

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月28日現在

機関番号：17401

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21740375

研究課題名（和文） 島弧下マントルにおける流体／メルトによる遷移元素の移動形態

研究課題名（英文） Transportation process of transitional-metal elements by fluid and/or melt in the upper mantle beneath the arc

研究代表者

石丸 聡子（ISHIMARU SATOKO）

熊本大学・大学院自然科学研究科・助教

研究者番号：60464046

研究成果の概要（和文）：火山フロント下マントルに由来するかんらん岩捕獲岩と固体貫入したかんらん岩を用いて、それらに記録されたマントルウェッジでの流体やメルトによる改変作用を検討した。その結果、島弧下マントルでは流体やメルトによる改変が盛んであり、それに伴って遷移元素（鉄やニッケル）が運搬され、稀に資源として有用な白金族元素の濃集していることが確認された。また、 H_2O 流体が火山フロント下マントルでは普遍的であることも確認された。

研究成果の概要（英文）：We examined two different types of mantle-derived peridotites to clarify modification processes, especially to transportation of transitional-metal elements, by melts or slab-derived fluids: the one is xenoliths from sub-arc mantle beneath the volcanic front and the other is solid intrusive peridotite blocks and peridotites at the bottom of Oman ophiolite. Then, we identified that the sub-arc mantle beneath the volcanic front is highly metasomatized and some elements (e.g., Ni, Fe and platinum-group elements) are partly concentrated in there. In addition, we found H_2O -bearing inclusions in sub-arc mantle xenoliths. However there have been quite a few reports of H_2O inclusions even in arc-derived materials, we confirmed that H_2O is the main fluid phase within the sub-arc upper mantle beneath the volcanic front.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学，岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：マントル・地球化学・沈み込み帯・交代作用

1. 研究開始当初の背景

島弧地域は大陸地殻を発達させる最前線であり、また、海嶺においてマントル溶融によって形成された海洋プレートが再び地

球深部に潜り込んでいく場でもあるため、全地球的な物質循環を考える上でも極めて重要である。しかし、島弧下の上部マントルの情報を有するかんらん岩捕獲岩の報告は他地域

に比べて極めて限られており (Nixon, 1987), 島弧マンテルの特性は島弧域に噴出した火山岩から推測されることがほとんどであった。かんらん岩を用いての物質的特性とマグマ生成プロセスについての直接的検討は, いくつかの初期のもの (例えば, Takahashi, 1986; Aoki, 1987) 以外, 詳細におこなわれていなかった。特に, 火山フロントは島弧域で最もマグマ活動が活発な場所ではあるが, かんらん岩捕獲岩が非常に稀であり, そのマンテルの構成や諸現象の直接的検証はほとんどなされて来なかった。

また, 火山フロント下の活発なマグマ生成はスラブから放出されるフルイド/メルトの流入によって促進されていると考えられるが, 実際にどのような化学的・物理的性質を持った物質がマンテル中に放出されているのかは明らかではなかった。それらの性質は, マンテルでの状態を比較的良好に保持した島弧下マンテルかんらん岩捕獲岩の直接解析による解明が期待される。火山フロント下マンテルプロセスを総合的に扱った実証的研究は, 研究代表者がカムチャツカ半島南部に位置するアバチャ火山のかんらん岩捕獲岩について, 記載岩石学的・地球化学的におこなったものが目立っており (Arai et al., 2003; Ishimaru et al., 2007; Ishimaru and Arai, 2008a-d), 他には数例が挙げられるのみである (Arai and Kida, 2000; Arai et al., 2004; Blatter and Carmichael, 1998)。ごく最近では世界中の研究者から島弧マンテルが脚光を浴び始めているが, 化学的側面の研究に偏っている場合が多かった (例えば, Ionov and Seitz, 2008)。

2. 研究の目的

マンテルウェッジ内での, 沈み込む海洋

プレートから放出される流体による元素の移動とマンテルウェッジかんらん岩に与える影響の解明を目的とする。また, マンテル物質としてのかんらん岩あるいは蛇紋岩を用いて, マンテルウェッジ内の構造 (酸化還元状態・温度・物質的) の解明への貢献を目的とする。

3. 研究の方法

(1) 試料の採取

研究目的を達成するために, まずは金沢大学荒井研究室所蔵のカムチャツカ弧アバチャ火山のかんらん岩捕獲岩について岩石記載や化学分析などをおこなった。それに引き続き, より広く火山フロント下マンテルについて検討をおこなうため, ロシア科学研究アカデミー極東支部火山学研究所のOkrugin, V. M. 博士の協力の下, カムチャツカ弧の火山フロントに属する他の火山 (シベルツチ火山など) において, 平成22~23年度の夏季にかんらん岩捕獲岩調査をおこなった。

また, マンテルウェッジ下部の沈み込む海洋プレートから放出される流体による遷移元素の移動とスラブ直上における酸化還元状態を検討するために, 高压変成岩に伴う超苦鉄質岩類やマンテルウェッジのアナログ物質とも言えるオフィオライト底部のかんらん岩類について現地調査をおこない, 露頭観察や試料採取をおこなった。

(2) 試料の処理と機器分析

本研究の目的を達成するため, 新たに採取した試料や荒井研究室所蔵の試料に関して岩石薄片を作成し, 偏光顕微鏡などを用いて岩石学的記載をおこなった。特に, 以下の分析機器を主に用いて研究を進めた。

- 電子線マイクロアナライザー (EPMA)
- レーザーアブレーションシステムを装備したICP-MS (LA-ICP-MS)

- 顕微ラマン分光装置（京都大学自然科学研究科および金沢大学理工学域自然システム学系に設置）

流体やメルトによる元素の移動があった際、新たに結晶が形成される場合もあるが、既存の鉱物組成を改変することがよく知られている。それら流体やメルトによってマントルウェッジかんらん岩に生じたわずかな改変を観察するためには、EPMAによる反射電子像が非常に有効である。また、その改変程度の定量的な見積りにはEPMAとLA-ICP-MSを用いた。その元素の運搬に関与した流体の性質を直接捉えるために、構成鉱物中の包有物の同定もおこなった。かんらん岩の改変時には、その改変に関与した流体やメルトがしばしば鉱物中に保存されている。かんらん岩の改変と包有物相を詳細に検討することで、どういった流体によってどの元素がより効果的に運搬されるのかを解明することができる。また、流体相は周囲の酸化還元状態によって存在形態が変化するため、マントルウェッジ内の酸化還元状態や温度構造の解明にも有用である。

4. 研究成果

(1) 主な成果

- **マントルかんらん岩にニッケルを付加した流体が、硫黄に富む珪酸塩メルトである可能性を示唆**
 酸化的な条件で形成される珪酸塩メルトは硫黄成分に富んでいることが知られている。他地域に比べて酸化的といわれているマントルウェッジ内で、そのようなメルトが形成され、同時に周囲から鉄やニッケルなどの遷移元素を除去する現象が起こっていると考えられる。
- **火山フロント下のマントルウェッジ**

最上部で主要な流体相が、H₂Oであることを確認

これまでは島弧に由来するかんらん岩捕獲岩中であっても、H₂Oを主体とする流体包有物の産出例は少なかった（CO₂流体が主）。しかし、火山フロント下マントルではH₂O流体がかなり優勢でCO₂流体は稀であり、他の還元流体は確認されなかった。

- **非常にMgに富む輝岩相の発見**

かんらん石を置換する斜方輝石が島弧マントルで大規模に形成されていることは、これまでも報告されていたが、高Mgの単斜輝岩の形成はこれまで例がない。これは、CaとSiに富みFeに乏しい流体が関与し、周囲のかんらん岩にCaとSiを付加し、Feを除去することによって形成されたと考えられる。

- **オフィオライト底部かんらん岩に角閃石が形成され、水流体で運搬されやすいルビジウム（Rb）などが付加されていることを確認**

オフィオライト底部は、マントルウェッジ下部のアナログとして考えられるが、下位に形成された変成岩からH₂O流体によってRbなどが付加されたと考えられる。

- **水流体で運搬されにくいチタン（Ti）やジルコニウム（Zr）などの元素が運搬され、かんらん岩中に固定されているのを確認**

TiやZrなどの元素は水流体などで運搬されにくいだが、メタン（CH₄）などの hidrocarbon に富む流体では運搬されやすいという性質がある。Tiにとむ鉱物が形成されているかんらん岩（蛇紋岩）中にCH₄流体包有物を確認した。

(2) 成果の位置づけとインパクト

前述の通り、島弧マントル、特に火山フロント下マントルに由来するものは数例のみであったため、火山フロント下マントルの物質的情報や「そこで何が起きているのか」という情報は非常に限られていた。その中で、火山フロント下マントルでの流体やメルトによる改変作用を詳細に記載したことは、島弧マントルの包括的理解に非常に有用である。

また、島弧マントルでは沈み込む海洋プレートから放出される水流体により改変されていると考えられてきた。しかし、前述の通りこれまで水流体がマントルかんらん岩中に確認された例は少なく、放出された流体が H₂O なのか、それとも他の流体であるのか、また、水流体であるとするならば、マントルウェッジ内でのように存在しているのかについて、様々な議論がなされてきた。その中で、火山フロント下マントルかんらん岩中に水流体包有物を多量に確認したことは、スラブから放出される流体がどのようにマントルウェッジ内を通過し、どこへいくのかを検討するために重要であると考えられる。

(3) 今後の展望

火山フロント下マントルに由来するかんらん岩捕獲岩を複数地点から採取できた。それらの捕獲岩中にも、アバチャ火山のかんらん岩捕獲岩同様、かんらん石を置換する斜方輝石の形成や水流体の存在が確認された。しかし、その解析はまだ完全ではなく、アバチャ火山の捕獲岩中に観察されたメルトや流体による複数の交代作用が、火山フロント下マントルにおける一般的かどうかの検証はこれからである。

オフィオライト底部のかんらん岩には、水流体の付加によって形成された角閃石

やそれに伴う微量元素の付加が観察される。水流体は、低温ではかんらん石を蛇紋石化して H₂ 流体を発生させることが知られている。海洋プレートから放出されてマントルウェッジに浸入した水流体が、マントルを通過する間に H₂ などの還元的流体に変化するならば、アバチャ火山に観察されたような合金類を上部マントルに晶出させると考えられる。このことを、オフィオライト底部のかんらん岩や固体貫入したかんらん岩類と、島弧マントル最上部に由来する捕獲岩の両者の流体包有物を検討し、マントルウェッジ全体での流体の性質の変化や酸化還元状態について引き続き検討をおこなう。

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 10 件)

1. Ishimaru, S. and Arai, S. Possibility of Ti transportation within a mantle wedge: formation process of titanoclinohumite in Fujiwara dunite in Sanbagawa belt, Japan. *Solid Earth Discussions*, 4, 203-239, 2012, doi: 10.5194/sed-4-203-2012. 査読有
2. Arai, S. and Ishimaru, S. Zincian chromite inclusions in diamonds: possibility of deep recycling oringin. *Journal of Mineralogical and Petrological Science*, 106, 85-90, 2011. 査読有
3. Arai, S., Okamura, H., Kadoshima, K., Tanaka, C., Suzuki, K. and Ishimaru, S. Chemical characteristics of chromian spinel in plutonic rocks: implications for deep magma processes and discrimination of tectonic setting. *Island Arc*, 20, 125-137, 2011.

査読有

4. Ishimaru, S. and Arai, S. Peculiar Mg-Ca-Si metasomatism along a shear zone within the mantle wedge: inference from fine-grained xenoliths from Avacha volcano, Kamchatka. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 161, 703-720, 2011. 査読有
5. Payot, B.D., Arai, S., Tamura, A., Ishimaru, S. and Tamoyo, Jr., R.A. Unusual ultra-depleted dunite from Sibuyan Island (the Philippines): a residue for ultra-depleted MORB? *Journal of Mineralogical and Petrological Science*, 104, 383-388, 2009. 査読有
6. Ishimaru, S., Arai, S. and Shukuno, H. Metal-saturated peridotite in the mantle wedge inferred from metal-bearing peridotite xenoliths from Avacha volcano, Kamchatka. *Earth and Planetary Science Letters* 284, 352-360, 2009. 査読有
7. Michibayashi, K., Oohara, T., Satsukawa, T., Ishimaru, S. and Arai, S. Rock seismic anisotropy of the low-velocity zone beneath the volcanic front in the mantle wedge. *Geophysical Research Letters* 36, L12305, doi:10.1029/2009GL038527, 2009. 査読有
8. Ishimaru, S., Arai, S., Tamura, A., Takeuchi, M. and Kiji, M. Subarc magmatic and hydration processes inferred from a hornblende peridotite xenolith in spessartite from Kyoto, Japan. *Journal of*

Mineralogical and Petrological

Science, 104, 97-104, 2009. 査読有

9. Ishimaru, S. and Arai, S. Highly silicic glasses in peridotite xenoliths from Avacha volcano, Kamchatka arc; implications for melting and metasomatism within the sub-arc mantle. *Lithos*, 107, 93-106, 2009. 査読有

[学会発表] (計15件)

1. 芳川雅子・荒井章司・柴田知之・石丸聡子. 背弧に産する黒瀬マントル捕獲岩に記録されたスラブ由来成分. 2011年度日本地球科学学会年会, 2011.9.16, 北海道大学(札幌).
2. 石丸聡子, 荒井章司, 田村明弘, Khedr, M. Z., Python, M. オマーンオフィオライト底部かんらん岩の記載岩石学. 日本鉱物科学会2011年大会, 2011.9.10, 茨城大学(水戸).
3. 石丸聡子. 島弧マントル物質解明を目指して~特に火山フロント下に注目して~. 日本鉱物科学会2011年大会, 2011.9.9, 茨城大学(水戸), 受賞講演.
4. 根岸紘規・荒井章司・田村明弘・石丸聡子. 北部オマーンオフィオライト, ワジ・スクバのモホ遷移帯ダナイト中の磁鉄鉱-硫化物からなる複合粒子. 日本鉱物科学会2011年大会, 2011.9.9, 茨城大学(水戸).
5. Ishimaru, S., Arai, S., Borisova, A. Y., Tamura, A. Possible high-PGE-Au silicate melt/aqueous fluid in mantle wedge: inferred from Ni metasomatism in Avacha peridotite xenolith. *Goldschmidt2011*, 2011.8.18, Prague.
6. 石丸聡子・荒井章司・Borisova, A. Y.・田村明弘. カムチャツカ弧, アバチャ火

山産かんらん岩捕獲岩中の白金族元素に富むクレイ. 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011. 5. 22, 幕張メッセ (千葉).

7. Ishimaru, S., Arai, S. and Mizukami, T. Methane inclusions in olivine in titanoclinohumite-bearing meta-dunite from the Sanbagawa high-P metamorphic belt, Japan. European Geosciences Union, General Assembly 2011, 2011. 4. 5, Vienna International Centre (Vienna).
8. 石丸聡子・荒井章司. オマーンオフィオライト底部のかんらん岩: スラブ直上マンツルのアナログ? 日本鉱物科学会 2010 年大会, 2010. 9. 25, 島根大学 (松江).
9. 石丸聡子・荒井章司・石田義人・Smith, D. アメリカ, グリーンノブの岩水マンツルかんらん岩捕獲岩の地球化学的特徴. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010. 5. 24, 幕張メッセ (千葉).
10. 荒井章司・石丸聡子・沢田亮. 奇妙なかんらん岩, 藤原ダナイト (四国三波川帯): (1) ダナイトの成因. 日本鉱物科学会 2009 年大会, 2009. 9. 10, 北海道大学 (札幌).
11. 石丸聡子・荒井章司・田村明弘. 奇妙なかんらん岩, 藤原ダナイト (四国三波川帯): (2) チタノクリノヒュマーイトの形成. 日本鉱物科学会 2009 年大会, 2009. 9. 10, 北海道大学 (札幌).
12. Ishimaru, S., Arai, S. and Sawada, R. Petrogenesis of titanoclinohumite-bearing dunites from Fujiwara, Sambagawa metamorphic belt, Shikoku, Japan. Asia Oceania Geosciences Society

2009. 7th Annual Meeting, 2009. 8. 12, Suntec International Convention & Exhibition Centre (Singapore).

13. Ishimaru, S., Arai, S. and Shukuno, H. Metals in oxidized and metasomatized peridotite xenoliths derived from the mantle wedge. Goldschmidt 2009, 2009. 6. 25, Congress Centre (Davos).
14. 石丸聡子・荒井章司・川本竜彦・山本順司. 火山フロント下マンツル中の流体: アバチャかんらん岩のかんらん石・斜方輝石中の包有物. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 2009. 5. 16, 幕張メッセ (千葉).
15. Ishimaru, S., Arai, S. and Shukuno, H. Metals in oxidized and metasomatized peridotite xenoliths derived from the mantle wedge. European Geosciences Union, General Assembly 2009, 2009. 4. 23, Vienna International Centre (Vienna).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石丸 聡子 (ISHIMARU SATOKO)
熊本大学・大学院自然科学研究科・助教
研究者番号: 60464046

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

荒井 章司 (ARAI SHOJI)
金沢大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号: 20107684