

平成 23 年 5 月 13 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2008～2010

課題番号：20244083

研究課題名（和文） 固体地球・表層環境・生命の共進化

研究課題名（英文） Co-evolution of solid Earth, surface environment and life

## 研究代表者

丸山 茂徳 (MARUYAMA SHIGENORI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：50111737

## 研究成果の概要（和文）

1990 年以来、世界の地質を対象に推進してきた、『生命と地球の歴史』の研究を、コンパイルを加えて、1) 横軸 46 億年研究と、2) 特異点研究を中心に前進させた。後者は後生動物誕生の事変 7-5 億年前の特異点の研究を推進した。

それらを総括して、宇宙史を背景にした、生命と地球の歴史（岩波新書、1998）の新版を創出した。英語版は約 400 ページ、450 図を含むもので 2011 年度中に印刷される予定である。

## 研究成果の概要（英文）

Since 1990, the research of life and the Earth through time has been achieved by our group, specifically by 1) horizontal axis 4.6Ga research and the 2) focused period research of the critical time of evolving life and planet, particularly the second snowball earth and subsequent Cambrian explosion by this Program through drilling in S. China. The former includes mantle temperature, surface temperature, seawater composition, atmosphere composition, evolving life, geomagnetic intensity, cosmic ray flux, continental growth, amalgamation-dispersion of continents, amounts and composition of sedimentary rocks, and others all through time.

The final synthesis of the works above is now prepared to be appeared in the journal, ca. 400 pages with 450 figures in English in 2011.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	12,900,000	3,870,000	16,770,000
2009 年度	12,800,000	3,840,000	16,640,000
2010 年度	11,200,000	3,360,000	14,560,000
年度			
年度			
総計	36,900,000	11,070,000	47,970,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：地球史、表層環境、生命史、共進化、全面凍結、同位体

## 1. 研究開始当初の背景

1989 年以降推進してきた地球生命史の研究を既存の取得試料を中心に分析を進め、大局的なモデルを構築し、発表してきた。そして、固体地球、表層環境、生命圏それぞれが

独立した歴史をもったのではなく、共進化したことを指摘した。本研究プログラムでは、そのメカニズムを解明するために、3 つの研究グループが連携しつつ学際的な共同研究をすすめる。具体的には横軸 46 億年研究と

特異点研究を行う。

なお、本研究のように、20年を超えて国内外の共同研究を通じて膨大な試料を一か所に集めて研究を推進するグループは世界に例を見ない。

## 2. 研究の目的

以上の3つの研究を総合化して、なぜ固体地球、表層環境、生命進化の3者がほぼ同時に大きく変動したのか、そのメカニズムを理解し、モデルを構築する。

## 3. 研究の方法

過去20年間にわたり収集記載されてきた地球史解読試料（世界の主要河川の川砂ジルコンも含む）を中心に進める。特異点研究では南中国で掘削したボーリングコア（635–530Ma；エディアカラカンブリア紀）の連続分析を14の化学指標を使って解読する。

### (1) 固体地球グループ

#### ①川砂ジルコンの年代頻度分布解析

世界の主要大陸の河川はほぼ収集済みであったが、新たにオーストラリアとロシアを加え、地球表層大陸の45%をカバーした。

#### ②大陸と超大陸の歴史の解読

川砂年代頻度分布解析と古地理解析を組み合わせ、新しいモデルを作る。

### (2) 表層環境グループ

大陸成長曲線の解読と並行して、海洋から堆積したBIFなど酸素濃度に敏感な堆積岩の時空分布から酸素濃度の経年変化を求める。中央海嶺玄武岩中の熱水シリカ脈中の流体包有物から海水の組成（栄養塩も含める）の経年変化を求める。

### (3) 古生物グループ

既に回収した試料から、最古化石を含む微化石の同位体組成分析を中心に記載し、更にその棲息環境を地質から明らかにする。6.35–5.30億年の時代、及びP/T境界は、中国側の共同研究者と共同で記載を進める。

## 4. 研究成果

記載を中心とした論文を3年間に65個書いた。これらのうち27個を本報告の末尾に添付した。それらの記載に基づき、次のような新しい概念もしくは横軸46億年経年変化曲線を提唱した。

### (1) ジルコン年代頻度分布曲線の完成

ロシアとオーストラリアの河川8を加え、世界の主要大陸から（南極をのぞいて）曲線を完成した。南極はアフリカ北部と酷似した地質を持つので、アフリカ北部の川砂年代頻度分布と同じと仮定して、大陸地殻46億年曲線を求めた。

### (2) 大陸地殻形成、超大陸形成史とメカニ

ズム

その結果、明白になったことは地球史の前半20億年の大陸地殻は、予想と反して現在の大陸地殻の20%しか現在の地球表層に残されていないことが判明した(Rino et al., 2008; Maruyama et al., 2011)。一方、太古代の地質から、27億年前までに出現した萌芽的大陸の形成過程は、地質図に基づくと、数個から10個程度の島弧の平行衝突によって1000 km x 100 km程度のサイズにまで成長したことを示している。その過程は現在の西太平洋地域でも進行中である(Yamamoto et al., 2009)。

超大陸は23億年前のNuna以降、10億年前のRodinia, 5.4–4.5億年前のGondwana, 2.5億年前のPangea, 2–3億年未来のAmasiaを指摘することができる(Senshu et al., 2009)。

### (3) 次の課題：大陸三層モデルの提唱

以上の発見は地球の熱史モデルとは異なる。熱史を考慮すると、地球史を通じて、現在の地表の大陸地殻の約10倍の花崗岩質物質がマントルに沈み込んだことが推測される。第一原理計算によると、これらは、上部マントル最深部に一方的に集積されている可能性が大きい(Kawai et al., 2009)。

また、45億年前に存在したと思われるマグマオーシャンから作られたアノーソサイト地殻は、40億年前までにマントル最深部へ落下してD層の主要な岩相となっている可能性も指摘した(Kawai et al., 2009)。

### (4) 表層環境

酸素濃度の経年変化曲線は、これまでの推測曲線と大局的には似ているが(Kato et al., 2009)、しばしばパルス状の上昇と低下が起きていることが明らかになった(Ce異常からの推測, Komiya et al., 2009)。

酸素濃度の上昇機構は堆積岩の量的変化と対応している。それはまた炭酸塩岩のSr同位体曲線と同期している。これらを考慮して、新しい経年変化曲線を提案した。

なお、顕生代でも酸素濃度は7%から30%程度（現在は21%）まで変動したようである。酸素濃度が急上昇した時代は、鳥類の誕生や巨大昆虫の出現と対応している。

### (5) 生命史、とりわけ後生動物誕生のシナリオ

生命進化と表層環境の関係は明白であるが、表層環境の変動と固体地球変動との関係は単純ではないようである。一見、年代の上では密接な関係が認められるが、メカニズムについては検討の余地が大きい。むしろ、宇宙からの変動、たとえば、スターバースト、暗黒星雲との衝突や超新星爆発との関係を考える必要がある。

(6) モデル

こうして、新しく集まった記載的事実を総合化して、生命と地球の歴史を宇宙史の視点から総合化した、新版『生命と地球の歴史』を構築した。それらは約 400 ページ、500 枚の図を含む英文論文として投稿中である。

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 31 件)

1. Shibuya, T., Aoki, K., Komiya, T., and Maruyama, S. (2010). Stratigraphy-related, low-pressure metamorphism in the Hardey Syncline, Hamersley Province, Western Australia. *Gondwana Research* 18, 213-221. 査読あり
2. Sawaki, Y., Shibuya, S., Kawai, T., Komiya, T., Omori, S., Iizuka, T., Hirata, T., Windley, B. F., and Maruyama, S. (2010). Imbricated ocean plate stratigraphy and U-Pb zircon ages from tuff beds in cherts in the Ballantrae Complex, SW Scotland. *Geological Society of America, Bulletin* 122, 454-464. 査読あり
3. Sawaki, Y., Ohno, T., Tahata, M., Komiya, T., Hirata, T., Maruyama, S., Windley, B. F., Han, J., Shu, D., and Li, Y. (2010). The Ediacaran radiogenic Sr isotope excursion in the Doushantuo Formation in the Three Gorges area, South China. *Precambrian Research* 176, 46-64. 査読あり
4. Safonova, I., Rino, S., and Maruyama, S. (2010). U-Pb Ages of Detrital Zircons from Modern Sediments of the Yangtze River and Stages of Orogeny in Southeast Asia. *Geology* 431, 280-284. 査読あり
5. Nishizawa, M., Maruyama, S., Urabe, T., Takahata, N., and Sano, Y. (2010). Micro-scale (1.5  $\mu\text{m}$ ) sulphur isotope analysis of contemporary and early Archean pyrite. *Rapid Communications in Mass Spec.* 24, 1397-1404. 査読あり
6. Maruyama, S., Masago, H., Katayama, I., Iwase, Y., Toriumi, M., Omori, S., and Aoki, K. (2010). A new perspective on metamorphism and metamorphic belts. *Gondwana Research* 18, 106-137. 査読あり
7. Iizuka, T., Nakai, S., Sahoo, Y. V., Takamasa, A., Hirata, T., and Maruyama, S. (2010). The tungsten isotopic composition of Eoarchean rocks: Implications for early silicate differentiation and core-mantle interaction on Earth. *Earth and Planetary Science Letters* 291, 189-200. 査読あり
8. Iizuka, T., Komiya, T., Rino, S., Maruyama, S., and Hirata, T. (2010). Detrital zircon evidence for Hf isotopic evolution of granitoid crust and continental growth. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 74, 2450-2472. 査読あり
9. Aoki, K., Kitajima, K., Masago, H., Terabayashi, M., Omori, S., Yokoyama, T., Takahata, N., Sano, Y., Maruyama, S. (2010). Reply to "Comment on 'Metamorphic P-T-time history of the Sanbagawa belt in central Shikoku, Japan and implications for retrograde metamorphism during exhumation'" by S. R. Wallis and S. Endo. *Lithos* 116, 197-199. 査読あり
10. Yoshizaki, M., Shibuya, T., Suzuki, K., Shimizu, K., Nakamura, K., Takai, K., Omori, S., and Maruyama, S. (2009).  $\text{H}_2$  generation by experimental hydrothermal alteration of komatiitic glass at 300° C and 500 bars: A preliminary result from on-going experiment. *Geochemical Journal* 43, e17-e22. 査読あり
11. Yamamoto, S., Senshu, H., RIno, S., Omori, S., and Maruyama, S. (2009). Granite subduction: Arc subduction, tectonic erosion and sediment subduction. *Gondwana, Research* 15, 443-453. 査読あり

12. Senshu, H., Maruyama, S., Rino, S., and Santosh, M. (2009). Role of tonalite-trochilite-granite (TTG) crust subduction on the mechanism of supercontinent breakup. *Gondwana Research* 15, 433-442. 査読あり
13. Santosh, M., Maruyama, S., and Omori, S. (2009). A fluid factory in the solid Earth. *Lithosphere* 1, 29-33. 査読あり
14. Maruyama, S., Hasegawa, A., Santosh, M., Kogiso, T., Omori, S., Nakamura, H., Kawai, K., and Zhao, D. (2009). The dynamics of big mantle wedge, magma factory, and metamorphic-metasomatic factory in subduction zones. *Gondwana Research* 16, 414-430. 査読あり
15. Kawai, K., Tsuchiya, T., Tsuchiya, J., and Maruyama, S. (2009). Lost primordial continents. *Gondwana Research* 16, 581-586. 査読あり
16. Jagoutz, O. E., Burg, J. P., Hussain, S., Dawood, H., Pettke, T., Iizuka, T., and Maruyama, S. (2009). Construction of the granitoid crust of an island arc part I: geochronological and geochemical constraints from the plutonic Kohistan (NW Pakistan). *Contributions to Mineralogy and Petrology* 158, 739-755. 査読あり
17. Iizuka, T., Komiya, T., Johnson, S. P., Kon, Y., Maruyama, S., and Hirata, T. (2009). Reworking of Hadean crust in the Acasta gneisses, northwestern Canada: Evidence from in-situ Lu-Hf isotope analysis of zircon. *Chemical Geology* 259, 230-239. 査読あり
18. Ueno, Y., Ono, S., Rumble, D., and Maruyama, S. (2008). Quadruple sulfur isotope analysis of ca. 3.5 Ga Dresser Formation: new evidence for microbial sulfate reduction in the Early Archean. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72, 5675-5691. 査読あり
19. Uchio, Y., Isozaki, Y., Buslov, M., and Maruyama, S. (2008). Occurrence of phosphatic microfossils in an Ediacaran-Cambrian mid-oceanic paleo-atoll limestone of southern Siberia. *Gondwana Research* 14, 183-192. 査読あり
20. Sawaki, Y., Ohno, T., Fukushi, Y., Komiya, T., Ishikawa, T., Hirata, T., and Maruyama, S. (2008). Sr isotope excursion across the Precambrian-Cambrian boundary in the Three Gorges area, South China. *Gondwana Research* 14, 134-147. 査読あり
21. Rino, S., Kon, Y., Sato, W., Maruyama, S., Santosh, M., and Zhao, D. (2008). The Grenvillian and Pan-African orogens: World's largest orogenies through geologic time, and their implications on the origin of superplume. *Gondwana Research* 14, 51-72. 査読あり
22. Ohno, T., Komiya, T., Ueno, Y., Hirata, T., and Maruyama, S. (2008). Determination of  $^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  mass-dependent isotopic fractionation and radiogenic isotope variation of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  in the Neoproterozoic Doushantuo Formation. *Gondwana Research* 14, 126-133. 査読あり
23. Kitajima, K., Hirata, T., Maruyama, S., Yamanashi, T., and Sano, Y. (2008). U-Pb zircon geochronology using LA-ICP-MS in the North Pole Dome, Pilbara Craton, Western Australia: a new tectonic growth model for the Archean chert/greenstone succession. *International Geology Review* 50, 1-14. 査読あり
24. Falkowski, P.G., Isozaki, Y., 2008. The Story of  $\text{O}_2$ . *Science* 322, 540-542. 査読あり
25. Isozaki, Y., Yao, J.X., Ji, Z.S., Saitoh, M., Kobayashi, N., Sakai, H., 2008. Rapid sea-level change in the Late Guadalupian (Permian) on the Tethyan side of South China: litho- and

biostratigraphy of the Chaotian section  
in northern Sichuan. Proc. Japan Acad.,  
84B, 344-353. 査読あり

26. Santosh, M, Omori, S. 2008: CO2  
flushing: a plate tectonic perspective.  
Gondwana Research, 13, 86-102. 査読あり
27. Omori, S. and Santosh, M.,  
2008, Metamorphic decarbonation in the  
Neoproterozoic and its environmental  
implication, Gondwana Research, 13,  
97-104. 査読あり

[学会発表] (計7件)

1. 丸山茂徳 “太平洋型造山運動” 日本地  
質学会第117年学術大会, 2010年9月20日,  
富山.
2. S. Maruyama, “Global Cooling the in 21  
Century”, 2008 AGU Fall Meeting,  
2008年12月 17日, San Francisco, USA.
3. S. Maruyama, “Supercontinent breakup;  
a role of TTG subduction”, 2008  
Gondwana 13 Conference, 2008年9月17日,  
Dail, China.

[その他]

ホームページ等

<http://www.geo.titech.ac.jp/lab/maruyama/maruyamalab/maruyamalab.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

丸山 茂徳 (MARUYAMA SHIGENORI)  
東京工業大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：50111737

### (2) 研究分担者

磯崎 行雄 (ISOZAKI YUKIO)  
東京大学・総合文化研究科・教授  
研究者番号：90144914

大森聡一 (OMORI SOICHI)  
東京工業大学・大学院理工学研究科・特任  
准教授  
研究者番号：90267469