

## 大陸成長史と構造浸食：第二大陸の成長とマントル ダイナミクス

Growth of the Second Continent and Mantle Dynamics:  
Insights from a History of Continental Growth and  
Tectonic Erosion

丸山 茂徳 (MARUYAMA SHIGENORI)

東京工業大学・地球生命研究所・教授



### 研究の概要

我々の予察的理論計算によると、プレート運動により沈み込んだ花崗岩質岩は、マントル遷移層下部に停留して「第二大陸」と呼ぶべき層を形成していると考えられる。本研究の目的は、大陸成長史と構造浸食の関係から、第二大陸の成長ならびにマントルダイナミクスを明らかにすることである。

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：大陸成長史、構造浸食、第二大陸、マントルダイナミクス

### 1. 研究開始当初の背景

申請者は、日本列島の構造発達史を研究してきた。その結果、日本列島形成の過程では、現在の日本列島の4倍程度の大陸地殻物質が構造浸食によりマントルに運ばれ

(Isozaki et al. 2010, *Gondwana Res.*), また、伊豆小笠原弧も大部分が付加せず、本州弧下に沈み込んでいることが明らかになった (Yamamoto et al., 2009 *Gondwana Res.*)。)

予察的な理論計算によれば、沈み込んだ花こう岩質岩は、マントル遷移層下部に停留して、『第二大陸』と呼ぶべき層を形成している可能性が高く (Komabayashi, 2009 *Gondwana Res.*; Kawai et al, 2009 *Gondwana Res.*), その量は表層大陸の12倍に達すると考えられる。もし第二大陸が相当量存在しているならば、花こう岩質物質はマントル物質とは異なる地震波速度と圧力-温度-体積 (P-T-V) 関係を持ち、また、放射性熱源となり得る。これは、マントル物質のみを想定して行われてきた、地球内部構造や物質循環に関するこれまでのモデルの再検討を要し、地球史研究における大問題かつ新展開を招くとものであると考えた。

### 2. 研究の目的

大陸成長史と構造浸食の関係から、第二大陸の成長ならびにマントルダイナミクスを明らかにすることが本研究の目的である。

### 3. 研究の方法

具体的には、以下の6つの方法から研究を進める。①世界の太平洋型造山帯の表層地質から、大陸地殻生成と構造浸食の歴史を読み取る。②構造浸食により沈み込んだ大陸地殻物質 (= 第二大陸) のマントル内における挙動を、高圧実験により見積る③地震波トモグラフィによる探査によって第二大陸の分布を明らかにする。④花こう岩質物質は放射性熱源になりうるため、これを含めたマントルダイナミクスの再検討を、主にジルコンを用いた地球化学・同位体化学的手法によりモデル計算を行う。⑤地球史を通した花こう岩質岩の成因についての再検討を行う。

### 4. これまでの成果

#### (1) 花崗岩質表層大陸の10倍以上の大 陸地殻がマントル遷移層に存在す る

花崗岩質地殻の密度は  $2.6 \text{ g/cm}^3$  であり、マントル密度の  $3.5 \text{ g/cm}^3$  に比べて極めて小さいため、花崗岩地殻は形成後は永久に地表に安定に存在し続けると考えられてきたが、本提案は、この常識的科学観を根底から覆す研究である。その証明の手法は、①現在進行形の島弧沈み込みと構造浸食の観察事実、②そのメカニズムの物理的解析、③マントル深部に沈み込んだ花崗岩物質の分布と量の観測、である。これら3つの手法を駆使することに

よって、『第二大陸』の概念が実証され、さらに、マントルダイナミクスの地球史と通じた大陸進化モデルの発展が期待される。

本研究によって、マントル遷移層の下部(520-660 km深度)に、地殻上部の花崗岩の総量の7倍に達する花崗岩質物質が存在することが、地震波の速度平均(PREM)から導かれた(Kawai et al., 2013)。この結果は駒林グループの超高压実験によってもサポートされている(論文準備中)。超高压実験と第一原理計算によると、300 km深度以深から遷移層上部(410-520 km)にかけての220 kmの厚さのマントル内部にも第二大陸が漂移していると予測され、また、下部マントルの最上部(660-800 km)では、マントルと花崗岩質岩石の密度が極めて近いので、この領域にも第二大陸の一部は量的には少ないかもしれないが、存在すると考えられる。従ってマントル内部に滞留する花崗岩質物質の総量は表層の大陸地殻量の12倍を超えて存在するのは確実だと推定される。

### (2) 第二大陸の自己発熱効果

マントル遷移層で花崗岩質物質が重力的に安定化すると、第二大陸は、水平方向の移動、すなわち第一大陸と同様の、離合集散が起きると予想される。これにより想定されるインパクトは、超大陸の分裂を起こすマントル対流の熱源である。千秋は、予察的な計算に基づいて、超大陸の離合集散を定性的に論じたが(Senshu et al., 2008)、更に詳しい計算から、超大陸の分裂と移動、及び再融合した超大陸の運動史を18億年前に遡り、第二大陸の発熱効果で解説した(千秋・Santosh, 2011)。

### (3) 過去の構造浸食の定量的評価

日本列島の地質図、及び、地質構造発達史から、過去6億年間のプレート沈み込み史のうち、付加体の形成時間は全体の1/3に過ぎず、残りの2/3は付加体が欠如する時代であることが判明した(丸山他、地学雑誌、2011, 2012)。造山帯の構造発達史の中に構造浸食を組み込んだ研究例は、前例がなく、構造発達史研究における世界の先駆けとなるもので、学術的影響は大きい。我々は日本列島地質構造発達史の特集号を地学雑誌に組み、その中で、構造浸食を取り上げ、現在の日本列島の大陸地殻の5倍の大陸地殻が過去5億年に生産されたが、4倍の花崗岩地殻が構造浸食でマントル深部へ消失したことを明らかにした(丸山他、2011; 鈴木他、2011)。

さらに、そのような間欠的構造浸食の存在が全世界で普遍的であったかどうかを調べるために、スコットランド、イングランドへ手法を応用し、それぞれの地域において、日本列島同様に構造浸食による大陸地殻の消失が、大規模に起きたことを明らかにした。

## 5. 今後の計画

第二大陸分布域の探索は、本研究後半の最重要課題である。全地球規模での第二大陸の広域分布図を本提案研究の終了までに示す。第二大陸は、予察的な観察事実と理論計算によって提唱された概念であるが、常識的科学観を超える、次世代パラダイムになるだろう。

また、第二大陸は放射性同位体元素(U, Th, K)に富み、1億年で100-200K高温化する。したがって、マントルダイナミクスは第二大陸の量と位置で決まると言える。この新たな考えに基づき、これまでうまく説明できなかった超大陸の分裂を矛盾なく説明し、第二大陸とスーパープルームとの関連や、核のダイナミクスの解明に新たな視点を提供する。

## 6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

1. \*Tsuchiya, T., Kawai, K., Maruyama, S., 2013. Expanding-contracting Earth. *Geoscience Frontiers* 4, 341-347.
2. \*Maruyama, S., Sawaki, Y., Ebisuzaki, T., Ikoma, M., Omori, S., Komabayashi, T., 2014. Initiation of leaking Earth: An ultimate trigger of the Cambrian explosion. *Gondwana Res.* 25, 910-944.
3. \*Iizuka, T., Campbell, I.H., Allen, C.M., Gill, J.B., Maruyama, S., Makoka, F., 2013. Evolution of the African continental crust as recorded by U-Pb, Lu-Hf and O isotopes in detrital zircons from modern rivers. *Geochimica Et Cosmochimica Acta* 107, 96-120.
4. \*Kawai, K., Yamamoto, S., Tsuchiya, T., Maruyama, S., 2013. The second continent: Existence of granitic continental materials around the bottom of the mantle transition zone. *Geoscience Frontiers* 4, 1-6.
5. \*丸山茂徳, 2012. 造山帯の分類とその意義: 古造構場復元の束縛条件—「丸山ほか: 太平洋型造山帯—新しい概念の提唱と地球史における時空分布—」論文(地学雑誌, 120巻, 115-223)の追記—. 地学雑誌 121, 1090-1106.
6. Liu, X., D. Zhao, S. Li, 2014, Seismic attenuation tomography of the Northeast Japan arc: Insight into the 2011 Tohoku earthquake (Mw 9.0) and subduction dynamics. *J. Geophys. Res.* 119, doi:10.1029/2013JB010591.