

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 26 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24654162

研究課題名(和文)シアノバクテリアが生み出した太古代「酸素オアシス」における真核生物の進化

研究課題名(英文) Early evolution of eukaryotic microorganisms in Archean oxygen oasis produced by cyanobacteria

研究代表者

杉谷 健一郎 (Sugitani, Kenichiro)

名古屋大学・環境学研究科・教授

研究者番号：20222052

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：西オーストラリアのファレル珪岩層(30億年前)の複数地点から産出する微化石について詳細な研究を行った。その結果、内部に一個～複数の大型娘細胞(あるいは孢子)を有する、真核細胞的な特徴を有する極めて貴重な標本を発見した。また高解像度の走査電子顕微鏡分析によってレンズ状微化石のつば状突起(フランジ)が微細なメッシュ構造を有し、細胞骨格の関与で形成された可能性を示すことができた。さらに個々の微化石の炭素同位体比の特徴(マトリクスの炭質物と異なる)やリンと窒素の濃集を明らかにし、その生物起源性を確固たるものとした。

研究成果の概要(英文)：We performed detailed studies on Archean microfossils collected from multiple localities in the 3.0 Ga Farrel Quartzite (FQ) in the Pilbara Craton, Western Australia, with referring to the 3.4 Ga Strelley Pool microfossils (stored in Nagoya University). The PI has discovered some very important specimens including large lenses with single to several objects inside, which provide constraint on biological affinity (eukaryotic) of lenticular microfossils. Also high resolution SEM analyses revealed that sheet-like appendage (flange) is composed of fine meshwork, which suggests the possibility that the structure is constructed and maintained by cytoskeleton. Also carbon isotopic values of individual microfossils were determined, revealing that their data are distinct from the isotopic values of the matrix carbonaceous particles. Concentration of phosphorous and nitrogen in the structures was also confirmed. With these results, the biogenicity of FQ microfossils is firmly established.

研究分野：地球生物学

キーワード：真核生物 太古代 酸素オアシス シアノバクテリア ピルバラクラトン

### 1. 研究開始当初の背景

シアノバクテリアと真核生物の出現は生命進化における最重要イベントである。シアノバクテリアは 27 億年以前に、真核生物は大酸素事変 (23 億年前頃) 以降に、それぞれ出現したと考えられている。しかし、これらの一般的シナリオに十分な制約を与えることのできる、信頼性の高い微化石記録はこれまで報告されておらず、このシナリオ自体についても実際は議論が多い。さらに、この生命初期進化に関する未解決問題について、西オーストラリア・ピルバラクラトンの 30 億年前の地層 (ファレル珪岩層) と 34 億年前の地層 (スティルリー・プール層) から申請者が発見した、多様な形態を有する微化石群が、新たな問題をなげかけている。なぜならその微化石群には、形態学的には真核生物に対比されるもの—大型レンズ状微化石—が含まれているからである。その生物起源性は科学研究費補助金 (基盤 B) (H19-21, H22-25) 等の補助を得て進めた研究によって確実にしたものの、その特異性故に依然としてその存在にさえ疑問を呈する研究者も少なからずいる、という状況である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、約 30 億年前のファレル珪岩微化石群 (ファレル珪岩微生物群) について、その生物起源性を確実なものとするための追加データを収集するとともに、その分類学的な解釈を深めることである。このファレル珪岩微化石群を産出するのは、層厚 30cm に満たない黒色チャート層であるが、それは約 7km にわたって追跡出来、つねに下位に蒸発岩を伴う。このことより、ファレル珪岩微生物群は閉鎖的な水域に生息していたと推測される。またファレル珪岩微生物群には現生シアノバクテリアに対比できる小型球状のものも含まれる。これらのことから申請者らは、この水域が、シアノバクテリアにより生産された酸素が蓄積された“酸素オアシス”であり、大型のレンズ状微生物はそこで進化した真核生物である、という仮説をたてた。この仮説を検証することが、本研究の最終的な目的である。

### 3. 研究の方法

本研究では、1) 岩石薄片を用いた微化石の観察、2) 塩酸-フッ酸分解によって抽出した微化石の観察、3) 微化石の個別炭素同位体比の測定、4) 分離精製したケロジェンの分析、5) スティルリー・プール層 (34 億年) の同様の化石との比較、を行った。それぞれの方法で意図するところを以下に説明する。

- 1) 真核生物としての特徴を有する標本をより多く収集する。
- 2) レンズ状微化石のつば状突起部分に確認され、真核細胞の細胞壁に見られるオーナメント (システムティックな微細構造)

に対比される構造を走査型電子顕微鏡 (SEM) 等でより詳しく調べる。

- 3) 二次イオン質量分析計 (SIMS) を用いて微化石の形態毎の炭素同位体比組成の違いや、微化石とマトリクス間で違いが認められるかどうかを調べる。
- 4) ケロジェンを熱分解し、フラグメント化したものについてガスクロマトグラフィーを用いて成分分析を行って、バイオマーカーを探索する。
- 5) ファレル珪岩微化石群における真核生物の存在を間接的にサポートする、より古い年代のスティルリー・プール微化石群の生物起源性を確立する。

### 4. 研究成果

#### 4-1. 重要標本の発見

図 1 に代表されるような、内部から孢子様物体を放出している標本の他、内部に一個～複数個の球体 (いずれも十数  $\mu\text{m}$  以上の大きさ) を有するレンズ状微化石標本を新たに確認した。このことは、レンズ状微生物が休眠孢子を形成していた可能性と、その若い栄養細胞の段階においても大きなサイズを有していたことを示す。これは真核細胞としての条件の一つであり、本研究における重要な成果である。

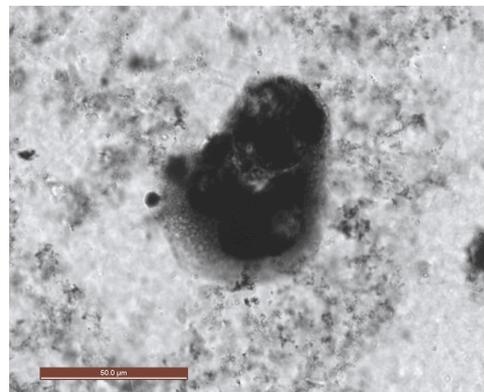


図 1 内部から長径 20  $\mu\text{m}$  以上の孢子 (?) を放出するレンズ状微化石

#### 4-2. オーナメント等の詳細観察

図 2 に示す様に、酸分解によって抽出したレンズ状微化石のつば状突起部分に微細なメッシュ構造が残されていることが分かった。突起縁辺部が滑らかなカーブを描いており、このメッシュ構造が石英の再結晶で形成されたものでないこと (すなわち細胞骨格の関与で形成された) は明らかである。分離抽出した太古代の微化石についてこのような微細構造を観察した例は (筆者らの関連研究を除いて) これまでない。また別途行った SEM 分析 (仏・自然史博物館の F. Robert 博士らとの共同研究) により、窒素、リン等の濃集が確認できた (論文再投稿準備中)。

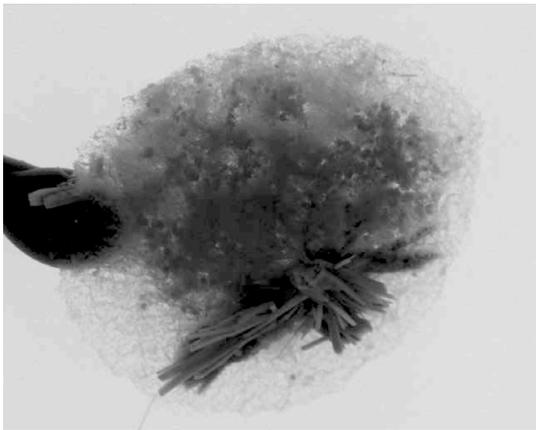


図2 酸分解によって分離抽出したレンズ状微化石の電子顕微鏡写真。左下部にメッシュ状構造が観察出来る。

#### 4-3. 炭素同位体比測定

米・ペンシルバニア州立大学のC.ハウス博士らとの共同研究を進め、レンズ状微化石と小型球状化石、そしてマトリクスに存在する不定型の有機物(ケロジェン)を分析した。レンズ状微化石と小型球状微化石の炭素同位体比は、 $-35.8\text{‰}$ ～ $-40.5\text{‰}$ と $-34.4\text{‰}$ ～ $-44.2\text{‰}$ であり、統計的に有意な差は得られなかった。一方、マトリクスはこれら微化石より有意に重く(平均で $-32.9\text{‰}$ )、微化石様構造が有機物の移動濃集によって形成された“非生物構造”ではないことを証明することができた(Geology, 2013, V. 41, 651-654: 発表年の関係で実績報告書には記載していない)。

#### 4-4. ケロジェンの熱分解分析

仏・マリー・キュリー大学のS. Derrene博士との共同研究をすすめ、抽出・分離したケロジェンのキャラクタリゼーションを進めている(詳細については論文準備中につき差し控える)。

#### 4-5. スティルリー・プール微化石群の生物起源性の確立

34億年前のスティルリー・プール層の2地点から採取した試料からレンズ状微化石を酸分解により抽出し、SEM, FIB-TEM(収束イオンビーム/透過型電子顕微鏡)分析等により内部構造、微細構造を観察した。その結果内部が有機薄膜によって不規則に区画化されていること、あるいは小胞がぎっしり詰まっている場合もあることが明らかとなった。また二次的なプロセスによる形成が疑われていたつば状突起の本体部との連続性が確認された。これにより、どのような生物であったかの議論は不十分なものの、スティルリー・プール層のレンズ状微化石の生物起源性が確立され(発表論文1)、4億年新しいファレル珪岩レンズ状微化石の生物起源性を確固たるものとする事ができた。

## 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1件)

- 1) Sugitani K, Mimura K, Takeuchi M, Lepot K, Ito S, Javaux EJ (in press) Early evolution of large microorganisms with cytological complexity revealed by microanalyses of 3.4 Ga organic-walled microfossils. Geobiology.

[学会発表] (計2件)

- 1) 杉谷健一郎, 三村耕一, 山口能央, 竹内誠, 浅原良浩, 仙田良子, 鈴木勝彦 「前期太古代の浅海域～陸域(?)における熱水活動と生物多様性」2014年度日本地球化学会第61回年会(2014年9月), 富山大学.
- 2) Oehler DZ, Walsh MM, Sugitani K, House CH. “Spindle-shaped microstructures: Potential models for planktonic life forms on other worlds” 45<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conference 2014 (March, 2014), Texas, USA.

[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://www.info.human.nagoya-u.ac.jp/~sugi/Site/HOME.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：202220521

### (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・准教授  
研究者番号：80262848

浅原 良浩 (ASAHARA, Yoshihiro)  
名古屋大学・大学院環境学研究科・助教  
研究者番号：10281065

竹内 誠 (TAKEUCHI, Makoto)  
名古屋大学・大学院環境学研究科・教授  
研究者番号：80273217

### (3) 連携研究者

なし ( )

研究者番号：