

西オーストラリア・ピルバラにおける32億年前の黒色頁岩に見られる黄鉄鉱の特徴と硫黄同位体比

LITHOLOGICAL CHARACTERISTICS AND SULFUR ISOTOPE RATIO OF PYRITE IN 3.2GA BLACK SHALE, PILBARA, WESTERN AUSTRALIA.

坂本 亮^{1*}, 清川 昌一², 奈良岡 浩², 伊藤 孝³, 池原 実⁴, 菅沼 悠介⁵, 山口 耕生⁶

Ryo Sakamoto^{1*}, Shoichi Kiyokawa², Hiroshi Naraoka², Takashi Ito³, Minoru Ikehara⁴, Yusuke Suganuma⁵, Kosei E. Yamaguchi⁶

¹九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻, ²九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門, ³茨城大学教育学部, ⁴高知大学海洋コア総合研究センター, ⁵国立極地研究所, ⁶東邦大学理学部化学科

¹Kyushu University, ²Kyushu University, ³Ibaraki University, ⁴Kochi University, ⁵National institute of Polar Research, ⁶Toho University

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ディクソンソンアイランド層及びクリバービル層が分布している。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、2007年夏にDXCL-DP (Dixon Island-Cleaverville Drilling Project) が行われ、層序の下部より上部にかけて、DX, CL2, CL1 の計3本の未風化岩石試料を取得した。これらの試料では黒色頁岩・灰色チャート・黄鉄鉱が数ミリメートル数十センチメートルオーダーで成層する。特に黄鉄鉱に関しては、薄層状で全体の堆積構造と調和的である。この薄層状黄鉄鉱の特徴を詳しく調べることは、黄鉄鉱層形成メカニズムを理解し、地層堆積時の環境を復元するうえで重要である。本研究では、コア中に見られる薄層状黄鉄鉱について肉眼・顕微鏡・電子顕微鏡観察による記載とEA-IRMSによる硫黄同位体分析を行い、その岩石学的特徴と全体的な硫黄同位体比の変化を明らかにした。

本コア中の薄層状黄鉄鉱は主に塊状層と級化層の2種類に分類される。塊状層は1.5センチメートル以下の層厚を持ち、層理面と平行方向に引き延ばされ膨縮構造を示す。また塊状層は後の荷重変形に伴って形成した層理面に対して直交する微細な石英脈によって一辺数ミリメートルのブロックに細分される。一方、級化層は0.5~4センチメートルの層厚を持ち、細粒の黄鉄鉱粒子が層位的上方に向かって濃集している。黄鉄鉱結晶は20~30ミクロンの直径を持ち、粒径の変化は見られず、結晶数が上方に向かって多くなる傾向をもつ。

本コア中に見られる黄鉄鉱結晶は形状別に球型結晶、中空型結晶、充填型結晶の3種類に分けられる。球型結晶は幅5ミクロン以下の黄鉄鉱の外殻とシリカの核からなる直径10~30ミクロンの球形の結晶である。中空型結晶は10~50ミクロンの直径で、球形結晶よりも立方体結晶形が顕著な起伏に富む球形を示し、中心部にシリカからなる5ミクロン以下の穴を持つ。充填型結晶は中空型結晶とほぼ同等の直径・形状を示すが、内部まで黄鉄鉱で充填されている。観察の結果、薄層状黄鉄鉱は主にこれら3種類の黄鉄鉱結晶の凝集によって形成されており、更に単一層中において球型結晶から充填型結晶へと遷移的に変化していることを確認した。

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 ($\delta^{34}\text{S}$) は、DX コア中で-10.1 から+23.5 パーミル、CL2 コア中で+4.4 から+26.8 パーミル、CL1 コア中で+1.7 から+24.9 パーミルと、全てのコアで広い分別幅を示す。全体的に正の値をとるものが多く、幾つかの層準においては+20パーミルを超える重い値が確認された。

考察

1) 形成過程: 単一の薄層状黄鉄鉱において細粒黄鉄鉱は、内部をシリカが充填し、表面を黄鉄鉱に覆われた球型結晶として晶出する。更にその後の結晶成長により立方体結晶形が顕著に現れ起伏に富む形状へと変化する。この作用が進行し、内部に穴のあいた中空型結晶、最終的に穴が潰れた充填型結晶へ遷移したと考えられる。

2) 形成時期: 薄層状黄鉄鉱を細分する石英脈部分には上記の特徴を持つ細粒黄鉄鉱は無く、これら3種類の細粒黄鉄鉱結晶は荷重変形以前に形成されたものであると言える。特に球型結晶については、堆積時もしくは続成作用の極めて初期に形成した事が示唆される。また、堆積初期の続成作用により薄層状黄鉄鉱はより成長し、厚みを増していると考えられる。つまり、本試料中の薄層状黄鉄鉱部分は堆積初期にすでに細粒黄鉄鉱が濃集していた地層であることを示唆する。

3) 海洋底環境: 全体で36パーミルの広い分別幅を示す硫黄同位体比は、当時の海洋底における硫酸還元菌による活発な動的分別作用を示唆する。 $\delta^{34}\text{S}$ が正の値を示す黄鉄鉱については、硫酸の供給の限られた環境下で海水中の硫酸の殆どが還元され、黄鉄鉱の同位体比として保存された為と考えられる。また+20パーミルを超える非常に重い同位体比は、太古代中期の海水中に分別作用の進んだ硫酸が存在していた可能性を示している。

キーワード: 太古代, 黒色頁岩, 黄鉄鉱, 硫黄同位体比, 硫酸還元, 堆積環境

Keywords: Archean, black shale, pyrite, sulfur isotope ratio, sulfate reduction, sedimentary environment