

2026年9月26日(土)

口頭講演 | R4：地球表層・環境・生命

8:45 ~ 11:45 | A会場(279号室)

R4：地球表層・環境・生命

座長:横山 正(広島大学)、佐久間 博(NIMS)、奥村 大河(早稲田大学)、川野 潤(北海道大学)

8:45 ~ 9:00

[R4-01] 粘土鉱物へのCs吸着：時間と共に脱離しにくくなるエージング機構の解明

*佐久間 博¹、田村 堅志¹、末原 茂¹、端 健二郎¹ (1. NIMS)

9:00 ~ 9:15

[R4-02] 福島県飯舘村の丘陵を覆う表土中のhydroxy-intercalated vermiculite (HIV)の構造とその起源

*小暮 敏博^{1,2,5}、海老澤 駿¹、菊池 亮佑³、中尾 淳⁴、横山 信吾⁵ (1. 東京大・院理、2. 早稲田大・教育、3. 北海道大・院工、4. 京都府大・院生命環境、5. 電中研)

9:15 ~ 9:30

[R4-03] 福島第一原発から放出された"放射性セシウム原子"の可視化

*宇都宮 聡¹ (1. National Taiwan University)

9:30 ~ 9:45

[R4-04] 花崗岩の風化プロファイル中に見られる輸送特性の変化と鉱物の風化状態との関連性

*横山 正¹、吉田 淳樹²、岡村 光³、海堀 正博⁴、片山 郁夫⁵、桐野 裕介⁶ (1. 広島大・先進理工、2. 日本工営、3. 三井住友海上火災保険、4. 広島大・防災・減災研究センター、5. 京都大・地球惑星、6. 太平洋セメント)

◆ 招待講演

9:45 ~ 10:10

[R4-05] 帯水層蓄熱システムによる地下水流の副次効果による硝酸イオン還元の可能性

*愛知 正温¹ (1. 東大・新領域)

10:10 ~ 10:20

[5j1.i8G_-6add] 休憩

10:20 ~ 10:35

[R4-06] バイオミネラルにおける炭酸カルシウム結晶の生体分子による形成制御

*鈴木 道生¹、二川 慶¹、奥村 大河² (1. 東京大学、2. 早稲田大学)

10:35 ~ 10:50

[R4-07] 液体セルTEMを用いた炭酸カルシウム結晶化その場観察の試みと課題

*山崎 智也¹、川野 潤²、木村 勇氣¹ (1. 北海道大学低温科学研究所、2. 北海道大学大学院理学研究院)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

10:50 ~ 11:05

[R4-08] 底生有孔虫 *Spirillina vivipara* の個体発生に伴う殻の結晶学的特性の変遷*川島 颯大¹、川野 潤¹、長井 裕季子²、永井 隆哉¹、豊福 高志² (1. 北大・院理、2. JAMSTEC X-star)

11:05 ~ 11:20

[R4-09] 微細構造観察とpHイメージングから読み解く
磁器質石灰質有孔虫 *Sorites orbiculus* のバイオミネラル化*長井 裕季子¹、椿 玲未²、川野 潤³、藤田 和彦⁴、豊福 高志¹ (1. 海洋研究開発機構、2. 株エウサピア、3. 北大、4. 福井県立大)

◆ 招待講演

11:20 ~ 11:45

[R4-10] バイオミネラルの機能と生物の生存戦略

*佐々木 猛智¹ (1. 東大・総博)

口頭講演 | S3：マントル・地殻のレオロジーと物質移動（スペシャルセッション）

8:45 ~ 11:45 | B会場 (285号室)

S3：マントル・地殻のレオロジーと物質移動（スペシャルセッション）

座長:道林 克禎(名古屋大学)、片山 郁夫(京都大学)

◆ 招待講演

8:45 ~ 9:00

[S3-01] 天然試料から探る海洋下部地殻のレオロジー

*二村 康平¹ (1. 国立極地研究所)

9:00 ~ 9:15

[S3-02] かんらん岩の粒径を支配する界面エネルギーと二次相ピン止め：二面角からみたマントルレオロジーへの制約

*田阪 美樹¹、相田 温哉¹、佐藤 侑人² (1. 静岡大学、2. 国立研究開発法人海洋研究開発機構)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

9:15 ~ 9:30

[S3-03] 拡散クリープ下におけるオリビンCPOの再配向プロセス

*高田 翔向¹、平賀 岳彦¹ (1. 東大地震研)

9:30 ~ 9:45

[S3-04] 輝石中のスピネルラメラおよび関連する微細組織から読み解くリソスフェア―アセノスフェア境界領域の熱―変形履歴

*佐藤 侑人¹、小澤 一仁² (1. 国立研究開発法人 海洋研究開発機構、2. 東京大学 大気海洋研究所)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

9:45 ~ 10:00

[S3-05] マントル・地殻境界における蛇紋岩のリストベナイト化に対する初期交代作用の重要性

*沖野 峻也¹、岡本 敦¹、ダンダル オトゴンバヤル¹、サティシュクマール マドスーダン² (1. 東北大・院環境科学、2. 新潟大・理)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

10:00 ~ 10:15

[S3-06] マントルの炭酸塩化に伴う岩石物理特性の変遷：オマーンオフィオライトに産するリスベナイトおよび蛇紋岩からの考察

*森下 亮佑¹、片山 郁夫² (1. 広島大・院先進理工、2. 京都大・院理)

10:15 ~ 10:30

[H5DC2Lqm-7add] 休憩

◆ 招待講演

10:30 ~ 10:45

[S3-07] 変形構造の進化を介した強度の速度依存性：断層アナログ物質のオペランド剪断実験からの知見

*高橋 美紀¹、武藤 潤²、澤 燦道²、星野 真人³、上杉 健太郎³ (1. (国)産総研・GSJ、2. 東北大・院理、3. JASRI)

10:45 ~ 11:00

[S3-08] 遷移層MORBの強度とスラブのレオロジー構造

*久保 友明¹、中林 真梨萌¹、後藤 佑太¹、本田 陸人²、柴崎 裕樹³ (1. 九州大・理、2. 京都大・地熱研、3. 高エネ研)

11:00 ~ 11:15

[S3-09] 離反共析成長を伴うポストスピネル相転移による下部マントルスラブの弱化

*後藤 佑太¹、久保 友明¹、本田 陸人²、柴崎 裕樹³、肥後 祐司⁴、丹下 慶範⁵、鈴木 昭夫⁶、宮原 正明⁷ (1. 九州大・院理、2. 京都大・院理、3. KEK-PF、4. JASRI、5. 住友電工、6. 東北大・院理、7. 広島大・先進理工)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

11:15 ~ 11:30

[S3-10] マントル遷移層最下部へ沈み込んだスラブの温度圧力環境下におけるカンラン石のその場観察変形実験

*松田 光平¹、大内 智博¹、井上 紗綾子¹、肥後 祐司²、辻野 典秀²、柿澤 翔² (1. 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター、2. 高輝度光科学研究センター)

11:30 ~ 11:45

[S3-11] リングウッドイトの変形実験

チェン ジュアン¹、*山崎 大輔¹ (1. 岡山大学)

口頭講演 | R7：岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

9:30 ~ 11:45 | C 会場 (287号室)

R7：岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

座長:秋澤 紀克、越後 拓也(秋田大学大学院国際資源学研究科)

◆招待講演

9:30 ~ 10:00

[R7-01] 放射光X線CTと顕微ラマン分光分析によるマントル捕獲岩中の有機包有物の探索

*三津川 到¹、三宅 亮²、伊神 洋平²、小木曾 哲²、秋澤 紀克³、星野 真人⁴、上杉 健太郎⁴、佐久間 博⁵、明田 将治²、西尾 真輝² (1. 東京大学、2. 京都大学、3. 広島大学、4. 高輝度光科学研究センター、5. NIMS)

◆研究優秀発表賞エントリー

10:00 ~ 10:15

[R7-02] 北海道渡島大島火山に産するダナイト-ウェールライト捕獲岩の成因：島弧下最上部マントルプロセスへの示唆

*田口 創大¹、江島 輝美²、高橋 康²、昆 慶明³、荒井 章司⁴ (1. 信州大学・院理、2. 信州大学・理、3. 産総研、4. 金沢大)

◆研究優秀発表賞エントリー

10:15 ~ 10:30

[R7-03] 海洋コアコンプレックス斑れい岩に含まれるかんらん石の変形組織とシンプレクタイト包有物の観察

*小倉 正義¹、伊神 洋平¹、三宅 亮¹、野坂 俊夫² (1. 京都大、2. 岡山大)

10:30 ~ 10:45

[R7-04] かんらん岩の蛍光エックス線分析における鉄のマトリックス効果と地球化学標準物質の役割

*三國 和音^{1,2}、石川 晃² (1. 国立研究開発法人産業技術総合研究所、2. 東京科学大学)

◆研究優秀発表賞エントリー

10:45 ~ 11:00

[R7-05] 八方尾根変成かんらん岩中のNiに富むかんらん石とトレボライト：その産状と意義

*山田 成乃助¹、江島 輝美¹、荒井 章司² (1. 信州大・理、2. 金沢大)

◆研究優秀発表賞エントリー

11:00 ~ 11:15

[R7-06] 白馬岳蛇紋岩の特性：日本最高所に産するマントル起源岩

*齋藤 香鈴¹、山田 成乃助¹、江島 輝美²、荒井 章司³ (1. 信州大・院理、2. 信州大、3. 金沢大)

◆研究優秀発表賞エントリー

11:15 ~ 11:30

[R7-07] Identification of solid inclusions in tin, columbite-tantalite, REE granite-pegmatite of the Kivu Belt through Petrography, Raman Spectroscopy, and Microthermometry.

*MUSA Kam's SAIDI¹, MADHUSOODHAN Satish Kumar² (1. Graduate School of Science and Technology, Niigata Univ., 2. Faculty of Science and Technology, Niigata Univ.)

11:30 ~ 11:45

[R7-08] 丹沢トータル岩体の全岩化学組成とマグマ進化における銅の挙動

*天谷 宇志¹、金丸 龍夫²、山本 伸次³、昆 慶明¹ (1. 産業技術総合研究所、2. 日本大学、3. 横浜国立大学)

口頭講演 | R4：地球表層・環境・生命

14:15 ~ 15:30 | A会場(279号室)

R4：地球表層・環境・生命

座長:川野 潤(北海道大学)、甕 聡子

14:15 ~ 14:30

[R4-11] 硫酸還元菌を含む微生物群衆を用いた硫化鉄合成の試み

*鎌田 樹也¹、大藤 弘明²、塚本 雄也¹、砂村 倫成²、池田 昌之² (1. 東北大・院理、2. 東大・院理)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

14:30 ~ 14:45

[R4-12] 拓洋第三海山の鉄マンガングラスト中のCe濃集とバイオフィルム様物質との関連性

*久保 太一¹、川畑 博²、大藤 弘明³、臼井 朗⁴ (1. 東北大・院理、2. 高知大・理工、3. 東大・院理、4. 高知大・海洋コア研)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

14:45 ~ 15:00

[R4-13] Bushveld複合岩体の大深度掘削による20億年前に形成した超苦鉄質岩中における微生物生態系の解明

*渡部 佑久^{1,2}、城戸 太朗^{1,2}、幸塚 麻里子^{1,2}、宇留賀 朋哉^{2,3}、大浦 正樹²、河合 敬宏³、金子 拓真³、鈴木 庸平^{1,2} (1. 東大・院理、2. RSC、3. JASRI)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

15:00 ~ 15:15

[R4-14] 方解石キラル表面におけるアラニンの鏡像選択的吸着の分子動力学解析

*粟野 公耀¹、興野 純²、池田 伊吹³、癸生川 陽子³ (1. 筑波大学・院生命地球科学、2. 筑波大学・生命環境系、3. 東京科学大・院理)

15:15 ~ 15:30

[R4-15] pH/イオン濃度可視化手法で観る非化学量論的な鉱物界面反応

*川野 潤¹、長谷川 晋一²、南里 隆堯²、三木 康誠²、豊福 高志⁴、杉浦 悠紀³、永井 隆哉 (1. 北海道大学大学院理学研究院、2. 北海道大学大学院理学院、3. 産業技術総合研究所、4. 海洋研究開発機構)

口頭講演 | R6：深成岩・火山岩及びサブダクションファクトリー

14:15 ~ 15:30 | B会場 (285号室)

R6：深成岩・火山岩及びサブダクションファクトリー

座長:亀井 淳志(島根大学)、湯口 貴史(熊本大学)、谷内 元(産業技術総合研究所)

◆ 招待講演

14:15 ~ 14:45

[R6-01] 愛媛県伯方島に産する花崗岩類の熱水変質と「エビ閃長岩」の形成

*福井 堂子¹、下岡 和也²、高橋 俊郎³、小北 康弘^{4,5}、長田 充弘⁶、齊藤 哲¹ (1. 愛媛大・院理工、2. 関西学院大、3. 新潟大・理、4. 原子力機構、5. 山形大、6. 日本大)

14:45 ~ 15:00

[R6-02] ジルコン地質温度圧力含水量・酸化還元状態解析から読み解く火山弧花崗岩マグマの動的酸化還元進化

*齊藤 哲¹、居平 千穂、川島 泰地、谷脇 由華、下岡 和也²、福山 繭子³ (1. 愛媛大・院理工、2. 関西学院大・生命環境、3. 秋田大・院理工)

◆ 招待講演

15:00 ~ 15:30

[R6-03] 海洋玄武岩から探る海洋プレート進化・マントル不均質：海洋地殻からプチスポット～ホットスポットまで

*三國 和音^{1,2}、石川 晃²、平野 直人³、横山 哲也² (1. 産総研地質調査総合センター、2. 東京科学大学、3. 東北大学)

口頭講演 | R7：岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

14:15 ~ 15:30 | C 会場 (287号室)

R7：岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

座長:秋澤 紀克、越後 拓也(秋田大学大学院国際資源学研究科)

◆ 招待講演

14:15 ~ 14:45

[R7-09] 田上風化花崗岩のイオン吸着型希土類鉱化作用に伴う希土類元素の存在形態解析

*長澤 真¹、高橋 嘉夫² (1. 産総研・地調、2. 東大・院理)

14:45 ~ 15:00

[R7-10] 愛媛県四国中央市新宮のアルカリ玄武岩中のダイヤモンドを含むマントル捕獲結晶の探索と内部包有物の記載

*志村 恭治¹、大藤 弘明²、川畑 博³、平野 直人¹、水上 知行⁴ (1. 東北大・院理、2. 東京大・院理、3. 高知大・理工、4. 金沢大・院理)

15:00 ~ 15:15

[R7-11] チタノクリノヒューマイトから推定する藤原岩体の変成履歴

*松岡 颯希¹、石丸 聡子¹、荒井 章司² (1. 熊本大学、2. 金沢大学)

口頭講演 | R4：地球表層・環境・生命

■ 2026年9月26日(土) 8:45 ~ 11:45 | 会場A(279号室)

■ R4：地球表層・環境・生命

座長：横山 正(広島大学)、佐久間 博(NIMS)、奥村 大河(早稲田大学)、川野 潤(北海道大学)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

8:45 ~ 9:00

[R4-01] 粘土鉱物へのCs吸着：時間と共に脱離しにくくなるエージング機構の解明

*佐久間 博¹、田村 堅志¹、末原 茂¹、端 健二郎¹ (1. NIMS)

9:00 ~ 9:15

[R4-02] 福島県飯館村の丘陵を覆う表土中のhydroxy-intercalated vermiculite (HIV)の構造とその起源

*小暮 敏博^{1,2,5}、海老澤 駿¹、菊池 亮佑³、中尾 淳⁴、横山 信吾⁵ (1. 東京大・院理、2. 早稲田大・教育、3. 北海道大・院工、4. 京都府大・院生命環境、5. 電中研)

9:15 ~ 9:30

[R4-03] 福島第一原発から放出された"放射性セシウム原子"の可視化

*宇都宮 聡¹ (1. National Taiwan University)

9:30 ~ 9:45

[R4-04] 花崗岩の風化プロファイル中に見られる輸送特性の変化と鉱物の風化状態との関連性

*横山 正¹、吉田 淳樹²、岡村 光³、海堀 正博⁴、片山 郁夫⁵、桐野 裕介⁶ (1. 広島大・先進理工、2. 日本工営、3. 三井住友海上火災保険、4. 広島大・防災・減災研究センター、5. 京都大・地球惑星、6. 太平洋セメント)

◆ 招待講演

9:45 ~ 10:10

[R4-05] 帯水層蓄熱システムによる地下水流の副次効果による硝酸イオン還元の可能性

*愛知 正温¹ (1. 東大・新領域)

10:10 ~ 10:20

[5j1.i8G_-6add] 休憩

10:20 ~ 10:35

[R4-06] バイオミネラルにおける炭酸カルシウム結晶の生体分子による形成制御

*鈴木 道生¹、二川 慶¹、奥村 大河² (1. 東京大学、2. 早稲田大学)

10:35 ~ 10:50

[R4-07] 液体セルTEMを用いた炭酸カルシウム結晶化その場観察の試みと課題

*山崎 智也¹、川野 潤²、木村 勇氣¹ (1. 北海道大学低温科学研究所、2. 北海道大学大学院理学研究院)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

10:50 ~ 11:05

[R4-08] 底生有孔虫 *Spirillina vivipara* の個体発生に伴う殻の結晶学的特性の変遷*川島 颯大¹、川野 潤¹、長井 裕季子²、永井 隆哉¹、豊福 高志² (1. 北大・院理、2. JAMSTEC X-star)

11:05 ~ 11:20

[R4-09] 微細構造観察とpHイメージングから読み解く
磁器質石灰質有孔虫*Sorites orbiculus*のバイオミネラリゼーション

*長井 裕季子¹、椿 玲未²、川野 潤³、藤田 和彦⁴、豊福 高志¹ (1. 海洋研究開発機構、2. 株エウサピア、3. 北大、4. 福井県立大)

◆招待講演

11:20 ~ 11:45

[R4-10] バイオミネラルの機能と生物の生存戦略

*佐々木 猛智¹ (1. 東大・総博)

口頭講演 | R4：地球表層・環境・生命

2026年9月26日(土) 8:45 ~ 11:45 | A会場(279号室)

R4：地球表層・環境・生命

座長:横山 正(広島大学)、佐久間 博(NIMS)、奥村 大河(早稲田大学)、川野 潤(北海道大学)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

8:45 ~ 9:00

[R4-01] 粘土鉱物へのCs吸着：時間と共に脱離しにくくなるエージング機構の解明

*佐久間 博¹、田村 堅志¹、末原 茂¹、端 健二郎¹ (1. NIMS)

キーワード：セシウムイオン、吸着、脱離、エージング、水酸化アルミニウム層

【研究背景】2011年の福島第一原子力発電所事故により環境中に放出された放射性Csの一部は粘土鉱物に吸着したことが知られている。Csは粘土鉱物の中で特に風化黒雲母に選択的に吸着し、時間と共に脱離しにくくなるエージング効果が確認されている[1,2]。しかしながら、このエージング効果のメカニズムについては解明されていない。Csイオンに対する粘土鉱物の吸着サイトとしては(1) 水溶液と接した底面、(2) 層間、(3) 端面、(4) フレイドエッジ、(5) 層間水酸化物層近傍のくさび状空間、が考えられる。このうち(1)-(4)は可逆的な吸着サイトと考えられるため、エージング効果を説明することが難しい。本研究では(5)の吸着サイトを研究対象とし、エージング効果のメカニズムを解明することを目的とする。

【実験方法】天然の金雲母(phlogopite) (理想式： $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) の層間に人工的に水酸化アルミニウム層を導入した。結果として層間陽イオンとして Al^{3+} が占める数割合として27%, 53%, 95%の試料を準備した。これら人工改質金雲母は湿度制御XRD、Alに対する固体NMR、ICP-OESによって特徴を調べ、吸着・脱離試験によってCsイオンの吸着・脱離特性を調べた。

【シミュレーション方法】水酸化アルミニウム層を層間に含む金雲母の構造モデルを作製し、古典分子動力学(MD)計算により、水酸化アルミニウム層近傍のCsとKイオンの吸着挙動を導出した。原子間相互作用の記述にはBMH-expモデルを採用した。固体NMRの結果と比較するため、水酸化アルミニウム層に着目した密度汎関数理論(DFT)に基づく電子状態計算を実施した。

【結果と議論】XRDの解析結果から層間にくさび型空間を保持する人工変質金雲母の作製に成功したことがわかった。また固体NMRの解析から、層間に導入された水酸化Al層中のAlの周りの酸素の配位数は6であり、八面体の構造を取ることがわかった。吸着・脱離試験の結果から、層間にくさび空間の存在する金雲母が脱離しにくいことがわかった。またその金雲母では5配位のAlが存在することがわかった。水酸化アルミニウム層の部分的な存在によりくさび空間の生まれた金雲母では水酸化アルミニウム層のエッジに層間イオンが吸着するが、Alの配位数は6であった。そこで水酸化アルミニウム層の内部にCsイオンを配置したところ、一部のAlが5配位となることがわかった。この構造でDFT計算を実施すると、NMR実験で得られた5配位Alの化学シフトをうまく説明することができた。これら実験と理論計算の比較から、水酸化Al層の存在量・Alの5配位の存在がCsイオン吸着のエージング効果と関係することが考えられる[3]。

[1] Mukai *et al.*, *J. Environ. Radioact.* 2018, **190-191**, 81-88.[2] Kogure *et al.*, *In Agricultural Implications for the Fukushima Nuclear Accident (III)*, Nakanishi *et al.*, Ed., Springer: Singapore, 2019, 59-75.[3] Sakuma *et al.*, *Langmuir* 2026, **42**, 6081-6090.

口頭講演 | R4：地球表層・環境・生命

2026年9月26日(土) 8:45 ~ 11:45 | A会場(279号室)

R4：地球表層・環境・生命

座長:横山 正(広島大学)、佐久間 博(NIMS)、奥村 大河(早稲田大学)、川野 潤(北海道大学)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

9:00 ~ 9:15

[R4-02] 福島県飯舘村の丘陵を覆う表土中のhydroxy-intercalated vermiculite (HIV)の構造とその起源

*小暮 敏博^{1,2,5}、海老澤 駿¹、菊池 亮佑³、中尾 淳⁴、横山 信吾⁵ (1. 東京大・院理、2. 早稲田大・教育、3. 北海道大・院工、4. 京都府大・院生命環境、5. 電中研)

キーワード：土壌鉱物、HIV、イライト、風化、混合層鉱物

[緒言] 福島県の阿武隈山地に位置する飯舘村の一画には、15年前の福島原発事故によって高濃度の放射性セシウムが沈着した。土壌中の放射性セシウムの存在形態や今後の動態を明らかにするためには、それを吸着・固定している土壌中の粘土鉱物や低結晶性物質の構造や諸性質を詳細に調べる必要がある。これまで我々は花崗岩類が風化した真砂土中の風化黒雲母(黒雲母-バーミキュライト混合層鉱物)[1]が選択的にセシウムを固定することを報告してきた[2,3]。しかし、例えば風化黒雲母が存在しない土壌中で放射性セシウムを吸着する物質については、未だはっきりした知見はない。今回は飯舘村内の丘陵を覆う表土中の粘土鉱物、特にpXRDで1.4 nmの回折ピークを示す鉱物の同定とその起源を考察した。

[試料及び実験手法] 飯舘村内の広葉樹に覆われ、斜面の一部が花崗岩の石切場となった丘陵の頂上付近を覆う厚さ1 m程度の褐色の表土からライナー採土器によって土壌コアを採取した。また、この表土の下は灰色の真砂土となっていた。土壌コアは5 cm間隔で20の層準に分け、60°Cの恒温槽で乾燥後、篩振とう機を用いて32 µm以下の画分を採取し、以後の分析試料とした。分析はまずXRF、pXRDと*in-situ*高温XRDの測定を行った。次にいくつかの層準の土壌をエポキシ樹脂とともにスライドガラスで挟んでその断面をイオン研磨し、SEM-EDSによる観察・分析を実施した。最後にSEM-EDSで特定された粘土鉱物粒子から集束イオンビーム(FIB)によって薄膜試料を作製し、TEM/STEM-EDSによる観察・分析を行った。

[結果及び考察] XRDパターンには、碎屑鉱物として石英と曹長石、粘土鉱物として基底反射が約1.0 nmの雲母族、約0.7 nmのカオリン族、約0.48 nmのギブサイトの各ピークとともに約1.4 nmの比較的強いピークが確認された。また高角の060反射を見る限り、雲母と1.4 nmの鉱物相はほぼ2八面体型の2:1層状ケイ酸塩と考えられた。この1.4 nmのピークの加熱による変化は明らかにスメクタイト、緑泥石、あるいは黒雲母の風化で形成されたバーミキュライトとは異なっており、土壌鉱物としてよく報告されているhydroxy-intercalated vermiculite (HIV)の特徴を示していた[4]。HIVは2八面体型2:1層状ケイ酸塩の層間にギブサイトシートが部分的に形成された構造を有すると考えられている。次にこのHIVの1.4 nmピークが強い層準の土壌の研磨面から、SEM-EDSによりHIVの特定を試みた。土壌中には非常に細粒なカオリナイトとギブサイトが主体と考えられるマトリックス中に等方的な形態の石英や長石と共に板状の粒子が多く確認された。EDS分析によりこの板状粒子にはイライト、少量の緑泥石と共にカリウム(K)をほとんど含まずAlとSiを主成分とする粒子が存在し、これがHIVと考えられた。この粒子からFIBにより薄膜試料を作製してTEM内で観察したところ、電子回折パターンの底面反射が明らかに混合層構造の特徴を示し、またHRTEM像には水酸化物シートと考えられるコントラストが部分的に形成されており、これまで提案されてきたHIVの構造を直接確認することができた。またこの土壌中の細粒な石英粒子中の酸素同位体比は、これらが風成塵由来であることを示した[5]。一方、Watanabe et al. [6]による九州地方で採取された黄砂の鉱物分析ではイライトが卓越していたが、そのXRDには今回の土壌のように強い1.4 nmのピークは見られない。またSEM-EDSによる分析では土壌中のイライトは粒子間でK濃度のバラツキが大きかった。これらの結果よりHIVは風成塵として飛来したイライトを起源とし、土壌中での風化を受けて形成したものと推察される[7]。

[1] Kikuchi et al. (2015) J. Mineral. Petrol. Sci., 110, 126-134. [2] Mukai et al. (2014) Env. Sci. Technol., 48, 13053-13059. [3] Mukai et al. (2016) Sci. Rep., 6, 21543. [4] Harris et al. (1992) Clays

Clay Miner., 40, 335-340. [5] 井上靖之ら (2025) 第68回粘土科学討論会講演要旨集 P26. [6] Watanabe et al. (2011) Clay Sci., 15, 43-51. [7] Yin & Cheng (2014) Soil Res., 52, 554-561.

口頭講演 | R4：地球表層・環境・生命

2026年9月26日(土) 8:45 ~ 11:45 | A会場(279号室)

R4：地球表層・環境・生命

座長:横山 正(広島大学)、佐久間 博(NIMS)、奥村 大河(早稲田大学)、川野 潤(北海道大学)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

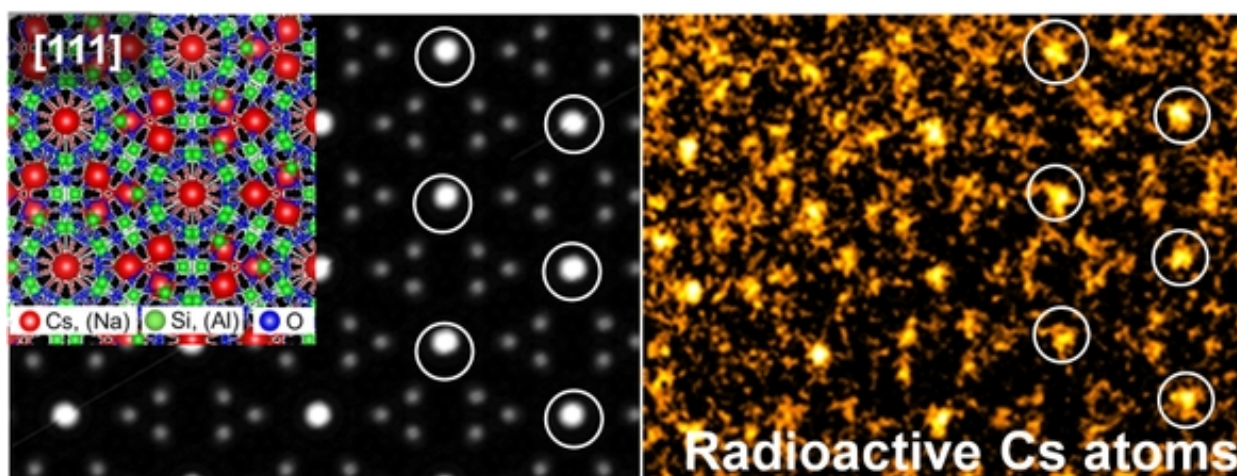
9:15 ~ 9:30

[R4-03] 福島第一原発から放出された"放射性セシウム原子"の可視化

*宇都宮 聡¹ (1. National Taiwan University)

キーワード：高濃度放射性セシウム含有微粒子、放射性セシウム原子、ポルサイト

本研究では、環境試料から単離した高濃度放射性Cs含有微粒子(CsMP)に対して、 γ スペクトロメトリー、SEM、TEMを用いた系統的な分析に加えてHAADF-STEMとマルチスライス法像シミュレーションを行い、世界初の放射性Cs原子の可視化に成功した。



口頭講演 | R4：地球表層・環境・生命

2026年9月26日(土) 8:45 ~ 11:45 | A会場(279号室)

R4：地球表層・環境・生命

座長:横山 正(広島大学)、佐久間 博(NIMS)、奥村 大河(早稲田大学)、川野 潤(北海道大学)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

9:30 ~ 9:45

[R4-04] 花崗岩の風化プロファイル中に見られる輸送特性の変化と鉱物の風化状態との関連性

*横山 正¹、吉田 淳樹²、岡村 光³、海堀 正博⁴、片山 郁夫⁵、桐野 裕介⁶ (1. 広島大・先進理工、2. 日本工営、3. 三井住友海上火災保険、4. 広島大・防災・減災研究センター、5. 京都大・地球惑星、6. 太平洋セメント)

キーワード：花崗岩、風化、溶解、移流、拡散

岩石の風化は、鉱物と間隙水との反応や、クラックの生成などを通じて進行する。溶出した元素は、間隙水の流れ（移流）や溶存元素の拡散により移動する。花崗岩は、未風化の状態では間隙率が非常に小さく透水性が低いですが、風化が進行すると間隙率が増大し透水性が大幅に上昇することが知られている。したがって、未風化の状態では間隙中の物質輸送は主に拡散により進むが、風化が進むと移流の重要性が高くなると予想される。本研究では、花崗岩の風化の進行に伴って輸送の様相がどのように変化するか、また、その変化は各種鉱物の風化の進み方によどのような影響を及ぼすかを調べることを目的として、顕著な風化プロファイルが観察される広島花崗岩のボーリングコアを対象として、各風化段階における物性値を評価した。

広島大学キャンパス内のががら山において地表から深さ20 mまで掘削されたボーリングコアについて、風化度を5段階に区分し（UW, W-1, W-2, W-3, W-4；硬度に基づいた独自の区分）、各段階で間隙率、透水係数、拡散係数を測定した。未風化状態のUWから最も風化が進んだ状態のW-4に至る過程で、間隙率は約1%から約40%に増大、透水係数は約8桁の増大、拡散係数は約3倍に増大していた。また、花崗岩には1 mにつき3-4本程度の割れ目が見られ、特に風化初期の段階では、割れ目を流れる水の一部が岩石マトリクス内部に流入して風化が進んでいる状態と考えられる。

物質移動における移流と拡散の相対的重要性の指標として、Péclet number (Pe)が知られている。Pe < 1の場合は拡散が支配的、Pe > 1の場合は移流が支配的となる。幅30 cmの岩石に対してPeを計算した結果、UW～W-1は概ねPe < 1であったが、W-2～W-4はPe > 1となった。Peとは別に、反応と輸送の相対的な大小関係を示す指標としてDamköhler number (Da)が知られている。鉱物から元素が溶出すると溶存元素濃度が上がり、その影響で溶解速度が下がる。元素が十分速く輸送されると濃度上昇が小さく、反応が遅延することなく進む”反応律速”となる。一方、輸送が遅いと高い濃度に至る領域が増え、反応の進行速度が輸送速度で決まる”輸送律速”となる。Da << 1の場合は反応律速、Da >> 1の場合は輸送律速である。斜長石（アルバイト）の溶解速度を用いて、幅30 cmの岩石に対してDaを計算した結果、UW～W-2はDa > 1、W-3～W-4は概ねDa ≤ 1となることがわかった。

各風化段階でのバルク化学組成を測定し、各種元素の流出入量を見積もった。主に黒雲母に含まれるMgの濃度から、黒雲母の変質は風化初期のW-1の段階から始まっていることがわかった。また、主に斜長石に含まれるCaとNaの濃度から、斜長石のCaに富む成分の方がNaに富む成分よりも早い段階から溶出が進行していることがわかった。これらの結果を基に、PeやDa、鉱物の風化状態との関連性を考察する。

口頭講演 | R4：地球表層・環境・生命

2026年9月26日(土) 8:45 ~ 11:45 | A会場(279号室)

R4：地球表層・環境・生命

座長:横山 正(広島大学)、佐久間 博(NIMS)、奥村 大河(早稲田大学)、川野 潤(北海道大学)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ 招待講演

9:45 ~ 10:10

[R4-05] 帯水層蓄熱システムによる地下水流の副次効果による硝酸イオン還元の可能性

*愛知 正温¹ (1. 東大・新領域)

キーワード：石英砂、硝酸イオン、脱窒、接触帯電、帯水層蓄熱

地下水の硝酸性窒素汚染は、過剰施肥や畜産排泄物、生活排水の漏出などによって生じていると考えられており、全国的に水質基準超過率が高い汚染項目である。硝酸性窒素汚染の除去には微生物を活用した方法が有力であるが、微生物を定着させて地下水を透過させる土中壁の設置や、微生物への基質補給などが必要となる場合もあり、コスト面などで課題も多い。最近、水流とシリカパウダー表面の電気的相互作用で生じたラジカルにより、水中の硝酸イオンが N_2 まで還元されることが室内実験で示された (Huang et al., 2026)。これが正しければ、堆積層中には SiO_2 は抱負に存在していることから、地下水の流れさえあれば脱窒が進むことが期待される。しかし、反応速度は水流速度に依存し、工学的に意味のあるオーダーで反応を進めるには、自然の地下水の流速では不十分であり、揚水井あるいは圧入井近傍の速い流れ場が必要と考えられる。揚水井と圧入井による循環ループを構築すれば速い流れ場を作ることが可能だとしても、やはりコスト面での課題は避けられない。一方で、近年、地球温暖化対策のための省エネルギー技術の1つとして、帯水層蓄熱が着目されている。これは、ヒートポンプの熱交換先を大気から揚水した地下水に変更することで冷暖房の効率を高めるとともに、夏期には冷房で室内の熱を地下水に移動させて地下に圧入して温水塊として貯蔵し、冬季にその温水塊を揚水して熱交換して室内暖房に使用したのち、冷水塊を地下に圧入して貯蔵するといった季節的な反転運転により、高効率な冷暖房を実現するものである。これまで欧米諸国では実例があるものの、我が国では地盤沈下公害の歴史から地下水揚水規制が各地にあり、地下水を揚水するという部分がネックとなり、適用事例が少なかった。しかし、大阪での実証試験を経て、地盤沈下リスクがある堆積平野においても全量還元（揚水／圧入量が均衡）などの一定の基準を満たす運転を行えば、リスクが低いことが分かってきた。これを受けて、ビル用水法の施行規則改正が検討されており、予定通りならば2027年に規制緩和が施行される見込みであり、今後は三大都市圏での帯水層蓄熱事業の展開が期待されるようになってきている。この帯水層蓄熱事業では、揚水と圧入の繰り返しを長期間実施することから、自動的に速い地下水流の場を作り出すことになる。従って、その副次的効果として硝酸性窒素汚染を浄化することができる可能性がある。この副次的な硝酸性窒素汚染浄化機能を評価しておくことは、今後の帯水層蓄熱の導入増加が環境に与える影響を予測するにあたっても重要なことであると考えられる。本研究では、井戸水理の厳密解を用いて典型的な帯水層蓄熱事業における揚水量・圧入量で生じる流速分布を求めたところ、帯水層の透水係数などの物性に依存はするものの、硝酸性窒素汚染浄化に対して工学的に意味のある反応速度が得られる可能性は十分にあることが分かった。ただし、今回は、純粋なシリカパウダーでの室内実験で得られた反応速度予測式をそのまま当てはめていることや、温度依存性が未解明であることから、予察的な検討にとどまっている。今後は、複数鉱物の共存状態での反応に関する知見や、温度依存性などの知見を加えて詳細な検討を行っていく必要がある。また、生じた N_2 分子の移動や、それが帯水層中の地下水流動や帯水層蓄熱事業に与える影響も評価していく必要があると考えられる。

口頭講演 | R4：地球表層・環境・生命

2026年9月26日(土) 8:45 ~ 11:45 | A会場(279号室)

R4：地球表層・環境・生命

座長:横山 正(広島大学)、佐久間 博(NIMS)、奥村 大河(早稲田大学)、川野 潤(北海道大学)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

10:20 ~ 10:35

[R4-06] バイオミネラルにおける炭酸カルシウム結晶の生体分子による形成制御

*鈴木 道生¹、二川 慶¹、奥村 大河² (1. 東京大学、2. 早稲田大学)

キーワード：バイオミネラリゼーション、炭酸塩生物学、炭酸カルシウム

生体鉱物は、鉱物と有機分子が界面で相互作用することにより、通常は無機合成では得られない階層構造、結晶配向、欠陥構造、力学特性を実現している。炭酸カルシウムは代表的な生体鉱物であり、貝殻、サンゴ骨格、有孔虫殻などに広く見られる。その中でもアラゴナイトは、真珠層、交差板構造、蝶番部の靱帯、柱状構造など、多様な貝殻組織を構成する重要な多形である。アラゴナイト結晶では{110}面が発達しやすく、また{110}面は結晶の伸長、ナノファイバー形成、双晶形成と密接に関係する。しかし、生体分子がアラゴナイト{110}面をどのように認識し、その相互作用が結晶成長や結晶欠陥の形成にどのように反映されるのかは、分子レベルでは十分に理解されていなかった。本発表では、アラゴナイト{110}面に関連する二つの分子、すなわちアコヤガイ (*Pinctada fucata*) 蝶番靱帯に含まれる10残基の酸性ペプチドLICPと、カサガイ (*Cellana rota*) 殻に含まれるグルタミンに富むタンパク質twip1の研究を中心に紹介し、タンパク質-鉱物界面における結晶面認識の意義を考察する。LICPは、アコヤガイ蝶番靱帯中のアラゴナイトナノファイバー形成に関与する短鎖ペプチドである。これまで、LICPがアラゴナイト結晶のc軸方向への伸長を促進することは示されていたが、わずか10残基のペプチドがどのような構造をとり、どの結晶面を認識して結晶成長を制御するのかは不明であった。本研究では、分散性炭酸カルシウム粒子を含む系にも適用可能な溶液NMR解析を用い、LICPの構造変化と鉱物表面認識を解析した。その結果、LICPは溶液中では柔軟性を有する一方、アラゴナイト表面に接触すると平面的かつ伸長した構造をとることが示された。この構造では、酸性アミノ酸由来のカルボキシル基とチロシンを含む芳香族側鎖が同一平面上に配置され、アラゴナイト{110}面上のCa配列や表面構造と整合的に相互作用すると考えられた。さらにSTD-NMR、濃度依存的構造解析、分子動力学計算、*in vitro*結晶化実験を組み合わせることにより、LICPは遊離Ca²⁺との単純な錯形成ではなく、固相表面との接触を契機として構造を変化させ、{110}面への選択的結合を介してc軸方向の結晶伸長、すなわちアラゴナイトナノファイバー形成を促進することが明らかになった。twip1は、カサガイ殻から同定されたアラゴナイト結合タンパク質であり、アラゴナイト{110}双晶の形成制御に関与する。殻の層特異的プロテオーム解析およびアラゴナイト結合試験により、twip1はグルタミンに富む特徴的な配列を有し、アラゴナイトに強く結合する分子として見いだされた。組換えtwip1を用いた*in vitro*炭酸カルシウム結晶化実験では、X線回折および電子顕微鏡観察により、twip1の添加量に依存してアラゴナイト{110}双晶密度が増加することが確認された。すなわち、twip1は単にアラゴナイトの析出を促進または阻害するだけではなく、結晶内部の欠陥構造である双晶境界の形成頻度を制御する分子であることが示された。さらに、生体内でtwip1の発現を低下させるノックダウン実験では、新生殻の形態異常とともに{110}双晶境界の減少が観察された。この結果は、twip1が*in vitro*のみならず*in vivo*においてもアラゴナイト双晶形成に機能することを示しており、生物が結晶欠陥を受動的に許容しているのではなく、タンパク質を用いて能動的に制御している可能性を示す。以上の二つの研究は、短いペプチドであるLICPと、比較的大きなタンパク質であるtwip1という異なる分子が、いずれもアラゴナイト{110}面を標的としながら、異なる階層の構造形成を制御することを示している。LICPは{110}面への結合を通じて結晶成長方向を制御し、アラゴナイトナノファイバー形成に寄与する。一方、twip1は{110}双晶境界の形成頻度を制御し、殻組織の結晶学的秩序や力学特性に影響を与えられられる。すなわち、生体鉱物形成における有機分子の役割は、単なる結晶成長の阻害・促進にとどまらず、特定結晶面の分子認識を通じて、結晶形態、成長方向、双晶、欠陥密度といった鉱物科学的パラメータを精密に制御する点にある。本研究は、バイオミネラリゼーションにおけるタンパク質-鉱物

界面の分子原理を明らかにするとともに、結晶面および結晶欠陥を設計対象とする次世代バイオンスパイアード材料開発への展開を示すものである。

口頭講演 | R4：地球表層・環境・生命

2026年9月26日(土) 8:45 ~ 11:45 | A会場(279号室)

R4：地球表層・環境・生命

座長:横山 正(広島大学)、佐久間 博(NIMS)、奥村 大河(早稲田大学)、川野 潤(北海道大学)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

10:35 ~ 10:50

[R4-07] 液体セルTEMを用いた炭酸カルシウム結晶化その場観察の試みと課題*山崎 智也¹、川野 潤²、木村 勇気¹ (1. 北海道大学低温科学研究所、2. 北海道大学大学院理学研究院)

キーワード：透過電子顕微鏡法、液体セル、その場観察、結晶化、炭酸カルシウム

液体セル透過電子顕微鏡法（Liquid-Cell TEM）は、電子ビームが透過可能な薄膜間に液体試料を封入し、その状態でTEM観察を行う方法である。溶液中での現象をナノスケールでその場観察できることから、この方法は、溶液中での結晶化過程を明らかにすることが期待されている。液体セルは、2枚の窒化ケイ素薄膜の間に液体を挟み込んで手作業によって作製する方式が広く用いられている。しかしこの方式は、比較的幅の広い観察窓が必要であることから、封入した液体とTEM内の真空との圧力差によって薄膜がたわみ、液体層の厚さが数 μm に達することがある。その結果、高分解能観察や電子回折図形の取得が困難となる。このため、電子ビームによって液体中に気泡を生成させ、液体の厚さを局所的に薄くして観察を行う手法が一般的である。しかし、気泡を生成させるには電子ビームの強度を強くしなければならず、観察試料への影響が懸念される。また、条件によっては気泡を生成させることが困難な場合もある。気泡を生成させずに薄い液体層を維持するため、観察窓の幅を小さくしたナノチャンネル型液体セルが注目されている[1]。ナノチャンネル型液体セルでは、幅約2 μm 、厚さ1 μm 未満のナノチャンネル内に液体を導入することで、薄い液体層を維持した観察が可能となる。また、観察領域内で2種類の溶液を混合し、その場で反応を開始させることも可能である。本研究では、ナノチャンネル型液体セルを用いて炭酸カルシウムの結晶化その場観察を試みた。その結果、ナノチャンネル内で炭酸カルシウム結晶を生成させることに成功した。また、異なるナノチャンネル型液体セルを用いた実験では、形成される溶液条件の違いを反映して生成する結晶相が異なることや、電子ビーム照射下でアモルファス相が溶解する挙動などの現象が観察された。一方で、期待した結晶化過程の直接観察には至っておらず、電子ビーム照射や液体セル構造が結晶化挙動へ及ぼす影響について検討を進めている。本発表では、これらの観察結果を報告するとともに、液体セルTEMを用いた炭酸カルシウム結晶化その場観察の現状と課題について議論する。

[1] E. Jensen et al., Microsc. Microanal. 20, 445-451 (2014).

口頭講演 | R4：地球表層・環境・生命

2026年9月26日(土) 8:45 ~ 11:45 | A会場(279号室)

R4：地球表層・環境・生命

座長:横山 正(広島大学)、佐久間 博(NIMS)、奥村 大河(早稲田大学)、川野 潤(北海道大学)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆研究優秀発表賞エントリー

10:50 ~ 11:05

[R4-08] 底生有孔虫 *Spirillina vivipara* の個体発生に伴う殻の結晶学的特性の変遷*川島 颯大¹、川野 潤¹、長井 裕季子²、永井 隆哉¹、豊福 高志² (1. 北大・院理、2. JAMSTEC X-star)

キーワード：有孔虫、炭酸カルシウム、結晶方位、EBSD、バイオミネラリゼーション

海産原生生物である有孔虫は、化石化した殻が古環境指標として有用であるため、広く研究されている。これまで数多くの種が確認されており、それらのうち石灰質有孔虫は炭酸カルシウムからなる殻を作り、種ごとに非常に多様な形態を持つ。これらの殻は内部の細胞を保護する役割を有しており、TEMやSEMにより、殻を構成する結晶の結晶学的優先配向や、殻壁の層構造における分類群ごとの差異が観察されている^{[1][2]}。一方で、先行研究の多くはすでに完成した殻を対象に解析を行っており、そのような手法では殻形成が開始される個体発生初期段階を直接捉えることができないという課題がある。特に、個体の成長に伴った殻の結晶方位や化学組成の変遷や、有性生殖か無性生殖かといった、有孔虫の生活環の違いが子個体の殻構造・形成過程に及ぼす影響という観点に着目することは、有孔虫におけるバイオミネラリゼーションの根本的原理の理解を深める上で重要であると考えられる。

本研究では底生有孔虫 *Spirillina* 目 *Spirillina vivipara* の幼体および成体を用いた。本種は有孔虫の中でも初期分岐系統に属すると考えられる種である。本種は有性生殖の際、多くの有孔虫のように海中に配偶子を放出せず、2~3の配偶体が融合して接合子を作ることによって繁殖する (Gamontogamy) ^{[3][4]}。Gamontogamyによる有性生殖および細胞分裂による無性生殖では、親個体の殻内部ですでに殻が一部形成された状態で幼体が放散される。また本種は、一世代ごとに有性・無性生殖世代の交代が起こるという特徴を持つ。そのため、放散直後の幼体と成体を比較解析することで、有性世代と無性世代間、幼体と成体間での殻の結晶学的特性の違いを同時に検討することができる。私たちのグループでは、通常鏡面研磨を施した試料に対して適用されるEBSD法を、未加工の有孔虫試料の外殻表面に応用することで、結晶方位分布を外殻表面の広範囲にわたって観察してきた。本研究ではその手法を用いて、個体発生過程における殻の結晶学的特性がどのように変遷していくか、異なる世代間で、結晶学的特性の違いはあるのかを明らかにすることを目的として、FE-SEMでの形態観察・EBSD法での結晶方位解析・EDSでの元素マッピングを行った。

本種は初室（最初に形成されるチャンバー）を起点に、管状チャンバーが螺旋状に巻いた殻形態を持つ。本研究での観察により、生殖の際、親個体内部では、子個体の初室と後続の管状チャンバーの一部が形成されていることがわかった。有性世代個体の初室表面はナノメータースケールのロッド状結晶で覆われており、ランダムな結晶方位を示した。一方、無性世代個体ではロッド状結晶は見えず、一定の結晶方位を示した。加えて有性世代個体の初室では、無性世代個体に比べ高いMg含有量が認められた。初室に後続して、親個体内で形成された幼体殻におけるカルサイトのc軸は、螺旋状の殻形態とは無関係に一定の結晶方位を維持していた。一方、放散後に成長し形成された殻の外周部、つまり成体殻では、カルサイトのc軸方位が殻の螺旋に伴って回転する傾向を示した。また、幼体殻では成体殻に比べて低いMg含有量を示した。

本研究により、有性世代・無性世代間で初室の表面構造、結晶方位、Mg含有量に差異が生じていることが明らかになり、世代ごとに異なるバイオミネラリゼーションプロセスが進行している可能性が示唆された。また、親個体内で形成される幼体殻では単結晶様の結晶方位と低Mg含有量を示したが、放散後に形成される成体殻では螺旋に伴って結晶方位が回転し、Mg含有量が増加するという、個体発生過程における結晶学的特性の変遷が明らかになった。これらの結果は、親個体内からの放散を基点として、石灰化環境およびメカニズムが変化している可能性を示唆する。本知見は、有孔虫の個体発生とバイオミネラリゼーションとの相互関係を解明す

る上で、重要な情報を提供すると期待される。

- [1] Nakajima *et al.* (2016), *Crytengcomm* **18**(37), p7135-7139 doi: 10.1039/c6ce01611a
- [2] Vaquer *et al.* (2025), *Crystal Growth & Design* **25**(10), p3274-3297 doi: 10.1021/acs.cgd.4c01531
- [3] Lee and Anderson (1991), “Biology of the foraminifera”
- [4] Nagai *et al.* (2024), *Biogeosciences* **21**(7), p1675-1684, doi: 10.5194/bg-21-1675-2024

口頭講演 | R4：地球表層・環境・生命

2026年9月26日(土) 8:45 ~ 11:45 | A会場(279号室)

R4：地球表層・環境・生命

座長:横山 正(広島大学)、佐久間 博(NIMS)、奥村 大河(早稲田大学)、川野 潤(北海道大学)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

11:05 ~ 11:20

[R4-09] 微細構造観察とpHイメージングから読み解く

磁器質石灰質有孔虫 *Sorites orbiculus* のバイオミネラリゼーション*長井 裕季子¹、椿 玲未²、川野 潤³、藤田 和彦⁴、豊福 高志¹ (1. 海洋研究開発機構、2. 株エウサピア、3. 北大、4. 福井県立大)

キーワード：バイオミネラリゼーション、カルサイト

生物が鉱物を生成する過程をバイオミネラリゼーションと呼ぶ。バイオミネラリゼーションは多岐に渡る分類群で様々な用途に応じた物質や形態を沈着させることが知られている。いずれのプロセスも生物活動に支配されており、比較的穏やかで素早く形成が進むために、そのメカニズムはバイオメテックス分野などから注目されている。中でも石灰質有孔虫は海洋に生息する単細胞生物で、突出した細胞である仮足と呼ばれる構造を使って炭酸カルシウムを主成分とする殻を作る。しかし、石灰化に伴う元素取り込みの生物学的な素過程に関する知見はカルシウムや炭酸イオンですらも依然として解明できていないのが現状である。石灰質有孔虫には主に2つのタイプがあり、殻における結晶の配向の違いからガラス質有孔虫と磁器質有孔虫に大別される。今回対象とした磁器質殻をもつ有孔虫の最も広く受け入れられている殻形成過程は、1986年のHemlebenらの研究で細胞内小胞内に針状の炭酸カルシウム結晶が形成されることが示された。Hemlebenらはこの観察結果に基づき、エクソサイトーシスによって細胞外に運び出された針状結晶が蓄積してからに殻になると推測したが、殻として構造が形成される場面についての観察はない。一方、Dubickaらの研究では殻形成部位に石灰化母液様の液体が含まれる小胞が運ばれ、その場で石灰化が起こっているという仮説を提唱し、磁器質有孔虫の殻形成の詳細な過程についてはまだ一致した見解が得られていない。そこで本研究では磁器質石灰質殻有孔虫における殻形成の詳細な過程を明らかにするために、*Sorites orbiculus*の殻形成過程における石灰化部位の超微細構造を観察するとともに、pHイメージングを行い、殻形成場のpH環境の記録を行った。

細胞内pHの観察の結果、*S. orbiculus*において殻形成部位(chamber 0)においてpHの上昇が見られた。さらに、pHの上昇は最後から2番目の殻室(chamber -1)および最後から3番目の殻室(chamber -2)においても観察された。現在形成中のチャンバー以外でもpHが高い傾向は、ガラス質有孔虫の観察結果とは異なっており興味深い。また、殻形成途上のいくつかの段階で固定し、集束イオンビーム走査型電子顕微鏡(FIB-SEM)を用いて、殻壁の横断面を観察した。FIB-SEM像から、石灰化部位には多孔質な綿菓子様の構造が形成されていることがわかった。またその構造は太さ20-30nmの繊維状で分岐を呈していた。一方、最後から2番目のチャンバー(chamber -1)の殻構造は新しく石灰化したチャンバー(chamber 0)よりも結晶の密度が高まっていた。また、細胞内小胞にはHemleben et al. (1986)が報告したような結晶様の形態は今のところ観察されていない。殻形成部位にある分岐した繊維状構造を透過型電子顕微鏡を使って観察したところ繊維状構造内部に7-8nmの結晶様の構造が確認され、回析ターンからカルサイトであると同定した。

これらの結果は、*Sorites orbiculus*の石灰化は、1986年に提唱された細胞内小胞が針状結晶を形成して殻壁を構築するという様式とは異なり、殻形成部位において仮足によく似た特徴を持つ繊維状構造内部で炭酸カルシウムの沈着が起こり、殻を形成していること示唆している。

口頭講演 | R4：地球表層・環境・生命

2026年9月26日(土) 8:45 ~ 11:45 | A会場(279号室)

R4：地球表層・環境・生命

座長:横山 正(広島大学)、佐久間 博(NIMS)、奥村 大河(早稲田大学)、川野 潤(北海道大学)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ 招待講演

11:20 ~ 11:45

[R4-10] バイオミネラルの機能と生物の生存戦略

*佐々木 猛智¹ (1. 東大・総博)

キーワード：バイオミネラル

多くの生物は体の一部に結晶化した硬組織を形成し、これらはバイオミネラル（生体鉱物）と総称される。その化学組成は、炭酸カルシウム（貝殻、サンゴ骨格、ウニやフジツボの殻、有孔虫等）やリン酸カルシウム（脊椎動物の骨・歯、シャミセンガイ類の殻）が主流であるが、シリカ（珪藻、放散虫等）や磁鉄鉱（ヒザラガイ類の歯舌）など、そのバリエーションは多岐にわたる。バイオミネラルの主な機能は、生体の保護と支持である。特に軟体動物のように軟体部を硬組織で覆う分類群では、殻の存在が生残に決定的な役割を果たす。一方で、外骨格を破壊して捕食する側もバイオミネラルを利用しており、魚類の歯や十脚目（カニ類等）の鋏はその典型例である。被食者が対捕食者戦略として殻の肥厚や棘形成などの防御機構を発達させるのに対し、捕食者は捕食器官の強度を高めようとする。この相互作用は「軍拡競争」や「エスカレーション」と呼ばれる共進化関係を生み出し、特に中生代海洋変革（Mesozoic Marine Revolution）以降の海洋生態系における生物進化に多大な影響を与えてきた。また、肉食動物に限らず、藻食性軟体動物の歯舌やウニの咀嚼器（アリストテレスの提灯）など、多くの摂餌器官にもバイオミネラルが利用されている。さらに、脊椎動物の耳石や頭足類の平衡石は重力や加速度を感知する感覚器官として機能し、脊椎動物の骨や甲殻類の胃石は元素の貯蔵庫として働く。また、頭足類（アンモナイトやオウムガイ）の殻のように、防御に加えて浮力調節機能を兼ね備える例もある。無機的に生成される鉱物と比較して、バイオミネラルには以下の4つの特徴がある。(1) 形成環境：常温常圧下の生体内環境で形成される。(2) 形態制御：遺伝的に制御された種特異的な形に成長する。(3) 有機・無機複合体：結晶内および結晶間に有機基質を包含する。(4) 機械的特性：無機結晶に比べ、割れにくく靱性が高い。特に(4)の性質は生物の生存戦略に直結する重要な形質であり、これには(3)の有機基質の存在が深く関与している。動物界において種多様性が最も高いのは節足動物であるが、硬組織の微細構造の複雑さにおいては軟体動物が群を抜いている。多くの貝殻は複数の殻層からなる複合構造を示し、各層は40種類以上に分類される微細構造の組み合わせから構築されている。さらに、殻基質タンパク質（shell matrix proteins: SMPs）の組成も種間で著しく多様化していることから、結晶形態と有機基質の双方が多様化したことが、軟体動物が適応放散を成し遂げた要因と考えられる。現在支持されているモデルでは、バイオミネラリゼーション（生体鉱物形成）は、石灰化のために区画化された閉鎖空間へカルシウム等のイオンが能動輸送され、有機マトリックスをテンプレートとして結晶成長が進行するとされる。軟体動物の貝殻には最大5 wt%程度の有機物が含まれており、プロテオーム解析からは、単一の貝殻から100種類以上のタンパク質が同定されている。したがって、石灰化プロセスは極めて複雑な分子ネットワークに制御されていると予想されるが、その分子メカニズムの詳細はいまだ解明されていない。貝殻形成プロセスでは、遺伝子 → タンパク質 → 有機基質 → 結晶 → 殻層構造 → 個体レベルの形態、というマルチスケールな階層制御が行われている。今後は鉱物学的・結晶学的なアプローチと、ゲノミクスやプロテオミクスなどの分子生物学的アプローチを融合させた学際的研究が重要になると考えられる。

口頭講演 | S3：マントル・地殻のレオロジーと物質移動（スペシャルセッション）

■ 2026年9月26日(土) 8:45 ~ 11:45 | ■ B会場 (285号室)

S3：マントル・地殻のレオロジーと物質移動（スペシャルセッション）

座長:道林 克禎(名古屋大学)、片山 郁夫(京都大学)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ 招待講演

8:45 ~ 9:00

[S3-01] 天然試料から探る海洋下部地殻のレオロジー

*二村 康平¹ (1. 国立極地研究所)

9:00 ~ 9:15

[S3-02] かんらん岩の粒径を支配する界面エネルギーと二次相ピン止め：二面角からみたマントルレオロジーへの制約

*田阪 美樹¹、相田 温哉¹、佐藤 侑人² (1. 静岡大学、2. 国立研究開発法人海洋研究開発機構)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

9:15 ~ 9:30

[S3-03] 拡散クリープ下におけるオリビンCPOの再配向プロセス

*高田 翔向¹、平賀 岳彦¹ (1. 東大地震研)

9:30 ~ 9:45

[S3-04] 輝石中のスピネルラメラおよび関連する微細組織から読み解くリソスフェア－アセノスフェア境界領域の熱－変形履歴

*佐藤 侑人¹、小澤 一仁² (1. 国立研究開発法人 海洋研究開発機構、2. 東京大学 大気海洋研究所)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

9:45 ~ 10:00

[S3-05] マントル・地殻境界における蛇紋岩のリストベナイト化に対する初期交代作用の重要性

*沖野 峻也¹、岡本 敦¹、ダンダル オトゴンバヤル¹、サティシュクマール マドスーダン² (1. 東北大・院環境科学、2. 新潟大・理)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

10:00 ~ 10:15

[S3-06] マントルの炭酸塩化に伴う岩石物理特性の変遷：オマーンオフィオライトに産するリストベナイトおよび蛇紋岩からの考察

*森下 亮佑¹、片山 郁夫² (1. 広島大・院先進理工、2. 京都大・院理)

10:15 ~ 10:30

[H5DC2Lqm-7add] 休憩

◆ 招待講演

10:30 ~ 10:45

[S3-07] 変形構造の進化を介した強度の速度依存性：断層アナログ物質のオペランド剪断実験からの知見

*高橋 美紀¹、武藤 潤²、澤 燦道²、星野 真人³、上杉 健太郎³ (1. (国)産総研・GSJ、2. 東北大・院理、3. JASRI)

10:45 ~ 11:00

[S3-08] 遷移層MORBの強度とスラブのレオロジー構造

*久保 友明¹、中林 真梨萌¹、後藤 佑太¹、本田 陸人²、柴崎 裕樹³ (1. 九州大・理、2. 京都大・地熱研、3. 高エネ研)

11:00 ~ 11:15

[S3-09] 離反共析成長を伴うポストスピネル相転移による下部マントルスラブの弱化

*後藤 佑太¹、久保 友明¹、本田 陸人²、柴崎 裕樹³、肥後 祐司⁴、丹下 慶範⁵、鈴木 昭夫⁶、宮原 正明⁷ (1. 九州大・院理、2. 京都大・院理、3. KEK-PF、4. JASRI、5. 住友電工、6. 東北大・院理、7. 広島大・先進理工)

◆研究優秀発表賞エントリー

11:15 ~ 11:30

[S3-10] マントル遷移層最下部へ沈み込んだスラブの温度圧力環境下におけるカンラン石のその場観察変形実験

*松田 光平¹、大内 智博¹、井上 紗綾子¹、肥後 祐司²、辻野 典秀²、柿澤 翔² (1. 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター、2. 高輝度光科学研究センター)

11:30 ~ 11:45

[S3-11] リングウッドライトの変形実験

チェン ジュアン¹、*山崎 大輔¹ (1. 岡山大学)

口頭講演 | S3：マントル・地殻のレオロジーと物質移動（スペシャルセッション）

2026年9月26日(土) 8:45 ~ 11:45 | B会場 (285号室)

S3：マントル・地殻のレオロジーと物質移動（スペシャルセッション）

座長:道林 克禎(名古屋大学)、片山 郁夫(京都大学)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ 招待講演

8:45 ~ 9:00

[S3-01] 天然試料から探る海洋下部地殻のレオロジー

*二村 康平¹ (1. 国立極地研究所)

キーワード：斜長石、ハンレイ岩、海洋下部地殻、海洋コアコンプレックス

海洋下部地殻は海洋地殻の大部分を構成し、そのレオロジーは中央海嶺や背弧海盆におけるプレート拡大過程に大きく影響する。主要構成岩石であるハンレイ岩類には、鉱物スケールで結晶化、変形、変成などの記録が保存されている。したがって、海洋下部地殻のレオロジーを理解するためには、天然ハンレイ岩試料から、これらの過程を読み解くことが重要である。さらに、ハンレイ岩類は斜長石、単斜輝石、角閃石、Fe-Ti酸化物などを含む多相岩石であり、各鉱物の変形挙動と相互作用にも注目する必要がある。

海洋下部地殻のレオロジー研究において、斜長石の変形過程は重要な出発点の一つである。斜長石の変形に関する研究は、再結晶組織や組成変化を伴う変形過程の理解から、変形実験に基づく流動則や変形機構図の構築へと発展してきた（Stünitz, 1998, Contrib. Mineral. Petrol.; Rybacki and Dresen, 2004, Tectonophysics）。その後、中央海嶺系および背弧海盆系の海洋コアコンプレックスから採取された変形ハンレイ岩類を対象に、実験研究で得られた知見を天然試料に適用する試みが進められてきた。これらの研究では、斜長石の結晶方位定向配列、粒径変化、相混合、組成変化が、転位クリープから拡散クリープへの遷移や歪局所化、冷却過程における流体関与反応や後退変成作用を記録することが示されてきた（Mehl and Hirth, 2008, JGR Solid Earth; Harigane et al., 2008, Tectonophysics）。

近年では、海洋下部地殻のレオロジーを単一鉱物の流動則だけでなく、天然多相岩石の変形過程として捉える視点が重要になっている。斜長石－輝石系を対象とした変形実験では、変形と鉱物反応の相互作用が細粒多相混合物の形成を促進し、岩石全体の著しい弱化を引き起こしていることが示されている（Mansard et al., 2020, JSG）。また、海洋コアコンプレックスの変形ハンレイ岩類からは、結晶塑性に加えて、脆性変形、流体侵入、溶解－析出クリープが相互に作用し、歪局所化や長期的な弱化に寄与することも示されている（Taufner et al., 2023, JSG）。このように、海洋下部地殻のレオロジー研究は、単相系から多相系へ、さらに塑性変形過程から脆性変形過程へと対象を広げつつある。

このような背景のもと、我々の研究グループは、フィリピン海四国海盆の海洋コアコンプレックスの一つであるMado Megamullionから得られた変形ハンレイ岩類を対象に、研究を進めてきた。Nimura et al. (2025, Isl. Arc) では、斜長石、単斜輝石、角閃石の微細構造、結晶方位、化学組成を統合的に解析し、斜長石の転位クリープと溶解－析出クリープ、角閃石形成を伴う相混合、単斜輝石－角閃石境界における粒界すべりが、剪断帯の発達と海洋下部地殻の弱化に関与することを示した。これらの結果は、中央海嶺と背弧海盆という異なるテクトニックセッティングにおいて、溶解－析出クリープや粒界すべりが、変形ハンレイ岩類の歪局所化に共通して関与する重要な変形過程であることを示している。Nimura et al. (2026, Sci. Rep.) では、Mado Megamullionの変形ハンレイ岩中の斜長石に注目し、劈開面および亜粒界に沿った微小亀裂と亀裂充填組織を、結晶方位解析と化学組成マッピングにより検討した。その結果、斜長石粒内における破壊、反応、物質移動、透水性変化が密接に結びつく可能性が示され、海洋下部地殻の変形過程を考えるうえで、粒内スケールの脆性変形過程も重要であることが示唆された。

本講演では、海洋下部地殻のレオロジーに関する実験研究および天然試料研究を概説し、Mado Megamullionの変形ハンレイ岩類を例に、海洋下部地殻の変形・反応・物質移動過程を検討する。さらに、天然試料研究の今後の方向性と、実験研究や大陸下部地殻研究への展開について議論する。

口頭講演 | S3：マントル・地殻のレオロジーと物質移動（スペシャルセッション）

2026年9月26日(土) 8:45 ~ 11:45 | B会場 (285号室)

S3：マントル・地殻のレオロジーと物質移動（スペシャルセッション）

座長:道林 克禎(名古屋大学)、片山 郁夫(京都大学)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

9:00 ~ 9:15

[S3-02] かんらん岩の粒径を支配する界面エネルギーと二次相ピン止め：二面角からみたマントルレオロジーへの制約

*田阪 美樹¹、相田 温哉¹、佐藤 侑人² (1. 静岡大学、2. 国立研究開発法人海洋研究開発機構)

キーワード：かんらん岩、二面角、ピン止め、粒径

マントル岩のレオロジーは、温度・応力・水だけでなく、粒径や鉱物相の空間分布にも強く支配される。特に多相系かんらん岩では、輝石などの第二相がかんらん石の粒成長を抑制し、粒径敏感クリープや変形局在化の発達に影響を与える可能性がある。しかし、天然かんらん岩において、粒径がどのような界面エネルギー条件や相配置のもとで制限されているのかは十分に理解されていない。本研究では、一ノ目瀉および San Carlos 産かんらん岩捕獲岩と、実験的に焼結したかんらん石-輝石多結晶体を対象に、かんらん石-かんらん石-輝石三重点における二面角と粒径関係を解析した。メルトを含まない一ノ目瀉かんらん岩では、かんらん石-かんらん石-斜方輝石の二面角は約100°を中心とする分布を示した。一方、メルトを伴う試料では、かんらん石-かんらん石-単斜輝石三重点に約80°の低角度成分が認められ、これは過去のメルト-岩石反応の影響を反映している可能性がある。San Carlos かんらん岩および実験焼結体では、二面角はおおむね約100°を中心とする分布を示した。さらに、天然試料と実験試料のいずれにおいても、かんらん石粒径、第二相の粒径、第二相の体積分率の関係は Zener pinning の関係式に従い、実験室スケールから地質学的スケールまで一貫した粒径制約が成り立つことが示された。これらの結果は、第二相による粒成長の抑制が、多相系かんらん岩の長期的な粒径進化を支配する重要な過程であることを示す。粒径は、かんらん岩の変形機構と強度を大きく左右する。本研究の結果は、メルト-岩石反応、相混合、動的再結晶が粒径進化を通じてマントルのレオロジーをどのように変化させるのかを考えるうえで重要である。

口頭講演 | S3：マントル・地殻のレオロジーと物質移動（スペシャルセッション）

2026年9月26日(土) 8:45 ~ 11:45 | B会場 (285号室)

S3：マントル・地殻のレオロジーと物質移動（スペシャルセッション）

座長:道林 克禎(名古屋大学)、片山 郁夫(京都大学)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ 研究優秀発表賞エントリー

9:15 ~ 9:30

[S3-03] 拡散クリープ下におけるオリビンCPOの再配向プロセス*高田 翔向¹、平賀 岳彦¹ (1. 東大地震研)

キーワード：オリビン、結晶軸選択配向、拡散クリープ、形態定向配列

岩石の流動に伴うカンラン石の結晶軸選択配向（CPO）の形成は、上部マントルにおける地震波異方性を駆動する主因である。従来、CPOの発達は転位クリープに起因し、拡散クリープは既存のCPOを消失・ランダム化させると考えられてきた。しかし、近年の研究により拡散クリープ下でもCPOが発達することが示され、高温・低応力なマントルアセノスフェアにおける拡散クリープの重要性が指摘されている。一方で、変形履歴が拡散クリープ時のCPO進化に与える影響はこれまで実験的に検証されていなかった。本研究は、あらかじめCPOが発達したカンラン石集合体を用いて拡散クリープ条件下にて配向に対して異なる方向から応力を与える変形実験を行い、変形履歴が組織進化に及ぼす影響を解明することを目的とした。

出発試料として、フォルステライト（90 vol%）およびディオプサイド（10 vol%）の集合体を使用した。変形実験は、温度 1330°C、初期荷重約 80 MPaの条件下で、剪断変形を加えることで実施した。既存組織の結晶軸（b軸）と最大圧縮応力方位のなす角度を、45度（傾斜変形）および90度（平行変形）などの方位で圧縮を行った。実験前の試料にワイヤーソーを用いて溝を格子状につけ、その溝の変化から局所歪みを求めた。また、実験後の組織について電子後方散乱回折（EBSD）等を用いてCPO、および形態定向配列（SPO）の進化を定量的に評価した。

45度傾けた変形実験では歪みの増加に伴ってCPOが新たな応力方位へと整列するように回転する挙動が確認された。これは転位クリープによる先行研究と回転の傾向自体は類似しているものの、本研究の拡散クリープ下では結晶軸の集中度がほぼ一定に保たれるという特徴を示した。さらに、CPOの回転と同調してSPOも回転しており、これは動的再結晶を伴う転位クリープとは異なり、拡散クリープに固有の「剛体的な粒子回転」が卓越していることを支持している。

90度傾けた変形実験では既存配向の消失が確認された点で先行研究と類似していたが、転位クリープで見られるようなガードル組織の形成には至らなかった。

相当歪みに換算したCPO回転に必要な歪み量は最大で 0.55 であり、転位クリープと拡散クリープの間でCPO反転に要求される歪み量に実質的な差は見られなかった。

口頭講演 | S3：マントル・地殻のレオロジーと物質移動（スペシャルセッション）

2026年9月26日(土) 8:45 ~ 11:45 | B会場 (285号室)

S3：マントル・地殻のレオロジーと物質移動（スペシャルセッション）

座長:道林 克禎(名古屋大学)、片山 郁夫(京都大学)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

9:30 ~ 9:45

[S3-04] 輝石中のスピネルラメラおよび関連する微細組織から読み解くリソスフェアアセノスフェア境界領域の熱一変形履歴*佐藤 侑人¹、小澤 一仁² (1. 国立研究開発法人 海洋研究開発機構、2. 東京大学 大気海洋研究所)

キーワード：離溶ラメラ、リソスフェアアセノスフェア境界、粒界移動、熱一変形履歴、マントル捕獲岩

リソスフェアアセノスフェア境界(LAB)はプレートテクトニクスにおける「プレートの底」であり、上部マントルに存在する粘性コントラストである。LABにおけるダイナミクスを理解するには、マントル物質の断片であるマントル捕獲岩を用いてレオロジー情報を抽出する物質科学的手法が有効であるが、その変形履歴を復元することは容易ではない。本研究は秋田県男鹿半島一ノ目淵に産するスピネルカンラン岩捕獲岩（8個）を用いて、輝石中に含まれる離溶ラメラに関連する微細構造を解析することで、LABの熱一変形履歴を復元した。捕獲岩中の単斜輝石と直方輝石にはスピネルの離溶ラメラが普遍的に含まれ、冷却過程を経たことが示唆される。これらのスピネルラメラを含む輝石に隣接する鉱物（輝石・カンラン石）には、ラメラの形態に類似するがより丸みを帯びたスピネル包有物（液滴状スピネル）が特徴的に含まれていることが確認された（Takahashi, 1986; Abe et al., 1995）。液滴状スピネルはポーフィロクラスチックな岩石組織を呈し部分熔融由来のガラスを含む試料にのみ見られるが、これらは先行研究（Sato & Ozawa, 2019, 2023）においてLABに相当する約40kmより深い領域に由来すると推定されている。

液滴状スピネルはスピネルラメラと空間的に連続した分布を示し、それぞれのホスト鉱物の界面を跨いで形態を劇的に変化させる。ホスト鉱物の界面形状はラメラを含む輝石の内側へ湾入するが、薄片中において湾入の方向は一定方向に整列し面構造と一致するか低角（0-31度）に斜交する。電子線後方散乱回折法（EBSD）を用いて、スピネルラメラと液滴状スピネルおよびそれぞれのホスト鉱物の格子選択配向（CPO）を分析した結果、ラメラとホストの輝石にはトポタキシーが認められ、ラメラと液滴状粒子は同様の結晶方位を有することが明らかになった。一方、液滴状粒子とそのホスト鉱物との間にトポタキシーは認められなかった。また、ラメラを含む輝石は粒内歪み（Kernel Average Misorientation; KAM）が高いのに対し、液滴状粒子を含む鉱物の粒内歪みは低い。液滴状スピネルを含む領域の輝石の化学組成を電子プローブマイクロアナライザー（EPMA）にて分析した結果、液滴状粒子はAl含有量の増加を示す輝石のリム部に含まれることがわかった。

上記の観察結果から形成過程を推定すると、液滴状スピネルは冷却過程（～14myrs; Sato & Ozawa 2023）において輝石中に析出したスピネルラメラに由来し、冷却過程に続く加熱過程（～12kyrs; 同上）において輝石に隣接する鉱物との粒界が移動することでスピネルラメラが隣接する鉱物に取り込まれたものであることが示唆された。液滴状スピネルが試料全体に認められることから粒界移動は岩石全体の変形微細構造の発達に寄与していたと考えられる。ラメラと液滴状粒子のホスト鉱物の間に顕著な粒内歪みの差があること、液滴状粒子のホスト鉱物がラメラのホスト鉱物に湾入する方向が岩石にかかる差応力と整合的であることから、岩石変形の最中において粒内歪みの開放を駆動力とする圧力溶解に類似した変形機構によって液滴状スピネルが形成されたことが示唆される。液滴状スピネルは深さ約40km以深のLABに由来する試料にのみ認められ、約40kmより浅いリソスフェリックマントル由来の試料には認められないことから、一ノ目淵下マントルの粒界移動を伴う岩石変形のタイミングを熱履歴と関連付けて議論することが可能である。

口頭講演 | S3: マントル・地殻のレオロジーと物質移動 (スペシャルセッション)

2026年9月26日(土) 8:45 ~ 11:45 | B会場 (285号室)

S3: マントル・地殻のレオロジーと物質移動 (スペシャルセッション)

座長: 道林 克禎(名古屋大学)、片山 郁夫(京都大学)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ 研究優秀発表賞エントリー

9:45 ~ 10:00

[S3-05] マントル・地殻境界における蛇紋岩のリストベナイト化に対する初期交代作用の重要性

*沖野 峻也¹、岡本 敦¹、ダンダル オトゴンバヤル¹、サティシュクマール マドスーダン² (1. 東北大・院環境科学、2. 新潟大・理)

キーワード: マントルウェッジ、炭酸塩化、交代変成作用、リストベナイト

【はじめに】超苦鉄質岩の炭酸塩化は、沈み込み帯や海洋リソスフェア、内陸の断層帯など広範なセッティングで生じ、副生成物としてタルクまたは石英を生成する。タルクは摩擦係数が低く、炭酸塩化を通じて形成されたタルクはサンアンドレアス断層における非地震性クリープ^[1]や、浅部沈み込み帯における剪断強度低下^[2]に関与すると考えられている。一方、石英は多くの実験条件下で速度弱化を示し、応力条件次第で摩擦不安定性を引き起こしうる。しかし、石英と炭酸塩鉱物からなる岩石であるリストベナイトの形成にはCO₂に富む流体もしくは高い流体/岩石比が必要とされるため三波川変成帯のような典型的な古沈み込み帯では、中央構造線周辺を除きリストベナイトの報告例に乏しい。発表者らは、四国中央部三波川変成帯の泥質片岩と接する超苦鉄質岩中の反応帯に、石英と炭酸塩鉱物を発見した。本発表ではこの試料に着目し、(1)交代作用の有無が炭酸塩化による鉱物組み合わせ（タルク+炭酸塩か石英+炭酸塩か）をどのように変化させるか、(2)その違いが地殻-マントル境界のレオロジーにどのような不均質性を生み出すか、を明らかにする。

【地質概説・手法】対象とする蛇紋岩体は、三波川変成帯の四国猿田川地域（北緯33°54'05.1"、東経133°29'56.5"）のざくろ石帯に露出する10m程度の岩体である。蛇紋岩体と泥質片岩の境界には幅約1mの交代反応帯が発達し、蛇紋岩、タルク-炭酸塩岩、透閃石-炭酸塩岩、緑れん石-緑泥石岩、白雲母岩、曹長石岩、泥質片岩から構成される^[3]。薄片観察に加え、μ-XRF・EPMAによる元素マッピング、EBSD、およびラマン分光法による炭質物温度計を用いた。また、猿田蛇紋岩体の約1.7 km離れた富郷蛇紋岩体は炭酸塩鉱物を欠く同様の反応帯を示しており^[5]、本研究との比較対象とした。

【結果】蛇紋岩はアンチゴライト・クロマイト・磁鉄鉱からなり、かんらん石・輝石は含まない。厚い炭酸塩脈はマグネサイト・ドロマイトをタルクが取り囲む組織を示す。タルク-炭酸塩岩には蛇紋石は含まれず、タルク・緑泥石・ドロマイト・石英・角閃石・スピネルから構成される。透閃石-炭酸塩岩はポッド状の産状を呈し、透閃石に富む層と炭酸塩（ドロマイト・方解石）+緑泥石+石英に富む層が約5 mm間隔で繰り返す明瞭な片理構造を示す。角閃石は局所的にマイクロブーディン構造を示し、そのネック部は低歪みの石英で充填されている。一方、劈開部にはドロマイトが優先的に析出し、置換は見られない。周囲の泥質片岩の炭質物温度計によって得られた最高被熱温度は482 ± 8 °Cで先行研究^[4]と調和的であり、透閃石-炭酸塩岩のドロマイト-カルサイト温度計は350–400 °Cを示し、ピーク温度より100°C近く低温で炭酸塩化が起きたことを示す。

【考察】富郷蛇紋岩体の反応帯中の透閃石-緑泥石岩は、蛇紋岩からMgが溶脱し、Caが付加されることで形成されている^[5]。本研究の猿田蛇紋岩体も同様の交代作用を最高温度周辺で被ったのち、上昇過程で炭酸塩化作用を被ったと考えられる。炭酸塩化していない蛇紋岩と透閃石-緑泥石岩とH₂O-CO₂飽和流体を用いたシュードセクション計算を行った。その結果、350°C–400°Cにおいて、蛇紋岩ではタルク+炭酸塩鉱物が生成するのに対して、透閃石-緑泥石岩では石英+炭酸塩鉱物が生成されることが示された。これらの結果は、スラブマントル境界において、初期の交代作用によってバルク組成がSiやCaに富む層に変化すると、後退変成過程で生じる炭酸塩化生成物をタルク+炭酸塩から石英+炭酸塩へとシフトさせることを示唆する。地

殻-マントル間での物質移動のあとに炭酸塩化が進行する場合、石英に富む領域が形成されて緑泥石からなる滑り面の形成を阻害する一方、地殻との物質移動をほとんど受けていない蛇紋岩の炭酸塩化ではタルクが形成され定常的なクリープが促進される、という2つのシナリオが考えられる。このようなレオロジー的なコントラストは、メガスラストや断層系においてパッチ状の歪み集中や力学的不均質性を生み出し、すべり挙動に影響を与える可能性がある。

- [1] Klein, F. et al., 2022. *Geophysical Research Letters* 49, e2022GL099185.
- [2] Papeschi, S. et al., 2025. *Earth and Planetary Science Letters* 666, 119488.
- [3] Okamoto, A. and Oyanagi, R., 2023. *Prog Earth Planet Sci* 10, 39.
- [4] Enami, M. et al., 1994. *Contr. Mineral. and Petrol.* 116, 182–198.
- [5] Oyanagi, R. et al., 2023. *Contrib. Mineral Petrol.* 178, 27.

口頭講演 | S3：マントル・地殻のレオロジーと物質移動（スペシャルセッション）

2026年9月26日(土) 8:45 ~ 11:45 | B会場 (285号室)

S3：マントル・地殻のレオロジーと物質移動（スペシャルセッション）

座長:道林 克禎(名古屋大学)、片山 郁夫(京都大学)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ 研究優秀発表賞エントリー

10:00 ~ 10:15

[S3-06] マントルの炭酸塩化に伴う岩石物理特性の変遷：オマーンオフィオライトに産するリスベナイトおよび蛇紋岩からの考察

*森下 亮佑¹、片山 郁夫² (1. 広島大・院先進理工、2. 京都大・院理)

キーワード：炭酸塩化、リスベナイト、岩石物理特性

一部の中央海嶺やアウターライズ断層など水岩石比の高い領域では、海洋リソスフェアを構成するマントル最上部がCO₂を含む海水と反応することにより、かんらん岩の蛇紋岩化とともに炭酸塩化が起これと考えられている(Plank and Manning, 2019)。炭酸塩鉱物としてマントルに固定された炭素は、海洋プレートとともに地球内部へ沈み込むと、その後の脱炭素反応に伴うメルトや流体への放出、島弧火山の噴火により再び地球表層へもたらされる。このようにマントルの炭酸塩化は、地球の表層から内部にかけての全球的な炭素循環を理解する上で重要なプロセスの1つである。これまでの研究では、マントルの炭素循環に対する寄与は小さく見積もられてきたが(e.g., Kelemen and Manning, 2015; Alt et al., 2013), これらの推定はモデルごとに値が大きく異なり不確実性を含んでいる。そこで我々は、中米沖などで観測されている地震波速度や電気比抵抗の異常に着目し(Grevemeyer et al., 2018; Naif et al., 2015), 岩石物性に基づくマントルの炭酸塩化の定量的な評価に取り組んでいる。

本研究では、炭酸塩化の程度が異なるかんらん岩や蛇紋岩の地震波速度、電気比抵抗、空隙率を測定し、炭酸塩化が岩石物性に与える影響について調べた。本研究では、オマーンオフィオライトの蛇紋岩およびリスベナイト(炭酸塩化したかんらん岩)を用いて、静水圧下における地震波速度、電気比抵抗、空隙率の同時測定を含水条件下で行った。なお、北海道の幌満かんらん岩についても比較のため同様の測定を行った。実験では現在京都大学に設置されている容器内変形透水試験機を使用し、封圧を3 MPaから200 MPaまで段階的に加圧しながら、1時間ごとに物性を測定した。間隙流体として海水と同程度の塩分濃度であるNaCl水溶液(0.5 mol/L)を使用し、間隙圧は1 MPaで一定とした。地震波速度の測定はパルス透過法により行い、試料長と波形初動の時間差からP波速度とS波速度をそれぞれ求めた。電気比抵抗の測定は2端子法により行い、試料を挟むように両端に取り付けた電極間の長さとして試料の断面積、得られたインピーダンスと位相差から求めた。空隙率は、加圧により押し出された間隙流体の量をシリンジポンプで計測することで推定した。また、広島大学に設置されている粉末X線回折装置を用いてX線回折を行い、得られた回折パターンからリートベルト解析法に基づく鉱物定量分析を実施した。これにより実験試料の主要構成鉱物を同定するとともに炭酸塩鉱物の含有量を見積もった。

静水圧実験の結果から、かんらん岩、蛇紋岩、リスベナイトはそれぞれ特徴的な物性値を示した。また、加圧とともに地震波速度・電気比抵抗は増加し、空隙率は減少する傾向を示した。これは圧密による空隙の閉鎖を反映している。なお、空隙率が1%未満であるかんらん岩と蛇紋岩は封圧200 MPaで空隙がほぼ完全に閉じたのに対し、空隙率が20%を超えるリスベナイトは空隙率の変化量は大きいものの空隙は完全には閉じないことが示された。X線回折を用いた定量分析の結果から、試料中の炭酸塩鉱物の割合はかんらん岩では0%、蛇紋岩では1-5%、リスベナイトでは8%程度であることが示された。さらに、今回用いたリスベナイト試料は先行研究でみられるものと比べてFuchsite (chromian muscovite) の割合が顕著に高い値(73%)を示した。

炭酸塩化プロセスにおいて水みちとなる空隙やクラックは非常に重要であるため、これらの形状や連結度について岩石物性から考察した。Kusterらによる有効媒質理論を用いて地震波速度と空隙率の関係から空隙のアスペクト比を評価すると、加圧とともに水みちとなる空隙のアスペクト比は小さくなり扁平状に変化することが示唆された。また、Modified Archie's lawを用

いて電気比抵抗と空隙率の関係から空隙の連結度を評価すると、実験試料はいずれも傾き $m=2$ の理論曲線で説明できることが示された。バルク密度と地震波速度、電気比抵抗の関係から炭酸塩化による物性の変化を検討すると、Fuchsiteの形成を伴う炭酸塩化プロセスでは大幅な空隙率の増加を引き起こし、地震波速度と電気比抵抗が顕著に低下することが示唆された。今後はリスベナイト試料について、空隙率が低いもの(0.5-1.2%)や炭酸塩の割合が高くFuchsiteを含まないものとの比較を行うことで、マンツルの炭酸塩化プロセスや炭酸塩鉱物の割合と物性との関係についてさらなる検討を進めていく。

口頭講演 | S3：マントル・地殻のレオロジーと物質移動（スペシャルセッション）

2026年9月26日(土) 8:45 ~ 11:45 | B会場 (285号室)

S3：マントル・地殻のレオロジーと物質移動（スペシャルセッション）

座長:道林 克禎(名古屋大学)、片山 郁夫(京都大学)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ 招待講演

10:30 ~ 10:45

[S3-07] 変形構造の進化を介した強度の速度依存性：断層アナログ物質のオペランド剪断実験からの知見

*高橋 美紀¹、武藤 潤²、澤 燦道²、星野 真人³、上杉 健太郎³ (1. (国)産総研・GSJ、2. 東北大・院理、3. JASRI)

キーワード：X線CTイメージング、脆性－塑性遷移領域、強度の速度依存性

地震は、断層岩の強度を超える応力が作用し、亀裂の生成・進展を経て不安定すべりに至ることによって発生する。地下深部の高温・高圧環境では、転位クリープや圧力溶解クリープなど、低すべり速度で卓越する安定な流動変形が支配的であり、このメカニズム単独では地震を発生させるににくい。しかし実際には、流動変形が現れ始める脆性－塑性遷移領域の深度で大地震が発生している。これは、流動変形によって支えられる断層強度に限界があり、その限界を超える応力が断層に作用し得ることを示す。すなわち、脆性－塑性遷移領域の断層岩には最大強度を示すすべり速度が存在し、その速度を境に低速側では速度強化、高速側では速度弱化が生じると考えられる。断層が大地震を発生させる不安定な状態へどのように進化するのかを解明するには、この遷移領域における流動から破壊への変形プロセスを理解することが不可欠である。

本研究では、脆性－塑性遷移領域における変形を再現し、流動から破壊へ向かう変形組織の変遷を直接観察するため、断層アナログ物質を用いたオペランド剪断実験を行った。試料には、飽和塩水に浸した岩塩と白雲母の混合物（重量比80:20）を用いた。この物質は、常温・垂直応力5 MPaのもとで、すべり速度1 $\mu\text{m/s}$ において最大強度を示し、低速側では圧力溶解クリープによる速度強化、高速側ではダイラタンシーをとともなう摩擦すべりによる速度弱化を示す（Niemeijer and Spiers, 2007; Takahashi et al., 2017）。回収試料の観察から、速度強化域でマイロナイト様構造の形成が、速度弱化域で顕著な歪局所化が確認されている。実験では、小型回転式剪断試験機を大型放射光施設SPring-8のBL20B2に持ち込み、フォトンエネルギー40 keVでX線CT撮影を行った。垂直応力5 MPaで試料を保持した後、すべり速度を0.1 $\mu\text{m/s}$ から1 mm/sへ段階的に増加させ、力学データと同期したX線CT像から試料内部組織の時間発展を取得した。得られたすべり速度と強度の関係はおおむね先行研究と一致し、1 $\mu\text{m/s}$ を境に低速側で速度強化、高速側で速度弱化を示した。初期には圧密が進行し、その後、回転駆動ピストン側でリーデル剪断面のR1面およびP面が発達し、続いてY面が形成された。速度強化領域の低速側では、剪断帯全体に比較的分散した変形が認められたが、1 $\mu\text{m/s}$ 付近では回転駆動ピストン側に孔隙の配列としてR1面が現れた。速度弱化領域に入り、2 $\mu\text{m/s}$ では多数のR1面が駆動ピストン側から伸長し、3 $\mu\text{m/s}$ 付近では駆動ピストンと試料の境界に亀裂が生成・進展して、剪断が境界に集中した。この局所化と同時に弱化が顕著になり、さらに剪断帯幅の増加、すなわちダイラタンシーによる孔隙生成が観測された。ダイラタンシーは速度増加直後の強度の瞬間的上昇時ではなく、速度弱化領域で進行するevolutionの段階で顕著であり、空隙率を状態変数として扱うmicrophysicalモデル（Noda, 2016）と整合的である。

以上より、すべり速度に依存して変化する支配的変形機構が変形構造を形成し、その構造を介して強度が規定されることが示唆される。また、すべりの不安定化には、亀裂生成、剪断の局所化、ダイラタンシーの相互作用が関与すると考えられる。今後、これら因果関係を明らかにするべく、X線CT像をもちいた詳細な解析（たとえばひずみや亀裂の時空間変化）を行う予定である。また、新たに応力制御下での実験を実施し、自発的不安定に至る際の構造変化をその場でとらえることで、変形構造の変化と発達が断層不安定をもたらす過程を明らかにしていく予定である。

口頭講演 | S3: マントル・地殻のレオロジーと物質移動 (スペシャルセッション)

2026年9月26日(土) 8:45 ~ 11:45 | B会場 (285号室)

S3: マントル・地殻のレオロジーと物質移動 (スペシャルセッション)

座長: 道林 克禎(名古屋大学)、片山 郁夫(京都大学)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

10:45 ~ 11:00

[S3-08] 遷移層MORBの強度とスラブのレオロジー構造

*久保 友明¹、中林 真梨萌¹、後藤 佑太¹、本田 陸人²、柴崎 裕樹³ (1. 九州大・理、2. 京都大・地熱研、3. 高エネ研)

キーワード: マントル遷移層、高圧変形実験、放射光、メージャライトガーネット、流動則

マントル遷移層下部(660 km不連続面直上)は、沈み込む海洋プレートが周囲のマントルと相互作用しながら大きく変形する物質循環上の重要な領域である。また、地震学・鉱物物理学的研究から、玄武岩質地殻と枯渇ハルツバーライトが分離・集積する可能性も指摘されている。このような物質分化を理解する上で、それぞれの構成岩石の密度だけでなくレオロジーの違いが重要となる。遷移層スラブの主要構成鉱物はリングウッドイトとメージャライトガーネットであり、メージャライトガーネットの体積割合はパイロライトで約40%、MORBでは約90%に達する。しかし、ガーネットの塑性変形実験の多くは5 GPa以下で行われており、マントル遷移層圧力下におけるメージャライトガーネットのレオロジーは十分に明らかになっていない。本研究では、マントル遷移層圧力下でMORBの塑性変形実験を行って、メージャライトガーネットの強度特性を明らかにするとともに、遷移層スラブのレオロジー構造を考察した。

遷移層MORBは主にメージャライトガーネット(Mjgt)と10%程度のステショバイト(St)で構成され、遷移層下部でCaペロフスカイト相(Capv)の析出が始まる。九州大設置のMA型高圧装置を用いて、圧力条件を変えながら、Capv含有量の異なる3種類の遷移層MORB多結晶体(Mjgt+St、Mjgt+St+5%Capv、Mjgt+St+15%Capv)をMORBガラスより合成し、変形実験の出発物質とした。変形実験は放射光施設PF-ARのビームラインNE7Aに設置されている一軸圧縮プレス(MAX-III)にD-111型ガイドブロックを組み込んで行った。実験条件は15-24 GPa、800K-1600K、歪み速度は $0.8-7 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ である。60 keVの放射光単色X線を用いて、二次元X線回折から試料の差応力を求め、ラジオグラフィーにより試料の歪み量を測定し、各実験条件で応力-歪み曲線を得た。Capvを含む試料については実験前には非晶質化しているため、常温加圧後、変形実験を行う前に1400K付近でアニールし、Capvを結晶化させたのちに、目的の温度で変形実験を行った。

Mjgt+St多結晶におけるMjgtの塑性強度は、800K-1400Kで~5-6 GPaと大きくまた緩やかな温度依存性をもつが、1400K以上で温度依存性が大きくなり、1650Kでは~1 GPaまで減少する。低圧下で得られた先行研究の結果をふまえ解析した結果、低温側ではパイエルス応力7 GPa程度のパイエルス機構で流動し、1500K付近で転位クリープに変形機構が遷移し、その活性化体積は $8 \text{ cm}^3/\text{mol}$ 程度と推定された。Capvを含まないMORB層のMjgtは、パイエルス機構および転位クリープ両方の領域において、カンラン岩層の主要鉱物であるリングウッドイトよりも硬い。一方で、Capvが含まれた場合、Mjgtの塑性強度は低温側でほとんど変化はないが、高温の転位クリープ領域においてのみ非常に小さくなる。その理由は現時点では明らかではないが、細粒Capvの超塑性やMjgtのCa量の変化が影響している可能性がある。

予察的に、Capvが析出しない条件で、スラブカンラン岩領域をRw、MORB領域をmjgtとして、遷移層スラブの強度断面を考えた場合、冷たいスラブから暖かいスラブまでの幅広い温度構造で、MORBがスラブカンラン岩より硬くなる。特にスラブモホでの強度コントラストは大きく、MORB層の粘性率は、スラブ本体からの剥離が生じると考えられている 10^{21} - 10^{23} Pas 程度に達する可能性が示された。今後はCapv析出やRwの加水軟化、スラブカンラン岩をRwとmjgtの2相系とした場合等の影響について、検討を行っていく。

口頭講演 | S3: マントル・地殻のレオロジーと物質移動 (スペシャルセッション)

2026年9月26日(土) 8:45 ~ 11:45 | B会場 (285号室)

S3: マントル・地殻のレオロジーと物質移動 (スペシャルセッション)

座長: 道林 克禎(名古屋大学)、片山 郁夫(京都大学)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

11:00 ~ 11:15

[S3-09] 離反共析成長を伴うポストスピネル相転移による下部マントルスラブの弱
化

*後藤 佑太¹、久保 友明¹、本田 陸人²、柴崎 裕樹³、肥後 祐司⁴、丹下 慶範⁵、鈴木 昭夫⁶、宮原 正明⁷ (1. 九州大・院理、2. 京都大・院理、3. KEK-PF、4. JASRI、5. 住友電工、6. 東北大・院理、7. 広島大・先進理工)

キーワード：高圧変形実験、放射光その場観察、共析反応、粒径依存クリープ、弱相連結

1. はじめに

下部マントルに沈み込んだ海洋プレート(スラブ)は大きく変形して下部マントル上層(660–1000km)に滞留することが地震波トモグラフィ解析により示されており、スラブが下部マントルへ貫入する際に弱化することが示唆されている。上下マントル境界で起こるポストスピネル相転移 $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ Ringwoodite (Rw) $\rightarrow$ $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$ Bridgmanite (Brg) + $(\text{Mg,Fe})\text{O}$

Ferropericlasite (Fp) は共析反応であり、微細な共析ラメラ組織を形成するため、相転移に伴う実質的な粒径減少により粒径依存クリープが卓越してスラブが弱化する可能性が指摘されてきた。これまで、あらかじめ合成されたポストスピネル相の変形実験は行われてきたものの、下部マントル圧力条件下でポストスピネル相転移の進行と変形を同時に観察して、相転移に伴う強度変化を直接的に評価した実験は行われていなかった。本研究では、D-111型高圧変形装置と放射光X線その場観察を用いて、下部マントル圧力条件下にてポストスピネル相転移を伴う変形実験を行い、相転移による組織変化がマントル物質をレオロジー的に弱化させることを実験的に示した。また、相転移時の過剰圧に応じて、従来想定されてきた共析ラメラ組織の細粒化に加え、非ラメラ状の離反共析成長(divorced eutectoid growth)に伴って弱相連結組織が形成されることを明らかにした。

2. 実験方法

高圧変形実験は、放射光施設PF-ARのNE7A設置の高圧発生装置MAX-IIIおよびSPRING-8のBL04B1設置の高圧発生装置SPEED-Mk.IIにD-111型ガイドブロックを組み込んで行った。出発物質のサンカルロスオリビン組成Rw多結晶体を、一軸圧縮変形場の21–28GPa・1100–1400°Cにおいてポストスピネル相転移させ、その間の相転移の進行と変形挙動(歪み・応力)を60keVの単色X線でその場観察した。試料の歪み速度は $2.1\text{--}28 \times 10^{-5}$ 、最終歪み量は26–47%であった。回収試料はFE-SEMを用いて微細組織観察を行った。

3. 結果と考察

X線その場観察で得られた力学データは、本研究で行ったすべての変形相転移実験において、ポストスピネル相が弱化したことを示した。さらに、ポストスピネル相転移中の変形挙動と回収試料の微細組織観察の結果から、相転移時の過剰圧条件によって異なる2種類の弱化メカニズムが誘起されていたことが明らかになった。

大過剰圧条件($\Delta P=4.0\text{--}5.3$ GPa)では非常に微細な共析ラメラ組織が形成されており、その後のラメラ組織の粒状化により細粒な粒状組織が発達していた。変形強度は、観測された粒径から見積もられる拡散クリープ強度と整合的であり、力学データと組織観察結果の双方から、細粒化に起因する粒径依存クリープが弱化に寄与したことが示された。

一方、小過剰圧条件($\Delta P=0\text{--}1.1$ GPa)では共析ラメラ組織は形成されず、離反共析成長

(divorced eutectoid growth) により、Rwから非ラメラ状のBrgとFpが直接形成された組織が観察された。この組織は、粒状のBrgとそれを取り囲むように分布するFpからなり、弱相であるFpが連結していることが示唆された。力学データはBrgとFpの応力差が小さいことを示しており、Fpの連結による弱相支配型の変形が生じたことと整合的であった。

本研究で見出された2つの弱化メカニズムは、実際の下部マントルスラブでは両方とも誘起される。離反共析成長に伴う弱相連結および粒径減少に伴う粒径依存クリープの卓越が同時に起きた場合、低温スラブの中心部であっても周囲の下部マントルを下回るほどの低粘性になると考えられる。

口頭講演 | S3: マントル・地殻のレオロジーと物質移動 (スペシャルセッション)

2026年9月26日(土) 8:45 ~ 11:45 | B会場 (285号室)

S3: マントル・地殻のレオロジーと物質移動 (スペシャルセッション)

座長: 道林 克禎(名古屋大学)、片山 郁夫(京都大学)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ 研究優秀発表賞エントリー

11:15 ~ 11:30

[S3-10] マントル遷移層最下部へ沈み込んだスラブの温度圧力環境下におけるカンラン石のその場観察変形実験

*松田 光平¹、大内 智博¹、井上 紗綾子¹、肥後 祐司²、辻野 典秀²、柿澤 翔² (1. 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター、2. 高輝度光科学研究センター)

キーワード: 深発地震、カンラン石相転移、リングウッダイト、その場観察、キンクバンド

地震は海洋プレート（スラブ）がマントルへ沈み込む過程にて頻発する。一般的に、地震の発生頻度は深さとともに減少するが、これは摩擦すべりの圧力依存性（バヤリー則）によって説明される。ところが、マントル遷移層に相当する深さ400–600 kmへ沈み込んだスラブ内部にて発生する地震（深発地震）は、深さとともに発生頻度が上昇するといった特異性が知られている（Frohlich, 1989）。これは、マントル遷移層にて進行するカンラン石からワズレアイトやリングウッダイトといった高圧相への圧力誘起相転移が地震を誘発するためであると考えられてきた（Green and Burnley, 1989）。近年、マントル遷移層へ沈み込んだスラブの温度圧力環境下におけるマントルカンラン石（Fo₉₀）の放射光X線その場観察変形実験とアコースティック・エミッション（AE）測定が可能となってきた（Ohuchi et al., 2022; Matsuda et al., 2026; Honda et al., 2026）。それらの実験結果より、沈み込んだスラブ中の低温部にあたるMetastable Olivine Wedge（MOW）にて準安定カンラン石の相転移が進行する際に局所的に潤滑層（ガウジ）が形成され、そこを起点として深発地震発生に至るといったモデルが提案されている。その一方で、深さ600 km以深では地震の発生頻度が急減少することが知られているが、この原因についての実験的検証はいまだ行われていない。これは、深さ600 km以深のような20 GPaを超える高圧力環境下での変形実験が、依然として技術的に困難であったためである。そこで本研究では、放射光X線その場観察とアコースティック・エミッション（AE）測定を組み合わせた、マントル遷移層最下部へ沈み込んだスラブの温度圧力環境下におけるカンラン石の変形実験を行った。実験は大型放射光施設SPring-8のBL04B1に設置されているD-DIA型変形装置を用いて行い、温度970–1220 K、封圧22–25 GPa、D-ramストローク速度1–4 μm/min一定の条件にて試料を変形させた。封圧、差応力、歪は単色X線の回折パターンおよびラジオグラフィ像より求めた。AEは2段目アンビルの側面に貼り付けた6つのセンサーを用いて測定し、初動時刻差より震源位置を決定した。実験の回収試料は、走査型電子顕微鏡および透過型電子顕微鏡（TEM）を用いて組織観察を行った。

いずれのその場観察実験においても、不安定すべりの進行は確認されなかった。温度1120 K、封圧約25 GPaにて変形を行った実験では、変形中に弱いAEが断続的に発生し、回収試料全域にわたりカンラン石粒内にキンクバンドが形成されていた。TEM観察より、キンクバンド内ではカンラン石の粉碎によるナノ粒子化（粒径~10 nm）が進行していたが、カンラン石相転移の進行は見られなかった。一方、温度1220 K、封圧約24 GPaにて変形を行った実験では、カンラン石の粒界にリングウッダイトのナノ粒子（粒径~100 nm）からなる網目状ネットワークが形成されており、これが試料全体の“均質”な軟化を引き起こしたと考えられる。以上の結果より、マントル遷移層最下部（深さ~660 km、封圧~24 GPa）に位置するMOWでは、カンラン石のキンクバンド形成に伴う粉碎、およびその粒界におけるリングウッダイトのナノ粒子形成が卓越するため、剪断集中及び断層形成を伴う“不均質”な変形は抑制されると考えられる。

口頭講演 | S3：マントル・地殻のレオロジーと物質移動（スペシャルセッション）

2026年9月26日(土) 8:45 ~ 11:45 | B会場 (285号室)

S3：マントル・地殻のレオロジーと物質移動（スペシャルセッション）

座長:道林 克禎(名古屋大学)、片山 郁夫(京都大学)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

11:30 ~ 11:45

[S3-11] リングウッドイトの変形実験チェン ジュアン¹、*山崎 大輔¹ (1. 岡山大学)

キーワード：リングウッドイト、粘性率

地球型惑星のダイナミクスを理解する上で、マントルを構成している岩石のレオロジーを解明することは本質的に重要である。とくに、オリビンとその高压多形は地球型惑星において主要な鉱物相であり、その粘性率はマントルの流動の規模や速度などの推定に不可欠な物性である。これまで、実験的制約から、ワズレアイトやリングウッドイトなどの高压鉱物に関しては粘性率の実験的研究は、きわめて限定的であった。粘性率の鉄依存性に至っては全く研究されていない。地球マントルは鉄含有量としてMg#=90程度と考えられるが、他の惑星、例えば火星では、Mg#=75~80程度と考えられている。そこで、地球のみならず他の惑星のマントル流動に新たな制約を与えるために、本研究では、ここ10年で開発されたD-111型高压変形装置を用いてリングウッドイトの変形実験を行い粘性率に対する鉄依存性を調査した。D-111装置では川井型高压セルを用いることができる。このセル内に変形軸方向に2つ試料を挿入し相対的な変形挙動を観察する試料急冷法と放射光X線その場観察により応力を測定し絶対的に変形挙動を測定するその場観察法の2種類の実験を行った。前者では、試料にMg#を40~90程度まで広く変化した2つの試料の回収後に得られる相対的な変形量から粘性差を見積もった。後者では、リングウッドイト自体あるいは応力測定標準物質として試料と変形軸直列方向に挿入したアルミナのデバイ環の偏差から弾性定数にもとづき応力を算出し、またラジオグラフィで得られる変形量から粘性率を見積もった。実験に用いた試料は予め川井型マルチアンビル装置で合成・焼結したリングウッドイト多結晶であり、粒径は5-10 μm である。実験の圧力は16-22 GPaで温度は1200-1300°Cである。歪み量は最大で20%程度であり、歪み速度は、 $10\text{E}-4/\text{s}$ ~ $10\text{E}-5/\text{s}$ となる。回収した試料の微細構造観察から、波打っている粒界をもつ扁平した粒子の存在が確認され、転位クリープが支配的な変形機構であることが示唆される。この結果は、その場観察による応力-歪み速度関係から予測される結果と一致する。また、実験条件を鑑みると先行研究とも調和的な結果と言える。変形量に着目すると、鉄の量を変化させても、大きな相違がなく鉄の粘性率への影響が小さいことがこれまでのところ判明している。一方で、ガス圧変形試験によるオリビンの先行研究では、本実験での鉄濃度変化に対して一桁以上の粘性差を報告しており、シリコン欠陥が変形を律速していると仮定すると、それぞれの実験での、鉄の濃度に対するシリコン欠陥の依存性が異なっていることが推定できる。近年火星のマントルについて、地球よりも1-2桁高い粘性率が推定されている。粘性率は低温では高くなり、高温で低くなる。本研究のリングウッドイトについての結果は、鉄の含有量に対する粘性率低下が非常に小さいため、推定されている粘性率を説明できる可能性がある。しかしながら、現在のところ、十分なデータが取得されているとはいえず、今後、追試とその場観察実験の詳細なデータ解析を進めていく。

口頭講演 | R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)**■ 2026年9月26日(土) 9:30 ~ 11:45 | 金C会場 (287号室)****R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)**

座長: 秋澤 紀克、越後 拓也 (秋田大学大学院国際資源学研究科)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ 招待講演

9:30 ~ 10:00

[R7-01] 放射光X線CTと顕微ラマン分光分析によるマントル捕獲岩中の有機包有物の探索

*三津川 到¹、三宅 亮²、伊神 洋平²、小木曾 哲²、秋澤 紀克³、星野 真人⁴、上杉 健太郎⁴、佐久間 博⁵、明田 将治²、西尾 真輝² (1. 東京大学、2. 京都大学、3. 広島大学、4. 高輝度光科学研究センター、5. NIMS)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

10:00 ~ 10:15

[R7-02] 北海道渡島大島火山に産するダナイト-ウェールライト捕獲岩の成因：島弧下最上部マントルプロセスへの示唆

*田口 創大¹、江島 輝美²、高橋 康²、昆 慶明³、荒井 章司⁴ (1. 信州大学・院理、2. 信州大学・理、3. 産総研、4. 金沢大)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

10:15 ~ 10:30

[R7-03] 海洋コアコンプレックス斑れい岩に含まれるかんらん石の変形組織とシンプレクタイト包有物の観察

*小倉 正義¹、伊神 洋平¹、三宅 亮¹、野坂 俊夫² (1. 京都大、2. 岡山大)

10:30 ~ 10:45

[R7-04] かんらん岩の蛍光エックス線分析における鉄のマトリックス効果と地球化学標準物質の役割

*三國 和音^{1,2}、石川 晃² (1. 国立研究開発法人産業技術総合研究所、2. 東京科学大学)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

10:45 ~ 11:00

[R7-05] 八方尾根変成かんらん岩中のNiに富むかんらん石とトレボライト：その産状と意義

*山田 成乃助¹、江島 輝美¹、荒井 章司² (1. 信州大・理、2. 金沢大)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

11:00 ~ 11:15

[R7-06] 白馬岳蛇紋岩の特性：日本最高所に産するマントル起源岩

*齋藤 香鈴¹、山田 成乃助¹、江島 輝美²、荒井 章司³ (1. 信州大・院理、2. 信州大、3. 金沢大)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

11:15 ~ 11:30

[R7-07] Identification of solid inclusions in tin, columbite-tantalite, REE granite-pegmatite of the Kivu Belt through Petrography, Raman Spectroscopy, and Microthermometry.

*MUSA Kam's SAIDI¹, MADHUSOODHAN Satish Kumar² (1. Graduate School of Science and Technology, Niigata Univ., 2. Faculty of Science and Technology, Niigata Univ.)

11:30 ~ 11:45

[R7-08] 丹沢トータル岩体の全岩化学組成とマグマ進化における銅の挙動

*天谷 宇志¹、金丸 龍夫²、山本 伸次³、昆 慶明¹ (1. 産業技術総合研究所、2. 日本大学、3. 横浜国立大学)

口頭講演 | R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

2026年9月26日(土) 9:30 ~ 11:45 | C 会場 (287号室)

R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

座長: 秋澤 紀克、越後 拓也 (秋田大学大学院国際資源学研究所)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ 招待講演

9:30 ~ 10:00

[R7-01] 放射光X線CTと顕微ラマン分光分析によるマントル捕獲岩中の有機包有物の探索*三津川 到¹、三宅 亮²、伊神 洋平²、小木曾 哲²、秋澤 紀克³、星野 真人⁴、上杉 健太郎⁴、佐久間 博⁵、明田 将治²、西尾 真輝² (1. 東京大学、2. 京都大学、3. 広島大学、4. 高輝度光科学研究センター、5. NIMS)

キーワード: マントル捕獲岩、包有物、非生物的な有機物、放射光X線CT、顕微ラマン分光分析

地球のマントル内部で生物活動を介さずに有機物が合成される可能性が指摘されてきた[1]。高温高压実験や熱力学計算により、マントル条件下で無機物から有機物が生成されることが報告されている[2]。一方で、マントル起源の有機物の実態を理解するうえでは天然試料中の有機物の分析が重要である。例えば、全岩のガスクロマトグラフ質量分析によりカンラン岩中からC₁₄-C₃₃の脂肪族炭化水素が検出され、マントル内部で合成された有機物がマントル物質中に普遍的に分布している可能性が示唆されている[3]。マントル物質中の有機物は包有物内か粒間に分布していると考えられるが、このうち包有物内に分布する有機物は、地表付近での汚染の可能性が低く、マントル内部での状態を保存している可能性が高いため特に重要である。しかし、包有物内からの有機物の検出は、キンバライトパイプ中の捕獲結晶や超高压かんらん岩など、ごく一部の特異な岩相からの報告のみにとどまっている[4]。近年、我々の研究グループは、Tahiti産マントル捕獲岩中の単斜輝石内に分布する包有物から芳香族を主体とする固相有機物を検出した[5]。この結果は、一部のマントルかんらん岩では有機物を含有する包有物が存在することを示しており、そのような包有物を特定し、分析することで有機物の形成プロセスや起源に迫ることができる可能性がある。

本研究では、非生物的に合成された有機物を含有する包有物を効率的に検出し、有機物の化学的特徴や起源に迫ることを目的として、マントルかんらん岩に対する放射光X線CT撮影と顕微ラマン分光分析を実施した。まず、11産地のマントルかんらん岩を対象に、SPring-8 BL20B2での放射光X線マイクロCT撮影を実施した。1-10 mm大に切断したマントルかんらん岩の岩片に対して、0.78-2.69 μm/pxの空間分解能でCT撮影を実施した。得られたCT像から特徴的な包有物を選定した後、それらが試料表面近傍に位置するよう研磨し、顕微ラマン分光分析を実施した。

マイクロCT撮影の結果、ほとんどの産地のマントルかんらん岩中にはごく少数の包有物のみが観察された一方で、TahitiおよびSamoa産の試料中には多数の包有物が確認された。その大部分は内部が均質で空気と同程度の低いX線の吸収を示した。一方、ごく一部には内壁に膜状物質を伴う包有物や、内部が軽元素物質で満たされた包有物が認められた。これら特異な包有物に対して顕微ラマン分光分析を実施したところ、Tahiti産試料の膜状物質からは、タルクなどの含水鉱物に由来するピークとともに、脂肪族炭化水素のC-H伸縮振動ピークや芳香族主体の固相有機物に由来するG, Dバンドが検出された。一方、Samoa産試料からも、脂肪族を主体とする有機物のピークが観察されたものの、含水鉱物の存在は確認されなかった。

これらの包有物はいずれも宿主鉱物中に孤立して分布することから、マントル内部で流体を捕獲して形成された可能性が高い。Tahiti産試料では、膜状のタルクはマントル捕獲岩の噴出後、低温条件下で包有物中の水に富む流体と宿主鉱物との反応によって形成されたと考えられる。タルク形成反応では水素が生成されることが知られており[6]、その水素により流体中の二酸化炭素が還元され、有機物が二次的に生成した可能性がある。一方、Samoa産試料では含水鉱物が認められないことから、包有物中の有機物はマントル内部で非生物的に合成された可能性が高い。これらの結果は、マントルかんらん岩の包有物中に多様な起源をもつ有機物が存在することを示すと同時に、放射光X線CTと顕微ラマン分光分析を組み合わせたその場分析

が、その起源や形成プロセスの解明に有効であることを示した。

[1] Mendeleev (1877) *Russ. Chem. Soc. Phys. Soc. Is* [2] Scott et al. (2004) *Proc. Natl. Acad. Sci.*
[3] Sugisaki & Mimura (1994) *Geochim. Cosmochim. Acta* [4] Tomilenko et al. (2009) *Doklady Earth Sciences* [5] Mitsukawa et al. (2026) *Sci. Rep.* [6] Huang et al. (2024) *Sci. China Earth Sci.*

口頭講演 | R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

2026年9月26日(土) 9:30 ~ 11:45 | C 会場 (287号室)

R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

座長: 秋澤 紀克、越後 拓也 (秋田大学大学院国際資源学研究所)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ 研究優秀発表賞エントリー

10:00 ~ 10:15

[R7-02] 北海道渡島大島火山に産するダナイト-ウェールライト捕獲岩の成因：島弧下最上部マントルプロセスへの示唆*田口 創大¹、江島 輝美²、高橋 康²、昆 慶明³、荒井 章司⁴ (1. 信州大学・院理、2. 信州大学・理、3. 産総研、4. 金沢大)

キーワード：ダナイト-ウェールライト、捕獲岩、メルト-岩石相互作用、島弧マントル、複成火山

ダナイト-ウェールライトは、オフィオライトに広く分布するほか、捕獲岩としても普遍的に認められ、最上部マントル～モホ遷移帯 (MTZ) の主要な構成要素である (e.g., Arai et al., 2000). 北海道渡島大島火山は、東北日本弧においてかんらん岩捕獲岩が報告されている数少ない産地の一つであり、ダナイト-ウェールライト系列の捕獲岩を多産する点で特徴的である。これまで、これらの岩石は同火山の主要な噴出物であるアルカリ玄武岩マグマからの分別結晶作用による集積岩であると解釈されてきた (Yamamoto, 1984). しかし、Fo-Di-Qtz系における相平衡関係に基づく、高圧下で生成されたアルカリ玄武岩マグマは減圧によりかんらん石に過飽和となり (Kushiro, 1969)、この状態から理想的な完全分別結晶作用が進行した場合に形成されるのは、かんらん石のみからなるダナイト、ついでかんらん石単斜輝石岩となる。すなわち、渡島大島火山に産するような、単斜輝石を含むダナイト-ウェールライトの形成は説明できない。したがって、渡島大島に産するダナイト-ウェールライトの成因を理解するには、単純な結晶分化だけでなく、岩石-メルト反応を含む開放的なプロセスを考慮する必要がある。本研究では、これらの成因解明を目的として、渡島大島の北風泊海岸において採取したダナイト-ウェールライト捕獲岩について、偏光顕微鏡観察および電子プローブマイクロアナライザーによる鉱物化学組成分析を行った。

ダナイト-ウェールライト捕獲岩は、単独の捕獲岩として産するほか、単斜輝石岩やホルンブレンドガブロと接する複合捕獲岩として頻繁に産する。ダナイト-ウェールライトは主にかんらん石、単斜輝石、およびクロムスピネルから構成される。かんらん石のFo値は93-78の範囲を示し、Fo値の低下に伴いNiO含有量が約0.45 wt%-0.1 wt%の間で直線的に減少する。この傾向は単純な分別結晶作用で期待される Fo-NiO図における下に凸のトレンドとは一致せず、メルトと既存かんらん石とのFe-Mg交換反応などの他の効果を反映していると考えられる (e.g., Gordeychik et al., 2020). 単斜輝石はかんらん石の粒間を充填し、粒間メルトから後生的に晶出したことを示す。クロムスピネルは、しばしば局所的に濃集する。通常、クロムスピネルがかんらん石とコテクティックに晶出する場合、その存在比はかんらん石の1～数vol%以下にとどまることが知られている (e.g., Irvine, 1977). しかし、本岩類に見られるクロムスピネル濃集部はこの存在比を大きく上回り、単純な分別結晶作用によって形成したとは考えにくい。また、クロムスピネルのCr#とTiO₂含有量の関係は、Cr#が一定範囲 (約0.4-0.5) に保たれたままTiO₂含有量が最大3.7 wt%まで上昇し、系外からのCrの継続的な供給があったことを示唆する。

これらの観察事実は、上昇するシリカ不飽和なアルカリ玄武岩マグマが既存の直方輝石を含むかんらん岩に浸透し、直方輝石の非調和融解/溶融を引き起こしたことを強く支持する。直方輝石の融解によって生じた二次メルトは、リチャージされた未分化メルトとの混合を通じてその組成をクロムスピネル初晶領域へ移行させ、クロムスピネルの晶出を促進したと考えられる。さらに、残存した粒間メルトから単斜輝石が晶出し、ダナイト-ウェールライトが形成されたと考えられる。

渡島大島火山は東北日本弧背弧側に位置する第四紀複成火山であり、同火山下の最上部マントル～MTZにおいてはシリカ不飽和なアルカリ玄武岩マグマが長期的に供給されてきたことが

想定される．このような高メルトフラックス条件下で，上述の反応が累積的に進行し，渡島大島火山下における最上部マントル～MTZの岩石構成が大規模に改変された可能性がある．この影響を評価する上で，同じく東北日本弧背弧側に位置し，かんらん岩捕獲岩を産する目潟火山一の目潟との比較は注目に値する．一の目潟に産するかんらん岩捕獲岩はレルゾライト-ハルツバーナイトが主であり，ダナイト-ウェールライトはまれである（荒井・高橋，1987）．すなわち，両産地は類似したテクトニックセッティングに位置し，ともに背弧玄武岩マグマが関与するにもかかわらず，産するかんらん岩捕獲岩の岩相が大きく異なる．この事実は，単成火山である目潟火山下ではマグマとマントルかんらん岩との反応が小規模であるのに対して，複成火山である渡島大島火山下では反応がより長期間・広域的に累積し，岩石構成が大きく改変された結果と解釈される．本研究の結果は，複成火山下におけるマントル-マグマ反応が，島弧下最上部マントル～MTZの不均質性形成に重要な役割を果たす可能性を示す．

口頭講演 | R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

2026年9月26日(土) 9:30 ~ 11:45 | C 会場 (287号室)

R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

座長: 秋澤 紀克、越後 拓也 (秋田大学大学院国際資源学研究所)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ 研究優秀発表賞エントリー

10:15 ~ 10:30

[R7-03] 海洋コアコンプレックス斑れい岩に含まれるかんらん石の変形組織とシンプレクタイト包有物の観察*小倉 正義¹、伊神 洋平¹、三宅 亮¹、野坂 俊夫² (1. 京都大、2. 岡山大)

キーワード: かんらん石、包有物、EBSD、斑れい岩、変形組織

【はじめに】

かんらん石中のシンプレクタイト包有物は、地球のほか月や火星隕石など様々な産地から報告され、その特徴に基づき母相のかんらん石の熱履歴や、流体活動、変形の履歴などが議論されている (Khisina et al., 2013, Basch et al., 2021など)。

西村・野坂 (2022) は海洋コアコンプレックスのAtlantis Bank (以下A. Bank) とAtlantis Massif (以下A. Massif) で得られた斑れい岩中のかんらん石から、ディオプサイド (Di)、磁鉄鉱 (Mgt)、チタン鉄鉱 (Ilm) からなるシンプレクタイト包有物を報告した。ここで、A. Bankはメルトの上方への輸送に伴う強い結晶塑性変形を受けているのに対し、A. Massifはメルトの輸送が限定的で、あまり結晶塑性変形を受けていない (Dick et al., 2019)。このような変形作用は包有物の生成に関わっていると考えられるが、かんらん石の変形度合いと包有物の形成に関する十分な研究は行われていない。そのため本研究では、後方散乱電子回折 (electron backscatter diffraction; EBSD) マッピングを用いてかんらん石の変形と包有物の関係を調べた。

【手法】

本研究ではA. Bankで得られた試料の薄片 (U1473A30R-3) とA. Massifで得られた試料の薄片 (U1309D277R-3) を用いた。A. Bankの薄片には、包有物が含まれているかんらん石と、含まれていないかんらん石が存在しており、A. Massifの薄片には、包有物が含まれているかんらん石のみ存在していた。それぞれの試料に対してかんらん石の亜粒界と包有物の関係を明らかにするため、各かんらん石粒子全体のEBSDマッピングを約5 μm 間隔で行った。また、かんらん石と包有物の方位関係を明らかにするため、より高分解能でのマッピングも行った。

走査型電子顕微鏡 (SEM) はThermo Fischer scientific, Helios NanoLab G3 CXを、EBSDにはOxford Instruments, Nordlys, HKL Channel 5を用いた。SEMのビーム条件は加速電圧15 kV、照射電流1.4 nAで行った。取得したEBSDパターンはEMsoft (Singh et al., 2017) とkikuchipy (Ånes et al., 2026) を用いてDictionary Index法 (De Graef, 2019) により指数付けした。指数付けが完了したデータをOxford Instruments, AZtecCrystalで組織解析した。特に、隣接ピクセル間で1°以上の角度差を持つ境界を亜粒界と推定して可視化した。また、Weighted Burgers Vector (WBV, Wheeler et al., 2009) マップも作成した。かんらん石と各包有物構成鉱物の結晶方位は極点図上にプロットして方位関係を決定した。

【結果・考察】

A. Bankの薄片では、MgtとDiからなる包有物とMgtかIlmのみの包有物が存在し、方位関係は、 $[001]_{ol} // [010]_{Di} // \langle 110 \rangle_{Mgt}$ 、 $(100)_{ol} // \{111\}_{Mgt}$ であった。A. Massifの薄片では、MgtとDi、Ilmで構成された包有物とチタン鉄鉱のみの包有物が存在した。包有物とかんらん石の方位関係は、 $[001]_{ol} \text{ or } \langle 011 \rangle_{ol} // [010]_{Di} // \langle 110 \rangle_{Mgt} // \langle 100 \rangle_{Ilm}$ 、 $(100)_{ol} // \{111\}_{Mgt} // (001)_{Ilm}$ であった。先行研究 (Khisina et al., 2013) と比較すると、かんらん石-Mgt間の方位関係は一致するが、かんらん石-Di間の関係は一致しない。いずれにせよ、特定の方位関係があることは包有物形成の際にかんらん石との界面の影響を受けていたことを示唆する。

A. Bankの薄片では、包有物が存在する場合は包有物と平行に亜粒界が多く認められ、包有物は亜粒界上に存在した。WBV解析によるとこれらの亜粒界を構成する転位のバーガースベクトル

ルは $[100]_{ol}$ である。一方、包有物が存在しない場合は亜粒界もほとんど認められなかった。また、A. Massifの薄片では、本EBSD測定で明瞭に定義できた亜粒界は少なく、かんらん石はより連続的な方位変化を示した。

A. Bankの薄片で亜粒界上に包有物が存在することは、A. Bankで起こったメルトの上方への輸送やそれと関連した変形が包有物の形成と関連する可能性を示す。一方、A. Massifで得られた試料では変形とは無関係にかんらん石中に存在する包有物が多く見られる。それゆえ、A. BankとA. Massifで包有物の形成過程が異なっていた可能性がある。

口頭講演 | R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

2026年9月26日(土) 9:30 ~ 11:45 | C 会場 (287号室)

R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

座長: 秋澤 紀克、越後 拓也 (秋田大学大学院国際資源学研究所)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

10:30 ~ 10:45

[R7-04] かんらん岩の蛍光エックス線分析における鉄のマトリックス効果と地球化学標準物質の役割*三國 和音^{1,2}、石川 晃² (1. 国立研究開発法人産業技術総合研究所、2. 東京科学大学)

キーワード: かんらん岩、超苦鉄質岩、蛍光エックス線分析、マトリックス効果、地球化学標準物質

マントルの部分溶融や変質、変成などマントルのジオダイナミクスは、マントル由来のカンラン岩や蛇紋岩を通じて解読されてきた。超苦鉄質岩から抽出される情報のうち、全岩化学組成はその起源や記録する地質史を特徴づける最も基本的かつ重要なものである。超苦鉄質岩を含む岩石の主要元素および一部の微量元素の定量は、ガラスビードを用いた蛍光X線 (XRF) 分析が主流である。融剤を用いた岩石のガラス化により難分解性鉱物も効率的に分解可能であることや、試料準備から分析操作が比較的簡便という利点がある。

XRF分析における精度や感度は主に装置性能に依存する一方、複数の標準物質による多点検量線を用いたXRF定量分析の確度 (正確さ) は、マトリックス効果と標準物質の標準値の正確さに左右される。特にマトリックス効果を考慮すると、目的試料と類似するマトリックス (主成分組成) の標準物質を検量線に用いるのが理想的であるが、一般的な火成岩の定量には、玄武岩から流紋岩 (斑レイ岩から花崗岩) までの多種の火成岩から成る標準物質を用いて定量されることが多く、大きな問題は報告されていない。これは、特に高希釈ガラスビードを用いたXRF分析においては火成岩標準物質の間に大きなマトリックス効果は無視できるということを示している。

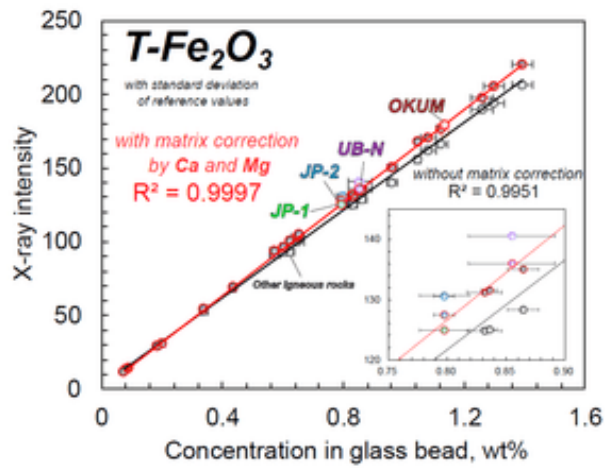
一方、かんらん岩は一般的な火成岩と比べ高いMg濃度と低いSi濃度を示すやや極端な化学組成を持つ。しかし、かんらん岩を含む超苦鉄質岩の標準物質は限られており、例えば日本国内で販売済みのものはJP-1 (ダナイト) ひとつである。そのため、超苦鉄質岩のみの検量線を作成するのは難しく、その他の火成岩シリーズ標準物質に混ぜた検量線を作成することが多い。本研究では、複数の超苦鉄質岩標準物質と火成岩標準物質を用いたXRF分析により、かんらん岩がその他の火成岩との間にマトリックス効果を示すかについて検証した結果を報告する[1]。1:10ガラスビードについてXRF分析を行い、複数の超苦鉄質岩標準物質—ダナイトJP-1、斜長石レルゾライトJP-2 (未販売、[2])、蛇紋岩UB-N、コマチアイトOKUM—と複数の火成岩標準物質で検量線を作成した。その結果、かんらん岩は全鉄 ($T\text{-Fe}_2\text{O}_3$) について、その他の火成岩よりも標準値に対して高い蛍光X線強度を示すことが明らかとなった。また、異なるXRF機器で同じガラスビードを分析しても同様の結果が得られた。この $T\text{-Fe}_2\text{O}_3$ についてのマトリックス効果は、CaとMgを共存元素としたマトリックス補正 (重回帰法) により改善される。補正後の検量線を用い、かんらん岩GP13 [3]および玄武岩JB-3について定量計算を行うと、 $T\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 濃度は推奨値とよく一致した。一方、マトリックス補正を行わない場合、かんらん岩試料の $T\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 濃度は約0.5–0.6 wt%過大評価される。このようなマトリックス効果は、 $\text{Fe}^{3+}/\Sigma\text{Fe}$ 比やMg#の見積り、Feを内標準元素とした微量元素測定の定量計算など、重要な地球化学指標への影響を避けるため、補正されるべきものである。

このような議論は、用いる地球化学標準物質の参照値が信頼できることが大前提である。したがって、地球化学標準物質に付随する参照値の中身を理解して引用することが重要である。そしてこのようなマトリックス効果が明らかとなった今、国内における超苦鉄質岩標準物質の整備が急務であると考えられる。

[1] Mikuni et al. (2025c) *Geochem. J.*, 59, 299–314[2] Mikuni et al. (2025b) *Geochem. J.*, 59, 271–282

[3] Pearson (1989) Ph.D. thesis

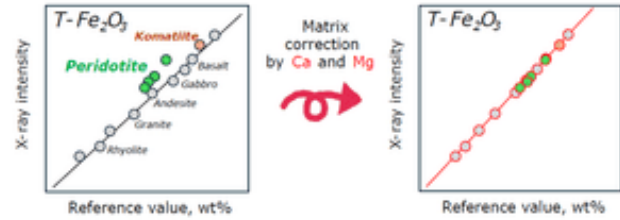
©2026 一般社団法人日本鉱物科学会



- Peridotite shows Fe X-ray fluorescence intensity different from that of other igneous rocks at a given concentration

- This deviation results in a 0.5–0.6 wt% overestimation of $T\text{-Fe}_2\text{O}_3$ in peridotite

- The matrix effect can be addressed by matrix correction using Ca and Mg



口頭講演 | R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

2026年9月26日(土) 9:30 ~ 11:45 | C 会場 (287号室)

R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

座長: 秋澤 紀克、越後 拓也 (秋田大学大学院国際資源学研究所)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ 研究優秀発表賞エントリー

10:45 ~ 11:00

[R7-05] 八方尾根変成かんらん岩中のNiに富むかんらん石とトレボライト：その産状と意義*山田 成乃助¹、江島 輝美¹、荒井 章司² (1. 信州大・理、2. 金沢大)

キーワード：Niに富むかんらん石、トレボライト、八方尾根、蛇紋岩化作用、マントルウェッジ流体

Niは各種合金や電池材料として広く利用されており、経済的に重要な金属元素の1つである。Ni鉱床は、かんらん岩（蛇紋岩）の風化により形成するラテライト中の二次鉱物や、熱水活動に伴う硫化物/砒化物が集積することで形成する。これらの鉱床形成は一般に加水作用と密接に関係しており、マントルウェッジにおけるNiの挙動は極めて興味深い。しかし、系統的な試料の調達が困難であり、十分に解明されたとは言い難い。これまでに、蛇紋岩化した超苦鉄質岩からはNiを主成分とする硫化物/砒化物が報告されているが、それ以外の鉱物相へのNiの分配挙動についての知見は著しく乏しい。我々は、八方尾根岩体の蛇紋岩化の卓越したかんらん岩中にNi濃集鉱物（Niに富むかんらん石、Ni-Fe³⁺スピネルのトレボライト）を発見した。本発表ではこれらの産状を報告し、マントルウェッジ底部における蛇紋岩化作用に伴うNiの濃集過程について論じる。鉱物の組織観察と組成分析、元素濃度分布分析には電界放出型電子プローブマイクロアナライザー（JEOL JXA-iHP200F, 信州大学設置）を用いた。

八方尾根岩体は、飛騨外縁帯のかんらん岩（蛇紋岩）体の中で最大のものであり、前弧マントルウェッジ起源とされる（中水ほか, 1989; Khedr et al., 2010）。このかんらん岩は、低温高压型の広域変成作用（蓮華変成作用, ~300 Ma）と有明花崗岩による接触変成作用（~65 Ma）を受けている（中水ほか, 1989; Nozaka, 2005）。

Niに富む鉱物は、八方尾根岩体中に局所的（幅約40 m）に分布するダナイト帯に産する。主要な構成鉱物は蛇紋石（アンチゴライト）、トレモラ閃石、緑泥石、脱蛇紋岩化によるかんらん石、滑石、磁鉄鉱であり、クロムスピネルを欠く。磁鉄鉱は単結晶（自形, 平均15 μm）とレンズ状の集合体（>100 μm）の2種類に大別される。磁鉄鉱集合体の一部はNiに富んでおり、Ni硫化物であるヒーズルウッドイトと共生している。ヒーズルウッドイトは磁鉄鉱集合体の周囲、あるいは磁鉄鉱を切るように存在し、その周囲の磁鉄鉱はNiに乏しくなっている。

トレボライトは蛇紋石の基質中に長径約10 μmの半自形結晶として産し、その組成は、 $(\text{Ni}_{0.624}\text{Fe}^{2+}_{0.315}\text{Mg}_{0.054}\text{Mn}_{0.003}\text{Co}_{0.003})_{\Sigma 0.999}(\text{Fe}^{3+}_{1.821}\text{Cr}_{0.161}\text{Al}_{0.010}\text{Si}_{0.004}\text{Ti}_{0.002})_{\Sigma 1.998}\text{O}_4$ である。Niに富むかんらん石は、Niに乏しい磁鉄鉱集合体またはトレボライトに完全に包有された10 μm以下の粒子として産する。磁鉄鉱に包有されたNiに富むかんらん石の組成は、 $(\text{Mg}_{1.498}\text{Ni}_{0.403}\text{Fe}^{2+}_{0.115})_{\Sigma 2.016}\text{Si}_{0.992}\text{O}_4$ である。

本研究試料はクロムスピネルを欠くものの、磁鉄鉱集合体はマントルウェッジ底部のダナイト帯で、高い流体/岩石比の下で蛇紋岩化が進行する際に、初生的に含まれたクロムスピネルを核として晶出したと推定される（山田ほか, 2025, 日本鉱物科学会年会）。Niに富むかんらん石は、磁鉄鉱またはトレボライトに完全に包有された産状を呈する。一般に、磁鉄鉱はかんらん石が蛇紋石化する際に晶出するため、かんらん石と磁鉄鉱が同時に形成したとは考えにくく、Niに富むかんらん石は、もともとクロムスピネル中に存在するかんらん石包有物（e.g., Miura et al., 2012）であった可能性が高い。NiとFeは蛇紋岩化の際にかんらん石が分解することで供給された。これらの元素はH₂Oに富む流体により移動し、クロムスピネルを核として成長した。初期段階で晶出した磁鉄鉱はトレボライト成分に富む（高Ni/Fe）組成であった。核となった初生的なクロムスピネルとその包有物のかんらん石の構成元素がNiとFeに置換されることで、これらはNiに富む組成に変化したと考えられる。その後、Siに富む流体の侵入によってトレボライト成分に富む磁鉄鉱の大部分はNiに乏しい磁鉄鉱と硫化物（ヒーズルウッドイト）に

変化したと考察される。

以上より、八方尾根岩体のトレボライトとNiに富むかんらん石は、それぞれ初生的なクロムスピネルとそのかんらん石包有物に由来する可能性が高い。八方尾根岩体におけるダナイト帯はH₂Oに富む流体のチャンネルとして機能し、遷移金属元素の移動・濃集を促進したと考えられる。流体自体の性質については依然として不明瞭であり、これを明らかにすることが我々の次の課題である。

※本研究は、長野県科学振興会の助成を受け実施した。

口頭講演 | R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

2026年9月26日(土) 9:30 ~ 11:45 | C 会場 (287号室)

R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

座長: 秋澤 紀克、越後 拓也 (秋田大学大学院国際資源学研究所)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ 研究優秀発表賞エントリー

11:00 ~ 11:15

[R7-06] 白馬岳蛇紋岩の特性：日本最高所に産するマントル起源岩*齋藤 香鈴¹、山田 成乃助¹、江島 輝美²、荒井 章司³ (1. 信州大・院理、2. 信州大、3. 金沢大)

キーワード：白馬岳、飛驒外縁帯、マントルかんらん岩、蛇紋岩

プレート収束域では、マントルの断片が地殻内に併入・上昇し、地表、時に高所まで運ばれる。本来地下深部に存在するマントル物質が地表に露出しているということは、それ自体が大規模な垂直方向の累積的変動があったことを示す、物質的な証拠として興味深い。北アルプス白馬岳の周辺に分布する蛇紋岩は、報告されている国内の超苦鉄質岩としては最も高所（標高約2850 m）に位置すると思われる。この“白馬岳蛇紋岩”は飛驒外縁帯を構成する超苦鉄質岩の一部であり、ペルム系白馬岳層に衝上するクリッペとして分布する（竹内, 1998; 竹内ほか, 2004）。同帯の超苦鉄質岩の中でも、青海、小滝、八方尾根、伊勢地域に分布するものについては岩石学的検討が進められ、マントルウェッジ起源であると考えられている（e.g., Khedr and Arai, 2009）。しかし白馬岳蛇紋岩は高山地帯に小規模に分布しており、岩石学的研究は行われておらず、その性質は不明である。

本研究では、野外調査、岩石記載、顕微鏡観察および電界放出型電子プローブマイクロアナライザー（信州大学設置）を用いた鉱物組成分析により、白馬岳付近の蛇紋岩がマントル起源であることを検証し、原岩特性を検討した。

白馬岳蛇紋岩は全体的に高度に剪断されているが、一部は塊状である。この塊状部分は大部分が蛇紋石（アンチゴライトを含む）、滑石、炭酸塩鉱物（方解石、苦灰石）で構成され、少量のクロムスピネル、磁鉄鉱、硫化鉱物（磁硫鉄鉱）が産する。またかんらん石の仮像組織であるメッシュ組織と、直方輝石の仮像組織であるバスタイトが認められる。この両者は蛇紋石、滑石、磁鉄鉱で構成される。バスタイトを構成する蛇紋石はキンクバンドを有し、波動消光し、先行鉱物の変形を記憶している。バスタイトのモードは、32.2 cm²の範囲で測定した結果、10%である。クロムスピネルは唯一部分的に保存されている初生鉱物であり、特徴的なアメーバ状で産する。また、バスタイトとアメーバ状のクロムスピネルからなる集合体が存在する。クロムスピネルのCr#（Cr/(Cr+Al)原子比）は0.36–0.41である。

白馬岳付近の塊状蛇紋岩には、かんらん石と直方輝石の仮像が顕著にみられ、原岩はかんらん岩であるといえる。完全な蛇紋岩化により、かんらん石のFo値は不明であるが、クロムスピネルのCr#が低～中程度であることと、バスタイトのモードから、原岩はハルツバーナイト（レールゾライトに近い？）であると考えられる（Arai, 1994）。

飛驒外縁帯最大のマントルかんらん岩体である八方尾根かんらん岩体では、レールゾライトが優勢である（Khedr and Arai, 2009）が、白馬岳蛇紋岩のクロムスピネルのCr#は飛驒外縁帯の小滝、伊勢地域のハルツバーナイトのもの（町・石渡, 2010; Khedr and Arai, 2011）と同様であり、白馬岳蛇紋岩の原岩は、飛驒外縁帯に広く分布する比較的低枯渇度のハルツバーナイトと同様のものと推定される。アメーバ状クロムスピネルおよび輝石との集合体は、西南日本の日本海側から飛驒外縁帯にかけて分布するマントル起源岩に共通する特徴として知られる（e.g., Arai, 1980; 町・石渡, 2010）。したがって本岩体も、それらの超苦鉄質岩類と共通する起源を有するものであろう。

白馬岳蛇紋岩は、日本で最も高所に産するマントル起源のハルツバーナイトである。その岩石学的特徴は、飛驒外縁帯を構成する超苦鉄質岩のなかでも、比較的部分熔融度の低いものに相当する。マントルから現位置に至るまでの垂直変位量は、ヒマラヤ山脈のエベレストに露出する海成層のそれに相当するものであり、白馬岳蛇紋岩はユーラシア大陸の縁辺部に位置してきた、日本の活発な地殻変動を象徴づける存在であるといえよう。

口頭講演 | R7：岩石・鉱物・鉱床(資源地質学会との共催)

2026年9月26日(土) 9:30 ~ 11:45 | C 会場 (287号室)

R7：岩石・鉱物・鉱床(資源地質学会との共催)

座長: 秋澤 紀克、越後 拓也(秋田大学大学院国際資源学研究科)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

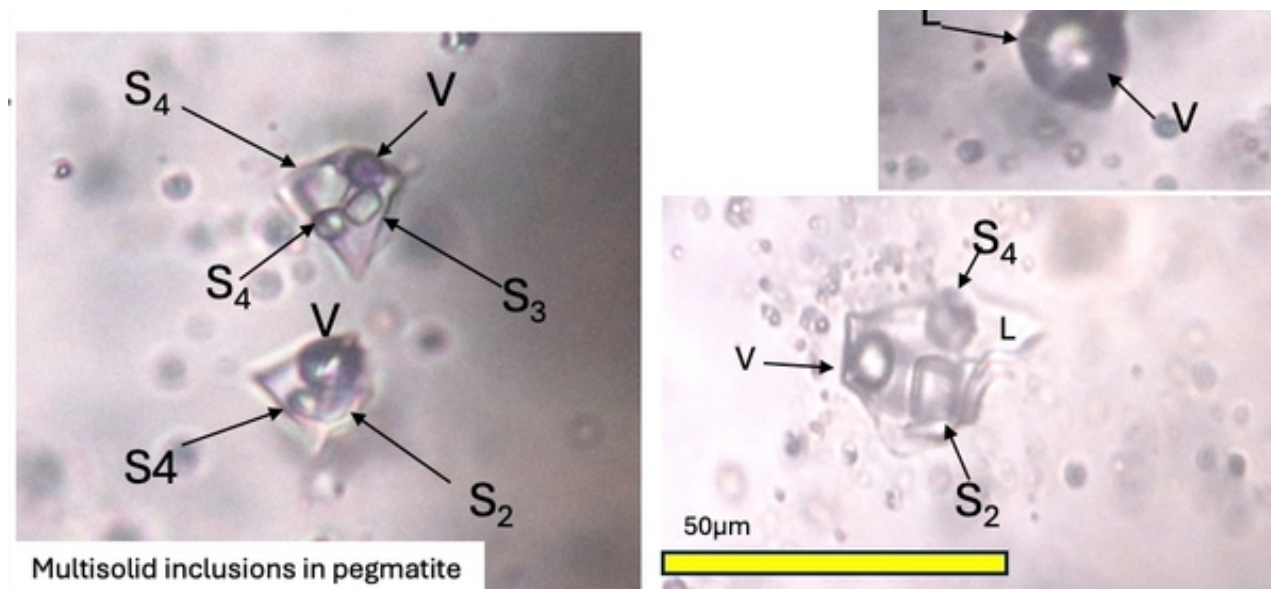
◆ 研究優秀発表賞エントリー

11:15 ~ 11:30

[R7-07] Identification of solid inclusions in tin, columbite-tantalite, REE granite-pegmatite of the Kivu Belt through Petrography, Raman Spectroscopy, and Microthermometry.*MUSA Kam's SAIDI¹, MADHUSOODHAN Satish Kumar² (1. Graduate School of Science and Technology, Niigata Univ., 2. Faculty of Science and Technology, Niigata Univ.)

キーワード: Solid inclusions、microthermometry、critical mineral、Raman spectroscopy、dissolution temperature.

The global transition to renewable energy has intensified demand for critical minerals, including lithium (rechargeable batteries), tantalum (capacitors and aerospace components), rare earth elements (advanced electronics), and tin (electric vehicle batteries, sodium-ion batteries, and soldering). Tin occurs as cassiterite (SnO₂) in hydrothermal deposits, granites, and alluvial ores. In the Democratic Republic of Congo, the Kibaran belt hosts numerous industrial minerals—tin, tungsten, niobium, tantalite, lithium, rare earth elements (REE), and gold—but fluid inclusion studies have revealed extreme supersaturation in many systems, with numerous unidentified solid phases. This research identifies solid inclusions in four Kibaran lithotypes (REE granite, tourmaline pegmatite, greisen, and tin quartz vein) using integrated petrographic microscopy, Raman spectroscopy, and microthermometry. Petrographic observation classified eight morphological solid types: S1 (euhedral cubic) as halite, S2 (subhedral cubic) as sylvite, S3 (rectangular) as a captive mineral, S4 (anhedral/euhedral grain), S5 (prismatic), S6 (hexagonal), S7 (rhombic) as carbonate, and S8 (oval grain) as a metallic mineral. Raman spectroscopy revealed: (1) carbonate-sulfate daughter minerals with reduced gases (CH₄, H₂S, H₂O) in tin quartz veins; (2) graphite, carbonate, complex hydrocarbons, and Raman-inactive phases in REE granite; (3) carbonates, boron species (HBO₂), and Raman-inactive phases in tourmaline pegmatite; and (4) a carbonate-sulfate system with reduced carbon in greisen. Semi-quantitative molar fraction calculations show water (liquid + vapor) is the most abundant gas phase across all systems—highest in greisen (94 mol%) and lowest in tourmaline pegmatite (where H₂S dominates). Reduced sulfur gases (H₂S) occur in all systems, most prominently in tourmaline pegmatite. In Microthermometry, under vapor-saturated conditions, some solid phases dissolved before the bubble homogenization temperature, while others dissolved after it, and some did not dissolve. The microthermometry measurement has revealed that: S1 (halite) dissolved at 132 °C (REE granite), 216–260 °C (pegmatite), and 96–170 °C (tin vein), but was most stable in greisen (251–375 °C). S3 (Na/Ca carbonate) dissolved at 264–380 °C (REE granite) and 515 °C (greisen). S5 (acicular tourmaline) did not dissolve, confirming its refractory nature. S8 was most stable in REE granite (550 °C). These results provide a petrogenetic framework for ore deposits in this mobile belt. Further analysis is ongoing to understand the mineralization in this formation.



口頭講演 | R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

2026年9月26日(土) 9:30 ~ 11:45 | C 会場 (287号室)

R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

座長: 秋澤 紀克、越後 拓也 (秋田大学大学院国際資源学研究所)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

11:30 ~ 11:45

[R7-08] 丹沢トータル岩体の全岩化学組成とマグマ進化における銅の挙動*天谷 宇志¹、金丸 龍夫²、山本 伸次³、昆 慶明¹ (1. 産業技術総合研究所、2. 日本大学、3. 横浜国立大学)

キーワード: 丹沢トータル岩体、Mタイプ花崗岩、熱水性銅鉱床、全岩化学組成

熱水性金属鉱床のタイプや規模は、花崗岩質マグマの化学的特徴と密接に関連している。斑岩銅鉱床の形成では、花崗岩質マグマの起源物質が、鉱床形成能力を制御する要因の一つとして議論されてきた。海洋地殻玄武岩の部分溶融を起源とする花崗岩の中で、マントル由来の苦鉄質物質の寄与が大きいMタイプ花崗岩(White, 1979)は、時折、斑岩銅鉱床を伴い、全岩銅濃度が高いことから、斑岩銅鉱床の金属供給源となる可能性が指摘されてきた(Pitcher, 1983)。しかし、Mタイプ花崗岩を含め、岩体全体における系統的な化学組成変化やマグマ進化に伴う銅の挙動は、十分に明らかになっていない。

南部フォッサマグナ地域の丹沢トータル岩は、新第三紀に形成した日本における典型的なMタイプ花崗岩で、フィリピン海プレートに由来する玄武岩質下部地殻の含水部分溶融により形成されたと推定されている(Nakajima & Arima, 1998)。そのため、銅に富む起源物質をマグマの化学組成に反映していると期待される。実際に、丹沢トータル岩体の流体包有物には、斑岩銅鉱床に匹敵する銅に富む熱水流体が保存されている(Kurosawa et al., 2014)。丹沢トータル岩体は、斑レイ岩、トータル岩、花崗閃緑岩などから構成されており、これらは親マグマからの苦鉄質鉱物の集積と結晶分化により形成されたと考えられている。加えて、暗色包有岩も認められる。これらのマグマ進化による深成岩体の形成や苦鉄質マグマの貫入は、鉱床形成において、元素の濃集や揮発性成分の供給といった重要な要因である。本研究では、高橋ほか(2004)で採集された丹沢トータル岩体ほぼ全域の斑レイ岩、トータル岩、トータル岩ポーフイリー、アプライト及びトータル岩に貫入する暗色包有岩(全140試料)を再分析した。今回は、主成分組成、微量成分組成、 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 、硫黄含有量、含水量(H_2O^+ , H_2O^-)に基づき、丹沢トータル岩質マグマの進化に伴う銅の挙動を検討した。

深成岩類の主成分組成は、約40~77 wt% SiO_2 の範囲であり、ハーカー図においては、主要酸化物組成は、 SiO_2 の増加に伴い系統的な増減傾向を示した。一方、微量元素組成においては、 SiO_2 -Sr図で約60 wt%より低 SiO_2 側でSr含有量のばらつきが大きくなることから、斜長石を含む鉱物集積過程の影響が示唆される。REEパターンは、斑レイ岩~トータル岩でやや軽希土に乏しいフラットなパターンを示すものの、トータル岩ポーフイリーでは、重希土に乏しいやや右下がりのパターンを示した。銅含有量は、深成岩類で1 ppm以下~450 ppmと幅広いが、大部分は100 ppm以下である。暗色包有岩(約50~55 wt% SiO_2)では、15 ppm以上と一貫して高い。 SiO_2 -Cu図では、トータル岩の結晶分化に伴い銅含有量のばらつきが大きくなり、55 wt% SiO_2 以降、全体的に減少した。箱ひげ図では、斑レイ岩の銅含有量のほとんどばらつきがないのに対し、約50~60 wt% SiO_2 のトータル岩において、既にそのばらつきが大きい。加えて、暗色包有岩近傍のトータル岩でも優位にCu濃度が高い傾向はみられなかった。 Cu - H_2O^+ 図では、銅に富むトータル岩は約1.5 wt% H_2O^+ で、含水量の低下に伴い銅含有量が低下した。

これらの結果は、丹沢トータル岩体において、銅が分化したメルトに単純に濃集するのではなく、マグマがほとんど結晶分化せず、かつ水に富む定置後すぐの段階で、既に銅が熱水流体で移動を開始した可能性を示唆する。今後は、丹沢トータル岩中の硫化物相の同定を行い、マグマ進化に伴う銅の挙動を硫化物飽和や析出のタイミングから検討する予定である。

口頭講演 | R4：地球表層・環境・生命

■ 2026年9月26日(土) 14:15 ~ 15:30 | ■ A会場(279号室)

R4：地球表層・環境・生命

座長:川野 潤(北海道大学)、甕 聡子

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

14:15 ~ 14:30

[R4-11] 硫酸還元菌を含む微生物群衆を用いた硫化鉄合成の試み

*鎌田 樹也¹、大藤 弘明²、塚本 雄也¹、砂村 倫成²、池田 昌之² (1. 東北大・院理、2. 東大・院理)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

14:30 ~ 14:45

[R4-12] 拓洋第三海山の鉄マンガングラスト中のCe濃集とバイオフィルム様物質との関連性

*久保 太一¹、川畑 博²、大藤 弘明³、臼井 朗⁴ (1. 東北大・院理、2. 高知大・理工、3. 東大・院理、4. 高知大・海洋コア研)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

14:45 ~ 15:00

[R4-13] Bushveld複合岩体の大深度掘削による20億年前に形成した超苦鉄質岩中における微生物生態系の解明

*渡部 佑久^{1,2}、城戸 太朗^{1,2}、幸塚 麻里子^{1,2}、宇留賀 朋哉^{2,3}、大浦 正樹²、河合 敬宏³、金子 拓真³、鈴木 庸平^{1,2} (1. 東大・院理、2. RSC、3. JASRI)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

15:00 ~ 15:15

[R4-14] 方解石キラル表面におけるアラニンの鏡像選択的吸着の分子動力学解析

*栗野 公耀¹、興野 純²、池田 伊吹³、癸生川 陽子³ (1. 筑波大学・院生命地球科学、2. 筑波大学・生命環境系、3. 東京科学大・院理)

15:15 ~ 15:30

[R4-15] pH/イオン濃度可視化手法で観る非化学量論的な鉱物界面反応

*川野 潤¹、長谷川 晋一²、南里 隆堯²、三木 康誠²、豊福 高志⁴、杉浦 悠紀³、永井 隆哉 (1. 北海道大学大学院理学研究院、2. 北海道大学大学院理学院、3. 産業技術総合研究所、4. 海洋研究開発機構)

口頭講演 | R4：地球表層・環境・生命

2026年9月26日(土) 14:15 ~ 15:30 | A会場(279号室)

R4：地球表層・環境・生命

座長:川野 潤(北海道大学)、甕 聡子

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

14:15 ~ 14:30

[R4-11] 硫酸還元菌を含む微生物群衆を用いた硫化鉄合成の試み*鎌田 樹也¹、大藤 弘明²、塚本 雄也¹、砂村 倫成²、池田 昌之² (1. 東北大・院理、2. 東大・院理)

キーワード：硫酸還元菌、黄鉄鉱、グレイガイト、マッキナワイト

Pyrite (FeS_2) は地球表層環境において最も普遍的に産する硫化物であり、鉄・硫黄の表層循環において重要な役割を担っている。天然では湖沼や内湾の底性堆積物などの還元環境ではpyriteが普遍的に自生しており、その形成には微生物、特に硫酸還元菌 (sulfate reducing bacteria; 以下, SRB) が深く関与していると考えられている。

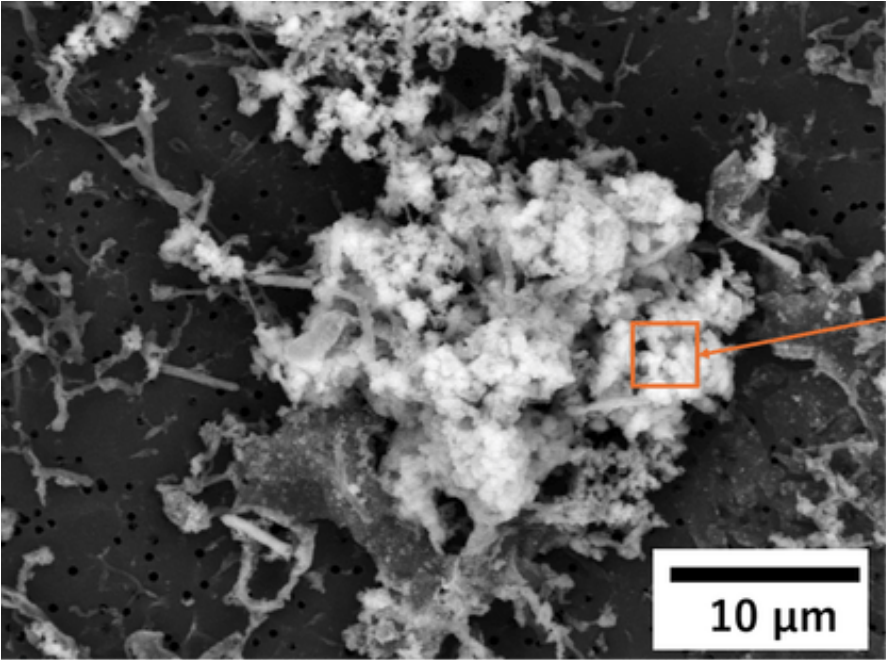
しかし、実験室においてSRBによるpyrite形成を再現した例は限られている。鉄源として FeCl_2 などの二価鉄を添加したSRBの純粋培養実験では、生成物の多くはmackinawite (FeS) で、稀に数カ月後にgreigite (Fe_3S_4) の生成が確認された (e.g. Picard et al., 2018)。一方、三価鉄を用いた場合はpyriteの生成が認めれた研究例もわずかに存在する (Rickard, 1969; Duverger et al., 2020)。これに対し、天然微生物群集を用いた培養実験では、比較的容易にpyriteが形成されており (e.g. Berg et al., 2020)、その形成にはSRBのみならず、複数種の微生物間相互作用が関与していることが示唆されている。

しかし、どのような微生物がpyrite形成に寄与し、それぞれどのような役割を果たしているのかは未だ十分に理解されていない。また、天然の還元的環境ではframoid (形態・サイズが均一な多数の微結晶の木苺状集合体) がpyriteの主要形態であるのに対し、これまでの培養実験で報告されているpyriteは、自形の単結晶あるいは球晶が主体であり、両者の間には大きな不一致がある。

そこで本研究では、宮城県仙台市与兵衛沼のヘドロから濃縮培養したSRBを含む微生物群集を、調製した培地 ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Na_2SO_4 , NH_4Cl , KH_2PO_4 , KCl , trace element solution, selenite tungsten solution, vitamin solution, sodium lactate solution, yeast extract, MES, pH 6.5) にGilbert et al. (2008)にしたがって合成した FeOOH を加え、 30°C で培養および硫化鉄鉱物の合成を試みた。生成物は脱酸素水で洗浄して凍結乾燥させた後、XRD, SEMで分析・観察を行った。

実験の結果、培養20日後の試料では、XRDにおいて出発物質の FeOOH のピークは検出されず、mackinawiteに由来すると考えられる極めてブロードなピークが認められた。一方、SEM-EDSでは、Fe:S比がおおよそ3:4であるサブミクロンサイズの不定形粒子の凝集体が主に確認され、greigiteが形成している可能性が示唆された。生成鉱物の正確な同定のために、TEMによる観察を実施する予定である。

現在、培養期間を延長した実験や鉄源を変更した実験に加え、福井県水月湖の無酸素水塊および東京湾の底性堆積物から抽出した微生物群集を対象とした濃縮培養実験を進めており、生成した鉄硫化物の比較検討を行う。本発表では、各実験の結果を報告するとともに、培養条件やpyrite形成に関与する微生物群集について議論する。



元素	atm%
O	30.93
Na	3.71
S	37.37
K	0.60
Fe	27.38
total	100.00

口頭講演 | R4：地球表層・環境・生命

2026年9月26日(土) 14:15 ~ 15:30 | A会場(279号室)

R4：地球表層・環境・生命

座長:川野 潤(北海道大学)、甕 聡子

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ 研究優秀発表賞エントリー

14:30 ~ 14:45

[R4-12] 拓洋第三海山の鉄マンガングラスト中のCe濃集とバイオフィルム様物質との関連性

*久保 太一¹、川畑 博²、大藤 弘明³、臼井 朗⁴ (1. 東北大・院理、2. 高知大・理工、3. 東大・院理、4. 高知大・海洋コア研)

キーワード：鉄マンガングラスト、バイオフィルム様物質、Ce濃集

【はじめに】

鉄マンガングラストは、岩盤が露出する海洋底において形成される鉄マンガング酸化物を主成分とした化学堆積岩である。La, CeをはじめとするREEやNi, Co等の金属元素が濃集しており、資源開発に向けた調査・研究が継続されている(JOGMEC, 2020)。従来、鉄マンガング酸化物の形成ならびにREE濃集は無機的なメカニズムによって起こると考えられてきたが、近年、微生物の関与が多くの研究で示唆されている(e.g. Usui et al., 2020)。最近の報告では、Tokumaru et al. (2026)は拓洋第五海山で採取された鉄マンガングラスト表面付近に存在する微生物様組織へのCe濃集を報告している。これは、微生物活動により局所的に生じた還元的な環境下で鉄マンガング酸化物が還元されることでCeが溶出し、微生物様組織中の有機官能基への吸着により再固定されたというプロセスを示唆する。しかしながら、そのような微生物様組織中におけるCeのホストおよびCe濃集の詳細なメカニズムはよく分かっていない。最近、我々は拓洋第三海山より採取した鉄マンガングラスト中に含まれる底生有孔虫殻に、Ceが濃集したバイオフィルム様の物質が含まれることを発見した。本研究では、この物質に対してSEMやTEMを用いた詳細な組織観察と化学分析を行い、Ceのホスト相の同定と、その起源の解明を目指した。

【研究手法】

研究試料として、房総半島東南東約350 km沖に位置する拓洋第三海山の水深2700 m付近において海洋研究開発機構の無人潜水艇かいこう Mk. IVによって採取された鉄マンガングラストを用いた。試料は母船上で切断後、自然乾燥された状態で保管されていた。これをさらに小さなブロックに切断し、鉄マンガングラスト全体の組織観察を行った。また、試料の一部を粉砕して内部に含まれる底生有孔虫殻を取り出し、光学顕微鏡およびSEMを用いてその表面観察を行った。有孔虫殻内で確認されたバイオフィルム様物質については、SEM-EDSを用いた元素分析や組織観察を行い、一部についてはFIBで薄膜を作成し、TEMによる微細組織観察と制限視野電子回折、STEM-EDSによる元素分析を行った。

【結果と考察】

鉄マンガングラスト内部に含まれている有孔虫殻内側に付着しているバイオフィルム様物質は、表面が平滑な不定形のかたまりで、その表面には粒状の物質が付着していた。SEM-EDS分析の結果、バイオフィルム様物質中におけるCe濃度は部分によって異なり、1~25 wt%の範囲で、その分布はP, Ca, Tiと強い正の相関を示す一方、Si, Alとは負の相関を示していた。この領域から切り出した薄膜のSTEM-EDS分析を行ったところ、Ceはバイオフィルム様物質の主体をなす塊状部分には高濃度で分布するのに対し、その表面に付着している粒状物質にはほとんど含まれないことが分かった。また塊状部分の内部においてもCeの濃度差が存在していた。電子線回折の結果、塊状部位内のCe濃度が高い領域からは約3Åの面間隔を持つブロードなリングパターンのみが観察され、元素分析の結果も踏まえ、非晶質リン酸カルシウム (Amorphous calcium phosphate, ACP) で構成されと考えられる。この部分のHRTEM像観察では、非晶質マトリックス内に散在する結晶質ドメインが確認され、フーリエ変換によって得られた回折点はアパタイトの逆格子で説明できることがわかった。一方、Ce濃度の低い領域においてはフェ

リハイドライトやレピドクロサイトに対応する回折パターンが確認された。また、粒状物質からはアパタイトのリング状パターンが認められ、リン酸カルシウムの結晶化が進行したものであることが示された。本研究の観察の結果、バイオフィルム様物質中におけるCeのホストは、ACPであることが明らかとなった。その産状に基づくと、次のようなプロセスが考えられる。

1) 鉄マンガンクラストでは微生物活動により局所的に還元環境となり、鉄マンガン酸化物の還元によってCeが間隙水中に放出され、2) 微生物が作ったバイオフィルム中に形成されたACPが間隙水中のCeを継続的に吸着・濃集する。その後、3) ACPがアパタイトへ結晶化する過程でCeの大半が排斥され、バイオフィルム中ではCe濃度の不均衡が生じた。

口頭講演 | R4：地球表層・環境・生命

2026年9月26日(土) 14:15 ~ 15:30 | A会場(279号室)

R4：地球表層・環境・生命

座長:川野 潤(北海道大学)、甕 聡子

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆研究優秀発表賞エントリー

14:45 ~ 15:00

[R4-13] Bushveld複合岩体の大深度掘削による20億年前に形成した超苦鉄質岩中における微生物生態系の解明

*渡部 佑久^{1,2}、城戸 太朗^{1,2}、幸塚 麻里子^{1,2}、宇留賀 朋哉^{2,3}、大浦 正樹²、河合 敬宏³、金子 拓真³、鈴木 庸平^{1,2} (1. 東大・院理、2. RSC、3. JASRI)

キーワード：超苦鉄質岩、微生物、国際陸上科学掘削計画、走査型蛍光X線顕微鏡、地下生命圏

カンラン石や輝石から成る超苦鉄質岩と地下水の反応は、エネルギー源である水素やメタンと共にアミノ酸等の生命材料物質も生成するため、地下生命圏の形成や維持に重要な役割を果たすと考えられている(Onstott et al., 2019)。近年、火星探査車PerseveranceがJezero Crater内のカンラン石や輝石と水が反応した領域における有機物の存在を報告している(Sharma et al., 2023)。この分析結果は、超苦鉄質岩と水の反応を伴う地下水環境が初期火星に存在した根拠となり得る。この超苦鉄質岩はマグマが層状に貫入したことで形成された集積岩と解釈されており(Williford et al., 2025)、超苦鉄質の層状貫入岩からなる地下深部で生命が生存可能か明らかにする必要がある。しかし、火星の地下を掘削して岩石コアを分析するのは困難なため、生命存在可能性を理解するためには地球の類似した環境から得られた岩石コアの研究が不可欠である。

本研究の対象である南アフリカのBushveld複合岩体は、約20億年前にKaapvaal地塊へ貫入した世界最大級の層状貫入岩体であり、その下部は超苦鉄質から苦鉄質の組成を示す火成集積岩から成る。国際陸上科学掘削計画(ICDP)において地上から掘削された深度814 mの輝岩に関する先行研究では、岩石内で微生物は三価鉄を含む金雲母粒子の縁に分布すると報告されている(Kido et al., 2026)。鉱物内の電子受容体に依存した微生物生態系がさらに深い岩石中でも同様に形成するのか検証することを目的とした。

本研究では、Bushveld複合岩体のICDPで微生物用試料として得られた最深の超苦鉄質岩試料(深度1860 m)を用いた。掘削時の微生物の汚染についてはSuzuki et al. (2024) が掘削開始時の深度15 mの苦鉄質の岩石試料で確立した手法で評価した。その手法では掘削流体に微生物大の蛍光ビーズを添加し、掘削後に得られた岩石試料の内部に蛍光ビーズが浸透したかを可視化することで汚染を評価しており、深度1860 mの試料に適用した結果、岩石内部の汚染はないと判明した。

岩石組織の特徴を調べるために樹脂埋めした試料の薄片を偏光顕微鏡観察した結果、約1 mm程度の粒径の輝石が集積しており、輝石の粒界には異なる鉱物相がみられた。鉱物相を同定するために粉末X線回折法(XRD)で解析した結果、斜方輝石と単斜輝石のピークが主体であった。深度814 mの輝岩中では、斜方輝石の粒界に三価鉄を含む金雲母と微生物の分布が見られた。そのため、本試料の輝石の粒界で見られた鉱物相が三価鉄を含むか調べるために、大気非暴露条件下でダイヤモンドワイヤーソーを用いて岩石切片を作製し、Spring-8の硬X線ビームラインであるBL36XUの走査型蛍光X線顕微鏡(SFXM)を用いて同様に大気非暴露条件下で鉄のK端のX線吸収端近傍構造(XANES)分析を行った。並行してマイクロ蛍光X線(μ -XRF)分析によるマッピングを行った結果、カリウムやカルシウムが濃集している粒界に三価鉄が共存していることが判明した。その三価鉄が共存する粒界において、Spring-8の軟X線ビームラインであるBL17SUとNanoTerasuのBL13UのSFXMによる分析を行った。炭素、窒素、リン、硫黄の μ -XRFマッピングの結果、三価鉄が共存する粒界にこれらの元素の全てが濃集していた。その粒界から窒素のK端のXANES分析を行い、無機物と有機物の試薬と培養した微生物細胞の標準から得られたXANESスペクトルと比較した。その結果、粒界から微生物細胞のスペクトル同様のスペクトルが得られたため、微生物細胞が粒界に存在すると解釈された。微生物細胞を伴う粒界の

鉱物相を特定するために、エネルギー分散型X線分光装置付属の走査型電子顕微鏡(SEM-EDS)による分析を行った結果、鉱物相はアルミニウムと三価鉄と共にカリウムまたはカルシウムを含む珪酸塩鉱物であると分かった。アルミニウム、カリウム、三価鉄が含まれている鉱物相は、深度814 mの輝岩の先行研究で金雲母と特定されており (Kido et al., 2026)、深度1860 mにおいても金雲母が微生物と関連している可能性が高い。一方、微生物と共存するアルミニウム、カルシウム、三価鉄を含む珪酸塩鉱物は、SEM-EDSから推定される化学組成によって角閃石また単斜輝石と絞られたが、同定には至っていない。角閃石はOH基を有する含水鉱物に対し、単斜輝石はOH基を持たないため、OH基の有無を明らかにできる局所分析手法（例えば顕微ラマン分光法）によりどちらの鉱物相が特定できる。また、珪酸塩鉱物の結晶構造に固有のスペクトルが取得可能なアルミニウムのK端のXANESを取得することで、微生物と共存する珪酸塩鉱物相を同定し、その結果について議論する。

口頭講演 | R4：地球表層・環境・生命

2026年9月26日(土) 14:15 ~ 15:30 | A会場(279号室)

R4：地球表層・環境・生命

座長:川野 潤(北海道大学)、甕 聡子

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ 研究優秀発表賞エントリー

15:00 ~ 15:15

[R4-14] 方解石キラル表面におけるアラニンの鏡像選択的吸着の分子動力学解析

*栗野 公耀¹、興野 純²、池田 伊吹³、癸生川 陽子³ (1. 筑波大学・院生命地球科学、2. 筑波大学・生命環境系、3. 東京科学大・院理)

キーワード：生命の起源、アストロバイオロジー、炭素質コンドライト、鏡像異性体、水熱変成

【はじめに】

小天体や惑星，星間空間といった宇宙環境での有機物の生成と進化のメカニズムは，アストロバイオロジーの重要な研究課題である．特に，炭素質コンドライトは，ホルムアルデヒドやアミノ酸，糖類など多様な有機化合物を含み，地球外から供給された生命の起源物質として注目されている．太陽系形成初期において，炭素質コンドライトの母天体では，氷が²⁶Alなどの短寿命放射性核種の崩壊熱によって融解し，水熱変成が生じていたと考えられている．このような水熱環境を模擬する実験では，ホルムアルデヒド(F)とアンモニア(A)，水(W)を異なる比率で混合したFAW溶液に鉱物を添加し，加熱することでアミノ酸の生成が促進され，鉱物が化学反応の触媒的役割を果たしていることが示されている (Elmasry et al., 2021)．さらに，我々の最近の研究では，鏡像異性体関係にある方解石のキラル表面 (3-11面/211面) において，生成したアミノ酸のD/L比が，表面構造に依存して変動することが明らかになった．本研究では，分子動力学計算を用いて，方解石キラル表面におけるアミノ酸の吸着安定性の発生メカニズムを明らかにすることを目的に行った．

【実験方法】

本研究では，分子動力学プログラムLAMMPS (Thompson et al., 2022) を用いて0Kにおける静的エネルギー最小化計算を実施した．方解石の(211)面を露出させたスラブモデルを構築し，表面上に双性イオン型のD-またはL-アラニン分子を1分子配置した．水分子にはTIP3Pモデルを用いた．スラブ底層の原子を固定し，共役勾配法によるエネルギー最小化を行うことで静的な吸着構造を得た．力場には，方解石-水系にBuckingham型ポテンシャル (Raiteri & Gale 2010) を，アラニン分子内部にはAmber ff99sb-ILDNを適用した．また，アラニン-方解石間の相互作用にはクロスタームパラメータ (Stepić et al. 2020) を用いた．長距離静電相互作用の評価にはEwald法を用いた．D体およびL体アラニンについて，x, y, z各軸まわりに45°刻みで回転させ合計512通りの初期配向を設定し，それぞれについてエネルギー最小化計算を行った．得られた吸着エネルギーから，鏡像選択的吸着エネルギー差を $\Delta\Delta E_{ads} = \Delta E_{ads}(D) - \Delta E_{ads}(L)$ として算出した．

【結果と考察】

静的エネルギー最小化計算の結果， $\Delta\Delta E_{ads}$ の平均値は-1.88 kcal/molとなり，Asthagiri & Hazen (2007) が報告した0.8 kcal/molよりもやや大きい値を示した．この差は，先行研究がアラニンを中性分子として扱い，かつ真空系を用いていることに起因していると考えられる．また， $\Delta\Delta E_{ads}$ が負の値を示すことは，(211)面においてD体がL体よりも安定的に吸着することを意味している．これは，実験で観測されたD/L比の傾向と定性的には一致するが，このエネルギー差は実験で観測されるエナンチオマー過剰を説明するには小さく，アラニンの配向依存性のみでは面キラリティー効果を十分に説明することはできない．鏡像選択的吸着エネルギー差は，アラニン分子の配向に応じて系統的に変化しており，カルボキシル基およびアンモニウム基と，方解石表面のCa²⁺およびCO₃基との静電相互作用が配向ごとの吸着安定性差を生み出していると考えられる．NH₄⁺イオンと方解石表面の幾何学的関係を解析した結果，NH₄⁺イオンが(211)表面の酸素原子が形成する三角形配置の重心付近に位置した場合，3本のN-H結合が酸素原子にN-H...O型の水素結合する配置が幾何学的に成立することが明らかとなった．このことは，NH₄⁺イオンがアミノ酸生成に先立って方解石表面に吸着し，アンカーとして働くことで鏡像選択的な反応場を提供

している可能性を示唆している。この解釈は、FAW系実験においてアンモニアの割合が高いほどアミノ酸の生成量が増加した結果とも整合的である。以上より、方解石表面の原子配列に起因する吸着安定性差に加え、 NH_4^+ イオンのアンカー効果が、アミノ酸のキラリティー選択の分子論的起源となり得ることが示唆された。吸着段階と生成段階の双方で、結晶面に依存する鏡像選択性が働くことで、より大きなエナンチオマー過剰が生じる可能性が考えられる。

口頭講演 | R4：地球表層・環境・生命

2026年9月26日(土) 14:15 ~ 15:30 | A会場(279号室)

R4：地球表層・環境・生命

座長:川野 潤(北海道大学)、甕 聡子

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

15:15 ~ 15:30

[R4-15] pH/イオン濃度可視化手法で観る非化学量論的な鉱物界面反応

*川野 潤¹、長谷川 晋一²、南里 隆亮²、三木 康誠²、豊福 高志⁴、杉浦 悠紀³、永井 隆哉¹ (1. 北海道大学大学院理学研究院、2. 北海道大学大学院理学院、3. 産業技術総合研究所、4. 海洋研究開発機構)

キーワード：可視化、pH、溶解、溶媒媒介相転移

はじめに

地球表層における鉱物の形成や風化のメカニズムと、それらによる環境への影響を解明するためには、鉱物と溶液の反応界面におけるイオンの局所的な挙動を理解することが不可欠である。私たちのグループでは、pHやイオン濃度に応じて蛍光強度が変化する蛍光プローブを用いることで、水溶液中で溶解または成長する結晶周辺のpHおよびイオン濃度分布の変化を可視化することに成功している。この方法で鉱物-溶液界面における複数のイオンの挙動を直接観察することにより、非化学量論的な振る舞いも含めたバルクとは異なる反応の実態を明らかにすることができる。ここでは、炭酸塩鉱物、とくにマグネサイト (MgCO_3) の溶解反応と、リン酸カルシウム-水 ($\text{CaPO}_4\text{-H}_2\text{O}$) 系における準安定相から安定相への溶媒媒介相転移について、本手法を用いてその場観察し、イオンの挙動を解析した結果を報告する。

実験手法

本研究においては、pH指示薬としてHPTS (8-hydroxypyrene-1,3,6-trisulfonic acid) を、 Mg^{2+} および Ca^{2+} 濃度指示薬としてそれぞれMag-Fluo-4ならびにRhod-5Nを用いた。HPTSおよびRhod-5Nは、それぞれの測定に用いる励起/蛍光波長が異なるため、同時に用いることでpHと Ca^{2+} 濃度を同時可視化できる。このときHPTSによる蛍光強度は Ca^{2+} 濃度の違いで変化しないが、Rhod-5Nの強度はpHによって変化するため、それを考慮して検量線を作成する必要がある。これらの試薬を含有する溶液中で反応実験を行い、等時間間隔で蛍光像を撮影して、あらかじめ作成した検量線に従って定量化することにより、pHおよび Mg^{2+} もしくは Ca^{2+} 濃度の時間変化を示す連続画像を得た。

結果と考察**[マグネサイトの溶解]**

通常、炭酸塩鉱物が溶解すると、放出される CO_3^{2-} が H^+ と反応して HCO_3^- が生成することにより、pHが上昇するとされている。しかし、{104}面でへき開したマグネサイトの溶解時のpHを本手法により可視化すると、界面付近のpHは、初期pHが6程度の溶液中では上昇するものの、初期pHが7.5以上になると低下することが観察された。これは、マグネサイト表面の錯体構造がpHに依存して変化することによるものと考えられる。すなわち溶解による界面でのpH変化は、バルクの反応式のみからでは十分に理解できないことを示している。

[リン酸カルシウムの溶媒媒介相転移]

本可視化手法を用いて、 $\text{CaPO}_4\text{-H}_2\text{O}$ 系の準安定相であるリン酸八カルシウム(OCP: $\text{Ca}_8(\text{HPO}_4)_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)から、常温常圧における安定相である水酸アパタイト(HAP: $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$)への溶媒媒介相転移が起こる様子を観察した。これらの多結晶体を一定距離離して溶液中に置き、両者の間のpHおよび Ca^{2+} 濃度分布を同時可視化したところ、pHはOCP側が高いが、 Ca^{2+} 濃度はHAP側の方が高くなり、カルシウムとリン酸イオンが逆方向に移動していることを示す条件が存在することが明らかになった。通常、水溶液中における反応は、イオン濃度の積である平衡定数を基準として理解されるが、本研究の結果は、反応の詳細な理解には、それぞれのイオンの挙動を明らかにすることが必要であると考えられる。

以上の結果は、本可視化手法が水溶液中における鉱物/溶液界面でのイオンの振る舞いを解析

するのに有効であることを示しており、さまざまな系に適用することにより、非化学量論的な反応を含む固液界面現象の新たな描像を得ることが可能となると期待できる。

口頭講演 | R6：深成岩・火山岩及びサブダクションファクトリー**■** 2026年9月26日(土) 14:15 ~ 15:30 | **■** B会場 (285号室)**R6：深成岩・火山岩及びサブダクションファクトリー**

座長: 亀井 淳志(島根大学)、湯口 貴史(熊本大学)、谷内 元(産業技術総合研究所)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ 招待講演

14:15 ~ 14:45

[R6-01] 愛媛県伯方島に産する花崗岩類の熱水変質と「エピ閃長岩」の形成*福井 堂子¹、下岡 和也²、高橋 俊郎³、小北 康弘^{4,5}、長田 充弘⁶、齊藤 哲¹ (1. 愛媛大・院理工、2. 関西学院大、3. 新潟大・理、4. 原子力機構、5. 山形大、6. 日本大)

14:45 ~ 15:00

[R6-02] ジルコン地質温度圧力含水量・酸化還元状態解析から読み解く火山弧花崗岩マグマの動的酸化還元進化*齊藤 哲¹、居平 千穂、川島 泰地、谷脇 由華、下岡 和也²、福山 繭子³ (1. 愛媛大・院理工、2. 関西学院大・生命環境、3. 秋田大・院理工)**◆ 招待講演**

15:00 ~ 15:30

[R6-03] 海洋玄武岩から探る海洋プレート進化・マントル不均質：海洋地殻からプチスポット～ホットスポットまで*三國 和音^{1,2}、石川 晃²、平野 直人³、横山 哲也² (1. 産総研地質調査総合センター、2. 東京科学大学、3. 東北大学)

口頭講演 | R6: 深成岩・火山岩及びサブダクションファクトリー

2026年9月26日(土) 14:15 ~ 15:30 | B会場 (285号室)

R6: 深成岩・火山岩及び サブダクションファクトリー

座長: 亀井 淳志(島根大学)、湯口 貴史(熊本大学)、谷内 元(産業技術総合研究所)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ 招待講演

14:15 ~ 14:45

[R6-01] 愛媛県伯方島に産する花崗岩類の熱水変質と「エピ閃長岩」の形成

*福井 堂子¹、下岡 和也²、高橋 俊郎³、小北 康弘^{4,5}、長田 充弘⁶、齊藤 哲¹ (1. 愛媛大・院理工、2. 関西学院大、3. 新潟大・理、4. 原子力機構、5. 山形大、6. 日本大)

キーワード: エピ閃長岩、花崗岩類、熱水変質、エピ閃長岩化作用、元素移動

【はじめに】

大陸地殻の成熟過程を理解するうえで、珪長質マグマの発生・固結・定置に加え、マグマから放出される熱水流体や、それによる地殻の変質過程を明らかにすることは重要である。花崗岩中では、アルカリ成分に富む流体との岩石-水相互作用により、石英に乏しくアルカリ長石に富む「エピ閃長岩」が形成される (Suikkanen and Ramo, 2019)。このエピ閃長岩形成過程では、原岩に含まれる石英の溶脱とそれに伴う空隙の形成、さらに長石類のアルカリ長石化が主たる反応として進行する (例えば, Cathelineau, 1986)。近年、日本国内でもエピ閃長岩の報告が相次いでおり (Nishimoto et al., 2014; Imaoka et al., 2024; 福井・齊藤, 2025)、火山弧における流体活動の記録を残している岩石としても重要である。本研究では、愛媛県伯方島で見出したエピ閃長岩および関連岩石について、野外産状・岩石記載、全岩化学組成、Sr-Nd同位体組成、ジルコンおよびチタン石U-Pb年代測定結果に基づき、その成因を検討した。

【野外産状・岩石記載】

伯方島には、色調の違いから真珠色エピ閃長岩と牡蠣色エピ閃長岩に区分される2種類のエピ閃長岩が産する。これらは黒雲母および角閃石を含む花崗岩に伴い、いずれも花崗岩から漸移するが、両者が直接接する産状は認められない。また、真珠色エピ閃長岩付近の花崗岩中には流紋岩質斑岩脈が貫入している。

真珠色エピ閃長岩は有色鉱物に乏しい優白質な岩相で、空隙およびそれらをつなぐ亀裂が認められる。主な構成鉱物はアルカリ長石および柘榴石であり、少量の単斜輝石、チタン石、二次的な石英を伴う。柘榴石とチタン石は空隙を充填するように晶出する。

牡蠣色エピ閃長岩では露頭中で視認できる空隙が乏しく、真珠色エピ閃長岩に比べて母岩の花崗岩の組織が残存する。主な構成鉱物はアルカリ長石および単斜輝石であり、少量の柘榴石、チタン石、ジルコン、燐灰石、褐簾石、磁鉄鉱、二次的な石英を伴う。単斜輝石と柘榴石は粒状集合組織を呈し、その内部に微細な空隙が認められる。ジルコンは湾状に融食された他形を示すものが多く、CL像では複雑な内部構造を示す。

【全岩化学組成】

エピ閃長岩および母岩の花崗岩の全岩化学組成を用いて、Isocon解析 (Grant, 1986) を行った。なお、不動元素にはAlを設定した。その結果、両エピ閃長岩のいずれも花崗岩からのSiの減少と、Li, Na, Kといったアルカリ元素の増加が認められた。一方、Ti, Fe, CaやZr, REEなどの多くの元素は、真珠色エピ閃長岩では花崗岩に比べて減少するのに対し、牡蠣色エピ閃長岩では増加するという対照的な特徴がみられた。

【U-Pb年代・Sr-Nd同位体組成】

真珠色エピ閃長岩の薄片中のチタン石、および牡蠣色エピ閃長岩、花崗岩、流紋岩質斑岩脈から分離したジルコンについてU-Pb年代測定を行った。その結果、真珠色エピ閃長岩から 88.63 ± 1.16 Ma、牡蠣色エピ閃長岩から 90.18 ± 1.31 Ma、花崗岩から 92.79 ± 0.69 Ma、流紋岩質斑岩脈から 88.89 ± 0.87 Maの年代値が得られた。Sr-Nd同位体組成については、真珠色エピ閃長岩と牡蠣色エピ閃長岩の ε_{Srt} (88 Ma) 値はいずれも花崗岩と近い値を示す。一方、 ε_{Ndt}

(88 Ma) 値は花崗岩に近い値から高い値まで、幅広く変化し、最も高い値は流紋岩質斑岩脈の値と近い。

【議論】

Isocon解析結果から、真珠色エピ閃長岩形成時には原岩からの元素溶脱が、牡蠣色エピ閃長岩形成時には原岩への元素濃集が顕著に進行したと考えられる。この対照的な特徴は、真珠色エピ閃長岩の空隙に富む産状と牡蠣色エピ閃長岩の空隙充填が顕著な産状とも調和的である。したがって、当地域の2種類のエピ閃長岩には、真珠色エピ閃長岩形成時に溶脱した元素が牡蠣色エピ閃長岩形成時に濃集したという成因関係が示唆される。このような特徴の大きく異なる2種類のエピ閃長岩が狭い地域で同一の原岩から形成された本産状は、流体活動の開始から終息までを記録する重要な事例である。

また、牡蠣色エピ閃長岩のジルコンの内部構造が改変されていること、および真珠色エピ閃長岩のチタン石が空隙充填鉱物としてみられることから、得られた年代値は各エピ閃長岩が形成された時期を反映するものと考えられる。これらは流紋岩質斑岩脈の年代値と誤差範囲で一致し、類似した ϵNdt (88 Ma) 値を示すことも調和的である。以上より、当地域のエピ閃長岩形成には、流紋岩質斑岩を形成したマグマに由来する流体が関与した可能性が高いと考えられる。

引用文献：Cathelineau (1986) *J Petrol*, 27, 235–244; Grant (1986) *Econ Geol*, 81, 1976–1982; 福井・齊藤 (2025) *地質雑*, 131, 393–407; Imaoka et al. (2024) *Minerals*, 14, 929; Nishimoto et al. (2014) *Contrib Mineral Petrol*, 167, 960; Suikkanen and Ramo (2019) *Min Metall Explor*, 36, 861–878.

口頭講演 | R6: 深成岩・火山岩及びサブダクションファクトリー

2026年9月26日(土) 14:15 ~ 15:30 | B会場 (285号室)

R6: 深成岩・火山岩及び サブダクションファクトリー

座長: 亀井 淳志(島根大学)、湯口 貴史(熊本大学)、谷内 元(産業技術総合研究所)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

14:45 ~ 15:00

[R6-02] ジルコン地質温度圧力含水量・酸化還元状態解析から読み解く火山弧花崗岩マグマの動的酸化還元進化*齊藤 哲¹、居平 千穂、川島 泰地、谷脇 由華、下岡 和也²、福山 繭子³ (1. 愛媛大・院理工、2. 関西学院大・生命環境、3. 秋田大・院理工)

キーワード: ジルコン、メルト包有物、酸化還元状態、地質温度圧力含水量解析

Granitoids are globally classified into magnetite- and ilmenite-series (Ishihara, 1977), reflecting the contrasting redox states (oxidized vs. reduced) of their petrogenetic environments and tectonomagmatic settings. In Southwest Japan, this distinction is reflected in their zonal distribution: the Cretaceous-Paleogene San'in Belt is dominated by magnetite-series rocks, whereas the Cretaceous Ryoke-San'yo Belt and Miocene Outer Zone predominantly comprise ilmenite-series rocks. Although these series are traditionally thought to reflect the physicochemical conditions of silicic magmas from their source to solidification, whole-rock characteristics such as magnetic susceptibility reflect only the homogenized, bulk signatures of the magma, missing localized evolutionary stages.

To decipher these high-resolution trans-crustal magmatic processes, this study integrates zircon trace-element oxybarometry (ΔFMQ) with homogenized melt-inclusion hygrothermobarometry (P - T - H_2O). We investigated three representative intrusions encompassing distinct ages, emplacement depths, and redox frameworks: the Cretaceous Gamano granodiorite (Ryoke Belt), which occurs concordantly with high-grade metamorphic rocks indicating deep-crustal emplacement; the Paleogene Daito granodiorite (San'in Belt), which intrudes country-rock volcanic welded tuffs indicating shallow-crustal emplacement; and the Miocene Miuchi granite (Outer Zone), which discordantly intrudes the Shimanto accretionary complex to form a distinct contact metamorphic aureole (metasedimentary hornfels) and locally exhibits miarolitic cavities, indicating shallow-crustal emplacement. Petrographic examinations demonstrate that zircons in all intrusions predominantly occur along grain boundaries or as inclusions within the rims of major rock-forming minerals, indicating late-stage magmatic crystallization.

Zircon oxybarometry (Loucks et al., 2020) yields distinct redox ranges: the Gamano granodiorite and Miuchi granite exhibit consistently reduced signatures ($\Delta FMQ = -2.2$ – -0.2 and -2.8 – -0.3 , respectively). Conversely, the Daito granodiorite shows oxidized values ($\Delta FMQ = +0.1$ – $+1.7$), except for a single heterogeneous zircon grain that records remarkably reduced values ($\Delta FMQ = -0.2$ – -1.7). Homogenized melt-inclusion hygrothermobarometry (Taniwaki et al., 2025; Saito et al., 2026) constrains the zircon crystallization conditions for the Gamano (751–707 °C, 563–266 MPa, 6.4–11.3 wt% H_2O), Daito (763–705 °C, 265–161 MPa, 4.1–8.1 wt% H_2O), and Miuchi (785–733 °C, 235–92 MPa, 2.4–6.0 wt% H_2O) magmas.

The constrained H_2O contents and pressures from the melt inclusions closely follow the H_2O solubility curve for haplogranitic melts (Johannes and Holtz, 1996), demonstrating that zircon crystallized from nearly H_2O -saturated melts. Furthermore, the constrained P - T relationships for all three intrusions exhibit temperatures well above the H_2O -saturated

haplogranite solidus (Johannes and Holtz, 1996), consistent with the interpretation that zircon crystallized from high-temperature magmas. While the zircon-recorded redox states are generally comparable to the magnetite-ilmenite-series classification (Wones, 1981), the pressure- Δ FMQ relationships reveal dynamic, divergent intra-crustal paths with decreasing pressure during magma ascent: the Gamano magma probably underwent progressive oxidation, whereas the Daito and Miuchi magmas experienced reduction. In particular, the anomalously reduced zircon domains from the Daito granodiorite capture a localized, heterogeneous assimilation event or transient fluid/melt interaction. These findings underscore that the integrated zircon-melt inclusion approach provides an exceptionally powerful window into the complex, dynamic physicochemical evolution of felsic magma plumbing systems in volcanic arcs.

References

Ishihara (1977) *Min. Geol.*, 27, 193-305; Johannes and Holtz (1996) *Petrogenesis and Experimental Petrology of Granitic Rocks*. Springer, Berlin, 335 pp; Loucks et al. (2020) *J. Petrol.*, 61, egaa034; Saito et al. (2026) *Japanese Magazine of Mineralogical and Petrological Sciences*, 55, gkk.260331; Taniwaki et al. (2025) *Lithos*, 504-505, 108029; Wones (1981) *Mining Geol.*, 31(4), 191-212.

口頭講演 | R6：深成岩・火山岩及びサブダクションファクトリー

2026年9月26日(土) 14:15 ~ 15:30 | B会場 (285号室)

R6：深成岩・火山岩及びサブダクションファクトリー

座長: 亀井 淳志(島根大学)、湯口 貴史(熊本大学)、谷内 元(産業技術総合研究所)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ 招待講演

15:00 ~ 15:30

[R6-03] 海洋玄武岩から探る海洋プレート進化・マントル不均質：海洋地殻からプ
チスポット～ホットスポットまで*三國 和音^{1,2}、石川 晃²、平野 直人³、横山 哲也² (1. 産総研地質調査総合センター、2. 東京科学大学、3. 東北大学)

キーワード：海洋玄武岩、海洋地殻、ピトケアン島、プチスポット、強親鉄性元素

海洋に産する玄武岩は、マントルの部分溶融によって生じたマグマが大規模な地殻混染を受けることなく上昇・冷却固化し形成したため、初生的な情報を保持しており、マントルの化学的特徴を探る上で重要である。これまで中央海嶺玄武岩（MORB）を中心とした同位体地球化学データの蓄積により、上部マントルは大局的には化学的に均質であると考えられ、アセノスフェアの主要成分としてDepleted MORB mantle (DMM)が定義された（例えば[1]）。一方、ホットスポット起源の海洋島玄武岩（OIB）は地域ごとに多様なSr-Nd-Pb-Hf同位体組成を示し、深部マントルにはリサイクル物質に由来するEM1、EM2、HIMUといった化学的不均質端成分の存在が想定されている（例えば[2]）。

そのような中、アセノスフェアに起源を持つプチスポット火山がEM1的な特徴を有することが明らかとなり、上部マントルは必ずしも均質ではないことが明らかとなった [3]。EM1成分は海洋プレート内火山のみならず大陸内アルカリ玄武岩などにも認められ、普遍的な成分である可能性が示唆されるが、その起源については、炭素に富む海洋堆積物 [4, 5]、大陸下部地殻 [6]、大陸下リソスフェアマントル（SCLM） [7] など文献・地域により解釈は多様であり、統一的な見解は得られていない。

本発表では、白亜紀海洋地殻と、EM1成分の寄与を示すピトケアン島・プチスポット火山といった様々なテクトニックセッティング由来の玄武岩の化学組成・Sr-Nd-Pb-Os同位体組成を用い、太平洋下マントルの化学的不均質性について議論する。特に、Sr-Nd-Pb-Hf同位体系とは独立した、あるいはそれらを補完する情報を与えるOs同位体比と強親鉄性元素（Ru, Rh, Pd, Re, Os, Ir, Pt, Au）組成にフォーカスし、それらの有用性について紹介する。

¹⁸⁷Re-¹⁸⁷Os系では、親核種Reと娘核種Osの火成作用における分配挙動が著しく異なる。Reは部分溶融や結晶分別時に液相へ濃集するのに対し、Osは強い固相濃集性を示すため、地殻物質では高いRe/Os比（場合によりRe/Os = ~10,000）となり、時間と共に高い¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os比へと進化する。一方、メルト抽出を経験した溶け残りマントルではReに枯渇するため、大規模な部分溶融を経験したSCLMのようなマントルは低いOs同位体比を長期間保持する。そのため、海洋玄武岩のOs同位体比は、リサイクル地殻物質だけでなく、古融解マントル物質の寄与にも高い感度を持つトレーサーとなる。つまり、EM1成分の起源が複数提案されている中で、Os同位体系はその成因を制約する有力な指標となる可能性がある。さらに、その他の同位体系（Rb-Sr, Sm-Ndなど）と比べ親娘比の分別が未分化な玄武岩においても大きくなるということは、アイソクロン法による年代測定のツールとしても有用であることを意味する。一方、Osを含む強親鉄性元素はその名が示す通り地球の金属核に99%以上が濃集しており、地殻中の濃度はppb-ppmオーダーである。したがって、超低ブランクかつ高精度測定が求められる。また、Os濃度の低い（結晶分別の進んだ）玄武岩ほど、Reの壊変だけでは説明できない高い¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os比がしばしば認められ、外的な影響を否定できない一方その要因は明らかでないなど、未解決問題もある。本発表では、これらの問題についても最新の研究成果をもとに議論し、海洋玄武岩の強親鉄性地球化学がもたらす知見について総合的に紹介する。

[1] Workman and Hart (2005) *EPSL*, **231**, 53-72

- [2] Zinder and Hart (1987) *Annu. Rev. Earth Pl. Sci.*, **14**, 493–571
- [3] Machida et al. (2009) *GCA*, **73**, 3028–3037
- [4] Wang et al. (2018) *PNAS*, **115**, 8682–8687
- [5] Liu et al. (2020) *Nat. Commun.*, **11**, 172
- [6] Willbold and Stracke (2010) *Chem Geol*, **276**, 188–197
- [7] McKenzie and O’Nions (1983) *Nature*, **30**, 229–231

口頭講演 | R7：岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)**■ 2026年9月26日(土) 14:15 ~ 15:30 | ⅢC 会場 (287号室)****R7：岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)**

座長:秋澤 紀克、越後 拓也(秋田大学大学院国際資源学研究科)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ 招待講演

14:15 ~ 14:45

[R7-09] 田上風化花崗岩のイオン吸着型希土類鉱化作用に伴う希土類元素の存在形態解析

*長澤 真¹、高橋 嘉夫² (1. 産総研・地調、2. 東大・院理)

14:45 ~ 15:00

[R7-10] 愛媛県四国中央市新宮のアルカリ玄武岩中のダイヤモンドを含むマントル捕獲結晶の探索と内部包有物の記載

*志村 恭治¹、大藤 弘明²、川畑 博³、平野 直人¹、水上 知行⁴ (1. 東北大・院理、2. 東京大・院理、3. 高知大・理工、4. 金沢大・院理)

15:00 ~ 15:15

[R7-11] チタノクリノヒューマイトから推定する藤原岩体の変成履歴

*松岡 颯希¹、石丸 聡子¹、荒井 章司² (1. 熊本大学、2. 金沢大学)

口頭講演 | R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

2026年9月26日(土) 14:15 ~ 15:30 | C会場 (287号室)

R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

座長: 秋澤 紀克、越後 拓也 (秋田大学大学院国際資源学研究所)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ 招待講演

14:15 ~ 14:45

[R7-09] 田上風化花崗岩のイオン吸着型希土類鉱化作用に伴う希土類元素の存在形態解析*長澤 真¹、高橋 嘉夫² (1. 産総研・地調、2. 東大・院理)

キーワード: 希土類元素、イオン吸着型鉱床、風化花崗岩、土壌pH、X線吸収微細構造 (XAFS)

希土類元素 (REE) は脱炭素社会の実現に必要な不可欠な元素であり、その中でも特に地殻存在度が低くより貴重な資源である重希土類元素 (HREE) のほとんどが、中国南部の周辺地域で開発されている「イオン吸着型鉱床 (イオン鉱)」から供給されている。イオン鉱は、不適合元素を濃集した珪長質岩 (花崗岩や流紋岩など) の風化過程で起きる水 - 岩石反応により二次的に形成された鉱床で、その鉱石品位 ($\Sigma\text{REE} = 200 \sim 2000 \text{ ppm}$ 、平均800 ppm程度) は、カーボナタイト鉱床 ($\Sigma\text{REE} = \text{数} \sim \text{十数 wt.}\%$) など他のREE鉱床と比べて低い。しかし、常温の電解質溶液 (硫酸アンモニウム溶液など) を用いたイオン交換反応により、REEを容易に (薬品単価・残液処理コスト・環境負荷いづれも低く) 抽出することが可能であるため、有効なREE資源となっている (Nagasawa et al., 2020)。

イオン鉱において、REEの大部分は化学風化により鉱物相から溶脱し溶存イオンとなり、風化生成物である粘土鉱物に対して、表面錯体を形成して吸着・濃集している。REEの主要なホスト相はカオリナイトなどの1:1型粘土鉱物であり、電解質溶液によるREEの高い抽出率は、カオリナイトなどの粘土鉱物に対する外圏錯体 (直接結合を持たずに静電的な相互作用のみで吸着している状態) 形成に起因することが、広域X線吸収微細構造 (EXAFS) 解析により明らかにされている (Yamaguchi et al., 2018; Borst et al., 2020)。カオリナイトはその構造内に、同型置換によって生じる永久電荷を有しており (Schroth and Sposito, 1997)、そこがREEの吸着サイトになっていると考えられる。一方、Ma and Eggleton (1999) によると、交換性陽イオンは主に、カオリナイトの底面および端面に露出した水酸基の脱プロトン化によって生じる変異電荷部に存在するとされており、これは内圏錯体 (直接的な化学結合を介して吸着している状態) 形成を示唆している。

Nagasawa et al. (2024) では、滋賀県南部に分布する田上花崗岩地域の風化殻において、典型的なイオン吸着型鉱化作用を示したREE深度プロファイルを確認し、ハンドオーガーボーリングにより採取した風化花崗岩試料のX線吸収端近傍構造 (XANES) 解析等により、地表からの深度に応じてREEの主要な存在形態が変化することを明らかにした。その結果および電解質溶液による抽出率の関係は以下のように整理できる。

(i) 表層 (REE枯渇層) :

表層では、強い風化作用によってREEが溶脱・移動するため、REEの多くはジルコンやモナザイトなどの残留鉱物の結晶構造中に存在する。そのため、この層では深度プロファイル中で最も抽出率が低い。

(ii) REE濃集層:

溶脱帯の下部に位置するREE濃集層では、REEは主としてカオリナイトの永久電荷サイトに外圏錯体として吸着している。これは、表層付近においては土壌pHが比較的低く (pH5~6程度)、内圏錯体形成に寄与すると考えられるカオリナイトの底面や端面の水酸基が脱プロトン化しにくいためであり、その結果、深度プロファイル中で最も高い抽出率を示す。

(iii) 深層:

さらに下部に位置する深層では、土壌pHの上昇 (pH6程度以上) に伴い、カオリナイトの底面や端面の水酸基が脱プロトン化しやすくなる。その結果形成される変異電荷サイトに、REEは主として内圏錯体として吸着する。このため濃集層に比べて、抽出率は低下する。

以上のように、イオン鉱におけるREEの外圏錯体または内圏錯体の形成は、カオリナイトへ

の分配係数 (K_d) を支配する土壌pHの深度変化に大きく依存する。内圏錯体は外圏錯体に比べてより強固な結合ではあるが、抽出液のpHを低下させることでその回収率を向上させることができる。このような鉱体における元素の存在形態に関する知見は、製錬工程の改良など、鉱床開発プロセスの最適化に繋がることが期待される。

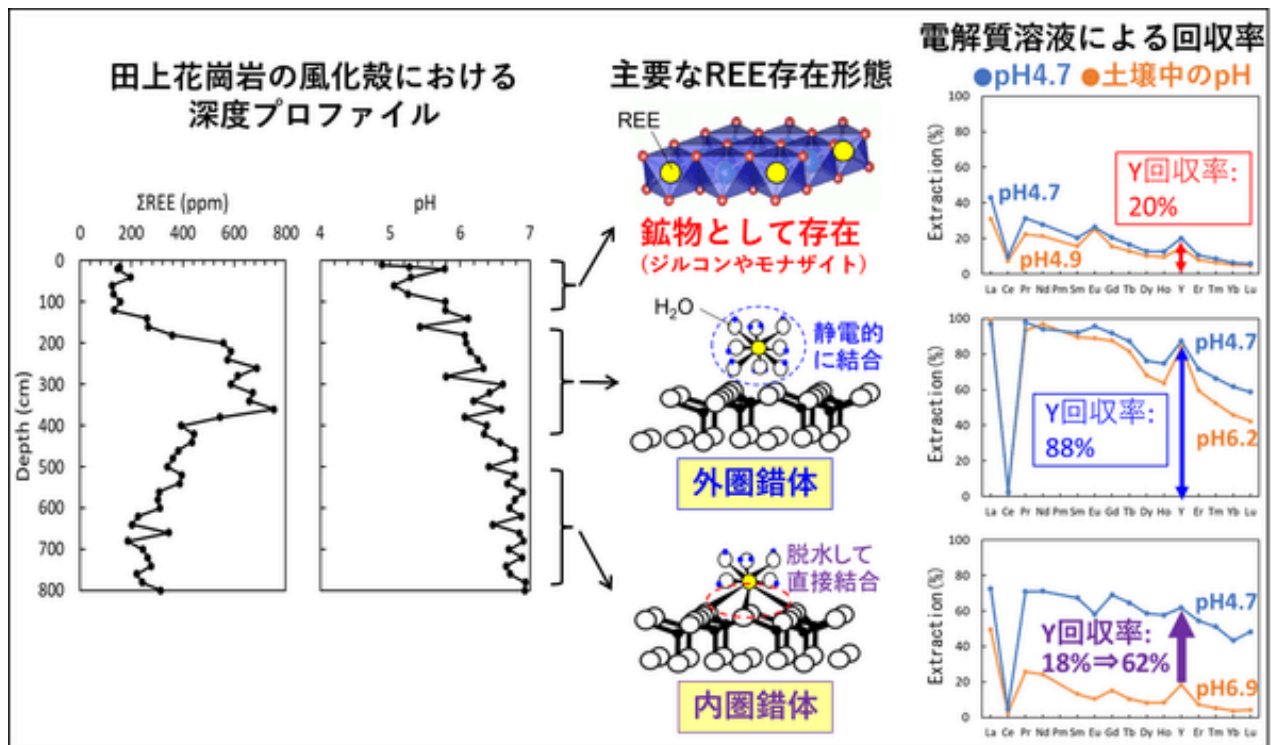


図. 田上花崗岩の風化殻におけるREEおよび土壌pHの深度プロファイル、主要なREE存在形態、電解質溶液によるREE回収率の関係

口頭講演 | R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

2026年9月26日(土) 14:15 ~ 15:30 | C 会場 (287号室)

R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

座長: 秋澤 紀克、越後 拓也 (秋田大学大学院国際資源学研究所)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

14:45 ~ 15:00

[R7-10] 愛媛県四国中央市新宮のアルカリ玄武岩中のダイヤモンドを含むマントル捕獲結晶の探索と内部包有物の記載*志村 恭治¹、大藤 弘明²、川畑 博³、平野 直人¹、水上 知行⁴ (1. 東北大・院理、2. 東京大・院理、3. 高知大・理工、4. 金沢大・院理)

キーワード: 包有物、捕獲結晶、単斜輝石、ダイヤモンド、電子顕微鏡

【はじめに】

地球におけるダイヤモンドの主要な形成場は、古い大陸下部の厚いリソスフェア内部で、日本のような島弧・沈み込み帯からはダイヤモンドは産出しないと考えられていた。しかし、Mizukami et al. (2008) は愛媛県四国中央市新宮のアルカリ玄武岩脈に含まれる捕獲結晶から日本で初めてダイヤモンドを報告している。ダイヤモンドは単斜輝石の流体包有物中に 1 μm の大きさで炭酸塩や含水鉱物を伴って含まれていることが、顕微ラマン分光により確認された。その報告によると、アルカリ玄武岩中に捕獲されている単斜輝石には緑色と褐色の2種類あり、ダイヤモンドは前者の単斜輝石のみから3例報告されている。しかしながら、ダイヤモンドの同定は分光分析によって行われたのみで、その詳細な産状や特徴は分からず、またその起源・成因についても不明のままである。

そこで本研究では、先行研究で報告されているダイヤモンドを含む可能性のある単斜輝石を探索し、その内部包有物の産状や鉱物学的観察を進め、ダイヤモンドの直接観察を目指している。

【試料・研究手法】

新宮アルカリ玄武岩は三波川変成帯の泥質片岩に平板状に貫入しており、岩脈中央部には捕獲岩・捕獲結晶が多く含まれている。本研究ではこのうち、玄武岩の斑晶、単体で含まれる捕獲結晶および捕獲岩の構成鉱物として含まれる単斜輝石に対し、光学顕微鏡、SEM-EDSによる産状記載と化学定量分析を行い、先行研究で報告されているダイヤモンドを含む可能性のある単斜輝石の探索を行った。さらに、それらに含まれる内部包有物をコンタミネーションの影響なしに観察するためArイオンビームを用いた断面を作製し、FE-SEMで包有物の詳細な観察・分析を行った。いくつかの包有物については顕微ラマン分光分析を行い、またFIBで切り出した薄膜試料をTEMおよびSTEM-EDSで観察・分析した。

【結果と考察】

アルカリ玄武岩中の単斜輝石は、単斜輝石岩捕獲岩中に含まれるもの（褐色）、かんらん岩捕獲岩中に含まれるもの（緑色）、斑晶として含まれるもの（褐色）、捕獲結晶として単体で含まれるもの（緑色）の4種類に分類できる。EDS定量分析の結果、捕獲結晶として含まれる緑色の単斜輝石は、先行研究でダイヤモンドが含まれていたものと同様の低いMg# (<70) を示すことが分かった。この単斜輝石中には1~5 μmほどの二次包有物が列をなして多数含まれており、その内部にはKやNaに富む珪長質メルトに加え、鉄雲母、鉄スピネル、アパタイト、炭酸塩（シデライト、マグネサイト、カルサイト）、含水アルミノ珪酸塩（未同定）などの析出物が空隙（揮発性成分の痕跡）を伴い普遍的に確認された。さらに、これらの析出物とともに包有物の内壁に沿って不定形で含まれる炭素物質も認められ、TEMの電子線回折によりアモルファスであることが分かった。最近、itsukawa et al. (2026) はタヒチ島で採取したマントル捕獲岩に含まれる単斜輝石中の包有物として芳香族炭化水素を報告しており、その産状は共存する珪長質メルトや析出鉱物を含め本試料中のものとよく類似している。しかし、顕微ラマン分光の結果、本試料に含まれる炭素物質からはブロードなDバンドとGバンドは確認されたが、C-H結合に起因するピークは確認されず、水素を含まないアモルファスカーボンであると考えられる。現在、まだダイヤモンドの発見には至っていないが、低いMg#を持つ緑色の単斜輝石中に含まれる炭素物質は、揮発性成分に富んだ流体から直接沈殿した可能性が高い。

引用文献

Mizukami et al. (2008), *Geology*, 36, 219-222.

Mitsukawa et al. (2026), *Scientific Reports*, 16, 638.

口頭講演 | R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

2026年9月26日(土) 14:15 ~ 15:30 | C 会場 (287号室)

R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催)

座長: 秋澤 紀克、越後 拓也 (秋田大学大学院国際資源学研究所)

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

15:00 ~ 15:15

[R7-11] チタノクリノヒューマイトから推定する藤原岩体の変成履歴*松岡 颯希¹、石丸 聡子¹、荒井 章司² (1. 熊本大学、2. 金沢大学)

キーワード: 藤原岩体、チタノクリノヒューマイト、蛇紋岩、三波川変成帯

チタノクリノヒューマイト ($\text{TiCh}; (\text{Mg,Ti})_9(\text{SiO}_4)_4(\text{OH},\text{F})_2$) は、沈み込みに伴う蛇紋岩の高圧脱水によって形成される鉱物で、含水鉱物としては比較的高圧・高温の条件下において安定である (Engi & Lindsley, 1980)。スペインのアルミレス岩体 (Garrido et al., 2005) や中国の天山山脈に産する蛇紋岩体 (Shen et al., 2015) などに産出例が見られる。

四国中央部の別子地域には、五良津岩体をはじめとする苦鉄質片麻岩体や、東赤石岩体をはじめとする超苦鉄質岩体が周囲の三波川変成岩類に取り込まれる形で存在し、愛媛県四国中央市に露出する藤原岩体もその一つである (青矢・遠藤, 2017)。藤原岩体周辺の大生院層泥質片岩は緑簾石角閃岩相に達する三波川変成作用を受けている (榎並, 1980; 梶座, 1984)。藤原岩体は主に蛇紋岩類と斑れい岩類からなる複合岩体で、蛇紋岩類の原岩はダナイトとウェールライトである (大貫ほか, 1978)。藤原岩体の構成岩石は、鉱物組合せと化学組成から、同一マグマからの結晶集積岩として形成されたと理解されている (大貫ほか, 1978)。岩体内のダナイト中には脈状やパッチ状、鉱染状にTiChが存在し、これらは沈み込みに伴うスラブ蛇紋岩の高圧脱水と同時期に形成されたものと考えられている (Arai et al., 2012)。本研究では、藤原岩体試料および試料中のTiChの観察と化学組成分析結果から読み取れる、藤原岩体の温度圧力履歴について再検討を行った。

本研究では、藤原岩体のダナイト7試料 (F-1、F-2、F-3、F-4、F-5、F-6、F-8) および苦鉄質岩1試料 (F-7)、計8試料から薄片を作成し、偏光顕微鏡による観察を行った。ダナイト試料は片理が見られず、主に蛇紋石 (serp)、カンラン石 (ol)、TiCh、クロムスピネル (spl)、磁鉄鉱 (mgt)、硫化鉱物 (ニッケル硫化物など)、少量のブルーサイトと緑泥石から構成されている。TiChはol中にパッチ状および鉱染状に観察され、様々な存在度を示す。F-5中には幅1 cmを超える濃茶褐色の領域 (F-5V) としてTiCh濃集部が存在し、それ以外の領域 (F-5M) と分けて観察を行った。ただし、F-6についてはolとTiChが観察されない。splは結晶周縁あるいは全体がフェリットクロマイト (fch) 化し、過成長したmgtのリムを持つ累帯構造が見られる。

また、8試料について、SEM-EDSを用いた観察と鉱物化学組成分析を行った。F-3、F-4、F-5VでcpxとアパタイトがolやTiCh中に10 μm 程度の結晶として存在する。また、F-4では炭酸塩鉱物、F-5Vではイルメナイトとペロブスカイト、F-1、F-3、F-4ではアウルアイトが観察された。olの $\text{Mg}\# (= \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}))$ は概ね0.91~0.96の範囲で、MnO含有量 (0.1~0.6 wt.%) とは負の相関を示す。TiChの TiO_2 含有量はF-1で3.17~3.33 wt.%, F-2で3.02~3.92 wt.%, F-3で3.35~4.29

wt.%, F-4で2.68~5.78 wt.%, F-5で2.74~9.41 wt.%, F-8で3.17~3.56 wt.%であった。いずれの試料でもTiChからFは検出されなかった。F-5のTiChは TiO_2 含有量が2.74~4.90 wt.%のグループと6.89~9.41 wt.%のグループに分かれ、前者はF-5VとF-5M両方に、後者はF-5Vにのみ存在する。後者のグループで見られる TiO_2 含有量の高さは、通常の $\text{Ti}^{4+} \leftrightarrow 2\text{M}^{2+}$ 置換では説明できない。splの TiO_2 含有量は、F-3 (2.28~2.62 wt.%) を除くと0.68~1.20 wt.%の範囲であり、F-5以外では TiO_2 含有量はコア部 (spl)、マントル部 (fch)、リム部 (mgt) と外側へ向かうにつれて減少する。

F-5VにおけるTiChの TiO_2 含有量の高さについて、F-5Vにイルメナイトやペロブスカイトが観察されること、TiChのCaO含有量は高くない (<0.13 wt.%) ことから、TiChの分解で生じたイルメナイトとの混合によるものと推定される。また、TiChの安定条件と、藤原岩体の沈み込み時におけるスラブの温度-圧力条件を比較した。その結果、藤原岩体の温度圧力条件のピークは、

最低でも700 °C、2.4 GPa以上であったと考えられた。これは大貫ほか（1980）において考えられていた約450 °C、0.6~0.7 GPaよりも高温・高圧条件であり、藤原岩体は現在岩体周囲に位置している緑簾石角閃岩相を示す大生院層の泥質片岩とは異なるピーク変成条件を経たと考えられる。