

口頭講演 | R8：変成岩とテクトニクス

■ 2024年9月12日(木) 15:30 ~ 18:00 | ■ ES024 東山キャンパス

R8：変成岩とテクトニクス

座長: 瀬藤 佑衣(名古屋大学)、遠藤 俊祐(島根大学)

15:30 ~ 15:45

[R8-01] 「コーサイト相転移石英のEBSD検出法」の確立に向けて—西南日本四国三波川変成帯権現地域の組み込み—

「発表賞エントリー」

*箕輪 桃子¹、永冶 方敬¹、伊藤 泰輔²、ウォリス サイモン² (1. 東京学芸大学、2. 東京大学)

15:45 ~ 16:00

[R8-02] Pressure-Temperature-Time Conditions of The Basement Rocks in The Banggai-Sula Microcontinent, Indonesia

「発表賞エントリー」

*Fransiska Ayuni Catur Wahyuandari¹, Nobuhiko Nakano¹, Tatsuro Adachi¹, Nugroho Imam Setiawan² (1. Kyushu Univ., 2. Gadjah Mada Univ.)

16:00 ~ 16:15

[R8-03] 嶺岡帯角閃岩再訪

*市山 祐司¹、高見澤 駿¹、伊藤 久敏²、田村 明弘³、森下 知晃³ (1. 千葉大学、2. 電力中央研究所、3. 金沢大学)

16:15 ~ 16:30

[R8-04] チェコ共和国・ザクロ石-黒雲母珪長質グラニュライト中のザクロ石の組成不均質

*中村 大輔¹、藤村 祐花¹、小寺 勇氣¹ (1. 岡山大学)

16:30 ~ 16:45

[R8-05] 岐阜県春日地域の帯状スカルン脈の形成と変質：U-Th酸化物のEPMA年代

*遠藤 俊祐¹ (1. 島根大学)

16:45 ~ 17:00

[R8-06] 大陸プレート境界断層での歪の解放に伴う地質構造と岩石組織の観察

「発表賞エントリー」

*吉朝 開¹、安東 淳^{1,2}、Das Kaushik^{1,2}、Sarkar Dyuti Prakash³ (1. 広島大学、2. 広大 HiPeR、3. 海洋研究開発機構)

17:00 ~ 17:15

[R8-07] 炭質物ラマン温度計における新しい試料形態の比較検討

「発表賞エントリー」

*荻野 峻右¹、瀬藤 佑衣¹、高橋 聡¹ (1. 名古屋大・院環境)

17:15 ~ 17:30

[R8-08] 関東山地三波川帯の泥質変成岩における指標鉱物出現の温度圧力条件：炭質物ラマン温度計からの推定

*瀬藤 佑衣¹、清水 以知子² (1. 名古屋大学・院環境、2. 京都大学・院理)

17:30 ~ 17:45

[R8-09] 愛知県新城地域の中央構造線沿いに分布する領家帯マイロナイトの構造岩石学的特徴

*丹羽 美春^{1,2}、道林 克禎^{1,3}、谷 健一郎⁴、西村 拓真⁵ (1. 名古屋大・環境、2. 豊橋市自然史博物館、3. 海洋研究開発機構、4. 国立科学博物館、5. 鳳来寺山自然科学博物館)

17:45 ~ 18:00

[R8-10] 鉱物組合せと白雲母K-Ar年代に基づく神居古潭帯幌加内地域の地帯区分の再提案

*平島 崇男¹、苗村 康輔²、吉田 健太³ (1. 京都大学、2. 岩手大学・教育、3. 海洋研究開発機構)

「コーサイト相転移石英のEBSD検出法」の確立に向けてー西南日本四国三波川変成帯権現地域の組み込みー

Toward the establishment of "EBSD method for the detection of quartz with phase transition to coesite": Incorporation of the Gongen area, Sanbagawa metamorphic belt, Shikoku, SW-Japan

*箕輪 桃子¹、永冶 方敬¹、伊藤 泰輔²、ウォリス サイモン²

*Momoko Minowa¹, Takayoshi Nagaya¹, Taisuke Ito², Simon Wallis²

1. 東京学芸大学、2. 東京大学

1. Tokyo Gakugei University, 2. The University of Tokyo

石英は主要な地殻構成物質であり、高圧下ではコーサイト(coesite, Coe)に相転移する。コーサイトへの高圧相転移は、プレート収束域では深さ約80 km以上のプレート沈み込み後に上昇した広域変成岩から報告される。広域変成作用に伴うCoeは、ザクロ石やオンファス輝石等に包有される場合や、速い上昇速度、急激な温度勾配、H₂Oの低い関与と関連して特定の条件で残存し得る。そのため、広域変成岩類でCoeを確認できれば、沈み込んだ深さの下限が推定できる。また、変成岩から報告された殆どのCoeは、他の鉱物に包有された状態で発見されるため、そのような宿主鉱物の組成累帯構造や共生鉱物、鉱物年代測定等、複数の観察・分析との組み合わせは、変成条件に強い制約を与え、P-T-t履歴の推定に決定的な役割を果たす。

しかし、Coeの形成条件に達した多くの天然試料で、Coeは上昇による減圧に伴って低圧相の石英に戻っており、保存されたCoeの観察は稀である。それゆえCoeへの相転移を経験したことを示す痕跡は長年議論があり、例えば特有の形態を持つ石英多結晶体や、石英包有物周囲の放射状割れ目等の微細組織観察は、保存されたCoeと同様に(超)高圧変成作用を示す指標として重要視される。現在まで国内からCoeは未報告だが、長崎変成岩類等Coeの痕跡とされる微細組織は一部地域から報告されている。

一方、上記の特徴的な微細組織がCoeの痕跡であれば、天然試料の沈み込みと上昇の履歴を探る重要な鍵となるが、Coeの痕跡かの観察に基づく判断・判定には、定性的な要素を含み、観察者の経験にも左右され得る側面がある。しかし近年、石英多結晶体への後方散乱電子回折(EBSD)によるマッピング結果から、Coeの痕跡の判別に有効な解析手法が報告された(Bidgood et al., 2021)。この手法により、従来の定性的な判定法と異なり、Coeへの相転移を経験した石英多結晶体の微細組織の特徴として結晶学的特徴に基づく定義がされ、Coeへの相転移の痕跡であるかの定量的な判別が可能になった。しかし、この手法は2地域(アルプス・ヒマラヤ)の分析に基づいて提案されたものであり、その一般性については懸念がある。

本研究グループは、現在Coeやその痕跡が未報告である地域にもEBSDによる再検証を行なっている。本研究では、高圧条件下での広域変成作用が報告された四国三波川変成帯権現地域の石英エクロジイトを対象とした。権現地域の石英エクロジイトからは、一部放射状割れ目を示唆する観察のほか、各地の超高压変成岩で見られる石英離溶ラメラの報告もあるが、明確なCoeは見つかっていない。本研究では、石英エクロジイト中の石英多結晶体から上記の判別手法を適用したことで、ザクロ石の包有物中の石英多結晶体領域から、Coeへの相転移を経験したことを示す石英粒子間の結晶方位関係を得たため、これについて報告する。

特に、このCoeの痕跡は石基中から見つからず、ザクロ石の包有物の一部(5領域中1領域)から発見されたことは、極細粒(20 μm以下)のCoeの存在の見過ごしの可能性や、藍晶石中のCoe包有物での異方的な残留応力が近年指摘されるように、結晶軸方向に依存した異方的な弾性常数をもつ宿主鉱物と包有物の互いの結晶学的な位置関係と関係して局所的に形成する可能性がある。この場合、例えば宿主鉱物の体積変化が小さく弾性常数が高い結晶軸方向に接する位置で、体積変化が大きく弾性常数が高い結晶軸方向を有する包有物が存在する等、宿主鉱物一包有物境界の特定の方向で局所的な応力の集中を引き起こし、石英包有物で部分的なCoeへの相転移を生じさせたと考えられる。宿主鉱物の割れ目による包有物の圧力解放等に加え、包有物を

含む鉱物内での微小空間における応力集中に関連した、特定の結晶方位関係でのみ形成されるCoeへの相転移は、天然試料中でのCoeの発見が難しい要因になり得る。このような応力集中の効果がどのような条件下でCoeを形成させるのか定量的な評価は今後の課題であるが、特にコーサイト-石英相転移平衡曲線に近い温度圧力条件から上昇する場合には重要となる可能性がある。これは、これまでの権現地域のピーク温度圧力条件の推定結果はCoeの安定条件に達していなかったが、本研究では、Coeの痕跡が認められたことを説明できるかもしれない。本研究はBidgood et al. (2021)の手法に、本研究のような宿主鉱物-包有物間の弾性異方性と結晶方位関係を考慮した石英多結晶領域の選定を組み込むことで、Coeの痕跡の発見により有用なアプローチとなることを提案する。

[引用文献] Bidgood et al. (2021), *Jour. Metamorphic Geol.*, 39, 165–180.

キーワード：三波川変成帯、権現地域、コーサイト-石英相転移、後方散乱電子回折、異方性

Keywords: Sanbagawa metamorphic belt, Gongen area, coesite-quartz phase transition, EBSD (Electron Back Scatter Diffraction), anisotropy

Pressure-Temperature-Time Conditions of The Basement Rocks in The Banggai-Sula Microcontinent, Indonesia

*Fransiska Ayuni Catur Wahyuandari¹, Nobuhiko Nakano¹, Tatsuro Adachi¹, Nugroho Imam Setiawan²

1. Kyushu Univ., 2. Gadjah Mada Univ.

The Banggai-Sula microcontinent in the eastern Indonesia region is known to be derived from the Northwest Australia continental margin (Sula Spur). The basement rocks of Banggai-Sula microcontinents are often associated with the high-temperature/low-pressure metamorphic rocks of Kemum Basement High of the Bird's Head region in Papua which intruded by granitoids of Devonian–Carboniferous and Permian–Triassic age. This study reports the petrological and geochemical characteristics, and monazite EPMA ages of these basement rocks to understand its origin and the relation with tectonic events along the northeastern margin of Gondwana in the Paleozoic. Metamorphic rocks collected from Banggai and Peleng Islands imply differences in metamorphic conditions between Banggai Island in the east (garnet-andalusite-muscovite schist) and the western part of Peleng Island (garnet-staurolite-biotite-muscovite schist). The preservation of garnet growth zoning during prograde metamorphism is indicated by decreasing Mn from the core towards the rim of the garnet grains obtained from metamorphic rocks in this region. The monazite EPMA ages were determined from biotite granite in Banggai Island and staurolite-bearing pelitic schist in Peleng Island. The biotite granite from Banggai Island gives a weighted mean age of 271 ± 8 and 263 ± 14 Ma from the core and rim of monazite. The staurolite-bearing pelitic schist from Peleng Island yields a weighted mean age of 434 ± 3 and 449 ± 12 Ma from the core and mantle, and 403 ± 8 Ma from the rim of monazite. This Silurian-Devonian metamorphic age has not been reported before from the Banggai-Sula microcontinent and Eastern Indonesia region. The differences in metamorphic grade and timing with the Kemum Basement High suggest that an earlier tectonic event influenced the metamorphism in the Banggai-Sula microcontinent. Such early Paleozoic igneous activity and metamorphism happened along the northern margin of East Gondwana related to the subduction of the Proto-Tethys Oceanic crust. Silurian–Devonian metamorphism in the Banggai-Sula microcontinent might represent the eastern continuation of this tectonic event. In the presentation, we will also discuss the pressure-temperature conditions of these basement rocks.

Keywords: Banggai-Sula microcontinent, Paleozoic basement, monazite EPMA ages

嶺岡帯角閃岩再訪

Amphibolites from the Mineoka belt revisited

*市山 祐司¹、高見澤 駿¹、伊藤 久敏²、田村 明弘³、森下 知晃³

*Yuji ICHIYAMA¹, Shun Takamizawa¹, Hisatoshi Ito², Akihiro Tamura³, Tomoaki Morishita³

1. 千葉大学、2. 電力中央研究所、3. 金沢大学

1. Chiba University, 2. Central Research Institute of Electric Power Industry, 3. Kanazawa University

房総半島から静岡県にかけて伊豆半島周縁に分布する古第三紀付加体の嶺岡帯・瀬戸川帯中には、蛇紋岩、苦鉄質～珪長質深成岩、玄武岩質火山岩といったオフィオライトに類似する構成岩類が断片的に分布する（例えば、荒井1994）。これらのオフィオライト構成岩類に伴い、わずかながらの変成岩の存在も知られる（兼平ほか 1968；Arai and Hirai 1985；大胡・廣井 1992）。鴨川市に露出する変成岩は、角礫化した緑簾石角閃岩で、紅簾石を含む珪質片岩や砂質片岩の薄層を伴う。また南房総市では、蛇紋岩に伴ってざくろ石緑簾石角閃岩のブロックが産出する。大胡・廣井（1992）は、鴨川市の緑簾石角閃岩に対し、500–550 °C、～0.5 GPaの変成条件を見積もった。この角閃岩からは、 39.6 ± 1.4 Maと 33.1 ± 2.3 Maの角閃石K-Ar年代が報告されている（柴田・内海, 1995）。その一方で、嶺岡帯に産する角閃岩の地球科学的意義については、これまで検討が行われていないままである。

鴨川市八岡海岸では、嶺岡帯のオフィオライト構成岩類を含む角礫岩が露出し、これらの礫が海岸の転石として見られる。本研究では、これらの転石から見いだした、ざくろ石角閃岩について岩石学的特徴とその意義について検討した。この試料は、ざくろ石+単斜輝石+褐色ホルンブレンド+斜長石からなり、副成分鉱物として石英+ルチル+チタン石+イルメナイト+アパタイト+黒雲母+ジルコン+黄鉄鉱を含む。単斜輝石はひすい輝石成分を最大で10%程度含む。いくつかの地質温度計はおおむね約700 °Cを示し、およそ～1.0 GPa程度の圧力が見積もられる。ジルコンは、CL像で明瞭な累帯構造を示さず、重希土類元素の枯渇とEuの負異常を持つ希土類元素パターンを示す。ジルコンのU-Pb加重平均年代は、角閃石K-Ar年代と調和的な 38.4 ± 2.3 Maの値を示し、変成ピーク年代と解釈される。全岩化学組成はソレライト質玄武岩組成を示し、微量元素パターンはNbやTiに負異常を示さず、よりインコンパティブルな元素に枯渇した中央海嶺玄武岩に類似した性質を示す。

オフィオライトのマントルかんらん岩の下底に見られる角閃岩～グラニュライト相の変成岩は、メタモルフィック・ソールと呼ばれ、沈み込み開始時の高い地温勾配によって変成作用を受けた沈み込む海洋プレート上面を起源とすると考えられている（例えばAgard et al., 2016）。例えばオマーンオフィオライトのメタモルフィック・ソールでは、600～800 °C、0.5～1.0 GPa程度の温度・圧力が見積もられている（Agard et al., 2016）。また、オフィオライト中の火成岩類とメタモルフィック・ソールの年代は、およそ一致する（Wakabayashi and Dilek, 2000）。嶺岡帯角閃岩類から見積もられる温度・圧力条件の範囲は、メタモルフィック・ソールのそれと調和する。また、嶺岡帯角閃岩類から得られたジルコンU-Pb年代は、嶺岡帯の苦鉄質～珪長質深成岩類から得られた火成起源ジルコンのU-Pb加重平均年代（35.0～38.6 Ma; Ichiyama et al., 2017）とも一致する。嶺岡帯の角閃岩類は、始新世にマントルかんらん岩の下底に形成されたメタモルフィック・ソールが断片化したものである可能性が示唆される。

Ichiyama et al. (2017)は、嶺岡帯のオフィオライト質岩類が伊豆-マリアナ-ボニン（IBM）弧の断片である可能性を示唆した。IBM弧は約50Maに形成された海洋性島弧であり、現在のIBM弧の前弧域下に沈み込むスラブは、青色片岩相に至る変成作用を受けていると考えられる（Ichiyama et al., 2021）。嶺岡帯の角閃岩は、少なくともIBM弧北部のマントルウェッジが始新世頃まで現在よりも高温であったことを示しているかもしれない。始新世の北西太平洋では、日本列島と平行するイザナギ-太平洋海嶺（I-P海嶺）が沈み込んだとされている（例えばWu and Wu, 2019）。Straub et al. (2009)は、IBM弧で形成された42Ma以降の火成岩が、I-P海嶺からのスラブ成分の影響を受けたマントルから形成されたと考えた。北海道日高帯の35.6 Maアダ

カイト質深成岩 (Yamazaki et al., 2021) やポロシリオフィオライト中のマントルかんらん岩下底に形成された37.9 Maの角閃岩 (Dong et al., 2024) は、I-P海嶺の沈み込みに関連した形成が示唆されている。嶺岡帯角閃岩は、若くて熱いI-P海嶺の沈み込みによって形成されたのかもしれない。

キーワード：嶺岡帯、角閃岩、メタモルフィック・ソール

Keywords: Mineoka belt, Amphibolites, Metamorphic sole

チェコ共和国・ザクロ石-黒雲母珪長質グラニュライト中のザクロ石の組成不均質

Compositional heterogeneity of garnet in garnet-biotite felsic granulite, Czech Republic

*中村 大輔¹、藤村 祐花¹、小寺 勇氣¹

*Daisuke NAKAMURA¹, Yuuka FUJIMURA¹, Yuuki KODERA¹

1. 岡山大学

1. Okayama University

チェコ共和国の東部に位置するHorni Bory採石場には、ザクロ石と黒雲母に富む黒色の珪長質グラニュライトが広く産し、その中に塊状やレンズ状、層状のかんらん岩や輝岩が産する。今回、その珪長質グラニュライトを調べたところ、ザクロ石に著しい化学組成不均質が確認されたので、その記載岩石学的特徴を報告し、そこから得られる元素拡散に関する情報と地質学的意義をまとめる。

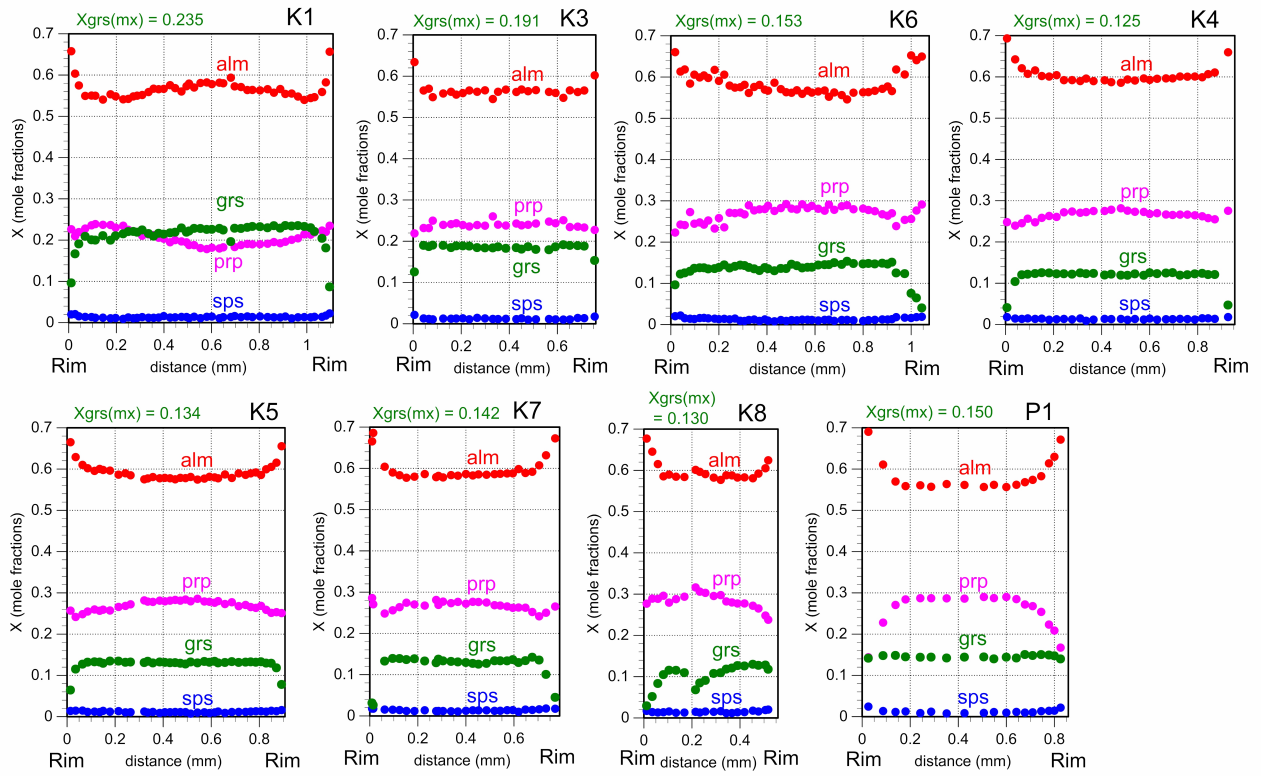
Horni Bory採石場はボヘミア地塊内に位置し、含まれる輝岩からは超高压条件（約4 GPa）の変成作用が記録されており（Naemura et al., 2009: JMPS 104, 168-175）、本研究地域は、モルダヌビア帯のクフェールユニットに属すると考えられる。研究した試料はザクロ石と黒雲母に著しく富むものの、クフェールユニットに産する一般的な珪長質グラニュライトと同様の鉱物組合せ（ザクロ石+黒雲母+藍晶石/珪線石+斜長石+カリ長石+石英+ルチル+イルメナイト+燐灰石等）を持つ。その試料に産するザクロ石粒子の大部分は直径1mmほどで包有物をあまり多くは含まないが、中には直径1.6mmを超える比較的大きいザクロ石粒子が産し、そのザクロ石粒子は包有物に富むポйкиロプラスチックな組織を持つ。

今回は一つの薄片内に分布する合計24粒子のザクロ石を線状に分析し、それらの組成プロファイル図を作成した。なお、それらの代表的なものを図に示している。多くのザクロ石粒子は中心部から縁辺部近傍まで、均一なCa含有量を持つが、そのCa含有量は粒子によって大きく異なり、 $X_{Ca} [= Ca/(Fe + Mn + Mg + Ca)]$ が0.12から0.26までの幅がある（図）。またMg# [= 100 Mg/(Fe + Mg)]にもザクロ石の中心部での顕著な違いがあり（Mg# = 23~35）、見かけ上、Mg#が縁辺部方向へ増加する昇温型累帯構造を示す粒子と縁辺部方向へMg#が減少する後退型累帯構造を持つ粒子がある。また、Mg#の値は粒子の最外縁部から0.1mmほど内側において粒子間で一致する傾向がある。

以上のザクロ石の組成上の特徴は次の二つのことを示唆する。1) ザクロ石中のCa含有量はその核形成と成長の間、局所的な組成を反映した量を維持したまま変化しなかった。2) Mg#に関しては、個々のザクロ石の核形成の際に粒子間での著しい違いがあったが、その後の成長過程で粒子間での違いが緩和されるように組成が変化した。1) のことは、Caの拡散がザクロ石内で遅いだけでなく、粒界においても遅く、ザクロ石が成長する間も粒子間でのCa含有量の差を解消することが出来なかったことを意味する。一方、2) のことは、ザクロ石の核形成時には局所的な環境を反映したMg#を持ったザクロ石が形成されたが、その後の成長過程では粒界でのFe, Mgの拡散が比較的速くなり粒子間でのMg#の違いを解消するようになったことを示している。しかし、個々のザクロ石粒子内にはMg#の違いがあり、そうした組成差を解消できるほどザクロ石内でのFe, Mgの拡散は速くなかったとも言える。同様のザクロ石の組成不均質は同じクフェールユニットに属するNové Dvoryザクロ石かんらん岩に伴われるエクロジャイト中でも見つかっており（Itami et al., 2022; JMPS 117）、少なくともクフェールユニットの一部の岩石ではザクロ石中のMg#の違いを解消できないほど著しく短い高温状態の保持時間しかなかったのだろう。また、ボヘミア地塊南部のクフェールユニットに産する珪長質グラニュライト中に昇温型累帯構造を持つザクロ石が存在し、その変成温度は1000°Cを超えている（内藤他, 2024; 岩石鉱物科学 53）という結果も上記の考えを支持する。

キーワード：ザクロ石

Keywords: Garnet



岐阜県春日地域の帯状スカルン脈の形成と変質：U-Th酸化物のEPMA年代

Formation and alteration of a zoned calcsilicate vein from the contact aureole of Kasuga area, central Japan: insights from chemical ages of U-Th oxides

*遠藤 俊祐¹

*Shunsuke ENDO¹

1. 島根大学

1. Shimane University

地殻浅所に貫入定置した花崗岩体周囲の流体活動の継続期間を調べるため、白亜紀貝月山花崗岩の接触変成帯（岐阜県春日地域）から採取したドロマイト質大理石中の帯状スカルン脈について、岩石学的研究およびU-Th酸化物の化学年代測定を実施した。ドロマイト質大理石は方解石とH₂O-CO₂流体を過剰相として1成分(Mg,Fe)O単純系とみなせるため、それと反応した流体の化学組成や交代作用を調べる目的に適している。本研究で記載する脈は幅4 cm程度で、母岩（ドロマイト + 方解石）から脈中央に向かって以下の鉱物組合せをもつ帯状構造が認められる：

Zone 1 (母岩側から3つのsubzoneに区分：単斜ヒューム石 + 方解石 / 苦土かんらん石 + 方解石 / 透輝石 + 苦土かんらん石 + 方解石)

Zone 2 (クリントン雲母 + スピネル + Alに富む単斜輝石またはパーガス閃石 + 方解石)

Zone 3 (グロシュラー + 単斜輝石 + 灰長石 + 方解石)

Zone 2と3には、U, Th, REE, Zrに富むさまざまな副成分鉱物（緑れん石族鉱物、U-Th酸化物、バッドレイ石、ジルコノライト、ジルコンなど）が存在する。また、Zone 3のグロシュラーと灰長石は、後期鉱物（単斜灰れん石またはぶどう石 + 白雲母）によって置換されている。

Zone 1は明瞭なsubzone境界をもち、系成分としてSiO₂を欠く母岩側からSiO₂/(Mg,Fe)O比が単調上昇する変化から、母岩のドロマイト質大理石のクラックに流入した流体の溶存シリカの壁岩側への拡散に支配された交代反応脈と考えられる。同様な鉱物組合せの苦土かんらん石透輝石脈は周辺に普遍的にみられ、この交代反応が進行した後の流体はシリカに枯渇し、アルミナやアルカリ、不適合微量元素に富んでいったことが推定される。そのようなアルミナ成分に富む流体とZone 1の反応により、Zone 2の鉱物組合せを説明することができる（透輝石 + 苦土かんらん石 + Al₂O₃ aq ⇒ クリントン雲母 + スピネル + Alに富む単斜輝石）。Zone 1と2の鉱物組合せは接触変成帯のピーク温度（~600°C）で安定であり、等温での継続的な流体-岩石反応とみなせる。Zone 2の方トリウム鉱物のEPMA年代として97.0±1.1 Maが得られ、これは貝月山花崗岩の全岩Rb-Sr年代（96.4±4.8 Ma：沢田ほか1994）と一致する。

Zone 3の初生鉱物は、付近にみられる塩基性交代岩中のザクロ石単斜輝石斜長石脈（鈴木1975）と類似する。塩基性交代岩を通過し、これら鉱物に過飽和となった流体が流入し、Zone 3の初生鉱物を脈中央に析出させたと考えられる。Zone 3の初生鉱物はピーク温度から450°Cまでの範囲で安定である。さらにZone 3はFeを含まない純粋な単斜灰れん石やぶどう石の形成を伴う低温熱水変質を被った。Zone 3の閃ウラン鉱物のEPMA年代として88.1±0.8 Maが得られ、低温熱水変質の時期に対応すると考えられる。

貝月山花崗岩は定置年代（全岩Rb-Sr年代）と冷却年代（黒雲母K-Ar年代）に差がなく、ソリダス温度から黒雲母K-Ar系の閉鎖温度（300±50°C）までの急速な冷却史が示唆される（斎藤・沢田2000）。その後の徐冷期に花崗岩体の周囲では低温の熱水活動が長期（9 Myr）にわたって継続した可能性がある。

文献

- 斎藤・沢田（2000）1/5万地質図幅「横山」説明書
沢田ほか（1994）地質雑99, 975-990
鈴木（1975）地質雑81, 487-504.

キーワード：脈

Keywords: Vein

大陸プレート境界断層での歪の解放に伴う地質構造と岩石組織の観察

Observations of geological structures and microstructures associated with strain release at a continental plate boundary fault

*吉朝 開¹、安東 淳一^{1,2}、Das Kaushik^{1,2}、Sarkar Dyuti Prakash³

*Haruki Yoshiasa¹、Jun-ichi Ando^{1,2}、Kaushik Das^{1,2}、Dyuti Prakash Sarkar³

1. 広島大学、2. 広大 HiPeR、3. 海洋研究開発機構

1. Hiroshima University, 2. HiPeR, 3. JAMSTEC

はじめに：インド亜大陸は現在も約 ~ 15 mm/yearの速度で北上を続けており、それに伴いヒマラヤ地域では地震が発生している。Bilham (2019) は、ヒマラヤ地域の沈み込みに伴って蓄積された歪と、地震によって解放された歪を計算した。その結果、蓄積された歪は地震によって完全には解放されておらず、今後 Mw=8.6レベルの地震が1回、あるいは2回発生する可能性があると結論づけている。しかし、蓄積された歪の解消が地震だけによるものかどうかを考えるためには、プレート収束境界域の地質現象を理解する必要がある。ヒマラヤ地域には、インド亜大陸の衝突に伴い3つの主要なプレート収束境界断層（主前縁衝上断層（MFT）・主境界衝上断層（MBT）・主中央衝上断層（MCT））が形成されている。現在の収束を重荷になっているのはMFTであるが、MBTとMCT沿いには地球内部のプレート収束にともなう構造を有した地層が地表に露出している。本研究では、脆性変形領域における地質現象を把握するために、MBTを対象として地質調査および岩石の微細組織の観察を行った。

研究対象：インドヒマチャルプラデシュ州サバースー市に露出するMBTの上盤、約1 Kmの範囲を調査した。地表に露出するMBTは、約10 Maから約0.5 Maの期間に活動したプレート収束境界断層であり、地下260°Cの温度で変形した岩石が露出する（Sarkar et al., 2021）。MBTの上盤には、先カンブリア時代の砂岩層が主に分布する。砂岩単層の層厚は約5 cm-30 cmである。また泥岩層（単層の層厚約2 cm）との互層も確認できる。

結果と考察：地質調査の結果、以下のことが明らかとなった。1) 調査地域の全域で、多数の層面すべりが確認された。層面すべりのすべ面上には、条線が発達し、条線に沿って微細な石英脈が認められる。また、層面すべりに関連して、層理面に平行なデュープレックス構造やキンクバンドが顕著に発達する。しかし、調査地域では、層面すべりを引き起こすようなフレクチャー褶曲は存在しない。2) キンクバンドから求めた主圧縮軸方向と条線から求めたすべり方向は、MBTの傾斜方向にほぼ平行なものが多い。1) と2) の結果は、MBTの上盤では、プレートの沈み込みに伴い層面すべりが卓越することを強く示唆する。層面すべりを受けた砂岩の微細組織観察からは以下のことが明らかとなった。3) 層面すべりの多くは、砂岩単層内部に層理面に平行に発達した層厚 $10\ \mu\text{m}$ -1 mmの複数の剪断面に沿って発達する。4) この各剪断面は小歪から大歪の状態を記録している。小歪から大歪に至る微細組織の特徴は、砂岩層を構成する基質支持の粒径 $50\ \mu\text{m}$ - $100\ \mu\text{m}$ の石英が、剪断に伴ってその間隔を広げて行くことである。間隔を広げながら石英は流体と反応し細粒化が進み、反応によって白雲母が晶出する。晶出した白雲母は(100)が剪断面に平行に配列する。大歪になると、粒径が数mmの白雲母のみから構成されるようになり、顕著なリーデル剪断面が発達する。5) 剪断帯の内部には、剪断方向に伸長する粒径数 $100\ \mu\text{m}$ の波動消光を示す石英が存在し、このような石英から石英脈が発生している。すなわち石英脈は、砂岩を構成する石英粒子が剪断による摩擦熱によって塑性変形し形成されたことが強く示唆される。この石英脈は、野外において確認できた条線に沿って発達する石英脈であると考えられる。6) 石英脈のc軸は、剪断方向に垂直に集中するタイプと剪断方向に集中するタイプがある。それぞれbasalすべりとprism<c>すべりによる転位クリープで形成されたと考えられる。basalすべりは $300\sim 400^\circ\text{C}$ で、prism<c>すべりは 550°C 以上で卓越することが知られている。石英脈中の動的再結晶を受けた石英の粒径（約 $5\ \mu\text{m}$ ）から、再結晶粒径による地質差応力計を用いて差応力を見積もることができる。その結果は190 MPaとなる。c軸ファブリックから求めた温度と地質差応力計から求めた差応力値から石英脈形成時の歪速度

を推定すると 10^{-10} ~ 10^{-13} /sと 10^{-5} ~ 10^{-7} /sとなる。この値は、プレートの沈み込みに際して生じる層面すべりの歪速度と考えられる。本研究は、プレートの沈み込みを起因として生じる歪の一部は、層面すべりの運動、そしてすべりによる摩擦発熱によって開放されている可能性が強いことを示唆する。現在、炭質物ラマン温度計を用いてすべり面とその周辺での温度をより正確に推定するために分析中である。それらを元に、本講演ではすべり面での温度上昇についても議論する予定である。

キーワード：層面滑り、主境界衝上断層、微細組織、摩擦熱、動的再結晶

Keywords: Bedding plane slip, MBT, Microstructure, Frictional heat, Dynamic recrystallization

炭質物ラマン温度計における新しい試料形態の比較検討

Comparison and verification study of new sample forms for use in Raman carbonaceous material geothermometer

*荻野 峻右¹、瀬瀬 佑衣¹、高橋 聡¹

*Shunsuke Ogino¹, Yui Kouketsu¹, Satoshi Takahashi¹

1. 名古屋大・院環境

1. Nagoya Univ. Env.

ラマン分光法を用いて炭質物の結晶化度を評価し、岩石が経験した最高被熱温度を推定する炭質物ラマン温度計は、岩石薄片内において透明なホスト鉱物に内包されている炭質物が測定対象とされてきた (Beyssac et al., 2002 ; Aoya et al., 2010 ; Kouketsu et al., 2014) . これは、炭質物の薄片作成時の研磨によるダメージや測定時のレーザー加熱による損傷を避けるためである (Nakamura et al., 2019 ; Kouketsu et al., 2019) . しかし、岩石試料によっては脆い試料や試料の量が少いことがあるため、薄片にするのが難しい場合がある。本研究では、新しい試料形態として岩石切断面、岩石破断面およびフッ酸処理を行った試料に対し、レーザー照射の影響を評価することで、炭質物ラマン温度計に適応可能な試料形態が拡大可能か検証した。

先行研究において、高結晶化度の炭質物 (=石墨) におけるレーザー照射の影響は評価されているが (Kagi et al., 1994 ; Niwase, 1995) , 低結晶化度の炭質物へのレーザー照射の影響は十分に評価されていない。そこで、本研究では中生界の泥岩と泥質片岩を分析対象とした。各試料に対してレーザー強度を変えてラマン分光測定を行った結果、レーザー強度が3.0 mW以上でラマンスペクトルの形状に変化が見られ、炭質物ラマン温度計の温度推定に影響与える可能性があることが分かった。次に、(1) 岩石薄片、(2) 岩石切断面、(3) 岩石破断面、(4) 研磨面、および(5) フッ酸処理で分離した炭質物ラマンスペクトルの比較検証を行い、炭質物ラマン温度計を用いた場合の推定続成・変成温度値に与える影響の評価を行った。その結果、内包された炭質物を対象とした従来の測定方法で得られた炭質物ラマン温度計の続成・変成温度が、300 °Cより低い試料では

(1) 岩石薄片と(2) 岩石切断面、(3) 岩石破断面の炭質物ラマン温度計の推定温度に大きな差が見られなかった。それに対して、(5) フッ酸処理で分離した炭質物では、試料によって(1) 岩石薄片との推定温度の差が大きかった。また、炭質物ラマン温度計の続成・変成温度が、300 °Cより高い試料では、試料形態によって推定温度がばらついていた。本発表では、炭質物ラマン温度計に適応可能な試料形態を検証するとともに、炭質物ラマン温度計の続成・変成温度が、300 °Cより高い試料において試料形態によって推定温度がばらついた原因について考察を行う。

引用文献 Aoya et al. (2010) *J. Metamorph. Geol.*, **28**, 895–914 / Beyssac et al. (2002) *J. Metamorph. Geol.*, **20**, 858–871 / Kagi et al. (1994) *Geochim. Cosmochim. Acta*, **58**, 3527–3530 / Kouketsu et al. (2014) *Isl. Arc*, **52**, 33–50 / Kouketsu et al. (2019) *Prog. Earth Planet. Sci.*, **6**:23 / Nakamura et al. (2019) *Isl. Arc*, **28**, e12318 / Niwase (1995) *Phys. Rev. B*, **23**, 15785–15798.

キーワード：炭質物、ラマン分光法、炭質物ラマン温度計、泥岩、泥質片岩

Keywords: Carbonaceous material, Raman spectroscopy, Raman CM geothermometer, Mudstone, Pelitic schist

関東山地三波川帯の泥質変成岩における指標鉱物出現の温度圧力条件：炭質物ラマン温度計からの推定

Pressure and temperature conditions for the occurrence of index minerals in pelitic schists in the Sanbagawa belt, Kanto Mountains, Japan, inferred from Raman carbonaceous material geothermometry

*瀨瀬 佑衣¹、清水 以知子²

*Yui KOUKETSU¹, Ichiko Shimizu²

1. 名古屋大学・院環境、2. 京都大学・院理

1. Nagoya Univ. Env., 2. Kyoto Univ. Sci.

関東山地三波川帯は三波川帯の模式地として古くから研究が行われているが、指標鉱物の出現や石墨化度が複雑な分布を示すため、isogradの境界線は研究者によって異なる。本研究では、鮎川-三波川地域において採取された泥質片岩及び珪質片岩に対して炭質物ラマン温度計を適用し、温度構造を推定するとともに、全岩化学組成を用いたシュードセクション解析を実施して、指標鉱物であるザクロ石、黒雲母、灰曹長石の安定領域を解析することで、温度と指標鉱物の関係を検証した。関東山地三波川帯の鮎川-三波川地域では、複数の先行研究において詳細な地質構造や鉱物組合せ、XRDを用いた炭質物の石墨化度に関連したデータが報告されている。これらのデータを参照すると、おおむね南から北に向かって変成度がChlorite zone (I帯)、Garnet zone (II帯)、Biotite zone (III帯)へと上昇するが、ざくろ石の出現や石墨化度(GD)の分布は複雑である。また、Miyashita (1997) はBiotite zoneのいくつかの泥質片岩中に含まれる斜長石の縁部には灰曹長石が存在することを報告している。鮎川-三波川地域において炭質物ラマン温度計を適用した結果、360°Cから520°Cまでの温度領域を示した。鉱物組合せから行った変成分帯と炭質物ラマン温度計の結果を比較すると、Chlorite zoneは400-440°C程度、Garnet zoneは360-470°C程度、Biotite zoneは470-520°C程度の温度を示した。一方、石墨化度と炭質物ラマン温度の関係は、I帯が360-400°C程度、II帯が440-470°C、III帯が460-520°Cとなり、変成度の上昇と温度の増加がおおむね調和的な結果となった。関東山地三波川帯の平均的な全岩化学組成を示すBiotite zoneの泥質片岩 (AM41P, Miyashita 1997)の全岩化学組成を用いてシュードセクション図を作成したところ、温度の上昇とともにざくろ石、黒雲母、灰曹長石が出現した。ざくろ石の安定領域は、先行研究ですでに示されている通り、全岩化学組成のMnOによって強く影響を受けることが示され、Chlorite zoneとGarnet zoneの温度領域が重複する原因を説明できる。一方、黒雲母の安定領域はK₂O量によって影響を受けるが、関東山地三波川帯では、全岩化学組成のK₂Oは2-4 wt.%程度に収まっており、全岩化学組成による黒雲母の安定領域変化の影響は小さいと考えられる。温度データと比較すると関東山地三波川帯の黒雲母帯は0.8 GPa程度で形成されたと考えられ、四国三波川帯よりも低い圧力条件を経験した可能性がある。灰曹長石 (X_{An} > 0.1) は0.9 GPa程度までの低圧条件であれば黒雲母の出現から+20-30°C程度で出現するが、0.9 GPa以上の高圧条件になるとより高温側に安定領域が遷移する傾向が見られた。この結果は、Biotite zoneに灰曹長石が均質に出現する関東山地と、Albite-biotite zoneとOligoclase-biotite zoneが明確に区分できる四国の間に圧力差があるとする仮説と整合的である。

引用文献：Miyashita (1997) Bull. Natn. Sci. Mus., Tokyo, Ser. C, vol.23, 1-25.

キーワード：炭質物ラマン温度計、シュードセクション解析、ざくろ石、黒雲母、灰曹長石

Keywords: Raman carbonaceous material geothermometry, Pseudosection modelling, Garnet, Biotite, Oligoclase

愛知県新城地域の中央構造線沿いに分布する領家帯マイロナイトの構造岩石学的特徴

Microstructural and petrological characteristics of the Ryoke mylonite occurred along the Median Tectonic Line in the Shinshiro area, Aichi Prefecture

*丹羽 美春^{1,2}、道林 克禎^{1,3}、谷 健一郎⁴、西村 拓真⁵

*Miharu Niwa^{1,2}, Katsuyoshi Michibayashi^{1,3}, Kenichiro Tani⁴, Takuma Nishimura⁵

1. 名古屋大・環境、2. 豊橋市自然史博物館、3. 海洋研究開発機構、4. 国立科学博物館、5. 鳳来寺山自然科学博物館
1. Nagoya Univ. Env., 2. TMNH, 3. JAMSTEC, 4. NMNS, 5. HMNH

愛知県東三河地域新城市の中央構造線（MTL）周辺には、内帯の領家変成岩類から深成岩類、外帯の三波川変成岩類、さらにこれらの基盤岩類を覆う設楽層群などが分布する複雑な地質である。長野県、静岡県や三重県と同様に本地域のMTL沿いには断層岩が見られるが、本地域の断層岩は、ほとんどカタクレサイトでありマイロナイトについては愛知県新城市鳳来町付近で確認されている程度であり、詳細な構造岩石学的研究は他の地域と比較して報告例はほとんどない。今回、新城市桜淵公園付近で連続したマイロナイトの露頭を確認した。この露頭は中央構造線沿いで最も南西側に位置する。本研究では、偏光顕微鏡による微細構造観察及びSEM-EBSDシステムによる石英の結晶方位測定、さらに年代測定を行い、変形時の温度条件、剪断センス及び原岩について検討を行った。本地域のマイロナイトは露頭では緑白色を呈し、白い斑点状の斜長石粒子が特徴的な鹿塩マイロナイト様である。主な構成鉱物は石英、斜長石、黒雲母であり、その他カリ長石、褐簾石、ジルコンが含まれるトータル岩質である。微細組織は、粗粒な斜長石の残晶からなる典型的なポーフィロクラスト状組織と斜長石の残晶と石英のストレインシャドウからなる非対称組織が認められる。石英のc軸ファブリックは、変形時の温度が比較的中温時に形成されるY軸集中のパターンを示す。降温期の変形を示す斜長石-石英の残晶組織との組み合わせによると、350-450°Cの降温期に塑性剪断変形して形成されたと推定される。さらに定方位サンプルの研磨薄片観察により剪断センスを調べたところ他地域で報告されている左ずれではない右ずれを示した。以上の結果をもとに三河地域の地域的な構造岩石学的特徴を他の地域と比較しつつ考察する。

キーワード：マイロナイト、中央構造線、領家帯、断層岩

Keywords: Mylonite, Median Tectonic Line, Ryoke belt, Fault rock

鉱物組合せと白雲母K-Ar年代に基づく神居古潭帯幌加内地域の地帯区分の再提案

Re-proposal of the metamorphic zone division in the Horokanai area of the Kamuikotan Belt based on the mineral paragenesis and phengite K-Ar Age.

*平島 崇男¹、苗村 康輔²、吉田 健太³

*Takao HIRAJIMA¹, Kousuke Naemura², Kenta Yoshida³

1. 京都大学、2. 岩手大学・教育、3. 海洋研究開発機構

1. Kyoto University, 2. Iwate University, 3. JAMSTEC

北海道・神居古潭変成帯・幌加内地域では、変成鉱物の分布に基づく変成分帯(柴草、1974)と白雲母のK-Ar年代による地帯構造区分(榊原ほか、2007)が提案され、見解が分かれていた。柴草(1974)はローソン石(Lws)・パンペリー石(Pmp)・緑簾石(Ep)の出現消滅関係から、地域を3つに分帯した。平島ほか(2023)は塩基性変成岩中の鉱物組合せを用いて、柴草のZone IIはアルカリ輝石パンペリー石亜相 {Lws+Pmp+アルカリ輝石(Napx)+緑泥石(Chl)組合せ}、柴草のZone II/IIIは青色片岩相であると指摘した。また、当該地域の青色片岩ではアルカリ角閃石(Namp)-Napx-Chlに加えEp, Lws, Pmpの3相が共存可能であることを示し、三重点青色片岩(Triple Point Blueschist)という名称を提案した。榊原ほか(2007)は、当該地域の変成岩を、白雲母のK-Ar年代や母岩の変形の程度により、以下の様な分帯を提案した：幌加内ユニット：HP1 泥質変成岩も塩基性変成岩も全て片状構造を示し、白雲母のK-Ar年代は135-120Ma。変成塩基性岩中の鉱物組合せはEp/Lws-Namp -(Napx or Pmp)。K-Ar年代は後述する美瑛・春志内ユニットより古いので、片岩を形成した変成作用をHP1と命名した。なお、幌加内ユニットの分布範囲は柴草のZone II/III地域と概ね一致する。美瑛ユニット：HP2 泥質変成岩は片理構造を示すが、塩基性変成岩は弱変形で、Nampが出現しないため緑色を呈す。代表的鉱物組合せはLws-Napx-Pmp。白雲母のK-Ar年代は115-100Ma。美瑛ユニットの分布範囲は柴草のZone I地域と概ね一致。しかし、我々の野外調査で、榊原ほか(2007)が美瑛ユニットに区分したシラツケ山とその北方の砂利川から沼牛山にかけて、片理の発達した青色片岩が分布することを確認した。更に、当該地域の変成岩のK-Ar年代値は未報告であった。以上の点を踏まえて、砂利川と沼牛山、並びにその周辺から採集した片岩から白雲母を分離し、K-Ar年代測定を行った。なお、白雲母の分析作業は蒜山地質年代学研究所に委託した。その結果は以下のとおりである：榊原ほか(2007)の幌加内ユニット：EP256：江丹別峠、115.1MaKD12:沼牛川東方、123.3/106.6MaKD13:沼牛川東方、126.9/101.8Ma榊原ほか(2007)美瑛ユニット:KHK121:沼牛山、120.2MaKHK331/KHK333:砂利川、109.2Ma/105.6Ma 青色片岩中の白雲母は総じて細粒であるため、年代測定を行った白雲母フラクションの粒径は0.2-2 μ mに調整した。但し、KD12/13には粗粒の白雲母が含まれていたため、50120 μ mのフラクションについても年代測定を行った。KD12/KD13の50120 μ mフラクションは123.3/126.9Maを示し、0.2-2 μ mフラクションは106.6/101.8Maとなり、その差は、12~25Maに達した。細粒フラクションの年代が若くなる現象は、九州黒瀬川帯(Sato et al., 2014)や関東山地の秩父帯(Lu et al., 2022)でも確認されており、その理由については諸説ある。粒子径の影響を排除するために、細粒フラクション年代を検討すると、幌加内ユニットでは115.1~106.6Ma、美瑛ユニットでは120.2~105.6となり、両者を区別することは困難である。幌加内地域で報告されているK-Ar年代をまとめると以下のようになる：異地性岩塊(Ep角閃岩):145-132Ma(3例)・青色片岩相地域:134-101Ma(13例)・アルカリ輝石パンペリー石亜相地域:107-102Ma(3例)アルカリ輝石パンペリー石亜相(Zone I, 或いは美瑛ユニット)から報告されたK-Ar年代は青色片岩のK-Ar年代値と重複する。幌加内地域において、アルカリ輝石パンペリー石亜相からLws青色片岩やEp青色片岩に変化する変成反応はほぼ同一のPT条件で生じることが報告されている(平島ほか、2023)。これらのこと

を考慮すると、幌加内地域の弱変形部（アルカリ輝石パンペリー石亜相）と青色片岩部は連続した変成作用を示し、両者の間に構造的な不連続を想定する必要は無い。

キーワード：白雲母K-Ar年代、三重点青色片岩、幌加内地域、神居古潭帯

Keywords: Phengite K-Ar age, Triple Point blueschist, Horokanai area, Kamuikotan Belt