

## 東京層の模式コアセクション(代々木公園コア)における層序の再検討

中澤 努<sup>1,\*</sup>・納谷 友規<sup>1</sup>・坂田 健太郎<sup>1</sup>・本郷 美佐緒<sup>2</sup>・鈴木 毅彦<sup>3</sup>・中山 俊雄<sup>4</sup>

Nakazawa Tsutomu, Naya Tomonori, Sakata Kentaro, Hongo Misao, Suzuki Takehiko and Nakayama Toshio (2020) Re-examination of the stratigraphy of the Tokyo Formation at the type core section in the Yoyogi Park, Tokyo, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 71 (1), p. 19–32, 9 figs, 1 table.

**Abstract:** The stratigraphy of the Tokyo Formation at the type core section in the Yoyogi park, Tokyo, central Japan is reexamined based on the sedimentary facies and tephro- and palyno-stratigraphy. Sedimentological study of the type core section and geotechnical borehole data analysis reveal that the Tokyo Formation can be divided into the lower incised-valley fills and the upper flattened, widespread marine sand bed. These constitute a depositional cycle formed during a series of transgression and regression. The Tokyo Formation is covered with the Shimosueyoshi Loam intercalating a KIP tephra layer (late MIS 5e). Pollen assemblages in the lower part of the Tokyo Formation are comparable with those of early to middle MIS 5e in the off Kashima seafloor core. Therefore, the Tokyo Formation at the type core section is considered to have been mainly deposited during MIS 5e and can be correlated with the Kioroshi Formation in the northern Chiba area and the succession of the Setagaya and Tokyo formations in the Setagaya area. However, further stratigraphic examination of the Tokyo Formation is required because it is not necessary equivalent to the strata previously called the Tokyo Formation in other areas of Tokyo.

**Keywords:** Tokyo Formation, type section, last interglacial period, Pleistocene, Tokyo metropolitan area

### 要 旨

東京層の模式コアセクション(代々木公園コア)の層相、テフラ、花粉化石群集等に基づき東京層の層序を再検討した。コアの層相及び既存ボーリングデータの解析から、東京層は開析谷埋積層である下部とそれとは対照的に広範囲に比較的平坦に分布する上部に分けられる。これらは1回の海進・海退で形成された堆積サイクルである。東京層はKIPテフラ(MIS 5e後期)を挟む下末吉ローム層に覆われる。また東京層の下部から産出する花粉群集は鹿島沖海底コアのMIS 5e前期から中期の群集に比較可能である。よって模式コアセクションの東京層は主に最終間氷期であるMIS 5eに形成されたと考えられ、千葉県北部地域の下総層群木下層、世田谷地域の世田谷層及び東京層に相当する一連の堆積物に対比される。しかし東京都内の他地域で東京層と呼ばれている地層が同一の地層とは限らないため、東京層についてはさらなる検討が必

要である。

### 1. はじめに

東京の武蔵野台地東部を中心に分布する更新統東京層は、東京都心部の浅部地盤を構成することから、地質の専門家のみならず工学分野の専門家にもよく知られた地層である。東京層は東京都土木技術研究所(1996)により、代々木公園層序試錐の深度26 m以浅に分布する、基底部の砂礫層からシルト層、細粒～中粒砂層の順に成層する地層と定義された。しかし東京層の詳細な形成年代及び形成プロセス、分布形態は明らかになっていない。最近、中澤ほか(2019)は東京都世田谷区において、東京層とほぼ同時期の地層とされる世田谷層(東京都土木技術研究所, 1996)及び東京層の層序を再検討した。その結果、世田谷地域では谷埋め堆積物である世田谷層の上位に下末吉面<sup>しもすえよし</sup>を構成する東京層が累重すること、そして世田谷層はMIS 6～5e中期、東京層はMIS 5e中期?～後期

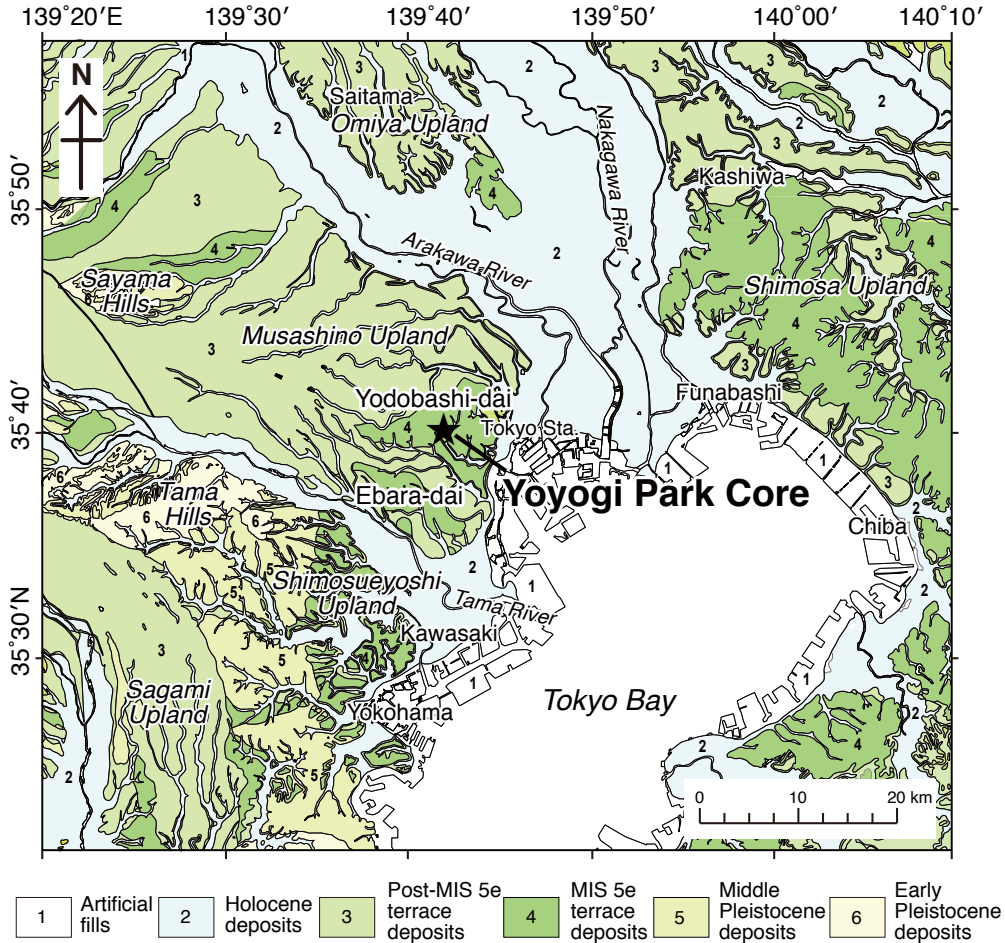
<sup>1</sup> 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

<sup>2</sup> 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)

<sup>3</sup> 首都大学東京 都市環境学部 地理環境学科 (Department of Geography, Faculty of Urban Environmental Sciences, Tokyo Metropolitan University, 1-1 Minami-osawa, Hachioji, Tokyo 192-0397, Japan)

<sup>4</sup> 東京都土木技術支援・人材育成センター (Civil Engineering Support and Training Center, Bureau of Construction, Tokyo Metropolitan Government, 1-9-15 Shinsuna, Koto-ku, Tokyo 136-0075, Japan)

\* Corresponding author: NAKAZAWA, T., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan, Email: t-nakazawa@aist.go.jp



第1図 調査地域の位置。

基図は20万分の1日本シームレス地質図(産総研地質調査総合センター, 2018)を参照して作成。

Fig. 1 Index map showing the study area.

Base map modified from the Seamless Digital Geological Map of Japan, 1:200,000 (Geological Survey of Japan, AIST, 2018).

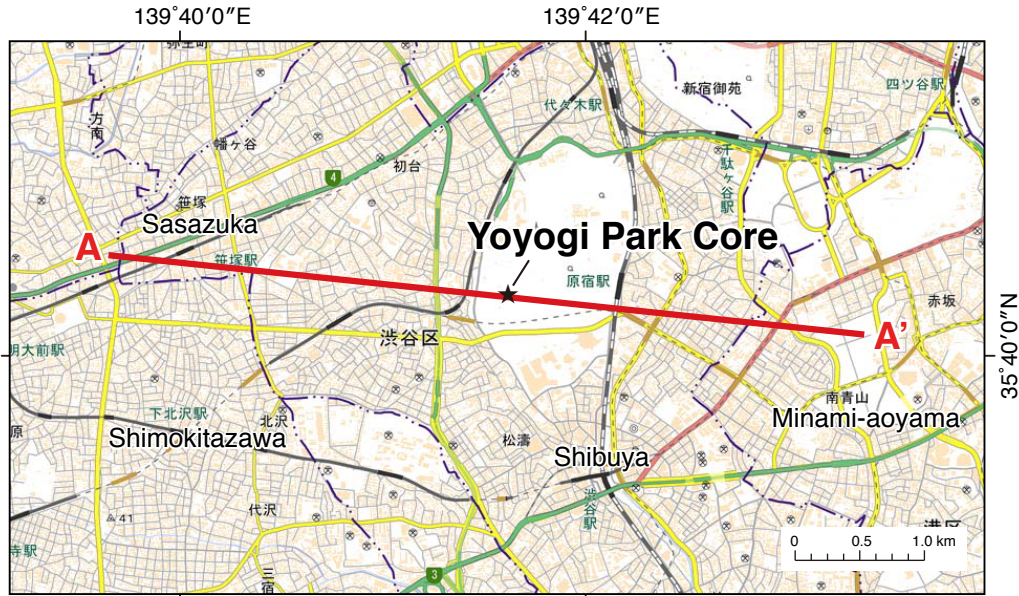
に形成され、それぞれ下総台地しもうさの下総層群木下層下部と木下層上部にほぼ対比されることを明らかにした。一方で、中澤ほか(2019)は、他地域で東京層と呼ばれている地層が同一の地層とは限らないため、今後、各地域の「東京層」を再検討して、世田谷層や東京層などの名称や定義についても将来的に整理が必要であることにも言及した。これらの地層名を整理するためには、まずは東京層の模式セクションにおける層序を再検討する必要がある。

そこで筆者らは東京都土木技術研究所(1996)が東京層の模式セクションとした代々木公園層序試錐のコア試料の層相・層序を再検討した。本稿では東京層及びそれを覆う関東ローム層の層相を再記載するとともに、テフラ及び花粉化石分析にもとづき東京層の形成年代の考察を行う。また既存の土質ボーリングデータも併用して代々木公園付近の東京層の分布形態について検討を行う。そのうえで模式セクションの東京層と関東地方の他地域の更新統との層序対比について考察を加える。

## 2. 地形・地質概説

調査地域付近の武蔵野台地の地形面は、下末吉面(S面)、成増面(M1面)、武蔵野面(M2面)、立川面(Tc面)に分けられる(例えば、杉原ほか, 1972; 岡ほか, 1984)。地形面の形成時期は、下末吉面がMIS 5e(約120 ka)、成増面がMIS 5c(約100 ka)、武蔵野面がMIS 5a(約70 ka)、立川面がMIS 3(約30 ka)とされる(町田, 2008)。このうち下末吉面は武蔵野台地の南東部に南北それぞれ2つの台地に分かれて分布し、それぞれ荏原台えぼら、淀橋台よどばしと呼ばれている(貝塚・戸谷, 1953; 貝塚, 1957; 第1図)。本研究で検討した代々木公園試錐のコア試料(掘進長105 m; 以下これを代々木公園コアと呼ぶ)は、淀橋台の中央部に位置する東京都渋谷区神園町の代々木公園内(第2図)で掘削採取された。

東京都土木技術研究所(1996)によれば、東京都区部の台地域の浅部には上総層群北多摩層、東久留米層、舎人



第2図 検討した代々木公園コアの掘削位置。  
A-A'は第6図の断面図の位置を示す。基図は地理院地図を使用。

Fig. 2 Map showing the drill site of the examined Yoyogi Park core.  
Line A-A' indicates the location of the geological profile in Fig. 6. Base map taken from GSI map.

層、江戸川層が分布し、これらを不整合で東京層が覆う(第3図)。なお東京都土木技術研究所(1996)は、東京層及びそれとほぼ同時期の地層とされる世田谷地域の世田谷層や東京低地の地下の高砂層、晴海層を合わせて東京層群と呼んだ。淀橋台では東京層は関東ローム層に覆われる(第3図)。このうち代々木公園コアにみられるのは、下位より上総層群北多摩層、東久留米層、東京層群東京層、そして関東ローム層である(東京都土木技術研究所, 1996)。

上総層群北多摩層は固結シルト層、東久留米層は砂層を主体とし、いずれも松山逆磁極期(約770 ka以前; Suganuma *et al.*, 2015)とされる(東京都土木技術研究所, 1996)。東京層はこれら上総層群を不整合に覆う地層からなる。東京層は基底部の砂礫層とその上位のシルト層、砂層からなり、このうち基底部の砂礫層は東京礫層と呼ばれている(東京都土木技術研究所, 1996)。

### 3. 調査手法

本研究で検討した代々木公園試錐のコア試料は、淀橋台(下末吉面)の中央部に位置する東京都渋谷区神園町の代々木公園内[35°40' 13.90" N, 139°41' 38.53" E, 孔口標高T. P.(東京湾平均海面)+33.143 m]で、平成元(1989)年に東京都土木技術研究所(現 東京都土木技術支援・人材育成センター)により掘削採取された。掘進長は105 mで、全深度にわたり比較的良好なコア試料が採取されている。現在コア試料は首都大学東京に保管されている。

このコア試料を用いて、東京層及びそれを覆う関東ローム層を対象に、層相の記載、粒度分析、テフラ分析、花粉化石分析及び珪藻化石分析を行った。

コア試料の観察に際しては、コア半割面に観察される堆積物の堆積構造や粒径、挟在するテフラ、含有化石等について柱状図を作成しながら記載した。また東京層については約1 mごとにコアから堆積物を分取し、粒度分析を行った。粒度分析は株式会社堀場製作所製レーザー回折/散乱式粒子径分布測定装置LA-960を用いた。ただし礫質堆積物については粒子径分布測定装置の測定可能範囲を外れるため粒度分析を行っていない。また代々木公園試錐では弾性波速度検層(PS検層)が実施されており(東京都土木技術研究所, 1996)、本研究では層相の観察とともに地層の物性値として弾性波速度を参照した。

テフラ試料については、コア半割面で色調、粒径、層厚を記載したのち、分取した試料を250メッシュの篩上で水洗し、重鉱物組成等を記載した。重鉱物については屈折率を測定した。屈折率の測定は、株式会社古澤地質製の温度変化型屈折率測定装置MAIOT(古澤, 1995)を使用して、1試料につき20点以上測定した。

コアの泥質な層準から採取した試料を用いて花粉化石分析及び珪藻化石分析を行った。花粉化石の分離及びプレパラートの作成法はHongo(2007)の手順Bに準じた。花粉化石の計数は同定された花粉・胞子化石のうち、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

Age		Stratigraphic division		
Pleistocene	Late	Kanto Loam	Tachikawa Loam Musashino Loam Shimosueyoshi Loam	
		<b>Tokyo Formation</b> (Tokyo Gravel Bed: basal part of Tokyo Fm)		
	Middle			
		Early	Kazusa Group	Edogawa Formation
				Toneri Formation
Higashikurume Formation				
Kitatama Formation				

第3図 東京都区部の台地の層序概要(東京都土木技術研究所, 1996).  
代々木公園コアでは舎人層, 江戸川層は欠如する.

Fig. 3 Stratigraphic summary in the upland area of central Tokyo. Based on Civil Engineering Laboratory of the Tokyo Metropolitan Government (1996).  
Yoyogi Park core lacks the Toneri and Edogawa formations.

を越えるまで計数した。  
珪藻化石試料の処理は、納谷ほか(2009)の手法B(スメアスライド法)に準じて行ったが、同定に耐えうる個体を検出できなかった。そのため本稿では珪藻化石についての記載は行わない。

4. 東京層の記載

以下に代々木公園コアにみられる東京層の層相及び物性の記載を行う。第4図には東京層を中心とした代々木公園コアの深度30 m以浅の柱状図及び弾性波速度、粒径、含泥率を示す。

東京層

**命名:** Yabe (1911)が命名した東京層をもとに、東京都土木技術研究所(1996)が再定義。東京都土木技術研究所(1996)は、代々木公園において実施した層序試錐(代々木公園コア)を模式として、この層序試錐の深度26~9 mにみられる、砂礫層から上位へシルト層、細粒~中粒砂層の順に成層している地層を東京層とした。なお東京都土木技術研究所(1996)は東京層基底部の砂礫層を東京礫層と呼んでいる。

**模式地:** 東京都渋谷区代々木神園町(代々木公園コア)

**層厚:** 代々木公園コアにおける層厚は17.40 m(深度26.40~9.00 m; 括弧内深度は代々木公園コアでの分布深度, 以下同じ)。

**層序関係:** 代々木公園コアでは下位の東久留米層を不整合で覆う。また上位の関東ローム層(下末吉ローム層)に整合に覆われる。

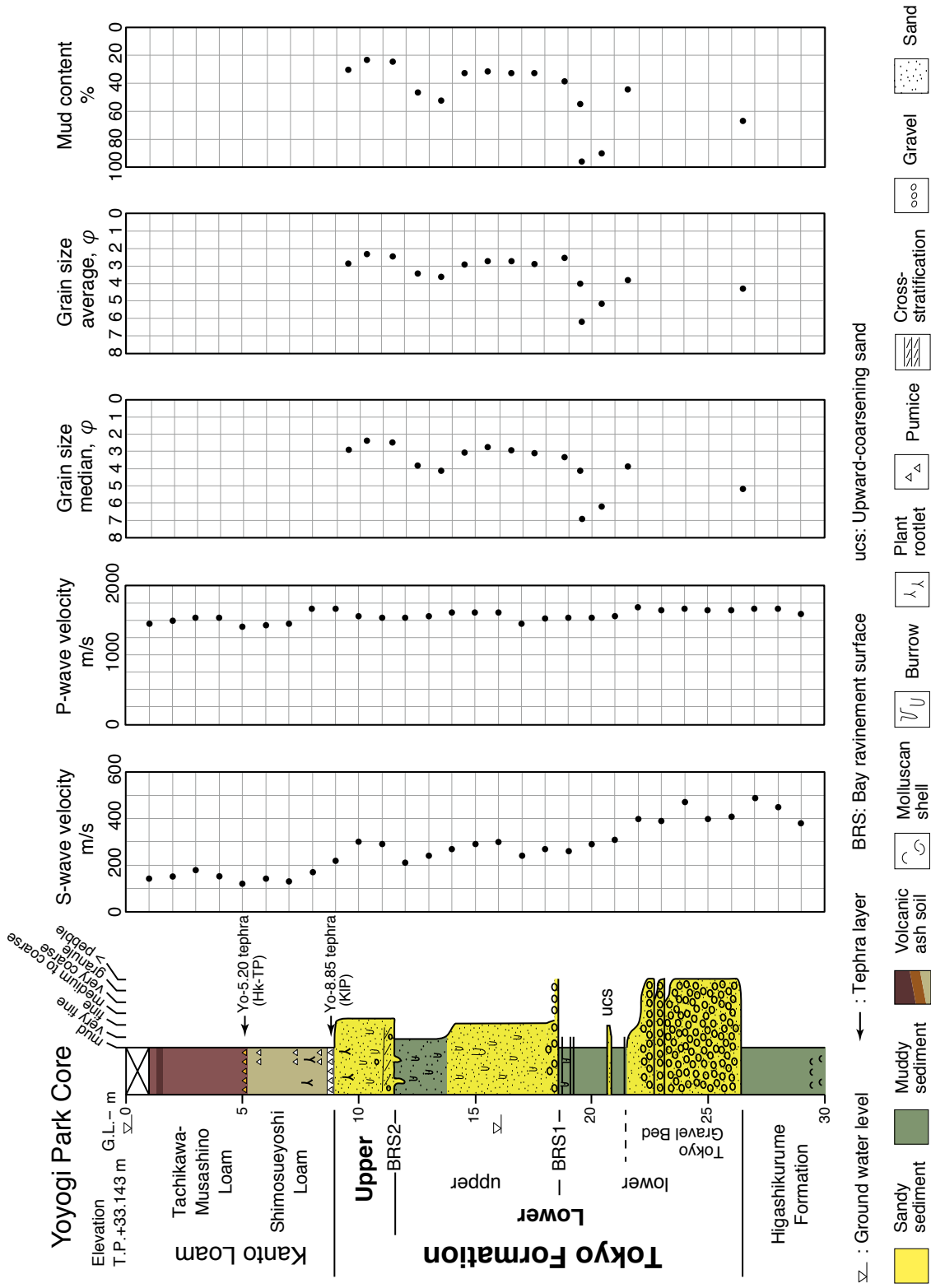
**層相:** 本層は下部(深度26.40~11.65 m)と上部(深度11.65~9.0 m)に分けられる(第4図)。下部は基底に砂礫層を伴う泥層・砂層からなり、後述するように谷埋め状に局所的に分布する。上部は主に砂層からなり、下部とは対照的に広範囲に分布する。下部は層厚約15 mで、侵食面(第4図のBRS1)を挟んでさらに下半部と上半部分けられる。

下部の下半部は層厚7.85 m(深度26.40~18.55 m)で、砂礫層から砂層を経て泥層へと至る上方細粒化層からなる。基底の砂礫層は層厚4.40 m(深度26.40~22.00 m)で、最大径60~70 mm, 平均径10~30 mmの垂円礫からなる(第5図の1)。礫種は砂岩, 泥岩, チャートなど、主に関東山地の付加体起源の礫を主体とする。礫間は観察される限りでは泥質砂が埋めているが、掘削の過程で少なからず流失しており詳細は不明である。砂礫層は上方に細粒化し、層厚約50 cmの細粒~極細粒砂層を経て、上方に泥層に漸移する。この泥層(第5図の3)は層厚約3 mで、植物片が含まれる。また層厚5~25 cm程度の極細粒~細粒砂層が複数層準に挟在する。この挟在する砂層の基底部は上方に粗粒化する特徴を有する(第5図の2)。下半部の最上部の泥層には生物擾乱が認められる。

下部の上半部は層厚約6.90 m(深度18.55~11.65 m)で、侵食面(第4図のBRS1; 第5図の4)を介して下位の泥層を覆う。基底部の層厚約40 cmは細粒~中粒砂層からなり、基底には4 cm以下のチャートや泥岩などの礫を含む。この礫混じり砂層の上位には層厚約6.5 mの生物擾乱の著しい泥質砂層が累重する(第5図の5)。泥質砂層には巣穴化石が多数見受けられ、深度15 m付近には生痕化石の*Rosselia* isp.が認められた(第5図の5)。この泥質砂層は上位に泥の含有量が大きくなり、砂質泥層(第5図の6)へと漸移する。

本層上部は砂層からなる。基底は侵食面(第4図のBRS2; 第5図の7)で、下位の砂質泥層に明瞭な層相境界を介して累重する。基底面から下位に巣穴化石が貫入するのが観察される。基底部の層厚約30 cmは斜交層理の発達した細礫混じりの中粒砂からなる。その上位の約2.5 mはやや泥質の細粒砂層からなる(第5図の8)。ほぼ塊状で一部層準では著しい生物擾乱がみられる。最上部は泥の含有量がやや多くなり、上位層準から発達したと考えられる植物根痕が認められるようになる。まれに10 mm以下の礫が散在する。

なお代々木公園コアの東京層には、観察した限りではテフラは確認されなかった。

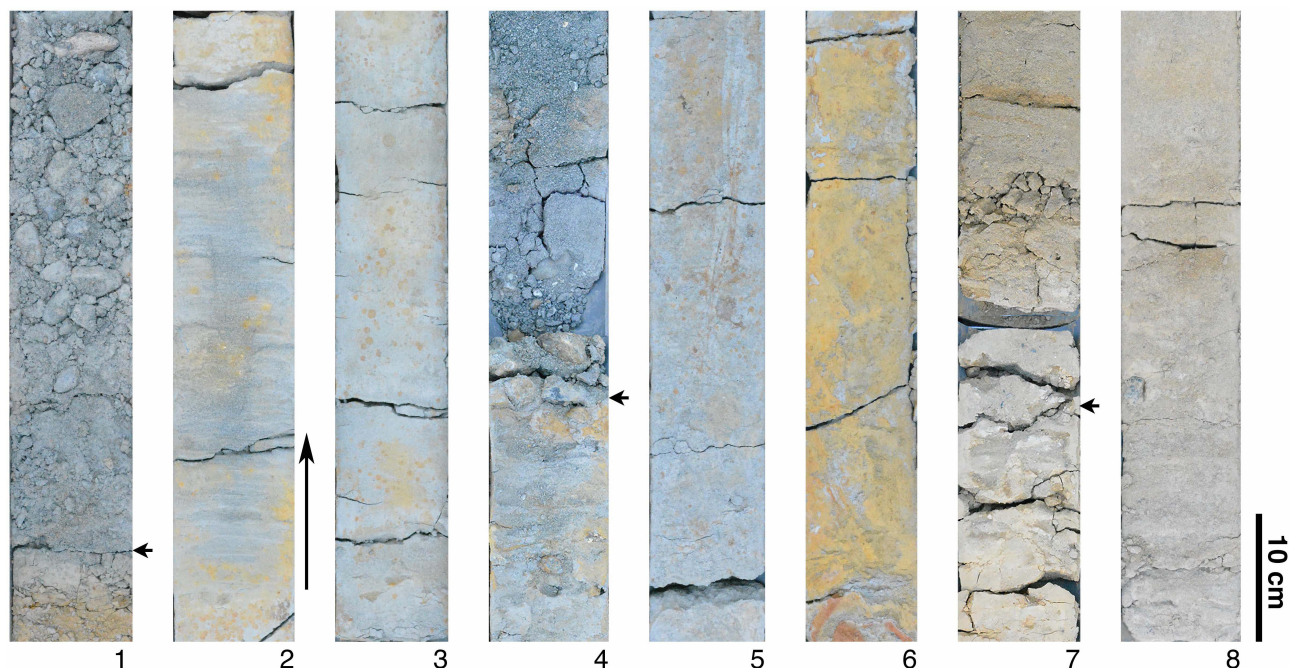


第4図 代々木公園コアの柱状図と各種分析結果。

S波速度及びP波速度は東京都土木技術研究所(1996)に基づく。

Fig. 4 Logs of the Yoyogi Park Borehole.

S-wave and P-wave velocities taken from Civil Engineering Laboratory of the Tokyo Metropolitan Government (1996).



第5図 東京層の模式セクション(代々木公園コア)のコア写真。

1. 東京層基底の侵食面(矢印)とその上位の河川成砂礫層からなる東京礫層。侵食面下位の泥層は上総層群東久留米層。深度26.05～26.45 m。
2. 東京礫層の上位の湿地成泥層に挟まれる砂層。砂層の下部には河川洪水堆積物の特徴である上方粗粒化ユニット(矢印の部分)が認められる。東京層下部。深度21.10～21.50 m。
3. 東京礫層の上位の湿地成泥層。東京層下部。深度20.50～20.90 m。
4. ベイラビンメント面(BRS1；矢印)とその上位の内湾成の礫混じり砂層。ベイラビンメント面の下部には塩性湿地と考えられる弱く生物擾乱を受けた砂泥細互層がみられる。東京層下部。深度18.30～18.70 m。
5. 内湾環境で形成された生物擾乱を受けた泥質砂層。写真のコア上半部に生痕化石*Rosselia isp.*が認められる。東京層下部。深度15.10～15.50 m。
6. 内湾で形成された生物擾乱を受けた砂質泥層。東京層下部。深度12.55～12.95 m。
7. 東京層下-上部境界のベイラビンメント面(BRS2；矢印)と基底の斜交層理礫混じり砂層。深度11.30～11.70 m。
8. 内湾堆積物である生物擾乱を受けた砂層。東京層上部。深度10.60～11.00 m。

Fig. 5 Core photographs of the type section of the Tokyo Formation, Yoyogi Park, Tokyo.

1. Tokyo Gravel Bed comprising fluvial sandy gravels above the basal erosion surface (arrow) of the Tokyo Formation. Underlying mud bed corresponds to the Higashikurume Formation, Kazusa Group. Depth 26.05–26.45 m.
2. Sand bed intercalated in marsh mud above the Tokyo Gravel Bed. Note that the lowermost part of the sand bed exhibits upward coarsening property (arrow) indicating river flooding deposits. Lower part of the Tokyo Formation. Depth 21.10–21.50 m.
3. Massive mud of marsh deposits overlying the Tokyo Gravel Bed. Lower part of the Tokyo Formation. Depth 20.50–20.90 m.
4. Bay ravinement surface (BRS1; arrow) with basal gravelly sand of inner bay deposits. Slightly bioturbated, thinly alternating beds of sand and mud below the bay ravinement surface interpreted as salt marsh deposits. Lower part of the Tokyo Formation. Depth 18.30–18.70 m.
5. Bioturbated muddy sand formed in an inner bay environment. Ichnofossil *Rosselia isp.* observed in the upper half of the core. Lower part of the Tokyo Formation. Depth 15.10–15.50 m.
6. Bioturbated sandy mud formed in an inner bay environment. Yellowish brown stained. Lower part of the Tokyo Formation. Depth 12.55–12.95 m.
7. Bay ravinement surface (BRS2; arrow) at the boundary between the lower and upper parts of the Tokyo Formation with basal cross-stratified gravelly sand of inner bay deposits. Depth 11.30–11.70 m.
8. Bioturbated sand of inner bay deposits. Upper part of the Tokyo Formation. Depth 10.60–11.00 m.

**S波速度**：最下部の礫層は400 m/s前後、下部の泥層や砂質泥層・泥質砂層は概ね210～300 m/sを示し、このうち下部の上半部の海成泥層では210 m/s程度とやや低い値を示す(第4図；東京都土木技術研究所, 1996)。上部の砂層は220～300 m/sを示す(第4図；東京都土木技術

研究所, 1996)。

## 5. 東京層の花粉化石分析結果

東京層下部の泥粒子を比較的多く含む層準について、花粉化石分析を行った。東京層上部は砂層であるため、

花粉化石分析を実施していない。

本研究では産出する花粉化石に基づき、東京層下部を花粉帯Yo-I ~ Yo-IIIに区分した(第6図)。以下にそれぞれの花粉帯の花粉化石群集について特徴を記述するとともに、現在の日本の垂直的森林帯との比較などから推定される古植生・古気候について述べる。なお本稿の森林帯区分は山中(1979)及び堀田(1980)に従った。

#### Yo-I帯

**地層区分との対応:** 東京層下部、東京礫層の直上の泥層の下半部に相当する。

**記載:** *Tsuga* (ツガ属)が優勢で、*Pinus* (マツ属)、*Picea* (トウヒ属)及び*Sciadopitys* (コウヤマキ属)がこれに次ぐ。*Hemiptelea* (ハリゲヤキ属)、*Quercus* (*Lepidobalanus*) (コナラ属コナラ亜属)及び*Carpinus / Ostrya* (クマシデ属/アサダ属)は上位の花粉帯と比較して低率である。*Cryptomeria* (スギ属)はほとんど産出しない。このほかシダ・コケ植物の孢子化石を多産することを特徴とする。

**古植生・古気候:** 温帯針葉樹の*Tsuga*が優勢で、温帯落葉広葉樹の産出は低率であることから、森林古植生は温帯針葉樹林(中間温帯林)であったと考えられる。シダ・コケ植物の孢子化石が高率に産出することから、堆積地周辺にはシダ植物の繁茂する氾濫原が存在したと推定される。古気候はやや温暖であったと推定され、*Cryptomeria*はほとんど産出せず、*Tsuga*及び*Sciadopitys*が高率に産出することから、夏期には連続的な降水があったが冬期の降水量は少なかったと考えられる。

#### Yo-II帯

**地層区分との対応:** 東京層下部、東京礫層の直上の泥層の上半部に相当する。

**記載:** *Hemiptelea*が優勢で、*Quercus* (*Lepidobalanus*)、*Carpinus / Ostrya*及び*Juglans / Pterocarya* (クルミ属/サワグルミ属)がこれに次ぐ。*Pinaceae* (マツ科)の分類群及び*Cryptomeria*を低率に伴う。このほか草本植物を多産することを特徴とする。

**古植生・古気候:** 温帯落葉広葉樹の*Hemiptelea*をはじめとする温帯落葉広葉樹が優勢で、*Pinaceae*や*Cryptomeria*などと温帯針葉樹は低率であることから、森林古植生は中間温帯林であったと考えられる。*Hemiptelea*の多産のほか、草本植物が高率に産出することから、堆積地周辺には氾濫原及び*Hemiptelea*を主体とする湿地林や河辺林が存在したと推定される。古気候は温暖であったと推定され、下位の花粉帯と比較して*Cryptomeria*が増加し、*Tsuga*及び*Sciadopitys*の産出は低率となることから、降水量は一年を通じてやや多くなったと考えられる。

#### Yo-III帯

**地層区分との対応:** 東京層下部の上半部の泥質砂層・砂

質泥層に相当する。

**記載:** *Hemiptelea*が優勢で、*Carpinus / Ostrya*及び*Juglans / Pterocarya*がこれに次ぐ。下位の花粉帯と同様に*Pinaceae*の分類群及び*Cryptomeria*は低率である。また*Lagerstroemia* (サルスベリ属)や*Sapium* (シラキ属)、*Camellia* (ツバキ属)を低率ながらも産出することを特徴とする。

**古植生・古気候:** 温帯落葉広葉樹の*Hemiptelea*が優勢で、そのほかの温帯落葉広葉樹を伴い、*Pinaceae*や*Cryptomeria*などの温帯針葉樹は低率であることから、森林古植生は中間温帯林であったと考えられる。堆積地周辺には*Hemiptelea*を主体とする湿地林や河辺林が存在したと推定される。暖温帯落葉広葉樹の*Lagerstroemia*や、*Sapium*、*Camellia*などの暖温帯要素を伴うことから、古気候は下位の花粉帯と比較して幾分温暖で、やや湿潤であったと推定される。

## 6. 関東ローム層の記載

**層相:** 岡ほか(1984)に基づけば、掘削地点を含む淀橋台(下末吉面)の関東ローム層は下部の下末吉ローム層と上部の武蔵野ローム層・立川ローム層(新期ローム層)に分けられる。代々木公園コアでは下部の下末吉ローム層は層厚約4 mで、灰褐色~灰白色の凝灰質粘土からなる。下半部を中心に植物根痕が多く認められる。また基底付近には、KIPテフラ群のいずれかに対比される層厚10 cmの軽石質テフラ(後述するYo-8.85テフラ)が認められるほか、凝灰質粘土中の複数の層準で軽石が多く散在する(第4図)。

一方、上部の武蔵野・立川ローム層(新期ローム層)は層厚約4 mで、褐色~暗褐色を呈する軟質の火山灰質土壌からなる。下半部はやや粘土質が強い傾向がある。最下部付近には、箱根東京テフラに対比される層厚約25 cmの軽石質テフラ(後述するYo-5.20テフラ)が挟在する(第4図)。

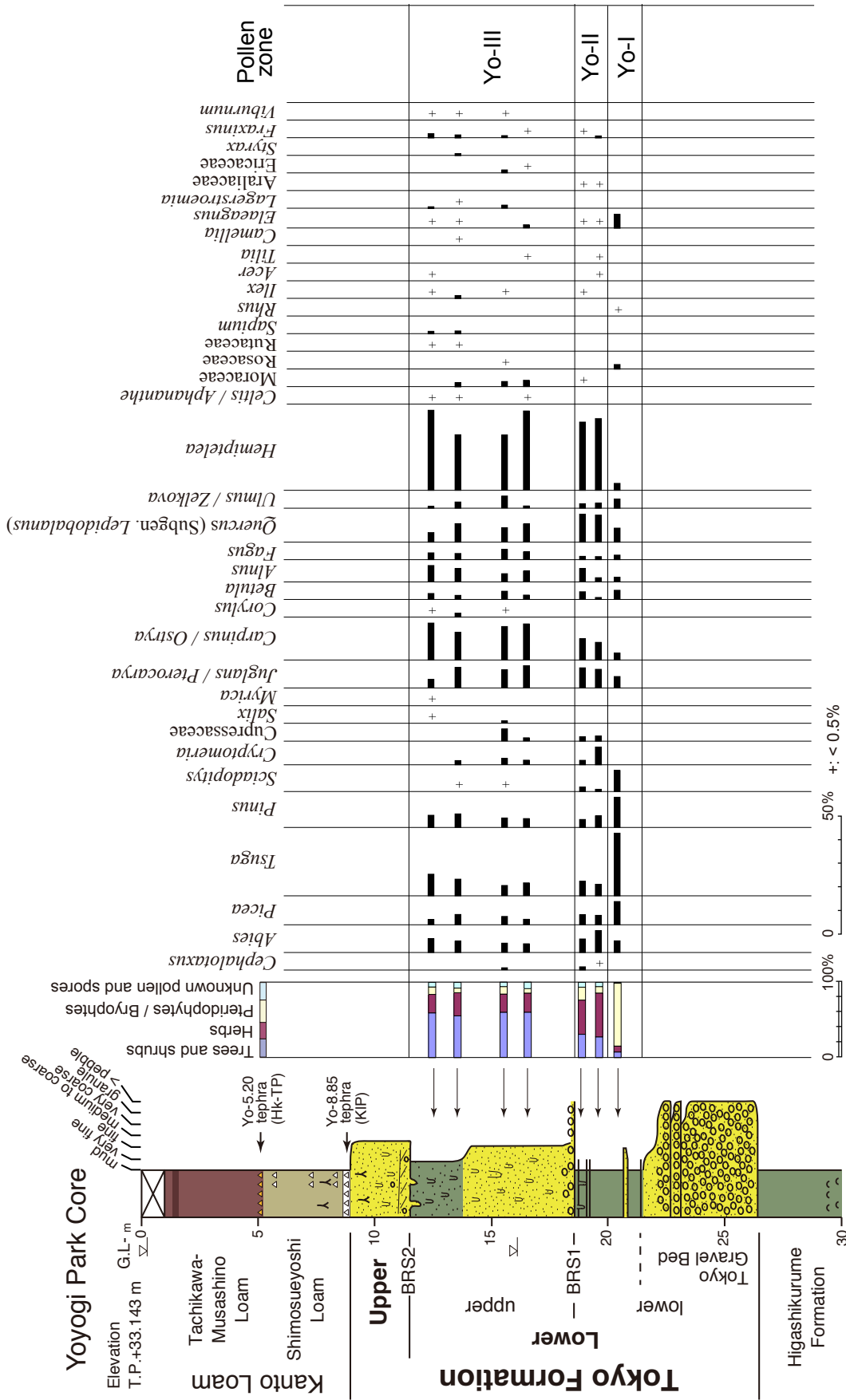
**S波速度:** 層準により多少のばらつきがあるが、全体に低く、120 ~ 180 m/sの範囲にある(第4図; 東京都土木技術研究所, 1996)。

## 7. 関東ローム層に挟在するテフラ

代々木公園コアの関東ローム層には深度8.85 m及び深度5.20 mにテフラが認められた。本稿ではこれらのテフラをそれぞれYo-8.85テフラ及びYo-5.20テフラと呼ぶ。以下にこれらのテフラの記載と対比を行う。

#### Yo-8.85テフラ

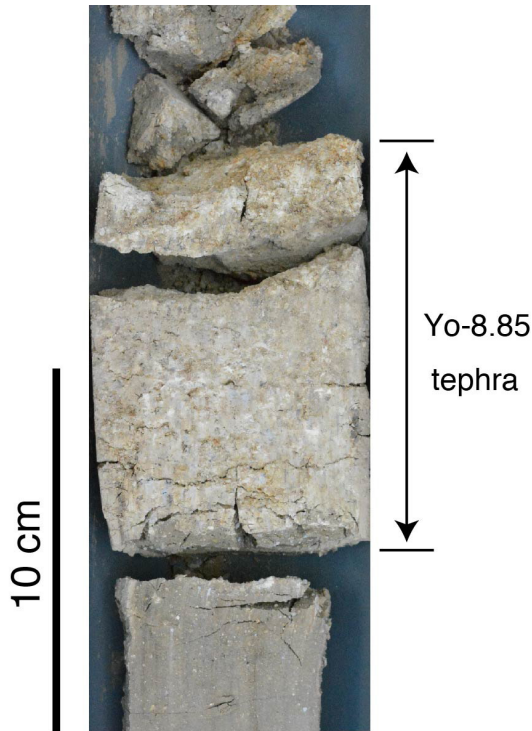
**記載:** 凝灰質粘土からなる下末吉ローム層の基底付近(深度8.85 m)に挟在する、層厚約10 cmの黄白色~灰白色の軽石質テフラ(第4, 7図)。径1 ~ 3 mmの粘土化がすすんだ軽石からなる。重鉱物は直方輝石(斜方輝石)、単斜輝石、磁鉄鉱を含む。直方輝石の屈折率( $\gamma$ )は1.708 ~



第6図 代々木公園コアの東京層の花粉ダイアグラム。  
 柱状図の凡例は第4図を参照。

Fig. 6 Pollen diagram for the Tokyo Formation in the Yoyogi Park core.  
 See Fig. 4 for the legend of the columnar section.





第7図 代々木公園コアにみられるYo-8.85 (KIP)テフラ。深度8.70–8.90 m。

Fig. 7 Yo-8.85 (KIP) tephra layer in the Yoyogi Park core. Depth 8.70–8.90 m.

1.712 (1.709 ~ 1.710; 括弧内はモード値を示す, 以下同じ)を示す(第1表)。

**対比:** 荏原台や淀橋台など下末吉面に対比される地域には, 従来からローム層の最下部に三色アイス軽石と呼ばれる軽石層が知られる(例えば, 杉原ほか, 1972)。三色アイス軽石は大磯丘陵のKIPテフラ群のうちのKIP7やKIP13などを主体としたテフラからなると考えられている(町田, 1971)。大磯丘陵のKIPテフラ群は下末吉ローム層に挟在する主に両輝石型の軽石層からなり, 直方輝石の屈折率は概ね1.705 ~ 1.712程度を示す(町田・新井, 2003)。東京都世田谷区の荏原台(下末吉面相当)ではロー

ム層の最下部から両輝石型の軽石層が報告され, 直方輝石の屈折率及び火山ガラスの屈折率・化学組成から大磯丘陵のHk-KIP7に対比された(中澤ほか, 2019)。代々木公園コアのYo-8.85テフラも, 両輝石型の軽石層であり, 直方輝石の屈折率は1.708 ~ 1.712を示すことから, KIPテフラ群のいずれかのテフラに対比される。しかしながら, 火山ガラスの風化が著しく化学組成の検討ができないため, KIPテフラ群のうちのどのテフラかの特定は難しい。

横浜地域においてはKIPテフラ群の降灰期は下末吉海進の後の海退期とされる(町田, 1971; 当間, 1974)。また坂田ほか(2018)は花粉化石群集の比較からKIPテフラ群の層位をMIS 5e後期とした。

#### Yo-5.20テフラ

**記載:** 褐色火山灰土からなる武蔵野ローム層の下部(深度5.20 m)に挟在する, 層厚約25 cmの黄白色~灰白色の軽石質テフラ(第4図)。粗粒砂~極粗粒砂サイズの粘土化がすすんだ軽石からなる。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( $\gamma$ )は1.702 ~ 1.712 (1.704 ~ 1.705)である(第1表)。

**対比:** 武蔵野台地の武蔵野ローム層の下部には, 従来から武蔵野ローム層の下部に箱根東京テフラ(Hk-TP; 原田, 1943; 新井, 1972; 町田・新井, 2003)が挟在することが知られる(岡ほか, 1984など)。箱根東京テフラは, 両輝石型の軽石質テフラで, 直方輝石の屈折率は概ね1.703 ~ 1.713の広いレンジを示すものの, 全体としてレンジ・モード値ともに上部のユニットほど低い値にシフトすることを特徴とし, 最上部付近ではモード値が1.705付近を示すとされる(新井, 1972)。また千葉県の野田地域などやや遠方では1.705付近にモードを示すユニットが主体となることが知られる(中澤・田辺, 2011)。Yo-5.20テフラも直方輝石の屈折率のモード値は1.704 ~ 1.705であり, 挟在する層位からも箱根東京テフラに対比されるものと考えられる。なお箱根東京テフラの降灰年代は鹿島沖海底コアでの挟在層位からMIS 4に相当する約66 kaと考えられている(青木ほか, 2008)。

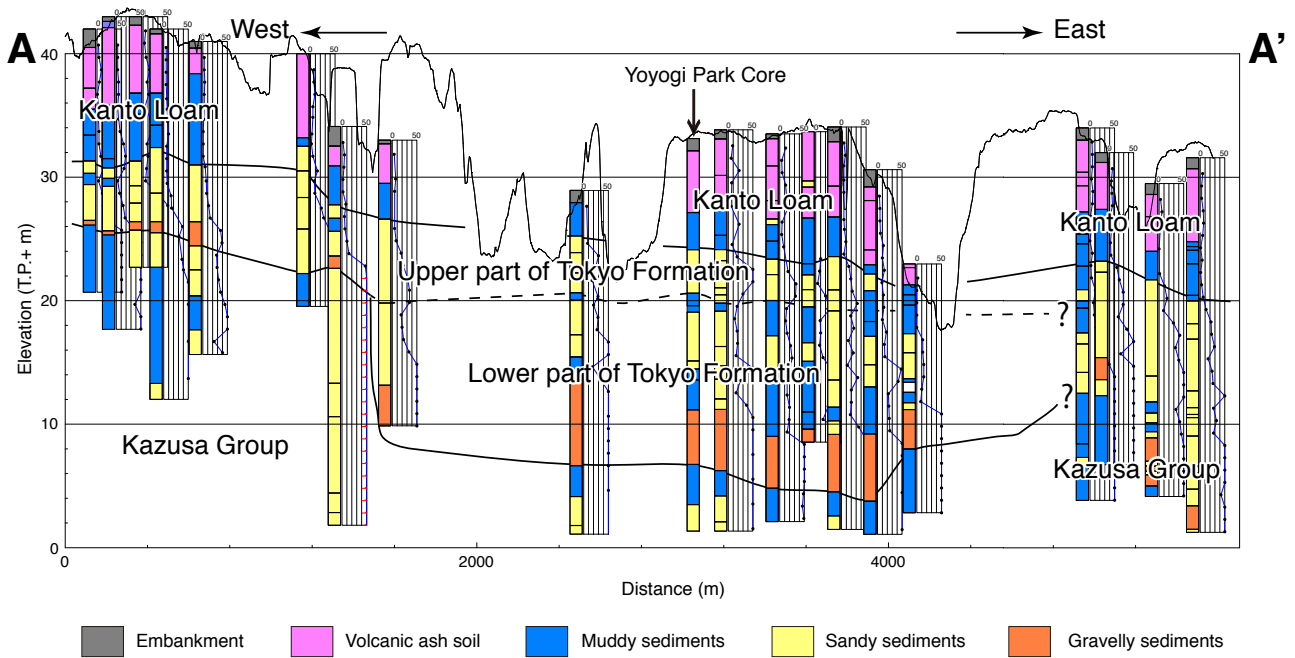
第1表 テフラの記載岩石学的特徴。

Table 1 Petrographic properties of tephra layers in the Yoyogi Park core.

Tephra name	Depth	Grains	Sample depth	Heavy mineral composition	Refractive index, opx ( $\gamma$ )	Identification
Yo-5.20	4.95–5.20 m	yw-wh/wh-gy, c-vc pm	4.95–5.00 m	opx, cpx, mt	1.704–1.711 (1.704)	Hk-TP
			5.16 m	opx, cpx, mt	1.702–1.712 (1.705)	
Yo-8.85	8.75–8.85 m	yw-wh/wh-gy, c-gr pm	8.78 m	opx, mt > cpx	1.708–1.712 (1.709–1.710)	KIP series

**Color** wh: white/whitish, gy: gray/grayish, yw: yellow/yellowish, ol: olive **Grain size** c: coarse, vc: very coarse, gr: granule

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



第8図 代々木公園を通る東西断面に沿ったボーリング柱状図

第2図に示したA-A'線の両脇100 m以内に位置するボーリング柱状図を断面図に投影。ボーリング柱状図は東京都のデータベースに収録のデータ[一部は東京の地盤(GIS版)(東京都土木技術支援・人材育成センター, 2019)で公開]を使用。柱状図の脇のグラフは標準貫入試験のN値を示す。

Fig. 8 Geotechnical borehole data along the E-W cross-section including the borehole of the Yoyogi Park.

Borehole logs within 100 m on either of both sides of Line A-A' in Fig. 2 projected to the cross section. Borehole logs taken from the database of the Tokyo Metropolitan Government partially described in the web site (Civil Engineering Support and Training Center of Tokyo Metropolitan Government, 2019). Graphs beside the columnar sections show N-values of standard penetration tests.

そのほかのテフラ

下末吉ローム層に相当する凝灰質粘土には複数層準で軽石が多く含まれるのが観察される(第4図)。しかし火山ガラスは粘土化がすすんでいること、重鉱物も風化が進んでおり屈折率を測定するのも困難なことが多く、対比の検討は難しい。

8. 東京層の分布形態

本研究の層序区分を既存の土木建築工事ボーリングデータに対比・追跡することで東京層の分布形態を知ることができる。東京層の空間分布の把握は途上であるが、ここでは一例として代々木公園の掘削地点を通る東西断面を示し(第8図)、東京層の分布形態の概要を解説する。なお、本断面図には主に東京都の地盤(GIS版)(東京都土木技術支援・人材育成センター, 2019)で公開されているボーリングデータのほか、東京都から別途提供を受けたボーリングデータを使用した。

前述のように東京層は下部と上部に分けられる。このうち下部は、断面図で示されるように幅3 km程度の開析谷の埋積層として分布する。谷の開析を受けた上総層群

はN値が40~50以上を示す泥層あるいは泥質砂層からなるのに対し、谷埋め堆積物である東京層下部は基底部の礫層を除くと概ねN値30以下の泥層・砂層からなるため、両者は比較的明瞭に区別される。また東京層下部基底部の礫層は開析谷の範囲にのみ分布することが断面図から見て取れる。

一方、東京層上部は砂層を主体とし、開析谷の分布域だけでなく、西側まで広く分布することがわかる(第8図)。この西側の地域では基底に礫層がみられる。ここで東京層上部とした地層はさらに西側に、中澤ほか(2019)が報告した世田谷地域の東京層に続くものとみられる。中澤ほか(2019)によれば世田谷地域の東京層は上総層群を比較的平坦な侵食面を介して覆い、基底には礫が混じるとしており、第8図の断面図西端の柱状図に示された層相と矛盾しない。一方の断面図東端部は、既存ボーリングデータではどの部分が東京層上部に相当するのか判断が難しいが、標高15 mより下位はN値が30以上の泥層や砂層からなるため、この付近に東京層下部に相当する谷埋め堆積物は連続しないことがわかる。

## 9. 東京層の堆積環境

ここでは層相などに基づき東京層の堆積環境について考察する。

前述のように東京層下部は開析谷の埋積層として分布することから(第8図)、開析谷システム(Zaitlin *et al.*, 1994)で形成されたと考えられる。東京層下部の下半部は、砂礫層から泥層に至る上方細粒化層からなる。この泥層には植物片が含まれる一方、最上部を除けば生物擾乱はほとんどみられない。よって、泥層は陸成であると推測され、砂礫層から泥層まで上方細粒化する一連の地層は、河川チャネルから氾濫原に至る河川システムによって形成されたと考えられる。泥層に挟在する薄い砂層は基底部に上方粗粒化ユニットを伴うが、これは河川の氾濫原にみられる洪水堆積物を示唆する特徴である。また泥層からは前述したようにシダ・コケ植物の孢子化石や草本植物の花粉化石が多産することから堆積地付近に氾濫原が発達していたことが推測されており、これも層相から推測される堆積環境と整合的である。なお泥層の最上部には生物擾乱がみられるようになることから、最上部では塩性湿地または干潟環境へ移行した可能性がある。

一方、東京層下部の上半部は全体に生物擾乱の著しい泥質砂層・砂質泥層からなり、静穏な内湾環境での堆積が推定される。この内湾成の地層の基底部には礫混じり砂層がみられ、基底面は下位の泥層に対して比較的明瞭な層相境界を成している。そのためこの基底面は海岸線が陸側へ移動することに伴い形成された侵食面、すなわちベイラビンメント面と考えられる。なお、後述するようにベイラビンメント面は上位層準にも認められるため、第4図の柱状図では、本層準のベイラビンメント面をBRS1として図示した。このベイラビンメント面(BRS1)より上位の内湾成の地層は泥質砂層から砂質泥層へと上方に細粒化していることから、上方に水深が増加したことが推測される。

東京層上部は主に生物擾乱を受けた砂層からなり、谷埋め堆積物である下部とは対照的に比較的平坦に広く分布する。基底面は、下位の砂質泥層に対して明瞭な層相境界となっていることから、下部の泥層を堆積した静穏な環境から砂層が堆積するエネルギーレベルのやや高い環境へ移行した際の侵食面であると考えられる。しかしながら侵食面の上位も主に生物擾乱を受けた細粒砂層からなり、波浪卓越型の堆積相の累重はみられないため、この侵食面も内湾環境で形成されたベイラビンメント面であると考えられる。第4図の柱状図ではこのベイラビンメント面をBRS2として図示した。それまで開析谷内にも内湾環境が形成されていたが、この時期に海進により開析谷以外のところまで海域が広がったものと考え

られる。東京層上部基底に相当するこのベイラビンメント面(BRS2)はその際に形成された海進による侵食面である。ベイラビンメント面の上位の砂層は層厚3 m程度で、砂層の最上部には植物根痕がみられ、さらには下末吉ローム層に相当する凝灰質粘土に覆われることから、海域が広域に広がった後には比較的速やかに海退に転じて陸化に至ったことが推測される。

以上のように、東京層は開析谷埋積層である下部とそれとは対照的に比較的平坦に広く分布する上部からなるが、これらは谷底の河川環境から、海水準の上昇に伴って谷に海域が侵入し内湾環境に至り、内湾域の拡大、そしてその後の離水に至る、一回の海進・海退で形成された一連の堆積サイクルであると考えられる。

## 10. 東京層の形成年代と他地域の更新統との対比

代々木公園コアの東京層からはテフラは確認されなかったが、東京層を覆う下末吉ローム層の基底付近には、大磯丘陵のKIPテフラ群に対比されるテフラが認められた。KIPテフラ群の降灰はMIS 5e後期とされる(坂田ほか, 2018)。つまり一連の海進・海退サイクルである代々木公園コアの東京層は主にMIS 5eに形成されたものであり、東京層基底の侵食面及び礫層はMIS 5eに先立つ低海面期であるMIS 6に形成された可能性が高い。次に東京層がMIS 5eのどの時期に相当する地層であるかを知るために、東京層の花粉化石群集について考察する。

東京層の上部は砂層からなるため花粉分析は実施していないが、下部の泥質堆積物については花粉分析を実施し、産出する花粉化石群集に基づき下位からYo-I～III帯に区分した(第6図)。このうちYo-II帯やYo-III帯は、*Hemiptelea*をはじめとする温帯落葉広葉樹が優占し、*Pinaceae*や*Cryptomeria*などの温帯針葉樹の産出は低率であることを特徴とする。またYo-III帯では低率ながらも*Lagerstroemia*などの暖温帯要素を伴う。このような花粉化石群集は鹿島沖海底コアから報告されたMIS 5e中期頃の花粉化石群集(Igarashi and Oba, 2006; 五十嵐, 2009; 第9図)に極めてよく似る。同様の花粉化石群集は、MIS 5e前期～中期の堆積物であり、同様の谷埋め堆積物である千葉県北部や埼玉県、茨城県南部の木下層下部(中澤ほか, 2006; Nakazawa *et al.*, 2017; 坂田ほか, 2018)、東京都世田谷地域の世田谷層(中澤ほか, 2019)からも知られる。東京層下部の泥質堆積物の最下部に相当するYo-I帯は*Tsuga*が優勢で、*Pinus*、*Picea*及び*Sciadopitys*も多い一方、*Hemiptelea*や*Quercus* (*Lepidobalanus*)はYo-II帯やYo-III帯に比べて低率である。このことからYo-I帯はYo-II帯やYo-III帯と比較して温暖化がすすんでいないことが示唆されるので、温暖のピークよりも少し前のMIS 5e前期に相当する可能性がある。一方、鹿島沖海底コアのMIS 5e後期層準、及びMIS 5e後期の堆積物である木下

Type core section Yoyogi Park (This study)		Setagaya area (Nakazawa <i>et al.</i> , 2019)	Northern Chiba area (Nakazawa <i>et al.</i> , 2017)	Seafloor core off Kashima (Igarashi, 2009)	MIS
Tephra		Tephra	Tephra	Representative genera of pollen grains	
Shimosueyoshi Loam KIP		Shimosueyoshi Loam HK-KIP7	Joso Clay KIP		
Tokyo Formation	upper	Tokyo Formation	Kioroshi Formation	upper	late
	lower	Tu-31 Setagaya Formation		lower	middle MIS 5e
	Tokyo Gravel Bed				early
					MIS 6

第9図 代々木公園コアの東京層と他地域との対比。

Fig. 9 Correlation of the Tokyo Formation in the Yoyogi Park core with the Pleistocene strata in other areas of the Kanto Plain and the off Kashima seafloor core.

層の上部や世田谷地域の世田谷層の上位に重なる東京層、大磯丘陵の吉沢層(辻, 1980)からは*Cryptomeria*が優占する花粉化石群集が報告されている。代々木公園コアの東京層上部は砂層であるため花粉化石分析を実施していないが、代々木公園コアでは東京層下部が主にMIS 5e前期～中期に形成されたと考えられ、また東京層を覆う下末吉ローム層にMIS 5e後期のKIPテフラが挟在することから、それらに上下を挟まれる東京層上部がMIS 5e後期の木下層上部や世田谷地域の東京層に相当する可能性が高い(第9図)。

以上のように、代々木公園コアにみられる東京層は主にMIS 5eに形成された堆積物であると結論づけられる。また東京都土木技術研究所(1996)が東京礫層と呼んだ基底の砂礫層はMIS 5eに先立つ低海面期であるMIS 6に形成された可能性が高い。よって代々木公園コアの東京層は、世田谷地域の世田谷層と東京層に相当する一連の堆積物、及び千葉県北部地域の木下層に相当するものと考えられる(第9図)。しかしながら東京都心部で従来東京層と呼ばれていた地層がすべてMIS 5eの堆積物とは限らない。例えば最近、納谷ほか(2019a, b)は、東京都北区の石神井川沿いや千代田区紀尾井町で、これまで東京層と呼ばれていた地層からMIS 7eやMIS 9のテフラが挟在することを報告した。これは従来東京層と呼ばれていた地層が、MIS 5eだけでなく、場所によってさまざまな時代の地層が混在している可能性を示唆している。各地の東京層についてさらなる検討が必要である。

## 11. まとめ

東京層の模式コアセクションである代々木公園コアの層相、テフラ、花粉化石分析に基づき、東京層の層序の再検討を行った。

層相に基づけば、代々木公園コアの東京層は、1回の海進・海退に伴い形成された、河川から内湾環境、そして離水に至る一連の地層であると考えられる。東京層はMIS 5e後期を示唆するKIPテフラ群を含む下末吉ローム層に覆われる。また東京層から産出する花粉化石群集は*Hemiptelea*が優勢で、*Lagerstroemia*などの暖温帯要素を伴うなど、鹿島沖海底コアのMIS 5e層準の花粉化石群集に極めてよく似る。これらのことから代々木公園コアの東京層はMIS 5eを中心とした地層であり、東京層基底の侵食面及び砂礫層はMIS 5eに先立つ低海面期であるMIS 6に形成されたと考えられる。よって東京層は、千葉県北部地域の下総層群木下層や東京都世田谷地域の世田谷層及び東京層に相当する一連の地層に対比される。しかし東京都心部の他地域で東京層と呼ばれている地層が同一の地層とは限らないため、東京層についてはさらなる検討が必要である。

謝辞：本研究の粒度分析は七山 太氏にご教示いただきました。また担当編集委員の長森英明氏及び査読者の小松原 琢氏からは査読に際してたいへん有益なコメントを頂き、本稿は改善されました。深く感謝いたします。

## 文 献

- 青木かおり・入野智久・大場忠道(2008) 鹿島沖海底コアMD01-2421の後期更新世テフラ層序. 第四紀研究, **47**, 391–407.
- 新井房夫(1972) 斜方輝石・角閃石の屈折率によるテフラの同定 —テフロクロロジーの基礎的研究—. 第四紀研究, **11**, 254–269.
- 古澤 明(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. 地質雑, **101**, 123–133.
- 原田正夫(1943) 関東ロームの生成に就いて. 東京帝大土壤肥料学教室報告, **3**, 1–138.
- 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.
- 堀田 満(1980) 日本列島及び近接東アジア地域の植生図について. ウルム氷期以降の生物地理に関する総合研究 昭和54年度報告書, 39–54.
- 五十嵐八枝子(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. 地質雑, **115**, 357–366.
- Igarashi, Y. and Oba, T. (2006) Fluctuations in the East Asian monsoon over the last 144 ka in the northwest Pacific based on a high-resolution pollen analysis of IMAGES core MD01-2421. *Quat. Sci. Rev.*, **25**, 1447–1459.
- 貝塚爽平(1957) 武蔵野台地の地形変位とその関東造盆地運動における意義. 第四紀研究, **1**, 22–30.
- 貝塚爽平・戸谷 洋(1953) 武蔵野台地東部の地形・地質と周辺諸台地の Tephrochronology. 地学雑誌, **62**, 59–68.
- 町田 洋(1971) 南関東のテフロクロロジー (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. 第四紀研究, **10**, 1–20.
- 町田 洋(2008) 大磯丘陵から下総台地までの第四系. 日本地質学会編, 日本地方地質誌3, 関東地方, 朝倉書店, 東京, 299–315.
- 町田 洋・新井房夫(2003) 新編 火山灰アトラス—日本列島とその周辺. 東京大学出版会, 東京, 336p.
- 中澤 努・田辺 晋(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). 産総研地質調査総合センター, 72p.
- 中澤 努・中島 礼・植木岳雪・田辺 晋・大嶋秀明・堀内誠一(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. 地質雑, **112**, 349–368.
- 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・長 郁夫・坂田健太郎・中里裕臣・本郷美佐緒・納谷友規・野々垣 進・中山俊雄(2019) 東京都世田谷区, 武蔵野台地の地下に分布する世田谷層及び東京層の層序, 分布形態と地盤震動特性. 地質雑, **125**, 367–385.
- 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及び海成層準の識別. 地質調査研究報告, **60**, 245–256.
- 納谷友規・坂田健太郎・中澤 努・鈴木毅彦・中山俊雄(2019a) 東京層の層序の再検討: 北区中央公園コアの再解析. 日本地球惑星科学連合2019年大会講演要旨, HQR05-10.
- 納谷友規・坂田健太郎・中澤 努・中里裕臣・中山俊雄(2019b) 東京都千代田区紀尾井町地下の更新統東京層に認められる堆積サイクルとテフラ層序. 日本地質学会第126年学術大会講演要旨, 72.
- 岡 重文・菊地隆男・桂島 茂(1984) 東京西南部地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 148p.
- 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.
- 産総研地質調査総合センター(2018) 20万分の1日本シーレス地質図V2. <https://gbank.gsj.jp/seamless/> (閲覧日: 2019年1月10日).
- Suganuma, Y., Okada, M., Horie, K., Kaiden, H., Takehara, M., Senda, R., Kimura, J., Kawamura, K., Haneda Y., Kazaoka, O. and Head, M. J. (2015) Age of Matuyama-Brunhes boundary constrained by U-Pb zircon dating of a widespread tephra. *Geology*, **43**, 491–494.
- 杉原重夫・高原勇夫・細野 衛(1972) 武蔵野台地における関東ローム層と地形面区分についての諸問題. 第四紀研究, **11**, 29–39.
- 東京都土木技術支援・人材育成センター(2019) 東京の地盤(GIS版). <http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/jigyo/tech/start/03-jyuhou/geo-web/00-index.html> (閲覧日: 2019年7月16日)
- 東京都土木技術研究所(1996) 東京都(区部)大深度地下地盤図—東京都地質図集6—. 東京都土木技術研究所.
- 当間唯弘(1974) 横浜付近の下末吉面の陸化過程. 第四紀研究, **13**, 199–215.
- 辻 誠一郎(1980) 大磯丘陵の更新世吉沢層の植物化石群集(I). 第四紀研究, **19**, 107–115.
- Yabe, H. (1911) IV.—A New Pleistocene Fauna from Tokyo, with a General Statement on the Pleistocene Deposits of

Tokyo, Japan. *Geol. Mag.*, **8**, 210–217.

山中二男(1979) 日本の森林植生. 築地書館, 東京, 223p.

Zaitlin, B.A., Dalrymple, R.W. and Boyd, R. (1994) The stratigraphic organization of incised-valley systems

associated with relative sea-level change. *SEPM Spec. Publ.*, **51**, 45–60.

( 受付 : 2019年7月16日 ; 受理 : 2019年11月8日 )