

炭素・硫黄同位体比から探る 32 億年前の海底環境: 西オーストラリア・ピルバラにおける DXCL 掘削の成果

Reconstruction of 3.2Ga seafloor: Carbon and Sulfur isotopic analysis for DXCL drill cores of Pilbara, Western Australia

三木 翼^{1*}; 清川 昌一¹; 奈良岡 浩¹; 高畑 直人²; 石田 章純²; 伊藤 孝³; 池原 実⁴; 山口 耕生⁵; 佐野 有司²

MIKI, Tsubasa^{1*}; KIYOKAWA, Shoichi¹; NARAOKA, Hiroshi¹; TAKAHATA, Naoto²; ISHIDA, Akizumi²; ITO, Takashi³; IKEHARA, Minoru⁴; YAMAGUCHI, Kosei E.⁵; SANNO, Yuji²

¹九州大学大学院 理学府 地球惑星科学専攻, ²東京大学 大気海洋研究所 海洋化学部門, ³茨城大学 教育学部 学校教育教員養成過程 (理科教育), ⁴高知大学 海洋コア総合研究センター 教育研究部, ⁵東邦大学理学部化学科; NASA Astrobiology Institute

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, Kyushu University, ²Department of Chemical Oceanography, Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, ³Teacher Training Course (Science Education), College of Education, Ibaraki University, ⁴Research and Education Faculty, Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, ⁵Department of Chemistry, Faculty of Science, Toho University; Astrobiology Institute, NASA

西オーストラリア・西ピルバラには約 32~31 億年前の海底堆積層であるデキソニアアイランド層およびクリバービル層が低変成度でよく保存されている (Shibuya et al., 2007). 堆積環境の高精度復元を目的として 2007 年と 2011 年に DXCL 陸上掘削が行われ, 4 本の掘削コア (DX, CL1, CL2, CL3) が得られた (Kiyokawa et al., 2012; Yamaguchi et al., 2009). 本研究では CL3 の炭素・硫黄分析を行い, 先行研究 (坂本, MS2010; Kobayashi et al., 2012; 寺司, MS2013) のデータと合わせて DXCL 試料全体を通しての環境変動について考察した. 硫黄同位体比が特に大きくばらつく DX については, その原因を解明するため二次元高分解能二次イオン質量分析計 (NanoSIMS) による黄鉄鉱微小領域分析を試みた.

クリバービル層は下位の黒色頁岩部層 (CL1, 2 および CL3 下部) と上位の縞状鉄鉱層 (BIF) 部層 (CL3 上部) からなる. 縞状鉄鉱層は下位で菱鉄鉱 (FeCO_3) の層が, 上位で赤鉄鉱 (Fe_2O_3) および磁鉄鉱 (Fe_3O_4) の層が卓越してチャートと互層をなしている. デキソニアアイランド層 (DX) は黒色頁岩, 灰色チャート, 黄鉄鉱層の互層からなる. 顕微鏡下の観察により, 数 mm 幅の黄鉄鉱層の中に数十~数百 μm の自形黄鉄鉱の層や直径約 $10\mu\text{m}$, 殻厚約 $2\mu\text{m}$ の微小球殻状黄鉄鉱の層があることが確認できた. 微小球殻状黄鉄鉱には内部が黄鉄鉱で充填されたものや二重の球殻構造をなすものなど異なる複数の産状が確認された. これらは地層の切断関係や形態により, 堆積とほぼ同時期に原形が形成して球殻構造の内部へ成長していったと考えられる.

炭素分析: CL3 コアの有機炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}_{org}$), 有機炭素量 (C_{org}) および無機炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}_{carb}$) を測定した. $\delta^{13}\text{C}_{org}$ は黒色頁岩部層で $-30\pm 1\%$ 程度でほぼ一定の値をとるが, 縞状鉄鉱層部層では C_{org} は低くなり, 菱鉄鉱起源の $\delta^{13}\text{C}_{carb}$ は -10% 付近の値 ($-15\sim -5\%$) を示した.

硫黄分析: 全岩試料を燃焼して得た SO_2 ガスの硫黄同位体 ($\delta^{34}\text{S}$) 分析および全硫黄量 (TS) の分析を行った. $\delta^{34}\text{S}$ は黒色頁岩部層で $0\sim +20\%$ という幅を示したが, 縞状鉄鉱層部層では $+5\sim +10\%$ と変動が小さくなった. 黒色頁岩の TS/ C_{org} プロットは, わずかにユークシニックな水塊に分類される.

NanoSIMS 硫黄同位体比分析: 微小球殻状黄鉄鉱を対象に $10\times 10\mu\text{m}$ の範囲で $\delta^{34}\text{S}$ のマッピングを行った. その結果球殻構造内部で $+5\sim +10\%$ ほどの同位体比の差があり, 値の高い部分が内側にリング状に, 低い部分が外側および中心部に分布する同心円状の同位体比分布を呈した.

(まとめ)

炭素分析: 両層に含まれる黒色頁岩は約 -30% の安定した $\delta^{13}\text{C}_{org}$ 値を示している. この値を示す微生物は, シアノバクテリア ($-31\sim -18\%$) や紅色硫黄細菌のクロマチウム科 ($-36\sim -26\%$) のような光合成細菌, およびメタン生成菌 ($-41\sim -5\%$) などである (Schidlowski, 1987). 有機物に富む地層では規則正しい細かな平行ラミナが重なる特徴から, 有機物は沈降した水中の生物遺骸と思われる. 当時の海洋表層では光合成細菌が活動しており, 長期間その遺骸のみが沈殿し続け海底に有機物層を残したものと考えられる.

縞状鉄鉱層部の菱鉄鉱の $\delta^{13}\text{C}_{carb}$ の値 ($-15\sim -5\%$) は, 鉄還元菌の嫌気呼吸時に生成する場合の $\delta^{13}\text{C}_{carb}$ の値 ($-15\sim -0.5\%$) の範囲とよく一致する (Fischer et al., 2009). 鉄還元菌は, 水酸化鉄などの Fe^{3+} を Fe^{2+} に還元することで有機物を分解してエネルギーを得る微生物である. したがって当時の海洋底では水酸化鉄ができており, それを使って鉄還元菌が活動していたことが推測できる. この水酸化鉄の形成要因としては, 当時の海洋が弱酸性的であったか, 酸素非発生型光合成鉄酸化細菌などの生物活動が考えられる.

硫黄分析: 球殻黄鉄鉱内部で $\delta^{34}\text{S}$ が μm 単位の増加傾向を示すことから, 閉鎖環境にてレイリー分別が行われていたことが示唆される. また TS/ C_{org} プロットがユークシニックな環境に位置することで, 水塊中でも硫酸還元が行われてい

Japan Geoscience Union Meeting 2015

(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)

©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



BPT23-13

会場:104

時間:5月25日 12:15-12:30

た可能性がある。燃焼法で得られた DXCL での $\delta^{34}\text{S}$ の多くは太古代の海洋硫酸塩同位体比 (+5.4 ‰, 3.3Ga; Strauss, 1993; +4.3 ‰ ±, 3.0Ga; Hoering et al., 1989) よりも高い正の値 (~+20 ‰) を示す。これは当時の海洋がすでに高い硫酸の $\delta^{34}\text{S}$ 値を持っていたか、もしくは、当時の海底場では堆積物中の水の交換が非常に乏しく、硫酸イオンの供給が限られ同位体比が正になるような特殊な環境を形成していた可能性がある。

キーワード: 太古代, 硫黄同位体, 炭素同位体, 硫酸還元菌, 二次元高分解能二次イオン質量分析装置
Keywords: Archean, sulfur isotope, carbon isotope, sulfate reducing bacteria, NanoSIMS