

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23540535

研究課題名(和文) 現世および新生代海洋におけるマンガンクラストの形成環境

研究課題名(英文) Environment of Deposition of Manganese Crusts in the Modern and Cenozoic Oceans

研究代表者

臼井 朗 (Usui, Akira)

高知大学・総合研究センター・特任教授

研究者番号：20356570

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、以下の3つの成果が得られた。1) モデル海山における遠隔探査機による精密調査によって、北西太平洋の鉄・マンガン酸化物資源の分布・産状・偏在性の実態が把握され、資源形成の詳細な時間的および空間的変動パターンの特徴が明らかになった。2) マンガンクラストの組成・組織の時間変動が海洋古環境を記録する可能性を検証し、精密年代測定、微細層序の対比を行い、長レンジ堆積コアとしての意義が検証された。3) 有用金属元素の存在状態測定等により有用金属は、鉄およびマンガン酸化物への吸着、置換反応の選択性は分子レベル、あるいは鉱物化学的特徴等によって規制されることが例示された。

研究成果の概要(英文)：The multi-field, multi-institutional joint study on depositional environment of hydrothermal ferromanganese crusts have led the following three major conclusions; 1) the ROV-supported sophisticated shipboard observations and sampling of the ferromanganese crusts figured out the general pattern of variations of distribution and occurrence in space and in time in the NW Pacific seamounts, 2) the age dating and age-profiles in composition and microstructure at each column of the crusts ascertained the possibility of long-range reconstruction of paleoceanographic and geological conditions based on the short-core profiles, 3) many useful metals incorporated in the crusts are well related to regional distribution pattern and temporal pattern between samples, and thus probably controlled by molecular- to nano- scale surface properties of major ferromanganese compounds, simulated by absorption experiment and XAFS measurement and other conventional analyses.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：海洋地質 古海洋環境 レアメタル 成長速度 海底資源 海洋大循環 マンガンクラスト マンガン  
団塊

### 1. 研究開始当初の背景

大陸から遠く離れた深海底には、マンガンクラスト(以下クラスト)と呼ばれる、希少な金属元素を高濃度で含有する塊状・層状の重金属酸化物の分布が知られており、近年その資源的価値が注目されるようになった。一方、これら酸化物は、海水を起源として百万年に10mm以下の極めて小さい速度で成長するため、「一片のクラストから数百万年の環境変動記録」という斬新な着想に大きな期待が寄せられた。しかしそれ以降、年代測定法への疑問、分布実態の曖昧さ、生成モデルの欠如によって、大きな研究展開が見られず、研究対象としての価値は低迷していた。一方、研究代表者らは海洋環境変遷やイベントとクラスト内部の組成・組織の変動との対比を旨としたクラスト微細層序学を提唱し、研究の意義と展望を指摘し続けてきた。

近年実施した研究代表者らの研究結果に基づくと、現世の海洋でもクラストが生成中であることが仮定される。さらに、詳細な深海底の実地調査(研究代表者らが実施した、2009年ハイバードルフィン航海など)の結果、クラストは時空的に大きな広がりをもった、普遍的な堆積岩であることが予測される。クラスト中に認められる微細縞状構造、鉱物・化学組成、同位体組成の時系列変化プロファイルと、地殻運動・深層循環パターン変動との対応関係が指摘され始めた。

### 2. 研究の目的

太平洋の深海底に広く分布し、将来の有望なレアメタル資源とされるマンガンクラスト(海水起源の重金属堆積物)を長レンジの化学堆積岩ととらえ、海洋環境変遷や地球規模イベントなどの地質環境プロキシとしての意義を実証する。そのために、海底探査ロボットなどを用いた調査航海(実施済2航海、予定2航海)で得た非擾乱・非破壊試料の状態分析と現場環境データとの対比により、クラスト形成および重金属濃集モデルを構築する。さらに、形成モデルに基づいて、年代軸に沿った超高感度・微小部の組成分析・状態分析の結果を解析することにより、海洋環境パラメータの時空変動パターンとその規制要因を明らかにする。

そこで、本課題で目指すところは、研究チーム独自の精密年代測定法に基づいて、マンガンクラストが海洋掘削コアに匹敵する環境記録体としての有効性を実証することである。

### 3. 研究の方法

初年度から実施される探査ロボット航海で採取される非擾乱試料を高精度・微小スケールで分析・解析することによって、例えば、次のような地質現象や地球環境変化と、微細成長構造や組成変動との関連を明らかにする。

- ・新第三紀以降の表層地球の寒冷化
- ・海洋地殻と島弧変動帯との相互作用
- ・深層大循環に伴う海水の酸化還元プロファイル変動
- ・第四紀における氷期-間氷期の表層地球の気候変動などである。

以上、北西太平洋のクラストに記録され得ると予測される主な海洋環境変動と微細スケールの層序変化に注目し、堆積物コアに擬えて、化学組成、鉱物組成、同位体組成、酸不溶解鉱物、微細スケールの成長構造パターン、などに注目して、新生代～現世海洋まで期間のパラメータを対比した。

一方、マンガンクラストへの多様な金属元素の濃集機構や化学・鉱物形態の解明を目標として、大型放射施設(Spring-8)を用いたEAFS(X線吸収微細構造)や吸着実験のほか、XRF(蛍光X線分析)、EPMA(電子線マイクロアナライザ)や

SEM/EDS(電子顕微鏡/エネルギー分散分析)などの従来法を用いて微小部分分析も行った。

### 4. 研究成果

#### (1)概要

これらの研究成果は、学術論文、学会シンポジウム等での発表のほか、書籍、報道を通じて、一般向けにも発信してきた。科学研究の成果は多岐にわたるが、主に次の3領域に分けられる。

#### 資源分布の実態解明

現場測定、現場観察を活かした海山のスケールでの鉄・マンガン酸化物資源の分布・産状・偏在性の実態把握を目標に、レアメタル資源としての産状、分布、組成の時空変動のパターンの特徴づけを行った。遠隔探査機等を用いた先進的な調査によって、南鳥島近傍の海山において、かつて無い詳細スケールの時間空間的変動の様子を描くことができた。

#### 化学堆積岩としての環境復元

マンガンクラストの微細構造を地層と見立てて、対比の可能性を検討した。海洋古環境と時間変動との対応関係の検証を目指した。従来の年代測定法の適応限界や信頼性を検証した結果、新生代後期の深海底での広範な資源形成と高精度の成長過程、生成年代を求めることが可能となった。

#### レアメタル濃集メカニズム

有用金属元素を中心として、鉄・マンガン酸化物への吸着、濃集メカニズムを解明することを目的として、吸着実験、選択抽出実験、微小部分分析、分子スケールの沈殿形成や有用元素の濃縮メカニズムの素過程を解明した。

#### (2)詳細

順に研究成果の詳細を個別に記す。

#### 資源分布の実態解明

本研究課題に関連して、海洋研究開発機構の「かいよう」、「なつしま」、「淡青丸」、「第2白嶺丸」などの研究航海において、マンガンクラストの分布、産状調査に加えて、クラストを含む底質の無擾乱試料サンプリングに成功した。非破壊、無擾乱、定位置、非汚染試料を得ることができ、微生物群集解析、古地磁気測定、電子顕微鏡観察、海洋掘削コアに匹敵するクラストからの古海洋環境の復元に利用された。極く表層の微量を分析するという新たな試みによって、現世沈殿物の化学・鉱物組成の地域変動のパターンが見いだされた。

次に、一海山(太平洋プレート上、南鳥島周辺海域に位置する拓洋第5海山)をモデル地域として、100mスケールの詳細調査と試料採取・観察を行い、勾配20°程度の斜面から山頂部のほとんど平坦な基盤岩を覆う産状が確認された。一見すると形状や厚さなどに著しい多様性が見えるものの、成長速度や基盤岩、堆積物分布パターンとの関連を考慮すると、マンガンクラストの発達、分布、産状は、基盤の安定性および深海堆積作用といった地質環境条件がより強い影響を与えていることが判明した。

同時に、フィリピン海プレート上、沖ノ鳥島周辺の九州パラオ海嶺域の海山における同等の調査と分析・解析の結果、副成分には地域特性、水深規制が見られるものの、主成分の鉄・マンガン酸化物の生成の時空変動には桁違いの大きな変化は見られないことが分かった。

#### 化学堆積岩としての環境復元

マンガンクラストやマンガン団塊は通常の堆積岩に類を見ないほど成長速度が小さいと信じられてきたが、複数の手法、詳細スケール、あるいは広域的対比、という現場調査の実例に乏しい。古海洋環境復元あるいは地質イベントの記録者としての意義を検証することが、重要な目的である。本研究では、述べたモデル海山周辺に

おける広い水深範囲(6000m から 900m)の岩石露頭を被覆して普遍的に分布することが確認され、マンガン酸化物鉱床は、普遍的な海成化学堆積岩であることを強く示唆した。本研究では、マンガクラストに対して、堆積物コアの解析手法を適用して、環境記録者であるコアと成りうるか検証した。第一の要件、年代値は、宇宙線生成放射性核種(Be-10)、安定同位体層序(Re-Os)、残留磁化、微化石などの方法を用いて、複数のクロスチェックを行った結果、非常に整合的な結果が得られ、概ね 100 万年に 3-8mm 程度の平均成長速度を持ち、表層の年代は基本的に現世である。従って例えば 10cm 厚のマンガクラストの年令は最大 5000 万年前にさかのぼる可能性が指摘された。一方で、個々の同位体年代には約 10%の誤差が見込まれること、成長時期によって成長速度の変化があること、稀に成長の停止(現世の場合もある)も認められることなども、課題として残された。

次に、連続性と保存性の問題が重要である。長レンジでの連続成長は保証されたが、成長速度の変動を引き起こす要因は特定されなかった。保存性は、軽元素(Beなど)の移動の証拠が無いこと、二次的な濃集、元素再移動、交代などが顕微鏡観察によってほとんど認められないことで保証することができた。状況証拠しか提示できないが、クラスト中の時代軸に沿った、化学組成、鉱物組成、同位体組成、構造、物性などは何らかの環境変動のプロキシとなる可能性が指摘された。

次に、様々な物性、組成、組織の変動と環境条件の対比が求められるが、これは海山周辺域の現世の海洋環境(物理、地質、化学、生物)とクラスト表層の性状との対比によって、解決できる糸口が示された。一例として水深と副成分の変動の線形の関連はその証拠となりうるだろう。

同様の検討は微生物研究グループによる群集解析や特定機能の検証を行った、その結果、水深方向の群集に顕著な特異性や傾向が認められないことが指摘され、これは、鉄・マンガン酸化物の生成反応は広い水深範囲で進行していることを示す。この結果は、マンガクラストの成長速度が比較的一様であることと整合的である。

以上の結果から、マンガクラストの環境変動の手法としての意義が認められ、今後の展開が期待できる。

#### 多様なレアメタル濃集メカニズム

マンガクラストを構成する鉱物の結晶或いは化合物の粒子のサイズはマイクロメートル( $\mu\text{m}$ )以下のスケールであることが高解像度電子顕微鏡観察から明らかとなった。このスケールはコロイドからナノ物質の領域であり、従来の鉱物記載の範疇を超えている。基本的な主要構成物は、鉄酸化物、マンガン酸化物、および砕屑起源の粒子と推定され、副成分はこれらに強く依存していることが再認識された。しかし、各鉱物あるいは成分あるいは化合物の単体粒子を視認するには至らず、統計的解析を超えた記載は困難であった。一方、バルク(全岩)組成は水深方向、年代軸方向に系統的な変動パターンが認められることから、基本となる鉱物(化合物)の同定が不可欠の課題であることに変わりない。

本研究では、コバルト、希土類元素、白金などについて、放射光を用いた状態分析(Spring-8)、室内吸着実験、選択抽出試験などを通じて、元素の鉱物形態、化学状態、価数、吸着のメカニズムなどの素過程が明に成りつつある。例えば、セリウムは+4価として、コバルトは+3価として、マンガクラストに取りこまれていることなどが明らかになった。他の元素も地域偏在性、時間変動が顕著であるが、その原因を生成当時の地質

環境、物理・化学的環境によって解釈するという展開に期待がもたれる。

全体として、本研究を実施した結果、1)北西太平洋域(下記の日本鉱区を含む)におけるマンガン酸化物の生成は、新生代~現世まで、水深 1000m 程度(現世の酸素極小層付近)から深海底まで広い時空分布を示す、2)マンガクラストを長レンジのコアとしての意義を検証した結果、年代、保存性、連続性が保証され、注意深い処理と解析により、低解像度-長レンジコアとみなすことが可能である、3)海底レアメタル鉱床の生成には、鉄・マンガン酸化物は大きな役割を示しており、サブミクロン-ナノスケールの記載に展望が認められる、ことが示唆された。

なお、本研究課題の実施期間中に、我が国は、国際海底機構に対して、国連海洋法に基づくコバルトリッチ・マンガクラストの専用探査鉱区(南鳥島南東方に合計 3000k m<sup>2</sup>)を申請し、平成 25 年 7 月に承認された。本研究結果の一部はその申請の科学的根拠を示す資料としても提示され、日本鉱区獲得に際して大きな役割を果たしたことを付け加えておく(2013、国際海底機構 HP)。

#### 5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計 26 件)

以下の全論文が査読有り。

1. Okamoto, N. and Usui, A. (2014) Regional Distribution of Co-rich Ferromanganese Crusts and Evolution of the Seamounts in the Northwestern Pacific. *Marine Georesources and Geotechnolology*, 32(3), pp.187-206.
2. Kikuchi, S., H. Makita, K. Takai, N. Yamaguchi, and Y. Takahashi (2014) Characterization of Biogenic Iron Oxides Collected by the Newly Designed Liquid Culture Method using Diffusion Chambers, *Geobiology*, 12, pp.133-145.
3. Kashiwabara, T., Y. Oishi, A. Sakaguchi, T. Sugiyama, A. Usui, and Y. Takahashi (2014) Chemical processes for the extreme enrichment of tellurium into marine ferromanganese oxides, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 131, pp.150-163.
4. Takagai, Y., M. Furukawa, Y. Kameo, K. Suzuki (2014) Sequential Inductively Coupled Plasma Quadrupole Mass-spectrometric Quantification of Radioactive Strontium-90 Incorporating Cascade Separation Step for Radioactive Contamination Rapid Survey. *Anal. Methods*, 6, pp.319-630. DOI:10.1039/c3ay41067f.
5. Zheng, G., K. Suzuki, A. Kuno, M. Matsuo, B. Takano and H. Shimizu (2014) Osmium geochemistry of modern estuarine sediments from the Tama and Yasaka rivers in Japan. *Appl. Geochem.*, 40, pp.82-88, doi:10.1016/j.apgeochem.2013.11.003.
6. Chen, M.-M., W. Tian, K. Suzuki, M. L. G. Tejada, F.-L. Liu, R. Senda, C.-J. Wei, B. Chen, Z.-Y. Chu (2014) Peridotite and pyroxenite xenoliths from Tarim, NW China Evidence for mantle depletion and mantle refertilization in the mantle source region of the Tarim flood basalt, *Lithos*, DOI: 10.1016/j.lithos.2014.01.005
7. Honda, M., S. Yabuki, K. Suzuki, W. Ye, and Y. Tatsumi (2014) Re-Os isotopic records in Pleistocene loess-paleosol sequences from the Yili Basin, northwestern China. *Chem. Geol.*, 373, pp.71-86.
8. Kashiwabara, T., Takahashi, Y., Marcus, M.A., Uruga, T., Tanida H., Terada Y., Usui, A. (2013) Tungsten species in natural

ferromanganese oxic ocean from molybdenum, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 106, pp.364-378.

9. Nakada, R., M. Tanimizu, and Y. Takahashi (2013) Difference in the stable isotopic fractionations of Ce, Nd, and Sm during adsorption on iron and manganese oxides and its interpretation based on their local structures. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 121, pp.105-119.

10. Nakada, R., Y. Takahashi, and M. Tanimizu, (2013) An isotopic and speciation study on cerium during its solid-water distribution with implication for Ce stable isotope as a paleo-redox proxy. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 103, pp.49-62.

11. Ma, G.S.-K., J. Malpas, K. Suzuki, C.-H. Lo, K.-L. Wang, Y. Iizuka, C. Xenophontos (2013) Evolution and origin of the Miocene intraplate basalts on the Aleppo Plateau, NW Syria, *Chem. Geol.*, 335, pp.149-171.

12. Nozaki, T., Y. Kato and K. Suzuki (2013) Late Jurassic ocean anoxic event: evidence from voluminous sulphide deposition and preservation in the Panthalassa. *Sci. Rep.*, 3, 1889, DOI:10.1038/srep01889.

13. Goto, K. T., Y. Sekine, K. Suzuki, E. Tajika, R. Senda, T. Nozaki, R. Tada, K. Goto, S. Yamamoto, T. Maruoka, N. Ohkouchi, N. O. Ogawa, (2013) Redox conditions in the atmosphere and shallow marine environments during the first Huronian deglaciation: Insights from Os isotope sand redox-sensitive elements. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 376, pp.145-154.

14. Sato, H., T. Onoue, T. Nozaki and K. Suzuki (2013) Osmium isotope evidence for a large Late Triassic impact event. *Nature. Commun.*, 4, 2455p.

15. Shibuya, T., M. Yoshizaki, Y. Masaki, K. Suzuki., Takai, M. J. Russell (2013) Reactions between basalt and CO<sub>2</sub>-rich seawater at 250 and 350 °C, 500 bars: implications for the CO<sub>2</sub> sequestration into the modern oceanic crust and the composition of hydrothermal vent fluid in the CO<sub>2</sub>-rich early ocean. *Chem. Geol.*, 359, pp.1-9.

16. Kashiwabara, T., Takahashi, Y., Tanimizu, M., Usui, A. (2011) Molecular-scale mechanisms of distribution and isotopic fractionation of molybdenum between seawater and ferromanganese oxides. *Geochim. Cosmochim. Acta* 75 (19), pp. 5762-5784.

17. Nishihara, S., Kato, S., Urabe, T., Usui, A., Yamagishi, A. (2011) Molecular characterization of the microbial community in hydrogenetic ferromanganese crusts of the Takuyo-Daigo Seamount, northwest Pacific. *FEMS Microbiology Letters* 11-02-0139.R3.

18. Oda, H., Usui, A., Miyagi, I., Joshima, M., Weiss, B.P., Shantz, C., Fong, L.E. and Baudenbacher, F.J. (2011) Ultrafine-scale magnetostratigraphy of marine ferromanganese crust. *Geology* 39 (3), pp. 227-230.

[学会発表] (計 103 件)

1. 高橋嘉夫 (2014) 環境・地球化学における放射光赤外分光法 (SR-FT-IR) の利用可能性 (2014 年 1 月 12 日、第 27 回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウム企画講演 5 『放射光ビームラインの横断的利用: 赤外線と硬 X 線・軟 X 線』、広島国際会議場、参加者 400 名)

2. Toyofuku, T., Nozaki, T., Goto, K., Suzuki, K., Kimura, J., Chang, L.Q., Agustin, A.H., Kitazato, H. (2013) Age determination of the manganese crust of whale fossil bones from the

Sao Paulo Ridge, Quelle First post-cruise meeting, 2013/11/25

3. Nakada, R., M. Tanimizu, and Y. Takahashi (2013) Stable isotopic fractionation of cerium as a potential paleo-redox proxy. The International Biogeoscience Conference 2013. (Nagoya, Japan, 2013/11/2-4, 参加者約 200 名)

4. 鈴木勝彦 (2013) レニウム - オスミウム年代測定法の資源探査への展開, 日本鉱業振興会試験研究報告会, 2013/10/31

5. Kikuchi, S., H. Makita, F. Shiraishi and Y. Takahashi (2013) Spatial Changes of Bacterial Community and Mineral Species along Chemical Gradient in Iron-rich Sediment, The 21st International Symposium on Environmental Biogeochemistry (Wuhan, China, 2013/10/13-18, 参加者約 200 名)

6. Usui, A., Nishi, K., Sato, H., Graham, I., Urabe, T., Thornton, B., Okamoto, N. (2013) Geological Characterization of Co-rich Ferromanganese Crusts over the Northwestern Pacific Seamounts. OCEANS 2013, SAN DIEGO. 2013/9/23-26

7. 藤本潤, 田中万也, 高橋嘉夫 (2013) 鉄還元菌を用いたマンガン団塊中の REE 同時抽出, 濃縮法, 日本地球化学会第 60 回年会 (つくば, 2013/9/11-13, 参加者 416 名)

8. 有賀大輔, 田中雅人, 柏原輝彦, 高橋嘉夫 (2013) 分子軌道法および XAFS 法を用いたケロム酸やモリブデン酸の固相吸着に伴う同位体分別機構の解明, 日本地球化学会第 60 回年会 (つくば, 2013/9/11-13, 参加者 416 名)

9. 井上美南, 坂口綾, 高橋嘉夫, 臼井朗 (2013) 鉄マンガンクラスト中の HFS 元素に関する研究, 日本地球化学会第 60 回年会 (つくば, 2013/9/11-13, 参加者 416 名)

10. 後藤孝介, 鈴木勝彦, 柏原輝彦, 高谷雄太郎, 下田玄, 野崎達生, 仙田量子, 清川昌一, Frank Nyamek. (2013) 原生代前期ガーナ・エンスタマンガン鉱床の地球化学的特徴: 海洋酸化還元環境への示唆, 日本地球化学会 2013, 2013/9/13

11. Kashiwabara, T. and Y. Takahashi (2013) Tungsten Species in Natural Ferromanganese Oxides Related to its Different Behavior from Molybdenum in Oxidic Ocean, Goldschmidt 2013, (Florence, Italy, 2013/8/25-30, 参加者約 4000 名).

12. Ariga, D. M. Tanaka, T. Kashiwabara and Y. Takahashi (2013) Systematic Understanding of Adsorption of Oxyanions of Cr, Mo, and W at Solid/Water Interfaces, Goldschmidt 2013, (Florence, Italy, 2013/8/25-30, 参加者約 4000 名).

13. Nakada, R., Y. Takahashi, and M. Tanimizu (2013) Cerium stable isotope fractionation as a potential paleo-redox proxy. The 23rd Goldschmidt Conference. (Florence, Italy, 2013/8/25-30, 参加者約 4000 名)

14. Onoue, T., Sato, H., Nozaki, T., Kuroda, J., Suzuki, K. (2013) Meteorite impact, volcanism, and radiolarian faunal turnover recorded in the Upper Triassic of Japan, 23th V.M. Goldschmidt conference, 2013/8/28

15. 藤本潤, 高橋嘉夫, 田中万也 (2013) 鉄還元菌を用いたマンガン団塊中の希土類元素の同時抽出, 濃縮法. 第 22 回環境化学討論会. (東京農工大学府中キャンパス, 2013/7/31-8/2, 参加者約 700 名)

16. 山岡香子 (産総研), D. Borrok (ルイジアナ大学), 臼井朗 (高知大・理) マンガンクラスト・団塊及び熱水マンガン酸化物の鉄同位体組成, 資

源地質学会第 63 回年会,東京(東京大学)2013/6/26-28

17. 中里佳央, 佐藤久晃, 西圭介, 安田尚登, 臼井朗(高知大・理), 後藤孝介(産総研), I. Graham(GNS)(2013)古海洋環境復元を目指した海水起源マンガングラストの微細層序学的研究, 資源地質学会第 63 回年会,東京(東京大学), 2013/6/26-28

18. 野崎達生, 後藤孝介, 得丸絢加, 高谷雄太郎, 鈴木勝彦, 常青, 木村純一, 加藤泰浩, 下田玄, 臼井朗, 浦辺徹郎(2013)太平洋およびフィリピン海に分布する Fe-Mn クラストの Os 同位体比層序学, 日本地球惑星科学連合大会 2013, 千葉(幕張メッセ).2013/5/22-24

19. 後藤孝介, 野崎達生, 鈴木勝彦, 得丸絢加, 臼井朗, 常青, 木村純一, 浦辺徹郎(2013)北西太平洋における鉄マンガングラストの形成史: オスミウム同位体比・微量元素分析より得られた知見, 日本地球惑星科学連合大会 2013, 千葉(幕張メッセ). 2013/5/22-24

20. 小田啓邦, 宮城磯治, 臼井朗(2013)北西太平洋のマンガングラストに記録されたミランコビッチ周期と環境変動, 日本地球惑星科学連合大会 2013, 千葉(幕張メッセ). 2013/5/22-24

21. 高橋嘉夫, 柏原輝彦, 有賀大輔, 坂口綾, 井上美南, 臼井朗(2013)鉄マンガングラスト・団塊中に対するスペシエーション分析から分かる海洋中の様々な元素が受ける化学プロセス, 日本地球惑星科学連合大会, 千葉(幕張メッセ). 2013/5/22-24

22. 臼井朗, 佐藤久晃, 西圭介, 坂口綾, 井上美南, 高橋嘉夫, y, 得丸綾香, 浦辺徹郎, 仁田原翔太, 後藤孝介, 小田啓邦, 森下祐一, 山岡香子, 柏原輝彦, 野崎達生, 鈴木勝彦, 伊藤孝, 加藤真悟(2013)海底マンガングラスト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, 日本地球惑星科学連合大会 2013, 千葉(幕張メッセ). 2013/5/22-24

23. 山岡香子, デビッドボロック, 臼井朗(2013)海底鉄マンガングラストの鉄同位体組成, 日本地球惑星科学連合大会, 千葉(幕張メッセ). 2013/5/22-24

24. 伊藤孝(2013)地球史における海洋マンガングラストの時空分布とその海洋環境との関連性, 日本地球惑星科学連合大会 2013, 千葉(幕張メッセ)2013/5/23

25. 中田亮一, 臼井孝明, 高橋聡, 鈴木紀毅, 小川和広, 高橋嘉夫(2013)ジュラ紀付加体産する炭酸マンガングラスト形成過程の地球化学的制約, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会.(幕張, 2013/5/19-24. 参加者約 7000 名)

26. 徳永紘平, 横山由佳, 高橋嘉夫(2013) XAFS 法を用いた鉱物への微量元素の取り込みの解明, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会.(幕張, 2013/5/19-24. 参加者約 7000 名)

27. 後藤孝介, 伊藤孝, 鈴木勝彦, 高谷雄太郎, 下田玄, 野崎達生, 仙田量子, 清川昌一, NyameF.K.(2013) Geochemistry of the Paleoproterozoic Nsuta Mn deposit of Ghana: Implication to the atmosphere and ocean redox state, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 2013/5/24

28. 高橋嘉夫(2013)地球表層での元素濃度, 同位体比, 物質循環を支配するナノ鉱物(2013年 5 月 20 日, 地球惑星科学連合大会 2013, 幕張メッセ, 参加者 7000 名)

29. 尾上哲治, 佐藤峰南, 野崎達生, 黒田潤一郎, 鈴木勝彦(2013) Meteorite impact, volcanism, and radiolarian faunal turnover recorded in the Upper Triassic bedded chert in Japan, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 2013/5/19

30. Usui, A. (2012) Geochemical and Mineralogical Characterizations of Ferro-manganese Crusts by ROV Mapping and Sampling in the NW Pacific Seamounts, UMI2012, Shanghai, China. 2012/10/15-20

31. 佐藤久晃, 西圭介, 臼井朗, 田中真理子, Ian Graham, (2012) 拓洋第 5 海山におけるマンガングラストの主要構成元素(Fe, Mn)と含有有用元素(Co)の時間・空間変動, 日本地球化学会第 59 回年会, 福岡. 2012/9/11-13

32. 西圭介, 臼井朗, 松崎浩之, 佐藤久晃, 坂口綾, 井上美南(2012)流星海山におけるマンガングラストの古海洋環境記録としての可能性. 日本地球化学会第 59 回年会, 福岡. 2012/9/11-13

33. 後藤孝介, 野崎達生, 鈴木勝彦, 得丸絢加, 臼井朗, 常青, 木村純一, 浦辺徹郎(2012)鉄マンガングラストの Os 同位体比層序. 日本地球化学会第 59 回年会, 福岡. 2012/9/11-13

34. 井上美南, 坂口綾, 高橋嘉夫, 松崎浩之, 臼井朗(2012)流星海山における鉄マンガングラストの成長速度および元素組成. 日本地球化学会第 59 回年会, 福岡. 2012/9/11-13

35. Oda, H., Miyagi, I. and Usui, A. (2012) Environmental Record of Northwestern Pacific for the Last several million years archived in ferromanganese crusts. Asia Oceania Geological Society, Resorts World Convention Center, Singapore. 2012/8/13-17

36. Usui, A., Sakaguchi, A., Thornton, B., Tokumaru, A., Urabe, T. and Takahashi, Y. (2012) Patterns of Regional and Secular Variations in Composition, Mineralogy and Microstructure of the Hydrogenetic Ferromanganese Crusts over the NW Pacific Seamounts. IGC, Adelaide, Australia. 2012/8/5-10

37. 佐藤久晃, 西圭介, 臼井朗, 坂口綾, 井上美南, I. Graham, NT09-02 航海および KY11-02 航海研究者一同(2012)北西太平洋域の海山におけるマンガングラストの産状, 成長過程, 組成変動: 拓洋第 5 海山および流星海山の例. 資源地質学会第 62 回年会, 東京. 2012/6/27-29

38. Tokumaru, A., Nozaki, T., Goto, K., Tanaka, Y., Suzuki, K., Chang, Q., Kato, Y., Usui, A. and Urabe, T. (2012) Temporal and depth variation of Os isotope composition in ferromanganese crusts from the Takuyo Daigo Seamount, NW Pacific Ocean. Goldschmit 2012, Montreal. 2012/6/24-29

39. 臼井朗, 坂口綾, 高橋嘉夫, 得丸絢加, 浦辺徹郎, 鈴木勝彦(2012)北西太平洋域におけるマンガングラスト生成環境の時空変動. 日本地球惑星科学連合大会, 千葉. 2012/5/20-25

40. Sugiyama, T., Sakaguchi, A., Usui, A., Takahashi, Y. (2012) Enrichment mechanisms of tellurium in ferromanganese crusts. 日本地球惑星科学連合大会, 千葉. 2012/5/20-25

41. 野崎達生, 後藤孝介, 得丸絢加, 高谷雄太郎, 鈴木勝彦, 常青, 木村純一, 加藤泰浩, 臼井朗, 浦辺徹郎, NT09-02 乗船者一同(2012) Fe-Mn クラストから新生代海水の化学進化を解読する, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 千葉, 2012.5.25

42. 杉山敏基, 坂口綾, 柏原輝彦, 臼井朗, 高橋嘉夫(2012)鉄・マンガングラスト中のテルル濃集機構. 日本地球惑星科学連合大会 2012, 千葉. 2012/5/20-25

43. 後藤孝介, 野崎達生, 鈴木勝彦, 得丸絢加, 臼井朗, 常青, 木村純一, 浦辺徹郎(2012) オスミウム同位体比に基づく拓洋第五海山における鉄マンガングラスト成長速度の時間・空間変

化.地球惑星科学連合 2012 連合大会, 幕張.  
2012/5/20-25  
44. 得丸 絢加, 野崎達生, 鈴木勝彦, 後藤孝介,  
高谷雄太郎, 常青, 加藤泰浩, 臼井朗, 浦辺  
徹郎 (2012) 拓洋第 5 海山に分布するマンガン  
クラストの Os 同位体比を用いた成長速度決定.  
地球惑星科学連合 2012 連合大会, 幕張.  
2012/5/20-25  
45. Sakauchi, A., Sugiyama, T., Usui, A.,  
Takahashi, Y. (2012) Enrichment mechanisms of  
tellurium in ferromanganese crusts at EGU2012,  
Vienna. 2012/4/22-27.  
46. 臼井朗, 佐藤久晃, 西圭介, 得丸綾香, プレ  
アソントン, 坂口綾, 杉山敏基, 井上南, 仁田  
原翔太, 加藤真悟 (2012) 北西太平洋域マンガン  
クラストの生成環境と成長プロセス: ハイパー  
ドールフィンによる詳細マッピングと微細スケール解  
析-九州パラオ海嶺・流星海山および小笠原海  
台・東海山-. ブルーアース 2012 シンポジウム,  
東京. 2012/2/22-23  
47. Usui, A., Blair, T., Urabe, T., Tanaka, M.,  
Tokumaru, A. et al. (2011) Small-scale ROV  
Mapping of the Ferromanganese Crusts over the  
Seamounts in the NW Pacific. OCEANS '11,  
Kona, Hawaii. 2011/9/20  
48. 杉山敏基, 坂口綾, 高橋嘉夫, 柏原輝彦,  
大石泰子, 臼井朗 (2011) 鉄・マンガンクラストへ  
のテルルムの濃集機構. 日本地球化学会年会. 札  
幌. 2011/9/16  
49. Okamoto, N. & Usui, A. (2011) Features Of  
Distribution Pattern Of Cobalt-Rich  
Ferromanganese Crusts On The Micronesian  
And Marshall Islands Seamounts. 40th  
Underwater Mining Institute Conference at Hilo,  
Hawaii. 2011/9/16  
50. Usui, A., Thornton, B., Urabe, T., Tokumaru,  
A., Sakaguchi, A., Kato, S., Sato, H., Tanaka, M.  
(2011) Observation and Sampling of the  
Seamount Ferromanganese Crusts with a  
Remotely Operated Vehicle (ROV): Advantages  
in Geochemical and Geological Characterization.  
40th Underwater Mining Institute Conference at  
Hilo, Hawaii. 2011/9/16  
51. 得丸 絢加, 野崎達生, 鈴木勝彦, 高谷雄太  
郎, 藤永公一郎, 加藤泰浩, 常青, 浦辺徹郎,  
臼井朗 (2011) 拓洋第 5 海山に分布する Fe-Mn  
クラスト表面試料の Os 同位体比および微量元  
素組成の地球化学的特徴. 日本地球化学会年  
会. 札幌. 2011/9/14  
52. 臼井朗, 高橋嘉夫, 坂口綾, 伊藤孝, 鈴木勝  
彦, 浦辺徹郎, 得丸絢加, B.ソートン, 小田啓  
邦, 森下祐一, 加藤真悟 (2011) 現世及び新生代  
海洋におけるマンガンクラストの形成史と環境変  
遷. 日本地質学会年会 (水戸) 2011/9/10  
53. 得丸 絢加, 浦辺徹郎, 臼井朗, ソートンブ  
レア, サンゲカー・ビュール, 加藤真悟, 喜多純子,  
柏原輝彦, 烏田明典, 窪田薫, 中村淳路 (2011)  
拓洋第 5 海山におけるマンガンクラストの地球化  
学的特徴. 資源地質学会第 61 回年会. 東  
京. 2011/6/24  
54. Inoue, M., Sakauchi, A., Takahashi, Y.,  
Usui, A., Matsuzaki, H. (2011) Determination of  
growth rates and elemental composition of  
ferromanganese crusts from Ryusei Seamount,  
Philippine-sea plate, Hiroshima International  
Symposium on Sustainability Sciences.  
Hiroshima University. 2011/3/8  
55. Sugiyama, T., Sakauchi, A., Usui,  
Takahashi, Y. (2011) Enrichment mechanism of  
Tellurium in ferromanganese crusts, Hiroshima  
International Symposium on Sustainability  
Science. Hiroshima University. 2011/3/8

56. Thornton, B., 浦 環, 浅田 昭, 臼井 朗, 佐  
藤 久晃, 得丸 絢加, 若林 明, Sangekar, M.,  
大平克己, 中田正明, 桐村 大吾, 矢野 裕亮  
(2011) 音響厚み計測・3D 画像マッピングを用い  
た拓洋第 5 海山におけるマンガンクラスト調査.  
ブルーアースシンポジウム(東京)2011/3/7  
[図書] (計 5 件)

1. 産総研チーム G ほか (2014) 共著, 薄片でよく  
わかる「岩石図鑑」, 誠文堂新光社, 220pp.  
2. 臼井朗, 安熙道 (2013) 海底鉱物資源-未利  
用レアメタル資源の探査と開発- (韓国語訳),  
CIR 出版, ソウル, 269pp.  
3. 飯笹幸吉ほか (2013) 共著. マンガン団塊とマ  
ンガンクラストの実態, 海底鉱物資源の産業利  
用, シーエムシー出版, p.114-123.  
[産業財産権]  
出願状況 (計 1 件)  
名称: ストロニウム 90 の分析方法および分析  
装置  
発明者: 国立大学法人福島大学および株式会  
社パーキンエルマー・ジャパン  
権利者: 同上  
種類: 特許  
番号: 2013.228690  
出願年月日: 2013.11.1  
国内外の別: 国内  
[その他]  
報道記事  
・高知新聞「海の未利用資源講演会」2014.2.2  
・テレビ番組協力: NHK 特集「黄金の国ジバング  
(2014.2.1 放映)」

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

臼井朗 (USUI Akira)  
高知大学総合研究センター特任教授  
研究者番号: 20356570

### (2) 研究分担者

\* 高橋 嘉夫 (TAKAHASHI Yoshio)  
広島大学理学研究科教授  
研究者番号: 20304395  
\* 伊藤 孝 (ITO Takashi)  
茨城大学教育学部理科教育教授  
研究者番号: 10272098  
\* 鈴木 勝彦 (SUZUKI Katsuhiko)  
海洋研究開発機構資源プロジェクトリーダー  
研究者番号: 70251329

### (3) 連携研究者

\* 浦辺 徹郎 (URABE Tetsuro)  
東京大学理学研究科教授  
研究者番号: 50107687  
\* プレアソントン (Blair THORNTON)  
東京大学生産技術研究所准教授  
研究者番号: 60526789  
\* 山岸 明彦 (YAMAGISHI Akihiko)  
東京薬科大学生命科学部教授  
研究者番号: 50158026  
\* 小田 啓邦 (ODA Hirokuni)  
産業技術総合研究所地質情報研究部門主  
任研究員  
研究者番号: 90356725  
\* 坂口 綾 (SAKAGUCHI Aya)  
広島大学理学研究科助教  
研究者番号: 00526265  
\* 森下 祐一 (MORISHITA Yuichi)  
産業技術総合研究所地質情報部門グルー  
プリーダー  
研究者番号: 90358185