

## 海底マンガン鉱床の生成環境と元素濃集プロセスの解明に向けて：北西太平洋域をフィールドとした総合調査と微細スケール解析 Growth Process and Metal Accumulation of Hydrogenetic Ferromanganese Crusts: Joint Study in the NW Pacific Seamounts

臼井 朗<sup>1\*</sup>, 佐藤久晃<sup>1</sup>, 西圭介<sup>1</sup>, 坂口 綾<sup>2</sup>, 井上美南<sup>2</sup>, 高橋 嘉夫<sup>2</sup>, プレア・ソントン<sup>3</sup>, 得丸綾香<sup>3</sup>, 浦辺徹郎<sup>3</sup>, 仁田原翔太<sup>4</sup>, 後藤孝介<sup>5</sup>, 小田啓邦<sup>5</sup>, 森下祐一<sup>5</sup>, 山岡香子<sup>4</sup>, 柏原 輝彦<sup>6</sup>, 野崎 達生<sup>6</sup>, 鈴木 勝彦<sup>6</sup>, 伊藤 孝<sup>7</sup>, 加藤 真悟<sup>8</sup>  
Akira Usui<sup>1\*</sup>, Hisaaki, Sato<sup>1</sup>, Keisuke Nishi<sup>1</sup>, Aya Sakaguchi<sup>2</sup>, Minami, Inoue<sup>2</sup>, Yoshio Takahashi<sup>2</sup>, Blair Thornton<sup>3</sup>, Ayaka Tokumaru<sup>3</sup>, Teturo Urabe<sup>3</sup>, Shota Nitahara<sup>4</sup>, Kosuke Goto<sup>5</sup>, Hirokuni Oda<sup>5</sup>, Yuichi Morishita<sup>5</sup>, Kyoko Yamaoka<sup>4</sup>, Teruhiko Kashiwabara<sup>6</sup>, Tatsuo Nozaki<sup>6</sup>, Katsuhiko Suzuki<sup>6</sup>, Takashi Ito<sup>7</sup>, Shingo Kato<sup>8</sup>

<sup>1</sup> 高知大学理学部門, <sup>2</sup> 広島大学理学研究科, <sup>3</sup> 東京大学, <sup>4</sup> 東京薬科大学, <sup>5</sup> 産業技術総合研究所, <sup>6</sup> 海洋研究開発機構, <sup>7</sup> 茨城大学, <sup>8</sup> 理化学研究所

<sup>1</sup>Geology Dept., Kochi Univ., <sup>2</sup>Geological & Planetary Science, Hiroshima Univ., <sup>3</sup>Univ. Tokyo, <sup>4</sup>Tokyo University of Pharmacy and Life Sciences, <sup>5</sup>Agency of Industrial Science & Technology, <sup>6</sup>JAMSTEC, <sup>7</sup>Ibaraki Univ., <sup>8</sup>RIKEN

鉄・マンガン酸化物は、遠洋域の海山や海台、深海盆などにおいて、マンガクラストや団塊として、広く分布する。また、種々の希少金属元素 (Co, Ni, Cu, Pt, REE など) を含有することから資源的価値が注目されている。一方、その成長速度は非常に遅い (数百万年に 1cm 程度) 連続成長するため、ある種の圧縮された堆積物コアのごとく、長レンジの海洋環境変動を記録する化学堆積岩としての展開も期待されている。さて、我が国周辺、北西太平洋域での系統的な調査は殆ど実施されてこなかったが、今から 3 年ほど前より、拓洋第 5 海山、九州パラオ海嶺、大東海嶺、四国海盆域などにおいて、マンガクラストを対象として、3 年ほど前から、ROV (ハイパードルフィン 3K) を用いたマッピングとサンプリングを実施している。その分析・解析に基づいて、1) マングクラストの詳細分布の実態解明、2) 現世海洋環境とクラスト生成との関連、3) 過去数千年に遡った海洋環境変動の復元解析、4) 有用金属元素の鉱物化学形態の把握を目的として共同研究チームを立ち上げ、遅疑のような研究課題を実施中である。

- 表層から基盤までのクラスト断面の微細構造・鉱物組成の変化
- ベリリウム、オスミウム同位体による年代測定
- 表層 1mm 部分の化学組成の水深方向変化
- マングクラストを鉱床、鉱石と見なし、資源経済的データを収集 (高知大学)
- 基盤岩の生成年代、金属フラックスの算定、残留磁化測定など

いままでに、酸化物や鉱物組成変動プロファイルの広域的対応、水深 3000-6000m に及ぶ深海域での分布パターン、特定元素の微小スケール時代変動の明かな相関関係などが明らかとなってきた。ここでは知見を整理して今後の課題を指摘したい。

キーワード: マングクラスト, マンガン団塊, マンガン鉱床, 海山, 北西太平洋, レアメタル

Keywords: hydrogenetic, ferromanganese crust, manganese nodule, seamount, NW Pacific, rare metal

## 海底鉄マンガン酸化物の鉄同位体組成 Iron isotopic composition of marine ferromanganese deposits

山岡 香子<sup>1\*</sup>, デイビッド ボロック<sup>2</sup>, 臼井 朗<sup>3</sup>  
Kyoko Yamaoka<sup>1\*</sup>, David Borrok<sup>2</sup>, Akira Usui<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所地質情報研究部門, <sup>2</sup> ルイジアナ大学地球科学科, <sup>3</sup> 高知大学地球科学コース

<sup>1</sup>Geological Survey of Japan, AIST, <sup>2</sup>School of Geosciences, Univ. of Louisiana, <sup>3</sup>Earth Science Department, Kochi Univ.

Iron isotopic composition of marine ferromanganese deposits could be a useful tool to understand the cycling of iron in the ocean. Beard et al. (2003) proposed that the iron delivered to the ocean is essentially controlled by the atmospheric particulate flux ( $\delta\text{-}^{56}\text{Fe} = 0$  permil) and the mid-ocean ridge hydrothermal flux ( $\delta\text{-}^{56}\text{Fe} = -0.5$  permil). However, the global dataset of iron isotopic composition for hydrogenetic ferromanganese deposits demonstrated large variations on local scale and no systematic difference between ocean basins (Levasseur et al., 2004). Thus, further studies are needed in order to determine source and precipitation process of iron in marine ferromanganese deposits. In this study, we preliminary analyzed the iron isotopic compositions of hydrothermal ferromanganese crusts, hydrogenetic ferromanganese crusts, and hydrogenetic/diagenetic ferromanganese nodules.

キーワード: 海底鉄マンガン酸化物, 鉄同位体

Keywords: marine ferromanganese deposit, iron isotope

## マンガンクラスト直上の浮遊性粒子とクラスト表面の化学組成の関係 Chemical Relationship between spatially coupled suspended particles and the crust surface

新山 智也<sup>1</sup>, 得丸 絢加<sup>1</sup>, 浦辺 徹郎<sup>1</sup>, Blair Thornton<sup>3</sup>, 臼井 朗<sup>2</sup>, 鈴木 庸平<sup>1\*</sup>

Tomoya Niiyama<sup>1</sup>, Ayaka Tokumaru<sup>1</sup>, Tetsuro Urabe<sup>1</sup>, Blair Thornton<sup>3</sup>, Akira Usui<sup>2</sup>, Yohey Suzuki<sup>1\*</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> 高知大学理学部地球科学コース, <sup>3</sup> 東京大学生産技術研究所  
<sup>1</sup>Dept Earth & Planet Sci, Univ Tokyo, <sup>2</sup>Geology Dept, Kochi Univ, <sup>3</sup>Institute of Industrial Science, Univ Tokyo

### Objective:

It is considered that the formation of ferromanganese crusts is mediated partly by sedimentation of Mn-bearing particles from seawater. However, the extremely slow rate of crust formation ( $\sim 2$  mm/ Ma) remains to be poorly explained mainly due to the lack of characterizations for suspended particles in seawater in contact with the crust surface. Although suspended particles have been conventionally collected by water samplers deployed from the ship, it is difficult to collect seawater closely located to the seafloor. Recently, submersibles, which are capable of collecting water samples by observing the seafloor outcrops, provide us opportunities to collect suspended particles above the ferromanganese crusts. The main purpose of this study is (1) to evaluate suspended particles adjacent to the crust surface collected by a submersible, (2) to correlate chemical compositions of collected particles to those of the corresponding crust surface and (3) to validate the submersible-based sampling method to study the formation process of ferromanganese crusts.

### Method and samples:

By using a remotely operated vehicle called Hyper Dolphin, deep seawater and crust samples were collected at water depths of 1460-1838 m from Tobu Seamount on the Daito Ridge, Western Pacific. Immediately after retrieval, suspended particles were collected on a filter with 200 nm pore diameter. Thin sections were prepared for crust samples, which were embedded in LR-White resin. Suspended particles on the filter and thin sections of a crust sample at a depth of 1460 m were observed by backscatter electron imaging (BEI) of scanning electron microscopy (SEM) and analyzed by energy-dispersive spectroscopy (EDS) for chemical composition.

### Results and discussion:

Among filter samples at seven depths, 1460-m and 1545-m deep samples were abundantly associated with Fe- and Mn-bearing particles. In contrast to the similar size range (average sizes of 1800 and 1600 nm), the Mn/Fe ratio was heterogeneous for the 1460-m deep (0.6-2.5; n=11) and homogeneous for the 1545-m deep sample (0.6-1.1; n=7). Two filter samples at depths of 1614 m and 1753 m were mainly associated with Fe- and Cr-bearing particles. The remaining three samples at depths of 1480 m, 1586 m and 1838 m were not associated with Fe- or Mn-bearing particles but Ca- and C-bearing particles. As for a crust sample at a depth of 1460 m, the homogeneous range of Mn/Fe ratio of  $\sim 0.8$  at the crust surface was shifted to 1.4 towards the inside. The discrepancy in Mn/Fe ratio between suspended particles and the crust surface might be resulted from the contamination of previously collected crust samples in the sample basket. On the other hand, a good agreement in Mn/Fe ratio between the 1460-m deep crust surface ( $\sim 0.8$ ) and the 1545-m deep suspended particles (0.6-1.1) might suggest the natural occurrence of the suspended particles in the vicinity of the crust surface. The Ca- and C-bearing particles are considered to be originally present, while the Fe- and Cr-bearing particles were probably supplied from the metal alloy material used for Hyper Dolphin. It is also known that the dissolution of CaCO<sub>3</sub> particles produced by surface bioproductivity and transported through deep-sea circulation is a major process to provide Fe to the ferromanganese crusts. Hence, the major formation processes are potentially clarified by our sampling method and chemical analysis.

## 中部・北西太平洋域のマンガクラストに見られる二重構造の意義：資源形成と海洋環境変動

### Dual Structure of Ferromanganese Crusts in the Pacific Seamounts: Significance as Resources and Paleoceanographic Record

西圭介<sup>1\*</sup>, 臼井 朗<sup>1</sup>, 中里 佳央<sup>1</sup>, イアン グラハム<sup>2</sup>  
Keisuke Nishi<sup>1\*</sup>, Akira Usui<sup>1</sup>, Nakasato Yoshio<sup>1</sup>, Ian Graham<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 高知大学, <sup>2</sup> ニュージーランド核研

<sup>1</sup>Kochi University, <sup>2</sup>Geological and Nuclear science

マンガクラスト(以下クラスト)は鉄・マンガン酸化物を主成分とする化学堆積岩であり、海山などの海底の露岩を平板状(厚さ数 cm から 10cm)に被覆する。多くの有用金属元素(Co, Ni, Pt, REE など)を副成分として含有するため、将来の資源として期待されている。単一の鉄・マンガン酸化鉱物(vernadite)から成っているため、化学組成変動は比較的小さく、Mn/Fe比は1-2, Co, Niなどの副成分は0.5-1.0%の範囲内で変動する(Hein et al., 1987)。近年、北西太平洋にも広範囲にわたり分布することが確認され、100万年に数 mm 程度の非常に遅い速度で成長しているため、長期の環境記録としての可能性が指摘されている(臼井ほか, 1995)。

中部・北西太平洋域(南北 3000km, 東西 5000km)の複数地点で採取されたクラストの肉眼・顕微鏡観察、鉱物・化学組成分析、年代測定を行った結果、厚いクラスト(概ね 10cm 以上)の下位には決まって、緻密・硬質で燐酸塩化した構造を持ち、上位とは化学組成も大きく異なる部分(便宜上、下位層と呼ぶ)が共通して認められる。このような異常な組成を示すクラストは、臼井ほか(1987)、Kochinsky(1996)などで報告されているが詳しい記載は少ない。本研究では、二重構造が見られるクラストの詳細な記載を行い、特異的な鉱物・化学組成を示す下位層の形成環境を考察する。

下位層は、Ca, Pの含有率が高く(上位層の約 10 倍)、燐灰石に富んでいる。主要な構成鉱物は典型的な vernadite である。燐酸塩化は基盤岩まで達しており、特に石灰岩を基盤岩とするものに多く見られる。一部は玄武岩等の基盤岩の割れ目を石灰質軟泥が埋めており、燐酸塩に置換されたものもある。年代測定(10/9Be)の結果(I. Graham)、二重構造の境界は、誤差を大きいものの概ね 12-15Ma に集中する。上位層の間隙率が平均 18%であるのに対し、下位層は平均 9%と非常に低い。下位層で低い値を示すのは、間隙を燐酸塩鉱物が埋めているためである。化学組成の結果(カナダ地質調査所委託)、下位層は、P>Ca>Y>S>Sc>Ni, Zn>Ba>Ce, Srの順で高く、Nb > Ti, Al>Fe>Co>Pbの順で低い。また Mn/Fe比が顕著に高く(平均 3.3, 最大 8.6)、比率は水深規制を受けている。XRFを使用し、二重構造の境界部の元素マッピングを行った結果、燐酸塩化の境界は成長縞に概ね一致する。下位層では粘土鉱物、などの碎屑成分が少なく(低 Al)、塊状、成層など上位に認められない特徴的な構造を呈することが多い。緻密な下位層は常に上位層に覆われ、現世の海水に接するクラスト表面には認められない。

このことから、中期中新世(12-15Ma)以前の中層域(現在の水深 1000-4000m)は燐酸カルシウムが大量に沈殿しやすい環境だったと推測できる。その環境は現世よりもやや還元的な環境が広がっており、例えば、海洋大循環の衰退などが原因である可能性がある。同時に高 Mn, 低 Si, Al のほか副成分組成も異なる。現世でも石灰質軟泥の上で燐酸カルシウムが沈殿していることが確認されているため(Baturin, 1978)、燐酸塩化は炭酸塩の存在と関係していた可能性もある。以上のことからクラストに見られる燐酸塩化は前記の両方を満たすときのみ起こったと考えられる。しかし、構造が不明なため、さらに詳細スケールでの分析を行い、鉱物・化学形態明らかにしていく必要がある。

キーワード: マングクラスト, 鉱物資源, 北西太平洋, 海洋環境, 海山

Keywords: ferromanganese crust, mineral resource, NW pacific, marine environment, seamount

マンガンクラスト及び海底熱水鉱床に存在する原核生物の群集構造の特異性と共通性  
Uniqueness and commonality of prokaryotic community structures between ferromanganese crusts and hydrothermal polymetall

加藤 真悟<sup>1\*</sup>, 仁田原 翔太<sup>2</sup>, 山岸 明彦<sup>2</sup>  
Shingo Kato<sup>1\*</sup>, Shota Nitahara<sup>2</sup>, Akihiko Yamagishi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 理化学研究所バイオリソースセンター, <sup>2</sup> 東京薬科大学生命科学部

<sup>1</sup>RIKEN BioResource Center, <sup>2</sup>Tokyo University of Pharmacy and Life Science, Department of Molecular Biology

Approximately 70% of the surface of Earth is the seafloor. Metal deposits have been found on the seafloor in various areas. Sulfide deposits containing metals such as Fe, Cu and Zn, like chimneys or mounds, and iron-silica-rich deposits occur in the present and past hydrothermal fields (e.g., Kato et al., 2009; Hannington et al., 2011). Ferromanganese deposits rich in Co, Cu, Ni and Zn, in addition to Fe and Mn, are found on the deep seafloor of both hydrothermal and non-hydrothermal fields (e.g., Usui and Someya, 1997; Hein et al. 2000). Previous studies have revealed that diverse prokaryotes (Bacteria and Archaea) are present on and within the seafloor metal deposits (e.g., Kato et al., 2010; Nitahara et al., 2011). Considering the wide distribution of the metal deposits on the deep seafloor and the amount of metals concentrated in the deposits, the activities of prokaryotes in the metal deposits potentially contribute to elemental cycling and maintenance of ecosystems in the global ocean. However, our knowledge of prokaryotes (abundance, diversity, distribution, activity and productivity) on the seafloor metal deposits is still poor. Here, we summarize the recent data of diversity and composition of prokaryotic communities in a variety of metal deposits on the deep seafloor using the latest bioinformatics tools. This provides novel insights into the characteristics of prokaryotic communities on the deep seafloor metal deposits. In particular, we discuss the commonality and difference between ferromanganese crusts and other metal deposits on the deep-seafloor.

キーワード: マンガンクラスト, 海底熱水鉱床, 微生物群集

Keywords: ferromanganese crust, hydrothermal polymetallic ores, microbial community