



第 24 回

日本地質学会四国支部総会・講演会 プログラム・講演要旨集



2024 年 12 月 7 日 (土)

会場：徳島大学工業会館 2F メモリアルホール

日本地質学会四国支部

Shikoku Branch, The Geological Society of Japan

【第24回日本地質学会四国支部講演会・総会】

＜講演会＞

日時：2024年12月7日（土） 13:00–16:45

場所：徳島大学工業会館 2F メモリアルホール

注）絨毯張りのため工業会館 2F での飲食はお避け下さい。

＜総会＞

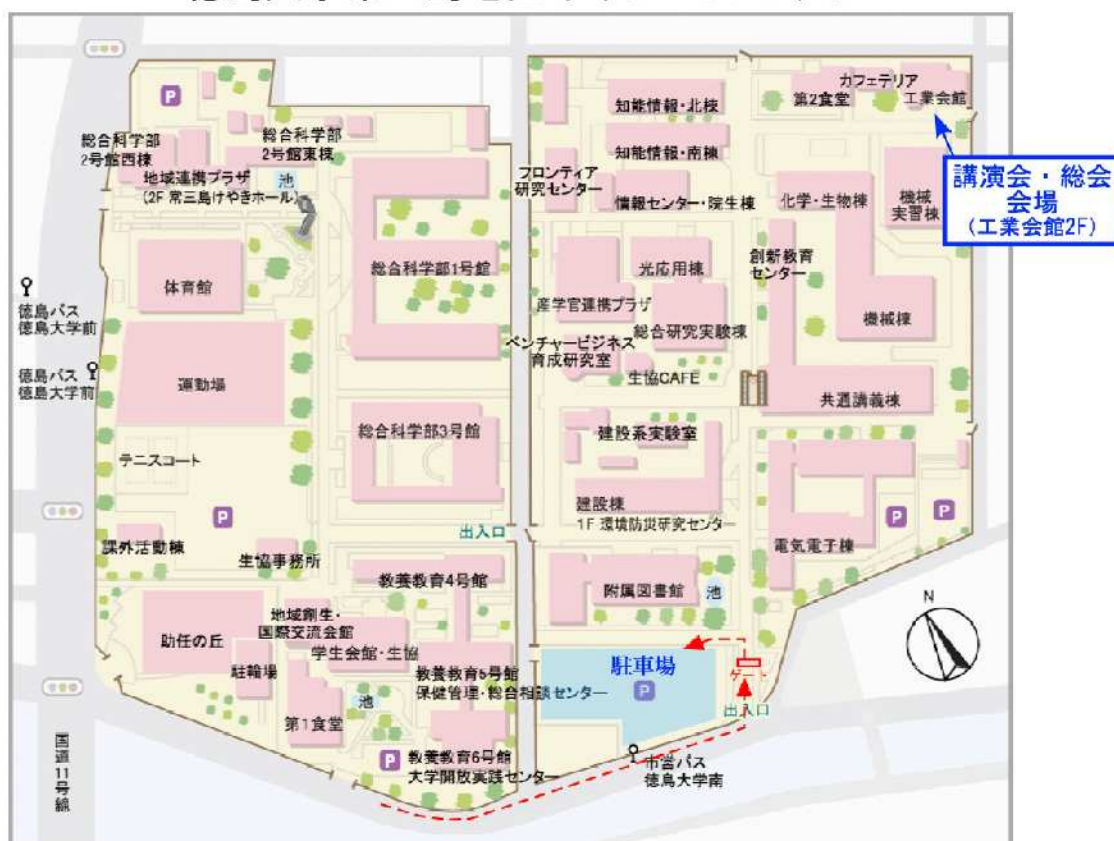
日時：2023年12月7日（土） 17:00–17:30（講演会終了後）

場所：講演会終了後に同会場で行います。

■ 地質学会会員の方はなるべくご参加下さい。

*懇親会は実施しません。

徳島大学常三島地区キャンパスマップ



車で来られる方は、駐車場入場券をゲートにてお渡しいたします。駐車券の数が限られておりますので、なるべくお乗り合わせください。

講演会・総会プログラム

- 13:00–13:10 開会挨拶（寺林支部長） 司会：安間 了
- 13:10–13:55 一般講演 口頭発表（第一部：3件） 座長：西山 賢一
- O-1 13:10–13:25 人新世の重金属濃度変化とその起源—高知県浦ノ内湾から採取された海洋コアの解析—
村山雅史・神徳理紗・新井和乃・原田尚美・永石一弥・川合達也・石川剛志
- O-2 13:25–13:40 モンゴル南部ゴビ砂漠の縞状石灰岩が記録する最終氷期におけるアジア内陸域の千年スケール気候変動*
中村旭登・長谷川 精・奥村知世・池原 実・佐久間杏樹・Chuan-Chou Shen・Ichinnorov N.・Davaasuren D.・石川剛志・山口飛鳥・小松吾郎
- O-3 13:40–13:55 モンゴルの年縞湖成層から探る白亜紀海洋無酸素事変期における東アジアの陸域環境変動*
浅野良騎・長谷川 精・Heimhofer U.・Ichinnorov N・川邊美帆子・長谷川 卓
- 13:55–14:00 5 分間休憩
- 14:00–14:30 一般講演 口頭発表（第二部：2件） 座長：青矢 睦月
- O-4 14:00–14:15 愛媛県伯方島トウビョウ鼻周辺でのエピソード長岩形成*
福井堂子・齊藤 哲
- O-5 14:15–14:30 領家帯蒲野花崗閃緑岩の形成環境：ジルコンとメルト包有物からの制約*
川島泰地・齊藤 哲・下岡和也・福山繭子
- 14:30–15:50 ポスターセッション・コアタイム
- 15:50–16:00 10 分間休憩
- 16:00–16:45 一般講演 口頭発表（第三部：3件） 座長：福地 里菜
- O-6 16:00–16:15 砂層ウェッジにおける荷重サイクルと変形の関係*
小田和佳・金澤征一郎・藤内智士
- O-7 16:15–16:30 南海トラフ海底下に発達する充填鉱物帯の分布*
野村夏希・弓井浩暉・藤内智士
- O-8 16:30–16:45 構造的メランジュに発達する剪断脈の差応力の制約*
平岡 空・橋本善孝・細川貴弘
- 16:45–17:00 15 分間休憩
- 17:00–17:30 総会 司会：安間 了

ポスター講演

- P-1 タイの中新統から産出したワニ化石群（予報）*
大門一輝・鏑本武久
- P-2 モンゴルの上部始新統 **Ergilin Dzo** 層から産出した鳥類の上腕骨化石*
新田樹生・鏑本武久・ヒシグジャウ=ツォクトバートル・ソヨル=バアサンフー
- P-3 北海道留萌郡蝦夷層群産アンモナイト **Damesites** のサイズ分布解析*
日山義弥・岡本 隆
- P-4 北海道小平地域に分布する上部白亜系、蝦夷層群の露頭図, および層序学的
位置関係*
雲野ひばり・日山義弥・岡本 隆
- P-5 北海道苫前郡古丹別地域に分布する白亜系蝦夷層群における露頭間の層序学的
前後関係*
伊藤聖真・岡本 隆
- P-6 始新世”温室期”の陸域気候復元に向けたグリーンリバー湖成層の古地磁気
層序の構築*
松本裕貴・穴井千里・長谷川 精・佐久間杏樹・泉 奏・隈 隆成
- P-7 北西太平洋域の深海底に堆積する赤色粘土中の Fe, Mn 分布*
波多野泰成・村山雅史
- P-8 北海道釧路沖アウターライズ堆積物中に認められるマンガン粒子の微細構造：
予察的解析結果の報告*
永澤綾子・浦本豪一郎・池田尚志・Kan-Hsi Hsiung・金松敏也・富士原敏也
- P-9 室戸沖斜面内海盆に認められるタービダイトの形成過程：有機物の特徴と
元素組成変動に基づく検討（SCORE Exp. 913）*
金子幸司朗・浦本豪一郎・長谷川 精・池原 実
- P-10 四国中部秩父帯に位置する高知大学朝倉キャンパスで掘削したコア試料の
地質学的記載*
山内大貴・藤内智士・原 英俊
- P-11 X線コンピュータトモグラフィと歪み解析を用いた乾燥砂層にできる
剪断帯の発達過程の考察*
篠崎敬伍・藤内智士
- P-12 幅の異なる単純剪断帯の変形過程に関する比較研究：乾燥砂を用いた実験*
森 慎吾・藤内智士

- P-13 多様な地層変形を作る実験教材が中学生の学習に与える効果*
清水花音・藤内智士・吉本真里
- P-14 板状節理と岩石組織の関係性*
深澤文廣・川畑 博
- P-15 同化作用に伴うゼノリス溶融・破壊過程*
今井惇人・川畑 博
- P-16 愛媛県芸予諸島大島に分布する“大島石”の花崗岩質マグマ溜まり
分化プロセス
下岡和也・青野莊一郎・大西隆仁・福井堂子・谷 健一郎・高橋俊郎・壺井基裕・
齊藤 哲
- P-17 山陽帯山口県岩国市に分布する土生花崗岩質岩体のジルコン中メルト
包有物研究*
熊谷汐莉・齊藤 哲
- P-18 高月山花崗岩質岩体に産する“チャーノカイト様岩”の岩石記載とジルコン中
メルト包有物研究*
平松義土・齊藤 哲
- P-19 伊豆孤衝突帯三浦層群凝灰岩の U-Pb 年代*
中井 花・安間 了・昆 慶明

-
- ・学生による優秀な口頭発表・ポスター発表には「優秀講演賞」・「優秀ポスター賞」を授与します。今回は、賞の決定は後日おこないます。
 - ・講演題目の最後に「*」が付いている発表は、学生による発表（賞の対象）です。

講演要旨

O-1

人新世の重金属濃度変化とその起源—高知県浦ノ内湾から採取された海洋コアの解析—

村山雅史¹・神徳理紗¹・新井和乃¹・原田 尚美^{2,3}・永石一弥⁴・川合達也⁴・石川剛士² (¹ 高知大学), (² 海洋研究開発機構), (³ 東京大学), (⁴ (株)マリン・ワーク・ジャパン)

Changes in heavy metal concentrations and their origins in the Anthropocene: Analysis of a marine core collected from Uranouchi Bay, Kochi, Japan.

Murayama, M.¹, Koutoku, R.¹, Arai, K.¹, Harada, N.^{2,3}, Nagaishi, K.⁴, Kawai, T.⁴, Ishikawa, T.², (¹Kochi University, ²JAMSTEC, ³Univ. of Tokyo, ⁴Marine Works Japan)

「人新世 (Anthropoce)」と提唱されている地質年代 (Crutzen, 2002) は、人間が地球環境に負荷を与えてきた時代である。内湾は、人間活動による環境変化を詳細に記録しており、海洋コアから「人新世」の人為的な影響について解析することが可能である。高知県中央部に位置する浦ノ内湾は、湾口が狭く、東西に約 12Km の細長い地形を持つ沈降性の内湾である。本研究では、浦ノ内湾の海洋コア中に記録されている人新世における重金属の濃度変化とその起源について明らかにすることを目的とした。

浦ノ内湾の湾奥 (U-1: 水深 9.7 M) で採取されたシルト泥である海洋コアを用いて、XRF コアスキャナー (ITRAX) 分析、プラズマ誘導質量分析 (ICP-MS)、マルチコレクター誘導結合プラズマ質量分析計 (MC-ICP-MS) を行い、重金属元素濃度変化と鉛同位体比によるそれらの起源の検証を行った。海洋コアの年代は、放射性同位体 (²¹⁰Pb, ¹³⁷Cs) から見積もった。1954 年 (25cm) から 1964 年 (20cm) にかけて、重金属元素は、それ以前の時代と比べ急激に濃度が増加していた。非破壊、高精度、高分解能で測定ができる XRF コアスキャナー (ITRAX) と ICP-MS の分析結果を比較した。両分析は、全体的な増加傾向は似ていたが、重金属元素の濃度が増加し始める深度の決定は ICP-MS 分析でこない。1954 年頃から、人為起源の重金属が増加しはじめたことが明らかになった。ITRAX では、X 線によるコア試料のバルクの全元素をカウント値で測定

しており、ICP-MS では、前処理において、堆積物試料の表面に付着していた重金属を抽出して測定した結果の違いがあると考えられる。5 つの全鉛同位体比 (²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb, ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb, ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb, ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb, ²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb) と Al/Pb の mixing diagram から、浦ノ内湾の Pb の供給源は、1950 年代以前の古い時代では、鉛含有量が少なく鉛同位体比が高い端成分 1、1950 年代以降は、鉛含有量が多く鉛同位体比が低い端成分 2 の 2 つの起源を示す直線関係になった。本結果を、西南日本外帯から採取された河川堆積物の鉛同位体比のデータをまとめた図 (Saito et al, 2020) にプロットしたところ、端成分 1 は、近隣の仁淀川河口のプロット位置に近く、また、端成分 2 はプロットされた位置にはデータが無い。ため、人為的にもたらされた可能性が高いと考えられる。

世界的な鉛鉱石の産出国であるオーストラリア (Huston and Champoin, 2023) の鉱石には、浦ノ内湾試料の鉛の端成分 2 と同様な特徴 (²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb に対し ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb が高い) を示すものが存在する。そのため、これらの国から輸入された鉱石の利用に伴い、人為的に排出された鉛が端成分 2 である可能性が高いと考えられる。

【引用文献】

Crutzen, P. J., Geology of mankind—The anthropocene. *Nature*, 415, 23, 2002.
Saito, Y., Tanimizu, M., Ishikawa, T., Sr-Nd-Pb isotope systematics of fine sediments from the modern rivers in SW Japan: Implications for sediment provenance of the Northwest Pacific, *Journal of Asian Earth Sciences* X, 2020.
Huston, D. L., Champion, D. C., Applications of lead isotopes to ore geology, metallogenesis and exploration, *Isotopes in economic geology, metallogenesis and exploration*, 155–187, 2023

O-2

モンゴル南部ゴビ砂漠の縞状石灰岩が記録する最終氷期におけるアジア内陸域の千年スケール気候変動

中村旭登 (高知大), 長谷川精 (高知大), 奥村知世 (高知大), 池原実 (高知大), 佐久間杏樹 (東京大), Chuan-Chou Shen (国立台湾大), Ichinnorov N. (モンゴル古生物研), Davaasuren D. (モンゴル国立大), 石川剛志 (JAMSTEC 高知コア研), 山口飛鳥 (東京大), 小松吾郎 (ダヌンツィオ大学)

Millennial-scale paleoclimate change in the Asian interior during the last glacial: Insights from the laminated limestone in Gobi Desert, southern Mongolia

Akito NAKAMURA¹, Hitoshi HASEGAWA¹, Tomoyo OKUMURA¹, Minoru IKEHARA¹, Aki SAKUMA², Chuan-Chou SHEN³, Niiden ICHINNOROV⁴, Davaasuren DAVADORJ⁵, Tsuyoshi ISHIKAWA⁶, Asuka YAMAGUCHI⁷, Goro KOMATSU⁷ (¹Kochi Univ., ²Univ. of Tokyo; ³National Taiwan Univ.; ⁴Paleontological Institute, Mongolia; ⁵National Univ., Mongolia; ⁶JAMSTEC; ⁷Università d'Annunzio)

【はじめに】最終氷期にはダンスガード・オシュガー・サイクル (DOC) と呼ばれる千年スケールの急激な気候変動が起こった事が知られており、中国南部・Hulu 洞窟鍾乳石の酸素同位体比記録 (Wang et al., 2001) や中国北部・黄土高原のレス記録 (Sun et al., 2012), そして日本海堆積物中の風成塵指標記録 (Nagashima et al., 2011) などから、アジア低-中緯度域にも DOC に伴う気候変動が生じたことが分かっている。しかしそれらの北側に位置するモンゴル南部ゴビ砂漠における気候変動のアーカイブは乏しく、DOC に伴う古環境変動は明らかになっていない。本発表では、ゴビ砂漠で発見した、浅湖環境で堆積していた縞状石灰岩を対象として様々な分析を行った結果、DOC に伴うゴビ砂漠の古環境変動を記録している可能性が明らかになったため、報告する。

【研究対象・方法】ゴビ砂漠北縁部の Valley of Lakes 地域には、現在乾燥気候下で幅数 km~20km 程の塩湖 [ブーンツァガン湖 (平均水深 9.3m), オログ湖 (平均水深 3m) など] が点在している。一方、湖岸地形の証拠から、過去には幅 200km 以上、最大水深 100m に達する巨大な湖 "Giant Gobi Lake" が存在した可能性が示唆されている (Komatsu et al., 2001; Lehmkuhl et al., 2018)。この巨大湖の発達した年代は、湖岸堆積物の OSL 年代に基づいて、最終間氷期、最終氷期、完新世中期頃と推定されている (Lehmkuhl et al., 2018) が、正確な年代は不明である。我々は 2023 年 7 月に Valley of Lakes 地域の調査を行い、オログ湖の 40km 北の地点で、砂漠舗石の上に沈殿した縞状石灰岩 (厚さ数 cm) を多数発見した。これは Giant Gobi Lake の浅湖環境で沈殿した湖成石灰岩の可能性があり、先行研究 (Komatsu et al., 2001; Lehmkuhl et al., 2018) の想定よりも更に巨大な湖

(幅 300km, 最大水深 200m 以上) が発達していた可能性を示す。さらにこの縞状石灰岩は、ゴビ砂漠で巨大湖が発達した時期や、それを維持していた気候システムの解明に繋がる重要なアーカイブとなる可能性がある。そこで本研究では、高知コアセンターで縞状石灰岩の切断と表面研磨を行い、同センター設置の微小領域切削装置 (Geomil326 と吸収男児) と安定同位体比質量分析装置 (Isoprime precisiON) を用いて、約 0.1-0.2mm 毎に炭素・酸素同位体比を測定した。また東京大学大気海洋研究所設置の微小領域蛍光 X 線分析装置 (μXRF) を用いて、詳細な元素組成分布 (1pixel 4μm) の測定を行った。さらに国立台湾大学において同試料の下部~上部の U/Th 年代測定を進めている。

【結果・考察】切断面の元素組成分析の結果、同試料は暗色層と灰色層の互層からなる縞状構造が発達する下部、小礫を含む中部、そしてストロマトライト構造などを示す上部の、三層構造で構成される事が明らかになった。また炭素・酸素同位体比測定の結果、下部の縞状構造灰色層では共に軽く (δ¹⁸O: 約-6‰, δ¹³C: 約-1‰), 暗色層では重くなる (δ¹⁸O: 約-4‰, δ¹³C: 約+1‰) 傾向が見られた。また δ¹⁸O 変動は、約 6 万年前以降における中国南部 Hulu 洞窟鍾乳石の δ¹⁸O 変動 (Wang et al., 2001) とよく似た変動を示していた。このことから、U/Th 年代値の結果は未だ出ていないが、暫定的に同石灰岩下部は約 6~2.5 万年前に、中部は約 2.5-1.5 万年前の最終氷期に、そして上部は退氷期-完新世に堆積したと解釈した。

また Hulu 洞窟鍾乳石 δ¹⁸O 変動との比較から、ゴビ砂漠の縞状石灰岩は DOC の温暖期に当たる亜間氷期に乾燥化し、寒冷期に当たる亜氷期に湿潤化する傾向が見られ、千年スケールでゴビ砂漠の蒸発量/降水量変動が大きく変動した可能性が示唆された。これは、冬季モンスーンが強化される亜氷期に、寒帯前線ジェット気流がゴビ砂漠まで南下して降雨量が増大していたと考えたと説明がつく。したがって、最終氷期に巨大湖 (Giant Gobi Lake) が形成されたのは、最終氷期における偏西風帯の南下が関係している可能性が示唆される。

引用文献: Komatsu G. et al. (2001) *Geomorphology* v.39, p.83-98.; Nagashima, K. et al. (2011). *Journal of Asian Earth Sciences*, 40, 1214-1220.; Lehmkuhl F. et al. (2018) *Quaternary Science Reviews* v.179, p.1-23.; Sun Y. et al. (2012) *Nature Geoscience*, 5, 46-49; Wang Y. et al. (2001) *Science* v.294, p.2345-2348.

O-3

モンゴルの年縞湖成層から探る白亜紀海洋無酸素事
変期における東アジアの陸域環境変動

○浅野良騎(高知大学), 長谷川精(高知大学), Heimhofer U. (ハノーファー大学), Ichinnorov N. (モンゴル古生物研究所), 川邊美帆子(高知大学), 長谷川卓(金沢大学)

Reconstruction of terrestrial environmental changes in East Asia during the mid-Cretaceous Oceanic Anoxic Events through lacustrine varve deposits in Mongolia

○Yoshiki ASANO (Kochi Univ.), Hitoshi HASEGAWA (Kochi Univ.), Ulrich HEIMHOFER (Hannover Univ.), Niiden ICHINNOROV (Paleontological Institute Mongolia), Mihoko KAWABE (Kochi Univ.), Takashi HASEGAWA (Kanazawa Univ.)

【はじめに】白亜紀中期は大気 CO₂ 濃度が現在の 4 倍以上であった“超温室期”であり、海洋無酸素事変(OAE)と呼ばれる地球規模の大きなイベントが複数回発生した。OAE の発生原因として、巨大火成岩区(LIPs)の活動によって放出された過剰な CO₂ が、大陸地殻の風化作用の増大を招き、過剰な栄養塩が海水中に供給されプランクトン等の大量発生によって無酸素水塊が拡大した(Weissert et al. 1998)とされているが、OAE 期に大陸風化の増大が起こっていたかどうかを詳細に解読できる陸域環境変動の記録は示されていない。本研究ではモンゴル・シネフダグ地域に分布する、白亜紀中期アプチアン期の湖成層の掘削コア試料を対象として、OAE1a 期における陸域環境変動の復元を試みた。

【試料と方法】本研究に用いた試料はモンゴル南東部のシネフダグ地域で掘削された CSH02 コア(約 190m)である。同コアの下部はラミナの発達した頁岩とドロマイト層の互層からなるシネフダグ層に対応し、降水量変動に伴う湖水位変化を反映している(Hasegawa et al., 2018, 2022)。同コア上部は石炭を挟む河川成層からなるフフテグ層に対応する。同コアの年代は、コア上部の凝灰岩層の U/Pb 年代(約 118.5Ma; Hasegawa et al., 2018)と、古地磁気分析により明らかになったコア深度

174m の C34n/M0r 境界の年代(約 119.7Ma)から、119.8~118.5Ma の期間に堆積しており、コア深度約 115m の層準が OAE1a の開始が対応している可能性が明らかになった。本研究では高知コアセンターで XRF コアスキャナー(Itrax)と X 線回析装置(XRD)を用いて高解像度な元素組成変動(0.5mm 間隔)と鉱物組成分析(10-20cm 間隔: 1115 試料)を行った。また炭酸塩の安定酸素・炭素同位体比分析(822 試料: Heimhofer U. が実施)と蛍光 X 線(XRF)分析(1282 試料: 長谷川精が実施)を行った。さらに有機炭素の炭素同位体比分析を長谷川卓が進めている。

【結果と考察】XRF, XRD, 同位体比分析の結果から、シネフダグ層およびフフテグ層には 2 度の古環境変化を記録されることが明らかになった。1 度目はコア深度約 115m で K/Al 比の減少とカオリナイトの増加、そして深度約 108m で酸素・炭素同位体比の減少を示し、2 度目は深度約 65m で炭素同位体比の減少とカオリナイトの増加を示し、化学風化度の増加と陸域湿潤化が 2 段階で起こっていた可能性が明らかになった。この陸域環境の変動と OAE1a 期における炭素同位体比変動(Castro et al., 2021; Lendro et al., 2022)や LIPs 活動の指標となるオスニウム同位体比の変動(Tejada et al., 2009)と対応させると、1 度目の環境変化が炭素同位体比の負シフトおよび LIPs 活動の開始期と、2 度目は炭素同位体比の正シフトのタイミングと概ね一致していた。これは LIPs 活動に伴う CO₂ 上昇によって大陸風化が増加し、OAE が発生したとする従来の考えを支持する重要な記録である。今後は有機炭素の炭素同位体比層序に基づく OAE1a との正確な対比や、Itrax 分析の結果を用いて OAE1a 期における数十年~数千年スケールの気候変動の解明を試みる。

引用文献: Castro, J. et al., *Paleoclimatology*, 36, e2020PA004004.; Hasegawa, H., et al., (2018) *Island Arc*, 27, e12243.; Hasegawa, H., et al., *Scientific reports*, 12, 21894.; Leandro, C. et al., *Nature Communications*, 13, 2941.; Tejada, M. et al., *Geology*, 37, 855-858.; Weissert, H., et al., (1998) *Palaeo-*, 3, 137, 189-203.

O-4

愛媛県伯方島トウビョウ鼻周辺でのエビ閃長岩形成
福井堂子(愛媛大学)・齊藤哲(愛媛大学)

Episyenite formation at the Tobyobana area, Hakata-jima Island, Ehime Prefecture, Japan
Toko FUKUI (Ehime Univ.), Satoshi SAITO (Ehime Univ.)

【はじめに】エビ閃長岩は、サブソリダス条件下で、花崗岩類とアルカリ成分に富む流体との相互作用によって形成される、石英に乏しく、アルカリ長石に富む岩石である(Suikkanen and Ramo, 2019)。その形成時には、原岩の花崗岩類に含まれる石英の溶脱とそれに伴う空隙の形成、長石類のアルカリ長石化が主たる反応として進行する。このようなエビ閃長岩を形成するプロセスは、特に石英の溶脱に着目して「エビ閃長岩化作用」と呼ばれる(Suikkanen and Ramo, 2019)。石英の溶脱による空隙を保持しているエビ閃長岩は、花崗岩を基盤とする地域の放射性廃棄物処分場としての評価、炭素貯留層の開発といった観点からも重要な岩石である(例えば、Nishimoto et al., 2014)。

国内のエビ閃長岩では、岐阜県土岐花崗岩体中のエビ閃長岩(Nishimoto et al., 2014)と愛媛県岩城島のエビ閃長岩(Imaoka et al., 2024)についてこれまで研究報告がある。一方、西南日本内帯の花崗岩分布域には多くの閃長岩類が点在することが知られており、それらは「交代性閃長岩」として記載されているが(例えば、村上, 1976)、石英の溶脱や空隙の形成については明示されておらず、エビ閃長岩としてその成因を検討している研究例は限られている。本研究では愛媛県伯方島から、先行研究で報告されてきた花崗岩類(例えば、松浦ほか, 2002)に加え、新たに 2 種類の「エビ閃長岩様岩(Imaoka et al., 2024)」を見出した。そこで、これらのエビ閃長岩様岩について野外産状・岩石記載、全岩化学組成分析をおこない、その特徴を明らかにするとともに、これらが石英の溶脱を経て形成したエビ閃長岩であることを議論する。

【野外産状・岩石記載】当地域のエビ閃長岩様岩は、色調の違いにより真珠色閃長岩と牡蠣色閃長岩に区分される。これら 2 種類のエビ閃長岩様岩は、伯方島最北端のトウビョウ鼻に産する花崗岩類に伴って局所的に産出し、いずれも花崗岩類から岩相が漸移的に変化する。また、いずれも石英に

乏しく、顕著なパーサイト組織やメソパーサイト組織を呈するアルカリ長石に富む。真珠色閃長岩は露頭中に空隙が顕著に認められることで特徴づけられる。また、有色鉱物の集合体が配列する層状構造が認められる。一方、牡蠣色閃長岩は露頭中に空隙が認められないが、薄片観察からは粒状集合組織を示す有色鉱物の集合体中に微細な空隙が認められる。また、真珠色閃長岩に比べて母岩の花崗岩の構造・組織の特徴を残している。

【全岩化学組成】エビ閃長岩様岩の全岩化学組成は、花崗岩類とは異なる組成範囲を示し、特に SiO₂ 含有量が花崗岩類より低く、Al₂O₃ 含有量が高い。また、2 種類のエビ閃長岩様岩を比較すると、Al₂O₃ 含有量は牡蠣色閃長岩より真珠色閃長岩の方が高いのに対して、FeO_(total), MgO, CaO, Sr, Zr, Ba 含有量は真珠色閃長岩よりも牡蠣色閃長岩の方が高い値を示す。

【議論】当地域のエビ閃長岩様岩と、母岩の花崗岩類との間には、火成岩の貫入時にみられるような明瞭な貫入境界は認められず、岩相が漸移的に変化している。このことから、当地域のエビ閃長岩様岩は火成作用起源とは考えにくい。また全岩化学組成より、エビ閃長岩様岩が周囲の花崗岩類と組成トレンドを形成せず異なる組成範囲を持つことから、エビ閃長岩様岩が周囲の花崗岩類との一連の火成活動により形成したとは考えにくい。よって、当地域のエビ閃長岩様岩は、交代作用起源の閃長岩であり、その原岩は周囲の花崗岩類であると考えられる。さらに、真珠色閃長岩の露頭中に認められる空隙や、牡蠣色閃長岩の鏡下で見られる粒状集合組織中の微細な空隙は、いずれも花崗岩類中の石英の溶脱とそれに伴う空隙の形成を示唆している。このことから、当地域に産する真珠色閃長岩と牡蠣色閃長岩はともに石英の溶脱を経験したエビ閃長岩であると考えられる。また真珠色閃長岩は、原岩の構造が大きく改変されているのに対し、牡蠣色閃長岩は、原岩の構造や組織が残存していることから、エビ閃長岩の形成にともなう原岩の構造や岩石組織の改変は、牡蠣色閃長岩に比べ真珠色閃長岩でより進行したものと考えられる。

引用文献: Imaoka et al. (2024) *Minerals*, 14, 929; 松浦ほか (2002) 20 万分の 1 地質図幅「岡山及丸亀」、産業技術総合研究所地質調査センター; 村上 (1976) 岩石鉱物鉱床学会誌 特別号, 261-281; Nishimoto et al. (2014) *Contrib. Mineral. Petrol.*, 167, 960-971; Suikkanen and Ramo (2019) *Min. Metall. Explor.*, 36, 861-878.

O-5

領家帯蒲野花崗閃緑岩の形成環境：
ジルコンとメルト包有物からの制約

川島泰地 (愛媛大学)・齊藤哲 (愛媛大学)・
下岡和也 (関西学院大学)・福山繭子 (秋田大学)
Formation environment of Gamano granodiorite in Ryoke belt:
constrain from zircon and melt inclusions
Taichi Kawashima (Ehime Univ.), Satoshi Sito (Ehime Univ.),
Kazuya Shimooka (Kwansei Gakuin Univ.), Mayuko Fukuyama
(Akita Univ.)

【はじめに】 花崗岩類は酸化型の磁鉄鉱系列と還元型のチタン鉄鉱系列に分類される。西南日本の花崗岩類は、一般に山陰帯が磁鉄鉱系列、山陽帯・領家帯がチタン鉄鉱系列である。磁鉄鉱系列花崗岩類は、 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ が高く、還元剤となる地殻起源の炭素のマグマへの混入が限られた環境で形成したと考えられている。一方、チタン鉄鉱系列花崗岩類は $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ が低く、マグマに混入した地殻起源の炭素が還元剤となることで形成されると考えられている。また、2つの系列には化学的な相違があり、起源物質から上昇貫入過程を含めた花崗岩の全形成史にみられる相違を反映しているものと考えられている(石原, 1982)。

Kawashima et al. (2024)では、蒲野花崗閃緑岩に含まれるジルコン中のメルト包有物を用いて、花崗岩質マグマ中のメルトの含水量とジルコン結晶化圧力を見積もった。そこで、本研究では Kawashima et al. (2024)で分析したメルト包有物を含むホストのジルコンの微量元素を LA-ICP-MS で測定し、ジルコン U-Pb 年代の報告と、近年提案されたジルコン酸素分圧計 (Loucks et al., 2020) を用いて酸素分圧の見積もりを行い、蒲野花崗閃緑岩の形成環境を明らかにする。

【ジルコン分離試料・研究手法】 ジルコンを分離した試料は屋代島北西部で採取した花崗岩試料で、Ikeda (2004)によって近傍の変成岩類から変成温度圧力が見積もられている(温度：855～849 °C, 圧力：529～420 MPa)。ジルコン中メルト包有物はマグマ冷却中の結晶化により不均質な多相包有物となっているため、ピストン・シリンダー型高温高压装置を用いて均質化実験を行った。均質化を確認したメルト包有物を SEM-EDS で分析後、ホストのジルコンを LA-ICP-MS で微量元素の測定を行った。

【野外産状・鏡下観察】 蒲野花崗閃緑岩は変成岩類の構造に調和的に貫入し、しばしば変成岩類を捕獲岩として取り込んでいる。また、苦鉄質岩が火

成包有岩や同時性岩脈として産する。鏡下観察では、ジルコンは主要造岩鉱物の周縁部や粒間に認められる。

【結果】 SEM-EDS で均質化実験後のメルト包有物を分析したところ、高い含水量(6.4～11.3 wt%)と高い SiO_2 含有量(76～78 wt%, 主要元素 total を 100 % にノーマライズした値)が得られた。得られた主要元素組成を MagMaTaB 地質温度圧力計(Weber and Blundy, 2024)に適用したところ、それぞれ 751～707 °C, 563～266 MPa の温度と圧力が計算された。また、ジルコン U-Pb 年代は 92.4 ± 0.4 Ma であった。ジルコンの微量元素を用いて酸素分圧計 (Loucks et al., 2020) を適用したところ、領家帯蒲野花崗閃緑岩の酸素分圧 (ΔFMQ : -2.16～-0.10) は山陰帯の大東岩体の花崗岩類 (ΔFMQ : 0.25～1.23、居平, 2024 愛媛大学理学部卒論) より還元的な値が得られた。

【考察】 メルト包有物組成から得られた含水量と圧力は、含水量-圧力図上において、ハプロ花崗岩メルトの含水飽和曲線に沿ってプロットされる。このことから、ジルコンが包有した際の花崗岩質マグマ中のメルトは、ほぼ含水飽和状態であったと考えられる。計算された圧力から、蒲野花崗閃緑岩中のジルコン中メルト包有物は、マグマが深部地殻へ貫入(およそ 563～500 MPa)してから最終的に固結(およそ 266 MPa)するまでの広い範囲の圧力を記録していると考えられる。また、MagMaTaB 地質温度圧力計で計算された温度と圧力は、圧力の低下に伴い温度が上昇する負の相関をもつ。この結果は、蒲野花崗閃緑岩マグマの上昇過程において苦鉄質マグマの供給による再加熱を受けたことを示唆するが、このことは苦鉄質岩に富む蒲野花崗閃緑岩の野外産状と調和的である。また、ジルコン酸素分圧計の適用結果から、蒲野花崗閃緑岩は比較的還元的な環境で形成されたことが考えられる。池田ほか (2019)では、変成岩中のザクロ石の組成と蒲野花崗閃緑岩中のザクロ石のコアの組成が調和的であることを報告している。このことから池田ほか (2019)は、蒲野花崗閃緑岩に変成岩類が同化したと考えた。これらを踏まえると、蒲野花崗閃緑岩マグマは、起源物質が還元的であったか、もしくは変成岩類の同化の影響を受けたため還元的になったものと考えられる。

【引用文献】 池田ほか, 2019, 地質学雑誌 125, 167-182; Ikeda, 2004, Contributions to Mineralogy and Petrology 164, 577-589; 石原, 1982, 鉱山地質 32(3), 281-283; Johannes and Holtz, 1996, Petrogenesis and Experimental Petrology of Granitic Rocks. pp. 335, Springer, Berlin; Kawashima et al., 2024, Journal of Mineralogical and Petrological Sciences 119, 018; Loucks et al., 2020, Journal of Petrology 61, ega034; Weber and Blundy, 2024, Journal of Petrology 65, ega020.

O-6

砂層ウェッジにおける荷重サイクルと変形の関係

小田和佳 (高知大学)・金澤征一郎 (高知大学)

藤内智士 (高知大学)

Relationship between load cycle and deformation in
sand-wedge experiments

Nodoka ODA(Kochi Univ.), Seiichiro KANAZAWA (Kochi Univ.), Satoshi TONAI (Kochi Univ.)

地殻の水平短縮によってできる衝上断層褶曲帯の特徴の一つは、変形に伴ってウェッジ先端部に複数の剪断帯（フロンタルスラスト。以下、FT）が次々とできていくことである。この変形サイクルは、初期構造に依存した多様性を持つが、それらに共通する仕組みを理解することは、形成したウェッジ内部および周辺で起こる地殻変動や物質循環を把握する上で重要である。しかし、例えば天然の付加ウェッジの変形サイクルは数万年から十万年程度で起こり、連続観測することは難しい。そこで代わりに、乾燥砂を用いた模型実験によって研究されることがある (Lohrmann et al., 2003)。2010 年以降では、FT の変形に伴う荷重サイクルを調べた例 (Ritter et al., 2018) や、デジタル画像相関法 (DIC) を用いて FT の形成過程を詳細に調べた例 (Dotare et al., 2016) がある。

発表者らも乾燥砂層のウェッジ形成実験を行い、同期取得した荷重データと DIC による解析結果を比較することで、変形サイクルの詳細な理解を目指している。そして、これまでの実験より、荷重の増減が示す一つの周期をステージⅠ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳの4つの期間に分けることを提案した。また、ステージⅢからⅣ、Ⅰへの移り変わりは、新たにできた FT が地表面に到達することで生じることを示した。本研究では、ステージⅠからⅡおよびステージⅡからⅢの移り変わりにおける変形にも注目し、砂層ウェッジ形成時に見られる荷重サイクル全体と変形の関係理解を目指した。先行研究では、砂層の変形を横あるいは上からの一方向のみ撮影して議論することが多かった。本研究では、横と上の二方向から同時撮影した画像を使うこ

とで、より細かな変形を抽出した。

砂層ウェッジは、シートを敷いたアクリル容器(幅 118 mm, 長さ 693 mm, 高さ 158 mm) に豊浦珪砂 (径 106-300 μm) を自由落下により厚さ 20 mm で敷き詰め、シートを水平に 0.125 mm/s の速さで 250 mm 引いて砂を固定壁に押し付けることで作成した。変形の様子はデジタルカメラを用いて 1s 間隔で連続撮影して記録した。ロードセルを用いてシートを引っ張る際の水平荷重も記録した。荷重データと画像データの同期には DAQ (データ収録装置) を使用した。

実験画像の歪み解析の結果を用いて、ステージⅠからⅡの変化を調べた。ステージⅠは、新規 FT が形成された後に荷重が一定あるいは緩やかに上昇する期間である。この時、一世代前の FT はそれまでよりも速度が減少するものの変位は持続している。この変位により新規の FT は固定壁に向かって移動していく。続くステージⅡは荷重の上昇が急になる期間で、このとき一世代前の FT はほとんど変位しなくなり、それにより新規 FT の移動は緩やかになる。この一連の変化は、上から撮影した画像を用いた解析結果において、顕著に認められた。

ステージⅡからⅢの変化についても同様に解析した結果、荷重の上昇が緩やかになるステージⅢの時に、それまで変位していた新規 FT の前方にわずかな歪みが見られた。このわずかな歪みは、weak shear band (Dotare et al., 2016) と呼ばれる新規 FT 形成の直前にできる変形領域と考えられる。

発表者らがこれまで行ってきた実験に本研究の結果を加えることで、荷重サイクルが示す各ステージと変形の対応関係を示した。これは、ウェッジ先端部で起こる FT 形成において共通して見られる特徴と思われる。今後は、変形の移り変わりが起こる要因について考察を深めることを目指す。

引用文献

Dotare et al., 2016, Tectonophysics, 684, 148-156.
Lohrmann et al., 2003, Jour. Struct. Geol., 25, 1691-1711.
Ritter et al., 2018, Tectonophysics, 722, 400-409.

O-7

南海トラフ海底下に発達する充填鉱物帯の分布

野村夏希¹・弓井浩暉^{1,2}・藤内智士¹

(¹高知大学, ²広建コンサルタンツ株式会社)

Distribution of mineralization zones developed beneath the Nankai Trough

Natsuki NOMURA¹, Hiroki YUMII^{1,2}, Satoshi TONAI¹

(¹Kochi Univ., ²Hiroken consultants Co.,LTD.)

【はじめに】

沈み込み海洋地殻の岩相はプレート収束帯の変形に影響し、その側方変化は場所による変形の違いを生む要因となる（例えば、Underwood and Pickering, 2018）。高知県室戸沖の南海トラフにおける付加体先端部の掘削サイトについて、特に半遠洋性堆積物からなる深さにて充填鉱物が報告され、それらが高温流体起源であることが示唆された（例えば、Kastner et al., 1993；Tsang et al., 2020）。このような充填鉱物が密集する領域もプレート収束帯の変形に関与する可能性があるが、空間分布についての詳細な記述は少ない。そこで本研究では四国沖の南海トラフを対象に、複数の国際掘削プロジェクトで採取されたコア試料を用いて充填鉱物帯の分布を調査した。

【対象と手法】

研究対象は、室戸沖の IODP C0023 サイト、ODP 808, 1173, 1174 サイト、足摺沖の ODP 1177 サイト、またこれらと比較をするための四国海盆の DSPP442, 443, 444 サイトの計 8 箇所のコア試料である。室戸沖及び、足摺沖の掘削サイトは、南海トラフの海側および南海付加体の先端部に位置し、基盤岩である玄武岩の上に中期中新世以降の半遠洋性堆積物や海溝充填堆積物が重なる（例えば、Moore et al., 2001）。四国海盆の掘削サイトは、基盤岩である玄武岩の上に火山砕屑物混じりの半遠洋性堆積物の泥が堆積している（The Shipboard Scientific Party, 1980）。

O-8

構造性メランジュに発達する剪断脈の差応力の制約

平岡空（高知大学）・橋本善孝（高知大学）・細川貴弘（高知大学）

Constraints on Differential Stress from Shear Veins in Mélanges

Sora Hiraoka (Kochi Univ.), Yoshitaka Hashimoto (Kochi Univ.), Takahiro Hosokawa (Kochi Univ.)

●はじめに：流体圧は断層のすべり強度に大きく影響する。断層すべり挙動を理解するためには天然において流体圧がどの程度滑り強度に影響を及ぼしているのか定量化する必要がある。先行研究で断層中の鉱物脈に含まれる流体包有物の解析から断層形成時の流体圧が推定されてきた。しかし断層形成深度を独立に求めることができなかったため、流体圧の断層強度への影響度の定量化ができなかった。Hosokawa et al., (2021) は引張クラックの形成条件と天然から得られた流体圧を用いて引張クラック形成深度を制約することに成功した。本研究では、この手法を剪断脈に発展させ、小断層解析による古応力、剪断破壊理論と天然の情報を組み合わせ、差応力 $\Delta\sigma$ を制約することを目指す。

●地質概説：研究対象地域は、四国白亜系四万十帯横浪メランジュである。高知県土佐市横浪半島を南北に約 2km の幅を持ったメランジュ相で、メランジュ構造を切る小断層が多数発達しており、厚さ約数 mm~数 cm の鉱脈を伴っている。この小断層の分布が海洋底層序に規制されていることから底付け付加前に形成されたと考えられている（Hashimoto et al., 2012）。剪断脈形成時の温度・圧力は流体包有物から

これらのコア試料について、X 線コンピュータトモグラフィー（XCT）データを用いて充填鉱物帯の空間分布を調べ、X 線回析（XRD）や蛍光 X 線分析（XRF）による鉱物同定と元素分析を行った。

【結果と考察】

例として、室戸沖 1173 サイトの結果を示す。試料のかさ密度との相関が高い平均 CT 値の深度変化は、深部に向かって徐々に上昇する。その中で半遠洋性堆積物中において、厚さ数 cm ほどの高い平均 CT 値を示す部分が、深さ数 m から数十 m に 1 つの間隔で分布することが確認された。特に半遠洋性堆積物の泥主体である下位の区間では、CT 値が 10000 を超える箇所が複数あり、そこではバライト(BaSO₄)やロードクロサイト(MnCO₃)が充填していた。上記と同じ特徴を示す充填鉱物帯の分布は、室戸沖の他のサイトでも確認された。

また、足摺沖の 1177 サイトにおけるバライトとロードクロサイトの充填は、半遠洋性堆積物のうち、泥を主体とする区間で見られた一方で、より下位にあたるタービダイトを挟む区間では見られなかった。さらに、四国海盆で掘削された 3 サイトでは、充填鉱物帯がほぼ見られなかった。これらのことから充填鉱物帯は、収束帯近くで半遠洋性堆積物の最上部が堆積した 3.9~2.0 Ma 以降に形成したこと、そして、形成には岩相の影響があったことが示唆される。

【参考文献】

Kastner, M. et al., 1993, Proceedings of the Ocean Drilling Program. Scientific Results, 131, 397-413.
Moore et al., 2001, Geochem. Geophys. Geosyst., 2, 2001GC000166.
The Shipboard Party, 1980, Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, 58, 21-282.
Tsang, M. Y. et al., 2020, Mar. Pet. Geol., 112, 104080.
Underwood, M. B. and Pickering, K. T., 2018, The Geological Society of America Special Paper, 534, 1-34.

およそ 175~225℃、143~215MPa と推定されている。

●手法：横浪メランジュの小断層古応力解析から、正断層応力場と逆断層応力場の二つの応力場が推定されており（Hashimoto et al., 2014）、得られている 2 つの応力解のそれぞれについて、各小断層面と σ_1 のなす角(θ_r)を算出した。また、 θ_r の確定した剪断脈について流体包有物測定を行い、形成時の流体温度・圧力を推定した。今回は、逆断層応力場と正断層応力場に対応する剪断脈についてそれぞれ 5 つと 3 つの結果が得られた。

●結果： θ_r は逆断層で 19 度、36 度、38 度、48 度、88 度、正断層で 52 度、53 度、25 度であり、流体圧は逆断層で 136MPa、203MPa、253MPa、222MPa、170MPa で、正断層で 210MPa、229MPa、175MPa であった。温度はおよそ 160 度から 210 度程度で、先行研究とほぼ一致している。

●議論：岩石破壊理論によれば、 θ_r は差応力と流体圧比の関数である。本研究において、剪断脈形成深度を Hosokawa et al. (2023)と同じ手法で求めた値(8-10km)とすると今回得られた流体圧を流体圧比に変換できる。その結果、差応力は 167.9MPa から 177.1MPa と推定された。推定された差応力は大きな幅を持つことから、多様な流体圧の影響とそれに応じた多様な差応力規模が混在していることが示唆される。しかし、理論値から外れた最頻値のサンプルが少なくない。これは、形成深度が断層によって異なることを示唆している。

引用文献:Hashimoto et al., 2012, Island arc; Hashimoto et al., 2014, Tectonics; Hosokawa and Hashimoto., 2021, Scientific Reports

P-1

タイの中新統から産出したワニ化石群(予報) 大門一輝・鐔本武久(愛媛大) Crocodile fossil assemblages from the Miocene of Thailand Kazuki OKADO, Takehisa TSUBAMOTO (Ehime Univ.)

タイ北部の Mae Moh 層群では、これまでの日本-タイ共同の野外調査によって、多くの中新世の脊椎動物の化石の産出が報告されている。特に大型類人猿や長鼻類といった哺乳類化石は豊富であり(例えば、國松ほか, 2000a, b), 哺乳類化石層序からこれらの産地は前期中新世末~後期中新世初期に堆積したと推定されている(長岡・菅沼, 2002)。その中で、Mae Moh 炭鉱・Chiang Muan 炭鉱・Sop Mac Tham 地域の3つの地点から、ワニ化石の産出が報告されている。Martin *et al.* (2023)は、Mae Moh 炭鉱と Chiang Muan 炭鉱から産出したワニ化石をクロコダイル上科の新属として記載した。しかし、タイ北部の中新統で産出したワニ化石についての詳細な研究があまり行われていない。

本研究では、日本-タイ共同によって Mae Moh・Chiang Muan・Sop Mac Tham から採集されたワニ化石についての予備報告をおこなう。Mae Moh・Chiang Muan の地層は湖または湿地の堆積環境で形成された褐炭層を含む堆積物であり(長岡・菅沼, 2002)、年代は哺乳類層序(Ginsburg *et al.*, 1983; 仲谷ほか, 2002)と古地磁気層序(Coster *et al.*, 2010; Suganuma *et al.*, 2006)の研究より、それぞれ中期中新世と中期中新世末~後期中新世初期であるとされている。Sop Mac Tham の地層は砂岩と泥岩を主体とした河川成堆積物であり(Hanta *et al.*, 2007)、年代は哺乳類層序より後期中新世初期であるとされている(仲谷ほか, 2002)。

本研究で扱うワニ化石の数は約350点で、化石の内訳については、皮膚板と歯が最も多く、次いで椎骨や肋骨などが見られたが、多くは分類不明の骨片であった。

歯について比較すると、Chiang Muan の化石では全体的に太い形状であることや、大きさが異なると形状も大きく変化すること、歯の根元が楕円形に近いことなどから、現在のクロコダイル上科に類似する。Sop Mac Tham の

化石では全体的に細長い形状をしていることや、大きさに対する形状の変化があまり見られないこと、歯の根元が円形に近いことなどから、現在のガビアル科に類似する。

皮膚板について比較すると、Mae Moh・Chiang Muan では四角形から卵円形の形状のものが見られ、両者の表面の小孔や Keel の配置などの違いは確認できなかった。Sop Mac Tham は四角形の形状ものしか見られず、他の2地点のものとは比べて大きさの違いは見られなかった。

以上より、Mae Moh・Chiang Muan のワニは現在のクロコダイル科に類似しており、特に Martin *et al.* (2023)で記載されたクロコダイル上科の *Antecrocodylus chiangmuanensis* に近いと思われる。Sop Mac Tham のワニは現在のガビアル科、特に現在の東南アジアに生息するマレーガビアル(*Tomistoma schlegelii*)に類似する。

今後は、本研究のワニ化石と *A. chiangmuanensis* ならびに現生のマレーガビアルとの関連性を調べるとともに、他のアジアから産出した中新世のワニ化石についての論文調査、残りの分類不明の骨片の同定をおこなう予定である。

引用文献

- Coster, P. *et al.* (2010) *GSA Bulletin* **122**(7/8): 1180–1191.
Ginsburg, L. *et al.* (1983) *Bull. Soc. Géol. France* **S7-XXV**(6): 953–956.
Hanta, R. *et al.* (2007) *Proc. GEOTHAI'07 International Conference on Geology of Thailand: Towards Sustainable Development and Sufficiency Economy* 1–9.
國松ほか (2000a) 日本地質学会第107年学術大会講演要旨 27.
國松ほか (2000b) 霊長類研究 **16**: 299.
仲谷ほか (2002) 霊長類研究 **18**: 131–141.
長岡・菅沼 (2002) 霊長類研究 **18**: 159–164.
Martin, J. E. *et al.* (2023) *Hist. Biol.* (doi: 10.1080/08912963.2023.2278152)
Suganuma, Y. *et al.* (2006) *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* **239**: 75–86.

P-2

モンゴルの上部始新統 Ergilin Dzo 層から産出した鳥類の上腕骨化石 新田樹生(愛媛大・理)・鐔本武久(愛媛大・院理工)・ヒシグジャウ=ツォクトバートル・ソヨル=バアサンフー(モンゴル古生物研) An avian humerus from the upper Eocene Ergilin Dzo Formation, Mongolia Mikio NITTA, Takehisa TSUBAMOTO (Ehime Univ.), Khishigjav TSOGTBAATAR, Soyol BAASANKHUU (Inst. Paleontol., Mongolian Acad. Sci.)

【背景と問題点】目レベルにおける現代型の鳥類は、新生代の初めから中新世の初めにかけて適応放散による多様化を遂げたことがわかっている。その中で、アジアにおける古第三紀の鳥類化石記録は欧米と比べ少数である。モンゴルの上部始新統 Ergilin Dzo 層からは、比較的多くの鳥類化石の産出が報告されている。その化石の多くは†Egilornithidae および†Eoguridae の足根中足骨および脛足根骨であり、上腕骨の産出報告はこれまでなかった。

【目的と資料】ここでは、Ergilin Dzo 層から産出した鳥類の上腕骨遠位端の化石(仮番号: MPC(HM) 2004-0168)の同定を試みる。また、現生鳥類前肢における筋肉について調べ、本標本の飛翔能力の推定をおこなう。

【同定】本標本には、背側上顆突起の発達、内側上顆が遠位方向へ突出している、上腕骨小頭と上腕骨滑車が共に楕円形、上腕骨滑車が上腕骨小頭に比べてより遠位方向に位置する、という特徴がある。これらの点で、本標本は、現生のシギダチョウ目(古顎類)や†Lithornithidae(原始的な古顎類、飛翔能力を有する)に類似する。ただし、類似点の多くは原始的形質である。また、本標本の上腕骨尾側面には肩甲骨溝(sulcus scapulothoracalis)が発達していて、これは古顎類には確認できない特徴である。

【飛翔能力の推定】一般的に、上腕骨遠位端の内側上顆及び外側上顆には多様な筋肉の起始(origin)が存在する。その一つ一つに確かな役割があり、

現生の鳥類は環境、目的に合わせた多様な翼(前肢)の使い方が可能となる。ここでは、ヒトと鳥類における前肢の筋肉、および筋肉の起始・停止(termination)の比較をおこない、本標本の上腕骨遠位端においてどの筋肉が発達していたのかを調べた。

ヒトと同様に鳥類上腕骨遠位端にも多くの筋肉の起始が存在し、それらは外側上顆、内側上顆に存在する。また、外側上顆には伸筋(extensor)、内側上顆には屈筋(flexor)が位置している。起始から筋肉をたどり停止が付着する部分が動作を行うため、起始の付着する部分の発達具合で鳥類の飛翔方法が大きく異なっているといえる。本標本は、上腕骨遠位端全体の形ではシギダチョウ目に似ていた標本であったが、外側上顆の突出からは長母指伸筋(extensor longus alulae)が発達していたことが予想でき、停止を第一指に持つため、第一指を伸ばす際に役立っていたといえる。このような動きは飛行中の揚力の損失を防ぐ働きをもち、本標本はシギダチョウ目と比べ高い飛翔能力を有していたと考えられる。

現生の鳥類は「空を飛ぶ」だけではなく、「潜水」「支える」「求愛」「戦う」「音を出す」など様々な用途で翼を使用しており、用途に特化した翼の構造に変化してきたと言える。そのため、化石鳥類の飛翔能力を明らかにするためには、筋肉と骨の関係をさらに調べる必要がある。

【謝辞】本研究で解剖学的調査をするにあたり、愛媛大学医学部的小林直人教授にお世話になった。

[Abridged English version]

An avian distal humerus (preliminary number: MPC(HM) 2004-0168) from the upper Eocene Ergilin Dzo Formation of Mongolia is studied. The morphology of MPC(HM) 2004-0168 is similar to that of humeri of the Struthioniformes and †Lithornithidae. MPC(HM) 2004-0168 appears to have a relatively high flight ability.



P-3

北海道留萌郡蝦夷層群産アンモナイト *Damesites* のサイズ分布解析 日山義弥 (愛媛大学)・岡本 隆 (愛媛大学)

Size distribution analysis of the desmoceratid ammonite *Damesites* from the Yezo Group in the Rumoi District, Hokkaido, Japan.
Yoshiya HIYAMA (Ehime Univ.), Takashi OKAMOTO (Ehime Univ.)

北海道留萌郡の小平薬川支流、中記念別沢のさらに支流である一枝沢において、デスモセラス科アンモナイト *Damesites* が優占的に密集する大型のノジュール(転石)を発見した。この地域は、上部白亜系蝦夷層群が広く分布し、アンモナイトやイノセラムスといった海棲動物化石が豊富に産出することが知られている(棚部ほか, 1977)。特に *Damesites* は層序学的に連続的かつ豊富に産出することから、デスモセラス科アンモナイトの進化史を解明するにあたり、最も重要な属の一つである(Nishimura *et al.*, 2010)。

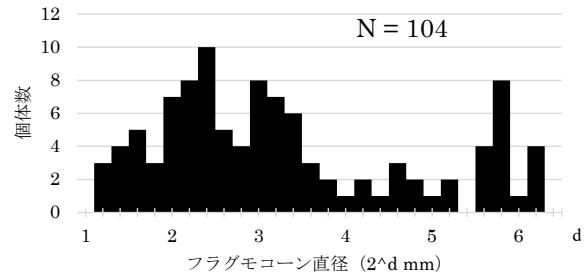
今回発見したノジュールは、外観からも比較的大型の *Damesites* 個体を多数含むことが確認された。そこで、本研究ではノジュール内のアンモナイト群集のサイズ分布を詳細に解析し、このような特異な年齢構成が形成された要因を明らかにすることを目的とした。

解析では、個体サイズの指標としてフラグモコーン直径を用い、全 104 個体のサイズを集計した。その結果に基づき、サイズ分布を示すヒストグラムを作成したところ、一般的な生物群が示す単峰性の分布とは異なり、複数のピークを持つ多峰性を示していた。そこで、この多峰性が本質的なものであるかを判断するために、シルバーマン検定(楠橋・岡本, 2015)を用いて多峰性の統計的有意性を確かめた。

検定の結果、帰無仮説を「単峰性」とした場合、 p 値 = 1.2 % と算出され、この仮説を棄却することができた。一方、帰無仮説を「二峰性以下」と

した場合では、 p 値 = 29.15 % となり、この仮説を棄却するに至らなかった。これらの結果は、本ノジュール内における *Damesites* のサイズ分布が、二峰性を示すことを強く示唆する。この二峰性の要因については、1) 成熟後の成長の停止、2) 性的二型、または 3) 齢による生息場所の変化などが考えられるが、現段階では特定に至っていない。

今後は、環境要因や生態学的要因などを考慮したシミュレーションを用いて、上記の三つの仮説を再現し、その形成要因を探っていく。



引用文献

- 楠橋 直・岡本 隆, (2015). ノンパラメトリックな多峰性検定—Silverman の検定—とその古生物学への導入. 化石, (97), 23–37.
- 棚部一成・平野弘道・松本達郎・宮田雄一郎, (1977). 北海道小平地域の上部白亜系層序. 九州大学理学部研究報告(地質学), 12, 181–202.
- Nishimura, T., Maeda, H., Tanaka, G., Ohno, T. (2010). Taxonomic evaluation of various morphological characters in the Late Cretaceous desmoceratid polyphyletic genus "*Damesites*" from the Yezo Group in Hokkaido and Sakhalin. *Paleontological Research*, 14 (1), 33–55.

P-4

北海道小平地域に分布する上部白亜系、蝦夷層群の露頭図、および層序学的位置関係 雲野ひばり・日山義弥・岡本 隆 (愛媛大学) Comprehensive outcrop map with stratigraphic information of the Upper Cretaceous Yezo Group in the Obira area, Hokkaido, Japan Hibari UNNO, Yoshiya HIYAMA, Takashi OKAMOTO (Ehime Univ.)

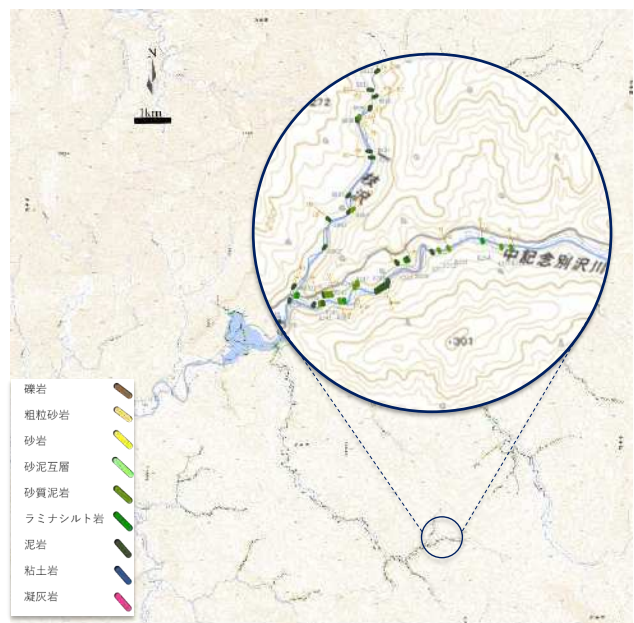
1. はじめに 蝦夷層群は北海道の中軸部に分布する白亜系で、前弧海盆堆積物と解釈されており、アンモナイトやイノセラムスなどの大型の軟体動物化石を多産する。そのため、これらを用いた層序学的・古生物学的研究が盛んに行われてきている。

留萌郡小平地域に分布する蝦夷層群は特に連続的な地層が露出し豊富に化石を産することから、古生物学的研究に最適な地域とみなされている。これまでに対馬ほか(1958)や棚部ほか(1977)で層序学的研究が行われているがこれらは包括的な層序学的フレームワークと各々の化石産地との対応が明示できていたとは言い難い。そこで、本研究では、小平地域の上部白亜系に関してこれまでに収集してきた調査資料を整理し、露頭図・対比柱状図・地質図を作成した。重要な化石産地の一つである小平地域で産地間の層序学的関係が明らかになれば今後採集されるであろう標本の基礎データとして利用されることが期待される。さらには、長年にわたり愛媛大学理学部岡本研究室にて収集してきた軟体動物化石の産地情報が担保され、標本の学術的価値を維持することにつながるだろう。

2. 材料 対象地域は留萌郡小平薬川流域(東西南北方向にそれぞれ約 20km)の地域で、主として分布するのは暗灰色ないしは緑色の泥岩～砂岩であり、しばしば凝灰岩を含む。対馬(1958)の岩相

区分(岩相ユニット)に準ずると小平地域に分布するのは Mg～Uk である。これまで野外踏査を通して集められてきたルートマップおよび化石標本(1984 年～2024 年に調査)を用いた。

引用文献 棚部一成, 平野弘道, 松本達郎・宮田雄一郎, 1977, 北海道小平地域の上部白亜系層序. 九大理研報(地質), 12, 181–222. 対馬坤六・田中啓作・松野久他・山口昇一, 1958, 5 万分の 1 地質図幅説明書『達布』および同説明書. 地質調査所, 74p.



小平地域の露頭図

P-5

北海道苫前郡古丹別地域に分布する白亜系蝦夷層群における露頭間の層序学的前後関係

伊藤聖真・岡本 隆 (愛媛大学)

Stratigraphic relationships among outcrops of the Cretaceous Yezo Group in the Kotanbetsu area, Tomamae, Hokkaido, Japan.

Shoma ITO, Takashi OKAMOTO (Ehime Univ.)

化石や化石群を時代順に並べ、その時間的変遷を論じることは進化古生物学において主要な手法の一つである。蝦夷層群のアンモナイトや軟体動物化石群はそのようなアプローチに適した材料の一つであるが、それでも単一のルートに沿った採集だけではやはり不足である。十分な量の標本を扱うためには、地理的に広がりを持った化石産地間を対比し、時代的前後関係を明らかにすることが不可避の作業となる。

古丹別地域の蝦夷層群に関してはいくつかの層序学的研究が行われてきたが、隣接する羽幌地域や達布地域との間で構造や地層区分の不一致が目立つ。そのため化石を採集してもどの時代のものか、あるいは近隣地域のどの層位に対応するのかを特定することが難しいのが現状である。そこで、本研究では近隣地域も含めて統一された尺度で層序学的なフレームワークを確立することを目指し、以て将来の進化古生物学の発展に資することを目的とした。

本研究では 1992～2024 年までの間に作成されたルートマップ (約 150 点) を基礎資料として用い、まずこれらから地域全体にわたる露頭図を作成した。すべての露頭には古丹別地域を表す“KT”に続く 4 桁の露頭番号を系統的に付してある。なお、この地域から産した化石標本には直接この番号が採集年とともに記入されている。

次に露頭図から柱状図と地質図を作成した。岩相層序区分としては、辻野 (2009) に準拠し、Tanaka (1963) の岩相ユニットを援用して更に細分した。後者の基準は南に隣接する達布地域から北に隣接する羽幌地域、さら

に北方の築別地域まで広く適用できるため、統一的かつ詳細な層序学的フレームワークの構築が可能である。すべての露頭を岩相層序区分とともに柱状図上に対応付けした。

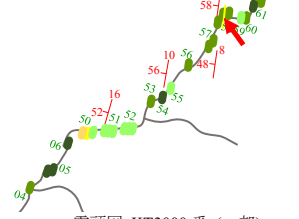
作業の結果、本地域白亜系から約 40 本の柱状図を作成し、15 の岩相ユニットを識別した。化石の産地番号を露頭図や柱状図(下図)と対照することで、その正確な層準を知ることができるようになった。地質図についてはまだ試作段階であるが、北の羽幌地域で作成された地質図 (岡本ほか、2003) に調和的に接続することが分かった。

引用文献

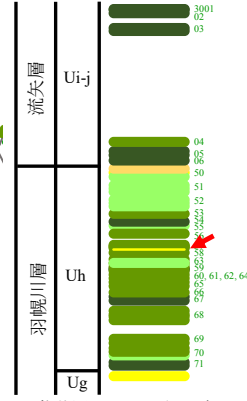
- 岡本 隆・松永 豪・岡田基央, 2003, 北海道北西部羽幌地域における上部白亜系層序の再検討. 地質雑, 109, 363-382
Tanaka, K. 1963: A study of the Cretaceous formation in Hokkaido, Japan. *Rep. Geol. Surv. Japan*, no. 197, 1-122.
辻野 泰之, 2009, 北海道古丹別地域に分布する上部白亜系蝦夷層群函淵層. 地質雑, 115, 122-129



化石標本 10KT3058



露頭図 KT3000 番 (一部)



柱状図 KT3000 番 (一部)

P-6

始新世“温室期”の陸域気候復元に向けたグリーンリバー湖成層の古地磁気層序の構築

松本 裕貴 (高知大学), 穴井 千里 (京都大学), 長谷川 精 (高知大学), 佐久間 杏樹 (東京大学), 泉 奏 (高知大学), 隈 隆成 (宮崎大学)

The construction of paleomagnetic stratigraphy of the lacustrine deposits of Green River Formation for reconstructing the terrestrial climate change during the Eocene “hothouse” period

Hiroki MATSUMOTO (Kochi Univ.), Chisato ANAI (Kyoto Univ.), Hitoshi HASEGAWA (Kochi Univ.), Aki SAKUMA (Univ. of Tokyo), Kanade IZUMI (Kochi Univ.), Ryusei KUMA (Miyazaki Univ.)

【はじめに】

古第三紀晩新世後期から始新世前期は、晩新世-始新世温暖化極大 (PETM) を筆頭に、『ハイパーサーマル (Hyperthermals)』とよばれる急激な温暖化イベントが繰り返し発生した“温室期”として知られる (Westerhold *et al.*, 2020)。しかし、ハイパーサーマルにおける陸域環境の応答はまだわかっていない。本研究では、急激な温暖化に対する陸域環境変動の解明を目指し、始新世前期~中期に堆積した湖底層であるグリーンリバー層を対象に、古地磁気層序の構築を試みた。

【試料採取地域および分析方法】

グリーンリバー層は米国ユタ州・ワイオミング州・コロラド州にまたがって分布しており、始新世“温室期”の陸域中緯度に巨大な湖が存在した事を示唆する重要な記録である (Tănăvsuu - Milkeviciene, & Sarg, J., 2012; Kuma *et al.*, 2019)。同層は介在する凝灰岩の年代から、始新世前期~中期 (約 54-44Ma) に堆積したことが分かっている (Smith *et al.*, 2008)。しかし、同層下部の 49~53Ma の区間には凝灰岩が介在しておらず、詳細な年代モデルの構築が現状では困難である。そこで本研究では 2024 年 6 月にユタ州北部の Indian canyon セク

ションで、同層下部の 300m 層位に対して電動ドリル法および定方位ブロック法を用いて古地磁気試料を 148 層準で採取した。

初生磁化方位の抽出のため、Lowrie (1990) に基づき 3 軸 IRM (等温残留磁化) の熱消磁実験を行い、初生及び二次磁化を保持する磁性鉱物についての検討を行った。IRM は、X 軸に 0.1T, Y 軸に 0.3T, Z 軸に 1.5T の強度で付与した。また、段階交流消磁と一部試料に対して段階熱消磁を行い、初生磁化と考えられる成分の偏角・伏角の方向から対応する極性を考察した。

【結果と考察】

3 軸 IRM の熱消磁実験の結果、X 軸・Y 軸・Z 軸のすべての成分において 580°C~600°Cでの磁化の消失が顕著に見られたことから、初生磁化は magnetite や hematite がキャリアであると推定された。また、Y 軸成分では 325°C, Z 軸成分では 125, 250, 450°Cでの急激な磁化の減少が見られたことから、二次磁化は goethite, maghemite が担っていると推定された。これは先行研究の解釈と整合的である (Clyde *et al.*, 2001)。さらに、段階交流消磁及び段階熱消磁の結果から、現時点で分析が行えた 109 層準のうち、約 30 層準で原点に向かって直線的に消磁される正・逆両方の磁極を示す固有磁化成分 (ChRM) を抽出することができた。ChRM を初生磁化であると仮定し地磁気極性年代に対応させることで、C22n/C22r 境界、C22r/C23n 境界、そして C23n/C23r 境界に対応する古地磁気極性変動を抽出できた。さらに、構築された古地磁気層序に基づく、層位 200~450m の河川成層が発達する層準が、始新世前期“温室期”のハイパーサーマルイベントに対応する可能性が示唆された。

引用文献: Clyde, W. C., *et al.*, (2001) *Palaeo-3*, 167, 175-199.; Kuma, R., *et al.* (2019) *Scientific Reports*, 9, 16448.; Lowrie, W. (1990) *Geophysical Research Letters*, 17, 159-162.; Smith, M. *et al.*, (2008) *Geological Society of America Bulletin*, 120, 54-84.; Tănăvsuu-Milkeviciene & Sarg, J. (2012) *Sedimentology*, 59, 1735-1768.1; Westerhold, T., *et al.*, (2020) *Science*, 369, 1383-1387.

P-7

北西太平洋域の深海底に堆積する赤色粘土中の Fe, Mn 分布
波多野泰成・村山雅史 (高知大学)
Distribution of Fe and Mn in red clay on the deep-sea floor of
the northwest Pacific region.
Hatano, T., Murayama, M. (Kochi University)

【目的】

海底資源として注目されるマンガン団塊やマンガングラストは、太平洋域で広く産出することが知られている(臼井, 2010)。特に、マンガン団塊は、水深 3500 m~6000m の堆積速度の遅い(数 mm/kyr.) 赤色粘土とよばれる深海底堆積物上に存在する。そのため、本研究では、赤色粘土中の Fe, Mn などの元素に着目し、深度分布や面的な広がりを明らかにすることを目的とした。

北西太平洋の東経 155 度線上の北緯 10-50 度までの 10 度ごとの南北トランセクト(図 1)で採取された海底表層の赤色粘土を研究対象とし、

- 1) マンガン団塊が産出した地点(OP-7)の赤色粘土とそれ以外の地点の元素比較
- 2) ハワイ近傍のマンガン団塊多産地帯から採取された赤色粘土との元素比較をおこなった。

【方法】

学術研究船「白鳳丸」KH-22-7, KH-23-2 次研究航海において、マルチプルコアラーによって採取された海底表層の赤色粘土(OP-5~OP-22, コア長約 30cm)を用いた。海底表層である 0~1cm の XRF 分析、および深度方向に XRF コアスキャナー(ITRAX)分析をおこなった。XRF 分析試料(乾燥重量 0.5g)は、凍結乾燥を行い、粉末状にして、XRF にて主要 10 元素の測定をおこなった。その他にも、全体の概要観察として、CT スキャンや測色や含水率の測定をおこなった。

【結果・考察】

XRF 分析から、Fe は、北緯 20 度(OP-7)、25 度(OP-7)の 2 地点が約 8 %以上と含有量が高く、Mn も同様にこの 2 地点で高く約 0.7~0.9 %を示した。また、これらの地点より高緯度では、鉄(5 %)とマンガン(0.5 %)含有量が減る傾向に

あった。これは、溶存酸素を豊富に含む海洋深層循環の経路と関係すると考えられるが、両元素の供給元(熱水?)についても考慮する必要がある。また、ITRAX 分析では、北緯 10-30 度の間は、酸化層(コア長 30cm)が厚く、Fe, Mn のカウント値はボトムまで一定である。それより高緯度では、酸化層は 15-20cm と短くなる傾向にあった。Fe, Mn 以外にも、他の元素の鉛直プロファイルが得られており、それについても議論する予定である。

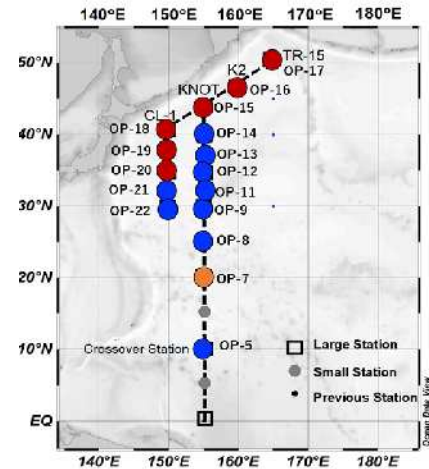


図 1. 学術研究船「白鳳丸」KH-22-7, KH-23-2 次航海において赤色粘土を採取した地点

引用文献

臼井朗(2010)海底鉱物資源—未利用レアメタルの 探査と開発—, 口絵 1 ページ目, オーム社

P-8

北海道釧路沖アウターライズ堆積物中に認められるマンガン粒子の微細構造：予察解析結果の報告
永澤綾子・浦本豪一郎 (高知大学)・池田尚志 (山口大学)・Kan-Hsi Hsiung・金松敏也・富士原敏也 (JAMSTEC)
Preliminary results of microstructures of manganese microparticles in outer rise sediments off Kushiro, Hokkaido, northern Japan
Ayako Nagasawa, Go-Ichiro Uramoto (Kochi Univ.), Hisashi Ikeda (Yamaguchi Univ.), Kan-Hsi Hsiung, Toshiya Kanamatsu, and Toshiya Fujiwara (JAMSTEC)

マンガンは地球表層環境に存在する金属元素の中で鉄、チタンに次いで存在量が多く、また、酸化還元状態のような化学環境の変化に反応して希少金属を伴って沈殿物を形成または溶解する。環境中での金属元素の挙動を理解する上で、重要な元素として注目される(Post, 2000)。広大な海洋、その 90%以上を占める外洋域の暗黒の深海底において、マンガンは「マンガン団塊」や「マンガングラスト」と呼ばれる球状ないし板状の金属酸化物を形成して広く分布し、近年、その成因について調査が進んでいる(Usui et al., 2017)。ただし、鉄マンガン酸化物の生成が大規模に生じている外洋域の深海底から、さらにその下の地層環境内で、どのように鉄マンガン酸化物が存在するか、実態は必ずしも明らかでなかった。

そんな中、国際プロジェクト IODP 等を通して、深海底地下を構成する堆積層の調査が進み、深海堆積物中にマイクロマンガン団塊(Yasukawa et al., 2020)やミクロスケールのマンガン微粒子(微小マンガン粒, Uramoto et al., 2019)としてマンガン鉱物が存在することが分かってきた。特に、マイクロマンガン団塊と微小マンガン粒は、それぞれが深海堆積物中のマンガン含有量の最大で半分程度を構成しているとみられ(Yasukawa et al., 2020; Uramoto et al., 2019)、マンガンやそれに付随する希少金属などの物質動態を理解する上で重要な研究対象となっている。ただし、従来の深海堆積物に含まれるマンガン鉱物の主要な研究は亜熱帯環流域で得られた試料の解析に集中しており、マンガン鉱物の形成環境の広がりや多様性の実

態は分かっていなかった。

こうした中、筆者らは、深海域におけるマンガン酸化物の形成に必須となる酸素供給システムである南極底層流の発達する深海底で、より高緯度域に位置する北海道釧路沖のアウターライズの調査で得た堆積物コアの表層に最大 6cm の酸化層が認められ、コア試料の微細構造解析によって、マンガンを主成分とする鉱物微粒子が含まれることを分かってきた。

本研究では、コア試料を樹脂包埋法(Uramoto et al., 2014)で固定し、ウルトラミクロトーム切削による断面出しと、比重分離法(Uramoto et al., 2024)によって試料から粒子を抽出した。そして、SEM-EDS にて、元素分析を援用しつつ、粒子の詳細な微細構造観察を行った。

観察・分析結果、マンガン粒子の存在形態が、1) 角がなく、輪郭がはっきりとしている粒子、2) 生物の殻などに付着した不定形態のマンガン鉱物、3) 放射状に広がる粒子の 3 つに分類された。さらに、これらのマンガンの濃集部分の表面観察を行なった結果、縮れた微細な糸が絡まっているような構造を持つことがわかった。これらを、亜熱帯環流域のマンガン粒子の微細構造(Uramoto et al. 2019, 2024)と比較すると、共通点として、どちらも縮れた糸が絡まったような表面構造をもつことが分かった。一方、高緯度域のマンガン粒子は縮れた糸状構造がより細かい。また、亜熱帯環流域のマンガン微粒子はほぼ粒子状態で存在しているが、高緯度域のマンガン鉱物は付着型の鉱物が存在するなど 3 つの形態に分かれて存在している。

4) 亜熱帯環流域はマンガン粒子が堆積物内で均質に分布しているが、本研究試料中では、マンガン鉱物が局所的に存在していた。本発表では、深海堆積物中のマンガン微粒子について、亜寒帯域と亜熱帯環流域の試料で特徴を比較し、新たに高緯度域の深海堆積物からマンガン微粒子が見つかった意義を議論する。

引用文献

Post, 2000, *PNAS*; Uramoto et al., 2014, *Limnol. Oceanogr. Meth.*; Uramoto et al., 2019, *Nature Comm.*; Uramoto et al., 2024, *Geochemical J.*; Usui et al., 2017, *Ore Geol. Rev.*; Yasukawa et al., 2020, *Ore Geol. Rev.*

P-9

室戸沖斜面内海盆に認められるタービダイトの形成過程：
有機物の特徴と元素組成変動に基づく検討 (SCORE Exp.
913)
金子幸司朗・浦本豪一郎・長谷川精・池原 実 (高知大学)

Formative processes of turbidites in a slope basin sediment
off Muroto, Kochi, Japan: examination based on the
organic matter and elemental variation.
Koshiro Kaneko, Go-Ichiro Uramoto, Hitoshi Hasegawa,
Minoru Ikehara (Kochi Univ.)

SCORE Exp. 913 は、四国沖における第四紀の黒潮変動を明らかにするた
め、2021 年 8 月に高知県室戸岬沖の海底斜面内海盆のサイト C9037 (水深
2,840 m) において 100 mbsf のコア掘削が行われた。本掘削で得られたコア
試料は、細粒堆積物を主体とするものの、植物片を濃集するタービダイト層を
はじめとした粗粒堆積物を多数狭在する。本発表では、C9037 コアで認めら
れたタービダイトについて、岩相記載と蛍光 X 線コアスキャナ ITRAX で得
られた元素組成の変動の特徴を紹介する。

C9037 コアの主要岩相はシルトあるいはシルト質粘土であり、全体とし
て単一ユニットから構成される。粗粒堆積物に注目をすると、層準によって
特徴が変化し、大きく 3 つのサブユニットに区分される。サブユニット IA
は 0-約 20 mbsf の範囲で火山砕石性堆積物が狭在する。サブユニット IB は
20-45 mbsf の範囲で、主に 20 cm ほどの極細粒～中粒砂層が狭在する。サブ
ユニット IC は 45-100 mbsf の範囲で 5 m を超える乱堆積物、および 1 m を
超える極細粒～中粒砂層が狭在する。

C9037 コアの観察より、乱堆積物を除いた砂層では、底面が明瞭であり、
級化構造や葉理が認められるため、タービダイトであると考えられる。海洋
コアで観察されるタービダイトを形成する混濁流の成因には、地震動によ
る海底斜面崩壊、洪水時に大量の土砂を含んだ河川水の海洋への放出など
がある (池原, 2022)。特に本掘削サイトは南海トラフの前面に位置してい
ることを考慮すると、タービダイトの多くは地震に伴って形成された可能

性が高い。一方、本コア試料のタービダイトには植物片濃集層が少なからず
認められた。特に厚層砂には複数の植物片が濃集するラミナが認められ、ター
ビダイトが洪水由来の可能性が考えられる。

加えて、これらのタービダイトについて、ITRAX を用いた元素組成変動
の解析を行ったところ、C9037 の元素変動では、Ca/Fe 比、Zr/Rb 比、Br に
タービダイトと対応して特徴的な変動が認められた。Ca/Fe 比変動は、生物
起源のカルシウム、炭酸塩の指標及び陸源堆積物の流入量の指標として用
いられているが (Rothwell and Croudace, 2015 ; Hsiung et al., 2021), 本コ
アでは、泥層で急激に増加する変動がしばしば認められた。このことは、
Ca/Fe 比がタービダイト泥と半遠洋性泥の境界を示す指標となる可能性が
ある。Zr/Rb 比変動は粒度の指標として用いられている (Rothwell and
Croudace, 2015 ; Hsiung et al., 2021)。また、Br の変動は有機物 (TOC) ま
たは海洋有機物の指標として使われているが (Ziegler et al., 2008 ; Seki et
al., 2019), タービダイトの基底部で急減する変動がみられる。これは、C9037
では陸源物質の供給が多いことに起因していると考えられ、タービダイト
の形成プロセスが洪水に由来することを支持するデータと考えられる。

引用文献
Hsiung et al., 2021, *PEPS*; 池原, 2022, 地質学雑誌; Jansen et al 1998, *Marine
Geology*; Rothwell and Croudace, 2015. *Developments in Paleoenvironmental
research*, 17; Seki et al., 2019, *PEPS*; Ziegler et al., 2008, *Gcubed*

P-10

四国中部秩父帯に位置する高知大学朝倉キャンパスで掘
削したコア試料の地質学的記載
山内大貴 (高知大)・藤内智士 (高知大)・原 英俊 (産総研)
Geological description of core samples drilled at Asakura
campus, Kochi University, located in the central Chichibu
Belt, Shikoku, Japan
Daiki YAMAUCHI (Kochi Univ.), Satoshi TONAI (Kochi
Univ.), Hidetoshi HARA (AIST)

四国秩父帯は、異なる時代の岩石が断層によって接する。これらの岩石に
ついて、岩相・年代・被熱温度などを知ることは、地帯の形成過程を考える
ために重要だが、四国中部では露出状況が良くなく、情報は限られている
(例えば、脇田ほか, 2007)。そのような状況の中、2023 年 5-8 月に高知大
学朝倉キャンパスにて地震計を設置する目的で掘削が行われ、その際に深
度 19.5-201.1 m で連続コア試料が回収された。朝倉キャンパスは黒瀬川帯
と秩父帯南帯の境界付近に位置するが、より若い地層に覆われており境界
の分布は不明である。そこで本研究では、このコア試料を記載して、地質帯
の帰属や周辺地域の地質構造について考察した。

観察したコア試料の回収率はほぼ 100%である。このうち、最上部の深度
19.5-26.6 m は鮮新統(?)-更新統(?)の城山層 (脇田ほか, 2007) と思われ
る堆積層からなり、本研究では対象から除外した。それより深部の対象とし
たコア試料について、その方位は不明だが全体を通して層理面の傾斜は
50° であり、走向が一定だと仮定すると全層厚は約 140 m と見積もられる。
深度 26.6-150.0 m の区間では、砂岩を主体とする部分と砂岩と頁岩が 1:1
で 20-30 cm 厚ごとに繰り返す互層の部分からなる。一部は砂岩と頁岩が変
形を受けて混在岩となっている。砂岩は、灰色で細粒の長石質アレナイトが
多く、浅部が上位であることを示す級化構造が見られる。頁岩は灰色から暗
灰色で、稀に厚さ数 cm ほどの濃い緑灰色を示す凝灰岩質の部分がある。深
度 150.0-201.1 m は頁岩が優勢な砂岩頁岩互層である。このうち、深度 175.0
m より下位では、岩石が破碎されてガウジ状になっている。試料全体を通じ

て、砂岩と頁岩以外の岩石は認められなかった。

深度 33.9-200.9 m の範囲から、13 試料の頁岩を採取してフッ酸処理を
行った結果、深度 180.5 m の 1 試料より放散虫化石が産出した。球状のもの
が多いが、半球紡錘状と思われる化石も含まれていた。このような殻を持
つ放散虫は、*Closed nassellaria* に知られ、中世界および新生界の一部からの
産出が知られる (Ito and Matsuoka, 2024)。保存が不良なため断定はでき
ないが、本試料の堆積年代は中生代かそれ以降であると考えられる。この結
果に加えて調査地域を含む地質図幅 (脇田ほか, 2007) を考慮すると、秩父
帯南帯ジュラ紀付加体の大平山ユニットに帰属する可能性がある。そうで
あれば、少なくとも、黒瀬川帯と秩父帯南帯の境界は、掘削地点付近あるい
はそれよりも北側に分布することになる。

また、深度 51.6-201.1 m の範囲から採取した 5 試料の頁岩試料につい
て、炭質物のラマン分光解析を行った。その結果、4 試料より信頼性のある
データが得られ、最高被熱温度は 238-254℃と見積もられた。四国中部
の黒瀬川帯-秩父帯南帯境界付近の試料について最高被熱温度を求めたの
は、本研究が初めてである。四国中西部や東部の秩父帯南帯からは、0.7-
1.1%のビトリナイト反射率が報告されており (Ohmori et al., 1997;
Sakaguchi, 1999)、これにもとづく最高被熱温度は 120-150℃ほどと見積
もられ、本研究で求めた被熱温度より有意に低い。これとは別に、秩父帯
北帯や黒瀬川帯からは 200-300℃の被熱温度が見積もられており (Hara et
al., 2013)、本研究で見積もった値はこれらに近い。

今後データを増やして、このコア試料が帰属する地帯を決めることで、
四国中部秩父帯の構造発達史について、従来よりも詳しく描けるように
なると期待できる。

引用文献
Hara et al., 2013, *Tectonophysics*, 592, 80-93.
Ito and Matsuoka, 2024, *Forma*, 39, S11-S14.
Ohmori et al., 1997, *Geology*, 25, 327-330.
Sakaguchi, 1999, *Island Arc*, 8, 359-372.
脇田ほか, 2007, 5 万分の 1 地質図幅「伊野」.

P-11

X線コンピュータトモグラフィーと歪み解析を用いた乾燥砂層にできる剪断帯の発達過程の考察
篠崎敬伍 (高知大学)・藤内智士 (高知大学)
Shear zone development in dry sand layers investigated through X-ray computed tomography and strain analysis in laboratory experiments
Keigo SHINOZAKI (Kochi Univ.), Satoshi TONAI (Kochi Univ.)

【はじめに】

地質体に発達する剪断帯は、剪断歪みが局所化することである。局所化がさらに進むと剪断帯の中に主すべり面が形成され (例えば, Visage et al., 2023), 主すべり面以外の場所では大きな歪みを起こさずに変位が蓄積されていくことになる。ところが、天然の断層を対象とした複数の研究から、累積変位量が大きいほど剪断帯の幅は厚くなることが指摘されている (例えば, Childs et al., 2009)。この仕組みとして、剪断帯および周囲で起こる地質体の破砕や、複数の剪断帯の連結、が指摘されている。
乾燥砂層の水平短縮変形実験でできる剪断帯でも、変位の累積とともに厚くなることが報告されている (藤内・清水, 2021)。その仕組みとして、発表者らは主すべり面の移動に注目し、累積変形だけでなく時間ごとの変形についても把握する必要があると考えた。そこで本研究では乾燥砂層にできる剪断帯について、X線コンピュータトモグラフィー (XCT) データとデジタル写真による歪み解析データを同一実験から取得して、剪断帯の分布と歪み速度場の時間変化を調べた。

【手法】

実験は、高知大学海洋コア国際研究所で行った。粘着シートを敷いたアクリル容器 (幅 118 mm, 長さ 693 mm, 高さ 158 mm) に乾燥した豊浦硅砂 (径 106-300 μm) を自由落下により厚さ 20 mm で敷き詰め、シートを水平に 0.125 mm/s の速さで 500 mm 引いて、砂層を固定壁に押し付けることで剪断帯が発

達するウェッジを作成した。シート変位量 0-350 mm の区間では、10 mm ごとに砂層の XCT 測定を行った。また、全ての変位区間において、変形の様子をデジタルカメラにより 2 秒間隔で連続撮影して、肉眼観察とともにデジタル相関法 (Digital Image Correlation: DIC) を用いて歪みを解析した。

【結果】

実験でできた複数の剪断帯を、シートにほぼ平行なデコルマン、固定壁側に傾いたフロンタルスラスト帯 (以下, FT), FT とは反対方向に傾斜したバックスラスト帯の 3 種類に分類した。これらのうち、本研究では FT に注目して観察を行った。XCT 画像からは、FT が変位とともに厚くなる様子が見られた。歪み解析からは、剪断帯の浅い領域は主すべり面が構造的な下に発達し、深い領域では主すべり面が構造的な上位に向かって移動していくことがわかった。

【考察】

FT の浅い領域では、隆起に伴って斜面崩壊してウェッジ先端で再堆積した砂が、沈み込み層と一緒にウェッジ内部に取り込まれていく (Yamada et al., 2010)。このときに主すべり面は、再堆積体と沈み込み層の間にできる。FT の変位とともに再堆積体が厚くなることで、あらたにできる剪断帯も厚くなっていく。FT の深い領域では、主すべり面がウェッジ内部に移動していくことで剪断帯が厚くなっていく。ここでは構造的な侵食が起こる。このように乾燥砂層の FT の場合、深度によって厚くなる仕組みが異なり、活動を終了した FT の厚さや変形構造も深度で異なる。同様の仕組みで発達していく剪断帯は、天然の地質体でも、例えば未固結堆積層中などに存在する可能性がある。

引用文献

Childs et al., 2009, Jour., Struct., Geol., 31, 117-127.
藤内・清水, 2021, 高知大学理工学部紀要, 4, 1.
Visage et al., 2023, Tectonophysics, 847, 229704.
Yamada et al., 2010, Tectonophysics, 484, 156-167.

P-12

幅が異なる単純剪断帯の変形過程に関する比較研究：乾燥砂を用いた実験
森 慎吾 (高知大学)・藤内智士 (高知大学)
Comparative study on the deformation process of simple shear zones with varying widths: Analogue experiments using dry sand
Shingo MORI (Kochi Univ.), Satoshi TONAI (Kochi Univ.)

大陸地殻に発達する横ずれ断層系には、幅が 100 km に達するような広域に歪みが分散するものがある。このような広域単純剪断帯 (Distributed Simple Shear: DSS) は、複数の断層が同時に破壊した事例より地震学の研究対象であり (Hamling et al., 2017), また、石油や天然ガスの広域貯留域の候補地として資源地質学の対象でもある (Guan et al., 2024)。しかし、広域単純剪断帯ができていく過程や歪みが局所化しない要因についての理解は十分ではない。ここで、模型実験は比較がしやすいことや広域の大変形を観察できることから、単純剪断帯の形成過程を調査する効果的な方法の 1 つである (例えば, Curren and Bird, 2014; Withers et al., 2023)。本研究では、乾燥砂層を用いて幅の異なる単純剪断帯を作る実験を行い、デジタル画像を用いた歪み解析により、それらの形成過程の違いについて観察した。
実験装置は、アクリル製の半箱を 2 つ合わせた形で構成され、全体の大きさは奥行き 1000 mm \times 幅 430 mm \times 高さ 200 mm である。これらの半箱を水平にずらし、内部に設置した枠および充填した砂層を単純剪断させる。本研究では 3 種類 (実験 A, B, および C) の条件により、幅や形成過程の異なる単純剪断帯を作った。実験 A では、乾燥した豊浦硅砂を厚さ 90 mm で半箱の上に直接敷き詰めた。このとき砂層の下に歪みは、半箱がずれる部分のみで起こる。これは地殻下部の局所化した剪断帯が浅部に伝播していく状況を模擬している。実験 B はアクリル箱の底に、断面が 5 mm \times 5 mm で長さ 380 mm のアクリル棒を 70 本ほど敷き詰め、その上に豊浦硅砂を充填した。半箱同士をずらすとアクリル棒がそれぞれ動いて、全体として正方形だった形状が平行四辺形になり、歪みが分散した剪断変形が起こる。実験

C では、実験 B の条件に加えて、敷き詰めたアクリル棒の上に木棒を取り付け、その枠内に豊浦硅砂を充填した。1 回の実験における砂層全体の変位速度は 0.057 mm/s とし、各実験において変形する砂層を上から写真で 30 秒ごとに連続撮影し、デジタル画像相関法 (Digital Image Correlation Method: DIC) を使用して、変位と歪みを解析した。
実験では変形の進行とともに、二次剪断面による歪みの局在化が起こった。主な特徴を以下に示す。

- (1) 二次剪断面は、主にリーデル剪断面 (R 面) とアンチ・リーデル剪断面 (R' 面) の 2 種類がある。R 面と R' 面の相対的な発達は、砂層の初期状態によって異なる。
- (2) DIC 解析の結果は、表層の変形は均一歪みから始まり、その後、複数の二次剪断面の形成により歪みの局在化が起こることを示す。
- (3) 実験 A-C では、局在化が起こるまでの歪み過程に違いが見られる。

本研究の結果は、周囲の条件によって砂層にできる単純剪断帯の幅や形成過程は変わることを示している。そして、幅が広い単純剪断帯は長期にわたって歪みが分散した状態が続くことも明らかになった。さらに、周囲により硬い領域があるなどして水平応力が高い (差応力が小さい) 場合には、下位からの Mode III 伝播よりも、砂層内部で発生する Mode I の開口亀裂伝播および、それに続く Mode II 伝播によって剪断帯が発達していくこともわかった。これらの結果は、上部地殻にできる広域剪断帯と下部地殻の歪み領域との接合関係の理解において重要な特徴である。

引用文献

Curren and Bird, 2014, Pure Appl. Geophys., 171, 2899-2918.
Guan et al., 2024, Earth Sci. Rev., 254, 104800.
Hamling et al., 2017, Science, 356, eaam7194.
Withers et al., 2023, Tectonics, 42, e2023TC007823.

多様な地層変形を作る実験教材が中学生の学習に与える効果

清水花音 (高知大学)・藤内智士 (高知大学)・吉本真里 (戸波中学校)・入木祐太 (大川中学校)

Educational effects of analogue experiments modeling various geological deformations for junior high school students

Kanon SHIMIZU (Kochi Univ.), Satoshi TONAI (Kochi Univ.), Mari YOSHIMOTO (Hewa Junior High School), Yuta IRIKI (Okawa Compulsory Education School)

【はじめに】

近年、日本の高等学校における地学基礎および地学の履修率は高くなく(吉田・高木, 2020)、多くの人にとって学校で地層の変形を学ぶ最後の機会は中学校理科である。その中学校理科の授業でも、変形の様子を天然の地層で実際に観察することは一般に困難である。そこで代わりに、模型による実験を通じた学習方法があり、多くの実践例の報告がある(例えば, Feldman et al., 2010)。そのような実践の中で、川村・山下(2015)は、生徒にとって断層は隆起や褶曲に比べて獲得しづらい概念であることを指摘した。

この課題の解決を目指した教材として、藤内ほか(2024)は断層と褶曲を識別しやすい地層変形を簡便に作成できる模型実験装置を提案した。彼らは小学生を対象に実践もしているが、その学習効果についてデータにもとづく考察はしていない。そこで本研究では、同様の実験装置を用いて中学生を対象とした授業を行い、断層の概念獲得や断層と褶曲の違いの理解に対する効果を評価した。

【手法】

高知県内の2つの中学校について、中学3年生17名を対象に授業を行った。現在の中学校理科では1年時に地層の変形構造として断層と褶曲について学習し、対象とした生徒たちも以前に学習したことを確認できた。授

業は50分で、簡単な復習をした後、実験と観察をして、最後に考察と解説を行った。実験の前後に同じ内容のアンケートを取り、断層と褶曲に関する理解について、「そう思う」を5点、「そう思わない」を1点とする5段階で自己評価してもらった。実験は、小麦粉とココア粉で作る地層Aとザラメ糖とコーヒー粉で作る地層Bの2種類を準備して、それぞれを水平短縮させて変形の様子を観察した。そして、授業の様子やアンケートの結果をもとに、授業の学習効果について考察した。

【結果と考察】

地層Aでは主に断層が、地層Bでは主に褶曲ができ、どちらも再現性があった。また、授業の中で実験後の観察や考察の時間を十分に確保できた。これらのことは、藤内ほか(2024)の実験教材は実用性があることを示す。

実験およびその後の観察や考察では、生徒たちが積極的に取り組んでいる様子が確認できた。実験前後に行ったアンケートでは、いずれの質問についても、自己評価の平均が0.6ほど上昇した。また、標準偏差については減少した。特に、「断層のでき方について説明できる」や、「断層と褶曲の違いについて説明できる」といった問いでは、実験前の自己評価が低かった生徒たちが実験後に自己評価を大きく上げる傾向が見られた。

以上の結果は、本研究で実践した授業が、地層の変形について難しいと感じていた生徒たちに対して特に有効であったことを示している。つまり、中学理科で求めている基礎的な知識の習得に対して、効果が高い教材だと考えられる。ただし、実験前から自己評価の高かった生徒について、さらなる理解向上や発展的考察を促す明瞭な効果は確認できなかった。発展的な学習のためには、今回とは別の授業方法を考える必要がある。また、生徒数が多い場合での学習効果についても今後の検討課題である。

引用文献

Feldman et al., 2010, Science Teacher, 77, 58-62.

川村・山下, 2015, 秋田大学教育文化部教育実践研究紀要, 37, 37-45.

藤内ほか, 2024, 地学教育, 76, 23-34.

吉田・高木, 2020, 地学雑誌, 129, 337-354.

板状節理と岩石組織の関係性

P-14 深澤 文廣 (高知大・理工学部)・川畑 博 (高知大・理工学部)

The relationship between platy joints and microstructure

Fumihiro Fukazawa (Kochi Univ.)・Hiroshi Kawabata (Kochi Uni.)

溶岩には柱状節理や板状節理が観察されることがある。柱状節理は、多角形の断面を示し柱状に長くのびた規則的な割れ目である。柱状節理は、冷却に伴う溶岩の体積収縮が原因となって出来る引張割れ目であることが知られている(Lumar ほか, 2018 Nat. Commun.)。一方、板状節理はほぼ一定間隔で平行に発達する面状の割れ目で、割れた岩石は数cmの厚みをもった板状になることが多い。板状節理の成因はよくわかっておらず、冷却に伴う溶岩の体積収縮で出来るという考えや(Spörlí and Rowland, 2006 JVGR)、マグマの流れに平行な剪断応力により出来るという考え(佐藤・石渡, 2013 日本地質学会講演要旨)、岩石内部に発達する何らかの面構造にそって出来るという考え(佐藤・石渡, 2015 岩石鉱物科学)が提唱されているが、どれもそれだけでは説明することができない。板状節理の成因に関する手がかりを得るため、噴出マグマが流動する際にできた岩石組織(メルトバンドや石基鉱物の配列)と板状節理との関係性を明らかにすることを研究目的とした。

調査地域は、香川県に分布する瀬戸内火山岩露出地域とした。安山岩溶岩の露頭では、板状節理とともにメルトバンドがしばしば観察される。板状節理は5 cm-10 cmの間隔で面状に割れていることが多い。一方、岩石表面においてメルトバンドは一方方向に数mm間隔で並んだしわのように見える。野外では節理面とメルトバンド面の走向・傾斜を測定した。これらのデータを使って、節理面とメルトバンド面のなす角(二面角)を計算するとともに、2つの面が作る交線の姿勢を計算した。岩石薄片作成では、節理面と平行な薄片をはじめに作成し、節理面上に見えるメルトバンドの線構造を観察した。その後、節理面に垂直で線構造(メルトバンド)に対して平行・垂直な薄片を作成した。

1つの火山体に注目した場合、露頭の場所に応じて板状節理やメルトバンド面の姿勢が様々に変化していて、系統的な変化が見られないことが多かった。一方、二面角は小さい角(約45°)と大きい角(約80°)に比較集中していた。さらに、二面角と岩石組織との関係に注目すると、板状節理とメルトバンド面が小さい角で交わるときは、板状節理が石基の長軸に沿い、石基粒間を通る割れ目として見られた。一方、板状節理とメルトバンド面が大きい角で交わるときは、板状節理は石基長軸と斜交する割れ目となっていた。これらのことから、板状節理は、石基鉱物を作る面構造と平行に形成される場合と、その面構造に斜交して形成される場合の2つがあることが分かった。

P-15 同化作用に伴うゼノリス溶融・破壊過程
今井惇人（高知大学）・川畑博（高知大学）
The process of xenolith melting and fragmentation
during assimilation
Atsuto IMAI (Kochi Univ.), Hiroshi KAWABATA (Kochi Univ.)

マグマの同化作用は、物理・化学プロセスが複雑に絡み合った現象である。物理プロセスは岩石や鉱物の破壊で、化学プロセスは溶融や鉱物とメルトとの反応である。物理プロセスと化学プロセスは密接に関係している。例えば破壊に代表される物理プロセスは鉱物とマグマの接触面積を大きくするため、化学プロセスの反応効率を上げることにつながる。Clarke (2007) によって同化作用の全体像を解明するには、物理プロセスのメカニズムを理解する必要がある。本研究ではゼノリスの破壊過程を明らかにすることを目的として組織観察と組織の定量化を行った。

香川県観音寺市の江甫草山(つくもやま)で採取された、安山岩中の花崗岩ゼノリスを研究対象とした。組織定量化のため、石基に囲まれた一塊を一粒子と認定し、石英、長石、苦鉄質鉱物(仮像)、ガラスのトレース画像を作成した。その後 ImageJ を使用し、各粒子の面積を測定した。これらのデータをもとに、鉱物・ガラス量 (vol.%) と粒子数密度 (粒子数/cm²) を算出した。

ゼノリスは部分的に溶融しており、とけのこり鉱物 (石英、長石、苦鉄質鉱物の仮像) とガラスから構成されている。とけのこり鉱物は、ゼ

ノリス中心から縁に向かうほどサイズが小さくなる。ガラスバンドは石英と他の鉱物の間に存在するが、長石と苦鉄質鉱物(仮像)の間には見られない。

ゼノリス由来マグマ(とけのこり鉱物とメルト)と安山岩質マグマの混合部は、石英、長石、苦鉄質鉱物の仮像と、石基(直方輝石、不透明鉱物、ガラス)で構成される。ゼノリスから離れるほど石基の鉱物/ガラス量比は増加する。鉱物は基本的に孤立しているが、長石と苦鉄質鉱物(仮像)の連結したものは残っている。

石英と長石内のクラックは入る場所や方向に規則性がなく、分裂した粒子は面積を等分した場合から、粒子端が少し割れる場合までさまざまである。

ゼノリス中心から混合部へ向かって、ガラス量は 30 vol.%増加し、石英は 4–12 vol.%, 長石は 18–27 vol.%減少した。

粒子数密度はゼノリス中心からゼノリス縁へ向かって、石英が約 2 倍、長石が 3–6 倍に増加した。ゼノリス縁から混合部までの変化は石英が約 0.5 倍の減少に転じ、長石は約 3 倍に増加した。

モードのガラス量変化から、ゼノリスの溶融は一様でなく、縁側ほど進んでいるといえる。またモードと粒子数密度の関係から、ゼノリス中心から縁で石英・長石共に破壊と溶融が起きている。一方ゼノリス縁から混合部では主に長石で破壊が見られ、特にゼノリス-混合部境界で顕著である。以上より部分溶融を被った花崗岩ゼノリスは、鉱物が岩石表面から剥れるように破壊するといえる。

Clarke, D.B. (2007) The Canadian Mineralogist, 45, 5–30

P-16 愛媛県芸予諸島大島に分布する“大島石”の花崗岩質
マグマ溜まり分化プロセス
下岡和也（関西学院）、青野莊一郎、大西隆仁、福井堂子（愛媛大）、谷健一郎（国立科博）、高橋俊郎（新潟大）、壺井基裕（関西学院）、齊藤哲（愛媛大）
Differentiation Processes of Granitic Magma Chamber of 'Oshima-ishi' Distributed in Oshima, Geiyo islands, Ehime Prefecture
Kazuya SHIMOOKA (Kwansei Gakuin Univ.), Soichiro AONO, Takahito ONISHI, Toko FUKUI (Ehime Univ.), Kenichiro TANI (NMNS), Toshiro TAKAHASHI (Niigata Univ.), Motohiro TSUBOI (Kwansei Gakuin Univ.), Satoshi SAITO (Ehime Univ.)

分化した組成を示す花崗岩質マグマの成因を理解することは、活動的大陸縁における大陸地殻の成長・成熟プロセスを考える上で重要である。西南日本内帯には白亜紀に形成された花崗岩類が広く分布している。これらの分布は当時の最も海溝側に位置し、白亜紀の活動的大陸縁における大陸地殻の成長・成熟過程を記録していると考えられる。また、これらの地域には花崗岩中にしばしば苦鉄質包有岩 (MME) や同時性の苦鉄質岩脈がみられ、花崗岩質マグマ溜まりプロセスにおいて苦鉄質マグマが関与したことを強く示唆している。しかしながら、苦鉄質マグマに関連した花崗岩質マグマの分化プロセスについては不明点が多い。

愛媛県芸予諸島大島北部には花崗岩石材として知られる“大島石”が分布する。本研究では、この“大島石”とそれらに伴って産する閃緑岩について記載岩石学、地球化学、年代学研究を行い、花崗岩質マグマ溜まりにおける分化プロセスについて議論した。

記載岩石学 大島北部に分布する“大島石”は、記載岩石学的特徴の異なる大島I型と大島II型からなる（吉倉・山本, 2016）。これらは、大島II型が大島I型を胚胎する累帯深成岩体様の分布域を示し、両者の境界は漸移する。大島I型は優白質塊状で MME などの苦鉄質な包有物は含まず、部分的にベグマタイトを伴う。一方で、大島II型は大島I型と比較するとわずかに優黒質で

あり、岩体周縁部では閃緑岩質な MME や黒雲母からなるクロットが特徴的に含まれる。大島I型、II型ともに、Akasaki et al. (2015) や下岡ほか(2024)で花崗岩質岩の溶け残り組織として示されたアルカリ長石のポйкиリティック組織が含まれる。

地球化学 大島I型と大島II型の花崗岩および閃緑岩について鉱物化学組成分析、全岩主要微量元素組成分析を行なった。黒雲母の Mg# (Mg# = Mg/(Mg+Fe)) は大島I型で 0.15–0.18、大島II型で 0.27–0.28、閃緑岩で 0.26–0.30 であり、大島II型と閃緑岩で類似するが、大島I型とは異なる値を示した。全岩化学組成分析では、大島I型と大島II型において主要元素含有量 (TiO₂, MnO, MgO, CaO, Na₂O, P₂O₅) および MgO/(FeO + MgO) (mol 比), CaO/(CaO + Na₂O) (mol 比) で両者に有意な差が認められ、多くの元素がハーカー図上で異なる組成トレンドを示した。燐灰石飽和温度計 (Harrison and Watson, 1984) を用いた温度推定では、大島I型が 870–890 °C、大島II型が 890–920 °C であり、大島II型がより高い飽和温度を示した。大島II型は MME やクロットなどの高温の苦鉄質マグマとのミキシングを示唆する産状 (Hibbard, 1995) を示しており、燐灰石飽和温度計による高い温度見積もりと整合的である。

年代学 大島I型の花崗岩試料についてジルコンを分離し、U-Pb 年代測定を行なった。測定した各ジルコン粒子の同位体比データはコンコーディア曲線上で約 107–84 Ma にかけて連続的に分布する結果を示した。

結論 大島I型と大島II型および閃緑岩の示すこれらの岩石学的特徴は、閃緑岩質マグマからの結晶分化による花崗岩質マグマ生成を支持せず、むしろ、約 107–84 Ma の期間にわたる閃緑岩質マグマによる花崗岩質マグマの断続的な加熱と冷却時のジルコン結晶化、およびマグマ混合による大島II型の形成とその際のメルトの絞り出しによる大島I型の形成を示唆する。

引用文献 Akasaki et al. (2015) *Lithos*, 230, 82–91. Harrison and Watson (1984) *Geochem. Cosmochim. Acta*, 48, 1467–1477. Hibbard (1995) Prentice-Hall, 587. 下岡ほか (2024) *岩石鉱物科学*, 53, gkk.231106. 吉倉・山本 (2016) 日本地質誌 7 四国地方, 20–25.

P-17

山陽帯山口県岩国市に分布する土生花崗岩質岩体の
ジルコン中メルト包有物研究

熊谷汐莉 (愛媛大学)・齊藤 哲 (愛媛大学)

Study on the melt inclusions in zircon for the Habu granitoid pluton
in Iwakuni City, Yamaguchi Prefecture, Sanyo Belt
Shiori KUMAGAI (Ehime Univ.), Satoshi SAITO (Ehime Univ.)

1. はじめに 西南日本内帯には低変成度から高変成度の高温低圧型変成岩や花崗岩類が大規模に露出しており、これらは地殻深部プロセスを読み解くために重要な地質体と考えられている(例えば、赤崎ほか, 2013; 中島, 2018)。本研究対象である土生岩体を含む岩国～柳井地域では、花崗岩類の露頭が断続的に露出しており、北部から南部にかけて花崗岩類の位置深度が増加すると考えられている。本研究では、地殻浅部に位置したとされる土生岩体のジルコン中メルト包有物について研究をおこない、ジルコンの結晶化圧力を検討するとともに、地殻深部に位置したとされる蒲野花崗閃緑岩についての先行研究との比較をおこなった。

2. 地質概説 土生岩体は後期白亜紀に活動した花崗岩類が産出する山陽帯に属している。土生岩体はジュラ紀付加体である玖珂群南部のチャート層および泥質岩中に貫入し、接触変成作用を与えている(大和田ほか, 1995)。土生岩体の主岩相は中粒～細粒の黒雲母花崗岩からなり、周縁相は中粒の角閃石黒雲母トータル岩～花崗閃緑岩からなる。

3. 研究手法 本研究では野外調査と室内実験を行った。野外調査では産状観察と試料採集を行った。室内実験として、肉眼観察、薄片の偏光顕微鏡観察、全岩化学組成分析(4試料)、メルト包有物の均質化実験(1試料)、SEM-EDSを用いたメルト包有物の観察、組成分析を行った。

4. 実験試料 本研究では土生岩体の周縁相である花崗閃緑岩を対象とした。実験試料は石英、斜長石、アルカリ長石、黒雲母、角閃石から構成され、副成分鉱物としてジルコン、燐灰石を含む。鏡下観察からジルコンは自形～半自形で、無色～薄い褐色を呈している。また、黒雲母の縁部、斜長石どうしの粒間に認められた。SEM-EDSによりジルコンを観察すると、石英、アルカリ長石、斜長石からなる多相包有物を含むことが確認できた。

5. 実験条件 Taniwaki et al. (2023)および Kawashima et al. (2024)の手法に従い、試料から分離したジルコンをNaClとともに白金カプセルに封入し、ピストン-シリンダー型高温高圧発生装置で均質化実験を行った。実験条

件は約 250 MPa、900°C、4.5 時間である。実験後の試料を回収し、SEM-EDSで観察・分析を行った。

6. 結果 実験後のメルト包有物の EDS 分析結果から、メルト包有物はSiO₂、Al₂O₃、CaO、Na₂O、K₂Oを含む花崗質な組成を持っている。なお、均質化実験中のNaClの混染や組成分析中のNa欠損の疑いのあるもの、周囲のジルコン由来のZrを検出したものを除くと、メルト包有物のSiO₂含有量は76.2～78.1 wt%であり、これらはジルコンを分離した試料の全岩SiO₂含有量(63.5 wt%)より有意に高い。また、メルト包有物のアルミナ飽和度は1.06～1.13であり、パーアルミナスな組成を持つ。

7. 考察 ハーカー図においてメルト包有物組成は岩体の全岩化学組成トレンドのSiO₂含有量の高いところに位置している。また、鏡下観察からジルコンは黒雲母の縁部や斜長石どうしの粒間に認められた。これらのことから、ジルコンはマグマ中の鉱物粒間の分化したメルトを包有したものと考えられる。さらにジルコンの固結圧力を制約するために、メルト包有物組成をQz-Ab-Or相平衡図上に投影した。この際に、An成分の影響を考慮したBlundy and Cashman (2001)の手法を用いたところ、200 MPa以下の平衡圧力を得た。また、本研究で得られたメルト組成はパーアルミナスであるため、アルミナ飽和度の影響を考慮したYang et al. (2022)の手法を適用したところ、433～203 MPaの圧力が見積もられた。Kawashima et al. (2024)は、岩国～柳井地域南部に分布する蒲野花崗閃緑岩に含まれるジルコン中メルト包有物の主要元素組成を報告しているが、それらに対して同様にYang et al. (2022)の手法を適用したところ、761～226 MPaの圧力が算出され、土生岩体より圧力が高い傾向がある。このような土生岩体と蒲野花崗閃緑岩のジルコン中メルト包有物から読み取った圧力の差は、両者のマグマ固結過程においてジルコンが結晶化した深度の違いを反映していると考えることができる。

引用文献 大和田ほか(1995) 岩鉱 90, 358–364; 赤崎ほか(2013) 岩石鉱物科学 42, 159–173; Blundy and Cashman (2001) Contribution to Mineralogy and Petrology 140, 631–650; 中島 (2018) 地質学雑誌 124, 603–625; Yang et al. (2022) Contribution to Mineralogy and Petrology 117, 78; Taniwaki et al. (2023) Lithos 454–455, 107260; Kawashima et al. (2024) Journal of Mineralogical and Petrological Sciences 119, 018.

P-18

高月山花崗岩質岩体に産する“チャーノカイト様岩”の

岩石記載とジルコン中メルト包有物研究

平松 義士 (愛媛大学)・齊藤 哲 (愛媛大学)

Petrography and zircon melt inclusion study for the 'charnockite-like rock' of the Takatsukiyama granitoid pluton

Yoshito Hiramatsu (Ehime Univ.), Satoshi Saito (Ehime Univ.)

1. はじめに 愛媛県南部に分布する高月山岩体は、東西方向に約 6 km、南北方向に約 6 km の範囲に露出する花崗岩質岩体である。当岩体は西南日本外帯酸性岩類の1つであり、四万十帯堆積岩類に接触変成作用を与えて貫入している。当岩体には局所的に直方輝石を含む岩相がみられることが知られているが (Shinjoe, 1997)、吉倉ほか (2002) は細粒～中粒で黒褐色油脂状光沢を有する直方輝石含有花崗岩を“チャーノカイト様岩”として報告した。さらに Wang et al. (2020)はこれらを“世界で最も若いチャーノカイト”として報告している。本研究では高月山岩体に産する直方輝石含有花崗岩に着目し、薄片観察と全岩化学組成分析を行うとともに、ジルコン中メルト包有物の均質化実験を行い、メルト組成解析を試みた。

2. 地質概説 高月山岩体は主として花崗閃緑岩からなり、花崗岩や花崗斑岩などの岩相が混在している (角井, 2000)。また、主体となる黒雲母花崗閃緑岩の他に、電気石を含む岩相や堇青石を含む岩相、上述の直方輝石を含む岩相が存在するなど、岩相変化に富む (Shinjoe, 1997)。さらに苦鉄質火成包有岩や砂質～砂泥質変成岩などの多様な包有岩を含む (石川・加々美, 1992)。当岩体については 15.23～13.04 Ma のジルコン U-Pb 年代 (Wang et al., 2020; Shinjoe et al., 2021) および 14.0±0.2 Ma と 13.9±0.2 Ma の黒雲母 K-Ar 年代が報告されている (角井, 2000)。

3. 実験試料・実験手法 本研究で実験に用いた直方輝石含有花崗岩は、細粒～中粒で黒褐色油脂状光沢を有する。主成分鉱物として、斜長石 (43.0 %)、石英 (25.6 %)、アルカリ長石 (15.6 %)、直方輝石 (8.3 %)、黒雲母 (7.0 %) を、副成分鉱物として電気石 (0.4 %)、紅柱石、ジルコン、燐灰石、スフェン、チタン鉄鉱を、変質鉱物としてスピネル、白雲母、緑泥石を含む。石英、長石は黒褐色を呈する。ジルコンは自形で、桃色を呈し、黒雲母や斜長石、石英の周縁部に包有される。また直方輝石や黒雲母、斜長

石、石英の粒間に位置する。岩石試料からジルコンを分離し、ピストン-シリンダー型高温高圧発生装置を用いてメルト包有物の均質化実験をおこなった。均質化実験は Taniwaki et al. (2023)および Kawashima et al. (2024)の手法に従い、約 250 MPa・900°Cの条件で5時間保持した。実験前と実験後のそれぞれのジルコンについて、エポキシ樹脂でマウントしたのち、メルト包有物が露出するまで鏡面研磨し、炭素蒸着後、SEM-EDSでの観察・分析を行なった。

4. 結果 SEM-EDSによる元素マッピングおよび元素分析から、均質化実験前のジルコン中には微細な石英・斜長石・アルカリ長石からなる不定形の多相包有物が認められ、その鉱物組み合わせから花崗岩質メルト結晶化したものと考えられる。また多相包有物中には、しばしば螢石やClに富む黒雲母など、石英長石類以外の鉱物も認められる。また均質化実験後のメルト包有物について組成分析を試みたところ、分析に成功したものについては、そのSiO₂含有量 (78.4 wt %) はジルコンを分離した試料の全岩SiO₂含有量 (66.9 wt %) より有意に高い。

5. 考察 薄片観察により認められた鉱物の組み合わせと、ジルコン中の多相包有物の鉱物組み合わせとは違いが認められた。特に、ジルコン中の多相包有物中の螢石の存在は、ジルコンが結晶化した際に包有したメルトにFが含まれていたことを強く示唆する。均質化実験後に組成分析に成功したメルト包有物のSiO₂含有量が、ジルコンを分離した試料の全岩SiO₂含有量よりも高いことから、ジルコンはマグマ中の結晶粒間のFに富む分化したメルトをトラップし、その後のメルト包有物の結晶化により多相包有物のうちの1相として微細な螢石が晶出したものと考えられる。一方、本研究試料中の黒雲母はClに富む傾向があり、岩石形成過程でのClに富む環境が示唆される。FやClといった元素が“チャーノカイト様岩”の形成にどのような影響を与えたかについては今後の検討課題である。

引用文献 石川・加々美 (1992) 島根大学地質学研究報告 11, 1–6; Shinjoe (1997) Chemical Geology 134, 237–255; 角井 (2000) 岩石鉱物科学 29, 67–73; 吉倉ほか (2002) 日本岩石鉱物鉱床学会講演要旨 GD22; Wang et al. (2020) Lithos 354–355, 105360; Shinjoe et al. (2021) Geological Magazine 158, 47–71; Taniwaki et al. (2023) Lithos 454–455, 107260; Kawashima et al. (2024) Journal of Mineralogical and Petrological Sciences 119, 018.

P-19

伊豆弧衝突帯三浦層群凝灰岩の U-Pb 年代
中井 花・安間 了 (徳島大学)・昆 慶明 (産総研)
U-Pb ages of tuffs in the Miura Group, Izu collision zone
Hana NAKAI, Ryo ANMA (Tokushima Univ.),
Yoshiaki KON (AIST)

神奈川県三浦半島に分布する三浦層群三崎層は、古伊豆・小笠原弧で活動した火山の噴出物と関東地方から流れてきた本州起源の土砂が、1200～440 万年前に東側の海溝および前弧域に堆積したものである。これらの地層の変形史を紐解くことは、伊豆半島の衝突がいつ頃始まり、どのように進展したのかを理解するために重要である。本研究では、三浦半島の佐島地域・荒崎地域・城ヶ島・鰐崎地域に分布する三崎層に含まれる凝灰岩層のジルコン U-Pb 年代測定を行い、地域間の層序対比を再検討した。

三浦半島で採取した三崎層凝灰岩 16 試料を粉碎して 60 メッシュ以下に揃え粘土を洗い流した後、パンニングにより軽鉱物を洗い流した画分に SPT 溶液とクレリシ溶液による重液分離を行うことで重鉱物を分離した。ネオジム磁石を用いて強磁性鉱物を取り除き、さらに強力磁石 Neomag を用いて弱磁性鉱物を取り除いた。ハンドピッキングでは自形に近い角柱のジルコンを選んで分離し、ペドロボキシ 154 樹脂を用いてマウントした。マウント試料は表面研磨と白金蒸着を行い、ジルコンの成長縞を可視化するために日立製 SEM-UV 検出器を用いてカソード・ルミネッセンス像を撮影した。ジルコンの U-Pb 比の測定は産業技術総合研究所の所有するフェムト秒レーザーアブレーション装置に直結したトリプル四重極型誘導結合プラズマ質量分析計を用いて実施し、白金蒸着除去と洗浄の後、カソード・ルミネッセンス像を参考に測定位置を選定しながらマニュアル操作で行った。本研究では堆積年代を絞ることを目的としたため rim を重点的に選定し測定を行った。また、年代既知のジルコン標準試料と微量元素濃度標準ガラス試料の NIST612 を同時に測定することにより、年代誤差と元素濃度を補正した。取得した U-Pb 同位体比データは IsoplotR を用いて解析を行った。また、U-Pb 同位体の他に Th, Hf, Ce, Pr, Yb の濃度を測定した。

本研究によって得られた、主な鍵層のディスコーダント年代を表 1 に示す。三崎層上部に分布する鍵層として使われている So 凝灰岩の年代を地域間で比較したところ、城ヶ島と鰐崎地域では同じ年代を示したものの、佐島地域のものは 2 σ の誤差範囲の中で一致せず、より古い年代を示した。ほかの鍵層で異なる地域で採取した凝灰岩については 2 σ の誤差範囲で年代が重なっており、同一の地層である可能性が高い。Mk 鍵層の U-Pb 年代は 9.9Ma (2008, 柴田ほか) とされており、今回の結果と矛盾しない。So 凝灰岩の微化石年代が 5.04～4.50Ma (1991, 蟹江・服部) とされていることから、佐島地域の So 凝灰岩とされるものは古いジルコンが混入している可能性がある。また、測定した試料の中で最下位である、Tz 鍵層に対比される試料については 67.4Ma と非常に古い年代が得られた。

今後は Ce/Pr 比や Pr/Yb 比の観点からそれぞれの凝灰岩を供給したマグマに違いがあるか検討を行いながら、より正確な年代決定を通して三崎層の堆積過程を高精度で解明していきたい。

表 1. 主な鍵層における各層序の対比 (単位: Ma)

	佐島	荒崎	城ヶ島	宮川-見沙門	間口-鰐崎
So	7.38±0.78		4.56±0.38		4.93±0.39
Mr		5.42±0.11	5.11±0.65		
Bs	5.9±0.36	5.7±0.5	7.6±1.5		
Mk				9.87±0.65	11.23±0.72
Tz				67.4±6.7	

引用文献
柴田伊廣・折橋裕二・山本由弦・木下正高 (2008) U-Pb 年代測定法の現世付加体への適用に向けて 講演概要
蟹江康光・服部睦男 (1991) 三浦層群のクロノロジィと古環境に関する諸問題 地質学雑誌 第 97 巻 第 10 号 849～864p