

足柄平野における沖積層のボーリング調査と珪藻分析

Coring survey and diatom fossil analyses of alluvium in Ashigara Plain, central Japan

佐藤善輝^{1*}・水野清秀¹・細矢卓志²・植木忠正²・森田祥子²・山崎晴雄³

Yoshiki Sato¹, Kiyohide Mizuno¹, Takashi Hosoya², Tadamas Ueki², Sachiko Morita² and Haruo Yamazaki³

Abstract: We carried out coring survey at total of four sites, GS-ASG-1 to 4, and diatom analyses of present cores, M3 and B11, in the southern Ashigara Plain for clarifying the Holocene stratigraphy and event history of Kozu-Matsuda fault. In southern part of the plain, two subsidence events, which occurred before and after K-Ah tephra, were suggested by temporal environmental change from freshwater to brackish-marine water area. These event layers were possibly related to tectonic subsidence caused by the Kozu-Matsuda Fault. The K-Ah tephra layers between terrestrial sediments presumably hollow in southeastern part of the plain. Radiocarbon ages from core sediments indicates that accumulation curves consists of three segments, 11-13 ka, 8-11 ka and after 8 ka, which is probably corresponding to increasing of accommodation space generated by relative sea-level change.

Keywords: Ashigara Plain, Kozu-Matsuda fault, Holocene, Diatom analysis

要旨

足柄平野の沖積層の層序・層相と完新世における国府津－松田断層の活動履歴について、既存のボーリング柱状図資料の収集、計 4 箇所でのボーリング掘削調査 (GS-ASG-1 ～ 4 コア)、¹⁴C 年代測定、既存コア (M3 および B11 コア) の珪藻化石分析、テフラ分析を実施して検討した。足柄平野南部では K-Ah テフラの前後に計 2 回、淡水環境から汽水～海水環境への変化が検出された。これらは国府津－松田断層の活動に伴う沈降による可能性が考えられる。また、平野南東部で K-Ah テフラの降灰層準が凹地状に低下する可能性が示唆された。沖積層の堆積速度は 11 ka 頃と 8 ka 頃を境として大きく 3 期に区分でき、これは海水準変動などに伴う堆積空間の増加量に対応すると推定される。

1. はじめに

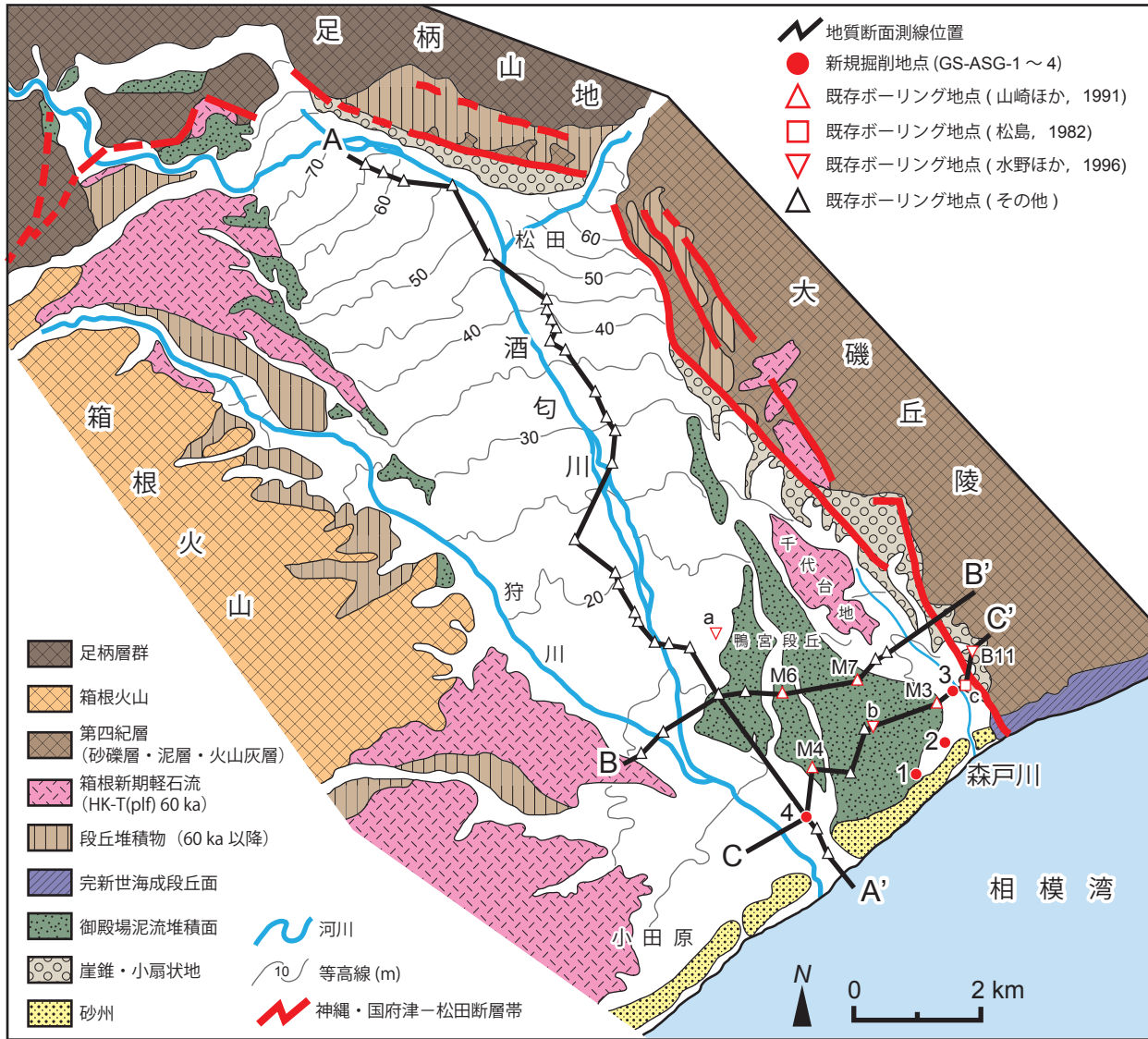
足柄平野は相模湾沿岸に位置する長さ約 12 km、幅約 4 km の臨海平野である (第 1 図)。平野は西側を箱根火山、北側を足柄山地、東側を大磯丘陵とそれぞれ接し、平野北縁および東縁部には神縄・国府津－松田断層帯 (活断層研究会, 1991) が分布する。この断層帯は神縄断層、国府津－松田断層、塩沢断層、松田山山麓断層、日向断層などから構成され、陸域での延長は約 25 km である。断層帯は松田山山麓断層・松田北断層の東端部と国府津－松田断層の北端部で屈曲し、この屈曲点よりも北側では N80° W、南側では N35° W の走向を示す (地震調査研究推進本部, 2009)。断層帯は北～北東側傾斜の逆断層で、足柄山地や大磯丘陵側を隆起させる。従って、足柄平野は大局的には国府津－松田断層の活動によって形成された構造的盆地といえる。

* Correspondence

¹ 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)

² 中央開発株式会社 (Chuo kaihatsu Corporation)

³ 首都大学東京都市環境科学研究科 (Faculty of Urban Environmental Sciences, Tokyo Metropolitan University)



第 1 図 足柄平野におけるボーリング調査地点および地質断面測線の位置。
地形分類及び地質区分は山崎（1994）に基づく。神縄・国府津－松田断層帯の位置は山崎（1994），宮内ほか（2008），地震調査研究推進本部（2009）などに基づく。

Fig.1 Index map of coring survey sites and geological sections in Ashigara Plain.
Geomorphological and geological classification is based on Yamazaki (1994). Location of the Kan'nawa Kozu-Matsuda fault zone is based on Yamazaki (1994), Miyauchi et al. (2008) and Headquarters for Earthquake Research Promotion (2009).

国府津－松田断層は本断層帯南部を構成する断層で、大磯丘陵を隆起させる。大磯丘陵は、中期更新世には 500 m に達する厚い浅海～河口域の堆積物（曾我山層）が堆積する活発な沈降域であったが、30 万年前頃に堆積盆中に新しい断層（国府津－松田断層）が生じ、徐々に沈降速度を低下させて安定域～隆起域に転じて、後期更新世には激しく隆起するようになったと考えられている（山崎，1984；Yamazaki, 1992；山崎 1993）。国府津－松田断層の完新世における上下方向の変位速度は、断層を挟んだ地点での海成層最上部に見られる鬼界アカホヤテフラ（K-Ah, 7.3 ka, 町田・新井, 2003）の高度差から、3.5 m / 1,000

年と推定されている（松島，1982；山崎，1984）。また、箱根東京軽石層（60～65 ka）の高度差からは約 1.4～2.3 m / 1,000 年（地震調査研究推進本部，2009）と見積もられている。複数条の断層トレースが並走する曾我原地区では、そのうち 1 条について箱根小原台テフラ（約 80～85 ka）の高度差から 0.5～0.6 m / 1,000 年の変位速度が得られている（産業技術総合研究所，2008）。断層下盤側の足柄平野の沈降量は、25 万年前頃の河床礫の変位量から 1.6～2 m / 1,000 年程度と見積もられるのに対して（山崎，1985），過去数 1,000 年間では K-Ah テフラから 0.6 m / 1,000 年程度と推定され（松島，1982），現

在に向かって徐々に減少する傾向を示す。

国府津—松田断層は、同じく相模トラフ沿いで発生する巨大地震である1703年元禄地震や1923年大正関東地震と異なり、大磯丘陵周辺のみを隆起させる「大磯型地震（松田，1985）」の震源断層と考えられている（松田，1985；山崎，1993）。国府津—松田断層の活動履歴については、これまでに足柄平野内でのボーリング調査やトレンチ調査が多数行われ、検討されてきた（例えば、山崎・鹿島1989；山崎ほか1991；山崎・水野，1999；神奈川県，2003，2004；丸山・斎藤，2008など）。神奈川県（2003，2004）は曾我原地区で実施したトレンチ調査の結果から、最新活動時期をAD1,100～1,350年頃（650～900年前）と推定し、それ以前の2,000～2,400年前に1回、2,600～4,500年前に少なくとも2回の活動があったことを示した。また、丸山・斎藤（2008）は曾我原地区におけるトレンチ調査・群列ボーリング調査から7,660±40 yr BP（8,540-8,390 cal BP）以降に活動が生じたことを示した。国府津地区や上曾我地区では山崎・水野（1999）により、トレンチ調査で複数の地割れや地すべりが確認されており、それらの1つは2,800～3,200年前頃に形成されたと推定している。ボーリングコアからはカワゴ平軽石（KgP，3,126-3,145 cal BP，町田・新井，2003）以降、富士砂沢スコリア（F-Zn，2.5～2.8 ka，町田・新井，2003）以前に、淡水生珪藻が減少して汽水生珪藻が増加することから沈降イベントが生じたことが指摘されている（山崎・鹿島，1989；山崎ほか1991；山崎・水野1999）。これらの既存研究の成果から、国府津—松田断層の活動間隔は800～1,300年程度、1回当たりの地殻変動量は3 m程度と見積もられている（地震調査研究推進本部，2009）。しかしながら、推定される活動時期の誤差が大きい点や調査地点が限られる点など、活動履歴については依然として未解明の課題が多く残されている。

足柄平野には、酒匂川や狩川、川音川などによって供給された堆積物からなる沖積層が分布する。小沢ほか（1982）は岩相やN値、年代測定値に基づき沖積層を2万年前から1万年前まで、1万年前から4,000～5,000年前まで、4,000～5,000年前以降の計3層（上部、中部、下部層）に区分した。山崎（1994）はこの区分を再検討して御殿場泥流堆積物（Gmf，縄文時代末期～弥生時代初期：2,500年前

頃，町田，1964，1977）を境として上部層を細分し、下部、中上部、最上部層の3層に区分した。中上部層は後水期の海水準上昇期の堆積物で、平野南部ではシルトや砂が主体で、氾濫原堆積物とされている（山崎1985；山崎1994）。中上部層の最上部には御殿場泥流が氾濫原堆積物を覆って分布し、一部は沖積段丘面である鴨宮段丘を構成する（第1図）。御殿場泥流堆積物は上流部ほど厚層化し、平野西端部では段丘面を形成する（第1図）。最上部層は御殿場泥流堆積物を下刻する現成扇状地堆積物で、粗粒な礫から構成される。これは御殿場泥流の流下・堆積により酒匂川の河床勾配が急激に増加し、粗粒な礫が下流部まで供給されるようになったためと考えられている（山崎，1994）。

足柄平野の沖積層には国府津—松田断層による地殻変動の影響が記録されていると考えられる。例えば、松島（1982）はK-Ahテフラが標高0 mで深から見出されることを示し、足柄平野の沈降速度を見積もった。また、石山ほか（2011）は足柄平野南部で群列ボーリングを実施し、御殿場泥流堆積物とその下位の氾濫原堆積物が西方へ分布高度が浅くなることを示し、これを逆断層運動によって形成されたと解釈している。しかしながら、依然としてデータが不足しており、広域的な地層の変形や断層の活動との関わりは明らかでなく、層序・層相や年代資料などのデータを拡充していく必要がある。

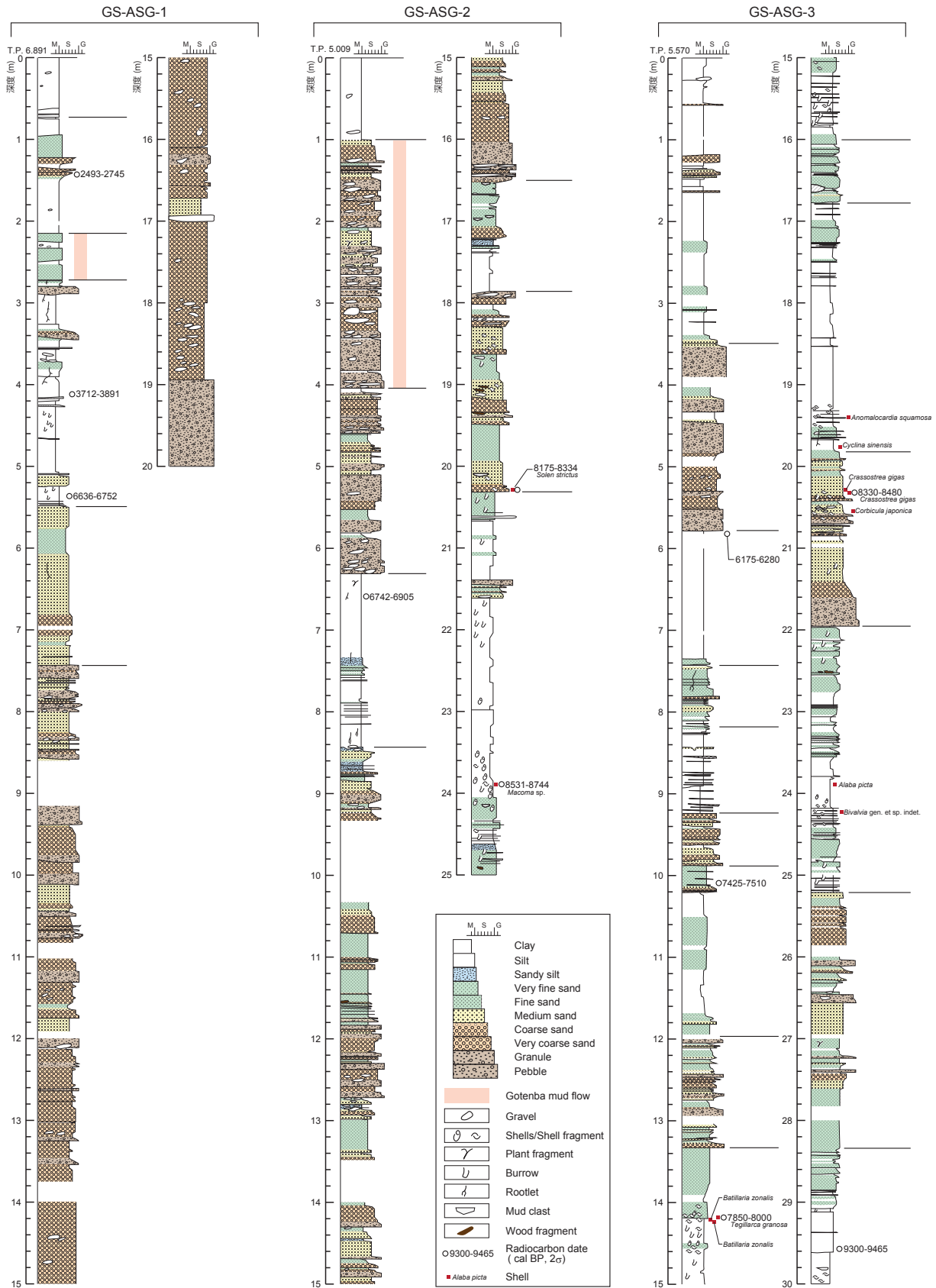
以上の問題点を踏まえ、本研究では足柄平野の沖積層の層序・層相をより高精度に把握するため、新規にオールコアでのボーリング掘削を行い、¹⁴C年代測定を行った。また、沖積層に記録された地震イベントを検出するため、既存コア試料の珪藻分析を行った。さらに、平野広域の地下地質情報として既存のボーリング柱状図資料を収集するとともに、既存のコア試料について¹⁴C年代測定を行った。

2. ボーリング調査

(1) 方法

足柄平野南部の計4地点（GS-ASG-1～4）においてボーリング調査を行った。各掘削地点の位置を第1図に、柱状図を第2図に、コア写真および軟X線写真を第3図にそれぞれ示す。

GS-ASG-1～3 コアはIFCS（Improved Fresh-water



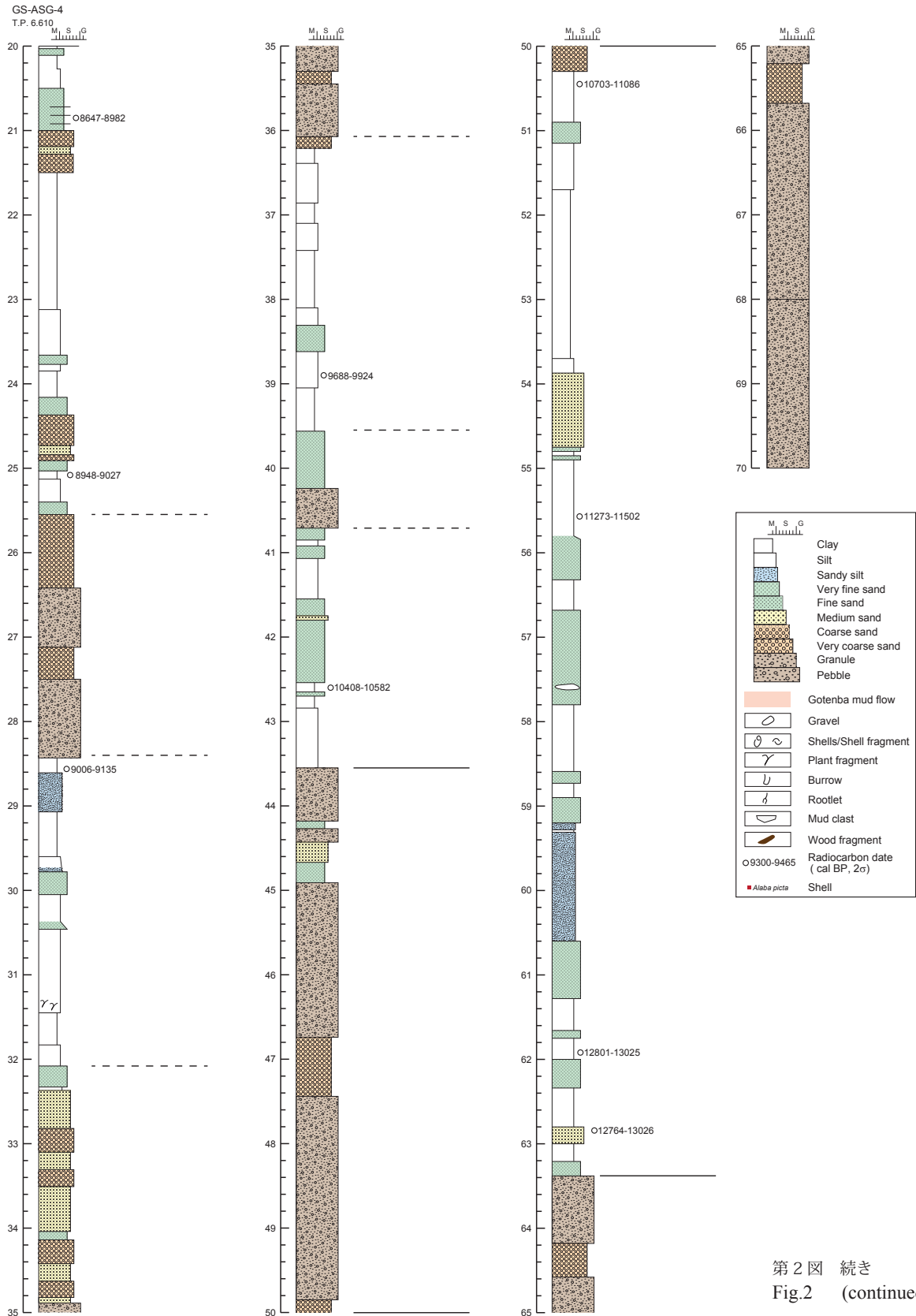
第 2 図 GS-ASG-1 ~ 4 コアの地質柱状図. 各コアの掘削地点は第 1 図に示す.

Fig. 2 Geologic columnar of GS-ASG-1~4 cores. Locations of cores are shown in Fig. 1.

Core Sampling) 工法により, それぞれ深度 20 m, 25 m, 30 m のオールコア試料を採取した. また,

GS-ASG-4 コアは東亜利根ボーリング製のパイプロ・ロータリードリル「スーパープローブ SP-8000」を

足柄平野における沖積層のボーリング調査と珪藻分析



第2図 続き
Fig.2 (continued)

用いて掘削し、深度20～70mのオールコア試料を得た（深度0～20mはノンコア掘削）。各掘削地点の位置情報と標高は仮想基準点方式（VRS: Virtual

Reference Station)-GPSを用いた測量によって求めた。GS-ASG-1～3コアは産総研に運送後、半割し、層相の記載、コア写真および軟X線写真（一部）の撮

影を行った。GS-ASG-4 コアは中央開発㈱で半割・記載を行った。コア試料中に認められた貝化石については、地質情報研究部門の中島 礼博士に同定を依頼した。また、コア中に含まれる植物片や貝化石など計 20 点について、加速器質量分析 (AMS) 法による放射性炭素年代を地球科学研究所 (16 点) および加速器分析研究所 (計 4 点) に依頼して測定し、年代測定結果は CALIB 7.1 (Stuiver et al., 2014) を用いて暦年校正した。校正のためのデータセットには IntCal13.14c (Reimer et al., 2013) または Marine13.14c (Reimer et al., 2013) を用いた。年代測定結果の一覧を第 1 表に示す。

(2) 堆積物の層序・層相

① GS-ASG-1 コア

このコアは、足柄平野と浜堤の背後の休耕田 (北緯 35° 16′ 25.298″, 東経 139° 11′ 47.578″, 標高 6.89 m) で掘削された (第 1 図)。なお、深度 12 m 以深では掘削が困難となったため、標準貫入試験でおおよその層相を確認した後、GS-ASG-1 コアの約 50 cm 北側 (北緯 35° 16′ 25.316″, 東経 139° 11′ 47.579″, 標高 +6.87 m) で別孔を掘削し、深度 8 ~ 20 m のオールコア試料を採取した。

深度 0.00 ~ 0.65 m (標高 +6.89 ~ +6.33 m) : 暗褐色極細粒砂混じりシルトからなる耕作土層。φ 1.5 cm 程度の垂角礫が点在する。

深度 0.65 ~ 2.15 m (標高 +6.33 ~ +4.74 m) : 極細粒~細粒砂混じりシルト~細粒砂を主体とし、細礫が点在する。炭化物や植物片の混入が認められ、深度 1.6 m 以深は植物根によって乱されている。深度 1.22 ~ 1.28 m, 深度 1.36 ~ 1.37 m, 深度 1.40 ~ 1.42 m には軽石混じりの礫層が挟在する。礫層直下の深度 1.43 m の堆積物試料から 2,493-2,745 cal BP の年代測定値が得られた。

深度 2.15 ~ 2.72 m (標高 +4.74 ~ +4.17 m) : 半固結した淘汰の良い極細粒砂層とシルトの互層からなる。最上部は上方細粒化して上位のシルト層へ遷移する。深度 1.43 m および深度 4.12 m (後述) で得られた年代測定値からこの地層は 2,500 ~ 3,800 cal BP の期間に堆積したと考えられ、御殿場泥流堆積物である可能性が高い。

深度 2.72 ~ 5.50 m (標高 +4.17 ~ +1.39 m) : 粘土~シルトからなり、植物根や炭化物が多く混入する。

深度 2.80 ~ 2.89 m, 深度 3.33 ~ 3.45 m, 深度 3.55 ~ 3.56 m にスコリア濃集層を挟む。深度 5.07 m 以深は細粒~中粒砂混じりとなり、ところどころ層厚 1 cm の細粒砂の薄層を挟在する。深度 5.13 ~ 5.34 m は粘土礫混じりで淘汰不良のシルト質中粒砂が認められる。深度 4.12 m の植物片から 3,712-3,891 cal BP, 深度 5.34-5.37 m の土壌 (腐植質シルト) から 6,636-6,775 cal BP の年代測定値が得られた。

深度 5.50 ~ 7.43 m (標高 +1.39 ~ -0.54 m) : 淘汰の悪い細粒~中粒砂からなる。最上部は上方細粒化して上位のシルト層に遷移する。深度 6.8 ~ 7.1 m はやや粗粒で、φ 2~4 mm の垂角~垂円礫混じりの粗粒砂が堆積する。

深度 7.43 ~ 20.00 m (標高 -0.54 ~ -13.13 m) : 細礫混じり粗粒砂~砂礫からなる。深度 18.0 ~ 20.0 m は中礫主体となり、最大 φ 8 cm の礫が認められる。深度 15.9 m からは貝殻片が産出した。

② GS-ASG-2 コア

このコアは小八幡川の左岸の民間企業の管理地内の空き地 (北緯 35° 16′ 39.471″, 東経 139° 12′ 03.194″, 標高 +5.01 m) で掘削された (第 1 図)。

深度 0.00 ~ 1.00 m (標高 +5.01 ~ +4.01 m) : 細粒砂混じりシルトで、稀に細礫を含む。

深度 1.00 ~ 4.04 m (標高 +4.01 ~ +0.97 m) : スコリア・礫混じりの半固結した粗粒砂~砂礫からなる。全体として上方細粒化し、深度 2.3 m 以深では最大 φ 7~8 cm の垂角礫が点在する。深度 1.38 ~ 1.41 m, 深度 1.50 ~ 1.56 m, 深度 1.70 ~ 1.72 m, にはスコリアの濃集層が認められた。スコリアを多く含むことや半固結していることから、この地層は御殿場泥流堆積物であると考えられる。

深度 4.04 ~ 6.31 m (標高 +0.97 ~ -1.30 m) : 礫混じり中粒~極粗粒砂層。深度 4.04 m 以浅と同様に礫を多く含むが、固結度が低くスコリアの含有量が少ないことから区別できる。

深度 6.31 ~ 8.43 m (標高 -1.30 ~ -3.42 m) : 暗灰色を呈するシルトからなり、植物片や炭化物、植物根を多く混入する。深度 6.59 m の植物片から 6,742-6,905 cal BP の年代測定値が得られた。深度 7.45 m 以深はところどころ層厚 1 cm 程度の極細粒~細粒砂の薄層が挟在する。

深度 8.43 ~ 16.53 m (標高 -3.42 ~ -11.52 m) :

礫混じりの砂～砂礫層。全体として中粒～極粗粒砂を主体とするが、深度 10.71～11.73 m および 12.72～13.38 m では細粒砂主体となる。

深度 16.53～17.91 m (標高 -11.52～-12.90 m)：粘土とシルト質極細粒砂の互層からなる砂泥層。深度 17.21 m 以深では粘土を主体とし、上方粗粒化傾向を示す。深度 17.21 m 以浅では細粒砂を主体とし、ところどころ層厚 1 cm 程度の粘土の薄層またはブロックを挟在させる。

深度 17.91～20.31 m (標高 -12.90～-15.30 m)：中粒～粗粒砂を主体とする砂層。稀に ϕ 3～5 cm 程度の円礫を混入する。最上部には ϕ 10 cm の円礫が堆積し、上位の砂泥層との境界は明瞭である。深度 18.37～19.10 m および深度 20.00～20.31 m には貝殻片を多く混入する。このうち、深度 20.29 m からは潮間帯中部の砂底に生息するマテガイ *Solen stricatus* Gould が産出し、8,175-8,334 cal BP の年代測定値が得られた。

深度 20.31～25.00 m (標高 -15.30～-19.99 m)：灰色または暗褐色を呈するシルト～粘土からなる泥層。生痕が多く認められる。深度 20.61～20.63 m には ϕ 6 cm の垂円偏平礫が泥層中に挟在する。また、深度 21.39～21.61 m には貝殻片混じりの中粒砂～砂礫を挟む。深度 22.98～23.15 m は黒褐色で泥炭質となる。深度 23.50～24.5 m は貝殻片が多く混入し、このうち深度 23.89 m から得られたシラトリガイの仲間 *Macoma* sp. は 8,531-8,744 cal BP の年代測定値を示した。深度 24.30 m 以深は下位へ向けて粗粒化する傾向を示し、粘土～シルトと極細粒～細粒砂の互層が認められる。

③ GS-ASG-3 コア

このコアは足柄平野東部の休耕田 (北緯 35° 17' 02.584", 東経 139° 12' 08.748", 標高 +5.57 m) で掘削された (第 1 図)。

深度 0.00～3.49 m (標高 +5.57～+2.08 m)：極細粒砂混じりシルト層で、ところどころ細礫が混じる。全体に腐植質で植物根や炭化物が多く混入する。この地層中には深度 0.57～0.58 m, 深度 1.20～1.28 m, 深度 1.38～1.46 m, 深度 1.62～1.64 m に粗粒砂～極粗粒砂サイズを主体とする黒色スコリアの濃集層が挟まる。

深度 3.49～5.78 m (標高 +2.08～-0.21 m)： ϕ

10～30 mm 程度の垂円～垂角を主体とする淘汰の悪い砂礫層。深度 4.03～4.15 m および深度 4.33～4.45 m はやや細粒で、細粒砂～粗粒砂を主体とする。

深度 5.78～7.43 m (標高 -0.21～-1.86 m)：暗灰～暗褐色を呈する有機質なシルト層で、全体に植物片や炭化物を多く含む。植物根の混入が認められ、堆積物の構造はこれらによって乱されている。最上部の深度 5.78～5.82 m は黒色を呈する泥炭質シルトで、これを覆う礫層との境界は明瞭である。この泥炭質シルトからは、深度 5.82 m から 6,020-6,281 cal BP の年代測定値が得られた。深度 6.00～6.40 m では全体に細粒砂混じりとなり、ところどころ層厚 0.5～2 cm 程度の細粒砂の薄層を挟む。

深度 7.43～8.17 m (標高 -1.86～-2.60 m)：灰白色を呈する細粒～中粒砂層。深度 7.82～7.84 m には ϕ 2～5 mm の垂円礫を主体とするスコリア濃集層を挟む。

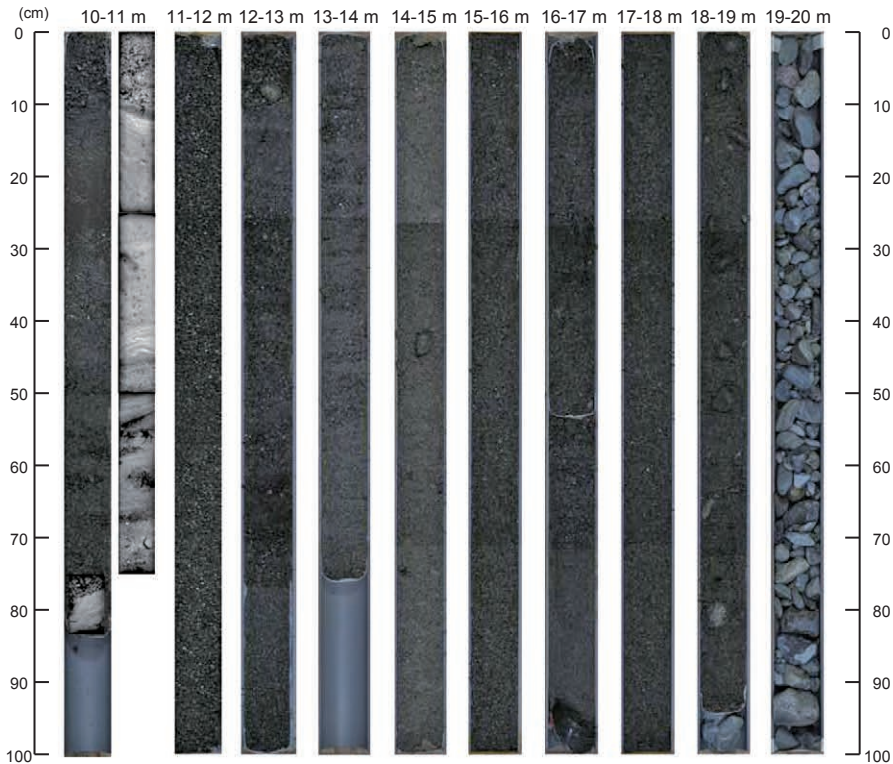
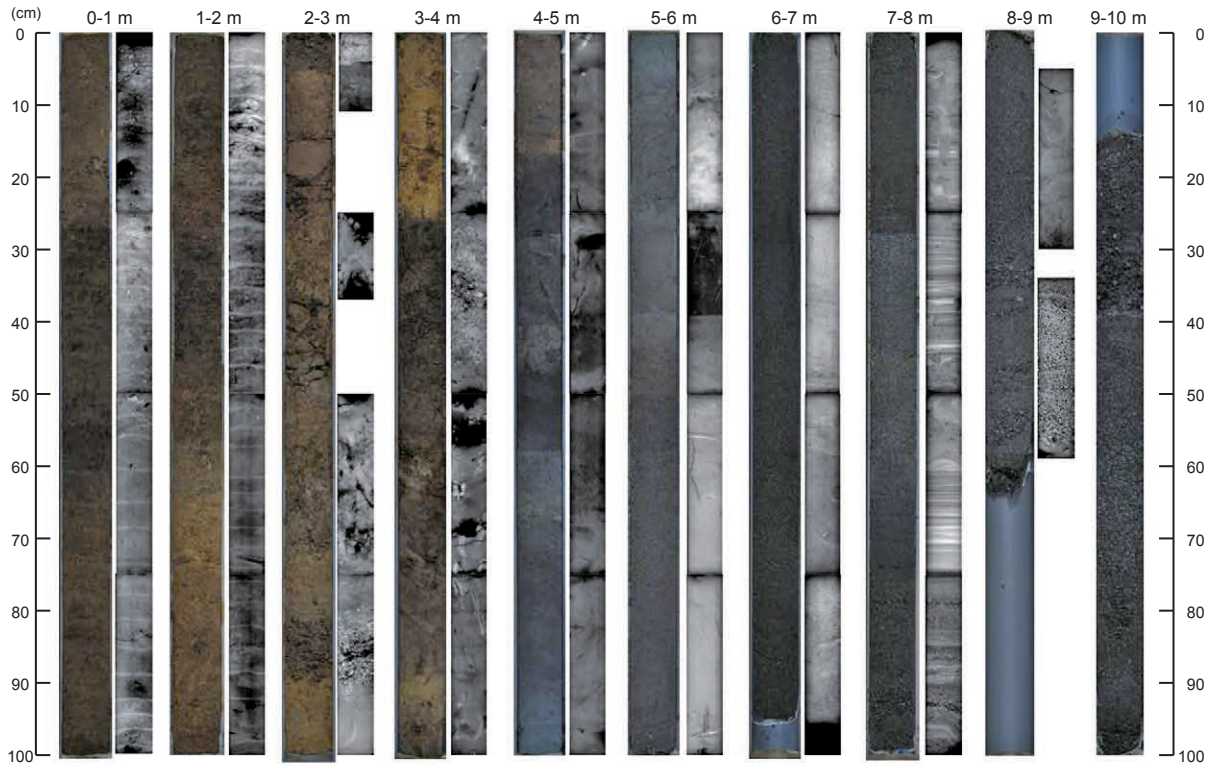
深度 8.17～9.24 m (標高 -2.60～-3.67 m)：細礫混じりの粘土～細粒砂層で、全体として上方粗粒化傾向を示す。ところどころ層厚 0.5～3 cm の中粒砂～砂礫の薄層を挟む。この地層中の深度 8.25 m および 8.90 m ではバブルウォール型の火山ガラスが多く見られ、これより下位にほとんど火山ガラスが含まれないこと、深度 5.82 m および深度 10.09 m (後述) で得られた年代測定値を考慮すると、深度 8.25～8.90 m に K-Ah テフラの降灰層準が存在する可能性が高い。

深度 9.24～9.88 m (標高 -3.67～-4.41 m)：中粒砂～極粗粒砂層で細礫を含む。深度 9.72～9.85 m には砂層中に暗褐色のマッドクラストが多く混入する。

深度 9.88～11.94 m (標高 -4.41～-6.37 m)：暗褐～暗灰色のシルト質極細粒砂層。深度 11.83 m 以深ではやや粗粒化傾向を示し細粒～中粒砂を主体とするが、深度 11.94～12.00 m でコアが欠落したため下位層との境界は明らかでない。全体に ϕ 10 mm 程度の垂角～垂円の細礫、植物片や木片が混じる。これらのうち、深度 10.09 m の木片からは 7,423-7,551 cal BP の年代測定値が得られた。深度 10.13～10.21 m には粗粒砂の薄層を挟む。

深度 12.00～13.33 m (標高 -6.43～-7.76 m)：灰～灰白色を呈する砂礫層で、層厚数～10 cm 程度の ϕ 2～4 cm の垂円礫を主体とする礫層と細礫混じりの細粒～粗粒砂層の互層からなる。深度 12.00～

GS-ASG-1 & 1'

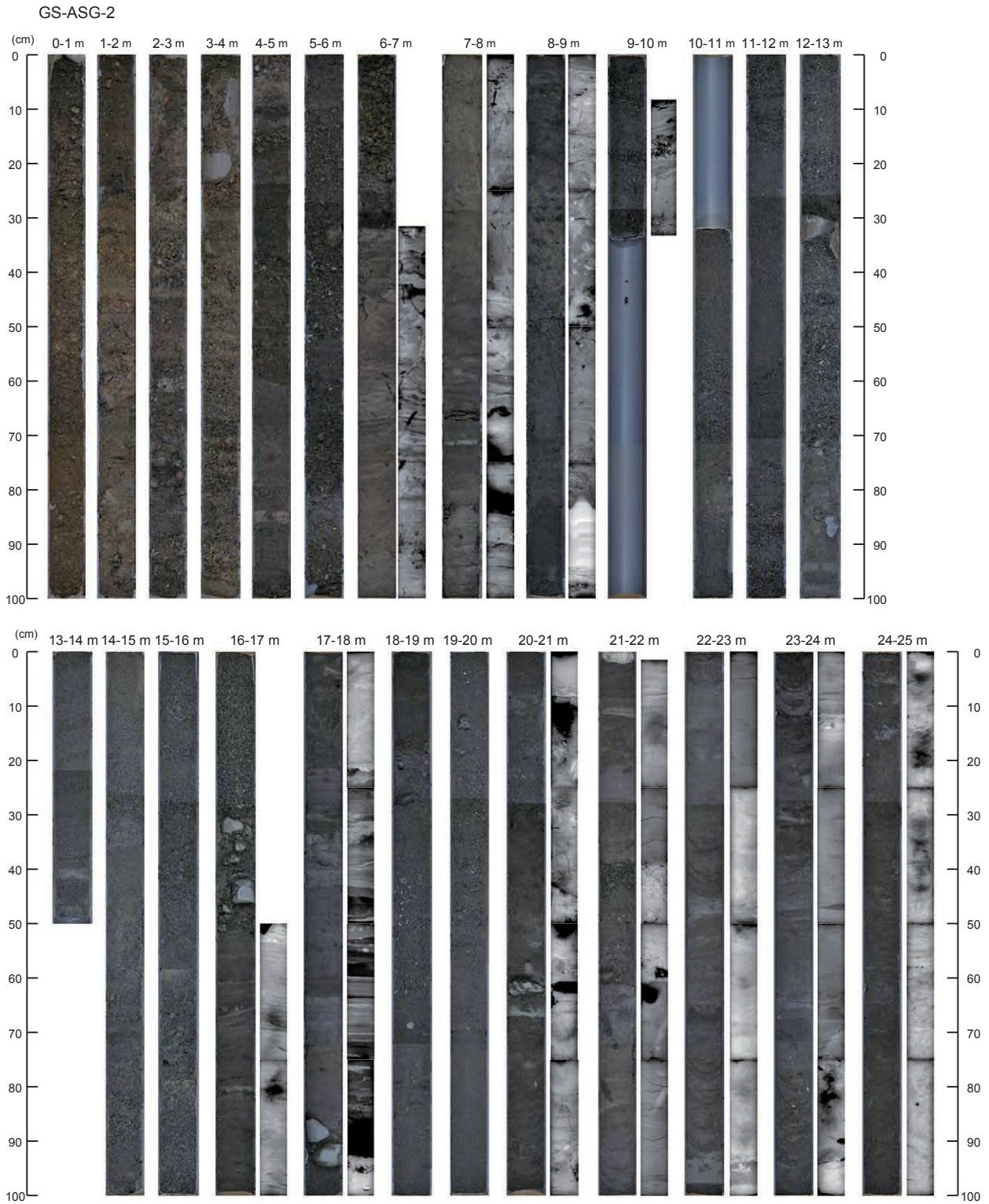


第 3 図 GS-ASG-1 ~ 3 コアのコア写真および軟 X 線写真. 各コアの掘削地点は第 1 図, 地質柱状図は第 2 図に示す.
 Fig. 3 Core images with X-radiographs of GS-ASG-1~3 cores. Locations and geologic columnar of cores are shown in Fig. 1 and Fig.2 respectively.

12.05 m, 12.44 ~ 12.46 m, 13.29~13.33 m にはスコリア濃集層が認められる.

深度 13.33 ~ 16.00 m (標高 -7.76 ~ -10.43 m) :

暗褐色のシルト~粘土からなる泥層で全体に極細粒~細粒砂が混じる. 二枚貝と巻貝の貝殻片が多く混入し, 生物擾乱が認められる. 深度 13.9 m 以浅は極



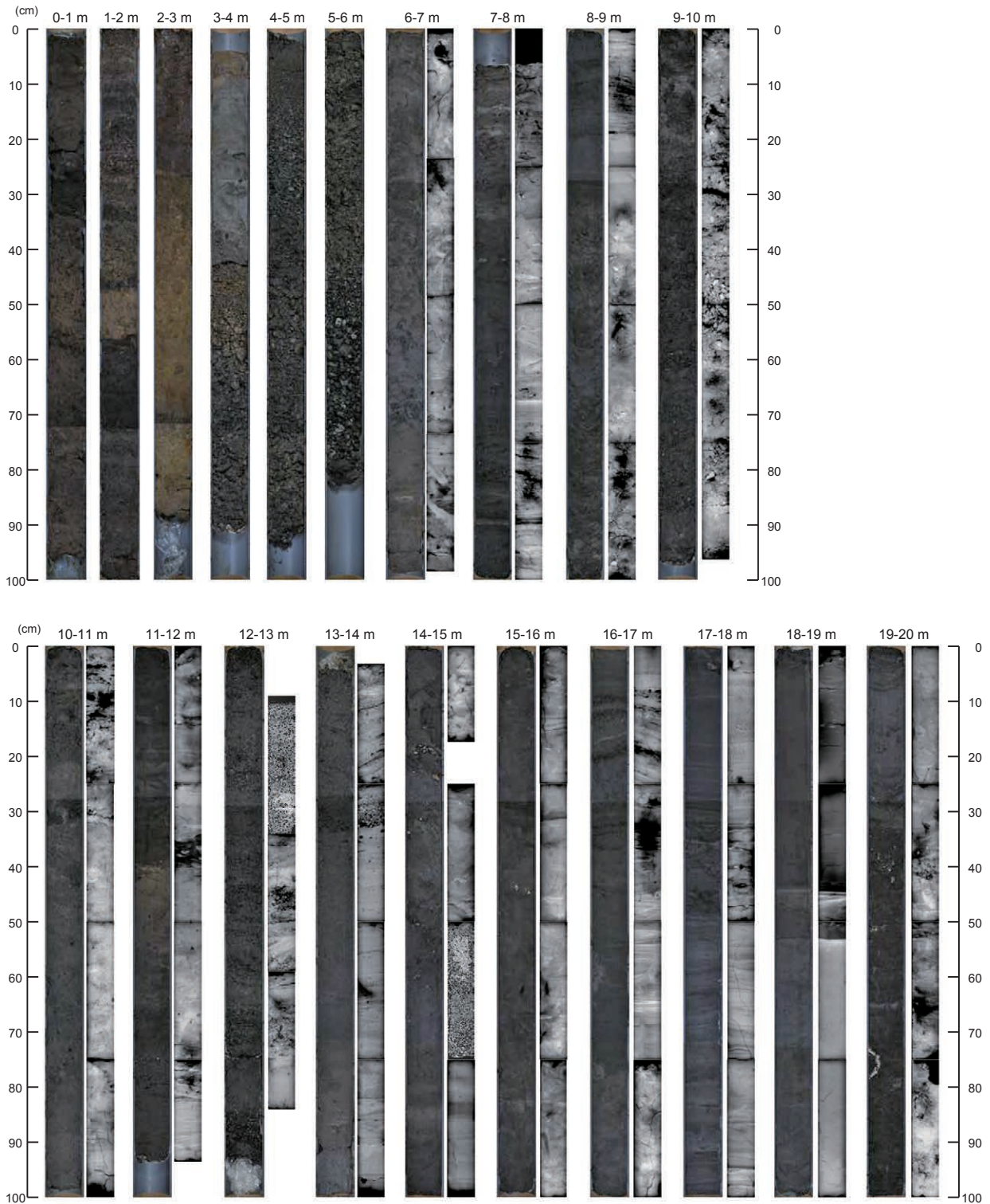
第3図 続き
Fig.3 (continued)

細粒砂混じりシルト～細粒砂からなり，上方粗粒化傾向を示す。上位の砂礫層との境界は明瞭である。深度 14.18～14.24 m では貝化石が特に密集して産出し，潮間帯～水深 10 m の泥底に生息するハイガイ *Tegillarca granosa* (Linnaeus)，潮間帯中部～下部の泥底に生息するイボウミニナ *Batillaria zonalis* (Bruguiere) が

産出した。深度 14.18～14.20 m のイボウミニナ *B. zonalis* (Bruguiere) は 7,851-7,998 cal BP の年代測定値を示した。深度 15.00 m 以深にはところどころ層厚 1 cm 程度の極細粒～細粒砂の薄層を挟む。

深度 16.00～16.78 m (標高 -10.43～-11.21 m)：層厚数～10 数 cm の明灰色の極細粒～細粒砂層と、

GS-ASG-3



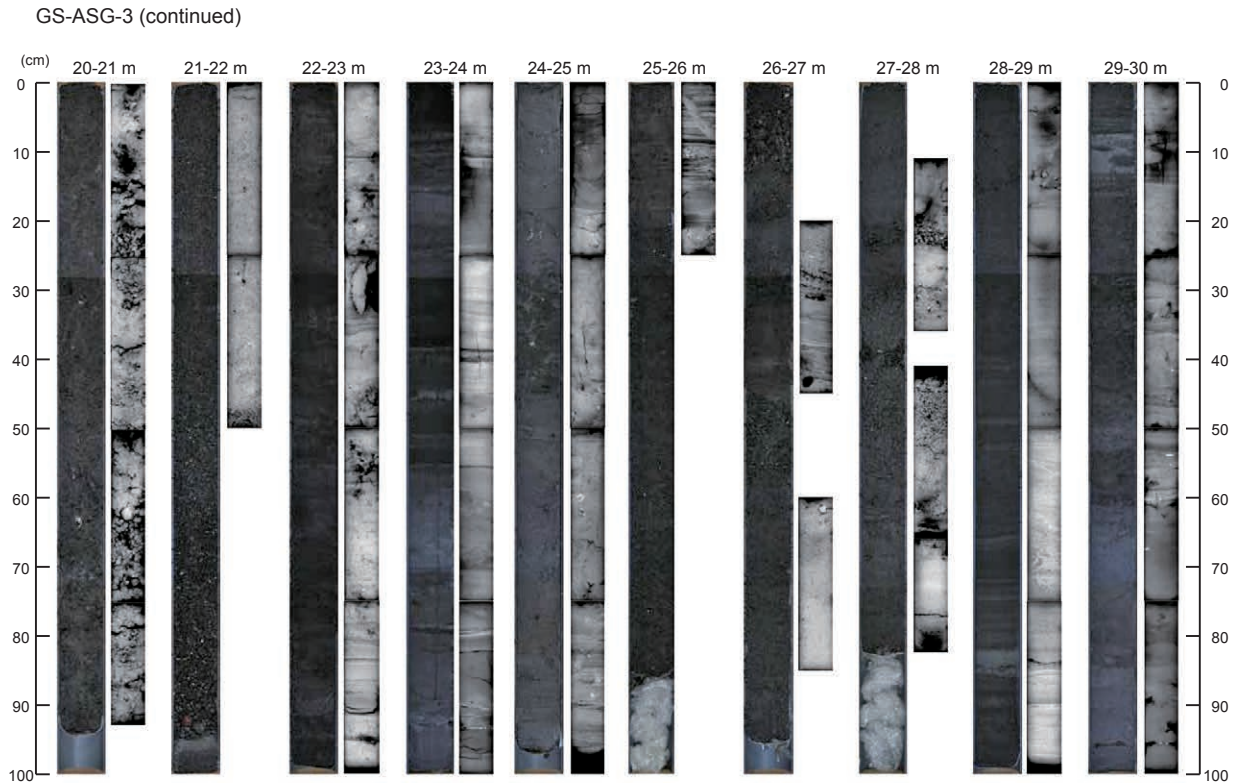
第3図 続き

Fig.3 (continued)

層厚 0.5 ~ 2 cm 程度の植物片や木片の多産する有機質シルト層との互層からなる (第2図, 第3図). それぞれの極細粒~細粒砂層は上方に細粒化・有機質化する傾向を示し, 有機質シルト層へと遷移する. この極細粒~細粒砂層と有機質シルト層のセットは少なく

とも4つ認められる. 深度 16.55 ~ 16.65 m には灰白色シルトがブロック状に混入する.

深度 16.78 ~ 19.83 m (標高 -11.21 ~ -14.26 m): シルト~粘土を主体とする泥層. 深度 16.78 ~ 17.70 m はところどころ層厚 0.5 ~ 1 cm 程度の極細粒~細



第3図 続き
Fig.3 (continued)

粒砂の薄層が挟在し、深度 17.08 ~ 17.20 m では細粒砂が主体となる。深度 17.18 ~ 18.52 m には平行葉理が発達する。深度 18.52 ~ 19.33 m は灰色を呈する無層理の粘土からなる。深度 19.33 ~ 19.83 m は暗褐色の細粒~中粒砂混じりシルトからなり、ところどころ層厚 1 cm 程度の細粒~中粒砂の薄層を挟み、貝化石を多く産出する。深度 19.40 m からは内湾潮間帯に生息するシオヤガイ *Anomalocardia squamosa* (Linnaeus), 深度 19.74 ~ 19.78 m からは潮間帯下部~水深 20 m に生息するオキシジミ *Cyclina sinensis* (Gmelin) の化石が産出した。

深度 19.83 ~ 21.95 m (標高 -14.26 ~ -16.38 m): 礫混じり中粒~砂礫からなり、全体として上方細粒化する。深度 20.3 ~ 20.7 m では貝化石が多産し、深度 20.29 m からは潮間帯~潮下帯に生息するマガキ *Crassostrea gigas* (Thunberg), 深度 20.32m, 20.55 m からは河口汽水域の砂底に生息するヤマトシジミ *Corbicula japonica* Prime が産出した。これらのうち、深度 20.32 m から得られた貝化石は 8,331-8,478 cal BP の年代測定値を示す。深度 21.6 m 以深は特に粗粒で細礫~中礫主体となり、最大 ϕ 2 cm の礫を含む。

深度 21.95 ~ 25.21 m (標高 -16.38 ~ -19.64 m): 砂泥層。深度 23.89 ~ 23.90 m から潮間帯~潮下帯

に生息するシマハマツボ *Alaba picta* (A. Adams) の化石が産出した。

深度 25.21 ~ 28.35 m (標高 -19.64 ~ -22.78 m): 細粒砂~中粒砂を主体とし、ところどころ層厚 2 ~ 10 cm の細礫~中礫層を挟む。深度 27.21 ~ 27.24 m, 深度 27.38 ~ 27.41 m にスコリア集積層が認められた。

深度 28.35 ~ 30.00 m (標高 -22.78 ~ -24.43 m): 平行葉理の発達する粘土~シルト質細粒砂層。全体として上方粗粒化傾向を示し、上位の細粒砂層へ遷移する。深度 29.12 ~ 29.62 m には腐植質シルトからなり、最下部(深度 29.58 ~ 29.62 m) は泥炭質である。このうち、深度 29.57 m の堆積物試料から 9,302-9,465 cal BP の年代測定値が得られた。深度 29.85 m 以深には貝殻片が点在する。

④ GS-ASG-4 コア

このコアは酒匂川左岸の神奈川県酒匂川流域下水道左岸処理場施設内の空き地(北緯 35° 16' 07.157", 東経 139° 10' 47.411", 標高 6.61 m) で掘削された。全体的に灰~暗灰色を呈し、全て未固結で柔らかい。地層の特徴は大きく 4 つのユニットに区分できる。

深度 20.00 ~ 43.55 m (標高 -13.39 ~ -36.94 m):

砂礫～細粒砂層とシルト～粘土層の互層からなり、砂礫～細粒砂層へと上方細粒化する構造が深度 25.40～28.43 m, 深度 32.08～36.07 m, 深度 39.56～40.71 m の計 3 回認められる。礫層は層厚 40 cm～1 m 程度で、 ϕ 5～30 mm 程度の礫からなり、泥岩や砂岩を主体とし花崗岩、少量のチャート、緑色岩、火山岩などを含む。細粒砂やシルト～粘土層には木片や植物片を多く含み、深度 20.85 m の木片から 8,647-8,982 cal BP, 深度 25.08 m の植物片から 8,779-9,027 cal BP, 深度 28.56 m の植物片から 9,006-9,237 cal BP, 深度 38.90 m の植物片から 9,688-9,924 cal BP, 深度 42.60 m の植物片から 10,408-10,582 cal BP の年代測定値が得られた。深度 23.91～24.15 m にはスコリア質細粒砂層を挟む。なお、貝殻や生痕は肉眼では認められなかった。

深度 43.55～50.00 m (標高 -36.94～-43.39 m): ϕ 10～50mm の垂円～垂角礫からなる砂礫層。礫は泥岩、砂岩、花崗岩を主体とするが、上部の深度 44.91～46.74 m および深度 43.55～44.18 m ではスコリアや火山岩礫も多く含む。

深度 50.00～63.38 m (標高 -43.39～-56.77 m): 全体的に腐植質な粘土～細粒砂からなる砂泥層。深度 53.87～54.75 m はやや粗粒で、 ϕ 2～10 mm の細礫の混じる中粒砂からなる。全体に木片が点在しており、濃い腐植も認められる。これらのうち深度 50.45 m の植物片から 10,703-11,086 cal BP, 深度 55.57 m の有機質堆積物から 11,273-11,606 cal BP, 深度 61.92 m の植物片から 12,801-13,025 cal BP, 深度 62.94 m の木片から 12,764-13,026 cal BP の年代測定値がそれぞれ得られた。また、深度 52.13 m, 58.46 m, 59.26～59.30 m, 61.64 m にスコリア薄層が認められる。なお、貝殻や生痕は肉眼では認められなかった。

深度 63.38～70.00 m (標高 -56.77～-63.39 m): ϕ 5～60mm の垂円～垂角礫を主体とする砂礫層。礫種は泥岩、砂岩を主体とし、花崗岩、少量の緑色岩を含む。

3. 既存コアの珪藻分析

(1) 方法

沖積層の堆積環境を明らかにするため、足柄平野南東部における掘削された計 2 本 (M3 コア, B-11 コア)

の既存コア試料について珪藻分析を実施した。分析層準の間隔は主に 10 cm～1 m 程度で、最大で 4 m である。分析試料数は M3 コアが 34 試料、B11 コアが 19 試料である。

コアから得られた植物片や腐植物、貝殻片について、放射性炭素年代測定を M3 コアで 5 試料、B-11 コアで 1 試料を加速器分析研究所に依頼して行った。年代測定結果の暦年較正および較正のためのデータセットは GS-ASG-1～4 コアと同様の手法で行った。年代測定結果の一覧を第 1 表に示す。

珪藻分析の試料処理は小杉 (1993) に準拠し、過酸化水素水による酸処理を行った。同定およびカウントは光学顕微鏡を用いて 1,000 倍の倍率で行い、200 殻以上を目安にカウントした。なお、B11 コアの深度 15.30-15.45 m は産出数が少ないため、計 113 殻となっている。種の同定は小林ほか (2006)、渡辺編 (2005) などを参考にして行った。珪藻の生息環境は小杉 (1988) や安藤 (1990)、千葉・澤井 (2014) によって設定された環境指標種群を参照した。

(2) 分析結果

① M3 コア コアの概要

このコアは地質調査所により 1989 年に鴨宮台地上の 9 地点 (M1～9) で掘削されたコアの一つで (山崎ほか, 1991)、GS-ASG-3 コアの約 300 m 南西に位置する (第 1 図)。掘削地点の標高は 7.44 m で、掘削長 25 m である。分析用試料は掘削当時にコアから分取された既存サンプルを用いた。

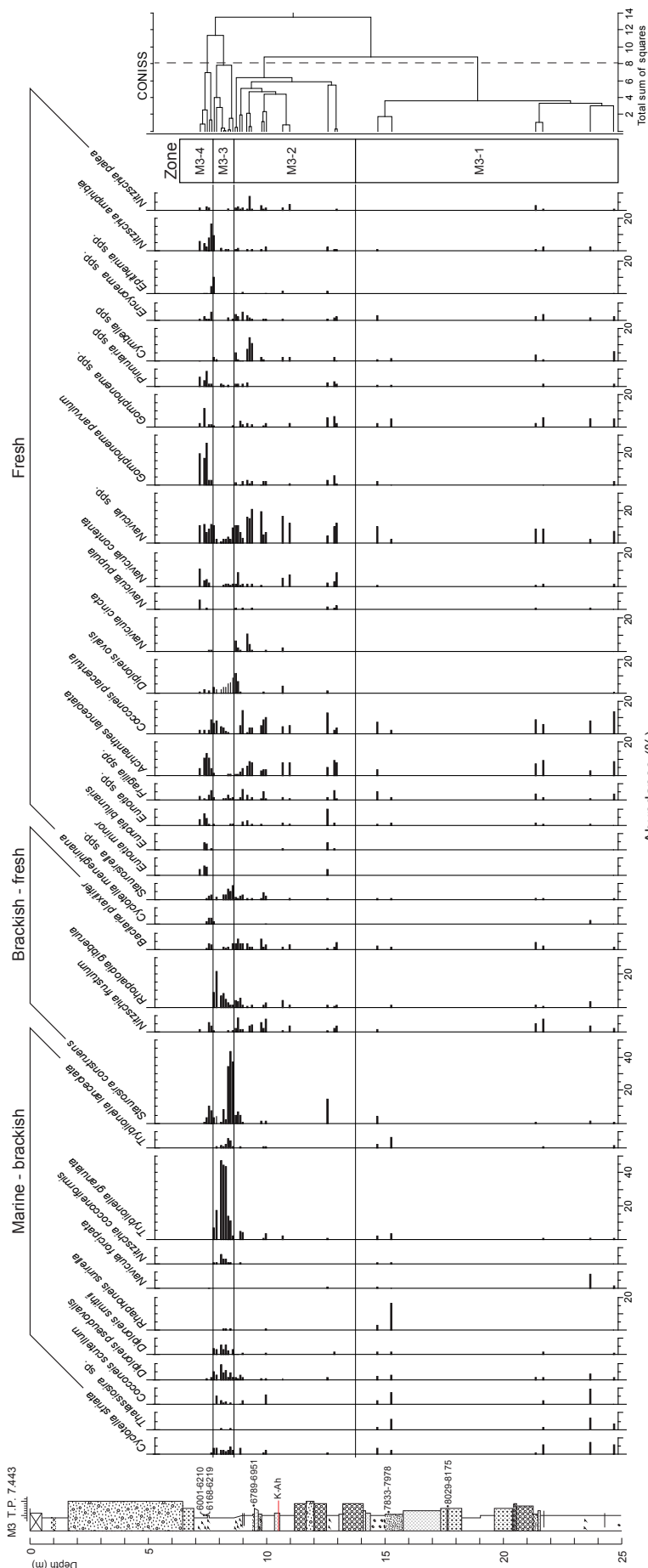
コアの柱状図を第 4 図に示す。コアは深度 0.00～0.50 m が盛土、深度 0.50～1.61 m が礫混じり粘土で、この下位の深度 1.61～6.92 m に中粒砂～砂礫からなる厚い砂礫層が堆積する。砂礫層は ϕ 0.5～3 cm の垂円～垂角礫の安山岩、砂岩、緑色岩、玄武岩、スコリア、チャート礫を主体とする。深度 6.92～25.00 m は細粒～粗粒砂と粘土～シルトの互層からなる。砂層は深度 11.18～12.53 m, 深度 13.22～14.18 m, 深度 15.77～18.24 m, 深度 19.62～21.26 m に認められる。深度 17.61～17.67 m には砂礫層中に有機質混じりシルト～細粒砂の薄層が挟在し、深度 17.62～17.67 m から得られた木片は 8,029-8,175 cal BP の年代測定値を示した。他方、粘土～シルト層は深度 12.70 m より上部では腐植物を

足柄平野における沖積層のボーリング調査と珪藻分析

第 1 表 ^{14}C 年代測定結果

Table 1 List of radiocarbon ages.

Site	Depth (m)	Elevation (m)	Material	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	conventional ^{14}C age (yr BP)	Calibrated age (2 σ)		Lab. No. / Reference
						cal BP	%	
GS-ASG-1	1.43	5.46	soil	-12.51 ± 0.54	2530 ± 30	2493 - 2599	48.0	IAAA-142562
						2609 - 2640	14.4	
	4.12 5.34-5.37	2.77 1.52~1.55	plant fragment soil	-23.54 ± 0.29 -21.01 ± 0.27	3530 ± 30 5870 ± 30	2680 - 2745	37.6	IAAA-142564 IAAA-142565
						3712 - 3891	100.0	
GS-ASG-2	6.59	-1.58	plant material	-27.80 ± -	5990 ± 30	6742 - 6905	100.0	Beta-403720
	20.29	-15.28	shell	-2.00 ± -	7790 ± 30	8175 - 8334	100.0	Beta-403721
	23.89	-18.88	shell	1.60 ± -	8150 ± 30	8531 - 8744	100.0	Beta-403722
GS-ASG-3	5.82	-0.25	organic sediment	-27.30 ± -	5380 ± 30	6020 - 6050	5.5	Beta-403715
						6060 - 6079	2.8	
	10.09	-4.52	wood	-31.30 ± -	6550 ± 30	6110 - 6155	15.2	Beta-403716
						6173 - 6281	76.4	
	14.18	-8.61	shell	-1.50 ± -	7470 ± 30	7423 - 7508	99.6	Beta-403717
						7549 - 7551	0.4	
	20.32	-14.75	shell	-8.60 ± -	7940 ± 30	7851 - 7998	100.0	Beta-403718
						8331 - 8478	100.0	
	29.57	-24.00	organic sediment	-24.10 ± -	8360 ± 30	8302 - 9465	100.0	Beta-403719
						9302 - 9465	100.0	
GS-ASG-4	20.85	-14.24	wood	-30.50 ± -	7950 ± 40	8647 - 8982	100.0	Beta-403707 Beta-403708
						8779 - 8833	18.7	
	25.08	-18.47	plant material	-12.50 ± -	8050 ± 30	8860 - 8922	15.2	Beta-403709
						8932 - 8943	1.2	
	28.56	-21.95	plant material	-21.90 ± -	8140 ± 30	8948 - 9027	64.9	Beta-403710
						9006 - 9135	96.9	
	38.9	-32.29	plant material	-27.30 ± -	8800 ± 30	9180 - 9198	1.7	Beta-403711 Beta-403712
						9223 - 9237	1.4	
	42.6	-35.99	plant material	-25.60 ± -	9300 ± 30	9688 - 9924	96.2	Beta-403713
						10077 - 10115	3.8	
	50.45	-43.84	plant material	-27.10 ± -	9540 ± 40	10408 - 10582	100.0	Beta-403714 Beta-403715
						10703 - 10891	50.1	
	55.57	-48.96	organic sediment	-22.20 ± -	9980 ± 30	10920 - 11086	49.9	Beta-403716 Beta-403717
						11273 - 11502	77.2	
	61.92	-55.31	plant material	-16.90 ± -	11050 ± 30	11523 - 11606	22.8	Beta-403718 Beta-403719
						12801 - 13025	100.0	
62.94	-56.33	wood	-27.95 ± 0.47	11030 ± 40	12764 - 13026	100.0	IAAA-142561 IAAA-141161	
					12764 - 13026	100.0		
M3	7.3-7.4	0.04~0.14	wood	-26.15 ± 0.72	5340 ± 30	6001 - 6210	97.8	IAAA-141162
						6250 - 6262	2.2	
	7.4-7.5	0.04~-0.06	charcoal	-25.41 ± 0.53	5360 ± 30	6005 - 6082	25.1	IAAA-141163 IAAA-141164
						6099 - 6161	28.6	
	9.4-9.5	-1.96~-2.06	wood	-28.88 ± 0.36	6030 ± 30	6168 - 6219	30.4	IAAA-141165 IAAA-141166
						6234 - 6275	15.9	
	15.1-15.2	-7.66~-7.76	shell	0.61 ± 0.41	7450 ± 30	6789 - 6951	100.0	IAAA-141167 IAAA-141168
						7833 - 7978	100.0	
	17.62-17.67	-10.18~-10.23	wood	-27.43 ± 0.37	7300 ± 30	8029 - 8175	100.0	IAAA-141169 IAAA-141170
						8029 - 8175	100.0	
M6	13.7-13.8	0.74~0.84	peat	-22.96 ± 0.46	6220 ± 30	7014 - 7127	54.6	IAAA-142556 IAAA-142557
						7147 - 7247	45.4	
	15.3-15.4	-0.77~-0.87	plant fragment	-27.76 ± 0.23	6580 ± 30	7429 - 7514	89.2	IAAA-142558 IAAA-142559
						7539 - 7560	10.8	
M7	9.2-9.3	2.52~2.62	peat	-24.26 ± 0.39	5740 ± 30	6453 - 6459	1.2	IAAA-142558
	10.6-10.7	1.12~1.22	plant fragment	-25.62 ± 0.24	6050 ± 30	6462 - 6634	98.8	IAAA-142559
	13.0-13.1	-1.18~-1.28	plant fragment	-28.98 ± 0.21	6610 ± 30	6797 - 6820	7.8	IAAA-142560
B11	-	-	unknown	-	2940 ± 70	6825 - 6981	92.2	IAAA-142560 IAAA-142561
						7440 - 7524	69.2	
	8.10-8.15	4.73	peat	-28.6 ± -	4490 ± 80	7528 - 7565	30.8	Mizuno et al. (1996) Mizuno et al. (1996)
						2884 - 2910	2.1	
	9.73-9.87	3.10	organic sediment	-27.9 ± -	5000 ± 70	2919 - 3257	93.9	Mizuno et al. (1996) Mizuno et al. (1996)
						3290 - 3332	3.9	
	-	-	unknown	-	7290 ± 60	4872 - 5318	100.0	Mizuno et al. (1996) Mizuno et al. (1996)
						5609 - 5898	100.0	
	19.8-19.9	-6.97	shell	-0.28 ± 0.58	7500 ± 30	7971 - 8202	99.1	IAAA-142563 IAAA-142564
						8267 - 8278	0.9	
20.98-21.15	-8.15	wood	-26.7 ± -	7890 ± 80	8267 - 8278	0.9	Mizuno et al. (1996) Mizuno et al. (1996)	
					7875 - 8029	100.0		
25.0-25.11	-12.17	wood	-26.1 ± -	7650 ± 80	8547 - 8991	100.0	Mizuno et al. (1996) Mizuno et al. (1996)	
					8331 - 8595	100.0		
site a	-	-	unknown	-	8100 ± 310	8218 - 8240	0.3	Mizuno et al. (1996) Mizuno et al. (1996)
						8305 - 9704	99.7	
site b	-	-	unknown	-	10230 ± 190	11292 - 11298	0.2	Mizuno et al. (1996) Mizuno et al. (1996)
						11305 - 12536	99.8	
	-	-	unknown	-	3940 ± 130	3996 - 4037	2.0	Yamasaki et al. (1982) Yamasaki et al. (1982)
						4077 - 4729	92.8	
	-	-	unknown	-	4930 ± 130	4739 - 4740	0.0	Yamasaki et al. (1982) Yamasaki et al. (1982)
						4750 - 4820	5.1	
	-	-	unknown	-	6070 ± 160	5326 - 5402	4.5	Yamasaki et al. (1982) Yamasaki et al. (1982)
						5446 - 5930	95.5	
	-	-	unknown	-	8170 ± 210	6551 - 7309	100.0	Yamasaki et al. (1982) Yamasaki et al. (1982)
						8582 - 9535	100.0	
-	-	unknown	-	9370 ± 220	9959 - 9987	0.4	Yamasaki et al. (1982) Yamasaki et al. (1982)	
					10042 - 10056	0.2		
-	-	unknown	-	10460 ± 170	10150 - 11238	99.4	Yamasaki et al. (1982) Yamasaki et al. (1982)	
					11768 - 12711	100.0		
-	-	unknown	-	11060 ± 190	12662 - 13292	100.0	Yamasaki et al. (1982) Yamasaki et al. (1982)	
					10869 - 10949	1.5		
-	-	unknown	-	10000 ± 200	11072 - 12247	96.1	Yamasaki et al. (1982) Yamasaki et al. (1982)	
					12263 - 12385	2.3		
site c	-	-0.46~-0.76	peat	-	6280 ± 140	6801 - 6814	0.6	Matsushima (1982) Matsushima (1982)
						6846 - 7442	99.3	
	-	-11.41~-11.71	organic sediment	-	7340 ± 490	7452 - 7456	0.2	Matsushima (1982) Matsushima (1982)
						7273 - 9313	99.5	
						9359 - 9397	0.5	



第 4 図 M3 コアの珪藻分析結果。コア掘削地点は第 1 図を参照。
 Fig. 4 Diagram of diatom fossil assemblages of M3 core.
 Location of the M3 core is shown in Fig. 1.

混入し、有機質な層相を呈する。これらの有機物試料からは、深度 7.3 ~ 7.4 m の木片から 6,001-6,262 cal BP、深度 7.4 ~ 7.5 m の炭化物から 6,005-6,275 cal BP、深度 9.4 ~ 9.5 m の木片から 6,789-6,951 cal BP の年代測定値が得られた。また、深度 14.38 ~ 15.77 m および深度 24.45 ~ 25.00 m には貝殻片の混入が認められ、深度 15.11 ~ 15.20 m からは潮間帯泥底に生息するウミニナの仲間 *Batillaria* sp., 深度 15.31 ~ 15.40 m からは潮間帯下部~水深 20m の内湾砂泥底に生息するヒメカノコアサリ *Veremolpa micra* (Pilsbry) と潮間帯中部~水深 10 m の砂礫泥底に生息するアサリ *Ruditapes cf. philippinarum* (Adams & Reeve) が産出した。これらのうち、深度 15.11 ~ 15.20 m のウミニナの仲間 *Batillaria* sp. からは 7,833-7,978 cal BP の年代測定値が得られた。また、深度 10.70 m 以深では火山ガラスがほとんど含有されないのに対し、深度 10.30 ~ 10.60 m では少量のバブルウォール型火山ガラスを含む。この火山ガラスの産出状況と上述した年代測定値を考慮し、深度 10.30 ~ 10.60 m 付近に K-Ah の降灰層準があると見なした。

分析結果

珪藻分析結果を第 4 図に示す。このコアは珪藻化石群集の変遷から、計 4 帯の珪藻帯（下位から順に M3-1 ~ 4 帯）に区分することができる。

珪藻帯 M3-1(深度 14.71 ~ 24.80 m) : 汽水~海水生種が多く産出することで特徴付けられる。下部（深度 21.41 ~ 24.80 m）では外洋指標種の *Thalassiosira* sp., 内湾指標種の *Cyclotella striata*, 海水藻場指標種の *Cocconeis scutellum* が 5 ~ 7% 程度を占める。また、淡水~汽水生種や淡水生種も多く認められ、特に中~下流性河川指標種の *Achnanthes lanceolata* や最下流性河川指標種の *Nitzschia frustulum* が 5 ~ 10% 程度産出する。上位（深度

14.71 ~ 15.40 m) では、上述した汽水~海水生種に加えて海水砂質干潟指標種の *Rhaphoneis surirella* や海水泥質干潟指標種の *Tryblionella granulata* がそれぞれ 2 ~ 16%, 1 ~ 3% 程度産出する。これらの珪藻群集から海水と淡水が混合することが示唆され、砂層や砂礫層が堆積することも考慮すると、本珪藻帯は河川河口部（エスチュアリー）の潮下~潮間帯で堆積したと推定される。深度 15.40 m では干潟の指標種が増加することや産出する貝化石から、深度 15.40 m 以浅は潮間帯の干潟堆積物と推定される。

珪藻帯 M3-2 (深度 8.71 ~ 13.10 m) : 外洋指標種の *Thalassiosira* sp., 内湾指標種の *C. striata* の産出頻度が低下し、淡水生種が増加することで特徴付けられる。全体として淡水生種の *A. lanceolata*, *Cocconeis placentula*, *Navicula* 属がそれぞれ 5 ~ 15% と多く産出し、*Gomphonema parvulum*, *Fragilaria* 属, *Navicula contenta* などを 5% 程度伴う。また、*N. frustulum* も 5 ~ 10% 程度産出する。下部 (深度 12.61 ~ 13.10 m) では *Eunotia minor*, *Eunotia bilunaris* が多く産出する。上部 (深度 8.71 ~ 11.10 m) では *Cymbella* 属が多産する。珪藻帯 M3-1 と同様に、中~下流性河川指標種の *A. lanceolata* や最下流性河川指標種の *N. frustulum* が多産すること、わずかながら汽水~海水生種が産出することから、河川下流部であったと推定されるものの、止水域に特徴的な *Cymbella* 属や *Eunotia* 属, *G. parvulum* などが多産することは潮汐の影響が減少して塩分が低下したことを示唆する。

珪藻帯 M3-3 (深度 7.81 ~ 8.70 m) : 汽水~海水生種、特に海水泥質干潟指標種の *T. granulata* の多産によって特徴付けられる。*T. granulata* は珪藻帯中部で特に大きな産出頻度を示す。また、海水泥質干潟指標種の *Diploneis smithii* や *Nitzschia cocconeiformis* が 5% 程度産出する。珪藻帯下部では汽水~海水生種の *Staurosira construens* が優占的に産出する。また、珪藻帯上部では汽水~海水生種の *Rhopalodia gibberula* や淡水生種の *Cocconeis placentula* が増加傾向を示す。海水泥質干潟指標種が多く産出することから、潮汐の影響が強まって干潟が形成されたと推定される。

珪藻帯 M3-4 (深度 7.21 ~ 7.80 m) : 淡水生種の多産によって特徴付けられ、*G. parvulum*, *A. lanceolata*, *Pinnularia* 属, *Nitzschia amphibia* などが 5 ~ 20% 程度、*E. minor* や *E. bilunaris* が 5% 程度と多く産出する。一方で、*T. granulata* などの汽水~海水生種は

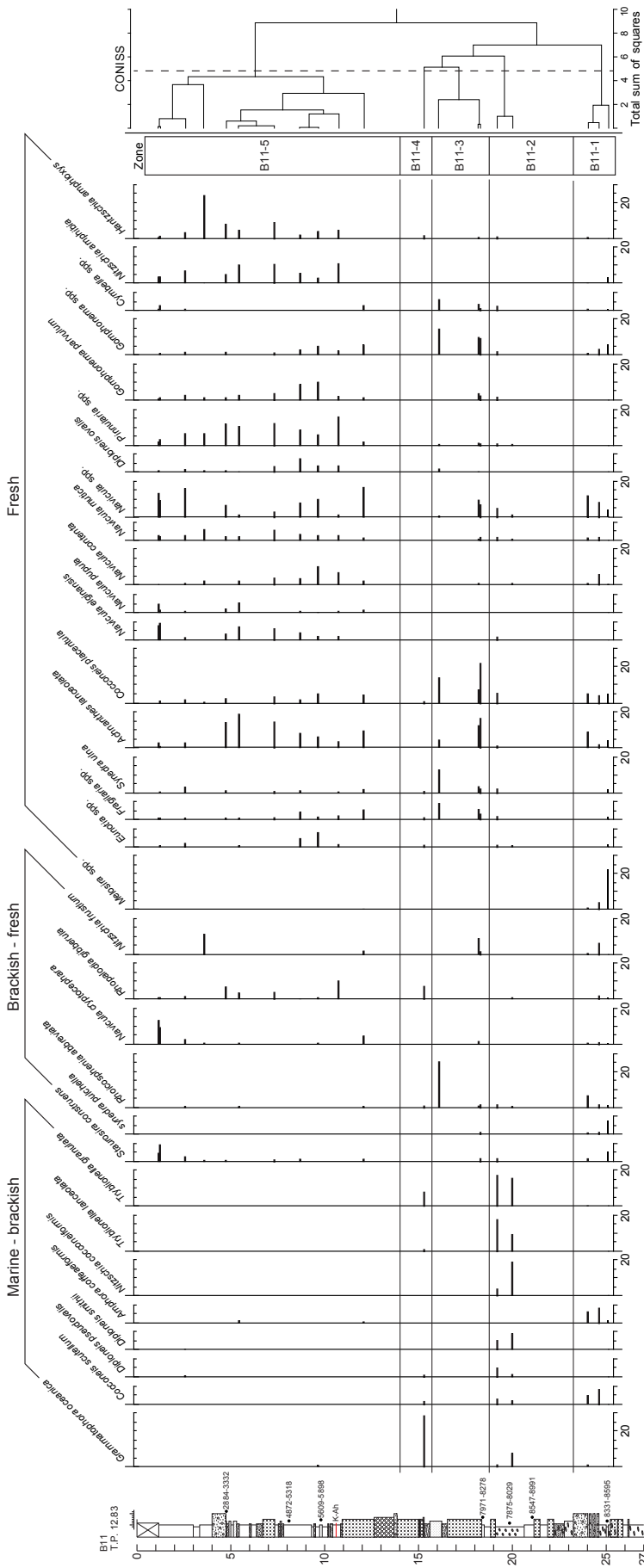
ほとんど産出しなくなる。汽水~海水生種の *N. frustulum* と *Bacillaria plaxilifer* を 3 ~ 5% 程度伴う。淡水生種の優占的産出は海水の影響が減少したことを示し、淡水湿地が形成されたと推定される。中~下流性河川指標種の *A. lanceolata* や最下流性河川指標種の *N. frustulum* を伴うことから、河川下流部あるいはその近傍に位置していた可能性が高い。

② B11 コア

コア概要

このコアは地質調査所により 1995 年に掘削された掘削長 50 m のコアで、GS-ASG-3 コアの約 600 m 北東に位置する (水野ほか, 1996; 第 1 図)。掘削地点の標高は 12.83 m である。このコアでは深度 25.11 m 以浅の堆積物について珪藻分析を行った。分析用試料は掘削当時にコアから分取された既存サンプルを用いた。

B11 コアの柱状図 (深度 27 m 以浅) を第 5 図に示す。深度 0.00 ~ 1.16 m は埋土である。深度 1.16 ~ 4.00 m は ϕ 2 ~ 20 mm の角礫の混じる有機質シルト層からなる。深度 4.00 ~ 4.74 m は ϕ 10 ~ 30 mm の垂円~垂角礫を主体とし、最大で ϕ 60 mm 以上の礫を含む粘土・シルト混じりの礫層からなる。深度 4.74 ~ 10.85 m はシルト質細粒砂層と粘土~シルト層の互層からなり、全体として有機質な層相を呈する。細粒砂層と粘土~シルト層中には、ところどころ ϕ 2 ~ 25 mm の垂円~垂角礫が混じる。この地層の最上部 (詳細深度と測定試料の種類は不明) からは、2,884-3,332 cal BP (2,940 \pm 70 yr BP) の年代測定値が得られている (水野ほか, 1996)。また、深度 8.10 ~ 8.15 m の泥炭は 5,609-5,898 cal BP の年代測定値を示す (水野ほか, 1996)。また、この地層下部 (深度 10.61 m) の粘土~シルト層中にはバブルウォール型火山ガラスを多く含む極細粒砂の薄層が挟在し、その屈折率が 1.5115 ~ 1.5135 を示すことから、K-Ah テフラの降灰層準であると考えられる (水野ほか, 1996)。深度 10.85 ~ 15.30 m は中粒~粗粒砂からなる砂層で、ところどころ ϕ 2 ~ 6 mm 程度、最大 22 mm の垂円~垂角礫が混じる。深度 15.30 ~ 16.40 m はシルト質砂層でやや細粒な層相を呈し、深度 15.60 ~ 16.24 m は細粒砂と砂質シルトの互層からなる。深度 16.24 ~ 18.37 m は中粒砂を主体とする砂層で、最下部 (詳細深度と測定試料の種類は不



第 5 図 B11 コアの珪藻分析結果. コア掘削地点は第 1 図を参照.
 Fig. 5 Diagram of diatom fossil assemblages of B11 core.
 Location of the B11 core is shown in Fig. 1.

明)からは 7,971-8,278 cal BP (7,290 ± 60 yr BP) の年代測定値が得られている (水野ほか, 1996). 深度 18.37 ~ 21.86 m は貝化石混じりの粘土~粘土質シルトを主体とし, 深度 18.84 ~ 19.10 m および深度 21.15 ~ 21.47 m には中粒砂層が挟在する. この地層中からは, 深度 19.40 ~ 19.50 m および深度 19.80 ~ 19.90 m から内湾潮間帯・泥底に生息するシオヤガイ *Anomalocardia squamosa* (Linnaeus), 深度 19.90 ~ 20.00 m からシオヤガイ *A. squamosa* (Linnaeus) と潮間帯中~下部の泥底に生息するイボウミナ *Batillaria zonalis* (Bruguere) が産出した. これらうち, 深度 19.80 ~ 19.90 m のシオヤガイ *A. squamosa* (Linnaeus) から 7,875-8,029 cal BP の年代測定値が得られた. 深度 21.86 ~ 27.00 m は φ 2 ~ 6 mm 程度の垂円~垂角礫混じりのシルトである. この地層中の深度 25.00 ~ 25.11 m から産出した木片は 8,331-8,595 cal BP の年代測定値を示した.

分析結果

珪藻分析結果を第 5 図に示す. このコアは珪藻化石群集の変遷から, 計 5 帯の珪藻帯 (下位から順に B11-1 ~ 5 帯) に区分することができる.

珪藻帯 B11-1 (深度 24.02 ~ 25.22 m): 中~下流性河川指標種の *Melosira varians*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Achnanthes lanceolata* が多産することで特徴付けられる. それぞれ最大 10~20% 程度の産出頻度を示す. 上部では汽水~海水生種の *Cocconeis scutellum* や *Amphora coffeaeformis* も 5% 程度産出する. これらの珪藻群集は, 本珪藻帯が河川下流部の河口で堆積したことを示す. 上部で汽水~海水生種が増加することから, 海水の影響が徐々に強まっていったことが示唆される.

珪藻帯 B11-2 (深度 19.2 ~ 20.10 m): 本珪藻帯は汽水~海水生種の多産によって特徴付けられる. 特に, 海水泥質干潟

指標種の *Tryblionella granulata* や *Diploneis smithii*, *Nitzschia cocconeiformis* がそれぞれ最大で 10～20% 程度の産出頻度を示す。これらの珪藻種は本珪藻帯が潮間帯干潟堆積物であることを示す。これは、含有する貝化石の生息環境とも整合的である。

珪藻帯 B11-3 (深度 16.10～18.37 m)：淡水生種が優占的に産出することで特徴付けられる。中～下流性河川指標種の *A. lanceolata* が最大で 15% 程度、淡水生付着性種の *Synedra ulna* や *Fragilaria* 属, *Cocconeis placentula*, *Gomphonema* 属, *Cymbella* 属をそれぞれ 5～20% 程度産出する。以上の特徴から、本珪藻帯は淡水環境で堆積したことが示唆される。中～下流性河川指標種を多く含むことや細粒～中粒砂の砂質堆積物が堆積することから、河川の影響を強く受けたと推定され、河川下流部の後背湿地などで堆積したと考えられる。

珪藻帯 B11-4 (深度 15.30～15.45 m)：本珪藻帯は珪藻化石の保存状態が悪く珪藻殻数が 200 殻未満であるものの、淡水生種がほとんど産出せず、汽水～海水生種の *Grammatophora oceanica* や *T. granulata* が優占的に産出する。また、淡水～汽水生種の *Rhopalodia gibberula* も 7% 程度伴う。これらの特徴から、潮汐の影響を再び受けるようになって干潟が形成された可能性が考えられる。

珪藻帯 B11-5 (深度 1.16～12.20 m)：淡水生種が優占的に産出することで特徴付けられる。特に、陸域指標種である *Navicula contenta*, *Navicula mutica* および *Hantzschia amphioxys* が多産する。また、中～下流性河川指標種の *A. lanceolata* も 5～20% 程度産出する。これらから河川下流部の後背湿地の堆積物と推定され、珪藻帯 B11-4 よりも乾燥した陸域環境であったと考えられる。

(3) イベント履歴についての検討

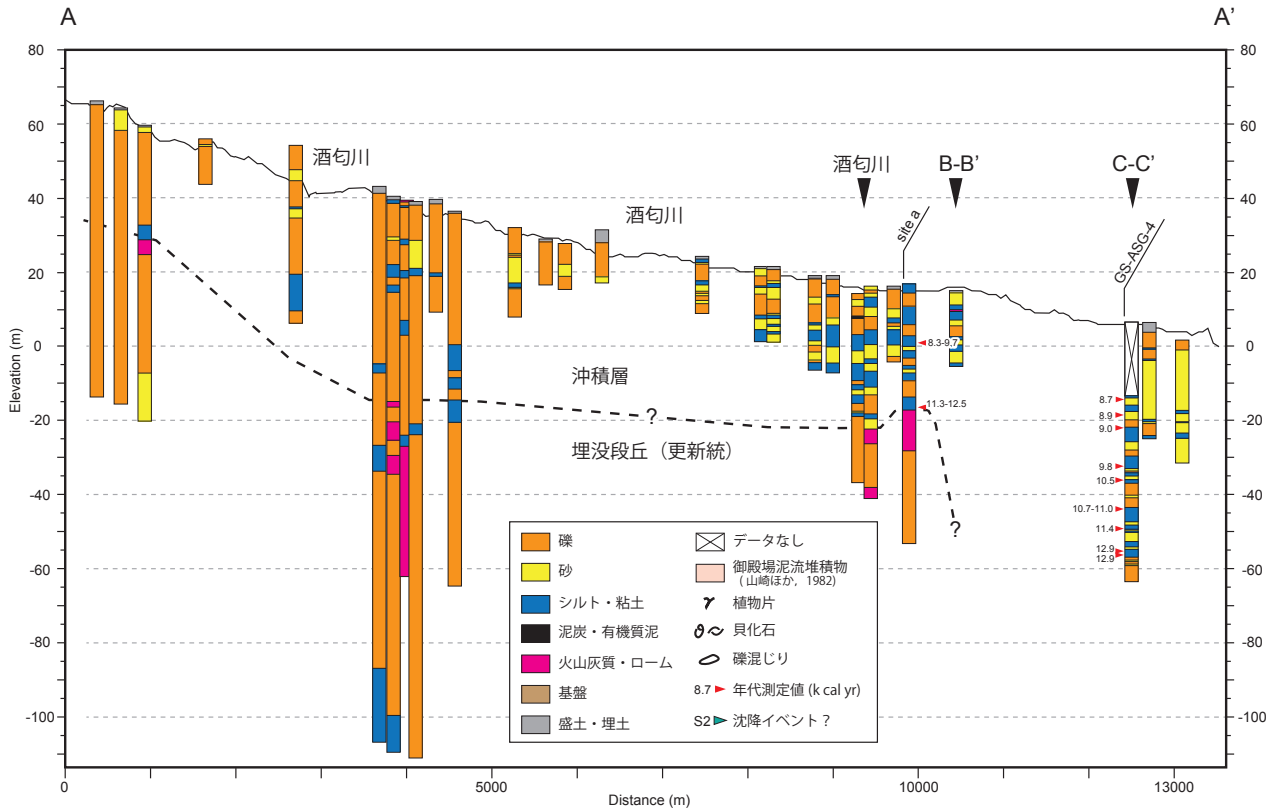
M3 コアおよび B11 コアでは、どちらもおよそ 8,000 cal BP に淡水環境が成立している (珪藻帯 M3-2, B11-3)。地殻変動の影響が比較的小さいとされる東京低地で復元された海水準変動曲線 (遠藤ほか, 1989; 田辺ほか, 2012) によれば、後氷期の海水準変動曲線は 7,000 cal BP 頃にピークに達した。M3, B11 両コアでの淡水環境の成立はこのピークよりも有意に古い。これは、海水準上昇速度の鈍化に伴って、海水準上昇に伴う堆積空間の拡大に比べて河川からの

土砂供給の影響が相対的に大きくなり、海退に転じたためと推定される (斎藤, 2006)。

しかし、海退に転じた 8,000 cal BP 以降には、少なくとも 2 回、一時的に淡水環境から汽水～海水環境への環境変化が生じたことが確認された。これらの環境変化は、K-Ah テフラの降灰層準を挟んで明瞭に区別され、降灰前後にそれぞれ 1 回生じている。以下では、それぞれ下位から順に S1 層準, S2 層準と呼ぶ。これらの環境変化は国府津—松田断層の活動に起因する可能性がある。

S1 層準は B11 コアで認められ、K-Ah テフラ降灰前に淡水環境 (おそらく河川下流部の後背湿地) から汽水～海水環境に変化した。¹⁴C 年代測定値も考慮すると、この環境変化は 7,300～8,000 cal BP 頃に生じたと考えられる。この時期は依然として海水準が上昇していた時期にあたるため (遠藤ほか, 1989; 田辺ほか, 2012)、環境変化の要因として、河道変化による土砂供給量の減少などの局地的な現象によって湿地が沈水した可能性もある。他方、大磯丘陵内に位置する中村原低地では、縄文海進によって拡大した湾が K-Ah テフラ降灰よりも前 (6,500 yr BP, 7,400～7,500 cal BP 頃) に閉塞されて潟湖が形成されたこととされ、この要因として国府津—松田断層の活動による隆起 (大磯型地震) の可能性が指摘されている (松島・新井, 2003)。この指摘が正しいならば、この時、足柄平野では地盤の沈降が生じたことになり、B11 コアで見られた淡水環境から汽水～海水環境への変化がこれに対比される可能性が考えられる。なお、M3 コアでは B11 コアと同様に 8,000 cal BP 頃以降に淡水環境が形成されたこと (珪藻帯 M3-2) が示唆されたが、粗粒な堆積物が多いために珪藻化石の保存状態が悪い層準も多く、対応する環境変化は検出できていない。

他方、S2 層準は M3 コアで認められ、K-Ah テフラ後に潮間帯干潟が再形成されたことが示唆された。この環境変化は、得られた ¹⁴C 年代測定値から 6,200～6,800 cal BP 頃に生じたと考えられる。この年代は縄文海進高頂期とその後の緩やかに海水準が低下していく時期にあたり、地殻変動以外の要因で海水準が急激に上昇したとは考えにくい。中村原低地内の羽根尾貝塚遺跡では、淡水湖沼堆積物中に周辺の丘陵を構成するシルト岩の礫などを含む粗粒層が挟在し、地震などに伴う斜面崩壊によって供給された可能性が指摘さ



第 6 図 足柄平野の地質断面図 (A-A' 断面)。測線位置は第 1 図を参照。地形面は国土地理院の 50 mDEM に基づく。地点 a の資料は水野ほか (1996) による。

Fig. 6 Geologic section in Ashigara Plain (A-A' section). Location of the section is shown in Fig. 1.

Topography is based on the 50 m digital elevation model of the Geographic Survey of Japan. Geologic columnar of site a is based on Mizuno et al. (1996).

れている (玉川文化財研究所, 2003)。¹⁴C 年代測定値から斜面崩壊は 5,300 ~ 5,500 yr BP 頃 (6,000 ~ 6,400 cal BP 頃) に生じたと考えられており (玉川文化財研究所, 2003), M3 コアの環境変化に対応する可能性がある。なお, B11 コアでは K-Ah テフラ層準上位に, 対応する環境変化が認められなかった。これは B11 コアが M3 コアに比べて内陸側に位置しているため, 沈降に伴う海水流入の影響を受けにくかったためと推定される。

これら K-Ah テフラ降灰前後の堆積環境変化については, 両コアが K-Ah テフラ層準付近に粗粒堆積物を含むことから, 環境復元の時間的な連続性に問題がある。山崎・水野 (1999) が報告した 3,000 年前頃 (KgP テフラ以降御殿場泥流堆積以前) の沈降については, 珪藻化石の保存状態が悪く検出できなかった。これらのコアの中間で採取した GS-ASG-3 コアは, まだ珪藻分析を行っていないが, 両コアに比べて細粒な堆積物が多く, 微化石分析や堆積相の特徴を手がかりとして K-Ah テフラ前後の環境変化をより高い精度で検討できると考えられる。

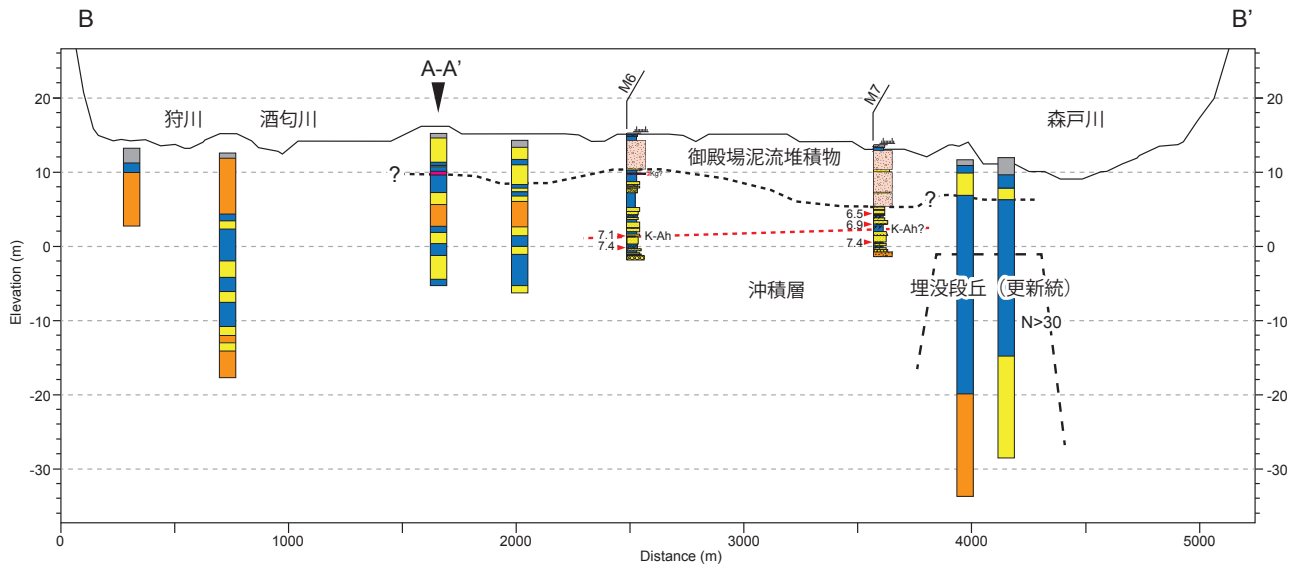
3. ボーリングデータの収集

(1) 方法

足柄平野内の既存ボーリング柱状図資料を収集し, 地下地質について検討した。既存資料は公的施設の建築工事や深井戸設置に伴う地質調査データなどを中心に, 神奈川県, 小田原市, 開成町, 南足柄市, 大井町から計 274 点を提供して頂いた。これらのデータのうち, 掘削地点が近接するものや掘削深度が短い (数 m 未満) のものを除外し, 計 100 点分について電子ファイル (XML 形式) 化した。また, 国土情報検索サイト「KuniJiban」(土木研究所, 2015) から計 31 点, かながわ地質情報 MAP (神奈川県都市整備技術センター, 2015) から計 551 点の既存ボーリングデータ (XML 形式) を収集した。

(2) 結果

収集したデータから, ボーリング柱状図解析システム (木村, 2011) を用いて, A-A' ~ C-C' の計 3 測線で地質断面図を作成した。測線位置を第 1 図に, 断



第7図 足柄平野の地質断面図 (B-B' 断面). 凡例は第6図と共通する. 測線位置は第1図を参照. 地形面は国土地理院の50 mDEMに基づく. M6 および M7 コアは山崎ほか (1991) による掘削コア.

Fig. 7 Geologic section in Ashigara Plain (B-B' section). Legend symbols are same as Fig. 6. Location of the section is shown in Fig. 1. Topography is based on the 50 m digital elevation model of the Geographic Survey of Japan. M6 and M7 cores were drilled by Yamazaki et al. (1991).

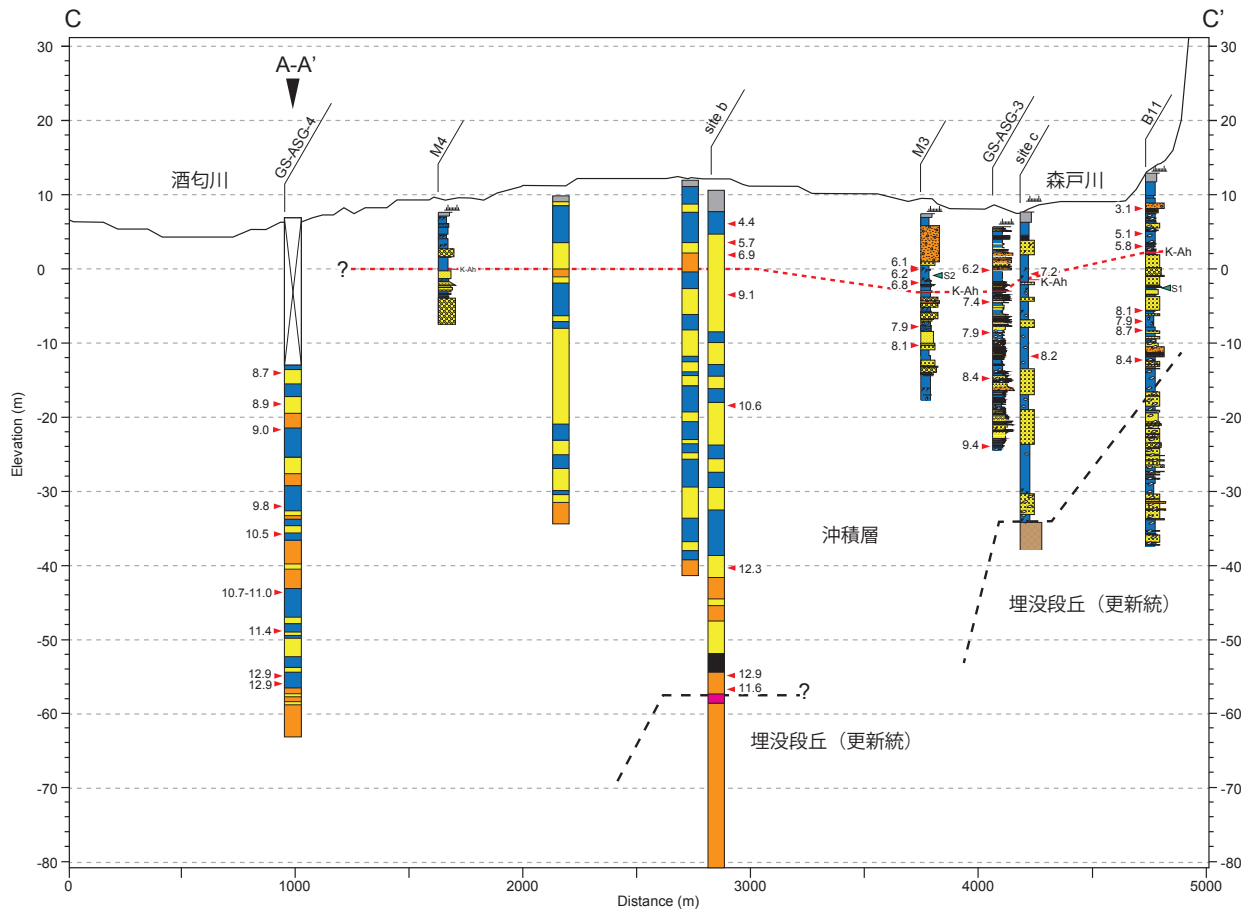
面図を第6～8図に示す. これらの断面図には, 本研究で新規に掘削したGS-ASG-3およびGS-ASG-4コアと, 既存研究で報告されたボーリング柱状図 (地点b: 山崎ほか, 1982; M3, 4, 6, 7コア: 山崎ほか, 1992; 地点c: 松島, 1982; 地点a, B11コア: 水野ほか, 1996) も併せて掲載した. なお, 地点aについては測線上に直交投影して示した.

平野を南北方向に縦断する測線 (A-A' 断面) では, 火山灰質泥層やローム層を手がかりとして埋没段丘が認められた. 埋没段丘面の頂部は, 平野北部で標高+25 m付近, 中部では標高-15～-20 m付近に位置する. これは小沢ほか (1982) や山崎 (1994) が指摘した酒匂川左岸の埋没段丘面 (酒匂埋没段丘; 山崎, 1994) や川音川と酒匂川の開析谷に挟まれた埋没段丘面の分布と整合的である. 埋没酒匂段丘は平野中部での傾斜が北側に比べて極めて小さい. 一方, 平野南部 (地点aよりも南側) では山崎ほか (1982) が標高-60 m付近に立川ロームと推定されるスコリア層を見出し, 埋没段丘面 (鴨宮埋没段丘; 山崎, 1994) を示した. A-A' 断面およびC-C' 断面を参照すると, GS-ASG-3 コアは鴨宮埋没段丘面よりも深くまでコアが得られているが, ローム層やスコリア層は確認できなかった. このことは沖積層基底がさらに深くに位置していることを示しており, GS-ASG-3 コアが酒匂川の開析谷に位置する可能性を示唆する. なお, B-B' 断面の東部にはN値20以上の凝灰質シルトが標高0 m付近

より下位に認められ, 山崎 (1994) などが示した千代台地から続く埋没面に対比されると考えられる. また, C-C' 断面の地点cの標高-35 m付近には基盤 (凝灰質泥岩) の高まりが認められるが, これが側方どのように続くのかは明らかでない.

これらの埋没段丘を覆って沖積層が堆積している. その層厚は平野北部で約30 m, 中部で40～50 m, 南部で70 m以上と推定される. 北部は礫層を主体とし層相変化に乏しいのに対し, 中～南部では泥層と砂礫層の互層から構成される. 平野南部に見られる泥層は, GS-ASG-4 コアなど酒匂川沿いの西側では貝化石を含まず腐植物や植物片が混入することから陸域で堆積した可能性が高い. 一方, 東側の森戸川沿いでは, 上述したように, GS-ASG-3 コアや地点b, M3 コア, B11 コアなどで内湾潮間帯などに生息する貝化石が産出することや珪藻分析から海成層を含むと考えられる. C-C' 断面における海成層上限高度はおおよそ標高-6 m付近で, これより上位は, 前章で詳述したS1層準およびS2層準を除き, 陸成層と推定される.

コア試料中に含まれる火山ガラスの有無と形態について, 極細粒砂サイズの粒子を抽出して簡易的に確認した結果, 陸成層中の標高0 m付近にバブルウォール型火山ガラスを多く含む層準が側方に連続性良く追跡できることが明らかになった (第7図, 第8図). この火山ガラスは, 周辺で得られた年代測定値からK-Ah起源であると考えられる. 火山ガラス含有層準



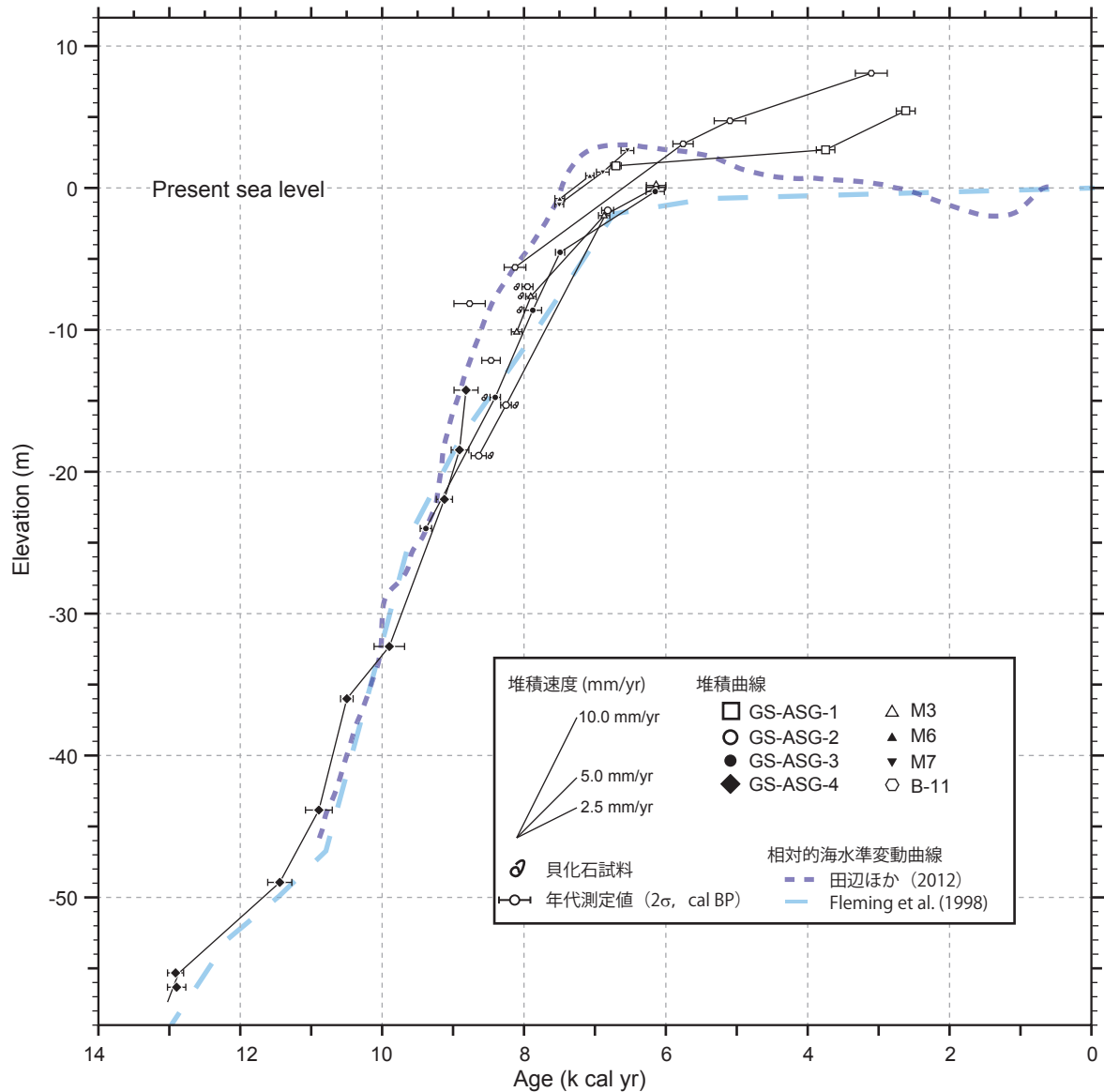
第 8 図 足柄平野の地質断面図 (C-C' 断面)。凡例は第 6 図と共通する。測線位置は第 1 図を参照。地形面は国土地理院の 50 mDEM に基づく。既存コア資料のうち地点 b は山崎ほか (1982)，地点 c は松島 (1982)，B11 コアは水野ほか (1996) にそれぞれよる。M 3 および M 4 コアは山崎ほか (1991) による掘削コア。

Fig. 8 Geologic section in Ashigara Plain (C-C' section). Legend symbols are same as Fig. 6. Location of the section is shown in Fig. 1. Topography is based on the 50 m digital elevation model of the Geographic Survey of Japan. Geologic columnar of present cores are based on following references; site b: Yamazaki et al. (1982), site c: Matsushima (1982), B11 core: Mizuno et al. (1996). M3 and M4 cores were drilled by Yamazaki et al. (1991).

の分布を細かく見ると、M4、M6、M7 および B11 コアでは標高 0 ~ 2 m 付近に認められるのに対して、M3、GS-ASG-3 コアと地点 c では標高 -2 ~ -3 m の低位に位置する。地点 b の年代測定値 (山崎ほか, 1982) を考慮すると、後者 3 地点では凹地状に K-Ah 層準が低まっている可能性が高い。これは K-Ah テフラ降灰時の標高差に起因する可能性も考えられるが、S2 層準などの沈降イベントの存在が示唆されたことも考慮すると、国府津-松田断層の活動による沖積層の変形を示している可能性もある。

新規に掘削したコア (GS-ASG-1 ~ 4) と既存コア (山崎ほか, 1992; 水野ほか, 1996) の堆積曲線を第 9 図に示す。各年代測定値の詳細は表 1 に示す。足柄平野の沖積層の堆積速度は、11 ka 頃と 8 ka 頃を境として大きく 3 期に区分できる。11 ~ 13 ka は GS-ASG-4 コアで開析谷を埋積する河川堆積物 (礫層) を覆って泥層~砂層が堆積した時期で、その堆積速度は

4.3 mm/yr と見積もられ、11 ka 以降に比べて小さい。Fleming et al. (1998) や田辺ほか (2012) の海水準変動曲線によれば、この時期は新ドリラス期 (11.5 ~ 12.8 ka) の海水準上昇速度が鈍化した時期と重複する。同時期には東京低地や越後平野などでも堆積速度の低下が指摘されており (石綿, 2004; Tanabe et al., 2010)、足柄平野でも海水準上昇速度の低下の影響が河川堆積物の累重に影響を与えた可能性がある。また、13 ka 以降になると鴨宮埋没段丘や酒匂埋没段丘のローム上に沖積層が堆積し始めることから (山崎ほか, 1982; 水野ほか 1996)、海水準上昇とそれに伴う開析谷の埋積によって埋没段丘上まで河川の堆積場が拡大したことで堆積空間が急激に増加し、堆積速度が低下した可能性もある。その後、8 ~ 11 ka では堆積速度が極めて大きくなり、11.7 mm/yr (3,000 年間に約 35 m) と見積もられる。この時期の堆積曲線はいずれのコアでも海水準変動曲線とほぼ平行して



第9図 GS-ASG-1～4および既存コア (M3, M4, M6, M7, B11) の堆積曲線. M3, M4, M6, M7 は山崎ほか (1991), B11 は水野ほか (1996) により掘削されたコア. 各コアの掘削地点を第1図に, 各年代測定結果を第1表に示す. 海水準変動曲線は Fleming et al. (1998) と田辺ほか (2012) による.

Fig. 9 Estimated accumulation curves of GS-ASG-1 to 4 cores and present cores. Locations of cores are shown in Fig. 1. M3, M4, M6 and M7 cores were obtained by Yamazaki et al. (1991). B11 core was drilled by Mizuno et al. (1996). All of radiocarbon ages are shown in Table 1. Relative sea-level curves are based on Fleming et al. (1998) and Tanabe et al. (2012).

推移しており, 海水準上昇によって生じた堆積空間が河川からの土砂供給によってすぐに埋積され, 堆積物が上方に累重していったことを示している. GS-ASG-3 コアや M3 コア, B11 コアで見られた海成層は珪藻化石や貝化石などから潮間帯干潟堆積物と推定され, 海水準上昇によって海域が拡大してもその水深は大きくなかったと考えられる. 8 ka 以降は再び堆積速度が低下し, おおよそ 1.2 ~ 3.5 mm/yr と見積もられる. これは海水準上昇速度が鈍化・停滞したためと推定される.

謝辞

本研究を遂行するにあたり, ボーリング調査地の地権者並びに管理者の方々には, 調査用地の借用について快諾して頂いた. GS-ASG-4 コアの掘削では, 神奈川県流域下水道整備事務所の平田 誠氏に用地の借用などについて便宜を図って頂いた. 小田原市検査室, 小田原市教育委員会, 南足柄市管財契約検査課, 南足柄市上下水道課, 南足柄市教育総務課, 南足柄市総務課, 開成町教育委員会, 開成町上下水道課, 開成町街づくり推進課, 開成町財務課, 大井町教育総務課, 大

井町生活環境課, 大井町総務安全課, 神奈川県教育委員会の方々には, ボーリング柱状図資料や土質試料を提供して頂いた。産業技術総合研究所地質情報研究部門の中島 礼博士には貝化石の同定をして頂いた。また, 同部門の和田明美氏, 成島孝子氏には既存ボーリング柱状図資料の電子ファイル化をして頂いた。以上の方々に深く感謝申し上げます。

文献

- 安藤一男 (1990) 淡水産珪藻による環境指標種群の設定と古環境復元への応用. 東北地理 42, 73-88.
- 千葉 崇・澤井祐紀 (2014) 環境指標種群の再検討と更新. Diatom (珪藻学会誌), 30, 別冊, 17-30.
- 土木研究所 (2015) 国土情報検索サイト「Kuni Jiban」<http://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/> (参照日: 2015年3月27日).
- 遠藤邦彦・小杉正人・松下まり子・宮地直道・菱田 量・高野 司 (1989) 千葉県古流山湾周辺域における完新世の環境変遷史とその意義. 第四紀研究, 28, 61-77.
- Fleming, K., Johnson, P., Zwartz, D., Yokoyama, Y., Lambeck, K. and Chappell, J. (1998) Refining the eustatic sea-level curve since the Last Glacial Maximum using far- and intermediate-field sites. Earth and Planetary Science Letters, 163, 1-4, 327-342.
- 石山達也・東郷正美・今泉俊文・鈴木毅彦・宮内崇裕 (2011) 国府津一松田断層における群列ボーリング調査. 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所「神縄・国府津一松田断層帯における重点的な調査観測平成 22 年度成果報告書」, 115-122
- 石綿しげ子 (2004) 東京湾北部沿岸域の沖積層と堆積環境. 第四紀研究, 43, 4, 297-310.
- 地震調査研究推進本部 (2009) 『神縄・国府津一松田断層帯の長期評価の一部改訂について』.http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09jun_kannawa/index.htm
- 神奈川県 (2003) 『平成 14 年度地震関係基礎調査交付金 神奈川県活断層調査事業神縄・国府津一松田断層帯に関する調査成果報告書』. 78p
- 神奈川県 (2004) 『平成 15 年度地震関係基礎調査交付金 神縄・国府津一松田断層帯に関する成果報告書』. 76p.
- 神奈川県都市整備技術センター (2015) 「かながわ地質情報 MAP」.<http://www.toshiseibi-boring.jp/> (参照日: 2015年3月27日).
- 活断層研究会 (1991) 『新編日本の活断層一分布図と資料一』東京大学出版会. 437p.
- 木村克己 (2011) ボーリングデータ処理システムの公開. 産業技術総合研究所 TODAY, 11, no.1, 19.
- 小林 弘・出井雅彦・真山茂樹・南雲 保・長田敬五 (2006) 『小林弘珪藻図鑑第 1 巻』. 531p. 内田老鶴圃.
- 小杉正人 (1988) 珪藻の環境指標種群の設定と古環境復元への応用. 第四紀研究, 27, 1-20.
- 小杉正人 (1993) 珪藻. 日本第四紀学会編. 『第四紀試料分析法』, 東京大学出版会, 19-26.
- 町田 洋 (1964) Tephrochronology による富士山とその周辺地域の発達史 (その 2). 地学雑誌, 73, 337-350.
- 町田 洋 (1977) 『火山灰は語る』蒼樹書房. 324p.
- 町田 洋・新井房夫 (2003) 『新編火山灰アトラス』東京大学出版会. 336p.
- 丸山 正・斎藤 勝 (2008) 神奈川県西部, 国府津一松田断層の活動性調査. 活断層・古地震研究報告, 8, 133-162.
- 松田時彦 (1985) 大礫型地震について. 月刊地球, 7, 8, 472-477.
- 松島義章 (1982) 相模湾北岸, 足柄平野における沖積層の ^{14}C 年代とそれに関する問題. 第四紀研究, 20-4, 319-323.
- 松島義章・新井房夫 (2003) 小田原市羽根尾工業団地造成地内で出現した完新統下原層の貝化石について. 玉川文化財研究所編『羽根尾貝塚』, 400-408.
- 宮内崇裕・池田安隆・今泉俊文・佐藤比呂志・東郷正美 (2008) 1:25,000 都市圏活断層図「秦野」. 国土地理院技術資料 D・1 -No.502.
- 水野清秀・山崎晴雄・下川浩一・佐竹健治・井村隆介・吉岡敏和 (1996) 「平成 7 年度活断層調査研究報告 No.28 国府津一松田断層のボーリング, 物理探査等による総合地質調査. 地質調査研究資料

- 集 No.252」. 69p (+15p+ 付図 2 枚).
- 小沢 清・萩野喜作・横山尚秀 (1982) 足柄平野の地質 (その 1). 神奈川県温泉地学研究所報告, 13 (5), 83-90.
- Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Ramsey, C. B., Buck, C. E., Cheng, H., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hafliðsson, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T., Hoffmann, D. L., Hogg, A., Hughen, K. A., Kaiser, K., Kromer, B., Manning, S. W., Niu, M., Reimer, R., Richards, D. A., Scott, E. M., Southon, J. R., Staff, R. A., Turney, C. and Plicht, J. (2013) IntCal13 and MARINE13 radiocarbon age calibration curves 0-50000 years calBP. *Radiocarbon*, 55, 1869-1887
- 斎藤文紀 (2006) 沖積層研究の魅力と残された課題. *地質学論集*, 59, 205-212.
- 産業技術総合研究所 (2008) 「活断層の追加・補完調査」. 神縄・国府津－松田断層帯の活動性調査. 成果報告書 No.H19-2, 22p
- Stuiver, M., Reimer, P. J. and Reimer, R. W. (2014) CALIB 7.0 (WWW program and documentation). Available at: <http://calib.qub.ac.uk/calib>. cited in May 29th, 2014.
- 玉川文化財研究所編 (2003) 『羽根尾貝塚』. 玉川文化財研究所, 431p+155 図版.
- Tanabe, S., Nakanishi, T. and Yasui, S. (2010) Relative sea-level change in and around the Younger Dryas inferred from late Quaternary incised-valley fills along the Japan Sea. *Quatern. Sci. Rev.*, 29, 3956-3971.
- 田辺 晋・中島 礼・内田昌男・柴田康行 (2012) 東京低地臨海部の沖積層にみられる湾口砂州の形成機構. *地質学雑誌*, 118, 1, 1-19.
- 山崎晴雄 (1984) 活断層からみた南部フォッサマグナ地域のネオテクトニクス. *第四紀研究*, 23, 129-136.
- 山崎晴雄 (1985) 足柄平野の地質と地殻変動. *月刊地球*, 7, 8, 466-472.
- Yamazaki, H. (1992) Tectonics of a Plate Collision along the Northern Margin of Izu Peninsula, Central Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 43, 10, 603-657.
- 山崎晴雄 (1993) 南関東の地震テクトニクスと国府津・松田断層の活動. *地学雑誌*, 102, 365-373.
- 山崎晴雄 (1994) 開成町とその周辺の地形と地質. 開成町編, 『開成町史 自然編』, 2-100.
- 山崎晴雄・鹿島 薫 (1989) 大磯型地震と国府津・松田断層の活動. *地震学会講演予稿集*, 1, 230.
- 山崎晴雄・水野清秀 (1999) 国府津・松田断層の最新活動史と地震テクトニクス. *第四紀研究*, 38, 6, 447-460.
- 山崎晴雄・垣見俊弘・加藤 完・池田喜代治・高橋 誠・永田松三・伊藤吉助 (1982) 3. プレート北端部の構造運動の調査研究. 科学技術庁研究整備局 『フィリピン海プレート北端部の地震テクトニクスに関する特定総合研究, 中間報告書』, 368-393.
- 山崎晴雄・水野清秀・加藤 完・下川浩一 (1991) 地殻構造及び地殻活動史に関する研究. 科学技術振興調整費「マグニチュード 7 級の内陸地震の予知に関する研究 (第 I 期 昭和 62 年～平成元年度) 成果報告書」, 科学技術庁研究開発局, 79-92.
- 渡辺仁治編 (2005) 『群集解析に基づく汚濁指数 DA_{Ipo}, pH 耐性能』. 淡水珪藻生態図鑑, 内田老鶴圃, 666p.