

多摩丘陵に分布する下部更新統上総層群における化石珪藻 *Lancineis rectilatus*の産出層準とその地質学的・古生物学的意義

納谷友規*・鈴木毅彦**

*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・**東京都立大学都市環境学部地理環境学科

Stratigraphic distribution of the fossil diatom *Lancineis rectilatus* in the Lower Pleistocene Kazusa Group in the Tama Hills, central Japan, and its geological and palaeontological significance

Tomonori Naya* and Takehiko Suzuki**

*Institute of Geology and Geoinformation, Geological Survey of Japan, AIST, Higashi 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8567, Japan (t-naya@aist.go.jp), **Department of Geography, Tokyo Metropolitan University, Minami-ohsawa 1-1, Hachioji, Tokyo 192-0397 Japan.

Abstract. *Lancineis rectilatus* is a fossil diatom that appeared in the middle Early Pleistocene and disappeared in the early Middle Pleistocene in the shallow marine sediments of the central Kanto Plain, central Japan. In this study, diatom assemblages of the Oyamada to Imuro Formations of the Lower Pleistocene Kazusa Group exposed along the Tama River and in Honmoku, Yokohama City, are investigated to clarify the stratigraphic relationship between the tephra beds and the occurrence of *L. rectilatus* in the Tama Hills. The Oyamada to Inagi Formation section is dominated by coastal shallow-marine diatoms. The Ozenji to Imuro Formation of the Yokohama-Honmoku section is dominated by pelagic diatoms. *L. rectilatus* is identified from above the NK tephra layer of the Imuro Formation. The NK tephra in the Tama Hills and the Kd12 Type tephra in the central Kanto Plain are possibly correlative.

Key words: diatoms, Lower Pleistocene, Kazusa Group, Tama Hills, biostratigraphy, tephra

はじめに

上総層群（伊田ほか, 1956）は関東平野の陸上と地下に広く分布し、関東平野の基盤をなしている下部～中部更新統である。房総半島、三浦半島、多摩丘陵の南部に分布する上総層群は海成層から構成されるのに対し、関東平野中央部の地下や多摩丘陵北部に分布する上総層群は浅海成層と陸成層の繰り返しからなる。このように幅広い年代と堆積環境の地層からなる上総層群の層序や古環境を研究するうえで、様々な微化石が利用されてきた。

珪藻化石は新生界の堆積物を研究する上で、示準化石と示相化石の両面から重要な役割を果たしてきた微化石である。第一に珪藻化石層序は新生界の深海成堆積物の層序確立に多大な貢献をしてきた（例えば、秋葉ほか, 2012）。次に、珪藻は海域から淡水域に及ぶ幅広い生育域を持ち、それぞれの環境に多くの種が適応して生育している。現世における生育環境と種の間接関係を利用することで、珪藻は堆積環境を復元するための優れた指標となる。とりわけ、氷河性海水準変動が顕著に現れる第四紀の沿岸域の地層を解析する上では欠かせない化石である。多摩丘陵、関東平野中央部、関東平野西部の上総層群とその相当層では、浅海成層と陸成層からなる堆積サイク

ルを復元して、氷河性海水準変動との対比を行う上で珪藻化石が主要な役割を果たしてきた（例えば、増淵ほか, 1988; 納谷ほか, 2012; 納谷・水野, 2020）。

近年、関東平野中央部の上総層群の浅海成層から、層序指標となり得る珪藻化石 *Lancineis rectilatus* が記載された（Naya, 2010）。*Lancineis* 属は絶滅属で、従来は前期中新世から後期鮮新世（ただしジュラシアン期を含むので現在の第四紀の区分に従うと、前期更新世の初期を含む）の産出が知られていた。関東平野中央部では多くのボーリングコアから産出が確認され、*L. rectilatus* の初産出が約 1.5 Ma で、終産出が海洋酸素同位体ステージ（以下 MIS と略す）17 に対比される浅海成層で約 0.7 Ma であることが明らかにされた（Naya, 2019）。

このように、*L. rectilatus* は層序指標として有効であることが示されたが、関東平野における本種の産出については、未解決な問題が二つ残されている。

一つは、陸上における分布と産出層準が不明なことである。Naya（2019）で報告された本種の産出はすべてボーリングコアから得られたものである。多摩丘陵の上総層群には、関東平野地下における本種の産出範囲（ca. 1.5～0.7 Ma）の地層が存在する。しかし、これまで本種の産出が確認されたのは、渡辺（1969）によって横浜

市東白楽（図1）の武蔵野礫層の基底付近から *Raphoneis amphiceros* var. *gemmifera* fo. *elongata* として顕微鏡写真付きで報告したものに限られる。産出層準が武蔵野礫層であるため、おそらくは上総層群からの誘導化石と推定されるが、化石包有層の層位は不明である。

もう一つの課題は、初産出層準の正確な層位が確定していないことである。*L. rectilatus*の初産出層準は、春日部コア（図1）のKK-M15海成層に位置する。KK-M15海成層の層位は、房総半島の上総層群黄和田層のKd25テフラに対比されるテフラが、KK-M15海成層よりも一つ下位のKK-M16海成層の直下に挟在することと、KK-M15海成層の上位にKd12 Type（納谷ほか, 2017）と呼ばれた

テフラが挟在することで制約される。層位の下限を制約するKd25テフラの降灰時期はMIS54に対比されるため堆積年代は1.573 Maと推定された（Nozaki *et al.*, 2014）。一方、層位の上限を制約するKd12 Typeテフラは火山ガラスを主体とするテフラで、火山ガラスの記載岩石学的特徴が、房総半島の黄和田層に挟在される“Kd12”テフラ（後述するように宇都宮ほか（2019）によってKd16.5テフラと改称された）と一致するテフラである。しかし、“Kd12”テフラと特徴が酷似するテフラは近接する層位に複数枚知られている。房総半島の黄和田層のテフラ層序を整理した宇都宮ほか（2019）は、この特徴を持つテフラとして下位よりKd20, Kd16.5（従来のKd12）テフラが挟在することを示した。多摩丘陵の上総層群では、火山ガラスの特徴に着目すると、下位より連光寺層の田中（TN）テフラ、稲城層の黒川（KK）、読売（YM）テフラ、飯室層の西久保（NK）テフラなど（鈴木・村田, 2011）が類似する（納谷ほか, 2017）。このように、Kd12 Typeテフラには複数の対比候補があるため、ボーリングコアから一枚しか認められないKd12 Typeテフラとの層位関係から、その直下にあるKK-M15海成層の層位を正確に決めることが困難であった。

本研究は多摩丘陵に分布する上総層群における *L. rectilatus*の産出とテフラ層との関係を明らかにすること

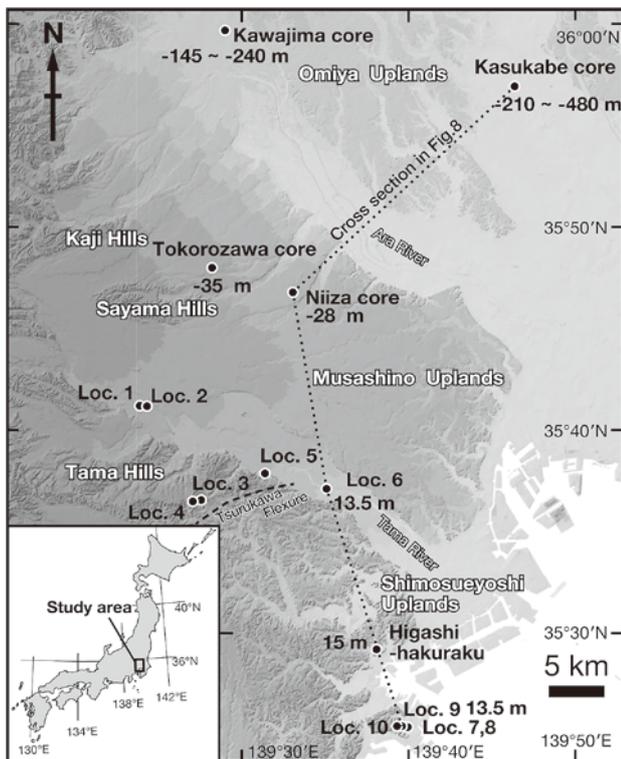


図1. 関東平野西部における本研究の調査地点位置図。鶴川撓曲の位置は高野（1994）に基づく。所沢コア、川島コア、春日部コアの位置は納谷ほか（2014）に、新座コアの位置は阿久津（1971）に基づく。地点の横に書かれた標高は *Lancineis rectilatus*の分布標高を示す。川島コアの春日部コアの *L. rectilatus*の分布標高は、Naya（2019）に、所沢コアは納谷ほか（2014）に、新座コアは阿久津（1971）に基づく。陰影起伏図は国土地理院の地理院地図で作成した。

Fig. 1. Index map of the western Kanto Plain indicating location of the sampling site of this study. Location of Tsurukawa Flexure is after Takano (1994). Locations of Tokorozawa, Kawajima, Kasukabe cores are based on Naya *et al.* (2014). Location of Niiza core is based on Akutsu (1971). Elevation noted beside the points indicate distribution level of *L. rectilatus*. The distribution levels of *L. rectilatus* in previous studies are refer to Naya (2019: Kawajima and Kasukabe cores), Naya *et al.* (2014: Tokorozawa core), Akutsu (1971: Niiza core) and Watanabe (1969: Higashi-hakuraku). Topographic map is based on GSI Maps of the Geospatial Information Authority of Japan.

Geologic Age	Stratigraphy in Tama Hills		Tephra [Age (Ma)]
	Northwest part	Central part	
Pleistocene Early	Takatsu F.	www	HM-Kd16 [1.343]*
		www	GS
	limuro F.	www	NK [1.392]*
		www	
	Dedana F.	www	NB-Kd17 [1.396]*
		www	SG-Kd18 [1.401]*
	Ozenji F.	www	MT [1.406]*
		www	
	Inagi F.	www	NG-YR [1.422]*
		www	YM [1.428]*
Kakio F.	www	KK [1.451]*	
	www	TN [1.467]*	
Renkoji F.	www	KN(Sr-Kmd) [1.492]*	
	www		
Oyamada F.	www	HU ₁	
	www	HU ₂ (Omn-SK110=Kd25) [1.573]**	
Hirayama F.		Tsurukawa F.	
Oyabe F.			
Terada F.		www Tephra	

図2. 多摩丘陵に分布する下部更新統上総層群上部の層序区分とテフラ層序。層序区分とテフラ層序は、高野（1994）と鈴木・村田（2011）にそれぞれ基づく。

Fig. 2. Stratigraphic division of the upper part of the Lower Pleistocene Kazusa Group in the Tama Hills. Stratigraphic division and tephra stratigraphy are based on Takano (1994) and Suzuki and Murata (2011), respectively.

を目的として、多摩丘陵において、黄和田層のKd25テフラに対比される第2堀之内 (HU₂) テフラと黄和田層のKd16テフラに対比される久本 (HM) テフラの間の区間の珪藻化石群集を検討した。その結果、関東平野中央部におけるKd12 Type テフラと *L. rectilatus* の初産出層準の層位を制約する新たな知見が得られたので報告する。

試料と方法

地域概説及び地質調査

多摩川の右岸側から三浦半島にかけて発達する丘陵は多摩丘陵と呼ばれる (図1)。多摩丘陵に分布する上総層群の層序区分は大塚 (1932) 以降多くの研究がありその都度更新されてきたが、研究者ごとに層序区分の相違があった。高野 (1994) はそれまでの岩相層序とテフラ層序を再検討して、層序区分と年代を見直し、丘陵西部では下位より、寺田層、大矢部層、平山層、小山田層、連

光寺層、稲城層、^{でたな}出店層に、丘陵中～東部では下位より、鶴川層、^{かきお}柿生層、^{おうぜんじ}王禅寺層、飯室層、高津層に区分した。高野 (1994) 以降は、多摩丘陵の上総層群の層序区分に大きな変更はない。

多摩丘陵の上総層群の年代は、主に産出する化石から推定されたきた。古くは大型化石のアケボノゾウ (*Stegodon aurorae*)、オオバタグルミ (*Juglans megacineria*)、メタセコイヤ (*Metasequoia glyptostroboides*) などが産出することから、前期更新世とされてきた (高野, 1994)。さらに石灰質ナノ化石からは Okada and Bukry (1980) の CN13b 帯に相当する群集が得られ、房総半島の上総層群黄和田層上部に対比された (高野, 1994)。

本研究は小山田層以上の上総層群を対象とする (図2)。鈴木・村田 (2011) のテフラ層序に基づく、本研究で検討した層序区間は第2堀之内テフラ (HU₂) と久本-Kd16テフラ (HM-Kd16) の間に相当する。HU₂ テフラは黄和田層のKd25テフラに対比され、広域テフラ

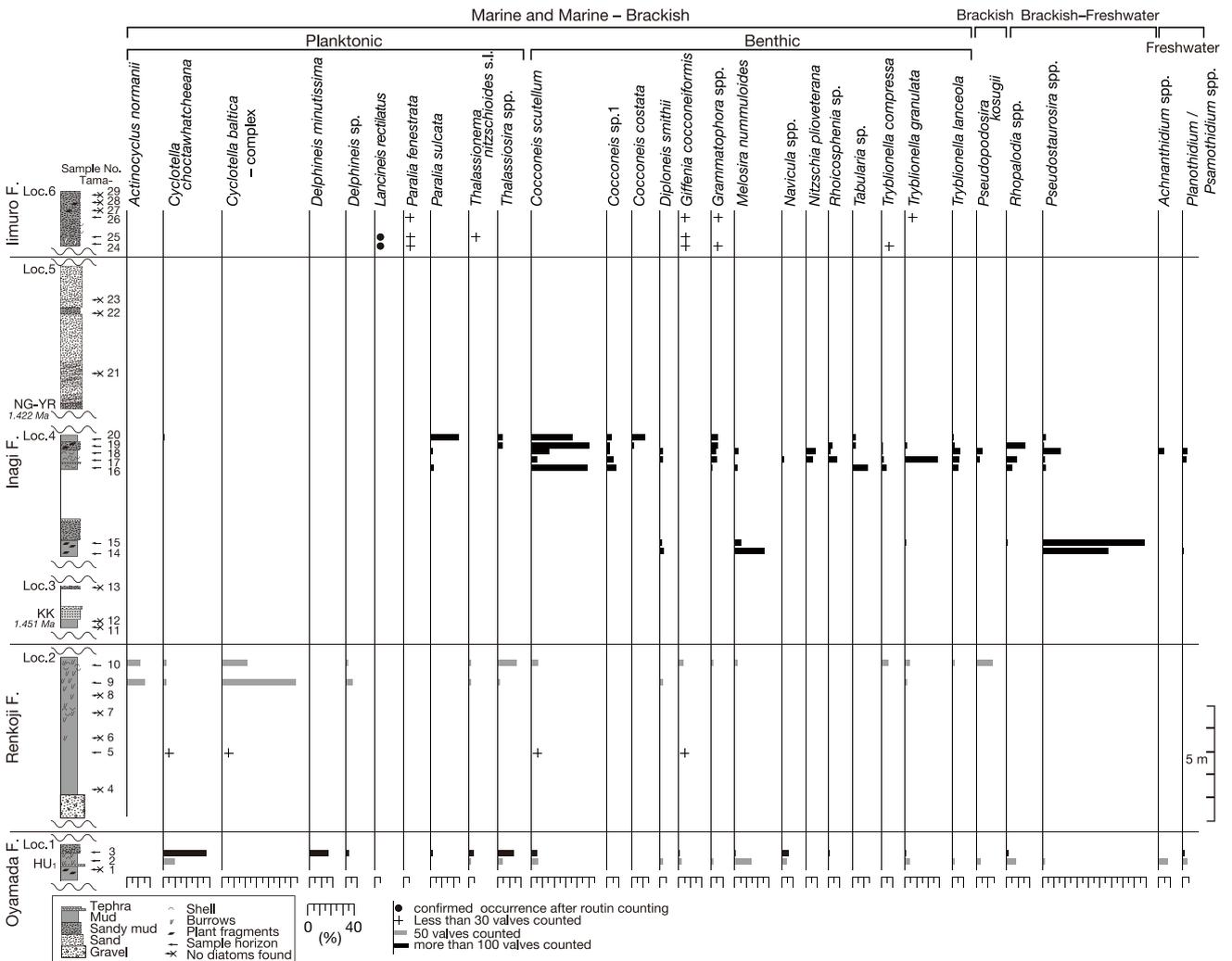


図3. 多摩川沿いの下部更新統上総層群の露頭柱状図 (Loc. 1~6) と珪藻化石群集。テフラ対比は鈴木・村田 (2011) に基づく。
Fig. 3. Columnar sections (Loc. 1-6) and diatom assemblages of the Lower Pleistocene Kazusa Group along the Tama River. Tephra correlations are after Suzuki and Murata (2011).

特集：西部上総層群のたまりはじめの頃 (東京西部にたまった上総層群)

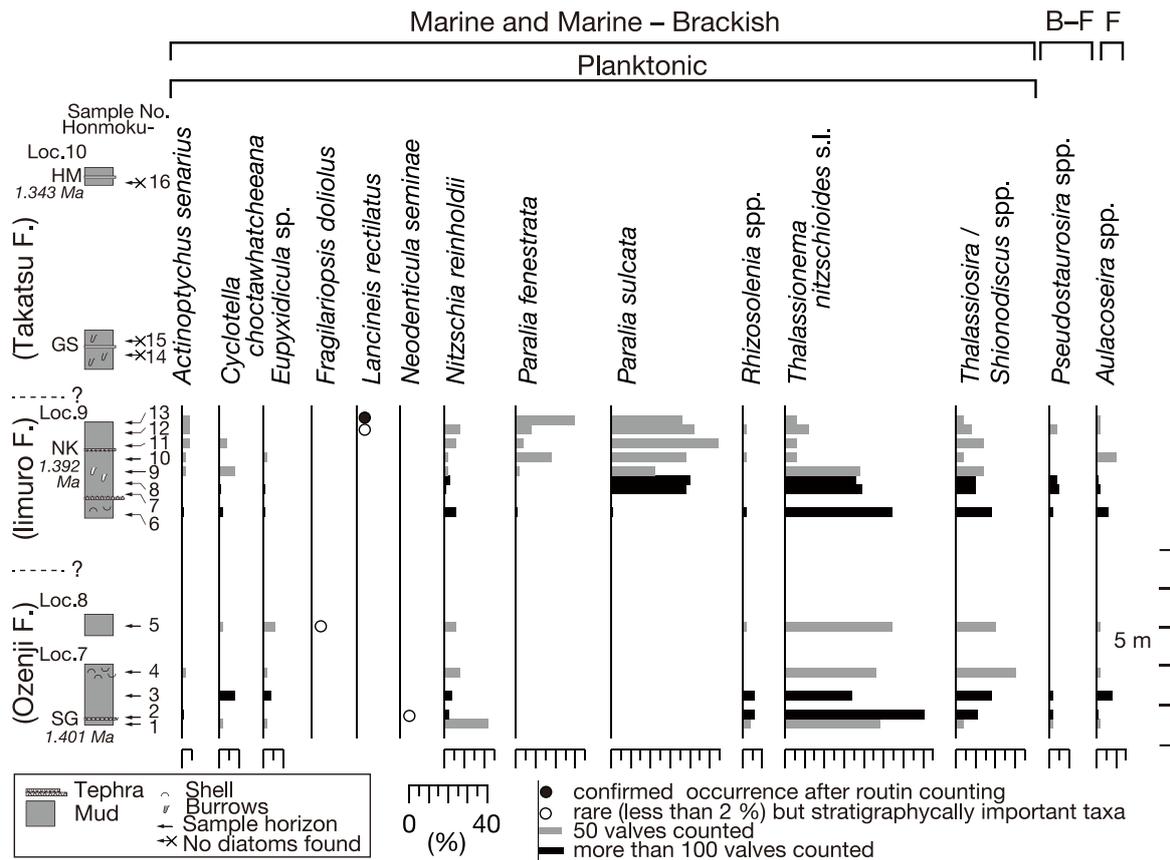


図4. 横浜本牧の下部更新統上総層群の露頭柱状図 (Loc. 7~10) と珪藻化石群集. テフラ対比は鈴木・村田 (2011) と小泉 (1995) に基づく.

Fig. 4. Columnar sections (Loc. 7-10) and diatom assemblages of the Lower Pleistocene Kazusa Group at Yokohama Honmoku. Tephra correlations are based on Suzuki and Murata (2011) and Koizumi (1995).

のおおみねの大峰-SK110テフラにも対比される (長橋ほか, 2000; 鈴木・村田, 2011). 上述のようにKd25テフラの降灰層準はMIS54に対比され, 年代は1.573 Maと推定された (Nozaki *et al.*, 2014). HM-Kd16テフラは, 石灰質ナノ化石生層序基準面との関係から1.343 Maの年代値が推定された (鈴木・村田, 2011). したがって, 今回調査した年代範囲は, 1.573~1.343 Maである.

多摩川沿いのLoc. 1~6, 横浜市本牧のLoc. 7~10 (図1) で地質調査を行った. 鈴木・村田 (2011) で記載されたテフラ層との層位関係を確認しながら柱状図を作成し, 珪藻化石分析用の試料を採取した (図3, 4). 多摩川沿いでは, 小山田層, 連光寺層, 稲城層, 飯室層が観察された (図3). 横浜市本牧で観察された地層は, 三梨・菊地 (1982) では, 上星川層に区分されるが, 上星川層は多摩丘陵北西部~中央部の平山層~高津層の広い層序区間にまたがるとされ (三梨, 1977; 三梨・菊地, 1982), その後層序区分は細分されていない. 本研究では, テフラの対比から, 暫定的に王禅寺層, 飯室層, 高津層に区分した (図4).

珪藻分析

試料の処理は, 納谷ほか (2009) の手法Bに準拠して行い, 珪藻化石観察用のスミアスライドを作成した. 封入材には紫外線硬化樹脂NOA61 (Norland Products Inc.) を用いた. 検鏡は倍率1000倍の生物顕微鏡 (ニコンECLIPSE E80i, 対物レンズPlan Apo VC 100×: 1.40 N.A.) を用いて行い, 視野に出現した分類群の殻数を記録し, 合計200または100殻になるまで計数した. 珪藻化石の保存が悪く珪藻殻の産出が少ない試料については合計50殻以下で計数を打ち切った. 殻計数した後に, さらに広い範囲を検鏡して, 堆積環境の推定や生層序に重要な分類群の有無を確認した.

珪藻の同定は, Krammer and Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a, 1991b), Hofmann *et al.* (2011), Witkowski *et al.* (2000), 田中 (2014), 渡辺ほか (2005), Akiba (1986), Schrader (1973, 1974)などを参考にしたが, 適宜必要な文献を参考にした. なお, *Cyclotella baltica*, *C. litoralis*, *C. mesoleia*は, 殻の保存状態が良ければ光学顕微鏡観察でも識別可能だが, 殻の一部が欠けていたり溶解していると識別が困難なことが多い. 本研究では納谷ほか (2020) と同様にこれらを *Cyclotella baltica*-complex

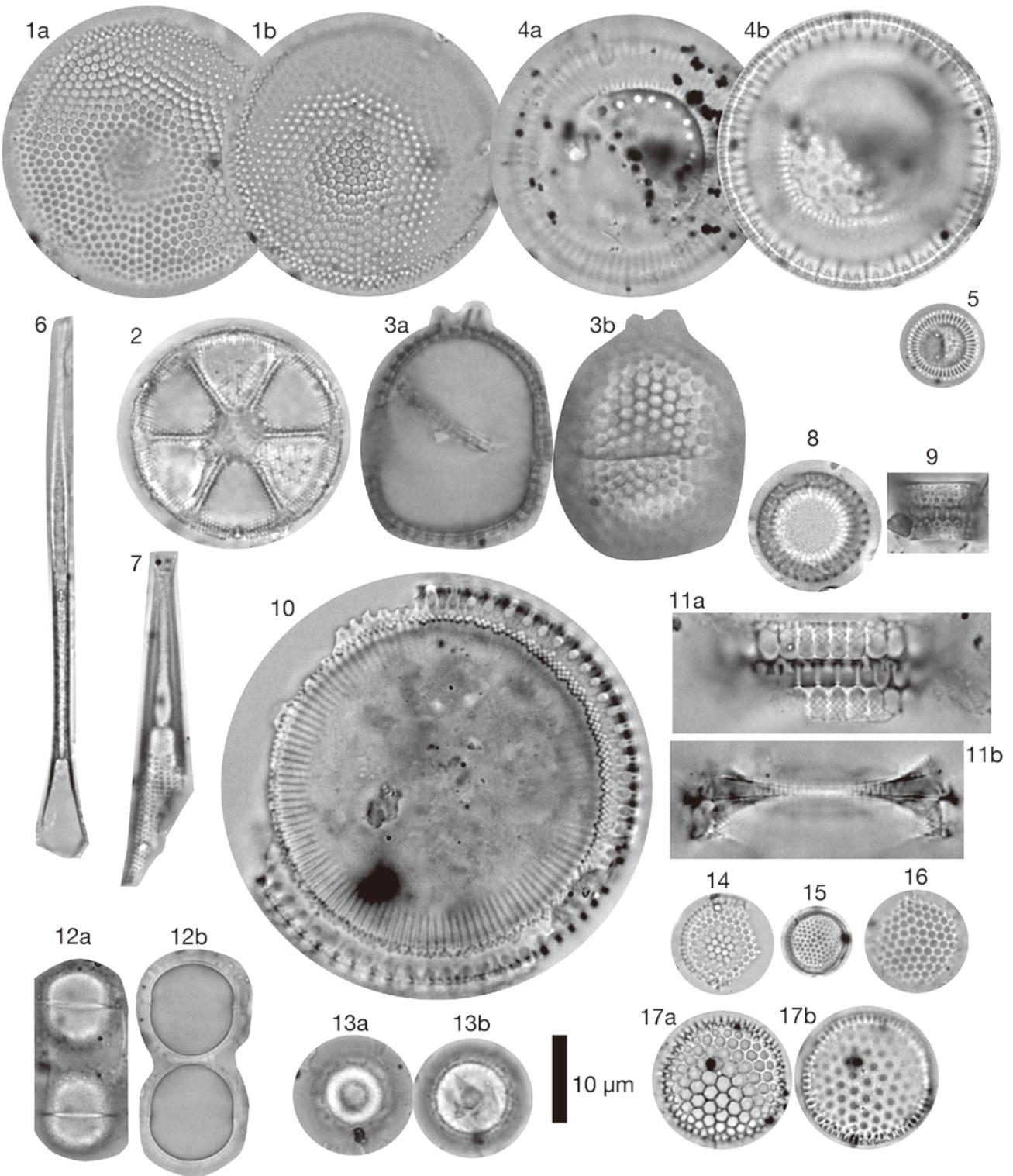


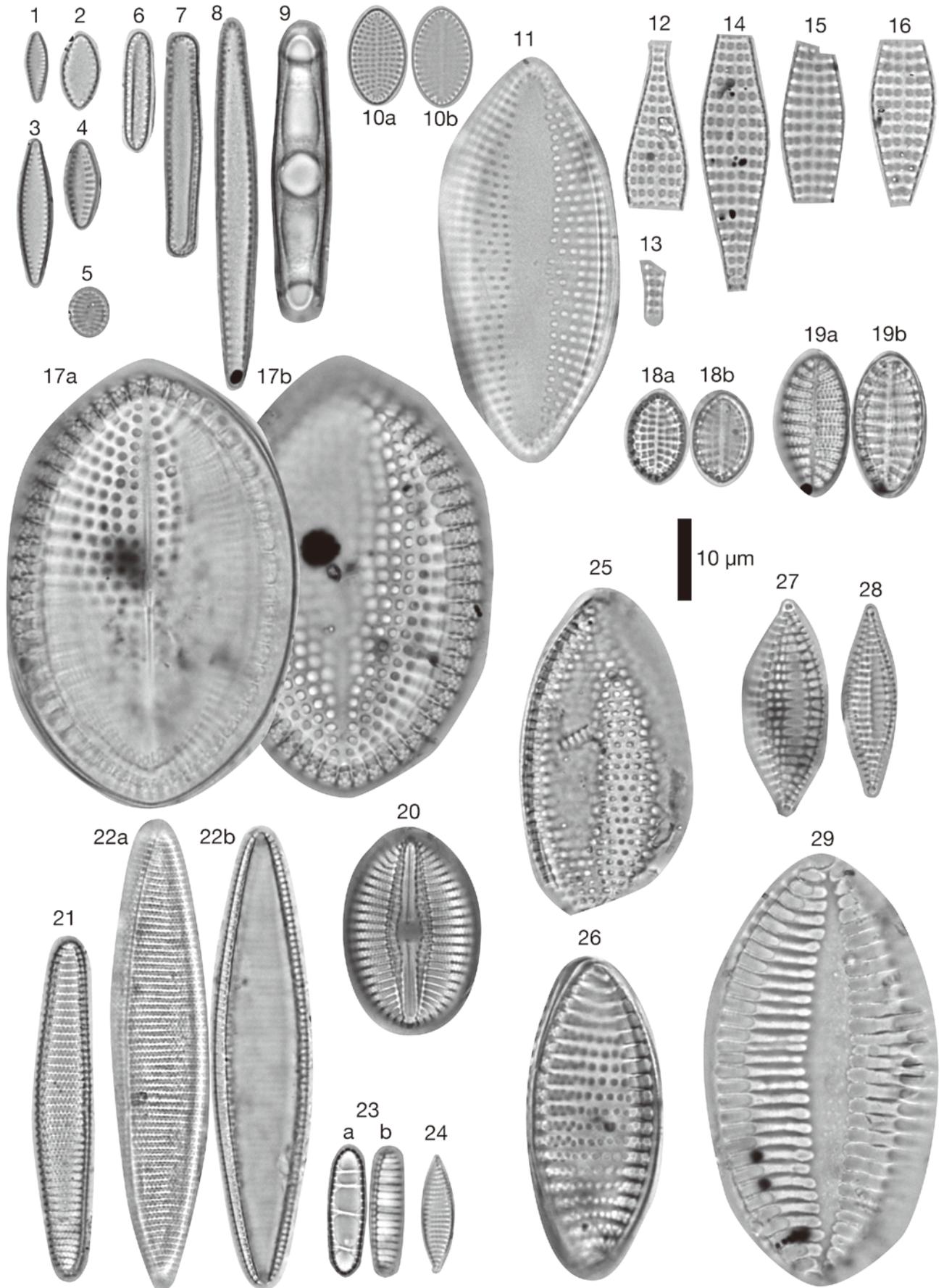
図5. 多摩丘陵の下部更新統上総層群から産出した珪藻化石 (その1)

Fig. 5. Diatom fossils from the Lower Pleistocene Kazusa Group in the Tama Hills (1).

(1) *Actinocyclus normanii* (W. Gregory ex Greville) Hustedt (2) *Actinoptychus senarius* (Ehrenberg) Ehrenberg (3) *Eupyxidicula* sp. (4) *Cyclotella mesoleia* (Grunow) Houk, Klee & H. Tanaka 2010 [counted as *Cyclotella baltica* complex] (5) *Cyclotella choctawhatcheeana* Prasad (6) *Rhizosolenia hebetata* fo. *semispina* (Hensen) Gran (7) *Rhizosolenia bergonii* H. Peragallo (8, 9) *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve (10, 11) *Paralia fenestrata* Sawai & Nagumo (12) *Melosira nummuloides* C. Agardh (13) *Pseudopodosira kosugii* Tanimura & H. Sato (14, 15) *Thalassiosira* spp. (16, 17) *Shionodiscus oestrupii* (Ostenfeld) A. J. Alverson, S.-H. Kang & E. C. Theriot [counted as *Thalassiosira* spp.]

化石114号

納谷友規・鈴木毅彦



としてまとめて計数した。殻の計数は、Schrader and Gersonde (1978) を簡略化して、中心珪藻では殻が2/3以上観察された場合は1殻、それ以下の場合は0殻、羽状珪藻では、殻の両端が残っている場合は1殻、片方の末端部が残っている場合は0.5殻として行った。多摩丘陵の上総層群から産出した代表的な珪藻化石の顕微鏡写真を図5、6にまとめた。珪藻の生育環境については、珪藻の同定に使用した文献のほか、小杉 (1988)、千葉・澤井 (2014)、Vos and de Wolf (1993)などを参考にした。北太平洋珪藻化石帯 (NPD: Neogene North Pacific Diatom zone)、生層準コード、年代は、Yanagisawa and Akiba (1998) に、低緯度珪藻化石帯 (NTD: Neogene Tropical Diatom zone) の生層準と年代は (Barron, 1985a, b, 1992) にそれぞれ従った。

結果

多摩川沿いと横浜市本牧で得られた珪藻化石群集を図3、図4にそれぞれ示す。また、珪藻化石の計数結果は表1に示す。両地域では異なる珪藻化石群集が得られた。

多摩川沿いの上総層群の珪藻化石群集と堆積環境

1. 小山田層

第1堀之内テフラ (HU₁) の上位から珪藻化石が産出した。海～汽水生浮遊性種である *Cyclotella choctawhatcheeana* (例えば、Genkal, 2012) が約25%を占め、次いで海～汽水生浮遊性種の *Delphineis minutissima* や *Thalassiosira* spp. が10～15%と多く産出した。海生付着性種の *Melosira nummuroides* や *Cocconeis scutellum* などは5%以下で産出した。

海～汽水生浮遊性種が優占し、特に世界各地のエスチュアリーや内湾から報告のある *C. choctawhatcheeana* が多いため、内湾やラグーンのような汽水環境が推定される。

2. 連光寺層

検討した区間の上部のみ珪藻化石が産出したが、珪藻化石の保存状態は悪く、多くの殻を計数できなかった。海～汽水生浮遊性種である *Cyclotella baltica* complex が多産し、次いで、*Actinocyclus normanii*, *Thalassiosira* spp. などの海～汽水生浮遊性種が多く産出した。汽水生種の *Pseudopodosira kosugii* の産出も認められた。

十分な量の珪藻化石を計数出来なかったので詳細は不明だが、内湾に多く出現する *C. baltica* complex (例えば、Tanaka, 2007) が多産するので内湾環境で堆積したと推測される。また、汽水の泥質干潟環境指標種である *P. kosugii* (小杉, 1988; 千葉・澤井, 2014) を伴うことから、干潟が近接していたと考えられる。

3. 稲城層

黒川テフラ (KK) の上下、根方-百合ヶ丘テフラ (NG-YR) の上位からは珪藻化石が産出しなかった。Loc. 4の上部では珪藻化石が豊富に産出した。Loc. 4下部では、汽水～淡水生種の *Pseudostaurosira* spp. が優占し、海生付着性種の *Melosira nummuloides* を伴う。Loc. 4上部では海生付着性種の *Cocconeis scutellum* が最大で40%程度を占め、他にも *Tabularia* sp., *Tryblionella granulata*, *T. lanceola* などの汽水～海生付着性種を主体とする。汽水生付着性種の *P. kosugii* が少量含まれる。

Loc. 4下部に多産する *Pseudostaurosira* 属には、淡水生種と汽水生種が含まれるため、種が同定できない段階では堆積環境を推定することができない。正確に堆積環境を知るためには今後SEM観察に基づく種の同定を必要がある。ただし、海生付着種の *M. nummuloides* を伴うことから、海水の影響が推測され、汽水環境であったことが推測される。Loc. 4上部では、藻場の指標種である *C. scutellum* が多産し、干潟の指標種である *T. granulata* や *P. kosugii* を含むこと、また海生浮遊性種が少ないことなどから、藻場を伴う干潟環境が推測される。

4. 飯室層

飯室層からは極めて少量の珪藻化石しか産出しなかった。また、ほとんどの珪藻化石が破片化していた。産出が確認された珪藻化石は、海生浮遊性種の *Paralia fenestrata* や海生付着性種の *Giffenia cocconeiformis*, *Grammatophora* spp. などであった。加えて、*Lancineis rectilatus* の破片が確認された。*L. rectilatus* の破片は細片化しており、計数できないものがほとんどだが、破片の数は多かった。

珪藻化石の産出が極めて少ないため、堆積環境の推定は困難だが、海生種が産出することから、海域で堆積したと考えられる。

横浜市本牧の露頭の珪藻化石群集と堆積環境と珪藻化石帯

SGテフラ直下からNKテフラの直上の層準 (王禅寺層と飯室層に相当する) から珪藻化石が産出した。GSテフ

図6. 多摩丘陵の下部更新統上総層群から産出した珪藻化石 (その2)

Fig. 6. Diatom fossils from the Lower Pleistocene Kazusa Group in the Tama Hills (2).

(1-5) *Pseudostaurosira* spp. (6-8) *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschkowsky sensu lato (9) *Grammatophora* sp. (10) *Delphineis minutissima* (Hustedt) Simonsen (11) *Delphineis* sp. (12-16) *Lancineis rectilatus* Naya (17) *Cocconeis scutellum* Ehrenberg (18) *Cocconeis* sp. 1 (cf. *scutellum*) (19) *Cocconeis costata* Gregory (20) *Diploneis smithii* (Brébisson) Cleve (21) *Fragilariopsis doliolus* (Wallich) Medlin & P. A. Sims (22) *Nitzschia reinholdii* Kanaya & Koizumi ex Barron & Baldauf (23) *Neodenticula seminae* (Simonsen & Kanaya) Akiba & Yanagisawa (24) *Nitzschia plioveterana* Lange-Bertalot (25) *Tryblionella compressa* (Bailey) Poulin (26) *Tryblionella granulata* (Grunow) D. G. Mann (27) *Tryblionella* cf. *lanceola* Grunow (28) *Tryblionella lanceola* Grunow (29) *Giffenia cocconeiformis* (Grunow) Round & Basson

ラとHMテフラの層準（高津層に相当する）からは珪藻化石が産出しなかった（図4）。

産出した珪藻化石群集のほとんどが海生浮遊性種となる。*Thalassiosnema nitzschioides* sensu latoが大部分の層準で50%以上を占め *Paralia sulcata* および *P. fenestrata* が飯室層に相当する層準では多産し、特にNKテフラの上下では優占する。*Thalassiosira* spp. / *Shionodiscus* spp. はこの区間では連続的に産出し10~30%を占める。低緯度珪藻化石帯（NTD）の指標種である、*Nitzschia reinholdii* は全区間から産出し、*Fragilariopsis doliolus* の産出が確認された。また、北太平洋珪藻化石帯（NPD）の指標種である、*Neodenticula seminae* の産出が確認された。*Lancineis rectilatus* はNKテフラの上位からのみ極めて少量であるが産出した。

外洋の指標種である *T. nitzschioides* や、沿岸域~外洋に産する *Paralia* 属が多産し、*Cyclotella* 属など内湾指標種が少ないことから、陸棚縁辺~外洋域で堆積したと推測される。

横浜市本牧の露頭からは *Nitzschia reinholdii* が連続的

に産出し、一部の層準では *F. doliolus* が共存していた。さらに、本ルート下部と中部からそれぞれSG-Kd18テフラとNKテフラ（1.401 Ma, 1.392 Ma：鈴木・村田, 2011）を確認した（図4）。したがって本区間は、NTD16帯（*Nitzschia reinholdii* 帯：1.8-0.65 Ma）に対比できる。また、*N. seminae* が産出し、*N. koizumii* が産出しないことから、NPD10~13帯と判断できる。なお、NPD10帯の基底の生層準D100（*N. koizumii* の終産出）の年代は2.0 Maである（Yanagisawa and Akiba, 1998）。

考察

珪藻化石群集の特徴と従来の研究との比較

多摩川沿いの上総層群から得られた珪藻化石群集は、内湾生の浮遊性珪藻か汽水~海生付着性珪藻を主体とする一方、横浜市本牧の露頭の珪藻化石群集は外洋水の影響を強く示唆する海生浮遊性珪藻を主体とし、両地域の珪藻化石群集と推定される堆積環境は大きく異なる。従来から、多摩丘陵に分布する上総層群は、鶴川撓曲を境

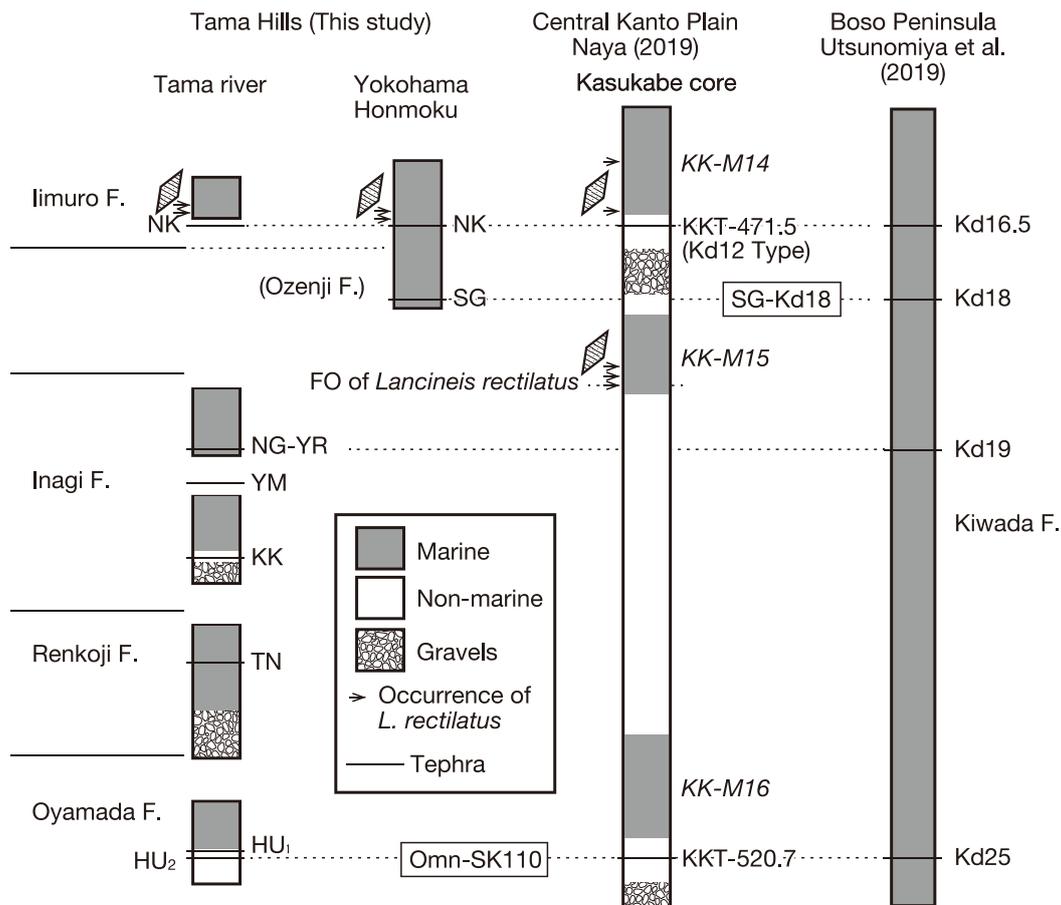


図7. 多摩丘陵と関東平野中央部（春日部コア）における、*Lancineis rectilatus* 産出層準の比較。春日部コアの層序と *L. rectilatus* の産出は Naya (2019) に基づく。房総半島黄和田層のテフラ層序は宇都宮ほか (2019) に基づく。

Fig. 7. Comparison of stratigraphic levels of *Lancineis rectilatus* occurrences between Tama Hills and the central Kanto Plain (Kasukabe core). Stratigraphy of the Kasukabe core and *L. rectilatus* occurrences are based on Naya (2019). Tephrostratigraphy of Kiwada Formation is based on Utsunomiya et al. (2019).

にしてその北側と南側で岩相と堆積環境が大きく異なり、北側は浅海成層と淡水成層からなる複数の堆積サイクルの累積からなるのに対し、南側は深海成の堆積物からなるとされており（例えば、高野, 1994）、珪藻化石からも改めてその推定が裏付けられた。

増淵ほか（1988）は小山田層と連光寺層の珪藻化石群集の予察的検討結果を報告しており、両層には海生珪藻が含まれることを示したが、詳しい種構成は不明であった。本研究では小山田層と連光寺層では *Cyclotella* 属や *Thalassiosira* 属などの内湾生の汽水～海生浮遊性種が優占することが特徴で、堆積環境として内湾環境が推定されることが明らかになった。

一方、稲城層から得られた珪藻化石群集には内湾生種は少なく、ほとんどが干潟や藻場に生育する付着性種であった。この結果は、増淵（1991）とも概ね一致する。また、KKテフラよりも上位の層準が海生珪藻を主体とすることも増淵（1991）の結果と調和的である。増淵・小出（1987）、増淵（1991）はKKテフラの下位に淡水生種を主体とすることを報告しているが、本研究ではこの層準から珪藻化石の産出を確認できなかった。

多摩川の飯室層では、増淵（1995）が石灰質団塊から比較的保存の良い珪藻化石を報告した。本研究で検討した堆積物の珪藻化石の保存は極めて悪かったが、産出した珪藻化石は、*Paralia fenestrata*, *Giffenia cocconeiformis*, *Tryblionella granulata* などであり、*Lancineis rectilatus* を含むことを除くと、増淵（1995）が報告した珪藻化石群集とほぼ同じであると判断できる。

鶴川撓曲よりも南側の海成泥層からなる上総層群からの珪藻化石の報告は、再堆積と思われる東白楽の武蔵野礫層中からの産出（渡辺, 1969）以外では、おそらく本報告が初めてである。低緯度珪藻化石帯（NTD）と北太平洋珪藻化石帯（NPD）の指標種が産出し、属する化石帯から推定される年代（NTD16帯：1.8–0.65 Ma；NPD10～13帯：2.0 Ma以降）はテフラの対比から推測される本セクションの年代（1.4–1.35 Ma）と矛盾しない。

本セクションの珪藻化石群集で特徴的なのは *Paralia* 属の消長が認められることである。現世において *Paralia* 属は温帯沿岸域にプランクトンやベントスとして広く分布する（McQuoid and Nordberg, 2003）。日本近海では、東シナ海中央部において大陸系混合水塊中に *Paralia sulcata* が優占しており（谷村ほか, 2002）、同種は黒潮に乗って四国沖の太平洋にも運搬されていることが知られている（Tanimura, 1999）。上総層群における *Paralia* 属の増減を規制する要因は現段階で明らかでないが、明瞭な消長が記録されているので、関東平野沖合の古海洋環境を知る上での指標となる可能性がある。

Lancineis rectilatus とテフラの層位関係

今回検討した範囲で、*L. rectilatus* は飯室層および飯室

層相当層からのみ産出した。このうち横浜市本牧の露頭では、NKテフラの直上からの本種の産出を確認した。多摩川沿いの露頭では、現在は露出が悪くなっておりNKテフラが観察できないが、かつては多摩川河床露頭の Loc. 6 よりも少し上流側で観察されている（小泉, 1995）。小泉（1995）の層相分布図によれば、多摩川におけるNKテフラの層位は今回 *L. rectilatus* が産出した Loc. 6 よりもわずかに下位と判断される。つまり、両地点の *L. rectilatus* の産出層位はNKテフラの直上という点で一致している。

関東平野中央部において、*L. rectilatus* の初産出はKd12 Type テフラ直下の、春日部コアのKK-M15海成層に位置する（図7）。多摩丘陵におけるKd12 Type テフラの対比候補は、連光寺層の田中（TN）テフラ、稲城層の黒川（KK）、読売（YM）テフラ、飯室層の西久保（NK）テフラである（納谷ほか, 2017）。以下では、多摩丘陵と関東平野中央部における *L. rectilatus* の産出層位とテフラ層位の関係から、関東平野中央部におけるKd12 Type テフラの対比と *L. rectilatus* の初産出の層位について考察する。なお、これら候補テフラに含まれる火山ガラスの形態にはそれぞれ固有の特徴があることが示されている（鈴木・村田, 2011）ので、この点も考慮する。

まず連光寺層からは *L. rectilatus* が産出しないので、TNテフラはKd12 Type テフラに対比されない。稲城層の黒川（KK）テフラは、淡水成層中に挟在され（増淵・小出, 1987）その上位が海成層である（図3）ことから、海成層直下の淡水成層に挟まるKd12 Type テフラと同じく海水準の上昇期に相当するため、お互いに対比される可能性があった。しかし、KKテフラ直上の海成層から *L. rectilatus* が産出しないことから、両テフラは対比されない。稲城層のYMテフラは稲城層上部の砂層中に挟まる。この砂層は下部の泥層と同一の堆積サイクルと考えられるため、KKテフラと同様にKd12 Type テフラには対比される可能性は低い。NKテフラの直上からは *L. rectilatus* が産出する。NKテフラよりも上位にはKd12 Type の対比候補となるテフラは確認されていないことから、NKテフラがKd12 Type テフラに対比される可能性が高い（図7）。鈴木・村田（2011）によれば、NKテフラは房総半島夷隅川で千葉県立中央博物館（1991）によってKd12とされたテフラに対比された。宇都宮ほか（2019）はこのKd12テフラの名称をKd16.5に変更している。Kd12 Type テフラは多摩丘陵のNK、房総半島のKd16.5テフラに対比されると考えられる。火山ガラスの形態からもNKテフラとKd12とされたテフラ（Kd16.5）はともに平行型（岸・宮脇, 1996）のものを多く含む共通点がある（鈴木・村田, 2011）。これと同様な特徴をもつテフラにKKテフラとYMテフラがあるが上記の様に対比される可能性は低く、TNテフラについてはスポンジ型火山ガラスが卓越し形態上の共通点は少ない。

関東平野中央部では、浅海生珪藻群集における *L.*

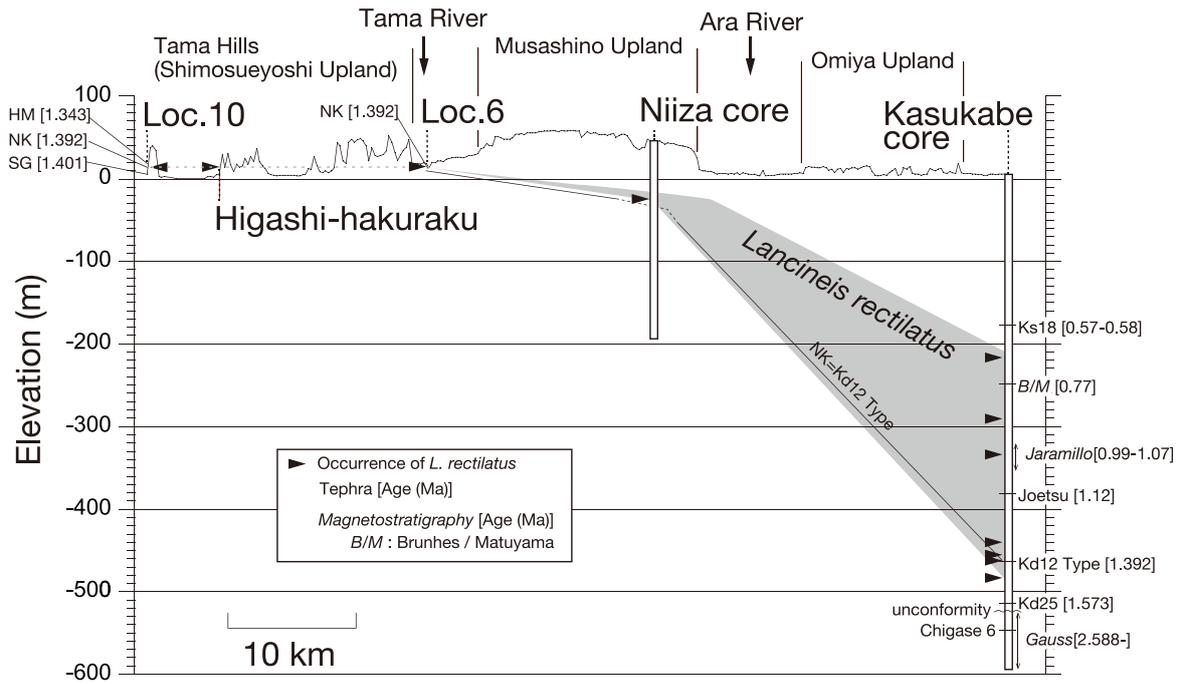


図8. 多摩丘陵から関東平野中央部の断面図と *L. rectilatus* の分布深度。断面の位置は図1に示した。春日部コアの層序指標は納谷ほか(2017)に従った。新座コアと春日部コアにおける *L. rectilatus* の産出深度は阿久津(1971)とNaya(2019)に基づく。

Fig. 8. Cross section from the Tama Hills to the central Kanto Plain and distribution levels of *L. rectilatus*. The location of the cross section is shown in Fig. 1. Stratigraphic indexes in the Kasukabe core are based on Naya *et al.* (2017). Occurrence horizons of *L. rectilatus* in the Niiza and Kasukabe cores are based on Akutsu (1971) and Naya (2019), respectively.

rectilatus の産出頻度は高く、優占することも多い。*L. rectilatus* が多産する層準では、多くの場合浮遊性種である *Paralia sulcata* が多産し、それ以外にも *Tryblionella granulata*, *Diploneis smithii*, *Pseudopodosira kosugii* など干潟環境の指標種とも共産するため、*L. rectilatus* は内湾の沿岸環境に適応していたと考えられる。

一方、多摩丘陵の飯室層および飯室層相当層においては、*L. rectilatus* が極めて少量しか観察されず、多くの場合破片化していた。多摩川の飯室層の堆積環境は、産出する貝化石からは外洋の影響を受けた浅海内湾環境が(正岡, 1975)、有孔虫化石からは、陸棚中上部～内湾環境(増淵ほか, 1995)が推定されている。多摩川の飯室層では珪藻化石の保存状況が極めて悪いが、産出する珪藻化石には *Giffenia cocconeiformis* や *Tryblionella compressa*, *T. granulata* などの干潟の指標種が含まれ、異地性の化石が多く含まれると考えられる。横浜市本牧の飯室層相当層は、今回明らかになった珪藻化石群集から陸棚縁辺～外洋環境が推定される。この珪藻化石群集は多くが海生浮遊性珪藻であるが、極少量含まれる淡水生の *Aulacoseira* spp. や淡水～汽水生の *Pseudostaurosira* spp. などは異地性の可能性が高い。内湾の沿岸環境に適応していると考えられる *L. rectilatus* については、*P. sulcata* のように広範囲に分布していた可能性もあるが、産出状況の悪さから異地性である可能性も十分考えられる。

Kd12 Type テフラがNK テフラに対比される可能性が

示されたことから、*L. rectilatus* の初産出層準である KK-M15 海成層の層位は、多摩丘陵の YM テフラと NK テフラの間の区間に制約される(図7)。多摩丘陵ではNK テフラの下位からは *L. rectilatus* の産出が確認されていないが、SG-Kd18 テフラよりも下位の層準の珪藻化石は未検討である。上記のように、多摩丘陵における *L. rectilatus* が異地性や再堆積の標本であった場合は、実際の初産出層準よりも上位から産出しはじめている可能性もあり、初産出については慎重な検討が必要になる。今後、*L. rectilatus* の初産出層準の層位を特定するためには、ボーリングコアを含め連続した層序区間を対象とした検討を要する。

Lancineis rectilatus 産出の地質学的・古生物学的意義

関東平野に代表される大規模な堆積平野では、平野を構成する地層の大部分が地下に埋積している。平野地下の地質構造を把握するためには、正確な層序対比が必要である。テフラ対比は同時間面を広く提供するため、平野の地下地質を解析するうえで重要な指標である。しかし、観察する地層に必ずしもテフラが挟まるとは限らない。とくにボーリングコアの場合は観察できる範囲が大変小さい(通常コア径は10 cm以下)ため、テフラが検出されないことが多い。そのため、より正確な層序対比を行うためには、テフラに加え、微化石層序や古地磁気層序を組み合わせた複合層序が検討される。

Naya(2019)は関東平野中央部地下における *L.*

*rectilatus*の産出層位を明らかにし、層序指標として有用であることを示した。本研究では*L. rectilatus*の分布を陸上まで追跡できることが明らかになった。この事実は、*L. rectilatus*の層序指標としての適用範囲が、関東平野中央部地下だけでなく関東平野に広く及ぶことを示唆する。

図8は、本研究で観察した横浜市本牧、多摩川河床の飯室層、新座コア（阿久津, 1971）、春日部コア（Naya, 2019）の地形-地下断面図で、*L. rectilatus*の分布深度を示したものである。なお、新座コアの産出は、阿久津（1971）が*Dimerogramma fulvum*として報告したもので、顕微鏡写真から*L. rectilatus*と判断した。本牧、多摩川、新座コアの産出層準は、初産出に限りなく近く、*L. rectilatus*分布の基底に近い。本牧と多摩川の*L. rectilatus*産出層準の標高はほぼ同じで共に+13mで、新座コアではやや低くなり-28mである。そして、春日部コアでは分布の基底が-480m上限が-210mであり、*L. rectilatus*の分布深度が急激に深くなるのが読み取れる。この例のように、関東平野の陸上と地下の更新統における本種の産出又は非産出を確認することは、関東平野の地質構造の把握する上で極めて有効である。

ここまでは、*L. rectilatus*の産出が果たす、応用的な役割について述べた。続いて、その古生物学的意義について考察する。*L. rectilatus*はNKテフラの降灰層準よりも少し前の時代に、突如として内湾-エスチュアリー環境に出現した。浅海成堆積物においては、*L. rectilatus*はしばしば珪藻化石群集の中で優占する（Naya, 2019）ことから、*L. rectilatus*はおおよそ140~70万年前の浅海生沿岸珪藻群集の主要な構成種であったと推察される。それまで内湾の珪藻群集に存在しなかった分類群はどこから来たのだろうか。同時に本種の消長からは、内湾環境における主要な珪藻種の入替わりが起こったと推察される。内湾環境における珪藻種の入替わりはなぜ起こるのだろうか。沿岸水塊の移動、古海洋環境の変化、内湾環境が成立する地形要因の変化などに影響を受けている可能性が考えられるが、現在のところ明確な回答は得られていない。

本研究では、陸に近い外洋堆積物中にも*L. rectilatus*の産出が確認された。このことは、外洋堆積物中の*L. rectilatus*の産出を検討することで、外洋における珪藻化石群集変化や古海洋環境変化と*L. rectilatus*の消長の時期を比較できる可能性を示している。*L. rectilatus*は内湾域と外洋域における前~中期更新世の海洋環境変動を明らかにする上で鍵となるだろう。

謝辞

本論は、2022年2月5日（土）に開催された日本古生物学会第171回例会の夜間小集会「西部上総層群のたまりはじめの頃（東京西部にたまった上総層群）」において講

演した内容に関連して、その後得られた新たな知見を加えてまとめたものである。夜間小集会の世話人である樽創氏および木村敏之氏には講演の機会を与えて下さった。地質調査を行うにあたり、東京学芸大学の西田尚央氏、帝京平成大学の小森次郎氏には、一部の露頭を案内していただいた。査読者である筑波大学の加藤悠爾氏ならびに産業技術総合研究所の水野清秀氏による建設的なコメントは原稿の改善に大変有益であった。以上の皆様に深く御礼申し上げます。

文献

- Akiba, F., 1986. Middle Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy in the Nankai Trough and Japan Trench, and modified Lower Miocene through Quaternary diatom zones for middle-to-high latitudes of the North Pacific. In Kagami, H. et al., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, U. S. Government Printing Office, Washington D. C., **87**, 393-480.
- 秋葉文雄・柳沢幸夫・谷村好洋, 2012. 6.2北太平洋の珪藻化石層序の誕生から完成まで, 谷村・辻編著, 微化石: 顕微鏡で見るプランクトン化石の世界, 297-311. 東海大学出版会.
- 阿久津純, 1971. 武蔵野台地北部（埼玉県新座市）の試錐井の層序と化石珪藻. 地質調査所月報, **22**, 391-396.
- Barron, J.A., 1985a. Late Eocene to Holocene diatom biostratigraphy of the equatorial Pacific Ocean, Deep Sea Drilling Project Leg 85. In Mayer, L. et al. eds. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, U. S. Government Printing Office, Washington D. C., **85**, 413-456.
- Barron, J.A., 1985b. Miocene to Holocene planktonic diatoms. In Bolli, H.M. et al. eds. *Plankton stratigraphy*, 763-809, Cambridge University Press, Cambridge.
- Barron, J.A., 1992. Neogene diatom datum levels in the equatorial and North Pacific. In Ishizaki, K. and Saito, T. eds. *Centenary of Japanese Micropaleontology*, 413-425, Terra Scientific Publishing Company, Tokyo.
- 千葉県立中央博物館, 1991. 地学資料 上総層群下部鍵層集 (1990年版). 218pp., 千葉県立中央博物館.
- 千葉 崇・澤井祐紀, 2014. 環境指標種群の再検討と更新. *Diatom*, **30**, 17-30.
- Genkal, S.I., 2012. Morphology, taxonomy, ecology, and distribution of *Cyclotella choctawhatcheeana* Prasad (Bacillariophyta). *Inland Water Biology*, **5**, 169-177.
- Hofmann, G., Werum, M. and Lange-Bertalot, H., 2011. *Diatomeen im Süßwasser-Benthos von Mitteleuropa*, 908pp. Koeltz Scientific Books, Königstein.
- 伊田一善・三梨 昂・影山邦夫, 1956. 関東南部の地層の大区分について. 地質調査所月報, **7**, 435-436.
- 岸 清・宮脇理一郎, 1996. 新潟県柏崎平野周辺における鮮新世-更新世の褶曲形成史. 地学雑誌, **105**, 88-112.
- 小泉明裕, 1995. 多摩丘陵東部の下部更新統, 上総層群飯室層の火山灰層序. 川崎市青少年科学館紀要, (6), 41-47.
- 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.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H., 1986. Bacillariophyceae. 1. Teil: Naviculaceae. 876 pp. In Ettl, H. et al. eds. *Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/1*, Gustav Fisher Verlag, Jena.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H., 1988. Bacillariophyceae. 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. 596 pp. In Ettl, H. et al. eds. *Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/2*, Gustav Fisher Verlag, Jena.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H., 1991a. Bacillariophyceae. 3.

- Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. 576pp. In Ettl, H. et al. eds. *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/3*, Gustav Fisher Verlag, Stuttgart.
- Krammer, K. & Lange-Bertalot, H., 1991b. Bacillariophyceae 4. Teil: Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1-4. 437pp. In H. Ettl et al. eds., *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/4*, VEB Gustav Fisher Verlag, Jena.
- 正岡栄治, 1975. 生田緑地公園周辺の地形・地質について. 川崎市文化財調査収録, (11), 11-19.
- 増淵和夫, 1991. 多摩丘陵下部更新統上総層群稲城層の珪藻化石群集と古環境. 川崎市青少年科学館紀要, (2), 1-12.
- 増淵和夫, 1995. 下部更新統上総層群飯室層の炭酸塩団塊から産出した珪藻化石群集. 川崎市青少年科学館紀要, (6), 1-6.
- 増淵和夫・小出悟郎, 1987. 多摩丘陵上総層群稲城層産の化石珪藻群集. 川崎市自然環境調査報告 I, 123-128.
- 増淵和夫・小出悟郎・高野繁昭, 1988. 多摩丘陵西部における上総層群の珪藻化石と堆積環境. 日本第四紀学会講演要旨集, (18), 186-187.
- 増淵和夫・関本勝久・佐藤時幸・吉川昌伸・糸田千鶴, 1995. 下部更新統上総層群飯室層の層序, 微化石層序と古地磁気. 川崎市青少年科学館紀要, (6), 7-39.
- McQuoid, M.R. and Nordberg, K., 2003. The diatom *Paralia sulcata* as an environmental indicator species in coastal sediments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **56**, 339-354.
- 三梨 昂, 1977. 層厚変化による堆積層の区分単元とその基盤運動. 藤岡一男教授退官記念論文集, 249-260.
- 三梨 昂・菊地隆男, 1982. 横浜地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 105p.
- 長橋良隆・里口保文・吉川周作, 2000. 本州中央部における鮮新-更新世の火砕流堆積物と広域火山灰層との対比および層位噴出年代. 地質学雑誌, **106**, 51-69.
- Naya, T., 2010. *Lancineis rectilatus* sp. nov., a new fossil species from Pleistocene sediments in Japan. *Diatom Research*, **25**, 111-124.
- Naya, T., 2019. Stratigraphic distribution and biostratigraphic utility of the fossil diatom *Lancineis rectilatus* in the central Kanto Plain, central Japan. *Quaternary International*, **519**, 131-143.
- 納谷友規・八戸昭一・松島紘子・水野清秀, 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. 地質調査研究報告, **63**, 147-180.
- 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. 地質学雑誌, **123**, 637-652.
- 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, 2014. 関東平野中央部の第四系地下地質. 関東平野中央部の地下地質情報とその応用, 特殊地質図, no. 40 (CD), 地質調査総合センター, 178-203.
- 納谷友規・水野清秀, 2020. 埼玉県加治丘陵に分布する下部更新統仏子層の層序と年代の再検討. 地質学雑誌, **126**, 183-204.
- 納谷友規・長井雅史・小村健太郎, 2020. 日高観測井の珪藻化石群集に基づく埼玉県日高台地地下における海成更新統の認定と層序対比. 地質調査研究報告, **71**, 463-472.
- 納谷友規・山口正秋・水野清秀, 2009. 関東平野中央部埼玉県菖蒲町で掘削された350m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及び海成層準の識別. 地質調査研究報告, **60**, 245-256.
- 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 Koshiha 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.
- Okada, H. and Bukry, D., 1980. Supplementary Modification and Introduction of Code Numbers to the Low-Latitude Cocolith Biostratigraphic Zonation (Bukry, 1973; 1975). *Marine Micropaleontology*, **5**, 321-325.
- 大塚彌之助, 1932. 多摩丘陵の地質 (其一). 地質学雑誌, **39**, 641-655.
- Schrader, H.-J., 1973. Cenozoic diatoms from the Northeast Pacific, Leg 18. In Kulm, L. D. et al., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, U. S. Government Printing Office, Washington D. C., **18**, 673-797.
- Schrader, H.-J., 1974. Cenozoic marine planktonic diatoms stratigraphy of the tropical Indian Ocean. In Fisher, R.L. et al., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, U. S. Government Printing Office, Washington D. C., **24**, 887-967.
- Schrader, H.J., and Gersonde, R., 1978. Diatoms and silicoflagellates. In Zachariasse, W. J. et al., *Micropaleontological counting methods and techniques — an exercise on an eight meter section of the lower Pliocene of Capo Rossello, Sicily. Bulletin of Utrecht Micropaleontology*, **17**, 129-176.
- 鈴木毅彦・村田昌則, 2011. 上総層群黄和田層とその相当層に在するテフラの層序と対比. 地質学雑誌, **117**, 379-397.
- 高野繁昭, 1994. 多摩丘陵の下部更新統上総層群の層序. 地質学雑誌, **100**, 675-691.
- Tanaka, H., 2007. Taxonomic studies of the genera *Cyclotella* (Kützinger) Brébisson, *Discostella* Houk et Klee, and *Puncticulata* Håkanson in the family Stephanodiscaceae Glezer et Makarova (Bacillariophyta) in Japan. *Bibliotheca Diatomologica*, **53**, 1-205.
- 田中宏之, 2014. 日本淡水化石珪藻図説一関連現生種を含む一. 602pp. 内田老鶴園.
- Tanimura, Y., 1999. Varieties of a single cosmopolitan diatom species associated with surface water masses in the North Pacific. *Marine Micropaleontology*, **37**, 199-218.
- 谷村好洋・嶋田智恵子・芳賀正和, 2002. 珪藻 *Paralia sulcata* の増減からみた大陸系混合水の消長一東シナ海北東部の最終氷期一後氷期海洋環境一. 第四紀研究, **41**, 85-93.
- 宇都宮正志・水野清秀・田村糸子, 2019. 下部更新統上総層群黄和田層下部~中部に挟まれるテフラ層の層位と特徴. 地質調査研究報告, **70**, 373-441.
- Vos, P.C. and de Wolf, H., 1993. Diatoms as a tool for reconstructing sedimentary environments in coastal wetlands; methodological aspects. *Hydrobiologia*, **269/270**, 285-296.
- 渡辺仁治・浅井一視・大塚泰介・辻 彰洋・伯耆晶子, 2005. 淡水珪藻生態図鑑: 群集解析に基づく汚濁指数DAIpo, pH耐性能. 666pp. 内田老鶴園.
- 渡辺亮二, 1969. 横浜市東白楽及び日吉付近の武蔵野期堆積物中の化石珪藻について. 第四紀研究, **8**, 22-25.
- Witkowski, A., Lange-Bertalot, H. and Metzeltin, D., 2000. Diatom flora of marine coasts I. *Iconographia Diatomologica*, **7**, 1-925.
- Yanagisawa, Y. and Akiba, F., 1998. Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons. *Journal of the Geological Society of Japan*, **104**, 395-414.
- 納谷友規は研究計画の立案と野外調査, 化石処理, 化石観察・同定, 原稿作成を, 鈴木毅彦は野外調査と原稿の確認と修正を行った。

(2023年4月13日受付, 2023年7月14日受理)