

令和元年6月21日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K05606

研究課題名(和文) オマーンオフィオライトで観察する沈み込み帯マントルでのスラブ由来成分付加過程

研究課題名(英文) Metasomatic process of the mantle wedge recorded in basal peridotites from the Oman ophiolite

研究代表者

芳川 雅子 (Yoshikawa, Masako)

広島大学・理学研究科・研究員

研究者番号：00378605

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はオマーンオフィオライトの基底部かんらん岩とその下位の变成岩から、沈み込むスラブによる上部マントルの化学組成変化を直接観察する事を目的として行った。中部Saramiブロックの基底部かんらん岩と中部Hiltiブロックのハルツバージャイト中の単斜輝石から新たにSr-Nd同位体比と微量元素組成分析を行った。その結果、(1)北部・中部ブロックの基底部かんらん岩は溶け残りかんらん岩であり、沈み込むスラブ由来の成分の影響が認められること、(2)南部の基底部かんらん岩や中部のハルツバージャイトはメルト-かんらん岩反応で生じ、反応に関わったメルトは中央海嶺玄武岩と類似した組成を持つこと、などが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

岩石やその構成鉱物の微量元素・Sr-Nd同位体組成は、一般に、分化過程や混合過程などのプロセスやそれらが起こった場や年代、起源物質についてより詳細な情報を与えている。しかしオフィオライトを構成するかんらん岩のデータの蓄積は非常に遅れていた。本研究では、変質に強く目的元素が濃集する単斜輝石の微量元素・Sr-Nd同位体組成を測定した。その結果、南部と北部ブロックの基底部かんらん岩で観察される組成差は、北部ブロックでの沈み込んだスラブ由来成分の付加と南部ブロックの中央海嶺玄武岩と類似するメルトの流入で説明できることが明らかとなり、海洋でのメルト形成過程解明に貢献できた。

研究成果の概要(英文)：We estimated Sr-Nd isotope ratios and trace element compositions were newly obtained from clinopyroxenes in the basal peridotites of the central Sarami block and a harzburgite in the central Hilti block of the Oman ophiolite in order to directly observe the chemical composition change of the upper mantle by the subducting slab. The basal peridotites of the northern and central blocks show chemical characteristics of residual peridotites and the influence of components derived from the subducting slabs. On the other hand, our results suggest that basal peridotites in the southern Wadi Tayin block and the harzburgite in the central Hilti block were formed by melt-peridotite reaction, and melt involved in the reaction should have a similar composition to the mid-ocean ridge basalt.

研究分野：地球化学

キーワード：オフィオライト 基底部かんらん岩 メタモルフィックソール 微量元素組成 Sr-Nd同位体比

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

オフィオライトは、遠洋性深海堆積物(チャート)・地殻・溶け残りかんらん岩で構成される岩体で、海洋性のリソスフェアが地表に衝上した構造体である。なかでもオマーンオフィオライトは、世界最大(400 km以上)の保存の良い地殻-上部マントル断面が露出するオフィオライト(例えば、Nicolas, 1989)であり、世界中の研究者によって長年研究が成されている。しかしながら、その形成場については現在も議論が続いている。オマーンオフィオライトの基底部には、単斜輝石に富むかんらん岩が観察され、その下位にはメタモルフィックソールと呼ばれる堆積岩や玄武岩質岩が変成した岩石が観察されている(例えば Lipard et al., 1986)。研究協力者の荒井をはじめとする日本人研究者の継続的な研究から、オマーンではテクトニックセッティングが海嶺から島弧へと変化した事が提唱され、島弧形成初期のマグマ活動過程を記録していると考えられている(例えば、Umino et al., 1990; Ishikawa et al., 2002)。このため、メタモルフィックソールと基底部かんらん岩は、沈み込んだスラブとその直上の沈み込み帯マントルのアナログとして近年注目されている(例えば、石丸・荒井, 2010; 森・高澤, 2011)。

### 2. 研究の目的

基底部かんらん岩中の単斜輝石と変成岩の全岩・構成鉱物のSr-Nd 同位体・微量元素組成を測定・解析から、沈み込み帯形成開始時に沈み込むスラブによって引き起こされる上部マントルの化学組成変化を直接観察し、その過程を解明する。

### 3. 研究の方法

現地調査は基底部かんらん岩についてこれまで日本隊があまり調査を実施していない南部 Wadi Tayin ブロックを対象とし、メタモルフィックソールからの距離の違いも考慮しながら、研究代表者と研究分担者の Python が協力して行った。また、中部ブロックの基底部かんらん岩は既存試料があるので、メタモルフィックソールとそれと接するかんらん岩を重点的に採取した。採取した基底部かんらん岩試料について Python が薄片を作成し記載を行った後に試料を選定し、電子マイクロプローブを用いて鉱物の主要元素組成分析を行った。さらに研究分担者の田村と Python がレーザー誘導結合プラズマ質量分析計を用いて単斜輝石の微量元素組成分析を行った。研究協力者 Khedr から提供された試料と合わせて、単斜輝石の Sr-Nd 同位体分析に適した試料から単斜輝石を分離し、それらの Sr-Nd 同位体比を測定した。比較のため、基底部から離れた地点で採取した典型的なハルツバージャイトから分離した単斜輝石の Sr-Nd 同位体比も測定した。加えて研究協力者の柴田がメタモルフィックソールを構成する角閃岩・珧長質岩の微量元素組成を求めた。

### 4. 研究成果

中部 Sarami ブロックの基底部かんらん岩と中部 Hilti ブロックのハルツバージャイト中の単斜輝石から Sr-Nd 同位体比を測定した。新たに得られたデータは、Yoshikawa et al (2015)で報告した基底部かんらん岩と同様に McColluch et al. (1995)で示された北部 Fizh ブロック斑レイ岩の Sm-Nd アイソクロン上にプロットされる。従って、これらの試料は採取した場所が異なっているものの、何らかの成因関係があると考えられる。先行研究のデータとともにこれらの試料のスピネルの  $Cr\# (=Cr/[Cr + Al])$  値と単斜輝石の Nd 同位体比の関係をプロットすると、スピネル  $Cr\#$  値が 0.3 くらいまでは正の相関が認められ、スピネル  $Cr\#$  値が 0.3 以上ではスピネルの  $Cr\#$  値の増加とともに Nd 同位体比が低くなる傾向が観察された。また北部 Fizh ブロックと中部 Sarami ブロックの基底部かんらん岩はスピネルの  $Cr\#$  値が 0.3 以下であり、南部 Wadi Tayin ブロックの基底部かんらん岩と中部 Hilti ブロックのハルツバージャイトはスピネルの  $Cr\#$  が 0.3 以上であった。スピネルの  $Cr\#$  値は、部分熔融度の指標として用いられる。以上の結果を総合的に考察すると、北部・中部ブロックの基底部かんらん岩はメルトが抽出された後の溶け残りかんらん岩であり、南部の基底部かんらん岩や中部のハルツバージャイトはメルト-かんらん岩反応で生じ、反応に関わったメルトは中央海嶺玄武岩と類似した組成を持つと推定される。本研究で得られた成果は、北部・中部ブロックの基底部かんらん岩は基本的に溶け残りかんらん岩であり(Khedr et al., 2013, Takazawa et al., 2003)、南部ブロックの基底部かんらん岩はメルト-かんらん岩反応で生じた(Kelemen et al., 1992, Godard et al., 2000)とした先行研究による知見を強く補完するものである。

かんらん岩に近接した角閃岩の微量元素組成を中央海嶺玄武岩(MORB、Sun & McDonough, 1989)組成で規格化したパターンの特徴を以下に示す。(1) 北部 Fizh ブロックの角閃岩は、Yb から Nd へと緩やかに減少し Ce や La が Nd よりも若干富んだパターンである。イオン半径の大きい親石元素(Cs, Rb, Ba など)の中央海嶺玄武岩(MORB)規格化値は  $La_N$  (N は MORB 規格化値を表す)や  $Ce_N$  より高く、明瞭な Pb・Sr 正異常が観察される。(2) 南部 Wadi Tayin ブロックの角閃岩は Yb から La へと左あがりのパターンをしめすが、Eu の負の異常が認められる。イオン半径の大きい親石元素の MORB 規格化値は  $Yb_N (= 0.13)$  よりも大きい  $La_N = 5.8$  よりも小さい。Fizh ブロックの角閃岩と同様に明瞭な Pb・Sr の正異常が認められる。Johum & Verma (1996)は変質した MORB と新鮮な MORB の微量元素組成を比べ、Cs・Pb・Rb・Ba が堆積物と反応した海水による変質でもっとも変化しやすいとしている。従って、本研究で得られ

た角閃岩の MORB 規格化パターンの特徴は、堆積物と反応した海水による変質を受けた海洋地殻のものと同様であると推測される。Yoshikawa et al. ( )は、Fizh ブロックの基底部かんらん岩が堆積物成分由来の流体と角閃岩由来の流体の影響を受けていると推測している。現在得られているデータからはメタモルフィックソールの角閃岩とその上部の基底部かんらん岩との間に明確な傾向が観察されていない。今後データを増やして、上位の基底部かんらん岩とメタモルフィックソールの化学組成の関係をより明瞭にしたい。

オマーンオフィオライトは約 1 億年前にテチス海が消滅する際にアラビア半島に乗り上げた海洋プレートの一部である。テチス海消滅の際に大陸プレートにオブダクションしたとされるオフィオライトは地中海西部からヒマラヤにかけて報告されており、テチス海オフィオライトと呼ばれている ( Dilek and Furnes, 2011; Moore et al., 2000 )。オマーンとほぼ同じ年代に形成されたと推測されるテチス海オフィオライトの一つであるインドアンダマンオフィオライトについて、比較のためにレルゾライト中の単斜輝石の Sr-Nd 同位体比を求めた。初生 Nd 同位体比 - Sr 同位体比図において、アンダマンレルゾライト中の単斜輝石はオマーンかんらん岩の組成領域内にプロットされた。このことは、両オフィオライトがほぼ同じ Sr-Nd 同位体比を持つマントル由来である事を示唆している。

#### < 引用文献 >

Nicolas, A., Structures in Ophiolites and Dynamics of Oceanic Lithosphere. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 367, 1989.

Lippard S.J., Shelton A.W., Gass I.G., The ophiolite of the Northern Oman. Blackwell Sci., Malden, Mass. 1986, 178pp.

Umino S., Yanai S., Jaman A.R., Nakamura Y., Iiyama J.T., Ophiolites, Oceanic Crustal Analogues The transition from spreading to subduction: evidence from the Semail ophiolite, northern Oman mountains, 1990, pp 375-384 .

Ishikawa T., Fujisawa S., Nagaishi K., Masuda T., Trace element characteristics of the fluid liberated from amphibolite-facies slab: Inference from the metamorphic sole beneath the Oman ophiolite and implication for boninite genesis, Earth and Planetary Science Letters, 240, 2005, 355-377.

石丸・荒井, 2010 オマーンオフィオライト底部かんらん岩の記載岩石学、日本地質学会第 118 年学術大会・日本鉱物科学会 2011 年学術大会講演要旨集, 2011, 74.

森菜美子、高澤栄一、オマーンオフィオライト北部フィズ岩体のメタモルフィックソールにおける接触変成作用、日本地質学会第 118 年学術大会・日本鉱物科学会 2011 年学術大会講演要旨集, 2011, 194.

Yoshikawa, M., Python, M., Tamura, A., Arai, S., Takazawa, E., Shibata, T., Ueda, A., Sato, T., Melt extraction and metasomatism recorded in basal peridotites above the metamorphic sole of the northern Fizh massif, Oman ophiolite, Tectonophysics, 650, 2015, 53-64.

McColloch M.T., Gregory R.T., Wasserburg G.J., Taylor J.H.P., Sm-Nd, Rb-Sr, and  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  isotopic systematics an Oceanic Crustal Section: Evidence From the Semail Ophiolite, Journal of Geophysical Research, 86, 1981, 2721-2735.

Khedr M.Z., Arai S., Python M., Petrology and chemistry of basal lherzolites above the metamorphic sole from Wadi Sarami central Oman ophiolite, Journ Mineral Petrol Sci, 108, 2013, 13-24.

Takazawa E., Okayasu T., Satoh K., Geochemistry and origin of the basal lherzolites from the northern Oman ophiolite (northern Fizh block), Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 4, 2003, DOI:10.1029/2000.

Kelemen P.B., Dick H.J.B., Quik J.E., Formation of harzburgite by pervasive melt/rock reaction in the upper mantle, Nature, 358, 1992, 635-641.

Godard M., Jousset D., Bodinier J.-L., Relationships between geochemistry and structure beneath a palaeo-spreading centre: a study of the mantle section in the Oman ophiolite, Earth and Planetary Science Letters, 180, 2000, 133-148.

Sun S.-S., McDonough W.F., Magmatism in the Ocean Basins, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes, Geological Society Special Publication, 1989, pp 313-345 .

Johum, K.P. & Verma, S.P. Extreme enrichment of Sb, Tl and other trace elements in altered MORB Chemical Geology, 130, 1996, 289-299.

Dilek Y., Furnes H., Ophiolite genesis and global tectonics: Geochemical and tectonic fingerprinting of ancient oceanic lithosphere, Geological Society of America Bulletin, 123, 2011, 387-411.

Moore, E.M., Kellogg, L., and Dilek, Y., 2000, Tethyan ophiolites, mantle convection, and tectonic "historical contingency": A resolution of the "ophiolite conundrum," in Dilek, Y., Moore, E.M., Elthon, D., and Nicolas, A., eds., Ophiolites and Oceanic Crust: New Insights from Field Studies and Ocean Drilling Program: Geological Society of America Special Paper, 349, 2000, p. 3-12.

〔雑誌論文〕(計 7 件)

Yoshikawa Masako, Niida Kiyooki, Green, David H., Dunite channels within a harzburgite layer from the Horoman peridotite complex, Japan: Possible pathway for magmas, Island Arc, 査読有, 2019, DOI : 10.1111/iar.12279

Tamura Akihiro, Arai Shoji, Takeuchi, M., Miura, M. and Pirnia, T., 2019. Compositional heterogeneity of a websterite xenolith from Kurose, southwest Japan: insights into the evolution of lower crust beneath the Japan Arc. European Journal of Mineralogy, 査読有, 31, 35–47.

Morishita Tomoaki, Yoshikawa Masako, Tamura Akihiro, Ghosh, B., Guotana, J. M., Petrology of peridotites and Nd-Sr isotopic composition of their clinopyroxenes from the Middle Andaman Ophiolite, India, Minerals, 査読有, 2018, 8(9), 2018, 410; DOI : 10.3390/min8090410.

Payot, B.D., Arai Shoji, Yoshikawa Masako, Tamura Akihiro, Okuno, M. Danikko, D.J.V., Mantle Evolution from Ocean to Arc: The Record in Spinel Peridotite Xenoliths in Mt. Pinatubo, Philippines. Minerals, 査読有, 2018, 8(11), 2018, 515 DOI : 10.3390/min8110515

Ishimaru Satoko, Arai Shoji and Tamura Akihiro, Clinopyroxenite dykes within a banded unit in the basal mantle section of the northern part of the Oman ophiolite: A record of the latest deep-seated magmatism. Lithos, 査読有, 2017, 292–293, 334–347 DOI 10.1016/j.lithos.2017.09.022

Yoshikawa Masako, Tamura Akihiro, Arai Shoji, Kawamoto Tatushiko, Payot BD, Rivera DJ, Bariso EB, Mirabueno MHT, Okuno Mituru, Kobayashi Tetsuo, Aqueous fluids and sedimentary melts as agents for mantle wedge metasomatism, as inferred from peridotite xenoliths at Pinatubo and Iraya volcanoes, Luzon arc, Philippines Lithos, 査読有, 2016, 262, 355–368

Tamura Akihiro, Morishita Tomoaki, Ishimaru Satoko, Hara K, Sanfilippo A, Arai Shoji, Compositional variations in spinel-hosted pargasite inclusions in the olivinerich rock from the oceanic crust-mantle boundary zone Contributions to Mineralogy and Petrology, 査読有, 171, 2016, 39–40

〔学会発表〕(計 4 件)

Python Marie, Yoshikawa Masako, Suzuki, T. Tamura Akihiro, Arai Shoji, Petrogenesis of basal peridotites from the Oman ophiolite, Mantle heterogeneities and trapped melts contribution, 3rd Korea-Japan Joint Workshop on Isotope-ratio Mass Spectrometry, 2018.

Python Marie, Charles Claire, Ito Natsumi, Arai Shoji, Petrographical and chemical evolution of a troctolites rich section of oceanic crust located directly above a spreading centre, example from Wadi Mahram, Oman ophiolite, JpGU-AGU Joint Meeting, 2017.

芳川 雅子、錦蛇 真理、田村 明弘、柴田知之、Khedr, Mohamed Z.、荒井章司、オマーンオフィオライトの中部 Sarami・Wuqbah ブロックと南部 Wadi Tayin ブロックの基底部かんらん岩の岩石学・地球化学的特徴、日本地質学会第 124 年学術大会、2017.

日下 葵、ピトン マリ、オマーンオフィオライトのマントルソース：マントルセクションにおける輝石岩溶融とその他の火成プロセス、日本鉱物科学会年会、2016.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：

種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：ピトン マリ  
ローマ字氏名：Python Marie  
所属研究機関名：北海道大学  
部局名：理学研究科  
職名：助教  
研究者番号(8桁)：30533278

研究分担者氏名：田村 明弘  
ローマ字氏名：Tamura Akihiro  
所属研究機関名：金沢大学  
部局名：地球社会基盤学系  
職名：博士研究員  
研究者番号(8桁)：80401884

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：荒井 章司  
ローマ字氏名：Arai Shooji

研究協力者氏名：柴田 知之  
ローマ字氏名：Shibata Tomoyuki

研究協力者氏名：Khedr Zaki Mohamed  
ローマ字氏名：Khedr Zaki Mohamed

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、研究者個人に帰属されます。