

口頭講演 | S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

■ 2024年9月13日(金) 9:00 ~ 12:00 | 会場 ES024 東山キャンパス

S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

座長: 土屋 範芳

9:00 ~ 9:05

[2Lecture-201-10-1add] コンビーナ挨拶

9:05 ~ 9:35

[S2-01] 背弧マントルに染み渡るスラブ由来流体

「招待講演」

*山本 順司¹ (1. 九州大・院理)

9:35 ~ 9:50

[S2-02] マントルウェッジ起源超苦鉄質岩中に形成される直方輝石仮像の地球化学的多様性とその意義

「発表賞エントリー」

*和仁 拓望¹、市山 祐司¹、田村 明弘²、森下 知晃² (1. 千葉大学、2. 金沢大学)

9:50 ~ 10:05

[S2-03] 金崎蛇紋岩岩体(関東山地)にみられる蛇灰岩の形成条件とその意義

*大柳 良介^{1,2}、沢田 輝^{3,2}、Chang Qing²、Satish-Kumar Madhusoodhan⁴ (1. 国士舘大、2. JAMSTEC、3. 富山大、4. 新潟大)

10:05 ~ 10:20

[S2-04] CO₂ mineralization in andesitic rocks revealed by hydrothermal experiments and thermal analyses*Otgonbayar DANDAR¹, Atsushi Okamoto¹, Masaaki Uno¹, Miku Takeya² (1. Tohoku University, 2. INPEX)

10:20 ~ 10:30

[2Lecture-201-10-6add] 休憩

10:30 ~ 10:45

[S2-05] 愛媛県西部、頃時鼻超苦鉄質岩体の塊状蛇紋岩と片状蛇紋岩の産状

「発表賞エントリー」

*城口 結衣¹、延寿 里美¹ (1. 愛媛大・院理工)

10:45 ~ 11:00

[S2-06] "Element transport and magnetite decomposition during alteration of the gabbroic vein in serpentinite body from the Bayankhongor ophiolite, Mongolia"

「発表賞エントリー」

*Nomin Tumurkhuu¹, Otgonbayar Dandar¹, Masaaki Uno¹, Manzshir Bayarbold¹, Atsushi Okamoto¹ (1. Tohoku University)

11:00 ~ 11:15

[S2-07] 葛根田花崗岩の坑井試料を用いた熱源花崗岩および超臨界地熱貯留層内の長石の溶解再沈殿-再平衡プロセス

「発表賞エントリー」

*星田 昌慶¹、宇野 正起¹、松野 哲士¹、ヌルディアナ アスティン¹、土屋 範芳^{2,1} (1. 東北大・院環境科学、2. 八戸高専)

11:15 ~ 11:30

[S2-08] “cleavable olivine”の成因

*安東 淳^{1,2}、富岡 尚敬^{3,2}、前川 寛和⁴ (1. 広島大学・先進理工、2. 広島大学・HiPeR、3. JAMSTEC・高知コア研、4. 大阪公立大学)

11:30 ~ 11:45

[S2-09] 海底熱水系の硫化物チムニー発達プロセスおよび発電特性解明に向けた実験的研究

「発表賞エントリー」

*戸田 賢太郎¹、岡本 敦¹、オトゴンバヤル ダンダル¹、高橋 美咲¹、佐藤 義倫¹ (1. 東北大・院環境科学)

11:45 ~ 12:00

[S2-10] カンラン岩の炭酸塩化：流体包有物分析と水熱合成実験によるアプローチ

*川本 竜彦¹ (1. 静岡大学理学部地球科学科)

口頭講演

S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

座長:土屋 範芳

2024年9月13日(金) 09:00 ~ 12:00 ES024 (東山キャンパス)

09:00 ~ 09:05

[2Lecture-201-10-1add]コンビーナ挨拶

背弧マントルに染み渡るスラブ由来流体

Slab-derived fluid infiltrating back-arc mantle

*山本 順司¹

*Junji YAMAMOTO¹

1. 九州大・院理

1. Kyushu University

日本から極東ロシアにわたる東アジア地域には、新生代の玄武岩が広く分布している。この火成活動にスラブ由来流体が関わっている可能性が主に物理的研究（地震波トモグラフィや電気伝導度観測、高温高圧実験、数値計算等）を基に提唱されており、全球的な熱-物質循環系の議論に波及する重要な課題として注目を集めている。しかし、スラブ由来流体の関与を決定づけるには、背弧マントルにおける水の痕跡やその起源を化学的に究明する必要がある。

玄武岩質マグマがマントル中を上昇する際、その一部はマントル内に岩脈や粒界成分、メルト包有物として取り残される。東アジアにおける新生界玄武岩も、その痕跡をマントル内に残しているに違いない。そこで本研究では、極東ロシアの三つの地域（EnnokentievとSveyagin, Tok）で採取したかんらん岩捕獲岩に焦点を当て、スラブ由来流体の関与を調べた。

極東ロシアのかんらん岩捕獲岩には揮発性成分のポケットが三種類見られる。一つは二酸化炭素を主成分とする流体包有物であり、二つ目は珪酸塩メルトの包有物、そして三つ目は粒界成分である。Ennokentievの捕獲岩には、高い成熟度を示す負結晶タイプの二酸化炭素流体包有物が多く見られる。その二酸化炭素密度と地質温度を二酸化炭素の状態方程式に照らし合わせることで、これらの捕獲岩が1000°C・1 GPa程度のリソスフェアマントルから由来したことが分かった。一方、Sveyagin及びTokの捕獲岩には負結晶タイプの二酸化炭素包有物は見られない。しかし、それらの輝石温度（883-1022°C）をEnnokentiev試料の温度圧力値から推定される地温勾配（ $\sim 100 \text{ mW/m}^2$ ）に照らすと、0.86-1.12 GPaの圧力が得られ、やはり当該地域の捕獲岩もリソスフェアマントル由来であると推定できた。

これらの捕獲岩試料からスラブ由来流体の痕跡を探るため、まずSveyagin試料の微量元素組成をICP-MSを用いて測定した。捕獲岩を鉱物種ごとに選別し、希硝酸で洗浄した後に酸分解した溶液を分析したところ、その微量元素組成に目立った特徴は見られなかった。しかし、酸洗浄せずに酸分解した溶液には、HFSEやCe, Thの負異常が明瞭に見られた。同様の特徴はメルト包有物のLA-ICP-MS分析でも得られたため、当該地域のマントルには水が関与したマグマが存在していたと推察される（Yamamoto *et al.*, 2009 *Island Arc*）。

このマグマの起源を見極めるため、窒素と希ガスの同位体比を測定した。窒素と希ガスは真空破砕法を用いて抽出したため、それらは主にメルト包有物の収縮気泡由来であると考えられる。窒素同位体比は、大気的な値（0‰）から-10‰を下回る幅広い値を見せた。これらを $\text{N}_2/^{36}\text{Ar}$ とのグラフにプロットすると、窒素同位体比の幅広い分布は大気的端成分からの質量分別に因ると分かった（図1）。Sveyagin地域は、その直下400~500 kmに太平洋プレートが沈み込んでおり、電気伝導度観測から脱水流体がマントルへ浸入している可能性が提唱されている。スラブに含まれている海水の脱水は溶存窒素（ N_2 ）の同位体比に質量分別をもたらす。それゆえ、図1に見られるSveyagin試料の分布は、当該地域のマントルにスラブ由来の海水を含むマグマが通過したことを示唆する（Yamamoto *et al.*, 2020 *EPSL*）。

一方、Tok試料の窒素同位体比に際だって低い値は見られず、むしろ+3%程度の高い窒素同位体比が目立つ（図1）。このような高い窒素同位体比は島弧や背弧の噴気ガスから得られることが多く、地表堆積物の影響が考えられている。しかし、そのような値がマントルから得られたことは特筆に値する。つまり、Tok試料の高い窒素同位体比は、当該地域のマントルにスラブ由来の窒素が存在する可能性を示唆する。Tok試料の窒素同位体比分布をスラブの影響として解釈できるか考察してみる。スラブ中の堆積物において、窒素は主に NH_3 （または NH_4^+ ）として存在するが、沈み込みとともに NH_3 は N_2 へ化学変化し、水溶液とともに粒界へ脱窒す

る。この化学変化は窒素同位体比を数‰低下させ、その後の脱窒過程も窒素同位体比に更なる低下をもたらす。この考えに照らすと、図1においてTok試料が堆積物と大気間の混合線沿いから低い窒素同位体比方向へ分布する様子は、やはりスラブ中の NH_3 がマントルに浸入した証左と見なして良いのではなかろうか。

これらの結果は、スラブ由来流体を含むマグマが極東ロシアのリソスフェアマントルを通過したことを示す。つまり、東アジアにおける新生代火成活動にスラブが関与しているという物理的モデルを化学的に補強できたと言えよう。

キーワード：スラブ、マントル遷移層、窒素同位体比、捕獲岩、流体包有物

Keywords: slab, mantle transition zone, nitrogen isotope ratio, xenolith, fluid inclusion

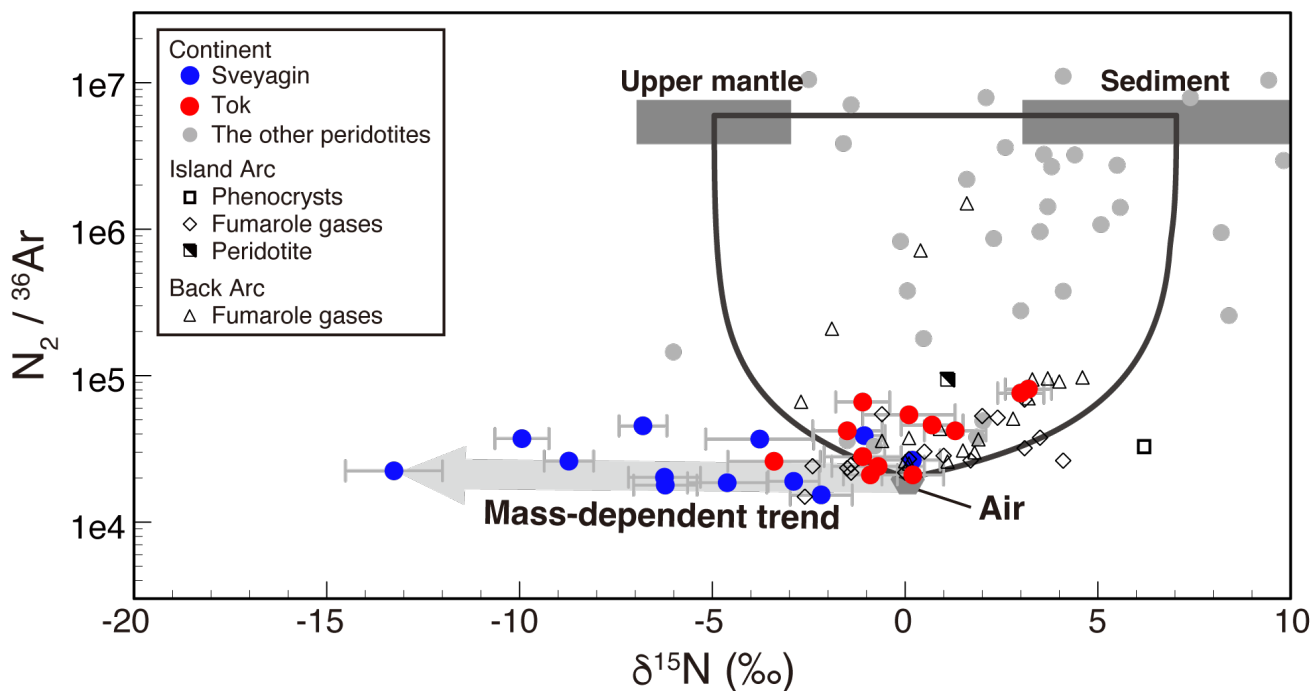


図1. $\text{N}_2/^{36}\text{Ar}$ vs. $\delta^{15}\text{N}$ of Far Eastern Russian xenoliths with data referred from earlier studies (see Yamamoto et al. (2020) EPSL).

マントルウェッジ起源超苦鉄質岩中に形成される直方輝石仮像の地球化学的多様性とその意義

Geochemical diversity and significance of orthopyroxene pseudomorphs in ultramafic rocks derived from mantle wedges

*和仁 拓望¹、市山 祐司¹、田村 明弘²、森下 知晃²

*Takumi Wani¹, Yuji Ichiyama¹, Akihiro Tamura², Tomoaki Morishita²

1. 千葉大学、2. 金沢大学

1. Chiba University, 2. Kanazawa University

マントルウェッジへのスラブ起源流体の浸透とそれによる交代作用によって形成される含水鉱物は、マントルウェッジ中の流体移動元素の固定に重要な役割を果たしていると考えられる。特に金雲母や角閃石のようなアルカリ元素を含む含水鉱物は、島弧マグマ組成の側方変化に関与するなど(Tatsumi, 1989)、沈み込み帯における元素移動・元素循環を解明する上で重要な含水鉱物である。しかしながら、スラブ起源流体によって形成されたこれらの鉱物がどのように固定され、どのような地球化学的特徴を持つかは不明瞭である。本研究では、マントルウェッジを起源とする超苦鉄質岩の金雲母・角閃石を含む直方輝石仮像に着目し、H₂O流体を媒介したスラブ-マントル間の元素移動について議論する。関東山地の十石峠超苦鉄質岩体は、マントルウェッジを起源とし(Arai and Hisada, 1991)、木呂子一名栗テクトニックメランジュに産する古生代前期の角閃岩とともに黒瀬川帯の構成要素とされる。十石峠の蛇紋岩化したハルツバージャイトには、金雲母+リヒター閃石+変成単斜輝石+変成かんらん石+アンチゴライト±モンチセリ石からなる直方輝石の仮像が確認される。CMSH系の相平衡下における鉄に富む変成かんらん石+変成単斜輝石+アンチゴライトの共生関係から、輝石仮像は500~600°Cで後退変成作用時に形成されたことが推定される。全岩組成を用いたKNCMASH系のシュードセクションは、金雲母とリヒター閃石もこの温度で形成されたことを示唆する。木呂子一名栗テクトニックメランジュの角閃岩は、Ca角閃石のリムに高压変成作用を示唆するNa-Ca角閃石が形成されるタイプ1と形成されないタイプ2に分類される。タイプ1角閃岩の全岩微量元素パターンは、Sr正異常とNb, Ta, Zr, Ti負異常を示し、島弧玄武岩に類似する一方、タイプ2角閃岩はMORBに類似する。したがって、十石峠の超苦鉄質岩と木呂子一名栗テクトニックメランジュのタイプ1とタイプ2角閃岩は、それぞれ前期古生代のマントルウェッジ、構造浸食により削剥された島弧地殻、沈み込む海洋地殻に相当すると推定される。輝石仮像の元素マッピングから計算した仮像の主要元素組成は、同岩体内の初生直方輝石と比較してK₂O, Na₂O, CaOで10~100倍、Cs, Rb, Baが100倍以上増加している。これらの元素は角閃岩相の変成岩の脱水によるスラブ起源流体によって付加されている可能性がある。十石峠超苦鉄質岩に類似した輝石仮像組織は、古生代の沈み込みオフィオライトである宮守オフィオライト、白亜紀の蛇紋岩メランジュである神居古潭帯、マリアナ前弧コニカル海山(Hole779Aと780C)のマントルウェッジを起源とする蛇紋岩化したハルツバージャイトからも確認される。輝石仮像の構成鉱物は、それぞれ単斜輝石+アンチゴライト、Na-Ca角閃石+変成単斜輝石+変成かんらん石+アンチゴライト±金雲母、Na-Ca角閃石+Ca角閃石+タルク+アンチゴライト(779A)、Na-Ca角閃石+Ca角閃石+単斜輝石+アンチゴライト(780C)である。鉱物組み合わせから、神居古潭帯の仮像は十石峠と同様の温度での形成が考えられるが、宮守オフィオライトの仮像は、単斜輝石+アンチゴライトの共存から450-500°C以下で形成されたと推定される。また、コニカル海山の試料はタルク、単斜輝石の有無から、779Aで780Cよりも高い温度が推定される。これらの仮像の初生直方輝石に対する元素収支を見積った結果、十石峠に比べて宮守オフィオライトではKOとNaOの流入量が小さく、CaOの流入量が大い一方、神居古潭帯とマリアナ蛇紋岩海山ではCaOとKOの流入が低くNa₂Oの流入量が大い。仮像の微量元素組成は、単斜輝石が多く形成される宮守オフィオライトの仮像でSrに富み、Na-Ca角閃石の多いコニカル海山779Aの仮像は、Na-Ca角閃石の乏しい780Cの仮像と比較してCsとRbで約10倍富む。超苦鉄質岩に伴うス

ラブ由来の変成岩の変成相は、黒瀬川帯や宮守オフィオライトで緑簾石角閃岩相～角閃岩相、神居古潭帯やコニカル海山で青色片岩相であり、沈み込むスラブの温度勾配の違いに起因する脱水鉱物の相違が推測される。黒瀬川帯や宮守オフィオライトは角閃岩のホルンブレンドの脱水によるCa富む流体が、神居古潭帯やマリアナ蛇紋岩海山は青色片岩のNa角閃石やパラゴナイトの脱水によりNaに富んだ流体が流入し、輝石仮像組成に影響した可能性がある。また、黒瀬川帯の仮像の高いK₂O量は変堆積岩起源流体の影響が大きいと考えられる。輝石仮像を構成する鉱物の形成とそれによる流体移動元素の固定には、流入する流体組成と温度が重要であると考えられる。

キーワード：マントルウェッジ、マントル交代作用、スラブ流体、輝石仮像

Keywords: mantle wedge, mantle metasomatism, slab fluid, orthopyroxene pseudomorph

金崎蛇紋岩岩体(関東山地)にみられる蛇灰岩の形成条件とその意義

Petrogenesis and significance of ophicarbonates in the Kanasaki serpentinite body (Kanto Mountains, Central Japan)

*大柳 良介^{1,2}、沢田 輝^{3,2}、Chang Qing²、Satish-Kumar Madhusoodhan⁴

*Ryosuke OYANAGI^{1,2}、Hikaru Sawada^{3,2}、Qing Chang²、Madhusoodhan Satish-Kumar⁴

1. 国土館大、2. JAMSTEC、3. 富山大、4. 新潟大

1. Kokushikan Univ., 2. JAMSTEC, 3. Toyama Univ., 4. Niigata Univ.

地球では大気・海洋・地球内部で炭素が循環することにより、大気中の二酸化炭素量がうまく調節され、ハビタブルな環境が維持されてきた(e.g., Plank and Manning, 2019, *Nature*)。しかし、地球内部における炭素循環の全容はつかめていない。超塩基性岩は、地質学的に速い速度で炭素を含む流体と反応することが知られており(Beinlich et al. 2020, *Nat. Geo*)、多くの炭素を炭酸塩鉱物として貯蔵できるポテンシャルを有している。そのため、どのようなテクトニックセッティングにおいて、どのような流体と反応することで超塩基性岩が炭素を貯蔵するのか、その多様性を明らかにすることが重要だと考えられる。

本研究では、沈み込み帯における超塩基性岩の炭酸化過程をより理解するために、岩石学および地球化学的分析を用いて、日本の関東山地の金崎地域に産する蛇灰岩(炭酸塩鉱物と蛇紋石で構成されている岩石)の成因を議論する。金崎地域では、みかぶユニットの塩基性岩や泥質片岩、超塩基性岩が露出している。蛇紋岩や蛇灰岩は泥質片岩に囲まれたブロックとして存在している。蛇紋石はメッシュ組織を示し、メッシュコアはリザーダイトもしくはクリソタイルが、メッシュリムにはアンチゴライトが存在する。蛇灰岩は4つの産状を示した。(タイプI)角礫化した蛇紋岩の間を充填する方解石、(タイプII)角礫化した蛇紋岩の間を充填する方解石+ドロマイト、(タイプIII)直線状の方解石脈、(タイプIV)直線状の方解石+ドロマイト脈である。直線状の炭酸塩脈は、炭酸塩セメントを含む蛇灰岩マトリックスを切っている。

タイプII-IVの炭酸塩鉱物は、¹³Cに乏しく($\delta^{13}\text{C}_{\text{(VPDB)}} = -6 \text{ - } -8\text{‰}$)、幅広い $\delta^{18}\text{O}_{\text{(VSMOW)}}$ 値を示す(13 - 22‰)。また、これらの炭酸塩鉱物は、Euの正の異常を示すREEパターンを示す。一方で、タイプIの炭酸塩鉱物は、¹³Cに富み($\delta^{13}\text{C}_{\text{(VPDB)}} = -2 \text{ - } +2\text{‰}$)、比較的狭い $\delta^{18}\text{O}$ 値を示す(13 - 16‰)。タイプIの炭酸塩鉱物は多様なREEパターンを示した。負のCeの異常とYの正の異常を示しHREEに富むパターンや、Euの正の異常とややLREEに富むパターン、それらの中間のパターンが観察された。以上のような、蛇灰岩に含まれる炭酸塩鉱物の産状や地化学的特徴の違いは、超塩基性岩の炭酸化作用が多様な流体によって引き起こされ、多様なテクトニックセッティングで起きたことを示唆している。講演では、炭酸化作用を引き起こした流体や炭酸化作用のテクトニックセッティングをもとに、地球規模炭素循環における超塩基性岩の役割について考察を行う。

キーワード：蛇紋岩、蛇灰岩、炭素循環

Keywords: Serpentine, Ophicarbonates, Carbon cycle

CO₂ mineralization in andesitic rocks revealed by hydrothermal experiments and thermal analyses

*Otgonbayar DANDAR¹, Atsushi Okamoto¹, Masaoki Uno¹, Miku Takeya²

1. Tohoku University, 2. INPEX

Mineral carbonation enables long-term stable CO₂ storage. Among rocks, basalts and ultramafic rocks (high Mg and Ca contents) are known to have high potential to store CO₂. Although, andesitic rocks (composition is wide; microstructures are diverse) are widely distributed in Japan (in a subduction zone), their suitability for mineral carbonation and CO₂ storage is not well understood. In this study, we report preliminary results of hydrothermal reaction experiments (exps) using andesitic agglomerate rocks from the Nagaoka area, Niigata Prefecture and thermal analyses of the products. The andesite agglomerate consists mainly of volcanic glass, plagioclase, clinopyroxene, with small amounts of orthopyroxene, hornblende, and iron oxides. Two types (a batch-type vessel and a stirred apparatus) of exps have been conducted with the powder samples (150-250 μm). In the batch exp (filling ratio = 43% and remained space is CO₂ gas), powder sample is placed at two locations: the top (supercritical CO₂ saturated in water) and bottom (reacted with a CO₂ dissolved solution) of the reaction vessel. The batch exps were conducted at 75 °C, 18 MPa (80 days), 150 °C, 20 MPa (20 days), and 200 °C, 25 MPa (20, 40, and 60 days). The solid phase after exp is observed by EPMA, TG, and TPD-MS, and the solutions are analyzed for element contents by ICP-OES. To accelerate the reaction, a stirred reaction apparatus was used for the exp at 200 °C, 20MPa, and 10 days. In the batch exps at 75 °C and 150 °C (Ca and Mg+Fe contents = 10-80 mg/kgH₂O), dissolution of volcanic glass is observed only with small dissolution of plagioclase and other minerals. Significant carbonate precipitation was observed in a 60-day batch exp at 200 °C (Fe- and Ca-rich magnesite) and a 10-day stirred exp (calcite and dolomite). The precipitation proceeded not only at the bottom (CO₂ dissolved solution), but also at the top (supercritical CO₂), suggesting the reaction accelerated by water vapor. The experimental solution (carbonate precipitated, the pH increased to >7 and the concentrations of Mg and Ca <20 mg/kgH₂O), suggests the pH in the reaction vessel increased and reached to condition of carbonate precipitation. Based on the above exps, the andesitic rocks in the Nagaoka area are considered to have sufficient potential for mineral carbonation and CO₂ storage.

Keywords: Mineral carbonation , CO₂ storage, Andesite, Hydrothermal reaction experiment, the Nagaoka area, Niigata Prefecture

口頭講演

S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

座長: 土屋 範芳

2024年9月13日(金) 09:00 ~ 12:00 ES024 (東山キャンパス)

10:20 ~ 10:30

[2Lecture-201-10-6add]休憩

愛媛県西部、頃時鼻超苦鉄質岩体の塊状蛇紋岩と片状蛇紋岩の産状

Massive and foliated serpentinites from the Udonohana ultramafic body, Western Ehime Prefecture, Japan.

*城口 結衣¹、延寿 里美¹

*Yui Joguchi¹, Satomi Enju¹

1. 愛媛大・院理工

1. Ehime Univ. Sci. &Egn.

【はじめに】

愛媛県八幡浜市から西予市にかけて分布する三瓶超苦鉄質岩体は、御荷鉾帯、北部秩父帯、黒瀬川帯に囲まれるようにして存在し、周辺の真穴層や低中庄大島変成岩と共に真穴帯を形成している。三瓶超苦鉄質岩体は東部の嶋山超苦鉄質岩体と西部の頃時鼻超苦鉄質岩体から構成され、かんらん石などの化学組成が島弧環境下で生成された様々な枯渇度を持つマグマから形成されたキュームレートの一部であったと考えられている (Ichiyama 2015)。嶋山超苦鉄質岩体はダナイトやウェールライト、輝岩、頃時鼻超苦鉄質岩体はダナイトやウェールライト起源の蛇紋岩から構成される。嶋山超苦鉄質岩体は蛇紋岩化作用や脱水反応を伴わず、600~700°Cで超苦鉄質岩が平衡状態となった。一方で頃時鼻超苦鉄質岩体は蛇紋岩化した後、400~500°Cで脱水したといわれている。しかし、蛇紋岩化の過程やその多様性については明らかになっていない。本調査地域である頃時鼻海岸では頃時鼻超苦鉄質岩体と隣接する北部秩父帯の連続した露頭が見られ、蛇紋岩が広く分布している。本研究では調査地域における蛇紋岩の多様性と産状を明らかにし、それら形成過程について考察を行う。

【研究手法】

調査地域における22地点で野外調査と観察できた岩相ごとに62サンプルの採取を行った。RIGAKU製 Ultima IVを使用して粉末X線回折実験(XRD)と、偏光顕微鏡にて組織観察を行った。また代表的な蛇紋岩の試料に関してはOxford製エネルギー分散型X線分析装置EDSを装着したJEOL製 走査型顕微鏡 (SEM)JSM-6510LVを用いて分析を行った。

【結果・考察】

本調査地域では南北方向の海岸線に沿って蛇紋岩の連続露頭が見られ、北部には黒色片状蛇紋岩、南部には茶色塊状蛇紋岩が分布しており、両岩相とも層状あるいは塊状の透輝石の濃集部が見られる。黒色片状蛇紋岩は主にアンチゴライトから構成され苦土かんらん石は含まない。蛇紋岩に含まれる脈には灰鉄ざくろ石脈、炭酸塩鉱物脈、透輝石脈がある。灰鉄ざくろ石脈は割れ目を充填しているものと透輝石の濃集部をざくろ石が置換しているものの2種類が存在し、蛇紋岩中の透輝石濃集部がみられないエリアに多産する。茶色塊状蛇紋岩はアンチゴライトと細粒な再結晶かんらん石から構成される。蛇紋岩に含まれる脈には炭酸塩鉱物脈とクロム鉄鉱脈があり、北部と比較すると岩石に含まれている脈の量は少ない。黒色片状蛇紋岩と茶色塊状蛇紋岩は明瞭な境界で接しており、黒色片状蛇紋岩内に茶色塊状蛇紋岩がブロック状に取り込まれている様子が観察できる。境界部にそって破砕帯が見られた。調査地域には蛇紋岩のほかに結晶片岩、ロジン岩、角閃岩が分布している。結晶片岩は北部で400mにわたって連続して分布しており、緑色片岩と黒色片岩の2種類が存在する。角閃岩は南部の茶色塊状蛇紋岩と黒色片状蛇紋岩の境界部にて10mの岩体として一か所のみで確認された。ロジン岩は北部、南部の局所で9mほどの岩脈や20cmほどのレンズ状で産出し、構成鉱物は主に透輝石、緑泥石、一部灰鉄ざくろ石、ベスブ石、ペロプスカイトを含む。蛇紋岩の主要構成鉱物の割合から、頃時鼻海岸に分布する蛇紋岩の原岩はダナイトであり、一部に透輝石が濃集したウェールライト~単斜輝石岩があったことが考えられる。この様子はこの岩体がキュームレート由来であることを表しており、Ichiyama (2015)と一致する。茶色塊状蛇紋岩は細粒かんらん石を含むことから、Ichiyama (2015)で述べているように、原岩が蛇紋岩化作用で強く変質したのちに、脱水作用を受けた可能性がある。一方で黒色片状蛇紋岩の原

岩は一部試料で粗粒かんらん石と細粒かんらん石が共存していることから、脱水後に再び蛇紋岩化が起こった可能性がある。黒色片状蛇紋岩中の灰鉄ざくろ石脈や透輝石脈は、原岩の透輝石が利用されてきたと考えられるが、茶色塊状蛇紋岩中の透輝石濃集部付近には見られないため、黒色片状蛇紋岩と茶色塊状蛇紋岩が合流するより以前に脈の形成があったことが示唆される。炭酸塩鉱物脈は全域で見られ、境界部の破碎帯で特に多く観察できることから、合流した後にCO流体によって形成されたと考えられる。

キーワード：蛇紋岩、超苦鉄質岩、キュームレート、三瓶超苦鉄質岩体

Keywords: serpentinite, ultramafic rocks, cumulate, Mikame ultramafic body

"Element transport and magnetite decomposition during alteration of the gabbroic vein in serpentinite body from the Bayankhongor ophiolite, Mongolia"

*Nomin Tumurkhuu¹, Otgonbayar Dandar¹, Masaoki Uno¹, Manzshir Bayarbold¹, Atsushi Okamoto¹

1. Tohoku University

Hydration of mantle rocks is important for elucidating the dynamics of global water circulation, elemental transport, and geological processes. The crust-mantle interface constitutes a significant geological boundary where element transport occurs. However, research on the multi-stage hydration of mantle rocks within this zone, particularly in the oceanic lithosphere (mid-ocean ridge), is still lacking. Therefore, to understand element transport during the hydration of the crustal vein in the mantle at the crust-mantle transition zone, we investigate the mantle-crust section preserved in the Bayankhongor ophiolite (BO; mid-ocean ridge origin) Mongolia. The outcrop of the crust-mantle section (~30 m in diameter) in the BO is characterized by a brownish gabbroic body with a massive and sheared mantle body fully serpentinitized. Mantle rock samples mainly consist of lizardite in two forms: mesh core (Mg# = 0.95-0.98) with fine magnetite (Mgt) and vein (Mg# = 0.94-0.98) with vein Mgt (<30 μ m width), along with spinel (Mg# = 0.42-0.52 & Cr# = 0.46-0.48), and chlorite (Chl; Mg# = 0.87-0.96). The absence of brucite in the serpentinites suggests infiltration of Si-rich fluids. Green veins (80-95 cm in width; it mainly consists of clinopyroxene (Cpx; Mg# = 0.92) replaced by a mixture of Chl-serpentine (Srp) and cut by serpentine and epidote (Ep) veins), along with white veins (~15 cm in width; ~40 cm long; it is mostly consisted of Ep and Cpx with a minor amount of Chl) cut through the mantle rocks. Additionally, black veins (~2 cm in width; it is composed of Chl patches (Mg# = 0.83-0.93) and Chl-Srp patches with clear cleavages and fine Ti-rich minerals) intersect the serpentinite. The reaction zone (~3 mm) between host serpentinite and black vein shows that Mgt disappeared and Mgt is replaced by Al-rich (1.1-6.9 wt%) Srp. Mass balance on black vein (assuming protoliths: Cpx for Chl-Srp and plagioclase for Chl patch shows gain of Fe and Mg, and loss of Si, Al, and Ca whereas that on the reaction zone shows loss of Fe and gain of Si, and Al. This implies that Mg-rich fluid and chl formation cause Mgt disappearance and mobility of Fe, Si, and Al. Reaction zone and mass balance result imply that local mobility of Si, Al, Fe, Mg, and Ca could occur at the crust-mantle section in the oceanic lithosphere during multi-stage hydration.

Keywords: Element transport, Serpentine, Gabbroic vein

Element transport and magnetite decomposition during alteration of gabbroic vein in serpentinite body from the Bayankhongor ophiolite, Mongolia.

Nomin TUMURKHUU, Otgonbayar DANDAR, Masaoki UNO, Manzshir BAYARBOLD, Atsushi OKAMOTO

Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University

Hydration of mantle rocks is important for elucidating the dynamics of global water circulation, elemental transport, and geological processes. The crust-mantle interface constitutes a significant geological boundary where element transport occurs. However, research on the multi-stage hydration of mantle rocks within this zone, particularly in the oceanic lithosphere (mid-ocean ridge), is still lacking. Therefore, to understand element transport during the hydration of the crustal vein in the mantle at the crust-mantle transition zone, we investigate the mantle-crust section preserved in the Bayankhongor ophiolite (BO; mid-ocean ridge origin) Mongolia.

The outcrop of the crust-mantle section (~30 m in diameter) in the BO is characterized by a brownish gabbroic body with a massive and sheared mantle body fully serpentinitized. Mantle rock samples mainly consist of lizardite in two forms: mesh core ($Mg\# = 0.95-0.98$) with fine magnetite (Mgt) and vein ($Mg\# = 0.94-0.98$) with vein Mgt (<30 μm width), along with spinel ($Mg\# = 0.42-0.52$ & $Cr\# = 0.46-0.48$), and chlorite (Chl; $Mg\# = 0.87-0.96$). The absence of brucite in the serpentinites suggests infiltration of Si-rich fluids. Green veins (80-95 cm in width; it mainly consists of clinopyroxene (Cpx; $Mg\# = 0.92$) replaced by a mixture of Chl-serpentine (Srp) and cut by serpentine and epidote (Ep) veins), along with white veins (~15 cm in width; ~40 cm long; it is mostly consisted of Ep and Cpx with a minor amount of Chl) cut through the mantle rocks. Additionally, black veins (~2 cm in width; it is composed of Chl patches ($Mg\# = 0.83-0.93$) and Chl-Srp patches with clear cleavages and fine Ti-rich minerals) intersect the serpentinite.

The reaction zone (~3 mm) between host serpentinite and black vein shows that Mgt disappeared and Mgt is replaced by Al-rich (1.1-6.9 wt%) Srp. Mass balance on black vein (assuming protoliths: Cpx for Chl-Srp and plagioclase for Chl patch shows gain of Fe and Mg, and loss of Si, Al, and Ca whereas that on the reaction zone shows loss of Fe and gain of Si, and Al. This implies that Mg-rich fluid and chl formation cause Mgt disappearance and mobility of Fe, Si, and Al. Reaction zone and mass balance result imply that local mobility of Si, Al, Fe, Mg, and Ca could occur at the crust-mantle section in the oceanic lithosphere during multi-stage hydration.

葛根田花崗岩の坑井試料を用いた熱源花崗岩および超臨界地熱貯留層内の長石の溶解再沈殿一再平衡プロセス

Dissolution reprecipitation - re-equilibration process of feldspar in heat source granite and supercritical geothermal reservoir using borehole samples from Kakkonda granite

*星田 昌慶¹、宇野 正起¹、松野 哲士¹、ヌルディアナ アスティン¹、土屋 範芳^{2,1}

*Masayoshi Hoshida¹, Masaaki Uno¹, Satoshi Matsuno¹, Astin Nurdiana¹, Noriyoshi Tsuchiya^{2,1}

1. 東北大・院環境科学、2. 八戸高専

1. Tohoku University, 2. National Institute of Technology, Hachinohe College

超臨界状態の水(i.e., >374°C)を貯留する超臨界地熱貯留層は、従来の地熱貯留層より高温で5-10倍ほど高い発電ポテンシャルを持つ次世代の地熱資源として調査が進められている。地熱開発において、貯留層温度の推定は発電ポテンシャルの評価のために重要であるが、掘削機器の耐熱性能の問題により循環水を供給して坑井温度を下げながら掘削するため、掘削時にリアルタイムで真の坑井温度を推定することは困難である。そこで、超臨界状態の坑井温度を推定するために、坑井試料であるカッティングスの長石温度計への適用可能性を検証した。従来の長石温度計の校正温度は700-900°Cであるため、380-580°Cの低温領域の超臨界状態での適用可能性は解明されていない。先行研究によると、水の超臨界状態下(i.e., 600°C, 200MPa)での水熱実験では、長石は5日程度で変質するため(Duan et al., 2021)、超臨界地熱流体にさらされた長石は普遍的に変質している可能性がある。本研究では、500°Cを超える高温岩体から直接採取された花崗岩のカッティングス中の斜長石とカリ長石の産状を分析し、高温地殻中における原位置での長石の再平衡過程と長石温度計の適用可能性を検証した。

岩手県仙岩地域の葛根田地熱地帯を研究フィールドとした。WD-1aの地層は、深度2,860-3,729mは第四紀の葛根田花崗岩であり(Uchida et al., 1998)、深度3,500mで500°Cを超える温度の花崗岩を掘削している(Ikeuchi et al., 1998)。

坑井温度が約380-580°Cの範囲と推定される深度2,895-3,725mから24サンプルを選び、長石類の組成をEPMAで同定した。長石類が再結晶した温度を推定するため、斜長石とカリ長石のペアの組成を計40個の長石温度計に適用した。加えて、2,895-3,685mから13サンプル選び、水銀ポロシメーターを用いてカッティングスの細孔容積を測定した。

後方散乱電子像の観察の結果、斜長石とカリ長石の粒径は、それぞれ約100-400 μm、50-400 μmだった。古期花崗岩の長石類は、カリ長石は粒子全体が均質的に再結晶しており、10 μm未満の空隙が多数見られた。また、斜長石はその中心が比較的Caに富む組成累帯構造を示し(XAn=0.46-0.85)、リムはNaに富み(XAn=0.02-0.39)、コアとリムの間にはシャープな境界が見られた。対照的に、新期花崗岩ではカリ長石内部の空隙は見られず、斜長石の組成累帯構造はわずかであった(XAn=0.05-0.50)。

水銀ポロシメーターの結果、古期花崗岩、新期花崗岩において、0.001-10 μmの細孔が計測され、その容積の平均値と標準偏差はそれぞれ5.92±1.18、5.57±1.27 vol%であった。

Naに富む斜長石のリムと、その隣接するカリ長石のリムの組成をそれぞれ463点測定した。斜長石中のAlbite成分(XAb = Na/(Na+K+Ca))は、深度2,895mから3,725mにかけて0.72-0.92 mol%から0.61-0.70 mol%に系統的に減少した。また、カリ長石中のOrthoclase成分(XOr = K/(Na+K+Ca))は、深度2,895mから3,725mにかけて0.88-0.93 mol%から0.81-0.86 mol%に系統的に減少した。

Powell & Powell (1977)の長石温度計は、深度2,985mで362-439°C、深度3,725mで513-614°Cの温度範囲を示し、380-580°Cの超臨界条件下でホーナープロット法によって推定された坑井温度に近い結果を得た。

古期花崗岩のカリ長石には、μmスケールの空隙が多数見られた。加えて、カリ長石に接する斜長石のコア

からリムにかけての組成変化は、グラジュアルではなくシャープな境界が見られた。これらの組織は、斜長石のリムが溶解再沈殿し、その接するカリ長石と超臨界流体が反応してカリ長石内部に空隙を形成したことを示唆している。熱水変質による長石の空隙の形成は、600°Cでの長石置換実験で生じた空隙の生成と整合的である (Nurdiana et al., 2023)。一方で、新期花崗岩ではカリ長石内部の空隙がないことや、斜長石の組成累帯構造はわずかしか見られないことから、固体拡散により再平衡に達した可能性がある。

カッティングス中の長石類に関して、反応組織や深度方向の系統的な組成変化、長石温度計への適用結果と坑井温度の類似性は、現在の坑井温度380–580°Cでの長石類の溶解再沈殿による再結晶または固体拡散による再平衡を強く示唆する。したがって、カッティングスの長石温度計への適用により、超臨界地熱貯留層における長石の再結晶化温度を評価できることが明らかになった。

キーワード：長石、長石温度計、超臨界地熱貯留層、溶解再沈殿、再平衡

Keywords: Feldspar, Feldspar thermometer, Supercritical geothermal reservoir, Dissolution reprecipitation, Re-equilibration

“cleavable olivine” の成因

Formation mechanism of "cleavable olivine"

*安東 淳一^{1,2}、富岡 尚敬^{3,2}、前川 寛和⁴

*Jun-ichi ANDO^{1,2}, Naotaka Tomioka^{3,2}, Hirokazu Maekawa⁴

1. 広島大学・先進理工、2. 広島大学・HiPeR、3. JAMSTEC・高知コア研、4. 大阪公立大学

1. Hiroshima Univ., 2. Hiroshima Univ., HiPeR, 3. JAMSTEC, 4. Osaka Metropolitan Univ.

蛇紋岩化した超塩基性岩体にはcleavable olivineと呼ばれる劈開が発達したオリビンが存在する場合がある。日本国内では、神居古潭帯鷹泊超苦鉄質岩体をはじめ約10の岩体中で確認されている。通常オリビンはそれほど顕著な劈開を示さないが、cleavable olivineは(100)、(010)、(001)に平行に発達する劈開が顕著に認められ、劈開中には蛇紋石の一種であるアンチゴライトが存在する。cleavable olivineの劈開の成因は、通常の劈開の形成とは異なると考えられるため、劈開と区別して“裂開”と呼ばれている（相川、1981；Nozaka and Ito, 2011）。cleavable olivineの成因の解明は、アンチゴライト蛇紋岩の生成過程すなわち超塩基性岩体の含水化過程を明らかにし、そして超塩基性岩体の上昇のテクトニクスを考えるうえで重要だと考えられる。本研究はcleavable olivineの成因を微細組織のキャラクタリゼーションによって明らかにすることを目的とした。

用いた試料は、マリアナ前弧北部の海溝軸に沿って露出する雷神海山から採取した蛇紋岩化が進んだ超塩基性岩（ダナイト）である。このダナイトを構成するオリビンは、cleavable olivine化が進んでいる。微細組織の観察は主に、1) 偏光顕微鏡、2) SEM、4) SEM-EBSD、5) TEMを用い、6) ラマン分光分析による蛇紋石鉱物の同定も行った。

観察の結果、cleavable olivineは以下の特徴を有することが明らかとなった。1) ダナイトを構成するオリビンには、 $[100]\{0kl\}$ のすべり系によって形成された強い格子選択配向が認めされる。また、オリビンには(100)に平行な波動消光の軸（= 亜結晶粒界）が発達する。このことから、オリビンは $[100]\{0kl\}$ のすべり系による転位クリープによって塑性変形したことが分かる。2) 裂開は、(100)に平行に発達した亜結晶粒界上に形成されていることが多い。亜結晶粒界は転位の配列によって形成されるため、転位の存在と裂開の形成は強く関係することが分かる。3) 裂開中にはアンチゴライトが晶出しており、その(001)とホストのオリビンの(100)はトポタキシャルな関係にある。この両者の境界は明瞭ではなく、オリビンが徐々にアンチゴライトに変化している。4) 裂開中のアンチゴライト以外に、オリビンの粒界にはアンチゴライトとリザーダイトが晶出している。また、粒界にはマグネタイト、カルサイトの晶出が確認できた。すなわち本試料は二段階の蛇紋岩化作用を受けていることが明らかとなった。上記した1)～3)の特徴は、神居古潭帯鷹泊超苦鉄質岩体中から採取したcleavable olivineでも確認することができた。

微細組織の観察から考えられる雷神海山のcleavable olivineの形成過程は以下である。1) 上部マントルで、ダナイトを構成するオリビンが $[100]\{0kl\}$ すべり系による転位クリープによって塑性変形した。その結果、格子選択配向が形成され、かつ(100)に平行な面上に転位が配列し亜結晶粒界が形成された。2) 亜結晶粒界を構成する転位に沿って水が拡散（パイプ拡散）し、亜結晶粒界上にアンチゴライトが晶出した。これにより裂開が形成された。その後、3) 粒界にアンチゴライト、リザーダイトと、それとマグネタイト、カルサイトが晶出した。

本研究では、cleavable olivineの成因は亜結晶粒界に沿う水の拡散（パイプ拡散）と結論づけた。一般的には、オリビンのアンチゴライト化は粒界から進行する。すなわち、アンチゴライト化は体拡散による現象である。発表では、なぜ水のパイプ拡散が卓越したのかということを議論したい。

引用文献：相川 (1981) 岩石鉱物鉱床学会誌, 76, 61-67. Nozaka and Ito (2011) Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 106, 36-50.

キーワード : cleavable olivine、亜結晶粒界、パイプ拡散

Keywords: cleavable olivine, Subgrain boundary, Pipe diffusion

海底熱水系の硫化物チムニー発達プロセスおよび発電特性解明に向けた実験的研究

Experimental study to elucidate sulfide chimney development process and power generation characteristics in submarine hydrothermal systems

*戸田 賢太郎¹、岡本 敦¹、オトゴンバイラル ダンダル¹、高橋 美咲¹、佐藤 義倫¹

*Kentaro Toda¹, Atsushi Okamoto¹, Dandar Otgonbayar¹, Misaki Takahashi¹, Yoshinori Sato¹

1. 東北大・院環境科学

1. Tohoku Univ. Environmental Sci

海底熱水噴出孔は海嶺近傍の海洋底に分布し、マグマや海洋地殻に由来する硫黄や亜鉛などの元素を含む熱水と海水との混合により硫化鉱物から成るチムニー状の構造物を形成する。熱水はHS⁻を豊富に含み還元性であるのに対して海水は酸化性であり、両者の酸化還元電位差が駆動力となり深海底への電子供給とそれに伴う熱水/海水の酸化/還元反応が起きることが報告された(Yamamoto et.al, 2018)。またチムニー周辺では生物活性が認められ、熱水から海中へ供給される電子が太陽光の届かない深海底エコシステムへのエネルギー供給を担う可能性が示唆され、ひいては熱水噴出孔における発電現象が太古の海洋底での始祖生命の誕生に関与したとの仮説が提唱された(Yamamoto et.al, 2018)。チムニーを構成する硫化鉱物は半導体特性を有することが知られているが、熱水-海水間の温度勾配と半導体の熱電特性のマッチングによって酸化還元電位差に匹敵する電気的ポテンシャルが生じることが報告された。特に噴出孔周辺の閃亜鉛鉱を置換して形成されたとみられる黄銅鉱や方鉛鉱からなる高密度組織では海中への電子供給に有為な熱起電力が生じることが見出され、このことからチムニーの発達に伴う高密度化に伴い熱電効果による発電現象が生じる可能性が示唆された。本研究では、硫化鉱物置換反応を実験室系で再現しそれに伴うチムニーの熱電性能変化を検証することを目的として水熱実験を実施した。チムニーの構成鉱物である閃亜鉛鉱と黄鉄鉱、方鉛鉱に加えて閃亜鉛鉱と黄鉄鉱からなるチムニーサンプルを出発物として模擬熱水と反応させる水熱実験を行い、硫化鉱物の置換組織の観察とともに生成物の比抵抗および熱起電力の測定を行った。その上で、チムニーの硫化鉱物の置換反応が海底の発電現象に与える影響について検討した。実験条件は200,250,300°Cで飽和蒸気圧であり、適宜NaCl(1M)を添加した。反応時間を12日間(288時間)とした実験では、閃亜鉛鉱や方鉛鉱にFe²⁺、Cu²⁺イオンを含む水溶液との反応では出発鉱物表面にCu₂SとCuSの間で同の価数が変化するCu-S系の硫化物の被膜が形成された。また特に方鉛鉱を出発物とした場合には生成物中に空隙が含まれる組織が形成された。閃亜鉛鉱、方鉛鉱を出発物に用いた場合は比抵抗値がそれぞれ10桁、4桁と大きく低下した。一方、黄鉄鉱を出発物に用いてCu²⁺イオンを含む水溶液との反応では、黄鉄鉱結晶に亀裂が生じ、生成鉱物が、表面にはCu₂S、亀裂内部には黄銅鉱と系統的に変化した。この反応により、計測した比抵抗値は4桁低下している。出発物表面からの置換する場合と、亀裂が生じて内部に2次鉱物ができるのは、硫黄を固定した反応を考えた場合、前者が固液体積の現象、後者が増加するときに対応しており、体積増加に伴う反応誘起応力による破壊と考えられる。黄鉄鉱内部への生成物の変化は、FeとCuの化学ポテンシャル勾配を反映していると考えられる。水熱実験の生成物について独自に開発した装置を用いてゼーベック係数S[mV/K]を測定し、ゼーベック係数の二乗と導電性の積で表され熱電材料の発電性能を示すパワーファクターPFを算出した。測定よりチムニーの主要構成鉱物である閃亜鉛鉱が生成物であるCu-S系硫化物によって置換されることで最大10⁶オーダーで向上するという結果が得られた。水熱実験の結果を総合すると、チムニー累帯構造発達過程における熱起電力発生プロセスについて以下の示唆が与えられる。まずチムニーの発達初期段階では閃亜鉛鉱などからなる導電性が低く空隙率の高い組織から構成されるため電子の移動は大きく制限され、かつ微粒子状の硫化鉱物にかかる温度勾配が小さいため生じる熱起電力も小さい。一方で発達後期段階では導電性の高い銅硫化物や銅・鉄硫化物の緻密な層が低導電性

の硫化鉱物上に形成され電子はより移動しやすくなり、高密度化のために電子の移動に十分な熱起電力が発現する。その結果チムニー壁で電流が生じ、海洋底へのエネルギー供給が生じうる。Yamamoto, M., Nakamura, R., & Takai, K. 2018, *ChemElectroChem*, Deep-sea hydrothermal fields as natural power plants. 5(16), 2162-2166.

キーワード : Hydrothermal Chimney

Keywords: Hydrothermal Chimney

カンラン岩の炭酸塩化：流体包有物分析と水熱合成実験によるアプローチ

Carbonation of Mantle Peridotite: An Approach From Fluid Inclusion Analysis and Hydrothermal Experiments

*川本 竜彦¹*Tatsuhiko KAWAMOTO¹

1. 静岡大学理学部地球科学科

1. Shizuoka University

カンラン岩中の炭酸塩鉱物の産状としては、蛇紋岩中の炭酸塩脈と蛇紋岩角礫が炭酸塩の基質に囲まれる2つがある。これらは、いずれもオフィカーボネイトと呼ばれている。これまで、以下にのべるオフィカーボネイト中の炭酸塩に塩水からなる流体包有物を記載、報告してきた。(1) 高速拡大海嶺で生成されたとされるオマーンオフィオライトの蛇紋岩に入る炭酸塩脈、(2) 低速拡大海嶺で生成されたとする西アルプスのオフィオライトの蛇紋岩に入る炭酸塩脈と炭酸塩基質、(3) 伊豆マリアナ海溝の蛇紋岩泥火山中のカルサイト、(4) 秩父の三波川帯のマントルウェッジ起源の蛇紋岩中の炭酸塩脈。その結果、(1)のオマーンオフィオライトの蛇紋岩の後期の脈に真水の流体包有物を発見した以外は、炭酸塩中の流体包有物に含まれる塩水は海水、または海水よりも少し高い塩濃度であった。(1)のオマーンオフィオライトの蛇紋岩中にも真水の流体包有物を持つカルサイト脈よりも前には、海底下で生成されたと考える脈に海水に似た塩濃度を持つ流体包有物が存在する。つまり、(1)と(2)に見られる海洋底の下の変成作用でできるオフィカーボネイトには海水に似た塩水が関与しており、(3)と(4)で見られるリソスフェアが沈み込むマントルウェッジにも海水に似た塩濃度を持つ流体が持ち込まれていることを示す。

マントル岩と水・二酸化炭素の混合流体との反応を再現するために、流体包有物の解析と並行して鉄を含む系で水熱合成実験を行っている。実験結果は、広い温度領域においてタルクが石英とマグネサイトが共存し、このタルクは非平衡で晶出すると考えないと辻褄が合わない。今後、平衡な鉱物組み合わせを決定できると、Perple_Xなどの熱力学計算できるCaO-MgO-SiO₂-H₂O-CO₂系での相平衡図と比較して、鉱物安定領域の温度圧力条件に鉄が与える影響を理解できる。また、上述の(2)西アルプスのケラス地域では、タルク、アンティゴライト、カルサイトとマグネサイトが共存する(大澤陽介、研究中)。CaO-MgO-SiO₂-H₂O-CO₂の系での熱力学計算では、0.1GPaでは、流体のCO₂/(H₂O+CO₂)モル比は0.03以下、温度は360°C以下である。0.5G Paだと、CO₂/(H₂O+CO₂)モル比は0.002以下、温度は340°C以下と推定できる。さらに、その岩石中の流体包有物の均質化温度から求められる温度圧力条件と、これらの条件が一致するか確認するによって、マントルの炭酸塩化の条件がより精確に理解できると期待する。

キーワード：流体包有物、蛇紋岩、海水、二酸化炭素、マントル

Keywords: fluid inclusions, serpentinite, seawater, carbon dioxide, mantle