

東京都区部の台地を構成する地層の層序 —東京層と下総層群—

納谷 友規¹⁾・中澤 努¹⁾

東京都区部の3次元地質地盤図が公開されました(産総研地質調査総合センター・東京都土木技術支援・人材育成センター, 2021)。この新しい地質地盤図では、台地を構成する地層の層序区分が従来に比べて大幅に更新されました。本稿では、従来「東京層」と呼ばれていた、東京の台地を構成する地層の層序区分について、その概要を紹介しします。

1. 台地を構成する地層の層序区分と「東京層」

層序とは地質学の基本的な考え方の一つで、地「層」が重なっている順「序」のことを言います。層序区分というのは、どのような種類の地層がどのような順番で重なっている、それらの地層がいつ形成されたかを明らかにし、同じ種類や年代の地層ごとに名前を付けて整理したものです。なぜ、層序区分が必要なのでしょう。

地層の特徴と年代に基づく層序区分があれば、それを基準にして同じ地層のつながりを追跡でき、地層の分布を把握することができます。特に地層名は大変便利で、地層の分布を直感的に把握できると同時に、名前があることでその情報を広く共有することができます。仮に、ある地域には下からA層とB層という順番で地層が重なっているとします。各層にはそれぞれ特徴があって、A層は固い、B層は軟らかいとします。構造物を建設する際には強固な地盤が必要ですから、B層ではなくA層の中に基礎を到達させることが重要になります。従って、A層という名前は、地層の名前であると同時に地盤の名前としても通用するようになります。

東京の台地の地下に分布する地層は、これまで広く「東京層」と呼ばれていました。東京層という名前が初めて使われたのは、今から110年前の1911年です(Yabe, 1911)。この当初は、台地の縁の崖に露出していた、貝化石を含む地層が「東京層」と呼ばれていました。その後、ボーリング調査によって地下の地層分布が把握されるようになり、東京の地下、地表から数10mの深度には、中高層建築物を建設する際の支持層となる、よく締まった(N値が大きい:

N値については本号の小松原(2021)を参照)分厚い(層厚5~10m)礫層が分布していることが分かってきました。さらに、この礫層は側方への連続性が良く、広く追跡できると考えられるようになり、「東京礫層」と呼ばれるようになりました(例えば、東京地盤調査研究会, 1959)。それ以降、「東京礫層」を基底とする地層が「東京層」と呼ばれるようになり(例えば、東京都土木技術研究所, 1969)、地盤工学的な観点からも重要視されるようになりました。最近では、東京礫層および東京層は、代々木公園で掘削されたボーリングコアを模式として定義されています(東京都土木技術研究所, 1996)。

2. 層序区分の鍵は堆積サイクル

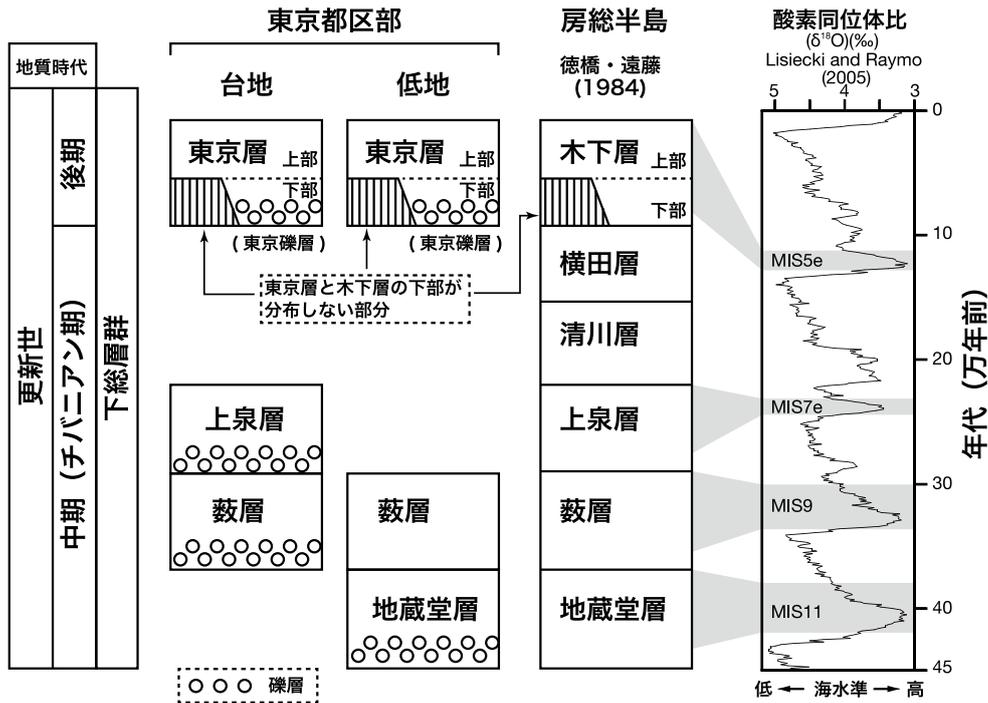
東京を含む、関東平野の台地をつくる地層はどのようにして区分されてきたのでしょうか。

関東平野の台地は、約42万年前~10万年前(中期更新世後半~後期更新世)に、河川や浅海域で形成された地層を土台として、その上に重なる火山灰質土(関東ローム層)から構成されます。地質学では更新世という地質時代にできた地層のことを更新統と呼ぶので、台地の地層は更新統と呼ばれることが多く、かつては洪積世・洪積統とも呼ばれていました。

中期更新世以降の地質時代(およそ77万年前~現在)は、汎世界的に約10万年ごとに寒い氷期と暖かい間氷期が周期的に繰り返す気候変動によって特徴づけられます(第1図)。氷期には氷床が拡大することによって海水準が下がりました。中期更新世以降の氷期の海水準は現在よりも100m以上低下していたようです。この時期、河口は現在よりもはるか沖合に移動したため、台地では河川によって谷が深く刻まれたと考えられます。一方、間氷期には氷床が融けて縮小することにより海水準が上昇します。それまで、陸地だった部分の多くが海面下に沈み、現在の海岸線よりも陸側まで海域が広がりました。このような周期的な海水準の変動の結果、海岸平野部では海水準が低い時期から上昇する時期に形成された河川成層と、海水準が上昇

1) 産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門

キーワード: 地質地盤図, 武蔵野台地, 更新統, 東京層, 東京礫層, 下総層群, 層序区分



第1図 房総半島と東京都区部の層序区分の比較. 酸素同位体比の曲線は、周期的な世界的気候変動を表している. 海洋酸素同位体ステージ (MIS: Marine Isotope Stage) は異なる年代の氷期と間氷期を識別するために、間氷期が奇数、氷期が偶数になるように割り振られた番号である. 地藏堂層、藪層、上泉層、木下層はそれぞれ、MIS11、MIS9、MIS7e、MIS5eの期間に形成されたと考えられている.

した時期に形成された浅海成層が交互に繰り返し堆積しました. このような堆積物の繰り返しは氷河性海水準変動によって生じる堆積サイクル (以後、堆積サイクル) と呼ばれます.

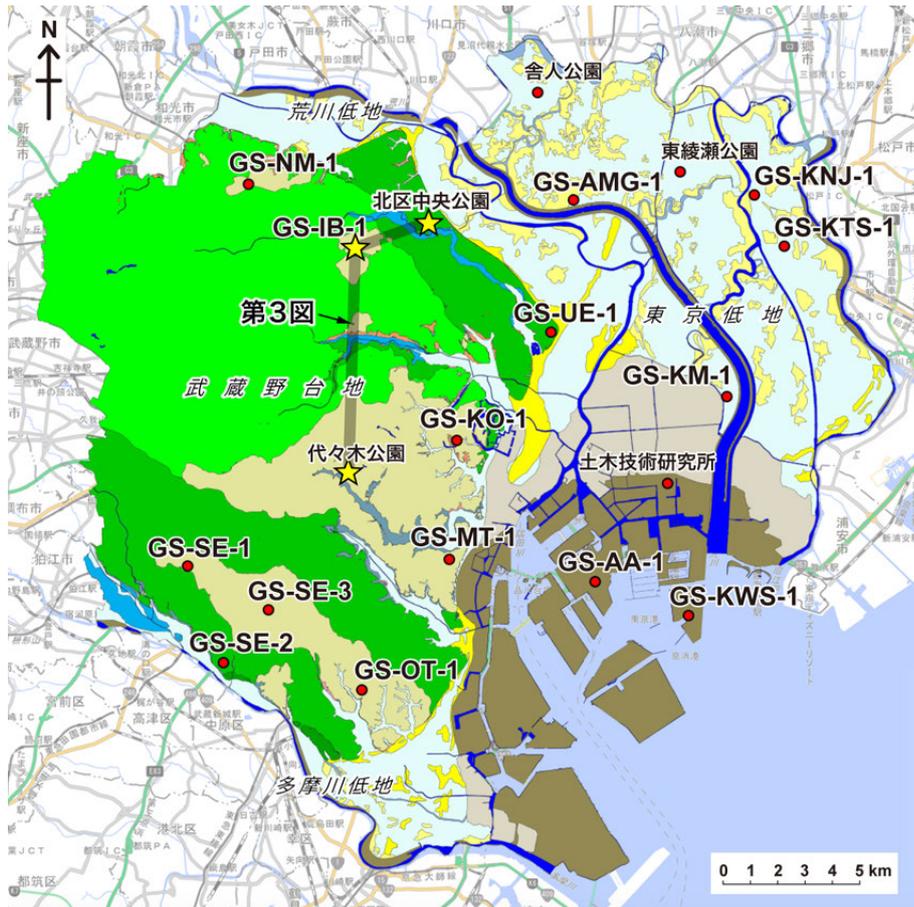
千葉県房総半島に分布する下総層群では、約42万年前以降の周期的な海水準変動に対応して形成された堆積サイクルを観察することができます. これらは下位より地藏堂層 (約40万年前)、藪層 (約30万年前)、上泉層、清川層、横田層 (約24～19万年前)、木下層 (約13～12万年前) と呼ばれています (徳橋・遠藤, 1984) (第1図). 下総層群の層序区分は関東平野の台地を構成する地層の模式的な層序区分となっており、各堆積サイクルは千葉県だけではなく、埼玉県や茨城県の台地を構成する地層にも広範囲に追跡されています. 特に、最上部の木下層の分布は詳しく調べられており、氷期に形成された谷が海水準の上昇過程で溺れ谷となることで形成された軟らかい内湾泥層 (下部) と、さらに海水準が上昇して海域が広範囲に広がることによって形成された海成砂層 (上部) からなることが知られています. 木下層下部の分布は谷の範囲に限定されており、上部は谷よりもはるかに広い範囲に分布するのが特徴です. 千葉県北部における下総層群の層序とその分布については、2018年に公開された都市域の地質地盤図「千葉県北部地域」(産総研地質調査総合センター・千葉県環境

研究センター, 2018) で詳しく見ることができます.

3. ボーリング調査に基づく東京層の層序解明

東京の重要な地盤として認識されている東京層と東京礫層ですが、その形成年代については不明な点が多く、関東平野の模式である下総層群の各層との対応関係もよく分かっていませんでした. そこで、私たちは東京都区部の地質地盤図の作成にあたり、ボーリングコアを使った詳細な地質調査を行いその層序を明らかにしました.

調査に使用したボーリングコアは、掘削されたすべての深度の地層を連続的に直径10 cm 弱の棒状にくり抜いたもので、オールコアとも呼ばれるものです. オールコアを使うことで層相 (地層を構成する粒子の大きさや見た目の特徴) を詳しく観察することが可能になります. さらに、火山灰層の分析、花粉化石や珪藻化石など微化石の分析を行うことで、地層の対比に必要な情報を集めます. また、掘削された孔を使って、地層の物理的特性を測定する試験 (物理検層) を行います. このようにして得られた情報を総合的に解析することで、地層の特徴を明らかにしていきます. 私たちは、これら一連の調査を行ったボーリングを、「基準ボーリング」と呼び、層序構築の基準と位置づけています (第2図).



第2図 地質地盤図の作成に利用した基準ボーリング地点。中澤ほか(2021)に、第3図で示した柱状図の位置を加筆した。赤丸と黄星印の横に記された番号と地名はコア名を示す。

東京層

東京層を定義づける上で最も重要なのは模式セクションにおける層序です。先に述べたように、東京層の模式セクションは代々木公園で掘削されたボーリングコアなので、まずこのコアの再検討を行いました。

コアの観察の結果、模式地における東京層は最下部の礫層(東京礫層)の上に、湿地成の泥層と内湾成の砂層と泥層、その上に内湾成の砂層が重なり最上部は関東ローム層へと漸移することが分かりました。この特徴から、模式地における東京層は、1回の海進・海退で形成された地層であることが分かりました(第3図)。さらに、模式地周辺の既存ボーリング柱状図資料から得られた地層の分布形態から、模式地における東京層は、礫層からなる最下部、埋没谷を埋積し谷埋め状に分布する泥層を主体とした下部、及び埋没谷よりも広範囲に分布する、主に砂層からなる上部に区分されます(中澤ほか, 2020)(第1, 3図)。

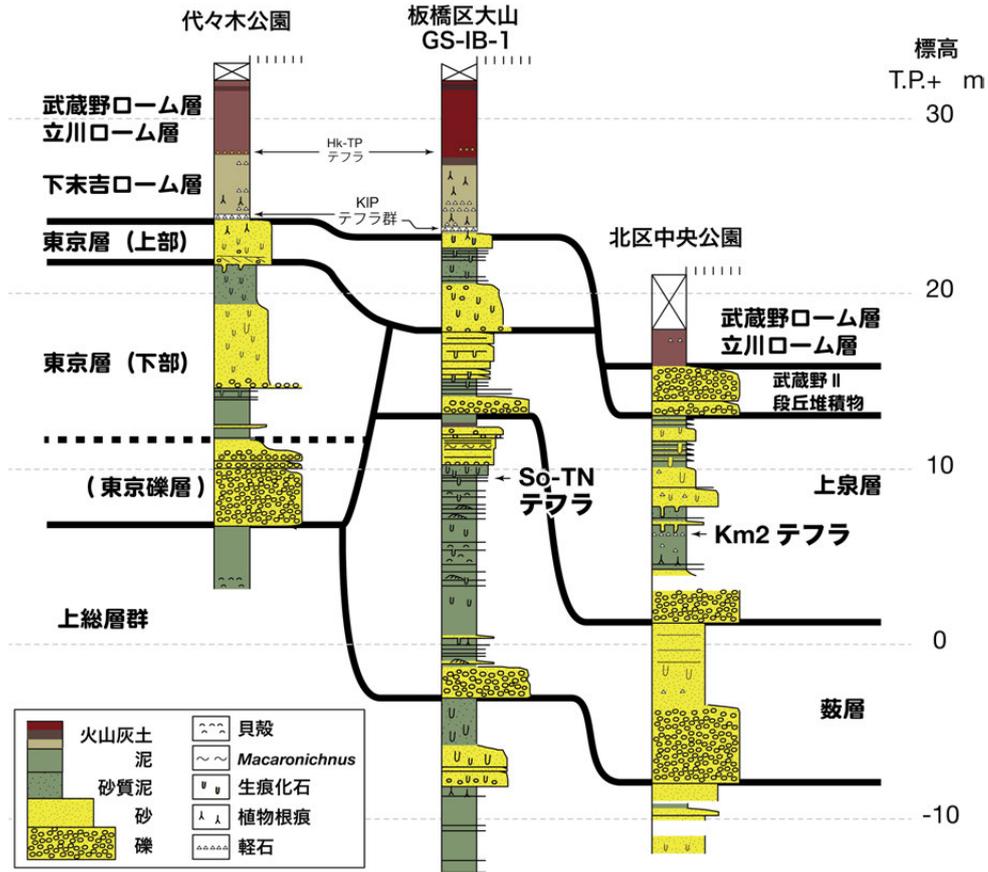
代々木公園のボーリングコアから得られた東京層の花粉化石群集の特徴は、下総層群の木下層から報告されている特徴と一致することが確かめられました(中澤ほか, 2020)。さらに、港区高輪で掘削されたボーリングコア

(GS-MT-1)にも谷埋め状の地層が連続しており、花粉群集やテフラ層の対比から、やはり木下層に対比されることが分かりました。このようにして、模式地の東京層は下総層群の木下層に対比され、約13～12万年前の海進・海退に伴って形成された地層であることが判明したのです。

谷埋め状に分布する泥層は世田谷区付近にも分布しており、世田谷層として知られていました(東京都土木技術研究所, 1996)。今回の調査では、花粉群集やテフラ層の対比から、世田谷層も下総層群の木下層に対比されることが明らかになったため(中澤ほか, 2019)、代々木公園と同様に東京層に含めました。地質地盤図では、代々木から高輪に分布する埋没谷を代々木-高輪埋没谷、世田谷区を中心に分布する埋没谷を世田谷埋没谷とそれぞれ呼んでいます(第4図)。東京層の基底に分布する礫層を東京礫層とすると、東京層はこれらの埋没谷の底の範囲に限定して分布することになります。

東京層の埋没谷よりも外側の「東京礫層」の堆積年代

東京礫層は東京層の埋没谷の底に限定して分布し、下総層群の木下層最下部の礫層に対比されることが分かりまし



第3図 基準ボーリングにみられる東京都区部台地の地下に分布する更新統の層相と層序区分。納谷ほか (2021) の基準ボーリングの柱状図から、代々木公園、板橋区大山 (GS-IB-1)、北区中央公園の柱状図を抜粋して作成した。

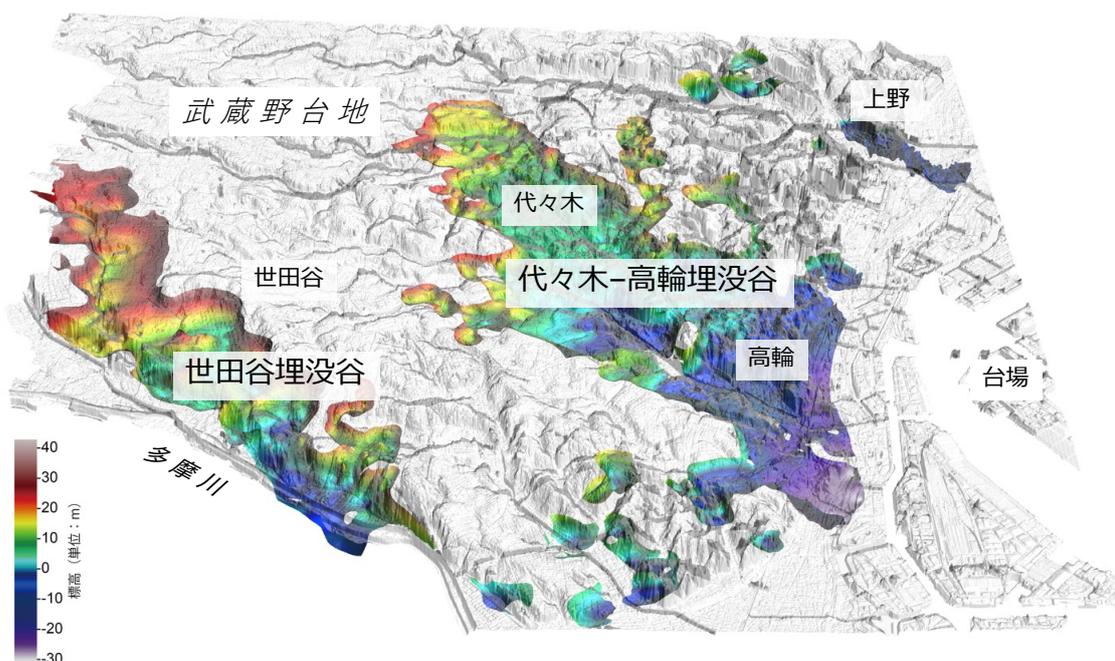
た。しかし、従来東京礫層は東京の台地の地下に広範囲に分布するとされてきました。埋没谷の外側に分布している、「東京礫層」とされていた地層はどのような地層なのでしょう。板橋区大山で掘削されたボーリングコア (GS-IB-1) を解析したところ、意外な結果が得られました。東京礫層と思われた礫層を基底とし、その上部に内湾の泥層と砂層が重なる海進・海退で形成された堆積サイクルが3つ、認められたのです (第3図)。

最も下位の堆積サイクルは、厚い礫層の上に厚い内湾成の泥層が重なり、東京層の谷埋め堆積物と似ていましたが、花粉化石群集の特徴は代々木公園の東京層とは大きく異なるものでした。最も下位の堆積サイクルに挟まるテフラが重要な手掛かりになりました。栃木県の塩原カルデラを形成した火山から約33万年前に噴出した軽石層に対比される So-TN テフラが見つかったのです (第3図)。約33万年という年代から、この堆積サイクルは下総層群の菟層に相当することになります。

この軽石層は、千代田区紀尾井町で掘削されたボーリングコア (GS-KO-1) からも見つかりました。紀尾井町でも3つの堆積サイクルが識別され、最上部は東京層の上部に対

比されます。残り2つの堆積サイクルのうち、礫層を伴う最下部の堆積サイクルからその軽石は見つかっています。さらに、台東区上野公園で掘削されたボーリングコア (GS-UE-1) からは、厚い礫層の上位に、下総層群菟層のテフラが挟まることが分かりました。これらの事実から、東京層の埋没谷が分布しない地域において、東京礫層と考えられていた礫層の多くが、菟層の基底 (第1, 3, 5図) に相当することが分かりました。これは、模式地の東京礫層より約20万年も古い時代に形成された、東京礫層とは別の礫層であることを示しています。

最後に、東京層と菟層に挟まれる堆積サイクルは、下総層群のどこに相当するかが問題になります。その答えは、北区中央公園で掘削されたボーリングコアにありました。北区中央公園は武蔵野段丘に位置しており、最上部の東京層上部が分布せずに段丘礫層が分布している点が板橋区大山や千代田区紀尾井町と異なりますが、その下に礫層を基底とする2つの堆積サイクルが認められました。上位の堆積サイクルには軽石層が挟まり、これが箱根火山を噴出源とする軽石層で、下総層群の上泉層の Km2 (TCu-1) テフラに対比されることが分かりました (第3図) (納谷ほか,



第4図 武蔵野台地南東部の地下の埋没谷（東京層下部基底）の形状（立体図）。約14万年前の氷期に形成された谷地形と考えられ、谷の基底の礫層が東京礫層に相当する。約13～12万年前の間氷期に海進により内湾環境となり、谷は内湾環境で形成された軟らかい泥層で埋積された。

2020)。つまり、残りの堆積サイクルは上泉層に相当することになります。

層序区分のまとめ

東京都区部の台地を構成する地層には海進・海退で形成された3つの堆積サイクルが認められました。これらの堆積サイクルは、下位より下総層群の敷層、上泉層、木下層にそれぞれ相当します。従来は、異なる堆積サイクルで形成された地層もまとめて「東京層」と呼ばれていました。地質地盤図では、基準ボーリングの解析結果に基づき、東京層の範囲を木下層に相当する地層に限定しました。東京層基底の礫層という意味での東京礫層の分布は、東京層下部が分布する埋没谷の範囲に限定されます。埋没谷の外側に分布する礫層の多くは敷層の基底に相当し、一部は上泉層の基底の礫層に相当します。東京層よりも下位の地層の名称については、これまで適切な地層名が無かったため、下総層群の地層名である敷層と上泉層を使いました。このようにして、東京の層序区分が大幅に改訂されました(第1図)。

東京層を含む下総層群は低地の地下にも分布します。しかし、低地の地下に分布する下総層群の層序や分布については、厚く分布する沖積層よりもさらに下に分布することもあり、まだ十分な情報が得られていません。第1図に示した低地の層序区分は江東区有明で掘削されたボーリン

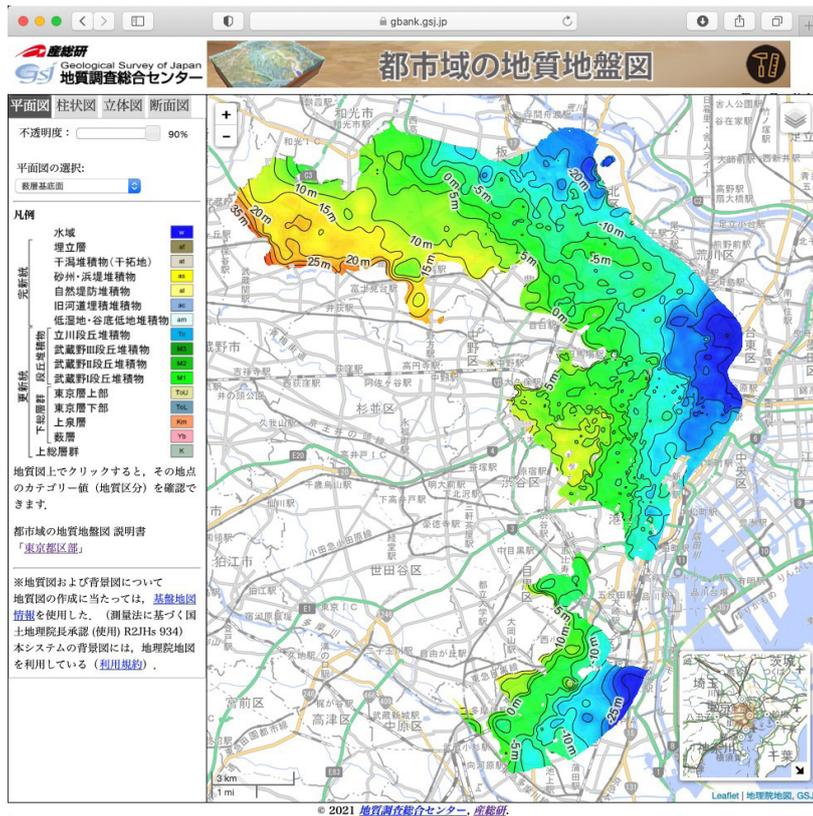
グコア(GS-AA-1)に基づくものですが、この層序区分が低地の全域に適用できるかどうかはまだ確かめられていません。低地地下の下総層群の層序は、今後検討しなければならない課題と言えます。

4. おわりに

東京層や東京礫層は、土木建築物の支持層として、また地質構造を把握するための鍵層として重要な役割を果たしてきました。今回の調査により、東京層や東京礫層の範囲が従来と大きく変わりました。これは、従来「東京礫層」と呼ばれていた礫層の形成された年代が大きく異なることが明らかになったからです。この結果は、東京の地下の地層の形成過程や地質構造が、従来考えられていたものより、かなり複雑であったことを示しています。今後、東京都心部の地盤構造・地下構造を正確に知るためには、異なる時代に形成された礫層の分布を正確に把握することが重要になります。地質地盤図がその理解に貢献できることを期待したいと思います。

文献

小松原純子(2021)東京低地の沖積層。GSJ地質ニュース、10、148-152。



第5図 下総層群数層基底の標高分布図(都市域の地質地盤図ウェブサイト画面)。
 数層の基底には礫層が分布することが多く、従来「東京礫層」と呼ばれた礫層には、この数層基底の礫層も含むと考えられる。都市域の地質地盤図ウェブサイトでは、数層ほか各層基底の標高分布図を閲覧することができる。

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.

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. *地質学雑誌*, **125**, 367-385.

中澤 努・納谷友規・坂田健太郎・本郷美佐緒・鈴木毅彦・中山俊雄 (2020) 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. *地質調査研究報告*, **71**, 19-32.

中澤 努・納谷友規・小松原純子・宮地良典・野々垣 進・中里裕臣・鈴木毅彦・中山俊雄 (2021) 第2章 地質概説. 都市域の地質地盤図「東京都区部」(説明書), 産総研地質調査総合センター, 5-8.

納谷友規・中山俊雄・鈴木毅彦・坂田健太郎・中澤 努 (2020) 東京都北区中央公園ボーリングコアにみられる更新統東京層の層序. *地質学雑誌*, **126**, 575-587.

納谷友規・中澤 努・野々垣 進・中里裕臣・鈴木毅彦 (2021) 第4章 下総層群. 都市域の地質地盤図「東京都区部」(説明書), 産総研地質調査総合センター,

15-38.

産総研地質調査総合センター・千葉県環境研究センター (2018) 都市域の地質地盤図「千葉県北部地域」. <https://gbank.gsj.jp/urbangeol/ja/map/index.html> (閲覧日: 2021年6月2日)

産総研地質調査総合センター・東京都土木技術支援・人材育成センター (2021) 都市域の地質地盤図「東京都区部」. https://gbank.gsj.jp/urbangeol/ja/map_tokyo/index.html (閲覧日: 2021年6月2日)

徳橋秀一・遠藤秀典 (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), 地質調査所, 136p.

東京地盤調査研究会 (1959) 東京地盤図. 技報堂, 東京, 114p.

東京都土木技術研究所 (1969) 東京都地盤地質図 (23区) —東京都地質図集2—. 東京都土木技術研究所.

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.

Yabe, H. (1911) A new Pleistocene fauna from Tokyo, with a general statement on the Pleistocene deposits of Tokyo, Japan. *Geological Magazine*, **8**, 210-217.

NAYA Tomonori and NAKAZAWA Tsutomu (2021) Overview of Pleistocene stratigraphy underlying an upland of central Tokyo: the Tokyo Formation and the Shimosa Group. (受付: 2021年6月8日)