

## 南太平洋の酸化的な遠洋性粘土に広く存在する生物起源マグネタイト Biogenic magnetite prevails in oxic pelagic red clay core in the South Pacific Gyre

下野 貴也<sup>1\*</sup>, 山崎 俊嗣<sup>2</sup>

Takaya Shimono<sup>1\*</sup>, Toshitsugu Yamazaki<sup>2</sup>

<sup>1</sup>筑波大学生命環境科学研究科, <sup>2</sup>東京大学大気海洋研究所

<sup>1</sup>Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, <sup>2</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo

Magnetotactic bacteria have been observed in wide variety of environments, including soils, freshwater lakes, and marine sediments, since Blakemore first described in 1975. Magnetotactic bacteria, which most commonly live within the oxic-anoxic transition zone (OATZ) of aquatic environments, produce intracellular crystals of magnetic minerals, specifically magnetite or greigite. It is considered that the magnetite/greigite crystals facilitate the bacteria's search for optimal conditions within the sharp chemical gradients of the OATZ. Petermann and Bleil (1993) reported living magnetotactic bacteria in pelagic and hemipelagic sediments near OATZ in the eastern South Atlantic at water depths to about 3,000 m, but they could not find actively swimming magnetotactic bacteria in sediments of deeper water depths.

The South Pacific Gyre (SPG) is far from continents and the lowest productivity region on Earth. IODP Site U1365 (water depth 5,696 m) cored pelagic red clay of 75.5 m thick above ~100 Ma basement (except for chart layers from ~42 to 61.5 m) in the western edge of the SPG. The core mainly consists of iron rich clay. The color is dark reddish and/or dark brown throughout the core. We conducted a paleomagnetic and environmental rock magnetic study of the pelagic clay core. The magnetostratigraphy revealed the top 5 m sediments cover the last 5 My, and sedimentation rate decreases downward from 1.7 to 0.6 m/m.y. Geochemical measurements of pore water indicate that dissolved oxygen was present throughout the core (>50 microM). Thus oxygen penetrates through the entire sediment column to the sediment/basalt interface, and there is no OATZ.

Magnetic mineral assemblage of this core is dominated by biogenic magnetite despite no OATZ. First-order reversal curve (FORC) diagrams of all specimens have a narrow central ridge along the Hc axis with very small vertical spread. This indicates very weak magnetostatic interaction (Roberts et al., 2000), and is the characteristic of biogenic magnetite (Egli et al., 2010; Roberts et al., 2011). Presence of biogenic magnetite was confirmed by TEM observation. Occurrence of biogenic magnetite was reported also in pelagic red clay of the North Pacific with TEM observations (Yamazaki and Ioka, 1997), and these samples also display the characteristic FORC diagrams. These observations suggest that biogenic magnetites commonly occur in oxic pelagic red clay without OATZ.

キーワード: 生物起源マグネタイト, 遠洋性粘土, 酸化的環境, 環境磁気研究, 南北太平洋環流, IODP Exp.329

Keywords: Biogenic Magnetite, Pelagic Red Clay, Oxic Environment, Environmental Magnetism, South and North Pacific Gyre, IODP Exp.329

## バイオマーカーによるアデン湾周辺域の古環境復元 Reconstructing the paleoenvironment of the Gulf of Aden and its surroundings lands using biomarkers

伊左治 雄太<sup>1\*</sup>, 川幡 穂高<sup>1</sup>, 大河内 直彦<sup>2</sup>, 村山 雅史<sup>3</sup>, 玉木 賢策<sup>4</sup>

Yuta Isaji<sup>1\*</sup>, Hodaka Kawahata<sup>1</sup>, Naohiko Ohkouchi<sup>2</sup>, Masafumi MURAYAMA<sup>3</sup>, Kensaku Tamaki<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構, <sup>3</sup> 高知大学海洋コア総合研究センター, <sup>4</sup> 東京大学大学院工学系研究科エネルギー・資源フロンティアセンター

<sup>1</sup> Atmosphere and Oceanic Research Institute, University of Tokyo, <sup>2</sup> Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology,

<sup>3</sup> Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, <sup>4</sup> Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

Lands surrounding the Gulf of Aden are one of the most important sites when considering the history of *Homo sapiens*. The oldest known modern human's cranial, estimated to be ca. 195 ka, was found at Omo Kibish, Ethiopia (McDougall et al., 2005). Modern human expansion out of Africa, thought to have taken place at ca. 60 ka (Quintana-Murci et al., 1999), must have been greatly influenced by the environment of the Arabian peninsula. Mesopotamia has seen rises and collapses of many civilizations. The aim of this study is to reconstruct paleoenvironment of these areas at high time resolution. As a first step, I mainly focused on reconstructing paleoceanographic conditions since the ocean has strong interaction with the atmosphere and the land. Here I focused on three periods, 0.7-7.8 ka (Period I), 53-69.7 ka (Period II), and 195-207.4 ka (Period III). Reconstruction of the paleoenvironment was done by extracting lipids from the sediment and analyzing the biomarkers using GC-MS/FID.

The sampling site of the sediment core GOA4 is off the coast of Yemen, in the Gulf of Aden. The climate of the Gulf of Aden is primarily controlled by summer SW monsoon and winter NE monsoon. On a longer time scale, SW monsoon strengthens during the interglacial, and NE monsoon during the glacial (Rostek et al., 1997).

Biomarkers focused in this study are long-chain n-alkanes, alkenones, and highly branched isoprenoids (HBIs). Carbon preference index of the long-chain n-alkanes ranged from 5-8.5, strongly suggesting that they are mainly of terrestrial origin. The long-chain n-alkanes were the only terrestrial biomarker detected in this study. This may imply that the terrestrial environment surrounding the Gulf of Aden had scarce vegetation.

SST reconstructed from core GOA4 was compared with that from core TY93-909/P recovered off eastern Yemen (Rostek et al., 1997). The fact that SST of GOA4 is about 2°C higher during the interglacial indicates that the Gulf of Aden is outside the trajectory of strong SW monsoon. The difference between the SST of GOA4 and TY93-909/P during the interglacial is expected to be larger than the glacial because SW monsoon and following upwelling is more strengthened at the site TY93-909/P. Despite that, fluctuations of SST on glacial-interglacial time scale at both sites show similar trends. Several hypotheses could be made, as follows (Rostek et al., 1997); (i) Global warming (cooling) during the interglacial (glacial) might have cancelled the effect of sea surface cooling (warming) associated with the upwelling strengthening (weakening) of the SW monsoon. (ii) Deepening of the mixed layer due to the enhancement of NE monsoon during the glacial could have counteracted the weakening of the SW monsoon.

The origin of HBIs detected in this study is probably the diatom genus *Rhizosolenia*. Since the size of the genus *Rhizosolenia* is considerably large, the concentration of HBI is used as a proxy for the productivity of diatoms. Sediment trap study taken place in the northwest Arabian Sea indicates that the blooming of diatoms is a month later than that of coccolithophores (Haake et al., 1993). This is because silicate-rich water lies deeper than that of nitrate and phosphate, and injection of silicate-rich water to the surface does not occur until late summer when SW monsoon is more enhanced.

Abundance of diatoms in Period I could be explained by the fact that diatoms prefer nutrient-rich environment. The reason that the coccolithophores were scarce may be because of earlier occurrence of the injection of silicate-rich water to the surface layer due to the enhanced upwelling. This hypothesis does not seem to fit for Period III which scarcity of diatoms can be observed. This may be due to other limiting factors such as Fe availability. Scarce diatoms and abundant coccolithophores in Period II is reasonable since the surface water during the glacial was probably oligotrophic.

キーワード: アデン湾, 人類史, バイオマーカー, 古環境, インドモンスーン

Keywords: the Gulf of Aden, human history, biomarker, paleoenvironment, Indian monsoon

## 粒度別河川堆積物の供給源推定に基づく 8Ma 以降のタリム盆地の乾燥化の評価とその変動要因 Evaluation of the desertification in Tarim Basin based on provenance study of size-separated fluvial sediment since 8Ma

烏田 明典<sup>1\*</sup>, 多田 隆治<sup>1</sup>, Zheng Hongbo<sup>2</sup>, 豊田 新<sup>3</sup>, 長谷川 精<sup>4</sup>, 磯崎 裕子<sup>1</sup>, 吉田 知紘<sup>1</sup>  
Akinori Karasuda<sup>1\*</sup>, Ryuji Tada<sup>1</sup>, Zheng Hongbo<sup>2</sup>, Shin Toyoda<sup>3</sup>, Hitoshi Hasegawa<sup>4</sup>, Yuko Isozaki<sup>1</sup>, Tomohiro Yoshida<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院理学系研究科, <sup>2</sup> 岡山理科大学, <sup>3</sup> 名古屋大学博物館

<sup>1</sup>The University of Tokyo, <sup>2</sup>Nanjing Normal University, <sup>3</sup>Okayama University of Science, <sup>4</sup>The Nagoya University Museum

現在タクラマカン砂漠が広がる中国西部のタリム盆地は、チベット高原の隆起活動に伴い乾燥化したとされている。しかし、これまでのタリム盆地の乾燥化開始年代は乾燥気候で形成される風成堆積物の堆積開始年代に基づくものであり、タリム盆地が乾燥気候であっても風成堆積物が形成されていないことによる乾燥化の認定漏れの可能性が残されていた。

そこで本研究では、タリム盆地南縁部の河川堆積物層について河川堆積物への風成塵混入を粒度別供給源推定から評価を行うことで、新たに河川堆積物から乾燥化の評価を行うことを試みた。供給源推定には風化に強く、普遍的に存在する鉱物である石英に着目した。

石英の ESR 信号強度は母岩の形成年代と比例関係を持つ事 (Toyoda and Naruse, 2002)、その結晶化度 (CI) は石英の結晶化過程を反映すること (Murata and Norman, 1976) が知られており、両者は石英の起源を特徴づける独立した指標と言える。そしてこの 2 つの指標を用いた現世河川堆積物の粒度別供給源推定より、風成塵の混入が原因で 0-16  $\mu\text{m}$  の画分の供給源が、河川後背地の地質を強く反映する 63  $\mu\text{m}$  以上の画分の結果と大きく異なることが判明している (Isozaki, 2009 MS)。

本研究では、この手法を過去の河川堆積物に応用し、石英の ESR 信号強度と CI から過去の河川堆積物の供給源推定を粒度別に行う。そこから粗粒画分と細粒画分の供給源が分離する時代を明らかにすることで、過去の河川堆積物への風成塵混入の評価を行う。

本研究はタリム盆地南西部の Yecheng section に見られる河川堆積物層で調査を行った。この河川堆積物層は、古地磁気層序より 7.6Ma から 1.8Ma にかけて堆積したことが判明している (Zheng et al., 2010)。また、この河川堆積物層では 4.5Ma 以降に風成塵が飛来することで形成される風成シルト堆積物が堆積開始することが判明しており (Zheng et al., 2003)、風成シルト堆積物を用いた検証が可能である。本研究では、27 の河川堆積物 (砂岩 9 つ、礫岩基質 18 つ) について 63-500  $\mu\text{m}$  と 0-16  $\mu\text{m}$  にふるいと沈降法を用いて分画を行い、各画分について ESR 信号強度、結晶化度 (CI) の分析を行った。

その結果、河川堆積物の粗粒画分と細粒画分の結果が 6.6Ma、6.0Ma、4.5Ma 以降で大きく異なることが判明した。供給源の分離は風成塵混入が原因とすると、少なくとも 6.6Ma 以降のタリム盆地は現在のような乾燥した気候が形成されていることが考えられる。

6.6Ma 以降が乾燥していたこと、また粗粒河川堆積物より明らかになった崑崙山脈前縁部の隆起活動 (セッション H-CG33 にて発表予定) を考慮した上で、これまでの乾燥化の報告の再考察を行うと、隆起活動が活発であった時代と乾燥化の時代が非常に良く重なる。そのため 6.6Ma 以降の隆起活動が風成塵や砂漠の形成を左右していたことが示唆される。特に 8Ma 以降で最大の隆起活動が起きた 3.5-3.0Ma では風成塵の急激な供給源変動 (3.5Ma) とタリム盆地中心部での砂漠形成 (3.4Ma) が報告されており、風成塵の供給源が現代とほぼ同じ供給源に移動すること、砂漠が現在のタクラマカン砂漠であることを考慮すると 3.5-3.0Ma の隆起活動が現在のタリム盆地の地形を形成したことが示唆される。

キーワード: タリム盆地, 乾燥化, タクラマカン砂漠, 供給源推定, 風成塵, 隆起活動

Keywords: Tarim Basin, Desertification, Taklimakan Desert, Provenance study, Eolian dust, Uplift

## 高緯度サンゴを用いた、酸素同位体比と Sr/Ca 比の骨格成長量依存性の評価 Estimation of the growth-rate influences on the oxygen isotope and Sr/Ca ratios in the Porites at high latitudes

平林 頌子<sup>1\*</sup>, 横山 祐典<sup>1</sup>, 鈴木 淳<sup>2</sup>, 川久保 友太<sup>1</sup>, 宮入 陽介<sup>1</sup>, 岡井 貴司<sup>2</sup>, 野島 哲<sup>3</sup>

Shoko Hirabayashi<sup>1\*</sup>, Yusuke Yokoyama<sup>1</sup>, Atsushi Suzuki<sup>2</sup>, KAWAKUBO, Yuta<sup>1</sup>, Yosuke Miyairi<sup>1</sup>, Takashi Okai<sup>2</sup>, NOJIMA, Satoshi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>2</sup> 独立行政法人 産業技術総合研究所地質情報研究部門, <sup>3</sup> 九州大学理学部附属天草臨海実験所  
<sup>1</sup> Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, <sup>2</sup> Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), <sup>3</sup> Amakusa Marine Biological Laboratory, Kyushu University

The skeletal oxygen isotope in the coral is used as a good proxy to reconstruct sea surface temperature (SST). On the other hand, some studies showed that coral growth rates may affect the oxygen isotope in coral (McConnaughey 1989a; Felis et al., 2003; Suzuki et al., 2005; Hayashi et al., 2013). Here we reanalyzed the same Porites coral in Omata et al. (2006), which was collected in the eastern of Ushibuka in the Amakusa area, Japan, which is located at slightly lower latitude than the northern limit of the hermatypic corals. We measured Sr/Ca ratio and reconstructed SST. Compared to the oxygen isotope ratio measured by Omata et al. (2006), our results showed that Sr/Ca ratio is the robust SST proxy which is independent of its growth rate. We suggest that Sr/Ca ratio is more suitable for reconstruction of SST using the small growth-rate Porites corals, especially in high latitudes.

キーワード: サンゴ骨格中の酸素同位体, Sr/Ca 比, 高緯度, サンゴの成長率

Keywords: skeletal oxygen isotope in the coral, Sr/Ca ratio, high latitudes, coral growth rates



## 石英の ESR 信号強度と結晶化度に基づく揚子江流出堆積物の供給源・混合比推定 Provenance and mixing ratio of the sediments discharged from Yangtze River based on ESR signal intensity and Crystallinity

齋藤 京太<sup>1\*</sup>, 多田 隆治<sup>1</sup>, 入野 智久<sup>2</sup>, Zheng Hongbo<sup>3</sup>, Chao Luo<sup>4</sup>, Mengying He<sup>4</sup>, 鈴木 克明<sup>1</sup>, Wang Ping<sup>4</sup>  
Keita Saito<sup>1\*</sup>, Ryuji Tada<sup>1</sup>, Tomohisa Irino<sup>2</sup>, Zheng Hongbo<sup>3</sup>, Chao Luo<sup>4</sup>, Mengying He<sup>4</sup>, Yoshiaki Suzuki<sup>1</sup>, Wang Ping<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東大・理・地球惑星, <sup>2</sup> 北大・地球環境科学, <sup>3</sup> Nanjing Normal Univ., <sup>4</sup> Nanjing Univ.

<sup>1</sup> EPS, Univ of Tokyo, <sup>2</sup> Univ. Hokkaido, <sup>3</sup> Nanjing Normal Univ., <sup>4</sup> Nanjing Univ.

揚子江は長さ 6300km, 流域面積  $1.94 \times 10^6 \text{km}^2$  という東アジア最長の河川であり, 流域人口は 4 億人を超える。そのため, 過去において揚子江の洪水は人間活動に多大な影響を及ぼしてきた。近年の観測によると, 下流部の増水は ENSO, 上流部の増水は南アジアモンスーンと, 上流下流で異なる気候変動と関連していることが示唆されており (Tong et al., 2006), 洪水の予測あるいは過去の洪水史を復元する際には, 時間変動だけではなく空間変動も重要となる。

観測記録以前の洪水史を復元するための手段として, 河口部から採取したコアを分析し, 洪水堆積物の供給源を推定するという方法が考えられるが, そのためには供給源となる各支流を区別するための指標が必要となる。

揚子江から流出する堆積物の 98% は懸濁粒子 (Suspended Particle Matter; SPM) が占めており, その平均粒径は  $10 \mu\text{m}$  である一方 (Mao et al., 2010), 河口部堆積物中の洪水層においては, 中央粒径が  $25\text{-}35 \mu\text{m}$  と, 粒径が異なっている。

SPM については, Yang et al. (2007), Mao et al. (2011), Luo et al. (2012) などにより Sr, Nd 同位体比, Shao et al. (2012) などにより CIA が分析されている。いずれも上流部の粒子と下流部の粒子で分析値に差があり, 粒子の供給源がどちらであるか区別することができると考えられるが, Sr 同位体, CIA は風化の影響を受けやすく, また, 平常時に流出する粒径の粒子と, 洪水層に対応する粒径の粒子の違いについては明確ではない。

そこで本研究では, 堆積物中でも風化に強い石英を用い, ESR 信号強度 (Electron Spin Resonance; 電子スピン共鳴), 結晶化度 (Crystallinity Index; CI), 石英含有量 (Quartz Content; QC) の 3 つの指標について粒径別に分析を行った。目的は, 揚子江の各支流から流出する粒子の ESR, CI 値の特徴を粒度別に得ること, および, 実際に ESR, CI の値を用いて, 河口部の堆積物から卓越する供給源を推定できる可能性を検証することである。

各支流から流出した粒子を分析した結果, 上流部の支流で ESR の値が 0-2 程度と低く, 中流部の支流では ESR=7-10 以上と比較的高くなる傾向が得られ, CI を組み合わせることで各支流起源の碎屑粒子を区別できた。また, 一部の支流では粒径によって ESR, CI の値に差があり, 適切な粒径を選ぶことの重要性が示唆された。

次に, 各支流の ESR, CI の値, および堆積物流出量の観測値を元に, 揚子江本流下流部における ESR, CI の値を推定し, 実際に下流部の試料を分析した値と粒度ごとに比較した。分析値と推定値では多少の差異を生じたが, 粒径ごとに適切な堆積物収支を用いて計算すれば精度は上がると考えられる。

最後に, 特定の支流で堆積物流量が増加したと仮定して, 下流部の堆積物における ESR, CI 値の感度実験を行った。上流部支流または中流部支流の堆積物流量が平常時の 6 倍に増加したとして計算した結果, 平均的な堆積物流量を仮定した場合 ESR=3.08, CI=8.39 であったのに対し, 上流の流量増を仮定した場合は ESR=1.86, CI=8.25, 中流の流量増を仮定した場合は ESR=5.23, CI=8.50 となり, この条件下では流量が増加した地域を特定できると考えられる。また, 中流部の堆積物流量増を仮定した場合の方が変動幅が大きいことから, 中流部では堆積物流量がさほど増加しない洪水であっても検出でき, 高い精度で洪水が起きた地域を推定することができると考えられる。