

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：32634

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05317

研究課題名(和文) 中央海嶺玄武岩から推定するマントル不均質の時空間分布—中央インド洋海嶺を例に—

研究課題名(英文) Spatiotemporal distributions of mantle heterogeneity estimated from mid-ocean ridge basalts at Central Indian ridge

研究代表者

佐藤 暢 (SATO, HIROSHI)

専修大学・経営学部・教授

研究者番号：50365847

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)：「マントル不均質の真の空間分布」を解明することを目的に、中央インド洋海嶺第1セグメントで採取された中央海嶺玄武岩の微量元素組成、同位体組成を求めた。研究の結果、中央海嶺玄武岩の起源マントルの微量元素組成とSr同位体比に相関があり、現在の拡大軸から離れるほど液相濃集元素に枯渇し、高いSr同位体比をもつ中央海嶺玄武岩であることが明らかとなった。一方、Nd同位体比には系統的な変化が見られないことから、中央インド洋海嶺第1セグメントでは、古い時代にマグマを生成した起源マントルほどNb/Zr比が低く、Rb/Sr比が高いが、Sm/Nd比には系統的な違いはないという特徴を有している。

研究成果の概要(英文)：Trace element compositions and isotope compositions were analyzed for mid-ocean ridge basalts from the southernmost segment of Central Indian Ridge to reveal actual spatiotemporal distributions of mantle heterogeneity. Our results show the correlation between trace element compositions (e.g., Nb/Zr) and Sr isotope ratio. Particularly mid-ocean ridge basalts collected far from the present spreading axis of Central Indian Ridge have depleted trace element compositions (e.g., low Nb/Zr) and high Sr isotope ratio. Nd isotope ratio has no correlation with both trace element compositions and Sr isotope ratio. We concluded that source mantles which generated older mid-ocean ridge basalts have lower Nb/Zr and higher Rb/Sr ratios at the southernmost segment of Central Indian Ridge.

研究分野：海洋岩石学

キーワード：中央海嶺玄武岩 マントル不均質 中央インド洋海嶺

1. 研究開始当初の背景

海嶺下のマントルかんらん岩の部分溶融によって形成され、マントル組成を反映する化学組成を有する中央海嶺玄武岩 (Mid-Ocean Ridge Basalt, 以下、MORB) の分析から、海洋域の上部マントルが、主成分化学組成では均質であるが、微量元素組成や同位体組成では不均質であることが多くの研究で示されている (例えば、Hofmann, 2003; Graham et al., 2006; 佐藤ほか, 2008 など)。

拡大軸に沿う方向に系統的にサンプリングされた MORB の組成の変化はいくつかの海嶺で明らかにされており、それは現在の拡大軸下のマントルの不均質を反映している (例えば、Hanan et al., 2013)。更に、最近、中央海嶺下のマントルは、MORB を作り出すマントル物質中に、マグマ成分に枯渇した成分とマグマ成分に富む成分が混在している様子が推定されている (例えば Liu et al., 2008; Machida et al., 2014 など。模式的な様子を図 1 に示す)。

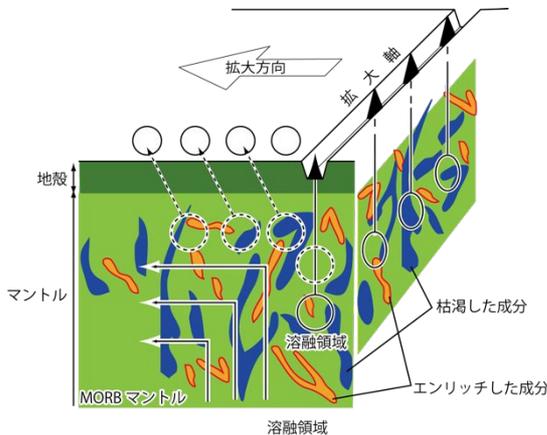


図 1 マントル不均質の模式図

図 1 では MORB を作り出すマントル物質を緑色で、マグマ成分に枯渇した成分を青色で、マグマ成分に富む成分を橙色でしめしている。マグマ成分に枯渇した成分とマグマ成分に富む成分の 2 つの成分は、いずれも放射改変起源の同位体に富むことから、マントル対流によってもたらされた過去の海洋プレートなどのリサイクル物質と考えられている。しかしながら、このようなマントル不均質の描像は、現在の拡大軸に沿う方向で推定される不均質を、いわば“空間的に外挿”して得られたものであると言わざるを得ない。マントル不均質の「真の」空間分布を知るためには、マントル組成の変化を立体的に捉える必要があるが、海洋域でのマントル物質の直接の採取は、テクトニックセッティングに限られるため、極めて困難である。

そこで重要となるのが、拡大軸に直交する拡大方向から系統的に採取された MORB である。中央海嶺から離れた地点の MORB は過去の拡大軸で形成されたものであり、過去の溶融領域のマントルかんらん岩の組成を反映している (図 1)。つまり、「拡大軸沿い」と

「拡大方向」の MORB の組成変化を組み合わせることにより、マントル不均質を立体的に捉え、時間軸までも考慮した「マントル不均質の真の空間分布」を解明することができる。

Sato et al. (2015) は中央インド洋海嶺の第 1 セグメントにおいて、拡大軸方向および拡大方向の 2 方向での系統的なサンプリングにより極めて新鮮な MORB を採取し、主成分元素組成と微量元素組成を明らかにした。中央インド洋海嶺第 1 セグメントの近傍にはホットスポットがないため、北部のセグメント (Machida et al., 2014) と異なり、ホットスポット由来の不均質の影響を考慮するという複雑さがない。Sato et al. (2015) に基づくと、現在の拡大軸のセグメントの中央で得られた MORB 組成は通常の MORB を作り出すマントル物質 (DMM Depleted MORB Mantle) に近い組成である (図 2 の )。一方、セグメント端の MORB 組成は、よりマグマ成分に乏しいマントルに由来する。この関係は一般的な中央海嶺の特徴と似ているが、セグメント端の枯渇度は著しく高い。また、拡大軸から離れた地点で採取された MORB の組成から推定されるマントルは、マグマ成分に更に著しく枯渇しており、拡大軸から離れるほど、すなわち古いマントルほど枯渇している (図 2 の )。

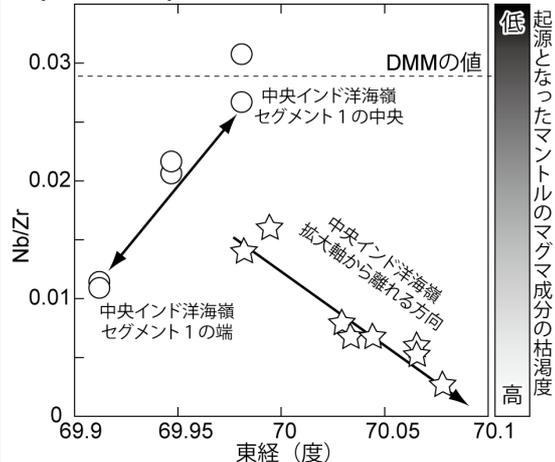


図 2 中央インド洋海嶺第 1 セグメントでの微量元素組成の系統的な変化

この結果は、中央インド洋海嶺第 1 セグメント近傍には、マグマ成分に著しく枯渇したマントルが分布する領域の存在を示唆している。

2. 研究の目的

本研究では、インド洋中央海嶺の第 1 セグメントで得られた試料を用いて、セグメントスケールでのマントル不均質の時空間分布を明らかにする。Sato et al. (2015) は、MORB の主成分組成分析と代表的な試料の微量元素組成分析を行い、MORB 組成の変化は、同一組成のソースマントルの部分溶融度の違いではなく、ソースマントル組成の違い、すなわち、マントル中のマグマ成分に乏しい成分

とそれに富む成分の寄与度の違いに起因すると考えた。本研究ではこの解釈を裏付けるために全試料の微量元素組成分析を追加して行う。主成分元素組成と微量元素組成の結果からでもマンツルの不均質をある程度推定することは可能であるが、同位体組成分析 (Sr・Nd・Pb 同位体) を合わせて行うことにより、不均質の原因となっているマンツル内のリサイクル物質の特定とその寄与度を検討する。以上の様に網羅的かつ多角的な地球化学データセットを包括的に解析することにより、頑健性のある「真のマンツル不均質像」を描画する。

### 3. 研究の方法

これまでに主成分元素組成および微量元素組成が得られている試料について、Sr および Nd 同位体組成分析を行う。加えて、未分析の試料について主成分元素組成と微量元素組成分析を行う。主成分元素組成は専修大学設置の蛍光 X 線分析装置を用いて行う。微量元素組成は、海洋研究開発機構設置の誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS) で行う。同位体組成分析は海洋研究開発機構設置の質量分析計および国立科学博物館設置の熱イオン化質量分析計および多重検出器 ICP-MS で行う。

化学分析は完全に同じ粉末試料を用いてすべての分析を行うため、分析に用いる試料の作成は研究代表者のもとに行う。

### 4. 研究成果

分析で得られた Sr および Nd 同位体比の他海域 (インド洋・南極海・大西洋・太平洋) の MORB の同位体比と比較したのが図3である。インド洋・南極海・大西洋・太平洋の MORB の同位体比は佐藤ほか(2008)に基づく。分析の結果得られた Sr および Nd 同位体比は、太平洋 MORB よりも Sr が高く、Nd が低いというインド洋や大西洋、南極海と同様の傾向を示している。

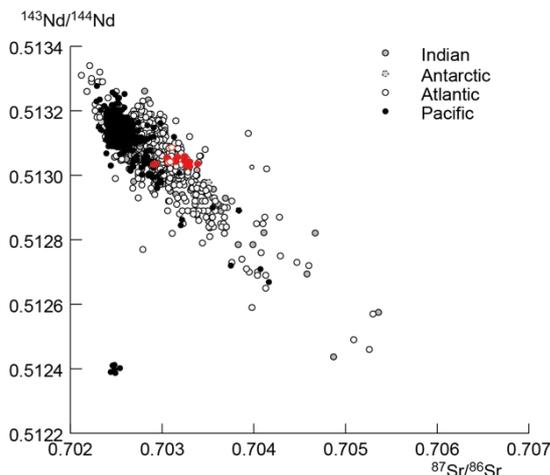


図3 本研究で得られた Sr および Nd 同位体比 ( および ) と他海域 (インド洋・南極海・大西洋・太平洋) の MORB の同位体比との比較

現在の中央インド洋海嶺第1セグメントで活動している中央海嶺からの経度方向の変化を示したのが図4である。これまでの研究から、中央海嶺から離れる方向、すなわち東側の試料ほどマグマ成分に枯渇するマンツルに由来することが明らかとなっているので、Sr および Nd 同位体比についても経度方向の変化を見たものである。

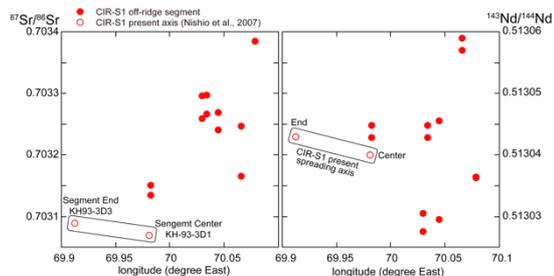


図4 本研究で得られた Sr および Nd 同位体比の経度方向の変化。 は現在の拡大軸から得られた試料、 は拡大軸から離れた地点で採取された試料のデータを示す。

経度方向の同位体比の変化を見ると、Sr 同位体比については、東に向かうほど、すなわち現在の中央インド洋海嶺第1セグメントの拡大海嶺から離れるほど Sr 同位体比が高くなる傾向が認められた。一方、Nd 同位体比については、系統的な変化が認められなかった。図には示さないが、微量元素である Nb と Zr の比 (Nb/Zr 比) についても、Sr 同位体比は明瞭な相関を示すものの、Nd 同位体比については相関は認められなかった。

Sr 同位体比の分子となっている  $^{87}\text{Sr}$  は  $^{87}\text{Rb}$  のベータ崩壊 (半減期 4 8 8 億年) で形成される娘核種である。Sr 同位体比が高いということは、仮に起源マンツルの Sr/Rb 比が一定であったならば、Sr 同位体比の違いは放射壊変に要した時間の違いによるものとなる。すなわち、Sr 同位体比が高い、放射起源的な Sr に富む試料のマンツルほど古いということになる。一方、放射壊変に要した時間がほぼ一定だとすれば、放射起源的な Sr に富む試料のマンツルほどもともと Rb が高かったと仮定される。

Nd 同位体比の分子となっている  $^{143}\text{Nd}$  は  $^{147}\text{Sm}$  のアルファ崩壊 (半減期 1 0 6 0 億年) で形成される娘核種である。拡大方向での Nd 同位体比の系統的な変化は認められないので、放射壊変に要した時間の違いよりはマンツルの初生の Sm/Nd 比がそもそも異なっていたことを反映していると考えられる。

両者の結果を踏まえれば、Sr 同位体比の系統的な違いは起源マンツルの放射壊変に要した時間の違いではなく、起源マンツルの元素組成の違いを反映している可能性が高い。すなわち、中央インド洋海嶺第1セグメントの起源マンツルは、古い時代にマグマを生成した部分ほど

- Nb/Zr 比が低い
- Rb/Sr 比が高い

Sm/Nd 比には系統的な違いはないという特徴を持っていることになる。

ところで、中央インド洋海嶺のより北側（南緯 20 度から南緯 16 度）のセグメントでは、MORB がロドリゲスホットスポットの影響を受けている（Machida et al., 2014）。Machida et al. (2014) はこれらの玄武岩類の分析を行い、この地域の MORB の組成が DMM と 3 つの端成分 (RE1, RE2, RD) との混合で説明できることを示した（図 5）。本研究で対象とした中央インド洋海嶺第 1 セグメントの MORB 組成を Machida et al. (2014) のグラフにプロットしたのが下図である。中央インド洋海嶺第 1 セグメント MORB の低い Nb/Zr 比と高い Sr 同位体比という特徴は、中央インド洋海嶺南緯 20 度から南緯 16 度のセグメントの MORB のいくつかにも認められる特徴であり、それは Machida et al. (2014) の提案した端成分の一つである RD (Radiogenic Depleted component) と DMM の混合で説明ができる。すなわち、より低い Nb/Zr 比とより高い Sr 同位体比を持つ MORB（海嶺軸から遠い試料）の起源マントルには RD 成分がより多く含まれ、海嶺軸に近づくにつれ、DMM 成分が多くなる。

仮にこの結果が正しければ、低い Nb/Zr 比と高い Sr 同位体比で特徴付けられる RD 成分は、少なくともインド洋中央海嶺の南緯 25 度付近から南緯 16 度付近までの約 1000 km に渡るマントルに点在していることが示唆される。

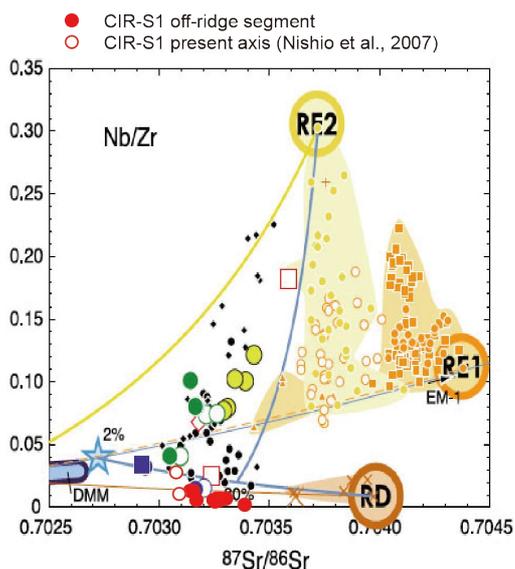


図 5 本研究で得られた微量元素比と Sr 同位体比（および）および Machida et al. (2014) による中央インド洋海嶺南緯 20 度から南緯 16 度のセグメントの MORB 組成を説明する端成分との関係。

#### <引用文献>

引用文献（研究業績として挙げたものを除く）

Graham et al., 2006, Nature 440, 199-202.

Hanan et al., 2013, EPSL 375, 196-208.  
Hofmann, 2003, Treatise on Geochemistry, 2007, Vol. 2.  
Liu et al., 2008, Nature 452, 311-316.  
Machida et al., 2014, Geochemical J. 48, 433-449.  
佐藤ほか, 2008, 地学雑誌, 117, 124-145.  
Sato et al., 2015, In "Subseafloor Biosphere Linked to Global Hydrothermal Systems; TAIGA Concept".  
doi:10.1007/978-4-431-54865-2\_13

#### 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 0 件)

〔学会発表〕(計 3 件)

Hiroshi SATO, Shiki MACHIDA, Ryoko SENDA, Mantle heterogeneity across segment at southernmost segment of Central Indian Ridge. American Geophysical Union Fall Meeting 2017, ニューオーリンズ (2017 年 12 月 13 日)

佐藤暢・町田嗣樹・仙田量子, Mantle heterogeneity across segment at southern segment of Central Indian Ridge. 日本地球科学連合 JpGU-アメリカ地球物理学連合 AGU Joint Meeting 2017, 幕張メッセ (2017 年 5 月 25 日)

佐藤暢・町田嗣樹・仙田量子, 中央インド洋海嶺南部でのマントル不均質. 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 幕張メッセ (2015 年 5 月 28 日)

〔その他〕

ホームページ等 なし

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

佐藤 暢 (SATO, Hiroshi)  
専修大学・経営学部・教授  
研究者番号：50365847

##### (2) 研究分担者

町田 嗣樹 (MACHIDA, Shiki)  
千葉工業大学・次世代海洋資源研究センター・上席研究員  
研究者番号：40444062

##### (3) 連携研究者

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