

令和 6 年 5 月 11 日現在

機関番号：13201

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K14571

研究課題名（和文）太古代苦鉄質岩中ジルコニウム鉱物3種局所分析による初期地球マントル地殻分化史解明

研究課題名（英文）The Early Earth Mantle-Crust Differentiation History through in-situ Analysis of Zr Minerals in Archean Ultramafic Rocks

研究代表者

沢田 輝（Sawada, Hikaru）

富山大学・学術研究部都市デザイン学系・助教

研究者番号：10845100

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究で様々な超苦鉄質岩や苦鉄質岩の中の重鉱物を回収、分析する中で、これらの岩石の中では蛇紋岩化反応では強アルカリ性の熱水が生じることから、ジルコニウム鉱物が比較的容易に溶解、再沈殿していることが明らかになってきた。当初の目的の地球史初期のマントルや地殻の情報を解読することは極めて困難であることがわかった。ここ1年の間に、超苦鉄質岩に含まれるジルコンの性質について多数の報告が上がるようになり、本研究課題と同様の結論に至っており、代表者による研究によって、世界的な研究動向にキャッチアップできたと言える。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超苦鉄質岩は日本列島でも一般的な岩石であり、その蛇紋岩化反応はプレート沈み込み帯で顕著に起こっている現象である。これらの岩石から希少なアクセサリ鉱物を抽出し、様々な局所分析を行った本研究の手法や議論の方向性は、太古代のような地球史初期の地質解読ばかりでなく、日本列島の比較的若い年代の岩石に対しても有効であり、それらの分析によって今後の防災科学に対する知見が広がることも期待できる。

研究成果の概要（英文）：In our study, as we recovered and analyzed various heavy minerals from different ultramafic and mafic rocks, it became evident that zircon minerals in these rocks are relatively prone to dissolution and reprecipitation due to the formation of strongly alkaline hydrothermal fluids during serpentinization reactions. Deciphering the early history of the Earth's mantle and crust, our initial objective, has proven to be exceedingly challenging. Over the past year, there has been a surge in reports regarding the properties of zircon in ultramafic rocks, leading to conclusions similar to those of our research project. Through studies conducted by representatives, we have been able to catch up with global research trends.

研究分野：鉱物学

キーワード：ジルコン 太古代 バデレアイト 超苦鉄質岩 かんらん岩 蛇紋岩 地殻 マントル

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、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地球誕生時にはほぼ均質だった岩石圏(未分化マントル)は、地球史を通じた火成活動により液相濃集元素に富む大陸地殻と枯渇マントルに分化してきた。現在の上部マントルはほぼ全て枯渇マントルであるが、顕生代のマントルかんらん岩の同位体分析から解読される溶融・地殻形成への関与は最古でも約 20 億年前までしか見られず(Pearson et al., 2007)、現状に至る進化史はほとんど分かっていない。

20 億年前以前の地球史初期マントル組成は、かんらん岩の産出がほとんど無いため地殻岩石の分析により推定されている。太古代苦鉄質岩の全岩微量元素組成は枯渇マントルの存在を示さない(Condie, 2005; Pearce, 2008)が、花崗岩類起源ジルコンの Hf 同位体比は地球史最初期から枯渇マントルが存在し続けたことを示す(Belousova et al., 2010)という大きな矛盾がある。前者は地球史初期の地殻生産が限定的であることを示唆し、後者は逆に活発であったことを示すと考えられている。苦鉄質岩はマントルかんらん岩から直接形成され、その情報をよく反映するが、全岩分析では大陸地殻物質などの混入の評価は難しく、また変質・変成によって二次的に組成が変化しやすい。一方、ジルコンは変成に耐えて晶出時の情報をよく反映・保存するが、花崗岩類は地殻物質の再溶融により形成され、その中のジルコンの組成はマントルの情報を反映していない可能性がある。実際、顕生代造山帯の花崗岩起源ジルコンの詳細な研究によって、部分溶融時の残存岩中の柘榴石などにより Hf 同位体比が大きく変動し得ることが示され(Chen et al., 2015)、これまでのジルコン地球化学は大きく見直す必要に迫られている。

2. 研究の目的

本研究は上記の花崗岩起源ジルコン/苦鉄質岩全岩分析の各々の先行研究の問題点を解決し、太古代マントルにおける液相濃集元素の枯渇度合いを明らかにすることを目的とする。その手段として、太古代苦鉄質岩中のジルコン・バデレライトに注目する。これらジルコニウムを主成分とする鉱物はしばしば苦鉄質岩中に微量ながら含まれ、共に変成などの二次的な組成改変への耐久度が高い。さらに、1 粒毎に U-Pb 年代・Hf 同位体比・微量元素組成のすべてを LA-ICPMS により高精度かつ迅速な局所分析が可能である。

3. 研究の方法

グリーンランド南西部のウジャラグスイットヌナット岩体およびフィスケナエセット岩体で採集した太古代の超苦鉄質岩に対して、ジルコンの分離を試みて、実際に獲得した。これらに対して、U-Pb 年代・Hf 同位体比・酸素同位体比・微量元素組成などの局所分析を行った。さらに、本研究課題の遂行中に新型コロナウイルス感染症の蔓延があったため、日本国内の埼玉県、群馬県、福井県、京都府、長崎県などで採集した中生代から古生代の超苦鉄質岩や苦鉄質岩、さらに、共同研究者から提供していただいた 34 ~ 30 億年前オーストラリア・ピルバラ地塊の超苦鉄質岩や苦鉄質岩からもジルコンもしくはバデレライトの抽出を試みた。得られたジルコンやバデレライトに対しては、東京大学、海洋研究開発機構、カナダ・アルバータ大学などで局所分析を行った。

4. 研究成果

当初の想定よりもジルコンやバデレライトの含まれる岩石は極めて少なく、計画は難航した。しかし、ジルコンやバデレライトが局所的に濃集している岩石を発見することで、その後の分析に進むことができた。ところが、さらに想定外のこと、得られたジルコンの多くは変成や変質の影響を強く受けていた。ルや地殻の組成進化史を解読することを目指すものであった。一般的には、ジルコンは変成・変質に強く、地質学的時間を経過しても初生的な組成・同位体比を保持できるというメリットから地球史初期の地殻やマントルの情報の解読に活用されている。しかし、本研究で様々な超苦鉄質岩や苦鉄質岩の中の重鉱物を回収、分析する中で、これらの岩石の中では蛇紋岩化反応では強アルカリ性の熱水が生じることから、低温熱水活動であっても通常の熱水活動ではあまり反応しないジルコニウム鉱物が比較的容易に溶解、再沈殿していることが明らかになってきた。当初の目的であった初生的なジルコン組成や同位体比から地球史初期のマントルや地殻の情報を解読することは極めて困難であることがわかったが、その後の太古代中期や後期に苦鉄質岩・超苦鉄質岩体が地殻の中でどのように変成・変質を被ってきたかを解読するために有用な情報を得ることが可能になった。同時に、地球史初期の研究だけでなく、日本列島のような若い地質体でもプレート沈み込み帯での蛇紋岩化による元素移動のトレーサーとして活用できる可能性に注目している。日本各地のオフィオライトや蛇紋岩体からジルコニウム含有鉱物を回収・分析し、特に関東地方の中生代蛇紋岩体からは日本国内でこれまでに報告された中では最大級のバデレライト(ZrO₂ 組成の鉱物)の繊維状結晶集合体を発見した。これらの鉱物の年代測定や酸素・ハフニウム同位体比と微量元素組成の分析から低温熱水活動による地殻組成改変の解読のための新しい手法論へシフトし、一部はすでに論文としてまとめて発表した。さらにそのような変質がもたらすプレート沈み込み帯や海洋圏での物質移動といった新しい研

究課題へ引き継がれて、発展しつつある。



図1 グリーンランドでの調査・岩石採集の様子

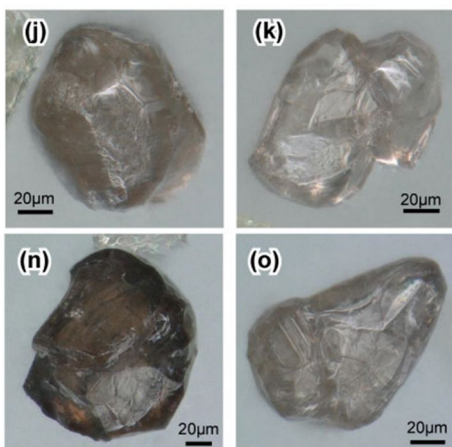


図2 グリーンランド超苦鉄質岩から得られた変質の影響を強く受けたジルコン粒子

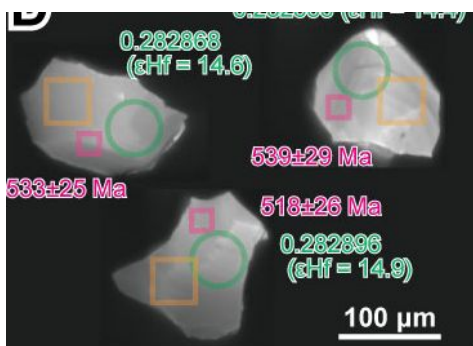


図3 日本国内の苦鉄質岩から得られたジルコンのカソードルミネッセンス像と各種局所分析の結果

主な研究成果は以下の通り

Sawada, H., Niki, S., Nagata, M., & Hirata, T. (2022). Zircon U-Pb-Hf Isotopic and Trace Element Analyses for Oceanic Mafic Crustal Rock of the Neoproterozoic-Early Paleozoic Oeyama Ophiolite Unit and Implication for Subduction Initiation of Proto-Japan Arc. *Minerals*, 12(1), 107.

Sawada, H., Morishita, T., Vezinet, A., Stern, R., Tani, K., Nishio, I., ... & Szilas, K. (2023). Zircon within chromitite requires revision of the tectonic history of the Eoarchean Itsaq Gneiss complex, Greenland. *Geoscience Frontiers*, 14(6), 101648.

Sawada, H., Chen, C., Iwamoto, H., & Takai, K. (2023). A trip into molten sulfur. *Island Arc*, 32(1), e12489.

Itano, K., & Sawada, H. (2024). Revisiting the Geochemical Classification of Zircon Source Rocks Using a Machine Learning Approach. *Mathematical Geosciences*, 1-22.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sawada Hikaru, Niki Sota, Nagata Mitsuhiro, Hirata Takafumi	4. 巻 12
2. 論文標題 Zircon U?Pb?Hf Isotopic and Trace Element Analyses for Oceanic Mafic Crustal Rock of the Neoproterozoic?Early Paleozoic Oeyama Ophiolite Unit and Implication for Subduction Initiation of Proto-Japan Arc	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Minerals	6. 最初と最後の頁 107 ~ 107
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/min12010107	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2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 沢田 輝, 上田 修裕, 澁谷岳造
2. 発表標題 低温アルカリ熱水によるジルコンの溶解実験 : 蛇紋岩化反応に伴う物質移動の理解へ向けて
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 沢田 輝, 森下 知晃, 谷 健一郎
2. 発表標題 太古代超苦鉄質岩から産するジルコンの示す岩体変質履歴
3. 学会等名 日本地質学会学術大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------