

東海沖深海底の貝類およびサンゴ遺骸のAMS
14C年代

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学地球科学教室 公開日: 2018-08-06 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 延原, 尊美, 大高, 歩美, 徳田, 悠希, 池原, 研 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00025655

東海沖深海底の貝類およびサンゴ遺骸のAMS ^{14}C 年代

延原尊美¹・大高歩美¹・徳田悠希²・池原 研³

AMS ^{14}C datings of molluscan shells and coral skeletons from deep-sea bottom off Tokai region, central Japan

TAKAMI NOBUHARA¹, AYUMI OHTAKA¹, YUKI TOKUDA² and KEN IKEHARA³

Abstract We report AMS (accelerator mass spectrometry) ^{14}C ages of molluscan shells and coral skeletons off Tokai region, central Japan. Ten samples are selected from the three deep-sea localities of the GH97 and GA97 cruises (St. GH97-71 on the Izu Spur, St. GH97-74 on the bank in the northern Izu Islands, and St. GA97-235 on the slope off Enshu-nada), where shell remains of deep-sea limosid bivalves are dominant. The latter two localities (GH97-74 and GH97-235) are also characterized by abundant occurrence of coral skeletons *Goniocorella dumosa*, which is known to be a representative constructor of deep-water coral reefs. The AMS ^{14}C ages of two molluscan samples from GH97-71 show large variation (703–881 cal AD, 47911–46066 cal BC), whereas the ages from GH97-74 and GA97-235 (two limosid shells and two *Goniocorella* skeletons, respectively) fall into certain durations in the last glacial period: 43893–42787 cal BC to 40637–39983 cal BC (GH97-74) and 25946–25626 cal BC to 17997–17592 cal BC (GA97-235). It is noteworthy that the ages of GA-235 *Goniocorella* samples (19945–19543 cal BC. to 19339–18896 cal BC) corresponds to the Last Glacial Maximum. These suggest that the mass accumulation of *Goniocorella* skeletons has been controlled by climatic changes.

Key words: Mollusca, deep-sea coral, Pleistocene, last glacial period, Last Glacial Maximum, AMS radiocarbon dating

はじめに

東海地域は、フィリピン海プレートが本州弧下に斜めに沈み込み、さらに伊豆火山弧が本州弧へ衝突することで、世界でも有数の活動的なプレート収束帯となっている。そのため、陸域から海域に至るまで起伏に富み様々な地形が形成されている。天竜川、大井川、安倍川、富士川などの急流河川によるファンデルタ、海底谷の発達する陸棚斜面、伊豆海脚や御前崎海脚、バンクや海丘、

海盆、海溝やトラフ、海底火山の瀬や火山島周辺の島棚斜面など、様々な堆積環境がひしめいている。延原ほか(2005, 2008)は、このような堆積場の多様性が及ぼす底生動物の種多様性への影響を調べるため、東海沖全域の総計462地点の貝類遺骸のリストをその基礎データとして作成した。

その結果、水深200mを超える深海においても貝類遺骸の総種数が50種を超える地点が見出された(延原ほか, 2008: 地点31, 33, 74, 235)。地点31, 33は伊豆半島

2018年4月2日受付, 2018年5月7日受理。

Received: 2 April 2018. Accepted: 7 May 2018.

¹静岡大学教育学部地学教室, 422-8529 静岡市駿河区大谷836

²鳥取環境大学環境学部, 〒689-1111 鳥取市若葉台北1丁目1-1

³産業技術総合研究所地質情報研究部門, 305-8567 つくば市東1-1-1

¹Institute of Geosciences, Faculty of Education, Shizuoka University, 836 Ohya, Suruga-ku, Shizuoka 422-8529, Japan

E-mail: nobuhara.takami@shizuoka.ac.jp

²Faculty of Environmental Studies, Tottori University of Environmental Studies, 1-1 Wakabadai-kita, Tottori City 689-1111, Japan

E-mail: tokuda-y@kankyo-u.ac.jp

³Institute of Geology and Geoinformation, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 1-1-1 Higashi, Tsukuba 305-8567, Japan

E-mail: k-ikehara@aist.go.jp

沖から伊豆諸島の新島間に位置し、それぞれ水深290mの礫底、水深535mの細礫混じり細粒砂底である。地点74は伊豆諸島北縁のひょうたん瀬の南西に隣接する小海丘斜面に位置し、水深495m、生物片に富む中粒砂底である。地点235は遠州灘の陸棚斜面、高松海底谷の南壁から数km南西に位置し、水深360mの極細粒～細粒砂底である。詳細な貝類遺骸のリストは、すでに延原ほか(2008)にて報告したが、いずれの地点もシラスナガイ類二枚貝遺骸で優占されること、大量の貝類遺骸に加えてサンゴ骨格も多数認められることで特徴づけられる。特に、地点74および235は、群体サンゴ *Goniocorella dumosa* の遺骸が大量に認められるが、本種は深海サンゴ礁を構成する代表種の一つとしても知られている(狩野・IODP Expedition 307乗船研究員, 2005)。そこで本論では地点74、235における貝類およびサンゴ類遺骸のAMS ^{14}C 年代を報告し、それらの遺骸群集の形成年代や堆積水深について議論を行う。

試料と方法

AMS ^{14}C 年代測定のための試料は、地質調査船「白嶺

丸」によるGH97航海(1997.4.29～1997.5.20)および洞海タグボート社所有「アジア丸」を備船して行われたGA97航海(1997.7.30～1997.8.17)で採取された貝殻およびサンゴ骨格である。両航海は、伊豆半島東岸沖から伊豆諸島海域を経て遠州灘沖まで、東海沖の海洋地質を網羅的に調査したもので、底生動物の遺骸を含む表層堆積物試料の採取地点を図1に示す。堆積物試料は採泥面積40cm×40cm、最大採取長30cmのKグラブ(木下式グラブ採泥器)により採取され、底生動物遺骸は船上にて篩目5mmの篩で洗浄された残渣である。AMS ^{14}C 年代の試料は全10試料で、地点74、地点235にて各4標本(群体サンゴ *Goniocorella dumosa* 2標本、二枚貝 *Limopsis* 属2標本)、また参考として伊豆海脚上の地点71の貝類遺骸殻2標本も対象とした。測定試料の採集地点の緯度、経度、水深、底質(堆積物と採取地下深度)、測定試料を表1に示す。

測定試料の選択にあたっては、保存カテゴリーを下記のように便宜的に設定し、同一地点において異なる保存カテゴリーの標本を測定するようにした。保存カテゴリー1は殻表面の彫刻が鮮明で磨耗された様子が認められないもの、保存カテゴリー2は殻表面がやや磨耗している

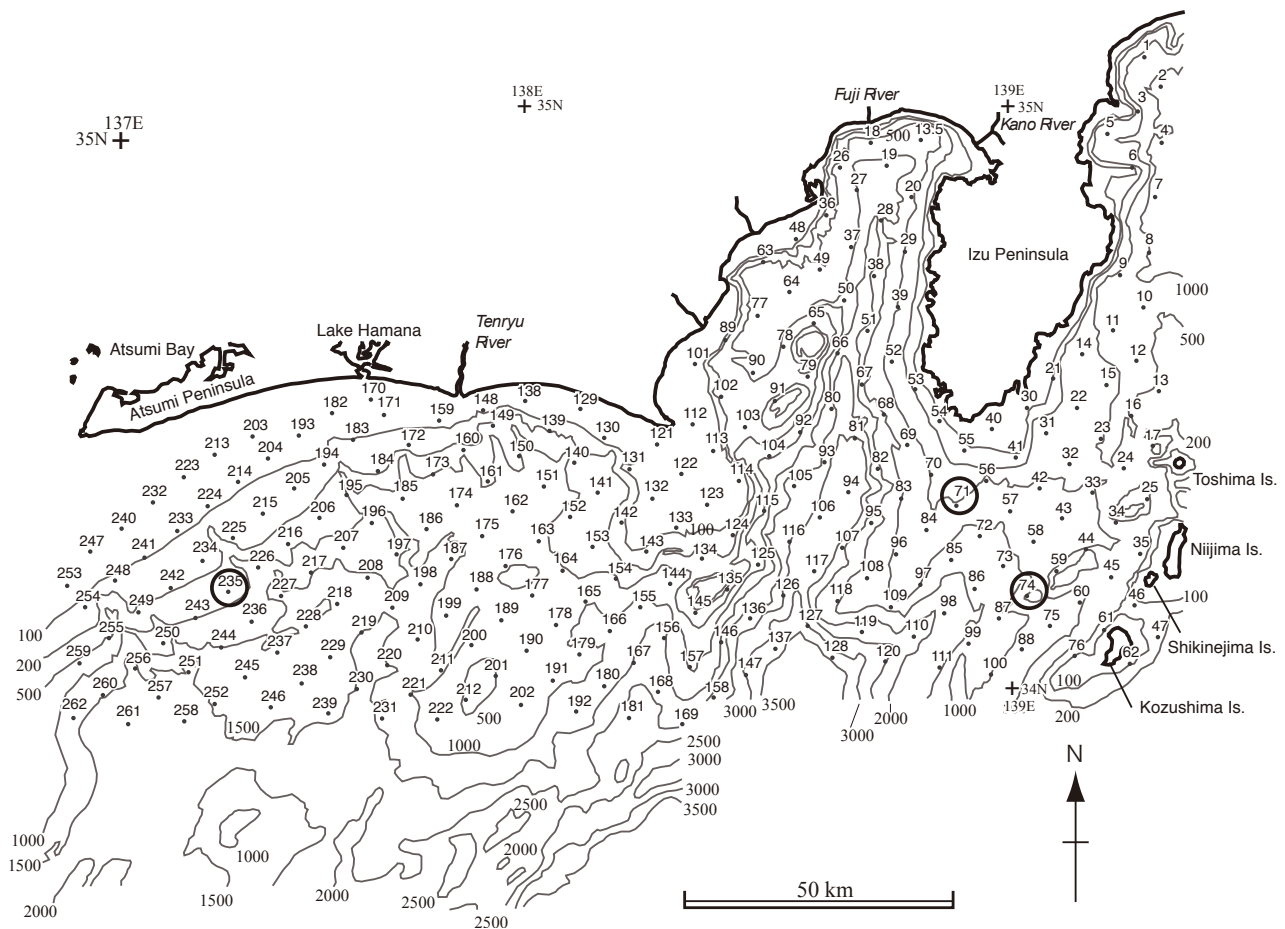


図1 GH97およびGA97航海における表層堆積物の採集地点(池原ほか, 1998より編図)。黒丸はAMS ^{14}C 年代試料の採集地点。

Fig. 1 Localities of sediment sampling in GH97 and GA97 cruises (compiled after Ikehara *et al.*, 1998). Open circles = sampling locations of molluscan shells and coral skeletons for AMS ^{14}C dating.

表1 試料採集地点の緯度・経度, 水深, 底質 (池原ほか, 1998 による), および AMS ¹⁴C 年代測定試料 (括弧内の数字は試料数).Table 1 Location, bathymetrical water depth (w.d.) and bottom sediments of the sampling stations (after Ikehara *et al.*, 1998), and samples for AMS ¹⁴C dating (numbers in parentheses = the number of samples).

St. no.	date	latitude	longitude	w d. (m)	sampler	bottom	AMS ¹⁴ C samples
GH97-74	21/04/1997	34°17.906N	138°57.767E	495	K-Grab	grayish olive muddy bioskeletal medium sand, shell rich, poorly-sorted (1cm) / grayish olive sandy clay with lithic granules (5.5 cm) (total 6.5 cm)	<i>Limopsis</i> sp. A (2); <i>Goniocorella dumosa</i> (2)
GH97-71	22/04/1997	34°27.151N	138°49.070E	720	K-Grab	dull yellow orange very coarse shell sand, lithic very coarse sand -gerabule bearing, coral fragment rich (6 cm)	<i>Limopsis</i> sp. B (1); <i>Acmaea pallida</i> (1)
GA97-235	08/08/1997	34°19.032N	137°19.394E	360	K-Grab	olive gray shell fragment and pumice bearing fine-very fine sand (13 cm)	<i>Limopsis</i> aff. <i>obliqua</i> (2); <i>Goniocorella dumosa</i> (2)

もの (殻破断面は鋭角を保っている), 保存カテゴリー3 は殻表面の磨耗が著しく (殻破断面も溶解して摩滅している), 変色や脱色も著しいものとした. なお, いずれの地点についても軟体部の付着や殻皮の残存が認められる標本はなかった.

AMS ¹⁴C 年代測定および年代較正は, 株式会社パレオ・ラボに依頼した. 加速器質量計は NEC 製 1.5SDH を使用し, 暦年較正には OxCal4.3 (較正曲線データ Marine13, Reimer *et al.*, 2013) を用いた. また海水リザーバー効果に関する補正值 (ΔR) については, Yoshida *et al.* (2010) の沼津1試料, 下田2試料の平均である $\Delta R = -36 \pm 24$ を使用した.

結果

AMS ¹⁴C 年代測定の試料および結果を表2, 図2に示す. なお図2に示す年代値は 2σ での値である. 一般に放射性炭素年代測定の測定限界は5~6万年, 暦年較正は

約5万年まで可能とされている (鹿又, 2011). 本研究では全試料ともに5万年前までの年代値が得られたが, 地点71, 74の一部試料の年代値については測定限界に近い.

伊豆海脚上の地点71においては, 二枚貝の優占種である *Limopsis* sp. B が 703–881 cal AD, カサガイ科巻貝 *Acmaea pallida* ユキノカサガイが 47911–46066 cal BC の年代値を示す.

一方, 伊豆諸島の地点74においては, 4試料ともに約4.6–4.2万年前 (43893–42787 cal BC から 40637–39983 cal BC まで) の年代値が得られた. なお地点74では保存良好なもの (保存カテゴリー1) から変色・磨耗・溶脱の著しいもの (保存カテゴリー3) までの標本が認められるが, 保存度と年代値の間には関係性は認められなかった (図2). 遠州灘沖, 高松海底谷付近に位置する地点235については, 2.8–2.0万年前 (25936–25626 cal BC から 17997–17592 cal BC) の年代値が得られた (図2).

表2 東海沖の貝殻遺骸およびサンゴ骨格の AMS ¹⁴C 年代値. 保存状態のカテゴリー (PC) については本文参照.Table 2 AMS ¹⁴C ages of molluscan shell remains and coral skeletons off Tokai region. See text for PC (preservation categories).

Laboratory no.	Station	Sample	Preservation	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Conventional ¹⁴ C age (yrBP $\pm 1\sigma$)	Calibrated age (1 σ)	Calibrated age (2 σ)
PLD-35904	GH97-71	<i>Limopsis</i> sp. B	PC3	1.77 \pm 0.17	1563 \pm 19	729 – 824 cal AD	703 – 881 cal AD
PLD-35905	GH97-71	<i>Acmaea pallida</i>	PC2	1.38 \pm 0.16	45826 \pm 334	47467 – 46493 cal BC	47911 – 46066 cal BC
PLD-35902	GH97-74	<i>Limopsis</i> sp. A	PC1	3.41 \pm 0.18	40532 \pm 215	42070 – 41524 cal BC	42342 – 41312 cal BC
PLD-35903	GH97-74	<i>Limopsis</i> sp. A	PC3	0.89 \pm 0.16	38403 \pm 199	40467 – 40141 cal BC	40637 – 39983 cal BC
PLD-35908	GH97-74	<i>Goniocorella dumosa</i>	PC2	-2.89 \pm 0.16	41400 \pm 241	42878 – 42357 cal BC	43155 – 42082 cal BC
PLD-35909	GH97-74	<i>Goniocorella dumosa</i>	PC3	-1.87 \pm 0.16	42285 \pm 277	43607 – 43056 cal BC	43893 – 42787 cal BC
PLD-35906	GA97-235	<i>Limopsis</i> aff. <i>obliqua</i>	PC1	3.65 \pm 0.21	16712 \pm 50	17876 – 17660 cal BC	17997 – 17592 cal BC
PLD-35907	GA97-235	<i>Limopsis</i> aff. <i>obliqua</i>	PC3	3.75 \pm 0.18	23999 \pm 71	25867 – 25710 cal BC	25946 – 25626 cal BC
PLD-35910	GA97-235	<i>Goniocorella dumosa</i>	PC1	-1.32 \pm 0.16	17811 \pm 47	19215 – 18983 cal BC	19339 – 18896 cal BC
PLD-35911	GA97-235	<i>Goniocorella dumosa</i>	PC3	-4.34 \pm 0.15	18278 \pm 48	19866 – 19658 cal BC	19945 – 19543 cal BC

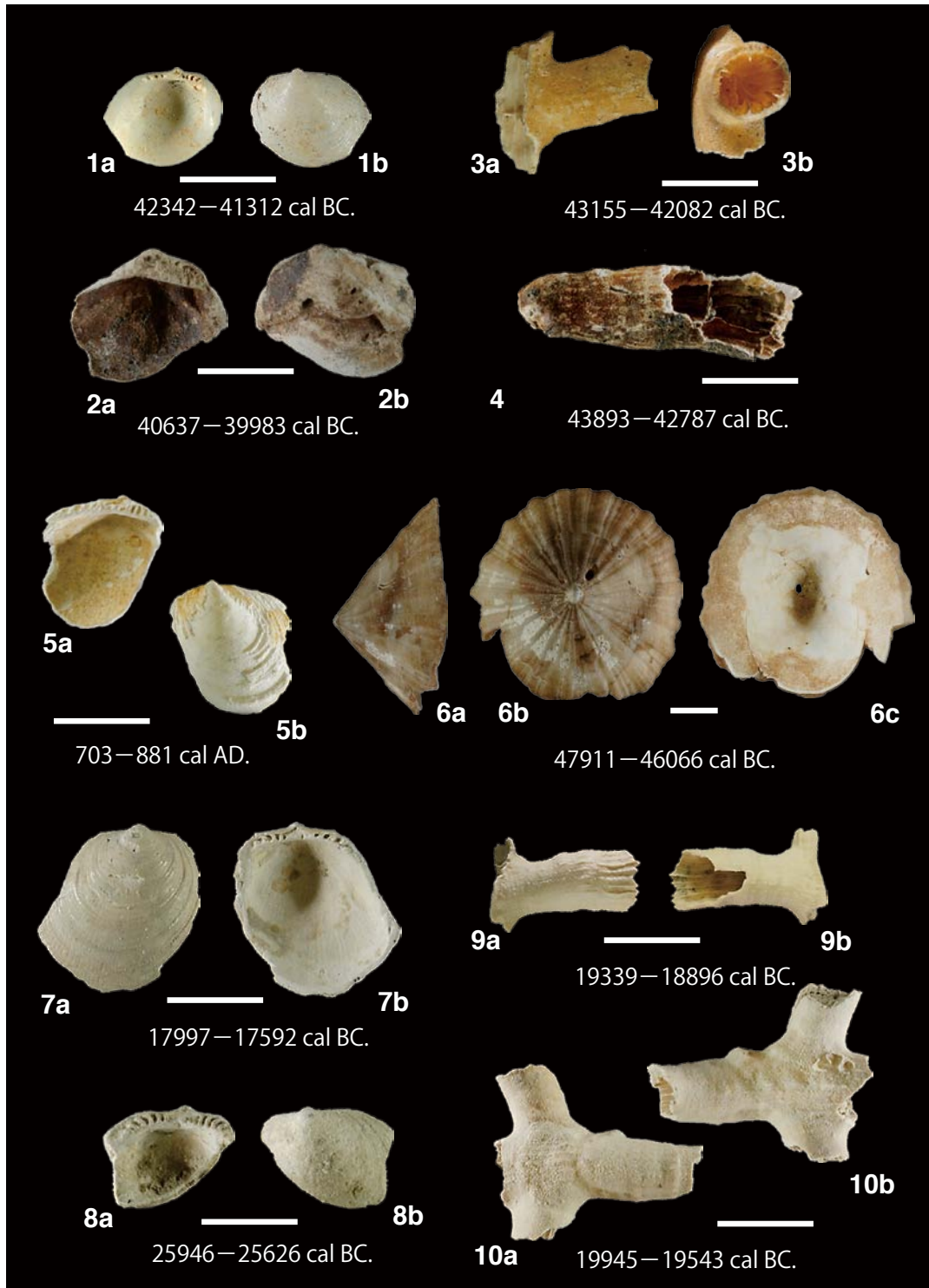


図2 AMS ^{14}C 年代測定試料および測定結果。年代値は暦年代補正 (2σ)、海洋リザーバー効果 $\Delta R = -36 \pm 24$ years (Yoshida *et al.*, 2010) による沼津および下田の平均値)。スケールバーは0.5cm。

Fig. 2 Samples for AMS ^{14}C dating and their result ages. 1. *Limopsis* sp. A, Loc. GH97-74, PLD-35902, PC1 (1a inner surface, 1b outer surface). 2. *Limopsis* sp. A, Loc. GH97-74, PLD-35903, PC3 (2a inner surface, 2b outer surface). 3. *Goniocorella dumosa*, Loc. GH97-74, PLD-35909, PC2 (3a lateral view, 3b transverse section). 4. *Goniocorella dumosa*, Loc. GH97-74, PLD-35909, PC3, lateral view. 5. *Limopsis* sp. B, Loc. GH97-71, PLD-35904, PC3 (5a inner surface, 5b outer surface). 6. *Acmaea pallida*, Loc. GH97-71, PLD-35905, PC2 (6a lateral view, 6b outer surface, 6c inner surface). 7. *Limopsis* aff. *obliqua*, Loc. GA97-235, PLD-35906, PC1 (7a outer surface, 7b inner surface). 8. *Limopsis* aff. *obliqua*, Loc. GA97-235, PLD-35907, PC3 (8a inner surface, 8b outer surface). 9. *Goniocorella dumosa*, Loc. GA97-235, PLD-35910, PC1 (9a lateral view, 9b opposite side of 9a). 10. *Goniocorella dumosa*, Loc. GA97-235, PLD-35911, PC 3 (10a lateral view, 10b opposite side of 10a). Numbers prefixed by PLD are laboratory numbers. PC= Preservation category (see text). Calibrated calendar age (2σ), a local radiocarbon reservoir effect (ΔR) of -36 ± 24 years (average of Numazu and Shimoda of Yoshida *et al.*, 2010). Scale bar = 0.5cm.

考察

グラブ採泥器によって貝類・サンゴ試料を含む堆積物が採取された地下深度は、地点71では海底表面から6cmまで、地点74では1cmまで、地点235では13cmまでである(表1)。本研究によって得られた年代値から、これらの貝類・サンゴ遺骸群集の産出地点の堆積速度を推定できる。仮に最も古い年代値を示す試料が表層で得られたとすると、堆積速度は限りなく小さくなるが、ここではその試料が最大地下深度から得られたと仮定し、堆積速度とした。その結果、地点71, 74, 235では1.20cm/ky, 0.22~0.24cm/ky, 4.64~6.50cm/kyとなる。これらの値は、深海平坦面の平均的な堆積速度(1000年に数cmオーダー: Stow, 1986)とほぼ同等かそれを下回っており、*Goniocorella dumosa*の遺骸群集が形成された地点の堆積速度が極めて小さいことを示唆する。

注目されるのは、地点74では約4.6~4.2万年前、地点235では2.8~2.0万年前に年代値が限定されることである。これは、両地点では年代は異なるが、最終氷期(約7万年前~1万年前)の一時期にしか生物群集が形成されなかった可能性を示唆する。Oba *et al.* (2006)は鹿島沖の(水深2,224m)で採取したコア試料の底生・浮遊性有孔虫の酸素同位体比から過去15万年間の表層水温を復元した。それによると、約4.6~4.2万年前は5.5~14°Cであり、2.8~2.0万年前は4~18°Cである。コア最上部の有孔虫の酸素同位体比から換算した表層水温は16.8°Cであるから、約4.6~4.2万年前の期間は現在よりも寒冷である。また、約2.8~2.0万年前の期間はMIS3から最終氷期最盛期であるMIS2に向かう時期にあたり親潮の南下が推定される(Oba *et al.*, 2006)。*Goniocorella dumosa*のような冷水サンゴが好む環境条件は、低水温に加えて、強い水流、少ない懸濁物、豊富な栄養塩であるとされている(狩野・IODP Expedition 307乗船研究員, 2005)。したがって、地点74と235における遺骸群集成立と終焉の背景には、海洋気候の変化と海流の流速変化が関係すると考えられる。

地点71から産したユキノカサガイは、現在、鹿島灘以北から千島列島の潮間帯下部~水深20mの岩礁底に生息する寒流系種である(奥谷編, 2017)。このことは、47911~46066 cal BCの地点71は現在よりも寒冷だったことを示唆する。この年代値は放射性炭素同位体年代の測定限界に近いので厳密な年代対比には留意を要するが、Oba *et al.* (2006)によると同期間に表層水温は7°C付近まで低下しており、上記の解釈と調和的である。

最後に、深海サンゴ礁の優占種としても知られる*G. dumosa*が繁栄していたと考えられる地点74(現水深495m)および地点235(現水深360m)について、当時の水深を海面変化史に照らして考察してみたい。なお*G. dumosa*の生息深度は88~1488mである(Cairns & Zibrowius, 1997)。氷河性海面変動に関する酸素同位体比の研究(Shackleton, 1987)では、MIS2にあたる17~23kaには海面は現在より約120~125m低下していたとされ、またMIS5dからMIS3の時期においても海面は現在より高くなったことはないといわれる。Shackleton

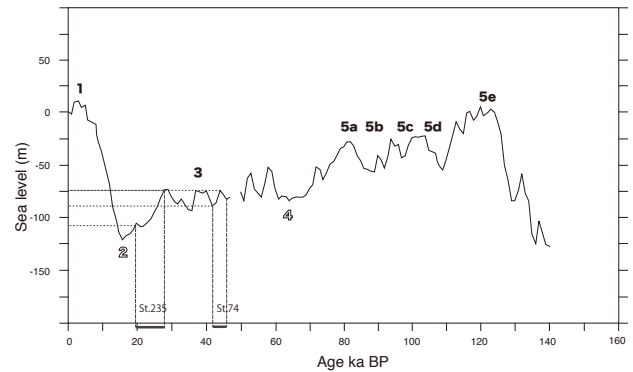


図3 Shackleton (1987)による氷河性海面変化。曲線の上の数字は酸素同位体ステージ。地点74および235における底生動物遺骸のAMS ¹⁴C年代幅を加筆。

Fig. 3 Eustatic sea level curve by Shackleton (1987). Numbers above the curve show marine isotope stages. AMS ¹⁴C ages of benthos remains (loc. GH97-74, GA97-235) by this study are added.

(1987)の海面変動の図に本研究の年代を重ねてみると、約4万年前にあたる地点74は現在より約75~90m海面が低く、約2万年前にあたる地点235は現在より約75~110m海面が低かったことになる(図3)。ただし、海面変化量には、氷河性海面変動だけでなく、地殻変動(テクトニクス)による地形変化、氷と海水の荷重変化を受けた地表のアイソスタシーによる地形変化、さらにはジオイド性ユースタシーも関連する(町田, 2003)。地殻変動による地形変化については、地点74は伊豆~小笠原弧に繰り返し見られる北東~南西方向の地形的な高まりに位置しており、隣接するひょうたん瀬を横断する音波探査プロファイルでは、音響基盤とそれを覆う高瀬層群ともに背斜構造を成していることから(岡村ほか, 1999)、隆起運動に支配されてきたと考えられる。また、地点235の陸側にあたる遠州灘沖の陸棚は最近12.5万年前で20mの隆起量が見積もられている(平川, 1994)。またアイソスタティックな地形変化量に関しては、米倉(1989)によれば非氷床域では氷期・間氷期における振動的変化量の最大値は30mとされる。ジオイド性ユースタシーによる影響は不明であるが、いずれの地点も氷河性海面変動、地殻変動、アイソスタシーの要因によって、水深200mより浅い浅海域となったとは考え難く、いずれの遺骸群集も上部漸深海帯に生息していた群集に由来すると考えられる。

なお、地点74、地点235ともに、*Limopsis*属と*G. dumosa*のAMS ¹⁴C年代値(1σ)は互いに重複せず、同時に生息しコロニーを形成していた証拠は得られなかった。今後、年代測定の試料を増やすことで、貝類とサンゴ類が同時生息していたかどうか検証できるものと考えられる。貝類を含むそれらの遺骸群と深海サンゴ礁との関連に関しては、他のサンゴ類の種リストの完成を待つて今後議論する予定である。

結論

- 1) 深海サンゴ礁の構成種 *G. dumosa* の遺骸骨格が多産する東海沖の2地点について、貝殻およびサンゴ骨格遺骸の放射性炭素同位体年代を測定したところ、伊豆諸島の小海丘上の地点74の4試料については約4.6–4.2万年前、遠州灘沖陸棚斜面の地点235の4試料については、約2.8–2.0万年前となった。
- 2) 堆積速度を見積もったところ、地点74は0.22–0.24cm/ky、地点235は4.64–6.50cm/kyとなり、*G. dumosa* の遺骸群集が形成された地点の堆積速度は極めて小さいといえる。
- 3) 両地点で年代は異なるが、最終氷期（約7万年前–1万年前）の一時期にしか生物群集が形成されなかった可能性が示唆され、その海洋環境は現在よりも寒冷で太平洋側では親潮の南下が推定される時期に相当する。遺骸群集成立と終焉の背景には、海洋気候の変化と海流の流速変化が関係すると考えられる。

謝辞

GH97航海の田森勝範船長を始めとする白嶺丸乗組員、乗船研究者の方々、とくに産業総合技術研究所の片山肇博士、斎藤文紀博士、古宮正利博士に感謝の意を表す。地点74の底生動物の特異性や年代測定試料の選別については、新潟大学自然科学系環境科学系列の椎野勇太博士にもご議論いただいた。本稿は静岡大学理学部の北村晃寿博士と佐藤慎一博士による査読によって、大幅に改善された。また本研究で使用した標本の採集・調査および室内作業においては、JSPS科研費（課題番号26400503）の一部を使用した。ここに感謝の意を表す。

引用文献

- Cairns, S.D. & Zibrowius, H. (1997), Cnidaria Anthozoa: azooxanthellate Scleractinia from the Philippine and Indonesian regions. *In*: Crosnier, A. & Bouchet, P. (eds.), *Résultats des Campagnes Musorstom, vol. 16, Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle Paris*, **172**, 27–243.
- 平川一臣 (1994), 第10章 海に臨む平野と丘陵 東海地方, 野上道男・守屋以智雄・平川一臣・小泉武栄・海津正倫・加藤内蔵進 (編), 日本の自然 地域編4 中部, 岩波書店, 東京, 153–165.
- 池原 研・片山 肇・斎藤文紀・湯浅真人・石塚 治・古宮正利・仲宗根 徹 (1998), X. 東海沖表層堆積物の特徴. 工業技術院地質調査所, 東海沖海域の海洋地質学的研究及び海域活断層の評価方法に関する研究. 平成9年度研究概要報告書, 地質調査所, 114–135.
- 狩野彰宏・IODP Expedition 307乗船研究員 (2005), 深海サンゴ礁: その普遍的分布と地質学的意義. 地質学雑誌, **111**, 571–580.
- 鹿又喜隆 (2011), 放射線炭素年代測定と考古学的应用. 日本放射性技術学会計量分科会会誌, **19**, 27–29.
- 黒田徳米・波部忠重・大山 桂 (1971), 相模湾産貝類. 丸善株式会社, 東京, x + 741p. (日本語) + 489p. (英語) + 51p. (index), 121pls.
- 町田 洋 (2003), 5.2 海面変化史. 町田 洋・大場忠道・小野 昭・山崎晴雄・河村善也・百原 新 (編著), 第四紀学, 朝倉書店, 東京, 147–152.
- 延原尊美・林 真美子・上出桂子・齋藤 寛・池原 研 (2008), 東海沖の貝類遺骸リスト. 静岡大学地球科学研究報告, **35**, 65–128.
- 延原尊美・高山春果・松本英二・木下泰正 (2005), 駿河湾の貝類遺骸群集と堆積場の特性. 静岡大学地球科学研究報告, **32**, 31–66.
- Oba T., Irino T., Yamamoto M., Murayama M., Takemura A. & Aoki K. (2006), Paleooceanographic change off central Japan since the last 144,000 years based on high-resolution oxygen and carbon isotope records. *Global and Planetary Change*, **53**, 5–20.
- 岡村行信・湯浅真人・倉本真一 (1999), 駿河湾海底地質図説明書 1:200,000 海洋地質図52. 地質調査所, つくば市, 44p.
- 奥谷喬司編著 (2017), 日本近海産貝類図鑑 (第二版). 東海大学出版部, 平塚市, 1375p.
- 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., Hafliadason H., Hajdas I., Hatte 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. & van der Plicht J. (2013), IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, **55**, 1869–1887.
- Shackleton N. J. (1987), Oxygen isotopes, ice volume and sea level. *Quaternary Science Reviews*, **6**, 183–190.
- Stow D. V. (1986), Deep Clastic Sea. *In*: Reading, H. G. (ed.), *Sedimentary Environments and Facies*, Blackwell Scientific Publications, Cambridge, 399–443.
- 米倉伸之 (1989), 第四紀の海面変化とその将来予測. 日本第四紀学会編, 百年/千年・万年後の日本の自然と人類, 古今書院, 東京, 38–59.
- Yoshida K., Hara T., Kunikita D., Miyazaki Y., Sasaki T., Yoneda M. & Matsuzaki H. (2010), Pre-bomb marine reservoir ages in the western Pacific. *Radiocarbon*, **52**, Nr 2–3, 1197–1206.