

大規模干拓堤防建設に伴う貝類群集の変化 Faunal Response of Bivalves and Gastropods to Large Environmental Disturbances Caused by the Construction of Dyke for Reclamation

佐藤 慎一

東北大学総合学術博物館. 〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉

Shin'ichi SATO

The Tohoku University Museum. Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai 980-8578, Japan

Abstract: Faunal response of bivalves and gastropods after the construction of the dyke for reclamation was compared among the case studies in Japan (Isahaya Bay) and Korea (Saemangeum and Sihwa). After the isolation of Isahaya Bay, aspects of water quality suddenly changed, and fauna of bivalves and gastropods was drastically replaced. In March 1997, before the dyke was completed, 15 species of marine bivalves and gastropods were collected in large numbers. These species were still alive in May 1997, but most of them had died off by August 1997. However, an introduced species, *Potamocorbula* sp. cf. *P. laevis* that was not found prior to the isolation of this bay, replaced the pre-isolation bivalve community. This species also increased in Saemangeum and Sihwa, western Korea after the dyke construction. Therefore, this species can survive and multiply alone through large environmental changes such as isolation. Fossils of *Potamocorbula* sp. were also found from several horizons in Pleistocene and Holocene deposits in Japan and China. These fossils have common features; 1) most specimens are less than 10 mm in shell length, 2) only this species densely occur in a shell bed, and 3) some marine bivalves occur in lower horizons of the shell bed. We observed that *Potamocorbula* sp. could survive and multiply alone after isolation, and we therefore suggest that aggregations of *Potamocorbula* shells in Pleistocene and Holocene deposits represent similar isolation events in the past.

Key Words: bivalves, environmental disturbance, faunal response, Isahaya Bay, paleoecology, *Potamocorbula*, reclamation, Saemangeum

はじめに

近年、日本を含む東アジア各国において、広大な干潟・浅海域が干拓事業により消滅しつつある(佐藤正典, 2000)。有明海の諫早湾奥部では、1997年4月14日に国営大規模干拓事業による潮受け堤防の閉め切り(潮止め)が実施された(Fig. 1A, D)。また、韓国西海岸の始華(Sihwa)地域やセマングム(Saemangeum)地域では、諫早湾干拓の5~10倍以上の規模の干拓事業が行われている(Fig. 1B, C)。

潮受け堤防で締めきられた干拓調整池では、塩分の低下などの急激な水質変化に伴い、それまでに生息していた優占種が大量に死滅し、その後新しい生物が侵入する過程を詳細に観察することができる。これらの急激な環境変動に伴う生物群集の時間的変化の解析は、生態学者にとっても古生物学者にとっても、大いに意義のあることのように思われる。

例えば、古生代末期や中生代末期などに生じた大量絶滅

事件後の生物群集の回復過程や、第四紀に見られる氷河性海水準変動に伴う生物群集の変遷などは、現在の人為的環境変化とは時間スケールや規模には大きな違いがあるにしても、それに対する生物の反応としては共通する点が多いのではないかと考えられる。もし、近年の大規模干拓堤防建設に伴う生物群集の変化に何らかの共通点が見られるならば、過去に生じた類似の自然現象(例えば砂州の発達による内湾域の閉塞など)に際しても、同様の生物群集の変化があったと考えられる。

本論では、諫早湾の潮止め前後に見られた貝類群集の変化を紹介し、それを韓国で行われた2つの大規模干拓事業(セマングム干拓・始華湖干拓)の解析結果と比較することにより、急激な環境変動に伴う底生生物群集の反応の共通性について考察する。また、島根県の宍道湖底の完新統から産出した貝化石群集の垂直変化を例にして、過去にも自然現象としての「潮止め」が生じた可能性について議論する。

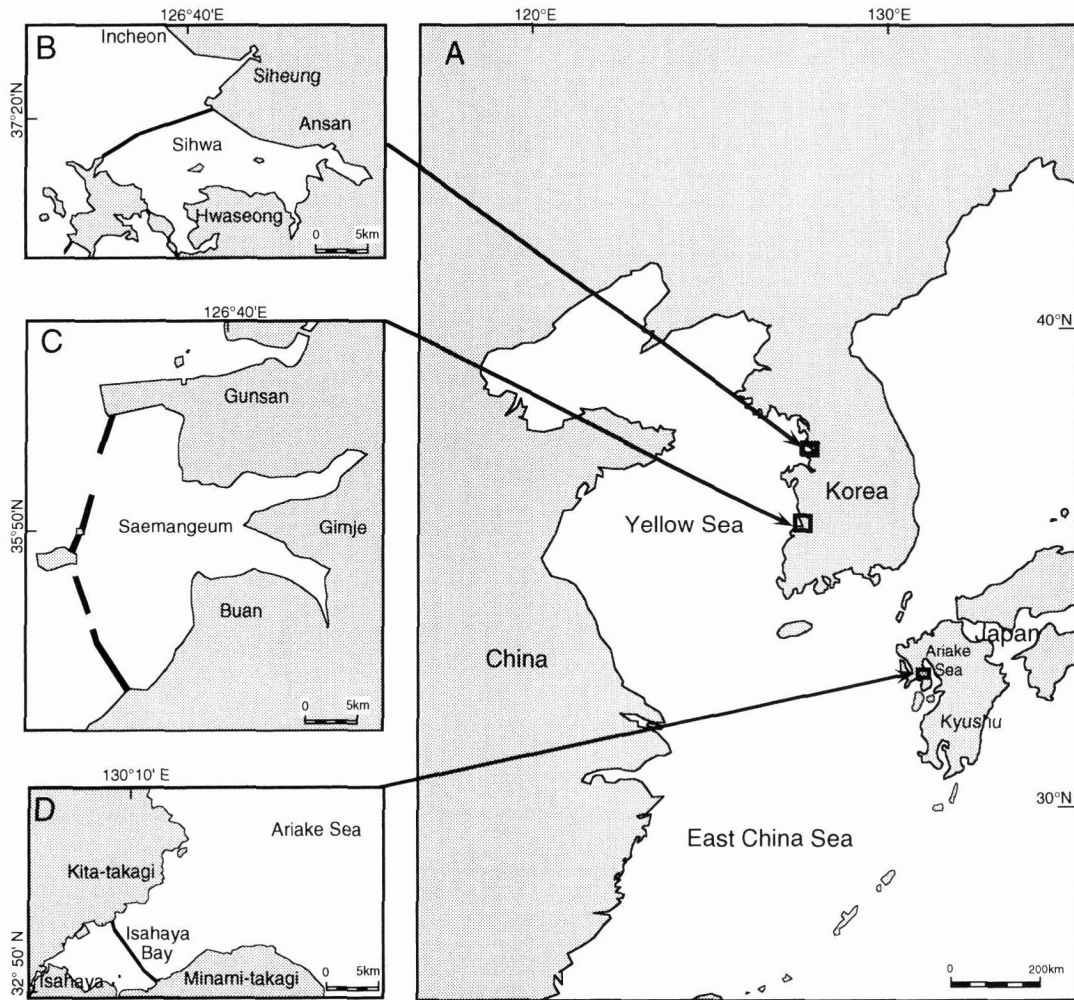


Fig. 1. A: Location of the dike constructions for reclamation of Sihwa and Saemangeum areas in Korea, and Isahaya Bay in Japan. B-D: Location of the dike and reclamation area in Sihwa, Saemangeum, and Isahaya Bay. Black bars represent the dike completed in each area. Dark colored parts are lands. Maps from B to D are same scale.

各地域における干拓事業の推移と底生生物群集の変化

諫早湾干拓

有明海の西部に位置する諫早湾奥部では、1997年4月14日に全長7,050mの潮受け堤防によって、3,550haの干潟・浅海域が締めきられた (Fig. 1D). 干拓地内には、泥干潟が干上がって陸地化した部分と、本明川を含む数本の河川が流れ込む調整池とがある。潮受け堤防には2ヶ所の水門があり、引潮時に調整池から有明海へと排水を行うことで、調整池の水位を-1mに保っている。そのため、かつての潮間帯下部～潮下帯だった部分は、潮止め後に塩分などの水質が急激に変化した。農林水産省が計測したデータによると、1997年5月6日から19日にかけて調整池の表層水の塩分は約25%から10%以下にまで急落している (後述: Fig. 5 参照)。この他にも、潮止め後の調整池では、

水温や泥温の上昇、酸化還元電位の減少、化学的酸素要求量・全窒素量・全りん量・クロロフィルa量の増加などが生じた (佐藤慎一ほか, 2001a)。

長崎大学の研究グループは、調整池内の12~20定点で小型漁船による採泥調査を行っており (東, 2000; 佐藤正典ほか, 2001), 著者はその中に含まれる貝類標本を扱っている (佐藤慎一, 2000; 佐藤慎一ほか, 2001a; Sato & Azuma, submitted)。これまでに、潮止め直前 (1997年3月23日) と、潮止め後に7回 (1997年5月24日, 8月27日, 1998年4月9日, 8月20日, 1999年7月30日, 10月20日, 2000年7月26日) の採泥を実施した (Table 1)。各定点の位置はGPS (Sony製IPS-760: 誤差30m以内) で決定し、Ekman-Birge採泥器 (採泥面積: 15cm×15cm) を用いて、各定点において3~9回の採泥を行った。得られた底質試料は1mmの篩にかけ、篩に残ったすべての底生生物を10%ホルマリンで固定した。その後、実験室において各個体の生死の確認と、種の同定および種ごとの個体数

Table 1. Mean individual number (ind./m²) for each species of gastropods and bivalves collected from Isahaya Bay in each sampling date.

	Year		1997			1998		1999		2000
	Date	23 Mar	24 May	27 Aug	9 Apr	20 Aug	30 Jul	20 Oct	26 Jul	
Number of sampling stations		12	16	20	20	20	20	19	17	
GASTROPODA										
<i>Iravadia (Fluviocingula) elegantula</i>		458	58	1	30	0	0	0	0	
<i>I. (Pseudonoba) sp. aff. I. yendoi</i>		0	2	0	0	0	0	0	0	
<i>Tectonatica tigrina</i>		0	1	0	0	0	0	0	0	
Eulimidae spp.		0	1	1	0	0	0	0	0	
<i>Zeuxis succinctus</i>		0	1	0	0	0	0	0	0	
<i>Odostomia sp.</i>		6	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Philine argentata</i>		0	1	0	0	0	0	0	0	
<i>Acteocina (A.) decorata</i>		1	1	0	0	0	0	0	0	
<i>Salinator takii</i>		2	0	0	0	0	0	0	0	
BIVALVIA										
<i>Modiolus (M.) metcalfei</i>		20	13	0	0	0	0	0	0	
<i>Musculista senhousia</i>		4	126	0	0	0	0	0	0	
<i>Scapharca kagoshimensis</i>		8	7	0	0	0	0	0	0	
<i>Tegillarca granosa</i>		0	1	0	0	0	0	0	0	
<i>Estellacar olivacea</i>		1	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Anomia chinensis</i>		2	1	0	0	0	0	0	0	
<i>Limaria (L.) orientalis</i>		10	5	0	0	0	0	0	0	
<i>Crassostrea gigas</i>		1	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Raetella pulchella</i>		1	1	0	0	0	0	0	0	
<i>Theora fragilis</i>		198	158	0	0	0	0	0	0	
<i>Abrina lunella</i>		1	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Corbicula (C.) japonica</i>		0	0	1	0	4	5	6	18	
<i>Corbicula (C.) leana</i>		0	0	0	0	0	1	0	0	
<i>Ruditapes philippinarum</i>		18	2	3	0	0	0	0	0	
<i>Glauconome chinensis</i>		0	1	0	0	0	0	0	0	
<i>Potamocorbula sp. cf. P. laevis</i>		0	10	60	1300	1167	373	380	4	
<i>Barnea (Umitakea) dilatata</i>		0	0.4	0	0	0	0	0	0	

をカウントした。

その結果、潮止め前（1997年3月）の調査において、巻貝類ではカワグチツボ *Iravadia (Fluviocingula) elegantula*、トウガタガイ科の一種 *Odostomia sp.*、ウミマイマイ *Salinator takii* 等が見られ、二枚貝類ではコケガラス *Modiolus (M.) metcalfei*、ホトトギス *Musculista senhousia*、サルボウガイ *Scapharca kagoshimensis*、フクレユキミノ *Limaria (L.) orientalis*、シズクガイ *Theora fragilis*、アサリ *Ruditapes philippinarum* などが数多く見られた（佐藤慎一ほか、2001a）。これらの種は、潮止め後1ヵ月までは調整池内で変わらず生息していたが、その後1997年8月にはほぼ全てが死亡しているのが確認された（Table 1）。それ以降、2000年7月まで、カワグチツボを除くこれらの海生貝類が調整池内に再び出現することはなかった。

一方、ヒラタスマコダキガイ *Potamocorbula sp. cf. P. laevis* は潮止め前にはまったく検出されなかったにもかかわらず、1997年5月に本明川の河口周辺で初めて出現し、1997年8月には調整池内の大部分の場所でこの種だけが高密度で優占するようになった（Fig. 2A-C）。その後、1998年4月

には10mm未満の小型個体が急激に増加することで最大個体密度（8,317個体/m²）を記録し、1998年8月には3地点を除く全ての定点で1m²あたりの個体密度が100個体以上となった（Fig. 2D, E）。しかし、1999年7月以降は本種も減少を始め、2000年7月にはほとんどの定点で本種が見られなくなった（Fig. 2F-H）。その他には、ヤマトシジミ *Corbicula (C.) japonica* とマシジミ *Corbicula (C.) leana* が1997年8月以降に出現し、ヤマトシジミは2000年7月まで低密度ながら分布域を増やしている（Table 1）。

また貝類以外では、ただ1種、タイリクドロクダムシ *Corophium sinense* が潮止め後に急激に増殖し、1997年8月には最大個体密度（2,000個体/m²）を記録した（東、2000）。しかし、その後は1998年4月まで調整池内の多くの定点で確認されたものの、1998年8月にはほぼ見られなくなった。

韓国・セマングム干拓

韓国中西部の群山 (Gunsan) 市から金堤 (Gimje) 市、扶安 (Buan) 郡にかけてのセマングム地域では、1991年11月か

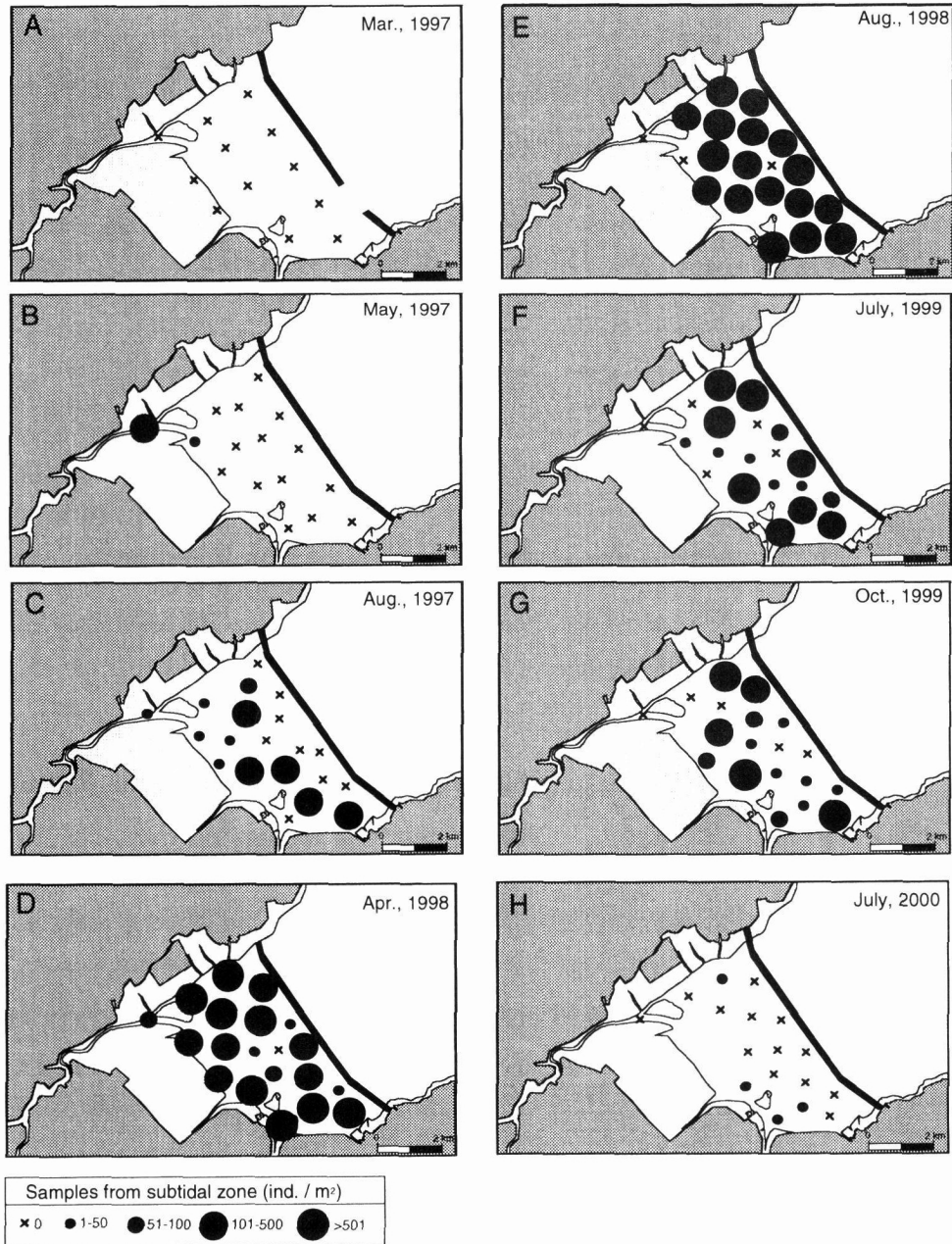


Fig. 2. Distributions of *Potamocorbula* sp. cf. *P. laevis* in Isahaya Bay from March 1997 to July 2000. Individual density per 1 m² at each sampling station is shown as the size of black circle. (A) March 1997, (B) May 1997, (C) August 1997, (D) April 1998, (E) August 1998, (F) July 1999, (G) October 1999, and (H) July 2000.

ら大規模干拓事業が開始された。本事業は、2011年に完成予定で、2000年までに潮受け堤防の半分以上がすでに完成している (Fig. 1C)。予定される潮受け堤防の全長は33 kmであり、その干拓面積は40,100 haにも及ぶ (Fig. 1C)。本海域では、ソウル大学の研究者が、干拓事業着工以前の1988年6-7月に、干潟におけるコドラートを用いた定量調査 (An & Koh, 1992) と van Veen 採泥器 (採泥面積: 0.1 m²) による潮下帯域の採泥調査を行っている (Choi & Koh, 1994)。また、2000年3月には、韓国海洋研究所の研究者を主体とするセマングム事業環境影響共同調査団が、

当海域の潮下帯34地点において、Choi & Koh (1994) と同様に van Veen 採泥器を用いた底生生物の定量調査を行っている (諸, 2000)。

著者らは、トヨタ財団助成による日韓共同干潟調査団の活動の一環として、本海域の干潟・浅海域における底生生物の定量調査を行っている (佐藤慎一ほか, 2001b; 山下ほか, 2001)。干潟域では、2000年5月3-5日と2001年8月31日-9月3日に、干拓予定地の内側4地区と外側1地区において、An & Koh (1992) となるべく同じ場所に調査測線を各々1本設定し、合計54地点において定容試料

Table 2. Mean individual number (ind./m²) for each species of brachiopods, gastropods, and bivalves collected from each locality in Saemangeung area.

Locality	Intertidal							Subtidal		
	Sura		Geojeon		Uma	Salgeum	Seoduteo	Geum R.	Mangyeong R.	Dongjing R.
	Year Date	2000 3 May	2001 31 Aug	2000 4 May	2001 1 Sep	2000 5 May	2001 2 Sep	2001 3 Sep	2000 23 Aug	2000 25 Aug
number of sampling sites	12	2	11	4	11	9	5	6	5	5
BRACHIOPODA										
INARTICULATA										
<i>Lingula anatina</i>	17	16	44	32	0	41	0	0	0	0
MOLLUSCA										
GASTROPODA										
<i>Umbonium (U.) thomasi</i>	457	8	109	8	0	2	1260	0	0	0
<i>Batillaria cumingi</i>	0	320	0	0	0	0	0	0	0	0
Assimineidae gen. et sp.	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0
<i>Glossaulax didyma</i>	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0
<i>Lunatia fortunei</i>	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0
<i>Reticunassa festiva</i>	16	0	9	0	0	0	6	1	0	0
<i>Terebra koreana</i>	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Terebra</i> spp.	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0
<i>Odostomia</i> spp.	20	16	0	0	0	2	3	0	0	1
<i>Japanacteon nipponensis</i>	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0
<i>Bullacta exarata</i>	1	80	4	36	6	0	0	0	0	0
Gen. et sp. indet.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3
BIVALVIA										
<i>Macra veneriformis</i>	8	0	3	12	0	7	13	0	0	0
<i>Solen (S.) strictus</i>	5	0	0	0	0	4	0	0	0	0
<i>Tellina (Moerella) rutila</i>	192	360	7	16	1	34	3	1	0	3
<i>Nuttallia japonica</i>	4	0	4	8	0	7	0	0	0	0
Galeommatidae gen. et sp.	0	0	1	12	0	0	0	0	0	0
<i>Dosinia (Phacosoma) japonicum</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Meretrix petechialis</i>	3	8	3	0	0	0	3	0	0	0
<i>Tapes (Ruditapes) philippinarum</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cyclina sinensis</i>	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
<i>Glaucanome chinensis</i>	4	0	0	0	0	327	0	0	0	3
<i>Potamocorbula</i> sp. cf. <i>P. laevis</i>	0	0	0	216	4	0	0	127	80	3
<i>Laternula (Exolaternula) marilina</i>	3	0	9	148	582	4	0	0	1	74

を採集した (Table 2). 各調査地点では、25 cm×25 cm の方形枠を 1-2 カ所に設定し、深さ 15 cm までスコップで掘って底質を採取した。また、2000 年 8 月 23-26 日に、小型漁船を借りてセマングム干拓予定地内外の錦江 (Geumgang)・萬頃江 (Mangyeonggang)・東津江 (Dongjingang) 流域の潮下帯 11 地点において、Ponar 採泥器 (採泥面積: 0.025 m²) による採泥調査を行った (Table 2)。小型 GPS (EMPEX 社製ポケナビ mini: 誤差 12 m 以内) により位置を決定し、各地点で 4-8 回の採泥を行った。得られた試料は、すべて 1 mm の篩にかけて残った底生生物の同定・計数を行った。

干拓予定地内の干潟域において、特に密集して見られた種は、巻貝類ではチョウセンキサゴ *Umbonium thomasi*、ホソウミナ *Batillaria cumingi*、ヒナギヌガイ *Bullacta exarata* などで、二枚貝類ではユウシオガイ *Tellina (Moerella) rutila*、

ハナグモリ *Glaucanome chinensis*、ヒラタヌマコダキガイ、ソトオリガイ *Laternula (Exolaternula) marilina* などであった (Table 2)。貝類以外では、腕足類のミドリシャミセンガイ *Lingula anatina* が各地で頻繁に見られ、最大で 1 m² あたり 180 個体以上の生息密度であった (佐藤慎一ほか, 2001b)。この他にも、定容試料中には含まれなかったが現地で生きた個体が採集された種を含めると、2000 年 5 月の調査だけで腕足類 1 種、腹足類 13 種、二枚貝類 16 種、多毛類 21 種、甲殻類 16 種 (合計 67 種 1,410 個体) が得られた (佐藤慎一ほか, 2001b)。

一方、2000 年 8 月の錦江・萬頃江・東津江流域の潮下帯調査では、腹足類 4 種、二枚貝類 4 種、多毛類 12 種、甲殻類 4 種 (合計 24 種 435 個体) が確認された (佐藤慎一ほか, 2001b)。このうち、貝類で多く見られた種はヒラタヌマコダキガイとソトオリガイであった (Table 2)。特に、

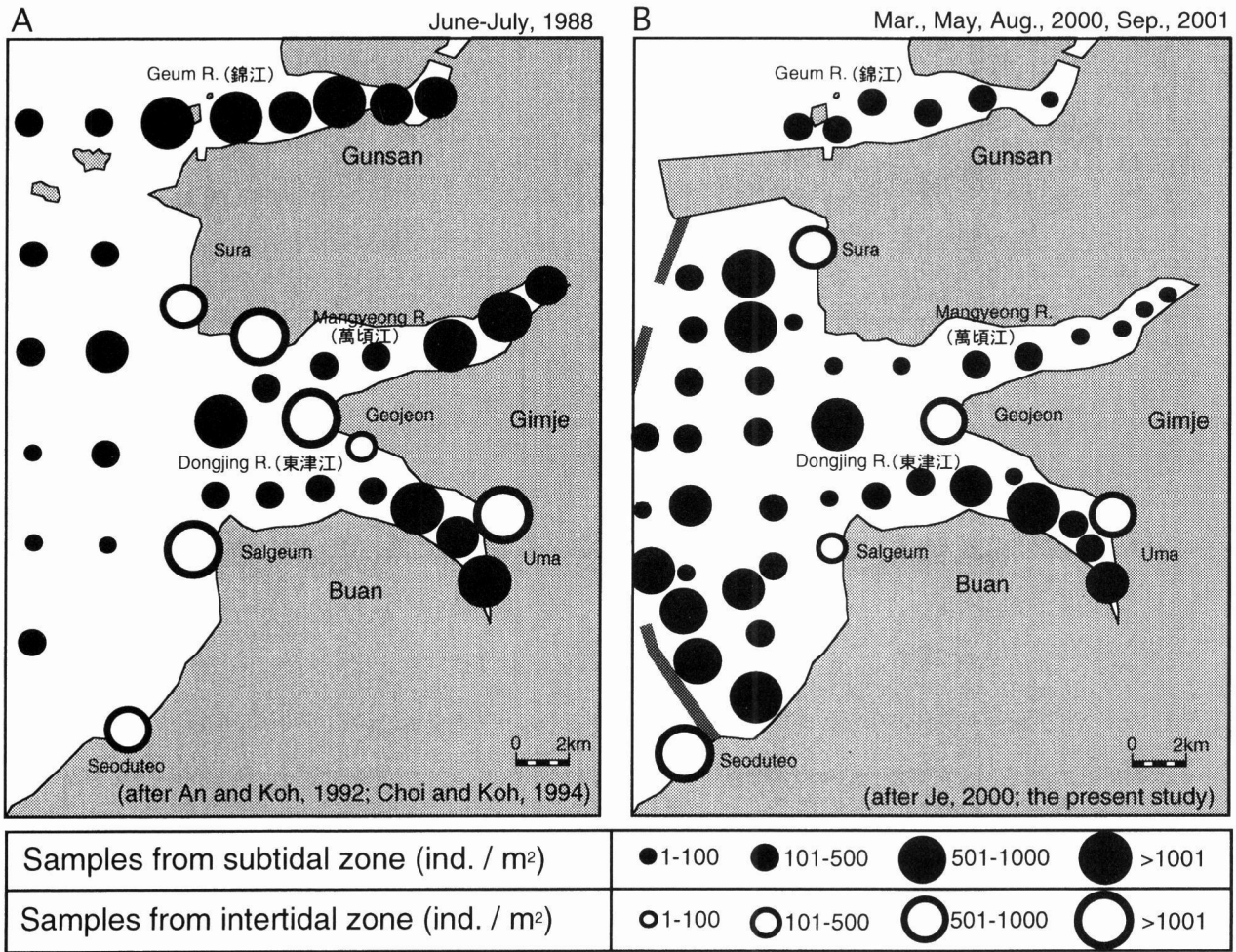


Fig. 3. Temporal change of individual density per 1 m² of all benthic animals collected from the Saemangeum area from (A) June-July, 1988 to (B) Mar., May, Aug., 2000 and Sep., 2001. Data are derived from An and Koh (1992), Choi and Koh (1994), Je (2000) and the present study. Size of circle presents the individual density. Black circles are shown the density at each sampling station of subtidal zone, and white circles are shown the maximum density among the samples from intertidal zone in each locality.

ヒラタヌマコダキガイは錦江と萬頃江流域に多く見られ、その個体密度は最大で1 m²あたり300個体以上であった(佐藤慎一ほか, 2001b)。

これら本研究による調査結果と、2000年3月に調査を行った諸(2000)のデータを統合し、1988年6-7月に調査を行ったAn & Koh(1992)とChoi & Koh(1994)の結果と比較した。すると、全底生生物の平均個体密度では、1988年に対して2000年以降は錦江流域と萬頃江流域において底生生物の現存量が減少しているが、東津江流域ではあまり変わらず、逆に潮受け堤防内側のセマングム海域では現存量は増加する傾向が見られた(Fig. 3)。また、干拓予定地内の潮間帯域では、1988年に比べて全底生生物の平均個体密度がやや減少した地区が多いものの、逆に増加した地区も見られた(Fig. 3)。

ヒラタヌマコダキガイ [An & Koh(1992), Choi & Koh(1994), 諸(2000)は*P. amurensis*に同定している]に注目すると、干拓予定地の外側にあたる錦江流域では本種の個

体密度が減少しているにもかかわらず、潮受け堤防の内側では本種の分布が拡大しており、さらに各地点における個体密度も多くの地点で増加していることが分かる(Fig. 4)。つまり、1988年には萬頃江と東津江の最も河川流域に近い地点にのみ、本種の分布が限られていたが、2000年以降には河口域でもより海域に近い地点に分布の中心が移動し、さらに干拓予定地内側にある海域の広い範囲に本種の分布が及ぶようになった。そして、2001年9月には初めて、干潟域において本種が高密度で生息していることが確認された(Table 2)。

韓国・始華湖干拓

韓国北西部の始興(Siheung)市から安山(Ansan)市、華城(Hwaseong)郡に至る始華地域では、1987年6月に大規模干拓事業が着工され、1994年1月24日に潮受け堤防の締めきり工事が完了した(Hong et al., 1997)。干拓面積は17,300 haで、潮受け堤防の全長は12.7 kmである(Fig. 1B)。

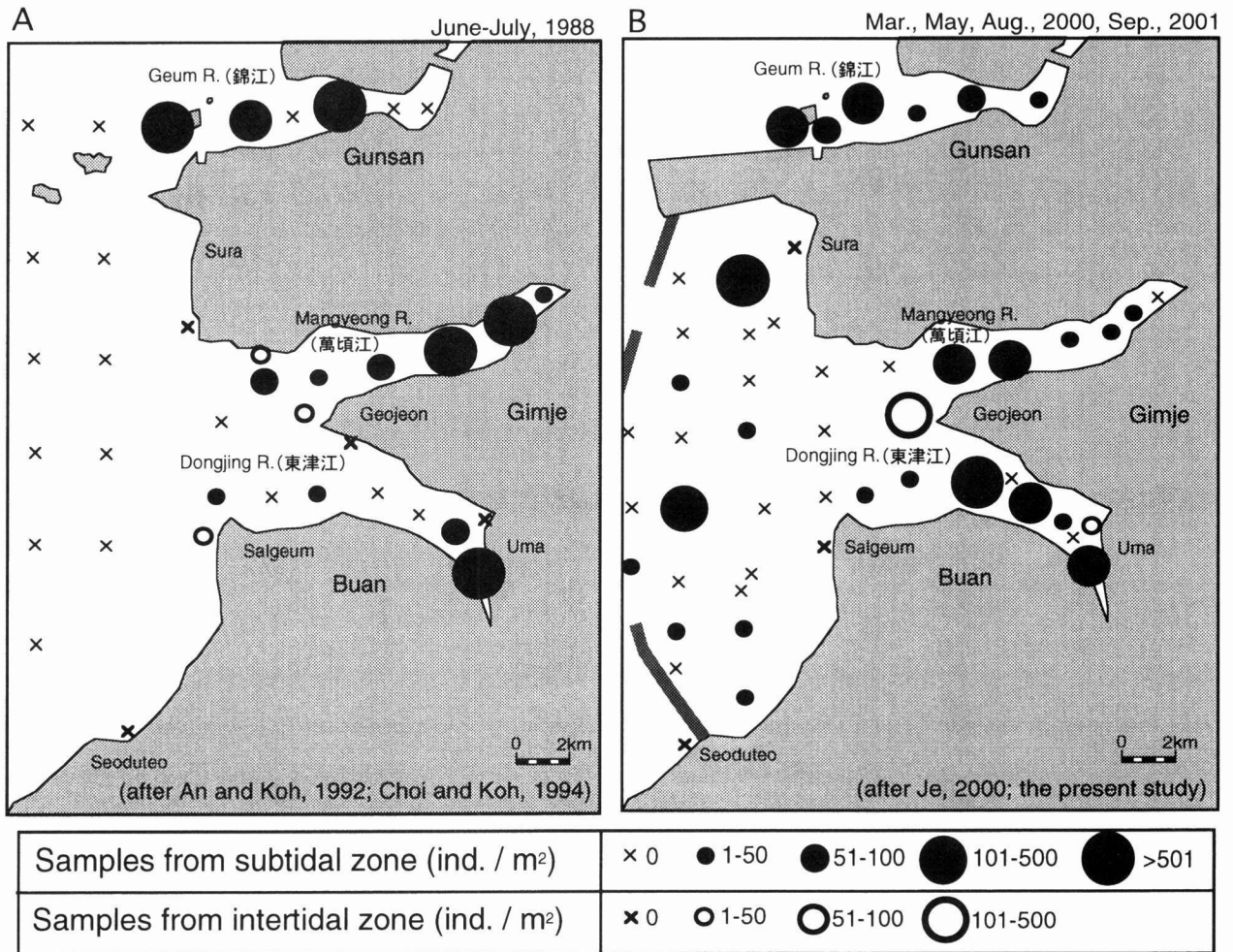


Fig. 4. Temporal change of individual density per 1 m² of *Potamocorbula* sp. cf. *P. laevis* collected from the Saemangeum area from (A) June–July, 1988 to (B) Mar., May, Aug. 2000 and Sep. 2001. Data are derived from An and Koh (1992), Choi and Koh (1994), Je (2000) and the present study. Size of circle presents the individual density. Black circles are shown the density at each sampling station of subtidal zone, and white circles are shown the maximum density among the samples from intertidal zone in each locality.

調整池の面積は 6,100 ha で、ここでは仁荷 (Inha) 大学校や韓国海洋研究所などの研究者が、潮止め前の 1993 年 3 月から 1997 年 4 月にかけて van Veen 採泥器 (採泥面積: 0.1 m²) による採泥調査を継続的に行っている (Hong *et al.*, 1997; Lee & Cha, 1997).

本地域では、潮止め後すぐには調整池からの排水が行われなかったため、潮止め後 1 年以上は塩分の減少はほとんど見られなかった。しかし、1995 年春以降に調整池内の水抜き工事が行われることで、潮間帯の大部分は干上がり、地表面に大量の塩が晶出し、周辺地域に塩害をもたらした (ハンほか, 2001)。同時に、調整池からは海水が排出されて河川水が流入することにより、1995 年 3 月には 29% 以上あった調整池の塩分が、同年 6 月には約 20% となり、同年 10 月には 10% 以下にまで減少した (Hong *et al.*, 1997; Lee & Cha, 1997)。

しかし、調整池の水質汚濁のため本地域の干拓事業計画は破棄され、1996 年 10 月までに地域住民に無断で 100 回

以上も調整池内へ海水を流入していたことが発覚した (ハンほか, 2001)。それと対応するように 1996 年 3~4 月に調整池の塩分が一時的に 25% 以上にまで上昇している (Hong *et al.*, 1997)。そして、1997 年以降は水門を操作して引潮時に調整池から排水し、満潮時に海水を流入させることで、調整池内の水位を -1 m に保ちながら水の出し入れをするようになり、現在に至っている (ハンほか, 2001)。

始華地域の浅海域では、潮止め前の 1993 年 3~11 月には、*Heteromastus filiformis*, *Polydora ligni*, *Tharyx* spp. などの多毛類が多く見られた (Hong *et al.*, 1997)。また、潮止め直後の 1994 年 3 月と 6 月には、前出の *H. filiformis* や *P. ligni* に加えて、多毛類の *Nephtys oligobranchia* および二枚貝類のヌマコダキガイ類 *Potamocorbula* sp. (*P. cf. ustulata* に同定されている) が多く見られた (Lee & Cha, 1997)。その後、*H. filiformis* や *N. oligobranchia*, *Potamocorbula* sp. はほとんど見られなくなり、1994 年 12 月と 1995 年 3 月には *P. ligni* が全底生生物の現存量の 90% 以上を占めるようになった

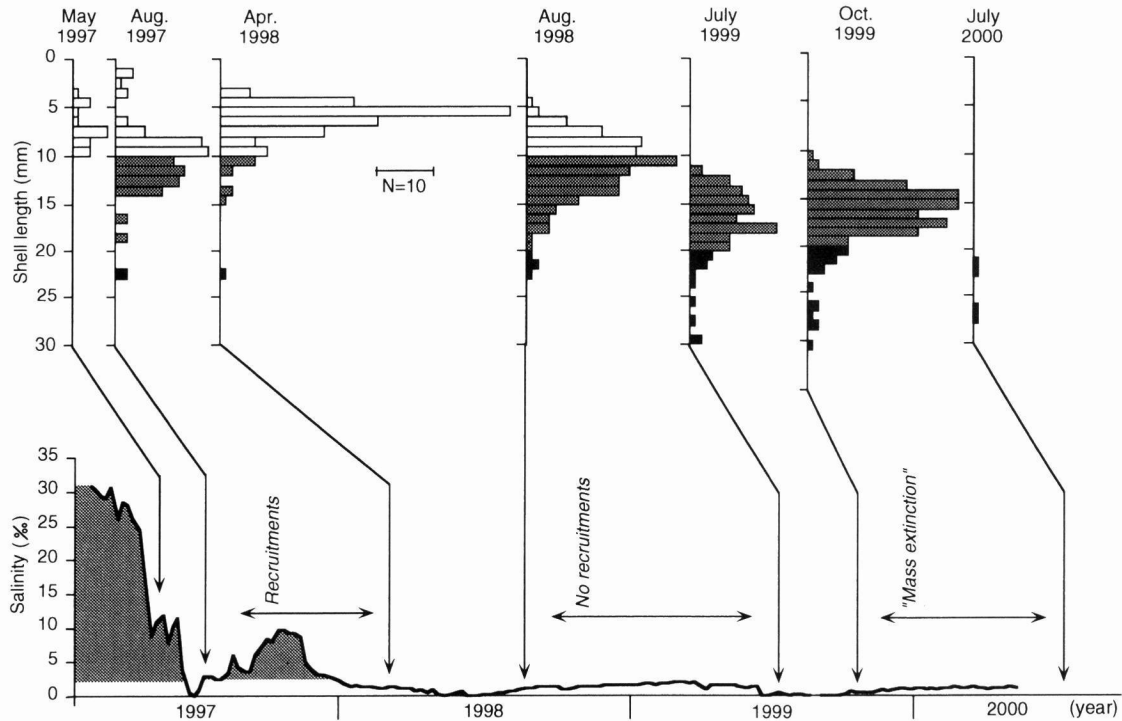


Fig. 5. Temporal change of size frequency distributions of *Potamocorbula* sp. cf. *P. laevis* collected from all sampling stations of Isahaya Bay and salinity in the surface water layer of the reclamation area measured by the Japanese Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries during March 4, 1997 and May 15, 2000.

(Lee and Cha, 1997). しかし、1995年10月に調整池の塩分が10‰以下に減少すると、タイリクドロクダムシが急増し、1m²あたり3000個体以上の生息密度となった (Hong *et al.*, 1997). そして、調整池内に海水が流入するようになった1997年2月と4月には、新たに多毛類の *Pseudopulmonaria kempfi* が急増したが、その他は *P. ligni*, タイリクドロクダムシ, *Neanthes succinea* などが見られた (Hong *et al.*, 1997).

潮止め後の貝類群集の変化過程の比較

諫早湾では、潮止め後4ヵ月の間にほとんどの海生底生生物が死滅し、その後にヒラタヌマコダキガイとタイリクドロクダムシが急激に増殖した。しかし、潮止め後2年以上になるとそれらの種も見られなくなり、最終的にはヤマトシジミ、淡水生ヨコエビ類数種、イトミミズ類、ユスリカの幼虫が見られるのみとなった (東, 2000)。諫早湾干拓では、潮止め後1ヵ月で調整池の表層塩分が25‰以上から10‰以下にまで急激に減少した (Fig. 5)。底層水も同様に潮止め後4ヵ月には、塩分が5‰以下にまで減少している (佐藤慎一ほか, 2001a)。

河口～浅海域の底生生物の分布様式は、底層水または堆積物中の間隙水の塩分によって規定されることが知られている (Nakao, 1982; 李・中尾, 1985; 木村ほか, 1993; 上田ほか, 1999)。潮止め前の諫早湾奥部に多く見られたホトトギスやシズクガイなどの海生貝類は、自然状態の河口域でも

塩分10‰以上の海域にのみ分布が限られている (上田ほか, 1999)。従って、これらの海生貝類が潮止め後に大量死滅した要因は、調整池の底層水の塩分が潮止め後数ヵ月で10‰以下にまで減少したためと考えられる。

一方、ヒラタヌマコダキガイは潮止め1ヵ月後に初めて出現したが、その時の個体はすべて殻長10mm未満の小型個体であった (Fig. 5)。それが1997年8月には大部分が10mm以上の成熟個体になり、翌1998年4月には大量の新規加入個体が見られた (Fig. 5)。そして、1998年8月には再び多くの個体が10mm以上の成熟個体となるが、1999年以降は殻長10mm以下の新規加入個体はまったく見られなくなり、ついには2000年7月までに成熟個体もほとんど消滅した (Fig. 3)。その間の調整池の表層水の塩分は、本種の新規加入が見られなくなった1998年夏以降は2‰以上に上昇することは一度もなく、さらに1999年夏以降はほとんど1‰以下でしかなかった (Fig. 5)。

ヒラタヌマコダキガイは、他の海生貝類に比べると塩分耐性の範囲が極めて広く、福岡県柳川市の沖端川では有明海に面した河口域 (塩分25‰以上) より、河口から1km以上も川を遡った地点 (干潮時の塩分が5‰程度) にまで本種の分布が見られた (佐藤慎一ほか, 2001a)。潮止め直後の諫早湾干拓調整池では、底層水の塩分が10‰以下の地点にのみ本種の生息が確認されており、特に塩分が5‰以下の定点で個体密度が高かった (佐藤慎一ほか, 2001a)。また、この時に得られた個体の大部分が新規加入個体であ

る (Fig. 5) ことから、本種は潮止め前には本明川の下流域などに生息していたが、潮止め後の調整池の塩分低下や競争種の消滅などによって浮遊幼生の着底が可能となり、急激に調整池全域に増殖したものと推測される。

セマングム干拓予定地では、底生生物の種構成が潮受け堤防建設以前に比べて変化したことが指摘されている。すなわち、干拓予定地内の海域では、潮受け堤防建設後に多毛類が減少した代わりに、軟体動物や甲殻類が増加した (諸, 2000)。その要因について諸 (2000) は何も論じていないが、潮受け堤防ができて本海域がより内湾的な環境となり、内湾生貝類が以前に比べて増加したものと考えられる。例えば、1988年と2000年に当調査地域で見られた優占種の種類や個体数を比較すると、チョウセンキサゴやユウシオガイ [An & Koh (1992) と諸 (2000) は *Moerella iridescens* (テリザクラ) に同定している] 等が干拓予定地内の潮下帯で急激に増加している (諸, 2000)。これらの種は、黄海周辺の内湾潮間帯にごく普通に見られる種 (山下ほか, 2001) だが、本海域に潮受け堤防が建設されるに従い、海域内の多くの地点がより内湾的な環境となり、次第に潮下帯に分布範囲を拡大させたものと考えられる。それに対して、錦江流域と萬頃江流域では、全底生生物の現存量が著しく減少している (Fig. 3)。その理由は、両水系の水質悪化によるものと考えられるが、現時点では両水域の正確な水質データを持たないために、これ以上の考察は出来ない。

また、諫早湾干拓と同様に、セマングム干拓予定地内の潮間帯および潮下帯においても、ヒラタヌマコダキガイが増殖している (Fig. 4)。ここでは、潮受け堤防が完成していないために、底層水の塩分の急激な減少は見られておらず、萬頃江と東津江の流域でも底層水の塩分は 29‰ 以上を保っている (諸, 2000)。それにもかかわらず、萬頃江と東津江流域における本種の分布域が 1988年に比べてより海域に近い方向へ移動したことから考えると、ここでは塩分の低下以外の要因により本種の分布範囲が拡大したことが示唆される。

始華湖干拓では、諫早湾干拓と同様にヌマコダキガイ類とタイリクドロクダムシが一時的に増殖している (Hong *et al.*, 1997; Lee & Cha, 1997)。ここでは潮止め後 1年以上は調整池の塩分が減少することはなかった。その後、1995年10月以降に塩分が 10‰ まで減少するが、その時からタイリクドロクダムシが増殖している。しかし、ヌマコダキガイ類は調整池の塩分が減少する以前は見られたものの、1994年9月以降には得られていない (Hong *et al.*, 1997; Lee & Cha, 1997)。また、複数種の多毛類が潮止め後に増殖したことは、諫早湾干拓の場合とは大きく異なる点である。しかし、これらの多毛類も、調整池の塩分が減少している期間 (1995年10月~1996年3月) には、ほとんど見られず、その後の海水流入により調整池の塩分が増加してから再び見られるようになった (Hong *et al.*, 1997)。

以上のことから、始華湖で潮止め後に数種の多毛類が増

殖したのは、調整池の塩分が潮止め後に急激に減少することがなかったためと考えられる。また、タイリクドロクダムシは明らかに塩分の急激な減少があった後で爆発的に増加することが、諫早湾と始華湖の両方の干拓事業で確認された。一方、ヒラタヌマコダキガイは諫早湾では底層水の塩分が 10‰ 以下の地点にのみ分布が限られていたが、セマングム地域や始華地域では塩分が減少する以前に増殖していた。本種は、もともと塩分耐性の広い種であるため、塩分の低下以外の要因 (例えば競争種の消滅や塩分以外の水質変化など) が、本種の爆発的増殖を起こす引き金になるものと考えられる。

ヒラタヌマコダキガイの形態・生態的特徴

有明海に生息するヒラタヌマコダキガイは、中国大陸から輸入されたシジミ類の中に混入することで日本に移住した外来種と考えられている (堀越・岡本, 1994; 佐藤慎一ほか, 2001a)。有明海では、1992年に初めて福岡県柳川市沖端川流域で確認され (佐藤・泊, 1994)、翌年には佐賀市嘉瀬川河口や鹿島市地先などで大量に本種の生きた個体が得られるようになった (堀越・岡本, 1994)。そして1998年以降は、福岡県の早津江川・沖端川・筑後川、佐賀県の六角川・塩田川・鹿島川など、有明海奥部のほとんどの河口干潟に分布し、場所によっては 1m² あたり 1,000 個体を超える高密度で生息している (佐藤慎一, 2000; 佐藤慎一ほか, 2001a)。

本種は、日本に以前から生息する現生近縁種ヌマコダキガイ (*P. amurensis* とされるが、後述のように問題がある) とは、殻の膨らみが弱い、殻頂部の膨らみが弱い、左殻の殻頂から後端への稜状部が不明瞭、套線が完全に湾入する、などの点で識別される (堀越・岡本, 1994)。しかし、個体間や集団間の形態変異が激しく、殻形態から両種を明確に識別することは困難である。ヌマコダキガイは、日本では北海道のクッチャロ湖や青森県の尾駱沼などの、限られた数カ所の汽水湖にしか生息しないと考えられていた (波部, 1994)。しかし、1994年9月以降に茨城県涸沼で一時的に増殖したことが報告されており (堤ほか, 1997)、これも人為的移入集団である可能性が高いと考えられる。

さらには、アメリカ合衆国のサンフランシスコ湾でも、1986年以降にヌマコダキガイ類 (*P. amurensis* に同定されている) が急激に増殖し、1988年には 10,000 個体/m² を超える異常な高密度で生息している (Carlton *et al.*, 1990; Nichols *et al.*, 1990)。その移入経路としては、東アジア周辺に寄港した貨物船等のバラスト水中に浮遊幼生が混入し、それがサンフランシスコ湾にまで運ばれたとする説が有力である (Carlton *et al.*, 1990)。

著者は、これらのヌマコダキガイ類を同定するため、日本の北海道クッチャロ湖・青森県尾駱沼・茨城県涸沼・福岡県柳川市、韓国の仁川 (Incheon) 広域市・群山市 (セマングム地域)、アメリカ合衆国のサンフランシスコ湾にお

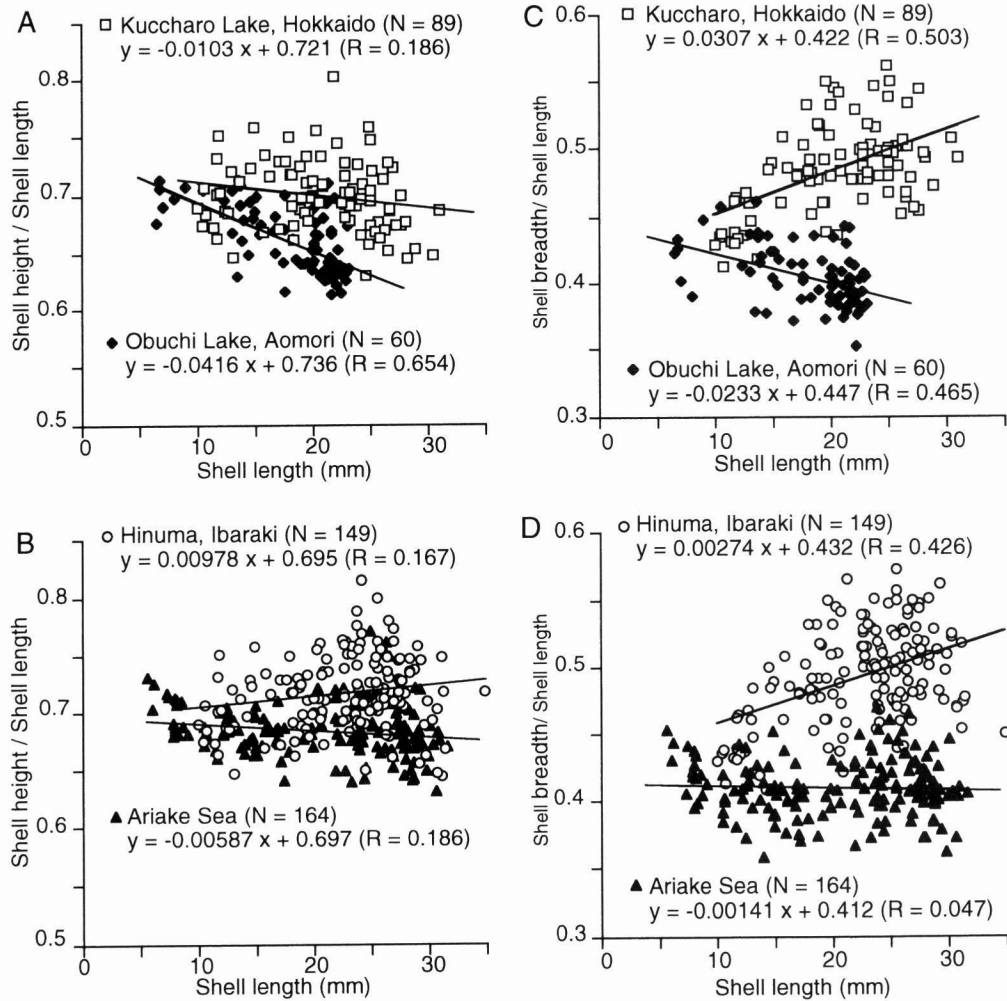


Fig. 6. A, B: The relationship between shell length and shell height/shell length of the Japanese samples of *Potamocorbula* sp. collected from (A) Kuccharo Lake, Hokkaido and Obuchi Lake, Aomori, and (B) Hinuma Lake, Ibaraki and Ariake Sea. C, D: The relationship between shell length and shell breadth/shell length of the Japanese samples of *Potamocorbula* sp. collected from (C) Kuccharo Lake and Obuchi Lake and (D) Hinuma Lake and Ariake Sea. Lines and formulas represent reduced the major axis regressions.

いて集団標本を採集し、それに *P. amurensis* の模式産地に近いロシアのアムール河河口産標本をあわせて、各地域集団間の殻形態の比較を行った (佐藤慎一, 2001)。その結果、まず日本産ヌマコダキガイ類の間では、殻の成長に伴い殻高/殻長比はあまり変化しないが殻厚/殻長比が増加するタイプ (クッチャロ湖・涸沼) と、殻高/殻長比と殻厚/殻長比がともに減少するタイプ (尾駮沼・有明海) に分けることができた (Fig. 6)。クッチャロ湖・涸沼・有明海の集団について、殻長 25 mm 以上の成熟個体だけを対象にして平均値の *t* 検定を行ったところ、殻高/殻長比では涸沼-有明海 ($t=7.2$) の集団間において、また殻厚/殻長比ではクッチャロ湖-有明海 ($t=14.7$) および涸沼-有明海 ($t=18.6$) の集団間に有意の差が見られた。

そこで、殻高/殻長比と殻厚/殻長比の 2 つの数値を用いて各地域集団を区分した (Fig. 7)。その結果、アムール河・群山市・尾駮沼・有明海・サンフランシスコ湾の集団は同じ区間にプロットが集中したが、クッチャロ湖と涸沼

の集団はそれとは異なる傾向を示した (Fig. 7)。しかし、この中でもクッチャロ湖と尾駮沼の集団は共に、著しく殻の後端が伸びて細くなる個体が多く含まれており、見た目には他の集団とは殻形態が異なっていた。つまり、今までヌマコダキガイとして一括されていたクッチャロ湖・尾駮沼・涸沼の集団は、各々が独自の殻形態の特徴を示し、しかも *P. amurensis* の模式産地周辺の集団とも形態が異なることが明らかにされた。さらに韓国仁川広域市の集団も、他の集団とは異なる独自のプロポーシオンを示している (Fig. 7C)。今後は、中国沿岸の集団も含めた上で、殻や軟体部の形質の比較検討、分子遺伝学的解析、および模式標本との対比を行うことで、それぞれの学名を確定する予定である。しかし、少なくとも現時点において、諫早湾で潮止め後に増殖したヒラタヌマコダキガイは、アムール河や群山市 (セマンガム地域) などに自生しており、そこから有明海やサンフランシスコ湾に人為的に移入されたものと言える。従って、本論ではこれらの集団を同種 (ヒラタ

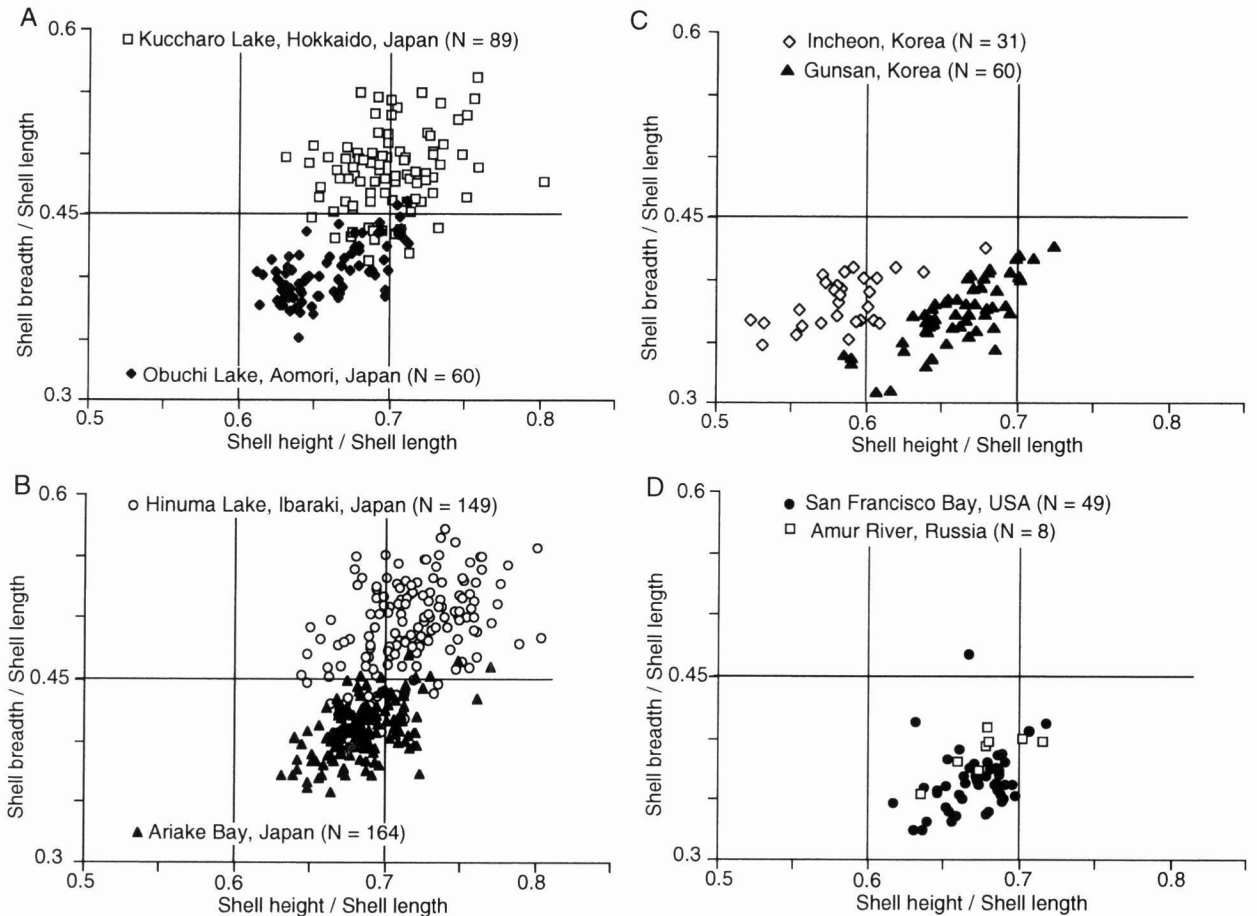


Fig. 7. The relationship between shell height/shell length and shell breadth/shell length of *Potamocorbula* sp. collected from (A) Kuccharo Lake and Obuchi Lake, (B) Hinuma Lake and Ariake Sea, (C) Gunsan and Incheon, Korea, and (D) San Francisco, USA and Amur River, Russia.

ヌマコダキガイ)として議論を進める。

サンフランシスコ湾では、本種の生活史に関する詳細な研究が行われている (Nicolini & Penry, 2000). それによると、サンフランシスコ湾南部の集団では季節に関係なく1年中放卵・放精が行われることや、幼生は受精後17–19日で着底し数ヶ月で性成熟に達することなどが確認されている。一方、諫早湾干拓調整池でも、本種は潮止め後1ヶ月で初めて出現したにもかかわらず、潮止め後4ヶ月で得られたほとんどの個体がすでに性成熟に達していたことが確認されている (Sato & Azuma, submitted). しかし、殻長10 mm未満の新規加入個体の出現は、諫早湾調整池では1997年5月と1998年4月にのみ限られており (Fig. 5), 本地域集団の放卵・放精期は春に限られるようである。

また、サンフランシスコ湾でも本種は広い塩分耐性を示しており、塩分1‰以下から32.6‰の範囲に本種の分布が確認されている (Nichols *et al.*, 1990). さらに、受精実験の結果によると、本種は塩分5‰から25‰の間で受精可能であり、受精後2時間の胚は10‰から30‰の塩分耐性があることが確認されている (Nicolini & Penry, 2000). 諫早湾干拓では、1998年4月以降は本種の新規加入が認めら

れなくなったが、それは調整池の表層水の塩分が2‰を下回った時期と一致していた (Fig. 5). これらのことから、本種の幼生は成熟個体に比べると塩分耐性が狭いものの、少なくとも表層水の塩分が2‰ほどであれば新規加入個体の生存が可能であることが明らかにされた。

化石群集への応用

ヌマコダキガイ類の化石は、日本各地の更新・完新統および中国の上海付近の完新統でも多産することが知られている (石井, 1995; 石井・植田, 1998; 松島, 1984; Shimoyama, 1997; 高安ほか, 2000; 渡部, 1989). このうち、特に西日本の各地で産出する化石集団は、ヌマコダキガイ類だけが一種のみで密集して産出し、しかも殻長10 mm未満の小型個体が圧倒的に多いと言う共通する特徴がある (佐藤慎一ほか, 2001a). 例えば、島根県宍道湖底の完新統では、層厚7 mの地層の中にヌマコダキガイ類の化石が密集する層準が頻繁に挟まっている (高安ほか, 2000). ここに含まれるヌマコダキガイ類は、大部分が殻長3–8 mm程度の小型個体であるが、それらに混じってわずかながら殻長10 mmを超える個体も見つかっている (高安ほか,

2000).

これらヌマコダキガイ類の小型個体からなる化石集団は、神戸市垂水区の高塚山貝層から産出し化石亜種として記載されているコガタヌマコダキガイ *P. amurensis takatukayamaensis* に同定されることが多い (石井, 1995). 本亜種は、明石海峡・鹿ノ瀬・来島海峡・山口県伊予灘~周防灘・長崎県野母半島などの海底から半化石状態で見つかるものの、これまで生きてきた個体が得られていないため、絶滅亜種として報告されている (和田ほか, 1996). または、これらの化石標本が、日本では青森以北の汽水湖にのみ分布するヌマコダキガイに同定されることで、寒冷気候下の汽水環境を示す種として古環境研究で取り上げられることが多かった (例えば、松島, 1984).

しかし、宍道湖底産の化石集団の中には、わずかながらも殻長 10 mm 以上の個体が含まれており、これら成熟個体の殻形態を観察する限りにおいては、現生のヒラタヌマコダキガイと何ら違いが認められない (高安ほか, 2000). また、佐賀県白石平野の更新統から産出したヌマコダキガイ類の化石集団も、ほとんどが小型個体からなるものの、有明海の現生集団と殻形態を比較検討した結果、ヒラタヌマコダキガイに同定されている (Shimoyama, 1997). 従って、これまでの事実を基に推察すると、ヒラタヌマコダキガイはもともと日本に生息していたが、何らかの要因により数百年~数千年前に消滅し、それが 1990 年代にあらためて有明海に人為的移入種として出現した可能性が高い (佐藤慎一ほか, 2001a). これまで、ヌマコダキガイ類の化石個体を同定する時に、本種の可能性を検討した研究者は少なかったであろう. そのため、ヌマコダキガイやコガタヌマコダキガイと同定されてきた化石標本の中に、ヒラタヌマコダキガイが存在することは十分に予測されることであり、今後の化石記録の再検討が必要となる.

それでは、なぜヌマコダキガイ類の化石集団には小型個体が圧倒的に多いのだろうか? 現生集団を顧みると、ヒラタヌマコダキガイは塩分耐性の幅が他種に比べて極めて広く、そのため大規模干拓に伴う潮止めのような急激な環境変化にも十分に対応できる. しかも、多い繁殖回数と早い性成熟により、河口~浅海域に生態的空白地が出来た時には、他種よりも早く新規加入個体が移住して定着することできる. 従って、本種は急激な環境変動の後に 1 種だけで爆発的に増殖し、局所的に密集して生息するオポチュニストとしての生態的特徴を備えていると言える (Shimoyama, 1997).

諫早湾干拓調整池では、1997 年 5 月と 1998 年 4 月に得られた集団標本は、殻長 10 mm 未満の新規加入個体がほとんどを占めていた (Fig. 5). もし、これらの小型個体が成長することなく大量死滅したとすれば、化石集団と同じようなサイズ分布となる. ヒラタヌマコダキガイの幼生は、同種の成熟個体に比べると塩分耐性の範囲が狭いことが野外での観察と飼育実験により確かめられている (Nichols *et al.*,

1990; Nicolini and Penry, 2000). そのため、本種の成熟個体は生息できても小型個体は死滅するような状況が存在する. 例えば、諫早湾干拓調整池では 1998 年の夏以降は小型個体が消滅して成熟個体だけが残ったが、この時の調整池の表層水の塩分は 2% 以下であった (Fig. 5). 以上のことから、ヒラタヌマコダキガイの成熟個体は低塩分の河川流域などに常に生息し、周辺海域で塩分低下などにより競争種が消滅した時に大增殖を引き起こすが、底層水の塩分が 2% 以下にまで減少すると小型個体が大量に死滅し、コガタヌマコダキガイに特徴的な化石集団の産出状態が出現すると推定される.

実際に、宍道湖底の完新統の化石群集を確認してみると、ヌマコダキガイ類の化石密集層の直下には、チヨノハナ *Raetellops pulchella*, ヒメカノコアサリ *Veremorpa micra*, ウラカガミ *Dosinella corrugata*, イヨスダレ *Paphia undulata*, マメウラシマ *Ringicula doliaris* などが産出する (高安ほか, 2000). しかし、これらの海生貝類は、ヌマコダキガイ密集層にはほとんど見られず、わずかにマルテンスマツムシ *Indomitrella martensi*, マツシマコメツブ *Retusa matsushima*, アラウメノハナ *Pillucina yamakawai*, ヤマトシジミ, アサリ, ウミタケ? *Barnea* sp. が散見されるのみである. さらに、このヌマコダキガイ類の化石密集層が初めて出現する層準は、珪藻化石が見られなくなる層準とも一致しており、また地層の含水比、強熱減量、全有機炭素量、全窒素量、全イオン量などの分析結果からは、ちょうど当時の古宍道湾が閉鎖的な水域に変化した時期にあたるということが推定されている (高安ほか, 2000).

これらの観察事実は、この時期に古宍道湾が閉塞状態となり、河川水の流入により湾内底層水の塩分が急激に減少することで、チヨノハナやイヨスダレなどの海生貝類と珪藻類が消滅し、その後ヒラタヌマコダキガイが急激に増殖しては大量死滅を繰り返す状況が続いていたことを示唆している. また、これ以外にも、例えば大阪湾・伊勢湾・静岡岡御前崎 (松島, 1984), 神戸沖 (石井・植田, 1998), 八郎潟 (渡部, 1989) などの完新統からも、同じ産状を示すヌマコダキガイ類の化石集団が報告されている. 従って、潮止め後の諫早湾と似たような環境変動は、過去にも自然現象として西日本各地で頻繁に生じており、これら地質時代に生じた「潮止め現象」においても、現在の東アジア各地で見られている大規模干拓事業と同様にヒラタヌマコダキガイが爆発的に増殖していたと考えることができる.

謝辞: 長崎大学教育学部の東幹夫教授と近藤寛助教授、長崎大学水産学部の西ノ首英之教授、および諫早市の土井博満氏には、諫早湾調整池の採泥調査に参加させていただいた. 金敬源氏をはじめとする韓国環境運動連合の方々および日韓共同干潟調査団の方々には、韓国セマングム地域の調査において様々な便宜をいただいた. U.S. Geological Survey の Janet K. Thompson 博士をはじめサンフランシスコ湾プロジェクトチームの方々には、サンフランシスコ湾の調査に参加させていただいた. Far East Branch

Russia Academy of Sciences の Yuri D. Zakharov 博士と国立科学博物館の重田康成博士にはアムール河口産ヌマコダキガイ類標本を提供していただいた。東京大学総合研究博物館の佐々木猛智博士、貝類保全研究会の山下博由氏、岡山大学農学部の福田 宏助教授と白藤淳一氏、鹿児島大学理学部の佐藤正典助教授と久保 監さん、日本湿地ネットワークの故山下弘文氏には、底生生物標本の同定をしていただいた。韓国仁荷大学の洪在上教授、韓国海洋研究所の諸涼吉博士、九州大学理学部の下山正一博士、島根大学汽水域研究センターの高安克己教授、大阪市立自然史博物館の石井久夫博士、熊本ルーテル学院大学の菊池泰二教授には、多くの有益な情報を提供していただいた。全国湿地保全連帯会議の鄭恩珠さんには韓国語の論文を翻訳していただいた。また、静岡大学理学部の北村晃寿助教授には本稿を作成する機会を与えていただいた。これらの方々に厚くお礼申し上げます。なお本研究費の一部として、日本学術振興会科学研究費補助金（奨励研究 A: No. 13740297）および財団法人トヨタ財団市民社会プロジェクト助成金を使用させていただいた。記して感謝の意を表します。

引用文献

- An, S. M. and C. H. Koh 1992. Environments and distribution of benthic animals on the Mangyung-Dongjin tidal flat, west coast of Korea. *The Journal of the Korean Society of Oceanography*, 27: 78-90. (in Korean with English abstract)
- 東 幹夫 2000. 諫早湾干拓事業の影響。佐藤正典（編），有明海の生き物たち，海遊舎，東京，pp. 320-337.
- Carlton, J. T., J. K. Thompson, L. E. Schemel and F. H. Nichols 1990. Remarkable invasion of San Francisco Bay (California, USA) by the Asian clam *Potamocorbula amurensis*. I. Introduction and dispersal. *Marine Ecology Progress Series*, 66: 81-94.
- Choi, J. W. and C. H. Koh 1994. Macrobenthos community in Keum-Mankyung-Dongjin Estuaries and its adjacent coastal region, Korea. *The Journal of the Korean Society of Oceanography*, 29: 304-318.
- 波部忠重 1994. ヌマコダキガイ。日本水産資源保護協会（編），水産庁委託，日本の希少な野生水生生物に関する基礎資料 (I)，日本水産資源保護協会，東京，pp. 79-80.
- ハンギョング・バクソンヨン・チュジョンテク・ホンソンフブ 2001. 海を売った人びと—韓国・始華湖干拓事業—。山下 亮（訳），南方新社，鹿児島，305 pp.
- Hong, J. S., R. H. Jung, I. S. Seo, K. T. Yoon, B. M. Choi and J. W. Yoo 1997. How are the spatio-temporal distribution patterns of benthic macrofaunal communities affected by the construction of Shihwa dike in the west coast of Korea? *Journal of the Korean fisheries society*, 30: 882-895. (in Korean with English abstract)
- 堀越増興・岡本正豊 1994. 有明海の湾奥部で繁殖した新外来種 *Potamocorbula cf. laevis* (Hinds) ヒラタヌマコダキガイ（新称）。ちりぼたん，24: 77-83.
- 石井久夫 1995. 汽水の貝 ヌマコダキガイのなかま (1). *Nature Study*, 41: 99-101.
- 石井久夫・植田静喜 1998. 神戸沖ボーリングコアから見つかった完新世ヌマコダキガイ属化石。 *Venus* 貝類学雑誌，57: 148.
- 諸 涼吉 2000. 海洋底生動物。環境影響分科調査団（編），セマングム事業環境影響共同調査団結果報告書（環境影響評価分野），セマングム事業環境影響共同調査団，ソウル，92 pp.（韓国語）
- 木村妙子・名越 誠・関口秀夫 1993. 隣接する河口干潟における底生動物の分布。三重大学生物資源紀要，10: 165-174.
- Lee J. H. and J. H. Cha 1997. A study of ecological succession of macrobenthic community in an artificial lake of Shihwa on the west coast of Korea: an assessment of ecological impact by embankment. *Ocean Research*, 19: 1-12.
- 李 元山・中尾 繁 1985. 北海道汽水湖群の底生動物群集，特に群集系列と環境との関係。北海道大学水産学部研究彙報，36: 12-27.
- 松島義章 1984. 日本列島における後氷期の浅水性貝類群集。神奈川県立博物館研究報告（自然科学），15: 37-109.
- Nakao, S. 1982. Community structures of the macro-benthos in the shallow waters in northern Japan. *Memories of Faculty of Fisheries, Hokkaido University*, 28: 225-304.
- Nichols, F. H., J. K. Thompson and L. E. Schemel 1990. Remarkable invasion of San Francisco Bay (California, USA) by the Asian clam *Potamocorbula amurensis*. II. Displacement of a former community. *Marine Ecology Progress Series*, 66: 95-101.
- Nicolini, M. H. and D. L. Penry 2000. Spawning, fertilization, and larval development of *Potamocorbula amurensis* (Mollusca: Bivalvia) from San Francisco Bay, California. *Pacific Science*, 54: 377-388.
- 佐藤勝義・泊 秀治 1994. 福岡県柳川市の沖端漁港に大量に投棄されていたヌマコダキガイの一種。ちりぼたん，24: 85-88.
- 佐藤正典 2000. 有明海の生き物たち—干潟・河口域の生物多様性—，海遊舎，東京，396 pp.
- 佐藤正典・東 幹夫・佐藤慎一・加藤夏絵・市川敏弘 2001. 諫早湾・有明海で何がおこっているのか？ 科学，71: 882-894.
- 佐藤慎一 2000. 二枚貝類—特に諫早湾について。佐藤正典（編），有明海の生き物たち—干潟・河口域の生物多様性—，海遊舎，東京，pp. 150-183.
- 佐藤慎一 2001. ヒラタヌマコダキガイは何処から来て，何処に行くのか？：日本，韓国，ロシア及びアメリカ合衆国産ヌマコダキガイ類の形態比較。 *Venus* 日本貝類学会誌，60: 109.
- 佐藤慎一・東 幹夫・近藤 寛・西ノ首英之 2001a. 諫早湾干拓地の貝類相—調整池における貝類相の時間的変化—。第四紀研究，40: 85-95.
- 佐藤慎一・白藤淳一・久保 監 2001b. 黄海セマングム地域における干潟底生生物群集。2000年5月・8月ベントス調査班報告書（定性・定量調査）。日韓共同干潟調査団（編），日韓共同干潟調査2000年度報告書，聖母の騎士社，長崎，pp. 37-56.
- Shimoyama S. 1997. Fossil molluscan assemblages and paleoenvironment in the Yangtze Delta—Comparative study between the Yangtze Delta and the Saga Plain—. In, *Global environment and human living - Proceedings of the Nihon University International Symposium on Global Environment and Human Living, Tokyo, 5-6 March 1996*, Hagiwara, Y., M. Sakuta and K. Endo (eds.), Nihon University, Tokyo, pp. 213-229.
- 高安克己・田中秀典・佐藤慎一 2000. 宍道湖コア SJ96 に見られるヌマコダキガイ密集層の古環境の意味—サンフランシスコ湾の例との比較から—。島根大学地球資源環境学研究報告，19: 37-45.
- 堤 徳郎・西村和久・岡本正豊 1997. 沼沼産ヌマコダキガイについて。ちりぼたん，28: 11-12.
- 上田直子・堤 裕昭・明石久美・林田千恵美・山田真知子 1999. 紫川河口域における底生動物の分布とその季節変化に影響を及ぼす環境因子について。日本ベントス学会誌，54: 4-13.
- 和田恵次・西平守孝・風呂田利夫・野島 哲・山西良平・西川輝昭・五嶋聖治・鈴木孝男・加藤 真・島村賢正・福田 宏 1996. 日本における干潟海岸とそこに生息する底生動物の現状。WWF-Japan サイエンスレポート，3: 1-182.
- 渡部 晟 1989. 八郎潟の完新統産 *Potamocorbula amurensis*。秋田県立博物館研究報告，14: 39-40.
- 山下博由・佐藤慎一・吉崎和美 2001. 日韓共同干潟調査による韓国黄海沿岸の軟体動物・腕足動物目録 第一報。日韓共同干潟調査団（編），日韓共同干潟調査2000年度報告書，聖母の騎士社，長崎，pp. 86-104.