

[特集] 新生代軟体動物古生物学の最近の進展と課題

日本海側における鮮新世の軟体動物群と古海況

天 野 和 孝

日本海側における鮮新世の上部浅海性軟体動物群の特徴として、前期には中新世型の残存種を含むこと、後期には初めて暖流系種が認められること、Datum Aより上位からは中新世型の残存種は産出せず、新たな寒流系種が産出することがあげられる。これらは、汎世界的な“中期”の温暖化、後期の寒冷化に伴う日本海の古海況の変化で説明できる。また、下部浅海以深の軟体動物群中には絶滅種および現在日本海には生息しない種が多く見出される。これらの種、個体群の絶滅は、更新世中期以降の低海水準期における古環境の悪化による。

キーワード: 日本海, 鮮新世, 軟体動物, 古海況

1. はじめに

古海洋変動、特に氷河性海面変動が閉鎖的な海域における軟体動物群の絶滅要因や変遷の原因となることが示唆されている (VALENTINE & JABLONSKI 1991, BOUCHET & TAVIANI 1992)。日本海は世界的にみても地質学的・古生物学的に詳細に研究されている縁海の1つである。この日本海は鮮新世には閉鎖的な海域となり (たとえば, CHINZEI 1978)、鮮新世～更新世前期にかけて大桑・万願寺動物群 (OTUKA 1939a, 増田・小笠原 1981) の生息する日本海形成後最初で最後の独立した海洋生物地理区となった (小笠原 1996)。一方、鮮新世後期の初期 (鮮新世“中期”) には汎世界的な温暖期、その後北半球の氷床の発達に伴う寒冷化、氷期・間氷期サイクルの開始があったことが知られている (CROWLEY & NORTH 1991)。したがって、鮮新世の日本海の古海洋変動と軟体動物の変遷との関係を詳細に検討することは、縁海における古海洋変動と軟体動物群の絶滅や変遷

の原因の関係を追及するうえで重要であると考えられる。

しかしながら、これまでに鮮新世における日本海の軟体動物群と古海洋変動の関係について、OGASAWARA (1981, 1994)、天野ほか (2000a, b) による鮮新世“中期”の温暖化と軟体動物群の関係や小笠原 (1996) による大桑・万願寺動物群の起源と消滅に関する概略的なまとめがあるのみである。そこで、本論文では鮮新世における軟体動物群の詳細な変遷と古海況の変遷について検討し、それらの関係について総括することを目的とした。

2. 対象と方法

富山県から北海道までの日本海側における鮮新統より産出する軟体動物化石を検討した (図1)。このうち、新潟県上越市西部、新発田市、秋田県太平山周辺の鮮新統の年代は微化石による (天野・菅野 1991, 天野ほか 2000a, b)。また、富山県の三田層、新潟県松之山の鮮新統についてはFT法、長野市西部の鮮新統についてはK-Ar, FT法によって年代が求められている (天野 1994a, 天野・唐沢 1993, 天野・佐藤 1995)。天北の勇知層の年代については福沢 (1985) に従い鮮新世後期としたが、秋葉 (1999) による更新統であるとの指摘もあり、今後の検討を要する。

AMANO Kazutaka: Pliocene molluscan fauna of Japan
Sea borderland and the paleoceanographic
conditions

〒943-8512 上越市山屋敷町1番地
上越教育大学自然系

E-mail: amano@juen.ac.jp

時代		NPD	N. F.	八尾	長野市西部	上越市西部	松之山	新発田	出羽丘陵	秋田	天北
2	更新世	11									
		10	NN19								
3	鮮新世後期	9	NN18 NN17	猿丸層	谷浜層	有倉山層 池ノ沢川層			笹岡層		?
		8	NN16	?	名立層	東川層		上部	観音寺層	天徳寺層	勇知層
4	鮮新世前期		NN15 NN14	三田層	荻久保層	川詰層		中部			
		7B	NN13		荒倉山層/ 城下層			下部			
5	中新世		NN12 NN11			能生谷層	黒倉層				

図1 日本海側の鮮新統対比図。

軟体動物群については、海況の変化を受けやすい上部浅海域の種群と主として下部浅海域に深に生息する種群を分けて検討した。上部浅海域の種群については、まず上記の対比表に基づき大桑・万願寺動物群特徴種と中新世型残存種の生存期間を求めた。その際に、鮮新世後期の寒冷化が開始された時期を石灰質ナノ化石の Datum A (D. A, 2.75Ma, SATO & KAMEO 1996, 佐藤ほか 1999) として、生存期間との関連を検討した。次に、軟体動物群中の現生種について、HIGO *et al.* (1999) に基づき、太平洋側で銚子以北に生息する種を寒流系種、以南に生息する種を暖流系種とし、それぞれの種数比、分布から当時の古海況を考察した。下部浅海域に深の種群については特に鮮新世～更新世前期の北方系エゾバイ科 Buccinidae の分布様式を総括し、古海洋変動との関係を考察した。

3. 大桑・万願寺動物群と中新世型残存種

大桑・万願寺動物群を特徴づける絶滅種はすでに中新世後期から出現している(図2)。たとえば、シガラミサルボウ *Anadara amicula* (YOKOYAMA) やサイシュウキリガイダマシ類 *Turritella saishuensis* (YOKOYAMA) (s. l.) は長野県北部の小川層から報告されている(天野・小

池 1993)。ヤベホタテガイ *Yabepecten tokunagai* (YOKOYAMA)、クロダトリガイ *Profulvia kurodai* (SAWADA)、タウエヌノメハマグリ *Pseudamiantis tauyensis* (YOKOYAMA) は絶滅属・種であるが、すでに鮮新世前期には長野県北部の荒倉山層や荻久保層から産出が知られている(AMANO & KARASAWA 1988, AMANO & TANAKA 1992)。一方、オンマサルボウ *Anadara ommaensis* OTUKA、ヨコヤマホタテガイ *Mizuhopecten yokoyamae* (MASUDA)、カズウネホタテガイ *M. poculum* (YOKOYAMA)、ミョウガダニフミガイ *Cyclocardia myogadaniensis* (ITOIGAWA)、アキタキサゴ *Umbonium akitanum* (SUZUKI)、サワネイソニナ *Lirabuccinum japonicum* (YOKOYAMA) などは鮮新世後期から産出する。出現時期については若干の時差が生じているが、鮮新世に絶滅した種はなく、一方的に増加している事が重要である。

中新世型の残存種について、鮮新世前期の長野県北部の城下層には *Neogenella hokkaidoensis* (NOMURA) や *Kaneharaia ausiensis* (ILYINA) など北海道の中新世中期の下部峠下動物群(AMANO 1983)の特徴種が産出している(天野・佐藤 1995, 図3)。

また, “*Dinocardium*” *angustum* (YOKOYAMA) や *Protothaca tateiwai* (MAKIYAMA) は中新世中期から後期の塩原型動物群 (鎮西 1963) の特徴種であるが, これらは鮮新世後期で Datum A より下位の秋田県天徳寺層からも知られている (天野ほか 2000b). しかしながら, Datum A より上位の上部鮮新統, たとえば秋田県の笹岡層などからはこうした中新世型残存種は認められていない.

4. 暖流系種と寒流系種

長野県北部の下部鮮新統からは多くの寒流系種が産出している (図 4). 城下層から産出した現生種 25 種のうち, 64 % は寒流系種で, 暖流系種

は認められない. 寒流系種のうち, 長野県北部の荒倉山層から産出しているアラスカシラオガイ *Tridonta alaskensis* (DALL) は日本海側では最古の記録である. また, 絶滅種であるが, 荒倉山層から産出している *Yabepecten tokunagai* は日本海側最古の記録であり, *Yabepecten* 属も北太平洋に起源があると考えられている (魚住ほか 1986, AMANO & KARASAWA 1988). 長野県北部の荻久保層基底部付近から産出し, AMANO & KARASAWA (1986) により新亜種として記載された *Chlamys lioica shigaramiensis* も祖先的亜種がカムチャツカ, アラスカの中新統や鮮新統から報告されている (AMANO 1994).

鮮新世後期の初期 (鮮新世 “中期”) の上部浅

種名	時代	中新世後期	鮮新世前期	鮮新世後期	
				~D. A	D. A~
<i>Anadara amacula</i>					
<i>Chlamys cosibensis</i>					
<i>Turritella saishuensis</i> (s.l.)					
<i>Yabepecten tokunagai</i>					
<i>Profulvia kurodai</i>					
<i>Phacosoma tomikawensis</i>					
<i>Pseudamiantis tauyensis</i>					
<i>Chlamys tanassevitchi</i>					
<i>C. foeda</i>					
<i>Anadara ommaensis</i>					
<i>Mizuhopecten yokoyamae</i>					
<i>M. poculum</i>					
<i>Cyclocardia myogadaniensis</i>					
<i>Umbonium akitanum</i>					
<i>Lirabuccinum japonicum</i>					

図 2 大桑・万願寺動物群特徴種の生存期間

D. A= Datum A

種名	時代	鮮新世前期	鮮新世後期	
			~D. A	D. A~
<i>Neogenella hokkaidoensis</i>				
<i>Kaneharaia ausiensis</i>				
<i>Glossaulax didyma coticaeze</i>				
<i>Chlamys ingeniosa tanakai</i>				
<i>Mizuhopecten yamasakii</i>				
<i>Thracia kamayashikiensis</i>				
<i>T. higashinodonoensis</i>				
" <i>Dinocardium</i> " <i>angustum</i>				
<i>Protothaca tateiwai</i>				

図 3 中新世型残存種の生存期間.

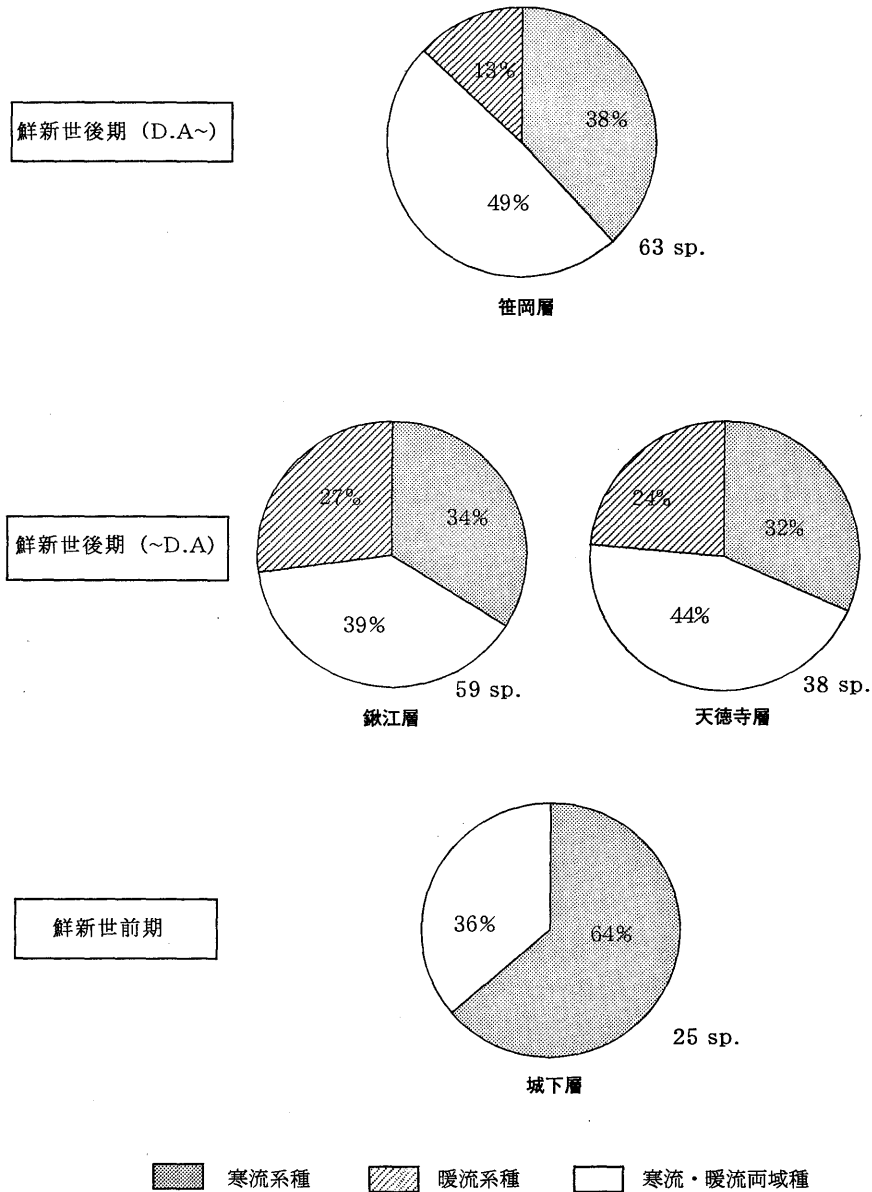


図4 暖流・寒流系種の種数比。城下層は天野・佐藤 (1995)、天徳寺層、鉾江層は天野 (2000a, b)、笹岡層は島本 (1984) による。

海性種中には、多くの寒流系種、大桑・万願寺動物群の特徴種にともなって暖流系種が認められるようになる。秋田県協和町为天徳寺層、新潟県新発田市の鉾江層中部～上部からはそれぞれ21種、35種の暖流系種が産出し、天徳寺層のLoc. 21 (天野ほか2000b)、鉾江層のLoc. 2 (天野ほか2000a) では寒流系種32%、34%であるのに対

し、暖流系種も24%、27%を占めている。また、天徳寺層からはクロダオリイレボラ *Scalptia kurodai* (MAKIYAMA)、鉾江層からはエンシュウガンゼキ *Chicoreus totomiensis* (MAKIYAMA) などの西南日本太平洋側の鮮新統から下部更新統に特徴的な掛川動物群 (OTUKA 1939b) の絶滅種が認められる。さらに、鉾江層から産出するカバグ

チカノコ属 *Neritina*, テングガイ属 *Chicoreus* はインド・西太平洋要素で、現在日本海にはほとんど生息していない (天野ほか 2000a, b).

鮮新世後期の Datum A より上位の笹岡層中の暖

流系種は下位の天徳寺層に比べて減少し (図 4), 笹岡層からはそれ以前には見られなかった寒流系種が出現する。たとえば笹岡層からはセイタカシラトリ *Macoma middendorffi* DALL, カガミマルフミガイ *Cyclocardia crassidens* (BRODERIP & SOWERBY) などのオホーツク・ベーリング要素や北海道北部に生息する *Felaniella ohtai* KASE & MIYAUCHI が見出されている (小笠原ほか 1986, KASE *et al.* 1996). 特に, 小笠原ら (1986) が報告した *M. middendorffi* の産地は佐藤ら (1999) の五城目ルートの SR-7 に相当し, Datum A の直上付近である (佐藤, 私信) ことは注目に値する。

5. 下部浅海帯以深の軟体動物の分布様式

鮮新世～更新世前期の下部浅海帯以深に特徴的な北方系エゾバイ科, 特に, 化石として産出するワダチバイ亜科 *Ancistrolepidinae*, エゾボラ属 *Neptunea*, エゾバイ属 *Buccinum* の分布様式について総括した。このうち, ワダチバイ亜科については AMANO *et al.* (1996), エゾボラ属については AMANO (1997) によってまとめられ, エゾバイ属の詳細については AMANO & WATANABE (2001) によってまとめられている。分布様式は表 1 のように 6 つのタイプに分類できる。ここで重要なことは化石が日本海側のみに分布し, 現在日本海には生息していない Fj, A タイプの種群が 20 種と 36 種中 56% を占めることである。たとえば, マスダネジヌキボラ *Ancistrolepis masudaensis* NOMURA, ムカシエゾボラ *Neptunea eos* (KURODA), ニッコウコガタエゾボラ *N. nikkoensis* (NOMURA) は日本海側の鮮新統～下部更新統から比較的多産する絶滅種であり, Fj タイプに属する。また, キタノモロノバイ *Clinopegma borealis* TIBA, ヤセエゾボラ *Neptunea insularis* (DALL), フジイロ

表1 鮮新統～下部更新統産北方系エゾバイ科の分布様式と種数

分布様式	化石	現生種	種数
Fj type	日本海側	(絶滅種)	11
A type	日本海側	北太平洋～ベーリング海	9
B type	日本海側	北太平洋～ベーリング海・日本海北部	5
E type	日本海側	日本海	2
C type	太平洋側・日本海側	太平洋・日本海	3
D type	太平洋側	太平洋	6

エゾボラ *N. vinosa* (DALL), ロジウムバイ *Buccinum rhodium* DALL, ヒトカドエゾバイ *B. unuscarinatum* TIBA などは A タイプの代表的な種で, 現在日本海には生息しておらず, 北太平洋, オホーツク海, ベーリング海に生息している。

北方系エゾバイ科以外でも化学合成群集の構成種, ワタゾコウリガイ *Calyptogena pacifica* Dall は中新世後期から更新世中期まで日本海に生息したが, 現在は日本海に生息しておらず, 北方系エゾバイ科の A タイプの種と同様オホーツク海, ベーリング海の漸深海域に生息する (KANNO *et al.* 1989). さらに, 堆積物食二枚貝であるスミゾメソデガイ属 *Bathymalletia* も新潟県上越市の名立層から産出する (天野・菅野 1991) が, 現在は日本海に生息していない。

一方, これまで太平洋側に化石記録が限られ絶滅種とされてきたヨコヤマエゾボラ *Neptunea kanagawaensis* MASUDA & NODA は加藤 (1993) によれば現在も生息しているとされており, 最近スミス列岩沖産の現生標本が著者により確認されたため, D タイプに含められる。したがって, 太平洋側に化石記録の限られる種には絶滅種がないことになり, 上述した日本海側に化石記録が限られる種とは対照的である。

6. 軟体動物群の特徴と古海況

これまでに述べてきた鮮新世の軟体動物群の特徴をまとめると, (1) 鮮新世を通じて大桑・万願寺動物群の特徴種は増加している。(2) 鮮新世前期の上部浅海性動物群中には暖流系種が認められず, 中新世型の残存種を含む。(3) 鮮新世後期の上部浅海性動物群中には暖流系種が認められる。また, Datum A より上位の層準からは中新世型の残存種は見られず, 新たな寒流系種が見られる。

(4) 鮮新世後期～更新世前期の北方系エゾバイ科には絶滅種および現在北太平洋・オホーツク海・ベーリング海に分布し、日本海には生息しない種が多く見出される。

以上の特徴は日本海の海況変化に対応している。鮮新世前期には日本海は寒冷な海域であったために、寒流系種が卓越し、中新世型の残存種は内湾の種多様性の高い群集中に生き残ったと考えられる(天野・佐藤 1995)。寒冷化と中新世末期に崩壊したベーリング陸橋(MARINCOVICH & GLADENKOV 1999)を通じてエゾシラオガイ科 Astartidae が北極海から移動した(小笠原 1986, 天野 1994b)。さらに、こうした移動に伴って *Yabepecten* 属や *Chlamys lioica shigaramiensi* も南下した。

3.3. 5Ma の鮮新世“中期”は世界的に温暖期であり、北緯 30～50°では 4～8℃表層水温が高かったと考えられている(HAYWOOD *et al.* 2000)。また、温暖化にともない海面が 25m 上昇したと推定されている(DOWSETT *et al.* 1999)。日本海における 3.5Ma 前後の暖流系種の出現は、海水面の上昇にともなって対馬海峡が開き、3.5Ma 前後に対馬暖流が日本海に流入したためと考えられる(的場 1978, OGASAWARA 1981, 天野ほか 2000a)。また、カバグチカノコ属 *Neritina*、テングガイ属 *Chicoreus* など現在日本海にはほとんど生息しないことからすると少なくとも 3～4℃高い海水の流入を仮定しなくてはならないが、この値は汎世界的データとも矛盾しない。一方、寒流系種も多く産出することから考えると、暖流の影響する深度は浅く、直下には冷水塊があったと思われる(天野ほか 2000a)。

鮮新世後期の石灰質ナンノ化石の Datum A (2.75Ma) は北半球における氷床の拡大と関連することが SATO & KAMEO (1996) により指摘されている。IKEYA & CRONIN (1993) によれば笹岡層下部で表層水温が 2℃低かったと推定されており、こうした寒冷化にともなって、カガミマルフミガイ *Cyclocardia crassidens* やセイタカシラトリ *Macoma middendorffi* などのオホーツク・ベーリング要素が日本海に南下した。また、こうした寒冷化により、それまで生存していた中新世型の

温帯域に適応した種群は絶滅したと考えられる。この時期は秋田沖の ODP 794A のコアから第三紀型温暖性植物の花粉が産出しなくなる年代(HEUSSER & MORLEY 1996) とほぼ一致している。

鮮新世後期～更新世前期の日本海側に化石記録のある北方系エゾバイ科に絶滅種(FJ タイプ)や絶滅個体群(A タイプ)が多いことは更新世中期以降の氷期の淡水の流入に伴う表層の汽水化と深層部の強還元環境化(TADA 1994)により絶滅したためと考えられる(AMANO *et al.* 1996, AMANO 1997, AMANO & WATANABE 2001)。これらの絶滅原因が寒冷化や温暖化にないことは、主として下部浅海以深に生息するため表層部の環境変化を受けにくいこと、エゾバイ科のうち太平洋側に化石記録の限られる種には絶滅種がないことから裏付けられる。

7. おわりに

鮮新世における日本海の海況は世界的な気候変動に伴い変動していることが明らかとなった。しかしながら、暖流の薄い流入はあるものの鮮新世を通じて基本的には寒冷な海域であり、大桑・万願寺動物群の特徴種は上記のような気候変動の影響を受けずに増加している。これは大桑・万願寺動物群の特徴種が中新世末期の寒冷化(小泉 1980)と東北脊梁山脈の隆起により閉鎖的となった日本海に北方系要素や温帯種から寒冷域に適応し種分化したためであると考えられる。また、下部浅海以深の種も含め大桑・万願寺動物群の特徴種は直接気候変動の影響ではなく更新世中期以降の氷期の海面低下期に環境悪化により絶滅したと考えられる。

最後に野田浩司筑波大学名誉教授には本研究を含め、大学院時代から、これまでお世話になった。また、本論文の掲載にあたり、朝倉彰氏、上田恵介氏に大変お世話になった。以上の方々に厚くお礼申し上げる。

引用文献

- 秋葉文雄 1999 地質雑 105: 733-736.
 AMANO, K. 1983 Sci. Rep. Inst. Geosci. Univ. TSUKUBA 4: 1-72.
 天野和孝 1994a 地学雑 103: 653-673.

- 天野和孝 1994b 上教大紀要 **14** : 241 - 248.
- AMANO, K. 1994 Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S. no. **176** : 661 - 676.
- AMANO, K. 1997 Paleont. Res. **1** : 274 - 284.
- 天野和孝・菅野三郎 1991 化石 no. **51** : 1 - 14.
- AMANO, K. & KARASAWA, S. 1986 Monogr. Mizunami FOSSIL Mus. no. **6** : 41 - 47.
- AMANO, K. & KARASAWA, S. 1988 Saito Ho - on Kai SPEC. Pub. no. **2** : 507 - 517.
- 天野和孝・唐沢茂 1993 地学雑誌 **102** : 572 - 582.
- 天野和孝・小池おかり 1993 上教大紀要 **13** : 287 - 300.
- 天野和孝・佐藤春樹 1995 化石 no. **59** : 1 - 13.
- AMANO, K. & TANAKA, K. 1992 Bull. Joetsu Univ. EDUC. **12** : 115 - 124.
- AMANO, K. & WATANABE, M. 2001 Paleont. Res. **5** (in press).
- 天野和孝・佐藤時幸・小池高司 2000a 地質雑誌 **106** : 883 - 894.
- 天野和孝・鈴木政憲・佐藤時幸 2000b 地質雑誌 **106** : 299 - 306.
- AMANO, K., UKITA, M. & SATO, S. 1996 Trans. Proc. PALAEONT. Soc. Japan, N. S. no. **182** : 467 - 477.
- BOUCHET, P. & TAVIANI, M. 1992 Deep - Sea Res. **39** : 169 - 184.
- 鎮西清高 1963 化石 no. **5** : 20 - 26.
- CHINZEI, K. 1978 Veliger **21** : 155 - 170.
- CROWLEY, T. & NORTH, C. 1991 *Paleoclimatology*, 339pp. Oxford Univ. Press, N. Y.
- DOWSETT, H. J., BARRON, J. A., POORE, R. Z., THOMPSON, R. S., CRONIN, T. M., ISHMAN, S. E. & WILLARD, D. A. 1999 USGS Open - file Rep., pp. 99 - 535.
- 福沢仁之 1985 地質雑誌 **91** : 833 - 849.
- HAYWOOD, A. M., VALDES, P. J. & SELLWOOD, B. W. 2000 Glob. Planet. Change **25** : 239 - 256.
- HEUSSER, L. E. & MORLEY, J. J. 1996 Mar. Micropaleont. **27** : 85 - 106.
- HIGO, S., CALLOMON, P. & GOTO, Y. 1999 *Catalogue and bibliography of the marine shell - bearing Mollusca of Japan*, 749pp. Elle Sci. Pub., Yao
- IKEYA, N. & CRONIN, T. 1993 Micropaleont. **39** : 263 - 281.
- KANNO, S., AMANO, K. & BAN, H. 1989 Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S. no. **153** : 25 - 35.
- KASE, T., MIYAUCHI, T. & AMANO, K. 1996 Venus **55** : 97 - 103.
- 加藤繁富 1993 ひたちおび no. **61 - 62** : 6 - 79.
- 小泉格 1980 『海底に探る地球の歴史』, 東大出版会, 108pp.
- MARINCOVICH, L. & GLADENKOV, A. Yu. 1999 Nature **397** : 149 - 151.
- 増田孝一郎・小笠原憲四郎 1981 軟体動物の研究 **223** - 249.
- 的場保望 1978 月刊海洋 **10** : 269 - 277.
- OGASAWARA, K. 1981 Res. Bull. Saito Ho - on Kai Mus. NAT. Hist. no. **49** : 1 - 17.
- 小笠原憲四郎 1986 瑞浪市化石博覧会 no. **6** : 183 - 198.
- OGASAWARA, K. 1994 Palaeogeogr. Palaeoclimatol. PALEOECOL. **108** : 335 - 351.
- 小笠原憲四郎 1996 北陸地質研究所報告 no. **5** : 245 - 262.
- 小笠原憲四郎・増田孝一郎・的場保望 1986 『秋田油田新第三系・第四系貝類化石図鑑』, 高安泰助教授退官記念会, 秋田, 310pp.
- OTUKA, Y. 1939a J. Geol. Soc. Japan **44** : 23 - 31.
- OTUKA, Y. 1939b Jubl. Publ. Comm. Prof. H. Yabe 60th Birthday **1** : 481 - 519.
- SATO, T. & KAMEO, K. 1996 Proc. ODP, Sci. Results, College Station TX **151** : 39 - 59.
- 佐藤時幸・亀尾浩司・三田勲 1999 地球科学 **53** : 265 - 274.
- 島本昌憲 1984 東北大地質古生物研報 no. **86** : 1 - 31.
- TADA, R. 1994 Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Paleocool. **108** : 487 - 508.
- 魚住悟・高木俊男・鈴木明彦 1986 瑞浪市化石博覧会 no. **6** : 75 - 89.
- VALENTINE, J. M. & JABLONSKI, D. 1991 J. Geophys. RES. **96** : 6873 - 6878.