

日本海側油田地帯の鮮新世有孔虫群集の変遷と古海洋環境

花方 聡

秋田県秋田市旭川南町 15-21

Historical changes in the Pliocene foraminiferal fauna in the Japan Sea oil-field region and its paleoceanographic implications

Satoshi Hanagata

Akita-shi Asahikawaminamimachi 15-21, Akita 010-0834, Japan

Abstract. Benthic foraminifer *Miliammina echigoensis* diagnostic of the *M. echigoensis* Zone appeared in the earliest Pliocene in the Japan Sea. It was accompanied by agglutinated foraminifers including *Martinottiella communis*, *Cribrostomoides subglobosus*, *Guppyella miocenica* and *Cyclammina japonica* which had survived from the Miocene. This agglutinated foraminifer-dominant fauna flourished under the cold-water conditions in the early Pliocene. Many of the agglutinated species gradually disappeared before or in the warm/high sea-level period of the No. 3 *Globorotalia inflata* bed (ca. 3 Ma) and were replaced by calcareous species of the *Uvigerina subperegrina* Zone that bears *Epistominella pacifica*, *Angulogerina ikebei*, and *Uvigerina yabei*. *Miliammina echigoensis* and *M. communis* almost disappeared in the oil-field region in this period; however, they survived in the deeper part of the sea until close to the Pliocene/Pleistocene boundary at the Sites 794-797 (ODP Leg 128) and further into the Pleistocene at the Sites 798 and 799 (ODP Leg 129).

The No. 3 *G. inflata* bed yields abundant temperate planktonic species *G. inflata* (s.l.) that probably migrated into the Japan Sea (embayment) through the Tsugaru Strait region, between Honshu and Hokkaido, in a warm/high sea-level period. The assemblages of the *Neogloboquadrina asanoi* bed, which lies above the No. 3 *G. inflata* bed, lack *G. inflata* (s.l.) and indicate a temperate-cold condition. Therefore, they are also distinguishable from the fauna of the warm Tsushima water mass. Conversely, the No. 2 *G. inflata* bed yields abundant *Globigerinoides ruber* and other warm water species, indicating the inflow of the Tsushima Current. Consequently, the initial submergence of the Tsushima Strait (Korea Strait) is inferred to have begun between the ages of the *N. asanoi* bed and the No. 2 *G. inflata* bed.

Key words: Foraminifera, oil-field region, Pliocene

はじめに

日本海側新第三系の有孔虫化石の研究は、油ガス田の開発と関連して資源探査に携わる研究者に主導されてきた(例えば, Oinomikado, 1941; Husezima and Maruhasi, 1944). その集大成として Matsunaga (1963) と米谷 (1978) が提唱した化石帯区分は、油田地帯はもとより日本海側新第三系生層序の最も基礎的な枠組みを提供している(図 1). 本論は、その後の研究成果のうち、特に鮮新世から更新世初頭における有孔虫群集の変遷およびそこから推定される古環境に重点を置いて整理を行うとともに残された課題を明確にすることを目的とする。

なお、ここでは Cande and Kent (1995) の古地磁気年代尺度に対して較正が行われた年代値(すなわち、本山・丸山, 1998; Yanagisawa and Akiba, 1998; 佐藤ほか, 1999), あるいはそれらを基礎として導かれた年代に基づいて議論を行う。また、日本海側油田地帯では、米谷 (1978)

の浮遊性有孔虫化石帯のほか、下位から *Globorotalia ikebei* bed, No. 3 *Globorotalia inflata* bed, *Neogloboquadrina asanoi* bed, No. 2 *G. inflata* bed などの名称(石油鉱業界の用語)が“マーカーベッド”として使用されている(例えば、佐藤ほか, 1988a, b). これらについては bed といった用語法上の問題のほか、*N. asanoi* bed (加藤・井上, 1999) 以外については定義が存在しないという基本的な問題が残されているが、データとマーカーベッドの設定根拠が明示されている平松・三輪 (2005) をリファレンスとし、本論においても簡便のため使用することとする。

底生有孔虫化石層序とその地史的意義

Miliammina echigoensis Zone/*Uvigerina subperegrina* Zone
の境界設定に関する問題

日本海側油田地帯に分布する鮮新統には、Matsunaga (1963) の化石帯のうち *Miliammina echigoensis* Zone と

Time (Ma)	Epoch	Benthic Foraminiferal Zones	Planktonic Foraminiferal Zones		Planktonic Foraminiferal "Marker bed"
		(Matsunaga, 1963)	(Maiya, 1978)	(H&W, 2001)	
1	PLEIST.	<i>Uvigerina subperegrina</i> Zone	<i>Globigerina pachyderma</i> (dextral)/ <i>Globorotalia orientalis</i> Zone		No. 2 <i>Globorotalia inflata</i> bed
2				<i>N. asanoi</i> Subzone	<i>Neogloboquadrina asanoi</i> bed
3	PLIOCENE	<i>Miliammina echigoensis</i> Zone	<i>Globorotalia ikebei</i> / <i>Orbulina universa</i> Zone	<i>Globorotalia orientalis</i> Subzone	No. 3 <i>Globorotalia inflata</i> bed
4					<i>Globorotalia ikebei</i> bed
5					
	MIO.	<i>Spirosmolinella compressa</i> Zone	Barren Planktonic Foraminifera		

図1. 日本海側油田地帯新第三系の有孔虫化石帯と“マーカー・ベッド”。

Fig. 1. Foraminiferal biostratigraphic zones and “marker beds” in the Neogene of the Japan Sea oil-field region. H&W: Hanagata and Watanabe

Uvigerina subperegrina Zone が存在し、両化石帯の境界は *M. echigoensis* Asano and Inomata の産出上限によって定義されている。多くの場合において、*M. echigoensis* Zone は *Martinottiella communis* (d'Orbigny) をはじめ、*Cribrostomoides subglobosus* (Cushman), *Cyclammina japonica* Asano, *Guppyella miocenica* (Cushman) など多様な膠着質有孔虫が産出することによって特徴づけられ、*U. subperegrina* Zone は *Uvigerina yabei* Asano [= *U. subperegrina* Cushman and Kleinpell, Matsunaga, 1963; = *U. akitaensis* Asano, 花方・渡邊, 2001] をはじめとして *Cassidulina* spp., *Angulogerina ikebei* Husezima and Maruhasi, *Epistominella pacifica* (Cushman) など多様な石灰質有孔虫を含むことによって特徴づけられる (Matsunaga, 1963; 花方・渡邊, 2001)。しかし、Matsunaga (1963) 以降の研究の進展に伴い、*M. echigoensis* の産出上限と群集が変化する層準との間に相当のずれが生じる事例が存在することが判明し、米谷 (1987) は、*M. echigoensis*—*M. communis* Concurrent-range-zone を *M. echigoensis* Zone に、*Uvigerina akitaensis* Assemblage-zone を *U. subperegrina* Zone にそれぞれ代わるものとし、両化石帯境界を *M. communis* の連続産出上限によって設定することを提案した。日本海側油田地帯における *M. echigoensis* Zone/*U. subperegrina* Zone 境界は、鮮新統において *Globorotalia inflata* (d'Orbigny) 進化系列の種 (すなわち、*Globorotalia orientalis* Maiya, Sato and Sato および *G. inflata praeinflata* Maiya, Saito and Sato) の多産によって特徴づけられる No. 3 *G. inflata* bed 層準の基底付近に存在するケースが多いが (例えば石油技術協会, 1993 参照)、米谷 (1987) は *M. echigoensis*—*M. communis* Concurrent-range-zone の上限が No. 3 *G. inflata* bed

上限にほぼ相当することを指摘することを通じて、*M. echigoensis* と *M. communis* の消滅層準 (散点的な産出の上限) が No. 3 *G. inflata* bed 上限よりも上位に存在する事例がかなりあることを示唆している。米谷 (1987) の提案は講演要旨の概略記載に留まっており、その根拠資料が提示されていないが、底生有孔虫化石層序については特定の種が消滅する層準よりも群集が変化する層準を捉えるべきとする点で合理性があり、今後の課題として受け止められるべき重要な指摘である。

Miliammina echigoensis Zone/*Uvigerina subperegrina* Zone 境界の地史的意義

従来、*M. echigoensis* Zone は中部漸深海帯、*U. subperegrina* Zone は上部漸深海帯の生息深度帯での堆積を示し、両化石帯に産出する底生有孔虫化石群集は堆積盆の埋積に伴う浅海化を示すとされてきた (的場, 1992)。それに対して花方・渡邊 (2001) は秋田市の地下セクションに産出した有孔虫化石群集について調査を行い、既存報告と併せて検討を行った結果、古水深に関しては両化石帯に差異を見いだすことができないとの結論を導いた。さらに、後期中新世以降ほぼ継続して寒冷水塊が支配する環境であった日本海に温暖水塊が流入したことを示す *Globorotalia orientalis* Subzone (= “No. 3 *G. inflata* bed”) と *M. echigoensis* を含む膠着質有孔虫の減衰層準、石灰質有孔虫の増加層準が一致していることを踏まえつつ、底生有孔虫の生態解釈に基づき、群集の変化が温暖水塊の流入と関連した生物生産性の減少とそれに起因する海底への有機物供給量の減少を示すものである可能性を指摘した。

しかしながら、花方・渡邊 (2001) が調査を行ったセクション以外では、前述の米谷 (1987) が示唆しているように、No. 3 *G. inflata* bed の年代よりも後まで *M. echigoensis* が生息していたことが判明している。例えば、佐藤ほか (1988a) は、男鹿半島の Olduvai 正亜磁極帯 (C2n : 1.95~1.77 Ma; Berggren *et al.*, 1995) 中に *M. echigoensis* の産出を報告している。さらに、日本海で実施された ODP Leg 127 (794~797 地点) について Brunner (1992) の標本を借用して同定を確認し、堆積速度に基づいて *M. echigoensis* の産出上限の年代を調査したところ、794 地点での 2.6 Ma、地点 795 地点の 2.1 Ma、796 地点の 1.1 Ma (ただし、この地点は年代基準面が少なく、年代決定の根拠が非常に弱い)、797 地点の 2.6 Ma のように油田地帯で得られているよりも若い年代まで *M. echigoensis* の生息が認められることが判明した。

これらのことは、前述の化石帯境界の問題と併せてみると、*M. echigoensis* Zone が *U. subperegrina* Zone よりも深海で堆積したという従来の説を支持しているようにみえる。一方、ODP の掘削地点の中で比較的有孔虫化石の産出個体数が多い 797 および 795 地点では、鮮新統基底付近から約 3.5 Ma までの間における膠着質有孔虫の卓越と 4 Ma 頃から 2 Ma に至る石灰質底生有孔虫の増加が共通して認められる (図 2)。この群集変遷は、油田地帯に

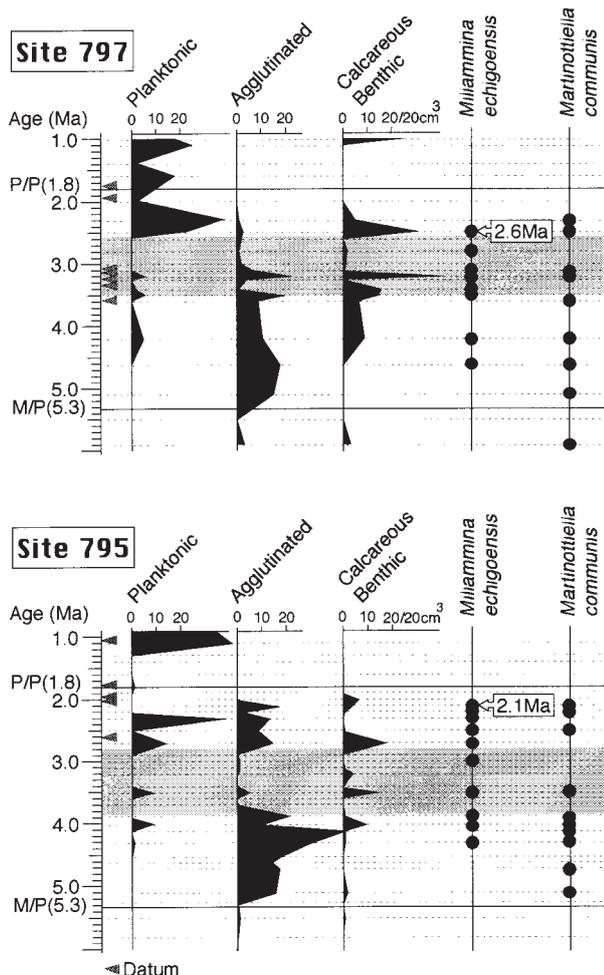


図2. Brunner (1992) に基づく ODP Leg 127 797 および 795 地点における浮遊性有孔虫, 膠着質有孔虫および石灰質底生有孔虫の産出個体数並びに *Miliammina echigoensis* と *Martinottiella communis* の産出状況. 網掛け部分は, 3 Ma 前後の温暖期における有孔虫化石減少層準を示す.

Fig. 2. Abundance (N/20cm³) of planktonic, agglutinated and calcareous benthic foraminifera and occurrence of *Miliammina echigoensis* and *Martinottiella communis* in ODP Sites 797 and 795, Japan Sea, according to Brunner (1992). Note that the shaded interval indicates a foraminiferal decrease that is probably correlated to the No. 3 *Globorotalia inflata* bed in the oil-field region, corresponding to the warm/high sea level period at ca. 3 Ma.

における *M. echigoensis* Zone から *U. subperegrina* Zone にかけての変化と共通しており, *G. inflata* s.l. などの浮遊性有孔虫および石灰質底生有孔虫の増加によって推定される太平洋からの炭酸塩に富んだ水塊の流入量の増加が, 深海部にまで影響を与えたものと見ることができる. また, 797 および 795 地点のデータでは, No. 3 *G. inflata* bed に対応する時期 (3 Ma 前後) において *M. echigoensis* と *M. communis* を含む有孔虫化石全体の個体数が減少しているが, 795 地点では *M. echigoensis* と *M. communis* を中心として 2.7 Ma 頃に再び増加に転じている. したがって, No. 3 *G. inflata* bed 堆積時の温暖化に関連した環境変化によ

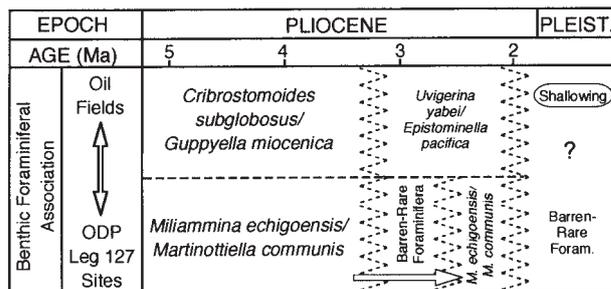


図3. 鮮新世の日本海側油田地帯およびその周辺海域における底生有孔虫化石群集の分布と変遷. 3 Ma 前後の温暖化に伴い深海域では有孔虫個体数が減少したが, *Miliammina echigoensis* と *Martinottiella communis* は生き残り, 増加に転じた (矢印).

Fig. 3. Schematic distribution of benthic foraminiferal faunas in the Pliocene of the Japan Sea oil-field region and its adjacent areas with their changes in history. Number of foraminifera significantly decreased during the ca. 3 Ma-warm event at the ODP Sites, whereas *Miliammina echigoensis* and *Martinottiella communis* survived the interval and increased afterward.

て, 相対的に浅海 (沿岸) 域である油田地帯においては *M. echigoensis* と *M. communis* がその他の膠着質有孔虫と共にほぼ消滅し, *U. subperegrina* Zone に特徴的な石灰質有孔虫の増加が起こったが, 相対的に深海 (沖合) 域では全体的な有孔虫個体数の減少とそれに引き続く一時的な石灰質有孔虫の増加は認められるものの *M. echigoensis* と *M. communis* は生き残り, No. 3 *G. inflata* bed 堆積後の寒冷化によって再び増加したと解釈することによって上記の現象を統一的に説明ができる (図3).

一方, Kato (1992) は日本海の ODP Leg 128 798 および 799 地点において Brunner (1992) が報告している Leg 127 の各地点で得られたよりもさらに若い層準から *M. echigoensis* の産出を報告している. 798 および 799 地点が ODP Leg 127 の各地点や油田地帯と比較して日本海の南西部に位置していることから, 広域的にみた場合には *M. echigoensis* が生き残り得る環境, すなわち富酸素・寒冷水塊 (花方ほか, 2001) が日本海南西部に維持された可能性が推定される. この問題については, 広域的な情報が不十分であることと合わせて, 形態的に区別が難しい *Silicosigmoilina abyssalica* Inoue との系統関係などについても研究が必要であり, 今後の課題である.

Globorotalia inflata 系列種の産出の古環境的意義 —特に対馬海峡の開通時期との関連について—

後期中新世において日本海が現在の津軽海峡周辺でのみ太平洋と繋がり, 湾を形成していたとした場合 (Iijima and Tada, 1990), 鮮新世以降の対馬海峡の開通時期の解明は日本海の生物相を理解する上で最も重要なテーマである. 現在の対馬暖流には *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny), *Neogloboquadrina dutertrei* (d'Orbigny), *Pulleniatina obliquiloculata* (Parker and Jones) をはじめ,

特集：日本海の生物相の変遷と環境変動一過去、現在そして未来へ向けて

Globorotalia inflata を含む多様な浮遊性有孔虫種が分布していることが海底堆積物から明らかにされているが (Asano, 1957; Ujiie, 1973; Domitsu and Oda, 2005), この群集との類似性が対馬暖流の影響の有無を考察する上で基本となる。

No. 3 *G. inflata* bed の浮遊性有孔虫群集について、花方・渡邊 (2001) は、現在の対馬暖流や黒潮水塊に特徴的な要素が含まれず、北西太平洋中央水塊の北部海域に特徴的に分布する *G. inflata* (s.l.) を多く含むこと、この時代に九州沿岸域まで黒潮と親潮の混合水塊が現在よりも南下 (すなわち寒冷化) した上で対馬海峡から流入するとは考えにくいことなどから、津軽海峡周辺からの温暖期における流入を示す可能性を指摘した。No. 3 *G. inflata* bed の群集組成については他のデータ (両角・石垣, 1981; 秋元ほか, 1998; 根本, 1990; 三輪ほか, 2004a, b) においても、僅かに (<1%) *G. ruber* が産出する場合があるが、ほぼ花方・渡邊 (2001) のものと同様である。なお、*G. ruber* は混合水域 (Transition Zone) においても分布するが、その割合は群集の 1% に満たない程度である (Mohiuddin *et al.*, 2005)。ところで、ODP Leg 127 の各地点では No. 3 *G. inflata* bed 層準における浮遊性有孔虫の産出はほとんど認められていないが、この地域差の原因は不明である。湾口としての津軽海峡が現在より広がったとしても、浮遊性有孔虫を流入させた日本海と太平洋との間の海水の交換方式が不明であるため、さらに広域的かつ多様な情報の蓄積が求められる。

米谷 (1975) の男鹿半島船川層のデータ (加藤・井上, 1999 に再掲) によると、No. 3 *G. inflata* bed より上位の *Neogloboquadrina asanoi* bed には暖流の影響を示唆する *G. ruber* や *Pulleniatina primalis* Banner and Blow が含まれているが、これらの群集中に占める割合は 1% 未満であり、*G. inflata* (s.l.) を含まない以外は No. 3 *G. inflata* bed と類似した組成を示している。加藤・井上 (1999) は *N. asanoi* について黒潮よりも親潮に深く関連し、極前線に付随する種であることを指摘しており、*N. asanoi* bed の下限が No. 3 *G. inflata* bed と近接していること (平松・三輪, 2005) と合わせて考えると No. 3 *G. inflata* bed の *G. inflata* s.l. が北太平洋の寒冷化に伴い分布域を南下させた後に *N. asanoi* が流入するようになったとみるのが浮遊性有孔虫群集の層序変化を理解しやすい。なお、*N. asanoi* bed 上限の年代については、佐藤ほか (1988a) が男鹿半島北岸において *N. asanoi* の産出を報告している層準が北里 (1975) の地質図に基づくと米谷 (1975) が *N. asanoi* bed として報告しているものと同層準であることから、*N. asanoi* bed の上限は、Olduvai 亜正磁極帯中 (1.77~1.95 Ma) にあることがわかる。この年代は太平洋側における *N. asanoi* の消滅層準の年代 (Lagoe and Thompson, 1988; Kucera and Kennett, 2000) と矛盾しない。

No. 2 *G. inflata* bed については、米谷 (1978) が *Globigerina pachyderma* (sinist.)/ *Globigerina incompta* Zone として報

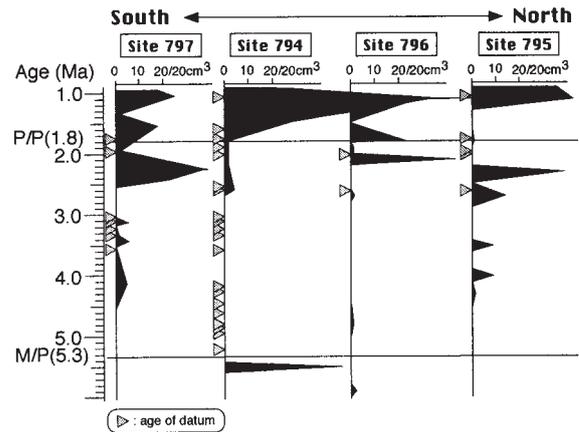


図 4. Brunner (1992) に基づく ODP Leg 127 における浮遊性有孔虫の産出個体数。各サイトにおいて得られている年代基準面を各グラフ左横に示した。この間隔が広い部分は年代コントロールが弱いことを示す。

Fig. 4. Abundance of planktonic foraminifera in the Pliocene – Pleistocene of ODP Leg 127 according to Brunner (1992). Ages of datum horizons obtained in each site are indicated on the left of each graph. Larger separations between datum levels imply weaker age control vice versa.

告している新潟県の相田ルートのほか、北村ほか (2001) や Kheradyar (1992) の同時期における浮遊性有孔虫群集のデータから明らかのように、*G. inflata* (s.l.) のほか、暖流の流入を示唆する *G. ruber*; *P. obliquiloculata* を特徴的に含み、この堆積時に対馬暖流が存在したことは確実である。したがって、浮遊性有孔虫化石群集からは、*N. asanoi* bed の堆積後 (1.77~1.95 Ma 間のある時期)、No. 2 *G. inflata* bed の堆積開始 (1.65~1.45 Ma 間のある時期; 佐藤ほか 1988b) までの間に対馬海峡周辺の浸水が起こったと考えられる。この前提に立ったとして、海峡の沈降と海水準変動とのバランスにおいてどの程度の時間をかけて現在の海峡・海流の規模になったのかといった視点からの調査が今後は必要であろう。

ODP Leg 127 の 4 地点における鮮新世以降の浮遊性有孔虫化石の産出状況 (図 4) をみると大局的に鮮新統上部から更新統に向かって浮遊性有孔虫の産出個体数の増加が認められる。これがある程度、定常的な海流の発達に伴う浮遊性有孔虫遺骸の堆積量の増加を示すとすれば、更新世以降、No. 2 *G. inflata* bed の堆積時までに本格的な暖流が成立したとの考察を支持するものと見ることができる。また、津軽海峡より北に位置する 795 地点では 1.1 Ma と 0.9 Ma において浮遊性有孔虫が多く産出しているが、この時期に北方に通じる海峡が一時的に成立した可能性がある。

まとめ

日本海側油田地帯における鮮新統~更新統下部の浮遊

性・底生有孔虫化石群集の変化を中心に生層序と古環境研究に関するこれまでの成果について総括し、若干の考察を加えるとともに今後の課題について述べた。特に、No. 3 *Globorotalia inflata* bed~*Neogloboquadrina asanoi* bed 堆積時の太平洋との海水交換の状況の解明は、中新世以降の日本海が内湾環境であった期間における海洋環境の推定を行う上で重要な課題である。また、対馬海峡の成立時期の解明については *N. asanoi* bed~No. 2 *G. inflata* bed 間の年代層序の精度を高めることが当面の課題である。

謝辞

石油資源開発株式会社技術研究所の三輪美智子氏には原稿を読んでいただき貴重なご指摘をいただいた。平松力氏をはじめ石油資源開発株式会社の方々、井上洋子博士はじめ同社を退職された方々には本論中に記載した内容について様々な示唆を与えていただいている。熊本大学の長谷川四郎博士および匿名査読者の方には貴重なご意見をいただき、本論の改善に活用させていただいた。最後に、本論の公表の機会を与えていただいた上越教育大学の天野和孝博士をはじめ、シンポジウムの世話人の皆様に感謝します。

文献

- 秋元和實・平野義明・小林巖雄・渡辺其久男, 1998. 新潟油田地帯東縁, 笹神丘陵の鮮新統安野川層の年代と古環境. *地球科学*, **52**, 486-497.
- Asano, K., 1957. The foraminifera from the adjacent seas of Japan, collected by the S. S. Soyo-maru, 1922-1930. Part 3. Planktonic Species. *Science Reports of the Tohoku University, Sendai, Second Series (Geology)*, **28**, 1-26.
- Berggren, W. A., Kent, D. V., Swisher, C. C. III and Aubry, M.-P., 1995. A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. *Geochronology Time Scales and Stratigraphic Correlation*, SEPM Special Publication, (54), 129-212.
- Brunner, C. A., 1992. Paleoenvironment and biostratigraphy of foraminifera at sites 794, 795, 796, and 797 in the Japan Sea. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **127/128**, pt. 1, College Station TX (Ocean Drilling Program), 187-224.
- Cande, S. C. and Kent, D.V., 1995. Revised calibration of geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Journal of Geophysical Research*, **100**, 6093-6095.
- Domitsu, H. and Oda, M., 2005. Japan Sea planktonic foraminifera in surface sediments: geographical distribution and relationships to surface water mass. *Paleontological Research*, **9**, 255-270.
- 花方 聡・本山 功・三輪美智子, 2001. 日本海地域における底生有孔虫 *Spirosgoimilina compressa* の消滅と *Miliammina echigoensis* の出現の年代およびその古海洋学的意義—中新世~鮮新世の海水準変動との関連—. *地質学雑誌*, **107**, 101-116.
- 花方 聡・渡邊和恵, 2001. 秋田県秋田市東部「貝の沢温泉井」の鮮新統有孔虫化石および石灰質ナンノ化石層序と古環境. *地質学雑誌*, **107**, 620-639.
- 平松 力・三輪美智子, 2005. 秋田県海域および沿岸地域における鮮新世~更新世の浮遊性有孔虫マーカーの出現パターンと集油構造形成時期. *石油技術協会誌*, **70**, 104-113.
- Husezima, R. and Maruhasi, M., 1944. A new genus and

- thirteen new species of Foraminifera from the core-sample of Kashiwazaki Oil-Field, Niigata-Ken. *Journal of the Sigenkagaku Kenkyusho*, **1**, 391-401.
- Iijima, A. and Tada, R., 1990. Evolution of Tertiary sedimentary basins of Japan in reference to opening of the Japan Sea. *Journal of the Faculty of Science, the University of Tokyo, Section II Geology, Mineralogy, Geography, Geophysics*, **22**, 121-171.
- Kato, M., 1992. Benthic foraminifera from the Japan Sea : Leg 128. *Proceedings of Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **127/128**, pt. 1, College Station TX (Ocean Drilling Program), 365-392.
- 加藤 進・井上洋子, 1999. *Neogloboquadrina asanoi* (Maiya, Saito and Sato) の年代層序学的, 古海洋学的意義. 瑞浪市化石博物館研究報告, (26), 129-140.
- Kheradyar, T., 1992. Pleistocene planktonic foraminiferal assemblages and paleotemperature fluctuations in Japan Sea, Site 798. *Proceedings of Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **127/128**, pt. 1: College Station, TX (Ocean Drilling Program), 457-470.
- 北村晃寿・高野 修・表 寛子, 2001. 日本海第四系の高分解能シーケンス生層序学. *石油技術協会誌*, **66**, 265-277.
- 北里 洋, 1975. 男鹿半島上部新生界の地質および年代. 東北大学理学部地質学古生物学教室研究邦文報告, (75), 17-49.
- Kucera, M. and Kennet, J. P., 2000. Biochronology and evolutionary implications of Late Neogene California margin planktonic foraminifera events. *Marine Micropaleontology*, **40**, 67-81.
- Lagoe, M. B. and Thompson, P. R., 1988. Chronostratigraphic significance of late Cenozoic planktonic foraminifera from the Ventura Basin, California: Potential for improving tectonic and depositional interpretation. *Journal of Foraminiferal Research*, **18**, 250-266.
- 米谷盛寿郎, 1975. 東北日本油田地域における上部新生界の浮遊性有孔虫化石層序学的研究. *石油資源開発株式会社技術研究所技研所報*, (35), 1-97.
- 米谷盛寿郎, 1978. 東北日本油田地帯における上部新生界の浮遊性有孔虫層序. 池辺展生教授退官記念事業会, 日本の新生界地質 (池辺展生教授記念論文集), 35-60.
- 米谷盛寿郎, 1987. 裏日本油田地帯における底生有孔虫化石区分の現状と問題. *石油技術協会誌*, **52**, 351 採録 (講演要旨).
- 的場保望, 1992. 東北本州日本海地域の後期新生代底生有孔虫群集の変遷. *地質学論集*, (37), 125-138.
- Matsunaga, T., 1963. Benthic smaller foraminifera from the oil fields of northern Japan. *Science Reports of the Tohoku University, Sendai, Second Series (Geology)*, **35**, 67-122.
- 三輪美智子・渡辺真人・山田 桂・柳沢幸夫, 2004a. 富山県氷見市灘浦地域の藪田層 (鮮新統) の浮遊性有孔虫化石群集—特に No. 3 *Globorotalia inflata* bed の下限の年代について—. *石油技術協会誌*, **69**, 668-678.
- 三輪美智子・柳沢幸夫・山田 桂・入月俊明・庄司真弓・田中裕一郎, 2004b. 新潟県北蒲原郡胎内側における鮮新統鉾江層の浮遊性有孔虫化石層序—No. 3 *Globorotalia inflata* bed 下限の年代について—. *石油技術協会誌*, **69**, 272-283.
- Mohiuddin, M., M., Nishimura, A. and Tanaka, Y., 2005. Seasonal succession, vertical distribution, and dissolution of planktonic foraminifera along the Subarctic Front: Implications for paleoceanographic reconstruction in the northwestern Pacific. *Marine Micropaleontology*, **55**, 129-156.
- 本山 功・丸山俊明, 1998. 中高緯度北西太平洋地域における新第三紀珪藻・放散虫化石年代尺度: 地磁気極性年代尺度 CK92 および CK95 への適合. *地質学雑誌*, **104**, 171-183.
- 両角芳郎・石垣武久, 1981. 藪田層の浮遊性有孔虫化石群集—藪田層の時代および下位の地層との層序関係に関連して—. 大阪市立自然史博物館研究報告, (35), 1-13.
- 根本直樹, 1990. 青森県鱒ヶ沢地域の舞戸層の有孔虫群. *化石*, (45), 17-33.
- Oinomikado, T., 1941. Tertiary Foraminifera from the Koguti Formation and the Osawa Limestone in the Niitu Oil

- Field, Niigata Prefecture. *Transaction and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan*, (119), 85-87.
- 佐藤時幸・亀尾浩司・三田 勲, 1999. 石灰質ナンノ化石による後期新生代地質年代の決定制度とテフラ層序. *地球科学*, **53**, 265-274.
- 佐藤時幸・高山俊昭・加藤道雄・工藤哲郎, 1988a. 日本海側に発達する最上部新生界の石灰質微化石層序, その3: 秋田地域および男鹿半島. *石油技術協会誌*, **53**, 199-212.
- 佐藤時幸・高山俊昭・加藤道雄・工藤哲郎・亀尾浩司, 1988b. 日本海側に発達する最上部新生界の石灰質微化石層序, その4: 総括—太平洋側および鮮新統/更新統境界の模式地との対比—. *石油技術協会誌*, **53**, 475-491.
- 石油技術協会, 1993. 最近の我が国の石油開発. 442p, 石油技術協会誌, 東京.
- Ujiié, H., 1973. Sedimentation of planktonic foraminiferal shells in the Tsushima and Korea Straits between Japan and Korea. *Micropaleontology*, **19**, 444-460.
- Yanagisawa, Y. and Akiba, F., 1998. Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **104**, 395-414.

