

日本海沿岸の鮮新世貝形虫群集と海洋環境との関係

入月俊明*・石田 桂**

* 島根大学総理工学部地球資源環境学科・** 信州大学理学部地質科学科

Relationship between Pliocene ostracode assemblages and marine environments along the Japan Sea side regions in Japan

Toshiaki Irizuki* and Katsura Ishida**

*Department of Geoscience, Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue, 690-8504, Japan (irizuki@riko.shimane-u.ac.jp); **Department of Geology, Faculty of Science, Shinshu University, 3-1-1 Asahi, Matsumoto 390-8621, Japan (katsurai@shinshu-u.ac.jp)

Abstract. Previous studies of Pliocene ostracode assemblages have been compiled and reanalyzed. Three ostracode associations were identified in the fossil ostracode assemblages from the middle Pliocene Sasaoka Formation, Akita Prefecture, northeastern Japan. Association A is abundant in the lower part, dated before 2.75 Ma, and is composed of warm-to-mild-temperate water species. Species belonging to Association B are common throughout the sequence. Association C is abundant in the upper part, dated after 2.75 Ma, is composed of species living in subarctic to cool-temperate shallow marine areas, and contains extinct cryophilic species. Fossil ostracode assemblages from the middle Pliocene Kuwae Formation, Niigata Prefecture, central Japan, show that temperate intermediate water species were abundant or common in most interglacial periods. Moreover, shallow warm-temperate and cool-temperate species occurred together before ca. 2.75 Ma but, thereafter, their relative abundances became inversely related. Extinct shallow cryophilic species greatly increased during the glacial periods of the marine oxygen isotope stages G4 (ca. 2.7 Ma) and 104 (2.6 Ma). These results prompt the following conclusions. 1) Temperate intermediate waters entered the Japan Sea during most of the interglacial periods at least during the period ca. 3.0–2.6 Ma and water temperatures were higher in the lower sublittoral to upper bathyal zones during those periods than they are today. 2) The differences between surface water temperatures during the interglacial periods and those during the glacial periods became great at ca. 2.75–2.6 Ma. 3) Many cryophilic species migrated from northern seas during each glacial period after 2.75 Ma.

Key words: Pliocene, ostracode assemblages, cryophilic species, temperate intermediate water, datum plane A, Northern Hemisphere glaciation

はじめに

北海道から北陸にかけての日本海沿岸地域には、いわゆる大桑・万願寺動物群に属する冷温帯性の軟体動物化石を産出する上部鮮新統～更新統が広く分布し、貝類化石に関する研究が古くから行われている（例えば、増田・小笠原, 1981 など）。これらの地層から産出する微小な甲殻類の1分類群である貝形虫化石に関しては比較的多くの研究がある。Cronin and Ikeya (1987) は、大桑・万願寺動物群を包含する鮮新～更新統から産出する貝形虫化石のうち、北半球高緯度地域、すなわち、北大西洋と周辺の北極地域に生息するかあるいは化石として報告されている26種を環極域種（circumpolar species）、これらの環極域種と共産し、大部分北半球高緯度地域から報告されている貝形虫属の構成種21種を好冷性種（cryophilic species）、

および残りの88種を西太平洋に固有な温帯性種（endemic temperate species）として分類した。しかし、これらの多くは、北海道の瀬棚層や富川層、男鹿半島の北浦層や脇本層など前～中期更新世の地層から産出する貝形虫種を対象としており、鮮新世の貝形虫化石については必ずしも明らかになっていなかった。近年、Ozawa (2003, 2004) および Ozawa and Kamiya (2005a, b) は日本海、オホーツク海およびその周辺の更新世～現世における冷水系貝形虫種に焦点を当て、現在日本海中層水から固有水に生息している種（日本海中層—固有水群集：JSI-PA）、浅海生の絶滅好冷性種および現生好冷性種に分類した。また、これらの種の時間的変遷も検討されたが、鮮新世の群集全体については明らかになっていない。そこで、この論文では、鮮新統から産出する貝形虫化石に関するこれまでの研究を紹介し、北半球高緯度地域における氷河作用（Northern

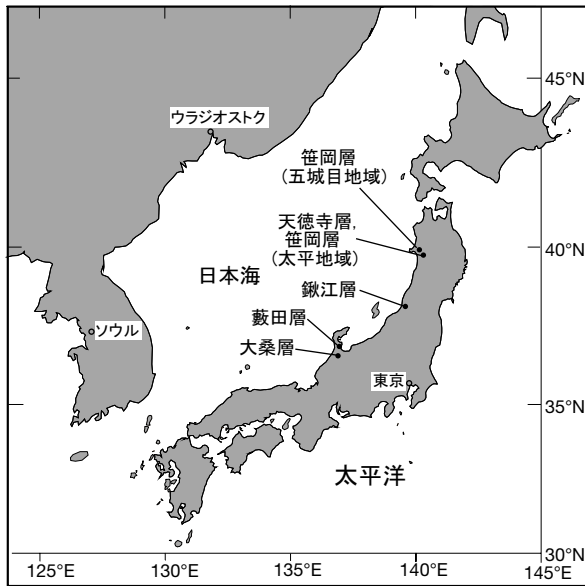


図 1. 日本海側に分布する鮮新統産貝形虫化石の群集解析に関する研究が行われた地層（地域）。

Hemisphere glaciation : NHG)が発達し始めた約 3.1 ~ 2.5 Ma (例えば, Haug and Tiedemann, 1998), 特に, 北西太平洋で漂移礫が増加し (Maslin *et al.*, 1995), 冷水系の石灰質ナンノ化石種が急増した (Sato *et al.*, 2004) とされている 2.75 Ma 付近の海洋環境の変化と貝形虫化石群集との関連性について, 秋田県秋田市周辺太平洋地域の釜岡層および新潟県胎内市の釜江層産貝形虫化石を中心に検討した結果に基づいて報告する。

鮮新世貝形虫群集の研究史

日本海側に分布する鮮新統から産出する貝形虫化石群集を詳しく検討した研究はこれまであまり多く行われてこなかった (図 1)。沿岸から陸棚上の比較的浅い海域に堆積した砂質堆積物よりなる地層に関しては, Ishizaki and Matoba (1985) が秋田県北部の五城目地域に分布する釜岡層から初めて貝形虫化石群集を報告した。Irizuki (1989) は秋田県秋田市周辺の太平洋山南西部, 太平洋地域に分布する釜岡層から産出する貝形虫化石群集を研究し, タフォノミーの視点から古環境の推定を行った。Ozawa (1996) や Ozawa and Kamiya (2001) は石川県大桑層の貝形虫化石群集を高時間分解能で研究した。大桑層は主として前期更新世に堆積したが, 下部層の一部は後期鮮新世に堆積した。Yamada *et al.* (2002) は Ishizaki and Matoba (1985) が対象とした五城目地域の馬場目川沿いに分布する約 2.2 ~ 2.05 Ma に堆積した釜岡層の連続露頭において, 細かい間隔で試料を採取し, 貝形虫化石の群集解析を行った。その結果, 群集の明瞭な周期的変動を認め, これらが汎世界的な氷河性海水準変動と関連していることを明らかにし, 後期鮮新世における氷期と間氷期の各々の時期に卓越する種が明確になった。

一方, 主に陸棚下部や上部漸深海帯のような相対的にやや深い海域に堆積し, 主として泥質堆積物からなる地層に関しては, Cronin *et al.* (1994) が富山県藪田層の貝形虫化石群集を初めて高時間分解能で詳細に解析した。Cronin *et al.* (1994) では, 貝形虫化石が産出した層準の年代は 3.4 ~ 2.3 Ma であるとされ, 主として 2.75 ~ 2.3 Ma の群集変化を解析したと報告されたが, 近年の生層序学的な研究結果 (三輪ほか, 2004a) に基づくと, 2.85 ~ 2.45 Ma の群集が詳しく報告されていることになる。この研究では, 貝形虫化石群集に基づいて 8 回の相対的海水準変動が認められた。Irizuki (1996b) は秋田県秋田市周辺の太平洋山南西部, 太平洋地域における釜岡層の直下に位置する天徳寺層から貝形虫化石を報告した。全体的に個体数が少なく, 群集解析も十分ではないものの, 暖流系の種が含まれていることが報告された。近年, 新潟県胎内市の釜江層上部 (約 3.5 ~ 2.55 Ma) の泥質堆積物から産出する貝形虫化石について詳細な研究が行われたが (Yamada *et al.*, 2005; Irizuki *et al.*, 2007), これらについては後述する。その他, Cronin and Ikeya (1987), Irizuki (1993, 1996a), Yamada (2003), Ozawa and Kamiya (2005a) は鮮新統から産する貝形虫種を扱っているが, 特定種の分類学的研究や産出の有無に関する報告に留まっている。

2.75 Ma 前後の浅海生貝形虫群集

上記のように, 沿岸から陸棚上に堆積した地層から産出する浅海生貝形虫化石群集に関する公表資料は, 2 Ma 前後に堆積した石川県大桑層と, 秋田県五城目地域の釜岡層からの研究しか存在しない。しかし, これらの研究では高時間分解能で群集解析が行われており, 氷河性海水準変動に対応した貝形虫化石群集の明瞭な変化が認められている。このような貝形虫化石群集の変化は引き続き, 前期更新世でも継続して認められている (Ozawa and Kamiya, 2001 など)。一方, 北半球高緯度地域で寒冷化が顕著になった 2.75 Ma 前後 (Maslin *et al.*, 1995; Sato *et al.*, 2004 など) の貝形虫群集に関する研究は Irizuki (1989) のみである。ただ, この研究では, 堆積環境をタフォノミーの視点から検討することに主眼があり, 当時の海洋環境との関連性について十分議論されていない。さらに, この研究以降, 寒流系貝形虫種の分類学的研究が大きく進展した結果 (Hanai and Ikeya, 1991; Irizuki, 1993, 1996a; Yamada, 2003 など), Irizuki (1989) の貝形虫種の分類を再検討する必要性が出てきた。そこで, 今回, 太平洋地域の黒沢川, 平沢および太平洋ルートで採取され, 貝形虫の殻数が 50 以上産出した 11 試料の貝形虫化石の分類を再検討した (図 2)。太平洋地域では Sato *et al.* (2001) により石灰質ナンノ化石の生層序学的研究が行われている。この結果に基づくと, 2.75 Ma の年代を示す datum plane A (Sato and Kameo, 1996) は, 平沢ルートの試料 HIR-3S 付近にあると推定される。

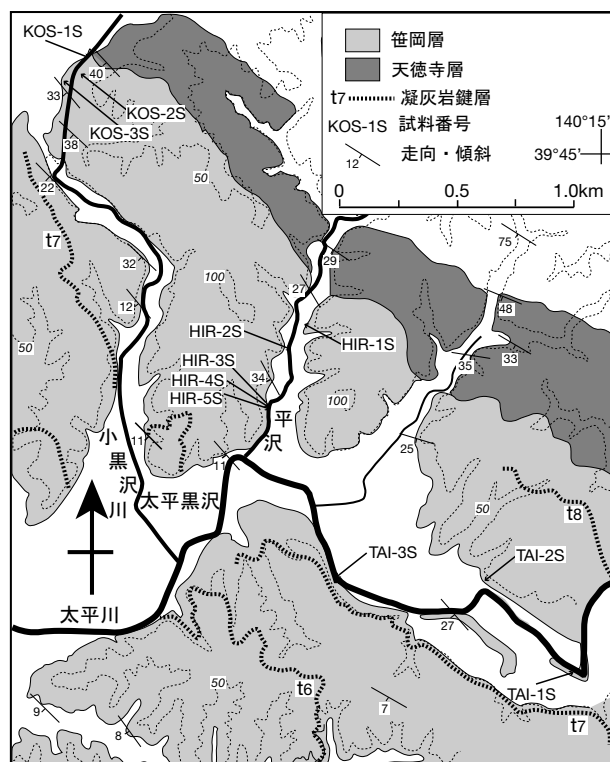


図2. 秋田県秋田市周辺太平洋地域の地質図および試料採取地点。Irizuki (1989) を改変。

結果として、11 試料から約 160 種の貝形虫化石が認められた。図3はこれらのうち、本論文でとりあげた主要種の走査型電子顕微鏡写真である。多産した上位 25 種に関して相対頻度の垂直変化を検討した (図4, 5)。これらの種は以下の 3 つの種群に区分される。

種群 A: 2.75 Ma 以前に卓越し、それ以後はほとんど産出しない種群 (図4の3種)

種群 B: 2.75 Ma を境にして、産出頻度に大きな変化は無く、全体を通じて産出する種群 (図4の12種)

種群 C: 2.75 Ma 付近以降多産する種群 (図5の10種)

種群 A に属する *Cornucoquimba moniwiensis* は前期中新世から産出し (Irizuki *et al.*, 2004)、いわゆる熱帯ー亜熱帯海中気候事変 (Mid-Neogene climatic optimum) 時に多産する (例えば、Yajima, 1992)。しかしながら、現在は生息数が少なく、東北日本の仙台湾など中間温帯～冷温帯 (海中気候区分は西村, 1981 に基づく。以下同様)、あるいは暖流と寒流の混合域に見られる (Ikeya and Itoh, 1991 など)。このように、暖かい海域から寒い海域に生息域を変化させてきた、あるいは北限付近に取り残された可能性が高い種である。*Cytheropteron miurense* は現在暖温帯から中間温帯の暖流影響下の海域に生息している (Hanai *et al.*, 1977 など)。種群 B に属する種はほとんどが日本海側の下部更新統でも普通に認められ、多くは遅くとも後期中新世には出現している。また、絶滅した 5 種 (*Aurila* sp., *Paijenborchella hanaii*, *Semicytherura* sp. B, *Laperousecythere* cf. *cronini*, *Hemicythere kitanipponica*) を

除いた 7 種のうち、*Baffinicythere reticulata*, *Schizocythere okhotskensis* の 2 種は、オホーツク海に生息する (Ozawa, 2004 など)。残りの 5 種はより南方の仙台湾などに生息し (Ikeya and Itoh, 1991)、*Finnarchinella hanaii* は石川県の九十九湾にも生息する (Kamiya *et al.*, 2001)。このように種群 B に属する現生種は、中間温帯～冷温帯海域に分布の中心を持つ。種群 C に属する 2.75 Ma 付近から増加する 10 種のうち少なくとも 2 種は現生種で、*Johnnealella nopporensis*, *Semicytherura mainensis* (= Ozawa, 1996 の *Howeina higashimeyaensis*) は、現在北海道北部沖の日本海やオホーツク海の沿岸から陸棚上に生息し、中間温帯域にはみられない現生好冷性種である (Ozawa, 2004; 小沢, 2006; 入月, 未公表資料)。今回産出数が少ないため、上記の種群に含めなかったが、2.75 Ma 以降に堆積した上部層に限って出現した種として、*Hemicythere emarginata* や *Sarsicytheridea bradii* などがあり、これらもオホーツク海に生息している種である (Schornikov, 1974; 入月, 未公表資料)。種群 C の残りの 8 種はすべて絶滅した可能性が高い種で、*Laperousecythere sasaokensis*, *Normanicythere japonica* は Ozawa and Kamiya (2005a) の絶滅好冷性種に指定されており、*Paijenborchella tsurugasakensis* は 2.2 Ma 以降の堆積年代を示す五城目地域の笹岡層、石川県の大桑層などで、氷期に卓越する特徴的な種である (Ozawa, 1996; Yamada *et al.*, 2002)。また、今回産出した *Daishakacythere* sp. は、これまでに報告された種とは異なるが、*Daishakacythere* 属は更新世で多産する分類群である (小沢, 2006)。このように 2.75 Ma 付近を境に相対的に暖温帯性の種は減り、現在のオホーツク海以北の冷温帯から亜寒帯海域に生息するような種が現在は中間温帯海域である秋田周辺の浅海域でも多くなった可能性がある。

くわえ 鎌江層の貝形虫化石群集

新潟県胎内市の胎内川右岸沿いに分布する鎌江層は、下位の上部中新統内須川層を不整合で覆い、層厚 200 m 以上の主としてシルト～砂質シルト岩からなる地層である。胎内川ルートにおいて、様々な微化石を用いた生層序および古地磁気層序の研究が行われ、年代に関してはいくつかの基準面が認められている (渡辺ほか, 2003; 井上ほか, 2003)。これらに基づくと、堆積年代は約 3.5 ～ 2.55 Ma で、最下部を除く全層準がいわゆる日本海側の鮮新ー更新統に広く認められる浮遊性有孔虫化石帯の No. 3 *Globorotalia inflata* bed (工藤, 1967) に相当する (三輪ほか, 2004b)。貝形虫化石群集に関しては、Yamada *et al.* (2005) が約 2.8 Ma 以降の群集変化について研究し、Irizuki *et al.* (2007) はそれ以前について検討を行った。今回これら両者を総合し、貝形虫化石群集の変化を詳細に検討した (図6)。全体を通じて多産する種は Ozawa (2003) により認められた日本海中層ー固有水群集 (JSI-PA) に属する。中でも水深 200 ～ 300 m 前後の日本海中層水に生息する

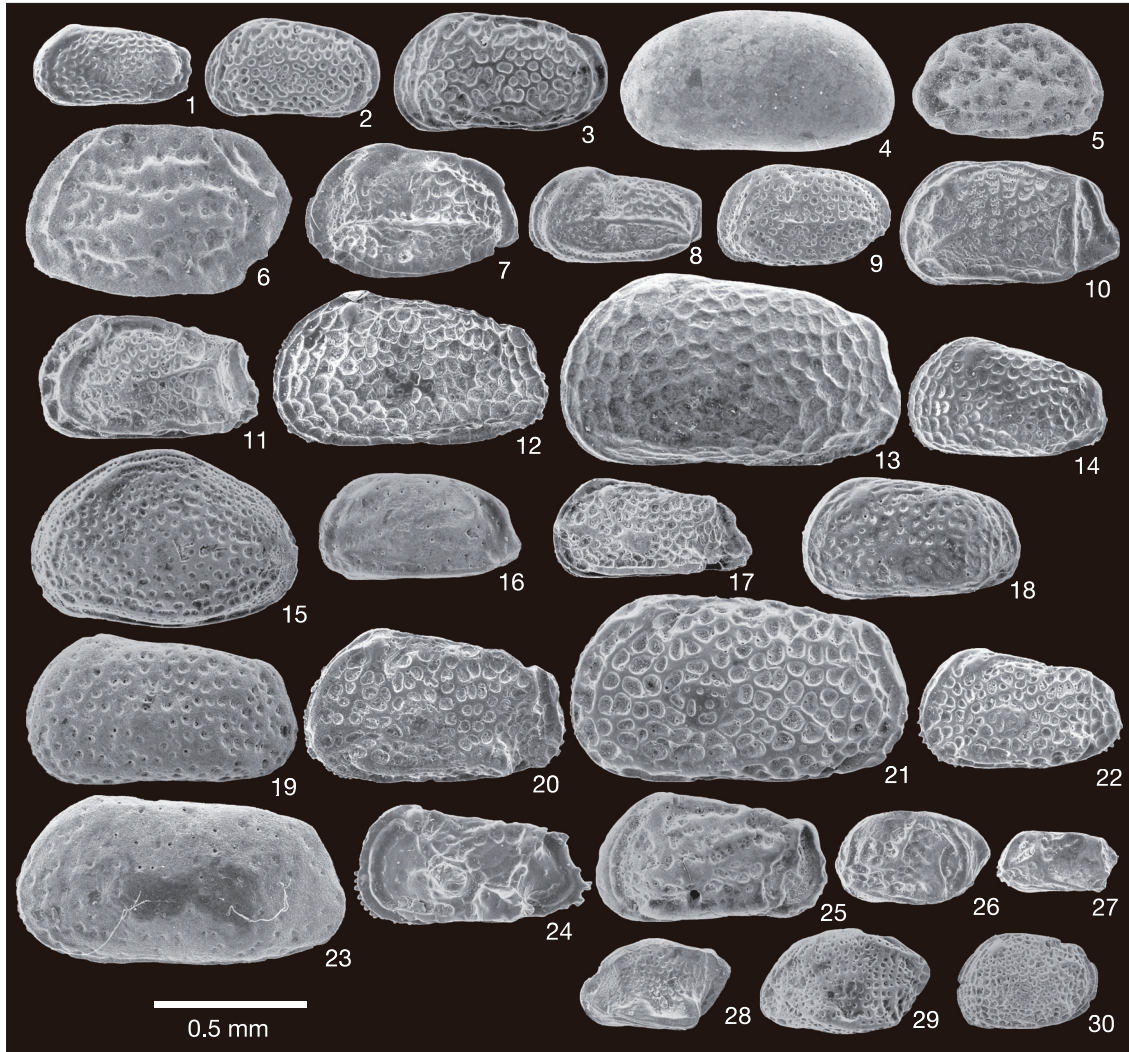


図3. 秋田県太平洋地域の笹岡層から産出した主要貝形虫種の走査型電子顕微鏡写真. 5を除いて全て左殻である. 14と22は幼体 (A-2) で, 他は全て成体である. 種名の後に試料番号を示す. 1. *Munseyella hatatensis* Ishizaki, HIR-2S, 2. *Callistocythere* sp. 1, HIR-5S, 3. *Callistocythere* cf. *setanensis* Hanai, HIR-5S, 4. *Sarsicytheridea bradleyi* (Norman), TAI-2S, 5. *Schizocythere ikeyai* Tsukagoshi and Briggs, TAI-2S, 6. *Schizocythere okhotskensis* Hanai, KOS-3S, 7. *Paijenborchella hanaii* Tabuki, KOS-2S, 8. *Paijenborchella tsurugasakensis* Tabuki, HIR-2S, 9. *Neomonoceratina* cf. *japonica* (Ishizaki), HIR-5S, 10. *Hemicythere emarginata* (Sars), HIR-4S, 11. *Hemicythere kitanipponica* (Tabuki), KOS-1S, 12. *Baffinicythere reticulata* Irizuki, KOS-2S, 13-14. *Daishakacythere* sp., TAI-3S (13), HIR-4S (14), 15. *Aurila* sp., KOS-3S, 16. *Finmarchinella hanaii* Okada, HIR-4S, 17. *Finmarchinella japonica* (Ishizaki), KOS-3S, 18. *Finmarchinella* sp., HIR-4S, 19. *Johnnealella nopporensis* Hanai and Ikeya, TAI-2S, 20. *Laperousecythere* cf. *cronini* Irizuki and Yamada, KOS-2S, 21-22. *Laperousecythere sasaakensis* (Irizuki), HIR-5S (21), HIR-4S (22), 23. *Normanicythere japonica* Tabuki, TAI-2S, 24. *Cornucoquimba moniwenensis* (Ishizaki), HIR-2S, 25. *Cornucoquimba* sp., HIR-2S, 26. *Semicytherura mainensis* (Hazel and Valentine), HIR-2S, 27. *Semicythere* sp. B, KOS-1S, 28. *Cytheropteron miurense* Hanai, KOS-2S, 29. *Cytheropteron sawanense* Hanai, KOS-1S, 30. *Loxoconcha subkotoriforma* Ishizaki, KOS-3S.

Robertsonites tabukii (= Ozawa, 2003 の *R. reticuliforma*) と, 中層から固有水に生息し, 北極周辺海域にも生息する *Acanthocythereis dunelmensis* (s.l.) が多い. このような日本海中層—固有水群集は現在, 水温変動が少なく, 約 5℃ 以下の深海泥底に限られる. 鉾江層では Ozawa (2003) によって定義された日本海中層—固有水群集構成種のうち, *K. sawanensis* を除く全ての種が約 3 Ma には出現しており, これらのうち, いくつかはすでに中新世から引き続いて現在まで生存している (Irizuki, 1994 など). 次に多産する種は現在東シナ海や北太平洋中層水影響下の水深 100 m から 600~800 m 前後, 水温約 6~20℃ 付近の泥

底に最も多く認められる *Krithe* spp. (*K. antisawanensis* および *K. hemideclivata*) である (Zhao and Whatley, 1997 など). しかし, これまで *K. hemideclivata* は現在の日本海からの報告が無く, *K. antisawanensis* は水深 150 m 付近の場所に限ってやや多く産出する程度である (Ikeya and Suzuki, 1992). Irizuki *et al.* (2007) は現在の日本海にこの温帯性中層水群集が少ない理由を以下のように考えた. すなわち, 現在の日本海の中層以深は対馬暖流や東シナ海から流入した低塩分の沿岸水が冬期モンスーンの影響で冷却され, 沈降し形成された日本海中層—固有水によって占められているため (例えば, Senjyu, 1999), 水深 150 m

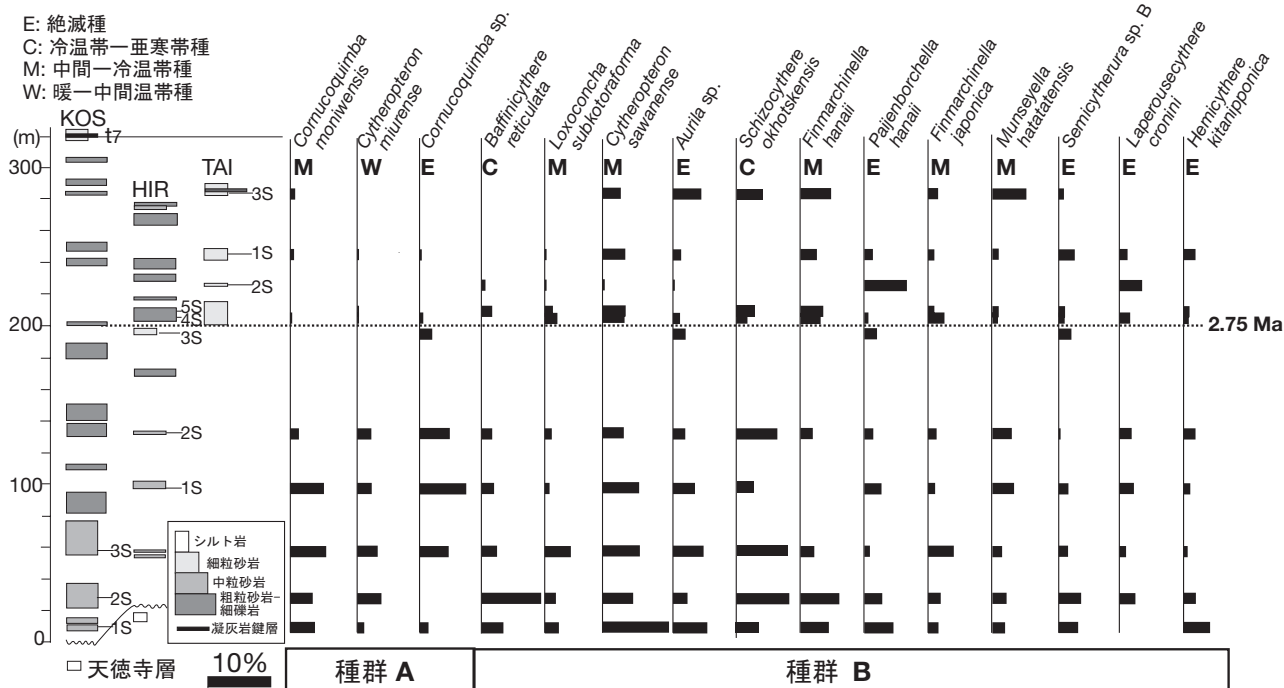


図4. 秋田県太平洋地域におけるルート柱状図，試料採取層準および種群 A および B の相対頻度 (%) の垂直変化。種群 A および B については本文参照。2.75 Ma の層準 (datum plane A) は Sato *et al.* (2001) に基づき推定した。KOS, HIR, TAI はそれぞれ小黒沢川，平沢，太平洋ルートを示す。

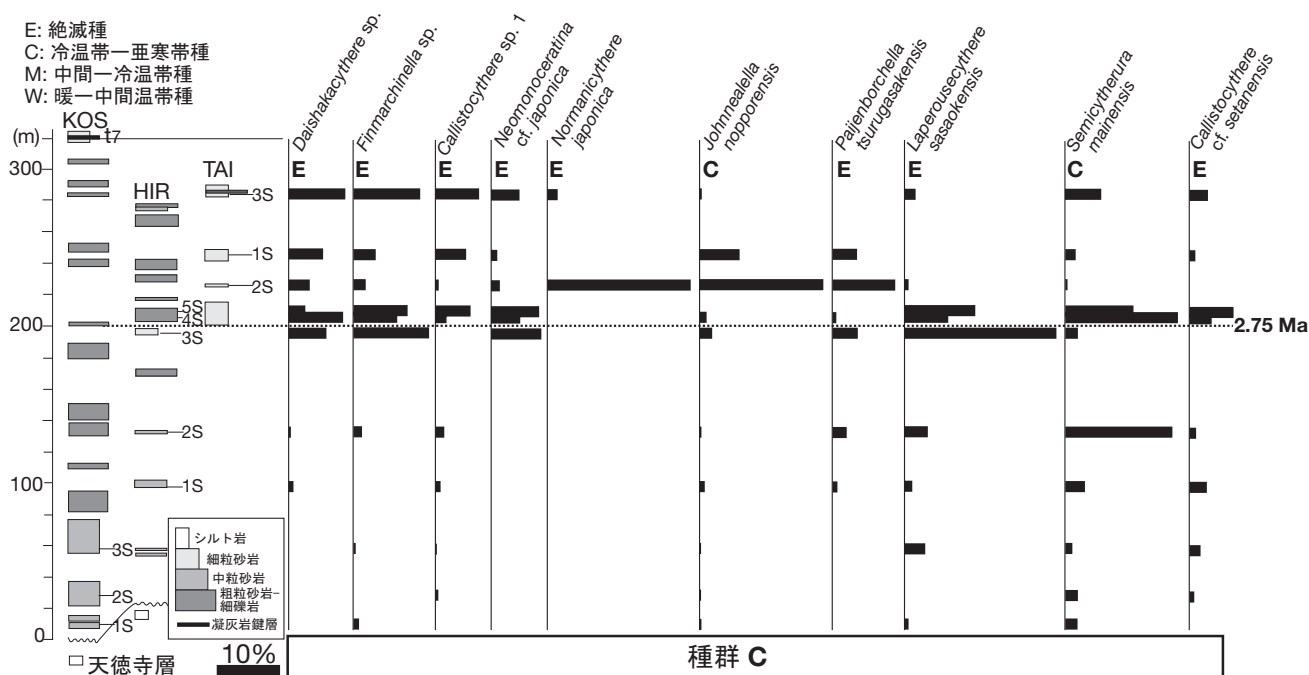


図5. 秋田県太平洋地域におけるルート柱状図，試料採取層準および種群 C の相対頻度 (%) の垂直変化。種群 C については本文参照。2.75 Ma の層準 (datum plane A) は Sato *et al.* (2001) に基づき推定した。KOS, HIR, TAI はそれぞれ小黒沢川，平沢，太平洋ルートを示す。

付近を境にして急激に水温が下降し、5℃以下になる (Irizuki *et al.*, 2007 の Fig. 10 参照)。そのため、陸棚より深い泥底は *K. antisawanensis* にとって水温が低すぎて生息に適していない。また、水温が6～20℃の範囲にある陸棚上は現在の日本海では砂質堆積物が広く覆っているため

に、*Krithe* 属のような泥底の内生種 (例えば、Coles *et al.*, 1994; Zhao and Whatley, 1997) は生息できない。この結果、この種は日本海では現在水深 150 m 付近の泥底に小規模に生息、分布していると解釈した。鉄江層ではこの種の相対頻度が明瞭な周期的変化を示し、間氷期では多

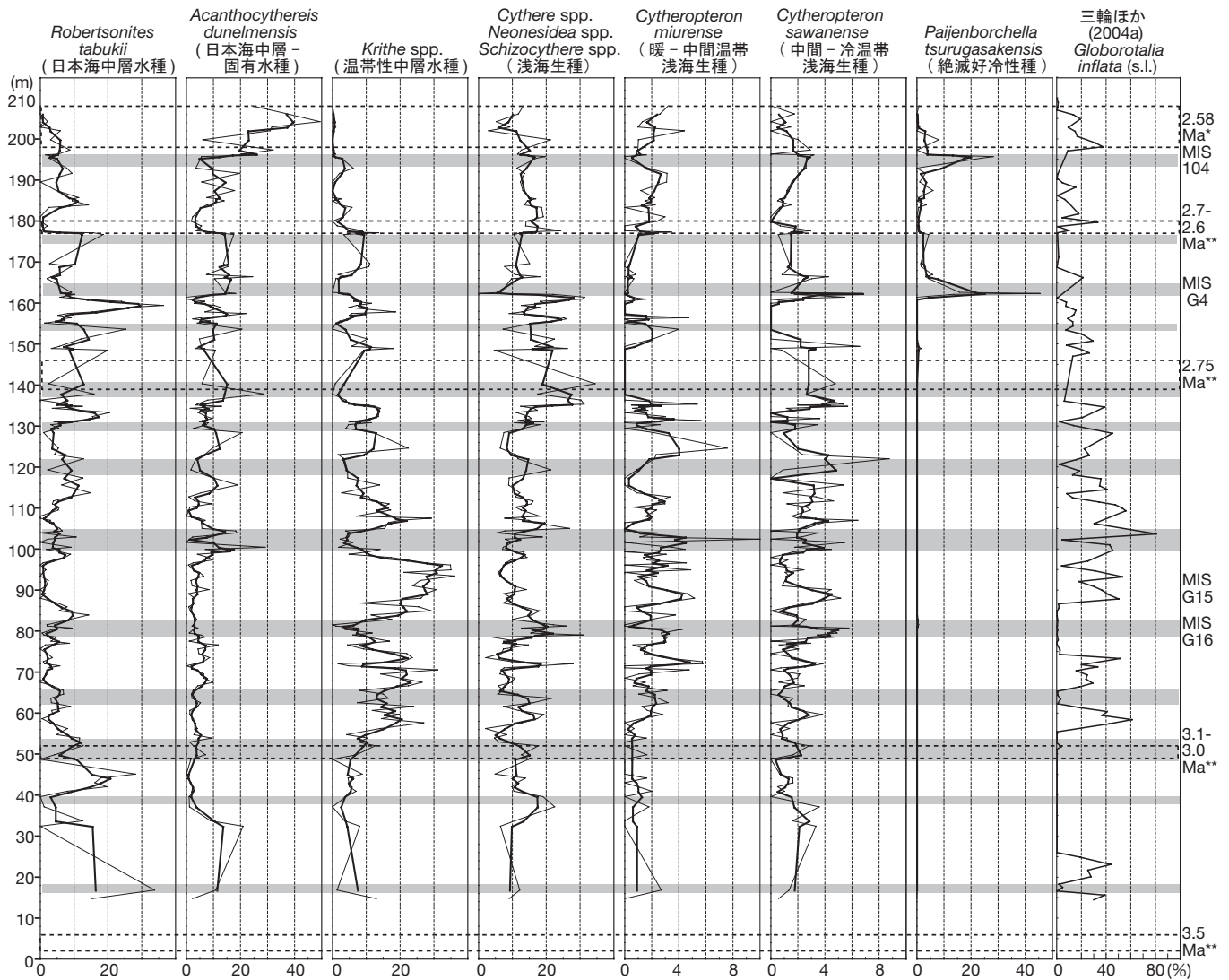


図6 新潟県胎内市の胎内川右岸に分布する鉾江層における代表的な貝形虫種の相対頻度の垂直変化。縦軸は鉾江層基底部からの層厚を示す。太線は3点移動平均を示す。* 井上ほか (2003), ** 渡辺ほか (2003) より。貝形虫のデータは Yamada *et al.* (2005) および Irizuki *et al.* (2007) による。浮遊性有孔虫種 (*Globorotalia inflata* (s.l.)) の相対頻度は、三輪ほか (2004b) のデータから浮遊性有孔虫化石の総個体数が 50 個以上の試料を選択し、計算した。灰色の層準は *Krithe* spp. の相対頻度が極小あるいは浅海生種の極大層準で、氷期を示すと推定される。MIS は推定された海洋酸素同位体ステージを示す。

産するようになる。これは、少なくとも 3.1～3.0 Ma 以降の間氷期では、水温 6～20℃程度の現在よりも相対的に暖かい中層水塊が周期的に存在していたことを示すことになる。これは浮遊性有孔虫の温帯性中層水種である *Globorotalia inflata* (s.l.) の相対頻度 (三輪ほか, 2004b) の時間的変化パターンと *K. antisawanensis* のそれが良い相関を示すことから支持されるとした (図6)。しかしながら、このような温帯性中層水は、南方海峡から流入したのか、それとも北方海峡からなのかについて、議論が分かれており (例えば、北村・木元, 2004)、現時点では明らかになっていない。さらに、Irizuki *et al.* (2007) は、当時は現在のように対馬暖流が冬季モンスーンにより冷却され形成された (例えば、Senjyu, 1999) 日本海中層-固有水が存在せず、表

層から深海へ向け徐々に水温が下がる環境になっていたと初めて推定した。*Krithe* spp. の相対頻度は、鉾江層全体では、*G. inflata* (s.l.) がほとんど産出しない下部 (基底より 25～55 m 付近) で 10% 以下と低い。特に約 3.2 Ma 前後 (基底より 37 m 前後) では、ほとんど産出しないが、その上位では中部にかけて増加し、相対頻度のピークは Irizuki *et al.* (2007) によると MIS G15 (基底より 90～100 m 層準) と想定されている。その後、*Krithe* spp. は減少し、最上部 (年代的に MIS 103; 基底より 200～210 m 層準) では極めて少なくなり消滅する。この消滅時期も No.3 *G. inflata* bed の上限 (約 2.6 Ma; 柳沢・天野, 2003 など) とほぼ一致する。このように、間氷期に繁栄する深海性温暖種は 2.75 Ma を境にして急激に減少するのではなく、徐々に減少していくことがわかった。

鉾江層は深海成堆積物からなるために、浅海生種の個体数が少なく、その相対頻度の垂直変化は明瞭ではない。ここでは、前述の秋田県太平洋地域の笹岡層から産出した種群 C、すなわち 2.75 Ma 以降、増加傾向にある貝形虫に焦点をあてる。鉾江層から産出する種群 C に属する種は *P. tsurugasakensis*, *L. sasaokensis*, *S. mainensis* および *Callistocythere* cf. *setanensis* の 4 種だが、*P. tsurugasakensis* 以外は全体的に極めて産出個体数が少ない。*P. tsurugasakensis* は 2.75 Ma 以前では鉾江層でもほとんど産出せず、わずかに基底より 80 m 付近の層準 (MIS G16 と推定されている) の試料から 1 個体産出したのみである。しかしながら、Yamada *et al.* (2005) によると、約 2.7 と 2.6 Ma の層準に相対頻度が急激に増加し、それぞれ、20、40% をこえる値を示す (図 6)。年代を考慮すると、前者が MIS G4 で、後者が MIS 104 の氷期に相当すると推定され、北半球の氷床拡大イベントに対応すると考えられている。一方、富山県蘆田層ではこの種の相対頻度の増加は認められないが、代わりに *Schizocythere ikeyai* (Cronin *et al.*, 1994, の *S. okhotskensis*) が氷期に多産する。*S. ikeyai* は笹岡層では 2.75 Ma 以降の試料の TAI-2S と 3S で、それぞれ 361 個中 8 個体および 245 個体中 6 個体認められるが、他では産出していない。次に種群 A、すなわち、2.75 Ma 以前に多い種のうち、明らかに暖流系の陸棚種である *Cytheropteron miurense* と、種群 B に含まれ、同属で冷水系の陸棚種である *Cytheropteron sawanense* の相対頻度の垂直変化について、比較検討した。鉾江層中・下部 (3.1-3.0 ~ 2.8 Ma 前後) では両者の相対頻度の垂直変化に、明瞭な相関関係は認められず、両者が比較的共存している。また、*C. miurense* の相対頻度のピークも 4 ~ 5% と相対的に高い。これに対し、2.8 Ma 付近から 2.75 Ma 以降になると、お互いが逆相関するようになり、*C. miurense* は氷期で少ない傾向にあり、その相対頻度のピークも 2 ~ 3% 前後とやや低くなる。これは、3.1-3.0 ~ 2.8 Ma の頃は間氷期でも氷期でも両者が共存できる程度の水温の範囲であったのに対し、2.75 Ma 以降になると、約 4.1 万年周期の、振幅の大きな酸素同位体比変動曲線 (例えば、Tiedemann *et al.*, 1994 など) によって示唆されるように、間氷期と氷期との間での表層水の水温にはっきりとした較差が生じ始め、氷期には表層水の水温が 2.75 Ma 以前よりも低くなったことを反映しているのではないかと考えられる。

おわりに

本論文では日本沿岸の鮮新世貝形虫群集について、中期鮮新世に堆積した秋田県秋田市周辺太平洋地域の笹岡層と新潟県胎内市鉾江層からの資料をもとに解析し、特に 2.75 Ma における環境変動との関係を議論した。結果として、いわゆる No.3 *G. inflata* bed の時代 (約 3.4 ~ 2.6 Ma) の間氷期は浅海と深海の間の水温勾配がゆるやかで、中層は現在よりも暖かかったことが明らかになった。砂質堆積物が卓

越した浅海域に関しては、2.75 Ma 以降、氷期・間氷期での水温の差が明瞭になり、氷期における冷温帯～亜寒帯種の南下を伴いつつ、周期的に群集が入れ替わったと推定される。しかし、今回の笹岡層での研究は試料間隔が非常にあらく、試料数も少ないため、数十万年オーダーの環境変化と数万年オーダーのそれとを区別することができない。また、地域が限られていることから、貝形虫化石群集の変化が、地域的な環境変化を反映しているのか、汎世界的環境要因の変化の影響なのか現状では判断が難しい。今後、他地域における鮮新世の浅海成堆積物を対象とした精度の高い貝形虫化石の研究が行われれば、2.75 Ma で起きた寒冷化が浅海生貝形虫群集に与えた影響について、より詳細な議論が可能になると考えられる。

謝辞

上越教育大学の天野和孝博士からは本論をまとめる機会をいただいた。琉球大学教育学部の田吹亮一博士および国立科学博物館の小沢広和博士には丁寧な査読していただき、有益な助言をいただいた。本研究は日本学術振興会の科学研究費基盤研究 (C) (課題番号 17540442, 代表: 入月俊明) の一部を用いた。

文献

- Coles, G. P., Whatley, R. C. and Monguilevsky, A., 1994. The ostracode genus *Krithe* from the Tertiary and Quaternary of the North Atlantic. *Palaeontology*, **37**, 71-120.
- Cronin, T. M. and Ikeya, N., 1987. The Omma-Manganji ostracod fauna (Plio-Pleistocene) of Japan and the zoogeography of circumpolar species. *Journal of Micropalaeontology*, **6**, 65-88.
- Cronin, T. M., Kitamura, A., Ikeya, N., Watanabe, M. and Kamiya, T., 1994. Late Pliocene climate change 3.4-2.3Ma: paleoceanographic record from the Yabuta Formation, Sea of Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **108**, 437-455.
- Hanai, T. and Ikeya, N., 1991. Two new genera from the Omma-Manganji ostracod fauna (Plio-Pleistocene) of Japan-with a discussion of theoretical versus purely descriptive ostracod nomenclature. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, (163), 861-878.
- Hanai, T. and Ikeya, N., Ishizaki, K., Sekiguchi, Y. and Yajima, M., 1977. *Checklist of Ostracoda from Japan and its adjacent Seas*, 119p., University of Tokyo Press, Tokyo.
- Haug, G. H. and Tiedemann, R., 1998. Effect of the formation of the Isthmus of Panama on Atlantic Ocean thermohaline circulation. *Nature*, **393**, 673-676.
- Ikeya, N. and Itoh, H., 1991. Recent Ostracoda from the Sendai Bay region, Pacific coast of northeastern Japan. *Reports of the Faculty of Science, Shizuoka University*, **25**, 93-145.
- Ikeya, N. and Suzuki, C., 1992. Distributional patterns of modern ostracodes off Shimane Peninsula, southwestern Japan Sea. *Reports of the Faculty of Science, Shizuoka University*, **26**, 91-137.
- 井上博文・山田 桂・高橋雅紀・本山 功・柳沢幸夫, 2003. 新潟県北蒲原地域の胎内川における鮮新統鉾江層最上部の古地磁気層序. 石油技術協会誌, **68**, 570-580.
- Irizuki, T., 1989. Fossil ostracod assemblages from the Pliocene Sasaoka Formation, Akita City, Japan-with reference to

- sedimentological aspects-. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, (156), 296-318.
- Irizuki, T., 1993. Morphology and taxonomy of some Japanese hemicytherin Ostracoda-with particular reference to ontogenetic changes of marginal pores. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, (170), 186-211.
- Irizuki, T., 1994. Late Miocene ostracods from the Fujikotogawa Formation, northern Japan-with reference to cold water species involved with trans-Arctic interchange-. *Journal of Micropaleontology*, **13**, 3-15.
- Irizuki, T., 1996a. Ontogenetic changes in valve characters in three new species of *Baffinicythere* (Ostracoda, Crustacea) from northern Japan. *Journal of Paleontology*, **70**, 450-462.
- Irizuki, T., 1996b. Lithology and Ostracoda from the Pliocene Tentokuji Formation along the southern marginal area of Mt. Taiheizan, Akita Prefecture, Northeast Japan. *Bulletin of Aichi University of Education (Natural Science)*, (45), 23-32.
- Irizuki, T., Kusumoto, M., Ishida, K. and Tanaka, Y., 2007. Sea-level changes and water structures between ca. 3.5 to 2.8 Ma in the central part of the Japan Sea Borderland: analyses of fossil Ostracoda from the Pliocene Kuwae Formation, central Japan. *Palaeogeography, Palaeoecology, Palaeoclimatology*, **245**, 421-443.
- Irizuki, T., Yamada, K., Maruyama, T. and Ito, H., 2004. Paleoeology and taxonomy of Early Miocene Ostracoda and paleoenvironments of the eastern Setouchi Province, central Japan. *Micropaleontology*, **54**, 105-147.
- Ishizaki, K., and Matoba, Y., 1985. Excursion 5: Akita (Early Pleistocene cold shallow water Ostracoda). *Guidebook of Excursions for the 9th International Symposium on Ostracoda*, 1-12. Organizing Committee of 9th International Symposium on Ostracoda, Shizuoka.
- Kamiya, T., Ozawa, H. and Obata, M., 2001. Quaternary and Recent marine Ostracoda in Hokuriku district, the Japan Sea coast. In Ikeya, N. ed., *14th International Symposium on Ostracoda Field Excursion Guidebook*, 73-106. The Organizing Committee of ISO 2001, Shizuoka.
- 工藤哲郎, 1967. 新潟ペーズンにおける Foraminiferal ratio の利用について. 第 32 回石技協定時総会個人講演要旨集, 13-14.
- Maslin, M. A., Haug, G. H., Samthein, M., Tiedemann, R., Erlenkeuser, H. and Stax, R., 1995. Northwest Pacific Site 882: the initiation of Northern Hemisphere glaciation. In Rea, D. K., Basov, L. A., Scholl, D. W., Allan, J. F., eds., *Proceedings of Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **145**, 315-327.
- 増田孝一郎・小笠原憲四郎, 1981. 大桑・万願寺動物群と竜の口動物群. 渡部・大森, 軟体動物の研究 (大森昌衛教授還暦記念論文集), 223-249, 国際印刷, 東京.
- 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ーとくに No. 3 *Globorotalia inflata* bed 下限の年代についてー. 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川における鮮新統鰈江層の浮遊性有孔虫化石層序ー No. 3 *Globorotalia inflata* bed 下限の年代についてー. 石油技術協会誌, **69**, 272-283.
- 西村三郎, 1981. 地球の海と生命. 海洋生物地理学序説. 海鳴社, 284p.
- Ozawa, H., 1996. Ostracode fossils from the late Pliocene to early Pleistocene Omma Formation in the Hokuriku district, central Japan. *The Science Reports of Kanazawa University*, **41**, 77-115.
- Ozawa, H., 2003. Japan Sea ostracod assemblages in surface sediments: their distribution and relationships to water mass properties. *Paleontological Research*, **7**, 257-274.
- Ozawa, H., 2004. Okhotsk Sea ostracods in surface sediments: depth distribution of cryophilic species relative to oceanic environment. *Marine Micropaleontology*, **53**, 245-260.
- 小沢広和, 2006. 日本海と周辺における好冷性介形虫類 (甲殻亜門介形虫綱) の分布と海洋環境. タクサ, (20), 26-40.
- Ozawa, H. and Kamiya, T., 2001. Palaeoceanographic records related to glacio-eustatic fluctuations in the Pleistocene Japan Sea coast based on ostracods from the Omma Formation. *Palaeogeography, Palaeoecology, Palaeoclimatology*, **170**, 27-48.
- Ozawa, H. and Kamiya, T., 2005a. The effects of glacio-eustatic sea-level change on Pleistocene cold water ostracod assemblages from the Japan Sea. *Marine Micropaleontology*, **54**, 167-189.
- Ozawa, H. and Kamiya, T., 2005b. Ecological analysis of benthic ostracods in the northern Japan Sea, based on water properties of modern habitats and late Cenozoic fossil records. *Marine Micropaleontology*, **55**, 255-276.
- Sato, T. and Kameo, K., 1996. Pliocene to Quaternary calcareous nannofossil biostratigraphy of the Arctic Ocean, with reference to late Pliocene glaciation. In Thide, J., Myhre, A. M., Firth, J. V. and Ruddiman, W. F., eds., *Proceedings of the Ocean Drilling Program Scientific Results*, **117**, 39-59.
- Sato, T., Saito, T., Takahashi, H. and Higuchi, T., 2001. Calcareous nannofossil biostratigraphy of the Sasaoka and Tentokuji Formations, central Akita area, northern Japan. *Journal of Mineralogical College, Akita University, Series A*, **8**, 151-172.
- Sato, T., Yuguchi, S., Takayama, T. and Kameo, K., 2004. Drastic change in the geographical distribution of the cold-water nannofossil *Coccolithus pelagicus* (Wallich) Schiller at 2.74 Ma in the late Pliocene, with special reference to glaciation in the Arctic Ocean. *Marine Micropaleontology*, **52**, 181-193.
- Schornikov, E. I., 1974. On the study of Ostracoda (Crustacea) from the intertidal zone of the Kuril Islands. Academy of Sciences of the USSR, Far Eastern Scientific Center Institute of Marine Biology, Collected Works, (1), 137-214. (in Russian with English abstract)
- Senjyu, T., 1999. The Japan Sea Intermediate Water; its characteristics and circulation. *Journal of Oceanography*, **55**, 111-122.
- Tiedemann, R., Sarnthein, M. and Shackleton, N. J., 1994. Astronomic timescale for the Pliocene Atlantic $\delta^{18}\text{O}$ and dust flux records of Ocean Drilling Program site 659. *Paleoceanography*, **9**, 619-638.
- 渡辺真人・柳沢幸夫・田中裕一郎・山田 桂・入月俊明・庄司真弓, 2003. 新潟県北蒲原地域胎内川に分布する鮮新統鰈江層の珪藻・石灰質ナノ化石層序. 石油技術協会誌, **68**, 561-569.
- Yajima, M., 1992. Early Miocene Ostracoda from Mizunami, Central Japan. *Bulletin of the Mizunami Fossil Museum*, (19), 247-268.
- Yamada, K., 2003. New ostracod (Crustacea) species of the genus *Robertsonites* from the Upper Pliocene Kuwae and Sasaoka formations, central and northeast Japan. *Journal of Micropaleontology*, **22**, 169-181.
- Yamada, K., Irizuki, T. and Tanaka, Y., 2002. Cyclic sea-level changes based on fossil ostracode faunas from the Upper Pliocene Sasaoka Formation, Akita Prefecture, northeast Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **185**, 115-132.
- Yamada, K., Tanaka, Y. and Irizuki, T., 2005. Paleoceanographic shifts and global events recorded in late Pliocene shallow marine deposits (2.80-2.55Ma) of the Sea of Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **220**, 255-27.
- 柳沢幸夫・天野和孝, 2003. 新潟県上越地域西部に分布する鮮新統の珪藻化石層序と古海洋環境. 地質調査所研究報告, **54**, 63-93.
- Zhao, Q. and Whatley, R., 1997. Distribution of the Ostracod genera *Krithe* and *Parakrithe* in bottom sediments of the East China and Yellow Sea. *Marine Micropaleontology*, **32**, 195-207.