

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05312

研究課題名(和文) 超大陸分裂開始時における高Kアダカイト - 閃長岩複合火成活動の意義

研究課題名(英文) Geological significance of high-K adakitic granite and syenite complex in the early stage of continental break-up

研究代表者

亀井 淳志 (Kamei, Atsushi)

島根大学・総合理工学研究科・教授

研究者番号：60379691

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：東南極のセール・ロンダーネ山地には高いK量が特徴のアダカイト質深成岩が産し、同時に活動した閃長岩と複合岩体を成す。本来のアダカイトは沈み込み帯で潜り込んだ海洋地殻が溶けた物質でKに乏しいが、本地域の高Kアダカイトは大陸内に閉じ込められた古い火山弧が約2.0GPa以上の高圧下で溶けたもので特殊な化学組成に至った。一方、閃長岩はマントル起源であった。また両者の活動時期は約5億5千万年前と判明した。したがって、この複合岩体は、 Gondwana 超大陸の形成時に大陸内へ閉じ込められた火山弧の衝突部分が後のマントル物質の上昇を伴いながら再分裂し始めたことを意味する重要な存在であった。

研究成果の概要(英文)：Latest Neoproterozoic magmatism of high-K adakitic granite and syenite complex is observed in Sor Rondane Mountains, East Antarctica. The aim of this study is to reveal the petrogenesis of the complex and to make clear the geological significance of this igneous activity. SHRIMP U-Pb zircon dating of the complex suggests their simultaneous activities of several high-K adakitic magmas and syenite magma happened at around 550 Ma. Geochemical investigations offer that the high-K adakite magmas were derived from partial melting of volcanic arc type basalt under high pressure conditions such as 2.0 GPa or more. On the other hand, the syenite originated from the melting of the underlying mantle. Therefore, the igneous activity of the high-K adakitic granite and syenite complex means the beginning of "re-break-up" the thickened suture zone, which formed by collision of volcanic arcs accompanying with the Gondwana amalgamation.

研究分野：地球惑星科学・地質学

キーワード：アダカイト 閃長岩 超大陸分裂 Gondwana 原生代末 南極

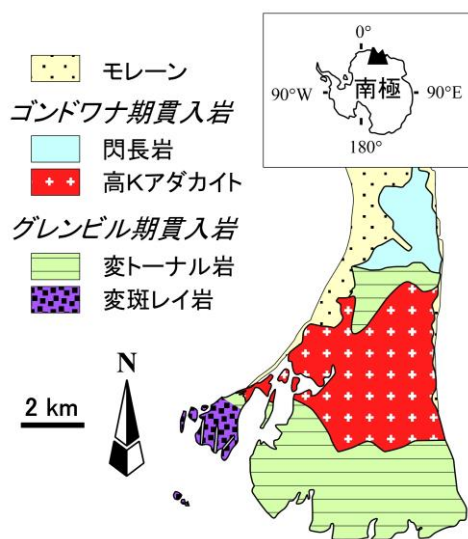
1. 研究開始当初の背景

アダカイトは一般に斜長石・普通角閃石を伴う高 Al・Na 量かつ高 Sr/Y・(La/Yb)_N 比のデイサイト～安山岩で沈み込む海洋スラブの融解により生じる。そのため沈み込み帯でスラブ融解を起こした熱イベントの解析に重要である。一方、その岩石学的・地球化学的特徴は先カンブリア紀に安定大陸を成した Tonalite/Trondhjemite/Granodiorite (TTG) に共通点が多い。このことから大陸地殻の生産過程の議論にも重要視されてきた (Drummond et al., 1996; Kamei et al., 2004; Moyen, 2009 など)。

一方、大陸地殻起源のアダカイトが Atherton and Petford (1993) により見出された。近年は高 K アダカイト (もしくは高 K アダカイト質深成岩) として、インド、チベット、中国 (Dabie) などに報告される (Hou et al., 2004; Liu et al., 2010 など)。これらは花崗岩地殻のリサイクルに貢献したもので大陸生産物とは区別できる (Kamei et al., 2009 など)。その岩相や地球化学的特徴には多様性があり、判別方法は明確でない。最近、この高 K アダカイト質岩石にアルカリ岩 (閃長岩など) の随伴例が東欧や中国から報告され始めた (Eyuboglu et al., 2011; He et al., 2012; Lu et al., 2013)。これらは高 K アダカイト研究に重要であるが、アルカリ岩の存在によりマントル活動まで考慮する必要がある。したがって、その成因や地質学的意義については議論が発散気味で更に混迷した様子がある。

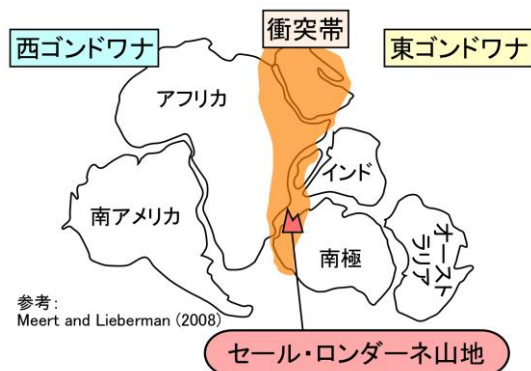
2. 研究の目的

本研究では東南極セール・ロンダーネ山地より見出された高 K アダカイト質深成岩－閃長岩の複合岩体 (第 1 図) について、その成因を精密に解析することを目的とした。



第 1 図 高 K アダカイト質深成岩－閃長岩の地質図

この岩体は地質学的な観点より、ゴンドワナ超大陸の内部で活動したことが判明しており、テクトニクス背景が定まっている (第 2 図)。したがって、この複合岩体の火成活動の仕組みを考察しやすい。また成因の解析に基づく火成活動の地質学的意義を明確にできる。



第 2 図 ゴンドワナ大陸に対するセール・ロンダーネ山地に産する高 K アダカイト質深成岩－閃長岩の位置。

3. 研究の方法

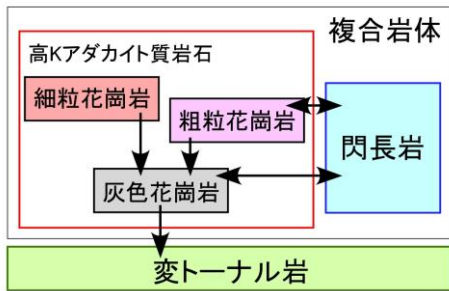
本研究では高 K アダカイト－閃長岩の複合岩体のマグマ活動とその意義の解明を目指して、次の 4 項目を整理する形で研究を進めた： (1) 高 K アダカイト質深成岩および閃長岩の岩石記載および形成年代の把握、 (2) 高 K アダカイト質深成岩および閃長岩のマグマプロセスの解明、 (3) 高 K アダカイト質深成岩に特有の地球化学的特徴の抽出、 (4) 高 K アダカイト質深成岩－閃長岩複合岩体の地質学的意義。 (1)～(3) については分析装置のスケジュールや作業工程の効率化を考えながら実施した。そのため、必ずしも年次進行した形とはなっていない。一方、(4) は総括的考察であるので最終年度に実施した。

4. 研究成果

(1) 高 K アダカイト質深成岩および閃長岩の岩石記載および形成年代の把握

セール・ロンダーネ山地の高 K アダカイト質深成岩は変トータル岩を貫入母岩として岩相の異なるいくつかの花崗岩で構成される (第 3 図)。また閃長岩とミングリングの関係で接している。肉眼観察・薄片記載では高 K アダカイト質深成岩が灰色花崗岩、粗粒花崗岩、細粒花崗岩に 3 区分され、それぞれはパーアルミナス鉱物を多く伴う。一方、閃長岩は普通角閃石等のメタルミナス鉱物

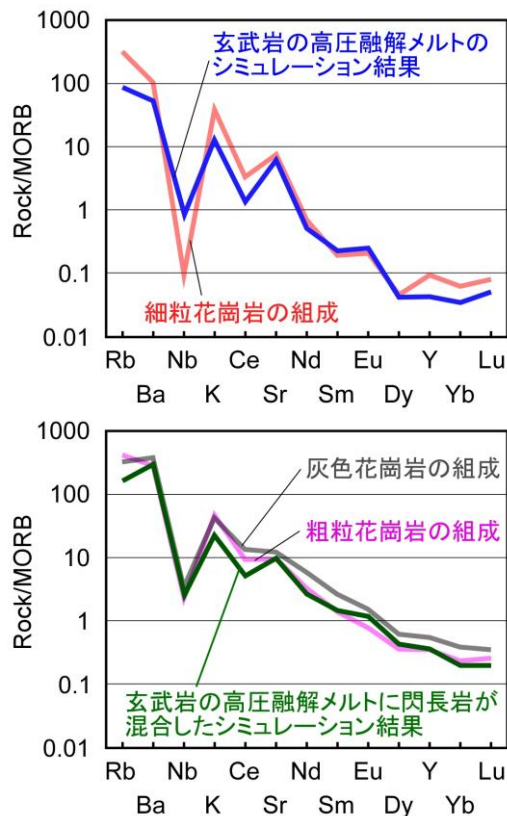
を伴う。ジルコンの U-Pb 年代測定によると、複合岩体の火成ステージは原生代最末期の約 550Ma に集中した。これは岩体の地質学的情報から想定される活動時期と矛盾しない。



第3図 高 K アダカイト質深成岩—閃長岩の貫入関係

(2) 高 K アダカイト質深成岩および閃長岩のマグマプロセスの解明

高 K アダカイト質深成岩の成因を閃長岩とのミングリングの影響が認められない細粒花崗岩のデータで検討した。その結果、当地に先行貫入する新原生代のソレアイト質玄武岩が起源となり、2.0GPa 以上の高圧下で部分融解するモデルでその主・微量元素組成 (REE 含む) および Sr/Nd 同位体組成が説明された。微量元素解析の例を第4図に示す。



第4図 高 K アダカイト質深成岩—閃長岩のマグマ組成を説明するための微量元素組成を用いた計算結果。

また、灰色花崗岩と粗粒花崗岩に関しては、同時活動した閃長岩マグマと化学的に約 20%混合していることも明らかとなった (第4図)。これは、両者が野外でミングリングの産状を示すことと矛盾しない。

一方、その他に考えられる成因モデルの可能性として、当地で高 K アダカイトとほぼ同時期に活動するアルカリ玄武岩からの結晶分化作用や、当地で先行貫入している新原生代のアダカイト質花崗岩もしくはアルカリ玄武岩の部分融解などがある。しかし、微量元素を用いたモデル計算の解析により、いずれも否定された。

(3) 高 K アダカイト質深成岩に特有の地球化学的特徴の抽出

海洋スラブ起源とされる一般的なアダカイトは Low-K ~ Medium-K の特徴を持つ。これは海洋玄武岩が K に乏しいことによる。一方、大陸起源のアダカイトは下部地殻の融解物であるために Medium-K 以上となるのが一般的である。このことは高 K アダカイトの成因を考える上で重要な特徴と言える。

本地域の高 K アダカイト質深成岩は、閃長岩とのミングリングの影響が少ない細粒花崗岩に注目すると、Sr/Y 比が 200 以上で HREE に枯渇する。これらは海洋スラブ起源のアダカイトと同様である。しかし、Al₂O₃ が 15wt% 以下となる点や Sr・Nd 同位体比が典型的な MORB 組成よりも大きくエンリッチする点は、スラブ起源のアダカイトと明らかに異なる。また、Rb が 100ppm 以上で火山弧型花崗岩の特徴を示さない部分も大きな違いと言える。これらは両者の起源物質の相違やマグマ生成条件の相違によるところが大きい。以上より、Sr/Y や (La/Yb)_N と言った最もよく知られるアダカイトの判別方法では「スラブ起源のアダカイトと同様」として認められるが、その他の主・微量成分元素や Sr・Nd 同位体組成などでは相違点が多いと言える。したがって大陸地殻起源のアダカイト質岩石は、その地球化学的な特徴により、海洋スラブ起源のアダカイトと識別可能であることが明確となった。

(4) 高 K アダカイト質深成岩—閃長岩複合岩体の地質学的意義

セール・ロンダーネ山地の高 K アダカイト質深成岩—閃長岩の複合岩体は、地質学的・年代学的な観点より、 Gondwana 超大陸の内陸部で活動したと判断される。この高 K アダカイト質深成岩の成因の解析では、その起源が火山弧的なソレアイト質玄武岩であり、またマグマの生成条件が 2.0GPa 以上の高圧下と見積もられた。一方、閃長岩のマグマはマントル起源であった。これらより、高 K アダカイト質深成岩—閃長岩の複合岩体の火成活動は、もともと火山弧であった部分がゴン

ドワナ超大陸の形成時に接合・地殻厚化し、その後熱いマントルの上昇も伴いながら再び分裂を開始する前に生じたものと解釈できる。すなわち、大陸内部に発達した火山弧縫合帯の再分裂の開始を示唆する最初の火成活動としての意義を有する可能性がある。

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 10 件)

- ① Tsukada K., Yuhara M., Owada M., Shimura T., Kamei A., Kouchi Y., Yamamoto K.. A low-angle brittle shear zone in the western Sør Rondane Mountains, Dronning Maud Land, East Antarctica — Implication for assembly of Gondwanaland. *Journal of Geodynamics*, 査読有, 111, 2017, 15-30, doi : doi.org/10.1016/j.jog.2017.08.001
- ② Kamei A., Determination of trace element abundances in GSJ reference rock samples using lithium metaborate–lithium tetraborate fused solutions and inductively coupled plasma mass spectrometry. *Geoscience Report of Shimane University*, 査読無, 34, 2016, 41-49.
- ③ Otsuji, N., Satish-Kumar, M., Kamei, A., Takazawa, E., Tsuchiya, N., Grantham, G.H., Kawakami, T., Ishikawa, M., Osanai, Y. Sr and Nd Isotopic evidence in metacarbonate rocks for an extinct Island arc - ocean system in East Antarctica. *Journal of Mineralogical and Petrological Science*, 査読有, 111, 2016, 170-180. doi : 10.2465/jmps.151029a
- ④ Hokada, T., Harley, S.L., Dunkley, D.J., Kelly, N.M., Yokoyama, K., Peak and post-peak development of UHT metamorphism at Mather Peninsul, Rauer Islands: zircon and monazite U-Th-Pb and REE chemistry constraints. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 査読有, 111, 2016, 89-103, doi : 10.2465/jmps.150829
- ⑤ Owada, M., Osanai, Y., Nakano, N., Adachi, T., Kitano, I., Tran Van Tri, Kagami, H., Late Permian plume-related magmatism and tectonothermal events in the Kontum Massif, central Vietnam. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 査読有, 111, 2016, 181-195, doi : 10.2465/jmps.151019b
- ⑥ Kitano, I., Osanai, Y., Nakano, N., Adachi, T., Detrital zircon provenances for metamorphic rocks from southern Sør Rondane Mountains, East Antarctica: A new report of Archean to Mesoproterozoic zircons. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 査

読有, 111, 2016, 118-128, doi: 10.2465/jmps.151001

- ⑦ 亀井淳志・内藤一樹・高村早弥香・加々島慎一・奥澤康一・関陽児・渡部芳夫. 新潟-山形県境の金丸-小国地域に産する HFS 元素に富むザクロ石両雲母花崗岩. *岩石鉱物科学*, 査読有, 44, 2015, 131-154, doi : 10.2465/gkk.131211
- ⑧ Akasaki E., Owada M., Kamei A., Crustal differentiation due to partial melting of granitic rocks in an active continental margin, the Ryoke Belt, Southwest Japan. *Lithos*, 査読有, 230, 2015, 82-91, doi : 10.1016/j.lithos.2015.04.021
- ⑨ Wang F., Wu Y-H., Yang H., Tanida Y., Kamei A., Quick report of investigation on the 2014.8.20 debris flows triggered by a concentrated downpour of heavy rainfall in Hiroshima City, Japan. *Geoenvironmental Disasters (Springer Open journal)*, 査読有, 2, 1-17, 2015, doi : 10.1186/s40677-015-0025-6
- ⑩ Baba, S., Horie, K., Hokada, T., Owada, M., Adachi, T., Shiraishi, K., Multiple Collisions in the East African–Antarctica Orogen: Constraints from Timing of Metamorphism in the Filchnerfjella and Hochlinfjellet Terranes in Central Dronning Maud Land. *Journal of Geology*, 査読有, 123, 2015, 55-78, doi: doi.org/10.1086/679468

[学会発表] (計 20 件)

- ① 亀井淳志・山本奈穂・早坂康隆・今岡照喜. 山陰帯隠岐の島の島後南谷花崗岩の成因と位置づけ. *日本鉱物科学会*. 2017, 9.14, 愛媛大学
- ② 外田智千・馬場壮太郎・亀井淳志・北野一平・Nantasin P.・Setiawan, N.I.・Dashbaatar D-O.・本吉洋一. 東南極ドロンリングモードランド東部からエンダビーランドに分布する太古代-原生代の高温変成岩類. *日本地質学会*. 2017, 9.17, 愛媛大学
- ③ 志村俊昭・石川真帆・梅田侑子・伊藤広祥・大和田正明・亀井淳志・東田和弘・柚原雅樹. 東南極セール・ロンダールネ山地、小指尾根地域のイットリウムに富むジルコノライト. *日本地質学会*, 2017, 9.17, 愛媛大学
- ④ Owada M., Kamei A., Early Neoproterozoic igneous suites of the western Sør Rondane Mountains (East Antarctica): Evolution to juvenile oceanic-arc crust. *The Eighth Symposium on Polar Science*, 2017, 12, 4, 国立極地研究所
- ⑤ Setiawan, N.I., Hokada T., Baba S., Kamei A., Kitano I., Motoyoshi Y., Nantasin P., Dashbaatar D-O. Participation of

- Indonesia in Japanese Antarctic Research Expedition-58 2016-2017, Progress and Current Influences after the Expedition. The Eighth Symposium on Polar Science, 2017, 12, 4, 国立極地研究所
- ⑥ 亀井淳志・山本奈穂・早坂康隆・今岡照喜. 山陰帯隠岐の島に産する島後南谷花崗岩. 日本鉱物科学会, 2016, 9, 10, 金沢大学
- ⑦ 大和田正明・川寄智佑・亀井淳志. 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, 9, 10, 金沢大学
- ⑧ Owada M., Urashima R., Kamei A., Origin of Cretaceous magmatism in North Kyushu: Evidence from metamorphosed intrusive rocks in the Sefuri Mountains, Southwest Japan. 26th Goldschmidt conference. 2016, 6, 27, Pacifico Yokohama.
- ⑨ Watanabe Y., Kon Y., Echigo T., Kamei A., Differential Fractionation of Rare Earth Elements in Reduced and Oxidized Granitic Rocks. The International Conference on Rare Earths, 2016, 6, 5, Hokkaido University
- ⑩ Kamei A., Hokada T., Satish-Kumar M., Toyoshima T., Mishima K., Ueno Y., Kataoka S. K. Igneous activity of Paleoproterozoic TTGs around Chitradurga, western Dharwar craton, India. Geochemistry of Paleoproterozoic TTGs and Neoproterozoic high-K granites around Chitradurga, western Dharwar Craton, India. 日本地球惑星科学連合, 2016, 5, 24, 幕張メッセ (千葉県).
- ⑪ Satish-Kumar M., Mishima K., Toyoshima T., Koinuma K., Enya Y., Muramatsu I., Hokada T., Ueno Y., Kamei A., Kataoka S.K., Sajeev K. Geological evolution of the Archean Chitradurga schist belt, Dharwar Craton, southern India. 日本地球惑星科学連合, 2016, 5, 24, 幕張メッセ (千葉県).
- ⑫ Yuhara M., Kamei A., Kawano Y., Owada M., Shimura T., Tsukada K. Secular geochemical variations of the early Paleozoic granitic rocks in western part of the Sør Rondane Mountains, East Antarctica. 12th International symposium on Gondwana to Asia & 2015 IAGR Annual Convention, 2015,10,21, Tsukuba (Japan)
- ⑬ Urashima R., Owada M., Kamei A., Magma processes of metamorphosed High-Mg diorite and adakitic tonalite in the Cretaceous magma activity, Uki-dake area, northern Kyushu, Southwest Japan. 12th International symposium on Gondwana to Asia & 2015 IAGR Annual Convention, 2015,10,21, Tsukuba (Japan)
- ⑭ 柚原雅樹・亀井淳志・中野伸彦・吉本紋, 河上哲生・上久保寛・小山内康人, Charusiri P. タイ, Hua Hin 地域に分布する花崗岩質岩の REE, Sr および Nd 同位体組成. 日本地球惑星科学連合, 2015, 5, 27, 幕張メッセ (千葉県)
- ⑮ 大和田正明・浦島遼平・江島圭祐・松田洋一・池田眞一郎・亀井淳志. 北部九州, 白亜紀 I-タイプ花崗閃緑岩のマグマ過程. 日本地質学会. 2015, 9.16, 信州大学
- ⑯ 石川真帆・志村俊昭, 大和田正明, 亀井淳志, 東田和弘, 柚原雅樹. 東南極セール・ロンダーネ山地, ブラットニーパネ地域に産するフォルスセライト-スピネル岩の変成 P-T-t 経路. 日本地質学会. 2015, 9.16, 信州大学
- ⑰ Fukusaki H., Kamei, A., Hokada T., Satish-Kumar M., Toyoshima T., Geochemistry of Paleoproterozoic TTGs and Neoproterozoic high-K granites around Chitradurga, western Dharwar Craton, India. 日本地球惑星科学連合, 2015, 5, 27, 幕張メッセ (千葉県)
- ⑱ Owada, M., Sakiyama, T., Kamei, A., Osanai, Y., Nakano, N., Adachi, T., Horie, K., Hokada, T., Late Proterozoic syenite magmatism in the Sør Rondane Mountains, East Antarctica. 日本地球惑星科学連合, 2015, 5, 27, 幕張メッセ (千葉県)
- ⑲ Satish-Kumar M., Otsuji, N., Kamei, A., Takazawa, E., Tsuchiya, N., Grantham, G., Ishikawa, M., Kawakami, T., Osanai, Y., Sr and Nd isotopes in metacarbonate rocks as proxies for paleo-tectonic reconstruction prior to supercontinent assembly. 日本地球惑星科学連合, 2015, 5, 27, 幕張メッセ (千葉県)
- ⑳ Zou, S., Li, Z., Kamei, A., Geochronology, geochemistry and petrology of Bashisuogong intrusions: Implications for magmatic evolution of Tarim LIP. 日本地球惑星科学連合, 2015, 5, 27, 幕張メッセ (千葉県)

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・教授
研究者番号：60379691

(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

小山内 康人 (OSANAI, Yasuhito)

九州大学・比較社会文化研究院・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)
広島大学・理学研究科・教授
研究者番号： 40332720

高須 晃 (TAKASU, Akira)
島根大学・総合理工学研究科・教授
研究者番号： 00183848