茨城県筑波台地に分布する中–上部更新統下総層群の層序の再検討

Reexamination on stratigraphy of the Middle to Upper Pleistocene Shimosa Group beneath the Tsukuba Upland, Ibaraki Prefecture, central Japan

Abstract

坂田健太郎* 納谷友規*
本郷美佐緒** 中里裕臣***
中澤 努*

*Kentaro Sakata**, *Tomonori Naya**,
*Misao Hongo***, *Hiroomi Nakazato****
and *Tsutomu Nakazawa**

2017年7月18日受付.

2017年12月4日受理.

* 産業技術総合研究所地質調査総合センター
Geological Survey of Japan, AIST, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan

** 有限会社アルプス調査所
Alps Technical Research Laboratory Co. Ltd., 2287-27 Toyoshina-Takibe, Azumino, Nagano 399-8204, Japan

*** 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門
Institute for Rural Engineering, NARO, 2-1-6 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8609, Japan

Corresponding author: K. Sakata,
sakata-ke@aist.go.jp

The stratigraphy of the Middle to Upper Pleistocene Shimosa Group beneath the Tsukuba Upland area of Ibaraki Prefecture, Kanto Plain, central Japan has been reexamined by performing detailed facies observations and analyzing intercalated tephra layers and fossil pollen assemblages in sediment cores. The Pleistocene deposits in the sediment cores are divided into five depositional cycles, each composed of fluvial and coastal sediments that formed under the influence of glacioeustasy. These cycles are correlated with the Yabu, Kamiizumi, Kiyokawa (Kamiiwahashi), Kioroshi, and Joso formations in ascending order based on the tephro- and palyno-stratigraphy. Of note, the incised valley fill beneath the Tsukuba Upland area, which was previously correlated with the Kamiiwahashi Formation (MIS 7), corresponds to the Kioroshi Formation (MIS 5e). The valley was incised during MIS 6, which was one of the most prominent sea level lowstands of the last 400 ky. The new correlation is consistent with the distribution of equivalent incised valley fills in the Kioroshi Formation beneath the Kanto Plain in Chiba and Saitama prefectures.

Keywords: Shimosa Group, Pleistocene, depositional cycle, incised valley fill, tephrostratigraphy, palynostratigraphy, Tsukuba, Ibaraki

はじめに

中–上部更新統下総層群は関東平野を構成する主要な地層であり、古くから層序学、古生物学、堆積学の研究が行われてきた。特に隆起域に相当する関東平野東南部、房総半島の模式地周辺では下総層群は地表に露出することから露頭調査をベースとした詳細な研究が行われ、堆積サイクルとテフロクロロジーに基づく緻密な層序が構築された(杉原ほか, 1978; 徳橋・遠藤, 1984; 菊地, 1997; 中里・佐藤, 2001 など)。房総半島の下総層群の層序は我が国の中–上部更新統の代表的な層序のひとつとして扱われることが多い。一方、房総半島以外の関東平野に目を向ければ、下総層群相当層の分布は広いものの、多くの地域で調査は不十分である。特に関東平野の内陸部では最上部層を除いて地表に露出することがないため、房総半島の下総層群と同様の精度での層序区分を行うにはボーリングコア試料の詳細な検討が必要となる。このような研究が実施されているのは大宮台地(中澤・中里, 2005; 納谷・安原, 2014)や下総台地北部(中澤・田辺, 2011)など、僅かな地域に限られる。下総層群は首都圏の地盤を構

成する主要な地層であるが、層序がよく理解されているのは極めて限定された地域であるといえる。

茨城県南部の筑波台地(Fig. 1)にも地下浅部に下総層群が分布することが知られている(宇野沢ほか, 1988)。この地域には下総層群上岩橋層とされる谷埋め堆積物が分布する(宇野沢ほか, 1988)。一方、下総層群の模式地を含む房総半島の下総台地や関東平野内陸部の大宮台地では、木下層に谷埋め堆積物が知られている(杉原, 1980 など)。関東平野内陸部の木下層の谷埋め堆積物は、更新統であるにもかかわらず軟弱な泥層を主体とすることから地盤リスクとなりうるものが指摘されている(中澤ほか, 2006, 2015; Nakazawa et al., 2017)。また、その層相は宇野沢ほか(1988)が筑波台地において上岩橋層とした谷埋め堆積物によく似る。このことから筆者らは筑波台地の谷埋め堆積物は上岩橋層ではなく木下層の可能性もあり、より詳細に検討する必要があると考え、ボーリングコアの層相、テフラ、花粉化石群集に基づき層序の再検討を行った。その結果、下総層群模式層序との対比について従来とは大きく異なる結果を得た。本論文では筑波台地で掘削採取された3本のボーリングコア試料にみら

Fig. 1. Maps showing the study area and drill sites. (a) Geomorphological map of the Tsukuba Upland area. (b) Drill sites GS-TS-1, GS-TS-2, and GS-GM-1. The base map is from the Digital Japan Web System by the Geospatial Information Authority of Japan. The location of the buried valley is adapted from Unozawa et al. (1988).

Fig. 2. Summary stratigraphy of the Pleistocene Shimosa Group. The stratigraphic division is adapted from Tokuhashi and Endo (1984). The marine oxygen isotope curve is adapted from Lisiecki and Raymo (2005). Correlation with marine isotope stages (MIS) is based on Nakazato and Sato (2001).

れる層相、テフラ、花粉化石群集の記載をするとともに、下総層群模式層序との対比の再検討結果について報告する。なお、本論文は日本地質学会第123年学術大会講演要旨に載る坂田ほか(2016)の内容をより精査したものである。

既往研究に基づく地質概要

今回検討した筑波台地を含む関東平野の中央部から東—東南部には下総層群が広く分布することが知られている(宇野沢ほか, 1988; 中里, 2008 など)。下総層群の各層は房総半島北部を模式地とし、印西市を模式地とする木下層以外の模式地が集まる木更津—姉崎地域では7層、すなわち下位より地蔵堂層、薮層、上泉層、清川層、横田層、木下層、姉崎層とそれを覆う常総粘土に区分される(徳橋・遠藤, 1984; Fig. 2)。このうち最上部の姉崎層は淡水成(一部汽水成)の泥層および砂、砂礫層のみからなるが、それ以外の下総層群の各層は淡水—汽水成の泥層および砂・砂礫層とその上位の浅海成の砂層で構成される堆積サイクルからなり、それぞれが1回の海水準変動に対応して形成されたと考えられている(徳橋・遠藤, 1984; 徳橋・近藤, 1989)。また近年では指標テフラに基づきこれら堆積サイクルと海洋酸素同位体比カーブとの対比も行われ、下総層群の各堆積サイクル、すなわち各層はMIS 12–5の海水準変動により形成されたとことが明らかになっている(中里・佐藤, 2001; Fig. 2)。同様の層序は房総半島だけでなく近年では関東平野東部や関東平野中央部でも確認されており(中澤・中里, 2005; 中澤・田辺, 2011; 大井ほか, 2013; 中里・佐藤, 2016)、関東平野に広く適用可能な層序として認識されている。本研究においても徳橋・遠藤(1984)の層序区分を用いて説明を行うこととする。

Table 1. Details of the examined sediment cores.

Borehole no.	Drill site	Elevation of ground surface (T.P.+)	Depth	Latitude	Longitude
GS-TS-1	Matsushiro, Tsukuba City	22.31 m	70.00 m	36°3'51" N	140°6'34" E
GS-TS-2	Kannondai, Tsukuba City	22.88 m	60.08 m	36°1'26" N	140°5'57" E
GS-GM-1	Higashi, Tsukuba City	25.5 m	50.00 m	36°3'42" N	140°7'58" E

房総半島では地表に露出する下総層群も筑波台地では台地の比高が小さいことからそのほとんどは地表に露出しないため、地質調査所発行の特殊地質図「筑波研究学園都市の環境地質図」(宇野沢ほか, 1988)の調査では掘進長 50–70 m のボーリング調査が行われた。この一連の調査では下総層群の最下位層である地蔵堂層は掘止深度以深であるため確認されていないが、それより上位の下総層群についてはコア試料が採取され、堆積サイクルの解釈から下位より藪層、上泉層、上岩橋層、木下層、常総層に区分された(宇野沢ほか, 1988)。このうち上岩橋層は千葉県北部印旛沼周辺を模式地とする地層であり(横山, 1930; 三土, 1935; 小島, 1958, 1959, 1962; Kikuchi, 1976; 杉原ほか, 1978 など)、模式地の上岩橋層はテフラから房総半島の清川層と同一の地層であることが明らかにされている(中里, 1993)。また、常総層は房総半島の姉崎層と常総粘土を合わせたものに相当する(小玉ほか, 1981)。なお宇野沢ほか(1988)の層序は他地域の下総層群と同様の堆積サイクルの区分および地下の上泉層からの Km2 テフラ(徳橋・遠藤, 1984; 中里・佐藤, 1988)と露頭の常総層からの On-Pm1 テフラ(小林ほか, 1967; 町田・新井, 2003)の検出に基づいている。また宇野沢ほか(1988)は、筑波台地の地下にみられる下総層群のうち上岩橋層は谷埋め堆積物を伴うとし、埋積された谷地形はつくば市から土浦市を経由して霞ヶ浦方面に続くとしている(Fig. 1a)。

研究方法

今回検討したコアは GS-TS-1 コア, GS-TS-2 コア, GS-GM-1 コアの 3 本である(Fig. 1b; Table 1)。全てのコアが筑波台地の上から掘削されており、このうち GS-TS-1 コアの掘削地点は宇野沢ほか(1988)の報告する上岩橋層の基底に相当する埋没谷分布域に位置する。各コアについて構成粒子、粒径の変化、層相境界などを観察し記載した。なお、GS-TS-1 および GS-TS-2 コアについては宇野沢ほか(1988)によりすでに層相記載および層序の検討がされているが、本研究では改めて再記載を行った。

テフラについては色調、粒径、層厚、重鉱物組成を記載し、火山ガラスおよび重鉱物の屈折率を測定した。屈折率の測定は、(株)古澤地質製の温度変化型屈折率測定装置 MAIOT(古澤, 1995)を使用した。一部のテフラについては(株)古澤地質に依頼して火山ガラスの EDX 分析も行った。EDX 分析の試料調製方法および分析条件は古澤(2003)に準じ、分析装置には HORIBA 製のエネルギー分散型 X 線

分析装置 EMAX Evolution EX-270 と HITACHI 製走査型電子顕微鏡 SU1510 を用いた。

また、各コアの泥質な層準から採取した試料を用いて花粉分析を行った。花粉化石の分離およびプレパラートの作成法は Hongo(2007)の「手順 B」に準ずる。花粉化石の計数は同定された花粉・孢子化石のうち、完全形または破片の場合は半分以上残っていたものを対象とし、木本植物の花粉化石総数が 1 試料につき 200 個を越えるまで計数した。

層相と堆積サイクル

GS-TS-1, GS-TS-2, GS-GM-1 コアにみられる地層を I–V の堆積サイクルに区分した。各堆積サイクルは基本的に 1 回の海水準変動に伴い形成された陸成層と海成層のセットからなる。以下に各堆積サイクルの層相を記載し、各堆積サイクル内での堆積環境の変化について述べる。特にここでは宇野沢ほか(1988)の層序区分と大きく異なる堆積サイクル III および IV について詳細に記述する。Fig. 3 に各コアの柱状図を、Figs. 4, 5 にそれぞれ代表的な層相、テフラの写真、Table 2 に各コアにみられるテフラの記載岩石学的特徴を示す。

1. 堆積サイクル I(藪層)

分布：GS-TS-1 コアの深度 70.40–51.90 m, GS-TS-2 コアの深度 60.08–56.46 m に認められる。GS-GM-1 コアの掘止深度以浅には確認されない。

層相：本堆積サイクルは下部、上部の 2 つのユニットで構成される(Fig. 3)。下部ユニットは主に植物根化石や植物片を含む塊状の泥、砂質泥、泥質砂からなり(Fig. 4a)、巢穴化石も観察される。上部ユニットは主に貝化石片を含む砂質泥、泥質砂からなる。

テフラ：GS-TS-1 コアの本堆積サイクルの下部ユニット、深度 58.41–58.38 m 付近の極細粒砂層には灰褐–明褐色の粗粒砂–細礫サイズの軽石(TS1-58.41)が散在する。この砂層のほぼ中央の層準(深度 58.40 m)から採取した試料に基づく、軽石に含まれる重鉱物は直方(斜方)輝石、単斜輝石、磁鉄鉱であり、直方輝石の屈折率(γ)は 1.721–1.724, 1.728–1.733(1.732, 括弧内はモード値、以下同じ)、軽石型ガラス(町田・新井, 2003)の屈折率(n)は 1.504–1.509(1.506)である(Table 2)。

堆積環境：下部ユニットは泥、砂質泥、泥質砂からなり植物根化石を含むことから河川の氾濫原、上部ユニットは砂質泥、泥質砂からなり貝化石片を含むことから内湾環境で形成されたと考えられる。宇野沢ほか(1988)は GS-TS-1 コア

Fig. 3. Columnar sections of cores GS-TS-1, GS-TS-2, and GS-GM-1.

の本堆積サイクル下部ユニットの深度 70–65 m 付近から淡水生種の珪藻，上部ユニットの深度 52.25 m 付近から海水生種の有孔虫が産出するとしている。また金子ほか (2001) も GS-TS-1 コアの本堆積サイクル上部ユニットの深度 52.80–52.70 m から湾口–湾中部を示唆する有孔虫化石の産出を報告しており，これらのことは筆者らの解釈を支持する。

2. 堆積サイクル II (上泉層)

分布：GS-TS-1 コアの深度 51.90–42.35 m，GS-TS-2 コアの深度 56.46–34.77 m，GS-GM-1 コアの深度 50.00–

43.05 m に認められる。

層相：本堆積サイクルは，堆積サイクル I の上位に明瞭な侵食境界をもって累重し，下部，上部の 2 つのユニットで構成される (Fig. 3)。このうち下部ユニットは礫層 (Fig. 4b) あるいは礫を伴う分級の悪い泥質砂層 (シルト–極粗粒砂) から植物根化石を含む泥層へとユニット内で上方に細粒化することを特徴とする。一方，上部ユニットは主に植物根化石，貝化石片，巣穴化石がみられる塊状の泥，砂質泥からなる (Fig. 4c)。

テフラ：GS-TS-1 コアの本堆積サイクルの下部ユニット，

Fig. 4. Core photographs of sedimentary facies. (a) Mud with plant rootlets (marsh facies) in the lower unit of Depositional Cycle I (Yabu Fm.); GS-TS-1, depth 69.90–69.70 m. (b) Sandy gravels (fluvial channel facies) in the lower unit of Depositional Cycle II (Kamiizumi Fm.); GS-TS-1, depth 48.80–48.60 m. (c) Mud with plant rootlets (salt marsh facies) in the upper unit of Depositional Cycle II (Kamiizumi Fm.); GS-TS-2, depth 43.00–42.80 m. (d) Thinly alternating sand and mud (inner bay facies) in the lower unit of Depositional Cycle IV (Kioroshi Fm.); GS-TS-1, depth 32.40–32.20 m. (e) Bioturbated sandy mud containing mollusc shell fragments (bay facies) in the upper unit of Depositional Cycle IV (Kioroshi Fm.); GS-TS-1, depth 15.90–15.70 m. (f) Well-sorted fine-grained sand (sand shoal facies) in the upper unit of Depositional Cycle IV (Kioroshi Fm.); GS-TS-1, depth 12.80–12.60 m.

Fig. 5. Core photographs of the TS1-11.73 and TS2-44.94 tephra layers.

深度 43.42–43.41 m には層厚 1 cm の灰白–淡黄色の中粒砂サイズの軽石層 (TS1-43.42) が挟在する。本テフラは重鉱物として直方輝石、単斜輝石、磁鉄鉱を含み、直方輝石の屈折率(γ)は 1.709–1.715 (1.712–1.713)、軽石型ガラスの屈折率(n)は 1.524–1.525 (1.524)である (Table 2)。

また、GS-TS-2 コアの本堆積サイクルの下部ユニット、深度 44.94–44.84 m には層厚 10 cm の灰白あるいは明黄褐色の粗粒砂–極粗粒砂サイズの軽石層 (TS2-44.94) が挟在する (Fig. 5)。軽石層の上部 (深度 44.84 m) から採取した試料に基づく、重鉱物は直方輝石、磁鉄鉱が多く、次いで単斜輝石を含む。直方輝石の屈折率(γ)は 1.715–1.721 (1.717–1.720)、軽石型ガラスの屈折率(n)は 1.515–1.522 (1.517)である (Table 2)。

堆積環境：下部ユニットの下部は礫層あるいは礫混じり砂層、上部は植物根化石を含む泥層からなることから、それぞれ河成チャネルと氾濫原の堆積物と考えられる。宇野沢ほか (1988) は GS-TS-1 コアの下部ユニットの上部泥層からは主に淡水生種の珪藻が産出するとしており、筆者らの解釈と矛盾はない。上部ユニットは泥、砂質泥からなり植物根化石や貝化石が含まれることから塩性湿地から内湾環境で堆積したと考えられる。

3. 堆積サイクル III (清川層)

分布：GS-TS-2 コアの深度 34.77–23.50 m に認められる。GS-TS-1 および GS-GM-1 コアでは削剥により欠如している。

層相：堆積サイクル III は GS-TS-2 コアでのみ観察され、

Table 2. Petrographic properties of the tephra layers in the Oiso Hills and Tsukuba cores.

tephra №	Locality	Depth (m) or Thickness (cm)*	Color	Grain size	Heavy mineral composition	Refractive index of orthopyroxene (γ) or hornblende (n_2)*	Refractive index of volcanic glass (n)	Correlation
TS1-9.15	GS-TS-1, Matsushiro, Tsukuba City, Ibaraki Pref.	9.15–9.11 m	lg–py	c.	opx, mt > cpx	1.706–1.712 (1.709)	1.519–1.522 (1.520–1.521)	KIP group
TS1-9.35		9.35–9.34 m	lg–py	c.–v.c.	opx, mt > cpx	1.707–1.715 (1.709)	1.518–1.521 (1.520)	KIP group
TS1-11.73		11.73–11.32 m	lg–py	c.–gr.	opx, cpx, mt	1.707–1.710 (1.709)	1.519–1.521 (1.520)	KIP-2, 3, 5 or 7
TS1-43.42		43.42–43.41 m	lg–py	m.	opx, cpx, mt	1.709–1.715 (1.712–1.713)	1.524–1.525 (1.524)	–
TS1-58.41	GS-TS-2, Kannondai, Tsukuba City, Ibaraki Pref.	58.41–58.38 m	gb–bb	c.–gr.	opx, cpx, mt	1.721–1.724 1.728–1.733 (1.732)	1.504–1.509 (1.506)	–
TS2-10.75		10.75–10.70 m	lg–py	m.	opx, cpx, mt	1.706–1.713 (1.708–1.709)	1.518–1.524 (1.520)	KIP group
TS2-12.02		12.02–12.00 m	lg–py	m.	opx, cpx, mt	1.704–1.710 (1.709–1.710)	1.518–1.523 (1.520–1.521)	KIP group
TS2-12.35		12.35–12.33 m	lg–gy	m.	opx, mt > cpx	1.707–1.714 (1.709–1.710)	1.519–1.521 (1.520)	KIP group
TS2-12.53	GS-TS-2, Kannondai, Tsukuba City, Ibaraki Pref.	12.53–12.47 m	gy–ly	m.	opx, mt > cpx	1.707–1.712 (1.710)	1.519–1.523 (1.521)	KIP group
TS2-44.94		44.94–44.84 m	lg, byb	c.–v.c.	opx, mt > cpx	1.715–1.721 (1.717–1.720)	1.515–1.522 (1.517)	Km2
KIP-7	Oiso Hills, Awakubo, Hiratsuka City, Kanagawa Pref.	110 cm*	w–lg	10–20 mm	opx, cpx, mt	1.706–1.712	1.520–1.523 (1.521)	–
KIP-6		50 cm*	w	20 mm	opx, cpx, mt	1.709–1.715	1.512–1.513 (1.513), 1.518–1.524, 1.528–1.530	–
KIP-5		45 cm*	lg	f.–c.	opx, cpx >> mt	1.706–1.716 (1.707), 1.720–1.721	1.513–1.519 (1.517–1.518)	–
KIP-4		10 cm*	g–b	1–3 mm	ho	1.684–1.691 (1.687–1.688)*	–	–
KIP-3	Oiso Hills, Hinakubo, Nakai Town, Kanagawa Pref.	30 cm*	w	5–30 mm	opx, cpx, mt	1.706–1.710 (1.707–1.708)	1.518–1.524 (1.520–1.521)	–
KIP-2		12 cm*	w	3–5 mm	opx, cpx, mt	1.708–1.711 (1.710)	1.514–1.520 (1.519)	–
KIP-1		15 cm*	lg	3–5 mm	opx, cpx, mt	1.710–1.716 (1.712)	1.515–1.517 (1.516–1.517)	–

Color lg: light gray, py: pale yellow, gb: grayish brown, bb: bright brown, gy: grayish yellow, ly: light yellow, byb: bright yellowish brown, g: gray, b: brown, w: white

Grain size f.: fine sand, m.: medium sand, c.: coarse sand, v. c.: very coarse sand, gr.: granule

Heavy mineral composition opx: orthopyroxene, mt: magnetite, cpx: clinopyroxene, ho: hornblende

Refractive index Values indicate a range of refractive index. However, values in parentheses mean a mode value.

堆積サイクル II の上位に明瞭な層相境界をもって累重する。本堆積サイクルは下部、上部の 2 つのユニットで構成される (Fig. 3)。下部ユニットは本堆積サイクル基底部に薄く観察されるのみであり、中粒砂層および泥層からなり、泥層には植物根化石がみられる。一方、上部ユニットは、下部ユニットとは明瞭な侵食境界をもって接し、下半部は主に平均粒径 10 mm の礫を含む分級の悪い砂質泥–泥質砂層からなり、全体的に貝化石片がみられる。上部ユニットの上半部は下部、中部、上部に分けられ、下部は泥層、中部は砂質泥、泥質砂層、上部は泥層からなる。このうち下部には植物根化石、中部には多くの貝化石片が観察される。GS-TS-1 および GS-GM-1 コアでは本堆積サイクルとほぼ同じ標高に堆積サイクル IV の下部ユニット (後述) がみられるが、本堆積サイクルは堆積サイクル IV の下部ユニットとは異なる粗粒な堆積物を含むことや、一部に陸成層が挟まれる点などで明らかに異なる。

堆積環境：下部ユニットは植物根化石を含む泥層が観察されることから氾濫原などの陸域で堆積したと考えられる。一方、上部ユニット下半部は貝化石片が含まれることから海成の堆積物であることが推定される。上半部は植物根化石が観察される一方で貝化石片を多く含むことから海に近い塩性湿地から湾奥環境で堆積したと考えられる。

4. 堆積サイクル IV (木下層)

分布：GS-TS-1 コアの深度 42.35–7.35 m, GS-TS-2 コアの深度 23.30–4.30 m, GS-GM-1 コアの深度 43.05–10.10 m に認められる。

層相：堆積サイクル IV は下部、上部の 2 つのユニットで構成される。下部ユニットは GS-TS-1 および GS-GM-1 コアに観察され、上部ユニットは全てのコアに共通してみられる (Fig. 3)。下部ユニットは主に砂泥互層からなり、層厚が 20 m 程度と厚く、全体的に貝化石片や巣穴化石がみられる。下位の堆積サイクル II とは明瞭な侵食境界をもって接する。上部ユニットは貝化石片を含む泥、砂質泥から中粒砂へと上方に粗粒化することを特徴とする。

GS-TS-1 コアの下部ユニットは主に砂質泥、泥質砂からなり、極細粒砂–細粒砂の薄層が頻繁に挟まれる (Fig. 4d)。全体に貝化石片や巣穴化石がみられる。基底部は下位の堆積サイクル II に向かって掘り下げた巣穴化石がみられる。GS-GM-1 コアの下部ユニットは、基底部は主に細粒砂からなり、一部に貝化石片や粒径 10 mm の偽礫がみられる。基底部の細粒砂層の上位は上方粗粒化する砂泥互層からなる。砂泥互層の下部は泥がちで泥、砂質泥に極細粒砂–細粒砂の薄層が挟まれる層相を呈するが、上方に向かって粗粒化し、上部は細粒砂に泥の薄層が挟まれる層相となる。全体的

に巣穴化石がみられ、一部には貝化石片や植物片がみられる。GS-TS-2 コアでは下部ユニットは欠如し、他のコアで下部ユニットが分布する標高には削剥をまぬがれた下位の堆積サイクル III が分布する。

上部ユニットは3本のコア全てに観察される。GS-TS-1 コアの上部ユニットの基底部は直径 5–10 mm の中礫が混じる極細粒砂–細粒砂層からなり、そこから下位のユニットに向かって掘り下げた巣穴化石がみられる。ユニット下部は主に塊状の砂質泥、泥質砂からなり、全体に貝化石片が多く含まれる (Fig. 4e)。ユニット上部は主に極細粒砂–粗粒砂からなり (Fig. 4f)、上方に向かい粗粒化する。一部に貝化石片が含まれる。GS-TS-2 コアの上部ユニットではユニット下部は主に塊状の砂質泥、泥質砂からなる。基底部は泥質砂層が卓越するが、上方に向かって細粒化し、泥層と泥質砂層が約 5 cm の間隔で繰り返す砂泥細互層へと変化する。全体的に貝化石片や巣穴化石がみられる。下位の堆積サイクル III との境界はコア試料が欠落しており確認できないが、宇野沢ほか (1988) によれば貝化石密集層が観察されている。ユニット上部は主に極細粒砂–極粗粒砂からなり上方に向かい粗粒化する。GS-GM-1 コアでは上部ユニットの下部は主に泥、砂質泥からなる。基底部の泥質砂層には細礫–中礫が含まれる。ユニット上部は主に極細粒砂–中粒砂からなり、上方に向かい粗粒化する。一部に巣穴化石が観察される。

テフラ: GS-TS-1 コアの本堆積サイクルの上部ユニット、深度 11.73–11.32 m には層厚 41 cm の灰白–淡黄色の粗粒砂–細礫サイズの軽石層 (TS1-11.73) が挟在する (Fig. 5)。本テフラ層下部 (深度 11.68 m) から採取した試料の検討に基づく、重鉱物は直方輝石、単斜輝石、磁鉄鉱を含む。直方輝石の屈折率 (γ) は 1.707–1.710 (1.709)、軽石型ガラスの屈折率 (n) は 1.519–1.521 (1.520) である (Table 2)。また本テフラの軽石型ガラスについては主成分化学分析を行った。各成分の含有率は SiO_2 は 72.53%、 Al_2O_3 は 14.21%、 FeO は 3.22%、 MgO は 0.80%、 CaO は 3.14% である (Table 3)。

また、本堆積サイクルの上部ユニットには TS1-11.73 の他に GS-TS-1 の深度 10–9 m に2層 (下位より TS1-9.35, TS1-9.15)、GS-TS-2 の深度 13–10 m に4層 (下位より TS2-12.53, TS2-12.35, TS2-12.02, TS2-10.75) のテフラがみられる。これらは全て両輝石型の重鉱物組成を示し、直方輝石、軽石型ガラスの屈折率が概ね 1.704–1.715 (1.708–1.710)、1.518–1.524 (1.520–1.521) であり (Table 2)、TS1-11.73 も含めて極めて似た性質を持つ。

堆積環境: 下部、上部ともに内湾での堆積が考えられる。

下部ユニットは主に泥、砂質泥、泥質砂からなり、全体に貝化石片が散在することから静穏な内湾環境での堆積がうかがえる。下部ユニットは GS-TS-1 および GS-GM-1 コアに認められるが、GS-TS-2 コアには認められず、ほぼ同じ標高に下位の堆積サイクル III が分布することから、開析谷を埋積して形成された谷埋め堆積物であると考えられる。金子ほか (2001) は GS-TS-1 コアの本ユニットに相当する深度 40.00–22.10 m において湾奥部を示唆する有孔虫化石群

集を報告していることから、開析谷に海域が侵入することで形成された内湾の湾奥部で形成されたと考えられる。

上部ユニットは今回検討した3つのコアいずれにも確認されることから、谷埋め状に分布する下部ユニットとは大きく異なり、広域に形成されたものと考えられる。ユニット基底部にみられる粗粒な堆積物は、新たに広域な内湾環境を形成する海進に伴う高エネルギー環境で形成されたものと思われる。一方、本ユニットの下部は貝化石片を含む泥、砂質泥、泥質砂からなり、静穏な内湾環境の底部での堆積がうかがえる。下部の泥質堆積物は上方へ粗粒化し、ユニット上部は主に分級の良い極細粒砂–粗粒砂よりなる。このような層相の変化は、上方に浅海化し、相対的に高エネルギー環境である砂浜へと変化したことを推測させる。後述するように本堆積サイクルは木下層と考えられるが、木下層上部堆積期には関東平野内陸部にバリアー島により外海から隔てられたラグーンが広がっていたとされる (岡崎・増田, 1992)。したがって本堆積サイクル上部ユニットの上方粗粒化 (浅海化) サクセッションは、海退期のラグーンの埋め立てにより形成されたと考えられる。

なお本堆積サイクルは一般的な下総層群の堆積サイクルの下部にみられる陸成層を欠くが、海進の過程で開析谷からバリアー島システムへと移行し、その後海退に至った一連の堆積物と考えられることから、一つの堆積サイクルとして区分した。

5. 堆積サイクル V (常総層)

分布: GS-TS-1 コアの深度 7.35–1.11 m, GS-TS-2 コアの深度 4.30–1.40 m, GS-GM-1 コアの深度 10.10–3.03 m に認められる。

層相: 本堆積サイクルは主に植物根化石を含む泥層からなる (Fig. 3)。下位の堆積サイクル IV との境界は漸移的である。なお本堆積サイクルの上位には新期関東ローム層が累重する。

堆積環境: 本堆積サイクルは植物根化石や腐植層を含む泥層からなることから河川の氾濫原の堆積物と考えられる。宇野沢ほか (1988) も GS-TS-1 コアの本堆積サイクルの深度 7.30 m 付近および深度 5–3 m 付近から主に淡水生種の珪藻の産出を報告している。

花粉分析

本研究では、宇野沢ほか (1988) の層序区分と大きく異なる堆積サイクル III および IV について、花粉分析を行った (Fig. 6)。木本植物花粉の分類群の組み合わせに基づき、堆積サイクル III および IV に相当する地層の花粉化石群集帯を P1–4 帯の4つに区分した。各花粉化石群集帯の特徴を以下に述べる。

1. P1 帯

分布: GS-TS-2 コアの深度 34.60 m 付近から産出する。堆積サイクル III の下部ユニットにはほぼ相当する。GS-TS-1 および GS-GM-1 コアには分布しない。

記載: 針葉樹の *Picea* (トウヒ属) および *Pinus* (マツ属) が優勢で、*Tsuga* (ツガ属) および落葉広葉樹の *Alnus* (ハンノキ

Fig. 6. Pollen assemblages of cores GS-TS-1, GS-TS-2, and GS-GM-1. See Figure 3 for the legend.

属)がこれらに次ぐ。 *Cryptomeria* (スギ属)は低率であり、落葉広葉樹の *Fagus* (ブナ属) および *Quercus* (subgen. *Lepidobalanus*) (コナラ属コナラ亜属、以降 *Lepidobalanus* と記述)はほとんど産出しない。GS-GM-1 コアにおいてほぼ同じ標高にみられる後述の P3 帯と比べ、針葉樹の *Picea* および *Pinus* が顕著に多い一方、落葉広葉樹の *Fagus*, *Lepidobalanus*, *Juglans/Pterocarya* (クルミ属 / サワグルミ属), *Carpinus/Ostrya* (クマシデ属 / アサダ属), *Hemiptelea* (ハリゲヤキ属)は少ない。

2. P2 帯

分布: GS-TS-2 コアの深度 27.19–24.50 m から産出する。堆積サイクル III の上部ユニットにほぼ相当する。GS-TS-1 および GS-GM-1 コアには分布しない。

記載: 針葉樹の *Picea* および落葉広葉樹の *Alnus* が優勢で、*Betula* (カバノキ属) および *Pinus* がこれらに次ぐ。 *Fagus*, *Juglans/Pterocarya*, *Carpinus/Ostrya* などの落葉広葉樹および常緑広葉樹の *Quercus* (subgen. *Cyclobalanopsis*) (コナラ属アカガシ亜属、以降 *Cyclobalanopsis* と記述)を伴う。GS-TS-1 および GS-GM-1 コアにおいてほぼ同じ標高にみられる後述の P3 帯に比べ、*Hemiptelea* が本花粉帯では少ない。

3. P3 帯

分布: GS-TS-1 コアの深度 21.06–19.95 m, GS-GM-1 コアの深度 38.81–20.33 m から産出する。堆積サイクル IV の下部ユニットにほぼ相当する。GS-TS-2 コアには分布しない。

記載: 針葉樹の *Tsuga* および *Pinus*, 落葉広葉樹の *Fagus*, *Lepidobalanus*, *Juglans/Pterocarya*, *Carpinus/Ostrya*, *Hemiptelea* などが優勢である。上位の P4 帯に比べると、*Cryptomeria* が顕著に少ない。GS-TS-1 コアにおいては針葉樹の *Tsuga* および *Pinus* が優勢で、*Picea* および落葉広葉樹の *Juglans/Pterocarya*, *Carpinus/Ostrya*, *Fagus*, *Lepidobalanus* および *Hemiptelea* がこれらに次ぐ。*Cryptomeria* は低率であり、常緑広葉樹の *Cyclobalanopsis* はほとんど産出しない。GS-GM-1 コアにおいては落葉広葉樹の *Carpinus/Ostrya*, *Hemiptelea* が優勢で、*Juglans/Pterocarya*, *Alnus*, *Tsuga* および *Pinus* がこれらに次ぐ。*Fagus* および *Lepidobalanus* は 10% 程度産出する。一方、針葉樹の *Cryptomeria* は低率であり、常緑広葉樹の *Cyclobalanopsis* はほとんど産出しないが、*Lagerstroemia* (サルスベリ属)は極めて低率ながらも産出する。

4. P4 帯

分布: GS-TS-1 コアの深度 15.70–15.68 m, GS-TS-2 コアの深度 21.29–14.35 m, GS-GM-1 コアの深度 19.32–15.08 m から産出する。堆積サイクル IV の上部ユニットにほぼ相当する。

記載: *Cryptomeria* や *Picea*, *Tsuga*, *Pinus* などの針葉樹が優勢で、落葉広葉樹の *Fagus*, *Lepidobalanus* が劣勢である。常緑広葉樹の *Cyclobalanopsis* を伴う。GS-TS-1 コアにおいては針葉樹の *Picea*, *Cryptomeria*, *Pinus* および *Tsuga* が高率を占める。落葉広葉樹の *Fagus*, *Lepi-*

dobalanus, *Betula*, *Juglans/Pterocarya* および *Ulmus/Zelkova* (ニレ属 / ケヤキ属)は低率である。GS-TS-2 コアにおいては針葉樹の *Cryptomeria*, *Pinus*, *Picea*, *Tsuga* および落葉広葉樹の *Alnus* が高率を占める。*Fagus*, *Lepidobalanus*, *Cyclobalanopsis*, *Betula*, *Juglans/Pterocarya*, *Ulmus/Zelkova* および *Hemiptelea* は極めて低率に産出する。GS-GM-1 コアにおいては針葉樹の *Cryptomeria*, *Pinus*, *Picea*, *Tsuga* および落葉広葉樹の *Alnus* が高率を占める。*Fagus*, *Lepidobalanus*, *Cyclobalanopsis*, *Betula*, *Juglans/Pterocarya*, *Ulmus/Zelkova* および *Hemiptelea* は極めて低率に産出する。

考 察

1. テフラの対比

1) TS2-44.94 と Km2 テフラ GS-TS-2 コアの堆積サイクル II に挟在する TS2-44.94 は軽石質のテフラで、宇野沢ほか(1988)の「深度 44.8 m 付近の軽石質テフラ」に相当する。宇野沢ほか(1988)はこのテフラを重鉱物組成や直方輝石の屈折率などから下総層群上泉層下部の泥層に挟在する Km2 テフラ(徳橋・遠藤, 1984)に対比した。本研究にて再検討したところ、TS2-44.94 の重鉱物組成は両輝石型で、直方輝石の屈折率(γ)は 1.715–1.721 (1.717–1.720)と高い値を示し、Km2 の特徴(中里・佐藤, 1988)と一致することが確認された。このことから宇野沢ほか(1988)の対比のとおり TS2-44.94 は Km2 に確実に対比される。

2) 堆積サイクル IV 上部ユニットに挟在するテフラと KIP テフラ群 海成層を含む堆積サイクルとしては最上位の堆積サイクル IV の上部ユニットには軽石質テフラである TS1-11.73, TS1-9.35, TS1-9.15, TS2-12.53, TS2-12.35, TS2-12.02, TS2-10.75 が挟在する。房総半島の下総層群において海成層を含む最上位の堆積サイクルは木下層である(徳橋・遠藤, 1984)。木下層上部には Ko3, Ko4, Ko-D テフラ(徳橋・遠藤, 1984)が挟在し、これらは大磯丘陵の KIP テフラ群(町田, 1971; 新井ほか, 1977)に対比されている(杉原ほか, 1978)。また、大磯・横浜地域では KIP テフラ群のうち最下位の KIP-1 が、木下層の堆積期に相当する MIS 5e の下末吉海進期において、海進がピークに達した直後に降下したことが知られている(新井ほか, 1977; 杉原ほか, 1978)。一方、鈴木(1989)は筑波台地において宇野沢ほか(1988)が常総層基底部分に見出した YP-1 テフラを KIP-7 に対比している。なお鈴木(1989)は YP-1 (KIP-7)が木下層最上部に挟在すると報告している。したがって、堆積サイクル IV 上部ユニットにみられるテフラは KIP-1 から KIP-7 のいずれかに対比される可能性が高い。そこで大磯丘陵にて新たに採取した KIP-1 から KIP-7 について筑波台地のテフラと同様の屈折率測定および化学分析を行い、それぞれを比較した(Fig. 7, Tables 2, 3)。

大磯丘陵の KIP-2, 3, 5, 7 は、直方輝石の屈折率(γ)のモード値が概ね 1.707–1.710、軽石型ガラスの屈折率(n)のモード値は 1.520 前後を示し、軽石型ガラスの主成分化学組成は SiO_2 が 71–74%, Al_2O_3 は 13.6–14.3%, FeO は

Fig. 7 Harker diagrams showing the major chemical components of volcanic glass shards in the TS1-11.73 and KIP-1–7 tephra layers.

2.9–3.7%, MgO は 0.7–1.0%, CaO は 3.0–3.5% で、堆積サイクル IV 上部ユニットにみられるテフラで最も層厚の厚い TS1-11.73 とよく似る (Fig. 7, Tables 2, 3). KIP-2, 3, 5, 7 は類似の性質を持つことから、それぞれの区別は難しいが、この中のいずれかが TS1-11.73 に対比されると考えられる。

また、TS1-11.73 と同じ堆積サイクル IV 上部ユニットに挟在する TS1-9.35, TS1-9.15, TS2-12.53, TS2-12.35, TS2-12.02, TS2-10.75 の記載岩石学的特徴も大磯丘陵の KIP-1 から KIP-7 のテフラ (角閃石型テフラである KIP-4 を除く) と似る (Table 2)。したがって、これらのテフラも、KIP-4 を除く KIP-1 から KIP-7 までのテフラのいずれかに対比される可能性が高い。

2. 花粉化石群集の比較

ここでは本研究により産出した花粉化石群集と関東の他地域から報告された花粉化石群集との比較を行う。

1) 大宮台地 下総層群の模式地を含む房総半島の下総台地や関東平野中央部の大宮台地には谷埋め状に局所的に分布する木下層下部とそれとは対照的に広範囲に分布する木下層上部の存在が知られている (中澤・遠藤, 2002; 小松原ほか, 2004; 中澤ほか, 2006; Nakazawa et al., 2017)。中澤ほか (2006) は、大宮台地の木下層の下部および上部にそれぞれ相当する花粉帯として P-1 帯、P-2 帯を設定し、P-1 帯では *Carpinus/Ostrya* や *Hemiptelea* が、P-2 帯では *Crypto-*

meria, *Abies*, *Picea*, *Tsuga*, *Pinus* が多産するとした。この大宮台地の P-1 帯から P-2 帯への花粉化石群集の変化は、筑波台地の堆積サイクル IV の下部ユニットおよび上部ユニットにそれぞれ相当する P3 帯から P4 帯への花粉化石群集の変化とほぼ一致する (Fig. 8a)。

また、本郷・水野 (2009) は大宮台地において掘削され、堆積サイクルや層序の明らかな深作 A-1 コアの花粉化石群集を下位より Fs-Pol-28 から Fs-Pol-1 帯に区分し、清川層 (深度約 61–29 m) は Fs-Pol-5 帯から Fs-Pol-2 帯下部、木下層 (深度約 29–23 m) は Fs-Pol-2 帯中部に相当するとしている (Fig. 8b)。深作 A-1 コアの Fs-Pol-5 帯は *Alnus* や *Picea* が高率で、*Pinus*, *Tsuga* を伴う。一方、*Fagus*, *Lepidobalanus* の産出は極めて低率であることを特徴とする。また、Fs-Pol-4 帯は *Lepidobalanus*, *Fagus*, *Alnus*, *Pinus*, *Picea* が高率を占め、*Carpinus/Ostrya* を伴う。このような Fs-Pol-5 帯から Fs-Pol-4 帯への変化は、筑波台地の P1 帯から P2 帯への変化とよく似る。また、Fs-Pol-2 帯中部は *Cryptomeria* が高率を占め、*Picea*, *Tsuga*, *Pinus*, *Alnus* がこれらに次ぐ。これらは本研究による筑波台地の P4 帯の特徴とほぼ一致する。GS-TS-2 コアには Fs-Pol-3 帯および Fs-Pol-2 帯下部に相当する花粉帯はみられないが、これらは堆積サイクル IV 上部ユニットが堆積する際に削剥されたと考えられる。

2) 大磯丘陵 辻 (1980) は木下層と同時期の堆積物とされる

Table 3. Major chemical components of volcanic glass shards in the TS1-11.73 and KIP-1–7 tephra layers.

tephra name	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total (wt%)
n	S. D.	S. D.	S. D.	S. D.	S. D.	S. D.	S. D.	S. D.	S. D.	Raw total
TS1-11.73	72.53	0.60	14.21	3.22	0.17	0.80	3.14	4.36	0.98	100.00
20	0.56	0.08	0.17	0.16	0.07	0.10	0.18	0.08	0.04	93.28
KIP-7	71.84	0.62	14.26	3.31	0.17	0.83	3.43	4.56	0.97	100.00
20	0.24	0.07	0.11	0.15	0.07	0.05	0.09	0.08	0.04	93.27
KIP-6	74.34	0.46	13.51	2.65	0.15	0.57	2.75	4.55	1.03	100.00
20	1.37	0.09	0.34	0.50	0.06	0.18	0.42	0.11	0.08	92.87
KIP-5	73.16	0.59	13.97	2.93	0.16	0.73	3.01	4.46	1.01	100.00
20	0.31	0.05	0.18	0.15	0.05	0.06	0.11	0.06	0.03	92.26
KIP-4	75.26	0.45	13.24	2.26	0.19	0.55	1.99	4.29	1.78	100.00
20	2.26	0.07	1.12	0.53	0.07	0.35	0.71	0.20	0.23	92.80
KIP-3	71.78	0.70	14.05	3.62	0.16	0.94	3.50	4.28	0.98	100.00
20	0.31	0.06	0.11	0.15	0.06	0.03	0.08	0.09	0.03	95.00
KIP-2	72.58	0.69	13.67	3.42	0.15	0.83	3.15	4.42	1.09	100.00
20	0.23	0.06	0.15	0.14	0.08	0.04	0.09	0.08	0.03	92.29
KIP-1	74.19	0.58	13.21	2.97	0.18	0.60	2.68	4.37	1.22	100.00
20	0.47	0.06	0.21	0.17	0.07	0.10	0.15	0.07	0.06	93.32

Analyses recalculated to 100% on a water-free basis and presented as a mean and standard deviation(S.D.) on n analyses.

Raw total is shown under water-free total. FeO: total irons as FeO.

(a)

Tsukuba Upland (This study)			Omiya Upland Nakazawa et al. (2006)		Oiso Area Tsuji (1980)		Seafloor core, off Kanto Igarashi (2009)	
Pollen zone	Representative taxa	Tephra	Pollen zone	Stratigraphy	Pollen zone	Tephra	Representative taxa	MIS
P4 zone	<i>Cryptomeria</i> <i>Picea</i> , <i>Tsuga</i> <i>Pinus</i>	KIP-2, 3, 5 or 7	P-2	Upper part, Kioroshi Fm.	Ka-VI Ka-V Ka-IV (Ka-III)	KIP-3–7 KIP-1–2	<i>Cryptomeria</i> <i>Tsuga</i> , <i>Pinus</i>	Late MIS 5e
P3 zone	<i>Tsuga</i> , <i>Pinus</i> <i>Fagus</i> , <i>Lepidobalanus</i> <i>Juglans/Pterocarya</i> <i>Carpinus/Ostrya</i> <i>Hemiptelea</i>		P-1	Lower part, Kioroshi Fm.	Ka-II Ka-I	TAu-12	<i>Juglans/Pterocarya</i> <i>Carpinus/Ostrya</i> <i>Lepidobalanus</i> <i>Ulmus/Zelkova</i> <i>Lagerstroemia</i>	Early–Middle MIS 5e

(b)

Tsukuba Upland (This study)		Fukasaku A-1 core Omiya Upland Hongo and Mizuno (2009)	
Pollen zone	Representative taxa	Pollen zone	Stratigraphy
P4 zone	(see Fig. 8a)	Fs-Pol-2	Omiya Fm. Upper part, Kioroshi Fm.
P3 zone	(see Fig. 8a)	Fs-Pol-2 Fs-Pol-3	Kiyokawa Fm.
P2 zone	<i>Picea</i> , <i>Alnus</i> <i>Betula</i> , <i>Pinus</i>	Fs-Pol-4	
P1 zone	<i>Picea</i> , <i>Pinus</i> <i>Tsuga</i> , <i>Alnus</i>	Fs-Pol-5	

Fig. 8. Correlation of pollen zones in this study with those of previous studies in other areas. (a) Correlation with the Omiya Upland (Nakazawa et al., 2006), the Oiso area (Tsuji, 1980), and the off-Kanto region (Igarashi, 2009). (b) Correlation with Fukasaku A-1 in the Omiya Upland (Hongo and Mizuno, 2009).

大磯丘陵の吉沢層から産出する花粉化石群集について検討し、吉沢層を下位より Ka-I から Ka-VI 帯の 6 つの花粉帯に区分している (Fig. 8a)。このうち Ka-I 帯には *Ulmus/Zelkova* が多産することを特徴とする。*Ulmus/Zelkova* は Ka-II 帯においても比較的多い。榆井 (1996) に基づけば、辻 (1980) の *Ulmus/Zelkova* には *Hemiptelea* が多く含まれることが考えられる。また Ka-I, Ka-II 帯はともに *Carpinus*, *Lagerstroemia* を伴うことでも特徴づけられる。一方で Ka-IV 帯以降は *Cryptomeria* が多産し、*Tsuga*, *Pinus* も比較的多いが、*Ulmus/Zelkova* や *Juglans*, *Carpinus*, *Lepidobalanus* は少なくなる。辻 (1980) によれば、Ka-I 帯には木下層下部の Ko1 テフラ (徳橋・遠藤, 1984) に対比される (新井ほか, 1977; 杉原ほか, 1978) TAu-12 (SB-0) テフラが、Ka-IV 帯には KIP-1 および KIP-2 テフラ、Ka-VI 帯には KIP-3 から KIP-7 のテフラが挟在するとされる (Fig. 8a)。前述したが筑波台地の堆積サイクル IV 上部ユニットに挟在する TS1-11.73 は KIP-2, 3, 5, 7 のいずれかに対比される。堆積サイクル IV 上部ユニットは P4 帯に相当するが、P4 帯の花粉化石群集は吉沢層の Ka-IV 帯以降の花粉化石群集とほぼ一致し、また P3 帯から P4 帯への変化も Ka-I 帯から Ka-VI 帯への変化によく似ている。なお、大磯丘陵の Ka-III から Ka-IV 帯にかけての *Cryptomeria* の増加、*Juglans*, *Carpinus* の減少は漸移的であるが、筑波台地における P3 帯から P4 帯への花粉化石群集の変化は漸移的ではなく極端に変化することから、筑波台地では Ka-III 帯に相当する部分が確認できていないと考えられる。Ka-III 帯に相当する層準は、堆積サイクル IV の上部ユニット基底に相当する侵食作用により削剥されたか、あるいは上部ユニット基底部の粗粒堆積物の層準に相当する可能性が高い。

3) 鹿島沖 五十嵐 (2009) は鹿島沖で掘削した MD01-2421 コアから産出する花粉化石群集の変遷を同コアの底生有孔虫の同位体分析に基づく海洋酸素同位体比ステージ (MIS) と対応させて報告している。木下層の堆積期に相当する (中里・佐藤, 2001) MIS 5e の花粉化石群集 (五十嵐 (2009) の MIS 5.5) の変遷をみると、*Juglans/Pterocarya* や *Carpinus/Ostrya*, *Ulmus/Zelkova* は MIS 5e の前期—中期において比較的多く産出するが、後期に向かうにつれて漸減していく。一方、*Cryptomeria* は MIS 5e 前期—中期に比較して、後期に向かうにつれて顕著に増加する。また *Lagerstroemia* は MIS 5e の中期を中心に産するが、後期にはみられなくなる。これらの傾向は本研究の P3 帯に多産する *Juglans/Pterocarya* や *Carpinus/Ostrya*, *Hemiptelea* が P4 帯において減少することや *Cryptomeria* が P3 帯では低率で産するのに対し、P4 帯で著しく増加すること、さらに P3 帯では少量だが *Lagerstroemia* が産する一方で P4 帯には全くみられないことと一致する (Fig. 8a)。

3. コア試料に見られる堆積サイクルと下総層群模式層序との対比

房総半島の下総層群は 1 回の海進海退によって形成された堆積サイクルを 1 層として地層区分がされている。前述

のように今回検討した筑波台地のボーリングコアにおいても層相観察に基づき、1 回の海進海退によって形成されたと考えられる堆積サイクルを認識し、コアにみられる地層を堆積サイクル I, II, III, IV, V に区分した。また、テフラおよび花粉化石の検討により層序対比の手がかりを得た。ここで筑波台地の堆積サイクルと模式地の下総層群の各層との対比について整理する。

まず、堆積サイクル II には GS-TS-2 コアに Km2 テフラに対比される TS2-44.94 テフラが挟在することから上泉層に対比される。堆積サイクル I からは対比に有効なデータは得られていないが、下総層群の模式地である房総半島では上泉層の直下の堆積サイクルは藪層とされることから (徳橋・遠藤, 1984)、堆積サイクル I は藪層に対比されると考えられる (Fig. 9)。

次に、堆積サイクル IV は GS-TS-1 コアに KIP-2, 3, 5, 7 のいずれかに対比される TS1-11.73 が挟在することから木下層に対比される (Fig. 9)。本堆積サイクルの下部ユニットに相当する花粉化石帯 P3 帯から上部ユニットに相当する P4 帯への変化は、大宮台地の木下層における P-1 帯から P-2 帯への変化 (中澤ほか, 2006)、大磯丘陵の吉沢層における Ka-I 帯から Ka-VI 帯への変化 (辻, 1980) にほぼ一致し、谷埋め堆積物である下部ユニットを含む、堆積サイクル IV 全体が木下層であることが花粉化石群集からも支持される。また鹿島沖海底コアの花粉化石群集との比較により、P3 帯を含む堆積サイクル IV の下部ユニットは MIS 5e の前期—中期、P4 帯を含む堆積サイクル IV の上部ユニットは MIS 5e 後期に相当すると考えられる (Fig. 8a)。

堆積サイクル III は下位に堆積サイクル II (上泉層)、上位に堆積サイクル IV (木下層) がみられることから、下総層群の模式地の層序に照らし合わせると、清川層あるいは横田層に対比される。しかしながら、MIS 7.3 よりも MIS 7.1 は海水準の上昇が小さかったと考えられていることからすると (Spratt and Lisiecki, 2016)、MIS 7.3 に相当する清川層が欠如し、MIS 7.1 とされる横田層のみが分布することは周囲の下総層群の分布状況からも考えづらく、また堆積サイクル III の P1 から P2 帯への変化は、深作 A-1 コアにおいて清川層に相当する Fs-Pol-5 帯から Fs-Pol-4 帯への変化と似ることから、堆積サイクル III は清川層の可能性が高いと考えられる。また最上位の堆積サイクル V は堆積サイクル IV を覆い、地形面を構成していることから、下総層群最上位層である常総層と考えられる。

以上をまとめると、本研究の堆積サイクル I—V はそれぞれ下総層群の藪層、上泉層、清川層、木下層、常総層に対比されると考えられる (Fig. 9)。

なお本研究と宇野沢ほか (1988) では上岩橋層および木下層の区分と対比について大きく解釈が異なる。前述のように上岩橋層は千葉県北部印旛沼周辺を模式地とする地層であり、模式地の上岩橋層はテフラから房総半島の清川層と同一の地層であることが明らかにされている (中里, 1993)。本研究では宇野沢ほか (1988) が上岩橋層とした層準について

Fig. 9. Comparison of the formation divisions of the Shimosa Group in this study with those of Unozaawa et al. (1988). See Figure 3 for the legend.

GS-TS-1 コアでは全て、GS-TS-2 コアでは一部を木下層と考えた。つまり筑波台地に分布する谷埋め堆積物は木下層下部に相当すると考えられる。

また宇野沢ほか(1988)が木下層と上岩橋層の境界とした深度には明瞭な層相の境界は確認できなかった。KIP-2, 3, 5, 7 のいずれかに対比される TS1-11.73 が宇野沢ほか(1988)の境界深度の下位に挟在することから、この層準を一連の堆積サイクルと考え、木下層と解釈した。

4. MIS 6 の開析谷とその谷埋め堆積物

宇野沢ほか(1988)が上岩橋層とした筑波台地地下の谷埋め堆積物は本研究により木下層に相当することが明らかになった(Fig. 9)。また、宇野沢ほか(1988)の示すこの埋没谷の分布域の外で掘削された GS-GM-1 コア(Fig. 1b)にも木下層の谷埋め堆積物がみられることから、埋没谷の分布図についても一部再検討の必要があると考えられる。さらに宇野沢ほか(1988)によれば、この埋没谷はつくば市、土浦市を經由して霞ヶ浦方面に向かうとされる(Fig. 1a)。一方、霞ヶ浦北方の新治台地や石岡市、東方の行方台地や鹿島台地には木下層相当層とされる谷埋め堆積物が報告されており(坂本ほか, 1981; 荒川, 1986; 横山ほか, 2004; 大井ほか, 2016)、本研究結果を踏まえるとこれらが筑波台地の埋没谷と一連の河川系のものである可能性も考えられる。

このほか木下層の谷埋め堆積物は、関東平野では千葉県木更津地域(杉原, 1980; 小松原ほか, 2004)、同じく千葉県柏

市から成田市にかけての地域(下総台地研究グループ, 1984; 中澤・田辺, 2011; Nakazawa et al., 2017)、埼玉県大宮地域(中澤・遠藤, 2002; 中澤ほか, 2006)からも知られている。なかでも千葉県北東部には、深さ 30 m 以上に及ぶ開析谷を埋積する、厚い泥質堆積物の分布が知られる(Nakazawa et al., 2017)。前述のように木下層は MIS 5e の堆積物とされ、木下層が埋める谷の形成はそれに先行する MIS 6 と考えられる。MIS 6 は過去 40 万年の間では MIS 2 と並んで最も海面が低下した時期と考えられている(Rohling et al., 1998; Spratt and Lisiecki, 2016)。関東平野には MIS 3-2 にかけての海面低下期に、河川の下刻により、現在の低地の地下に、沖積層の基底に相当する深い開析谷が樹枝状に形成された(遠藤, 2015)。MIS 6 の海面低下は MIS 2 と同程度あるいはそれ以上であるということは、MIS 6 にも平野部の各所に深い開析谷が樹枝状に形成されたことを示唆する。つまり現在認識されている MIS 6 の開析谷およびそれを埋積する木下層の谷埋め堆積物はなかでも分布規模の大きいものであり、このほかにも木下層の谷埋め堆積物が各所に分布することが予想される。

木下層の谷埋め堆積物は更新統であるにもかかわらず *N* 値が 10 にも満たない軟弱な泥層からなることが多く、台地の地下の軟弱層として都市地盤の盲点であるとの指摘がある(Nakazawa et al., 2017 など)。実際に筑波台地でも本研究により木下層と考えられる谷埋め堆積物が *N* 値 5 以下の軟

らかい泥層からなることがある(宇野沢ほか, 1988)。このような堆積物は基礎工事の際に問題となるほか, 地震動の増幅にも影響を与えると考えられる。また地盤沈下の要因となっている可能性も指摘されている(中澤・遠藤, 2002)。首都圏の地盤リスク評価には沖積層と同様に木下層の谷埋め堆積物の分布を明らかにすることも重要である。

ま と め

筑波台地で掘削採取された3本のボーリングコア(GS-TS-1, GS-TS-2, GS-GM-1)について詳細な観察を行い, 層相, テフラ, 花粉化石群集に基づき層序の再検討を行った。結果は以下のようにまとめられる。

- 1) 層相観察に基づき, 海進海退によって形成された堆積サイクルを認識し, コアに観察される地層を堆積サイクルI-Vに区分した。
- 2) 堆積サイクルIIと堆積サイクルIVにテフラの挟在が認められた。これらのうち堆積サイクルIIに挟在するTS2-44.94は下総層群上泉層のKm2(TCu-1)テフラ, 堆積サイクルIVに挟在するTS1-11.73は大磯丘陵のKIP-2, 3, 5, 7テフラのいずれかに対比される。
- 3) コアに観察される地層は, 花粉化石群集に基づき, 花粉帯P1からP4帯に区分することができる。このうち花粉帯P3帯とP4帯は既往研究との比較からそれぞれMIS 5e前期-中期, 5e後期に相当すると考えられる。
- 4) 層相, テフラ, 花粉化石群集に基づき各堆積サイクルの下総層群模式層序との対比を行った。堆積サイクルIは藪層, 堆積サイクルIIは上泉層, 堆積サイクルIIIは清川層, 堆積サイクルIVは木下層, 堆積サイクルVは常総層と考えられる。
- 5) 本研究による地層対比の再検討により, 宇野沢ほか(1988)により筑波台地の地下に分布するとされた上岩橋層の谷埋め堆積物は木下層下部に相当することが明らかになった。
- 6) 筑波台地地下の埋没谷はMIS 6に形成されたと考えられる。関東平野では, 沖積層基底に相当するMIS 2の開析谷と同様に, MIS 6にも各所に谷地形が発達し, 木下層下部に相当する谷埋め堆積物の泥層が分布していると予想される。

謝 辞

地質標本館ヒートポンプ井コア試料(GS-GM-1)については産業技術総合研究所福島再生可能エネルギー研究所の内田洋平氏, 地圏資源環境研究部門の吉岡真弓氏, 高倉伸一氏, 地質調査総合センター研究戦略部の宮地良典氏, 地質標本館の下川浩一氏に便宜をはかっていただき, 試料をご提供いただいた。元産業技術総合研究所の磯部一洋氏からは層序の考察に関して有益な助言をいただいた。テフラ粒子のEDX分析は(株)古澤地質により実施された。担当編集委員の石原与四郎氏, 二名の匿名の査読者から論文修正に関わる有益なコメントをいただいた。深く感謝いたします。

文 献

- 新井房夫・町田 洋・杉原重夫(Arai, F., Machida, H. and Sugihara, S.), 1977, 南関東における後期更新世の示標テフラ層—特性記載とそれに関連する諸問題—(Characteristics of the late Pleistocene marker-tephras of South Kanto, central Japan), 第四紀研究(*Quatern. Res. (Daiyonki-Kenkyu)*), **16**, 19–40.
- 荒川真司(Arakawa, S.), 1986, 鹿島台地南部の地質(1) (Geology of southern part of the Kashima Terrace(1)). 清真学園紀要(*Bull. Seishin-Gakuen High School*), **2**, 47–66.
- 遠藤邦彦(Endo, K.), 2015, 日本の沖積層—未来と過去を結ぶ最新の地層—(“Chuseki-so” in Japan: Latest Layer Bridging the Past and the Future). 富山房インターナショナル(Fuzambo International), 415p.
- 古澤 明(Furusawa, A.), 1995, 火山ガラスの屈折率測定および形態分類とその統計的な解析に基づくテフラの識別(Identification of tephra based on statistical analysis of refractive index and morphological classification of volcanic glass shards). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **101**, 123–133.
- 古澤 明(Furusawa, A.), 2003, 洞爺火山灰降下以降の岩手火山のテフラの識別(Identification of tephra erupted from Iwate Volcano after the Toya Ash falling). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **109**, 1–19.
- Hongo, M., 2007, Stratigraphic distribution of *Hemiptelea* (Ulmaceae) pollen from Pleistocene sediments in the Osaka sedimentary basin, southwest Japan. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **144**, 287–299.
- 本郷美佐緒・水野清秀(Hongo, M. and Mizuno, K.), 2009, 埼玉県さいたま市で掘削された深作 A-1 ボーリングコアの花粉化石群集(Pollen assemblages of Fukasaku A-1 drilling core, Saitama Prefecture, central Kanto plain, Japan). 地調研報(*Bull. Geol. Surv. Japan*), **60**, 559–579.
- 五十嵐八枝子(Igarashi, Y.), 2009, 北西太平洋・鹿島沖コア MD01-2421 の MIS 6 以降の花粉記録: 陸域資料との対比(Pollen record in core MD01-2421 off Kashima, Northwest Pacific: correlation with the terrestrial pollen record since MIS 6). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **115**, 357–366.
- 金子 稔・石川博行・野村正弘・山岸良江・矢島祐介(Kaneko, M., Ishikawa, H., Nomura, M., Yamagishi, Y. and Yajima, Y.), 2001, 筑波研究学園都市のボーリングコアから得られた有孔虫化石(Fossil foraminifera from core samples drilled in the Tsukuba Science City, Ibaraki Prefecture, Japan). 群馬県立自然史博研報(*Bull. Gunma Mus. Natl. Hist.*), **5**, 49–68.
- Kikuchi, T., 1976, Stratigraphy and geologic structure of the marine Pleistocene of the Boso Peninsula, Japan, and relative changes in sea level from the Middle to Late Pleistocene. *Geogr. Rep. Tokyo Metropol. Univ. Mem. Vol. Prof. Taiji YAZAWA*, **11**, 133–146.
- 菊地隆男(Kikuchi, T.), 1997, 下総層群の層序と構造の形成過程(Forming process of marine Pleistocene succession, the Shimousa Group, in the Kanto Tectonic Basin). 地球科学(*Earth Sci. (Chikyū Kagaku)*), **51**, 117–132.
- 小林国夫・清水英樹・北沢和男・小林武彦(Kobayashi, K., Shimizu, H., Kitazawa, K. and Kobayashi, T.), 1967, 御嶽火山第一浮石層—御嶽火山第一浮石層の研究 その1—(The pumice-fall deposit “Pm-1” supplied from Ontake Volcano: Study of the pumice-fall deposit “Pm-1” supplied from Ontake Volcano No.1). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **73**, 291–308.
- 小玉喜三郎・堀口万吉・鈴木尉元・三梨 昂(Kodama, K., Horiguchi, M., Suzuki, Y. and Mitsunashi, T.), 1981, 更新世後期における関東平野の地塊状造盆地運動(Late Pleistocene crustal movement of the Kanto Plain, central Japan). 地質学論集(*Mem. Geol. Soc. Japan*), **20**, 113–128.
- 小松原琢・中澤 努・兼子尚知(Komatsubara, T., Nakazawa, T. and Kaneko, N.), 2004, 木更津地域の地質・地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)(*Geology of the Kisarazu District, Quadrangle Series, 1: 50,000*), 産総研地質調査総合センター

- (Geol. Surv. Japan, AIST), 64p.
- 小島伸夫(Kozima, N.), 1958, 木下地方の地質構造について—成田層群の研究 第1報—(Geological study of the Kiorosi District, Chiba Prefecture, Japan: The studies on the Narita Group(1)). 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **64**, 165–171.
- 小島伸夫(Kozima, N.), 1959, 印旛沼周辺の成田層群について—成田層群の研究 第3報—(Geological studies of the environs of the Inba-numa, Chiba Prefecture: The studies on the Narita Group(3)). 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **65**, 595–605.
- 小島伸夫(Kozima, N.), 1962, 印旛沼南方から大網白里町に至る地域の成田層群について—成田層群の研究 第4報—(On the Narita Group in the district from south of Inba-numa to Oami-Sirasato-mati, Tiba Prefecture, Japan: The studies on the Narita Group(4)). 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **68**, 676–686.
- Lisiecki, L. E. and Raymo, M. E., 2005, A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. *Paleoceanography*, **20**, PA1003.
- 町田 洋(Machida, H.), 1971, 南関東のテフロクロノロジー(I) —下末吉期以降のテフラの起源および層序と年代について—(Tephrochronological study in South Kanto part I Stratigraphy of tephra and its relation to the history of volcano). 第四紀研究(Quatern. Res. (Daiyonki-Kenkyu)), **10**, 1–20.
- 町田 洋・新井房夫(Machida, H. and Arai, F.), 2003, 新編—火山灰アトラス—日本列島とその周辺(Atlas of Tephra in and around Japan, New Edition). 東京大学出版会(Univ. Tokyo Press), 336p.
- 横山次郎(Makiyama, J.), 1930, 関東南部の洪積層(Pleistocene deposits of south Kwanto, Japan)*. 中村新太郎編, 小川博士還暦記念地学論集(The Geological Memoirs in the Commemoration of Dr. T. Ogawa's 60th Birthday)*, 弘文堂(Kobundo Press), 307–382.
- 三土知芳(Mitsuchi, T.), 1935, 7万5千分の1地質図幅「千葉」および説明書(Geological Map of Japan, Chiba with Explanatory Text, Scale 1: 75,000). 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 31p.
- 中里裕臣(Nakazato, H.), 1993, 下総層群清川層と上岩橋層の層序学的関係(Stratigraphic relationship between the Kiyokawa and Kamiawahashi Formations of the Middle-upper Pleistocene Shimosa Group, Chiba Prefecture, central Japan). 千葉県立中央博自然誌研報(Jour. Natl. Hist. Mus. Inst. Chiba), **2**, 115–124.
- 中里裕臣(Nakazato, H.), 2008, 常陸台地(Hitachi Upland). 日本地質学会編, 日本地方地質誌3, 関東地方(Monograph on Geology of Japan, Vol. 3 Kanto Region)*, 朝倉書店(Asakura Publ.), 325–331.
- 中里裕臣・佐藤弘幸(Nakazato, H. and Sato, H.), 1988, 下総層群上泉層中のKm2 テフラ(Km 2 tephra of the Kamiizumi Formation, the Shimosa Group, central Japan). 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **94**, 793–796.
- 中里裕臣・佐藤弘幸(Nakazato, H. and Sato, H.), 2001, 下総層群の年代と“鹿島”隆起帯の運動(Chronology of the Shimosa Group and movement of the “Kashima” uplift zone, Central Japan). 第四紀研究(Quatern. Res. (Daiyonki-Kenkyu)), **40**, 251–257.
- 中里裕臣・佐藤弘幸(Nakazato, H. and Sato, H.), 2016, 千葉県北部地域の下総層群の層序(Stratigraphy of the Shimosa Group in the northern part of Chiba Prefecture). 田中裕一郎編, 平成27年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 地質調査総合センター速報(Annu. Rep. Investigations on Geology and Active Faults in the Coastal Zone of Japan (FY2015), GSJ Interim Rep.), **71**, 55–78.
- 中澤 努・遠藤秀典(Nakazawa, T. and Endo, H.), 2002, 大宮地域の地質・地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)(Geology of the Omiya District, Quadrangle Series, 1: 50,000), 産総研地質調査総合センター(Geol. Surv. Japan, AIST), 41p.
- 中澤 努・中島 礼・植木岳雪・田辺 晋・大嶋秀明・堀内誠示(Nakazawa, T., Nakashima, R., Ueki, T., Tanabe, S., Oshima, H. and Horiuchi, S.), 2006, 大宮台地の地下に分布する更新統下総層群木下層のシーケンス層序学的研究(Sequence stratigraphy of the Pleistocene Kioroshi Formation, Shimosa Group beneath the Omiya Upland, central Kanto Plain, central Japan). 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **112**, 349–368.
- 中澤 努・中里裕臣(Nakazawa, T. and Nakazato, H.), 2005, 関東平野中央部に分布する更新統下総層群の堆積サイクルとテフロクロノロジー(Depositional cycles and tephrochronology of Pleistocene Shimosa Group in central Kanto Plain, central Japan). 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **111**, 87–93.
- Nakazawa, T., Sakata K., Hongo, M. and Nakazato, H., 2017, Transition from incised valley to barrier island systems during MIS 5e in the northern Chiba area, Kanto Plain, central Japan. *Quat. Int.*, **456**, 85–101.
- 中澤 努・坂田健太郎・中里裕臣(Nakazawa, T., Sakata, K. and Nakazato, H.), 2015, 成田・印西における更新統下総層群木下層の堆積相と物性: GS-NT-1 および GS-IZ-1 ボーリング調査概要(Sedimentary facies and physical properties of the Pleistocene Kioroshi Formation, Shimosa Group in the Narita-Inzai area, Chiba Prefecture: Preliminary report on GS-NT-1 and GS-IZ-1 boreholes). 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, 地質調査総合センター速報(Annu. Rep. Investigations on Geology and Active Faults in the Coastal Zone of Japan (FY2014), GSJ Interim Rep.), **68**, 39–51.
- 中澤 努・田辺 晋(Nakazawa, T. and Tanabe, S.), 2011, 野田地域の地質・地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)(Geology of the Noda District, Quadrangle Series, 1: 50,000), 産総研地質調査総合センター(Geol. Surv. Japan, AIST), 72p.
- 納谷友規・安原正也(Naya, T. and Yasuhara, M.), 2014, 鴻巣地域の地質・地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)(Geology of the Konosu District, Quadrangle Series, 1: 50,000), 産総研地質調査総合センター(Geol. Surv. Japan, AIST), 82p.
- 楡井 尊(Nirei, T.), 1996, 更新統産ハリゲヤキ属(ニレ科)の花粉形態(Fossil pollen morphology of *Hemiptelea* (Ulmaceae) obtained from Pleistocene deposits). 第四紀研究(Quatern. Res. (Daiyonki-Kenkyu)), **35**, 333–338.
- 岡崎浩子・増田富士雄(Okazaki, H. and Masuda, F.), 1992, 古東京湾地域の堆積システム(Depositional systems of the Late Pleistocene sediments in Paleo-Tokyo Bay area). 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **98**, 235–258.
- 大井信三・西連地信男・横山芳春・安藤寿男(Ooi, S., Sairenji, N., Yokoyama, Y. and Ando, H.), 2016, 常陸台地中部における第四系更新統下総層群の層序と堆積相: 行方市平須賀と周辺の露頭での再検討(Stratigraphy and sedimentary facies of the Pleistocene Shimosa Group in Hitachi Uplands: Re-examination at a well-exposed Section at Hirasuga, Namegata City and the neighborhood, Ibaraki Prefecture). 茨城県自然博研報(Bull. Ibaraki Nat. Mus.), **19**, 7–26.
- 大井信三・横山芳春・西連地信男・安藤寿男(Ooi, S., Yokoyama, Y., Sairenji, N. and Ando, H.), 2013, 常陸台地における下総層群木下層のテフラ層序と広域対比(Tephrostratigraphy of the Kioroshi Formation, Shimosa Group in the Hitachi Terraces, northeastern Kanto). 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **119**, 488–505.
- Rohling, E. J., Fenton, M., Jorissen, F. J., Bertrand, P., Ganssen, G., and Caulet, J. P., 1998, Magnitudes of sea-level low-stands of the past 500,000 years. *Nature*, **394**, 162–165.
- 坂本 亨・相原輝雄・野間泰二(Sakamoto, T., Aihara, T. and Noma, Y.), 1981, 石岡地域の地質・地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)(Geology of the Ishioka District, Quadrangle Series, 1: 50,000), 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 50p.
- 坂田健太郎・納谷友規・中澤 努・本郷美佐緒・中里裕臣(Sakata, K., Naya, T., Nakazawa, T., Hongo, M. and Nakazato, H.), 2016, 茨城県筑波台地の地下に分布する更新統谷埋め堆積物の層序の再検討(Reexamination on stratigraphy of Pleistocene incised-valley fills beneath the Tsukuba Upland, Ibaraki Prefecture, central Japan). 日本地質学会第123年学術大会講演要旨(123rd Annu. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.), 36.

- 下総台地研究グループ(Shimosa-daichi Research Group), 1984, 千葉県手賀沼周辺地域における木下層基底の形態と層相の関係 (The relation between the shape of the base of the Kioroshi Formation and its facies, around Tega-numa, Chiba Prefecture, central Japan). 地球科学(*Earth Sci. (Chikyu Kagaku)*), **38**, 226–234.
- Spratt, R. M. and Lisiecki, L. E., 2016, A Late Pleistocene sea level stack. *Clim. Past*, **12**, 1079–1092.
- 杉原重夫(Sugihara, S.), 1980, 下総層群成田層の層序と基底地形(Stratigraphy and bedrock topography on Narita Formation at Shimosa Upland, Kanto Plain). 明治大学人文科学研究紀要(*Mem. Inst. Cult. Sci., Meiji Univ.*), **18**, 1–41.
- 杉原重夫・新井房夫・町田 洋(Sugihara, S., Arai, F. and Machida, H.), 1978, 房総半島北部の中・上部更新統のテフロクロノジー(Tephrochronology of the Middle to Late Pleistocene sediments in the northern part of the Boso Peninsula, central Japan). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **84**, 583–600.
- 鈴木毅彦(Suzuki, T.), 1989, 常磐海岸南部における更新世後期の段丘と埋没谷の形成(Geomorphic development of the Late Pleistocene terraces and buried valleys in southern Joban coastal region, north Kanto, Japan). 地理評 Ser. A(*Geogr. Rev. Japan, Ser. A*), **62**, 475–494.
- 徳橋秀一・遠藤秀典(Tokuhashi, S. and Endo, H.), 1984, 姉崎地域の地質・地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)(*Geology of the Anesaki District, Quadrangle Series, 1: 50,000*), 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 136p.
- 徳橋秀一・近藤康生(Tokuhashi, S. and Kondo, Y.), 1989, 下総層群の堆積サイクルと堆積環境に関する一考察(Sedimentary cycles and environments in the Middle-Late Pleistocene Shimosa Group, Boso Peninsula, central Japan). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **95**, 933–951.
- 辻誠一郎(Tsuji, S.), 1980, 大磯丘陵の更新世古沢層の植物化石群集(I) (Plant Fossil Assemblages from the Pleistocene Kissa-wa Formation in Oiso Hills, central Japan(I)). 第四紀研究(*Quatern. Res. (Daiyonki-Kenkyu)*), **19**, 107–115.

- 宇野沢昭・磯部一洋・遠藤秀典・田口雄作・永井 茂・石井武政……岡 重文(Unozaawa, A., Isobe, I., Endo, H., Tagutschi, Y., Nagai, S., Ishii, T.,...Oka, S.), 1988, 2万5千分の1筑波研究学園都市および周辺地域の環境地質図説明書・特殊地質図(*Explanatory Text of the Environmental Geologic Map of the Tsukuba Science City and Its Surroundings, scale 1: 25,000. Miscellaneous Map Series*), 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 139p.
- 横山芳春・安藤寿男・橋本聡子(Yokoyama Y., Ando, H. and Hashimoto, S.), 2004, 大規模カキ化石密集層のタフォノミー: 茨城県霞ヶ浦周辺の第四系更新統下総層群を例に(Taphonomy of large-scale oyster shell beds: examples from the Pleistocene Shimosa Group around the Lake-Kasumigaura area, Ibaraki Prefecture, Japan). 化石(*Fossils*), **76**, 32–45.

* English translation from the original written in Japanese.

(著者プロフィール)

坂田健太郎 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情報地質研究グループテクニカルスタッフ。研究内容: 層序学, 堆積学。本研究では, コア記載, テフラ分析, 層序の考察, 全体の調整, 編集委員会との対応を担当。

納谷友規 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平野地質研究グループ主任研究員。研究内容: 層序学, 微古生物学(珪藻化石)。本研究ではコア記載, 層序の考察を担当。

本郷美佐緒 有限会社アルプス調査所理学研究室所属。研究内容: 第四紀層序学, 微古生物学(花粉化石)。本研究では花粉化石分析, 層序の考察を担当。

中里裕臣 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門地域資源工学研究領域地下水資源ユニット主席研究員。研究内容: 土木地質学, 第四紀学。本研究ではテフラ分析, 層序の考察を担当。

中澤 努 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情報地質研究グループ長。研究内容: 層序学, 堆積学, 古生物学。本研究では層序の考察, 全体の調整を担当。

(要 旨)

坂田健太郎・納谷友規・本郷美佐緒・中里裕臣・中澤 努, 2018, 茨城県筑波台地に分布する中—上部更新統下総層群の層序の再検討. 地質雑, **124**, 331–346. (Sakata, K., Naya, T., Hongo, M., Nakazato, H. and Nakazawa, T., 2018, Reexamination on stratigraphy of the Middle to Upper Pleistocene Shimosa Group beneath the Tsukuba Upland, Ibaraki Prefecture, central Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **124**, 331–346.)

茨城県筑波台地の地下に分布する中—上部更新統下総層群の層序の再検討を行った。ボーリングコア試料に海進海退によって形成された堆積サイクル I–V を認識し、挟在するテフラ及び花粉化石分析の結果をもとに層序対比を検討したところ、これらの堆積サイクルが下位より順に、下総層群数層, 上泉層, 清川層, 木下層, 常総層に対比されることが明らかとなった。従来の解釈と大きく異なるのは、上岩橋層(MIS 7)とされていた谷埋め堆積物が木下層(MIS 5e)に対比されたことである。埋積されている谷地形は MIS 6 に形成されたと考えられる。このことは過去 40 万年間において MIS 2 と並ぶ低海水準期が MIS 6 であること, またこの谷の埋積層である木下層下部が千葉県や埼玉県下に分布していることも調和的である。

科学論文では, 学説の検証可能性を保証することが重要です。そのため, 地質学雑誌掲載論文には, 重要な証拠となった試料がどこで得られたかを示しているものがあります。言うまでもないことですが, 見学や採取を行う場合, 各自の責任において地権者や関係官庁への連絡と許可の取得の必要があることにご注意下さい。詳しくは, 以下のサイトをご覧ください。

<http://www.geosociety.jp/publication/content0073.html>

一般社団法人日本地質学会