

ポスター | S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

■ 2026年9月25日(金) 12:30 ~ 14:00 | 〇 ポスター (336, 340, 341号室)

S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

12:30 ~ 14:00

[S2P-01] 長野県大鹿村のダナイト中の蛇紋石脈に産する自然鉄の形成

*武田 侑也¹、桑原 義博²、上原 誠一郎³ (1. 九州大・地球社会、2. 九州大・比文、3. 九州大・博物館)

12:30 ~ 14:00

[S2P-02] 愛媛県西条市雨乞西谷川のリスウェナイト

*柳沢 蒼汰¹、高垣 光^{1,2}、白勢 洋平¹ (1. 愛媛大・理、2. 復建調査設計(株))

12:30 ~ 14:00

[S2P-03] 静岡リストベナイトの反応微細組織と多段階形成過程

*道林 克禎^{1,2}、藪 真彦¹ (1. 名古屋大学、2. 海洋研究開発機構)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

12:30 ~ 14:00

[S2P-04] 超塩基性岩の室温炭酸水反応による岩石物性・流体組成の変化および微細構造組織の変化

*中川 嵩斗¹、片山 郁夫²、伊藤 禎宏²、横山 正³ (1. 広島大・院地惑、2. 京都大・院地鉱、3. 広島大・院融合)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

12:30 ~ 14:00

[S2P-05] 高度変成剪断帯からみたKCl流体流入による動的な下部地殻強度低下

*星野 百南¹、宇野 正起¹、小山 雪乃丞¹、ウォリス サイモン¹、山口 飛鳥²、河上 哲生³、東野 文子³、足立 達朗⁴ (1. 東大・理、2. 東大・大海研、3. 京大・理、4. 九大)

12:30 ~ 14:00

[S2P-06] グリーンランドイスア表成岩帯に産する超苦鉄質岩の蛇紋岩化履歴

*山尾 駿介¹、Allen Nutman²、中村 佳博³、外田 智千⁴、M. Satish- Kumar⁵ (1. 新潟大・院自然、2. ウーロンゴン大・理、3. 産業技術総合研究所、4. 極地研究所、5. 新潟大・理)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

12:30 ~ 14:00

[S2P-07] 地震発生帯における石英脈分布とシリカ移動量の定量化

*平戸 佑汰¹、志村 侑亮²、宇野 正起¹ (1. 東京大・院理、2. 名古屋大・院環境)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

12:30 ~ 14:00

[S2P-08] 水熱実験に基づく珪灰石の炭酸化反応におけるCaおよびSiの移動・固定化挙動

*韓 山¹、岡本 敦¹、大柳 良介¹、Otgonbayar Dandar¹ (1. 東北大学・院環境)

12:30 ~ 14:00

[S2P-09] 水流体から晶出した固溶体の化学組成は何で決まるか？

*福島 諒¹ (1. JAMSTEC・高知コア研)

12:30 ~ 14:00

[S2P-10] 岩石-水相互作用国際会議について

*土屋 範芳¹ (1. 国立高等専門学校機構 八戸工業高等専門学校)

ポスター | S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

2026年9月25日(金) 12:30 ~ 14:00 | ポスター (336, 340, 341号室)

S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

12:30 ~ 14:00

[S2P-01] 長野県大鹿村のダナイト中の蛇紋石脈に産する自然鉄の形成

*武田 侑也¹、桑原 義博²、上原 誠一郎³ (1. 九州大・地球社会、2. 九州大・比文、3. 九州大・博物館)

キーワード：自然鉄、蛇紋岩化作用

はじめに

蛇紋岩化作用においてカンラン石と熱水の反応に伴うFeの価数変化により、 H_2 が発生することで、自然鉄、アウルフ鉱などが形成される場合がある(Frost, 1985)。蛇紋岩化作用で形成した自然鉄は世界各地で報告があるものの産出量が少なく、微細構造や共生鉱物との関係性などを記載した例は非常に少ない。長野県大鹿村のカンラン岩中の蛇紋石脈からは日本で初めて蛇紋岩化作用で生じる楕円形の自然鉄が報告された(岡本ら, 1981; Sakai & Kuroda, 1983)。昨年の鉱物科学会では自然鉄を含む蛇紋石脈の観察結果から自然鉄の生成にはシリカ活動度及び水分活性の低下によって形成された可能性を報告した。今回はこれらについて相図を作成し、自然鉄の生成について考察した。

方法

構成鉱物はX線回折分析(Rigaku Ultima IV, Rigaku RINT RAPID II)で決定した。化学組成分析、組織観察には九州大学地球惑星科学科のSEM-EDS (JEOL JSM-7001F) 及びEPMA (JEOL JXA-8530F)を用いた。また、九州大学超顕微解析研究センターのFIB-SEM (Thermo Fisher Scientific Helios 5 UX)を用いて薄膜試料を作成し、同センターの透過型電子顕微鏡(JEOL JEM-ARM300F2, JEOL JEM-2100F)で組織観察を行った。蛇紋岩中の鉱物の安定領域を示す相図はPerple_X (Connolly, 2005)を用い、1kbar、カンラン石の#Mg=92で作成した。

結果と考察

楕円形の自然鉄を含む蛇紋石脈は幅10 μm ~ 100 μm で、薄片の肉眼観察では灰緑色に見える。岩石薄片のSEM観察では自然鉄は蛇紋石脈の中心に存在し、長軸が脈に対して垂直になるような楕円形で並び、一部の自然鉄の周囲には磁鉄鉱が形成していた。蛇紋石脈の破断面のSEMによる形態観察により、自然鉄は紡錘形で表面には明瞭な結晶面が見られなかった。脈の中心にブルース石に富む部分があり、脈とカンラン石の境界には長さ数 μm から20 μm の針状の変質部が蛇紋石脈からカンラン石結晶内部に向かって見られた。TEMによる観察で、針状変質部はリザーダイトとブルース石で構成され、カンラン石との境界は蛇紋石で中心にはブルース石が存在していた。また、蛇紋石脈は、カンラン石に近い場所はクリソタイルと多角柱状蛇紋石で構成される。脈の中心に近くなるとリザーダイトとブルース石、自然鉄、磁鉄鉱で構成されていた。STEM-EDSマッピングの結果から蛇紋石、ブルース石の化学組成を求めた。針状変質部の蛇紋石の#Mgは0.94でブルース石の#Mgは0.83であった。また、脈中のリザーダイトの#Mgは0.96、多角柱状蛇紋石+クリソタイルの#Mgは0.97で、ブルース石の#Mgは0.87であった。

自然鉄を含む蛇紋石脈に見られた針状変質部はPlümpner et al. (2012)が報告したアモルファス前駆蛇紋石 (APSP) に対応する。蛇紋石脈の成長に伴い、針状変質部のリザーダイトとブルース石を使って多角柱状蛇紋石とクリソタイルが発達した。これらの蛇紋石の形成により $SiO_2(aq)$ が消費されるため、蛇紋石脈の中心部は反応の進行とともに低Si環境となり、リザーダイト+ブルース石が安定的に形成されたと考えられる。また、蛇紋岩化が途中で止まっていることから、カンラン岩に供給された熱水量は有限であり、反応の進行に伴って水分活性も低下したと推定される。Perple_Xを用いて H_2O の化学ポテンシャルを低下させた相図を作成したところ蛇紋石+ブルース石及びブルース石の安定領域が縮小し、代わって自然鉄や磁鉄鉱の安定領域が拡大することが確認できた。これらの結果は、大鹿村の自然鉄は蛇紋岩化作用の後期に低Si・低 H_2O 活動度の環境で形成されたことを示唆する。

謝辞

本研究にあたり，Perple_Xの操作方法についてご指導いただいた大柳良介助教（指導当時：
国士舘大学理工学部，現所属：東北大学大学院環境科学研究科）に深く感謝いたします．

ポスター | S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

2026年9月25日(金) 12:30 ~ 14:00 | ポスター (336, 340, 341号室)

S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

12:30 ~ 14:00

[S2P-02] 愛媛県西条市雨乞西谷川のリスウェナイト

*柳沢 蒼汰¹、高垣 光^{1,2}、白勢 洋平¹ (1. 愛媛大・理、2. 復建調査設計(株))

キーワード：リスウェナイト、蛇紋岩、アンチゴライト、滑石、雨乞西谷川

【はじめに】

リスウェナイトは、超苦鉄質岩とCO₂を含む流体との交代反応によって形成される、マグネシウム炭酸塩と石英からなる岩石である(Halls and Zhao, 1995; Hansen et al., 2005; Menzel, 2024)。日本では、長崎県雪ノ浦 (Mori et al., 2007)、四国の中央構造線沿い(皆川ほか, 2008; 高垣・白勢, 2025)、静岡県出馬 (Suzuki et al., 1977)、および新潟県の糸魚川地域 (榎田・白勢, 2025) でリスウェナイトが見つかった。また、愛媛県四国中央市浦山川からは、泥質片岩由来で片状の組織を持つリスウェナイトと蛇紋岩由来で塊状の組織を持つ2種類の産状、組織、鉱物組み合わせの異なるリスウェナイトが報告されている(Takagaki and Shirose, 2025)。今回、愛媛県西条市の雨乞西谷川においても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産状や鉱物学的な特徴を記載し、その形成過程を明らかにすることを目的とする。

【産状・試料】

愛媛県西条市に位置する雨乞西谷川は中央構造線近くに位置しており、三波川帯のざくろ石帯から曹長石黒雲母帯に対応する泥質片岩が分布している。雨乞西谷川中流に幅10 m程度のリスウェナイト-滑石炭酸塩岩-変質蛇紋岩からなるレンズ状の岩体が河床部に20 m程度にわたって露出している。下流側の泥質片岩接触部ではアクチノ閃石片岩、滑石炭酸塩岩が分布し、岩体内部には変質蛇紋岩を伴う。岩体の大部分である中央部は塊状リスウェナイトからなる。上流側の泥質片岩接触部付近では緑泥石片岩を伴う片状リスウェナイトが分布し、接触部は剪断帯となっており、中に2~3 cm程度の塊状リスウェナイトを含む変質した泥質片岩からなる。塊状リスウェナイトは大部分が灰色で緻密、部分的に緑色である。片状リスウェナイトは淡緑色で脆く片状の組織を持ち、一部片理に沿って白い脈が見られる。また、5 mm程度の粗粒な斑晶状のドロマイトを特徴的に含む。滑石炭酸塩岩は大部分が灰色で、硫化鉱物を含み、塊状~片状である。変質蛇紋岩は暗緑色でやや灰色がかっており、片状である。

【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 UltimaIVを用いた。

【結果・考察】

リスウェナイトは片状タイプ、塊状タイプともにマグネサイトやドロマイトなどの炭酸塩鉱物、石英を主とし、微量の針ニッケル鉱、黄鉄鉱、クロム鉄鉱、含クロムモンモリロナイトが含まれる。その他、片状タイプについては方解石、含クロムカオリナイト、チタン酸化物、ビオラル鉱、ジゲン鉱が、塊状タイプについては滑石、クリノクロア、磁硫鉄鉱、ペントランド鉱、ゲルスドルフ鉱が含まれている。リスウェナイトに含まれるクロム鉄鉱は、塊状タイプでは50 μm~数mm程度のクロム鉄鉱の残晶を含むが、片状タイプでは1~2 μm以下の粒状の集合体である。また、リスウェナイト中に含まれる炭酸塩鉱物は粗粒なもの(0.1~6 mm)と細粒なもの(0.01 mm以下)が混在しており、粗粒なものについて、片状タイプでは双晶が発達したドロマイトが、塊状タイプでは板状で劈開が顕著なマグネサイトが多く見られた。

アクチノ閃石片岩は片理が発達しており、緑泥石やアクチノ閃石、石英を多く含む。変質蛇紋岩はアンチゴライト、滑石、マグネサイト、微量の緑泥石が含まれており、蛇紋石の一部を滑石が置き換えた組織も見られた。滑石炭酸塩岩は滑石と炭酸塩鉱物に富んでおり、その他石

英、緑泥石、カオリナイトが含まれている。この炭酸塩鉱物について、変質蛇紋岩に接する滑石炭酸塩岩ではドロマイトがほとんどでマグネサイトが少量、その他の滑石炭酸塩岩ではマグネサイトがほとんどでドロマイトが少量であった。蛇紋石の有無を考慮しなければ、隣に接する変質蛇紋岩とかなり似た鉱物組み合わせである。緑泥石片岩はほとんど緑泥石でできており、片状の構造を持っている。緑泥石片岩と片状リスウェナイトの境界部では、境界部分に厚さ1 mmほどのマグネサイトを主とする炭酸塩の脈があり、脈の周辺では緑泥石片岩中にも細粒な炭酸塩鉱物と石英が多く含まれる。

滑石からなる蛇紋石の仮晶組織やクロム鉄鉱の残晶が確認されたことから、蛇紋岩がCO₂を含む流体と反応することによって、滑石炭酸塩岩とリスウェナイトが形成されたと考えられる。また、泥質片岩との境界近くには、アクチノ閃石や緑泥石が多く含まれる反応帯が形成されていると考えられ、元素の移動を伴う複雑な反応が記録されていることが明らかになった。

ポスター | S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

2026年9月25日(金) 12:30 ~ 14:00 | ポスター (336, 340, 341号室)

S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

12:30 ~ 14:00

[S2P-03] 静岡リストベナイトの反応微細組織と多段階形成過程

*道林 克禎^{1,2}、藪 真彦¹ (1. 名古屋大学、2. 海洋研究開発機構)

キーワード：リストベナイト

リストベナイトは、超苦鉄質岩や蛇紋岩が二酸化炭素 (CO₂) を含む流体と反応して形成される変質岩であり、天然におけるCO₂の長期固定を示す岩石として近年注目されている。本研究では、静岡県静岡市安倍川支流に産するリストベナイト（以下、静岡リストベナイト）を対象とし、鉱物組成および微細組織を詳細に解析することで、その形成過程を明らかにすることを目的とした。試料は、静岡市口坂本温泉付近の安倍川支流中河内川沿いに分布するリストベナイト転石から採取した。採取地点は四万十層群中の蛇紋岩帯に位置する。試料について研磨薄片を作製し、偏光顕微鏡観察、SEM-EDSによる元素分析、SEM-EBSDによる結晶方位解析を行った。さらに粉末試料についてX線回折分析 (XRD) を実施した。調査地域では蛇紋岩露頭が確認された一方、リストベナイトは数 m 規模の多数の転石として産出した。主要構成鉱物は石英およびマグネサイトであり、副成分としてスピネル、フクサイト、ドロマイト、および少量の黄鉄鉱を含む。石英には、細粒基質石英、脈状粗粒石英、および鉱物粒間を充填する石英など、少なくとも3種類の異なる微細組織が認められた。また、スピネルは顕著な脆性破壊を受け、その周囲にフクサイト、さらに外側をマグネサイトが取り囲む特徴的な反応組織が観察された。静岡リストベナイトは、その鉱物組成から世界的に最も一般的な石英-マグネサイト型リストベナイトに分類される。石英に認められた複数世代の微細組織は、CO₂流体が複数回流入したことを示唆する。原岩を蛇紋岩とすると、初期にはCO₂流体との反応によって石英とマグネサイトからなるリストベナイトが形成され、その後、KおよびSに富む流体が浸透したことでスピネルの脆性破壊とフクサイトの形成が進行したと考えられる。このような多段階の流体反応には、周囲に分布する四万十層群頁岩中の有機物の熱分解によって生成した流体が関与した可能性がある。

ポスター | S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

2026年9月25日(金) 12:30 ~ 14:00 | ポスター (336, 340, 341号室)

S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

12:30 ~ 14:00

[S2P-04] 超塩基性岩の室温炭酸水反応による岩石物性・流体組成の変化および微細構造組織の変化

*中川 嵩斗¹、片山 郁夫²、伊藤 禎宏²、横山 正³ (1. 広島大・院地惑、2. 京都大・院地鉱、3. 広島大・院融合)

キーワード：二酸化炭素の地中処分、かんらん岩、蛇紋岩、ネスケホナイト

二酸化炭素の地中貯留(CCS)の中でも地中の超塩基性岩と二酸化炭素を反応させ、鉱物として固定する鉱物トラップはその安定性・長期保存性から注目されている。特にマントルを構成するかんらん岩は二価の陽イオンを多量に含むため二酸化炭素の貯留ポテンシャルが高い。しかし、鉱物トラップを実用化する上で主要な課題として、炭素固定をモニタリングする手法が未確立であり、低温環境下での炭酸塩化プロセスには未だ不明点が多い。そこで、本研究では室温炭酸水とかんらん岩および蛇紋岩の反応によって岩石物性(空隙率、電気比抵抗、地震波速度)や流体の化学特性(pH、イオン濃度)の時間変化の測定および反応岩石試料の微細構造を観察することで、炭素固定をモニタリングする際に有効なパラメータを確立するとともに、超塩基性岩の炭酸塩化プロセスを明らかにすることを目的とした。試料は北海道の幌満川沿いで採取された水質変質をあまり受けていないかんらん岩と、千葉県房総半島で採取された蛇紋岩を用いた。各試料を一辺15mm程度のキューブ状に加工し、超純水とともに個別の小型容器へ封入。その後、圧力容器内に静置した。圧力容器内を真空引きした後、CO₂ガスを圧入し、PCO₂ = 1MPa (pH = 3.9)、室温条件下で静置した。反応期間はCO₂注入から10回(1日、2日、5日、10日、20日、50日、100日、200日、300日、500日)小型容器を回収した。回収した岩石試料から空隙率、電気比抵抗、地震波速度の物性を測定するとともに、流体のpHやイオン濃度(Mg、Siなど)を計測した。反応後の試料はFE-SEMによる反応面の微細組織観察とEDSによる測定を行った。加えて、上記の純水条件下の実験とは別に、標準海水条件下(0.5mol/L)でも同じ実験を行い反応プロセスの違いを調べた。測定の結果、かんらん岩の物理特性には大きな変化が見られなかったのに対し、蛇紋岩の物理特性は反応による顕著な変化が見られた。蛇紋岩の空隙率は反応前の1%から3%程度まで上昇し、それに伴い電気比抵抗の低下が確認されたが、地震波速度には有意な違いは見られなかった。これは空隙の増加は試料の表面に限られるためバルクの空隙率は変化しても、地震波速度の測定には大きな影響を示さない可能性がある。流体の化学特性については、かんらん岩と蛇紋岩どちらも反応によるpHの上昇およびイオン濃度の変化が見られた。特に、流体組成の変化はかんらん岩よりも蛇紋岩で顕著であった。pHは反応開始直後から急上昇し、飽和pHはかんらん岩の5.5に対し、蛇紋岩が6.6に達した。また、溶出したイオン濃度比(Mg/Si)を見ると、かんらん岩はかんらん石の組成を反映した2:1であった。一方、蛇紋岩のMg/Si比は20:1と、Mgが過剰に溶出した。これは蛇紋岩に含まれるブルーサイト(Mg(OH)₂)の溶脱に起因すると考えられる。さらに、流体組成に基づく炭酸塩飽和指数の計算から、蛇紋岩では100日目以降に過飽和状態となり、炭酸塩鉱物が沈殿しうる環境にあることが示された。熱力学的平衡論に基づけばマグネサイト(MgCO₃)の生成が予測される領域であるが、実際には準安定相であるネスケホナイト(MgCO₃・3H₂O)が生成している可能性が高い。微細構造観察では、時間の経過とともに褐色の反応フロントが蛇紋岩内部へ進行する様子が確認された。これは鉱物の溶脱による空隙率の増加と流体浸透を反映している。500日目には反応面の厚さが600μmに達しており、この成長挙動が放物線的であることから、本反応プロセスは拡散律速であることが示唆される。

ポスター | S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

2026年9月25日(金) 12:30 ~ 14:00 | ポスター (336, 340, 341号室)

S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

12:30 ~ 14:00

[S2P-05] 高度変成剪断帯からみたKCl流体流入による動的な下部地殻強度低下

*星野 百南¹、宇野 正起¹、小山 雪乃丞¹、ウォリス サイモン¹、山口 飛鳥²、河上 哲生³、東野 文子³、足立 達朗⁴ (1. 東大・理、2. 東大・大海研、3. 京大・理、4. 九大)

キーワード：岩石-流体反応、下部地殻、反応-輸送解析、地殻強度

プレート境界におけるスロー地震は流体活動に関連した現象として理解されつつある。近年ではプレート境界だけでなく大陸地殻内部でも流体とスロー地震の関連が示唆されており、2024年の能登半島地震では、スロー地震が発生した断層帯に流体に富むと考えられるS波反射面が存在することが報告された[1]。特に下部地殻は、大陸リソスフェアの強度を支配し、地殻全体の変形様式や歪み局所化を規定する重要な層である。地球物理学的観測からは流体による下部地殻の弱体化が示唆されているが[2]、従来モデルは単一鉱物のレオロジーに依存し、流体や含水鉱物の役割を十分考慮していない。一方、天然の高度変成岩では、岩石-流体反応による含水鉱物形成が著しい歪み局所化と対応することが知られている[3]。しかし、その反応と変形の時間スケールは十分に明らかではない。そこで本研究では、天然の下部地殻剪断帯に対する流体反応・変形解析と反応輸送解析[4]を統合し、歪み局所化プロセスとその時間スケールの解明を目的とした。調査地域は東南極セールロンダーネ山地プラットニーパネ地域の延性衝上構造境界である。セールロンダーネ山地はゴンドワナ大陸衝突(約650–500 Ma)時に形成された主要構造境界であり、中部～下部地殻起源の高度変成岩が広く分布する[5]。プラットニーパネ地域では、異なる温度圧力履歴をもつ変成ユニットの境界に延性衝上構造境界が見られる[6]。対象露頭は、この境界下盤側に位置するザクロ石-黒雲母-角閃石片麻岩で、著しい剪断変形とブーディンが発達する。本研究では、母岩である単斜輝石-ザクロ石-角閃石片麻岩から黒雲母-角閃石片麻岩の卓越剪断帯へ至る幅40 cmの反応-変形帯を解析した。卓越剪断帯からの距離を x として、単斜輝石-ザクロ石-角閃石帯(母岩、 $x > 27$ cm)、ザクロ石-角閃石帯($x = 8$ –21 cm)、角閃石帯($x = 3$ –8 cm)、黒雲母-角閃石帯(卓越剪断帯、 $x = 0$ –3 cm)の4鉱物帯が認められ、卓越剪断帯へ向かう累進的な水和反応を示した。母岩から角閃石帯にかけてザクロ石の粒径は数百 μm から減少し、モードも減少し消滅する。卓越剪断帯では粒径数百 μm の黒雲母、角閃石、斜長石が露頭全体の面構造と平行に強く配列する。XRFおよび鉱物化学組成・鉱物モードから推定した全岩組成では、卓越剪断帯へ向かってK、Cl、 H_2O の濃集が認められた。アパタイト中Cl濃度は $x = 0$ cmの0.46 wt%から遠ざかるにつれ減少し11.7 cm以遠では0.01 wt%未満まで低下した。角閃石-斜長石温度圧力計[7,8]から流体反応条件は600–700°C、0.4–0.8 GPaと推定され、これはピーク変成後の後退変成作用[6]に対応する。結晶方位解析では、母岩で弱かった形態定向配列が卓越剪断帯で顕著となり、斜長石(001)面および角閃石(100)面が強い配向を示した。さらに、アパタイト中Cl濃度プロファイルの反応輸送解析から、移流距離15 cm、拡散距離6.7 cm、流体活動継続時間約1年が得られた。以上より、KClに富む流体の浸透とK付加による黒雲母形成が歪み局所化を促進したことが示された。また、剪断帯面構造に斜交して成長する黒雲母の存在から、剪断変形は流体浸透期間中に進行し、歪み局所化は約1年以内という短期間で達成されたと考えられる。推定した変形継続時間と露頭から見積もった変位量から求めたすべり速度は 3×10^{-8} m/sであり、ゆっくりすべりの代表的な速度範囲に相当する。さらに、黒雲母の著しく弱いレオロジー特性[9]を考慮すると、岩石強度は数百MPaから数十MPaへ急激に低下した可能性が高い。本研究は、KCl流体と岩石との反応による剪断帯での黒雲母形成が約1年という短期間で生じ得ることを示した。これは下部地殻のレオロジーが流体浸透によって急激に弱体化し得ることを示し、KCl流体の流入が活動的な下部地殻剪断帯における高歪み速度や局所的な地震活動を説明する物理化学的メカニズムの一つである可能性を示唆する。

[References]1: Nishimura et al. (2023)2: Wannamaker et al. (2009)3: Mérit et al. (2025)4:

Mindaleva et al. (2020)5: Osanai et al. (2013)6: Adachi et al. (2023)7: Holland & Blundy (1994)8:
Bhadra & Bhattacharya (2007)9: Kronenberg et al. (1990)

ポスター | S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

2026年9月25日(金) 12:30 ~ 14:00 | ポスター (336, 340, 341号室)

S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

12:30 ~ 14:00

[S2P-06] グリーンランドイスア表成岩帯に産する超苦鉄質岩の蛇紋岩化履歴

*山尾 駿介¹、Allen Nutman²、中村 佳博³、外田 智千⁴、M. Satish- Kumar⁵ (1. 新潟大・院自然、2. ウーロンゴン大・理、3. 産業技術総合研究所、4. 極地研究所、5. 新潟大・理)

キーワード：水素同位体、イスア表成岩帯、蛇紋石

Serpentine minerals are important for reconstructing Archean water-rock interactions because they retain water in their crystal structures and may preserve information on the fluids involved in their formation. Ultramafic rocks from the Isua area, southwestern Greenland, are key materials for investigating water circulation and fluid activity on the early Earth. In this study, we examined the serpentinization history of Isua ultramafic rocks using mineral textures, μ XRF elemental mapping, mineral compositional analysis, TG-DTA analysis, and hydrogen isotope analysis. The studied samples show different degrees of olivine preservation and alteration textures. In olivine-bearing samples, serpentine occurs around and within relatively well-preserved olivine grains, whereas other samples show variations in remaining olivine and mineral textures. μ XRF mapping identified two types of serpentines with different elemental compositions, which may correspond to differences in mineral textures. TG-DTA analyses revealed a major DTG peak at approximately 700 to 770°C in all samples. In addition, differences in the dehydration behavior at 500 to 700°C were observed among the samples. These differences may reflect the contribution of secondary hydrous minerals and/or presence of low temperature serpentine minerals. Hydrogen isotope analyses show variations in δD values among the samples, suggesting different fluid conditions or fluid events at different stages. Some samples also show variations corresponding to serpentine occurrence. These results suggest that the Isua serpentinites may have experienced multiple stages of fluid activity. In particular, texturally distinct serpentine within olivine pseudomorphs and heterogeneous elemental distributions revealed by μ XRF mapping suggest that post-serpentinization alteration and/or carbonation may have proceeded heterogeneously.

ポスター | S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

2026年9月25日(金) 12:30 ~ 14:00 | ポスター (336, 340, 341号室)

S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

◆ 研究優秀発表賞エントリー

12:30 ~ 14:00

[S2P-07] 地震発生帯における石英脈分布とシリカ移動量の定量化

*平戸 佑汰¹、志村 侑亮²、宇野 正起¹ (1. 東京大・院理、2. 名古屋大・院環境)

キーワード：石英脈、流体移動、地震発生帯、四万十付加体、三波川変成帯

沈み込み帯の地震発生帯における地震、特にスロー地震について、その再来周期にはシリカの流体による移動・沈殿が関与していると考えられている[1]。実際に、沈み込み帯起源の岩石中には石英脈が観察され、脈の組織から破壊とシリカによるシーリングが繰り返し起こっていることが示唆されている[2]。また、このようなシリカ移動の証拠として、付加体では低変成度岩に比べ高変成度岩において SiO_2 を主とした質量増加が確認されている[3]。しかしながら、シリカ移動の記録となる石英脈が露頭に実際どのように分布するかは十分に明らかでなく、近年、三波川変成帯を対象にした元素移動量解析の結果から、低変成度側(緑泥石帯最下部)で顕著なシリカの付加が示された[4]が、より低温度の領域を含む広域での連続的な分布は未だわかっていない。そこで、本研究では低変成度の付加体から高変成度の変成帯が連続して露出する、紀伊半島中央部の五條-吉野地域を対象に泥質岩中の石英脈の分布と形態を調べ、地震発生帯からスロー地震発生帯におけるシリカシーリングの分布を検討する。

本研究では四万十付加体のパンペリー石-アクチノ閃石相から三波川変成帯の緑泥石帯およびざくろ石帯までの7露頭から泥質岩計35試料を採取した。これらの試料についてXRFによる全岩組成分析や、ドローン3D画像と機械学習による石英脈の分布の定量化によりシリカによるシーリングの存在とその分布を検討する。本発表ではその第一段階として、各露頭における石英脈の産状を記載し、石英脈の分布の傾向について議論する。

主調査地域である南阿田では、緑泥石帯-ざくろ石帯の境界付近から南部の緑泥石帯下部へ約1 kmの調査を行った。約10 km東方における緑泥石帯からざくろ石帯の最高被熱温度は約280°C ~ 440°Cであり[5]、地震発生帯最下部から深部スロー地震発生帯相当の温度である。地質体の片理面は、全体としてENE-WSW走向で北に高角で傾斜する。以下では、ザクロ石帯側から順に露頭をMAD01~05として特徴を述べていく。緑泥石帯-ざくろ石帯の境界からの南を正とした距離をXとしている。それぞれの露頭は15~20 mほどのスケールで、各露頭で5試料を3~5 m間隔で採取した。

調査した5露頭の中では高変成度側のざくろ石帯に位置するMAD01(X=-50 m)は主に泥質片岩からなり、片理面にほぼ平行な幅約1~2 mmの石英脈が卓越し、まれに幅数cmの石英脈も認められた。また、一部ではmmスケールの高角脈や褶曲した脈も観察された。MAD02(X=50 m)は緑泥石帯-ざくろ石帯境界の南側に位置し、泥質片岩中に苦鉄質片岩を伴う混在岩からなる。ここでは、片理にほぼ平行な幅1 mm~数cmの石英脈に加え、幅数mm~1 cm程度の高角脈や褐色脈が観察された。MAD03(X=350 m)では、泥質片岩と苦鉄質片岩がほぼ同程度に混在し、片理にほぼ平行な幅数mmの石英脈が多く見られたほか、片理平行脈および高角脈の一部は幅数cmに達した。また、褶曲を受けた脈や褐色脈も多く確認された。MAD04(X=550 m)は他露頭に比べて比較的単一の優黒質の泥質片岩からなり、石英脈は断続的または境界が不明瞭なものが多く、幅は主に約1 mm~1 cmであった。MAD05(X=800 m)は泥質片岩と苦鉄質片岩の混在岩からなり、幅数mmの片理平行脈に加え、MAD03と同様に幅数cmに達する石英脈や褐色脈が観察された。また、石英脈が褶曲により曲げられている産状も認められた。

以上の観察において、MAD01・04のような主に単一の岩相からなる露頭とMAD03・05のような泥質片岩と苦鉄質片岩が混在する露頭では、後者において石英脈が比較的多く認められた。すなわち泥質片岩における苦鉄質片岩の混在度が高いほど石英脈の量・太さが多い傾向にあった。このことは、岩相境界や岩相の不均質性が流体の移動に関与した可能性を示す。岩相の差異は透水性や力学的性質の違いを生じさせるため、流体が特定の境界部や弱面に集中し、割れ目形成およびシリカ沈殿を促進した可能性がある。また、ともに岩相が混在した露頭である

MAD02と05の露頭を比べると、後者、すなわちより低変成度側において石英脈の量が増加しているように観察された。このことは、低変成度側において石英が多く沈殿している可能性を示唆する。

今後は、緑泥石帯の最下部や四万十付加体でさらなるサンプルを採取し、露頭画像の機械学習での解析による石英脈の分布の定量化や、全岩化学組成分析によるシリカ付加量の解析などを組み合わせることで、石英脈の分布と流体移動過程の関係を検討する予定である。引用文献：[1]: Audet and Burgman, 2014 Nature, 510, 389-392[2]: Ujiie et al., 2022 Geophysical Research Letters, 45, 5371–5379. [3]: Breeding and Ague, 2002 Geology, 30 (6), 499–502.[4]: Amari et al., in prep.[5]: Shimura et al., 2021 Journal of Asian Earth Sciences, 215, 104791.

ポスター | S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

2026年9月25日(金) 12:30 ~ 14:00 | ポスター (336, 340, 341号室)

S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

◆研究優秀発表賞エントリー

12:30 ~ 14:00

[S2P-08] 水熱実験に基づく珪灰石の炭酸化反応におけるCaおよびSiの移動・固定化挙動

*韓 山¹、岡本 敦¹、大柳 良介¹、Otgonbayar Dandar¹ (1. 東北大学・院環境)キーワード：珪灰石、CO₂鉱物固定化、水熱炭酸化、Ca・Si移動挙動、マスバランス解析

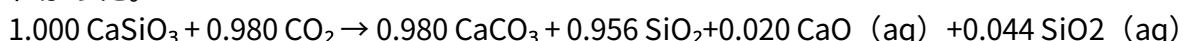
塩基性岩や超塩基性岩はMgやCaを豊富に含み、CO₂と反応することにより炭酸塩鉱物を生成し、このCO₂鉱物固定化は長期的なCO₂地中貯留として注目されている。珪酸塩鉱物の炭酸化では、副生成物として石英、滑石、ス멕タイトなどのシリカに富む鉱物を生成し、全体としては体積が増加する。従って、塩基性岩や超塩基性岩のCO₂鉱物固定化において、炭酸塩鉱物とシリカ鉱物の空間分布や金属イオンと溶存シリカの挙動が効果的なCO₂鉱物固定化の鍵を握る。珪灰石(CaSiO₃)は、高いカルシウム含有量と速い炭酸化反応速度を示す珪酸塩であり、これまでに多くの実験的研究がなされてきた(Huijgen et al. 2006)しかし、珪灰石の炭酸化反応におけるCaおよびSiの移動vs.固定化挙動を決める支配要因とメカニズムについては未だによくわかっていない。本講演では、珪灰石の炭酸化に関する水熱実験による反応生成物の組織とCaおよびSiの移動挙動に関する予察的な結果を報告する。

水熱実験にはバッチ式反応容器を使用した。反応容器に珪灰石粉末(粒径150-250 μm) 1.6 g、Milli-Q水50mLを加えた後、CO₂を導入した。200°C、CO₂圧力20MPaの条件下であり、実験時間は24、48および70時間である。反応後の固体試料は電子線マイクロアナライザーおよび熱重量分析により分析し、反応後溶液中のCaおよびSi濃度は誘導結合プラズマ発光分光分析により測定した。

反応後の試料観察により、方解石とシリカの生成が確認された。方解石は珪灰石表面に自形結晶として産する。一方で、シリカは珪灰石の仮像を残しながら置換し、未反応の珪灰石のコアを取り囲むように産する。反応後の試料の熱重量分析では、方解石の分解に対応する約600-800°Cにおける重量減少がみられた。重量減少率は時間とともに増加し、70時間反応後の試料で10.58 wt%であった。

反応後溶液のpHは24時間後 48時間後および70時間後でそれぞれ 5.96, 6.74 および 6.14であった。反応後の溶液中のCaおよびSi濃度は、24時間、48時間および70時間反応後でそれぞれ Ca: 80.1, 120.9 および 48.1 mg/kg-H₂O, Si: 133.9, 172.3 および 111.4 mg/kg-H₂Oであった。CaおよびSi濃度はいずれも48時間後に最大値を示したが、70時間後には減少した。特にCa濃度の減少量(72.8 mg/kg-H₂O)はSi濃度の減少量(60.9 mg/kg-H₂O)より大きかった。これに対応して、溶液のSi/Ca モル比は24時間後、48時間後および70時間後でそれぞれ2.39, 2.04および3.31となり、70時間後に最も高い値を示した。

これらの固相や液相の分析結果を用いてマスバランス計算を行い、化学反応式の制約を試みた。その結果、珪灰石の炭酸化反応は次のような全体反応式として表すことができることがわかった。



この結果から、Caの約98%は方解石として固定され、約2%が溶液中に残存した。一方、Siの約96%は固相中に残存し、約4%が溶液中へ移行したことが示された。また、反応式および各鉱物のモル体積から固相体積を計算した結果、炭酸化反応に伴い固相体積は約44.8%膨張することが示された。この体積膨張は、粒子表面に形成される方解石殻およびSiに富む反応層の緻密化を促進し、CO₂や反応溶液の拡散を抑制することで、反応速度の低下や未反応コアの残存を引き起こす可能性がある。

以上の結果は、炭酸化反応においてCaとSiが異なる分配・移動挙動を示すことを明らかにするとともに、珪灰石炭酸化反応に伴う固相体積の増加が反応進行に影響を及ぼす可能性を示した。本研究で得られたマスバランスは、CO₂鉱物固定反応の反応機構の理解や、将来的な反

応速度モデルおよび物質移動モデルの構築に有用な基礎データとなる。今後は、反応温度や反応時間を変化させた実験を行い、CaおよびSiの分配挙動と体積膨張が炭酸塩化反応に及ぼす影響についてさらに検討する予定である。

参考文献：

1. Wouter J.J. Huijgen., et al. 2006. Mechanisms of aqueous wollastonite carbonation as a possible CO₂ sequestration process. Chemical Engineering Science, 61-13

ポスター | S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

2026年9月25日(金) 12:30 ~ 14:00 | ポスター (336, 340, 341号室)

S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

12:30 ~ 14:00

[S2P-09] 水流体から晶出した固溶体の化学組成は何で決まるか？

*福島 諒¹ (1. JAMSTEC・高知コア研)

キーワード：固溶体の晶出、ざくろ石、組成累帯

高圧変成岩中に産する鉱物の主要元素組成は、変成作用の温度圧力条件を推定し交代作用を記述するための基礎データである。高圧下で再結晶した鉱物群および共存していたであろう超臨界流体の熱力学的平衡を仮定することで、地質温度圧力計の適用やシュードセクションモデリングによる考察が可能となる。その一方で、高圧変成岩中には超臨界流体から晶出したとみられる鉱物が脈状に産出することがある。流体相から晶出した鉱物が固溶体である場合にその主要元素組成をどのように解釈すべきかについては、通常深く議論されない。本発表では、流体相から晶出した固溶体の主要元素組成がどのように決まるかに関する既存の理論研究を紹介する。その上で、実際の高圧変成岩試料に見られる脈状の鉱物組織と比較し、高圧下での流体-岩石相互作用に関する研究の可能性を吟味したい。

本発表では特に、二成分固溶体の核形成と成長をシミュレーションしたNoguera et al. (2010) (理想固溶体) およびNoguera et al. (2016) (非理想固溶体) の内容を紹介する。これらの研究では、閉鎖系を仮定し、ある固溶体に対し過飽和な流体から粒子が晶出する様子を古典的核形成理論と粒子サイズに依存した成長速度論を組み合わせて再現している。なお晶出した粒子内の元素拡散は考慮されていない。(Ba, Sr)CO₃固溶体を想定した計算の結果、粒子のコアからリム付近にかけての大部分の晶出が初期段階(数日間)のうちに完了し、その組成が平衡組成とは異なることが示された。また、各端成分の相対的な流体への溶けやすさ(溶解度積の比)および固溶体の非理想性の強さが組成累帯のパターンを決定づけるとみられ、場合によってはフラットな主要元素パターンの結合から成るコア-シェル型(階段状)の累帯構造が自発的に形成する可能性が示唆された。すなわち、ある鉱物が再結晶によってではなく流体から直接晶出した場合、その鉱物に対する地質温度圧力計の適用は不適切であると考えられる。また、仮に流体から晶出した鉱物が階段状の累帯構造を呈する場合に、必ずしも不連続な環境の変化や外的な流体流入があったとは限らない可能性がある。

実際に、天然の高圧変成岩には階段状の累帯構造を呈するざくろ石が脈状に産する例が報告されており(e.g., Cruz-Uribe et al., 2021)、累帯構造の詳細な解析とざくろ石の各端成分の溶解度の情報を組み合わせることで、流体組成に関する部分的な逆解析が可能となるかもしれない。しかし厳密には、鉱物脈が複数相で構成されている場合や、鉱物の晶出が別の鉱物の溶解を伴う場合の取り扱いを考慮する必要がある。加えて、三成分系以上への拡張手法や、ある鉱物に過飽和な水流体の存在可能性に関する詳細な理解が求められるため、現状では既存の理論モデルを天然の高圧変成岩試料に直接適用できる段階には至っていないと考えられる。

Cruz-Uribe A.M. et al. (2021) Contrib. Mineral. Petrol. 176, 41.

Noguera C. et al. (2010) Chem. Geol. 269, 89–99.

Noguera C. et al. (2016) Chem. Geol. 431, 20–35.

ポスター | S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

2026年9月25日(金) 12:30 ~ 14:00 | ポスター (336, 340, 341号室)

S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

12:30 ~ 14:00

[S2P-10] 岩石-水相互作用国際会議について

*土屋 範芳¹ (1. 国立高等専門学校機構 八戸工業高等専門学校)

キーワード：岩石-水相互作用国際会議、応用同位体地球化学国際会議、国際地球化学連合国際会議、北京

第19回岩石-水相互作用国際会議 (WRI: Water-Rock Interaction-19) は、2027年6月20日から6月27日まで、中国地質大学 (北京) を主管校にして、北京(Beijing Conference Center (BCC)) で開催される。この国際会議は第16回応用同位体地球化学国際会議 (AIG: Applied Isotope Geochemistry-16) と共催し、全体としては国際地球化学連合国際会議 (International Association of GeoChemistry-4 (IAGC-4)) としての開催である。このため表記としては、WRI-19/AIG-16 (IAGC-4) となる。現時点では31の平行セッションが設定されている。

会期中日の6月23日には、5つのコースに分かれた **Mid-Session Field Trip** が企画されている。水文地質学関連の研究施設を見学するコースをはじめ、万里の長城、石花洞 (鍾乳洞)、周口店遺跡など、北京近郊の自然・地質・歴史・文化に触れることのできる多彩な巡検コースが用意されている。このほか、会議前の **Short Course** や、会議終了後の **Post-Session Field Trip** も計画されており、研究交流に加えて中国各地の地質や地球化学を学ぶ貴重な機会となっている。

2026年7月現在、日本人の観光、商用、トランジットを目的とする30日以内の滞在であれば、ビザなしで中国に入国できるが、中国では一部のインターネットサービスへのアクセスが制限されているため、必要に応じてVPNの利用を事前に検討するとともに、現地で広く利用されている電子決済アプリの設定を済ませておくことが望ましい。