

平成 22 年 5 月 18 日現在

研究種目： 基盤研究(B)  
 研究期間： 2007 ~ 2009  
 課題番号： 19340150  
 研究課題名(和文) ピルバラクラトンに産出する多様な大型微化石群の起源と生命初期進化における意義  
 研究課題名(英文) Diverse and large Archean microfossil assemblage from the Pilbara Craton -its origin and significance in the early evolution of life-  
 研究代表者  
 杉谷 健一郎 (SUGITANI KENICHIRO)  
 名古屋大学・大学院環境学研究科・教授  
 研究者番号：20222052

研究成果の概要(和文)：オーストラリア・ピルバラクラトン・ファレル珪岩層に産出する太古代(約30億年)大型微化石群について、画像データの大量収集、微化石抽出、画像解析ソフトによる3次元像復元、生活環復元と系統分類、母岩の希土類元素パターン解析、Nano-SIMSによる微小領域分析を行い、その生物起源性を確実なものとした。太古代浅海域における生物多様性が従来考えられていたよりも遥かに豊かで、酸素発生型光合成生物や真核生物の出現が中期太古代にまで溯る可能性を示唆した。

研究成果の概要(英文)：

Morphologically diverse microfossils from the ca. 3.0 Ga Farrel Quartzite in the Pilbara Craton, Western Australia were studied comprehensively, including accumulation of photo data of microfossils, palynological extraction of microfossils, reconstruction of 3-D images, reconstruction of life cycle and taxonomic analyses, analyses of rare-earth elements in host cherts, and Nano-SIMS elemental mapping. The results of these studies are consistent with the biogenicity of the Farrel Quartzite microstructures, and suggest that the surface ecosystem in the Archean was much more diverse than currently postulated and the possibility that the assemblage includes oxygen-producing photosynthetic bacteria and even eukaryotes.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	7,200,000	2,160,000	9,360,000

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：太古代、初期生命、進化、ピルバラクラトン、シアノバクテリア、真核生物

1. 研究開始当初の背景

生命の起源と初期進化というテーマは、数

多くの人々の知的関心・興味の対象であり続けてきた。生命はどこでどのように発生し、

進化したのか、という問いに対する学際的なアプローチが NASA の宇宙生物学研究センターを中心に続けられている。ところが、生命の起源・初期進化の研究に欠くことの出来ない 30 億年以前の地層からの微化石の報告例は少なく、またその真偽が定まっていない場合も珍しくない。一方申請者らは太古代 (25 億年以前) の地層が分布する西オーストラリア・ピルバラクラトンにおいて 10 年以上地質調査と試料採集を継続し、初期地球の堆積環境や大陸地殻発達史に関する多くの知見を得てきた。そして 2001 年にゴールズワージー地域において採集したファレル珪岩の黒色チャート中に、多様な形態を有する有機炭素質の構造を発見した。そしてオーストラリアとの二国間共同研究 (日本学術振興会 H16-17) によって、これらの構造が 30 億年前の、これまで報告されたことのない太古代微化石群であることを明らかにしつつあった。

この微化石群には直径 20 $\mu\text{m}$  を超え、太古代のものとしては“大型”といえるものが珍しくなく、サイズの異なる酸素発生型光合成細菌 (シアノバクテリア) の栄養細胞や真核細胞にさえ対比可能である。すなわち、このゴールズワージー地域の微化石群は、これまでの生命初期進化に関する一般的知見の枠組みから逸脱する、そしてそれ故に極めて重要な発見であることが示唆された。しかしながら太古代の微化石研究をとりまく情勢は極めて懐疑的であり、研究の慎重な展開が求められる状況であった。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、以下の 3 点に集約される。

(1) ピルバラクラトン・マウントゴールズワージーから出来る限り多くの、状態の良い微化石のデータを収集・整理してデータベース化を進め、そのデータベースに基づいて基本的な分類基準を確立する。

(2) 可能な限り多くの異なったアプローチにより微化石の生物起源性について確認する。

(3) そして生命の進化において極めて重要な酸素発生型光合成細菌、真核生物がピルバラクラトン・ゴールズワージー微化石群に含まれるのか否か、すなわちそれらの出現がはたして 30 億年以前にさかのぼるのか、を明らかにすることである。

## 3. 研究の方法

(1) 現地調査で採集した含微化石チャートから薄片を作成し、デジタルカメラシステムを搭載した偏光顕微鏡を用いて効率的にデータを収集し、画像データベースを作成する。

(2) 有機溶媒によるバイオマーカー分子の抽出を試み、微化石群にどのような微生物が

含まれていたか、特に酸素発生型光合成細菌や真核生物の存在の有無について、有機化学的情報を得る。

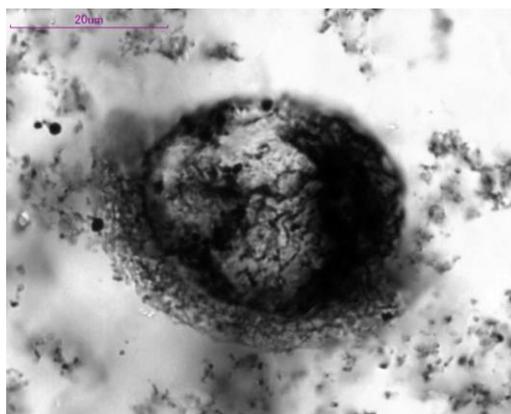
(3) 母岩である黒色炭素質チャートとその上位に連続的に産出する海成の層状チャートを系統的に採取し、希土類元素組成から堆積環境の変遷と黒色炭素質チャートの起源を明らかにする。

(4) Nano-SIMS を用いた微少部化学分析を行い、微化石構造が炭素だけでなく窒素や硫黄等の有機元素に富むことを確認する。

(5) 花粉化石を抽出する方法を応用し、フッ酸分解によって微化石の抽出を試みる。微化石様構造が有機的な膜から構成されていることを実証し、その生物起源性をより確実なものにする。

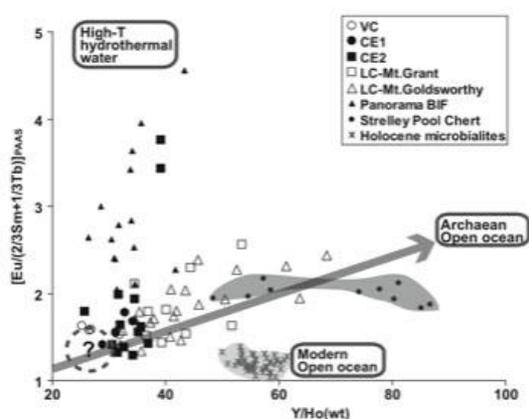
## 4. 研究成果

(1) 画像データを 2000 以上収集し、一部については 3 次元像の復元を行った。3 次元画像の復元により、微化石の形態上の不完全さや精巧さをリアルに再現することに成功し、生物起源性の信頼性をより高めることが出来た (下図)。



またフッ酸分解による微化石の抽出にも成功した。これは微化石様構造が有機的な膜構造を保持していることを示している。さらに微少領域分析により炭素だけでなく、窒素や硫黄が微化石様構造に濃集していることを明らかにした。これらの証拠は全て生物起源性を指示する。これまで論文コメント等の形で我々への反論が見られないという事実は、懐疑的な研究者もファレル珪岩微化石群の「生物起源性」を受け入れざるを得ない状況にあることを示している。懐疑的な見方が根強い太古代微化石研究においてこれは特筆すべきである。また収集した膨大なデータにもとづいて、微化石群に見られる形態的多様性の少なくとも一部は生活環の各ステージに対応した形態変化による事を示唆することができた。さらにこの点を考慮した上でも極めて多様な微生物化石が約 30 億年前の化石群に含まれることを、球状化石を例として示した。

(2) 微化石を含む黒色チャートとその上位に産出する層状チャートの希土類元素組成を分析した。層状チャートは岩相や層序から海成層と考えられる一方、微化石を含む黒色チャートは蒸発岩を伴っている。ファレル珪岩自体は大陸縁辺で堆積したと考えられるので、蒸発岩の堆積場は陸水の影響を受けていた可能性が予想された。希土類パターンはその予想を裏付けるものであり、黒色チャートの希土パターンは層状チャートのそれと系統的に異なっていた。層状チャートは現生や太古代の同じく海成とされるチャートや炭酸塩岩と同様のパターンを示す一方、含微化石チャートはコンドライト的な Y/Ho 比や Eu 正異常の欠如等異なる特徴を有していた(下図)。



このことにより含微化石チャートが高温熱水の産物でないこと、すなわち生物にとってより生息しやすい穏やかな環境下で生成したことを立証することができた。また完全な海洋環境でない、陸水と海水が混ざるような不安定な環境下において、しかも浅海域において多様な微生物群からなる生態系が既に30億年前に成立していたことを示した意義は大きい。

##### 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6件)

1) Sugahara, H., Sugitaniani, K., Mimura, K., Yamashita, F. and Yamamoto, K. A systematic rare-earth elements and yttrium study of Archean cherts at the Mount Goldsworthy greenstone belt in the Pilbara Craton: Implications for the origin of microfossil-bearing black cherts. *Precambrian Research*, 177, 73-87, 2010, 査読有り

2) Sugitani, K., Grey, K., Nagaoka, T.,

Mimura, K. Three-dimensional morphological and textural complexity of Archaean putative microfossils from the northeastern Pilbara Craton: Indications of biogenicity of large (>15µm) spheroidal and spindle-like structures. *Astrobiology*, 9, 603-615, 2009, 査読有り

3) Oehler, D. Z., Robert, F., Walter, M. R., Sugitani, K., Allwood, A., Meibom, A., Mostefaoui, S., Selo, M., Thomen, A., Gibson, E. NanoSIMS: Insights to biogenicity and syngeneity of Archean carbonaceous structures. *Precambrian Research*, 173, 70-78, 2009, 査読有り

4) Sugitani, K., Grey, K., Nagaoka, T., Mimura, K., Walter, M. R. Taxonomy and biogenicity of Archean spheroidal microfossils (c. 3.0 Ga) from the Mount Goldsworthy-Mount Grant area in the northeastern Pilbara Craton, Western Australia. *Precambrian Research*, 173, 50-59, 2009, 査読有り

5) Grey, K. and Sugitani, K. Palynology of Archean microfossils (c. 3.0 Ga) from the Mount Grant area, Pilbara Craton, Western Australia: Further evidence of biogenicity. *Precambrian Research*, 173, 60-69, 2009, 査読有り

[学会発表] (計6件)

1) 杉谷 健一郎 「ピルバラクラトン・マウントゴールドズワージー地域に産する太古代堆積岩の岩石学・地球化学・古生物学」日本地球化学会、2008.9.18、東京大学

2) Sugitani, K., Grey, K., Nagaoka, T., Mimura, K., Walter, M. R. "Putative Archean microfossils (>3.0Ga) from the Mount Goldsworthy and Mount Grant Area in the Pilbara Craton, Western Australia: Taxonomic reinterpretation and implications for ancient biotic diversity and evolution." World Summit on Ancient Microscopic Fossils, 2008.7.2. UCLA (US) .

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：

種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況（計0件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://web.me.com/pilbarasurftrip/Site/Welcome.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

杉谷 健一郎 (SUGITANI KENICHIRO)  
名古屋大学・大学院環境学研究科・教授  
研究者番号：20222052

### (2) 研究分担者

三村 耕一 (MIMURA KOICHI)  
名古屋大学・大学院環境学研究科・教授  
研究者番号：80262848

山本 鋼志 (YAMAMOTO KOSHI)  
名古屋大学・環境学研究科・准教授  
研究者番号：70183689

南 雅代 (MINAMI MASAYO)  
名古屋大学・年代測定資料研究センター・  
准教授  
研究者番号：90324392

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：