日本海中部沿岸域における前期更新世の環境変動による底生動物群への影響：富山県小矢部市田川周辺の大桑層産軟体動物群の検討を通じて

Influence of environment change on benthic fauna during the early Pleistocene in the central part of Japan Sea Borderland: Based on analyses of molluscan fauna from the Omma Formation around Tagawa in Oyabe City, Toyama Prefecture

Abstract

金子敦志* 天野和孝** 佐藤時幸***
葉室麻吹**** 葉室俊和****

*Atsushi Kaneko**, *Kazutaka Amano***,
*Tokiuyuki Sato****, *Masui Hamuro*****,
and *Toshikazu Hamuro*****

2015年10月25日受付.

2016年3月10日受理.

* 福島県立只見高等学校

Tadami High School, Negishi 2358, Tadami,
Tadami Town, Minamiaizu-gun, Fukushima
968-0421, Japan

** 上越教育大学地学教室

Department of Geoscience, Joetsu University
of Education, Yamayashiki 1, Joetsu City, Ni-
igata 943-8512, Japan

*** 秋田大学国際資源学部

Faculty of International Resource Sciences,
Tegata-Gakuencho 1-1, Akita City, Akita
010-8502, Japan

**** 富山県古生物研究会

Toyama Paleontological Research Club,
Nishitakagi 100, Imizu City, Toyama 939-
0303, Japan

Corresponding author: A. Kaneko,
j245419p@myjuen.jp

Molluscan fossils from the Omma Formation in Oyabe City, Toyama Prefecture, central Honshu, were examined for investigating influence on the fauna by the environment change throughout the early Pleistocene. The age of the Omma Formation herein can be assigned to 2.02 Ma to 0.99 Ma, based on the calcareous nannofossils. From this formation, 169 species of mollusks have been recovered from 12 localities. The lower part and the lower upper part of the Omma Formation were deposited in lower sublittoral zone whereas the middle to upper horizons of upper part of the Omma Formation was mostly deposited in the upper sublittoral zone. As a result of examination of the succession of Omma-Manganji fauna, *Mizuhopecten yessoensis*, *Lirabuccinum japonicum*, *Tachyrhynchus asatoi* first appeared by the cooling event at about 1.2 Ma. In contrast, *Pecten albicans* added to the fauna by the warming event at about 1.0 Ma. It has cleared that the diversity of Omma-Manganji fauna increased by these events.

Keywords: Omma Formation, environment change, molluscan fauna, Toyama, early Pleistocene

はじめに

鮮新世～前期更新世に日本海は閉鎖的となり (Chinzei, 1978; Ogasawara, 1994), 多くの固有種を含む大桑・万願寺動物群 (Otuka, 1939) が形成された。これまで、大桑・万願寺動物群の種構成の変遷については“中期”鮮新世の温暖化に伴う暖流系種の出現や鮮新世末期 (Datum A; Sato and Kameo, 1996) の寒冷化に伴う変化 (天野ほか, 2000a, b, 2008, 2009, 2011, 2012), 氷期・間氷期サイクルに伴う寒暖水系種の周期的変遷 (Kitamura, 2004; 北村・近藤, 1990; Kitamura et al., 1994, 2000, 2001; Kitamura and Ubukata, 2003) について検討されてきた。また、天野 (2001, 2007) は大桑・万願寺動物群の変遷をまとめた際に、ほとんどの特徴的絶滅種は Datum A 以前には出現し、前期更新世を通じて絶滅せず、その多様性は一方的に増加したとした。

しかしながら、これらの絶滅種の変遷については、同一地域の連続した地層で検討されたものではないので、絶滅に関して地域的な差が生じている可能性がある。

富山県小矢部市田川周辺 (Fig. 1) の大桑層からは多くの軟体動物化石が産出し、田川群集と命名され (松浦, 1985), 氷見–高岡地区の頭川群集とともに頭川動物群に含まれている。一方、高田 (2000) は富山県小矢部市桜町付近の大桑層の微化石年代について石灰質ナノ化石を用いて検討し、ここでの大桑層が約 2 Ma～1.3 Ma であることを明らかにしている。田川群集は大桑・万願寺動物群の特徴種を含み (松浦, 1985, 2009), この層準の上位に対比されることから、上部鮮新統である頭川層 (天野ほか, 2012) には対比されず、1.3 Ma 以降の前期更新世に対比される。したがって、本地域の軟体動物群を検討することにより、2 Ma 以降の前期更新世の軟体動物群の変遷を検討できる可能性が高い。なお、

Fig. 1. Studied area and fossil localities of mollusks (base map is from the “Toide” and “Isurugi”, scale 1: 25,000 topographical map published by the Geospatial Information Authority of Japan).

田川群集については、松浦(1985)により3産地から71種の貝化石が報告され、24種が寒流系種、16種が暖流系種とされている。また、松浦(2009)により4産地より軟体動物が図示されているが、層準ごとの古環境の解析と種の変遷の解析は行われていない。

そこで、本論文では、富山県小矢部市田川付近の大桑層の石灰質ナノ化石を検討することにより、微化石年代を明らかにする。また、各層準ごとに軟体動物群と古環境の変遷を検討し、前期更新世における富山県西部～中部地域を中心とした大桑・万願寺動物群の種の変遷を明らかにすることを目的とした。

石灰質ナノ化石層序

大桑層(望月, 1930)は、石川県金沢市大桑を模式地とし、金沢市南部から北東部を経て富山県小矢部市まで分布している。本地域の大桑層は、岩相の特徴から、高田(2000)と同様に礫岩層を上部の基底として下部と上部に分けることができる(Fig. 2)。下部は主に細粒砂岩、シルト岩からなり、層厚約21mの田川軽石質(TGp)凝灰岩層(大久保, 1999)を挟む。一方、上部は主に細粒～粗粒砂岩からなり、シルト岩や礫岩層を挟み *Echinarachnius* sp. を含む。また、本層は、

田村・山崎(2004)により中期更新世とされる埴生層(池辺, 1949)に不整合で覆われる。

本研究の結果、本地域の大桑層上部の8産地から石灰質ナノ化石が抽出された(Table 1; Fig. 2)。田川(レートG)の大桑層上部の最下部の礫岩層のLoc. C7から、*Gephyrocapsa caribbeanica* (large)と*G. oceanica* (large)や*Helicospira sellii*が産出した。このため、Loc. C7の礫岩層の堆積年代は、Sato and Takayama(1992)の石灰質ナノ化石基準面である*G. spp.* (large)の出現層準(1.392 Ma; Sato et al., 2009)より新しく、*H. sellii*の絶滅層準(1.219 Ma; Sato et al., 2009)より古い。一方、田川西(レートF)の最下部付近の軟体動物化石(Loc. 7)を含む中粒砂岩層Loc. C1, C2からは、大型の*Gephyrocapsa*が産出しておらず、この層準より上位の細粒砂岩層のLoc. C3から産出する*G. parallela*が産出していない。また、本層準はLoc. C7の礫岩層より上位に位置するため、*G. spp.* (large)の出現層準である1.392 Maより明らかに新しい。このため、本層準はSato and Takayama(1992)の石灰質ナノ化石基準面である*G. spp.* (large)の絶滅層準(1.182 Ma; Sato et al., 2009)より新しく、*G. parallela*の出現層準(0.987 Ma; Sato et al., 2009)より古い。田川西(レートF)

Fig. 2. Columnar sections and fossil horizons.

Table 1. Calcareous nannofossils from the Omma Formation.

Species	Localities	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
<i>Calcidiscus leptoporus</i> (Murray and Blackman) Loeblich and Tappan		2%						+	
<i>Coccolithus pelagicus</i> (Wallich) Schiller		5%	13%	+	+	+	+	+	+
<i>Gephyrocapsa caribbeanica</i> Boudreaux and Hay								+	
<i>G. caribbeanica</i> Boudreaux and Hay (large)								+	
<i>G. oceanica</i> Kamptner				+			+	+	
<i>G. oceanica</i> Kamptner (large)								+	
<i>G. parallela</i> Hay and Beaudry				+	+		+		
<i>G. spp.</i> (small)		90%	87%	+	+		+	+	
<i>Helicosphaera sellii</i> (Bukry and Bramiette)								+	
<i>Reticulofenestra</i> spp. (small)		3%						+	

の上位の Loc. C3 の細粒砂岩層, Loc. 9 の下位の粗粒砂岩層 Loc. C4 と Loc. 10 と同じ層準である粗粒砂岩層 Loc. C6 から, *G. parallela* が産出する。このため, 本層準は Sato and Takayama (1992) の石灰質ナノ化石基準面である *G. parallela* の出現層準 (0.987 Ma; Sato et al., 2009) より新しい。一方, 前述したように大桑層下部では, TGp 凝灰岩層とシルト岩の互層の上位のシルト岩中に *Gephyrocapsa* (small) の多産層準の下限 (2.02 Ma) と *G. caribbeanica* の出現層準 (1.76 Ma) が認められている (高田,

2000)。

以上から, 本地域の大桑層の年代は, 前期更新世のうち 2.02 Ma 以前から 0.99 Ma 以降までを含み, 約 1.6 Ma ~ 0.9 Ma (北村, 1996; Kitamura and Kawagoe, 2006) に堆積したとされる模式地の大桑層に比べ, 大久保 (1999) により示唆されているとおり, より古い時代から堆積したことが明らかになった。

Table 2. Molluscan fossils from the Omma Formation. * Endemic species of the Omma-Manganji fauna. 1) Marine paleo-climate; C, cold-water species living in Choshi and northwards; W, warm-water species living in Choshi and southwards.

Species	Localities	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	MP ¹⁾
<i>Acila (Truncacila) insignis</i> (Gould)		38	6	1	2		2	3	19	4	7			C
<i>Ennucula niponica</i> (Smith)									10					W
<i>Yoldia (Cnesterium) notabilis</i> (Yokoyama)			2		1		3		1			5		C
<i>Yoldia</i> sp.					1									
<i>Nuculana (Nuculana) pernula</i> (Müller)							1							
<i>N. (Thestylea) yokoyamai</i> Kuroda									3			9		W
<i>Sacella confusa</i> (Hanley)				1										C
<i>Crenella yokoyamai</i> Nomura					1									
<i>Arca boucardi</i> (Jousseume)					1		1					2		
<i>A.</i> sp.						1								
<i>Samacar</i> ? sp.												1		
<i>Anadara (Scapharca) ommaensis</i> Otuka *													1	
<i>A.</i> sp.												8		
<i>Striarca symmetrica</i> (Reeve)					5									W
<i>Arcidae</i> gen. et sp. indet.		1												
<i>Porterius dalli</i> (Smith)					1									
<i>Limopsis oblonga</i> (A. Adams)						13					1			
<i>L. hokkaidoensis</i> Amano & Lutaenko *				17	2						11			
<i>L. cf. oblonga</i> (A. Adams)				1								3		
<i>L. cf. tokaiensis</i> Yokoyama												3		
<i>Glycymeris (Glycymeris) yessoensis</i> (Sowerby)		52	4				9	12		10	10		25	C
<i>G. (G.) nipponica</i> (Yokoyama) *		1		68	31	9	17		2	1				W
<i>G. (Tucetonella) munda</i> Sowerby				1	2									
<i>Lima zushiensis</i> Yokoyama										1				
<i>Limaria hakodatensis</i> Tokunaga			3	1	1									
<i>Limatula kurodai</i> Oyama					1									W
<i>Pycnodonte cochlear</i> (Poli)					1		1							
<i>Ostrea</i> sp.										2				
<i>Chlamys (Chlamys) jousseumei</i> (Bavay)			1		1									W
<i>C. (C.) cosibensis</i> (Yokoyama) *		4			2		10	1		2		3	25	
<i>C. (C.) tanakai</i> Akiyama *										4				
<i>C. (Leochlamys) tanassevitschi</i> (Khomenko) *											1			
<i>C.</i> sp.												2		
<i>Swiftopecten swiftii</i> (Bernardi)										3				C
<i>Cryptopecten vesiculosus</i> (Dunker)													1	W
<i>Pecten albicans</i> (Schröter)										50	1			
<i>Mizuhopecten yessoensis</i> (Jay)		3	2	13	22			29		12				C
<i>M. tokyoensis</i> (Tokunaga) *		1	1	1	1					12	1			
<i>M. yokoyamae</i> (Masuda) *							7	11		13	10		10	
<i>M.</i> sp.		3												
<i>M. n.</i> sp.								3						
<i>Yabepecten tokunagai</i> (Yokoyama) *							1							
<i>Anomia chinensis</i> Philippi										3				
<i>Wallucina striata</i> (Tokunaga)			3											
<i>Lucinoma</i> sp.						1								
<i>Axinopsida subquadrata</i> (A. Adams)			6						1					C
<i>Cycladicama cumingii</i> (Hanley)							1							W
<i>Felaniella usta</i> (Gould)		1	16		2		25	18		22			29	C
<i>F. ohtai</i> Kase & Miyauchi										12				C
<i>F. ?</i> sp.											4			
<i>Montacutona japonica</i> (Yokoyama)					1									
<i>Megacardita ferruginosa</i> (Adams & Reeve)		5		3			1						2	W
<i>M. ommaensis</i> (Ogasawara) *										51	79			
<i>Cyclocardia ferruginea</i> (Clessin)		10	1	3	6	9	12	1		16		51		C
<i>Miodontiscus nakamurai</i> (Yokoyama)		1		2	13	1	1							
<i>Indocrassatella oblongata</i> (Yokoyama)		2			1	1				5	5			W
<i>Astarte hakodatensis</i> (Yokoyama)		8			2	1					4			
<i>A.</i> ? sp.				2										
<i>Tridonta borealis</i> (Schumacher)		4			1	8	14		1				4	C
<i>T. alaskensis</i> (Dall)						1	15					3		C

Table 2. Continued.

Species	Localities	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	MP ¹⁾
<i>Nemocardium samarangae</i> (Makiyama)							6						1	
<i>Clinocardium</i> (<i>Ciliatocardium</i>) <i>fastosum</i> (Yokoyama) *			2				35					41		
<i>C. (C.) cf. fastosum</i> (Yokoyama)													2	
<i>C. (Fuscocardium) cf. braunsi</i> (Tokunaga)										1				
<i>C. sp.</i>					1				3				2	
<i>Serripes groenlandicus</i> (Bruguère)		1	1	3					3					C
<i>Fulvia</i> ? sp.												1		
<i>Spisula</i> (<i>Mactromeris</i>) <i>grayana</i> Schrenck							2			5	9			C
<i>Nitidotellina</i> sp.		6												
<i>Megangulus zyonoensis</i> (Hatai & Nisiyama)	3													C
<i>Cadella lubrica</i> (Gould)			9	1										C
<i>C. ?</i>					1									
<i>Macoma</i> (<i>Macoma</i>) <i>calcareia</i> (Gmelin)							3		17					C
<i>M. (M.) nipponica</i> (Tokunaga)		1	6	24			7			6	5			
<i>M. (M.) lama meridionalis</i> Scarlato							4							C
<i>M. (M.) cf. calcarea</i> (Gmelin)			2						2					
<i>M. cf. nipponica</i> (Tokunaga)								2						
<i>M. sp.</i>	1													
<i>Cultellus</i> ? sp.		1												
<i>Nuttallia commoda</i> (Yokoyama) *							2			8				
<i>Corbicula japonica</i> Prime	3													
<i>Securella</i> sp.	3		1							2	5	1		
<i>Callithaca adamsi</i> (Reeve)							2		2					C
<i>Ezocallista brevisiphonata</i> (Carpenter)	2		1	5			1			8	1		4	C
<i>Phacosoma tomikawensis</i> (Takagi) *										1			5	
<i>P. sp.</i>										3				
<i>Tapes cf. variegatus</i> (Sowerby)				1										
<i>Liocyma fluctuosa</i> (Gould)							2		4					C
<i>L. ? sp.</i>												2		
Veneridae gen. et sp. indet.											1			
<i>Mya</i> (<i>Mya</i>) <i>truncata</i> (Linnaeus)					2		6							C
<i>M. (M.) pseudoarenaria</i> Slesh												7		C
<i>Cryptomya busoensis</i> Yokoyama							1							
<i>C. sp.</i>		3												
<i>Anisocorbula venusta</i> (Gould)	2			3										
<i>Thracia kakumana</i> (Yokoyama)							1							C
<i>Pandora pulchella</i> Yokoyama		1						1						C
<i>Myadora fluctuosa</i> (Gould)	8	3		4	2						1	5	1	
<i>M. sp.</i>			1											
<i>Cardiomya cf. behringensis</i> (Leche)												1		
<i>Cryptobranchia kuragiensis</i> (Yokogama)		1	2	16	2		1							C
<i>Patelloida pygmaea</i>				1			2							
<i>Nipponacmaea schrenckii</i> (Lischke)														
<i>Niveotectura pallida</i> (Gould)			1	1			1							C
<i>N. ? sp.</i>														
<i>Puncturella nobilis</i> (A. Adams)				1			1							C
<i>P. sp. (n.sp.?)</i>					1									
<i>Liotina cf. semicathratula</i> (Schrenck)				1										
<i>Homalopoma amussitatum</i> (Gould)	1	18		3									1	C
Turbinidae gen. et sp. indet.			1											
<i>Monilea</i> ? sp.											1			
<i>Proclava</i> ? sp.				1										
<i>Bittium</i> sp.					3									
<i>B. ? sp.</i>							1							
<i>Turritella</i> (<i>Neohaustator</i>) <i>saishuensis saishuensis</i> Yokoyama *	1	137	5		1	21		2				1		
<i>T. ? sp.</i>													1	
<i>Tachyrhynchus septemcostatus</i> Dall			6	2										C
<i>T. urashimanum</i> (Nomura & Niino)	5	4							14					W
<i>T. asatoi</i> Oinomikado & Ikebe *		2		11							2			
<i>T. etigoensis</i> (Oinomikado) *						1								

Table 2. Continued.

Species	Localities	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	MP ¹⁾
<i>Alvania</i> sp.						1								
<i>Calyptrea yokoyamai</i> (Fujita)				1										W
<i>Crepidura grandis</i> (Middendorff)				1										C
<i>Syphopateella walshi</i> Reeve			1											W
<i>Euspira pila</i> (Pilsbry)							13				1			C
<i>E.</i> sp.												10		
<i>E.</i> ? sp.				1										
<i>Glossaulax didyma</i> (Röding)										1				
<i>Cryptonatica clausa</i> (Broderip & Sowerby)			8	3		5		4		4	3			C
<i>C. janthostoma</i> (Deshayes)	3	7												C
<i>C. janthostomoides</i> (Kuroda & Habe)								2		2				
<i>C. cf. janthostomoides</i> (Kuroda & Habe)								1			1			
Naticidae gen. et sp. indet.								1						
<i>Boreoscala cf. greenlandica</i> (Perry)						1								
<i>Boreotrophon candelabrum</i> (Reeve)		1												C
<i>Ocenebrellus inornatus</i> (Recluz)					2									
<i>Mohnia yanamii</i> (Yokoyama)						1								C
<i>Plicifusus</i> ? sp.				1										
<i>Lirabuccinum japonicum</i> (Yokoyama) *	3	8	2	3							1			
<i>Buccinum</i> sp.						1								
<i>Mitrella (Mitrella) burchardi</i> (Gaskoin)				6										C
<i>M. (Indomitrella) lischkei</i> (Smith)		2												W
<i>M. (I.) yabei</i> (Nomura)		2												W
<i>Reticunassa spurca</i> (Dunker)				2										
Fascioliariidae gen. et sp. indet.										2				
<i>Sydaphera spengleriana</i> (Deshayes)		3												
<i>Neadmete okutanii</i> (Petit)						1	1							W
<i>N.</i> ? sp.					1									
<i>Elaeocyma braunsi</i> (Yokoyama)						1								
<i>E.</i> sp.			1											
<i>Horaiclavus</i> ? sp.				1										
<i>Haedropleura</i> ? sp.				2										
<i>Inquisitor</i> sp.		1												
<i>Ophiidermella miyatensis</i> (Yokoyama)				1										
<i>O. ogurana</i> (Yokoyama) *							1		1		2			
<i>O.</i> sp.			2						1					
<i>Suavodrilina declivis</i> Martens												1		
<i>Obesotoma</i> sp.						2								
<i>Propebela candida</i> (Yokoyama)						1								C
<i>Brevimyurella awajiensis</i> (Pilsbry)		1												W
Terebridae gen. et sp. indet.		1												
<i>Ebala</i> sp.			1											
<i>Turbonilla</i> sp.						1								
<i>Ringicula doliaris</i> Gould		3	2	7										
<i>Dentalium octangulatum</i> (Donovan)						1								
<i>Fissidentalium</i> sp.						1								
<i>F.</i> ? sp.													1	
<i>Striodentalium cf. rhabdotum</i> (Pilsbry)					1									
<i>Laevidentalium</i> sp.					2	3								

軟体動物化石

1. 産地、産状と絶滅種

本調査地域の大桑層の12産地から、169種の軟体動物化石(うち二枚貝100種、腹足類64種、掘足類5種)が識別され、105種が種レベルまで同定された(Table 2; Figs. 3, 4)。このうち、大桑層下部の産地はLoc. 5, 11、上部の産地はLoc. 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12である。また、各産地の産状や産出した軟体動物化石群の現生種の生息底質と

岩相を検討したところ、軟体動物化石群の現生種の生息底質と各産地の母岩の岩相は大きく変わらない、貝殻はどれも摩耗が少なく破片化していない、二枚貝は離弁もあるがとくに内生二枚貝は合弁であることが多い、などの特徴から全体的に貝殻の保存状態は良く、長距離の死後運搬を受けたとは考えにくい。どの産地も準自生的であると考えられる。産出した種のうち、次の大桑・万願寺動物群の特徴的絶滅種が認められる。すなわち、*Anadara ommaensis*, *Glycymeris nipponica*, *Limopsis hokkaidoensis*, *Chlamys cosiben-*

Fig. 3. Some characteristic species of cold-water dwellers and Omma-Manganji fauna. 1. *Acila (Truncacila) insignis* (Gould), Loc. 8. 2a, b. *Limopsis hokkaidoensis* Amano & Lutaenko, Loc. 3. 3. *Cyclocardia ferruginea* (Clessin), Loc. 9. 4. *Glycymeris (Glycymeris) nipponica* (Yokoyama), Loc. 9. 5a, b. *Felaniella ohtai* Kase & Miyauchi. 6. *Tridonta alaskensis* (Dall), Loc. 6. 7. *Tridonta borealis* (Schumacher), Loc. 6. 8. *Mya (Mya) truncata* (Linnaeus), Loc. 6. 9. *Macoma (Macoma) calcarea* (Gmelin), Loc. 8. 10. *Clinocardium (Ciliatocardium) fastosum* (Yokoyama), Loc. 6. 11. *Lirabuccinum japonicum* (Yokoyama), Loc. 2. 12. *Phacosoma tomikawensis* (Takagi), Loc. 9. 13. *Ophiodermella ogurana* (Yokoyama), Loc. 9. 14. *Glycymeris (Glycymeris) yessoensis* (Sowerby), Loc. 6.

Fig. 4. Pectinid and some warm-water species. 1. *Chlamys (Chlamys) cosibensis* (Yokoyama), Loc. 12. 2. *Chlamys (Chlamys) tanakai* Akiyama, Loc. 9. 3. *Chlamys (Chlamys) jousseaumei* (Bavay), Loc. 2. 4. *Swiftiopecten swiftii* (Bernardi), Loc. 9. 5. *Mizuhopecten tokyoensis* (Tokunaga), Loc. 9. 6. *Pecten albicans* (Schröter), Loc. 9. 7. *Megacardita ommaensis* (Ogasawara), Loc. 9. 8a, b. *Indocrassatella oblongata* (Yokoyama), Loc. 1. 9. *Chlamys (Leochlamys) tanassevitschi* (Khomenko), Loc. 10. 10. *Turritella (Neohaustator) saishuensis saishuensis* Yokoyama, Loc. 2. 11. *Yabepecten tokunagai* (Yokoyama), Loc. 6. 12. *Mizuhopecten yokoyamae* (Masuda), Loc. 9. 13. *Mizuhopecten yessoensis* (Jay), Loc. 7.

Fig. 5. Ratio of warm- and cold-species. The synthesized columnar section is based on Fig. 2.

sis, *C. tanassevitschi*, *C. tanakai*, *Mizuhopecten tokyoensis*, *M. yokoyamae*, *Yabepecten tokunagai*, *Megacardita ommaensis*, *Clinocardium fastosum*, *Phacosoma tomikawensis*, *Turritella saishuensis saishuensis*, *Tachyrhynchus asatoi*, *T. etigoensis*, *Lirabuccinum japonicum*, *Ophiodermella ogurana* である。また, *Nuttallia commoda* は Amano and Ogihara (2012) により Loc. 9 からの標本を用いて記載され, 大桑・万願寺動物群の特徴種とされている。

2. 寒流系種・暖流系種とその層準

本調査地域の大桑層から産出した軟体動物化石群について, Higo et al. (1999) に基づき, 軟体動物化石群中の現生種のうち主に太平洋側で銚子以北の寒流域に分布する種を寒流系種, 銚子以南の暖流域に分布する種を暖流系種, 寒流域および暖流域に分布する種を両域種とし, 層準ごとにその割合を検討した。寒流系種は本調査地域の大桑層の全ての層準から合計 38 種認められた (Table 2)。このうち, Loc. 5, 6 より産出する *Mya truncata* は現生でも鮮新統でも北海道以北にのみ知られ, 本州の下部更新統では石川県金沢市角間の大桑層からしか産出が知られていない (Scarlato, 1981; 天野, 1993; Nakashima, 1999; 奥谷, 2000)。寒流系種の個体数比は, 大桑層下部の TGp 凝灰岩層直下の Loc. 5 と直上の Loc. 11 では, それぞれ 35.0%, 18.1% であり, それ

より上位の層準と比べて低い (Fig. 5)。大桑層上部基底の Loc. 6, 12 では, 増加し, それぞれ 76.2%, 92.6% と高い。また, さらに上位の大桑層上部の Loc. 1~4 では, それぞれ 76.8%, 69.9%, 69.8%, 55.8% と上位へやや減少している。これらの層準より上位の Loc. 7 では 95.5% と非常に高いが, Loc. 8 では 65.8% と減少する。最上部の Loc. 9, 10 では, Loc. 9 では 48.8% と減少するものの Loc. 10 では 75.0% と高い。

一方, 暖流系種は本調査地域の大桑層の Loc. 7, 11 を除く全ての層準から合計 17 種認められた。暖流系種の個体数比は, 大桑層下部の Loc. 5 では 2.5% と低い。一方, 大桑層上部では, Loc. 8 では 30.4% と高いが, その他の暖流系種の産出した層準では 2.0%~11.8% と低い。

考 察

1. 古水深と古環境変動

大桑層から産出した軟体動物化石群中の現生種について, Higo et al. (1999) に基づき波部 (1961), Scarlato (1981), 奥谷 (2000), Kantor and Sysoev (2006) も参考にして, 各産地の層準ごとに共通生息深度を検討した。なお, 他の種と生息深度が異なる種で, 死後運搬され混入し堆積したと考えられる浅海性種を除外し, 現在は限定された深度に生息が知られるものの化石では大桑・万願寺動物群の上部浅海域の群

Fig. 6. Estimated water depth, based on the living species. The synthesized columnar section is based on Fig. 2.

集(例えば, Kaseno and Matsuura, 1965)に一般的な *Miodontiscus nakamurai* や *Pandora pulchella* は上部浅海性種として扱った。

大桑層下部(Loc. 5, 11)から上部の下部(Loc. 6, 12, 1)にかけては, Loc. 11 の 35~50 m で上部浅海域を除き, ほぼ下部浅海域を示す(Fig. 6)。一方, 上部の上部(Loc. 2~4, 7~10)は Loc. 8 で 50~80 m と明らかに下部浅海域を示す以外は, ほぼ上部浅海域に堆積したと考えられる。高田(2000)により, 本調査地域付近の大桑層の Loc. 11~Loc. 12 付近にかけて, 底生有孔虫化石群集より本層下部の Loc. 11 付近の層準からその約 15 m 上位のシルト岩層の層準までは, 内~外部浅海帯とされており, 本研究の結果と調和的である。

模式地の大桑層の軟体動物化石群集と古水深は, 前期更新世の氷期・間氷期の繰り返しとそれに伴う 4.1 万年周期の氷河性海水準変動の影響が認められている(北村・近藤, 1990; 北村ほか, 1993; 北村, 1994; Kitamura et al., 1994)。また, 高田(2000)により, 本調査地域の大桑層上部の最下部では貝化石殻密集層や小礫岩から泥質極細粒砂岩に至る 5 回の堆積サイクルが認められ, 氷河性海面変動と対比されている。しかし, 高田(2000)により検討された露頭はバイパス工事の際に露出したもので現在は観察不可能であり, 本調査地域の大桑層の軟体動物群集から推定される古水温と古水深の関係から氷期・間氷期のサイクルを見出すことは困難である。例外的に大桑層最上部の Loc. 7 から Loc. 8 にかけて

の暖流系種の出現と個体数比の増加と古水深が深くなることについては氷期・間氷期サイクルの影響を示唆している。

2. 古環境変動の大桑・万願寺動物群への影響

(1)イタヤガイ科二枚貝の変遷 大桑層からはイタヤガイ科二枚貝が豊富に産出し, 絶滅率が高いため(Stanley, 1986), イタヤガイ科の変遷を検討した。また, その際, 同じ富山県の高岡市付近に分布し, 大桑層の下位に位置する下部鮮新世の頭川層は, 古水深や岩相が類似しており(天野ほか, 2012), 後期鮮新世~前期更新世までの変遷を検討するのに適しているため, 頭川層から産出する軟体動物群(Amano et al., 1991; 松浦, 2009; 天野ほか, 2012)と種構成を比較した。

産出層準に着目すると大きく A~D の 4 種群に分類される。すなわち, 頭川層から産出するが大桑層から産出しない A 種群として *Mizuhopecten poculum* が挙げられる。頭川層から大桑層まで連続的に産出する B 種群としては, *Yabepecten tokunagai*, *C. cosibensis*, *Swiftopecten swiftii*, *C. tanassevitschi*, *M. yokoyamae*, *M. tokyoensis* が挙げられる。また, 大桑層上部の中部である Loc. 1 より下位の層準では産出せず Loc. 1~4 および 7, 9 で認められる C 種群として *Cryptopecten vesiculosus*, *M. yessoensis*, *Chlamys jousseaumei* が, 大桑層最上部の Loc. 9, 10 のみから産出する D 種群として *C. tanakai*, *Pecten albicans* が挙げられる(Fig. 7)。

A 種群の *Mizuhopecten poculum* は, 新潟県松之山では

Fig. 7. Occurrence of Pectinidae from the Omma Formation and the Zukawa Formation. ※ = extinct species. Literature: Zukawa Formation (Amano et al., 1991; Matsuura, 2009; Amano et al., 2012).

鮮新統池ノ沢川層から産出しているが(天野, 1994), 秋田県太平洋地域, 峰浜地域では Datum A より上位から産出している(天野ほか, 2011). Masuda (1962)によれば新潟県佐渡市の下部更新統沢根層からも報告があるが, 図示されていない. 個体群の消滅時期に地域差がありそうで, 北陸地域では今のところ Datum A 以降には認められていない.

C 種群のうち, Loc. 12 (1.39–1.22 Ma) より上位の層準から出現する寒流系現生種, *Mizuhopecten yessoensis* は北海道天塩町において 3.5–3.9~2.6–2.7 Ma の勇知層中部(野田・天野, 1986; 嵯峨山, 2003), 秋田県秋田市から大仙市の約 3.5 Ma の天徳寺層(天野ほか, 2000b)からの産出も認められている. 一方, 新潟県や石川県では前期更新世以降にのみ知られている(Ogasawara, 1977; 小林ほか, 1986; 高山ほか, 1988; 佐藤ほか, 1987; Sato et al., 2009).

D 種群のうち, *Pecten albicans* は, 日本海側では新潟県灰爪層の Zr 火山灰層 (1.18–0.99 Ma) の下位層準からの産出(Noda, 1961; 小林ほか, 1986; 佐藤ほか, 1987; Sato et al., 2009) が最も古い. 本種が産出した Loc. 9, 10 は石炭

質ナノ化石により 0.99 Ma よりも新しいことが判明したため, このデータと矛盾しない. ちなみに, 富山県高岡地域の頭川層を不整合に覆う下部更新統板谷層からは *P. albicans* は産出しないが, *P. byoritsuensis* Nomura が産出している(Amano et al. 2014). また, *Chlamys tanakai* は Amano (1994) により長野県北部の鮮新統荒倉山層, 荻久保層から報告され, 天野 (2001) により“中新世型残存種”として Datum A の寒冷化で絶滅したと考えられていた. その後, 天野ほか (2008) により富山県の鮮新統三田層からも報告され, 本研究により下部更新統からの産出も明らかとなり, 大桑・万願寺動物群の特徴種の 1 つと考えた方が良いことが明らかとなった.

(2) イタヤガイ科二枚貝以外の大桑・万願寺動物群特徴種の変遷 イタヤガイ科二枚貝以外の大桑・万願寺動物群特徴種のうち, *Turritella saishuensis saishuensis*, *Glycymeris nipponica* は TGp 凝灰岩より下位の Loc. 5 から産出しているが, これらの種はすでに頭川層から知られている(天野ほか, 2012). また, 本地域では *Clinocardium fastosum*

は Loc. 11 以上の層準から, *Anadara ommaensis* は Loc. 12 のみから, *Phacosoma tomikawensis* や *Ophiodermella ogurana* は Loc. 6 以上の層準から認められるが, 富山県中部の鮮新統三田層から報告されている(天野ほか, 2008). 他の大桑・万願寺動物群の特徴種は Loc. 6 (1.39~1.22 Ma 付近) 以上の層準より出現し, 特に, *Lirabuccinum japonicum*, *Tachyrhynchus asatoi* は, 本地域の大桑層では, それぞれ Loc. 1~4, 10 と Loc. 3~4, 10 から産出し, 1.39~1.22 Ma 以降の産出であることが明らかとなった. Amano and Vermeij (2003) では富山県の鮮新統の記録として唯一頭川層からの標本を図示したが, この標本は本調査地域田川から産出したもので, 鮮新統からの産出ではない. また, 天野(2007)ではこの2種が Datum A 以降に出現したことを指摘しており, これと矛盾していない. 以上の種の変遷は, ほとんどの大桑・万願寺動物群特徴的絶滅種は, 前期更新世を通じて絶滅せず, その多様性は一方的に増加したという天野(2001, 2007)の結果と調和的である.

(3) 古環境変動と軟体動物群の変遷 *Mizuhopecten yessoensis* が出現した大桑層上部基底の Loc. 6, 12 はそれより下位の大桑層下部の Loc. 5, 11 と比較し, 寒流系種の個体数比が急増している. 佐藤ほか(2012)は, 約 1.22 Ma に石灰質ナンノ化石 *Helicosphaera sellii* の消滅層準, 約 1.18 Ma に *Gephyrocapsa* spp. (large) の消滅層準, 1.13 Ma に *Reticulofenestra asanoi* の出現層準を認め, 石灰質ナンノ化石の出現や消滅層準が約 1.2 Ma 付近に集中していることを示した. また, 百原(2010)は, 大阪南部丘陵の大阪層群と和歌山県北部の菖蒲谷層の植物化石群の層位分布から, 1.2~0.9 Ma において, 寒冷化によりメタセコイアなどの 11 分類群の陸上植物が絶滅したことを明らかにした. さらに, 河村(1998)や樽野(2010)は, 中国で *Mammutus trogontherii* が 1.66~1.1 Ma まで産出するが(Wei et al., 2006), 日本では 1.2 Ma から本種が出現することから, 1.2 Ma に中国と日本の間の東シナ海あるいは黄海付近に陸橋が形成されたと考えられる. 加えて, 小沢(2007)は, 1.2 Ma に日本海で好冷性貝形虫の *Daishakacythere* 属の2種が出現したことを明らかにした. *M. yessoensis* が北方冷水域へ適応し出現した種であることをふまえると(魚住ほか, 1986), 本種は北海道付近で 3.5~3.9~2.6~2.7 Ma に生息していたが, 約 1.2 Ma の寒冷化により, 本調査地域周辺に出現したと考えられる. イタヤガイ科二枚貝以外の大桑・万願寺動物群の特徴的絶滅種である *Lirabuccinum japonicum* や *Tachyrhynchus asatoi* も約 1.2 Ma 以降に認められているため, *M. yessoensis* と同様に本調査地域では約 1.2 Ma の寒冷化によって出現したと考えられる.

Pecten albicans の出現した要因については, 温暖化した影響が考えられる. 1.1 Ma~1.0 Ma の海洋酸素同位体ステージ MIS 31 にあたる間氷期の酸素同位体比の値は, 約 3.2‰ と特に低い(Lisiecki and Raymo, 2005). また, 石川県金沢市の大桑層模式地の約 1.5~1.0 Ma の層準において, 暖流系種の浮遊性有孔虫 *Globigerinoides ruber* の産出量の割合が他の間氷期の値と比較し, MIS 31 の層準で特

に高い(Kitamura and Kimoto, 2007). *P. albicans* は本調査地域以外の産地においても約 1.0 Ma 以降に堆積した地層で認められるため, 日本海沿岸では, 約 1.0 Ma の気候の温暖化により出現したと考えられる.

おわりに

富山県小矢部市田川周辺の大桑層および大桑層産軟体動物群について詳細に検討し, 以下の結論を得た.

1. 大桑層上部より新たに得られた石灰質ナンノ化石と高田(2000)により本層下部より報告された石灰質ナンノ化石を総合して, 大桑層は前期更新世の約 2.02 Ma から約 0.99 Ma までに堆積したことが明らかとなった.
2. 大桑層下部および上部の下部ではほぼ下部浅海域であり, 上部の中部~上部ではほぼ上部浅海域と浅海化し, 最上部付近では氷河性海水準変動の影響を受けたことが明らかとなった.
3. 約 1.2 Ma の寒冷化により *Mizuhopecten yessoensis*, *Lirabuccinum japonicum*, *Tachyrhynchus asatoi* が, 約 1.0 Ma の温暖化により *Pecten albicans* が出現した. また, こうした寒冷化や温暖化に伴い, 大桑・万願寺動物群の種多様性が増加したことが明らかとなった.

謝 辞

上越教育大学卒業生の荻原理央氏が採集, 同定した軟体動物化石の一部を本論文を作成する際に利用させていただいた. 上越教育大学の濤崎智佳准教授, 中村雅彦教授, 上越教育大学を退官された大場孝信教授には, 本研究を進めるにあたり, 多くのご助言をいただいた. 記してお礼申し上げる.

文 献

- Amano, K., 1994, Diversity of *Chlamys* (Bivalvia) from the Pliocene Ogikubo Formation, central Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S.*, **176**, 661~676.
- 天野和孝(Amano, K.), 1993, 北方系貝化石集団による古水温推定の試み—更新世前期の大桑・万願寺動物群を例として. *化石(Fossils)*, **55**, 34~48.
- 天野和孝(Amano, K.), 1994, 新潟県松之山町の鮮新統産貝化石群と古環境. *地学雑誌(Jour. Tokyo Geogr. Soc.)*, **103**, 653~673.
- 天野和孝(Amano, K.), 2001, 日本海側における鮮新世の軟体動物群と古海況. *生物科学(Biol. Sci.)*, **53**, 178~184.
- 天野和孝(Amano, K.), 2007, 大桑・万願寺動物とその変遷過程. *化石(Fossils)*, **82**, 6~12.
- Amano, K., Hamuro, M. and Hamuro, T., 2014, New fossil record of two warm-water bivalves from the Pleistocene Itaya Formation, Toyama Prefecture, central Japan. *Venus(Japan. Jour. Malac.)*, **72**, 65~76.
- 天野和孝・葉室麻吹・葉室俊和・佐藤時幸・荻原理央(Amano, K., Hamuro, M., Hamuro, T., Sato, T. and Ogihara, R.), 2012, 日本海中部沿岸域における鮮新世末期の寒冷化の底生動物群への影響: 富山県高岡市の頭川層産軟体動物群. *地質雑誌(Jour. Geol. Soc. Japan)*, **118**, 810~822.
- 天野和孝・葉室麻吹・佐藤時幸(Amano, K., Hamuro, M. and Sato, T.), 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産軟体動物群の検討を通じて. *地質雑誌(Jour. Geol. Soc. Japan)*, **114**, 516~531.
- 天野和孝・永田 寛・佐藤時幸・柳沢幸夫・栗田義隆(Amano, K., Nagata, K., Sato, T., Yanagisawa, Y. and Kurita, Y.), 2009, 鮮新世における北部フォッサマグナ地域への暖流の影響—新潟

- 県南魚沼市鎌倉沢川の四十日層および魚沼層群最下部産軟体動物群の検討を通じて一。地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **115**, 597–609.
- Amano, K. and Ogihara, R., 2012, Taxonomy of large *Nuttallia* (Bivalvia: Psammobiidae) in the Northwestern Pacific, with remarks on the evolution of the genus. *Paleont. Res.*, **16**, 146–158.
- 天野和孝・佐藤時幸・小池高司(Amano, K., Sato, T. and Koike, T.), 2000a, 日本海中部沿岸域における鮮新世中期の古海況—新潟県新発田市の鉾江層産軟体動物群—。地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **106**, 883–894.
- 天野和孝・鈴木政憲・佐藤時幸(Amano, K., Suzuki, M. and Sato, T.), 2000b, 鮮新世中期における暖流の日本海への流入—秋田県太平山周辺の天徳寺層産軟体動物群—。地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **106**, 299–306.
- Amano, K., Tanaka, K. and Karasawa, S., 1991, *Chlamys* (*Chlamys*) *foeda* (Yokoyama) from the Shigarami Formation in Nagano Prefecture, Central Japan. *Bull. Joetsu Univ. Educ.*, **10**, 305–313.
- Amano, K. and Vermeij, G. J., 2003, Evolutionary adaptation and geographic spread of the Cenozoic Buccinid genus *Lirabuccinum* in the North Pacific. *Jour. Paleont.*, **77**, 863–872.
- 天野和孝・吉田 新・佐藤時幸(Amano, K., Yoshida, A. and Sato, T.), 2011, 2.75 Ma の寒冷化の日本海沿岸の軟体動物群への影響：秋田県の中中部および北部の軟体動物群。地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **117**, 508–522.
- Chinzei, K., 1978, Neogene molluscan faunas in the Japanese Island: An ecologic and zoogeographic synthesis. *Veliger*, **21**, 155–170.
- 波部忠重(Habe, T.), 1961, 続原色日本貝類図鑑(*Shells of the Western Pacific in Color Vol.2*). 保育社(Hoikusha), 182 p.
- Higo, S., Callomon, P. and Goto, Y., 1999, *Catalogue and Bibliography of the Marine Shell-Bearing Mollusca of Japan*. Elle Sci. Publ., Yao, 749 p.
- 池辺展生(Ikebe, N.), 1949, 富山県西部及石川県東部の第三紀層(富山県及石川県の地質学的研究 I)。地学(*Earth Sci.*), **1**, 14–26.
- Kantor and Sysoev, 2006, *Marine and Brackish Water Gastropoda of Russia and Adjacent Countries: an illustrated catalogue*. KMK Scientific Press, Moscow, 371 p. (in Russian)
- Kaseno, Y. and Matsuura, N., 1965, Pliocene shells from the Omma Formation around Kanazawa City, Japan. *Sci. Rep. Kanazawa Univ.*, **10**, 27–62.
- 河村善也(Kawamura, Y.), 1998, 第四紀における日本列島への哺乳類の移動。第四紀研究(*Quatern. Res.*), **37**, 251–257.
- 北村晃寿(Kitamura, A.), 1994, 下部更新統大桑層上部に見られる氷河性海水準変動による堆積シーケンス。地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **100**, 465–478.
- 北村晃寿(Kitamura, A.), 1996, 金沢市周辺の大桑層の堆積サイクル。北陸地質研報告(*Hokuriku Geol. Inst. Rep.*), **5**, 211–244.
- Kitamura, A., 2004, Effects of seasonality, forced by orbital-insolation cycles, on offshore molluscan faunal change during rapid warming in the Sea of Japan. *Paleogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **203**, 169–178.
- Kitamura, A. and Kawagoe, T., 2006, Eustatic sea-level change at the mid-Pleistocene climate transition; new evidence from the shallow-marine sediment record of Japan. *Quatern. Sci. Rev.*, **25**, 323–335.
- Kitamura, A. and Kimoto, K., 2007, Eccentricity cycles shown by early Pleistocene planktonic foraminifers of the Omma Formation, Sea of Japan. *Global Planet. Change*, **55**, 273–283.
- 北村晃寿・近藤康生(Kitamura, A. and Kondo, Y.), 1990, 前期更新世の氷河性海水準変動による堆積サイクルと貝化石群集の周期的変化—模式地の大桑層中部の例—。地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **96**, 19–36.
- Kitamura, A., Kondo, Y., Sakai, H. and Horii, M., 1994, Cyclic changes in lithofacies and content in the early Pleistocene Omma Formation, Central Japan related to the 41,000-year orbital obliquity. *Paleogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **112**, 345–361.
- Kitamura, A., Omote, H. and Oda, M., 2000, Molluscan response to early Pleistocene rapid warming in the Sea of Japan. *Geology*, **28**, 723–726.
- 北村晃寿・酒井英男・堀井雅恵(Kitamura, A., Sakai, H. and Horii, M.), 1993, 大桑層中部(1.3–0.9 Ma)に見られる4.1万年周期の氷河性海水準変動による堆積サイクル。堆積学研究会報(*Jour. Sediment. Soc. Japan*), **38**, 67–72.
- Kitamura, A., Takano, O., Takada, H., and Omote, H., 2001, Late Pliocene-early Pleistocene paleoceanographic evolution of the Sea of Japan. *Paleogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **172**, 81–98.
- Kitamura, A. and Ubukata, T., 2003, The sequence of local recolonization of warm-water marine molluscan species during a deglacial warming climate phase: a case study from the early Pleistocene of the Sea of Japan. *Paleogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **199**, 83–94.
- 小林巖雄・八幡とも子・杉本静子・伊豫田成子(Kobayashi, I., Yahata, T., Sugimoto, S. and Iyoda, S.), 1986, 新潟県西山油帯における灰爪累層の軟体動物化石群。瑞浪市化石博専報(*Monogr. Mizunami Fossil Mus.*), **6**, 105–118.
- Lisiecki, L. E. and Raymo, M. E., 2005, A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. *Paleoceanography*, **20**, PA1003.
- Matsuda, K., 1962, Tertiary Pectinidae of Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser.*, **33**, 117–238.
- 松浦信臣(Matsuura, N.), 1985, 北陸地方の鮮新世から完新世に至る軟体動物群の変遷。瑞浪市化石博研報(*Bull. Mizunami Fossil Mus.*), **12**, 71–158.
- 松浦信臣(Matsuura, N.), 2009, 新版石川の化石(*Fossil from Ishikawa, New Edition*). 北国新聞社(Hokkoku Shimbun. Co.), 273 p.
- 望月勝海(Mochizuki, K.), 1930, 金沢市付近の最近の地史(摘要)。地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **37**, 278–280.
- 百原 新(Momohara, A.), 2010, 中部ヨーロッパと中部日本の新第三紀から第四紀への植物化石群変化の時期：気候変動との関連で。第四紀研究(*Quatern. Res.*), **49**, 299–308.
- Nakashima, R., 1999, *Mya* (Bivalvia: Myidae) from the Upper Miocene and Pliocene formations in Hokkaido, Northern Japan. *Venus (Japan. Jour. Malac.)*, **58**, 201–216.
- Noda, H., 1961, The geological significance of the genus *Pecten* from the Pliocene Haizume Formation, Niigata Prefecture, Japan. *Japan. Jour. Geol. Geogr.*, **32**, 9–17.
- 野田浩司・天野和孝(Noda, H. and Amano, K.), 1986, 北海道天塩町周辺の地質及び古生物概観, その7. 鮮新統“勇知”層産 *Anadara* (*Anadara*) *uozumii* と若干の共産貝化石。北方科学調査報告(*Human Culture and Environment Studies in Northern Hokkaido, Univ. Tsukuba*), **7**, 1–12.
- Ogasawara, K., 1977, Paleontological analysis of Omma fauna from Toyama-Ishikawa area, Hokuriku Province. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser.*, **47**, 43–156.
- Ogasawara, K., 1994, Neogene paleogeography and marine climate of the Japanese Islands based on shallow-marine molluscs. *Paleogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **108**, 335–351.
- 大久保 弘(Ohkubo, H.), 1999, 鮮新-更新統, 大桑層, 頭川層, 十二町層および高窪層最上部の火山灰層序。地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **105**, 836–851.
- 奥谷喬司(Okutani, T.), 2000, 日本近海産貝類図鑑(*Marine Molluscs in Japan*). 東海大学出版会(Tokai Univ. Press), 1174 p.
- Otuka, Y., 1939, Mollusca from the Cainozoic System of eastern Aomori Prefecture, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **44**, 23–31.
- 小沢広和(Ozawa, H.), 2007, 日本海的好冷性介形虫相の変遷と海洋環境。化石(*Fossils*), **82**, 21–28.
- 嵯峨山 積(Sagayama, T.), 2003, 北海道北部地域の遠別層・声間層

- と勇知層の地質境界の地質年代—ルベシユベ川と上ヌカナン川ルート—. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **109**, 301–323.
- 佐藤時幸・千代延 俊・ファリーダ メウティア (Sato, T., Chiyonobu, S. and Farida, M.), 2012, グローバル気候変動と新第三紀の終わり / 第四紀の始まり: 石灰質ナンノ化石層序から. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **118**, 87–96.
- Sato, T., Chiyonobu, S. and Hodell, D. A., 2009, Quaternary calcareous nannofossil datums and biochronology in the North Atlantic Ocean, IODP Site U1308. *Proc. IODP*, **303/306**: College Station, TX. doi: 10.2204/iodp. Proc. 303306.210.2009.
- Sato, T. and Kameo, K., 1996, Pliocene to Quaternary calcareous nannofossil biostratigraphy of the Arctic Ocean, with reference to late Pliocene glaciation. In Thiede, J., Myhre, A. M., Firth, J. V. et al. eds., 1996, *Proc. ODP, Sci. Results*, **151**, 39–59.
- Sato, T. and Takayama, T., 1992, A stratigraphically significant new species of the calcareous nannofossil *Reticulofenestra asanoi*. In Ishizaki, K., and Saito, T., eds., *Centenary of Japanese Micropaleontology*, Terra, Tokyo, 457–460.
- 佐藤時幸・高山俊昭・加藤道雄・工藤哲朗 (Sato, T., Takayama, T., Kato, M. and Kudo, T.), 1987, 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 1: 新潟地域. 石技誌 (*Jour. Japan. Assoc. Petrol. Technol.*), **52**, 231–242.
- Scarlato, O. A., 1981, Bivalve molluscs from the middle latitude of the western part of Pacific Ocean. *Taxonomic Monogr. Fauna USSR*, **126**, 1–479. (in Russian)
- Stanley, S., M., 1986, Population size, extinction, and speciation: the fisson effect in Neogene Bivalvia. *Paleobiology*, **12**, 89–110.
- 高田裕行 (Takata, H.), 2000, 有孔虫化石群集解析にもとづく富山県小矢部市周辺の大桑層堆積時 (後期鮮新世～前期更新世) の古環境変遷. 化石 (*Fossils*), **67**, 1–18.
- 高山俊明・加藤道雄・工藤哲朗・佐藤時幸・亀尾浩司 (Takayama, T., Kato, M., Kudo, T., Sato, T. and Kameo, K.), 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 (*Jour. Japan. Assoc. Petrol. Technol.*), **53**, 9–27.
- 田村糸子・山崎春雄 (Tamura, I. and Yamazaki, H.), 2004, 北陸層群のテフクロノロジー—テフラ層序および広域テフラ層との対比に基づく北陸層群の堆積年代—. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **110**, 417–436.
- 樽野博幸 (Taruno, H.), 2010, 哺乳類化石の変遷から見た日本列島と大陸間の陸橋の形成時期. 第四紀研究 (*Quatern. Res.*), **49**, 309–314.
- 魚住 悟・高木俊男・鈴木明彦 (Uozumi, S., Takagi, T. and Suzuki, A.), 1986, 北海道の *Yabepecten tokunagai* と *Mizuhopecten tokyoensis* —北方系貝類の特性と北海道の古海洋生物地理的位置—. 瑞浪市化石博専報 (*Monogr. Mizunami Fossil Mus.*), **6**, 75–89.
- Wei, G. B., Taruno, H., Kawamura, Y. and Jin, C. Z., 2006, Pliocene and early Pleistocene primitive mammoths of northern Chiba: Their revised taxonomy, biostratigraphy and evolution. *Jour. Geosci., Osaka City Univ.*, **49**, 59–101.

(要 旨)

金子敦志・天野和孝・佐藤時幸・葉室麻吹・葉室俊和, 2016, 日本海中部沿岸域における前期更新世の環境変動による底生動物群への影響: 富山県小矢部市田川周辺の大桑層産軟体動物群の検討を通じて. 地質雑, **122**, 193–206. (Kaneko, A., Amano, K., Sato, T., Hamuro, M. and Hamuro, T., 2016, Influence of environment change on benthic fauna during the early Pleistocene in the central part of Japan Sea Borderland: Based on analyses of molluscan fauna from the Omma Formation around Tagawa in Oyabe City, Toyama Prefecture. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **122**, 193–206.)

前期更新世の環境変動が軟体動物群にどのような変化を与えているのかを検討すべく, 本州中部の富山県小矢部市周辺の大桑層産軟体動物群を検討した. 石灰質ナンノ化石に基づく, 大桑層は前期更新世の約 2.02 Ma から約 0.99 Ma までに堆積したことが判明した. 大桑層の 12 産地より 169 種の軟体動物化石が識別された. また, 大桑層下部および上部の下部ではほぼ下部浅海域であり, 上部の中部～上部ではほぼ上部浅海域に堆積したことも明らかとなった. 大桑・万願寺動物群特徴的絶滅種の時空分布を検討したところ, 約 1.2 Ma の寒冷化により *Mizuhopecten yessoensis*, *Lirabuccinum japonicum*, *Tachyrhynchus asatoi* が, 約 1.0 Ma の温暖化により *Pecten albicans* が出現した. また, こうした寒冷化や温暖化に伴い, 大桑・万願寺動物群の種多様性が増加したことが明らかとなった.

科学論文では, 学説の検証可能性を保証することが重要です. そのため, 地質学雑誌掲載論文には, 重要な証拠となった試料がどこで得られたかを示しているものがあります. 言うまでもないことですが, 見学や採取を行う場合, 各自の責任において地権者や関係官庁への連絡と許可の取得の必要があることにご注意下さい. 詳しくは, 以下のサイトをご覧ください.

<http://www.geosociety.jp/publication/content0073.html>

一般社団法人日本地質学会