

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04103

研究課題名(和文)プレート拡大の仕方と海洋地殻構造を規制する要因の解明

研究課題名(英文)Understanding of the style of plate spreading and the governing factors of oceanic crustal architecture

研究代表者

海野 進(Umino, Susumu)

金沢大学・地球社会基盤学系・教授

研究者番号：30192511

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)：オマーンオフィオライト北部の2次の古海嶺軸セグメントについて、海嶺軸下にあった時の初生的な地殻構造を復元し、シート状岩脈群の全岩化学組成の特徴と生成条件を明らかにした。岩脈群は走向方向に10～15 km長の延長を持つセグメントからなる。コンドライトで規格化したパターンから、鯨背型のタイプ1；軽希土がやや枯渇するタイプ2；軽希土が大きく枯渇するタイプ3に分類される。最も多いタイプ2はセグメント全体に分布し、東太平洋海膨の中央海嶺玄武岩とよく似ている。タイプ2と3はセグメント境界付近に分布する。モデル計算ではタイプ3はマンツルのバッチ融解、タイプ2は低圧・高圧の融解メルトの混合で再現できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

中央海嶺におけるプレートの形成・拡大プロセスの理解には、海嶺軸下で生じるマグマ組成と海洋地殻構造の解明が不可欠である。現在の海嶺下の地殻構造を直接調べるのは困難であるため、本研究では世界最大で最も保存状態のよいオマーンオフィオライトにおいて、高速拡大した古海嶺軸セグメントの詳細な地殻構造を明らかにした。本代表者はわが国が擁する地球深部探査船「ちきゅう」によって、人類史上初めて海洋地殻を貫通し、マンツル物質を回収する国際科学掘削計画「M2Mモホール計画」を推進している。モホールサイトの選定や掘削結果をプレート形成プロセスの中で正しく位置づけて理解し、一般化する上で本知見の寄与は大きい。

研究成果の概要(英文)：We reconstructed the primary crustal structure of the secondary paleoridge segment in the northern Oman ophiolite, and discussed the genetic conditions of the sheeted dike magmas based on their geochemical characteristics. The sheeted dikes are divided into four segments 10-15 km long by the bending of strike. Based on chondrite-normalized patterns, the dikes are classified as whale-back type 1; slightly LREE-depleted type 2; and severely LREE-depleted type 3. Type 2, the most common type, is distributed throughout the segment and is similar to the MORB of the East Pacific Rise. Types 2 and 3 are distributed near the segment boundaries. Model calculations could reproduce Type 3 by batch melting of the mantle and Type 2 by a mixture of melts generated at low and high pressures.

研究分野：火山学・岩石学

キーワード：プレート拡大 海洋地殻構造 海嶺軸セグメント オマーンオフィオライト シート状岩脈群 中央海嶺 マグマ供給系 モホール計画

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

オマーンオフィオライトでは、重複拡大軸で区切られた2次の古海嶺軸セグメント構造(長さ80~150 km)が明らかにされている。セグメント内では拡大速度(歪み速度)はほぼ一定と見なせるので、セグメントに沿った海洋地殻構造の変化は、マグマ供給率(~M)の違いを反映する。また、2次のセグメントはアセノスフェアの上昇セルに対応し、部分熔融度やマグマ温度はセグメント中心で最も高く、端へ向かって低下する(e.g., Macdonald, 1998; Carbotte et al., 2000)。セグメントは重複拡大軸や軸部の折れ曲がりによって分割される。北端のワジ・フィズと南端のワジ・ヒルティ〜ワジ・サダムでは、噴出岩〜シート状岩脈群の上部地殻が繰り返す二階建て構造、層状ガブロに上部ガブロが貫入し、後者中に前者の径100 mを越える巨大なブロックが取り込まれている様子が見られる。これらは重複拡大軸において、交替する海嶺軸で生じた地殻が、伸張する海嶺軸で生じた地殻で置換されつつある状態と考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、海嶺軸走向に貫入したと考えられるシート状岩脈群の構造を復元することでセグメント境界を認定し、セグメントに沿った地殻構造の変化を明らかにすることである。またシート状岩脈群の地球化学的特徴から、マグマの生成条件を推定し、セグメントとの関係を明らかにする。

3. 研究の方法

シート状岩脈群が海嶺軸下にあった時の姿勢を復元するために、走向方向に約5 km毎のブロックに分割し、NNW-SSE 走向の褶曲軸を開いてシート状岩脈群の傾斜が噴出岩層と直交するように走向・傾斜を復元し、南ブロックのNW-SE 走向の右横ずれ断層の変位を戻した。各ブロックから代表的な岩脈試料を採取し、全岩主要・微量元素分析を行い、希土類元素について α MELTSを用いてマグマ生成条件を再現し、マントル温度・組成のセグメント内変化について検討する。

4. 研究成果

シート状岩脈群は走向方向に10~15 km長の延長を持つセグメントからなることがわかった。北ブロックのワジ・フィズ〜ノーシング 2692 kmの間ではN-S 走向が卓越し、その南のワジ・ヘイルを含むセグメントではNNE-SSW 走向となる。南ブロックでは、ワジ・ヒルティ〜ワジ・ビーディー間のノーシング 2664 kmを境に北ではNNW-SSE 走向、南では南北走向となる。ノーシング 2664 kmのセグメント境界付近では、フォリエーティッドガブロが薄く、上部ガブロ中に層状ガブロのブロックが取り込まれることから、3次のセグメント境界と考えられる。

シート状岩脈群はコンドライトで規格化した全岩La/Gd-La-Lu比で、3つの地球化学的タイプに分けられる(図1)。タイプ2は最も多く、最も多いタイプ2は東太平洋海膨の中央海嶺玄武岩とよく似た微量元素組成を示し、噴出岩層のLV1, MV1とUV1の一部と同じ組成範囲にある。タイプ1, 3はMV1の一部と類似した組成を示す。タイプ2は北部セグメント全体に拡がって分布する(図2)。タイプ2と3はセグメント境界付近に分布する傾向がある。シート状岩脈群の全岩組成は、セグメント中心付近で未分化なものが多く、セグメント境界付近では未分化なものから分化したものまで幅広い組成変化を示す。これは北ブロックのシート状岩脈群で報告されていたこと(Umino et al., 2003)であるが、南ブロックでも同様であることが今回明らかとなった。しかし、南ブロックの岩脈は北ブロックよりも全体的に分化している。希土類元素も主要元素と同様の傾向を示す。

これらのマグマの生成条件を明らかにするために、中央海嶺玄武岩の枯渇したソースマントルDMMについて α MELTSによる部分熔融モデル計算を行った。タイプ1, 2は単純にDMMが断熱

融解しただけでは再現できない。タイプ3は3.0 GPaから1.1 GPaまでDMMが断熱上昇した際のバッチ融解で再現できる。タイプ2は3.0 GPaから1.2 GPaまでDMMが断熱上昇したバッチ融解メルトと、2.5 GPaまで断熱上昇したバッチ融解メルトの混合によって再現できる。一方、タイプ1はタイプ2、タイプ3に大洋島玄武岩的なりサイクルスラブ成分が加わることで説明できることがわかった。

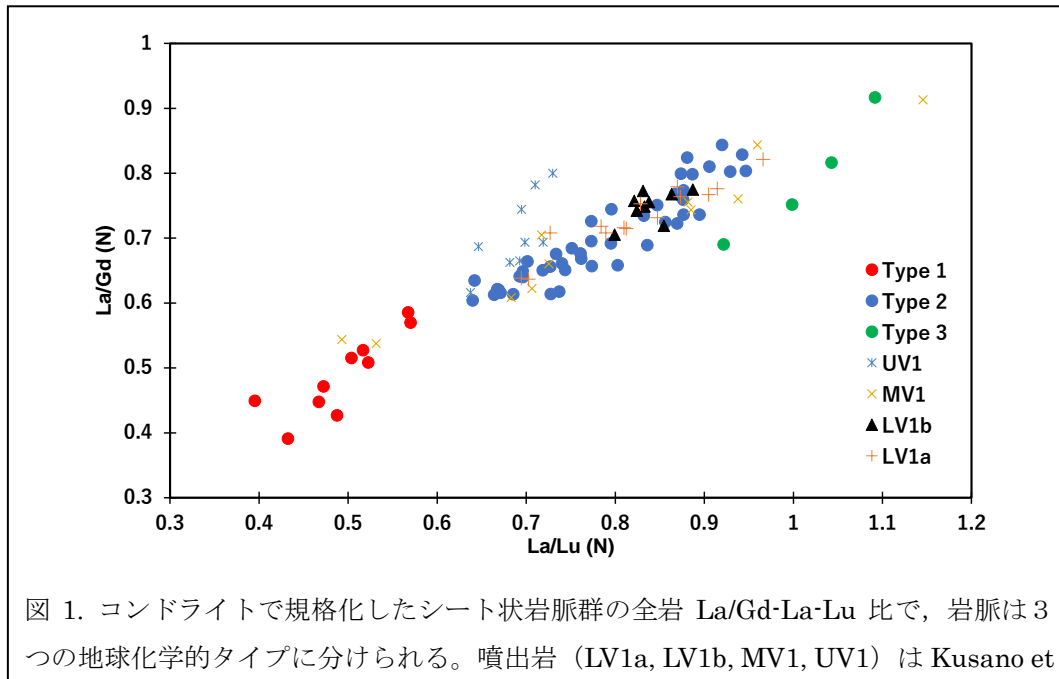


図 1. コンドライトで規格化したシート状岩脈群の全岩 La/Gd-La-Lu 比で、岩脈は 3 つの地球化学的タイプに分けられる。噴出岩 (LV1a, LV1b, MV1, UV1) は Kusano et

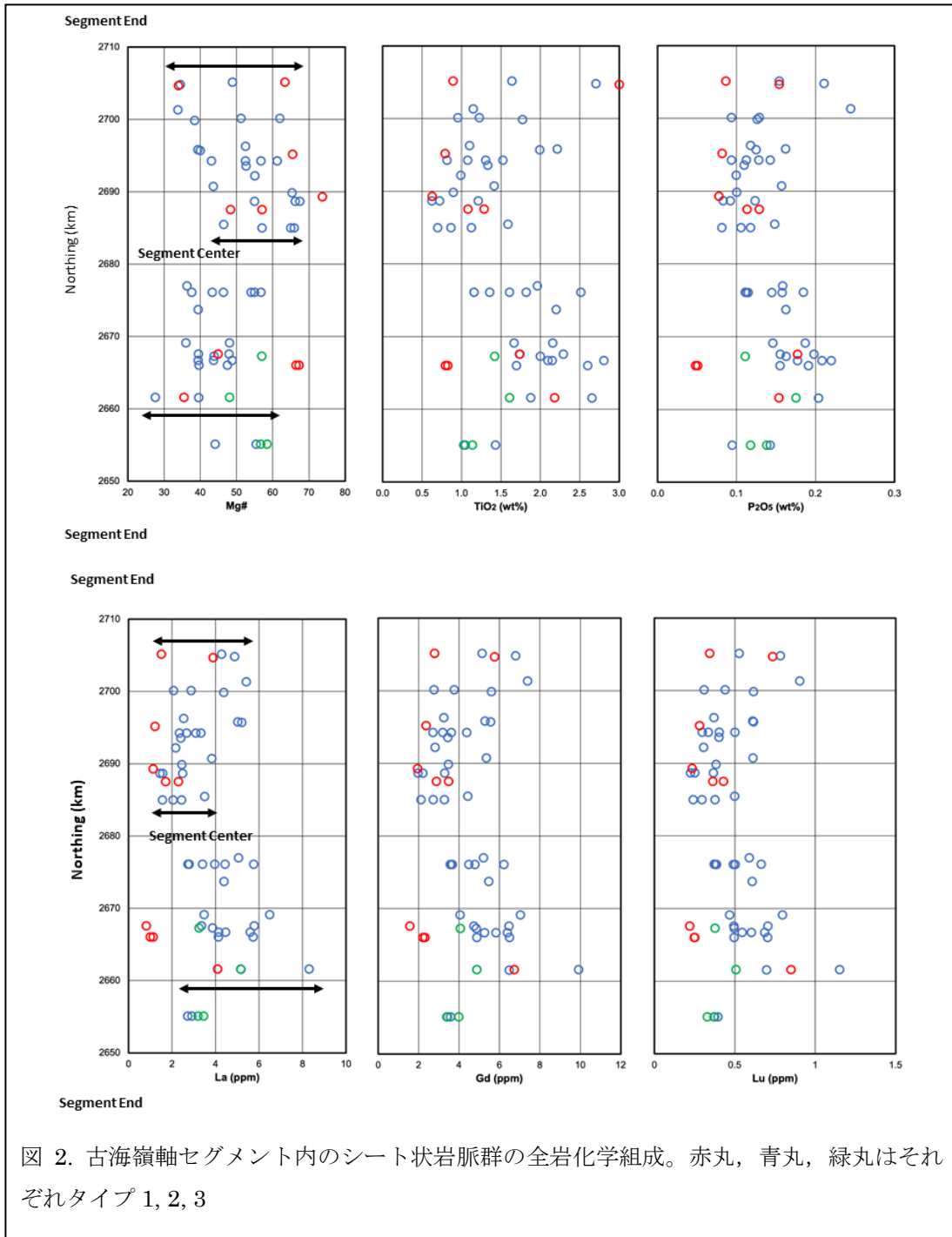


図 2. 古海嶺軸セグメント内のシート状岩脈群の全岩化学組成。赤丸，青丸，緑丸はそれぞれタイプ 1, 2, 3

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 海野 進・草野有紀	4. 巻 130
2. 論文標題 ハワイ沖上部地殻掘削から海洋プレートの形成過程に迫る	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 地学雑誌	6. 最初と最後の頁 599-614
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5026/jgeography.130.599	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 Umino, S., Moore, G.F., Boston, B., Coggon, R., Crispini, L., D'Hondt, S., Garcia, M.O., Hanyu, T., Klein, F., Seama, N., Teagle, D.A.H., Tominagana, M., Yamashita, M., Harrism, M., Ildefonse, B., Katayama, I., Kusano, Y., Suzuki, Y., rembath-Reichert, E., Yamada, Y., Abe, N., Xiao, N., and Inagaki, F.	4. 巻 29
2. 論文標題 Workshop Report: Exploring Deep Oceanic Crust off Hawai'i	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Drilling	6. 最初と最後の頁 69-82
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5194/sd-29-69-2021	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 該当する

1. 著者名 海野 進・デーモンティーグル・スティーブドント・グレッグムーア・ブノアイルドフォンス	4. 巻 72
2. 論文標題 ハワイ沖海洋地殻掘削調査：マントル掘削パイロットホールプロジェクト	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 月刊地球号外	6. 最初と最後の頁 22-29
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 無
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 該当する

1. 著者名 海野 進・草野有紀・宮下純夫・足立佳子	4. 巻 72
2. 論文標題 海洋地殻の構造と進化：高速拡大海嶺系	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 月刊地球号外	6. 最初と最後の頁 40-47
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 無
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17件（うち招待講演 9件 / うち国際学会 14件）

1. 発表者名 Umino, S.
2. 発表標題 Muographic study of the oceanic crust-mantle structure of the Oman Ophiolite.
3. 学会等名 Muographers 2022 General Assembly (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nguyen, T., Umino, S., Fudai, T., Kusano, Y., Ishizuka, O., Tamura, A., and Morishita, T.
2. 発表標題 The magmatic conditions and hypersolidus deformation of lower crustal magma chamber below a fast-spreading ridge Insight from the core analyses of the Oman ICDP drill holes GT1A & GT2A
3. 学会等名 日本鉱物科学会2022年ハイブリッド年会, 新潟 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Umino, S.
2. 発表標題 Muographic study of the oceanic crust-mantle structure of the Oman Ophiolite.
3. 学会等名 Muographers 2022 General Assembly (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Abe, N. and Umino, S.
2. 発表標題 Frontiers of sampling the mantle by drilling to the Moho. International Symposium
3. 学会等名 International Symposium, Frontier of Understanding Earth's Interior and Dynamics, Tohoku Univ. (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kusano, Y., Miyashita, S., Adachi, Y., and Umino, S.
2. 発表標題 Along-axis Magmatic/tectonic Phase Variation on the Spreading Ridge Inferred From the Northern Oman Ophiolite
3. 学会等名 AOGS 2022, Honolulu (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Umino, S., and Kusano, Y.
2. 発表標題 Understanding the Spreading and Formation of Oceanic Plates by Drilling in the Upper Crust Off Hawaii.
3. 学会等名 AOGS 2022, Honolulu (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nonaka, M., and Umino, S.
2. 発表標題 The Chemical compositions and textures for magma series at the "Green Tuff" Formation in the Katakai region, Niigata, Japan.
3. 学会等名 Goldschmidt 2022, Honolulu (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Umino, S., Kusano, Y., Ishizuka, O., Fudai, T., Tamura, A., and Morishita, T.
2. 発表標題 The structure of magma chamber below a fast-spreading ridge based on field and core analyses of the Oman ICDP drilling
3. 学会等名 2021 Japan Earth Planet. Sci. Joint Meeting, Yokohama (Online) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Umino, S., Inagaki, F., Teagle, D.H.A., Yamashita, M., Moore, G.F., Ildefonse, B., D'Hondt, S., Crispini, L., Hanyu, T., Garcia, M.O., and Morishita, T.
2. 発表標題 Mohole to Mantle M2M Drilling Project and 951-Full Proposal: Drilling Mature Oceanic Crust on North Arch Off-Hawaii
3. 学会等名 2021 Japan Earth Planet. Sci. Joint Meeting, Yokohama (Online) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Umino, S.
2. 発表標題 Understanding the spreading and formation of oceanic plates by drilling in the upper crust off Hawaii
3. 学会等名 Virtual GEOSEA XVI and GeoCon 2021, Geological society of the Philippines (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 海野 進
2. 発表標題 Drilling Mature Oceanic Crust on North Arch off Hawaii (951-Full: Chikyu)
3. 学会等名 J-DESC主催ワークショップ「Post-IODP時代へ向けた科学海洋掘削の展望」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Umino, S., Morishita, T., and Kusano, Y.
2. 発表標題 How does the style of plate spreading govern the architecture of oceanic crust.
3. 学会等名 2020 JpGU-AGU Joint Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Umino, S., Fudai, T., Ishizuka, O., and Kusano, Y.
2. 発表標題 Microstructures, bulk and mineral chemistry of the gabbro cores of Holes GT1A and GT2A drilled in the Oman Drilling Project - Melt distribution in the subaxial lower crust.
3. 学会等名 2020 JpGU-AGU Joint Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Umino, S.
2. 発表標題 Current State of Off-Hawaii Oceanic Crust-Mantle Drilling Project.
3. 学会等名 2020 JpGU-AGU Joint Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 海野進・普代貴大・草野有紀・石塚治・田村明弘・森下知晃
2. 発表標題 高速拡大海嶺の下部地殻マグマ溜まり構造 オマーン国際陸上科学掘削孔GT1A・GT2A のコア試料解析結果より
3. 学会等名 日本鉱物科学会2020年オンライン年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 海野 進
2. 発表標題 ハワイ沖ノースアーチ上部地殻掘削計画
3. 学会等名 ハードロック掘削科学ワークショップ Autumn2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nguyen, T., Umino, S., Fudai, T., Kusano, Y., Ishizuka, O, Tamura, A., and Morishita, T.
2. 発表標題 The magmatic conditions and deformation of lower crustal magma chamber below the fast-spread Oman paleoridge.
3. 学会等名 2023 Japan Earth Planet. Sci. Joint Meeting, Makuhari (国際学会)
4. 発表年 2023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

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			
オマーン	エネルギー鉱物省			