短 報
 Short Article

日本海東部西津軽沖、久六島東方中層域における 第四紀後期の有孔虫群集と珪藻群集

大井 剛志*・長谷川 四郎**・秋葉 文雄***・的場 保望****・松本 良*

(Received July 11, 2012 ; accepted September 3, 2012)

Late Quaternary diatom and foraminiferal assemblages, east of Kyuroku Island, eastern part of the Japan Sea

Takeshi Oi, Shiro Hasegawa, Fumio Akiba, Yasumochi Matoba and Ryo Matsumoto

Abstract : We analysed assemblages of diatoms and foraminifera in a late Quaternary sequence from the core MD179-3326G (core length; 5.53 m) recovered at the seabed 325 m depth, east of Kyuroku Island, eastern part of the Japan Sea. We recognized six foraminiferal bio-zones which are comparable to those from two sediment cores at the upper slope (around 300 m depth) in the southwestern Japan Sea (off Tottori). The occurrence of *Elphidium excavatum* suggests that the “Oyashio” cold surface water would have flowed into the Japan Sea through the Tsugaru Strait during the early part of the last deglacial stage. The distribution of *Verneuilinella advena* in the Japan Sea was restricted to the northern shallow to intermediate area, which is narrower than that of *E. excavatum*. Furthermore, the bottom environments of the intermediate part in the Japan Sea could have been different between the east (east of Kyuroku Island) and the northwest (off Tottori) during the early part of the last deglaciation.

Keywords : foraminifera, diatom, late Quaternary, the Japan Sea, intermediate part

1. はじめに

日本海の第四紀古海洋に関する研究は、おもに水深 1000 m 前後の深層域を中心に進められてきた (Koizumi *et al.*, 2006; Domitsu and Oda, 2006; Itaki *et al.*, 2007; 中川ほか, 2009; 大井, 2011)。その結果、とくに水深 500 m 以深で確認される葉理を伴う多数の暗色層 (thin lamination ; TL 層) が対比の基準として用いられる (Ikehara *et al.*, 1994) とともに、それが示す底層域の頻繁な貧酸素化について、成因、地球規模の変動との関連性、古環境復元などが、堆積学、微古生物学、地球化学などにより、多面的に追究されてきた。特に、最終氷期以降の海底コアを用いた珪藻・放散虫・有孔虫などの微化石研究では、いくつかの特徴的な生態や分布を示唆する化石帯が報告されている。

それに対し、水深 500 m 以浅の浅海～中層域については研究例が乏しく、西津軽沖 (Inoue, 1980)、佐渡沖 (井上,

1989)、丹後半島沖 (Domitsu and Oda, 2006)、鳥取沖 (大井, 2011) など数例に過ぎない。Domitsu and Oda (2006) はテフラと ^{14}C 年代を伴う浮遊性有孔虫層序を調査し、最終氷期最盛期 (LGM) に日本海南部沿岸域の表層部が浮遊性有孔虫が生息できないほどに低塩分になり、その影響が水深 160 ~ 180 m における底生有孔虫にも影響したと論じた。それに対し、大井 (2011) は、日本海南部丹後半島沖の水深 283 m (GH87-2, K-B) および鳥取沖の水深 329 m (KR07-12, PC03) における底生有孔虫群集に基づいた 6 つの化石帯 (JS-1 ~ JS-6) を識別し、各化石帯における浮遊性有孔虫種の特徴を加味して過去 49,000 年間の古環境変遷史を議論した (表 1)。さらに、LGM 時の水深約 200 m に底生有孔虫が生息していた可能性や、LGM 後に津軽海峡より移入した親潮系浅海種 (大場ほか, 1980; 加藤, 1984) *Elphidium excavatum* が、日本海水深 200 m の中層域からさらに水深 1000 m の深海域にまで分布を広げ、中層域では深海域よりも長期間にわたって存在し続けた可能性が指摘された (大井, 2011)。一方、西津軽沖と佐渡沖 (Inoue, 1980; 井上, 1989) においては、コアの年代が明確にされていないため、有孔虫群集から確認される環境変遷の意義が十分検討されていない。

2010 年 6 月にフランス極地研 (IPEV) の R/V Marion

* 明治大学 研究知財戦略機構 Organization for the Strategic Coordination, Meiji University

** 熊本大学大学院自然科学研究科 Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University

*** 株式会社珪藻ミニラボ Diatom Minilab Akiba, Co. Ltd.

**** 巣鴨有孔虫研究所 (故人) Sugamo Foraminiferal Research Laboratory (the late doctor)

表 1 日本海南部における第四紀後期の底生有孔虫群集に基づく化石帯とそれが示す堆積年代および古環境 (大井, 2011 をもとに作成)

群集帯	亜群集	底生有孔虫	浮遊性有孔虫	Age (ka)	時代 (仮)	沿岸部の表層～500 m 以浅の中層環境
JS6		優占種: <i>Bolivina decussata</i> , <i>Angulogerina ikebei</i> 随伴種: <i>Elphidium excavatum</i>	<i>Neoglobobulimina inflata</i> および <i>Neoglobobulimina inflata</i> の多産, 対馬暖流系種の連続産出	11.5～0	後氷期	対馬暖流の流入と日本海固有水の形成
	JS6b	<i>Pullenia apertura</i> 不産出	<i>Neoglobobulimina inflata</i> の多産, 対馬暖流系種の連続産出	5.5～0	後氷期後期	対馬暖流の流入と日本海固有水の形成
	JS6a	<i>Pullenia apertura</i> の産出	<i>Neoglobobulimina inflata</i> および <i>Neoglobobulimina inflata</i> の多産, 対馬暖流系種の産出	11.5～5.5	後氷期前期	底層の低温・高塩分化, 対馬暖流の流入
JS5		優占種: <i>Cassidulina norvangi</i> , <i>Islandiella norcrossi</i> 随伴種: <i>Elphidium excavatum</i>	<i>Globigerina bulloides</i> の多産, <i>Globigerinella uvula</i> の産出	15.3～11.5	第2融氷期	津軽海峡から現在の親潮表層水が流入
JS4		優占種: <i>Pseudoparrella takayanagii</i> 随伴種: <i>Elphidium excavatum</i>	<i>Neoglobobulimina pachyderma</i> の多産	18.8～15.3	第1融氷期	津軽海峡から現在の亜極域表層水が流入
JS3		優占種不在 <i>Globobulimina auriculata</i> の産出	<i>Neoglobobulimina pachyderma</i> の多産, <i>Globigerina umbilicata</i> の産出, 浮遊性比の低下	21.0～18.8	最終氷期最盛期 (LGM)	表層が低温・低塩分化, 底層は低酸素化
JS2		優占種: <i>Eilohedra rotunda</i> 随伴種: <i>Pullenia apertura</i>	<i>Neoglobobulimina pachyderma</i> の多産, <i>Globigerina umbilicata</i> の産出	35～21.0	最終氷期前期	親潮流入の停止と表層水の低温化
JS1		優占種: <i>Cassidulina norvangi</i> 随伴種: <i>Pullenia apertura</i> , <i>Elphidium excavatum</i>	<i>Neoglobobulimina pachyderma</i> の多産, <i>Globigerina umbilicata</i> の産出	49～35	亜間氷期 (MIS 3)	津軽海峡から現在の親潮表層水が流入

Defresne により実施された MD179 航海は, ガスハイドレートマウンドにおける全体像の解釈とハイドレート深層部にまで届く長いコア堆積物の検討を目的として実施されたが, 同時に, ハイドレート産出海域の特異性をより深く理解するため, ハイドレートの産出しない周辺海域の調査も行われた。ここでは, 日本海東部西津軽沖の中層域から採取されたコアについて, 珪藻と有孔虫の生層序について報告する。

2. 試料と分析方法

研究試料は, MD179 航海にて西津軽沖久六島東方中層域の水深 325 m (東経 139°37.99, 北緯 40°31.32) で採取されたコア長 5.53 m の大口径グラビティーコア, MD179-3326G である (図 1)。微化石分析用試料として, 船上で堆積物を U チャンネル (断面 2.35×2.4 cm, 長さ 50 cm) を用いて四角柱状に採取した。そこから厚さ 2.5 cm (2.35×2.4×2.5=14 cc) ごとに有孔虫化石と珪藻・石灰質ナンノ・放散虫化石用試料を交互に分取した。有孔虫分析には, コア上部の 120 cm までは 20 cm 間隔, コア下部 120～553 cm は 70～160 cm の間隔で 11 試料を選定した。各分取試料は凍結乾燥の後, 孔径 63 μm の篩で水洗し, 底生有孔虫は 63 μm 以上の残渣試料の全量について, 浮遊性有孔虫は 125 μm 以上の粗粒部について, それぞれ次の分析を行った。

- 1) 単位体積あたりの個体数 (浮遊性有孔虫数および底生有孔虫数)
- 2) 全有孔虫に対する浮遊性有孔虫の割合 (浮遊性比)
- 3) 全底生有孔虫に対する膠着質有孔虫の割合 (膠着質比)
- 4) 底生有孔虫の群集区分

珪藻分析には, 約 25 cm の等間隔で 22 試料を選定し, Akiba (1986) による“未処理散布スライド”を作成して含有される珪藻化石を算定すると共に, 珪藻殻の内外に含まれていた黒色粒子についても別途算定した。

3. 結 果

3.1 岩 相

コア MD179-3326G は主に明灰色の均質な泥質シルトからなり, コア最上部から 18～20 cm (以下, 18～20cm とだけ記載) と 71～85 cm に砂層, 279～284 cm にスコリア層を夾有する。コア上部の 0～9 cm は軟質で, 最上部には酸化層が認められる。泥質シルトの部分には随所に生物擾乱の痕跡が確認される。

3.2 珪 藻

珪藻殻は, 71～85 cm の砂層より以深で産出数が少なく殻の保存状態が悪いのに対し, 73 cm より上位では多産する。

秋葉ほか (2014) は, 日本海東部における隠岐海嶺, 上越海盆, 佐渡海嶺および奥尻海嶺の 4 地域における第四紀珪藻化石層序を解析し, 温暖種と寒冷種の産状に基づいて上位から下位に A 帯から H 帯までの 8 つの化石帯を認定している。

85 cm より下位では, 絶滅珪藻種の割合が 9～33% と高いため, 再堆積した珪藻化石が多いと考えられる。群集は

図1 MD179-3326G コアの採取地点

Thalassionema nitzschioides を主体とし、環境指標種の産出が極度に少ないため、珪藻帯を区分するには至らなかった。

71～85 cm の砂層直上の 45.5～73 cm は、*Thalassionema umitakae* の多産および氷床下に生息する *Thalassiosira hyperborea* の産出から、珪藻帯 C に同定される。また、本コアの最上部は、対馬暖流系種である *Fragilariopsis doliolus* の産出 (20.5～23 cm) を特徴とすることから A 帯に認定される (図 2)。

3.3 有孔虫

浮遊性有孔虫の産出状態は、試料の単位体積あたりの個体数が 0.28～29 個/cc の範囲で変動する。98 cm と 120.5 cm では、個体数が 1 個体/cc 未満であり、浮遊性比も小さいが、これら 2 層準を除くと、0.38 cm より下位は *Neogloboquadrina pachyderma* の多産および高い浮遊性比 (5.2～36%) で特徴づけられる。それに対し、20.5 cm より上位のコア最上部では、*Neogloboquadrina incompta* が 70% 以上と優勢で、随伴する対馬暖流指標種 (Domitsu and Oda, 2006) *Globigerina ruber* と *Neogloboquadrina dutertrei* が 3～6% と比較的多いことを特徴とする

底生有孔虫は、単位体積あたりの個体数が 25～82 個/cc の範囲で連続的に産出する。保存状態は全体として良好である。コアを通して連続して産出する種は、産出量が多い順に、*Angulogerina ikebei*, *Pseudoparrella takayanagii*, *Bolivina decussata*, *Eilohedra rotunda*, *Islandiella norcrossi* および *Uvigerina akitaensis* であり、*A. ikebei* と *P. takayanagii* が特に多い。膠着質有孔虫は 80.5 cm より上位でのみ産出し、膠着質比は 3.3～8.3% の間で変動する。貧酸素環境を好む種 (加藤, 1984) として、産出量が多い順に、*Brizalina pacifica*, *Globobulimina auriculata*, *Stainforthia loeblichii*, *Stainforthia fusiformis* および *Stainforthia complanata* が認められた。ただし、*B. pacifica* 以外の貧酸素種は、コア最上部にはまったく産出しない。それらの産出頻度は 0.5～5.5% と低く、深海域のコアで認められる TL 層の群集 (加藤, 1984; Oba et al., 1991) のように卓越することはない。また、日本海深海域のコアで LGM 以前に消滅すると報告のある (加藤,

1984) *Valvulineria sadonica* は、本研究コアには産出しない。

3.4 有孔虫に基づく化石帯の認定

以上に述べた有孔虫化石の産状から、層序的下位より上位に向かい化石帯 1 から化石帯 6 の 6 帯を認定した (図 3)。

化石帯 1 (515～553 cm): 底生種では *A. ikebei* の多産と *E. rotunda*, *Cassidulina norvangi*, *P. takayanagii* に加えて、*Pullenia apertura* および *E. excavatum* の随伴を特徴とする。浮遊性種群では *N. pachyderma*, *Globigerina bulloides* および *Globigerina umbilicata* の産出を特徴とし、試料単位体積当たりの個体数は高い。

化石帯 2 (278.5～515 cm): 底生種は *A. ikebei* の多産と *E. rotunda*, *P. takayanagii*, *I. norcrossi* および *P. apertura* の随伴を特徴とする。浮遊性種は化石帯 1 と共通した組成である。

化石帯 3 (89～278.5 cm): 底生種は *P. takayanagii* の多産と *A. ikebei*, *U. akitaensis* および *P. apertura* の随伴を特徴とする。浮遊性種の組成は化石帯 1 および 2 と共通するが、試料単位体積当たりの個体数は低い。

化石帯 4 (69～89 cm): 化石帯 4 は 71～85 cm の砂層に対応する。底生種は *A. ikebei* の多産と *P. takayanagii*, *B. decussata* の随伴を特徴とし、僅かながら *E. excavatum* を含む。浮遊性比が高く、浮遊性種は *N. pachyderma* が優占する。

化石帯 5 (29～69 cm): 底生種は *U. akitaensis* の多産と *P. takayanagii*, *A. ikebei*, *E. excavatum* および膠着質種の *Verneuilinulla advena* の随伴を特徴とする。浮遊性種は化石帯 4 同様、*N. pachyderma* が優占する。

化石帯 6 (0～29 cm): 底生種は *A. ikebei* の多産と *E. rotunda*, *B. decussata* および *U. akitaensis* の随伴を特徴とする。浮遊性種は *Neogloboquadrina incompta* の多産と対馬暖流の指標種である *Globigerina ruber* と *Neogloboquadrina dutertrei* の随伴を特徴とする。

4. 考 察

本研究で検討した西津軽沖コアにもとづく珪藻と浮遊性・底生有孔虫の結果について、日本海南部鳥取沖水深 300 m 前後の海底コアにおいて認定された有孔虫化石帯 (大井, 2011; 表 1) との対比をもとに、最終氷期以降の日本海表層～中層 (水深 500 m 以浅) における環境変遷について考察する。

4.1 最終氷期以前における親潮表層水の流入

化石帯 1 は *P. apertura* と *E. excavatum* の両種を伴うことから鳥取沖コアの化石帯 JS-1 帯に、化石帯 2 は JS-2 帯にそれぞれ対比される。両化石帯に産出する *E. excavatum* は、現在の日本周辺海域において、北西太平洋純親潮域にあたる北海道根室沖および十勝沖の水深 36～110 m やオホーツク海北部海域の水深 108～184 m などに多く生息する寒流系浅海性種である (Saidova, 1961; 大井ほか, 2005 など)。この種が日本海の海底コアより産出することについては、最終氷期以降に流入した親潮水の指標と見なされてきたが (大場ほか, 1980; 加藤, 1984), 本研究の西津軽沖コアの化石帯 1 から産出することは、親潮のような寒流系水が化石帯 1/2 境界に相当する 35 ka 以前にも西津軽

図2 MD179-3326G コアに産する珪藻群集

沖に分布していたことを示唆する。さらに、化石帯1および2に産出する *P. apertura* の現生種は、日本海から報告されておらず、日本周辺ではオホーツク海北部のサハリン北東沖中層域（水深200～500 m）に認められる（増田，2010；大井，2011）。この結果は、LGM以前の日本海中層に、現在のオホーツク海北部における中層水と類似する特性を持つ水塊が存在した可能性を示唆している。

4.2 最終氷期最盛期（LGM）における表層～中層環境

化石帯3は浮遊性有孔虫数の低下を特徴とし、鳥取沖コアのJS-3帯（21.0～18.8 kaのLGMに対応）に対比される。Domitsu and Oda（2006）は、丹後半島沖沿岸域のコア（水深283 m）において、LGM期を含む21.1～13.6 cal kyr BPに浮遊性有孔虫殻が産出しないことについて、その要因を海水準低下や表層低塩分化の影響により沿岸域で浮遊性有孔虫が生息できなかったためと推定している。一方、大井（2011）は、鳥取沖コアのJS-3帯について、有孔虫の破片や溶解跡から、有孔虫個体数の低下が二次的溶解にある可

能性を示唆した。さらに、この時期の底生有孔虫組成から、当時の表層低塩分水の厚さが200 mより薄く、水深約200 mの底層が多少の低塩分化が起きたとしても底生有孔虫組成に影響を与えるほどではなかったと推定した。本研究の西津軽沖コアでは、浮遊性有孔虫個体数が乏しいことから、丹後半島沖（Domitsu and Oda, 2006）と同様、LGM期の西津軽沖の表層は浮遊性有孔虫の生息が困難な程に低塩分化した可能性が示唆される。しかし、鳥取沖コアと異なり産出する底生有孔虫殻の保存状態が良いものの、底生有孔虫組成に極端な低塩分化の証拠が認められことから、表層の低塩分化が約200 mの底生有孔虫組成に影響を与えるほどではないとする大井（2011）の考えが西津軽沖コアでも支持される。

4.3 親潮表層水の日本海への流入と移入種の分布

化石帯4および化石帯5は、親潮系浅海性底生種 *E. excavatum* の産出や寒冷浮遊性種 *N. pachyderma*（例えば、Domitsu and Oda, 2005；黒柳，2006）の多産で特徴づけられ、

MD179-3326G

図3 MD179-3326G コアに産する有孔虫群集

鳥取沖コアのJS-4帯 (18.8～15.3 ka) に対比される。この化石帯の群集は、日本海に親潮が流入していたとする時代の結果 (加藤, 1984; Oba *et al.*, 1991; 大井ほか, 2011 など) と整合的である。

一方、西津軽沖コアの化石帯5には、鳥取沖コアのJS-4帯からは産出しない *V. advena* が認められる。この種は、現在の北西太平洋では *E. excavatum* が多産する純親潮域より、むしろ底質の水素イオン濃度が低い襟裳岬周辺の浅海域 (水深 37～351 m) に多産することが知られている (Abe *et al.*, 2004; 大井ほか, 2005)。

以上の結果から、最終氷期後の海水準の上昇に伴い、日本海では北西太平洋浅海域から津軽海峡を通して親潮が流入し、それとともに *E. excavatum* と *V. advena* が日本海に移入したと考えられる。移入後には、*E. excavatum* は少なくとも日本海東部の西津軽沖から南部の鳥取沖まで、さらに水深 1000 m の深海域 (大井, 2011) にまで分布範囲を広げたのに対し、*V. advena* は西津軽沖周辺の水深 250 m 程度までに留まり、南方へ分布を広げることがなかったと見積られる。これら2種のコアにおける産出は、当時、日本海の中層環境が現在の日本海よりもやや低塩分な親潮域中層水と類似していた可能性とともに、西津軽沖と鳥取沖における古環境が異なっていた可能性を示唆している。たとえば、*V. advena* は大阪湾湾奥のように、陸からの過剰な有機物供給による汚濁環境にも耐えうる種としても知られている (Tsumimoto *et al.*, 2006 など) ように、今後、これら2種の現生分布調査から、それぞれの種の生息を支配している環境条件を究明する必要がある。

4.4 現在型群集の分布

西津軽沖における化石帯6 (0～29 cm) は、浮遊性有孔虫の *N. incompta* の多産と対馬暖流系種の産出、ならびに

P. apertura を含まない点で、鳥取沖のJS-6b垂帯 (約 5.5 ka 以降) に対応する。JS-6bは対馬暖流の流入とともに、その下層における低温で高酸素な日本海固有水の存在を表している (大井, 2011; 表1)。さらに、20.5～23 cmにおける珪藻帯A (対馬暖流系珪藻種 *Fragilariopsis doliolus* の産出) の確認は、7.0 ka 以降の対馬暖流流入 (Koizumi *et al.*, 2006) と符合する。これらの結果より、MD179-3326G コアの少なくとも 23 cm より上位には現在型群集が含まれていることは確実である。また、化石帯6では、鳥取沖コアのJS-6b垂帯と比べて *Uvigerina akitaensis* がより多く産する。この群集組成の差異は、両海域の現生群集においても確認されている (的場・本間, 1984; 野村・池原, 1987) ため、化石帯6の群集を現在型とみなすことを支持する。

5. ま と め

日本海東部西津軽沖、久六島東方海域の水深 325 m で採取された MD179-3326G コアにおいて、6つの有孔虫化石帯を設定した。これら6化石帯を日本海南部鳥取沖水深

300 m 前後の有孔虫化石層序と比較した結果、化石帯1をJS-1帯、化石帯2をJS-2帯、化石帯3をJS-3帯、化石帯4および5をJS-4帯、化石帯6をJS-6b垂帯に、それぞれ対比した。これら6つの有孔虫化石帯における群集組成に基づいて、最終氷期以前の亜間氷期から現在にかけての日本海の環境変遷の特徴を以下のように推定した。

- 1) 最終氷期以前の亜間氷期 (約 49～35 ka) は、日本海中層環境が寒流系表層水の流入により現在のオホーツク海中層域に類似していた。
- 2) LGM (約 21～18.8 ka) における日本海沿岸域の表層水は浮遊性有孔虫が生息困難なほどに低塩分化したも

のの、その厚さは200 m未満であった。

- 3) LGM 直後 (約 18.8~15.3 ka) には、日本海への親潮流入に伴い、*E. excavatum* および *V. advena* が移入し日本海中層域まで分布を拡げたが、そのうち *V. advena* は、移入後、分布を南方へ広げることができなかった。
- 4) コア最上部の化石帯 6 は、現在を含む後氷期後期 (約 5.5~0 ka) における対馬暖流流入による現在の表層環境や日本海固有水形成に伴う現在の中層環境の成立を示す。

謝 辞

なお、本研究は、メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム (MH21) の一環として実施されたものである。本プロジェクトに参加されている研究者ならびに MD179 航海の乗船者の方々に深くお礼申し上げます。

引 用 文 献

- Abe, K. and Hasegawa, S., 2004 : Recent benthic foraminiferal distribution around eastern Hokkaido, northern Japan and its oceanographic significance. *8th International Conference on Paleoceanography (ICP VIII), Biarritz, 5-10, Sept. 2004, Program and Abstract*, 25.
- Akiba, F., 1986 : Initial Reports. *DSDP*, **87**, 393-480.
- 秋葉文雄・谷村好洋・大井剛志・石浜佐栄子・松本 良, 2014 : 日本海最上部第四系コアの珪藻化石層序および珪藻起源の黒色粒子とその古海洋学的意義, *石技誌* **79**(2), 130-139.
- Domitsu and Oda, 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., 2006 : Linkages between surface and deep circulations in the southern Japan Sea during the last 27,000 years. *Marine Micropaleontology*, **61**, 155-170.
- Ikehara, K., Kikkawa, K., Katayama, H. and Seto, K., 1994 : Late Quaternary paleoceanography of the Japan Sea; A tephrochronological and sedimentological study. *Proc. 29th IGC, Part B, VSP, Utrecht*, 229-235.
- Inoue Y., 1980 : Stratigraphic and paleoenvironmental considerations of Holocene to Uppermost Pleistocene Foraminifera in Nishi-Tsugaru Basin, Sea of Japan. *Professor Saburo Kanno Memorial Volume*, 241-261.
- 井上洋子, 1989 : 佐渡海盆のコア中の有孔虫群集, 日本列島の有孔虫, 117-129, 東光印刷出版部.
- Itaki, T., Komatsu, N. and Motoyama, I., 2007 : Orbital- and millennial-scale changes of radiolarian assemblages during the last 220 kyrs in the Japan Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **247**, 115-130.
- 加藤道雄 (1984 : 有孔虫 - KH79-3, C-3 コアの解析を中心にして -, 月刊地球, **6**(9), 529-537.
- Koizumi, I., Tada, R., Narita, H., Irino, T., Aramaki, T., Oba, T. and Yamamoto, H., 2006 : Paleooceanographic history around the Tsugaru Strait between Japan Sea and the Northwest Pacific Ocean since 30 cal kyr BP. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **232**, 36-52.
- 黒柳あずみ, 2006 : 日本周辺海域の浮遊性有孔虫 *Neoglobobulimina pachyderma* の分布と古環境復元, 北太平洋での季節変動と巻き方向, 化石, **80**, 21-32.
- 増田侑美・長谷川四郎, 2010 : オホーツク海における現世底生有孔虫群集, MRC 研究報告会 (微化石研究集会). 的場保望・本間 登, 1986 : 西津軽沖日本海の現世有孔虫の深度分布. 的場保望・加藤道雄編 : 新生代底生有孔虫の研究, 秋田大学鉱山学部, 53-78.
- 野村律夫・池原 研, 1987 : 山陰沖の底生有孔虫群集 (予報). 有田正史・奥田義久・盛谷智之編, 「西南日本周辺大陸棚の海底地質に関する研究」昭和 61 年度研究概要報告書一日御崎沖・鳥取沖海域一, 地質調査所, 165-176.
- 大場忠道・堀部純男・北里 洋, 1980 : 日本海の 2 本のコアによる最終氷期以降の古環境解析, 考古学と自然科学, **13**, 31-49.
- Oba, T., Kato, M., Kitazato, H., Koizumi, I., Omura, A., Sakai, T. and Takayama, T., 1991 : Paleoenvironmental changes in the Japan Sea during the last 85,000 years. *Paleoceanography*, **5**, 499-518.
- 大井剛志, 2011 : 日本海南部-東シナ海北部における第四紀後期の古海洋環境変遷. 熊本大学大学院自然科学研究科博士論文.
- 大井剛志・田中正和・阿部恒平・長谷川四郎, 2005 : 北海道襟裳岬・根室沖海域における現世底生有孔虫の分布 (予報), 地質調査所総合センター速報, **33**, 120-129.
- Saidova, K. M., 1961 : Foraminiferal ecology and paleogeography, Far Eastern Seas of the USSR and northwest part of the Pacific Ocean. *Akad. Nauk. USSR, Inst. Okeanol.*, 1-232 (in Russian).
- Tsujimoto, A., Nomura, R., Yasuhara, M. and Yoshikawa, S., 2006 : Benthic foraminiferal assemblages in Osaka Bay, southwestern Japan: faunal changes over the last 50 years. *Paleontological Research*, **10**(2), 141-161.