

## 論 説

---

# 完新統海成粘土層中に産出する軟体動物化石群と堆積過程：瀬戸内海伊予灘海域、下灘沖海上ボーリングコアの解析結果の例

横山芳春\*・七山 太\*\*・安藤寿男\*\*\*・大塚一広\*\*\*\*

\*早稲田大学大学院理工学研究科・\*\*独立行政法人産業技術総合研究所、海洋資源環境研究部門・\*\*\*茨城大学理学部地球生命環境科学科・\*\*\*\*川崎地質株式会社

## Molluscan fossil assemblages and sedimentation of the Holocene marine clay deposits: results of Shimonada core in Iyonada Sea, Seto Inland Sea, Southwest Japan

Yoshiharu Yokoyama\*, Futoshi Nanayama\*\*, Hisao Ando\*\*\*, and Kazuhiro Otsuka\*\*\*\*

\*Graduate School of Science and Technology, Waseda University, Shinjuku 169-0051, Japan; \*\*Institute for Marine Resources and Environment, Advanced Institute Science and Technology, Tsukuba 305-8567, Japan; \*\*\*Department of Environmental Sciences, Faculty of Science, Ibaraki University, Mito 310-8512, Japan; \*\*\*\*Kawasaki Geological Engineering Co., Ltd., Tokyo 108-8337, Japan

**Abstract.** Holocene marine clay deposits from the Shimonada core in Iyonada Sea are examined by an integrated analysis of molluscan fossil assemblages, sand content, sedimentation rate and radiometric ages. The Shimonada core lithostratigraphically consists of five depositional units, A to E in upward sequence : A) gravel, B) massive sandy clay with rootlet and brackish molluscs, C) bioturbated sandy clay with thin very fine sand layers, containing brackish and tidal-flat molluscs, D) bioturbated clay with inner-bay stagnant-water molluscs, and E) bioturbated sandy clay with two very fine sand layers and inner-bay mud-bottom and nearshore sandy mud-bottom molluscs. Five molluscan fossil assemblages are recognized through species composition as follows : 1)brackish, 2)tidal flat, 3)inner-bay stagnant-water, 4)inner-bay mud, and 5)nearshore muddy sand assemblages.

Tide-influenced salt marsh and estuary environments represented by B with assemblage 1) appeared before 12,000-11,000 cal. yBP. Tidal flat environment [C with 1) and 2)] was prevailing during 11,000-10,000 yBP. After rapid sea-level rise at about 10,000 yBP, possibly resulting from subsidence by an event of the Shimonada-oki-minami and Shimonada-oki-kita faults, inner-bay stagnant environment [D with 3)] had appeared in the graben off Shimonada, Iyonada Sea during 10,000-8,000 yBP. Inner-bay muddy environment [E with 4) and 5)] have continued since the graben had filled by mud with high sedimentation rate until 8,000 cal. yBP. While mud sedimentation rate decreased, sand content relatively increased at about 8,000 cal. yBP, possibly reflecting muddy sediment bypassing. This seems to have resulted from tidal currents and transgression associated with the formation of Seto Inland Sea.

**Key words:** molluscan assemblage, sedimentary process, marine clay deposits, Holocene, Iyonada Sea, Seto Inland Sea

### はじめに

我が国の沿岸部の沖積低地の地下数10 mには、約1万年前以降の縄文海進とともに内湾域拡大によって生じた海成泥質堆積物が発達している（沖積中部泥層：海津, 1994）。これら海成泥層中には、従来より多数の軟体動物化石が含まれることが報告されていた（松島・大嶋, 1974）。1970年代以降には、海成泥層から産出する軟体動物化石から古環境を推定し、これらの<sup>14</sup>C年代を用いて縄文海進期における相対海水準変動の復元を試みる研究が本邦各地で盛んに行われた（例えば松島・大嶋, 1974；松島, 1979, 1984

など）。近年ではAMS（加速器質量分析：Accelerator Mass Spectrometry）法の開発により可能となった、軟体動物化石の高精度の<sup>14</sup>C年代値を多数吟味し、氷河性海水準変動に加えて、ローカルな構造運動や地震イベント堆積物をも認定して、高精度かつ総合的に相対海水準変動の復元を試みる研究もできるようになった。このような研究は大阪地域や関東地域において盛んになりつつある（例えば増田, 1998；藤原ほか, 1999；七山ほか, 2001など）。

一方、瀬戸内海西部地域、特に海域においては、完新統の古環境や軟体動物化石の研究は殆ど知られていない。筆者らは、瀬戸内海西部、伊予灘海域の下灘沖（図1）にお

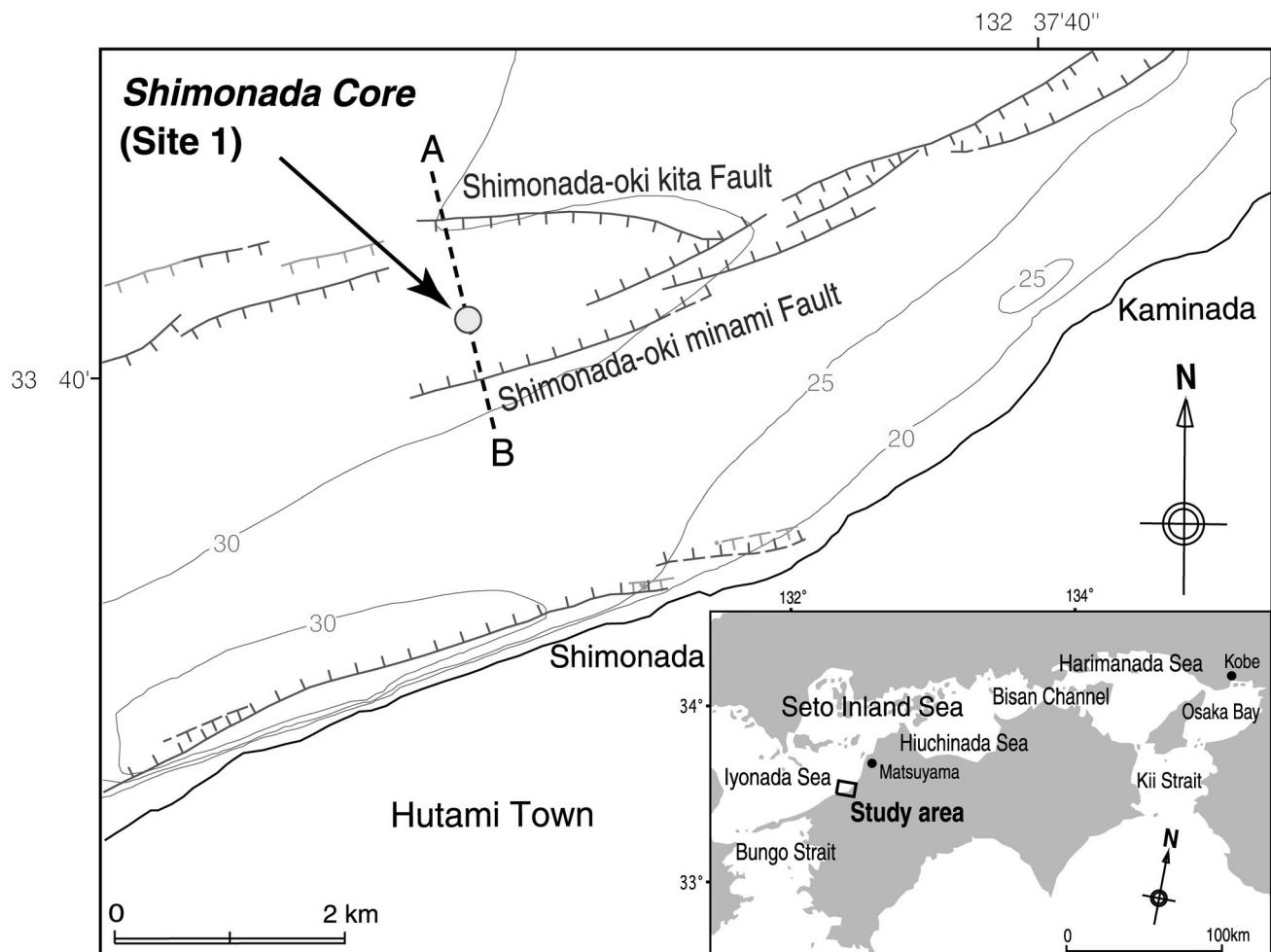


図1. コア掘削位置および下灘沖の等深線図。A-Bは図2に示したソノプローブ探査測線を示す。

Fig. 1. Location of the coring sites and bathymetry. A-B for location of acoustic profile line shown in Fig. 2.

いて海上から掘削されたボーリングコア（以下下灘コアと呼ぶ）を研究対象として、層相および軟体動物化石群集の解析を実施した。これに加えて、大塚ほか（2002）が報告している年代値に基づいて、軟体動物化石群集の変遷から見た当海域の古環境変遷および海成粘土層の堆積過程の復元を試みた。

### 下灘コア採取地点の地形と地質

瀬戸内海西部、伊予灘海域の海底地形は広い平坦面の発達によって特徴づけられ、これらのうち、水深5~15mに発達する平坦面は海食台起源、水深15~35mに発達する平坦面は冲合平坦面と呼ばれる堆積面である（国土地理院, 1992）。さらに、これらの平坦面上に中央構造線活断層系の地震活動に起因する東西性の走向をもった地溝帯が多数分布することが、既存の活断層調査によって明らかにされている（小川ほか, 1992；三浦ほか, 2001）。

四国北西部、愛媛県双海町の下灘沖にも、下灘沖北断層および下灘沖南断層によって規定された地溝帯が存在し、この地溝帯を埋めるように完新統が厚く堆積していること

が、大塚ほか（2002）による海底活断層調査の結果から明らかにされている（図2）。

下灘コアは、平成13年7月にオールコアボーリング（コア径 7.2cm）によって採取された長尺不攪乱コアである（図1；北緯 33°40' 24”， 東経 132°33' 46”；大塚ほか, 2002）。そのコア長は57.35m、掘削地点の水深は33.3mである（図1）。なお、気象庁ホームページの公表データによれば、松山港の潮位差は約3.5mである（<http://www.kishou.go.jp/marine/tide/suisan/suisan.php?stn=MT>）。

### 層相および堆積ユニット区分

下灘コアは、一部に極細粒砂の薄層や、貝殻密集層を挟在するものの、ほぼ全層準が海成の粘土～砂質粘土から形成される。これらの粘土～砂質粘土は総じて塊状を呈するが、軟X線写真の解析結果から多数の表生生物、内生生物の生物活動に伴う生物擾乱が認められ、初生堆積構造が失われているものと解釈される。下灘コアはその層相から3つのユニット（Sd-I～III）に区分されていたが（大塚ほか, 2002），今回の新たな記載事実に基づき、下位より DU-A

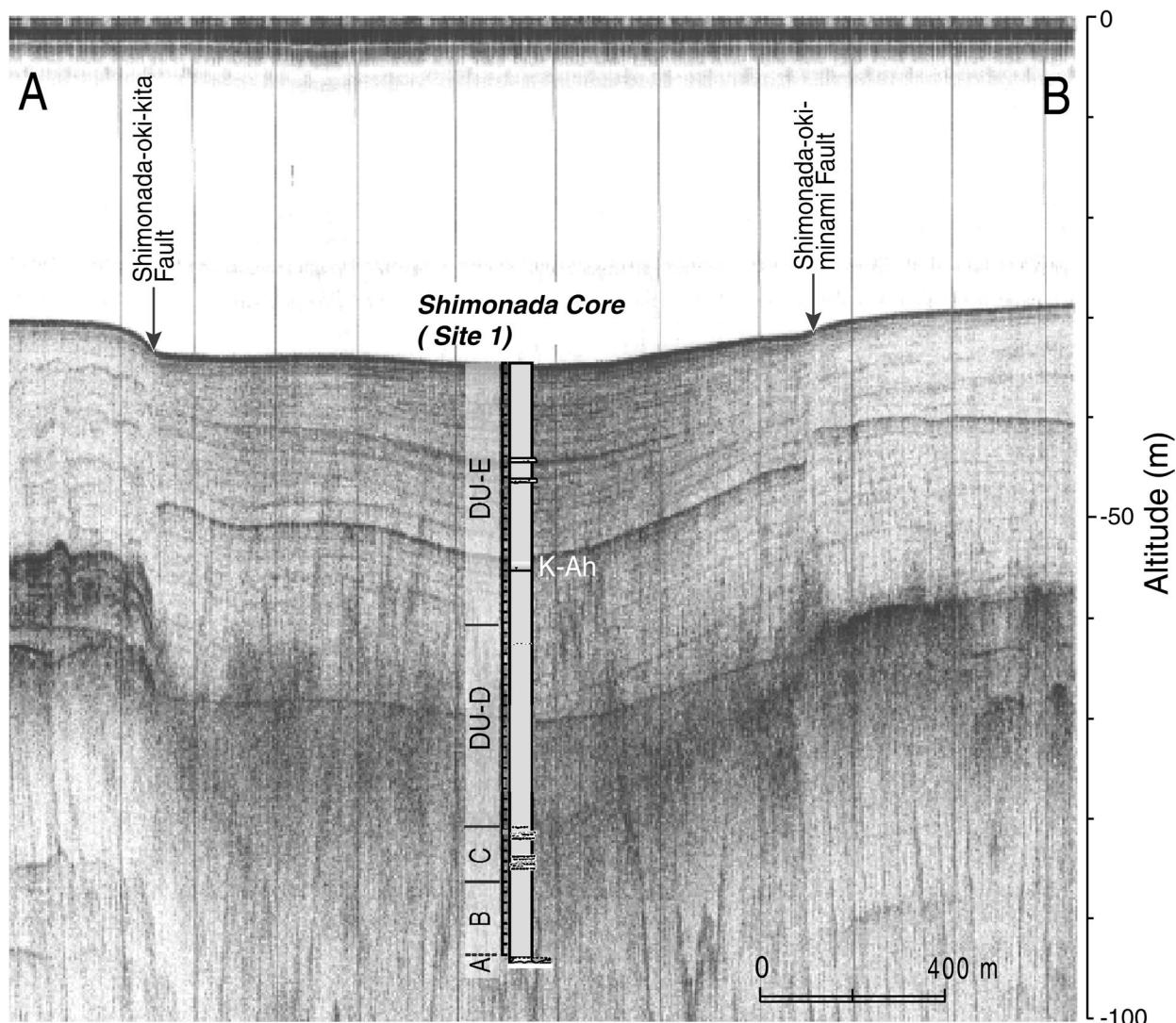


図2. 下灘沖におけるソノプローブ探査記録と柱状図の対比. 断面位置は図1参照.

Fig. 2. Sedimentary column projected on the acoustic profile of A-B line, shown in Fig. 1.

～E の 5 つの堆積ユニットに再区分した（図3）。

DU-A は、掘削時の状況から、掘削深度 57.35m（標高 -90.65 m）以深に分布が推測される砂礫層である。試料の回収はできなかったが、汽水成の DU-B に覆われる礫層であることから、上部更新統の河川成堆積物（沖積下部層：海津, 1994）であると推定される。

DU-B は、掘削深度 57.35～49.80m（標高 -90.65～-83.10 m）に認められる多数の植物片を含み、レンズ状のシルト薄層、有機質ラミナを挟む砂質粘土である。ユニット下部には植物根痕を、ユニット上部には *Corbicula japonica* (ヤマトシジミ), *Potamocorbula* sp. (ヌマコダキガイ類) などの軟体動物化石を散在的に含んでいる。

DU-C は、掘削深度 49.80～44.50m (標高 -83.10～-77.80m) に認められるレンズ状極細粒砂を頻繁に挟む砂質粘土層である。*Potamocorbula* sp., *Crassostrea gigas* (マガキ) などの軟体動物化石を含み、レンズ状の砂層中には *P.* sp. を優占種として密集層を形成する。

DU-D は掘削深度 44.50～25.85m (標高 -77.80～-59.15m) に認められる、生物擾乱の発達した暗緑灰～灰色を呈する砂質粘土である。最下部を除いて粘土中の含砂量は少ないが、ユニット上部に増加する傾向がある。ユニット下部では *Theora lubrica* (シズクガイ), *Raeta pulchella* (チヨノハナガイ) を多産するほか、掘削深度 37.91～29.06m では *Musculus senhousia* (ホトトギスガイ) がときに密集層を形成する。

DU-E は、掘削深度 25.85～0.00m (標高 -59.15～-33.30m) に認められる生物擾乱が発達した暗緑色～暗オリーブ灰色を呈する砂質粘土であり、DU-D に比較して含砂量が多い。ユニット中には、*Striarca interpellata* (ヨコヤマミミエガイ), *Dosinorbis penicillata* (ウラカガミガイ) などの軟体動物化石が散在している。掘削深度 9.48～9.13m (標高 -42.78～-42.43m) には、級化構造をなす比較的淘汰の良い極細粒砂層が認められ、乱泥流起源の堆積物と解釈されている（図3 : Tb ; 大塚ほか, 2002）。Tb には基底部にマッドクラ

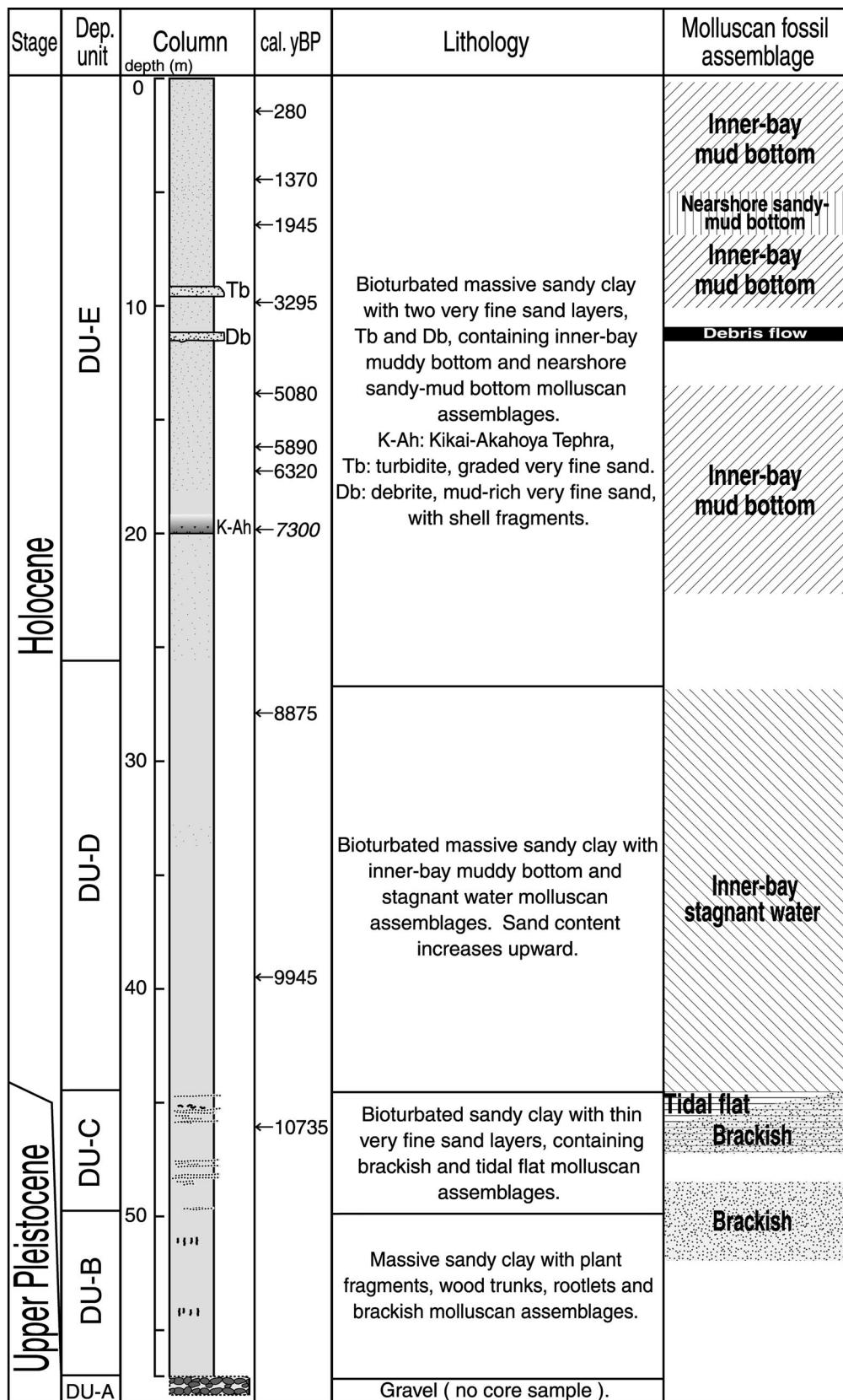


図3. 下灘コアの柱状図、堆積ユニットおよび軟体動物化石群。 $^{14}\text{C}$  年代は INTCAL98 (Stuiver *et al.*, 1998) を用いて補正した曆年代で示す。

Fig. 3. Sedimentary column of the Shimonada core, showing depositional units, lithology, molluscan fossil assemblages and  $^{14}\text{C}$  ages. The  $^{14}\text{C}$  ages were calibrated to calendric age by using INTCAL98 (Stuiver *et al.*, 1998).

ストとともに微細な貝殻片が含まれるが、同定に堪える標本は得られなかった。掘削深度11.49～11.10m（標高-44.79～-44.40m）には、貝類、ウニ等の生物遺骸を多産する淘汰の悪い極細粒砂～中粒砂混じり粘土層が認められ、（1）明瞭な級化構造や浸食基底が認められないこと、（2）乱泥流堆積物（Tb）より含泥量が多く淘汰が悪いこと、などから土石流起源の堆積物と解釈されている（図3：Db；大塚ほか、2002）。また、掘削深度20.00m（標高-53.30m）には、火山ガラス濃集層が認められ、火山ガラスの性質（形状、屈折率）の検討から鬼界ーアカホヤ火山灰（K-Ah）起源と同定されている（図3：K-Ah；大塚ほか、2002）。

### 軟体動物化石群

今回群集解析に用いた軟体動物化石は、コアの半割、整形、微化石用試料採取といった処理の過程で得られた個体を全て用いた。さらに、コアの堆積構造観察のために行った軟X線写真に認められる個体を、堆積物試料中から直接掘り出して、前述の試料と合わせて検討に用いた。なお、軟X線写真は、産状記載に加えて軟体動物密集層における産出頻度の算出に用いた。

下灘コアから得られた軟体動物化石の産出個体数を、各層準（概ね1m）ごとに表1にまとめた。産出個体数の計数には、基本的に殻頂部を保存した個体のみを用いたが、ごく散在的に産出する層準では、同定可能な試料を1殻数とした。また、著しい密集層を形成する場合には、軟X線写真からその産出数を概算し10殻以上は+、100殻以上は++で示した。さらに、その産出種の組合せから、松島（1984）の示した内湾～沿岸における軟体動物の生息環境と群集区分をもとに、感潮域化石群、干潟化石群、内湾停滞域化石群、内湾泥底化石群および沿岸砂泥底化石群の5化石群に区分した（図3）。小論では、松島（1984）が記載した産出種組合せに対し群集（fossil association）という語を用い、それらを環境指標として用いた。そして、今回報告する産出種組合せは化石群（fossil assemblage）と呼んで区別することにする。

#### 感潮域化石群

DU-B上部からDU-Cの掘削深度52.05～48.62m（標高-85.35～-81.92m）および掘削深度46.12～44.50m（標高-79.42～-77.80m）の2層準において認められ、いずれも汽水生種の *Potamocorbula* sp., *Acciminia lutea japonica* (カワザンショウガイ), *Corbicula japonica* (ヤマトシジミ) といった感潮域群集（松島、1984）の構成種からなる化石群である。DU-Bにおいては *C. japonica*, *P. sp.* がいずれも散在的に認められるのみである（表1：堀削深度52～48m）が、DU-Cでは *P. sp.* を優占種として、レンズ状の極細粒砂層に挟在する密集層を形成している。

合弁個体も多数含まれるが、いずれも現地性の産状は示さず、ときに貝殻片支持で著しく密集する（図4a；表1：堀

削深度45～44m）。さらに、貝殻片同士が“stacking”する産状も認められる。これらは著しい生物擾乱を受けており、上部では後述する干潟群集（松島、1984）の構成種と混在するものの、いずれも潮汐卓越環境の泥底に生息する種のみからなり、開口していない合弁個体も多数認められるところから、生息地からはさほど移動していない準現地性の化石群であると解釈される。

大阪湾周辺においては、海進初期に *Potamocorbula amurensis* (ヌマコダキガイ) が多産することが知られているが（例えば前田、1977）。しかし、下灘コアから産出する *Potamocorbula* sp. は殻長10mm以下の小型の個体が卓越することや、殻の形態からは神戸市垂水区の高塚山貝層から報告された *P. amurensis takatsukayamaensis* (コガタヌマコダキガイ：安藤、1965) に近い特徴を持っている。一方、高安ほか（2000）は宍道湖の完新統コアに見られる *P. amurensis takatsukayamaensis* に近縁な小型のヌマコダキガイ類は、現在では韓国沿岸に生息し、有明海などにも移入・定着が進んでいる *P. laevis* (ヒラタヌマコダキガイ) の幼貝である可能性が高いとしている。ただし、西南日本産の化石ヌマコダキガイ類の分類は現在検討が進んでいる段階である（例えば佐藤、2002）ことから、本論では *Potamocorbula* sp. とする。

#### 干潟化石群

内湾潮間帯の泥底種である *Cerithideopsis cingulata* (ヘナタリガイ), *Crassostrea gigas* (マガキ), *Zeuxis velatus* (シイノミヨフバイ) および泥底～砂底種である *Ruditapes philippinarum* (アサリ) など、干潟群集（松島、1984）の構成種に特徴づけられる化石群である。DU-C（堀削深度45.71～44.07m、標高-79.01～-77.37m）に限って分布している（表1：堀削深度45～43m）。すなわち、感潮域化石群が認められる層準の上部において、汽水生種の *Potamocorbula* sp. を優占種とした貝殻密集層に随伴して混在し（図4a）、干潟群集の構成種のみが構成する化石群は認められない。

#### 内湾停滞域化石群

DU-D（堀削深度43.76～25.85m、標高-77.80～-59.15m）には、*Theora lubrica*, *Raeta pulchella*, *Veremorpa micra* (ヒメカノコアサリ), *Ringicula dorialis* (マメウラシマガイ) などからなる軟体動物化石群が認められる（表1：43～25m）。一般に散在的に産出するが、合弁の現地性産状または密集層を呈する層準も認められ、現地性～準現地性の化石群であると解釈される。これらの種は、いずれも貧酸素環境の強内湾環境に生息（波部、1955）し、大きな内湾湾奥の水塊の交換に乏しい泥底に特徴的な内湾停滞域群集（松島、1984）の薄殻で小型の構成種である。また、本化石群は、内湾泥底化石群の卓越する堀削深度17.73～17.20m（標高-51.03～-77.70m）および15.20～14.23m（標高-48.50～-47.53m）の2層準にも散在的に認められる。

また、堀削深度37.96～29.09mには *Musculus senhousia* が

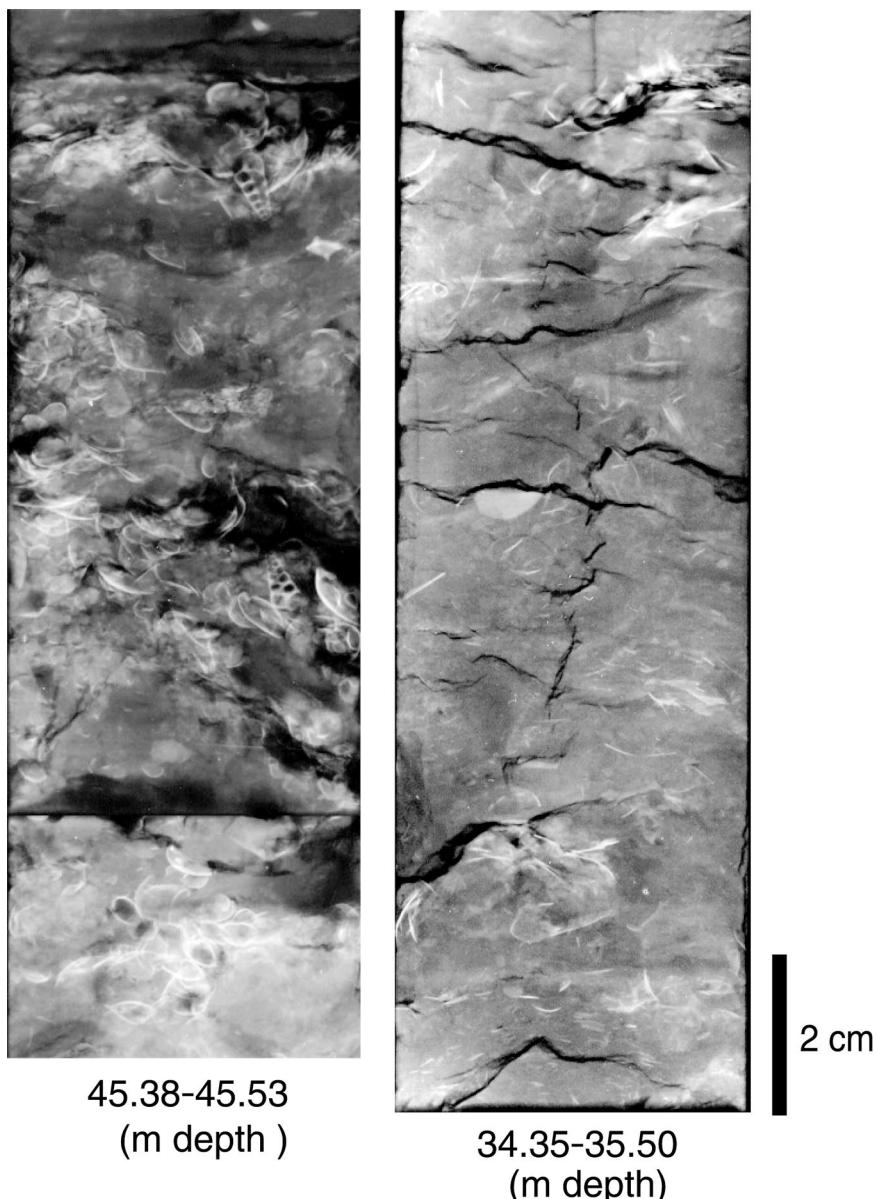


図4. 軟体動物化石密集層の産状軟X線写真. 3a : 堀削深度 45.40～45.53m における *Potamocorbula* sp. を優占種とした感潮域・干潟化石群の密集層. 3b : 堀削深度 34.38～34.50m における *Musculus senhousia* を優占種とした内湾停滞域化石群の密集層.

Fig. 4. Soft X-ray radiographs of molluscan fossil beds. 3a : Brackish and tidal flat assemblages dominated by *Potamocorbula* sp. 45.40～45.53m in depth. 3b : Inner-bay stagnant water assemblage dominated by *Musculus senhousia*, 34.38～34.50m in depth.

密集して認められることがある（図4 b；表1：堀削深度36～28 m）。*M. senhousia* は、内湾の貧酸素環境において優占度の高い群集を形成することから、本化石群も内湾停滞域化石群とみなした。これらには合弁個体も認められるが、多数の離弁個体とともに密集することから、準現地性であると考えられる。

#### 内湾泥底化石群

DU-E中の堀削深度 22.57～13.70m（標高 -55.87～-47.00 m），10.08～7.08m（標高 -43.38～-40.38 m），4.90～0.10m（標高 -38.20～-33.40m）の3層準において認められる，*Striarca*

*interplicata*, *Dosinorbis penichella*, *Paphia undulata*（イヨスダレガイ），*Zeuxis squinjorensis*（ハナムシロガイ），*Azorinus abbreviatus*（ズングリアゲマキガイ）などの内湾泥底群集（松島, 1984）の構成種を特徴種とする。DU-D 上部から DU-E 下部では、全体的に軟体動物化石の個体数は少なく、DU-D 下部でも内湾停滞域群集の構成種と共に本群集の構成種が産出するが、その個体数は少ない。本化石群は顕著な密集層は形成せず概ね散在的な産状を示し、*P. undulata*, *Umitakea japonica*（ウミタケガイ）などは生息姿勢を保った個体も多数認められることから、ほぼ現地性の化石群であると考えられる。

Table 1. List of molluscan fossils from the Shimanoda core. Molluscan associations are recognized after Matsushima(1984). Bathymetric ranges for modern molluscan species are referred to Habe(1977), Habe(1983), and Habe and Okutani(1983). The marks of + and ++ respectively show more than 10 and 100 individuals observed in soft X-ray radiographs.

### 沿岸砂泥底化石群

掘削深度 6.42～5.10m 層準（標高 -39.72～-38.40m）では、*Pecten albicans*（イタヤガイ）、*Macoma awajiensis*（アワジチガイ）など、他の層準に比較して潮通しの良い砂質環境に生息する種が認められ、これを沿岸砂泥底化石群と認定した（表1：堀削深度6～5m）。沿岸砂泥底群集（松島、1984）の構成種が卓越する層準では、他の群集の構成種は極めて少ない。本層準から採取された個体数は少ないが、*M. awajiensis*は接合面が水平で右殻を上にした生息姿勢の産状を示していることから現地性の化石群であると考えられる。

### 土石流堆積物（Db）中の軟体動物化石群

掘削深度 11.49～11.10m 層準（標高 -44.79～-44.40m）には、貝殻片を多産する極細粒砂層が認められ、土石流堆積物と解釈されている（大塚ほか、2002；図3、表1のDb）。この層準には、内湾泥底群集の*Striarca intertalicata*、*Paphia undulata*、*Zeuxis squinjorensis*、内湾停滞域群集の*Velemorpa micra*、*Ringicula dorialis*、沿岸砂泥底群集の*Pecten albicans*、*Cardiomya gouldiana septentrionalis*（ヒメシャクシガイ）が混在し、下灘コアにおいて最も軟体動物化石の産出種数が多い。小型の個体および破片化した個体が密集し、上部ほどその密集度が高いという傾向が認められた。また、本層準は、沿岸砂泥底群集の種の初出層準である。これらの結果から、この化石群は内湾域の異なった環境に生息した種が、土石流によって異なる堆積場に運搬されて混在した、異地性の化石群であると解釈される。

### 年代

下灘コアの完新統では、10試料の軟体動物化石を対象にしたAMS（加速器質量分析：Accelerator Mass Spectrometry）法によって得られた年代値が報告されている（大塚ほか、2002）。この年代測定対象となった軟体動物化石は、いずれも保存状態が良好な個体とされ、特に合弁かつ現地性個体が得られている場合は優先的に選択されている。また、合弁個体を選出する際は、堆積面より30～40cm程度潜没して生息する深潜没種（例えば*Umitakea japonica*）は避け、*Striarca intertalicata*、*Macoma awajiensis*、*Paphia undulata*、*Potamocorbula* sp. など表生種または浅潜没種が用いられている。

本論では、大塚ほか（2002）の暦年代（cal. yBP）を引用して以下の議論に用いる。但しこれらの年代値は、（1）<sup>14</sup>C年代値をINTCAL98（Stuiver et al., 1998）を用いて1950年を基準として暦年補正された1σの中央値を取り扱っているため、数100年程の誤差を含んでいること、（2）当海域における海水のリザーバー効果の影響（約500年程度：例えば池原、2000）を見積もるのは難しいことから千年単位以下の議論は困難である。

一方、堀削深度 20.00m 層準（標高 -53.30m）では鬼界

—アカホヤ火山灰（K-Ah）が同定されており（大塚ほか、2002），その降灰年代は約7300暦年前（福澤、1995）であることが知られている（図2）。

### 考察

#### 軟体動物化石群から推測される海成粘土層堆積時の古環境

上述した下灘コアの層相および軟体動物化石群の記述に基づき、各堆積ユニットごとの古環境の復元を行う。DU-Bは、下部が根痕を含んだ砂質粘土層からなり、中～上部に感潮域化石群 *Corbicula japonica*、*Potamocorbula* sp. が产出することから、塩水湿地から感潮域のエスチュアリー成層であると考えられる。このような環境は、海進に伴って海水が侵入する初期の過程で形成されたものと判断される。下灘コアでは潮汐卓越環境下のDU-B～C間において徐々に海進が進行したことから、明確な海進面は形成されなかつたものと推定される。

DU-Cでは、砂質粘土中に挟まれる細粒砂層中に *Potamocorbula* sp. を優占種とした感潮域化石群が密集層をなし、その上部では干潟群集の構成種が混在する化石群を形成する。このような化石群は、海水準の上昇によって湾奥部の汽水域に泥質干潟が成立し、潮汐流によって粗粒堆積物とともに感潮域群集・干潟群集の種が準現地性の産状をなして密集層を形成したものと判断されよう。

DU-C～Dにおいては、干潟化石群から内湾停滞域化石群に急激に変化している。DU-Dでは内湾停滞域群集の構成種が卓越し、その優占種をなす *Theora lubrica* は、とくに貧酸素環境に対する適応性が高く、さらに個体群の進入・定着速度が早いことから停滞域において大量発生することが知られている（例えば波部、1955；菊池・田中、1976）。伊予灘の東部に位置する燧灘では、閉鎖性が強いことから夏期には深部底層で貧酸素水塊が出現し（越智ほか、1978），*Theora lubrica* が卓越することが知られており（香川、1986），本層準においても同様の古環境が推測される。

DU-Eは内湾泥底群化石群が卓越することから、内湾泥底環境で堆積したものと推測される。产出する軟体動物化石群のみから、その古水深の変化を類推することは困難であるが、全体として水深20～30m前後に生息する種が卓越する（表1）。その含砂量は、重力流堆積物の層準を除くと0.5～3.8gであり（図5），DU-Dに比較して砂質分に富む。また、沿岸砂泥底化石群が出現する堀削深度6.42～5.10m（標高 -39.72～-38.40m）では、含砂量は3g前後を示し、下灘コアにおいて最も含砂量の多い層準であり、下灘コア堆積期間中において最も潮通しが良かったことを示している。

#### 軟体動物化石群から推定される海面上昇時期と地震イベント

前田（1980）は、大阪湾地域において縄文海進初期に *Potamocorbula amurensis*、*Corbicula japonica* からなる感潮域群集の構成種が产出することを報告している。*P. amurensis*

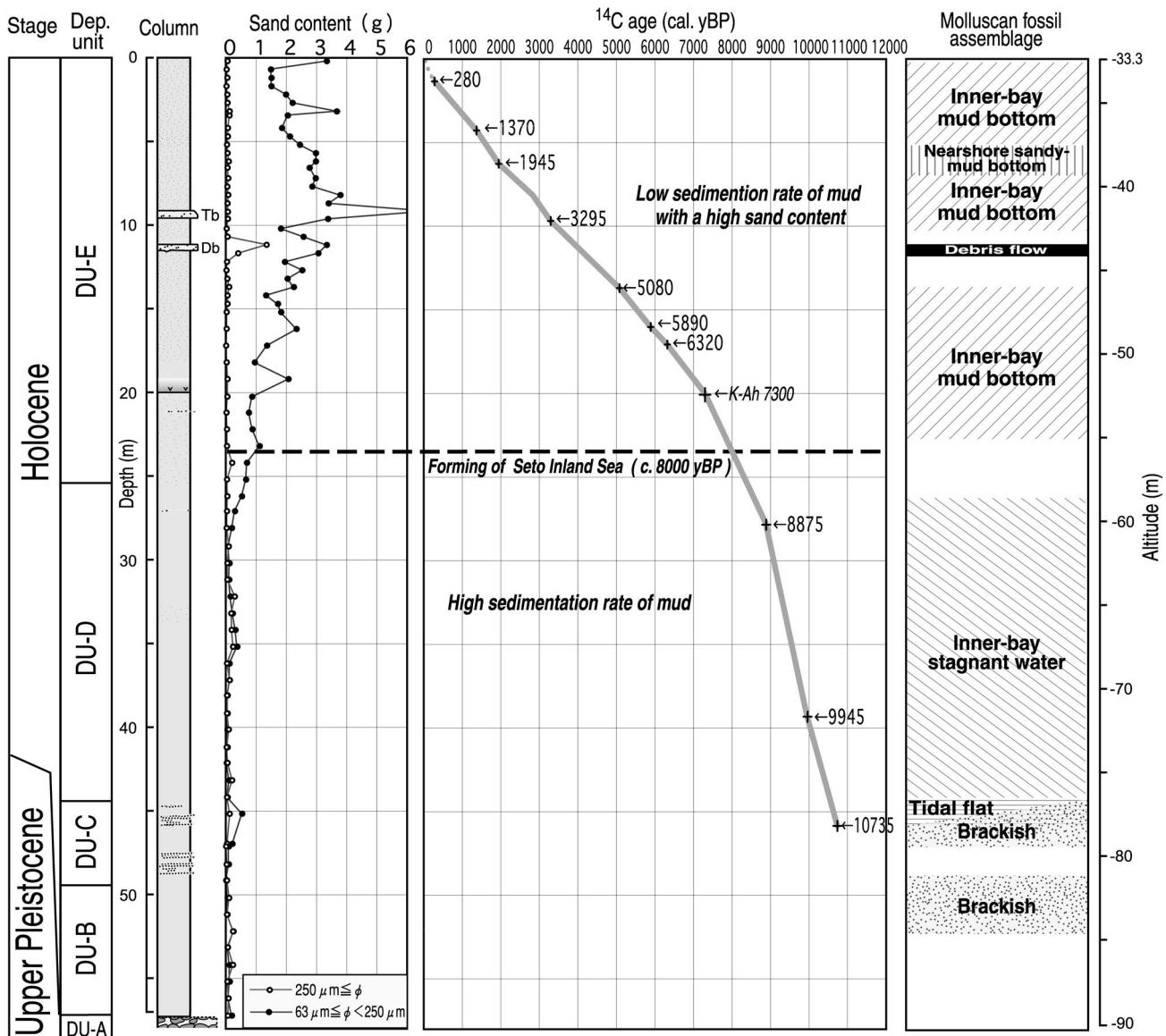


図5. 下灘コアの総合地質柱状図。含砂量、堆積速度曲線、炭素 $^{14}\text{C}$ 年代および軟体動物化石群を示した。ここで示す含砂量は、 $10\text{cm}^3$ のプラスチックキューブ中の重量を示している。

Fig. 5. Summarized column of the Shimonada core, showing sand content, sedimentary rate curve,  $^{14}\text{C}$  age (cal. yBP) and molluscan fossil assemblages. Sand content means sand weight(g) in each dry bulk sample of  $10\text{cm}^3$ .

は、大阪湾においては縄文海進最初期の1層準のみから産出することから、500～600年間以内のごく短い間に生息していたと解釈されている（前田, 1977, 1980）。しかし、今回下灘コアから得られた *Potamocorbula* sp. は、掘削深度 49.32～48.62m（標高 -82.62～-81.92m）及び 46.12～44.07m（標高 -79.42～-77.37m）の2層準に出現する。下位層準の年代値が十分に得られていないため正確な生息期間を厳密に推定することは困難ではあるが、堆積速度が2層準間で同一であったと仮定するならば、その生息期間は800～1000年間程度と比較的長いことが推測される。

一方、八島（1994）によると、豊後水道が沈水することによって伊予灘に海水が侵入した年代は、約13000年前（暦年補正すると約14000年前）以前であり、その当時の海水

準は約-80m であったと推定される。下灘コアにおいては、海水が侵入し感潮域群集の構成種が初出する層準は、掘削深度 52.05m（標高 -85.35m）であり、その年代は堆積速度曲線（図5）から約12000～11000年前と見積られる。下灘コアの採取された下灘沖の地溝帯は、地震イベントに伴って沈降の生ずる場であり、完新世における沈降量は22m程度と見積もられている（大塚ほか, 2002）。したがって、下灘沖に海水が流入した標高は約-65mと推定され、前述した八島（1994）の論述とも大きく矛盾しない。さらに、DU-B上部からDU-Cにおいて認められる感潮域化石群および干潟群集化石群が生息していた潮汐卓越環境は、約12000から11000年～約10000年前の間に成立していたことが示唆される。

DU-CからDU-Dの境界付近においては、約10000年前

の干潟化石群から内湾停滞域化石群への明瞭な組成変化が認められ、この間に遷移的な内湾泥底群集の構成種は見られない（図5）。内湾停滞域群集は、内湾泥底群集より水深の大きな内湾の湾奥部に発達する群集とされ（松島、1984），干潟群集から内湾停滞域群集へ一挙に群集が変遷することは、急激な相対海水準の上昇を示していると解釈されている（藤田・前田、1985）。下灘沖北断層と下灘沖南断層に挟まれた地溝帯では、約10000年前に発生した地震イベントにより、標高差8 mに達する沈降があったことが推定されており（大塚ほか、2002），約10000年前に生じた急激な相対海水準上昇は、この地震イベントに起因している可能性が高い。つまり、水塊の交換に乏しい停滞水域は、地震イベントに伴って形成された地溝帯といった地形的背景のもとに成立していたことが推測される。そして、DU-Dを特徴づける内湾停滞域化石群は、約10000年前に出現した内湾停滞水域が約8000年前までの間に存在していたことを示している（図5）。

#### 海成粘土層の堆積過程

上述した軟体動物化石群から推定される古環境の考察に加えて、下灘コアから別途得られている含砂量や堆積速度曲線（大塚ほか、2002；図5）に基づいて、瀬戸内海の海況変化も考慮した海成粘土層の堆積過程の総合的な検討を行いたい。

堆積速度曲線に基づいて内湾停滞域化石群から内湾泥底化石群へと遷移する年代を推定するならば、掘削深度約23.5 mの層準、即ち約8000年前と概算される。そして、これより上位の層準では、その含砂量が1 g以上と下位層準に比較して増加する傾向が認められる（図5）。約11000～8000年前の堆積速度は約8 mm/年、一方8000年前～現在までは約3 mm/年と、約8000年前を境に急激に低下する。逆に、含砂量は9000年前以降、徐々に増加している。現在の伊予灘海域では、松山市街を流下する重信川などの小河川から多くの泥質堆積物が供給されている（国土地理院、1992）。約8000年前以前には、このような泥質堆積物が、閉鎖性の高い海域にトラップされることによって、大きな堆積速度をもって堆積していたものと解釈されよう。

約8000年以降、当海域の軟体動物化石群は内湾泥底群集の構成種に変化していることから、閉鎖的な停滞水域は解消され、より海水の流通性が良い内湾泥底環境へと変化したことが推定される（図5）。この停滞水域の解消には、地溝帯の埋積といった堆積場のローカルな環境変化に加えて、海水準上昇に伴って内湾域が拡大したことが最も影響したものと思われる。

増田ほか（2000）によると、約8000年前には、瀬戸内海で最も浅い備讃瀬戸に海水が流入し、大阪湾、播磨灘、燧灘、伊予灘がつながって瀬戸内海が成立したと論じられている。これに伴って、紀伊水道と豊後水道が瀬戸内海を介して連結することによって潮流の流速が増加し、大阪湾では潮汐三角州が形成され（増田ほか、2000）、明石海峡な

どの海峡部においては海釜地形の形成が本格化した（八島、1994）。さらに、海水準の上昇によって伊予灘周辺における河川は陸側に河口が後退し、閉鎖性の高い下灘沖地溝帯への泥質堆積物の供給量が減少した。あるいは潮流によって粘土～シルトが拡散、冲合いにバイパスされ（bypassing）、泥質な堆積物が相対的に減少したために堆積速度が急激に低下したものと解釈される。

下灘コアでは、約6000年前以降には、その間に堆積したDU-Eに内湾泥底化石群が卓越することから、その古環境はほぼ現在と同様な内湾泥底が続いていることが示唆される。但し約2000年前頃には沿岸砂泥底群集の構成種が出現し、やや潮通しの良い砂質底環境が成立した時期があった（図5）。この時期には弥生の小海退（太田ほか、1990）が知られていることから、沿岸砂泥底群集の構成種の産出が一時的な海面低下を示している可能性もあるが、単にローカルな環境変動に起因している可能性も示唆される。

#### まとめ

伊予灘海域で採取された下灘コアの層相および軟体動物化石群を検討した結果は、以下の4つにまとめられる。

1. 下灘コアの層相およびこれに含まれる軟体動物化石の解析結果に基づき、DU-A～Eの5つの堆積ユニットを識別した。このうち最下位のDU-Aを除く上位4ユニットには、海成粘土層が発達する。
2. 下灘コア中に認められる軟体動物化石群は、松島（1984）の区分した感潮域、干潟、内湾停滞域、内湾泥底および沿岸砂泥底の5つの群集の構成種からなる。さらに土石流堆積物には複数の群集構成種が混合した化石群が認められる。
3. 堆積ユニットごと見ると、DU-Bには感潮域化石群、DU-Cには感潮域化石群および干潟化石群が認められ、繩文海進に伴って感潮域～干潟が拡大したことを反映しているものと解釈される。DU-Dは内湾停滞域化石群が認められ、水塊の交換に乏しい内湾の停滞水域下で堆積したものと考えられる。DU-Eには内湾泥底～沿岸砂泥底化石群が認められ、下位より潮通しの良い内湾環境下で堆積したものであろう。
4. 下灘沖において海水が侵入し、エスチュアリー～干潟環境が成立、感潮域群集の構成種が出現した年代は約12000～11000年前以前であろう。約10000年前には急激な相対海水準上昇が生じたため、感潮域群集および干潟群集が内湾停滞域群集へ急速に群集変化したのであろう。これは地震イベントに伴って、下灘沖の地溝帯が急激に沈降したことによる可能性が高い。約10000年～8000年前には、内湾停滞域群集が発達する閉鎖的な内湾停滞域が形成され、周囲の河川から流入した細粒物質が大きな堆積速度をもって沈積していた。約8000年前以降は内湾泥底～沿岸砂泥底群集が生息する潮通しの良い内湾環境へと変化したが、これは地溝帯の埋積と同時に瀬戸内海

の成立に伴ったものである可能性が示唆される。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、早稲田大学大学院理工学研究科の平野弘道教授には終始ご指導ご鞭撻を頂いている。川辺文久博士および院生諸氏には、平素からご議論をして頂いている。基礎地盤コンサルタント（株）の三浦健一郎氏および川崎地質（株）の徳間伸介氏には、コア解析、化石試料の拾い出しなどに多大な御協力を賜った。大阪市立大学大学院理学研究科の安原盛明氏には、粗稿を一読していただき示唆に富む御助言を頂戴した。また、高知大学理学部の近藤康生助教授と匿名の査読者1名の両氏には、原稿を改善するにあたってそれぞれ有益な御指摘を頂いた。以上の方々に厚く御礼申し上げる次第である。

## 文献

- 安藤保二, 1965. 神戸市西部貝化石. 地学研究特集号（桜井博士紹授報賞受賞記念）, 206-214.
- 藤田和夫・前田保夫, 1980. 大阪西南部地域の地質. 地域地質研究報告（5万分の1図幅）, 103p, 地質調査所.
- 藤原治・増田富士雄・酒井哲弥・入月俊明・布施圭介, 1999. 過去10,000年間の相模トラフ周辺での古地震を記録した内湾堆積物. 第四紀研究, 38, 489-501.
- 福澤仁之, 1995. 天然の「時計」・「環境変動検出計」としての湖沼の年縞堆積物. 第四紀研究, 34, 135-149.
- 波部忠重, 1955. 内湾の貝類遺骸の研究. 京大生理生態学研究業績, (77), 1-31.
- 波部忠重, 1977. 日本産軟体動物分類学—二枚貝綱／腹足綱. 372p, 北隆館.
- 波部忠重, 1983. 学研生物図鑑—貝II. 学研, 294p.
- 波部忠重・奥谷喬司, 1983. 学研生物図鑑—貝I. 学研, 301p.
- 池原研, 2000. 海底堆積物中の浮遊性有孔虫と有機炭素を用いた放射性炭素年代測定値の比較. 地調月報, 51, 299-307.
- 香川哲, 1986. 燐灘東部海域における成層期の底生生物の変動様式. 日本ベントス研究会誌, (29), 9-15.
- 菊池泰二・田中雅生, 1976. シズクガイ *Theora lata* (Hinds) の生態学的特性, 殊に生活史の特徴と非調和性環境への適応性について. 生理生態, 17, 261-271.
- 国土地理院, 1992. 1:25,000 沿岸海域土地条件図「郡中」.
- 前田保夫, 1977. 大阪湾の自然史—潜函でとらえた海と森の変遷—. 科学, 47, 514-523.
- 前田保夫, 1980. 一万年前以降の瀬戸内海東部の海面変化. 海と

空, 56, 145-150.

- 増田富士雄, 1998. 高密度で測定された<sup>14</sup>C年代測定値による完新統のダイナミック地質学. 地学雑誌, 107, 713-727.
- 増田富士雄・宮原伐折羅・広津淳司・入月俊明・岩淵洋・吉川周作, 2000. 神戸沖海底コアから推定した完新世の大坂湾の海況変動. 地質学雑誌, 106, 482-488.
- 松島義章, 1979. 南関東における縄文海進に伴う貝類群集の変遷. 第四紀研究, 17, 243-265.
- 松島義章, 1984. 日本列島における後氷期の浅海性貝類群集—特に環境変遷に伴うその時間・空間的変遷—. 神奈川県立博物館研究報告（自然科学）, (15), 37-104.
- 松島義章・大嶋和雄, 1974. 縄文海進期における内湾の軟体動物群集. 第四紀研究, 13, 135-159.
- 三浦健一郎・七山太・大塚一広・池田倫治・金山清一・長谷川正・杉山雄一・佃栄吉, 2001. 伊予灘海域の中央構造線活断層層系の完新世活動性評価（I）—シングルチャネル音波探査の成果—. 活断層・古地震研究報告, (1), 199-214. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 七山太・土井康裕・北田奈緒子・竹村恵二・杉山雄一, 2001. 大阪平野西部, 上町断層系住之江撓曲の活動度評価とこれに基づく過去1万年間の海水準変動. 地質学雑誌, 107, 215-221.
- 越智正・西尾幸郎・岡市友利, 1978. 燐灘東部海域における貧酸素層の形成. 香川大農学部学術報告, 29, 297-304.
- 太田陽子・海津正倫・松島義章, 1990. 日本における完新世相対的海面変化とそれに関する問題—1980～1988における研究の展望—. 第四紀研究, 29, 31-48.
- 小川光明・岡村真・島崎邦彦・中田高・千田昇・中村俊夫・宮武隆・前埜英明・堤浩之, 1992. 伊予灘北東部における中央構造線活断層系の完新世活動. 地質学論集, (40), 75-92.
- 大塚一広・七山太・三浦健一郎・池田倫治・金山清一・小林修二・徳間伸介・横山芳春・安原盛明・杉山雄一・佃栄吉, 2002. 中央構造線活断層系伊予セグメント西縁部, 下灘沖南断層の完新世活動性評価—下灘沖ボーリングコアの解析結果—. 活断層・古地震研究報告, (2), 125-140. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 佐藤慎一, 2002. 大規模干拓堤防建設に伴う貝類群集の変化. 日本ベントス学会誌, (57), 106-118.
- Stuiver, M., Reimer, P., Bard, E., Beck, J. W., Burr, G. S., Hughen, K. A., Kromer, B., McCormac, G., van der Plincht, J. and Spurk, M., 1998. INTCAL98 radiocarbon age calibration, 24,000-0 cal BP. Radiocarbon, 40, 1041-1083.
- 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的意味. —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報告, (19), 37-45.
- 海津正倫, 1994. 沖積低地の古環境学. 古今書院, 270p.
- 八島邦夫, 1994. 瀬戸内海の海釜地形に関する研究. 海上保安庁水路部研究報告, (30), 237-327.

(2003年1月23日受付, 2003年5月23日受理)