

大桑・万願寺動物とその変遷過程

天野和孝

上越教育大学地学教室

The Omma-Manganji fauna and its temporal change

Kazutaka Amano

Department of Geoscience, Joetsu University of Education, Niigata Prefecture, 943-8512 (amano@juen.ac.jp)

Abstract. By the late Pliocene, endemic speciation occurred in the semi-closed Japan Sea. Such endemic species, which characterizes the Omma-Manganji fauna, diversified until the end of early Pleistocene. Warm-water current flowed into the Japan Sea since the early late Pliocene. Especially, the lower upper Pliocene yields some subtropical taxa which have been never recognized in the Recent Japan Sea. This warm-water inflow added subtropical to warm-temperate species to the Omma-Manganji fauna, but did not lead any endemic species to extinction. Cooling event at the Datum A (2.75Ma) also did not affect any endemic species. On the other hand, the Miocene relict species suffered from extinction by this cooling event. Moreover, some boreal species which is now living around Hokkaido and the Okhotsk Sea migrated southward to central Honshu by this cooling. In the ice age at the end of early Pleistocene, most of the endemic species suffered from extinction by brackish surface water and anoxic deep water conditions. These oceanographic condition also affected populations of other species, which disappeared in the Japan Sea and now live only in the Pacific side.

Key words: Omma-Manganji fauna, Japan Sea, Pliocene, early Pleistocene.

はじめに

鮮新世～更新世前期にかけて、東北脊梁山脈の隆起が顕著となり、日本海は閉鎖的な海域となった (Chinzei, 1978)。閉鎖的となった海域では種分化が生じ、多くの固有種が誕生した。この時代になって、日本海は形成以降初めて独立した海洋生物地理区となったといえる (天野, 2001a)。しかし、その後これらの固有種は絶滅したため、現在ほとんど見られない (例えば, Chinzei, 1978)。

大桑・万願寺動物群 (Otuka, 1939) は上述した固有種により特徴づけられ、日本海が生物地理的に独立していた鮮新世～更新世前期に日本海側を中心に栄えた動物群で、沖合性種を含み、寒流系の貝類を主体としている (増田・小笠原, 1981; Chinzei, 1986)。また、Ogasawara (1986) や小笠原 (1996) により詳細に検討され、大桑・万願寺動物群は冷温帯～暖温帯の動物群であったことが明らかにされている。

鮮新世後期の初期には汎世界的な温暖化、その後の北半球の氷床の発達、氷期・間氷期サイクルの顕在化とそれに伴う海水準変動が知られている (例えば Crowley and North, 1991)。こうした環境変動は日本海の海洋気候や生物相にも影響を及ぼしたことが知られている (Sato and Kameo, 1996; 北村・木元, 2004; Kitamura and Kimoto, 2006)。鮮新世における大桑・万願寺動物群の構成種の時

代的变化については、その概略が天野 (2001a) によってまとめられた。さらに、大桑・万願寺動物群の変遷過程をたどることは、日本海のような閉鎖的な海域と太平洋とで環境変化に対する生物の応答がどのように異なるのかを知る手がかりにもなる。

天野 (2001a) は鮮新世の貝化石と古海況について検討したが、その後鮮新世後期以降の貝類相の変遷と気候変動との関係が北村・木元 (2004), Kitamura and Kimoto (2006) により総括されたことに加え、各地における年代論の再検討と貝化石群の見直しも進展した。例えば、上越市西部や糸魚川市海川地域の珪藻化石と貝類相 (柳沢・天野, 2003; 遠藤ほか, 2005)、秋田県北部の石灰質ナンノ化石と貝類相 (佐藤ほか, 2003)、富山県八尾地域の貝化石 (天野ほか, 2006)、長野県北部の鮮新統についての微化石年代 (本山・長森, 2006) などである。また、分類群ごとに時空分布が見直され、*Lirabuccinum* や *Trophonopsis* などを含む新腹足類の分布 (Amano and Vermeij, 2003; Amano, 2004; Amano, 2006)、*Limopsis* や *Calyptogena* など二枚貝の分類と分布 (Amano and Lutaenko, 2004; Amano and Kanno, 2005) について新発見が加わった。

本論文では、これらの新発見も加えて大桑・万願寺動物群に関して得られているデータをもとに、大桑・万願寺動物群特徴種の起源と絶滅、現生種のうち日本海で個体群が消滅した事例、寒流系種の変遷と暖流系種の産出、中新世

表1. 本論文で検討した貝化石群の時代、地層名と文献.
Table 1. Age, formation and literature of molluscan fossils examined in this paper.

時代	地層名	文献	
鮮新世前期	三田層下部	天野ほか (2006)	
	荒倉山層	Amano and Karasawa (1988)	
	城下層	天野・佐藤 (1995)	
	川詰層	天野ほか (1990)	
後期鮮新世前期	黒倉層	天野 (1994b)	
	三田層上部	天野ほか (2006)	
	荻久保層	天野・唐沢 (1993), 長森 (1998)	
	名立層下部	天野・菅野 (1991)	
	東川層	天野 (1994b)	
	池ノ沢川層	天野 (1994b)	
	鎌江層	天野ほか (2000a)	
後期鮮新世後期	観音寺層	Ogasawara and Naito (1983)	
	天徳寺層	天野ほか (2000b)	
	勇知層	菅野ほか (1980)	
	名立層上部	天野・菅野 (1991)	
	谷浜層	天野ほか (1987)	
	笹岡層	島本 (1984), 小笠原ほか (1986)	
	大桑層	Kaseno and Matsuura (1965), Ogasawara (1977), 松浦 (1996)	
更新世前期	居多層	水野・天野 (1988)	
	沢根層	大森 (1977), 遠藤 (1986)	
	灰爪層	小林ほか (1986)	
	大釈迦層	Nomura and Hatai (1935), Iwai (1965)	
	浜田層	Hatai <i>et al.</i> (1961)	
	富川層	坂上ほか (1966)	
	瀬瀬層	鈴木 (1989, 1991)	
	脇本層	高安 (1962), 小笠原ほか (1986)	
	更新世中期	鮎川層	Takayasu (1962), 小笠原ほか (1986)

型残存種の絶滅について総括することを目的とする。

対象と方法

石川県から北海道南西部までの日本海側における鮮新統～下部更新統より産出する貝化石を表1に示す文献中の貝化石群のリストおよびこれまでに採集した標本をもとに、種の消長を検討した。

Sato and Kameo (1996) は石灰質ナンノ化石群集の急変が見られる層準を Datum A (2.75 Ma) とし、北半球における氷床の拡大と関連付けてとらえた。ここでは、特に Datum A での貝化石群の変化を検討すべく、Datum A が層中に想定される三田層、名立層と基底部に認定される笹岡層を対象とし、構成種の変化に注目した。

特徴種と出現時期

大桑・万願寺動物群の特徴種である *Anadara amacula* や *Turritella saishuensis* (s.l.) の最古の化石は長野県の上部中新統小川層から産出している。また、*Oenopota kagana* は北海道の上部中新統峠下層上部から産出している (図1, 2; Amano, 1983; 天野・小池, 1993)。

鮮新世前期になると、*Acila nakazimai*, *Nuculana onoyamai*, *Yabepecten tokumagai*, *Chlamys tanassevitschi*, *Profulvia kurodai*, *Phacosoma tomikawaensis*, *Neptunea nikkoensis*, *N. eos* などの特徴種が長野県北部の荒倉山層、城下層、富山県の三

Species	Age	I. Mio.	e. Plio.	D.A.I.		
				e. I. Plio.	I. I. Plio.	e. Pleist.
<i>Anadara amacula</i>						
<i>Chlamys cosibensis</i>						
<i>Acila nakazimai</i>						
<i>Nuculana onoyamai</i>						
<i>Yabepecten tokumagai</i>						
<i>Profulvia kurodai</i>						
<i>Phacosoma tomikawaensis</i>						
<i>Anadara ommaensis</i>						
<i>Chlamys tanassevitschi</i>						
<i>Chlamys foeda</i>						
<i>Mizuhopecten yokoyamae</i>						
<i>Mizuhopecten poculum</i>						
<i>Cyclocardia myogadaniensis</i>						
<i>Megacardita ommaensis</i>						
<i>Pseudamiantis tauyensis</i>						
<i>Mizuhopecten tokyoensis</i>						

図1. 大桑・万願寺動物群の二枚貝類特徴種の生存期間. D. A.; Datum A.

Fig. 1. Range of the characteristic bivalve species of the Omma-Manganji fauna. D. A.; Datum A.

Species	Age	La*	I. Mio.	e. Plio.	D.A.I.		
					e. I. Plio.	I. I. Plio.	e. Pleist.
<i>Turritella saishuensis</i> (s.l.)	NP						
<i>Oenopota kagana</i>	NP						
<i>Neptunea nikkoensis</i>	NP						
<i>Neptunea eos</i>	NP						
<i>Ranella yasumurai</i>	P				?		
<i>Umbonium akitanum</i>	P						
<i>Fusitriton izumozakiensis</i>	P						
<i>Trophonopsis uyemurai</i>	NP						
<i>Ocinebrellus ogasawarai</i>	NP						
<i>Ancistrolepis masudaensis</i>	NP						
<i>Ophiidermella ogurana</i>	NP						
<i>Mohnia yanamii</i>	P?						
<i>Tachyrynchus yanamii</i>	-						
<i>Bittium asatoi</i>	-						
<i>Lirabuccinum japonicum</i>	NP						
<i>Merica kobayashii</i>	NP						
<i>Admete murayamai</i>	-						
<i>Fulgoraria masudae</i>	NP						

図2. 大桑・万願寺動物群の腹足類特徴種の生存期間. D. A.; Datum A. La*, 幼生生態; P, プランクトン栄養型幼生; NP, 非プランクトン栄養型幼生; -, 不明

Fig. 2. Range of the characteristic gastropod species of the Omma-Manganji fauna. D. A.; Datum A. *La, larval ecology; P, planktotrophic larva; NP, non-planktotrophic larva; -, uncertain.

田層下、新潟県の黒倉層から産出している (Amano and Karasawa, 1988; 天野・佐藤, 1995; 天野ほか, 2006; 天野, 1994b)。

残りの多くの二枚貝特徴種は鮮新世後期で Datum A (2.75Ma; Sato and Kameo, 1996) 以前には確実に出現している。すなわち、*Anadara ommaensis*, *Chlamys foeda*, *Mizuhopecten poculum*, *M. yokoyamae*, *M. tokyoensis*, *Megacardita ommaensis*, *Cyclocardia myogadaniensis*, *Pseudamiantis tauyensis* である (図1)。この時期に出現した腹足類としては *Umbonium akitanum*, *Fusitriton izumozakiensis*, *Ranella yasumurai*, *Trophonopsis uyemurai*, *Ocinebrellus ogasawarai*, *Ancistrolepis masudaensis*, *Mohnia yanamii*, *Ophiidermella ogurana* がある (図2)。Datum A 以降に出現している特徴種としては、*Lirabuccinum japonicum*, *Merica kobayashii* などの腹足類のみであり、後期鮮新世前期には、ほとんどの特徴種が出現したといえる。

更新世前期末に絶滅するまで、大桑・万願寺動物群を特徴付ける日本海固有種の多様性は時代とともに増加した(天野, 2001a)。また、幼生生態を検討した 15 種の絶滅した日本海固有の腹足類のうち 11 種は移動能力に乏しい非プランクトン栄養型の幼生を持つ(図 2)。つまり、こうした種は当時の日本海のような閉鎖的な海域で、外洋域との遺伝的な交流が途絶え、種分化が生じやすかったといえる。

寒流系種の変遷

大桑・万願寺動物群中では、個体数、種数ともに寒流系種が多い。このうち、*Yoldia notabilis*, *Glycymeris yessoensis*, *Mytilus grayanus*, *Monia macroschisma*, *Felaniella usta*, *Spisula grayana*, *Megangulus zyoensis*, *Solen krusenserni*, *Ezocallista brevisiphonata*, *Mya truncata*, *Thracia kakumana*, *Cryptonatica janthostoma*, *C. clausa*, *Boreoscala greenlandica*, *Rectiplanes sanctioannis* などは中新世にも見られる種である(Hatai and Nisiyama, 1952; Masuda and Noda, 1976)。

一方、鮮新世前期には、ベーリング陸橋の崩壊(Marincovich and Gladenkov, 1999)にともない北極海・西大西洋から移動してきた Astartidae が加わった(小笠原, 1986; 天野, 1994a; Marincovich *et al.*, 2002)。Astartidae のうち、*Tridonta* 属は北海道の下部鮮新統厚賀層に最古の化石記録が知られ(Uozumi *et al.*, 1986)、日本海側を中心に分布を広げた(Amano, 2005)。

さらに、後期鮮新世の後期以降になると寒冷化に伴い、現在岩手県や北海道以北に生息している *Liocyra fluctuosa*, *Macoma middendorffi*, *Musculus niger*, *Cyclocardia crassidens*, *C. isaotakii*, *Ancistrolepis grammatus* が本州日本海側まで南下した。このうち、*Liocyra fluctuosa*, *Macoma middendorffi* はサハリンでは中新世から知られている(Zhidkova *et al.*, 1968)。*Chlamys islandicus*, *Acirsa ochotensis*, *Volutomitra alaskana* などは北海道南西部において更新世前期に出現し、親潮の成立と関連付けて議論されている(Ogasawara, 1996)。

暖流系種の産出

従来、鮮新世～更新世前期には間欠的に対馬海峡が開き、暖流系種が日本海に移入してきたとされてきた(的場, 1978; Ogasawara, 1981; 天野 *et al.*, 2000a, b; 北村・木元, 2004; Kitamura and Kimoto, 2006 など)。実際、大桑・万願寺動物群中には 1 産地あたりの個体数は少ないものの暖流系種も見られる。日本海側で後期鮮新世前期～更新世前期に普遍的に見られる種としては *Striarca symmetrica*, *Megacardita ferruginosa*, *Cycladicama cumingii*, *Mammila* spp. が挙げられる(表 2)。*Veremolpa micra* も鮮新統からは普遍的に見られる種の一つである。

最近、富山県の三田層の OT3 凝灰岩(約 4 Ma; 田村・

山崎, 2004) から MT2 凝灰岩(2.2 Ma 前後; 田村・山崎, 2004) までのほぼ全ての化石産出層準から暖流系種が産出することが判明した(天野 *et al.*, 2006)。三田層の貝化石群の産出層準からすると、少なくとも富山県の上部浅海域では 4 Ma 以降、間欠的でなく恒常的に暖流の影響がみられる。

一方、長野県の荻久層の年代は、微化石年代や上下の地層の絶対年代などから後期鮮新世前期と考えられる(本山・長森, 2006)。しかし、暖流系種はわずかに *Cycladicama cumingii*, *Solen grandis* が認められているにすぎない(天野・唐沢, 1993; 長森, 1998)。この理由として、当時の暖流の影響する深度が浅かったこと(天野 *et al.*, 2000a)、北部フォッサマグナ地域に富山湾に匹敵する大きな内湾があり(Ogasawara, 1994)、荻久保層は湾奥に堆積したため、暖流の強い影響を受けなかった可能性がある。

太平洋側の西南日本に分布する掛川動物群の特徴種である *Scalptia kurodai*, *Chicoreus totomiensis*, *Babylonia elata* などは、日本海側では後期鮮新世前期に産出が限られており、*Cypraea* sp., *Cyllene* aff. *pulchella*, *Neritina* aff. *parallela* など日本海側で更新世前期には見られないインド・西太平洋要素が後期鮮新世前期にのみ認められる。特に *Chicoreus* や *Neritina* は、現在日本海に見られない暖流系種である。3.29-2.97 Ma は汎世界的な温暖期だったことが知られており(Dowsett *et al.*, 1999; Haywood *et al.*, 2000; Haywood and Valdes, 2006)、このため現在日本海に生息しない温暖種が日本海に侵入したためと考えられる。

後期鮮新世後期の暖流系種は、後期鮮新世前期、更新世前期の種数に比べて少ないことがわかる(表 2)。また、この時代に限って見られる暖流系種も認められない。

更新世前期には、氷河性海面変動が顕著となり、温暖期には多くの暖流系種が見られる。*Glossaulax hagenoshitensis* や *Pecten byoritsuensis* は掛川動物群中に見られる絶滅種であるが、他はすべて現在も日本海に生息している種である。

中新世型残存種の絶滅

中新世に日本列島周辺で繁栄した動物群の特徴種、9 種 1 亜種の温帯性浅海性種が日本海側では鮮新世まで生き残った。このうち、*Neogenella hokkaidoensis* は下部峠下動物群(Amano, 1983, 1986)の特徴種であるが、長野県の下部鮮新統下層より認められている。また、*Glossaulax didyma coticaeze*, *Kaneharaia ausiensis*, *Protothaca tateiwai*, “*Dinocardium*” *angustum* などは塩原型動物群(鎮西, 1963)の特徴種である。これらの種に、*Chlamys ingeniosa tanakai*, *Mizuhopecten yamasakii*, *M. tryblum*, *Thracia kamayashikiensis*, *T. higasinodonoensis* などを含めた中新世型残存種は、Datum A より上位の層準には認められないため、寒冷化により絶滅したと考えられている(天

表2. 大桑・万願寺動物群中に見られる暖流系種.
Table 2. Warm-water species found in the Omma-Manganji fauna.

Species	Age Formation	early late Pliocene			late late Pliocene		early Pleistocene			
		Mita	Kuwae	Tentokuji	Nadachi	Sasaoka	Omma	Kota	Sawane	Haizume
<i>Acila divaricata</i>		+	+	+			+			
<i>Striarca symmetrica</i>		+	+	+					+	+
<i>Megacardita ferruginosa</i>		+	+	+	+			+	+	+
<i>Mammila</i> spp.		+	+	+	+		+			
<i>Leucotina</i> spp.		+	+	+			+			
<i>Glossaulax vesicalis</i>				cf.	+		+			
<i>Sydaphera spengleriana</i>				+			+			
<i>Cycladicama cumingii</i>				+		+	+			
<i>Emarginula</i> spp.		+	+						+	
<i>Limatula kurodai</i>		+	+				+	+		
<i>Glycymeris munda</i>			+		+				+	
<i>Limaria basilanica</i>			+							+
<i>Nemocardium samarangae</i>			+				+	+	+	
<i>Astralium haematragum</i>			+					+		
<i>Glossaulax reiniana</i>			+				+			
<i>Siphonalia</i> spp.		+	+			+	+	+	+	+
<i>Mirella lishchkei</i>			+				+			
<i>Clementia</i> spp.		+				+	+			
<i>Tugurium exutum</i>		+				+	+			
<i>Cypraea</i> sp.				+						
<i>Scalptia kurodai</i>				+						
<i>Cyllene</i> aff. <i>pulchella</i>				+						
<i>Cantharus</i> spp.		+	+							
<i>Neritina</i> aff. <i>parallela</i>			+							
<i>Chicoreus totomiensis</i>			+							
<i>Placamen tiara</i>		+								
<i>Babylonia elata</i>		+								
<i>Veremolpa micra</i>		+		+	+					
<i>Paphia</i> spp.						+		+		
<i>Acar plicata</i>							+			+
<i>Mitrella anachisoides</i>							+	+		+
<i>Spondylus cruentus</i>							+			
<i>Doxander japonicus</i>							+		+	
<i>Cryptopecten vesiculosus</i>								+	+	
<i>Glossaulax hagenoshitensis</i>							+	+		
<i>Saccella sematensis</i>							+	+		
<i>Zeuxis caelatus</i>							+	+		
<i>Fusinus tuberosus</i>								+		
<i>Oxyperas bernardi</i>								+		
<i>Periploma nakamigawai</i>								+		
<i>Thracia granulosa</i>								+		
<i>Pecten byoritsuensis</i>							+			
<i>Crithe comatago</i>							+			
<i>Endemoconus sieboldi</i>							+			
<i>Punctoterebra lishckeana</i>							+			

野, 2001a). しかし, 最近の検討により “*Dinocardium angustum*” は, 秋田県の笹岡層層や富山県の三田層上部など上部鮮新統からも産出が認められ, Datum A の寒冷化を生きのびたことが明らかとなった. ただし, 下部更新統からは知られていない.

特徴種の絶滅と個体群の消滅

大桑・万願寺動物群中の浅海性特徴種は, *Mizuhopecten tokyoensis*, *Mohmia yanamii* を除き更新世前期末に絶滅したと考えられる. その根拠の一つとして, 模式地である金沢市の大桑層上部の貝化石群が挙げられる. すなわち, 大桑層上部のサイクルIの堆積相1からは大桑・万願寺動物群の特徴種が産出するが, サイクルIIの基底層で一旦陸化し, その上位の堆積相1の下部からは大桑・万願寺動物群の特徴種を含まない暖流系種を多く含む貝化石群が見られる(北村, 1994). この暖流系種主体の貝化石

群は, MIS (Marine Isotope Stage, 海洋酸素同位体ステージ) 22~20 (0.9~0.8 Ma) に対比され, 新期大桑動物群と呼ばれている (Ogasawara, 1981; Kitamura and Kawagoe, 2006). この動物群中に含まれる絶滅種は *Anadara pseudosubcrenata* のみであるが, 本種の産出は模式地にも限られている. また, この動物群は鳥取県境港市沖に生息する貝類群集 (Ogasawara, 1981) や, 新潟県上越市の海岸に打ち上げられている貝類の組成 (天野, 2001b) に類似している. さらに, 堆積相1の上部からは, *Acila insignis*, *Glycymeris yessoensis*, *Spisula sachalinensis*, *Megangulus zyonoensis*, *Securella stimpsoni* などの寒流系種主体の貝類群が認められているが, 大桑・万願寺動物群の特徴種は認められない (北村, 1994; 北村, 2000).

なお, 北海道南西部では, *Profulvia kurodai*, *Pseudamiantis tauyensis*, *Lirabuccinum japonicum* などが0.6 Maまで認められるとされている (Suzuki and Akamatsu, 1994). しかし, 0.6 Maの根拠は主としてフィッシュトラック法など絶

対年代に基づくものであり、今後微化石年代について詳細に検討する必要がある。

一方、下部浅海帯以深に生息する種の化石および現生種の分布から、現在では北太平洋、オホーツク海、ベーリング海に生息している腹足類 Buccinidae の 9 種、*Calypptogena pacifica*, *Bathymalletia* 属などの日本海の個体群もほぼ同時期に消滅したと考えられる。これらの特徴種の絶滅や日本海における個体群の消滅要因は、氷期における日本海の閉鎖化にともなう表層部の汽水化、深層部の強還元環境化が原因として考えられている。他方、氷期であっても水深 100~400 m の間に有酸素の海水が存在し、*Portlandia toyamaensis*, *Buccinum tsubai*, *B. striatissimum* はこの水深で氷期の環境悪化を生き残った(天野, 2001a; Amano, 2004)。このうち、*Buccinum tsubai* の現生標本についてミトコンドリア 16SrRNA および COI 遺伝子を検討した結果、日本海において 4 つの地域的個体群に別れ、形態的にも異なること、分化した時期が 0.42~1.46 Ma と見積もられることが明らかとなった(Iguchi *et al.*, 2004, 2005, 2007)。一方、日本海側に化石記録のない *Neptunea constricta* のミトコンドリア COI 遺伝子では *B. tsubai* と同所的に産出する個体間での日本海側での地域差は不明瞭であり、*B. tsubai* よりも新しい時期に日本海へ侵入したためと考えられている(Iguchi *et al.*, 2007)。以上の分子生物学的な結果から、*B. tsubai* が日本海において氷河期を生き延びたことを強く示唆している。

おわりに

大桑・万願寺動物群の変遷過程について以下のことが明らかになった。(1) 主な特徴種は、東北日本脊梁山脈の隆起にともない日本海が半閉鎖的となった鮮新世前期以降に出現し、鮮新世後期にかけて種数が増加し、更新世前期まではほとんど絶滅しなかった。(2) 暖流の流入は、後期鮮新世前期以降恒常的にみられ、特に後期鮮新世前期には現在日本海に生息しない暖流系種が見られる。また、暖流の流入により絶滅した種は認められない。(3) 後期鮮新世後期の寒冷化により、現在岩手県や北海道以北に生息する種が本州中部域まで南下した。また、この時期に中新世型残種がほとんど絶滅した。(4) 0.9~0.8 Ma 前後に多くの大桑・万願寺動物群の特徴種が絶滅するとともに、現在オホーツク海や北太平洋の下部浅海帯以深に生息する現生種の日本海側の個体群が消滅した。これは氷期における表層部の汽水化、深層部の強還元環境化による。

しかし、暖流の流入の生態学的な影響の詳細については不明である。また、1 部の大桑・万願寺動物群特徴種 *Profulvia kurodai*, *Pseudamiantis tauyensis*, *Lirabuccinum japonicum* は 0.9~0.8 Ma 以降の氷期に絶滅した可能性もあり、今後のより詳細な検討が必要である。

謝辞

本論文の粗稿を読んでいただき、適切なコメントをいただいた静岡大学の北村晃寿博士、延原尊美博士に感謝する。

文献

- Amano, K., 1983. Paleontological study of the Miocene Togeshita molluscan fauna in the Rumoi district, Hokkaido. *Science Reports of the Institute of Geoscience, University of Tsukuba, Section B*, **4**, 1-72.
- Amano, K., 1986. Age and characteristics of the so-called "Atsunai-Togeshita fauna" in Hokkaido. *Palaeontological Society of Japan, Special Paper*, (29), 187-198.
- 天野和孝, 1994a. 信越地域の鮮新統および下部更新統産 Astartidae (二枚貝). 上越教育大学研究紀要, **14**, 241-248.
- 天野和孝, 1994b. 新潟県松之山町の鮮新統産貝化石群と古環境. 地学雑誌, **103**, 653-673.
- 天野和孝, 2001a. 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, **53**, 178-184.
- 天野和孝, 2001b. 古環境を実感させる教材の開発 - 現生および化石貝類の比較を通じて -. 地学教育, **54**, 225-236.
- Amano, K., 2004. Biogeography and the Pleistocene extinction of neogastropods in the Japan Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **202**, 245-252.
- Amano, K., 2005. 6 Migration and adaptation of late Cenozoic cold-water molluscs in the North Pacific. In Elewa, A. M., ed., *Migration of organisms, Climate · Geography · Ecology*, 127-150. Springer-Verlag, Berlin, Heiderberg.
- Amano, K., 2006. *Trophonopsis* Bucquoy, Dautzenberg and Dollfus, 1882 (Gastropoda, Muricidae) from the Plio-Pleistocene deposits in Japan. *Paleontological Research*, **10**, 163-176.
- 天野和孝・葉室麻吹・佐藤時幸, 2006. 富山市八尾町周辺の鮮新統三田層産軟体動物群. 日本古生物学会 2006 年年会講演予稿集, 25.
- 天野和孝・菅野三郎, 1991. 新潟県上越市西部の鮮新世貝化石群集の構成と構造. 化石, (51), 1-14.
- Amano, K. and Kanno, S., 2005. *Calypptogena* (Bivalvia: Vesicomidae) from Neogene strata in the Joetsu District, Niigata Prefecture, Central Japan. *Veliger*, **47**, 202-212.
- 天野和孝・菅野三郎・市川敦子・柳沢幸夫, 1987. 上越市西部の谷浜層産軟体動物群 - 新潟県上越地域西部の軟体動物化石の研究 (その 2). 上越教育大学研究紀要, **6**, 157-170.
- 天野和孝・菅野三郎・永井浩・佐々部典子・伴浩光, 1990. 上越市西部の川詰層産軟体動物群 - 新潟県上越地域西部の軟体動物化石の研究 (その 5). 上越教育大学研究紀要, **9**, 67-75.
- Amano, K. and Karasawa, S., 1988. *Yabepecten* and *Pseudamiantis* from the Shigarami Formation in Nagano Prefecture, Central Japan. *Saito Ho-on Kai, Special Publication*, **2**, 507-517.
- 天野和孝・唐沢茂, 1993. 長野県北部に分布する鮮新統荻久保層の貝化石群と古環境. 地学雑誌, **102**, 572-582.
- 天野和孝・小池かおり, 1993. 長野県長野市西部の中新統小川層産貝化石群. 上越教育大学研究紀要, **13**, 287-300.
- Amano, K. and Lutaenko, K. A., 2004. New fossil and Recent *Limopsis* (Bivalvia) from the northwestern Pacific. *Veliger*, **47**, 13-20.
- 天野和孝・佐藤春樹, 1995. 内湾性貝化石群集と残存種の関係 - 長野県北部の鮮新統城下層産貝化石群. 化石, (59), 1-13.
- 天野和孝・佐藤時幸・小池高司, 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 -. 地質学雑誌, **106**, 883-894.
- 天野和孝・鈴木政憲・佐藤時幸, 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 -. 地質学雑誌, **106**, 299-306.

- Amano, K. and Vermeij, G. J., 2003. Evolutionary adaptation and geographic spread of the Cenozoic buccinid genus *Lirabuccinum* in the North Pacific. *Journal of Paleontology*, **77**, 863-872.
- 鎮西清高, 1963. 東北日本の新第三紀貝化石群集の変遷. 化石, (5), 20-26.
- Chinzei, K., 1978. Neogene molluscan faunas in the Japanese Islands: An ecologic and zoogeographic synthesis. *Veliger*, **21**, 155-170.
- Chinzei, K., 1986. Faunal succession and geographic distribution of Neogene molluscan faunas in Japan. *Palaeontological Society of Japan, Special Paper*, (29), 187-198.
- Crowley, T. J. and North, G.R., 1991. *Paleoclimatology*. 339p., Oxford University Press, New York.
- Dowsett, H. J., Barron, J. A., Poore, R. Z., Thompson, R. S., Cronin, T. M., Ishman, S. E. and Willard, D. A., 1999. Middle Pliocene paleoenvironmental reconstruction: PRISM2. *USGS Open File Report*, 99-535. (<http://pubs.usgs.gov/openfile/of99-535>).
- 遠藤一佳, 1986. 佐渡の沢根層における暖流系動物群の産状と意義. 地質学雑誌, **92**, 77-80.
- 遠藤満久・天野和孝・柳沢幸夫, 2005. 新潟県糸魚川市海川周辺地域に分布する鮮新統産軟体動物化石群集と古環境. 地質調査所報告, **56**, 411-424.
- Hatai, K., Masuda, K. and Suzuki, Y., 1961. A note on the Pliocene megafossil fauna from the Shimokita Peninsula, Aomori Prefecture, Northeast Honshu, Japan. *Saito Ho-on Kai Museum, Research Bulletin*, **30**, 18-38.
- Hatai, K. and Nisiyama, S., 1952. Check list of Japanese Tertiary marine Mollusca. *Science Reports of the Tohoku University, 2nd Series, Special Volume*, (3), 1-464.
- Haywood, A. M. and Valdes, P. J., 2006. Vegetation cover in a warm world simulated using a dynamic global vegetation model for the Mid-Pliocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **237**, 412-427.
- Haywood, A. M., Valdes, P. J. and Sellwood, B. W. 2000. Global scale paleoclimate reconstruction of the Middle Pliocene climate using the UKMO GCM: initial results. *Global and Planetary Change*, **25**, 239-256.
- Iguchi, A., Ito, H., Ueno, M., Maeda, T., Minami, T. and Hayashi, I., 2005. Morphological analysis of a deep-sea whelk *Buccinum tsubai* in the Sea of Japan. *Fisheries Science*, **71**, 823-828.
- Iguchi, A., Takai, S., Ueno, M., Maeda, T., Minami, T. and Hayashi, I., 2007. Comparative analysis on the genetic population structure of the deep-sea whelks *Buccinum tsubai* and *Neptunea constricta* in the Sea of Japan. *Marine Biology*, **151**, 31-39.
- Iguchi, A., Ueno, M., Maeda, T., Minami, T. and Hayashi, I., 2004. Genetic population structure of the deep-sea whelk *Buccinum tsubai* in the Sea of Japan. *Fisheries Science*, **70**, 569-572.
- Iwai, T., 1965. The geological and paleontological studies in the marginal area of the Tsugaru basin, Aomori Prefecture, Japan. *Bulletin of the Educational Faculty of Hirosaki University*, **15**, 1-68.
- 菅野三郎・野田浩司・天野和孝・間嶋隆一・伊藤慎, 1980. 北海道天塩町周辺の地質及び古生物概報 その1. 北方科学調査報告, (1), 5-21.
- Kaseno, Y. and Matsuura, N., 1965. Pliocene shells from the Omma Formation around Kanazawa City, Japan. *Science Report of Kanazawa University*, **10**, 27-62.
- 北村晃寿, 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. 地質学雑誌, **100**, 465-478.
- 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. *Quaternary Science Reviews*, **25**, 323-335.
- 北村晃寿・木元克典, 2004. 3.9 Ma から 1.0 Ma の日本海の南方海峡の変遷史. 第四紀研究, **43**, 417-434.
- Kitamura, A. and 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.
- 北村栄一, 2000. 模式地における更新統大桑層“上部”の貝化石群と古環境. 69p., 上越教育大学修士論文.
- 小林巖雄・八幡とも子・杉本静子・伊豫田成子, 1986. 新潟県西山油帯における灰爪累層の軟体動物化石群. 瑞浪市化石博物館専報, (6), 105-118.
- Marincovich, L. Jr. and Gladenkov, A. Yu., 1999. Evidence for an early opening of the Bering Strait. *Nature*, **397**, 149-151.
- Marincovich, L. Jr., Barinov, K. B. and Oleinik, A. E., 2002. The *Astarte* (Bivalvia: Astartidae) that document the earliest opening of Bering Strait. *Journal of Paleontology*, **76**, 239-245.
- Masuda, K. and Noda, H., 1976: Check list and bibliography of the Tertiary and Quaternary Mollusca of Japan, 1950-1974. *Saito Ho-on Kai, Special Publication*, **1**, 1-494.
- 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・大森編, 軟体動物の研究 (大森昌衛教授還暦記念論文集), 223-249.
- 的場保望, 1978. 底棲および浮遊性有孔虫からみた日本海古環境の変遷. 月刊海洋科学, **10**, 269-277.
- 松浦信臣, 1996. 金沢地域の大桑層産大型無脊椎動物化石リストー貝類・ウニ類・腕足類・フジツボ類ー. 北陸地質研究所報告, (5), 41-53.
- 水野敏明・天野和孝, 1988. 上越市の居多層産軟体動物群 - 新潟県上越地域西部の軟体動物化石の研究 (その4). 瑞浪市化石博物館研究報告, (14), 73-88.
- 本山功・長森英明, 2006. 長野県北信地域の鮮新統より産出した放散虫化石. 地質学雑誌, **112**, 541-548.
- 長森英明, 1998. 長野県北信地域に分布する鮮新統の軟体動物化石群集と古環境. 地球科学, **52**, 5-25.
- Nomura, S. and Hatai, K., 1935. Pliocene Mollusca from the Daisyaka Shell-beds in the vicinity of Daisyaka, Aomori-ken, Northeast Honshu, Japan. *Saito Ho-on Kai Museum, Research Bulletin*, (6), 151-192.
- Ogasawara, K., 1977. Paleontological analysis of Omma fauna from Toyama-Ishikawa area, Hokuriku Province. *Science Reports of Tohoku University, 2nd Series*, **47**, 43-156.
- Ogasawara, K., 1981. Paleogeographic significance of the Omma-Manganzian fauna of the Japan Sea Borderland. *Saito Ho-on Kai Museum of Natural History, Research Bulletin*, (49), 1-17.
- 小笠原憲四郎, 1986. 北太平洋地域の新生代後期における "*Astarte*" 属の古環境特性. 瑞浪市化石博物館専報, (6), 183-198.
- Ogasawara, K., 1986. Notes on origin and migration of the Omma-Manganzian fauna, Japan. *Palaeontological Society of Japan, Special Paper*, (29), 227-244.
- Ogasawara, K., 1994. Neogene paleogeography and marine climate of the Japanese Islands based on shallow marine molluscs. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **108**, 335-351.
- Ogasawara, K., 1996. Notes on adaptational process of cold-water molluscs on the basis of Japanese Cenozoic molluscan records. *Supplemento agli Annali dei Musei Civici di Roverto Sezione Archeologia, Storia e Scienze Naturali*, **11**, 277-286.
- 小笠原憲四郎, 1996. 大桑・万願寺動物群の古生物地理学的意義. 北陸地質研究所報告, (5), 245-262.
- 小笠原憲四郎・増田孝一郎・的場保望編, 1986. 秋田油田新第三系・第四系貝類化石図鑑. 310p., 高安泰助教授退官記念会, 秋田.
- Ogasawara, K. and Naito, K., 1983. The Omma-Manganzian molluscan fauna from Akumi-gun, Yamagata Prefecture, Japan. *Saito Ho-on Kai Museum, Research Bulletin*, (51), 41-61.
- 大森昌衛, 1977. いわゆる沢根層産の貝化石群 — とくに, イタヤガイ科 (Pectinidae) について —. 佐渡博物館研究報告, (7), 63-76.
- Otuka, Y., 1939. Mollusca from Cainozoic System of eastern Aomori Prefecture. *Journal of Geological Society of Japan*, **44**, 23-31.
- 坂上澄夫・高野尚・佐々木昭雄・西陰敏夫・市戸靖二・尾関俊介・篠原弘・田中隆一・下川部英明・高橋靖志・高下慶雄・林俊彦, 1966. 北海道渡島半島上磯付近の富川層の化石について. I. 軟

- 体動物その他. 北海道教育大学紀要 (第二部 B), (17), 78-93.
- 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. 秋田北部に分布する上部鮮新統～更新統最下部の石灰質ナンノ化石層序—後期鮮新世古海洋変動と関連して—. 地質学雑誌, **109**, 280-292.
- Sato, T. and Kameo, K., 1996. Pliocene to Quaternary calcareous nannofossil biostratigraphy of the Arctic Ocean, with reference to Late Pliocene glaciation. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **151**, 39-59.
- 島本昌憲, 1984. 秋田市北方の新第三系笹岡層の貝化石群集と堆積環境. 東北大学理学部地質学古生物学教室研究邦文報告, (86), 1-31.
- 鈴木明彦, 1989. 西南北海道黒松内地域の瀬棚層の貝類化石群. 地球科学, **43**, 277-289.
- 鈴木明彦, 1991. 西南北海道美利河—花石地域の瀬棚層の堆積環境. 地質学雑誌, **97**, 329-344.
- Suzuki, A. and Akamatsu, M., 1994. Post-Miocene cold-water molluscan faunas from Hokkaido, northern Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **108**, 353-367.
- 高安泰助, 1962. 秋田県男鹿半島の北浦層・脇本層産動物化石群について—秋田油田における新生代動物化石の研究 (その3). 秋田大学地下資源研究報告, (27), 43-47.
- Takayasu, T., 1962. Molluscan fossils from the Shibikawa Formation in the Oga Peninsula, Akita Prefecture, Japan—Study of the Cenozoic fauna in the Akita oil field, pt. 2. *Journal of the Mining College, Akita University, Series A*, **2**, 1-19.
- 田村糸子・山崎晴雄, 2004. 北陸層群のテフロクロノロジー—テフラ層序および広域テフラとの対比に基づく北陸層群の堆積年代—. 地質学雑誌, **110**, 417-436.
- Uozumi, S., Akamatsu, M. and Takagi, T., 1986. Takikawa-Honbetsu and Tatsunokuchi faunas (*Fortipecten takahashii*-bearing Pliocene faunas). *Palaeontological Society of Japan, Special Paper*, (29), 209-226.
- 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. 地質調査研究報告, **54**, 63-93.
- Zhidkova, L. S., Kuzina, I. N., Lautenschleger, F. G., and Popova, L. A., 1968. *Atlas of molluscs from the Upper Miocene and Pliocene in Sakhalin*. 179p., Academy of Sciences, USSR, Siberian Section,

