

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：13101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26610173

研究課題名(和文) オマーンオフィオライトを用いたマントルウェッジの酸化還元状態の解析

研究課題名(英文) Redox state of mantle wedge inferred from the mantle section of the Oman ophiolite

研究代表者

高澤 栄一 (Takazawa, Eiichi)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：80222082

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)：北部オマーンオフィオライト・フィズマントルセクションをマントルウェッジのアナログとして酸素フガシティの分布を検討した。酸素フガシティの変化幅はFMQ-3.3から+1.8であり、地殻-マントル境界(Moho)からマントルセクションの基底部に向かうにつれて低くなる。ダナイトはハルツパージャイトより酸化している。スピネルの三価鉄/全鉄比をメスbauer分光でさらに検証し調和的な結果を得た。V/Sc比、Zn/Fe比は酸素フガシティとそれぞれ逆相関、正の相関を示し、酸化還元状態の変動下のフラックス溶融と調和的である。基底部は沈み込んだ還元的な堆積物由来のメルト/流体との反応の影響が考えられる。

研究成果の概要(英文)：We studied the spatial distribution of oxygen fugacity in the Fizh mantle section of the northern Oman ophiolite as an analog for the redox state of mantle wedge. The delta log fO₂ relative to FMQ buffer of harzburgites and dunites were calculated following the method of Ballhaus et al. (1991). The values range from FMQ-3.3 to +1.8 and tend to decrease from the crust-mantle boundary (Moho) to the basal part of the mantle section. Dunites are more oxidized than harzburgites. The Fe³⁺/Fe ratio of spinel were evaluated by Mossbauer spectroscopy. The difference is negligible compared to the whole range. The V/Sc and Zn/Fe ratios of whole rock peridotites show a strong negative and positive correlations with delta log fO₂ (FMQ), respectively, indicating the observed variation and tendency of delta log fO₂ (FMQ) are consistent with residues formed by flux melting of mantle section with a reduced melt/fluid derived from subducted sediment.

研究分野：岩石学

キーワード：オマーンオフィオライト マントルセクション マントルウェッジ 酸化還元 フラックス溶融 沈み込み帯

1. 研究開始当初の背景

(1) 海洋地殻は中央海嶺で形成してまもなく熱水活動による変質作用を受け、それ以降も海水による風化作用を被ることが知られている。このような変質作用によって含水状態になった海洋地殻は、沈み込み帯で脱水作用を受け、多量の H_2O を放出することは広く受け入れられている。沈み込むスラブから放出された流体はマントルウェッジに浸透し、溶け残りかんらん岩のソリダス温度を下げる。島弧マグマは、このような溶け残りかんらん岩のフラックス溶融によって形成すると一般に考えられている。また、これらの流体は噴出するマグマから推定して、酸化的な H_2O や CO_2 を主体とするとされる。このことは、島弧の玄武岩に包有されるかんらん岩捕獲岩や前弧で採取されたかんらん岩の組成からも支持されている。Brandon & Draper (1996) や Parkinson & Arculus (1999) は、世界各地の島弧のマントル捕獲岩や前弧域のかんらん岩の酸素フガシティーが FMQ バッファーよりも高く、海洋性マントルよりも酸化的事であることを示した。しかし、マントル捕獲岩から得られるデータはリソスフェリックマントルの比較的浅所に関する情報であり、マントルウェッジ深部の島弧マグマ形成領域における酸化還元状態や流体の性質は不明な点が多い。

(2) 研究代表者(高澤)は、これまでオマーンオフィオライト北部のフィズ岩体マントルセクションの岩石学的研究を行い、それらが中央海嶺のセグメント構造と対応した組成分布を残していること、海洋プレートの衝上過程で初期島弧のスラブ由来流体によるフラックス溶融を被った結果、高枯渇なかんらん岩がオフィオライト基底部と古海嶺セグメント末端部付近に多数分布することを明らかにした(高澤, 2012)。このようにテクトニクスに関する基礎的データは揃っており、酸素フガシティーの予察的な結果と合わせ、フィズ岩体マントルセクションは、本研究で対象とするマントルウェッジの酸化還元状態を議論するための良好な条件を備えている。還元的な酸素フガシティーを示すかんらん岩は、深海底かんらん岩やクラトンのマントル捕獲岩のほか、かつての島弧のマントル断片とされる地域からも見つかっている(たとえば Qilian suture zone, Song et al., 2009)。しかし、それらは断片的であり、マントルウェッジの復元を想定した空間的な情報に乏しい。この点で、オマーンオフィオライトのマントルセクションは、マントルウェッジ(オフィオライト)と沈み込むスラブの上面(メタモルフィックソール)がセットになっており、深部方向ならびに海嶺セグメント方向の組成や酸素フガシティーの変化を追跡するのに適している。

2. 研究の目的

(1) 本研究の対象であるオマーンオフィオライトは、約 9,500 万年前に海洋プレート内部に衝上ナップが形成され、生まれて間もない海洋プレート同士の衝上と沈み込みを経たことが知られている。その際に、衝上する海洋プレートが沈み込む海洋プレートの上面に接触変成作用を与え、角閃岩と緑色片岩からなるメタモルフィックソールを形成した。すなわち、オマーンオフィオライトでは形成まもないマントルウェッジ(オフィオライト)と沈み込むスラブの上面(メタモルフィックソール)が直接接していることになる。そこで、オマーンオフィオライトのマントルセクションを用いて、マントルウェッジの酸化還元状態を明らかにし、その原因を解明することを到達目標とした。

3. 研究の方法

(1) オマーンオフィオライト北部に位置するフィズ岩体マントルセクションの地質調査を実施し、かんらん岩試料を採取した。地質調査は、各年度の 12 月から 1 月にかけてそれぞれ約 3 週間にわたって実施した。

(2) フィズ岩体から採取した岩石試料と既存試料のスピネルを電子プローブマイクロアナライザー(EPMA)で分析し、Ballhaus et al. (1991) の手法を用いて、FMQ バッファーとの差($\Delta \log fO_2_{FMQ}$)を算出した。これらを用いてフィズ岩体における酸素フガシティーの空間分布を求めた。

(3) フィズ岩体で採取したクロミタイト 5 試料からスピネルの分離を行ない、メスバウアー分光法による二価鉄と三価鉄の比を測定した。測定は島根大学の赤坂正秀教授にご協力いただいた。スピネルの EPMA 分析値とストイキオメトリーから計算した二価鉄と三価鉄の比と、メスバウアー分光法による二価鉄と三価鉄の比を比較し、系統的なずれの有無について検証した。

(4) 酸素フガシティーのプロキシとされる化学組成(V/Sc 比, Zn/Fe 比)や堆積物由来のメルトの指標(Th/Ce 比など)を用いて酸素フガシティーの空間分布に対する沈み込みスラブ物質の寄与の度合いを検討した。

(5) オマーンオフィオライトのかんらん岩試料を用い、カンラン石中の流体包有物における炭素の化学形態をレーザーラマン分光法で解析し、 $\Delta \log fO_2_{FMQ}$ との対応を検討した。

4. 研究成果

(1) オマーンオフィオライトのマントルセクションは海洋プレート内衝上運動で沈み込み帯の初期の過程を経ており、その際に、下位のメタモルフィックソールから H_2O を主体とする流体がマントルセクションに流入し、フラックス溶融を起こしたことが知ら

れる(Arai et al., 2006; 高澤, 2012; 野本・高澤, 2013; Kanke & Takazawa, 2014)。このことはスピネルの Cr# の高い高枯渇なかんらん岩が多数存在することから支持される。スピネルの Cr# は海嶺起源のかんらん岩では 0.6 以下であるが、島弧のかんらん岩では 0.6~0.8 と高い。すなわち、フィズ岩体のハルツバージャイトはマントルウェッジ内のフラックス溶融による高枯渇なとけ残りかんらん岩とみなすことができる。

(2) フィズ岩体のハルツバージャイトとダナイトの $\Delta \log fO_{2\text{FMQ}}$ はどちらも $\Delta \log fO_{2\text{FMQ}} = 0$ に最大頻度が認められるが、ダナイトの方が FMQ バッファーよりも高いものが多い。 $\Delta \log fO_{2\text{FMQ}}$ の計算に用いたかんらん石とスピネルの平衡温度は 700-800 であり、蛇紋岩化作用の進行する温度よりも高温である。

(3) フィズ岩体のハルツバージャイトは基底部に $\Delta \log fO_{2\text{FMQ}}$ はの低い試料が多く分布し、マントルセクション上部および古海嶺セグメントの境界部では $\Delta \log fO_{2\text{FMQ}}$ の高い試料が卓越する。すなわち、マントルウェッジの酸素 fugacity はスラブの上面近傍で低いことが暗示される。

(4) EPMA 分析値とスピネルのストイキオメトリーを用いて算出した二価鉄と三価鉄の比をメスバウア分光法で得た値と比較検討した。5 個のクロミタイトから分離したスピネルを用いた。EPMA とストイキオメトリーによる結果はメスバウア分光法の結果よりもやや低い傾向を示したが、有為な差ではなく無視しうる。このことから、EPMA 分析値とスピネルのストイキオメトリーを用いて算出した二価鉄と三価鉄の比を使用しても問題ないと判断しうる。

(5) バナジウムの分配係数は酸素 fugacity に依存して変化することが知られる (Canil & Fedortchouk, 2000; Canil, 2002)。部分溶融のとけ残りのかんらん岩は、酸素 fugacity が低いほど全岩の V/Sc 比が高くなり、酸素 fugacity が高いほど V/Sc 比が低くなることを予測される (Lee et al., 2005)。フィズ岩体のハルツバージャイトは、 $\Delta \log fO_{2\text{FMQ}}$ と V/Sc 比に逆相関が認められた。すなわち、(3) で述べた岩体内の $\Delta \log fO_{2\text{FMQ}}$ のバリエーションが形成される過程で部分溶融を伴っていた可能性を示唆する。ハルツバージャイトはそのときの部分溶融によるとけ残りと考えられる。

(6) Zn/Fe 比も酸素 fugacity に依存して変化することが知られる (Lee et al., 2010)。部分溶融のとけ残りのかんらん岩は、酸素 fugacity が低いほど全岩の Zn/Fe 比が低くなり、酸素 fugacity が高いほど Zn/Fe 比が高くなることを予測される。フィズ岩体の

ハルツバージャイトは、 $\Delta \log fO_{2\text{FMQ}}$ と Zn/Fe 比に正の相関が認められた。この結果は、V/Sc 比から得られた結果と調和的であり、フラックス溶融のときに、フィズ岩体マントルセクション内に酸素 fugacity のバリエーションが生じていたことを示唆する。

(7) フィズマントルセクションの基底部分に存在する低酸素 fugacity を記録するハルツバージャイトおよびダナイトは還元的な流体あるいはメルトとの反応によるフラックス溶融の溶け残りの可能性が考えられる。たとえば、沈み込んだスラブ上面に付随する還元的な炭質物を多く含む堆積物の溶融によって生じたメルトと反応したならば、本研究で見出した酸素 fugacity の広域分布と酸化還元敏感な元素の分布を説明できると考えられる。

< 引用文献 >

Arai, S., Kadoshima, K. and Morishita, T., Widespread arc-related melting in the mantle section of the northern Oman ophiolite as inferred from detrital chromian spinels. *Journal of the Geological Society London*, **163**, 2006, 869-879.

Ballhaus, C., Berry, R.F. and Green, D.H., High pressure experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer implications for the oxidation state of the upper mantle. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **107**, 1991, 27-40.

Brandon, A. D. and Draper, D. S., Constraints on the origin of the oxidation state of mantle overlying subduction zones: An example from Simcoe, Washington, USA. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **60**, 1996, 1739-1749.

Canil, D., Vanadium in peridotites, mantle redox and tectonic environments: Archean to present. *Earth and Planetary Science Letters*, **195**, 2002, 75-90.

Canil, D. and Fedortchouk, Y., Clinopyroxene-liquid partitioning for vanadium and the oxygen fugacity during formation of cratonic and oceanic mantle lithosphere. *Journal of Geophysical Research*, **105**, 2000, 26003-26016.

Kanke, N. and Takazawa, E., A kilometre-scale highly refractory harzburgite zone in the mantle section of the northern Oman Ophiolite (Fizh Block): implications for flux melting of oceanic lithospheric mantle. Rollinson, H. R., Searle, M. P., Abbasi, I. A., Al-Lazki, A. & Al Kindi, M. H. (eds) *Tectonic Evolution of the Oman Mountains*. Geological Society, London, *Special Publications*, **392**, 2014, 229-246.

野本・高澤, オマーンオフィオライト・サラヒ岩体南西部に分布する超苦鉄質岩体の成因. *岩石鉱物科学*, **42**, 2013, 123-135.

Parkinson, I. J., Arculus, R. J., The redox state

of subduction zones: insights from arc-peridotites. *Chemical Geology*, **160**, 1999, 409–423.

Song, S., Suc, L., Niu, Y., Lai, Y., Zhang, L., CH₄ inclusions in orogenic harzburgite: Evidence for reduced slab fluids and implication for redox melting in mantle wedge. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **73**, 2009, 1737–1754.

高澤, オマーンオフィオライト・マントルセクションの組成マッピングからみた初期島弧におけるマントル溶融と反応過程. *岩石鉱物科学*, **41**, 2012, 257-266.

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3件)

Lai, Y. -J., Pogge von Strandmann, P. A. E., Dohmen, R., Takazawa, E., Elliott, T., The influence of melt infiltration on the Li and Mg isotopic composition of the Horoman Peridotite Massif. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **164**, 2015, 318-332. doi.10.1016/j.gca.2015.05.006 (査読あり)

Yoshikawa, M., Python, M., Tamura, A., Takazawa, E., Shibata, T., Ueda, A., Satoh, 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. doi.10.1016/j.tecto.2014.12.004 (査読あり)

Kanke, N. and Takazawa, E., A kilometre-scale highly refractory harzburgite zone in the mantle section of the northern Oman Ophiolite (Fizh Block): implications for flux melting of oceanic lithospheric mantle. Rollinson, H. R., Searle, M. P., Abbasi, I. A., Al-Lazki, A. & Al Kindi, M. H. (eds) *Tectonic Evolution of the Oman Mountains. Geological Society, London, Special Publications*, **392**, 2014, 229–246. doi.10.1144/SP392.12 (査読あり)

[学会発表](計10件)

Takazawa, E., Ishii, K., Nomoto, Y., Tamura, Y., 2017. Petrological and geochemical diversity of mantle section revealed by comparison between northern and southern Oman ophiolite. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SCG63-P10, 2017年5月24日, 幕張メッセ (千葉県千葉市).

高澤栄一・谷雅史・Satish-Kumar, M.・赤坂正秀・田村芳彦, オマーンオフィオライトのマントルかんらん岩から推測されるマントルウェッジの酸化還元状態. 日本鉱物科学会, R6-04, 2016年9月25日, 金沢大学 (石川県金沢市).

Tani, M., Takazawa, E., Satish-Kumar, M., Akasaka, M., Kanke, N., Murakami, R., Suetake, A., Tamura, Y., Redox state of mantle wedge above subducting slab inferred from the mantle

section of Oman ophiolite. Goldschmidt Conference, 3079, 2016年6月29日, パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市).

Sakashita, M., Mori, N., Takazawa, E., Nohara, R., Takahashi, T., Tamura, Y., Geochemical relationship of Haybi volcanics and amphibolites in the metamorphic sole of Oman ophiolite. Goldschmidt Conference, 2708, 2016年6月28日, パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市).

Yoshida, Y., Takazawa, E., Ueda, H., Tamura, Y., Serpentinization process of the mantle peridotite in the northern Fizh block, the Oman ophiolite. Goldschmidt Conference, 3614, 2016年6月28日, パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市).

Tani, M., Takazawa, E., Satish-Kumar, M., Akasaka, M., Kanke, N., Murakami, R., Suetake, A., Tamura, Y., The redox state in the Fizh mantle section, the northern Oman ophiolite as an analog of mantle wedge in subduction zone. Japan Geoscience Union Meeting, SIT09-12, 23 May 2016年5月23日, 幕張メッセ (千葉県千葉市).

高澤栄一・山下千晶・吉田有希・田村芳彦, オマーンオフィオライト基底部にみる沈み込みスラブからマントルウェッジへの流体の浸透とフラックス溶融. R6-04, 日本鉱物科学会 2015年年会, 2015年9月26日, 東京大学 (東京都文京区).

Takazawa, E., Nomoto, Y., Suetake, A., Kusano, Y., Umino, S., Tamura, Y., Residue and melt relationship between mantle peridotites and volcanic rocks in the Oman ophiolite. The Fourth International Congress on Natural Sciences, 2015年9月10日, 彰化市 (台湾).

Takazawa, E., Kanke, N., Fujii, S., Nomoto, U., Kusano, Y., Umino, S., Tamura, Y., Reexamination of genetic relationship between mantle peridotite and volcanic rocks in the Oman ophiolite. 日本地球惑星科学連合 2015年大会, 2015年5月27日, 幕張メッセ (千葉県千葉市).

Takazawa, E., Kanke, N., Nomoto, Y., Fujii, S., Suetake, A., and Murakami, R., Update on the spatial distribution of highly refractory peridotites in the northern Oman mantle section as proxy for fluid infiltration and flux melting. 6th Orogenic Lherzolite Conference, 2014年5月4-15日, マラケシュ(モロッコ).

[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]

ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究代表者

高澤 栄一 (TAKAZAWA, Eiichi)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：2 6 6 1 0 1 7 3

(2)研究分担者

(3)連携研究者

M Satish-Kumar (SATISH-KUMAR, M)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：5 0 3 1 3 9 2 9

(4)研究協力者

赤坂 正秀 (AKASAKA, Masahide)