

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 11 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25870162

研究課題名(和文)太平洋下マンツルのオスミウム同位体年代分布

研究課題名(英文)Osmium model age distribution of the Pacific mantle

## 研究代表者

石川 晃 (ISHIKAWA, Akira)

東京大学・総合文化研究科・助教

研究者番号：20524507

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：地球マンツルの化学的構造を理解するため、太平洋域に産するかんらん岩-蛇紋岩のオスミウム同位体比-強親鉄性元素濃度の系統的分析を実施した。その結果、地球の対流マンツルは(1) 広い空間スケールでは攪拌効果により均質化されている、(2) 細かいスケールでは原生代融解イベントに伴う同位体不均質性が保持されている、(3) 太古代以前に形成された不均質性や金属核との反応を経験したマンツルは少なくとも現世の上部マンツルに保持されていない可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：In order to understand the chemical structure in the Earth's mantle, reflecting the pattern of mantle convection or mixing efficiency, extents of variations in Os isotope ratios and highly siderophile element concentrations for peridotite-serpentinite recovered from the Pacific area were examined. The results demonstrate that samples from the studied area display almost identical Os-isotope variations to the global population mainly comprised of data from other ocean. This suggests that small-scale heterogeneities created by Proterozoic melt extraction are homogeneously distributed over large scales within the modern convecting mantle.

研究分野：固体地球化学

キーワード：マンツル オスミウム同位体 強親鉄性元素 地球化学的不均質

### 1. 研究開始当初の背景

かんらん岩のオスmium同位体比は、メルト分離に伴い同位体進化が阻害されるため、融解年代の指標となることが知られている[1]。先行研究により、現在の対流マントルを示す「海洋かんらん岩」がコンドライト的な同位体比を持つのに対し、「太古代クラトンかんらん岩」は低い $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 比を持つことが示された[2](図1)。この差異は、大陸地殻形成が直下マントルの融解と関連し、それ以降、大陸リソスフェアとして表層で安定化していることを示す。実際、クラトン周縁部の若い大陸直下由来のかんらん岩では、海洋域とクラトンの中間的な値が支配的であり[3]、年代指標としてのオスmium同位体比の有用性を支持している。

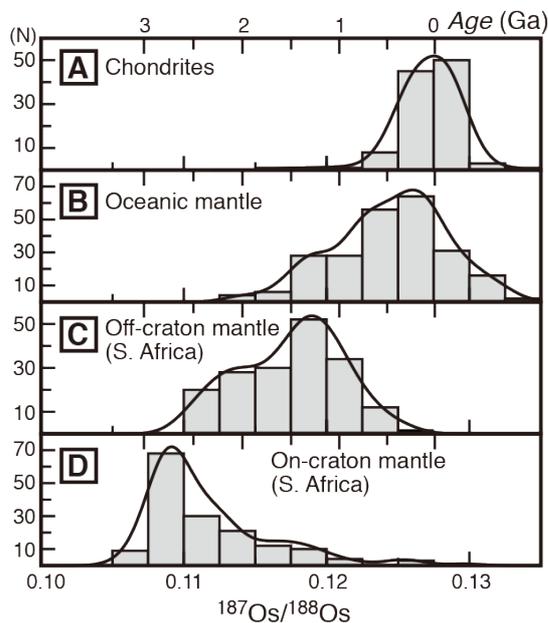


図1: (A) コンドライト、(B) 海洋域マントル、(C) 南アフリカ、カープバルクラトン周縁部、(D) 同クラトン内部のオスmium同位体比頻度分布。データの出典は[3,8]に記載。

近年のデータ蓄積に伴い、海洋域において大陸下マントルに匹敵する低い同位体比を持つかんらん岩が見出された[4,5]。とりわけ $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 比が0.12より低い試料は、過去(～10億年前)に表層で融解を経験し、沈み込みにより対流マントルの一部と化した後に、再度海洋プレートに舞い戻った「リサイクルかんらん岩」であると考えられる。このような大規模なマントル物質循環の存在は、海洋玄武岩に見られる微量元素同位体比異常から指摘されてきたが[6]、メルト発生-移動領域の積分情報のみを記録するマグマから、「リサイクルかんらん岩」の実体を知ることはほぼ不可能であった。

### 2. 研究の目的

研究代表者はこれまでに、地球深部マントルの化学的不均質性と「マントルプルーム」の関連性を探る目的で、現存する最大の巨大火成作用区であるオントンジャワ海台直下に由来するマントル捕獲岩を研究してきた[7]。そして、かんらん岩のオスmium同位体比系統分析の結果から、本地域の組成範囲が全海洋データ範囲にほぼ匹敵することを明らかにした[8]。この事実は、空間的サイズの小さい不均質性が、対流マントル全域にわたってまばらに分布することを示唆する。また、平衡温度圧力から求められる各試料の由来深度を基に、リソスフェア全域のオスmium同位体比鉛直分布を復元した結果、 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 比の低い試料が深部リソスフェア(95-120 km)に異常濃集していることを見出した[8]。このような視点の下、研究代表者は「プルームマントル」と「最上部対流マントル」はオスmium同位体比頻度分布より区別できる可能性があり、プルームの実体が「リサイクルかんらん岩」に富むマントルであると推測した[8]。

そこで本研究は、太平洋域に産するかんらん岩-蛇紋岩(海洋島捕獲岩、深海性かんらん岩、オフィオライト)を対象とした分析から、太平洋マントルのオスmium同位体比不均質マップを作成する。その結果から、「プルームマントル=海洋島捕獲岩」と「最上部対流マントル=深海性かんらん岩、オフィオライト」の違いを総合的に検証することで、物質循環タイムスケールやマントルダイナミクスの描像を具体的に与えることを目指す。

### 3. 研究の方法

先行研究により、現世太平洋域マントルに由来するかんらん岩-蛇紋岩は、図2に示された地域に産することが知られている。

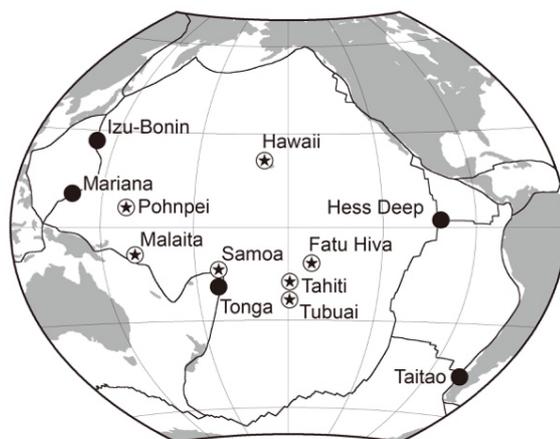


図2: 現世の太平洋域マントルに由来するかんらん岩-蛇紋岩の分布図。海洋島マグマに捕獲され上昇したかんらん岩(星印)と、プレート境界の造構運動で上昇した深海性かんらん岩/オフィオライト(黒丸)の二種に大別される。

本研究では、太平洋最上部マントルに由来する深海性かんらん岩／オフィオライトのマントルセクションの代表的試料として、

- 東太平洋海膨へス・ディープの海底掘削により得られた蛇紋岩[9]
- 東太平洋チリ海嶺軸に由来するタイタオオフィオライトの地質調査により得られた蛇紋岩[10]
- 伊豆-小笠原海溝陸側斜面の潜航調査により得られた蛇紋岩[11]
- トンガ海溝陸側斜面のドレッジにより得られたかんらん岩～蛇紋岩[12]

より深部リソスフェアに由来するマントル捕獲岩の代表的試料として、

- ソロモン諸島、マライタ島に産するかんらん岩捕獲岩[7,8]
- ハワイ諸島、オアフ島に産するかんらん岩捕獲岩[13, 14]
- サモア諸島、サバイイ島産かんらん岩捕獲岩[15, 16]
- フランス領ポリネシア、オーストラル諸島、ツブアイ島に産するかんらん岩捕獲岩[15, 16]
- フランス領ポリネシア、ソサエティ諸島、タヒチ島に産するかんらん岩捕獲岩[17]
- ミクロネシア、カロリン諸島、ポンペイ島に産するかんらん岩捕獲岩[18]

を対象に、強親鉄性元素濃度(Os, Ir, Ru, Pt, Pd, Re)及び $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 同位体比測定を期間内にできるだけ多く行う。具体的には、以下の三点に重点を置く。

(1) 様々な分解前処理法を利用している先行研究とのデータ比較から、「カリアスチューブ分解-同位体希釈法」による最適分解条件を決定し、かんらん岩試料に対する高精度・高確度データの系統的取得方法を確立する。

(2) 全岩粉末試料から得られる主要元素濃度・強親鉄性元素濃度から、融解作用やその後の交代・変質作用(蛇紋岩化作用)に伴う元素移動パターンを判別し、オスミウム同位体比が記録する情報を精査する。

(3) 各地域のオスミウム同位体比頻度分布を基に、太平洋下マントルにおける「リサイクルかんらん岩」の分布を理解し、その形成・進化モデルを構築する。

#### 4. 研究成果

(1) かんらん岩の強親鉄性元素濃度および $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 同位体比分析手法の最適化

「カリアスチューブ分解法」によるかんらん岩の強親鉄性元素濃度-オスミウム同位体比測定手法を確立するため、比較的多くの公表値がある超苦鉄質岩石標準試料(UB-N:フランス、ヴォージュ山脈に産する含スピネル蛇紋岩、JP-1:日本、幌満かんらん岩体に産するハルツバージャイト)の繰り返し分析を、異なる分解時間(24-72時間)、温度(240-270°C)、試料量(1-2 g)により実施した。その結果、強親鉄性元素の逆王水への抽出効率は、調べた範囲の温度・分解時間・試料量においてほとんど変化しないことが判明した。また「NiS ファイアアッセイ法」や「高温高压灰化法」などより高温条件により得られた既報データや、カリアスチューブでの逆王水リーチング後の残渣に対してHF処理を行ったデータなどを比較しても、抽出効率にほとんど違いが認められないことが判明した。

上記の観察結果と作業効率を踏まえ、本研究課題で対象とするかんらん岩試料に最適な分解法を決定し、強親鉄性元素濃度-オスミウム同位体比測定手法を確立するに至った。本手法を用いたUB-Nの繰り返し分析(N=13, 1RSD)では、オスミウム10%、イリジウム7.6%、ルテニウム6.9%、白金4.6%、パラジウム3.1%、レニウム7.3%、 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 同位体比0.6%のデータ再現性が得られており、世界の主要実験グループの公表データと比べて遜色ないことが示された(図3)。この成果は原著論文としてまとめられ、2014年に国際誌*Chemical Geology*において公表済である。

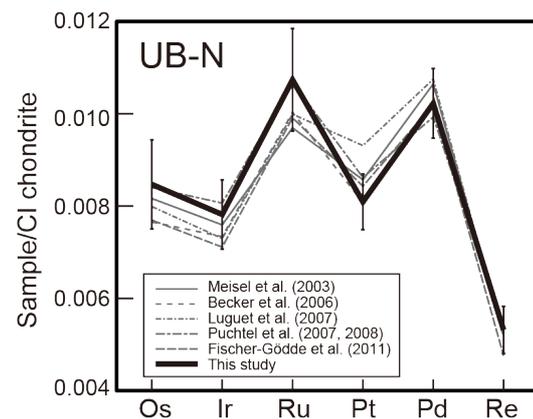


図3: 超苦鉄質岩石標準試料(UB-N)のコンドライトで規格化された強親鉄性元素パターン。世界の主要ラボの報告値と調和的な結果が得られている。

(2) 融解作用とその後の蛇紋岩化作用に伴う強親鉄性元素の挙動

捕獲岩あるいは固体貫入岩体として産出するマントルかんらん岩は、主に造構場を反映した化学的特徴を有することが知られている。リソスフェア深部に由来する捕獲岩は、メルト成分に富むレルズライトを主体としており、蛇紋岩化の影響がほとんどない特徴を持つものに対し、リソスフェア最上部マントルがプレート境界の造構運動により地表付近へ露出するに至った深海性かんらん岩／オフィオライトは、メルト成分に枯渇したハルツバーザイトが海水や熱水との反応により著しく蛇紋岩化していることで特徴付けられる。

このような多様性を示す試料群の強親鉄性元素濃度組成を系統的に取得した結果、以下に示す新たな知見が得られた。①海洋底における通常の蛇紋岩化作用に伴う各強親鉄性元素元素の移動度は低いが、酸化的環境下における変質作用を被った試料は、主要ホストの硫化鉱物の分解に伴いオスミウムあるいはイリジウムが乏しくなる傾向がある。②通常の中央海嶺下における還元的かつ低圧下におけるマントル融解過程（融解度 20%以下）では、固相側に残存する硫化物が主要ホストとなることでマグマ中の濃度を規定しているため、一連の溶け残りマントルにおける強親鉄性元素濃度変動は非常に小さい。以上の考察から、対象とした試料のオスミウム同位体比の多様性は現世の融解過程や蛇紋岩化作用に本質的な影響を受けていないことが示唆された。この成果は、2014年度資源地質学会において招待講演を行い、現在論文執筆中にある。

(3) 太平洋域かんらん岩のオスミウム同位体比パリエーションから読むマントルの地球化学的構造とその形成過程

現在までに得られているデータを解析した結果、深部由来のかんらん岩捕獲岩と浅部由来の蛇紋岩との間に、強親鉄性元素パターンやオスミウム同位体比頻度分布に明瞭な違いが認められないことが明らかとなった。これらの結果から、現世の地球マントルに関して、①広いスケール（四大海洋ごと、あるいは産地ごと）で比較した場合、地球の対流マントルほぼ全域が攪拌効果により均質化されている、②細かいスケール（岩石試料サイズごと <1 m）では原生代融解イベントに伴う同位体不均質が残されている、③太古代以前の融解イベントにより生じた不均質性は消失している、④金属核との反応を経験したマントル物質は上部マントルに存在しない、といった可能性が強く示唆された。これらの結果と考察について、アメリカ地球物理学連合で招待講演を行い、内外の研究者と意見交換をした。また今夏、日本で開か

れるゴールドシュミット国際会議で新規データを含めた最終結果を発表し、その後論文として公表する予定である。

#### <引用文献>

- [1] Shirey, S.W. and Walker, R.J. (1998) *Annu. Rev. Earth. Sci.*, 26, 423-500.
- [2] Carlson, R.W. (2005) *Lithos*, 82, 249-272.
- [3] Janney, P.E. et al. (2010) *J. Petrol.*, 260, 495-504.
- [4] Harvey, J. et al. (2006) *EPSL*, 244, 606-621.
- [5] Liu, C.-Z. et al. (2008) *Nature*, 452, 311-316.
- [6] Hofmann, A.W. (1997) *Nature*, 385 219-229.
- [7] Ishikawa, A. et al. (2004) *J. Petrol.*, 45, 2011-2044.
- [8] Ishikawa A. et al. (2011) *EPSL*, 301, 159-170.
- [9] Rehkämper, M. et al. (1999) *EPSL*, 172, 65-81.
- [10] Schulte, R.F. et al. (2009) *Geochim. Cosmochim. Acta*, 73, 5793-5819.
- [11] Morishita T. et al. (2011) *Geology*, 39, 411-414.
- [12] Bloomer, S.H. and Fischer, R.L. (1987) *J. Geology*, 95, 469-495.
- [13] Bizimis, M. et al. (2007) *EPSL*, 257, 259-273.
- [14] Goto, A. and Yokoyama K. (1988) *Lithos*, 21, 67-80.
- [15] Hauri E.H. et al., (1993) *Nature*, 365, 221-227.
- [16] Jackson M.G. et al. (2016) *Geochim. Cosmochim. Acta*, In Press.
- [17] Tracy, R.J. *EPSL*, (1980) 48, 80-96.
- [18] Dixon, T.H. et al. (1984) *Chem. Geol.*, 43, 1-28.

#### 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 9 件)

- ① Liu, J., Touboul, M., Ishikawa, A., Walker, R.J., Pearson, D.G. Widespread tungsten isotope anomalies and W mobility in crustal and mantle rocks of the Eoarchean Saglek Block, northern Labrador, Canada: Implications for early Earth processes and W recycling *Earth and Planetary Science Letters*, 448, 13-23 (2016) doi:10.1016/j.epsl.2016.05.001 [査読有]
- ② Riches, A.J.V., Ickert, R.B., Pearson, D.G., Stern, R.A., Jackson, S.E., Ishikawa, A., Kjarsgaard, B.A., Gurney, J.J. In situ oxygen-isotope, major-, and trace-element constraints on the metasomatic modification and crustal origin of a diamondiferous eclogite from Roberts Victor, Kaapvaal Craton. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 174, 345-359 (2016) doi:10.1016/j.gca.2015.11.028 [査読有]

- ③ Tejada, M.L.G., Shimizu, K., Suzuki, K., Hanyu, T., Sano, T., Nakanishi, M., Nakai, S., Ishikawa, A., Chang, Q., Miyazaki, T., Hirahara, Y., Takahashi, T., Senda, R. Isotopic evidence for a link between Lyra Basin and Ontong Java Plateau. *Geological Society of America Special Papers*, 511, 251-269 (2015) doi:10.1130/2015.2511 (14) [査読有]
- ④ Komiya, T., Yamamoto, S., Aoki, S., Sawaki, Y., Ishikawa, A., Tashiro, T., Koshida, K., Shimojo, M., Aoki, K., Collerson, K.D. Geology of the Eoarchean, >3.95 Ga, Nulliak supracrustal roots in the Saglek Block, northern Labrador, Canada: the oldest geological evidence for plate tectonics. *Tectonophysics*, 662, 40-66 (2015) doi:10.1016/j.tecto.2015.05.003 [査読有]
- ⑤ Ishikawa, A., Kawai, K. Ultrapotassic magma from the deep mantle, Leucite Hills lamproite, Wyoming USA. *Journal of Geography* (地学雑誌), 124, 515-523 (2015) doi:10.5026/jgeography.124.515 [査読有]
- ⑥ Tejada, M.L.G., Hanyu, T., Ishikawa, A., Senda, R., Suzuki, K., Fitton, G., Williams, R. Re-Os isotope and platinum group elements of a Focal Zone mantle source, Louisville Seamounts Chain, Pacific ocean. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 16 486-504 (2015) doi:10.1002/2014GC005629 [査読有]
- ⑦ Demouchy, S., Ishikawa, A., Tommasi, A., Alard, O., Keshav, S. Characterization of hydration in the mantle lithosphere: Peridotite xenoliths from the Ontong Java Plateau as an example. *Lithos*, 212-215, 189-201 (2015) doi:10.1016/j.lithos.2014.11.005 [査読有]
- ⑧ Tommasi, A., Ishikawa, A., Microstructures, composition, and seismic properties of the Ontong Java Plateau mantle root. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 15, 4547-4569 (2014) doi:10.1002/2014GC005452 [査読有]
- ⑨ Ishikawa, A., Senda, R., Suzuki, K., Dale, C.W., Meisel, T. Re-evaluating digestion methods for highly siderophile element and <sup>187</sup>Os isotope analysis: evidence from geological reference materials. *Chemical Geology*, 384, 27-46 (2014) doi:10.1016/j.chemgeo.2014.06.013 [査読有]
- 〔学会発表〕(計9件)
- ① Ishikawa, A., Senda, Suzuki, K., Tani, K., Ishii, T. Re-Os isotope and highly siderophile element constraints on the origin of ancient depleted domains in the modern convecting mantle. *Goldschmidt 2016* 2016年6月26日-7月1日, パシフィコ横浜(神奈川県・横浜市)
- ② Ishikawa, A., Senda, Suzuki, K., R., Tani, K., Ishii, T. Osmium isotope variations in the Pacific mantle: implications for the distribution of heterogeneity in the convecting mantle. *American Geophysical Union Fall Meeting* (招待講演) 2015年12月14日-18日, サンフランシスコ(アメリカ)
- ③ 石川 晃, 仙田量子, 鈴木勝彦, 谷健一郎, 石井輝秋 海洋性かんらん岩のオスミウム同位体分布から読むマンツルの地球化学的構造とその進化 日本地質学会第122回年会 2015年9月11日-13日, 信州大学長野キャンパス(長野県・長野市)
- ④ Ishikawa, A., Senda, R., Suzuki, K., Tani, K., Ishii, T. Osmium isotope heterogeneity in the Pacific mantle: implications for the evolution of convective mantle. 日本地球惑星科学連合大会2015年大会 2015年5月24日-28日, 幕張メッセ(千葉県・千葉市)
- ⑤ 石川 晃, 仙田量子, 谷健一郎, 鈴木勝彦, 石井輝秋 かんらん岩の融解過程に伴う強親鉄性元素の分別作用 日本地球化学会第61回年会 2014年9月16日-18日, 富山大学五福キャンパス(富山県・富山市)
- ⑥ 石川 晃, マンツル融解過程に伴う強親鉄性元素の挙動 資源地質学会第64回年会学術講演会(招待講演) 2014年6月25日-27日, 東京大学小柴ホール(東京都・文京区)
- ⑦ Ishikawa, A., Senda, R., Tani, K., Suzuki, K., Ishii, T. Osmium isotope heterogeneity in the Pacific uppermost mantle. *Sixth international orogenic lherzolite conference*. 2014年5月4日-15日, マラケシュ(モロッコ)
- ⑧ 石川 晃, 越田溪子, 鈴木勝彦, 小宮剛 Timing of late veneer on Earth: a siderophile element perspective. 日本地球惑星科学連合大会2014年大会 2014年4月28日-5月2日, パシフィコ横浜(神奈川県・横浜市)
- ⑨ 石川 晃, 仙田量子, 谷健一郎, 鈴木勝彦, 石井輝秋 太平洋最上部マンツルのオス

ミウム同位体不均質性 日本地球化学会  
第60回年会 2013年9月11日-13日, 筑  
波大学(茨城県・つくば市)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

石川 晃 (ISHIKAWA, Akira)

東京大学・大学院総合文化研究科・助教

研究者番号: 20524507

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし

### (4) 研究協力者

鈴木 勝彦 (SUZUKI, Katsuhiko)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海底資

源開発研究センター・センター長代理

研究者番号: 70251329

仙田 量子 (SENDA, Ryoko)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部物

質循環研究分野・技術研究副主任

研究者番号: 50377991

谷健一郎 (TANI, Kenichiro)

独立行政法人国立科学博物館・地学研究部・研

究員

研究者番号: 70359206

石井輝秋 (ISHII, Teruaki)

公益財団法人深田地質研究所・研究員

研究者番号: 80111582