

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 18 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21403009

研究課題名（和文）

太古代前期縞状鉄鉱層形成と光合成微生物進化との関連

研究課題名（英文）

Relationship between photosynthesis and banded iron formations at the early Archean

研究代表者

掛川 武 (KAKEGAWA TAKESHI)

東北大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：60250669

研究成果の概要（和文）：

バーバートン地域の縞状鉄鉱層調査により、32億年前に縞状鉄鉱層形成時に海水からクロム酸化物が沈殿する事が分かった。酸素同位体分析の結果、クロム酸化物は酸素発生の光合成によって酸化環境が蔓延したためと結論つけた。またランビーレイク地域の縞状鉄鉱層調査では30億年前の海洋環境における酸素発生型光合成微生物と化学合成細菌の生態系の対比に成功し、複数回にわたる地質調査から海底熱水の強弱と微生物活動の関係が具体化された。

研究成果の概要（英文）：

Diagenetic chromium oxides were newly found in banded iron formations at 3.2 Ga Barberton Greenstone Belt, South Africa. Oxygen isotope analyses of chromium oxides suggest oxygen from photosynthesis was responsible for oxidation and precipitation of chromium. By studying banded iron formations at Lumby Lake area, Canada, many geological samples recoded the evidence of oxygenic photosynthesis and activities of chemoautotrophs. In particular, "chemoautotrophic" rocks were found to be formed under the influence of submarine hydrothermal activities. In other words, photosynthesis was widespread at the surface oceans and bottom was dominated by chemoautotrophs at 3.0 Ga.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2010年度	5,900,000	1,770,000	7,670,000
2011年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
年度			
年度			
総計	14,700,000	4,410,000	19,110,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：生体・環境鉱物、光合成、太古代、酸素

## 1. 研究開始当初の背景

初期地球海洋環境に特異的に出現した縞状鉄鉱層の成因に関して国際的論争が展開されている。近年、微生物活動の関与が強調されているが、それをサポートする地質学的データと有機化学的データは圧倒的に不足し

ている。生物関与の視点で縞状鉄鉱層の成因を見直す必要が存在した。それに加え酸素非発生型光合成の実体が明らかになりつつあり、酸素発生型光合成だけでなく様々な微生物が関与した可能性も指摘されてきていた。

## 2. 研究の目的

本研究では、グリーンランド、南アフリカとカナダで野外調査を行い38-30億年前に形成された縞状鉄鉱層の堆積環境を規定する。最新鋭の機器分析を通して有機物の窒素、炭素、硫黄同位体組成、バイオマーカー組成を決定し、微生物関与の証拠を提示する。本研究の結果と、外国研究者の室内シミュレーション実験とを総合し、縞状鉄鉱層形成に微生物が関与したことを、微生物のタイプが時代ごとに変遷したことを新たなモデルとして提示してゆくことを目的としている。

## 3. 研究の方法

グリーンランド、南アフリカとカナダで野外調査を行い38-30億年前に形成された縞状鉄鉱層とその周辺層の調査、試料採集を行う。これらは国際研究協力者の支援のもと行われる。採集された試料は東北大学で鉱物記載、各種分析、炭素、硫黄同位体分析、バイオマーカー分析が行われる。大阪大学で窒素同位体分析が行われる。

## 4. 研究成果

南アフリカのバーバートン地域とカナダのランビーレイク地域、グリーンランドのイスア地域および比較研究として海底熱水鉄床やカナダのガンフリント層の地質調査、試料採集を行った。採集された試料を用いて各種化学分析も行われた。その結果、バーバートン地域では、32億年前に海水からクロム酸化物が沈殿する事が分かった。北海道大学の協力のもとSIMSによる酸素同位体分析を新たに展開し、クロム酸化物は酸素発生型の光合成によって酸化的環境が蔓延したためと結論つけた。またランビーレイク地域では30億年前の海洋環境における酸素発生型光合成微生物と化学合成細菌の生態系の対比に成功し、更に今年度の地質調査から海底熱水の強弱と微生物活動の関係が具体化された。現世および近過去の海底熱水鉄床では、海底熱水の変遷に伴い鉄酸化菌を主体にした生態系が発達することが見いだされ、縞状鉄鉱層成因にも結びつく考えが得られた。グリーンランドの縞状鉄鉱層に伴う黒色頁岩から生物由来を指示するTEM組織を新たに見いだした。また新しい窒素同位体分析手法を開発しガンフリント層の有機物をモデルケースに酸素発生型光合成生物と嫌気微生物の活動を示す指標を見いだした。

## 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14件)

1. Ishida A., Hashizume K. and Kakegawa T.

Stepwise combustion analyses of distinct nitrogen isotopic compositions on Paleoproterozoic organic matter, *Geochemical Journal*, vol.46, in press. 査読有り

2. Furukawa Y., Sekine T., Kakegawa T. and Nakazawa H. (2011) Impact-induced phyllosilicate formation from olivine and water. *Geochimica Cosmochimica Acta*. vol. 75, 6461-6472. 査読有り

3. Kakegawa T. and Ishida A. (2011) Gunflint Formation. In *"Encyclopedia of Astrobiology"* Springer-Verlag, Berlin. 697-700. 査読有り

4. Hashizume K., Takahata N., Naraoka H. and Sano Y. (2011) Extreme oxygen isotope anomaly with a solar origin detected in meteoritic organics. *Nature Geoscience* 4, 165-168. 査読有り

5. Hashizume K. (2011) Nitrogen isotopes. In *"Encyclopedia of Astrobiology"* Springer-Verlag, Berlin. 1122-1126. 査読有り

6. Naraoka H., Uehara T., Hanada S. and T. Kakegawa (2010)  $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{\text{D}}$  distribution of lipid biomarkers in a bacterial mat from a hot spring in Miyagi Prefecture, NE Japan. *Organic Geochemistry*. Doi: 10.1016/j.orggeochem.2009.11.008 査読有り

7. Pinti D. L. and Hashizume K. (2010) Early life record by nitrogen isotopes. In *"Earliest Life on Earth: Habitats, Environments and Methods of Detection."* Part 2, Springer-Verlag, Berlin, 183-205. 査読有り

8. Kato S., Yanagawa K., Sunamura M., Takano Y., Ishibashi J., Kakegawa T. et al (2009) Abundance of zetaproteobacteria within crustal fluids in back-arc hydrothermal fields of the Southern Mariana Trough. *Environmental Microbiology*. Vol. 11, pp. 3210-3222. 査読有り

9. Kato S., Hara K., Kasai H., Teramura T., Sunamura M., Ishibashi J-I., Kakegawa T., Yamanaka T., Kimura H., Marumo K., Urabe T., Yamagishi A. (2009) Spatial distribution, diversity and composition of bacterial communities in sub-seafloor fluids at a deep-sea hydrothermal field of the Suiyo Seamount. *Deep Sea Research Part 1*, vol. 56. pp. 1844-1855. 査読有り

10. Kato S., Kobayashi C., Kakegawa T., Yamagishi A. (2009) Microbial communities in iron-silica rich

- microbial mats at deep-sea hydrothermal fields of the Southern Mariana Trough, vol.10, Environmental Microbiology, vol.11. pp.2094-2111. 査読有り
11. Furukawa Y., Sekine T., Oba M., Kakegawa T. and Nakazawa H. (2009) Biomolecule formation by oceanic impacts on early Earth, Nature geoscience, vol.2, 62-66. 査読有り
  12. 掛川武 (2009) 最初の地球の海に降り注ぎ込まれた鉄が生命を生んだ. 岩波「科学」10月号. pp.54-58. 査読無し
  13. 掛川武 (2009) 生命の起源: 地球惑星科学の新しい問題 日本地球惑星科学連合ニュースレター vol.5. 5月号 pp.3-6. 査読無し
  14. Pinti D. L., Hashizume K., Sugihara A., Massault M. and Philippot P. (2009) Isotopic fractionation of nitrogen and carbon in paleoarchean cherts from pilbara craton, western Australia: origin of  $^{15}\text{N}$ -depleted nitrogen. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **73**, 3819-3848. 査読有り
- [学会発表] (計 30 件)
1. 掛川武, 中畑良紹, 長谷川樹, 橋爪光, 花田智, 森 浩二 (2012) 水曜海山海底熱水活動域における有機物窒素同位体と特異的形狀を有した硫化鉄物: YK11-06 速報. ブルーアース 2012, 東京, 2/23
  2. 遠藤美里, 山田亮一, 大竹翼, 掛川武 (2011) 秋田県北鹿地域に産する泥岩 (15-10Ma) 中の 黄鉄鉱の産状から推定される古日本海低層環境変動. 地球化学会、札幌、9/15
  3. 坂本祐樹, 掛川武, 大竹翼 (2011) 南アフリカ・バーバートン地域の 32 億年前碎屑性及び化学性堆積岩中にみられる磁鉄鉱とクロム鉄鉱の起源. 地球化学会、札幌、9/15
  4. 中畑良紹, 山田亮一, 掛川武 (2011) 秋田県北鹿地域黒鉄鉱に伴うケロジェン中の炭素・窒素安定同位体組成. 地球化学会、札幌、9/15
  5. 石田章純, 橋爪光, 掛川武 (2011) 段階燃焼法によって明らかにされた初期原生代有機物窒素同位体比の 2 相性、2011 年度日本地球化学会年会、北海道大学、北海道、9/15
  6. 横田和也, 掛川武 (2011) カナダ・Lumby Lake 地域における 30 億年前堆積岩の地質学的地球 化学的研究. 地球化学会、札幌、9/14
  7. 高橋 聡, 海保邦夫, 山北聡, 大庭雅寛, 掛川武, 渡邊隆広, 山崎 慎一, 小川泰正, 木村和彦, 土屋範芳, 吉田武義, 坂田将, 鈴木紀毅, 永広昌之 (2011) ペルム紀末の大量絶滅とその回復期の遠洋環境の復元、地球化学会、札幌、9/14 (招待講演)
  8. T. Kakegawa (2011) New evidence of early life found in >3.74Ga meta-sedimentary rocks of Isua Supracrustal Belt, Greenland. ISSOL and Bioastronomy, Joint International Conference, Montpellier, France, July 4<sup>th</sup>.
  9. 長谷川樹, 山田亮一, 大竹翼, 掛川武 (2011) 秋田県西観音堂黒鉄鉱堆積物中に産する球状黄鉄鉱の鉱物学的、地球化学的研究、資源地質学会、東京、6/24.
  10. 遠藤美里, 山田亮一, 大竹翼, 掛川武 (2011) 秋田県北鹿地域に産する泥岩 (15-10 Ma) 中フランボイダル黄鉄鉱の産状と堆積環境変動との関係、千葉、幕張、5/24
  11. 長谷川樹, 山田亮一, 大竹翼, 掛川武 (2011) 秋田県西観音堂黒鉄鉱堆積物中に産する黄鉄鉱球晶の鉱物学および地球化学的研究, 幕張、千葉、5/24
  12. T. Kakegawa (2011) Experimental and geological link for prebiotic peptide and ribose formation. 日本地球惑星科学連合大会、幕張、千葉、5/23 (招待講演)
  13. 横田和也, 掛川武 (2011) カナダ・Lumby Lake 地域に産する 30 億年前堆積岩の地質学的・地質学的研究, 日本地球惑星科学連合大会、幕張、千葉、5/23
  14. 坂本祐樹, 大竹翼, 掛川武 (2011) 3 2 億年前に存在した酸化的な海洋表層環境の痕跡, 日本地球惑星科学連合大会、幕張、千葉、5/23
  15. 石田章純, 橋爪光, 掛川武 (2011) 窒素、炭素、硫黄の同位体比から推定されるカナダ・ガンフrint層に記録された 19 億年前の特異な海洋環境と微生物活動、日本地球惑星科学連合 2011 年度連合大会、幕張、千葉、5/23
  16. 高橋聡, 海保邦夫, 渡邊隆広, 掛川武, 大庭雅寛 (2011) ペルム紀末、遠洋域深海相の硫化物硫黄同位体比変動. 日本地球惑星科学連合大会、幕張、千葉、5/22
  17. 掛川武 (2010) 生命起源に関する化学進化の問題点、第 3 回日本アストロバイオロジーネットワーク会議、八王子 9/30 (招待講演)
  18. 掛川武 (2010) ホウ素はバイオマーカーとなりうるか? : イスアからの報告、日本地球惑星科学連合大会、幕張、千葉、5/25.
  19. 掛川武 (2010) 生命の起源・進化とディーブカーボンサイクルとの関係. 日本地球惑星科学連合大会、幕張、千葉、5/24 (招待講演)
  20. 古川善博, 大庭雅寛, 関根利守, 掛川武, 中沢弘基 (2010) 隕石の後期中爆撃による有機物の生成. 日本地球惑星科学連合大会、幕張、千葉、5/24

21. Takegawa T. (2010) Pressure effects on peptide formation: implication to chemical evolution for origin of life. AbSciCon Conference. Huston, USA, April 26.
22. 掛川武 (2010) 34～27 億年前の海底熱水活動と微生物活動との関連：海底熱水場は起源の場か進化の場か？生命の起源と進化学会、函館 3/15-17 (招待講演)
23. Takegawa T. (2010) New evidence of early life recorded in meta-sedimentary rocks of ca. 3.8 Ga Isua Supracrustal Belt, Greenland. Global Network Symposium, Akiu, Sendai, 3/2-4.
24. Ishida A., Hashizume K., Oba M. and Takegawa T. (2010) Geochemistry of 1.9 Ga Gunflint Formation in Canada. Global Network Symposium, Akiu, Sendai, 3/2-4.
25. 掛川武 (2009) バイオマーカーとしての Framboidal Pyrite: 硫黄サイクルから地下生物まで. 日本地球惑星科学連合大会、幕張、千葉、5/16-21
26. 石田章純、掛川武 (2009) カナダ・ガンフrint層に記録された19億年前の特異な微生物活動. 日本地球惑星科学連合大会、幕張、千葉、5/16-21
27. Takegawa T., Saito, M. (2009) Contrast ecosystem between aerobic and anaerobic bacteria recorded in 3.0 Ga sedimentary rocks of the Atikokan-Lumby Lake area, Canada. Goldschmidt Conference. Davos, Swiss, June 21-26.
28. Takahashi S., Kaiho K., Oba M. and T. Takegawa (2009) Weak photic-zone euxinia at the end of the Permian in central pelagic Panthalassa as recorded in marine organic carbon isotopes. Goldschmidt Conference. Davos, Swiss, June 21-26.
29. Ishida A., Oba M. and Takegawa T. (2009) Geochemistry of 1.9 Ga Gunflint Formation in Canada: Unique oceanic environments and microbial activities. Goldschmidt Conference. Davos, Swiss, June 21-26.
30. 石田章純、掛川武 (2009) カナダ・ガンフrint層に記録された19億年前の特異な微生物活動. 日本アストロバイオロジーネットワーク年会、神奈川、11/22-23

[図書] (計2件)

1. 掛川武・海保邦夫 (2011) 地球と生命-地球環境と生物圏進化-, 共立出版, pp. 1~125.
2. 掛川武 (2010) 古生物学辞典, 朝倉書店, pp. 109-111., pp. 356-358., pp. 880-882.

[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.es.tohoku.ac.jp/JP/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

掛川 武 (KAKEGAWA TAKESHI)  
東北大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号：60250669

(2) 研究分担者

橋爪 光 (HASHIZUME KO)  
大阪大学・大学院理学研究科・助教  
研究者番号：90252577

大庭 雅寛 (OBA MASAHIRO)  
東北大学・大学院理学研究科・助教  
研究者番号：40436077

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：