

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H03748

研究課題名(和文) マントル組成変化と大陸衝突事変に基づく地殻・マントル物質循環の精密解析

研究課題名(英文) Crust-mantle interaction and compositional variation of continental lithosphere due to collision event

研究代表者

大和田 正明 (Owada, Masaaki)

山口大学・大学院創成科学研究科 ・教授

研究者番号：50213905

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)： Gondwana大陸形成の衝突帯に位置する東南極セール・ロンダーネ山地には、衝突前後に活動した火成岩類が分布する。これら火成岩の岩石学的特徴から、この地域の衝突時期と衝突時の地殻・マントル相互作用について検討した。その結果、珪長質岩のNd同位体組成は衝突時期を限定でき、衝突後に貫入した苦鉄質マグマから、衝突によって潜り込んだ上部地殻物質が少なくとも地下60 kmでマントルと反応したことを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大陸の成長は、マントルから付加される苦鉄質マグマの量と沈み込み帯からマントルへ運び込まれる大陸地殻の量によって決まる。大陸衝突帯は大陸同士が衝突し、一方の大陸がマントルへ潜り込むため、大陸がマントルへ運び込まれる直接証拠を得ることができる。本研究は、この課題に対して、大陸衝突帯に産する苦鉄質岩の化学的特徴から、衝突事変の後に活動したマグマが明らかに沈み込む大陸地殻と反応したことを明らかにした。

研究成果の概要(英文)： The Gondwana supercontinent was formed during the Late Neoproterozoic and included several suture zones. The Sor Rondane Mountains (SRM), East Antarctica, is situated within the suture zone of the Gondwana supercontinent, and is underlain by various kinds of the metamorphic and igneous rocks. The aim of this study is to reveal the time for formation of the SRM by the amalgamation of Proterozoic terranes and to address the crust and mantle interaction during the formation of suture zone.

Combined with the Nd isotopic values of the metagranitoids and the zircon U-Pb dating of the metamorphic rocks, the amalgamation of terranes in the SRM was established during 620 to 640 Ma. After that event, the high-K magmatism, lamprophyre and syenite, intruded into the SRM at ca. 550 Ma. The high-K magma could be produced by partial melting of the metasomatized mantle at least 60 km in depth. The source mantle of the high-K magma was modified by the subducted Proterozoic crust.

研究分野： 固体地球科学の諸現象を対象とした地質学

キーワード： Gondwana大陸 衝突帯 大陸地殻 マントル 変花崗岩 ランプロファイアー 海洋島弧 原生代

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

大陸同士の衝突は表層から深部にいたる様々な変動を引き起こす。その時、物質や熱対流によって地下深部（上部マントル～下部地殻）では、衝突の前後で組成や物性が大きく変化する。一般に、大陸衝突帯における上部マントル組成の変化は、大陸地殻が上部マントルに押込められ、周囲のマントルと反応するからとされている。このように肥沃化したマントルの組成は、溶融後の苦鉄質マグマ組成に反映される。大陸衝突帯に産する火成岩の特徴について、衝突後に活動したマントル由来の苦鉄質火成岩の化学組成から、地殻とマントルの反応を示した研究例 (Prelevic et al., 2012) や南極大陸の Gondwana 大陸衝突帯を例にマグマ組成の時空的变化を明らかにした報告 (Mihalsky et al. 2006) はある。しかし、大陸衝突の時期を確定した上で衝突時期の前後に貫入した火成岩の特徴から地殻・マントル間の物質循環まで踏み込んだ研究例はまれであった。

東南極セール・ロンダーネ山地は大陸衝突帯に位置し、衝突帯形成時の地質学的現象が残されている (Osanai et al., 2013)。また、ここでは、10～5 億年前の 5 億年間に苦鉄質～珪長質マグマが断続的に貫入し、その間に大陸衝突が起きた (Owada et al., 2013)。すなわち、衝突前後に活動した火成岩類の主・微量元素組成や Sr, Nd 同位体組成の変化を詳細に検討でき、衝突の影響によるマントル組成の変化を詳細に解析することができる。したがって、セール・ロンダーネ山地は、衝突帯の深部（特に、上部マントル）で起きた地殻物質とマントル物質の反応やその条件、そして大陸地殻と反応したマントルが溶融したときのマグマ組成を研究するのに適した地域であると予想された。

### 2. 研究の目的

上述のように大陸衝突帯では、一方の大陸地殻がマントル中へ潜り込み、地殻とマントルが反応しマントル組成を改変させることが報告されている。本研究は、Gondwana 大陸形成時の衝突帯である東南極セール・ロンダーネ山地を例に、衝突の時期を求め、火成岩の化学的特徴から衝突前後のマントル組成の変化を明らかにする。そして、高温・高圧溶融実験の結果と比較しながら、地殻物質と反応したマントルに由来するマグマの生成条件を再現する。一方で、地殻物質とマントルが反応する条件は、プレートの収束速度や潜り込む大陸地殻物質の組成等によって変化する。そこで、衝突帯に産する火成岩類の岩石化学的特徴を比較して、大陸衝突帯における地殻・マントル間の物質循環の多様性と原因を解明する。

### 3. 研究の方法

東南極セール・ロンダーネ山地は、原生代に形成された岩石を原岩とした変成岩類やそれらに貫入する火成岩類から構成されている。大陸の衝突によって、既存の岩石は衝突帯の場所に応じた変成作用を受ける。そのような岩石の変成条件を理解することは、衝突帯の時間的・空間的スケールの把握に役立つ。そして、変成作用の年代を明らかにすることは、衝突の時期を限定できる。また、火成岩類の組成は、その活動場を反映することが知られている。すなわち、火成岩起源の変成岩の原岩形成年代とそれらの岩石化学的特徴は、衝突帯に至る地質体の形成年代や形成場などの過程を検討できる。

### 4. 研究成果

原生代は、初期地球から生命を育む地球へ至る地球史の中でその進化を代表する時代である。Gondwana 大陸は、そうした原生代末に現在の南半球に位置する大陸とインドが一つにま

とまった大陸で、東 Gondwana 大陸と西 Gondwana 大陸が最終的に衝突合体して形成した。そのため Gondwana 大陸は複数の衝突帯を含んでいる。特に東南極では衝突帯の痕跡が多数認められる。日本の南極観測隊が主に調査してきた東経 22° ~ 45° の地域には、東経 36° に沿って南北に伸びる明瞭な地磁気異常の境界が認められる。この境界の東側では、太古代地殻を伴う原生代のインド・南極地塊（レイナー地塊）が分布し、西側には、主に新期原生代の衝突帯が分布する。セール・ロンダーネ山地は、この南北性の境界から約 300 km 西の衝突帯内部に位置する。また、大和山脈はレイナー地塊との境界部に位置する。

### 花崗岩類の形成年代、岩石化学的特徴とテクトニクス

セール・ロンダーネ山地南西地塊は火成岩起源の変成岩類が広く分布する。特に MSZ 以南のトータル岩体は主に後期原生代（10 億年前）の海洋島弧であるとされた。しかしながら、セール・ロンダーネ山地南西地塊には、火成岩起源の変成岩類から 7~9 億年のジルコン U-Pb 年代が報告されている。そこで、南西地塊を構成する層状片麻岩体とトータル岩体を対象に火成活動とそのテクトニクス場を検討した。

これまでの報告も含め、野外の産状から火成岩起源の変成岩類を認識し、それらの岩石化学的特徴とジルコン U-Pb 年代を求める。特に花崗岩類は中・下部地殻の溶融によって形成するので、花崗岩類の Nd 同位体組成は、大陸地殻を代表する。このような観点で、本研究では火成岩起源の変成岩試料と衝突帯形成後に貫入した火成岩を比較し、後期原生代から古生代初期までの大陸衝突帯のテクトニクスを検討した。データをまとめるにあたり、新たに 8 試料からジルコン U-Pb 年代を求めた。結果を表に示す。

Results of zircon U-Pb dating for the rocks from Sør Rondane.						
Sample No.	Location	Lithology	Age (Ma)	error (±)	Reference	Methods
<b>Layered gneiss Complex</b>						
M08120301A	Vengen	Hbl-Bt gneiss	628	3.3		LA-ICP-MS
			730		inherited	LA-ICP-MS
M08122701C	Otto-Borg	Hbl-Bt gneiss	933	5.7		LA-ICP-MS
<b>Tonalite Complex</b>						
M09010701	Walnum	Hb gneiss	943	4.6		LA-ICP-MS
			991	6.8	inherited	LA-ICP-MS
<b>Post-kinematic intrusive rocks</b>						
O91012002A	Mefjel	Px monzonite	532	5.6		LA-ICP-MS
M09011501E	Lunckeryggen	L. melanosye	559	1.6		SHRIMP
S870124-3A	Lunckeryggen	Granite	550	1.7		SHRIMP
S870121-2B-1	Lunckeryggen	Mela-Sy dike	549	3.4		SHRIMP
M09010802A	Lunckeryggen	Minette	557	5		SHRIMP Pb-Pb

東南極セール・ロンダーネ山地の火成作用は、1000 Ma から始まり 500 Ma まで継続した。この間、約 1 億年の継続期間を持つ 3 回の大きな火成活動（フェーズ）が起こった。トータル岩体は主にフェーズ 1 で形成され、沈み込み帯と背弧海盆での火成活動を示す化学的特徴を示す。フェーズ 2 も引き続き沈み込み帯での特徴を示す。一部はアダカイト質の組成も含まれる。苦鉄質岩は海洋底玄武岩の組成に類似する。そして、フェーズ 3 の火成活動はフェーズ 1, 2 と異なり、特に苦鉄質マグマでは、沈み込み帯の特徴は弱くなり、プレート内マグマ活動の特徴が卓越する。こうした火成活動の特徴は後期原生代から古生代初期までのテクトニクス場の変遷を示唆する。特に衝突帯としての位置付けが明確になるフェーズ 3 の火成活動は苦鉄質岩だけでなく、珪長質岩の組成的特徴に大きな変化をもたらすことが期待される。それを検証するため、各フェーズで活動した花崗岩類の Nd 同位体組成を検討した。花崗岩マグマ

は、一般に中～下部地殻の溶融によって生じる。このことは花崗岩の Nd 同位体組成が大陸地殻の組成を反映していることを意味する。Nd 同位体組成は始源的な地球の値と比較することで、成熟した地殻か初源的な地殻かを判断できる。始源的な地球と比較したイプシロン Nd 値が正の値をとれば初源的な地殻であり、逆に負の値をとれば成熟した地殻の影響が大きいことを意味する。

フェーズ 1, 2 に活動した花崗岩類のイプシロン Nd 値は正である。一方、フェーズ 3 の花崗岩類はゼロまたは負で、その変化は北東地塊と南西地塊が衝突合体した 640–620 Ma を挟んで顕著である。このようなイプシロン Nd 値の時代変化は、北東地塊と南西地塊の衝突によって、大陸地殻の組成が大きく変化したことを示す。南西地塊は 5 億年の間、海洋島弧としての性質を保っていたが、北東地塊は成熟した大陸地殻の性質を備えていた。北東地塊と南西地塊の地殻が衝突したことで、南西地塊の中～下部地殻は北東地塊の影響を強く受けたと考えられる。現在の地表で観察できる産状は、北東地塊が南西地塊に衝上している。しかし、地下では、成熟した大陸地殻の組成的特徴を持つ北東地塊が逆に南西地塊の下に潜り込み、衝突帯に厚い地殻を形成したと推察される。また、大陸地殻の潜り込みが起これば、マンツルの組成にも何らかの影響を与えたことが示唆される。

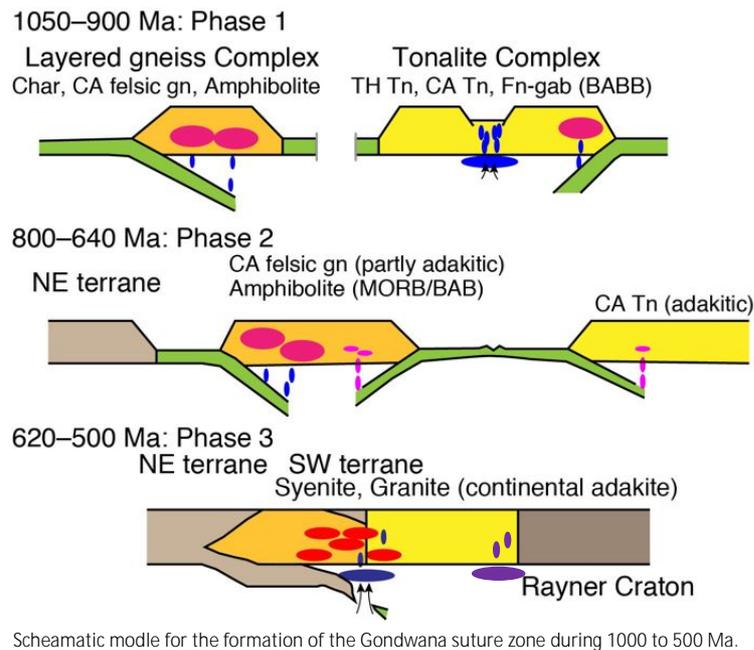
#### マンツル組成の変化と地殻・マンツル相互作用

フェーズ 3 の苦鉄質マグマはドレライト、ミネツトおよび優黒質閃長岩である。ドレライトはチタンに富み、FeO/MgO 比が高い。その他の化学的特徴は Nb や Ta 含有量が高く、不適合元素比はプレート内玄武岩の化学的特徴を示す。一方、ミネツトもプレート内玄武岩的組成を示すが、ドレライトに比べて、FeO/MgO 比が低く、チタンにも乏しい。このような化学的特徴は地殻物質の組成と類似し、未分化に近いミネツトの組成も同様の特徴を示す。すなわち、ドレライトはマンツルの深部から上昇したブルームに由来するマグマ活動によって形成したが、ミネツトは大陸地殻の組成的影響を受けたマンツルに由来するマグマによって生じた可能性がある。閃長岩の化学的特徴は基本的にミネツトと類似するが、層状構造を示すことから、鉱物の集積が岩石の組成に反映されている。すなわち、閃長岩はミネツトマグマの貫入によって形成したマグマ溜まりが徐冷することで結晶が集積し、野外では層状構造が発達する深成岩として固結したと考えられる。

ミネツト岩脈には、しばしば金雲母の巨晶が含まれる。すなわち、ミネツトマグマの金雲母は液相線上で晶出するようなカリウムに富む組成的特徴を持つ。高温・高圧溶融実験による金雲母 - マグマ地質温度圧力計を適用するとミネツトマグマの形成深度はザクロ石レルゾライトの安定領域、地下 60 km よりも深い条件で部分溶融したことを示す。上述のように未分化に近いミネツトの化学的特徴は、成熟した組成的特徴を持つ北東地塊がマンツルへ潜りこむことでマンツルと反応した結果とみなすことができる。従って、衝突によって潜り込んだ大陸地殻は少なくとも地下 60 km に達した可能性がある。セール・ロンダーネ山地のフェーズ 3 火成活動は、大陸地殻物質に交代されたリソスフェアマンツルに由来するマグマ活動によって形成されたと推察される。そして、ミネツトは地殻内にマグマ溜まりを形成し、徐冷することで層状の閃長岩を形成したと考えられる。

大和閃長岩の貫入年代は 530 Ma で、セール・ロンダーネ山地のミネツトや閃長岩の活動年代とほぼ同じである。大和閃長岩は、交代作用を受けたマンツルの部分溶融で生じたアルカリ玄武岩マグマに由来するとした。そしてマグマの成因はセール・ロンダーネ山地のミネツトや閃長岩と類似する。しかし、大和閃長岩はセール・ロンダーネ山地のミネツトや閃長岩に比

べ、より成熟した地殻の影響が強い。このように、衝突帯の火成作用は隣接する大陸地殻との距離やその成熟度の違いによって大陸地殻との相互作用を経験したマンツルの組成が異なると考えられる。最後に火成作用の特徴と分布から見た Gondwana 大陸衝突帯の形成モデルを示す (Owada et al., 2019)。



< 引用文献 >

- Mihalsky, E.V., Sheraton, J.W., Hahne, K., 2006, Charnockite composition in relation to the tectonic evolution of East Antarctica. *Gondwana Research*, 9, 379–397.
- Osanai, Y., Nogi, Y., Baba, S., Nakano, N., Adachi, T., Hokada, T., Toyoshima, T., Owada, M., Satish-Kumar, M., Kamei, A., Kitano, I., 2013, Geologic evolution of the Sor Rondane Mountains, East Antarctica: collision tectonics proposed based on metamorphic processes and magnetic anomalies. *Precambrian Research*, 234, 8–29.
- Owada, M., Kamei, A., Horie, K., Shimra, T., Yuhara, M., Tsukada, K., Osanai, Y., Baba, S., 2013, Magmatic history and evolution of continental lithosphere of the Sor Rondane Mountains, eastern Dronning Maud Land, East Antarctica. *Precambrian Research*, 234, 63–84.
- Owada, M., Kamei, A., Osanai, Y., Nakano, N., 2019, Proterozoic magma activities and formation of collision zone in the Sor Rondane Mountains, eastern Dronning Maud Land, East Antarctica. *The XIII International Symposium on Antarctic Earth Sciences*, Incheon, Korea, Abstract.
- Prelevic, D., Akal, C., Foley, S.F., Romer, R.L., Stracke, A., Van Den Boggrd, P., 2012, Ultrapotassic mafic rocks as geochemical proxies for post-collisional dynamics of orogenic lithospheric mantle: the case of southwestern Anatolia, Turkey. *Journal of Petrology*, 53, 1019–1055.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計28件（うち査読付論文 28件／うち国際共著 16件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Hiroi, Y., Hokada, T., Kato, M., Yanagi, A., Adachi, T., Osanai, Y., Motoyoshi, Y., Shiraishi, K.	4. 巻 114
2. 論文標題 Felsite-nanogranite inclusions and three Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub> polymorphs in the same garnet in ultrahigh-temperature granulites from Rundvogshetta, Lutzow-Holm Complex, East Antarctica	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 60-78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.181118	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 Hossain, H.M.Z., Hossain, H., Kamei, A., Araoka, D.	4. 巻 11
2. 論文標題 Compositional variations, chemical weathering and provenance of sands from the Cox 's Bazar and Kuakata beach areas, Bangladesh.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Arabian Journal of Geosciences	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12517-018-4111-4	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 Wu, T., Li, Z-L., Zhou, J., Mao, J-R., Langmuir, C.H., Wang, C-L., Zhang, F-J, Gao, X., Chen, R., Lin, Q-L., Zhang, Y., Kamei A.	4. 巻 126
2. 論文標題 Petrogenesis of the Late Mesozoic Magnesian and Ferroan Granites in Northwest Zhejiang, Southeast China, and Their Implications.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Geology	6. 最初と最後の頁 407-425
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1086/697691	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 Ali Ashgar Sepahi, Seyedeh Razieh Jafari, Osanai, Y., Hossein Shahbazi, Mohssen Moazzen	4. 巻 10 sep
2. 論文標題 Age, petrologic significance and provenance analysis of the Hamedan low-pressure migmatites; Sanandaj-Sirjan Zone, West Iran	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Geology Review	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) org/10.1080/00206814.2018.1517392	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 Hammerli, J., Kemp, A.I.S., Shimura, T. Vervoort, J.D., EIMF, and Dunkley, D.J.	4. 巻 46
2. 論文標題 Generation of I-type granitic rocks by melting of heterogeneous lower crust	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Geology	6. 最初と最後の頁 907-910
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1130/G4545119.1	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 Nagasima 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 <sub>2</sub> Al <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub> (OH) Ca <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> VSi <sub>3</sub> O <sub>12</sub> (OH).	5. 発行年 2018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) 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 Kodama, S., Owada, M., Imaoka, T., Kamei, A.	4. 巻 114
2. 論文標題 Sr-Nd isotopic compositions of the Susuma-Nagao Plutonic Complex in the San-yo Belt, Southwest Japan: Implications for the Cretaceous enriched mantle	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 99-104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.181118b	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 深見 潤、大和田 正明	4. 巻 123
2. 論文標題 福岡県、三郡山東麓に分布する苦鉄質変成岩類の全岩化学組成	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 地質学雑誌	6. 最初と最後の頁 1055-1060
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5575/geosoc.2017.0042	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 Tsukada Kazuhiro, Yuhara Masaki, Owada Masaaki, Shimura Toshiaki, Kamei Atsushi, Kouchi Yoshikazu, Yamamoto Koshi	4. 巻 111
2. 論文標題 A low-angle brittle shear zone in the western Sor Rondane Mountains, Dronning Maud Land, East Antarctica -Implication for assembly of Gondwanaland	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Geodynamics	6. 最初と最後の頁 15-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jog.2017.08.001	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 -

1. 著者名 Kawasaki Toshiyuki	4. 巻 123
2. 論文標題 地質温度計圧力計の最近の進展 :	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 Kawasaki Toshiyuki	4. 巻 123
2. 論文標題 地質温度計圧力計の最近の進展 :	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 Dharmapriya P.L., Malaviarachchi Sanjeewa P.K., Kriegsman Leo M., Sajeev K., Galli Andrea, Osanai Y., Subasinghe N.D., Dissanayake C.B.	4. 巻 8
2. 論文標題 Distinct metamorphic evolution of alternating silica-saturated and silica-deficient microdomains within garnet in ultrahigh-temperature granulites: An example from Sri Lanka	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Geoscience Frontiers	6. 最初と最後の頁 1115-1133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gsf.2016.11.008	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 Nakano Nobuhiko, Osanai Yasuhito, Nam Nguyen Van, Tri Tran Van	4. 巻 302-303
2. 論文標題 Bauxite to eclogite: Evidence for late Permian supracontinental subduction at the Red River shear zone, northern Vietnam	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Lithos	6. 最初と最後の頁 37-49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.lithos.2017.12.023	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 Mishima Kaoru, Yamazaki Rie, Satish-Kumar Madhusoodhan, Ueno Yuichiro, Hokada Tomokazu, Toyoshima Tsuyoshi	4. 巻 464
2. 論文標題 Multiple sulfur isotope geochemistry of Dharwar Supergroup, Southern India: Late Archean record of changing atmospheric chemistry	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 69-83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2017.02.007	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 TSUBOKAWA Yumiko, ISHIKAWA Masahiro, KAWAKAMI Tetsuo, HOKADA Tomokazu, SATISH-KUMAR M., TSUCHIYA Noriyoshi, GRANTHAM Geoffrey H.	4. 巻 112
2. 論文標題 Pressure-temperature-time path of a metapelite from Mefjell, Sor Rondane Mountains, East Antarctica	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 77-87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.160919	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 外田智千・馬場壮太郎・亀井淳志・北野一平・本吉洋一・Prayath Nantasin・Nugroho Imam Setiawan・Davaa-Ochir Dashbaatar	4. 巻 61
2. 論文標題 リュツォ・ホルム湾, プリンスオラフ海岸, 及び, エンダピーランド地質調査隊報告2016-2017 (JARE-58)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 南極資料	6. 最初と最後の頁 11-56
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 Imaoka Teruyoshi, Kawabata Hiroshi, Nagashima Mariko, Nakashima Kazuo, Kamei Atsushi, Yagi Koshi, Itaya Tetsumaru, Kiji Michio	4. 巻 290-291
2. 論文標題 Petrogenesis of an Early Cretaceous lamprophyre dike from Kyoto Prefecture, Japan: Implications for the generation of high-Nb basalt magmas in subduction zones	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Lithos	6. 最初と最後の頁 18-33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.lithos.2017.07.023	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., Osanai, Y., Nakano, N., Adachi, T., Kitano, I., Tran Van Tri, Kagami, H.	4. 巻 111
2. 論文標題 Late Permian plume-related magmatism and tectonothermal events in the Kontum Massif, central Vietnam	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 181-195
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.151019b	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 Osanai, Y., Sajejev, K., Nakano, N., Kitano, I., Kehelpannala, W.K.V., Kato, R., Adachi, T., Malaviarachchi, S.P.K.	4. 巻 111
2. 論文標題 UHT granulites of the Highland Complex, Sri Lanka I: Geological and petrological background	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 145-156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.151227	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 Osanai, Y., Sajejev, K., Nakano, N., Kitano, I., Kehelpannala, W.K.V., Kato, R., Adachi, T., Malaviarachchi, S.P.K.	4. 巻 111
2. 論文標題 UHT granulites of the Highland Complex, Sri Lanka II: Geochronological constraints and implications for Gondwana correlation	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 157-169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.151230	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 Kawasaki, T., Motoyoshi, Y.	4. 巻 111
2. 論文標題 Ti-in-garnet geothermometer for ultrahigh-temperature granulites	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 226-240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.150709	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 Hokada, T., Harley, S.L., Dunkley, D.J., Kelly, N.M., Yokoyama, K.	4. 巻 111
2. 論文標題 Peak and post-peak development of UHT metamorphism at Mather Peninsula, Rauer Islands: Zircon and monazite U-Th-Pb and REE chemistry constraints	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 89-103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.150829	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 Otsuji, N., Satish-Kumar, M., Kamei, A., Takazawa, E., Tsuchiya, N., Grantham, G.H., Kawakami, T., Ishikawa, M., Osanai, Y.	4. 巻 111
2. 論文標題 Sr and Nd Isotopic evidence in metacarbonate rocks for an extinct Island arc - ocean system in East Antarctica	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 170-180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.151029a	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 Akasaki E., Owada M. and Kamei A.	4. 巻 230
2. 論文標題 Crustal differentiation due to partial melting of granitic rocks in an active continental margin, the Ryoke Belt, Southwest Japan	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Lithos	6. 最初と最後の頁 82-91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.lithos.2015.04.021	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 Nakano N., Osanai Y., Owada M., Satish-Kumar M., Adachi T., Jargalan S., Yoshimoto A., Syeryekhan K. and Boldbaatar C.H.	4. 巻 33
2. 論文標題 Multiple growth of garnet, sillimanite/kyanite and monazite during amphibolite facies metamorphism: implications for the P-T-t and tectonic evolution of the western Altai Range, Mongolia	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Journal of metamorphic geology	6. 最初と最後の頁 937-958
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jmg.12154	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 Kawasaki T. and Motoyoshi Y.	4. 巻 111
2. 論文標題 Ti-in-garnet geothermometer for ultrahightemperature granulites	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 226-240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.150709	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 Shimura T. and Kemp A.I.S.	4. 巻 100
2. 論文標題 Tetrahedral plot diagram: A geometrical solution for quaternary systems	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 2545-2547
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2015-5371	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 Baba S., Horie K., Hokada T., Owada M., Adachi T. and Shiraishi K.	4. 巻 123
2. 論文標題 Multiple Collisions in the East African-Antarctica Orogen: Constraints from Timing of Metamorphism in the Filchnerfjella and Hochlinfjellet Terranes in Central Dronning Maud Land	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Journal of Geology	6. 最初と最後の頁 55-78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1086/679468	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 -

〔学会発表〕 計28件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 23件）

1. 発表者名 Owada, M., Kamei, A., Osanai, Y., Nakano, N.
2. 発表標題 Formation of Neoproterozoic juvenile crust in Eastern Dronning Maud Land, East Antarctica
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Owada, M., Osanai, Y., Nakano, N., Pham Binh, Tran Van Tri
2. 発表標題 Geochronology and petrogenesis of plume-related magmatism in the collision zone, Kontum Massif, Central Vietnam
3. 学会等名 The XV Geological conference of Southeast Asia (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Owada, M., Kamei, A., Osanai, Y., Nakano, N.
2. 発表標題 Proterozoic magma activities and crustal evolution of Sor Rondane Mountains, Dronning Maud Land, East Antarctica
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 Hokada, T., Baba, S., Kamei, A., Kitano, I., Nantasari, P., Setiawan, N., Dashbaatar, D., Motoyoshi, Y., Hiroi, Y., Osanai, Y., Dunkley, D., Horie, K., Takehara, M., Shiraishi, K.
2. 発表標題 Re-examination of metamorphic and geochronologic events in eastern Dronning Maud Land and Enderby Land, East Antarctica: current status and future perspectives
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hokada, T., Baba, S., Kamei, A., Kitano, I., Horie, K., Motoyoshi, Y., Hiroi, Y., Shiraishi, K., Takehara, M.
2. 発表標題 Rayner Complex and Western Rayner Complex in Enderby Land
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 Kamei, A., Tashima, H., Hokada, T., Baba, S., Kitano, I., Hiroi, Y., Motoyoshi, Y.
2. 発表標題 Igneous activity of Middle Proterozoic meta-tonalite in Cape Hinode, Prince Olav Coast, East Antarctica
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 Osanai, Y., Nakano, N., Owada, M., Pham Binh, Tran Van Tri, Charusiri, P., Tran Ngoc Nam
2. 発表標題 Tectonic evolution of extreme metamorphic rocks in the Trans Vietnam Orogenic Belt, SE-Asia
3. 学会等名 The XV Geological conference of Southeast Asia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kawasaki, T., Ohfuji, H.
2. 発表標題 FeAlO <sub>3</sub> 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
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hammerli, J., Kemp, A.I.S. and Shimura, T.
2. 発表標題 A new melt contamination model for the generation of “I-type” granitic rocks by melting heterogeneous lower crust
3. 学会等名 European Geosciences Union General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Owada, M., Kamei, A.
2. 発表標題 Early Neoproterozoic igneous suites of the western Sor Rondane Mountains (East Antarctica): Evolution to juvenile oceanic-arc crust
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 Owada, M.
2. 発表標題 Proterozoic igneous activities in the south-western part of Sor Rondane Mountains, East Antarctica: Formation of juvenile continental crust
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 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 Eighth Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 Kawasaki, T.
2 . 発表標題 Synthesis of FeAlO <sub>3</sub> 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 Osanai, Y., Nakano, N., Adachi, T., Owada, M., Toyoshima, T., Tsunogae, T., Hokada, T.
2 . 発表標題 Geological and geochemical characteristics of UHT metamorphic rocks from the Amundsen Bay region in the Napier Complex, East Antarctica
3 . 学会等名 日本地球惑星連合大会2017年大会 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Nakano, N., Osanai, Y., Owada, M., Satish-Kumar, M., Adachi, T., Jargalan, S., Syeryekhan, K., Boldbaatar, C.
2 . 発表標題 Paleozoic multiple thermal events in the Altai Range, Mongolia
3 . 学会等名 日本地球惑星連合大会2017年大会 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Hassan, H.M.Z, Kawahata, H., Roser, B.P., Kamei, A., Araoka, D., Kon, Y., Suzuki, A.
2 . 発表標題 Geochemical compositions and provenance of core sediments from the Gulf of Thailand and east coast of Malay Peninsula
3 . 学会等名 The 27th Goldschmidt conference (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 Davaa-Ochir Dashbaatar, Yoichi Motoyoshi, Tomokazu Hokada, Sotaro Baba, Atsushi Kamei, Ippei Kitano, Prayath Nantasin, Nugroho Setiawan
2. 発表標題 Chalcopyrite-pyrite mineralization associated with orthogneiss, in Lutzow-Holm Bay, Eastern Antarctica
3. 学会等名 第8回極域科学シンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Owada, M., Osanai, Y., Nakano, N., Adachi, T., Kitano, I., Tran Van Tri, Kagami, H.
2. 発表標題 Late Permian plume-related magmatism and tectonothermal events in the Kontum Massif, central Vietnam
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会2016年大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 小山内康人, Krishnan Sajeev, 中野伸彦, 北野一平, Kehelpannala Wilbert, 加藤涼介, 足立達朗, Malaviarachchi Sanjeewa
2. 発表標題 スリランカ超高温変成岩の岩石学・年代学
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会2016年大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kawasaki, T.
2. 発表標題 Is the solubility of iron oxide in rutile an oxygen-fugacity sensor for ultrahigh-temperature
3. 学会等名 The Seventh Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hokada, T., Grantham, G.H., Arima, M., Saito, S., Armstrong, R., Shiraishi, K.
2. 発表標題 Post-tectonic granitoid magmatism in the Natal-Maud-Mozambique Provinces
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会2016年大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Shimura, T., Kojima, M., Harada, Y.
2. 発表標題 Garnet-sillimanite-spinel-plagioclase geobarometer
3. 学会等名 Goldschmidt Conference 2016, Yokohama (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Satish-Kumar M., Mishima K., Toyoshima, T., Koinuma K., Enya Y., Muramatsu I., Hokada T., Ueno Y., Kamei A., Kataoka S.K., Sajeev K.
2. 発表標題 Geological evolution of the Archean Chitradurga schist belt, Dharwar Craton, southern India
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会2016年大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Owada M., Sakiyama T., Kamei A., Osana, Y., Nakano N., Adachi T., Horie K. and Hokada T.
2. 発表標題 Late Proterozoic syenite magmatism in the Sor Rondane Mountains, East Antarctica
3. 学会等名 地球惑星連合大会 (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Kawasaki T., Adachi T., Nakano N. and Osanai Y.
2. 発表標題 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
3. 学会等名 The 2015 Annual Convention of the International Association for Gondwana Research (IAGR) and 12th International Symposium on Gondwana to Asia (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Nakajima T., Takahashi M., Imaoka T. and Shimura T.
2. 発表標題 The history of crustal formation and re-organization in relation to episodic granitic magmatism in Southwest Japan
3. 学会等名 8th Hutton Symposium on the Origin of Granites and Related Rocks, 2015 (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Hokada T., Horie K., Osanai Y., Toyoshima T., Baba S., Nakano N. and Adachi T.
2. 発表標題 Neoproterozoic 650-550 Ma geologic events at Sor Rondane Mountains, East Antarctica
3. 学会等名 12th International Symposium on Antarctic Earth Science (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Yuhara M., Kamei A., Kawano Y., Owada M., Shimura T. and Tsukada K.
2. 発表標題 Secular geochemical variations of the early Paleozoic granitic rocks in western part of the Sor Rondane Mountains, East Antarctica
3. 学会等名 The 2015 Annual Convention of the International Association for Gondwana Research (IAGR) and 12th International Symposium on Gondwana to Asia (国際学会)
4. 発表年 2015年

## 〔図書〕 計2件

1. 著者名 Nakajima, T., Takahashi, M., Imaoka, T., Shimura, T.	4. 発行年 2016年
2. 出版社 Geological Society of London	5. 総ページ数 522 (251-272)
3. 書名 Geology of Japan	

1. 著者名 日本鉱物科学会、宝石学会（日本）、大和田正明、小山内康人、川寄智佑（分担執筆）	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	

## 〔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	川寄 智佑  (Kawasaki Toshisuke)  (50136363)	愛媛大学・理学部・研究員    (16301)	
研究分担者	外田 智千  (Hokada Tomokazu)  (60370095)	国立極地研究所・研究教育系・准教授    (62611)	
研究分担者	亀井 淳志  (Kamei Atsushi)  (60379691)	島根大学・学術研究院環境システム科学系・教授    (15201)	

## 6. 研究組織（つづき）

	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	志村 俊昭  (Shimura Toshiaki)  (70242451)	山口大学・大学院創成科学研究科 ・教授   (15501)	
研究 分担者	小山内 康人  (Osanai Yasuhito)  (80183771)	九州大学・比較社会文化研究院・教授   (17102)	