

平成 30 年 5 月 28 日現在

機関番号：82105

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2016～2017

課題番号：16H07029

研究課題名(和文) マイクロマンガンノジュールの成因による分別：古海洋環境復元を目指して

研究課題名(英文) Geological constraints on the formation of ferromanganese micronodules and the deep-sea environment

研究代表者

眞中 卓也 (Manaka, Takuya)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・任期付研究員

研究者番号：00784703

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：マンガン団塊の形成メカニズムを探るため、北太平洋の海底堆積物中の微小な団塊(マイクロマンガンノジュール、径： $<1$  mm)に注目した。内部構造観察の結果、マイクロマンガンノジュールの内部には低密度の核が存在し、そこから外側に向かって同心円状に鉄・マンガン酸化物層が成長していた。また元素分析の結果、このマイクロマンガンノジュールはマンガン濃度が相対的に高く、やや還元的な環境で形成されたことが示唆された。

研究成果の概要(英文)：In order to determine formation processes of ferromanganese macronodules and the deep-sea environment, I focused on micronodules in the deep-sea sediments in the North Pacific Ocean. I observed internal structure of the micronodules by making petrographic thin sections and using a micro-CT scanner, and found a low-density nuclei, which was coated with thin layers of high-density Fe-Mn oxides. High Mn/Fe ratios in the majority of the micronodules should be due to the relatively reductive condition of the surrounding seawater, when the micronodules were formed.

研究分野：生物地球化学

キーワード：マンガン団塊 マイクロマンガンノジュール 地質学 海底資源 深海環境 環境変動 地球化学 海洋科学

## 1. 研究開始当初の背景

マンガン団塊は水深 1000 m 以深の海底に普遍的に存在する化学堆積岩である (図 1)。銅やニッケルなどの金属を多く含むことから、人間の産業活動に欠かせない貴重な鉱物資源として近年ポテンシャル評価が行われている。またマンガン団塊の成長速度は、100 万年当たり数 mm と非常に遅いことが知られている。さらに重金属を多く含むことから、通常の炭酸塩の古環境指標 (有孔虫など) とは異なる情報を有している (例: Mn/Fe 比やモリブデン同位体による酸化還元電位の変動)。ゆえに他の遠洋性堆積物とは一線を画す、非常に長い期間の海洋の環境変動を、広範囲の深海域において記録していると考えられている (臼井ほか, 2015, 海底マンガン鉱床の地球科学, 東京大学出版会)。

ただし通常の大きなマンガン団塊 (径: >1cm) に関しては、より比重が小さくかつ堆積速度が 2 桁以上大きい遠洋性堆積物の上に産出するという奇妙な現象がしばしば報告されている。その要因としては、生物擾乱によるマンガン団塊の堆積物中での移動など (Piper & Fowler, 1980, Nature) が主張されている。ただし、実際に団塊の成長や移動を現場で観測することは難しいため、未だにそのメカニズムは明らかにされていない。ゆえに、大きな団塊をそのまま古環境指標として利用することは、現時点では非常に難しい。



図 1. 深海底の表層に存在するマンガン団塊

## 2. 研究の目的

本研究では、微小 (径: <1 mm) な団塊 (マイクロマンガンノジュール) に注目する (図 2)。マイクロマンガンノジュールは大きな団塊と異なり、世界の遠洋性堆積物の各層に普遍的に埋没している。ゆえにマイクロマンガンノジュールは堆積物中で移動することなく、当時の海底の環境条件を連続的に反映しているという仮説が成り立つ。

本研究ではマイクロマンガンノジュールの内部構造観察や元素分析を通して、マイクロマンガンノジュールの形成メカニズムの

解明を目指す。さらにはその結果を同時代の大きな団塊などとも比較することで、大きな団塊が堆積物の上に形成・移動するメカニズムの解明や当時の海洋環境の復元を目指す。

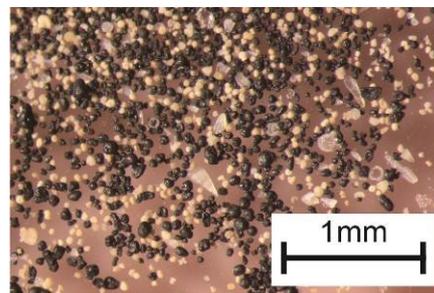


図 2. 堆積物を篩分け・分離した後の写真。黒い粒子がマイクロマンガンノジュール

## 3. 研究の方法

本研究では、北太平洋の深海底より採取された堆積物試料を対象とする。この堆積物試料より、水簸処理などを使って、マイクロマンガンノジュールを回収する。そしてマイクロフォーカス X 線 CT スキャナや研磨薄片の作成により、マイクロマンガンノジュールの内部構造を観察する。併せて元素分析を実施する。以上の内部構造と元素組成の情報を組み合わせることで、マイクロマンガンノジュールの形成メカニズムの解明を目指す。さらにこの結果を、周囲の大きな団塊と比較・検討を行う。

## 4. 研究成果

### (1) 堆積物の基礎分析

今回利用する北太平洋の海底堆積物試料に対し、X 線回折装置を利用した鉱物組成分析を実施した。その結果、堆積物中にはマンガン酸化物以外に石英や沸石が存在することを確認した。またレーザー粒度分布測定器を利用して、全体の粒度分析を実施した。試料中のマイクロマンガンノジュールは、ほとんどが 100  $\mu\text{m}$  以下のサイズであった。

### (2) マイクロマンガンノジュールの回収

重液分離や水簸処理などを使って、堆積物試料からマイクロマンガンノジュールを回収した。本研究では、堆積物の採取深度によって、マイクロマンガンノジュールの回収数に大きな違いを見出すことはできなかった。また同じ深度から回収されたマイクロマンガンノジュールでも、その比重は個体によって大きくバラついていた (2.0~2.5  $\text{g cm}^{-3}$ )。

### (3) 表面構造の観察

回収したマイクロマンガンノジュールに対して、電界放出形走査電子顕微鏡を利用して表面構造を観察した。マイクロマンガンノジュールの表面に数  $\mu\text{m}$  ほどの小さな粒子状構造を多数観測した (図 3)。このことから、マイクロマンガンノジュールは、より小さな粒子が集合することで形成されていると示唆される。

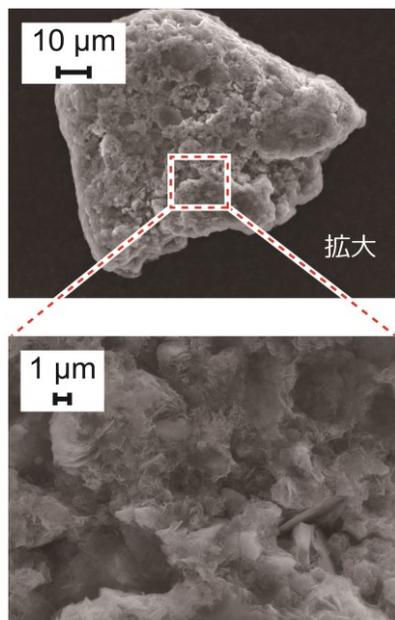


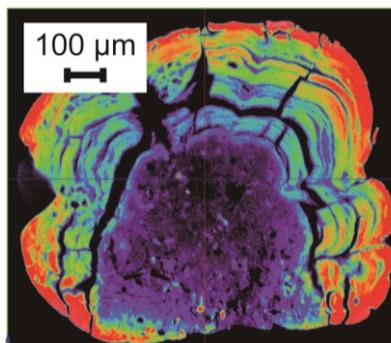
図 3. 電界放出形走査電子顕微鏡によるマイクロマンガンノジュールの表面構造の写真

### (4) 内部構造の観察

マイクロマンガンノジュールの内部構造を観察するために、試料を樹脂に埋め込み、研磨薄片を作成した。光学顕微鏡による観察の結果、やや不明瞭ではあるものの、内部に核のような構造を確認することができた。

また一部のマイクロマンガンノジュールについて、マイクロフォーカス X 線 CT スキャナにかけることで、その内部構造および密度変化の観測を実施した。その結果、内部には低密度の核が存在し、外側に同心円状の鉄・マンガン酸化物層が存在していることが明らかになった (図 4)。

以上の構造は、通常の大きな団塊と酷似している。ゆえに、マイクロマンガンノジュールは、大きな団塊と同様に、周囲の鉄・マンガン酸化物や粘土鉱物を取り込みながら同心円状に成長していると考えられる。ただし核の大きさが全く異なるため、マイクロマンガンノジュールが大きな団塊の成長の初期段階とは考えにくいと思われる。



高密度：赤，低密度：青

図 4. マイクロフォーカス X 線 CT スキャナによるマイクロマンガンノジュールの内部密度構造

### (5) 元素分析

一部の試料に対して、エネルギー分散形 X 線分析や蛍光 X 線分析による元素分析を実施した。鉄と比較してマンガンの濃度が高い傾向が見られたことから、この試料はやや還元的な海洋環境で形成されたことが示唆された。

### (6) その他

関連研究として、マンガン団塊から溶出する重金属に関する研究を実施した。周囲の海水の pH によって、溶出する金属の種類や濃度が異なることを明らかにした。この結果は共著論文として国際誌に発表を行った。また、北太平洋で行われた、マンガン鉱床の生成・成長過程に関する調査航海「かいらい」KR16-13に参加した。

### (7) 今後の展望

マイクロマンガンノジュールの表面に観測された小さな粒子や、今回の研究では回収しきれなかったより小さなサイズ (径: 数  $\mu\text{m}$ ) の鉄・マンガン粒子に注目し、その構造や元素組成を明らかにしたい。また、他の海域の試料からもマイクロマンガンノジュールを回収・分析することで、当時の海洋環境の空間的な変動についても考察をしたい。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

Q. Wang, H. Kawahata, T. Manaka, K. Yamaoka, and A. Suzuki (2017) Potential influence of ocean acidification on deep-sea Fe-Mn nodules: results from leaching experiments, *Aquatic Geochemistry*, 23(4), 233-246, doi: 10.1007/s10498-017-9320-z

[学会発表] (計 2 件)

眞中卓也, 臼井朗, 浦本豪一郎, 微小マンガ  
ン団塊の内部構造と形成環境を探る, 第 17  
回日本地質学会四国支部講演会, P3 (松山,  
2017.12) ポスター

眞中卓也, 臼井朗, マイクロマンガノジュ  
ールから古海洋環境を読み解く, 第 16 回日  
本地質学会四国支部講演会, O-5 (物部,  
2016.12) 口頭

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

眞中 卓也 (MANAKA TAKUYA)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森  
林総合研究所・任期付研究員

研究者番号：00784703