

ポスター | S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

2025年9月12日(金) 12:30 ~ 14:00 ポスター会場 (16番教室)

S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

◆ 研究発表優秀賞エントリー

[S2-P-01]

海洋地殻岩石試料の物性データの数理的アプローチに基づく海洋地殻の変質

*伊藤 禎宏¹、片山 郁夫¹、藤井 昌和^{2,3}、沖野 郷子⁴、小原 泰彦^{5,6,7} (1. 広島大・先進理工、2. 極地研、3. 総研大、4. 東大・大気海洋研、5. 海上保安庁・海洋情報部、6. JAMSTEC、7. 名古屋大)

◆ 研究発表優秀賞エントリー

[S2-P-02]

西南日本内帯，多里-三坂超マフィック岩体の接触変成作用に伴う鉱物微量元素組成変化

*鳴海 慎人¹、市山 祐司¹、田村 明弘²、森下 知晃² (1. 千葉大、2. 金沢大)

[S2-P-03]

新潟県糸魚川市青海川に産出するリスウェナイトについて

*榎田 一馬¹、白勢 洋平¹ (1. 愛媛大・理)

[S2-P-04]

埼玉県皆野町と長瀬町に露出する三波川変成帯とみかぶ緑色岩帯に属する蛇紋岩中の炭酸塩脈に含まれる流体包有物の塩濃度および均質化温度

*北島 怜悦¹、田中 冬馬¹、川本 竜彦¹ (1. 静岡大・理地)

[S2-P-05]

大西洋中央海嶺Atlantis Massifにおける蛇紋石化作用の多様性

*数馬田 舜¹、野坂 俊夫¹ (1. 岡山大学)

◆ 研究発表優秀賞エントリー

[S2-P-06]

愛媛県伯方島に産するエピ閃長岩の形成過程における岩石組織の変化

*福井 堂子¹、下岡 和也²、高橋 俊郎³、齊藤 哲¹ (1. 愛媛大学、2. 関西学院大学、3. 新潟大学)

2025年9月12日(金) 12:30 ~ 14:00 会場 (16番教室)

S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

◆ 研究発表優秀賞エントリー

[S2-P-01] 海洋地殻岩石試料の物性データの数理的アプローチに基づく海洋地殻の変質

*伊藤 禎宏¹、片山 郁夫¹、藤井 昌和^{2,3}、沖野 郷子⁴、小原 泰彦^{5,6,7} (1. 広島大・先進理工、2. 極地研、3. 総研大、4. 東大・大気海洋研、5. 海上保安庁・海洋情報部、6. JAMSTEC、7. 名古屋大)

キーワード：海洋地殻、変質、物理特性、主成分分析

海洋プレートは海嶺付近の断層や、デタッチメント断層、アウターライズ断層などに海水が侵入することで変質する。そのような海洋プレートが沈み込むことで、地震活動や火山活動、地球規模での水・炭素循環などのさまざまな現象につながるため、海洋プレートの変質は重要である。海洋プレートに含まれる水は直接観測することは不可能であるが、岩石中の空隙や水は岩石の物理特性に大きく影響を与えるため、地震波速度や電気比抵抗などの地球物理探査によって間接的に推定されている。かんらん岩は蛇紋岩化によって地震波速度が大きく変化するため、最上部マントルの変質の程度や運ぶ水の量は地震波速度構造により推定されている。しかし、地殻の岩石は変質による地震波速度の変化が小さいため、地震波速度のみで変質を評価することは困難である。また、地震波速度や電気比抵抗は岩石の変質だけでなく、岩石中の空隙にも大きく影響を受ける。そのため、岩石の物性のみでは空隙率と変質の影響を分離することは難しい。そのため、本研究では岩石の物理特性を測定し、統計科学的な手法を適用することで岩石の変質を定量的に評価することを目的とする。本研究では、KH-23-9南マリアナ航海およびKH-24-4中央インド洋海嶺航海でドレッジ採取された計149試料を用いた。岩相は主に玄武岩、ドレライト、はんれい岩とそれらの岩石が強く変質を受け緑簾石のベインが発達したような岩石を用いた。各試料に対して、乾燥条件および岩石中の空隙に水を含む含水条件の2条件下で地震波速度と電気比抵抗の測定を行った。また、空隙率と固相密度の計算のために実験室で岩石の固相体積と乾燥質量および含水質量の測定を行った。これにより、乾燥/含水条件下の V_p 、 V_s 、電気比抵抗、固相密度、空隙率の計8項目に関する物性データを149試料について取得し、多量のデータセットを構築した。地震波速度は岩相によって大きな差はみられず、含水条件は乾燥条件と比べて速度が大きい傾向を示した。含水条件でのP波速度は4.0–6.0 km/s、S波速度は2.0–3.5 km/sを示した。地震波速度は空隙率や空隙形状に非常に敏感であるため、これらの結果に有効媒質理論を適用した。その結果、玄武岩がほかの岩相に比べて空隙のアスペクト比が高い傾向が見られた。 V_p/V_s 比は岩相によって大きな差はみられず、含水条件は乾燥条件と比べて V_p/V_s 比が大きい傾向を示した。含水条件での V_p/V_s 比はおおよそ2.0を示した。電気比抵抗についても岩相によって顕著な差はみられず、含水条件は乾燥条件と比べて電気比抵抗が小さい傾向を示した。また、空隙率の上昇に伴って電気比抵抗は減少する傾向が見られた。これは岩石中の空隙の連結度が増加したためだと考えられる。多量のデータから変質関連成分の特定を試みるために、これら物理特性データのみを用いて主成分分析を行った。その結果、第2主成分までで全体のデータの約93%を説明していることが分かった。寄与率81%を占める第1主成分の負荷量では、空隙率が最も高い値を示しており、第1主成分が主に空隙率によって構成されていることが明らかとなった。一方、第2主成分は空隙率の負荷量は小さく、地震波速度や電気比抵抗の負荷量は比較的大きい傾向にある。そのため、第2主成分は変質に関連した成分である可能性がある。しかし、物理特性データのみでは今後は岩石試料の化学組成

を測定し、化学組成を統合したデータセットによる主成分分析を行い、海洋地殻岩石の変質に関連した成分の特定を試みる。

2025年9月12日(金) 12:30 ~ 14:00 ポスター会場 (16番教室)

S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

◆ 研究発表優秀賞エントリー

[S2-P-02] 西南日本内帯，多里-三坂超マフィック岩体の接触変成作用に伴う鉱物微量元素組成変化*鳴海 慎人¹、市山 祐司¹、田村 明弘²、森下 知晃² (1. 千葉大、2. 金沢大)

キーワード：脱蛇紋岩化反応、接触変成作用、変成かんらん岩、独立成分分析

蛇紋岩はH₂Oや流体移動元素 (FME)のリザーバーとして、特に沈み込み帯での元素循環において重要な役割を担っていることが指摘されている (例えば, Hattori and Guillot, 2003; Scambelluri et al., 2019). 従って、沈み込み帯の元素循環における、蛇紋岩の役割を明らかにするためには、蛇紋岩化や脱蛇紋岩化に伴う元素移動の解明が必要である. 脱蛇紋岩化時の元素挙動については、これまでに高圧～超高压変成帯に産する蛇紋岩の研究から、海洋プレート沈み込みに伴ったFMEの放出が認められている (例えば, Lafay et al., 2013; Scambelluri et al., 2015). しかし、こうした変成かんらん岩の原岩組成は不明確であるとともに、上昇時の後退作用の影響も無視できない. その一方で、火成岩の貫入により、蛇紋岩体の接触変成作用に伴って形成された変成かんらん岩 (例えば, Arai, 1975)は、脱蛇紋岩化反応の進行に応じた組成変化を連続的に評価することが可能であるため、脱蛇紋岩化時の元素挙動を明らかにするうえで、格好の研究対象となりえる. 変成かんらん岩形成時の元素挙動に関しては、Khedr and Arai (2012)などわずかな研究例に限られており、脱蛇紋岩化反応の進行に応じた組成変化については、未だによく理解が進んでいない. そこで本研究では、接触変成作用を被った多里-三坂地域の超マフィック岩体を対象に、変成度に応じた組成変化を、特に変成鉱物に注目して評価することを目的とする.

多里-三坂超マフィック岩体は、主に古生代の前弧域マントルウェッジを起源とする蛇紋岩化した融け残りハルツバージャイトで構成されている (例えば, 松本ほか, 1995; Nozaka, 2014). 白亜紀後期から古第三紀の火成岩類の貫入によって、超マフィック岩体は接触変成作用 (最高で610–750°C; Arai, 1975; Nozaka, 2011)を被っており、低変成度側からIa帯 (非変成帯; クリソタイル/リザーダイト), Ib帯 (かんらん石+アンチゴライト+トレモライト), II帯 (滑石+かんらん石+トレモライト), III帯 (直閃石+かんらん石+トレモライト), IV帯 (直方輝石+かんらん石+トレモライト)に変成分帯が行われている (Arai, 1975; 松本ほか, 1995). 本研究では、それぞれの変成分帯から採取された試料について、鉱物及び全岩の主要・微量元素組成を測定し、独立成分分析 (ICA)を用いることによって、組成データの構造を明らかにした.

全岩組成に対してICAを行った結果、特にCs, Rb, Liや軽希土類元素 (LREE)の濃集を特徴とする成分が分離され、Ia帯, Ib帯, II～IV帯に向かうほど高い値を示した. これら元素は花こう岩質の含水メルトや、水性流体に比較的多く含まれることから、貫入してきた花こう岩類から元素が付加されたことを示唆している. 変成かんらん石の微量元素組成に関するICAの結果でも、変成度の増加に伴い、これら元素が増加する成分が分離された. 変成かんらん石では特徴的に包有物を含んでいる試料が観察されており、かんらん石に関するICAの結果では、包有物に富むかんらん石ほど微量元素に富んでいることも示している. トレモライトは変成鉱物の中でも、特に微量元素に富んでいるため、トレモライトのモード量が全岩微量元素組成に強く影響を与えている. II帯～IV帯に属する変成かんらん岩の微量元素組成は概ね類似しているが、IV帯に比べてII帯とIII帯で全岩微量元素に富む傾向が見られ、II帯とIII帯がIV

帯よりもトレモライトを多く含むことによって説明される。

沈み込みに伴う脱蛇紋岩化を経験した変成かんらん岩 (Cima di Gagnone; Scambelluri et al., 2014, 2015)の全岩や変成かんらん石，直方輝石の微量元素組成は，本研究のII帯～IV帯の変成かんらん岩の全岩，鉱物組成と類似している．どちらの変成かんらん岩にも含まれる，変成かんらん石や変成直方輝石といった無水鉱物は，特にB, Pb (最大で始原マントルの 10^3 倍程度)，Cs, Li(最大で始原マントルの 10^2 倍程度)を相当量含んでいる．Cima di Gagnoneの変成かんらん岩については，脱蛇紋岩化前の地殻成分の関与によって説明されている (Scambelluri et al., 2015)．このような，形成環境の大きく異なる両者での組成の一致は，十分な地殻成分の寄与を経験した超マフィック系において，微量元素の挙動が，圧力によらず類似していることを暗示している．また，無水鉱物中の高いB, Pb, Cs, Li量は，これら元素が脱蛇紋岩化した変成かんらん岩によってマントル深部まで運搬されていることを示唆している．

2025年9月12日(金) 12:30 ~ 14:00 会場 (16番教室)

S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)**[S2-P-03] 新潟県糸魚川市青海川に産出するリスウェナイトについて***榎田 一馬¹、白勢 洋平¹ (1. 愛媛大・理)

キーワード：リスウェナイト、炭酸塩化、蛇紋岩、青海川、曹長石-炭酸塩岩

【はじめに】

リスウェナイトは、蛇紋岩などの超苦鉄～苦鉄質岩とCO₂に富む流体の交代作用によって形成される岩石で、主にマグネサイトなどの炭酸塩鉱物、石英、含Cr白雲母、黄鉄鉱などで構成される(Halls and Zhao, 1995; Menzel et al., 2024)。日本においては四国の中央構造線沿いや長崎県雪浦で産出が報告されており、その原岩はアンチゴライトを主とする蛇紋岩や泥質片岩と考えられている(Mori et al., 2007; 皆川ほか, 2008; 白勢ほか, 2022; Takagaki & Shirose, 2025)。

今回、新潟県糸魚川市青海川においても蛇紋岩に伴うリスウェナイトの産出を確認した。本研究ではこのリスウェナイトの形成過程を明らかにすることを目的とする。また、本リスウェナイトの原岩の蛇紋石の種類が他地域と異なる可能性があり、その違いが形成にどのように影響するのか合わせて検討していく。

【産状・試料】

新潟県青海川地域は飛騨外縁帯に属しており、結晶片岩、蛇紋岩、石灰岩などが狭い範囲に分布する。また、結晶片岩やひすい輝石岩等の種々の岩石が蛇紋岩メランジュのブロックとして散在する(辻森ほか, 2000)。

青海川中流には滑石-炭酸塩岩からリスウェナイトへ漸移的に変化する岩体が見られ、曹長石-炭酸塩岩がこの漸移部のリスウェナイト側に隣接する。またblock-in-matrix 構造の蛇紋岩が剪断帯を挟んで分布する。漸移部と曹長石-炭酸塩岩は5 mほど、蛇紋岩は10数 m規模の露頭である。

【実験手法】

組織観察および化学分析にはJEOL 製SEM JSM-6510LV、鉱物の同定にはRIGAKU 製XRD Ultima IVを用いた。

【結果】

ブロック部の蛇紋岩は主にリザーダイト、クリノクリソタイルと少量の緑泥石、磁鉄鉱、硫化鉱物、方解石からなり、鏡下ではメッシュ組織が著しい(Fig.a)。また蛇紋石脈や方解石脈が見られ、細粒なペントランド鉱などの硫化鉱物が組織全体に点在する。

マトリクス部は主に緑泥石と少量の方解石からなるタイプと、主にクリソタイル類と少量の磁鉄鉱、緑泥石、方解石からなるタイプに分けられる。

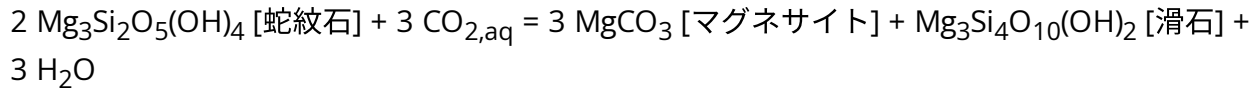
滑石-炭酸塩岩は主に滑石、マグネサイト、ドロマイト、石英と少量の緑泥石、磁鉄鉱からなる。鏡下では滑石からなるメッシュ組織(Fig.b)と粒状のマグネサイトが発達する組織が見られた。マグネサイトはFeに富むリムを持つ。また、ブロック部の蛇紋岩と滑石-炭酸塩岩は共通して緑泥石と磁鉄鉱が隣接する組織をもつ。

リスウェナイトは主にマグネサイト、ドロマイト、石英と少量の含Cr白雲母、モンモリロナイト、クロム鉄鉱、磁鉄鉱、方解石、黄鉄鉱などの硫化鉱物からなる。主に細粒な炭酸塩鉱物と石英からなる灰色部に、含Cr白雲母、クロム鉄鉱、石英からなる緑色部がまだらに入る見た目を持つ。岩体内で組織内の緑色部が占める割合が大きく異なる。鏡下では滑石-炭酸塩岩とリスウェナイトはどちらも炭酸塩鉱物と石英の脈が発達している。

曹長石-炭酸塩岩は主に曹長石，マグネサイト，ドロマイト，石英と少量の緑泥石，白雲母，黄鉄鉱からなる。鏡下では0.1 mmほどの粗粒な板状の曹長石の粒間や内部に炭酸塩鉱物が分布し，組織全体を炭酸塩鉱物脈が切っている。

【考察】

滑石-炭酸塩岩の原岩は，メッシュ組織の類似から蛇紋岩と考えられる。Menzel et al. (2024)で示されるような以下の反応式によって，蛇紋岩とCO₂に富む流体が反応して形成されたと考えられる。



また，リスウェナイトは滑石-炭酸塩岩から，あるいは蛇紋岩から直接形成された。漸移部はCO₂流体との反応度合いを反映していると考えられる。CO₂流体は剪断帯などに流入して供給されたか，あるいは地下深部にて共在していた泥質片岩など周囲の岩体から供給されたと考えられる。曹長石-炭酸塩岩はその組織から曹長石に富む岩石が炭酸塩化して形成されたと考えられる。炭酸塩鉱物はリスウェナイトと同様にマグネサイトとドロマイトであり，リスウェナイトを形成した炭酸塩化の影響を被った可能性がある。愛媛県浦山川(Takagaki & Shirose, 2025)ではアンチゴライトに由来する短冊状のマグネサイトからなるリスウェナイトが見られるが，青海川では滑石-炭酸塩岩が蛇紋岩のメッシュ組織を受け継ぐ特徴的な組織を有する。リスウェナイトの緑色部は浦山川と青海川で特徴が異なっており，前者では細粒な石英の集合中に5～25 μmの含Cr白雲母や含Crモンモリロナイトが見られる均質な組織だが，後者は100 μmの板状の白雲母がクロム鉄鉱周囲に見られる不均質な組織をもつ。

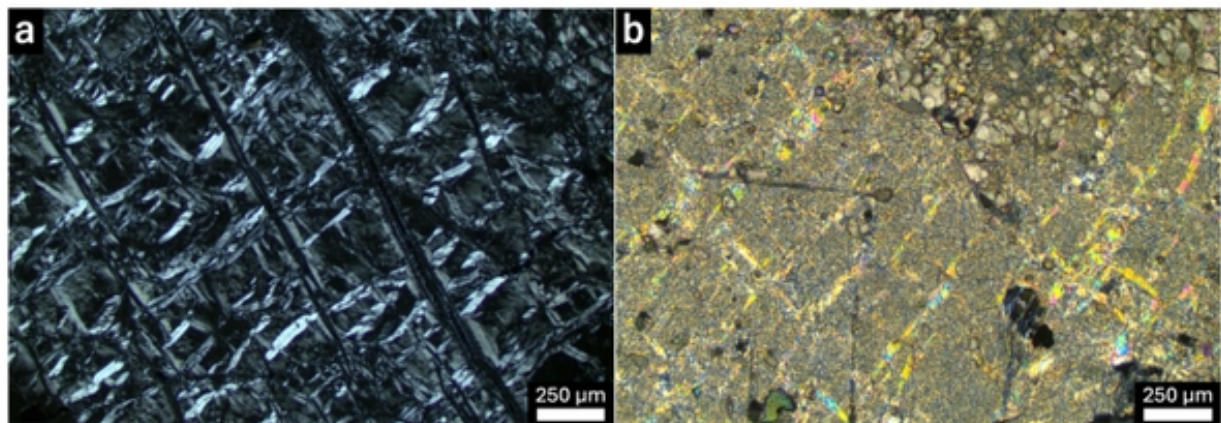


Fig. ブロック部の蛇紋岩(a)と滑石-炭酸塩岩(b)のメッシュ組織の偏光顕微鏡写真(クロスニコル)

ポスター | S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

2025年9月12日(金) 12:30 ~ 14:00 ポスター会場 (16番教室)

S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

[S2-P-04] 埼玉県皆野町と長瀬町に露出する三波川変成帯とみかぶ緑色岩帯に属する蛇紋岩中の炭酸塩脈に含まれる流体包有物の塩濃度および均質化温度

*北島 怜悦¹、田中 冬馬¹、川本 竜彦¹ (1. 静岡大・理地)

キーワード：オフィカーボネイト、御荷鋳帯、流体包有物

関東山地三波川変成帯とみかぶ緑色岩帯に属する蛇紋岩体（樋口蛇紋岩体と金崎蛇紋岩体）の中に入っている炭酸塩脈の流体包有物を解析した。三波川変成帯の樋口蛇紋岩に入るマグネサイト脈中の流体包有物の均質化温度は $152\pm4^{\circ}\text{C}$ 、塩濃度は 3.9 ± 0.2 wt.% NaCl当量、後から入ったドロマイト脈中の流体包有物の均質化温度は $154\pm14^{\circ}\text{C}$ 、塩濃度は 2.8 ± 0.6 wt.% NaCl当量であった。ほぼ同じ温度条件で2種類の脈が形成されたが、塩濃度は異なっていたと考える（田中ほか、2024、日本地球惑星科学連合大会要旨）。みかぶ帯の岩石は海洋プレート起源とされる。金崎蛇紋岩体のオフィカーボネイトの炭酸塩鉱物は、その産状と同位体比によって複数のタイプに分類することができる（大柳ほか、2025、日本地球惑星科学連合大会要旨）。本研究で調べた炭酸塩脈はカルサイトとドロマイトで構成される。ドロマイト脈内の流体包有物のラマンスペクトルは、流体包有物が H_2O からなることを示す。マイクロサーモメトリーでは、気相と液相の均質化温度は $170\pm25^{\circ}\text{C}$ ($n=9$) で、氷の最終融解温度から予想される平均塩濃度は 2.6 ± 0.5 wt.% NaCl ($n=9$)であった。三波川帯蛇紋岩で採取したマントルウェッジ由来のオフィカーボネイトと、みかぶ緑色岩帯で採取した海洋プレート由来のオフィカーボネイトに含まれる流体包有物の特徴を比較し議論したい。

2025年9月12日(金) 12:30 ~ 14:00 会場 (16番教室)

S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)**[S2-P-05] 大西洋中央海嶺Atlantis Massifにおける蛇紋石化作用の多様性***数馬田 舜¹、野坂 俊夫¹ (1. 岡山大学)

キーワード：蛇紋石化作用、かんらん石斑れい岩、かんらん岩、ブルース石、クロンステッタイト

一般にかんらん岩の蛇紋岩化作用によって水素を含む還元性流体が生成することが知られている。この流体は地下生物圏の拡大を引き起こし、さらには初期地球における生命誕生の原因となった可能性がある。そのため蛇紋岩化作用の過程とその物理化学的条件の解明は地球科学における重要課題の一つであり、これまでに多数の研究がなされてきた。

本研究の対象地域であるAtlantis Massifは、低速拡大海嶺近傍の「海洋性コアコンプレックス」と呼ばれるドーム状隆起岩体のひとつであり、そこでは上部マントルのかんらん岩や下部地殻のかんらん石斑れい岩類が海底付近までテクトニックに上昇している。岩体頂部南側にあるLost City熱水噴出場では比較的低温で強還元性の熱水が噴出しており、これは主に蛇紋岩化作用によって生じたと考えられている (Kelley et al., 2001)。しかしAtlantis Massifの多くの部分は斑れい岩類から構成されており (Blackman et al., 2006など)、またLost Cityの熱水の微量元素・同位体組成は斑れい岩類の変質作用の寄与を示唆している

(Evans et al., 2024; Seyfried et al., 2015)。したがって熱水の成因を正しく理解するためには、斑れい岩類の変質作用の実態を解明する必要がある。

かんらん岩の蛇紋岩化作用による水素の発生には主に磁鉄鉱の生成が寄与しており、磁鉄鉱は先行して生成した鉄ブルース石の分解によって生じた可能性が高い (例えばBach et al., 2006; Beard et al., 2009)。一方、Hess Deep RiftやOman ophioliteのかんらん石斑れい岩類では蛇紋石とブルース石の共生が欠如しており (Nozaka et al., 2017; Nozaka & Tateishi, 2023)、水素の生成過程や生成量のかんらん岩の場合とは異なっていると考えられる。このような鉱物共生の違いは、原岩の岩相だけでなく海嶺拡大速度などの地質環境も反映している可能性があるが、斑れい岩類における蛇紋石化作用については研究事例が少なく、不明な点が多い。そこで我々は、同一の地質環境下にあるAtlantis Massifに産する様々な岩相について蛇紋石化作用に伴う鉱物共生を調べた。

本研究ではIODP第304, 305, 399次航海で掘削採取されたAtlantis Massifの試料約100個の顕微鏡観察を行い、そのうち十数個のかんらん石斑れい岩 (troctolite, olivine gabbro, olivine-bearing gabbroを含む) と数個のかんらん岩についてEPMA分析を、さらにその一部についてラマン分光分析を行った。その結果以下のことが明らかになった。(1) いずれの岩相でもかんらん石をカットするメッシュ状蛇紋石 (主にリザダイト) 脈が生じている。

(2) 蛇紋石脈の中央部には磁鉄鉱と磁硫鉄鉱が生成しているが、それらは脈縁部のかんらん石近傍では生成していない。(3) 蛇紋石脈には組成不均質性があり、ブルース石、クロンステッタイト、緑泥石、ヒシングライトあるいはサポナイトの混在 (機械的混合または化学的固溶) を示唆している。(4) 初生斜長石の平均Ab値 $[100\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})\text{ mol}] > 30$ のかんらん石斑れい岩では、蛇紋石脈にブルース石とクロンステッタイトは混在せず、ヒシングライトまたはサポナイトが混在する。(5) 初生斜長石の平均Ab値 < 30 のかんらん石斑れい岩では、蛇紋石脈縁部にクロンステッタイトまたはブルース石、あるいはその両方が混在する。(6) 平均Ab値が同程度のかんらん石斑れい岩を比べると、かんらん石のFo値 $[100\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})\text{ mol}]$ が比較的低い場合にはクロンステッタイトが、高い場合にはブルース石が産出する。(7) かんらん岩では、蛇紋石脈にブルース石が混在するが、クロンステッ

タイトはほとんど混在しない。以上の結果は、蛇紋石化作用の初期段階における鉱物共生には、母岩の結晶分化度が影響していることを示唆している。

文献：Bach et al. (2006) *Geophys. Res. Lett.*; Beard et al. (2009) *J. Petrol.*; Blackman et al. (2006) *IODP Proceedings*; Evans et al. (2024) *Geochim. Cosmochim. Acta*; Kelley et al. (2001) *Nature*; Nozaka et al. (2017) *Lithos*; Nozaka & Tateishi (2023) *J. Metamorph. Geol.*; Seyfried et al. (2015) *Geochim. Cosmochim. Acta*

2025年9月12日(金) 12:30 ~ 14:00 ポスター会場 (16番教室)

S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

◆ 研究発表優秀賞エントリー

[S2-P-06] 愛媛県伯方島に産するエピ閃長岩の形成過程における岩石組織の変化*福井 堂子¹、下岡 和也²、高橋 俊郎³、齊藤 哲¹ (1. 愛媛大学、2. 関西学院大学、3. 新潟大学)

キーワード：エピ閃長岩、花崗岩、エピ閃長岩化作用、アルカリ交代作用、超臨界地熱貯留層

1. はじめに

エピ閃長岩は、花崗岩類とアルカリ成分に富む流体との岩石-水相互作用により形成される、石英に乏しく、アルカリ長石に富む岩石である (Suikkanen and Ramo, 2019)。エピ閃長岩形成時には、原岩に含まれる石英の溶脱とそれに伴う空隙の形成、長石類のアルカリ長石化が主たる反応として進行する。また、その後の二次鉱物の充填などにより、空隙が失われる場合もある (例えば, Cathelineau, 1986)。このように、エピ閃長岩はその形成過程において、花崗岩と熱水の反応による空隙・亀裂の発達とそれに伴う流路の形成、さらにその後の流路の閉塞までを経験した岩石であることから、地熱貯留層における熱水活動史を理解する上で重要な研究対象である。本研究では、エピ閃長岩形成時に起こる石英を始めとした鉱物の溶脱（空隙の発達による流路の形成）と、二次鉱物の晶出（空隙の充填による流路の閉塞）までの反応過程を明らかにするために、愛媛県伯方島に分布するエピ閃長岩の野外産状および岩石記載をおこない、その組織変化を議論する。また、反応に関与した流体の温度条件についても議論し、当地域のエピ閃長岩が超臨界流体の活動により形成したものであることを示す。

2. 野外産状・岩石記載

当地域には2種類のエピ閃長岩が産し、その色調の違いにより、真珠色閃長岩と牡蠣色閃長岩に区別される。これらのエピ閃長岩は黒雲母と角閃石を含む花崗岩に伴って産出している。真珠色閃長岩は、露頭中に空隙やそれを繋ぐ亀裂が認められるほか、有色鉱物の集合体が配列する層状構造も認められる。主な構成鉱物はアルカリ長石および柘榴石であり、そのほか少量の単斜輝石、チタン石および二次的な石英が認められる。有色鉱物が少なく、優白質な岩石である。柘榴石とチタン石は空隙を埋めるように晶出している。また、ごく僅かに微細で他形のジルコンが含まれることがある。一方、牡蠣色閃長岩は、露頭中では視認できるサイズの空隙は認められない。また、真珠色閃長岩に比べ、母岩の花崗岩の組織が残存している。構成鉱物はアルカリ長石および単斜輝石であり、そのほか少量の柘榴石、チタン石、ジルコン、燐灰石、褐簾石、磁鉄鉱および二次的な石英が認められる。単斜輝石と柘榴石は粒状集合組織を呈し、この粒状集合組織中に微細な空隙が認められる。一部では、単斜輝石、磁鉄鉱およびチタン石に伴う、角閃石および黒雲母の残存結晶が認められる。ジルコンは自形のものと他形のものとがみられ、他形のものはしばしば外縁部が湾状に融食されている。

3. 議論：エピ閃長岩形成過程の組織変化（流路の形成と閉塞）

当地域に産する2種類のエピ閃長岩は連続せず、それぞれが原岩と漸移していることから、両者は同一の原岩から別々の反応過程を経て形成したものと考えられる。本研究ではこの各エピ閃長岩の反応過程を、熱水の流路形成期と考えられる①エピ閃長岩化作用ステージ（石英などの鉱物の溶脱・長石のアルカリ長石化）と、流路の閉塞期と考えられる②空隙充填ステージ（二次鉱物の晶出）、に区分した（図参照、福井・齊藤、印刷中）。真珠色閃長

岩は有色鉱物に乏しく空隙に富む特徴から、①での原岩からの石英，有色鉱物，ジルコンの溶脱が著しく，②における空隙充填が限定的であったと考えられる．一方で，牡蠣色閃長岩は黒雲母や角閃石の残存結晶が認められ，空隙中に粒状集合組織が発達していることから，①での有色鉱物の溶脱が限定的であり，②では有色鉱物の交代や二次鉱物による空隙充填が顕著であったと考えられる．なお，Suikkanen and Ramo (2019)では，エピ閃長岩のうち輝石を含むものは比較的高温条件（ $> 450^{\circ}\text{C}$ ）で形成したとしている．当地域のエピ閃長岩にも輝石が含まれることから，本研究において議論した組織変化，特に空隙の発達（流路の形成）と充填（流路の閉塞）は， 450°C を超える超臨界流体の活動により引き起こされたものと考えることができる．

引用文献： Suikkanen and Ramo (2019) *Min. Metall. Explor.*, 36, 861–878; Cathelineau (1986) *J. Petrol.*, 27, 235–244; 福井・齊藤（印刷中）*地質学雑誌*

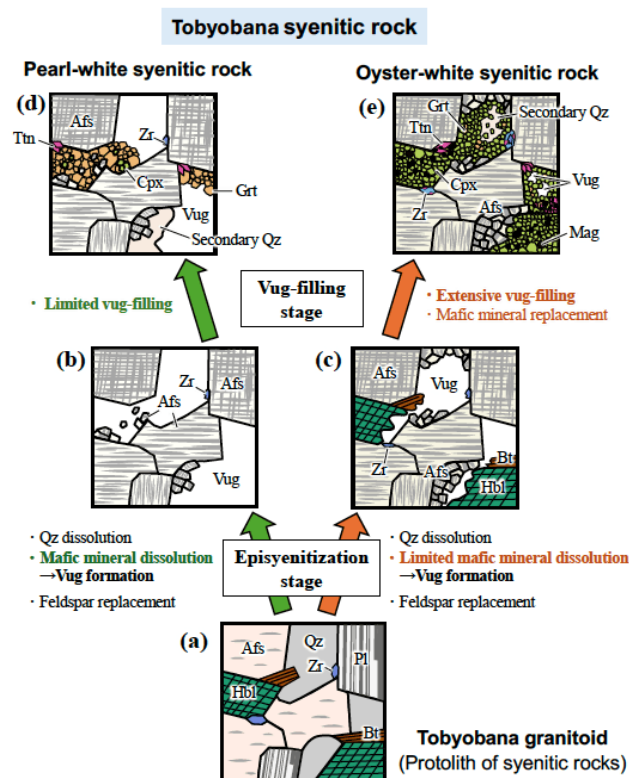


Figure Schematic illustration showing the model for the formation of two contrasting syenitic rocks in the Tobyobana area. See text for explanation. (a) Tobyobana granitoid (protolith of syenitic rocks). (b) Quartz and mafic mineral dissolved Tobyobana granitoid (i.e., pearl-white syenitic rock before vug-filling). (c) Quartz dissolved Tobyobana granitoid (i.e., oyster-white syenitic rock before vug-filling). (d) Pearl-white syenitic rock. (e) Oyster-white syenitic rock. Qz: quartz, Afs: alkali feldspar, Pl: plagioclase, Bt: biotite, Hbl: hornblende, Cpx: clinopyroxene, Grt: Garnet, Ttn: Titanite, Zr: Zircon, Mag: Magnetite.

（福井・齊藤、印刷中、地質学雑誌）