

令和 2 年 6 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14416

研究課題名(和文)大陸下マントルにおけるPGE含有量不均質性の検討：小さな硫化鉱物からのアプローチ

研究課題名(英文) Examination of PGE distribution in the sub-continental mantle: an approach from tiny sulfide mineral

研究代表者

秋澤 紀克 (Akizawa, Norikatsu)

東京大学・大気海洋研究所・助教

研究者番号：40750013

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、初期マントル中の白金族元素(PGE)含有量を正確に推定することを目指した。その達成のためには二次的なマグマやフルイドによる影響を取り除くことが必要不可欠であったため、それを重点的に実施した。具体的には、マントル由来物質であるかんらん岩を用いてPGE含有量を求め、ナノからマイクロメートルスケールで詳細な解析を実施した。その結果、炭素質マグマがPGE含有量を二次的に改変することを明確に示すことができた。また、その改変によりPGEがどのような鉱物に分配されていくのか明らかにした。これにより、炭素質マグマの影響のないかんらん岩を初期マントルのPGE推定に用いる必要があることを明確に示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マントルの白金族元素(PGE)含有量推定は、地球の形成過程を論じる上で重要である。特に、地球形成以降二次的な改変を受けていない“汚れない”初期マントルのPGE組成推定は地球形成初期の現象理解に特に重要である。本研究では、その推定を行うため最も重要である二次的な改変の実態を解明した。本研究結果を考慮すると、炭素質マグマによる影響が確認されるサンプルを推定から外すべきだということを明確に示すことができた。

研究成果の概要(英文)：I aimed at estimating precise abundances of platinum-group elements (PGE) in the mantle with this project. To attain the estimation, secondary effects derived from the infiltration of magma and/or fluid should be properly removed from the samples. Therefore, I focused on revealing the mechanism of secondary PGE mobilization and redistribution of PGE through such melt/fluid infiltration. With nanometer-scale to micrometer-scale investigations, I could elucidate that PGE can be mobilized via carbonaceous magma infiltration, and that trails of sub-micrometer-sized sulfide minerals host PGE separated from the carbonaceous magma. With the results from this project, I propose that the samples suffered from the infiltration of carbonaceous magma should be removed from the series of samples used for the estimation of mantle PGE composition.

研究分野：マントル岩石学

キーワード：マントル 硫化鉱物 白金族元素 交代作用 かんらん岩

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

白金族元素 (PGE = Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt) は強親鉄性であるため、地球中心核にそのほとんどが分配され、マントル中にはほとんど分配されていないと推測されている。しかし、1970年代からかんらん岩の PGE 含有量分析が行われ始め、その結果は推測に合わずマントル中にも相当量の PGE が含まれていることが明らかになってきた。そのため国内外多くの研究者がその問題解決に取り組み、様々な理由が提唱されてきた: 核-マントル分離後の隕石爆撃 (Late veneer 説; Kimura et al. 1974), 核-マントル分離後の核-マントル相互反応 (Snow & Schmidt, 1998), メルトやフルイドによる '若い' メタソマティズム = 交代作用の影響 (Alard et al., 2000)。特に、この影響を取り除くことなしに地球形成初期マントルの PGE 含有量推定を行うことはできないので、この実体解明は極めて重要である。ところが、この議論のほとんどは全岩化学組成分析結果のみから行われ、メタソマティズムがどのような実体なのか、また本当に起こっているのか、岩石組織などの直接的な証拠に基づいた議論が行われていないのが現状である。

### 2. 研究の目的

マントル中の PGE 含有量を正確に推定することができれば、核-マントル分離やマントル進化の履歴を辿ることが可能となる。本研究では、大陸下マントル由来のかんらん岩捕獲岩を用いて、PGE ホスト鉱物と期待されるナノ~マイクロメートルサイズの小さな硫化鉱物に着目し、二次的な PGE 付加のメカニズムを解明する。そして、PGE の付加がない、地球形成初期マントルの PGE 含有量を保つかんらん岩の選定を行う。

### 3. 研究の方法

マントル由来物質である、かんらん岩を用いて、その PGE 含有量分析とナノ~マイクロメートルスケールの解析を実施した。本研究では、炭素質マグマによる PGE の移動性に着目し、その報告がある (Schiano & Clocciatti, 1994) タヒチ産のかんらん岩を選定した。実施した項目は、下記の通りである。

- ・顕微鏡を用いたかんらん岩の記載
- ・電子線マイクロプローブアナライザー (EPMA) を用いて鉱物主要元素組成を分析
- ・レーザー誘導結合プラズマ質量分析計 (LA-ICP-MS) を用いて鉱物微量元素組成分析
- ・蛍光 X 線分析計 (XRF 分析計) を用いた全岩主要元素組成分析
- ・ICP-MS を用いた全岩微量元素組成分析
- ・ICP-MS を用いた PGE 含有量分析
- ・負イオン表面電離型質量分析計 (N-TIMS) を用いたオスミウム同位体分析
- ・放射光 X 線を用いたマイクロメートルスケールの CT 撮像・局所蛍光 X 線分析
- ・透過電子顕微鏡 (TEM) -エネルギー分散型 X 線分光器 (EDS) を用いたナノ~マイクロメートルスケールでの鉱物学的解析と化学組成分析

### 4. 研究成果

本研究で用いたかんらん岩は脈状の単斜輝石が不均質に含まれており、それは二次的にマグマが侵入したことによる結果であると解釈された。単斜輝石は軽希土類元素含有量が上昇しており、さらにはジルコニウム (Zr)、ハフニウム (Hf)、チタン (Ti) 含有量が低く、炭素質マグマからの結晶化を示唆する (図 1 赤線参照)。つまり、このサンプルにおいては、炭素質マグマによる二次的な組成変化が期待されるため、そのメカニズム解明に適していると言える。

以上の二次的な単斜輝石中には列状に並ぶ直径 1  $\mu\text{m}$  ほどの硫化鉱物が観察でき (図 2)、それを対象に放射光 X 線を用いた解析を実施した。その結果、列状の硫化鉱物はイリジウム (Ir)、プラチナ (Pt)、ロジウム (Rh) を含むことが明らかになった。さらに、その硫化鉱物を集光イオンビーム (FIB) で切り出して薄片を作成し、TEM-EDS を用いたナノ

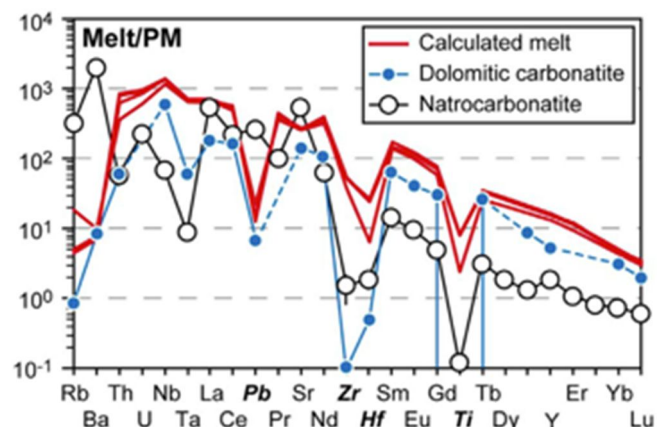


図 1: 単斜輝石の炭素質親マグマ組成推定結果. Akizawa et al. (2017)より引用。

～マイクロメートルスケール鉱物解析と元素分析を実施した。その結果、硫化鉱物は炭素質ガラスを伴っており、炭素質マグマにより Ir, Pt, Rh が二次的に移動していることを明確に示すことに成功した。また、硫化鉱物は、ナノメートルスケールで複雑に鉱物相分離を被っていることを明らかにした(図3)。その複雑な相分離の過程を詳しく解析した結果、Ir, Pt, Rh といった PGE はメルト相に濃集されていくと解釈された。以上の結果は、マントル中の PGE が炭素質マグマにより動くということを明確に示す。

Akizawa et al. (2017, 2020a)として国際誌に発表された以上の研究成果は、地球形成初期マントルの PGE 含有量を推定するには、炭素質マグマの影響のないかんらん岩を用いる必要があることを示した。地球形成初期マントルの PGE 含有量推定までは本研究では実施することができなかった。しかし、本研究を通して最適なサンプルを選定する基盤となる手法を整えることができたので、今後岩石組織観察を詳細に実施し、地球形成初期マントルの PGE 含有量推定を実施していきたい。

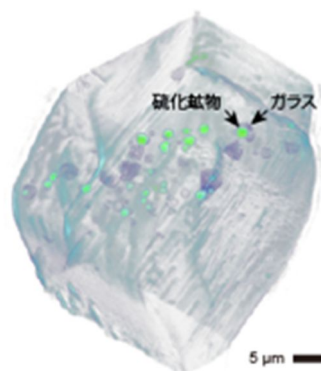


図2：列状に単斜輝石中で並ぶ硫化鉱物と炭素質ガラス。Akizawa et al. (2017)を改変。

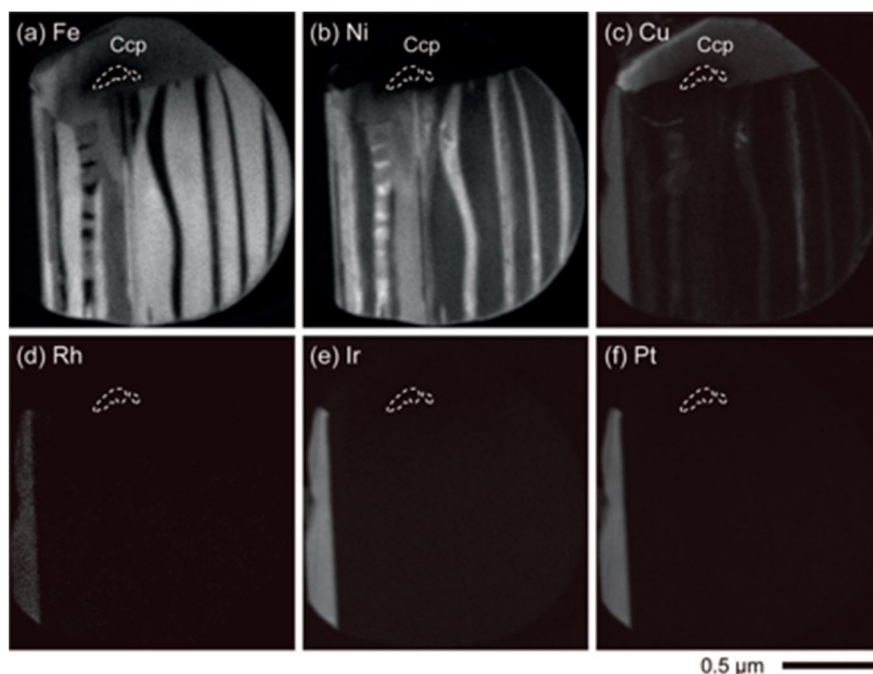
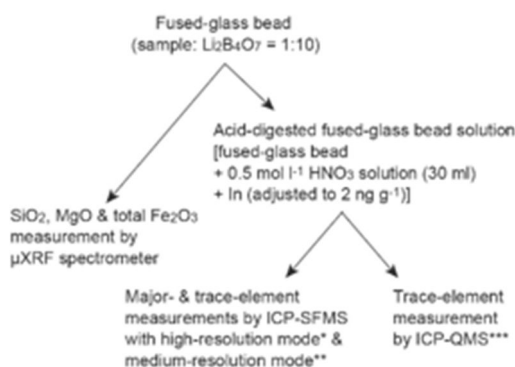


図3：硫化鉱物の元素マップ図。Akizawa et al. (2020)より引用。

さらに本研究では、かんらん岩を対象とした全岩主要元素・微量元素組成分析の簡略化を実施した。全岩元素組成を分析するためには、酸処理することで溶かしたり、薬品と混ぜることで融点を下げて溶かしてガラスをつくることで分析を行う。一般的に主要元素から微量元素までを全て分析しようとすると相当量の試料を必要とする。そこで、主要元素組成分析のために一般的に作成されるガラス(XRF分析用ガラスビード)を用いて、簡便に主要元素と微量元素が分析できる技術開発を行った(図4)。これは、かんらん岩のように採取できる試料の量が少ない希少な岩石を分析するのに有用である。以上の全岩主要元素・微量元素組成分析は、今後地球形成初期マントルの PGE 含有量推定に必要であるため、その簡略化は今後の研究遂行にとって効率化の面で重要である。



\*Na, Al, & K (internal-standard element: Si)  
 \*\*P, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, & Cu (internal-standard element: Fe)  
 \*\*\*Rb, Sr, Y, Zr, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Pb, Th, & U (internal-standard element: In)

図4：岩石の全岩化学組成分析手法のフローチャート。Akizawa et al. (2020b)より引用。

## 参考文献

- Akizawa N., Miyake A., Ishikawa A., Tamura A., Terada Y., Uesugi K., Takeuchi A., Arai S., Tanaka C., Igami Y., Suzuki K., Kogiso T. (2017) Metasomatic PGE mobilization by carbonatitic melt in the mantle: evidence from sub- $\mu\text{m}$ -scale sulfide-carbonaceous glass inclusion in Tahitian harzburgite xenolith. *Chemical Geology* 475, 87–104.
- Akizawa N., Kogiso T., Miyake A., Tsuchiyama A., Igami Y., Uesugi M. (2020) Formation process of sub-micrometer-sized metasomatic platinum-group element-bearing sulfides in a Tahitian harzburgite xenolith. *The Canadian Mineralogist* 58, 99–114.
- Akizawa N., Ishikawa A., Kogiso T. (2020) A simple determination of whole-rock major- and trace-element composition for peridotite by micro-XRF spectrometer and ICP-MS using fused-glass bead. *Geochemical Journal* 54, doi:10.2343/geochemj.2.0587.
- Alard O., Griffin W.L., Lorand J.-P., Jackson S.E., O'Reilly S.Y. (2000) Non-chondritic distribution of the highly siderophile elements in mantle sulphides. *Nature* 407, 891–894.
- Kimura, K., Lewis, R.S., Anders, E. (1974) Distribution of gold and rhenium between nickel-iron and silicate melts: implications for the abundance of Siderophile elements on the earth and moon. *Geochim. Cosmochim. Acta* 38, 683–701.
- Snow, J.E., Schmidt, G. (1998) Constraints on earth accretion deduced from noble metals in the oceanic mantle. *Nature* 391, 166–169.
- Schiano, P., Clocchiatti, R. (1994) Worldwide occurrence of silica-rich melts in sub-continental and sub-oceanic mantle minerals. *Nature* 368, 621–624.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Akizawa Norikatsu, Miyake Akira, Ishikawa Akira, Tamura Akihiro, Terada Yasuko, Uesugi Kentaro, Takeuchi Akihisa, Arai Shoji, Tanaka Chima, Igami Yohei, Suzuki Katsuhiko, Kogiso Tetsu	4. 巻 475
2. 論文標題 Metasomatic PGE mobilization by carbonatitic melt in the mantle: Evidence from sub- $\mu$ m-scale sulfide-carbonaceous glass inclusion in Tahitian harzburgite xenolith	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemical Geology	6. 最初と最後の頁 87 ~ 104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2017.10.037">https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2017.10.037</a>	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 Akizawa Norikatsu, Ishikawa Akira, Kogiso Tetsu	4. 巻 54
2. 論文標題 A simple determination of whole-rock major- and trace-element composition for peridotite by micro-XRF spectrometer and ICP-MS using fused-glass bead	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 GEOCHEMICAL JOURNAL	6. 最初と最後の頁 81 ~ 90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2343/geochemj.2.0587">https://doi.org/10.2343/geochemj.2.0587</a>	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 Akizawa Norikatsu, Kogiso Tetsu, Miyake Akira, Tsuchiyama Akira, Igami Yohei, Uesugi Masayuki	4. 巻 58
2. 論文標題 Formation process of sub-micrometer-sized metasomatic platinum-group element-bearing sulfides in a Tahitian harzburgite xenolith	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Canadian Mineralogist	6. 最初と最後の頁 99 ~ 114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.3749/canmin.1800082">https://doi.org/10.3749/canmin.1800082</a>	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 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Akizawa, N., Ishikawa, A. and Kogiso, T.
2. 発表標題 Petrological and geochemical characteristics of mantle xenoliths from Tahiti and Moorea islands: an insight into oceanic lithosphere accretion.
3. 学会等名 International Mineralogical Association (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 秋澤 紀克, 三宅 亮, 伊神 洋平, 小木曾 哲
2. 発表標題 Sub-micrometer-scale investigations for metasomatic PGM-BMS inclusion in Tahitian harzburgite xenolith.
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 秋澤紀克
2. 発表標題 タヒチ/モーレア島産マントル捕獲岩から探る海洋マントルの地球化学的多様性
3. 学会等名 日本地球化学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 秋澤紀克
2. 発表標題 Metasomatic mobilization of PGE in the suboceanic mantle: an implication from sub-micrometer-sized sulfides from Tahitian peridotite xenolith
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石川 晃
2. 発表標題 Highly siderophile elements in Hawaiian xenoliths: Implications for the origin of low 187Os/188Os signatures in oceanic mantle
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akizawa, N., Ishikawa, A., Suzuki, K. and Kogiso, T.
2. 発表標題 Ancient, highly depleted mantle beneath French Polynesia archipelago constrained by rhenium-osmium isotope and highly-siderophile element compositions of mantle xenoliths.
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akizawa, N., Ozawa, K., Wallis, S.R., Ohshima, C., Tamura, A., Kawamoto, T., Yasumoto, A., Ishikawa, A., and Kogiso, T.
2. 発表標題 Native iron formation during mantle metasomatism ecoreded in a mantle xenolith from Aitutaki Island, Cook Islands.
3. 学会等名 日本鉱物科学会2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大嶋ちひろ, 秋澤紀克, 石川晃, 石井輝明, 小木曾哲
2. 発表標題 Aitutaki/Rarotonga島(クック諸島)産マントル捕獲岩の地球化学的特徴 .
3. 学会等名 日本地球化学会2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akizawa, N., Machida, S., Okino, K. and Ohara, Y.
2. 発表標題 Spatial variation of petrological and geochemical characteristics of mantle peridotites in Mado Megamullion.
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akizawa, N., Ishikawa, A., Suzuki, K. and Kogiso, T.
2. 発表標題 Ancient, highly depleted mantle constrained by rhenium-osmium isotope and highly-siderophile element compositions of French Polynesian xenoliths.
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019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
--	---------------------------	-----------------------	----