

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04111

研究課題名（和文）海洋プレートを産み出す上部マントル不均質とプレート形成場との関連性解明

研究課題名（英文）Understand the relationships between upper mantle heterogeneity and plate forming place

研究代表者

仙田 量子（SENDA, Ryoko）

九州大学・比較社会文化研究院・准教授

研究者番号：50377991

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）：本研究の目的は、海洋プレートを構成する海洋地殻の実際の試料のデータから、異なる海洋プレート形成場における最上部マントル物質の相違を把握、海洋プレート形成モデルの検証を行うことである。そのため、海洋プレート形成場である海嶺の化石と目されるオマーンオフィオライトの掘削試料および現在活動中の背弧海盆であるマリアナトラフ北部域の海底から採取した試料の分析を行った。白金族元素組成の違いからは、背弧海盆試料では比較的単純な、海嶺試料からは複雑なプロセスが必要であることが示唆され、それぞれの場におけるプレート形成モデルの詳細な再検討が必要となることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地表面の7割程度を占める海洋プレート形成について調べることは、地球内部の活動や元素循環など地球の歴史に反映されるグローバルな地球化学サイクルを知るために重要である。中央海嶺に比べ規模が小さい背弧海盆は、これまで海洋プレート形成場としての注目度は低い、中央海嶺に比べ多様な場所に存在している。今回の研究結果により、背弧海盆でのマグマ形成が比較的単純なプロセスで行われている可能性が高くなった。今後はこの結果が普遍的であるのかを検証し、全球的な影響の割合について見積もる必要がある。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to understand the differences in the uppermost mantle materials from different oceanic plate formation fields and to validate the oceanic plate formation model from the actual sample data of the oceanic plate. For this purpose, we have analyzed drilling samples of Oman Ophiolites, which are thought to be fossils of oceanic ridges as oceanic plate-forming fields, and samples collected from the seafloor of the northern Mariana Trough, which is an active back-arc basin. Differences in the abundances of the platinum group elements suggest that a relatively simple process is required for the back-arc basin samples, and a complex process is required for the ridge sample. Detailed validations will be needed about the plate formation model in each plate formation field.

研究分野：固体地球化学

キーワード：上部マントル 下部地殻 白金族元素組成

## 1. 研究開始当初の背景

地球表面の 7 割程度を占めている海洋底を構成する海洋プレートは、現在の地球を形成した地球内部の物質循環と大きな関連を持ち、約 2 億年単位でプレートの生成と沈み込みによるマントルへのフィードバックを繰り返している。この循環により、海洋底を産み出す海嶺軸で起こっている生命活動やプレートの地球内部への沈み込みによる水や炭素の循環などが産み出されており、海洋プレートの物質科学的情報は、地球全体の物質循環とその進化を明らかにする上で重要である。海洋プレートを生み出す機構としては主に中央海嶺(図 1 左)があげられるが、海洋底の詳細な調査が進むにつれて、背弧海盆(図 1 右)と呼ばれる地域においてもマグマ弧による海洋底形成が行われていることが明らかとなってきた。背弧海盆とは沈み込み帯や島弧近傍に存在し、これらと成因的関連を持つ海面下の盆地である。中央海嶺と背弧海盆との一番の違いは、海洋底拡大の対称性に現れる。背弧海盆は非対称に拡大する(図 1)。実際、今回ターゲットとするマリアナトラフ中央部では、東側の拡大速度が西側と比較して 2~3 倍速いことが観測されている(Deschamps & Fujiwara, 2003, *Geochem., Geophys., Geosyst.*)。このような背弧海盆の非対称拡大の原因はまだ不明であるが、背弧海盆の形成が海洋プレートの沈み込みに伴うマグマ活動に起因すると考えられていることから、沈み込むプレートであるスラブとの距離や水分量あるいはマントル中の熱流量等で説明されることも多い(e.g., Martinez & Taylor, 2002, *Nature*)。

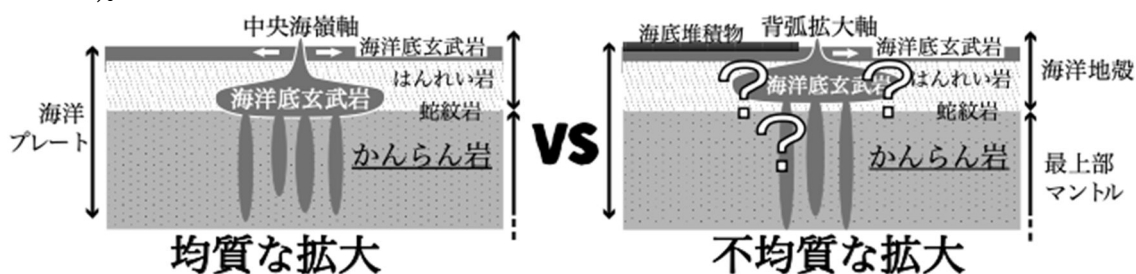


図 1 二つの異なった海洋プレート形成場模式図

物質化学的には、海洋プレートはマントルの部分溶融によりメルトが産み出され、このメルトが上部に固化(海洋地殻)して形成される。このおおまかなプロセス自体は明らかになっているものの、マントルの詳細な溶融過程や個々の岩相関係、特にこれらを生み出す源となっている「かんらん岩」の組成や状態と実際のマグマ形成の関連について、明らかになっていることは多くない。海洋プレート最上部を構成する海洋地殻(海洋底玄武岩層:MORB)の厚さは世界中で~7km とほぼ一定であり、断熱減圧条件が破られる 15mm/yr.以下の低速拡大軸を除けば、これはメルト生産率およびマントルポテンシャル温度(~1300 °C, McKenzie & Bickle, 1988, *J.Petrol*)のグローバルな均質性を表すと考えられている(Bown & White, 1994, *EPSL*)。しかしながら、海洋プレートを産み出している上部マントルが、物質化学的に太平洋タイプとインド洋タイプに二分できる可能性が示された(e.g., Iwamori & Nakamura, 2012, *G.J.*; Kimura et al. 2016, *Geochem., Geophys., Geosyst.*)。主にマントルから産み出されたメルトである海洋地殻や海洋島火山岩の分析に基づくこれらの提案は、これまでの物質化学的には大まかに均質な海洋プレート形成論に対し、緻密で精力的な分析に基づく新しい海洋プレート形成論を要請している。

## 2. 研究の目的

地球表面の多くを占める海洋プレートはどのようにして形成され、海洋プレートを産み出す上部マントルはどのように構成されているのか?海洋底の調査で明らかになってきた中央海嶺と背弧海盆のような異なる海洋プレート形成場の存在は、従来考えられてきた均質な上部マントルからの海洋地殻形成プロセスを見直す必要を示す。陸上に比べて格段にアクセスが難しいこともあり、これまでの海洋プレート形成論は上部マントルから生み出されたメルトである火山岩データを元にしており、実際に上部マントルを構成している物質からマントル内部の大規模構造を比較検討した例はない。マントル物質からの物質科学的構造の詳細な再検討が迫られている。また、地球内部に沈み込む物質として、海洋プレートを構成する海洋地殻だけでなく、上部マントルを物質科学的に明らかにすることは、地球内部での物質循環や地球を動かすメカニズムの解明にも大きく貢献する。

上記の『問い』を踏まえ、本研究の目的は、異なる海洋プレート形成場における最上部マントル物質の相違を把握・検証し、上部マントルの物質構造を時間軸を絡めた 4 次元で制約することである。中央海嶺と背弧海盆という異なる海洋プレート形成場で採取された最上部マントルと目される「かんらん岩」の構造発達史、形成年代およびメルト抽出年代、地球化学的性質(溶融条件)を把握し、これらの相違あるいは類似点を結晶構造的・物質化学的に明らかにする。その上で、それぞれの海洋プレート形成場と最上部「かんらん岩」組成のマススケールでのモデル化から先行研究と比較・検討を行い、上部マントル「かんらん岩」からの海洋プレート形成論と

その進化モデルの提案を行う。

### 3. 研究の方法

#### ○最上部マンツルの化学的・結晶構造的不均質の検証

最上部マンツルを構成する「かんらん岩」は、白金族元素を構成する元素の一つオスミウム( $Os$ )同位体比をメルト抽出年代と読み替えることができる一方、残存鉱物種や量が限られるため詳細な化学的溶融条件の制約が難しい。そのため本研究では、微量元素に富む鉱物の局所化学分析を並して行う。全岩  $Os$  同位体比分析と  $Os$  と化学的挙動が類似し系統的にメルト-固相分配係数が変化する白金族元素組成分析と鉱物微量元素分析を行い、「かんらん岩」の溶融条件(溶融度、温度・圧力)の制約と枯渇イベントの年代決定および機構推定を試みる。同時に、同一試料において、「かんらん岩」に含有されるかんらん石や輝石、これらに変質して形成された蛇紋石の結晶・組織構造解析と緻密な組織観察によって、温度・圧力の変化過程やメルトの抽出・流入過程の同定を行い、これらの「かんらん岩」の構造発達史、変形史、および由来を明らかにする。これにより「かんらん岩」の、つまり最上部マンツルの化学的履歴と由来、および物理的履歴(構造発達史)と由来がそれぞれ明らかになる。結晶・組織構造解析から得られる構造発達史にはそのままでは具体的な年代軸が入らないため、個々の試料に対して結晶化学組成や溶融条件等の慎重な検討を行った後に、化学組成から得られた具体的な年代軸の適用を判断する。両者から得られたそれぞれの由来を比較・検討することで、個々のかんらん岩の起源となる深さ情報とその化学組成が同時に推定される。これにより、ダイレクトに上部マンツルの化学組成の構造を議論することが可能となる。同様に「かんらん岩」のメルト抽出年代からは、個々の海洋プレート形成場での時間軸が明らかにされ、上部マンツルの4次元構造が明らかになる。

### 4. 研究成果

マリアナトラフ中央部で2002年に行われた調査航海(KR02-01, R/V Kairei, JAMSTEC)で行われたドレッジ試料を研究対象とした。試料は、神奈川県立博物館の山下浩之博士にご提供いただいた。対象とした試料のほとんどが枯渇マンツルとされるハルツパーガイト(枯渇かんらん岩)であり、そのほかにはダナイト(メルトの付加されたかんらん岩)が研究対象となった。ハルツパーガイト中にダナイトや海洋下部地殻を構成するはんれい岩脈が観察された試料も数多く存在した。

結晶・組織構造の観察からは、海洋地殻を形成するはんれい岩脈(メルト成分)がよく観察されること、そのため試料によっては単斜輝石の希土類元素存在度からメルトの付加の影響が見られること、またスピネルの化学組成からはこれらの岩石が典型的な海洋かんらん岩〜トククトライト組成であることが示された。いくつかの試料では、単斜輝石が全く観察されなかった。このことは、これらの試料ではメルトの抽出が小さいあるいははんれい岩メルトの付加の影響が全くなかった可能性を示し、これはスピネルの化学組成とも整合的である。単斜輝石の微量元素組成とスピネルの組成幅は関連しており、テクトニックな成因と大きく関連する。

白金族元素組成は、ハルツパーガイト・ダナイトのどちらの岩石試料もコンドライト規格でフラットなパターンを示し、粉碎時にはんれい岩脈をできるだけ取り除いたためか、メルトの抽出や付加の影響は少ないように見える。また  $Os$  同位体組成の分析結果も、海洋マンツルに一般的な  $Os$  濃度(3~5ppb)を持つ試料は、典型的な海洋下マンツルの  $Os$  同位体比(0.1236~0.1272)の範囲であった。例外的な  $Os$  濃度の比較的低い1試料( $Os$ : 1ppb)の  $Os$  同位体比は0.1369と高いものの、 $Os$  の親核種である  $Re$  濃度は~0.1ppbと  $Os$  同位体比に影響を与えるほどの濃度ではない。この高い  $Os$  同位体比を持つ試料は、強い蛇紋岩化作用を受けているため、その影響を大きく受けた可能性が高い。

今回、背弧海盆という不均質なマンツル拡大軸におけるかんらん岩の詳細な分析を行った。その結果、結晶・組織構造からは、マグマ付加のプロセスが鉱物組み合わせとその化学組成に影響を与え、形成場の整理を行うことができるデータが得られた。また、白金族元素組成と  $Os$  同位体比分析の結果からは、比較的均質な中央海嶺のマンツル組成とほぼ同様な結果が得られたことは、背弧海盆の不均質なマグマ形成プロセスと中央海嶺の比較的均質なマグマ形成プロセスに大きな違いがない可能性を示す。今後は、さらに背弧海盆のデータの収集を進め、この結果に普遍性があるのか否かを検証する作業が必要となる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 11件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Harigane, Y., Michibayashi, K., Morishita, T., Tamura, A., Hashimoto, S., Snow, J. E.	4. 巻 849
2. 論文標題 Deformation beneath Gakkel Ridge, Arctic Ocean: From mantle flow to mantle shear in a sparsely magmatic spreading zone.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Tectonophysics	6. 最初と最後の頁 229722
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tecto.2021.229186.	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 該当する
1. 著者名 Nishio I., Morishita T., Tamura A., Itano K., Takamizawa S., Ichiyama Y., Arai S., Barrett N., Szilas K.	4. 巻 128
2. 論文標題 Formation of Ultra Depleted Mantle Peridotites and Their Relationship With Boninitic Melts: An Example From the Kamuikotan Unit, Hokkaido, Japan	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 e2022JB025066
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022JB025066	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 該当する
1. 著者名 Nishio I., Itano K., Waterton P., Tamura A., Szilas K., Morishita T.	4. 巻 23
2. 論文標題 Compositional Data Analysis (CoDA) of Clinopyroxene From Abyssal Peridotites	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geochemistry, Geophysics, Geosystems	6. 最初と最後の頁 e2022GC010472
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022GC010472	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 該当する
1. 著者名 Nishio, I., Morishita, T., Itano, K., Guotana, J.M., Tamura, A., Szilas, K., Harigane, Y., Tanik, K., Pearson, D.G.	4. 巻 63
2. 論文標題 Metasomatic modification of the Mesoarchaean Ullmertog Ultramafic Body, Southern west Greenland.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Petrology	6. 最初と最後の頁 1-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/petrology/egac004	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 該当する

1. 著者名 Khedr Mohamed Zaki, Takazawa Eiichi, Hauzenberger Christoph, Tamura Akihiro, Arai Shoji, Stern Robert James, Morishita Tomoaki, El-Awady Amr	4. 巻 226
2. 論文標題 Petrogenesis of arc-related serpentinized peridotites (Egypt): Insights into Neoproterozoic mantle evolution beneath the Arabian-Nubian Shield	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Asian Earth Sciences	6. 最初と最後の頁 105078 ~ 105078
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jseaes.2022.105078	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 該当する

1. 著者名 Tasaka, M., Nakai, Y., Harigane, Y., Andreas	4. 巻 -
2. 論文標題 Mantle deformation during opening of the Japan Sea back-arc: Insights from peridotite xenoliths, Kawashimo, southwest Japan.	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Tectonophysics	6. 最初と最後の頁 229722
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tecto.2023.229722	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 該当する

1. 著者名 針金由美子, 森下知晃	4. 巻 72
2. 論文標題 低速拡大海嶺系の海洋下部地殻・上部マントル由来物質解析による海洋下部地殻の変遷とその重要性	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 号外地球	6. 最初と最後の頁 48-53
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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3件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 *仙田 量子、鈴木 勝彦、森下 知晃、高澤 栄一、The Oman Drilling Project Science Party
2. 発表標題 The PGE and Os isotope variations of the mantle derived rocks from the ICDP Cores of the Oman Drilling Project at the Samail Ophiolite, Oman
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Morishita, T., Aminud, M.A., Shimizu, K., Ushikubo, T., Senda, R., Yoshikawa, M., Itano, K., Tamura, A.
2. 発表標題 Water content in olivine at the Paleo-Crust/Mantle boundary recovered by the ICDP Oman Drilling project.
3. 学会等名 JpGU (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森下知晃
2. 発表標題 超苦鉄質 苦鉄質岩に着目した物質科学的アプローチによる海洋プレート及び島弧下マンツルの形成・進化プロセスの研究
3. 学会等名 日本鉱物科学会年会 (招待講演)
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
研究 分担者	森下 知晃  (Morishita Tomoaki)  (80334746)	金沢大学・地球社会基盤学系・教授   (13301)	
研究 分担者	針金 由美子  (Harigane Yumiko)  (90569360)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・主任研究員   (82626)	

#### 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
---------	---------