

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25年 5月31日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2010～2012

課題番号：22244069

研究課題名（和文） 沈み込み帯マンタルの不均質性の解明：地球化学トモグラフィーに向けて

研究課題名（英文） Heterogeneity of subduction zone mantle: Towards geochemical tomography

研究代表者

岩森 光 (IWAMORI HIKARU)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：80221795

研究成果の概要(和文):沈み込み帯の火山岩組成から、沈み込んだスラブ由来成分を取り除き、マンタル同位体組成およびその地球規模での不均質性を読取ること成功した。海洋玄武岩と合わせた解析の結果、地球のマンタルがおよそ東西半球に分かれることが分かった。超大陸下への集中した沈み込みが原因で、水溶液成分が東半球下に濃集した一方、西半球下はそのような成分に乏しいことを表すと考えられる。

研究成果の概要(英文): We have successfully estimated the mantle isotopic compositions and their global distribution, based on the compositions of arc volcanic rocks, by evaluating the slab-derived components. A combined analysis with oceanic basalts has revealed for the first time the presence of east-west hemispherical structure: the mantle in the eastern hemisphere is enriched in subducted hydrophile components, being possibly brought into the mantle by focused subduction towards the supercontinent once existed in the eastern hemisphere, whereas that in the western hemisphere is not.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	33,200,000	9,960,000	43,160,000
2011年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2012年度	2,400,000	720,000	3,120,000
年度			0
年度			0
総計	37,600,000	11,280,000	48,880,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地球宇宙化学

キーワード：地殻・マンタル化学、沈み込み、不均質

1. 研究開始当初の背景

(1) 地球のマンタル組成は、主に海洋玄武岩のみから制約されており、大規模構造を解像することすら出来ていなかった。また、プレートの沈み込みとマンタル対流に伴い、地表付近で生成された不均質が地球内部で攪

拌され、不均質がかなりランダムに混合している、という描像が定着していたが、それらを統計的に処理することが出来ていなかった。

(2) 一方、沈み込み帯の火山岩組成から島弧下のマンタル組成を読み出す試みが進行

していた。特に、日本列島においては、沈み込み物質に由来する「スラブ由来成分」と、それが加わる前のマントル組成を分離して検出することが可能となりつつあった。これとは別個に、岩石の統計的解析手法に、比較的新しい独立成分分析が導入され、地球規模のデータベースを客観的に解析する手法が提案されつつあった。

2. 研究の目的

本研究は、全地球規模のマントルの地球化学独立成分マップとその構造の成因を解明すること、いわば、地球化学トモグラフィーを構築することを目的とする。地震波トモグラフィーとは独立な情報からマントルの構造やダイナミクスに制約を与え、これらを統合することで新しい描像を得ることが研究期間を超えた大きな目標である。

(1) このために、まず沈み込み帯マントルの不均質の地球化学的性質と広域変化を、日本列島での詳細研究に基づいて明らかにし、その知見・手法を世界の沈み込み帯に応用する。

(2) その結果得られる沈み込み帯マントルの不均質構造と、海洋玄武岩から得られるマントル不均質構造を統合して解析し、全世界を覆う高密度な地球化学独立成分マップを描くことができると期待される。

3. 研究の方法

(1) 日本列島における火山岩の詳細な化学組成と同位体分析に基づき、マントル組成とスラブ由来組成を分離する。Sr, Nd, Pb ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) の同位体比を用い、これらの同位体比に関する島弧火山岩の組成変化および沈み込み物質 (変質した玄武岩質海洋性地殻 (AOC) と堆積物 (SED)) の同位体組成に基づき、島弧下のマントルに加わったスラブ由来物質の量と火山岩組成を再現するマントル組成を同時に求める

(2) (1) のマントル組成を日本列島全域でマッピングし、不均質の有無を調べる。

(3) (2) の方法を既存のデータベースに応用し、世界中の沈み込み帯火山岩から、広域的マントル不均質を読み取る。

(4) 海洋玄武岩の解析と合わせ、グローバルなマントル不均質を多変量解析によって読み出す。

4. 研究成果

(1) 日本列島弧 (北から千島、東北日本、中部日本、琉球、伊豆-小笠原) に分布する島弧型火山岩の化学・同位体組成分析に基づき、スラブ由来流体の流入前のマントル組成を見積もった。特に、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs. $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ のペアが両者を見積もるのに有効であることが分かった。

(2) (1) の結果をマッピングしたところ、マントル組成が広域的に変化していることを見出した。日本列島下は、主にインド洋型のマントルが卓越していることが分かると同時に、東北日本と琉球弧下のマントルはその性質が強い一方、千島弧は比較的弱いことが分かった。

(3) この方法を全世界の沈み込み帯火山岩組成に応用した。データは既存の GEOROC データベースを用いた。その結果、環太平洋のおよそ西側と東側でマントル組成が大きく変化することを見出した。

(4) 島弧の火山岩組成を、海洋玄武岩 (海嶺・海洋島) のデータと合わせて解析することで、グローバルにマントル組成をマッピングした。海洋玄武岩は、再び GEOROC データベースを用い、独立成分分析により解析を行った。その結果、地球のマントルがおおよそ日付変更線付近を堺に、東西半球に分かれることを見出した。これらの分布とマントルの化学的特徴は、数億年前に存在した超大陸下への集中した沈み込みが、そのような構造をもたらしたことを示す。現在、大陸は離散したものの、マントル中の化学的半球ドメインは大きくは広がらず、大陸-リソスフェアとアセノスフェアがデカップルしており、かつリソスフェア全体がアセノスフェアに対して西に回転 (ネットローテーション) していることが示された。

(5) また、結果の (1) と (2) に関連し、沈み込んだ AOC や SED 物質の微量元素化学組成および脱水や溶融に関する固体-液体間の分配係数、および手法の (1) で示したスラブ由来成分の付加量に基づき、島弧下のマントルの微量元素化学組成を推定することができた。このマントル組成を出発物質とし、溶融度と残存鉱物のモード組成 (より具体的にはカンラン岩中のスピネルとガーネットの量比) をパラメーターとするインバージョン解析を行った: すなわち、火山岩微量元素化学組成をもっとも良く再現するパラメーターを、最適化

手法を用いて推定することに成功した。これらのパラメータは、カンラン岩の含水相平衡図を介して熔融の温度・圧力条件に焼きなおすことができるため、「火山岩の微量元素化学組成→熔融の温度・圧力条件」の翻訳が可能になったといえる。さらに、この手法を中部日本の火山岩に適用したところ、従来、高温の沈み込み場と沈み込んだスラブの熔融に対応すると考えられていた「アダカイト」と分類される岩石が、実際には中部日本のような低温の沈み込み帯においても生産されることを定量的に示した。その温度は摂氏1000~1050度、深さはスピネルかんらん岩とガーネットかんらん岩の遷移相からカーネットかんらん岩のみの領域(約80~90kmの深度)である。沈み込む太平洋とフィリピン海プレートの両方から供給される多量の液相濃集元素(Srを含む)と、低温ゆへの熔融残存固相中のガーネットの存在(共存するメルト中の高いYおよびHREE濃度をもたらす)が組み合わせることにより、アダカイトが生産されたことが分かった。この手法は、アダカイトのみならず、通常の島弧火山岩にも適応可能であり、1. 全世界の島弧下の熔融温度・圧力条件を定量2. 化することが可能となりつつある。

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9件)

① Nakamura, H., and Iwamori, H. (2013) Generation of adakites in a cold subduction zone due to double subducting plates. *Contrib. Mineral. Petrol.* 165, 1107-1134. 査読有.

② Iwamori, H., and Nakakuki, T. (2013) Fluid processes in subduction zones and water transport to the deep mantle. In: *Physics and Chemistry of the Deep Earth* (ed. S. Karato), Elsevier, Amsterdam, 446-468. 査読有.

③ Ueki, K., and Iwamori, H. (2013) Thermodynamic model for partial melting of peridotite by system energy minimization. *Geochem. Geophys. Geosys.*, doi:10.1029/2012GC004143. 査読有.

④ 岩森光, 中村仁美 (2012) 沈み込み帯での地殻流体の発生と移動のダイナミクス. *地学雑誌*, 121, 118-127. 査読有.

⑤ Iwamori, H., and Nakamura, H. (2012) East-west mantle geochemical hemispheres constrained from

Independent Component Analysis of basalt isotopic compositions. *Geochem. J.* 46, e39-e46. 査読有.

⑥ 中村仁美, 岩森光 (2011) スラブ起源流体と沈み込み帯でのマグマ生成, *地学雑誌*, 119, 1054-1062. 査読有.

⑦ Kato, Y., Fujinaga, K., Nakamura, K., Takaya, Y., Kitamura, K., Ohta, J., Toda, R., Nakashima, T., and Iwamori, H. (2011) Deep-sea mud in the Pacific Ocean as a potential resource for rare-earth elements. *Nature Geoscience*, vol. 4, 535-539. 査読有.

⑧ Iwamori, H., Albarède, F., and Nakamura, H. (2010) Global structure of mantle isotopic heterogeneity and its implications for mantle differentiation and convection, *Earth Planet. Sci. Lett.*, doi:10.1016/j.epsl. 2010.09.014. 査読有.

⑨ Richard, G. C., and Iwamori, H. (2010) Stagnant slab, wet plumes and Cenozoic volcanism in East Asia. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 183, 280-287. 査読有.

[学会発表] (計10件)

① Iwamori, H. (2011) Mantle Compositional Variability Constrained from Arc and Oceanic Basalts, *Goldschmidt Conference*, 8月18日, Prague.

② Iwamori, H. (2011) Fluid Processes in Subduction Zones and Global Water Circulation, *Goldschmidt Conference*, 8月18日, Prague. (Keynote)

[図書] (計3件)

① 中村仁美, 岩森光, 沈み込み帯の物質循環とスラブ流体, *宇宙と地球の科学事典*, 朝倉書店, 228-229, 2012. (著書)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩森 光 (IWAMORI HIKARU)
東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号: 80221795

(2) 研究分担者

横山 哲也 (YOKOYAMA TETSUYA)
東京工業大学・理工学研究科・准教授
研究者番号: 00467028

平田 岳史 (HIRATA TAKAFUMI)
京都大学・理学(系)研究科(研究院)・
教授
研究者番号: 10251612

中村 仁美 (NAKAMURA HITOMI)
東京工業大学・理工学研究科・特任助教
研究者番号: 60572659