

宍道湖コア SJ 96 に見られるヌマコダキガイ密集層の古環境的意味 —サンフランシスコ湾の例との比較から—

高安 克己¹・田中 秀典¹・佐藤 慎一²

Paleoenvironmental meanings of the brackish-water clam *Potamocorbula* swarm beds in the sediment core SJ 96 from Lake Shinji, southwest Japan — in comparison with the occurrence in San Francisco Bay, California, USA—

Katsumi Takayasu, Hidenori Tanaka and Shin'ichi Sato

Abstract

Several layers densely containing the bivalve mollusk *Potamocorbula* sp. are observed in the sediment core from Lake Shinji. The characteristics of the layers are as scarcely having any fossils except *Potamocorbula* sp., most of the shells being juvenile stage of 4 to 5 mm in length and horizons of them overlapping with diatom barren zone. On the other hand, *P. amurensis* invaded San Francisco Bay, California, USA, in 1986 from Asia as veliger larvae in the seawater ballast of cargo vessels and spread throughout the estuary within 2 years. Making reference to the continuous record of the appearance and spread of *P. amurensis* in San Francisco Bay carried out by the project team of U. S. Geological Survey, the meaning of *Potamocorbula* layers in the core from Lake Shinji was discussed.

- 1) The appearance of *Potamocorbula* sp. in the core from Lake Shinji was related to the appearance of the enclosed low-saline water area of 7800 to 7900 years ago, which was caused by the climate of high precipitation before and after the K-Ah tephra horizon of 7300 Cal. Y. B. P.
- 2) The reason why diatom becomes barren in the beds of *Potamocorbula* sp. is supposed to be the remarkable effect of filtration of the clam.
- 3) The swarm occurrence of *Potamocorbula* sp. in the layers is considered to be a condensation by the repeated mass production of dead shells by the seasonal appearance of anoxic bottom condition and the small amount of sediment supply to the bottom.

In Japan, the habitat of *Potamocorbula* spp. overlaps with that of *Corbicula japonica*, one of the most important clams in fishery. If *Potamocorbula* spp. invaded Lake Shinji where the highest catch of *C. japonica* has been recorded in Japan, it can readily be imagined that the economy of this area as well as the ecology in the lake must suffer a great deal of damage. It is fully significant to clarify the mechanism of invasion of *Potamocorbula* sp. in the past sediments for the prevention and estimation of damage.

Key words: *Potamocorbula*, Lake Shinji, San Francisco Bay, invasion mechanism, core sample, *Corbicula japonica*

はじめに

宍道湖底の堆積物である中海層からヌマコダキガイ (*Potamocorbula* sp.) が密集して産出することはすでに報告した (高安ほか, 1998).

ヌマコダキガイは繁殖力が大きく, 1993 年には有明海に注ぐ河口域ではヤマトシジミの漁場に大きな被害をおよぼした (堀越・岡本, 1994; 佐藤・泊, 1994). また, 茨城県涸沼でも 1994 年頃から出現し, 2 年後の 1996 年には, ここでもヤマトシジミ漁に影響を及ぼし始めた (堤ほか, 1997).

さらに最近では, 潮止め堰堤の完成後の有明海の諫早干拓地で, 塩分低下に伴って調整池でヌマコダキガイが大発生したことが記録されている (佐藤ほか, 2000, 印刷中; 佐藤, 2000). この有明海のヌマコダキガイは中国大陸沿岸からの移入種とされ, ヒラタヌマコダキガイ (*Potamocorbula* cf. *laevis*) と呼ばれている (堀越・岡本, 1994). 一方, 涸沼産の種は, 典型的な北方系種で, しかも絶滅危急種とされる (波部, 1994) ヌマコダキガイ s.s. (*P. amurensis*) に同定されている (堤ほか, 1997).

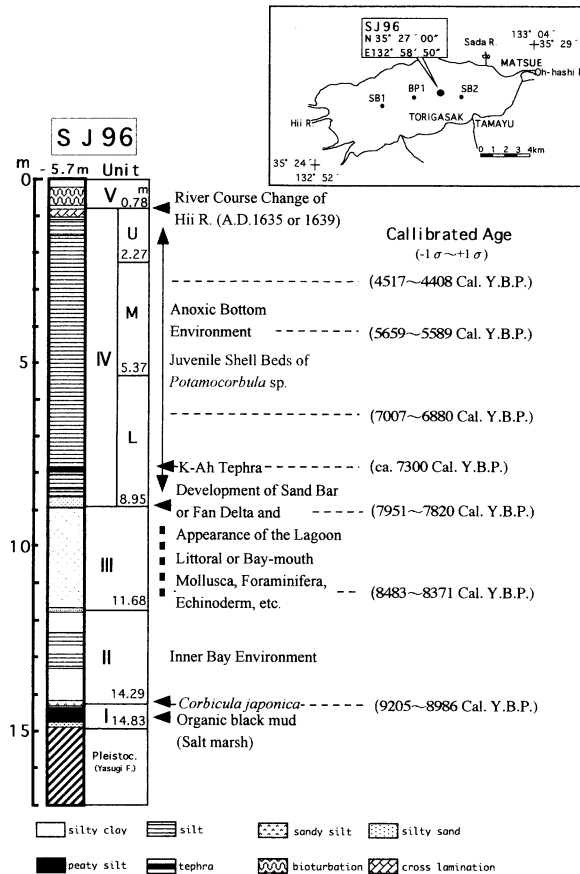
太平洋を挟んだカリフォルニア州のサンフランシスコ湾でも 1987 年にアジアからの移入種として初めて生息が確認されて以来, ヌマコダキガイ (*P. amurensis* に同定されている) がまたたくまに汽水性ベントス群集の独占的ニッチを確立した (Carlton, *et al.*, 1990). サンフランシスコ湾では古くからさまざまな調査チームが継続的に調査を行っており, とくにアメリカ地質調査所の水資源部 (Water Resources Division, U.

¹ 島根大学汽水域研究センター

Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University,
Matsue 690-8504, JAPAN: e-mail; takayasu@soc.shimane-u.ac.jp

² 東北大学総合学術博物館

Museum, Tohoku University, Sendai 980-8578, JAPAN: e-mail; kurosato@dges.tohoku.ac.jp



第 1 図 コア SJ 96 の位置と層序の概要

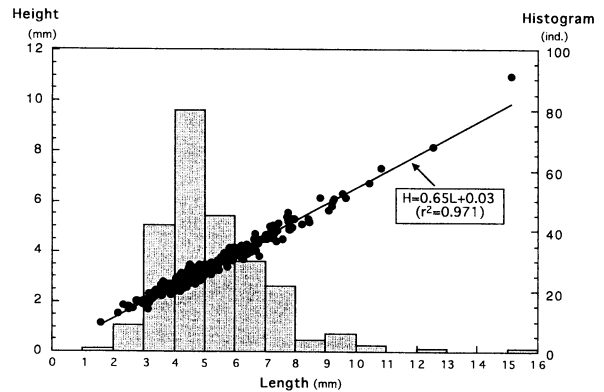
S. Geological Survey) では 1977 年から湾内の水質と底質の定期調査を継続してきた³。その過程でヌマコダキガイの侵入を確認し、特別なチームを編成してその侵入・拡散の経過や環境や生態系に及ぼす影響について多くのデータを蓄積してきた。

筆者らは 2000 年 8 月に、このヌマコダキガイに関するプロジェクトチームの Dr. Janet K. Thompson の招きでサンフランシスコ湾の調査に参加することができた。その際、宍道湖底堆積物中のヌマコダキガイ密集層の成因を考える上で貴重な情報を数多く得ることができた。ここでは、これらを紹介しつつ、宍道湖コア SJ 96 でこれまでに得られたデータをもとに、ヌマコダキガイ密集層のもつ古環境的な意味について考察する。

宍道湖コアにおけるヌマコダキガイの産状

1. 産出層準

SJ 96 は鳥根県古代文化センターが 1996 年に古代出雲地方の自然景観復元に関する研究の一環として、玉湯町鳥ヶ崎沖



第 2 図 宍道湖コア産ヌマコダキガイ (*Potamocorbula* sp.) の殻長頻度分布と殻高-殻長散布図

の水深 5.7 m の地点で掘削した環境分析用のコアである。位置は東経 132° 58' 50", 北緯 35° 27' 00" で、深度 14.83 m で基盤の更新統(安来層)に達した。高安ほか(1998)によれば、このコアの中海層は下位より I から V のユニットに分けられ(第 2 図)、ヌマコダキガイはユニット IV に特徴的に産出する。また、その後、水洗した試料を詳細に観察した結果、ユニット II にもわずかに産出していることがわかった。なお、SJ 96 以前に宍道湖で掘られたコア(SB 1, SB 2)でも SJ 96 とほぼ同層準に同様な小型二枚貝の卓越した産出が記録されている(水野ほか, 1972; 三梨・徳岡編, 1988)。すでにこれらの標本がなく再検討することができないが、これらもヌマコダキガイであった可能性が高い(高安ほか, 1998)

SJ 96 のユニット IV では、ほぼ全層準にあたる深度 1.76 m から 8.73 m までヌマコダキガイが産出する。ユニット IV は上部(IV-U; 0.75~2.27 m)、中部(IV-M; 2.27~5.37 m)および下部(IV-L; 5.37~8.95 m)に細分される。そのうち、IV-M の深度 2.5~3.0 m および深度 4.0~4.6 m の層準では 12~13 cm 間隔で、また、IV-L の深度 6.2~6.7 m の層準では 6 cm 以下の間隔でヌマコダキガイが密集するラミナ状の層が頻繁に挟まれる。また、IV-U では深度 1.76 m、IV-M では深度 2.30 m、3.43 m および 5.03 m にもラミナ状の密集層がみられる。ユニット II の中部(深度 13.07 m)も含め、その他の層準では層厚 1 cm あたり 1~数個体程度が散在的に認められる。

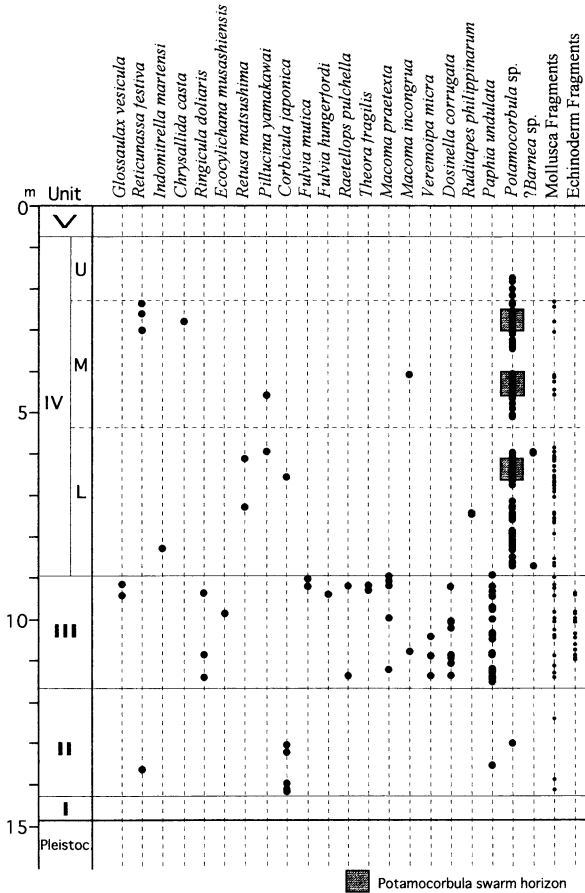
ヌマコダキガイが密集して産出する層準については、貝片による AMS-¹⁴C 年代を測定した。ユニット IV-M の深度 2.69 m の貝片は 3990±50 Y.B.P. (暦年代で約 4420 Cal. Y.B.P.)、同じく深度 4.15 m では 4890±60 Y.B.P. (暦年代で約 5610 Cal. Y.B.P.)、また IV-L の深度 6.30 m では 6085±50 Y.B.P. (暦年代で約 6910 Cal. Y.B.P.) を示した⁴。

2. 種の同定

ヌマコダキガイは合弁個体が多かったが(50%以上?)、水洗の過程で左右が分離してしまい正確なデータが得られていない。また、殻長が 10 mm 以上になる個体は極めて少ないのが特徴であり、多くは右殻の殻長 4~5 mm、殻高 3 mm 前後の個体である(第 2 図)。これらは大きさと外形から判断すると、安藤(1965)によって神戸市西部の大阪層群相当

³ 詳しくは以下のホームページ参照。http://www.sfbay.wr.usgs.gov/

⁴ AMS-¹⁴C 年代測定は名古屋大学北川浩氏に依頼し、オランダ Groningen 大学で行われた。また、暦年代への補正にはプログラム CALIB 3.0.3 c (Stuiver and Reimer, 1993) を用いた。



第3図 コア SJ 96 における貝類の産出状況

層（長坂新田層）中の高塚山貝層からヌマコダキガイ (*P. amurensis*) の亜種として記載されたコガタヌマコダキガイ (*Potamocorbula amurensis takatukayamaensis*) に近い。ただし、これらに混じって比較的大型の個体も見つかっており、本コア中最大の個体は IV-M の深度 3.23 m から産出した合弁の個体で、右殻の殻長 15.13 mm、殻高 10.98 mm、殻幅が 6.83 mm であった。この大きさになると有明海で現生し、大陸からの移入種であるとされるヒラタヌマコダキガイ (*P. cf. laevis*) (堀越・岡本, 1994; 土田・岡村, 1997) に類似してくる。したがって、コガタヌマコダキガイはヒラタヌマコダキガイの幼貝である可能性が高いが、筆者らはヌマコダキガイの仲間の分類を再検討する必要があると考えており、現段階では *Potamocorbula* sp. としておく。

3. 共産する貝化石

コア SJ 96 における貝類の産出状況を第3図に示す。

ヌマコダキガイが密集するユニット IV では、共産する貝の種類が極めて少なくなり、個体数の上でも本種がほぼ独占する。共産する貝類としては、IV-L よりマルテンマツムシ (*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 (*Corbicula japonica*) とアサリ (*Ruditapes philippinarum*) およびウミタケガイ? (*Barnea* sp.) と思われる破片がみられる。また、IV-M からはアラムシロ (*Reticunassa festiva*)、カゴメイトカケ

クチキレ (*Chrysalidida casta*)、アラウメノハナ、ヒメシラトリ (*Macoma incongrua*) および所属不明の微少な巻貝 (?カワザンシヨウガイ *Assimineia japonica*) が散見されるのみである。これらはいずれも内湾の潮間帯や汽水域を特徴づける貝である。また、ユニット II ではヤマトシジミが下半部に卓越して産出するが、ヌマコダキガイはその直上にわずかに (2 個体) 産出しただけである。

なお、ヌマコダキガイが産出しないユニット III では、チヨノハナガイ (*Raetellops pulchella*)、ヒメカノコアサリ (*Veremolpa micra*)、ウラカガミ (*Dosinella corrugata*)、イヨスダレ (*Paphia undulata*)、マメウラシマ (*Ringicula doliaris*) などが産出するが、イヨスダレ以外は個体数と産出頻度は極めて低い。イヨスダレはユニット III の全体を通じて最も優占する種であり、次いでウラカガミ、オオモノハナガイ (*Macoma praetexta*) などが中・上部でしばしば産出する。なお、ユニット III の中部 (深度 9.80~10.97 m) ではウニの殻 (種未同定) の破片を頻繁に含む。高安ほか (1998) が指摘したように、ユニット III はこのコアで最も海水進入の影響を受けた層準であることは、このような湾口から沿岸の貝化石群の産出からも支持される。ヌマコダキガイはこの海進の前と後に出現していることになる。

4. ヌマコダキガイの産状

すでに述べたように、ユニット IV におけるヌマコダキガイは、1) ラミナ状に密集して産出すること、2) この密集層ではほとんど他の種類の貝化石を含まずヌマコダキガイが圧倒的に優占すること、3) ヌマコダキガイは小型で合弁の個体が多いこと、の3つが特徴である (第4図)。ところで、安藤 (1965) はコガタヌマコダキガイを記載した際、同じ高塚山貝層から産出する貝類として、ムカシチヒロ (*Volachlamys yagurai*)、*Chlamys halimensis*、マガキ (*Ostrea gigas*)、トリガイ (*Fulvia mutica*)、カガミガイ (*Dosinia japonica*)、ヒメシラトリ、などを列記している。そして、それらの貝類組成からコガタヌマコダキガイが必ずしも汽水生種とは言い切れず、*P. amurensis* のような寒冷種 (波部, 1994) と考える必要もないと述べている。その後、波部 (1980) は瀬戸内海の来島海峡と明石海峡、および九州野母半島千々石湾側の海底の凹地からもヌマコダキガイがドレッジされたことを報告した。来島海峡の遺骸群ではヌマコダキガイの個体数が圧倒的に多かったが、共産した貝類遺骸の中には典型的な汽水生種は含まれなかった。そして、それらは速い潮流によって海底に露出した古い汽水成堆積物から洗い出された化石が、現在の海底の貝類遺骸とともに再堆積したものと解釈された。

石井 (1995 a) は高塚山貝層のコガタヌマコダキガイの産状について、「大きなマガキの貝殻と貝殻の間の粘土層には、わずかなマガキの破片のほか、ヌマコダキガイ化石が大量に含まれていたこと、化石の配列が、水に流されてたまったことを思わせる、波打つような状況であったこと、それでいて、両方の殻が合わさったものが多かったことなどを観察した」と述べている。したがって、安藤 (1965) がリストに掲げた貝類は高塚山貝層全体の組成であって、層別にみるとコガタヌマコダキガイはほとんど独占的に密集層をつくっている

深度 (m)

2.55

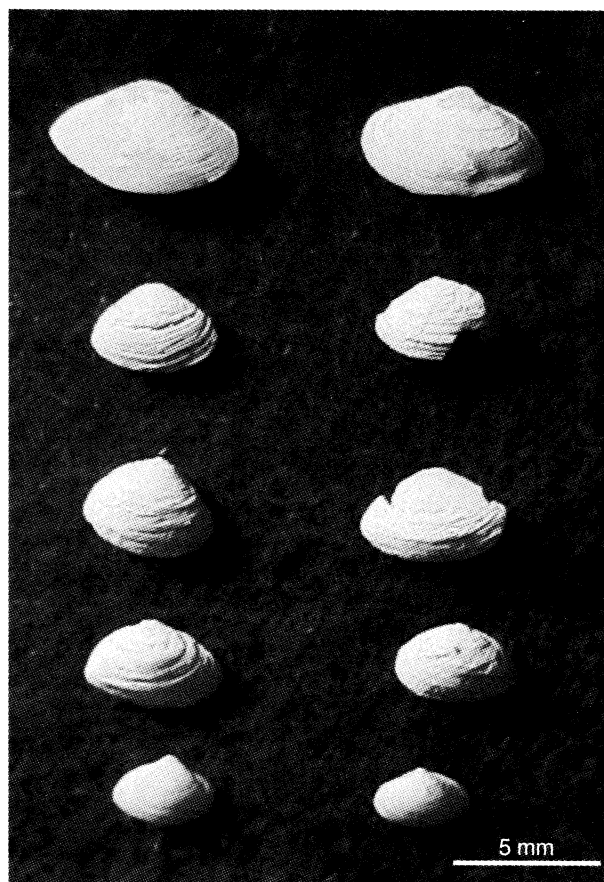
2.60

2.65

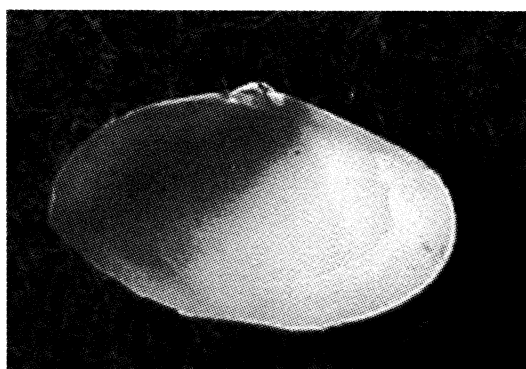
2.70



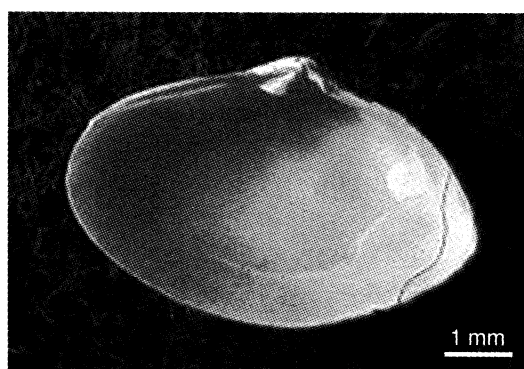
a



b



c



d

第4図 ヌマコダキガイ密集部のソフト X 線写真 (a) といくつかの標本 (b), および殻内面の拡大写真 (c; 左殻, d; 右殻)

みてよい。この産状は宍道湖のコア SJ 96 のユニット IV の場合とよく似ている。同様な例は有明海奥部低地のコア (下山ほか, 1996) や新大阪の地下の資料 (梶山・市原, 1972) などでもみられる。

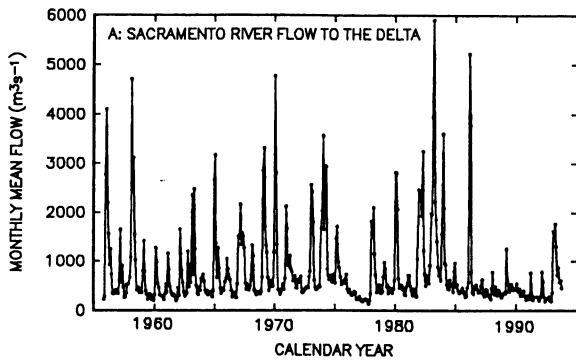
こうした産状から、コガタヌマコダキガイは瞬時に他の貝を駆逐して、高密度の生息域を獲得する特性があると推定され、また、死後もほぼその生息域内かごく近隣で潮流などによって集積し、埋積される、という過程が想定できる。本論のはじめに述べた有明海沿岸におけるヒラタヌマコダキガイの

例は、このような現行過程をよく示している (石井, 1995 b)。

サンフランシスコ湾へのヌマコダキガイの侵入過程

1. サンフランシスコ湾の概要

サンフランシスコ湾は金門橋がかかる幅 1 km, 長さ 5 km の水道を入り口として南湾と北湾の 2 つの奥深いエスチュアリ・システムで構成されている。北湾はさらに地形的な隘部を境に奥に向かってサンパブロ湾 (San Pablo Bay) とスイス



第5図 サクラメント川からデルタ地帯へ流出する淡水量の変化 (Schemel *et al.*, 1996)

ン湾 (Suisun Bay) の2つの水域が連なり、最奥部にはサクラメント川 (Sacramento River) とサンジョアキン川 (San Joaquin River) の河口部が広大なデルタ地帯 (the Delta)⁵ を構成している。南湾はサンノセ方面にのびる比較的単純な地形をした水域であるが、北湾に比べ沿岸域に大都会を控え人口の集中が著しい。

サンフランシスコ湾全体の面積は 1240 km² で、南北両湾とも沿岸には広い泥湿地が広がっており、その面積は 200 km² におよぶ。また、水域でも水深 2 m 未満の浅場の面積が 50% を占める (Conomos *et al.*, 1985)。そして、その浅場には、幅約 1 km、水深 6~10 m の沈水河道状の深場が細長く追跡できる。海水はそれに沿って湾内に遡上してくるが、湾内の塩分は河川水の流入量の季節的变化に大きく依存している。

2. サンフランシスコ湾の塩分と淡水流入量の変動

通常の冬の塩分は、北湾のサンパブロ湾東端で表層水で 2 psu、底層水で 6 psu 程度であり、南湾では強混合型で表層水底層水とも 15 psu かそれ以下である。しかし、夏には北湾でも強混合型になり、サンパブロ湾東端で 18 psu 程度、スイスン湾の東端で 2 psu 程度の塩分になる。とくに雨が少ない夏にはデルタ地帯にも 2 psu 程度の塩水が遡上する (Conomos *et al.*, 1985)。

サンフランシスコ湾の、とくに北湾の塩分変化は河川から流入する淡水量の変動に大きく左右される。サンフランシスコ湾に流入する淡水の総量は年間 209 億トンであり、そのうちの約 91% (190 億トン) は主にサクラメント川からデルタ地帯に流れ込む (Conomos *et al.*, 1985)。とくに、上流域のシエラネバダ山脈の降雪と融雪による冬から春にかけての淡水流入量が、他の季節に比べて圧倒的に多い。サクラメント川とサンジョアキン川を合わせた流域面積はカリフォルニア州の面積の 40% を占めるが、州南部は乾燥地帯であるため州の降水の 70% は州北部、すなわちサクラメント川流域に偏っている (Bennett and Moil, 1996)。このため、合衆国政府と州

政府は南部の灌漑などを目的にサクラメント川の水を分水する事を計画し、それぞれ 1951 年と 1967 年に工事が完成した。以後、とくに冬から春にかけてのサクラメント川からデルタ地帯へ流れ込む淡水量は約 40% 減少した (Arthur *et al.*, 1996)。

サクラメント川からサンフランシスコ湾へ流入する淡水量は、中長期的には降水量の年変動によっても大きく左右される。コア試料の酸素と炭素の同位対比から推定した過去数 100 年間の淡水流出量と塩分の変動については Ingram *et al.* (1996) が議論しており、また、実測値をもとにした数十年間の変動については、その他の多くの論文で議論されている (第5図)。年次別にみると、1928~1934 年、1976~1977 年、1987~1992 年が淡水流入量が少ない時期でサンフランシスコ湾の塩分は上昇している。また、1983 年と 1998 年のエルニーニョを挟む数年間は流入量が多い時期にあっており、とくに 1986 年 2 月には今世紀最大といわれるストームによる大洪水によって大量の淡水が流れ込み、通常は 33~20 数 psu ある湾口の金門橋付近の塩分が 10 数 psu まで低下した (Peterson *et al.*, 1996)。サンフランシスコ湾でヌマコダキガイの侵入が確認されたのはその直後である。

3. サンフランシスコ湾のヌマコダキガイの侵入経過

サンフランシスコ湾のヌマコダキガイの侵入過程については Carton *et al.* (1990) および Nichols *et al.* (1990) に詳しい。以下、それらをもとに概略を紹介する。

ヌマコダキガイがサンフランシスコ湾で初めて確認されたのは 1986 年 10 月であり、北湾のスイスン湾で継続的に行われてきたサンプリングの際に 2 地点から合計 3 個体が採取された。1987 年 1 月にはサンパブロ湾でも採取され、その後急速に分布域と個体数が増え続け、5 月にはスイスン湾北部の浅場 (グリズリー湾 Grizzly Bay と呼ばれる) では個体数では他のベントスの 10 倍以上を占める優占種となった。さらに、7 月には南湾でも湾奥の 2 地点から数個体発見された。そして、1988 年までに北湾のあるサイトでは生息密度が 1 m² あたり 10,000 個体を越えるまでに至った (第6図)。

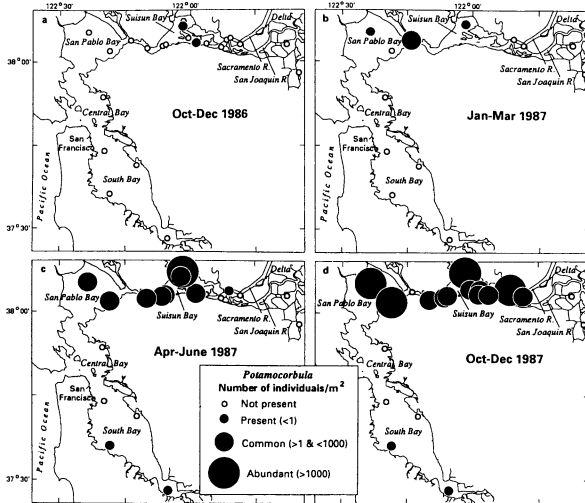
そもそも、このヌマコダキガイはアジアからの貨物船のバラスト水に紛れていたベリジャー幼生が定着した、と考えられている。現在では、サンフランシスコ湾でヌマコダキガイが生息する水域は、塩分が 1 psu 以下から 30 psu 以上に及び、また、底質も砂、泥からピートに至るまで、あらゆる範囲にわたっている。これらのことから、生活史の様々な段階において環境に対する広い耐忍性をこの二枚貝は獲得している、と理解される。

移入後の爆発的な個体数の増加と生息域の拡大は、エスチュアリ生態系の栄養動態とベントス動態に大きな影響を与えた。すなわち、旺盛な繁殖力は他のベントスが底質を利用する機会を奪い、高い濾過率による濾過食の結果として植物プランクトンの現存量を激減させ、その結果、有機物の底質への負荷を減らした。また、ヌマコダキガイ自身も鳥や魚やカニなどの捕食者に対して新しく豊富な餌を提供した。

4. ヌマコダキガイの爆発的な増加と拡散のメカニズム

サンフランシスコ湾北湾のベントス群集は、河川からの淡

⁵ 1848 年にカリフォルニアで初めて金が発見されたことからサクラメント川上流域でゴールドラッシュとなり、砂金採掘のため大量の土砂が下流域に流出し、このデルタ地帯が急速に拡大したといわれている。



第 6 図 サンフランシスコ湾におけるヌマコダキガイの侵入経過 (Carlton et al., 1990)

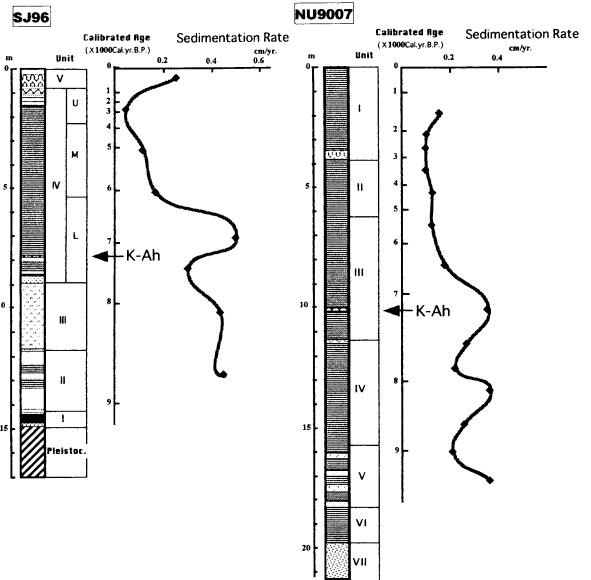
水流入量が通常かやや多い期間は数種の汽水生種と淡水生種から構成されている。淡水流入量が少ない年が続くと 2 年目あたりからセイヨウオオノガイ (*Mya arenaria*) など、より湾口に近い水域から分布を広げてきた種の数が増えた。この繰り返しがサンプリング開始からヌマコダキガイが発見される直前までみられた。

ところが、前述のように 1986 年 2 月にストームによる大洪水があり、これによってスイスン湾の汽水生種と淡水生種からなるベントス群集が大きくダメージを受けたところにヌマコダキガイが侵入した。その後、前述のように、1987 年から 1992 年まで長い乾期が続いたのであるが、より高塩分の種からなる群集が回復する前に (1 年以内に)、この新参二枚貝がハビタートを占領してしまった。ひとたびこの状態が成立してしまうと、ヌマコダキガイは湾内の餌を独占し、また、その広耐塩性によって低塩分の年が続いても生態的地位を維持することができた。Nichols et al. (1990) は、ヌマコダキガイの爆発的な増加と拡散のメカニズムをこのように考えた。

宍道湖の古環境変遷におけるヌマコダキガイ出現の意味

1. ユニット III~IV の古地理変遷

高安ほか(1998)は、コア SJ 96 の含水比、強熱減量 (LOI)、全有機炭素量 (TOC)、全窒素量 (TN)、全イオウ量 (TS) などの分析結果から、ユニット III の最上部からとユニット IV の最下部付近で、西方に開いた古宍道湾 (徳岡ほか, 1990) の湾口が急速に閉塞していった、と推定した。ユニット III とユニット IV の境界 (深度 8.95 m) よりわずかに下位の深度 9.22 m で採取された貝片 (種不明) の AMS-¹⁴C 年代は 7130 ± 80 Y.B.P. (暦年代で約 7910 Cal.Y.B.P.) であり、また、¹⁴C 年代で 6500 Y.B.P. (暦年代で約 7300 Cal.Y.B.P.) の鬼界アカホヤ火山灰層 (K-Ah) がユニット IV-L の下部の深度 7.93 m に挟まれているので、この事件が起こったのはおよそ 7800~



第 7 図 コア SJ 96 および地中海のコア NU 9007 における堆積速度の変化

7900 年前のことと見て良い。

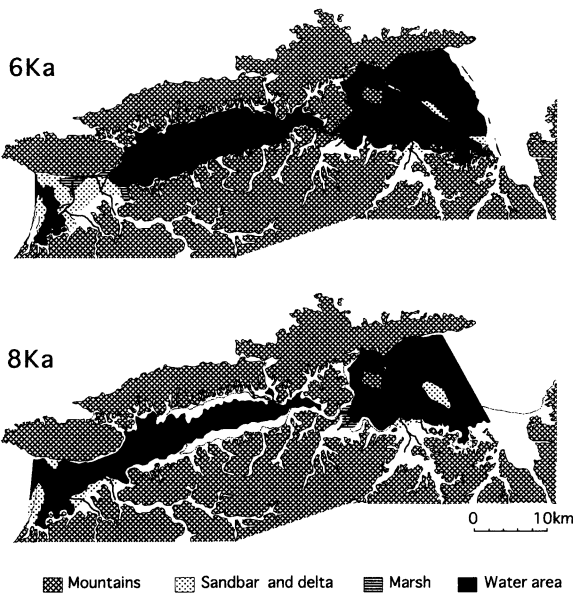
湾口が急速に閉塞していったのは、おそらくこの時期に斐伊川河口の三角州や湾口の砂州が急速に発達してきたためであろう。宍道湖では K-Ah 層準を挟んで堆積速度が大きく、およそ 7000 Cal.Y.B.P. でピークを迎えた後、急速に遅くなっていく。同様な堆積速度の変化は地中海でも見られ、堆積速度が大きいことは河川の流入量が大きかったことを表しており、それは縄文時代前期には降水量が多かったことを間接的に示している (第 7 図)。

ところで、当時の海水面のレベルはどうであったか? SJ 96 ではこの時期の海水面レベルを示す直接の証拠はないが、松江市大井町でやはり古代出雲の景観復元のために掘られたコア OH-A で得られた資料 (高安, 印刷中) と中村ほか (1996) が推定した K-Ah 降灰時の海水面レベルとから補間すると、7800~7900 年前の海水面はマイナス 4.5 m 程度と推定される。この位置まで海面が上昇すると、それまで宍道湖側と中海側に水系を分けていた現在の大橋川塩橋島付近の基盤 (中新統の松江層) からなる鞍部を越えて水道 (出雲國風土記にあるように、これを「朝酌促戸」と呼ぶ) が開通し、両水系は一連の水系となることできる。

すなわち、西方の古宍道湾の湾口閉塞と「朝酌促戸」の開通とはほぼ同時に起こった事件であり、これ以後、宍道湖への海水の流入は現在と同じように主に中海側から行われることになる (第 8 図)。ただし、西方の湾口も完全に閉塞したわけではなく、おそらく湿地帯のような状況がしばらく続き、この地域で最高海水面レベルを示す約 5700 年前 (¹⁴C 年代で約 5000 年前; 中村ほか, 1996) までは時折、西方からの海水の侵入もあったかも知れない。この点については出雲平野西部の試錐調査も含めて、現在検討中である。

2. ヌマコダキガイ密集層準の古環境

上述したように、ユニット III からユニット IV にかけて、



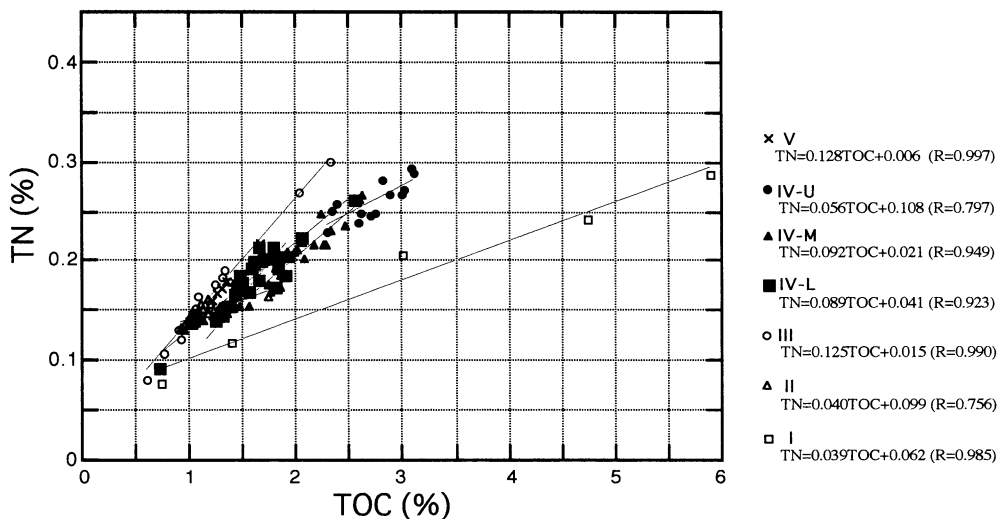
第 8 図 ユニット III およびユニット IV の時代の古地理図

宍道湖の古地理は大きく変わり、それに伴い環境も激変した。その原因となったものは多雨による河川からの大量の堆積物の供給であった。湾口の閉塞により宍道湖の塩分は低下した。当時の斐伊川水の一部もおそらく宍道湖に流入しており、塩分低下に寄与したかも知れない。これによってユニット III の時代のイヨスダレ等を優占種とするベントス群集は壊滅した。そこに、ヌマコダキガイが侵入してきたのである。この状況は、時間的なスケールこそ違おうが、まさに、1986～7年

当時のサンフランシスコ湾の状況と同じである。

C/N 比は有機物の起源を推定する上で重要な指標である。TN-TOC 回帰直線 (第 9 図) をもとにユニット III とユニット IV の平均 C/N 比を検討すると、それぞれ 8.0 と 13.3 であり、ユニット IV の方がプランクトン起源の有機物が少ないと判断できる (高安ほか, 1998)。事実、第 10 図で示すように、ユニット IV では珪藻がほとんど産出しなくなる (森田ほか, 1998)。この原因について、ユニット IV では従前に比べ斐伊川の直接的な影響が少なくなったこと、降水量が減少したこと、等によって宍道湖に流入負荷される栄養塩の量が少なく、プランクトンの発生が制限された、と考えた (高安, 1998)。しかし、Cole *et al.* (1992) によればヌマコダキガイの濾過速度は、貝が利用する水の流速にも左右されるが、乾燥軟体部 1 グラムあたり、最高で 575 リットル/日にもものぼる。宍道湖のヤマトシジミでは水温と個体サイズに左右され、最適温度で大型個体では乾燥軟体部 1 グラムあたり約 200 リットル/日、中小型個体では 150 リットル/日程度といわれているので (Nakamura *et al.*, 1988)、ヌマコダキガイの濾過速度はヤマトシジミの 3～4 倍になる⁶。第 11 図に示すように、サンフランシスコ湾の例では、ヌマコダキガイの侵入以後クロロフィル a の濃度が激減し、その後最近まで大発生は知られていない (Cloern, 1996)。以上の理由で、今やヌマコダキガイのその旺盛な食餌効果を見無視することはできなくなってきている。

宍道湖のヌマコダキガイが小型であること、および密集して産出することについては、サンフランシスコ湾のデータはあまり参考にならない。宍道湖のヌマコダキガイは、前述したように大部分が殻長 10 mm 以下であるが、非常に稀に



第 9 図 コア SJ96 における TN-TOC 散布図と回帰直線 (高安ほか, 1998)

⁶ 厳密には Cole *et al.* (1992) のデータはヌマコダキガイの Ash-free dry weight (AFDW) 1 グラムあたりである。ヤマトシジミの場合、筆者らの実験によれば乾燥軟体重量の約 10% は灰分である。したがってヤマトシジミの濾過速度は AFDW 1 グラムあたりに換算すると本文中の数字より約 1 割大きくなる。

湖底深度 0 m	古環境	特徴となる珪藻種
Zone III	淡水 汽水まれに海水	<i>Aulacoseira guranulata</i> <i>Thalassiosira bramaputrae</i> <i>Diponeis pseudovalis</i> <i>Cyclotella caspia</i>
0.55	AD1500年頃斐伊川道の付け替え	珪藻産出せず。
6.36	7.80m アカキヤ火山灰 (約6300y.BP)	
Zone II - 2	汽水 海水の流入が多い。 少なくとも、現在の宍道湖より塩分が大きい。	<i>Cyclotella caspia</i>
9.80	Zone II - 1	<i>Cyclotella caspia</i>
10.22	汽水 淡水生珪藻種の混じり込みが増える。	<i>Aulacoseira guranulata</i>
12.25	貝片散在	珪藻産出せず。
Zone I	淡水 わずかに汽水。 海水が流入していた。	<i>Aulacoseira guranulata</i> <i>Diponeis pseudovalis</i> <i>Cyclotella caspia</i>
13.86	ヤマトシジミ	珪藻産出せず。

第 10 図 コア SJ 96 における珪藻の産出状況 (森田ほか, 1998)

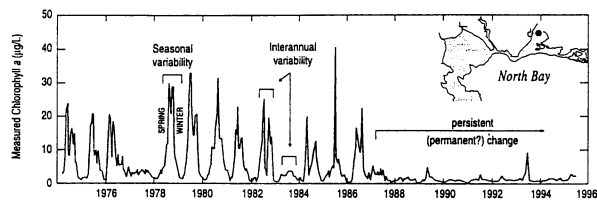
15 mm に達する個体もある。他の産地の化石ヌマコダキガイのうち、コガタヌマコダキガイとされているものの全てがそうであるとは言えないが、少なくとも宍道湖のものは成貝サイズの個体ではヒラタヌマコダキガイに類似する。従って、小型の個体は全て、成長の初期の段階で死亡した可能性がある。この大量斃死の原因として最も考えやすいのは、断続的な貧酸素水塊の出現である。現在の宍道湖も夏季には底層水が停滞し貧酸素水塊が形成されるが、冬季には季節風による水塊の垂直混合が起こり、貧酸素水塊は消滅する。

すでに述べたように、西方がほとんど閉鎖され、東方も浅い「朝酌促戸」を通してのみ海水が侵入してくる、と言う当時の宍道湖の状況は現在とあまり変わらない。ただし、当時の海水面の位置と堆積物の深度を考慮すると、SJ 96 におけるユニット IV の時代の水深は現在よりも 2~8 m 深く、貧酸素水塊は現在よりも形成されやすかったかも知れない。また、密集層の成因については、堆積速度の減少も大きな要因になっていると考えられる。堆積速度は密集層が形成されるユニット IV-L の上部から IV-M にかけて急激に減少し、0.2 cm/y 以下になる (第 7 図)。堆積物の供給量の減少と季節的な発生と死亡の繰り返し、いわゆる堆積シーケンスにおけるバックラップ型化石密集層の形成 (Kidwell, 1989) と同様なコンデンセーション効果を促進させたと見られないだろうか? サンフランシスコ湾では明瞭な貧酸素水塊が形成されず、ヌマコダキガイの貧酸素環境に対する耐性については十分に検討されていない。しかし、化石ヌマコダキガイの産状の問題を解決するにはさけて通れない課題である。

ま と め

宍道湖のコア SJ 96 に見られるヌマコダキガイの密集層の意味について、サンフランシスコ湾でのヌマコダキガイの移入と拡散経過を参考に考察を加えた。その結果は以下のよう
 にまとめられる。

1) ヌマコダキガイがユニット IV で大発生した背景には、7800~7900 年前に起こった古宍道湾の湾口の閉塞による閉鎖水域の出現と、その閉鎖水域における塩分の低下が原因として考えられる。湾口閉塞や塩分低下には K-Ah 火山灰層準の直上付近まで続く多雨気候が影響していたと考えられる。



第 11 図 サンフランシスコ湾におけるクロロフィル a 濃度の変化 (Cloern, 1996)

2) ユニット IV において珪藻化石がほとんど含まれていないことは、ヌマコダキガイの濾過効果によるところが大きいと考えられる。

3) ヌマコダキガイの密集層については、季節的な貧酸素水塊の出現による大量斃死の繰り返しと堆積物の供給量の減少によるコンデンセーションと推測される。ただし、ヌマコダキガイの貧酸素に対する耐性についての評価は、今後の課題である。

わが国ではヌマコダキガイの生息域が漁獲対象貝類として重要なヤマトシジミの生息域と重複している。とくに、わが国最大のシジミ漁獲量を誇る宍道湖でヌマコダキガイが侵入してきたときの被害は計り知れないものがある。湖底堆積物中にみられる過去の侵入メカニズムをより詳細に解明することは十分に意義のあることである。

謝辞 徳岡隆夫先生のご退官に際し、永年にわたり島根大学汽水域研究センターのセンター長としてわが国の汽水域研究をリードし、その発展に尽くされてきた先生への敬意と謝意を表すことになれば幸いである。あわせて、サンフランシスコ湾での調査に参加させていただき、貴重な情報と示唆を与えていただいた 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、および、日本のヌマコダキガイについて多くの情報をいただいた大阪市立自然史博物館の石井久夫氏にお礼申し上げる。

文 献

安藤保二, 1965, 神戸市西部貝化石. 地学研究特集号 (桜井博士紺綬褒章受章記念), 206-214.
 Arthur, J. F., Ball, M. D. and Baughman, S. Y., 1996, Summary of Federal and State Water Project Environmental Impacts in the San Francisco Bay -Delta Estuary, California. In J. T. Hollibaugh (ed.), *San Francisco Bay: The Ecology*, Pacific Division, Am. Ass. Adv. Sci., San Francisco, Calif., 445-495.
 Bennett, W. A. and Moyle, P. B., 1996, Where Have All the Fishes Gone? Interactive Factors Producing Fish Declines in the Sacramento-San Joaquin Estuary. In J. T. Hollibaugh (ed.), *San Francisco Bay: The Ecology*, Pacific Division, Am. Ass. Adv. Sci., San Francisco, Calif., 519-542.
 Carlton, J. T., Thompson, J. K., Schemel, L. E. and Nichols, F. H., 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.
 Cloern, J. E. (1996) Phitoplankton Bloom Dynamics in Coastal Ecosystem:

- A Review with Some General Lessons from Sustained Investigation of San Francisco Bay, California. *Review of Geophysics*, 34, 127-168.
- Cole, B. E., Thompson, J. K. and Cloern, J. E., 1992, Measurement of Filtration Rate by Infaunal Bivalves in a Recirculating Flume. *Marine Biology*, 113, 219-225.
- Conomos, T. J., Smith, R. E. and Gartner, J. W., 1985, Environmental Setting of San Francisco Bay. *Hydrobiologia*, 129, 1-12.
- 波部忠重, 1980, 来島海峡にヌマコダキガイ. *ちりぼたん*, 11, (3), 45-46.
- 波部忠重, 1994, ヌマコダキガイ. 日本の希少な野生水生生物に関する基礎資料. 79-89. 水産庁.
- 堀越増興・岡本正豊, 1994, 有明海の湾奥部に繁殖した新外来種 *Potamocorbula cf. laevis* (Hinds) ヒラタヌマコダキガイ (新称). *ちりぼたん*, 24, (3・4), 77-83.
- Ingram, B. L., Ingle, J. C. and Conrad, M. E., 1996, Isotopic Records of Pre-historic Salinity and Siver Inflow in San Francisco Bay Estuary. In J. T. Hollibaugh (ed.), *San Francisco Bay: The Ecology*, Pacific Division, Am. Ass. Adv. Sci., San Francisco, Calif., 35-61.
- 石井久夫, 1995 a, 汽水の貝 ヌマコダキガイのなかま (1), *Nature Study*, 41, (9), 3-5.
- 石井久夫, 1995 b, 汽水の貝 ヌマコダキガイのなかま (2), *Nature Study*, 41, (11), 3-5.
- 梶山彦太郎・市原 実, 1972, 大阪平野の発達史—¹⁴C年代データからみた—. *地質学論集*, (7), 101-112.
- Kidwell, S. M., 1989, Stratigraphic Condensation of Marine Transgressive Record: Origin of Major Shell Deposits in the Miocene of Maryland. *Journal of Geology*, 97, 1-24.
- 三梨 昂・徳岡隆夫(編), 1988, 中海・宍道湖 地形・地質・底質・自然史アトラス. 島根大学山陰地域研究総合センター, 115 P.
- 水野篤行・大嶋和雄・中尾征三・野口寧世・正岡栄治, 1972, 中海・宍道湖の形成過程とその問題点. *地質学論集*, 7, 113-124.
- 森田英之・鹿島 薫・高安克己, 1998, 湖底堆積物中から復元された浜名湖・宍道湖の過去 10000年間の古環境変遷. *LAGUNA* (汽水域研究), (5), 47-53.
- Nakamura, M., Yamamuro, M., Ishikawa, M. and Nishimura, H., 1988, Role of the bivalve *Corbicula japonica* in the nitrogen cycle in a mesohaline lagoon. *Marine Biology*, 99, 369-374.
- 中村唯史・徳岡隆夫・大西郁夫・三瓶良和・高安克己・竹廣文明・会下和宏・西尾克己・渡辺正巳, 1996, 島根県東部の完新世環境変遷と低湿地遺跡. *LAGUNA* (汽水域研究), (3), 9-11.
- Nichols, F. H., Thompson, J. K. and Schemel, L. E., 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.
- Peterson, D. H., Cayan, D. R., Dettlinger, M. D., Noble, M. A., Riddle, L. G., Schemel, L. E., Smith, R. E., Uncles, R. J. and Walter, R. A., 1996, San Francisco Bay Salinity: Observations, Numerical Simulation and Statistical Models. In J. T. Hollibaugh (ed.), *San Francisco Bay: The Ecology*, Pacific Division, Am. Ass. Adv. Sci., San Francisco, Calif., 9-3.
- 佐藤勝義・泊 秀治, 1994, 福岡県柳川市の沖端漁港に大量投棄されていたヌマコダキガイの一種. *ちりぼたん*, 24, (3・4), 85-88.
- 佐藤慎一, 2000, 二枚貝類—特に諫早湾について. 佐藤正典編「有明海の生きものたち. —干潟・河口域の生物多様性」, 150-183, 海遊舎, 東京.
- 佐藤慎一・東 幹夫・高安克己, 2000, 諫早湾干拓地の現世古生態—地質時代に生じた「潮止め現象」の復元を目指して—. 日本古生物学会予稿集, 72.
- 佐藤慎一・東 幹夫・近藤 寛・西ノ首英之 (印刷中) 有明海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.
- Schemel, L. E., Hager, S. W. and Childers Jr., D., 1996, The Supply and Carbon Content of Suspended Sediment from the Sacramento River to San Francisco Bay. In J. T. Hollibaugh (ed.), *San Francisco Bay: The Ecology*, Pacific Division, Am. Ass. Adv. Sci., San Francisco, Calif., 237-260.
- 下山正一・小杉正人・松岡敷充・片岡久子・佐藤直弘・遠藤邦彦・野井英明・竹村恵二・市原季彦・三浦哲彦・陶野都雄, 1996, 有明海奥部低地の古環境統合解析. 関東平野, (4), 53-76.
- 高安克己・出雲古代景観復元チーム, 1998, コア SJ 96 の概要と宍道湖の古環境変遷. *LAGUNA* (汽水域研究), 5, 1-13.
- 高安克己 (印刷中) 大橋川と中海・宍道湖の自然史. 朝酌地区古代景観復元報告書. 島根県古代文化センター.
- 徳岡隆夫・大西郁夫・高安克己・三梨 昂, 1990, 中海・宍道湖の地史と環境変化. *地質学論集*, (36), 15-35.
- 土田英治・岡村親一郎 (1997) 上海・廈門の市場で得た貝類. *ちりぼたん*, 28, (2), 39-44.
- 堤 徳郎・西村和久・岡本正豊, 1997, 瀬沼産ヌマコダキガイについて. *ちりぼたん*, 28, (1), 11-12.

(受付: 2000年11月15日, 受理: 2000年12月1日)