

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25400516

研究課題名(和文)アーマルコライトの相平衡再現実験と超高温変成岩の温度圧力履歴の精密解析

研究課題名(英文) High-pressure and high-temperature experiments of phase equilibria on armalcolite for the detailed analysis of P-T path of ultrahigh-temperature granulites

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) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：超高温変成作用の温度圧力条件(6～12 kbar, 900～1100 )， $\log P_{O_2} = -10 \sim -11$ の酸素分圧で，Feに富むアーマルコライトが安定な温度圧力条件を調べた．TiO<sub>2</sub>-FeO-MgO系において，総化学組成が $0.15 < X_{Mg} < 0.2$ で圧力が8 kbarであれば，900～950 以上でアーマルコライト+イルメナイト+ルチルが安定であることを見出した．このことは，Feに富むアーマルコライトが，超高温変成作用の温度圧力条件で，酸化条件( $\log P_{O_2} = -10 \sim -11$ )下で安定に存在できることを意味している．アーマルコライトは超高温変成作用の新しい指標鉱物となり得ることを明らかにした．

研究成果の概要(英文)：This is the report of the investigation to clarify the P-T conditions for the armalcolite stability field through the high-pressure experiments at pressures 6～12 kbar and temperatures 900～1100 corresponding to the ultrahigh-temperature metamorphic conditions under controlling the oxygen fugacity ( $\log P_{O_2} = -10 \sim -11$ ). In the TiO<sub>2</sub>-FeO-MgO system with bulk of  $0.15 < X_{Mg} < 0.2$ , we found that the assemblage of armalcolite + ilmenite + rutile is stable at 8 kbar and more than 900～950 . This indicates Fe-rich armalcolite would be stable at pressures and temperatures conditions corresponding to the ultrahigh-temperature metamorphism under oxidising conditions ( $\log P_{O_2} = -10 \sim -11$ ). We conclude the Fe-rich armalcolite would be a new index mineral for ultrahigh-temperature metamorphism.

研究分野：実験岩石学

 キーワード：アーマルコライト イルメナイト ルチル シュードブルッカイト ウルボスピネル 超高温変成作用  
 の指標鉱物 高温高圧再現実験 酸素分圧

## 1 研究開始当初の背景

1969年7月20日に月面の「静かの海」で発見されたアーマルコライト Arm は  $(\text{Fe}_{0.5}^{2+}\text{Mg}_{0.5})\text{Ti}_2\text{O}_5$  と定義されており、高温で Fe の端成分 ( $\text{Fe}^{2+}\text{Ti}_2\text{O}_5$  フェロシュードブルッカイト Fpb) と Mg の端成分 ( $\text{MgTi}_2\text{O}_5$  カルーアイト Kar) の間で固溶体を形成する (Bowles 1988). フェロシュードブルッカイトは、1 気圧では 1140 °C 以上で安定であり、それ以下の温度ではイルメナイトとルチルに分解する (Lindsley 1991).

月のアーマルコライトは低酸素分圧条件で生成したので、Fe は +2 価である (Anderson et al 1970). 地球のアーマルコライトは  $\text{Fe}^{3+}$  を含み、複雑な固溶体  $\text{Fe}^{2+}\text{Ti}_2\text{O}_5\text{-Fe}^{3+}\text{TiO}_5\text{-MgTi}_2\text{O}_5\text{-Ti}_3\text{O}_5$  を形成する (Contini et al 1993, Hayob Essene 1995).

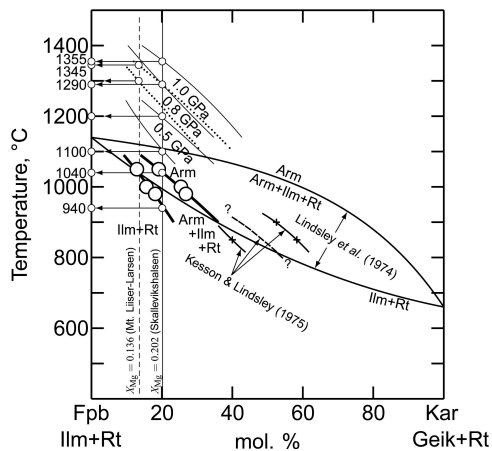


Fig. 1 Phase diagram of the  $\text{FeTi}_2\text{O}_5\text{-MgTi}_2\text{O}_5$  system at 1 atm (modified Lindsley et al 1974, Kesson Lindsley 1975) and pressure dependence of the stability field of armalcolite under MW buffer (発表論文 17). Circles, thick curves: experimental results of Kawasaki et al 2013 (発表論文 17). Thin curves labelled '1.0 GPa' and '0.5 GPa', and dotted curves labelled '0.8 GPa' show the calculated phase boundaries between the stability fields of the assemblages armalcolite, armalcolite + ilmenite + rutile and ilmenite + rutile using the volume data. Arm, armalcolite; Fpb, ferropseudobrookite; Geik, geikielite; Ilm, ilmenite; Kar, karrooite; Rt, rutile.

超高温変成作用を受けた東南極ナピア岩体リーセルラルセン山の片麻岩から、 $\text{Fe}^{2+}$  と  $\text{Fe}^{3+}$  に富むアーマルコライトが発見された (Miyake Hokada 2013). 東南極リュツオホルム岩体ルンドボックスヘッタに産する超高温変成岩のザクロ石斑状変晶中に、後退変成作用の過程でアーマルコライトの分解により生成したと考えられるイルメナイトとルチルの平行連晶 (Kawasaki et al 2011) が報告された。また、イルメナイト中にルチルで縁取られたアーマルコライト様仮像がスカレピークスハルゼンのザクロ石珪線石片麻岩に見出された (発表論文 17).

これらのことから、アーマルコライトが超高温変成作用の新しい指標鉱物になり得ると考えられる。本研究では、酸素分圧を制御した高温高压実験を実施することで、 $\text{Fe}^{2+}$  と  $\text{Fe}^{3+}$  に富むアーマルコライトの安定条件の決定を試みた。

## 2 研究の目的

大気圧下におけるアーマルコライトの相図を Fig. 1 に与えた。この図には、酸素分圧をウスタイト-マグネタイト WM バッファーに制御して、四国三波川変成帯東赤石山から得られた石英エクロジャイトの大気圧での焼結実験で形成した Fe-Mg-Ti 鉱物の化学組成のデータ (発表論文 17) や Lindsley et al 1974 と Kesson Lindsley 1975 による金属鉄-ウスタイト IW バッファー条件での実験データをプロットしてある。アーマルコライトの安定領域は酸素分圧が高くなると、安定化温度が低下し、アーマルコライト+イルメナイト+ルチル 3 相共存領域が狭まることがこの図から分かる。

アーマルコライトの安定領域の圧力変化に関連する端成分の単位格子体積データを用いて計算した結果も Fig. 1 に示した。Hokada 2001 によりリーセルラルセン山域の変成圧力が 8 kbar と推定されているので、Miyake Hokada 2013 が東南極ナピア岩体リーセルラルセン山で見出したアーマルコライトは、この図からは 1300 °C~1345 °C の温度範囲でイルメナイトおよびルチルと共存し、1345 °C 以上で単独で安定となると予測される。しかしながら、この温度は変成作用としてはあり得ない高温である。Fig. 1 から得られる変成温度は、Hokada 2001 が見積もった変成温度よりも 250 °C から 300 °C も高温となってしまふ。

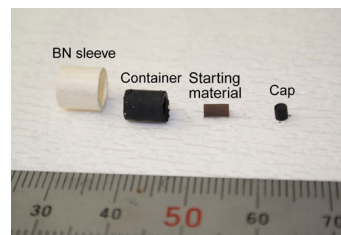


Fig. 2 Magnetite capsule.

アーマルコライトを使って変成温度を推定するためには、高酸素分圧条件でのアーマルコライトの相平衡図を確立することが不可欠である。アーマルコライトの安定領域は低酸素分圧条件 (IW バッファー) で調べられており (Lindsley 1991, Lindsley et al 1974, Kesson Lindsley 1975), 高压力下での相平衡は中間組成  $X_{\text{Mg}} \approx 0.5$  で調べられている (Friel et al 1977). しかしながら、これらの先行研究は Fe ( $\text{Fe}^{2+}$  と  $\text{Fe}^{3+}$ ) に富んだアーマルコライトが出現する変成岩には適用できない。本研究では、超高温変成作用に相当する温度圧力条件で、高酸素分圧条件下で、Fe に富んだアーマルコライトの相関係を明らかにすることを目的とした。

## 3 研究の方法

### 3.1 出発物質

アーマルコライトの組成で  $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{\text{total}})$  値が 0, 0.1, 0.15 および 0.2 となるように調整した  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$  酸化物混合物を用意した。この酸化物混合物を大気圧下で  $\text{H}_2$  と  $\text{CO}_2$  の混合ガス ( $\text{CO}_2 : \text{H}_2 = 10\text{ l/min} : 1\text{ l/min}$ ) を用いて流動法により、1100 °C で酸素分圧を  $\log P_{\text{O}_2} \approx -12$  に制御して焼結した。生成されたイルメナイトとルチルの

混合体を出発物質とした。

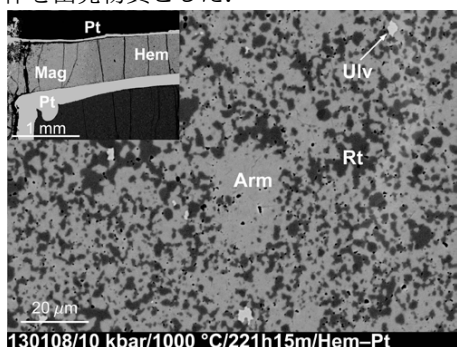


Fig. 3 Armalcolite recrystallised from the crystalline mixture of ilmenite and rutile in the hematite (outer)-Pt (inner) double capsule at 10 kbar and 1000 °C for 221h15m. Arm, armalcolite. Hem, hematite. Mag, magnetite. Pt, platinum. Rt, rutile. Ulv, ulvöspinel.

### 3.2 実験方法

高温高压実験は愛媛大学と山口大学に設置された 16.0 mm ピストンシリンダー装置を用いて 6~12 kbar, 900~1300 °C で実施した。酸素分圧を制御するのに適切な試料構成を探るために以下の予備実験を行った。

- (1) ヘマタイトやマグネタイトで作成した酸化鉄の試料容器 (Fig. 2) を用いた実験では、還元反応が進み、試料容器と試料中の酸化鉄成分は金属鉄となった。それ故、酸化鉄で作った試料容器は使用しないことにした。
- (2) ヘマタイト-白金二重容器 (Fig. 3) を用いた実験では、ヘマタイトの一部がマグネタイトに還元されたが、アーマルコライトが 10 kbar, 1000 °C で生成した (Fig. 3)。
- (3) 白金やパラジウム試料容器を用いて、無水条件、

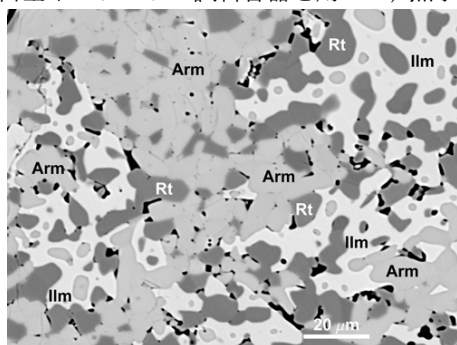


Fig. 4 Armalcolite, ilmenite and rutile precipitated at 8 kbar and 1100 °C in Pt capsule under the anhydrous condition. Arm, armalcolite. Ilm, ilmenite. Rt, rutile. TC, thermocouple side.

含水条件で酸化白金を封入して再結晶化実験を行った。パラジウム容器を用いて 8 kbar, 1080 °C で 4 wt% H<sub>2</sub>O を加えた含水条件の実験では、中心部にはイルメナイト+ルチルが生成し、試料容器側にメルトが生成したので、含水実験は中止した。

- (4) 白金容器を用いた無水実験 (Fig. 4) は簡便に実施できるので、この方法を採用することとした。

### 3.3 実験生成物の同定

酸素分圧を制御した大気圧下での焼結実験や高温高压実験で得られた生成物 (Fig. 4) の同定は、愛媛大学、山口大学および九州大学設置の X 線

マイクロプローブアナライザー装置や九州大学設置の Raman 分光分析装置を用いて行った。Fig. 5 は 8 kbar, 1100 °C, 無水条件で白金試料容器内に再結晶したアーマルコライト, イルメナイトおよびルチル (Fig. 4) の化学組成である。これらが示

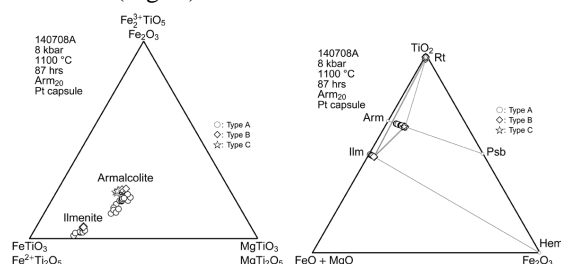


Fig. 5 Composition of armalcolite, ilmenite and rutile synthesised at 8 kbar and 1100 °C for 87h in the platinum capsule. Left: TiO<sub>2</sub>-(FeO)-MgO plot. Right: TiO<sub>2</sub>-(FeO + MgO)-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> plot. Arm, armalcolite. Hem, hematite. Ilm, ilmenite. Psb, pseudobrookite. Rt, rutile.

すように、アーマルコライト, イルメナイトおよびルチルに Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が固溶し、アーマルコライトは FeTi<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-MgTi<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Fe<sup>3+</sup>+TiO<sub>2</sub> 固溶体を、イルメナイトは FeTiO<sub>3</sub>-MgTiO<sub>3</sub>-Fe<sup>3+</sup>+O<sub>3</sub> 固溶体を、ルチルは TiO<sub>2</sub>-Fe<sup>3+</sup>+Fe<sup>2+</sup>+{ }O<sub>4</sub> 固溶体 ({}: 空孔) を形成すると考えられる。

## 4 研究成果

Fig. 6 に今回の研究成果の一部を示した。これは、総化学組成  $X_{Mg}^{bulk} = 0.2$ , 酸素分圧  $\log P_{O_2} = -10 \sim -11$  で行った実験結果である。図中の曲線の高圧定圧側でアーマルコライトがイルメナイトおよびルチルと共存し、低圧側では、アーマルコライトが不安定となり、イルメナイトおよびルチルが共存する。

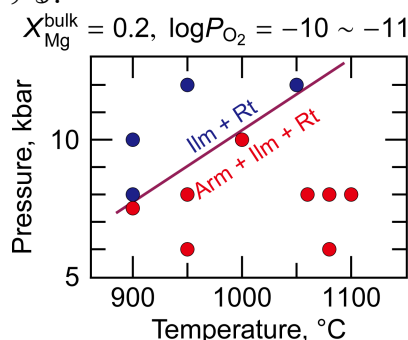


Fig. 6 Experimental results on armalcolite stability with bulk of  $X_{Mg}^{bulk} = 0.2$  under oxygen pressures ( $\log P_{O_2} = -10 \sim -11$ ). Arm, armalcolite. Ilm, ilmenite. Rt, rutile. ●: Ilm + Rt. ●: Arm + Ilm + Rt.

また、 $X_{Mg}^{bulk} = 0.15$  の総化学組成のものから 8 kbar, 900 °C でイルメナイト+ルチルのシプレクタイトが生成した。このことから、総化学組成が  $0.15 < X_{Mg}^{bulk} < 0.2$  で圧力が 8 kbar であれば、900 °C~950 °C 以上でアーマルコライトがイルメナイトおよびルチルと共存できる事を物語っている。総化学組成が  $X_{Mg}^{bulk} = 0.1$  である出発物質から、6 kbar, 950~1080 °C では、イルメナイト+ルチルを得た。 $X_{Mg}^{bulk} = 0$  の出発物質から、8~12 kbar, 950~1300

°C で、イルメナイト+ルチルが安定であった。つまり、アーマルコライトは、 $X_{Mg}^{bulk} = 0.2$  程度に少し Mg に富み、超高温変成作用に相当する温度圧力条件下で、 $\log P_{O_2} = -10 \sim -11$  程度の少し酸化的な条件下であれば安定に存在できる。それ故、アーマルコライトは超高温変成作用の新しい指標鉱物となり得ることが明らかになった。

これらの研究成果は、発表論文 9 や学会発表 27, 24, 10, 14, 15 で公表した。また、アーマルコライトと密接に関係する Ti-Fe-Al 酸化物であるヘグボマイト類の高温高压条件下での合成を試みる(学会発表 21) とともに、片麻岩の溶融実験(学会発表 20, 6, 7, 2) を実施した。本研究を進めていく過程で、コース石および藍晶石と共存する単斜輝石が高压条件下では、コース石や藍晶石と共存しない単斜輝石よりも、よりシリカに富むことを明らかにし(発表論文 12, 学会発表 25)、グラニューライト相に相当する高温高压条件下(7–23 kbar, 850–1300 °C)での実験により超高温～高温変成岩に適用可能なザクロ石 Ti 温度計を提案した(発表論文 5, 学会発表 18, 19, 23, 16, 3)。また、地質温度計圧力計の最近の進展について解説した(発表論文 1, 2, 学会発表 1)

イルメナイトとルチルの平行連晶(Kawasaki et al 2011) やアーマルコライトの仮像(発表論文 17) が東南極リュツオホルム岩体の超高温変成岩中に見出されているが、アーマルコライトはナピア岩体リーセルラルセン山域の超高温変成岩以外からは発見されていない。詳細な記載的研究を進めることでアーマルコライトが南極大陸のナピア岩体以外の超高温変成岩中に発見されることが期待される。この研究課題を遂行する過程で、イルメナイトと共存するルチルや珪線石中の Fe 含有量が温度・圧力・酸素分圧により変化することが分かった(学会発表 8, 9)。このことから、これらの鉱物の Fe 含有量が酸素分圧センサーとして利用できる可能性が高いと考えられる。今後は、アーマルコライト、イルメナイトおよびルチルの相関係と併せて、温度・圧力・酸素分圧によるルチルおよび珪線石中の Fe 含有量の変化を詳細な実験的研究から精密に決定していきたい。

#### [引用文献]

- Anderson et al 1970 Proc Apollo 11 Lunar Sci Conf 1 55–63  
 Bowles 1988 Am Mineral 73 1377–1383  
 Contini et al 1993 Mineral Mag 57 203–216  
 Friel et al 1977 Geochim Cosmochim Acta 41 403–410  
 Hayob Essene 1995 Am Mineral 80 810–822  
 Hokada 2001 Am Mineral 86 932–938  
 Kawasaki et al 2011 Gond Res 19 430–445  
 Kesson Lindsley 1975 Proc 6th Lunar Sci Conf 1 911–920  
 Lindsley 1991 Rev Mineral 25 69–106  
 Lindsley et al 1974 Proc Fifth Lunar Sci Conf 1 521–534  
 Miyake Hokada 2013 Eur J Min 25 33–38

## 5 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 21 件)

注：全て査読有り。

- 川寄智佑, 2017 地質温度計圧力計の最近の進展: I. 変成温度圧力の数値解析. 地質学雑誌 (in press)
- 川寄智佑, 2017 地質温度計圧力計の最近の進展: II. 微量元素分配を用いた地質温度計. 地質学雑誌 (in press)
- Saito S, Tani K, 2017 Transformation of juvenile Izu–Bonin–Mariana oceanic arc into mature continental crust: an example from the Neogene Izu Collision Zone granitoid plutons, central Japan. Lithos (in press)
- Nagashima M, Nishio-Hamane D, 2017 TEM study of the epitaxial association of hedenbergite whiskers with babingtonite. Min Mag, doi:https://doi.org/10.1180/minmag. 2017. 081.020
- Kawasaki T, Motoyoshi Y, 2016 Ti-in-garnet geothermometer for ultrahightemperature granulites. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences. 111 226–240, doi:10.2465/jmps.150709
- Owada M, Osanai Y, Nakano N, Adachi t, Kitano I, Tri TV, Kagami H, 2016 Late Permian plume-related magmatism and tectonothermal events in the Kontum Massif, central Vietnam. J Min Pet Sci 111 181–195, doi:10.2465/jmps.151019b
- Nagashima M, Akasaka M, Morifuku Y, 2016 Ore and skarn mineralogy of the Yamato mine, Yamaguchi Prefecture, Japan with emphasis on silver-, bismuth-, cobalt-, and tin-bearing sulfides. Res Geol 66 37–54, doi:10.1111/rge.12085
- Saito S, Ishikawa M, Arima M, Tatsumi Y, 2016 Laboratory measurements of  $V_p$  and  $V_s$  in a porosity-developed crustal rock: Experimental investigation into the effects of porosity at deep crustal pressures. Tectonophysics 677–678 218–226, http://doi.org/10.1016/j.tecto.2016.03.044
- Kawasaki T, Adachi T, Nakano N, Osanai Y, 2015 Preliminary report of high-pressure and high-temperature synthesis of  $Fe^{3+}$ - and  $Fe^{2+}$ -rich armalcolite as a key mineral of ultrahigh-temperature metamorphism. Int Assoc Gond Res Conf Ser 21 49–50, doi:10.1016/j.gr.2015.10.012
- Akasaka E, Owada M, Kamei A, 2015, Crustal differentiation due to partial melting of granitic rocks in an active continental margin, the Ryoke Belt, Southwest Japan. Lithos, 230, 82–91, doi:org/10.1016/j.lithos.2015.04.021
- Shimura T, Kemp AIS, 2015 Tetrahedral plot diagram: A geometrical solution for quaternary systems. Am Min 100 2545–2547, http://dx.doi.org/10.2138/am-2015-5371
- Kawasaki T, Osanai Y, 2015 Experimental evidence of bulk chemistry constraint on  $SiO_2$  solubility in clinopyroxene. Lithos 226 4–16, http://dx.doi.org/10.1016/j.lithos.2015.01.025
- 齊藤 哲, 2015 海洋性島弧から大陸地殻へ: 伊豆衝突帯花崗岩質岩体の成因研究. 岩石鉱物科

- 学 44 32–44, doi:10.2465/gkk.141215c
14. 大和田正明, 緑川貴裕, 今岡照喜, 2014, 山口県東部, 岩国地域領家帯低度変成岩の白雲母 K–Ar 年代. 地質学雑誌, 120, 413–418, doi:10.5575/geosoc.2014.0037
  15. Nagashima M, Mitani K, Akasaka M, 2014 Structural variation of babingtonite depending on cation distribution at the octahedral sites. *Min Pet* 108 287–301, doi:10.1007/s00710-013-0297-z
  16. Nagashima M, Armbruster T, Kolitsch U, Pettke T, 2014, The relation between Li ↔ Na substitution and hydrogen bonding in five-periodic single-chain silicates nambulite and marsturite: A single crystal X-ray study. *American Mineralogist*, 99, 1462–1470, doi:10.2138/am.2014.4887
  17. Kawasaki T, Adachi T, Nakano N, Osanai Y, 2013 Possible armalcolite pseudomorph-bearing garnet–sillimanite gneiss from Skallevikshalsen, Lützow-Holm Complex, East Antarctica: Implications for ultrahigh-temperature metamorphism. *Geol Soc London Spec Pub* 383 135–167, <http://dx.doi.org/10.1144/SP383.2>
  18. Matsukage K, Nagayo Y, Whitaker ML, Takahashi E, Kawasaki T, 2013 Melting Martian mantle from 1.0 to 4.5 GPa. *J Min Pet Sci* 108 201–214, doi:10.2465/jmps.120820
  19. Owada M, Kamei A, Horie K, Shimura T, Yuhara M, Tsukada K, Osanai Y, Baba S, 2013 Magmatic history and evolution of continental lithosphere of the Sør Rondane Mountains, eastern Dronning Maud Land, East Antarctica. *Precam Res* 234 63–84, <http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2013.02.007>
  20. Owada M, Osanai Y, Nakano N, Adachi T, Yone-mura K, Yoshimoto A, Satish-Kumar M, Sereenen J, Boldbaata C, 2013 An early Paleozoic tectonothermal event in western Mongolia: Implications for regional extension of the Cambrian orogenic belt. *J Min Pet Sci* 108 42–46, doi:10.245/jmps.121021a
  21. Nagashima M, Armbruster T, Izumino Y, Nakashima K, 2013, Crystal chemistry of a Cu isotope of makovickyite from the Obari mine, Yamagata Prefecture, Japan. *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 191, 75–81, doi:10.1127/0077-7757/2013/0248
- 〔学会発表〕 (計 28 件)
1. 川崎智佑, 2017, 微量元素の分配を用いた地質温度計圧力計について. 第 89 回西日本東南極研究セミナー, 1 月 7 日～1 月 8 日, 山口大学吉田キャンパス (山口県・山口市)
  2. 大和田正明, 浦島遼平, 亀井淳志, 川崎智佑, 2017, 北部九州, 白亜紀火成岩類のマグマ過程からみた下部地殻物質. 第 89 回西日本東南極研究セミナー, 1 月 7 日～1 月 8 日, 山口大学吉田キャンパス (山口県・山口市)
  3. Kawasaki T, 2016, Titanium in garnet: A geothermometer for ultrahigh-temperature granulites. International Symposium “Metamorphic rocks and Metamorphism: Future Perspectives” (国際学会), 3 月 12 日～3 月 14 日, Okayama University of Science (岡山県・岡山市)
  4. Yamaguchi Y, Kawasaki T, Kitakaze A, 2016, Two different origins of sulfides in calc-alkaline andesite suites: Sulfide inclusions in phenocrysts of Asama-Maekake Volcano. The 26th Goldschmidt Conference (国際学会), 6 月 26 日～7 月 1 日, Pacifico Yokohama (神奈川県・横浜市)
  5. Shimura T, Kojima M, Harada Y, 2016, Garnet–sillimanite–spinel–plagioclase geobarometer. The 26th Goldschmidt Conference (国際学会), 6 月 26 日～7 月 1 日, Pacifico Yokohama (神奈川県・横浜市)
  6. 大和田正明, 川崎智佑, 亀井淳志, 2016, 北部九州白亜紀 I-type 花崗岩のマグマ過程. 日本鉱物科学会 2016 年年会, 9 月 23 日～9 月 25 日, 金沢大学角間キャンパス (石川県・金沢市)
  7. 大和田正明, 川崎智佑, 亀井淳志, 2016, 北部九州, 白亜紀火成岩類のマグマ過程. 第 88 回西日本東南極研究セミナー, 11 月 4 日～11 月 6 日, 高知大学朝倉キャンパス (高知県・高知市)
  8. 川崎智佑, 珪線石の Fe 含有量は地質温度計に使えるか? 2016, 第 88 回西日本東南極研究セミナー, 11 月 4 日～11 月 6 日, 高知大学朝倉キャンパス (高知県・高知市)
  9. Kawasaki T, 2016, Is the solubility of iron oxide in rutile an oxygen-fugacity sensor for ultrahigh-temperature metamorphisms? The Seventh Symposium on Polar Science (国際学会), 11 月 29 日～12 月 2 日, National Institute of Polar Research (東京都・立川市)
  10. Kawasaki T, 2015, High-pressure synthesis of armalcolite — Could armalcolite be a key mineral of ultrahigh-temperature metamorphism? The International Colloquium on Metamorphic Evolution and Asian Continental Growth (国際学会), 2 月 14 日, Ito Guest House, Kyushu University (福岡県・福岡市)
  11. 川崎智佑, 本吉洋一, 2015, ザクロ石 Ti 温度計. 日本地質学会 122 年学術大会, 9 月 11 日～9 月 13 日, 信州大学長野 (工学) キャンパス (長野県・長野市)
  12. 山口佳昭, 川崎智佑, 2015, 浅間・前掛火山の硫化物とマグマ混合: 注入・混合する玄武岩マグマに共存する Cu–Ni–Fe 不混和硫化物液滴. 日本地質学会 122 年学術大会, 9 月 11 日～9 月 13 日, 信州大学長野 (工学) キャンパス (長野県・長野市)
  13. Saito S, 2015, Transformation of juvenile oceanic arc into mature continental crust: Neogene granitoid plutons in the Izu Collision Zone, central Japan. 8th Hutton Symposium on Granite and Related Rocks (国際学会), 9 月 20 日～9 月 25 日, Oceania Convention Center (Florianópolis, Brazil)



14. 川寄智佑, 足立達朗, 中野伸彦, 小山内康人, 2015, 超高压変成作用の指標鉱物である Fe に富むアーマルコライトの高温高压合成 — 予察的報告. 日本鉱物科学会 2015 年年会, 9 月 25 日~9 月 27 日, 東京大学本郷キャンパス (東京都)
15. Kawasaki T, Adachi T, Nakano N, Osanai Y, 2015, Preliminary report of high-pressure and high-temperature synthesis of Fe<sup>3+</sup>- and Fe<sup>2+</sup>-rich armalcolite as a key mineral of ultrahigh-temperature metamorphism. The 2015 Annual Convention of the International Association for Gondwana Research (IAGR) and 12th International Symposium on Gondwana to Asia (国際学会), 10 月 21 日~23 日, University of Tsukuba (茨城県・つくば市)
16. Kawasaki T, Motoyoshi Y, 2015, TiO<sub>2</sub> solubility in garnet coexisting with orthopyroxene, quartz and rutile: Ti-in-garnet thermometer for ultrahigh-temperature granulites. 第 6 回極域科学シンポジウム, 11 月 16 日~11 月 19 日, 国立極地研究所 (東京都・立川市)
17. 兒玉優, 三宅亮, 外田智千, 川寄智佑, 2014, 高温下における ternary feldspar の相関係. 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 5 月 2 日, パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市)
18. Kawasaki T, Motoyoshi Y, 2014, Titanium substitution model for Ca- and Ti-poor garnet in ultrahigh-temperature granulites. 第 81 回西日本東南極研究セミナー, 6 月 28 日~6 月 29 日, 鈴蘭小屋 (長野県・松本市)
19. 川寄智佑, 本吉洋一, 2014, 超高温グラニュライト中の Ca, Ti に乏しいザクロ石における Ti の置換モデル. 日本地質学会 121 年学術大会, 9 月 13 日~9 月 15 日, 鹿児島大学郡元キャンパス (鹿児島県・鹿児島市)
20. 加々島慎一, 内海理絵, 川寄智佑, 2014, 東南極リュツオ・ホルム岩体ルンドボークスヘッタにおける苦鉄質片麻岩の部分熔融過程, 日本地質学会 121 年学術大会, 9 月 13 日~9 月 15 日, 鹿児島大学郡元キャンパス (鹿児島県・鹿児島市)
21. 志村俊昭, 足立達郎, 中野伸彦, 小山内康人, 川寄智佑, 2014, ヘグボマイト類の高温高压実験. 日本地質学会 121 年学術大会, 9 月 13 日~9 月 15 日, 鹿児島大学郡元キャンパス (鹿児島県・鹿児島市)
22. 齊藤 哲, 2014, 伊豆衝突帯における海洋性島弧の大陸地殻への改質. 日本地質学会 121 年学術大会, 9 月 13 日~9 月 15 日, 鹿児島大学郡元キャンパス (鹿児島県・鹿児島市)
23. 川寄智佑, 本吉洋一, 2014, 超高温グラニュライトのためのザクロ石 Ti 地質温度計. 日本鉱物科学会 2014 年年会, 9 月 17 日~9 月 19 日, 熊本大学黒髪北キャンパス (熊本県・熊本市)
24. 川寄智佑, 2014, Fe<sup>3+</sup> および Fe<sup>2+</sup> に富むアーマルコライトの高温高压合成. 第 5 回極域科学シンポジウム, 12 月 2 日~12 月 5 日, 国立極地研究所 (東京都・立川市)
25. Kawasaki T, Osanai Y, 2013, Supersilicic clinopyroxene: experimental evidences of bulk-chemistry constraints on SiO<sub>2</sub> solubility. 10th International Eclogite Conference (国際学会), 9 月 2 日~9 月 19 日, Centro Congressi (Courmayeur, Italy)
26. 大和田正明, 梶川歩美, 志村俊昭, 先山 徹, 亀井淳志, 柚原雅樹, 東田和弘, 2013, 東南極セール・ロンダーネ山地に産する閃長岩体のマグマ過程. 日本鉱物科学会 2013 年年会, 9 月 11 日~9 月 13 日, 筑波大学第一エリア (茨城県・つくば市)
27. 川寄智佑, 2013, 超高温変成作用の指標鉱物たり得る Fe<sup>3+</sup> を含むアーマルコライトの高温高压合成の準備状況. 第 4 回極域科学シンポジウム, 11 月 12 日 (火)~11 月 15 日, 国立極地研究所 (東京都・立川市)
28. 大和田正明, 梶川歩美, 先山 徹, 亀井淳志, 志村俊昭, 柚原雅樹, 東田和弘, 2013, 東南極セール・ロンダーネ山地に産する閃長岩マグマの起源. 第 4 回極域科学シンポジウム, 11 月 12 日 (火)~11 月 15 日, 国立極地研究所 (東京都・立川市)
- 〔図書〕 (計 3 件)
1. 川寄智佑, 三省堂, 2016, 宝石の科学, 項目執筆, 印刷中
  2. 大和田正明, 三省堂, 2016, 宝石の科学, 項目執筆, 印刷中
  3. 志村俊昭, 脇田浩二, 宮田雄一郎, 坂口有人, 大和田正明, 川村喜一郎, 地質学雑誌 (補遺), 2014, 地質学会鹿児島大会巡検案内書, 184pp
- 〔その他〕  
ホームページ等  
<http://earth.sci.ehime-u.ac.jp/~toshkawa/jp1/index.html>
- ## 6 研究組織
- (1) 研究代表者  
川寄 智佑 (KAWASAKI, Toshisuke)  
愛媛大学・理学部・研究員  
研究者番号: 50136363
- (2) 研究分担者  
大和田 正明 (OWADA, Masaaki)  
山口大学・創成科学研究科・教授  
研究者番号: 50213905
- 志村 俊昭 (SHIMURA, Toshiaki)  
山口大学・創成科学研究科・教授  
研究者番号: 70242451  
(ヘグボマイト類の記載・鉱物化学分析のために, 平成 27 年度から参加した.)
- 永嶋 真理子 (NAGASHIMA, Mariko)  
山口大学・創成科学研究科・准教授  
研究者番号: 80580274
- 齊藤 哲 (SAITO, Satoshi)  
愛媛大学・理工学研究科 (理学系)・講師  
研究者番号: 00528052  
(花崗岩類中の Ti-Fe-Mg 鉱物の記載・鉱物化学分析のために, 平成 25 年度から参加した.)