

Neogloboquadrina pachyderma と *Neogloboquadrina incompta* の古海洋学的意義

尾田太良*・堂満華子**

* 東北大学大学院理学研究科地学専攻・** 滋賀県立大学環境科学部環境生態学科

Paleoceanographic significance of *Neogloboquadrina pachyderma* and *Neogloboquadrina incompta*

Motoyoshi Oda* and Hanako Domitsu**

*Institute of Geology and Paleontology, Graduate School of Science, Tohoku University, 6-3 Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai 980-8578, Japan (odam@mail.tains.tohoku.ac.jp); **Department of Ecosystem Studies, School of Environmental Science, The University of Shiga Prefecture, 2500 Hassaka-cho, Hikone 522-8533, Japan (domitsu.h@ses.usp.ac.jp)

Abstract. *Neogloboquadrina* group is dominant in modern planktic foraminiferal assemblages around Japan. As one of the most useful paleoceanographic proxies, the coiling direction of *Neogloboquadrina pachyderma* was widely used by many workers who have explained the behavior by temperature controlling the coiling direction in a single species. Morphologic characteristics and geographical distribution pattern, however, reflect the presence of two distinct species with opposite coiling direction preferences in the Northwest Pacific and Japan Sea. The Oyashio and cold waters in Japan Sea are inhabited by *N. pachyderma*, with dominantly sinistral shells associated with rarely dextral forms. On the other hand, the dominantly dextrally coiled *Neogloboquadrina incompta*, accompanied with rarely sinistral shells, thrives in (1) the Perturbed area located between the Oyashio and the Kuroshio fronts and (2) the transitional water formed by mixing of the Tsushima Warm Current with cold waters in Japan Sea. In addition, *N. incompta* is also common in the area off Ensyu-nada, where the cold water mass occurs associated with the meandering of the Kuroshio.

Thus, *N. pachyderma* and *N. incompta* are the optimal markers of the cold waters and the transitional waters as well as the cold water mass in the Kuroshio domain, respectively. These two species contribute to reconstruct the paleoceanography in Northwest Pacific and Japan Sea.

Key words: planktic foraminifera, *Neogloboquadrina pachyderma*, *Neogloboquadrina incompta*, Japan

はじめに

1861年 Ehrenberg によって記載された *Aristorospira pachyderma* は、ほぼ1世紀をへて脚光を浴びることになる。Ericson (1959) はこの種を *Globigerina pachyderma* として、その殻の巻き方向は水温指標として活用できることを提案した。現在、同種は *Neogloboquadrina* 属に属し、南北の極域・亜極帯に分布する優占種であり (Bé, 1977)、中緯度域から高緯度域での古海洋復元には欠くことのできない種として広く知られている。また、*Neogloboquadrina pachyderma* は南北両半球の極域に多産する二極分布傾向を示す種として生物進化の研究においても注目を浴びている。

Neogloboquadrina pachyderma は、現世浮遊性有孔虫の中でも殻形態 (形状・最終室の大きさ・口孔の位置・殻の厚み) のバリエーションが大きい種であるとされてきた (Arikawa, 1983; Kennett and Srinivasan, 1983)。Kennett

and Srinivasan (1980) は、*N. pachyderma* の殻表面の超微細構造を調べた結果、結晶質と網目状の2つのタイプが存在することを報告した。そして、Reynolds and Thunell (1986) は *N. pachyderma* の結晶質のタイプをグループ A、網目状のタイプをグループ B として、北東太平洋に設置されたセジメントトラップ試料中の各グループのフラックスの季節変動を調査した結果、いずれのグループも水温と水温躍層の構造・深度の季節変化に直接的に関連していることを明らかにした。すなわち、結晶質で厚く石灰化した殻をもつグループ A は水温が8°C以下でかつ海洋表層上部100 mが十分に混合されているときに最も多産し、一方の網目状で薄く石灰化した殻をもつグループ B は水温が8°C以上でかつ水温躍層が5~20 mの深度で十分に発達しているときに多産する。さらに彼らは、結晶質のグループ A は左巻き優勢であり、網目状のグループ B よりも殻の大きさが小さいこと、一方のグループ B は右巻き優勢であることを述べている。これら

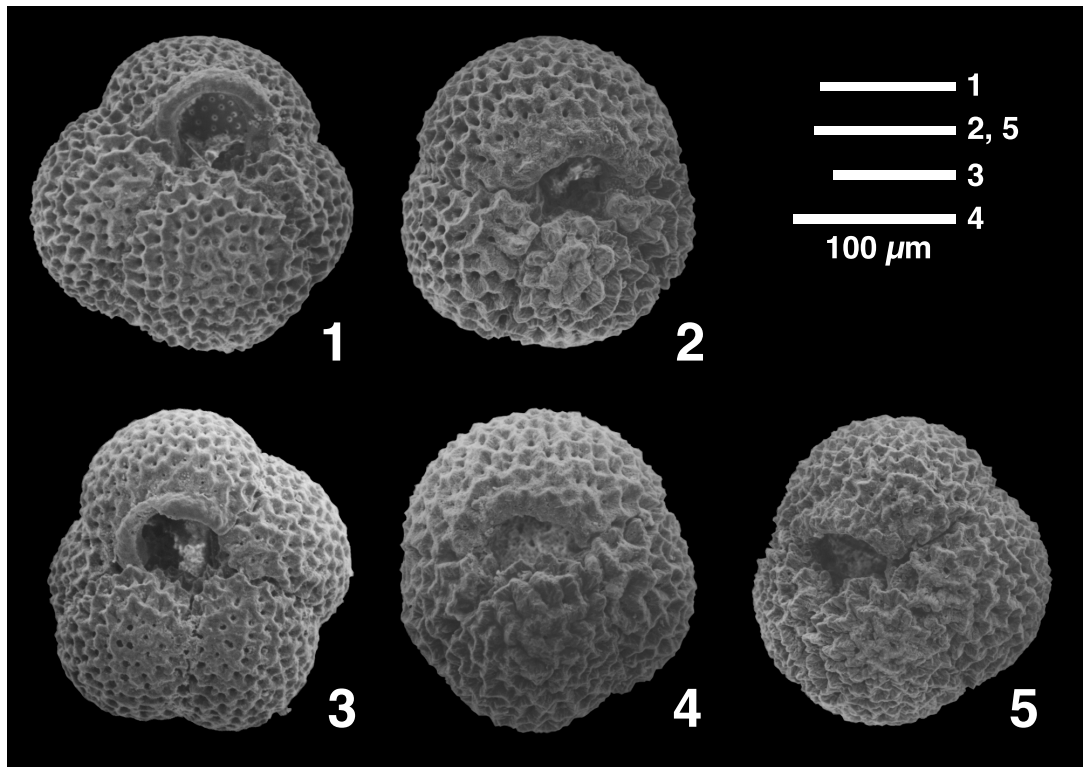


図 1. 北西太平洋の表層堆積物から産出した浮遊性有孔虫 *Neogloboquadrina pachyderma* の走査型電子顕微鏡写真. 1 と 2 は左巻き個体で, 3 ~ 5 は右巻き個体である.

Fig. 1. SEM illustrations of *Neogloboquadrina pachyderma* in surface sediment samples from the northwestern Pacific. 1 and 2: sinistral-coiling forms. 3-5: dextral-coiling forms.

の事実から, *N. pachyderma* という種の単なる巻き方向の違いとして認識されてきた 2 つの個体群は, 実は殻形態の特徴のみならず生態も異なる別種である可能性をもつことが読みとれる.

過去 10 年ほどの間, 浮遊性有孔虫について分子生物学的研究が盛んに進められている (たとえば, Darling *et al.*, 2000, 2006; de Vargas *et al.*, 2001 など). Darling *et al.* (2000) は有孔虫の核内小サブユニットリボソーム RNA の塩基配列にもとづく分子系統解析を行った結果, *N. pachyderma* の左巻き個体と右巻き個体は遺伝子的に異なることを指摘し, 両者の系統が異なるという重要な示唆をもたらした. さらに Darling *et al.* (2006) は, 化石記録と生物地理区, そして生態を考え合わせると, *N. pachyderma* の左巻き個体と右巻き個体の遺伝子的な差異は両者が別種であるということを強く示唆すると報告している. そして彼女らは, *N. pachyderma* の右巻き個体に Cifelli (1961) によって記載された *Neogloboquadrina incompta* という種名を適用することがもっともさわいであろうと提案している. このような流れを受けて, Kucera は 2007 年に刊行された「Proxies in Late Cenozoic Paleocyanography」の中で, Bé (1977) の浮遊性有孔虫帯区分の図中の *N. pachyderma* 右巻き個体を *N. incompta* に改め, 再編集したうえで同図を引用している (Kucera, 2007).

筆者のひとりである尾田は, 1970 年代より日本周辺海域で採集された表層堆積物を試料として, 浮遊性有孔虫の現世遺骸群集を長年にわたって調査してきた. その過程で, *N. pachyderma* のほとんどは左巻き個体からなり, 右巻き個体がまれであることに気づき, 従来 *N. pachyderma* の右巻き個体とされてきたものはその形態的特徴から Cifelli (1961) が記載した *N. incompta* に相当するであろうとの考えに至った. そこで, Cifelli 博士から *N. incompta* の同地模式標本 (topotype) を提供いただき, それを日本近海の *N. pachyderma* と *N. incompta* のそれぞれの左巻き・右巻き個体と直接的に比較検討するとともに, 既存の論文に掲載されている *N. pachyderma* の電子顕微鏡写真についてもあわせて検討した. その結果, *N. pachyderma* と *N. incompta* のいずれの種も左巻き・右巻き個体が存在するものの, *N. pachyderma* は左巻き優勢であり, 一方の *N. incompta* は右巻き優勢であるとの結論に達した. それ以来, *N. pachyderma* と *N. incompta* を形態的に別種として分類している (たとえば, 尾田ほか, 1983; 高柳・尾田, 1983; 尾田・嶽本, 1992; Takemoto and Oda, 1997; Oda and Yamasaki, 2005; Domitsu and Oda, 2005 など).

そこで本論文では, 日本近海の現世 *N. pachyderma* と *N. incompta* の形態的特徴について整理するとともに, 筆者らのこれまでの研究成果をもとに日本近海における両種の

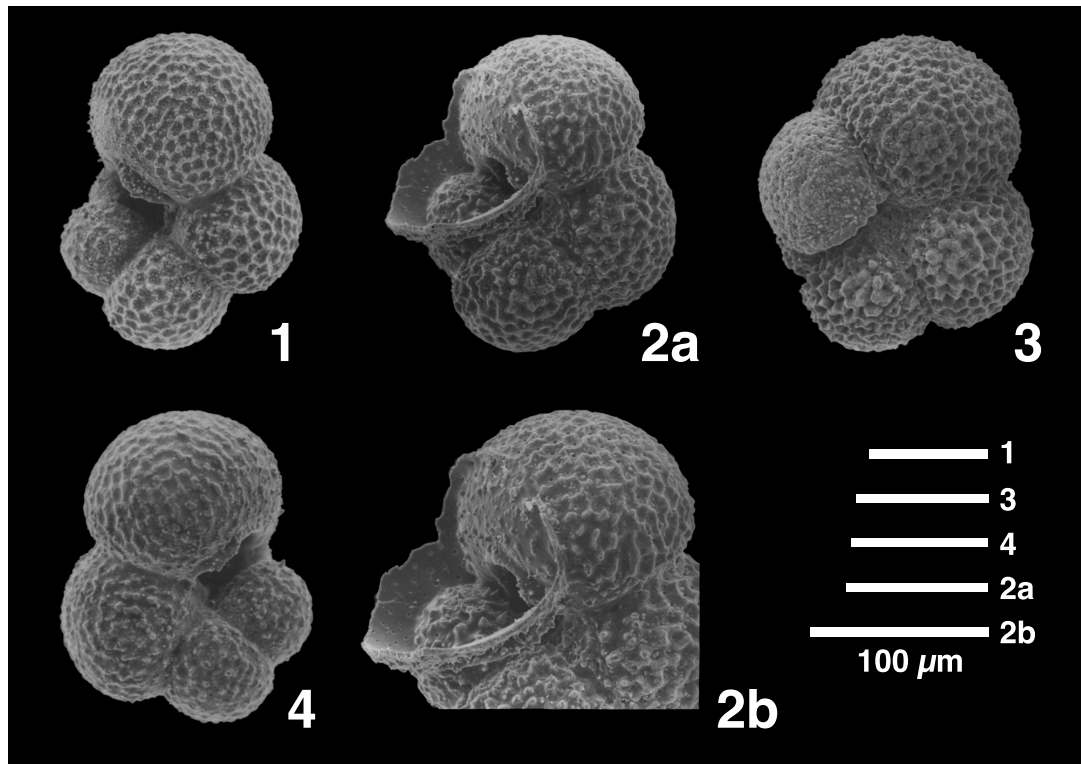


図2. 北西太平洋の表層堆積物から産出した浮遊性有孔虫 *Neogloboquadrina incompta* の走査型電子顕微鏡写真。1～3は右巻き個体で、4は左巻き個体である。2bは2aの拡大。*N. incompta* には3の標本のように最終室が臍部にかぶることがあるが、その最終室を取り去ると典型的な *N. incompta* の主口孔が観察される（2aと2b）。

Fig. 2. SEM illustrations of *Neogloboquadrina incompta* in surface sediment samples from the northwestern Pacific. 1-3: dextral-coiling forms. 4: sinistral-coiling form.

地理的分布とその規制要因，そして古海洋学的意義について述べる。

Neogloboquadrina pachyderma (Ehrenberg) ならびに *Neogloboquadrina incompta* (Cifelli) の形態的特徴

日本周辺海域で採集された表層堆積物試料から産出した *N. pachyderma* ならびに *N. incompta* の走査型電子顕微鏡写真を図1および図2に示す。

筆者らが現世 *N. pachyderma* と同定している典型的な標本の形態的特徴は次のとおりである。殻サイズは小さく、左巻き優勢であり、外周縁は軸・赤道の両側ともに丸みを帯びる。最終らせんは通常球状の4室からなる。室は付加するにつれて急速に大きさを増す。口孔は内縁部口孔で臍部に開口し、その形状は重厚な口孔唇をもつ低いアーチ状である（図1）。

一方、筆者らが現世 *N. incompta* と同定している典型的な標本の形態的特徴は次のとおりである。殻サイズは比較的小さく、右巻き優勢であり、赤道側の外周縁は小葉状で、軸側の外周縁は緩やかに圧縮した形状である。最終らせんは球状の4～4.5室からなる。室は付加するにつれて適

度に大きさを増すが、最後の3～4室は急速に大きさを増す。口孔は内縁部口孔で切れ目が臍部から外周縁に向かい伸び、その形状は明瞭な薄い口孔唇をもつかなり低いアーチ状である（図2）。

両種の形態的特徴を比較すると、口孔の位置とその形状は両種を分類するうえでの重要な判断基準となる。また、*N. pachyderma* は *N. incompta* よりも基本的に殻サイズが小さく、全体的に丸みを帯びているため室と室の境界である縫合線がしばしば不明瞭であるのに対して、*N. incompta* はその外周縁が小葉状で縫合線が明瞭に観察されやすい。いずれの種の「逆巻き」も、これらの形態的特徴を有したまま逆巻きとなっていることから、両種の区別は可能である。以下、この区分にしたがって議論を進める。

Neogloboquadrina pachyderma (Ehrenberg) ならびに *Neogloboquadrina incompta* (Cifelli) の地理的分布とその規制要因

Neogloboquadrina pachyderma ならびに *N. incompta* の地理的分布を図3に示す（尾田ほか，1983，尾田・嶽本，1992，Takemoto and Oda，1997；Xu and Oda，1999；森下ほか，2002；佐々木ほか，2003；堂満ほか，2004；

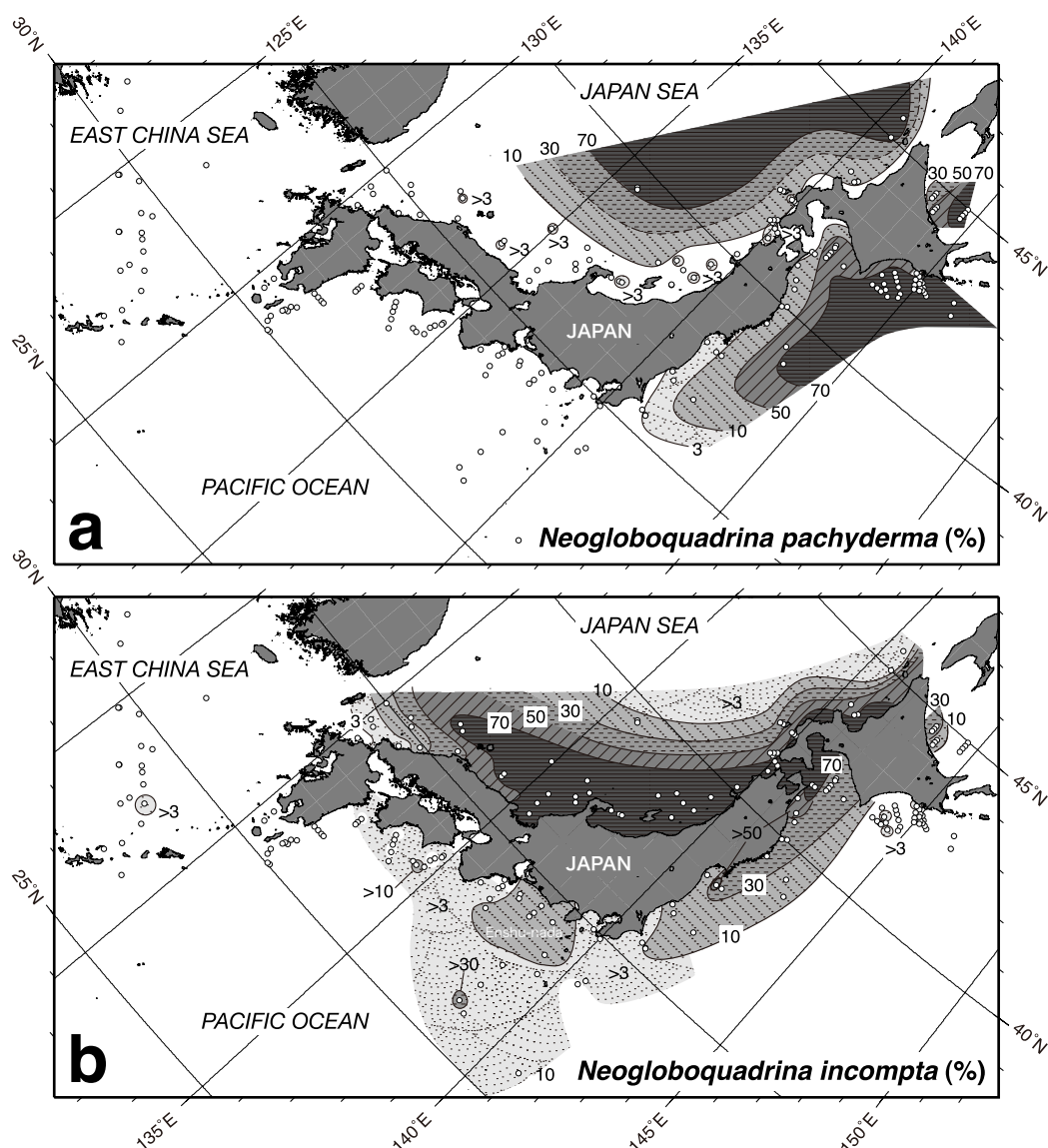


図3. 日本近海における表層堆積物中の *Neogloboquadrina pachyderma* ならびに *Neogloboquadrina incompta* の地理的分布. 尾田ほか (1983), 尾田・嶽本 (1992), Takemoto and Oda (1997), Xu and Oda (1999), 森下ほか (2002), 佐々木ほか (2003), 堂満ほか (2004), Domitsu and Oda (2005), 堂満ほか (2007) にもとづき作成.

Fig. 3. Geographical distributions of *Neogloboquadrina pachyderma* and *Neogloboquadrina incompta* in surface sediment samples around the Japan, based on the data from Oda *et al.* (1983), Oda and Takemoto (1992), Takemoto and Oda (1997), Xu and Oda (1999), Morishita *et al.* (2002), Sasaki *et al.* (2003), Domitsu *et al.* (2004), Domitsu and Oda (2005), and Domitsu *et al.* (2007).

Domitsu and Oda, 2005; 堂満ほか, 2007 のデータを使用). なお, 本論文では Xu and Oda (1999) の *N. pachyderma* 右巻き個体を *N. incompta* として扱う.

日本近海における現世 *N. pachyderma* は, 北西太平洋では親潮域, 日本海では極前線以北の寒冷水域, オホーツク海では宗谷暖流影響下にある沿岸域をのぞく海域において 70% 以上の高い頻度を示す (図 3a; 尾田ほか, 1983; 尾田・嶽本, 1992; Takemoto and Oda, 1997; Domitsu and Oda, 2005).

一方, 日本近海における現世 *N. incompta* は, 北西太平洋では黒潮前線と親潮前線の間の混合水域, 津軽暖流の影

響下にある三陸沖沿岸, ならびに黒潮の蛇行にともなう大規模な冷水塊が発達する遠州灘海域, 日本海では対馬海流の暖水と北部寒冷水が混合した遷移水域, オホーツク海では宗谷暖流影響下の沿岸域において 70% 以上の高い頻度を示す (図 3b; 尾田ほか, 1983; 尾田・嶽本, 1992; Takemoto and Oda, 1997; Domitsu and Oda, 2005). なお, 日本近海では *N. pachyderma* と *N. incompta* のいずれの種も左巻き・右巻き個体が存在する (図 1・図 2) もの, *N. pachyderma* は左巻き優勢 (右巻き個体はおおむね 3% 以下) であり, 一方の *N. incompta* は右巻き優勢 (左巻き個体はおおむね 4% 以下) である.

このように日本近海における *N. pachyderma* ならびに *N. incompta* の分布を概観してみると、*N. pachyderma* は親潮域に代表されるように寒冷な水塊に対応して分布し、一方の *N. incompta* はその分布が黒潮前線と親潮前線の間の混合水域に特徴的であるように、より温暖な水塊に対応して分布することが見てとれる。このような両種の地理的分布の違いは、両種の分布の規制要因が大局的には水温であることを示している。これに加えて、*N. pachyderma* と *N. incompta* はいずれの種も左巻き・右巻き個体が存在するものの、*N. pachyderma* はそのほとんどが左巻き個体からなり、*N. incompta* はそのほとんどが右巻き個体からなることを考え合わせると、古水温指標として利用されてきた従来のいわゆる *N. pachyderma* の巻き方向の変化は、左巻き優勢である *N. pachyderma* と右巻き優勢である *N. incompta* の種の入替わりを示していると推察される。

一方、*N. incompta* は遠州灘海域に比較的高頻度でしかも局所的に分布しており、これは海流に対応した水温分布だけでは説明できない特徴である。尾田・嶽本（1992）はこの *N. incompta* の遠州灘海域における特徴的な分布を、黒潮の大蛇行時に発達する大規模な冷水塊と関連づけている。Oda and Yamasaki（2005）は黒潮域の日本海溝に設置されたセジメントトラップ試料中の浮遊性有孔虫フラックスの季節変動を調査した結果、*N. incompta* のフラックスが高い時期は黒潮が蛇行によってセジメントトラップ観測地点に接近した時期であることを見いだした。これは、黒潮がセジメントトラップ観測点に接近することによって、セジメントトラップの沈降粒子推定捕集域に植物プランクトンの高い生産で特徴づけられる黒潮前線の沿岸側の水域が重なり、これに应答するように *N. incompta* のフラックスが高くなったと推測される（Oda and Yamasaki, 2005）。この観測結果は、黒潮蛇行時の沿岸側の水塊に *N. incompta* が多産する可能性が高いことを示すものであり、遠州灘海域の冷水塊に *N. incompta* が高頻度で産するとした尾田・嶽本（1992）の解釈を強く支持している。

北大西洋東部のプランクトンネット調査では、*N. incompta* は成層化した水塊に多産する（Schiebel *et al.*, 2001）。これは、*N. pachyderma* のグループ B（網目状のタイプ・右巻き優勢）は水温躍層が十分に発達した状態（水温 8°C 以上）でもっとも多産するという Reynolds and Thunell（1986）の調査結果と一致している。また、Ortiz *et al.*（1995）はカリフォルニア海流域でのプランクトンネットの調査から、*N. pachyderma* の右巻き個体は共生藻をもたない表層種であり、その現存量は好適水温の状況下であれば主として餌の利用状況によって規制されるであろうと報告している。

Neogloboquadrina incompta は図 3 に示されるように、中緯度海域の浮遊性有孔虫群集の優勢種のひとつである。従来 *N. pachyderma* の右巻き個体として位置づけられてきた *N. incompta* の生態に関して十分な研究を行い、*N. incompta*

のプロキシとしての有用性を高めることができれば、古海洋変動の復元に大きく貢献するであろう。

おわりに

北西太平洋三陸沖で掘削された ODP Leg 186 Site 1150 について浮遊性有孔虫層序に基づく、現世 *N. pachyderma* の初産出が約 1.2～1.3 Ma である（Domitsu and Oda, 2008）。Kucera and Kennett（2002）は、北東太平洋 ODP Site 1140 の鮮新世～更新世の堆積物に含まれる *N. pachyderma* 左巻き個体について、その形態・殻サイズと安定同位体比の詳細な比較検討を行った結果、現世 *N. pachyderma* 左巻き個体（後述する Kucera and Kennett（2000）の B タイプ）が最初に出現したのは更新世の約 1 Ma であり、鮮新世の *N. pachyderma* 左巻き個体（同、C タイプ）とは形態的にも生態学的にも異なることを示している。これらの研究は、現世 *N. pachyderma* が北部太平洋では約 1 Ma 以降のプロキシとして使用可能であることを示唆している。

一方、*N. incompta* の初出現はさらに古い時代までさかのぼる（Domitsu and Oda, 2008 の図 2）。Darling *et al.*（2006）は、*Neogloboquadrina* 属の遺伝子系統樹が *N. pachyderma* の左巻き・右巻き両遺伝子型の大きな分岐を明瞭に示すことから、左巻きと右巻きの両グループの分岐が起こったのは数百万年前であることを指摘している。そして、彼らはその分岐が、Bandy（1972）によって *N. pachyderma* の優先的な巻き方向の比率が認められた中新世後期の産出下限付近である可能性が高いことを報告している。

Kucera and Kennett（2000）は、*N. pachyderma* を A, B, C の 3 タイプに分類し、このうち A タイプを新種の *Neogloboquadrina inglei* として記載した。*N. inglei* はほとんど極端に右巻き優勢の種である（Kucera and Kennett, 2000）。Domitsu and Oda（2008）は三陸沖 Site 1150 において *N. inglei* を見だし、その終産出を約 0.6～0.8 Ma と報告している。このように、従来 *N. pachyderma* とひとくくりにされてきたものは、いくつかの種に分類されつつある。

浮遊性有孔虫の *Neogloboquadrina* 属は、中新世後期以降の代表的な属であり、中緯度域から高緯度域の古海洋復元には欠くことのできない分類群である。今後、中緯度から高緯度における古海洋研究の精度を向上させるためにも、多様性が高い *Neogloboquadrina* 属の各種について分類を整理し、研究者間の種の概念を統一する必要がある。特に、*N. incompta* については形態学的・分子系統学的並びに生息環境の違いから、*N. pachyderma* とは別種として明示することが古海洋学の進歩に重要であろう。

謝辞

本論文は 2008 年に東北大学で開催された古生物学会シ

ンポジウムで講演した内容の一部をまとめたものである。シンポジウムの世話人としてご尽力いただいた秋田大学の佐藤時幸博士ならびに山崎 誠博士、名古屋大学の井龍康文博士、そして東北大学の鈴木紀毅博士並びに 2 名の匿名の査読者にこの場を借りて厚く御礼申し上げる。また、*N. incompta* の同地模式標本 (topotype) を提供していただいた故 Richard Cifelli 博士に心からの謝意を表する。

文献

- Arikawa, R., 1983. Distribution and Taxonomy of *Globigerina pachyderma* (Ehrenberg) off the Sanriku coast, Northeast Japan. *Science Reports of the Tohoku University, 2nd Series (Geology)*, **53**, 103-157, 1983.
- Bandy, O. L., 1972. Origin and development of *Globorotalia (Turborotalia) pachyderma* (Ehrenberg). *Micropaleontology*, **18**, 294-318.
- Bé, A. W. H., 1977. An ecological, zoogeographic and taxonomic review of recent planktonic foraminifera. *Oceanic Micropaleontology*, **1**, p.1-100, Academic Press, London.
- Cifelli, R., 1961. *Globigerina incompta*, a new species of pelagic foraminifera from the North Atlantic. *Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research*, **12**, 83-86.
- Darling, K. F., Wade, C. M., Stewart, I. A., Kroon, D., Dingle, R., and Brown, A. J. L., 2000. Molecular evidence for genetic mixing of Arctic and Antarctic subpolar populations of planktonic foraminifera. *Nature*, **405**, 43-47.
- Darling, K. F., Kucera, M., Kroon, D., and Wade, C. M., 2006. A resolution for the coiling direction paradox in *Neogloboquadrina pachyderma*. *Paleoceanography*, **21**, PA2011, doi: 10.1029/2005PA00189.
- de Vargas, C., Renaud, S., Hilbrecht, H., and Pawlowski, J., 2001. Pleistocene adaptive radiation in *Globorotalia truncatulinoides*: genetic, morphologic, and environmental evidence. *Paleobiology*, **27**, 104-125.
- Domitsu, H. and Oda, M., 2005. Japan Sea planktic foraminifera in surface sediments: geographical distribution and relationships to surface water mass. *Paleontological Research*, **9**, 255-270.
- Domitsu, H. and Oda, M., 2008. Pleistocene planktic foraminiferal event in the northwest Pacific near Japan. *The Open Paleontology Journal*, **1**, 1-6.
- 堂満華子・徳本 諒・尾田太良・野田 篤, 2004. 北海道十勝沖海域における表層堆積物中の浮遊性有孔虫群集(予察). 片山 肇編, 千島弧-東北日本弧会合部の海洋地質学的研究(平成 15 年度研究概要報告書-釧路沖・日高沖海域-), 地質調査総合センター速報, (30), 88-94.
- 堂満華子・村上沙綾・曾野明洋・鹿納晴尚・鈴木紀毅・尾田太良・片山 肇・野田 篤, 2007. 北海道日高沖海域における表層堆積物中の浮遊性有孔虫群集(予察). 片山 肇編, 千島弧-東北日本弧会合部の海洋地質学的研究(平成 18 年度研究概要報告書-日高沖海域-), 地質調査総合センター速報, (39), 105-111.
- Ericson, D. B., 1959. Coiling direction of *Globigerina pachyderma* as a climatic index. *Science*, **130**, 219-220.
- Kennett, J. P. and Srinivasan, M. S., 1980. Surface ultrastructural variation in *Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg): Phenotypic variation and phylogeny in the Late Cenozoic. *Cushman Foundation Special Publication*, **19**, 134-162.
- Kennett, J. P. and Srinivasan, M. S., 1983. *Neogene Planktonic Foraminifera: A Phylogenetic Atlas*. 265p., Hutchinson Ross Publishing Company, New York.
- Kucera, M., 2007. Planktonic foraminifera as tracers of past oceanic environments. In Hillaire-Marcel, C. and de Vernal, A., eds., *Proxies in Late Cenozoic Paleoceanography (Developments in Marine Geology, 1)*, 213-262, Elsevier, The Netherlands.
- Kucera, M. and Kennett, J. P., 2000. Biochronology and evolutionary implications of Late Neogene California margin planktonic foraminiferal events. *Marine Micropaleontology*, **40**, 67-81.
- Kucera, M. and Kennett, J. P., 2002. Causes and consequences of a middle Pleistocene origin of the modern planktonic foraminifer *Neogloboquadrina pachyderma* sinistral. *Geology*, **30**, 539-542.
- 森下千賀子・尾田太良・堂満華子・池原 研, 2002. オホーツク海南西部海域における表層堆積物中の浮遊性有孔虫群集(予察). 池原 研編, 千島弧-東北日本弧会合部の海洋地質学的研究(平成 13 年度研究概要報告書-オホーツク海南西部海域-), 地質調査総合センター速報, (25), 161-169.
- 尾田太良・石崎国照・高柳洋吉, 1983. 本州東方海域表層堆積物中の浮遊性有孔虫群集解析. 海洋の動的構造(特定研究)ニュースレター, **11**, 3-9.
- 尾田太良・嶽本あゆみ, 1992. 浮遊性有孔虫からみた黒潮流域における過去 2 万年間の海洋変動. 第四紀研究, **31**, 341-357.
- Oda, M. and Yamasaki, M., 2005. Sediment trap results from the Japan Trench in the Kuroshio domain: seasonal variations in the planktic foraminiferal flux. *Journal of Foraminiferal Research*, **35**, 315-326.
- Ortiz, J. D., Mix, A. C., and Collier, R. W., 1995. Environmental control of living symbiotic and asymbiotic foraminifera of the California Current. *Paleoceanography*, **10**, 987-1009.
- Reynolds, L. A. and Thunell, R. C., 1986. Seasonal production and morphologic variation of *Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg) in the northeast Pacific. *Micropaleontology*, **32**, 1-18.
- 佐々木亮・尾田太良・横田一馬・林 広樹・野田 篤, 2003. 北海道釧路沖における表層堆積物中の浮遊性有孔虫群集(予察). 岡村行信編, 千島弧-東北日本弧会合部の海洋地質学的研究(平成 14 年度研究概要報告書-十勝沖海域-), 地質調査総合センター速報, (26), 108-113.
- Schiebel, R., Waniek, J., Bork, M., and Hemleben, C., 2001. Planktic foraminiferal production stimulated by chlorophyll redistribution and entrainment of nutrients. *Deep-Sea Research Part I*, **48**, 721-740.
- 高柳洋吉・尾田太良, 1983. 本州東方海域表層堆積物中の浮遊性有孔虫の分布. 海洋科学, **15**(3), 138-144.
- Takemoto, A. and Oda, M., 1997. New planktic foraminiferal transfer functions for the Kuroshio-Oyashio Current region off Japan. *Paleontological Research*, **1**, 291-310.
- Xu, X. and Oda, M., 1999. Surface-water evolution of the eastern East China Sea during the last 36,000 years. *Marine Geology*, **156**, 285-304.