

## 九十九里浜沖柱状採泥調査の概要

### Preliminary report on a coring survey off the Kujukuri strand plain, the Pacific Ocean, Japan

西田尚央<sup>1\*</sup>・味岡 拓<sup>2</sup>・池原 研<sup>2</sup>・中島 礼<sup>2</sup>・宇都宮正志<sup>2</sup>  
Naohisa Nishida<sup>1\*</sup>, Taku Ajioka<sup>2</sup>, Ken Ikehara<sup>2</sup>, Rei Nakashima<sup>2</sup>  
and Masashi Utsunomiya<sup>2</sup>

**Abstract:** This is a preliminary report on a coring survey off the Kujukuri strand plain, the Pacific Ocean, Japan. The core sampling was conducted using a vibrocorer for 6 sites on the shelf (34 ~ 124 m water depth). As a result, 18.5 ~ 400.5 cm-long cores were obtained. The core samples are mainly characterized by upward coarsening of very fine sand to fine sand with bioturbation. Molluscan shells occurred in the sandy sediments are commonly composed of species living in the present coastal and shallow-marine environments. In addition, lowermost parts of the core samples obtained from 2 sites is semi-consolidated silt, which includes calcareous nannofossils correlated to the Lower Pleistocene. Radiocarbon dating results indicate almost the all sandy sediments excluding the KJ5 core were formed during the Holocene. Further analyses are needed (e.g., optically stimulated luminescence dating or organic carbon analyses) to reveal the detailed formation processes of the sediments.

**Keywords:** wave-dominated shelf, Holocene, vibrocorer

#### 要旨

房総半島東部九十九里浜沖の陸棚海域を対象として実施された、柱状採泥調査の概要について報告する。九十九里浜沖陸棚海域は、平成 26 年度の調査によって表層堆積物の特徴について明らかにされた一方で、従来、柱状試料の採取による陸棚堆積物の層序や年代については検討されてきていない。本調査では、九十九里浜沖の陸棚 6 地点（水深 34 ~ 124 m）において、バイブロコアラを用いた柱状採泥を実施した。その結果、各地点から長さが 18.5 ~ 400.5 cm のコア試料が得られた。これらは主に生物擾乱の発達した上方粗粒化する極細粒砂や細粒砂によって特徴づけられる。このような砂質堆積物に含まれる貝類は、主に現在の沿岸-浅海域に生息する種によって構成される。また、2 地点から得られたコア試料の最下部は半固結のシルトで、下部更新統に対比される石灰質ナノプランクトン化石を含む。放射性炭

素年代測定の結果、KJ5 をのぞいていずれの砂質堆積物も完新世に形成されたことを示す。今後、放射性炭素年代測定の結果を詳細に検討するとともに、光ルミネッセンス年代測定や有機物分析などを実施することで、陸棚堆積物の詳細な形成プロセスの特徴を解明していく。

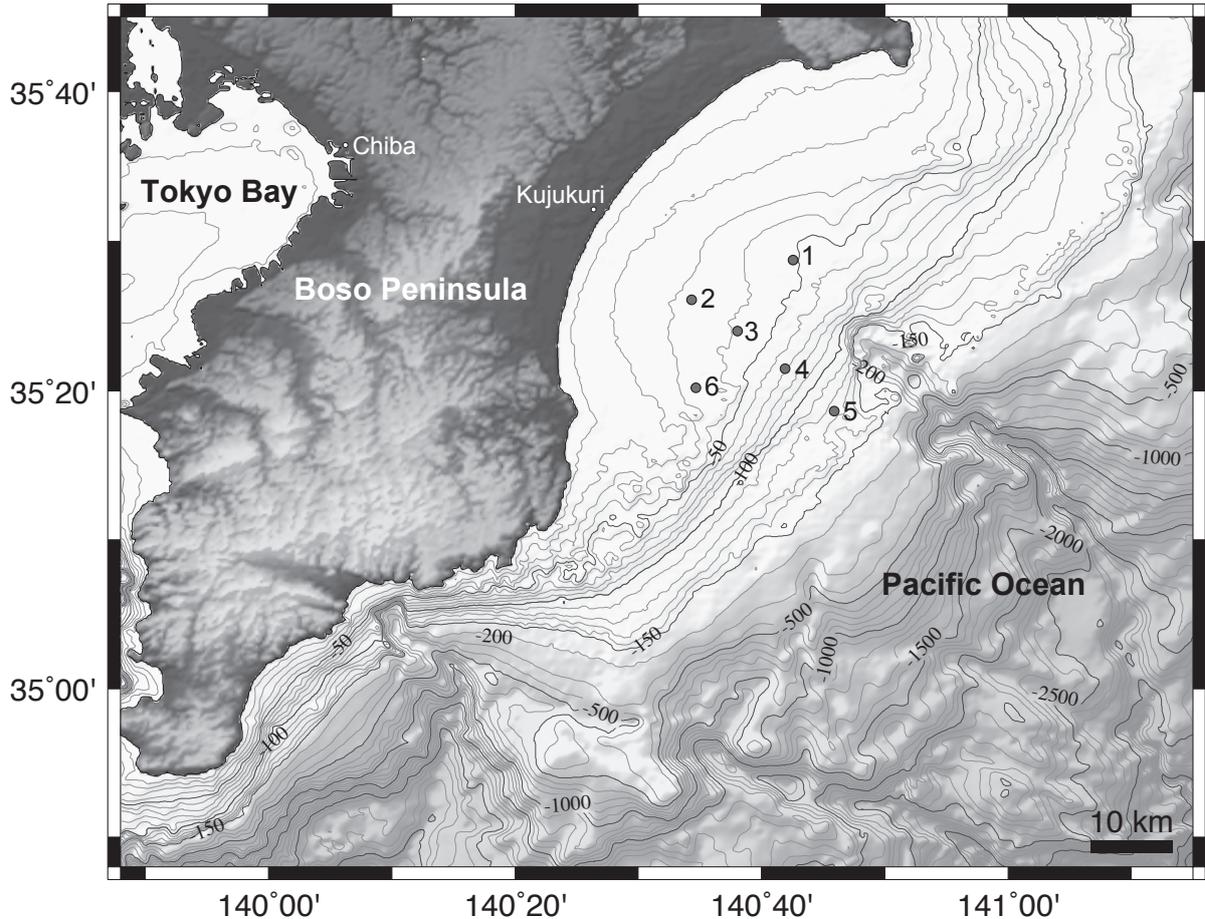
#### 1. はじめに

本報告では、房総半島東方九十九里浜沖を対象として平成 27 年度に実施された柱状堆積物調査の概要についてまとめる。この海域の海底堆積物の特徴については、従来、海上保安庁 (1984a, b, 1986, 2000), Nishimura (1984), 西田ほか (2015) などによって主に表層堆積物を対象として明らかにされてきた。一方、柱状試料の採取に基づく検討は、Nishimura (1984) や西田ほか (2015) によって行なわれているが、いずれもより沖合の水深が深い海域が中心で、九十九里浜

\* Correspondence

<sup>1</sup> 東京学芸大学 環境科学分野 (Department of Environmental Sciences, Tokyo Gakugei University)

<sup>2</sup> 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)



第 1 図 調査海域における採泥点の位置図。

Fig. 1 Map showing sampling sites off the Kujukuri strand plane, east of the Boso Peninsula, the Pacific Ocean.

沖の陸棚海域を対象とした検討は行なわれていない。一般に、波浪卓越型の沿岸—浅海域における堆積物形成や地層発達の特徴について、陸上でのボーリング試料の採取や露頭調査に基づいた検討によって、多様なモデルが示されてきた（例えば、Suter, 2006）。しかし、現在の陸棚海域に分布する堆積物の層序や年代に基づいた検討例はほとんど知られていない。本報告では、それらの基礎となる堆積物試料の採取を目的として実施された柱状採泥調査とその結果の概要についてまとめる。

## 2. 調査地域概略

房総半島東方海域は、九十九里浜沖を中心として陸棚が広く発達している。陸棚の幅はおよそ 45 km で、陸棚外縁の水深は 170 ~ 180 m である（日本第四紀学会, 1987）。このうち水深およそ 40 m までは、幅の広い河谷に浅く開析された台地を完新世の堆積物が

埋積して形成された平坦面である。また、これより沖合の水深 120 m までは、ほぼ一様で緩い傾斜面である（海上保安庁, 1986）。このような陸棚上に分布する海底堆積物は、片貝海底谷とその陸側延長をおおよそ境界として、それより北側の海域で主に細粒砂が分布する（西田ほか, 2015）。一方、その南側は太東崎の沖合までの範囲に主に極細粒砂が分布する（西田ほか, 2015）。ただし、いずれの海域についても水深の深い最も沖合部分（水深 100 ~ 150 m）は、より粗粒な中粒砂や露岩によって構成される点で共通する（西田ほか, 2015）。

九十九里浜の北に位置する銚子漁港においては、2015 年の平均潮位差が 94.9 cm で、最大潮位差が 178 cm である（気象庁ホームページ）。また、九十九里浜中央部に位置する片貝漁港においては、平均有義波高が 1.0 m で、暴浪時には 7 ~ 8 m 以上に達する（Tamura et al., 2008）。これらの特徴から、九十九里浜沿岸海域が波浪卓越型の条件（Davis and

第1表 柱状採泥地点の位置および水深.  
Table 1 Sampling locations and water depths.

Site	Latitude	Longitude	Water depth (m)
1	N35°28'44.91"	E140°42'31.76"	41.0
2	N35°26'06.08"	E140°34'20.02"	34.3
3	N35°23'25.92"	E140°38'44.75"	39.0
4	N35°21'27.93"	E140°41'53.93"	66.0
5	N35°18'37.93"	E140°45'52.99"	124.0
6	N35°20'12.98"	E140°34'40.97"	34.1

Hayes, 1984) に相当する。土砂供給は、主に屏風ヶ浦と太東崎における波浪侵食作用が起源で、沿岸流によってそれらが陸棚域にもたらされている(堀川・砂村, 1971; 宇多, 1989)。一方で、九十九里浜沿岸域には主に7つの流入河川が存在するが、いずれも小規模のため土砂供給源としての影響は小さい(Tamura et al., 2008)。

完新世における九十九里浜沿岸域での相対的海水準は、およそ 6 cal kyr BP が最高で、その後は現在にかけて浜堤平野のプログラデーションと地震性隆起ともなって、基本的に低下傾向にあると考えられている(Tamura et al., 2008)。

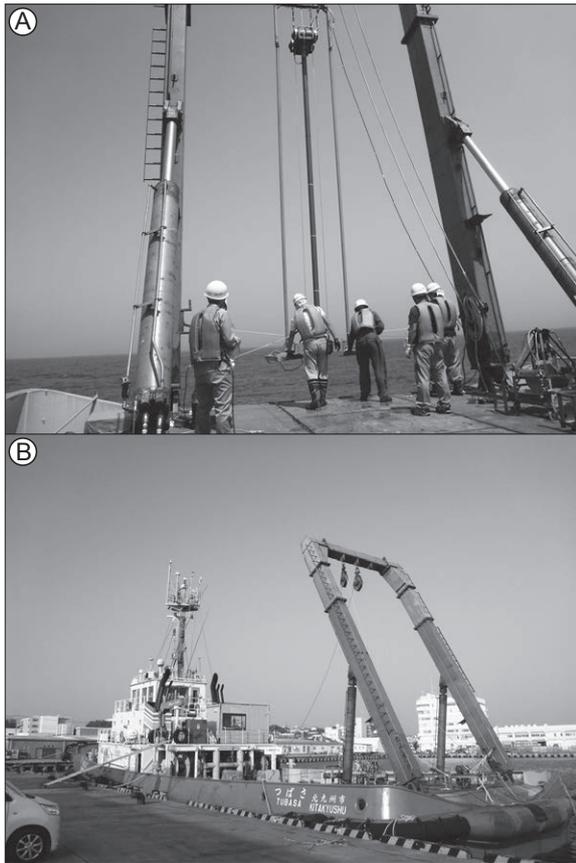
### 3. 調査・分析方法

本調査では、陸棚上の6地点(水深 34 ~ 124 m)において柱状試料の採取を実施した(第1図, 第1表)。これらの6地点は、表層堆積物の特徴(西田ほか, 2015)や、ブーマーを用いた高精度音波探査によって得られた反射断面(古山・佐藤, 2015)を参考にしたうえで、陸-沖方向と海岸線におおよそ平行な配置になるよう設定した。

採泥作業は、はじめにスミス・マッキンタイヤー式グラブ採泥器(第2図A)を用いて表層堆積物を確認し、20 × 6 × 5 cm のプラスチックケース(有田式)を用いてサブコア試料2本と表層から深さ 5 cm までの試料をタッパーに採取した。そのうえで、バレル長 6 m のパイプロコアラ(アメリカ Rossfelder 社製, 川崎地質株式会社所有)を用いて柱状採泥作業を行った(第2図A)。パイプロコアラは、ピストンコアラや重力式コアラでは試料採取が困難な砂質の底

質からでも、比較的簡便で効率的に試料を採取できる(例えば、池原, 2010; 西田・池原, 2013)。今回は、光ルミネッセンス年代測定(optically stimulated luminescence; OSL)を実施することを想定し、ABS製の遮光性インナーチューブ(内径 88 mm)を使用した。採泥作業にあたっては、川崎地質株式会社に一連の作業を依頼し、洞海マリンシステムズ株式会社所有の作業船つばさ(496 トン(国際), 林 洋市船長)(第2図B)を使用して、2015年8月4日から6日にかけて実施した。

採取された堆積物試料のうち表層堆積物のサブコア試料2本については、1本は包丁で分割し、整形後に写真撮影と肉眼記載を行った。また、もう1本は保存用とした。コア試料は現地で 1 m ごとに分割し、乾燥を防いだ状態で産業技術総合研究所に運搬した。次に、丸ノコを用いてインナーチューブの左右にあらかじめ切り込みを入れたうえで、暗室内でアクリルカッターとテグスを用いて分割し、片側を研究用、もう一方を保存用とした。このうち研究用の試料については、暗室内でアルミ製のL字型アングル(3 × 3 × 100 cm)を用いて粒度分析と有機物分析用の試料を連続的に採取した後、残りをOSL年代測定用試料とし、露光しないようにアルミホイルで梱包して保存した。有機物分析用の試料は、深度方向に 2 cm ごとに試料を分取したうえで凍結乾燥処理を行い、今後の分析用に保管した。一方、保存用のコア試料は、半割面を整形後に写真撮影、肉眼記載を行った。試料中に含まれていた二枚貝や巻貝など貝類については、保存の良いものを対象として同定した。一部で認められた泥質試料については、スミアスライドを作製し石灰質ナノプランクトン化石の観察を行った。これらの作業の完了



第 2 図 A: スミス・マッキンタイヤー式グラブ採泥器 (右下) およびバイブコアラー (中央).  
B: 作業船つばさ。後部デッキのスペースが広く、作業に適している。

Fig. 2 A: Smith-McIntyre grab sampler (lower right) and Vibrocorer (center).  
B: Tsubasa. Rear-deck space is enough to the coring.

後、 $5 \times 20 \times 1$  cm のプラスチックケースを用いて、軟エックス線写真撮影用のスラブ試料を採取した。

有機物分析用に採取されて凍結乾燥処理した試料の一部を用いて、深度方向に 10 cm 間隔で粒度分析を行った。そのための前処理として、0.2 wt% ヘキサメタリン酸ナトリウム水溶液中で超音波洗浄機を用いて 5 分攪拌させた。そのうえで、レーザー回折式粒度分析装置 (Horiba LA960, 産業技術総研究所設置) を用いて分析を行った。サンプル濃度は、半導体レーザー (赤) で 80 ~ 90 %, LED (青) で 70 ~ 90 % の範囲内になるように調製した。また、屈折率は 1.55 ~ 0.0i (1.33) を用いた。

コア試料中に含まれていた貝類のうち 37 個について、株式会社地球科学研究所を通じて Beta Analytic 社の加速器質量分析器によって放射性炭素年代測定を行った。得られた年代値について、ソフトウェア CALIB 7.0.4 (Stuiver et al., 2015) により、MARINE13

データセット (Reimer et al., 2013) を用いて暦年較正を行った。海洋リザーバー効果の補正には、調査海域から近い三浦半島で得られた 7 つの海洋リザーバー値 (Shishikura et al., 2007) の平均値  $\Delta R = 133 \pm 16$  yr を用いた。本報告では、暦年の確率分布中央値を用いる。

#### 4. 結果

柱状採泥の結果、全 6 地点から長さが 18.5 ~ 400.5 cm のコア試料が得られた。地点 2, 5, 6 においては、1 回目の採泥作業によって得られたコア試料の長さの妥当性を確認するため、2 回目の採泥も実施した。地点 3 については、2 回目の作業でのみコア試料を得ることができた。採取された試料の特徴について以下にまとめる。

##### 4.1 岩相

採取されたコア試料は、いずれも主に極細粒砂—細粒砂で構成される点で共通する。また、上方粗粒化傾向を示すことも特徴である。ただし、地点 5 から採取された KJ5 および KJ5-2 をのぞいて明瞭な境界面は認められず、粒度変化は漸移的である。このことは、粒度分析結果とも矛盾がない。また、堆積構造は認められず、軟エックス線写真によって顕著な生物擾乱の影響が認められる。以下に採取されたコア試料ごとに概略を述べる。

地点 1 (水深 41 m) から採取されたコア KJ1 は、長さが 287.5 cm である (第 3 図)。下部から上部にかけて極細粒砂から細粒砂に上方粗粒化の傾向を示す。粒度分析によって求められた中央粒径値は、下部の最も細粒な部分 (コア深度 257.0 cm) が  $65.9 \mu\text{m}$  で、上部の最も粗粒な部分 (コア深度 3 cm) が  $125.5 \mu\text{m}$  である。明瞭な境界面や堆積構造は認められない。一部には生痕が認められる。軟エックス線写真では、全体に生物擾乱の影響が顕著だが、一部では、平行ラミナやクロスラミナが認められる (例えば、コア深度 106.5 ~ 126.5 cm)。また、全体的に貝殻片が散在し、コア深度 5.0 ~ 20.0 cm では多産する。

地点 2 (水深 34 m) からは KJ2 と KJ2-2 のコア試料が採取された。KJ2 は、長さが 31.5 cm である。下部のコア深度 26.0 ~ 31.5 cm は半固結状態でオリブ黒色のシルトである。この上位には、明瞭な境



界面をもって淘汰の悪い極細粒砂が重なる（コア深度 0～26.0 cm）。この極細粒砂は、堆積構造は認められない。一部には生痕や貝殻片が認められる。KJ2-2 は、長さが 17.5 cm である。全体が半固結状態でオリブ黒色のシルトである。

地点 3（水深 43 m）から採取されたコア KJ3-2 は、長さが 340.5 cm である。最下部のコア深度 329.0～340.5 cm は、半固結状態でオリブ黒色のシルトである。この上位には、明瞭な境界面をもって貝殻片を多数含む粗粒砂が重なる（コア深度 304.0～329.0 cm）。さらに上位には、明瞭な境界面をもって上方粗粒化傾向を示す細粒砂が重なる（コア深度 0～304.0 cm）。粒度分析によって求められた中央粒径値は、コア深度 0～304.0 cm の範囲では、下部の最も細粒な部分（コア深度 296.0 cm）が 83.0  $\mu\text{m}$  で、上部の最も粗粒な部分（コア深度 3.0 cm）が 112.6  $\mu\text{m}$  である。下部の粗粒砂も含めて全体に堆積構造は認められない。一部には生痕が認められる。軟エックス線写真では、全体に生物擾乱の影響が認められる。また、全体的に貝殻片が散在する。

地点 4（水深 66 m）から採取されたコア KJ4 は、長さが 400.5 cm である。下部から上部にかけて極細粒砂から細粒砂に上方粗粒化の傾向を示す。粒度分析によって求められた中央粒径値は、下部の最も細粒な部分（コア深度 355.0 cm）が 95.5  $\mu\text{m}$  で、上部の最も粗粒な部分（コア深度 3.0 cm）が 140.5  $\mu\text{m}$  である。明瞭な境界面や堆積構造は認められない。一部には生痕が認められる。軟エックス線写真では、全体に生物擾乱の影響が顕著だが、一部では、平行ラミナやクロスラミナが認められる（例えば、コア深度 39.0～59.0 cm）。また、全体的に貝殻片が散在する。

地点 5（水深 124 m）からは KJ5 と KJ5-2 のコアが採取された。KJ5 は、長さが 363.5 cm である。コア深度 134.0～363.5 cm の下部から中部にかけては、漸移的に上方粗粒化傾向を示す極細粒砂である。これより上位（コア深度 0～134.0 cm）には、淘汰の悪い中粒砂と細粒砂が一部不規則な境界面をともなっており重なる。粒度分析によって求められた中央粒径値は、コア深度 134.0～363.5 cm の範囲では、下部の最も細粒な部分（コア深度 335.0 cm）が 90.9  $\mu\text{m}$  で、上部の最も粗粒な部分（コア深度 134.0 cm）が 131.9  $\mu\text{m}$  である。一方、コア深度 0～134.0 cm の範囲では、コア深度 23.0 cm で最も

粗く、702.5  $\mu\text{m}$  である。全体的に堆積構造は認められない。一部には生痕が認められる。軟エックス線写真では、全体に生物擾乱の影響が認められる。また、全体的に貝殻片が散在し、コア深度 21.0～71.0 cm では特に多産する。一方、KJ5-2 は長さが 78.5 cm である。コア深度 30.0～78.5 cm は漸移的に上方粗粒化傾向を示す極細粒砂である。この上位のコア深度 5.0～30.0 cm は、明瞭な境界面をともなって淘汰が悪い中粒砂が重なる。最上部のコア深度 0～5.0 cm は、細粒砂が重なる。粒度分析によって求められた中央粒径値は、コア深度 30.0～78.5 cm の範囲では、下部の最も細粒な部分（コア深度 63.0 cm）が 91.0  $\mu\text{m}$  で、上部の最も粗粒な部分（コア深度 13.0 cm）が 358.0  $\mu\text{m}$  である。全体的に堆積構造は認められない。軟エックス線写真では、全体に生物擾乱の影響が認められる。一部には生痕や散在する貝殻片が認められる。

地点 6（水深 34 m）からは KJ6 と KJ6-2 のコアが採取された。KJ6 は、長さが 248.0 cm である。下部から上部にかけて極細粒砂から細粒砂に上方粗粒化の傾向を示す。粒度分析によって求められた中央粒径値は、下部の最も細粒な部分（コア深度 224.0 cm）が 71.4  $\mu\text{m}$  で、上部の最も粗粒な部分（コア深度 23.0 cm）が 126.4  $\mu\text{m}$  である。明瞭な境界面や堆積構造は認められない。軟エックス線写真では、全体に生物擾乱の影響が認められる。また、全体的に貝殻片が散在する。KJ6-2 は、長さが 246.5 cm である。下部から上部にかけて極細粒砂から細粒砂に上方粗粒化の傾向を示す。粒度分析によって求められた中央粒径値は、下部の最も細粒な部分（コア深度 240.0 cm）が 94.8  $\mu\text{m}$  で、上部の最も粗粒な部分（コア深度 13.0 cm）が 123.7  $\mu\text{m}$  である。明瞭な境界面や堆積構造は認められない。軟エックス線写真では、全体に生物擾乱の影響が認められる。また、全体的に貝殻片が散在する。

#### 4.2 産出貝類

各地点から採取されたコア試料に含まれる貝類のうち、保存状態の良好なものを中心に同定した。その結果、シラスナガイ *Oblimopa multistriata* (Forskaal) やタマキガイ *Glycymeris vestita* (Dunker) など、現在の沿岸一浅海生種(奥谷, 2000)が認められた(第 2 表)。

九十九里浜沖柱状採泥調査の概要

第2表 コア試料に含まれる貝類、生息水深と底質は、奥谷 (2000) による。

Table 2 Molluscan species collected from the core samples.

Water depth and substratum type of habitat for the species are based on the Okutani (2000).

Core Section	Depth (cm)	Core depth (cm)	Species	Species (Japanese name)	Habitat (Okutani, 2000)		Note
					Water depth (m)	Substratum type	
KJ1	CC	12.5	279.5 <i>Placamen tiara</i> (Dillwyn)	ハナガイ	20-200 m	Fine sand	C <sup>14</sup> dating
KJ1	CC	12.0	279.0 <i>Antalis weinkauffi</i> (Dunker)	ツノガイ	30-500 m	Fine sand	
KJ1	1	73.5	257.5 <i>Glycymeris vestita</i> (Dunker)	タマキガイ	5-30 m	Coarse sand	C <sup>14</sup> dating
KJ1	1	39.0	223.0 <i>Glycymeris vestita</i> (Dunker)	タマキガイ	5-30 m	Coarse sand	
KJ1	1	29.5	213.5 <i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	C <sup>14</sup> dating
KJ1	2	89.5	273.5 <i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	Fragment
KJ1	2	86.5	173.0 <i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	Fragment
KJ1	2	78.0	164.5 <i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	Fragment
KJ1	2	42.0	128.5 <i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	C <sup>14</sup> dating
KJ1	2	36.0	122.5 <i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	Fragment
KJ1	2	33.0	119.5 <i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	Fragment
KJ1	2	18.5	105.0 <i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	
KJ1	3	83.0	83.0 <i>Glycymeris vestita</i> (Dunker)	タマキガイ	5-30 m	Coarse sand	
KJ1	3	76.5	76.5 <i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	C <sup>14</sup> dating
KJ1	3	67.5	67.5 <i>Glycymeris vestita</i> (Dunker)	タマキガイ	5-30 m	Coarse sand	
KJ1	3	35.5	35.5 <i>Glycymeris vestita</i> (Dunker)	タマキガイ	5-30 m	Coarse sand	
KJ1	3	19.0	19.0 <i>Pecten albicans</i> (Schröter)	イタヤガイ	10-100 m	Sand	
KJ1	3	16.0	16.0 <i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	
KJ1	3	7.0	7.0 <i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	C <sup>14</sup> dating
KJ2	1	18.5	18.5 <i>Placamen tiara</i> (Dillwyn)	ハナガイ	20-200 m	Fine sand	Fragment
KJ2-2	CC	7.0	7.0 <i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	C <sup>14</sup> dating
KJ3-2	CC	10.0	324.5	二枚貝?			Fragment, C <sup>14</sup> dating
KJ3-2	1	86.5	309.5 <i>Callista chinensis</i> (Holten)	マツヤマワスレ	5-50 m	Sand	Fragment
KJ3-2	1	77.0	300.0 <i>Zeuxis castus</i> (Gould)	ハナムシロ	10-200 m	Sand and mud	C <sup>14</sup> dating
KJ3-2	1	61.0	284.0 <i>Tonna luteostoma</i> (Küster)	ヤツシロガイ	10-200 m	Fine sand	
KJ3-2	1	23.5	246.5 <i>Chlamys</i> sp.	二枚貝			Fragment, C <sup>14</sup> dating
KJ3-2	1	11.0	234.0 <i>Pitar japonicus</i> Kuroda & Kawamoto	ウスハマグリ	5-50 m	Fine sand	
KJ3-2	1	4.5	227.5	二枚貝			Fragment
KJ3-2	2	91.5	216.5 <i>Ostrea</i> sp.	カキ類			Fragment
KJ3-2	2	66.0	191.0 <i>Reticunassa multigranosa</i> (Dunker)	ヒメムシロ	intertidal-20 m	Sand and gravel	Fragment, C <sup>14</sup> dating
KJ3-2	2	54.5	179.5 <i>Ostrea</i> sp.	カキ類			C <sup>14</sup> dating
KJ3-2	2	30.0	155.0 <i>Ostrea</i> sp.	カキ類			Fragment
KJ3-2	2	15.5	140.5 <i>Paphia amabilis</i> (Philippi)	サツマアカガイ	10-70 m	Sand	Fragment, C <sup>14</sup> dating
KJ3-2	2	10.0	135.0	二枚貝			Fragment, C <sup>14</sup> dating
KJ3-2	3	39.0	67.5 <i>Epitonium (Hirtoscala) castum</i> (A. Adams)	ナガヒメネジガイ	10-30 m	Sand	C <sup>14</sup> dating
KJ3-2	3	30.5	59.0 <i>Cardita nodulosa</i> Lamarck	モモイロトマヤ	5-450 m	Sand and gravel	
KJ3-2	3	13.0	41.5 <i>Pecten albicans</i> (Schröter)	イタヤガイ	10-100 m	Sand	
KJ3-2	3	7.0	35.5 <i>Crenulilimopsis oblonga</i> (A. Adams)	ナミジワシラスナガイ	50-200 m	Sand and mud	
KJ3-2	3	6.5	35.0	巻貝			Fragment
KJ3-2	3	5.0	33.5 <i>Crenulilimopsis oblonga</i> (A. Adams)	ナミジワシラスナガイ	50-200 m	Sand and mud	
KJ3-2	4	22.5	22.5 <i>Crenulilimopsis oblonga</i> (A. Adams)	ナミジワシラスナガイ	50-200 m	Sand and mud	
KJ3-2	4	19.0	19.0 <i>Pecten albicans</i> (Schröter)	イタヤガイ	10-100 m	Sand	C <sup>14</sup> dating
KJ4	1	80.5	382.5	二枚貝			Fragment, C <sup>14</sup> dating
KJ4	1	47.0	349.0	ウニ類			Fragment
KJ4	1	31.5	333.5	ウニ類			Fragment
KJ4	1	4.0	306.0	二枚貝			Fragment
KJ4	1	0.5	302.5 <i>Jupiteria (Saccella) confusa</i> (Hanley)	ゲンロクソデガイ	10-50 m	Fine sand	
KJ4	2	94.5	297.5	ウニ類			Fragment
KJ4	2	61.0	264.0	巻貝			Fragment, C <sup>14</sup> dating
KJ4	2	32.0	235.0	巻貝			Fragment
KJ4	2	20.0	223.0 <i>Paphia</i> sp.	二枚貝			Fragment
KJ4	3	93.0	199.0 <i>Natica</i> sp.	巻貝			C <sup>14</sup> dating
KJ4	3	45.5	151.5 <i>Inquisitor jeffreysii</i> (Smith)	モミジボラ	10-100 m	Sand	C <sup>14</sup> dating
KJ4	3	24.0	130.0 <i>Dentalium (Paradentalium) octangulatum</i> Donovan	ヤカドツノガイ	lowerintertidal-100 r	Fine sand	C <sup>14</sup> dating
KJ4	3	5.0	111.0 <i>Nuculana (Thestyloda) yokoyamai yokoyamai</i> Kuroda	アラボリロウバイ	50-450 m	Sand and mud	
KJ4	4	83.5	102.5 <i>Minolia punctata</i> A. Adams	コシタカシタダミ	50-150 m	Sand and mud	
KJ4	4	82.5	101.5	ウニ類			Fragment, C <sup>14</sup> dating
KJ4	4	62.5	81.5 <i>Nipponoscaphander cumingii cumingii</i> (A. Adams)	クビレスイフガイ	100-200 m	Fine sand	
KJ4	4	46.0	65.0 <i>Antalis weinkauffi</i> (Dunker)	ツノガイ	30-500 m	Fine sand	
KJ4	4	46.0	65.0 <i>Antalis weinkauffi</i> (Dunker)	ツノガイ	30-500 m	Fine sand	
KJ4	4	34.0	53.0 <i>Dentalium (Paradentalium) octangulatum</i> Donovan	ヤカドツノガイ	lowerintertidal-100 r	Fine sand	
KJ4	4	26.0	45.0 <i>Minolia punctata</i> A. Adams	コシタカシタダミ	50-150m	Sand and mud	
KJ4	4	15.0	34.0 <i>Jupiteria (Saccella) confusa</i> (Hanley)	ゲンロクソデガイ	10-50m	Fine sand	
KJ4	4	10.5	29.5	ウニ類			Fragment, C <sup>14</sup> dating
KJ4	4	5.0	24.0	二枚貝			Fragment
KJ4	4	3.5	22.5 <i>Glycymeris vestita</i> (Dunker)	タマキガイ	5-30 m	Coarse sand	
KJ4	5	17.0	17.0 <i>Recticunassa japonica</i> A. Adams	キヌボラ	intertidal-30 m	Fine sand	

第 2 表 続き  
Table 2 Continued

KJ5	1	26.5	278.5	タマキガイ or シラスナガイ				C <sup>14</sup> dating
KJ5	1	54.5	306.5	<i>Nuculana</i> sp.	ロウバイガイ類			
KJ5	1	55.0	307.0	<i>Olivella fulgurata</i> (Adams & Reeve)	ムシボタル	intertidal-20 m	Sand	Fragment
KJ5	1	65.5	317.5	<i>Nuculana</i> sp.	ロウバイガイ類			
KJ5	1	79.0	331.0	<i>Cyclocardia ferruginea</i> (Clessin)	クロマルフミガイ	50-400 m	Sand	
KJ5	1	87.0	339.0		二枚貝			Fragment, C <sup>14</sup> dating
KJ5	2	81.0	237.0	<i>Cyclocardia ferruginea</i> (Clessin)	クロマルフミガイ	50-40 0m	Sand	Fragment
KJ5	2	70.5	226.5	<i>Cyclocardia ferruginea</i> (Clessin)	クロマルフミガイ	50-400 m	Sand	C <sup>14</sup> dating
KJ5	2	2.0	158.0	<i>Natica</i> sp.	巻貝			C <sup>14</sup> dating
KJ5	2	2.0	158.0	<i>Acila (Truncacila) insignis</i> (Gould)	キララガイ	5-200 m	Mud	
KJ5	3	94.0	155.0	<i>Acila</i> sp.	二枚貝			Fragment
KJ5	3	72.0	133.0		巻貝			Fragment
KJ5	3	60.0	121.0	<i>Cyclocardia ferruginea</i> (Clessin)	クロマルフミガイ	50-400 m	Sand	C <sup>14</sup> dating
KJ5	3	43.0	104.0	<i>Parvamussium intuscostatum</i> (Yokoyama)	モトリニシキ	50-40 m	Sand and gravel	
KJ5	3	38.5	99.5	<i>Parvamussium intuscostatum</i> (Yokoyama)	モトリニシキ	50-40 m	Sand and gravel	
KJ5	3	11.0	72.0	<i>Keenaea samarangae</i> (Makiyama)	シマキンギョガイ	50-300 m	Sand and mud	
KJ5	3	7.0	68.0	<i>Glycymeris vestita</i> (Dunker)	タマキガイ	5-30 m	Coarse sand	
KJ5	3	2.0	63.0	<i>Glycymeris rotunda</i> (Dunker)	ベニグリ	20-300 m	Sand and mud	Fragment
KJ5	4	56.5	56.5	<i>Scaphechinus mirabilis</i> (A. Agassiz)	ハスノハカシバン (ウニ類)			Fragment, C <sup>14</sup> dating
KJ5	4	49.5	49.5	<i>Antalis weinkauffi</i> (Dunker)	ツノガイ	30-500 m	Fine sand	
KJ5	4	20.0	20.0		シラスナガイ?			C <sup>14</sup> dating
KJ5	4	7.0	7.0		二枚貝			Fragment, C <sup>14</sup> dating
KJ6	1	42.0	183.0	<i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	C <sup>14</sup> dating
KJ6	1	35.0	176.0	<i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	
KJ6	2	88.5	140.0	<i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	
KJ6	2	82.0	133.5	<i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	
KJ6	2	68.5	120.0	<i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	
KJ6	2	55.5	107.0	<i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	
KJ6	2	34.5	86.0	<i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	
KJ6	2	17.5	69.0	<i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	
KJ6	3	47.0	47.0	<i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	
KJ6-2	1	89.0	246.0	<i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	C <sup>14</sup> dating
KJ6-2	1	69.5	226.5	<i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	
KJ6-2	1	48.5	205.5	<i>Dimidacus</i> sp.	巻貝			
KJ6-2	1	28.0	185.0	<i>Episiphon subrectum</i> (Smith)	ロウソクツノガイ	5-300 m	Sand and mud	
KJ6-2	1	26.0	183.0	<i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	
KJ6-2	1	20.5	177.5		二枚貝			Fragment
KJ6-2	1	7.1	164.1	<i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	C <sup>14</sup> dating
KJ6-2	2	96.0	155.0	<i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	
KJ6-2	2	95.0	154.0	<i>Glycymeris vestita</i> (Dunker)	タマキガイ	5-30 m	Coarse sand	Fragment
KJ6-2	2	89.5	148.5	<i>Heterocyathus japonicus</i> (Verrill)	スチージュガイ (単体サンゴ)			
KJ6-2	2	71.5	130.5	<i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	Fragment
KJ6-2	2	33.5	92.5	<i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	C <sup>14</sup> dating
KJ6-2	2	15.0	74.0	<i>Phacosoma japonicum</i> (Reeve)	カガミガイ	lowerintertidal-60 m	Fine sand	
KJ6-2	3	57.6	57.6	<i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	C <sup>14</sup> dating
KJ6-2	3	54.5	54.5	<i>Paphia</i> sp.	二枚貝			Fragment
KJ6-2	3	51.7	51.7	<i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	
KJ6-2	3	47.3	47.3	<i>Oblimopa multistriata</i> (Forskaal)	シラスナガイ	10-40 m	Sand and mud	
KJ6-2	3	17.9	17.9	<i>Moerella jedoensis</i> (Lischke)	モモノハナガイ	intertidal-20 m	Sand and mud	C <sup>14</sup> dating

### 4.3 石灰質ナノプランクトン化石

地点 2 から採取された KJ2 と KJ2-2 および地点 3 から採取された KJ3-2 の最下部は、いずれも半固結状態のシルトである。これらについてスミアスライドを作成し、石灰質ナノプランクトン化石の同定を目的として顕微鏡観察を行った。認められた石灰質ナノプランクトン化石のうち、優占種と年代指標種を第 3 表に示す。全ての試料からココリスの長径が 4 から 5.5  $\mu\text{m}$  の *Gephyrocapsa caribbeanica* Boudreaux and Hay および *G. oceanica* Kamptner が認められた。一方、*Emiliania huxleyi* (Lohmann) Hay and Mohler, *Reticulofenestra asanoi* Sato and Takayama, ココリス

の長径が 5.5  $\mu\text{m}$  以上の大型の *Gephyrocapsa* 属および *Gephyrocapsa parallela* Hay and Beaudry は認められなかった。

このような特徴に基づくと、この半固結状態のシルトは下部更新統 (CN13b から CN14a 亜帯: Okada and Bukry, 1980) に対比されると考えられる。房総半島に分布する上総層群では石灰質ナノプランクトン化石層序が構築されている (佐藤・高山, 1988)。年代指標種の産出頻度が低いため厳密な層序対比は難しいものの、黄和田層に挟在するテフラ Kd38 と、より上位の大田代層に挟在するテフラ O22 の間の地層に対比されると考えられる。

第3表 KJ2, KJ2-2 および KJ3 の半固結状態のシルトに認められた石灰質ナノプランクトン化石。これらの種を産出するシルトは、上総層群黄和田層に挟在するテフラ Kd38 から大田代層に挟在するテフラ O22 の地層に対比される。

Table 3 Calcareous nannoplankton occurred in the semi-consolidated silt of KJ2, KJ2-2, and KJ3. The silty layer can be correlated to an interval from Kd38 tephra (Kiwada Formation, Kazusa Group) to O22 (Otadai Formation, Kazusa Group) on the basis of the nannofossils.

		<i>Calcidiscus leptoporus</i> (Murray and Backman)	<i>Calcidiscus macintyreii</i> (Bukry and Bramlette)	<i>Coccolithus pelagicus</i> (Wallich) Schiller	<i>Discoaster</i> spp.	Small <i>Gephyrocapsa</i> spp. (diameter < 4 μm)	<i>Gephyrocapsa oceanica</i> Kamptner (4 μm < diameter < 5.5 μm)	<i>Gephyrocapsa caribbeanica</i> Boudreaux and Hay (4 μm < diameter < 5.5 μm)	<i>Helicosphaera sellii</i> (Bukry and Bramlette) Jafar and Martini	<i>Pseudoemiliania lacunosa</i> (Kamptner) Gartner	<i>Reticulofenestra minuta</i> (Gartner) Haq and Berggren	<i>R. pseudobublicus</i> (Gartner) Gartner (7 μm < diameter)	<i>Sphenolithus</i> spp.	CN zonation (Okada and Bukry, 1980)
KJ2	Sec.1 28-29cm	+	+	+		+	+	+	+	+	+			CN13b
KJ2-2	CC 3cm	+		+		+	+	+		+	+	R	R	CN13b-CN14a
KJ2-2	CC 14.5cm	+		+	R	+	+	+		+	+			CN13b-CN14a
KJ3-2	CC 21cm	+	+	+			+	+		+	+			CN13b

+ : Present

R : Reworked species

#### 4.4 放射性炭素年代

砂質堆積物に含まれる貝類合計 37 個を対象とした放射性炭素年代測定の結果、KJ5 をのぞきいずれも完新世 (11.7 cal kyr BP 以降) (Walker et al., 2009) の値を示した。コア試料ごとの結果を以下にまとめる。

KJ1 は 6 個の貝試料を対象に測定した。その結果、下位より 7767 cal yr BP (コア深度 279.5 cm), 7615 cal yr BP (コア深度 257.5 cm), 7727 cal yr BP (コア深度 213.5 cm), 7140 cal yr BP (コア深度 128.5 cm), 6500 cal yr BP (コア深度 76.5 cm), 893 cal yr BP (コア深度 7.0 cm) の値が得られた。

KJ2-2 は 1 個の貝試料を対象に測定した。その結果、465 cal yr BP (コア深度 7.0 cm) が得られた。

KJ3-2 は、9 個の貝試料を対象に測定した。その結果、下位より 8055 cal yr BP (コア深度 324.5 cm), 7306 cal yr BP (コア深度 300.0 cm), 7607 cal yr BP (コア深度 246.5 cm), 7237 cal yr BP (コア深度 191.0 cm), 8402 cal yr BP (コア深度 179.5 cm), 5523 cal yr BP (コア深度 140.0 cm), 7812 cal yr BP (コア深度 135.0 cm), 3948 cal yr BP (コア深度

67.5 cm), 102 cal yr BP (コア深度 19.0 cm) の値が得られた。

KJ4 は、7 個の貝試料を対象に測定した。その結果、下位より 7767 cal yr BP (コア深度 382.5 cm), 5616 cal yr BP (コア深度 264.0 cm), 3469 cal yr BP (コア深度 199.0 cm), 4042 cal yr BP (コア深度 151.5 cm), 3299 cal yr BP (コア深度 130.0 cm), 2956 cal yr BP (コア深度 101.5 cm), 717 cal yr BP (コア深度 29.5 cm) の値が得られた。

KJ5 は、8 個の貝試料を対象に測定した。その結果、下位より 13072 cal yr BP (コア深度 339.0 cm), 12777 cal yr BP (コア深度 278.5 cm), 12684 cal yr BP (コア深度 226.5 cm), 12059 cal yr BP (コア深度 158.0 cm), 12167 cal yr BP (コア深度 121.0 cm), 4878 cal yr BP (コア深度 56.5 cm), 10180 cal yr BP (コア深度 20.0 cm), 15162 cal yr BP (コア深度 7.0 cm) の値が得られた。

KJ6 は、1 個の貝試料を対象に測定した。その結果、4985 cal yr BP (コア深度 183.0 cm) の値が得られた。

KJ6-2 は、5 個の貝試料を対象に測定した。その結

果, 下位より 4292 cal yr BP (コア深度 246.0 cm), 2998 cal yr BP (コア深度 164.1 cm), 1750 cal yr BP (コア深度 92.5 cm), 1073 cal yr BP (コア深度 57.6 cm), 530 yr BP (conventional radiocarbon age) (コア深度 17.9 cm) の値が得られた。

これらの結果のうち, KJ3-2, KJ4, KJ5 の一部では年代値の逆転が認められる。その要因については今後の検討課題としたい。ただし, KJ5 の最上部 (コア深度 20.0 cm, 7.0 cm) でそれぞれ 10180 cal yr BP と 15162 cal yr BP の値が得られたことは, 全体的な特徴をふまえると, リワークした貝試料を用いた可能性が高い。また, KJ2-2 は 465 cal yr BP (コア深度 7.0 cm) が得られたが, この貝試料を含むシルトには, すでに述べたように下部更新統に対比される石灰質ナノプランクトン化石が多数含まれる。したがって, コア試料の採取作業の過程で海底面表層に存在していた貝殻片が混入した可能性が考えられる。

## 5. まとめと今後の課題

九十九里浜沖の陸棚 6 地点 (水深 34 ~ 124 m) において, バイプロコアラを用いた柱状採泥を実施した。その結果, 各地点から長さが 18.5 ~ 400.5 cm のコア試料が得られた。これらは主に生物擾乱の発達した上方粗粒化する極細粒砂や細粒砂によって特徴づけられる。軟エックス線写真によると, 生物擾乱の影響が認められるが, 一部では平行ラミナやクロスラミナも認められる。このような砂質堆積物に含まれる貝類は, 主に現在の沿岸-浅海域に生息する種によって構成される。また, 2 地点から得られたコア試料の最下部は半固結のシルトで, 下部更新統に対比される石灰質ナノプランクトン化石を含む。放射性炭素年代測定の結果, 1 地点をのぞいていずれの砂質堆積物も完新世に形成されたことを示す。今後の課題として, 放射性炭素年代測定の結果を詳細に検討するとともに, 光ルミネッセンス年代測定や有機物分析などを実施することで, 陸棚堆積物の詳細な形成プロセスの特徴を解明していく。

## 謝辞

本調査は千葉県, 千葉漁業協同組合連合会ならびに夷隅東部, 岩井, 御宿岩和田, 海匠, 勝浦, 鴨川市,

九十九里, 新勝浦市, 銚子市, 富浦, 東安房, 沿岸小型漁船の各漁業協同組合のご理解・ご協力のもとで遂行することができた。柱状堆積物試料採取の作業は, 荒井良祐氏, 加藤 勲氏, 湖海敬介氏, 堤 正光氏 (川崎地質株式会社) に行っていただいた。また, 作業船つばさの林 洋市船長と乗組員の方々には調査全般を通じてお世話になった。片山 肇氏, 佐藤智之氏, 古山精史朗氏には調査結果について有益なご議論をいただいた。七山 太氏には, レーザー粒度分析装置の使用でお世話になった。杉崎彩子氏, 宮地良典氏には, コアの半割作業および分析用試料の採取でお世話になった。以上の方々に厚くお礼申し上げます。

## 文献

- Davis Jr., R.A. and Hayes, M.O. (1984) What is a wave-dominated coast? *Marine Geology*, 60, 313-329.
- 古山精史朗・佐藤智之 (2015) 房総半島東部沿岸における反射法音波探査結果概要。田中裕一郎編平成 26 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告書, 産業技術総合研究所地質調査総合センター速報, no. 68, 1-8.
- 堀川清司・砂村継夫 (1971) 千葉県九十九里海岸における漂砂の卓越方向に関する研究。岸工学講演会論文集, 18, 417-422.
- 池原 研 (2010) 能登半島北方沖沿岸・陸棚域 20 万分の 1 表層堆積図及び説明書。海陸シームレス地質情報集, 「能登半島北部沿岸域」。数値地質図 S-1, 地質調査総合センター。
- 海上保安庁 (1984a) 沿岸の海の基本図 (5 万分の 1) 犬吠埼。海上保安庁, 東京。
- 海上保安庁 (1984b) 沿岸の海の基本図 (5 万分の 1) 鴨川湾。海上保安庁, 東京。
- 海上保安庁 (1986) 沿岸の海の基本図 (5 万分の 1) 太東埼。海上保安庁, 東京。
- 海上保安庁 (2000) 沿岸の海の基本図 (5 万分の 1) 九十九里浜。海上保安庁, 東京。
- 気象庁 ホーム ページ, [http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/index\\_tide.html](http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/index_tide.html)
- 日本第四紀学会 (1987) 日本第四紀地図。東京大学出版会, 東京。
- 西田尚央・味岡 拓・池原 研 (2015) 房総半島東方沖海底堆積物調査の概要。平成 26 年度沿岸域の

- 地質・活断層調査研究報告書, 産業技術総合研究所地質調査総合センター速報, no. 68, 9-18.
- 西田尚央・池原 研 (2013) 福岡沖陸棚域の海底堆積物の層序と年代. 海陸シームレス地質情報集, 「福岡沿岸域」. 数値地質図 S-3, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- Nishimura, A. (1984) Bottom sampling and photographing on the southeastern offshore of the Boso Peninsula. Geological Survey of Japan Cruise Report No. 19, 54-66.
- Okada, H. and Bukry, D. (1980) Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973, 1975). *Marine Micropaleontology*, 5, 321-325.
- 奥谷喬司 (2000) 日本近海産貝類図鑑. 東海大学出版会, 1173p.
- Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P. G., Ramsey, C.R., Buck, C.E., Cheng H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Haflidason, 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., Van der Plicht, J (2013) INTCAL13 and MARINE13 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55, 1869-1887.
- 佐藤時幸・高山俊昭 (1988) 石灰質ナンノプランクトンによる第四系化石帯区分. 地質学論集, no. 30, 205-217.
- Shishikura, M., Echigo, T., Kaneda, H. (2007) Marine reservoir correction for the Pacific coast of central Japan using  $^{14}\text{C}$  ages of marine mollusks uplifted during historical earthquakes. *Quaternary Research*, 67, 286-291.
- Stuiver, M., Reimer, P.J. and Reimer, R.W. (2015) Calib. 7.1. WWW program and documentation, <http://calib.qub.ac.uk/calib/>
- Suter, J.R. (2006) Facies models revisited: Clastic shelves. *SEPM Special Publication* 84, 339- 397.
- Tamura, T., Saito, Y. and Masuda, F. (2008) Variations in depositional architecture of Holocene to modern prograding shorefaces along the Pacific coast of eastern Japan. *SEPM Special Publication* 90, 191-205.
- 宇多高明 (1989) 九十九里海岸における過去 6,000 年間の海浜形成と近年の海浜変形との関係. 地形 10, 343-355.
- Walker, M., Johnsen, S., Rasmussen, S.O., Popp, T., Steffensen, J.-P., Gibbard, P., Hoek, W., Lowe, J., Andrews, J., Björck, S., Cwynar, L.C., Hughen, K., Kershaw, P., Kromer, B., Litt, T., Lowe, D.J., Nakagawa, T., Newnham, R., Schwander, J. (2009) Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records. *Journal of Quaternary Science*, 24, 3-17.