

## 冥王代海洋飛沫仮説の立案と検証法について Splashed Hadean Seawater Hypothesis

玄田 英典<sup>1\*</sup>; 上野 雄一郎<sup>2</sup>; 臼井 寛裕<sup>2</sup>; 上田 翔士<sup>2</sup>; フォリエル ジュリアン<sup>1</sup>; パオ ヒューミン<sup>3</sup>; サン タオ<sup>4</sup>

GENDA, Hidenori<sup>1\*</sup>; UENO, Yuichiro<sup>2</sup>; USUI, Tomohiro<sup>2</sup>; UETA, Shoji<sup>2</sup>; FORIEL, Julien<sup>1</sup>; BAO, Huiming<sup>3</sup>; SUN, Tao<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学 地球生命研究所, <sup>2</sup> 東京工業大学 地球惑星科学専攻, <sup>3</sup> ルイジアナ州立大学, <sup>4</sup> ジョンソンスペースセンター ナサ

<sup>1</sup>Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, <sup>3</sup>Louisiana State University, <sup>4</sup>JSC NASA

地球最古の生命の痕跡は約 38 億年前の地層に記録されており、生命が誕生した冥王代の環境がいかなるものであったのかを知る事は生命の起源を解明することにとって極めて重要である。しかし地球上には 40 億年前よりも古い地層は残されておらず、生命誕生のプロセスがどのような環境下で進行したのかを直接調べることは極めて困難である。

そこで我々は、40 億年前までは地球への隕石衝突が盛んであったことに着目し、衝突により地球の原始海洋が宇宙空間に飛び出し、そこに溶けていた化学成分（塩）が月の表面に付着し、その記録が現在も月に残されているはずであるという仮説を提唱する。我々の見積では、地球原始海水の約 20%が飛散し、月表面には 1cm 厚ほどの塩が堆積することがわかった。大量の原始海洋が地球を飛び出し、月表面に記録されれば、月表面のサンプルを詳細に分析することによって、冥王代の原始海洋の化学組成を明らかにできるかもしれない。本発表では、この仮説がどれくらい有効に働くのかについての定量的な議論と、この仮説の検証方法について議論を行う。

キーワード: 冥王代, 原始海洋, 月試料, 海洋散逸

## 後期重爆撃による冥王代大陸の溶融と環境への影響 Melting of Hadean continents and its influences on the environment by Late Heavy Bombardment

芝池 諭人<sup>1\*</sup>; 佐々木 貴教<sup>3</sup>; 井田 茂<sup>2</sup>  
SHIBAIKE, Yuhito<sup>1\*</sup>; SASAKI, Takanori<sup>3</sup>; IDA, Shigeru<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学理工学研究科地球惑星科学専攻, <sup>2</sup> 京都大学大学院理学研究科宇宙物理学教室, <sup>3</sup> 東京工業大学地球生命研究所

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>Department of Astronomy, Kyoto University, <sup>3</sup>Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology

冥王代は生命が誕生した時代であり、冥王代の環境の理解は重要である。当時の岩体は地球上に残っていないが、大陸地殻が存在していたことを示すジルコン結晶が見つかっている。そのため、冥王代に大陸は存在したが、その後何らかのプロセスで消失したと考えられている。この消失プロセスの仮説として、冥王代終盤の小天体衝突の集中、後期重爆撃 (LHB) が挙げられる。LHB は冥王代の環境に影響したに違いない。

この研究では、この仮説を定量的かつ体系的に確かめ、LHB によって全ての冥王代大陸を消失する可能性が少ないと示した。我々は衝突天体のサイズ分布 (SFD) を累乗近似し、そのべき指数  $\alpha$  をパラメーターとして与えた。さらに、LHB が近くに与える影響を半解析的に表現した。そして、LHB によって破壊あるいは溶融される総体積および総面積を、月面の二種類の独立な痕跡である、LHB 中に衝突した最大の質量および 20km 以上のクレーターの数密度曲線から求めた。その結果、 $\alpha < 1.5$  であれば、LHB が全ての大陸地殻を溶融する可能性があることがわかった。しかし、 $\alpha = 1.61$ 、つまり月のどちらの痕跡も満たす  $\alpha$  のときは、LHB により地球表面の半分しか溶融しないとわかった。なお、この推定は地殻の下から溶融物が溢れ出る現象も考慮している。これは、衝突天体の直径が 100km 以上の時に起こると考えられている。また一方で、LHB 以前の衝突を加味すれば、より多くの地表が溶融物で覆われる。

この溢れ出る溶融物は、マグマオーシャンのように地殻とマントルの混合物から成り、数多くのマグマプール、つまり局所的なマグマオーシャンを形成するだろう。このようなマグマプールでは、KREEP のようなものが地表にできると考えられ、これが生命の誕生に必要なカリウムとリンの供給源となるかもしれない。この発表では、このように冥王代環境に天体衝突が与える影響を議論する。

キーワード: 後期重爆撃, 冥王代, 小惑星, 天体衝突, 生命の起源, 大陸地殻

Keywords: Late Heavy Bombardment, Hadean, Asteroid, Impact, Origin of life, Continental crust

## 失われた貯蔵庫の主成分元素組成と初期地球の分化 Major element composition of the missing reservoir: Implication for the early Earth differentiation

近藤 望<sup>1\*</sup>; 芳野 極<sup>2</sup>; 松影 香子<sup>3</sup>; 吉田 健太<sup>4</sup>; 小木 曾 哲<sup>1</sup>

KONDO, Nozomi<sup>1\*</sup>; YOSHINO, Takashi<sup>2</sup>; MATSUKAGE, Kyoko<sup>3</sup>; YOSHIDA, Kenta<sup>4</sup>; KOGISO, Tetsu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院人間・環境学研究科, <sup>2</sup> 岡山大学地球物質科学研究センター, <sup>3</sup> 神戸大学大学院理学研究科, <sup>4</sup> 京都大学大学院理学研究科

<sup>1</sup> Graduate school of Human and Environmental Studies, Kyoto University, <sup>2</sup> Institute for Study of the Earth's Interior, <sup>3</sup> Graduate School of Science, Kobe University, <sup>4</sup> Graduate school of Science, Kyoto University

地球はコンドライト質の材料物質が集積し、形成したと考えられている。そのため、マントル・地殻の総和 (bulk silicate Earth: BSE) は、難揮発性かつ核に入らない親石元素において、コンドライト的な存在度を持つはずである。しかしながら一部の親石元素において、現在手に入る地球の珪酸塩部分 (accessible silicate Earth: ASE) はコンドライトと異なる同位体比や微量元素比を持つことが明らかになってきた (例えば  $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ , Nb/Ta)。したがって BSE をコンドライト質と考えるならば、ASE とコンドライトの差を説明する貯蔵庫が、未だ発見されず何処かに存在しているはずである。このような未発見の貯蔵庫が「失われた貯蔵庫」と呼ばれている。 $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  においては、ASE がコンドライトよりも有意に高い値を持つことが明らかになっている (Boyet & Carlson, 2005)。Sm は Nd よりも液相濃集性が弱く、 $^{142}\text{Nd}$  の親核種  $^{146}\text{Sm}$  は半減期の短い (6800 万年) 消滅核種である。ゆえに、ASE とコンドライト間の  $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  の差は、地球史の初期に  $^{146}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  の小さなメルトが分化し、その後マントル対流から孤立していることを示唆している。これまで幾つもの先行研究がこの失われた貯蔵庫の形成とゆくえについてシナリオを提案してきた (Boyet & Carlson, 2005; Lee et al., 2007; Labrosse et al., 2007; Korenaga et al., 2009; Nebel et al., 2010) が、いまだ決定的なシナリオは現れていない。その理由のひとつは、失われた貯蔵庫のゆくえを知るには、その元となったメルトのマントル中での浮沈が重要となるにもかかわらず、そのメルト密度が制約されていないことである。密度は主成分元素組成に依存する。ゆえに、本研究では失われた貯蔵庫の主成分元素組成を推定し、その密度を計算した。そして、失われた貯蔵庫の形成とゆくえについて、より有りうるシナリオを提案する。

我々は Kondo & Kogiso (2014) において、ASE とコンドライト間の  $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  の差から両者間の Sm/Nd の差を求め、この Sm/Nd の差をつくるような失われた貯蔵庫の形成年代と部分融解度を推定した。推定された形成年代は太陽系形成から 3350 万年以内、そして部分融解度は上部マントル圧力において極微小 (1 GPa: <2.8%, 3 GPa: <2.5%, 7 GPa: <1.0%) となった。本研究では、その微小な部分融解度のメルト (ソリダスメルト) の主成分元素組成を未分化カンラン岩の融解実験を用いて決定した。初期地球ではマントルは現在よりも高温であることが予想されるため、高温高压でのソリダスメルト組成を知ることが必要となる。しかし、3 GPa 以上でソリダスメルト組成を決定した先行研究はない。そのため、我々は Hirschmann & Dasgupta (2007) が提唱した修正版繰返しサンドイッチ法 (Modified Iterative Sandwich Experiment: MISE) を行い、7 GPa でのソリダスメルト組成を決定した。結果として、ソリダスメルト組成は鉄に富むコマチアイト組成であることが明らかとなった。そして、我々はこの主成分元素組成を用い、Matsukage et al. (2005) の手法で 7 GPa ソリダスメルトの密度を計算した。結果、ソリダスメルトの密度は未分化カンラン岩の密度よりも小さくなった。ゆえに、7 GPa ソリダスメルトはマントル中を上昇する。また、本研究で推定した失われた貯蔵庫の形成年代は、先行研究で推定された最後の巨大衝突の年代よりも早い。巨大衝突は全マントルを融解させると考えられており、失われた貯蔵庫がマントル内部で孤立していた場合、失われた貯蔵庫も融解し周囲のマントルと混ざり合ってしまう可能性が高い。したがって、より有りうるシナリオは次のようになる。初期地球において、高温高压で形成されたソリダスメルトはマントル中を上昇し、コマチアイト地殻を形成した。そしてそのコマチアイト質地殻は巨大衝突時に宇宙空間へと飛び散り、地球から失われた。こうして、ASE はコンドライトとは異なる組成を持つようになった。

キーワード: 隠された貯蔵庫,  $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ , 冥王代, ソリダスメルト, 融解実験

Keywords: missing reservoir,  $^{144}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ , Hadean, solidus melt, melting experiment

## 大陸地殻成長史復元に基づく冥王代ジルコンの探求 Searching Hadean zircon based on growth history of the continental crust

沢田 輝<sup>1\*</sup>; 丸山 茂徳<sup>2</sup>; 磯崎 行雄<sup>3</sup>; 平田 岳史<sup>4</sup>; 坂田 周平<sup>4</sup>; 堤 之恭<sup>5</sup>  
SAWADA, Hikaru<sup>1\*</sup>; MARUYAMA, Shigenori<sup>2</sup>; ISOZAKI, Yukio<sup>3</sup>; HIRATA, Takafumi<sup>4</sup>; SAKATA, Shuhei<sup>4</sup>; TSUTSUMI, Yukiyasu<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学地球惑星科学専攻, <sup>2</sup> 東京工業大学地球生命研究所, <sup>3</sup> 東京大学大学院広域科学専攻, <sup>4</sup> 京都大学地球惑星科学専攻, <sup>5</sup> 国立科学博物館地学研究部

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>Earth-Life Institute, Tokyo Institute of Technology, <sup>3</sup>Department of Earth Science and Astronomy, the University of Tokyo, <sup>4</sup>Division of Earth and Planetary Sciences, Kyoto University, <sup>5</sup>Department of Geology and Paleontology, National Museum of Nature and Science

花崗岩質大陸地殻は水惑星地球を特徴付け、その形成と消失がいつ・どのくらい起きたかは地球生命史に広範な影響を持つ。特に冥王代地殻は僅かなジルコンを除いて消失しており、地球史のミッシングリンクとなっている。本研究の目的は、1) 大陸地殻の形成と消失の歴史を探りつつ冥王代ジルコンの在処を探るために、世界的な大不整合直上の碎屑性ジルコンに着目した年代分析とそのコンパイルを行い、2) その結果を造山帯の年代や形状を主な根拠として推定した古地理図上にプロットすることで、地球史初期の地質情報が残されている可能性が高い場所を絞り込む、という2つである。

世界的な大不整合は約3 Ga以降から見られるリフト帯や受動的な大陸縁辺、あるいは気候変動による海水準変化によって形成された堆積岩体と基盤岩体間の大規模な不整合のことを指す。これら世界的な大不整合上の堆積岩体は広大な後背地からの碎屑物の供給を受けて形成され、その中の碎屑性ジルコンは堆積当時の広範な大陸地殻の地質情報を反映する。そのため、世界的な大不整合に着目することは、失われた冥王代大陸地殻の断片が起源のジルコンを効率的に探せるだけでなく、堆積当時の表層地質を構成する岩石の形成年代頻度分布を間接的に推定するのに適している。

本研究ではこれまでにジンバブエ・カープファール・ピルバラ・ローレンシア等の延べ約10ヶ所の堆積岩に含まれる碎屑性ジルコン年代分析をLA-ICP-MSにより行った。それらのデータと先行研究によるデータを合わせて、2.9、2.6、2.3、1.0、0.6 Gaの5つの時代それぞれにおける碎屑性ジルコン年代頻度分布をコンパイルすることで、5つの各々の時代における大陸地殻の年代頻度分布を推定した。その結果、地球史前半の大陸地殻の平均寿命は約10億年で現在の約30億年よりも1/3程度短く冥王代大陸地殻の大半は太古代初期には消失したことが示唆された。これに基づくと、冥王代ジルコン発見の可能性を高くするには少なくとも約3 Gaより古い堆積岩を狙う必要がある。

このような全地球の平均的な情報に加えて、原生代-太古代の古地理復元をも含めて、古い地殻物質をより含み得るユニットを選定する。3 Ga以前は、大陸地殻の大半は海洋性島弧のような細長い形で存在しており、堆積岩は量が極めて限られているだけでなく付加体や堆積盆など後背地の狭いものが大半を占めている。このため冥王代ジルコンを探すには分析のターゲットをより広げて、準片麻岩のような高度に変成を受けた堆積岩ユニットも考慮する必要がある。

キーワード: 冥王代, 太古代, 大陸地殻, ジルコン, 世界的な大不整合

Keywords: Hadean, Archean, continental crust, zircon, global unconformity



## 太平洋マントルのオスミウム同位体不均質性について Osmium isotope heterogeneity in the Pacific mantle: implications for the evolution of convecting upper mantle

石川 晃<sup>1\*</sup>; 仙田 量子<sup>2</sup>; 鈴木 勝彦<sup>2</sup>; 谷 健一郎<sup>3</sup>; 石井 輝秋<sup>4</sup>  
ISHIKAWA, Akira<sup>1\*</sup>; SENDA, Ryoko<sup>2</sup>; SUZUKI, Katsuhiko<sup>2</sup>; TANI, Kenichiro<sup>3</sup>; ISHII, Teruaki<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院総合文化研究科, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構, <sup>3</sup> 国立科学博物館, <sup>4</sup> 深田地質研究所

<sup>1</sup>The University of Tokyo, Komaba, <sup>2</sup>JAMSTEC, <sup>3</sup>National Museum of Nature and Science, <sup>4</sup>Fukuda Geological Institute

The <sup>187</sup>Re-<sup>187</sup>Os decay system has long been recognised as having great advantage on determining the age of melt depletion of peridotites because ingrowth of radiogenic <sup>187</sup>Os in residual peridotites are hampered by extraction of moderately incompatible <sup>187</sup>Re associated with partial melting. This is well illustrated by the fact that old and highly depleted cratonic peridotites stored in Archean subcontinental lithosphere tend to show lower <sup>187</sup>Os/<sup>188</sup>Os ratios than those of relatively fertile abyssal peridotites recovered from oceanic lithosphere, regarded as a representative sampling of modern convecting mantle (e.g. Pearson et al., 2007; Rudnick & Walker 2009). Recent accumulation of Os isotope data obtained either from abyssal peridotites (e.g. Harvey et al., 2006; Liu et al., 2008; Lassiter et al., 2014) or from ocean island peridotite xenoliths (e.g. Bizimis et al., 2007; Ishikawa et al., 2011) clearly demonstrated that the modern convecting mantle is substantially heterogeneous in Os-isotope composition. Unlike other radiogenic isotope heterogeneities observed in oceanic basalts, largely controlled by incorporation of recycled crustal materials, it seems likely that the observed range of Os-isotope compositions in oceanic peridotites directly reflect varying degrees of ancient melt extraction in peridotitic mantle. Hence global variations of Os-isotope compositions in oceanic peridotites may provide an important piece of information in unraveling geochemical/geodynamic evolution of the largest part of the Earth's interior, namely convecting mantle.

In this contribution, we focus on the Os-isotope variations in peridotite-serpentinite recovered from Pacific area because the number of data available is as yet scarce when compared with the data from other ocean (Atlantic, Arctic and Indian). Our primary purpose is to test whether mantle domains underlying four major oceans are distinct in terms of Os isotope variations. For this purpose, we examined Os isotope variations in (1) harzburgite-serpentinite recovered from Hess Deep in East Pacific Rise (~0 Ma), (2) mantle section in Taitao ophiolite, Chile (~6 Ma; Schulte et al., 2009), (3) harzburgite-serpentinite bodies in Izu-Ogasawara and Tonga forearc (Parkinson et al., 1998), (4) peridotite xenoliths from Pali-Kaau vent in O'ahu island, Hawaii (~90 Ma; Bizimis et al. 2007), (5) low-temperature type peridotite xenoliths from Malaita, Solomon Islands (122-160 Ma; Ishikawa et al., 2011). The results demonstrated that samples from each area exhibit very similar Os-isotope variations with a pronounced mode in <sup>187</sup>Os/<sup>188</sup>Os = 0.125-0.128. Moreover, relatively larger dataset obtained from Hess Deep, Taitao and Malaita indicate the presence of secondary peak in <sup>187</sup>Os/<sup>188</sup>Os=0.117-0.119, similar to the global population mainly comprised of data from other ocean. These observations suggest that the ancient refractory domains are distributed homogeneously within the whole part of convecting upper mantle.

キーワード: マントル, オスミウム同位体, かんらん岩, 太平洋, オフィオライト, 捕獲岩

Keywords: mantle, Osmium isotope, peridotite, Pacific ocean, ophiolite, xenolith

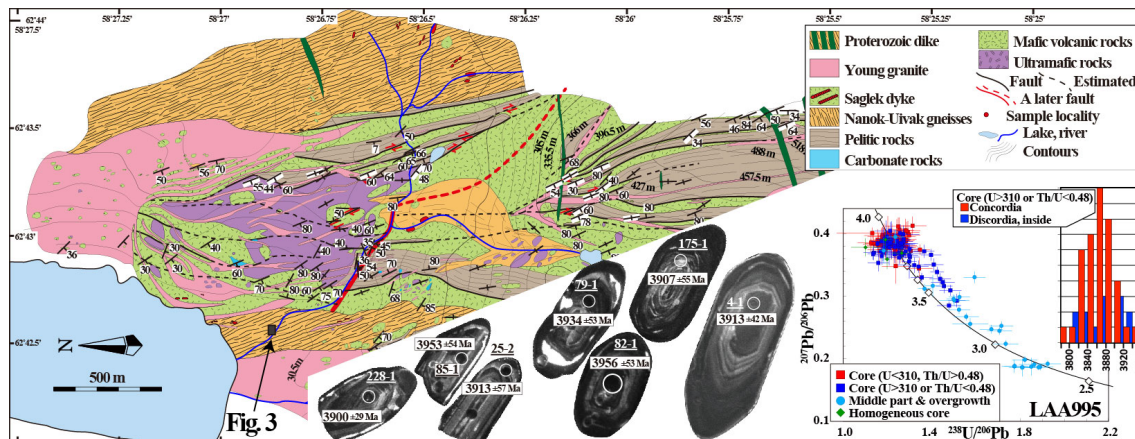
カナダ・北ラブラドル地域のサグレック岩体の初期太古代 (>3.95Ga) ヌリアック表成岩帯の地質: プレートテクトニクスの最古の証拠  
 Geology of the Eoarchean (>3.95 Ga) Nulliak supracrustal belt, Labrador, Canada: The oldest evidence for plate tectonics

小宮 剛<sup>1\*</sup>  
 KOMIYA, Tsuyoshi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京大学総合文化研究科、駒場  
<sup>1</sup>Department of Astronomy & Earth Sciences, The University of Tokyo, Komaba

本文

キーワード: 最古の表成岩, ラブラドル, 太古代, 付加体, プレートテクトニクス  
 Keywords: The oldest supracrustal rocks, Labrador, Archean, accretionary complex, plate tectonics



## 流体包有物年代による地球史を通じた熱水活動年代の制約の試み A chronological constraint on ancient hydrothermal activity using zircon inclusion ages

佐藤 佳子<sup>1\*</sup>; 山本 伸次<sup>2</sup>; 兵藤 博信<sup>3</sup>; 熊谷 英憲<sup>1</sup>; 渋谷 岳造<sup>4</sup>; 小宮 剛<sup>2</sup>  
SATO, Keiko<sup>1\*</sup>; YAMAMOTO, Shinji<sup>2</sup>; HYODO, Hironobu<sup>3</sup>; KUMAGAI, Hidenori<sup>1</sup>; SHIBUYA, Takazo<sup>4</sup>; KOMIYA, Tsuyoshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構、海底資源研究開発センター、<sup>2</sup> 東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻、<sup>3</sup> 岡山理科大学、自然科学研究所、<sup>4</sup> 海洋研究開発機構、プレカンブリアンエコシステムラボ

<sup>1</sup>R&D CSR, JAMSTEC, <sup>2</sup>Graduate School of Arts and Sciences, University of Tokyo, <sup>3</sup>Natural Science Research Center, Okayama University of Sciences, <sup>4</sup>Precambrian Ecosystem Laboratory, JAMSTEC

海底での鉱床形成過程を、地球史を通じた物質分化メカニズムに位置づけることは、鉱床形成を成因から理解し、現在の賦存状況を予測、効率的に探査する上で必要不可欠である。このためには、地球初期地殻の岩石学的特徴とその形成時期、プレートテクトニクスの開始時期、熱水系の活動様式など、その後の地球史を決定付けた初期進化イベントの年代や化学的特徴を得ることが重要である。しかし、地球には、形成後5億年間の地質体が残されていないため、これらの探求は残存性の高い鉱物であるジルコンの産出年代分布や、化学・同位体組成、ジルコン粒子に含まれる鉱物包有物に基づいて議論されてきた。特に、石英、白雲母、モナズ石やアパタイトなどの包有物の存在はホストの冥王代ジルコン(40~44億年前)の母岩が花崗岩質地殻であった証拠とされてきた。

近年、火成作用では生じえない低温で形成される鉄水酸化鉱物や若い年代を持つモナズ石包有物が見いだされ、包有物の起源そのものに疑問が呈されている。この解決には、重要なインデックス鉱物である雲母や長石類の包有物について、局所 Ar-Ar 年代測定を行い、熱履歴情報を解析するとともに、信頼できる年代値を獲得し、包有物形成の時期を定量解析する必要がある。この目的で、段階加熱希ガス分析装置を利用して Ar-Ar 年代測定を行う。

冥王代ジルコン粒子の保存状態や雲母類などの包有物の存在に基づきジルコン粒子を抽出・選別し、京都大学原子炉実験所・研究用原子炉にて中性子照射後、充分冷却されたため、岡山理科大学自然科学研究所の質量分析装置にて Ar-Ar 年代の測定を行った。測定の手順設定には困難を極めたが、現世大気同位体組成に比較しても有意に過剰な Ar-40 の放出がみられている。

Ar-Ar 年代値のスペクトラムには、1) 約 44 億年というジルコン粒子形成の年代を示すスペクトラムに加えて、2) 深部地球起源のいわゆる過剰アルゴンや、および、3) 包有物形成後の放射起源 Ar-40 が含まれる。2) は、高温フラクション(1000℃以上)において、K の核変換による Ar-39 抽出量がきわめて微量にもかかわらず多量の Ar-40 が抽出されるため、数十億年というあり得ない年代が求められてしまう。3) では、年代スペクトルは比較的乱されておらず年代値自体の信頼性は高いが、ジルコンの形成年代ではなく包有物をもたらした変質年代と考えられる。しかも、得られた年代中央値は地質状況から推定される変質年代より古い可能性もある。また、ジルコンの U-Pb 年代が、しばしば Pb 損失により若返って下限年代として見積もられることや、例は少ないが、ジルコン内の不十分な Pb の拡散による濃集で見かけ上古い年代が与えられることとの検討も必要であろう。今後は、追試を行い形成年代となる地質的な条件とも合わせ引き続き検証していく。

キーワード: 冥王代, ジルコン, Ar-Ar 年代, 包有物, レーザー熔融  
Keywords: Hadean, zircon, Ar-Ar dating, inclusion, Laser fusion

## アカスタ片麻岩体苦鉄質岩の Re-Os 同位体組成：冥王代玄武岩質地殻の解明にむけて Re-Os systematics on the mafic rocks in the Acasta gneiss complex: Implications for the Hadean basaltic crust

越田 湊子<sup>1\*</sup>; 石川 晃<sup>2</sup>; 鈴木 勝彦<sup>3</sup>; 小宮 剛<sup>2</sup>  
KOSHIDA, Keiko<sup>1\*</sup>; ISHIKAWA, Akira<sup>2</sup>; SUZUKI, Katsuhiko<sup>3</sup>; KOMIYA, Tsuyoshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻, <sup>2</sup> 東京大学広域科学専攻 広域システム科学系, <sup>3</sup> 海洋研究開発機構  
<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, <sup>2</sup>Department of Earth Science and Astronomy, Graduate School of Arts and Sciences, University of Tokyo, <sup>3</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

The first billion years of the Earth history is poorly understood because of scarcity of terrestrial rock records. Especially, the first 500 million years, named Hadean, is literally dark because no terrestrial rocks are preserved on the earth. To unravel the early history of the earth, it is important to study the oldest rocks rarely present in the Eoarchean terranes.

Acasta Gneiss Complex (AGC), located in the western part of the Slave Province, Canada, is one of the Eoarchean terranes, and mainly consists of 3.6-4.0 Ga felsic and layered gneiss suites with minor mafic rocks (e.g. Bowring et al., 1990; Izuka et al., 2007). The mafic rocks are distributed all over the AGC and occur as rounded to elliptical enclaves and inclusions within the felsic and layered gneisses. Although field occurrence of the mafic rocks suggests that they were formed before the formation of the precursors of the orthogneisses, their formation ages have not been determined exactly because of no magmatic zircons preserved in the mafic rocks (e.g. Mojzsis et al., 2014). Therefore, the whole-rock isochron dating is the most suitable to determine the magmatic age of the mafic rocks. However, the AGC is subjected to numerous metamorphism and alteration events so that the mafic rocks suffered from more or less secondary elemental movement (e.g. Moorbath et al., 1997; Sano et al., 1999). Therefore, it is necessary to find the primary signature and reconstruct the original compositions of the mafic rocks. Our previous study revealed that compositional variations of the mafic rocks were mainly formed due to the migmatization and identified a subset of the least altered samples. This study shows the whole-rock Re-Os isotope systematics of the least altered Acasta mafic rocks.

The twenty-seven, least altered samples were analyzed for whole-rock Re-Os isotopes. They have relatively large variations in  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  and  $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$  ratios ranging from 2.0 to 150 and from 28 to 2466, respectively. The measured samples display a roughly positive correlation on a  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  vs  $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$  diagram, corresponding to reference lines between 3.3 and 4.2 Ga. But, they are highly scattered (MSWD = 266), possibly due to post-magmatic Re loss or addition during thermal metamorphism because Re is, generally speaking, more mobile than Os (e.g. Reisberg et al., 2008). The nine samples with the highest Re contents display a correlation with a gentler slope, corresponding to an age of  $3453 \pm 20$  Ma (MSWD=16, initial  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = -0.8 \pm 1.0$ ). The gentle slope and high Re contents suggest Re addition at or after  $3453 \pm 20$  Ma. In the former case, the age possibly indicates the metamorphic age, in agreement within errors with the whole-rock Sm-Nd isochron age of  $3371 \pm 141$  Ma (e.g. Moorbath et al., 1997; Antoine et al., 2014). In the latter case, the age may correspond to geological event; artificial.

On the other hand, eighteen samples, except for the samples with high Re concentrations, form two parallel lines with only small scattering. The line with high  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  ratios yields an age of  $4273 \pm 200$  Ma (MSWD=15, initial  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 1.83 \pm 0.74$ ), whereas the other yields an age of  $4081 \pm 320$  Ma (MSWD=11, initial  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0.19 \pm 0.70$ ). Those ages are consistent with geological occurrence that the mafic rocks occur as enclaves within the 3.6-4.0 Ga felsic gneisses, suggesting that the Acasta mafic rocks were formed in the Hadean. In addition, their high initial  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  ratios relative to those of chondrite, 0.097 at 4273 Ma and 0.099 at 4081 Ma, suggest that the Acasta mafic rocks were formed from an enriched source.

キーワード: 苦鉄質岩, Re-Os 同位体, アカスタ  
Keywords: mafic rock, Re-Os isotopes, Acasta



## 西オーストラリア、ピルバラ地域の古始生代岩石に対する古地磁気フィールドテスト Paleomagnetic field tests on Paleoproterozoic rocks from the Pilbara craton, Western Australia

白井 洋一<sup>1\*</sup>; 渋谷 岳造<sup>1</sup>; 谷 健一郎<sup>2</sup>; 斎藤 誠史<sup>1</sup>; 西澤 学<sup>1</sup>; 柏原 輝彦<sup>1</sup>  
USUI, Yoichi<sup>1\*</sup>; SHIBUYA, Takazo<sup>1</sup>; TANI, Kenichiro<sup>2</sup>; SAITOH, Masafumi<sup>1</sup>; NISHIZAWA, Manabu<sup>1</sup>;  
KASHIWABARA, Teruhiko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 国立科学博物館地学研究部

<sup>1</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>2</sup>Department of Geology and Paleontology, National Museum of Nature and Science

地球の永年冷却の影響から地質学的過去の地球磁場は現在と全く異なっていた可能性がある。これまでに 32 億年前と 34.4 億年前の古地磁気記録が南アフリカから得られているが、当時の地球磁場の平均的な様子を知らずにはデータが圧倒的に不足している。西オーストラリア、ピルバラ地域の太古代から原生代の岩石の中には比較的の変成度のものも含まれており、これらの岩石中には最古の地球磁場記録がのこされている可能性がある。しかし、これまでに報告された古地磁気記録は少ない上、磁気記録が初生的なものかどうかについても意見がわかれている (Schmidt, 2014 Gondwana Research)。本発表では、磁気記録の年代を制約する古地磁気フィールドテストの結果、特にマープルバー周辺に分布するチャート礫を含む礫岩に対し礫岩テストを行った結果を報告する。層序関係から、対象とした礫岩の堆積年代はおよそ 34.7 億年前と推定される。主要な礫はやや円磨された灰色のチャートである。これらのチャート礫に対し段階交流消磁・段階熱消磁を行い、磁化成分を分離した。低プロッキング温度、低保磁力の成分は多くの場合現在の地球磁場方位と一致した。いくつかの礫は 150 mT の交流消磁では完全に消磁されなかった。交流消磁後の磁化方位がほぼ現在の地球磁場方位と一致するため、これは風化により生じた鉄水酸化物の影響である可能性がある。段階熱消磁において、高温成分の方位は高保磁力成分の方位と調和的だが、いくつかの礫は 525 °C 程度から変質し正確な磁化方位の決定が困難であった。そのため、原点を通らない高保磁力成分を用いて礫岩テストを行った。予察的な測定結果 ( $N=7$ ) では、礫の磁化方位がランダムであることは棄却されず、これらの磁化は初生的なものである可能性がある。ただし、3つの礫の磁化方位がマトリックスの磁化方位から 40° 以内に分布しており、信頼できる磁気記録年代を得るためにはより多くの試料を測定する必要がある。

キーワード: 始生代, 古地磁気, ピルバラ

Keywords: Archean, paleomagnetism, Pilbara

## 西オーストラリア・ピルバラ地塊における太古代中期黒色頁岩の Re-Os 同位体 Re-Os isotopic systematics of Mesoarchean black shales in the Pilbara craton, Western Australia

後藤 孝介<sup>1\*</sup>; 清川 昌一<sup>2</sup>; 鈴木 勝彦<sup>3</sup>  
GOTO, Kosuke T.<sup>1\*</sup>; KIYOKAWA, Shoichi<sup>2</sup>; SUZUKI, Katsuhiko<sup>3</sup>

<sup>1</sup>産総研・地質情報, <sup>2</sup>九州大学, <sup>3</sup>海洋研究開発機構  
<sup>1</sup>GSJ, AIST, <sup>2</sup>Kyushu Univ., <sup>3</sup>JAMSTEC

Abundance of redox sensitive elements, such as Re, Os, and Mo, in sedimentary rocks has been used to investigate the evolution of atmospheric O<sub>2</sub> levels during the Neoproterozoic and Paleoproterozoic (e.g., Anbar et al., 2007 Science; Sekine et al., 2010 Nature Comm.). Under low O<sub>2</sub> conditions, these elements are immobile in the hydrological cycle. However, as the atmospheric O<sub>2</sub> levels rise, Re, Os and Mo possibly form mobile ions and would be transported from continent to oceans. Hence, hydrogenous enrichment of redox sensitive elements in sedimentary rocks may serve as evidence for oxidative continental weathering. Abundance of Re and Os can be also applied to the dating of ancient sedimentary rocks, because <sup>187</sup>Re beta-decay to <sup>187</sup>Os with a half-life of ~41.6 Gyr. Hydrogenous Re and Os enrichment can minimize the contribution of detrital Re and Os, therefore, this isotope system provide precise depositional ages of sedimentary rocks (e.g., Ravizza and Turekian, 1989 GCA; Cohen et al., 1999 EPSL).

In this study, we investigated the redox conditions of atmosphere and oceans during the Mesoarchean period, based on the Re-Os isotopic compositions in ~3.2 Ga-black shales from the Dixon Island Formation of the Pilbara craton, Western Australia. The Dixon Island Formation are considered to have been deposited in an immature island arc setting, and may preserve information on deep-ocean chemistry (Kiyokawa et al., 2014 Precambrian. Res.). Freshly recovered drill core (DX core) samples were used for the analysis. Most of the samples show high contents of organic carbon (~1%; Kiyokawa et al., 2011 JpGU abstract) and are characterized by frequent occurrence of pyrite layers and nodules. These observations may suggest that the black shales were deposited under anoxic/euxinic conditions.

The concentrations of Re and Os in the black shale samples of the Dixon Island Formation from the Pilbara Craton were 3.13 ppb and 0.22 ppb, respectively. These values are significantly higher than those of average upper continental crust (Re = ~0.5 ppb, Os = ~0.03 ppb; Peucker-Ehrenbrink and Jahn, 2001 G-cubed), and much close to those in recent anoxic/euxinic sediments (Re = 21.180 ppb, Os = 0.20.7 ppb; Ravizza et al, 1991 EPSL; Ravizza & Turekian, 1992 EPSL). The obtained high Re and Os contents can be explained by oxidative weathering of continental Re and Os, and subsequent authigenic enrichment in anoxic/euxinic sediments during the Mesoarchean time. However, the whole rock Re-Os isochron age was much older than a possible depositional age of the Dixon Island Formation. Hence, the old Re-Os age is not necessarily consistent with the view of hydrogenous Re and Os enrichment. Instead, the isochron suggests that the proportions of detrital Re and Os are not negligible in the samples.

キーワード: 太古代, 酸化還元環境, レニウム-オスミウム, ピルバラ, 黒色頁岩  
Keywords: Archean, redox condition, Re-Os isotope, Pilbara, Black Shale

## 地球史を通じた海水塩濃度の経年変化 secular change of seawater salinity through Earth history

齋藤 拓也<sup>1\*</sup>; 渋谷 岳造<sup>2</sup>; 澤木 佑介<sup>1</sup>; 小宮 剛<sup>3</sup>; 丸山 茂徳<sup>4</sup>  
SAITO, Takuya<sup>1\*</sup>; SHIBUYA, Takazo<sup>2</sup>; SAWAKI, Yusuke<sup>1</sup>; KOMIYA, Tsuyoshi<sup>3</sup>; MARUYAMA, Shigenori<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学大学院地球惑星科学専攻, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構 プレカンブリアンエコシステムラボ, <sup>3</sup> 東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻, <sup>4</sup> 東京工業大学地球生命研究所

<sup>1</sup>Department of Earth & Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>Precambrian Ecosystem Laboratory, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>3</sup>Department of Earth Science & Astronomy Graduate School of Arts and Sciences The University of Tokyo, <sup>4</sup>Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology

The chemical evolutionary history of the ocean must have been one of the most critical factors to unravel the origin and evolution of life on the Earth. Excluding cyanobacteria with hard cell wall and algae, life cannot survive in seawater over 2SU (SU=salinity unit: present day seawater salinity is defined as 1SU) because of osmotic pressure with the cell. If life body is in seawater over 2SU, intercellular fluid leaks into outside of the cell. However, this topic has not fully understood yet, because there are methodological problems to collect samples to be analyzed. Recently, some studies have tried to estimate seawater composition during Archean and Proterozoic using fluid inclusions trapped in hydrothermal quartz from pillowed basalt, which is expected to erupt at mid-oceanic ridge in open sea. However, two problems are remained, one is that their estimations of salinity have highly varied from 1SU to 5SU. The other is that these previous studies leave probability of the fluid with no relation to seawater like as water in river and the salt lake.

Here, we tried to reveal secular change in seawater salinity by introducing the systematic analysis of fluid inclusions of hydrothermal quartz trapped as the relics of seawater, which originated from mid-oceanic ridges.

It is necessary to collect the quartz from MORB. Such rock samples can be obtained from accretionary complex preserved on land environment. Based on the huge accumulated information obtained from accretionary complexes by previous work of our group, we selected the best locality and collected hydrothermal quartz samples for this study. The collected samples are quartz with growth zoning texture, filling the primary shaped drainage cavities and interstitial spaces of pillowed basalt without quartz vein crosscut pillow of lava, suggesting the quartz had precipitated soon after eruption of the basalt. To estimate sea water salinity using fluid inclusions in the collected quartz, microthermometric analysis is carried out after categorizing the fluid inclusions into three types, primary, secondary, and undistinguished, based on the detailed petrographic observation of slab and double polished thin section. We carried out the analysis using fluid inclusions in MORB at 3.2 Ga, 2.7 Ga, 600 Ma.

The results showed ca. 2.5-4.5 SU seawater at 3.2 Ga, also ca. 2.5-4.5 SU at 2.7 Ga, and 1.0-1.5 SU at 600 Ma. The mechanism to change seawater salinity dynamically over 1SU is to remove NaCl from ocean to fix as evaporitic halite subaerially as the area of landmass has increased through time. Considering to the NaCl removing mechanism and secular change of landmass, the best estimation of secular change of the seawater salinity is that the seawater salinity during Archean to Paleoproterozoic was 2.5-4.5 SU and sharply dropped down to 1.0-1.5 SU by 600 Ma, which is called three step model of secular change in seawater salinity. Through this drastic change through time, the Earth could become to secure the environment as a cradle for life by Neoproterozoic.

キーワード: 流体包有物, 海水, 塩濃度, 石英, 玄武岩

Keywords: fluid inclusion, seawater, salinity, quartz, basalt

## イスア表成岩帯縞状鉄鉱層化学組成の独立成分分析から示唆される初期太古代の熱水組成とその活動プロセス ICA of the ~3.8Ga Isua supracrustal belt BIFs: Implications for the Eoarchean hydrothermal chemistry and processes

青木 翔吾<sup>1\*</sup>; 加藤 泰浩<sup>2</sup>; 平田 岳史<sup>3</sup>; 小宮 剛<sup>1</sup>  
AOKI, Shogo<sup>1\*</sup>; KATO, Yasuhiro<sup>2</sup>; HIRATA, Takafumi<sup>3</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> 東京大学工学系研究科エネルギー・資源フロンティアセンター, <sup>3</sup> 京都大学理学研究科地球惑星科学専攻

<sup>1</sup>Department of General System Studies, Graduate School of Arts and Science, The University of Tokyo, <sup>2</sup>Frontier Research Center for Energy and Resources, School of Engineering, The University of Tokyo, <sup>3</sup>Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University

海洋堆積物である縞状鉄鉱層 (BIFs) は、中期原生代を除く先カンブリア時代の地質帯に普遍的に見られることから、これらの時代の地球海洋化学進化を議論するのに優れた地質試料である。特に、世界で分布が限られている初期太古代表成岩帯の BIFs の地球化学的な研究は、初期生命の誕生した初期地球海洋化学プロセスを復元する上で重要な情報をもたらす可能性がある。

しかし、一般的な BIFs は鉄酸化物とシリカからなる縞で構成され、さらに炭酸塩鉱物や碎屑粒子起源の鉱物が混入するため、その全岩化学組成は形成時の初生的な鉱物のモード組成に大きく依存する。したがって、BIFs の全岩化学組成から直接、当時の海水化学組成を議論することはできず、まずそれらの組成を構成鉱物の化学組成に還元して、それら構成鉱物それぞれの起源を議論する必要がある。

そこで、本研究では、初期太古代 (38.1 億年前) に形成されたイスア表成岩帯の 80 試料の BIFs およびチャートの化学分析を XRF と ICP-MS によって行った。そして、それらの全岩化学組成分析値を用いて、それらの岩石を構成していたと考えられる初生的な鉱物とその起源の推定を独立成分分析によって行なうことで、BIF 試料の全岩化学組成を鉱物モード組成のばらつきによる線形な効果と水塊化学組成や吸着などの変化に伴う非線形な効果とに分けて議論を行なった。

その結果、イスア表成岩帯 BIFs+チャートの全岩化学組成のばらつきは、①水酸化鉄チャート成分 + ②MgCa ドロマイト成分 + ③FeCa アンケライト成分の3つの独立な鉱物成分のモード比で説明することができ、碎屑粒子の影響は小さいことが分かった。そして②と③の炭酸塩鉱物成分は①と同等かそれ以上の正の Eu anomaly を持っている。これは、炭酸塩鉱物が水酸化鉄と同じかそれよりも強い熱水環境で形成されたことを意味し、>39.6 億年前に形成された Nulliak 表成岩帯の BIF においても見られる特徴である。このことから初期太古代の海洋環境では、熱水が炭酸塩鉱物の沈殿場であったことが想定される。

さらに②と③の成分の弱く、①の効果が強く働いている試料は、現在の中央海嶺周辺域の海底熱水性鉄質堆積物と同様に Eu anomaly と全岩希土類元素/Fe 比、La/Yb(軽希土類元素/重希土類元素) 比との間に負の相関が見られることが分かった。このような相関関係は、現在の中央海嶺熱水堆積物においては、熱水活動の強弱に起因する堆積埋没速度によって、希土類元素の鉄酸化物への吸着が阻害されることで生じるものと考えられている。したがって、初期太古代海洋においてもこのプロセスが存在したことを仮定すると、鉱物モード組成によらないイスア表成岩帯 BIFs の化学組成のバリエーションが熱水活動の強弱によって説明することができる。

キーワード: 初期太古代, イスア表成岩帯, 縞状鉄鉱層, 独立成分分析

Keywords: the Eoarchean era, the Isua supracrustal belt, Banded Iron Formations, Independent Component Analysis (ICA)



## 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<sup>1\*</sup>; 清川 昌一<sup>1</sup>; 奈良岡 浩<sup>1</sup>; 高畑 直人<sup>2</sup>; 石田 章純<sup>2</sup>; 伊藤 孝<sup>3</sup>; 池原 実<sup>4</sup>; 山口 耕生<sup>5</sup>; 佐野 有司<sup>2</sup>

MIKI, Tsubasa<sup>1\*</sup>; KIYOKAWA, Shoichi<sup>1</sup>; NARAOKA, Hiroshi<sup>1</sup>; TAKAHATA, Naoto<sup>2</sup>; ISHIDA, Akizumi<sup>2</sup>; ITO, Takashi<sup>3</sup>; IKEHARA, Minoru<sup>4</sup>; YAMAGUCHI, Kosei E.<sup>5</sup>; SANNO, Yuji<sup>2</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>東京大学 大気海洋研究所 海洋化学部門, <sup>3</sup>茨城大学 教育学部 学校教育教員養成過程 (理科教育), <sup>4</sup>高知大学 海洋コア総合研究センター 教育研究部, <sup>5</sup>東邦大学理学部化学科; NASA Astrobiology Institute

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, Kyushu University, <sup>2</sup>Department of Chemical Oceanography, Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, <sup>3</sup>Teacher Training Course (Science Education), College of Education, Ibaraki University, <sup>4</sup>Research and Education Faculty, Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, <sup>5</sup>Department 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 ( $\text{FeCO}_3$ ) の層が, 上位で赤鉄鉱 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) および磁鉄鉱 ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) 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  $\mu\text{m}$  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 ( $\text{C}_{org}$ ) 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  $-30\pm 1\%$  でほぼ一定の値をとるが, 縞状鉄鉱層部層では  $\text{C}_{org}$  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  $\text{SO}_2$  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/ $\text{C}_{org}$  プロットは, わずかにユーキ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  $\text{Fe}^{3+}$  を  $\text{Fe}^{2+}$  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  $\mu\text{m}$  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/ $\text{C}_{org}$  プロットがユーキ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

## 全球凍結後に初期動物の多様化と同時に起きた3回の海洋酸化事件 Three oceanic oxidation events coincided with diversification of early animals after the Snowball Earth

海保 邦夫<sup>1\*</sup>; 静谷 あてな<sup>1</sup>; 山田 憲司<sup>1</sup>; 大庭 雅寛<sup>1</sup>; チェン ツオンチャン<sup>2</sup>; トン ジンナン<sup>2</sup>; 小宮 剛<sup>3</sup>; ティアン リー<sup>2</sup>; ポール ゴージャン<sup>4</sup>; 高橋 聡<sup>3</sup>  
KAIHO, Kunio<sup>1\*</sup>; SHIZUYA, Atena<sup>1</sup>; YAMADA, Kenji<sup>1</sup>; OBA, Masahiro<sup>1</sup>; CHEN, Zhong-qiang<sup>2</sup>; TONG, Jinnan<sup>2</sup>; KOMIYA, Tsuyoshi<sup>3</sup>; TIAN, Li<sup>2</sup>; GORJAN, Paul<sup>4</sup>; TAKAHASHI, Satoshi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東北大学, <sup>2</sup> 中国地質大学, <sup>3</sup> 東京大学, <sup>4</sup> ワシントン大学

<sup>1</sup>Tohoku University, <sup>2</sup>China University of Geosciences, <sup>3</sup>University of Tokyo, <sup>4</sup>Washington University

The terminal Proterozoic to earliest Phanerozoic (650-500 Ma) is a critical period of life evolution on Earth, marked by the emergence of the (i) Lantian biota, (ii) diversification of the Ediacara biota, and (iii) the Early Cambrian Metazoan Explosion. These three bioevents apparently set an evolutionary agenda for animals to eventually proliferate on Earth during the Phanerozoic. Although a causal link between environmental amelioration and metazoan emergence or proliferation in the mid-Ediacaran (580 Ma) has been discussed, the precise relationship between environmental changes, in particular redox condition changes and these three major bioevents have long remained disputed. We investigated sedimentary organic molecules from 660 to 510 Ma as a proxy for redox conditions in three water depth settings, surface water, shallow intermediate water, and deep intermediate water. Samples were taken from South China, Oman, and Australia. Those data show that three major oxidations in the intermediate water occurred just after the Marinoan Snowball Earth (635 Ma), the Gaskiers Glaciation to the Shuram event (580-555 Ma), and in the earliest Cambrian (515-525 Ma). These oceanic oxidation events coincided with the emergence of the Lantian Biota, the proliferation of the early Ediacaran Biota, and Cambrian explosion, respectively. Moreover, this analysis also shows that anoxia occurred in surface water during the Marinoan Glaciation and Ediacaran-Cambrian boundary, across which the Ediacaran Biota were wiped out. Thus, oceanic redox condition changes played a crucial role driving the origination, evolution and extinction of early animals.

キーワード: エディアカラ紀, カンブリア紀, 全球凍結, 海洋酸化, 海洋無酸素, 初期動物

Keywords: Ediacaran, Cambrian, Snowball Earth, oceanic oxidation, oceanic anoxia, early animals

In-situ iron isotope analysis of pyrite and organic carbon/nitrogen isotope ratios from the Middle Proterozoic sediments  
In-situ iron isotope analysis of pyrite and organic carbon/nitrogen isotope ratios from the Middle Proterozoic sediments

吉屋 一美<sup>1\*</sup>; 澤木 佑介<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>  
YOSHIYA, Kazumi<sup>1\*</sup>; SAWAKI, Yusuke<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>JAMSTEC, <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

Oxygenation of Earth's surface is deeply linked to evolution of life. Independent evidence suggests that the Earth's atmospheric oxidation state is increased in two steps: (1) from 2,400 to 2,300 million years ago, and (2) around 600 million years ago (Holland, 2002; Holland, 2006). In contrast, the ocean was mostly reducing during the Archean, whereas the Phanerozoic was as oxygenated as it is now. Compared with Archean and Phanerozoic time, the redox status of middle Proterozoic (1.8-1 billion years ago) ocean remains little known. Canfield considered that the middle Proterozoic deep ocean was globally sulfidic condition (Canfield, 1998). On the other hand, Planavsky and others considered that deep-ocean was globally iron-rich anoxic condition, and sulfidic conditions are restricted to biologically productive ocean margin and restricted marginal basin (Planavsky et al., 2011).

Here we show iron isotope analysis of individual pyrite grains and whole rock carbon/nitrogen isotope analyses of middle Proterozoic sediments, mainly mudstones and black shales, from four drillcore samples (Mount Young 2, McArthur River 2, Urapunga 4 and 5) in McArthur Basin, Northern Australia.

Pyrites from the Wollgorang Formation of the Tawallah Group show the wide variation of  $\delta^{56}\text{Fe}$  values from -2 to +2 ‰. It suggests that the occurrence of partial oxidation, so their depositional environment of the Wollgorang Formation was ferruginous condition.  $\delta^{15}\text{N}_{TN}$  values of the black shale in the Wollgorang and Barney Creek formations are from +4 to +7 ‰, relatively high values. The high  $\delta^{15}\text{N}_{TN}$  values suggest the occurrence of partial denitrification in the water-column.  $\delta^{15}\text{N}_{TN}$  values of black shale in the Wollgorang and Barney Creek Formations suggested that middle proterozoic sulfidic condition did not persist for long periods as previous studies insisted.

Keywords: Middle Proterozoic, pyrite, nitrogen isotope, iron isotope, McArthur Basin



## 北中国蘇県に産する中期原生代の地質層序 Lithostratigraphy of mesoproterozoic stratum at Jixian, north China

澤木 佑介<sup>1\*</sup>; 浅沼 尚<sup>1</sup>  
SAWAKI, Yusuke<sup>1\*</sup>; ASANUMA, Hisashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学  
<sup>1</sup> Tokyo Tech

The Mesoproterozoic (1.6 - 1.0 Ga) has been treated as boring billion through the history of Earth. This is attributed to deficient fossil records in Mesoproterozoic strata, and also it is unlikely that extreme environmental changes had occurred during the period. Recent paleontological studies, however, has discovered many acritarchs from the sedimentary rocks deposited during the Mesoproterozoic. Molecular clock analysis also demonstrates that genetic divergence of metazoan occurred in this period. In addition, it is recently suggested that redox condition in atmosphere-ocean system drastically changed.

Jixian area, North China, is one of the best places to decode surface environments during the Mesoproterozoic, because Mesoproterozoic-Neoproterozoic rocks well crop out there. Shallow marine clastic rocks and carbonates were successively deposited on Archean basement rocks. Age constraints for the succession in the Jixian are insufficient, therefore the purpose of current study is to constrain depositional ages of the sediments, basement gneiss and intrusive granite.

We conducted geological survey at the Jixian and collected these rocks. Sedimentary structures, including stromatolite, cross bedding, ripple, stylonite, storm rock, unconformity and basal conglomerate, indicate that sedimentary environment was shallow, above wave base, throughout the sections. Basement rocks in this area are composed of orthogneiss and hornblende-plagioclase gneiss. The mineral assemblage of the former is Qz-Bt-Grt, and that of the latter is Qz-Hbl-Pl-Grt-Chl. Main constituent minerals in intrusive granite are quartz, feldspar, hornblende and biotite, and its K-feldspar-rich mineral assemblage might imply A-type granite. Rock descriptions and lithostratigraphy of the Jixian area will be introduced in this presentation.

Keywords: Jixian, Mesoproterozoic, Lithostratigraphy

## 古原生代の海洋底環境復元プロジェクト 2: ケープスリーポイント地域の層序と構造, ベリミアン/アシャンティ帯, ガーナ Paleoproterozoic Ocean Floor Reconstruction Project: II Geology of Cape Three Points area in the Ashanti belt of the

清川 昌一<sup>1\*</sup>; 伊藤 孝<sup>2</sup>; 尾上 哲治<sup>3</sup>; 池原 実<sup>4</sup>; 山口 耕生<sup>5</sup>; 堀江 憲路<sup>6</sup>; 後藤 孝介<sup>7</sup>; 吉丸 慧<sup>1</sup>;  
NYAME フランク<sup>8</sup>; TETTEH ジョージ<sup>9</sup>

KIYOKAWA, Shoichi<sup>1\*</sup>; ITO, Takashi<sup>2</sup>; ONOUE, Tetsuji<sup>3</sup>; IKEHARA, Minoru<sup>4</sup>; YAMAGUCHI, Kosei E.<sup>5</sup>;  
HORIE, Kenji<sup>6</sup>; GOTO, Kosuke T.<sup>7</sup>; YOSHIMARU, Satoshi<sup>1</sup>; NYAME, Frank<sup>8</sup>; TETTEH, George<sup>9</sup>

<sup>1</sup>九州大学 地球惑星科学, <sup>2</sup>茨城大学 教育学部, <sup>3</sup>熊本大学 理学部, <sup>4</sup>高知大学 海洋研究コアセンター, <sup>5</sup>東邦大学 理学部/NASA Astrobiology Institute, <sup>6</sup>国立極地研究所, <sup>7</sup>産業技術総合研究所, <sup>8</sup>鉱山工業大学, タルクワ, <sup>9</sup>ガーナ大学 地球惑星

<sup>1</sup>Earth and Planetary Science, Kyushu University, <sup>2</sup>Ibaraki Univ. Dep. Education, <sup>3</sup>Kumamoto Univ. Dep. Science, <sup>4</sup>Kochi Univ. Marine core Research, <sup>5</sup>Toho Univ. Dep. Science & NASA Astrobiology Institute, <sup>6</sup>National institute of Polar Research, <sup>7</sup>Geological Survey of Japan, <sup>8</sup>University of Mines and Technology, Tarkwa,, <sup>9</sup>University of Ghana Dep. earth science

古原生代は、地球上で大陸集合・分裂イベントや、大気中の酸素濃度上昇事件 (Great Oxidation Event), 真核生物の台頭など地球表層が大きく変化する時代である (e.g. Holland, 1994, Condie 1997, Kopp et al., 2005). この時代の地質学的状況証拠は、浅いプラットフォーム上に残された変形変成の少ない地層からほとんどで、より深い海洋底の堆積物の記録からの報告は見られない。原生代に入ると初期大陸の移動衝突・海洋底の沈み込みが活発になり、海洋底を含む地層は衝突帯中に挟まれ付加したものしか残されていない。深い海の情報を得るには、この付加した部分からできるだけ保存の良い層序を探しだし、当時の深海底環境を復元することが不可欠である。

我々は古原生代における比較的深い海の環境変遷を明らかにするために、変形/変成が少ない 23?21 億年前の地層が分布するガーナ、ベリミアン (Birimian) 帯中のアシャンティ (亜) 帯の堆積層について層序・構造断面を復元調査を行った。ガーナ南西部ケープスリーポイント海岸では、21 億年前の花崗岩が貫入した古原生代の海底堆積物が東西約 10km に渡って連続して露出する。特に C3P 海岸の西部は 500m 以上の蛇紋岩帯、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い、連続層序部分を明らかにし、代表的な地層における柱状図を作成および連続的に岩石試料採取を行った。

地層は層序的な連続性がよく、東上位で 40-70 度東傾斜する。中央部ではクリベージ (S1) がみられ、数百 m の西フェルゲンツ構造を持つ非対称褶曲構造が 1 箇所確認できた。下位は変形した枕状溶岩および火山碎屑岩がかさなり、数回の厚い火山碎屑層を挟み、徐々に細粒化する。実測で層厚 1000m 以上の厚い火山碎屑岩からなり、20-50 m 厚の上方細粒化層した火山碎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。砂岩サイズの火山碎屑岩中には斜交層理・級化層理などの堆積構造が残っており上下判定が可能である。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碎屑岩と黒色頁岩互層からなり、6 枚の火山豆石の層が確認された。均質な火山碎屑岩層には溶結組織が見られるため、陸上で噴火堆積した部分も考えられる。変成鉱物として変成温度の低い緑色角閃岩類が広く確認でき、緑色片岩相を被っている。褶曲部では石英班岩の貫入岩が見られる。

陸源物質はほとんど混入がなく、海洋性島弧周辺の海底状態の可能性が高い。黒色頁岩中に含まれる有機炭素同位体組成は、 $\delta^{13}C = -43 \sim -37 \text{ ‰}$  でかなり軽い値を示す。当時の波の影響を受けない海底では、シアノバクテリア起源およびよりマイナスの値をとる生物 (たとえばメタン菌) が優勢な、著しい嫌氣的 (euxinic) 状態であった可能性がある。

キーワード: 古原生代, 火山碎屑岩, 黒色頁岩, ベリミアン帯, アシャンティ帯

Keywords: Paleoproterozoic, Black shale, volcanoclastics, Birimian belt, Ashanti subbelt

## ブラジル Espinhaco 超層群 Itapanhoacanga 層の層序と碎屑性ジルコン U-Pb 年代 The stratigraphy and U-Pb zircon age of the Itapanhoacanga formation, Espinhaco super-group, Brasil

吉丸 慧<sup>1\*</sup>; 清川 昌一<sup>1</sup>; 堤 之恭<sup>2</sup>; Rosiere Carlos A.<sup>3</sup>

YOSHIMARU, Satoshi<sup>1\*</sup>; KIYOKAWA, Shoichi<sup>1</sup>; TSUTSUMI, Yukiyasu<sup>2</sup>; ROSIERE, Carlos A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>九州大学, <sup>2</sup>国立科学博物館, <sup>3</sup>ミナス・ジェライス国立大学

<sup>1</sup>Kyushu University, <sup>2</sup>National Museum of Nature and Science, <sup>3</sup>Federal University of Minas Gerais

鉄鉱床は地球史における地球表層の酸化状態を示す重要な指標である。酸素濃度が上昇する時期と思われる太古代から古原生代初期にできた鉄鉱床の量は、世界の鉄鉱層の約八割を占め、1.8 Ga 以降のものとは圧倒的に多い (Bekker et al., 2010)。しかし、ブラジル Espinhaco 超層群 Itapanhoacanga 層では 1.7 Ga より新しいの縞状鉄鉱層が報告された (Chemale Jr et al., 2012)。本研究では、今まで報告が非常に少ない、中生代の鉄鉱層について、その堆積場、堆積作用を調べる為に調査を行った。特に、まずこの地層の年代をより詳細に明らかにするために、砂岩層に含まれる碎屑性ジルコンについて、国立科学博物館の ICP-MS による U-Pb 年代を求め、鉄鉱層の形成年代の制限と岩相の記載を行った。

ブラジル中部に位置する Sao Francisco クラトンは、太古代?原生代の基盤とそれを覆う原生代前期と顕生代の地質帯で構成される。このクラトンの中央に南北に伸びる Espinhaco 超層群は、クラトンの間に形成されたリフトを埋める浅海成の堆積物で構成されており (Herrgesell and Pflug, 1986)、その南部には層状鉄鉱層を含む Itapanhocanga 層が南北のスラストに沿って東傾斜で分布する。スラストで接する同時代の Sao Joao da Chapada 層の堆積開始年代は  $1703 \pm 12$  Ma (U-Pb 碎屑性ジルコン年代, Chemale Jr et al., 2012) に制限される。しかし、Conceicao do Mato Dentro 地域北部の Itapanhocanga 層の鉄鉱層の堆積年代について明らかでない。

Conceicao do Mato Dentro 地域北部には Itapanhocanga 層の層序がスラストシートの断面として露出している。この地域では層厚の 150m ほどの碎屑性雲母片岩ユニット (ユニット 1) と、それを不整合に覆う 600m 以上の礫岩?細粒砂岩起源の片岩ユニット (ユニット 2) で構成される。特にユニット 2 は、全層準において珪岩が支配的で全体として上方細粒化を示す。地層は全体的に片岩になっているが、特に層序的に下位のスラスト付近では顕著な扁平化を示す礫岩が見られる。層序は下部から中部にかけて、円磨度の高い花崗岩礫や石英礫を含む巨礫が礫支持の状態の小礫へ移行し、中部から上部にかけて中粒?細粒砂岩になる。上部は赤い砂岩になり、最上部に 2-5 m ほどの鉄鉱層が重なる。

碎屑性ジルコン U-Pb 年代測定は、この上方細粒化するユニット 2 の 3 地点で採取した試料のジルコンについて行った。測定ジルコン 278 スポットのうち、コンコダントな年代データは合計 83 得られた。その分布は 1727Ma, 2160Ma, 2681Ma, 2812Ma, 3142Ma, 3290Ma でピークがえられた。このうち堆積年代の上限を示す最も若い年代値は  $1639 \pm 79$  Ma であり、Chemale Jr et al., (2012) で示される 17 億年前より新しい可能性が示唆される結果となった。

キーワード: Espinhaco 超層群, BIF, 碎屑性ジルコン

Keywords: Espinhaco Supergroup, BIF, Detrital zircon

カナダ・ラブラドル、サグレック岩体の初期太古代 (>3.95 Ga) 堆積岩中の炭質物  
と炭酸塩の炭素同位体比  
Carbon isotope compositions of carbonaceous materials and carbonate from Saglek Block  
(>3.96 Ga), Labrador, Canada

田代 貴志<sup>1\*</sup>; 石田 章純<sup>3</sup>; 堀 真子<sup>3</sup>; 伊規須 素子<sup>4</sup>; 佐野 有司<sup>3</sup>; 小宮 剛<sup>2</sup>  
TASHIRO, Takayuki<sup>1\*</sup>; ISHIDA, Akizumi<sup>3</sup>; HORI, Masako<sup>3</sup>; IGISU, Motoko<sup>4</sup>; SANNO, Yuji<sup>3</sup>;  
KOMIYA, Tsuyoshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, <sup>2</sup> 東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻, <sup>3</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>4</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Science Graduate School of Science The University of Tokyo, <sup>2</sup>Department of Earth Science & Astronomy Graduate School of Arts and Sciences The University of Tokyo, <sup>3</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute The University of Tokyo, <sup>4</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Elucidation of origin of life is an everlasting challenge but it provides an important constraint on the origin of life to find evidence for early life. So far, the oldest evidences for biogenic carbonaceous materials were reported from the 3.80 Ga Isua supracrustal belt based on carbon isotope ratio (Rosing, 1999) and morphological features (Ohtomo et al., 2013). But, the origin of carbonaceous materials in the 3.83 Ga Akilia Association (Fedó and Whitehouse, 2002) and 3.75 Ga Nuvvuagittuq Supracrustal Belt is still ambiguous (Papineau et al., 2011).

To understand the origin of organic matter in the Eoarchean and find older organic matter, we investigated occurrence and carbon isotope values of carbonaceous material in the >3.95 Ga metasediment rocks from the Saglek Block, northern Labrador, Canada. The metasediment rocks underwent the amphibolite to granulite facies metamorphism, but some avoid pervasive elemental mobility during the metamorphism. We observed thin sections of pelitic rocks (n = 70), conglomerates (n = 14), carbonate rocks (n = 39), cherts (n = 30), and chert nodules in carbonate rocks (n = 3) from over 2000 samples. Among the metasedimentary rocks (n = 156), 54 specimens including the pelitic rocks (n = 21), conglomerates (n = 4), carbonate rocks (n = 26) and chert nodules in carbonate rocks (n = 3) contain carbonaceous materials. Twenty-nine rock samples with the carbonaceous materials were selected for  $\delta^{13}\text{C}_{org}$  analysis: pelitic rocks (n = 20), conglomerates (n = 4), carbonate rocks (n = 3) and chert nodules (n = 2).  $\delta^{13}\text{C}_{org}$  values of the pelitic rocks range from -27.5 to -11.6 ‰. The  $\delta^{13}\text{C}_{org}$  value increases as increasing in the metamorphic grade from amphibolite to granulite facies, indicating that the minimum  $\delta^{13}\text{C}_{org}$  value reflects a primary signature. Raman spectroscopic observation of the carbonaceous materials showed that the matter comprises crystalline graphite, consistent with the intense thermal metamorphism. The  $\delta^{13}\text{C}_{carb}$  values of carbonate rocks (n = 3) range from -3.8 to -2.6 ‰. Because it is well-known that the  $\delta^{13}\text{C}_{carb}$  value decreases due to secondary alteration and metamorphism, the primary  $\delta^{13}\text{C}_{carb}$  value was estimated to be higher than -2.6 ‰.

The minimum fractionation between the  $\delta^{13}\text{C}_{org}$  and  $\delta^{13}\text{C}_{carb}$  reaches 25 ‰, indicating biologic origin for the carbonaceous materials. This work presents the organism has already existed ca. 3.95 Ga. The large fractionation up to 25 ‰ implies autotrophs utilizing the reductive acetyl-CoA pathway or Calvin cycle in the Eoarchean.

キーワード: 炭質物, 炭酸塩, 初期生命, 炭素同位体, ラブラドル

Keywords: carbonaceous material, carbonate, early life, carbon isotope, Labrador



## CO<sub>2</sub>に富む条件下での komatiite の熱水変質実験 (250° C、500 bars) Experimental hydrothermal alteration of komatiite under CO<sub>2</sub>-rich condition at 250 Celsius degrees and 500 bars

上田 修裕<sup>1\*</sup>; 澤木 佑介<sup>1</sup>; 渋谷 岳造<sup>2</sup>; 丸山 茂徳<sup>1</sup>

UEDA, Hisahiro<sup>1\*</sup>; SAWAKI, Yusuke<sup>1</sup>; SHIBUYA, Takazo<sup>2</sup>; MARUYAMA, Shigenori<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学理工学研究科地球惑星科学専攻, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Science, Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>JAPAN AGENCY FOR MARIN-EARTH SCIENCE AND TECHNOLOGY

The serpentinization-influenced hydrothermal system has been considered as one of the most probable places where the emergence and early evolution of life took place because serpentinization of ultramafic rocks potentially generates a H<sub>2</sub>-rich fluid that is essential for the prebiotic chemical evolution and the earliest metabolisms such as methanogenesis (e.g. Takai et al., 2006; Russel et al., 2010). However, Hadean oceanic crust is considered to have been much thicker than modern equivalents, because of the higher potential mantle temperature at that time. Thus, the exposure of mantle peridotite frequently observed near modern slow-spreading ridges without sufficient magmatic supply was probably rare, suggesting that Hadean H<sub>2</sub>-rich hydrothermal environment was mainly driven by komatiite volcanism.

Previously, some hydrothermal alteration experiments have been conducted to understand reactions between komatiite and water (e.g. Yoshizaki et al., 2009). Nevertheless, many geological records and theoretical considerations indicate that the partial pressure of atmospheric CO<sub>2</sub> in the early Earth was much higher than the present level (e.g. Walker, 1985; Kasting, 1993). To reconstruct Hadean komatiite-hosted hydrothermal fluid, laboratory experiments on hydrothermal alteration of komatiite should be conducted under such high CO<sub>2</sub> pressure conditions.

In this study, a hydrothermal alteration experiment was performed using an Inconel-alloy autoclave at JAMSTEC. The komatiite used in this experiment was synthesized from a mixture of standard reagents; its chemical composition was adjusted to Al-depleted komatiite occurring in the 3.5Ga Barberton greenstone belt (Smith et al., 1980). The komatiite was reacted with CO<sub>2</sub>-rich (400 mmol/kg) NaCl solution at 250 Celsius degrees and 500 bars for about 2760 hours.

Through the hydrothermal alteration of komatiite, the CO<sub>2</sub> concentration in fluid was decreased to ca. 30 mmol/kg due to the precipitation of carbonate minerals. The H<sub>2</sub> concentration was increased but did not exceed 0.03 mmol/kg, which is comparable to those of modern basalt-hosted hydrothermal fluids and much lower than the results obtained from experiments on hydrothermal alteration of komatiite under CO<sub>2</sub>-free condition. Alteration minerals in this experiment were mainly dolomite and clay minerals. Remarkably, FeO content in the dolomite is up to 8 wt.%. We could not identify any iron oxide such as magnetite based on EPMA and XRD analyses. It is therefore suggested that the FeO originally contained in komatiite was incorporated into dolomite as FeCO<sub>3</sub> minor endmember, which limited the sufficient formation magnetite and hydrogen production during the hydrothermal alteration. Our results implies that hydrothermal systems at low temperatures such as 250 Celsius degrees under CO<sub>2</sub>-rich condition did not have the potential to produce hydrogen enough to sustain H<sub>2</sub>-based ecosystems in the early ocean.

Keywords: komatiite, CO<sub>2</sub>-rich, the early Earth, hydrothermal alteration, laboratory experiment

南鳥島周辺 EEZ 内のレアアース泥 -最新研究成果の概観-  
REY-rich mud within the Minamitorishima EEZ - A general overview of the latest re-  
search results -

加藤 泰浩<sup>1\*</sup>; 藤永 公一郎<sup>1</sup>; 中村 謙太郎<sup>1</sup>; 安川 和孝<sup>1</sup>; 大田 隼一郎<sup>1</sup>; 高谷 雄太郎<sup>2</sup>; 飯島 耕一<sup>2</sup>;  
野崎 達生<sup>2</sup>; 木村 純一<sup>2</sup>; 鈴木 勝彦<sup>2</sup>; 岩森 光<sup>2</sup>

KATO, Yasuhiro<sup>1\*</sup>; FUJINAGA, Koichiro<sup>1</sup>; NAKAMURA, Kentaro<sup>1</sup>; YASUKAWA, Kazutaka<sup>1</sup>; OHTA, Junichiro<sup>1</sup>;  
TAKAYA, Yutaro<sup>2</sup>; IIJIMA, Koichi<sup>2</sup>; NOZAKI, Tatsuo<sup>2</sup>; KIMURA, Jun-ichi<sup>2</sup>; SUZUKI, Katsuhiko<sup>2</sup>;  
IWAMORI, Hikaru<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学工学系研究科, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>Univ. of Tokyo, <sup>2</sup>JAMSTEC

In 2013, we confirmed the presence of rare-earth elements and yttrium (REY)-rich mud containing more than 6,000 ppm of total REY within the Japanese Exclusive Economic Zone (EEZ) surrounding Minamitorishima Island. Since the discovery of the “extremely REY-rich mud”, we have conducted a variety of approaches such as geochemical analyses, detailed microscopic observations, REY-leaching experiments, application of sub-bottom profiling to the exploration, and statistical analysis of the geochemical data set, towards the exploitation of the new and highly promising REY-resource in the near future. Here we report a general overview of the latest research results on REY-rich mud in the Minamitorishima EEZ.

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

## サブボトムプロファイラによる深海堆積物の解析とその南鳥島 EEZ におけるレア アース泥分布への示唆 Acoustic characterization of deep-sea sediments by sub-bottom profiler

中村 謙太郎<sup>1\*</sup>; 町田 嗣樹<sup>2</sup>; 正木 裕香<sup>3</sup>; 沖野 郷子<sup>4</sup>; 飯島 耕一<sup>3</sup>; 鈴木 勝彦<sup>3</sup>; 加藤 泰浩<sup>1</sup>;  
KR13-02 乗船者一同<sup>3</sup>; MR13-E02 Leg2 乗船者一同<sup>3</sup>; KR14-02 乗船者一同<sup>3</sup>; MR14-E02 乗船者一同<sup>3</sup>  
NAKAMURA, Kentaro<sup>1\*</sup>; MACHIDA, Shiki<sup>2</sup>; MASAKI, Yuka<sup>3</sup>; OKINO, Kyoko<sup>4</sup>; IJIMA, Koichi<sup>3</sup>;  
SUZUKI, Katsuhiko<sup>3</sup>; KATO, Yasuhiro<sup>1</sup>; KR13-02, Cruise members<sup>3</sup>; MR13-E02 LEG2, Cruise members<sup>3</sup>;  
KR14-02, Cruise members<sup>3</sup>; MR14-E02, Cruise members<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学工学系研究科, <sup>2</sup> 早稲田大学, <sup>3</sup> 海洋研究開発機構, <sup>4</sup> 東京大学大気海洋研究所

<sup>1</sup>Univ. of Tokyo, <sup>2</sup>Waseda Univ., <sup>3</sup>JAMSTEC, <sup>4</sup>AORI, Univ. of Tokyo

Subbottom profiling was conducted in the Japanese Exclusive Economic Zone (EEZ) around Minamitorishima Island to reveal the distribution of REY-rich mud in the Minamitorishima EEZ. Based on the shape and pattern of the reflectors, three discrete acoustic facies of opaque (O) type, transparent (T) type, and layered (L) type were distinguished. Distribution of the O-type facies is restricted to just on or immediate vicinity of seamounts, suggesting that this acoustic facies corresponds to rocky outcrop without soft sediment cover. The T-type facies occurs in northern part and southern to southeastern part of the Minamitorishima EEZ, whereas the L-type facies widely covers central part of the area. By comparing the sub-bottom profiler record with sediment core samples obtained by piston coring shows that the acoustic facies T corresponds to REY-rich mud, whereas acoustic facies L corresponds to non-REY-rich terrigenous sediment.

Keywords: REY-rich mud, Minamitorishima Island, sub-bottom profiler, Exclusive Economic Zone

## 南鳥島超高濃度レアアース泥の分布と地球化学的特徴 Distribution and geochemical features of extremely REY-rich mud in the Minamitorishima EEZ

藤永 公一郎<sup>1\*</sup>; 中村 謙太郎<sup>1</sup>; 町田 嗣樹<sup>2</sup>; 高谷 雄太郎<sup>3</sup>; 安川 和孝<sup>1</sup>; 大田 隼一郎<sup>1</sup>; 荒木 修平<sup>1</sup>; 劉 漢捷<sup>1</sup>; 宇佐美 諒<sup>1</sup>; 南谷 祐資<sup>1</sup>; 牧 亮太<sup>1</sup>; 足立 遼介<sup>1</sup>; 大矢 和孝<sup>1</sup>; 渡辺 亮太<sup>2</sup>; 西尾 嘉朗<sup>3</sup>; 正木 裕香<sup>3</sup>; 白井 洋一<sup>3</sup>; 原口 悟<sup>3</sup>; 飯島 耕一<sup>3</sup>; 鈴木 勝彦<sup>3</sup>; 加藤 泰浩<sup>1</sup>; MR14-E02 乗船者一同<sup>3</sup>  
FUJINAGA, Koichiro<sup>1\*</sup>; NAKAMURA, Kentaro<sup>1</sup>; MACHIDA, Shiki<sup>2</sup>; TAKAYA, Yutaro<sup>3</sup>; YASUKAWA, Kazutaka<sup>1</sup>; OHTA, Junichiro<sup>1</sup>; ARAKI, Shuuhei<sup>1</sup>; LIU, Hanjie<sup>1</sup>; USAMI, Ryo<sup>1</sup>; MINAMITANI, Yusuke<sup>1</sup>; MAKI, Ryota<sup>1</sup>; ADACHI, Ryosuke<sup>1</sup>; OYA, Kazutaka<sup>1</sup>; WATANABE, Ryota<sup>2</sup>; NISHIO, Yoshiro<sup>3</sup>; MASAKI, Yuka<sup>3</sup>; USUI, Yoichi<sup>3</sup>; HARAGUCHI, Satoru<sup>3</sup>; IIJIMA, Koichi<sup>3</sup>; SUZUKI, Katsuhiko<sup>3</sup>; KATO, Yasuhiro<sup>1</sup>; MR14-E02, Cruise members<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学工学系研究科, <sup>2</sup> 早稲田大学, <sup>3</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>Univ. of Tokyo, <sup>2</sup>Waseda Univ., <sup>3</sup>JAMSTEC

A recent report has documented the wide distribution of “REY-rich mud”, deep-sea sediment containing high concentrations of REY ( $\Sigma\text{REY} = 400 - 2000$  ppm), in the Pacific Ocean (Kato et al., 2011). In 2013, we have discovered the “highly” ( $\Sigma\text{REY} = 2000 - 5000$  ppm) to “extremely” ( $\Sigma\text{REY} > 5000$  ppm) REY-rich mud in the Japanese Exclusive Economic Zone (EEZ) around Minamitorishima Island (Kato et al., 2013; Fujinaga et al., 2013; Suzuki et al., 2013). To investigate the detailed distribution of extremely REY-rich mud, we conducted the new research cruise (MR14-E02 by *R/V Mirai* from October 14 to 29, 2014) in the south region of the Minamitorishima EEZ. We collected 11 sediment cores by piston coring in this cruise. Here we report the distribution, bulk-sediment chemical compositions, and geochemical features of the extremely REY-rich mud in the Minamitorishima EEZ.

キーワード: レアアース, レアアース泥, 南鳥島, 海底鉱物資源

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



## 南鳥島周辺の排他的経済水域内におけるレアアース泥の粒度分布 Grain size distributions of REY-rich mud in the Exclusive Economic Zone around Minamitorishima Island

大田 隼一郎<sup>1\*</sup>; 町田 嗣樹<sup>2</sup>; 藤永 公一郎<sup>3</sup>; 中村 謙太郎<sup>1</sup>; 安川 和孝<sup>1</sup>; 高谷 雄太郎<sup>4</sup>; 飯島 耕一<sup>4</sup>;  
鈴木 勝彦<sup>4</sup>; 加藤 泰浩<sup>3</sup>

OHTA, Junichiro<sup>1\*</sup>; MACHIDA, Shiki<sup>2</sup>; FUJINAGA, Koichiro<sup>3</sup>; NAKAMURA, Kentaro<sup>1</sup>; YASUKAWA, Kazutaka<sup>1</sup>;  
TAKAYA, Yutarō<sup>4</sup>; IJIMA, Koichi<sup>4</sup>; SUZUKI, Katsuhiko<sup>4</sup>; KATO, Yasuhiro<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学工学系研究科システム創成学専攻, <sup>2</sup> 早稲田大学創造理工学部環境資源工学科, <sup>3</sup> 東京大学工学系研究科エネルギー・資源フロンティアセンター, <sup>4</sup> 海洋研究開発機構海底資源研究開発センター

<sup>1</sup>Department of Systems Innovation, University of Tokyo, <sup>2</sup>Department of Resources and Environmental Engineering, Waseda University, <sup>3</sup>Frontier Research Center for Energy and Resources, University of Tokyo, <sup>4</sup>Japan Agency for Marine-Earth and Technology

Rare-earth elements and yttrium (REY)-rich mud (REY-rich mud) is a pelagic sediment with high total REY content (>400 ppm), and has a potential as a new REY resource (Kato et al., 2011). On January 2013, the KR13-02 cruise operated by JAM-STECC collected seven piston cores from the Exclusive Economic Zone around Minamitorishima Island (Minamitorishima EEZ) for scientific investigation of the REY-rich mud. Subsequently, one of these cores (PC05) was found to include extremely REY-enriched layer whose total REY content exceeds 6,000 ppm (Fujinaga et al., 2013; Kato et al., 2013; Suzuki et al., 2013).

It is currently quite important to understand the formation mechanism of this “extremely REY-rich mud” for scientific investigation of the mud in the Minamitorishima EEZ. A recent study on the PC05 core showed that the REY-enriched layer contains significant amounts of large apatite grains and large phillipsite grains (Ohta et al., 2014). In the present contribution, we report grain size distribution (GSD) analyses for bulk sediments and specific minerals (apatite and phillipsite) in the KR13-02 cores including extremely REY-rich mud, and implications of these minerals for REY-enrichment.

Keywords: REY-rich mud, apatite, phillipsite, grain size distribution

## 南鳥島周辺の排他的経済水域 (EEZ) 内におけるレアアース泥の資源ポテンシャル Resource potential of REY-rich mud in the Japanese Exclusive Economic Zone (EEZ) around Minamitorishima Island

大矢 和孝<sup>1\*</sup>; 安川 和孝<sup>1</sup>; 大田 隼一郎<sup>1</sup>; 藤永 公一郎<sup>2</sup>; 高谷 雄太郎<sup>3</sup>; 中村 謙太郎<sup>1</sup>; 飯島 耕一<sup>3</sup>;  
加藤 泰浩<sup>2</sup>  
OYA, Kazutaka<sup>1\*</sup>; YASUKAWA, Kazutaka<sup>1</sup>; OHTA, Junichiro<sup>1</sup>; FUJINAGA, Koichiro<sup>2</sup>; TAKAYA, Yutaro<sup>3</sup>;  
NAKAMURA, Kentaro<sup>1</sup>; IJIMA, Koichi<sup>3</sup>; KATO, Yasuhiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東大・工・システム創成, <sup>2</sup> 東大・工・エネルギー・資源フロンティアセンター, <sup>3</sup>(独) 海洋研究開発機構  
<sup>1</sup>Sys. Innovation, Univ. of Tokyo, <sup>2</sup>FR CER, Univ. of Tokyo, <sup>3</sup>JAMSTEC

南東太平洋および中央北太平洋の深海底に広く分布する「レアアース泥」は、様々なハイテク産業に不可欠なレアアースを豊富に含み、新たな海底鉱物資源として有望視されている (Kato et al., 2011). さらに、過去の国際深海掘削計画 (Deep Sea Drilling Project/Ocean Drilling Program) によって南鳥島周辺の排他的経済水域 (Exclusive Economic Zone, EEZ) 内から掘削されたコアにおいても、レアアース泥の存在が確認された (加藤ほか, 2012). EEZ 内に存在する海底資源は日本が独自に開発可能なため、この発見は日本の資源戦略にとって非常に重要な意味を持つ。

こうした経緯をふまえて実施された南鳥島 EEZ 内における計 4 回の調査航海 (KR13-02, MR13-E02 Leg 2, KR14-02, MR14-E02) の結果、南鳥島の南方約 250 km の海域において、総レアアース濃度が 5,000 ppm を超える「超高濃度レアアース泥」の存在が明らかとなった (Kato et al., 2013; Fujinaga et al., 2013; Suzuki et al., 2013). この超高濃度レアアース泥は海底面下 10 m 以浅に分布しており、開発に際して非常に有利と考えられる。本研究では、上記の海域を現在最も有望なレアアース泥開発対象海域とみなし、そのレアアース資源ポテンシャルについて報告する。

キーワード: 南鳥島 EEZ, レアアース泥, 海底鉱物資源, 資源ポテンシャル

Keywords: Minamitorishima EEZ, REY-rich mud, extremely REY-rich mud layers, deep-sea mineral resources, resource potential

## 化学リーチング手法による高濃度レアアース泥からのレアアース抽出技術 Chemical leaching experiments on the highly REY-rich mud collected near the Minami- torishima Island.

高谷 雄太郎<sup>1\*</sup>; 藤永 公一郎<sup>2</sup>; 中村 謙太郎<sup>3</sup>; 飯島 耕一<sup>1</sup>; 加藤 泰浩<sup>2</sup>  
TAKAYA, Yutaro<sup>1\*</sup>; FUJINAGA, Koichiro<sup>2</sup>; NAKAMURA, Kentaro<sup>3</sup>; IIJIMA, Koichi<sup>1</sup>; KATO, Yasuhiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 東大・工・FR CER, <sup>3</sup> 東大・工・システム創成  
<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>FR CER, Univ. of Tokyo, <sup>3</sup>Sys. Innovation, Univ. of Tokyo

Since the discovery of rare earths and yttrium (REY)-rich mud distributed widely on a deep seafloor in the Pacific Ocean (Kato et al., 2011), it has received broad attention as a new resource for REY. More recently, during research cruise KR13-02 of R/V Kairei, extremely REY-enriched deep-sea mud containing more than 6,000 ppm total REY ( $\sum$ REY) was collected near Minamitorishima Island, northwestern Pacific Ocean. One of the key issues on the future development and utilization of the new deep-sea mineral resources (REY-rich mud) is to establish a procedure to extract REY from the mud. Kato et al. (2011) showed that chemical leaching is an effective means to extract REY from REY-rich mud. In this study, therefore, we conducted series of leaching experiments on highly REY-rich mud ( $\sum$ REY  $\approx$  3,500 ppm) collected near Minamitorishima Island to determine the optimum conditions of REY leaching. Our results showed that more than 95% and 80 % of  $\sum$ REY can be recovered by hydrochloric acid and sulfuric acid, respectively. REY recovery was at the highest under the conditions of the lower acid concentration (0.25-0.5 mol/L), shortest leaching time (- 5min), and room temperature (25 °C). These leaching conditions are strong advantages for the development of REY-rich mud.

キーワード: 深海底鉱物資源, レアアース泥, 化学リーチング

Keywords: deep-sea mineral resources, REY-rich mud, chemical leaching

## 独立成分分析に基づく南鳥島 EEZ 内の深海底堆積物の統計的特徴 Statistical characterization of deep-sea sediments within the Minamitorishima EEZ by Independent Component Analysis

安川 和孝<sup>1\*</sup>; 大矢 和孝<sup>1</sup>; 大田 隼一郎<sup>1</sup>; 高谷 雄太郎<sup>2</sup>; 藤永 公一郎<sup>3</sup>; 中村 謙太郎<sup>1</sup>; 岩森 光<sup>2</sup>;  
加藤 泰浩<sup>3</sup>  
YASUKAWA, Kazutaka<sup>1\*</sup>; OYA, Kazutaka<sup>1</sup>; OHTA, Junichiro<sup>1</sup>; TAKAYA, Yutaro<sup>2</sup>; FUJINAGA, Koichiro<sup>3</sup>;  
NAKAMURA, Kentaro<sup>1</sup>; IWAMORI, Hikaru<sup>2</sup>; KATO, Yasuhiro<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東大・工・システム創成, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構, <sup>3</sup> 東大・工・エネルギー・資源フロンティアセンター  
<sup>1</sup>Sys. Innovation, Univ. of Tokyo, <sup>2</sup>JAMSTEC, <sup>3</sup>FR CER, Univ. of Tokyo

Rare-earth elements and yttrium (REY) play an essential role in state-of-the-art technologies. Recently, the presence of REY-rich mud, deep-sea sediments containing high concentrations of REY, was confirmed within the Japanese exclusive economic zone (EEZ) surrounding Minamitorishima Island (Kato et al., 2013; Fujinaga et al., 2013; Suzuki et al., 2013). The maximum total REY content in the REY-rich mud within the Minamitorishima EEZ reaches almost 7000 ppm, which strongly attracts our attention as a highly promising new resource for REY of great economic value.

The extremely REY-rich mud has been probably produced by a combination of some processes that functioned in the abyssal ocean, and signatures of them could be preserved as characteristic geochemical compositions of the sediments. Therefore, as a first step to elucidate the REY-enrichment processes, it is quite important to decode geochemical signals derived from the sediments. To this end, multivariate statistical analyses are very useful because they can treat multi-elemental information concurrently and comprehensively.

Here we applied Independent Component Analysis (ICA) to the data set composed of elemental contents of the deep-sea sediments collected from the Minamitorishima EEZ. ICA is a relatively new computational statistical technique established in the past quarter century, which can extract original independent source signals or factors from observed signals on the basis of a fundamental assumption that the observed data consist of mutually independent source signals but do not constitute a joint Gaussian distribution (Hyvärinen et al., 2001). 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*.  
Hyvärinen, A. et al. (2001) *Independent Component Analysis*. John Wiley and Sons.  
Kato, Y. et al. (2013) *JpGU Meeting 2013*.  
Suzuki, K. et al. (2013) *JpGU Meeting 2013*.

Keywords: deep-sea sediment, REE, Independent Component Analysis