

## 地球史から見た海底鉱物資源 Seafloor mineral deposits during the Earth's history

加藤 泰浩<sup>1\*</sup>

KATO, Yasuhiro<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院工学系研究科

<sup>1</sup>University of Tokyo

There are several types of mineral deposits on modern seafloor. The deposits include manganese nodules, manganese crusts, and volcanogenic massive sulfide deposits. In addition, very recently, the author and his co-workers have discovered rare-earth elements and yttrium (REY)-rich mud-type deposits on Pacific deep-sea floor<sup>[1]</sup>. In the Japanese accretionary complexes, on the other hand, there are strata-bound mineral deposits that were originally precipitated on ancient seafloor. Deciphering a genetic linkage between modern and ancient seafloor mineral deposits gives us an important hint for exploring mineral deposits on modern seafloor.

[1] Kato, Y. *et al.* Deep-sea mud in the Pacific Ocean as a potential resource for rare-earth elements. *Nature Geoscience* **4**, 535-539 (2011).

## 太古代 BIF の化学組成構造とその成因 Origins of chemical structures in Archean BIFs

勝田 長貴<sup>1\*</sup>, 清水 以知子<sup>2</sup>, 高野 雅夫<sup>4</sup>, 川上 紳一<sup>1</sup>, H. Helmstaedt<sup>3</sup>, 熊澤 峰夫<sup>4</sup>

KATSUTA, Nagayoshi<sup>1\*</sup>, SHIMIZU, Ichiko<sup>2</sup>, TAKANO, Masao<sup>4</sup>, Shin-ichi Kawakami<sup>1</sup>, H. Helmstaedt<sup>3</sup>, Mineo Kumazawa<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 岐阜大学教育学部, <sup>2</sup> 東京大学理学系研究科, <sup>3</sup> Queen's Univ. Canada, <sup>4</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科

<sup>1</sup> Faculty of Education, Gifu University, <sup>2</sup> Graduate School of Science, University of Tokyo, <sup>3</sup> Queen's Univ. Canada, <sup>4</sup> Department of Earth and Environmental Sciences, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Uni

本発表では、現在我々が解析を進めている太古代縞状鉄鉱層 (banded iron-formations) の縞構造の成因 (Katsuta et al. in press) を、他地域の BIF の化学組成構造と比較し考察する。解析試料は、北西カナダ・イエローナイフ・グリーンストーン帯の Bell Lake 地域に露出する 29~28 億年前の BIF であり、研究方法は、顕微鏡による岩石学的解析と、SXAM、EPMA ならびに SEM-EDS を用いた蛍光 X 線分析である。

Bell Lake BIF は、センチメートルスケールの Fe-rich メソバンドと Si-rich メソバンドの繰り返しからなる縞構造に特徴づけられる。顕微鏡下において、構成鉱物は完全に再結晶し、変成鉱物に置き換わっている。Fe-rich メソバンドは、普通角閃石、磁鉄鉱とグリユネ閃石から構成され、一方、Si-rich メソバンドは、石英、磁鉄鉱と微量のアクチノ閃石から成る。この他に、黄鉄鉱、燐灰石とスチブノメレンがごく微量に含まれる。角閃石の配向で定義される片理面はほとんどのところで組成縞と平行であるが、ごく稀に見られる層間褶曲の軸部などで局所的に片理面がバンド境界面を切っている。このことから、Fe-rich メソバンドと Si-rich メソバンドは変成作用より以前から存在した構造と見なすことができる。

EPMA 分析の結果から、Fe-rich メソバンドと Si-rich メソバンドの Ca 角閃石において、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量に大きな差が認められた (普通角閃石は 7.50 wt%、アクチノ閃石は 0.54 wt%)。アルミニウムは不移動元素であることから、Ca 角閃石の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の差は、先駆物質のバルク組成の差に起因すると見なすことができる。このことは、西オーストラリア・Hamersley 地域の低変成 BIF で提唱されているシリカの圧力溶脱作用 (Trendall, 1983) では Fe メソバンドの形成過程を説明することが困難である (Morris, 1993) ことを意味する。Fe-rich メソバンド中の Al や Ca の起源としては、その構成鉱物とともに、Bell Lake BIF は大陸縁辺が分裂したときに出現したリフト帯で形成したことから (Muller et al., 2005) 海底火山活動で生じた苦鉄質な火山砕屑物であると見なすことができる。また、Fe-rich バンドの繰り返しは、湧昇流 (Ohmoto et al., 2006) による火山砕屑物の周期的な供給 (Morris, 1993) を反映するものと判断される。

Bell Lake BIF の Si-rich メソバンドには、磁鉄鉱に富むミリメートルスケールのバンドが少なくとも数枚含まれている。この微細なバンドは一般にマイクロバンドに区分され、Hamersley 地域や Kuruman 地域 (南アフリカ) の低変成 BIF を含め世界中の BIF で確認されている (Klein, 2005)。マイクロバンドは、海底での形成時の初生構造と見なされている。その形成過程は、鉄酸化細菌による化学沈殿作用と関連付けて議論されており、マイクロバンド 1 枚が年層であると考えられている (Trendall, 1983)。また、近年、この考えを支持する実証実験が行われている (Posth et al., 2008)。一方、Bell Lake BIF のマイクロバンドについては、先に述べた構成鉱物が完全に再結晶していること、石英が細粒の磁鉄鉱を結晶粒界移動していること、から、バンドの厚さや間隔は、初生構造から変化していると思なすことができる。

SXAM マッピングの解析から、Fe-rich メソバンドの中央部には Ca が濃集し、その両側に Mn の濃集層が存在することが明らかとなった。Ca は普通角閃石、Mn はグリユネ閃石のモード組成に対応する。この Fe-rich メソバンド内に見られる化学組成の対称性は、今回太古代 BIF で初めて見つかった化学組成構造である。これまで、BIF のメソバンドの化学組成構造は、原生代の低変成 BIF で観察されており、極性 (グレーディング) を持つ化学ゾーニングは、突発的な嵐で生じた潮流 (Paufahl and Fralick, 2004) や続成過程で生じた Fe の分離作用 (Lescellias, 2006) と関連付けて議論されている。Hamersley 地域の BIF では、Mn と Ti が Si-rich の赤色メソバンドと接する Fe-rich の黒色メソバンドの上下の境界に濃集することが micro-XRF 分析により明らかとなっている (Matsunaga et al., 2000)。Ti は熱水変質作用に対して不移動元素であることから、バンド境界に見られる化学組成構造は、海流の変化を示す初生構造として解釈されている。Bell Lake BIF にも、Fe-rich メソバンドに Mn の濃集が見られるが、Ti は数ミクロンの微粒子として Fe-rich メソバンド中にほぼ均質に分布している。この微粒子は、SEM-EDS 分析からウルボスピネルからなる。したがって、Fe-rich メソバンドに見られる Ca や Mn の分布は、変成分離作用で生じた二次的な化学組成構造であると考えられる。

### Reference

Katsuta, N., Shimizu, I., Helmstaedt, H., Takano, M., Kawakami, S., and Kumazawa M. (in press), Major element distribution in Archean banded iron-formation (BIF): Influence of metamorphic differentiation. *Journal of Metamorphic Geology*.

キーワード: 縞状鉄鉱層, 化学組成構造, 元素マッピング, メソバンド, ミクロバンド

Keywords: banded iron formation, chemical structure, elemental mapping, mesoband, microband

## 太古代中期のクリバービル縞状鉄鉱層: DXCL2 掘削報告 1

### Mesoarchean Cleaverivlle Iron Formation: DXCL2 drilling preliminary report

清川 昌一<sup>1\*</sup>, 山口 耕生<sup>2</sup>, 尾上 哲治<sup>3</sup>, 坂本 亮<sup>1</sup>, 寺司 周平<sup>1</sup>, 相原 悠平<sup>1</sup>, 菅沼 悠介<sup>4</sup>, 堀江 憲路<sup>4</sup>, 池原 実<sup>5</sup>, 伊藤 孝<sup>6</sup>  
KIYOKAWA, Shoichi<sup>1\*</sup>, YAMAGUCHI, Kosei E.<sup>2</sup>, ONOUE, Tetsuji<sup>3</sup>, SAKAMOTO, Ryo<sup>1</sup>, TERAJI, Shuhei<sup>1</sup>, AIHARA, Yuhei<sup>1</sup>, SUGANUMA, Yusuke<sup>4</sup>, HORIE, Kenji<sup>4</sup>, IKEHARA, Minoru<sup>5</sup>, ITO, Takashi<sup>6</sup>

<sup>1</sup>九州大学 地球惑星科学部門, <sup>2</sup>東邦大学 理学部, <sup>3</sup>鹿児島大学 理学部, <sup>4</sup>国立極地研究所, <sup>5</sup>高知大学 海洋コアセンター, <sup>6</sup>茨城大学 教育学部

<sup>1</sup>Kyushu Univ. Earth and Planetary Sci., <sup>2</sup>Toho Univ., <sup>3</sup>Kagoshima Univ., <sup>4</sup>NIPR, <sup>5</sup>Kochi Univ., <sup>6</sup>Ibaraki Univ.

縞状鉄鉱層は2価鉄が酸化することで3価鉄になり沈殿し形成したものであり, 23億年前の大酸化作用以降はラピュタン型以外の縞状鉄鉱層は報告されておらず, 大気酸化作用を示す重要な証拠となる。縞状鉄鉱層は26?24億年前の地層が有名であるが, 太古代中期にも各地で報告されている。クリバービル縞状鉄鉱層はビルバラクラトンにおいて有名な太古代中期の縞状鉄鉱層であり, その成因は太古代中期の海底や表層環境復元の鍵をもつ地層である。我々は2011年11月にこの縞状鉄鉱層およびその前後の地層について掘削をおこない, 太古代中期の縞状鉄鉱層堆積環境の復元を目指している。今回は, 掘削により新しく明らかになった地層層序について述べる。

層序 クリバービル縞状鉄鉱層は, クリバービル層上部に分布する。クリバービル層は層厚約400mであり, 下位部層は黒色頁岩を主とし, 上位にマグネタイト層が顕著な縞状鉄鉱層からなる。クリバービル層は下位のデキソン枕状玄武岩に整合的にかさなり, 最上部は褶曲軸により地層が欠落するが, リザードヒル層(66ヒル部層)の砂岩・黒色・白色チャート, チャート角礫層が不整合で重なる。デキソン枕状玄武岩の下位には熱水活動を記録するデキソンアイランド層がある。2007年のDXCL掘削では, 上部デキソンアイランド層のチャート層と下部クリバービル層の黒色頁岩層にて新鮮で連続性の良いコアが取得している。

今回の掘削では前回取得したCL1コアの層序的上位にあたる黒色頁岩層の上部から縞状鉄鉱層にかけて, 210mの連続コアを取得した。地層は大きく4つの部分に区分され, 下位から1)黒色頁岩層(CL1コアサンプルと類似), 2)淡緑色?白色層状チャート層, 3)縞状マグネタイト・チャート互層, 4)黒色頁岩・チャート互層からなる。陸上調査では, 黒色頁岩・チャート互層の上位にマグネタイト層はもう一層ある。掘削時に鉄鉱層の有無を調べる為に簡易帯磁率計を使い, その分布を調べた。

コア観察によると黒色頁岩層には斜交葉理を含む火山岩砂岩を挟み, その上位は淡緑色?白色チャート層はデキソンアイランド層下位に見られる淡緑色チャートと類似し, コマチアイト質の火山岩凝灰岩層の可能性もある。マグネタイト層は淡緑色?白色チャート層上位において, 徐々に量比を増して重なり, 厚いマグネタイト層になる。上位の黒色頁岩・チャート互層は間にマグネタイト層を所々挟む。石英を多く含む砂岩層は掘削コア中には全く含まれていなかった。

予察的な考察であるが, 中期太古代の縞状鉄鉱層の形成には, 1)大量の有機物層(有機物はシアノバクテリアの沈殿物), 2)熱水起源のチャート層が関連しており, 熱水活動によって比較的酸化されつつある海底に熱水活動にともなって鉄が供給されることにより沈殿していった可能性が示唆される。この層序はハマスレー層群やデキソンアイランド層にもみられ, 縞状鉄鉱層の形成過程を示す重要な条件を示していると考えられる。

キーワード: 太古代, 黒色頁岩, 層状チャート, 縞状鉄鉱層, 熱水活動, ビルバラ

Keywords: Archean, Black shale, Bedded chert, BIF, hydrothermal activity, preliminary report

## 非生物的な黄鉄鉱形成の際の鉄同位体分別のみで、地球史初期の堆積岩の鉄同位体記録を説明できるか？

### Could 'Iron Isotope Biosignatures' be falsified ?

山口 耕生<sup>1\*</sup>

YAMAGUCHI, Kosei E.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東邦大学理学部 & NASA Astrobiology Inst

<sup>1</sup>Toho University & NASA Astrobiology Inst

"Iron Isotope Biosignatures" have been a target of considerable debates between two schools (e.g., Beard *et al.*, 1999; Bullen *et al.*, 2001; Rouxel *et al.*, 2005; Yamaguchi and Ohmoto, 2006). One school argues that Fe isotope compositions of certain minerals can be used to distinguish whether they were formed biologically or abiologically. The other school, however, argues that some abiological processes that fractionate Fe isotopes can be solely used to fully explain Fe isotope fractionation in the geologic record. Recently, Guilbaud *et al.* (2011) presented a kinetic Fe isotope fractionation factor for abiological pyrite formation from dissolved and solid FeS, and suggested that low  $^{56}\text{Fe}/^{54}\text{Fe}$  ratio for pyrite from the geologic record could have been produced by this inorganic process. This further implies that Fe isotopes cannot be used to trace ancient biologically mediated redox processes. However, such an interpretation could be wrong because of many reasons (e.g., Czaja *et al.*, 2012; see also Guilbaud *et al.*, 2012). The Fe isotope compositions of early Precambrian marine sedimentary rocks were produced by numerous processes, including abiological and biological Fe processes involving redox reactions. Interpreting the origin of isotopic variations preserved in the rock record is not an easy task, because it requires systematic consideration of geologic, petrographic, and geochemical contexts. A thorough understanding of the depositional setting, mineralogy, and geologic history of Precambrian sedimentary rocks indicates that the Fe isotope record is likely to reflect biological fractionations and Fe redox processes. In my talk, background information related to Fe isotope geochemistry is introduced first and then some important points of discussion are presented for lively discussion.

#### References:

Beard *et al.* (1999) *Science* **285**, 1889; Bullen *et al.* (2001) *Geology* **29**, 699; Czaja *et al.* (2012) *Science* **335**, 538c; Guilbaud *et al.* (2011) *Science* **332**, 1548; Guilbaud *et al.* (2012) *Science* **335**, 538d; Rouxel *et al.* (2005) *Science* **307**, 1088; Yamaguchi and Ohmoto (2006) *Science* **311**, 177.

キーワード: 鉄同位体, 黄鉄鉱, 太古代

Keywords: iron isotope, pyrite, Archean



## 段階燃焼法で明らかにされた初期原生代有機物窒素同位体比の不均質性 Stepwise combustion analyses of distinct nitrogen isotopic compositions on Paleoproterozoic organic matter

石田 章純<sup>1\*</sup>, 橋爪 光<sup>2</sup>, 掛川 武<sup>1</sup>

ISHIDA, Akizumi<sup>1\*</sup>, HASHIZUME, Ko<sup>2</sup>, KAKEGAWA, Takeshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科地学専攻, <sup>2</sup> 大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Tohoku Univ., <sup>2</sup>Graduate School of Science, Osaka Univ.

堆積物中の有機物の窒素安定同位体比は、堆積当時の海洋環境、微生物活動を規定する上で重要なツールである。特に近年、太古代から先カンブリア代にかけての地球表層環境を理解するために精力的な分析が行われている [e.g. Beaumont and Robert, 1999, Shen et al., 2006]。その一方で、多くの研究で目的有機物に由来しない窒素 (粘土鉱物中のアンモニウムイオンや有機物表面への吸着窒素など) の影響が正しく評価されていない可能性があるという問題点があげられる。

段階燃焼法 [Yamamoto et al., 1998] はこうした吸着窒素の影響を排除して目的有機物のみ窒素安定同位体比を評価することのできる有効な手法の一つである。これは分析試料を酸素雰囲気下で段階的に昇温・燃焼させ、各温度フラクションで解放される窒素量と同位体比を測定する手法である。比較的低温側で吸着窒素が解放されるなど、分析試料の温度によるプロファイルの評価することができる。一方で、分析に伴う同位体分別効果を考慮する必要がある。Pinti et al. (2007) は、段階燃焼法による太古代チャート中の窒素の評価を行っており、全岩分析においては Rayleigh Distillation による窒素同位体分別効果 (以下 Rayleigh 効果) を考慮すべきとしている。しかし、先カンブリア時代の有機物のみ段階燃焼分析で同様の効果を検証している研究例はない。

本研究では、19億年前カナダ・ガンフリント層の炭酸塩質砂岩中の有機物を段階燃焼によって分析した。分析は、燃焼温度幅を 25 °C として、450 °C から 1100 °C の範囲で行った。その結果、450-500 °C (=低温部)、525-600 °C (=中温部)、625-1100 °C (=高温部) のそれぞれの温度画分でほぼ一定の窒素安定同位体比をとることがわかった。このうち低温部では吸着窒素が解放されており、中温部では平均 5.0 ‰、高温部では平均+7.3 ‰というプロファイルをとることが分かった。各温度幅で解放された窒素量から Rayleigh 効果を見積り、実測値との比較を行った結果、この傾向は Rayleigh 効果では説明されないことが分かった。さらに、温度ごとに解放された炭素の量に基づいたアレニウスプロットを行ったところ、中温部と高温部でそれぞれ異なる傾きを持つ直線となることが分かった。これは、中温部と高温部で炭素の反応の活性化エネルギーが異なる、つまり中温部と高温部で異なる炭素の構造を持つ可能性を示唆している。炭素の構造の変化に対応して窒素の解放量が変化し、かつ窒素安定同位体比に Rayleigh 効果がみられないことから、構造の異なる炭素に、窒素安定同位体比の異なる窒素がそれぞれ組み込まれていたと考えることができる。

本研究によって、初期原生代の有機物中に 2 つの異なる窒素同位体比が見られることが初めて確認された。この解釈として、初生的な有機物の違いを反映している、変成度の異なる有機物が混在している、などの可能性が考えられるが、いずれにしても先カンブリア時代の有機物中窒素同位体比の解釈に大きな影響を与えることができると考えられる。

キーワード: 段階燃焼法, 窒素安定同位体比, ケロジェン, 初期原生代, ガンフリント層

Keywords: stepwise combustion method, nitrogen isotopic composition, kerogen, Paleoproterozoic, Gunflint formation

## 堆積場の異なる南中国エディアカラ紀の炭素同位体比負異常 Ediacaran carbon isotope anomaly of different setting in South China

田畑 美幸<sup>1\*</sup>, 澤木 佑介<sup>2</sup>, 岡田 吉弘<sup>1</sup>, 上野 雄一郎<sup>1</sup>, 吉田 尚弘<sup>1</sup>, 小宮 剛<sup>3</sup>, 丸山 茂徳<sup>1</sup>

TAHATA, Miyuki<sup>1\*</sup>, SAWAKI, Yusuke<sup>2</sup>, OKADA, yoshihiro<sup>1</sup>, UENO, Yuichiro<sup>1</sup>, YOSHIDA, Naohiro<sup>1</sup>, KOMIYA, Tsuyoshi<sup>3</sup>, MARUYAMA, Shigenori<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構, <sup>3</sup> 東京大学

<sup>1</sup>Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>JAMSTEC, <sup>3</sup>The University of Tokyo

The Ediacaran is one of the most important periods in the history of life when multicellular animals first appeared on the earth. However, we still poorly understand the relationship between the abrupt biological evolution and environmental change. Many of the Ediacaran sections record the largest  $\delta^{13}\text{C}$  anomaly through the Earth's history, named as Shuram excursion (Calver et al., 2000; Fike et al., 2006). The observed excursion may reflect extensive remineralization of large amounts of organic matters in the Ediacaran ocean (Fike et al., 2006; Rothman et al., 2003) or extensive, global diagenetic alteration (Knauth & Kennedy, 2009). However, it is difficult that the negative excursion of similar magnitude around the world is caused by local alteration (Grotzinger et al., 1995). We analyzed carbon and nitrogen isotopes by using drill core samples from four different depositional settings in South China: Three Gorges and Weng'an sections for shallow marine setting, and Tianping and Shiduping sections for relatively pelagic, deeper slope setting, respectively.

We comprehensively analyzed the drill core samples through the sections, but the deeper, relatively pelagic, sections show high carbon isotope ratios through the sections, and apparently no negative excursion. The result is contrast to presence of continuous negative  $\delta^{13}\text{C}$  values through the Ediacaran in deeper facies, proposed by Jiang et al., (2007) The Weng'an section, characterized by the oldest extensive phosphorite deposit, in shallow shelf setting also displays smaller negative excursion ( $>-4$  per mil), compared with Three Gorges section in another shallow marine setting.

Our results show the  $\delta^{13}\text{C}$  values are highly variable depending on the depositional environment. The restriction of appearance of the negative  $\delta^{13}\text{C}$  excursions to shallow marine settings suggests that extensive remineralization took place only in shallow marine environments, enriched in organic carbon and sulfate, due to extensive supply of sulfate from continents. On the other hand, extensive phosphorus supply promotes prosperity of photosynthetic activity, namely primary production, thus increases  $\delta^{13}\text{C}$  of the area of the sea, as well as inhibits remineralization due to sulfate reduction. Alternatively, the shallow sections preferentially suffered from diagenetic alteration possibly in response to eustatic sea-level fall, analogous to  $\delta^{13}\text{C}$  negative anomalies before the Snowball Earth events, as recently proposed by Swart & Kennedy (2012). But, as far there is no evidence for a glacial event, associated with the Shuram excursion.

Keywords: Ediacaran, carbon isotope ratio, Shuram excursion, deeper sediment

## X線を用いた micro-CT 分析によるカンブリア紀初期の微化石の三次元構造解析 Synchrotron X-ray micro-CT analyses of The Early Cambrian microfossils

中尾 泰斗<sup>1\*</sup>, 韓 健<sup>2</sup>, 岡田 吉弘<sup>3</sup>, 佐藤 友彦<sup>1</sup>, 上杉 健太郎<sup>4</sup>, 星野 真人<sup>4</sup>, 小宮 剛<sup>1</sup>

NAKAO, Taito<sup>1\*</sup>, Jian Han<sup>2</sup>, OKADA, Yoshihiro<sup>3</sup>, SATO, Tomohiko<sup>1</sup>, Kentaro Uesugi<sup>4</sup>, Masato Hoshino<sup>4</sup>, KOMIYA, Tsuyoshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学総合文化研究科広域科学専攻, <sup>2</sup> 西北大学地質学系, <sup>3</sup> 東京工業大学理工学研究科地球惑星科学専攻, <sup>4</sup> (財) 高輝度光科学研究センター

<sup>1</sup>Department of Earth Science & Astronomy, The University of Tokyo, <sup>2</sup>Department of Geology, Northwest University, <sup>3</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, <sup>4</sup>Japan Synchrotron Radiation Research Institute

Cambrian Explosion, the most drastic event in history of life on Earth, which is characterized by the rapid appearance of almost all of modern phyla, happened in early Cambrian (around 530 Ma). Therefore, paleontological and geochemical studies around the event are very important to reveal features and origin of the Cambrian explosion in the biological history.

Many microfossils are found mainly in phosphorites around Precambrian-Cambrian boundary. Especially in South China, we can find many well-preserved phosphatic microfossils. Globular-shaped microfossils are generally interpreted as embryos or larvae because of their forms (e.g. Bengtson & Yue, 1997; Steiner et al., 2004). Skeletal microfossils, named as SSF (Small Shelly Fossils), are also reported and have various shapes, interpreted as Cnidaria, Chaetognatha, Gastropoda, Mollusca and others (e.g. Chen & Huang, 2001; Bengtson et al., 1990; Steiner et al., 2007). Because the SSF are distributed over the world, the biostratigraphy is often used for comparison among the sections in the world (literatures listed in Steiner et al., 2007). In addition, taxonomy of SSF is a key to investigate origin of biomineralization, diversification of hard structure-forming life and linkage to modern Metazoa, (e.g. Porter, 2007), thus the SSF highly attracts paleontological and biological interests. However, because most of SSF has simple and extraordinary shapes, the taxonomy is still unclear. On the other hand, globular microfossils have simple external forms so that it is often difficult to identify their affinity in detail. In addition, because some embryo- and larvae-stage fossils with complex forms are relatively large, the internal structures cannot be observed with SEM. We need new criteria for classification as well as their external morphology.

Recent X-ray micro-CT analyses of the microfossils yielded new methods to observe the internal structures (e.g. Donoghue et al., 2006). Compared with microscopic and SEM observations of cutting planes of the microfossils, this technique has two advantages of nondestructive analyses on any cross-sections of internal structures. This work presents preliminary observations of three-dimensional structures of the Early Cambrian microfossils including embryo and larvae stage fossils and SSF, South China with the Synchrotron X-ray micro-CT at SPring-8 (beam line: BL47XU). The spatial resolution is about 1 micrometer, and it takes only 10 minutes to take a CT image of a sample.

We classified the specimen into some groups based on the SEM images. One is composed of animal embryo fossils, which are partly covered with envelopes and contain, often shriveled, globules, or which are divided into two or more cells. Second consists of larvae of cnidarian. The fossils, which comprise an umbrella-like top and relatively small column at bottom, often with pentaradial symmetry, resemble forms of larvae of cnidarian and of small jellyfish. Some fossils are similar to a polyp or a sea anemone in form. Some horn-shaped fossils, so-called Anabarites are also found.

We analyzed these samples with the Synchrotron X-ray micro-CT and reconstructed their three-dimensional structures. The preliminary data allows us to observe the internal structures as well as the morphologies, and to identify their affinities.

Keywords: Synchrotron X-ray micro-CT, Spring-8, Early Cambrian, Small Shelly Fossils(SSFs), Embryo fossils

## 生物地球化学モデルを用いた原生代初期スノーボールアース・イベントと大気酸素濃度増大の因果関係の検証

### Modeling a rise of atmospheric oxygen after the Paleoproterozoic snowball Earth event

原田 真理子<sup>1\*</sup>, 田近 英一<sup>2</sup>, 関根 康人<sup>2</sup>

HARADA, Mariko<sup>1\*</sup>, TAJIKA, Eiichi<sup>2</sup>, SEKINE, Yasuhito<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院地球惑星科学専攻, <sup>2</sup> 東京大学大学院複雑理工学専攻

<sup>1</sup>Dept. of Earth and Planetary Science, University of Tokyo, <sup>2</sup>Dept. of Complexity Science & Engineering, University of Tokyo

Understanding the evolution of atmospheric oxygen is one of the fundamental issues in the history of life on earth, as the evolution of higher life, such as eukaryotes and metazoans, is dependent on the oxidation state of the atmosphere-ocean system. Atmospheric oxygen levels are considered to have increased largely (from  $<10^{-5}$  of present atmospheric level (PAL) to  $\sim 0.01$  PAL) in early Paleoproterozoic, although the cause of this rise has been controversial.

Previous studies have suggested a hypothetical causal linkage between the Paleoproterozoic snowball glaciation at 2.22 Ga and a rise in atmospheric oxygen based on evidence of depositions of manganese and iron oxides immediately after the glaciation found widespread in South Africa and North America [1,2]. These records imply that a global warming in the glacial aftermath enhanced chemical weathering on land and provided nutrients to the ocean, which lead to a cyanobacterial bloom [1]. In order to assess the hypothesis quantitatively, we developed a simple atmosphere-ocean biogeochemical cycle model. In the model, we simulate biogeochemical perturbations in the atmosphere-ocean system in response to a climate jump to an extreme greenhouse condition immediately after the Paleoproterozoic snowball glaciation. We calculate a consequent rise in oxygen due to the perturbations and evaluate timescale from the glacial termination to the initiation of cap carbonate depositions with the aim of comparing with the geological records [1].

The model consists of two boxes; atmosphere-surface ocean box, and deep ocean box. In each box, we calculate chemical and biological reactions relate to the global CO<sub>2</sub> methane, and oxygen cycles. We consider the inputs of phosphorous and Ca<sup>2+</sup> from land into surface ocean via chemical weathering, and also calculate the diffusion of dissolved components (e.g. DIC, Alk and H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) between the ocean boxes. Considering the Paleoproterozoic snowball deglaciation, high atmospheric pCO<sub>2</sub> ( $\sim 0.7$  atm) is assumed as an initial condition. Chemical weathering rate is given as a function of temperature and atmospheric pCO<sub>2</sub>, multiplied by weathering efficiency  $f$  ( $f = 1$  at present). We change  $f$  given the uncertainty in soil biological activity and continental area at that time. Nutrient supply is represented by riverine phosphorous input via chemical weathering, which is fully consumed by photoautotrophs (cyanobacteria) via photosynthesis. To calculate oxygen and methane levels in the atmosphere for given production fluxes, we adopt a redox balance model given by Goldblatt et al. [3].

The results indicate that, immediately after the glaciation, global temperature rises as high as 330 K, resulting in extremely high levels of riverine phosphorous input to the oceans due to the enhanced chemical weathering ( $\sim 10$ - $20$  times higher than that of today). Assuming all the phosphorous are consumed by cyanobacteria via oxygen-producing photosynthesis, the total amount of oxygen generation reaches  $\sim 10^{23}$  mol during the first  $10^5$  years after the glaciation. The atmospheric oxygen level increases from  $< 10^{-5}$  PAL to  $\sim 1$  PAL during the first  $5 \times 10^6$  years, and then gradually decreases to  $\sim 0.01$  PAL. These results are consistent with the oxygen levels reconstructed by the depositions of manganese and iron oxides [1,2].

We also found that the ocean becomes highly undersaturated with respect to carbonates after the glaciation due to high atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations. Such a situation prevents carbonates from precipitating during the first  $10^5$  years after the glaciation, which is also consistent with the geologic records of the depositions of iron and manganese oxides followed by cap carbonate in the oceans [1].

[1] Kirschvink et al. (2000) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **97**, 1400-1405. [2] Sekine et al. (2011) *Earth Planet. Sci. Lett.* **307**, 201-210. [3] Goldblatt et al. (2006) *Nature* **443**, 683-686.



## ペルム紀末大量絶滅のトリガーとプロセス Trigger and process of the end-Permian mass extinction

海保 邦夫<sup>1\*</sup>, 古賀 聖治<sup>2</sup>, 伊藤 幸佑<sup>1</sup>, 大庭 雅寛<sup>1</sup>, ポール・ゴージャン<sup>3</sup>, 高橋 聡<sup>1</sup>, チェン・ツォン チアン<sup>4</sup>, 童金南<sup>4</sup>, 山北 聡<sup>5</sup>

KAIHO, Kunio<sup>1\*</sup>, KOGA Seizi<sup>2</sup>, ITO Kosuke<sup>1</sup>, OBA Masahiro<sup>1</sup>, GORJAN Paul<sup>3</sup>, TAKAHASHI Satoshi<sup>1</sup>, CHEN Zhong-Qiang<sup>4</sup>, TONG Jinnan<sup>4</sup>, YAMAKITA Satoshi<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 産総研, <sup>3</sup> ワシントン大学, <sup>4</sup> 中国地質大学, <sup>5</sup> 宮崎大学

<sup>1</sup>Tohoku University, <sup>2</sup>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, <sup>3</sup>Washington University, <sup>4</sup>China University of Geosciences, <sup>5</sup>Miyazaki University

The largest mass extinction of animals and plants in both the ocean and on land occurred at the end of the Permian, largely coinciding with the largest flood basalt volcanism event in Siberia. Our depth-transect data show that euxinia frequently developed below 100-m water depth in the Changhsingian, followed by anoxia or dysoxia at 200- to 40-m water depths during the extinction. These organic and isotopic geochemical results imply that there was an accumulation of hydrogen sulphide in intermediate and deep waters followed by oxidation of hydrogen sulphide that led to dissolved oxygen consumption, surface-water anoxia, and acidification, resulting in the end-Permian mass extinction in the seas. The possibility of atmospheric ozone collapse due to coincident massive release of CH<sub>4</sub> from the Siberian igneous province and H<sub>2</sub>S from the euxinic ocean to the atmosphere is not likely. Our calculations indicate that a massive release of CH<sub>4</sub> and H<sub>2</sub>S to the atmosphere would cause an approximately 10% decrease in atmospheric O<sub>2</sub> levels but not significantly alter ozone levels. The slight decrease in atmospheric O<sub>2</sub> levels may also have contributed to the extinction event. However, the end-Permian mass extinction of terrestrial animals was most likely significant global warming and an increase in CO<sub>2</sub> levels probably induced by the Siberian volcanism, not an increase in UV radiation levels and a decrease in atmospheric O<sub>2</sub> levels.

キーワード: ペルム紀, 大量絶滅, メタン, 硫化水素, オゾン, 酸素

Keywords: Permian, mass extinction, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, ozone, O<sub>2</sub>

## HIMU の Pb 同位体比からみた U と Th のマントル循環

### Pb isotope evolution of the HIMU reservoir; implications to recycling of U and Th in the mantle

羽生 毅<sup>1\*</sup>, 川畑 博<sup>1</sup>, 巽 好幸<sup>1</sup>, 木村 純一<sup>1</sup>, 宮崎 隆<sup>1</sup>, 常 青<sup>1</sup>, 平原 由香<sup>1</sup>, 高橋 俊郎<sup>1</sup>, 仙田 量子<sup>1</sup>, 中井 俊一<sup>2</sup>

HANYU, Takeshi<sup>1\*</sup>, KAWABATA, Hiroshi<sup>1</sup>, TATSUMI, Yoshiyuki<sup>1</sup>, KIMURA, Jun-Ichi<sup>1</sup>, MIYAZAKI, Takashi<sup>1</sup>, CHANG, Qing<sup>1</sup>, HIRAHARA, Yuka<sup>1</sup>, TAKAHASHI, Toshiro<sup>1</sup>, SENDA, Ryoko<sup>1</sup>, NAKAI, Shun'ichi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構地球内部ダイナミクス領域, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>IFREE, JAMSTEC, <sup>2</sup>ERI, University of Tokyo

Geochemical heterogeneity in ocean island basalts and mid-ocean ridge basalts documents the presence of several mantle reservoirs. HIMU is one such mantle reservoir that has been considered to be formed by subduction and accumulation of ancient oceanic crust in the deep mantle. Consequently, basalts with the HIMU signature may record the processes that act on the oceanic crust some billion years ago, such as formation of oceanic crust, subsequent hydrothermal alteration and subduction modification.

The 'extreme' HIMU basalts occur in limited localities at St. Helena in the Atlantic and Cook-Austral Islands in the south Pacific. These lavas exhibit remarkably similar isotopic compositions with very high  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  and  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ , depleted Sr isotope, and enriched Nd and Hf isotopes, suggesting uniform geochemical compositions of the HIMU reservoir that exist at different places in the mantle. However, significant difference in  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  is confirmed by isotope analyses with both whole-rock and clinopyroxene; the St. Helena lavas show systematically higher  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  for a given  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  than the Cook-Austral lavas. This is explained by various formation age of the reservoir. The Pb isotope evolution model demonstrates that portions of the HIMU reservoir for St. Helena and Australs were formed at approximately 2.2 Ga and 1.8 Ga, respectively.

The relationship between  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  and  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  reflects time-integrated Th/U (or  $\kappa = ^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ ) of the source. Both St. Helena and Austral lavas demonstrate that time-integrated Th/U of the HIMU reservoir is approximately 3.7, which is close to the chondritic Th/U (4.0) and is much higher than Th/U of the present-day MORB and depleted mantle (2.6). This indicates that the ancient oceanic crust, that is the precursor of the HIMU reservoir, had different Th/U from the modern MORB. Indeed, sub-seafloor alteration and subduction dehydration would decrease and increase Th/U in oceanic crust, respectively, but the net effect would be reduction of Th/U ( $< 2$ ) in the subducted oceanic crust (Becker et al., 2000). Consequently, the depleted upper mantle at the time when the HIMU reservoir was formed (1.8-2.2 Ga) must have had higher Th/U than at present. This is consistent with the model in which the Archean and early Proterozoic depleted mantle had chondritic Th/U and then the value decreased to the present due to selective recycling of U, relative to Th, from continent back into the mantle (Elliott et al., 1999). Slightly lower Th/U in the HIMU reservoir (3.7) than the chondritic (or Archean depleted mantle) value (4.0) suggests either that the HIMU reservoir was formed by subduction of both fresh and altered parts of oceanic crust, that it was formed by hybridization of subducted oceanic crust with primitive mantle, or that the hydrothermal alteration did not lower Th/U so drastically under less-oxidized condition in the Archean (and possibly early Proterozoic) hydrosphere.

Becker et al., Chem. Geol. 163, 65-99 (2000)

Elliott et al., Earth Planet. Sci. Lett. 169, 129-145 (1999)

キーワード: HIMU, マントル循環, ウラン, トリウム, 太古代マントル

Keywords: HIMU, mantle recycling, U and Th, ancient mantle

## 西オーストラリア・ピルバラでのDXCL掘削計画における黒色頁岩層からみた32億年前の嫌氣的堆積環境 Euxinic environment inferred from 3.2Ga black shale sequence in DXCL, Pilbara, Western Australia.

坂本 亮<sup>1\*</sup>, 清川 昌一<sup>1</sup>, 奈良岡 浩<sup>1</sup>, 池原 実<sup>2</sup>, 佐野 有司<sup>3</sup>, 高畑 直人<sup>3</sup>, 伊藤 孝<sup>4</sup>, 山口 耕生<sup>5</sup>  
SAKAMOTO, Ryo<sup>1\*</sup>, KIYOKAWA, Shoichi<sup>1</sup>, NARAOKA, Hiroshi<sup>1</sup>, IKEHARA, Minoru<sup>2</sup>, SANNO, Yuji<sup>3</sup>, TAKAHATA, Naoto<sup>3</sup>, ITO, Takashi<sup>4</sup>, YAMAGUCHI, Kosei E.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>九州大学, <sup>2</sup>高知大学, <sup>3</sup>東京大学, <sup>4</sup>茨城大学, <sup>5</sup>東邦大学・NASA

<sup>1</sup>Kyushu University, <sup>2</sup>Kochi University, <sup>3</sup>The University of Tokyo, <sup>4</sup>Ibaraki University, <sup>5</sup>Toho University and NASA

西オーストラリアのピルバラ緑色岩帯沿岸部には、約32億年前に形成された低変成度のDixon Island層及びCleaverville層が分布している。本地域において、太古代中期の深海底堆積環境を高精度・高分解能で復元する事を目的として、DXCL掘削(Dixon Island-Cleaverville Drilling Project)が行われ、層序的下部より上部にかけて、DX, CL2, CL1の計3本の未風化石試料を取得した。本研究では、これらの掘削試料について詳細な岩相・層序の記載と硫黄の地球化学的特徴から当時の地球表層環境を推察する。

これらの掘削試料は主に有機炭素に富む堆積岩で構成される。Dixon Island層上部に該当するDXコアには、粘土サイズの非常に細粒な黒色頁岩と灰色チャート及び薄層状の黄鉄鉱からなる葉理構造が見られる。一方、Cleaverville層の下部に該当するCL1及びCL2コアはDXコアとは対照的にシルト粒子からなる比較的粗粒で塊状の黒色頁岩からなり、部分的に黄鉄鉱の薄層が認められる。またCL1・2コアには斜交葉理構造を示す火山性砕屑物からなる厚さ数cm程の薄い砂岩層がしばしば見られる。層序的下部のDXコアから上部のCL1コアにかけて、全体的に黒色頁岩の上方厚層化及び上方粗粒化の傾向が見られる。また火山砕屑性の砂岩層もCL2コアからCL1コアにかけて厚層化し頻度も増している。

元素分析による黒色頁岩中の全硫黄量は、下部(DX)から上部(CL1)にかけて平均0.9 wt.%~1.8 wt.%と増加している。一方、有機炭素量は平均1.21 wt.%~0.6 wt.%と減少していた。これらの値から得られたC/S比は各コア平均0.5~1.7の範囲をとり、幾つかの層準で2.0を超えるものが見られるものの、分析を行った殆どの層準にて1.0以下の値を示した。

EA-IRMSによる薄層状黄鉄鉱及び黒色頁岩中の細粒黄鉄鉱の硫黄同位体組成( $^{34}\text{S}$ )は、DXコア中で $+10.1$ から $+23.5$ ‰, CL2コア中で $+4.4$ から $+26.8$ ‰, CL1コア中で $+1.7$ から $+24.9$ ‰と、層準に依存せず全てのセクションで広い分別幅を示す。全体的に $^{34}\text{S}$ に富む値をとるものが多く、幾つかの層準においては $+20$ ‰を超える値が確認された。

細粒黄鉄鉱結晶に対して予察的な局所同位体分析を行った。測定は東京大学大気海洋研究所設置のCAMECA社製NanoSIMSを用い、全11結晶中の33測線において、直径 $1\ \mu\text{m}$ のスポット分析を $1\sim 2\ \mu\text{m}$ 間隔で行った。この結果、それぞれの結晶における同一測線中の数 $\mu\text{m}$ 間で最大45‰に及び顕著な同位体分別幅と不均一性を確認した。

岩相の層序変化より、Dixon Island層及びCleaverville層の堆積場が深海性の静穏な堆積場から火山活動の影響を受ける比較的浅い堆積場へ移り変わった事が考えられる。また全硫黄量及び有機炭素量の関係より、堆積場は現在の黒海に見られる様な嫌氣的な滞留環境だった事が示唆される。 $^{34}\text{S}$ に富む黄鉄鉱は、このような嫌氣的環境において、硫酸還元細菌がレイリー分別を伴う非常に活発かつ高速の硫酸還元を行っていたことを示すと考えられる。更に、数 $\mu\text{m}$ の微小領域内における同位体組成の不均一性は、黄鉄鉱晶出時にその周囲に生息していた微生物群集の高い活動度に起因する還元速度の差を反映している可能性がある。

キーワード: 太古代, 堆積環境, 黄鉄鉱, 硫黄同位体, NanoSIMSを用いた局所分析, 硫酸還元菌

Keywords: Archean, sedimentary environment, pyrite, sulfur isotope, in situ analysis by NanoSIMS, sulfate reducing bacteria

## 西オーストラリア・クリーバービル層のジルコンを用いた U-Pb 年代測定 U-Pb zircon dating of Creaverville Formation, Pilbara, Australia

相原 悠平<sup>1\*</sup>, 清川 昌一<sup>1</sup>, 堀江 憲路<sup>2</sup>, 竹原 真美<sup>1</sup>

AIHARA, Yuhei<sup>1\*</sup>, KIYOKAWA, Shoichi<sup>1</sup>, HORIE, Kenji<sup>2</sup>, TAKEHARA, Mami<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州大学大学院理学研究院地球惑星科学 専攻, <sup>2</sup>国立極地研究所

<sup>1</sup>Earth and Planetary Science, Kyushu University, <sup>2</sup>The National Institute of Polar Research

西オーストラリア・ピルバラ海岸グリーンストーン帯に見られるクリーバービル層群は、厚い枕状溶岩、酸性凝灰岩、層状チャート、縞状鉄鉱層からなる一連のシークエンスが3回繰り返す層序を持つ。またクリーバービル層群は下位からラグーン層、ラグーン枕状玄武岩、デキソンアイランド層、デキソン枕状玄武岩、スナッパービーチ(クリーバービル)層と呼び、層序の繰り返し、パイモダルな火山活動、陸源堆積物の欠如などの特徴から海洋性島弧の海洋底表層部で形成した地質体である(Kiyokawa and Taira, 1998; Kiyokawa et al., 2002)。

クリーバービル層群には、黒色頁岩から縞状鉄鉱層への遷移や活発な熱水活動の痕跡などが見られ、当時の海洋底環境を復元する上で重要な情報を数多く持つ。ここに年代の情報を加えることで、当時の海洋底における堆積作用やその形成過程に制約を与えることが可能である。しかしながら、先行研究において報告されているのは、デキソンアイランド層中の珪長質凝灰岩に存在するジルコンの U-Pb 年代による  $3195 \pm 14\text{Ma}$  (Kiyokawa et al., 2002) のみであり、形成過程の復元を行うにはより多くの層準の年代を決定する必要がある。そこで本発表では、将来的なクリーバービル層群の形成過程復元に必要となるスナッパービーチ層の年代測定を行った結果を報告する。

試料はスナッパービーチ層に挟在する凝灰岩である。今回の測定のため約 80kg の試料を、大きさ約  $100\text{?}150 \mu\text{m}$  の粉末状にした。粉末試料は水ひ、鉱物分離を経て重鉱物を集め、顕微鏡下でジルコンをピックアップした。

得られた 46 粒のジルコンについて U-Pb 同位体測定を行った。測定には、国立極地研究所 SHRIMP を用いた。ジルコンの大きさは約  $70\text{-}100 \mu\text{m}$  であり、形状は自形の結晶が残っているもの、円磨されているもの、一部が裂開しているものなどがあつた。また BSE 像による内部構造はメタミクトによって累帯構造が見られるものがあつた。そのため測定する際は、BSE 像によってメタミクトの影響が少ないと考えられるポイントについて測定した。

測定したジルコンのうちコンコード値は 19 粒あり、そのうち最も若い年代を示す 9 粒に年代の集中が見られおおよそ 3100Ma であつた。その他の 10 粒のジルコンは、3200-3700Ma という古い年代値を持ち、それらのジルコンの BSE 像では多くが円磨されているという特徴を持っていた。

スナッパービーチ層中の凝灰岩層はすべて火山性堆積物からなっており、その堆積物中のジルコンのうち最も若い年代を持つものが堆積年代に近いと考えられる。これらの若い年代値をもつ 9 粒のジルコンからこの凝灰岩層の年代は  $3108(+13/-7)\text{Ma}$  とした。また 3200-3700Ma という古い値を持つジルコンはその形状からしても再堆積の可能性があつた。

今回の成果により、将来的に本地域に存在する堆積岩層の堆積速度を、従来よりも高い精度で見積もる事が出来る可能性があつた。また、凝灰岩のみならず、他の堆積岩中に含まれる碎屑性ジルコン粒子の年代も考慮することで、堆積過程だけでなく本地域の変動史を統合的に解釈することが可能になると思われる。

キーワード: 太古代, ウラン-鉛年代測定

Keywords: U-Pb dating, Archean



## 南アフリカ・バーバートン帯の縞状鉄鉱層の地球化学：希土類元素組成から復元する約32億年前の海洋環境 REE in 3.2 Ga BIF from Barberton, South Africa : An interplay of Fe oxidation and hydrothermal activity

矢作 智隆<sup>1\*</sup>, 山口 耕生<sup>2</sup>, 原口 悟<sup>3</sup>, 佐野 良太<sup>4</sup>, 寺司 周平<sup>5</sup>, 清川 昌一<sup>5</sup>, 池原 実<sup>6</sup>, 伊藤 孝<sup>7</sup>

YAHAGI, Tomotaka<sup>1\*</sup>, YAMAGUCHI, Kosei E.<sup>2</sup>, HARAGUCHI, Satoru<sup>3</sup>, Ryota Sano<sup>4</sup>, TERAJI, Shuhei<sup>5</sup>, KIYOKAWA, Shoichi<sup>5</sup>, IKEHARA, Minoru<sup>6</sup>, ITO, Takashi<sup>7</sup>

<sup>1</sup> 東邦大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 東邦大学大学院理学研究科, NASA Astrobiology Institute, <sup>3</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>4</sup> 財団法人日本分析センター, <sup>5</sup> 九州大学大学院理学研究院, <sup>6</sup> 九州大学大学院理学研究院, <sup>7</sup> 高知大学海洋コア総合研究センター, <sup>8</sup> 茨城大学教育学部理科教育教室

<sup>1</sup>Toho University, <sup>2</sup>Toho University, NASA Astrobiology Institute, <sup>3</sup>AORI, University of Tokyo, <sup>4</sup>Japan Chemical Analysis Center, <sup>5</sup>Kyushu University, <sup>6</sup>Kyushu University, <sup>7</sup>CMCR, Kochi University, <sup>8</sup>Ibaraki University

縞状鉄鉱層 (BIF : Banded Iron Formation) は鉄とシリカが互層する化学堆積物であり、地球史の初期に特徴的に存在する。BIFの形成メカニズムとして、シアノバクテリアの光合成により作られた酸素が当時の海底熱水由来の溶存 $Fe^{2+}$ を酸化して沈殿した、というものがある。鉄酸化物が沈殿する際、その表面にリンや希土類元素 (REE) が吸着する。REE組成は、海底の熱水活動の寄与の程度や海水の酸化還元状態等の、堆積当時の海洋環境の情報を持つ。本研究では、南アフリカ共和国北東部のバーバートン緑色岩帯で約32億年前に堆積したBIFのREE組成から、堆積当時の海洋環境を推定することを目的とした。

試料は、Swaziland超層群のFig Tree層群最下部・Mapepe層の露頭から採取されたものを用いた。37個の岩石試料を粉末化した後、東京大学の蛍光X線分析装置 (XRF) を用いて主要元素 ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  など10種類) 組成を測定した後、(財)日本分析センターの誘導結合プラズマ質量分析装置 (ICP-MS) を使用してREE組成を測定した。

$SiO_2$ 量と全 $Fe_2O_3$ 量が高い負の相関 ( $R^2 = 0.99$ ) を示し、かつ $SiO_2$ 量 + 全 $Fe_2O_3$ 量が約100%なので、試料はシリカと鉄酸化物の2成分系からなる化学堆積物である。大陸起源物質である $Al_2O_3$ 量が1.0 wt.%未満である試料は、海洋の溶存成分の沈殿物であると見なし、以下にREEに関する議論を行う。

REEのC1コンドライト規格化プロットにおいて、軽希土類の左上がりの傾きとEuの正異常は海底熱水の特徴なので、BIF試料には海底熱水の影響があると考えられる。地球化学的な挙動が酷似したY-Hoのディカップリングは、鉄酸化物への吸着能の差異に起因すると考えられるので、鉄酸化物の沈殿を示唆する。Y/Ho比はEu異常と全 $Fe_2O_3$ 量とそれぞれで正の相関を示すことから、海底熱水起源の $Fe^{2+}$ が何らかのメカニズムにより酸化されて鉄酸化物として沈降し、その際にYとHoを吸着していったと考えられる。一方で、現在の酸化的な海洋で見られる顕著な負のCe異常は見られなかった。この解釈として、BIF形成時の熱水/海水の混合比が大きかったために、海水のCe負異常が (Ce異常のない) 熱水により希釈されたか、そもそも海水にはCe負異常が無かったか、の2つが考えられる。今後はこの海水-熱水の混合比に関する情報を得るため、鉄酸化物とシリカの酸素同位体比の分析を行う予定である。

キーワード: 希土類元素, 縞状鉄鉱層

Keywords: REE, BIF

## マペペ層における 帯磁率および炭素同位体比を用いた 32 億年前の海洋底環境復元 Reconstruction of 3.2Ga Ocean Floor Environment Using Magnetic Susceptibility and Carbon Isotope, from Mapepe Formation

寺司 周平<sup>1\*</sup>, 清川 昌一<sup>2</sup>, 伊藤 孝<sup>3</sup>, 山口 耕生<sup>4</sup>, 池原 実<sup>5</sup>

TERAJI, Shuhei<sup>1\*</sup>, KIYOKAWA, Shoichi<sup>2</sup>, ITO, Takashi<sup>3</sup>, YAMAGUCHI, Kosei E.<sup>4</sup>, IKEHARA, Minoru<sup>5</sup>

<sup>1</sup>九州大学 大学院理学府 地球惑星科学専攻, <sup>2</sup>九州大学大学院理学研究院地球惑星部門, <sup>3</sup>茨城大学教育学部, <sup>4</sup>東邦大学, NASA Astrobiology Institute., <sup>5</sup>高知大学海洋コア総合研究センター

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, 33 Kyushu University, <sup>2</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, 33 Kyushu University, <sup>3</sup>Faculty of Education, Ibaraki University, <sup>4</sup>Toho University and NASA Astrobiology Institute, <sup>5</sup>Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University

### 序論

マペペ層 (Heinrich, 1980) はバーバートン・グリーンストーン帯のフィグツリー層群の最下部に位置し、堆積年代はジルコンのウラン 鉛年代より 3260Ma から 3230Ma を示す (Kroner et al. 1991)。本研究の調査地はコマチ川沿いのスワジランドとの国境付近に位置する河川沿いの 300m にわたる連続露頭であり、有機物に富む頁岩とチャートおよび縞状鉄鉱層からなる。100 分の 1 のスケールでマッピングおよび柱状図をもとに、層序区分、顔相変化、岩石の有機物分析、および帯磁率変化を測定し、当時の堆積物の特徴を詳細に調べた。本地域は断層によって境された 6 つのユニット (B1, B2, C, D1, D2, E) からなり、各ユニットの層厚はそれぞれ 6.8m, 45m, 22.8m, 19m, 5.7m and 23m で、全体で合計が 128m に達する。

### 岩相

岩相は大きく 4 つに区分できる。1) 白色チャート (塊状); 2) 赤色チャート: 鮮やかな赤色を呈する層状型と、ポッド状で下位から上位に赤色から白色にシャープな境界で色を変えるポッド型よりなる。; 3) 黒色頁岩: シルトサイズの石英粒子のラミナを有する層状型と、それを有さない塊状型、漸移的に下位から上位に黒色から褐色灰色になる漸位変化型よりなる。塊状型に観察されるアパタイトは層状型には観察されない。; 4) 褐色灰色 (鉄質)。全ユニットで各岩相の頻度は平均して、赤色頁岩は 62 % に、白色チャートは 17 % に、褐色灰色頁岩は 12 % に、黒色頁岩は 9 % に達する。赤色チャートは各ユニットの上位に向かって増加傾向にある。

### 炭素同位体分析

黒色頁岩の全有機炭素 Corg は全ユニットで 0.10w % - 16.12 w % で平均は 2.54 w % である (n=201)。褐色灰色頁岩は 0.23 - 0.96 w % で平均 0.61 w % (n=6)、白色チャートは 0.01 - 0.06 w % で平均が 0.12 w % (n=5) である。黒色頁岩の有機炭素同位体比  $\delta^{13}C$  は全ユニットで -38.84 ‰ - -20.54 ‰ で平均が 26.84 ‰ (n=201)、褐色灰色頁岩は -35.36 ‰ - -23.7 ‰ で平均が -30.88 ‰ (n=6)、白色チャートは -24.96 ‰ - -19.58 ‰ で平均が -23.25 ‰ である。

$\delta^{13}C$  は狭い分別幅で層序に従って正の方向と負の方向を行き来していたのが、D1 ユニットの上部から分別幅が広がる。同時に平均的な  $\delta^{13}C$  は負の方向にシフトし、B ブロックは -25.10 ‰ (n=40)、C ユニットでは -26.59 ‰ (n=60)、D ユニットでは -26.03 ‰ (n=44)、E ユニットでは -28.81 ‰ (n=56) である。

岩相と比較すると、黒色頁岩のうち塊状型黒色頁岩の  $\delta^{13}C$  は平均して -24.11 ‰ (n=10) で、層状型黒色頁岩の  $\delta^{13}C$  は平均して -28.01 ‰ (n=25) である。

### 帯磁率測定

マグネタイトや磁性鉱物の分布および変化を調べるため 2 種類の測定を行った。1) 層序位に対して垂直方向の測定: 層序に従った帯磁率の変化を調べることを目的として、全層厚 128m を 3 間隔で、2 回の測定を行った。2) 層序に対して側方方向の測定: 各々の単層中の変化を調べるために 83 の地層を、それぞれ 4m を 5 間隔で測定をおこなった。

黒色頁岩と白色チャートの帯磁率は相対的に低く ( $\sim 1.0 \times 10^{-3}$  (SI)), 赤色チャートと褐色灰色 (鉄質) 頁岩の帯磁率は  $1.0 \times 10^{-3}$  (SI) から  $420 \times 10^{-3}$  (SI) の間で幅を持つ。層序の中では D1 ブロックの最上部に 9m 連続しての層状型赤色チャートとマグネタイトの互層が分布し、帯磁率は  $100 \times 10^{-3}$  (SI) という値を取る。また各ブロック内でポッド型赤色チャートの帯磁率は上位に向かって増加傾向にある。

### 結論

1) 上下判定: 単層中の上下で漸移的に黒色から赤色に変化する頁岩が見られる。これは全ユニットにおいて全て同方向を持つ。また、ポッド型赤色チャートにおいても下位が赤色で上位が白色チャートになっている。すべてのユニットが全て東上位であると考えられる。

2) 岩石中のラミナの頻度が上がるほど有機炭素同位体比が下がる。これはラミナに挟まれた薄い層の黒色頁岩の有機炭素同位体比が低いことを示す。

3) 各ブロックの中で上位に向かって赤色チャートの増加する傾向と、ポッド型赤色チャートの帯磁率の増加する傾向を見出した。これは、各ユニット内で上位に向かって鉄の沈澱が増加し、その上部では D1 で見られるようなマグネタイト

# Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



BPT25-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 17:15-18:30

トが堆積する可能性が示唆された。

キーワード: バーバートン帯, 帯磁率, 有機炭素同位体

Keywords: Barberton, magnetic susceptibility, organic carbon isotope

## シンクロトロン、コンピューター断層撮影による澄江動物化石観察 Observations of internal structures of the Chengjiang macrofossils with a synchrotron-CT technique at SPring-8

小宮 剛<sup>1\*</sup>, 中尾 泰斗<sup>1</sup>, 韓 健<sup>2</sup>, 岡田 吉弘<sup>3</sup>, 佐藤 友彦<sup>1</sup>, 上杉 健太郎<sup>4</sup>, 星野 真人<sup>4</sup>

KOMIYA, Tsuyoshi<sup>1\*</sup>, NAKAO, Taito<sup>1</sup>, Jian Han<sup>2</sup>, Yoshihiro Okada<sup>3</sup>, SATO, Tomohiko<sup>1</sup>, Kentaro Uesugi<sup>4</sup>, Masato Hoshino<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東京大学駒場・総合文化研究科, <sup>2</sup> 西北大学、中国, <sup>3</sup> 東京工業大学, <sup>4</sup> (財) 高輝度光科学研究センター (JASRI)

<sup>1</sup>Dept. Earth Science & Astronomy, Komaba, The University of Tokyo, <sup>2</sup>Northwest University, China, <sup>3</sup>Tokyo Institute of Technology, <sup>4</sup>Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI)

Earth is the unique planet, which is filled with a large variety and number of life. Recent active planetary expeditions and telescopic observations of extrasolar planets suggest allow us to expect possibility of life in other planets. But, presence of metazoan distinguishes biosphere of the earth from others. Conventional idea suggests that Metazoa suddenly appeared and drastically evolved in early Cambrian around 530 Ma, so-called Cambrian explosion. But, recent paleontological investigations in the Neoproterozoic showed some metazoan of sponges and cnidarian already appeared in the Ediacaran, and support cryptic emergence and early evolution of Metazoa in the Ediacaran. But, presence of such as the Chengjiang Lagerstätten provides the opportunity of well-preserved, various fossils, and constrains timing and rate of biological evolution.

The Chengjiang fauna comprises sponges, arthropods, cnidarian, echinoderms, molluscs, chordates and others, and is a key milestone to study early evolution of Metazoa. Some fossils still preserve biological tissue including eyes, gats, gills, notochords and others (e.g. Shu, 2008, Gondwana Research). But, most Chengjiang fossils are severely compressed so that their thickness is less than millimeters. In addition, key fossils are too few to observe internal cutting planes of the fossils. As a result, the internal structures are still obscure.

Recent X-ray micro-CT analyses of the microfossils yielded new methods to observe the internal structures (e.g. Donoghue et al., 2006, Nature). Compared with microscopic and SEM observations, this technique has two advantages of nondestructive analyses on any cross-sections of internal structures. We obtained preliminary observations of three-dimensional structures of the Chengjiang fossils including an echinoderm, a fish, arthropods with/without eggs, a mollusk, and a brachiopod with Synchrotron X-ray micro-CT at SPring-8 (beam line: BL20B2). The fossils range from 5 mm to 3 cm across in their sizes, whereas the host rocks ranges from ca. 5mm to 1.5 cm thick. The fossils are exposed on the surface of pale-brownish shales. The synchrotron CT observations shows it is possible to identify the fossils on the rocks with the CT images possibly because the fossils have higher density than the mother rocks. The thickness of the fossils is less than millimeters. It is easier to observe the fossils on thinner rocks compared with their sizes. Although preliminary, the three dimensional observation of the echinoderm, which possesses gill-like structures, shows a relict of internal cavity. Because the thickness of host rocks is thin, we could observe the structures of the arthropod, named as Isoxys, and the brachiopod, too. The synchrotron micro-CT technique provides a convenient and effective observation of internal structures for even completely compressed fossils.

キーワード: 澄江化石, カンブリア紀, SPring-8, コンピューター断層撮影

Keywords: Chengjiang fossils, Cambrian explosion, SPring-8, micro-CT



## 溶存鉄に富んだエディアカラ紀海洋

### The ferruginous ocean in the Ediacaran; evidence from iron isotope ratios in pyrite.

澤木 佑介<sup>1\*</sup>, 田畑 美幸<sup>1</sup>, 西澤 学<sup>2</sup>, 小宮 剛<sup>3</sup>, 平田 岳史<sup>4</sup>, 丸山 茂徳<sup>1</sup>

SAWAKI, Yusuke<sup>1\*</sup>, TAHATA, Miyuki<sup>1</sup>, NISHIZAWA, Manabu<sup>2</sup>, KOMIYA, Tsuyoshi<sup>3</sup>, HIRATA, Takafumi<sup>4</sup>, MARUYAMA, Shigenori<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構, <sup>3</sup> 東京大学, <sup>4</sup> 京都大学

<sup>1</sup>Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>JAMSTEC, <sup>3</sup>The University of Tokyo, <sup>4</sup>Kyoto University

The Latest Proterozoic records some important events through the Earth history. Large multi-cellular animal first appeared and some severe glaciation (Snowball Earth) occurred during this period. Recent geological studies (e. g. Hoffman and Schrag, 2002) focus on re-appearances of BIF in the strata during the Latest Proterozoic. Iron is one of the essential elements for the life and sensitive to redox condition in seawater. Therefore, decoding iron cycle provide important information when discussing biological evolutions and ocean environments. The paleo-oceanic iron cycle is revealed by iron isotope ratios of iron-bearing minerals (e.g. Rouxel et al., 2005; Nishizawa et al., 2010).

South China is one of the best places for decoding surface environments during the Ediacaran, the last period of the Latest Proterozoic. The Ediacaran to Cambrian successions are widely distributed and contain many fossils. We carried out on-land drilling of the Ediacaran to Cambrian sedimentary succession in Three Gorges, South China. The drill-sampling allows us to minimize the effect of secondary alteration and oxidation on the surface and to make a very continuous chemostratigraphy at intervals of centimeters. We analyzed iron isotope ratios ( $^{56}\text{Fe}/^{54}\text{Fe}$ ) of sulfide minerals (pyrite) in the drill cores, using fs-LA-MC-ICP-MS at Kyoto University.

The results show large variations in iron isotope ratios, from -1.3 to +1.0 permil, through the Ediacaran. These high values, over +0.5 permil, require a partial oxidation of ferrous iron in the seawater, which indicates that the Ediacaran seawater had been ferruginous (ferrous iron-rich). Previously, most researchers have thought that iron was depleted in the seawater after 1.8 Ga. However, our results show opposite consideration to traditional recognition. Iron concentration locally changes according to water depth and tectonic setting. Therefore, it is future task to demonstrate that the ferruginous condition acquired in Three Gorges reflect global ocean environment.

キーワード: エディアカラ紀, 鉄同位体比

Keywords: Ediacaran, Iron isotope ratios

## 約 32 億年前の黒色頁岩中の硫黄の存在形態別同位体分析から明らかにする海洋の硫黄循環

### Sulfur cycling constrained from speciation and isotope analyses of 3.2 Ga black shale recovered by DXCL-DP

小林 友里<sup>1\*</sup>, 山口 耕生<sup>2</sup>, 坂本 亮<sup>3</sup>, 奈良岡 浩<sup>3</sup>, 清川 昌一<sup>3</sup>, 池原 実<sup>4</sup>, 伊藤 孝<sup>5</sup>

KOBAYASHI, Yuri<sup>1\*</sup>, YAMAGUCHI, Kosei E.<sup>2</sup>, SAKAMOTO, Ryo<sup>3</sup>, NARAOKA, Hiroshi<sup>3</sup>, KIYOKAWA, Shoichi<sup>3</sup>, Ikehara, Minoru<sup>4</sup>, ITO, Takashi<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 東邦大学大学院理学研究科化学専攻, <sup>2</sup> 東邦大学大学院理学研究科化学専攻, NASA Astrobiology Institute, <sup>3</sup> 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学専攻, <sup>4</sup> 高知大学海洋コア総合研究センター, <sup>5</sup> 茨城大学教育学部理科教育教室

<sup>1</sup>Toho University, <sup>2</sup>Toho University, NASA Astrobiology Institute, <sup>3</sup>Kyushu University, <sup>4</sup>Kochi University, <sup>5</sup>Ibaraki University

生命の誕生と進化、大気と海洋の化学進化、特にその酸化還元状態の変遷など、地球史初期の表層環境と生命の共進化は極めて重要である。大気中の酸素濃度の急上昇があったとされるのは約 23?24 億年前だが、それよりも数億年も古い時代に、大気や海洋が酸化していたとする地球化学的・地質学的証拠も発表されている。これらの進化の謎を解明すべく、西オーストラリア・ピルバラ地域にて約 32 億年前の変成度の低い陸上掘削コアが得られた (DXCL-DP; Dixon Island-Cleaverville Drilling Project)。この試料を用いた先行研究によると、当時の海洋では、有機炭素の同位体組成から光合成生物による生物生産が盛んであった可能性や (細井他, 2011)、有機物の窒素同位体組成から窒素固定菌の活動が盛んであった可能性や (山田他, 2011)、物理的に分離した黄鉄鉱の硫黄同位体組成から硫酸供給の限られた環境で硫酸還元菌の活動が活発であった可能性 (Sakamoto et al., 2011) が示されている。

硫黄は、主に酸揮発性硫黄 (Acid Volatile Sulfur; AVS)・黄鉄鉱 (FeS<sub>2</sub>)・硫酸塩・有機態硫黄 (Sorg)・元素状硫黄 (S<sub>0</sub>) の形態で堆積物中に存在する。これらの存在比および硫黄同位体比は、海洋中の酸化還元状態や、微生物活動といった堆積環境によって異なる。本研究では、約 32 億年前の黒色頁岩中の硫黄化合物を 5 つの形態に分別し、各形態中の硫黄の存在量および安定同位体比から、堆積当時の海洋環境と硫黄循環を考察する。

試料の各形態別硫黄含有量の平均は、S = 2.56 wt. %、AVS = 0.02 wt. %、黄鉄鉱 = 1.61 wt. %、硫酸塩 = 0.57 wt. % で、黄鉄鉱が大部分を占めていることが分かった。また、黄鉄鉱中の硫黄と有機炭素の存在量に正の相関が見られ、回帰曲線の傾き (Spy/Corg) の 2.2 は現代の海洋堆積物の場合の 0.37 より大きい値となった。これらのことから、当時の堆積環境は黒海に近いものであり、深層海洋は嫌氣的でありながらも酸化的な表層海洋から限定的な硫酸の供給がある閉鎖的な系であり、嫌氣的水塊中で硫酸還元菌による硫酸還元が活発であった可能性が示唆される。硫酸塩の生成の起源は、海底熱水活動によるものと黄鉄鉱の酸化によるものが考えられるが、その硫黄同位体組成から制約が可能である。本発表では、各形態の硫黄同位体比のデータをもとに各存在形態の硫黄の起源を明らかにし、堆積当時の海洋における硫黄循環について議論を行う。

キーワード: 硫黄, 形態別, 同位体

Keywords: Sulfur, speciation, isotope

## 顕微 FT-IR および顕微 Laser Raman 法による約 32 億年前の黒色頁岩中の有機物の起源の制約

### Origin of organic matter in 3.2 Ga black shale revealed by infrared and laser Raman microspectroscopy

中村 智博<sup>1\*</sup>, 山口 耕生<sup>2</sup>, 池原 実<sup>3</sup>, 清川 昌一<sup>4</sup>, 伊藤 孝<sup>5</sup>

NAKAMURA, Tomohiro<sup>1\*</sup>, YAMAGUCHI, Kosei E.<sup>2</sup>, IKEHARA, Minoru<sup>3</sup>, KIYOKAWA, Shoichi<sup>4</sup>, ITO, Takashi<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 東邦大学大学院理学研究科化学専攻, <sup>2</sup> 東邦大学大学院理学研究科化学専攻, NASA Astrobiology Institute, <sup>3</sup> 高知大学海洋コア総合研究センター, <sup>4</sup> 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学専攻, <sup>5</sup> 茨城大学教育学部

<sup>1</sup>Toho University, <sup>2</sup>Toho University, NASA Astrobiology Institute, <sup>3</sup>Kochi University, <sup>4</sup>Kyushu University, <sup>5</sup>Ibaraki University

地球史初期における生命進化を探る上で、堆積岩に残された有機物は極めて重要な情報を持つ。オーストラリア北西部 Pilbara 地方で行われた DXCL-DP(Dixon Island-Cleaverville Drilling Project; Yamaguchi et al., 2009) により約 32 億年前の黒色頁岩が 3 か所の層 (CL1, CL2, DX) で得られたが、その黒色頁岩中の有機物の起源を、受けた熱変成の程度と合わせて明らかにすることを目的に、抽出した kerogen について分光学的研究を行った。高知大学海洋コア総合研究センターの顕微 Laser Raman 分光装置と顕微 FT-IR 分光計を用いて、前者では 64 試料 (CL1: 22 個、CL2: 19 個、DX: 23 個)、後者では 9 試料 (CL1: 5 個、CL2: 4 個) の kerogen を測定した。Raman スペクトルからは有機物に特徴的なピークである D バンドと G バンドの中心波数および半値幅を求め、IR スペクトルからは脂肪酸炭化水素の CH<sub>3</sub> 基と CH<sub>2</sub> 基の非対称伸縮振動ピーク高の比を求めた。

Raman スペクトルの D・G バンドの中心波数は CL1, CL2, DX それぞれでわずかにシフトしているが、深度方向での差が小さいことから、有機物は層全体で一様に弱い熱変成を受けたと考えられる。一方、CL1, CL2 の半値幅が DX のそれより小さいので、上位の CL 層は下位の DX 層と比べて、より熱変成を受けたと考えられる。IR スペクトルの  $\nu_{as}$ CH<sub>3</sub> と  $\nu_{as}$ CH<sub>2</sub> のピーク高の比から、有機物を真核生物由来、バクテリア由来、アーキア由来の 3 種に分類できるとした研究がある (Igisu et al., 2009)。この方法を本研究の結果に適用すると、DXCL の約 32 億年前の黒色頁岩中の有機物の起源として、バクテリアや真核生物が候補として挙げられることになる。有機溶媒や酸に不溶である (つまり岩石中を液相で移動することのない) kerogen を生物起源とすることに関しては、産状および上記データのみならず炭素および窒素同位体組成に関する先行研究 (細井他, 2011, 山田他, 2011, 小林他, 2012) から何の矛盾もないが、とりわけ真核生物を起源とすることに関しては、現状ではその出現時期とされる年代を大いに遡ることになる約 32 億年前という DXCL 黒色頁岩の堆積年代からして、慎重な議論が必要となる。さらに、熱変成の際の有機物の変質 (Raman および IR スペクトルの変動) を定量的に考慮せねばならず、系統的な室内実験が必要となる。詳細な検討を重ねる必要があるが、もし本試料の熱変成の際の有機物の変質が極めて小さく、かつ Igisu et al. (2009) が有効であるならば、約 32 億年前の有機物の起源は既に極めて多様であった可能性がある。

キーワード: オーストラリア, 黒色頁岩, ケロジェン, レーザーラマン, フーリエ変換赤外, 太古代

Keywords: Australia, Black Shales, Kerogen, Laser Raman, Fourier Transform Infrared, Archean

## 南インド・Chitradurga 片岩帯に分布する後期太古代成岩の層序学 Stratigraphy of the Late Archean supracrustal rocks in the Chitradurga Schist Belt, South India

三島 郁<sup>1\*</sup>, Madhusoodhan Satish-Kumar<sup>2</sup>, 外田 智千<sup>3</sup>, 上野 雄一郎<sup>1</sup>

MISHIMA, Kaoru<sup>1\*</sup>, MADHUSOODHAN, Satish-Kumar<sup>2</sup>, HOKADA, Tomokazu<sup>3</sup>, UENO, Yuichiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学, <sup>2</sup> 静岡大学, <sup>3</sup> 国立極地研究所

<sup>1</sup>Department of Earth & Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>Department of Geosciences, Faculty of Science, Shizuoka University, <sup>3</sup>National Institute of Polar Research

In the Late Archean (3.0 to 2.5 Ga), Earth tectonic and climatic systems may have changed fundamentally. The earliest known glaciation (~2.9Ga) is recorded in the Mozaan Group of South Africa (Pongola glaciation; Young et al., 1998). Also, in the earliest Proterozoic, Snowball Earth event is recorded in the Huronian Supergroup of Ontario, Canada (~2.4Ga; Young et al., 2001). On the other hand, rise of atmospheric oxygen have been reported (~2.3Ga) based on several geological evidences such as deposition of banded iron formation, and mass independent isotopic fractionation of sulfur isotopes (S-MIF) and its disappearance (Farquahr et al., 2000). These changes may reflect redox perturbation of atmosphere and ocean. However, almost the Late Archean S-MIF record so far came from Pilbara and Kaapvaal cratons, that may have been a single continent (Vaalbara) at that time (de Kock et al., 2009). Thus the observed S-MIF and glaciation event may possibly reflect local environment. It is important to test the globalism of these climatic signatures.

We studied late Archean volcano-sedimentary sequence of the Dharwar Supergroup, occurred in the Chitradurga schist belt, Western Dharwar craton. The Chitradurga schist belt consists of >3.0Ga green stones (Sargur Group) and overlying 2.9-2.6Ga volcano-sedimentary sequence (Dharwar Super Group), which are surrounded by 3.2~3.0 Ga TTG (tonalitic-trondhjemitic-granodioritic) gneiss (Chadwick et al., 2000; Jayananda et al., 2006). The Supergroup is classified into two major groups (lower Bababudan Group and the upper Chitradurga Group).

Our new field mapping and zircon U-Pb dating allows us to reconstruct detailed lithostratigraphy of the Dharwar Supergroup. The lower unit (post-3.0 Ga) consists of basal conglomerate, stromatolitic carbonate, silici-clastics with diamictite (Talya conglomerate), chert/BIF and pillowed basalt in ascending order, all of which are older than 2676 Ma magmatic zircon ages from dacite dyke intruded into the topmost pillowed basalt. The upper unit unconformably overlies the pillow lava, and consists of conglomerate/sandstone with ~2633 Ma detrital zircons, komatiite lava, BIF and silici-clastic sequence with mafic volcanics.

Talya conglomerate has been considered to be a basal conglomerate defining the boundary between Bababudan and Chitradurga Groups. Based on our field observation, however, The Talya conglomerate occurs as lens within thick pelite unit and show diamictite texture possibly glacial in origin.. Detrital zircon from Bababudan Group shows 3137Ma for the youngest protolith magmatic ages. Thus, if the Talya diamictite represents glaciation event, this may possibly correspond to the Pongola glaciation.

キーワード: 南インド, ダルワール超層群, 後期太古代, 層序学, 氷期

Keywords: South India, Dharwar Super Group, Late Archean, Stratigraphy, glaciation