

令和 2 年 9 月 3 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05709

研究課題名(和文) ケイ線石のFe固溶度による地質温度計・酸素分圧計

研究課題名(英文) Fe-in-sillimanite thermometer and oxygen-borometer

研究代表者

川崎 智佑 (Kawasaki, Toshisuke)

愛媛大学・理学部・研究員

研究者番号：50136363

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)：超高温変成岩類に適用可能なFe-ケイ線石-地質温度計圧力計の構築を試みた。高温高压相平衡再現実験を5 kbarから15 kbarまでの圧力範囲で、800 Cから1300 Cまでの温度条件で実施し、ケイ線石へのFe固溶度を求めた。ケイ線石と鉄酸化鉱物間のFe分配の熱力学モデル構築を試みた。含水条件で部分溶融した実験生成物中にFeAlO₃相を見出した。FeAlO₃相はかなりの量のFeTiO₃成分を固溶しチタン鉄鉱との間に固溶体を形成することが明らかになった。FeAlO₃は超高温変成作用の指標鉱物たり得ることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

含水下で部分溶融したFe, Al, Siに富む超高温変成岩中にはFeAlO₃相が発見される可能性がある。FeAlO₃相が超高温変成作用の新しい指標鉱物になり得る。FeAlO₃相はイルメナイト成分と複合置換を起こし、興味深い性質を持っていることが明らかになった。鉱物学、結晶化学、熱力学における新しい研究分野を切り開く可能性を秘めている。1318 C～1410 Cの高温条件でしか合成できないFeAlO₃相が含水条件で1050 C以下の低温領域で合成可能であり、省エネルギーの観点から工業的に大きな意義がある。

研究成果の概要(英文)：In order to establish the new geothermobarometer for ultrahigh-temperature metamorphic rocks, high-pressure and high-temperature experiments were carried out at pressures 5 to 15 kbar and temperatures 800 to 1300 C on the Fe solubility in sillimanite. The thermodynamic model was proposed for the Fe partitioning among sillimanite and iron-oxides. I found FeAlO₃ phase in the run products partially melted under hydrous condition. The phase contains fairly amount of FeTiO₃ component indicating the solid solution formation with ilmenite. The FeAlO₃ phase would be a new index mineral for ultrahigh-temperature metamorphism.

研究分野：実験岩石学

キーワード：ケイ線石 FeAlO₃ 赤鉄鉱 磁鉄鉱 コランダム ルチル イルメナイト スピネル

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

1. 研究開始当初の背景

Buddington Lindsley 1964 の実験的研究, 板谷 1980, Ghiorso Sack 1991 の理論的研究から提案されたイルメナイト磁鉄鉱温度計が岩石の酸素分圧推定に使われている. しかしながら, これらの方法では, 磁鉄鉱や赤鉄鉱を欠いた岩石の酸素分圧推定は不可能である.

東南極リュツオホルム岩体ルンドボークスヘッタでは優黒質ケイ線石-堇青石-サフィリン-グラニュライトの薄層と優白質ザクロ石-ケイ線石-片麻岩の互層において, 前者はイルメナイトを欠き, ケイ線石の Fe_2O_3 含有量が 0.56 wt% (Kawasaki et al 2013) であるのに対し, イルメナイトを含んだ優白質ザクロ石-ケイ線石-片麻岩では, ケイ線石の Fe_2O_3 含有量は 1.23 wt% である (Kawasaki et al 2011a). これら 2 つの超高温変成岩は, 同等の温度・圧力・酸素分圧のもとで変成作用を受けたにもかかわらず, イルメナイトと共存するかどうかでケイ線石の Fe_2O_3 含有量に顕著な違いが生じている.

ケイ線石中の Fe_2O_3 含有量に関する先行研究では, (1) イルメナイトの Fe_2O_3 含有量と温度に伴って増加し, 圧力上昇に伴って減少する (Grew 1980). (2) 変成度に伴って増加する (横井 1983). (3) イルメナイトと共存するよりも赤鉄鉱と共存する方がケイ線石の Fe_2O_3 含有量が多い (Grambling Williams 1985). と述べられている. Grew 1980 の先駆的研究から 40 年近く経過しているにもかかわらず, ケイ線石の Fe 含有量に関する実験的実証的研究はなされていない.

2. 研究の目的

Kawasaki et al 2011b の予察的实验で, ケイ線石の Fe_2O_3 含有量はイルメナイトと共存するよりも赤鉄鉱と共存するほうが高くなり, 温度上昇とともに増加することが示された. それ故, 高温高压相平衡再現実験で, ケイ線石中の Fe_2O_3 含有量の温度・圧力・酸素分圧による変化を明らかにし, 定量化を研究の目的とした.



図 1. ケイ線石濃集岩片



図 2. ケイ線石単結晶

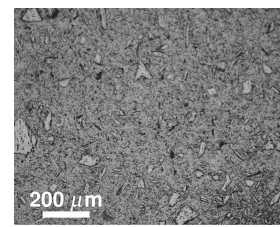


図 3. 粉末ケイ線石

3. 研究の方法

出発物質として用いたケイ線石は東南極リュツオホルム岩体ルンドボークスヘッタの優白質ザクロ石-ケイ線石-片麻岩 (前出) 中に包含されたケイ線石濃集ブロック (約 50 cm×40 cm) から採取した岩片 (図 1) をハンドピックして得られたケイ線単結晶 (図 2) を 10 μm から 50 μm (約 50% は 30 μm 以下) に細粒化した (図 3). ケイ線石単結晶中には種々の包有物が含まれており, 図 2 の左上方の赤い包有物はザクロ石であるが, このような肉眼で判定できるような大きな包有物を含むケイ線石は出発物質として用いなかった. このようにして得られた粉末ケイ線石は, ミクロンサイズの多くの包有物 (アパタイト, 黒雲母, ダイアスポア, ザクロ石, チタン鉄鉱, カリ長石, 白雲母, モナザイト, 斜方輝石, 金雲母, 斜長石, 石英, ルチル, サフィリン, スピネル, ジルコン) を含む (図 4, 投稿準備中).

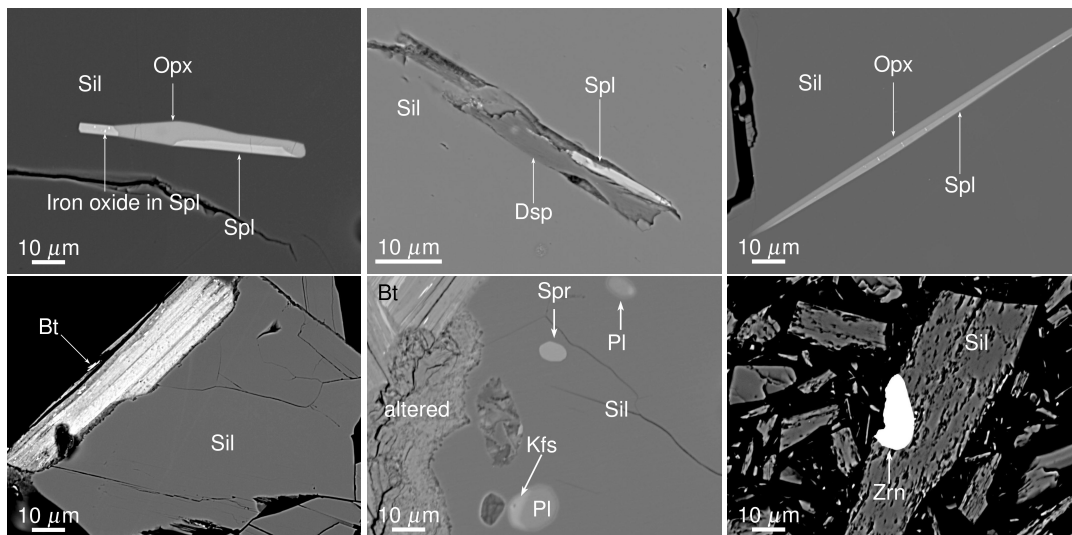


図 4. ケイ線石中の包有物

粉末ケイ線石と Fe_2O_3 の混合物（重量比 95:5）および粉末ケイ線石と Fe_3O_4 の混合物（重量比 86:14）を出発物質とした。出発物質はメノウ乳鉢中でエチルアルコールを用いて混合した。ケイ線石と Fe_2O_3 の出発物質は白金試料容器に、ケイ線石と Fe_3O_4 はパラジウムの試料容器に封入した。試料容器の両端は炭素アーク法で溶接した。山口大学設置の 16.0 mm ピストンシリンダー装置を用いて高温高压実験を実施した。多数（2-7 個）の異なった出発物質を同時に再結晶化させるためにマルチキャプセル法（Kawasaki Motoyoshi 2016）を採用した。出発物質を封入した試料容器は 2-7 個の穴を開けた窒化ホウ素のロッド（長さ 7 mm；直径 5 mm）に挿入し、窒化ホウ素のロッドはタルク-バイレックスガラス圧力媒体中の炭素ヒーターに挿入した。試料容器の長さにより出発物質を区別した。

実験時間は 31 時間から 131 日とした。実験圧力は 5 kbar から 15 kbar とした。実験温度は 800 °C から 1300 °C とし、Pt/Pt₈₇Rd₁₃ 熱電対を用いて制御した。実験中の温度と圧力の変動は ±1% 以内に押さえた。電源を切ることで試料を急冷し実験を終了した。急冷操作で温度は数秒以内で 50 °C に低下し数 10 秒で室温まで下がった。大気圧まで約 5 分かけて減圧した。

実験生成物はエポキシ樹脂に埋め込み、マイクロプローブ分析やラマン分光分析に供するために表面をダイヤモンド研磨した。愛媛大学理学部設置の X 線マイクロプローブ分析装置 JEOL JXA-8800 と山口大学機器分析センター設置の X 線マイクロプローブ分析装置 JEOL JXA-8230 を用いて実験生成物の鉱物組成分析を行った。加速電圧を 15 kV とし、プローブ電流を 5 nA（愛媛大学）および 20 nA（山口大学）とした。電子ビーム径は励起スポットから < 1 μm と推定した。

X 線マイクロプローブ分析終了後に試料の炭素蒸着被膜を剥がし、九州大学比較社会文化研究院環境変動部門地球変動講座設置の JASCO ラマン分光分析装置 NRS-3100 と愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター設置の JASCO ラマン分光分析装置 NRS-5100 を用いて実験生成物のラマン分光分析を行った。

4. 研究成果

白金試料容器を用いて無水条件で赤鉄鉱とケイ線石混合物から以下の反応で



コランダムが析出した。図 5 に鉄酸化物（赤鉄鉱，磁鉄鉱）と共存するケイ線石への Fe の固溶量を示した。今回の実験結果は図 5 に示すように、Grew 1980 による先行研究とは異なり、圧力とともに赤鉄鉱と共存するケイ線石の Fe 含有量（○）が増加している（投稿準備中）。

無水条件で鉄酸化物とケイ線石混合物からコランダムが析出していたが、含水条件で部分溶融すると、以下の反応により FeAlO_3 相が析出した。

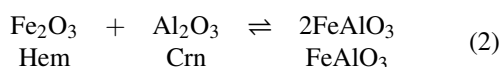


図 6 に白金試料容器内で赤鉄鉱とケイ線石（図 6a），金パラジウム試料容器内で磁鉄鉱とケイ線石（図 6b）を含水条件で 9 kbar, 1050 °C で 31 時間再結晶化させた実験生成物の反射電子線像を載せた。この FeAlO_3 相は、図 7 に示したように Fe の増加に伴って Ti が増加している（Kawasaki et al 2019a）。 FeAlO_3 相に複合置換 $\text{Fe}^{3+}\text{Al}^{3+} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}\text{Ti}^{4+}$ が生じ、かなりの量の FeTiO_3 成分を FeAlO_3 相が固溶している。つまり、これは FeAlO_3 相がチタン鉄鉱と固溶体を形成することを物語っている。

東南極ルンドボークスヘッタ産ケイ線石と Fe_2O_3

（重量比 95:5）の含水混合試料を白金試料容器内で 5 kbar から 11 kbar の圧力範囲で、850 °C から 1050 °C の温度条件（超高温変成作用に相当する温度圧力条件）で実施した相平衡再現実験の結果を図 8 に与えた。この図には第 (2)

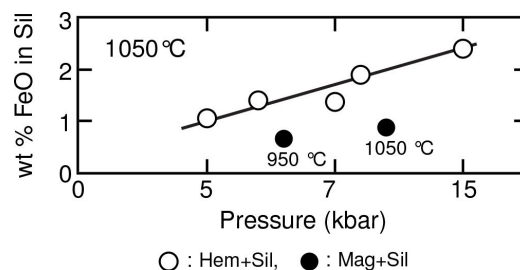


図 5. 鉄酸化物と共存するケイ線石中の Fe 量

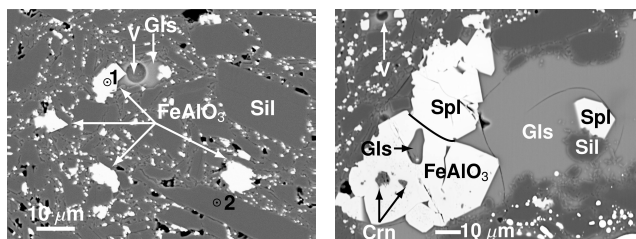


図 6a. Hem+Sil, 9 kbar, 1050 °C, 31h, Pt
図 6b. Mag+Sil, 9 kbar, 1050 °C, 31h, AuPd

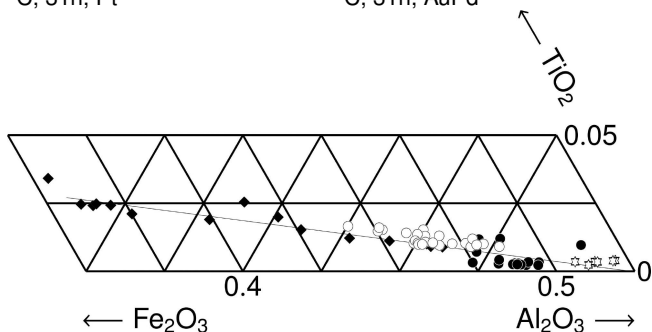


図 7. 9 kbar, 1050 °C で生成した FeAlO_3 の TiO_2 - Fe_2O_3 - Al_2O_3 プロット。

式の化学反応式で定義される $\text{Hem} + \text{Crn} = 2\text{FeAlO}_3$ 境界をおおまかに示してある。

ケイ線石 + FeAlO_3 とケイ線石 + 赤鉄鉱 + コランダムとの相境界は 6 kbar では 850 °C, 11 kbar では 1100 °C あたりだろうと推定できる (投稿準備中)。

FeAlO_3 相は大気圧中では, 1318 °C から 1410 °C の温度範囲で安定 (Muan Gee 1956; Muan 1958) であり, 圧力とともに安定化温度は上昇するので, 天然界では存在し得ないと考えられている (Kawasaki et al 2019a)。今回の研究成果は, Al や Fe に富み, 部分溶融を経た超高温変成岩に FeAlO_3 相が見出される可能性を示唆しており, FeAlO_3 相が超高温変成作用の新しい指標鉱物たり得ることを予言している。

5. まとめ

- (1) 超高温変成岩類に適用可能な新たな温度計圧力計を確立するために 5 kbar から 15 kbar の圧力条件で, 800 °C から 1300 °C までの温度条件でケイ線石への Fe 固溶量を高温高压相平衡再現実験を実施した。
- (2) Fe 酸化物と共存するケイ線石の Fe 含有量は圧力とともに増加する。
- (3) 今回の研究を実施する過程で, 部分溶融した実験生成物中に超高温変成作用に相当する温度圧力条件では不安定であり天然界では未発見である FeAlO_3 相を見出した。
- (4) FeAlO_3 相はチタン鉄鉱との間に固溶体を形成することが明らかになった。
- (5) 含水条件でメルトと共存する FeAlO_3 相は 5 kbar で 900 °C 以上, 12 kbar で 1100 °C 以上で安定である。

6. 引用文献

- Buddington Lindsley 1964 J Pet 5 310–357
Ghiorso Sack 1991 Contr Min Pet 108 485–510
Grambling Williams 1985 J Pet 26 324–354
Grew 1980 J Pet 21 39–68
板谷 1980 岩鉱 75 69–76
Kawasaki et al 2011a Gond Res 19 430–445
Kawasaki et al 2011b 11th Int Symp Antarct Earth Sci PO2.2
Kawasaki et al 2013 Geol Soc London Spec Pub 383 135–167
Kawasaki Motoyoshi 2016 J Min Pet Sci 111 226–240
Kawasaki et al 2019a J Min Pet Sci 114 238–245
Kawasaki et al 2019b 日本地球惑星科学連合 2019 年大会 SMP32-08
Muan Gee 1956 J Am Ceram Soc 39 207–214
Muan 1958 Am J Sci 256 413–422
横井 1983 岩鉱 78 246–254

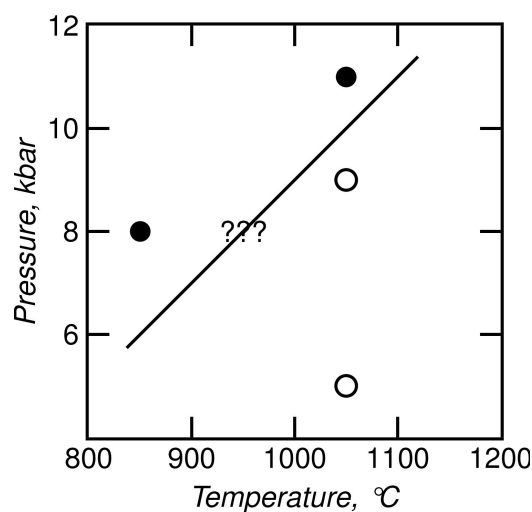


図 8. 予測されるケイ線石 + FeAlO_3 とケイ線石 + 赤鉄鉱 + コランダムとの相境界 (Kawasaki et al 2019b)。

○ : Sil + FeAlO_3 ; ● : Sil + Fe_2O_3 + Al_2O_3

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 23件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 21件）

1. 著者名 Nagashima M, Fukuda C, Matsumoto T, Imaoka T, Odicino G, Armellino G	4. 巻 32
2. 論文標題 Aluminosugilite, KNa ₂ Al ₂ Li ₃ Si ₁₂ O ₃₀ , an Al-analogue of sugilite, from the Cerchiara mine, Liguria, Italy.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Journal of Mineralogy	6. 最初と最後の頁 57-66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.5194/ejm-32-57-2020	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 該当する
1. 著者名 Kawasaki T, Adachi T, Nakano N, Osanai Y	4. 巻 25
2. 論文標題 Metamorphic P-T path of West Ongul Island, Lutzow-Holm Complex, East Antarctica inferred from inclusions within magnetite-ilmenite megacryst in microcline pegmatite dyke.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IAGR Conference Series	6. 最初と最後の頁 33-34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Owada M, Kawasaki T, Kamei A	4. 巻 25
2. 論文標題 Adakitic granodiorite derived from normal thickened crust in active continental margin, Shikanoshima Island, Kyushu, southwest Japan.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IAGR Conference Series	6. 最初と最後の頁 58-60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Kawasaki T, Adachi T, Ohfuji H, Osanai Y	4. 巻 114
2. 論文標題 FeAlO ₃ under ultrahigh-temperature metamorphic conditions: Experimental evidence from the sillimanite-Fe ₂ O ₃ and sillimanite-Fe ₃ O ₄ systems.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 238-251
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.2465/jmps.190509	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 Nagashima M, Nishio-Hamane D, Nakano N, Kawasaki T	4. 巻 46
2. 論文標題 Synthesis and crystal-chemistry of mukhinite, V-analogue of clinozoisite on the join Ca ₂ Al ₃ Si ₃ O ₁₂ (OH)-Ca ₂ Al ₂ VSi ₃ O ₁₂ (OH).	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics and Chemistry of Minerals	6. 最初と最後の頁 63-76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/s00269-018-0988-4	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 Saito S, Bagdassarov NS	4. 巻 113
2. 論文標題 Laboratory measurements of electrical conductivity in a gabbro of the Oman ophiolite at high-pressures and high-temperatures: implications for interpretation of resistivity structures of lower oceanic crust.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 112-117
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2465/jmps.171110	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 該当する

1. 著者名 Nagashima M, Iwasa K, Akasaka M	4. 巻 112
2. 論文標題 Crystal chemistry and oxidation state of Fe of Fe-rich prehnite from hydrothermally altered dolerite.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Mineralogy and Petrology	6. 最初と最後の頁 173-184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/s00710-017-0530-2	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 川崎智佑	4. 巻 123
2. 論文標題 地質温度計圧力計の最近の進展 : 変成温度圧力の数値解析 .	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 地質学雑誌	6. 最初と最後の頁 699-706
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5575/geosoc.2017.0022	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 川崎智佑	4. 巻 123
2. 論文標題 地質温度計圧力計の最近の進展 : 微量元素分配を用いた地質温度計 .	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 地質学雑誌	6. 最初と最後の頁 707-716
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5575/geosoc.2017.0023	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 Saito S, Tani K	4. 巻 277
2. 論文標題 Transformation of juvenile Izu-Bonin-Mariana oceanic arc into mature continental crust: an example from the Neogene Izu collision zone granitoid plutons, central Japan.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Lithos	6. 最初と最後の頁 228-240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.lithos.2016.07.035	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41件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 川崎智佑
2. 発表標題 東南極, リュッツォホルム岩体西オングル島に産する微斜長石ペグマタイト岩脈の磁鉄鉱巨晶に包有されたマグマ性ヘグボマイトと関連鉱物 .
3. 学会等名 第99回西日本東南極研究セミナー
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川崎智佑, 足立達郎, 大藤弘明, 小山内康人
2. 発表標題 FeAlO ₃ phase at ultrahigh-temperature metamorphic conditions: Evidences from the sillimanite-Fe ₂ O ₃ and sillimanite-Fe ₃ O ₄ systems at 9 kbar and 1050 C.
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nagashima M, Nishio-Hamane D, Nakano N, Kawasaki T
2. 発表標題 Crystal chemistry of synthetic mukhinite, V-analogue of clinozoisite, on the join $\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$ - $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{VSi}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$.
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川崎智佑
2. 発表標題 高温高圧下で高酸化状態を保持するための試料容器.
3. 学会等名 日本鉱物科学会2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川崎智佑, 足立達郎, 中野伸彦, 小山内康人
2. 発表標題 東南極リュツオホルム岩体西オングル島, 微斜長石ベグマタイト岩脈中の磁鉄鉱巨晶に取り込まれたヘグボマイト - スピネルおよびスピネル - 石英包有物.
3. 学会等名 日本地質学会第126年学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Saito S
2. 発表標題 Magma process, emplacement depth and denudation history of the Miocene Kaikomagatake granitoid pluton in the Izu arc collision zone, central Japan.
3. 学会等名 The 9th Hutton Symposium on the Origin of Granites and Related Rocks (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kawasaki T, Adachi T, Nakano N, Osanai Y
2. 発表標題 Metamorphic P-T path of West Ongul Island, Lutzow-Holm Complex, East Antarctica inferred from inclusions within magnetite-ilmenite megacryst in microcline pegmatite dyke.
3. 学会等名 2019 IAGR Annual Convention & 16th International Symposium on Gondwana to Asia (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Owada M, Kawasaki T, Kamei A
2. 発表標題 Adakitic granodiorite derived from normal thickened crust inactive continental margin, Shikanoshima Island, Kyushu, southwest Japan.
3. 学会等名 2019 IAGR Annual Convention & 16th International Symposium on Gondwana to Asia (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川崎智佑
2. 発表標題 超高温変成作用におけるFeAlO ₃ 相：ケイ線石 - Fe ₂ O ₃ 系およびケイ線石 - Fe ₃ O ₄ 系の実験証拠。
3. 学会等名 変成岩などシンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川崎智佑, 大藤弘明
2. 発表標題 FeAlO ₃ は超高温変成作用の指標鉱物か？
3. 学会等名 第18回日本地質学会四国支部総会・講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kawasaki T, Ohfuji H
2. 発表標題 FeAlO ₃ phase at ultrahigh-temperature metamorphic conditions: experimental evidences from sillimanite - hematite and sillimanite - magnetite systems at 9 kbar and 1050 C.
3. 学会等名 The 9th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川崎智佑
2. 発表標題 超高温変成岩中のFeAlO ₃ 相 : 9 kbar, 1050 C での珪線石 - 赤鉄鉱および珪線石 - 磁鉄鉱系の実験からの証拠 .
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 川崎智佑
2. 発表標題 超高温変成条件におけるFeAlO ₃ 相の初合成 .
3. 学会等名 日本地質学会第125年学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nagashima M, Imaoka T, Fukuda C, Pettke T
2. 発表標題 Crystal chemistry of hydrous pyroxenoids with three-periodic single-chain of SiO ₄ tetrahedra.
3. 学会等名 IMA2018 Melbourne, Australia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kawasaki T, Adachi T, Nakano N, Osanai Y
2. 発表標題 Mode of occurrence of hogbomite within magnetite megacrysts in pegmatite from West Ongul Island, Lutzow-Holm Complex, East Antarctica.
3. 学会等名 日本地質学会四国支部総会・講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kawasaki T
2. 発表標題 Synthesis of FeAlO ₃ phase at ultrahigh-temperature metamorphic conditions.
3. 学会等名 International workshop on tectonics of the Asia and related terranes (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川崎智佑
2. 発表標題 微量元素の分配を用いた地質温度計圧力計について.
3. 学会等名 第89回西日本東南極研究セミナー
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川崎智佑
2. 発表標題 高温高圧条件におけるケイ線石へのFeとTiの固溶反応：新しい地質温度圧力計および酸素分圧センサーの確立.
3. 学会等名 第91回西日本東南極研究セミナー
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川崎智佑
2. 発表標題 SiO ₂ -TiO ₂ -Al ₂ O ₃ -Fe ₂ O ₃ -FeO系におけるイルメナイトおよびルチルと共存する珪線石へのFeとTiの固溶反応の熱力学定式化.
3. 学会等名 日本鉱物科学会2017年年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川崎智佑
2. 発表標題 高温高圧力下における珪線石へのFe固溶度の予察実験.
3. 学会等名 日本地質学会2017年学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川崎智佑, 足立達朗, 中野伸彦, 小山内康人
2. 発表標題 東南極リュツオホルム岩体, 西オングル島のカリ長石岩脈中に産するイルメナイト - マグネタイト巨晶中に見出されたヘグボマイトの産状.
3. 学会等名 第92回西日本東南極研究セミナー
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kawasaki T
2. 発表標題 On the Fe-Ti solubility in sillimanite coexisting with ilmenite and rutile.
3. 学会等名 The 8th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nagashima M, Nishio-Hamane D
2. 発表標題 Babingtonite with epitaxial hedenbergite whiskers.
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2017年大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 齊藤哲, Bagdassarov NS
2. 発表標題 ピストン・シリンダー型高圧発生装置を用いたオマーンオフィオライト産斑れい岩の電気伝導度測定.
3. 学会等名 日本鉱物科学会2017年年会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 川崎智佑	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(項目執筆): 020鉱物の熱力学, 69-70; 021鉱物を用いた岩石形成の温度・圧力推定, 71-75)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

川崎智佑 http://earth.sci.ehime-u.ac.jp/~toshkawa/en1/index.html 永島真理子 http://web.cc.yamaguchi-u.ac.jp/~nagashim/index.html 齊藤哲 http://yoran.office.ehime-u.ac.jp/profile/ja.50f865cfc1f643ce60392a0d922b9077.html

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	永嶌 真理子 (Nagashima Mariko) (80580274)	山口大学・大学院創成科学研究科 ・准教授 (15501)	
研究分担者	齊藤 哲 (Saito Satoshi) (00528052)	愛媛大学・理工学研究科(理学系)・准教授 (16301)	