

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K05705

研究課題名(和文) EPMAとEBSDのコラボレーションによる変成岩研究における新たな切り口の提唱

研究課題名(英文) A new approach to the study of metamorphic rocks by combining EPMA and EBSD

研究代表者

榎並 正樹 (Enami, Masaki)

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・名誉教授

研究者番号：20168793

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：電子線マイクロアナライザー (EPMA)と電子線後方散乱回折 (EBSD)装置を組み合わせた変成岩の新しい研究手法の提案とその有効性を検証することを目的として、主に以下の内容の研究を行った。

1. エクロジャイト中に産する多結晶体ザクロ石斑状変晶の検出。2. 様々な条件下で形成された変成岩中に産するザクロ石が記録しているexhumation stageの変形特徴の解読。3. 加水分解しているエクロジャイトを対象とし、ザクロ石およびオンファス輝石の仮像として産する角閃石の形成プロセスの解明。特に、SiO<sub>2</sub>に飽和している岩石中にSiに乏しい角閃石が形成される原因について論じる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電子線マイクロアナライザー (EPMA)と電子線後方散乱回折 (EBSD)装置は、それぞれ主に微小領域の化学組成分析および結晶方位解析を行うために広く活用されている。そして、これまでに広範囲の分野の研究に様々な貢献をしてきた。

従来は個別の研究目的に利用されることが多かったこれらを、組み合わせて利用した新しい研究例を、変成岩を研究対象として提唱すると同時に、この新たな研究手法の有効性を検証した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to propose and validate a new method for studying metamorphic rocks by combining an electron probe microanalyzer (EPMA) and an electron backscatter diffraction (EBSD) system.

We will focus on the following topics: 1) Detection of polycrystalline garnet porphyroblast in eclogite, 2) deciphering the deformation characteristics during exhumation stage recorded by garnet porphyroblast in metamorphic rocks formed under various pressure-temperature conditions, and 3) elucidation of the formation process of amphibole grains, which occur as pseudomorphs after garnet and omphacite in amphibolitized eclogites. In particular, we discuss the reasons for the formation of Si-poor amphibole in SiO<sub>2</sub>-saturated rocks.

研究分野：変成岩岩石学

キーワード：EPMA EBSD 変成岩 変形岩 温度-圧力履歴 変形履歴

## 1. 研究開始当初の背景

変成鉱物の多くは、それらが経験した成長・分解反応の履歴を、組成的不均質として記録している。そして、1970年代以降40年以上にわたる電子線マイクロアナライザー (EPMA) による鉱物の微小領域の化学組成解析は、変成履歴そして変成場のテクトニクス等を論じる上で重要な多くの情報をもたらした。一方で、電子線後方散乱回折 (EBSD) 装置は、結晶方位定向配列 (CPO) パターンから、主に岩石が記録している変形履歴や流動特性を解析することを目的として2000年代初頭より広く利用されている。そして、従来、異なる目的で利用されていた両装置が、変成岩岩石学の分野に適用されるようになり、鉱物の方位情報と化学組成情報が結びついた時、累帯構造を示す変成鉱物を解析する際に前提とされていたことのいくつかは、必ずしも成立するとは限らないとする、重要かつ本質的な問題点が明らかとなった。

例えば、変成作用の圧力 (P)-温度 (T) 履歴を解析する際には、ザクロ石は本質的に単結晶であり組成累帯構造から推定される核部から周縁部に向かって、結晶は順に成長したとする考えが前提となっていた。しかし、組成累帯構造から判断する限りこの前提が一見成り立っているように見えるザクロ石でも、EBSDにより結晶方位測定が行われると、それが多結晶体であることが報告されるようになった (e.g., Whitney and Seaton, 2010)。これは、組成累帯構造の解析に関する研究にとっては、衝撃的な情報であり早急に対応すべき問題であった。

しかし、上記の論文をはじめとする EBSD を主とする研究の多くは、主に結晶成長過程を興味を中心に据えたものであった。そして、本来はこの問題点に積極的に対応すべき岩石学分野において、例えば変成 P-T 履歴などの岩石学情報と EBSD データをリンクさせて、問題解決にあたらうとする研究は、残念ながら行われていなかった。これらの背景のもと、研究代表者は、多結晶ザクロ石斑状変晶が典型的な沈み込み帯で形成された三波川変成岩でも認められることを報告するとともに、新たな研究例として、セグメント化したザクロ石を利用して、変成岩が地表に露出する (exhumation) の過程においても、変形や流動がほとんど認められない静的な時期が存在する可能性を明らかにした (Enami et al., 2017)。このように、EPMA と EBSD を組み合わせた研究により、地球惑星科学、特に変成岩岩石学の分野において新たな情報が得られることが期待されていた。

## 2. 研究の目的

研究代表者らは、上記の研究背景にもとづき、岩石学の視点からから EPMA と EBSD をリンクさせた新しい研究手法を提唱することを主な目的として、本研究課題を申請し、採択された。本研究課題は、ザクロ石をケース・スタディーとして、両装置で得られる情報を互いに補完させることにより、これまでとは異なる切り口によって、鉱物の再結晶・変形履歴の解析を試みることを目的としている。そして、EPMA と EBSD を組み合わせた研究によって得られる新しい情報の開拓と、適用可能である新たな研究テーマを探ることも同時に目指した。申請当時は、主に以下に述べる最初の2つのテーマを想定していた。そして、研究の進行により第3のテーマに関しても有効な解析法となり得ることを検証した。

### 【ザクロ石斑状変晶は単結晶？多結晶？】

Whitney and Seaton (2010)や Enami et al. (2017)の研究成果を受けて、多結晶集合体からなるザクロ石斑状変晶が、様々な条件で形成された変成岩中に、どれくらいの頻度で出現するのかの検

証を行う。なお、申請時には、かなりの頻度で多結晶体ザクロ石が確認されることを想定した。これに関するデータは、他の目的のために分析を行う際にも同時に得られるものである。従って、多くの測定例が集まったが、新たな例は確認できなかった。

#### 【セグメント化したザクロ石斑状変晶から変形情報を読み取る】

ザクロ石斑状変晶は、変成作用のピーク時以降に起こる減圧・加水反応によって、クラックなどに沿って分解しセグメント化している場合が多い。その場合、各セグメントは、当初は同一の結晶方位を共有していたはずである。しかし、その後も続く変成帯の上昇 (exhumation) にともない変形作用がおこりその影響を被ると、回転運動などによって互いに異なる方位を示すようになると考えられている。ところが、Enami et al. (2017)で予察的に報告したミャンマー・Mogok 変成帯の試料の場合、この予想に反してセグメント相互のミスフィットが極めて小さい例が存在する。したがって、この試料は少なくとも深さ 10–12 km でザクロ石のセグメント化が起こってから地表に露出する間には、結晶方位を乱すような変形作用を経験していないと考えられた。申請時には、(1) Mogok 変成岩において結晶方位が乱されていない理由、(2) このような例が他の高温変成岩においても普遍的なものなのか、(3) 沈み込み型変成岩においても同様な事実が観察できるのか否か、また(4) 同一の変成帯においても変成度などの違いによって上昇時の変形作用の影響が異なるのか否かについても検討する予定であった。実際の研究では、多くの変成帯の試料を対象に、主にザクロ石のセグメント間のミスフィットの程度について系統的に検討した。

#### 【CPO データを加味した エクロジャイト中の角閃石の形成モデル】

エクロジャイトは、その上昇 (exhumation) 過程で、様々な程度に加水反応を被り、ザクロ石やオンファス輝石は、多くの場合その一部もしくは全てが角閃石によって置換されている。そのような角閃石のうち、特にザクロ石を置換する角閃石は、 $\text{SiO}_2$  相を含み  $\text{SiO}_2$  に過飽和な試料であっても、Si に乏しく Al に富む場合が多い。様々な産状の角閃石の化学組成と CPO を比較することにより、これら角閃石の形成モデルを提唱すると同時に、Si に乏しい角閃石が形成される原因について解明する。

### 3. 研究の方法

従来の研究で採取した試料を、基本的には EPMA と EBSD を組み合わせて分析する。そして、必要に応じて集束イオンビーム加工観察装置 (FIB)- 透過電子顕微鏡 (TEM) で結晶界面の観察やラマン分光装置で微小結晶の同定などを行う。

### 4. 研究成果

#### 【多結晶ザクロ石斑状変晶】

三波川帯高温部に認められる最も大規模な構造的不連続であるエクロジャイト・非エクロジャイト両ユニット境界付近の試料を対象に、多結晶体ザクロ石の分布について系統的な研究を行った。その結果、いずれの結晶においても、多結晶体として成長したことを示すデータは得られなかった。これにより、Enami et al. (2017)によって報告された多結晶ザクロ石斑状変晶は、当初の推測とは異なり、少なくとも三波川帯においてまれな例であること、そしておそらくはユニット境界形成のような特別な構造運動と直接関係して形成されたものではなく、それ以前のエクロジャイト相変成作用時にその原因が求められる可能性が高くなった。

## 【ザクロ石斑状変晶から変形情報を読み取る】

### <セグメント化したザクロ石>

グラニュライト相条件下で再結晶した中国・蘇魯超高压変成岩および角閃岩相条件下で再結晶したミャンマー・Mogok グラニュライト中のセグメント化したザクロ石は、互いに共通した結晶方位を保持していることが明らかとなった。すなわち、これらの試料は、下部地殻でセグメント化して以降、地表へ露出するまでの過程 (exhumation) において、結晶方位を乱すような顕著な変形作用を記録していない。

三波川変成帯、エクロジャイト・ユニットのザクロ石は、エクロジャイト相条件下での核部の成長→減圧時に加水反応による核部のセグメント化→緑れん石 - 角閃岩相条件下でのマントル部の再結晶を経験している (e.g., Kouketsu et al., 2014)。この斑状変晶において、核部およびマントル部は、全体として共通の結晶方位をもっており、セグメント化した時期から斑状変晶再形成時の間に結晶方位の乱れが起こったことは認められない。

### <蜂の巣構造を示すザクロ石>

四国中央部・三波川変成帯汗見川ルートの非エクロジャイト・ユニット試料 (石英片岩) 中の蜂の巣構造を示すザクロ石を系統的に分析した。その結果、このザクロ石は、昇温変成作用時にほぼ単結晶として成長し、その状態をその後地表に露出するまで維持していたことが明らかとなった (図 1)。このような、ザクロ石は、同ルートにおいて一般的に認められる。3次元蜂の巣構造の強度についての検討が必要ではある。しかし、単結晶蜂の巣構造ザクロ石の産出は、汗見川ルートにおいてはこの構造を破壊するような変形作用が広範囲にわたって起こっていない可能性を示唆する。

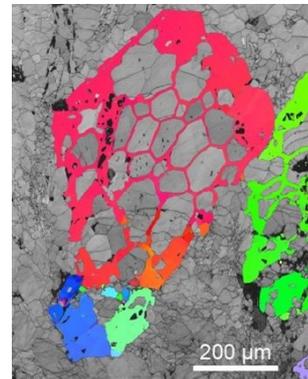


図 1 . 蜂の巣状ザクロ石の EBSD マップ

これらの研究成果から、少なくともザクロ石の結晶方位解析から判断する限り、様々な変成条件下で形成された変成帯において、特に後退 (降温) 変成作用の後期において静的な変形環境がある一定期間は継続していた可能性が高いことが推定できる。その解釈としては、(1) 変成帯全体が主に変形流動のような過程によって上昇・露出したのではなく、その露出は例えばより上位にあった被覆層 (岩石) の削剥など静的な過程によって促進された、もしくは (2) 変形作用の程度が変成帯全体にわたって均一であったのではなく、変形がある特定の場所に集中し、それらに境界された比較的変形の程度が弱い地域がブロック状に運動していたことなどが考えられる。

## 【エクロジャイトの加水反応時における角閃石形成モデル】

定永閃石で代表される Si に乏しい角閃石 ( $Si < 6.0$  apfu for  $O = 23$ ) は、通常  $SiO_2$  に不飽和な全岩組成を持つ岩石中に産する。一方で、例外的にはあるが、石英やコース石を含むエクロジャイトおよびその加水反応で形成された角閃岩のように  $SiO_2$  に過飽和な環境下でも形成されることも知られている。しかし、その場合の形成過程については、明らかとなっていない。

### <化学組成>

中国東部・蘇魯超高压変成帯、東海地域の試料において、角閃石は、ザクロ石 (Grt) 中の包有物、基質の独立した結晶、ザクロ石の仮像、および斜長石を伴うシンプレクタイト (Symp) と

して産する(図2)。そのうち, Si に乏しく Al に富む角閃石(A席のアルカリ元素に富む定永閃石—パーガス閃石)は, ザクロ石の仮像として産する。それらは, ザクロ石のクラックに沿って産するもの [Amp(G)] と, ザクロ石の周囲を置換するマントル角閃石 [Amp(O) Amp(Q)] に大別される。マントル角閃石は, 化学組成上の特徴から, ザクロ石側の inner zone と基質側の outer zone に大別できる。マントル角閃石と基質の石英 (Qz) の間には, 特徴的に斜長石(角閃石側 Pl)とエジリン—オーグサイト(石英側 Aeg-aug)の単一相からなる反応帯が発達する。クラックを埋める角閃石とマントル角閃石の inner zone は, とともに均質であり特徴的にザクロ石とほぼ同じ Al/Si および Ca/Si 値を示す。一方, outer zone は外側に向かって Al/Si および Ca/Si 値が減少し, シンプレクタイト角閃石の組成に近づく。なお, 反応帯と接するマントル角閃石は, そのほとんどが inner zone に相当する組成をもち, outer zone の発達は弱い。

#### <CPO データ>

角閃石の COP データは, 以下のような特徴を持つ(図2)。

- ・マントル角閃石: ほぼ同一のCPOを持つ長さ250–700 μm程度のセグメントからなる。
- ・クラック角閃石: CPOを異にする径20–80 μmの粒の集合体からなる。
- ・シンプレクタイト角閃石: このシンプレクタイトは, もともとオンファス輝石の分解によって形成された透輝石と斜長石の集合体であり, その後の加水反応により透輝石を置換して角閃石が形成されたと考えられている。シンプレクタイトドメイン毎に, 角閃石はほぼ共通するCPOを持つ。そして, 透輝石が残存している場合, 両者はドメイン毎に共通のCPOを示す。この各ドメインの角閃石と近接するマントル角閃石の各セグメントは, 共通するCPOを持つ。

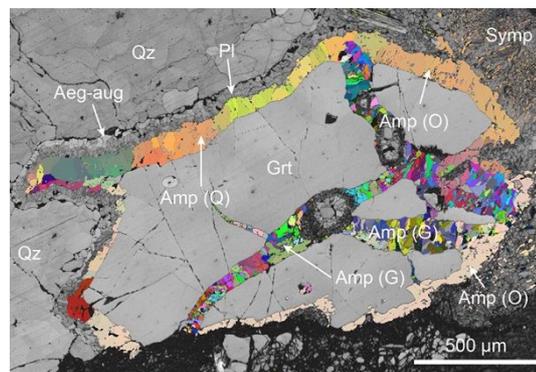


図2. ザクロ石の仮像およびシンプレクタイトを構成する角閃石のEBSDマップ

これらのデータから, 以下のような形成プロセスが想定できる。

- ・オンファス輝石のシンプレクタイト化(透輝石+斜長石)と相前後して, ザクロ石のクラックに沿って Amp(G)が形成された。
- ・その後, マントル角閃石とシンプレクタイト角閃石が, 互いに共通のCPOを持ちつつ, ほぼ同時に形成された。
- ・ザクロ石と基質の初期の境界を基準とすると, マントル角閃石の inner zone はザクロ石を置換して内側に成長し, outer zone は基質側に成長したものであると考えられる。
- ・角閃石中の各元素の拡散速度を考慮すると, inner zone はザクロ石の Si, Al と Ca の量比が局所的に保持されることによって形成された。これが, 石英を含む試料中に Si に乏しい角閃石が産する理由と考えられる。

また, 特異値分析法により, ザクロ石と石英との境界に発達する反応帯の形成過程についても解析した。

#### 引用文献

Enami, M., Nagaya, T., and Maw Maw Win. (2017) doi: 10.2138/am-2017-5666

Kouketsu, Y., Enami, M., Mouri, T., Okamura, M., and Sakurai, T. (2014) doi: 10.1111/iar.12075

Whitney, D.L., and Seaton, N.C.A. (2010) doi: 10.1007/s00410-010-0495-1

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Enami, M. Nishii, A. Mouri, T. Tsuboi, M. Kouketsu, Y.	4. 巻 116
2. 論文標題 Fe-rich olivine from an andesite dike in Miocene Shitara volcanic rocks, central Japan: a revised relationship between Mg/Fe ratio and Raman spectrum in olivine	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.201204	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Kouketsu Yuki, Sadamoto Kazushi, Umeda Hayato, Kawahara Hirokazu, Nagaya Takayosi, Taguchi Tomoki, Mori Hiroshi, Wallis Simon R. Enami Masaki	4. 巻 39
2. 論文標題 Thermal structure in subducted units from continental Moho depths in a paleo subduction zone, the Asemigawa region of the Sanbagawa metamorphic belt, SW Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Metamorphic Geology	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jmg.12584	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 榎並正樹, 瀧澤佑衣, 加藤丈典, 壺井基裕, 丹羽健文	4. 巻 127
2. 論文標題 岐阜県西部・揖斐川町春日地域の火成岩と接触変成岩	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 地質学雑誌	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5575/geosoc.2021.0010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 塩谷 輝, 道林克禎, 瀧澤佑衣, 榎並正樹	4. 巻 127
2. 論文標題 中部地方渋川地域三波川帯におけるヒスイ輝石の再確認: ダナイト中の細脈構成鉱物としての産出	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 地質学雑誌	6. 最初と最後の頁 59-65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5575/geosoc.2020.0050	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Enami Masaki, Huang Shuaimin, Tsuboi Motohiro, Wakasugi Yuki	4. 巻 115
2. 論文標題 Mineralogical and geochemical contrasts of basic lithologies between eclogite and non-eclogite units along the Kokuryo River of the Sanbagawa belt, Central Shikoku, Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 457-470
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.181107a	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kouketsu Yui, Tsai Chin-Ho, Enami Masaki	4. 巻 47
2. 論文標題 Discovery of unusual metamorphic temperatures in the Yuli belt, eastern Taiwan: New interpretation of data by Raman carbonaceous material geothermometry	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geology	6. 最初と最後の頁 522-526
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1130/G45934.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Endo Shunsuke, Nagashima Mariko, Enami Masaki	4. 巻 114
2. 論文標題 Crystal chemistry and Raman spectroscopy of momoite from Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 161-169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.190219	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hong Mei, Enami Masaki, Tsuboi Motohiro, Asahara Yoshihiro	4. 巻 114
2. 論文標題 Common occurrence of calcic plagioclase in granitoids from Mt. Kaizuki area, central Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 201 ~ 213
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.190118	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kouketsu Yui, Miyake Akira, Igami Yohei, Taguchi Tomoki, Kagi Hiroyuki, Enami Masaki	4. 巻 6/23
2. 論文標題 Drastic effect of shearing on graphite microtexture: attention and application to Earth science	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-019-0271-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Taguchi Tomoki, Igami Yohe, Miyake Akira, Enami Masaki	4. 巻 37
2. 論文標題 Factors affecting preservation of coesite in ultrahigh-pressure metamorphic rocks: Insights from TEM observations of dislocations within kyanite	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Metamorphic Geology	6. 最初と最後の頁 401-414
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jmg.12470	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Taguchi Tomoki, Enami Masaki, Kouketsu Yui	4. 巻 37
2. 論文標題 Metamorphic record of the Asemi gawa eclogite unit in the Sanbagawa belt, southwest Japan: Constraints from inclusions study in garnet porphyroblasts	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Metamorphic Geology	6. 最初と最後の頁 181-201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jmg.12456	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Enami Masaki, Kimura Jun-Ichi, Tsuboi Motohiro, Kouketsu Yui, Nagaya Takayoshi, Huang Shuaimin	4. 巻 28
2. 論文標題 Coexisting different types of zoned garnet in kyanite-quartz eclogites from the Sanbagawa metamorphic belt: Evidence of deformation-induced lithological mixing during prograde metamorphism	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Island Arc	6. 最初と最後の頁 e12274-e12274
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/iar.12274	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Huang Shuaimin, Enami Masaki, Tsuboi Motohiro, Wakasugi Yuki	4. 巻 52
2. 論文標題 Geochemical interaction at lithologic boundary deduced from Tonaru epidote-amphibolite and surrounding schists of the Sanbagawa metamorphic belt	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Geochemical Journal	6. 最初と最後の頁 509-529
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2343/geochemj.2.0539	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ye Kyaw Thu, Enami Masaki	4. 巻 36
2. 論文標題 Evolution of metamorphic fluid recorded in granulite facies metacarbonate rocks from the middle segment of the Mogok metamorphic belt in central Myanmar	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Metamorphic Geology	6. 最初と最後の頁 905-931
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jmg.12419	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Taguchi Tomoki, Miyake Akira, Enami Masaki, Igami Yohei	4. 巻 36
2. 論文標題 Significance of an amorphous SiO <sub>2</sub> phase in a pseudomorph after coesite enclosed in garnet from ultrahigh-pressure eclogite, Su-Lu Belt, eastern China	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Metamorphic Geology	6. 最初と最後の頁 843-854
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jmg.12315	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Montel Jean-Marc, Kato Takenori, Enami Masaki, Cocherie Alain, Finger Friedrich, Williams Michael, Jercinovic Michael	4. 巻 484
2. 論文標題 Electron-microprobe dating of monazite: The story	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemical Geology	6. 最初と最後の頁 4-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemgeo.2017.11.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Suzuki Kazuhiro, Enami Masaki, Maekawa Hirokazu, Kato Takenori, Ueno Tomoko	4. 巻 113
2. 論文標題 Late Cretaceous CHIME monazite ages of Sanbagawa metamorphic rocks from Nushima, Southwest Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.170613b	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計15件(うち招待講演 1件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 纈纈佑衣・貞本和志・梅田隼人・河原弘和・永治方敬・田口知樹・森 宏・ウォリス サイモン・榎並正樹
2. 発表標題 沈み込み帯大陸モホ面周辺における温度構造：西南日本三波川変成帯汗見川地域の例
3. 学会等名 JpGU - AGU Joint Meeting 2020: Virtual
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Chiou-ting Lin, Kuei-Chih Feng, Masaki Enami, Hou-Chun Liu, Ji-Hao Zhu, Ron Harris & Wei-Dong Sun
2. 発表標題 Subduction initiation at active spreading mid-ocean ridge indicated by ultrahigh temperature slab melting
3. 学会等名 JpGU - AGU Joint Meeting 2020: Virtual (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 塩谷 輝・道林克禎・纈纈佑衣・榎並正樹
2. 発表標題 中部地方洪川地域三波川帯において発見した、超苦鉄質岩体中でのヒスイ輝石の産出
3. 学会等名 JpGU - AGU Joint Meeting 2020: Virtual
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Chin-Ho Tsai, Chih-Ying Yeh, Dominikus Deka Dewangga, Yui Kouketsu, and Masaki Enami
2. 発表標題 New petrologic indications of subduction metamorphism in the Yuli belt, eastern Taiwan
3. 学会等名 JpGU meeting 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chin-Ho Tsai, Chih-Ying Yeh, Yui Kouketsu, and Masaki Enami
2. 発表標題 Metamorphic temperature variation across the Yuli belt: a clue about exhumation of high-pressure rocks?
3. 学会等名 JpGU meeting 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Enami and Yui Kouketsu
2. 発表標題 Static phenomena retained by garnet during exhumation of metamorphic rocks
3. 学会等名 JpGU meeting 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 榎並正樹, 額綱佑衣, 道林克禎, 田口知樹
2. 発表標題 SiO <sub>2</sub> 相を含む蘇魯超高压エクロジヤイト中に産する定永閃石
3. 学会等名 日本鉱物科学会2019年年会(九州大)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀧藤佑衣, 貞本和志, 梅田隼人, 河原弘和, 永治方敬, 田口知樹, 森 宏・ウォリス サイモン, 榎並正樹
2. 発表標題 四国中央部三波川帯汗見川地域に記録されたモホ不連続面近傍 におけるスラブの温度構造及び変形構造
3. 学会等名 日本地質学会大126年学術大会(山口大)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 榎並正樹・瀧藤佑衣
2. 発表標題 広域変成岩の地表への露出過程に認められる静的な時期
3. 学会等名 日本地質学会第125年学術大会(つくば特別大会)(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 榎並正樹・黄 帥敏・壺井基裕・若杉勇輝
2. 発表標題 岩相境界における変成流体の累進的X(CO2)の上昇: 国領川流域の三波川変成岩の例
3. 学会等名 日本鉱物科学会2018年年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 瀧藤佑衣・榎並正樹・三宅 亮・田口知樹・伊神洋平・鍵 裕之
2. 発表標題 研磨による剪断が石墨の結晶化度に与える影響
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Huang, S., Enami, M., Tsuboi, M. and Wakasugi, Y.
2. 発表標題 Petrologic and chemical characteristics of Tonaru epidote-amphibolite and the related lithologies in the Besshi region of Sanbagawa metamorphic belt
3. 学会等名 JpGU Meeting 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田口知樹・伊神洋平・三宅 亮・榎並正樹
2. 発表標題 超高压エクロジヤイトにおけるコーサイト 石英相転移を制御する要因： 藍晶石内の転位の効果
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kouketsu,, Y. and Enami, M.
2. 発表標題 Static stage of exhumation of metamorphic rocks recorded in garnets: Evidence of EBSD-EPMA mapping
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Taguchi, T., Igami, Y., Miyake, A. and Enami, M.
2. 発表標題 Factors affecting preservation of intact coesite in ultrahigh-pressure metamorphic rock: Impact of dislocations in kyanite and its petrological implication
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2018
4. 発表年 2018年

## 〔図書〕 計2件

1. 著者名 日本鉱物科学会、宝石学会（日本）	4. 発行年 2019年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 664
3. 書名 鉱物・宝石の科学事典（項目分担執筆）	

1. 著者名 榎並正樹・廣井美邦	4. 発行年 2018年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 248
3. 書名 図説地球科学の事典（項目分担執筆）	

## 〔産業財産権〕

## 〔その他〕

-

## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	瀧 佑衣  (Kouketsu You)  (20726385)	名古屋大学・環境学研究科・講師   (13901)	
研究 分 担 者	加藤 文典  (Kato Takenori)  (90293688)	名古屋大学・宇宙地球環境研究所・准教授   (13901)	

## 7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

## 〔国際研究集会〕 計0件

## 8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------