

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 3 日現在

機関番号：16301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26800237

研究課題名(和文) マントルへ沈み込んだ大陸地殻物質の量の推定と、マントル対流への影響

研究課題名(英文) Estimate of subduction rate of continental crust materials and its effect on mantle convection

研究代表者

市川 浩樹 (Ichikawa, Hiroki)

愛媛大学・地球深部ダイナミクス研究センター・WPI研究員

研究者番号：50570503

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：伊豆・小笠原諸島は、本州に衝突後、一部が本州の下に沈み込んでいると考えられている。本研究では、伊豆半島などの海洋性島弧の沈み込み過程を取り扱うことのできる二次元の数値計算モデルを開発し、系統的にパラメータを変化させながら、多数の計算を行った。その結果、伊豆半島と同じくらいの大サイズの島弧では、沈み込むスラブの温度が平均的な値である場合、島弧を構成する大陸地殻物質の20%程度の量が地下300km付近まで、沈み込めることがわかった。また、より小規模な海洋性島弧では、より多くの割合の大陸地殻物質がマントル深部まで沈み込めることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：The Izu-Bonin arc is considered to be partially subducting underneath the island of Honshu after the vertical collision with Honshu. In this study, 2-D numerical code for the analysis of subduction processes of oceanic arcs was created and calculations are carried out with various parameters. The results show that about 20% of the felsic crust materials in oceanic arcs that are comparable in size to the Izu-Bonin arc can be subducted into about 300 km depth when the temperature of the subducting slab is of the usual value. When the size of the arc is smaller, the subduction rate of felsic crust materials into the deep mantle grows larger.

研究分野：固体地球物理学

キーワード：固体地球惑星物理学 地球・惑星内部構造 大陸地殻 島弧の衝突・沈み込み

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年の地質学的な研究によると、年間 $3\text{-}5\text{km}^3/\text{yr}$ もの大陸地殻物質が、密度がマントル物質に比べ低いにも関わらず、地表からマントルに向けて沈み込んでいることが示されている(引用文献①、②)。積算すると、地表に現存する大陸地殻の総体積に匹敵する量が地球の歴史において沈み込んだことになる。大陸地殻物質が沈み込む原因には、大陸地殻のデラミネーションや、大陸同士の衝突による沈み込み、海洋堆積物の沈み込み、沈み込むスラブによる地殻の構造浸食、島弧の沈み込み等がある。このうち、最後の三つの過程は、スラブによって引きずられて沈む過程であり、もっとも寄与が大きいと考えられている。一方、第一原理計算による密度の計算(引用文献③)により、深さ 300km から 800km では、大陸地殻物質は周囲のマントル物質よりも密度が大きいことが示され、遷移層周辺から下部マントルに至る領域に大陸地殻物質が溜まる可能性が示唆されている。

(2) その深さ 300km まで到達できる大陸地殻物質の量については、近年、スラブに垂直な方向の一次元数値計算を用いて見積もられた(引用文献④)。その結果によると、地表から沈み込んだ大陸地殻物質は、ほとんどの量が深さ 300km まで到達することが推定された。

(3) しかしながら、日本列島に沈み込んでいる伊豆諸島のような島弧のマントル深部への沈み込み量については、評価されていない。これは、前述の一次元モデルで島弧の沈み込み過程を扱うことができないからである。島弧の沈み込みに対しては、二次元数値計算モデルを用いる必要がある。

(4) 一方、大陸地殻には、大量の放射性熱源が含まれているため、大陸地殻物質は熱源としてマントル対流に大きな影響を与えられている。特に、大陸地殻物質は、沈み込み帯や大陸相互の衝突帯に沿って沈み込むので、大陸の下部に大陸地殻物質が溜まっている可能性が大きい。近年、応募者らによって、大陸地殻物質について単純な空間分布を仮定した流体数値計算が行われた。その結果により、沈み込んだ大陸地殻物質は大陸の分裂に大きな影響を与え得ることが確認された(引用文献⑤)。より詳細な評価を行うためには、沈み込んだ大陸地殻物質に対し、より現実的な分布を仮定した数値計算が必要である。

2. 研究の目的

(1) 海洋性島弧の沈み込み過程を取り扱える二次元計算コードを開発し、マントル深部に沈み込んだ大陸地殻物の量を数値計算によ

り、明らかにする。さらに、それが、マントル対流、特に大陸移動に与える影響を評価する。

3. 研究の方法

(1) 島弧が沈み込むスラブの直上の流れを計算するために、スラブの進行方向に垂直な平面に流体方程式を二次元化した数値計算モデルを作成する。このモデルでは、スラブの進行方向への変化量が微小と近似することによって次元を落とし、高解像度での計算を可能にする。この緩やかに変化する方向(スラブの進行方向)に対しては、深さ毎に二次元モデルを計算する。その深さ毎の計算の結果を接続することによって、沈み込む島弧内での速度場など、三次元的な構造を推定することにより、マントル深部まで沈み込む大陸地殻の量を推定する。

(2) 既存のスラブ沈み込み二次元対流計算コードを大陸地殻物質を含んだコードに拡張する。この計算コードを用いた計算により、大陸地殻のマントル内での空間分布を明らかにし、沈み込んだ大陸地殻物質がマントルの熱史に与える影響の評価を行う。

4. 研究成果

(1) 海洋性島弧の沈み込み過程を取り扱える二次元の数値計算コードを作成した。このコードは有限要素法に基づいており、島弧のジオメトリ、サイズ、温度等を変更するのは容易である。また、スラブ沈み込み対流計算モデルの開発も終了した。

(2) 本研究で開発した島弧の沈み込み過程用の計算コードを用いて、数値計算を行った(図1)(雑誌論文③)。伊豆半島を模したジオメトリで、深さごとに温度や島弧サイズを変化させ、多数の計算を行うことにより、伊豆半島を構成する大陸地殻物質の沈み込み過程を明らかにした。その結果、伊豆半島と同じくらいの大きさの島弧では、沈み込むスラブの温度が平均的な値である場合、島弧を構成する大陸地殻物質の20%程度の量が地下 300km 付近まで、沈み込めることがわかった(図2)。

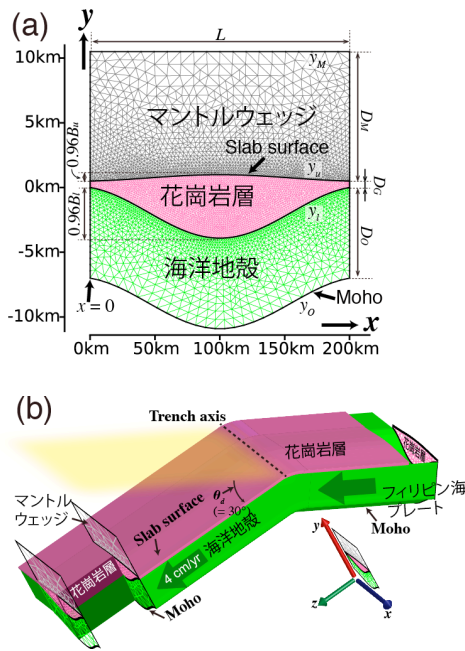


図1 島弧の沈み込み過程用の数値計算のメッシュ(a)と概念図(b)

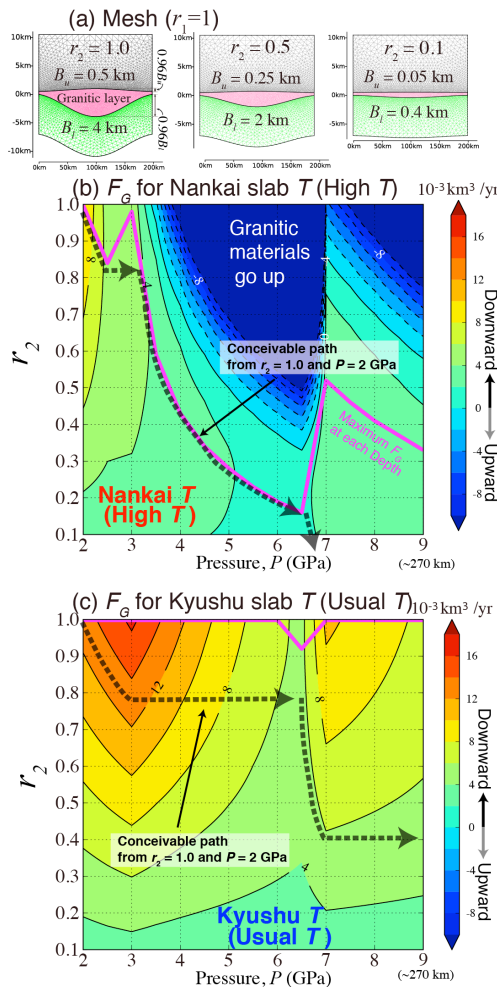


図2 沈み込むにつれ、厚みを減少させていく島弧の様子を数値計算により再現した例

(3) また、沈み込む島弧の大きさを系統的に変えて行った数値計算の結果より、九州-パラオ海嶺などの小規模な海洋性島弧では、より多くの割合の大陸地殻物質がマントル深部まで沈み込めることが明らかになった。さらに沈み込むスラブの温度を系統的に変化させ行った数値計算の結果より、暖かいスラブでは島弧を構成する大陸地殻物質はマントル深部まで、ほとんど沈み込めないことも明らかになった。

(4) それらの結果を総括して、島弧の沈み込みにより、現在、マントル深部に沈み込んでいる大陸地殻物質の総量の見積もりを行った。さらに、太古代以降、マントル深部に沈み込んだ大陸地殻物質の総量を見積もった結果、地表に現存する大陸地殻物質の総量に匹敵する量の大陸地殻物質が沈み込んだ可能性があることがあきらかになった。この大陸地殻物質は、大陸下に存在する可能性が高く、熱源として、大陸分裂に大きな影響を与えていると考えられる。

(5) また、マグマオーシャン固化直後に存在したと考えられている斜長岩と KREEP からなる原始地殻の沈み込み過程をモデル化し、数値計算を行った結果、初期地殻形成後 20 億年以内に、地球の表層から全て沈み込んだことが推察された。

<引用文献>

- Clift, P. D., P. Vannucchi, and J. P. Morgan, Crustal redistribution, crust-mantle recycling and Phanerozoic evolution of the continental crust, *Earth Sci. Rev.*, 97(1-4), 2009, 80-104, doi:10.1016/j.earscirev.2009.10.003
- Stern, R. J., and D. W. Scholl, Yin and yang of continental crust creation and destruction by plate tectonic processes, *Int. Geol. Rev.*, 52(1), 2010, 1-31.
- 河合研志, 土屋卓久, 丸山茂徳, 第二大陸, *地学雑誌*, 119, 2010, 1197-1214
- Ichikawa, H., K. Kawai, S. Yamamoto, and M. Kameyama, Supply rate of continental materials to the deep mantle through subduction channels, *Tectonophysics*, 592, 2013, 46-52, doi:10.1016/j.tecto.2013.02.001.
- Ichikawa, H., M. Kameyama, and K. Kawai, Mantle convection with

continental drift and heat source around the mantle transition zone, *Gondwana Res.*, 24(3-4), 2013, 1080-1090, doi:10.1016/j.gr.2013.02.001.

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4件)

- ① Hiroki Ichikawa, Steve Gréaux, and Shintaro Azuma, Subduction of the primordial crust into the deep mantle, 査読有, *Geoscience Frontiers*, 8(2), 2017, 347-354, doi:10.1016/j.gsf.2016.08.003
- ② Hiroki Ichikawa, Shinji Yamamoto, Kenji Kawai, and Masanori Kameyama, Estimate of subduction rate of island arcs to the deep mantle, 査読有, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121, 2016, 5447-5460, doi:10.1002/2016JB013119
- ③ Hiroki Ichikawa, and T. Tsuchiya, Atomic transport property of Fe-0 liquid alloys in the Earth's outer core P,T condition, 査読有, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 247, 2015, 27-35, doi:10.1016/j.pepi.2015.03.006
- ④ Hiroki Ichikawa, Masanori Kameyama, Hiroki Senshu, Kenji Kawai, and Shigenori Maruyama, Influence of majorite on hot plumes, *Geophysical Research Letters*, 査読有, 41, 2014, 7501-7507, doi:10.1002/2014GL061477

[学会発表] (計9件)

- ① Hiroki Ichikawa, Kenji Kawai, Shinji Yamamoto, and Masanori Kameyama, Estimate of subduction rate of island arcs to the deep mantle, Japan Geoscience Union Meeting 2016, 2016年5月22-26日, 幕張メッセ(千葉県・千葉市)
- ② Hiroki Ichikawa, John Hernlund, Stephane Labrosse, and Masanori Kameyama, Effective temperature condition in the separation process of the core and the mantle, Workshop "The Earth's Mantle and Core: Structure, Composition, Evolution", 2015年11月4-7日, 道後プリンスホ

テル(愛媛県・松山市)

- ③ Hiroki Ichikawa, Kenji Kawai, Shinji Yamamoto, and Masanori Kameyama, Supply rate of continental materials by subduction of island arcs to the deep mantle, Japan Geoscience Union Meeting 2015, 2015年5月28日, 幕張メッセ(千葉県・千葉市)
- ④ Hiroki Ichikawa, John Hernlund, Stephane Labrosse, and Masanori Kameyama, Effective metal-silicate equilibrium temperature during core formation, Japan Geoscience Union Meeting 2015, 2015年5月24日, 幕張メッセ(千葉県・千葉市)
- ⑤ Hiroki Ichikawa, Taku Tsuchiya, and Masanao Ohsumi, The equations of state of liquid pure Fe and Fe-light Elements Alloys by Ab Initio Molecular Dynamics Simulations, American Geophysical Union fall meeting 2014, 2014年12月18日, San Francisco (アメリカ)
- ⑥ Hiroki Ichikawa, Masanori Kameyama, Hiroki Senshu, Kenji Kawai and Shigenori Maruyama, Influence of majorite on hot plumes, American Geophysical Union fall meeting 2014, 2014年12月17日, San Francisco (アメリカ)
- ⑦ Hiroki Ichikawa, Taku Tsuchiya, and Masanao Ohsumi, The equations of state of liquid pure Fe and Fe-light Elements Alloys by Ab Initio Molecular Dynamics Simulations, Asia Oceania Geosciences Society 11th annual meeting 2014, 2014年7月29日, ロイトン札幌(北海道・札幌)
- ⑧ Hiroki Ichikawa, Taku Tsuchiya, and Masanao Ohsumi, The P-V-T equations of state of liquid pure Fe and Fe-light Elements Alloys by Ab Initio Molecular Dynamics Simulations, Japan Geoscience Union Meeting 2014, 2014年5月2日, パシフィコ横浜(神奈川県・横浜市)
- ⑨ Hiroki Ichikawa, Masanori Kameyama, Hiroki Senshu, Kenji Kawai and Shigenori Maruyama, Influence of majorite on hot plumes, Japan Geoscience Union Meeting 2014, 2014年4月29日, パシフィコ横浜(神奈川県・横浜市)

[図書] (計1件)

- ① Hiroki Ichikawa, Kenji Kawai, Shinji Yamamoto and Masanori Kameyama, Effect of Water on Subduction of Continental Materials to the Deep Earth, A. Khan and F. Deschamps (eds.), The Earth's heterogeneous mantle, Springer Geophysics, 2015. 275-299,
http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-15627-9_9doi:10

6. 研究組織

(1) 研究代表者

市川 浩樹 (ICHIKAWA, Hiroki)

愛媛大学・地球深部ダイナミクス研究センター・WPI 研究員

研究者番号：50570503