

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 4 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2014

課題番号：22241006

研究課題名(和文)大陸氷床の出現初期における海洋循環：岩石磁気学的新視点に基づく高精度解析

研究課題名(英文)A new rock-magnetic record indicating variation of ocean circulation during the intensification of Northern Hemisphere glaciation

研究代表者

大野 正夫 (Ohno, Masao)

九州大学・比較社会文化研究科(研究院)・准教授

研究者番号：00251413

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,000,000円

研究成果の概要(和文)：深海底堆積物試料の岩石磁気・冰山起源の漂流岩屑堆積物(IRD)量・石灰質ナノ化石など様々な分析を行い、総合的に解析することで、300-200万年前の北大西洋における古環境変動史を明らかにした。特に、岩石磁気測定結果の解析により、堆積物が二成分の混合で説明できること、そして一方の成分はノルウェー海で形成された北大西洋深層水が、玄武岩を起源とする物質を運んできたもので、その成分比が深層水形成の活発さを反映していることを示した。これにより深層水形成が約2.68Maのパナマ海峡の閉鎖に伴って強化されたことや、また数千年周期のIRDイベントの発生に伴う急激な減少と、その後の回復を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We studied the evolution of NADW (North Atlantic Deep Water) during the intensification of Northern Hemisphere glaciation using a newly developed rock-magnetic method to determine the constituent magnetic minerals of sediments. We measured isothermal remanence acquisition curves of deep-sea sediments drilled in the North Atlantic and decomposed the first derivatives of these curves into high-coercivity and low-coercivity components. Fractional changes of the high-coercivity component represent variation of the NADW formed at the Nordic Seas. The high-coercivity component increased significantly during an interglacial period just after ~2.68 Ma, which suggests that NADW formation in the Nordic Seas abruptly intensified at this time. In addition, millennial-scale variation in the NADW was observed associated with the Ice rafted debris (IRD) events, repeatedly occurred in glacial period.

研究分野：古地磁気・岩石磁気

キーワード：岩石磁気 古海洋 海洋循環 深層水 大陸氷床

1. 研究開始当初の背景

(1) 全球的な気候・環境状態は、北半球の大陸氷床の拡大・縮小に制御されて大きく変動してきた。特に、最終氷期の北大西洋地域では、大陸氷床が数百～千年毎に崩壊することによって、大気温度変化(10℃)や、海洋循環の大変遷(深層水循環の形成・停止や流路の変更など)が引き起こされていたことが分かっている。しかしその一方で、大規模な大陸氷床が北半球に初めて出現し、発達した、約300～200万年前の大陸氷床量変動と気候・環境変動の関係についてはほとんど分かっていない。

(2) 約300～200万年前の「気候変動-海洋変遷」に関する研究が世界的に遅れてきた主な原因は、古気候・古海洋研究の最重要地域(北大西洋)において、時間分解能の高い(堆積速度の速い)研究試料が少ないこと、および、国際標準指標の有孔虫化石が海底堆積物に非常に少ないことである。特に後者は、研究試料の年代軸の確立と、古海洋記録の復元に関わる問題であるため、従来の有孔虫化石の分析に変わる、新しい指標と手法を確立することが重要な課題であった。

2. 研究の目的

本研究では以下の3つの視点に注目して、300～200万年前の数百年～千年規模の古海洋変遷史と大陸氷床量の変動を復元し、それらの関係を明らかにすることを目的とする。(a) 磁性鉱物の岩石磁気特性に注目し、深層水の流速と流向の変動記録を復元する。(b) 生息水深が異なる石灰質ナノ(円石藻)の群集組成を分析し、表・中層水の循環-成層状態の変遷史を明らかにする。また、水塊構造の別の有効な指標として知られる堆積物の窒素・炭素同位体比を測定し、石灰質ナノの群集記録と比較・検証する。(c) 氷山起源の漂流岩屑堆積物(IRD)の量と、その岩石学的・鉱物学的な特徴を分析し、大陸氷床の崩壊事件の規模と頻度を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 本研究で研究対象とする試料は、IODP第306航海で掘削されたSite-U1314(全長300m)の最下部の110m(年代は200～300万年前に相当する)である。コア(径6.5cm)が保管されている、ドイツ国のプレーメンコアセンターに赴き、試料を採取する。採取した30本のU-Channel試料について、自然残留磁化(NRM)および非履歴性残留磁化(ARM)の段階交流消磁実験を行い、地球磁場の方向および強度の変動を求め、年代モデルの構築・検証に用いる。その後、U-Channel試料から各測定用のサブ試料を取り分ける。

(2) 以下の各項目の分析を行う。(a) 本研究の設備備品費で申請した交番磁場勾配磁

力計(AGM)を用いて岩石磁気測定を行う。(b) 顕微鏡で石灰質ナノ化石を鑑定するとともに、単位面積に含まれる石灰質ナノ化石個体数を測定して生産量変化を求める。特に、水温に敏感な種の解析により表層海水温度の変動を明らかにする。また下部透光帯種と透光帯種の比率に注目することで、海洋の成層構造変動を明らかにする。さらに、堆積物試料の、炭素同位体比および窒素同位体比を測定し、石灰質ナノの群集記録と比較して海洋の成層構造変動を検証する。(c) 堆積物試料に、標準試料を加えてX線解析(XRD)分析を行い、得られたX線プロファイルからピーク分離法により石英、長石、層状珪酸塩鉱物のピーク情報を正確に取り出し、それらの鉱物の含有量を求める。また堆積物を光学顕微鏡で観察し、IRDの量と、その岩石学的・鉱物学的な特徴を明らかにする。

(3) 各項目で得られた古環境変動を総合的に解析し、特に数千年スケールの大陸氷床量変動と海洋循環変動のリンケージに注目し、北半球氷床の発達・崩壊と海洋循環変動の関係を明らかにする。

4. 研究成果

(1) まず、この試料に含まれる磁性鉱物の検討を行った。本研究に用いた試料の掘削地点は、アイスランドの南方に位置し、アイスランド周辺の海底から深層流によって運ばれてきた陸源の碎屑物を多く含む。同地点の完新世の堆積物の熱磁気分析の結果は、キュリー点が580～600のリバーシブルな曲線を描いており、チタンに乏しいマグネタイトが卓越することを示している。これに対し、本研究で注目している約300～200万年前の堆積物の熱磁気分析では、真空中の加熱曲線の250付近にくぼみがあり、また、冷却曲線が加熱曲線を上回ることから、マグネタイトが卓越するものの、他の磁性鉱物が混入していることが示唆される。なかでもMIS101および99の間氷期では、MIS100の氷期に比べてMr/Ms(飽和残留磁化/飽和磁化)が大きく、また間氷期の堆積物のほうが氷期の堆積物に比べて熱磁気分析における加熱曲線の250付近のくぼみがやや明瞭になる傾向がある。間氷期の堆積物について温度を段階的に上げながら過熱・冷却を繰り返す段階的熱磁気分析を行なったところ、300付近までは熱磁気曲線はほぼリバーシブルであり、その後さらに加熱すると変質が進むことが判った。これらのことからこの堆積物には、250付近にキュリー点を持つ成分の存在が示唆される。

(2) さまざまな岩石磁気測定(磁気ヒステリシス、S-ratio、等温残留磁化(IRM)獲得曲線)の結果、堆積物中の磁性鉱物の保磁力が小さいながら有意な変動を示すことが明らかになった。保磁力は間氷期に比べて氷期

には小さい。この変化の原因を明らかにするため、IRM 獲得曲線から求めた保磁力分布を解析したところ、解析期間を通じて保磁力分布の変化は、保磁力の最も大きい試料（間氷期成分）と最も小さい試料（氷期成分）を端成分として、この二つの端成分の混合で説明できることが明らかになった。間氷期に卓越する保磁力の大きい成分は、ノルウェー海で形成された北大西洋深層水が、細粒の磁性鉱物を含むアイスランド周辺の玄武岩を起源とする物質を運んできたもので、一方、氷期に卓越する保磁力の小さい成分は、南極大陸の沿岸海域で形成され北上してきた底層水が粗粒の磁性鉱物を含む大陸の花崗岩起源の物質を運んできたと解釈できる。従って堆積物の保磁力は北からの流れと南からの流れの強弱の変化に応じて変動し、海洋大循環の変動において重要な役割を担う北大西洋深層水形成の活発さを反映していると考えられる。

(3) さらにこの保磁力が IRD (氷床由来の漂流岩屑) の増加に伴って、数千年スケールの急激な減少を示すことが明らかになった。北半球に氷床が出現して後の最初の本格的な氷期とされる海洋酸素同位体比ステージ (MIS)100 においては、8 回の IRD イベントの内の 6 回において、急激な保磁力の減少とその後のゆっくりとした保磁力の回復の記録が得られた。これは氷床の崩壊に伴って、アイスランド北方での深層水の形成が急激に弱まり、その後徐々に回復していったと解釈される。このような変動が北半球の大陸氷床発達期において見られたことは、現在と同様の海洋システムがこの時期においてすでに成立していたことを示唆する。

(4) 本研究の研究成果でもう一つ特筆すべきこととして、ノルウェー海における北大西洋深層水の形成が、約 268 万年まえに強化されたことを明らかにしたことである。約 290~220 万年前の間の試料の分析結果において、268 万年より以前においては、深層流で運ばれる堆積物が平均で 38 パーセントであったのに対し、それ以後では 68 パーセントに達することが明らかになった。この結果は、約 270 万年前にパナマ海峡が閉鎖されて、大西洋の南北方向鉛直循環 (AMOC) が強化されたことと関連していると解釈される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3 件)

Sato, M., M. Makio, T. Hayashi, and M. Ohno, Abrupt intensification of North Atlantic Deep Water formation at the Nordic Seas during the late Pliocene climate transition, *Geophys. Res. Lett.*,

査読有, 2015(in press).

Ohno, M., T. Hayashi, F. Komatsu, F. Murakami, M. Zhao, Y. Guyodo, G. Acton, H. F. Evans, T. Kanamatsu, Detailed paleomagnetic record between 2.1 and 2.75 Ma at IODP Site U1314 in the North Atlantic: geomagnetic excursions and the Gauss-Matuyama transition, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 査読有, 13, 1, 2012, doi:10.1029/2012GC004080.

Zhao M., M. Ohno, Y. Kuwahara, T. Hayashi, and T. Yamashita, Magnetic minerals in sediments from IODP Site U1314 determined by low-temperature and high-temperature magnetism, *Bull. Social and Cultural Studies, Kyushu Univ.*, 査読有, 17, 77-84, 2011.

〔学会発表〕(計 2 2 件)

佐藤 雅彦, 大野 正夫, Resolving the components of the North Atlantic sediments by IRM acquisition experiments at room- and low-temperatures, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 2014.10.31., キッセイ文化ホール (長野県・松本市)

楨尾雅人, 佐藤 雅彦, 大野 正夫, 林 辰弥, 藤田 周, 北 逸郎, 桑原 義博, 北半球における大規模な大陸氷床発達前後の深層水循環の変遷, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 2014.10.31., キッセイ文化ホール (長野県・松本市)

藤田 周, 宮川千鶴, 佐藤雅彦, 北 逸郎, 大野 正夫, 桑原 義博, 佐藤時幸, 林辰弥, 齋藤めぐみ, 220 万年前から 290 万年前の堆積物に基づく北大西洋の環境変動とパナマ海峡の閉鎖, 日本地球化学会, 2014.09.18., 富山大学 (富山県・富山市)

大野 正夫, 佐藤 雅彦, 林 辰弥, 桑原 義博, 北 逸郎, Millennial-scale rock-magnetic variation indicating instability of North Atlantic environments during MIS 100, 日本地球惑星科学連合大会, 2014.04.29., パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市)

佐藤 雅彦, 大野 正夫, 林 辰弥, 桑原 義博, 宮川千鶴, 藤田 周, 北 逸郎, Rock magnetic study of the North Atlantic sediment during late Pliocene and early Pleistocene, 日本地球惑星科学連合大会, 2014.04.30., パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市)

大野 正夫, 佐藤 雅彦, 林 辰弥, 桑原 義博, 宮川千鶴, 藤田 周, 北 逸郎, 北

大西洋の大陸氷床発達期(MIS100)における千年スケールの古環境変動の岩石磁気学的研究, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 2013.11.04., 高知大学(高知県・高知市)

宮川千鶴, 水田麻美, 山下剛史, 北 逸郎, 大野 正夫, 桑原 義博, 林辰弥, 佐藤時幸, 250万年前から290万年前の堆積物に基づく、氷床拡大縮小に伴う透光帯水塊構造の気候変動, 日本地球化学会, 2013.09.11., 九州大学(福岡県・福岡市)

水田麻美, 藤田周, 山下剛史, 北 逸郎, 大野 正夫, 桑原 義博, 林辰弥, 長谷川英尚, 千代延俊, 佐藤時幸, 北大西洋の堆積水銀量の第四紀変動史: 現在から255万年前, 日本地球化学会, 2013.09.11., 九州大学(福岡県・福岡市)

Ohno, M., M. Sato, T. Hayashi, Y. Kuwahara, C. Miyagawa, S. Fujita, I. Kita, A rock-magnetic proxy of deep water circulation in the North Atlantic during the early Pleistocene, Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual Meeting, 2014.08.01., Royton Hotel(北海道・札幌市)

Ohno, M., M. Sato, Y. Kuwahara, T. Hayashi, C. Miyagawa, I. Kita, Millennial-scale rock magnetic variations indicating instability of north Atlantic environments during intensification of northern hemisphere glaciation, International Association of Geomagnetism and Aeronomy, 2013.08.26., メリダ市(メキシコ国)

大野 正夫, 佐藤 雅彦, 林 辰弥, 宮川千鶴, 桑原 義博, 低温及び高温磁気測定による北大西洋海底堆積物コア(IODP Site U1314)の磁性鉱物の分析, 日本地球惑星科学連合大会, 2013.05.19., 幕張メッセ(千葉県・千葉市)

大野 正夫, 趙 夢, 水田 麻美, 宮川 千鶴, 林 辰弥, 佐藤 時幸, 北 逸郎, 北大西洋 IODP Site U1314 海底堆積物コアに記録された2~3Maの地磁気エクスカージョン, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 2012.10.23., 札幌コンベンションセンター(北海道・札幌市)

林 辰弥, 大野 正夫, 桑原 義博, 山下剛史, 水田 麻美, 北 逸郎, 鮮新世北大西洋堆積物の年代決定に関わる新手法, 日本地球惑星科学連合大会, 2012.05.24., 幕張メッセ(千葉県・千葉市)

大野 正夫, 林 辰弥, 山下 剛史, 桑原 義博, 北大西洋海底堆積物コアから得られ

た大陸氷床発達期(MIS100)の高解像度岩石磁気記録, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 2011.11.04., 神戸大学(兵庫県・神戸市)

林辰弥, 大野正夫, 北半球大陸氷床の出現期における北大西洋の氷山事件, 日本地球惑星科学連合大会, 2011.05.26., 幕張メッセ(千葉県・千葉市)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大野 正夫(OHNO, Masao)
九州大学・大学院比較社会文化研究院・准教授
研究者番号: 00251413

(2) 研究分担者

北 逸郎(KITA Itsuro)
九州大学・大学院比較社会文化研究院・教授
研究者番号: 10143075

桑原 義博(KUWAHARA Yoshihiro)
九州大学・大学院比較社会文化研究院・准教授
研究者番号: 90281196

狩野 彰宏(KANO Akihiro)
九州大学・大学院比較社会文化研究院・教授
研究者番号: 60231263

(3)連携研究者

佐藤 時幸 (SATO Tokiyuki)
秋田大学・国際資源学部・教授
研究者番号： 60241668

(4)研究協力者

林 辰弥 (HAYASHI Tatsuya)
御船町恐竜博物館・学芸員
(平成24年度まで、研究分担者)