

# 長崎県壱岐市芦辺港における 完新世の古環境と相対的海水準変動

佐々木聡史<sup>1\*</sup>・入月俊明<sup>2</sup>・卜部厚志<sup>3</sup>・林 広樹<sup>2</sup>・瀬戸浩二<sup>4</sup>・酒井哲弥<sup>2</sup>

## Holocene paleoenvironment and relative sea-level change in Ashibe Port, Iki Island, Nagasaki Prefecture, southwestern Japan

Satoshi Sasaki<sup>1\*</sup>, Toshiaki Irizuki<sup>2</sup>, Atsushi Urabe<sup>3</sup>,  
Hiroki Hayashi<sup>2</sup>, Koji Seto<sup>4</sup>, Tetsuya Sakai<sup>2</sup>

**Abstract:** Iki Island, Nagasaki Prefecture, southwest Japan, is located in the Genkai Sea between Kyushu Island and Tsushima Island, under the influence of the Tsushima Warm Current. Two borehole cores (Iki-1 and Iki-2 are the proximal and distal cores, respectively) were excavated from the Ashibe Port of Iki Island to detect tsunami events and to reconstruct the paleoenvironment based on grain size, CNS element, and microfossil (ostracodes and planktonic foraminifers) analyses. The integrated results revealed the following paleoenvironmental and sea-level changes. Site Iki-1 started to inundate from ~8900 cal BP, and brackish estuary at water depths of ~2 m was developed. The paleoenvironment was enclosed inner to middle bay from ~8200 cal BP to ~7500 cal BP and was open bay from ~7500 to ~3800 cal BP. Then it changed to a sandy coast from ~3800 to ~3200 cal BP. The paleoenvironment in site Iki-2 was enclosed inner bay from ~7800 to ~5900 cal BP and was sandy coast from ~5900 to ~1100 cal BP. Then it changed to brackish inner bay from 1100 to 1000 cal BP. Maximum sea level was recognized from 7000 to 6000 cal BP in both core sites. Three event layers were found in both cores. One of them was possibly caused by a tsunami event at ~5200 cal BP because of abnormal abundance of planktonic foraminifers though the formation factors of other layers were uncertain.

**Key words:** Holocene, Iki Island, ostracodes, planktonic foraminifers, sea-level change, tsunami deposit

<sup>1</sup> 島根大学大学院総合理工学研究科・Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Shimane University, 1060 Nishikawatsu-cho, Matsue 690-8504, Japan.

<sup>2</sup> 島根大学学術研究院環境システム科学系・Institute of Environmental Systems Science, Academic Assembly, Shimane University, 1060 Nishikawatsu-cho, Matsue 690-8504, Japan.

<sup>3</sup> 新潟大学災害・復興科学研究所・Research Institute for natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University, 8050 Ikarashi-nino-cho, Nishi-ku, Niigata 950-2181, Japan.

<sup>4</sup> 島根大学エスチュアリー研究センター・Estuary Research Center, Shimane University, 1060 Nishikawatsucho, Matsue 690-8504, Japan.

\* Corresponding Author

受付日：2019年5月9日，受理日：2019年11月26日，WEB掲載日：2020年8月20日

## はじめに

長崎県壱岐島は、九州と対馬の間にある島で、周囲の23個の島々と合わせて壱岐諸島と呼ばれている。壱岐島は周囲を玄界灘に囲まれ、対馬暖流が壱岐島と対馬の間を流れている。壱岐島には縄文時代の水中遺跡や弥生時代の原の辻集落の遺跡など多くの考古学的遺跡が残っており、これらの遺跡や当時の人間活動についての研究が行われてきた(中田ほか, 1994; 細井, 2012 など)。また、壱岐島近隣の九州沿岸では完新世の相対的海水準変動や古環境の変遷に関する研究も多く行われてきた(中田ほか, 1994; 長岡ほか, 1995, 1997; Nagaoka et al., 1996; Yokoyama et al., 1996; Nakata et al., 1998; Nishida and Ikehara, 2013; Takata et al., 2018 など)。中田ほか(1994)は、西九州の水中遺跡の分布から完新世の相対的海水準変動を復元し、最高海面期は今から約6000年前で、壱岐島付近では最高海面期でも現在の海水準より0.5 m低かったとした。Nishida and Ikehara (2013)は福岡沖の沿岸から大陸棚における完新世堆積物を分析し、約8400 ~ 6600 cal BPに対馬暖流の勢力が強まったと推定した。しかしながら、壱岐島で掘削されたボーリングコアを用いた上記のような研究は無いのが現状である。

そこで、本研究の目的は長崎県壱岐島の芦辺港で掘削された2本のボーリングコア堆積物を用いて、主に貝形虫化石の群集解析と堆積物の粒度分析およびCNS元素分析の結果に基づいて相対的海水準と堆積環境の変遷を復元し、さらに、津波などによるイベント堆積物を認定することである。なお、本研究で対象とした貝形虫とは節足動物甲殻類に属する1綱で、通常1 mm以下の微小な2枚の石灰質殻を持ち、これが化石として長期間堆積物中に保存される。そのため、少量の試料でも多産する示相化石として重要で、古環境復元や津波堆積物の認定などのプロキシとして利用されている(入月ほか, 1998, 1999; 藤原ほか, 1999a, b; 佐々木ほか, 2007; Irizuki et al., 2019 など)。

## 試料と方法

本研究では、長崎県壱岐市芦辺港の陸上から掘削された2本のボーリングコア(Iki-1コア:北緯33°48'33", 東経129°44'55", 孔口標高2.0 m; Iki-2コア:北緯33°48'27", 東経129°44'34", 孔口標高2.0 m)より採取された試料を用いて種々の分析を行った(図1)。これらのコアは「日本海地震・津波調査プロジェ

クト」の一環で採取された。

2本のコアは半割し、堆積物の記載を行った。その後、土色計(SPAD-503, コニカミノルタ)を用いて土色測定を行った後、1辺2.3 cmの容量が7 ccのプラスチックキューブを連続的に使用し、Iki-1コアから合計562試料、Iki-2コアから合計395試料を採取した。全ての試料は、冷凍保存した後、真空凍結乾燥を行った。キューブで採取した試料を微化石分析に使用し、採取後に残った同層準の試料を粒度分析とCNS元素分析に使用した。

試料の堆積年代を推定するため、2本のコアを対象に加速器質量分析法(AMS: Accelerator Mass Spectrometry)による放射性炭素年代測定を加速器分析研究所に委託した(Stuiver and Polach, 1977)。試料はIki-1コアから15試料、そのうち4試料(深度19.85 m, 17.92 m, 12.58 m, 8.71 m)は植物片または木片、それ以外の11試料は貝殻片である。Iki-2コアから9試料、そのうち3試料(深度16.83 m, 14.50 m, 6.20 m)は貝殻片、それ以外の6試料は植物片または木片である(表1)。<sup>14</sup>C年代の暦年較正にはIntCal13とMarine13データベース(Reimer et al., 2013), OxCalv4.2較正プログラム(Bronk Ramsey, 2009)を用いた。なお、海生の貝殻片の<sup>14</sup>C年代については、ローカルリザーバー効果を考慮する必要があるが、今回はMarine13の暦年較正曲線をそのまま使用した。

粒度分析にはIki-1コアからの282試料、Iki-2コアからの197試料を使用した。約0.03 gの試料をプラスチック容器に入れ、堆積物に含まれる有機物を取り除くため、6%の過酸化水素水を滴下し、反応がなくなるまで数日間放置した。その後、試料を数秒間、超音波洗浄機を用いて攪拌させ、島根大学総合理工学部地球科学科所有のレーザー回折式粒度分析分布測定装置(SALD-3000S)を用いて分析を行った。

CNS元素分析にはIki-1コアからの69試料、Iki-2コアからの47試料を使用した。試料をメノウ乳鉢で泥サイズになるまで粉末にした後、銀製固体用コンテナに入れ、試料の重量を9.0 ~ 11.0 mgの範囲で秤量した。その後、無機炭素を除去するため1 M塩酸を滴下し、無機炭素の反応がなくなるまで30分ごとに1 M塩酸を加えた。無機炭素と塩酸の反応が無くなってから、2時間乾燥させた。乾燥後、さらに錫製固体用コンテナに入れて封入し、全有機炭素(TOC)、全窒素(TN)、全イオウ(TS)含有率(wt%)の測定を島根大学エスチュアリー研究センター所有のFISON社製CHNS元素分析計(EA1112)を用いて測定した。また、測定の際には、10試料おきに標準試料(2.5-bis-

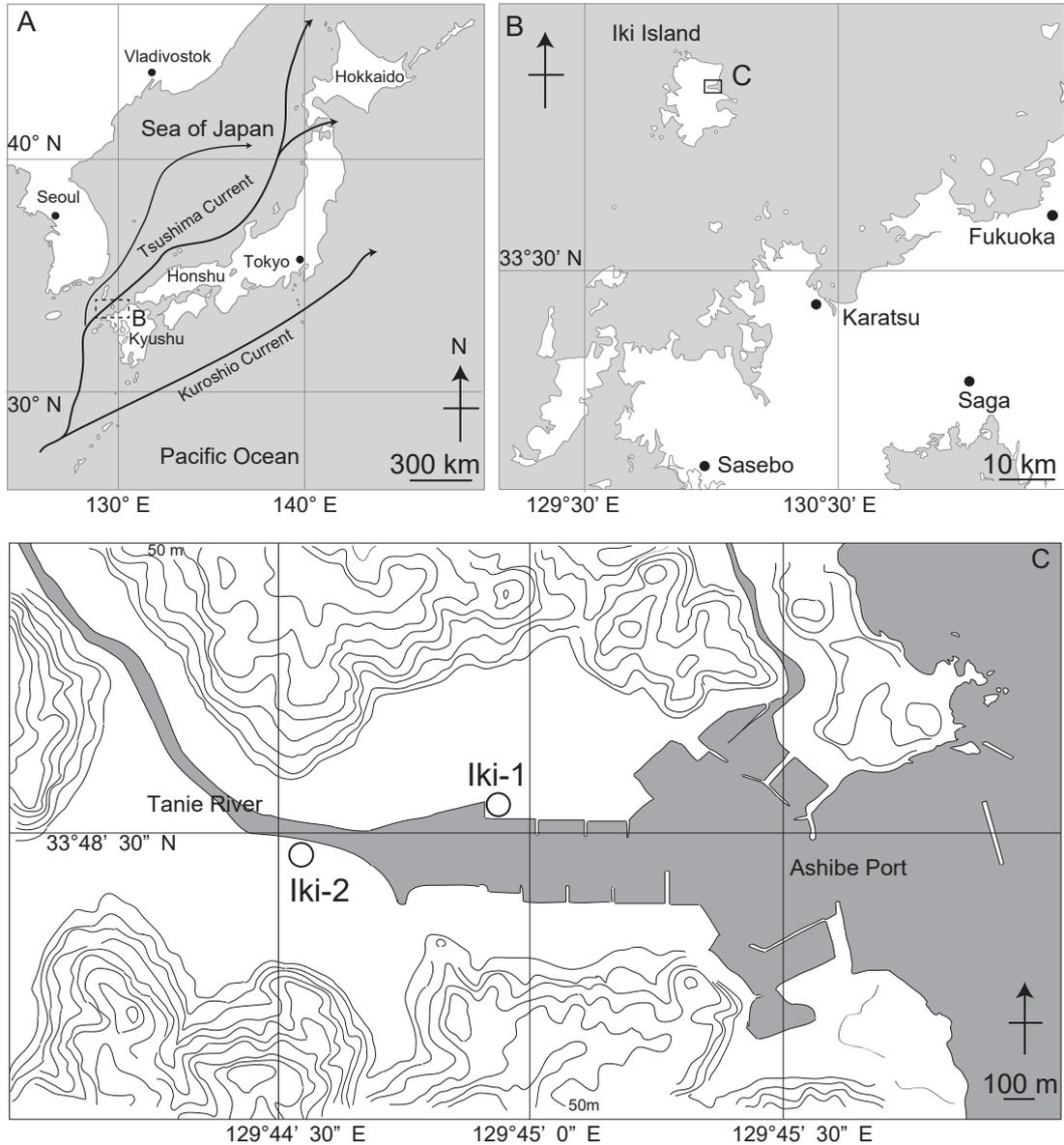


図1 調査地域の位置図. A, B, インデックスマップ. C, ボーリングコア採取地点 (Iki-1, Iki-2) 図. 等高線の間隔は 10 m. 国土地理院の地理院地図(<https://maps.gsi.go.jp/>) を加工して作成.  
**Fig. 1** Location maps of the study area. A, B, Index maps of the study area. C, Location map of bore hole cores (Iki-1 and Iki-2). Each contour line distance is 10 m. Modified from the GSI Maps by the Geospatial Information Authority of Japan (<https://maps.gsi.go.jp/>).

(5-tert-butyl-benzoxazol-2yl)-thiophen)を用いて測定した。  
 貝形虫化石分析には Iki-1 コアからの 62 試料, Iki-2 コアからの 29 試料を使用した。試料は秤量後, 250 メッシュの篩 (開口径: 0.063 mm) 上で十分水洗した。残渣試料は恒温乾燥器で乾燥させ, 115 メッシュの篩 (開口径: 0.125 mm) を用いて選別し, 粗粒堆積物から全ての貝形虫化石を抽出した。貝形虫化石殻が 200 個以上含まれる試料に関しては, 簡易分割器を用いて適宜分割した。なお, 貝形虫化石の個数は片殻を 1,

両殻背甲)を 2 として計数した。破片個体については, 別個体として認識できる個体のみを 1 として計数した。貝形虫化石群集に基づいて, 古環境の垂直変化を定量的に検討するため, 貝形虫化石が産出した全ての分析試料の個数データと全種を用いて, Horn (1966) の重複度指数と単純群平均法による Q-mode クラスター分析を行った。分析には PAST (Paleontological Statistics ; Hammer et al., 2001) を用いた。  
 Iki-1 コアの一部の層準では, 貝形虫化石分析試料

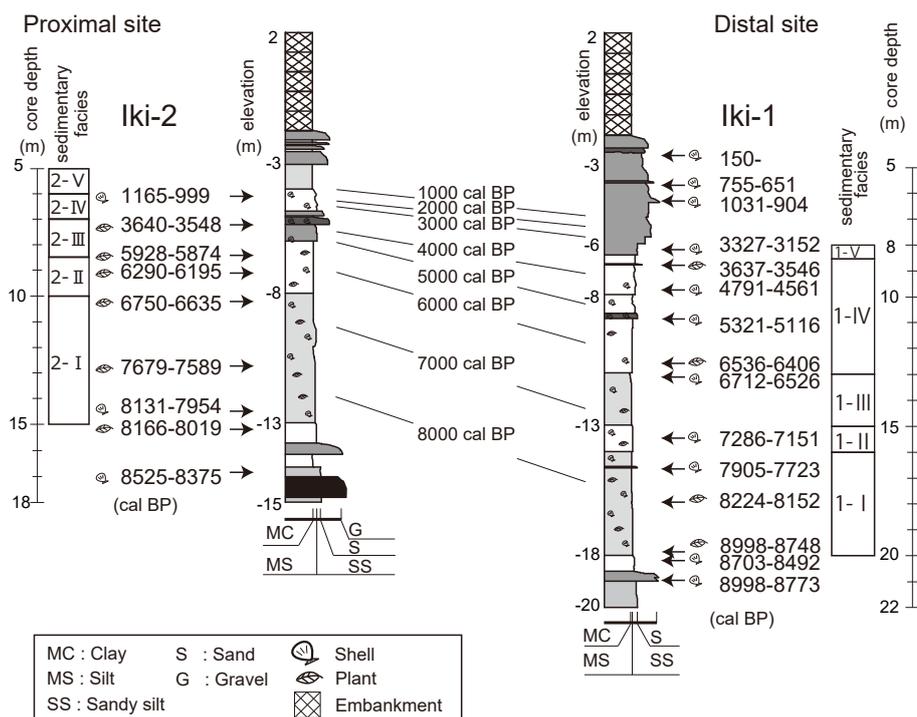


図2 Iki-1 と Iki-2 コアの柱状図，堆積相，および  $^{14}\text{C}$  年代 (cal BP,  $2\sigma$ )。

Fig. 2 Columnar sections, sedimentary facies, and  $^{14}\text{C}$  ages (cal BP,  $2\sigma$ ) of cores Iki-1 and Iki-2.

から浮遊性有孔虫化石が産出したため，全ての浮遊性有孔虫化石を抽出した．浮遊性有孔虫化石が多い層準の試料は，さらに分割し，50 個体を目安にして全て抽出した．

## 結果

### 放射性炭素年代

**Iki-1 コア** 試料採取層準最下部の深度 20.94 m で 8998–8773 cal BP ( $2\sigma$ )，最上部の深度 4.56 m で 150 cal BP の年代を示した (図 2，表 1)．深度 19.85 m の試料を除き，年代値の範囲が大きく分散することはなかった．

**Iki-2 コア** 試料採取層準最下部の深度 16.83 m で 8525–8375 cal BP ( $2\sigma$ )，最上部の深度 6.2 m で 1165–999 cal BP ( $2\sigma$ ) の年代を示した (図 2，表 1)．年代値の範囲が大きく分散することはなかった．

### 堆積相

**Iki-1 コア** 貝形虫化石が産出した深度 20 ~ 8 m の層準を対象に，堆積物の種類，粒度，含有物などに基づき，以下のように 5 つの堆積相 (1-I ~ 1-V) に分

類した (図 2, 3)．

堆積相 1-I: 深度 20 ~ 16 m (約 8900 ~ 7500 cal BP) に相当する．貝化石が散在し，植物片などの有機物が最も多く，暗灰色から灰色の塊状粘土質シルト~粘土で，中央粒径は 6.5 ~ 7.5  $\phi$  の範囲を示した．また，深度 18.0 ~ 17.9 m に黒色の有機物密集層が挟在した．

堆積相 1-II: 深度 16 ~ 15 m (約 7500 ~ 7100 cal BP) に相当する．貝化石が散在し，植物片などの有機物を含む暗灰色~灰色の塊状シルトで，中央粒径は 6.0 ~ 7.5  $\phi$  の範囲を示した．堆積相 I と比較してやや粗い．

堆積相 1-III: 深度 15 ~ 13 m (約 7100 ~ 6600 cal BP) に相当する．貝化石が散在し，植物片などの有機物を含む暗灰色~灰色の塊状粘土質シルト~粘土で，中央粒径は 6.7 ~ 7.5  $\phi$  の範囲を示した．深度 14.55 ~ 14.30 m では生物擾乱が発達していた．

堆積相 1-IV: 深度 13 ~ 8.5 m (約 6600 ~ 3400 cal BP) に相当する．植物片などの有機物と多くの貝化石を含む暗灰色~灰色の塊状シルトで，中央粒径は 4.8 ~ 6.8  $\phi$  の範囲を示した．深度 10.9 ~ 10.8 m (約 5200 cal BP) と深度 8.90 ~ 8.80 m (約 3600 cal BP)

表1 Iki-1 と Iki-2 コアにおける <sup>14</sup>C 年代.

Table 1 Radiocarbon dates of molluscan and echinoid shells in core Iki-1 and Iki-2.

	Code number	Core depth (m)	Material	δ13C (‰) (AMS)	Conventional Age (yrBP)	1σ calibrated age	2σ calibrated age
Iki-1	IAA-162599	4.56	shell	3.44±0.65	480±20	124 cal BP - 48 cal BP (51.0%)* 23 cal BP - ... (17.2%)*	225 cal BP - 210 cal BP ( 1.7%)* 195 cal BP - 161 cal BP ( 4.4%)* 150 cal BP - ... (89.3%)*
	IAA-162600	5.7	shell	2.69±0.43	1150±20	720 cal BP - 668 cal BP (68.2%)	755 cal BP - 651 cal BP (95.4%)
	IAA-162601	6.27	shell	4.3±0.37	1410±20	980 cal BP - 918 cal BP (68.2%)	1031 cal BP - 904 cal BP (95.4%)
	IAA-162602	8.19	shell	1.14±0.44	3370±20	3293 cal BP - 3190 cal BP (68.2%)	3327 cal BP - 3152 cal BP (95.4%)
	IAA-162603	8.71	wood fragment	-23.37±0.36	3340±30	3530 cal BP - 3510 cal BP (12.3%) 3530 cal BP - 3510 cal BP (12.3%)	3637 cal BP - 3546 cal BP (69.9%) 3537 cal BP - 3481 cal BP (25.5%)
	IAA-162604	9.71	shell	1.41±0.51	4480±30	4769 cal BP - 4748 cal BP ( 8.9%) 4725 cal BP - 4609 cal BP (59.3%)	4791 cal BP - 4561 cal BP (95.4%)
	IAA-162605	10.87	shell	2.4±0.43	4920±30	5300 cal BP - 5232 cal BP (68.2%)	5321 cal BP - 5116 cal BP (94.9%) 5095 cal BP - 5086 cal BP ( 0.5%)
	IAA-162606	12.58	wood fragment	-26.3±0.32	5690±30	6495 cal BP - 6435 cal BP (65.5%) 6419 cal BP - 6415 cal BP ( 2.7%)	6536 cal BP - 6406 cal BP (95.4%)
	IAA-162607	13.08	shell	-2.9±0.33	6180±30	6662 cal BP - 6573 cal BP (68.2%)	6712 cal BP - 6526 cal BP (95.4%)
	IAA-162608	15.45	shell	0.74±0.46	6690±30	7251 cal BP - 7181 cal BP (68.2%)	7286 cal BP - 7151 cal BP (95.4%)
	IAA-162609	16.66	shell	-0.47±0.39	7350±30	7854 cal BP - 7765 cal BP (68.2%)	7905 cal BP - 7723 cal BP (95.4%)
	IAA-162610	17.92	wood fragment	-29.11±0.39	7370±30	8288 cal BP - 8263 cal BP (12.4%) 8207 cal BP - 8161 cal BP (50.1%)	8310 cal BP - 8235 cal BP (21.4%) 8224 cal BP - 8152 cal BP (55.8%) 8141 cal BP - 8132 cal BP ( 1.2%)
	IAA-162611	19.85	plant fragment	-24.08±0.31	7990±30	8083 cal BP - 8068 cal BP ( 5.7%) 8988 cal BP - 8950 cal BP (16.1%) 8938 cal BP - 8935 cal BP ( 1.3%) 8921 cal BP - 8861 cal BP (26.7%)	8121 cal BP - 8046 cal BP (17.1%) 8998 cal BP - 8748 cal BP (93.6%) 8740 cal BP - 8725 cal BP ( 1.8%)
	IAA-162612	20.28	shell	0.85±0.3	8120±30	8626 cal BP - 8537 cal BP (68.2%)	8703 cal BP - 8492 cal BP (95.4%)
IAA-162613	20.94	shell	2.61±0.26	8330±30	8980 cal BP - 8866 cal BP (68.2%)	8998 cal BP - 8773 cal BP (95.4%)	
Iki-2	IAA-162614	6.2	shell	-0.97±0.33	1530±20	1130 cal BP - 1045 cal BP (68.2%)	1165 cal BP - 999 cal BP (95.4%)
	IAA-162615	7.32	wood fragment	-26.34±0.37	3340±30	3632 cal BP - 3561 cal BP (68.2%)	3676 cal BP - 3674 cal BP ( 0.4%) 3640 cal BP - 3548 cal BP (78.4%) 3535 cal BP - 3482 cal BP (16.6%)
	IAA-162616	8.55	wood fragment	-27.03±0.29	5120±30	5919 cal BP - 5890 cal BP (39.1%) 5806 cal BP - 5768 cal BP (29.1%)	5928 cal BP - 5874 cal BP (50.2%) 5826 cal BP - 5754 cal BP (45.2%)
	IAA-162617	9.2	wood fragment	-28.54±0.37	5430±30	6284 cal BP - 6266 cal BP (21.7%) 6247 cal BP - 6212 cal BP (46.5%)	6290 cal BP - 6195 cal BP (95.4%)
	IAA-162618	10.12	plant fragment	-27.79±0.5	5870±30	6726 cal BP - 6663 cal BP (68.2%)	6773 cal BP - 6767 cal BP ( 0.7%) 6750 cal BP - 6635 cal BP (94.7%)
	IAA-162619	12.66	plant fragment	-28.01±0.26	6800±30	7666 cal BP - 7616 cal BP (68.2%)	7679 cal BP - 7589 cal BP (95.4%)
	IAA-162620	14.5	shell	3.61±0.31	7580±30	8079 cal BP - 7978 cal BP (68.2%)	8131 cal BP - 7954 cal BP (95.4%)
	IAA-162621	15.08	plant fragment	-26.39±0.45	7280±30	8158 cal BP - 8088 cal BP (49.3%) 8059 cal BP - 8030 cal BP (18.9%)	8166 cal BP - 8019 cal BP (95.4%)
	IAA-162622	16.83	shell	1.97±0.34	7990±30	8481 cal BP - 8396 cal BP (68.2%)	8525 cal BP - 8375 cal BP (95.4%)

に貝殻密集層が挟在した。

堆積相 1-V：深度 8.5 ~ 8 m (約 3400 ~ 3200 cal BP) に相当する。貝化石が散在する灰色の塊状細粒砂~砂質シルトで、中央粒径は 3.7 ~ 4.7 φ の範囲を示した。他の堆積相と比べ微小な貝を多く含み、レンズ状の極細粒砂が散在した。

**Iki-2 コア** 貝形虫化石が産出した深度 15 ~ 5 m の層準を対象に、堆積物の種類、粒度、含有物などにに基づき、以下のように 5 つの堆積相 (2-I ~ 2-V) に分類した (図 2, 3)。

堆積相 2-I：深度 15 ~ 10 m (約 8000 ~ 6700 cal BP) に相当する。貝化石が散在し、植物片などの有

機物が最も多く、暗灰色~灰色の塊状粘土質シルト~粘土で、中央粒径は 6.7 ~ 7.5 φ の範囲を示した。深度 12.72 ~ 12.60 m に黒色の有機物密集層が、深度 11.92 ~ 11.87 m に貝殻密集層が挟在した。

堆積相 2-II：深度 10 ~ 8.5 m (約 6700 ~ 5900 cal BP) に相当する。貝化石が散在し、植物片などの有機物を含む灰色~暗灰色の塊状シルトで、中央粒径は 6.5 ~ 7.5 φ の範囲を示した。レンズ状細粒砂が散在した。

堆積相 2-III：深度 8.5 ~ 7 m (約 5900 ~ 3500 cal BP) に相当する。貝化石が多く散在し、暗灰色~茶色の塊状シルト~砂質シルトで、中央粒径は 7.1 ~ 5.0

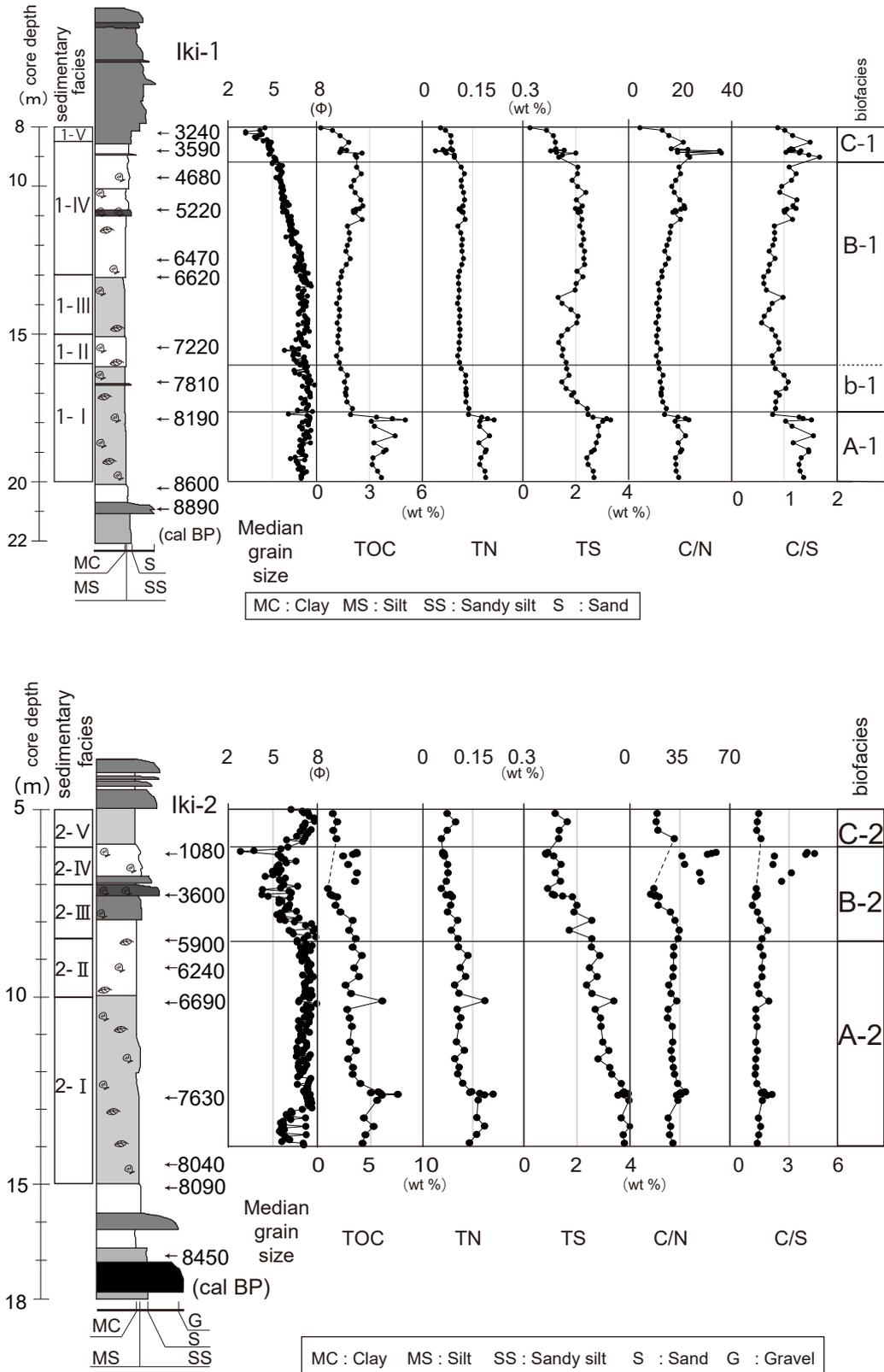


図3 Iki-1とIki-2コアの中央粒径，全有機炭素，全窒素，全硫黄，TOC/TN および TOC/TS，および貝形虫化石相の垂直変化．柱状図の凡例は図2に準ずる．

Fig. 3 Vertical profiles of median grain size, TOC, TN, TS, TOC/TN, TOC/TS, and ostracode biofacies in cores Iki-1 and Iki-2. The legend for the columnar section is shown in Fig. 2.

φの範囲を示した。深度7.42～7.30 mに貝化石密集層が挟在した。

堆積相2-IV：深度7～6 m(約3500～1100 cal BP)に相当する。貝化石が散在し、植物片などの有機物を含む、灰色～明灰色の塊状砂質シルトで、中央粒径は5.7～4.9 φの範囲を示した。深度6.2～6.1 mに貝化石密集層が挟在した。

堆積相2-V：深度6～5 m(約1100 cal BP以降)に相当する。貝化石が散在し、灰色から暗灰色の塊状粘土質シルトで、中央粒径は6.9～7.5 φの範囲を示した。

### CNS 元素分析

全有機炭素(TOC)、全窒素(TN)、全硫黄(TS)について、深度ごとの垂直変化を検討した。また、含まれている有機物の起源を考察するために、それらの値からTOC/TN(C/N)を求め、酸化還元程度や塩分を評価するため、TOC/TS(C/S)を求めた。TOC含有率は生物による有機物の生産量、湾外から供給された有機物の負荷量や堆積物の堆積速度に関連して変化する(入月・瀬戸, 2004)。C/Nは海洋性プランクトン起源では6前後とされ、陸生の高等植物起源では値が15以上になるとされている(三瓶ほか, 1997)。C/Sは堆積物が海成、汽水成、淡水成のいずれかを識別する指標や堆積環境の酸化還元程度を示す指標として用いられており、1以下で無酸素の還元的海成環境(Berner and Raiswell, 1984)、1から3の値で貧酸素的海成環境であり、値が5から10で極めて酸化的海成環境であり、10以上では有機物の少ない極めて酸化的环境、もしくは、非海成の環境とされている(Berner, 1982; Berner and Raiswell, 1984)。

**Iki-1 コア** コア下部の深度19.88～17.92 m(約8900～8200 cal BP)では、全ての指標は変動があるものの高い値を示した。深度17.92～17.74 mでは、全ての指標は急激に低い値に変化した。その上部の深度17.74～9.01 m(約8200～3800 cal BP)では、変動が少なかった。深度9.01～8.0 m(約3800～3200 cal BP)では、TOC, TN, TSは何も上位へ向け減少し、C/SとC/Nは増加したのち、上位へ向け減少した(図3)。

**Iki-2 コア** コア下部の深度14.0～9.0 m(約8000～6200 cal BP)ではTOC, TN, TSは下部で高く、深度約12.50 mで減少し、その後は安定した。C/N, C/Sの値は変動が少なかった。深度9.0～7.0 m(約6200～3500 cal BP)では、上位に向かって低い値を示した。深度7.0～6.0 m(約3500～1100 cal BP)では、TOC, C/N, C/SはIki-2 コアの中で最大値を示した。

深度6.0～5.0 m(約1100 cal BP以降)では、TOC, C/N, C/Sの値はIki-2 コア中で最低値を示した(図3)。

### 貝形虫化石

**Iki-1 コア** 62試料から少なくとも48属124種の貝形虫化石が認められた(表2)。多産種および特徴種の走査型電子顕微鏡写真を示す(図4)。多産種は*Bicornucythere bisanensis*, *Loxoconcha ocellata*, *Loxoconcha uranouchiensis*, *Pistocythereis bradyi*, *Pontocythere subjaponica*の5種であった。

全貝形虫化石の乾燥重量1 gあたりの個数は、深度19.46～12.00 m(約8900～6000 cal BP)では緩やかに増加し、1000個未満であった。深度11.80～8.10 m(約6000～3200 cal BP)では急激に増加し、1000個以上と極めて多かった(図5)。

種多様度(シャノン指数)は深度19.46～15.98 m(約8900～7500 cal BP)では3以下で、低い値を示した。深度15.75～8.10 m(約7500～3200 cal BP)では3に近く、下部の層準と比べ高かった。(図5)。

Q-mode クラスタ分析の結果、4つの貝形虫化石相(下位よりA-1, b-1, B-1, C-1)が識別された(図5, 6)。これらの化石相について以下に説明する。

化石相A-1: 深度19.46～17.84 m(約8900～8200 cal BP)の粘土質シルト～シルトの合計10試料からなる。*L. ocellata*のような低塩分の内湾奥や干潟に優占する種(Zhao and Wang, 1988)が多くを占めた。

化石相b-1: 深度19.00 mと深度17.77～16.19 m(約8200～7500 cal BP)の粘土質シルト～粘土の合計11試料からなる。*L. ocellata*などの低塩分性貝形虫種が産出せず、*B. bisanensis*のような内湾泥底に優占する種(Abe, 1988; 池谷・塩崎, 1993; Irizuki et al., 2018)が多くを占めた。

化石相B-1: 深度16.07～8.94 m(約7500～3800 cal BP)の粘土質シルト～粘土、またはシルトの合計35試料からなる。*B. bisanensis*などの内湾泥底に優占する種が多くを占めた。化石相b-1と異なり砂底種や葉上種を多く伴い、群集の種多様度が高い特徴を示した。

化石相C-1: 深度9.01 m, 深度8.85～8.10 m(約3800～3200 cal BP)のシルト～細粒砂の合計6試料からなる。*P. subjaponica*や*L. uranouchiensis*のような主に沿岸砂底に優占する種(Hanai, 1959; Ishizaki, 1968)が多くを占めた。

**Iki-2 コア** 29試料から少なくとも43属105種の貝形虫化石が認められた。

全貝形虫化石の乾燥重量1 g試料あたりの個数

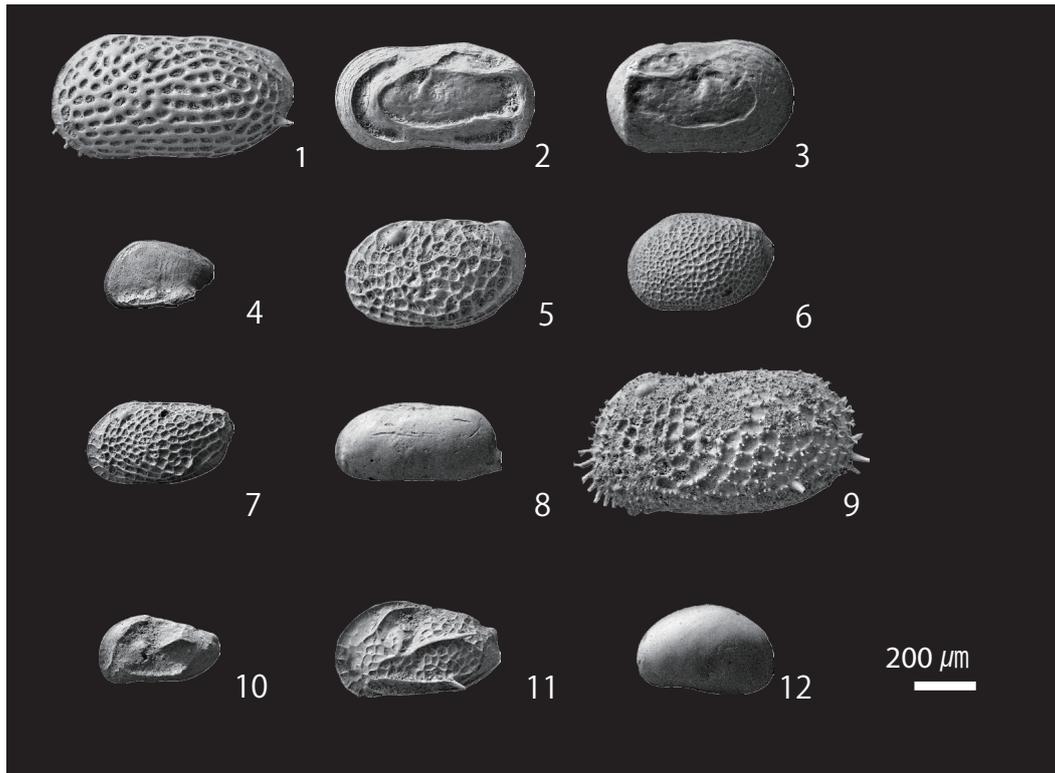


図4 主な貝形虫化石の走査型電子顕微鏡写真。3以外は全て左殻種。

Fig. 4 SEM photographs of main ostracode species. All specimens except for fig. 3 are left valves.

1. *Bicornucythere bisanensis* (Okubo), male, Iki-1, 19.01 m
2. *Cytherelloidea hanaii* Nohara, adult, Iki-1, 10.21 m,
3. *Cytherelloidea hanaii* Nohara, adult, Iki-1, 8.80 m
4. *Cytheropteron subuchioi* Zhao, juvenile, Iki-1, 12.00 m
5. *Loxoconcha bispinosa* Kajiyama, male, Iki-1 10.21 m
6. *Loxoconcha ocellata* Hou, female, Iki-1 19.01 m
7. *Loxoconcha uranouchiensis* Ishizaki, male, Iki-1 8.10 m
8. *Pontocythere subjaponica* (Hanai), female, Iki-1, 8.10 m
9. *Pistocythereis bradyi* (Ishizaki), male, Iki-1, 15.53 m
10. *Spinileberis furuyaensis* Ishizaki and Kato, male, Iki-1, 17.88 m
11. *Spinileberis quadriaculeata* (Brady), male, Iki-1, 15.53 m
12. *Xestoleberis hanaii* Ishizaki, juvenile, Iki-1, 10.21 m

は、深度 13.21 ~ 7.12 m (約 7800 ~ 3500 cal BP) では 600 個未満であった。深度 7.01 ~ 5.57 m (約 3500 ~ 1100 cal BP) では下位の層準と比べ急激に増加し、600 個以上であった。深度 5.35 ~ 5.12 m (約 1100 cal BP 以降) では下位の層準と比べて減少し、600 個未満であった (図 5)。

種多様度(シャノン指数)は深度 13.21 ~ 8.69 m (約 7800 ~ 5900 cal BP) では値が 3 以下で、低かった。深度 8.40 ~ 5.57 m (約 5900 ~ 1100 cal BP) では値

が 3 に近く、下位の層準と比べ増加した。深度 5.35 ~ 5.12 m (約 1100 cal BP 以降) では値が 3 以下で、再び低い値を示した (図 5)。

Q-mode クラスタ分析の結果、3 つの貝形虫化石相(下位より A-2, B-2, C-2) が識別された (図 5, 6)。これらの化石相について以下に説明する。

化石相 A-2: 深度 13.21 ~ 8.69 m (約 7800 ~ 5900 cal BP) の粘土質シルト~粘土の合計 10 試料からなる。*B. bisanensis* や *P. bradyi* のような内湾泥底に優占する

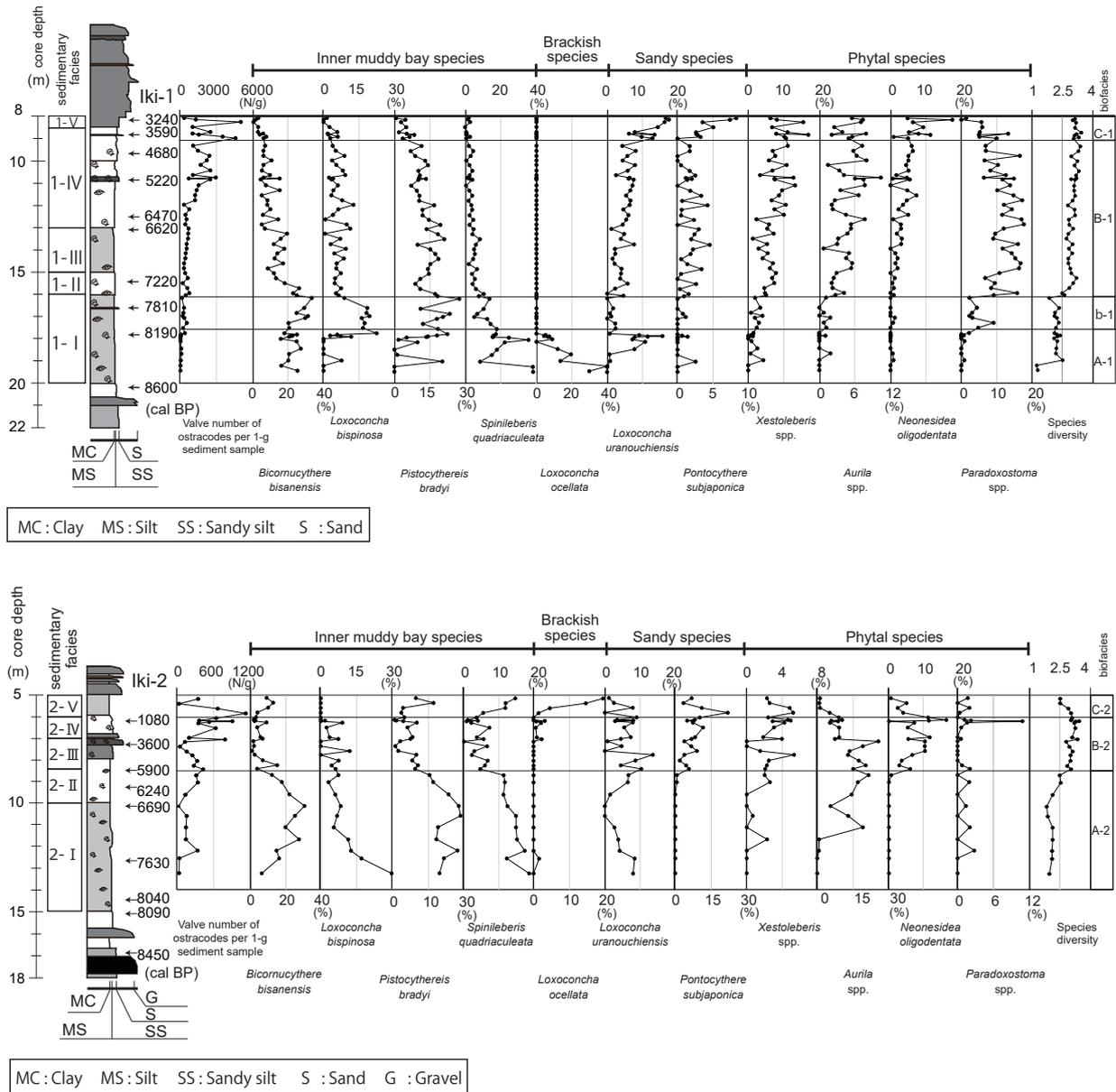


図5 Iki-1とIki-2コアにおける1g試料中の貝形虫殻数、主な貝形虫種の百分率、種多様度、および貝形虫化石相の垂直変化。柱状図の凡例は図2に準ずる。

Fig. 5 Vertical profiles of valve number of ostracodes per 1-g sediment sample, percentages of main ostracode species, species diversity, and ostracode biofacies in cores Iki-1 and Iki-2. The legend for the columnar section is shown in Fig2.

種が多くを占めた。

化石相 B-2: 深度 8.40 ~ 6.01 m (約 5900 ~ 1100 cal BP) のシルト~細粒砂の合計 15 試料からなる。P. subjaponica や L. uranouchiensis のような砂底に優占する種が多くを占めた。また、Aurila spp. や Neonesidea oligodentata のような藻場に生息する葉上種の割合も他の種と比べて多かった。

化石相 C-2: 深度 5.80 ~ 5.12 m (約 1100 cal BP以降) の粘土質シルトの合計 4 試料からなる。L. ocellata のような低塩分性種が多くを占めた。

#### 浮遊性有孔虫化石

浮遊性有孔虫化石は Iki-1 コアの 42 試料から確認できた。そのうち 20 個体以上産出した層準 10 試料か

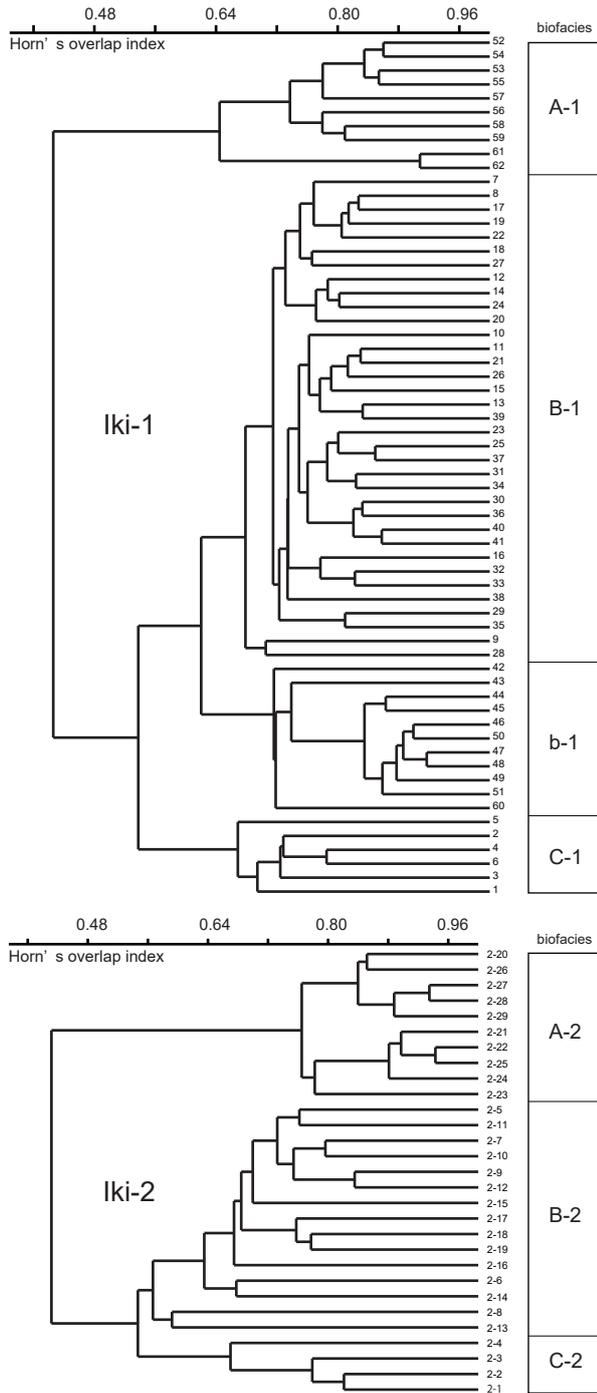


図6 貝形虫化石群集のQ-mode クラスター分析結果を示す樹形図。

Fig. 6 Dendrograms showing the results of ostracode Q-mode cluster analysis.

ら11属17種が認められた(表3)。全浮遊性有孔虫の乾燥重量1gあたりの個数は深度18.70~11.35m(約8500~6000calBP)では200個未満であった。深度10.86m(約5200calBP)の層準付近のみ急激に

個数が増加し、1000個程度となった。深度10.46~8.10m(約5200~3200calBP)では200個未満であり、急激に個数が減少した。一方、Iki-2コアからは全く産出しなかった。

## 考察

### 芦辺地域における古環境の時間空間的变化

本研究の結果から、堆積環境の時間空間的变化を以下のように復元した。

約8900~8000calBP(Iki-1コア深度20.0~17.77m, Iki-2コア深度18.0~14.0m):Iki-1コア中でTOCとC/Nが最も高い層準であり、約8500calBP以降、化石相は*L. ocellata*が全体の産出割合の40%を占めるA-1である。Iki-2コアから貝形虫化石は産出せず、深度18~17mは1から4cmの円礫を多く含む礫層からなり、その上位から貝化石が認められた。これらことからIki-1コア地点では陸源有機物の供給が多く、古水深が2m前後の泥干潟から低塩分の内湾奥環境が広がり、Iki-2コア地点の深度約17m(約8400calBP)の層準では海岸線付近であった可能性が高い。

約8000~6000calBP(Iki-1コア深度17.77~11.90m, Iki-2コア深度14~8.8m):Iki-1コア地点では約8000calBPからC/Nが減少し、海生プランクトン起源の有機物の寄与が高くなったことより海進が急激に起きたと推定される。約8000calBPから7400calBPまでは種多様度が低い化石相b-1で特徴づけられる閉鎖的内湾奥~中央部泥底となったが、その後、貝形虫化石群集の種多様度が急激に上昇し、下位層準と比べて種数は10種以上増加し、化石相B-1に変化した。このことより、Iki-1コア地点では湾が拡大し、閉鎖的内湾から外洋水の影響を受ける開放的内湾泥底へと変化した。一方、Iki-2コア地点では種多様度が低い化石相A-2で閉鎖的内湾奥~中央部泥底環境で、C/Nも高く、河川からの陸源有機物が常に供給されやすい場所が続いた。また、約7000~6000calBPでは、本研究で産出した貝形虫種の中で最も深い環境を示す*C. subuchioi*がIki-1コアから連続的に産出し、両コアの粒度が最も細粒で安定し、上位に向け粗粒になることより、この層準が最大海氾濫面に相当すると推測される。これは、Iki-1コアとIki-2コアの年代対比(図2)に基づく、この時代より上位では単位時間当たりの地層の厚さが、陸側のIki-2コアよりも沖側のIki-1コアの方が厚くなっている。すなわちプログラデーションが始まっていることから支持される。

約6000~3600calBP(Iki-1コア深度11.90~8.80

表2 Iki-1 と Iki-2 コアにおける貝形虫産出リスト。  
Table 2 List of ostracodes in core Iki-1 and Iki-2.

Sample number (Iki-1)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Core depth (m)	8.10	8.17	8.28	8.51	8.73	8.85	8.80	8.94	9.01	9.35	9.57	9.80	10.01	10.21	10.46	10.66	10.78	10.82	10.86	11.12	11.35	11.58	11.80	12.00	12.20	12.45	12.65	12.88	13.07	13.30	13.52	
<i>Biocymathere bisanensis</i> (Okubo, 1975)																																
<i>Cytheropora subochoi</i> (Zhao, 1988)	8	9	4	2	5	2	9	10	4	14	10	10	7	8	5	18	6	11	8	5	5	4	3	3	3	9	9	11	9	8	3	
<i>Cytherella hanaei</i> Nohara, 1976	5	3	1	4	5	6	7	17	9	17	11	1	15	13	16	12	11	23	7	14	26	8	13	12	18	12	19	11	1	1	1	1
<i>Cytherella hanaei</i> Nohara, 1976	2	1	2	1	2	5	1	2	5	1	3	2	2	4	5	1	1	4	5	1	2	4	5	12	18	11	6	1	2	19	1	11
<i>Loxocncha ocellata</i> Hou, 1982																																
<i>Loxocncha uranouchiensis</i> Ishizaki, 1968	24	26	23	17	12	19	7	21	18	11	14	9	6	16	17	3	11	9	11	13	11	8	1	9	8	12	7	9	2	8	6	
<i>Neoniscidea oligodentata</i> (Kajiyama, 1913)	2	26	9	11	8	16	9	2	7	14	11	8	7	9	15	2	8	1	8	11	8	1	7	5	4	1	1	6	5	3	5	
<i>Paradoxia</i> sp.	2	8	7	8	7	8	15	11	14	16	12	26	9	21	24	15	22	17	25	17	25	17	26	17	25	23	22	36	2	16	14	
<i>Psilocythere bradyi</i> (Ishizaki, 1968)	1	7	4	6	3	12	6	14	5	27	12	14	18	29	3	13	18	2	15	13	16	16	24	21	24	19	4	23	31	33		
<i>Psilocythere subglobosa</i> (Hana, 1959)	12	11	5	6	4	3	7	5	4	3	4	3	1	5	5	3	2	3	2	3	2	3	5	1	6	1	3	5	4	3	3	
<i>Spiniferella furuueensis</i> Ishizaki and Kato, 1976	3	2	4	1	1	1	1	6	1	5	8	5	1	5	12	3	2	4	6	1	4	6	3	5	7	5	6	5	4	7	13	
<i>Xestobena</i> sp.	9	12	22	5	16	15	8	22	13	26	12	12	8	22	19	3	20	10	10	10	10	10	10	13	20	2	12	9	12	2	42	
Others	72	54	67	61	88	50	44	95	73	80	72	52	65	79	127	51	70	45	55	83	58	53	45	30	67	75	45	62	59	47	42	
Total number of specimens	147	151	149	123	160	137	116	220	148	218	177	151	143	211	276	122	177	133	149	189	173	153	138	145	179	197	134	159	154	170	158	
Sample dry weight (g)	4.68	1.16	2.87	1.18	0.93	0.11	6.16	3.12	2.21	1.19	6.54	6.75	1.21	1.18	1.16	5.88	0.21	5.92	1.20	1.25	1.23	1.25	4.80	2.39	4.78	2.53	5.06	2.49	2.60	2.47		
Individual number of ostracodes per 1-g sediment sample	31.39	129.99	51.92	104.15	25.93	147.51	1029.28	35.72	47.44	98.48	148.60	23.10	21.18	173.72	233.25	105.15	30.11	62.195	25.17	157.46	138.70	124.45	110.08	30.18	74.74	41.21	52.87	31.44	61.92	65.40	64.07	
Total number of species	34	34	45	36	34	39	37	34	39	37	44	38	27	42	41	46	35	36	34	34	37	36	34	38	29	40	41	33	37	35	30	28

Sample number (Iki-1)	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62
Core depth (m)	13.77	13.97	14.18	14.41	14.63	14.86	15.07	15.30	15.53	15.75	15.98	16.07	16.19	16.64	16.86	17.00	17.09	17.32	17.54	17.77	17.84	17.88	17.90	17.93	18.03	18.14	18.47	18.70	19.01	19.23	19.46
<i>Aurila</i> sp.	4	1	7	9	8	8	5	4	4	7	5	5	1																		
<i>Biocymathere bisanensis</i> (Okubo, 1975)	16	25	31	25	13	25	22	35	62	44	55	66	87	33	55	46	27	35	25	39	32	21	16	9	28	32	33	24	9	12	
<i>Cytherella hanaei</i> Nohara, 1976	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Cytherella hanaei</i> Nohara, 1976	4	13	1	17	8	8	15	8	9	23	1	14	23	55	24	34	26	23	28	31	9	4	7	9	5	5	14	31	16	22	14
<i>Loxocncha ocellata</i> Hou, 1982	1	3	5	3	3	6	8	6	11	7	3	1	5	1	2	2	1	3	4	1	14	22	11	6	4	12	9	1	1	1	1
<i>Loxocncha uranouchiensis</i> Ishizaki, 1968	21	16	31	3	24	24	22	11	18	26	3	2	6	13	4	4	5	12	8	3	28	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1
<i>Neoniscidea oligodentata</i> (Kajiyama, 1913)	13	21	38	37	22	21	3	18	17	34	33	4	72	33	31	36	29	16	31	31	28	1	2	13	4	1	11	2	24		
<i>Paradoxia</i> sp.	6	3	4	1	2	5	1	5	1	3	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	3	3	2	4	1	3	1	1	1
<i>Psilocythere bradyi</i> (Ishizaki, 1968)	8	7	12	9	3	1	8	9	8	19	2	17	36	31	9	9	2	19	3	24	25	22	15	19	2	25	21	24	1	21	18
<i>Psilocythere subglobosa</i> (Hana, 1959)	7	4	12	8	10	9	16	11	13	14	9	11	5	10	1	7	3	4	2	2	31	12	19	16	32	37	61	23	2	5	5
<i>Spiniferella furuueensis</i> Ishizaki and Kato, 1976	43	45	59	49	41	35	72	76	74	99	34	48	31	65	30	27	30	28	29	21	31	31	12	19	16	32	37	61	23	2	2
<i>Xestobena</i> sp.	127	139	205	165	149	134	176	169	185	316	134	161	262	289	134	176	146	133	142	138	155	125	90	79	39	114	117	180	109	55	49
Total number of specimens	255	266	496	487	483	498	529	507	541	257	496	207	988	522	633	507	433	379	376	724	376	224	320	73	30	750	170	187	360	784	789
Sample dry weight (g)	49.89	52.22	41.30	33.88	30.85	26.90	33.28	63.07	190.64	58.41	52.20	32.44	126.73	304.32	235.07	182.27	283.00	53.84	163.95	370.11	403.91	33.20	12.43	10.92	5.34	15.20	68.73	85.54	30.26	7.20	6.13
Individual number of ostracodes per 1-g sediment sample	5.11	5.03	11.76	14.37	15.32	18.16	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32
Total number of species	34	34	41	38	39	37	34	39	37	44	38	27	42	41	46	35	36	34	34	37	36	34	38	29	40	41	33	37	35	30	28

Sample number (Iki-2)	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8	2-9	2-10	2-11	2-12	2-13	2-14	2-15	2-16	2-17	2-18	2-19	2-20	2-21	2-22	2-23	2-24	2-25	2-26	2-27	2-28	2-29		
Core depth (m)	5.12	5.35	5.57	5.80	6.01	6.13	6.16	6.19	6.26	6.48	6.93	7.01	7.12	7.35	7.57	7.75	8.12	8.24	8.40	8.69	9.15	9.59	10.12	10.58	11.18	11.67	12.19	12.55	13.21		
<i>Aurila</i> sp.	16	15	35	11	5	3	6	3	17	6	6	12	2	2	1	3	11	2	7	18	27	29	22	37	29	36	21	21	7		
<i>Biocymathere bisanensis</i> (Okubo, 1975)																															
<i>Cytheropora subochoi</i> (Zhao, 1988)	34	17	16	4	15	6	18	4	15	9	8	8	1	5	18	14	6	2	1	1	2	1	2	1	4	5	6	11	9		
<i>Cytherella hanaei</i> Nohara, 1976	1	6	9	12	19	29	26	14	9	13	1	14	11	14	11	14	9	6	4	12	1	3	1	3	1	3	3	4	4	2	
<i>Loxocncha ocellata</i> Hou, 1982	17	2	10	7	1	8	2	3	15	3	1	9	13	4	1	3	13	13	14	16	23	26	31	2	42	28	24	39	28	22	
<i>Loxocncha uranouchiensis</i> Ishizaki, 1968	12	4	30	63	1	17	14	11	11	14	10	9																			

表3 Iki-1 コアにおける浮遊性有孔虫産出リスト.

Table 3 List of planktonic foraminifers in core Iki-1.

Sample number	1	5	9	12	17	18	19	20	21	24
Core depth (m)	8.1	8.73	9.01	9.80	10.78	10.82	10.86	11.12	11.35	12.20
<i>Gallitella vivans</i> (Cushman, 1934)			1							1
<i>Globigerina bulloides</i> d'Orbigny, 1826	40	10	10	2	5		14	6	7	7
<i>Globigerina falconensis</i> Blow, 1959	11	6	5	5	4	5	3	5	6	3
<i>Globigerinella calida</i> (Parker, 1962)			1				1	1		
<i>Globigerinita glutinata</i> (Egger, 1893)	5	8	11		6	2	9	9	2	1
<i>Globigerinoides ruber</i> (d'Orbigny, 1839)	45	14	11	3	4	8	8	12	3	8
<i>Globigerinoides sacculifer</i> (Brady, 1877)			1							
<i>Globorotalia inflata</i> (d'Orbigny, 1839)	7		2							
<i>Globorotaloides hexagonus</i> (Natland, 1938)		2								
<i>Globoturborotalita rubescens</i> (Hofker, 1956)	5		4	1			1	2	1	
<i>Globoturborotalita tenella</i> (Parker, 1958)	1							1		
<i>Neogloboquadrina dutertrei</i> (d'Orbigny, 1839)	2		1	2	1		1	4	1	
<i>Neogloboquadrina incompacta</i> (Cifelli, 1961)	1	4	2	2	4	5	7	5	4	5
<i>Neogloboquadrina pachyderma</i> (Ehrenberg, 1861) dextral							1			
<i>Pulleniatina obliquiloculata</i> (Parker and Jones, 1865)	3		1		1			1		1
<i>Tenuitella parkerae</i> (Brönnimann and Resig, 1971)	1	1	1			2	2			
<i>Turborotalita quinqueloba</i> (Natland, 1938)		15	8	8	12	3	10	17	15	18
Gen.et sp.indet					3	7				
Total number of specimens	121	60	59	23	40	32	57	63	40	43
Sample dry weight (g)	4.21	0.93	0.49	0.46	0.06	0.21	0.06	0.12	0.12	0.24
Individual number of planktonic foraminifera per 1-g sediment sample	28.72	64.83	119.90	50.27	680.48	149.64	962.86	524.88	320.70	179.55
Total number of species	11	8	14	7	9	7	11	11	9	7

m, Iki-2 コア深度 8.80 ~ 7.30 m) : Iki-1 コアでは粒度は上方粗粒化し, C/N も増加傾向に転じ, 化石相は引き続き B-1 である. 内湾種の割合が減少し始め, *L. uranouchiensis* や *P. subjaponica* のような沿岸砂底種の産出割合が増加した. Iki-2 コアでは化石相 B-2 に変化した. このことより, 海退によって Iki-1 コア地点では開放的内湾から沿岸砂底環境への変化が始まり, Iki-2 コア地点では沿岸砂泥底環境に変化した.

約 3600 ~ 3000 cal BP (Iki-1 コア深度 8.80 ~ 8.0 m, Iki-2 コア深度 7.3 ~ 7.0 m) : Iki-1 コアでは化石相が C-1 に変じ, Iki-2 コアでは引き続き化石相 B-2 である. Iki-1 コアのこの層準は砂層から構成されており, 粒度は最も粗くなる. このことより, 芦辺港周辺は全体的に浅い沿岸砂底環境に変化したと推定される.

約 3000 ~ 1100 cal BP (Iki-1 コア深度 8 m 以浅, Iki-2 コア深度 7.0 ~ 6.0 m) : Iki-1 コアでは約 3000 cal BP 以降, 砂が卓越し, この層準より貝形虫が産出しなくなる. Iki-2 コアでは化石相 B-2 の特徴種である砂底種と *Neonesidea oligodentata* や *Aurila* 属のような葉上種が増加し始める. また, *B. bisanensis* のような内湾種が減少し数個体しか産出しない. また, 堆積層が細粒砂になり貝形虫殻の破片が多く保存状態が極めて悪い層準であった. 以上のことより Iki-1 コア地点に砂州が形成され, Iki-2 コア地点は, 潮流の影響が大きい沿岸砂泥底環境であったと推定される.

約 1100 ~ 1000 cal BP (Iki-1 コア深度 6.3 ~ 5.7 m, Iki-2 コア深度 6.0 ~ 5.0 m) : Iki-1 コアでは引き続き貝形虫が産出しない砂層から構成されており, Iki-2 コ

アでは化石相 C-2 に変化する. 化石相 C-2 は Iki-1 コアの化石相 A-1 と類似した貝形虫化石群集によって特徴づけられることから, Iki-1 コア付近の砂州がさらに発達し, 内側には低塩分の泥干潟から閉鎖的内湾奥泥底環境が広がっていたと推定される.

#### 相対的海水準変動

完新世の相対的海水準変動曲線を, 貝形虫指標種を用いて復元する研究が数多く行われてきた (藤原ほか, 1999b, 2014; 増田ほか, 2000; Masuda et al., 2002; Yasuhara et al., 2002; Yasuhara and Seto, 2006; Tanaka et al., 2012).

本研究ではまず, 相対的海水準変動曲線を作成するために幾つかの貝形虫指標種を選択した. これらは *B. bisanensis*, *L. ocellata*, *Cytheropteron subuchioi* および *Spinileberis quadriaculeata* の 4 種である. *B. bisanensis* は水深 5 ~ 10 m の内湾中央部泥底に優占し (池谷・塩崎, 1993), 場所によっては水深 15 m 程度まで優占する (入月ほか, 2009, 2010; Irizuki et al., 2018). *L. ocellata* は水深 2 m 前後の干潟から内湾沿岸に優占する種である (山根, 1998; 増馬・山田, 2014). また, *C. subuchioi* は本研究で産出した貝形虫種の中で最も深い古水深を示す種であり, 水深 15 m 前後から普遍的に見られる種である (Zhao and Wang, 1988). *S. quadriaculeata* は主に水深 2 ~ 7 m の内湾中央部泥底に生息する種である (塩崎・池谷, 1993).

これらの生息水深範囲を考慮し, 本研究では, *B. bisanensis* が最も優占した層準の古水深を 5 ~ 10 m

長崎県壱岐市芦辺港における完新世の古環境と相対的海水準変動

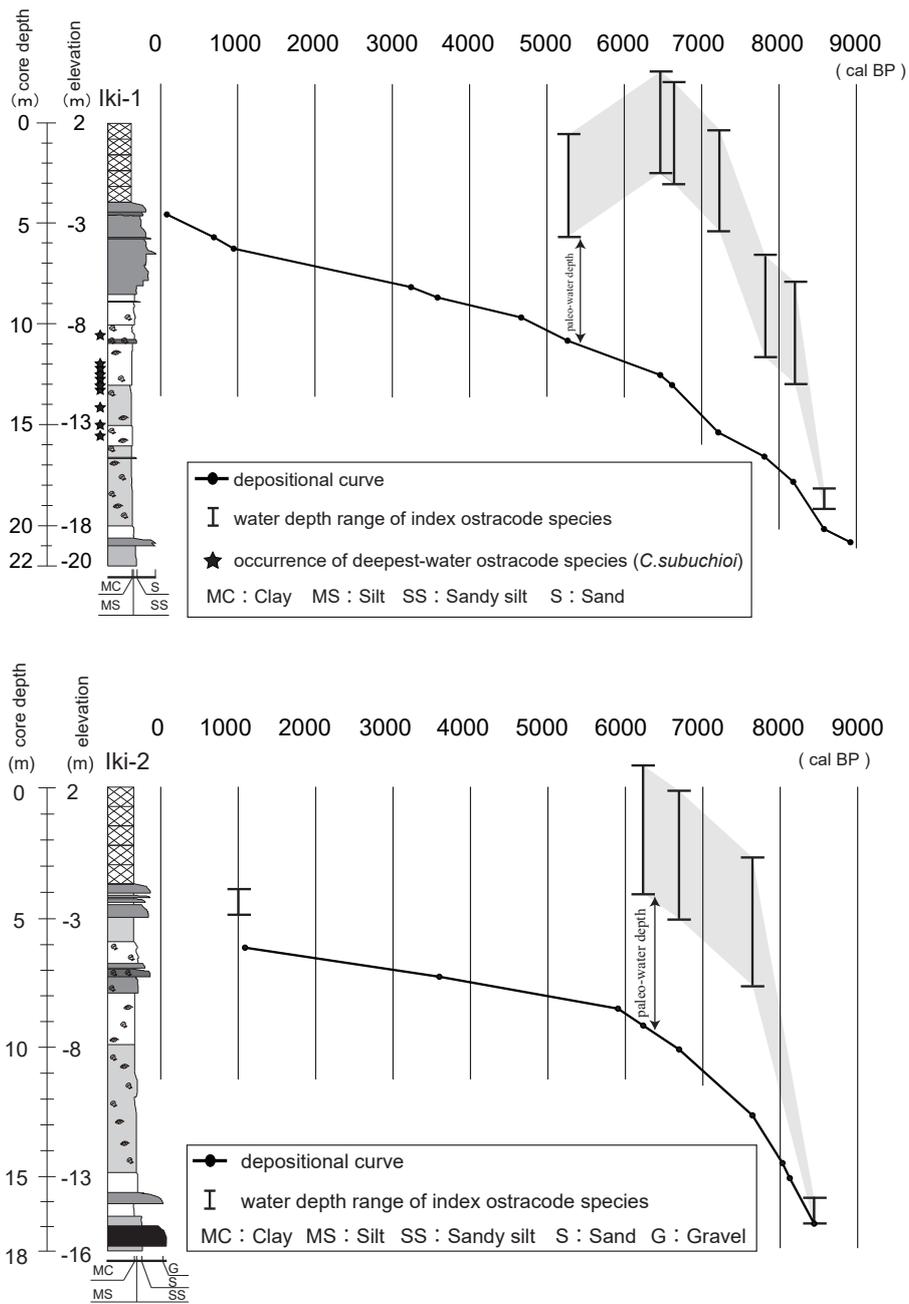


図7 Iki-1 と Iki-2 コアにおける堆積曲線と貝形虫指標種により推定された相対的海水準変動曲線。縦軸が標高，横軸が年代を示す。点線は海底面を示し，グレー部分は海面の高さの範囲を示す。柱状図の凡例は図2に準ずる。

Fig. 7 Depositional curve and relative sea-level curve estimated by index ostracode species in cores Iki-1 and Iki-2. The vertical line shows the elevation and the horizontal line shows the age. The dotted line shows the sea bottom, and the gray part shows the tidal range. The legend for the columnar section is shown in Fig2.

とし、*L. ocellata* が最も優占した層準の古水深を 1 ~ 2 m とした。また、*B. bisanensis* が最も優占し、*C. subuchioi* が産出した層準の古水深を 10 ~ 15 m とした。*S. quadriaculeata* の産出割合が *B. bisanensis* のそれ以上である層準の古水深は、両者の水深範囲が重なる 5 m 前後とした。

次に、Iki-1 コアと Iki-2 コアにおいて年代値が得られた層準の標高を当時の海底面とし、これらの層準から採取した試料の貝形虫群集のうち、上記の条件を持つ試料に関して、古水深の範囲をプロットして推定される海面の高さの範囲を復元した(図 7)。

結果として、Iki-1 コアではコア深度 19.23 m の約 8600 cal BP に *L. ocellata* が最も多産し、海面は約 -16 m に位置していた。その後、*B. bisanensis* が卓越し、約 8200 cal BP に -10 m 前後となった(図 7)。Iki-2 コアでは約 8400 cal BP では貝形虫が産出しなかったが、上記のように海岸線付近と推定されたことから、古水深はほぼ 0 m で、標高は -15 m となり、Iki-1 コアで推定された海面高度の範囲内におおよそ収まった(図 7)。

Iki-1 コアでは約 8000 ~ 7000 cal BP に、引き続き *B. bisanensis* が卓越したことにより、海面は今よりも数 m 程度低い位置まで急激に上昇した(図 7)。Iki-2 コアでも *B. bisanensis* が産出することより海面が今よりも数 m 低かったと推定される(図 7)。

Iki-1 コアでは約 7000 ~ 6000 cal BP に *C. subuchioi* が連続的に産出したことにより、この層準が最も深く 10 ~ 15 m と推定され、海面は現在とおおよそ同じ標高にあった可能性が高い(図 7)。Iki-2 コアでは *C. subuchioi* は産出しなかったが、約 7000 ~ 6000 cal BP の層準で *B. bisanensis* が最も多くなり粒度が細かく安定していることから最大海氾濫面に相当すると推定される。したがって、Iki-1 コアと調和的な結果となった(図 7)。

Iki-1 コアでは約 6000 ~ 5000 cal BP に *C. subuchioi* がほとんど産出せず、*B. bisanensis* の産出割合も年代が若くなるにつれて、減少したことにより、古水深は減少し 10 m よりも浅くなった(図 7)。Iki-2 コアでも同様に *B. bisanensis* の産出割合が他の種よりも低くなったことから、古水深は低下したと推定されるが、貝形虫指標種に基づいて具体的に復元することができなかった(図 7)。

これ以降に関しては、砂底種や葉上種が多くなり、上記のように、沿岸砂底環境に変化し、貝形虫指標種を用いて、信頼性のある相対的海水準変動曲線を描くことはできなかった。しかしながら、Iki-1 コアでは約 4000 ~ 3000 cal BP に *B. bisanensis* の産出割合

が他の種よりも低くなったことから、古水深はさらに低下し、Iki-2 コアでは *S. quadriaculeata* の産出割合が *B. bisanensis* を上回っており、古水深は 5 m 程度と低下し、現在の海面より若干低かった可能性がある。また、Iki-2 コアでは約 3000 cal BP 以降も *S. quadriaculeata* の産出割合が *B. bisanensis* を上回っており、約 1000 cal BP では *L. ocellata* が最も多産し、この層準に関しては、2 m 前後の古水深が推定されるため、海面が現在より若干低かったと推定される(図 7)。

中田ほか(1994)は縄文時代初期から中期における西九州の水中遺跡の分布から、海面高度の変遷を復元した。この研究によると、壱岐地域での海面高度は約 7000 cal BP では、現在より -0.5 m 低かったと推定されている。これは本研究結果と調和的である。また、新潟県佐渡島や兵庫県豊岡沿岸地域では、約 6000 ~ 7000 cal BP が最高海面期に相当するとされている(太田ほか, 2008; Tanigawa et al., 2013)。本研究結果も同時期に海水準が高かった結果を示し、西九州から北陸では、この時期に相対的海水準が高くなったことが示唆される。

#### イベント堆積物の認定

コア上部(約 6000 cal BP 以降)の少なくとも 3 層準で基底に侵食面があり、粗粒堆積物からなる薄層あるいは貝殻が密集した薄層が挟在した(図 2, 8)。

1 つ目は、Iki-1 コアの深度 10.9 ~ 10.8 m (5200 cal BP) の層厚 10 cm の層である。この薄層はサイズが 1 ~ 2 cm の貝殻片を多く含むシルトで、中央粒径は 5.7 φ であった。この層準で試料 1 g 当たりの貝形虫及び浮遊性有孔虫の個数が極端に増加した。試料 1 g あたりの浮遊性有孔虫個数は上下の層準では 100 ~ 200 個であったのに対し、この層準では 1 g あたり 900 個であった(図 8)。当時の Iki-1 コア採取地点は内湾環境であり、谷江川が注ぎ、河川の影響も受けていたと推定される。浮遊性有孔虫は一般的に外洋表層に生息し、内湾環境では極めて少ない(Gibson, 1989)。従って、一時的に外洋から内湾への強い流れによって、近隣を流れる対馬暖流の表層に生息する浮遊性有孔虫殻が海水とともに大量にもたらされた可能性が高い。一方、貝形虫群集や CNS の値に変化が少ないのは、外洋水だけが多くもたらされ、沖合の海底に生息する貝形虫や底質を運ぶほど強い流れではなかった可能性が考えられる。このような流れの要因としては津波の可能性が高い。Iki-2 コアにおいて、この層に年代的に対比される層準は堆積相 2-II と 2-III の境界付近に相当すると考えられる。堆積相 2-III は層厚約 1 m と

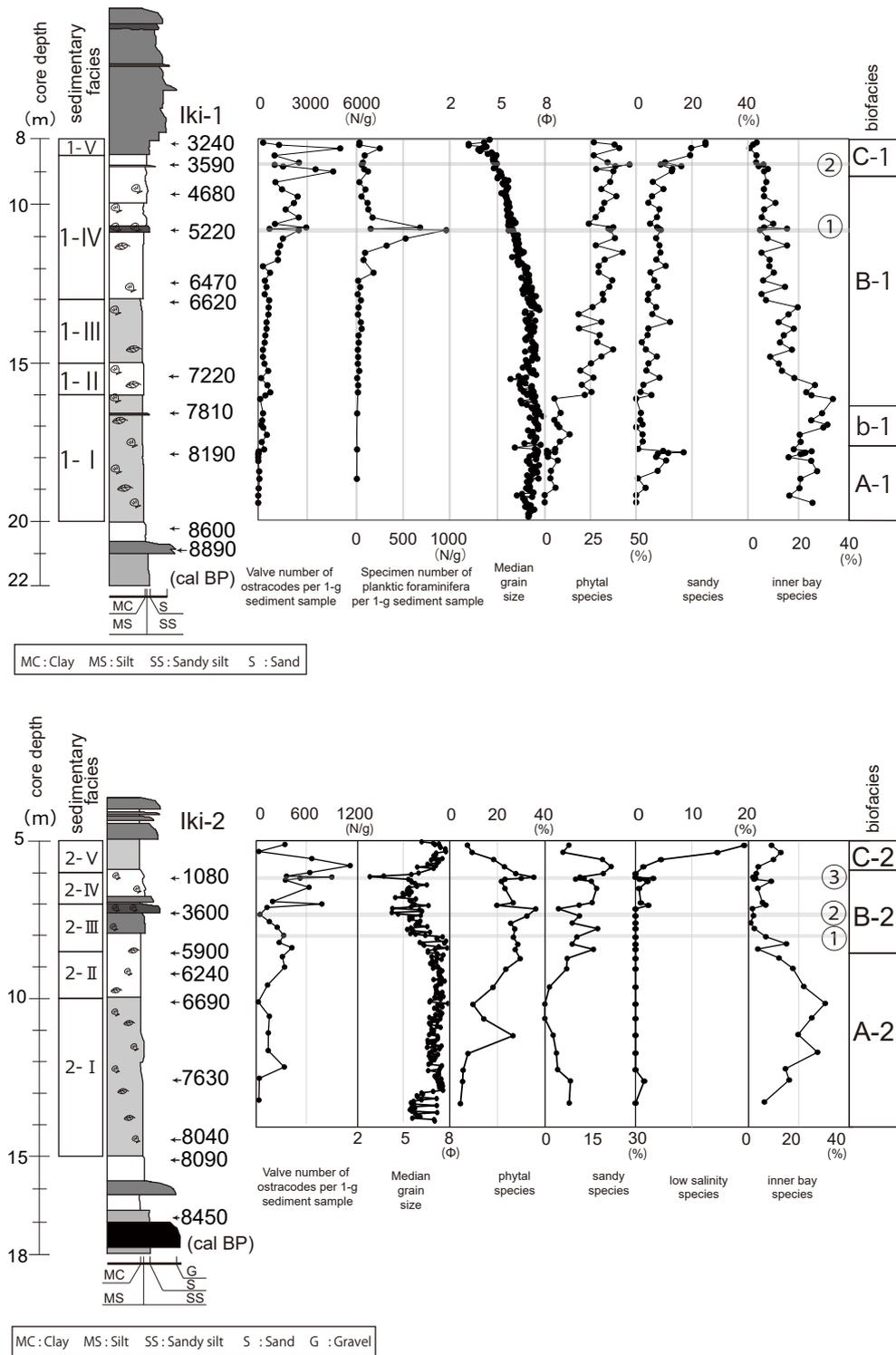


図8 Iki-1とIki-2コアにおける1g試料中の貝形虫殻数、1g試料中の浮遊性有孔虫個体数、中央粒径、貝形虫種群（葉上種、砂底種、低塩分種、内湾奥種）の百分率、および貝形虫化石相の垂直変化。①、②、③はイベント層を示す。柱状図の凡例は図2に準ずる。

Fig. 8 Vertical profiles of valve number of ostracodes per 1-g sediment sample, individual number of planktic foraminifera per 1-g sediment sample, median grain size, percentages of ostracode bioassociations (phytal, sandy, low salinity, and inner bay species), and ostracode biofacies in cores Iki-1 and Iki-2. The legend for the columnar section is shown in Fig2.

厚く、一時的な堆積によるとは推定しがたい。このように Iki-2 コアには対応する明瞭なイベント堆積物が見られなかった。これは、堆積相 2-III の砂質堆積物を堆積させた流れにより削剥された、あるいは堆積相 2-III は砂質堆積物なので、津波堆積物と区別できなかった可能性がある。

2 つ目は Iki-1 コアのコア深度 8.85 ~ 8.80 m と Iki-2 コアのコア深度 7.40 ~ 7.30 m (約 3600 cal BP) で見られた貝殻密集層である (図 8)。この層は陸側の Iki-2 コアの方が海側の Iki-1 コアのそれよりも厚いという特徴を示す。今回はこの層準と上下の層準との間で、分析結果に有意な差は認められなかったため、この貝殻密集層を形成した要因は明らかにならなかった。

3 つ目は、Iki-2 コアの深度 6.20 ~ 6.15 m (約 1100 cal BP) の層厚 5 cm の層である (図 8)。この層は貝殻密集層で基質は細粒砂からなり、試料 1 g あたりの貝形虫の殻数が上下の層準と比べ急増する。また、貝形虫化石群集の結果より、*L. uranouchiensis* や *P. subjaponica* のような砂底種の産出割合が減少し、*N. oligodentata* や *Aurila* 属のような葉上種、さらに *B. bisanensis* のような内湾泥底種、*L. ocellata* のような低塩分な内湾泥底に生息する種の産出割合が増加した。さらに、産出した貝形虫化石殻の表面の格子模様は磨耗している個体が見られた。このように明らかに様々な環境に生息していた種が一時的に強い流れによって混合した群集を示しているが、沖合に生息する種は産出せず、浮遊性有孔虫化石も産出しなかったため、津波によると断定できる結果は得られなかった。

## 結 論

長崎県壱岐市の芦辺港から掘削された 2 本のボーリングコアから完新世の古環境変化について検討を行った。

その結果、以下に示す結論が得られた。

1. Iki-1 コア (沖側) の貝形虫化石の群集解析から、干潟から低塩分な内湾奥泥底 (約 8900 ~ 8200 cal BP) → 閉鎖的内湾中央部泥底 (約 8200 ~ 7500 cal BP) → 開放的内湾泥底 (約 7500 ~ 3800 cal BP) → 沿岸砂底 (約 3800 ~ 3200 cal BP) への変化が復元された。
2. Iki-2 コア (陸側) の貝形虫化石の群集から、閉鎖的内湾奥泥底 (約 7800 ~ 5900 cal BP) → 沿岸砂泥底 (約 5900 ~ 1100 cal BP) → 低塩分な内湾奥泥底 (約 1100 ~ 1000 cal BP) への変化が復元された。

3. 貝形虫の古水深指標種に基づき相対的海水準変動曲線を復元した結果、他の日本海側の変動曲線と調和的で、最高海面期は約 7000 ~ 6000 cal BP となり、当時の標高は現在と同じかやや低い位置にあったことが推定された。
4. 本研究では岩相に基づき短期的に形成された 3 つのイベント堆積物を識別した。それらのうち、少なくとも約 5200 cal BP の層は外洋からの強い流れの影響を示唆し、その要因は津波の可能性はある。

## 謝 辞

本研究には科学研究費補助金 (基盤 C: 16K05589, 研究代表者: 入月俊明) を使用した。また、文部科学省「日本海地震・津波調査プロジェクト」により採取された試料の一部を使用した。この論文を作成するにあたり、匿名査読者および Laguna 編集委員のご指摘により、本稿は大幅に改善された。ここに感謝申し上げる。

## 引 用 文 献

- Abe, K. (1988) Speciation completed? in *Keijella bisanensis* species group. Hanai, T., Ikeya, N. and Ishizaki, K. (eds.) *Evolutionary Biology of Ostracoda—its Fundamentals and Applications*: 919–925, Kodansha, Elsevier.
- Berner, R.A. (1982) Burial of organic carbon and pyrite sulfur in the modern ocean: Its geochemical and environmental significance. *American Journal of Science*, 282, 169–177.
- Berner, R.A. and Raiswell, R. (1984) C/S method for distinguishing freshwater from marine sedimentary rocks. *Geology*, 12, 365–368.
- Bronk Ramsey, C. (2009) Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51, 337–360.
- 藤原 治・入月俊明・大林巖・平川一臣・長谷川四郎・内田淳一・阿部恒平 (2014) 静岡県伊東市のボーリングコアから復元した 6300 ~ 2000BC の相対的海水準変動. *第四紀研究*, 53, 35–53
- 藤原 治・増田富士雄・酒井哲弥・入月俊明・布施圭介 (1999a) 房総半島と三浦半島の完新統コアに見られる津波堆積物. *第四紀研究*, 38, 41–58.
- 藤原 治・増田富士雄・酒井哲弥・入月俊明・布施圭介 (1999b) 過去 10000 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.
- Gibson, T. (1989) Planktonic benthonic foraminiferal ratios: Modern patterns and Tertiary applicability. *Marine Micropaleontology*, 15, 29–52.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T. and Ryan, P.D. (2001) PAST: Paleontological statistics software package for education and data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4, 9 p.
- Hanai, T., 1959. Studies on the Ostracoda from Japan IV. Family Cytherideidae Sars, 1925. *Journal of the Faculty of Science, University of Tokyo, Section 2, Geology, Mineralogy, Geography, Geophysics*, 11, pls. 16-18.
- Horn, H. S., 1966, Measurement of “overlap” in comparative ecological studies. *The American Naturalist*, 100, 419–424.
- 細井浩志(2012)古代壱岐島の世界. 279 p. 高志書院.
- 池谷仙之・塩崎正道(1993)日本沿岸内湾性介形虫類の特性 - 古環境解析の指標として-. *地質学論集*, no. 39, 15–32.
- 入月俊明・藤原 治・布施圭介・増田富士雄(1998) 神奈川県三浦半島西岸の後氷期における古環境変遷: ボーリングコア中の貝形虫化石群集とイベント堆積物. *化石*, no. 64, 1–22.
- 入月俊明・藤原 治・布施圭介(1999) 貝形虫化石群集のタフオノミー: 三浦半島に分布する完新統を例として. *地質学論集*, no. 54, 99–116.
- Irizuki, T., Fujihara, Y., Iwatani, H. and Kawano, S. (2018) Recent ostracode assemblages from Shushi Bay, Tsushima Island, southwestern Japan and their ecological and zoogeographical characteristics. *Laguna*, 25, 39–54.
- Irizuki, T., Fujiwara, O., Yoshioka, K., Suzuki, A., Tanaka, Y., Nagao, M., Kawagata, M., Kawano, S. and Nishimura, O. (2019) Geochemical and micropaleontological impacts caused by the 2011 Tohoku-oki tsunami in Matsushima Bay, northeastern Japan. *Marine Geology*, 407, 261–274.
- 入月俊明・後燈明あすみ・河野重範・吉岡 薫・野村律夫(2009) 兵庫県相生市沖の播磨灘北部における現生貝形虫群集と環境要因との関連. *島根大学地球資源環境学研究報告*, no. 28, 1–9.
- 入月俊明・伊藤久代・吉岡 薫・河野重範・野村律夫・田中裕一郎・佐古恵美(2010) 山口県周防灘北東部笠戸湾周辺における現生貝形虫群集と海洋環境. *島根大学地球資源環境学研究報告*, no. 29, 11–20.
- 入月俊明・瀬戸浩二(2004) 中期更新世の古浜名湾における古環境の時間的・空間的变化 — 貝形虫化石群集と全有機炭素・全窒素・全イオウ分析結果 —. *地質学雑誌*, 110, 309–324
- Ishizaki, K. (1968) Ostracodes from Uranouchi Bay, Kochi Prefecture, Japan. *Science Reports of the Tohoku University. 2nd Series, Geology*, 40, 1–45.
- Masuda, F., Irizuki, T., Fujiwara, O., Miyahara, B. and Yoshikawa, S. (2002) A Holocene sea-level curve constructed from a single core at Osaka, Japan (A preliminary note). *Memoirs of the Faculty of Science, Kyoto University, Series of Geology and Mineralogy*, 59, 1–8.
- 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阪湾の海況変動. *地質学雑誌*, 106, 482–488.
- 増馬鉄朗・山田 桂(2014) 京都府久美浜湾の現生貝形虫の分布. *Laguna (汽水域研究)*, 21, 1–14.
- 長岡信治・横山祐典・前田保夫・中田正夫・奥野淳一(1995) 長崎県大村湾南岸, 伊木力遺跡周辺の沖積層と海面変化. *長崎大学教育学部自然科学研究報告*, no. 53, 27–40.
- Nagaoka, S., Yokoyama, Y., Nakata, M. and Maeda, Y. (1996) Holocene sea-level change in the Goto Islands, Japan. *Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University*, no. 31, 11–18.
- 長岡信治・横山祐典・中田正夫・前田保夫(1997) 五島列島福江島における完新世海面変化と水中縄文遺跡の成因. *長崎大学教育学部自然科学研究報告*, no. 56, 1–11.
- 中田正夫・前田保夫・長岡信治・横山祐典・奥野淳一・松本英二・松島義章・佐藤裕司・松田 功・三瓶良和(1994) ハイドロアイソスタシーと西九州の水中遺跡. *第四紀研究*, 33, 361–368.
- Nakata, M., Okuno, J., Yokoyama, Y., Nagaoka, S., Takano, S. and Maeda, Y. (1998) Mid-Holocene underwater Jomon sites along the west coast of Kyushu, Japan, Hydro-isostasy and asthenospheric viscosity. *The Quaternary Research*, 37, 315–323.
- Nishida, N. and Ikehara, K. (2013) Holocene evolution of depositional processes off southwest Japan: Response to the Tsushima Warm Current and sea-level rise. *Sedimentary Geology*, 290, 138–148.
- 太田陽子・松原彰子・松島義章・鹿島 薫・叶内敦子・鈴木康弘・渡辺満久・澤 祥・吾妻 崇(2008) 佐

- 渡島国中平野南西部における沖積層のボーリングコア調査による古環境と地殻変動. 第四紀研究, 47, 143–157.
- Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Haffidason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T.J., Hoffmann, D.L., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Staff, R.A., Turney, C.S.M. and van der Plicht, J. (2013) IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55, 1869–1887.
- 三瓶良和・倉門由紀子・清水 紋・高安克己・石田 聖(1997) サロマ湖・網走湖底質の有機炭素・窒素・イオウ濃度. *Researches in Organic Geochemistry*, 12, 51–60.
- 佐々木裕美・入月俊明・阿部恒平・内田淳一・藤原 治(2007) 房総半島における完新世津波堆積物中の貝形虫化石群集とそのタフオノミー. 第四紀研究, 46, 517–532.
- Stuiver, M. and Polach, H.A. (1977) Discussion: Reporting of  $^{14}\text{C}$  data. *Radiocarbon*, 19, 355–363.
- Takata, H., Nishida, N., Ikehara, K., Katsuki, K. and Khim, B.K. (2018) Mid-Holocene forcing of the Tsushima Warm Current to the coastal environments in southwestern Japan with a view to foraminiferal faunas. *Quaternary International*, 482, 56–66.
- Tanaka, G., Matsushima, Y. and Maeda, H. (2012) Holocene ostracods from the borehole core at Oppama Park, Yokosuka City, Kanagawa Prefecture, central Japan: Paleoenvironmental analysis and the discovery of a fossil ostracod with three-dimensionally preserved soft parts. *Paleontological Research*, 16, 1–18.
- Tanigawa, K., Hyodo, M. and Sato, H. (2013) Holocene relative sea-level change and rate of sea-level rise from coastal deposits in the Toyooka Basin, western Japan. *The Holocene*, 23, 1039–1051.
- 山根勝枝(1998) 瀬戸内海燧灘における現生介形虫群集. 愛媛県総合科学博物館研究報告, no. 3, 19–59.
- Yasuhara, M., Irizuki, T., Yoshikawa, S. and Nanayama, F. (2002) Holocene sea-level changes in Osaka Bay, western Japan: ostracode evidence in a drilling core from the southern Osaka Plain. *Journal of the Geological Society of Japan*, 108, 633–643.
- Yasuhara, M. and Seto, K. (2006) Holocene relative sea-level change in Hiroshima Bay, Japan: a semi-quantitative reconstruction based on ostracodes. *Paleontological Research*, 10, 99–116.
- Yokoyama, Y., Nakada, M., Maeda, Y., Nagaoka, S., Okuno, J., Matsumoto, E., Sato, H. and Matsushima, Y. (1996) Holocene sea-level change and hydro-isostasy along the west coast of Kyushu, Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 123, 29–47.
- Zhao, Q. and Wang, P. (1988) Distribution of modern Ostracoda in the shelf seas off China. Hanai, T., Ikeya, N. and Ishizaki, K. (eds.) *Evolutionary Biology of Ostracoda—its Fundamentals and Applications*: 805–821, Kodansha and Elsevier.