8       XGT による Ca のマッピング結果(2)       41         図 1.4-7       XGT による Fe のマッピング結果(2)       44         I 1.4-10       XGT による Fe のマッピング結果(2)       44         I 1.4-11       XGT による Fe のマッピング結果(2)       44         I 1.4-12       XGT による Fe のマッピング結果(2)       44         I 1.4-13       XGT による Fe のマッピング結果(3)       45         図 1.4-14       XGT による K のマッピング結果(3)       46         I 1.4-13       XGT による K のマッピング結果(2)       47         図 1.4-14       XGT による Mg のマッピング結果(3)       51         図 1.4-15       XGT による Mg のマッピング結果(3)       51         図 1.4-17       XGT による Mn のマッピング結果(3)       53         図 1.4-19       XGT による Mn のマッピング結果(3)       53         図 1.4-21       XGT による Mn のマッピング結果(3)       57         図 1.4-22       XGT による Na のマッピング結果(3)       57         図 1.4-23       XGT による P のマッピング結	义	1.4-2	XGT 測定時の各試料のマッピングエリア(2)	.35
図 1.44       XGT による AI のマッピング結果(1)       37         図 1.45       XGT による AI のマッピング結果(2)       38         図 1.46       XGT による AI のマッピング結果(3)       39         図 1.47       XGT による Ca のマッピング結果(2)       41         U 1.48       XGT による Ca のマッピング結果(2)       41         U 1.48       XGT による Ca のマッピング結果(2)       41         U 1.49       XGT による Ca のマッピング結果(2)       41         U 1.41       XGT による Fe のマッピング結果(2)       44         U 1.41       XGT による Fe のマッピング結果(3)       45         I 1.41       XGT による K のマッピング結果(3)       45         I 1.41       XGT による K のマッピング結果(2)       44         U 1.415       XGT による K のマッピング結果(2)       47         Ø 1.415       XGT による K のマッピング結果(2)       47         Ø 1.415       XGT による Mg のマッピング結果(2)       50         Ø 1.416       XGT による Mg のマッピング結果(2)       50         Ø 1.417       XGT による Mn のマッピング結果(2)       53         Ø 1.421       XGT による Mn のマッピング結果(2)       53         Ø 1.422       XGT による Na のマッピング結果(3)       57         Ø 1.423       XGT による Na のマッピング結果(3)       57         Ø 1.424       XGT による Na のマッピング結果(3)       57         Ø 1.423       XGT による Na のマッピング結果(3)       58 <td>义</td> <td>1.4-3</td> <td>XGT 測定時の各試料のマッピングエリア(3)</td> <td>.36</td>	义	1.4-3	XGT 測定時の各試料のマッピングエリア(3)	.36
図 1.4-5       XGT による AI のマッピング結果(2)	义	1.4-4	XGT による Al のマッピング結果(1)	.37
図 1.4-6       XGT による Al のマッピング結果(3)	义	1.4-5	XGT による Al のマッピング結果(2)	.38
図 1.4-7       XGT による Ca のマッピング結果(1)	义	1.4-6	XGT による Al のマッピング結果(3)	.39
図 1.4*8       XGT による Ca のマッピング結果(3)       41         図 1.4*10       XGT による Ca のマッピング結果(1)       43         図 1.4*11       XGT による Fe のマッピング結果(2)       44         図 1.4*11       XGT による Fe のマッピング結果(2)       44         図 1.4*12       XGT による Fe のマッピング結果(2)       44         図 1.4*13       XGT による Fe のマッピング結果(2)       44         図 1.4*13       XGT による Fe のマッピング結果(2)       46         図 1.4*14       XGT による K のマッピング結果(2)       47         図 1.4*15       XGT による Mg のマッピング結果(2)       49         図 1.4*16       XGT による Mg のマッピング結果(2)       50         図 1.4*17       XGT による Mg のマッピング結果(2)       50         図 1.4*17       XGT による Mg のマッピング結果(2)       53         図 1.4*19       XGT による Mn のマッピング結果(2)       53         図 1.4*19       XGT による Na のマッピング結果(2)       53         図 1.4*20       XGT による Na のマッピング結果(2)       56         図 1.4*21       XGT による Na のマッピング結果(2)       56         図 1.4*23       XGT による Na のマッピング結果(2)       56         図 1.4*24       XGT による Na のマッピング結果(2)       57         図 1.4*25       XGT による Na のマッピング結果(2)       58         図 1.4*26       XGT による S のマッピング結果(2)       58         図 1.4*27       XGT による S の	义	1.4-7	XGT による Ca のマッピング結果(1)	.40
図 1.4-9       XGT による Ca のマッビング結果(1)	义	1.4-8	XGT による Ca のマッピング結果(2)	.41
図 1.4-10       XGT による Fe のマッピング結果(1)       43         図 1.4-11       XGT による Fe のマッピング結果(2)       44         図 1.4-12       XGT による Fe のマッピング結果(2)       44         図 1.4-13       XGT による K のマッピング結果(2)       47         図 1.4-14       XGT による K のマッピング結果(2)       47         図 1.4-15       XGT による K のマッピング結果(2)       47         図 1.4-16       XGT による K のマッピング結果(2)       49         図 1.4-17       XGT による Mg のマッピング結果(2)       50         図 1.4-18       XGT による Mg のマッピング結果(2)       50         図 1.4-19       XGT による Mg のマッピング結果(2)       50         図 1.4-19       XGT による Mn のマッピング結果(2)       53         図 1.4-20       XGT による Mn のマッピング結果(2)       53         図 1.4-21       XGT による Na のマッピング結果(2)       56         図 1.4-22       XGT による Na のマッピング結果(2)       56         図 1.4-23       XGT による Na のマッピング結果(2)       56         図 1.4-24       XGT による Na のマッピング結果(2)       56         図 1.4-25       XGT による Na のマッピング結果(2)       56         図 1.4-26       XGT による Na のマッピング結果(2)       56         図 1.4-27       XGT による Na のマッピング結果(2)       60         図 1.4-28       XGT による S のマッピング結果(2)       62         図 1.4-29       XGT による S のマッ	义	1.4-9	XGT による Ca のマッピング結果(3)	.42
図 1.4-11       XGT による Fe のマッピング結果(3)	义	1.4-10	XGT による Fe のマッピング結果(1)	.43
図 1.4·12       XGT による Fe のマッピング結果(3)	义	1.4-11	XGT による Fe のマッピング結果(2)	.44
図 1.4-13       XGT による K のマッピング結果(1)	义	1.4-12	XGT による Fe のマッピング結果(3)	.45
図 1.4-14       XGT による K のマッピング結果(2)	义	1.4-13	XGT による K のマッピング結果(1)	.46
図1.4·15XGT による K のマッピング結果(3)	义	1.4-14	XGT による K のマッピング結果(2)	.47
図 1.4·16       XGT による Mg のマッピング結果(1)	义	1.4-15	XGT による K のマッピング結果(3)	.48
図 1.4·17       XGT による Mg のマッピング結果(2)	义	1.4-16	XGT による Mg のマッピング結果(1)	.49
図1.4·18XGT による Mg のマッピング結果(3)51図1.4·19XGT による Mn のマッピング結果(1)52図1.4·20XGT による Mn のマッピング結果(2)53図1.4·21XGT による Na のマッピング結果(3)54図1.4·22XGT による Na のマッピング結果(2)55図1.4·23XGT による Na のマッピング結果(2)56図1.4·24XGT による Na のマッピング結果(3)57図1.4·25XGT による P のマッピング結果(3)57図1.4·26XGT による P のマッピング結果(2)59図1.4·27XGT による P のマッピング結果(2)59図1.4·28XGT による S のマッピング結果(2)60図1.4·29XGT による S のマッピング結果(2)62図1.4·30XGT による S のマッピング結果(2)62図1.4·30XGT による S のマッピング結果(2)63図1.4·31XGT による Si のマッピング結果(2)65図1.4·32XGT による Si のマッピング結果(2)65図1.4·33XGT による Si のマッピング結果(3)66図1.4·34XGT による Si のマッピング結果(3)66図1.4·34XGT による Si のマッピング結果(3)66図1.4·35XGT による Si のマッピング結果(3)66図1.4·36XGT による Ti のマッピング結果(3)67図1.4·37XGT による Ti のマッピング結果(3)69図1.5·1試料 A3·1 の $\mu$ CT 測定結果画像71図1.5·2試料 B3·3 の $\mu$ CT 測定結果画像72図1.5·3試料 D2·2 の $\mu$ CT 測定結果画像72図1.5·5試料 E2·3 の $\mu$ CT 測定結果画像73	义	1.4-17	XGT による Mg のマッピング結果(2)	.50
図 1.4-19XGT による Mn のマッピング結果(1)52図 1.4-20XGT による Mn のマッピング結果(2)53図 1.4-21XGT による Mn のマッピング結果(3)54図 1.4-22XGT による Na のマッピング結果(3)55図 1.4-23XGT による Na のマッピング結果(2)56図 1.4-24XGT による Na のマッピング結果(3)57図 1.4-25XGT による P のマッピング結果(2)59図 1.4-26XGT による P のマッピング結果(2)59図 1.4-27XGT による P のマッピング結果(2)59図 1.4-28XGT による S のマッピング結果(2)60図 1.4-29XGT による S のマッピング結果(2)62図 1.4-29XGT による S のマッピング結果(2)62図 1.4-30XGT による S のマッピング結果(2)63図 1.4-31XGT による Si のマッピング結果(1)64図 1.4-32XGT による Si のマッピング結果(2)65図 1.4-33XGT による Si のマッピング結果(2)65図 1.4-34XGT による Si のマッピング結果(2)65図 1.4-35XGT による Si のマッピング結果(2)65図 1.4-36XGT による Ti のマッピング結果(3)66図 1.4-37XGT による Ti のマッピング結果(3)67図 1.4-38XGT による Ti のマッピング結果(3)69図 1.5-1試料 A3-1 の $\mu$ CT 測定結果画像71図 1.5-2試料 B3-3 の $\mu$ CT 測定結果画像72図 1.5-3試料 D2-2 の $\mu$ CT 測定結果画像72図 1.5-5試料 D2-2 の $\mu$ CT 測定結果画像73	义	1.4-18	XGT による Mg のマッピング結果(3)	.51
図 1.4-20 XGT による Mn のマッピング結果(2)	义	1.4-19	XGT による Mn のマッピング結果(1)	.52
<ul> <li>図 1.4·21 XGT による Mn のマッピング結果(3)</li></ul>	义	1.4-20	XGT による Mn のマッピング結果(2)	.53
<ul> <li>図 1.4-22 XGT による Na のマッピング結果(1)</li></ul>	义	1.4-21	XGT による Mn のマッピング結果(3)	.54
図 1.4-23XGT による Na のマッピング結果(2)56図 1.4-24XGT による P のマッピング結果(3)57図 1.4-25XGT による P のマッピング結果(1)58図 1.4-26XGT による P のマッピング結果(2)59図 1.4-27XGT による P のマッピング結果(2)60図 1.4-28XGT による S のマッピング結果(3)60図 1.4-29XGT による S のマッピング結果(1)61図 1.4-29XGT による S のマッピング結果(2)62図 1.4-30XGT による S のマッピング結果(2)62図 1.4-31XGT による S のマッピング結果(2)63図 1.4-32XGT による Si のマッピング結果(2)65図 1.4-33XGT による Si のマッピング結果(2)65図 1.4-34XGT による Si のマッピング結果(3)66図 1.4-35XGT による Ti のマッピング結果(2)68図 1.4-36XGT による Ti のマッピング結果(3)69図 1.5-1試料 B 3-3 の µCT 測定結果画像71図 1.5-2試料 B 3-3 の µCT 測定結果画像72図 1.5-5試料 D 2-2 の µCT 測定結果画像72図 1.5-5試料 E 2-3 の µCT 測定結果画像73	义	1.4-22	XGT による Na のマッピング結果(1)	.55
<ul> <li>図 1.4·24 XGT による Na のマッピング結果(3)</li></ul>	义	1.4-23	XGT による Na のマッピング結果(2)	.56
<ul> <li>図 1.4·25 XGT による P のマッピング結果(1)</li> <li>58</li> <li>図 1.4·26 XGT による P のマッピング結果(2)</li> <li>59</li> <li>図 1.4·27 XGT による P のマッピング結果(3)</li> <li>60</li> <li>図 1.4·28 XGT による S のマッピング結果(1)</li> <li>61</li> <li>図 1.4·29 XGT による S のマッピング結果(2)</li> <li>62</li> <li>図 1.4·30 XGT による S のマッピング結果(2)</li> <li>63</li> <li>図 1.4·31 XGT による S i のマッピング結果(1)</li> <li>64</li> <li>図 1.4·32 XGT による S i のマッピング結果(2)</li> <li>65</li> <li>図 1.4·33 XGT による S i のマッピング結果(2)</li> <li>65</li> <li>図 1.4·34 XGT による S i のマッピング結果(2)</li> <li>67</li> <li>図 1.4·35 XGT による Ti のマッピング結果(2)</li> <li>68</li> <li>図 1.4·36 XGT による Ti のマッピング結果(2)</li> <li>68</li> <li>図 1.5·1 試料 A 3·1 の µCT 測定結果画像</li> <li>71</li> <li>図 1.5·3 試料 C 2·1 の µCT 測定結果画像</li> <li>72</li> <li>図 1.5·5 試料 E 2·3 の µCT 測定結果画像</li> <li>73</li> </ul>	义	1.4-24	XGT による Na のマッピング結果(3)	.57
<ul> <li>図 1.4-26 XGT による P のマッピング結果(2)</li> <li>図 1.4-27 XGT による P のマッピング結果(3)</li> <li>⑥0</li> <li>図 1.4-28 XGT による S のマッピング結果(1)</li> <li>⑥1</li> <li>○ 1.4-29 XGT による S のマッピング結果(2)</li> <li>⑥2</li> <li>○ 1.4-30 XGT による S のマッピング結果(2)</li> <li>⑥3</li> <li>○ 1.4-31 XGT による S のマッピング結果(3)</li> <li>⑥3</li> <li>○ 1.4-32 XGT による Si のマッピング結果(2)</li> <li>⑥4</li> <li>○ 1.4-33 XGT による Si のマッピング結果(2)</li> <li>⑥5</li> <li>○ 1.4-34 XGT による Si のマッピング結果(3)</li> <li>⑥6</li> <li>○ 1.4-35 XGT による Ti のマッピング結果(2)</li> <li>⑥5</li> <li>○ 1.4-36 XGT による Ti のマッピング結果(2)</li> <li>⑥5</li> <li>○ 1.4-37 XGT による Ti のマッピング結果(3)</li> <li>○ 1.4-38 XGT による Ti のマッピング結果(3)</li> <li>○ 1.4-39 XGT による Ti のマッピング結果(3)</li> <li>○ 1.4-30 XGT による Ti のマッピング結果(3)</li> <li>○ 1.4-36 XGT による Ti のマッピング結果(3)</li> <li>○ 1.5-1 試料 A 3-1 の µCT 測定結果画像</li> <li>○ 1.5-3 試料 C 2-1 の µCT 測定結果画像</li> <li>○ 1.5-5 試料 E 2-3 の µCT 測定結果画像</li> <li>○ 1.5-5 試料 E 2-3 の µCT 測定結果画像</li> </ul>	义	1.4-25	XGT による P のマッピング結果(1)	.58
<ul> <li>図 1.4-27 XGT による P のマッピング結果(3)</li></ul>	义	1.4-26	XGT による P のマッピング結果(2)	.59
<ul> <li>図 1.4-28 XGT による S のマッピング結果(1)</li></ul>	义	1.4-27	XGT による P のマッピング結果(3)	.60
<ul> <li>図 1.4·29 XGT による S のマッピング結果(2)</li></ul>	义	1.4-28	XGT による S のマッピング結果(1)	.61
<ul> <li>図 1.4-30 XGT による S のマッピング結果(3)</li></ul>	义	1.4-29	XGT による S のマッピング結果(2)	.62
<ul> <li>図 1.4·31 XGT による Si のマッピング結果(1)</li></ul>	义	1.4-30	XGT による S のマッピング結果(3)	.63
<ul> <li>図 1.4·32 XGT による Si のマッピング結果(2)</li></ul>	义	1.4-31	XGT による Si のマッピング結果(1)	.64
<ul> <li>図 1.4-33 XGT による Si のマッピング結果(3)</li></ul>	义	1.4-32	XGT による Si のマッピング結果(2)	.65
<ul> <li>図 1.4-34 XGT による Ti のマッピング結果(1)</li></ul>	义	1.4-33	XGT による Si のマッピング結果(3)	.66
<ul> <li>図 1.4·35 XGT による Ti のマッピング結果(2)</li></ul>	义	1.4-34	XGT による Ti のマッピング結果(1)	.67
<ul> <li>図 1.4-36 XGT による Ti のマッピング結果(3)</li></ul>	义	1.4-35	XGT による Ti のマッピング結果(2)	.68
<ul> <li>図 1.5-1 試料A3-1のµCT測定結果画像</li></ul>	义	1.4-36	XGT による Ti のマッピング結果(3)	.69
<ul> <li>図 1.5-2 試料 B 3-3 の μCT 測定結果画像</li></ul>	义	1.5-1	試料 A 3-1 の μCT 測定結果画像	.71
<ul> <li>図 1.5-3 試料 C 2-1 の μCT 測定結果画像</li></ul>	义	1.5-2	試料 B 3-3 の μCT 測定結果画像	.71
図 1.5-4 試料 D 2-2 の µCT 測定結果画像	义	1.5-3	試料 C 2-1 の μCT 測定結果画像	.72
図 1.5-5 試料 E 2-3 の µCT 測定結果画像	义	1.5-4	試料 D 2-2 の μCT 測定結果画像	.72
	义	1.5 - 5	試料 E 2-3 の μCT 測定結果画像	.73

図 1.5-6	試料 F 2-6 の μCT 測定結果画像	73
図 1.5-7	試料 G 1·3 の µCT 測定結果画像	74
図 1.5-8	試料 H 4-1 の μCT 測定結果画像	74
図 1.5-9	試料Ι4-3のμCT 測定結果画像	75
図 1.5-10	) 試料 J 2-5 の µCT 測定結果画像	75
図 1.5-11	試料 K 4·2 の µCT 測定結果画像	76
図 1.6-1	分光測色の測定箇所	77
図 1.7-1	A 3-1 (砂岩)の 30 日浸漬前・後のスキャン画像	83
図 1.7-2	A 3-1 (砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)	83
図 1.7-3	A 3-1 (砂岩) の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)	
図 1.7-4	A 3-1 (砂岩) の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)	
図 1.7-5	A 3-1 (砂岩) の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(4)	85
図 1.7-6	B 3-3(砂岩)の 30 日浸漬前・後のスキャン画像比較	
図 1.7-7	B 3-3(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)	
図 1.7-8	B 3-3(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)	
図 1.7-9	B 3-3(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)	
図 1.7-10	) B 3-3(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(4)	
図 1.7-11	C 2-1 (砂岩)の 30 日浸漬前・後のスキャン画像比較	
図 1.7-12	2 C 2-1(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)	
図 1.7-13	3 C 2-1 (砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)	90
図 1.7-14	↓ C 2-1(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)	90
図 1.7-15	5 D 2-2 (砂岩)の 30 日浸漬前・後のスキャン画像比較	91
図 1.7-16	5 D 2-2(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)	91
図 1.7-17	7 D 2-2(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)	92
図 1.7-18	3 D 2-2(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)	92
図 1.7-19	9 E 2-3 (砂岩)の 30 日浸漬前・後のスキャン画像比較	93
図 1.7-20	) E 2-3(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)	93
図 1.7-21	E 2-3 (砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)	94
図 1.7-22	2 E 2-3(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)	94
図 1.7-23	3 E 2-3 (砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(4)	95
図 1.7-24	↓ F2-6(砂岩)の 30 日浸漬前・後のスキャン画像比較	96
図 1.7-25	5 F 2-6(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)	96
図 1.7-26	3 F 2-6(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)	97
図 1.7-27	7 F 2-6(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)	97
図 1.7-28	3 G 1-3 (砂岩)の 30 日浸漬前・後のスキャン画像比較	
図 1.7-29	9 G 1-3(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)	
図 1.7-30	) G 1-3(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)	
図 1.7-31	G 1-3 (砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)	
図 1.7-32	2 G 1-3(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(4)	
図 1.7-33	3 H 4-1 (砂岩)の 30 日浸漬前・後のスキャン画像比較	
図 1.7-34	↓ H 4·1(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)	101

図 1.7-35	H 4-1(砂岩)	の 30 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(2)
図 1.7-36	H 4-1(砂岩)	の 30 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(3)
図 1.7-37	I 4-3(砂岩)	の 30 日浸漬前	・後のスキャン画像比	皎103
図 1.7-38	I 4-3(砂岩)	の 30 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(1)
図 1.7-39	I 4-3(砂岩)	の 30 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(2)
図 1.7-40	I 4-3(砂岩)	の 30 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(3)
図 1.7-41	A 3-1 (砂岩)	の 60 日浸漬前	・後のスキャン画像比	較105
図 1.7-42	A 3-1 (砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(1)
図 1.7-43	A 3-1 (砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(2)
図 1.7-44	A 3-1 (砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(3)
図 1.7-45	A 3-1 (砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(4)
図 1.7-46	B 3-3(砂岩)	の 60 日浸漬前	・後のスキャン画像比	較108
図 1.7-47	B 3-3(砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(1)
図 1.7-48	B 3-3(砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(2)
図 1.7-49	B 3-3(砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(3)
図 1.7-50	B 3-3(砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(4)110
図 1.7-51	C 2-1 (砂岩)	の 60 日浸漬前	・後のスキャン画像比	較111
図 1.7-52	C 2-1 (砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(1)
図 1.7-53	C 2-1 (砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(2)112
図 1.7-54	C 2-1 (砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(3)112
図 1.7-55	D 2-2 (砂岩)	の 60 日浸漬前	・後のスキャン画像比	較113
図 1.7-56	D 2-2 (砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(1)
図 1.7-57	D 2-2 (砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(2)114
図 1.7-58	D 2-2 (砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(3)114
図 1.7-59	D 2-2 (砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(4)115
図 1.7-60	E 2-3 (砂岩)	の60日浸漬前	・後のスキャン画像比	較116
図 1.7-61	E 2-3 (砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(1)
図 1.7-62	E 2-3 (砂岩)	の60日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(2)117
図 1.7-63	E 2-3 (砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(3)117
図 1.7-64	E 2-3 (砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(4)118
図 1.7-65	F 2-6 (砂岩)	の 60 日浸漬前	・後のスキャン画像比	較119
図 1.7-66	F 2-6 (砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(1)
図 1.7-67	F 2-6 (砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(2)
図 1.7-68	F 2-6 (砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(3)
図 1.7-69	G 1-3(砂岩)	の 60 日浸漬前	・後のスキャン画像比	較121
図 1.7-70	G 1-3(砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(1)
図 1.7-71	G 1-3(砂岩)	の60日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(2)
図 1.7-72	G 1-3(砂岩)	の60日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(3)
図 1.7-73	G 1-3(砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(4)
図 1.7-74	H 4-1(砂岩)	の 60 日浸漬前	・後のスキャン画像比	較124
図 1.7-75	H 4-1 (砂岩)	の 60 日浸漬前	・後の SEM 画像比較	(1)

図 1.7-76	H 4-1 (砂岩) の 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2) 125
図 1.7-77	H 4-1(砂岩)の 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)125
図 1.7-78	H 4-1(砂岩)の 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(4)126
図 1.7-79	I 4·3(砂岩)の 60 日浸漬前・後のスキャン画像比較
図 1.7-80	I 4·3(砂岩)の 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1) 127
図 1.7-81	I 4·3(砂岩)の 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2) 128
図 1.7-82	I 4-3(砂岩)の 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3) 128
図 1.7-83	A 3-1 (砂岩)の 120 日浸漬前・後のスキャン画像比較
図 1.7-84	A 3-1 (砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1) 129
図 1.7-85	A 3-1 (砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)
図 1.7-86	A 3-1 (砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)
図 1.7-87	B 3-3(砂岩)の 120 日浸漬前・後のスキャン画像比較
図 1.7-88	B 3-3(砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)
図 1.7-89	B 3-3(砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)
図 1.7-90	B 3-3(砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)
図 1.7-91	B 3-3(砂岩)の120日浸漬前・後のSEM 画像比較(4)133
図 1.7-92	C 2-1 (砂岩)の 120 日浸漬前・後のスキャン画像比較
図 1.7-93	C 2-1 (砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)
図 1.7-94	C 2-1 (砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)
図 1.7-95	C 2-1 (砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3) 135
図 1.7-96	C 2-1 (砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(4) 136
図 1.7-97	D 2-2(砂岩)の 120 日浸漬前・後のスキャン画像比較
図 1.7-98	D 2-2(砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1) 137
図 1.7-99	D 2-2(砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)
図 1.7-100	) D 2-2(砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3) 138
図 1.7-101	D 2-2(砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(4) 139
図 1.7-102	2 E 2-3(砂岩)の 120 日浸漬前・後のスキャン画像比較
図 1.7-103	3 E 2-3(砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1) 140
図 1.7-104	4 E 2-3(砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2) 141
図 1.7-105	5 E 2-3(砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)141
図 1.7-106	5 F 2-6(砂岩)の 120 日浸漬前・後のスキャン画像比較 142
図 1.7-107	7 F 2-6(砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1) 142
図 1.7-108	3 F 2-6(砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2) 143
図 1.7-109	F 2-6(砂岩)の120日浸漬前・後のSEM 画像比較(3)143
図 1.7-110	) G 1-3(砂岩)の 120 日浸漬前・後のスキャン画像比較
図 1.7-111	G 1-3(砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1) 144
図 1.7-112	2 G 1-3(砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2) 145
図 1.7-113	3 G 1-3(砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3) 145
図 1.7-114	H 4-1(砂岩)の 120 日浸漬前・後のスキャン画像比較146
図 1.7-115	5 H 4-1(砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1) 146
図 1.7-116	3 H 4-1(砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2) 147

図 1.7-118 14-3 (砂岩) の 120 日浸漬前・後のスキャン画像比較 (1) 148 図 1.7-119 14-3 (砂岩) の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2) 149 図 1.7-121 14-3 (砂岩) の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2) 149 図 1.7-121 14-3 (砂岩) の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2) 149 図 1.7-121 14-3 (砂岩) の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2) 151 図 1.7-123 12-5 N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2) 151 図 1.7-125 12-5 N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2) 151 図 1.7-125 12-5 N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2) 151 図 1.7-126 12-5 C (泥岩) の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2) 151 図 1.7-127 12-5 C (泥岩) の塩酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2) 153 図 1.7-128 12-5 C (泥岩) の塩酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2) 153 図 1.7-130 12-5 C (泥岩) の塩酸 60 日浸漬後の欠片画像 (1) 152 図 1.7-131 12-5 C (泥岩) の塩酸 60 日浸漬後の欠片画像 (2) 153 図 1.7-130 12-5 C (泥岩) の塩酸 60 日浸漬後の欠片画像 (2) 155 図 1.7-131 12-5 C (泥岩) の塩酸 60 日浸漬後の欠片 SEM 画像 (2) 155 図 1.7-133 12-5 S (泥岩) の塩酸 60 日浸漬後の欠片 SEM 画像 (2) 155 図 1.7-133 12-5 S (泥岩) の硫酸 60 日浸漬着の・後の SEM 画像比較 (1) 156 図 1.7-134 12-5 S (泥岩) の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (1) 156 図 1.7-135 12-5 S (泥岩) の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2) 155 図 1.7-136 12-5 S (泥岩) の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (1) 156 図 1.7-137 14 22-5 S (泥岩) の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2) 157 図 1.7-136 12-5 S (泥岩) の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2) 157 図 1.7-137 K 4-2 N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2) 156 図 1.7-138 K 4-2 N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2) 157 図 1.7-148 K 4-2 N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2) 159 図 1.7-140 K 4-2 N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2) 159 図 1.7-140 K 4-2 N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2) 159 図 1.7-140 K 4-2 N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2) 160 図 1.7-142 K 4-2 S (砂岩) の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2) 160 図 1.7-143 K 4-2 S (砂岩) の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (3) 161 図 1.7-144 K 4-2 S (砂岩) の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (3) 161 図 1.7-145 K 4-2 S (砂岩) の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (3) 162 図 1.7-145 K 4-2 S (砂岩) の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (4) 160 図 1.7-145 K 4-2 S (砂岩) の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (3) 162 図 1.7-145 K 4-2 S (砂岩) の硫酸 60 日浸漬前 (2) SEM 画像比較 (3) 162 図 1.7-145 K 4-2 S (砂岩) の硫酸 60 日浸漬前 (2) SEM 画像比較 (3) 162 図 1.8-1 A 3-1 0浸渍荷前後の XRD 測定結果比較 170 図 1.8-5 E 2-3 0浸渍荷前後の XRD 測定結果比較 171 0 1.8-5 E 2-3 0浸渍荷前後の XRD 測定結果比較 171 0 1.8-6 H	図 1.7-117	H 4-1 (砂岩)の120日浸漬前・後のSEM 画像比較(3)147
図 1.7-119 I 4-3 (砂岩) の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (1)	図 1.7-118	I 4·3 (砂岩)の120日浸漬前・後のスキャン画像比較148
図 1.7-120 14-3 (砂岩) の120 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2)	図 1.7-119	I 4·3(砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1) 148
図 1.7-121 14-3 (砂岩) の120 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (3)	図 1.7-120	I 4·3 (砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2) 149
図 1.7-122 J 2-5_N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬前・後のスキャン画像比較	図 1.7-121	I 4-3(砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3) 149
図 1.7-123 J 2-5_N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (1)	図 1.7-122	J 2-5_N(泥岩)の硝酸 60 日浸漬前・後のスキャン画像比較150
図 1.7-124 J 2-5_N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2)	図 1.7-123	J 2-5_N(泥岩)の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1) 150
図 1.7-125       J 2-5_N (泥岩) の補酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (3)       151         図 1.7-126       J 2-5_C (泥岩) の塩酸 60 日浸漬前・後のスキャン画像比較       152         図 1.7-127       J 2-5_C (泥岩) の塩酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (1)       153         図 1.7-128       J 2-5_C (泥岩) の塩酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2)       153         図 1.7-129       J 2-5_C (泥岩) の塩酸 60 日浸漬後の欠片画像 (1)       153         図 1.7-130       J 2-5_C (泥岩) の塩酸 60 日浸漬後の欠片画像 (2)       154         図 1.7-131       J 2-5_C (泥岩) の塩酸 60 日浸漬後の欠片画像 (2)       154         図 1.7-132       J 2-5_C (泥岩) の塩酸 60 日浸漬後の欠片画像 (2)       155         図 1.7-133       J 2-5_C (泥岩) の塩酸 60 日浸漬後の欠片画像 (2)       155         図 1.7-134       J 2-5_S (泥岩) の塩酸 60 日浸漬荷前・後の SEM 画像比較 (1)       156         図 1.7-135       J 2-5_S (泥岩) の硫酸 60 日浸漬荷前・後の SEM 画像比較 (2)       157         図 1.7-135       J 2-5_S (泥岩) の硝酸 60 日浸漬荷前・後の SEM 画像比較 (2)       157         図 1.7-137       K 4-2_N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬荷前・後の SEM 画像比較 (2)       158         図 1.7-138       K 4-2_N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬荷前・後の SEM 画像比較 (2)       158         図 1.7-139       K 4-2_N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬荷前・後の SEM 画像比較 (2)       159         図 1.7-140       K 4-2_S (砂岩) の硝酸 60 日浸漬荷前・後の SEM 画像比較 (3)       159         図 1.7-141       K 4-2_S (砂岩) の硝酸 60 日浸漬荷前・後の SEM 画像比較 (4)      160         図 1.7-142       <	図 1.7-124	J 2-5_N(泥岩)の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)151
図 1.7-126 J 2-5_C (泥岩) の塩酸 60 日浸漬前・後のスキャン画像比較. 1.52 図 1.7-127 J 2-5_C (泥岩) の塩酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (1) 1.53 図 1.7-128 J 2-5_C (泥岩) の塩酸 60 日浸漬節・後の SEM 画像比較 (2) 1.7-130 J 2-5_C (泥岩) の塩酸 60 日浸漬後の欠片画像 (1) 1.7-131 J 2-5_C (泥岩) の塩酸 60 日浸漬後の欠片画像 (2) 1.7-131 J 2-5_C (泥岩) の塩酸 60 日浸漬後の欠片医M 画像 (1) 1.7-132 J 2-5_C (泥岩) の塩酸 60 日浸漬後の欠片 SEM 画像 (2) 1.7-133 J 2-5_S (泥岩) の硫酸 60 日浸漬後の欠片 SEM 画像 (2) 1.7-133 J 2-5_S (泥岩) の硫酸 60 日浸漬荷・後の SEM 画像比較 (1) 1.7-135 J 2-5_S (泥岩) の硫酸 60 日浸漬荷・後の SEM 画像比較 (1) 1.7-136 J 2-5_S (泥岩) の硫酸 60 日浸漬荷・後の SEM 画像比較 (1) 1.7-137 J 2-5_S (泥岩) の硫酸 60 日浸漬荷・後の SEM 画像比較 (2) 1.7-137 K 4-2_N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬荷・後の SEM 画像比較 (1) 1.7-138 K 4-2_N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬荷・後の SEM 画像比較 (2) 1.7-139 K 4-2_N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬荷・後の SEM 画像比較 (2) 1.7-140 K 4-2_N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬荷・後の SEM 画像比較 (2) 1.7-141 K 4-2_N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬荷・後の SEM 画像比較 (2) 1.7-143 K 4-2_S (砂岩) の硝酸 60 日浸漬荷・後の SEM 画像比較 (3) 1.7-144 K 4-2_S (砂岩) の硝酸 60 日浸漬荷・後の SEM 画像比較 (3) 1.7-145 K 4-2_S (砂岩) の硫酸 60 日浸漬荷・後の SEM 画像比較 (4) 1.61 1.7-144 K 4-2_S (砂岩) の硫酸 60 日浸漬荷・後の SEM 画像比較 (4) 1.61 1.7-145 K 4-2_S (砂岩) の硫酸 60 日浸漬荷・後の SEM 画像比較 (4) 1.61 1.7-146 K 4-2_S (砂岩) の硫酸 60 日浸漬荷・後の SEM 画像比較 (2) 1.62 1.7-147 K 4-2_S (砂岩) の硫酸 60 日浸漬荷・後の SEM 画像比較 (3) 1.62 1.7-146 K 4-2_S (砂岩) の硫酸 60 日浸漬荷・後の SEM 画像比較 (3) 1.62 1.7-146 K 4-2_S (砂岩) の硫酸 60 日浸漬荷・後の SEM 画像比較 (4) 1.63 1.8-1 A 3-1 の浸漬荷後の XRD 測定結果比較 1.70 1.8-5 E 2-3 の浸漬荷後の XRD 測定結果比較 1.70 1.8-5 E 2-3 の浸漬荷後の XRD 測定結果比較 1.71 1.8-6 F 2-6 の浸漬荷後の XRD 測定結果比較 1.71 1.8-6 F 2-6 の浸漬荷後の XRD 測定結果比較 1.71 1.8-7 G 1-3 の浸漬荷後の XRD 測定結果比較 1.71 1.8-8 H 4-1 の浸漬荷後の XRD 測定結果比較 1.71 1.8-8 H 4-1 の浸漬荷後の XRD 測定結果比較 1.71 1.8-1 J 2-5 の浸漬荷後の XRD 測定結果比較 1.71 1.8-1	図 1.7-125	J 2-5_N(泥岩)の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3) 151
図 1.7-127       J 2-5_C (泥岩)       の塩酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (1)       152         図 1.7-128       J 2-5_C (泥岩)       の塩酸 60 日浸漬後の欠片画像 (1)       153         図 1.7-129       J 2-5_C (泥岩)       の塩酸 60 日浸漬後の欠片画像 (1)       153         図 1.7-130       J 2-5_C (泥岩)       の塩酸 60 日浸漬後の欠片画像 (2)       154         図 1.7-131       J 2-5_C (泥岩)       の塩酸 60 日浸漬後の欠片 SEM 画像 (1)       154         図 1.7-132       J 2-5_C (泥岩)       の塩酸 60 日浸漬後の欠片 SEM 画像 (1)       155         図 1.7-133       J 2-5_C (泥岩)       の塩酸 60 日浸漬後の欠片 SEM 画像 (1)       156         図 1.7-133       J 2-5_S (泥岩)       の硫酸 60 日浸漬前・後のスキャン画像比較       1.56         図 1.7-135       J 2-5_S (泥岩)       の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (1)       1.56         図 1.7-136       J 2-5_S (泥岩)       の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2)       1.57         図 1.7-137       K 4-2_N (泥岩)       の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (1)       1.58         図 1.7-138       K 4-2_N (泥岩)       の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2)       1.59         図 1.7-141       K 4-2_N (泥岩)       の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2)       1.61         図 1.7-142       K 4-2_S (砂岩)       の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (1)       1.61         図 1.7-143       K 4-2_S (砂岩)       の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (1)       1.61         図 1.7-144	図 1.7-126	J 2-5_C(泥岩)の塩酸 60 日浸漬前・後のスキャン画像比較152
図 1.7-128       J 2-5_C (泥岩)       の塩酸 60 日浸漬節・後の SEM 画像比較 (2)       153         図 1.7-129       J 2-5_C (泥岩)       の塩酸 60 日浸漬後の欠片画像 (1)       153         図 1.7-130       J 2-5_C (泥岩)       の塩酸 60 日浸漬後の欠片画像 (2)       154         図 1.7-131       J 2-5_C (泥岩)       の塩酸 60 日浸漬後の欠片 SEM 画像 (1)       154         図 1.7-132       J 2-5_C (泥岩)       の塩酸 60 日浸漬後の欠片 SEM 画像 (1)       155         図 1.7-133       J 2-5_S (泥岩)       の塩酸 60 日浸漬節・後のスキャン画像比較       156         図 1.7-135       J 2-5_S (泥岩)       の硫酸 60 日浸漬節・後の SEM 画像比較 (1)       156         図 1.7-135       J 2-5_S (泥岩)       の硫酸 60 日浸漬節・後の SEM 画像比較 (2)       157         図 1.7-136       J 2-5_S (泥岩)       の硫酸 60 日浸漬節・後の SEM 画像比較 (2)       158         図 1.7-137       K 4-2_N (泥岩)       の硝酸 60 日浸漬節・後の SEM 画像比較 (1)       158         図 1.7-138       K 4-2_N (泥岩)       の硝酸 60 日浸漬節・後の SEM 画像比較 (2)       159         図 1.7-140       K 4-2_N (泥岩)       の硝酸 60 日浸漬節・後の SEM 画像比較 (3)       159         図 1.7-141       K 4-2_N (泥岩)       の硝酸 60 日浸漬節・後の SEM 画像比較 (4)       160         図 1.7-142       K 4-2_S (砂岩)       の硫酸 60 日浸漬節・後の SEM 画像比較 (1)       161         図 1.7-143       K 4-2_S (砂岩)       の硫酸 60 日浸漬節・後の SEM 画像比較 (2)       162         図 1.7-144 <td< td=""><td>図 1.7-127</td><td>J 2-5_C(泥岩)の塩酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)152</td></td<>	図 1.7-127	J 2-5_C(泥岩)の塩酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)152
図 1.7-129 J 2-5_C (泥岩) の塩酸 60 目浸漬後の欠片画像 (1)	図 1.7-128	J 2-5_C(泥岩)の塩酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)153
図 1.7-130 J 2-5_C (泥岩) の塩酸 60 日浸漬後の欠片画像 (2)	図 1.7-129	J 2-5_C(泥岩)の塩酸 60 日浸漬後の欠片画像(1)153
図 1.7-131 J 2·5_C (泥岩)の塩酸 60 日浸漬後の欠片 SEM 画像 (1)	図 1.7-130	J 2-5_C (泥岩)の塩酸 60 日浸漬後の欠片画像 (2)
図 1.7-132 J 2.5_C (泥岩) の塩酸 60 日浸漬後の欠片 SEM 画像 (2)	図 1.7-131	J 2-5_C(泥岩)の塩酸 60 日浸漬後の欠片 SEM 画像(1) 154
図 1.7-133 J 2·5_S (泥岩) の硫酸 60 日浸漬前・後のスキャン画像比較	図 1.7-132	J 2-5_C(泥岩)の塩酸 60 日浸漬後の欠片 SEM 画像(2)155
図 1.7-134 J 2-5_S (泥岩) の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (1)       156         図 1.7-135 J 2-5_S (泥岩) の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2)       157         図 1.7-136 J 2-5_S (泥岩) の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (3)       157         図 1.7-137 K 4-2_N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (3)       158         図 1.7-138 K 4-2_N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (1)       158         図 1.7-139 K 4-2_N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (1)       159         図 1.7-140 K 4-2_N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2)       159         図 1.7-141 K 4-2_N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (3)       159         図 1.7-142 K 4-2_S (砂岩) の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (1)       161         図 1.7-143 K 4-2_S (砂岩) の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (1)       161         図 1.7-144 K 4-2_S (砂岩) の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2)       162         図 1.7-145 K 4-2_S (砂岩) の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (3)       162         図 1.7-146 K 4-2_S (砂岩) の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (3)       162         図 1.8-1 A 3-1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       167         図 1.8-2 B 3-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       168         図 1.8-3 C 2-1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       170         図 1.8-4 D 2-2 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       171         図 1.8-5 E 2-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       172         図 1.8-6 F 2-6 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       173         図 1.8-7 G 1-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       174         図 1.8-8 H 4-1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       174 <td>図 1.7-133</td> <td>J 2-5_S(泥岩)の硫酸 60 日浸漬前・後のスキャン画像比較156</td>	図 1.7-133	J 2-5_S(泥岩)の硫酸 60 日浸漬前・後のスキャン画像比較156
<ul> <li>図 1.7-135 J 2-5_S (泥岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (2)</li></ul>	図 1.7-134	J 2-5_S(泥岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1) 156
<ul> <li>図 1.7-136 J 2-5_S (泥岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (3)</li></ul>	図 1.7-135	J 2-5_S(泥岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2) 157
<ul> <li>図 1.7-137 K 4-2_N (泥岩)の硝酸 60 日浸漬前・後のスキャン画像比較</li></ul>	図 1.7-136	J 2-5_S(泥岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3) 157
<ul> <li>図 1.7-138 K 4·2_N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (1)</li></ul>	図 1.7-137	K 4·2_N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬前・後のスキャン画像比較158
図 1.7-139 K 4·2_N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)	図 1.7-138	K 4·2_N(泥岩)の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1) 158
図 1.7-140 K 4·2_N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (3)	図 1.7-139	K 4·2_N(泥岩)の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2) 159
図 1.7-141 K4·2_N (泥岩) の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(4)	図 1.7-140	K 4·2_N(泥岩)の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3) 159
図 1.7-142       K 4·2_S (砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後のスキャン画像比較       161         図 1.7-143       K 4·2_S (砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)       161         図 1.7-144       K 4·2_S (砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)       162         図 1.7-145       K 4·2_S (砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)       162         図 1.7-146       K 4·2_S (砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)       163         図 1.7-146       K 4·2_S (砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(4)       163         図 1.7-146       K 4·2_S (砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(4)       163         図 1.8-1       A 3·1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       167         図 1.8-2       B 3·3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       168         図 1.8-3       C 2·1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       169         図 1.8-4       D 2·2 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       170         図 1.8-5       E 2·3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       171         図 1.8-6       F 2·6 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       172         図 1.8-7       G 1·3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       173         図 1.8-8       H 4·1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       174         図 1.8-9       I 4·3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       175         図 1.8-10       J 2·5 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       176	図 1.7-141	K 4·2_N(泥岩)の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(4) 160
図 1.7-143       K 4-2_S (砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)       161         図 1.7-144       K 4-2_S (砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)       162         図 1.7-145       K 4-2_S (砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)       162         図 1.7-146       K 4-2_S (砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)       163         図 1.7-146       K 4-2_S (砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(4)       163         図 1.8-1       A 3-1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       167         図 1.8-2       B 3-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       168         図 1.8-3       C 2-1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       169         図 1.8-4       D 2-2 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       170         図 1.8-5       E 2-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       171         図 1.8-6       F 2-6 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       172         図 1.8-7       G 1-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       173         図 1.8-8       H 4-1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       174         図 1.8-9       I 4-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       175         図 1.8-10       J 2-5 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       176         図 1.8-10       J 2-5 の浸漬前後の XRD 測定結果比較       176	図 1.7-142	K 4-2_S(砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後のスキャン画像比較
<ul> <li>図 1.7-144 K 4-2_S (砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)</li> <li>162</li> <li>図 1.7-145 K 4-2_S (砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)</li> <li>162</li> <li>図 1.7-146 K 4-2_S (砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(4)</li> <li>163</li> <li>図 1.8-1 A 3-1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較</li> <li>167</li> <li>図 1.8-2 B 3-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較</li> <li>168</li> <li>図 1.8-3 C 2-1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較</li> <li>169</li> <li>図 1.8-4 D 2-2 の浸漬前後の XRD 測定結果比較</li> <li>170</li> <li>図 1.8-5 E 2-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較</li> <li>171</li> <li>図 1.8-6 F 2-6 の浸漬前後の XRD 測定結果比較</li> <li>172</li> <li>図 1.8-7 G 1-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較</li> <li>173</li> <li>図 1.8-8 H 4-1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較</li> <li>174</li> <li>図 1.8-10 J 2-5 の浸漬前後の XRD 測定結果比較</li> </ul>	図 1.7-143	K 4·2_S(砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)161
図 1.7-145K 4-2_S (砂岩) の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (3)162図 1.7-146K 4-2_S (砂岩) の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (4)163図 1.8-1A 3-1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較167図 1.8-2B 3-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較168図 1.8-3C 2-1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較169図 1.8-4D 2-2 の浸漬前後の XRD 測定結果比較170図 1.8-5E 2-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較171図 1.8-6F 2-6 の浸漬前後の XRD 測定結果比較172図 1.8-7G 1-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較173図 1.8-8H 4-1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較174図 1.8-9I 4-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較175図 1.8-10J 2-5 の浸漬前後の XRD 測定結果比較176	図 1.7-144	K 4·2_S(砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)162
図 1.7-146K 4-2_S (砂岩) の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較 (4)163図 1.8-1A 3-1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較167図 1.8-2B 3-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較168図 1.8-3C 2-1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較169図 1.8-4D 2-2 の浸漬前後の XRD 測定結果比較170図 1.8-5E 2-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較171図 1.8-6F 2-6 の浸漬前後の XRD 測定結果比較172図 1.8-7G 1-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較173図 1.8-8H 4-1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較174図 1.8-9I 4-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較175図 1.8-10J 2-5 の浸漬前後の XRD 測定結果比較176	図 1.7-145	K 4·2_S(砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)162
図 1.8-1A 3-1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較	図 1.7-146	K 4·2_S(砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(4)163
図 1.8-2B 3-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較	図 1.8-1	A 3-1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較167
図 1.8-3C 2-1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較	⊠ 1.8 <b>-</b> 2 H	3 3-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較 168
図 1.8-4D 2-2 の浸漬前後の XRD 測定結果比較170図 1.8-5E 2-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較171図 1.8-6F 2-6 の浸漬前後の XRD 測定結果比較172図 1.8-7G 1-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較173図 1.8-8H 4-1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較174図 1.8-9I 4-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較175図 1.8-10J 2-5 の浸漬前後の XRD 測定結果比較176	図 1.8-3 (	C 2-1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較 169
図 1.8-5E 2-3の浸漬前後の XRD 測定結果比較	図 1.8-4 I	<b>D 2-2</b> の浸漬前後の XRD 測定結果比較170
図 1.8-6       F 2-6 の浸漬前後の XRD 測定結果比較	図 1.8-5 H	E 2-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較 171
<ul> <li>図 1.8-7 G 1-3の浸漬前後の XRD 測定結果比較</li></ul>	図 1.8-6 H	F 2-6 の浸漬前後の XRD 測定結果比較172
<ul> <li>図 1.8-8 H 4-1の浸漬前後の XRD 測定結果比較</li></ul>	図 1.8-7 0	G 1-3 の浸漬前後の XRD 測定結果比較173
<ul> <li>図 1.8-9 I 4-3の浸漬前後の XRD 測定結果比較</li></ul>	図 1.8-8 H	I 4-1 の浸漬前後の XRD 測定結果比較174
図 1.8-10 J 2-5 の浸漬前後の XRD 測定結果比較	図 1.8-9 I	4-3の浸漬前後の XRD 測定結果比較175
	図 1.8-10	J 2-5 の浸漬前後の XRD 測定結果比較176
図 1.8-11 K 4-2 の浸頂 10 XRD 測 定結果比較	図 1.8-11	K 4-2 の浸漬前後の XRD 測定結果比較

义	1.9-1	A 3-1	の間隙径分	布180
义	1.9-2	В 3 <b>-</b> 3	の間隙径分	冷布
义	1.9-3	C 2-1	の間隙径分	冷布
义	1.9-4	D 2-2	の間隙径分	亦186
义	1.9-5	E 2-3	の間隙径分	市
义	1.9-6	F 2-6	の間隙径分	布190
义	1.9-7	G 1-3	の間隙径分	)布192
义	1.9-8	H 4 <b>-</b> 1	の間隙径分	分布194
义	1.9-9	I 4-3 0	D間隙径分	布196
义	1.9-10	J 2-5	の間隙径	分布
义	1.9-11	K 4-2	2の間隙径	分布
义	1.11-1	1 <b>-</b> 2b	(河床礫)	の断面および薄片写真
义	1.11-2	1 <b>-</b> 2b	(河床礫)	の元素マッピング結果 (1) 205
义	1.11-3	1 <b>-</b> 2b	(河床礫)	の元素マッピング結果 (2) 206
义	1.11-4	2 <b>-</b> 4a	(河床礫)	の断面および薄片写真
义	$1.11 \cdot 5$	2 <b>-</b> 4a	(河床礫)	の元素マッピング結果 (1) 208
义	1.11-6	2 <b>-</b> 4a	(河床礫)	の元素マッピング結果 (2) 209
义	1.11-7	3 <b>-</b> 4a	(河床礫)	の断面および薄片写真
义	1.11-8	3 <b>-</b> 4a	(河床礫)	の元素マッピング結果 (1)
义	1.11-9	3 <b>-</b> 4a	(河床礫)	の元素マッピング結果 (2) 212
义	1.11-1(	) 4-5k	<b>)</b> (河床礫)	の断面および薄片写真
义	1.11-11	4-5k	<b>)</b> (河床礫)	の元素マッピング結果 (1)
义	1.11-12	2 4-5k	<b>)</b> (河床礫)	の元素マッピング結果 (2)
义	1.11-13	3 5-3a	a(段丘礫)	の断面および薄片写真
义	1.11-14	4 <b>5</b> -3a	a(段丘礫)	の元素マッピング結果 (1)
义	1.11-18	5 5-3a	a (段丘礫)	の元素マッピング結果 (2)

## 表 目 次

表 1.1-1	浸漬前の試料の寸法・重量・密度の測定結果	10
表 1.1-2	浸漬後の試料の寸法・重量・密度の測定結果	11
表 1.4-1	X 線分析顕微鏡の測定条件	33
表 1.5-1	マイクロフォーカス X 線 CT スキャンの測定条件	70
表 1.5-2	低密度帯の厚さの測定結果	76
表 1.6-1	分光測色条件	77
表 1.6-2	30 日浸漬試料の浸漬前後での分光測色の結果	78
表 1.6-3	60 日浸漬試料の浸漬前後での分光測色の結果	79
表 1.6-4	120 日浸漬試料の浸漬前後での分光測色の結果	80
表 1.6-5	酸変更 60 日浸漬試料の浸漬前後での分光測色の結果	81

付 12-8

表 1.7-1	SEM の観察条件
表 1.8-1	<b>XRD</b> 分析の測定条件
表 1.8-2	浸漬前の鉱物組み合わせ164
表 1.8-3	30 日浸漬後の鉱物組み合わせ165
表 1.8-4	60 日浸漬後の鉱物組み合わせ165
表 1.8-5	120日浸漬後の鉱物組み合わせ166
表 1.8-6	酸変更 60 日浸漬後の鉱物組み合わせ 166
表 1.9-1	水銀ポロシメータの測定条件178
表 1.9-2	A 3·1 のポロシメータ測定結果179
表 1.9-3	B 3·3 のポロシメータ測定結果181
表 1.9-4	C 2-1 のポロシメータ測定結果183
表 1.9-5	<b>D</b> 2-2のポロシメータ測定結果185
表 1.9-6	E 2-3 のポロシメータ測定結果187
表 1.9-7	F 2-6 のポロシメータ測定結果189
表 1.9-8	G 1-3 のポロシメータ測定結果191
表 1.9-9	H 4·1 のポロシメータ測定結果193
表 1.9-10	I 4·3 のポロシメータ測定結果195
表 1.9-11	J 2-5 のポロシメータ測定結果197
表 1.9-12	K 4·2 のポロシメータ測定結果199
表 1.10-1	ICP-OES, ICP-MS による定量分析結果

### 1. 岩石風化模擬実験の分析結果

今回の実験で得られた結果について、分析項目ごとに記す。

## 1.1 試料性状

硝酸溶液への浸漬前後の実験試料について、寸法・重量・密度の測定ならびに観察面(SEM 等による表面観察の対象とする面)のスキャン画像撮影を実施した。それらの結果を表 1.1-1 と表 1.1-2 および図 1.1-1~図 1.1-4 に示す。

	岩種·試	料名	幅(mm)	奥行(mm)	高さ(mm)	浸漬前 質量(g)	体積 ^(cm³)	密度 (g/cm ³ )
		30日試料	19.11	18.98	10.30	9.92	3.74	2.65
砂岩	A 3-1	60日試料	19.46	20.25	9.86	10.27	3.89	2.64
		120日試料	19.07	20.30	9.86	10.09	3.82	2.64
		30日試料	19.01	19.85	10.55	10.48	3.98	2.63
砂岩	B 3-3	60日試料	19.86	20.74	9.51	10.29	3.92	2.63
		120日試料	19.79	19.91	10.57	10.91	4.16	2.62
		30日試料	21.54	20.09	11.52	13.12	4.99	2.63
砂岩	C 2-1	60日試料	19.68	21.65	10.87	12.28	4.63	2.65
		120日試料	20.44	21.87	11.13	13.24	4.98	2.66
		30日試料	18.25	19.54	9.35	8.89	3.33	2.67
砂岩	D 2-2	60日試料	19.09	19.90	10.06	10.17	3.82	2.66
		120日試料	19.46	18.39	10.15	9.70	3.63	2.67
		30日試料	19.33	21.35	10.04	11.03	4.14	2.66
砂岩	E 2-3	60日試料	19.34	21.41	10.04	11.00	4.16	2.65
		120日試料	19.18	20.58	9.83	10.33	3.88	2.66
		30日試料	19.21	21.86	8.33	9.20	3.50	2.63
砂岩	F 2-6	60日試料	19.27	21.58	9.83	10.75	4.09	2.63
		120日試料	19.14	21.87	9.42	10.32	3.94	2.62
		30日試料	20.30	20.99	9.13	10.19	3.89	2.62
砂岩	G 1-3	60日試料	20.35	21.04	8.61	9.67	3.69	2.62
		120日試料	20.32	21.06	8.88	9.97	3.80	2.62
		30日試料	19.73	19.95	9.23	9.57	3.63	2.63
砂岩	H 4–1	60日試料	19.10	21.22	9.19	9.80	3.72	2.63
		120日試料	19.19	21.26	9.68	10.41	3.95	2.64
		30日試料	20.81	20.68	8.90	9.78	3.83	2.55
砂岩	I 4-3	60日試料	20.88	20.72	9.54	10.55	4.13	2.56
		120日試料	20.57	20.72	8.86	9.66	3.78	2.56
		硝酸60日試料	24.04	20.35	10.92	14.71	5.34	2.75
砂岩	J 2-5	塩酸60日試料	22.54	20.18	10.21	12.67	4.64	2.73
		硫酸60日試料	22.31	20.05	10.31	12.60	4.61	2.73
		硝酸60日試料	20.18	19.41	10.50	10.85	4.11	2.64
砂岩	K 4-2	塩酸60日試料	19.97	19.33	10.05	10.23	3.88	2.64
		硫酸60日試料	20.75	19.90	9.10	10.04	3.76	2.67

表 1.1-1 浸漬前の試料の寸法・重量・密度の測定結果

	岩種·註	【料名	幅(mm)	奧行(mm)	高さ(mm)	浸漬後	質量変化	質量変化	体積	密度	密度変化
				2011		質量(g)	(g)	率(%)*	(cm ³ )	(g/cm ³ )	(g/cm ³ )
		30日試料	19.11	19.02	10.31	9.3007	-0.615	6.21	3.747	2.482	-0.172
砂岩	A 3-1	60日試料	19.46	20.19	9.82	9.4497	-0.822	8.00	3.858	2.449	-0.194
		120日試料	19.02	20.30	9.84	9.1259	-0.96	9.51	3.799	2.402	-0.240
		30日試料	19.02	19.87	10.54	10.103	-0.378	3.61	3.983	2.536	-0.096
砂岩	B 3-3	60日試料	19.93	20.68	9.53	9.839	-0.448	4.35	3.928	2.505	-0.121
		120日試料	19.75	19.88	10.56	10.3	-0.611	5.60	4.146	2.484	-0.136
		30日試料	21.50	20.13	11.50	12.286	-0.836	6.37	4.977	2.468	-0.164
砂岩	C 2-1	60日試料	19.69	21.68	10.89	11.242	-1.042	8.48	4.649	2.418	-0.234
		120日試料	20.48	21.86	11.13	11.897	-1.344	10.15	4.983	2.388	-0.274
		30日試料	18.30	19.63	9.38	8.4759	-0.412	4.63	3.370	2.515	-0.150
砂岩	D 2-2	60日試料	19.09	19.91	10.08	9.6384	-0.536	5.27	3.831	2.516	-0.147
		120日試料	19.48	18.43	10.14	9.0095	-0.687	7.08	3.640	2.475	-0.194
		30日試料	19.37	21.34	10.08	10.566	-0.46	4.18	4.167	2.536	-0.125
砂岩	E 2-3	60日試料	19.40	21.46	10.04	10.428	-0.571	5.19	4.180	2.495	-0.151
		120日試料	19.17	20.57	9.84	9.5975	-0.728	7.05	3.880	2.473	-0.188
		30日試料	19.20	21.86	8.35	8.758	-0.439	4.77	3.505	2.499	-0.130
砂岩	F 2-6	60日試料	19.33	21.55	9.84	10.197	-0.55	5.12	4.099	2.488	-0.141
		120日試料	19.12	21.84	9.42	9.6743	-0.647	6.27	3.934	2.459	-0.158
		30日試料	20.35	21.02	9.15	9.7591	-0.429	4.21	3.914	2.493	-0.126
砂岩	G 1-3	60日試料	20.36	21.04	8.61	9.1393	-0.532	5.50	3.688	2.478	-0.146
		120日試料	20.34	21.01	8.87	9.3257	-0.644	6.46	3.791	2.460	-0.163
		30日試料	19.71	19.95	9.24	9.1335	-0.438	4.58	3.633	2.514	-0.121
砂岩	H 4-1	60日試料	19.14	21.21	9.20	9.3176	-0.482	4.92	3.735	2.495	-0.136
		120日試料	19.23	21.30	9.69	9.8061	-0.603	5.79	3.969	2.471	-0.165
		30日試料	20.82	20.65	8.91	9.3155	-0.469	4.79	3.831	2.432	-0.123
砂岩	I 4–3	60日試料	20.84	20.69	9.53	9.9926	-0.561	5.31	4.109	2.432	-0.125
	120日試料	20.61	20.71	8.85	9.0489	-0.609	6.31	3.777	2.395	-0.162	
砂岩 J 2-5	硝酸60日試料	24.05	20.35	10.90	13.965	-0.749	5.09	5.335	2.618	-0.137	
	J 2-5	塩酸60日試料	_	-	-	-	-	-	-	-	-
		硫酸60日試料	22.29	20.08	10.31	12.205	-0.39	3.10	4.615	2.645	-0.086
		硝酸60日試料	-	-	-	-	-	-	-	-	-
砂岩	K 4-2	塩酸60日試料	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		硫酸60日試料	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表 1.1-2 浸漬後の試料の寸法・重量・密度の測定結果

*(質量変化率)=(浸漬前質量-浸漬後質量)/(浸漬前質量)x1

A 3-1	30 日浸漬	60日浸漬	120 日浸漬
浸漬前			
浸漬後			

B 3-3	30 日浸漬	60日浸漬	120 日浸漬
浸漬前			
浸漬後			

C 2-1	30 日浸漬	60日浸漬	120 日浸漬
浸漬前			
浸漬後			

図 1.1-1 浸漬前後の試料観察面のスキャン画像(1)

# 【 付録 12 】

D 2-2	30日浸漬	60 日浸漬	120 日浸漬
浸漬前			
浸漬後			

E 2-3	30 日浸漬	60日浸漬	120 日浸漬
浸漬前			
浸漬後			

F 2-6	30 日浸漬	60日浸漬	120 日浸漬
浸漬前			
浸漬後			

図 1.1-2 浸漬前後の試料観察面のスキャン画像(2)

G 1-3	30 日浸漬	60日浸漬	120 日浸漬
浸漬前			
浸漬後			

H 4-1	30 日浸漬	60日浸漬	120 日浸漬
浸漬前			
浸漬後			

I 4-3	30 日浸漬	60日浸漬	120 日浸漬
浸漬前			
浸漬後			

図 1.1-3 浸漬前後の試料観察面のスキャン画像(3)

J 2-5	60日塩酸浸漬	60日硝酸浸漬	60日硫酸浸漬
浸漬前			
浸漬後			

K 4-2	60日塩酸浸漬	60日硝酸浸漬	60日硫酸浸漬
浸漬前			
浸漬後	試料崩壊の為スキャン 不可		

## 図 1.1-4 浸漬前後の試料観察面のスキャン画像(4)
#### 1.2 光学顕微鏡観察

浸漬前の試料中の構成鉱物や組織等を把握することを目的として、浸漬していない実験試料について岩石薄片を作成し観察を行った。観察結果を図 1.2-1~図 1.2-11 に示す。



Qtz:石英	Chl:緑泥石
PI:斜長石	Px: 輝石
Kfs:カリ長石	Cal: 方解石
Bt:黒雲母	Zrn: ジルコン
Ms:白雲母	

図 1.2-1 試料 A 3-1 (砂岩)の薄片写真と鉱物名略称



図 1.2-2 試料 B 3-3 (砂岩)の薄片写真



図 1.2-3 試料 C 2-1 (砂岩)の薄片写真



図 1.2-4 試料 D 2-2 (砂岩)の薄片写真



図 1.2-5 試料 E 2-3 (砂岩)の薄片写真



図 1.2-6 試料 F 2-6 (砂岩)の薄片写真



図 1.2-7 試料 G 1-3 (砂岩)の薄片写真



図 1.2-8 試料 H 4-1 (砂岩)の薄片写真



図 1.2-9 試料 I 4-3 (砂岩)の薄片写真



図 1.2-10 試料 J 2-5 (泥岩)の薄片写真



図 1.2-11 試料 K 4-2 (砂岩)の薄片写真

#### 1.3 目視観察

硝酸溶液に実験試料を浸漬している期間中、定期的に目視観察を実施し、試料および溶液の変化 を確認した。浸漬試料の観察結果を図 1.3-6 に示す。



図 1.3-1 30 日浸漬試料の浸漬中目視観察結果



図 1.3-2 60 日浸漬試料の浸漬中目視観察結果

# F G H I



D

120日

浸漬前

E



図 1.3-3 120 日浸漬試料の浸漬中目視観察結果(1)

#### 付 12-29



図 1.3-4 120 日浸漬試料の浸漬中目視観察結果(2)

60日		硝酸	〕 塩酸	硫酸	硝酸	K 塩酸	硫酸	
2010/0/0	浸漬前							
2013/9/9	浸漬後		er ersteler er	A22 1807491				



図 1.3-5 酸変更 60 日浸漬試料の浸漬中目視観察結果(1)



図 1.3-6 酸変更 60 日浸漬試料の浸漬中目視観察結果(2)

#### 1.4 X 線分析顕微鏡測定

浸漬前後での試料観察面における元素分布の変化を把握することを目的として、浸漬後の実験試料について、X線分析顕微鏡(堀場製作所(株)、XGT-7200V)による元素マッピングを実施した。 マッピングの対象とした元素は、Al、Ca、Fe、K、Mg、Mn、Na、P、S、Si、及びTiの11元 素である。測定条件を表 1.4-1に、測定結果を図 1.4-1~1.4-36に示す。

項目	測定条件
X線管球ターゲット	Rh
X線管電圧	30kV
電流	1mA
X線導管(XGT)径	100µm
測定時間	2,000秒
積算回数	5回
画素数	512

表 1.4-1 X線分析顕微鏡の測定条件

(1) マッピング

試料名	30 日浸漬後	60 日浸漬後	120 日浸漬後
A 3-1			
B 3-3			
C 2-1		-	
D 2-2			
E 2-3			

図 1.4-1 XGT 測定時の各試料のマッピングエリア(1)

試料名	30 日浸漬後	60 日浸漬後	120 日浸漬後
F 2-6	]10mm		
G 1-3			
H 4-1			
I 4-3			

図 1.4-2 XGT 測定時の各試料のマッピングエリア(2)



(試料 J 2-5_C の試料の縁および左下部の黄褐色の物質は、試料を固定するために塗布した樹脂である)

#### (2) 分析結果

各試料の測定結果を以下に示す。

1) Al

試料名	30 日浸漬後	60 日浸漬後	120 日浸漬後
A 3-1	<u> </u>		
B 3-3			
C 2-1			
D 2-2			
E 2-3			

図 1.4-4 XGT による AI のマッピング結果(1)

試料名	30 日浸漬後	60 日浸漬後	120 日浸漬後
F 2-6	j10mm		
G 1-3			
H 4-1			
I 4-3			

図 1.4-5 XGT による AI のマッピング結果(2)



#### 2) Ca

試料名	30 日浸漬後	60日浸漬後	120 日浸漬後
A 3-1			
B 3-3			
C 2-1			
D 2-2			
E 2-3			

図 1.4-7 XGT による Ca のマッピング結果(1)

試料名	30 日浸漬後	60 日浸漬後	120 日浸漬後
F 2-6	<u>110mm</u>		
G 1-3			
H 4-1			
I 4·3			

図 1.4-8 XGT による Ca のマッピング結果(2)



#### 3) Fe

試料名	30 日浸漬後	60 日浸漬後	120 日浸漬後
A 3-1	<u>10mm</u>		
B 3-3			
C 2-1			
D 2-2			
E 2-3			

図 1.4-10 XGT による Fe のマッピング結果(1)

試料名	30 日浸漬後	60 日浸漬後	120 日浸漬後
F 2-6	<u>110mm</u>		
G 1-3			
H 4-1			
I 4·3			

図 1.4-11 XGT による Fe のマッピング結果(2)



図 1.4-12 XGT による Fe のマッピング結果(3)

#### 4) K

試料名	30 日浸漬後	60 日浸漬後	120 日浸漬後
A 3-1	<u>10mm</u>		
B 3-3			
C 2-1			
D 2-2			
E 2-3			

図 1.4-13 XGT による K のマッピング結果(1)

試料名	30 日浸漬後	60 日浸漬後	120 日浸漬後
F 2-6	Lj10mm		
G 1-3			
H 4-1			
I 4-3			

図 1.4-14 XGT による K のマッピング結果(2)



#### 5) Mg

試料名	30 日浸漬後	60 日浸漬後	120 日浸漬後
A 3-1	<u>10mm</u>		
B 3-3			
C 2-1			
D 2-2			
E 2-3			

図 1.4-16 XGT による Mg のマッピング結果(1)

試料名	30 日浸漬後	60 日浸漬後	120 日浸漬後
F 2-6	<b>10mm</b>		
G 1-3			
H 4-1			
I 4-3			

図 1.4-17 XGT による Mg のマッピング結果(2)


#### 6) Mn

試料名	30 日浸漬後	60 日浸漬後	120 日浸漬後
A 3-1	<u>10mm</u>		
B 3-3			
C 2-1			
D 2-2			
E 2-3			

図 1.4-19 XGT による Mn のマッピング結果(1)

試料名	30 日浸漬後	60 日浸漬後	120 日浸漬後
F 2-6	j10mm		
G 1-3			
H 4-1			
I 4-3			

図 1.4-20 XGT による Mn のマッピング結果(2)



試料名	30 日浸漬後	60 日浸漬後	120 日浸漬後
A 3-1	<u>10mm</u>		
B 3-3			
C 2-1			
D 2-2			
E 2-3			

7) Na

図 1.4-22 XGT による Na のマッピング結果(1)

試料名	30 日浸漬後	60 日浸漬後	120 日浸漬後
F 2-6	]10mm		
G 1-3			
H 4-1			
I 4-3			

図 1.4-23 XGT による Na のマッピング結果(2)



8)	Ρ
----	---

試料名	30 日浸漬後	60 日浸漬後	120 日浸漬後
A 3-1	j10mm		
B 3-3			
C 2-1			
D 2-2			
E 2-3			

図 1.4-25 XGT による P のマッピング結果(1)

試料名	30 日浸漬後	60 日浸漬後	120 日浸漬後
F 2-6	]10mm		
G 1-3			
H 4-1			
I 4-3			

図 1.4-26 XGT による P のマッピング結果(2)





武料名	30 日浸漬後	60 日浸漬後	120 日浸漬後
A 3-1	j10mm		
B 3-3			
C 2-1			
D 2-2			
E 2-3			

図 1.4-28 XGT による S のマッピング結果(1)

試料名	30 日浸漬後	60 日浸漬後	120 日浸漬後
F 2-6			
G 1-3			
H 4-1			
I 4-3			

図 1.4-29 XGT による S のマッピング結果(2)



図 1.4-30 XGT による S のマッピング結果(3)

#### 10) Si

試料名	30 日浸漬後	60 日浸漬後	120 日浸漬後
A 3-1	<b>10</b> mm		
B 3-3			
C 2-1			
D 2-2			
E 2-3			

図 1.4-31 XGT による Siのマッピング結果(1)

試料名	30 日浸漬後	60 日浸漬後	120 日浸漬後
F 2-6	<b>10</b>		
G 1-3			
H 4-1			
I 4-3			

図 1.4-32 XGT による Siのマッピング結果(2)



# 11) Ti

試料名	30 日浸漬後	60 日浸漬後	120 日浸漬後
A 3-1	J10mm		
B 3-3			
C 2-1			
D 2-2			
E 2-3			

図 1.4-34 XGT による Ti のマッピング結果(1)

試料名	30 日浸漬後	60 日浸漬後	120 日浸漬後
F 2-6	j10mm		
G 1-3			
H 4-1			
I 4-3			

図 1.4-35 XGT による Ti のマッピング結果(2)



#### 1.5 マイクロフォーカス X線 CT スキャナーによる撮影結果

浸漬前後での試料内部の密度変化を把握することを目的として、浸漬前後の実験試料について、 マイクロフォーカスX線CTスキャナー(テスコ社、TXS-CT450/160)による観察を実施した。測 定条件を表 1.5-1に、測定結果を図 1.5-1~図 1.5-11に示す。また、浸漬後に試料表面に生じた低 密度帯の厚さを測定した結果を表 1.5-2に示す。

表 1.5-1 マイクロフォーカス X線 CT スキャンの測定条件

項目	条件
使用線源	160kV 線源
管電圧/管電流	140kV/200 $\mu$ A
SID/SOD	1000mm/200mm
拡大率	5
画素サイズ	$40\mu{ m m/pixel}$
有効視野	81.9mm
プロジェクション	3600
露光時間	500msec
ゲイン	×1
フィルター	無し



図 1.5-1 試料A3-1のµCT 測定結果画像



図 1.5-2 試料 B 3-3 の µ CT 測定結果画像



図 1.5-3 試料 C 2-1 の µ CT 測定結果画像



図 1.5-4 試料 D 2-2 の µ CT 測定結果画像



図 1.5-5 試料 E 2-3 の µ CT 測定結果画像



図 1.5-6 試料 F 2-6 の µ CT 測定結果画像



図 1.5-7 試料G1-3のµCT 測定結果画像



図 1.5-8 試料 H 4-1 の µ CT 測定結果画像



図 1.5-9 試料 I 4-3 の µ CT 測定結果画像



図 1.5-10 試料 J 2-5 の µ CT 測定結果画像



図 1.5-11 試料 K 4-2 の *μ* CT 測定結果画像

表	1.5-2	低密度帯の厚さの測定結果
---	-------	--------------

試米	料名	30日浸漬後	60日浸漬後	120日浸漬後
A 3	3-1	2.77	4.94	-
вз	3-3	2.76	5.17	-
C 2	2-1	2.69	4.17	-
D 2	2-2	1.57	2.44	4.14
E 2	2-3	2.04	3.21	5.40
F 2-6		5.19	-	_
G 1-3		2.17	4.14	-
H 4–1		2.15	3.77	_
I 4-3		-	-	-
	硝酸	-	1.16	-
J 2-5	塩酸	-	-	-
	硫酸	-	0.64	-
	硝酸	-	-	-
K 4-2	塩酸	-	-	-
	硫酸	-	-	-

#### 1.6 分光測色

浸漬前後での観察面における脱色等の色調変化を捉えることを目的として、浸漬前後の実験試料 について、分光測色計(コニカミノルタ、CM-700d)を用いた測色を実施した。測定条件、測定 箇所及び測定結果を、表 1.6-1、図 1.6-1 及び表 1.6-2 から表 1.6-5 にそれぞれ示す。

項目	測定条件
照明·受光光学系	di: 8°, de: 8°(拡散照明・8°方向受光)、SCI(正反射光含む) / SCE(正反射光除
	去)自動切替え機構付き (DIN5033 Teil7、JIS Z 8722 条件 c、ISO7724/1、
	CIE No.15、ASTM E 1164 に準拠)
積分球サイズ	Φ40mm
分光手段	平面回折格子
受光素子	デュアル 36 素子シリコンフォトダイオードアレイ
測定波長範囲	400 nm∼700 nm
測定波長間隔	10 nm

表 1.6-1 分光測色条件



図 1.6-1 分光測色の測定箇所

				浸漬前			浸漬後	
Sample	Position	Scan Type	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
	1	SCI	29.52	-0.47	-1.23	37.02	-0.36	-1.21
	-	SCE	27.34	-0.51	-1.25	35.5	-0.4	-1.19
	2	SCI	29.58	-0.45	-1.2	36.19	-0.21	-0.79
A_3-1_C30		SCE	27.24	-0.5	-1.19	35.29	-0.21	-0.7
	3	SCI	29.9	-0.51	-1.4	37.58	-0.33	-1.1
		SCE	21.89	-0.56	-1.41	30.00	-0.30	-1.1
	4	SCE	27.16	-0.53	-1.13	36.23	-0.39	-1.1
		SCI	35.55	-0.09	2.5	43.83	-0.24	1.1
	1	SCE	33.86	-0.11	2.74	42.53	-0.26	0.0
		SCI	33.88	-0.3	1.8	41.38	-0.28	-0.1
D 2 2 C20	2	SCE	32.42	-0.31	1.99	40.17	-0.29	-0.0
D_3-3_C30	2	SCI	36.6	-0.13	2.91	45.09	-0.23	0.4
	3	SCE	34.83	-0.12	3.2	43.59	-0.24	0.
	4	SCI	34.68	-0.12	2.33	43.93	-0.2	0.4
		SCE	33.25	-0.12	2.57	42.6	-0.21	0.5
	1	SCI	36.8	-0.75	1.09	47.54	-0.18	0.
	_	SCE	35.27	-0.79	1.22	46.46	-0.18	0.2
	2	SCI	36.5	-0.79	0.7	47.64	-0.23	-0.0
C_2-1_C30		SCE	35.15	-0.84	0.8	46.37	-0.24	0.0
	3	SCI	37.19	-0.5	2.35	48.5	-0.19	0.1
		SUE	35.//	-0.54	2.57	47.25	-0.2	0.2
	4	SUI	31.11	-0.19	1.06	48.8	-0.27	-0.0
		SCL	30.93	-0.64	1.00	41.14	-0.20	0.0
	1	SCE	28.08	-0.72	-1.65	44.69	-0.29	-0.3
		SCI	29.38	-0.51	-1.64	42 21	-0.41	-0.9
	2	SCE	26.6	-0.59	-1.76	40.31	-0.43	-0.
D_2-2_C30		SCI	30.35	-0.52	-1.69	42.12	-0.39	-1.0
	3	SCE	27.32	-0.59	-1.81	39.92	-0.42	-0.9
	4	SCI	31.33	-0.59	-1.68	46.01	-0.26	-0.2
	4	SCE	28.57	-0.67	-1.77	44.18	-0.28	-0.1
	1	SCI	39.18	-1.36	0.34	48.7	0.51	5.3
	1	SCE	37.59	-1.44	0.43	47.62	0.5	5.
	2	SCI	39.53	-1.29	0.18	51.79	0.04	2.7
E 2-3 C30	2	SCE	36.56	-1.42	0.35	49.77	0.05	3.0
L_2 0_000	3	SCI	40.16	-0.13	3.57	49.98	-0.03	1.8
		SCE	38.54	-0.16	3.83	48.91	-0.01	2.0
	4	SCI	39.86	-1.39	0.11	50.89	0.1	2.1
		SCE	37.71	-1.5	0.25	49.66	0.1	2.
	1	SCI	45.3	-0.71	3.56	52.42	-0.12	1.
		SUE	43.75	-0.75	3.81	50.88	-0.12	1.2
	2	SCI	43.18	-0.66	3.15	51.58	-0.08	1.0
F_2-6_C30		SCL	41.32	-0.63	3 35	50.48	-0.05	1.
	3	SCE	41.68	-0.69	3.62	48.86	-0.03	1.2
		SCI	43.84	-0.67	4,23	51.73	-0.15	1.4
	4	SCE	41.78	-0.71	4.59	49.97	-0.15	0.7
		SCI	39.64	-0.01	3.07	48.47	0.01	1.6
	1	SCE	37.96	0	3.33	46.96	0	1.8
	2	SCI	39.9	-0.33	0.25	48.34	-0.11	1.8
G 1-3 C30	<u> </u>	SCE	37.96	-0.37	0.37	46.78	-0.09	2.1
3_1 3_030	3	SCI	39.01	-0.22	0.49	48.1	-0.21	1.
	5	SCE	36.89	-0.23	0.62	46.71	-0.23	1.2
	4	SCI	37.91	-0.13	1.72	46.92	-0.26	1.5
		SCE	36.02	-0.14	1.93	45.25	-0.3	1.6
	1	SCI	35.61	-0.7	-0.24	46.06	-0.36	0.5
		SCE	31.04	-0.88	-0.3	43.17	-0.4	0.6
	2	SCI	37.03	-0.78	0.77	45.89	-0.19	1.2
H_4-1_C30		SUE	32	-0.97	0.97	42.91	-0.22	1.4
	3	301 90F	34.44	-0.6	0.10	42.85	-0.35	0.5
		SCI	29.17	-0.19	0.2	39.7 42 25	-0.39	0.0
	4	SCE	28.80	-0.9	0.03	39.19	-0.53	0.0
		SCI	51 27	0.33	7 35	56.15	0.00	1 9
	1	SCF	49.86	0.36	7.74	54 93	0.13	21
	_	SCI	50.13	0.37	7.41	55.13	0.14	1.6
	2	SCE	48.68	0.4	7.86	53.94	0.16	1.0
I_4-3_C30		SCI	51.07	0.42	8.16	57.64	0.21	2.0
	3	SCE	49.37	0.45	8.73	56.28	0.22	2.2
	А	SCI	51.12	0.25	8.05	60.48	0.25	2.3
	4	SCE	49.34	0.28	8.58	59.01	0.25	2.5

付 12-78

#### 表 1.6-3 60 日浸漬試料の浸漬前後での分光測色の結果

				浸漬前			浸漬後	
Sample	Position	Scan Type	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
	1	SCI	29.1	-0.46	-1.35	37.68	-0.29	-0.96
	-	SCE	27.06	-0.51	-1.34	35.93	-0.33	-0.95
	2	SCI	29.37	-0.5	-1.32	37.7	-0.32	-1.01
A 3-1 C60	_	SCE	27.38	-0.55	-1.34	36.08	-0.34	-0.97
	3	SCI	29.22	-0.47	-1.28	37.07	-0.33	-0.97
		SCE	27.02	-0.52	-1.32	35.56	-0.34	-0.95
	4	SCI	30.42	-0.5	-1.39	39.07	-0.31	-0.96
		SCE	28.09	-0.57	-1.4	37.34	-0.33	-0.88
	1	SCI	35.77	-0.22	1.89	44.61	-0.1	0.28
		SCE	34.59	-0.23	2.01	43.64	-0.12	0.39
	2	SCI	36.77	-0.2	2.32	42.69	-0.17	-0.19
B_3-3_C60		SCE	35.63	-0.21	2.49	41.7	-0.18	-0.11
	3	SCI	34.63	-0.07	3.01	43.06	-0.17	-0.02
		SCL	33.39	-0.06	3.Z 2.1.4	41.99	-0.17	0.00
	4	SCI	37.00	-0.04	3.14	47.29	-0.11	0.37
		SCL	20.11	-0.05	0.77	40.1	-0.11	0.49
	1	SCE	36.83	-0.91	0.77	40.01	-0.14	0.2
		SCL	30.00	-0.93	0.51	41.42	-0.11	0.3
	2	SCE	37.00	-0.58	0.0	40.00	-0.11	0.24
C_2-1_C60		SCL	38.48	-0.87	0.51	47.50	-0.15	0.33
	3	SCE	36.40	-0.07	0.04	40.00	-0.15	0.11
		SCL	38.68	-0.02	0.73	40.00	-0.03	0.2
	4	SCF	37.36	-0.93	0.02	47.83	-0.03	0.5
		SCI	29.74	-0.45	-1.85	44.82	-0.42	-1 08
	1	SCE	26.95	-0.54	-1.98	43.12	-0.44	-1.07
		SCI	30.67	-0.58	-2	45.04	-0.44	-0.97
	2	SCE	28.43	-0.65	-2.11	43.69	-0.48	-0.94
D_2-2_C60	-	SCI	30.99	-0.63	-1.75	47.16	-0.31	-0.2
	3	SCE	28.84	-0.7	-1.84	45.54	-0.35	-0.16
	4	SCI	31.12	-0.58	-1.83	45.42	-0.42	-0.87
	4	SCE	28.82	-0.65	-1.92	44.04	-0.45	-0.82
	1	SCI	39.75	-1.29	1	53.48	-0.17	0.6
	1	SCE	36.94	-1.42	1.23	51.82	-0.19	0.72
	2	SCI	38.65	-1.25	1.23	52.9	-0.22	0.54
E 2 2 C60	2	SCE	35.65	-1.37	1.53	51.19	-0.25	0.65
E_2-3_000	2	SCI	38.76	-1.28	0.08	51.89	-0.14	0.75
	5	SCE	37.03	-1.34	0.18	50.25	-0.16	0.86
	4	SCI	42.64	-1.03	0.93	52.92	-0.17	0.62
	7	SCE	40	-1.1	1.17	51.08	-0.2	0.67
	1	SCI	43.95	-0.71	3.37	51.05	-0.08	0.42
	-	SCE	42.11	-0.74	3.67	49.43	-0.08	0.55
	2	SCI	42.84	-0.23	3.85	51.73	-0.01	0.63
F_2-6 C60		SCE	41.17	-0.24	4.15	50.37	-0.02	0.76
	3	SCI	44.75	-0.78	3.83	52.7	-0.07	0.55
		SCE	42.91	-0.81	4.15	51.07	-0.06	0.68
	4	SCI	44.54	-0.62	3.98	52.62	-0.02	0.71
		SCE	42.76	-0.66	4.27	51.11	-0.03	0.86
	1	SCI	39.24	-0.15	0.34	50.85	-0.22	-0.15
	ļ	SCE	37.97	-0.16	0.44	49.65	-0.25	-0.09
	2	SCI	39.25	-0.08	1.41	50.54	-0.28	-0.31
G_1-3_C60		SCE	37.88	-0.09	1.56	49.33	-0.3	-0.26
	3	SCI	37.37	-0.09	1.26	49.17	-0.33	-0.47
		SUE	35.88	-0.1	1.39	47.91	-0.34	-0.43
	4	SCI	39.39	-0.15	0.12	50.62	-0.23	-0.12
		SUE	38.02	-0.15	0.22	49.47	-0.25	-0.07
	1	SCI	35.64	-0.63	0.62	45.63	-0.22	0.32
		SUE	31.31	-0.8	0.7	43.08	-0.20	0.4
	2	SCI	35.29	-0.05	0.37	43.89	-0.42	-0.08
H_4-1_C60		SCL	25.24	-0.0	0.4	41.1	-0.46	-0.07
	3	SCE	30.34	-0.08	0.11	45.02	-0.46	-0.45
		SOE	30.91	-0.63	0.1	42.44	-0.31	-0.45
	4	SCE	30.00	-0.71	0.20	43.78	-0.47	-0.01
		SCL	51.27	0.07	0.3Z 9.77	56 61	-0.34	-0.00
	1	SCE	10 Q1	0.40	9.26	55.01	0.24	1.40
		SCL	51 16	0.52	9.30 8 37	55.09	0.20	1.00
	2	SCF	49 55	0.20	8 93	54.48	0.21	2.04
I_4-3_C60		SCI	52 11	0.4	9.25	56.39	0.23	1 55
	3	SCF	50.09	0.4	9.23	54.88	0.25	1.33
	L	SCI	50.3	0.11	7.2	55.31	0.19	1.49
	4	SCE	48.74	0.15	7.77	53.8	0.21	1.69
		-				1		

#### 表 1.6-4 120 日浸漬試料の浸漬前後での分光測色の結果

				浸漬前			浸漬後	
Sample	Position	Scan Type	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
	1	SCI	29.35	-0.44	-1.31	41.99	0	0.4
	_	SCE	26.57	-0.48	-1.36	40.12	0	0.4
	2	SCI	27.54	-0.38	-1.01	42.62	-0.04	0.5
A_3-1_C120		SUE	25.75	-0.43	-1	41.3	-0.05	0.6
	3	SCE	29.27	-0.44	-1.20	42.87	-0.04	0.5
		SCL	20.03	-0.43	-1.31	41.43	-0.00	0.3
	4	SCE	27.27	-0.53	-1.02	40.22	0.04	0.3
		SCI	33.77	-0.38	0.68	47.16	0.12	1.4
	1	SCE	32.8	-0.4	0.74	46.03	0.12	1.5
	-	SCI	37.78	-0.27	2.29	49.27	0.17	2.0
D 2 2 C120	2	SCE	37.2	-0.28	2.41	48.43	0.16	2.
B_3-3_C120	2	SCI	37.24	0.18	4.2	49.73	0.17	2.0
	2	SCE	36.33	0.19	4.36	48.69	0.15	2.1
	4	SCI	35.32	-0.18	1.8	47.65	0.18	1.6
	-	SCE	34.47	-0.2	1.88	46.59	0.17	1.7
	1	SCI	38.92	-0.93	0.81	52.07	0.04	1.1
	_	SCE	37.21	-0.98	0.97	50.72	0.05	1.2
	2	SCI	40.63	-0.86	1.11	52.59	0.03	1.3
C_2-1_C120		SCE	39.28	-0.89	1.26	51.47	0.03	1.4
	3	SCI	39.5	-0.92	0.7	52.3	0.03	1.3
		SCE	37.74	-0.98	0.83	51	0.03	1.4
	4	501	39.46	-0.89	0.86	51.28	0.03	1.3
		SUE	38.09	-0.92	0.98	50.07	0.04	1.4
	1	SCE	29.74	-0.01	-1.98	49.19	-0.27	-0.0
		SCL	23.24	-0.7	-2.1	52 37	-0.3	0.0
	2	SCE	31.66	-0.87	-1.98	50.83	-0.12	0.7
D_2-2_C120		SCI	31.52	-0.66	-1 94	48.69	-0.22	0.0
	3	SCE	30.19	-0.73	-2.02	47.33	-0.26	0.2
		SCI	31.01	-0.62	-2.29	49.85	-0.21	0.2
	4	SCE	29.83	-0.66	-2.4	48.69	-0.23	0.3
		SCI	42.43	-0.26	5.51	48.34	1.1	3.5
	1	SCE	40.26	-0.27	6.08	46.74	1.13	3.7
	2	SCI	41.12	-0.58	4.21	49.84	1.11	3.7
E 2 2 C120	2	SCE	38.73	-0.61	4.7	48.06	1.15	4.0
L_2-3_0120	۲ ۲	SCI	41.64	-0.54	4.22	47.72	1.21	4.0
		SCE	39.65	-0.56	4.63	46.05	1.23	4.2
	4	SCI	42.09	-0.16	5.57	49.29	0.87	3.2
		SCE	39.9	-0.16	6.13	47.62	0.89	3.4
	1	SCI	40.04	-0.01	0.53	55.58	0.23	1.8
		SCE	38.29	-0.01	0.66	53.99	0.25	1.9
	2	SCI	38.88	-0.19	0.24	55.14	0.23	1.6
F_2-6_C120		SUE	30.01	-0.21	0.37	53.30	0.25	1.0
	3	SCI	38.9	-0.21	1.0	53.30	0.28	2.1
		SCL	30.09	-0.23	1.01	55.04	0.28	2.2
	4	SCE	37.49	-0.12	1.02	53.18	0.23	2.5
		SCI	35.48	-0.69	0.25	52.24	-0.15	0.3
	1	SCE	31.18	-0.85	0.26	50.79	-0.17	0.4
	_	SCI	35.7	-0.68	0.03	52.5	-0.21	0.1
0 1 0 0105	2	SCE	31.54	-0.85	0	50.87	-0.22	0.2
G_1-3_C120		SCI	35.29	-0.62	0.39	52.34	-0.27	-0.1
	3	SCE	30.37	-0.79	0.44	50.9	-0.29	-0.0
	л	SCI	35.05	-0.52	0.8	51.75	-0.18	0.0
	4	SCE	29.97	-0.68	0.96	50.3	-0.2	0.1
	1	SCI	51.67	0.36	7.88	48.91	-0.44	-0.3
	1	SCE	50.05	0.39	8.41	46.6	-0.49	-0.2
	2	SCI	51.61	0.44	8.21	49.36	-0.48	-0.7
H 4-1 C120	£	SCE	50.28	0.46	8.59	47.06	-0.53	- 0.
1_0120	3	SCI	52.15	0.18	7.98	49.46	-0.53	-0.7
	-	SCE	50.66	0.21	8.49	46.86	-0.59	- 0.
	4	SCI	50	0.34	7.73	49.77	-0.49	-0.6
	-	SCE	48.21	0.4	8.19	47.32	-0.54	-0.6
	1	SCI	39.37	-1.27	0.24	57.91	0.23	1.9
		SCE	37.26	-1.36	0.39	56.42	0.25	2.1
	2	SCI	40.64	-1.47	0.14	56.11	0.25	1.9
I_4-3_C120		SCE	38.29	-1.58	0.29	54.91	0.26	2.1
	3	SCI	40.13	-1.44	-0.1	57.4	0.21	
		SCE	38.03	-1.54	0.02	56.07	0.22	2.1
	4	SCI	40.53	-1.48	0.68	57.54	0.26	2.1
		SCE	38.1	-1.6	0.91	56.02	0.27	2.3

付 12-80

#### 表 1.6-5 酸変更 60 日浸漬試料の浸漬前後での分光測色の結果

			浸漬前			浸漬後		
Sample	Position	Scan Type	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
	1	SCI	23.48	1.06	0.19	65.34	0.76	2.57
	T	SCE	22.14	1.13	0.3	64.76	0.77	2.77
	2	SCI	23.6	1.08	0.43	59.7	0.36	1.99
	2	SCE	22.38	1.15	0.54	59.1	0.36	2.14
J_2-5_14_C00	3	SCI	24.7	1.1	0.7	56.72	-0.18	0.38
	J	SCE	23.62	1.14	0.8	56.06	-0.18	0.52
	Δ	SCI	23.35	1.22	0.29	70.63	0.64	3.94
	4	SCE	22.27	1.29	0.35	70.15	0.65	4.14
	1	SCI	23.36	1.07	0.13	61.17	0.45	5.18
	-	SCE	22.17	1.09	0.22	59.01	0.49	5.55
	2	SCI	23.22	1.2	0.21	57.33	0.56	5.36
1 2-5 C C60	2	SCE	22.16	1.28	0.31	53.26	0.66	5.64
5_2-5_0_000	З	SCI	24.26	1.25	0.52	55.75	0.48	6.2
	5	SCE	22.95	1.34	0.6	53.46	0.54	6.48
	Л	SCI	23.56	1.1	0.15	60.19	0.46	5.32
	4	SCE	22.41	1.19	0.24	59.32	0.55	5.63
	1	SCI	23.72	1.01	0.06	78.34	0.4	3.09
	1	SCE	22.4	1.07	0.16	77.68	0.42	3.3
	2	SCI	25.27	0.81	0.27	77.93	0	2.66
1 2-5 5 60	2	SCE	24.11	0.84	0.36	77.13	0.02	2.9
5_2 5_5_000	З	SCI	25.47	1.11	0.5	75.41	0.32	3.44
	5	SCE	24.57	1.16	0.6	74.77	0.34	3.64
	Л	SCI	25.38	0.97	0.47	78.57	-0.04	2.52
	4	SCE	24.28	1.01	0.58	77.75	-0.02	2.77
	1	SCI	40.02	-0.28	3.98	57.39	-0.09	0.67
	-	SCE	37.45	-0.3	4.52	55.46	-0.06	0.9
	2	SCI	40.64	-1.12	4.84	63	-0.01	1.04
K 4-2 N C60	۷	SCE	38.95	-1.2	5.19	61.47	0	1.25
N_1 2_N_000	3	SCI	37.85	-1.09	1.32	60.26	-0.06	1.14
		SCE	35.83	-1.15	1.52	59.13	-0.05	1.31
	4	SCI	36.89	-1.27	1.55	62.25	0.25	1.84
		SCE	35.18	-1.34	1.76	61.28	0.26	1.99
	1	SCI	39.04	-1.15	2.46	—	_	_
	-	SCE	38.18	-1.17	2.61	_	—	_
	2	SCI	44.06	-0.92	3.81	_	—	—
K_4-2_C_C60	_	SCE	42.83	-0.96	4.04	_	—	—
	3	SCI	40.27	-0.41	3.78	73.1	0.14	1.23
		SCE	39.14	-0.43	4.13	71.55	0.19	1.42
	4	SCI	38.94	-0.94	2.92	—	—	—
		SCE	38.2	-0.92	3.19	—	—	—
	1	SCI	38.97	-1.7	0.25	53.33	0.13	1.88
		SCE	37.61	-1.77	0.35	51.9	0.13	1.94
	2	SCI	40.59	-1.52	-0.4	59.33	0.01	1.63
K_4-2 S C60		SCE	39.27	-1.58	-0.3	57.95	0.02	1.78
	3	SCI	41.9	-2.03	-0.82	56.25	0.24	2.2
		SCE	40.55	-2.11	-0.75	55.22	0.23	2.35
	4	SCI	43.32	-1.9	-1.33	50.19	2.87	14.98
		SCE	42.35	-1.95	-1.27	49.02	2.98	15.6

#### 1.7 SEM 観察

浸漬前後での観察面における鉱物や結晶粒間等の形状変化を捉えることを目的として、浸漬前後の実験試料について、SEM(日本電子(株)、JSM-7001F)を用いた表面観察を実施した。浸漬前後で、同一試料の同一位置を対象として観察した。測定条件及び測定結果を、それぞれ表 1.7-1 及び図 1.7-1~図 1.7-146 に示す。

観察	加速電圧	15kV
余件	エミッション電流	1.8×10 ⁻⁴ A
	画像形式	вмр

表 1.7-1 SEM の観察条件

#### (1) 30 日浸漬 SEM 観察結果

1) A 3-1



Before

After

図 1.7-1 A 3-1 (砂岩)の 30 日浸漬前・後のスキャン画像



図 1.7-2 A 3-1(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)



図 1.7-3 A 3-1 (砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)



図 1.7-4 A 3-1(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)



図 1.7-5 A 3-1 (砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(4)

2) B 3-3





After

図 1.7-6 B 3-3 (砂岩)の 30 日浸漬前・後のスキャン画像比較



図 1.7-7 B 3-3(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)



図 1.7-8 B 3-3 (砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)



図 1.7-9 B 3-3(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)
# 【 付録 12 】



図 1.7-10 B 3-3 (砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(4)

3) C 2-1





After





図 1.7-12 C 2-1 (砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)

# 【 付録 12 】



図 1.7-13 C 2-1(砂岩)の30日浸漬前・後のSEM画像比較(2)



図 1.7-14 C 2-1(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)







図 1.7-16 D 2-2(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)

## 【 付録 12 】



図 1.7-17 D 2-2(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)



図 1.7-18 D 2-2(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)

5) E 2-3



図 1.7-19 E 2-3 (砂岩)の 30 日浸漬前・後のスキャン画像比較





# 【 付録 12 】



図 1.7-21 E 2-3 (砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)

B. Zircon, Apatite



図 1.7-22 E 2-3 (砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)





6) F 2-6







図 1.7-25 F 2-6 (砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)



図 1.7-26 F 2-6(砂岩)の30日浸漬前・後のSEM画像比較(2)



図 1.7-27 F 2-6(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)

7) G 1-3



図 1.7-28 G1-3 (砂岩)の30日浸漬前・後のスキャン画像比較







図 1.7-30 G 1-3(砂岩)の30日浸漬前・後のSEM画像比較(2)



図 1.7-31 G 1-3 (砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)



図 1.7-32 G 1-3(砂岩)の30日浸漬前・後のSEM画像比較(4)

8) H 4-1



図 1.7-33 H4-1 (砂岩)の 30 日浸漬前・後のスキャン画像比較



図 1.7-34 H 4-1(砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)



図 1.7-35 H 4-1 (砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)

#### C. Mica



図 1.7-36 H 4-1 (砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)

9) 14-3



Before

After









図 1.7-39 14-3(砂岩)の30日浸漬前・後のSEM画像比較(2)

C. Plagioclase, Mica, Quartz



図 1.7-40 | 4-3 (砂岩)の 30 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)

#### (2) 60 日浸漬 SEM 観察結果

1) A 3-1



Before

After





図 1.7-42 A 3-1(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(1)



図 1.7-43 A 3-1(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(2)



図 1.7-44 A 3-1(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(3)



図 1.7-45 A 3-1(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(4)

2) B 3-3





After



A. Biotite



図 1.7-47 B 3-3(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(1)



図 1.7-48 B 3-3(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(2)



図 1.7-49 B 3-3(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(3)





3) C 2-1



図 1.7-51 C 2-1 (砂岩)の60日浸漬前・後のスキャン画像比較

A. Calcite, Plagioclase, Mica



図 1.7-52 C 2-1(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(1)

付 12-111



図 1.7-53 C 2-1(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(2)



図 1.7-54 C 2-1(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(3)

4) D 2-2











図 1.7-56 D 2-2(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(1)



図 1.7-57 D 2-2(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(2)

C. Calcite, Apatite



図 1.7-58 D 2-2(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(3)



図 1.7-59 D 2-2(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(4)

5) E 2-3







図 1.7-61 E 2-3(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(1)



図 1.7-62 E 2-3(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(2)

B. Pyrite, K-Feldspar, Quartz



図 1.7-63 E 2-3(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(3)



図 1.7-64 E 2-3(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(4)

6) F 2-6





After





図 1.7-66 F 2-6 (砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(1)



図 1.7-67 F 2-6(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(2)



図 1.7-68 F 2-6(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(3)

7) G 1-3





After



A. Ilmenite, Biotite, Quartz



図 1.7-70 G 1-3 (砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(1)

付 12-121

# 【 付録 12 】



図 1.7-71 G 1-3 (砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(2)



図 1.7-72 G 1-3(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(3)



図 1.7-73 G 1-3(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(4)
8) H 4-1



Before

After





図 1.7-75 H 4-1 (砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(1)



図 1.7-76 H 4-1 (砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(2)



図 1.7-77 H 4-1(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(3)



図 1.7-78 H 4-1 (砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(4)

9) 14-3



図 1.7-79 14-3 (砂岩)の60日浸漬前・後のスキャン画像比較



図 1.7-80 | 4-3(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(1)



図 1.7-81 | 4-3(砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(2)



図 1.7-82 | 4-3 (砂岩)の60日浸漬前・後のSEM画像比較(3)

- (3) 120 日浸漬 SEM 観察結果
- 1) A 3-1







図 1.7-84 A 3-1 (砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)

#### 【 付録 12 】



図 1.7-85 A 3-1 (砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(2)



図 1.7-86 A 3-1 (砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(3)

2) B 3-3





After

図 1.7-87 B 3-3(砂岩)の120日浸漬前・後のスキャン画像比較

A. K-Feldspar



図 1.7-88 B 3-3(砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(1)

#### 【 付録 12 】



図 1.7-89 B 3-3(砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(2)



図 1.7-90 B 3-3 (砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)



図 1.7-91 B 3-3(砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(4)

3) C 2-1







図 1.7-93 C 2-1(砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)



図 1.7-94 C 2-1(砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(2)

B. Quartz



図 1.7-95 C 2-1(砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(3)



図 1.7-96 C 2-1(砂岩)の 120 日浸漬前・後の SEM 画像比較(4)

4) D 2-2





After

#### 図 1.7-97 D 2-2(砂岩)の120日浸漬前・後のスキャン画像比較



図 1.7-98 D 2-2(砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(1)

#### 【 付録 12 】



図 1.7-99 D 2-2(砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(2)



図 1.7-100 D 2-2(砂岩)の120日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)



図 1.7-101 D 2-2(砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(4)

5) E 2-3





After





図 1.7-103 E 2-3(砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(1)

#### 【 付録 12 】



図 1.7-104 E 2-3(砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(2)



図 1.7-105 E 2-3 (砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(3)

6) F 2-6



Before

After





図 1.7-107 F 2-6(砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(1)



図 1.7-108 F 2-6(砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(2)



図 1.7-109 F 2-6(砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(3)

7) G 1-3







図 1.7-111 G1-3 (砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(1)



図 1.7-112 G 1-3(砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(2)

C. K-Feldspar, Mica



図 1.7-113 G 1-3 (砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(3)

8) H 4-1



Before

After







図 1.7-115 H 4-1 (砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(1)



図 1.7-116 H 4-1 (砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(2)



図 1.7-117 H 4-1 (砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(3)

9) 14-3



図 1.7-118 |4-3(砂岩)の120日浸漬前・後のスキャン画像比較





### 【 付録 12 】



図 1.7-120 | 4-3(砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(2)





図 1.7-121 | 4-3(砂岩)の120日浸漬前・後のSEM画像比較(3)

- (4) 酸変更 60 日浸漬 SEM 観察結果
- 1) J 2-5_N



Before

After

図 1.7-122 J 2-5_N(泥岩)の硝酸 60 日浸漬前・後のスキャン画像比較



図 1.7-123 J 2-5_N(泥岩)の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)

### 【 付録 12 】



C. Chalcopyrite, Albite, Pyroxene



### 2) J 2-5_C



Before

After



位置A.が樹脂滲出により撮影不可能でした。





図 1.7-128 J 2-5_C(泥岩)の塩酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)





HCI浸漬により試料が崩壊したので、大きい破片を取り分けた。

図 1.7-129 J 2-5_C(泥岩)の塩酸 60 日浸漬後の欠片画像(1)



破片JC-1を樹脂(E-205)で固め, 断面にそってlsometカッターで 切断した。切り出した断面を SEM観察に使用した。



図 1.7-130 J 2-5_C(泥岩)の塩酸 60 日浸漬後の欠片画像(2)



図 1.7-131 J 2-5_C(泥岩)の塩酸 60 日浸漬後の欠片 SEM 画像(1)



図 1.7-132 J 2-5_C(泥岩)の塩酸 60 日浸漬後の欠片 SEM 画像(2)

3) J 2-5_S



図 1.7-133 J 2-5_S(泥岩)の硫酸 60 日浸漬前・後のスキャン画像比較



図 1.7-134 J 2-5_S(泥岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)



図 1.7-135 J 2-5_S (泥岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)

C. K-Feldspar, Mica, Monazite

浸漬前

浸漬後



図 1.7-136 J 2-5_S(泥岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)

4) K 4-2_N



Before

After

図 1.7-137 K 4-2_N (泥岩)の硝酸 60 日浸漬前・後のスキャン画像比較





図 1.7-138 K 4-2_N(泥岩)の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)



図 1.7-139 K 4-2_N (泥岩)の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)



図 1.7-140 K 4-2_N(泥岩)の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)
# 【付録12】



図 1.7-141 K 4-2_N(泥岩)の硝酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(4)

- 5) K4-2_C 塩酸による試料崩壊の為, SEM 観察不可能
- 6) K 4-2_S

浸漬前

浸漬後





After





図 1.7-143 K 4-2_S(砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(1)

<u>_____</u>



図 1.7-144 K 4-2_S(砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(2)

B. Calcite, Quartz



図 1.7-145 K 4-2_S(砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(3)



図 1.7-146 K 4-2_S(砂岩)の硫酸 60 日浸漬前・後の SEM 画像比較(4)

1.8 XRD 分析

浸漬前後での試料中の鉱物種や鉱物組成の変化を把握することを目的として、浸漬前試料及び浸 漬後試料に対し、X線回折装置(Malvern Panalytical 社、X'Pert)を用いた分析を実施した。な お、浸漬後の試料は、表面から約2mm厚の範囲を岩石カッターで切出し、分析に資した。測定条 件を表 1.8-1に示す。また、浸漬前後試料における鉱物組合せを表 1.8-2~表 1.8-6に、浸漬前後の 測定結果の比較を図 1.8-1~図 1.8-11に示す。

	不定方位試料	水ひ, エチレングリ コール処理, 及び塩 酸処理試料
X線管球	Cu	Cu
波長	CuKα, 1.54178Å	CuKα, 1.54178Å
電圧・電流	40kV • 50mA	40kV • 50mA
測定角度・測定速度	2~70°, 2°/分	2~40°, 2°/分
サンプリング幅	0.02°	0.02°
スリット条件	DS : AS : RS = 15 mm : 15 mm : 0.2mm	DS : AS : RS = 15 mm : 15 mm : 0.2mm

表 1.8-1 XRD 分析の測定条件

表 1.8-2 浸漬前の鉱物組み合わせ

	浸漬	石英	斜長石	カリ長石	雲母	緑泥石	スメクタイト	方解石	角閃石	輝石
A_3-1	0日	0	0	0	0	0		0		0
B_3-3	0日	0	0	0	0	0		0		
C_2-1	0日	0	0	0	0	0		0		0
D_2-2	0日	0	0		0	0		0		
E_2-3	0日	0	0	0	0	0				0
F_2-6	0日	0	0		0	0				
G_1-3	0日	0	0	0	0	0				0
H_4-1	0日	0	0		0	0				
I_4-3	0日	0	0	0	0	0				
J_2-5	0日	0	0		0	0			少	
K_4-2	0日	0	0	0	0	0	•	0		

粘土鉱物は定方位試料から存在 を評価。少量。

# 【付録12】

	浸漬	石英	斜長石	カリ長石	雲母	緑泥石	スメクタイト	方解石	角閃石	輝石	トリディマイ ト
A_3-1	30日	0	0	0	0						
B_3-3	30日	0	0	0	0						
C_2-1	30日	0	0	0	0						
D_2-2	30日	0	0		0						
E_2-3	30日	0	0	0	0						
F_2-6	30日	0	0		0						
G_1-3	30日	0	0	0	0						
H_4-1	30日	0	0		0						
I_4-3	30日	0	0	0	0						

#### 表 1.8-3 30 日浸漬後の鉱物組み合わせ

粘土鉱物は定方位試料から存在 を評価。少量。

			1	1.0-4 0		頁反♥♥♥₩	1831/110 1. [1] 1	2			
	浸漬	石英	斜長石	カリ長石	雲母	緑泥石	スメクタイト	方解石	角閃石	輝石	トリディマイ ト
A_3-1	60日	0	0	0	0						
B_3-3	60日	0	0	0	0						
C_2-1	60日	0	0	0	0						
D_2-2	60日	0	0		0						
E_2-3	60日	0	0	0	0						
F_2-6	60日	0	0		0						
G_1-3	60日	0	0	0	0						
H_4-1	60日	0	0		0						
I_4-3	60日	0	0	0	0						

# 表 1.8-4 60 日浸漬後の鉱物組み合わせ

粘土鉱物は定方位試料から存在 を評価。少量。

# 【付録12】

	浸漬	石英	斜長石	カリ長石	雲母	緑泥石	スメクタイト	方解石	角閃石	輝石	トリディマイ ト
A_3-1	120日	0	0	0	0						
B_3-3	120日	0	0	0	0						
C_2-1	120日	0	0	0	0						
D_2-2	120日	0	0		0						
E_2-3	120日	0	0	0	0						
F_2-6	120日	0	0		0						
G_1-3	120日	0	0	0	0						
H_4-1	120日	0	0		0						
I_4-3	120日	0	0	0	0						

#### 表 1.8-5 120 日浸漬後の鉱物組み合わせ

粘土鉱物は定方位試料から存在 を評価。少量。

# 表 1.8-6 酸変更 60 日浸漬後の鉱物組み合わせ

	浸漬	石英	斜長石	カリ長石	雲母	緑泥石	スメクタイト	方解石	角閃石	輝石	トリディマイ ト
J 2-5_C	60日	0	0		0						
J 2-5_N	60日	0	0		0						
J 2-5_S	60日	0	0		0						
K 4-2_C	60日	0	0		0						
K 4-2_N	60日	0	0		0						
K 4-2_S	60日	0	0		0	?					

粘土鉱物は定方位試料から存在 を評価。少量。



(1) A 3-1

【付録12】









付 12-171



(6) F 2-6

【付録12】



(7) G 1-3

付 12-173

【付録12】



(8) H 4-1

【 付録 12 】





(10) J 2-5

【付録12】



1.9 水銀ポロシメータ測定

浸漬前後での試料の間隙率や間隙径分布の変化を捉えることを目的として、浸漬していない試料および浸漬後の試料について、水銀ポロシメータ(Micromeritics 社、AutoPore IV 9505)を用いた間隙測定 を実施した。測定条件を表 1.9-1 に、測定結果を表 1.9-2~表 1.9-12 および図 1.9-1~図 1.9-11 に示 す。

	低圧測定部	高圧測定部
接続点	0.50psia(34.47kPa) ~ 30psia(206.84kPa)	30psia(206.84kPa)~ 約30,000psia(206.8428MPa)
孔隙径	約360µm~約6µm	約6µm~0.006µm
測定点数	約30	20点

表 1.9-1 水銀ポロシメータの測定条件

(1) A 3-1

A3-1 浸清前		A3-1	Pb-1	A3-1	Pb-2	A3-1	l Pb
Contents	Unit	Value	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Average	STDEV.S
Total intrusion volume	mL/g	0.0022	29.991.82	0.002	29.991.86	0.0021	0.00014
Total pore area	m²/g	0.031	29.991.82	0.161	29.991.86	0.096	0.09192
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL	um	19,45209	9.3	1,13564	159.26	10.293865	12,95169
Median pore diameter (area) at 0.000 $m^2/g$	um	0.04429	4.083.72	0.02473	7.313.73	0.03451	0.01383
Average pore diameter (4V/A)	um	0.28551	-	0.05107	-	0.16829	0.1657741
Bulk density at 0.50 psia	g/mL	2.6502	0.50	2.6524	0.50	2.6513	0.00156
Apparent (skeletal) density	g/mL	2.6657	29.991.82	2.6671	29.991.86	2.6664	0.00099
Porosity:	%	0.5831		0.5508		0.56695	0.02284
Stem volume	%	1	_	1	-	1	0
						_	-
A3-1_30日間浸漬		A3-1_	P30-1	A3-1_	P30-2	A3-1	_P30
Contents	Unit	Value	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Average	STDEV.S
Total intrusion volume	mL/g	0.018	29,992.15	0.0198	29,991.90	0.0189	0.00127
Total pore area	m²/g	2.146	29,992.15	3.332	29,991.90	2.739	0.83863
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL	μm	0.04277	4,228.41	0.03309	5,466.17	0.03793	0.00684
Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	μm	0.01886	9,588.80	0.01275	14,182.15	0.015805	0.00432
Average pore diameter (4V/A)	μm	0.03349	-	0.02379	-	0.02864	0.00686
Bulk density at 0.50 psia	g/mL	2.4486	0.50	2.4485	0.50	2.44855	0.00007
Apparent (skeletal) density	g/mL	2.5614	29,992.15	2.5733	29,991.90	2.56735	0.00841
Porosity:	%	4.4005	-	4.8519	-	4.6262	0.31919
Stem volume	%	7	-	7	-	7	0.00000
A3-1_60日間浸漬		A3-1_	P60-1	A3-1_	P60-2	A3-1	_P60
A3-1_60日間浸漬 Contents	Unit	A3-1_ Value	P60-1 Pressure(psia)	A3-1_ Value	P60-2 Pressure(psia)	A3-1 Average	_P60 STDEV.S
A3-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume	Unit mL/g	A3-1_ Value 0.0217	.P60-1 Pressure(psia) 29,991.58	A3-1_ Value 0.0247	P60-2 Pressure(psia) 29,991.96	A3-1 Average 0.0232	_P60 STDEV.S 0.00212
A3-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area	Unit mL/g m²/g	A3-1_ Value 0.0217 3.847	P60-1 Pressure(psia) 29,991.58 29,991.58	A3-1_ Value 0.0247 3.955	P60-2 Pressure(psia) 29,991.96 29,991.96	A3-1 Average 0.0232 3.901	_P60 STDEV.S 0.00212 0.07637
A3-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	Unit mL/g m²/g µm	A3-1_ Value 0.0217 3.847 0.0302	P60-1 Pressure(psia) 29,991.58 29,991.58 5,989.61	A3-1_ Value 0.0247 3.955 0.04127	P60-2 Pressure(psia) 29,991.96 29,991.96 4,382.20	A3-1 Average 0.0232 3.901 0.035735	_P60 STDEV.S 0.00212 0.07637 0.00783
A3-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	Unit mL/g m²/g μm μm	A3-1_ Value 0.0217 3.847 0.0302 0.01276	P60-1 Pressure(psia) 29,991.58 29,991.58 5,989.61 14,178.18	A3-1_ Value 0.0247 3.955 0.04127 0.01235	P60-2 Pressure(psia) 29,991.96 29,991.96 4,382.20 14,639.65	A3-1 Average 0.0232 3.901 0.035735 0.012555	_P60 STDEV.S 0.00212 0.07637 0.00783 0.00029
A3-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A)	Unit mL/g m²/g μm μm μm	A3-1_ Value 0.0217 3.847 0.0302 0.01276 0.02256	P60-1 Pressure(psia) 29,991.58 29,991.58 5,989.61 14,178.18 -	A3-1_ Value 0.0247 3.955 0.04127 0.01235 0.02497	P60-2 Pressure(psia) 29,991.96 29,991.96 4,382.20 14,639.65 -	A3-1 Average 0.0232 3.901 0.035735 0.012555 0.023765	_P60 STDEV.S 0.00212 0.07637 0.00783 0.00029 0.00170
A3-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia	Unit mL/g m²/g µm µm µm g/mL	A3-1_ Value 0.0217 3.847 0.0302 0.01276 0.02256 2.4269	P60-1 Pressure(psia) 29,991.58 29,991.58 5,989.61 14,178.18 - 0.50	A3-1_ Value 0.0247 3.955 0.04127 0.01235 0.02497 2.4077	P60-2 Pressure(psia) 29,991.96 29,991.96 4,382.20 14,639.65 - 0.50	A3-1 Average 0.0232 3.901 0.035735 0.012555 0.023765 2.4173	_P60 STDEV.S 0.00212 0.07637 0.00783 0.00029 0.00170 0.01358
A3-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL	A3-1_ Value 0.0217 3.847 0.0302 0.01276 0.02256 2.4269 2.5619	P60-1 Pressure(psia) 29,991.58 29,991.58 5,989.61 14,178.18 - 0.50 29,991.58	A3-1_ Value 0.0247 3.955 0.04127 0.01235 0.02497 2.4077 2.5599	P60-2 Pressure(psia) 29,991.96 29,991.96 4,382.20 14,639.65 - 0.50 29,991.96	A3-1 Average 0.0232 3.901 0.035735 0.012555 0.023765 2.4173 2.5609	_P60 STDEV.S 0.00212 0.007637 0.00783 0.00029 0.00170 0.01358 0.00141
A3-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity:	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL %	A3-1_ Value 0.0217 3.847 0.0302 0.01276 0.02256 2.4269 2.5619 5.2689	P60-1 Pressure(psia) 29,991.58 5,989.61 14,178.18 - 0.50 29,991.58 -	A3-1_ Value 0.0247 3.955 0.04127 0.01235 0.02497 2.4077 2.5599 5.9441	P60-2 Pressure(psia) 29,991.96 4,382.20 14,639.65 - 0.50 29,991.96 -	A3-1 Average 0.0232 3.901 0.035735 0.012555 0.023765 2.4173 2.5609 5.6065	_P60 STDEV.S 0.00212 0.07637 0.00783 0.00029 0.00170 0.01358 0.00141 0.47744
A3-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL % %	A3-1_ Value 0.0217 3.847 0.0302 0.01276 0.02256 2.4269 2.5619 5.2689 9	P60-1 Pressure(psia) 29,991.58 5,989.61 14,178.18 - 0.50 29,991.58 - -	A3-1_ Value 0.0247 3.955 0.04127 0.01235 0.02497 2.4077 2.5599 5.9441 9	P60-2 Pressure(psia) 29,991.96 29,991.96 4,382.20 14,639.65 - 0.50 29,991.96 - -	A3-1 Average 0.0232 3.901 0.035735 0.012555 0.023765 2.4173 2.5609 5.6065 9	_P60 STDEV.S 0.00212 0.07637 0.00783 0.00029 0.00170 0.01358 0.00141 0.47744 0.00000
A3-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL %	A3-1_ Value 0.0217 3.847 0.0302 0.01276 0.02256 2.4269 2.5619 5.2689 9	P60-1 Pressure(psia) 29,991.58 29,991.58 5,989.61 14,178.18 - 0.50 29,991.58 - -	A3-1_ Value 0.0247 3.955 0.04127 0.01235 0.02497 2.4077 2.5599 5.9441 9	P60-2 Pressure(psia) 29,991.96 29,991.96 4,382.20 14,639.65 - 0.50 29,991.96 - -	A3-1 Average 0.0232 3.901 0.035735 0.012555 0.023765 2.4173 2.5609 5.6065 9	_P60 STDEV.S 0.00212 0.07637 0.00783 0.00029 0.00170 0.01358 0.00141 0.47744 0.00000
A3-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume A3-1_120日間浸漬	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL %	A3-1_ Value 0.0217 3.847 0.0302 0.01276 0.02256 2.4269 2.5619 5.2689 9 9 5.2689 9	P60-1 Pressure(psia) 29,991.58 29,991.58 5,989.61 14,178.18 - 0.50 29,991.58 - - P120-1	A3-1_ Value 0.0247 3.955 0.04127 0.01235 0.02497 2.4077 2.5599 5.9441 9 A3-1_	P60-2 Pressure(psia) 29,991.96 4,382.20 14,639.65 - 0.50 29,991.96 - - P120-2	A3-1 Average 0.0232 3.901 0.035735 0.012555 0.023765 2.4173 2.5609 5.6065 9 9	_P60 STDEV.S 0.00212 0.07637 0.00783 0.00029 0.00170 0.01358 0.00141 0.47744 0.00000
A3-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume A3-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL % %	A3-1_ Value 0.0217 3.847 0.0302 0.01276 0.02256 2.4269 2.5619 5.2689 9 5.2689 9 4.3-1_ Value	P60-1 Pressure(psia) 29,991.58 29,991.58 5,989.61 14,178.18 - 0.50 29,991.58 - - P120-1 Pressure(psia) 20.002.01	A3-1_ Value 0.0247 3.955 0.04127 0.01235 0.02497 2.4077 2.5599 5.9441 9 4.3-1_ Value	P60-2 Pressure(psia) 29,991.96 4,382.20 14,639.65 - 0.50 29,991.96 - - - P120-2 Pressure(psia)	A3-1 Average 0.0232 3.901 0.035735 0.012555 0.023765 2.4173 2.5609 5.6065 9 9 A3-1_ Average	_P60 STDEV.S 0.00212 0.07637 0.00783 0.00029 0.00170 0.01358 0.00141 0.47744 0.00000 P120 STDEV.S
A3-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume A3-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g	A3-1_ Value 0.0217 3.847 0.0302 0.01276 0.02256 2.4269 2.5619 5.2689 9 9 A3-1_ Value 0.0276	P60-1 Pressure(psia) 29,991.58 29,991.58 5,989.61 14,178.18 - 0.50 29,991.58 - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.01 20,002.01	A3-1_ Value 0.0247 3.955 0.04127 0.01235 0.02497 2.4077 2.5599 5.9441 9 A3-1_1 Value 0.0269	P60-2 Pressure(psia) 29,991.96 4,382.20 14,639.65 - 0.50 29,991.96 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.23 20,002.23	A3-1 Average 0.0232 3.901 0.035735 0.012555 0.023765 2.4173 2.5609 5.6065 9 5.6065 9 4.3-1_ Average 0.02725	_P60 STDEV.S 0.00212 0.07637 0.00783 0.00029 0.00170 0.01358 0.00141 0.47744 0.00000 P120 STDEV.S 0.00049 0.47447
A3-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume A3-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 ml	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g	A3-1_ Value 0.0217 3.847 0.0302 0.01276 0.02256 2.4269 2.5619 5.2689 9 5.2689 9 4.3-1_ Value 0.0276 4.512	P60-1 Pressure(psia) 29,991.58 5,989.61 14,178.18 - 0.50 29,991.58 - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.01 29,992.01 5,578.11	A3-1_ Value 0.0247 3.955 0.04127 0.01235 0.02497 2.4077 2.5599 5.9441 9 A3-1_ Value 0.0269 5.183	P60-2 Pressure(psia) 29,991.96 29,991.96 4,382.20 14,639.65 - 0.50 29,991.96 - P120-2 Pressure(psia) 29,992.23 29,992.23 6,177.50	A3-1 Average 0.0232 3.901 0.035735 0.012555 0.023765 2.4173 2.5609 5.6065 9 9 A3-1_ Average 0.02725 4.8475 0.02925	P60 STDEV.S 0.00212 0.07637 0.00783 0.00029 0.00170 0.01358 0.00141 0.47744 0.00000 P120 STDEV.S 0.00049 0.47447
A3-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume A3-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % Unit mL/g m²/g µm	A3-1_ Value 0.0217 3.847 0.0302 0.01276 0.02256 2.4269 2.5619 5.2689 9 4.512 0.0276 4.512 0.03242	P60-1 Pressure(psia) 29,991.58 29,991.58 5,989.61 14,178.18 - 0.50 29,991.58 - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.01 29,992.01 5,578.11 12,256 EE	A3-1_ Value 0.0247 3.955 0.04127 0.01235 0.02497 2.4077 2.5599 5.9441 9 A3-1_1 Value 0.0269 5.183 0.02928	P60-2 Pressure(psia) 29,991.96 29,991.96 4,382.20 14,639.65 - 0.50 29,991.96 - P120-2 Pressure(psia) 29,992.23 29,992.23 6,177.50 14,094.20	A3-1 Average 0.0232 3.901 0.035735 0.012555 0.023765 2.4173 2.5609 5.6065 9 4.8471 0.02725 4.8475 0.03085 0.012725	P60 STDEV.S 0.00212 0.07637 0.00783 0.00029 0.00170 0.01358 0.00141 0.47744 0.00000 P120 STDEV.S 0.00049 0.47447 0.00222 0.00128
A3-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume A3-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g µm µm	A3-1_ Value 0.0217 3.847 0.0302 0.01276 0.02256 2.4269 2.5619 5.2689 9 4.512 0.0276 4.512 0.03242 0.01464	P60-1 Pressure(psia) 29,991.58 29,991.58 5,989.61 14,178.18 - 0.50 29,991.58 - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.01 29,992.01 29,992.01 5,578.11 12,356.55	A3-1_ Value 0.0247 3.955 0.04127 0.01235 0.02497 2.4077 2.5599 5.9441 9 A3-1_1 Value 0.0269 5.183 0.02928 0.01283	P60-2 Pressure(psia) 29,991.96 29,991.96 4,382.20 14,639.65 - 0.50 29,991.96 - P120-2 Pressure(psia) 29,992.23 29,992.23 6,177.50 14,094.20	A3-1 Average 0.0232 3.901 0.035735 0.012555 0.023765 2.4173 2.5609 5.6065 9 9 A3-1_ Average 0.02725 4.8475 0.03085 0.013735	_P60 STDEV.S 0.00212 0.07637 0.00783 0.00029 0.00170 0.01358 0.00141 0.47744 0.00000 FP120 STDEV.S 0.00049 0.47447 0.00222 0.00128
A3-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume A3-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (4V/A) Pulk density at 0.50 psic	Unit mL/g m²/g μm μm g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g μm μm μm	A3-1_ Value 0.0217 3.847 0.0302 0.01276 2.4269 2.5619 5.2689 9 5.2689 9 4.3-1_ Value 0.0276 4.512 0.03242 0.01464 0.02449	P60-1 Pressure(psia) 29,991.58 29,991.58 5,989.61 14,178.18 - 0.50 29,991.58 - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.01 29,992.01 5,578.11 12,356.55 - -	A3-1_ Value 0.0247 3.955 0.04127 0.01235 0.02497 2.4077 2.5599 5.9441 9 A3-1_ Value 0.0269 5.183 0.02928 0.01283 0.02076	P60-2 Pressure(psia) 29,991.96 29,991.96 4,382.20 14,639.65 - 0.50 29,991.96 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.23 6,177.50 14,094.20 - -	A3-1 Average 0.0232 3.901 0.035735 0.012555 0.023765 2.4173 2.5609 5.6065 9 4.8475 0.022725 4.8475 0.03085 0.013735 0.022625 2.255	P60 STDEV.S 0.00212 0.07637 0.00783 0.00029 0.00170 0.01358 0.00141 0.47744 0.00000 P120 STDEV.S 0.00049 0.47447 0.00222 0.00128 0.00264
A3-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume A3-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g µm µm µm g/mL	A3-1_ Value 0.0217 3.847 0.0302 0.01276 0.02256 2.4269 2.5619 5.2689 9 5.2689 9 4.512 0.0276 4.512 0.03242 0.01464 0.02449 2.3767	P60-1 Pressure(psia) 29,991.58 29,991.58 5,989.61 14,178.18 - 0.50 29,991.58 - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.01 29,992.01 5,578.11 12,356.55 - 0.49 29,02.01	A3-1_ Value 0.0247 3.955 0.04127 0.01235 0.02497 2.4077 2.5599 5.9441 9 A3-1_ Value 0.0269 5.183 0.02928 0.01283 0.02928 0.01283	P60-2 Pressure(psia) 29,991.96 29,991.96 4,382.20 14,639.65 - 0.50 29,991.96 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.23 29,992.23 6,177.50 14,094.20 - 0.49 20.022 22	A3-1 Average 0.0232 3.901 0.035735 0.012555 0.023765 2.4173 2.5609 5.6065 9 5.6065 9 4.8475 0.02725 4.8475 0.03085 0.013735 0.022625 2.3858 2.5517	_P60 STDEV.S 0.00212 0.07637 0.00783 0.00029 0.00170 0.01358 0.00141 0.47744 0.00000 FP120 STDEV.S 0.00049 0.47447 0.00222 0.00128 0.00264 0.01287
A3-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume A3-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity:	Unit mL/g m²/g μm g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g μm μm μm g/mL g/mL	A3-1_ Value 0.0217 3.847 0.0302 0.01276 0.02256 2.4269 2.5619 5.2689 9 5.2689 9 4.512 0.0276 4.512 0.03242 0.01464 0.02449 2.3767 2.5436	P60-1 Pressure(psia) 29,991.58 29,991.58 5,989.61 14,178.18 - 0.50 29,991.58 - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.01 5,578.11 12,356.55 - 0.49 29,992.01	A3-1_ Value 0.0247 3.955 0.04127 0.01235 0.02497 2.4077 2.5599 5.9441 9 A3-1_1 Value 0.0269 5.183 0.02928 0.01283 0.02928 0.01283 0.02076 2.3949 2.5598	P60-2 Pressure(psia) 29,991.96 29,991.96 4,382.20 14,639.65 - 0.50 29,991.96 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.23 6,177.50 14,094.20 - 0.49 29,992.23	A3-1 Average 0.0232 3.901 0.035735 0.012555 0.023765 2.4173 2.5609 5.6065 9 4.8475 0.02725 4.8475 0.03085 0.013735 0.022625 2.3858 2.5517 6.5025	_P60 STDEV.S 0.00212 0.07637 0.00783 0.00029 0.00170 0.01358 0.00141 0.47744 0.00000 P120 STDEV.S 0.00049 0.47447 0.00222 0.00128 0.00264 0.01287 0.01146 0.02500
A3-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume A3-1_120日間浸漬 Contents Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Ctam undume	Unit mL/g m²/g μm g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g μm μm μm g/mL g/mL g/mL	A3-1_ Value 0.0217 3.847 0.0302 0.01276 0.02256 2.4269 2.5619 5.2689 9 3 4.512 0.0276 4.512 0.03242 0.01464 0.02449 2.3767 2.5436 6.5641	P60-1 Pressure(psia) 29,991.58 29,991.58 5,989.61 14,178.18 - 0.50 29,991.58 - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.01 29,992.01 5,578.11 12,356.55 - 0.49 29,992.01 -	A3-1_ Value 0.0247 3.955 0.04127 0.01235 0.02497 2.4077 2.5599 5.9441 9 A3-1_1 Value 0.0269 5.183 0.02288 0.01283 0.02288 0.01283 0.02076 2.3949 2.5598 6.4412	P60-2 Pressure(psia) 29,991.96 29,991.96 4,382.20 14,639.65 - 0.50 29,991.96 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.23 6,177.50 14,094.20 - 0.49 29,992.23 -	A3-1 Average 0.0232 3.901 0.035735 0.012555 0.023765 2.4173 2.5609 5.6065 9 9 A3-1_ Average 0.02725 4.8475 0.03085 0.013735 0.022625 2.3858 2.5517 6.50265	P60 STDEV.S 0.00212 0.07637 0.00783 0.00029 0.00170 0.01358 0.00141 0.47744 0.00000 P120 STDEV.S 0.00049 0.47447 0.00222 0.00128 0.00028 0.00264 0.01287 0.01146 0.08690 0.27211

#### 表 1.9-2 A 3-1 のポロシメータ測定結果



図 1.9-1 A 3-1の間隙径分布 (a)・(b) 未浸漬、(c)・(d) 30 日浸漬、(e)・(f) 60 日浸漬、(g)・(h) 120 日浸漬

(2) B 3-3

		-					
B3-3_浸漬前		B3-3	_Pb-1	B3-3	_Pb-2	B3-3	3_Pb
Contents	Unit	Value	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Average	STDEV.S
Total intrusion volume	mL/g	0.0041	29,991.62	0.0071	29,991.82	0.0056	0.00212
Total pore area	m²/g	0.000	29,991.62	0.019	29,991.82	0.0095	0.01344
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	μm	130.3993	1.39	118.14207	1.53	124.27069	8.66717
Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	μm	98.97762	1.83	0.07712	2,345.12	49.52737	69.93321
Average pore diameter (4V/A)	μm	0.0000	-	1.47465	-	0.737325	1.042735
Bulk density at 0.50 psia	g/mL	2.6064	0.50	2.5746	0.50	2.5905	0.02249
Apparent (skeletal) density	g/mL	2.6349	29,991.62	2.6224	29,991.82	2.62865	0.00884
Porosity:	%	1.0833	-	1.8239	-	1.4536	0.52368
Stem volume	%	2	-	2	-	2	C
B3-3_30日間浸漬		B3-3_	_P30-1	B3-3_	P30-2	B3-3	_P30
Contents	Unit	Value	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Average	STDEV.S
Total intrusion volume	mL/g	0.0093	29,992.18	0.0051	29,992.15	0.0072	0.00297
Total pore area	m²/g	2.378	29,992.18	0.439	29,992.15	1.4085	1.37108
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	μm	0.01402	12,899.68	0.09543	1,895.33	0.054725	0.05757
Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	μm	0.00835	21,651.09	0.02914	6,206.17	0.018745	0.01470
Average pore diameter (4V/A)	μm	0.01563	-	0.04601	-	0.03082	0.02148
Bulk density at 0.50 psia	g/mL	2.5064	0.50	2.5357	0.50	2.52105	0.02072
Apparent (skeletal) density	g/mL	2.5662	29,992.18	2.5686	29,992.15	2.5674	0.00170
Porosity:	%	2.3323	-	1.2809	-	1.8066	0.74345
Stem volume	%	4	-	2	-	3	1.41421
B3-3_60日間浸漬		B3-3_	_P60-1	B3-3_	P60-2	B3-3	_P60
Contents	Unit	Value	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Average	STDEV.S
Total intrusion volume	mL/g	0.0114	29,992.15	0.0089	29,991.52	0.01015	0.00177
Total pore area	m²/g	2.797	29,992.15	2.572	29,991.52	2.6845	0.15910
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	μm	0.0125	14,470.17	0.01004	18,023.17	0.01127	0.00174
Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	μm	0.00909	19,903.34	0.00944	19,165.31	0.009265	0.00025
Average pore diameter (4V/A)	μm	0.01631	-	0.01377	-	0.01504	0.00180
Bulk density at 0.50 psia	g/mL	2.502	0.50	2.4963	0.50	2.49915	0.00403
Apparent (skeletal) density	g/mL	2.5755	29,992.15	2.5527	29,991.52	2.5641	0.01612
Porosity:	%	2.8529	-	2.2094	-	2.53115	0.45502
Stem volume	%	5	-	4	-	4.5	0.70711
B3-3_120日間浸漬		B3-3_	P120-1	B3-3_	P120-2	B3-3_	_P120
Contents	Unit	Value	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Average	STDEV.S
Total intrusion volume	mL/g	0.0159	29,991.17	0.0161	29,992.12	0.016	0.00014
Total pore area	m²/g	3.715	29,991.17	4.338	29,992.12	4.0265	0.44053
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	μm	0.01727	10,474.43	0.01592	11,358.56	0.016595	0.00095
Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	μm	0.01367	13,228.25	0.01181	15,314.10	0.01274	0.00132
Average pore diameter (4V/A)	μm	0.01711	-	0.01484	-	0.015975	0.00161
Bulk density at 0.50 psia	g/mL	2.4702	0.50	2.466	0.50	2.4681	0.00297
Apparent (skeletal) density	g/mL	2.5711	29,991.17	2.5679	29,992.12	2.5695	0.00226
Porosity:	%	3.9273	-	3.9688	-	3.94805	0.02934
Stem volume	%	6	-	7	-	6.5	0.70711

### 表 1.9-3 B 3-3 のポロシメータ測定結果

【付録12】



図 1.9-2 B 3-3の間隙径分布 (a)・(b) 未浸漬、(c)・(d) 30 日浸漬、(e)・(f) 60 日浸漬、(g)・(h) 120 日浸漬

(3) C 2-1

C2-1_P6-1         C2-1_P6-2         C2-1_P6-2         C2-1_P6-2           Contents         Unit         Value         Pressure(rsis)         Awarge         STDEV.S           Total intrusion volume         m1/g         0.0041         29.991.65         0.0018         29.992.51         0.0022         0.0008           Median pore diameter (volume) at 0.001 m1         µm         0.03834         4,717.64         0.0228         7.600.53         0.03107         0.00283           Avarage pore diameter (volume) at 0.001 m1/g         µm         0.03834         4,717.64         0.0228         7.600.53         0.03107         0.00283           Avarage pore diameter (volume) at 0.001 m2/g         µm         0.03834         4,717.64         0.0228         7.600.53         0.03107         0.00188           Statik density at 0.50 pois         g/mL         2.6622         2.991.65         2.6595         2.9992.51         0.660         0.00189           Stam volume         %         1         -         1         -         1         0           C2-1_30clfig 28         C611         TC2+1 <p30-2< td="">         C2+P30-2         C2+P30-2         C2+P30-2         C2+P30-2         C2+P30-2         C2+P30-2         C2+P30-2         C2+P30-2         C2+P30-2         C2+P30</p30-2<>								
Contents         Unit         Value         Pressure(pisia         Value         Pressure(pisia         Average         STDEVS           Total intrusion volume         m ² /g         0.0021         29.991.65         0.0016         29.992.51         0.0026           Median pore diameter (wolume) at 0.001 m/g         um         0.03344         4.717.64         0.0228         7.600.53         0.03107           Average pore diameter (wolume) at 0.001 m/g         um         0.03344         4.717.64         0.02836         -         0.156455         0.156455         0.15625           Average pore diameter (wolume) at 0.001 m/g         um         0.02805         -         0.04654         -         0.55975         0.18434           Buik denalty at 0.50 pala         g/mL         2.6622         2.999.165         2.5695         2.999.23         0.60198           Poorality:         %         0.7261         -         0.4654         -         0.59775         0.18434           Stom volume         mL/g         0.0226         2.9992.36         0.0216         2.9992.34         0.0221         0.00071           Gotta intrusion volume         mL/g         0.0225         2.394.94         0.0226         2.639.99         0.0222         0.00074         0.00027	C2-1_浸漬前		C2-1_	_Pb-1	C2-1_	_Pb-2	C2-1	L_Pb
Total intrusion volume         mL/g         0.0027         29.991.65         0.0018         29.992.51         0.0022         0.0024           Madian pore diameter (volume) at 0.001 mL         µm         168.27403         1.07         6.82123         26.51         87.54766         114.16433           Madian pore diameter (volume) at 0.001 mL         µm         0.02384         4.717.64         0.0228         7.600.53         0.03107         0.10384           Average pore diameter (volume) at 0.000 m ⁷ /g         µm         0.26306         -         0.16465         0.158323         0.0304         2.64515         0.0304           Average pore diameter (volume) at 0.000 m ⁷ /g         µm         0.26262         2.999.16         2.6693         2.999.251         0.16345         0.18343           Stem volume         %         0.7261         C2-1_P30-2         C0.0071         C3.1584         2.999.24         1.448         0.16405         C3.00712         C.00454         0.0221         0.00454         0.0221 <td< td=""><td>Contents</td><td>Unit</td><td>Value</td><td>Pressure(psia)</td><td>Value</td><td>Pressure(psia)</td><td>Average</td><td>STDEV.S</td></td<>	Contents	Unit	Value	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Average	STDEV.S
Total pore area         m ² /g         0.041         29.99.165         0.165         29.992.51         0.0105         0.0005         0.0105           Median pore diameter (slume) 1001 mL         µm         108.27403         1.017         6.82129         2.651         87.5476         11.41543           Median pore diameter (area) at 0.000 m ² /g         µm         0.02805         -         0.04386         -         0.056455         0.59234           Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.6422         0.49         2.6472         0.49         2.6455         0.59234         0.00304           Apparent (skuleal) density         g/mL         2.6622         0.49         2.6472         0.49         2.64505         0.0394           Apparent (skuleal) density         g/mL         2.6622         0.992.36         0.4654         -         0.5575         0.18434           Stem volume         %         0.7261         -         1         -         1         0         0         0.0221         0.00071         2.992.34         0.0221         0.00071         0.00071         0.00071         0.00071         0.00071         0.00071         0.000745         0.00221         0.00071         0.000745         0.000745         0.00221         0.	Total intrusion volume	mL/g	0.0027	29,991.65	0.0018	29,992.51	0.00225	0.00064
Median pore diameter (volume) at 0.001 m/g         µm         1068,27403         1.07         6.82129         2.8513         8.754766         114.16433           Median pore diameter (arva) at 0.000 m/g         µm         0.03834         4.717.764         0.04386         -         0.15655         0.159234           Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.26423         0.49         2.6472         0.49         2.64505         0.00398           Porosity:         %         0.7561         -         0.4664         0.5575         0.18443           Stem volume         %         0.7561         -         0.4664         0.5575         0.18443           Stem volume         %         0.7561         C2-1_P30-1         C2-1_P30-2	Total pore area	m²/g	0.041	29,991.65	0.16	29,992.51	0.1005	0.08415
Median pore diameter (avp) + 10,0000 m ³ /g         µm         0.03834         4.717.64         0.0238         7,600.53         0.01028           Average pore diameter (4V/A)         µm         0.02606         -         0.04386         -         0.156455         0.0159234           Buik donsity to 15.05 pain         µ/m         2.6622         2.9.991.65         2.6595         2.9.992.51         2.6667         0.00104           Apparent (skeletal) density         µ/m         2.6622         2.9.991.65         2.6595         2.9.992.51         2.6667         0.00104           Stem volume         %         1         -         1         -         0.0021           Stem volume         %         1         -         1         -         0.0021           Contents         Unit         Value         Pressure(psia         Verage 2.992.36         0.0216         2.9.992.34         0.6052         2.9.902.36         1.584         2.9.923.4         0.6052         2.0.902.20         0.00021         2.00021         0.00021         0.00071         0.00071         0.00071         0.00564         3.206.79         0.05188         3.486.18         0.06414         0.00825           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL         µm         0.05664	Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	μm	168.27403	1.07	6.82129	26.51	87.54766	114.16433
Average pore diameter (4V/A)         µm         0.26905         -         0.04386         -         0.156455         0.159234           Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.6423         0.49         2.6472         0.49         2.6405         0.00304           Apperent (skeletal) density         g/mL         2.6623         2.9991.65         2.6595         2.9592.51         2.6609         0.00189           Porosity:         %         0.7261         -         0.4654         -         0.5575         0.18434           Stem volume         %         0.7261         -         0.4654         -         0.5975         0.1843           Stem volume         %         1         -         1         -         1         0         0           C2-1_30E183234         Wolme         Pressure(sial         Value         Pressure(sial         Value         Pressure(sial         Value         Pressure(sial         Value         1.66053         0.05164         0.00221         0.00021         0.00021         0.00022         0.00221         0.00022         0.00224         0.05363         0.05164         0.00324         0.05363         0.05164         0.00324         0.05234         0.52586         -         0.53464	Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	μm	0.03834	4,717.64	0.0238	7,600.53	0.03107	0.01028
Bulk density at 0.50 psin         g/mL         2.6429         0.49         2.6472         0.49         2.64605         0.00304           Apparent (skeletal) density         g/mL         2.6622         29.991.65         2.6636         2.992.51         2.6609         0.00188           Stem volume         %         0         -         1         -         0.56575         0.18434           Stem volume         %         1         -         1         -         0.05675         0.18434           Stem volume         %         0.7261         -         C21_P30-1         C21_P30-2         C21_P30           Total intrusion volume         mL/g         0.0226         29.992.36         0.0216         29.992.34         0.0021         0.00071           Total pore area         m ⁴ /g         1.352         29.992.36         1.584         29.992.34         0.6651         0.66174         0.00320           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL         µm         0.0564         3.206.79         0.05188         3.486.18         0.05414         0.00320           Average pore diameter (valo Abosin         g/mL         2.4247         0.5050         2.43464         0.00274         0.02373         0.00274         0.992.31         2.57	Average pore diameter (4V/A)	μm	0.26905	-	0.04386	-	0.156455	0.1592334
Apparent (skelstal) density         g/mL         2.6623         29.991.65         2.6595         29.992.51         2.6609         0.00198           Prosity:         %         0.7261         -         0.4654         -         0.59575         0.18434           Stem volume         %         1         -         1         -         0         0           C2-1_301Bil%ä         Unit         Value         Pressure(psin         Value         Pressure(psin         Average         STDEV.S           Total intrusion volume         mL/g         0.0226         29.992.36         0.0216         29.992.34         0.0648         0.0664           Median pore diameter (area) at 0.001 mL/g         µm         0.06563         -         0.06645         0.06188         3.486.18         0.06614         0.00320           Average pore diameter (area) at 0.000 m ⁷ /g         µm         0.06663         -         0.060745         0.00875         0.00875           Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.4327         0.50         2.4368         0.50         2.43475         0.00274           Orasity:         %         5.5024         -         5.2668         -         5.3841         0.16730           Stem volume	Bulk density at 0.50 psia	g/mL	2.6429	0.49	2.6472	0.49	2.64505	0.00304
Porosity:         %         0.7261         -         0.4654         -         0.59675         0.18434           Stem volume         %         1         -         1         -         1         0           C2-1_30日間浸漬         C2-1_P30-1         C2-1_P30-2         C2-1_P30         C2-1_P30-2         C2-1_P30           Total intrusion volume         mL/g         0.0226         29.992.36         0.0216         29.992.34         0.0221         0.0071           Total pore area         m ⁷ /g         1.352         29.992.36         0.1584         29.992.34         0.06652         2.639.59         0.07202         0.00495           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/g         µm         0.05693         -         0.05456         -         0.060745         0.006745         0.006745         0.00290           Average pore diameter (vol/A)         µm         0.06693         -         5.2681         -         5.3841         0.16735         0.00273         2.9992.34         2.57335         0.00148           Porosity:         %         5.5024         -         5.2681         -         5.3841         0.16735           Stem volume         %         11         -         9         -         10 <td>Apparent (skeletal) density</td> <td>g/mL</td> <td>2.6623</td> <td>29,991.65</td> <td>2.6595</td> <td>29,992.51</td> <td>2.6609</td> <td>0.00198</td>	Apparent (skeletal) density	g/mL	2.6623	29,991.65	2.6595	29,992.51	2.6609	0.00198
Stem volume         %         1         -         1         -         1         0           C2-1_30日開浸漬         C2-1_P30-1         C2-1_P30-2         C2-1_P30         C2-1_P30-2         C2-1_P30           Total intrusion volume         mL/g         0.0226         29.992.36         0.0216         29.992.34         0.0221         0.00071           Total prore area         m ⁷ /g         1.352         29.992.36         0.6852         2.639.59         0.07202         0.04945           Median pore diameter (area) at 0.000 m ^{1/} /g         µm         0.0564         3.206.79         0.05188         3.486.18         0.0514         0.00275         0.00495           Average pore diameter (area) at 0.000 m ^{1/} /g         µm         0.0564         -         0.06045         0.00275         0.00276         0.00275         0.0216         0.00274         0.0504         0.00275         0.00276         0.0273         2.9992.02         2.43475         0.0029           Bulk density at 0.50 psia         µ/mL         2.5742         29.992.14         0.0273         2.9992.02         0.2773         0.00173           C2-1_601112/2         C2-1_P60-1         C2-1_P60-2         C2-1_P60         C2-1_P60-2         C2-1_P60         0.0273         2.9992.02	Porosity:	%	0.7261	-	0.4654	-	0.59575	0.18434
C2-1_90日間浸漬         C2-1_P30-1         C2-1_P30-2         C2-1_P30           Cantents         Unit         Value         Pressure(psia)         Value         Pressure(psia)         Average         STDEV.S           Total intrusion volume         mL/g         0.0226         29.992.36         0.0216         29.992.34         0.0683           Median pore diameter (value) at 0.001 mL/g         µm         0.06643         2.034.94         0.06852         2.03955         0.07145         0.00216         0.00875           Buik density at 0.50 psia         g/mL         2.4327         0.50         2.4386         0.05         2.43735         0.00290           Apparent (skeletal) density         g/mL         2.5774         29.992.36         2.5723         29.992.34         2.5735         0.0143           Porosity:         %         5.524         -         5.2668         -         5.341         0.16730           Stem volume         %         11         -         9         -         10         1.41421           C2-1_60Ell浸漬         C2-1_P60-1         C2-1_P60-2         C2-1_P60         C2-1_P60-1         C2-1_F00-2         C2-1_P60         C0.7275         0.00017         1.4312         0.04451         0.0432         0.04325	Stem volume	%	1	-	1	-	1	0
C2-1_930-1         C2-1_P30-1         C2-1_P30-2         C2-1_P30           Contents         Unit         Value         Pressure(psia         Value         Pressure(psia         Average         STDEV.S           Total intrusion volume         mL/g         0.0226         29.992.36         0.0216         29.992.34         0.0681           Total pore area         m²/g         1.352         29.992.36         1.584         29.992.34         0.0651           Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         µm         0.05663         -         0.06614         0.00755           Average pore diameter (area) at 0.000 m²/g         µm         0.06663         -         0.06515         0.0233         0.00715           Average pore diameter (4V/A)         µm         0.06663         -         0.060745         0.00875           Bulk donsity at 0.50 psia         g/mL         2.5474         29.992.36         2.5723         29.992.34         2.57335         0.00148           Porosity:         %         5.5024         -         5.2658         -         5.3841         0.16730           Stem volume         mL/g         0.02717         2.992.14         0.0273         2.992.02         2.4415         0.03732         0.00077								
Contents         Unit         Value         Pressure(psia         Value         Pressure(psia         Average         STDEV.S.           Total intrusion volume         mL/g         0.0226         29.992.36         0.0216         29.992.34         0.00211         0.00071           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/m         µm         0.07552         2.394.94         0.06852         2.639.95         0.07202         0.00455           Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         µm         0.05644         3.206.79         0.05188         3.486.18         0.05144         0.00320           Average pore diameter (AV/A)         µm         0.06693         -         0.05466         -         0.060745         0.00290           Apparent (Skeltal) density         g/mL         2.4327         0.50         2.43486         0.0512         2.43475         0.00290           Apparent (Skeltal) density         g/mL         2.5734         2.992.26         2.5773         2.9992.24         2.5733         2.9992.26         2.5773         2.9992.20         0.02735         0.000075           C2-1_601B%ĝ         C2-1_P60-1         C2-1_P60-2         C2-1_P60-2         C2-1_P60         0.03735         0.000073         0.000073         0.000375         0.00015         0	C2-1 30日間浸漬		C2-1_	P30-1	C2-1_	P30-2	C2-1	P30
Total intrusion volume         mL/g         0.0226         29,992.36         0.0211         29,992.34         0.0211         0.00071           Total pore area         m²/g         1.352         29,992.36         1.584         29,992.34         1.6405           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL         µm         0.0552         2.394.94         0.06642         2.633.59         0.00702         0.00495           Median pore diameter (volume) at 0.000 m²/g         µm         0.05643         -         0.05456         -         0.060745         0.00290           Average pore diameter (VA/A)         µm         0.05653         -         0.5588         0.502         2.4368         0.050         2.4368         0.0502         0.00148           Average pore diameter (VA/A)         µm         0.05643         -         5.6588         -         5.3644         0.16730           Stem volume         %         11         -         9         -         10         1.4121           C2-1_6011355         CDrt         Value         Pressure(psia         Value         Pressure(psia         Average         STDEV.S           Total intrusion volume         mL/g         0.0274         29.992.14         0.4477         29.992.02         2.4145	Contents	Unit	Value	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Average	STDEV.S
m²/g         1.352         29.992.36         1.584         29.992.34         1.468         0.16405           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL, µm         0.07552         2.394.94         0.06852         2.639.59         0.07202         0.00495           Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         µm         0.06693         -         0.05456         -         0.000745         0.00375           Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.4327         0.50         2.4368         0.50         2.4375         0.00204           Apparent (skeletal) density         g/mL         2.5724         29.992.34         2.57335         0.00148           Porosity:         %         5.5024         -         5.2658         -         5.3841         0.16730           Stem volume         %         11         -         9         -         10         141421           C2-1_60Hll/3½         C2-1_P60-1         C2-1_P60-2         C2-1_F00         10         141421           C1_1 fool flig/3         Unit         Value         Pressure(psia         Average         STDEV.S           Total pore area         m²/g         0.3232         29.992.14         0.05738         3.152.14         0.057725         0.00017	Total intrusion volume	mL/g	0.0226	29.992.36	0.0216	29,992.34	0.0221	0.00071
Control         Control         µm         CONTROL         Quart           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         µm         0.07552         2.394.94         0.06852         2.639.59         0.07202         0.004354           Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         µm         0.0564         3.206.79         0.05188         3.486.18         0.05014         0.000320           Average pore diameter (4V/A)         µm         0.06693         -         0.05456         -         0.000745         0.00290           Apparent (skeletal) density         g/mL         2.5724         29.92.34         2.5733         0.00148           Porosity:         %         5.5024         -         5.2658         -         5.3841         0.16730           Stem volume         %         11         -         9         -         10         1.41421           C2-1_60-1         C2-1_P60-2         C2-1_P60-2         C2-1_P60-2         C2-1_P60-2         C2-1_P60-2         C2-1_P60-2         C2-1_P60-2         C2-1_P60-2         C2-1_P60-2         C2-1_P10-1         C2-1_P60-2         C2-1_P10-1         C2-1_P10-2         C2-1_P10-1         C2-1_P10-1         C2-1_P10-1         C2-1_P10-1         C2-1_P10-1         C2-1_P10-1         C2-1_P10-1 <t< td=""><td>Total pore area</td><td>m²/g</td><td>1.352</td><td>29,992,36</td><td>1.584</td><td>29,992.34</td><td>1.468</td><td>0.16405</td></t<>	Total pore area	m²/g	1.352	29,992,36	1.584	29,992.34	1.468	0.16405
Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         µm         0.0564         3.206.79         0.0518         3.486.18         0.06414         0.00320           Average pore diameter (4V/A)         µm         0.06693         -         0.05456         -         0.060745         0.00320           Apparent (skeletal) density         g/mL         2.4327         0.50         2.4388         0.50         2.43475         0.00290           Apparent (skeletal) density         g/mL         2.5744         29.992.36         2.5772         29.992.34         2.57335         0.00148           Porosity:         %         5.5024         -         5.568         -         5.3841         0.16730           Stem volume         %         11         -         9         -         10         1.41421           Stem volume         %         0.0271         29.992.14         0.0273         29.992.02         0.0275         0.00071           Total pore area         m²/g         2.382         29.992.14         0.0471         2.992.02         0.0275         0.00072           Total pore area         m²/g         2.382         0.03717         3.163.53         0.0573         3.152.14         0.057275         0.00011           Averag	Median pore diameter (volume) at 0.001 mL	, 8	0.07552	2 394 94	0.06852	2 639 59	0.07202	0.00495
Average pore diameter (4V/A)         µm         0.06693         -         0.06745         0.00875           Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.4327         0.50         2.4368         0.50         2.43475         0.00290           Apparent (skeletal) density         g/mL         2.5744         29.992.36         2.5723         29.992.34         2.57335         0.00148           Porosity:         %         5.5024         -         5.2668         -         5.3841         0.16730           Stem volume         %         11         -         9         -         10         1.41421           C2-1_60-fll         C2-1_P60-1         C2-1_P60-2         C2-1_P60         C0.0073         0.00073         0.00077           Total intrusion volume         mL/g         0.0274         29.992.14         0.0273         29.992.02         0.02745         0.00007           Total pore area         m²/g         2.382         29.992.14         0.03717         3.152.14         0.057275         0.00017           Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         µm         0.03717         4.826.54         0.03717         4.865.53         0.00021           Average pore diameter (4V/A)         µm         0.04535         -	Median pore diameter (area) at 0.000 $m^2/g$	um	0.0564	3 206 79	0.05188	3 486 18	0.05414	0.00320
Nonzego bots dameter (VF/V)         μm         Coords	Average nore diameter $(4V/A)$	um	0.06693	-	0.05456	-	0.060745	0.00875
Dark Guinstry at Co.0 plan         g/mL         C.452.47         C.053         C.450.47         C.050         C.450.47         C.050           Apparent (skeletal) density         g/mL         2.5744         29.992.36         2.5733         0.00148           Porosity:         %         5.5024         -         5.2668         -         5.3841         0.16730           Stem volume         %         11         -         9         -         10         1.41421           Contents         Unit         Value         Pressure(psia)         Value         Pressure(psia)         Average         STDEV.S           Total intrusion volume         mL/g         0.0274         29.992.14         0.0273         29.992.02         0.02735         0.00007           Total pore area         m²/g         2.382         29.992.14         2.447         29.992.02         0.04465         0.04575         0.00015           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         µm         0.05717         3.163.53         0.05738         3.152.14         0.05775         0.00012           Average pore diameter (area) at 0.000 m²/g         µm         0.04595         -         0.04469         -         0.04452         0.00037	Bulk density at $0.50$ psia	g/ml	2 // 327	0.50	2 / 368	0.50	2 / 3/75	0.00010
Apparent (skeleda) density         g/nL         2.3743         2.3743         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723         2.3723	Apparent (ekoletel) density	g/IIIL	2.4327	20.002.26	2.4300	20 002 24	2.43473	0.00230
Notsity.         3.3024         -         3.3034         -         3.3041         0.1033           Stem volume         %         11         -         9         -         10         1.41421           C2-1_60日間浸漬         C2-1_P60-1         C2-1_P60-2         C2-1_P60         Xerage         STDEV.S           Total intrusion volume         mL/g         0.0274         29,992.14         0.0273         29,992.02         0.02735         0.00007           Total pore area         m²/g         2.382         29,992.14         2.447         29,992.02         2.4145         0.04596           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL         µm         0.05717         3,163.53         0.05738         3,152.14         0.057275         0.00015           Median pore diameter (volume) at 0.000 m²/g         µm         0.03747         4,865.53         0.03732         0.00029           Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.3927         0.50         2.3874         0.50         2.3905         0.00375           Apparent (skeletal) density         g/mL         2.5602         29,992.14         2.5541         29,992.02         2.55715         0.00431           Porosity:         %         6.5459         -         6.526		g/111L 0/	2.0744 5.5024	29,992.30	E 2659	29,992.34	E 20/1	0.00140
Stem volume $\pi$ 11         -         9         -         10         1.4421           C2-1_60日間浸漬         C2-1_F60-1         C2-1_F60-2         C2-1_F60           Call         Value         Pressure(psia         Value         Pressure(psia         Average         STDEV.S           Total intrusion volume         mL/g         0.0274         29,992.14         0.0273         29,992.02         0.0273         0.00007           Total pore area         m²/g         2.382         29,992.14         2.447         29,992.02         2.4145         0.04596           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL         µm         0.03747         4,826.54         0.03717         4,865.53         0.03732         0.00021           Average pore diameter (4V/A)         µm         0.04595         -         0.04469         -         0.04322         0.00037           Apparent (skeletal) density         g/mL         2.5602         29,992.14         2.5541         29,992.02         2.55715         0.00431           Porosity:         %         6.5459         -         6.526         -         6.53595         0.01407           Stem volume         %         12         -         11         -         11.5	Folosity.	/0	5.5024	-	5.2058	-	10	1 41 4 21
C2-1_00 HBB $\bar{B}_{-}$ C2-1_F0-1         C2-1_F0-2         C2-F0-1         C2-1_F0-2         C2-F0-1           Contents         ml/g         0.0274         29.992.14         0.0273         29.992.02         0.0073         0.0007           Total intrusion volume         ml/g         0.0274         29.992.14         0.0273         29.992.02         2.4445         0.0073         0.0007           Total pore area         m²/g         2.382         29.992.14         2.447         29.992.02         2.4445         0.0073         0.0007           Median pore diameter (volume) at 0.001 m²/g         µm         0.05717         3.163.53         0.05738         3.152.14         0.05725         0.00013           Median pore diameter (volume) at 0.000 m²/g         µm         0.03747         4.826.54         0.03717         4.865.53         0.03732         0.00021           Average pore diameter (4V/A)         µm         0.04595         -         0.04469         -         0.04532         0.00037           Apparent (skeletal) density         g/mL         2.3927         0.50         2.3874         0.50         2.3905         0.0031           Stor wolume         g/mL         2.5602         2.9992.14         2.551         29.992.02         2.5571<	Stern volume	70	11	-	9	-	10	1.41421
$C2-100-1$ $C2-100-2$ $C2-100-2$ $C2-100-2$ $C$ Contents         Unit $Value$ $ressure(psia$ $Value$ $ressure(psia$ $Average$ $STDEVS$ Total intrusion volume         mL/g $0.0274$ $29,992.14$ $0.0273$ $29,992.02$ $0.02735$ $0.00007$ Total pore area         mL/g $0.05717$ $3.163.3$ $0.05738$ $3.152.14$ $0.057275$ $0.00021$ Median pore diameter (area) at $0.000 m^2/g$ $\mu$ m $0.03747$ $4.826.54$ $0.03717$ $4.865.53$ $0.03727$ $0.00021$ Average pore diameter (area) at $0.000 m^2/g$ $\mu$ m $0.04595$ $ 0.04469$ $ 0.04532$ $0.00021$ Average pore diameter (area) at $0.000 m^2/g$ $\mu$ m $0.04595$ $ 0.04469$ $ 0.04532$ $0.00021$ Average pore diameter (area) at $0.000 m^2/g$ $g/mL$ $2.5602$ $2.992.14$ $2.5541$ $29.992.02$ $2.55715$ $0.00037$ Apparent (skeletal) density $g/mL$ $2.5602$ $2.9992.14$								
ContentsOnitValueressure(psia)Valueressure(psia)Valueressure(psia)Valueressure(psia)Valueressure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessure(psia)ValueFessu	C2 1 60口問這法		$C_{2-1}$	P60_1	C2-1	P60-2	C2-1	P60
Intersion volume         Int_/g         0.02/4         29,992.14         0.02/3         29,992.02         0.02/3         0.000/7           Total pore area         m²/g         2.382         29,992.14         2.447         29,992.02         2.4145         0.04596           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL         µm         0.05717         3,163.53         0.05738         3,152.14         0.057275         0.00015           Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         µm         0.03747         4,826.54         0.03717         4,865.53         0.03732         0.00021           Average pore diameter (4V/A)         µm         0.04595         -         0.04469         -         0.04532         0.00089           Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.3927         0.50         2.3874         0.50         2.3905         0.00375           Apparent (skeletal) density         g/mL         2.5602         29,992.14         2.5541         29,992.02         2.55715         0.00431           Porosity:         %         6.5459         -         6.526         -         6.53595         0.01407           Stem volume         mL/g         0.0303         29,992.33         0.0331         29,992.40         0.321         0.0548<	C2-1_60日間浸漬	Unit	C2-1_	P60-1	C2-1_	P60-2	C2-1	P60
Interpretation         m²/g         2.382         2.9,992.14         2.447         29,92.02         2.4445         0.04596           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         µm         0.05717         3,163.53         0.05738         3,152.14         0.057275         0.00015           Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         µm         0.03747         4,826.54         0.03717         4,865.53         0.03732         0.00021           Average pore diameter (4V/A)         µm         0.04595         -         0.04469         -         0.04532         0.00039           Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.3927         0.50         2.3874         0.50         2.39005         0.00375           Apparent (skeletal) density         g/mL         2.5602         29,992.14         2.5541         29,992.02         2.55715         0.00431           Porosity:         %         6.5459         -         6.526         -         6.53595         0.01407           Stem volume         %         12         -         11         -         11.5         0.70711           C2-1_120日間浸漬         Contents         Unit         Value         Pressure(psia)         Average         STDEV.S     <	C2-1_60日間浸漬 Contents	Unit	C2-1_ Value	P60-1 Pressure(psia)	C2-1_ Value	P60-2 Pressure(psia)	C2-1	_P60 STDEV.S
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL, µm       0.05717       3,153.55       0.05738       3,152.14       0.057275       0.00015         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g       µm       0.03747       4,826.54       0.03717       4,865.53       0.03732       0.00021         Average pore diameter (4V/A)       µm       0.04595       -       0.04469       -       0.04532       0.00039         Bulk density at 0.50 psia       g/mL       2.3927       0.50       2.3874       0.50       2.3905       0.00375         Apparent (skeletal) density       g/mL       2.5602       29,992.14       2.5541       29,992.02       2.55715       0.00431         Porosity:       %       6.5459       -       6.526       -       6.53595       0.01407         Stem volume       %       12       -       11       -       11.5       0.70711         C2-1_120日間浸漬       C2-1_P120-1       C2-1_P120-2       C2-1_P120-7       C2-1_P120-2       C2-1_P120-7       C2-1_P1	C2-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume	Unit mL/g	C2-1_ Value 0.0274	P60-1 Pressure(psia) 29,992.14	C2-1_ Value 0.0273	P60-2 Pressure(psia) 29,992.02	C2-1 Average 0.02735	_P60 STDEV.S 0.00007
Median pore diameter (area) at 0.000 m²/gμm0.0374/4,826.540.0371/4,856.530.037320.00021Average pore diameter (4V/A)μm0.04595-0.04469-0.045320.00089Bulk density at 0.50 psiag/mL2.39270.502.38740.502.39050.00375Apparent (skeletal) densityg/mL2.560229,992.142.554129,992.022.557150.00431Porosity:%6.5459-6.526-6.535950.01407Stem volume%12-11-11.50.70711C2-1_120日間浸漬C2-1_P120-1C2-1_P120-2C2-1_P120-7C2-1_P120-7C2-1_P120-7C2-1_P120-7C2-1_P120-7C2-1_P120-7C2-1_P120-70.001770.00188Total intrusion volumemL/g0.030329,992.330.033129,992.400.03170.00198Total pore aream²/g3.26829,992.333.21429,992.403.2410.036550.00196Median pore diameter (volume) at 0.001 mLµm0.021958,241.410.026056,943.480.0240.00290Average pore diameter (4V/A)µm0.03712-0.04114-0.039130.00284Bulk density at 0.50 psiag/mL2.38060.492.37380.502.37720.00481Apparent (skeletal) densityg/mL2.565929,992.332.57629,992.402.570550.00714 <tr <tr="">Porosi</tr>	C2-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area	Unit mL/g m²/g	C2-1_ Value 0.0274 2.382	P60-1 Pressure(psia) 29,992.14 29,992.14	C2-1_ Value 0.0273 2.447	P60-2 Pressure(psia) 29,992.02 29,992.02	C2-1 Average 0.02735 2.4145	_P60 STDEV.S 0.00007 0.04596
Average pore diameter (4V/A)         µm         0.04359         -         0.04469         -         0.04352         0.00089           Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.3927         0.50         2.3874         0.50         2.39005         0.00375           Apparent (skeletal) density         g/mL         2.5602         29,992.14         2.5541         29,992.02         2.55715         0.00431           Porosity:         %         6.5459         -         6.526         -         6.53595         0.01407           Stem volume         %         12         -         11         -         11.5         0.70711           C2-1_120日間浸漬         C2-1_V10-1         C2-1_V10-2         C2-1_V120         C2-1_V120         C2-1_V120         C2-1_V120         C2-1_V120         C2-1_V120         0.0317         0.00198           Total intrusion volume         mL/g         0.0303         29,992.33         0.0331         29,992.40         0.321         0.0317         0.00198           Total pore area         m²/g         3.268         29,992.33         3.214         29,992.40         0.324         0.03216           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         µm         0.02195         8.241.41         0.02605	C2-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	Unit mL/g m²/g µm	C2-1_ Value 0.0274 2.382 0.05717	P60-1 Pressure(psia) 29,992.14 29,992.14 3,163.53	C2-1_ Value 0.0273 2.447 0.05738	P60-2 Pressure(psia) 29,992.02 29,992.02 3,152.14	C2-1 Average 0.02735 2.4145 0.057275	_P60 STDEV.S 0.00007 0.04596 0.00015
Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.3927         0.50         2.3874         0.50         2.39005         0.00375           Apparent (skeletal) density         g/mL         2.5602         29,992.14         2.5541         29,992.02         2.55715         0.00431           Porosity:         %         6.5459         -         6.526         -         6.53595         0.01407           Stem volume         %         12         -         11         -         11.5         0.70711           C2-1_120日間浸漬         C2-1_V20-1         C2-1_V10-2         C2-1_V10           C2-1_V10-1         C2-1_V10-2         C2-1_V10           C2-1_V10-1         C2-1_V10-2         C2-1_V10           C2-1_V10-1         C2-1_V10-2         C2-1_V10           C2-1_V10-1         C2-1_V10-2         C2-1_V10           C2-1_V20-1         C2-1_V10-2         C2-1_V10           Total intrusion volume         ML/g         0.0303         29,992.33         0.0331         29,992.40         0.0317         0.00188           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/<	C2-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m ² /g	Unit mL/g m²/g µm µm	C2-1_ Value 0.0274 2.382 0.05717 0.03747	P60-1 Pressure(psia) 29,992.14 29,992.14 3,163.53 4,826.54	C2-1_ Value 0.0273 2.447 0.05738 0.03717	P60-2 Pressure(psia) 29,992.02 29,992.02 3,152.14 4,865.53	C2-1 Average 0.02735 2.4145 0.057275 0.03732	_P60 STDEV.S 0.00007 0.04596 0.00015 0.00021
Apparent (skeletal) density         g/mL         2.5602         29,992.14         2.5541         29,992.02         2.55715         0.00431           Porosity:         %         6.5459         -         6.526         -         6.53595         0.01407           Stem volume         %         12         -         11         -         11.5         0.70711           C2-1_120日間浸漬         C2-1_V10-1         C2-1_V10-2         C2-1_V10-1           C2-1_120日間浸漬         Value         Pressure(psia)         Value         Pressure(psia)         Average         STDEV.S           Total intrusion volume         mL/g         0.0303         29,992.33         0.031         29,992.40         0.0317         0.00198           Total pore area         m²/g         3.268         29,992.33         3.214         29,992.40         3.241         0.03818           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL, µm         0.02195         8,241.41         0.02605         6,943.48         0.024         0.00290           Average pore diameter (4V/A)         µm         0.03712         -         0.04114         -         0.03913         0.002490           Alkeansity at 0.50 psia         g/mL	C2-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m ² /g Average pore diameter (4V/A)	Unit mL/g m²/g µm µm µm	C2-1_ Value 0.0274 2.382 0.05717 0.03747 0.03747	P60-1 Pressure(psia) 29,992.14 29,992.14 3,163.53 4,826.54 -	C2-1_ Value 0.0273 2.447 0.05738 0.03717 0.04469	P60-2 Pressure(psia) 29,992.02 29,992.02 3,152.14 4,865.53 -	C2-1 Average 0.02735 2.4145 0.057275 0.03732 0.04532	_P60 STDEV.S 0.00007 0.04596 0.00015 0.00021 0.00089
Porosity:%6.5459-6.526-6.536950.01407Stem volume%12-11-11.50.70711C2-1_120日間浸漬C2-1_120日間浸漬Pressure(psia)ValuePressure(psia)AverageSTDEV.STotal intrusion volumemL/g0.030329,992.330.033129,992.400.03170.00198Total pore aream²/g3.26829,992.333.21429,992.403.2410.03818Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/µm0.054983,289.750.057753,131.710.0563650.00196Median pore diameter (area) at 0.000 m²/gµm0.021958,241.410.026056,943.480.0240.00290Average pore diameter (4V/A)µm0.03712-0.04114-0.039130.00284Bulk density at 0.50 psiag/mL2.38060.492.37380.502.37720.00414Porosity:%7.2212-7.8491-7.535150.44399Stem volume%14-12-131.41421	C2-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL	C2-1_ Value 0.0274 2.382 0.05717 0.03747 0.03747 0.04595 2.3927	P60-1 Pressure(psia) 29,992.14 3,163.53 4,826.54 - 0.50	C2-1_ Value 0.0273 2.447 0.05738 0.03717 0.04469 2.3874	P60-2 Pressure(psia) 29,992.02 3,152.14 4,865.53 - 0.50	C2-1. Average 0.02735 2.4145 0.057275 0.03732 0.04532 2.39005	_P60 STDEV.S 0.00007 0.04596 0.00015 0.00021 0.00089 0.000375
Stem volume         %         12         -         11         -         11.5         0.70711           C2-1_120日間浸漬         C2-1_P120-1         C2-1_P120-2         C2-1_P120-2           Contents         Unit         Value         Pressure(psia)         Value         Pressure(psia)         Average         STDEV.S           Total intrusion volume         mL/g         0.0303         29,992.33         0.0331         29,992.40         0.0317         0.00198           Total pore area         m²/g         3.268         29,992.33         3.214         29,992.40         3.241         0.03518           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         µm         0.05498         3,289.75         0.05775         3,131.71         0.056365         0.00196           Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         µm         0.02195         8,241.41         0.02605         6,943.48         0.024         0.00290           Average pore diameter (4V/A)         µm         0.03712         -         0.04114         -         0.03913         0.00284           Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.3806         0.49         2.3738         0.50         2.3772         0.00414           Porosity:	C2-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL	C2-1_ Value 0.0274 2.382 0.05717 0.03747 0.03747 2.3927 2.5602	P60-1 Pressure(psia) 29,992.14 3,163.53 4,826.54 - 0.50 29,992.14	C2-1_ Value 0.0273 2.447 0.05738 0.03717 0.04469 2.3874 2.5541	P60-2 Pressure(psia) 29,992.02 3,152.14 4,865.53 - 0.50 29,992.02	C2-1. Average 0.02735 2.4145 0.057275 0.03732 0.04532 2.39005 2.55715	_P60 STDEV.S 0.00007 0.04596 0.00015 0.00021 0.00089 0.000375 0.00431
C2-1_120日間浸漬         C2-1V20-1         C2-1V20-2         C2-1V20-1         C2-1V20-2         C2-1V20-1           Contents         Unit         Value         Pressure(psia)         Value         Pressure(psia)         Average         STDEV.S           Total intrusion volume         mL/g         0.0303         29,992.33         0.0331         29,992.40         0.0317         0.00198           Total pore area         m²/g         3.268         29,992.33         3.214         29,992.40         3.241         0.03818           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         µm         0.05498         3,289.75         0.05775         3,131.71         0.056365         0.00196           Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         µm         0.02195         8,241.41         0.02605         6,943.48         0.024         0.00290           Average pore diameter (4V/A)         µm         0.03712         -         0.04114         -         0.03913         0.00248           Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.3806         0.49         2.3738         0.50         2.3772         0.00414           Porosity:         g/mL         2.3605         29,992.33         2.576         29,992.40         2.57095         0.04149	C2-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity:	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL %	C2-1_ Value 0.0274 2.382 0.05717 0.03747 0.04595 2.3927 2.5602 6.5459	P60-1 Pressure(psia) 29,992.14 3,163.53 4,826.54 - 0.50 29,992.14 -	C2-1_ Value 0.0273 2.447 0.05738 0.03717 0.04469 2.3874 2.5541 6.526	P60-2 Pressure(psia) 29,992.02 29,992.02 3,152.14 4,865.53 - 0.50 29,992.02 -	C2-1. Average 0.02735 2.4145 0.057275 0.03732 0.04532 2.39005 2.55715 6.53595	_P60 STDEV.S 0.00007 0.04596 0.00015 0.00021 0.00089 0.00375 0.00431 0.01407
C2-1_120日間浸漬         C2-1_P120-1         C2-1_P120-2         C2-1_P120           Contents         Unit         Value         Pressure(psia)         Value         Pressure(psia)         Average         STDEV.S           Total intrusion volume         mL/g         0.0303         29,992.33         0.0331         29,992.40         0.0317         0.00198           Total pore area         m ² /g         3.268         29,992.33         3.214         29,992.40         3.241         0.0317         0.00198           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ $\mu$ m         0.05498         3,289.75         0.05775         3,131.71         0.056365         0.00196           Median pore diameter (area) at 0.000 m ² /g $\mu$ m         0.02195         8,241.41         0.02605         6,943.48         0.024         0.00290           Average pore diameter (4V/A) $\mu$ m         0.03712         -         0.04114         -         0.03913         0.00244           Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.3806         0.49         2.3738         0.50         2.3772         0.00481           Apparent (skeletal) density         g/mL         2.5659         29,992.33         2.576         29,992.40         2.57095         0.04399	C2-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL % %	C2-1_ Value 0.0274 2.382 0.05717 0.03747 0.04595 2.3927 2.5602 6.5459 12	P60-1 Pressure(psia) 29,992.14 3,163.53 4,826.54 - 0.50 29,992.14 - -	C2-1_ Value 0.0273 2.447 0.05738 0.03717 0.04469 2.3874 2.5541 6.526 11	P60-2 Pressure(psia) 29,992.02 3,152.14 4,865.53 - 0.50 29,992.02 - - -	C2-1. Average 0.02735 2.4145 0.057275 0.03732 0.04532 2.39005 2.55715 6.53595 11.5	_P60 STDEV.S 0.00007 0.04596 0.00015 0.00021 0.00089 0.00375 0.00431 0.01407 0.70711
Contents         Unit         Value         Pressure(psia)         Value         Pressure(psia)         Average         STDEV.S           Total intrusion volume         mL/g         0.0303         29,992.33         0.0331         29,992.40         0.0317         0.00198           Total pore area         m²/g         3.268         29,992.33         3.214         29,992.40         3.241         0.03818           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         μm         0.05498         3,289.75         0.05775         3,131.71         0.056365         0.00196           Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         μm         0.02195         8,241.41         0.02605         6,943.48         0.024         0.00290           Average pore diameter (4V/A)         μm         0.03712         -         0.04114         -         0.03913         0.00240           Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.3806         0.49         2.3738         0.50         2.3772         0.00414           Porosity:         g/mL         2.5659         29,992.33         2.576         29,992.40         2.5705         0.04149           Porosity:         %         7.2212         -         7.8491         -         1.3         1.41421	C2-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL % %	C2-1_ Value 0.0274 2.382 0.05717 0.03747 0.04595 2.3927 2.5602 6.5459 12	P60-1 Pressure(psia) 29,992.14 3,163.53 4,826.54 - 0.50 29,992.14 - - -	C2-1_ Value 0.0273 2.447 0.05738 0.03717 0.04469 2.3874 2.5541 6.526 11	P60-2 Pressure(psia) 29,992.02 3,152.14 4,865.53 - 0.50 29,992.02 - - -	C2-1. Average 0.02735 2.4145 0.057275 0.03732 0.04532 2.39005 2.55715 6.53595 11.5	_P60 STDEV.S 0.00007 0.04596 0.00015 0.00021 0.00089 0.00375 0.00431 0.01407 0.70711
Total intrusion volume         mL/g         0.0303         29,992.33         0.0331         29,992.40         0.0317         0.00198           Total pore area         m²/g         3.268         29,992.33         3.214         29,992.40         3.241         0.0318           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         μm         0.05498         3,289.75         0.05775         3,131.71         0.056365         0.00196           Average pore diameter (area) at 0.000 m²/g         μm         0.02195         8,241.41         0.02605         6,943.48         0.024         0.00290           Average pore diameter (4V/A)         μm         0.03712         -         0.04114         -         0.03913         0.00284           Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.3806         0.49         2.3738         0.50         2.3772         0.00414           Apparent (skeletal) density         g/mL         2.5659         29,992.33         2.576         29,992.40         2.5705         0.0414           Porosity:         %         7.2212         -         7.8491         -         7.53515         0.44399           Stem volume         %         14         -         12         -         13	C2-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume C2-1_120日間浸漬	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL %	C2-1_ Value 0.0274 2.382 0.05717 0.03747 0.04595 2.3927 2.5602 6.5459 12 C2-1_	P60-1 Pressure(psia) 29,992.14 3,163.53 4,826.54 - 0.50 29,992.14 - - P120-1	C2-1_ Value 0.0273 2.447 0.05738 0.03717 0.04469 2.3874 2.5541 6.526 11 C2-1_	P60-2 Pressure(psia) 29,992.02 3,152.14 4,865.53 - 0.50 29,992.02 - - P120-2	C2-1. Average 0.02735 2.4145 0.057275 0.03732 0.04532 2.39005 2.55715 6.53595 11.5 C2-1_	_P60 STDEV.S 0.00007 0.04596 0.00015 0.00021 0.00089 0.00375 0.00431 0.01407 0.70711
Total pore area         m²/g         3.268         29,992.33         3.214         29,992.40         3.241         0.03818           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         μm         0.05498         3,289.75         0.05775         3,131.71         0.056365         0.00196           Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         μm         0.02195         8,241.41         0.02605         6,943.48         0.024         0.00290           Average pore diameter (4V/A)         μm         0.03712         -         0.04114         -         0.03913         0.00284           Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.3806         0.49         2.3738         0.50         2.3772         0.00414           Apparent (skeletal) density         g/mL         2.5659         29,992.33         2.576         29,992.40         2.5705         0.0414           Porosity:         %         7.2212         -         7.8491         -         7.53515         0.44399           Stem volume         %         14         -         12         -         13         1.41421	C2-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume C2-1_120日間浸漬 Contents	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL g/mL % %	C2-1_ Value 0.0274 2.382 0.05717 0.03747 0.04595 2.3927 2.5602 6.5459 12 C2-1_1 Value	P60-1 Pressure(psia) 29,992.14 29,992.14 3,163.53 4,826.54 - 0.50 29,992.14 - P120-1 Pressure(psia)	C2-1_ Value 0.0273 2.447 0.05738 0.03717 0.04469 2.3874 2.5541 6.526 11 C2-1_l Value	P60-2 Pressure(psia) 29,992.02 3,152.14 4,865.53 - 0.50 29,992.02 - - P120-2 Pressure(psia)	C2-1. Average 0.02735 2.4145 0.057275 0.03732 0.04532 2.39005 2.55715 6.53595 11.5 C2-1_ Average	_P60 STDEV.S 0.00007 0.04596 0.00015 0.00021 0.00089 0.00375 0.00431 0.01407 0.70711 P120 STDEV.S
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         μm         0.05498         3,289.75         0.05775         3,131.71         0.056365         0.00196           Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         μm         0.02195         8,241.41         0.02605         6,943.48         0.024         0.00290           Average pore diameter (4V/A)         μm         0.03712         -         0.04114         -         0.03913         0.00284           Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.3806         0.49         2.3738         0.50         2.3772         0.00414           Apparent (skeletal) density         g/mL         2.5659         29,992.33         2.576         29,992.40         2.57095         0.04139           Porosity:         %         7.2212         -         7.8491         -         7.53515         0.44399           Stem volume         %         14         -         12         -         13         1.41421	C2-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume C2-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume	Unit mL/g μm μm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g	C2-1_ Value 0.0274 2.382 0.05717 0.03747 0.04595 2.3927 2.5602 6.5459 12 C2-1_1 Value 0.0303	P60-1 Pressure(psia) 29,992.14 3,163.53 4,826.54 - 0.50 29,992.14 - P120-1 Pressure(psia) 29,992.33	C2-1_ Value 0.0273 2.447 0.05738 0.03717 0.04469 2.3874 2.5541 6.526 11 C2-1_ Value 0.0331	P60-2 Pressure(psia) 29,992.02 29,992.02 3,152.14 4,865.53 - 0.50 29,992.02 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.40	C2-1. Average 0.02735 2.4145 0.057275 0.03732 0.04532 2.39005 2.55715 6.53595 11.5 C2-1_ Average 0.0317	_P60 STDEV.S 0.00007 0.04596 0.00015 0.00021 0.00089 0.00375 0.00431 0.01407 0.70711 P120 STDEV.S 0.00198
Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         μm         0.02195         8,241.41         0.02605         6,943.48         0.024         0.00200           Average pore diameter (4V/A)         μm         0.03712         -         0.04114         -         0.03913         0.00284           Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.3806         0.49         2.3738         0.50         2.3772         0.00481           Apparent (skeletal) density         g/mL         2.5659         29,992.33         2.576         29,992.40         2.5709         0.00414           Porosity:         %         7.2212         -         7.8491         -         7.53515         0.44399           Stem volume         %         14         -         12         -         13         1.41421	C2-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume C2-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area	Unit mL/g μm μm g/mL g/mL % % % Unit mL/g m²/g	C2-1_ Value 0.0274 2.382 0.05717 0.03747 0.04595 2.3927 2.5602 6.5459 12 C2-1_1 Value 0.0303 3.268	P60-1 Pressure(psia) 29,992.14 3,163.53 4,826.54 - 0.50 29,992.14 - P120-1 Pressure(psia) 29,992.33 29,992.33	C2-1_ Value 0.0273 2.447 0.05738 0.03717 0.04469 2.3874 2.5541 6.526 11 C2-1_1 Value 0.0331 3.214	P60-2 Pressure(psia) 29,992.02 29,992.02 3,152.14 4,865.53 - 0.50 29,992.02 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.40 29,992.40	C2-1. Average 0.02735 2.4145 0.057275 0.03732 0.04532 2.39005 2.55715 6.53595 11.5 C2-1_ Average 0.0317 3.241	_P60 STDEV.S 0.00007 0.04596 0.00015 0.00021 0.00089 0.00375 0.00431 0.01407 0.70711 P120 STDEV.S 0.00198 0.03818
Average pore diameter (4V/A)         μm         0.03712         -         0.04114         -         0.03913         0.00284           Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.3806         0.49         2.3738         0.50         2.3772         0.00481           Apparent (skeletal) density         g/mL         2.5659         29,992.33         2.576         29,992.40         2.5709         0.00714           Porosity:         %         7.2212         -         7.8491         -         7.53515         0.44399           Stem volume         %         14         -         12         -         13         1.41421	C2-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume C2-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % % % Unit mL/g m²/g µm	C2-1_ Value 0.0274 2.382 0.05717 0.03747 0.04595 2.3927 2.5602 6.5459 12 C2-1_1 Value 0.0303 3.268 0.05498	P60-1 Pressure(psia) 29,992.14 3,163.53 4,826.54 - 0.50 29,992.14 - P120-1 Pressure(psia) 29,992.33 29,992.33 3,289.75	C2-1_ Value 0.0273 2.447 0.05738 0.03717 0.04469 2.3874 2.5541 6.526 111 C2-1_1 Value 0.0331 3.214 0.05775	P60-2 Pressure(psia) 29,992.02 29,992.02 3,152.14 4,865.53 - 0.50 29,992.02 - P120-2 Pressure(psia) 29,992.40 29,992.40 3,131.71	C2-1. Average 0.02735 2.4145 0.057275 0.03732 0.04532 2.39005 2.55715 6.53595 11.5 C2-1_ Average 0.0317 3.241 0.056365	P60 STDEV.S 0.00007 0.04596 0.00015 0.00021 0.00089 0.00375 0.00431 0.01407 0.70711 P120 STDEV.S 0.00198 0.03818 0.00196
Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.3806         0.49         2.3738         0.50         2.3772         0.00481           Apparent (skeletal) density         g/mL         2.5659         29,992.33         2.576         29,992.40         2.5709         0.00714           Porosity:         %         7.2212         -         7.8491         -         7.53515         0.44399           Stem volume         %         14         -         12         -         13         1.41421	C2-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume C2-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL g/mL % % % Unit mL/g m²/g µm µm	C2-1_ Value 0.0274 2.382 0.05717 0.03747 0.04595 2.3927 2.5602 6.5459 12 C2-1_l Value 0.0303 3.268 0.05498 0.02195	P60-1 Pressure(psia) 29,992.14 3,163.53 4,826.54 - 0.50 29,992.14 - P120-1 Pressure(psia) 29,992.33 29,992.33 3,289.75 8,241.41	C2-1_ Value 0.0273 2.447 0.05738 0.03717 0.04469 2.3874 2.5541 6.526 111 C2-1_1 Value 0.0331 3.214 0.05775 0.02605	P60-2 Pressure(psia) 29,992.02 29,992.02 3,152.14 4,865.53 - 0.50 29,992.02 - P120-2 Pressure(psia) 29,992.40 3,131.71 6,943.48	C2-1. Average 0.02735 2.4145 0.057275 0.03732 0.04532 2.39005 2.55715 6.53595 11.5 C2-1_ Average 0.0317 3.241 0.056365 0.024	_P60 STDEV.S 0.00007 0.04596 0.00015 0.00021 0.00089 0.00375 0.00431 0.01407 0.70711 P120 STDEV.S 0.00198 0.03818 0.00196 0.00290
Apparent (skeletal) density         g/mL         2.5659         29,992.33         2.576         29,992.40         2.57095         0.00714           Porosity:         %         7.2212         -         7.8491         -         7.53515         0.44399           Stem volume         %         14         -         12         -         13         1.41421	C2-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume C2-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A)	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g µm µm µm	C2-1_ Value 0.0274 2.382 0.05717 0.03747 0.04595 2.3927 2.5602 6.5459 12 C2-1_l Value 0.0303 3.268 0.05498 0.02195 0.03712	P60-1 Pressure(psia) 29,992.14 3,163.53 4,826.54 - 0.50 29,992.14 - P120-1 Pressure(psia) 29,992.33 29,992.33 3,289.75 8,241.41 -	C2-1_ Value 0.0273 2.447 0.05738 0.03717 0.04469 2.3874 2.5541 6.526 111 C2-1_ Value 0.0331 3.214 0.05775 0.02605 0.04114	P60-2 Pressure(psia) 29,992.02 3,152.14 4,865.53 - 0.50 29,992.02 - P120-2 Pressure(psia) 29,992.40 3,131.71 6,943.48 -	C2-1. Average 0.02735 2.4145 0.057275 0.03732 0.04532 2.39005 2.55715 6.53595 11.5 C2-1_ Average 0.0317 3.241 0.056365 0.024 0.03913	_P60 STDEV.S 0.00007 0.04596 0.00015 0.00021 0.00089 0.00375 0.00431 0.01407 0.70711 P120 STDEV.S 0.00198 0.03818 0.00196 0.00290 0.00284
Porosity:         %         7.2212         -         7.8491         -         7.53515         0.44399           Stem volume         %         14         -         12         -         13         1.41421	C2-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume C2-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % % % Unit mL/g m²/g µm µm µm g/mL	C2-1_ Value 0.0274 2.382 0.05717 0.03747 0.04595 2.3927 2.5602 6.5459 12 C2-1_ Value 0.0303 3.268 0.05498 0.02195 0.03712 2.3806	P60-1 Pressure(psia) 29,992.14 3,163.53 4,826.54 - 0.50 29,992.14 - P120-1 Pressure(psia) 29,992.33 29,992.33 3,289.75 8,241.41 - 0.49	C2-1_ Value 0.0273 2.447 0.05738 0.03717 0.04469 2.3874 2.5541 6.526 11 C2-1_ Value 0.0331 3.214 0.05775 0.02605 0.04114 2.3738	P60-2 Pressure(psia) 29,992.02 3,152.14 4,865.53 - 0.50 29,992.02 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.40 29,992.40 3,131.71 6,943.48 - 0.50	C2-1. Average 0.02735 2.4145 0.057275 0.03732 0.04532 2.39005 2.55715 6.53595 11.5 C2-1_ Average 0.0317 3.241 0.056365 0.024 0.03913 2.3772	_P60 STDEV.S 0.00007 0.04596 0.00015 0.00021 0.00089 0.00375 0.00431 0.01407 0.70711 P120 STDEV.S 0.00198 0.03818 0.00196 0.00290 0.00284 0.00481
Stem volume % 14 - 12 - 13 1.41421	C2-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume C2-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g µm µm µm g/mL g/mL	C2-1_ Value 0.0274 2.382 0.05717 0.03747 0.04595 2.3927 2.5602 6.5459 12 C2-1_1 Value 0.0303 3.268 0.05498 0.02195 0.03712 2.3806 2.5659	P60-1 Pressure(psia) 29,992.14 3,163.53 4,826.54 - 0.50 29,992.14 - P120-1 Pressure(psia) 29,992.33 3,289.75 8,241.41 - 0.49 29,992.33	C2-1_ Value 0.0273 2.447 0.05738 0.03717 0.04469 2.3874 2.5541 6.526 11 C2-1_ Value 0.0331 3.214 0.05775 0.02605 0.04114 2.3738 2.576	P60-2 Pressure(psia) 29,992.02 3,152.14 4,865.53 - 0.50 29,992.02 - Pressure(psia) 29,992.40 29,992.40 3,131.71 6,943.48 - 0.50 29,992.40	C2-1. Average 0.02735 2.4145 0.057275 0.03732 0.04532 2.39005 2.55715 6.53595 11.5 C2-1_ Average 0.0317 3.241 0.056365 0.024 0.03913 2.3772 2.57095	_P60 STDEV.S 0.00007 0.04596 0.00015 0.00021 0.00089 0.00375 0.00431 0.01407 0.70711 P120 STDEV.S 0.00198 0.03818 0.00196 0.00290 0.00284 0.00481 0.00714
	C2-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume C2-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity:	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % Unit mL/g m²/g µm µm µm g/mL g/mL g/mL	C2-1_ Value 0.0274 2.382 0.05717 0.03747 0.04595 2.3927 2.5602 6.5459 12 C2-1_0 Value 0.0303 3.268 0.05498 0.02195 0.03712 2.3806 2.5659 7.2212	P60-1  Pressure(psia) 29,992.14 29,992.14 3,163.53 4,826.54 - 0,50 29,992.14 - 1 Pressure(psia) 29,992.33 29,992.33 3,289.75 8,241.41 - 0,49 29,992.33	C2-1_ Value 0.0273 2.447 0.05738 0.03717 0.04469 2.3874 2.5541 6.526 11 C2-1_1 Value 0.0331 3.214 0.05775 0.02605 0.04114 2.3738 2.576 7.8491	P60-2 Pressure(psia) 29,992.02 3,152.14 4,865.53 - 0.50 29,992.02 - Pressure(psia) 29,992.40 29,992.40 3,131.71 6,943.48 - 0.50 29,992.40	C2-1. Average 0.02735 2.4145 0.057275 0.03732 0.04532 2.39005 2.55715 6.53595 11.5 C2-1_ Average 0.0317 3.241 0.056365 0.024 0.03913 2.3772 2.57095 7.53515	_P60 STDEV.S 0.00007 0.04596 0.00015 0.00021 0.00089 0.00375 0.00431 0.01407 0.70711 P120 STDEV.S 0.00198 0.03818 0.00196 0.00290 0.00284 0.00284 0.00714 0.00714 0.00714

#### 表 1.9-4 C 2-1 のポロシメータ測定結果



図 1.9-3 C 2-1 の間隙径分布 (a)・(b) 未浸漬、 (c)・(d) 30 日浸漬、 (e)・(f) 60 日浸漬、 (g)・(h) 120 日浸漬

2			• • •				
D2-2_浸漬前		D2-2	_Pb-1	D2-2_	_Pb-2	D2-2	2_Pb
Contents	Unit	Value	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Average	STDEV.S
Total intrusion volume	mL/g	0.0028	29,992.16	0.0047	29,992.56	0.00375	0.00134
Total pore area	m²/g	0	29,992.16	0.003	29,992.56	0.0015	0.00212
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL	μm	92.20915	1.96	58.36512	3.1	75.287135	23.93134
Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	μm	32.89188	5.50	0.79014	228.90	16.84101	22.69936
Average pore diameter (4V/A)	μm	0	-	5.68292	-	2.84146	4.0184313
Bulk density at 0.50 psia	g/mL	2.6602	0.50	2.6372	0.50	2.6487	0.01626
Apparent (skeletal) density	g/mL	2.6805	29,992.16	2.6701	29,992.56	2.6753	0.00735
Porosity:	%	0.7576	-	1.2321	-	0.99485	0.33552
Stem volume	%	1	-	2	-	1.5	0.7071068
D2-2_30日間浸漬		D2-2_	P30-1	D2-2_	P30-2	D2-2	_P30
Contents	Unit	Value	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Average	STDEV.S
Total intrusion volume	mL/g	0.0048	29,992.42	0.0039	29,992.20	0.00435	0.00064
Total pore area	m²/g	0.38	29,992.42	0.308	29,992.20	0.344	0.05091
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL	μm	0.17201	1,051.44	0.06151	2,940.36	0.11676	0.07814
Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	μm	0.0166	10,895.00	0.03264	5,540.36	0.02462	0.01134
Average pore diameter (4V/A)	μm	0.05038	-	0.05092	-	0.05065	0.00038
Bulk density at 0.50 psia	g/mL	2.5556	0.49	2.552	0.49	2.5538	0.00255
Apparent (skeletal) density	g/mL	2.5873	29,992.42	2.5779	29,992.20	2.5826	0.00665
Porosity:	%	1.2233	-	1.0022	-	1.11275	0.15634
Stem volume	%	2	-	2	-	2	0.00000
D2-2_60日間浸漬		D2-2_	P60-1	D2-2_	P60-2	D2-2	_P60
D2-2_60日間浸漬 Contents	Unit	D2-2_ Value	P60-1 Pressure(psia)	D2-2_ Value	P60-2 Pressure(psia)	D2-2 Average	_P60 STDEV.S
D2-2_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume	Unit mL/g	D2-2_ Value 0.007	P60-1 Pressure(psia) 29,992.10	D2-2_ Value 0.0116	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91	D2-2 Average 0.0093	_P60 STDEV.S 0.00325
D2-2_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area	Unit mL/g m²/g	D2-2_ Value 0.007 1.11	P60-1 Pressure(psia) 29,992.10 29,992.10	D2-2_ Value 0.0116 2.504	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91	D2-2 Average 0.0093 1.807	P60 STDEV.S 0.00325 0.98571
D2-2_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	Unit mL/g m²/g µm	D2-2_ Value 0.007 1.11 0.03812	P60-1 Pressure(psia) 29,992.10 29,992.10 4,744.92	D2-2_ Value 0.0116 2.504 0.02374	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91 7,619.16	D2-2 Average 0.0093 1.807 0.03093	P60 STDEV.S 0.00325 0.98571 0.01017
D2-2_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m ² /g	Unit mL/g m²/g μm μm	D2-2_ Value 0.007 1.11 0.03812 0.012	P60-1 Pressure(psia) 29,992.10 29,992.10 4,744.92 15,077.61	D2-2_ Value 0.0116 2.504 0.02374 0.00994	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 7,619.16 18,203.96	D2-2 Average 0.0093 1.807 0.03093 0.01097	P60 STDEV.S 0.00325 0.98571 0.01017 0.00146
D2-2_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A)	Unit mL/g m²/g μm μm	D2-2_ Value 0.007 1.11 0.03812 0.012 0.02507	P60-1 Pressure(psia) 29,992.10 29,992.10 4,744.92 15,077.61	D2-2_ Value 0.0116 2.504 0.02374 0.00994 0.01852	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91 7,619.16 18,203.96	D2-2 Average 0.0093 1.807 0.03093 0.01097 0.021795	_P60 STDEV.S 0.00325 0.98571 0.01017 0.00146 0.00463
D2-2_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia	Unit mL/g m²/g μm μm μm g/mL	D2-2_ Value 0.007 1.11 0.03812 0.012 0.02507 2.5144	P60-1 Pressure(psia) 29,992.10 29,992.10 4,744.92 15,077.61 - 0.50	D2-2_ Value 0.0116 2.504 0.02374 0.00994 0.01852 2.4951	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91 7,619.16 18,203.96 - 0.50	D2-2 Average 0.0093 1.807 0.03093 0.01097 0.021795 2.50475	P60 STDEV.S 0.00325 0.98571 0.01017 0.00146 0.00463 0.01365
D2-2_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density	Unit mL/g m²/g μm μm μm g/mL g/mL	D2-2_ Value 0.007 1.11 0.03812 0.012 0.02507 2.5144 2.5592	P60-1 Pressure(psia) 29,992.10 29,992.10 4,744.92 15,077.61 - 0.50 29,992.10	D2-2_ Value 0.0116 2.504 0.02374 0.00994 0.01852 2.4951 2.5695	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91 7,619.16 18,203.96 - 0.50 29,991.91	D2-2 Average 0.0093 1.807 0.03093 0.01097 0.021795 2.50475 2.56435	P60 STDEV.S 0.00325 0.98571 0.01017 0.00146 0.00463 0.01365 0.00728
D2-2_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity:	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL %	D2-2_ Value 0.007 1.11 0.03812 0.012 0.02507 2.5144 2.5592 1.7488	P60-1 Pressure(psia) 29,992.10 29,992.10 4,744.92 15,077.61 - 0.50 29,992.10 -	D2-2_ Value 0.0116 2.504 0.02374 0.00994 0.01852 2.4951 2.5695 2.8944	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91 7,619.16 18,203.96 - 0.50 29,991.91 -	D2-2 Average 0.0093 1.807 0.03093 0.01097 0.021795 2.50475 2.56435 2.3216	P60 STDEV.S 0.00325 0.98571 0.01017 0.00146 0.00463 0.01365 0.00728 0.81006
D2-2_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL % %	D2-2_ Value 0.007 1.11 0.03812 0.012 0.02507 2.5144 2.5592 1.7488 3	P60-1 Pressure(psia) 29,992.10 29,992.10 4,744.92 15,077.61 - 0.50 29,992.10 - -	D2-2_ Value 0.0116 2.504 0.02374 0.00994 0.01852 2.4951 2.5695 2.8944 5	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 7,619.16 18,203.96 - 0.50 29,991.91 - -	D2-2 Average 0.0093 1.807 0.03093 0.01097 0.021795 2.50475 2.56435 2.3216 4	P60 STDEV.S 0.00325 0.98571 0.01017 0.00146 0.00463 0.01365 0.00728 0.81006 1.41421
D2-2_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL % %	D2-2_ Value 0.007 1.11 0.03812 0.012 0.02507 2.5144 2.5592 1.7488 3	P60-1 Pressure(psia) 29,992.10 29,992.10 4,744.92 15,077.61 - 0.50 29,992.10 - -	D2-2_ Value 0.0116 2.504 0.02374 0.00994 0.01852 2.4951 2.5695 2.8944 5	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 7,619.16 18,203.96 - 0.50 29,991.91 - -	D2-2 Average 0.0093 1.807 0.03093 0.01097 0.021795 2.50475 2.56435 2.3216 4	P60 STDEV.S 0.00325 0.98571 0.01017 0.00146 0.00463 0.01365 0.00728 0.81006 1.41421
D2-2_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume D2-2_120日間浸漬	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL % %	D2-2_ Value 0.007 1.11 0.03812 0.012 0.02507 2.5144 2.5592 1.7488 3 3	P60-1 Pressure(psia) 29,992.10 29,992.10 4,744.92 15,077.61 - 0.50 29,992.10 - P120-1	D2-2_ Value 0.0116 2.504 0.02374 0.00994 0.01852 2.4951 2.5695 2.8944 5 D2-2_1	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 7,619.16 18,203.96 - 0.50 29,991.91 - - P120-2	D2-2 Average 0.0093 1.807 0.03093 0.01097 0.021795 2.50475 2.50475 2.56435 2.3216 4	P60 STDEV.S 0.00325 0.98571 0.01017 0.00146 0.00463 0.01365 0.00728 0.81006 1.41421
D2-2_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume D2-2_120日間浸漬 Contents	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL % % Unit	D2-2_ Value 0.007 1.11 0.03812 0.012 0.02507 2.5144 2.5592 1.7488 3 3 D2-2_ Value	P60-1 Pressure(psia) 29,992.10 29,992.10 4,744.92 15,077.61 - 0.50 29,992.10 - P120-1 Pressure(psia)	D2-2_ Value 0.0116 2.504 0.02374 0.00994 0.01852 2.4951 2.5695 2.8944 5 D2-2_ Value	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 7,619.16 18,203.96 - 0.50 29,991.91 - - P120-2 Pressure(psia)	D2-2 Average 0.0093 1.807 0.03093 0.01097 0.021795 2.50475 2.50475 2.56435 2.3216 4 D2-2 Average	P60 STDEV.S 0.00325 0.98571 0.01017 0.00146 0.00463 0.01365 0.00728 0.81006 1.41421 P120 STDEV.S
D2-2_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume D2-2_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g	D2-2_ Value 0.007 1.11 0.03812 0.012 0.02507 2.5144 2.5592 1.7488 3 D2-2_ Value 0.019	P60-1 Pressure(psia) 29,992.10 29,992.10 4,744.92 15,077.61 - 0.50 29,992.10 - P120-1 Pressure(psia) 29,992.47	D2-2_ Value 0.0116 2.504 0.02374 0.00994 0.01852 2.4951 2.5695 2.8944 5 D2-2_ Value 0.0185	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 7,619.16 18,203.96 - 0.50 29,991.91 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.48	D2-2 Average 0.0093 1.807 0.03093 0.01097 0.021795 2.50475 2.50475 2.56435 2.3216 4 D2-2 Average 0.01875	P60 STDEV.S 0.00325 0.98571 0.01017 0.00146 0.00463 0.01365 0.00728 0.81006 1.41421 P120 STDEV.S 0.00035
D2-2_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume D2-2_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g	D2-2_ Value 0.007 1.11 0.03812 0.012 0.02507 2.5144 2.5592 1.7488 3 D2-2_ Value 0.019 2.859	P60-1 Pressure(psia) 29,992.10 29,992.10 4,744.92 15,077.61 - 0.50 29,992.10 - P120-1 Pressure(psia) 29,992.47 29,992.47	D2-2_ Value 0.0116 2.504 0.02374 0.00994 0.01852 2.4951 2.5695 2.8944 5 D2-2_ Value 0.0185 3.083	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 7,619.16 18,203.96 - 0.50 29,991.91 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.48 29,992.48	D2-2 Average 0.0093 1.807 0.03093 0.01097 0.021795 2.50475 2.56435 2.3216 4 D2-2 Average 0.01875 2.971	P60 STDEV.S 0.00325 0.98571 0.01017 0.00146 0.00463 0.01365 0.00728 0.81006 1.41421 P120 STDEV.S 0.00035 0.15839
D2-2_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume D2-2_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g µm	D2-2_ Value 0.007 1.11 0.03812 0.012 0.02507 2.5144 2.5592 1.7488 3 D2-2_ Value 0.019 2.859 0.03469	P60-1 Pressure(psia) 29,992.10 29,992.10 4,744.92 15,077.61 - 0.50 29,992.10 - P120-1 Pressure(psia) 29,992.47 29,992.47 5,213.81	D2-2_ Value 0.0116 2.504 0.02374 0.00994 0.01852 2.4951 2.5695 2.8944 5 D2-2_ Value 0.0185 3.083 0.03012	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 7,619.16 18,203.96 - 0.50 29,991.91 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.48 29,992.48 6,004.94	D2-2 Average 0.0093 1.807 0.03093 0.01097 0.021795 2.50475 2.56435 2.3216 4 D2-2 Average 0.01875 2.971 0.032405	P60 STDEV.S 0.00325 0.98571 0.01017 0.00146 0.00463 0.01365 0.00728 0.81006 1.41421 P120 STDEV.S 0.00035 0.15839 0.00323
D2-2_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume D2-2_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	Unit mL/g μm μm g/mL g/mL % % Unit mL/g m ² /g μm	D2-2_ Value 0.007 1.11 0.03812 0.012 0.02507 2.5144 2.5592 1.7488 3 3 D2-2_ Value 0.019 2.859 0.03469 0.01617	P60-1 Pressure(psia) 29,992.10 29,992.10 4,744.92 15,077.61 - 0.50 29,992.10 - P120-1 Pressure(psia) 29,992.47 29,992.47 5,213.81 11,184.54	D2-2_ Value 0.0116 2.504 0.02374 0.00994 0.01852 2.4951 2.5695 2.8944 5 D2-2_ Value 0.0185 3.083 0.03012 0.01493	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 7,619.16 18,203.96 - 0.50 29,991.91 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.48 29,992.48 6,004.94 12,115.21	D2-2 Average 0.0093 1.807 0.03093 0.01097 0.021795 2.50475 2.56435 2.3216 4 D2-2 Average 0.01875 2.971 0.032405 0.01555	P60 STDEV.S 0.00325 0.98571 0.01017 0.00146 0.00463 0.01365 0.00728 0.81006 1.41421 STDEV.S 0.00035 0.15839 0.00323 0.00088
D2-2_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume D2-2_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A)	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % 0% Unit mL/g m²/g µm µm µm	D2-2_ Value 0.007 1.11 0.03812 0.012 0.02507 2.5144 2.5592 1.7488 3 3 D2-2_ Value 0.019 2.859 0.03469 0.01617 0.02664	P60-1 Pressure(psia) 29,992.10 29,992.10 4,744.92 15,077.61 - 0.50 29,992.10 - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.47 29,992.47 5,213.81 11,184.54	D2-2_ Value 0.0116 2.504 0.02374 0.00994 0.01852 2.4951 2.5695 2.8944 5 D2-2_ Value 0.0185 3.083 0.03012 0.01493 0.02396	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 7,619.16 18,203.96 - 0.50 29,991.91 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.48 29,992.48 6,004.94 12,115.21	D2-2 Average 0.0093 1.807 0.03093 0.01097 0.021795 2.50475 2.56435 2.3216 4 D2-2 Average 0.01875 2.971 0.032405 0.01555 0.0253	P60 STDEV.S 0.00325 0.98571 0.01017 0.00146 0.00463 0.01365 0.00728 0.81006 1.41421 STDEV.S 0.00035 0.15839 0.00323 0.00088 0.00190
D2-2_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume D2-2_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g µm µm µm g/mL	D2-2_ Value 0.007 1.11 0.03812 0.012 0.02507 2.5144 2.5592 1.7488 3 D2-2_ Value 0.019 2.859 0.03469 0.01617 0.02664 2.445	P60-1 Pressure(psia) 29,992.10 29,992.10 4,744.92 15,077.61 - 0.50 29,992.10 - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.47 5,213.81 11,184.54 - 0.50	D2-2_ Value 0.0116 2.504 0.02374 0.00994 0.01852 2.4951 2.5695 2.8944 5 D2-2_ Value 0.0185 3.083 0.03012 0.01493 0.02396 2.4455	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 7,619.16 18,203.96 - 0.50 29,991.91 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.48 29,992.48 6,004.94 12,115.21 - 0.49	D2-2 Average 0.0093 1.807 0.03093 0.01097 0.021795 2.50475 2.56435 2.3216 4 D2-2 Average 0.01875 2.971 0.032405 0.01555 0.0253 2.44525	P60 STDEV.S 0.00325 0.98571 0.01017 0.00146 0.00463 0.01365 0.00728 0.81006 1.41421 P120 STDEV.S 0.00035 0.15839 0.00323 0.00088 0.00190 0.00035
D2-2_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume D2-2_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL g/mL ML/g m²/g µm µm µm g/mL g/mL	D2-2_ Value 0.007 1.11 0.03812 0.012 0.02507 2.5144 2.5592 1.7488 3 D2-2_ Value 0.019 2.859 0.03469 0.01617 0.02664 2.445 2.5645	P60-1 Pressure(psia) 29,992.10 29,992.10 4,744.92 15,077.61 - 0.50 29,992.10 - P120-1 Pressure(psia) 29,992.47 5,213.81 11,184.54 - 0.50 29,992.47	D2-2_ Value 0.0116 2.504 0.02374 0.00994 0.01852 2.4951 2.5695 2.8944 5 D2-2_ Value 0.0185 3.083 0.03012 0.01493 0.02396 2.4455 2.5612	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91 7,619.16 18,203.96 - 0.50 29,991.91 - P120-2 Pressure(psia) 29,992.48 6,004.94 12,115.21 - 0.49 29,992.48	D2-2 Average 0.0093 1.807 0.03093 0.01097 0.021795 2.50475 2.56435 2.3216 4 D2-2 Average 0.01875 2.971 0.032405 0.01555 0.0253 2.44525 2.56285	P60 STDEV.S 0.00325 0.98571 0.01017 0.00146 0.00463 0.01365 0.00728 0.81006 1.41421 P120 STDEV.S 0.00035 0.15839 0.000323 0.00038 0.00038 0.00035 0.00035 0.00035
D2-2_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume D2-2_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity:	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL g/mL	D2-2_ Value 0.007 1.11 0.03812 0.012 0.02507 2.5144 2.5592 1.7488 3 D2-2_ Value 0.019 2.859 0.03469 0.01617 0.02664 2.445 2.5645 4.6588	P60-1 Pressure(psia) 29,992.10 29,992.10 4,744.92 15,077.61 - 0.50 29,992.10 - P120-1 Pressure(psia) 29,992.47 5,213.81 11,184.54 - 0.50 29,992.47 -	D2-2_ Value 0.0116 2.504 0.02374 0.00994 0.01852 2.4951 2.5695 2.8944 5 D2-2_ Value 0.0185 3.083 0.03012 0.01493 0.02396 2.4455 2.5612 4.5158	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91 7,619.16 18,203.96 - 0.50 29,991.91 - P120-2 Pressure(psia) 29,992.48 6,004.94 12,115.21 - 0.49 29,992.48 -	D2-2 Average 0.0093 1.807 0.03093 0.01097 0.021795 2.50475 2.56435 2.3216 4 D2-2 Average 0.01875 2.971 0.032405 0.01555 0.0253 2.44525 2.56285 4.5873	P60 STDEV.S 0.00325 0.98571 0.01017 0.00146 0.00463 0.01365 0.00728 0.81006 1.41421 P120 STDEV.S 0.00035 0.15839 0.00323 0.00038 0.00190 0.00035 0.00233 0.00233 0.10112
D2-2_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume D2-2_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume	Unit mL/g μm μm g/mL g/mL % % Unit mL/g m ² /g μm μm g/mL g/mL g/mL %	D2-2_ Value 0.007 1.11 0.03812 0.012 0.02507 2.5144 2.5592 1.7488 3 3 D2-2_ Value 0.019 2.859 0.03469 0.01617 0.02664 2.445 2.5645 4.6588	P60-1 Pressure(psia) 29,992.10 29,992.10 4,744.92 15,077.61 - 0.50 29,992.10 - P120-1 Pressure(psia) 29,992.47 5,213.81 11,184.54 - 0.50 29,992.47 - 0.50 29,992.47 -	D2-2_ Value 0.0116 2.504 0.02374 0.00994 0.01852 2.4951 2.5695 2.8944 5 D2-2_ Value 0.0185 3.083 0.03012 0.01493 0.02396 2.4455 2.5612 4.5158	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91 7,619.16 18,203.96 - 0.50 29,991.91 - P120-2 Pressure(psia) 29,992.48 29,992.48 6,004.94 12,115.21 - 0.49 29,992.48 -	D2-2 Average 0.0093 1.807 0.03093 0.01097 0.021795 2.50475 2.56435 2.3216 4 D2-2 Average 0.01875 2.971 0.032405 0.01555 0.0253 2.44525 2.56285 4.5873 7 5	P60 STDEV.S 0.00325 0.98571 0.01017 0.00146 0.00463 0.01365 0.00728 0.81006 1.41421 STDEV.S 0.00035 0.15839 0.00323 0.00035 0.00035 0.00035 0.00035 0.00035 0.000233 0.10112 0.70711

## 表 1.9-5 D 2-2 のポロシメータ測定結果



図 1.9-4 D 2-2 の間隙径分布 (a)・(b) 未浸漬、 (c)・(d) 30 日浸漬、 (e)・(f) 60 日浸漬、 (g)・(h) 120 日浸漬

(5) E 2-3

E2-3_浸漬前		E2-3_	_Pb-1	E2-3_	_Pb-2	E2-3	B_Pb
Contents	Unit	Value	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Average	STDEV.S
Total intrusion volume	mL/g	0.0057	29,992.03	0.0037	29,992.35	0.0047	0.00141
Total pore area	m²/g	0.023	29,992.03	0.036	29,992.35	0.0295	0.00919
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	μm	9.42217	19.2	126.72928	1.43	68.075725	82.94865
Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	μm	0.12165	1,486.75	0.04145	4,363.77	0.08155	0.05671
Average pore diameter (4V/A)	μm	1.00136	-	0.40427	-	0.702815	0.4222064
Bulk density at 0.50 psia	g/mL	2.628	0.50	2.6362	0.50	2.6321	0.00580
Apparent (skeletal) density	g/mL	2.668	29,992.03	2.6621	29,992.35	2.66505	0.00417
Porosity:	%	1.4993	-	0.9702	-	1.23475	0.37413
Stem volume	%	2	-	1	-	1.5	0.7071068
E2-3_30日間浸漬		E2-3_	P30-1	E2-3_	P30-2	E2-3	_P30
Contents	Unit	Value	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Average	STDEV.S
Total intrusion volume	mL/g	0.009	29,990.94	0.0156	29,991.78	0.0123	0.00467
Total pore area	m²/g	1.139	29,990.94	1.498	29,991.78	1.3185	0.25385
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	μm	0.06229	2,903.67	0.16757	1,079.30	0.11493	0.07444
Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	μm	0.0116	15,585.85	0.01082	16,716.46	0.01121	0.00055
Average pore diameter (4V/A)	μm	0.03158	-	0.04165	-	0.036615	0.00712
Bulk density at 0.50 psia	g/mL	2.513	0.50	2.4574	0.50	2.4852	0.03932
Apparent (skeletal) density	g/mL	2.5711	29,990.94	2.5554	29,991.78	2.56325	0.01110
Porosity:	%	2.2593	-	3.8343	-	3.0468	1.11369
Stem volume	%	4	-	6	-	5	1.41421
E2-3_60日間浸漬		E2-3_	P60-1	E2-3_	P60-2	E2-3	_P60
E2-3_60日間浸漬 Contents	Unit	E2-3_ Value	P60-1 Pressure(psia)	E2-3_ Value	P60-2 Pressure(psia)	E2-3 Average	_P60 STDEV.S
E2-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume	Unit mL/g	E2-3_ Value 0.0135	P60-1 Pressure(psia) 29,992.22	E2-3_ Value 0.0125	P60-2 Pressure(psia) 29,991.83	E2-3 Average 0.013	_P60 STDEV.S 0.00071
E2-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area	Unit mL/g m²/g	E2-3_ Value 0.0135 1.563	P60-1 Pressure(psia) 29,992.22 29,992.22	E2-3_ Value 0.0125 1.324	P60-2 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83	E2-3 Average 0.013 1.4435	_P60 STDEV.S 0.00071 0.16900
E2-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	Unit mL/g m²/g µm	E2-3_ Value 0.0135 1.563 0.0621	P60-1 Pressure(psia) 29,992.22 29,992.22 2,912.54	E2-3_ Value 0.0125 1.324 0.05599	P60-2 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 3,230.31	E2-3 Average 0.013 1.4435 0.059045	_P60 STDEV.S 0.00071 0.16900 0.00432
E2-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	Unit mL/g m²/g µm µm	E2-3_ Value 0.0135 1.563 0.0621 0.01228	P60-1 Pressure(psia) 29,992.22 29,992.22 2,912.54 14,729.19	E2-3_ Value 0.0125 1.324 0.05599 0.01878	P60-2 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 3,230.31 9,632.73	E2-3 Average 0.013 1.4435 0.059045 0.01553	_P60 STDEV.S 0.00071 0.16900 0.00432 0.00460
E2-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A)	Unit mL/g m²/g μm μm	E2-3_ Value 0.0135 1.563 0.0621 0.01228 0.03456	P60-1 Pressure(psia) 29,992.22 29,992.22 2,912.54 14,729.19 -	E2-3_ Value 0.0125 1.324 0.05599 0.01878 0.03769	P60-2 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 3,230.31 9,632.73 -	E2-3 Average 0.013 1.4435 0.059045 0.01553 0.036125	_P60 STDEV.S 0.00071 0.16900 0.00432 0.00460 0.00221
E2-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia	Unit mL/g m²/g µm µm µm g/mL	E2-3_ Value 0.0135 1.563 0.0621 0.01228 0.03456 2.461	P60-1 Pressure(psia) 29,992.22 29,992.22 2,912.54 14,729.19 - 0.50	E2-3_ Value 0.0125 1.324 0.05599 0.01878 0.03769 2.461	P60-2 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 3,230.31 9,632.73 - 0.50	E2-3 Average 0.013 1.4435 0.059045 0.01553 0.036125 2.461	_P60 STDEV.S 0.00071 0.16900 0.00432 0.00460 0.00221 0.00000
E2-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL	E2-3_ Value 0.0135 1.563 0.0621 0.01228 0.03456 2.461 2.5456	P60-1 Pressure(psia) 29,992.22 2,912.54 14,729.19 - 0.50 29,992.22	E2-3_ Value 0.0125 1.324 0.05599 0.01878 0.03769 2.461 2.5389	P60-2 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 3,230.31 9,632.73 - 0.50 29,991.83	E2-3 Average 0.013 1.4435 0.059045 0.01553 0.036125 2.461 2.54225	_P60 STDEV.S 0.00071 0.16900 0.00432 0.00460 0.00221 0.00000 0.00474
E2-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity:	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL g/mL	E2-3_ Value 0.0135 1.563 0.0621 0.01228 0.03456 2.461 2.5456 3.326	P60-1 Pressure(psia) 29,992.22 2,912.54 14,729.19 - 0.50 29,992.22 -	E2-3_ Value 0.0125 1.324 0.05599 0.01878 0.03769 2.461 2.5389 3.0708	P60-2 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 3,230.31 9,632.73 - 0.50 29,991.83 -	E2-3 Average 0.013 1.4435 0.059045 0.01553 0.036125 2.461 2.54225 3.1984	P60 STDEV.S 0.00071 0.16900 0.00432 0.00460 0.00221 0.00000 0.00474 0.18045
E2-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL % %	E2-3_ Value 0.0135 1.563 0.0621 0.01228 0.03456 2.461 2.5456 3.326 6	P60-1 Pressure(psia) 29,992.22 2,912.54 14,729.19 - 0.50 29,992.22 - -	E2-3_ Value 0.0125 1.324 0.05599 0.01878 0.03769 2.461 2.5389 3.0708 5	P60-2 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 3,230.31 9,632.73 - 0.50 29,991.83 - - -	E2-3 Average 0.013 1.4435 0.059045 0.01553 0.036125 2.461 2.54225 3.1984 5.5	_P60 STDEV.S 0.00071 0.16900 0.00432 0.00460 0.00221 0.00000 0.00474 0.18045 0.70711
E2-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume	Unit mL/g m²/g μm μm g/mL g/mL %	E2-3_ Value 0.0135 1.563 0.0621 0.01228 0.03456 2.461 2.5456 3.326 6	P60-1 Pressure(psia) 29,992.22 2,912.54 14,729.19 - 0.50 29,992.22 - -	E2-3_ Value 0.0125 1.324 0.05599 0.01878 0.03769 2.461 2.5389 3.0708 5	P60-2 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 3,230.31 9,632.73 - 0.50 29,991.83 - - -	E2-3 Average 0.013 1.4435 0.059045 0.01553 0.036125 2.461 2.54225 3.1984 5.5	_P60 STDEV.S 0.00071 0.16900 0.00432 0.00460 0.00221 0.00000 0.00474 0.18045 0.70711
E2-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume E2-3_120日間浸漬	Unit mL/g m²/g μm μm g/mL g/mL %	E2-3_ Value 0.0135 1.563 0.0621 0.01228 0.03456 2.461 2.5456 3.326 6 E2-3_1	P60-1 Pressure(psia) 29,992.22 2,912.54 14,729.19 - 0.50 29,992.22 - - - P120-1	E2-3_ Value 0.0125 1.324 0.05599 0.01878 0.03769 2.461 2.5389 3.0708 5 E2-3_1	P60-2 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 3,230.31 9,632.73 - 0.50 29,991.83 - - - P120-2	E2-3 Average 0.013 1.4435 0.059045 0.01553 0.036125 2.461 2.54225 3.1984 5.5 E2-3_	P60 STDEV.S 0.00071 0.16900 0.00432 0.00460 0.00221 0.00000 0.00474 0.18045 0.70711
E2-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume E2-3_120日間浸漬 Contents	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL % % Unit	E2-3_ Value 0.0135 1.563 0.0621 0.01228 0.03456 2.461 2.5456 3.326 6 E2-3_l Value	P60-1 Pressure(psia) 29,992.22 2,912.54 14,729.19 - 0.50 29,992.22 - - - 2120-1 Pressure(psia)	E2-3_ Value 0.0125 1.324 0.05599 0.01878 0.03769 2.461 2.5389 3.0708 5 E2-3_1 Value	P60-2 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 3,230.31 9,632.73 - 0.50 29,991.83 - - P120-2 Pressure(psia)	E2-3 Average 0.013 1.4435 0.059045 0.01553 0.036125 2.461 2.54225 3.1984 5.5 E2-3_ Average	P60 STDEV.S 0.00071 0.16900 0.00432 0.00460 0.00221 0.00000 0.00474 0.18045 0.70711 P120 STDEV.S
E2-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume E2-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g	E2-3_ Value 0.0135 1.563 0.0621 0.01228 0.03456 2.461 2.5456 3.326 6 E2-3_1 Value 0.0117	P60-1 Pressure(psia) 29,992.22 2,912.54 14,729.19 - 0.50 29,992.22 - - - P120-1 Pressure(psia) 29,991.83	E2-3_ Value 0.0125 1.324 0.05599 0.01878 0.03769 2.461 2.5389 3.0708 5 E2-3_1 Value 0.0152	P60-2 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 3,230.31 9,632.73 - 0.50 29,991.83 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.29	E2-3 Average 0.013 1.4435 0.059045 0.01553 0.036125 2.461 2.54225 3.1984 5.5 E2-3_ Average 0.01345	P60 STDEV.S 0.00071 0.16900 0.00432 0.00460 0.00221 0.00000 0.00474 0.18045 0.70711 P120 STDEV.S 0.00247
E2-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume E2-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area	Unit mL/g m²/g μm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g	E2-3_ Value 0.0135 1.563 0.0621 0.01228 0.03456 2.461 2.5456 3.326 6 E2-3_1 Value 0.0117 1.628	P60-1 Pressure(psia) 29,992.22 2,912.54 14,729.19 - 0.50 29,992.22 - - - P120-1 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83	E2-3_ Value 0.0125 1.324 0.05599 0.01878 0.03769 2.461 2.5389 3.0708 5 E2-3_1 Value 0.0152 1.646	P60-2 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 3,230.31 9,632.73 - 0.50 29,991.83 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.29 29,992.29	E2-3 Average 0.013 1.4435 0.059045 0.01553 0.036125 2.461 2.54225 3.1984 5.5 E2-3 Average 0.01345 1.637	P60 STDEV.S 0.00071 0.16900 0.00432 0.00460 0.00221 0.00000 0.00474 0.18045 0.70711 P120 STDEV.S 0.00247 0.01273
E2-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume E2-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g µm	E2-3_ Value 0.0135 1.563 0.0621 0.01228 0.03456 2.461 2.5456 3.326 6 E2-3_1 Value 0.0117 1.628 0.03924	P60-1 Pressure(psia) 29,992.22 2,912.54 14,729.19 - 0.50 29,992.22 - - P120-1 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 4,609.74	E2-3_ Value 0.0125 1.324 0.05599 0.01878 0.03769 2.461 2.5389 3.0708 5 E2-3_1 Value 0.0152 1.646 0.06314	P60-2 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 3,230.31 9,632.73 - 0.50 29,991.83 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.29 29,992.29 2,864.52	E2-3 Average 0.013 1.4435 0.059045 0.01553 0.036125 2.461 2.54225 3.1984 5.5 E2-3_ Average 0.01345 1.637 0.05119	P60 STDEV.S 0.00071 0.16900 0.00432 0.00460 0.00221 0.000071 0.000074 0.18045 0.70711 P120 STDEV.S 0.00247 0.01273 0.01690
E2-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume E2-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g µm µm	E2-3_ Value 0.0135 1.563 0.0621 0.01228 0.03456 2.461 2.5456 3.326 6 E2-3_1 Value 0.0117 1.628 0.03924 0.01863	P60-1 Pressure(psia) 29,992.22 2,912.54 14,729.19 - 0.50 29,992.22 - - P120-1 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 4,609.74 9,707.49	E2-3_ Value 0.0125 1.324 0.05599 0.01878 0.03769 2.461 2.5389 3.0708 5 E2-3_1 Value 0.0152 1.646 0.06314 0.01718	P60-2 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 3,230.31 9,632.73 - 0.50 29,991.83 - P120-2 Pressure(psia) 29,992.29 29,992.29 2,864.52 10,528.84	E2-3 Average 0.013 1.4435 0.059045 0.01553 0.036125 2.461 2.54225 3.1984 5.5 E2-3 Average 0.01345 1.637 0.05119 0.017905	P60 STDEV.S 0.00071 0.16900 0.00432 0.00460 0.00221 0.00000 0.00474 0.18045 0.70711 P120 STDEV.S 0.00247 0.01273 0.01690 0.00103
E2-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume E2-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A)	Unit mL/g μm μm g/mL g/mL g/mL % % % % Unit mL/g m²/g μm μm	E2-3_ Value 0.0135 1.563 0.0621 0.01228 0.03456 2.461 2.5456 3.326 6 E2-3_1 Value 0.0117 1.628 0.03924 0.01863 0.02864	P60-1 Pressure(psia) 29,992.22 2,912.54 14,729.19 - 0.50 29,992.22 - - P120-1 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 29,991.83 4,609.74 9,707.49 -	E2-3_ Value 0.0125 1.324 0.05599 0.01878 0.03769 2.461 2.5389 3.0708 5 E2-3_1 Value 0.0152 1.646 0.06314 0.01718 0.0369	P60-2 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 3,230.31 9,632.73 - 0.50 29,991.83 - P120-2 Pressure(psia) 29,992.29 29,992.29 2,864.52 10,528.84 -	E2-3 Average 0.013 1.4435 0.059045 0.01553 0.036125 2.461 2.54225 3.1984 5.5 E2-3_ Average 0.01345 1.637 0.05119 0.017905 0.03277	P60 STDEV.S 0.00071 0.16900 0.00432 0.00460 0.00221 0.00000 0.00474 0.18045 0.70711 P120 STDEV.S 0.00247 0.01273 0.01690 0.00103 0.00584
E2-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume E2-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia	Unit mL/g m²/g μm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g μm μm μm g/mL	E2-3_ Value 0.0135 1.563 0.0621 0.01228 0.03456 2.461 2.5456 3.326 6 E2-3_1 Value 0.0117 1.628 0.03924 0.01863 0.02864 2.4605	P60-1 Pressure(psia) 29,992.22 2,912.54 14,729.19 - 0.50 29,992.22 - - P120-1 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 29,991.83 4,609.74 9,707.49 - 0.50	E2-3_ Value 0.0125 1.324 0.05599 0.01878 0.03769 2.461 2.5389 3.0708 5 E2-3_1 Value 0.0152 1.646 0.06314 0.01718 0.0369 2.4404	P60-2 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 3,230.31 9,632.73 - 0.50 29,991.83 - P120-2 Pressure(psia) 29,992.29 29,992.29 2,864.52 10,528.84 - 0.50	E2-3 Average 0.013 1.4435 0.059045 0.01553 0.036125 2.461 2.54225 3.1984 5.5 E2-3 Average 0.01345 1.637 0.05119 0.017905 0.03277 2.45045	P60 STDEV.S 0.00071 0.16900 0.00432 0.00460 0.00221 0.00000 0.00474 0.18045 0.70711 P120 STDEV.S 0.00247 0.01273 0.00247 0.01273 0.01690 0.00103 0.00584 0.01421
E2-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume E2-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density	Unit mL/g m²/g μm g/mL g/mL g/mL % 0% Unit mL/g m²/g μm μm μm g/mL g/mL	E2-3_ Value 0.0135 1.563 0.0621 0.01228 0.03456 2.461 2.5456 3.326 6 E2-3_1 Value 0.0117 1.628 0.03924 0.01863 0.02864 2.4605 2.5332	P60-1 Pressure(psia) 29,992.22 2,912.54 14,729.19 - 0.50 29,992.22 - - - P120-1 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 4,609.74 9,707.49 - 0.50 29,991.83	E2-3_ Value 0.0125 1.324 0.05599 0.01878 0.03769 2.461 2.5389 3.0708 5 E2-3_1 Value 0.0152 1.646 0.06314 0.01718 0.0369 2.4404 2.5343	P60-2 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 3,230.31 9,632.73 - 0.50 29,991.83 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.29 29,992.29 2,864.52 10,528.84 - 0.50 29,992.29	E2-3 Average 0.013 1.4435 0.059045 0.01553 0.036125 2.461 2.54225 3.1984 5.5 E2-3_ Average 0.01345 1.637 0.05119 0.017905 0.03277 2.45045 2.53375	P60 STDEV.S 0.00071 0.16900 0.00432 0.00460 0.00221 0.00000 0.00474 0.18045 0.70711 P120 STDEV.S 0.00247 0.01273 0.01690 0.00103 0.00584 0.01421 0.00078
E2-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume E2-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity:	Unit mL/g m²/g μm g/mL g/mL g/mL % Unit mL/g m²/g μm μm g/mL g/mL g/mL	E2-3_ Value 0.0135 1.563 0.0621 0.01228 0.03456 2.461 2.5456 3.326 6 E2-3_1 Value 0.0117 1.628 0.03924 0.01863 0.02864 2.4605 2.5332 2.8684	P60-1 Pressure(psia) 29,992.22 2,912.54 14,729.19 - 0.50 29,992.22 - - - P120-1 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 4,609.74 9,707.49 - 0.50 29,991.83 -	E2-3_ Value 0.0125 1.324 0.05599 0.01878 0.03769 2.461 2.5389 3.0708 5 E2-3_1 Value 0.0152 1.646 0.06314 0.01718 0.0369 2.4404 2.5343 3.7055	P60-2 Pressure(psia) 29,991.83 29,991.83 3,230.31 9,632.73 - 0.50 29,991.83 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.29 29,992.29 2,864.52 10,528.84 - 0.50 29,992.29 -	E2-3 Average 0.013 1.4435 0.059045 0.01553 0.036125 2.461 2.54225 3.1984 5.5 E2-3_ Average 0.01345 1.637 0.05119 0.017905 0.03277 2.45045 2.53375 3.28695	P60 STDEV.S 0.00071 0.16900 0.00432 0.00460 0.00221 0.00000 0.00474 0.18045 0.70711 P120 STDEV.S 0.00247 0.01273 0.01690 0.00103 0.00584 0.01421 0.00078 0.59192

### 表 1.9-6 E 2-3 のポロシメータ測定結果

【付録12】



図 1.9-5 E 2-3の間隙径分布 (a)・(b) 未浸漬、 (c)・(d) 30 日浸漬、 (e)・(f) 60 日浸漬、 (g)・(h) 120 日浸漬

F2-6_浸漬前		F2-6_Pb-1		F2-6_Pb-2		F2-6_Pb	
Contents	Unit	Value	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Average	STDEV.S
Total intrusion volume	mL/g	0.0061	29,991.92	0.0062	29,992.11	0.00615	0.00007
Total pore area	m²/g	0.404	29,991.92	0.448	29,992.11	0.426	0.03111
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	μm	0.0548	3,300.67	0.05938	3,045.85	0.05709	0.00324
Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	μm	0.03353	5,393.57	0.04381	4,128.04	0.03867	0.00727
Average pore diameter (4V/A)	μm	0.06036	-	0.05532	-	0.05784	0.0035638
Bulk density at 0.50 psia	g/mL	2.6108	0.50	2.6071	0.50	2.60895	0.00262
Apparent (skeletal) density	g/mL	2.653	29,991.92	2.65	29,992.11	2.6515	0.00212
Porosity:	%	1.5934	-	1.6186	-	1.606	0.01782
Stem volume	%	2	-	3	-	2.5	0.7071068
F2-6_30日間浸漬		F2-6_	P30-1	F2-6_	P30-2	F2-6	_P30
Contents	Unit	Value	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Average	STDEV.S
Total intrusion volume	mL/g	0.0128	29,991.30	0.0117	29,991.61	0.01225	0.00078
Total pore area	m²/g	1.432	29,991.30	1.47	29,991.61	1.451	0.02687
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	μm	0.0469	3,856.35	0.03811	4,745.82	0.042505	0.00622
Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	μm	0.02862	6,319.97	0.02497	7,243.71	0.026795	0.00258
Average pore diameter (4V/A)	μm	0.03581	-	0.03171	-	0.03376	0.00290
Bulk density at 0.50 psia	g/mL	2.4856	0.50	2.4985	0.50	2.49205	0.00912
Apparent (skeletal) density	g/mL	2.5674	29,991.30	2.5735	29,991.61	2.57045	0.00431
Porosity:	%	3.1871	-	2.9141	-	3.0506	0.19304
Stem volume	%	7	-	6	-	6.5	0.70711
				=			
F2-6_60日間浸漬		F2-6_	P60-1	F2-6_	P60-2	F2-6	_P60
F2-6_60日間浸漬 Contents	Unit	F2-6_ Value	P60-1 Pressure(psia)	F2-6_ Value	P60-2 Pressure(psia)	F2-6 Average	_P60 STDEV.S
F2-6_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume	Unit mL/g	F2-6_ Value 0.0141	P60-1 Pressure(psia) 29,992.31	F2-6_ Value 0.0134	P60-2 Pressure(psia) 29,993.12	F2-6 Average 0.01375	_P60 STDEV.S 0.00049
F2-6_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area	Unit mL/g m²/g	F2-6_ Value 0.0141 2.063	P60-1 Pressure(psia) 29,992.31 29,992.31	F2-6_ Value 0.0134 1.815	P60-2 Pressure(psia) 29,993.12 29,993.12	F2-6 Average 0.01375 1.939	_P60 STDEV.S 0.00049 0.17536
F2-6_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	Unit mL/g m²/g µm	F2-6_ Value 0.0141 2.063 0.03572	P60-1 Pressure(psia) 29,992.31 29,992.31 5,062.99	F2-6_ Value 0.0134 1.815 0.03957	P60-2 Pressure(psia) 29,993.12 29,993.12 4,570.94	F2-6 Average 0.01375 1.939 0.037645	_P60 STDEV.S 0.00049 0.17536 0.00272
F2-6_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	Unit mL/g m²/g μm μm	F2-6_ Value 0.0141 2.063 0.03572 0.01891	P60-1 Pressure(psia) 29,992.31 29,992.31 5,062.99 9,563.08	F2-6_ Value 0.0134 1.815 0.03957 0.01694	P60-2 Pressure(psia) 29,993.12 29,993.12 4,570.94 10,674.23	F2-6 Average 0.01375 1.939 0.037645 0.017925	_P60 STDEV.S 0.00049 0.17536 0.00272 0.00139
F2-6_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A)	Unit mL/g m²/g µm µm	F2-6_ Value 0.0141 2.063 0.03572 0.01891 0.02732	P60-1 Pressure(psia) 29,992.31 29,992.31 5,062.99 9,563.08	F2-6_ Value 0.0134 1.815 0.03957 0.01694 0.02951	P60-2 Pressure(psia) 29,993.12 29,993.12 4,570.94 10,674.23	F2-6 Average 0.01375 1.939 0.037645 0.017925 0.028415	_P60 STDEV.S 0.00049 0.17536 0.00272 0.00139 0.00155
F2-6_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL	F2-6_ Value 0.0141 2.063 0.03572 0.01891 0.02732 2.4807	P60-1 Pressure(psia) 29,992.31 5,062.99 9,563.08 - 0.50	F2-6_ Value 0.0134 1.815 0.03957 0.01694 0.02951 2.4792	P60-2 Pressure(psia) 29,993.12 29,993.12 4,570.94 10,674.23 - 0.50	F2-6 Average 0.01375 1.939 0.037645 0.017925 0.028415 2.47995	_P60 STDEV.S 0.00049 0.17536 0.00272 0.00139 0.00155 0.00106
F2-6_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL	F2-6_ Value 0.0141 2.063 0.03572 0.01891 0.02732 2.4807 2.5707	P60-1 Pressure(psia) 29,992.31 5,062.99 9,563.08 - 0.50 29,992.31	F2-6_ Value 0.0134 1.815 0.03957 0.01694 0.02951 2.4792 2.5644	P60-2 Pressure(psia) 29,993.12 29,993.12 4,570.94 10,674.23 - 0.50 29,993.12	F2-6 Average 0.01375 1.939 0.037645 0.017925 0.028415 2.47995 2.56755	_P60 STDEV.S 0.00049 0.17536 0.00272 0.00139 0.00155 0.00106 0.00445
F2-6_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Ctem volume	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL %	F2-6_ Value 0.0141 2.063 0.03572 0.01891 0.02732 2.4807 2.5707 3.498	P60-1 Pressure(psia) 29,992.31 5,062.99 9,563.08 - 0.50 29,992.31 -	F2-6_ Value 0.0134 1.815 0.03957 0.01694 0.02951 2.4792 2.5644 3.3207	P60-2 Pressure(psia) 29,993.12 29,993.12 4,570.94 10,674.23 - 0.50 29,993.12 -	F2-6 Average 0.01375 1.939 0.037645 0.017925 0.028415 2.47995 2.56755 3.40935	_P60 STDEV.S 0.00049 0.17536 0.00272 0.00139 0.00155 0.00106 0.00445 0.12537 0.70711
F2-6_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL %	F2-6_ Value 0.0141 2.063 0.03572 0.01891 0.02732 2.4807 2.5707 3.498 7	P60-1 Pressure(psia) 29,992.31 5,062.99 9,563.08 - 0.50 29,992.31 - -	F2-6_ Value 0.0134 1.815 0.03957 0.01694 0.02951 2.4792 2.5644 3.3207 6	P60-2 Pressure(psia) 29,993.12 29,993.12 4,570.94 10,674.23 - 0.50 29,993.12 - -	F2-6 Average 0.01375 1.939 0.037645 0.017925 0.028415 2.47995 2.56755 3.40935 6.5	_P60 STDEV.S 0.00049 0.17536 0.00272 0.00139 0.00155 0.00106 0.00445 0.12537 0.70711
F2-6_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume F2-6 120日間浸渍	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL %	F2-6_ Value 0.0141 2.063 0.03572 0.01891 0.02732 2.4807 2.5707 3.498 7	P60-1 Pressure(psia) 29,992.31 5,062.99 9,563.08 - 0.50 29,992.31 - -	F2-6_ Value 0.0134 1.815 0.03957 0.01694 0.02951 2.4792 2.5644 3.3207 6 F2-6 B	P60-2 Pressure(psia) 29,993.12 29,993.12 4,570.94 10,674.23 - 0.50 29,993.12 - -	F2-6 Average 0.01375 1.939 0.037645 0.017925 0.028415 2.47995 2.56755 3.40935 6.5	_P60 STDEV.S 0.00049 0.17536 0.00272 0.00139 0.00155 0.00106 0.00445 0.12537 0.70711 P120
F2-6_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume F2-6_120日間浸漬 Contents	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL % %	F2-6_ Value 0.0141 2.063 0.03572 0.01891 0.02732 2.4807 2.5707 3.498 7 F2-6_I Value	P60-1 Pressure(psia) 29,992.31 5,062.99 9,563.08 - 0.50 29,992.31 - - - - - - - - - - - - -	F2-6_ Value 0.0134 1.815 0.03957 0.01694 0.02951 2.4792 2.5644 3.3207 6 F2-6_F	P60-2 Pressure(psia) 29,993.12 29,993.12 4,570.94 10,674.23 - 0.50 29,993.12 - - - P120-2 Pressure(psia)	F2-6 Average 0.01375 1.939 0.037645 0.017925 0.028415 2.47995 2.56755 3.40935 6.5 F2-6 Average	_P60 STDEV.S 0.00049 0.17536 0.00272 0.00139 0.00155 0.00106 0.00445 0.12537 0.70711 P120 STDEV.S
F2-6_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume F2-6_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL g/mL % % Unit	F2-6_ Value 0.0141 2.063 0.03572 0.01891 0.02732 2.4807 2.5707 3.498 7 F2-6_1 Value 0.0183	P60-1 Pressure(psia) 29,992.31 5,062.99 9,563.08 - 0.50 29,992.31 - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.15	F2-6_ Value 0.0134 1.815 0.03957 0.01694 0.02951 2.4792 2.5644 3.3207 6 F2-6_F Value 0.0171	P60-2 Pressure(psia) 29,993.12 29,993.12 4,570.94 10,674.23 - 0.50 29,993.12 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.34	F2-6 Average 0.01375 1.939 0.037645 0.017925 0.028415 2.47995 2.56755 3.40935 6.5 F2-6 Average 0.0177	P60 STDEV.S 0.00049 0.17536 0.00272 0.00139 0.00155 0.00106 0.00445 0.12537 0.70711 P120 STDEV.S 0.00085
F2-6_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume F2-6_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area	Unit mL/g μm μm g/mL g/mL % % % Unit mL/g m ² /g	F2-6_ Value 0.0141 2.063 0.03572 0.01891 0.02732 2.4807 2.5707 3.498 7 F2-6_I Value 0.0183 2.784	P60-1 Pressure(psia) 29,992.31 5,062.99 9,563.08 - 0.50 29,992.31 - - 29,992.31 - - 29,992.31 - - 29,992.31 - - 29,992.31 - - - - - - - - - - - - -	F2-6_ Value 0.0134 1.815 0.03957 0.01694 0.02951 2.4792 2.5644 3.3207 6 F2-6_F Value 0.0171 2.486	P60-2 Pressure(psia) 29,993.12 29,993.12 4,570.94 10,674.23 - 0.50 29,993.12 - - 29,993.12 - - 29,993.12 - 29,993.12 - - 29,993.12 - - - - - - - - - - - - -	F2-6 Average 0.01375 1.939 0.037645 0.017925 0.028415 2.47995 2.56755 3.40935 6.5 F2-6 Average 0.0177 2.635	P60 STDEV.S 0.00049 0.17536 0.00272 0.00139 0.00155 0.00106 0.00445 0.12537 0.70711 P120 STDEV.S 0.00085 0.21072
F2-6_60日間浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)         Bulk density at 0.50 psia         Apparent (skeletal) density         Porosity:         Stem volume         F2-6_120日間浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL	Unit mL/g m²/g μm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g um	F2-6_ Value 0.0141 2.063 0.03572 0.01891 0.02732 2.4807 2.5707 3.498 7 F2-6_1 Value 0.0183 2.784 0.03536	P60-1 Pressure(psia) 29,992.31 29,992.31 5,062.99 9,563.08 - 0.50 29,992.31 - P120-1 Pressure(psia) 29,992.15 29,992.15 5,114.20	F2-6_ Value 0.0134 1.815 0.03957 0.01694 0.02951 2.4792 2.5644 3.3207 6 F2-6_F Value 0.0171 2.486 0.03212	P60-2 Pressure(psia) 29,993.12 29,993.12 4,570.94 10,674.23 - 0.50 29,993.12 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.34 29,992.34 5,630.16	F2-6 Average 0.01375 1.939 0.037645 0.017925 0.028415 2.47995 2.56755 3.40935 6.5 F2-6 Average 0.0177 2.635 0.03374	_P60 STDEV.S 0.00049 0.17536 0.00272 0.00139 0.00155 0.00106 0.00445 0.12537 0.70711 -P120 STDEV.S 0.00085 0.21072 0.00229
F2-6_60日間浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)         Bulk density at 0.50 psia         Apparent (skeletal) density         Porosity:         Stem volume         F2-6_120日間浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	Unit mL/g m²/g μm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g μm	F2-6_ Value 0.0141 2.063 0.03572 0.01891 0.02732 2.4807 2.5707 3.498 7 F2-6_I Value 0.0183 2.784 0.03536 0.01871	P60-1 Pressure(psia) 29,992.31 5,062.99 9,563.08 - 0.50 29,992.31 - - 29,992.31 - - 29,992.31 - Pressure(psia) 29,992.15 5,114.20 9,668.41	F2-6_ Value 0.0134 1.815 0.03957 0.01694 0.02951 2.4792 2.5644 3.3207 6 F2-6_F Value 0.0171 2.486 0.03212 0.01969	P60-2 Pressure(psia) 29,993.12 29,993.12 4,570.94 10,674.23 - 0.50 29,993.12 - - 29,993.12 - Pressure(psia) 29,992.34 29,992.34 5,630.16 9,183,78	F2-6 Average 0.01375 1.939 0.037645 0.017925 0.028415 2.47995 2.56755 3.40935 6.5 F2-6 Average 0.0177 2.635 0.03374 0.0192	_P60 STDEV.S 0.00049 0.17536 0.00272 0.00139 0.00155 0.00106 0.00445 0.12537 0.70711 P120 STDEV.S 0.00085 0.21072 0.000229 0.00069
F2-6_60日間浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)         Bulk density at 0.50 psia         Apparent (skeletal) density         Porosity:         Stem volume         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g µm µm µm	F2-6_ Value 0.0141 2.063 0.03572 0.01891 0.02732 2.4807 2.5707 3.498 7 F2-6_f Value 0.0183 2.784 0.03536 0.01871 0.02631	P60-1 Pressure(psia) 29,992.31 5,062.99 9,563.08 - 0.50 29,992.31 - - - - - - - - - - - - -	F2-6_ Value 0.0134 1.815 0.03957 0.01694 0.02951 2.4792 2.5644 3.3207 6 F2-6_F Value 0.0171 2.486 0.03212 0.01969 0.02745	P60-2 Pressure(psia) 29,993.12 29,993.12 4,570.94 10,674.23 - 0.50 29,993.12 - - 2120-2 Pressure(psia) 29,992.34 29,992.34 5,630.16 9,183.78	F2-6 Average 0.01375 1.939 0.037645 0.017925 0.028415 2.47995 2.56755 3.40935 6.5 F2-6 Average 0.0177 2.635 0.03374 0.0192 0.02688	P60 STDEV.S 0.00049 0.17536 0.00272 0.00139 0.00155 0.00106 0.00445 0.12537 0.70711 P120 STDEV.S 0.00085 0.21072 0.00029 0.00069 0.00081
F2-6_60日間浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)         Bulk density at 0.50 psia         Apparent (skeletal) density         Porosity:         Stem volume         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (4V/A)         Bulk density at 0.50 psia	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL % % % Unit mL/g m²/g µm µm µm	F2-6_ Value 0.0141 2.063 0.03572 0.01891 0.02732 2.4807 2.5707 3.498 7 F2-6_1 Value 0.0183 2.784 0.03536 0.01871 0.02631 2.4573	P60-1 Pressure(psia) 29,992.31 5,062.99 9,563.08 - 0.50 29,992.31 - - Pressure(psia) 29,992.15 29,992.15 5,114.20 9,668.41 - 0.50	F2-6_ Value 0.0134 1.815 0.03957 0.01694 0.02951 2.4792 2.5644 3.3207 6 F2-6_F Value 0.0171 2.486 0.03212 0.01969 0.02745 2.4613	P60-2 Pressure(psia) 29,993.12 29,993.12 4,570.94 10,674.23 - 0.50 29,993.12 - Pressure(psia) 29,992.34 29,992.34 5,630.16 9,183.78 - 0.50	F2-6 Average 0.01375 1.939 0.037645 0.017925 0.028415 2.47995 2.56755 3.40935 6.5 7 F2-6 Average 0.0177 2.635 0.03374 0.0192 0.02688 2.4593	P60 STDEV.S 0.00049 0.17536 0.00272 0.00139 0.00155 0.00166 0.00445 0.12537 0.70711 P120 STDEV.S 0.00085 0.21072 0.00229 0.00069 0.00081 0.00283
F2-6_60日間浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)         Bulk density at 0.50 psia         Apparent (skeletal) density         Porosity:         Stem volume         F2-6_120日間浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (volume) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)         Bulk density at 0.50 psia         Apparent (skeletal) density	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g µm µm µm g/mL g/mL	F2-6_ Value 0.0141 2.063 0.03572 0.01891 0.02732 2.4807 2.5707 3.498 7 F2-6_f Value 0.0183 2.784 0.03536 0.01871 0.02631 2.4573 2.5731	P60-1 Pressure(psia) 29,992.31 5,062.99 9,563.08 - 0.50 29,992.31 - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.15 5,114.20 9,668.41 - 0.50 29,992.15	F2-6_ Value 0.0134 1.815 0.03957 0.01694 0.02951 2.4792 2.5644 3.3207 6 F2-6_f Value 0.0171 2.486 0.03212 0.01969 0.02745 2.4613 2.5692	P60-2 Pressure(psia) 29,993.12 29,993.12 4,570.94 10,674.23 - 0.50 29,993.12 - P120-2 Pressure(psia) 29,992.34 29,992.34 5,630.16 9,183.78 - 0.50 29,992.34	F2-6 Average 0.01375 1.939 0.037645 0.017925 0.028415 2.47995 2.56755 3.40935 6.5 F2-6 Average 0.0177 2.635 0.03374 0.0192 0.02688 2.4593 2.57115	P60 STDEV.S 0.00049 0.17536 0.00272 0.00139 0.00155 0.00106 0.00445 0.12537 0.70711 P120 STDEV.S 0.00085 0.21072 0.00085 0.21072 0.00029 0.00069 0.00081 0.00283 0.00276
F2-6_60日間浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)         Bulk density at 0.50 psia         Apparent (skeletal) density         Porosity:         Stem volume         F2-6_120日間浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)         Bulk density at 0.50 psia         Apparent (skeletal) density         Porosity:	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g µm µm µm g/mL g/mL	F2-6_ Value 0.0141 2.063 0.03572 0.01891 0.02732 2.4807 2.5707 3.498 7 F2-6_1 Value 0.0183 2.784 0.03536 0.01871 0.02631 2.4573 2.5731 4.5004	P60-1 Pressure(psia) 29,992.31 5,062.99 9,563.08 - 0.50 29,992.31 - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.15 5,114.20 9,668.41 - 0.50 29,992.15 -	F2-6_ Value 0.0134 1.815 0.03957 0.01694 0.02951 2.4792 2.5644 3.3207 6 F2-6_F Value 0.0171 2.486 0.03212 0.01969 0.02745 2.4613 2.5692 4.1988	P60-2 Pressure(psia) 29,993.12 29,993.12 4,570.94 10,674.23 - 0.50 29,993.12 - Pressure(psia) 29,992.34 5,630.16 9,183.78 - 0.50 29,992.34 -	F2-6 Average 0.01375 1.939 0.037645 0.017925 0.028415 2.47995 2.56755 3.40935 6.5 F2-6 Average 0.0177 2.635 0.03374 0.0192 0.02688 2.4593 2.57115 4.3496	P60 STDEV.S 0.00049 0.17536 0.00272 0.00139 0.00155 0.00106 0.00445 0.12537 0.70711 P120 STDEV.S 0.00085 0.21072 0.00029 0.00069 0.00081 0.00283 0.00276 0.21326
F2-6_60日間浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)         Bulk density at 0.50 psia         Apparent (skeletal) density         Porosity:         Stem volume         F2-6_120日間浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (volume) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)         Bulk density at 0.50 psia         Apparent (skeletal) density         Porosity:         Stem volume	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % 0%	F2-6_ Value 0.0141 2.063 0.03572 0.01891 0.02732 2.4807 2.5707 3.498 7 F2-6_1 Value 0.0183 2.784 0.03536 0.01871 0.02631 2.4573 2.5731 4.5004	P60-1 Pressure(psia) 29,992.31 5,062.99 9,563.08 - 0.50 29,992.31 - - 29,992.31 - - 29,992.31 - - 29,992.15 5,114.20 9,668.41 - 0.50 29,992.15 - - 0.50 29,992.15 - - 0.50 29,992.15 - - 0.50 - - - - - - - - - - - - -	F2-6_ Value 0.0134 1.815 0.03957 0.01694 0.02951 2.4792 2.5644 3.3207 6 F2-6_F Value 0.0171 2.486 0.03212 0.01969 0.02745 2.4613 2.5692 4.1988	P60-2 Pressure(psia) 29,993.12 29,993.12 4,570.94 10,674.23 - 0.50 29,993.12 - Pressure(psia) 29,992.34 29,992.34 5,630.16 9,183.78 - 0.50 29,992.34 - 0.50 29,992.34	F2-6 Average 0.01375 1.939 0.037645 0.017925 0.028415 2.47995 2.56755 3.40935 6.5 F2-6 Average 0.0177 2.635 0.03374 0.0192 0.02688 2.4593 2.57115 4.3496 7 5	P60 STDEV.S 0.00049 0.17536 0.00272 0.00139 0.00155 0.00106 0.00445 0.12537 0.70711 P120 STDEV.S 0.00085 0.21072 0.00029 0.00069 0.00081 0.00283 0.00276 0.21326 0.21326 0.270711

## 表 1.9-7 F 2-6 のポロシメータ測定結果



図 1.9-6 F 2-6の間隙径分布 (a)・(b) 未浸漬、 (c)・(d) 30 日浸漬、 (e)・(f) 60 日浸漬、 (g)・(h) 120 日浸漬

G1-3_浸漬前         G1-3_Pb-1         G1-3_Pb-2         G1-3_F           Contents         Unit         Value         Pressure(psia)         Value         Pressure(psia)         Average         S           Total intrusion volume         mL/g         0.0026         29,992.43         0.0034         29,992.41         0.003           Total pore area         m²/g         0.186         29,992.43         0.382         29,992.41         0.284           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/μm         5.3817         33.61         0.05014         3,607.08         2.71592	Pb	01.0						
Contents         Unit         Value         Pressure(psia)         Value         Pressure(psia)         Average         S           Total intrusion volume         mL/g         0.0026         29,992.43         0.0034         29,992.41         0.003           Total pore area         m²/g         0.186         29,992.43         0.382         29,992.41         0.284           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         μm         5.3817         33.61         0.05014         3,607.08         2.71592		G1-3	_Pb-2	G1-3_	_Pb-1	G1-3		G1-3_浸漬前
Total intrusion volume         mL/g         0.0026         29,992.43         0.0034         29,992.41         0.003           Total pore area         m²/g         0.186         29,992.43         0.382         29,992.41         0.284           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         μm         5.3817         33.61         0.05014         3,607.08         2.71592	STDEV.S	Average	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Value	Unit	Contents
Total pore area         m²/g         0.186         29,992.43         0.382         29,992.41         0.284           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/μm         5.3817         33.61         0.05014         3,607.08         2.71592	0.00057	0.003	29,992.41	0.0034	29,992.43	0.0026	mL/g	Total intrusion volume
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL, μm 5.3817 33.61 0.05014 3,607.08 2.71592	0.13859	0.284	29,992.41	0.382	29,992.43	0.186	m²/g	Total pore area
	3.76998	2.71592	3,607.08	0.05014	33.61	5.3817	μm	Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/
Median pore diameter (area) at 0.000 m ² /g μm 0.03066 5,899.35 0.02313 7,820.43 0.026895	0.00532	0.026895	7,820.43	0.02313	5,899.35	0.03066	μm	Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g
Average pore diameter (4V/A) μm 0.05517 - 0.03561 - 0.04539 (	0.013831	0.04539	-	0.03561	-	0.05517	μm	Average pore diameter (4V/A)
Bulk density at 0.50 psia g/mL 2.6194 0.49 2.6143 0.49 2.61685	0.00361	2.61685	0.49	2.6143	0.49	2.6194	g/mL	Bulk density at 0.50 psia
Apparent (skeletal) density g/mL 2.6371 29,992.43 2.6378 29,992.41 2.63745	0.00049	2.63745	29,992.41	2.6378	29,992.43	2.6371	g/mL	Apparent (skeletal) density
Porosity: % 0.6721 - 0.8898 - 0.78095	0.15394	0.78095	-	0.8898	-	0.6721	%	Porosity:
Stem volume % 1 - 2 - 1.5 0.	.7071068	1.5	_	2	_	1	%	Stem volume
G1-3 30日間浸清 G1-3 P30-1 G1-3 P30-2 G1-3 P	² 30	G1-3	P30-2	G1-3	P30-1	G1-3		G1-3 30日間浸清
Contents Unit Value Pressure(psia) Value Pressure(psia) Average S	STDEV.S	Average	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Value	Unit	Contents
Total intrusion volume ml /g 0.0105 29.991.72 0.0111 29.991.61 0.0108	0.00042	0.0108	29.991.61	0.0111	29.991.72	0.0105	ml /g	Total intrusion volume
Total pore area         m²/g         1.025         29.991.72         1.083         29.991.61         1.054	0.04101	1.054	29,991.61	1.083	29,991,72	1.025	m²/g	Total pore area
Median pore diameter (volume) at 0.001 ml um 0.04452 4.062 52 0.04954 3.650.87 0.04703	0.00355	0.04703	3 650 87	0.04954	4 062 52	0.04452	, 8	Median pore diameter (volume) at 0.001 mL
Median pore diameter (area) at 0.000 m ² /g $\mu$ m 0.02696 6.709 31 0.02325 7.780 34 0.025105	0.00262	0.025105	7 780 34	0.01301	6 709 31	0.02696	um	Median pore diameter (area) at 0.000 $m^2/\sigma$
Average pore diameter (4V/A)	0.000202	0.020100	-	0.02025	-	0.02090	μm	Average nore diameter $(4V/A)$
Bulk density at 0.50 psia         g/ml         2.4012         0.50         2.4893         0.50         2.40025	0.00004	2 / 9025	0.50	2 /893	0.50	2 /912	g/ml	Bulk density at 0.50 psia
Apparent (skolotal) density g/ml 2,558 20,001 72 2,5508 20,001 61 2,5580	0.0010-	2.43023	20 001 61	2.4055	20 001 72	2.4512	g/mL	Apparent (skolotal) density
AUUdieu Skeleidu ueusuv 2/10 / 100 / 100 / 1000 / 1000 / 1000 / 1000		2.0009	29,991.01	2.0090	29,991.72	2.000	g/IIIL	Apparent (skeletal) density
	0.00127	2 6022		2 7527		2 6107	0/.	Dorosity:
Porosity:         %         2.6107         -         2.7537         -         2.6822           Stam volume         %         4         5         4.5	0.10112	2.6822	-	2.7537	-	2.6107	%	Porosity:
Porosity:         %         2.6107         -         2.7537         -         2.6822         Stem volume         %         4         -         5         -         4.5         -	0.10112	2.6822 4.5	-	2.7537 5	-	2.6107	%	Porosity: Stem volume
Porosity:         %         2.6107         -         2.7537         -         2.6822         Stem volume         %         4         -         5         -         4.5         G1-3 P60-1         G1-3 P60-2         G1-3 P60-2 <td>0.10112</td> <td>2.6822 4.5</td> <td>- - P60-2</td> <td>2.7537 5</td> <td>- - P60-1</td> <td>2.6107</td> <td>%</td> <td>Porosity: Stem volume</td>	0.10112	2.6822 4.5	- - P60-2	2.7537 5	- - P60-1	2.6107	%	Porosity: Stem volume
Porosity:         %         2.6107         -         2.7537         -         2.6822         -           Stem volume         %         4         -         5         -         4.5         -         4.5           G1-3_60日間浸漬         G1-3_P60-1         G1-3_P60-2         G1-3_P         G1-3_P         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -	0.00127 0.10112 0.70711 260	2.6822 4.5 G1-3	- - P60-2 Pressure(psia)	2.7537 5 G1-3_	- - 	2.6107 4 G1-3_	%	Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬
Porosity:         %         2.6107         -         2.7537         -         2.6822         -           Stem volume         %         4         -         5         -         4.5         -         4.5         -         -         4.5         -         -         4.5         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         - <td>0.00127 0.10112 0.70711 260 3TDEV.S</td> <td>2.6822 4.5 G1-3 Average</td> <td>- - P60-2 Pressure(psia)</td> <td>2.7537 5 G1-3_ Value</td> <td>- - P60-1 Pressure(psia)</td> <td>2.6107 4 G1-3_ Value</td> <td>% % Unit</td> <td>Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume</td>	0.00127 0.10112 0.70711 260 3TDEV.S	2.6822 4.5 G1-3 Average	- - P60-2 Pressure(psia)	2.7537 5 G1-3_ Value	- - P60-1 Pressure(psia)	2.6107 4 G1-3_ Value	% % Unit	Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume
Porosity:         %         2.6107         -         2.7537         -         2.6822         -           Stem volume         %         4         -         5         -         4.5         -         4.5         -         -         4.5         -         -         4.5         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         - <td>0.00127 0.10112 0.70711 &gt;60 \$TDEV.S 0.00198</td> <td>2.6822 4.5 G1-3 Average 0.0126</td> <td>- - P60-2 Pressure(psia) 29,991.25 29,991.25</td> <td>2.7537 5 G1-3_ Value 0.0112 1 158</td> <td>- P60-1 Pressure(psia) 29,992.27</td> <td>2.6107 4 G1-3_ Value 0.014</td> <td>% % Unit mL/g m²/g</td> <td>Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total popo area</td>	0.00127 0.10112 0.70711 >60 \$TDEV.S 0.00198	2.6822 4.5 G1-3 Average 0.0126	- - P60-2 Pressure(psia) 29,991.25 29,991.25	2.7537 5 G1-3_ Value 0.0112 1 158	- P60-1 Pressure(psia) 29,992.27	2.6107 4 G1-3_ Value 0.014	% % Unit mL/g m²/g	Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total popo area
Porosity:       %       2.6107       -       2.7537       -       2.6822         Stem volume       %       4       -       5       -       4.5         G1-3_60日間浸漬       G1-3_P60-1       G1-3_P60-2       G1-3_P         Contents       Unit       Value       Pressure(psia)       Value       Pressure(psia)       Average       S         Total intrusion volume       mL/g       0.014       29,992.27       0.0112       29,991.25       0.0126         Total pore area       m²/g       1.327       29,992.27       1.158       29,991.25       1.2425	0.00127 0.10112 0.70711 >60 \$TDEV.S 0.00198 0.11950	2.6822 4.5 G1-3 Average 0.0126 1.2425 0.055305	- P60-2 Pressure(psia) 29,991.25 29,991.25 3 404 52	2.7537 5 G1-3_ Value 0.0112 1.158	- P60-1 Pressure(psia) 29,992.27 29,992.27 3 146 08	2.6107 4 G1-3_ Value 0.014 1.327	% % Unit mL/g m²/g	Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Medica pore diameter (volume) at 0.001 mL
Porosity:       %       2.600       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000112       2.000	0.00127 0.10112 0.70711 >60 \$TDEV.\$ 0.00198 0.11950 0.00309	2.6822 4.5 G1-3 Average 0.0126 1.2425 0.055305	- Pessure(psia) 29,991.25 29,991.25 3,404.52 6 612.52	2.7537 5 G1-3_ Value 0.0112 1.158 0.05312 0.02725	- P60-1 Pressure(psia) 29,992.27 29,992.27 3,146.08 7,442.08	2.6107 4 G1-3_ Value 0.014 1.327 0.05749	% % Unit mL/g m²/g μm	Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/
Porosity:         %         2.600         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         <	0.00127 0.10112 0.70711 2260 3TDEV.S 0.00198 0.11950 0.00309 0.00216	2.6822 4.5 G1-3 Average 0.0126 1.2425 0.055305 0.025825	- Pressure(psia) 29,991.25 29,991.25 3,404.52 6,613.53	2.7537 5 G1-3_ Value 0.0112 1.158 0.05312 0.02735 0.02735	- P60-1 Pressure(psia) 29,992.27 29,992.27 3,146.08 7,443.08	2.6107 4 G1-3_ Value 0.014 1.327 0.05749 0.0243	% % Unit mL/g m²/g μm μm	Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g
Porosity:         %         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         <	0.00127 0.10112 0.70711 CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTO	2.6822 4.5 G1-3 Average 0.0126 1.2425 0.055305 0.025825 0.025825 0.04052	- P60-2 Pressure(psia) 29,991.25 3,404.52 6,613.53 -	2.7537 5 G1-3_ Value 0.0112 1.158 0.05312 0.02735 0.03878 2.4662	- P60-1 Pressure(psia) 29,992.27 29,992.27 3,146.08 7,443.08 -	2.6107 4 G1-3_ Value 0.014 1.327 0.05749 0.0243 0.04226 2.4412	% % Unit mL/g μm μm μm	Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A)
Porosity:         %         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.6000         2.600         2.600	0.00127 0.10112 0.70711 260 3TDEV.S 0.00198 0.11950 0.00309 0.00216 0.00246 0.00361	2.6822 4.5 G1-3 Average 0.0126 1.2425 0.055305 0.025825 0.025825 0.04052 2.46375	- P60-2 Pressure(psia) 29,991.25 3,404.52 6,613.53 - 0.50	2.7537 5 G1-3_ Value 0.0112 1.158 0.05312 0.02735 0.03878 2.4663	- P60-1 Pressure(psia) 29,992.27 29,992.27 3,146.08 7,443.08 - 0.50	2.6107 4 G1-3_ Value 0.014 1.327 0.05749 0.0243 0.04226 2.4612	% % Unit mL/g m²/g μm μm μm g/mL	Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia
Porosity:         %         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.6822         5         5         -         2.6822         5         -         4.5         5         -         4.5         5         -         4.5         5         -         4.5         5         -         4.5         5         -         4.5         5         -         4.5         5         -         4.5         5         -         4.5         5         -         4.5         5         -         4.5         5         -         4.5         5         -         4.5         5         -         4.5         5         -         4.5         5         -         4.5         5         -         4.5         5         -         4.5         5         -         4.5         5         -         4.5         5         -         4.5         5         -         4.5         <	0.00127 0.10112 0.70711 2260 3TDEV.S 0.00198 0.00309 0.00246 0.00361 0.00246 0.00361	2.6822 4.5 G1-3 Average 0.0126 1.2425 0.055305 0.025825 0.04052 2.46375 2.54285	- P60-2 Pressure(psia) 29,991.25 3,404.52 6,613.53 - 0.50 29,991.25	2.7537 5 G1-3_ Value 0.0112 1.158 0.05312 0.02735 0.03878 2.4663 2.5366	- P60-1 Pressure(psia) 29,992.27 29,992.27 3,146.08 7,443.08 - 0.50 29,992.27	2.6107 4 G1-3_ Value 0.014 1.327 0.05749 0.0243 0.04226 2.4612 2.5491	% % Unit mL/g μm ² /g μm μm g/mL g/mL	Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density
Porosity:         %         2.600         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         <	0.00127 0.10112 0.70711 2260 3TDEV.S 0.00198 0.11950 0.00309 0.00246 0.00361 0.00884 0.48161	2.6822 4.5 G1-3 Average 0.0126 1.2425 0.055305 0.025825 0.04052 2.46375 2.54285 3.11095	- P60-2 Pressure(psia) 29,991.25 3,404.52 6,613.53 - 0.50 29,991.25 -	2.7537 5 G1-3_ Value 0.0112 1.158 0.05312 0.02735 0.03878 2.4663 2.5366 2.7704	- P60-1 Pressure(psia) 29,992.27 3,146.08 7,443.08 - 0.50 29,992.27 -	2.6107 4 G1-3_ Value 0.014 1.327 0.05749 0.0243 0.04226 2.4612 2.5491 3.4515	% % Unit mL/g μm μm g/mL g/mL g/mL	Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity:
Porosity:         %         2.600         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         2.000         <	0.00127 0.10112 0.70711 2260 3TDEV.S 0.00198 0.00198 0.00309 0.00216 0.00361 0.00361 0.00884 0.48161 0.00000	2.6822 4.5 G1-3 Average 0.0126 1.2425 0.055305 0.025825 0.04052 2.46375 2.54285 3.11095 5	- Pressure(psia) 29,991.25 29,991.25 3,404.52 6,613.53 - 0.50 29,991.25 - -	2.7537 5 G1-3_ Value 0.0112 1.158 0.05312 0.02735 0.03878 2.4663 2.5366 2.7704 5	- P60-1 Pressure(psia) 29,992.27 29,992.27 3,146.08 7,443.08 - 0.50 29,992.27 - -	2.6107 4 G1-3_ Value 0.014 1.327 0.05749 0.0243 0.04226 2.4612 2.5491 3.4515 5	% % Unit mL/g μm μm μm g/mL g/mL % %	Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume
Porosity:         %         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         2.600         <	0.00127 0.10112 0.70711 260 3TDEV.S 0.00198 0.11950 0.00309 0.00216 0.00304 0.00361 0.00884 0.48161 0.00000	2.6822 4.5 G1-3 Average 0.0126 1.2425 0.055305 0.025825 0.04052 2.46375 2.54285 3.11095 5	- Pressure(psia) 29,991.25 29,991.25 3,404.52 6,613.53 - 0.50 29,991.25 - -	2.7537 5 G1-3_ Value 0.0112 1.158 0.05312 0.02735 0.03878 2.4663 2.5366 2.7704 5	- P60-1 Pressure(psia) 29,992.27 29,992.27 3,146.08 7,443.08 - 0.50 29,992.27 - -	2.6107 4 G1-3_ Value 0.014 1.327 0.05749 0.0243 0.04226 2.4612 2.5491 3.4515 5	% % Unit mL/g m²/g μm μm g/mL g/mL %	Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume
Приот (norsta) солоту         В/т.с.         Слото         Сло	0.00127 0.10112 0.70711 260 3TDEV.S 0.00198 0.11950 0.00309 0.00246 0.00361 0.00246 0.00361 0.00884 0.48161 0.00000	2.6822 4.5 G1-3 Average 0.0126 1.2425 0.055305 0.025825 0.04052 2.46375 2.54285 3.11095 5 5	- Pressure(psia) 29,991.25 29,991.25 3,404.52 6,613.53 - 0.50 29,991.25 - - - P120-2	2.7537 5 G1-3_ Value 0.0112 1.158 0.05312 0.02735 0.03878 2.4663 2.5366 2.7704 5 G1-3_F	- P60-1 Pressure(psia) 29,992.27 29,992.27 3,146.08 7,443.08 - 0.50 29,992.27 - - - P120-1	2.6107 4 G1-3_ Value 0.014 1.327 0.05749 0.0243 0.04226 2.4612 2.5491 3.4515 5 G1-3_	% % Unit mL/g m²/g μm μm g/mL g/mL % %	Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume G1-3_120日間浸漬
Принят (stretch) систом)         влис         Полов         Пол	0.00127 0.10112 0.70711 0.70711 0.70711 0.70711 0.70711 0.00198 0.0198 0.00198 0.00246 0.00309 0.00246 0.00361 0.00884 0.48161 0.00000 120 120 120 120 120	2.6822 4.5 G1-3 Average 0.0126 1.2425 0.055305 0.025825 0.04052 2.46375 2.54285 3.11095 5 G1-3 Average	- Pressure(psia) 29,991.25 29,991.25 3,404.52 6,613.53 - 0.50 29,991.25 - - P120-2 Pressure(psia)	2.7537 5 G1-3_ Value 0.0112 1.158 0.05312 0.02735 0.03878 2.4663 2.5366 2.7704 5 G1-3_f Value	- P60-1 Pressure(psia) 29,992.27 29,992.27 3,146.08 7,443.08 - 0.50 29,992.27 - - P120-1 Pressure(psia)	2.6107 4 G1-3_ Value 0.014 1.327 0.05749 0.0243 0.04226 2.4612 2.5491 3.4515 5 G1-3_ Value	% % Unit mL/g m²/g μm μm g/mL g/mL % %	Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume G1-3_120日間浸漬 Contents
Проток (словая) солону         в.т.         Слова         Солона         Слова         Слов	0.00127 0.10112 0.70711 0.70711 0.70711 0.70711 0.70711 0.00198 0.0198 0.00198 0.00246 0.00361 0.00246 0.00361 0.00246 0.00361 0.00361 0.00361 0.00361 0.00000 120 120 120 120 120 120 120	2.6822 4.5 G1-3 Average 0.0126 1.2425 0.055305 0.025825 0.04052 2.46375 2.54285 3.11095 5 G1-3 Average 0.0131	- Pressure(psia) 29,991.25 29,991.25 3,404.52 6,613.53 - 0.50 29,991.25 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.47	2.7537 5 G1-3_ Value 0.0112 1.158 0.05312 0.02735 0.03878 2.4663 2.5366 2.7704 5 G1-3_f Value 0.0134	- P60-1 Pressure(psia) 29,992.27 29,992.27 3,146.08 7,443.08 - 0.50 29,992.27 - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.00 20,902.00 20,902.00 20,902.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,002.00 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,000 20,00	2.6107 4 G1-3_ Value 0.014 1.327 0.05749 0.0243 0.04226 2.4612 2.5491 3.4515 5 G1-3_ Value 0.0128	% % Unit mL/g μm μm g/mL g/mL g/mL % %	Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume G1-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume
Porosity:         %         2.6007         -         2.7537         -         2.6822           Stem volume         %         4         -         5         -         4.5           G1-3_60日間浸漬         G1-3_P60-1         G1-3_P60-2         G1-3_P         G1-3_P         G1-3_P           Total intrusion volume         mL/g         0.014         29,992.27         0.0112         29,991.25         0.0126           Total pore area         m2/g         1.327         29,992.27         1.158         29,991.25         0.0126           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         µm         0.05749         3,146.08         0.05312         3,404.52         0.055305           Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         µm         0.04243         7,443.08         0.02735         6,613.53         0.02825           Average pore diameter (4V/A)         µm         0.04226         -         0.03878         -         0.04052           Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.5491         29,992.27         2.5366         29,991.25         2.54285           Porosity:         %         3.4515         -         2.7704         -         3.11095           Stem volume         %         5 <td< td=""><td>0.00127 0.10112 0.70711 260 5TDEV.S 0.00198 0.11950 0.00309 0.00246 0.00361 0.00361 0.00361 0.00364 0.00361 0.00000 120 5TDEV.S 0.00042 0.00042 0.00042</td><td>2.6822 4.5 G1-3 Average 0.0126 1.2425 0.055305 0.025825 0.04052 2.46375 2.54285 3.11095 5 G1-3 Average 0.0131 1.2675</td><td>- P60-2 Pressure(psia) 29,991.25 29,991.25 3,404.52 6,613.53 - 0.50 29,991.25 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.47 29,992.47</td><td>2.7537 5 G1-3_ Value 0.0112 1.158 0.05312 0.02735 0.03878 2.4663 2.5366 2.7704 5 G1-3_F Value 0.0134 1.232</td><td>- P60-1 Pressure(psia) 29,992.27 29,992.27 3,146.08 7,443.08 - 0.50 29,992.27 - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.09 29,992.09 29,992.09</td><td>2.6107 4 G1-3_ Value 0.014 1.327 0.05749 0.0243 0.04226 2.4612 2.5491 3.4515 5 G1-3_ Value 0.0128 1.303 0.0212</td><td>% % Unit mL/g μm μm g/mL g/mL g/mL % % % Unit mL/g m²/g</td><td>Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume G1-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area</td></td<>	0.00127 0.10112 0.70711 260 5TDEV.S 0.00198 0.11950 0.00309 0.00246 0.00361 0.00361 0.00361 0.00364 0.00361 0.00000 120 5TDEV.S 0.00042 0.00042 0.00042	2.6822 4.5 G1-3 Average 0.0126 1.2425 0.055305 0.025825 0.04052 2.46375 2.54285 3.11095 5 G1-3 Average 0.0131 1.2675	- P60-2 Pressure(psia) 29,991.25 29,991.25 3,404.52 6,613.53 - 0.50 29,991.25 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.47 29,992.47	2.7537 5 G1-3_ Value 0.0112 1.158 0.05312 0.02735 0.03878 2.4663 2.5366 2.7704 5 G1-3_F Value 0.0134 1.232	- P60-1 Pressure(psia) 29,992.27 29,992.27 3,146.08 7,443.08 - 0.50 29,992.27 - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.09 29,992.09 29,992.09	2.6107 4 G1-3_ Value 0.014 1.327 0.05749 0.0243 0.04226 2.4612 2.5491 3.4515 5 G1-3_ Value 0.0128 1.303 0.0212	% % Unit mL/g μm μm g/mL g/mL g/mL % % % Unit mL/g m²/g	Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume G1-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area
рогозіту:         %         2.6007         -         2.7537         -         2.6822           Stem volume         %         4         -         5         -         4.5           G1-3_60日間浸漬         G1-3_P60-1         G1-3_P60-2         G1-3_P         G1-3_P           G1-3_60日間浸漬         G1-3_P60-1         G1-3_P60-2         G1-3_P           G1 contents         Unit         Value         Pressure(psia)         Average         S           Total intrusion volume         mL/g         0.014         29,992.27         0.0112         29,991.25         0.0126           Total pore area         m²/g         1.327         29,992.27         1.158         29,991.25         1.2425           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL         µm         0.0243         7,443.08         0.02735         6,613.53         0.025825           Average pore diameter (4V/A)         µm         0.04226         -         0.03878         -         0.04052           Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.4612         0.50         2.4663         0.50         2.46375           Apparent (skeletal) density         g/mL         2.5491         29,992.27         2.5366         29,991.25         2.54285	0.00127 0.10112 0.70711 0.70711 0.70711 0.00198 0.00198 0.00246 0.00361 0.00246 0.00361 0.00884 0.48161 0.00000 120 TDEV.S 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042	2.6822 4.5 G1-3 Average 0.0126 1.2425 0.055305 0.025825 0.04052 2.46375 2.54285 3.11095 5 G1-3 Average 0.0131 1.2675 0.05642	- P60-2 Pressure(psia) 29,991.25 29,991.25 3,404.52 6,613.53 - 0.50 29,991.25 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.47 29,992.47 3,091.72	2.7537 5 G1-3_ Value 0.0112 1.158 0.05312 0.02735 0.03878 2.4663 2.5366 2.7704 5 G1-3_F Value 0.0134 1.232 0.0585	- P60-1 Pressure(psia) 29,992.27 29,992.27 3,146.08 7,443.08 - 0.50 29,992.27 - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.09 29,992.09 3,328.07	2.6107 4 G1-3_ Value 0.014 1.327 0.05749 0.0243 0.04226 2.4612 2.5491 3.4515 5 G1-3_ Value 0.0128 1.303 0.05434	% % Unit mL/g μm μm g/mL g/mL g/mL g/mL % % % Unit mL/g m²/g μm	Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume G1-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/
Prosity:         %         2.607         -         2.7537         -         2.6822           Stem volume         %         4         -         5         -         4.5           G1-3_60日間浸漬         G1-3_P60-1         G1-3_P60-2         G1-3_P         G1-3_P           G1-3_60日間浸漬         G1-3_P60-1         G1-3_P60-2         G1-3_P           Total intrusion volume         mL/g         0.014         29,992.27         0.0112         29,991.25         0.0126           Total pore area         m²/g         1.327         29,992.27         1.158         29,991.25         1.2425           Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         µm         0.05749         3,146.08         0.05312         3,404.52         0.055305           Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         µm         0.0243         7,443.08         0.02735         6,613.53         0.025825           Average pore diameter (4V/A)         µm         0.04226         -         0.03878         -         0.04052           Bulk density at 0.50 psia         g/mL         2.5491         29,992.27         2.5366         29,991.25         2.54285           Porosity:         %         3.4515         -         2.7704         -         3.11095<	0.00127 0.10112 0.70711 0.70711 0.70711 0.00198 0.00198 0.00198 0.00309 0.00246 0.00361 0.00844 0.48161 0.00000 120 TDEV.S 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042	2.6822 4.5 G1-3 Average 0.0126 1.2425 0.055305 0.025825 0.04052 2.46375 2.54285 3.11095 5 G1-3 Average 0.0131 1.2675 0.05642 0.028845	- Peo-2 Pressure(psia) 29,991.25 29,991.25 3,404.52 6,613.53 - 0.50 29,991.25 - - Pressure(psia) 29,992.47 29,992.47 3,091.72 6,131.39	2.7537 5 G1-3_ Value 0.0112 1.158 0.05312 0.02735 0.03878 2.4663 2.5366 2.7704 5 G1-3_F Value 0.0134 1.232 0.0585 0.0295	- P60-1 Pressure(psia) 29,992.27 29,992.27 3,146.08 7,443.08 - 0.50 29,992.27 - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.09 29,992.09 3,328.07 6,416.26	2.6107 4 G1-3 Value 0.014 1.327 0.05749 0.0243 0.04226 2.4612 2.5491 3.4515 5 G1-3 Value 0.0128 1.303 0.05434 0.02819 0.02819	% % Unit mL/g μm μm g/mL g/mL g/mL g/mL % % % Unit mL/g m²/g μm μm	Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume G1-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g
руроват (словая) солоту         д. м.         слова         сло	0.00127 0.10112 0.70711 0.70711 0.70711 0.00198 0.00198 0.00198 0.00309 0.00246 0.00361 0.00884 0.48161 0.00000 120 TDEV.S 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042	2.6822 4.5 G1-3 Average 0.0126 1.2425 0.055305 0.025825 0.04052 2.46375 2.54285 3.11095 5 G1-3 Average 0.0131 1.2675 0.05642 0.028845 0.041335	- Peo-2 Pressure(psia) 29,991.25 29,991.25 3,404.52 6,613.53 - 0.50 29,991.25 - - Pressure(psia) 29,992.47 29,992.47 3,091.72 6,131.39 -	2.7537 5 G1-3_ Value 0.0112 1.158 0.05312 0.02735 0.03878 2.4663 2.5366 2.7704 5 G1-3_1 Value 0.0134 1.232 0.0295 0.0295 0.04345	- P60-1 Pressure(psia) 29,992.27 29,992.27 3,146.08 7,443.08 - 0.50 29,992.27 - 0.50 29,992.27 - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.09 29,992.09 29,992.09 3,328.07 6,416.26 -	2.6107 4 G1-3_ Value 0.014 1.327 0.05749 0.0243 0.04226 2.4612 2.5491 3.4515 5 G1-3_ Value 0.0128 1.303 0.05434 0.02819 0.03922	% % Unit mL/g µm µm g/mL g/mL g/mL % % % Unit mL/g m²/g µm µm µm µm µm µm	Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume G1-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A)
руроват (словат)         в.т.         слова	0.00127 0.10112 0.70711 0.70711 0.70711 0.00198 0.0198 0.00198 0.00198 0.00309 0.00246 0.00361 0.00884 0.00361 0.00884 0.00062 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00042 0.00	2.6822 4.5 G1-3 Average 0.0126 1.2425 0.055305 0.025825 0.04052 2.46375 2.54285 3.11095 5 G1-3 Average 0.0131 1.2675 0.028845 0.028845 0.028845 0.041335 2.45025	- Peo-2 Pressure(psia) 29,991.25 29,991.25 3,404.52 6,613.53 - 0.50 29,991.25 - - Pressure(psia) 29,992.47 29,992.47 3,091.72 6,131.39 - 0.49	2.7537 5 G1-3_ Value 0.0112 1.158 0.05312 0.02735 0.03878 2.4663 2.5366 2.7704 5 G1-3_f Value 0.0134 1.232 0.0585 0.0295 0.04345 2.4527	- Pressure(psia) 29,992.27 29,992.27 3,146.08 7,443.08 - 0.50 29,992.27 - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.09 29,992.09 3,328.07 6,416.26 - 0.49	2.6107 4 G1-3_ Value 0.014 1.327 0.05749 0.0243 0.04226 2.4612 2.5491 3.4515 5 G1-3_ Value 0.0128 1.303 0.05434 0.02819 0.03922 2.4478	% % Unit mL/g µm µm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g µm µm µm цт %	Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume G1-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia
Implement (scherol)         Implement (scherol) <thimplement (scherol)<="" th="">         Implement (scherol)</thimplement>	0.00127 0.10112 0.70711 0.70711 0.70711 0.70711 0.00198 0.00198 0.00246 0.00309 0.00246 0.00361 0.00884 0.48161 0.00000 120 120 120 120 120 120 120	2.6822 4.5 G1-3 Average 0.0126 1.2425 0.055305 0.025825 0.04052 2.46375 2.54285 3.11095 5 3.11095 5 G1-3 Average 0.0131 1.2675 0.05642 0.028845 0.028845 0.041335 2.45025 2.53135	- Pressure(psia) 29,991.25 29,991.25 3,404.52 6,613.53 - 0.50 29,991.25 - - Pressure(psia) 29,992.47 3,091.72 6,131.39 - 0.49 29,992.47	2.7537 5 G1-3_ Value 0.0112 1.158 0.05312 0.02735 0.03878 2.4663 2.5366 2.7704 5 G1-3_F Value 0.0134 1.232 0.0585 0.0295 0.04345 2.4527 2.5359	- P60-1 Pressure(psia) 29,992.27 3,146.08 7,443.08 - 0.50 29,992.27 - - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.09 29,992.09 3,328.07 6,416.26 - 0.49 29,992.09	2.6107 4 G1-3_ Value 0.014 1.327 0.05749 0.0243 0.04226 2.4612 2.5491 3.4515 5 G1-3_ Value 0.0128 1.303 0.05434 0.02819 0.03922 2.4478 2.5268	% % Unit mL/g μm μm g/mL g/mL g/mL % % % Unit mL/g m²/g μm μm g/mL g/mL g/mL	Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume G1-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density
раков (1)         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000         2000	0.00127 0.10112 0.70711 0.70711 0.70711 0.00198 0.01950 0.00246 0.00361 0.00246 0.00361 0.00246 0.00361 0.00361 0.00884 0.48161 0.00000 120 120 120 120 120 120 120	2.6822 4.5 G1-3 Average 0.0126 1.2425 0.055305 0.025825 0.04052 2.46375 2.54285 3.11095 5 3.11095 5 G1-3 Average 0.0131 1.2675 0.05642 0.028845 0.041335 2.45025 2.53135 3.20485	- Pressure(psia) 29,991.25 29,991.25 3,404.52 6,613.53 - 0.50 29,991.25 - - P120-2 Pressure(psia) 29,992.47 29,992.47 3,091.72 6,131.39 - 0.49 29,992.47 - 0.49	2.7537 5 G1-3_ Value 0.0112 1.158 0.05312 0.02735 0.03878 2.4663 2.5366 2.7704 5 G1-3_f Value 0.0134 1.232 0.0585 0.0295 0.04345 2.4527 2.5359 3.2829	- P60-1 Pressure(psia) 29,992.27 3,146.08 7,443.08 - 0.50 29,992.27 - - - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.09 29,992.09 3,328.07 6,416.26 - 0.49 29,992.09 - 0.49 29,992.09 -	2.6107 4 G1-3_ Value 0.014 1.327 0.05749 0.0243 0.04226 2.4612 2.5491 3.4515 5 G1-3_ Value 0.0128 1.303 0.05434 0.02819 0.03922 2.4478 2.5268 3.1268	% % Unit mL/g μm μm g/mL g/mL g/mL g/mL g/mL g/mL g/mL g/m	Porosity: Stem volume G1-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume G1-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity:

# 表 1.9-8 G 1-3 のポロシメータ測定結果



図 1.9-7 G 1-3の間隙径分布 (a)・(b) 未浸漬、 (c)・(d) 30 日浸漬、 (e)・(f) 60 日浸漬、 (g)・(h) 120 日浸漬

H4-1_浸漬前		H4-1_	_Pb-1	H4-1_	_Pb-2	H4-1	l_Pb
Contents	Unit	Value	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Average	STDEV.S
Total intrusion volume	mL/g	0.0015	29,992.43	0.004	29,991.92	0.00275	0.00177
Total pore area	m²/g	0.015	29,992.43	0.114	29,991.92	0.0645	0.07000
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	μm	19.48517	9.28	158.5	1.14	88.992585	98.29833
Median pore diameter (area) at 0.000 $\rm m^2/g$	μm	0.06437	2,809.71	0.02092	8,644.32	0.042645	0.03072
Average pore diameter (4V/A)	μm	0.41579	-	0.14113	-	0.27846	0.1942139
Bulk density at 0.50 psia	g/mL	2.6448	0.50	2.6183	0.50	2.63155	0.01874
Apparent (skeletal) density	g/mL	2.6557	29,992.43	2.6462	29,991.92	2.65095	0.00672
Porosity:	%	0.4103	-	1.0532	-	0.73175	0.45460
Stem volume	%	1	-	1	-	1	0
1-1 30日問浸清		H4-1 P30-1		H4-1 P30-2		H4-1 P30	
Contents	Unit	Value	Pressure(nsia)	Value	Pressure(nsia)	Average	STDEV S
Total intrusion volume	ml /g	0.0137	29.991.48	0.0098	29.992.28	0.01175	0.00276
Total pore area	m²/g	2.312	29,991.48	3.331	29,992.28	2.8215	0.72054
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL	μm	0.02623	6,896.21	0.01027	17,614.52	0.01825	0.01129
Median pore diameter (area) at 0.000 m ² /g	μm	0.0152	11,897.01	0.00913	19,802.29	0.012165	0.00429
Average pore diameter (4V/A)	μm	0.02377	-	0.01171	-	0.01774	0.00853
Bulk density at 0.50 psia	g/mL	2.4853	0.50	2.5107	0.50	2.498	0.01796
Apparent (skeletal) density	g/mL	2.5733	29,991.48	2.5737	29,992.28	2.5735	0.00028
Porosity:	%	3.4176	-	2.4501	-	2.93385	0.68413
Stem volume	%	6	-	5	-	5.5	0.70711
H4-1_60日間浸漬		H4-1_	P60-1	H4-1_	P60-2	H4-1	_P60
H4-1_60日間浸漬 Contents	Unit	H4-1_ Value	P60-1 Pressure(psia)	H4-1_ Value	P60-2 Pressure(psia)	H4-1 Average	_P60 STDEV.S
H4-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume	Unit mL/g	H4-1_ Value 0.0094	.P60-1 Pressure(psia) 29,991.76	H4-1_ Value 0.0167	P60-2 Pressure(psia) 29,991.71	H4-1 Average 0.01305	_P60 STDEV.S 0.00516
H4-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area	Unit mL/g m²/g	H4-1_ Value 0.0094 3.759	P60-1 Pressure(psia) 29,991.76 29,991.76	H4-1_ Value 0.0167 3.941	P60-2 Pressure(psia) 29,991.71 29,991.71	H4-1 Average 0.01305 3.85	_P60 STDEV.S 0.00516 0.12869
H4-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	Unit mL/g m²/g µm	H4-1_ Value 0.0094 3.759 0.00954	P60-1 Pressure(psia) 29,991.76 29,991.76 18,960.94	H4-1_ Value 0.0167 3.941 0.01688	P60-2 Pressure(psia) 29,991.71 29,991.71 10,715.96	H4-1 Average 0.01305 3.85 0.01321	_P60 STDEV.S 0.00516 0.12869 0.00519
H4-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	Unit mL/g m²/g µm µm	H4-1_ Value 0.0094 3.759 0.00954 0.00825	P60-1 Pressure(psia) 29,991.76 29,991.76 18,960.94 21,924.67	H4-1_ Value 0.0167 3.941 0.01688 0.01095	P60-2 Pressure(psia) 29,991.71 29,991.71 10,715.96 16,520.09	H4-1 Average 0.01305 3.85 0.01321 0.0096	_P60 STDEV.S 0.00516 0.12869 0.00519 0.00191
H4-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m ² /g Average pore diameter (4V/A)	Unit mL/g m²/g μm μm	H4-1_ Value 0.0094 3.759 0.00954 0.00825 0.01002	P60-1 Pressure(psia) 29,991.76 29,991.76 18,960.94 21,924.67 -	H4-1_ Value 0.0167 3.941 0.01688 0.01095 0.01696	P60-2 Pressure(psia) 29,991.71 29,991.71 10,715.96 16,520.09 -	H4-1 Average 0.01305 3.85 0.01321 0.0096 0.01349	_P60 STDEV.S 0.00516 0.12869 0.00519 0.00191 0.00491
H4-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia	Unit mL/g m²/g µm µm µm g/mL	H4-1_ Value 0.0094 3.759 0.00954 0.00825 0.01002 2.5087	P60-1 Pressure(psia) 29,991.76 29,991.76 18,960.94 21,924.67 - 0.50	H4-1_ Value 0.0167 3.941 0.01688 0.01095 0.01696 2.4543	P60-2 Pressure(psia) 29,991.71 29,991.71 10,715.96 16,520.09 - 0.50	H4-1 Average 0.01305 3.85 0.01321 0.0096 0.01349 2.4815	_P60 STDEV.S 0.00516 0.12869 0.00519 0.00191 0.00491 0.03847
H4-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL	H4-1_ Value 0.0094 3.759 0.00954 0.00825 0.01002 2.5087 2.5694	P60-1 Pressure(psia) 29,991.76 29,991.76 18,960.94 21,924.67 - 0.50 29,991.76	H4-1_ Value 0.0167 3.941 0.01688 0.01095 0.01696 2.4543 2.5592	P60-2 Pressure(psia) 29,991.71 29,991.71 10,715.96 16,520.09 - 0.50 29,991.71	H4-1 Average 0.01305 3.85 0.01321 0.0096 0.01349 2.4815 2.5643	_P60 STDEV.S 0.00516 0.12869 0.00519 0.00191 0.00491 0.03847 0.00721
H4-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity:	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL g/mL	H4-1_ Value 0.0094 3.759 0.00954 0.00825 0.01002 2.5087 2.5694 2.3642	P60-1 Pressure(psia) 29,991.76 29,991.76 18,960.94 21,924.67 - 0.50 29,991.76 -	H4-1_ Value 0.0167 3.941 0.01688 0.01095 0.01696 2.4543 2.5592 4.0997	P60-2 Pressure(psia) 29,991.71 10,715.96 16,520.09 - 0.50 29,991.71 -	H4-1 Average 0.01305 3.85 0.01321 0.0096 0.01349 2.4815 2.5643 3.23195	_P60 STDEV.S 0.00516 0.12869 0.00519 0.00191 0.00491 0.03847 0.00721 1.22718
H4-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL g/mL %	H4-1_ Value 0.0094 3.759 0.00954 0.00825 0.01002 2.5087 2.5694 2.3642 5	P60-1 Pressure(psia) 29,991.76 29,991.76 18,960.94 21,924.67 - 0.50 29,991.76 - -	H4-1_ Value 0.0167 3.941 0.01688 0.01095 0.01696 2.4543 2.5592 4.0997 7	P60-2 Pressure(psia) 29,991.71 10,715.96 16,520.09 - 0.50 29,991.71 - -	H4-1 Average 0.01305 3.85 0.01321 0.0096 0.01349 2.4815 2.5643 3.23195 6	_P60 STDEV.S 0.00516 0.12869 0.00191 0.00491 0.03847 0.00721 1.22718 1.41421
H4-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume H4-1_120日間浸漬	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL g/mL %	H4-1_ Value 0.0094 3.759 0.00954 0.00825 0.01002 2.5087 2.5694 2.3642 5 H4-1_1	P60-1 Pressure(psia) 29,991.76 29,991.76 18,960.94 21,924.67 - 0.50 29,991.76 - - P120-1	H4-1_ Value 0.0167 3.941 0.01688 0.01095 0.01696 2.4543 2.5592 4.0997 7 H4-1_1	P60-2 Pressure(psia) 29,991.71 29,991.71 10,715.96 16,520.09 - 0.50 29,991.71	H4-1 Average 0.01305 3.85 0.01321 0.0096 0.01349 2.4815 2.5643 3.23195 6 H4-1	_P60 STDEV.S 0.00516 0.12869 0.00519 0.00191 0.00491 0.03847 0.00721 1.22718 1.41421
H4-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume H4-1_120日間浸漬 Contents	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL g/mL % %	H4-1_ Value 0.0094 3.759 0.00954 0.00825 0.01002 2.5087 2.5694 2.3642 5 H4-1_l Value	P60-1 Pressure(psia) 29,991.76 29,991.76 18,960.94 21,924.67 - 0.50 29,991.76 - P120-1 Pressure(psia)	H4-1_ Value 0.0167 3.941 0.01688 0.01095 0.01696 2.4543 2.5592 4.0997 7 7 H4-1_l Value	P60-2 Pressure(psia) 29,991.71 10,715.96 16,520.09 - 0.50 29,991.71	H4-1 Average 0.01305 3.85 0.01321 0.0096 0.01349 2.4815 2.5643 3.23195 6 H4-1 Average	_P60 STDEV.S 0.00516 0.12869 0.00519 0.00191 0.00491 0.03847 0.00721 1.22718 1.41421 _P120 STDEV.S
H4-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume H4-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g	H4-1_ Value 0.0094 3.759 0.00954 0.00825 0.01002 2.5087 2.5694 2.3642 5 H4-1_1 Value 0.0138	P60-1 Pressure(psia) 29,991.76 29,991.76 18,960.94 21,924.67 - 0.50 29,991.76 - P120-1 Pressure(psia) 29,991.96	H4-1_ Value 0.0167 3.941 0.01688 0.01095 0.01696 2.4543 2.5592 4.0997 7 H4-1_U Value 0.0144	P60-2 Pressure(psia) 29,991.71 29,991.71 10,715.96 16,520.09 - 0.50 29,991.71	H4-1 Average 0.01305 3.85 0.01321 0.0096 0.01349 2.4815 2.5643 3.23195 6 H4-1 Average 0.0141	_P60 STDEV.S 0.00516 0.12869 0.00519 0.00191 0.00491 0.03847 0.00721 1.22718 1.41421 P120 STDEV.S 0.00042
H4-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume H4-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g	H4-1_ Value 0.0094 3.759 0.00954 0.00825 0.01002 2.5087 2.5694 2.3642 5 H4-1_1 Value 0.0138 4.245	P60-1 Pressure(psia) 29,991.76 29,991.76 18,960.94 21,924.67 - 0.50 29,991.76 - P120-1 Pressure(psia) 29,991.96 29,991.96	H4-1_ Value 0.0167 3.941 0.01688 0.01095 0.01696 2.4543 2.5592 4.0997 7 7 H4-1_1 Value 0.0144 3.269	P60-2 Pressure(psia) 29,991.71 29,991.71 10,715.96 16,520.09 - 0.50 29,991.71	H4-1 Average 0.01305 3.85 0.01321 0.0096 0.01349 2.4815 2.5643 3.23195 6 H4-1 Average 0.0141 3.757	_P60 STDEV.S 0.00516 0.12869 0.00191 0.00491 0.03847 0.00721 1.22718 1.41421 _P120 STDEV.S 0.00042 0.69014
H4-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume H4-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g µm	H4-1_ Value 0.0094 3.759 0.00954 0.00825 0.01002 2.5087 2.5694 2.3642 5 H4-1_1 Value 0.0138 4.245 0.01304	P60-1 Pressure(psia) 29,991.76 29,991.76 18,960.94 21,924.67 - 0.50 29,991.76 - P120-1 Pressure(psia) 29,991.96 29,991.96 13,871.53	H4-1_ Value 0.0167 3.941 0.01688 0.01095 0.01696 2.4543 2.5592 4.0997 7 7 H4-1_1 Value 0.0144 3.269 0.01693	P60-2 Pressure(psia) 29,991.71 29,991.71 10,715.96 16,520.09 - 0.50 29,991.71 - - 29,991.71 - Pressure(psia) 29,991.85 29,991.85 10,682.68	H4-1 Average 0.01305 3.85 0.01321 0.0096 0.01349 2.4815 2.5643 3.23195 6 H4-1 Average 0.0141 3.757 0.014985	_P60 STDEV.S 0.00516 0.12869 0.00519 0.00191 0.03847 0.00721 1.22718 1.41421 P120 STDEV.S 0.00042 0.69014 0.00275
H4-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume H4-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % % % Unit mL/g m²/g µm µm	H4-1_ Value 0.0094 3.759 0.00954 0.00825 0.01002 2.5087 2.5694 2.3642 5 H4-1_1 Value 0.0138 4.245 0.01304 0.00932	P60-1 Pressure(psia) 29,991.76 29,991.76 18,960.94 21,924.67 - 0.50 29,991.76 - P120-1 Pressure(psia) 29,991.96 13,871.53 19,399.60	H4-1_ Value 0.0167 3.941 0.01688 0.01095 0.01696 2.4543 2.5592 4.0997 7 7 H4-1_1 Value 0.0144 3.269 0.01693 0.0114	P60-2 Pressure(psia) 29,991.71 29,991.71 10,715.96 16,520.09 - 0.50 29,991.71 - - P120-2 Pressure(psia) 29,991.85 29,991.85 10,682.68 15,860.46	H4-1 Average 0.01305 3.85 0.01321 0.0096 0.01349 2.4815 2.5643 3.23195 6 4 H4-1 Average 0.0141 3.757 0.014985 0.01036	_P60 STDEV.S 0.00516 0.12869 0.00519 0.00191 0.00491 0.03847 0.00721 1.22718 1.41421 _P120 STDEV.S 0.00042 0.69014 0.00275 0.00147
H4-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume H4-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A)	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL g/mL % % % Unit mL/g m²/g m²/g µm µm	H4-1_ Value 0.0094 3.759 0.00954 0.00825 0.01002 2.5087 2.5694 2.3642 5 H4-1_1 Value 0.0138 4.245 0.01304 0.00932 0.01301	P60-1 Pressure(psia) 29,991.76 29,991.76 18,960.94 21,924.67 - 0.50 29,991.76 - P120-1 Pressure(psia) 29,991.96 29,991.96 13,871.53 19,399.60	H4-1_ Value 0.0167 3.941 0.01688 0.01095 0.01696 2.4543 2.5592 4.0997 7 7 H4-1_1 Value 0.0144 3.269 0.01693 0.0114 0.01761	P60-2 Pressure(psia) 29,991.71 29,991.71 10,715.96 16,520.09 - 0.50 29,991.71	H4-1 Average 0.01305 3.85 0.01321 0.0096 0.01349 2.4815 2.5643 3.23195 6 4 H4-1 Average 0.0141 3.757 0.014985 0.01036 0.01531	_P60 STDEV.S 0.00516 0.12869 0.00519 0.00191 0.00491 0.03847 0.00721 1.22718 1.41421 _P120 STDEV.S 0.00042 0.69014 0.00275 0.00147 0.00325
H4-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume H4-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g µm µm µm g/mL	H4-1_ Value 0.0094 3.759 0.00954 0.00825 0.01002 2.5087 2.5694 2.3642 5 H4-1_I Value 0.0138 4.245 0.01304 0.00932 0.01301 2.4763	P60-1 Pressure(psia) 29,991.76 29,991.76 18,960.94 21,924.67 - 0.50 29,991.76 - P120-1 Pressure(psia) 29,991.96 29,991.96 13,871.53 19,399.60 - 0.50	H4-1_ Value 0.0167 3.941 0.01688 0.01095 0.01696 2.4543 2.5592 4.0997 7 H4-1_1 Value 0.0144 3.269 0.01693 0.0114 0.01761 2.4649	P60-2 Pressure(psia) 29,991.71 29,991.71 10,715.96 16,520.09 - 0.50 29,991.71	H4-1 Average 0.01305 3.85 0.01321 0.0096 0.01349 2.4815 2.5643 3.23195 6 H4-1 Average 0.0141 3.757 0.014985 0.01036 0.01531 2.4706	_P60 STDEV.S 0.00516 0.12869 0.00519 0.00191 0.00491 0.03847 0.00721 1.22718 1.41421 STDEV.S 0.00042 0.69014 0.00275 0.00147 0.00325 0.00806
H4-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume H4-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g µm µm µm g/mL g/mL	H4-1_ Value 0.0094 3.759 0.00954 0.00825 0.01002 2.5087 2.5694 2.3642 5 H4-1_1 Value 0.0138 4.245 0.01304 0.00932 0.01301 2.4763 2.5639	P60-1 Pressure(psia) 29,991.76 29,991.76 18,960.94 21,924.67 - 0.50 29,991.76 - P120-1 Pressure(psia) 29,991.96 13,871.53 19,399.60 - 0.50 29,991.96	H4-1_ Value 0.0167 3.941 0.01688 0.01095 0.01696 2.4543 2.5592 4.0997 7 H4-1_0 Value 0.0144 3.269 0.01693 0.0114 0.01761 2.4649 2.5556	P60-2 Pressure(psia) 29,991.71 29,991.71 10,715.96 16,520.09 0.50 29,991.71 20,50 29,991.71 20,50 29,991.71 20,50 29,991.71 20,50 29,991.85 29,991.85 29,991.85 10,682.68 15,860.46 0.49 29,991.85	H4-1 Average 0.01305 3.85 0.01321 0.0096 0.01349 2.4815 2.5643 3.23195 6 H4-1 Average 0.0141 3.757 0.014985 0.01036 0.01531 2.4706 2.55975	_P60 STDEV.S 0.00516 0.12869 0.00191 0.00491 0.03847 0.00721 1.22718 1.41421 P120 STDEV.S 0.00042 0.69014 0.00275 0.000147 0.00325 0.00806 0.00587
H4-1_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume H4-1_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity:	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % Unit mL/g m²/g µm µm µm g/mL g/mL g/mL	H4-1_ Value 0.0094 3.759 0.00954 0.00825 0.01002 2.5087 2.5694 2.3642 5 H4-1_1 Value 0.0138 4.245 0.01304 0.00932 0.01301 2.4763 2.5639 3.4179	P60-1 Pressure(psia) 29,991.76 29,991.76 18,960.94 21,924.67 - 0.50 29,991.76 - P120-1 Pressure(psia) 29,991.96 29,991.96 13,871.53 19,399.60 - 0.50 29,991.96 -	H4-1_ Value 0.0167 3.941 0.01688 0.01095 0.01696 2.4543 2.5592 4.0997 7 7 H4-1_1 Value 0.0144 3.269 0.01693 0.0114 0.01761 2.4649 2.5556 3.5486	P60-2 Pressure(psia) 29,991.71 29,991.71 10,715.96 16,520.09 0.50 29,991.71 Pressure(psia) 29,991.85 29,991.85 10,682.68 15,860.46 0.49 29,991.85	H4-1 Average 0.01305 3.85 0.01321 0.0096 0.01349 2.4815 2.5643 3.23195 6 H4-1 Average 0.0141 3.757 0.014985 0.01036 0.01531 2.4706 2.55975 3.48325	_P60 STDEV.S 0.00516 0.12869 0.00191 0.00491 0.03847 0.00721 1.22718 1.41421 P120 STDEV.S 0.00042 0.69014 0.00275 0.00042 0.69014 0.00275 0.00042 0.00042 0.00042 0.00047 0.0025 0.00047 0.00325 0.00806 0.00587 0.09242

## 表 1.9-9 H 4-1 のポロシメータ測定結果



図 1.9-8 H 4-1の間隙径分布 (a)・(b) 未浸漬、 (c)・(d) 30 日浸漬、 (e)・(f) 60 日浸漬、 (g)・(h) 120 日浸漬

14-3_浸漬前		14-3_	Pb-1	14-3_	Pb-2	14-3	_Pb
Contents	Unit	Value	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Average	STDEV.S
Total intrusion volume	mL/g	0.0151	29,991.49	0.0163	29,991.92	0.0157	0.00085
Total pore area	m²/g	0.535	29,991.49	0.592	29,991.92	0.5635	0.04031
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL	μm	0.1301	1,390.20	0.13441	1,345.62	0.132255	0.00305
Median pore diameter (area) at 0.000 m ² /g	um	0.10231	1.767.87	0.09943	1.818.92	0.10087	0.00204
Average pore diameter $(4V/A)$	um	0 11263		0 10986		0 111245	0 0019587
Bulk donsity at 0.50 psia	µm م/ml	2 5/78	0.50	2 5382	0.50	2 5/13	0.0013307
	g/IIIL	2.5476	20.001.40	2.5382	20.001.02	2.343	0.00073
	g/IIIL	2.0495	29,991.49	2.0473	29,991.92	2.0460	0.00141
Porosity:	%	3.8399	-	4.1287	-	3.9843	0.20421
Stem volume	%	1	-	8	-	1.5	0.7071068
14 2 20口用词注		14.2	D20 1	14.2	D20 2	14.2	D20
14-5_30口间皮俱	11.21	14-5_	F 30-1	14-3_	- 30-2	14-5_	
Contents	Unit	Value	Pressure(psia)	value	Pressure(psia)	Average	STDEV.S
lotal intrusion volume	mL/g	0.0237	29,992.03	0.0264	29,991.64	0.02505	0.00191
Total pore area	m²/g	1.236	29,992.03	1.263	29,991.64	1.2495	0.01909
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	μm	0.15437	1,171.65	0.15918	1,136.20	0.156775	0.00340
Median pore diameter (area) at 0.000 $\rm m^2/g$	μm	0.02904	6,227.65	0.03769	4,799.05	0.033365	0.00612
Average pore diameter (4V/A)	μm	0.07657	-	0.08361	-	0.08009	0.00498
Bulk density at 0.50 psia	g/mL	2.4261	0.50	2.4	0.50	2.41305	0.01846
Apparent (skeletal) density	g/mL	2.5739	29,992.03	2.5623	29,991.64	2.5681	0.00820
Porosity:	%	5.742	_	6.3376	_	6.0398	0.42115
Stem volume	%	10	-	11	-	10.5	0.70711
14.2.000 田 河 法							
14-3 60日問浸清		14-3	P60-1	14-3	P60-2	14-3	P60
I4-3_60日間浸漬	Unit	14-3_	P60-1 Pressure(psia)	14-3_	P60-2 Pressure(psia)	14-3_	_P60
I4-3_60日間浸漬 Contents	Unit	I4-3_ Value	P60-1 Pressure(psia) 20 001 74	I4-3_ Value	P60-2 Pressure(psia)	I4-3 Average	_P60 STDEV.S
I4-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume	Unit mL/g	I4-3_ Value 0.0269	P60-1 Pressure(psia) 29,991.74	I4-3_ Value 0.0243	P60-2 Pressure(psia) 29,992.34	14-3_ Average 0.0256	_P60 STDEV.S 0.00184
I4-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area	Unit mL/g m²/g	I4-3_ Value 0.0269 2.177	P60-1 Pressure(psia) 29,991.74 29,991.74	I4-3_ Value 0.0243 2.171	P60-2 Pressure(psia) 29,992.34 29,992.34	14-3 Average 0.0256 2.174	_P60 STDEV.S 0.00184 0.00424
I4-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	Unit mL/g m²/g μm	I4-3_ Value 0.0269 2.177 0.15439	P60-1 Pressure(psia) 29,991.74 29,991.74 1,171.51	I4-3_ Value 0.0243 2.171 0.14561	P60-2 Pressure(psia) 29,992.34 29,992.34 1,242.09	I4-3_ Average 0.0256 2.174 0.15	P60 STDEV.S 0.00184 0.00424 0.00621
I4-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	Unit mL/g m²/g µm µm	I4-3_ Value 0.0269 2.177 0.15439 0.01488	P60-1 Pressure(psia) 29,991.74 29,991.74 1,171.51 12,152.71	I4-3_ Value 0.0243 2.171 0.14561 0.01413	P60-2 Pressure(psia) 29,992.34 29,992.34 1,242.09 12,801.57	I4-3 Average 0.0256 2.174 0.15 0.014505	_P60 STDEV.S 0.00184 0.00424 0.00621 0.00053
I4-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A)	Unit mL/g m²/g μm μm μm	I4-3_ Value 0.0269 2.177 0.15439 0.01488 0.04938	P60-1 Pressure(psia) 29,991.74 29,991.74 1,171.51 12,152.71 -	I4-3_ Value 0.0243 2.171 0.14561 0.01413 0.04477	P60-2 Pressure(psia) 29,992.34 29,992.34 1,242.09 12,801.57 -	14-3 Average 0.0256 2.174 0.15 0.014505 0.047075	_P60 STDEV.S 0.00184 0.00424 0.00053 0.00053
I4-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia	Unit mL/g m²/g µm µm µm g/mL	I4-3_ Value 0.0269 2.177 0.15439 0.01488 0.04938 2.3997	P60-1 Pressure(psia) 29,991.74 29,991.74 1,171.51 12,152.71 - 0.50	I4-3_ Value 0.0243 2.171 0.14561 0.01413 0.04477 2.4166	P60-2 Pressure(psia) 29,992.34 29,992.34 1,242.09 12,801.57 - 0.50	14-3 Average 0.0256 2.174 0.15 0.014505 0.047075 2.40815	_P60 STDEV.S 0.00184 0.00424 0.00053 0.00053 0.00326 0.01195
I4-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL	I4-3_           Value           0.0269           2.177           0.15439           0.01488           0.04938           2.3997           2.5652	P60-1 Pressure(psia) 29,991.74 29,991.74 1,171.51 12,152.71 - 0.50 29,991.74	I4-3_ Value 0.0243 2.171 0.14561 0.01413 0.04477 2.4166 2.5674	P60-2 Pressure(psia) 29,992.34 29,992.34 1,242.09 12,801.57 - 0.50 29,992.34	14-3 Average 0.0256 2.174 0.15 0.014505 0.047075 2.40815 2.5663	P60 STDEV.S 0.00184 0.00621 0.00053 0.00326 0.01195 0.00156
I4-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity:	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL %	I4-3_           Value           0.0269           2.177           0.15439           0.01488           0.04938           2.3997           2.5652           6.4507	P60-1 Pressure(psia) 29,991.74 29,991.74 1,171.51 12,152.71 - 0.50 29,991.74 -	I4-3_           Value           0.0243           2.171           0.14561           0.01413           0.04477           2.4166           2.5674           5.8737	P60-2 Pressure(psia) 29,992.34 29,992.34 1,242.09 12,801.57 - 0.50 29,992.34 -	14-3 Average 0.0256 2.174 0.15 0.014505 0.047075 2.40815 2.5663 6.1622	P60 STDEV.S 0.00184 0.00621 0.00053 0.00326 0.01195 0.00156 0.40800
I4-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL g/mL %	I4-3_           Value           0.0269           2.177           0.15439           0.01488           0.04938           2.3997           2.5652           6.4507           11	P60-1 Pressure(psia) 29,991.74 29,991.74 1,171.51 12,152.71 - 0.50 29,991.74 - -	I4-3_           Value           0.0243           2.171           0.14561           0.01413           0.04477           2.4166           2.5674           5.8737           11	P60-2 Pressure(psia) 29,992.34 1,242.09 12,801.57 - 0.50 29,992.34 - -	14-3 Average 0.0256 2.174 0.15 0.014505 0.047075 2.40815 2.5663 6.1622 11	P60 STDEV.S 0.00184 0.00424 0.00053 0.00053 0.00126 0.00156 0.40800 0.00000
I4-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL % %	I4-3_           Value           0.0269           2.177           0.15439           0.01488           0.04938           2.3997           2.5652           6.4507           11	P60-1 Pressure(psia) 29,991.74 29,991.74 1,171.51 12,152.71 - 0.50 29,991.74 - -	I4-3_           Value           0.0243           2.171           0.14561           0.01413           0.04477           2.4166           2.5674           5.8737           11	P60-2 Pressure(psia) 29,992.34 1,242.09 12,801.57 - 0.50 29,992.34 - -	14-3 Average 0.0256 2.174 0.15 0.014505 0.047075 2.40815 2.5663 6.1622 11	P60 STDEV.S 0.00184 0.00621 0.00053 0.00326 0.01195 0.00156 0.40800 0.00000
I4-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume I4-3_120日間浸漬	Unit mL/g m ² /g µm µm g/mL g/mL %	I4-3_           Value           0.0269           2.177           0.15439           0.01488           0.04938           2.3997           2.5652           6.4507           11           I4-3_F	P60-1 Pressure(psia) 29,991.74 29,991.74 1,171.51 12,152.71 - 0.50 29,991.74 - - 29,991.74 - - -	I4-3_ Value 0.0243 2.171 0.14561 0.01413 0.04477 2.4166 2.5674 5.8737 11 14-3_F	P60-2 Pressure(psia) 29,992.34 1,242.09 12,801.57 - 0.50 29,992.34 - - 2120-2	14-3 Average 0.0256 2.174 0.15 0.014505 0.047075 2.40815 2.5663 6.1622 11	P60 STDEV.S 0.00184 0.00424 0.00053 0.00053 0.00326 0.01195 0.00156 0.40800 0.00000
I4-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume I4-3_120日間浸漬 Contents	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL % % Unit	I4-3_           Value           0.0269           2.177           0.15439           0.01488           0.04938           2.3997           2.5652           6.4507           11           I4-3_F           Value	P60-1 Pressure(psia) 29,991.74 29,991.74 1,171.51 12,152.71 - 0.50 29,991.74 - - 29,991.74 - - 2120-1 Pressure(psia)	I4-3_ Value 0.0243 2.171 0.14561 0.01413 0.04477 2.4166 2.5674 5.8737 11 I4-3_F Value	P60-2 Pressure(psia) 29,992.34 1,242.09 12,801.57 - 0.50 29,992.34 - - 2120-2 Pressure(psia)	I4-3.           Average           0.0256           2.174           0.15           0.014505           0.047075           2.40815           2.5663           6.1622           11           I4-3_           Average	P60 STDEV.S 0.00184 0.00621 0.00053 0.00326 0.01195 0.00156 0.40800 0.00000 P120 STDEV.S
I4-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume I4-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g	I4-3_           Value           0.0269           2.177           0.15439           0.01488           0.04938           2.3997           2.5652           6.4507           11           I4-3_F           Value           0.0266	P60-1 Pressure(psia) 29,991.74 29,991.74 1,171.51 12,152.71 - 0.50 29,991.74 - - 29,991.74 - P120-1 Pressure(psia) 29,992.27	I4-3_ Value 0.0243 2.171 0.14561 0.01413 0.04477 2.4166 2.5674 5.8737 11 I4-3_F Value 0.0277	P60-2 Pressure(psia) 29,992.34 1,242.09 12,801.57 - 0.50 29,992.34 - - 2120-2 Pressure(psia) 29,991.62	I4-3.           Average           0.0256           2.174           0.15           0.014505           0.047075           2.40815           2.5663           6.1622           11           I4-3_           Average           0.02715	P60 STDEV.S 0.00184 0.00621 0.00053 0.00326 0.01195 0.00156 0.40800 0.000000 P120 STDEV.S 0.00078
I4-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume I4-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g	I4-3_           Value           0.0269           2.177           0.15439           0.01488           0.04938           2.3997           2.5652           6.4507           11           I4-3_F           Value           0.0266           3.095	P60-1 Pressure(psia) 29,991.74 29,991.74 1,171.51 12,152.71 - 0.50 29,991.74 - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.27 29,992.27	I4-3_ Value 0.0243 2.171 0.14561 0.01413 0.04477 2.4166 2.5674 5.8737 11 I4-3_F Value 0.0277 2.96	P60-2 Pressure(psia) 29,992.34 1,242.09 12,801.57 - 0.50 29,992.34 - - 2120-2 Pressure(psia) 29,991.62 29,991.62	I4-3.           Average           0.0256           2.174           0.15           0.014505           0.047075           2.40815           2.5663           6.1622           11           I4-3_           Average           0.02715           3.0275	P60 STDEV.S 0.00184 0.00424 0.00053 0.00326 0.01195 0.00156 0.40800 0.000000 P120 STDEV.S 0.00078 0.009546
I4-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume I4-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	Unit mL/g m²/g μm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g μm	I4-3_           Value           0.0269           2.177           0.15439           0.01488           0.04938           2.3997           2.5652           6.4507           11           I4-3_F           Value           0.0266           3.095           0.10833	P60-1 Pressure(psia) 29,991.74 29,991.74 1,171.51 12,152.71 - 0.50 29,991.74 - - Pressure(psia) 29,992.27 29,992.27 1,669.55	I4-3_ Value 0.0243 2.171 0.14561 0.01413 0.04477 2.4166 2.5674 5.8737 11 I4-3_F Value 0.0277 2.96 0.10905	P60-2 Pressure(psia) 29,992.34 1,242.09 12,801.57 - 0.50 29,992.34 - - 2120-2 Pressure(psia) 29,991.62 29,991.62 1,658.60	I4-3.           Average           0.0256           2.174           0.15           0.014505           0.047075           2.40815           2.5663           6.1622           11           I4-3_           Average           0.02715           3.0275           0.10869	P60 STDEV.S 0.00184 0.00621 0.00053 0.00326 0.01195 0.00156 0.40800 0.00000 P120 STDEV.S 0.00078 0.09546 0.00051
I4-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume I4-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	Unit mL/g m²/g μm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g μm	I4-3_           Value           0.0269           2.177           0.15439           0.01488           0.04938           2.3997           2.5652           6.4507           11           I4-3_F           Value           0.0266           3.095           0.10833           0.01338	P60-1 Pressure(psia) 29,991.74 29,991.74 1,171.51 12,152.71 - 0.50 29,991.74 - - 2120-1 Pressure(psia) 29,992.27 29,992.27 1,669.55 13,513.41	I4-3_ Value 0.0243 2.171 0.14561 0.01413 0.04477 2.4166 2.5674 5.8737 11 I4-3_F Value 0.0277 2.96 0.10905 0.01586	P60-2 Pressure(psia) 29,992.34 1,242.09 12,801.57 - 0.50 29,992.34 - 29,992.34 - 29,992.34 - Pressure(psia) 29,991.62 29,991.62 1,658.60 11,406.27	I4-3.           Average           0.0256           2.174           0.15           0.014505           0.047075           2.40815           2.5663           6.1622           11           I4-3_           Average           0.02715           3.0275           0.10869           0.01462	P60 STDEV.S 0.00184 0.00424 0.00053 0.00326 0.01195 0.00156 0.40800 0.00000 P120 STDEV.S 0.00078 0.09546 0.00051 0.00175
I4-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume I4-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A)	Unit mL/g m²/g μm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g μm μm	I4-3_           Value           0.0269           2.177           0.15439           0.01488           0.04938           2.3997           2.5652           6.4507           11           I4-3_F           Value           0.0266           3.095           0.10833           0.01338           0.03442	P60-1 Pressure(psia) 29,991.74 29,991.74 1,171.51 12,152.71 - 0.50 29,991.74 - - 29,991.74 - 29,991.74 - 29,992.27 29,992.27 1,669.55 13,513.41 -	I4-3_ Value 0.0243 2.171 0.14561 0.01413 0.04477 2.4166 2.5674 5.8737 11 I4-3_F Value 0.0277 2.96 0.10905 0.01586 0.03739	P60-2 Pressure(psia) 29,992.34 1,242.09 12,801.57 - 0.50 29,992.34 - - 2120-2 Pressure(psia) 29,991.62 29,991.62 1,658.60 11,406.27 -	14-3 Average 0.0256 2.174 0.15 0.014505 0.047075 2.40815 2.5663 6.1622 11 14-3_ Average 0.02715 3.0275 0.10869 0.01462 0.035905	P60 STDEV.S 0.00184 0.00621 0.00053 0.00326 0.01195 0.00156 0.40800 0.00000 P120 STDEV.S 0.00078 0.09546 0.00051 0.00015 0.00210
I4-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume I4-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia	Unit mL/g m²/g μm g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g μm μm μm	I4-3_           Value           0.0269           2.177           0.15439           0.01488           0.04938           2.3997           2.5652           6.4507           11           I4-3_F           Value           0.0266           3.095           0.10833           0.01338           0.03442           2.3965	P60-1 Pressure(psia) 29,991.74 29,991.74 1,171.51 12,152.71 - 0.50 29,991.74 - - Pressure(psia) 29,992.27 29,992.27 1,669.55 13,513.41 - 0.50	I4-3_ Value 0.0243 2.171 0.14561 0.01413 0.04477 2.4166 2.5674 5.8737 11 I4-3_F Value 0.0277 2.96 0.10905 0.01586 0.03739 2.3973	P60-2 Pressure(psia) 29,992.34 29,992.34 1,242.09 12,801.57 - 0.50 29,992.34 - - 2120-2 Pressure(psia) 29,991.62 29,991.62 1,658.60 11,406.27 - 0.50	14-3 Average 0.0256 2.174 0.15 0.014505 0.047075 2.40815 2.5663 6.1622 11 14-3_ Average 0.02715 3.0275 0.10869 0.01462 0.035905 2.3969	P60 STDEV.S 0.00184 0.00424 0.00053 0.00053 0.00156 0.40800 0.00000 P120 STDEV.S 0.00078 0.009546 0.00051 0.00175 0.000210 0.00057
I4-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume I4-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density	Unit mL/g m²/g μm g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g μm μm μm g/mL	I4-3_           Value           0.0269           2.177           0.15439           0.01488           0.04938           2.3997           2.5652           6.4507           11           I4-3_F           Value           0.0266           3.095           0.10833           0.01338           0.03442           2.3965           2.56	P60-1 Pressure(psia) 29,991.74 29,991.74 1,171.51 12,152.71 - 0.50 29,991.74 - - P120-1 Pressure(psia) 29,992.27 1,669.55 13,513.41 - 0.50 29,992.27	I4-3_ Value 0.0243 2.171 0.14561 0.01413 0.04477 2.4166 2.5674 5.8737 11 I4-3_F Value 0.0277 2.96 0.10905 0.01586 0.03739 2.3973 2.5675	P60-2 Pressure(psia) 29,992.34 29,992.34 1,242.09 12,801.57 - 0.50 29,992.34 - 29,992.34 - 29,992.34 - 29,992.34 - 29,992.34 - 29,992.34 - 29,992.34 - 1,658.60 11,406.27 - 0.50 29,991.62 0.50 29,991.62	14-3 Average 0.0256 2.174 0.15 0.014505 0.047075 2.40815 2.5663 6.1622 11 14-3_ Average 0.02715 3.0275 0.10869 0.01462 0.035905 2.3969 2.56375	P60 STDEV.S 0.00184 0.00424 0.00053 0.00326 0.01195 0.00156 0.40800 0.00000 P120 STDEV.S 0.00078 0.009546 0.00051 0.00057 0.00530
I4-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume I4-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity:	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % Unit mL/g m²/g µm µm µm g/mL g/mL	I4-3_           Value           0.0269           2.177           0.15439           0.01488           0.04938           2.3997           2.5652           6.4507           11           I4-3_F           Value           0.0266           3.095           0.10833           0.01338           0.03442           2.3965           2.56           6.3853	P60-1 Pressure(psia) 29,991.74 29,991.74 1,171.51 12,152.71 - 0.50 29,991.74 - Pressure(psia) 29,992.27 29,992.27 1,669.55 13,513.41 - 0.50 29,992.27 -	I4-3_ Value 0.0243 2.171 0.14561 0.01413 0.04477 2.4166 2.5674 5.8737 11 I4-3_F Value 0.0277 2.96 0.10905 0.01586 0.03739 2.3973 2.5675 6.6311	P60-2 Pressure(psia) 29,992.34 1,242.09 12,801.57 - 0.50 29,992.34 - Pressure(psia) 29,991.62 29,991.62 1,658.60 11,406.27 - 0.50 29,991.62	14-3 Average 0.0256 2.174 0.15 0.014505 0.047075 2.40815 2.5663 6.1622 11 14-3_ Average 0.02715 3.0275 0.10869 0.01462 0.035905 2.3969 2.56375 6 5082	P60 STDEV.S 0.00184 0.00424 0.00053 0.00326 0.01195 0.00156 0.40800 0.00000 P120 STDEV.S 0.00078 0.009546 0.00051 0.00210 0.00057 0.00530 0.17381
I4-3_60日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume I4-3_120日間浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity:	Unit mL/g µm µm g/mL g/mL g/mL % Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL g/mL	I4-3_           Value           0.0269           2.177           0.15439           0.01488           0.04938           2.3997           2.5652           6.4507           11           I4-3_F           Value           0.0266           3.095           0.10833           0.01338           0.03442           2.3965           2.56           6.3853	P60-1 Pressure(psia) 29,991.74 29,991.74 1,171.51 12,152.71 - 0.50 29,991.74 - Pressure(psia) 29,992.27 1,669.55 13,513.41 - 0.50 29,992.27 - 0.50 29,992.27 -	I4-3_ Value 0.0243 2.171 0.14561 0.01413 0.04477 2.4166 2.5674 5.8737 11 I4-3_F Value 0.0277 2.96 0.10905 0.01586 0.03739 2.3973 2.5675 6.6311	P60-2 Pressure(psia) 29,992.34 1,242.09 12,801.57 - 0.50 29,992.34 - Pressure(psia) 29,991.62 29,991.62 29,991.62 1,658.60 11,406.27 - 0.50 29,991.62 -	14-3 Average 0.0256 2.174 0.15 0.014505 0.047075 2.40815 2.5663 6.1622 11 14-3 4verage 0.02715 3.0275 0.10869 0.01462 0.035905 2.3969 2.56375 6.5082	P60 STDEV.S 0.00184 0.00424 0.00053 0.00326 0.01195 0.00156 0.40800 0.00000 P120 STDEV.S 0.00078 0.0051 0.00210 0.00057 0.00057 0.00530 0.17381 0.70711

#### 表 1.9-10 | 4-3 のポロシメータ測定結果


図 1.9-9 I 4-3の間隙径分布 (a)・(b) 未浸漬、 (c)・(d) 30 日浸漬、 (e)・(f) 60 日浸漬、 (g)・(h) 120 日浸漬

J2-5_浸漬前		J2-5_	Pb-1	J2-5_	_Pb-2	J2-5_Pb	
Contents	Unit	Value	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Average	STDEV.S
Total intrusion volume	mL/g	0.002	29,992.13	0.0021	29,991.37	0.00205	0.00007
Total pore area	m²/g	0.002	29,992.13	0	29,991.37	0.001	0.00141
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL	μm	130.45121	1.39	161.73742	1.12	146.09432	22.12269
Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	μm	0.4072	444.16	1.58704	113.96	0.99712	0.83427
Average pore diameter (4V/A)	μm	3.28626	-	0	-	1.64313	2.3237367
Bulk density at 0.50 psia	g/mL	2.7553	0.49	2.7101	0.49	2.7327	0.03196
Apparent (skeletal) density	g/mL	2.7704	29,992.13	2.7253	29,991.37	2.74785	0.03189
Porosity:	%	0.5463	-	0.5566	-	0.55145	0.00728
Stem volume	%	1	-	1	-	1	0
J2-5_硝酸浸漬		J2-5_N	_P60-1	J2-5_N	_P60-2	J2-5_N	N_P60
Contents	Unit	Value	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Average	STDEV.S
Total intrusion volume	mL/g	0.0027	29,991.75	0.0019	29,992.23	0.0023	0.00057
Total pore area	m²/g	0.077	29,991.75	0.018	29,992.23	0.0475	0.04172
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	μm	157.24544	1.15	107.57101	1.68	132.40823	35.12513
Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	μm	0.05263	3,436.77	0.0617	2,931.48	0.057165	0.00641
Average pore diameter (4V/A)	μm	0.1396	-	0.42807	-	0.283835	0.20398
Bulk density at 0.50 psia	g/mL	2.5583	0.50	2.6051	0.50	2.5817	0.03309
Apparent (skeletal) density	g/mL	2.5761	29,991.75	2.6182	29,992.23	2.59715	0.02977
Porosity:	%	0.6913	-	0.4992	-	0.59525	0.13584
Stem volume	%	1	-	1	-	1	0.00000
·							
J2-5_塩酸浸漬		J2-5_C	_P60-1	J2-5_C	_P60-2	J2-5_(	C_P60
Contents	Unit	Value	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Average	STDEV.S
Total intrusion volume	mL/g	0.1456	29,992.28	0.3066	29,991.64	0.2261	0.11384
Total pore area	m²/g	2.192	29,992.28	3.786	29,991.64	2.989	1.12713
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	μm	5.28423	34.23	9.09856	19.88	7.191395	2.69714
Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	μm	0.03461	5,226.45	0.02563	7,056.03	0.03012	0.00635
Average pore diameter (4V/A)	μm	0.26566	-	0.32394	-	0.2948	0.04121
Bulk density at 0.50 psia	g/mL	1.8461	0.50	1.4001	0.50	1.6231	0.31537
Apparent (skeletal) density	g/mL	2.5248	29,992.28	2.4535	29,991.64	2.48915	0.05042
Porosity:	%	26.8815	-	42.9322	-	34.90685	11.34956
Stem volume	%	15	-	22	-	18.5	4.94975
J2-5_硫酸浸漬		J2-5_S	_P60-1	J2-5_S	_P60-2	J2-5_9	S_P60
Contents	Unit	Value	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Average	STDEV.S
Total intrusion volume	mL/g	0.0081	29,991.86	0.0078	29,991.98	0.00795	0.00021
Total pore area	m²/g	0.507	29,991.86	0.487	29,991.98	0.497	0.01414
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	μm	0.07631	2,370.11	0.07521	2,404.91	0.07576	0.00078
Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	μm	0.03998	4,523.55	0.03506	5,158.88	0.03752	0.00348
Average pore diameter (4V/A)				0.00075		0.06402	0.00040
91	μm	0.06431	-	0.06375	-	0.06403	0.00040
Bulk density at 0.50 psia	µm g/mL	0.06431 2.6254	- 0.49	2.6506	- 0.49	2.638	0.00040
Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density	µm g/mL g/mL	0.06431 2.6254 2.6828	- 0.49 29,991.86	0.06375 2.6506 2.7064	- 0.49 29,991.98	2.638 2.6946	0.01782
Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity:	µm g/mL g/mL	0.06431 2.6254 2.6828 2.1383	- 0.49 29,991.86 -	2.6506 2.7064 2.0583	- 0.49 29,991.98 -	2.638 2.6946 2.0983	0.01782 0.01669 0.05657
Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume	µm g/mL g/mL %	0.06431 2.6254 2.6828 2.1383 3	- 0.49 29,991.86 - -	0.06375 2.6506 2.7064 2.0583 4	- 0.49 29,991.98 - -	2.638 2.6946 2.0983 3.5	0.01782 0.01669 0.05657 0.70711

#### 表 1.9-11 J 2-5 のポロシメータ測定結果



図 1.9-10 J 2-5の間隙径分布 (a)・(b) 未浸漬、(c)・(d) 硝酸 60 日浸漬、(e)・(f)塩酸 60 日浸漬、(g)・(h) 硫酸 60 日浸漬

K4-2_浸漬前	K4-2_Pb-1		K4-2_	_Pb-2	K4-2_Pb		
Contents	Unit	Value	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Average	STDEV.S
Total intrusion volume	mL/g	0.0082	29,992.12	0.0044	29,991.59	0.0063	0.00269
Total pore area	m²/g	0.149	29,992.12	0.037	29,991.59	0.093	0.07920
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL	μm	16.37584	11.04	8.81583	20.52	12.595835	5.34573
Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	μm	0.04288	4,218.35	0.11196	1,615.49	0.07742	0.04885
Average pore diameter (4V/A)	μm	0.21958	-	0.48106	-	0.35032	0.1848943
Bulk density at 0.50 psia	g/mL	2.6312	0.49	2.677	0.49	2.6541	0.03239
Apparent (skeletal) density	g/mL	2.6892	29,992.12	2.7091	29,991.59	2.69915	0.01407
Porosity:	%	2.1569	-	1.1868	-	1.67185	0.68596
Stem volume	%	3	-	2	-	2.5	0.7071068
K4-2_硝酸浸漬		K4-2_N	L_P60-1	K4-2_N	_P60-2	K4-2_	N_P60
Contents	Unit	Value	Pressure(psia)	Value	Pressure(psia)	Average	STDEV.S
Total intrusion volume	mL/g	0.0194	29,992.30	0.0238	29,992.43	0.0216	0.00311
Total pore area	m²/g	1.427	29,992.30	2.018	29,992.43	1.7225	0.41790
Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	μm	0.21323	848.22	0.16072	1,125.30	0.186975	0.03713
Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	μm	0.01887	9,582.32	0.01655	10,927.15	0.01771	0.00164
Average pore diameter (4V/A)	μm	0.05439	-	0.04712	-	0.050755	0.00514
Bulk density at 0.50 psia	g/mL	2.4335	0.49	2.405	0.49	2.41925	0.02015
Apparent (skeletal) density	g/mL	2.5541	29,992.30	2.5508	29,992.43	2.55245	0.00233
Porosity:	%	4.7227	-	5.7181	-	5.2204	0.70385
Stem volume	%	6	-	8	-	7	1.41421
K4-2_塩酸浸漬		K4-2_C	C_P60-1	K4-2_C	_P60-2	K4-2_	C_P60
K4-2_塩酸浸漬 Contents	Unit	K4-2_C Value	C_P60-1 Pressure(psia)	K4-2_C Value	2_P60-2 Pressure(psia)	K4-2_ Average	C_P60 STDEV.S
K4-2_塩酸浸漬 Contents Total intrusion volume	Unit mL/g	K4-2_C Value 0.1652	2_P60-1 Pressure(psia) 29,992.65	K4-2_C Value 0.1298	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91	K4-2_ Average 0.1475	C_P60 STDEV.S 0.02503
K4-2_塩酸浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area	Unit mL/g m²/g	K4-2_C Value 0.1652 0.775	2_P60-1 Pressure(psia) 29,992.65 29,992.65	K4-2_C Value 0.1298 0.676	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91	K4-2_ Average 0.1475 0.7255	C_P60 STDEV.S 0.02503 0.07000
K4-2_塩酸浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	Unit mL/g m²/g µm	K4-2_C Value 0.1652 0.775 14.10712	2_P60-1 Pressure(psia) 29,992.65 29,992.65 12.82	K4-2_C Value 0.1298 0.676 14.74402	2_P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91 12.27	K4-2_ Average 0.1475 0.7255 14.42557	C_P60 STDEV.S 0.02503 0.07000 0.45036
K4-2_塩酸浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g	Unit mL/g m²/g μm μm	K4-2_C Value 0.1652 0.775 14.10712 0.09905	2_P60-1 Pressure(psia) 29,992.65 29,992.65 12.82 1,825.89	K4-2_C Value 0.1298 0.676 14.74402 0.09093	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91 12.27 1,989.00	K4-2_ Average 0.1475 0.7255 14.42557 0.09499	C_P60 STDEV.S 0.02503 0.07000 0.45036 0.00574
K4-2_塩酸浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A)	Unit mL/g m²/g µm µm	K4-2_C Value 0.1652 0.775 14.10712 0.09905 0.85268	2_P60-1 Pressure(psia) 29,992.65 29,992.65 12.82 1,825.89 -	K4-2_C Value 0.1298 0.676 14.74402 0.09093 0.76793	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91 12.27 1,989.00 -	K4-2_ Average 0.1475 0.7255 14.42557 0.09499 0.810305	C_P60 STDEV.S 0.02503 0.07000 0.45036 0.00574 0.05993
K4-2_塩酸浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL	K4-2_C Value 0.1652 0.775 14.10712 0.09905 0.85268 1.8135	2_P60-1 Pressure(psia) 29,992.65 29,992.65 12.82 1,825.89 - 0.49 20.002.65	K4-2_C Value 0.1298 0.676 14.74402 0.09093 0.76793 1.8851	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91 12.27 1,989.00 - 0.49	K4-2_ Average 0.1475 0.7255 14.42557 0.09499 0.810305 1.8493 2.5427	C_P60 STDEV.S 0.02503 0.07000 0.45036 0.00574 0.05993 0.05063
K4-2_塩酸浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density	Unit mL/g m ² /g µm µm g/mL g/mL	K4-2_C Value 0.1652 0.775 14.10712 0.09905 0.85268 1.8135 2.5895	2_P60-1 Pressure(psia) 29,992.65 29,992.65 12.82 1,825.89 - 0.49 29,992.65	K4-2_C Value 0.1298 0.676 14.74402 0.09093 0.76793 1.8851 2.4959	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 22,991.91 12.27 1,989.00 - 0.49 29,991.91	K4-2_ Average 0.1475 0.7255 14.42557 0.09499 0.810305 1.8493 2.5427	C_P60 STDEV.S 0.02503 0.07000 0.45036 0.00574 0.05993 0.05063 0.06619
K4-2_塩酸浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Chara undures	Unit mL/g m²/g μm μm g/mL g/mL g/mL	K4-2_C Value 0.1652 0.775 14.10712 0.09905 0.85268 1.8135 2.5895 29.9663	E_P60-1 Pressure(psia) 29,992.65 29,992.65 12.82 1,825.89 - 0.49 29,992.65 -	K4-2_C Value 0.1298 0.676 14.74402 0.09093 0.76793 1.8851 2.4959 24.4713	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91 12.27 1,989.00 - 0.49 29,991.91 -	K4-2_ Average 0.1475 0.7255 14.42557 0.09499 0.810305 1.8493 2.5427 27.2188	C_P60 STDEV.S 0.02503 0.07000 0.45036 0.00574 0.05993 0.05063 0.06619 3.88555
K4-2_塩酸浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL %	K4-2_C Value 0.1652 0.775 14.10712 0.09905 0.85268 1.8135 2.5895 29.9663 5	P60-1 Pressure(psia) 29,992.65 29,992.65 12.82 1,825.89 - 0.49 29,992.65 - -	K4-2_C Value 0.1298 0.676 14.74402 0.09093 0.76793 1.8851 2.4959 24.4713 3	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91 12.27 1,989.00 - 0.49 29,991.91 - -	K4-2_           Average           0.1475           0.7255           14.42557           0.09499           0.810305           1.8493           2.5427           27.2188           4	C_P60 STDEV.S 0.02503 0.07000 0.45036 0.00574 0.05993 0.05063 0.06619 3.88555 1.41421
K4-2_塩酸浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume K4-2 硫酸浸渍	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL %	K4-2_C Value 0.1652 0.775 14.10712 0.09905 0.85268 1.8135 2.5895 29.9663 5	2_P60-1 Pressure(psia) 29,992.65 12.82 1,825.89 - 0.49 29,992.65 - - -	K4-2_C Value 0.1298 0.676 14.74402 0.09093 0.76793 1.8851 2.4959 24.4713 3	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91 12.27 1,989.00 - 0.49 29,991.91 - - - - - - - -	K4-2_ Average 0.1475 0.7255 14.42557 0.09499 0.810305 1.8493 2.5427 27.2188 4	C_P60 STDEV.S 0.02503 0.07000 0.45036 0.00574 0.05993 0.05063 0.06619 3.88555 1.41421
K4-2_塩酸浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume K4-2_硫酸浸漬 Contents	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL % %	K4-2_C Value 0.1652 0.775 14.10712 0.09905 0.85268 1.8135 2.5895 29.9663 5 K4-2_S K4-2_S	2_P60-1 Pressure(psia) 29,992.65 12.82 1,825.89 - 0.49 29,992.65 - - - - - - - - - - - - -	K4-2_C Value 0.1298 0.676 14.74402 0.09093 0.76793 1.8851 2.4959 24.4713 3 K4-2_S	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91 12.27 1,989.00 - 0.49 29,991.91 - - - - -P60-2 Pressure(psia)	K4-2_ Average 0.1475 0.7255 14.42557 0.09499 0.810305 1.8493 2.5427 27.2188 4 K4-2_ Average	C_P60 STDEV.S 0.02503 0.07000 0.45036 0.00574 0.05993 0.05063 0.06619 3.88555 1.41421 S_P60 STDEV.S
K4-2_塩酸浸漬 Contents Total intrusion volume Total pore area Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/ Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g Average pore diameter (4V/A) Bulk density at 0.50 psia Apparent (skeletal) density Porosity: Stem volume K4-2_硫酸浸漬 Contents Total intrusion volume	Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL g/mL % % Unit	K4-2_C Value 0.1652 0.775 14.10712 0.09905 0.85268 1.8135 2.5895 29.9663 5 K4-2_S Value 0.0212	2-P60-1          Pressure(psia)         29,992.65         29,992.65         12.82         1,825.89         -         0.49         29,992.65         -         0.49         29,992.65         -         0.49         29,992.65         -         -         -         29,992.65         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -	K4-2_C Value 0.1298 0.676 14.74402 0.09093 0.76793 1.8851 2.4959 24.4713 3 K4-2_S Value 0.0208	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 12.27 1,989.00 - 0.49 29,991.91 - - - - P60-2 Pressure(psia) 29.992.95	K4-2_ Average 0.1475 0.7255 14.42557 0.09499 0.810305 1.8493 2.5427 27.2188 4 K4-2_ Average 0.021	C_P60 STDEV.S 0.02503 0.07000 0.45036 0.00574 0.05993 0.05063 0.06619 3.88555 1.41421 S_P60 STDEV.S 0.00028
K4-2_塩酸浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)         Bulk density at 0.50 psia         Apparent (skeletal) density         Porosity:         Stem volume         K4-2_硫酸浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % % 0 %	K4-2_C Value 0.1652 0.775 14.10712 0.09905 0.85268 1.8135 2.5895 29.9663 5 K4-2_S Value 0.0212 0.554	2-P60-1          Pressure(psia)         29,992.65         29,992.65         12.82         1,825.89         -         0.49         29,992.65         -         0.49         29,992.65         -         -         0.49         29,992.65         -         -         -         -         -         -         -         -         -         29,992.46         29,992.46         29,992.46	K4-2_C Value 0.1298 0.676 14.74402 0.09093 0.76793 1.8851 2.4959 24.4713 3 K4-2_S Value 0.0208 0.659	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91 12.27 1,989.00 - 0.49 29,991.91 - - - P60-2 Pressure(psia) 29,992.95 29,992.95 29,992.95	K4-2_ Average 0.1475 0.7255 14.42557 0.09499 0.810305 1.8493 2.5427 27.2188 4 K4-2_ Average 0.021 0.6065	C_P60 STDEV.S 0.02503 0.07000 0.45036 0.00574 0.05993 0.05063 0.06619 3.88555 1.41421 S_P60 STDEV.S 0.00028 0.07425
K4-2_塩酸浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)         Bulk density at 0.50 psia         Apparent (skeletal) density         Porosity:         Stem volume         K4-2_硫酸浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g um	K4-2_C Value 0.1652 0.775 14.10712 0.09905 0.85268 1.8135 2.5895 29.9663 5 K4-2_S Value 0.0212 0.554 2.49351	E_P60-1 Pressure(psia) 29,992.65 29,992.65 12.82 1,825.89 - 0.49 29,992.65 - - - - - - - - - - - - -	K4-2_C Value 0.1298 0.676 14.74402 0.09093 0.76793 1.8851 2.4959 24.4713 3 K4-2_S Value 0.0208 0.659 1.42485	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 12.27 1,989.00 - 0.49 29,991.91 - - - - - - - - - - - - -	K4-2_           Average           0.1475           0.7255           14.42557           0.09499           0.810305           1.8493           2.5427           27.2188           4           K4-2_           Average           0.021           0.6065           1.95918	C_P60 STDEV.S 0.02503 0.07000 0.45036 0.00574 0.05993 0.05063 0.06619 3.88555 1.41421 S_P60 STDEV.S 0.00028 0.07425 0.75566
K4-2_塩酸浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)         Bulk density at 0.50 psia         Apparent (skeletal) density         Porosity:         Stem volume         K4-2_硫酸浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g µm um	K4-2_C Value 0.1652 0.775 14.10712 0.09905 0.85268 1.8135 2.5895 29.9663 5 K4-2_S Value 0.0212 0.554 2.49351 0.03294	<ul> <li>P60-1</li> <li>Pressure(psia)</li> <li>29,992.65</li> <li>29,992.65</li> <li>12.82</li> <li>1,825.89</li> <li>-</li> <li>0.49</li> <li>29,992.65</li> <li>-</li> <li>-</li> <li>P60-1</li> <li>Pressure(psia)</li> <li>29,992.46</li> <li>29,992.46</li> <li>29,992.46</li> <li>72.53</li> <li>5.490.44</li> </ul>	K4-2_C Value 0.1298 0.676 14.74402 0.09093 0.76793 1.8851 2.4959 24.4713 3 K4-2_S Value 0.0208 0.659 1.42485 0.03088	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91 12.27 1,989.00 - 0.49 29,991.91 - - - P60-2 Pressure(psia) 29,992.95 29,992.95 126.93 5.856.54	K4-2_ Average 0.1475 0.7255 14.42557 0.09499 0.810305 1.8493 2.5427 27.2188 4 K4-2_ Average 0.021 0.6065 1.95918 0.03191	C_P60 STDEV.S 0.02503 0.07000 0.45036 0.00574 0.05993 0.05063 0.06619 3.88555 1.41421 S_P60 STDEV.S 0.00028 0.07425 0.75566 0.00146
K4-2_塩酸浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)         Bulk density at 0.50 psia         Apparent (skeletal) density         Porosity:         Stem volume         K4-2_硫酸浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g µm µm um	K4-2_C Value 0.1652 0.775 14.10712 0.09905 0.85268 1.8135 2.5895 29.9663 5 K4-2_S Value 0.0212 0.554 2.49351 0.03294 0.15337	<ul> <li>P60-1</li> <li>Pressure(psia)</li> <li>29,992.65</li> <li>29,992.65</li> <li>12.82</li> <li>1,825.89</li> <li>-</li> <li>0.49</li> <li>29,992.65</li> <li>-</li> <li>-</li> <li>P60-1</li> <li>Pressure(psia)</li> <li>29,992.46</li> <li>29,992.46</li> <li>29,992.46</li> <li>72.53</li> <li>5,490.44</li> <li>-</li> </ul>	K4-2_C Value 0.1298 0.676 14.74402 0.09093 0.76793 1.8851 2.4959 24.4713 3 K4-2_S Value 0.0208 0.659 1.42485 0.03088 0.12598	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91 12.27 1,989.00 - 0.49 29,991.91 - - - - - Pf60-2 Pressure(psia) 29,992.95 29,992.95 29,992.95 126.93 5,856.54	K4-2_ Average 0.1475 0.7255 14.42557 0.09499 0.810305 1.8493 2.5427 27.2188 4 K4-2_ Average 0.021 0.6065 1.95918 0.03191 0.139675	C_P60 STDEV.S 0.02503 0.07000 0.45036 0.00574 0.05993 0.05063 0.06619 3.88555 1.41421 S_P60 STDEV.S 0.00028 0.07425 0.75566 0.00146 0.01937
K4-2_塩酸浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)         Bulk density at 0.50 psia         Apparent (skeletal) density         Porosity:         Stem volume         K4-2_硫酸浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)         Bulk density at 0.50 psia	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g µm µm µm g/mL	K4-2_C Value 0.1652 0.775 14.10712 0.09905 0.85268 1.8135 2.5895 29.9663 5 K4-2_S Value 0.0212 0.554 2.49351 0.03294 0.15337 2.4859	P60-1 Pressure(psia) 29,992.65 29,992.65 12.82 1,825.89 - 0.49 29,992.65 29,992.65 P60-1 Pressure(psia) 29,992.46 29,992.46 29,992.46 5,490.44 - 0.50	K4-2_C Value 0.1298 0.676 14.74402 0.09093 0.76793 1.8851 2.4959 24.4713 3 K4-2_S Value 0.0208 0.659 1.42485 0.03088 0.12598 2.4871	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91 12.27 1,989.00 - 0.49 29,991.91 - - - Pf60-2 Pressure(psia) 29,992.95 29,992.95 126.93 5,856.54 - 0.50	K4-2_ Average 0.1475 0.7255 14.42557 0.09499 0.810305 1.8493 2.5427 27.2188 4 K4-2_ Average 0.021 0.6065 1.95918 0.03191 0.139675 2.4865	C_P60 STDEV.S 0.02503 0.07000 0.45036 0.00574 0.05993 0.05063 0.06619 3.88555 1.41421 S_P60 STDEV.S 0.00028 0.07425 0.75566 0.00146 0.01937 0.00085
K4-2_塩酸浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)         Bulk density at 0.50 psia         Apparent (skeletal) density         Porosity:         Stem volume         K4-2_硫酸浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)         Bulk density at 0.50 psia         Apparent (skeletal) density	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % % 0 % Unit mL/g m²/g µm µm µm g/mL g/mL	K4-2_C Value 0.1652 0.775 14.10712 0.09905 0.85268 1.8135 2.5895 29.9663 5 K4-2_S Value 0.0212 0.554 2.49351 0.03294 0.15337 2.4859 2.6244	2-P60-1 Pressure(psia) 29,992.65 29,992.65 12.82 1,825.89 - 0.49 29,992.65 29,992.65 29,992.65 29,992.65 5,490.44 - 0,50 29,992.46 0,50 29,992.46	K4-2_C           Value           0.1298           0.676           14.74402           0.09093           0.76793           1.8851           2.4959           24.4713           3           K4-2_S           Value           0.0208           0.659           1.42485           0.03088           0.12598           2.4871           2.6225	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91 12.27 1,989.00 - 0.49 29,991.91 - - - P60-2 Pressure(psia) 29,992.95 29,992.95 126.93 5,856.54 - 0.50 29.992.95	K4-2_           Average           0.1475           0.7255           14.42557           0.09499           0.810305           1.8493           2.5427           27.2188           4           K4-2_           Average           0.021           0.6065           1.95918           0.03191           0.139675           2.4865           2.62345	C_P60 STDEV.S 0.02503 0.07000 0.45036 0.00574 0.05993 0.05063 0.06619 3.88555 1.41421 S_P60 STDEV.S 0.00028 0.07425 0.75566 0.00146 0.01937 0.00085 0.00134
K4-2_塩酸浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)         Bulk density at 0.50 psia         Apparent (skeletal) density         Porosity:         Stem volume         K4-2_硫酸浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)         Bulk density at 0.50 psia         Apparent (skeletal) density         Porosity:	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % % Unit mL/g m²/g µm µm µm g/mL g/mL g/mL	K4-2_C Value 0.1652 0.775 14.10712 0.09905 0.85268 1.8135 2.5895 29.9663 5 K4-2_S Value 0.0212 0.554 2.49351 0.03294 0.15337 2.4859 2.6244 5.2785	C_P60-1          Pressure(psia)         29,992.65         29,992.65         12.82         1,825.89         -         0.49         29,992.65         -         0.49         29,992.65         -         -         29,992.65         -         -         -         29,992.65         -         -         29,992.65         -         29,992.46         29,992.46         72.53         5,490.44         -         0.50         29,992.46	K4-2_C           Value           0.1298           0.676           14.74402           0.09093           0.76793           1.8851           2.4959           24.4713           3           K4-2_S           Value           0.0208           0.659           1.42485           0.03088           0.12598           2.4871           2.6225           5.1635	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91 12.27 1,989.00 - 0.49 29,991.91 - - - Pe60-2 Pressure(psia) 29,992.95 29,992.95 126.93 5,856.54 - 0.50 29,992.95	K4-2_           Average           0.1475           0.7255           14.42557           0.09499           0.810305           1.8493           2.5427           27.2188           4           K4-2_           Average           0.021           0.6065           1.95918           0.03191           0.139675           2.4865           2.62345           5.221	C_P60 STDEV.S 0.02503 0.07000 0.45036 0.00574 0.05993 0.05063 0.06619 3.88555 1.41421 S_P60 STDEV.S 0.00028 0.07425 0.75566 0.00146 0.01937 0.00085 0.00134 0.08132
K4-2_塩酸浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)         Bulk density at 0.50 psia         Apparent (skeletal) density         Porosity:         Stem volume         K4-2_硫酸浸漬         Contents         Total intrusion volume         Total pore area         Median pore diameter (volume) at 0.001 mL/         Median pore diameter (area) at 0.000 m²/g         Average pore diameter (4V/A)         Bulk density at 0.50 psia         Apparent (skeletal) density         Porosity:         Stem volume	Unit mL/g m²/g µm g/mL g/mL g/mL % Unit mL/g m²/g µm µm g/mL g/mL g/mL g/mL	K4-2_C Value 0.1652 0.775 14.10712 0.09905 0.85268 1.8135 2.5895 29.9663 5 K4-2_S Value 0.0212 0.554 2.49351 0.03294 0.15337 2.4859 2.6244 5.2785	E-P60-1          Pressure(psia)         29,992.65         29,992.65         12.82         1,825.89         -         0.49         29,992.65         -         0.49         29,992.65         -         -         0.49         29,992.65         -         -         29,992.65         -         -         29,992.65         -         -         29,992.65         -         -         29,992.46         72.53         5,490.44         -         0.50         29,992.46         -         0.50         29,992.46	K4-2_C           Value           0.1298           0.676           14.74402           0.09093           0.76793           1.8851           2.4959           24.4713           3           K4-2_S           Value           0.0208           0.659           1.42485           0.03088           0.12598           2.4871           2.6225           5.1635	P60-2 Pressure(psia) 29,991.91 29,991.91 12.27 1,989.00 - 0.49 29,991.91 - - - Pf60-2 Pressure(psia) 29,992.95 29,992.95 126.93 5,856.54 - 0.50 29,992.95 -	K4-2_           Average           0.1475           0.7255           14.42557           0.09499           0.810305           1.8493           2.5427           27.2188           4           K4-2_           Average           0.021           0.6065           1.95918           0.03191           0.139675           2.4865           2.62345           5.221           6.5	C_P60 STDEV.S 0.02503 0.07000 0.45036 0.00574 0.05993 0.05063 0.06619 3.88555 1.41421 S_P60 STDEV.S 0.00028 0.07425 0.75566 0.00146 0.01937 0.00085 0.00134 0.08132 2.12132

#### 表 1.9-12 K 4-2 のポロシメータ測定結果

【付録12】



図 1.9-11 K 4-2の間隙径分布 (a)・(b) 未浸漬、(c)・(d) 硝酸 60 日浸漬、(e)・(f)塩酸 60 日浸漬、(g)・(h) 硫酸 60 日浸漬

#### 1.10 溶液の ICP-OES および ICP-MS 分析

酸溶液への浸漬によって試料から溶け出した元素を定量的に評価することを目的として、岩石試料浸漬後の硝酸・塩酸・硫酸溶液について、ICP-OES(Agilent 社、Agilent 5100)及び ICP-MS (Agilent 社、7500Ce)を用いた分析を実施した。分析にあたっては、JIS K0102 工場排水試験方 法および JIS M8206 鉄鉱石—ICP 発光分光分析方法を参考に、試料の前処理を行い測定した。測定 結果を表 1.10-1 に示す。

# 表 1.10-1 ICP-OES, ICP-MS による定量分析結果

	Al ma/l	Ca	Fe	K ma/l	Mg	Mn ma/l	Na ma/l	Ti ma/l	Ba ma/l	Cr ma/l	Cu ma/l	Ga ma/l	Li ma/l	Ni ma/l	Pb	Rb	Sr ma/l	V ma/l	Zn ma/l	Si ma/l	Co ma/l	As ma/l	Se ma/l	Cs ma/l	Sc ma/l	Y mg/l	La ma/l	Ce ma/l	Pr ma/l	Sm ma/l	Eu ma/l	Gd	Tb ma/l	Dy ma/l	Ho ma/l	Tm ma/l	Yb
A-120-1	2081	2877	5598	474	1608	88	119/1	0.43	13	3.2	2.3	1.3	7.2	5.2	3.8	4.0	14	2.3	14	<1	2.5	1.3	0.05	1.0	0.55	1.2	1.0	2.6	0.35	0.47	0.12	0.48	0.066	0.31	0.050	0.013	0.073
A-120-2	974	477	1133	444	341	14	7.2	0.19	11	1.3	0.51	0.44	1.5	1.0	0.80	2.8	3.1	1.3	2.9	<1	0.50	0.30	0.02	0.36	0.23	0.46	3.7	7.1	0.82	0.50	0.10	0.46	0.044	0.15	0.020	0.004	0.024
A-120-3	834	49	268	437	104	1.9	5.5	0.19	10	0.91	0.12	0.53	0.73	0.21	0.19	2.6	0.51	1.2	0.60	<1	0.11	0.13	< 0.01	0.14	0.15	0.26	3.3	6.5	0.76	0.43	0.072	0.33	0.030	0.10	0.011	0.002	0.011
A-120-4	854	2.5	132	398	80	0.42	5.8	0.29	10	0.92	0.03	0.58	0.54	0.08	0.05	2.1	0.14	1.2	0.18	<1	0.03	0.06	<0.01	0.07	0.13	0.14	1.6	3.4	0.38	0.22	0.034	0.16	0.015	0.048	0.006	0.001	0.007
A-30	2119	2948	5777	493	1619	0.42	15	0.42	13	3.2	2.5	1.1	7.2	5.6	4.0	4.0	15	2.4	15	<1	2.69	1.27	0.05	0.99	0.59	1.2	1.0	2.5	0.34	0.47	0.12	0.48	0.066	0.31	0.051	0.013	0.073
A-60-1	2151	2838	5822	524	1636	86	1/	0.42	16	3.3	3.1	1.1	1.3	6.1	5.5	4.6	14	2.4	15	<1	3.02	1.70	0.05	1.13	0.59	1.2	1.1	2.5	0.33	0.45	0.12	0.46	0.062	0.30	0.048	0.012	0.070
B-120-1	1628	955	4166	380	886	31	12	0.36	12	2.7	1.1	0.81	4.3	4.1	3.0	2.8	4.6	2.0	11	<1	1.94	0.61	0.01	0.54	0.37	1.4	2.5	5.2	0.65	0.61	0.15	0.60	0.074	0.32	0.020	0.011	0.023
B-120-2	779	195	902	346	213	6.1	5.4	0.19	8.2	1.1	0.26	0.43	1.0	0.95	0.88	2.2	1.2	1.1	2.4	<1	0.44	0.17	0.01	0.20	0.18	0.49	3.0	5.7	0.68	0.44	0.093	0.40	0.038	0.13	0.019	0.004	0.019
B-120-3	677	15	196	361	81	0.70	3.9	0.22	7.7	0.78	0.04	0.45	0.59	0.14	0.08	2.4	0.22	0.91	0.42	<1	0.06	0.06	< 0.01	0.09	0.13	0.19	2.3	4.3	0.50	0.29	0.046	0.23	0.020	0.063	0.008	0.001	0.007
B-120-4	542	0.63	95	275	56	0.20	3.2	0.30	5.9	0.58	<0.01	0.39	0.45	0.06	0.02	1.5	0.06	0.85	0.14	<1	0.02	0.02	<0.01	0.04	0.093	0.070	0.59	1.2	0.14	0.086	0.011	0.066	0.006	0.021	0.003	<0.001	0.003
B-30	1633	932	4260	389	902	39	13	0.35	13	2.7	1.2	1.0	4.4	4.1	3.2	3.4	4.0	2.1	11	<1	1.97	0.67	0.03	0.56	0.38	1.3	2.7	5.1	0.64	0.58	0.14	0.58	0.069	0.31	0.048	0.010	0.056
B-60-1	1557	1002	3970	375	872	30	12	0.32	11	2.5	1.0	0.81	4.1	3.8	2.9	2.5	4.3	1.9	10	<1	1.84	0.63	0.03	0.54	0.36	1.3	2.4	4.7	0.59	0.54	0.13	0.53	0.064	0.28	0.044	0.010	0.053
B-60-2	6/8	6920	887	304	210	3.3	5.2	0.13	7.2	1.0	0.39	0.42	1.3	0.84	0.80	1.5	1.3	0.91	2.4	<1	0.40	0.15	< 0.01	0.21	0.15	0.40	2./	5.1	0.60	0.3/	0.08	0.31	0.031	0.11	0.015	0.003	0.01/
C-120-1 C-120-2	980	1455	1397	341	435	28	5.4	3.0	5.5	1.6	0.20	0.41	1.6	1.0	0.77	2.3	13	1.7	2.6	<1	0.50	0.19	0.04	0.37	0.25	0.55	2.7	5.2	0.62	0.39	0.081	0.36	0.037	0.15	0.022	0.006	0.035
C-120-3	714	403	480	331	166	8.4	4.0	4.2	5.1	1.0	0.07	0.27	1.0	0.31	0.30	2.1	4.5	1.3	0.95	<1	0.16	0.09	< 0.01	0.17	0.17	0	2.7	5.1	0.58	0.31	0.048	0.26	0.024	0.090	0.013	0.003	0.017
C-120-4	599	37	146	299	73	1.3	3.4	6.3	4.7	0.80	0.02	0.36	0.56	0.09	0.08	1.6	1.2	1.1	0.27	<1	0.04	0.06	<0.01	0.08	0.13	0.21	2.0	4.0	0.43	0.23	0.030	0.18	0.016	0.061	0.008	0.002	0.010
C-30	2510	6603	5664	445	1661	137	12	4.7	8.7	4.6	0.79	1.5	6.3	4.6	3.3	4.2	44	3.5	11	<1	2.02	0.61	0.04	1.05	0.51	1.7	2.5	5.0	0.63	0.63	0.17	0.62	0.078	0.38	0.063	0.018	0.11
C-60-1	2343	6281	5228	415	1560	126	12	4.4	8.1	4.4	0.73	1.3	5.9	4.2	3.2	3.9	43	3.2	10	<1	1.86	0.55	0.05	0.99	0.48	1.5	2.2	4.6	0.56	0.56	0.16	0.55	0.070	0.33	0.055	0.016	0.10
C-60-2	1805	13/2	1323	303	407	26	5.0	2.7	5.0	1.5	0.17	0.69	1.8	0.93	0.80	1./	5.2	1.4	2.4	<1	0.45	0.15	< 0.01	0.35	0.21	0.50	2.5	4.8	0.56	0.35	0.072	0.30	0.032	0.13	0.021	0.005	0.032
D-120-1 D-120-2	737	539	1651	175	317	29	6.9	10	3.0	0.65	0.39	0.42	1.7	0.47	1.0	1.2	1.7	1.7	3.7	<1	0.50	0.38	0.02	0.20	0.22	0.44	0.90	1.8	0.23	0.19	0.003	0.19	0.042	0.11	0.018	0.003	0.023
D-120-3	544	284	918	170	175	17	5.4	14	3.3	0.45	0.24	0.42	1.4	0.27	0.45	1.3	1.0	1.3	2.1	<1	0.27	0.20	< 0.01	0.12	0.19	0.35	1.06	2.0	0.24	0.17	0.036	0.16	0.020	0.094	0.014	0.003	0.016
D-120-4	453	145	521	184	102	10	4.3	19	3.7	0.35	0.16	0.37	0.89	0.16	0.31	0.94	0.57	1.2	1.1	<1	0.16	0.14	< 0.01	0.08	0.18	0.29	1.2	2.4	0.27	0.18	0.036	0.16	0.019	0.085	0.012	0.002	0.013
D-30	1788	1681	4828	253	930	86	13	12	3.2	1.6	1.2	1.3	5.1	1.3	2.5	2.7	5.2	3.7	10	<1	1.32	0.92	0.03	0.49	0.39	0.88	0.83	2.0	0.27	0.30	0.066	0.29	0.039	0.20	0.033	0.009	0.048
D-60-1	1808	1755	4762	260	937	87	14	13	3.4	1.6	1.1	1.2	5.0	1.2	2.3	2.9	5.4	3.7	10	<1	1.28	0.91	0.04	0.49	0.42	0.89	0.89	2.1	0.28	0.29	0.066	0.30	0.040	0.20	0.034	0.009	0.049
D-60-2	725	503	1659	1/1	315	2/	6.5	10	2.9	0.61	0.41	0.28	2.0	0.40	0.83	1.0	1.7	1./	3.7	<1	0.4/	0.33	< 0.01	0.20	0.21	0.43	0.89	1.8	0.23	0.18	0.040	0.18	0.023	0.11	0.017	0.004	0.022
E-120-1 E-120-2	734	354	1410	90	528	25	9.2	105	1.6	1.5	0.34	0.57	2.1	0.70	0.56	0.63	1.7	2.6	3.0	<1	0.50	0.12	0.03	0.05	0.30	0.58	0.92	1.7	0.27	0.26	0.060	0.28	0.023	0.21	0.040	0.008	0.048
E-120-3	475	289	720	89	255	13	4.4	84	1.9	0.90	0.25	0.33	1.4	0.39	0.36	0.43	1.6	1.9	1.4	<1	0.27	0.06	< 0.01	0.04	0.38	0.49	1.1	2.0	0.23	0.16	0.040	0.15	0.019	0.10	0.019	0.006	0.039
E-120-4	318	213	336	91	120	5.9	4.5	70	2.0	0.56	0.13	0.24	0.77	0.21	0.18	0.45	1.5	1.3	0.60	<1	0.13	0.04	0.01	0.03	0.31	0.40	1.0	1.9	0.22	0.14	0.036	0.13	0.016	0.085	0.015	0.005	0.033
E-30	2554	725	5925	165	2151	105	9.2	188	2.8	6.1	1.6	1.9	9.3	3.0	2.3	1.2	1.7	6.7	13	<1	1.93	0.77	0.03	0.14	0.51	1.1	1.1	2.3	0.29	0.27	0.059	0.27	0.039	0.22	0.041	0.014	0.083
E-60-1	2577	749	5937	166	2160	104	10	201	2.9	6.0	2.0	1.8	9.2	3.0	2.3	0.76	1.8	6.8	12	<1	1.85	0.68	0.03	0.14	0.54	1.1	1.0	2.1	0.28	0.26	0.061	0.27	0.039	0.22	0.042	0.014	0.085
E-60-2	/51	368	1442	97	1202	23	4.2	120	1.8	1.6	0.32	0.72	2.4	0.80	0.53	0.45	1.5	2./	2.9	<1	0.50	0.13	< 0.01	0.05	0.40	0.59	0.88	1./	0.21	0.1/	0.043	0.16	0.022	0.12	0.023	0.008	0.050
F=120=1 F=120=2	2556	11	363	298	97	3.5	4.8	0.48	6.6	4.2	0.10	0.30	0.44	4.0	0.05	1.6	0.26	1.0	0.64	<1	0.10	0.19	0.03	0.08	0.15	0.30	4.8	9.0	1.1	0.58	0.15	0.39	0.075	0.33	0.038	0.003	0.086
F-120-3	472	0.70	66	224	42	0.66	2.9	0.39	5.2	0.56	< 0.01	0.34	0.47	< 0.05	0.03	1.4	0.07	0.91	0.09	<1	0.01	0.05	< 0.01	0.04	0.12	0.14	1.5	2.7	0.31	0.17	0.020	0.14	0.012	0.040	0.005	0.001	0.008
F-120-4	443	0.58	55	220	39	0.58	2.7	0.59	4.7	0.53	<0.01	0.38	0.45	< 0.05	0.01	1.1	0.06	0.80	0.11	<1	< 0.01	0.02	<0.01	0.03	0.11	0.08	0.30	0.59	0.07	0.040	0.006	0.033	0.004	0.016	0.003	< 0.001	0.005
F-30	2696	370	6821	338	1495	92	21	0.50	15	4.5	1.9	1.4	7.1	5.1	5.8	2.8	2.6	3.2	13	<1	2.33	1.83	0.06	0.37	0.29	1.5	3.0	5.6	0.75	0.64	0.17	0.64	0.080	0.38	0.063	0.016	0.092
F-60-1	2568	349	6448	313	1432	85	20	0.45	16	4.2	1.7	1.5	6.7	5.2	5.9	2.2	2.6	3.0	12	<1	2.20	1.66	0.06	0.33	0.27	1.4	2.7	5.2	0.67	0.57	0.15	0.57	0.070	0.33	0.055	0.014	0.079
F-60-2	2026	26	632	230	146	4.4	5.4	0.20	7.6	0.79	0.18	0.48	7.2	2.45	0.30	1.6	0.48	6.5	1.3	<1	1.72	0.24	0.01	0.10	0.12	0.33	4.2	7.8	0.92	0.52	0.094	0.40	0.034	0.11	0.014	0.003	0.017
G-120-1 G-120-2	1108	275	1057	330	297	6.8	103	39	3.6	1.6	0.11	0.49	1.9	0.75	0.35	3.2	3.4	1.8	2.0	<1	0.31	0.06	< 0.05	0.19	0.19	0.67	2.1	4.0	0.31	0.30	0.054	0.20	0.033	0.16	0.027	0.007	0.039
G-120-3	421	122	267	95	63	2.1	53	27	1.2	0.40	0.03	0.16	0.84	0.19	0.11	1.3	1.7	0.63	0.51	<1	0.07	0.05	< 0.01	0.05	0.069	0.62	2.5	4.9	0.55	0.33	0.050	0.29	0.033	0.15	0.024	0.006	0.030
G-120-4	150	43	41	38	4.1	1.3	19	21	0.6	0.11	<0.01	0.06	0.41	< 0.05	0.03	0.27	0.65	0.19	0.10	<1	<0.01	0.04	<0.01	0.01	0.033	0.45	1.9	3.7	0.41	0.25	0.036	0.21	0.023	0.11	0.017	0.004	0.022
G-30	3038	544	4155	1224	1228	28	136	93	13	6.4	0.48	1.6	7.4	3.0	0.72	16	5.2	6.7	7.8	<1	1.22	0.21	0.02	0.67	0.62	0.95	1.2	2.6	0.29	0.26	0.058	0.27	0.037	0.19	0.036	0.012	0.067
G-60-1	3044	560	4079	1265	1232	28	147	93	12	6.3	0.40	1.4	7.2	3.1	1.0	17	5.5	6.6	7.6	<1	1.18	0.18	0.03	0.71	0.64	1.0	1.3	2.5	0.30	0.26	0.058	0.28	0.037	0.19	0.036	0.012	0.067
H-120-1	2095	848	4493	85	1514	84	7.6	1.1	2.5	3.7	1.0	1.0	7.5	2.9	1.8	0.73	1.4	3.1	10	<1	0.90	0.82	0.02	0.22	0.20	0.73	1.2	2.5	0.30	0.33	0.061	0.29	0.037	0.16	0.020	0.007	0.042
H-120-2	667	245	1306	68	444	22	3.3	1.3	1.5	1.1	0.26	0.28	2.1	0.81	0.45	0.51	0.48	1.1	2.7	<1	0.26	0.23	0.01	0.08	0.094	0.28	1.6	2.9	0.33	0.21	0.037	0.19	0.019	0.074	0.011	0.003	0.016
H-120-3	404	114	609	82	198	8.7	2.4	2.7	1.9	0.69	0.12	0.36	1.4	0.37	0.23	0.50	0.33	0.74	1.3	<1	0.11	0.12	<0.01	0.06	0.073	0.17	1.8	3.3	0.36	0.20	0.030	0.15	0.014	0.052	0.007	0.001	0.009
H-120-4	256	34	184	95	62	2.4	2.0	5.1	2.1	0.40	0.03	0.17	0.63	0.10	0.07	0.58	0.19	0.58	0.36	<1	0.03	0.07	<0.01	0.03	0.069	0.11	1.8	3.3	0.37	0.19	0.029	0.14	0.011	0.039	0.005	<0.001	0.004
H-30	2194	1184	4650	84	1597	86	7.5	1.3	2.2	4.0	0.75	1.1	8.2	3.2	1.7	0.69	2.2	3.3	10	<1	0.95	0.95	0.02	0.19	0.25	0.71	1.4	2.7	0.30	0.27	0.062	0.28	0.035	0.16	0.027	0.008	0.048
H=60=2	2097	982	1348	72	461	18	7.6	1.0	2.1	3.8	0.89	0.63	7.6	0.81	0.54	0.82	0.50	3.0	2.9	<1	0.79	0.79	<0.02	0.22	0.23	0.73	1.4	2.5	0.30	0.28	0.061	0.29	0.034	0.16	0.027	0.007	0.045
I-120-1	2926	208	5456	556	1265	81	18	1.3	1.5	3.5	1.0	1.1	5.0	4.6	4.5	6.1	2.2	2.8	11	<1	2.21	0.86	0.05	0.73	0.50	2.1	5.4	11	1.4	1.2	0.28	1.1	0.13	0.52	0.081	0.020	0.12
I-120-2	679	2.1	170	348	67	1.5	5.1	0.88	8.6	0.68	0.05	0.34	0.32	0.14	0.43	2.4	0.31	1.0	0.66	<1	0.06	0.12	< 0.01	0.09	0.15	0.33	4.3	7.8	0.89	0.45	0.067	0.39	0.032	0.11	0.014	0.003	0.017
I-120-3	581	0.45	82	259	51	0.64	3.8	1.5	7.0	0.58	0.01	0.42	0.52	<0.05	0.16	1.8	0.16	0.92	0.35	<1	0.02	0.03	<0.01	0.04	0.11	0.12	0.56	1.0	0.12	0.076	0.012	0.06	0.007	0.028	0.004	0.001	0.008
I-120-4	542	0.40	74	255	50	0.55	3.5	2.2	5.9	0.54	<0.01	0.41	0.45	<0.05	0.06	1.4	0.12	0.88	0.26	<1	0.01	<0.01	< 0.01	0.03	0.094	0.079	0.11	0.17	0.025	0.019	0.005	0.018	0.003	0.016	0.003	<0.001	0.005
I-30	2878	203	5411	552	1261	99	17	1.6	18	3.6	1.0	1.4	5.0	4.6	4.3	6.2	2.2	2.9	11	<1	2.2	0.77	0.05	0.65	0.62	2.1	5.8	10.2	1.4	1.1	0.28	1.1	0.12	0.52	0.080	0.020	0.12
I-60-1 I-60-2	726	2.8	194	363	74	2.3	5.6	1.5	9.3	0.72	0.04	0.33	0.70	0.16	4.0	2.4	0.37	1.1	0.72	<1	0.07	0.81	< 0.08	0.09	0.62	0.36	4.8	8.7	1.0	0.50	0.074	0.38	0.033	0.51	0.081	0.020	0.017
]-硝酸-1	2825	121	4312	1253	1810	80	24	76	6.3	3.2	3.0	1.2	6.5	4.3	0.53	15	1.1	4.2	12	<1	1.7	1.0	< 0.01	1.6	0.37	0.37	0.77	1.7	0.20	0.19	0.034	0.19	0.024	0.11	0.016	0.004	0.020
]-硝酸-2	1704	57	2303	751	1006	48	18	53	3.8	1.8	1.4	0.61	4.3	2.3	0.23	8.3	0.59	2.4	6.3	<1	1.0	0.65	< 0.01	0.90	0.22	0.32	1.7	3.7	0.38	0.29	0.04	0.26	0.030	0.12	0.014	0.002	0.013
]-塩酸-1	9196	498	18963	5773	7727	510	423	1049	29	12	22	5.0	30	16	2.5	85	11	18	48	<1	4.4	0.28	0.13	6.75	1.5	2.3	13	31	3.4	2.2	0.36	2.0	0.23	0.90	0.11	0.018	0.094
]-塩酸-2	1607	103	2924	1229	1192	78	195	300	8.5	2.5	3.3	0.84	4.8	2.7	0.59	14	3.2	3.4	7.6	<1	1.0	0.57	0.09	1.09	0.38	0.86	3.5	7.6	0.82	0.58	0.09	0.51	0.063	0.27	0.038	0.008	0.047
J-6院目録-1	1822	26	2040	/97	991	66	21	1/5	0.94	1.7	0.30	0.60	4.0	2.2	0.08	/.7	0.47	2.5	5.0	<1	0.62	0.07	<0.01	0.90	0.22	0.11	0.19	0.46	0.06	0.06	0.010	0.057	0.007	0.032	0.005	0.001	0.007
J=1航音级=2 K=3時音音=1	2790	1980	7394	596	1496	132	20	223	1.0	1.1	3.2	1.6	4.8	1.2	4.9	5.1	6.2	4.1	3.2	<1	2.7	1.7	0.01	0.51	0.19	1.9	2.1	4.1	0.15	0.12	0.02	0.11	0.014	0.057	0.007	0.002	0.009
K-硝酸-2	736	658	892	387	177	15	8.2	226	11	0.37	0.36	0.64	0.93	0.25	0.51	2.8	4.4	1.8	1.5	<1	0.22	0.14	0.02	0.11	0.70	1.3	2.1	4.1	0.47	0.36	0.10	0.35	0.049	0.27	0.050	0.016	0.087
K-塩酸-1	3512	3508	9519	340	2020	172	87	799	10	2.1	1.8	2.8	6.6	1.8	4.5	2.3	21	9.2	18	<1	2.0	0.82	0.13	0.22	1.80	4.1	5.8	12	1.5	1.1	0.31	1.1	0.15	0.86	0.16	0.051	0.28
K-塩酸-2	1383	597	1458	373	341	26	33	143	11	0.75	0.31	0.78	1.3	0.29	0.70	2.3	5.7	2.9	2.7	<1	0.31	0.14	0.09	0.09	0.53	0.84	1.8	3.4	0.39	0.24	0.066	0.24	0.031	0.17	0.032	0.010	0.056
K-硫酸-1	948	50	1538	147	402	26	6.0	130	1.2	0.48	0.47	0.46	1.4	0.39	0.19	0.63	0.93	1.7	3.6	<1	0.53	0.56	0.01	0.07	0.30	0.37	0.59	1.2	0.14	0.10	0.025	0.10	0.013	0.073	0.014	0.005	0.026
K-皖殿-2 BL LINO	870	46	899	316	221	16	5.2	94	1.4	0.45	0.17	U.37	1.0	0.19	0.04	2.5	1.1	1.9	1.9	<1	U.24	U.19	U.01	0.06	0.28	0.30	0.48	1.0	U.14	U.086	U.022	U.084	U.011	U.060	0.011	0.004	0.021
BL-HCI	2.2	<0.25	<1	<1	<1	<0.25	<1	< 0.05	<0.25	<0.25	0.02	<0.01	<0.25	<0.05	<0.01	< 0.01	<0.01	<0.25	<0.1	<1	<0.01	< 0.01	0.09	<0.01	0.003	<0.001	< 0.001	<0.001	<0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	<0.001	< 0.001	<0.001
BL-H2SO4	2.2	<0.25	<1	<1	<1	< 0.25	<1	< 0.05	<0.25	<0.25	< 0.01	<0.01	<0.25	< 0.05	< 0.01	< 0.01	<0.01	<0.25	<0.1	<1	<0.01	< 0.01	<0.01	<0.01	0.001	<0.001	<0.001	< 0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	< 0.001	<0.001	<0.001	<0.001
定量下限值	1	0.25	1	1	1	0.25	1	0.05	0.25	0.25	0.01	0.01	0.25	0.05	0.01	0.01	0.01	0.25	0.1	1	0.01	0.01	0.01	0.01							0.001						
測定条件		XSTC-	22,XSTC	-331:ICP-	OES or XS	5TC-622:I	ICP-MS					XSTC-3	31:ICP-0	ES or XST	C-622:10	CP-MS			Т		XSTC	-622:ICP	P-MS							XST	C-1:ICP-	DES					Г

#### 1.11 天然の風化礫に対する EPMA 元素マッピング

室内実験結果と天然環境下での化学的風化との差異を検討するため、実験試料と同じ宮崎平野 で採取した砂岩礫を対象として EPMA を用いた元素マッピングを実施した。

対象としたサンプルは、宮崎平野の現河床と段丘露頭で採取した砂岩礫のうち、断面を目視観 察した結果風化が進んでいると判定されたもの5つである。

断面上の礫表面から深さ約 3cm の範囲で薄片を作成(ダイヤモンドペースト仕上げ)し、真 空蒸着装置 JEE-4X(日本電子株式会社)を用いて炭素蒸着を施した後、JXA-8230(日本電子 株式会社)を用いて元素マッピングを実施した。マッピングの実施範囲は各試料の薄片全体写真 上に示す。対象とした元素は Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe 及び Sr の 13 種であ る。

各サンプルの断面写真、薄片写真、及び元素マッピング結果を図 1.11-1~図 1.11-15 に示 す。

#### (1) 1-2b (河床礫)



図 1.11-1 1-2b (河床礫)の断面および薄片写真

(A) 礫断面および薄片作成範囲 (B) 薄片全体画像(非偏光)および元素マッピングの対象範囲 (C) 薄片全体画 像(直交ニコル)



図 1.11-2 1-2b(河床礫)の元素マッピング結果 (1) (A) COMPO 画像 (B) Na (C) Mg (D) Al (E) Si (F) P (G) S (H) K



(I) Ca (J) Ti (K) Cr (L) Mn (M) Fe (N) Sr

### (2) 2-4a(河床礫)



図 1.11-4 2-4a (河床礫)の断面および薄片写真 (A) 礫断面および薄片作成範囲 (B) 薄片全体画像(非偏光)および元素マッピングの対象範囲 (C) 薄片全体画像(直交ニコル)







(I) Ca (J) Ti (K) Cr (L) Mn (M) Fe (N) Sr



図 1.11-7 3-4a (河床礫)の断面および薄片写真 (A) 礫断面および薄片作成範囲 (B) 薄片全体画像(非偏光)および元素マッピングの対象範囲 (C) 薄片全体画像(直交ニコル)







# 【 付録 12 】

### (4) 4-5b(河床礫)



図 1.11-10 4-5b (河床礫)の断面および薄片写真

(A) 礫断面および薄片作成範囲 (B) 薄片全体画像(非偏光)および元素マッピングの対象範囲 (C) 薄片全体画像(直交ニコル)









付 12-215

### (5) 5-3a(段丘礫)





(A) 礫断面および薄片作成範囲 (B) 薄片全体画像(非偏光)および元素マッピングの対象範囲

(C) 薄片全体画像(直交ニコル)







(I) Ca (J) Ti (K) Cr (L) Mn (M) Fe (N) Sr

# 段丘の対比・編年の高精度化に関わる文献調査

# 収集文献一覧

一般財団法人 電力中央研究所

「5.5 段丘対比・編年技術の高精度化に関する検討」では、わが国における高位段丘、中位段丘、低位段丘などといった段丘群ごとの風化の様式、性状といった特徴の把握を目的に、既往文献を対象に、段丘の被覆層、段丘堆積物(特に礫層)、基盤に関する柱状図を収集・整理した。既往文献の収集にあたっては、濱田・幡谷(2011)で実施された段丘の分布に関わる文献調査で引用した文献を中心に実施した。なお、平成31年度事業では、収集・整理する文献の対象を、関東平野―新潟平野―佐渡ヶ島より西側の西日本とした。

収集した文献の一覧を表 1~表 14 に、文献から柱状図等の情報を抽出した図郭と段丘情報の一覧を表 15~表 23 に示す。

No	著者	発行年	タイトル	誌名·書籍名	巻	号	ページ
1	国立研究開発法人産業技術総合研究 所・国立研究開発法人日本原子力研 究開発機構・公益財団法人原子力環 境整備促進・資金管理センター・一 般財団法人電力中央研究所	2019	沿岸部処分システム高度化開発 報告書および Appendix	平成 30 年度 高レベル 放射性廃棄物等の地層 処分に関する技術開発 事業	_	_	356pp.
2	北陸電力株式会社	2017	志賀原子力発電所2号炉 敷地の地質・地質 構造について【コメント回答】(敷地周辺の 地形,地質・地質構造):資料1,机上配布 資料1(データ集)	第531回原子力発電所 の新規制基準適合性に 係る審査会合配布資料	資料1 机上配布 資料1	_	122pp. 216pp.
3	加藤茂弘・谷川晃一郎・川島真季・ 石村大輔・岡田篤正	2016	山崎断層帯土万断層の完新世後期の活動履歴	人と自然	27	_	13-26
4	堤浩之・吉岡敏和・向井理史・堀川 滋雄・村田和則	2016	西山断層帯嘉麻峠区間の変位地形と第四紀後 期の活動性	活断層研究	_	45	21-35
5	丸山 正・遠田晋次・小俣雅志・郡 谷順英・森 良樹	2015	糸魚川·静岡構造線活断層系松本盆地東縁断層 の完新世後半の活動履歴-長野県池田町花見北 地点のトレンチ調査-	活断層研究	_	43	35-52
6	杉戸信彦・廣内大助・塩野敏昭	2015	長野盆地西縁の変動地形と活断層	地質学雑誌	121	7	217 - 232

表1 収集した文献一覧(その1)

No.	著者	発行年	タイトル	誌名·書籍名	巻	号	ページ
7	杉戸信彦・近藤久雄	2015	上町断層帯の最新活動と河内平野の地 形環境変化	地学雑誌	124	4	607-631
8	池田倫治・堤 浩之・後藤 秀昭・西坂直樹・大野裕 記・柳田 誠	2014	四国西部の中央構造線断層帯川上断層 の東部における完新世後期の活動履歴	活断層研究	2014	40	1-18
9	丸山 正・齋藤 勝	2014	富山県南砺市法林寺地区のボーリング コアにおける火山ガラスを含む大山倉 吉テフラ(DKP)の認定とその北陸地 域の活断層の活動性評価における意義	地質調査研究報告	65	1-2	1-9
10	長岡信治・西山賢一	2014	テフロクロノロジーに基づく宮崎平野 の形成プロセス	月刊地球	36	7	210-218
11	西村勝広・可児幸彦・奥田 昌男・中根洋治・早川 清	2014	各務原台地下部層の堆積物からみた地 盤形成の特徴	中部地盤工学シンポ ジウム論文集	第26回 中部地盤工学 シンポジウム論文集	_	109-116
12	植木岳雪	2014c	三重県中部、片上川の高位段丘堆積物	地質調査研究報告	65	9-10	105-111
13	独立行政法人日本原子力研 究開発機構	2013	高速増殖原型炉もんじゅ敷地内破砕帯 の追加地質調査 敷地周辺の段丘面構成 層等のご案内地点	第1回高速増殖原型 炉もんじゅ敷地内破 砕帯の調査に関する 有識者会合配布資料	もんじゅ・現調 2 <b>-3</b>	_	27pp.
14	脇田浩二・竹内圭史・水野 清秀・小松原琢・中野聰 志・竹村恵二・田口雄作	2013	京都東南部地域の地質 地域地質研究 報告 (5 万分の 1 地質図幅)	地質調査総合センタ ー	_	_	124p

表 2 収集した文献一覧(その2)

|--|

No.	著者	発行年	タイトル	誌名·書籍名	巻	号	ページ
15	池田倫治・後藤秀昭・堤 浩之・露口耕 治・大野裕記・西坂直樹・小林 修二	2012	四国北西部の中央構造線活断層系伊予断層の完新世活 動履歴	地質学雑誌	118	4	220-235
16	苅谷愛彦・佐藤 剛・小森次郎	2012	白馬岳東麓、長走沢・金山沢の地すべり地形と堆積物	地学雑誌	121	2	384-401
17	竹本仁美・奥村晃史	2012	長野県神城盆地の局地的な地形変化に対する完新世の 花粉化石群集の応答	第四紀研究	51	1	21-33
18	加田平賢史・森脇洋・吉川周作・新矢将 尚・北野雅昭	2011	大阪市域におけるボーリングコアの酸溶解性成分の鉛 同位体比	地学雑誌	120	4	599-614
19	田力正好・安江健一・柳田 誠・古澤 明・田中義文・守田益宗・須貝俊彦	2011	土岐川(庄内川)流域の河成段丘と更新世中期以降の 地形発達	地理学評論 Series A	84	2	118-130
20	安江健一・田力正好・谷川晋一・須貝俊 彦・山田浩二・梅田浩司	2011	第四紀後期における内陸部の隆起量の推定手法: 鏑川 流域および土岐川流域を例に	原子力バッ クエンド研 究	18	2	51-61
21	坂野靖行・水野清秀・宮崎一博	2010	大洲地域の地質 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質 図幅)	地質調査総 合センター	_		58p
22	石村大輔	2010	関ヶ原周辺における段丘編年と活断層の活動性	第四紀研究	49	5	255 - 270
23	長森英明・竹内 誠・古川竜太・中澤 努・中野 俊	2010	小滝地域の地質 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質 図幅)	地質調査総 合センター	_		130p
24	長岡信治・新井房夫・檀原 徹	2010a	宮崎平野に分布するテフラから推定される過去60万 年間の霧島火山の爆発的噴火史	地学雑誌	119	1	121-152
25	長岡信治・西山賢一・井上 弦	2010c	過去200万年間における宮崎平野の地層形成と陸化プ ロセスー海面変化とテクトニクスに関連して-	地学雑誌	119	4	632-667

No.	著者	発行年	タイトル	誌名·書籍名	巻	号	ページ
26	中島 礼・堀 常東・宮崎一博・西岡 芳晴	2010	伊良湖岬地域の地質 地域地質研究報告 (5 万分の1地質図幅)	地質調査総合センター	_	_	69p
27	岡田篤正・加藤茂弘・石村大輔・斎藤 真	2010	福井県、三方湖および中山低地の地下地 質と三方断層帯の活動解明	地学雑誌	119	5	878- 891
28	田村糸子・山崎晴雄・中村洋介	2010	富山積成盆地,北陸層群の広域テフラと 第四紀テクトニクス	地質学雑誌	116	Supplement	1-20
29	藤山 敦・金折裕司	2009	山口県南東部伊陸盆地における河川争奪 のプロセスとネオテクトニクス	応用地質	50	4	202- 215
30	山内靖喜・沢田順弘・高須 晃・小室 裕明・村上 久・小林伸治・田山良一	2009	西郷地域の地質 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅)	地質調査総合センター	_	_	121p
31	道家涼介・佐藤善輝・安江健一・廣内 大助	2008	阿寺断層帯中部,加子母地区における変位 地形と平均変位速度	活断層研究	2008	29	79-86
32	苅谷愛彦・佐藤 剛・小森次郎	2008	飛騨山脈・白馬岳東麓,北股入流域で新 たに得られた未固結堆積物の14C年代	地学雑誌	117	3	650- 660
33	中島 礼・水野清秀・古澤 明	2008	テフラ対比に基づく中部更新統渥美層群 の堆積年代	地質学雑誌	114	2	70-79
34	中島 礼・堀 常東・宮崎一博・西岡 芳晴	2008	豊橋及び田原地域の地質 地域地質研究 報告 (5 万分の 1 地質図幅)	地質調査総合センター	_	—	113p
35	佐川厚志・相山光太郎・金折裕司・田 中竹延	2008	山口県中東部,徳佐・地福断層と迫田・生雲 断層の性状および活動性	応用地質	49	2	78-93

表 4 収集した文献一覧(その4)

表 5 収集した文献一覧(その5)

No.	著者	発行年	タイトル	誌名·書籍名	巻	号	ページ
36	下山正一・磯 望・千田 昇・岡村 眞・松 岡裕美・池田安隆・松田時彦・竹中博士・石 村大輔・松末和之・松山尚典・山盛邦生	2008	福岡平野東縁部に位置する宇美断層の特 徴について	活断層研究	2008	29	59-70
37	関西地質調査業協会地盤情報データベース作 成委員会・小松原 琢	2007	39. 近江盆地の地下地質	日本応用地質学会平成19 年度研究発表会講演論文集	_	_	32-35
38	服部泰久・小松原 琢・岡田篤正	2007	伊那谷断層帯,三州街道断層におけるトレ ンチ調査	活断層研究	2007	27	211- 218
39	廣内大助・安江健一・内田主税・平松孝晋・ 谷口 薫・杉戸信彦・金田平太郎	2007	完新世における阿寺断層帯湯ヶ峰断層の 活動	活断層研究	2007	27	201- 209
40	加藤茂弘・田中義文・大嶋秀明・林 成多	2007	近畿地方北部、福知山盆地における中部 更新統・福知山層上部層堆積期の古環境	人と自然	17	_	19-34
41	小滝篤夫・木谷幹一・牧野州明	2007	近畿地方に分布する大山最下部火山灰層 hpm1	第四紀研究	46	4	355- 361
42	森岡達也・佐川厚志・金折裕司・田中竹延	2007	山口県中央部, 徳佐・地福断層南西部と木 戸山西方断層北東端の性状および活動性	応用地質	48	1	35-47
43	加藤茂弘・山下 透・檀原 徹	2006b	近畿地方北部の中部更新統・福知山層の テフラの対比	人と自然	16	_	35-42
44	牧野内 猛・岩野英樹・檀原 徹	2006	P-217 知多半島武豊層の FT 年代	日本地質学会第 113 年学術 大会講演要旨	_		275- 275
45	中村洋介・宮谷淳史・岡田篤正	2006	森本-富樫断層における平均上下変位速度 分布	活断層研究	2006	26	151- 162
46	尾崎正紀・今岡照害・井川寿之	2006	仙崎地域の地質 地域地質研究報告 (5 万分の1地質図幅)	地質調査総合センター	_	_	127p

No.	著者	発行年	タイトル	誌名·書籍名	巻	号	ページ
47	山下大輔・吉川周作・塚腰 実・長岡信治・熊原康博	2006	愛媛県大洲・内子盆地に分布する下部 - 中部更新統の 層序と編年	第四紀研究	45	6	463-477
48	中村洋介	2005	富山平野東縁,魚津断層の第四紀後期における平均上 下変位速度	第四紀研究	44	_	353-370
49	吉田英嗣・須貝俊彦・坂口 一	2005	利根川・吾妻川合流点付近の河川地形発達に及ぼす前 橋泥流イベントの影響	地理学評論	78		649-660
50	牧本 博・宮田隆夫・水野清 秀・寒川 旭	2004	粉河地域の地質 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質 図幅)	地質調査総合センター	_	_	89p
51	中村洋介・金 幸隆	2004b	ローム層のボーリング掘削に基づく富山県魚津断層南 部の第四紀後期における上下変位速度の算出	地理学評論	77	1	40-52
52	吉田英嗣	2004	浅間火山を起源とする泥流堆積物とその関東平野北西 部の地形発達に与えた影響	地理学評論	77	_	544-562
53	中村洋介・岡田篤正・竹村恵二	2003	富山平野西縁の河成段丘とその変形	地学雑誌	112	—	544 - 562
54	尾崎正紀・原山智	2003	高砂地域の地質 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質 図幅)	地質調査総合センター			87p
55	山内一彦	2003	中国山地西部、徳佐盆地周縁における河川争奪	立命館地理学	_	15	31-47
56	狩野謙一・丸山 正・林 愛明	2002	飛騨山地南部,境峠断層の後期更新世-完新世における 活動	地質学雑誌	108	5	291-305
57	木村佳織	2002	金沢南方の段丘面編年と変動地形	国土地理院時報		99	67-75
58	小滝篤夫・古山勝彦・井上陽一	2002	京都府北部,福知山・綾部地域の高位段丘層中の含カ ミングトン閃石火山灰層と大山最下部火山灰層との対 比	地球科学	56	_	35-48

表 6 収集した文献一覧(その6)

No.	著者	発行年	タイトル	誌名·書籍名	巻	号	ページ
59	中村洋介	2002	富山県砺波平野,高清水断層および法林時断 層の第四紀後期における活動性	第四紀研究	41	5	389- 402
60	田力正好	2002	糸魚川-静岡構造線活断層系南部, 白州-韮 崎付近の活構造と第四紀の活動史	活断層研究	_	21	33-49
61	宮地良典・田結庄良昭・寒 川 旭	2001	大阪東北部地域の地質 地域地質研究報告 (5 万分の1地質図幅)	地質調査所	_	_	131p
62	森江孝志・小沢大成・奥村 清	2001	徳島県阿讃山地南麓の段丘堆積物中から見出 された長手テフラとその対比	第四紀研究	40	_	331- 336
63	西岡芳晴・尾崎正紀・寒川 旭・山元孝広・宮地良典	2001	桜井地域の地質 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅)	地質調査所	_	_	141p
64	植村善博	2001	第V章 丹波地域の段丘編年と地殻変動	比較変動地形論-プレート境界域の 地形と第四紀地殻変動(古今書院)	_	_	112- 129
65	浜崎修司・満塩大洸	2000	徳島県東部の園瀬川流域の第四系	高知大学学術研究報告 自然科学	_	49	41-49
66	満塩大洸・浜崎修司	2000a	徳島県東南部,桑野川福井川流域の第四紀に おける環境変化	高知大学学術研究報告 自然科学	_	49	25-40
67	満塩大洸・山下大輔	2000	淡路島中西部,鳥飼川付近の第四系	高知大学学術研究報告 自然科学	_	49	51-66
68	太田陽子・大村明雄	2000	南西諸島,喜界島のサンゴ礁段丘の研究小史 と問題点-シンポジウムの序論として-	第四紀研究	39	45-53	45-53
69	尾崎正紀・寒川 旭・宮崎 一博・西岡芳晴・宮地良 典・竹内圭史・田口雄作	2000	奈良地域の地質 地域地質研究報告 (5 万分 の 1 地質図幅)	地質調査所	_	_	162p
70	栗本史雄・内藤一樹・杉山 雄一・中江 訓	1999	教賀地域の地質 地域地質研究報告 (5 万分の1地質図幅)	地質調査所	_	_	73p

表 7 収集した文献一覧(その7)

表 8 収集した文献一覧(その8)

No.	著者	発行年	タイトル	誌名·書籍名	巻	号	ページ
71	満塩大洸・橋本浩志	1999	四国吉野川中流域北岸,土柱地域の第四 系	高知大学学術研究報告 自然科学		48	87-99
72	MITUSIO Taikou,SASAKI Kimihiro	1999	Quaternary Geology along the Katsuura-gawa river, East Tokushima Prefecture, East Shikoku	Research Reports of Kochi University,Natural Science	_	48	45-64
73	銭 祥富	1999	大阪平野南部,石川流域に分布する段丘 層の層序と編年	第四紀(第四紀総合研究会)	_	31	31-41
74	Shozo Yokoyama	1999	Rapid formation of river terraces in non-welded ignimbrite along the Hishida River, Kyushu, Japan	Geomorphology	30	_	291- 304
75	小松原 琢・水野清秀・寒川 旭・七山 太・木下博久・松木宏彰・新見 健・吉 村辰朗・井上 基・居川信之・葛原秀 雄・中村美重・図司高志・横井川博之	1998	琵琶湖西岸活断層系北部, 饗庭野断層の 第四紀後期の活動	地質調査所月報	49	9	447- 460
76	熊原康博	1998	四国北西部肱川流域の段丘地形と地殻変 動	第四紀研究	37	5	397- 409
77	松島信幸・寺平 宏・小泉明裕・村松 武・寺岡義治	1998	飯田市川路,花御所の埋没林ー最終氷期 最盛期の伊那谷と段丘の編年にふれてー	飯田市美術博物館研究紀要(飯田 市美術博物館)	_	8	107- 118
78	満塩大洸・池野孝夫	1998	徳島県東部鮎喰川中流域の第四系	高知大学学術研究報告 自然科学	—	47	59-69
79	岡島尚司・山本博文・中川登美雄・新井 房夫・西田史朗	1998	福井県丹生山地から見出された加久藤テ フラ(Kkt)とその意義	地球科学	52	_	225- 228
80	長田敏明	1998	牧ノ原台地の地形と地質	地団研専報	—	46	1-78

表 9 収集した文献一覧(その9)

No.	著者	発行 年	タイトル	誌名・書籍名	巻	号	ページ
81	植木岳雪・満塩大洸	1998	阿讃山地の隆起過程:鮮新~更新統三豊層群を指標に して	地質学雑誌	104		247-267
82	片岡香子・吉川周作	1997	三重県鈴鹿川流域の段丘構成層の層序・編年-火山灰 稀産地域での段丘編年の試み-	第四紀研究	36	4	263-276
83	満塩大洸・栗林知史	1997	徳島県那賀川流域の第四系	高知大学学術研究報告 自然科学	—	46	65-78
84	満塩大洸・五十嵐光雲・ 鹿島愛彦	1996 а	四国西部の環境地質学的研究,その12-愛媛県今治市 蒼社川流域付近の第四紀の環境変遷-	高知大学学術研究報告 自然科学	_	44	119-128
85	満塩大洸・五十嵐高雲・ 鹿島愛彦	1996 b	四国西部の環境地質学的研究,その13-愛媛県朝倉村 頓田川流域付近の第四紀の環境変遷-	高知大学学術研究報告,自然科学	_	45	47-57
86	鹿島愛彦・岡本健太・満 塩大洸	1995	四国西部の環境地質学的研究 その 11 -愛媛県肱川 中流域、黒瀬川流域付近の第四紀における環境変化	愛媛大学教養部紀要	_	28	17-29
87	水野清秀・服部 仁・寒 川 旭・高橋 浩	1995	明石地域の地質地域地質研究報告 (5万分の1地質図 幅)	地質調査所	_	_	90p
88	中川登美雄・山本博文・ 新井房夫・岡島尚司	1995	福井県丹生山地の段丘堆積物から見いだされた姶良T n火山灰層および大山倉吉軽石層とその意義	第四紀研究	34	1	49-53
89	渡辺一徳・高田英樹・岡 部良子・西田晃代	1995	熊本県白川中流域の河成段丘堆積物と広域テフラとの 層序関係	熊本大学教育学部紀要,自然科学 (熊本大学教育学部)	_	44	15-22
90	満塩大洸・野田耕一郎	1994	高知県土佐市の第四紀における環境変遷-土佐市高岡 平野・波介川流域の第四紀層-	高知大学学術研究報告,自然科学	_	43	101-114
91	下山正一・渡辺一徳・西 田民雄・原田大介・鶴田 浩二・小松 譲	1994	Aso-4 火砕流に焼かれた巨木-佐賀県上峰町で出土した 後期更新世樹木群-	第四紀研究	33	2	107-112

表 10 収集した文献一覧(その10)

No.	著者	発行 年	タイトル	誌名・書籍名	巻	号	ページ
92	長木百合子	1993	宇佐平野の地形発達	大分地理	_	7	9-16
93	鹿島愛彦・高橋 和・満塩大洸	1993	四国南部の環境地質学的研究 その7 -愛媛県南 予地方瀬戸町付近の第四系-	愛媛大学教養部紀要	_	26	35-46
94	満塩大洸・嶋 将志	1993 b	四国吉野川上・中流域の第四系	高知大学学術研究報告,自然 科学	_	42	87-104
95	宮田隆夫・牧本 博・寒川 旭・ 市川浩一郎	1993	和歌山及び尾崎地域の地質地域地質研究報告 (5万 分の1地質図幅)	地質調査所	_	_	68p
96	<ul><li>佃 栄吉・栗山泰夫・山崎晴雄・</li><li>杉山雄一・下川浩一・水野清秀</li></ul>	1993	阿寺断層系ストリットマップ説明書	地質調査所 構造図 7	_	_	1-35
97	松添澄代	1992	大野川中流域の地形発達	大分地理	6	_	51-58
98	中村俊夫・藤井登美夫・鹿野勘 次・木曽谷第四紀巡検会	1992	岐阜県八百津町の木曽川泥流堆積物から採取された 埋没樹木の加速器 14C 年代	第四紀研究	31	_	29-36
99	高橋 浩・寒川 旭 ・水野清秀・ 服部 仁	1992	洲本地域の地質 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地 質図幅)	地質調査所	_	_	107p
100	海野芳聖・大井信三・黒木貴一・ 坂井尚登	1992	群馬県南西部,神流川流域における火山灰層序につ いて	地理調査部研究報告(国土地 理院技術資料 D・1-No.308)	_	8	196-204
101	満塩大洸・竹田善博・嶋 将志	1991	四国吉野川上流域の第四系	高知大学学術研究報告,自然 科学	_	40	243-253
102	山内一彦	1990	山口県佐波川上流部における河川争奪	立命館地理学		2	65-82
103	井本伸広・清水大吉郎・武蔵野 実・石田志郎	1989	京都西北部地域の地質 地域地質研究報告 (5 万分の1地質図幅)	地質調査所	_	_	80p

表 11 収集した文献一覧(その11)

No.	著者	発行年	タイトル	誌名・書籍名	巻	号	ページ
104	木村克己・牧本 博・吉岡敏和	1989	綾部地域の地質 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅)	地質調査所		_	101p
105	能生地すべり団体研 究グループ	1989	糸魚川市北部の段丘について	新潟県地学教育研究会誌(新潟 県地学教育研究会)	_	23	38-51
106	角 靖夫・野沢 保・井上正昭	1989	石動地域の地質 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅)	地質調査所		_	118p
107	小口高	1988	松本盆地および周辺山地における最終氷期以降の地形発達史	第四紀研究	27	2	101-124
108	佐藤英司	1988	駅館川流域の地形発達·安心院盆地を中心として・	大分地理	2	-	51 - 56
109	杉山雄一・寒川 旭・下川浩一・水野 清秀	1988	御前崎地域の地質 地域地質研究報告 (5 万分の1 地質図幅)	地質調査所	_	_	141p
110	Hiroshi YAGI	1988	Geomorphic Differentiation Inside The Plio-Pleistocene Sedimentary Basins in and around the Kinki Triangle, Inner Zone of Southwest Japan	東北地理	38	1	32-61
111	平林 潔	1987	長野県南安曇郡、奈川流域の段丘形成史	駒沢大学大学院地理学研究(駒 沢大学大学院地理学研究会)	_	17	15-31
112	梶川裕之	1987	番匠川流域の地形発達について	大分地理	_	1	3-10
113	近藤善教・木村一朗	1987	師崎地域の地質 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅)	地質調査所	_	-	94p
114	武藤鉄司	1987	天竜川下流地方,三方が原・磐田原台地の地質・現在の開析扇 状地からの解釈・	地質学雑誌	93	4	259-273
115	野尻卓宏	1987	大分県玖珠盆地の地形発達	大分地理	—	1	17-22
116	財津辰也	1987	大分県日田盆地の地形発達	大分地理	—	1	33-42

表 12 収集した文献一覧(その12)

No.	著者	発行年	タイトル	誌名・書籍名	巻	号	ページ
117	遠藤秀典・鈴木祐一郎	1986	妻及び高鍋地域の地質 地域地質研究報告 (5 万分の1地質図幅)	地質調査所			105p
118	福間敏夫・藤田和夫	1986	福知山盆地の更新統	第四紀研究	24	4	26-281
119	市原 実・市川浩一郎・山田直利	1986	岸和田地域の地質 地域地質研究報告 (5 万 分の1地質図幅)	地質調査所	_	_	148p
120	水野清秀・南木暁彦	1986	広島県西条盆地南部の第四系の層序	地質調査所月報	37	4	183-200
121	百瀬 貢・竹本弘幸・水野秀明・ 小島 弘・平林 潔・朝原尚仁	1986	松本盆地西縁、乳川流域の段丘形成史	駒沢大学大学院地理学研究	_	16	5-20
122	長岡信治	1986	後期更新世における宮崎平野の地形発達	第四紀研究	25	3	139-163
123	木村一朗・中尾宣民・鈴木義典	1985	愛知県渥美半島の更新統の14C年代と関連す る層位学的問題	愛知教育大学研究報告(自然科学)	_	34	131-141
124	寒川 旭・衣笠善博・奥村晃史・ 八木浩司	1985	奈良盆地東縁地域の活構造	第四紀研究	24	_	85-97
125	伊藤真人・正木智幸	1984	北アルプス,乳川流域における更新世の岩屑 供給期	地理学評論	57	4	282-292
126	下山正一・亀山徳彦・宮田雄一 郎・田代雄二	1984	福岡県糸島平野の第四系	北九州大学文紀要(B)	_	17	39-58
127	吉田 史郎	1984	四日市地域の地質 地域地質研究報告 (5 万 分の1地質図幅)	地質調査所	_	_	81p
128	千田 昇	1983	国東半島の地形	国東半島-自然・社会・教育,大 分大学教育学部	_	_	17-28
表 13 収集した文献一覧(その13)

No.	著者	発行年	タイトル	誌名·書籍名	巻	号	ページ
129	伊藤真人	1983	北アルプス南東部蝶ヶ岳付近の氷河地形と堆積段丘	地理学評論	56	1	35-49
130	木村一朗・細野隆男・中尾 宣民・新井房夫	1983	伊勢湾西岸地域および渥美半島における姶良 Tn 火 山灰と段丘の層位関係(予報)	愛知教育大学研究報告(自 然科学)	_	32	175-186
131	佐藤正典	1983	狩野川の河岸段丘	静岡地学(静岡県地学会)	_	48	8-11
132	八木浩司	1983	播磨灘北東岸地域における段丘面の時代対比	56	5	324-344	
133	木村一朗・荒巻敏夫・大沢 正吾・池田芳雄	1982	豊川中流および下流の段丘と更新統(その2,段丘 堆積物)	愛知教育大学研究報告(自 然科学)	_	31	195-210
134	磯 望·山川克巳・米澤 宏・松原敏子	1980	岐阜県高原川流域における土石流による岩屑供給と 沖積錐の成長速度	地理学評論	53	_	699-720
135	木村一朗	1979	宮川中流および下流の河岸段丘	愛知教育大学研究報告(自然 科学編)	_	28	119-132
136	野上道男・大内俊二・森脇 広・初見祐一・野口 真	1979	宮川流域の段丘地形	日本地理学会予稿集	_	16	46-47
137	植村善博	1979	湖東丘陵の古地理と地形発達史	立命館文学	_	410 • 411	143-174
138	小池一之	1978	高原川・神通川にみられる段丘の分布とその形成過 程	駒沢地理	_	14	29-53
139	大橋健	1978	琵琶湖南岸地域の発達史	立命館文学	394 • 395	_	280-302
140	角靖夫	1978	津幡地域の地質 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地 質図幅)	地質調査所		_	55p

表 14 収集した文献一覧(その14)

No.	著者	発行年	タイトル	誌名·書籍名	巻	号	ページ
141	松本盆地団体研究グループ	1977	松本盆地の第四紀地質-松本盆地の形成過程に関する 研究(3) -	地質学論集	_	14	93-102
142	藤井登美夫	1976	御岳火山木曽川泥流堆積物の産状とその流下・堆積様 式	愛知教育大学地理学報告	_	45	114-119
143	池田芳雄	1974	豊川流域の第四系と 14C 年代	地球科学	28		47-48
144	成瀬 洋	1974	西南日本太平洋岸地域の海岸段丘に関する2・3の考 察		_	99	89-126
145	磯野朝雄	1971	伊那谷の段丘地形	愛知教育大学地理学報告	36/37	_	123-127
146	関根 清・大川幹雄・渋谷 義之・小鷹兼博	1970	砥川の地形	地域研究(立正地理学会)	13	_	21-30
147	服部豊	1969	西三川平野に発達する高位段丘	名古屋地学(名古屋地学会)	_	25	2-13
148	山陰第四紀研究グループ	1969	山陰海岸地域の第四系	日本の第四系,地団研専報	_	15	355-374
149	島田安太郎	1969	木曽川中流の高位段丘と礫層	第四紀研究	8	-	111-118
150	岡田篤正	1968	阿波池田付近の中央構造線の新期断層運動	第四紀研究	7	1	15-26
151	木曾谷第四紀研究グループ	1967	木曾川上流部の第四紀地質I	地球科学	_	21	1-10
152	郷原保真・新堀友行・鈴木 康司・野村哲・小森長生	1964	北九州の第四紀層に関する諸問題	資源研究所彙報	_	62	83-108
153	Kobayashi, K.	1963	Epitome of Quaternary history of Hamamatsu and its environs in central Japan.	J. Fac. Lib. Arts & Sci., Shinshu Univ.	_	13	21-46
154	町田 貞・大倉陽子	1960	豊川中・下流の段丘地形	地理学評論	23	11	55 1-563
155	川田三郎	1942	神通川の河岸段丘	地理学評論	-	18	802-813

表 15 柱状図等の情報を抽出した図郭と段丘情報(その1)

	20 万分の 1				海成段丘	5 万分の	柱状図等の段丘情報の有無					
No.	 义	廓	5 万分0	D1図郭	アトラス の有無	1 地質図 幅の有無	低位段丘	中位段丘	高位段丘	その他(年代 不詳の段丘		
1	5637	輪島	10-6	宝立山	0	0	_	0	_	_		
2	5636	輪島	10-5	輪島	0	_	_	0		_		
3	5537	富山	10-19	小滝	0	0	0	0	0	_		
4	5537	富山	10-17	三日市	0	0	0	0		_		
5	5537	富山	10-25	白馬岳	_	0	0	_		_		
6	5537	富山	10-22	富山	0	0	0	0	_	_		
7	5537	富山	10-23	魚津	0	0	0	0	_	_		
8	5537	富山	10-14	糸魚川	0	0	0	0	0	_		
9	5536	七尾	10-11	富来	0	_	0	0	0	_		
10	5536	七尾	10-20	津幡	0	0	0	0	_	_		
11	5536	七尾	10-21	石動	0	0	0	0	_	_		
12	5536	七尾	10-12	七尾	0	_	0	0	0	_		
13	5536	七尾	10-8	剱地	0	_	_	0	_	_		
14	5438	長野	8-12	和田	_	_	0	0	_	_		
13	5536	七尾	10-8	剱地	0	_	_	0	_	_		
14	5438	長野	8-12	和田	_	_	0	0	—	_		
15	5438	長野	8-23	諏訪	_	0	0	_	_	_		
16	5437	高山	10-37	槍ヶ岳	_	0	0	_	_	_		
17	5437	高山	10-28	八尾	_	0	0	0	_	0		
18	5437	高山	10-46	松本	_	0	0	0	0	_		
19	5437	高山	10-44	船津	_	0	0	_	_	0		
20	5437	高山	10-53	乗鞍岳	_	0	0	0	_	_		
21	5437	高山	10-35	白木峰	_	0	0	_	_	_		
22	5437	高山	10-38	信濃 池田		0	0	0	_	_		

表 16 柱状図等の情報を抽出した図郭と段丘情報(その2)

	20万	ትወ 1			海成段丘	5 万分の		柱状図等の段丘情報の有無						
No.		郭	5 万分0	01図郭	アトラス の有無	1 地質図 幅の有無	低位段丘	低位段丘中位段丘		その他(年代 不詳の段丘				
23	5437	高山	10-54	塩尻	_	0	0	_	_	_				
24	5437	高山	10-45	上高地	_	0	0	_	_	_				
25	5437	高山	10-31	大町	_	0	0	_	_	_				
26	5437	高山	10-36	有峰湖	_	0	0	_	_	_				
27	5436	金沢	10-27	城端	_	0	0	0	0	_				
28	5436	金沢	10-34	下梨	_	_	0	_	_	_				
29	5436	金沢	10-26	金沢	0	0	0	0	_	_				
30	5433	西郷	12-1	西郷	_	0	_	0	0	_				
31	5337	飯田	10-85	妻籠	_	0	0	0	0	_				
32	5337	飯田	10-84	付知	_	0	0	-	0	_				
33	5337	飯田	10-62	木曽 福島	_	0	0	0	0	_				
34	5337	飯田	10-72	加子母	_	0	0	_	_	_				
35	5337	飯田	10-73	上松	_	0	_	_	0	_				
36	5337	飯田	10-63	伊那	_	0	0	0	_	_				
37	5337	飯田	10-86	飯田	_	0	_	0	0	_				
38	5337	飯田	10-74	赤穂	-	0	0	0	_	_				
39	5336	岐阜	10-79	敦賀	0	0	0	_	_	_				
40	5336	岐阜	11-6	長浜	_	0	0	0	_	_				
41	5336	岐阜	10-56	鯖江	0	_	0	_	0	_				
42	5335	宮津	10-78	西津	0	0	_	_	0	_				
43	5335	宮津	10-66	竹波	0	0	0	0	_	_				
44	5334	鳥取	12-11	鳥取 北部	0	0	_	0	_	_				
45	5333	松江	12-9	赤碕	0	0	0	-	0	_				
46	5333	松江	12-17	松江	0	0	_	0	0	_				

表 17	柱状図等の情報を抽出した図郭と段丘情報	(その3)
------	---------------------	-------

	20万分				海成段丘	5 万分の	柱状図等の段丘情報の有無						
No.		」 『郭	5 万分0	D1図郭	アトラス の有無	1 地質図 幅の有無	低位段丘	中位段丘	高位段丘	その他(年代 不詳の段丘			
47	5333	松江	12-18	米子	0	0	0	_	0	_			
48	5333	松江	12-20	倉吉	0	0	_	0	0	_			
49	5333	松江	12-19	大山	0	0	_	_	0	_			
50	5332	大社	12-16	今市	0	0	_	0	0	_			
51	5238	静岡	8-91	沼津	0	-	0	_	_	_			
52	5238	静岡	8-100	修善寺	0	0	0	_	_	_			
53	5238	静岡	8-108	御前崎	_	0	_	0	_	_			
54	5238	静岡	8-103	掛川	0	_	_	0	_	_			
55	5237	豊橋	11-58	豊橋	0	0	0	0	0	_			
56	5237	豊橋	11-9	美濃加 茂	_	_	0	0	0	_			
57	5237	豊橋	11-47	三河大 野	_	0	0	0	0	_			
58	5237	豊橋	11-59	浜松	0	0	0	0	0	_			
59	5237	豊橋	11-11	中津川	_	_	0	_	_	_			
60	5237	豊橋	11-33	豊田	_	-	_	-	0	_			
61	5237	豊橋	11-12	時又	_	_	0	0	_	_			
62	5237	豊橋	11-48	天竜	_	0	0	0	_	_			
63	5237	豊橋	11-70	田原	0	0	_	0	0	_			
64	5237	豊橋	11-57	蒲郡	0	_	_	0	_	_			
65	5237	豊橋	11-46	御油	_	0	0	0	_	_			
66	5237	豊橋	11-10	恵那	_	_	0	_	0	_			
67	5237	豊橋	11-60	磐田	0	0	0	0	_	_			
68	5236	名古屋	11-5	竹生島	_	0	0	_	_	_			
69	5236	名古 屋	11-56	師崎	0	0	_	0	0	_			

表 18 柱状図等	の情報を抽出した図郭と段丘情報(	(その4)
-----------	------------------	-------

	20 五	ረጉ 1			海成段丘	5 万分の	柱状図等の段丘情報の有無						
No.	2075	郭	5 万分0	D1図郭	アトラス の有無	1 地質図 幅の有無	低位段丘	低位段丘中位段丘		その他(年代 不詳の段丘			
47	5333	松江	12-18	米子	0	0	0	-	0	_			
48	5333	松江	12-20	倉吉	0	0	_	0	0	_			
49	5333	松江	12-19	大山	0	0	_	_	0	_			
50	5332	大社	12-16	今市	0	0	_	0	0	_			
51	5238	静岡	8-91	沼津	0	-	0	_		_			
52	5238	静岡	8-100	修善寺	0	0	0	_	_	_			
53	5238	静岡	8-108	御前崎	_	0	_	0	_	_			
54	5238	静岡	8-103	掛川	0	_	_	0	_	_			
55	5237	豊橋	11-58	豊橋	0	0	0	0	0	_			
56	5237	豊橋	11-9	美濃加 茂	_	_	0	0	0	_			
57	5237	豊橋	11-47	三河大 野	_	0	0	0	0	_			
58	5237	豊橋	11-59	浜松	0	0	0	0	0	_			
59	5237	豊橋	11-11	中津川	_	_	0	_	_	_			
60	5237	豊橋	11-33	豊田	_	_	_	-	0	_			
61	5237	豊橋	11-12	時又	_	_	0	0	_	_			
62	5237	豊橋	11-48	天竜	_	0	0	0	_	_			
63	5237	豊橋	11-70	田原	0	0	_	0	0	_			
64	5237	豊橋	11-57	蒲郡	0	_	_	0	_	_			
65	5237	豊橋	11-46	御油	_	0	0	0	—	_			
66	5237	豊橋	11-10	恵那	_	_	0	-	0	_			
67	5237	豊橋	11-60	磐田	0	0	0	0	_	_			
68	5236	名古 屋	11-5	竹生島	_	0	0	_	_	_			
69	5236	名古 屋	11-56	師崎	0	0	_	0	0	_			

表 19 柱状図等の情報を抽出した図郭と段丘情報(その5)

	20 万	20 万分の 1				5 万分の	柱状図等の段丘情報の有無					
No.	B	<b>刘</b> 郭	5 万分	}の1図郭	アトラス の有無	1 地質図 幅の有無	低位段丘	中位段丘	高位段丘	その他(年代 不詳の段丘		
70	5236	名古屋	11-43	四日市	0	0	0	0	0	_		
71	5236	名古屋	11-42	亀山	_	0	0	0	0			
72	5236	名古屋	11-41	水口	_	0	_	0	0	_		
73	5236	名古屋	11-44	半田	0	0	_	_	0	_		
74	5236	名古屋	11-8	岐阜	_	0	0	0	_			
75	5236	名古屋	11-7	大垣	_	0	0	0	_	_		
76	5236	名古屋	11-29	近江 八幡	_	0	0	_	_	_		
77	5235	京都及 び大阪	11-13	福知山	_	0	_	0	0	_		
78	5235	京都及 び大阪	11-15	四ツ谷	_	0	_	_	0	_		
79	5235	京都及 び大阪	11-37	三田	_	0	_	_	0	_		
80	5235	京都及 び大阪	11-52	奈良	_	0	0	0	0	_		
81	5235	京都及 び大阪	11-26	園部	_	0	_	_	0	_		
82	5235	京都及 び大阪	11-49	神戸	0	0	_	0	0	_		
83	5235	京都及 び大阪	11-28	京都東北部	_	0	0	_	_	_		
84	5235	京都及 び大阪	11-40	京都東南部	_	0	_	0	0	_		
85	5235	京都及 び大阪	11-27	京都西北部	_	0	_	_	0	_		
86	5235	京都及 び大阪	11-51	大阪東北部	0	0	0	0	0	_		
87	5235	京都及 び大阪	11-50	大阪西北部	0	0	0	_	_	_		
88	5235	京都及 び大阪	11-1	大江山	0	0	_	_	0	_		
89	5235	京都及 び大阪	11-14	綾部		0	_	0	0	_		

	20 万分の 1				海成段丘	5 万分の	柱状図等の段丘情報の有無					
No.		図郭	5 万分	の1図郭	アトラス の有無	1 地質図 幅の有無	低位段丘	中位段丘	高位段丘	その他(年代 不詳の段丘		
90	5234	姫路	12-83	明石	0	0	_	0	_	_		
91	5234	姫路	12-71	高砂	0	0	_	_	0	_		
92	5234	姫路	12-59	北条	0	0	_	_	0	_		
93	5234	姫路	12-45	佐用	_	0	0	_	_	_		
94	5233	高粱	12-30	湯本	0	_	0	_	_	_		
95	5232	浜田	12-27	木次	_	0	_	_	0	_		
96	5232	浜田	12-26	石見大田	0	0	_	0	_	_		
97	5136	伊勢	11-87	波切	0	_	0	0	_	_		
98	5136	伊勢	11-85	長島	0	_	_	_	0	_		
99	5136	伊勢	11-79	鳥羽	0	0	0	0	0	_		
100	5136	伊勢	11-77	丹生	_	_	0	_	0	0		
101	5136	伊勢	11-69	伊良湖岬	0	0	0	0	0	_		
102	5136	伊勢	11-78	伊勢	0	_	0	0	0	0		
103	5135	和歌山	11-81	粉河	_	0	0	0	0	_		
104	5135	和歌山	11-73	岸和田	0	0	0	_	_	_		
105	5135	和歌山	11-80	和歌山	0	0	0	_	_	_		
106	5135	和歌山	11-61	須磨	0	0	_	0	_	_		
107	5135	和歌山	11-64	桜井	_	0	0	0	0	_		
108	5135	和歌山	11-74	五條	_	_	0	_	0	_		
109	5135	和歌山	11-72	尾崎	0	0	0	0	_	_		
110	5135	和歌山	11-63	大阪東南部	0	0	0	0	_	_		
111	5135	和歌山	11-62	大阪西南部	0	0	0	_	_	_		
112	5134	徳島	13-34	徳島	0	_	0	0	0	_		
113	5134	徳島	13-11	洲本	0	0	0	0	0	_		

	20 万分の 1 図郭		5 万分の 1 図郭		海成段丘 アト <del>ラ</del> ス の有無	5 万分の 1 地質図 幅の有無	柱状図等の段丘情報の有無			
No.							低位段丘	中位段丘	高位段丘	その他(年代 不詳の段丘
114	5134	徳島	13-33	川島	_	_	0	0	0	_
115	5131	山口	14-23	長門峡	_	_	0	_	_	_
116	5131	山口	14-17	徳佐中	_	_	0	_	_	_
117	5036	木本	11-104	阿田和	0	0	_	0	0	_
118	5035	田辺	11-97	十津川	_	_	_	0	_	_
119	5035	田辺	11-101	田辺	0	_	_	0	0	_
120	5035	田辺	11-103	新宮	0	0	_	0	0	_
121	5035	田辺	11-95	川原河	_	_	_	0	0	_
122	5035	田辺	11-100	印南	0	_	_	0	0	_
123	5034	剣山	13-81	室戸岬	0	_	_	0	0	_
124	5034	剣山	13-57	日和佐	0	_	0	0	0	_
125	5034	剣山	13-75	奈半利	0	_	0	0	0	_
126	5034	剣山	13-56	桜谷	0	_	0	0	0	_
127	5034	剣山	13-44	雲早山	_	_	0	0	_	_
128	5034	剣山	13-55	北川	_	0	_	0	0	_
129	5034	剣山	13-45	阿波 富 岡	0	_	0	0	0	_
130	5031	中津	14-66	豊後 杵 築	0	0	_	0	_	_
131	5031	中津	14-65	豊岡	0	0	0	0	_	_
132	5031	中津	14-56	鶴川	0	_	_	0	_	_
133	5031	中津	14-55	宇佐	0	_	_	0	0	_
134	5030	福岡	14-63	吉井	_	_	0	_	_	_
135	5030	福岡	14-50	前原	0	_	_	0	0	_
136	5030	福岡	14-52	大宰府	_	_	0	0	0	_
137	5030	福岡	14-61	背振山	_	_	0	_	_	_

表 22 柱状	図等の情報を抽出した図郭と段丘情報(その8)
---------	------------------------

No.	20 万分の 1 図郭		5 万分の 1 図郭		海成段丘 アトラス の有無	5 万分の 1 地質図 幅の有無	柱状図等の段丘情報の有無			
							低位段丘	中位段丘	高位段丘	その他(年代 不詳の段丘
138	5030	福岡	14-62	甘木	_	_	_	0	_	_
139	4932	宇和島	13-92	土佐清水	0	_	_	0	0	_
140	4931	大分	14-74	森	_	_	0	_	_	_
141	4931	大分	15-24	三重町	_	0	_	0	_	_
142	4931	大分	15-25	佐伯	0	0	0	0	_	_
143	4931	大分	14-88	臼杵	_	0	0	_	_	_
144	4931	大分	14-87	犬飼	_	0	0	_	_	_
145	4930	熊本	14-73	日田	_	_	0	_	_	_
146	4930	熊本	14-72	久留米	_	_	_	0	0	_
147	4930	熊本	15-30	熊本	0	_	0	_	_	_
148	4930	熊本	15-21	菊池	_	_	0	_	_	_
149	4930	熊本	15-31	御船	_	_	0	_	_	_
150	4930	熊本	15-19	荒尾	0	_	_	0	_	_
151	4831	延岡	15-68	妻	0	0	0	0	0	_
152	4831	延岡	15-61	都農	0	0	0	0	0	_
153	4831	延岡	15-69	高鍋	0	0	_	0	0	_
154	4831	延岡	15-67	須木	_	_	_	_	0	_
155	4831	延岡	15-60	尾鈴山	0	0	_	0	0	_
156	4731	宮崎	15-76	宮崎	0	0	0	0	_	_
157	4731	宮崎	15-84	日向青島	0	0	_	0	_	_
158	4731	宮崎	15-53	日向(富 高)	0	0	0	0	_	_
159	4731	宮崎	15-75	野尻	_	0	_	_	0	_
160	4731	宮崎	15-90	末吉	0	0	0	_	_	_
161	4731	宮崎	15-96	志布志	0	0	0	_	_	_

No.	20 万分の 1 図郭		5 万分の 1 図郭		海成段丘	5 万分の 1 地質図 幅の有無	柱状図等の段丘情報の有無			
					アトラスの有無		低位段丘	中位段丘	高位段丘	その他(年代 不詳の段丘
162	4730	鹿児島	15-89	岩川	0	_	0	_	_	_
163	4530	屋久島	16-7	屋久島東 北部	0	_	0	0	0	_
164	4530	屋久島	16-8	種子島南 部	0	_	0	0	0	_
165	4229	奄美大 島	17-4	喜界島	0	_	0	0	_	_

表 23 柱状図等の情報を抽出した図郭と段丘情報(その9)

#### 参考文献

濱田崇臣, 幡谷竜太, 河成段丘を用いた内陸部隆起量評価手法の適用性の検討~経験的指標を重視 したアプローチ~(本編及び別冊付録), 電力中央研究所報告(研究報告), N10050, 2011