

南鳥島周辺EEZ内におけるレアアース泥研究の最新成果

The progress of research on REY-rich mud within the Minamitorishima EEZ

*加藤 泰浩^{1,2,3}、藤永 公一郎^{3,1}、中村 謙太郎^{1,2}、安川 和孝^{1,3}、大田 隼一郎¹、高谷 雄太郎^{4,1}、飯島 耕一²、町田 嗣樹^{2,1}、野崎 達生^{2,1}、木村 純一²、鈴木 勝彦²、岩森 光^{2,5}

*Yasuhiro Kato^{1,2,3}, Koichiro Fujinaga^{3,1}, Kentaro Nakamura^{1,2}, Kazutaka Yasukawa^{1,3}, Junichiro Ohta¹, Yutaro Takaya^{4,1}, Koichi Iijima², Shiki Machida^{2,1}, Tatsuo Nozaki^{2,1}, Jun-Ichi Kimura², Katsuhiko Suzuki², Hikaru Iwamori^{2,5}

1.東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻、2.海洋研究開発機構、3.千葉工業大学、4.早稲田大学創造理工学部環境資源工学科、5.東京工業大学

1.Department of Systems Innovation, Graduate School of Engineering, University of Tokyo, 2.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 3.Chiba Institute of Technology, 4.Department of Resources and Environmental Engineering School of Creative Science and Engineering, Waseda University, 5.Tokyo Institute of Technology

Three years have passed since the amazingly fruitful research cruise KR13-02 resulted in a discovery of deep-sea mud extremely enriched in rare-earth elements and yttrium (REY) within the Japanese exclusive economic zone (EEZ) surrounding Minamitorishima Island. The mud with maximum total REY content of ~8,000 ppm strongly attracts our attention as an unconventional and highly promising deep-sea mineral resource. Subsequent six cruises, i.e., MR13-E02, KR14-02, MR14-E02, MR15-E01 Leg 2 and Leg 3, and MR15-02, have highlighted that the southern part of the Minamitorishima EEZ appears to be the unique area where the "extremely REY-rich mud" lies at very shallow depth (2 to 4 m) below the seafloor. In the presentation, we report a general overview of our latest findings from various approaches to REY-rich mud in the Minamitorishima EEZ including chemical, physical, statistical and engineering techniques.

キーワード：深海底鉱物資源、レアアース泥、南鳥島

Keywords: deep-sea mineral resource, REY-rich mud, Minamitorishima Island

南鳥島周辺EEZ南部における高濃度/超高濃度レアアース泥層の分布：主成分・微量元素組成からの示唆

Distribution of highly/extremely REY-rich mud layers in the southern part of the Minamitorishima EEZ: Insight from major and trace element geochemistry

*中村 謙太郎¹、安川 和孝¹、藤永 公一郎¹、加藤 泰浩^{1,2,3}

*Kentaro Nakamura¹, Kazutaka Yasukawa¹, Koichiro Fujinaga¹, Yasuhiro Kato^{1,2,3}

1.東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻、2.東京大学大学院工学系研究科附属エネルギー・資源フロンティアセンター、3.国立研究開発法人海洋研究開発機構

1.Department of Systems Innovation, School of Engineering, The University of Tokyo, 2.Frontier Research Center for Energy and Resources (FRCER), School of Engineering, The University of Tokyo, 3.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

Since the discovery of highly/extremely REY-rich mud layer (more than 2000/6000 ppm Σ REY) within the Japanese Exclusive Economic Zone (EEZ) around the Minamitorishima Island [1], exploitation of REY-rich mud has attracted particular interest because of its high potential as a REY resource. Detailed investigation by subbottom profiling and piston coring conducted over the last three years has revealed the distribution of REY-rich mud (>400 ppm Σ REY) and overlying non-REY-rich sediments within the Minamitorishima EEZ [Nakamura et al., in revision]. However, both lateral and vertical distributions of the highly/extremely REY-rich mud layers are still uncertain. Here we examine major and trace element compositions of deep-sea sediments cored from the Minamitorishima EEZ. On the basis of geochemical characteristics, REY-rich mud can be subdivided into six types including highly/extremely REY-rich mud, and the highly/extremely REY-rich mud layer is the second top layer of the REY-rich mud succession. In the presentation, we discuss the distribution of each layer of the REY-rich mud and its paleoceanographic implication.

キーワード：高濃度/超高濃度レアアース泥層、南鳥島EEZ、地球化学

Keywords: highly/extremely REY-rich mud layers, Minamitorishima EEZ, geochemistry

南鳥島南方海域における超高濃度レアアース泥の分布状況

Distribution of extremely REY-rich mud in the southern part of the Minamitorishima EEZ

*藤永 公一郎^{1,2}、安川 和孝^{2,1}、町田 嗣樹^{3,2}、野崎 達生^{3,2}、高谷 雄太郎^{4,2}、大田 隼一郎²、大矢 和孝²、新熊 大生⁴、西尾 嘉朗⁵、正木 裕香³、臼井 洋一³、原口 悟³、飯島 耕一³、天川 裕史³、鈴木 勝彦³、中村 謙太郎^{2,3}、加藤 泰浩^{2,3,1}、MR15-E02 Leg.2 乗船者一同

*Koichiro Fujinaga^{1,2}, Kazutaka Yasukawa^{2,1}, Shiki Machida^{3,2}, Tatsuo Nozaki^{3,2}, Yutaro Takaya^{4,2}, Junichiro Ohta², Kazutaka Oya², Daiki Niikuma⁴, Yoshiro Nishio⁵, Yuka Masaki³, Yoichi Usui³, Satoru Haraguchi³, Koichi Iijima³, Hiroshi Amakawa³, Katsuhiko Suzuki³, Kentaro Nakamura^{2,3}, Yasuhiro Kato^{2,3,1}, MR15-E02 Leg.2 cruise members

1.千葉工業大学、2.東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻、3.国立研究開発法人海洋研究開発機構、4.早稲田大学創造理工学部環境資源工学科、5.高知大学農林海洋科学部

1.Chiba Institute of Technology, 2.Department of Systems Innovation, School of Engineering, University of Tokyo, 3.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 4.Department of Resources and Environmental Engineering School of Creative Science and Engineering, Waseda University, 5.Research and Education Faculty, Kochi University

Since the discovery of the "extremely REY-rich mud" ($\Sigma\text{REY} > 5000$ ppm) in the Japanese exclusive economic zone (EEZ) surrounding Minamitorishima Island (Kato et al., 2013), we conducted seven research cruises over three years. In the MR15-E01 Leg 2 cruise, one of the latest research cruises by R/V Mirai from March 14 to 28, 2015, we focused to investigate the detailed distribution of the extremely REY-rich mud in the southern part from the Minamitorishima EEZ. During the cruise, we collected 13 sediment cores by piston coring. Here, we report the distribution, visual core descriptions, bulk-sediment chemical compositions of the deep-sea sediment in the southern part of the Minamitorishima EEZ in order to clarify geological and geochemical characteristics of the extremely REY-rich mud.

キーワード：レアアース、レアアース泥、南鳥島、深海底鉱物資源

Keywords: rare earth elements and yttrium (REY), REY-rich mud, Minamitorishima Island, deep-sea mineral resource

南鳥島EEZ内の深海堆積物を構成する地球化学的独立成分

Geochemical independent components constituting deep-sea sediments within the Minamitorishima EEZ

*安川 和孝^{1,2}、中村 謙太郎¹、藤永 公一郎^{2,1}、大田 隼一郎^{3,1}、岩森 光^{3,4}、加藤 泰浩^{1,2,3}

*Kazutaka Yasukawa^{1,2}, Kentaro Nakamura¹, Koichiro Fujinaga^{2,1}, Junichiro Ohta^{3,1}, Hikaru Iwamori^{3,4}, Yasuhiro Kato^{1,2,3}

1.東京大学大学院工学系研究科、2.千葉工業大学、3.海洋研究開発機構、4.東京工業大学理工学研究科地球惑星科学専攻

1.School of Engineering, The University of Tokyo, 2.Chiba Institute of Technology, 3.JAMSTEC, 4.Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology

Recently, the presence of "extremely REY-rich mud", deep-sea sediments containing extraordinarily high concentrations of rare-earth elements and yttrium (REY), was confirmed within the Japanese exclusive economic zone (EEZ) surrounding Minamitorishima Island (Kato et al., 2013; Fujinaga et al., 2013; Iijima et al., submitted). The maximum total REY content in the extremely REY-rich mud exceeds 7000 ppm, which is higher than that of any other deep-sea sediment ever reported from the world ocean.

Deciphering the genesis of the mud should provide us groundbreaking insights into both the potential distribution of the novel resource for REY of great economic value and the mystery of paleoceanographic event(s) that caused an anomalous concentration of specific elements in an abyss. As a first step to achieve the goal, it is quite important to unravel the source materials and physicochemical processes that generated the sedimentary sequence.

Here we applied Independent Component Analysis to the comprehensive data set composed of major- and trace-elemental contents of more than 800 bulk deep-sea sediment samples collected from the Minamitorishima EEZ. Although being a preliminary interpretation, several geochemical independent components can be extracted from the whole data structure; e.g., biogenic calcium phosphate associating with very high REY content, Fe-Mn oxides accompanied by characteristic metals, etc. We report the results and interpretation of our new analysis, and statistically characterize the deep-sea sediments within the Minamitorishima EEZ.

-- References --

Fujinaga, K. et al. (2013) *JpGU Meeting 2013*.

Kato, Y. et al. (2013) *JpGU Meeting 2013*.

キーワード：深海堆積物、レアアース泥、独立成分分析

Keywords: deep-sea sediment, REY-rich mud, Independent Component Analysis

アカスタ片麻岩体のジルコンに記録された原始生代における重い酸素同位体比を持つマグマ形成の証拠

Evidence from the Acasta zircons for consistent occurrence of magmas with moderately elevated $d^{18}O$ throughout the Eoarchean

*牛久保 孝行¹、飯塚 毅²、スピキューザ マイケル³、バレー ジョン³

*Takayuki Ushikubo¹, Tsuyoshi Iizuka², Michael J. Spicuzza³, John W. Valley³

1.海洋研究開発機構 高知コア研究所、2.東京大学、3.ウィスコンシン大学マディソン校

1.Kochi Institute for Core Sample Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology,

2.University of Tokyo, 3.University of Wisconsin-Madison

Oxygen isotope ratio of undamaged zircon is a refractory signature and useful to infer petrogenesis of its host rock [1,2]. The $d^{18}O$ values of zircons from primitive magmas are $5.3 \pm 0.6\%$ (2 SD)[3]. Occurrence of 'supracrustal' $d^{18}O$ values ($>6.3\%$) in >4 Ga zircons from the Jack Hills, Western Australia indicates existence of hydrated crustal rocks and chemically differentiated crust by 4.3 Ga [4]. However, because Jack Hills zircons are detrital and no host rock is known, it is difficult to reconstruct crustal evolution in the early Earth. The Acasta Gneiss Complex (AGC) in the Slave Province, Canada is one of the best places to study early crustal evolution because multiple generations of Eoarchean rocks are preserved [5].

In this study, oxygen isotope ratios ($d^{18}O$) of zircons from six felsic gneisses and one pegmatite of the AGC [5] were measured with an ion microprobe, CAMECA IMS 1280-HR at Kochi Institute, JAMSTEC. We selected zircons which exhibit concordant U-Pb age (mostly with $0 \pm 2\%$ discordance) [5] and the samples can be classified into three groups based on their crystallization ages, >3.9 Ga, ca. 3.75 Ga, and ca. 3.6 Ga zircons, respectively. A new kimberlite zircon standard: KC-KLV-Zrc1 from Kaalvallei, South Africa ($d^{18}O = 5.43 \pm 0.14\%$ VSMOW, 2 SD, determined by a laser fluorination and gas-source mass spectrometry at University of Wisconsin-Madison) was used as a running standard for SIMS analysis. Typical spot-to-spot reproducibility of $d^{18}O$ values was $\pm 0.26\%$ (2 SD). The $^{16}OH^-/^{16}O^-$ ratios of zircons, which is an indicator of radiation damage [6], were monitored during oxygen isotope analysis and analysis pits were examined by SEM after the analyses to identify disturbed $d^{18}O$ values by later alteration. We use oxygen isotope data from zircons with no evidence for later alteration.

Multiple oxygen isotope analyses within individual zircon grains showed that some AGC zircons have variable oxygen isotope ratios by ca. 0.5% correlated with growth zoning layers recognized by Cathodoluminescence (CL). The studied AGC zircons commonly have moderately elevated $d^{18}O$ values (6.0 to 6.5%) with a few exceptions of lower $d^{18}O$ values (down to 5.0%) in >3.9 Ga zircons. No low $d^{18}O$ values ($<4.7\%$), which were recognized in ca. 4.0 Ga zircons from Idiwhaa tonalitic gneiss in the AGC [7] are observed from the samples in this study. Consistent occurrence of zircons with moderately elevated $d^{18}O$ values (6.0 to 6.5%) from ca. 4.0 Ga to 3.5 Ga indicates that production of sediment and incorporation of sediment to magma sources consistently occurred in the Acasta region in this period. Since zircons with low $d^{18}O$ values are recognized in a tonalitic gneiss at ca. 4.0 Ga [7], interaction of crustal rocks with fluid at high temperatures would have occurred at an earlier stage of felsic rock formation. Oxygen isotopic characteristics of AGC zircons, moderately elevated with a narrow range of $d^{18}O$ values (6.0 to 6.5%), is distinct from that of zircons from West Greenland ($<6.0\%$ at ca. 3.8-3.9Ga) [8]. In addition, higher $d^{18}O$ values are recognized in >4.0 Ga zircons from Jack Hills [e.g., 3,4]. The distinct O isotope evolution among the terranes indicate that crust-forming processes have been already established by Eoarchean.

References:[1] Page F. Z. et al. (2007) Am. Mineral. 92, 1772-1775. [2] Valley J. W. et al., (2014)

Nature Geosci. 7, 219-223. [3] Valley J. W. et al. (2015) Am. Mineral. 100, 1355-1377. [4] Cavosie A. J. et al. (2005) Earth Planet. Sci. Lett. 235, 663-681. [5] Iizuka T. et al. (2007) Precam. Res. 153, 179-208. [6] Wang X.-L. et al. (2014) Chem. Geol. 389, 122-136. [7] Reimink J. R. et al. (2014) Nature Geosci. 7, 529-533. [8] Hiess J. et al. (2009) Geochim. Cosmochim. Acta 73, 4489-4516.

キーワード：アカスタ片麻岩、ジルコン、酸素同位体、二次イオン質量分析計

Keywords: Acasta Gneiss, zircon, oxygen isotope, SIMS

冥王代ジルコン研究

Hadean detrital zircons in the Jack Hills metaconglomerate, Western Australia:
Implications for Hadean Earth tectonics

*山本 伸次¹、小宮 剛²、飯塚 毅²、渋谷 岳造³、コラーソン ケン⁴、坂田 周平⁵、大林 秀行⁵、平田 岳史⁴、磯崎 行雄⁵、丸山 茂徳⁶

*Shinji Yamamoto¹, Tsuyoshi Komiya², Tsuyoshi Iizuka², Takazo Shibuya³, Kenneth D Collerson⁴, Shuhei Sakata⁵, Hideyuki Obayashi⁵, Takafumi Hirata⁴, Yukio Isozaki⁵, Shigenori Maruyama⁶

1.横浜国立大学、2.東京大学、3.海洋研究開発機構、4.クイーンズランド大学、5.京都大学、6.東京工業大学
1.Yohohama National University, 2.The University of Tokyo, 3.JAMSTEC, 4.Queensland University,
5.Kyoto University, 6.Tokyo Institute of Technology

Hadean (4.56-4.0Ga) rocks are absent on the modern Earth. Yet, the first 600 million years is the most critical and important period of the habitable planet Earth to understand the general interests whether or not the habitable planet can be appeared as only one rocky planet among all planets or satellites in solar system, as we understand through research history. The Jack Hills metasedimentary rocks have long been investigated because of the presence of Hadean zircons back to ca. 4.4 Ga (e.g. Wild et al., 2001; Holden et al., 2009; Valley et al, 2014). Previous research not only for geochronology but also mineral inclusions in detrital zircons ranging in age between 3.0 Ga and 4.4 Ga have given excellent information on the Hadean surface environment. Here we described additional information for the Hadean magma and impact evidence based on mineral inclusions, specifically apatite, to estimate the space environment and host magma which is presumably felsic TTG magma. The result showed plate tectonics must have been operated back to 4.3 Ga because of the presence of TTG magma and possible presence of ocean back to 4.3 Ga because mineral inclusions in Hadean zircon cover various minerals dominated by quartz, plagioclase, K-feldspar, apatite, muscovite, biotite with subordinate amounts of hornblende, rutile, monazite, magnetite, hematite, pyrite and goethite, indicating the host magma must have been granitic composition. To produce the felsic magma similar to the modern Earth plate tectonics must have been already operated. Plate tectonics also needs the presence of thick ocean to cover the mid oceanic ridge.

キーワード：冥王代、ジルコン、ジャックヒルズ

Keywords: Hadea, zircon, Jack Hills

冥王代海洋地殻組成の推定とその含水融解実験：冥王代海洋・大陸地殻組成の解明に向けて
Composition of the Hadean oceanic crust and its hydrous melting experiments: Investigation for the composition of the Hadean oceanic and continental crust

*近藤 望¹、小木曾 哲¹

*Nozomi Kondo¹, Tetsu Kogiso¹

1. 京都大学大学院人間・環境学研究科

1. Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University

地球が形成された直後の冥王代（40億年前以前）に、マントル-地殻分化がどのように起こり、海洋地殻・大陸地殻がどのような組成を持っていたのかを知ることは、地殻の抽出・リサイクルによるマントルの化学進化や、地殻から水圏への生命必須元素の供給が初期生命の誕生・進化過程へどう影響したか影響を理解する上で重要である。冥王代ジルコンの分析から、当時液体の水や花崗岩質-安山岩質のメルトが存在したことが示唆されているが (Trail et al. 2007; Hopkins et al. 2010)、そのメルトの生成過程や組成は未だよくわかっていない。冥王代にはマントルが高温であった可能性が高く、高温なマントルから生成する海洋地殻はコマチアイト質となることが先行研究から示唆されている (Takahashi 1985)。高温なマントルにより地殻の温度勾配も高かった可能性があるため、このコマチアイト質海洋地殻が沈みこむ際に含水融解して珩長質メルトが生成し、大陸地殻を形成した可能性がある。しかし、コマチアイトの含水融解実験はほとんど行われてこなかったため、コマチアイト質海洋地殻が大陸地殻形成に関わった可能性もよく検証されていない。本研究では、高温高圧実験によってコマチアイトの含水融解時に生成されるメルトの主成分元素組成を決定し、冥王代大陸地殻の形成過程や化学組成に制約を与えることを目指している。

本研究ではこれまでに、高温なマントルにおける対流モデル (Korenaga 2009; Foley et al. 2014) を参考に、冥王代の火成活動様式と海洋地殻組成を推定した。冥王代の海洋地殻は、プレートテクトニクス開始以前は、厚い (~200 km) リソスフェアの底部における微小部分融解度での融解で生じたメルトによって形成され、プレートテクトニクス開始以降は海嶺下での大部分融解度での融解で生じたメルトによって形成したと考えられる。そして、それぞれの状況で生成されるメルトの主成分元素組成を高温高圧実験 (Kondo et al. Submitted) と、pMELTSによる計算によって決定した。いずれの状況でも、生成されるメルトはコマチアイト組成であるが、FeOとMgOの含有量に大きな差があることがわかった。これら2種類のコマチアイト組成を持つ出発物質を、酸化物・炭酸塩試薬の混合によって合成し、ピストンシリンダー型高圧発生装置を用いて含水融解実験を行った。実験では、特に酸素フガシティーが目的の値に保持されているかを注意深く分析、検討した。本発表では、推定した冥王代海洋地殻の組成と含水融解実験の経過について報告する。

キーワード：冥王代、大陸地殻、コマチアイト、含水融解実験

Keywords: Hadean, continental crust, komatiite, hydrous melting experiment

全球海洋モデルに基づく初期地球海洋潮汐の定量的検討

Estimation of the ocean tide on the early Earth based on the all ocean model

*元山 舞¹、綱川 秀夫¹、高橋 太²

*Mai Motoyama¹, Hideo Tsunakawa¹, Futoshi Takahashi²

1.東京工業大学大学院理工学研究科地球惑星科学専攻、2.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻

1.Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, 2.Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University

海洋が存在し大陸は未発達であったと考えられる初期地球では、海洋潮汐が地球表層環境や生命環境に与える影響は重要である。月は地球から約 $3R_E$ 程度 (R_E : 地球半径) 離れたところで形成されたとするジャイアント・インパクト仮説に基づく、初期地球に作用する潮汐力(平衡潮汐)は現在(地球・月間距離 $\sim 60R_E$)と比較して約十倍から千倍だったと推測される。一方、潮汐力を外力とする海洋の応答を考えると、潮汐力の振動数が海洋の固有振動数から大きくずれてしまい、潮汐波は減衰していた可能性がある(Abe et al., 1997; Abe and Ooe, 2001)。これまでの研究では、地球・月システムの進化、特に地球自転速度と月軌道の進化を取り扱っており、初期地球の海洋潮汐を定量的に研究した例はほとんどない。そこで本研究では、初期地球の全表面を一様深度の海洋が覆っていたとする全球海洋モデルを仮定し、地球自転速度、海洋深度、および粘性をパラメータとして海洋潮汐の共振・減衰を検討した。

潮汐応答はモードによって大きく異なるため、各種モードの応答を調べる必要がある。全球海洋モデルにおける固有振動モードを、球面調和関数 (Y_n^m , n : 次数, m : 位数) によって表すと、次数 n は緯度方向のパターン、位数 m は経度方向のパターンを与える。地球・月間の距離を d ($= 3-60 R_E$) とすると潮汐力は $d^{-(n+1)}$ に比例するため、初期地球の主要な潮汐力として $n=2, 3$ の2種類のモードを検討する必要がある。また、潮汐力の角振動数 (ω) は地球自転の角振動数 (Ω) によってほぼ決まり、 $m=2$ は半日周期の外力 ($\omega=2\Omega$)、 $m=1$ は1日周期の外力 ($\omega=\Omega$) になる。一方、全球海洋モデルにおける海洋の固有角振動数 (ω_0) は、海洋深度、地球自転速度に応じて固有振動モードごとに決まる。潮汐力の角振動数が海洋の固有角振動数に近い場合 ($\omega \approx \omega_0$)、共振が生じ潮汐波は増幅される。潮汐力の角振動数が海洋の固有角振動数と大きく異なる場合、 $\omega \gg \omega_0$ ならば潮汐波は減衰してゼロに近づき、 $\omega \ll \omega_0$ ならば潮汐波は平衡潮汐へ近づく。海洋の粘性は増幅を抑えるとともに、共振角振動数を若干小さい方へずらす。

現海水量を全地球表面に平均化すると約2600mになることから、1300m、2600m、5200mの3つの海洋深度を仮定し、Longuet-Higgins (1968)の方法により、地球自転の角振動数で規格化した固有角振動数 ($\omega_0/2\Omega$) を求めた。また、従来の研究に基づき、地球自転周期 ($LOD = 2\pi/\Omega$) は5-24時間の範囲をとるとした (e.g. Mignard, 1982; Stacey and Davis, 2008)。粘性を含む海洋の応答として1次元モデルを拡張した応答関数を適用した。粘性 (b) は海底における摩擦と渦粘性を考慮し、 $b=0.01\text{m/s}$ および $b=0.1\text{m/s}$ の2つのケースを検討した (Schwidorski, 1980; Abe et al., 1997)。本研究の解析の結果、 Y_3^1, Y_2^1 の2つの1日周期モードが共振しうることがわかった。また、Abe et al. (1997) が示したように、現在の主要潮である半日周期モード Y_2^2 は、仮定したパラメータ範囲内では共振せず、平衡潮から減衰する。

これらの応答に基づき潮汐波高を定量的に推定するためには、地球自転角速度と地球・月間距離とを関係付けるモデルが必要である。次数3までの応答を考慮した従来のモデルはないが、Stacey and Davis (2008) の進化モデルを採用すると、例えば1300mの全球海洋においてモード Y_3^1, Y_2^1 の振幅は数十m、周期は十時間程度となる。全球海洋モデル、パラメータ、共振の継続時間などについて詳細な検討が必要であるが、このような共振は、潮汐波による浸食が大陸形成を阻害するなど、初期地球表層の環境に大きな影響を与えた可能性が示唆される。さらに、地球・月システム進化モデルの再検討を要するかもしれない。

キーワード：初期地球、海洋、潮汐

Keywords: Early Earth, Ocean, Tide

中国東北部鞍山地域における東山片麻岩の産状とそのU-Pbジルコン年代

Occurrence and U-Pb zircon dating of the Archean Dongshan gneiss in Anshan, the North China Craton

*上原 啓幹¹、小宮 剛²、山本 伸次⁴、昆 慶明³、李 毅兵⁵、金 巍⁶*Hiroki Uehara¹, Tsuyoshi Komiya², Shinji Yamamoto⁴, Yoshiaki Kon³, Yibing Li⁵, Wei Jin⁶

1.東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学、2.東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻、3.独立行政法人産業技術総合研究所、4.横浜国大学大学院環境情報研究院、5.中国地質科学院地質研究所、6.吉林大学
1.Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, University of Tokyo,
2.Department of Earth Science & Astronomy Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo,
3.National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 4.Graduate School of Environment and Information Sciences, The Yokohama National University, 5.Institute of Geology, CAGS, 6.Univ. Jilin

北中国地塊は38億年以前の大陸地殻物質が存在する世界でも数少ない場所の一つである。その38億年の年代値を示すジルコンは遼寧省鞍山地域に産する花崗岩質片麻岩（白家； Baijiafenおよび東山； Dongshan地域）から報告されている（Liu et al., 1992; Song et al., 1996）。一方、Wu et al. (2008)は、U-Pb年代分析やHf同位体分析の結果から、38億年の年代を示すジルコンはinheritedであり、原岩の年代は33億年前であると解釈している。このように、鞍山地域の片麻岩の起源は、ジルコンのU-Pb年代分析、HfやO同位体分析、CL像の観察結果から多様な解釈がされており(Liu et al., 2008; Nutman et al., 2009; Wu et al., 2008, 2009)、38億年前の年代値を示す岩石が存在していたのか、未だ多くの議論がされている。

本研究では、東山地域の花崗岩質片麻岩露頭の詳細な観察を行い、その片麻岩中のジルコンの局所分析から、その原岩形成年代の再検討を行った。詳細な露頭観察の結果、(1)雲母に富む苦鉄質岩、(2)粗粒な薄灰色花崗岩質片麻岩、(3)粗粒な白色花崗岩質片麻岩と(4)若い粗粒な花崗質脈の4つの岩相が存在することがわかった。また、それらの地質学的な関係は(1)雲母に富む苦鉄質岩を、(2)粗粒な薄灰色花崗岩質片麻岩が貫入し、さらに両者を(3)粗粒な白色花崗岩質片麻岩が貫入し、最後に(4)若い粗粒な花崗質脈が全体を貫入していることがわかった。それぞれの岩相から系統的にジルコンを抽出した後、それらのカソードルミネッセンス（CL）像を観察し、オシラトリー累帯構造を残すものを選別した。そして、それらのジルコンの局所U-Pb分析を産総研のLA-ICP-MSを用いて行った。その結果、(1)には3.3 Gaの年代値を示す変成ジルコンのみが含まれていた。(2)に含まれる多くのジルコンは変成作用により若返っているが、3.8 Gaの年代値を示すジルコンが含まれることがわかった。(3)には3.3 Gaの年代値を示すジルコンが多く存在した。(4)には約500 Maの年代値を示すジルコンが存在した。

発表ではジルコンのCL像、LA-ICP-MSによるU-Pb年代分析、さらに、HfやO同位体分析、ジルコンや全岩のREE分析の結果に基づき、原岩の形成年代や複数回の花崗岩の貫入イベントについて考察を行う。

キーワード：太古代、ジルコン、アンシャン

Keywords: Archean, zircon, Anshan

ガボン南東部における前期原生代 (2.1 Ga) 堆積盆地の造構場：初期大型生物の進化のホットスポット

Tectonic setting of the Paleoproterozoic (2.1 Ga) sedimentary basins in southeastern Gabon: A possible evolutionary hotspot of the early macrobiota

*佐藤 友彦¹、澤木 佑介¹、丸山 茂徳¹

*Tomohiko Sato¹, Yusuke Sawaki¹, Shigenori Maruyama¹

1.東京工業大学

1.Tokyo Institute of Technology

The Paleoproterozoic is one of the most important transition periods in the Earth's history, marked by the oxidation of surface environment and the appearance of eukaryotic organisms. The centimeter-sized fossils (~17 cm in maximum), possibly multicellular organisms, were reported from 2.1 Ga black shales in southeastern Gabon (El Albani et al., 2010, Nature). These Gabon macrofossils occur only in the restricted area and only during the short time period. The uniqueness of the subsistence of the large organisms in the 2.1 Ga Gabon may be the key to solve the essential requirements for evolution of life; however, the detailed tectonic settings and geochemical conditions of the fossil occurrence are poorly constrained. In order to clarify these settings, we are going to conduct precise geological survey and investigate the multi-isotope chemostratigraphy of the Paleoproterozoic sequences in Gabon.

The Paleoproterozoic sedimentary sequences are distributed widely in the Francevillian Basin in southeastern Gabon, which consist of 4 sub-basins; Franceville, Lastoursville, Okondja, and Booue. The ca. 2 km-thick Paleoproterozoic sedimentary sequences in these rift-basins are subdivided into FA (sandstones with uranium-rich conglomerates), FB (black shales, siltstones and carbonates), FC (carbonates and cherts), and FD (black shales) in ascending order. The FA indicates fluvial and deltaic depositional setting, and the FB, FC and FD suggest marine deposition during the rifting and basin deepening. The Gabon macrofossils are reported only from the black shales of the FB in the Franceville Basin; however, nodule-like fossils are recently found in the black shales of the FB in the Okondja Basin (Moussavou et al., 2015, J. Geol. Geosci.), which is almost the same horizon as the macrofossils. The difference of tectonic setting and geochemical environment between the Franceville and Okondja Basins is essential to understand the uniqueness of the evolutionary hotspot. The Gabon macrofossils likely inhabited in a shallow water oxygenated environment. There might be an evolutionary influence of the well-known Oklo nuclear reactors, which is very near to the macrofossil site.

As a preliminary study, we analyzed strontium isotopes of the carbonate samples collected from the Lastourville Basin. In this presentation, we will discuss the tectonic setting of the Francevillian Basin at the time of Gabon macrofossil appearance.

キーワード：前期原生代、ガボン、ストロンチウム同位体

Keywords: Paleoproterozoic, Gabon, strontium isotope

ガーナビリミアングリーンストーン帯ケープスリーポイント地域の地質構造及び層序の復元と堆積年代について

The stratigraphy and a new age constraint of the volcanoclastic sequence of Birimian in Cape Three Points, Ashanti belt, southwest Ghana

*吉丸 慧¹、清川 昌一¹、伊藤 孝²、池原 実³、堀江 憲路⁴、竹原 真美⁴、佐野 貴司⁵、Nyame, K. Frank⁶、Tetteh, M George⁷

*Satoshi Yoshimaru¹, Shoichi Kiyokawa¹, Takashi Ito², Minoru Ikehara³, Kenji Horie⁴, Mami Takehara⁴, Takashi Sano⁵, Frank K Nyame⁶, George M Tetteh⁷

1.九州大学理学府地球惑星科学専攻、2.茨城大学教育学部、3.高知大学、4.国立極地研究所、5.国立科学博物館、6.ガーナ大学、7.タルクワ鉱山技術大学

1.Department of Earth and Planetary Science, Kyushu University, 2.Ibaraki University, 3.Kochi University, 4.National Institute of Polar Research, 5.National Museum of Nature and Science, 6.University of Ghana, 7.University of Mining and Technology

Paleoproterozoic Birimian greenstone belt, extending from eastern Guinea to western Niger, is located in southern part of West Africa Craton. The geological structure of the Ashanti belt occupying most of western Ghana, especially gold mines, has been revealed a little by scientific research. At the Cape Three Points area, there is no previous report about change in environment of deep sea floor during paleoproterozoic period. We focused on environment and bioactivities during deposition of protolith of the Birimian greenstones at this region. As a preliminary study, we report the stratigraphy, structures of volcanic and volcanoclastic sequence, the depositional settings and age at this region.

Ashanti belt, striking NE-SW and occupying most of western Ghana, is composed of mainly basalts or andesites, volcanoclastic rocks and belt type or non-belt type granitoids, and is uncomfortably overlain by acidic volcanoclastics and gold bearing conglomerates. The maximum depositional age of the cap of Birimian rocks is 2154 ± 2 Ma (U-Pb zircon: Oberthür et al., 1998) and the youngest age of the intruded rock into Birimian volcanic in this region is 2174 ± 2 Ma (U-Pb zircon: Oberthür et al., 1998).

In the Cape Three Points region facing the Gulf of Guinea, very thick volcanoclastic sequences are present in succession over 4000 m and about 1000 m-thick of stratigraphy of the study sites is reconstructed by detailed field investigations. The layers are running N-S, most of them dip 60-80 to the east. The stratigraphy shows fining upward. All of these sediments were affected by greenschist facies metamorphism, and thus minerals of amphiboles, plagioclase, chlorite and epidote are very common, while quartz grains are not so popular member here. The TiO_2/Al_2O_3 ratio obtained from chromites with EPMA in basaltic rocks indicates that these rocks produced in the volcanic arc system. Trace elements compositions of whole-rock compositions tend to show low concentration of Nb, and high concentration of LREEs. These facts also indicate that they are derived from volcanic arc region. Those thick fining-upward volcanoclastic sequence, chemical compositions may be suggest that the Cape Three Points area was formed on the mid-deep sea floor beside an oceanic volcanic arc.

We obtained new age information from the porphyritic dyke with several meters in length and <1m in widths. This dyke is foliated and some minerals are sheared and tone off. Zircon grains collected from the dyke were measured by SHRIMP at NIPR, and yielded weighted mean ^{204}Pb -corrected $^{207}Pb/^{206}Pb$ age of 2265.6 ± 4.6 Ma (95% confidence), which indicates that the volcanoclastic sequences deposited before 2265.6 ± 4.6 Ma and deformed after that. Only four detrital zircons are dated around 2260 Ma in this site and these age groups are the oldest in the Ghanaian greenstone terrane (Loh and Hiedes

1992). Therefore, there is possibility that the early volcanic activity history of the Ghana Birimian remains at Cape Three Points.

キーワード：ガーナビリミアングリーンストーンベルト、古原生代、火山砕屑岩

Keywords: Ghana Birimian greenstone belt, paleoproterozoic, volcaniclastics

ガーナ/ベリミアン帯陸上掘削(GHB)速報: 古原生代の海洋底環境復元プロジェクト

Preliminary report of Ghana Biriman Greenstone belt drilling project (GHB): Reconstruction Paleoproterozoic oceanic environment

*清川 昌一¹、伊藤 孝²、池原 実³、山口 耕生⁵、尾上 哲治⁴、堀江 憲路⁶、吉丸 慧¹、三木 翼¹、Tetteh George⁷、Nyame Frank⁸

*Shoichi Kiyokawa¹, Takashi Ito², Minoru Ikehara³, Kosei E. Yamaguchi⁵, Tetsuji Onoue⁴, Kenji Horie⁶, Satoshi Yoshimaru¹, Tsubasa Miki¹, Tetteh M George⁷, Frank K Nyame⁸

1.九州大学大学院理学研究院地球惑星部門、2.茨城大学教育学部、3.高知大学海洋研究総合コアセンター、4.熊本大学理学部、5.東邦大学理学部、6.国立極地研究所、7.University of Mines and Technology, Tarkwa、8.University of Ghana, department of Geology

1.Department of Earth and Planetary Sciences Faculty of sciences, Kyuushu University, 2.Dept. Education, Ibaraki Univ., 3.Kochi Univ., 4.Kumamoto Univ., 5.Toho Univ., 6.National Polar Inst., 7.University of Mines and Technology, Tarkwa, 8.University of Ghana, department of Geology

古原生代では、大陸集合・分裂イベントがおこり、浅い海底が広がるとともに、大気中の酸素濃度上昇事件 (Grate Oxidation Event) や、真核生物の台頭が始まり、地球表層が大きく変化したと言われる (e.g. Holland, 1994, Condie 1997, Kopp et al, 2005). 表層の急激な酸化作用により、海底では極度の還元環境に陥るとも言われている。しかし、深海底の地質学的証拠はほとんど報告がない。これは、原生代の深海底の地層は付加や衝突帯のみにしか残っていないためである。

我々は古原生代における比較的深い海底の環境変遷を明らかにするために、ガーナ、ベリミアン(Birimian)グリーンストーン帯の堆積層について、陸上掘削(Ghana Birimian Drilling project: GHB)を行った。ベリミアン(Birimian)グリーンストーン帯は、古原生代のグリーンストーン帯で、古くから金やマンガン鉱床が知られている。内陸はジャングルのために、鉱山以外での地質構造や層序の復元は難しく、詳細な研究は報告がない。

我々の調査地域であるガーナ南西部ケープスリーポイントベリミアン海岸は、約22-21億年前の花崗岩が貫入した古原生代の海底堆積物が数キロにわたって連続露出している。特に海岸線の西部は500m以上にわたって蛇紋岩帯、東部には枕状溶岩が報告されており、古原生代の海洋底断面が残される可能性が高い。我々は、全体の地質構造の把握を行って来た。断層や褶曲構造を考慮して、代表的な柱状図を作成してきた。地層層序の連続性が良く、そのほとんどが東上位の変形の整然として地層が連続する。全層厚は約3000mにおよび、変形した枕状溶岩および火山砕屑岩がかさなり、数回の厚い火山砕屑層を挟み、徐々に細粒化する。20-50m厚の上方細粒化層した火山砕屑層と黒色頁岩層の互層が挟まれており、上方ほど細粒砂岩からシルト層の頻度が増え、薄層化する。上方ほど細かな平行葉理をもつタービダイト性火山岩や黒色頁岩が増加し深海化する。最上部は、再堆積した細粒火山砕屑岩と黒色頁岩互層からなる。

Ghana Biriman drilling project (GHB-1) は、最上部について195mの掘削に成功した。掘削地はAkodda集落と Ezile bayの境界部分に露出する堆積物であり、細粒火山性堆積物の互層が連続して露出する。掘削は45度南東方向に地層に直交方向でおこなった表層から30m までHQコア、30~195mまでNQコアを使用した。表層10mほどから風化を免れた新鮮なコアが取得された。予察的な観察では、ほとんどが火山砕屑岩のタービダイト層であり、上位ほど細粒の緑色-黒色シルト層が増える。最上部の細粒堆積物には続成作用でできた結晶粒子が多く含まれており、陸上で見られたスフェルールを含む風化した地層は、この粒子が起源だと思われる。

キーワード：古原生代、ベリミアングリーンストーン帯、海洋性島弧

Keywords: Paleoproterozoic, Birimian Greenstone belt, oceanic island arc



中央海嶺熱水系は二次的生息場

Mid-oceanic ridge is not the birth place of life: secondary place to live

*丸山 茂徳¹

*Shigenori Maruyama¹

1.東京工業大学地球生命研究所

1.Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology

「地球生命が母なる海で誕生した」というイメージは実は間違いである。地球誕生直後の原始海洋は猛毒で、生物が誕生し生息できるような環境ではありえない。地球形成論から導かれる原始海洋の化学組成は、超酸性 (pH<1)、高塩分濃度 (現在の5-10倍)、かつ重金属に非常に富む海洋にならざるを得ない。したがって、生命の誕生は猛毒海洋を逃れた場所、つまり、きれいな淡水をたたえることができた陸上の環境であったはずで、具体的には自然原子炉間欠泉で初めて生命が誕生したであろう。そういった環境では無数のコモノートが生まれたが、猛毒海洋にさらされることによって大量絶滅を繰り返した。そのような強力な環境的外圧と度重なる大量絶滅を免れたのが、古細菌と真正細菌であり、現在の動物と植物の祖先である。

時間とともに、大陸から供給される岩石と猛毒海洋の相互作用によって海洋の浄化が進むと、酸性だった海洋は中性に近づき、重金属元素はプレートテクトニクスが機能することによって鉱床として中央海嶺で固定されるため、海洋から取り除かれた。塩分濃度は6.35億年前までに現在の2倍程度まで低下したことがわかっているが、太古代までは高塩分な状態が維持されたままであった。したがって、一般的には、海洋は生物が生息するには困難な場であった。

しかし、中央海嶺はそのような困難さを例外的に解消できる場である。中央海嶺では、断層に沿って地下に流入する熱水が沸騰し、重い濃厚塩水と真水に近い水に分離し上昇している。中央海嶺周辺以外の海洋の塩分濃度は現在の5倍程度も高かったため、生物が棲息できる環境ではなかったが、中央海嶺熱水系周辺は生物の生存が可能な程度に塩分濃度が低かった。従って、中央海嶺熱水系で、生物が生息可能だったのである。

しかし、前述したように、中央海嶺熱水系は生命誕生場ではありえない。海洋組成に加えて、中央海嶺熱水系は環境多様性とその変化がほとんど存在しないことも大きな理由のひとつである。従って、生命は陸上で誕生し、その後、進化の過程で中央海嶺に進出した。そして、中央海嶺に住み着いた生物は、過去の機能を効率よく残した化石生物となったのである。

キーワード：塩分濃度、原初大陸、中央海嶺熱水系

Keywords: seawater salinity, primordial continent, mid-oceanic ridge hydrothermal system

蛇紋岩を母岩とする白馬八方温泉の炭化水素の起源：分子および分子内炭素同位体分析

Origin of hydrocarbons from serpentinite-hosted Hakuba Happo hot spring: Molecular and intramolecular ^{13}C analyses*須田 好¹、上野 雄一郎^{1,2,3}、Gilbert Alexis²、吉田 尚弘^{2,4}*Konomi Suda¹, Yuichiro Ueno^{1,2,3}, Alexis Gilbert², Naohiro Yoshida^{2,4}

1.東京工業大学大学院 理工学研究科 地球惑星科学専攻、2.東京工業大学 地球生命研究所、3.海洋研究開発機構 プレカンブリアンエコシステムラボラトリー、4.東京工業大学大学院 総合理工学研究科 化学環境学専攻

1.Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, 2.Earth-Life Science Institute (WPI-ELSI), Tokyo Institute of Technology, 3.Precambrian Ecosystem Laboratory, JAMSTEC, 4.Department of Environmental Chemistry and Engineering, Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

The early environment before the origin of Earth's life remains poorly understood due to lack of geological records during Hadean era (>4.0 Ga). Serpentinite-hosted hot spring/hydrothermal systems are considered to have been widespread in Hadean Earth and a potential site to synthesize organic compounds abiotically (e.g., Russell et al., 2010). The fluid associated with low temperature (<100°C) serpentinization is characterized by strongly alkaline condition and is often rich in hydrogen (H_2) and methane (CH_4). Previous field studies revealed that the C_1 - C_5 hydrocarbons were commonly observed in serpentinite-hosted systems, regardless of continental or seafloor setting [e.g., Charlou et al., 2002; Proskurowski et al., 2008; Etiope et al., 2011; Szponar et al., 2013]. However, production mechanisms of these hydrocarbons have not been poorly understood. We report chemical, and molecular and intramolecular carbon isotopic study of hydrocarbons for on-land serpentinite-hosted systems: Hakuba Happo hot spring in Japan. The spring water of the Hakuba Happo is around 50°C and high pH (~10.5). The main gas components were N_2 , H_2 and CH_4 . The CH_4 in Happo water has been suggested as abiogenic origin based on the previous hydrogen isotopic study (Suda et al., 2014).

The concentrations of C_1 to C_4 hydrocarbons were determined by Gas Chromatograph (GC) with two detectors of Pulsed Discharge Detector (PDD) and Thermal Conductivity Detector (TCD). Quantitative analysis of dissolved organic acids was performed by High Performance Liquid Chromatograph (HPLC). The $\delta^{13}\text{C}$ values of C_1 to C_5 hydrocarbons were determined by using the on-line pre-concentration system coupled with the GC-C (combustion)-IRMS (isotope ratio mass spectrometer) method. For the first time, we apply a novel analytical method, namely intramolecular ^{13}C analysis of propane (C_3H_8), to a natural sample derived from the serpentinite-hosted system. The intramolecular ^{13}C composition in propane was measured using the GC-pyrolysis (Py)-GC-C-IRMS system (Gilbert et al., 2016).

The isotopic trend of depletion in ^{13}C with increasing molecular weight ($\delta^{13}\text{C}_1 > \delta^{13}\text{C}_2 > \delta^{13}\text{C}_3 > \dots$) was observed in Happo sample, showing similar isotopic trend compared with that of Lost City field, a seafloor serpentinite-hosted hydrothermal system (Proskurowski et al., 2008). We developed an abiotic polymerization model to account for isotopic compositions of Happo hydrocarbons. The carbon isotopic compositions of Happo hydrocarbons can be explained by the successive addition of a single carbon compound (C1-compound) with constant isotopic fractionation. The result of the intramolecular analysis revealed that the difference of $\delta^{13}\text{C}$ values between terminal and central carbon atom positions of propane (site preference; SP in ‰) for Happo sample showed a significantly high SP value compared with that of thermogenic origin. Such a highly SP value corresponded to that expected from a polymerization model developed in this study. Thus, both molecular and

intramolecular ^{13}C compositions of hydrocarbons for serpentinite-hosted sample suggested that the production mechanism of these hydrocarbons was abiotic polymerization of C1-compound with a constant isotopic fractionation. The $\delta^{13}\text{C}$ value of methane suggested that methane was a reactant C1-compound for polymerization reaction. On the other hand, the formate and acetate were detected in Hakuba Happo hot spring. Formate was the second highest concentrated dissolved C1-compound after methane in Happo water, implying that formate was an alternative carbon source for abiotic polymerization in the serpentinite-hosted systems.

キーワード：蛇紋岩、無機起源炭化水素、分子内同位体分析、炭素安定同位体

Keywords: Serpentinite, Abiogenic hydrocarbon, Intramolecular isotopic analysis, Stable carbon isotope

コマチアイトと二酸化炭素に富んだ海水との反応による水素発生の実験的研究

Experimental study on H₂ generation through reactions between komatiite and CO₂-rich seawater

*上田 修裕^{1,2}、渋谷 岳造²、澤木 佑介¹、斎藤 誠史²、高井 研²、丸山 茂徳³

*Hisahiro Ueda^{1,2}, Takazo Shibuya², Yusuke Sawaki¹, Masafumi Saitoh², Ken Takai², Shigenori Maruyama³

1.東京工業大学大学院理工学研究科地球惑星科学専攻、2.海洋開発研究機構、3.地球生命研究所

1.Tokyo institute of technology, 2.JAMSTEC, 3.ELSI

To understand the chemical nature of hydrothermal fluids in the komatiite-hosted seafloor hydrothermal system in the Hadean, we conducted two hydrothermal serpentinization experiments involving synthetic komatiite and a CO₂-rich acidic NaCl fluid (pH = 4.9 at 25 °C) at 250 °C and 350 °C, 500 bars. During the experiments, the total carbonic acid concentration (ΣCO_2) in fluids at 250 °C and 350 °C decreased from approximately values from 400 to near 30 and 170 mmol/kg, respectively, which is consistent with the greater amount of alteration carbonate mineral at 250 °C than at 350 °C in the serpentinized/carbonated komatiites (Shibuya et al., 2013). Furthermore, the precipitated carbonate species strongly influenced Mg concentration in the hydrothermal fluid: Mg concentration at 250 °C (carbonate as Fe-bearing dolomite) was 36–40 mmol/kg, which was 30–40 times higher than that at 350 °C (carbonate as calcite). Therefore, in contrast to modern seafloor hydrothermal systems, the reactions between komatiite and CO₂-rich seawater at temperatures where dolomite was stable could have been the source of Mg for the Hadean ocean (e.g., Alt, 1995). More importantly, the carbonation of komatiites potentially suppressed H₂ generation in the fluids. The Fe content in dolomite at 250 °C (3–8 wt%) was clearly higher than that of calcite at 350 °C (< 0.8 wt%), while the steady-state H₂ concentration in the fluid was approximately 0.024 and 2.9 mmol/kg at 250 °C and 350 °C, respectively. This correlation between the Fe content in carbonate mineral and the H₂ concentration in the fluid suggests that the incorporation of ferrous iron into the carbonate mineral probably limited the magnetite formation and consequent generation of hydrogen in the fluid during the serpentinization of komatiites. In comparison with modern H₂-rich seafloor hydrothermal systems, the H₂ concentration of the fluid in the experiment at 350 °C corresponds to that of Kairei hydrothermal field (Central Indian Ridge) (Takai et al., 2004; Gallant and Von Damm, 2006; Kumagai et al., 2008; Nakamura et al., 2009), where hydrogenotrophic methanogens dominate in the prosperous microbial ecosystem. Accordingly, the high-temperature serpentinization of komatiite would provide the H₂-rich hydrothermal environments that were necessary for the emergence and early evolution of life in the Hadean ocean. In contrast, considering that carbonate minerals become more stable with decreasing temperature in the komatiite-H₂O-CO₂ system, H₂-rich fluids may not have been generated by serpentinization at temperatures below 250 °C, even in the komatiite-hosted hydrothermal systems of the Hadean Earth.

キーワード：コマチアイト、二酸化炭素に富んだ条件、熱水変質、初期地球、実験

Keywords: komatiite, CO₂-rich condition, hydrothermal alteration, early Earth, experiment

初期太古代および中期太古代の縞状鉄鉱層中の遷移元素の全岩濃度と空間分布：縞状鉄鉱層中の遷移元素の起源と海水の遷移元素濃度進化の復元

Whole-rock abundances and spatial distributions of transition elements in the Early and Middle Archean BIFs: The mechanism of their involvement in the BIFs and reconstruction of the chemical evolution of seawater in the Precambrian.

*青木 翔吾¹、加藤 泰浩²、平田 岳史³、小宮 剛¹

*Shogo Aoki¹, Yasuhiro Kato², Takafumi Hirata³, Tsuyoshi Komiya¹

1.東京大学大学院総合文化研究科、2.東京大学大学院工学系研究科、3.京都大学大学院理学研究科

1.Graduate School of arts and science, University of Tokyo, 2.School of Engineering, The University of Tokyo, 3.Graduate School of Science, Kyoto University

縞状鉄鉱層は先カンブリア代の表成岩帯にほぼ普遍的に存在する化学堆積物である。そのため、その全岩微量元素濃度から、地球史を通じた海洋化学進化を推定する研究が行われている。しかし、縞状鉄鉱層中の微量元素濃度は非常にばらついているため、その全岩濃度をコントロールする要因を解明する必要がある。本研究では、3.8Gaに形成された南西グリーンランドIsua表成岩帯の縞状鉄鉱層の全岩組成と3.0Gaに形成された西オーストラリアCleaverville地域の縞状鉄鉱層の微量元素空間分布から海洋組成進化の復元を行った。

Isua表成岩帯の縞状鉄鉱層は、magnetite、quartzとactinolitic amphiboleからなる。amphiboleに富む試料はCo、Ni、Cu、Zn、HREE、Uに有意に富んでおり、その全岩組成は海水組成推定に適さない。さらに、magnetiteに富み、amphiboleの少ない試料はNi、V、UとZr濃度との間に正の相関関係が認められた。これはそれらの遷移元素が当時の海洋ではなく砕屑粒子を起源とすることを示唆する。以上の縞状鉄鉱層の構成鉱物組成やZr濃度との相関を考慮すると、Niなどの遷移元素海洋濃度は、太古代海洋において従来考えられていたよりもはるかに小さく、原生代以後の海洋とほとんど変わらなかったことが示唆される。

Cleaverville Formationの縞状鉄鉱層は、mmからcmスケールの厚さのhematiteとchertの縞の互層からなる。hematiteの縞は、さらにμmスケールの薄いhematiteレイヤーから構成されている。LA-ICP-MSによる元素マッピングから、このμmスケールのhematiteレイヤー間にAl、Ti、HFSE量の大きいレイヤーもしくはパッチが挟まっていることがわかった。さらにNi、Cu、Zn量の大きい領域はAl、Ti量の大きい領域に対応することから、縞状鉄鉱層中のこれらの遷移元素が砕屑物質を起源とすることがわかった。一方で、Moはhematiteレイヤーに濃集していることがわかり、海水起源であることが示唆される。酸化還元敏感元素であるこれらのMoとNi、Cu、Znの対照的な空間分布は、中期太古代の海洋環境がMoが6価のイオンとして溶存することが出来る程度に、酸化的であったことが示唆される。

キーワード：縞状鉄鉱層、太古代、微量元素イメージング

Keywords: Banded Iron Formations, the Archean, the spatial distributions of the trace elements

重晶石の局所硫黄同位体分析による32億年前の海水・熱水環境推定：西オーストラリア・デキソンアイランド層について

Estimation of 3.2 Ga seawater-hydrothermal environment from sulfur isotopic analyses of barite crystals in Dixon Island Formation, Western Australia

*三木 翼¹、清川 昌一¹、高畑 直人²、石田 章純²、伊藤 孝³、池原 実⁴、山口 耕生^{5,6}、佐野 有司²

*Tsubasa Miki¹, Shoichi Kiyokawa¹, Naoto Takahata², Akizumi Ishida², Takashi Ito³, Minoru Ikehara⁴, Kosei E. Yamaguchi^{5,6}, Yuji Sano²

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、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.東邦大学 理学部、6.Astrobiology Institute, NASA

1.Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyushu University, 2.Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, 3.College of Education, Ibaraki University, 4.Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, 5.Faculty of Science, Toho University, 6.Astrobiology Institute, NASA

地質時代を通しての海洋硫酸塩の硫黄同位体比($\delta^{34}\text{S}$)と濃度の変動は、地球表層の酸素濃度および硫酸還元菌の活動と密接な関係がある。例えば太古代において、硫酸塩 $\delta^{34}\text{S}$ は+4.6% (3.47Ga; Shen et al., 2009), 海洋硫酸イオンの濃度は $<2.5 \mu\text{M}$ ($>2.4\text{Ga}$; Crowe et al. 2014)などとされている。しかし古原生代になると海洋中の酸素濃度上昇にともなって海洋硫酸イオン濃度が上昇し、1~2mM($>1.6\text{Ga}$; Kah et al., 2004)まで達したと言われている。また海洋硫酸イオンが増えると微生物による硫酸還元が活発化し、硫酸中の硫黄のうち同位体的に軽い ^{32}S が選択的に代謝に用いられて硫化物へと変わり、残存する硫酸イオンの $\delta^{34}\text{S}$ は高くなる。したがって太古代の硫酸塩は原生代のものより低い値の $\delta^{34}\text{S}$ をとることが知られている(e.g. Canfield and Farquhar, 2009)。

このように過去の硫酸塩鉱物の $\delta^{34}\text{S}$ は沈殿当時の海洋の酸化還元状態や微生物による硫酸還元システムの解明への大きな手がかりになる。しかし太古代の硫酸塩 $\delta^{34}\text{S}$ 値の報告例は少なく、その中でも研究対象地域や時代に偏りがあり、当時の海洋状態はまだ明らかになっていない。そのため本研究では外洋の比較的深海環境と考えられる32億年前のデキソンアイランド層中に残存する沈殿物である重晶石(BaSO_4)層に新たに注目し、重晶石の $\delta^{34}\text{S}$ 分析を行った。

デキソンアイランド層は西オーストラリアの海岸ピルバラグリーンストーン帯に位置し、低変成を被った堆積層である(Kiyokawa and Taira, 1998)。重晶石層は熱水脈直上に位置するデキソンアイランド層黒色チャート部層中に互層として存在している。重晶石層の大部分は珪化している(Kiyokawa et al., 2006)が、200 μm 以下の微小な重晶石結晶が残っており、初生の重晶石が珪化を免れて残ったものだと考えられる。そのため分析には重晶石層を含む異なる層準の3つの岩石試料を粉碎・重液分離して得た計12粒の微小重晶石結晶を用い、NanoSIMSによる μm スケールでの $\delta^{34}\text{S}$ 局所分析を行った。

実用標準試料としては、 $\delta^{34}\text{S}$ 値が均質と考えられ、安定同位体用質量分析計による値付けを行った5つ[KS8]の鉱床性重晶石を用いた。また測定試料は1粒の結晶に対して2点ないし3点のラスタ分析を行い、その平均から値を求めた。12粒を分析した結果、 $\delta^{34}\text{S}$ は-2.1%から+18.7%までの幅広い値($n=12$, Avg.=+6.5%, $1\sigma=6.3\%$)を取った。一方1つの岩石試料ごとの平均値はそれぞれ+3.4, +7.8, +8.4%であった。測定誤差は $\pm 0.87\% \sim \pm 3.72\%$ であった。

岩石試料ごとの平均値のみを見ると、報告されている太古代硫酸塩(+5~10%, Canfield and Farquhar, 2009)と同程度の値をもつ。一方で値が幅をもつことに着目すると、低い値のものはマントル起源の硫黄(約0%)と同程度であり、熱水起源の硫酸の組成を反映している可能性がある。また高い値のものは現代の海洋硫酸イオンの $\delta^{34}\text{S}$ (+22%)に近く、太古代としては異常に高い値であると言える。このような非常に重い硫酸イオンを形成するメカニズムとしては、硫酸イオンに関して閉鎖的環境下での微生物による極端な硫酸還元(レイリー分別)や、熱水自身がすでに重い硫酸イオンを供給していた可能性が考えられる。

重晶石微小結晶に関する局所 $\delta^{34}\text{S}$ 分析を試みた例は初めてであり、それにより3つの重晶石単層内での同位体的不均質を見出すことができた。燃焼法で得られた従来までの分析データではこのような同位体不均質を混合し

た1つの平均値として見ている。今回の硫酸塩の結晶化時の $\delta^{34}\text{S}$ の幅は、当時の海洋硫酸イオンの不均質性を示している可能性がある。

キーワード：太古代、硫黄同位体、重晶石、二次元高分解能二次イオン質量分析装置

Keywords: Archean, sulfur isotopes, barite, SIMS

炭酸塩構造置換態硫酸の同位体比分析によるエディアカラ紀ドウシャントフォーメーションの硫黄循環の解明

Ediacaran sulfur cycling reconstructed from an isotopic analysis of carbonate associated sulfate in Doushantuo Formation

*松浦 史宏¹、斎藤 誠史²、澤木 佑介¹、上野 雄一郎^{1,2,3}

*Fumihiko Matsuura¹, Masafumi Saitoh², Yusuke Sawaki¹, Yuichiro Ueno^{1,2,3}

1.東京工業大学、2.海洋研究開発機構、3.東京工業大学地球生命研究所

1.Tokyo Institute of Technology, 2.JAMSTEC, 3.Earth-Life Science Institute

Carbonate associated sulfate (CAS) is useful for reconstructing sulfur isotopic composition of seawater sulfate. However, extraction method of CAS from carbonate rocks has not been firmly established yet. In particular, oxidation of co-existing pyrite sulfur would seriously damage isotopic analysis of CAS during the extraction from rock samples. We have developed an improved method to extract the pure CAS and evaluated the validity of the new method using scallop shell powder containing modern marine CAS and pyrite powder. The results demonstrate that the new CAS extraction method is effective for preventing unwanted sulfur components from co-existing pyrite when the pyrite/CAS ratio in a sample is <10. We applied the new CAS extraction method to Ediacaran drill core samples from the Three Gorges area, South China collected by a Tokyo Tech.-Xian Univ. joint project. The studied section includes the Neoproterozoic Doushantuo Formation and the overlying Dengying Formation. The concentrations of CAS from the Doushantuo and Dengying Fms. range from 0 to 365 ppm with an average value of 105 ppm. The $\delta^{34}\text{S}$ values of CAS range from +24 to +46‰ with an average value of +34‰. A previous study of the Doushantuo samples collected from outcrop reported that the CAS concentrations range from 0 to 2159 ppm with an average value of 570 ppm ($n=73$), and the $\delta^{34}\text{S}$ values of CAS range from +7 to +44‰ with an average value of +25.7‰ ($n=83$) (McFadden et al., 2008). The apparent differences between the present and previous data may indicate that the careful treatment is necessary during CAS extraction. Based on the new sulfur isotope data of CAS and of chromium reducible sulfur (CRS) ($n=44$), we reconstructed the Neoproterozoic sulfur cycle in Three Gorges area. The difference of $\delta^{34}\text{S}$ value between CAS and co-existing CRS increased from 5‰ at the Doushantuo cap carbonate, +26‰ in the Member 2, and exceeded 40‰ in the Member 3 of the Formation. The maximum sulfur isotope fractionation between CAS and co-existing CRS exceeded 47‰ in the Member 3. The fractionation between CAS and CRS decreased down to -3‰ at the Dengying Formation. This suggests that sulfate concentration increased at the upper part of Doushantuo Fm.; however, decreased again before Dengying Formation. In addition, our quadruple sulfur isotope analysis revealed that mass-dependent-exponent for ^{36}S (λ_{36} value) between CAS and CRS is relatively constant around 1.90, regardless of the degree of $\delta^{34}\text{S}$ isotope fractionation. This indicates that the Ediacaran sulfur cycle in Three Gorges area is markedly different from modern marine sulfur cycling.

キーワード：後期原生代硫黄循環、炭酸塩置換態硫酸、4種硫黄同位体比分析

Keywords: Neoproterozoic sulfur cycle, Carbonate associated sulfate, quadruple sulfur isotope analysis

35 -34億年前と27 -22億年前の地球表層の酸素増加

The rise of oxygen in the Earth surface at 3.5-3.4 Ga and 2.7-2.2 Ga

*海保 邦夫¹、片山 悠貴¹、川瀬 智大¹、Altermann Wladyslaw³、Van Kranendonk Martin⁴、小宮 剛²、齊藤 諒介¹

*Kunio Kaiho¹, Yuki Katayama¹, Tomohiro Kawase¹, Wladyslaw Altermann³, Martin Van Kranendonk⁴, Tsuyoshi Komiya², Ryosuke Saito¹

1.東北大学大学院理学研究科、2.東京大学、3.プレトリア大学、4.ニューサウスウェールズ大学

1.Graduate School of Science, Tohoku University, 2.University of Tokyo, 3.University of Pretoria, 4.University of New South Wales

Great oxidation event (GOE) on Earth occurred approximately 2.3 billion years ago (Ga) based on iron redox state and sulfur isotopes. However, the age of first oxidation of the Earth's surface is controversial. Presence of small amount of O₂ in the environment at 2.5 Ga has been suggested by redox sensitive elements and sulfur isotopes and at 2.7 Ga by nitrogen isotopes. We analyzed hydrocarbon-derived geochemical parameters diagnostic for sedimentary redox conditions, i.e., the pristane/phytane ratio (Pr/Ph), from shallow marine sedimentary rocks in Labrador, Canada, Western Australia, and South Africa. Here, we show that anoxic shallow sea at >3.95 Ga was followed by intermediate conditions at 3.5-2.9 Ga, local oxic conditions at 2.7 Ga, and subsequently global oxidation at 2.6-2.2 Ga. These results indicate that the rise of oxygen in the Earth surface occurred at 3.5-3.4 Ga and 2.7-2.2 Ga.

キーワード：始生代、酸素、有機分子

Keywords: Archean, oxygen, organic molecules

ペルム紀中期末における自成炭酸塩の沈殿：古海洋の炭素循環への示唆

Authigenic carbonate precipitation at the end-Guadalupian (Middle Permian) in China:
Implications for the carbon cycle in ancient anoxic oceans

*齋藤 誠史¹、上野 雄一郎²、磯崎 行雄³、渋谷 岳造¹、小豆川 勝見³、松尾 基之³、吉田 尚弘²

*Masafumi Saitoh¹, Yuichiro Ueno², Yukio Isozaki³, Takazo Shibuya¹, Katsumi Shozugawa³, Motoyuki Matsuo³, Naohiro Yoshida²

1.海洋研究開発機構、2.東京工業大学、3.東京大学

1.JAMSTEC, 2.Tokyo Tech, 3.Univ Tokyo

炭酸塩の沈殿は、グローバルな炭素（C）循環における主要なプロセスの1つである。近年、過去のC循環における自成炭酸塩の重要性が注目されている。これまで、過去の海洋で沈殿した自成炭酸塩のC同位体比は、当時の海水の溶存無機炭素（DIC）のC同位体比と比較して著しく低いと暗に仮定されてきた。しかし過去の自成炭酸塩のC同位体比の詳細は明らかにされていない。

本発表でわれわれは、中国・四川省のペルム紀中期末の地層中から産出する自成炭酸塩について報告する。大陸縁の斜面で堆積した黒色泥岩・チャート互層中からは、方解石の単結晶が多産する。その組織は、それらがその場で生成した自成炭酸塩であることを示す。自成炭酸塩の産出層準は、貧酸素水塊が発達しその中で嫌気呼吸がおきた層準と一致する。自成炭酸塩のC同位体比（平均約-1‰）は、地層中の有機物のC同位体比（約-26‰）と比較して高く、このことは自成炭酸塩のCが主に水柱のDICに由来することを示す。これらの自成炭酸塩は、堆積物中ではなく、海底付近で生成したと考えられる。

本研究の結果からわれわれは、地球史における自成炭酸塩の沈殿様式が、好気的な海洋と嫌気的な海洋とで異なる可能性について提案する。現在の海洋で観察されるように好気的な海洋では、自成炭酸塩は堆積物中で生成し、そのC同位体比は低い。これに対して過去の嫌気的な海洋では、自成炭酸塩は海底付近で生成し、そのC同位体比は比較的高かったと考えられる。われわれのモデルに従えば、自成炭酸塩が地質記録に与える影響は先行研究が指摘したよりも小さい。また、自成炭酸塩に起因する地質記録のC同位体異常から、古海洋の酸化還元状態を復元できる可能性がある。

[参考文献] Saitoh et al. (2015) Progress in Earth and Science 2:41

Os同位体から探る超海洋パンサラッサにおけるトアルシアン海洋無酸素事変時の火成活動の影響
 Osmium isotope excursion in the central Panthalassa during the Toarcian Oceanic Anoxic
 Event: Relationships between Karoo-Ferrar volcanism and climatic-biologic changes

*藤崎 渉¹、澤木 佑介¹、上田 修裕¹、須田 好¹、佐藤 友彦²、西澤 学³、横山 哲也¹

*Wataru Fujisaki¹, Yusuke Sawaki¹, Hisahiro Ueda¹, Konomi Suda¹, Tomohiko Sato², Manabu Nishizawa³, Tetsuya Yokoyama¹

1.東京工業大学大学院理工学研究科地球惑星科学専攻、2.東京工業大学地球生命研究所、3.国立研究開発法人
 海洋研究開発機構

1.Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, 2.Earth-Life Science
 Institute, Tokyo Institute of Technology, 3.Laboratory of Ocean-Earth Life Evolution Research
 (OELE), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

The Toarcian Oceanic Anoxic Event (T-OAE) represents one of the most severe paleo-environmental turbulences in the Mesozoic. The volcanic activities in the Karoo-Ferrar Large Igneous Provinces (LIPs) have been considered as the most fundamental trigger for the Toarcian perturbation, although the connection between the Karoo-Ferrar LIPs and the T-OAE remains unclear. Consequently, the debate on the influence of large volcanic activities on the global environmental changes is still controversial. Radiogenic Os isotopes of sedimentary rocks are useful for estimating the influx from both ancient basaltic magmatism and continental weathering, making this tracer suitable for understanding the cause of T-OAE. Because of the lack of detailed Os isotopes across the T-OAE, the relationship between biotic crisis, anoxia, and the volcanism in the central Panthalassa is still ambiguous. To clarify the relationship between the Karoo-Ferrar LIPs and their turbulences to the global environmental changes across the T-OAE, we determined the Re and Os concentrations, seawater ¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os values, and organic carbon isotopes in Plinsbachian to Toarcian deep-sea cherts from the Inuyama area, southwest Japan. Unlike shallow marine regions, two bedded black chert intervals (T-OAE1 and T-OAE2 in stratigraphic ascending order) were recognized in the central Panthalassa.

The rock powder was spiked with ¹⁹⁰Os and ¹⁸⁵Re prior to acid decomposition. The sample was digested by a mixture of CrO₃ and H₂SO₄ in a sealed Carius tube at 240 °C for more than 48 h. Subsequently, Os was separated by solvent extraction using CCl₄ and back-extracted from CCl₄ into HBr, followed by the final purification using the micro-distillation method. The Os isotopes were determined by N-TIMS at Tokyo Tech. The solution remaining after the CCl₄ extraction was transferred to a Teflon vessel, in which Cr⁶⁺ was completely reduced to Cr³⁺ by ethanol to avoid the disturbance of Re separation with ion exchange chromatography. Subsequently, Re was purified by passing the sample solution through an anion exchange resin. The Re isotopes was determined using a quadrupole-type ICP-MS at Tokyo Tech. The Os and Re concentrations were determined by the isotope dilution method.

The Re and Os abundances in 27 chert samples across T-OAE intervals varied from 0.006 to 213.1 ng/g, and from 2.0 to 2078 pg/g, respectively. The initial ¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os ratios in the samples decreased from the Plinsbachian to the Toarcian, and reached the minimum value of 0.11 at the onset of T-OAE1. Afterward, the seawater ¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os values increased to 0.56 towards the end of T-OAE1, and decrease down to 0.24 at the interval between T-OAE1 and T-OAE2. During the T-OAE2, the seawater ¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os values abruptly increased up to 1.22. Our seawater ¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os values varied preceding the variation of organic carbon isotopes, most likely reflecting the difference of residence time between Os (20 kyr) and organic carbon (75-100 kyr). From these observations, we propose the following scenario for the perturbation in the T-OAE intervals. The Karoo-Ferrar volcanic activities induced an anoxic condition, which resulted in unradiogenic ¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os in seawater followed by negative δ¹³C_{org} ratios before the T-OAE intervals. The Karoo-Ferrar volcanism

released significant amount of CO₂, which triggered the global warming and enhanced the magnitude of continental weathering during both T-OAE intervals. Subsequent gradual increases of Os isotopes likely reflect their aftermaths. To conclude, the Karro-Ferrar volcanism played an important role for inducing anoxic condition and global warming during Toarcian in the central Panthalassa.

キーワード：トアルシアン海洋無酸素事変、超海洋パンサラッサ、層状チャート、オスミウム同位体、有機炭素同位体、カルー・フェラー火成活動

Keywords: Toarcian Oceanic Anoxic Event , central Panthalassa, bedded chert, osmium isotope, organic carbon isotope, Karoo-Ferrar volcanism

北西太平洋の遠洋性堆積物中の白亜紀／古第三紀境界層付近における deep-water agglutinated foraminifers

Cretaceous to Paleogene deep-water agglutinated foraminifers in the western North Pacific pelagic sediments

*大田 隼一郎^{1,2}、中村 謙太郎²、安川 和孝^{2,3}、藤永 公一郎^{3,2}、飯島 耕一¹、岩森 光^{1,4}、加藤 泰浩^{2,1,3}
*Junichiro Ohta^{1,2}, Kentaro Nakamura², Kazutaka Yasukawa^{2,3}, Koichiro Fujinaga^{3,2}, Koichi Iijima¹, Hikaru Iwamori^{1,4}, Yasuhiro Kato^{2,1,3}

1.海洋研究開発機構、2.東京大学大学院工学系研究科、3.千葉工業大学、4.東京工業大学大学院理工学研究科
1.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2.School of Engineering, the University of Tokyo, 3.Chiba Institute of Technology, 4.Graduate School of Engineering, Tokyo Institute of Technology

Deep-water agglutinated foraminifers (DWF) are often composed of the only microfossils well-preserved in pelagic sediments without calcareous and siliceous fossils. DWF have been studied for a long time for determining a stratigraphic succession and obtaining paleoecological information. While their quantitative distributions in sediments from the Atlantic Ocean were well-documented (e.g., Kuhnt et al., 1992), those from the Pacific Ocean have not been studied sufficiently enough to establish the stratigraphy. Wightman and Kuhnt (1992) investigated DWF in the sediment cores drilled at Deep Sea Drilling Project Sites 196 and 198, and Ocean Drilling Program Sites 800 and 801 in the western North Pacific Ocean. They reported that the faunal density and diversity of DWF rapidly declined across the horizon that approximately corresponds to the Cretaceous/Paleogene (K-Pg) boundary.

Recently, we constructed lithological description, including microfossils, for a pelagic sediment core of KR13-02 PC05 collected from the western North Pacific Ocean, and recognized a rapid decline of the density and diversity of DWF across a spherule-rich layer. The spherules have a very similar appearance to those associated with the Chicxulub impact at the K-Pg boundary. We present a distribution of DWF across the spherules-rich layer in the core and discuss its paleoceanographic implications.

キーワード：deep-water agglutinated foraminifers、白亜紀／古第三紀境界、遠洋性堆積物、北西太平洋
Keywords: deep-water agglutinated foraminifers, K-Pg boundary, pelagic sediments, western North Pacific Ocean

カナダ, Black Bear Ridgeセクションの三畳紀後期カーニアン/ノーリアン境界にみられる海洋無酸素イベント

Oceanic anoxic event at the Carnian/Norian boundary interval in the Black Bear Ridge section, British Columbia, Canada

*尾上 哲治¹、Zonneveld John-Paul²、Orchard Michael³、山下 勝行⁴、佐藤 峰南⁵、日下 宗一郎⁶

*Tetsuji Onoue¹, John-Paul Zonneveld², Michael J Orchard³, Katsuyuki Yamashita⁴, Honami Sato⁵, Soichiro Kusaka⁶

1.熊本大学、2.アルバータ大学、3.カナダ地質調査所、4.岡山大学、5.海洋研究開発機構、6.ふじのくに地球環境史ミュージアム

1.Kumamoto University, 2.University of Alberta, 3.Geological Survey of Canada, 4.Okayama University, 5.JAMSTEC, 6.Museum of Natural and Environmental History, Shizuoka

The Black Bear Ridge section in northeastern British Columbia consists of a continuously exposed succession through the upper Carnian and lower Norian, and has been proposed as a candidate Global Stratotype Section and Point (GSSP) for the Carnian/Norian boundary (CNB). In order to infer the late Carnian to early Norian environmental changes in the western Canadian continental margin, the stratigraphic variations of isotope $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$, and $\delta^{18}\text{O}$ values and redox sensitive elements (V, Ni and Cr) in the CNB interval of the Black Bear Ridge section were examined. The study section is located along the north shore of Williston Lake in northeastern British Columbia. The Black Bear Ridge section represents a distal ramp facies deposited in a passive margin environment along the western margin of the North American craton. The stratigraphic interval across the CNB displays a temporal positive shift in the $\delta^{13}\text{C}$ values, with a synchronous increase in the redox indices (V/V+Ni and V/Cr ratios). The coincidence of the increase in $\delta^{13}\text{C}$ values and V/V+Ni and V/Cr indices suggests that positive carbon isotope shift in the CNB interval is attributed to the increasing of marine organic carbon burial rates in response to the anoxic conditions. Increased $\delta^{13}\text{C}$ values for carbonate rocks at the CNB has been also reported from the Upper Triassic sections in Europe (e.g., Pizzo Mondello section, Sicily), which suggests the more widespread development of anoxic conditions in the CNB interval between the Pacific and the Tethyan Oceans. The present geochemical data and recent conodont biostratigraphic works at Black Bear Ridge show that the onset of oceanic anoxic event may have been responsible for the faunal turnover event at the CNB. The cause of this anoxic event is enigmatic but the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and $\delta^{13}\text{C}$ isotope data largely excludes the possible cause of the oceanic anoxic event triggered by dissociation of methane hydrates and degassing due to large-scale volcanic activity.

キーワード：石灰岩、三畳紀、カナダ

Keywords: Limestone, Triassic, Canada

ブラジル沖巨大油田から想定されるOAE 1aの二酸化炭素放出量

Carbon dioxide emission during OAE 1a from the oil reservoir in Brazilian offshore

*狩野 彰宏¹*Akihiro Kano¹

1.九州大学大学院比較社会文化研究院

1.Graduate School of Social and Cultural Studies, Kyushu University

過去10年間の探査により、ブラジル沖の深度5000 m付近に巨大油田が発達していることが分った。本州の半分の広さで厚さ150mの油層は化石を含まない孔隙質な炭酸塩岩であり、100万年間程度の短い期間で形成したものとされる。南米/アフリカ大陸の分裂開始時の塩湖で堆積したという見方もあるが、部分的にラミナが発達することや早い堆積速度を考えると、炭酸泉から沈殿した炭酸カルシウム（トラバーチン）である可能性も指摘された。そこで、世界中のトラバーチン研究者がかき集められ、油層の起源が探求されている。間隙率と炭酸塩含有率をとともに25%とすると、巨大油田炭酸塩貯留岩は炭酸カルシウムとして約 1.23×10^{19} モルと計算される。

トラバーチンは急速な炭酸塩沈積システムであるとともに二酸化炭素脱ガスシステムでもある。日本とインドネシアで行ってきた研究結果によると、堆積場からは炭酸塩沈殿をはるかに超える量の二酸化炭素を放出されている。比較的流路の長い奈良県入之波温泉・ジャワ島Pancuran Pitu・スマトラ島Sihopolonのデータで計算すると、炭素ベースでの脱ガス/沈殿量 (G/P) 比は7-18である。この値を巨大油田のサイズに掛け合わせると、巨大油田からは $1.2-2.7 \times 10^{15}$ トンの炭素が二酸化炭素として放出されたことになる。これはBernier (1990) により見積もられた地殻無機炭素の2~5%に匹敵する膨大な量だ。仮に、脱ガスが100万年間かけて起こったことであれば、二酸化炭素の放出速度は現在の化石燃料消費の14~32%に匹敵する。

ブラジル沖の油層炭酸塩が形成した123 Maは海洋無酸素事変 (OAE) 1aが起こった時代である。OAEの背景として、二酸化炭素の濃度増加による温暖化が挙げられ、そのソースとしてオントンジャワ海台などを形成したスーパープレュームや沈み込み帯での火山活動の活性化が候補になってきた。しかし、ここで算出した膨大かつ長期的な脱ガスは候補として十分資格がある。

Bernier, R.A., 1990. Atmospheric carbon dioxide levels over Phanerozoic time. *Science*, 249, 1382-1386.

キーワード：白亜紀、海洋無酸素事変、二酸化炭素

Keywords: Cretaceous, OAE, carbon dioxide