論 文

新潟県北蒲原地域胎内川に分布する鮮新統鯀江層の
珪藻・石灰質ナンノ化石層序

渡辺 真人*・柳沢 幸夫*・田中裕一郎**・山田 桂***
入月 俊明****・庄司 真弓*****

(Received May 8, 2003; accepted September 12, 2003)

Diatom and calcareous nannofossil biostratigraphy of the Pliocene Kuwae Formation
along the Tainai River, Kitakanbara area, Niigata Prefecture, central Japan

Mahito Watanabe, Yukio Yanagisawa, Yuichiro Tanaka, Katsura Yamada,
Toshiaki Irizuki and Mayumi Shoji

Abstract: Diatom and calcareous nannofossil biostratigraphy was established for the Pliocene Kuwae Formation along the Natsui stratigraphic section, Tainai River, Kitakanbara area in Niigata Prefecture, central Japan. Three useful diatom biohorizons, the FO (first occurrence) of *Neodenticula koizumii*, RI (rapid increase) of *N. koizumii* and LO (last occurrence) of *Neodenticula kamtschatica* along with calcareous nannofossil datum A defined by Sato and Kameo (1996) were identified in the formation, which established a precise chronologic framework of the Natsui section. Fresh water diatom fossils and reworked Miocene diatom valves occurred throughout the section and the proportion of these taxa fluctuates in a frequency of several tens of thousands years. Sporadic occurrences of warm water diatoms such as *Hemidiscus cuneiformis*, *Nitzschia reinholdii* and *Rhizosolenia bergonii* were recognized at several horizons. Among these, the occurrence at the horizon just above the FO of *N. koizumii* was found both in the present section and in the Yabuta Formation in the Himi area, which suggests its probable correlation.

Key words: biostratigraphy, calcareous nannofossil, diatom, Kuwae Formation, Japan Sea, Niigata, Pliocene, Nishiyama Stage

1. はじめに

本邦の主要な油・ガス田の1つである新潟堆積盆には

* 産業技術総合研究所地球科学情報研究部門 Institute of Geoscience, Geological Survey of Japan, AIST

** 産業技術総合研究所地球科学情報研究部門 Institute for Marine Resources and Environment, Geological Survey of Japan, AIST

*** 金沢大学自然科学研究科 (COE ポストドクトラルフェロー) COE Postdoctoral Fellow, Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University

**** 島根大学総合理工学部地球資源環境学科 Department of Geoscience, Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University

***** 愛教大付名古屋小 Nagoya elementary school attached Aichi University of education

Copyright © 2003, JAPT

第三系および第四系が厚く堆積している。このうち新第三系の標準層序の1つである上部鮮新統の西山階基底は、浮遊性有孔虫化石の *Globorotalia inflata* s.l. の多産層準 (No. 3 *G. inflata* bed; 工藤, 1967) 下限によって定義されている (米谷, 1978)。この No. 3 *G. inflata* bed は、新潟堆積盆の坑井間の対比に有効であるばかりでなく、日本海側地域の鮮新統の広域対比にも極めて有用であることが判明している (たとえば、改訂版「日本の石油・天然ガス資源」編集委員会, 1992)。また、*G. inflata* s.l. の多産は相対的に温暖な水塊が日本海に流入したことを示しているとされ、後期鮮新世における日本海の高環境を復元する上でも重要である (米谷, 1988)。しかし、No. 3 *G. inflata* bed は、新潟堆積盆では確

実な年代層序との直接の対応関係がついておらず、このために No. 3 *G. inflata* bed の下限で定義される西山階基底についても十分に信頼できる推定年代が得られていない(柳沢ほか, 2000)。また、他の微化石層序との関係も新潟堆積盆では北蒲原地域の陸域セクションで明らかになりつつあるものの(秋元ほか, 1998; 平松・三輪 1998), 分析試料の間隔が粗いために詳細な対応関係はまだよく分っていない。

筆者らは、新潟県北蒲原郡黒川村夏井付近の胎内川沿いの層序セクションに連続露出する鮮新統鉄江層を対象として、No. 3 *G. inflata* bed の年代を主に珪藻化石と古地磁気年代層序によって確定すること、およびさまざまな微化石を用いて後期鮮新世における日本海の古環境変動を解明することを目的に共同研究を実施している(三輪ほか, 2002; 山田ほか, 2002など)。本論文では、これらの研究の基礎となる珪藻化石層序と石灰質ナノ化石層序の検討結果を報告し、鉄江層の年代層序を確立する。

2. 調査地域の層序

新潟県北部北蒲原地域の楡形山脈周辺には新第三系が広く分布し、下位より釜杭層、下関層、内須川層、鉄江層に細分される(西田・津田, 1961; 小林・渡辺, 1985)。調査対象である黒川村夏井付近の胎内川右岸(夏井セクション; Fig. 1)では、下関層から上位の地層が露出しており、鉄江層は珪藻質泥岩からなる内須川層を不整合に覆っている(Fig. 2)。この不整合は大きな時間間隙を伴っており、広域的にみると下位層を大きく侵食する不整合である(平松・三輪, 1998)。

Fig. 1 Location of the Natsui Section (Study section).

Fig. 2 Schematic column of the Neogene sequence in the study section.

夏井セクションの鉄江層は一部を除きほとんど露頭欠如がなく、全層厚は約210mに達する(Fig. 3)。鉄江層の下半部は砂岩層ないし砂礫岩層を頻繁に挟在するシルト岩ないし砂質シルト岩からなる。一方、上半部はまれに砂岩層を挟在するシルト岩ないし砂質シルト岩からなり、上半部の中では最上部に向かって砂岩層の頻度が増す(Fig. 3)。砂岩層はしばしば緑色のパミス、火山ガラスを含み、軟体動物化石片を多量に含むコキナ様の砂岩層も見られる。このほか、夏井セクションの鉄江層には、胎内川鉄江層ガラス質テフラ層(Tnkg; 黒川ほか, 1999)と胎内川白色テフラ層(Tnkw; 黒川ほか, 2003)が挟在する(Fig. 3)。

夏井セクションを含む北蒲原地域のシーケンス層序と堆積システムを研究した高野ほか(2001)は、堆積相と底生有孔虫群集に基づき、本セクションの鉄江層の堆積の場は外側陸棚から斜面であったとし、鉄江層基底と中部にシーケンス境界があるとした。

3. 分析方法

この研究では、夏井セクション(Fig. 1)の鉄江層のほぼ全層準にわたって0.2–0.5 m 間隔で採取した試料か

Fig. 3 Stratigraphic distribution of selected diatom species and diatom zones for the Kuwae Formation. A: Lithostratigraphy; B: Diatom zones and stratigraphic occurrence of the marker species *Neodenticula kamschatica* and *Neodenticula koizumii*; C: Stratigraphic change of the diatom assemblage; D: Stratigraphic occurrence of the warm water species; Tnkg, Tnkw: key tephra layers (after Kurokawa, 2003), FO: first occurrence, RI: rapid increase, LO: last occurrence.

ら、目的に応じて試料を選び分析した。

珪藻化石については、数 m 間隔で試料を選び、合計 89 試料について分析を行った。試料は Akiba (1986) の方法で処理し、作成したプレパラートを光学顕微鏡 600 倍と 1,000 倍で検鏡した。任意の測線に沿って 100 個の化石珪藻殻を同定し産出リストを作成し、その後約 500–1,000 個の化石珪藻殻を観察して珪藻化石層序に重要な種の有無を確認した。その結果に基づき、Yanagisawa and Akiba (1998) にしたがって珪藻化石帯を認定した。なお、本文中では以下の略号を用いる。FO：初産出層準、LO：終産出層準、RI：急増層準。

石灰質ナンノ化石については、とくに Sato and Kameo (1996) が定義した datum A (年代 2.75 Ma)

を検出するため、珪藻化石層序の結果に基づき 2.7 Ma 前後と推定される層準から 24 試料を採取し、石灰質ナンノ化石群集の層位変化を分析した。石灰質ナンノ化石分析試料は、田中・高橋 (1998) と同様な処理を行い、スミアスライドを作成し、光学顕微鏡を用いて 1250 倍の倍率で観察を行い、200 個の計数・同定を行った。

4. 珪藻化石層序

検出された主要タクサの産出状況を Fig. 3 に図示し、産出した珪藻化石の写真を Fig. 4 に示した。夏井セクションの礫江層からは、海生浮遊性種である *Neodenticula kamtschatica*, *Neodenticula koizumii* および *Thalassionema nitzschioides* に加えて、沿岸生ないし

Fig. 4 Diatom fossils of the Kuwae Formation.

- 1-3. *Neodenticula kamtschatica* (Zabelina) Akiba et Yanagisawa, NATS 069
- 4, 5. *Neodenticula koizumii* Akiba et Yanagisawa, NATS 069
6. *Thalassionema nitzschioides* H. et M. Peragallo, NATS 029
7. *Nitzschia reinholdii* Kanaya ex. Barron et Baldauf, NATS 006
8. *Rhizosolenia bergonii* Peragallo, NATS 008
9. *Aulacoseira* sp., NATS 008
10. *Hemidiscus cuneiformis* Wallich, NATS 029
- 11a, 11b. *Thalassiosira convexa* Muchina, NATS 014
12. *Stephanodiscus* sp., NATS 008

汽水生の *Gramatophora* spp. や *Paralia sulcata*, あるいは淡水生の *Aulacoseira* spp. や *Stephanodiscus* spp., また中新世に絶滅した *Denticulopsis* spp. が産出する (Fig. 3)。 *N. kamtschatica* は鉄江層の最下部から上部の試料 NATS 226 にかけてほぼ連続的に産出し、特に下部に産出が多い。 *N. koizumii* は下位から3番目の試料である試料 NATS 006 から産出し始め、試料 NATS 069前後から多産し、試料 NATS 297 までほぼ連続的に産出する。ただし、試料 NATS 039 よりも下位では、産出は断続的で、頻度もしばしば1%を下回る。

N. koizumii の FO (D 80; Yanagisawa and Akiba, 1998 の基準面。以下同様) は試料 NATS 003 と試料 NATS 006 の間にあり、それよりも下位の層準は、 *N. kamtschatica* を産出するが *N. koizumii* を伴わないので

N. kamtschatica (NPD 7B) にあたる。 *N. kamtschatica* の LO (D 90) は試料 NATS 281 と試料 NATS 283 の間にあり、試料 NATS 003 から試料 NATS 226 までの層準は *N. koizumii* と *N. kamtschatica* をともに産出するので、 *N. koizumii*-*N. kamtschatica* 帯 (NPD 8) にあたる。ただし、鉄江層下部の NATS 016, 017, 033 および 035 の各試料では、 *N. kamtschatica* が産出するにもかかわらず、 *N. koizumii* が産出しない。この不連続な産出は、渡辺 (2002) が論じたように、日本周辺を含む北太平洋中緯度域では、 *N. koizumii* の FO (D 80) 直上付近では同種の産出がまれであることによると考えられる。

渡辺 (2002) は *N. koizumii* の RI が有用な生層準となる可能性を指摘したが、本研究では試料採取間隔が相

Fig. 5 Stratigraphic change of the calcareous nannofossil assemblage.

対的に密であるため、同種の明瞭な急増は認められない。ただし、*N. kamtschatica* と *N. koizumii* の頻度を比べると、試料 NATS 063 から下位の層準では前者の方が大きく、試料 NATS 069 から上位の層準では後者の方が大きく、試料 NATS 063 と試料 NATS 069 の間で頻度の逆転が認められる。したがって、試料 NATS 063 と試料 NATS 069 の間に *N. koizumii* の RI を認めることができる。このことから、本研究のように試料間隔が密である場合、*N. koizumii* の RI は、同種と *N. kamtschatica* の頻度の逆転をもって認定するのが実用的と考えられる。

N. koizumii は試料 NATS 298 より上位では産出しませんが、それらの層準では珪藻化石の保存が悪く、非海生の珪藻化石の割合が高くなっていることから、試料 NATS 298 の層準は見かけの *N. koizumii* の終産出層準であると考えられる。これについては考察で議論する。

5. 石灰質ナンノ化石層序

24試料のうち、*Coccolithus pelagicus*, small *Reticulofenestra* spp. (= *Reticulofenestra minuta*) と small *Dictyococcites* spp. (= *Reticulofenestra producta*) は、10試料から産出が認められた (Fig. 5)。Sato and Kameo (1996) が定義した datum A (2.75 Ma) は、small *Reticulofenestra* spp. と small *Dictyococcites* spp. の両タクサの多産から *C. pelagicus* の多産への産出頻度の急激な変化を示す基準面である。鉄江層において、これら3タクサのうち、前者の2タクサの産出頻度の合計は、試料 NATS 206.5 から試料 NATS 208.5 にかけての層準で75%以上を、試料 NATS 213.5 で58%を占めるのに対し、試料 NATS 221.5 では25%と低くなる。逆に、この層準から上位では、*C. pelagicus* の産出頻度が75%以上を占める。石灰質ナンノ化石の産出頻度を分析した最上位層準の試料 NATS 226.5 より上位の試料 NATS 281 には、上述したように2.6–2.7 Ma の年代を示す *N. kamtschatica* の最終産出が認められていること、同じく、分析した最下位層準の試料 NATS 206.5 より下位の試料 NATS 063 と試料 NATS 069 の間に *N. koizumii* の RI (3.0–3.1 Ma) が認められることから、石灰質ナンノ化石の small *Reticulofenestra* spp. (= *Reticulofenestra minuta*) と small *Dictyococcites* spp. (= *Reticulofenestra producta*) の両タクサの多産から *C. pelagicus* 多産へ転換する層準、すなわち試料 NATS 213.5 と試料 NATS 221.5 の間が datum A に相当すると判断できる。

石灰質ナンノ化石の基準面 datum A は、北陸富山県氷見地域の藪田層 (高山ら, 1988) や、秋田県の笹岡層

(佐藤ら, 1999) でも認められている。今回調査した鉄江層でも datum A が認められたことは、佐藤ら (1999, 2003) が指摘しているように、この生層準が日本海側一帯の上部鮮新統に特徴的に見いだせることを追認したことになる。

6. 考 察

6.1 鉄江層の年代層序と堆積速度

夏井セクションの鉄江層では年代決定有効な生層準として、珪藻化石の *Neodenticula koizumii* の FO (D 80, 3.5 Ma) と *N. koizumii* の RI (3.1–3.0 Ma) および *Neodenticula kamtschatica* の LO (D 90, 2.7–2.6 Ma), また石灰質ナンノ化石層序の datum A (2.75 Ma) が確認された。さらに、黒川ほか (2003) は、試料 NATS 298 と 299 の間に挟在する胎内川白色テフラ層 (Tnkw) を、新潟中央油帯の西山層中の田沢白色ガラス質テフラ層 (Tzw) に対比し、上下の広域テフラ層の年代から、その年代を約 2.6 Ma と推定している。

これらの生層準とテフラ層の年代をもとに求めた夏井セクションの堆積速度を Fig. 6 に示す。*N. koizumii* の RI より下位の層準では、堆積速度はおよそ 9–13 cm/k.y. である。これに比べて、それより上位の層準では堆積速度が約 25–44 cm/k.y. と速くなっている。

なお、前述のように *N. koizumii* の LO (D 100, 2.0 Ma) は、試料 NATS 297 と 298 の間に認められたが、その直上に挟在する胎内川白色テフラ層 (Tnkw) の年代が約 2.6 Ma と推定されること (黒川, 2003)、前節で述べたように試料 NATS 298 よりも上位の層準において珪藻化石の保存が悪く海生種の割合が極端に下がることを考慮すると、試料 NATS 298 から上位で *N. koizumii* が産出ししないのは、環境的な原因や珪藻殻の選択的な溶解が原因であると考えられる。また、本セクションの鉄江層最上部の古地磁気層序によれば、本セクションの最上部は Matuyama Chronozone 最下部に当たり、*N. koizumii* の LO (D 100) の層準 (2.0 Ma) よりもは下位であることが明らかとなっており (井上ほか, 2003)、このことも試料 NATS 297 と 298 の間にある *N. koizumii* の LO が真の LO ではないという判断を支持する。

同一試料を使って行われた浮遊性有孔虫化石の検討結果 (三輪ほか, 2002) では、No. 3 *G. inflata* bed の基底は *N. koizumii* の FO の約 10 m 上位にあり、*N. koizumii*–*N. kamtschatica* 帯 (NPD 8) 下部にあたる。一方、氷見地域では No. 3 *G. inflata* bed の基底は NPD 8 上部に位置づけられており (渡辺, 2002)、本セクションにおける結果と若干の食い違いが認められる。この問題については、今後の課題である。

Fig. 6 Sediment accumulation curve for the Kuwae Formation. Magnetostratigraphic scale after Berggren *et al.* (1995). FO: first occurrence, RI: rapid increase, LO: last occurrence.

6.2 鉄江層の堆積環境

前述したように、調査セクションの鉄江層からは、層準によっては淡水生の珪藻化石を多産する。また、中新世に絶滅した *Denticulopsis* spp. が鉄江層からはほぼ連続的に産出するが、鉄江層の堆積年代は鮮新世であることから、それらは中新統が削剥されることによりもたらされた再堆積化石であると判断できる。

淡水生の *Aulacoseira* spp. と *Stephanodiscus* spp. および再堆積化石である *Denticulopsis* spp. の頻度はほぼ同調して変動している (Fig. 3)。これらは、河川により陸域から運搬され調査地域に堆積したものであるため、その産出頻度は、堆積時の河川による碎屑物の供給量の変動と関係が深いと考えられる。両者の産出頻度は、層厚にして 5-15 m 程度の間隔でピークを作ることから、数万年程度の周期で変動していたと推定される。鮮新世の酸素同位体比の変動は約 41000 年を卓越周期としており (Schackleton *et al.*, 1995), この珪藻化石群集の変動はそれと連動している可能性がある。これに関しては、ほかの化石の群集組成の変動を考慮に入れてさらに検討を進める予定である。

また、Fig. 3 に外洋性温暖種 4 種の産出状況を示したが、*Thalassiosira convexa* は過半数の試料から産出するのに対し、*Hemidiscus cuneiformis*, *Nitzschia reinholdii* および *Rhizosolenia bergonii* は産出する層準に限られている。このうち、*N. koizumii* の FO 直上に 4 種がそろって産出する現象は、水見地域の藪田層でも観察されており (渡辺, 2002), 当時の日本海の広域的な古海洋環境の変化 (温暖化) をとらえている可能性が高い。しかし、温暖種の産出頻度が小さいために今回の分析方法ではその頻度変化を詳細にとらえることができなかった。今後は海成種のみをカウントして温暖種の割合を求めることにより、本セクションの試料を用いて鮮新世の日本海における対馬海流の消長に関する重要な情報が得られるであろう。

ところで、高野ほか (2001) は夏井セクションの鉄江層を二つの堆積シーケンスに分け、鉄江層基底と鉄江層中部にシーケンス境界を置いた。しかし、今回の珪藻化石の分析結果からは、上記の数万年程度の周期の変動が見られるのみで、さらに周期の長い変動は明らかではない。この問題に関しても、今後の検討課題である。

7. ま と め

この研究では、新潟県北蒲原郡黒川村の夏井セクションにおける上部鮮新統鉄江層の珪藻化石層序を検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

1. 鉄江層では年代決定有効な生層準として、珪藻化石の *Neodenticula koizumii* の FO (D 80, 3.5 Ma) と *N. koizumii* の RI (3.1-3.0 Ma) および *Neodenticula kamtschatica* の LO (D 90, 2.7-2.6 Ma)、石灰質ナノ化石層序の datum A (2.75 Ma) が確認され、珪藻化石帯として *N. kamtschatica* 帯 (NPD 7 B), *N. koizumii*-*N. kamtschatica* 帯 (NPD 8), *N. koizumii* 帯 (NPD 9) が認められた。今回鉄江層の年代層序が確立したことにより、今後浮遊性有孔虫の No. 3 *Globolotilia inflata* bed の年代とその古環境的な意義を議論する基盤ができた。

2. 他地域と同様に、鉄江層でも *N. koizumii* の急減層準 (RI) が、同種と *N. kamtschatica* の頻度の逆転層準として認識され、この生層準の有用性が確認された。

3. 鉄江層の珪藻化石群集では、淡水生および再堆積性の珪藻化石の産出頻度が数万年前後の周期で変動していること、また *N. koizumii* の初産出層準 (FO) 直上付近で温暖珪藻種が産出する層準が鉄江層と水見地域の藪田層で共通に認められることが明らかとなり、鉄江層の珪藻化石群集はさまざまな古環境変動を記録していることが分かった。

謝 辞

筑波大学本山 功博士、同大学院井上博文氏および愛知教育大学の星 博幸博士には野外における試料採取を手伝っていただいた。産業技術総合研究所地球科学情報研究部門の高橋雅紀博士には古地磁気層序について、石油資源開発株式会社技術研究所三輪美智子研究員には浮遊性有孔虫化石層序について、それぞれご助言をいただいた。黒川村の坂上源助氏には、夏井セクションにおける試料採取を快く了承していただいた。本研究で検鏡した珪藻および石灰質ナノ化石用のスライドは、産業技術総合研究所地球科学情報研究部門の平井圭子職員によって作成された。以上の方々に深く感謝する。

文 献

- Akiba, F., 1986: Middle Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy in the Nankai Trough and Japan Trench, and modified Lower Miocene through Quaternary diatom zones for middle-to-high latitudes of the North Pacific. In Kagami, H., Karig, D. E., Coulbourn, W. T. *et al.* eds., *Init. Repts. DSDP*, 87, U.S. Govt. Printing office, Washington, D. C., 393-480.
- 秋元和實・平野義明・小林巖雄・渡辺其久男, 1998: 新潟油田地域東縁、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.
- Barron, J. A. and Gladenkov, A., 1995: Early Miocene

- to Pleistocene diatom stratigraphy of Leg 145. In Rea, D. K., Basov, I. A., Scholl, D. W., and Allan, J. F. eds., *Proc. ODP, Sci. Results*, 145, College Station, TX (Ocean Drilling Program), 3-19.
- Berggren, W. A., Hilgen, F. J., Langereis, C. G., Kent, D. V., Obradovich, J. D., Raffi, I., Raymo, M. E. and Shackleton, N. J., 1995: Late Neogene chronology: New perspectives in high-resolution stratigraphy. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **107**, 1272-1287.
- 平松 力・三輪美智子, 1998:新潟県北蒲原地域の新第三系微化石層序と礫層基底の不整合形態. 石技誌, **63**, 301-314.
- 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礫層最上部の古地磁気層序. 石技誌, **68**, 570-580.
- 改訂版「日本の石油・天然ガス資源」編集委員会編, 1992:改訂版日本の石油・天然ガス資源, 天然ガス鉱業界・大陸棚石油開発協会, 520p.
- 小林巖雄・渡辺其久男, 1985:新潟油田東縁帯における新第三紀の地史的イベント—とくに, 中新—鮮新世の不整合について—. 新潟大理学部地質研究報告, **5**, 91-103.
- Koizumi, I., 1992: Diatom biostratigraphy of the Japan Sea: Leg 127. In Pisciotto, K. A., Ingle, J. C., jr., von Breymann, M. T. and Barron, J. et al., *Proc. ODP, Sci. Results*, 127/128, Pt. 1, College Station, TX (Ocean Drilling Program), 249-289.
- 工藤哲朗, 1967:新潟ベーズンにおける 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.
- 黒川勝己・永田 亮・吉田卓司, 1999:新発田市上荒沢～黒川村胎内川地域の内須川層・礫層の火山灰—とくに礫層中の Znp-Ywg 相当火山灰層について—. 新潟大学教育人間科学部紀要, **2**, 1-32.
- 黒川勝己・樋口裕也・平中宏典, 2003:西山層中部の Tzw テフラ層とその対比. 平成12年度～平成14年度科学研究費補助金(基盤研究(C)(2))研究成果報告書, 広域テフラによる日本列島中新統～下部更新統の精密対比, 317-322.
- 米谷盛壽郎, 1978:東北日本油田地域における上部新生界の浮遊性有孔虫層序. 日本の新生地質(池辺展生教授記念論文集), 35-60.
- 米谷盛壽郎, 1988:有孔虫化石群の変遷に見られる新第三紀イベント. 新第三紀における生物の進化・変遷とそれに関するイベント. IGCP-246・日本古生物学会1987年年会シンポジウム(静岡)特集号別刷, 大阪市立自然史博物館, 31-48.
- 西田彰一・津田禾粒, 1961:新潟県坂町付近の新第三系. 横山次郎教授記念論文集, 107-113.
- 三輪美智子・山田 桂・入月俊明・田中裕一郎・庄司真弓・渡辺真人・柳沢幸夫, 2002:新潟県胎内川の鮮新統礫層の浮遊性有孔虫化石群集(予報)—とくに No. 3 *Globorotalita inflata* bed について—. 日本古生物学会2002年年会予稿集, 94.
- Sato, T., and Kameo, K., 1996: Calcareous nannofossil biostratigraphy of the Arctic Ocean., ODP Leg 151. In Thiede, J., Myhre, A. M., Firth, J. V., Johnson, G. L. and Ruddiman, W. F. eds., *Proc. ODP Sci. Results*, 151, College Station, TX (Ocean Drilling Program), 39-59.
- 佐藤時幸・亀尾浩司・三田 勲, 1999:石灰質ナノ化石による後期新生地質年代の決定精度とテフラ層序. 地球科学, **53**, 265-274.
- 佐藤時幸・樋口武志・石井崇暁・湯口志穂・天野和孝・亀尾浩司, 2003:秋田県北部に分布する上部鮮新統～最下部更新統の石灰質ナノ化石層序—後期鮮新世古海洋変動と関連して—. 地質雑, **109**, 280-292.
- Shackleton, N., Hall, M. and Pate, D., 1995: Pliocene stable isotope stratigraphy of Site 846. In Pisias, N. G., Mayer, L. A., Janecek, T. R., Palmer-Julson, A. and Andel, T. H. eds., *Proc. ODP Sci. Results*, 138, College Station, TX (Ocean Drilling Program), 337-355.
- 高野 修・守屋成博・西村瑞恵・秋葉文雄・阿部正憲・柳本 裕, 2001:新潟堆積盆北蒲原地域における上部中新統～下部更新統のシーケンス層序と堆積システムの特徴. 地質雑, **107**, 585-604.
- 高山俊昭・加藤道雄・工藤哲朗・佐藤時幸・亀尾浩司, 1988: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2:北陸堆積盆地. 石技誌, **52**, 231-242.
- 田中裕一郎・高橋雅紀, 1998:栃木県烏山地域に分布する中新統荒川層群下部の石灰質ナノ化石層序. 地質雑, **104**, 779-793.
- 渡辺真人, 2002:富山県氷見・灘浦地域の鮮新統の珪藻化石層序と年代層序の再検討—とくに広域火山灰層と No. 3 *Globorotalita inflata* (浮遊性有孔虫) bed の年代について—. 地質雑, **108**, 499-509.
- 山田 桂・渡辺真人・田中裕一郎・三輪美智子・柳沢幸夫・入月俊明, 2002:2.80-2.55 Ma における日本海海成層—新潟県礫層の例—. 日本古生物学会2002年年会予稿集, 102.
- 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. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **104**, 395-414.
- 柳沢幸夫・渡辺其久男・小林巖雄, 2000:標準層序(階区分). 新潟県地質図改訂委員会編, 新潟県地質図説明書(2000年版), 31-34.