

新潟県東山地域における微化石を用いた 鮮新—更新統の堆積年代と底層環境の推定

古居晴菜^{*1}・山田 桂^{*2}

^{*1} 京都大学大学院理学研究科, 〒606-8502, 京都府京都市左京区北白川追分町

^{*2} 信州大学理学部理学科地球学コース, 〒390-8621, 長野県松本市旭 3-1-1

Estimation of the depositional age and bottom environment in the Plio-Pleistocene strata by using microfossils in Higashiyama area, Niigata Prefecture

Haruna FURUI^{*1}, Katsura YAMADA^{*2}

^{*1}Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University,
Kitashirakawa Oiwake-cho, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8502, Japan

^{*2}Department of Geology, Faculty of Science, Shinshu University,

3-1-1 Asahi, Matsumoto, 390-8621, Japan

(Received November 19, 2019)

Abstract

It is well known that warm intermediate waters had existed in the Sea of Japan during the Late Pliocene. However, sea bottom environments during the Late Pliocene have not been revealed. In this study, microfossils of planktonic foraminifers, benthic foraminifers, and ostracods were used to examine the bottom sedimentary environments in the Higashiyama area, Niigata Prefecture, central Japan. Samples for fossils ostracod, planktonic foraminifer, and benthic foraminifer analysis were collected from the Kawaguchi Formation, that crops out along Wadagawa and Nobegawa rivers. Wadagawa River locates in the eastern part of the studied area while the Nobegawa River is in the western part. Three specimens of fossil ostracods were found from two samples. Of the seven samples containing fossil planktonic foraminifer, two contained *Globorotalia inflata*. Furthermore, at least thirty genera of benthic foraminifers were identified from seven samples. *G. inflata* was identified from the sample at least 5 m above the horizon of *G. inflata* occurrence previously reported in Wadagawa River and 14.7 m below the NA33 tuff layers in Nobegawa River. Dominant species of benthic foraminifers indicates that the depositional environment of the eastern part was estimated to be a continental shelf environment, while that of the western part was deeper than that in the east part. Co-occurrence of *G. inflata* and cold-water ostracod taxa suggest that cold waters had existed just below the surface warm-water during the Late Pliocene.

Key words: Pliocene, Niigata, Kawaguchi Formation, ostracod, foraminifer, *Globorotalia inflata*

1. はじめに

日本海はユーラシア大陸と日本列島に囲まれた海であり、外洋とは対馬海峡（水深130 m）、津軽海峡（水深130 m）、宗谷海峡（水深55 m）及び間宮海峡（水深12 m）の4つの海峡で繋がっている。日本海には現在、黒潮から分岐した暖流である対馬海流が対馬海峡を経て流入し、日本海へ熱と栄養塩をもたらしている。しかし後期鮮新世から中期更新世にかけては、現在の対馬海峡にあたる南方海峡は海水準変動や地殻変動の影響を受けて開閉を繰り返し、それに伴って南方からの断続的な暖流の流入があったと考えられている（Itoh et al., 1997; Itaki, 2016）。

後期鮮新世以降の日本海への暖流流入に関する研究の一つに、浮遊性有孔虫化石 *Globorotalia inflata* (s.l.) の多産が相対的に温暖な中層水の日本海流入を示唆する（北村, 2007）ことを活用して、表層の水温変化から暖流の流入時期に関して考察した例がある。その多産する範囲は *G. inflata* bed として上位から順に No. 1, No. 2, No. 3 と名付けられている（工藤, 1967）。このうち鮮新世の No. 3 *G. inflata* bed について三輪ほか（2004）では、黒潮の特徴種である浮遊性有孔虫の *Pulleniatina* 属が含まれていないことからこの時期の暖流の流入経路については検討が必要であるとした。さらに、花方・渡邊（2001）及び花方（2007）は *G. inflata* が北太平洋の中央水塊に生息することと、*Globigerinoides ruber* などの現在の対馬暖流に特徴的な浮遊性有孔虫種がほとんど見られないことを根拠に、鮮新世における暖流の流入経路は津軽海峡側であるとした。一方、軟体動物化石を検討した研究では日本海側の鮮新統から暖流系種が多く産出し、同時期の太平洋側には竜の口動物群（大塚, 1941）や滝川・本別動物群（藤江・魚住, 1957）などの冷温帯の動物群が広く分布したこと、そしてその特徴的寒冷種 *Fortipecten kenyoensis* が日本海側では秋田県の笹岡層のみでしか確認されていない（Chinzei, 1961）ことを合わせ、暖流系種は対馬海峡から流入したとしている（天野ほか, 2000, 2008）。このように、鮮新世の日本海における暖流の流入経路については結論が得られていない。

Kitamura and Kimoto（2006）や天野ほか（2008）では軟体動物化石などから鮮新世後期の日本海に流入していた暖流の影響する水深が浅かったことを示し、当時の海峡の水深も併せて考察を行った。また、鮮新世に関しては貝形虫化石群集を用いた底層環境の復元に関する研究も多い。秋田県に分布する笹岡層では、2.75 Ma に北半球氷河化作用の影響により浅海において温暖種が減少し寒冷種が増加した（入月・石田, 2007）。新潟県に露出する鋳江層では、3.5-2.6 Ma にかけて浅海帯から漸深海帯において氷河性海水準変動に伴うとされる約4万1千年周期の群集変動が認められている（Yamada et al., 2005; Irizuki et al., 2007; 入月・石田, 2007）。また、中層水は3.1-2.8 Ma の間氷期に現在より暖かく（Irizuki et al., 2007）、続く2.8-2.6 Ma では浅海化とともに寒冷種が増加した（Yamada et al., 2005）ことが示された。富山県に露出する藪田層では、群集解析から2.7 Ma に堆積場が上部漸深海帯から浅海帯に変化し海水準が50-60 m 低下したことがわかっている（Cronin et al., 1994）。このように、生物相の比較や産出層準などから暖流流

入時期の特定を試みたり暖流の流入経路を推定したりする研究は多く行われており、鮮新世の底層環境の変遷もよく研究されている。

しかし、先述した日本海のイベントを捉えているとされる *G. inflata* の産出する時代の底層環境は不明な点が多い。また、暖流の流入経路をより正確に推定するには底層環境を含めた当時の日本海の高環境を理解する必要がある。したがって本研究ではNo.3 *G. inflata* bed が報告されている新潟県東山地域で貝形虫化石および底生有孔虫を検討し、底層環境を復元することを試みた。

2. 調査地域および地質

2.1. 調査地域および地質概説

本研究の調査地域は、新潟県小千谷市、長岡市、魚沼市にまたがる東山地域である (Fig. 1A, B)。柳沢ほか (1986) によると新潟県東山地域には中新統から更新統が分布し、本研究はそのうちの鮮新統川口層を主な対象とした。東山地域には北東から南西に軸を持つ東山背斜があり、それを境に東西で地質構造や層序が異なる (Fig. 1C)。東部では下位から川口層、白岩層、西部では下位から川口層、牛ヶ首層が重なっており、川口層の上位に重なる地層が両地域で異なる (柳沢ほか, 1986)。また、川口層は東部と西部でその岩相が異なる。東部では下部は塊状泥岩、中部は砂質泥岩優勢砂岩砂質泥岩互層、上部は砂岩優勢砂岩砂質泥岩互層からなるのに対し、西部では下部は砂岩優勢砂岩砂質泥岩互層、上部は砂質泥岩優勢砂岩砂質泥岩互層からなる。主に塊状の細粒砂岩からなる白岩層は東部において下位の川口層から漸移的に変化する。牛ヶ首層は西部において主に塊状泥岩からなり、風化すると細かくブロック状に割れる。同層は下位の川口層を整合で覆っている。牛ヶ首層の層厚は東に向けて徐々に薄くなり、調査地域のうち東部和田川ルート of 5 km 北方の栃尾市半蔵金において川口層と指交する (小林ほか, 1991)。徳橋 (1985) によると川口層上部から牛ヶ首層にかけての層準には凝灰岩層が複数挟在し、鍵層となるNA33などの連続を追跡した結果、東山背斜以西での川口層及び牛ヶ首層は東山背斜以東の白岩層と同時異相の関係にあることが示された (柳沢ほか, 1986)。東部は全体的にほぼ東西走向で水平層であるのに対し、西部では全体的に南北走向で西に約30度傾斜している。調査地域は地質調査所発行の小千谷図幅 (柳沢ほか, 1986) と長岡図幅 (小林ほか, 1991) を含む範囲にあり、両者の川口層の上限は異なっている。そのため、境界付近で地層境界線が接続しないという問題もある (Fig. 1C)。本研究では地層の露出が良い和田川及びその支流と野辺川の2ルートを対象とし、NA33凝灰岩層を基準に両ルートを対比した。

2.2. 調査ルートにおける岩相

2.2.1. 和田川ルートにおける川口層

川口層は和田川上流域と支流である前ノ沢川及びそのすぐ南側にある沢の下流域に分布し、層厚は和田川で390 m以上である (Fig. 2)。単層厚5 mの砂質泥岩の単層の上限を川口層の上限とした。下から塊状泥岩、砂質泥岩優勢砂岩砂質泥岩互層、および砂岩優勢砂岩砂質泥岩互層に分けられ、それぞれを下部、中部、上部とした。下部の塊状泥岩は層厚

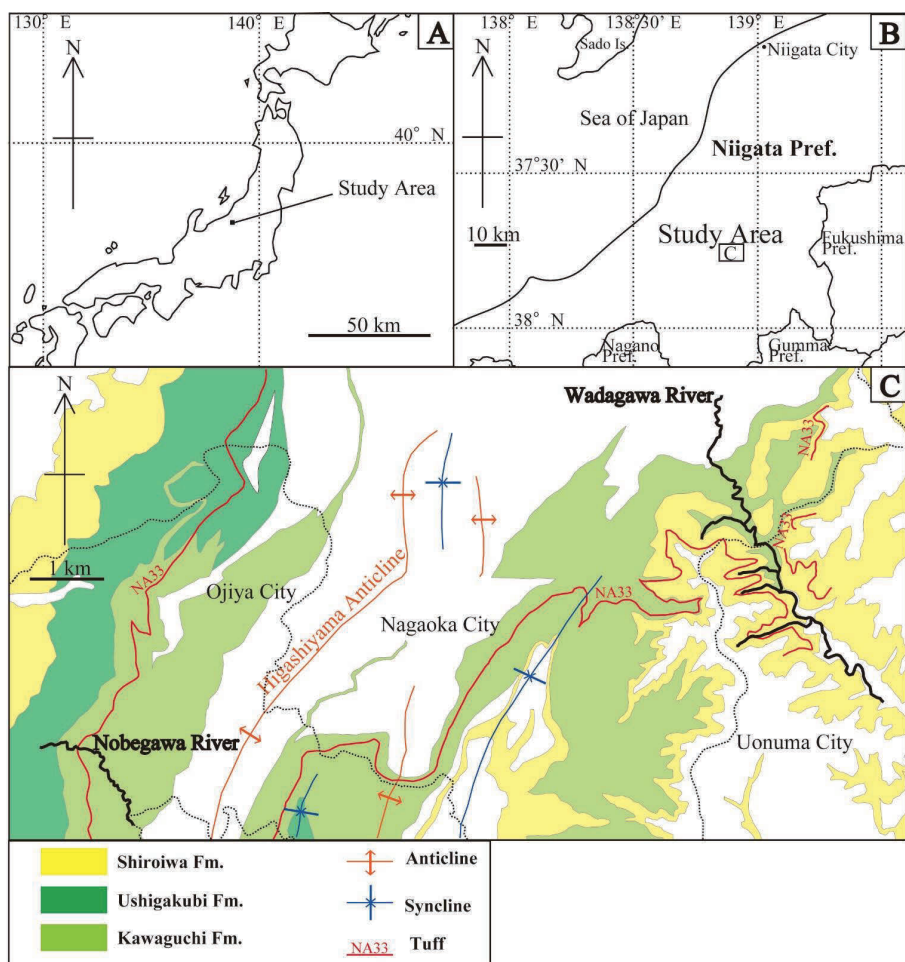


Fig. 1 Locality maps and geological map of the study area. Geological map (C) was modified from Yanagisawa et al. (1986) and Kobayashi et al. (1991). The thick black-colored lines in map C are the studied routes. The dotted lines show the border between cities.

95 mで、風化するとブロック状に細かく割れる。中部の砂質泥岩優勢砂岩砂質泥岩互層は層厚155 mで、砂岩と砂質泥岩はそれぞれ20-35 cmと5-15 cmの単層厚で互層をなす。砂岩の粒度は細粒で全体的に青灰色を呈す。平行葉理やコンポリュートラミナが発達し炭質物の薄層が多数挟在する。砂岩層の基底は砂質泥岩と明瞭な境界をなし、上方へ砂質泥岩に漸移する。砂質泥岩優勢砂岩砂質泥岩互層の下部は、層厚30 cmの礫岩層をレンズ状に挟む。礫は亜角礫で礫径は平均1.5 cm、最大15 cm、最小2 mmである。礫種はチャートや泥岩で淘汰は悪く基質は極細粒砂岩である。上部の砂岩優勢砂岩砂質泥岩互層は層厚140 mで砂岩と砂質泥岩はそれぞれ2-4 mと10-30 cmの単層で互層をなす。砂岩の粒度は細粒で砂岩層の基底は砂質泥岩と明瞭な境界をなし、上方へ砂質泥岩へと漸移する。砂

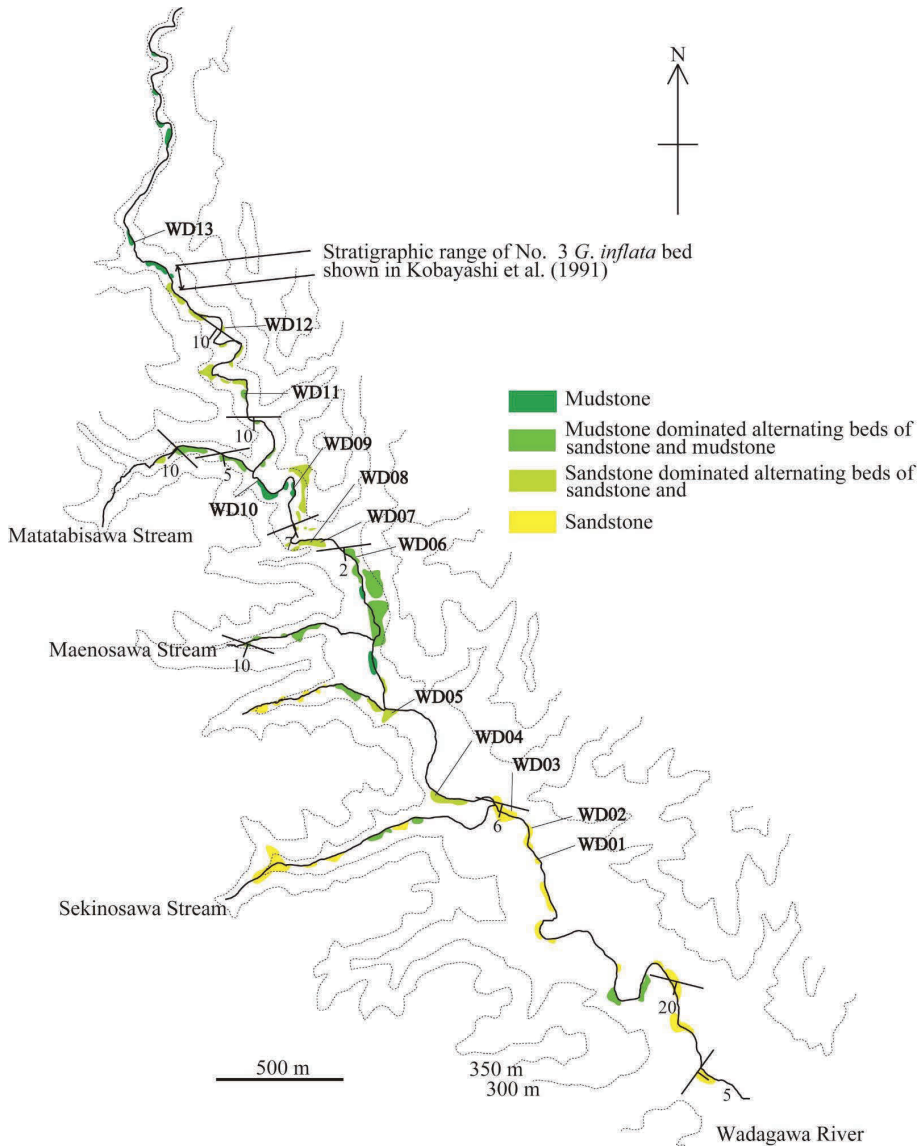


Fig. 2 Route map along the Wadagawa River, in Unuma and Nagaoka cities, Niigata Prefecture. WD01-WD13 show the sample localities.

岩優勢砂岩砂質泥岩互層の下部では、砂岩層に平行葉理が観察される。砂岩の単層の層厚は側方に変化し、レンズ上の形態を示すものもある。

2.2.2. 和田川ルートにおける白岩層

白岩層は和田川の下流域と支流である堰の沢川及びそのすぐ北側の沢に分布し、層厚は和田川で335 m以上である (Fig. 2)。下位の川口層の砂岩泥岩互層から漸移的に変化する。最下部においては砂質泥岩の薄層を含むが上位になるにつれて塊状に変化する。同

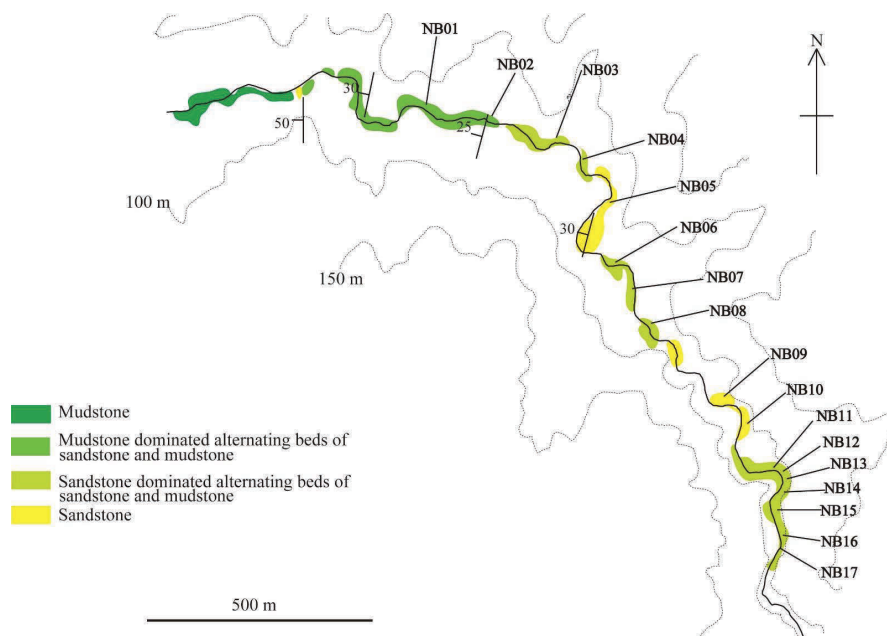


Fig. 3 Route map along the Nobegawa River, in Ojiya City, Niigata Prefecture. NB01-NB17 show the sample localities.

ルートで見られる白岩層は主として青灰色の細粒砂岩で、巣穴の生痕化石がよく発達し、*Ophiomorpha* isp. やほうき砂と呼ばれる *Teichichnus* isp. の生痕化石なども見られた。所々で離弁の二枚貝化石を含む。また、白岩層の下限から150 mほど上位の層準では炭質物の薄層も見られ、その直上には層理面に平行に配列する泥の偽礫が見られた。上部では平行葉理が発達している箇所がある。和田川の支流である堰の沢川のすぐ北側にある沢においては、細粒～中粒砂岩層中にパミスを含んでいた。また、層厚1.5 mの含礫砂岩層も見られた。含まれる礫は亜円礫で礫径は平均30 cm、最大60 cm、最小5 cm、礫種はチャートと泥岩で淘汰度は悪く基質は中粒砂岩であった。和田川の支流の堰の沢川では白岩層の下限から約120 m上位の層準に、凝灰岩が挟在する層厚約15 mの砂岩優勢の砂岩砂質泥岩互層が見られた。砂岩と砂質泥岩はそれぞれ3-5 mと30-60 cmの単層厚で互層をなす。また、挟在した凝灰岩層は単層厚約10 cmで粗粒な角閃石を含む緑灰色凝灰岩が層厚75 cm程度の砂質泥岩と互層を形成し、凝灰岩層は5枚確認された。これらは小林ほか(1991)でNA33とされる凝灰岩層であると考えられる。

2.2.3. 野辺川ルートにおける川口層

川口層は野辺川の上流域に分布し、層厚は610 m以上である (Fig. 3)。単層厚3 mの砂岩層の上限を川口層の上限とした。下位から砂岩優勢砂岩砂質泥岩互層と砂質泥岩優勢砂岩砂質泥岩互層に分けられ、それぞれを下部、上部とした。下部の砂岩優勢砂岩砂質泥岩互層は層厚395 mで単層厚0.5-6.5 mと非常に厚い砂岩と5-15 cmの砂質泥岩の互層である。砂岩は細～中粒で全体的に青灰色を呈し塊状である。上部の砂質泥岩優勢の砂岩砂質

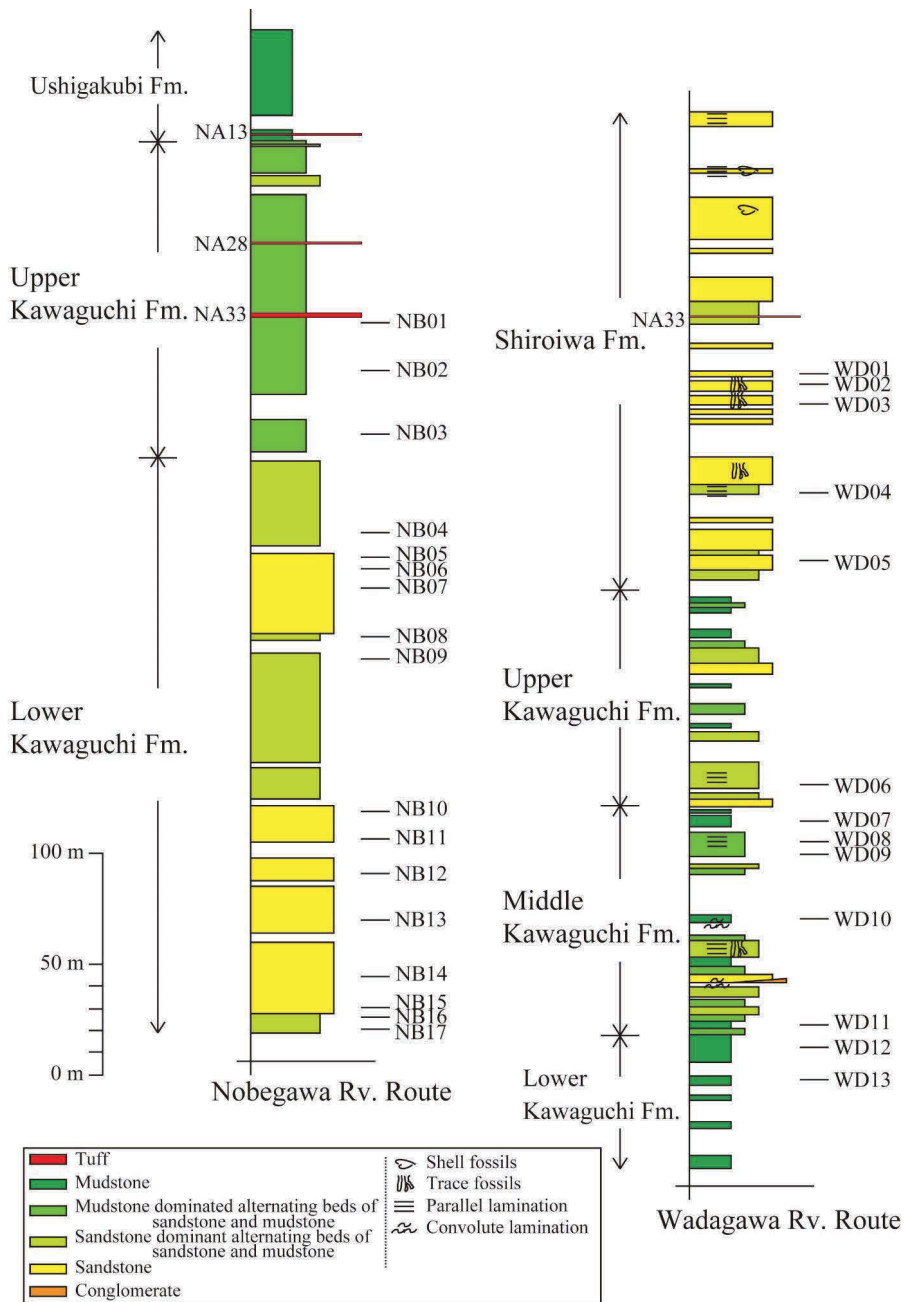


Fig. 4 Stratigraphic columns of the two routes along the Wadagawa and Nobegawa rivers. For the location of the both rivers, see Fig. 1C.

泥岩互層は層厚215 mで全体的に青灰色であった。砂質泥岩と砂岩はそれぞれ5-10 mと0.5-1 mの単層厚で互層をなす。一部の層準で中粒の角閃石を多く含む凝灰岩層を挟む。小林ほか(1991)でNA33とされる角閃石を含む粗粒な緑灰色の5枚の凝灰岩層も観察された。この凝灰岩層は層厚20 cm程度の凝灰岩層と75 cm程度の砂質泥岩が互層をなす。

2.2.4. 野辺川ルートにおける牛ヶ首層

牛ヶ首層は野辺川中流域に分布し、層厚は75 m以上であった (Fig. 3)。下位の川口層を整合に覆い、全体的に青灰色の塊状泥岩でありブロック状に細かく割れる。川口層との境界付近で層厚30 cmの中粒で灰白色の凝灰岩層を挟んだ。

3. 試料および手法

調査地域の東部に位置する和田川およびその支流と、西部に位置する野辺川に分布する川口層および白岩層から、計30個の試料を採取した (Figs. 2-4)、試料は乾燥重量80 gを基準とした。硫酸ナトリウム法およびナフサ法 (米谷・井上, 1981) を併用して処理し、200メッシュ (63 μm) のふるい上で水洗後、残渣を80 $^{\circ}\text{C}$ で乾燥した。残渣から貝形虫化石、底生有孔虫化石および浮遊性有孔虫化石を抽出し、個体数を数えた。産出した微化石のうち浮遊性有孔虫については *G. inflata* (s.l.) のみを識別し、底生有孔虫については属レベルまでの同定を行った。底生有孔虫は日本周辺海域の現生底生有孔虫の深度に関する、菊池 (1963)、長谷川ほか (1989)、加藤ほか (1989) に従って陸棚以浅に生息するタクサを浅海性、それより深い水深に生息するタクサを深海性とした。古水深指標となる属は19属で、*Buccella* 属、*Cassidulina* 属、*Cibicides* 属、*Dentalina* 属、*Elphidium* 属、*Globocassidulina* 属、*Guttulina* 属、*Lagenonodosaria* 属、*Nonion* 属、*Pseudononion* 属、*Pseudopolymorphina* 属、*Quinqueloculina* 属、*Rotalia* 属が浅海性、*Ammodiscs* 属、*Bolivinita* 属、*Bulimina* 属、*Cyclammina* 属、*Epistominella* 属、*Nonionella* 属、*Uvigerina* 属が深海性であった。これらの産出割合を底生有孔虫化石の産出個体数が40以上の試料において算出した (Table 2)。

4. 結果

全30試料中7試料 (WD11, WD13, NB01, NB04, NB05, NB08, NB17) から貝形虫、浮遊性有孔虫、底生有孔虫のいずれかの化石が1個体以上得られた (Table 1)。

貝形虫化石は和田川ルートの1試料 (WD11) から *Acanthocythereis. tsurugasakensis* 1個体と *Robertsonites. tabukii* 1個体の2個体が、野辺川の1試料 (NB08) から *Robertsonites* sp. が1個体の合計2属2種が産出した。*A. tsurugasakensis* は、青森県の更新統大釈迦層で *A. dunelmensis* や *R. tabukii* と共産 (Tabuki, 1985) し、これらの種は現在の日本海では水温約5 $^{\circ}\text{C}$ 以下という冷水に生息することが知られている。

浮遊性有孔虫化石は和田川ルートの2試料 (WD11, WD13) と野辺川ルートの5試料 (NB01, NB04, NB05, NB08, NB17) から産出したが、そのうち *G. inflata* (s.l.) は和田川ルートと野辺川ルートのそれぞれ1試料ずつ (WD11, NB08) から産出した (Table 1)。この種はその多産が相対的に温暖な中層水の日本海流入を示唆するとされている (北村, 2007)。

Table 1 Occurrence number of fossil ostracod individuals, fossil planktonic foraminifer individuals, and fossil benthic foraminifer individuals from the Pliocene Kawaguchi Formation in Wadagawa and Nobegawa rivers, Higashiyama region, Niigata Prefecture.

	WD11	WD13	NB01	NB04	NB05	NB08	NB17
<i>Acanthocythereis tsurugasakensis</i>	1						
<i>Robertsonites tabukii</i>	1						
<i>Robertsonites</i> sp.		1				1	
Total number of fossil ostracods	2	1				1	
<i>Globorotalia inflata</i> (s.l.)	38	0	0	0	0	2	0
Others	207	67	44	15	41	241	3
Total number of fossil planktonic foraminifer	245	67	44	15	41	243	3
<i>Ammodiscs</i>			15		2		
<i>Astrononion</i>						6	
<i>Bolivina</i>	3	1	1			8	
<i>Bolivinita</i>		5				20	1
<i>Buccella</i>		4					
<i>Bulimina</i>		17					
<i>Cassidulina</i>	8	5				37	
<i>Cibicides</i>	61	43		2	1	61	
<i>Cyclammmina</i>							1
<i>Dentalina</i>	2						
<i>Elphidium</i>	4	3	1			6	
<i>Epistominella</i>	2	54					
<i>Fissurina</i>			2				
<i>Goesella</i>					2		
<i>Globocassidulina</i>		14					
<i>Guttulina</i>						1	
<i>Lagena</i>	1	2			1		
<i>Lagenonodosaria</i>		1					
<i>Nonion</i>	6	33	7	1		18	
<i>Nonionella</i>		5					
<i>Oolina</i>	1	2					
<i>Plectina</i>			2				
<i>Polystomellina</i>	5						
<i>Pseudoglandulina</i>	4		1		5	1	
<i>Pseudononion</i>	16		3			10	
<i>Pseudopolymorphina</i>					2		
<i>Quinqueloculina</i>		1			1	3	9
<i>Rotalia</i>					1		
<i>Uvigerina</i>	49	117	14	11	39	199	28
Unknown		8	11	10		5	6
Total number of fossil benthic foraminifer	162	315	57	24	54	375	45

底生有孔虫化石は和田川ルート of 2 試料 (WD11, WD13) からそれぞれ162個体と315個体, 野辺川ルート of 5 試料 (NB01, NB04, NB05, NB08, NB17) からそれぞれ57個体, 24個体, 54個体, 375個体, 45個体が産出し, 合計30属の底生有孔虫化石が得られた (Table 1)。WD11のみ浅海性の属が60 % を占め, 他の試料では全て深海性の属が優占した (Fig. 5, Table 2)。

5. 考察

5.1. *Globorotalia inflata* bed 層準の再検討

新潟県標準層序の鮮新統西山階の基底部は, 化石帯 *G. inflata* bed (米谷, 1978) のうちNo. 3 *G. inflata* bed の下限に設定されてきた (天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会, 1992)。調査地域内ではNo. 3 *G. inflata* bed は東部の和田川の川口層中に (小林ほか, 1991) また, 西部の野辺川 (大炊御門, 1938) で確認されている。

本研究では, これまでに *G. inflata* が報告された和田川ルートのNo. 3 *G. inflata* bed の範囲 (小林ほか, 1991) の下流約500 mの地点にあるWD11から産出した (Fig. 2)。この試料は従来のNo. 3 *G. inflata* bed の上限よりもさらに5 m上位にあたる。このことは和田川におけるNo. 3 *G. inflata* bed の上限が従来よりも上位に位置していたことを示している。野辺川におけるこれまでの *G. inflata* の産出記録は, その詳細な地点及び層準は不明である (大炊御門, 1938)。本研究ではNB08から *G. inflata* が産出し, NA33凝灰岩層の約14.7 m下位にあることが示された (Fig. 5)。両ルートは先に述べた通りNA33凝灰岩層で対比できる。野辺川ではNA33凝灰岩層の約100 m下位に, 和田川ルートでは約200 m下位にそれぞれNo. 3 *G. inflata* bed が存在しており, 両ルートにおける *G. inflata* とNA33凝灰岩層の関係は矛盾しない。

No. 3 *G. inflata* bed の年代は未だに議論があるが, 三輪ほか (2004) によるとその上限はガウス/松山クロンの境界 (2.58 Ma) より上位にある。また, その下限は珪藻化石層序の *Neodenticula koizumii* の初産出層準 (3.5 Ma) と *N. koizumii* の急増層準 (3.0–3.1 Ma) の間にあり, 堆積速度曲線からその年代は約3.4 Ma と見積もられている。すなわち, *G. inflata* の産出層準は3.5 Ma より新しいと言える。研究地域内では, *G. inflata* の産出層準より約200 m上位かつNA33凝灰岩層の約50 m上位の層準において観察された4枚組のNA13凝灰岩層における一番下の層は, フィッショントラック年代 3.9 ± 0.2 Ma (柳沢ほか, 1986) が示されている。したがって, No. 3 *G. inflata* bed とフィッション・トラック年代は矛盾する結果となった。フィッション・トラック年代データは年代標準試料に対する年代較正のため, 現在ではゼータ較正法が推奨されている (Hurford, 1990)。したがって, 柳沢ほか (1986) など古いフィッション・トラック年代に関してはその較正がなされていないことなどから信頼性が低い (鈴木ほか, 1998; 笹岡ほか, 2017)。本研究に見られる年代の矛盾もこのことに起因すると考えられる。

5.2. 古水深と底層環境

東部の和田川ルートでは, 底生有孔虫化石が川口層中部 (WD11) と川口層下部 (WD13) にあたる2層準から得られ, それぞれ前者で浅海性, 後者で深海性の属が優占

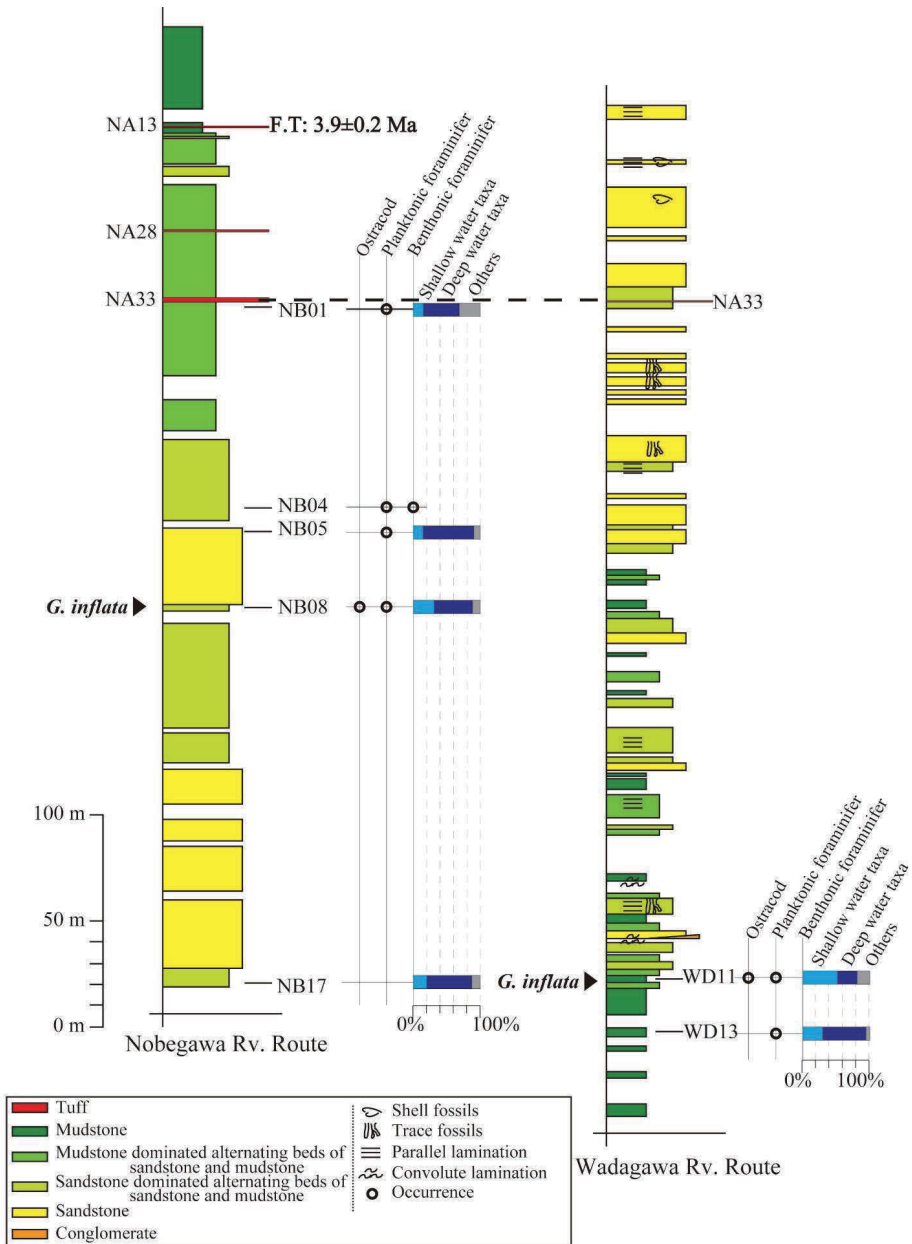


Fig. 5 Microfossil occurrences and inferred environments in the Kawaguchi Formation along the Wadagawa and Nobegawa rivers. The fission track age of the tuff NA13 (Yanagisawa et al., 1986) is also represented.

Table 2 Relative abundance of benthic foraminifers from the six samples containing more than 40 foraminifer specimens in the Pliocene Kawaguchi Formation in Wadagawa and Nobegawa rivers, Higashiyama region, Niigata Prefecture.

	WD11	WD13	NB01	NB05	NB08	NB17	
Shallow water	<i>Buccella</i>		1.3%				
	<i>Cassidulina</i>	4.9%	1.6%		9.9%		
	<i>Cibicides</i>	37.7%	13.7%		1.9%	16.3%	
	<i>Dentalina</i>	1.2%					
	<i>Elphidium</i>	2.5%	1.0%	1.8%		1.6%	
	<i>Globocassidulina</i>		4.4%				
	<i>Guttulina</i>						
	<i>Lagenonodosaria</i>						
	<i>Nonion</i>	3.7%	10.5%	12.3%		4.8%	
	<i>Pseudononion</i>	2.5%		1.8%			
	<i>Pseudopolymorphina</i>				9.3%		
	<i>Quiqueloculina</i>				1.9%	0.8%	20.0%
	<i>Rotalia</i>				1.9%		
Deep water	<i>Ammodiscs</i>		26.3%	3.7%			
	<i>Bolivinita</i>		1.6%		5.3%	2.2%	
	<i>Bulimina</i>		5.4%				
	<i>Cyclammina</i>					2.2%	
	<i>Epistominella</i>	1.2%	17.1%				
	<i>Nonionella</i>		1.6%				
	<i>Uvigerina</i>	30.2%	37.1%	24.6%	72.2%	53.1%	62.2%
Shallow water	52.5%	33.0%	15.8%	14.8%	33.9%	20.0%	
Deep water	31.5%	62.9%	50.9%	75.9%	58.4%	66.7%	
Others	16.0%	4.1%	33.3%	9.3%	7.7%	13.3%	

した。このことから、和田川ルートでは中部川口層にあたる層準から堆積場が浅海化したと考えられる。また、上位に向かって砂岩層が増え平行葉理やところどころに生痕化石が観察されるようになること、上位の白岩層が *Ophiomorpha* isp. などを含む生痕化石や貝化石を含む砂岩層であることも加えると、和田川ルートは川口層下部～白岩層にかけて全体的に浅海化したと考えられる。このことは底生有孔虫化石が WD13から WD11にかけて、優占する属が深海性から浅海性へ変化した結果とも矛盾しない (Fig. 5)。また、試料 WD11から産出した貝形虫化石の *A. tsurugasakensis* は、現在の日本海では約 5℃以下の冷水に生息するタクサと共産することから、WD11の層準の陸棚環境は冷水のある環境であったことが考えられる。

和田川ルートを含む東山地域東部の砂岩泥岩互層について、徳橋 (1992) は泥岩が一般に淘汰の悪い砂質泥岩であり生痕化石も頻繁に観察されることに加え砂岩が塊状であることやタービダイト砂岩に特徴的な構造が見られることから、暴風時波浪限界よりも深い泥

質陸棚上で形成されたとしている。この結果は本研究の露頭で観察された淘汰の悪い砂質泥岩や生痕化石などの岩相および浅海性底生有孔虫化石の優占とも矛盾しない。同ルートの有孔虫を研究した小林ほか（1991）によれば、No.3 *G. inflata* bed の範囲で産出が報告されている外部浅海帯指標種の *Cibicides aknerianus* が示す古水深は80-240 m（秋元・長谷川，1989）であり、これまでの解釈と整合的である。

野辺川ルートでは底生有孔虫化石の産出個体数が40以上のすべての試料において、陸棚以深に生息していた深海性種が優占していた（Table 2）。このことから、野辺川ルートの試料採取層準では、陸棚よりも深い陸棚斜面上が堆積場であったと考えられる。貝形虫化石が産出したNB08の上位にある厚い砂岩層には生痕化石や堆積構造が一切見られないことから、浅海で堆積した砂岩とは考えられない。NB08から産出した貝形虫化石の *Robertsonites* sp. と同じ属の *R. tabukii* は約5℃以下という冷水に生息する。この *R. tabukii* は野辺川ルートより堆積場が浅かったと考えられる和田川ルートのWD11からも産出していることから、それよりも堆積場が深かったと考えられるNB08のこの地域も冷水のある環境であったことが考えられる。

このように、川口層は東部では陸棚上（水深100-200 m）、西部ではそれ以深という古水深が推定され、同時に東部のほうが西部よりも浅かった可能性が推察された。このことは東側に陸が存在したことを示す。野辺川ルートを含む東山地域西部の砂岩泥岩互層について徳橋（1985）は厚く堆積構造の見られない砂岩に注目し、半深海域に堆積舌状体の形成と移動を繰り返しながら累積形成された海底扇状地堆積物であるとしている。さらに徳橋（1992）では川口層の古流向を東から西だったとしており、海岸から海側への流れの方向を示すとすれば本研究の古水深とは矛盾しない。両ルートにおいて *G. inflata* の産出があるため、少なくともこの時期には中層水が5℃以上であった（北村，2007）と考えられる。しかし、より浅い東部の陸棚上でも、冷温性の貝形虫化石が産出したことから底層には冷水があったと考えられる。すなわち、暖流は表層に薄く存在し、その直下には寒冷水塊が存在していたと考えられる。現在日本海に流入する対馬海流は厚さが約200 m（e.g., Morimoto and Yanagi, 2001）であることから、現在よりも規模の小さい流入であったと推測される。このことは Kitamura and Kimoto（2006）や天野ほか（2008）らが述べたように、浅海性種に冷温種が多く含まれ暖流層の直下には冷水があったことから、鮮新世後期の日本海に流入していた暖流の影響する水深が現在より浅いということとも整合的である。Kitamura and Kimoto（2006）は当時の海水準が現在よりも約50 m高かったと述べており、海峡が今と同程度の水深であれば暖流は現在よりも大きい規模で流入するはずである。しかし Itaki（2016）で述べられているように当時の対馬海峡は現在よりも水深が浅かったと考えられており、暖流の流入規模が現在よりも小さかったということと矛盾しない。

6. 結論

新潟県小千谷市および魚沼市の和田川ルートと野辺川ルートにおいて浮遊性有孔虫化石の産出および *G. inflata* の有無、底生有孔虫化石の優占度に基づく生息水深、そして貝形虫化石による生息水温を検討し、以下のことが明らかになった。

1. 和田川において, No.3 *G. inflata* bed は従来知られていたよりも 5 m 上位の層準まで広がっている。
2. 野辺川では NA33凝灰岩層の約14.7 m下位から *G. inflata* が産出する。
3. 後期鮮新世の東山地域は, 東の方が西よりも浅く, 東側は陸棚上, 西側はそれよりも深い環境であった。
4. 暖流が流入していたと考えられる時期の陸棚上は冷水のある環境であり, 暖流の影響する水深は少なくとも200 mよりも浅かった。

7. 謝辞

鳥根大学環境システム科学系の林 広樹准教授には *Globorotalia inflata* の分類についてご教授頂いた。また, 査読者の保柳康一教授および山田昌樹助教には有益なご助言を頂き, 本稿は大きく改善された。以上の方々に深く御礼申し上げます。

8. 引用文献

- 秋元和實・長谷川四郎, 1989, 日本近海における現生底生有孔虫の深度分布—古水深尺度の確立に向けて—, 地質学論集, **32**, 229-240.
- 天野和孝・葉室麻吹・佐藤時幸, 2008, 鮮新世における日本海への暖流の流入—富山市八尾町の三田層軟体動物群の検討を通じて—, 地質学雑誌, **114**, 516-531.
- 天野和孝・佐藤時幸・小池高司, 2000, 日本海中部沿岸域における鮮新世中期の古海況: 新潟県新発田市の鉄江層産軟体動物群, 地質学雑誌, **106**, 883-896.
- Chinzei, K., 1961, Molluscan fauna of the Pliocene Sannohe Group of Northeast Honshu, Japan. 2. The faunule of the Togawa Formation. Journal of the Faculty of Science, the University of Tokyo, Section 2, **13**, 81-131.
- Cronin, T. M., Kitamura, A., Ikeya, N., Watanabe, M., & Kamiya, T., 1994, Late Pliocene climate change 3.4-2.3 Ma: paleoceanographic record from the Yabuta Formation, Sea of Japan. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **108**, 437-455.
- 藤江 力・魚住 悟, 1957, 北海道の新第三紀化石動物群の変遷 (予報) —その1, 化石群集の概観と地質分布. 新生代の研究, **23**, 499-504.
- 花方 聡, 2007, 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. 化石, **82**, 29-34.
- 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**, 620-637.
- 長谷川四郎・秋元和實・北里 洋・的場保望, 1989, 底生有孔虫にもとづく日本の後期新生代古水深指標. 地質学論集, **32**, 241-253.
- Hurford A. J., 1990, Standardization of fission track dating calibration: Recommendation by the Fission Track Working Group of the IUGS Subcommittee on Geochronology. Chemical Geology: Isotope Geoscience Section, **80**, 171-178.
- 入月俊明・石田 桂, 2007, 日本海沿岸の鮮新世貝形虫群集と海洋環境との関係. 化石, **82**, 13-20.
- Irizuki, T., Kusumoto, M., Ishida, K., Tanaka, Y., 2007, Sea-level changes and water structures between 3.5 and 2.8 Ma in the central part of the Japan Sea Borderland: Analyses of fossil

- Ostracoda from the Pliocene Kuwae Formation, central Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **245**, 421-443.
- Itaki, T., 2016, Transitional changes in microfossil assemblages in the Japan Sea from the Late Pliocene to Early Pleistocene related to global climatic and local tectonic events. *Progress in Earth and Planetary Science*, **3**, 11.
- Itoh, Y., Nakajima, T., Takemura, A., 1997, Neogene deformation of the back-arc shelf of Southwest Japan and its impact on the paleoenvironments of the Japan Sea. *Tectonophysics*, **281**, 71-82.
- 加藤 進・井上洋子・矢口良一, 1989, 基礎試錐「御前崎沖」の層序. *地質学雑誌*, **95**, 851-864.
- 菊池良樹, 1963, 房総半島における上総層群の微化石層序. *石油技術協会誌*, **28**, 120-125.
- 北村晃寿, 2007, 後期鮮新世から前期更新世の間氷期における対馬海流の動態とその要因一とくに下部更新統における浮遊性有孔虫 *Globoconella inflata* の産出の古環境学的意義の再検討. *化石*, **82**, 52-59.
- Kitamura, A., Kimoto, K., 2006, History of the inflow of the warm Tsushima Current into the Sea of Japan between 3.5 and 0.8 Ma. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **236**, 355-366.
- 小林巖雄・立石雅昭・吉岡敏和・島津光夫, 1991, 長岡地域の地質. *地域地質研究報告 5 万分の 1 地質図幅新潟*, **7**, 38p.
- 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.
- 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. *日本の新生代地質 (池辺展生教授記念論文集)*, 35-60.
- 米谷盛壽郎・井上洋子, 1981, 新潟堆積盆地における中新統中下部の有孔虫化石群集と古地理の変遷. *化石*, **30**, 73-78.
- 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, 2004, 新潟県北蒲原郡胎内川における鮮新統銀江層の浮遊性有孔虫化石層序—No. 3 *Globoconella inflata* bed 下限の年代について—. *石油技術協会誌*, **69**, 272-283.
- Morimoto, A., Yanagi, T., 2001, Variability of sea surface circulation in the Japan Sea. *Journal of Oceanography*, **57**, 1-13.
- 大炊御門經輝, 1938, 新潟縣小千谷町東方野邊川谷に發達する第三系の有孔蟲化石群に就いて. *地質学雑誌*, **46**, 75-81.
- 大塚弥之助, 1941, 本庄・黒沢尻間の新第三紀化石動物群, 本邦油田の地質構造の研究 (第 1 報). *石油技術協会誌*, **9**, 85-95.
- 笹尾英嗣・檀原 徹・岩野英樹・平田岳史, 2018, 岐阜県南東部に分布する中新統瑞浪層群および岩村層群のジルコン U-Pb 年代とジルコン FT 年代の再評価. *地質学雑誌*, **124**, 141-150.
- 鈴木毅彦・藤原 治・檀原 徹, 1998, 関東北部から東北南部に分布する第四紀テフラのフィッシュン・トラック年代. *第四紀研究*, **37**, 95-106.
- Tabuki, R., 1985, Plio-Pleistocene Ostracoda from the Tsugaru Basin, North Honshu, Japan. *Bulletin of College of Education, University of the Ryukyus*, **29**, 27-160.

- 天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会, 1992, 改訂版日本の石油・天然ガス資源, 520p.
- 徳橋秀一, 1985, 新潟県東山油帯南部に分布するタービダイト砂岩の予察的研究. 地質調査所月報, **36**, 611-635.
- 徳橋秀一, 1992, 新潟県東山南部に分布する砂岩の堆積学的・鉱物学的研究—海底扇状地タービダイト砂岩と陸棚タービダイト砂岩の堆積学的関係. 地質学雑誌, **98**, 355-372.
- Yamada, K., Tanaka, Y., Irizuki, T., 2005, Paleooceanographic shifts and global events recorded in late Pliocene shallow marine deposits (2.80-2.55Ma) of the Sea of Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **220**, 255-271.
- 柳沢幸夫・小林巖雄・竹内圭史・立石雅昭・茅原一也・加藤碩一, 1986, 小千谷地域の地質. 地域地質研究報告 5 万分の 1 地質図幅新潟, **7**, 50p.

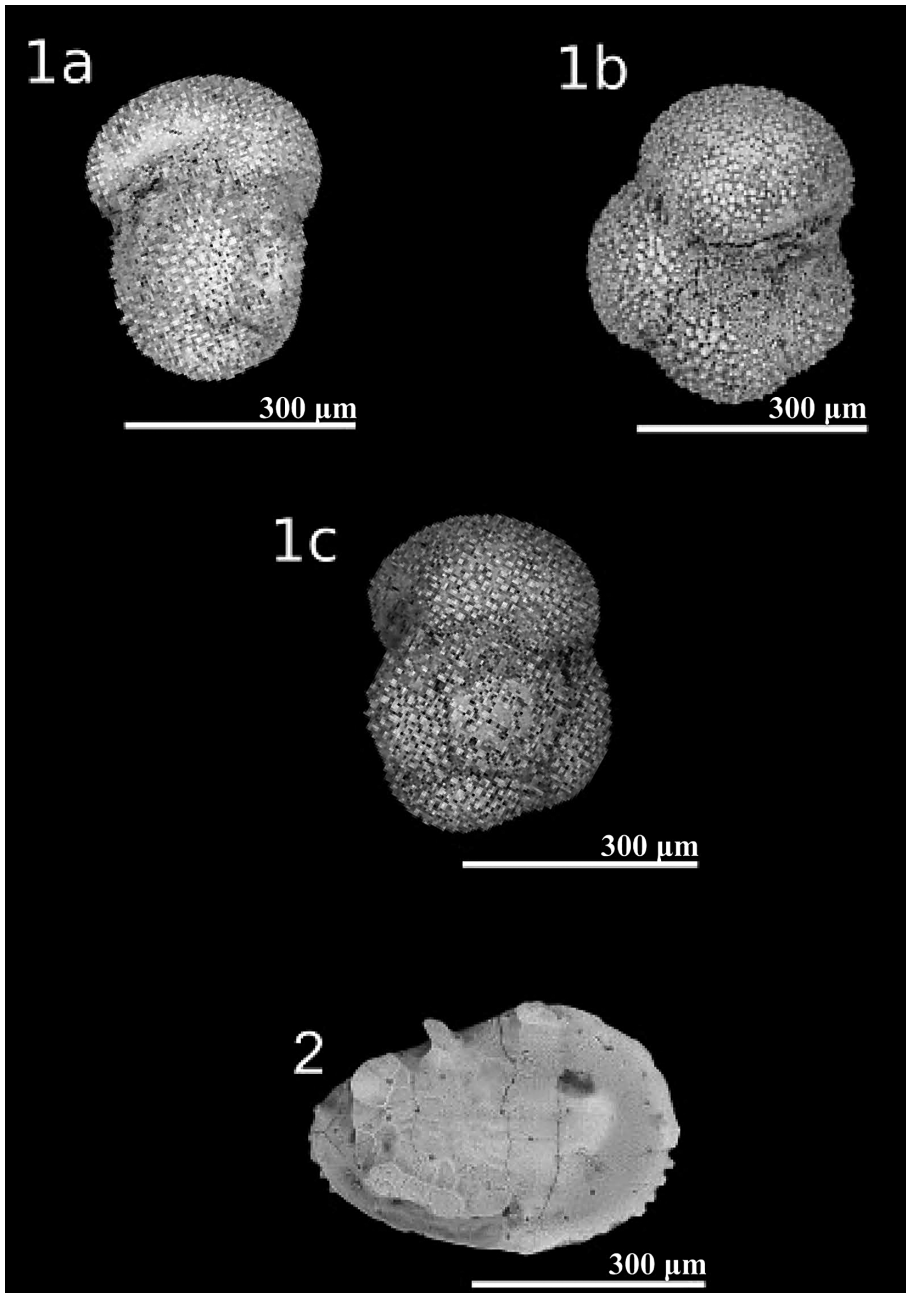


Plate 1 SEM images of fossil planktonic foraminifers and ostracods from the Kawaguchi Formation. Scale bars are 300 μm . (1a-c) *Globorotalia inflata* in sample NB01. (2) *Acanthocythereis tsurugasakensis* in sample WD06, right valve, juvenile.