

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23340152

研究課題名(和文)多細胞動物の多段階進化

研究課題名(英文)Multistage evolution of Metazoa

研究代表者

小宮 剛 (Komiya, Tsuyoshi)

東京大学・総合文化研究科・准教授

研究者番号：30361786

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,600,000円、(間接経費) 4,680,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は後生動物出現とカンブリア爆発時の環境変動を解読し、それらの原因を探求する。従来の研究では両者の差が着目されなかったが、本研究は両者が大きく異なり、出現期の海水は比較的還元的でPやFeを多く含み、多様化期の海水は酸化的で硝酸やCaを多く含む。結果、出現期にPに富む還元的海洋で一次生産が増加し、酸素とゲノム量の増加が起こり、多様化期では酸素増加に伴い低N/Pから高N/P海洋へと遷移し、現在型のRedfield比をもつ一次生産を誘引させた。その結果、タンパク質や筋肉など高窒素量を必要とする可動動物が出現し、後生動物の大型化、活発化(食物連鎖)、複雑化(捕食からの防御)を引き起こした。

研究成果の概要(英文)：We obtained chemostratigraphies of C, O, Sr, Fe and Ca isotopes and Fe, Mn, REE and P contents of carbonates, Mo isotopes of black shales and C and N of organic matter from the Ediacaran to the Early Cambrian to estimate primary productivity, continental influx, temperature, nutrient contents, and redox condition of seawater, using twenty-four drill cores in South China. The results suggest that the emergence of Metazoan was caused under the less oxic and P-rich condition, whereas the diversification occurred under oxic, nitrate and Ca-rich condition. Especially, the transition from P to nitrate-rich seawater contributed to more actively mobile metazoans through increase in Redfield ratio. The biological evolution occurred just after increase in nutrients, allowing a new insight of biological evolution of metazoans. The quick response of biological evolution to the environments suggests that the fundamental base for biological functions were already established before the emergence.

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：エディアカラ紀 カンブリア爆発 後生動物出現 生命進化 古環境解読 掘削 多元素・多同位体分析

1. 研究開始当初の背景

地球は海洋と酸素大気をもつ極めて希少な星であり、生命に満ちあふれ、後生動物が自由に動き回るダイナミックな世界である。しかし、その誕生時は大気に酸素は無く、生命もいなかった。そして、46億年間の長きにわたり、生命は進化し、現在に至った。そこで、①生命出現(40億年前)、②真核生物出現(27億年前)と③**多細胞動物出現(6億年前)**が地球・生命進化史の三大イベントと言えよう。ただし、生命は海洋形成後数億年内に出現し、かつ惑星探査後火星にも生命がいたとの認識が浸透したことからも、「生命出現」は普遍的であろう。「真核生物出現」も生命史の中で何度か繰り返されたことが知られており、蓋然的進化であると捉えられる。しかし、「多細胞動物の出現」は他と大きく異なり、生命誕生から34億年、真核生物の誕生からも21億年もかかっており、その進化のハードルは非常に高かったと考えられる。さらに、動物の最大の分類群である動物門レベルでは、脊索動物門脊椎動物亜門(魚類)も含めほぼ全ての動物門が多細胞動物出現後極めて短期間のうちに出現し(カンブリア大爆発)、その後新しい動物門は出現していない。このように、「多細胞動物出現と多様化」は極めて特異な問題であり、その解明は極めて重要である。

一般に、後生動物はその生存に多くの酸素を必要とするために、その出現の原因として酸素の増加が重要視されてきた。また、多細胞化には細胞をつなぐコラーゲンの形成は必須であり、その合成には酸素を必要とするため、大気酸素の増加は必須である。しかし、酸素が増加したために後生動物が出現したのか、それとも後生動物の出現以前にそれに必要な酸素濃度は既に達成されていて、酸素濃度の上昇が後生動物出現の直接の引き金ではないとするのかといった点については、未解明の問題でありながら、酸素の増加が後生動物の出現を引き起こしたとみなされてきた。

しかし、最近の研究では、動物が生息する海洋表層では、前期原生代(24億年前)には十分な酸素が存在していたことが示され、酸素の増加が最も重要な条件ではないことが示唆された。加えて、一般に海洋酸素の増加は多くの生命必須元素(P, Fe, Mn等)を枯渇させる為、必ずしも酸素の増加は動物出現にプラスに働かない。なぜ、これまでの研究で、「多細胞動物の出現と進化の解明」に包括的な説明が得られないのか?それは、従来の研究では後生動物の出現と多様化をひとくくりにして議論されてきたためである。本研究では、後生動物の初期進化を遺伝子レベル進化、動物の顕在化(狭義の動物出現)、大型化と多様化(カンブリア大爆発)の三つのプロセスに分けることを提案し、特に後生動物の出現期と多様化

期それぞれの環境変動を解読する。

2. 研究の目的

地球は唯一生命が生息し、高等生物が存在する天体である。そこで、高等生命につながる多細胞動物の出現は地球・生命進化史を研究する上で最も重要な問題であるが、その原因は未だ解明されていない。本研究の目的は、**掘削試料の多元素・多同位体分析**から古環境を解読し、多細胞動物出現とその後続く急激な多様化(カンブリア大爆発)の原因を解明することである。特に、これまでの研究では両者を分けずに混同して議論されてきた。本研究では申請者が提唱している多細胞動物出現とカンブリア大爆発は対照的な環境下で起きたとする**多段階進化モデル**を実証し、多細胞動物出現とそれに続くカンブリア大爆発の原因を究明する。

3. 研究の方法

申請者はこれまで原生代末の浅海環境を中心に研究を進めてきた。本研究ではカンブリア紀初期と外洋・深海に焦点を当てて研究を行なう。(1)堆積場の特定と古海水組成推定に適するベストの岩石試料を採取する為に、南中国の**原生代後期～カンブリア紀初期の地質体の地質調査と試料採集**を行う。(2)より新鮮な岩石試料を採取する為に**学術掘削**を行う。(3)採取した岩石試料のC, O, N, Ca, Fe, Sr, Mo, Os同位体とMn, Fe, P, REE濃度を分析し、当時の大気・海水組成、炭素・窒素・Ca循環を推定する。(4)また、微化石の非破壊内部構造観察のために、**micro-CT**を用いて、三次元像解析を行う。(5)以上を総合化し、多細胞動物出現からカンブリア大爆発に至る表層環境変動解読とその生命進化への影響を解明する。

4. 研究成果

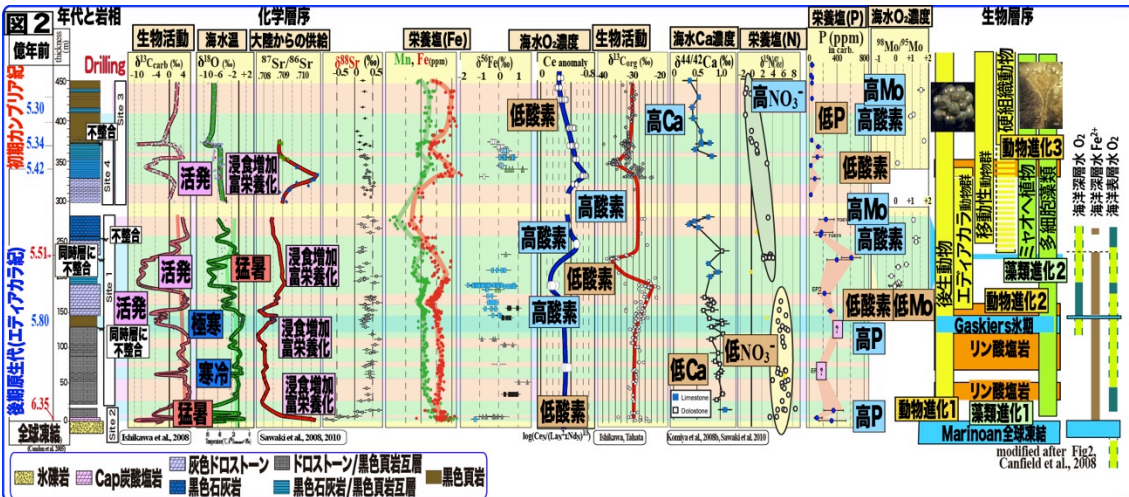
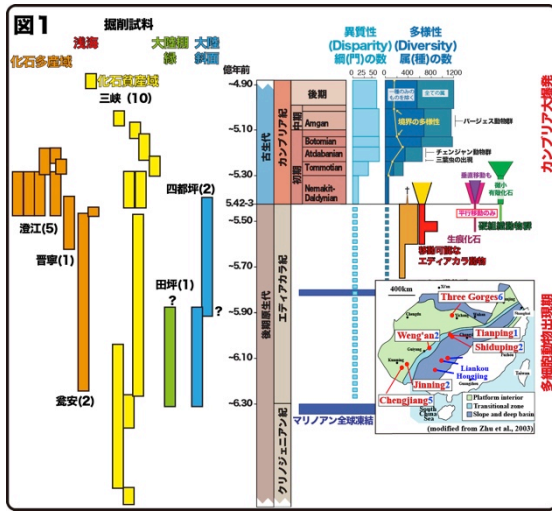
4.1 エディアカラ紀～初期カンブリア紀の表層環境変動解読と後生動物進化

私たちは「後生動物出現からカンブリア大爆発」の原因を探求する為に、南中国で掘削を計画的に進めてきた(図1)。堆積場の違い、化石の頻度や岩相の違いを考慮して、化石が多産する浅海域、化石は少ないが表層環境を解読するのに適する岩相(炭酸塩岩と黒色頁岩)からなる浅海域、グローバルな海洋組成変動をモニターするのにふさわしい大陸斜面とその遷移帯となる大陸縁辺域の4つの堆積場でマリノアン全球凍結を含むクリノジュニアン紀末期からカンブリア紀末期までの地層を合計24カ所で採掘した(図1)。そのようにして得られた掘削試料の岩相の記載や薄片観察を行ない、後の変質の影響の少ない掘削試料の多元素・多同位体分析を行なった(図2)。分析した元素・同位体は炭酸塩の炭素同位体、

酸素同位体、 $^{87}/^{86}\text{Sr}$ と $^{88}/^{86}\text{Sr}$ 同位体、鉄と Mn の含有量と硫化物の Fe 同位体、希土類元素濃度 (Ce 異常)、Ca 同位体、P 濃度、有機炭素の炭素同位体、有機窒素の N 同位体、黒色頁岩の Mo 同位体である。それぞれ、生物活動、海水温、大陸からの供給と

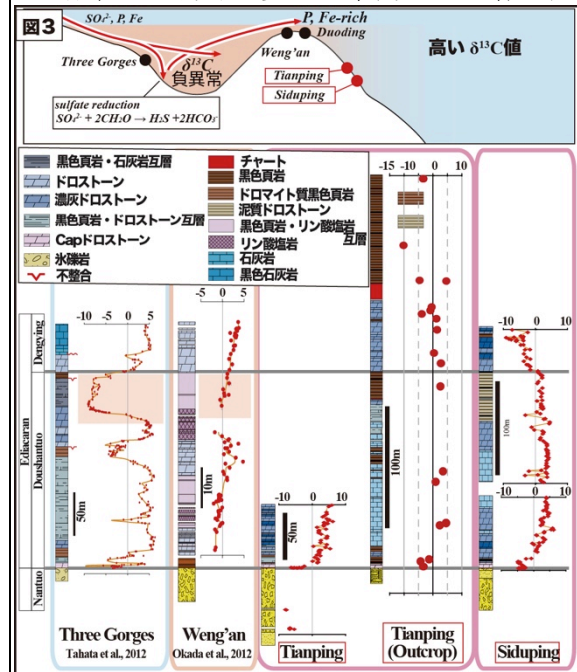
海洋中の Sr 濃度、海水の酸化還元と海水中の Fe サイクル (Fe^{3+} -dominated, ferruginous, sulfidic)、海水の Ca 濃度、P 濃度、N 濃度、生物活動、Mo 濃度と酸化還元状態の proxies となる。その結果、6.3 億年前のマリノアン全球凍結からカンブリア紀中期の 5.0 億年前までの間に、上に挙げた環境パラメータが極めて大きく、頻繁に変動したことが分かった。

特に、エディアカラ紀からカンブリア紀にかけて、海洋表層の温度が繰り返し、急激に変動していたことが分かった。これまで、地質学的データ (氷礫岩の存在) からエディアカラ紀にガスキアーズ氷期などの氷河期があったことが示唆されてきた。本研究によって、炭酸塩岩の酸素同位体を用いて初めて、海水温を定量的に示すことが可能とし、全球凍結直後の超温暖化、エディアカラ紀前期の寒冷な時代、中期のガスキアーズ氷期、後期の温暖期と言った海水温変動を得ることができた。



海水温といった表層環境変動に関連して、海水組成も変動したことが分かった。エディアカラ紀～カンブリア紀において、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比が 4 回高くなる時期が存在する。一つは、マリノアン全球凍結直後の超温暖期に $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比が急激に上昇する。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比の上昇は大陸からの流入量の増加によるとされるので、この時期に大陸からの流入量が急激に増加し、陸源の海水栄養塩が急増したことが考えられる。また、海水の酸化還元状態はその全球凍結の影響で還元的な状態であった。エディアカラ紀前期は、海水は比較的還元的な状態で、P, Fe, Mn などの栄養塩に富んでいた。ガスキアーズ氷期では大陸からの供給が急増し、陸源の海水栄養塩が増加した。エディアカラ紀後期は、大陸の衝突に伴い大陸からの供給が再び増加し、陸源の海洋栄養塩が増加した。この時期の海洋栄養塩の増加に伴い、海水の酸化が促進され、Fe, Mn, P などの還元的な海洋で蓄積される元素は減少し、かわりに硝酸や Ca など

の酸化的な海洋で安定な栄養塩など増加す



るようになった。

また、遠洋、深海域の環境解読を行なうため、Tianping (田坪) や Siduping (四都坪) で掘削を行い、それらの炭素や窒素同位体比を分析した(図3)。先行研究では、深海域では、無機炭素はエディアカラ紀を通じて、一貫して、低い値を持つとされた。しかし、本研究では大陸斜面に相当する田坪や四都坪、両方の地域で炭素同位体値が0‰以上となり、先行研究とは対照的な結果となった。その原因として、一般に変質を受けると炭素同位体値は低くなることが知られているが、本研究では掘削試料を用いたので、変質の影響が弱く、変質によって炭素同位体値が低くなるという影響を受けず、初生的な高い同位体値が保存されたのに対して、先行研究では、一部で見られた比較的高い同位体値を海洋浅部からの降着物であると仮定し、低い値のものを初生的・深海で形成されたものとして選択したためだと考えられる。つまり、先行研究の低い同位体値は変質によるものであろう。浅海・大陸縁域(三峡)と遠洋・深海域の炭素同位体変動を比較すると、遠洋域にはエディアカラ紀後期に特徴的な Shuram excursion が存在しない。そのことは、Shuram excursion は海洋全体の特徴ではなく、浅海域に特有のものであることを示す。また、先行研究では海洋は成層しており、深海に還元的、有機炭素に富み、極端に無機炭素同位体値の低い層が存在すると仮定されたが、本研究はそれを支持せず、深海部も正の無機炭素同位体値を持つことを示す。

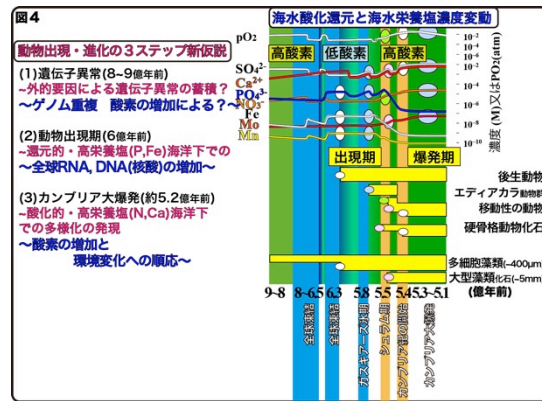
得られたエディアカラ紀～カンブリア紀の表層環境変動と生物進化とを比較すると、後生動物やエディアカラ動物のそれぞれの動物出現の直前に海洋栄養塩濃度(特にリン)が上昇したことが分かった。その結果は、それが動物出現のトリガーであることを示唆する。また、エディアカラ紀後期のガスキアーズ氷期後に、海洋の酸素の増加とともにリン濃度は減少し、硝酸やCa濃度が増加したことが分かった。少し遅れて、Mo同位体値がエディアカラ紀後期から急激に上昇する。Moは酸化的な海洋でより溶解し、かつ、窒素固定ニトロゲナーゼ酵素の主要構成元素である。Mo同位体値の上昇は海洋中のMo量の上昇を示し、海洋酸素濃度の上昇が、海洋Mo量を増加させ、窒素固定を促進し、藻類などの光合成生物活動も活発化させ、結果として酸素濃度も増加させるといった正のフィードバックが起きたことを示唆する。

エディアカラ紀後期のリン濃度の減少と硝酸濃度の増加の時期に可動性の動物が出現するようになる。海洋リン濃度の減少と硝酸濃度の上昇はRedfield数(N/P比)の上昇を招く。結果、N/P比の高い有機物質が海洋中に溶存し、後生動物は効率的にアミ

ノ酸源のNを摂取できるようになる。結果として、豊富な筋組織やタンパク質を持つようになり運動能力の高い動物が出現するようになったと考えられる。また、海水中のCa濃度の増加の時期に硬骨格を有する後生動物が出現する。

本研究の結果は、海洋栄養塩濃度の変動をもたらす環境変動の直後に、その増加した栄養塩の種類に対応して、生命進化が起きているという極めて興味深い環境変動と生命進化の相互関係が見られた。このことは、生命進化を可能とする下地(つまり遺伝子進化)はすでにされていて、環境の変化に敏感にそれが発現されたことを示唆する。本研究はその初めての証拠と言える。

本研究の結果をもとに、多細胞動物出現からカンブリア大爆発までの進化を遺伝子レベル進化、出現(還元性高栄養塩海水)と大爆発(高N/P比、Ca濃度海水)の3段階モデルとしてとらえることを提唱する(図4)。



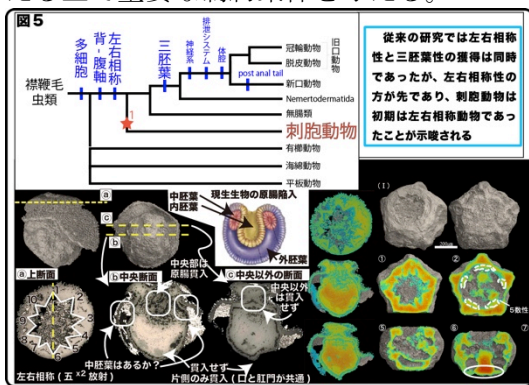
4.2 初期刺胞動物化石の3次元解析と左右相称性の出現。

カンブリア紀は生物が爆発的に進化・多様化し現生の生物門が一気に出現した時代とされ、地球生命史を考える上で非常に重要な時代である。しかし、従来の古生物学研究では基本的に外観の形態観察が中心であり、化石の内部組織に着目した研究は少なく、この時代特有の特殊な生物化石を調べるのが困難であった。そこで本研究では、X線頭微コンピュータ断層撮影(micro-CT)を用いて、急激な進化の先駆けの時期に相当するエディアカラ紀—カンブリア紀境界直後に産出する多様な形態を持つ微化石群(SSF)の三次元像を作成し、それらの詳細な内部観察を行った。この分析手法は薄片などの切断面上での内部構造観察に対して、非破壊分析であり、かつ任意の断面を選び、内部組織を観察することが可能という大きな利点を持っている。X線micro-CT分析は兵庫県の大型放射光施設(SPring-8)にて行った。本研究で分析した初期カンブリア紀の化石試料は中国陝西省Shizhonggou地域における寛川溝累層のリン酸塩岩層から産出されたもので、これ

らは Anabarites や Protohertzina など代表とする第一群集 SSF を伴う。

その結果、Olivooides という種の胚化石では、従来の研究では外観の観察から原腸胚形成段階と推測された (Yao et al., 2011) が、本研究の断面観察から初めて原腸陥入の内部組織が得られ、その同定を検証することができた。また刺胞動物のインゲンチャク類と外観の似ている化石では、外観からでは分からない隔膜や口道と類似した内部組織が観察された。また、一般に刺胞動物門は 4 や 6 の放射性構造をもち、放射性相称動物とされる。しかし、刺胞動物の胚やポリプの化石では、内部組織に新口動物の棘皮動物様の五放射状構造を持つものが多く存在することが明らかとなった (図 5)。

これらの結果は、化石の分類や種・生物器官の同定には内部構造観察が必要であることを強く支持するとともに、動物の劇的な進化が起きた初期カンブリア紀には、左右相称構造を持ちながら二胚葉構造を持つ刺胞動物が存在したことを示す。現在と体制の全く異なる動物が一時的に存在していたことを示唆し、後生動物の初期進化を考える上で重要な制約条件を与える。



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 23 件)

- [1] Duan, Y., Han, J., Fu, D., Zhang, X., Yang, X., Komiya, T. & Shu, D. 2014. Reproductive strategy of the bradoriid arthropod Kunmingella douvillei from the Lower Cambrian Chengjiang Lagerstätte, South China. *Gondwana Research*, 25, 983-990. (査読有)
- [2] Igisu, M., Komiya, T., Kawashima, M., Nakashima, S., Ueno, Y., Han, J., Shu, D., Li, Y., Guo, J., Maruyama, S. & Takai, K. 2014. FTIR microspectroscopy of Ediacaran phosphatized microfossils from the Doushantuo Formation, Weng'an, South China. *Gondwana Research*, 1120-1138. (査読有)
- [3] Ishikawa, T., Ueno, Y., Shu, D., Li, Y., Han, J., Guo, J., Yoshida, N., Maruyama, S. & Komiya, T. 2014. The $\delta^{13}\text{C}$ excursions spanning the Cambrian explosion to the

Canglangpuian mass extinction in the Three Gorges area, South China. *Gondwana Research*, 25, 1045-1056. (査読有)

- [4] Kikumoto, R., Tahata, M., Nishizawa, M., Sawaki, Y., Maruyama, S., Shu, D., Han, J., Komiya, T., Takai, K. & Ueno, Y. 2014. Nitrogen isotope chemostratigraphy of the Ediacaran and Early Cambrian platform sequence at Three Gorges, South China. *Gondwana Research*, 25, 1057-1069. (査読有)
- [5] Okada, Y., Sawaki, Y., Komiya, T., Hirata, T., Takahata, N., Sano, Y., Han, J. & Maruyama, S. 2014. New chronological constraints for Cryogenian to Cambrian rocks in the Three Gorges, Weng'an and Chengjiang areas, South China. *Gondwana Research*, 25, 1027-1044. (査読有)
- [6] Sawaki, Y., Tahata, M., Ohno, T., Komiya, T., Hirata, T., Maruyama, S., Han, J. & Shu, D. 2014. The anomalous Ca cycle in the Ediacaran ocean: Evidence from Ca isotopes preserved in carbonates in the Three Gorges area, South China. *Gondwana Research*, 25, 1070-1089. (査読有)
- [7] Shimura, T., Kon, Y., Sawaki, Y., Hirata, T., Han, J., Shu, D. & Komiya, T. 2014. In-situ analyses of phosphorus contents of carbonate minerals: Reconstruction of phosphorus contents of seawater from the Ediacaran to early Cambrian. *Gondwana Research*, 25, 1090-1107. (査読有)
- [8] Yamada, K., Ueno, Y., Yamada, K., Komiya, T., Han, J., Shu, D., Yoshida, N. & Maruyama, S. 2014. Molecular fossils extracted from the Early Cambrian section in the Three Gorges area, South China. *Gondwana Research*, 25, 1108-1119. (査読有)
- [9] Han, J., Kubota, S., Li, G., Yao, X., Yang, X., Shu, D., Li, Y., Kinoshita, S., Sasaki, O., Komiya, T. & Yang, G. 2013. Early Cambrian Pentamerous Cubozoan Embryos from South China. *PLoS ONE*, 8, e70741. (査読有)
- [10] Ishikawa, T., Ueno, Y., Shu, D., Li, Y., Han, J., Guo, J., Yoshida, N. & Komiya, T. 2013. Irreversible change of the oceanic carbon cycle in the earliest Cambrian: High-resolution organic and inorganic carbon chemostratigraphy in the Three Gorges area, South China. *Precambrian Research*, 225, 190-208. (査読有)
- [11] Kon, Y., Komiya, T., Anma, R., Hirata, T., Shibuya, T., Yamamoto, S. & Maruyama, S. 2013. Petrogenesis of the ridge subduction-related granitoids from the Taitao Peninsula, Chile Triple Junction Area. *Geochemical Journal*, 47, 167-183. (査読有)
- [12] Rumble, D., Bowring, S., Iizuka, T., Komiya, T., Lepland, A., Rosing, M. T. & Ueno, Y. 2013. The oxygen isotope composition of Earth's oldest rocks and evidence of a terrestrial magma ocean. *Geochemistry*,

- Geophysics, Geosystems-G3*, 14, 1929–1939. (査読有)
- [13] Sajeev, K., Windley, B. F., Hegner, E. & Komiya, T. 2013. High-temperature, high-pressure granulites (retrogressed eclogites) in the central region of the Lewisian, NW Scotland: Crustal-scale subduction in the Neoproterozoic. *Gondwana Research*, 23, 526-538. (査読有)
- [14] Shibuya, T., Tahata, M., Ueno, Y., Komiya, T., Takai, K., Yoshida, N., Maruyama, S. & Russell, M. J. 2013. Decrease of seawater CO₂ concentration in the Late Archean: An implication from 2.6 Ga seafloor hydrothermal alteration. *Precambrian Research*, 236, 59-64. (査読有)
- [15] Tahata, M., Ueno, Y., Ishikawa, T., Sawaki, Y., Murakami, K., Han, J., Shu, D., Li, Y., Guo, J., Yoshida, N. & Komiya, T. 2013. Carbon and oxygen isotope chemostratigraphies of the Yangtze platform, South China: Decoding temperature and environmental changes through the Ediacaran. *Gondwana Research*, 23, 333-353. (査読有)
- [16] Yamamoto, S., Komiya, T., Yamamoto, H., Kaneko, Y., Terabayashi, M., Katayama, I., Iizuka, T., Maruyama, S., Yang, J., Kon, Y. & Hirata, T. 2013. Recycled crustal zircons from podiform chromitites in the Luobusa ophiolite, southern Tibet. *Island Arc*, 22, 89-103. (査読有)
- [17] Shibuya, T., Tahata, M., Kitajima, K., Ueno, Y., Komiya, T., Yamamoto, S., Igisu, M., Terabayashi, M., Sawaki, Y., Takai, K., Yoshida, N. & Maruyama, S. 2012. Depth variation of carbon and oxygen isotopes of calcites in Archean altered upper oceanic crust: Implications for the CO₂ flux from ocean to oceanic crust in the Archean. *Earth and Planetary Science Letters*, 321-322, 64-73. (査読有)
- [18] Yoshiya, K., Nishizawa, M., Sawaki, Y., Ueno, Y., Komiya, T., Yamada, K., Yoshida, N., Hirata, T., Wada, H. & Maruyama, S. 2012. *In situ* iron isotope analyses of pyrite and organic carbon isotope ratios in the Fortescue Group: Metabolic variations of a Late Archean ecosystem. *Precambrian Research*, 212-213, 169-193. (査読有)
- [19] Katayama, I., Michibayashi, K., Terao, R., Ando, J.-I. & Komiya, T. 2011. Water content of the mantle xenoliths from Kimberley and implications for explaining textural variations in cratonic roots. *Geological Journal*, 46, 173-182. (査読有)
- [20] Komiya, T. 2011. Continental recycling and true continental growth. *Russian Geology and Geophysics*, 52, 1516-1529. (査読有)
- [21] Safonova, I. Y., Buslov, M. M., Simonov, V. A., Izokh, A. E., Komiya, T., Kurganskaya, E. V. & Ohno, T. 2011. Geochemistry, petrogenesis and geodynamic origin of basalts from the Katun' accretionary complex of Gorny Altai (southwestern Siberia). *Russian Geology and Geophysics*, 52, 421-442. (査読有)
- [22] Safonova, I. Y., Seltman, R., Kröner, A., Gladkochub, D., Schulmann, K., Xiao, W., Kim, J., Komiya, T. & Sun, M. 2011. A new concept of continental construction in the Central Asian Orogenic Belt (compared to actualistic examples from the Western Pacific). *Episodes*, 34, 186-196. (査読有)
- [23] Safonova, I. Y., Sennikov, N. V., Komiya, T., Bychkova, Y. V. & Kurganskaya, E. V. 2011. Geochemical diversity in oceanic basalts hosted by the Zasukh'ya accretionary complex, NW Russian Altai, Central Asia: Implications from trace elements and Nd isotopes. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42, 191-207. (査読有)

〔学会発表〕 (計 16 件)

- [1] Komiya, T., Yamamoto, S., Shimojo, M. & Aoki, S. 2013 The oldest accretionary complex and the beginning of the Pacific-type orogeny based on geology of the 3.96 Ga Nulliak supracrustal rocks in Labrador. The International Biogeoscience Conference 2013 Nagoya, Japan, Nagoya, Japan, 3rd November 2013.
- [2] Komiya, T., Han, J., Nakao, T., Uesugi, K. & Hoshino, M. 2012 Synchrotron X-ray Micro-Ct analyses of the Early Cambrian microfossils. 2012 GSA Annual meeting, Charlotte, North Carolina, USA, 5 November 2012.
- [3] Komiya, T., Shimojo, M., Yamamoto, S., Sawaki, Y., Ishikawa, A., Aoki, K. & Collerson, K. D. 2012 Geology of the Nain Complex, Labrador, Canada: Occurrence of the Early Archean supracrustals. The 22nd V.M. Goldschmidt Conference, Montréal, Québec, Canada, 24-29 June 2012.
- [4] Tahata, M., Ueno, Y., Sawaki, Y., Kikumoto, R., Nishizawa, M., Komiya, T., Yoshida, N. & Maruyama, S. 2012 Ediacaran carbon isotope anomaly records shallow marine event, not entire ocean. The 22nd V.M. Goldschmidt Conference, Montréal, Québec, Canada, 27th June 2012.

〔その他〕

ホームページ等
<http://ea.c.u-tokyo.ac.jp/earth/Members/komiya.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小宮 剛 (KOMIYA, Tsuyoshi)
 東京大学・
 大学院総合文化研究科・准教授
 研究者番号：30361786