

2023年9月14日(木)

口頭講演 | R1：鉱物記載・分析評価（宝石学会(日本)との共催セッション）

13:30 ~ 16:30 | 820 杉本キャンパス

R1：鉱物記載・分析評価（宝石学会(日本)との共催セッション）

座長:北脇 裕士(中央宝石研究所)、黒澤 正紀(筑波大学)、坂野 靖行(産総研)

13:30 ~ 13:45

[R1-01] グリーンランド産ルビーとモンタナ産サファイア; LA-ICP-MSを用いた微量元素分析と原産地鑑別

*江森 健太郎¹、北脇 裕士¹ (1. 中央宝石研究所)

13:45 ~ 14:00

[R1-02] スカルンと蛇紋岩起源のアンドラダイト・ガーネットの変種デマントイドの微量化学元素の比較研究

*阿依 アヒマディ^{1,2} (1. Tokyo Gem Science(合同)、2. GSTV宝石学研究所)

14:00 ~ 14:15

[R1-03] 希少な宝石品質の青緑色と緑青色のアイウン

*趙 政皓¹、北脇 裕士¹、岡野 誠¹、小松 一生² (1. 中央宝石研究所、2. 東大・院理)

14:15 ~ 14:30

[R1-04] 希少な赤色“マスグラバイト”の名称と宝石鑑別

*北脇 裕士¹、趙 政皓¹、江森 健太郎¹、岡野 誠¹、間中 裕二¹、海老坪 聡¹ (1. 中宝研)

14:30 ~ 14:45

[R1-05] マダガスカル産天然サファイア中のナノインクルージョン

*三宅 亮¹、乙 星華¹、伊神 洋平¹、埋橋 淳²、大久保 忠勝²、北脇 裕士³、江森 健太郎³ (1. 京都大学、2. 物質・材料研究機構、3. 中央宝石研究所)

14:45 ~ 15:00

[R1-06] 岐阜県中津川市蛭川産columbite supergroupの高分解能STEM観察

*小暮 敏博¹、坂野 靖行²、奥村 大河¹ (1. 東大・院理、2. 産総研)

15:00 ~ 15:15

[R1-07] 位置分解電子回折による天川村産イリデッセントガーネットの局所対称性決定

*伊神 洋平¹、三宅 亮¹ (1. 京大・院理)

15:15 ~ 15:30

[R1-08] 兵庫県琢美鉱山から産するデュモルチ石及び電気石について

*白勢 洋平¹、上世 莉可子¹、西田 勝一、藤原 由輝 (1. 愛媛大・理)

15:30 ~ 15:45

[1Lecture-101-11-9add] 休憩

15:45 ~ 16:00

[R1-09] 福岡市西区長垂地域の産出鉱物

*上原 誠一郎¹ (1. 九州大学・博物館)

16:00 ~ 16:15

[R1-10] 福島県南相馬市の中新世堆積物中の巻貝化石内部に産する沸石の鉱物学的産状と成因

「発表賞エントリー」

*石原 篤¹、大藤 弘明¹ (1. 東北大・院理)

16:15 ~ 16:30

[R1-11] 熱水性シリカ脈に付随する種々の有機鉱物類の成因と生成メカニズム

*田中 陵二^{1,2}、井上 裕貴³、石橋 隆⁴、萩原 昭人 (1. 相模中央化学研究所、2. 東海大理、3. 九大院理、4. 阪大総合博)

[zoom] Zoom

口頭講演 | S2: 岩石-水相互作用 (スペシャルセッション)

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 太朗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} (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 | R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会 との共催 セッション)

14:45 ~ 16:30 | 822 杉本キャンパス

R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会 との共催 セッション)

座長: 秋澤 紀克(東京大学大気海洋研究所)、越後 拓也(秋田大学)

14:45 ~ 15:00

[R7-01] 熱水変質作用による有機物の分解: 北海道北見地域の浅熱水金鉱床を例として

國場 海里¹、*越後 拓也¹、渡辺 寧¹ (1. 秋田大学・国際資源)

15:00 ~ 15:15

[R7-02] 東松浦玄武岩の晶洞に産する淡青色セピオライトの呈色要因について

「発表賞エントリー」

*木尾 颯月¹、江島 輝美²、昆 慶明³、南澤 比佳理⁴、堀田 将臣⁴ (1. 信州大・院理、2. 信州大・理、3. 産総研、4. 信州大・工)

15:15 ~ 15:30

[R7-03] 海底火山活動地域に産する玉髓の形成過程1 宮城県奥松島地域

「発表賞エントリー」

*佐野 菜津子¹、宮本 毅²、栗林 貴弘¹、長瀬 敏郎³ (1. 東北大・院理、2. 東北大・東北アジア研セ、3. 東北大・総学博)

15:30 ~ 15:45

[R7-04] タヒチ島産マントル捕獲岩中の多環芳香族を含む包有物に対するX線吸収端近傍構造解析

「発表賞エントリー」

*三津川 到¹、三宅 亮¹、伊神 洋平¹、高橋 嘉夫²、山下 翔平³、河合 敬宏²、小木曾 哲¹、秋澤 紀克² (1. 京都大、2. 東京大、3. 高エネルギー加速器研究機構)

15:45 ~ 16:00

[R7-05] ハワイ・ソルトレイククレーター産ザクロ石カンラン岩の再解析

*秋澤 紀克¹、石川 晃²、藤田 遼²、森下 知晃³、田村 明弘³、佐野 貴司⁴ (1. 東京大・大海研、2. 東工大・理、3. 金沢大・理工、4. 国立科学博物館)

16:00 ~ 16:15

[R7-06] ピストンシリンダー装置を使用した高圧グラニュライトのザクロ石かんらん岩に見られる多相固体包有物の均質化実験

*苗村 康輔¹、阿部 梨¹、小木曾 哲² (1. 岩手大・教育、2. 京都大・院人環)

16:15 ~ 16:30

[R7-07] フォトンカウンティングCTの岩石・結晶試料への応用: 原子量が高い元素を含む物質に着目して

石黒 歩¹、有元 誠^{1,3,4}、佐藤 大地¹、供田 崇弘¹、寺澤 慎祐⁵、塩田 諭⁵、*森下 知晃^{3,2} (1. 金沢大学・院自然、2. 海洋研究開発機構、3. 金沢大学・理工、4. 早稲田大学・理工、5. (株) プロテリアル)

[zoom] Zoom

口頭講演 | R1：鉱物記載・分析評価（宝石学会(日本)との共催セッション)

■ 2023年9月14日(木) 13:30～16:30 | 820 杉本キャンパス

R1：鉱物記載・分析評価（宝石学会(日本)との共催セッション）

座長:北脇 裕士(中央宝石研究所)、黒澤 正紀(筑波大学)、坂野 靖行(産総研)

[座長]

北脇 裕士:R1-01～R1-03

黒澤 正紀:R1-04～R1-07

坂野 靖行:R1-08～R1-11

13:30～13:45

[R1-01] グリーンランド産ルビーとモンタナ産サファイア; LA-ICP-MSを用いた微量元素分析と原産地鑑別

*江森 健太郎¹、北脇 裕士¹ (1. (株)中央宝石研究所)

13:45～14:00

[R1-02] スカルンと蛇紋岩起源のアンドラダイト・ガーネットの変種デマントイドの微量化学元素の比較研究

*阿依 アヒマディ^{1,2} (1. Tokyo Gem Science(合同)、2. GSTV宝石学研究所)

14:00～14:15

[R1-03] 希少な宝石品質の青緑色と緑青色のアウイン

*趙 政皓¹、北脇 裕士¹、岡野 誠¹、小松 一生² (1. 中央宝石研究所、2. 東大・院理)

14:15～14:30

[R1-04] 希少な赤色“マスグラバイト”の名称と宝石鑑別

*北脇 裕士¹、趙 政皓¹、江森 健太郎¹、岡野 誠¹、間中 裕二¹、海老坪 聡¹ (1. 中宝研)

14:30～14:45

[R1-05] マダガスカル産天然サファイア中のナノインクルージョン

*三宅 亮¹、乙 星華¹、伊神 洋平¹、埋橋 淳²、大久保 忠勝²、北脇 裕士³、江森 健太郎³ (1. 京都大学、2. 物質・材料研究機構、3. 中央宝石研究所)

14:45～15:00

[R1-06] 岐阜県中津川市蛭川産columbite supergroupの高分解能STEM観察

*小暮 敏博¹、坂野 靖行²、奥村 大河¹ (1. 東大・院理、2. 産総研)

15:00～15:15

[R1-07] 位置分解電子回折による天川村産イリデッセントガーネットの局所対称性決定

*伊神 洋平¹、三宅 亮¹ (1. 京大・院理)

15:15～15:30

[R1-08] 兵庫県琢美鉱山から産するデュモルチ石及び電気石について

*白勢 洋平¹、上世 莉可子¹、西田 勝一、藤原 由輝 (1. 愛媛大・理)

15:30～15:45

[1Lecture-101-11-9add] 休憩

15:45～16:00

[R1-09] 福岡市西区長垂地域の産出鉱物

*上原 誠一郎¹ (1. 九州大学・博物館)

16:00 ~ 16:15

[R1-10] 福島県南相馬市の中新世堆積物中の巻貝化石内部に産する沸石の鉱物学的産状と成因
「発表賞エントリー」

*石原 篤¹、大藤 弘明¹ (1. 東北大・院理)

16:15 ~ 16:30

[R1-11] 熱水性シリカ脈に付随する種々の有機鉱物類の成因と生成メカニズム

*田中 陵二^{1,2}、井上 裕貴³、石橋 隆⁴、萩原 昭人 (1. 相模中央化学研究所、2. 東海大理、3. 九大院理、4. 阪大総合博)

[zoom] Zoom

グリーンランド産ルビーとモンタナ産サファイア; LA-ICP-MSを用いた微量元素分析と原産地鑑別

Greenland Ruby and Montana Sapphire; Trace element analysis using LA-ICP-MS and Origin determination

*江森 健太郎¹、北脇 裕士¹

*Kentaro EMORI¹, Hiroshi Kitawaki¹

1. 中央宝石研究所

1. Central Gem Laboratory

宝石鉱物は母岩や産出環境といった地質学的な環境情報を保持している。宝石鉱物の構成成分の分析は、その母結晶の地質環境、産状を特定することに繋がるため、原産地鑑別における重要な情報となる。

LA-ICP-MS(レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析装置)は、コランダムのBe拡散加熱処理の看破や、各種宝石鉱物の原産地鑑別等に用いられている。宝石鑑別における分析は、非破壊分析が基本であるが、LA-ICP-MSで分析を行う際の分析痕(半径15~80 μm)は10倍のルーペで視認困難であることから準非破壊分析として宝石分野では定着している。

筆者らは2015年日本鉱物科学会一般講演会にてLA-ICP-MSを用いた宝石コランダムの原産地鑑別について発表を行っており、その後もLA-ICP-MSを用いた原産地鑑別の研究を継続的に行っている。今回は最近新たに流通がはじまったグリーンランド産ルビーと、国内での流通量が増えつつあるアメリカ合衆国モンタナ州産(以下モンタナ産)ブルーサファイアを対象に検討を行った。

グリーンランドにおいては1966年に南西海岸でルビーとピンクサファイアが回収された。その後、2014年True North Gems Inc.がAaappaluttoq鉱床地域でのコランダムの採掘ライセンスを得、ルビーとピンクサファイアの最初の販売が2017年にスタートした。Aaappaluttoqの岩石は高温高圧の変成作用を受けており、最近の研究(Polat et al., 2010)によると地質年代は約29億年であることが示唆されている。このことから、グリーンランド産ルビーは「最古のルビー」と呼ばれている。小粒で品質が中~低のものが多く、タイで硼砂を用いた熱処理が行われているものが殆どである。

一方、アメリカ、モンタナ州から採掘されるサファイアにはヨーゴ峡谷産の一次鉱床のものとミズーリ河流域産の二次鉱床のものがある。ヨーゴ峡谷のコランダムの鉱山は現在閉山状態にあり、近年国内市場で多くみられるものは後者のミズーリ河流域で採掘されるサファイアである。ミズーリ河流域でのコランダムの採掘は1800年代後半より採掘がはじまり1930年代後半まで続いた。そして2011年Potentate Mining社がロッククリック鉱山を含むジェムマウンテン地域の北部の採掘権、2014年には南部を購入し、商業的な採掘が再スタートした。ヨーゴ峡谷産はランプロファイアを母岩とするが、ミズーリ河流域で採掘されるサファイアは二次鉱床ということもあり、母岩や生成環境等は未だ論争中である。モンタナ産サファイアは色が薄いものが多く、加熱処理が施されるものがほとんどである。

分析に用いたLA-ICP-MS装置は、レーザーアブレーション装置としてESI UP-213、ICP-MS装置としてAgilent 7900rbを使用した。サンプルはグリーンランド産ルビー9点、モンタナ産ブルーサファイア45点を分析に用いた。グリーンランド産のルビーについての微量元素組成は、変成岩起源のルビーと一致し、特にMg, Ti, Fe, Gaの濃度範囲がモザンビーク産ルビーと類似する。しかし、Vの量がモザンビーク産よりわずかに多く両者を分別することが可能であることがわかった。また、モンタナ産ブルーサファイアについては変成岩起源と玄武岩起源のコランダムの中間的組成を示す。しかし、変成岩起源のサファイアと比較するとFeが多く、玄武岩起源と比較するとGaが少ないという特徴が見いだされた。

LA-ICP-MS法を用いた微量元素測定による原産地鑑別は一部データがオーバーラップする部分もあり、詳細な内部特徴の観察や標準的な宝石学特性を併用し相互補足的に用いられるべきである。

キーワード：コランダム、LA-ICP-MS、グリーンランド、モンタナ、原産地鑑別
Keywords: Corundum, LA-ICP-MS, Greenland, Montana, Origin determination

スカルンと蛇紋岩起源のアンドラダイト・ガーネットの変種デマントイドの微量化学元素の比較研究

Comparing study of trace element chemistry of skarn hosted and serpentinite hosted demantoid, a variety of andradite garnet

*阿依 アヒマディ^{1,2}

*Ahmadjan ABDURIYIM^{1,2}

1. Tokyo Gem Science(合同)、2. GSTV宝石学研究所

1. Tokyo Gem Science LLC, 2. GSTV Gemological Laboratory

アンドラダイトの変種であるデマントイドガーネットは、スカルン宿主型と蛇紋岩宿主型の二つのグループに大きく分けることができる。後者のグループでは、ロシアのウラル山脈のTagil地区のNizhny鉱山とイタリアのVal Malenco鉱山は代表的な産出地であったが、イランのケルマーン州やパキスタンのハザラ地区のカガン渓谷地域は新たな供給源となった。これらのデマントイドを含んでいる蛇紋岩層は、超苦鉄質な母岩の比較的低程度の熱水/変成交代作用によるものです。枯渇になったロシアのNizhny鉱山から200km離れたKorkodinとPoldnevaya地域から新たにデマントイドが発見され、Korkodin鉱山では褐色味の強い緑色が多く産出され、加熱の対すようになります。Poldnevaya鉱山のものは褐色味が少なく、明るい緑色を呈したデマントイドを加熱処理しないで国際マーケティングに提供しています。また、パキスタンのBaluchistan州のKhuzdar地域の新しい鉱床から産出されたデマントイドが、やや薄く、黄緑色から緑色の範囲で、ロシア産デマントイドと同様に美しい繊維状のChrysotile(クリソタイル)が含まれ、蛇紋岩起源であることを確認した。顕微鏡拡大検査では、クリソタイルの繊維状内包物は結晶面に向かって放射状に広がります。多くのサンプルの中心部には、黒色不透明なクロマイトも観察され、蛇紋岩ホストのデマントイドで一般的に観察されるインクルージョンと同様であることを再度確認できている。本研究では、両国の新鉱山からサンプルを入手し、そして同蛇紋岩起源であるイラン産、イタリア産のデマントイドと、スカルン起源であるナミビア産、マダガスカル産デマントイドと比較研究を行い、内包物の種類、緑色の主な発色元素であるクロムの含有量、その他の特異な微量元素の分布などについて詳細に調べた。蛇紋岩起源のデマントイドに結晶周囲へ放射状に分布したクリソタイル以外に黒色クロマイトがよく含まれ、唯一パキスタン産サンプルにクロマイトの代わりにマグネタイトが存在したことが初めて分かった。スカルン起源のデマントイドにこのよう内包物がなく、wollastonite(珪灰石)、diopside(透輝石)の集合体、成長管などが含まれている。レーザーアブレーション-誘導結合プラズマ-質量分析(LA-ICP-MS)分析では、イラン産デマントイドには数千ppmの高含有量のCrが検出され、その次はロシア産、パキスタン産とイタリア産の順になっている。しかし、Crが10 ppmを下回るものもあり、その含有量はスカルン起源のデマントイドと同範囲を示した。そのような低Cr含有の蛇紋岩起源のデマントイドとCrに乏しいスカルン起源のデマントイドをさらに分析し、その他の微量元素の分布を比較した結果、スカルン起源では高いGaが検出され、両者を明確に識別することができた。また、同蛇紋岩起源の四か国からのデマントイドと、スカルン起源の二か国のデマントイド同士を比較し、それぞれ識別できるケミカルフィンガープリンクのダイヤグラムを確立した。

キーワード：デマントイド、スカルン起源と蛇紋岩起源

Keywords: demantoid, skarn hosted and serpentinite hosted



希少な宝石品質の青緑色と緑青色のアイイン

Rare gem-quality blue-green and green-blue haüyne

*趙 政皓¹、北脇 裕士¹、岡野 誠¹、小松 一生²

*Zhenghao Zhao¹, Hiroshi Kitawaki¹, Makoto Okano¹, Kazuki Komatsu²

1. 中央宝石研究所、2. 東大・院理

1. Central Gem Laboratory, 2. Sci. UTokyo

アイインはソーダライトグループに属する立方晶系の準長石鉱物の一種であり、理想的な化学組成は $\text{Na}_3\text{Ca}(\text{Si}_3\text{Al}_3)\text{O}_{12}(\text{SO}_4)$ となる。鉱物学的には青、白、黒、緑、黄、赤、無色などのものが知られているが、宝石として一般に流通しているものは鮮やかな青色を呈するもので、その多くはドイツ西部のアイフェル地域産である。アイフェル地域のアイインはフォノライトマグマから結晶化したものとされており、サニディン、ノゼアン、ネフェリンなどと共生している。今回、写真に示すようなアフガニスタン産の青緑色と緑青色のアイインを検査し、色の原因について検討を行ったので報告する。

本年2月、筆者らは青緑色(0.860 ct)と緑青色(0.873 ct)の原石2点を検査した。試料の提供者によると、アフガニスタンのバダフシャー地域で“ラピスラズリ”(ラズーライト、 $\text{Na}_7\text{Ca}(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})(\text{S}_3)\cdot\text{H}_2\text{O}$)やソーダライト($\text{Na}_4(\text{Si}_3\text{Al}_3)\text{O}_{12}\text{Cl}$)が採掘される鉱山の近辺から新しく産出したものであり、“ハックマナイト”(フォトクロミズムを示すソーダライト)だと思われていたらしい。バダフシャー地域は古くから“ラピスラズリ”の有名な産地であり、ラズーライトを始め、アイイン、ソーダライト、アフガナイトなど多種多様な準長石鉱物を産出している。原石のまま予備的に蛍光X線分析を行った結果、硫黄の含有量が高く、塩素の含有量が低い。ため、“ハックマナイト”と短絡的な結論は得られないことがわかった。そのため、これらの原石の正確な鉱物種を明らかにすることを目的に分析を行うこととした。

本研究では、多種多様な準長石鉱物の可能性を考えるため、最初に単結晶X線回折分析を行った。その結果、2点の原石試料は立方晶系に属することが確認できたが、変調構造であったため、詳細を明らかにするには至らなかった。ただ、他の結晶系に属する準長石鉱物を排除できたため、ソーダライトグループに絞り込めた。その後、2点の原石を研磨して平滑な面を作成し、CGLが所有するファセット加工された鮮やかな青色のアイインとソーダライトのサンプル2点ずつと比較分析を行った。検査試料の屈折率は2つとも1.496であり、CGLのアイインは1.494と1.499、ソーダライトは1.480と1.485であった。蛍光X線元素分析の結果により、原石試料の化学式は2点とも $\text{Na}_{3.3}\text{Ca}_{0.7}(\text{Si}_{2.9}\text{Al}_{3.1})\text{O}_{12}(\text{SO}_4)_{0.9}\text{Cl}_{0.1}$ になった。

赤外反射スペクトルとラマンスペクトルはアイインのスペクトルと一致し、ソーダライトのスペクトルとは相違していた。以上の分析結果から、“ハックマナイト”いわれていた2点の原石はアイインであると結論付けられた。しかし、一般に市場に流通するアイインもCGLの試料も鮮やかな青色を呈しており、本研究に用いた2点の原石は明らかに色調が異なっている。そのため、続いてこの色の違いについての検討を行った。

N. V. Chukanov et al. (2022)によると、緑色を呈するソーダライトグループ鉱物の色の原因は基本的に黄色の発色団 S_2^- と青色の発色団 S_3^- の2種類のラジカルイオンである。本研究に用いた原石サンプルのラマンスペクトルは、2点とも S_3^- によるピークが確認されたが、青緑色のサンプルのスペクトルのみ S_2^- によるショルダーが確認できた。また、CGLのサンプルからは S_2^- による吸収を確認できなかった。一方、紫外可視吸収スペクトルにおいて2点とも S_2^- 関連の400 nm中心吸収と S_3^- 関連の600 nm中心吸収が確認できた。しかも、400 nm中心吸収が明らかに600 nm中心吸収よりも強くなっていた。CGLのサンプルからは400 nm中心吸収はほとんどなかった。

D. M. Kondo et al. (2008) はバダフシャー産ターコイズ色のアイインについて報告しているが、その産状については言及しなかった。ただし、バダフシャーのラピスラズリはスルカンから産出すると報告され、本研究で測定したアイインも同じ母岩から産出される可能性が高いと考えられる。発色団 S_2^- と S_3^- は安定な温度領域が異なり、700 °Cを超えると S_3^- が優勢になる。一般的な宝石品質の鮮やかな青色のアイインは800 °Cも

超えるフォノライトマグマに由来し、今回の検査試料はより温度の低いスカルンで生成したと推定することができ、両者の地質学的な生成温度の違いがこれらの色の相違を生み出したのかもしれない。

キーワード：アウイン、ソーダライト、単結晶X線回折、蛍光X線、分光法

Keywords: Haüyne, Sodalite, Single Crystal X-Ray Diffraction, X-Ray Fluorescence, Spectroscopy



希少な赤色 “マスグラバイト” の名称と宝石鑑別

The nomenclature and gem identification of unusual red “musgravite”

*北脇 裕士¹、趙 政皓¹、江森 健太郎¹、岡野 誠¹、間中 裕二¹、海老坪 聡¹

*Hiroshi KITAWAKI¹, Zhenghao Zhao¹, Kentaro Emori¹, Makoto Okano¹, Yuji Manaka¹, Satoshi Ebitsuho¹

1. 中宝研

1. CGL

宝石の中古市場にルビーとして流通していた赤色石を鑑別した結果、きわめて希産な赤色の “マスグラバイト” であることが分かった。“マスグラバイト” はIMAに登録されている鉱物名としてはMagnesiotaaffeite-6N' 3S ($Mg_2BeAl_6O_{12}$:三方晶系) であるが、宝石としては伝統的に “マスグラバイト” と呼ばれている。類縁の希少宝石 “ターフェアイト” よりもさらに希産で、コレクターの垂涎的となっている。宝石として “ターフェアイト” と呼ばれているMagnesiotaaffeite-2N' 2S、($Mg_3BeAl_8O_{16}$:六方晶系) と “マスグラバイト” は共にターフェアイト・グループの鉱物で、ほぼ重複する特性値と類似する化学組成を有するため、その鑑別は宝石学の課題のひとつとなっている。“ターフェアイト” は1945年にファセットカットされた宝石の鑑別中に見つかった。宝石から新種の鉱物種が発見された初めての例であった。1981年には赤色の “ターフェアイト” とされていた石が調べられた結果、“ターフェアイト” とは異なる新種の鉱物 Taprobaniteとして記載された。しかし、その後、オリジナルの “ターフェアイト” の化学組成の記載に誤りがあったことがわかり、Taprobaniteはオリジナルの “ターフェアイト” と同種の鉱物とみなされた。それにより、IMAのCNMMNは “ターフェアイト” に名称の優先権があるとしてTaprobaniteは削除された。1967年に発見された “マスグラバイト” は当初 “ターフェアイト” のポリタイプと考えられていたが、1981年に独立種とされた。しかしながら、2002年に “マスグラバイト” と “ターフェアイト” はPolysomeであり、前者はMagnesiotaaffeite-6N' 3S後者はMagnesiotaaffeite-2N' 2Sとされることになった。鉱物の同定には伝統的にX線粉末回折分析などの手法が利用されているが、宝石鑑別では非破壊という大きな制約がある。特に希少宝石の場合、分析のために粉末を削り取るということが許されない。本研究では、標準的な宝石学的検査に加えて紫外-可視反射スペクトル、蛍光X線元素分析、ラマンスペクトル、赤外反射スペクトルおよびフォトルミネッセンス・スペクトルによる同定を行った。図1に示すように検査石は重さ1.593ct (1ct=0.2g)、サイズ6.33×5.80×5.03mmでファセットカットが施されていた。ファセットエッジは一部破損および摩耗しており、長い期間鑑別されずに見ただけでルビーと思われていたようである。しかし、屈折率はルビーの1.76-1.77と異なり、1.715-1.721で複屈折量は0.006であった。さらにシャドーエッジの動きと干渉像から一軸性負号であることが確認できた。通常光では紫赤色、異常光では黄赤色の明瞭な多色性が見られた。また、比重は3.60であった。紫外線下ではルビーと同様の鮮やかな赤色の蛍光を示した。宝石顕微鏡による包有物の観察において特筆すべきものは見られず、主軸の対称性を示唆する痕跡も認められなかった。蛍光X線元素分析の結果、二価金属酸化物のモル分数の合計 $\sum XO \text{ Mol}\%$ ($X = Mg, Ca, Mn, Fe, Zn$) = 40.25%となった。マスグラバイトは2価と3価の金属酸化物の比率は2:3でターフェアイトは3:4であり、この二価金属酸化物のモル分数の合計値はマスグラバイトであることを示唆している。ラマンスペクトルでは、409、441および489 cm^{-1} 付近の3つのピークは明瞭に分離しており、574 cm^{-1} 付近にピークが見られるが、767 cm^{-1} 付近のピークが見られない。これらの特徴はターフェアイトではなく、マスグラバイトと考えられる。また、赤外反射スペクトルやフォトルミネッセンス・スペクトルもマスグラバイトの特徴に一致した。マスグラバイトは希少性の高い宝石である上、鮮やかな赤色を呈するカット石は筆者らの知る限りこれまで報告された例がない。“ターフェアイト” が初めて発見されたのも宝石の鑑別においてであり、今後も日常の鑑別において新たな珍しい宝石鉱物が見いだされるかもしれない。

キーワード：マスグラバイト、蛍光X線元素分析、ラマンスペクトル、赤外反射スペクトル

Keywords: Musgravite, EDXRF, Raman spectrum, Infrared spectrum



マダガスカル産天然サファイア中のナノインクルージョン

Nno-inclusion in blue sapphire from Diego, Madagascar

*三宅 亮¹、乙 星華¹、伊神 洋平¹、埋橋 淳²、大久保 忠勝²、北脇 裕士³、江森 健太郎³*Akira MIYAKE¹, Seika oto¹, Yohei Igami¹, Jun Uzuhashi², Tadakatsu Ohkubo², Hiroshi Kitawaki³, Kentaro Emori³

1. 京都大学、2. 物質・材料研究機構、3. 中央宝石研究所

1. Kyoto Univ., 2. NIMS, 3. CGL

【はじめに】サファイアという宝石名で一般的に広く知られているコランダム (Al_2O_3 , Crn) には、しばしば針状のルチル (TiO_2) がインクルージョンとして含まれる。しかし、マダガスカル産の天然サファイア中では、ルチルとは異なるナノインクルージョンが発見されている (Shen et al., 2012; 江森ほか, 2018)。Shen et al. (2012)は、イラカカ産非加熱サファイア中のBe, Ti, Nb, Taを微量に含む雲状に濁った箇所からナノインクルージョンを観察し、長さ20~40 nm、幅5~10 nmで、 α - PbO_2 構造をもつTi-richな単一相 (スリランカイト, Sri) であると報告した。江森ほか(2018)も、Be, Ti, Nb, Taを微量に含むディエゴ産天然サファイア中にTi, Nb, Taを含む長さ40 nm、幅10 nm程度のナノインクルージョンを発見し、組成がBe: Ti : Nb : Ta = 3 : 16 : 1 : 4の未知の鉱物である可能性があった。本研究では江森ほか(2018)で報告したナノインクルージョンについて、さらに詳細な観察をおこなったので、その結果について報告を行う。

【試料と手法】本研究では、江森ほか(2018)で使用した天然Beを含有するマダガスカル・ディエゴ産非加熱ブルーサファイア原石サンプルを用いた。このサンプルは、江森ほか(2018)の分析により、Beの濃度が検出限界未満~14.16 ppmwであり、LA-ICP-MSを用いて分析が行われている。その結果BeとNb, Taには非常によく相関関係が認められるが、Tiとは相関関係が認められなかった。この試料のうちBeが一番高濃度であった付近で、FEI (Thermo Fisher scientific) 社Helios G3 CXを用いてFIB加工を行いコランダムの[001]方向からの試料を作製し、JEOL JEM-2100Fを用いてTEM観察を行った。さらに、FEI (Thermo Fisher scientific)社Helios G4 UXを用いてFIB加工を行い、アトムプローブ (AMETEK CAMECA社 LEAP-5000XS) を用いて、3Dアトムプローブ分析を行った。【結果】TEMによるHAADF-STEM観察により、直径20~30 nmの円形のナノインクルージョンが観察された。STEM-EDSによるマッピング、分析を行った結果、ナノインクルージョンからはTi, Nb, Sn, Taが検出された。Beの有無はEDSでは測定できないので不明であったが、アトムプローブを用いた分析の結果、インクルージョン中にTi, Fe, Nb, Taが含まれていることがわかった。さらにBeはインクルージョンの周辺に濃集していることがわかった。

【考察】電子回折図形を指数付けした結果、スリランカイト (Sri: $(\text{Zr, Ti})\text{O}_2$) の TiO_2 端成分でのみ説明可能な図形で、他の TiO_2 相 (ルチル、アナターゼ、ブルッカイト、赤萩石等) では説明がつかなかった。また、4D-STEM (Diffraction Mapping) の結果、3つの方位を有したスリランカイトが三連双晶していることが分かった。全てのナノインクルージョンのスリランカイトと母相であるコランダムの間には $\{010\}_{\text{Sri}} \parallel \{10\cdot10\}_{\text{Crm}}$ 、 $\{100\}_{\text{Sri}} \parallel \{0001\}_{\text{Crm}}$ 、 $\{001\}_{\text{Sri}} \parallel \{1\cdot210\}_{\text{Crm}}$ の方位関係が得られた。ナノインクルージョン相と母相がトポタキシャルな関係であり、ナノインクルージョンがコランダムから析出してできたことを示唆する。Xiao et al. (1997) の実験では1300°C から10時間かけて徐冷することで、サファイア中にスリランカイトの析出物を得たことから、サンプル中のナノインクルージョンは準安定相としてコランダム中に析出し、 α - PbO_2 構造を保ったまま冷却され地上に産出したと考えられる。また、Beは、その際に母相であるコランダムとスリランカイトの格子のわずかとはいえ存在するミスフィットからその界面に濃集していると考えられる。

Shen A. & Wirth R., (2012). *Gems & Gemology*, 48(2), 150-151 江森健太郎, 北脇裕士, 三宅亮 (2018) GCL通信, 45号, 1-8 Xiao S. Q., Dahmen U. and Heuer A. H. (1997) *Philosophical Magazine A*, 75 (1), 221-238

キーワード：コランダム、スリランカイト、透過型電子顕微鏡、3Dアトムプローブ

Keywords: corundum, srilankite, transmission electron microscope, 3D atomprobe

岐阜県中津川市蛭川産columbite supergroupの高分解能STEM観察

HRSTEM observation of columbite supergroup from Hirukawa, Nakatsugawa, Gifu Prefecture, Japan

*小暮 敏博¹、坂野 靖行²、奥村 大河¹*Toshihiro KOGURE¹, Yasuyuki Banno², Taiga Okumura¹

1. 東大・院理、2. 産総研

1. Univ. Tokyo, Sci, 2. AIST

Columbite supergroupは、以下のような構造的特徴をもつ酸化鉱物群である(Chukanov et al., 2023).

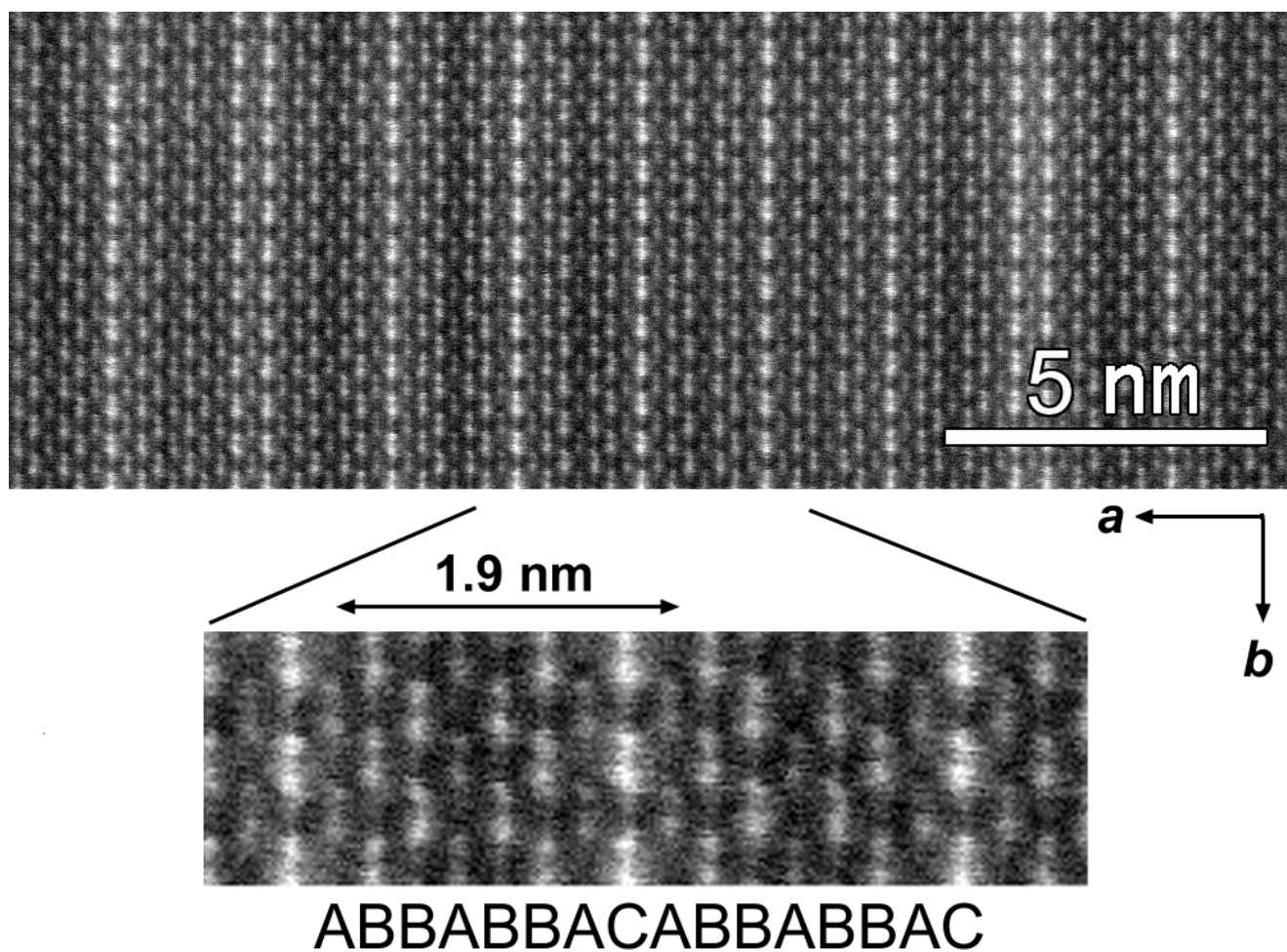
- ・その組成式は MO_2 と概略できる.
- ・酸素の六方最密充填(*hcp*)を構造の基本とする.
- ・*M*は*hcp*の八面体の隙間に入り、6配位 (*M*のイオン半径によっては8配位に近づく) を取る.
- ・この八面体は稜共有をしてジグザグ鎖を形成する.

ここで*M*は6配位に適したイオン半径をもつ金属イオンを表す. 今回我々は花崗岩ペグマタイト中で見つかった、中心から周囲に向かってほぼ連続的に組成が変化するcolumbite supergroupと考えられる酸化鉱物(Fe, Mn, Sc, W, Nb, Ta) O_2 の結晶構造を、主に電子回折と高分解能STEM観察によって明らかにした. 試料は岐阜県中津川市蛭川産花崗岩ペグマタイトの曹長石中に埋没して産出した、長さ30~900 μm 、幅10~100 μm の黒色不透明の針状結晶であり、その組成的特徴は昨年の本学会で報告した(坂野, 2022). SEM-BSE像では中心部に非常に輝度の高い部分があり、その周囲や結晶先端では相対的に輝度の低い部分が観察される. 前者をコア、後者をマントルと呼ぶことにする. まずは電子後方散乱回折(EBSD)を用いて岩石薄片中のこの結晶の方位を調べ、集束イオンビーム(FIB)でTEM観察用薄膜を切り出すときに、直方晶系の*a*軸に垂直な結晶軸からのTEM観察をするためのFIB試料作製手順を検討した(Kogure et al., 2014). 尚、得られたEBSDは、コアとマントル間での大きな組成の違いにもかかわらず同様なパターンを示した. 高分解能STEM観察は、冷陰極電界放射銃と球面収差補正付き収束レンズを備えたJEOL ARM-200Fを用いて行なった. 今、(Fe, Mn)²⁺-Oの八面体鎖をA、(Nb, Ta)⁵⁺-Oの八面体鎖をB、W⁶⁺-Oの八面体鎖をCとすると、*a*軸方向の配列(2周期分で表示)はwolframiteではACAC、columbiteではABBABBとなる. コアの部分はNb/Wの原子比が約1/3であるにも拘わらず、電子回折及び環状暗視野(ADF)像よりcolumbiteの構造の混入がまったく見られないwolframiteとなっていることを確認した. 一方、コアに近いマントルからの*c*軸方向からのADF像には、そのコントラストからqitianlingiteとして報告されているABBACABBACと推定される約1.19 nm周期の長周期構造が頻繁に観察された. またこの領域からの制限視野回折(SAD)は、qitianlingiteとwolframiteのパターンの重ね合わせでほぼ説明できた. さらに、コアから離れた針状結晶先端のマントル部分ではABBABBACABBABBACと推測される約1.9 nmの長周期構造が頻繁に観察され(Fig. 1), SADの*a*軸方向にもこの周期が確認できた. このようなcolumbite supergroupの結晶内の組成変化に伴う構造のバリエーションは、(Fe, Mn)WO₄のwolframiteの構造には価数の異なるNb⁵⁺が容易に固溶するのに対して(その電荷補償機構については今後検討していく)、(Fe, Mn)Nb₂O₆のcolumbite構造には価数の大きいW⁶⁺はまったく固溶しないためcolumbiteとwolframiteとの混合構造あるいは長周期構造を取るといふ仮説で説明できる.

(Figure Caption)

Fig. 1. Cs-corrected STEM-HAADF image of the crystal along [001], showing a long-period stacking sequence along the *a*-axis. In the figure, A, B and C represent the positions of (Fe, Mn)-, Nb- and W-dominant cation columns, respectively, observed as bright spots in the image (see the text for the detail). The image was modified to delete distortion caused by specimen drift and suppress the quantum noise using proper filtering.

キーワード : columbite group、wolframite、qitianlingite、走査透過型電子顕微鏡、制限視野回折
Keywords: columbite group, wolframite, qitianlingite, STEM, selected area diffraction



位置分解電子回折による天川村産イリデッセントガーネットの局所対称性決定

Determination of local symmetry within the iridescent garnet from Tenkawa by spatially-resolved electron diffractometry

*伊神 洋平¹、三宅 亮¹

*Yohei IGAMI¹, Akira Miyake¹

1. 京大・院理

1. Kyoto Univ. Sci

天然に産するグラウンダイト系列ガーネット($\text{Ca}_3[\text{Fe}^{3+}, \text{Al}^{3+}]_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$)の中には稀に遊色により表面が虹色に輝くもの(イリデッセントガーネットと呼ばれる)があり、国内では奈良県天川村からの産出報告がある[1]。天川村産ガーネット内部にはAlに富む領域とFeに富む領域とがなす数百nm周期の交互層(fine lamellae)組織が存在することが知られ、表面の遊色の原因となっている[1]。このガーネットは偏光顕微鏡クロスニコル下で干渉色を示すこと(光学的異方性)から、対称性が一般のガーネット(空間群 $la-3d$)から低下していることが知られ、その構造決定を目指して研究が進められてきた。Nakamura et al. [2]は、単一成長セクターから試料を切り出した単結晶X線回折実験で得られた平均構造と透過型電子顕微鏡(TEM)観察とを組み合わせることでAl-rich fine lamellae領域でのAl/Feの配列秩序を示し、また消滅側を破る反射の出現から空間群として $I-1$ を提示した。他の低対称ガーネットの研究でも $I-1$ の報告は多い[e.g., 3]。しかし、特に天川村産ガーネットは上述のように明らかに結晶内部で不均質性を示しており、各領域の低対称構造を正確に決定するのはそれほど容易ではない。例えば単一成長セクター内で双晶が生じている可能性を考えると[4]、格子の変化がわずかな場合には回折学的データだけからの解釈は大変困難で、顕微的な側からも研究を進めることが重要となる。これらを踏まえて本研究では、TEM装置で行う4D-STEM法を用いたナノオーダー位置分解電子回折実験により、天川村産イリデッセントガーネットのfine lamellae組織周辺の局所空間群の評価を行った。4D-STEMはナノ電子プローブを試料上で二次元スキャンし、各グリッド点における回折信号を網羅取得する手法である[5]。本研究では準平行ビームを用いることで、 ~ 10 nmの空間分解能と消滅側を破る微弱な回折スポットの検出とを両立した。試料には、天川村産ガーネット単結晶(001)面薄片から、fine lamellae面の(1-10)に垂直な(110)面薄膜および(001)面薄膜を集束イオンビーム装置により作成した。

4D-STEMによる位置分解電子回折実験の結果、Al-rich領域から $la-3d$ の消滅側を破る1-10反射の出現を捉えた。さらに極微弱な002反射が出現する領域も検出したが、Al-rich領域と空間的に明確な一致はしなかった。Al-rich領域内からの回折信号のみを積算した回折図形を構築し、動力学回折計算[6]結果とも比較して、対応する空間群を $la-3d$ の部分群の中から絞り込んだ。また、同じ4D-STEMデータを用いて各回折図形の回折スポット位置から二次元格子歪みの分布を可視化したところ、Al-rich領域でfine lamellae面の垂直方向のみに数%の格子収縮が見られた。さらに、[110], [111], [11-1], [001]方位の空間分布を可視化したところ、Al-rich領域とFe-rich領域との間で方位変化がみられるだけでなく、Al-rich領域内でも方位差が確認でき、Al-rich領域が二領域に分類されることが分かった。単一のAl-rich fine lamellae領域内で低対称相が異なる方位で共存していることは、単結晶X線回折データを解釈する上でも重要な情報になると考えられる。以上の消滅側を破る反射・二次元格子歪み・軸方位変化のデータを統合した考察によれば、各領域の対称性は $I-1$ よりも高い可能性がある。

引用文献 [1] 下林ほか, 日本鉱物科学会年会80 (2005). [2] Nakamura et al., J. Mineral. Petrol. Sci., 112, 97 (2017). [3] Nakamura et al., J. Mineral. Petrol. Sci., 111, 385 (2016). [4] Xu et al., Am. Mineral., 108, 572 (2023). [5] Ophus, Microsc. Microanal. 25, 563 (2019). [6] Seto & Ohtsuka, J. Appl. Crystallogr. 55, 397

(2022).

キーワード：イリデッセントガーネット、局所対称性、電子顕微鏡、4D-STEM

Keywords: iridescent garnet, local symmetry, electron microscopy, 4D-STEM

兵庫県琢美鉱山から産するデュモルチ石及び電気石について

Dumortierite and tourmaline from the Takumi Mine, Hyogo Prefecture, Japan

*白勢 洋平¹、上世 莉可子¹、西田 勝一、藤原 由輝

*Yohei SHIROSE¹, Rikako KAMISE¹, Katsuichi NISHIDA, Yoshiteru FUJIWARA

1. 愛媛大・理

1. Ehime Univ. Sci.

【はじめに】

デュモルチ石は $\text{AlAl}_6\text{BSi}_3\text{O}_{18}$ の理想化学組成を持ち、アルミニウムに富む変成岩やペグマタイトなどから産するが、本邦ではろう石鉱床中からの産出が特徴的である。また、中でも福島県月形鉱山、群馬県四万鉱山、栃木県百村、山梨県京ノ沢などではフォイト電気石や苦土フォイト電気石組成となる繊維状の電気石が共に産出することが報告されている（中村・上野, 1960; 吉田, 1966; 松原ら, 1994; Hawthorne et al., 1999; 吉川ら, 2010）。上記のろう石鉱床中のデュモルチ石はいずれも青～紫色であるが、本報告の兵庫県琢美鉱山産のデュモルチ石は断層に伴うセリサイト鉱床中からの産出であり、桃色を呈している。また、共生する繊維状電気石はフォイト電気石、苦土フォイト電気石に加え、酸化フォイト電気石、“苦土フォイト電気石のoxy-type置換体”といったアルミニウムとX席に空位を多く含む電気石種であった。本研究では兵庫県琢美鉱山から産するデュモルチ石及び電気石の産状及び鉱物学的な特徴を報告する。

【産状・試料】

琢美鉱山は、兵庫県中部神河町の砥峰高原の西部に位置し、古くは銅を、大昭から昭和初期にかけては砒素を目的として稼行されていた（橋本・松内, 2011）。鉱床は、上部白亜系峰山層への花崗閃緑岩の貫入に伴い胚胎した熱水鉱脈鉱床であり、断層破碎帯中の粘土脈中に硫化鉱を伴う。粘土脈は主にセリサイトからなり、周囲の珪質な母岩もセリサイト化作用を受けており、細粒な黄鉄鉱や硫砒鉄鉱が形成されている。デュモルチ石は桃色塊状の集合として産出し、硫砒鉄鉱、黄銅鉱や細粒な白雲母、電気石を伴う。電気石は硫砒鉄鉱やデュモルチ石に伴う細粒なものや、幅1 mm程度の黒色～無色の脈状のものが産出する。

【実験手法】

観察、分析にはJEOL製走査型電子顕微鏡JSM-6510LV及びRIGAKU製粉末X線回折装置Ultima IVを用いた。

【結果・考察】

粘土脈の大部分は細粒なセリサイトであり、自形の硫砒鉄鉱、黄鉄鉱、鋭錐石を伴う。硫化鉱は、硫砒鉄鉱、黄銅鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、輝蒼鉛鉱、未同定Bi鉱物などからなり、二次鉱物として含亜鉛亜砒藍鉄鉱、未同定砒酸塩鉱物が産出する。これらの鉱物については今後さらなる研究を行う予定である。

デュモルチ石は長さ0.2-1 mm、幅0.5 mm程度の柱状結晶が放射状に集合しており、鏡下で観察すると結晶内で無色～赤色のカラーゾーニングを有し、多色性を持つ。0.5 mm以下の細粒な白雲母を伴い、自形の硫砒鉄鉱を密接に伴うことがある。化学組成としては微量の鉄、チタンを含み、 $\text{Fe}^{2+} = 0.00-0.05$, $\text{Ti} = 0.04-0.20$ (apfu)となり、無色部に比べ赤色部はチタンをやや多く含む傾向にある。呈色の要因として、 $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Ti})$ の値が高いと青色、低いと桃色を呈することが報告されており（Alexanders et al., 1986）、琢美鉱山産デュモルチ石においては $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Ti}) < 0.2$ となるものがほとんどであり、他の粘土鉱床に比べ低い値を示す。晶出の際に、硫砒鉄鉱の晶出により鉄が消費されることもその組成に影響を与えていると考えられる。

電気石は鏡下で無色、深緑色、褐色であり、ゾーニングが顕著である。X席はNaに富むものから空位に富むものまで連続的な組成変化を示し、 $\text{NaM}^{2+}-\square\text{Al}$ 置換と $\text{NaM}^{2+}_2(\text{OH})-\square\text{Al}_2\text{O}$ 置換が生じている。鉱物種としては鉄電気石、苦土電気石、フォイト電気石、苦土フォイト電気石、酸化フォイト電気石、“苦土フォイト電気

石のoxy-type置換体”からなる。“苦土フォイト電気石のoxy-type置換体（□-Mg-O root name; □MgAl₂Al₆Si₆O₁₈(BO₃)₃(OH)₃O; Henry et al., 2011)”は鉱物種としての報告は未だなされていないが， Dutrow & Henry (2016)は， もともとHwathorne et al., (1999)により報告された京ノ沢産の“苦土フォイト電気石”がこれに該当するのではないかと示唆している。

琢美鉱山では，粘土脈を形成するようなアルミニウムに富む鉱化流体にホウ素に富む流体が混合した結果， デュモルチ石やアルミニウムに富む特徴的な電気石が形成されたと考えられる。

キーワード：デュモルチ石、電気石、琢美鉱山、フォイト電気石、苦土フォイト電気石

Keywords: dumortierite, tourmaline, Takumi Mine, foitite, magnesio-foitite

口頭講演

R1：鉱物記載・分析評価（宝石学会(日本)との共催セッション）

座長:北脇 裕士(中央宝石研究所)、黒澤 正紀(筑波大学)、坂野 靖行(産総研)

2023年9月14日(木) 13:30 ~ 16:30 820 (杉本キャンパス)

[座長]

北脇 裕士:R1-01~R1-03

黒澤 正紀:R1-04~R1-07

坂野 靖行:R1-08~R1-11

15:30 ~ 15:45

[1Lecture-101-11-9add]休憩

福岡市西区長垂地域の産出鉱物

Minerals from Nagatare area, Fukuoka

*上原 誠一郎¹

*Seiichiro UEHARA¹

1. 九州大学・博物館

1. Kyushu Uni. Museum

1. はじめに

2023年に福岡石の会は創立90周年を迎えました。その記念事業の1つとして5月13日-21日に福岡市科学館主催の「はっけん！福岡のすごい石展」を特別協力で開催しました。この展覧会では福岡市科学館に保管されている福岡市天然記念物「長垂のリチウムペグマタイト鉱物標本522点」の中から代表的な標本約70点を中心に展示しました。また、5月13日に福岡市科学館のサイエンスホールで福岡石の会90周年事業で記念式典・記念講演会、14日に「福岡石の会ONEDAY博物館～身近な鉱物の世界～」のイベントを開催し、会期中に約5800名の来場者がありました。このイベントで科学館所有の長垂標本を含め既採集標本の再検討および文献調査を行い、長垂地域で約100種類の鉱物が産出していることが明らかになりました。ここではその再検討の結果と産出鉱物とその特徴について報告します。

2. 試料および実験

試料は科学館所有及び既採集の長垂標本で、また、今回、天然記念物指定地域のペグマタイト岩脈の現状変更の際に出た試料と蛇紋岩分布地とその周辺の野外調査を行い、分析試料に加えた。一部薄片を作成し、肉眼及び偏光・反射顕微鏡観察を行った。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、微細組織観察には九州大学理学部地球惑星科学教室のSEM (JEOL JSM-7001F) 及びFE-EPMA(JEOL JXA-8530F)を用いた。

3. 結果

長垂地域の産出鉱物は70種程度とされていたが、約100種に及ぶ鉱物の大産地であることが明らかになった。以下にそれらの鉱物を示す。〈元素鉱物〉：自然蒼鉛。〈硫化鉱物〉：黄鉄鉱，黄銅鉱。〈酸化鉱物〉：石英，（コランダム），亜鉛スピネル，クリプトメレーン，ホランド鉱，軟マンガン鉱，フッ素灰マイクロ石，磁鉄鉱，**クローム鉄鉱**，褐鉄鉱，リシオフォル鉱。〈炭酸塩鉱物〉：孔雀石，泡蒼鉛，灰泡蒼鉛土。〈リン酸塩鉱物〉：モナズ石，ゼノタイム，フッ素燐灰石，アンブリゴナイト，モンブラサイト，ラクロワ石，ピータニエミ石，モリノー石，ワード石，克蘭ダル石，ゴヤス石，トリプル石，ロバーツ石，ケララ石，燐灰ウラン石，**メタ燐灰ウラン石**，燐銅ウラン石，**メタ燐銅ウラン石**，ウェイランド石，プチジーン石，スムルコベッツ石。〈バナジン酸塩鉱物〉：ナミビア石，ヘヒツベルグ石，単斜ビスバナ石，**プッチャー石**。〈ニオブ・タンタル酸塩鉱物〉：マンガンコロンブ石，鉄コロンブ石，マンガンタンタル石，鉄タンタル石，蒼鉛タンタル石，安タンタル石，（フェルグソン石）。〈珪酸塩鉱物〉：**苦土かんらん石**，満磐柘榴石，鉄磐柘榴石，灰磐柘榴石，ジルコン，チタン石，珪蒼鉛石，トロゴム石，**トール石**，トパーズ，単斜灰簾石，緑簾石，褐簾石，ベスブ石，紅柱石，透輝石，普通角閃石，**透閃石**，緑閃石，緑柱石，リシア電気石，フッ素リシア電気石，ロスマン電気石，フッ素鉄電気石，鉄電気石，金雲母，白雲母，**ポリリチオ雲母**，トリリチオ雲母，チンワルド雲母，イライト，苦土蛭石，クッカアイト，モンモリロナイト，バイデライト，トスダイト，ハロイサイト，カオリナイト，カオリン，クリノクロア（緑泥石），蛇紋石，**リザーダイト**，**クリノクリソタイル**，タルク，正長石，微斜長石，曹長石，ペタル石，ポルクス石。以上の96種（独立種），なお，下線を引いた鉱物名は独立種名ではない。（）は私たちが未確認の鉱物。これまでに27種（斜体字で示した）を報告したが，今回新たに10種（太字）を確認した。まだ，フッ素の定量分析が必要なマイクロ石族鉱物（CaとNaの2種の存在は確認），未同定のバナジン酸塩鉱物，追加の試験が必要なカオリン/モンモリロナイト混合層鉱物などの粘土鉱物があり100種を超えると思われる。この多数の鉱物種を産出したのはLiペグマタイトの存在が

挙げられるが、その形成末期に粘土鉱物（イライト、クッカイト、トスダイト、モンモリロナイト、カオリン鉱物）を生じる変質作用で多数の二次リン酸塩鉱物（Fig.1），バナジン酸塩鉱物が形成されたことによると考えられる。

キーワード：長垂

Keywords: Nagatare

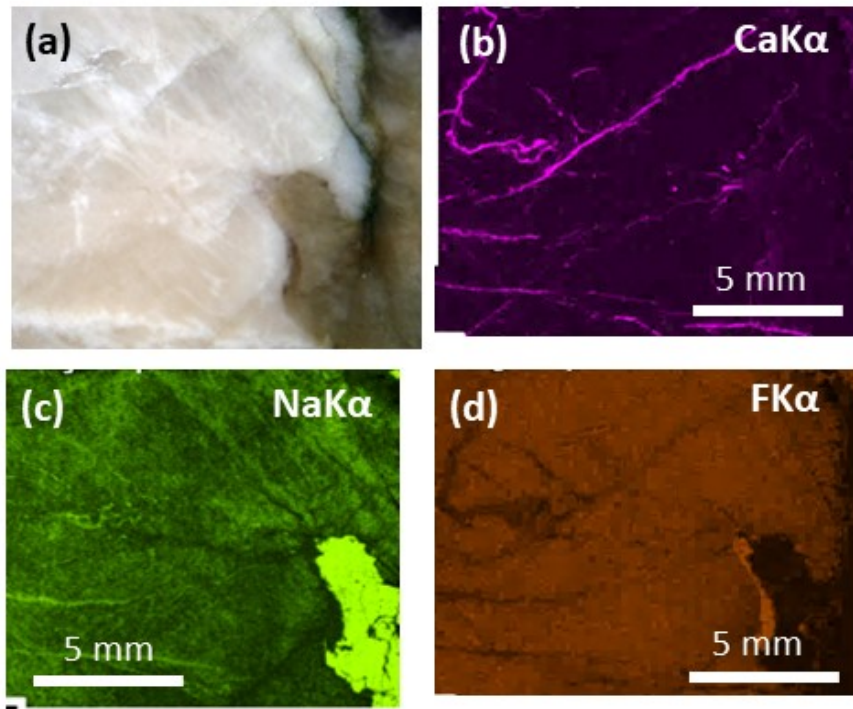


Fig.1. Secondary Ca-Na phosphates veins in Nagatare amblygonite.
(a) Sample photograph.
(b) CaK α X-ray image obtained by montaged SEM-EDS stage mapping.
(c) NaK α X-ray image. (d) FK α X-ray image.

福島県南相馬市の中新世堆積物中の巻貝化石内部に産する沸石の鉱物学的産状と成因

Occurrence and genesis of zeolites in gastropod fossils in Miocene sediments in Minamisoma, Fukushima, Japan.

*石原 篤¹、大藤 弘明¹

*Atsushi Ishihara¹, Hiroaki Ohfuji¹

1. 東北大・院理

1. Tohoku Univ. Sci.

はじめに

材化石や貝化石などの化石化した生体組織を鉱物が交代・置換したり、内部に鉱物が晶出したりする例はよく知られている。このような化石の鉱化は石英やオパールなどのシリカによるものが一般的で他にも方解石や黄鉄鉱などの例もあるが、沸石で交代されている例は稀である。その数少ない例として、Modreski et al. (1982)は材化石の組織内部を沸石が充填した産状を記載し、その起源が火山砕屑物を多量に含む母層のDenver Formation全体の変質（沸石化）にあることを論じている。また、Staple(1965)は沸石によって内部を充填された貝化石を報告し、沸石は貝化石を含む母層周辺での熱水活動にともなって形成されたと推測している。これらのケースでは、いずれも化石を含む地層の周囲で大規模な沸石生成が起こっており、化石内部での沸石形成もそれに付随するものと解釈できる。一方、今回報告する福島県南相馬市に分布する中新世堆積物中のケースでは、沸石の生成は巻貝化石の内部で特に顕著で、母岩中での沸石化は比較的小規模であった。本研究ではこの巻貝化石中に特徴的に産する沸石の起源と形成プロセスについて検討を行った。

手法

南相馬市鹿島区榎原の沢沿いの塩手層の露頭より、化石を含む細粒砂岩試料および遊離した巻貝化石試料を採取した。試料を風乾後、エポキシ樹脂中に包埋し機械研磨により薄片および厚片を作成した。また、一部試料についてはArイオンビーム（JEOL, クロスセクションポリッシャ）を用いてイオン研磨断面を作成した。試料の観察には偏光顕微鏡およびSEM-EDS、顕微ラマン分光分析を使用した。岩石及び化石中の構成鉱物を粉末X線回折によって同定した。

さらに、SEM-EDSを用いた局所分析により輝沸石の組成変化を調べた。この際、電子線ビームの照射による試料ダメージを軽減するために、結晶の伸張方向に沿うような矩形の領域にラスタースキャンを行ない、データを収集した。それらのスキャンデータからOxford Instruments 社製EDS解析ソフトAZtecを用いてスペクトルの切り出し（再構築）を行い、それらのスペクトルのピーク強度から化学定量計算を行った。

結果・考察

観察の結果、巻貝化石は細粒砂岩中のものと炭酸塩コンクリーション中のものの2タイプに大分された。砂岩中では、巻貝化石内部では殻入り口付近(下層階)は多量の砕屑物で充填され、上層階では貝殻の壁面から内側に向かって成長した輝沸石の板状結晶(～300 μ m)が観察された。貝殻内部の輝沸石は結晶の基底部から先端にかけてSi/Al比が低下しており、生成時の環境変化を示している可能性がある。また、巻貝化石の下層階（入口近く）を充填する砕屑物粒子の粒間や化石を含む母岩の砂岩中の基質部において、細粒のモンモリロナイトと沸石(～10 μ m)が空隙を充填するように生成している様子が観察された。

一方、炭酸塩コンクリーション中の巻貝化石の内部にも自形の輝沸石とモルデン沸石が観察されたが、全体として生成量は小規模であった。さらに、それらの沸石を覆うよう数mmサイズの大きな方解石の自形結晶も観察された。

以上のような産状から、本研究地域に産する巻貝化石内部における沸石の形成プロセスは以下の様に進化したと考えられる。

- 1) 火山砕屑物と巻貝化石を含む地層の埋没
- 2) 埋没深度増加に伴う温度上昇による微化石や火山砕屑物粒子の溶解（沸石や粘土鉱物の材料となる元素が間隙流体中へ溶出）
- 3) 巻貝化石内部に滞留した高過飽和溶液からの沸石の晶出

つまり、巻貝化石内部において沸石が優先的に形成されたのは、続成過程において貝殻内に高過飽和流体が長期間保持されていたためと推測される。火山砕屑物の溶解反応(Zhi and Ying, 1993)では元素ごとの溶解速度の違いによって流体組成に経時変化が生じ得ることが知られており、化石内部と母岩の基質部で間隙流体の組成にギャップが生じていた可能性が高い。結果として、貝化石内部では比較的Siに富んだ沸石の形成が促進され、基質部では沸石に加えて相対的にSiに乏しい粘土鉱物も生成されたと考えられる。

キーワード：沸石、輝沸石、鉱化、化石

Keywords: Zeolite, Heulandite, Mineralization, fossil



熱水性シリカ脈に付随する種々の有機鉱物類の成因と生成メカニズム

Origins and formation mechanisms of various organic minerals associated with hydrothermal silica veins

*田中 陵二^{1,2}、井上 裕貴³、石橋 隆⁴、萩原 昭人

*Ryoji Tanaka^{1,2}, Yuki Inoue³, Takashi Ishibashi⁴, Akihito Hagiwara

1. 相模中央化学研究所、2. 東海大理、3. 九大院理、4. 阪大総合博

1. Sagami Chemical Research Institute, 2. Tokai Univ., 3. Kyushu Univ., 4. Museum of Osaka Univ.

北海道二ヶ所をはじめとする国内サイト数ヶ所で、浅熱水性シリカ脈に付随する多環芳香族炭化水素（PAH）系有機鉱物の産出を見出した。これらは、カルパチア石（コロネン結晶）、ベンゾ[ghi]ペリレン結晶、ピセン結晶などよりなる。これらは若干の固溶挙動は見られるが、大部分は純度の高い有機物の分子結晶である。これは、PAH系有機鉱物においては、分別結晶化が強く起こることを意味する。ベンゾ[ghi]ペリレンについては、北海道石（hokkaidoite）の名で新鉱物認可を受けた。

キーワード：浅熱水性、多環芳香族炭化水素、北海道石、ベンゾ[ghi]ペリレン、有機鉱物

Keywords: epithermal, polycyclic aromatic hydrocarbon, hokkaidoite, benzo[ghi]perylene, organic minerals

口頭講演

R1：鉱物記載・分析評価（宝石学会(日本)との共催セッション）

座長:北脇 裕士(中央宝石研究所)、黒澤 正紀(筑波大学)、坂野 靖行(産総研)

2023年9月14日(木) 13:30 ~ 16:30 820 (杉本キャンパス)

[座長]

北脇 裕士:R1-01~R1-03

黒澤 正紀:R1-04~R1-07

坂野 靖行:R1-08~R1-11

[zoom]Zoom

Zoomはこちら

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

口頭講演 | R7：岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会 との共催 セッション)

■ 2023年9月14日(木) 14:45 ~ 16:30 | 822 杉本キャンパス

R7：岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会 との共催 セッション)

座長:秋澤 紀克(東京大学大気海洋研究所)、越後 拓也(秋田大学)

14:45 ~ 15:00

[R7-01] 熱水変質作用による有機物の分解：北海道北見地域の浅熱水金鉱床を例として

國場 海里¹、*越後 拓也¹、渡辺 寧¹ (1. 秋田大学・国際資源)

15:00 ~ 15:15

[R7-02] 東松浦玄武岩の晶洞に産する淡青色セピオライトの呈色要因について

「発表賞エントリー」

*木尾 颯月¹、江島 輝美²、昆 慶明³、南澤 比佳理⁴、堀田 将臣⁴ (1. 信州大・院理、2. 信州大・理、3. 産総研、4. 信州大・工)

15:15 ~ 15:30

[R7-03] 海底火山活動地域に産する玉髓の形成過程1 宮城県奥松島地域

「発表賞エントリー」

*佐野 菜津子¹、宮本 毅²、栗林 貴弘¹、長瀬 敏郎³ (1. 東北大・院理、2. 東北大・東北アジア研セ、3. 東北大・総学博)

15:30 ~ 15:45

[R7-04] タヒチ島産マントル捕獲岩中の多環芳香族を含む包有物に対するX線吸収端近傍構造解析

「発表賞エントリー」

*三津川 到¹、三宅 亮¹、伊神 洋平¹、高橋 嘉夫²、山下 翔平³、河合 敬宏²、小木曾 哲¹、秋澤 紀克² (1. 京都大、2. 東京大、3. 高エネルギー加速器研究機構)

15:45 ~ 16:00

[R7-05] ハワイ・ソルトレイククレーター産ザクロ石カンラン岩の再解析

*秋澤 紀克¹、石川 晃²、藤田 遼²、森下 知晃³、田村 明弘³、佐野 貴司⁴ (1. 東京大・大海研、2. 東工大・理、3. 金沢大・理工、4. 国立科学博物館)

16:00 ~ 16:15

[R7-06] ピストンシリンダー装置を使用した高圧グラニュライトのザクロ石かんらん岩に見られる多相固体包有物の均質化実験

*苗村 康輔¹、阿部 梨¹、小木曾 哲² (1. 岩手大・教育、2. 京都大・院人環)

16:15 ~ 16:30

[R7-07] フォトンカウンティングCTの岩石・結晶試料への応用：原子量が高い元素を含む物質に着目して

石黒 歩¹、有元 誠^{1,3,4}、佐藤 大地¹、供田 崇弘¹、寺澤 慎祐⁵、塩田 諭⁵、*森下 知晃^{3,2} (1. 金沢大学・院自然、2. 海洋研究開発機構、3. 金沢大学・理工、4. 早稲田大学・理工、5. (株) プロテリアル)

[zoom] Zoom

熱水変質作用による有機物の分解：北海道北見地域の浅熱水金鉱床を例として

Decomposition of organic matter by hydrothermal alteration in epithermal Au deposit in Kitami area, Hokkaido, Japan

國場 海里¹、*越後 拓也¹、渡辺 寧¹

Misato Kuniba¹, *Takuya ECHIGO¹, Yasushi Watanabe¹

1. 秋田大学・国際資源

1. Internat. Resour. Sci., Akita Univ.

北海道北見地域生田原周辺には古第三紀暁新世から新第三紀中新世の地層が分布しており、基盤岩である湧別層群(砂岩泥岩互層)の上位に、シルト岩・礫岩・デイサイトからなる豊原層および流紋岩層と凝灰角礫岩からなる生田原層が位置する。生田原層には複数の低硫化系浅熱水金銀鉱床が胚胎されており、近年活発に行われている試錐探査の結果、高いポテンシャルを有することが明らかになりつつある。また、これら一連の探査活動において、複数の試料からアンモニウムイオン(NH₄⁺)を含むカリ長石[(K, NH₄)AlSi₃O₈]が発見された。有機物に富む堆積岩と熱水が反応することによって堆積岩中の有機物が分解し、熱水の還元的な環境が維持されることは複数の先行研究で知られている。北見地域の浅熱水金鉱床の形成にも熱水変質作用による堆積岩中の有機物の分解が関与した可能性があるが、堆積岩由来の有機物が熱水変質作用を被った際にどのような条件下で分解あるいは構造変化するかはほとんど分かっていない。そこで本研究では、北海道北見地域の浅熱水金鉱床における有機物の分解と性質変化を明らかにすることを目的とし、同地域の隆尾鉱床で得られた試錐試料観察(Japan Gold社 IKDD22-007)、地表調査、薄片観察、XRD分析、赤外線分光(FTIR)分析、顕微ラマン分光分析、CHN元素分析を行った。コア観察および薄片観察の結果、深度30~95mは主に湖沼成堆積物、深度95~230mは主に珪長質な火砕岩および貫入岩、深度230~290mは主に黒色泥岩と岩相区分された。XRD分析の結果、熱水変質鉱物として石英・セリサイト・カリ長石・緑泥石が同定された。石英は全ての試料で普遍的に観察されたが、石英以外の特徴的な熱水変質鉱物としては、深度30~95mでセリサイト、深度95~230mでカリ長石、深度230~290mでセリサイトであった。顕微鏡観察ではいずれの深度でも炭質物が確認されたが、深度30~95mの試料はCHN分析による炭素濃度、FTIR分析によるN-H吸光度ともに深度95~230mおよび深度230~290mの試料よりも高く、N-Hを含む有機物が最も多く含まれていることが分かった。また、顕微ラマン分光分析で試料中の炭質物を分析した結果、グラファイト化の指標となるGバンド(1580 cm⁻¹)とDバンド(1360 cm⁻¹)のピーク強度比は全試料を通して有意な差はみられなかったが、レーザー光照射による蛍光強度を比べると、深度30~95mおよび深度230~290mの蛍光強度が深度95~230mよりも高いことが判明した。炭質物の蛍光強度は有機物の分解・熟成の程度に依存し、例えば続成作用においては150℃程度で有機物の蛍光がみられなくなる。深度30~95mおよび深度230~290mでセリサイト、深度95~230mでカリ長石が主な熱水変質鉱物として同定されたことは、深度95~230mにおける熱水の[K⁺]/[H⁺]が比較的高かったことを示す。また、バイオマスの分解に関する実験的研究によって熱水中のK⁺イオンが触媒として作用し有機物の分解と酸化(CO₂発生)を促進することが分かっており、K⁺に富む熱水が堆積岩中の有機物と反応した場合により多くの有機物が分解・酸化し、結果として熱水の還元的な環境が維持されると結論づけた。

キーワード：浅熱水金鉱床、有機物、熱水変質作用、粘土鉱物、ラマン分光分析

Keywords: epithermal gold deposit, organic matter, hydrothermal alteration, clay minerals, Raman spectroscopy

東松浦玄武岩の晶洞に産する淡青色セピオライトの呈色要因について

The coloration Factor of Pale Blue Sepiolite in amygdales in Higashimatsuura basalt from Kabeshima island, Saga Prefecture, SW Japan

*木尾 颯月¹、江島 輝美²、昆 慶明³、南澤 比佳理⁴、堀田 将臣⁴

*Satsuki Kio¹, Terumi Ezima², Yoshiaki Kon³, Hikari Minamisawa⁴, Masaomi Horita⁴

1. 信州大・院理、2. 信州大・理、3. 産総研、4. 信州大・工

1. Shinshu Univ. Sci., 2. Shinshu Univ. Sci., 3. GSJ, AIST, 4. Shinshu Univ. Eng.

佐賀県呼子町周辺に分布する東松浦玄武岩と呼ばれるアルカリ玄武岩には白色～淡緑色のセピオライトが産出し、石橋（1974）にて新産例として報告されている。呼子町の加部島には、石橋によってセピオライトの産出が報告された玄武岩と同一のフローユニット（無斑晶質玄武岩B2）（小林ほか、1955）が分布するが、加部島の玄武岩晶洞中に産するセピオライトは淡緑色でなく淡青色を呈する。セピオライトはFeやNiの遷移金属元素が含まれると緑色系統の色を呈色することが知られている（大塚ほか、1992）が、なぜ加部島でのみ他地域に産出しない淡青色のセピオライトが見られるのかについては未解明である。そこで、本研究では淡青色セピオライトの呈色要因を解明することを目的とした。本研究にはエネルギー分散型X線分析装置搭載の走査型電子顕微鏡および電界放出形電子プローブマイクロアナライザ、高分解能透過型電子顕微鏡、レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析装置（LA-ICP-MS）等の機材を用いた。

淡青色セピオライトが産する加部島のアルカリ玄武岩は岩石中に直径100-500 μm の楕円形の晶洞が存在する青灰色で緻密な岩石であり、100 μm 以下のからん石および斜長石の斑晶と斜長石、アルカリ長石、イルメナイトおよびチタノマグネタイトからなる基質から構成されている。母岩であるアルカリ玄武岩の特徴としては、斑晶が少なく、マントルおよび地殻由来の捕獲岩を含むことが挙げられる。加えて、極まれに1 μm 程度の黄銅鉱や離溶組織を有するクロム鉄鉱が存在する。二次鉱物としては、CoおよびNiを含有する濃青色のマンガン酸化物が見られる。

加部島のアルカリ玄武岩晶洞中に産する晶洞鉱物としては、セピオライトの他にイルメナイト、方解石、およびMn酸化物が認められる。セピオライトは長径20 μm 程度の半球状をしており、白色～淡青色を呈し、鉱物表面にはいずれも0.5 μm 以下の隙間を有する海綿状組織が存在する。また、晶洞断面を観察するとセピオライトは母岩を覆う黄褐色の緑泥石様鉱物をさらに覆うように産し、その厚さは5-10 μm である。淡青色セピオライトの主成分の割合は、 SiO_2 が46.48 wt.%, MgO が16.89 wt.%, Al_2O_3 が4.69 wt.%であり、LA-ICP-MSによる微量元素測定では遷移金属元素として、Mnが0.403 wt.%, Fe^{3+} が0.392 wt.%, Cuが0.145 wt.%, Tiが0.036 wt.%, Crが0.012 wt.%, Niが0.010 wt.%検出され、Zn, CoおよびVは0.01 wt.%以下であった。また、晶洞中の緑泥石様鉱物からセピオライトにかけて直線上に微量元素測定を行った結果、緑泥石様鉱物から晶洞中のセピオライトにかけてFeの含有量は減少し、Cuの含有量は増加する傾向が見られた。LA-ICPMSの微量元素測定の結果、遷移金属元素としてはMnとFeの含有量が高いが、レーザーの照射径は5 μm 程度であるため、得られた値は晶洞中に共生するFeの含有量の高い緑泥石様鉱物やMn酸化物が一部混ざった値である可能性がある。そこで、透過型電子顕微鏡を用いて晶洞中のセピオライトの微細領域において定性分析を行った。その結果、淡青色セピオライトのEDSスペクトル中にFeおよびMnのピークは検出されなかった。

以上の結果より、淡青色セピオライトに含まれる青色を呈する要因となる遷移金属元素としてはCuが最も多く含まれていることが分かった。セピオライトは重金属元素では特にCuを吸着しやすいことで知られており（Brigatti et. al., 2000）、6配位席のMgがCuと置換することも実験によって確認されている（北山ほか、1996）。Cuを含む粘土鉱物（アロフェン）が青色を呈することは知られており（Grundmann et. al.,

1990) , Cuがセピオライトの淡青色の呈色要因である可能性は高い。しかし, セピオライトにCuが吸着もしくは6配位席を置換した場合に, どのような色を呈色するかについての報告はないため, Cuを含むセピオライトが淡青色を呈するかどうかは今後検討が必要である。

キーワード : 加部島、セピオライト、銅、アルカリ玄武岩

Keywords: Kabeshima Island, sepiolite, copper, alkali basalt

海底火山活動地域に産する玉髓の形成過程1 宮城県奥松島地域

Formation process of chalcedony at subaqueous volcanism 1 Oku-Matsushima region, Japan

*佐野 菜津子¹、宮本 毅²、栗林 貴弘¹、長瀬 敏郎³

*Natsuko Sano¹, Tsuyoshi Miyamoto², Takahiro Kuribayashi¹, Toshiro Nagase³

1. 東北大・院理、2. 東北大・東北アジア研セ、3. 東北大・総学博

1. Tohoku Univ. Sci., 2. Tohoku Univ. CNEAS, 3. Tohoku Univ. Museum

【はじめに】

玉髓 (chalcedony) は微細な石英結晶の集合体からなり固有の組織をもつことから、その形成過程に関する結晶成長機構などの観点からの研究が多い (例えば, Flörke et al. 1982). 玉髓は凝灰岩や火山岩などの岩石中に広く産し、新第三紀中新世の岩石中に多い。玉髓の形成モデルとしては、海底噴出溶岩のクラックに流入した海水が溶岩により熱せられ、周囲の岩石からシリカ成分を溶かし出し、岩石のクラックに玉髓を沈殿させるといった、地下を循環した海水を起源とするモデルも考えられている (宮地ほか, 2003; 青木ほか, 2017)。しかし多くの研究は玉髓の組織を鉱物学的に解析した研究であり地質過程には焦点を当てておらず、溶液の起源について触れていないか、触れていたとしても地下から上昇した溶液を想定している場合がほとんどである (例えば, 清水・青木, 2001)。本研究では宮城県奥松島地域において、中新世の海底火山噴火に伴う玉髓の形成過程を地質学的に考察する。

【結果】

宮城県松島湾周辺域には、シルト岩層中に狭在する火砕流堆積物を主とした前期～中期中新世の松島層が分布する。石井ほか (1983) は松島層を岩相の違いから5つの部層 (Mt1層~Mt5層) に分けている。調査地域である奥松島地域には、凝灰角礫岩部層 (Mt3), シルト岩部層 (Mt4), 上部軽石凝灰岩部層 (Mt5) が広く存在する。地質調査の結果から、Mt3層は水中堆積の特徴を示し、Mt5層は軽石凝灰岩層と砂~シルト岩層の互層からなる浅海成の特徴を示す。Mt5層の分布する複数地点では軽石凝灰岩中のクラックにダイク状のシルトがみられ、クラスティックダイクであると考えられる。クラスティックダイクとは、地下水で飽和した未固結の地層が液状化現象により軽石凝灰岩のクラックに沿って上昇してできたダイク状のシルトである (成尾・小林, 1995)。この地域の軽石凝灰岩中に存在するクラスティックダイクの形成時期は、火砕流堆積物の冷却固結後である。

玉髓は、Mt5層が分布する地域のうち2地点 (乙女が浜, 大高森) でのみ確認される。大高森ではクラスティックダイクは存在せず、玉髓の脈のみが軽石凝灰岩中に存在する一方、乙女が浜ではクラスティックダイクに沿った玉髓の脈と、クラスティックダイクを伴わない玉髓の脈が存在する。クラスティックダイクに伴う玉髓の脈の詳細な産状としては、クラスティックダイクが一部途切れた部分にその空間を埋めるように存在するものや、クラスティックダイクと凝灰岩の間に存在するものがある。

乙女が浜の玉髓の薄片観察では、クラスティックダイクや軽石凝灰岩といった母岩の種類によらず玉髓の壁面にオパールが存在し、そこから繊維状の玉髓が伸長した組織が観察される。玉髓とクラスティックダイクとの境界付近では、玉髓の脈の内部にクラスティックダイク片があり、その周囲にオパールが存在し、そこから繊維状に伸長した玉髓の組織が観察される。このことから、クラスティックダイクの固結後に玉髓が形成されたと考えられる。

【考察】

乙女が浜ではクラスティックダイクに関連した玉髓の脈が確認されるが、大高森ではクラスティックダイクに伴っていない玉髓の脈のみが確認されることから、玉髓の形成にクラスティックダイクは必要不可欠ではないと考えられる。また、乙女が浜における玉髓の産状と薄片観察から、クラスティックダイクの固結後に玉髓が形成されたと考えられる。つまり、軽石凝灰岩中のクラックやクラスティックダイクは玉髓を形成した溶

液の通路としての役割を担っている可能性がある。玉髓を形成した溶液の起源は、マグマなどの熱源を考慮すると地下に求めることが容易である。そのためこれまでの研究では、地下を循環する溶液の上昇を想定するケースが多く、奥松島でも地下からの溶液の上昇を考えることも可能であるが、その場合には溶液の流入時期を特定することは困難である。Mt5層での地質調査の結果から、奥松島では乙女が浜よりも上位の層序で火砕流堆積物が繰り返し浅海に堆積していると考えられ、玉髓が産する層の上位に熱源の存在を仮定することも可能である。この時、火砕流堆積物が海水を敷き込んで熱する可能性がある（谷口，1996）。そこで生じた溶液が堆積面にあるクラスティックダイクやクラックなどの弱線を通じて下位に流入し、玉髓が形成したと考えることができる。以上のように火山噴火に伴って上位から溶液が流入するモデルを考察したが、海水の敷き込みや弱線の存在といった条件が揃った場合のみで玉髓が形成されたとすると、奥松島において玉髓の分布が限定的であることも整合的である。

キーワード：玉髓、海底火山活動、クラスティックダイク

Keywords: Chalcedony, Subaqueous volcanism, Clastic Dyke

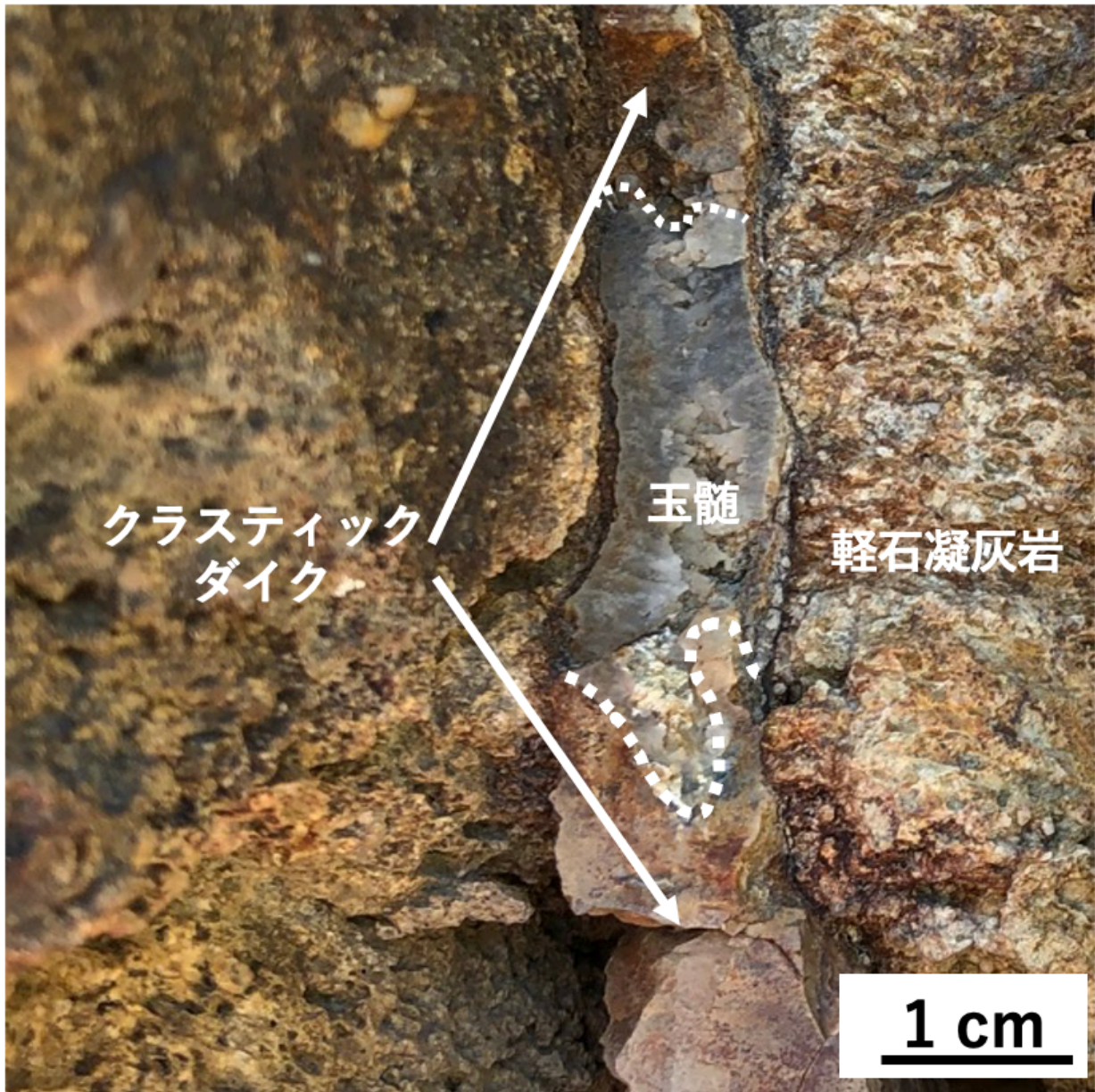


図1. 軽石凝灰岩の割れ目に存在する玉髓

タヒチ島産マントル捕獲岩中の多環芳香族を含む包有物に対するX線吸収端近傍構造解析

XANES analysis of inclusions containing polycyclic aromatic hydrocarbons in Tahitian mantle xenolith

*三津川 到¹、三宅 亮¹、伊神 洋平¹、高橋 嘉夫²、山下 翔平³、河合 敬宏²、小木曾 哲¹、秋澤 紀克²

*Itaru Mitsukawa¹, Akira Miyake¹, Yohei Igami¹, Yoshio Takahashi², Shohei Yamashita³, Takahiro Kawai², Tetsu Kogiso¹, Norikatsu Akizawa²

1. 京都大、2. 東京大、3. 高エネルギー加速器研究機構

1. Kyoto Univ. Sci., 2. Univ. Tokyo, 3. KEK

マントル中のC-O-H流体の種類を決定することは、地球内部での軽元素循環を理解する上で重要である。一般的に、マントル浅部 (< 100 km) では、水や二酸化炭素等の酸化的な流体が分布している一方で、マントル深部 (> 100 km) においては、メタン等の還元的な流体が増加すると考えられている[1]。また、実験やシミュレーション研究により、マントル内の高温高圧環境下ではメタンよりも分子量の大きい炭化水素が安定であると推定されている[2]。したがって、マントル内部では生物が関与することなく有機物が生成し、分布している可能性がある。しかし、天然のカンラン岩から有機物を見出した研究例はごく一部に限定されており (e.g., [3])、それらがマントル内で生物が関与せず生成された有機物であるかも不明である。

我々は、これまでにタヒチ島産のマントル捕獲岩中から有機物を含む列状包有物を発見した。列状包有物は単斜輝石中に分布しており、白金族鉱物、Fe-Ni-Cu硫化鉱物、珪酸塩ガラス、軽元素物質により構成される[4]。このうち軽元素物質に対してラマン分光分析を実施し、多環芳香族の分布を示すスペクトルを取得したが、包有物が微小であるために有機物の詳細な特徴が明らかになっていない[5]。そこで、本研究では、カンラン岩中に分布する有機物の特徴をより詳細に決定し、その形成過程を明らかにすることを目的としてX線吸収端近傍構造 (XANES) 解析を実施した。試料は、集束イオンビーム (FIB) 加工装置を使用し、有機物が分布していた単斜輝石中の列状包有物 (~数百 nm) を内部に含むように厚さ約500 nmの薄膜試料を作製した。このとき、包有物の一部は試料表面に露出したが、一部の包有物は完全に試料内部に包有されていることを走査型電子顕微鏡 (SEM) により確認した。また、透過型電子顕微鏡 (TEM) による観察の結果、列状包有物中には白金族鉱物、Fe-Ni-Cu硫化鉱物、珪酸塩ガラス、および軽元素物質が見られた。その後、放射光施設 Photon FactoryのビームラインBL-19Aにおいて走査透過型X線顕微鏡 (STXM) を用いてXANES解析を実施した。XANES解析は炭素 (280 - 310 eV)、酸素 (520 - 560 eV)、窒素 (390 - 415 eV) のK吸収端近傍のエネルギーで実施した。

炭素K吸収端付近での分析の結果、有機物を含むと考えられる軽元素物質領域からは285.2、287.5、290.9 eVにピークが見られた。このうち、285.2 eV付近のピークは全ての包有物から得られたが、287.5 eVと290.9 eVのピークは試料表面に露出していない包有物でのみ見られた。また、酸素K吸収端付近での分析の結果、試料表面に露出していない包有物でのみ534.2 eVと535.8 eVにピークが見られた。窒素K吸収端付近での分析では、有意なピークは見られなかった。

285.2 eVに見られたピークは表面に露出した包有物からも得られた。このピークはベンゼン環や炭素の二重結合に帰属されることから、固体として分布する多環芳香族に由来するものであると考えられる。一方で、287.5、290.9、534.2、535.8 eVのピークは試料表面に露出していない包有物からのみ得られており、包有物中の流体に由来することが示唆される。287.5 eVと534.2 eVのピーク、また、290.9 eVと535.8 eVのピークの特徴から、包有物中の流体は二酸化炭素と一酸化炭素の混合物である可能性が高い。287.5 eVのピークは脂肪族炭化水素からも得られることから、低分子量のアルカンが分布している可能性もある。したがって、有機物を含有する包有物内部では固体の多環芳香族と流体 (二酸化炭素、一酸化炭素、メタン等) が

共存していることが示唆される。実験的研究からは、C-O-H流体から多様な有機物が生成されることが示されているが、生成されるのは主に低分子量のアルカンであり[6]、今回の記載結果とは異なる。ホスト鉱物である輝石は多環芳香族生成反応において触媒として機能することが報告されており[7]、今回の多環芳香族生成に関与している可能性がある。

[1] McCollom, 2013, *Rev. in Mineral. Geochem.* [2] Kenney et al., 2002, *PNAS* [3] Sugisaki and Mimura, 1994, *Geochim. Cosmochim. Acta* [4] Akizawa et al., 2017, *Chem. Geol.* [5] Mitsukawa et al., 2022, *JAMS* [6] Sokol et al., 2019, *Phys. Earth Planet. Inter.* [7] Tian et al., 2013, *Phil. Trans. R. Soc. A*

キーワード：有機物、マントル、カンラン岩、多環芳香族、X線吸収端近傍構造解析

Keywords: Organic compounds, mantle, pridotite, polycyclic aromatic hydrocarbons, XANES

ハワイ・ソルトレイククレーター産ザクロ石カンラン岩の再解析

Re-investigation of garnet peridotite xenolith from Salt Lake Crater, Hawaii

*秋澤 紀克¹、石川 晃²、藤田 遼²、森下 知晃³、田村 明弘³、佐野 貴司⁴

*Norikatsu AKIZAWA¹, Akira Ishikawa², Ryo Fujita², Tomoaki Morishita³, Akihiro Tamura³, Takashi Sano⁴

1. 東京大・大海研、2. 東工大・理、3. 金沢大・理工、4. 国立科学博物館

1. Uni. Tokyo, AORI, 2. Tokyo Tech., School Sci., 3. Kanazawa Uni., College Sci. Eng., 4. Natl. Mus. Nat. Sci.

1. はじめに

海洋域で採取されるカンラン岩は海洋リソスフェア構成物質のアナログであり、その熱化学状態を明らかにすることができる有用な研究対象となる。特に、ザクロ石カンラン岩はスピネルカンラン岩よりも高圧（約60 km以深）由来であるため、深部海洋リソスフェアの物質的情報を引き出すのに重要となる。また、ザクロ石カンラン岩は正確に圧力推定ができるため、海洋リソスフェアの熱化学状態を明らかにする上で必須のマントル物質と言える。しかし、ザクロ石カンラン岩の出現頻度はスピネルカンラン岩に比べて圧倒的に少なく、海洋域ではほとんど報告されてこなかった。その少ない報告例のうちの1つが、Goto and Yokoyama (1988, *Lithos*, vol.21, 67-80)が記載した、ハワイのソルトレイククレーターにおいてネフェリナイト凝灰岩に含まれるザクロ石レールゾライトである。本研究では、Goto and Yokoyama (1988)が扱ったサンプルの中で、唯一ザクロ石を含むカンラン岩と記載されたサンプルの再解析を実施し、その鉱物組成や全岩科学組成を明らかにした上で岩石学的実態を明らかにする。

2. 地質概説と岩石記載

ハワイのオアフ島は約90 Maの海洋リソスフェアに位置しており、その東側に位置するソルトレイククレーターからは、捕獲岩が報告されている。Goto and Yokoyama (1988)は80個の捕獲岩を報告し、その中から1つのザクロ石レールゾライトを見出した。このザクロ石レールゾライトはSL014と名付けられており、粗粒等粒状で最も大きい直方輝石は直径~8 mmであった。直方輝石と単斜輝石はそれぞれ単斜輝石と直方輝石のラメラを含んでおり、単斜輝石は直方輝石に比べて細粒であった（直径~数mm）。また、多形で細粒の（直径~1 mm）スピネルを含んでいた。Goto and Yokoyama (1988)は、SL014から直径~1 mmのザクロ石を報告しているが、我々が作成した薄片からは見つからなかった。その新たな薄片の鉱物モード組成はカンラン石60.7 vol.%、直方輝石20.4 vol.%、単斜輝石17.7 vol.%、スピネル1.2 vol.%と見積もられた。

3. 鉱物化学組成

カンラン石、直方輝石、単斜輝石のMg# ($Mg/(Mg+Fe^{2+})$ 原子比)は約0.89、スピネルのCr# ($Cr/(Cr+Al)$ 原子比)は0.1であり、一般的なレールゾライトと同様な鉱物化学組成を示した。Goto and Yokoyama (1988)が報告したSL014の全岩化学組成は Al_2O_3 やCaOに富んでおり（それぞれ、3.7 wt%, 3.4 wt%）、他のサンプルに比べて肥沃な組成であった。

4. 議論

本研究で新たに作成したSL014の薄片からは、ザクロ石を見つけることができなかった。これは、サンプルの取り違えでザクロ石がないか、ザクロ石が局所的であるためと考えられる。Goto and Yokoyama (1988)が報告している鉱物化学組成と新たに分析し直した鉱物化学組成に違いは見られなかったため、前者の可能性は低いと推察する。一方で後者の可能性は、ザクロ石輝岩とカンラン岩の複合捕獲岩がソルトレイククレーターから多数報告されていることも考慮すると、最もらしいと考えられる。本研究の議論のためにはザクロ石が平衡にカンラン岩と存在するかどうかを鍵となるため、鉱物微量元素組成の測定や、全岩化学組成を用いたザクロ石/スピネルと他のカンラン岩構成鉱物との平衡関係を考察した上で議論を展開する。

キーワード：マントル、海洋リソスフェア、ザクロ石、カンラン岩

Keywords: Mantle, Oceanic lithosphere, Garnet, Peridotite

ピストンシリンダー装置を使用した高圧グラニュライトのザクロ石かんらん岩に見られる多相固体包有物の均質化実験

The preliminary results of piston cylinder experiments to homogenize multiphase solid inclusions observed in high pressure granulites and garnet-bearing peridotite in the Bohemian Massif

*苗村 康輔¹、阿部 梨¹、小木曾 哲²

*Kosuke NAEMURA¹, Rin Abe¹, Tetsu Kogiso²

1. 岩手大・教育、2. 京都大・院人環

1. Iwate Univ. Edu., 2. Kyoto Univ. Human Env.

現在のアルプスヒマラヤ山脈や古生代のパリスカン造山帯では造山運動後期に超カリウム質火山活動が生じている。カリウムの供給源は、沈み込んだ泥質変成岩が深部で部分融解した結果、白雲母が融解しカリウムに富むメルトが上盤側の上部マントルに付加されると予想される (Grassi and Schmidt, 2011, J. Petrol など)。その結果マントルウェッジに金雲母を含むかんらん岩が形成され、さらにそれが部分融解すると超ポタシク火山活動 (チェコ共和国に見られるドルバッハ岩やイタリアのカマフジャイト) が発生すると考えられてきた。このプロセスを定量的に理解するためには、まず沈み込んだ地殻物質や上部マントル由来の岩石に実際に見られるメルトの化学組成を把握する必要がある。高圧～超高压変成岩にはプレート収斂帯深部域-深度 50～200km-で発生したメルトや超臨界流体がザクロ石などの高圧鉱物中に捕獲されて産することがある。メルトや超臨界流体は上昇時に冷却し結晶化して、多相固体包有物を形成することが多い。近年、多相固体包有物からダイヤモンドが見つかったこともあり、それを復元して超臨界流体の組成復元を行う研究が行われている (例えば Borghini et al., 2019, JMG)。本研究ではパリスカン造山帯に見られる沈み込んだ大陸地殻とマントルウェッジかんらん岩に見られる多相固体包有物を研究することで、プレート収斂域深部で生じているメルトの化学組成を解明し、上述した問題の解明に寄与することを目指している。今回用いた研究試料はいずれもチェコ共和国・南ボヘミアから採取した。南ボヘミアでは数mから数kmサイズのザクロ石かんらん岩が花崗岩質グラニュライト中に取り込まれて産する。本研究では金雲母を含むザクロ石かんらん岩とグラニュライト中に見られるザクロ石単斜輝石岩を出発物質として、そこに見られる多相固体包有物を均質化する実験を行った。ザクロ石輝石岩はグラニュライトの一部として産出し、おもに単斜輝石、ザクロ石、黒雲母、燐灰石、カリ長石、石英で構成される。ザクロ石は斜方輝石+斜長石に分解し、単斜輝石は角閃石に分解している。ザクロ石中には石英、曹長石、カリ長石、黒雲母、燐灰石で構成された多相固体包有物が無数に存在する。ザクロ石かんらん岩はカンラン石、斜方輝石、ザクロ石、クロムスピネルと少量の単斜輝石で構成され、ザクロ石の大部分はスピネル+輝石へ分解している。多相固体包有物は粗粒なクロムスピネル中に包有されている (Naemura et al., 2018, Sci.Rep.)。多相固体包有物を均質化する実験を行うために、まずザクロ石輝石岩から数mmのザクロ石を分離して石英とともに、金カプセルに封入した。このとき、少量のギブズ石を加えたものと加えないものを用意し、加水と無水条件での対比実験を行った。つぎにピストンシリンダー装置を用いて3 GPa, 1000°Cの条件で24時間保ったのち、急冷させた試料を回収し電子顕微鏡で観察した。その結果、加水条件だとザクロ石が分解することが分かった。一方で無水条件では、多相固体包有物は均質化し、複数のメルト包有物を測定したところかなり均質な化学組成を持つことが明らかとなった: SiO₂ *=70—74 wt%, Al₂O₃=12 wt%, MgO=0.3—2.0 wt%, CaO=1.1—1.8 wt%, K₂O=6.0—6.5 wt% (*の値はLOIを除いて規格化した値)。酸化物の総重量は80—87wt%だったため、メルト中の流体成分の質量は13—20 wt%に達すると推測される。次にザクロ石かんらん岩からクロムスピネル分離し、カンラン石と共に白金カプセルに入れて3 GPa, 1300°Cで約30分間保持させたのち急冷した。試料を電子顕微鏡で観察したところ、包有物を一つ見つけることができた。多相包有物の大部分は均質化しているが、反射電子で見て色むらが見られた。また

ガラスと思われる部分は脆く、包有物には脱落による隙間が見られた。脱落による影響を最小にするために酸化物総重量が66–73wt%の分析値で見ると、包有物の化学組成は、 $\text{SiO}_2=10\text{--}18\text{ wt\%}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\approx 4\text{--}6\text{ wt\%}$, $\text{MgO}=16\text{--}20\text{ wt\%}$, $\text{CaO}=13\text{--}17\text{ wt\%}$, $\text{K}_2\text{O}<0.1\text{ wt\%}$ のシリカに不飽和な化学組成のメルトが示唆される。以上のように、地殻物質とマントル物質のそれぞれに見られる多相固体包有物の均質化実験に成功した。今後、データを追加しレーザーICP-MSで微量分析を行うことで、プレート収斂域深部に存在するメルト化学組成のデータを追加し、造山運動後期の超ポタシク火山活動の定量的理解に繋がるデータを出していきたい。

キーワード：大陸衝突帯、ザクロ石かんらん岩、高圧グラニュライト、多相固体包有物、ピストンシリンダー
Keywords: Continental collision, garnet peridotite, high pressure granulite, multiphase solid inclusion, piston cylinder

フォトンカウンティングCTの岩石・結晶試料への応用：原子量が高い元素を含む物質に着目して

Application of photon-counting computed tomography to rocks/crystals containing heavy elements

石黒 歩¹、有元 誠^{1,3,4}、佐藤 大地¹、供田 崇弘¹、寺澤 慎祐⁵、塩田 諭⁵、*森下 知晃^{3,2}

Ayumi Ishiguro¹, Makoto Arimoto^{1,3,4}, Daichi Sato¹, Takahiro Tomoda¹, Shinsuke Terazawa⁵, Satoshi Shiota⁵, *Tomoaki MORISHITA^{3,2}

1. 金沢大学・院自然、2. 海洋研究開発機構、3. 金沢大学・理工、4. 早稲田大学・理工、5. (株)プロテリアル

1. Kanazawa Univ. Nat. Sci., 2. JAMSTEC, 3. Kanazawa Univ. Sci.Engineer., 4. Waseda Univ. Sci. Engineer., 5. Proterial Ltd.

フォトンカウンティング・コンピュータ断層撮影 (Photon Counting Computed Tomography: 以下PC-CTと呼ぶ) は従来のCTで使用されている検出器 (エネルギー積分型X線検出器) とは異なるタイプの検出器 (エネルギー分解型X線検出器) を使用したCTである。この検出器を使うことによって検出器に入射する光子をエネルギーごとにカウントすることができる (Willeminck et.al., 2018)。これにより、X線の吸収の程度を表す線減弱係数のエネルギー依存性から、適切なエネルギー領域を選択することによるアーチファクトの軽減、画像コントラストの向上に加え、撮影対象の物質を同定し、その密度や濃度の分布を推定することなどが期待される。Kiji et al. (2020)では、ヨウ素とガドリニウムの混合造影剤に対して、PC-CT観察に基づき、その混合比を見積もることに成功し、CT画像の各画素を構成する物質の量比を可視化できることを示した。本研究チームでは、金沢大学で開発が進められているPC-CTを用いて、岩石・結晶試料の観察を行なっている。本発表では、X線CT撮影に用いる連続X線のエネルギー範囲内にK吸収端をもつ元素を含む物質に着目し、以下のような物質をPC-CTで観察を行った結果を報告する。使用した試料は、(1)プラチナ粉末と石英粉末を混合した試料、(2)石英粉末内に直径0.1 mmのプラチナワイヤーを埋めたもの、(3)タングステン粉末と石英粉末を混合したものの3種類を円柱容器に詰めたものを用意し、それらをCT撮影した。結果は、プラチナ、タングステンがそれぞれ固有にもつK吸収端を反映したデータを取得できたと考えている。この手法により、岩石中に含まれる重金属を含む結晶などについて、非破壊でその存在の有無を確認できることが期待される。参考文献：Kiji et al. (2020) DOI: 10.1016/j.nima.2020.164610; Willeminck et al. (2018) DOI: 10.1148/radiol.2018172656

キーワード：フォトンカウンティングCT

Keywords: Photon-counting computed tomography

口頭講演

R7：岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会 との共催 セッション)

座長:秋澤 紀克(東京大学大気海洋研究所)、越後 拓也(秋田大学)

2023年9月14日(木) 14:45 ~ 16:30 822 (杉本キャンパス)

[zoom]Zoom

Zoomはこちら