

令和元年6月11日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K05581

研究課題名(和文) グローバル～ナノスケールで解き明かす海底マンガクラスト・マンガ団塊の地球科学

研究課題名(英文) Geoscientific consideration of marine manganese crusts and nodules on global to nano-scales.

研究代表者

臼井 朗 (Usui, Akira)

高知大学・海洋コア総合研究センター・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) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：北西太平洋に広く分布する海底マンガ鉱床は、将来のレアメタル資源として探査が進むものの、その多様な分布・組成・産状やその成因・生成環境は詳しく解明されていない。この研究では、組織/物性/組成をマイクロなスケールで記載することを通じて、その地球規模の環境変動との関連、地球科学的規制要因把握を試みた。内閣府プロジェクト(SIP)や他機関などとの共同研究とも連携して、先端的調査機材や分析技術に基づく解析により、この鉱床は中期中新世(おおむね2千万年前)から現在までほぼ連続に成長・積算し、その組成変動は海水の物理化学的環境条件に規制された海水中の金属元素の化学形態が主要因であることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究成果は、新生代海洋の古海洋学的環境変動と海水研における重金属元素の地球化学的挙動との関連解明に活用することができ、例えば、海洋大循環の地質時代における変動や惑星の軌道要素、短期間の地質イベントなどとの対応、さらに海洋環境復元の基礎資料としての意義が確認された。今後は海洋コアとの対比を含めた研究展開が期待できる。同時に現在我が国などが、国家事業として進めている、海底レアメタル資源の探査/開発に当たり、我々のデータは、鉱区選定や資源量評価に当たっての理論的根拠を与えることができる。

研究成果の概要(英文)：Deep-sea ferromanganese crusts and nodules are potential future metal resources for Co, Ni, REE, Pt or other elements, but the chemical and physical properties are yet fully understood on nano- to global scales. We, jointly with national and international institute, conducted hi-tech analyses and on-site exploration for understanding the geoscientific parameters controlling their compositional and physical properties and their variability. Our 3-year research program provided important geochemical and mineralogical and chronological data of ultra-slow growth, modern precipitation, water-depth dependency of some redox-sensitive soluble metal elements, which are of practical use in exploring the ore deposits or in archiving the pleoceanographic environments.

研究分野：海洋地質学

キーワード：レアメタル 海底鉱物資源 酸素極小層 深層水 海山 北西太平洋 酸化還元環境 結晶

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

世界の海洋底に広く分布する鉄・マンガン酸化物を主体とする化学堆積岩である、マンガングラストや団塊は、将来の金属資源としての意義とともに長レンジの海洋コアとしての意義が提唱されながらも、その明確な有効性が示された事例は少ない。我が国は周辺海域の地質学的な優位性から、コバルトリッチマンガングラストの資源探査は40年以上続けられてきたものの、その詳しい成因研究に関わる研究プロジェクトはほとんど無かった。2010年に世界で初めてのROVを用いた海山のマンガングラストの研究が我が国で実施され、そのため、急激に海底マンガングラストの産状、分布、組成に関わる情報が急激に増加し、全体像が浮き上がってきた。

この研究は、資源としての価値とは離れて、鉄マンガングラストを海洋コアとして扱う初めての地球科学的研究プログラムといえる。

2. 研究の目的

北西太平洋は、世界で最も古い年代を示す海底地殻におびただしい数の巨大海山が密集する特異な海域である。同時に、有望なレアメタル資源と期待される「マンガングラスト」の最大濃集域でもあり、近年、その広い分布と組成的多様性が指摘され、また地域変動の法則性や偏在性の実態が徐々に明らかになってきた。本研究では独自の研究結果に基づく作業仮説「マンガングラストの多様性を決定する要因は、海山近傍の地質学的、海洋化学的、水理学的環境条件とその歴史的積層である」ことの検証を目的とする。ここでは、南鳥島近傍の海山をモデル海域として、海洋調査船も用いた現地調査も加え、その産状、組成の多様性を把握するとともに、海山の構造発達史・海洋環境変動史との対応関係を解明するため、海洋地質学、地球化学、鉱物学、年代学、堆積学等の立場で、資源形成の生成プロセスを明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、大きく(1)現場環境の把握、(2)年代モデルに基づいた生成過程の解明、(3)マイクロ～ナノスケールの元素の存在状態と濃縮メカニズムの解明、を目標として、3機関間で共同研究を行う。同時に進行中の内閣府SIP(戦略的イノベーションプロジェクト:次世代海洋調査技術)の大学公募研究課題「海底マンガングラストの多様性に関する地球科学的研究」やそのほかの関連科研費課題と連携して、海洋現場の調査および海底試料のサンプリングを行い、海洋環境情報の解析と試料の詳細分析を実施する。

生成現場の地球化学的、海洋学的、地質学的な背景を把握した上で、各々の環境に合わせた不攪乱サンプルを採取する。現場データと現世沈殿物との対比が必要となるので、調査航海による現場調査を実施する。モデル海域とした拓洋第5海山周辺海域では、平成28年度には「かいこう」航海(KR16-13)が計画され、その後、平成30年度までに併せて4回の研究航海も実施された。他に資源探査航海(JOGMEC)の試料やデータも参考とした。過年度に実施された多くのROV研究航海でも、充実した未分析試料、データが取得され、多くが高知大学などで保管されている。担当者らが所属する高知大学、東京大学、JAMSTECが所有する先端的な分析機器、研磨薄片を用いて、マンガングラスト(クラストや団塊)の年代、組成、構造などを顕微鏡スケールで記載、分析を行う。特に、回収した沈着容器のナノスケール記載、鉱物化学、現世析出物の組成と海洋環境の関連を追及する。高知大学では、主に現場把握と年代モデル、東京大学ではマイクロ～ナノスケールの記載、JAMSTECでは状態分析と吸着メカニズム解明を分担して研究する。各々、海洋コアセンターの微細分析装置類、X線分析装置STEM等、シンクロトロンによる吸着構造に集中した分析を実施する。

4. 研究成果

北西太平洋に広く分布する海底マンガングラストは、将来のレアメタル資源として探査が進むものの、その多様な分布・組成・産状やその成因・生成環境は詳しく解明されていない。この研究では、組織/物性/組成をマイクロなスケールで記載することを通じて、その様々な時間空間的多様性と地球規模の環境変動との関連や地球科学的規制要因把握を試みた。内閣府プロジェクト(SIP)や他機関などとの共同研究とも連携して、先端的調査機材や分析技術に基づく解析により、この鉱床は中期中新世(おおむね2千万年前)から現在までほぼ連続に成長・積算されたものであり、その組成変動は海水の物理化学的環境条件に規制された海水中の金属元素の化学形態が主要因であることがわかった。

過年度のJAMSTEC船舶による研究航海で得られた試料を、海洋コアと同様に古海洋環境記録保持者として扱うという挑戦的な手法により、組成の時空変動の特徴を明らかにした。また、顕微鏡未満のナノメータサイズの鉄マンガングラストの鉱物化学形態、微生物の関わる有用金属元素濃集などについて基礎的知見も得られた。例えば東京大学では白金を対象として、放射光などを用いて、その化学形態を明らかにして特定の元素が選択的に濃集するメカニズムの解明に重要な実験結果を得た。つくば大学では室内における模擬吸着実験の結果を天然のマンガングラストの特徴との対応を試みた。分担研究者は現場の産状観察などに基づき、モデル海山でのマンガングラストの成長史と海山の地形地質から海山の成長、変形、環境の歴史との間の関連を具体的に読み取ることができた。2回の航海において、モデル海山では山頂から山麓の深海底の斜面域までの分布を確認し、広域的分布特性に止まらず、組成の時間空間的多様性の傾向を把握した。第2のモデル海山として設定した、房総沖EEZの拓洋第3海山では、我が国鉱区に匹

敵する、厚いマンガンクラストが発見され大きな話題となった。このサンプルなどを対象として、1)現場環境(水深や堆積・物理化学環境など)と生成する現世沈殿物との対応が可能となり、2)複数の年代測定による年代モデルに基づく、時間的な組成・組織変動の時間変化の対応、3)微細なスケールの成長構造、吸着構造解明などのサブテーマの研究をすすめた。

まとめると、我々の提唱した、生成モデル、つまり、現世海洋の広い海域、水深帯において、鉄マンガン酸化物の沈積が生じていて、それらが連続的に積層することによって、長期間途切れることなく成長をする、というプロセスの検証が最も大きな成果である。

科省庁横断型の海洋探査技術(JAMSTEC-SIP)や我が国の海底資源探査事業(JOGMEC)などとも連携しながら、共同研究を進めることができ、北西太平洋での詳細調査の先駆的な事例研究を複数実施したことになり、グローバルな生成環境を描くための重要な基礎データとなった。

さらに、同時に世界レベルの解像度と精度を持つナノレベルの分析、解析を三機関(高知大学海洋コアセンター、海洋研究開発機構、東京大学地球惑星科学専攻)で連携しつつ実施することができた。この課題で初めて使用した分析機器の有効性も確認され、その後のさらなる研究展開の可能性も保証された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](主な論文のみ 計8件)

Yamasaki, T., Suzuki, Y., Kouduka, M., Kawamura, N. (2019) Dependence of bacterial magnetosome morphology on chemical conditions in deep-sea sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 513, 135-143. 査読あり.

Oda, H., Nakasato, Y., Usui, A. (2018) Characterization of marine ferromanganese crust from the Pacific using residues of selective chemical leaching: identification of fossil magnetotactic bacteria with FE-SEM/EDS and rock magnetic methods. *Earth, Planets and Space*, 70: 165. 査読あり.

Sato, H. and Usui, A. (2018) Metal flux as an alternative parameter in evaluating the resource potential for Co-rich ferromanganese crusts. *Marine Georesources & Geotechnonology*, p. 768-780, <https://doi.org/10.1080/1064119X.2017.1378781>. 査読あり.

Kashiwabara, T., Toda, R., Nakamura, K., Yasukawa, K., Fujinaga, K., Kubo, S., Nozaki, T., Takahashi, Y., Kato, Y. (2018) Synchrotron X-ray spectroscopic perspective on the formation mechanism of REY-rich muds in the Pacific Ocean. *Geochim. Cosmochim. Acta* 240, 274-292. 査読あり.

Amakawa, H., Usui, A., Iijima, K., Suzuki, K. (2018) Surface layer Nd isotopic composition of ferromanganese crusts collected from the Takuyo-Daigo Seamount reflects ambient seawater, *Geochemical Journal*, Volume 51, Issue 1, Pages e1-e7. 査読あり.

Sato, H. and Usui, A. (2018) A parameter of metal flux, mass accumulation rate in evaluation of economic potentiality and paleoenvironmental proxy on the hydrogenetic ferromanganese crusts in the northwestern Pacific seamounts. *Marine Georesources and Geotechnology*. v.36, 768-780. 査読あり.

Usui, A., Nishi, K., Sato, H., Nakasato, Y., Thornton, B., Kashiwabara, T., et al. (2017) Continuous growth of hydrogenetic ferromanganese crusts since 17 Myr ago on Takuyo-Daigo Seamount, NW Pacific, at water depths of 800-5500 m, *Ore Geology Reviews*, Volume 87, Pages 71-87. 査読あり.

Nishi, K., Usui, A., Nakasato, Y., Yasuda, H. (2017) Formation age of the dual structure and environmental change recorded in hydrogenetic ferromanganese crusts from Northwest and Central Pacific seamounts, *Ore Geology Reviews*, Volume 87, Page 62-70. 査読あり.

[学会発表](主な発表のみ 計7件)

Usui, A., Suzuki, K., Mineral diversities of hydrogenetic ferromanganese crusts and nodules in the Northwestern Pacific sea floors, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, 幕張, 2018 年 5 月 20 日-24 日, 口頭.

臼井朗, 海底マンガン鉱床の資源地質学, 第 68 回資源地質学会表彰者講演, 第 68 回鉱山地質学会講演会, 東京大学, 2018 年 6 月 27 日, 口頭, 招待

Usui, A., Regional to microscopic-scale mineral diversity of hydrogenetic ferromanganese crusts in the NW Pacific seamounts: A review of ROV surveys and analyses for the last decade. Symposium "Marine Minerals", 英国地質学会, ロンドン, 2018 年 10 月 30 日-11 月 11 日, 招待, 口頭.

臼井朗ほか 30 名, 海底マンガンクラスト・団塊から古海洋環境を読む:-科学研究から資源開発への貢献-, 海洋コア総合研究センター15周年記念シンポジウム, 高知オーテピア, 2018 年 11 月 30 日, Poster.

Usui, A., How geology works on exploration of marine manganese deposits: A case study

for the seamount hydrogenetic ferromanganese crusts, 2017 Geol. Soc. Amer. Cordilleran Sec. Meeting at Hawaii, 2017.5.23-25,
Suzuki, K., Kashiwabara, T., Kato, S., Usui, A., Chemical speciation and microbial characteristics of ferromanganese crusts in the western Pacific seamounts, 2017 Geol. Soc. Amer. Cordilleran Sec. Meeting at Hawaii, 2017.5.23-25, 口頭。
Amakawa, H., Usui, A., Iijima, K. & Suzuki, K., Surface layer Nd isotopic composition of ferromanganese crusts collected from the Takuyo-Daigo seamount in the NW Pacific Ocean. Assoc. Sciences, Limnology & Oceanology. ASLO2017 at Honolulu. 口頭

〔図書〕(計2件)

鈴木勝彦・臼井朗(編集), コバルトリッチクラストの成り立ち-調査手法の確立に向けて-(改訂版), SIP 戦略的イノベーション創造プログラム「次世代海洋資源調査技術研究開発成果資料集」. vol.2, JAMSTEC, pp. 65, ISBN978-4-901833-42-4, 2018.
岸本清行・臼井朗・山岡京子・西村朗・鈴木淳, 日本周辺海域鉱物資源分布図(第2版), 産業技術総合研究所地球科学情報研究センター出版. 特殊地質図シリーズ No.33, 2017.

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

高知大学 応用自然科学専攻海洋自然科学コース海底鉱物資源研究室
<http://www.cc.kochi-u.ac.jp/~a-usui/> (臼井朗のホームページ)
上の URL にて, 本課題の成果などを公表した。

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 鈴木 庸平
ローマ字氏名: SUZUKI, Yohei
所属研究機関名: 東京大学
部局名: 大学院理学研究科
職名: 准教授
研究者番号(8桁): 00359168

研究分担者氏名: 高橋 嘉夫
ローマ字氏名: TAKAHASHI, Yoshio
所属研究機関名: 東京大学
部局名: 大学院理学研究科
職名: 教授
研究者番号(8桁): 10304396

研究分担者氏名: 柏原 輝彦
ローマ字氏名: KASHIWABARA, Teruhiko
所属研究機関名: 海洋研究開発機構
部局名: 海底資源研究開発センター
職名: 研究員
研究者番号(8桁): 70611515

(2) 研究協力者

なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。