

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：17401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2021

課題番号：16K17834

研究課題名(和文) 島弧由来マントル岩による島弧マントルの岩石学的性質の解析：一般性と特殊性

研究課題名(英文) Research on petrological features of sub-arc mantle by arc-derived peridotites: an ordinary or extraordinary

研究代表者

石丸 聡子 (ISHIMARU, Satoko)

熊本大学・大学院先端科学研究部(理)・准教授

研究者番号：60464046

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：島弧マントル最上部に由来する捕獲岩やオフィオライトのカンラン岩テクトナイトと、沈み込む海洋プレート直上での現象を記録していると推定される変成岩に伴う超苦鉄質岩類について岩石記載と機器分析をおこない、マントルウェッジでの交代作用の一般性について検討した。変形作用を被った細粒カンラン岩は、軽希土類元素やLIL元素に富み、含水鉱物や直方輝石などの水流体との相互反応により形成される鉱物に富んでいることが分かった。カンラン岩への水流体の流入が変形作用と同時か否かについては更なる検証が必要であるが、細粒カンラン岩はより交代作用を受けていることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

カンラン岩捕獲岩や固体貫入カンラン岩体類を用いて、島弧マントルカンラン岩の基本的な特徴とそこで記録された交代作用を明らかにした。観察された特徴の一般性/特殊性についてはまだ明確な答えは得られていないが、条件が揃えばマントル中に遷移金属や白金族元素が濃集すると考えられ、そのメカニズムの解明は全地球的な元素の移動を検討する上で重要である。

研究成果の概要(英文)：Based on our previous research, we detected some (fine-grained) peridotite xenoliths from Avacha volcano record various metasomatic events, and interpreted that the features were obtained by unknown type melt/fluid which derived down going slab. We speculate the characters are not atypical but typical in some mantle wedge beneath the volcanic front. To check the hypothesis, we made petrological and geochemical descriptions of sub-arc mantle derived peridotites and characterized their metasomatic process(es).

We obtained incompatible trace-element (light rare earth and large ion lithophile elements) rich features in some deformed (fine-grained) peridotites (e.g., Finero peridotite massif and Oman ophiolite) and which contain hydrous minerals (amphiboles and phlogopite) and orthopyroxene which implies that the peridotites are metasomatized by hydrous fluid(s) and/or melt(s). We are still not sure the feature is typical or atypical in a mantle wedge, and need much more detailed research.

研究分野：岩石学

キーワード：島弧マントル 記載岩石学 地球化学 マントル交代作用 変形作用

1. 研究開始当初の背景

マントル捕獲岩は、マグマが運搬するマントル物質の礫であり、固体貫入岩やオフィオライトともに地球深部物質に関する直接的情報源として極めて重要である。既知の地質学的背景を反映するマントル物質として、捕獲岩類はほかのマントル起源物質より圧倒的に優れている。2000年代以前は、大陸リフト帯やクラトン、海洋ホットスポットに比べて、島弧由来のカンラン岩捕獲岩は稀であったが、近年その産出が増え、特に火山フロント下マントルの物質学的・化学的性質が明らかになりつつあった。これまでの島弧マントル捕獲岩についての研究および、申請者らの研究により、島弧マントルでは、シリカ成分に富む複数種類のメルト/流体による改変が普遍的に起きていることを明らかにしていた。ところが、カムチャツカ弧のアバチャ火山に由来する細粒のマントルカンラン岩捕獲岩には、強い変形作用やこれまで全く知られていなかったタイプの交代作用(ニッケル交代作用・マントル還元作用など: Ishimaru & Arai, 2008; Ishimaru et al. 2009)を被っているものが発見されていた。これら現象が、カムチャツカ弧に特異の現象であるのか、それとも島弧マントルでは普遍的であるが物理的制約があったために未検知であったのかについての評価ができていなかった。また、その現象が普遍的であったとしても、捕獲岩サイズからの制約により、マントル中でどの程度空間的な広がりがあるのかについての情報も得られていなかった。

2. 研究の目的

島弧マントルは沈み込む海洋プレートによって放出された流体や先行したマグマによって様々に改変され、特に火山フロント下での改変過程は多岐にわたっている。島弧マントルに由来するカンラン岩には、共通して観察される特徴(含水鉱物の形成や高い部分熔融程度の溶け残り岩としての性質など)と、これまで限られた地域でしか観察されていない特徴(高変形や遷移元素の濃集・除去作用など)が確かめられている。島弧に産するカンラン岩捕獲岩や、島弧セッティングを経て地表に貫入/衝上した固体貫入カンラン岩体に観察される基本的な性質を普遍的なものと局所的なものに分類し、島弧マントルの諸現象がおきる物理的条件について系統的に検討する。また、マントル物質学に基づいた島弧マントルのモデルを提案することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 試料の入手

申請者のこれまでの研究により、島弧マントル最上部に由来するカンラン岩捕獲岩は、カムチャツカ弧のアバチャ火山、シベルツチ火山、ベズミヤーニ火山およびルソン-台湾弧のイラヤ火山などから採集/共同研究者から試料を入手していたため、そちらを用いた。また、島弧マントルの中でもスラブ直上での改変作用などの系統的理解のために、イタリア、フィネロ岩体での現地調査での試料採集おこない、北海道日高山地のウエンザル岩体試料を金沢大学の荒井名誉教授からご提供いただいた。また、申請者がこれまでに入手しているオマーンオフィオライト底部の蛇紋岩化したカンラン岩や、島弧環境下で形成されたと考えられているトルコのメルシンオフィオライト、極域ウラルに露出するライイズ・オフィオライトの変成カンラン岩などについても研究をおこなった。

特に、特異な交代作用の痕跡を持つカンラン岩は、カムチャツカ弧アバチャ火山の強く変形を被ったものであったため、捕獲岩および固体貫入カンラン岩体の両者共に、強く変形を被っているものに特に注目して研究をおこなった。

(2) 試料の処理と機器分析

本研究の目的を達成するため、既存の試料に加え、新たに採取した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や流体包有物の基本的性質の解析をおこなった。特に、以下の分析機器を主に用いて研究を進めた。研究に使用した岩石薄片は、申請者および研究協力者の学部学生/大学院生が作成したもの、アースサイエンス株式会社に依頼し作成したものをを用いた。

- 電子線マイクロアナライザー (EPMA) およびエネルギー分散型 X 線分析装置 (EDS) を装備した電界放出型走査電子顕微鏡 (FE-SEM)
- 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) (金沢大学理工学域に設置)
- 顕微ラマン分光装置 (熊本大学理学部に設置)
- 加熱冷却ステージ (熊本大学理学部に設置)

また、全岩での主要・微量元素組成の分析は、カナダの Activation Laboratory Ltd. に依頼した。

4. 研究成果

変形作用を被っている北海道のウエンザル岩体およびイタリアのフィネロ岩体の試料について、全岩化学組成 (主要・微量元素) を測定した。その結果、細粒部には金雲母や角閃石などの含水鉱物と直方輝石に富み、軽希土類元素や LIL 元素などに富むことが分かった。また、細粒部には硫化鉱物が粗粒部に比べて多く存在し、軽希土類元素や LIL 元素などに富む流体は、硫黄にも同時に富んでいた可能性が高い。これまでの申請者の研究により、細粒カンラン岩の全岩での微量元素組成は軽希土類元素に富み、細粒カンラン岩が交代作用を引き起こした流体の通り道であった、もしくは流体が浸入することによる変形作用があった可能性が示唆されていた (Ishimaru et al., 2012_AOGS2012 要旨)。フィネロ岩体で観察された交代作用が、細粒化と同時であったか否かについての結論はまだ出ていないが、偏光/電子顕微鏡での観察や鉱物化学組成の詳細な検討をおこない、今後更に検証をおこなう。

また、スラブ直上のマントルでの現象の理解のために、変成岩に伴うカンラン岩体についての研究をおこなった。長崎県西彼杵半島に露出する西彼杵変成岩体中の蛇紋岩類についての研究の一部は Nishiyama et al. (2021) として Scientific Reports に掲載され、北極圏ウラル、ライズ岩体中の H_2O-CO_2 流体により改変されたカンラン岩についての研究は投稿論文を準備中である。

広範囲にわたって露出しているトルコのメルシンオフィオライトのカンラン岩テクトナイトについての研究 (Ishimaru et al., 2018) や、フィリピン中央部のロンブロン諸島に露出する超苦鉄質岩類についての研究 (Payot et al., 2021) は、捕獲岩で得られていた島弧マントル最上部の岩石学的特徴と合わせることで、島弧下マントルを広く理解できるようになった。

カンラン岩捕獲岩をもちいたマントル最上部で観察される交代作用についての検討

も進めたが、いずれの内容についてもまだ考察段階にあり、引き続き岩石薄片の偏光/電子顕微鏡での観察や追加実験が必要である。

アバチャ火山のカンラン岩捕獲岩で観察された現象が特異であるのか、一般的であるのかについての明確な答えはまだ得られていないが、これまで他の地域から同様の報告がなされていない。特異な現象を捉えた可能性もあるが、依然島弧マントル由来のカンラン岩捕獲岩の産出例が少ないことを考えると、まだ全貌を捉え切れていない可能性は排除できず、更なる検証が必要である。

<引用文献>

- Ishimaru, S. and Arai, S. (2008) Nickel enrichment in mantle olivine beneath a volcanic front. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 156, 119-131.
- Ishimaru, S., Arai, S. and Shukuno, H. (2009) 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.
- Ishimaru, S., Saikawa, Y., Miura, M., Parlak, O. and Arai, S. (2018) Decoding of mantle processes in the Mersin ophiolite, Turkey, of end-member arc type: Location of the Boninite Magma Generation. *Minerals*, 8(10), 464.
- Nishiyama, T., Ohfuji, H., Fukuba, K., Terauchi, M., Nishi, U., Harada, K., Unoki, K., Moribe, Y., Yoshiasa, A., Ishimaru, S., Mori, Y., Shigeno, M. and Arai, S. (2020) Microdiamond in a low-grade metapelite from a Cretaceous subduction complex, western Kyushu, Japan. *Scientific Reports*, 10(1), 11645.
- Payot, B.D., Ishimaru, S., Tamura, A., Dimalanta, C., Yumul, G. Jr. and Arai, S. (2021) Remarkably fresh abyssal peridotites from Sibuyan island, Romblon Island Group, Philippines: Markers of young arc-continent collision. *Journal of Asian Earth Sciences*, X5, 100051.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Nishiyama, T., Ohfuji, H., Fukuba, K., Terauchi, M., Nishi, U., Harada, K., Unoki, K., Moribe, Y., Yoshiasa, A., Ishimaru, S., Mori, Y., Shigeno, M., Arai, S.	4. 巻 10
2. 論文標題 Microdiamond in a low-grade metapelite from a Cretaceous subduction complex, western Kyushu, Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 11645
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-68599-7	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 Arai Shoji, Ishimaru Satoko, Miura Makoto, Akizawa Norikatsu, Mizukami Tomoyuki	4. 巻 10
2. 論文標題 Post-Serpentinization Formation of Theophrastite-Zaratite by Heazlewoodite Desulfurization: An Implication for Shallow Behavior of Sulfur in a Subduction Complex	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Minerals	6. 最初と最後の頁 806 ~ 806
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/min10090806	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 Arai, S., Hoshikawa, C., Miura, M., Ando, J., Ishimaru, S., Mochizuki, N., Tamura, A.	4. 巻 384-385
2. 論文標題 Dehydrogenation of deep-seated hydrous olivine in "black-colored" dunites of arc origin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Lithos	6. 最初と最後の頁 105967 ~ 105967
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.lithos.2021.105967	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Valera Gabriel Theophilus V., Payot Betchaida D., Arai Shoji, Takeuchi Miyuki, Ishimaru Satoko, Tamura Akihiro	4. 巻 374
2. 論文標題 Petrologic nature of the active subarc crust-mantle boundary: Mixed magmatic-metasomatic processes recorded in xenoliths from Sabtang island, Luzon arc	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Volcanology and Geothermal Research	6. 最初と最後の頁 80 ~ 99
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jvolgeores.2019.02.010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Miura Makoto, Arai Shoji, Mizukami Tomoyuki, Shmelev Vladimir, Ishimaru Satoko	4. 巻 8
2. 論文標題 Petrology of Chromitites in the Higashi-Akaishi Ultrahigh-Pressure (UHP) Peridotite Complex, Japan: Toward Understanding of General Features of the UHP Chromitites	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Minerals	6. 最初と最後の頁 525 ~ 525
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/min8110525	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 Ishimaru Satoko, Saikawa Yuji, Miura Makoto, Parlak Osman, Arai Shoji	4. 巻 8
2. 論文標題 Decoding of Mantle Processes in the Mersin Ophiolite, Turkey, of End-Member Arc Type: Location of the Boninite Magma Generation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Minerals	6. 最初と最後の頁 464 ~ 464
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/min8100464	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 荒井章司、石丸聡子	4. 巻 124
2. 論文標題 島弧上部マントルの岩石学的性質：何が固有か？	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 地質学雑誌	6. 最初と最後の頁 551-573
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5575/geosoc.2017.0037	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ishimaru Satoko, Arai Shoji, Tamura Akihiro	4. 巻 292-293
2. 論文標題 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	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Lithos	6. 最初と最後の頁 334 ~ 347
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.lithos.2017.09.022	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kobayashi Masahiro, Sumino Hirochika, Nagao Keisuke, Ishimaru Satoko, Arai Shoji, Yoshikawa Masako, Kawamoto Tatsuhiko, Kumagai Yoshitaka, Kobayashi Tetsuo, Burgess Ray, Ballentine Chris J.	4. 巻 457
2. 論文標題 Slab-derived halogens and noble gases illuminate closed system processes controlling volatile element transport into the mantle wedge	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 106 ~ 116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2016.10.012	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

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 望月伸竜, 石丸聡子, 荒井章司
2. 発表標題 幌満かんらん岩体の新鮮なダナイトの岩石磁気学的研究
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三浦真, 荒井章司, 石丸聡子, Shmelev, Vladimir R.
2. 発表標題 北極圏ウラル産ヒスイの宝石学的特徴
3. 学会等名 2019年度 宝石学会 (日本) 講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ishimaru, S., Sonoda, R., Miura, M., Shelve, V.R. and Arai, S.
2. 発表標題 Peculiar orthopyroxenites from the Ray-I peridotite massif in the Polar Orals: Fossil path of CO ₂ -bearing aqueous fluids in the upper mantle
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Isihmaru, S., Saikawa, Y., Miura, M., Parlak, O. and Arai, S.
2. 発表標題 Petrology of ultramafic rocks of the Mersin ophiolite, southern Turkey: deciphering mantle-wedge processes.
3. 学会等名 3rd European Mantle Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石丸聡子, 犀川雄二, 三浦真, Parlak, Osman, 荒井章司
2. 発表標題 島弧オフィオライトから読み取る上部マントル火成作用: トルコ、メルシンオフィオライトの例
3. 学会等名 日本鉱物科学会2018年年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石丸聡子, 荒井章司
2. 発表標題 オマーンオフィオライト, フィズ岩体底部で採取した軽希土類元素に富むかんらん岩転石の岩石学
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2016年大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 荒井章司, 石丸聡子, 三浦真, 秋澤紀克, 水上知行, 西山忠男
2. 発表標題 藤原かんらん岩 (愛媛県三波川帯) の theophrastite (テオフラスタイト; $Ni(OH)_2$) の産状と成因
3. 学会等名 日本鉱物科学会平成28年年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 石丸聡子, Borisova, Y. A., 田村明弘, 荒井章司
2. 発表標題 マントルウェッジでの流体による白金族元素の運搬
3. 学会等名 日本鉱物科学会平成28年年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 犀川雄二, 石丸聡子, 荒井章司, 三浦真, Parlak, Osman
2. 発表標題 メルシンオフィオライトから読み取る島弧マントル過程
3. 学会等名 日本鉱物科学会平成28年年会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>長崎県西海市の西彼杵（にしそのぎ）変成岩からマイクロダイヤモンドを発見 https://www.kumamoto-u.ac.jp/whatsnew/sizen/20200730</p>

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			
ロシア連邦	Russian Academy of Sciences	Ural Branch	Zavaritsky Institute of Geol. & Geochem.	
トルコ	Chukurova University	Engineering Faculty	Department of Geological Engineering	他1機関
フランス	Geosciences Environment Toulouse	Observatoire Mid-Pyrenees		