

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：11401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24740346

研究課題名(和文) 第四紀浮遊性有孔虫形態に記録された高緯度海洋表層の生物圏変動

研究課題名(英文) Temporal and geographical changes of faunal provinces on sea surface in high latitudes based on Quaternary planktic foraminifera

研究代表者

山崎 誠 (YAMASAKI, Makoto)

秋田大学・その他部局等・准教授

研究者番号：40344650

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)：高緯度大西洋・太平洋間で有用な古環境指標確立のために海産浮遊性微化石の*Neogloboquadrina pachyderma* (Sinistral)石灰質殻形態を分析した。分析をおこなった3つの海域のうち、殻の保存状態が良好な北大西洋のSite U1304試料を詳細に検討した結果、過去160万年間に渡って殻形態の変化は小さいが、36万年前に小型で扁平な形態が卓越する。これは、当該地域を覆う水塊の移動に起因する可能性が指摘される。

研究成果の概要(英文)：A morphological analysis of planktic foraminifer *Neogloboquadrina pachyderma* (sinistral) was carried out to introduce a paleoenvironmental proxy. Detailed morphological variability in the species was obtained from IODP Site U1304, the North Atlantic Ocean, where the species calcareous tests were exceptionally well preserved. At the site, the species tests of small and more elongate in outline dominated ca. 0.36 Ma, while little fluctuation in size was observed through the analysed horizons for the last 1.6 million years. This findings suggest that the temporal morphological variation was caused by lateral movement of water masses around the site in 0.36 Ma.

研究分野：微古生物学

キーワード：地球史 浮遊性有孔虫 形態解析 北大西洋 北西太平洋 南大西洋

1. 研究開始当初の背景

海洋表層に生息する生物の地理的分布や移動は、海洋の循環系をよく反映する。水温や塩分は海洋の物理的性質を説明する要素だが、大洋間での海水の交換や隔離の過程を知る上では、現場に生息する生物の分布が直感的で理解がたやすい。海産微化石は過去の海洋表層の地理分布を理解する上で有用である。例えば、パナマ地峡の成立に伴う低緯度大西洋と太平洋の物理的な隔絶は、近傍海域に生息していた海洋生物の分布をも遮断し、その結果両海域から得られる堆積物中の化石種の地理分布を大きく変えることになった (Norris, 1999 など)。また、大洋間の海水の交流・隔絶の変遷を復元することは、地質時代の海洋循環の履歴を明らかにする手がかりとなる。本研究で扱う高緯度北半球海域、特に北極海は現在永年の氷で覆われ、太平洋と大西洋での海水の交流は、非常に限定的である。しかし後期中新世以降の化石記録を参照すると、ある程度の海水の交換があった可能性が断片的ながら示唆される (嶋田ほか, 2008 など)。特に Baldauf (1987) は、北大西洋と北太平洋の浮遊珪藻種の分布の相違から、1 Ma (Ma は 100 万年前) 前後に北極が、海水が存在しない「Ice free」な状態にあったことを推定した。なお、現在の地球環境変動に根幹から携わる重要な機構として熱塩循環が知られる。近年、熱塩循環の本格的な駆動のタイミングは移行期間を伴った 1 ~ 0.5 Ma であるとの説が紹介された (例えば Schmeider et al., 2000)。極域の表層水の強い冷却は熱塩循環を駆動する重要な一要素であり、すなわち北極の海水の発達是全球的な環境変動に影響を及ぼす可能性が高い。

申請者も参加し、2004 年に実施された IODP (統合国際深海掘削計画) Exp.303 航海では、北大西洋の亜極前線付近で第四紀をフルカバーする極めて良好なコア (海底柱状試料) U1304 を採集した (図 1)。予察研究ではこのコアに多産する *Neogloboquadrina*

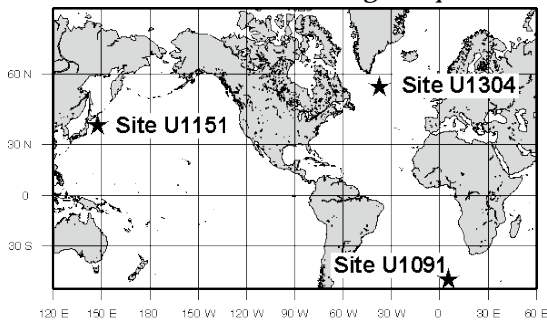


図 1. 調査をおこなった試料の採集地点

pachyderma 殻が 1.2 Ma 前後に急激に大型化することが明らかになった (Yamasaki et al., 2008)。この殻形態の時間変化は、従来、種構成が単調かつ種数が少ないなどの制約から生物環境指標の確立が難しかった高緯度海域においての新機軸となりうるが、大洋

間スケールで広域に追跡可能であるか未だ検討されていない。そこで本申請研究では、北大西洋に加え、南大西洋と北西太平洋について同種の詳細な時間分布・殻形態を検討し、海洋環境変動との関連を考察する。

2. 研究の目的

本申請研究では、*N. pachyderma* (S; sinistral, 左巻個体, 以下 S と略記) の石灰質殻の形態変化について、申請者が予察的な解析を行った (1) 北大西洋 IODP (統合国際深海掘削計画) Site U1304 を軸に、(2) 南大西洋から ODP (国際深海掘削計画) Site U1091 を、また (3) 北西太平洋から ODP Site U1151 の各コアを用いて、広範囲をカバーした海域毎の殻形態の変化を検討する。3 つの大洋から各々産する殻の詳細な観察から、形態変化の生理生態的要因は何なのか、そして本種の形態変動の同時性が大洋間の生物交流の証拠たり得るのか、それともこの形態変動が各大洋内で独立・並行して進んだ現象なのか等をまず十分に議論するとともに、浮遊性有孔虫殻の高緯度海域の地球表層環境の変化に対する応答を考察することを目的とする。

3. 研究の方法

研究に用いた試料は、いずれも IODP もしくは ODP によって得られた。試料は浮遊性有孔虫群集解析のために約 10cc を分取し、凍結乾燥ののち水洗された。固結度の高い試料については、その硬さに応じて濃度を 3 ~ 6% に調整した過酸化水素水溶液に浸したのち水洗された。試料のうち、(1) 北大西洋 IODP Site U1304 コア (北緯 53.05 度・西経 33.52 度) は過去 180 万年間を時間分解能にして 5000 ~ 10000 年間隔 (247 試料) で浮遊性有孔虫化石群集解析および形態解析をおこなった。これらのうち、103 試料について *Globigerina quinqueloba* と *N. pachyderma* (S) の酸素・炭素安定同位体比の分析結果が得られており (山崎ほか, 2012)、海洋表層の成層状態の復元の検討に用いた。一部層準については、仏国アンジェ大学所有の有孔虫形態自動計測システム (例えば Schmit et al., 2004) にて追加分析をおこなった。分析結果に対しては統計解析ソフトウェア IBM SPSS Statistics 22 により主成分分析をおこない、殻形態の時間変化を検討した。また、(2) 南大西洋の ODP Site U1091 コア (南緯 47 度・東経 5 度) は層位間隔約 4m ないし 8m で 100 試料の同化石の群集解析および殻形態の分析を実施した。同試料での殻形態の分析は、秋田大学が保有する双眼実体顕微鏡にデジタルカメラを装着し、Image J ソフトウェア (米国、国立精神保健研究所により無償提供) を用いて実施した。さらに (3) 北西太平洋 ODP Site U1151 コア (北緯 38.75 度・東経 143.33 度) について、1 ~ 3 万年間隔で約 170 万年間に相当する 73 試料につい

て浮遊性有孔虫群集解析を実施した。

4. 研究成果

3つの海域でそれぞれ得られた深海底コアの採集位置は、いずれも寒冷な環境下である(図1)。これらの試料は、本申請研究で鍵となる寒冷系種浮遊性有孔虫 *N. pachyderma* (S) を分析する目的で選ばれたが、分析の結果、いずれの海域においても同種の多産が確認された(図2)。北大西洋 Site U1304 の同種

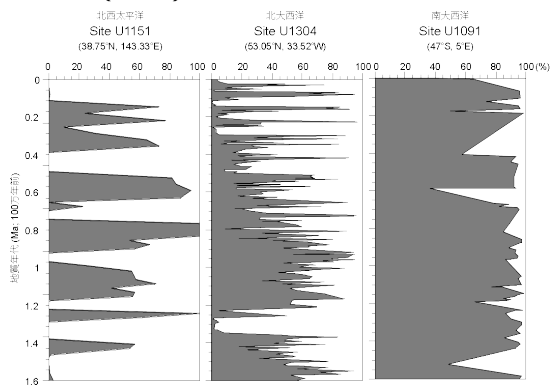


図2. 3つの調査海域での浮遊性有孔虫 *N.*

pachyderma (S) の相対産出量

の産出が10万年以下の細かい周期の振幅の大きい増減で特徴づけられるのに対して、南大西洋の Site U1091 では、いくつかの層準を除いてほぼ連続的な80%以上の多産で特徴づけられる。一方、北西太平洋の Site U1151 は、過去160万年間に渡って間欠的に多産する傾向にある。しかしながら、*N. pachyderma* (S) の極めて低い産出は、同種の貧産出というよりはむしろ、石灰質微化石そのものの産出の乏しい層準に対比され、一部試料では、石灰質殻の溶解に起因する。予察的研究によれば Site U1151 は過去170万年間に渡って寒冷な環境下であり(古屋, 1995)、本研究でも浮遊性有孔虫群集組成から寒冷環境であるとの見解を強く支持する。つまり Site U1151 では、高緯度での生物群の環境応答に関する情報を得られるものと期待される。しかしながら石灰質殻の溶解は、殻形態の分析において、堆積後の二次的な影響による偏向の可能性を否定できない。そこで、以降の議論では、北大西洋と南大西洋の分析結果について検討を進める。

大洋間での浮遊性有孔虫 *N. pachyderma* (S) の殻形態を比較するために、まずは、形質のうちでも既に研究報告事例の多い、殻サイズ(長径)について検討をおこなった。南大西洋 Site U1091 では、北大西洋の Site U1151 ほどではないものの、数試料で石灰質殻が脆弱な状態にあったことから走査型電子顕微鏡写真を撮影し、殻の溶解の影響を観察した。必要に応じて、別分割試料中から拾い出した標本を慎重に破壊し、殻の内側についても詳細な観察をおこなった。その結果、約0.2~0.4 Maと1.8 Ma以前で石灰質殻の

溶解が進行していることが明らかとなった。これらを除いた年代について、殻の長径の時間変化を検討した(図3)。既に報告のなされている北東太平洋(Huber et al., 2000)と北部北大西洋(Kucera and Kennett, 2002)の結果と本研究で分析した Site U1304 と Site U1091 を比較すると、*N. pachyderma* (S) の殻サイズは、南大西洋 Site U1091 を除く海域で、程度の差はあるものの、いずれも1.2 Ma以降で増大する傾向が認められた。一方、

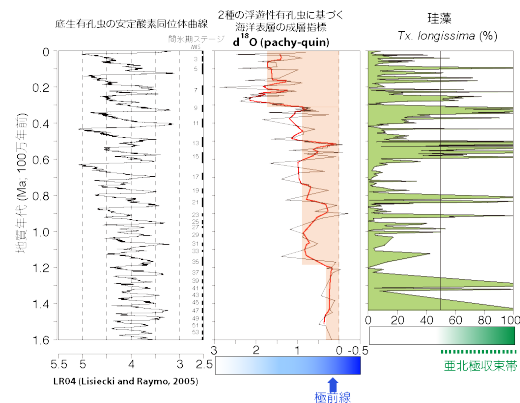


図3. *N. pachyderma* (S) の殻サイズ(長径)

の時間変化。黒印が本研究で得られた分析結果、白抜き印が文献からの引用(Site 1014; Kucera and Kennett, 2002, Site 909 と643; Huber et al., 2000)。

南大西洋では、1.2 Maを挟んだ0.8~1.4 Maで際だった変化は認められない。このことは、大西洋の南北間で同種の殻サイズについて対立関係が認められることを意味している。そこで、殻形態のより詳細な時間変化を明らかにするために、堆積物中での殻の保存が極めて良好な北大西洋の Site U1304 コアについて精査することし、殻の長径や短径、面積、円周長などの測定をおこない、浮遊性有孔虫殻の形態的特質をあらゆる要素として、凸性とシェイプファクタ、アスペクト比について算出した(図4)。また、それら形質の要素に

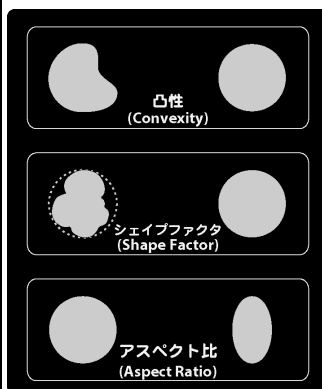


図4. *N. pachyderma* (S) より抽出した形質の要素。いずれの形質も右側ほど高いスコアを示す。

ついて主成分分析をおこない、殻形態の時間変化を検討した(図5)。分析の結果、いずれの形質の要素も大局的には、調査層準を通して丸みを帯びた形状を示唆した。また、殻形態の中

でも、殻のサイズ（特に長径）が最も変化に富む傾向にあることが明らかになった(図5)。

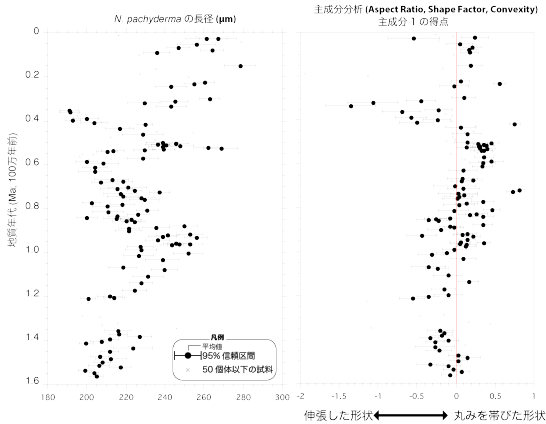


図5. Site U1304の *N. pachyderma* (S)の長径と主成分1得点の時間変化

これらの分析結果と高緯度の海洋環境との対応を考察するために、海洋表層に棲息する *G. quinqueloba* と亜表層～水温躍層に生息する *N. pachyderma* (S)より見積もられる極前線の指標と、珪藻種 *Thalassiothrix longissima* の多産に基づく亜北極収束帯（本調査海域では亜極前線と一致）との対比をおこなう(図6)。その結果、殻サイズ（長径）が増大する傾向を持つようになる1.2 Maで際だった形質の変化は認められないものの、それより後の0.36 Ma付近で、急激な殻サイズの減少を伴って、一時的に、より扁平で伸張した形状に変化する傾向が認められた(図5)。この時、2種の酸素同位体比に基づく指標は、極前線が調査地点 Site U1304 のはるか北方へ移動したことを示すとともに、亜極前線が Site U1304 付近に停滞したことを示唆する(図6)。この地質年代は海洋酸素同位

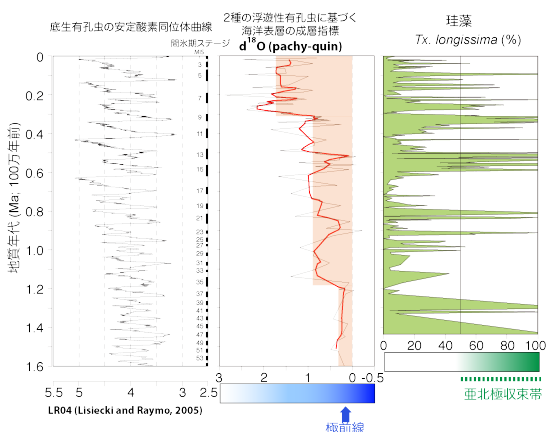


図6. Site U1304より得られた2種の浮遊性有孔虫に基づく海洋表層の成層指標（中央）と亜北極収束帯を示唆する珪藻の産出割合（右；Shimada et al., 2008）
体ステージ（Marine Isotope Stage; MIS）

10/11境界に対比される。MIS11は、中～後期第四紀の中でも際だって温暖かつ長い間氷期として知られ、Site U1304近傍の北西大西洋付近でさえも温暖な表層水塊に覆われていた可能性が指摘されている（例えば de Vernal et al., 2008）。したがって、MIS10/11境界付近で認められる *N. pachyderma* (S)の一時的な形態変化は、Site U1304近傍での局所的な水塊の変化に対する応答である可能性が指摘される。

従来、浮遊性有孔虫の殻形態は、生物進化の観点から議論が進められてきたが、本研究の検討結果は、*N. pachyderma* (s)の形質（殻サイズを含む）は、環境または環境変動にともなう水塊の移動など、気候への応答として有効な指標となる可能性があることを示している。

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）

〔学会発表〕(計 5件)

山崎 誠・嶋田智恵子・佐藤時幸・池原 実・北大西洋IODP Site U1304に発達する珪藻軟泥と浮遊性有孔虫化石からみた第四紀後期の亜極循環の成立過程．日本地質学会第119年学術大会．2012. 9. 16. 大阪市立大学（大阪）。

山崎 誠・千葉歌澄・佐藤時幸・池原 実・浮遊性有孔虫に基づく南大西洋亜南極前線移動にともなう海洋構造変遷の復元．東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会「南大洋インド洋区における海洋地球科学合同観測の成果～IODP掘削へ向けて～」．2012. 9. 25. 東京大学（千葉）。

山崎 誠・千葉歌澄・佐藤時幸・池原 実・浮遊性有孔虫に基づく更新世の南大西洋亜南極前線移動にともなう海洋構造変遷の解明．高知大学海洋コア研究センター全国共同利用成果報告会．2013. 3. 1. 高知大学（高知）。

山崎 誠・千葉歌澄・佐藤時幸・池原 実・更新世中期の南大西洋亜南極前線移動にともなう海洋構造の変遷．日本古生物学会2013年年会．2013. 6. 12. 熊本大学（熊本）。

山崎 誠・嶋田智恵子・池原 実・北大西洋の亜極前線下に発達する珪藻軟泥と浮遊性有孔虫殻形態の変遷に基づく第四紀後期の亜極循環の復元．日本地質学会第121年学術大会．2014. 9. 14. 鹿児島大学（鹿児島）。

6. 研究組織

(1)研究代表者

山崎 誠 (YAMASAKI MAKOTO)

秋田大学・工学資源学研究所

研究者番号：40344650

(2)研究分担者

なし ()

研究者番号：

(3)連携研究者
なし ()

研究者番号：