

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11634

研究課題名(和文) 同一海山の異なる水深から採取したマンガンクラストを用いた古海洋循環の復元

研究課題名(英文) Reconstruction of the past ocean circulation using ferromanganese crust samples collected from a seamount

研究代表者

天川 裕史 (Amakawa, Hiroshi)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海洋鉱物資源賦存量調査・分析プロジェクトチーム・臨時研究補助員

研究者番号：60260519

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)：北西太平洋に位置する拓洋第5海山の異なる4深度で採取したマンガンクラスト試料のネオジウム(Nd)及び鉛(Pb)同位体比の時系列データの決定し、古海洋循環及び古海洋環境の復元を試みた。一番深い深度5373mの試料は800万年前に南極底層水の流入量の増加を示唆する大きなNd同位体比の減少を示したが、従来の北太平洋の同深度のデータには大きな変化はない。一方、同一試料のPb同位体比にはその時代に変化はなく、同深度の文献値と同様の値を示す。北太平洋においてNd同位体比は海洋循環の変化と呼応しておりそれが海域によって異なるが、Pb同位体比はこれ以外の要素も関与し決定されているものと思われる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

同一海山の異なる深度で採取したマンガンクラスト試料のNd及びPb同位体比の時系列データを求め、古海洋循環及び古海洋環境の復元を試みた例は海外を含めても2例目で太平洋の試料では初めてである。その点で極めてユニーク且つ先鋭的な研究といえる。また、試料を採取した拓洋第5海山周辺には金属資源として極めて有用な希土類元素を大量に含む所謂「レアアース泥」と呼ばれる堆積物が広範囲に存在する。従って、その海域の古海洋循環及び古海洋環境の復元を行うことで、「レアアース泥」の成因についても貴重且つ重要な情報をもたらしたものと評価できる。そして、これは「レアアース泥」の今後の効率的採掘をもたらすことにつながる。

研究成果の概要(英文)：We determined time-series Nd and Pb isotopic compositions of four ferromanganese crusts collected from different water depths of Takuyo-Daigo seamount in the Northwest Pacific, which aims to reconstruct paleoceanic circulation and environment in the area. The sample collected from the deepest depths, 5373 m, shows a large negative shift of Nd isotopic composition in 8 million years ago, indicating an intensified inflow of the Antarctic Bottom Water. This large shift has not been observed in the previously studied sample collected from the same depths range at the North Pacific. Contrastingly, the Pb isotopic composition of the deepest depths sample does not show the large shift, but keeps a constant value, resembling with the previously reported data. In the North Pacific, Nd isotopic record of the past ocean seems to be controlled by ocean circulation pattern depending on the oceanic area. On the other hand, Pb isotopic record may be regulated by some additional factors.

研究分野：海洋地球化学

キーワード：マンガンクラスト 海山 海水 ネオジウム同位体比 鉛同位体比 古海洋循環

1. 研究開始当初の背景

数千万年オーダーの海洋循環の復元は我々の生きる新生代の気候変動を理解する上で極めて重要である。こうした目的で、この時間スケールの海洋情報を記録するマンガンクラストは盛んに研究されてきた。マンガンクラストは主として海山斜面に存在しており、いずれの大洋においても研究がなされているが、太平洋から採取された試料が数としては最も多い。しかしながら従来マンガンクラスト試料の採取地点は広範囲にわたって分散しており、その地点によって水塊構造はそれぞれ異なっている。それ故、得られたデータの統一的な解釈は容易ではない状況にあった。そこで、日本近傍の北西太平洋に位置する同一海山の異なる水深から遠隔探査機 (ROV) を用い採取したマンガンクラストの年代を決定し、ネオジウム (Nd) 同位体比と鉛 (Pb) 同位体比の時系列分析を行うことを試みた。これにより、同一測点における水深毎のデータを統合的に解釈し、中深層の 1000 万年オーダー (ここでは一番古い部分は約 1600 万年前) の循環像の変遷を描き出すことが可能となる。

2. 研究の目的

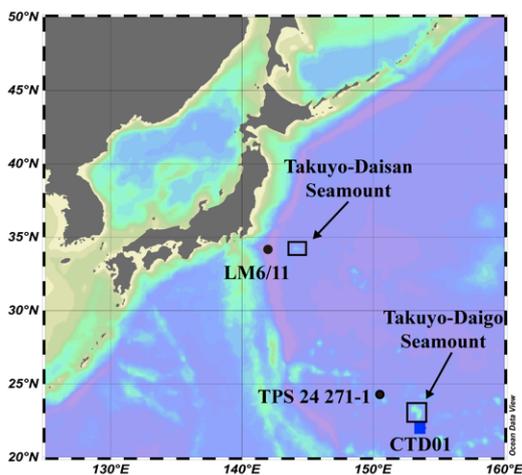


図1. 拓洋第3海山と拓洋第5海山の位置及び海水を採取した測点(黒丸と青四角)。

日本近傍に位置する拓洋第3海山と拓洋第5海山(図1)から採取されたマンガンクラストを用い、中深層の1000~2000万年オーダーでの循環像の変遷を明らかにする。なお、マンガンクラストの採取には海洋調査船「なつしま」に搭載されているHyper-Dolphin 3 K (ROV) 及び深海調査研究船「かいらい」に搭載されているKaiko Mark IV (ROV) を用いた。以下が本研究の目的である。

(1) マンガンクラスト表層のNd同位体比とその試料が採取された深度と同じ深度の海水のNd同位体比の比較を行い、そのマンガンクラスト試料が海洋循環の復元に供するにふさわしいか検討を行う。

(2) 年代が決定されている拓洋第5海山のマンガンクラスト4試料(採取深度は965 m、1440 m、2987 m、5373 m)のNd同位体比とPb同位体比の時系列データを決定し、過去の海洋循環の復元を行う。

3. 研究の方法

(1) マンガンクラスト表層と海水のNd同位体比の比較

拓洋第5海山から採取したマンガンクラストの試料については、既に拓洋第5海山近傍の既存の海水のデータ(Pieprgras and Jacobsen, 1988)との比較を行い、古海洋循環の復元に適しているか検証を行った(Amakawa et al., 2017)。しかしながら、海水を採取した測点TPS24 271-1(図1)は少し離れており、且つデータ自体30年近く前のものである。また、データ数も必ずしも多くなく深度プロファイルとしては詳細なものとは言い難かった。そこで、2015年に拓洋第5海山により近い測点CTD01(図1)で海洋地球研究船「みらい」を用い採取した海水のNd同位体比を測定し、再度マンガンクラスト表層のデータとの比較を行った。一方、拓洋第3海山に関しては、マンガンクラスト表層のデータと近傍の測点LM6/11(図1)の海水のデータ(Amakawa

et al., 2004) の比較を行った。マンガンクラスト試料の分析には Amakawa et al. (2017) に記載されている手法を用いた。その際に、試料のリーチングには 1M HCl と少量の H₂O₂ を用いた。海水試料の分析は Amakawa et al. (2018) の手法に従った。同位体比測定は天川が海洋研究開発機構に設置されている多重検出器型 ICP 質量分析計 Neptune Plus を使用し行った。

(2) マンガンクラストの Nd 同位体比の時系列データの決定

マンガンクラストの Nd 同位体比時系列データは年代が Be 同位体比 (¹⁰Be/¹¹Be) によって既に決定済みの拓洋第 5 海山の 4 試料について行った。採取深度 965 m、1440 m、2987 m の 3 試料の年代は Usui et al. (2017) にて報告されている。5373 m の試料のみ、分担者である白井が今回新たに年代決定を行った。Nd 同位体比分析用の試料は Be 同位体比分析に用いたものと同じのものを基本使用しているが、必要に応じ再サンプリングも行った。Nd 同位体比分析手法は前項と同じである。

(3) マンガンクラストの Pb 同位体比の時系列データの決定

Pb 同位体比の時系列データは Nd 同位体比同様上記の拓洋第 5 海山の 4 試料について行った。Nd 同位体比分析用に準備した溶液を分取し、分担者である後藤が産業技術総合研究所に設置されている多重検出器型 ICP 質量分析計 Neptune を使用し行った。Pb 同位体比測定の手法は Goto et al. (2017) に従った。

4. 研究成果

(1) 拓洋第 3 海山と拓洋第 5 海山から採取されたマンガンクラストの古海洋循環の復元試料としての妥当性

最初に、図 2a に拓洋第 5 海山から採取されたマンガンクラストの表面試料と海水のデータとの比較を示す。なお、Nd 同位体比は地球全体の平均値と見なせる値 (CHUR) からのズレを示すイプシロン値に換算されプロットされている。海水のデータは今回分析した測点 CTD01 のもの (Amakawa et al., 2018) と以前比較に用いた測点 TPS24 271-1 (Piegras and Jacobsen, 1988) のものを共に示している。測点 CTD01 と測点 TPS24 271-1 のデータを比較すると、表層から水深 200 m までは相違が認められるもののそれ以深では誤差範囲内ではほぼ同じ値となっている。マンガンクラスト試料は水深 900 m 以深から採取されており、Amakawa et al. (2017) で述べられているようにマンガンクラスト表面と海水の Nd 同位体比はほぼ同一の値となっている。ただ、今回新たに測点 CTD01 のデータが追加されたことで以前と比べ、マンガンクラスト試料の採取深度とより近い深度の海水のデータ (例えば 1500 m や 3500 m 付近) が得られている。そして、それらのデータはマンガンクラスト試料のデータと良く一致しており、これによりマンガンクラスト表面と海水が良い相関を示すことがより明確となった。従って、拓洋第 5 海山においてマンガンクラスト表面は海水の情報を反映していることが改めて検証され、古海洋復元試料として十分使用できるものと考えられる。一方、拓洋第 3 海山から採取されたマンガンクラストの表面試料の Nd 同位体比は近傍の測点 LM 6/11 の海水データ (Amakawa et al., 2004) に比べやや高い値を示す (図 2b)。マンガンクラスト表面は数十万年スケールの過去の海洋循環の情報を内包していることを考慮すると拓洋第 3 海山の試料と海水の値の齟齬は対象とする時間スケールの違いによる可能性がある。即ち、拓洋第 3 海山周辺はかつて低い値を示す海水が存在しその影響がマンガンクラスト表面に記録されているが、その後海水が現在の値に変化し両者の値に違いが生じた、との解釈が出来る。拓洋第 3 海山は拓洋第 5 海山に比べ大陸近傍に位置しており、大

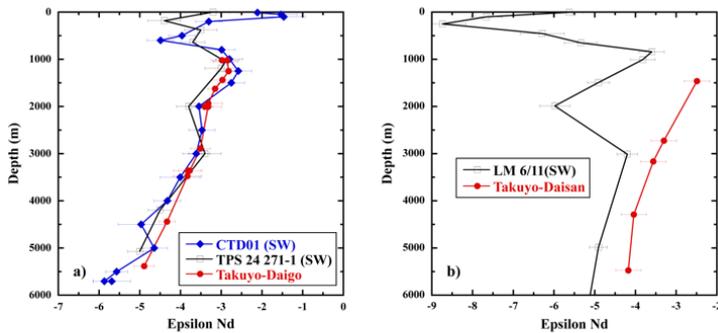


図2. マンガンクラスト表面(赤丸)と海水のNd同位体比の関係、a)拓洋第5海山、b)拓洋第3海山。

陸地殻起源物質の供給量によってNd同位体比がより鋭敏に変化することが考えられ、これが原因なのかもしれない。

(2) 拓洋第5海山から採取されたマンガンクラストのNd同位体比の時系列データから再現される古海洋循環

図3aに拓洋第5海山から採取された試料のNd同位体比の時系列データを示す。誤差を考慮すると965 m、1440 m、そして2987 mから採取された試料にどの時代においても値に大きな相違はない。一方、5373 mから採取された試料は深度2987 mから採取された試料と誤差範囲内で一致する時代はあるものの他の試料に比べ明らかに低い値を示す。全体的な傾向として、全ての時代を通して浅い深度の試料から深い深度の試料へと同位体比が低くなる傾向があり、これは現在の北太平洋の海水のNd同位体比のプロファイルと整合的である。

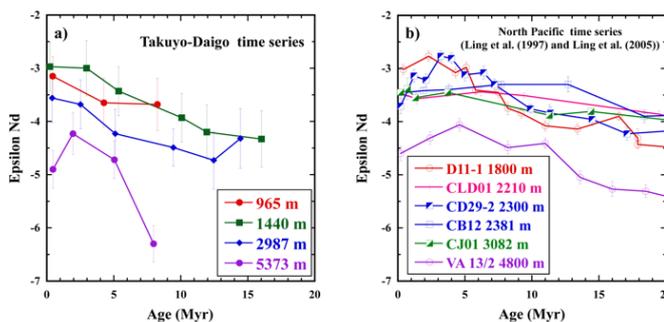


図3. マンガンクラストのNd同位体比の時系列データ、a) 拓洋第5海山から採取した試料、b) 北太平洋の従来報告値(Ling et al. (1997)とLing et al. (2005)から引用)。

また、例外はあるものの時代を遡るにつれ同位体比は徐々に低くなっており、これは従来の北太平洋の時系列データ(図3b: Ling et al. (1997)とLing et al. (2005))とは少し異なった傾向である。これまでの研究では現在から1500万年前にかけて同位体比が低下する期間があっても、現在から500万年前にかけ一度同位体比が上昇する例が幾つかあり、それ

以外は殆ど変化がないか僅かしか減少しない。即ち、拓洋第5海山の1440 mの試料のように現在から単調にイプシロン値で1程度減少するものはない。

3000 m付近の試料において拓洋第5海山の試料は、文献値に比べ低い値を示す。しかしながら、現在から1100から1200万年前まで減少する傾向は一致している。しかも、1500万年前において同位体比が僅かながら上昇する傾向も同じである。従って、両者の同位体比の時間変動は類似しているように思われる。

一方、拓洋第5海山の5000 m付近で採取された試料は、現在から遡ると文献値同様一度同位体比が高くなった後低くなっている。しかしながら、同位体比の変化幅は相対的に大きく、800万年前に極めて低い値(-6.3)を示す。これは明らかにこの深度に存在する南極底層水の影響が強くなったことを意味しており、拓洋第5海山にその影響が明確に表れていることを示している。従って、南極底層水の消長によるNd同位体比の変化幅は海域に依存し異なっているのかもしれない。この点、図4aも文献値と比較シダイナミックに同位体比変化が認められているものと解釈でき、拓洋第5海山は深層の海洋循環変化にNd同位体比の変動が鋭敏に反応しているエリアなのかもしれない。

(3) 拓洋第5海山から採取されたマンガンクラストのPb同位体比の時系列データから推測される古海洋環境

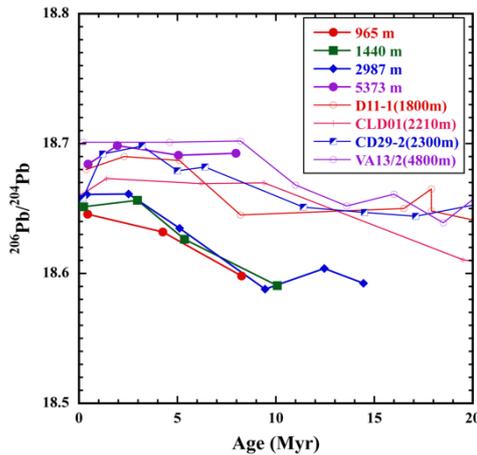


図4. 北太平洋におけるPb同位体比の時系列データ。凡例の上4つが拓洋第5海山のデータ、以下は文献値。

図4に本研究のPb時系列データを以前の北太平洋における代表的な報告値 (Ling et al. (1997) と Ling et al. (2005)) と共にプロットしたものを示す。拓洋第5海山試料に関しては一番深い深度のものを除いた三試料は現在から1000万年前にかけ同位体比は全体的に減少傾向にある。特に、500万年前から1000万年前にかけては値自体も極めて類似している。これに対して、一番深い深度の試料は他の試料と比較し明らかに高い値を示している。

同時代で比較すると拓洋第5海山試料は従来の報告値に比べ低い値を示し、唯一水深5373mの試料のみ報告値と類似した値を示していることが分かる。前項で述べたようにNd同位体比の時系列データから拓洋第5海山と試料VA13/2を採取した海域では南極底層水の影響の違いが認められ、一方Pb同位体比の結果はこれと合致しない。従って、Pb同位体比の分布については海洋循環以外の要素、例えばPbの供給源とその供給プロセスが強く影響している可能性がある。PbはNdに比べ海洋における平均滞留時間は短いと考えられている。大気経由で大陸から供給されるPbによって外洋深層水の鉛同位体比が直接決定されると仮定すると、大陸から離れている中央太平洋の深層水は二次元的に均一になるものと考えられる。実際、これまでの報告値は比較的浅い1800mの試料を含め同時代で比較すると似た値を示している。従って、拓洋第5海山の最深部の試料を除き、特徴的な同位体比を示すPbが供給されることで同位体比が低くなっている可能性がある。一方、水深5373mの試料は中央太平洋のPb同位体比が均一になっている底層水の影響を強く受けているのかもしれない。この点については、今後北太平洋における海水のPb同位体比の三次元的分布を明らかにすることを通し検証する必要がある。

<引用文献>

- ① Piepgras and Jacobsen, *Geochimica et Cosmochimica Acta* **52**, 1373-1381 (1988)
- ② Amakawa et al., *Geochemical Journal* **51**, e1-e7 (2017)
- ③ Amakawa et al., *Geochimica et Cosmochimica Acta* **68**, 715-727 (2004)
- ④ Amakawa et al., *Proceedings of the Twenty-eighth (2018) International Ocean and Polar Engineering Conference (ISOPE)*, Volume I, 81-85 (2018)
- ⑤ Usui et al., *Ore Geology Reviews* **87**, 71-87 (2017)
- ⑥ Goto et al., *Deep-Sea Research II* **146**, 82-92 (2017)
- ⑦ Ling et al., *Earth and Planetary Science Letters* **146**, 1-12 (1997)
- ⑧ Ling et al., *Earth and Planetary Science Letters* **232**, 345-361 (2005)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 後藤 孝介、天川 裕史、坂口 綾	4. 巻 52
2. 論文標題 鉄マンガングラストの形成年代と同位体組成に基づく古環境解析の現状と可能性	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 地球化学	6. 最初と最後の頁 211 ~ 227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14934/chikyukagaku.52.211	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Hiroshi Amakawa, Yusuke Fukami, Junji Torimoto, Tatsuo Nozaki, Koichi Iijima, Akira Usui, Katsuhiko Suzuki	4. 巻 1
2. 論文標題 Origin of neodymium in the surface layer of ferromanganese crusts	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the Twenty-eighth (2018) International Ocean and Polar Engineering Conference (ISOPE)	6. 最初と最後の頁 81-85
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Fukami Yusuke, Kashiwabara Teruhiko, Amakawa Hiroshi, Shibuya Takazo, Usui Akira, Suzuki Katsuhiko	4. 巻 318
2. 論文標題 Tellurium stable isotope composition in the surface layer of ferromanganese crusts from two seamounts in the Northwest Pacific Ocean	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 279 ~ 291
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2021.12.005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Usui Akira, Suzuki Katsuhiko	4. 巻 1
2. 論文標題 Geological Characterization of Ferromanganese Crust Deposits in the NW Pacific Seamounts for Prudent Deep-Sea Mining	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Perspectives on Deep-Sea Mining	6. 最初と最後の頁 81 ~ 113
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-87982-2_4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 H. Amakawa, A. Usui and K. Suzuki,
2. 発表標題 Neodymium isotopic composition of surface layer of ferromanganese crusts collected from two seamounts located at the northwest Pacific
3. 学会等名 Goldschmidt2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 天川裕史、田副博文、鈴木勝彦
2. 発表標題 保存容器に依存した海水試料のREEパターンの変化
3. 学会等名 2019年度日本地球化学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Tazoe, H. Amakawa, K. Suzuki, T. Hara, H. Obata
2. 発表標題 Analyses of Nd isotopic composition in seawater by using newly developed solid phase extraction and MC-ICP-MS
3. 学会等名 Ocean Science Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 天川裕史、深海雄介、鳥本淳司、野崎達生、飯島耕一、白井朗、鈴木勝彦
2. 発表標題 拓洋第5 海山周辺海域のNd 濃度と同位体比の分布
3. 学会等名 2018 年度日本地球化学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Amakawa
2. 発表標題 Nd isotopic study on marine environment: past, present and future
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	臼井 朗 (Usui Akira) (20356570)	高知大学・海洋コア総合研究センター・特任教授 (16401)	
研究分担者	後藤 孝介 (Goto Kosuke) (30612171)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・主任研究員 (82626)	
研究分担者	鈴木 勝彦 (Suzuki Katsuhiko) (70251329)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・海洋機能利用部門(海底資源センター)・センター長 (82706)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------