

平成22年5月31日現在

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2006～2009

課題番号：18340174

研究課題名(和文)：太古代の微生物と表層環境と地磁気

研究課題名(英文)：Geophysical and Geochemical Environment of Archean Biosphere

研究代表者

根建 心具 (NEDACHI MUNETOMO)

鹿児島大学・大学院理工学研究科(理学系)・教授

研究者番号：10107849

研究成果の概要(和文)：

本研究では、研究代表者が中心となって推進してきた太古代生物圏掘削計画(ABDP)で掘削したオーストラリア、ピルバラ地域の太古代の試料を使って、微化石の時空分布を調べ、生物を誕生させた地磁気を含む地球環境を調べることを目的にした。

実験の結果、35億年前にダイナモ機能が始まり、地球磁場はつよくなった可能性を指摘できた。その後28億年前地球磁場の強い時期に微生物の多様化が進んだ可能性がある。当時の、遊離酸素量は極めて少なかったが、鉄の沈殿、 Fe^{2+} から Fe^{3+} への酸化は水素イオンを使った鉄バクテリアによってなされた可能性が高い。有機炭素量が少ない理由は続成作用の過程で、赤鉄鉱と有機物が反応して、磁鉄鉱と炭酸ガスに変化した可能性が高い。

一方、27.7億年前にはシアノバクテリアや硫酸還元バクテリアなどの活動から、このころ遊離酸素含有量は上昇したが、磁鉄鉱を酸化するまでには上昇していなかった。

今後の課題としては、続成作用による有機炭素の挙動に関する室内実験を、さらに低温で続ける必要がある。

研究成果の概要(英文)：

The research was driven using the cores from the Pilbara craton in Western Australia by ABDP(Archean Biosphere Drilling Project), to understand the evolution of Archean life and geochemical environment including geomagnetism. Paleomagnetic study suggests that the geomagnetic dynamo might behave at about 3.5 Ga, and that the free oxygen level was very low and iron microbes oxidized ferrous to ferric, bereaving the charge of dissolved hydron. The carbon from organisms in ferruginous Marble Bar Chert might be depleted during diagenesis. On the other hand, the high free oxygen level of 2.77 Ga, is suggested from subsistence of cyanobacteria and sulfate reduction bacteria, but the level was not enough to oxidized magnetite to ferric compounds. The behavior of organic carbon and its isotopic ratio is not known yet, and should be expected in future study.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2005年度 | | | |
| 2006年度 | 8,900,000 | 2,670,000 | 11,570,000 |
| 2007年度 | 2,800,000 | 840,000 | 3,640,000 |
| 2008年度 | 2,200,000 | 660,000 | 2,860,000 |
| 2009年度 | 1,100,000 | 330,000 | 1,430,000 |
| 総計 | 15,000,000 | 4,500,000 | 19,500,000 |

研究分野：地球科学

科研費の分科・細目：岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：ストロマトライト、炭素同位体比、バイオマーカー、古地磁気、古環境

1. 研究開始当初の背景

原始地球を、核の固化、大気と海洋組成の進化、生命の起源と進化、元素の循環等を含めて、システムとして扱う考えはすっかり定着した。研究代表者は鉱床学と鹿児島近海の海底熱水活動の研究成果から地球進化の解明に取り組んできた。生命活動が果たす地球表層における元素の離合集散への役割が重大であることが強調されるに至り、我々の研究は一挙に学際化した。1996年カナダの縞状鉄鉱層とストロマトライトの調査に端を発し、碎屑性黄鉄鉱・閃ウラン鉱の研究(Nedachi et al., 1998)を発表して以来、鉱床学的手法を使って太古代の生命と環境の解明に努力し、その成果を鉱床学にフィードバックしてきた。

太古代の研究における最近の我々の成果は、南アフリカでは22.4億年前の古土壌から当時大気中には遊離酸素が存在したことを提案し(Buick et al., 2002)、さらに24.5億年前にも現在の0.04~1.2%以上の遊離酸素量を明らかにした

(Nedachi, Y. et al., 2005)。酸素がなかった証拠とされた27.7億年前の古土壌は、古土壌でなく浅海の還元的熱水作用の産物であることも明らかにした(野崎ほか, 2002)。

Farquhar et al.(2000)は、硫黄同位体のMass Independent Fractionation (MIF) は、22億年前以前遊離酸素が存在しなかったためであると提唱した。MIF現象は我々も確認した(前田, 2001)が、一義的に遊離酸素(オゾン層)にさせることにはまだ懐疑的である。

2002年に研究代表者が始めた西オーストラリアでの太古代生物圏掘削計画(ABDP)によって、成果は飛躍的に上がってきた。国際学会ではあわせて37件の発表を行ってきた。その重要な発見の一つは、34.6億年前に鉄酸化物が初生鉱物として堆積したことの発見である。さらに34.6億年前の地磁気の逆転は最古の地球ダイナモの発見である。一般に地球磁場の強度

は28億年前頃から強くなり始めたと言われる。我々も27.7億年前のMt Roe玄武岩に磁場の強度測定可能な試料を見つけ出した。これらから、核の固化が進んでダイナモが駆動し、地球磁気圏の形成が生物の急速な生長を促したという作業仮説を形成するに至った。

一方、27億年以前の有機炭素の同位体比が高い現象はどのように解釈するかは大きな問題である。今まで我々が見つけてきた、多様な微生物の出現時期をさらに詳細に検討するために、地球表層部のメタン濃度に視点をあてる時期に来ている。

2. 研究の目的

本研究では、研究代表者が中心となって推進してきた太古代生物圏掘削計画(ABDP)で掘削したオーストラリア、ピルバラ地域の太古代のコアを使って、地球磁場を支えるダイナモの変動を時間軸に、微化石の時空分布を調べ、生物を誕生させた地球環境を調べることを目的にした。特に、35億年前から27億年前までの有機炭素の同位体比の変化を、広域変成作用、熱変成作用、熱水変質作用等の影響を評価した上で、当時の生命・大気・海洋圏の環境変化の解析の一助とすることを目的とした。

3. 研究の方法

ABDPの掘削コアを用い、次の実験を重点的に行った。

- 1) 岩石磁気および古地磁気測定
- 2) 炭素と硫黄の同位体比測定
- 3) バイオマーカー抽出とGC/MS/MSによる有機物の同定
- 4) 上記のほか、走査型電子顕微鏡やX線マイクロアナライザなどによる岩石および鉱物化学的な実験

4. 研究成果

4年間の研究成果をまとめると次のようになる。

- (1) 古地磁気：最初の2年間で、Yarrie

地点の Cleaverville Iron Formation (29～30 億年前)、および Eastern Creek 地点の Tumbiana Formation (27.4 億年前) のコアを使って、その自然残留磁気の交流消磁と熱消磁を行った。その結果 Cleaverville Iron Formation の残留磁気は二次成分が添加しており、初生の残留磁気を全く求めることはできなかった。このことは1つの有力な可能性として当時の地磁気が極めて弱かったと示唆された。一方、27.4 億年前の Tumbiana Formation の残留磁気は一次成分と二次成分が明瞭に分離でき、初生残留磁気は地磁気の逆転期(現在の地磁気とは反対の下方向)に獲得されたことが明らかになった。さらに、2次成分は、磁性鉱物は続成作用によってチタン鉄鉱から酸化した磁鉄鉱であることを明らかにし、玄武岩の噴火直後に、地表での酸化的環境があったことが示唆された。2008 年以降、補足実験を行ったが、それまでの解釈を根本的に修正する必要がないことを確認した。すなわち、地磁気は 34.6 億年前には地磁気の逆転が確認できる程度の強度があったが、その後衰えたと解釈でき、27.7 億年前からは地磁気の逆転が頻繁に起こっていたと結論できる。

(2) 軽元素同位体比: 2006～2007 年には、ストロマトライトに富む Tumbiana Formation (27.4 億年前) の有機炭素の炭素同位体比を測定した。ストロマトライトは-40‰以下の値を示し、従来言われていた (Freeman et al., 2004) ように異常に低いことが確認された。この値からはメタン酸化細菌の棲息が推定されるが、ストロマトライト(シアノバクテリア)とどのように共生したかという点で、非常に重要な問題点が提起された。

これらの炭素同位体比が熱変成作用や熱水変成作用、広域変成作用による変動を検討する為に、2009年には、微小部の炭素同位体比の変動を吟味した。その結果、粘土に吸着された有機炭素は-30～-20‰であるのに対し、地層にほぼ平行な鉱脈に産出する有機炭素は-60～-40‰を示し、2つの起源の有機炭素が存在する可能性がある。すなわち、軽い炭素同位体比はそれ以前に、あるいは深部で棲息していたメタン系微生物の有機炭素の変成作用による混入と解釈できる。

(3) バイオマーカー: 2006～2007 年には、34.6 億年前の Marble Bar Chert と 27.7 億年

前の Mt. Roe Basalt 中の頁岩のコアから有機物を抽出して、その同定を行った。真核生物起源のバイオマーカーが検出され、後の時代の石油に汚染されていると解釈される。この汚染は 21 億年前のクラトン衝突の際に起こったものと推定され、したがって真核生物の出現はそれ以前であるとの結論に達した。

(4) 鉄バクテリア: 34.6 億年前の Marble Bar Chert 中には赤鉄鉱や磁鉄鉱が含まれ、その成員に関しては学界の重要な関心事である。ABDP でこれらの鉄酸化物は初生鉱物であることを明らかにしたが、その生成機構については2つの可能性がある。この当時、既に海水中に酸化剤である遊離酸素が存在していたか、水素イオン利用など遊離酸素なしに鉄酸化物を生成する微生物の役割かかどのいずれかであろう。研究代表者らは本研究の前に、34.6 億年前の Marble Bar Chert には-30～-20‰の炭素が存在し現生の鉄バクテリアと極めて形状がよく似ていることを明らかにしていた。これは後者の可能性が高いが、この考えには重要な障害がある。Marble Bar Chert 中に残留している有機炭素含有量は 0.2%以下で、極めて少ないことである。

これを解釈するために、酸性海水中で浮遊性鉄バクテリアが太陽光線と水素イオンを使って鉄を沈殿させたが、有機炭素が続成作用を受けることで還元剤として消費されたとの作業仮説を立てた。これを実証するため室内実験で続成作用の再現実験を行った。2007～2008 年にわたって、水酸化鉄とシリカに過飽和な海水から沈殿したと考えられるシリカゲルを共に人工的につくってアミノ酸及びたんぱく質と混合し、これを高温高压の環境下において模擬実験を行った。その結果、シリカゲルが石英に転移する過程で、有機物は水酸化鉄を還元して磁鉄鉱を形成し、有機物自身は酸化されて炭酸ガスとなることを確認した。しかし実験温度が高いため、2009 年度は温度を 200℃にして更に長時間高压化 (1800Kg/cm²) で実験したが、さらに続けるよう必要がある。

(5) 現世土壌との比較: 2008～2009 年には、太古代の古土壌の形成過程を吟味するために、日本の南西諸島の現世土壌を研究した。有機・無機化学的な変化と、土壌中の微生物の同定を行った。炭素同位体比について太古代との比較は行ったが、現在まで明瞭な結果は得られていない。

以上をまとめると、2006年から4年間の研究を通じて、地球の磁場は35億年前にダイナモ機能が始っていた可能性を指摘できた。その後、27.7億年前まで地球磁場が強かったとの証拠は得られず、微生物の多様化が進んだのは、地球磁場の強い時期に符合する可能性がある」と推論できた。

35億年当時の、遊離酸素量は極めて少なかったが、鉄の沈殿、 Fe^{2+} から Fe^{3+} への酸化は水素イオンを使った鉄細菌による可能性が指摘できた。ただし細菌の存在を示す有機炭素の存在量は極めて低い(0.2%以下)。すなわち、赤鉄鉱・磁鉄鉱を含有するチャート中に鉄細菌の痕跡である有機炭素量が少ない理由は続成作用の過程で、赤鉄鉱(あるいは針鉄鉱)が反応して、磁鉄鉱と炭酸ガスに変化した可能性が高い。27.7億年前にはシアノ細菌や硫酸還元細菌などの活動から、このころ遊離酸素含有量は上昇したが、磁鉄鉱を酸化するだけの量には達していなかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計15件)

- ① Kato, Y., Suzuki, K., Nakamura, K., Hickman, A., Nedachi, M. and Ohmoto, H. (2009) Hematite formation by oxygenated groundwater more than 2.76 billion years ago. *Earth and Planetary Science Letters*, 278, 40-49. (査読有)
- ② Onoue, T. and Stanley, G.D. Jr (2008) Sedimentary facies from Upper Triassic reefal limestone of the Sambosan Accretionary Complex in Japan: mid-ocean patch reef development in the Panthalassa Ocean. *Facies*, 54, 529-547. (査読有)
- ③ Tomiyasu, T., Eguchi, T., Yamamoto, M., Anazawa, K., Ando, T., Nedachi, M., Marumo, K. and Sakamoto, H. (2007) Influence of submarine fumaroles on the distribution of mercury in the sediment of Kagoshima Bay, Japan. *Marine Chemistry*, Vol.109, 173~183. (査読有)
- ④ Sugauma, Y., Hamano, Y., Niitsuma, S., M. Hoashi, T. Hisamitsu, N. Niitsuma, Kodama, K and Nedachi, M. (2006) Paleomagnetism

of the Marble Bar Chert Member, Western Australia: Implications for apparent polar wander path for Pilbara craton during Archean time. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol.252. 360-371. (査読有)

- ⑤ Akai, J., Ito, S., Sekiguchi, N. and Nedachi, M. (2006) Mineralogy of microbial fossil-like textures in the Precambrian Marble Bar chert and Gunflint Chert. *Materials Science and Engineering*, 26, 613-616. (査読有)

〔学会発表〕(計23件)

- ① Nikaido, T., Matsuoka, A., Onoue, T., Zamoras, L.R. (2008) Lithology of Triassic-Jurassic bedded chert in Dimanglet and Marinon Islands, North Palawan, Philippines. IGC, Oslo, Norway, Aug, 2008.
- ② Matsuoka, A., Nikaido, T., Onoue, T., Zamoras, L.R. (2008) Radiolarian chert with striped structure and its paleoceanographic significance. 日本地球惑星科学連合大会, 千葉, 2008年5月.
- ③ Nedachi, M., Nedachi, Y., Sakaki, H. and Terashima, K. (2006) Hydrothermal alteration in the 2.77 Ga Mt Roe basalt, Pilbara, Western Australia. IMA, Kobe, Japan. July, 2006.
- ④ Hoashi, M., Nedachi, M. and Ohmoto, H. (2006) Bio-activity in the 3.46 Ga hydrothermal system; ferruginous Marble Bar Chert, Pilbara, Western Australia. IMA, Kobe, Japan. July, 2006.
- ⑤ Furusawa, M. and Nedachi, M. (2006) Chlorine geochemistry of volcanic rocks in the Hokusatsu gold mining district in Kyushu, Japan. IMA, Kobe, Japan. July, 2006.

〔図書〕(計5件)

- ① 根建心具 (編) (2010) 鹿児島探訪-自然-, pp133、斯文堂.
- ② 根建心具 (編) (2010) 鹿児島探訪-国際貢献-, pp140、斯文堂

〔その他〕

ホームページ

<http://astro.sci.kagpshima-u.ac.jp/nedachi-kawaminami/planet/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

根建 心具 (NEDACHI MUNETOMO)
鹿児島大学・大学院理工学研究科 (理学系)・教授
研究者番号 : 10107849

(2) 研究分担者

根建 洋子 (NEDACHI YOUKO)
鹿児島純心女子大学・看護栄養学部・教授
研究者番号 : 80290659

尾上 哲治 (ONOUE TETSUJI)
鹿児島大学・大学院理工学研究科 (理学系)・助教
研究者番号 : 60404472