

口頭講演 | S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

■ 2023年9月14日(木) 14:00 ~ 16:30 | 821 杉本キャンパス

S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

座長:土屋 範芳

14:00 ~ 14:05

[1Lecture-201-09-1add] コンビーナ挨拶

14:05 ~ 14:20

[S2-01] 名張はんれい岩体の風化過程、とくにkaolinite/smectite混合層鉱物の生成について

*奥村 滋¹ (1. 無所属)

14:20 ~ 14:35

[S2-02] 東北沖プチスポット玄武岩中のスメクタイトの産状と鉱物学的特徴について

「発表賞エントリー」

*城戸 太郎¹、秋澤 紀克²、鈴木 庸平¹ (1. 東大・院理、2. 東大・大海研)

14:35 ~ 14:50

[S2-03] ウォラストナイトとカンラン石および玄武岩の天然キレート剤による溶解挙動の特徴と促進効果

「発表賞エントリー」

*菊池 星南¹、王 佳婕¹、土屋 範芳¹ (1. 東北大・環境科学)

14:50 ~ 15:05

[S2-04] 陸上掘削試料の微量元素・Sr-Nd同位体組成から導かれたオマーンオフィオライトに記録された2つの地球化学的プロセス

*芳川 雅子¹、柴田 知之¹、片山 郁夫¹、Asyraf Aminuddin²、仙田 量子³、森下 知晃² (1. 広島大学・院先進理工系、2. 金澤大・院理工学域、3. 九州大・院比較社会)

15:05 ~ 15:20

[S2-05] オマーンオフィオライト北部サラヒ岩体マントルセクションにおける蛇紋岩化作用の初期段階

吉羽 洋紀¹、*高澤 栄一^{1,2}、野坂 俊夫³ (1. 新潟大・理、2. JAMSTEC、3. 岡山大・自然研)

15:20 ~ 15:30

[1Lecture-201-09-7add] 休憩

15:30 ~ 15:45

[S2-06] 沈み込み帯における含ホウ素流体-岩石相互作用の時期：三波川変成帯の例

「発表賞エントリー」

*横井 雅範¹、河上 哲生¹ (1. 京都大・院理)

15:45 ~ 16:00

[S2-07] フッ素の移動・鉱化作用と水-岩石相互作用の関係

「発表賞エントリー」

*砂田 雅裕¹、渡辺 寧¹、越後 拓也¹、青木 翔吾¹、瀬野 洸太郎¹ (1. 秋田大・院国資)

16:00 ~ 16:15

[S2-08] 異なる海域から得られた海洋掘削コア試料に見られる斑れい岩の岩石物性の違いについて

*阿部 なつ江^{1,2}、富士原 敏也¹ (1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構、2. 金沢大学大学院自然科学研究科)

16:15～16:30

[S2-09] 流体が関与した岩石のマイロナイト化と断層形成過程

*安東 淳^{1,2}、Sakar Dyuti Prakash^{1,2}、樹神 洸寿¹、Das Kaushik^{1,2}、Ghosh Gautam^{3,2}、富岡 尚敬^{4,2} (1. 広島大・先進理工、2. 広島大・HiPeR、3. Presidency Univ、4. JAMSTEC・高知コア研)

[zoom] Zoom

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

2023年9月14日(木) 14:00 ~ 16:30 821 (杉本キャンパス)

14:00 ~ 14:05

[1Lecture-201-09-1add]コンビーナ挨拶

名張はんれい岩体の風化過程、とくにkaolinite/smectite混合層鉱物の生成について

Weathering process of Nabari gabbroic body, especially formation of kaolinite/smectite mixed layer mineral

*奥村 滋¹

*Shigeru OKUMURA¹

1. 無所属

1. Non

[緒言]

名張はんれい岩体の風化過程の研究において、kaolinite/smectite混合層鉱物を見出した。その産状と水質の安定関係からその生成条件を考察する。

[風化分帯]

名張はんれい岩体は、三重県名張地方に分布し、領家帯に属する。主に風化過程を調査した地域は、旧名張鉱山と呼ばれたilmeniteを露天で採掘していた地域で、本岩体の主岩相は、中粒両輝石はんれい岩である。本岩体は、少なくとも中新世以降風化作用を蒙り、表層には厚い風化殻が発達している。原岩はひろくサプロライトに風化し、未風化の原岩は、核岩としてサプロライト中にわずかに点在するのみである。

風化殻は2種の基準に基づき分帯された。第1の基準は、サプロライト中の風化生成鉱物の組合せによるもので、上位より、I帯: kaolin mineral(s) - goethite、II帯: smectite - kaolin mineral(s) - goethite(±)となる。第2の基準は、サプロライト中に残存する未風化の核岩の産状を用いたもので、上位よりA帯、B帯、C帯となる。上位のA帯は、核岩が、周囲のサプロライトとは外観上異なる褐色・空隙質な「シェル」と呼ばれる風化生成物に覆われて産し、シェル中にはgibbsiteが生成している。中位のB帯は、核岩が直接サプロライトに接して産し、シェルは認められない。I帯とA帯は概ね一致し、B帯とC帯の境界は地下水面である。

[試料]

旧名張鉱山地域は、現在は宅地開発され、宅地に作られた小学校脇の新たな法面で試料を採取した。採取地点は、風化帯のII帯で、B帯及びC帯に対応する。採取した試料は、サプロライトと核岩で、サプロライトは詳しく見ると白、淡緑、赤、褐、黒のまだら模様を呈し、核岩は、厚さ3mm程度の薄いシェルで覆われており、シェルは概ね褐色で白い斑点が混じっている。

[結果]

サプロライトの各色部を手選で分離し、X線回折により構成鉱物を同定した。いずれの部分にもsmectiteが認められ、d(060)値よりその種類を判定した。結果は、白色部がbeidelliteとkaolinite、淡緑色部がmontmorillonite、kaoliniteとchlorite、赤色部がnontroniteとgoethite、褐色部がnontronite、goethite、kaoliniteとamphiboles、黒色部がnontroniteとgoethiteであった。

シェルの構成鉱物は、褐色部・白色部ともに、主体は(hk)バンドに比べ底面反射が著しく弱いkaolinite/smectite混合層鉱物と判断され、微量のamphibolesを伴っている。

[考察]

旧名張鉱山地域の水質分析の結果より、本地域の地下水は、beidellite及びkaoliniteと平衡関係にあると判断され、このような水が原岩と反応し、plagioclaseのような初生鉱物が溶解すると、その近傍で溶解成分の濃度が上昇し、特に溶解度の低いアルミニウムイオンは、濃度の上昇が有意であり、化学ポテンシャルが大きく上昇、準安定鉱物であるhalloysiteが生成されることが示された(Okumura, 1990)。本地域で見出されたkaolinite/smectite混合層鉱物も同様の化学条件下で、plagioclase, pyroxenesのような初生鉱物の溶解により生成したと考えられる。

謝辞：X線回折にあたっては、大阪公立大学（院）理学研究科篠田圭司教授のお世話になった。記して感謝します。

[参考文献]

S. Okumura (1990): Proc. 9th Internat. Clay Conf., Strasbourg, 1989, V.C. Farmer and Y. Tardy (Eds), Sci. Geol., Mem., 85. P.129-138. Strasbourg (FRANCE).

キーワード：kaolinite/smectite混合層鉱物、はんれい岩、風化、準安定鉱物

Keywords: kaolinite/smectite mixed layer mineral, gabbro, weathering, metastable mineral

東北沖プチスポット玄武岩中のスメクタイトの産状と鉱物学的特徴について

Occurrence and mineralogy of smectite in petit-spot basalts from the Northwest Pacific

*城戸 太郎¹、秋澤 紀克²、鈴木 庸平¹

*Taro KIDO¹, Norikatsu AKIZAWA², Yohey SUZUKI¹

1. 東大・院理、2. 東大・大海研

1. Univ. Tokyo, Sci., 2. Univ. Tokyo, AORI

東北沖のプチスポットと呼ばれる海底火山の玄武岩（以下、プチスポット玄武岩）は、プレート内部に亀裂が生じることで上部マントル由来の物質がマントル捕獲岩・捕獲結晶として存在することが知られている。このマントル捕獲岩・捕獲結晶はカンラン石や輝石、ザクロ石等から構成されている。また、プチスポット玄武岩中には、茶色に変質したマントル捕獲岩・捕獲結晶も存在している。このマントル捕獲岩・捕獲結晶の変質は、海水との反応によると推定されるが、これまで研究されてこなかった。本研究では、カンラン石の低温での変質過程を明らかにするために、茶色に変質したマントル捕獲岩・捕獲結晶を含むプチスポット玄武岩を対象にX線回折法（XRD）、顕微赤外線分光法（顕微IR）、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）で分析を行った。本研究では、YK21-07S次航海において、しんかい6500を用いた潜航でSite B（北緯37°37.5'、東経149°30.4'、水深約5900m）から採取されたプチスポット玄武岩を用いた。プチスポット玄武岩は、マグマ上昇時に周囲の海底堆積物を取り込んでおり、イライトと含水アルミノ珪酸塩ナトリウムを含んでいると報告されている。取り込まれた海底堆積物を観察すると、一部に十字沸石の結晶が認められ、低温の岩石-水反応が起きていた可能性が示唆された。プチスポット玄武岩のうち、茶色のマントル捕獲岩・捕獲結晶を含む試料から水簸法によって粘土画分を取り出し、XRDを行った。その結果、底面間隔に相当する14.6 Åのピークが認められ、エチレングリコール処理でピークのシフトが認められた。また、(060)反射が15.0 Åのピークとして認められた。また、顕微IRでは、モンモリロナイトに特徴的なAl-OHの伸長に由来する $\sim 3620\text{ cm}^{-1}$ のピークが認められた。一方で、取り込まれた海底堆積物からは、XRD、顕微IRの分析でイライト、十字沸石のピークは認められるが、スメクタイトのピークは認められなかった。これらの分析結果から、プチスポット玄武岩中で、2八面体型のスメクタイトであるモンモリロナイトが形成されていることが示された。SEM-EDSの分析で得た、岩石薄片中のスメクタイトの化学組成を様々な形成環境のスメクタイトと比較し、プチスポット玄武岩中のモンモリロナイトの形成環境を議論する。

キーワード：マントル捕獲岩、低温変質、モンモリロナイト、粘土鉱物

Keywords: mantle xenolith, low-temperature alteration, montmorillonite, clay minerals

ウォラストナイトとカンラン石および玄武岩の天然キレート剤による溶解挙動の特徴と促進効果

Dissolution behavior of wollastonite, olivine and basalt with natural chelating agents: features and promotion effects

*菊池 星南¹、王 佳婕¹、土屋 範芳¹

*Sena Kikuchi¹, Jiajie Wang¹, Noriyoshi Tsuchiya¹

1. 東北大・環境科学

1. Tohoku Univ. Environmental sci.

鉱物の溶解過程は、土壌の肥沃度、貯留層の空隙率、鉱床の形成、地球規模の炭素循環など、多くの地球化学的特性や現象に寄与している。近年、CaやMgを含むケイ酸塩鉱物の溶解は、大気中のCO₂削減・貯留に寄与するとして注目されている。本研究グループも含め、人工キレート剤(GLDA、HEDTAなど)を用いて2価の陽イオンを抽出することでケイ酸塩鉱物の溶解を促進することが提案されている。天然では、このようなキレート能力を有する有機物が生物から豊富に分泌され、鉱物の溶解促進に重要な役割を果たすと考えられている。本研究は、有機酸を用いた室内実験によりケイ酸塩鉱物の溶解において天然キレート剤の促進効果もたらす可能性について検証することである。ウォラストナイト(MgSiO₃)、カンラン石[(Mg_{0.91}Fe_{0.09})₂SiO₄]および玄武岩の粉末とアミノ酸を含む13種類の有機酸溶液を用いて、室温(～20℃)常圧で溶解実験を行った。pH 8.0でシュウ酸以外の有機酸がそれぞれ鉱物からの金属の抽出を促進した。ウォラストナイトからのCa抽出は、最も抽出量が多かった有機酸の水溶液中では水中と比較して35倍に増加した。また、かんらん石のMgやFe、玄武岩のMg、Ca、Feにおいても、有機酸により選択的に抽出された。次に、有機酸による鉱物溶解の促進作用の環境影響を評価するために、pHと温度における比較実験を行った。pH 4.0～10.0では、有機酸による岩石から金属イオンを抽出する量は弱酸性で大きくなった。pH 10.0では、促進作用は見られず抽出量は純水と変わらなかった。興味深いことに、天然キレート剤を含む環境では、pHの影響が非常に大きい。pH4.0の純水では、pH 8.0より、ウォラストナイトの溶解は2.6倍促進されたが、キレート剤の溶液では12倍促進される。この結果、キレート剤を使用する場合と使用しない場合では、pHに対するミネラルの溶解度のトレンドが異なる。また、天然のキレート剤が存在する場合、20℃から60℃の範囲では、鉱物の溶解に対する温度の影響は小さい。しかし、20℃におけるCaの抽出量が60℃とほぼ変わらないため、温度上昇におけるCaの抽出量について純水の二次関数的変化に対して、有機酸では緩やかな一次関数的変化となり、通常の鉱物溶解とは異なる溶解挙動を示した。そして、これらの天然キレート剤による鉱物溶解は、水溶液中の炭酸イオンの溶解度にも影響した。pH 8.0で有機酸を用いた水溶液の場合、反応後の溶存している炭酸イオンの濃度が純水と比較して22倍多くなっていた。これは、有機酸の鉱物溶解促進が炭酸イオンの溶解度変化に影響したことが考えられ、有機酸がCO₂回収への利用可能性もある。これらの発見は、天然キレート剤を用いた鉱物の促進溶解を大気中のCO₂削減と、地球化学の分野にも重要な貢献が期待されている。

キーワード：有機酸、キレート剤、鉱物溶解

Keywords: Organic acid, chelate agents, Mineral dissolution

陸上掘削試料の微量元素・Sr-Nd同位体組成から導かれたオマーンオフィオライトに記録された2つの地球化学的プロセス

Two geochemical processes recorded in trace element and Sr-Nd isotopic compositions of the CM1A core samples from the Oman ophiolite

*芳川 雅子¹、柴田 知之¹、片山 郁夫¹、Asyraf Aminuddin²、仙田 量子³、森下 知晃²

*Masako YOSHIKAWA¹, Tomoyuki Shibata¹, Ikuo Katayama¹, Asyraf Mohamed Aminuddin², Ryoko Senda³, Tomoaki Morishita²

1. 広島大学・院先進理工系、2. 金澤大・院理工学域、3. 九州大・院比較社会

1. Hiroshima Univ., 2. Kanazawa Univ., 3. Kyushu Univ.

地球表面の約7割を占める海洋プレートの実体は、系統的に試料を直接採取することが困難で、未だ不明点が多い。このため、構造運動で地表にもたらされた海洋プレートの断片と考えられているオフィオライト岩体の詳細な観察から、海洋プレートの断面やその物理学・化学的特徴が推定されている。アラビア半島南東部に位置するオマーンオフィオライトは、世界最大級（400 km以上）かつ保存状態の良い海洋プレートの断面とされている（例えば、Nicolas et al., 1988）。オマーンオフィオライトでは、国際陸上科学掘削計画のもと、2016年12月から2018年3月に複数の地点で掘削が行われた。南部Wadi TayinブロックのCM1A・CM2Bサイトでは地殻-マントル境界を含む連続試料が回収された（Kelemen et al., 2020）。本研究で対象とするCM1Aサイトで採取された掘削試料は全長404.15mで、構成する岩石層の特徴から上位から下位へと次の4層に区部されている。第I層：層状斑レイ岩卓越層、第II層：ダナイト層、第III層：斑レイ岩を伴うダナイト層、第IV層：ハルツバージャイト卓越層。このうち第II・III層が地殻-マントル遷移層とされる（Tamura et al., 2018; Takazawa et al., 2019）。第I層の斑レイ岩は、下位のダナイトやハルツバージャイトと比べ、かんらん石や2次的な脈が少なくSr同位体比が低い（ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7031 \sim 0.7033$ ）。一方かんらん石を主要構成鉱物とする、第II・III・IV層のダナイトやハルツバージャイトは変質度が高く（蛇紋岩化度80~100%）Sr同位体比が高い（ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7038 \sim 0.7040$ ）。この結果から、芳川ほか（2021）は、(1) CM1A掘削試料のSr同位体比は全岩の変質度に依存すること、(2) ダナイト・ハルツバージャイト中を循環した熱水のSr同位体比（ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7039 \sim 0.7042$ ）はKawahata et al. (2001)がオマーンオフィオライトで求めた海水由来の高温熱水流体の値（ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70413$ ）と一致することを報告した。第IV層のハルツバージャイト4試料から新たに分析されたNd同位体比は、 $\text{La}_{\text{CN}}/\text{Sm}_{\text{CN}}$ （CNはコンドライトで規格化したことを表す）比と負の相関を示す。オマーンオフィオライトの露頭試料で観察されるハルツバージャイトやダナイトの中希土類元素（例えばSm）に対する軽希土類元素（例えばLa）のエンリッチメントはメルト・流体と溶け残りマントルの相互作用の結果と解釈されており（たとえばGodard et al., 2000）、CM1A・CM2Bサイトの試料からも報告されている（Kourim et al., 2021）。従って、CM1Aサイトの試料において、Nd同位体比はメルト・流体-固相相互作用のプロセスを、Sr同位体比はメルト・流体-固相相互作用後の高温熱水流体循環のプロセスを記録していると推測される。

キーワード：オマーン掘削試料、Sr-Nd同位体比、微量元素組成

Keywords: Oman drilling project samples, Sr-Nd isotopic ratios, trace element compositions

オマーンオフィオライト北部サラヒ岩体マントルセクションにおける蛇紋岩化作用の初期段階

Early stages of serpentinization in the mantle section of the Salahi mantle section in the northern Oman ophiolite

吉羽 洋紀¹、*高澤 栄一^{1,2}、野坂 俊夫³

Yohki Yoshiba¹, *Eiichi TAKAZAWA^{1,2}, Toshio Nozaka³

1. 新潟大・理、2. JAMSTEC、3. 岡山大・自然研

1. Niigata Univ. Sci., 2. JAMSTEC, 3. Okayama Univ.Sci.

海洋マントルにおける蛇紋岩化過程の初期段階を理解するために、オマーンオフィオライト・サラヒマントルセクションのかんらん岩における蛇紋石と付随鉱物の鏡下観察、組成分析、およびラマン分光分析を行った。サラヒマントルセクションのかんらん岩には、リザダイトやクリソタイルなどの低温で安定な蛇紋石が様々な割合で含まれている。高温で安定な蛇紋石であるアンチゴライトも広く分布するが、その頻度はマントルセクションの北西部に向かって減少する傾向がある。アンチゴライトの大部分は幅0.1mmから3.0mmの脈を形成する。アンチゴライト脈の中央部には低温型の蛇紋石が平行に、あるいは脈を横断するように切断している。蛇紋石中（特にアンチゴライト脈中）では、磁鉄鉱はパッチ状または紐状に産出する。磁鉄鉱はほとんどすべての岩石試料に含まれるが、その量と分布は一様ではない。タルクは直方輝石のリムまたは全体を置き換えて、蛇紋石とともにバスタイトを形成する。トレモライトと緑泥石は、しばしばアンチゴライト脈の近傍に出現する。これらはタルクやアンチゴライトなどの他の鉱物と集合体を形成することがある。また、炭酸塩鉱物（方解石、アラゴナイト、マグネサイト）も調査地域全体にわたって出現する。ブルーサイトは脈中にはほとんど存在せず、顕微鏡で確認することは難しい。Si対Mg+Fe分子比のグラフでは、ブルーサイト、かんらん石、蛇紋石の組成はほぼ直線上に並ぶ。メッシュ状の蛇紋石は脈状の蛇紋石よりも組成範囲が広く、SiよりもMg+Feに富む傾向があり、ブルーサイトとの混合が示唆される。一方、脈状のアンチゴライトは、理想的な組成よりもSiに富み、Alも含む可能性がある。かんらん石と接触する蛇紋石では、化学組成からブルーサイトと蛇紋石の混合が示唆される。また、クリソタイルはブルーサイトとアンチゴライトから、蛇紋石と磁鉄鉱はブルーサイトとSiから形成されることから、蛇紋岩化初期の段階で形成されたブルーサイトの多くが反応によって消費された可能性が考えられる。鉄に富むかんらん石が幅0.02-0.3 mmの脈を形成して、しばしばアンチゴライト脈を伴いつつ、初生かんらん石中に存在する。一般的な初生かんらん石のFo含有量は約90であるのに対し、鉄に富むかんらん石は71-88である。鉄に富むかんらん石と接するアンチゴライト脈はMgに富み、Feに乏しい。Mg-Fe相互拡散率は温度が高いほど高いことから、アンチゴライト脈は高温で形成されたか、あるいはアンチゴライト脈形成後に加熱された可能性が考えられる。サラヒマントルセクション全域にアンチゴライトとタルクが存在することから、熱水反応は300-700°C付近で起こったと考えられる。かんらん石、アンチゴライト、トレモライトの共存は、500-600°Cでの熱水反応の可能性を示唆している。さらに、すべての試料にリザダイトとクリソタイルが存在することから、300°Cより低い温度で広範囲に水の浸透が起こったことが示唆される。アンチゴライト脈で観察された切断関係は、かんらん石、アンチゴライト、クリソタイル、磁鉄鉱、炭酸塩鉱物の順に形成したことを示唆する。したがって、蛇紋岩化は温度の漸減とともに進行したと考えられる。アンチゴライトはリザダイトよりもシリカの活量が高いことから、シリカに富む流体の流入あるいは加熱による形成の可能性が示唆される。サラヒ岩体におけるアンチゴライトとタルクの出現頻度の空間分布と古海嶺セグメント構造との関係が示唆される。古海嶺セグメントの中心はサラヒブロックの北に位置するフィズ岩体の南端付近に、セグメントの末端部はサラヒ岩体の南端部に位置すると推定されている。海嶺セグメントの末端付近では、海水がマントル深部まで浸透し、冷却の初期段階でアンチゴライトが形成された可能性が考えられる。一方、サラヒ岩体の北西部は、海嶺セグメントの中心部に近く、深部にあたる

ため、モホ面近傍や海嶺セグメントの末端部付近よりも高温状態が継続し、アンチゴライトの形成が遅れた可能性がある。その結果、サラヒ岩体の北西部において、アンチゴライトおよびタルクの出現率が低くなった可能性が考えられる。

キーワード：オマーンオフィオライト、海洋マントル、蛇紋岩化作用、アンチゴライト

Keywords: Oman ophiolite, oceanic mantle, serpentization, antigorite

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

2023年9月14日(木) 14:00 ~ 16:30 821 (杉本キャンパス)

15:20 ~ 15:30

[1Lecture-201-09-7add]休憩

沈み込み帯における含ホウ素流体-岩石相互作用の時期：三波川変成帯の例

Timing of B-bearing fluid-rock interaction in a subduction zone: an example from the Sanbagawa metamorphic belt

*横井 雅範¹、河上 哲生¹

*Masanori YOKOI¹, Tetsuo KAWAKAMI¹

1. 京都大・院理

1. Kyoto Univ. Sci.

沈み込みスラブ表面には、スラブを構成する岩石やマントル物質のブロックが変形したマトリクスに取り込まれるblock in matrix構造を呈し、スラブ由来流体との間で様々な岩石-水反応を起こしながら混合する、「ミキシングゾーン」が存在すると考えられている[1]。電気石は流体中に取り込まれやすいホウ素(B)を主成分にもち、形成時の温度や流体組成などの情報を記録する。また、Bは塩基性岩に数十ppm以下、泥質岩には数百ppm以下しか含まれない[2]。それゆえ、電気石の濃集を形成するには外部からのBの添加が必要であり、その電気石を解析することで流体活動の情報を抽出できる。

三波川変成帯におけるナップ境界やブロック・マトリクス境界での含B流体-岩石相互作用の痕跡として、四国中央部から電気石濃集層が報告されている[3][4]。このうち、愛媛県新居浜市端出場のブロック・マトリクス境界に産する電気石濃集層は包有物の角閃石の組成から、変成ピーク直後以降の後退変成期に形成したとされる[4]。三波川変成帯における含B流体-岩石相互作用の全貌を明らかにするには他地域・他産状での議論が必要となる。本研究ではミキシングゾーンのマトリクス中における含B流体-岩石相互作用のタイミングを制約する目的で、和歌山県紀の川市藤崎の塩基性片岩中に産する緑簾石に富むレンズ中の電気石濃集部分の詳細な研究を行った。

和歌山県紀の川市藤崎では、赤鉄鉱とバロワ閃石を含む曹長石-黒雲母帯の塩基性片岩中に長径約3-20 cmの緑簾石に富むレンズが点在する。多くのレンズ中にはDs変形段階の褶曲構造が見られる。レンズ内外共に主要鉱物組合せは、緑簾石+角閃石+曹長石+緑泥石+石英で、副成分鉱物として白雲母、チタン石、ルチル、赤鉄鉱、燐灰石、電気石を含む。曹長石の斑状変晶がレンズの内外に存在するが、伸びの方向が異なる。

角閃石はレンズ内外で組成累帯構造をもつ。曹長石に包有されない場合、コアからリムに向かってバロワ閃石、普通角閃石、アクチノ閃石の順に組成変化する。この累帯構造は角閃石+緑簾石+緑泥石+斜長石+石英が平衡共存する塩基性片岩の鉱物組合せでは減温減圧を表す[5]。レンズ内の曹長石に包有される角閃石はバロワ閃石~普通角閃石組成を示すため、曹長石がピーク変成時に形成されたと解釈できる。曹長石内の角閃石に対して、角閃石-斜長石温度計[6]を、バロワ閃石と普通角閃石の安定領域が重なる8 kbar [5]を仮定して適用した結果、515-578°Cの温度条件が得られ、この温度をピーク変成温度と解釈した。

レンズ内の電気石はDr片理面に沿って濃集し、Ds褶曲に曲げられている。電気石の累帯構造はBSE像で明るいコア、暗いマントル、中間の明るさのリムに分けられる。曹長石に包有される電気石はリムまで成長している。Ca/(Na+Ca)はコア、マントル(c+極側で0.04-0.1)、リム(c+極側で>0.1)と増加し、これは定性的に昇温を表す。各段階に対しCa/Naの分配を用いた電気石極性温度計[7]を適用すると、コア、マントルからは490-520°C、リムからは530-560°Cが得られた。リム成長時の温度は角閃石-斜長石温度計によって求められたピーク変成温度と一致する。この結果と曹長石との包有関係から、電気石コア、マントルは昇温期に成長し、リムはピーク時に成長したといえる。

以上の結果をまとめると、和歌山県紀の川市藤崎の緑簾石レンズ内部の電気石は、周囲の泥質岩由来の含B流体がDr片理面に沿って流入し形成された可能性が高い。四国中央部の例[4]と総合すると、三波川帯における含B流体は変成ピーク前の昇温期から後退変成期にかけて時間的広がりを持って沈み込み帯表面で活動

し、片理面や岩相境界を流路として水-岩石相互作用を引き起したと結論づけられる。

引用文献

- [1] Bebout (2007) *Earth Planet. Sci. Lett.* 260, 373-393.
- [2] Dutrow & Henry (2011) *Elements* 7, 301-306.
- [3] 砂田・榊原 (2004) 日本地質学会第111年学術大会講演要旨 235.
- [4] 石山ほか (2016) 日本鉱物科学会2016年年会講演要旨集 24.
- [5] Okamoto & Toriumi (2005) *J. Metamorphic Geol.* 23, 335-356.
- [6] Holland & Blundy (1994) *Contrib. Mineral. Petrol.* 116, 433-447.
- [7] van Hinsberg & Schumacher (2007) *Contrib. Mineral. Petrol.* 153, 289-301.

キーワード：ホウ素、流体、沈み込み帯、三波川変成帯、ミキシングゾーン

Keywords: boron, fluid, subduction zone, Sanbagawa metamorphic belt, mixing zone

フッ素の移動・鉱化作用と水-岩石相互作用の関係

Behavior of fluorine, relationship between mineralization and water-rock interaction: an example of the Jinmu-Mihara fluorite skarn deposit.

*砂田 雅裕¹、渡辺 寧¹、越後 拓也¹、青木 翔吾¹、瀬野 洸太郎¹

*Masahiro SUNADA¹, Yasushi Watanabe¹, Takuya Echigo¹, Shogo Aoki¹, Kotaro Seno¹

1. 秋田大・院国資

1. Akita Univ. Ers.

揮発性元素の挙動について知ることができれば、これらが関係する地質現象の問題を紐解く情報を得ることができる。そのためには元素の移動、濃集-沈殿メカニズムを解明する必要がある。天然ではスカルン鉱床が良いモデルとなる。スカルン鉱床は水-岩石相互作用が関係する熱水鉱床の一種で、物質移動が盛んに行われる系であり、元素の挙動が「鉱化作用」として詳細に保存されている。広島県には蛍石(Fluorite; CaF_2)がスカルンに伴われて産出する神武-三原鉱床があり、この地域でFを沈殿する鉱化作用をもたらす熱水の特徴がわかればスカルン系での揮発性元素「F」の挙動を理解することができる。

神武-三原鉱床は棚倉構造線以西のF含有量の高いチタン鉄鉱系花崗岩に伴われる。鉱床母岩はルーフペンダント状のジュラ紀丹波帯の堆積岩コンプレックスに後期白亜紀の黒雲母花崗岩が貫入しており、スカルンはその境界に分布する。本鉱床における蛍石鉱化作用は①花崗岩類に伴われるものと②スカルンに伴われる2つの産状がみられる。

地質調査と顕微鏡観察、EPMAを用いた化学分析による結果を以下に述べる。縞状スカルンの構成鉱物はAndradite, Hedenbergite-Diopside, Vesuvianite(F content: Max 4.11, Ave. 3.43 a.p.f.u.), Albite-Alkali feldsparからなる。一部のスカルンではAndradite + Hedenbergite + Cassiterite (SnO_2)の鉱物組み合わせがみられた。花崗岩類では長石+蛍石の鉱物組み合わせからなる「優白質花崗岩」に、スカルンでは、Andradite, Hedenbergite-Diopside, Vesuvianite, Albite-Alkali feldspar, Fluoriteが交互に縞状の組織をなしてみられる。Fは還元環境下で沈殿することがわかっており、これらからAndradite, Diopsideは酸性条件下、Albite-Alkali feldsparは中性~酸性条件下、FluoriteやVesuvianite, Hedenbergiteは還元条件下で含F鉱物はFが熱水から鉱物として保存される条件下になったことが示唆される。このような縞状組織は

「Wrigglite」と呼称され、構成鉱物の沈殿条件がリズミカルに変化し、鉱物が互層状に晶出したものであると考えられる。この条件はスカルン系においてPrograde stage(開放系)→Retrograde stage(閉鎖系)に変化したRetrograde stageの始まりから終わりまでの情報を保存している。F(-Sn)に富む鉱化流体はアルカリ花崗岩に類比的に認められることから、アルカリ花崗岩の関与が示唆される。

スカルン系における揮発性元素「F」の挙動は以下のように考えられる。移動は関係火成岩が冷却し、熱水が放出される開放系から閉鎖系に推移するときから鉱物として保存されるまで、濃集は熱水に分配されたとき、含F鉱物として沈殿するまで、沈殿は還元条件下で含F鉱物として沈殿するというメカニズムである。

キーワード：フッ素、スカルン鉱床、山陽帯、蛍石鉱化作用、神武-三原鉱床

Keywords: Fluorine, Skarn deposit, Sanyo-belt, Fluorite mineralization, Jinmu-Mihara deposit

異なる海域から得られた海洋掘削コア試料に見られる斑れい岩の岩石物性の違いについて

Differences in petrophysics of gabbroic rock in ocean drilling core samples from different regions

*阿部 なつ江^{1,2}、富士原 敏也¹

*Natsue ABE^{1,2}, Toshiya Fujiwara¹

1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構、2. 金沢大学大学院自然科学研究科

1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), 2. Kanazawa University

海洋科学掘削では、過去に海洋下部地殻を構成する物質である斑れい岩の掘削を様々な海域で複数回行ってきている。大西洋ではODP Legs 153 (Kane FZ)、Leg 209 (15°20'N FZ)、IODP Exp. 304 & 305 (Atlantis Massif)で、インド洋ではAtlantis Bankと呼ばれる箇所でODP Legs 118 & 176および IODP Exp. 360による掘削、太平洋ではODP Leg 147およびIODP Exp. 345でHess Deepから斑れい岩試料を採取している。これらの斑れい岩コア試料は、海洋下部地殻の実態を解明する貴重な試料である。これらの地域産の斑れい岩と弾性波速度の間には大きな違いがあることが報告されている。つまり、インド洋の斑れい岩試料と太平洋試料は、一般的に海洋下部地殻として想定されている斑れい岩の弾性波速度と密度の関係を示すが、大西洋の斑れい岩試料の弾性波速度は、同程度の密度を示す他の産地の斑れい岩に比べて、約1km/s遅い。この弾性波速度の違いを生ずる原因として、(1)鉱物組成や変質の程度の違い、(2)空隙率（またはクラック密度）の違い、(3)変形の程度の違い、(4)形成年代（温度）の違い、などが挙げられる。今回これらの原因について検討した結果を紹介し、弾性波速度の違いについて考察したい。

キーワード：斑れい岩、国際深海掘削計画、海洋下部地殻、弾性波速度、岩石物性

Keywords: Gabbro, IODP, Oceanic lower crust, compressional velocity, petrophysics

流体が関与した岩石のマイロナイト化と断層形成過程

Fluid induced mylonitization and faulting processes

*安東 淳一^{1,2}、Sakar Dyuti Prakash^{1,2}、樹神 洸寿¹、Das Kaushik^{1,2}、Ghosh Gautam^{3,2}、富岡 尚敬^{4,2}

*Jun-ichi ANDO^{1,2}, Dyuti Prakash Sakar^{1,2}, Hirotooshi Kotama¹, Kaushik Das^{1,2}, Gautam Ghosh^{3,2}, Naotaka Tomioka^{4,2}

1. 広島大・先進理工、2. 広島大・HiPeR、3. Presidency Univ、4. JAMSTEC・高知コア研

1. Hiroshima Univ., 2. Hiroshima Univ. HiPeR, 3. Presidency Univ., 4. JAMSTEC

岩石のマイロナイト化に起因して断層が形成される可能性が指摘されている（例えばWehrens et al., 2016）。本研究が対象としている北アルモラ衝上断層(NAT)においても、NATと密接に関係して花崗岩がマイロナイト化している。本研究の目的は、露出の良いNATの近郊において系統的に採取したマイロナイト化した花崗岩の微細組織のキャラクタリゼーションを行い、岩石のマイロナイト化と断層形成の関係を明らかにすることである。

NATはインド北部 Uttarakhand州 Almora北部に露出する。NATはインド大陸がアジア大陸に衝突することで形成された大規模断層である主中央衝上断層の一部と考えられている。本研究の対象地域では主中央衝上断層は褶曲を受けており、NATの南部が上盤側となっている。上盤には、インド大陸を構成していた花崗岩が主に露出する。NATから南方約8 kmの範囲の調査を行い、花崗岩がマイロナイト化していることを確認した。マイロナイトの面構造はNATの走向とほぼ平行であることから、マイロナイト化とNATの運動は関係していることが分かる。またマイロナイト化した花崗岩は、塑性変形した石英と黒雲母/白雲母といった層状珪酸塩鉱物、それと脆性変形した長石から構成されており、変形が脆性-塑性遷移の深度で生じたことが分かる。マイロナイト化の程度はNATに近づくほど、プロトマイロナイトからマイロナイト、そしてウルトラマイロナイトへと大きくなる傾向が認められる。

採集した花崗岩マイロナイトに対し、偏光顕微鏡、SEM、SEM-EBSD、TEMといった装置、及びImageJやMATLABを用いて微細組織のキャラクタリゼーションを行った。これによりマイロナイト化の①温度と応力値、②剪断方向、③マイロナイト化に与えた層状珪酸塩鉱物の影響を明らかにした。これらのデータを基に、花崗岩のマイロナイト化とNAT形成の関係を考察した。

微細組織のキャラクタリゼーションの結果、以下のことが明らかとなった。1) まず重要なことは、花崗岩マイロナイトに占める層状珪酸塩鉱物の量がNATに近づくにつれて増加することである。それに伴って、プロトマイロナイトからマイロナイト、そしてウルトラマイロナイトへとマイロナイトの程度が強くなる。2) 石英は波動消光を示し、歪結晶回転によって動的再結晶をしている微細組織が確認できる。すなわち転位クリープによって塑性変形したことが分かる。石英が歪結晶回転によって動的再結晶を生じるのは約450°C-550°Cなので、マイロナイト化はこの温度範囲で進行したと考えられる。また再結晶石英の粒径は約50 μmであるが、NATの近傍のみ約25 μmと小さくなる。このことはNAT近傍に応力集中が生じたことを示唆する。3) 動的再結晶のメカニズムは主に歪結晶回転であるが、層状珪酸塩鉱物の量が増えると圧力溶解クリープによって形成された組織が上書きされる。圧力溶解クリープによって再結晶化した石英のアスペクト比は2-2.5程度と大きくなる。4) 長石は脆性変形を受けているが、石英と同様に層状珪酸塩鉱物の量が増えると圧力溶解クリープによる再結晶化が顕著になる。5) 再結晶した石英のc軸の集中度はNATの近傍で、また層状珪酸塩鉱物の含有量が増えると低下する。このことは上記した石英と長石の変形のメカニズムが、層状珪酸塩鉱物の量が増えると圧力溶解クリープに変化することと関係していると考えられる。6) 非対称組織と再結晶石英のc軸ファブリックから求めたマイロナイト形成時の剪断方向は、インド大陸の衝突・沈み込みに整合的なtop-to-southである。しかしNAT近傍に露出するマイロナイト中の層状珪酸塩鉱物が示す非対称組織はtop-to-northを示す。

以上の観察結果は、花崗岩が流体の関与によりマイロナイト化が進行したことを示す。特にウルトラマイロナイト化した領域では、変形メカニズムが圧力溶解クリープへと変化することで岩石強度が低下し、それによりウルトラマイロナイト化した花崗岩部分に応力集中と歪集中が生じ、その結果断層（NAT）が形成されたと考えられる。

キーワード：断層、マイロナイト、圧力溶解クリープ、層状珪酸塩鉱物、マントルポーフィロクラスト

Keywords: Fault, Mylonite, pressure solution creep, Phyllosilicate mineral, Mantle porphyroclast

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

2023年9月14日(木) 14:00 ~ 16:30 821 (杉本キャンパス)

[zoom]Zoom

Zoomはこちら