関東平野中央部の地下に分布する鮮新–更新統の層序と構造運動

Stratigraphy and tectonics of the Plio–Pleistocene beneath the central Kanto Plain, central Japan

Abstract

納谷友規^{*} 本郷美佐緒^{**}
植木岳雪^{***} 八戸昭一^{****}
水野清秀^{*}

Tomonori Naya^{*}, Misao Hongo^{**},
Takeyuki Ueki^{***}, Shoichi Hachinohe^{****}
and Kiyohide Mizuno^{*}

2016年9月2日受付.
2017年3月31日受理.

^{*} 産業技術総合研究所地質情報研究部門
Geological Survey of Japan, AIST, Central 7,
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., Toyoshina-takibe 2287-27, Azumino,
Nagano 399-8204, Japan

^{***} 千葉科学大学危機管理学部
Chiba Institute of Science, 3 Shiomicho,
Choshi, Chiba 288-0025, Japan

^{****} 埼玉県環境科学国際センター
Research Institute, Center for Environmental
Science in Saitama, 914 Kamitanadare, Kazo,
Saitama 347-0115, Japan

Corresponding author: T. Naya,
t-naya@aist.go.jp

We used cores drilled up to depths of 600 m from the central Kanto Plain, Japan, to examine the stratigraphy of the Kazusa and Shimosa groups, and correlate marine intervals with marine oxygen isotopic stages (MIS). Both groups contain sediments from the upper Pliocene (Gauss Chronozone), and the lower to upper Pleistocene. We recognized an unconformity in the Kazusa Group at around 1.6 Ma, which represents a 0.5–1.0 Myr hiatus in the sequence. Both groups comprise cyclic deposits of shallow marine and terrestrial sediments, and there was no significant hiatus after 1.6 Ma in either group. From the depths of correlated marine intervals, we infer that this part of the Kanto Plain, including the cities of Kuki and Kasukabe, was a center of tectonic subsidence around 1.6 Ma.

Keywords: Pliocene, Pleistocene, Kanto Plain, subsurface geology, stratigraphy, tectonics, boring core

はじめに

関東平野は、先新第三系を基盤とする大規模堆積盆として発達してきた(例えば、石井, 1962; 福田・鈴木, 1987; 林ほか, 2006)。この堆積盆は関東堆積盆と呼ばれ、厚い新第三系～第四系によって埋積されている(例えば、三梨, 1986)。関東平野の第四系は、房総半島や多摩丘陵など平野縁部の丘陵部では陸上に露出するが、平野縁部をのぞくと、段丘地形を構成する最上部の地層以下はすべて地下に分布する。特に、現在の沈降中心に位置する関東平野中央部の地下には、非常に厚く第四系が伏在することが知られており(例えば、貝塚, 1987)、その層厚は埼玉県久喜市付近で約1,000 mに達すると見積もられている(納谷ほか, 2013)。

関東平野中央部の地下に分布する第四系の層序は、ボーリングコアの解析によって明らかにされてきた。特に1980年代以降、埼玉県内の地盤沈下観測井設置に伴って、最大で深度600 mに達する大深度のオールコアボーリングが多地点で実施されるようになり、コアの解析に基づく地質学的知見

が蓄積され始めた。埼玉県川島町と春日部市で掘削された掘削長600 mのコアでは、岩相、古地磁気層序や微化石分析など複合的な解析に基づき層序が検討され、関東平野中央部における地下600 m以浅に分布する第四系の層序の概要が初めて示された(関東平野中央部地質研究会, 1994)。

その後、関東平野中央部地下に分布する第四系のうち、中～上部更新統にあたる下総層群相当層については、模式地である房総半島との詳細な対比がなされ、下総層群と上総層群の境界層準が明らかにされた(中澤ほか, 2009)。しかし、それよりも下位の上総層群相当層の層序については、関東平野中央部地質研究会(1994)以降、まとまった知見はなかった。

最近、産業技術総合研究所(以下産総研)は、関東平野中央部における詳細な層序確立を目的として、久喜市菖蒲(旧菖蒲町)において新たに掘削長350 mのオールコアボーリング(GS-SB-1)を実施した。このコアでは、層相と海成層準、古地磁気層序、挟有する広域テフラの対比、花粉化石層序などが詳細に検討され層序の詳細が明らかにされた(山口ほか, 2009; 納谷ほか, 2009; 植木ほか, 2009; 本郷ほか, 2011)。

Fig. 1. Geological map of the central Kanto Plain and the location of borehole sites. Map after Sugiyama et al. (1997). The line connecting borehole sites indicates the order of the cores in the cross-section shown in Fig. 3. Borehole names: KJ, Kawajima; FS, Fukasaku A-1; KK, Kasukabe; SB, GS-SB-1; WM, Washimiya.

本郷ほか(2011)は、埼玉県さいたま市深作^{ふかさく}で掘削された掘削長 300 m の深作 A-1 コアの花粉化石再解析結果(本郷・水野, 2009)と合わせて、下部更新統上部以上で有効な花粉指標層準を示した。また、Naya(2010)は、中部更新統下部を産出上限とする浅海生珪藻化石を発見し、この化石の産出層準が層序指標となる可能性を示した。さらに、関東平野中央部で掘削された既存ボーリングコアの再解析も行われ、珪藻化石に基づく海成層準の再検討(納谷ほか, 2012)、広域テフラの再検討(水野ほか, 2006; 水野・納谷, 2011)、古地磁気極性の再分析と古地磁気層序の再検討がなされた(植木ほか, 2012)。これらの研究によって関東平野中央部の地下に伏在する上総層群相当層の層序について新たな知見が加わり、その概要が納谷ほか(2014)において示された。

本研究では、GS-SB-1 コアの解析結果と 4 本の既存コア(川島コア、春日部コア、鷺宮コア、深作 A-1 コア)の詳細な再解析結果を、新たに測定された古地磁気極性のデータを加えて総括し、関東平野中央部の地下 600 m までの第四系層序を再検討した。さらに、コアに挟在する海成層の対比を検討し、特に上総層群相当層における海成層準と海洋酸素同位体ステージとの対比を試みた。このようにして明らかにされた詳細な層序対比に基づき、関東平野中央部における地質構造と構造運動を論じた。

各コアの層序

本研究では、産総研が掘削した GS-SB-1 (以下、SB コア)、

埼玉県の地盤沈下観測井コアである川島コア(以下、KJ コア)、春日部コア(以下、KK コア)、鷺宮コア(以下、WM コア)、そして埼玉県の活断層調査で掘削された深作 A-1 コア(以下、FS コア)の計 5 本のコアを使用した(Fig. 1)。

本研究で報告するコアの岩相柱状図および海成層準は納谷ほか(2012)に、テフラ層序は水野・納谷(2011)に、花粉化石層序は本郷・水野(2009)、本郷ほか(2011)、関東平野中央部花粉グループ(1994)にそれぞれ基づく(Fig. 2)。

古地磁気層序については、最下部を除く SB コアは植木ほか(2009)に、FS コアは埼玉県(1996)にそれぞれ基づく。WM、KJ、KK コアの全体と SB コアの最下部については、今回新たに測定された古地磁気極性結果を柱状図に示した。この古地磁気極性は、植木ほか(2009)の方法と同じく、残留磁化の段階交流消磁実験を、0~10 mT では 2.5 mT 刻み、10~80 mT では 5 mT 刻みの計 19 段階で行い、磁気シールド室内に設置された 2G 社製パススルー型超電導磁力計(モデル 760R)を用いて測定された。伏角のみによって古地磁気極性を判断した結果である。

Fig. 3 に今回新たに測定された試料における交流消磁実験結果の典型例として、KJ、KK、SB 各コアの試料に対する交流消磁実験の結果を示す。KJ コアの深度 311.65 m の試料(Fig. 3 の a)は、0~20 mT では消磁の進行に伴って残留磁化ベクトルが徐々に変化し、粘性残留磁化が除去されることを示す。20 mT 以上では、上向きの伏角を持つ原点に向かう固有磁化成分が認められ、この試料の残留磁化極性は

Fig. 2. Borehole stratigraphy. a) Magneto-stratigraphy. b) Magnetic polarity. c) Stratigraphy. d) Marine inter-val, and presence of tephra, or pollen index. e) Unit names. Data sources: 1) New data obtained in this study; 2) Pollen Analytical Group of Central Kanto Plain (1994); 3) Saitama Pref. (1996); 4) Hongo and Mizuno (2009); 5) Ueki et al. (2009); 6) Naya and Yasuhara (2014); 7) Hongo et al. (2011). A* denotes the most re-cent incised-valley-infill deposits (Pleistocene to Holocene).

Fig. 3. Selected results from progressive alternating field demagnetization of core samples from the Matuyama and Gauss Chronozones. Results, a)–e) are labeled with the borehole name (as for Fig. 1) and the sample depth (in brackets). Solid and open circles show projection of vector-endpoints on the horizontal and north-south vertical planes, respectively. Unit of magnetization intensity is Am^2 .

逆と判断される。深度 403.95 m (Fig. 3 の b) の試料は、2.5 mT 以上で下向きの伏角を持つ原点に向かう固有磁化成分が認められ、この試料の残留磁化極性は正と判断される。後述するように、このような残留磁化極性の変化から、KJ コアの深度 311.65 m、403.95 m の試料はそれぞれ Matuyama 逆磁極帯、Gauss 正磁極帯に相当すると判断された。KK コアと SB コアの試料も同様な消磁結果を示し、KK コアの深度 460.82 m (Fig. 3c)、KK コアの 589.89 m (Fig. 3 の d) の試料は、それぞれ Matuyama 逆磁極帯、Gauss 正磁極帯に相当し、SB コアの深度 350.01 m の試料は Jaramillo 正磁極帯に相当する (Fig. 3 の e)。

各コアの諸元と重要な層序指標の深度および層序指標に対する既知の年代値を Table 1 に示した。

1. KJ (川島コア)

このコアは、埼玉県比企郡川島町大字下八ツ林 ($35^{\circ}59'25.4''\text{N}$, $139^{\circ}29'1.8''\text{E}$) において埼玉県が地盤沈下観測井設置のために掘削したもので、関東平野中央部地質研究会編 (1994) では川島 84KJ ボーリングとして報告された。掘削地点は荒川低地の沖積面に位置する。孔口標高は 11.884 m で、掘削深度は 600 m のコアである。層相は、大部分が泥層と砂層と礫層の繰り返しからなり、深度 586.7 m 以深は凝灰質な泥岩からなる。海成層準は深度 380 m 以浅にのみ分布し、計 14 層準識別される (KJ-M1~KJ-M14: 納谷ほか, 2012)。

古地磁気層序については、会田ほか (1994) によって対比が試みられていた。それによれば、深度 190 m までが

Table 1. Summary of the ages, magnetostratigraphy, and stratigraphic indices for drill cores from the central Kanto Plain.

Core	Depth (m)	Tephra	Tephra correlation	Chron boundary	Age (Ma)[MIS]	References (core)	References (age)
KJ (Kawajima)	129.90-130.00	KJT-130.0	Ks22	-	0.60-0.62[MIS 15-16]	Mizuno and Naya (2011),	Machida and Arai (2003)
N35°59'25.4", E139°29'1.8"	150	-	-	C1n/C1r	0.781[MIS 19]	This study	Pillans and Gibbard (2012)
EL: 11.004 m, Length: 600 m	180	-	-	C1r.1r/C1r.1n	0.99[MIS 28]	This study	Pillans and Gibbard (2012)
	200	-	-	C1r.1n/C1r.2r	1.07[MIS 31]	This study	Pillans and Gibbard (2012)
	197.44-197.54	KJT-197.5	Joetsu	-	ca.1.12[MIS 33-34]	Mizuno and Naya (2011)	Naya et al. (2013)
	205.60-205.60	KJT-205.6	O24?	-	ca.1.15? [MIS 35]	Mizuno and Naya (2011)	Sato et al. (1999), Sato et al. (2009)*
	266.00-266.80	KJT-266.8	Kd12 Type	-	1.392-1.467	Mizuno and Naya (2011)	Suzuki and Murata (2011)
	364.91-366.30	KJT-366.3	Azu-Koen1	-	ca.2.3	Mizuno and Naya (2011)	Mizuno and Naya (2011)
	390	-	-	C2r/C2An	2.588[MIS 103/104]	This study	Pillans and Gibbard (2012)
	440.12-444.67	KJT-444.7	Chigase5	-	ca.2.7	Mizuno and Naya (2011)	Ueki and Sakai (2007)
FS(Fukasaku A-1)	36.30-36.33	A-1.No.22	Ky3 (TB-8)	-	ca.0.2[MIS 7.3]	Saitama Pref. (1996)	Nakazato and Sato (2001)
N35°56'44.5", E139°39'47.0"	233.05-241.25	-	-	C1n/C1r	0.781[MIS 19]	Saitama Pref. (1996)	Pillans and Gibbard (2012)
EL: 17.124 m, Length: 300 m	277.02-277.04	FS1T-277.0	Ku6C	-	[MIS 21]	Mizuno and Naya (2011)	Nakazato et al. (2003), Kameo et al. (2006)
KK (Kasukabe)	184.60-185.00	KKT-185.0	Ks18	-	0.57-0.58[MIS 15]	Mizuno and Naya (2011)	Machida and Arai (2003)
N35°58'21.3", E139°44'46.7"	250	-	-	C1n/C1r	0.781[MIS 19]	This study	Pillans and Gibbard (2012)
EL: 5.31 m, Length: 600 m	320	-	-	C1r.1r/C1r.1n	0.99[MIS 28]	This study	Pillans and Gibbard (2012)
	360	-	-	C1r.1n/C1r.2r	1.07[MIS 31]	This study	Pillans and Gibbard (2012)
	387.60-389.72	KKT-389.7	Joetsu	-	ca.1.12[MIS 33-34]	Mizuno and Naya (2011)	Naya et al. (2013)
	470.50-471.50	KKT-471.5	Kd12 Type	-	1.392-1.467	Mizuno and Naya (2011)	Suzuki and Murata (2011)
	520.30-520.70	KKT-520.7	Kd25	-	1.573[MIS 54]	Mizuno and Naya (2011)	Nozaki et al. (2014)
	535	-	-	C2r/C2An	2.588[MIS 103/104]	This study	Pillans and Gibbard (2012)
	553.00-553.20	KKT-553.2	Chigase6	-	ca.2.7	Mizuno and Naya (2011)	Ueki and Sakai (2007)
SB(GS-SB-1: Shobu)	9.90-10.90	SBT-10.90	On-Pm1	-	ca.0.1[MIS 5.3]	Yamaguchi et al. (2009)	Machida and Arai (2003)
N36°3'21.8", E139°36'4.3"	182.27-182.33	SBT-182.87	Ks5	-	0.42-0.45[MIS 12]	Yamaguchi et al. (2009)	Machida and Arai (2003)
EL: 11.736 m, Length: 350.2 m	266.755-276.9	-	-	C1n/C1r	0.781[MIS 19]	Ueki et al. (2009)	Pillans and Gibbard (2012)
	350	-	-	C1r.1r/C1r.1n	0.99[MIS 28]	This study	Pillans and Gibbard (2012)
WM(Washimiya)	170.00-170.06	WMT-170.06	Kh6b	-	ca.0.5[MIS 13]	Naya and Yasuhara (2014)	Nakazawa et al. (2009)
N36°5'27.3", E139°40'59.2"	250	-	-	C1n/C1r	0.781[MIS 19]	This study	Pillans and Gibbard (2012)
EL: 9.24 m, Length: 514.6 m	300	-	-	C1r.1r/C1r.1n	0.99[MIS 28]	This study	Pillans and Gibbard (2012)
	325	-	-	C1r.1n/C1r.2r	1.07[MIS 31]	This study	Pillans and Gibbard (2012)
	370.0-373.0	WMT-373.0	Joetsu	-	ca.1.12[MIS 33-34]	Mizuno and Naya (2011)	Naya et al. (2013)

* The O21, O22 and O23 tephras are found just above, and the O27 tephra are recorded below the calcareous nannofossil datum 7 in the Kazusa Group of Boso Peninsula (Sato et al., 1999). Therefore, the stratigraphic position of the O24 tephra is estimated to be around the nannofossil datum 7

Brunhes 正磁極帯に、深度 190~380 m が松山逆磁極帯に、そして深度 380 m 以深が Gauss 正磁極帯に対比された。また、深度 365~380 m は Olduvai 正磁極帯に対比される可能性が指摘された。一方、今回明らかになった古地磁気極性によれば、深度 0~150 m は概ね連続的に正磁極を示し、深度 150~390 m は逆磁極が卓越し、深度 390 m 以深は連続的に正磁極を示す。逆磁極が卓越する範囲では、深度 180~200 m と深度 240~270 m で正磁極が卓越する。この結果から、深度 0~150 m は Brunhes 正磁極帯、深度 150~390 m は Matuyama 逆磁極帯、深度 180~200 m は Jaramillo 正磁極帯、深度 390~585 m は Gauss 正磁極帯にそれぞれ対比される。この対比は、後述するテフラ対比とも矛盾しない。

年代の指標となる広域テフラは、6 層準で確認されている。以下、水野・納谷(2011)に従い記述する。KJ-M5 海成層には、上総層群の笠森層に挟在する Ks22 テフラ(町田ほか, 1980; 徳橋・遠藤, 1984)に対比されるテフラが認められる。KJ-M8 海成層の直上には、新潟地域の下部更新統に挟在する上越火山灰(あるいは SK030)(黒川ほか, 1981; Kurokawa and Hirata, 1986)に対比されるテフラが挟在する。KJ-M8 海成層の上部には、上総層群大田代層中にみられる O24 テフラ(千葉県中央博物館, 1991)に対比される可能性の高いテフラが認められる。

KJ-M9 と KJ-M10 海成層の間に挟まる砂層には、上総層群黄和田層の Kd12(千葉県立中央博物館, 1991)テフラに類似するテフラが認められ、水野・納谷(2011)はこのテフラを Kd12 テフラに対比した。しかし、鈴木・村田(2011)によると、多摩地域の上総層群と銚子地域の犬吠層群には Kd12 テフラに対比される西久保テフラ(NK テフラ)の他に、それよりも下位に、このテフラと記載岩石学的特徴が非常に類似する読売テフラ(YM テフラ)、黒川テフラ(KK テフラ)、田中テフラ(TN テフラ)を報告しており、この見解を参考にすると、コアに一層だけ挟在するテフラを記載岩石学特徴だけでこれらのいずれかに特定することは困難である。そこで、本稿では水野・納谷(2011)がコアの中で Kd12 に対比したテフラを Kd12 Type テフラと呼ぶことにする。

KJ-M14 海成層の直上には、関東平野西縁部の仏子層に挟在する阿須公園 1 テフラ(水野・納谷, 2011)に対比されるテフラが認められる。阿須公園 1 テフラは、古琵琶湖層群に挟在する鎌掛火山灰層(鎌掛団体研究グループ, 1972; 川邊, 1981)に対比される。鎌掛火山灰層の層位は Matuyama 逆磁極帯最下部付近であるため(林・川邊, 1993)降灰年代は約 2.3 Ma と推測される。さらに、KJ-M14 海成層より 60 m ほど下位には、東京都青梅地域の友田層において、Gauss 正磁極帯に対比される鮮新統に挟在する(植木・

酒井, 2007) 千ヶ瀬 5 テフラ (CGS5: 正田ほか, 2005) に対比されるテフラが認められる。

層序の指標となる花粉群集としては, *Quercus* subgenus *Cyclobalanopsis* (以下 *Cyclobalanopsis*) 花粉の多産層準が, コアの最上部と KJ-M4 海成層の層準に認められるほか, *Quercus* subgenus *Lepidobalanus* (以下 *Quercus*) 花粉の相対的多産層準の上限が深度 150 m に認められる (関東平野中央部花粉グループ, 1994)。

2. FS(深作 A-1 コア)

このコアは, 埼玉県さいたま市見沼区小深作 (35°56'44.5"N, 139°39'47.0" E) において, 埼玉県が活断層調査のために掘削したものである (埼玉県, 1996)。掘削地点は, 大宮台地上にあり, その段丘面 (大宮面) は MIS 5.3 頃に形成されたと考えられている (中澤・遠藤, 2002)。孔口標高は 17.124 m で, 掘削深度は 300 m のコアである。層相は, 最上部は火山灰質土からなり, それよりも下位は泥層と砂層と礫層の繰り返しからなる。海成層準は, 計 8 層準識別される (FS-M1~FS-M8: 納谷ほか, 2012)。

古地磁気層序については, 埼玉県 (1996) が報告している。逆磁極と正磁極の逆転境界が, 深度 233.05~241.25 m に認められ, この層準が Brunhes-Matuyama 地磁気境界に対比される。

年代の指標となる広域テフラは 3 層準で見つかっている。最上部の火山灰質土からは, およそ 26~29 ka に噴出したとされる始良 Tn テフラ (AT) (町田・新井, 2003) が検出されている (埼玉県, 1996)。また, FS-M1 海成層の下位からは, 大磯丘陵に認められる TB-8 テフラ (町田ほか, 1974) および下総層群清川層に見られる Ky3 テフラ (徳橋・遠藤, 1984) (MIS 7.3: 中里・佐藤, 2001) に対比されるテフラが報告されている (埼玉県, 1996)。さらに, FS-M8 海成層には, 上総層群国本層の Ku6C テフラ (町田ほか, 1980) に対比されるテフラが認められる (水野ほか, 2006)。

層序の指標となる花粉群集としては, *Cyclobalanopsis* 花粉の多産層準が FS-M4 海成層の中に認められるほか, *Quercus* 花粉の相対的多産層準の上限が FS-M7 海成層の上限に認められる (本郷・水野, 2009)。

3. KK(春日部コア)

このコアは埼玉県春日部市谷原 (35°58'21.3" N, 139°44'46.7" E) において埼玉県が地盤沈下観測井設置のために掘削したもので, 関東平野中央部地質研究会編 (1994) では, 春日部 90KK ポーリングとして報告された。掘削地点は中川低地に位置する。孔口標高は 5.31 m で, 掘削深度は 600 m のコアである。層相は, 泥層と砂層と礫層の繰り返しからなる。海成層準は, 計 18 層準識別されている (KK-M1~KK-M18: 納谷ほか, 2012)。

古地磁気層序については, 会田・関東平野中央部地質研究会 (1992) と会田ほか (1994) による報告がある。それらによれば, 深度 0~256.68 m が Brunhes 正磁極帯に, 深度 256 m より下位は Brunhes 逆磁極帯にそれぞれ対比され, 深度 324~360 m は Jaramillo 正磁極帯に対比されるとした。今回の古地磁気極性測定結果 (Fig. 2) は, Brunhes-

Matuyama 古地磁気逆転境界と Jaramillo 正磁極帯については既存研究とほぼ同様の結果が得られた。新たな知見として, 深度 535 m 以深では正磁極が連続することが明らかになった。後述するように, この区間には Gauss 正磁極帯上部に挟在する千ヶ瀬 6 テフラ (CGS6: 正田ほか, 2005) を挟在することから, 深度 535~600 m の区間は Gauss 正磁極帯に対比される。

年代の指標となる 5 層の広域テフラが見つかっている。以下, 水野・納谷 (2011) に従い記述する。KK-M6 海成層の上位には, 上総層群笠森層の Ks18 テフラ (町田ほか, 1980; 徳橋・遠藤, 1984) に対比されるテフラが認められる。KK-M11 と KKM12 海成層の間には, 上越火山灰 (SK030 テフラ) に対比されるテフラが認められる (小林・関東火山灰グループ, 2003; 水野・納谷, 2011)。KK-M14 海成層の直下には, 上総層群黄田層の Kd12 Type テフラに対比されるテフラが, KK-M16 海成層の下位には Kd25 テフラ (三梨ほか, 1959, 里口, 1995) に対比されるテフラがそれぞれ認められる。さらに, KK-M17 海成層の直下には, 東京都青梅地域の友田層において, Gauss 正磁極帯に対比される鮮新統に挟在する (植木・酒井, 2007) CGS6 テフラに対比されるテフラが認められる。

層序の指標となる花粉群集としては, *Cyclobalanopsis* の多産層準が, KK-M5 海成層の中に認められるほか, *Quercus* の相対的多産層準の上限が KK-M6 と KK-M7 海成層の間に認められる (本郷ほか, 2011)。

4. SB(菖蒲 GS-SB-1 コア)

このコアは, 久喜市菖蒲 (旧菖蒲町) 上大崎 (36°3'21.8" N, 139°36'4.3" E) で掘削された。掘削地点は大宮台地を開析した小規模な谷底低地に位置する (山口ほか, 2009)。この低地では, 大宮面を形成する段丘面の上を薄い沖積層が覆っている。孔口標高は 11.736 m で, 掘削深度は 350.2 m のコアである。層相は, 最上部は泥層からなり, その下に層厚約 3 m の火山灰質土が分布し, それよりも下位は泥層と砂層と礫層の繰り返しからなる。計 9 層準の海成層準が識別されている (SB-M1~SB-M9: 山口ほか, 2009; 納谷ほか, 2009, 2012)。

古地磁気層序は, 植木ほか (2009) によって報告されており, 正磁極と逆磁極が逆転する層準が深度 266.755~276.9 m に認められる。この層準は Brunhes-Matuyama 地磁気逆転境界に対比される。さらに, 今回新たに行った測定により, コア最深部の深度 350.2 m の泥層は正磁極を示すことが明らかになった (Figs. 2, 3)。このことから, コア最深部は Jaramillo 正磁極帯に到達していると考えられる。

年代の指標となる 4 層の広域テフラが識別されている。火山灰質土からは AT テフラが検出されている (山口ほか, 2009)。また, 火山灰質土直下の砂層からは, 約 10 ka に噴出したとされる (町田・新井, 2003) 御岳第一テフラ (On-Pm1) (小林ほか, 1967) に対比されるテフラが認められる (山口ほか, 2009)。SB-M2 海成層の直下には, 約 180 ka の MIS 7~6 移行期に堆積したとされる飯縄西山軽石層 (In-

Ny) (中里・中澤, 2007)に対比されるテフラが認められる(納谷・安原, 2014). SB-M4 海成層の約 20 m 下位からは、上総層群笠森層に挟在する Ks5 テフラ(町田ほか, 1980; 徳橋・遠藤, 1984)に対比されるテフラが検出されている(山口ほか, 2009).

層序の指標となる花粉群集としては、*Cyclobalanopsis* 花粉の多産層準が、SB-M4 海成層の中に認められるほか、*Quercus* 花粉の相対的多産層準の上限が SB-M6 海成層の直上に認められる(本郷ほか, 2011).

5. WM(鷺宮コア)

このコアは、久喜市鷺宮(旧鷺宮町)大字大輪字下出(36°5'27.3" N, 139°40'59.2" E)において、埼玉県が地盤沈下観測井設置のために掘削したものである(金子ほか, 1994; 納谷ほか, 2014). 掘削地点は中川低地の上流部に位置する。孔口標高は 9.24 m で、掘削深度は 514.6 m のコアである。コア最上部は主に泥層からなり、その下に 1 m ほどの火山灰質土層を挟み、それよりも下位は泥層と砂層と礫層の繰り返しからなる。特に、深度 190~280 m と深度 430 m 以深は礫層が卓越する。計 6 層準の海成層準(WM-M1~WM-M6)が識別されている(納谷ほか, 2012; 納谷・安原, 2014).

今回測定された古地磁気測定結果(Fig. 2)によれば、深度 0~250 m までは正磁極を示し、深度 260 m 付近で逆磁極を示す。深度 300~325 m は再び正磁極を示し、深度 325 m 以深は逆磁極を示す。この結果から、深度 0~250 m までを Brunhes 正磁極帯に、深度 250 m 以深を Matuyama 逆磁極帯に、さらに深度 300~325 m を Jaramillo 正磁極亜帯に対比した。

年代の指標となる広域テフラは計 3 層準で見ついている。WM-M1 海成層直下の火山灰質土からは、AT テフラに対比されるテフラが見出されている(納谷・安原, 2014). WM-M5 海成層よりも 10 m ほど下位には、犬吠層群倉橋層の Kh6b テフラ(酒井, 1990)に対比されるテフラが認められる(納谷・安原, 2014). また、WM-M6 海成層の 20 m ほど下位からは、上越火山灰(SK030)に対比されるテフラが見ついている(水野・納谷, 2011).

下総層群相当層の海成層準対比

房総半島において上総層群と下総層群は、それらの層相の明確な相違によって区別される。上総層群は、漸深海から陸棚で堆積した泥質海成堆積物を主体とするのに対し、下総層群は陸成層と浅海成層の堆積サイクルから構成される(徳橋・遠藤, 1984). 下総層群の浅海成層と陸成層の繰り返しは、氷河性海水準変動を反映した海進-海退によって形成されたと考えられており、各累層と MIS との対応も示されている(例えば、中里・佐藤, 2001). 一方、関東平野中央部では、下総層群相当層だけではなく上総層群相当層も陸成層と浅海成層の互層からなるため(関東平野中央部地質研究会, 1994), 層相に基づいて両層群を区別できない。徳橋・遠藤(1984)の定義によれば、下総層群の最下部層である地蔵堂層の基底が下総層群と上総層群の境界となる。地蔵堂層の基底は MIS 12 の低海水準期に形成された不整合面、地蔵堂層の海

成層は MIS 11 にそれぞれ相当すると考えられている(町田ほか, 1980; 中里・佐藤, 2001). 中澤ほか(2009)は、埼玉県越谷市で掘削された GS-KS-1 コアにおいて、テフラの対比に基づいた詳細な堆積サイクルの対比を根拠に、関東平野中央部の地下に分布する下総層群の層序を検討し、上総-下総層群境界となる下総層群地蔵堂層の基底を特定した。また、地蔵堂層に相当する MIS 11 に形成された堆積物には、*Cyclobalanopsis* 花粉が多産することが明らかになり、この層準を特定する上で有用であることが示されている(本郷・水野, 2009).

今回検討したコアからは、KJ, KK, SB コアで、上総層群の最上部を構成する笠森層に挟在するテフラ(Ks22, Ks18, Ks5)が見ついている。さらに、WM コアからは、犬吠層群倉橋層に挟まり、浮遊性有孔虫の酸素同位体比測定に基づき MIS 13 とされた層準に挟在する Kh6b テフラ(中里ほか, 2003; Kameo et al., 2006)が見られる。また、KJ, FS, SB, KK コアでは、KJ-M4, FS-M4, SB-M4, KK-M5 海成層に *Cyclobalanopsis* 花粉の多産層準が見ついている。これらの事実から、地蔵堂層(MIS 11)に相当する層準は、KJ-M4, FS-M4, SB-M4, KK-M5, WM-M5 に限定され、それぞれの海成層の基底を下総層群と上総層群の基底に対比した(Figs. 2, 4, 5).

FS, KK, SB, WM コアでは、MIS 11 に対比される海成層の上位に 3 層準ないし 4 層準の海成層が挟在する。このうち、KK および WM コアは沖積低地上から掘削されているため、最上部の KK-M1, WM-M1 海成層は沖積層、すなわち MIS 1 に対比される。それらを除くと、下位より FS-M3, KK-M4, SB-M3, WM-M4 海成層は藪層(MIS 9)に、FS-M2, KK-M3, SB-M2, WM-M3 海成層は上泉層(MIS 7.5)に、FS-M1, SB-M1, WM-M2 海成層は木下層(MIS 5.5)にそれぞれ対比される。KJ コアについては、MIS 11 に対比される海成層の上位に 3 層準の海成層が認められるが、最上位の KJ-M1 海成層が沖積層(MIS 1)に対比される以外は、他のコアとの対比が不明である。

上総層群相当層の海成層準の対比

次に、上総層群相当層の海成層の対比を行う。関東平野中央部では、上総層群相当層も浅海性層と陸成層の互層からなり、下総層群とほぼ同様に氷河性海水準変動を反映して形成されたと考えられる。海成層の対比は、テフラ、古地磁気、花粉群集による層序指標を基準に行った。さらに、それら層序指標の年代や MIS との対応をもとに、推定可能の範囲で海成層と MIS との対比を行った(Figs. 4, 5).

1. *Quercus* 花粉多産帯上限よりも上位の区間

本郷・水野(2009)は、関東地方中・南部の既存花粉分析資料に基づき、*Cyclobalanopsis* 花粉の多産層準(MIS 11)よりも下位に、*Quercus* 花粉が相対的に多産する層準とその上位で *Quercus* 花粉が減少して *Fagus* 花粉が相対的に多産する層準を認め、これらの層準が地域間で対比可能であることを示した。さらに、これらの境界である *Quercus* 花粉の相対的多産帯上限の年代は、銚子コアにおける花粉帯と海

Fig. 4. Stratigraphic correlation of drill cores from the central Kanto Plain. Borehole names as for Fig. 1. Large numbers show correlation with MIS.

Fig. 5. Correlation of marine intervals in the central Kanto Plain. We used magnetostratigraphy, tephra, and pollen as stratigraphic indices. Geological time scale and geomagnetic polarity are after Gradstein et al. (2004). Marine oxygen isotope curve and MIS are based on the LR04 stack model of Lisiecki and Raymo (2005).

酸素同位体比層序の対応(Okuda et al., 2006)から MIS 15/16 境界付近と推定された。今回検討したコアにおいて、*Quercus* 花粉の相対的多産帯の上限よりも上位の上総層群相当層には、1 層準(KJ, KK, SB コア)ないし 2 層準(FS コア)の海成層が WM コアを除く各コアに認められる。これらのうち、KJ コアの KJ-M5 海成層には MIS 15~MIS 16 に堆積したと推定される(町田・新井, 2003)上総層群笠森層の Ks22 テフラが挟在する。KK コアでは、MIS 15 に降灰したとされる Ks18 テフラ層(町田・新井, 2003)の直下に、KK-M6 海成層が見られる。したがって、KJ-M5 と KK-M6 海成層は相互に対比され、MIS 15 に対比される。FS, SB コアに見られる、FS-M6 および SB-M5 海成層には、海成層中に有効な層序指標はないが、*Quercus* 花粉の相対的多産層準の上限に近いことや SB-M4 海成層の約 20 m 下位に挟在する Ks5 テフラ(0.42–0.45 Ma と推定され MIS 12 に対比される：町田・新井, 2003)と層準が離れていることを考慮すると、これらの海成層も相互に対比され、MIS 15 に

対比される可能性が高い。

FS コアの FS-M6 海成層の上位には FS-M5 海成層が見られる。この海成層については MIS 13 に対比される可能性もあるが、MIS 11 層準との層位に差がありその対比には疑問が残る。MIS 15 の酸素同位体比曲線には明瞭な 2 つのピークが認められる(Lisiecki and Raymo, 2005)ため、FS-M6 と FS-M5 海成層はそれぞれ MIS 15 の 2 つのピークに対応するのかもしれない。

2. *Quercus* 花粉多産帯上限よりも下位で Brunhes-Matuyama 地磁気逆転境界よりも上位の区間

KK と SB コアでは、*Quercus* 花粉多産帯上限よりも下位で Brunhes-Matuyama 地磁気逆転境界よりも上位の層準にそれぞれ 1 層準の海成層が認められる。Brunhes-Matuyama 地磁気逆転境界は MIS 19 中にあるとされるため(Pillans and Gibbard, 2012)これらの海成層の形成時期は MIS 17 に限定される。KJ と FS コアでは、*Quercus* 花粉多産帯上限(MIS 15/16 境界)と Brunhes-Matuyama 地磁

気逆転境界(MIS 19)が一致することにより、堆積間隙の存在が示される。

3. Brunhes-Matuyama 地磁気逆転境界よりも下位で Jaramillo 正磁極亜帯上限境界よりも上位の区間

Brunhes-Matuyama 地磁気逆転境界と Jaramillo 正磁極亜帯に挟まれる区間では、SB コアで3層準、FS、KK コアで2層準、KJ コアで1層準の海成層が認められる。Brunhes-Matuyama 地磁気逆転境界は MIS 19 に、Jaramillo 正磁極亜帯上限境界は MIS 28 に対比されているので(Pillans and Gibbard, 2012)、これら海成層の対比候補としては、MIS 19, 21, 23, 25, 27 があげられる。

FS コアの FS-M8 海成層には上総層群国本層の Ku6C テフラに相当するテフラが挟在する。Ku6C テフラは MIS 21 に降灰したとされるため(中里ほか, 2003; Kameo et al., 2006; Satoguchi and Nagahashi, 2012)、FS-M8 海成層は MIS 21 に対比される。FS-M8 海成層の上位に見られる FS-M7 海成層は Brunhes-Matuyama 地磁気逆転境界の直下に位置するため、MIS 19 に対比される。Brunhes-Matuyama 地磁気逆転境界の直下には、KK コアの KK-M8 海成層、SB コアの SB-M8 海成層が見られる。さらに、SB コアでは古地磁気極性の漸移帯の中に SB-M7 海成層が存在する。これら、Brunhes-Matuyama 地磁気逆転境界の中や直下に位置する海成層も、その層位から両方とも MIS 19 に形成されたと考えられる。KK コアと SB コアではその下位にそれぞれ、KK-M9, SB-M9 海成層が見られる。これらの海成層の中には直接年代を示す指標は含まれないので直接年代を知ることができないが、KK-M9 海成層からは *Cyclobalanopsis* 花粉が上下の海成層準と比較して高率に産出する(関東平野中央部花粉グループ, 1994)。このような産状は大阪層群で MIS 21 に形成されたと考えられている Ma3 層下部にも認められている(本郷, 2009)。一つ上位の海成層との間隔を考慮すると、これらの海成層(KK-M9, SB-M4)は FS コアの FS-M8 海成層に対比され MIS 21 に形成された可能性が高い。しかし、より古い MIS 23, MIS 25 あるいは MIS 27 に対比される可能性も完全には否定できないので今後検討が必要である。KJ コアの KJ-M6 海成層については直接の指標が得られておらず現時点での対比は困難である。

4. Jaramillo 正磁極亜帯の区間

KJ コアと KK コアでは、Jaramillo 正磁極亜帯にそれぞれ1層準の海成層(KJ-M7, KK-M10)が認められる。Jaramillo 正磁極亜帯の上限と下限の年代はそれぞれ 0.99 Ma (MIS 28)と 1.07 Ma (MIS 31)とされる(Pillans and Gibbard, 2012)。これらの年代を考慮すると、Jaramillo 正磁極亜帯に見られる海成層は MIS 29 に形成された可能性が高い(Fig. 4)

5. Jaramillo 正磁極亜帯下限境界と上越火山灰の間の区間

KK コアと WM コアでは、Jaramillo 正磁極亜帯下限境界と上越火山灰の間に1層準の海成層が見られる(KK-M11 および WM-M6)。上述のように、Jaramillo 正磁極亜帯の下限の年代は、1.07 Ma で MIS 31 付近とされる(Pillans

and Gibbard, 2012)。海成層の下位に挟在する上越火山灰は、新潟小木ノ城地域の相田ルートにて、石灰質ナノ化石基準面 7(*Reticulofenestra asanoi* の初産出層準)の直上に位置する(佐藤ほか, 1987, 1999)。Reticulofenestra asanoi の初産出層準の年代は、1.078–1.136 Ma (MIS 34–32) (Raffi et al., 2006) や 1.128 Ma (MIS 34) (Sato et al., 2009) と推定されており、納谷ほか(2013)は、Sato et al. (2009) の基準面 7 の年代と層位から、上越火山灰の年代を約 1.12 Ma と算定した。房総半島では、上総層群の大田代層の O18 テフラの直下に上越火山灰に対比されるテフラが報告されている(小林・関東火山灰グループ, 2003)。養老川近傍のコアの酸素同位体比測定に基づけば、O18 テフラは MIS 33 付近に位置する(辻ほか, 2005)。したがって、上越火山灰の降灰時期は MIS 34–33 に絞られる。以上の年代に基づけば、Jaramillo 正磁極亜帯と上越火山灰に挟まれる海成層の堆積時期は、MIS 31 と MIS 33 に限定される。海洋酸素同位体曲線のピークに着目すると、MIS 33 では小さく MIS 31 では顕著に大きい。MIS 31 における底生有孔虫酸素同位体比の大きなピークは房総半島の上総層群でも検出されている(辻ほか, 2005)。海洋酸素同位体比が海水準を反映していること(例えば、Shackleton, 1987)を考慮すると、この海成層(KK-M11, WM-M6)は、より海水準が高かった MIS 31 に形成された可能性が高い。

6. 上越火山灰と Kd12 Type テフラの間の区間

上越火山灰と Kd12 Type テフラの間には、KJ コアで2層準、KK コアで3層準の海成層が見られる。このうち上越火山灰の直下に位置する KJ-M8 および KK-M12 海成層は、上越火山灰の年代(MIS 34–33)から推定すると、MIS 35 に形成された可能性がある。KK-M12 海成層の下位には狭い正磁極区間が検出されている。この区間が Cobb Mountain 正磁極亜帯(MIS 35)だとすると、この海成層の MIS 35 への対比は矛盾がない。KJ-M8 海成層の上部には上総層群大田代層の O24 テフラに類似したテフラが挟在する。養老川セクションで測定された酸素同位体比曲線によれば、O24 テフラの上下に位置する O23 テフラと O25 テフラはそれぞれ MIS 33 と MIS 34 に対比されており(Pickering et al., 1999)、KJ-M8 海成層が MIS 35 に対比されたとすると、O24 テフラの層位に矛盾が生じる。一方、房総半島における石灰質ナノ化石の基準面とテフラ関係を見ると、O23 テフラは基準面 7(*Reticulofenestra asanoi* の初産出層準)の直上に、O25–O27 テフラは基準面 7 と基準面 8(*Large Gephyrocapsa* の終産出層準)の間に位置する(佐藤ほか, 1999)。Sato et al. (2009) は、北大西洋の U1308 サイトにおいて、*Large Gephyrocapsa* の終産出層準を Cobb Mountain 正磁極亜帯中に認め基準面 8 は MIS 35 に対比できるとした。この対比に基づけば、O24 の層準は MIS 35–34 に限定され、O24 テフラを挟む KJ-M8 海成層を MIS 35 に対比することと矛盾は生じない。しかしながら、KK コアにおける Cobb Mountain 正磁極亜帯の対比と KJ コアの O24 テフラへの対比が未確定であること、房総半島における大田代層のテフラの年代対比が定まらない

ことから確実な対比は困難であり、今後さらなる検討が必要である。

7. Kd12 Type テフラよりも下位の区間

KJ コアの KJ-M9 海成層, KK コアの KK-M13 海成層よりも下位では、海洋酸素同位体比曲線のピークに対してその年代幅に挟在する海成層の数が著しく少なくなるために、相互の対比が困難である。ここでは、Kd12 Type テフラより下位の層準における海成層の年代に関する層序学的制約について述べる。

KK コアでは、Kd12 Type テフラと Kd25 テフラの間に 2 層準の海成層(KK-M15, KK-M16)が見られる。先に述べたように、KK および KJ コアに挟在する Kd12 Type テフラは、多摩丘陵の上総層群に挟在する複数のテフラ(NK, YM, KK, TN テフラ)のいずれかに対比される可能性が高い。鈴木・村田(2011)は、これらのテフラの年代を銕子地域における石灰質ナンノ基準面との関係から、1.392 Ma (NK テフラ), 1.428 Ma (YM テフラ), 1.451 Ma (KK テフラ), 1.467 Ma (TN テフラ)と推定した。この年代値を参考にすると、Kd12 Type テフラの年代は 1.392–1.467 Ma の範囲に入ると考えられる。一方、Kd25 テフラの年代は、三浦半島の上総層群小柴層において測定された底生有孔虫の酸素同位体比曲線の対比に基づき 1.573 Ma (MIS 54)と推定されている(Nozaki et al., 2014)。したがって、Kd12 Type と Kd25 テフラに挟まれるこの 2 層準の海成層(KK-M15, KK-M16)の年代は 1.392–1.573 Ma の間に入る。Kd25 テフラと KK-M12 (MIS 35?) 海成層間の平均堆積速度から推測される KK-M13 から KK-M16 海成層のおよその年代は、Fig. 6 に点線でプロットした。

KK コアの KK-M17 および KK-M18 海成層は Gauss 正磁極帯に対比されるので 2.588 Ma よりも古い。上記の対比に基づくと、KK コアの深度 535 m 付近には、Kd25 テフラ直下の層準が Gauss 正磁極帯と接しており、層序対比に基づくと 100 万年間ほどの堆積間隙を持つ不整合が推定される。

KJ コアでは、Kd12 Type テフラの下位に 5 層準の海成層(KJ-M10–KJ-M14)が存在する。納谷ほか(2012)は、海生珪藻化石である *Lancineis rectilatus* の初産出層準が Kd12 Type テフラと Kd25 テフラの間の層準にあり、約 1.5 Maであることを示した。KJ コアにおいて Kd12 Type テフラよりも下位に位置する海成層からは *L. rectilatus* が産出しないため(水野・納谷, 2011)、これらの海成層は 1.5 Ma よりも古い可能性が高い。さらに、この区間の大部分は逆磁極を示し、正磁極が検出されているが連続した区間は存在しないため、Olduvai 正磁極帯は含まれない可能性が高い。KJ-M14 海成層の直上には阿須公園 1 テフラ(Matuyama 逆磁極期初期)が挟在するため、これらの海成層間(KJ-M10–KJ-M14)に大きな時間間隙がなければ、KJ-M10 海成層は Olduvai 正磁極帯下限(1.945 Ma)よりも下位に位置づけられる可能性が高い。つまり、Kd12 Type テフラ(1.392–1.467 Ma)と KJ-M10 海成層の間には、50 万年間ほどの堆積間隙を持つ不整合が存在する可能性があ

り、その位置は層相の特徴から KJ-M10 海成層直上の礫層の基底付近(深度 285 m)と推定される。

古地磁気層序に関する予察的検討

KK, KJ 両コアの Matuyama 逆磁極帯には、Jaramillo 正磁極帯の他にも、正磁極が連続する区間が複数認められる(Fig. 2)。KK コアの KK-M12 海成層の下位に位置する正磁極区間が Cobb Mountain 正磁極帯に対比される可能性はすでに述べた。関東平野で掘削されたコアでは、東京都江戸川区の GS-ED-1 コアにおいて古地磁気層序が検討され、Cobb Mountain 正磁極帯に対比される可能性のあるイベントを深度 325 m 付近に検出しており(遠藤ほか, 1991)、関東平野のコアの対比に有効である可能性が高い。その他に重要と思われる正磁極区間について検討する。

先に述べたように Kd12 Type テフラには、鈴木・村田(2011)に示された少なくとも 4 層の対比候補テフラが存在する。Kd12 Type テフラは KJ, KK 両コアに挟在し、両コアにおいて本テフラを挟有する層準は正磁極を示すことから(Fig. 2)、このテフラ群の対比に古地磁気極性が有効である可能性がある。今後、陸上のセクションなどでこれらテフラと古地磁気極性の検討が行われることで、より確度の高い対比が期待される。

海成層の対比に基づく関東平野中央部の構造運動

Fig. 6 は、これまでに明らかになった海成層の年代に基づき、それぞれのコアにおける海成層の深度と年代の関係を示したものである。この図からは、KK, FS, SB, WM コアでは、ほとんどの区間で等速度で連続的に地層が累積していることが読み取れる。貝塚(1987)は、最終間氷期に形成された地形面の高度分布から、関東平野中央部が、関東平野における現在の沈降中心の一つであることと、久喜市付近が第四紀を通じて継続的に沈降していることを指摘した。KK, FS, SB, WM コアは、貝塚(1987)で指摘されている沈降中心に近い。特に、SB コアにおいて、同時面とみなせる海成層や層序指標の標高が他のコアよりも低い(深い)という事実は、この位置付近が沈降の中心であることを示しており、貝塚(1987)が示した沈降中心と概ね一致する。一方、KJ コアでは、地層の累積が断続的であり、その平均的な堆積速度も他のコアと比べて小さい。これは、KJ コアは沈降の縁辺部に位置することや、綾瀬川断層を挟んで西側の隆起側に位置することから、沈降速度が小さいためと考えられる。

KK コアの深度-年代プロットからは、Kd25 テフラ直下の層準から KK-M2 海成層までほぼ連続的に堆積したことが認められる。一方、その下の不整合では約 100 万年間の堆積間隙が認められることから、沈降域の中心部において現在まで継続する沈降運動は、第四紀を通したのではなく、約 1.6 Ma 以降の連続的な運動である可能性を示す。現在の沈降域の縁辺に位置する KJ コアの深度 285 m 付近に推定される不整合からは、1.4 Ma 以降に堆積が再開していることが読み取れる。これらの不整合が同時に形成されたかどうか

Fig. 6. Depth-age relationships for drill cores from the central Kanto Plain. Borehole names as for Fig. 1.

かについてはさらなる検討の余地があるが、この不整合の存在は、関東平野中央部における現在に継続する沈降運動が、両コアで堆積が再開する Kd25 から Kd12 Type テフラ層準 (約 1.6~1.4 Ma 頃) 付近に始まった可能性を示唆する。

KK コアにおける 1.6 Ma 以降の堆積速度曲線はほぼ直線に見えるが、KK-M2 海成層と Kd25 テフラ間をつなぐ直線 (Fig. 6 の点線) と比較すると、点線より下にわずかに湾曲する弓状の曲線として描かれる。このことは、見かけの堆積速度がコアの深部ではやや小さく (約 30 cm/kyr)、コアの上部で大きい (約 50 cm/kyr) ことを示している。この変

化は連続的であり堆積速度が変化した時期を読むことは難しい。この傾向は、SB や WM コアにおいても認められる。これらは、年代が若くなるにつれ堆積速度が徐々に大きくなることを示し、堆積盆の沈降速度の変化を示しているのかもしれない。しかし、地下の深部では圧密の影響を受けて地層が縮んだことも考えられ、コア深部ほど見かけの堆積速度が小さくなっている可能性や、過去の海水準が影響している可能性も考えられる。したがって、現段階では、見かけの堆積速度変化と沈降速度の変化を直接結びつけることはできない。

1.6 Ma 以降 0.12 Ma の MIS 5.5 に対比される海成層の層準までは、大きな堆積速度の変化は認められないが、KK コアと WM コアでは、MIS 5.5 以降の堆積速度が明瞭に小さくなる。KK コアでは MIS 7 の海成層の直上には、MIS 1 の海成層が谷埋め堆積物として不整合で重なり MIS 5.5 の海成層は削剥されている。WM コアでは MIS 5.5 以前の堆積速度が約 40 cm/kyr であるのに対し、MIS 5.5 以降の堆積速度が約 10 cm/kyr になる。さらに、FS コアと SB コアでは、MIS 5 以降は陸域化の後離水して段丘化しており、MIS 1 の海成層は堆積していない。

この変化の要因として、須貝ほか(2013)が指摘したように、関東平野中央部の沈降速度が最終間氷期以降、相対的に小さくなった可能性が考えられる。ただし、堆積速度は氷河性海水準変化による陸地化期間が長くなることによって、削剥が卓越することやそれによる地形変化にも影響を受けると考えられる。そこで、堆積速度に依存しない方法でも MIS 5.5 以降の沈降速度を検討する。

Fig. 2 の断面図からは、MIS 5.5 の海成層上面が標高 -15~0 m の範囲に分布することが読み取れる。特に SB コアでは SB-M1 海成層の最上部の標高 -11 m 付近に、海浜の指標となる(Seike, 2009)白斑状生痕化石の *Macaaronichnus segrigatis* が観察されることから(山口ほか, 2009)、この海成層の上面は当時の海水準にほぼ相当する。当時の海水準が現在とほぼ同じと仮定して、現在と当時の海水準の標高分布から SB コアにおける MIS 5.5 以降 12 万年間の平均沈降速度を求めると約 0.9 cm/kyr となる。MIS 5e における海水準ピークは、現在よりも数 m 高かったとされるため(Spratt and Lisiecki, 2016)、実際よりも小さめに見積もられている可能性があるが、この沈降速度は上記の WM コアにおける MIS 5.5 以降の堆積速度と概ね一致する。この一致は、MIS 5.5 以降の海成層を基準とした堆積速度変化が沈降速度変化に対応することを示しており、MIS 5.5 以降の沈降量がそれ以前と比べて小さいことが推察される。

平社(2008)は、関東平野中央部のボーリングコアを用いて、中部更新統以上の複数の同時期面間の層厚分布を検討した結果、約 43 万年前に関東平野中央部の中で沈降運動の中心が移動したことを示した。しかしながら、今回の解析結果から想定される堆積速度曲線(Fig. 6)からは、約 43 万年前を境に堆積速度の傾向が大きく変化することは認められず、少なくとも今回解析した地点において、この時期に大きな構造運動の変化があったことは考えづらい。

今回の検討は、各海成層の堆積期間を一律に一万年間と仮定しており、推定される堆積速度はその分の誤差を含んでいる。今後は、海成層の中の同時期面や等古水深(古標高)面を正確に認定することで、構造運動についてより正確な議論ができるものと思われる。

ま と め

本研究では、関東平野中央部において掘削されたボーリングコアの解析に基づき、地下 600 m 以浅の層序を再検討し、挟在する海成層の対比を検討した。得られた結果は、関東平

野中央部における標準層序となるものであり、今後、関東平野内の周辺地域との層序対比を行い関東堆積盆全体の発達史を解明する上での足がかりを与えるものと考えられる。

以下に結果を要約する。

1. 関東平野中央部の地下 600 m の上総・下総層群相当層は鮮新~更新統からなる。
2. 上総層群相当層は、1.6 Ma 前後の 50~100 万年の堆積間隙をもつ不整合によって二分される。
3. 約 1.6 Ma 以降は大きな堆積間隙は認められず、氷河性海水準変動を反映して陸成層と海成層が繰り返し連続して形成された。
4. 各コアに挟在する海成層のうち上越テフラ(約 1.12 Ma)直下の海成層よりも上位の海成層については複数のコア間で対比が可能である。これらの海成層は下位よりそれぞれ、MIS 35, 31, 29, 21, 19, 17, 15, 11, 9, 7.5, 5.5, 1 と対比が可能である。
5. 各層序指標および対比された海成層の深度からは、その沈降中心は久喜市菖蒲(旧菖蒲町)から春日部市付近に位置することが示された。1.6 Ma の不整合の存在から、この運動は第四紀を通したものではなく、1.6 Ma 以降の構造運動であると解釈される。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、産業技術総合研究所地質情報研究部門の宇都宮正志博士には、石灰質ナノ化石層序について助言をいただいた。2 名の査読者および担当編集委員の石原与四郎博士からいただいた建設的なコメントにより原稿は大きく改善された。以上の方々に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 会田信行・関東平野中央部地質研究会(Aida, N. and Geological Research Group of the Central Kanto Plain), 1992, 春日部地盤沈下観測井の古地磁気層序(Paleomagnetic stratigraphy of the Landsubside Observation Well at Kasukabe city, Saitama Prefecture, Japan). 地球科学(*Earth Sci. (Chikyu Kagaku)*), **46**, 283-286.
- 会田信行・野村 哲・北爪智啓(Aida, N., Nomura, S. and Kitazume, T.), 1994, 関東平野中央部ボーリングコアの古地磁気層序(Paleomagnetism of drilling cores in central Kanto Plain). 地研専報(*Monog. Assoc. Geol. Collab. Japan*), **42**, 48-55.
- 千葉県立中央博物館(Nat. Hist. Mus. Inst., Chiba), 1991, 地学資料 上総層群下部鍵層集(1990 年版) (*Geoscience Data: Catalog of Key Beds in the Lower Part of Kazusa Group Version 1990*)*. 千葉県立中央博物館(Natl. Hist. Mus. Inst., Chiba), 218p.
- 遠藤秀典・上嶋正人・山崎俊嗣・高山俊昭(Endo, H., Kamishima, M., Yamazaki, T. and Takayama, T.), 1991, 東京都江戸川区 GS-ED-1 ボーリングコアの古地磁気・石灰質ナノ化石層序(Magnetostratigraphy and calcareous nannofossil biostratigraphy of core GS-ED-1, Edogawa-ku, Tokyo, Japan). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **97**, 419-430.
- 福田 理・鈴木宏芳(Fukuda, O. and Suzuki, H.), 1987, 関東平野の基盤構造(Tectonics on the basement rocks overlain by the Cenozoic sediments in the Kanto Plain around Tokyo, Japan). 地学雑(*Jour. Tokyo Geogr. Soc.*), **96**, 173-184.
- Gradstein, F., Ogg, J. and Smith, A., 2004, *A Geologic Time Scale 2004*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 589p.

- 林 広樹・笠原敬司・木村尚紀(Hayashi, H., Kasahara, K. and Kimura, H.), 2006, 関東平野の地下に分布する先新第三系基盤岩類(Pre-Neogene basement rocks beneath the Kanto Plain, central Japan). 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **112**, 2–13.
- 林 隆夫・川辺孝幸(Hayashi, T. and Kawabe, T.), 1993, 古琵琶湖層群と段丘堆積物・沖積層(The Kobiwako Group, terrace deposits and Alluvium). 市原 実編, 大阪層群(The Osaka Group), 創元社(Sogensha), 158–168.
- 平社定夫(Hirakoso, S.), 2008, 関東平野中央部における中–上部更新統の層序および構造運動(Stratigraphy and tectonics of the Middle-Upper Pleistocene in the central Kanto Plain). 地球科学(Earth Sci. (Chikyu Kagaku)), **62**, 43–55.
- 本郷美佐緒(Hongo, M.), 2009, 大阪堆積盆地における中部更新統の花粉石層序と古環境変遷(Middle Pleistocene pollen biostratigraphy in the Osaka sedimentary basin, southwest Japan, with special reference to paleoenvironmental change). 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **115**, 64–79.
- 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.
- 本郷美佐緒・納谷友規・山口正秋・水野清秀(Hongo, M., Naya, T., Yamaguchi, M. and Mizuno, K.), 2011, 関東平野中央部埼玉県菖蒲町で掘削された 350 m ボーリングコア(GS-SB-1)から産出した花粉化石群集(Pollen assemblages of GS-SB-1 drilling core at Shobu Town, Saitama Prefecture, central Kanto plain, Japan). 地調研報(Bull. Geol. Surv. Japan), **62**, 281–318.
- 石井基裕(Ishii, M.), 1962, 関東平野の基盤(Basement of the Kwantō Plain). 石技誌(Jour. Japan. Assoc. Petrol. Technol.), **27**, 615–640.
- 鎌掛団体研究グループ(Kaigake Research Group), 1972, 滋賀県蒲生郡, 鎌掛・駒月付近の古琵琶湖層群(Stratigraphy of the Kobiwako group in the Kaigake-Komazuki area, Shiga Prefecture, Japan). 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **78**, 601–609.
- 貝塚爽平(Kaizuka, S.), 1987, 関東の第四紀地殻変動(Quaternary crustal movements in Kanto, Japan). 地学雑(Jour. Tokyo Geogr. Soc.), **96**, 223–240.
- Kameo, K., Okada, M., El-Masry, M., Hisamitsu, T., Saito, S., Nakazato, H., Ohkouchi, N., Ikehara, M., Yasuda, H., Kitazato, H. and Taira, A., 2006, Age model, physical properties and paleoceanographic implications of the middle Pleistocene core sediments in the Choshi area, central Japan. Island Arc, **15**, 366–377.
- 金子 稔・石川博行・山岸良江(Kaneko, M., Ishikawa, H. and Yamagishi, Y.), 1994, 関東平野中央部ボーリングコアの底生有孔虫化石群集に基づく古環境復元(Paleoenvironmental reconstruction based on the benthic foraminiferal assemblages of drilling cores in central Kanto Plain). 地団研専報(Monog. Assoc. Geol. Collab. Japan), **42**, 77–90.
- 関東平野中央部地質研究会(Geological Research Group of Central Kanto Plain), 1994, 関東平野中央部地下地質の編年と対比(Chronology and correlation of subsurface geology in central Kanto Plain). 地団研専報(Monog. Assoc. Geol. Collab. Japan), **42**, 154–164.
- 関東平野中央部花粉グループ(Pollenanalytical Group of Central Kanto Plain), 1994, 関東平野中央部 ボーリングコアの花粉層序–春日部(90KK)および 川島(84KJ) ボーリングコアの花粉分析–(Pollenstratigraphy of drilling cores in central Kanto Plain, Central Japan). 地団研専報(Monog. Assoc. Geol. Collab. Japan), **42**, 121–150.
- 川邊孝幸(Kawabe, T.), 1981, 琵琶湖南東方, 阿山・甲賀丘陵付近の古琵琶湖層群(The Kobiwako Group in the Ayama-Koka Hills, Kinki district, Central Japan). 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **87**, 457–473.
- 小林国男・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.
- 小林雅弘・関東火山灰グループ(Kobayashi, M. and Kanto Ash Layers Research Group), 2003, 関東平野中央部の地下および房総半島で新たに発見された前期更新世の含堇青石テフラ(Early Pleistocene cordierite bearing tephra found from drilling cores in central Kanto Plain and Boso Peninsula, central Japan). 地球科学(Earth Sci. (Chikyu Kagaku)), **57**, 155–160.
- 黒川勝己・遠藤敦子・山下由紀子, 1981, 魚沼層群および灰爪層中の火山灰層から堇青石とカミングトン閃石の発見(Finding of cordierite and cummingtonite from the volcanic ash layers in the Uonuma Group and the Haizume Formation, Niigata Prefecture, Japan). 地球科学(Earth Sci. (Chikyu Kagaku)), **35**, 253–258.
- Kurokawa, K. and Hirata, I., 1986, Grain-size characteristics of the Joetsu Ash (Unit I), a subaqueous ash flow turbidite of early Pleistocene, central Japan. Mem. Fac. Educ. Niigata Univ. (Nat. Sci.), **28**, 15–24.
- 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, doi: 10.1029/2004PA001071.
- 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, Revised Ed.), 東京大学出版会(Univ. Tokyo Press), 336p.
- 町田 洋・新井房夫・村田明美・袴田和夫(Machida, H., Arai, F., Murata, A. and Hakamata, K.), 1974, 南関東における第四紀中期のテフラの対比とそれに基づく編年(Correlation and chronology of the Middle Pleistocene tephra layers in South Kanto). 地学雑(Jour. Tokyo Geogr. Soc.), **83**, 303–338.
- 町田 洋・新井房夫・杉原重夫(Machida, H., Arai, F. and Sugihara, S.), 1980, 南関東と近畿の中部更新統の対比と編年–テフラによる一つの試み–(Tephrochronological study on the middle Pleistocene deposits in the Kanto and Kinki districts, Japan). 第四紀研究(Quatern. Res.), **19**, 233–261.
- 三梨 昂(Mitsunashi, T.), 1986, 関東堆積盆の地質断面図(Geologic profiles of the Kanto sedimentary basin). 北村信教授記念地質学論文集(Essay in Geology, Professor Nobu Kitamura Commemorative Volume), 645–654.
- 三梨 昂・安国 昇・品田芳二郎(Mitsunashi, T., Yasukuni, N. and Shinada, Y.), 1959, 千葉県養老川・小櫃川の土総層群の層序(Stratigraphical section of the Kazusa Group along the shores of the rivers Yoro and Obitsu). 地調月報(Bull. Geol. Surv. Japan), **10**, 82–98.
- 水野清秀・納谷友規(Mizuno, K. and Naya, T.), 2011, 広域テフラ対比と海成層層準の認定に基づく関東平野中央部のボーリングコアの対比(Correlation of drilling cores in the central Kanto Plain, based on correlation of widespread tephra and recognition of marine horizons). 脇田浩二・牧野雅彦編, 平成22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(Annual Report of Investigation on Geology and Active Faults in the Coastal Zone of Japan, GSJ Interim Report), **56**, 121–132.
- 水野清秀・杉山雄一・石山達也・須貝俊彦・松島紘子・八戸昭一・中里裕臣・細矢卓志(Mizuno, K., Sugiyama, Y., Ishiyama, T., Sugai, T., Matsushima, H., Hachinohe, S., Nakazato, H. and Hosoya, T.), 2006, 深谷–綾瀬川断層帯周辺の地下地質(Subsurface geology around the Fukaya–Ayasegawa fault zone)*. 月刊地球(Chikyu Monthly), **28**, 31–37.
- 中里裕臣・中澤 努(Nakazato, H. and Nakazawa, T.), 2007, 飯縄西山テフラの発見による関東平野北西部, 江南台地のテフロクロノロジー(Tephrochronology of the Konan terrace in the northwestern Kanto Plain based on the discovery of the Iizuna-Nishiyama tephra, central Japan). 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **113**, 628–635.

- 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.*), **40**, 251–257.
- 中里裕臣・佐藤弘幸・奥田昌明・銚子コア研究グループ(Nakazato, H., Sato, H., Okuda, M. and Choshi core research group), 2003, 千葉県北東部犬吠層群 250m コアのテフラ層序(Tephrostratigraphy of a 250m core from the Inubo Group in the northeast part of Chiba Prefecture). 日本地質学会第 110 年学術大会講演要旨(110th Annu. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.), 3.
- 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. With Geological Sheet Map at 1: 50,000*), 産総研地質調査総合センター, 41p.
- 中澤 努・中里裕臣・大嶋秀明・堀内誠示(Nakazawa, T., Nakazato, H., Oshima, H. and Horiuchi, S.), 2009, 関東平野中央部における上総-下総層群境界: 越谷 GS-KS-1 コアでの MIS12 層準の特定(Boundary between the Kazusa and Shimosa groups beneath the central Kanto Plain: Recognition of MIS 12 in the GS-KS-1 core: Koshigaya, Saitama Prefecture, central Japan). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **115**, 49–63.
- Naya, T., 2010, *Lancineis rectilatus* sp. nov., a new fossil species from Pleistocene sediments in Japan. *Diatom Res.*, **25**, 111–124.
- 納谷友規・八戸昭一・松島紘子・水野清秀(Naya, T., Hachinohe, S., Matsushima, H. and Mizuno, K.), 2012, 珪藻化石と岩相に基づく関東平野中央部で掘削されたボーリングコアの海成層準の認定(Identification of marine sediments inferred from diatom fossil and lithofacies in the drillcores in central Kanto Plain, Japan). 地調研報(*Bull. Geol. Surv. Japan*), **63**, 147–180.
- 納谷友規・平松 力・古澤 明・柳沢幸夫・山口和雄(Naya, T., Hiramatsu, C., Furusawa, A., Yanagisawa, Y. and Yamaguchi, K.), 2013, 関東平野中央部埼玉県大利根町で掘削された 1505 m 温泉ボーリングの年代層序(Chronostratigraphy of 1505 m long hot spring well drilled in the central Kanto Plain, central Japan). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **119**, 375–395.
- 納谷友規・石原武志・植木岳雪・本郷美佐緒・松島(大上) 紘子・八戸昭一・吉見雅行・水野清秀(Naya, T., Ishihara, T., Ueki, T., Hongo, M., Matsushima(Ogami), H., Hachinohe, S., Yoshimi, M. and Mizuno, K.), 2014, 関東平野中央部の第四系地下地質(Quaternary subsurface geology of the central Kanto Plain, Japan). 特殊地質図 No.40(CD) (*Miscellaneous Map Series No.40*), 産総研地質調査総合センター(Geol. Surv. Japan, AIST), 178–203.
- 納谷友規・植木岳雪・本郷美佐緒・水野清秀(Naya, T., Ueki, T., Hongo, M. and Mizuno, K.), 2012, 関東平野における浅海成更新統の層序指標としての海生珪藻化石 *Lancineis rectilatus* (Diatom fossil *Lancineis rectilatus* as a stratigraphic index in the shallow marine Pleistocene sediments in the Kanto Plain, central Japan). 日本第四紀学会講演要旨集(*Japan Assoc. Quatern. Res. Meet. 2012. Program. Abstr.*), **42**, 10–11.
- 納谷友規・山口正秋・水野清秀(Naya, T., Yamaguchi, M. and Mizuno, K.), 2009, 関東平野中央部埼玉県菖蒲町で掘削された 350 m ボーリングコア(GS-SB-1)の珪藻化石産出層準と淡水成層準および海成層準の識別(Occurrence horizons of diatom fossils and recognition of marine sediments in the Shobu Core(GS-SB-1), Saitama Prefecture, central Kanto plain, Japan). 地調研報(*Bull. Geol. Surv. Japan*), **60**, 245–256.
- 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. With Geological Sheet Map at 1: 50,000*), 産総研地質調査総合センター(Geol. Surv. Japan, AIST), 82p.
- Nozaki, A., Majima, R., Kameo, K., Sakai, S., Kouda, A., Kawagata, S., Wada, H. and Kitazato, H., 2014, Geology and age model of the Lower Pleistocene Nojima, Ofuna, and Koshiba Formations of the middle Kazusa Group, a forearc basin-fill sequence on the Miura Peninsula, the Pacific side of central Japan. *Island Arc*, **23**, 157–179.
- Okuda, M., Nakazato, H., Miyoshi, N., Nakagawa, T., Okazaki, H., Saito, S. and Taira, A., 2006, Mis11-19 pollen stratigraphy from the 250-m Choshi core, northeast Boso Peninsula, central Japan: Implications for the early/mid-Brunhes(400–780 ka) climate signals. *Island Arc*, **15**, 338–354.
- Pickering, K. T., Souter, C., Schaaf, M., Oba, T., Taira, A. and Schaaf, M., 1999, Glacio-eustatic control on deep-marine clastic forearc sedimentation, Pliocene–mid Pleistocene(ca. 1180–600 kyr) Kazusa Group, SE Japan. *Jour. Geol. Soc. London*, **156**, 125–136.
- Pillans, B. and Gibbard, P., 2012, The Quaternary Period. In Gradstein, F. M., Ogg, F. G., Schmitz, M. D. and Ogg, G. M., eds., *The Geologic Time Scale 2012*, Elsevier, UK, 979–1010.
- Raffi, I., Backman, J., Fornaciari, E., Pälike, H., Rio, D., Lourens, L. and Hilgen, F., 2006, A review of calcareous nanofossil astrobiochronology encompassing the past 25 million years. *Quatern. Sci. Rev.*, **25**, 3113–3137.
- 埼玉県(Saitama Prefecture), 1996, 埼玉県活断層調査報告書. (*Report on Active Fault Survey of Saitama Prefecture*)*, 埼玉県環境部防災局地震対策課, 200p.
- 酒井豊三郎(Sakai, T.), 1990, 千葉県銚子地域の上部新生界-岩相・古地磁気・放散虫化石層序-(Upper Cenozoic in the Choshi district, Chiba Prefecture, Japan-Litho-, magneto- and radiolarian biostratigraphy-). 宇都宮大学教養部研究報告 第 2 部(*Bull. Fac. General Educ. Utsunomiya Univ. Sec. 2*), **23**, 1–34.
- Sato, T., Chiyonobu, S. and Hodel, D. A., 2009, Quaternary calcareous nanofossil datums and biochronology in the North Atlantic Ocean, IODP Site U1308. *Proc. IODP*, **303**, 1–9.
- 佐藤時幸・亀尾浩司・三田 勲(Sato, T., Kameo, K. and Mita, I.), 1999, 石灰質ナノ化石による後期新生代地質年代の決定精度とテフラ層序(Validity of the latest Cenozoic calcareous nanofossil datums and its application to the tephrochronology). 地球科学(*Earch Sci. (Chikyu Kagaku)*), **53**, 265–274.
- 佐藤時幸・高山俊昭・加藤道雄・工藤哲朗(Sato, T., Takayama, T., Kato, M. and Kudo, T.), 1987, 日本海側に発達する最上部新生界の石灰質微化石層序 その 1: 新潟地域(Calcareous microfossil biostratigraphy of the uppermost cenozoic formations distributed in the coast of the Japan Sea. Part 1 Niigata area). 石技誌(*Jour. Japan. Assoc. Pet. Technol.*), **52**, 11–21.
- 里口保文(Satoguchi, Y.), 1995, 上総層群中・下部の火山灰層序(Tephrostratigraphy in the lower to middle Kazusa Group in the Boso Peninsula, Japan). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **101**, 767–782.
- Satoguchi, Y. and Nagahashi, Y., 2012, Tephrostratigraphy of the Pliocene to Middle Pleistocene Series in Honshu and Kyushu Islands, Japan. *Island Arc*, **21**, 149–169.
- Seike, K., 2009, Influence of beach morphodynamics on the distributions of the opheliid polychaete *Euzonus* sp. and its feeding burrows on a sandy beach: paleoecological and paleoenvironmental implications for the trace fossil *Macaronichnus segregatis*. *Palaios*, **24**, 799–808.
- Shackleton, N. J., 1987, Oxygen isotopes, ice volume and sea level. *Quatern. Sci. Rev.*, **6**, 183–190.
- 正田浩司・菊地隆男・鈴木毅彦・竹越 智・関東平野西縁丘陵研究グループ(Shoda, K., Kikuchi, T., Suzuki, T., Takegoshi, S. and Research Group for Geology of the Western Hills of the Kanto Plain), 2005, 関東平野西縁に分布する飯能礫層下部層のテフラ層序と広域対比(Tephrostratigraphy of the lower part of the Hanno Gravel, western part of the Kanto Plain, central Japan, and the correlation with some wide-spread teph-

- ras). 地球科学(*Earth Sci. (Chikyu Kagaku)*), **59**, 339–356.
- Spratt, R. M. and Lisiecki, L. E., 2016, A Late Pleistocene sea level stack. *Clim. Past*, **12**, 1079–1092.
- 須貝俊彦・松島(大上)紘子・水野清秀(Sugai, T., Matsushima (Ogami), H. and Mizuno, K.), 2013, 過去 40 万年間の関東平野の地形発達史—地殻変動と氷河性海水準変動の関わりを中心に—(Last 40 ka landform evolution of the Kanto Plain: Under the influence of concurrent glacio-eustatic sea level changes and tectonic activity). 地学雑誌(*Jour. Tokyo Geogr. Soc.*), **122**, 921–948.
- 杉山雄一・須貝俊彦・井村隆介・水野清秀・遠藤秀典・下川浩一・山崎晴雄(Sugiyama, Y., Sugai, T., Imura, R., Mizuno, K., Endo, H., Shimokawa, K. and Yamazaki, H.), 1997, 50 万分の 1 活構造図 8「東京」(第 2 版)(*Neotectonic Map. Explanatory Text of the Neotectonic Map Tokyo (2nd Ed.)*), scale 1: 500,000, 地質調査所(Geol. Surv. Japan).
- 鈴木毅彦・村田昌則(Suzuki, T. and Murata, M.), 2011, 上総層群黄和田層とその相当層に介在するテフラの層序と対比(Stratigraphy and correlation of tephra in the Lower Pleistocene Kiwada Formation and its correlative beds, Kanto, Central Japan). 地質雑誌(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **117**, 379–397.
- 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. With Geological Sheet Map at 1: 50,000*), 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 189p.
- 辻 隆司・宮田雄一郎・岡田 誠・三田 勲・中川 洋・佐藤由理・中水勝(Tuji, T., Miyata, Y., Okada, M., Mita, I., Nakagawa, H., Sato, Y. and Nakamizu, M.), 2005, 房総半島に分布する下部更新統上総層群大田代層と梅ヶ瀬層の高精度堆積年代—石油公団研究井 TR-3 コアの酸素同位体比・古地磁気・石灰質ナノ化石に基づく年代層序—(High-resolution chronology of the lower Pleistocene Otadai and Umegase Formations of the Kazusa Group, Boso Peninsula, central Japan: Chronostratigraphy of the JNOC TR-3 cores based on oxygen isotope, magnetostratigraphy and calcareous nannofossil). 地質雑誌(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **111**, 1–20.
- 植木岳雪・納谷友規・水野清秀(Ueki, T., Naya, T. and Mizuno, K.), 2012, 関東平野中央部深層ボーリングコアの古地磁気層序(Magnetostratigraphy of deep sediment cores in the central Kanto Plain, central Japan). 日本第四紀学会講演要旨集(*Japan Assoc. Quatern. Res. Meet. Program. Abstr.*), **42**, 8–9.
- 植木岳雪・酒井 彰(Ueki, T. and Sakai, A.), 2007, 青梅地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅)(*Geology of the Ome District. Quadrangle Series, 1: 50,000*), 産総研地質調査総合センター(Geol. Surv. Japan, AIST), 136p.
- 植木岳雪・山口正秋・本郷美佐緒・納谷友規・水野清秀(Ueki, T., Yamaguchi, M., Hongo, M., Naya, T. and Mizuno, K.), 2009, 関東平野中央部, 埼玉県菖蒲町で掘削された GS-SB-1 コアの古地磁気・岩石磁気測定(Paleomagnetic and rock-magnetic measurements of the GS-SB-1 core at Shobu Town, central Kanto Plain, Japan). 地調研報(*Bull. Geol. Surv. Japan*), **60**, 199–243.
- 山口正秋・水野清秀・納谷友規・本郷美佐緒・中里裕臣・中澤 努(Yamaguchi, M., Mizuno, K., Naya, T., Hongo, M., Nakazato, M. and Nakazawa, T.), 2009, 関東平野中央部, 埼玉県菖蒲町で掘削された 350 m ボーリングコア(GS-SB-1)の層相と堆積物物性(Lithofacies and physical properties of 350-m-long GS-SB-1 core, central Kanto plain, Japan). 地調研報(*Bull. Geol. Surv. Japan*), **60**, 147–197.

* English translation from the original written in Japanese.

(要 旨)

納谷友規・本郷美佐緒・植木岳雪・八戸昭一・水野清秀, 2017, 関東平野中央部の地下に分布する鮮新—更新統の層序と構造運動. 地質雑誌, **123**, 637–652. (Naya, T., Hongo, M., Ueki, T., Hachinohe, S. and Mizuno, K., 2017, Stratigraphy and tectonics of the Plio–Pleistocene beneath the central Kanto Plain, central Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **123**, 637–652.)

関東平野中央部で掘削されボーリングコアの解析に基づき, 同地域の地下 600 m までの上総層群および下総層群相当層の層序を検討し, 間に挟在する海成層と海洋酸素同位体比ステージ(MIS)との対比を試みた. 本地域の上総層群相当層は, Gauss 正磁極帯に対比される上部鮮新統と下部～中部更新統からなり, その上位に中～上部更新統の下総層群相当層が重なる. 上総層群相当層準には, 約 1.6 Ma 付近に 50～100 万年間の堆積間隙を持つ不整合が認められる. 約 1.6 Ma 以降の地層には大きな堆積間隙は認められず, 陸成層と海成層が周期的に繰り返す地層が重なる. 対比された海成層の分布深度に基づく, 久喜市から春日部市付近が関東平野中央部における 1.6 Ma 以降の沈降運動の中心であることが示された. 同時に, 不整合の存在からは, この沈降は第四紀を通した運動ではなく, 約 1.6 Ma 以降の構造運動であると解釈される.