

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 14 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23540534

研究課題名(和文) 東南極セール・ロンダーネ山地に産するグレンビル造山期深成岩の火成活動史と成因解明

研究課題名(英文) Igneous activity and petrogenesis of Late Proterozoic (Grenville Period) intrusions in the Sor Rondane Mountains, East Antarctica

研究代表者

亀井 淳志 (Kamei, Atsushi)

島根大学・総合理工学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60379691

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円、(間接経費) 1,140,000円

研究成果の概要(和文)：東南極セール・ロンダーネ山地の原生代後期深成岩を題材に、やがて超大陸の一部を成した花崗岩体の最初の形成過程を研究した。本岩体は片麻状トーナル岩の主部と、弱片麻状の斑レイ岩～トーナル岩からなる。前者は998～995Maの低Kソレアイト、後者は945～772Maのカルクアルカリ質アダカイトであった。成因は、主部のソレアイト質トーナル岩が未成熟火山弧の下部地殻の融解物であり、アダカイト質岩が火山弧下に沈み込んだ海洋地殻の融解物と判った。したがって、本岩体は約10億年前に未成熟火山弧として形成し、約7.7億年前まで沈み込み帯に位置してスラブメルトの貫入を受けていたと解釈された。

研究成果の概要(英文)：This is a detailed study of Late Proterozoic intrusion in the Sor Rondane Mountains, Antarctica. The intrusion is classified into three lithologies: strong gneissose metatonalite, weak gneissose metatonalite and metagabbro. The strong gneissose metatonalite is the main lithotype, which is geochemically categorized as low-K tholeiitic granitoid. Petrological studies suggest that the tholeiitic magma was derived from low-K basalt melting at the crustal depth, and the most plausible tectonic setting is a juvenile oceanic arc. The other two rocks are scattered as small intrusions and are geochemically regarded as calc-alkaline adakites related to oceanic slab melting. U-Pb SHRIMP zircon ages of the tholeiitic metatonalite are concentrated at 998-995 Ma, whereas the calc-alkaline adakites are younger and divided between ages 945-920 Ma and 772 Ma. Therefore, the Late Proterozoic intrusion was formed first as a juvenile arc component, followed by adakitic magmatism with oceanic slab melting.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：ソレアイト質花崗岩 アダカイト質花崗岩 沈み込み帯 未成熟火山弧 超大陸形成 原生代 セール・ロンダーネ山地 南極

1. 研究開始当初の背景

東南極のセール・ロンダーネ山地には、原生代後期のグレンビル造山期から顕生代初期の Gondwana 期に形成した深成岩・変成岩が広く分布する。この山地は地球史上の重要なイベントであるロディニア超大陸～Gondwana 超大陸を経験した可能性が指摘されており、これらに関連した火成史・変成史の解読に重要視されている (Hoffman 1991; Li et al., 2008 など)。

超大陸形成過程の全容解明には、その大陸を成す構成要素となった小大陸や未成熟地殻の成長過程の解明が本質的に重要である。しかし、超大陸を成した時期のイベント解析は数多くなされているが、大陸を構成した地質体の根源岩石の成因 (火成作用) や、その背景にあった最初のテクトニクスを詳細に理解した例は少ない。

申請者らは第 50 次南極観測隊に参加し、原生代後期のグレンビル造山期に形成したとされるニルスラルセン岩体 (約 100×20km; 約 960Ma) を調査した。ここでは、岩体の構成岩石に幾つかの大きな岩相変化があることや、幾つかの小岩体が貫入関係を持って岩体内に存在することを見出した。このことから、本岩体が複数のマグマ活動に由来する複合岩体であることを見出した。その後、持ち帰った各岩相試料の岩石化学的特徴について予察的な分析を実施した。以下に、研究開始時における予察研究の結果をまとめる。

(1) 本岩体は変形作用に伴う顕著な面構造を持つ片麻状トーナル岩を主体とするが、面構造の弱い花崗閃緑岩、石英閃緑岩、斑レイ岩を伴っている。面構造の弱い各岩相は、小規模ではあるが、ある程度まとまって小岩体を形成している。

(2) 片麻状トーナル岩は低 K ソレイト系列の火山弧型深成岩の特徴を持つ。一方、面構造の弱い深成岩類は、沈み込んだ海洋地殻が融解してできるアダカイト質岩石もしくは Tonalite・Trondhjemite・Granodiorite (TTG) 型深成岩の特徴を持つ。

これら (1) および (2) の結果から、本岩体の形成には成因の異なる幾つかの深成岩マグマが関与していることが確実視された。

2. 研究の目的

セール・ロンダーネ山地に分布するニルスラルセン岩体はロディニアおよび Gondwana の 2 度の超大陸イベントを経験した可能性があるが、岩体そのものが、いつ、どのように形成したのかは不明である。本研究ではここに焦点をあて、深成岩体の形成時における火成活動史と岩体の成因を解明し、超大陸へ

と発展した花崗岩質地殻岩石の最初の形成過程とその背景にあったテクトニクスを解明する。

3. 研究の方法

本研究では、ニルスラルセン岩体より採取された試料について、薄片観察、全岩主成分分析 (蛍光 X 線分析)、全岩微量成分分析 (LA-ICP-MS 分析)、Sr・Nd 同位体分析 (TIMS 分析)、SHRIMP 年代測定を実施した。

これらのデータと野外調査で得た観察記載をもとにして、ニルスラルセン岩体内の岩体区分、区分された各深成岩体の成因解明、各深成岩体の活動時期の決定、を行う。最終的にはこれらの結果を総括し、本岩体の形成史と、その背景にあった当時のテクトニクスを解明する。

4. 研究成果

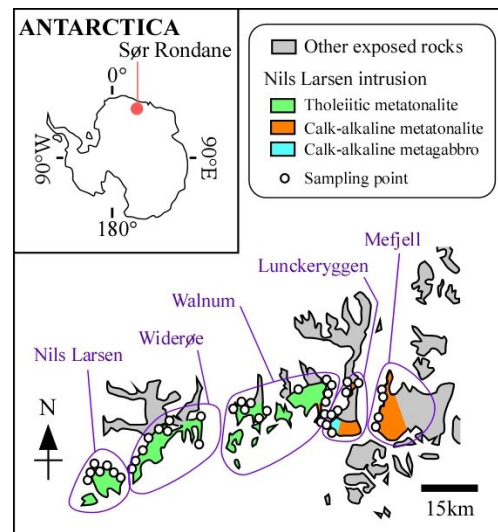


図1 ニルスラルセン岩体の新しい岩体区分

(1) 岩体区分 原生代後期に活動したニルスラルセン岩体は複合深成岩体を形成している。野外調査、岩石記載、および岩石化学分析のデータをもとに、新たな地質図を作成し、岩体区分を行った (図 1)。

岩体区分の結果、ソレイト質花崗岩類、カルクアルカリ質花崗岩類、およびカルクアルカリ質斑レイ岩類に大別された。ソレイト質花崗岩類は本岩体の主体を成し、主に黒雲母 - 角閃石片麻状変トーナル岩で構成される。カルクアルカリ質花崗岩類は、ニルスラルセン山の黒雲母変トーナル岩、ルンケリッゲンの角閃石 - 黒雲母変トーナル岩、メーフェルの角閃石 - 黒雲母トーナル岩質片麻岩に細分された。カルクアルカリ質斑レイ岩はルンケリッゲン南端に産し、角閃石変斑レイ岩で構成される。

(2) 成因説明 ソレライト質花崗岩類の組成は AFM 図でソレライト領域にあり、また Sr/Y vs Y 図では火山弧型火成岩の領域にある(図2). 主成分組成は、他の岩石に比較して Fe₂O₃ および K₂O に乏しい(図3). また、MORB で規格化した微量元素組成は、LIL 元素に富み、Nb・Ti に負異常を示す(図4).

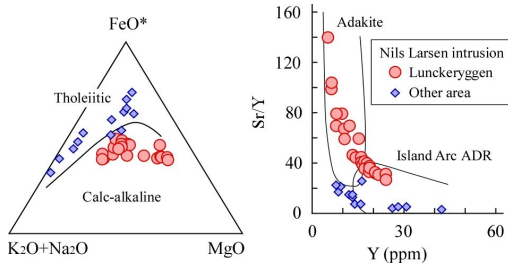


図2 ニルラルセン岩体の岩石科学的特徴. 青色はソレライト質花崗岩類, 赤色はカルクアルカリ質岩石. 判別図は Kuno (1968)(左)および Defant et al. (1991)(右)による.

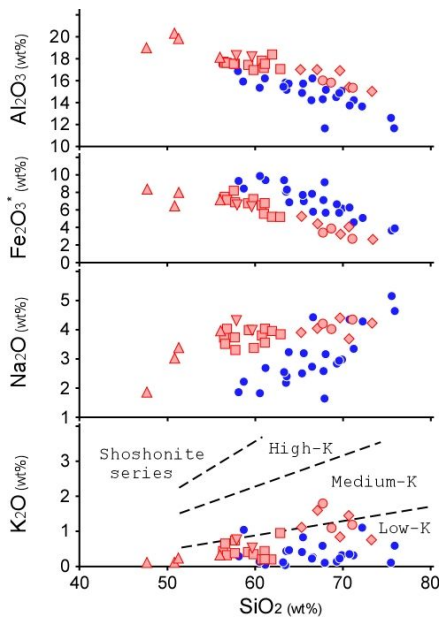


図3 ニルラルセン岩体の主成分組成. 青色はソレライト質花崗岩類, 赤色はカルクアルカリ質岩石. 赤色の詳細は, :角閃石変斑レイ岩, :角閃石-黒雲母変トータル岩, と :黒雲母変トータル岩, :角閃石-黒雲母トータル岩質片麻岩.

さらに Sr・Nd のイプシロン同位体組成(後述の SHRIMP 年代で補正)は、バルクアースよりも枯渇し、MORB もしくは未成熟火山弧の玄武岩の領域にプロットされる(図5).

これらの地球化学的な特徴より、ソレライト質花崗岩類は未成熟火山弧にて形成し、その下部地殻を構成する低カリウム玄武岩質物質が融解して作られたと判断された.

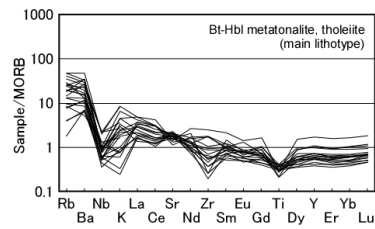


図4 ソレライト質花崗岩類の微量元素スパイダー図.

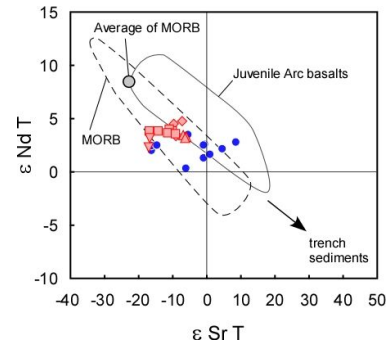


図5 ニルラルセン岩体のイプシロン Sr・Nd 同位体. 青色はソレライト質花崗岩類, 赤色はカルクアルカリ質岩石. 凡例の詳細は図3と同様.

一方、カルクアルカリ質の花崗岩類および斑レイ岩類は AFM 図でカルクアルカリ領域にあり、Sr/Y vs Y 図ではアダカイトの領域にある(図2). 主成分組成は、ソレライト質花崗岩類と同様に低 K₂O であるが、Al₂O₃ および Na₂O に富む(図3). MORB で規格化した微量元素組成は LIL 元素に富み、Nb・Ti に負異常を示す部分でソレライト質花崗岩類と同様であるが、ハーカー図において明らかに Sr に富み、Y に乏しい(図6). さらに Sr・Nd のイプシロン同位体組成(後述の SHRIMP 年代で補正)は、バルクアースよりも枯渇し、MORB の領域にプロットされる(図5).

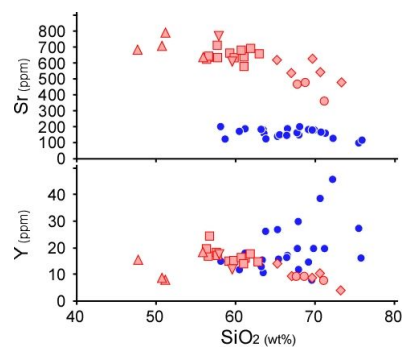


図6 ニルラルセン岩体の Sr・Y 含有量. 青色はソレライト質花崗岩類, 赤色はカルクアルカリ質岩石. 凡例の詳細は図3と同様.

これらの地球化学的な特徴により、カルクアルカリ質の花崗岩類および斑レイ岩類は、苦鉄質岩石がエクロジャイト相に達する高压化で融解してできるアダカイト質マグマに由来したことが判明した. そこで、アダカイト

のタイプについてさらに詳しく検討するため幾つかの地球化学的判別図による検討を行った。その結果、 K_2O/Na_2O に乏しく、Sr が 1000ppm を超えないことが示された（図 7）。このことから、本地域のアダカイト質岩石は海洋地殻起源の高 Si-アダカイトにあたると判断された。

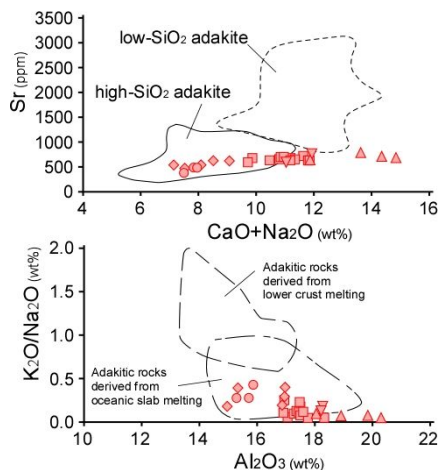


図7 ニルスラルセン岩体中のアダカイト質花崗岩および同斑レイ岩の組成。凡例の詳細は図4と同様。判別図は Martin et al. (2005)(上)および Kamei et al. (2009)(下)による。

(3) 活動年代 ソレライト質花崗岩類、カルクアルカリ質花崗岩類、およびカルクアルカリ質斑レイ岩類についてジルコンを抽出し、U-Pb SHRIMP 年代測定を行った。ソレライト質花崗岩類の広い範囲から選定された4試料を用いて年代を求めた結果、全てから 998~995Ma の極めて均質なコンコーディア年代が得られた。ここでは計 150 個のジルコンを測定したが、特に古いインヘリテッド年代を示すものはなかった。一方、カルクアルカリ質の花崗岩類および斑レイ岩類からは試料を4つ選定し、945~920Ma と 772Ma のコンコーディア年代を得た。これらはソレライト質花崗岩類に比較して若く、また大きく2ステージに区分できることが判った。

(4) 火成活動史とテクトニクス ニルスラルセン岩体は岩石学的特徴によりソレライト質花崗岩類、カルクアルカリ質花崗岩類、およびカルクアルカリ質斑レイ岩類に大別される。これらの火成活動史は、998~995Ma のソレライト質花崗岩類の活動で始まり、その後、カルクアルカリ質の花崗岩類や斑レイ岩類が 945~920Ma と 772Ma の2ステージに活動するものであった。

ソレライト質花崗岩類は低カリウム系列に属する得意な性質を持ち、その地球化学的特徴により、海洋火山弧を成すような未成熟花崗岩質岩石として形成したことが判明した。この花崗岩類が未成熟弧を成したことは、古い基盤岩の存在を示唆するジルコンのイン

ヘリテッド年代が見出されなかったことと整合する。

一方、カルクアルカリ質の花崗岩類と斑レイ岩類の存在は、ソレライト質花崗岩類が基盤岩を成す沈み込み帯に海嶺が衝突したことを示唆する。すなわち、海嶺衝突に伴う若い海洋地殻の部分融解が、これらのマグマ活動に繋がっている。

これらから、ニルスラルセン岩体は約 10 億年前に出現した海洋火山弧の断片であり、約 9.5~9.2 億年前と約 7.7 億年前に海嶺衝突を経験したと判断される。そして、少なくとも岩体形成時より約 2.3 億年の間は沈み込み帯の環境にあったことが判明した。これらを踏まえると、セール・ロンダーネ山地はロディニア超大陸イベントの時期には海洋弧であり、この超大陸形成には参加していないと考えられる。以上より、本岩体は「海洋未成熟火山弧の断片」であり、未成熟弧からゴンドワナ超大陸（約 5.5 億年前）に繋がった地質体として地球科学的に意義深い存在であると結論される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(雑誌論文)(計20件)

Kamei, A., Horie, K., Owada, M., Yuhara, M., Nakano, N., Osanai, Y., Adachi, T., Hara, Y., Terao, M., Teuchi, S., Shimura, T., Tsukada, K., Hokada, T., Iwata, C., Shiraishi, K., Ishizuka, H., Takahashi, Y., Late Proterozoic juvenile arc metatonalite and adakitic intrusions in the Sør Rondane Mountains, eastern Dronning Maud Land, Antarctica. *Precambrian Research*, 査読有, 234, 2013, 47-62.

doi: 10.1016/j.precamres.2012.09.026

Owada M., Kamei A., Horie K., Shimura T., Yuhara M., Tsukada K., Osanai Y., Baba S., Magmatic history and evolution of continental lithosphere of the Sør Rondane Mountains, eastern Dronning Maud Land, East Antarctica. *Precambrian Research*, 査読有, 234, 2013, 63-84.

doi: 10.1016/j.precamres.2013.02.007

Otsuji N., Satish-Kumar, M., Kamei A., Tsuchiya N., Kawakami T., Ishikawa M., Grantham G. H., Late-Tonian to early-Cryogenian apparent depositional ages for metacarbonate rocks from the Sør Rondane Mountains, East Antarctica. *Precambrian Research*, 査読有, 234, 2013, 257-287.

doi: 10.1016/j.precamres.2012.10.016

Nakano N., Osanai Y., Kamei A., Satish-Kumar, M., Adachi T., Hokada T.,

- Baba S., Toyoshima T., Multiple thermal events recorded in metamorphosed 1 carbonate and associated rocks from the southern Austkampane region in the Sør Rondane Mountains, East Antarctica: A protracted Neoproterozoic history at the Gondwana suture zone. *Precambrian Research*, 査読有, 234, 2013, 161-182.
doi: 10.1016/j.precamres.2012.10.009
- Osanai Y., Nogi Y., Baba S., Nakano N., Adachi T., Hokada T., Toyoshima T., Owada M., Satish-Kumar, M., Kamei A., Kitano I., Geologic evolution of the Sør Rondane Mountains, East Antarctica: Collision tectonics proposed based on metamorphic processes and magnetic anomalies. *Precambrian Research*. 査読有, 234, 2013, 8-29.
doi: 10.1016/j.precamres.2013.05.017
- Hokada T., Horie, K., Adachi, T., Osanai Y., Nakano, N., Baba, S., Toyoshima, T., Unraveling the metamorphic history at the crossing of Neoproterozoic orogens, Sør Rondane Mountains, East Antarctica: Constraints from U–Th–Pb geochronology, petrography, and REE geochemistry. *Precambrian Research*. 査読有, 234, 2013, 183-209.
doi: 10.1016/j.precamres.2012.12.002
- Adachi, T., Osanai Y., Hokada T., Nakano, N., Baba, S., Toyoshima, T., Timing of metamorphism in the central Sør Rondane Mountains, eastern Dronning Maud Land, East Antarctica: Constrains from SHRIMP zircon dating and EPMA monazite dating, *Precambrian Research*, 査読有, 234, 2013, 136-160.
doi: 10.1016/j.precamres.2012.11.011
- Baba, S., Osanai Y., Nakano, N., Owada, M., Hokada T., Horie, K., Adachi, T., Toyoshima, T., Counterclockwise P-T path and isobaric cooling of metapelites from Brattnipene, Sør Rondane Mountains, East Antarctica: implications for a tectonothermal event at the proto-Gondwana margin, *Precambrian Research*, 査読有, 234, 2013, 210-228.
doi: 10.1016/j.precamres.2012.10.002
- Satish-Kumar, M., Hokada T., Owada, M., Osanai Y., Shiraishi, K., Neoproterozoic orogens amalgamating East Gondwana: Did they cross each other? *Precambrian Research*, 査読有, 234, 2013, 1-7.
doi: 10.1016/j.precamres.2013.06.010
- Adachi, T., Hokada T., Osanai Y., Nakano, N., Baba, S., Toyoshima, T., Contrasting metamorphic records and their implications for tectonic process in the central Sør Rondane Mountains, eastern Dronning Maud Land, East Antarctica, In: Antarctica and Supercontinent Evolution, eds by S.L. Harley et al., Geological Society of London Special Publications, 査読有, 383, 113-133.
doi: 10.1144/SP383.4
- 赤崎英里, 亀井淳志, 大和田正明, 領家帯柳井地域新期花崗岩 (木部花崗岩) のマグマ過程, *岩石鉱物科学*, 査読有, 42, 2013, 159-173 .
doi: 10.2465/gkk.120808
- 柚原雅樹, 亀井淳志, 岡野 修, 川野良信, 加々美寛雄, 北部九州東部に分布する添田花崗閃緑岩の Rb-Sr 全岩-黒雲母アイソクロン年代, *岩石鉱物科学*, 査読有, 42, 2013, 185-189 .
doi: 10.2465/gkk.120924
- 岩田智加, 亀井淳志, 岩田克彦, 柴田知之, 三谷明日華, 山陰帯島根奥出雲に分布する阿毘緑花崗閃緑岩の火成活動および結晶作用. *地質学雑誌*, 査読有, 119, 2013, 190-204
doi: 10.5575/geosoc.2013.0003
- Hokada T., Horie, K., Satish-Kumar, M., Ueno, Y., Nasheeth, A., Mishima, K. and Shiraishi, K., An appraisal of Archaean supracrustal sequences in Chitradurga Schist Belt, Western Dharwar Craton, Southern India, *Precambrian Research*, 査読有, 227, 2013, 99-119.
doi: 10.1016/j.precamres.2012.04.006
- Kamei A., Fukushi, K., Takagi, T., Tsukamoto, H., Chemical overprinting of magmatism by weathering: A practical method for evaluating the degree of chemical weathering of granitoids. *Applied Geochemistry*, 査読有, 27, 2012, 796-805.
doi: 10.1016/j.apgeochem.2011.12.014
- Horie, K., Hokada T., Hiroi, Y., Motoyoshi, Y., Shiraishi, K., Contrasting Archaean crustal records in western part of the Napier Complex, East Antarctica: New constraints from SHRIMP geochronology, *Gondwana Research*, 査読有, 21, 2012, 829-837.
doi: 10.1016/j.gr.2011.08.013
- 薬師寺亜衣, 亀井淳志, 柴田知之, 山陰帯島根奥尾原に分布する混成岩および優白質花崗岩の火成活動, *地質学雑誌*, 査読有, 118, 2012, 20-38 .
doi: 10.5575/geosoc.2011.0021
- Shimura, T, Akai, J., Lazic, B., Armbruster, T., Shimizu, M., Kamei A., Tsukada K., Owada, M., Yuhara M., Magnesiöhögbomite-2N4S: a new polysome from the central Sør Rondane Mountains, East Antarctica. *American mineralogist*, 査読有, 97, 2012, 268-280.
doi: 10.2138/am.2012.3827
- Baba S., Dunkley D., Hokada T., Horie K., Suzuki K., Shiraishi K., New SHRIMP U–Pb zircon ages and CHIME monazite ages from South Harris granulites, Lewisian Complex, NW Scotland: implications for two stages of

zircon formation during Palaeoproterozoic UHT metamorphism. Precambrian Research, 査読有, 200-203, 2012, 104-128.
doi: 10.1016/j.precamres.2012.01.013
Nakano, N., Osanai, Y., Baba, S., Adachi, T., Hokada, T., Toyoshima, T., Inferred ultrahigh-temperature metamorphism of amphibolitized olivine granulite from the Sør Rondane Mountains, East Antarctica. Polar Science, 査読有, 5, 2011, 345-339
doi: 10.1016/j.polar.2011.03.005

〔学会発表〕(計 12 件)

Otsuji, N., Satish-Kumar, M., Kamei, A., Sr and Nd isotope systematics of metacarbonate rocks as proxies for extinct oceans in continental collision zones. 日本地球惑星科学連合 2013.5.22, 千葉幕張メッセ

Otsuji, N., Satish-Kumar, M., Hokada, T., Horie, K., Kamei, A., Grantham, G.H., Tsuchiya, N., Kawakami, T., Ishikawa, M., Chemically estimated depositional ages and zircon ages from metacarbonate rocks in the Sør Rondane Mountains, East Antarctica, 日本地球惑星科学連合, 2013.5.22, 千葉幕張メッセ

柚原雅樹 亀井淳志, 川野良信, 岡野 修, 加々美寛雄. 添田花崗閃緑岩における全岩化学組成と Sr 同位体比組成の岩体内変化, 日本地球惑星科学連合, 2013.5.22, 千葉幕張メッセ

Kamei, A., Horie, K., Owada, M., Yuhara, M., Nakano, N., Osanai, Y., Adachi, T., Hara, Y., Terao, M., Teuchi, S., Shimura, T., Tsukada, K., Hokada, T., Iwata, C., Shiraishi, K., Ishizuka, H., Takahashi, Y. Late Proterozoic juvenile arc metatonalite and adakitic intrusions in the Sør Rondane Mountains, East Antarctica. 日本鉱物科学会, 2012.9.19, 京都大学

Otsuji, N., Satish-Kumar, M., Kamei, A., Tsuchiya, N., Kawakami, T., Ishikawa, M., Grantham, G.H. Late-Tonian to early-Cryogenian apparent depositional ages for metacarbonate rocks from the Sør Rondane Mountains, East Antarctica. 日本鉱物科学会, 2012.9.19, 京都大学

岩田智加, 亀井淳志, 岩田克彦, 柴田知之. 山陰帯島根県横田地域に分布する阿毘緑花崗閃緑岩の地質学的・岩石学的研究. 日本地質学会, 2012.9.15, 大阪府立大学

岩田智加, 亀井淳志. 山陰帯島根県高田に分布する花崗岩類の地質学的研究. 日本地質学会, 2012.9.15, 大阪府立大学

亀井淳志, 大和田正明, 柚原雅樹, 志村俊昭, 束田和弘, 寺尾まどか, 原 有希・手打晋二郎. 原生代に活動した東南極セール・ロンダーネ山地のアダカイト質・非アダカイト質変トータル岩の地球化学

の特徴. 日本地質学会, 2011.9.11. 茨城大学

Otsuji, N., Satish-Kumar, M., Kamei, A., Kawakami, T., Ishikawa, M., Tsuchiya, N., Grantham, G.H. Apparent age of deposition of metacarbonate rocks from Sør Rondane Mountains, East Antarctica. 11th International Symposium on Antarctic Earth Science, 2011.7.11. 英国エジンバラ大学
Satish-Kumar, M., Miyamoto, T., Nakano, N., Otsuji, N., Hokada, T., Kamei, A., Osanai, Y., Grantham, G.H., Windley, B., Shiraishi, K. Chemostratigraphy of metacarbonate rocks in the East African Antarctic Orogen. 11th International Symposium on Antarctic Earth Science. 2011.7.11. 英国エジンバラ大学

Shimura, T., Akai, J., Lazic, B., Armbruster, T., Shimizu, M., Kamei, A., Tsukada K., Owada, M., Yuhara, M. Magnesiohögboomite -2N4S, a new polysome from the central Sør Rondane Mountains, East Antarctica: new endmember model of hoegboomite group minerals. 11th International Symposium on Antarctic Earth Science. 2011.7.11. 英国エジンバラ大学

Hokada, T., Adachi, T., Osanai, Y., Nakano, N., Toyoshima, T., Baba, S. Metapelitic gneisses from Austkampane, Sør Rondane Mountains, East Antarctica. 11th International Symposium on Antarctic Earth Science. 2011.7.11. 英国エジンバラ大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

亀井 淳志 (KAMEI Atsushi)
島根大学・総合理工学研究科・准教授
研究者番号: 60379691

(2) 研究分担者

柚原 雅樹 (YUHARA Masaki)
福岡大学・理学部・助教
研究者番号: 30330898

小山内 康人 (OSANAI Yasuhito)
九州大学・比較社会文化研究科(研究院)・教授
研究者番号: 80183771

外田 智千 (HOKADA Tomokazu)
国立極地研究所・教育研究系・准教授
研究者番号: 60370095

柴田 知之 (SHIBATA Tomoyuki)
京都大学・理学(系)研究科(研究院)・助教
研究者番号: 40332720