

Online ISSN : 2186-490X

Print ISSN : 1346-4272

地質調査研究報告

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 76 No. 3 2025



 **産総研** 地質調査総合センター 

令和7年

論文

三浦半島北部, 池子層のテフラ層序と鮮新世広域テフラとの対比
宇都宮正志・水野清秀・田村糸子133

概報

水戸周辺, 東茨城台地北東部でみられた火山灰層とその予察的考察
佐藤善輝149

表紙の写真

茨城県笠間市, 友部ジャンクション周辺に現れた段丘露頭

茨城県の水戸地域周辺には, 更新世中期以降に形成された複数の河成・海成段丘面が分布する。最近, 建設工事によって段丘露頭が新たに現れ, 赤城鹿沼軽石 (Ag-KP, 約 4.4 万年前) を含む複数の火山灰層が確認された。この写真は, 常磐道と北関東道とが交差する友部ジャンクションの南東 (本号掲載の佐藤, 2025 の Loc. 1) に位置する露頭である。露頭中央でひと際目立つ明黄褐色の地層が Ag-KP で, 粒度や含有鉱物の屈折率の違いから上下 2 ユニットに細分されることが明らかになった。Ag-KP の約 70 cm 上位には, 広域テフラの始良丹沢テフラ (AT, 約 2.9 ~ 3.0 万年前) が確認された。詳しくは, 本号の佐藤 (2025) を参照頂きたい。

(写真と文: 佐藤善輝)

Cover Photograph

New terrace outcrop near the Tomobe Junction, Kasama City, Ibaraki Prefecture

Mito district in Ibaraki Prefecture contains fluvial and marine terraces that formed after the middle Pleistocene. Recently, new terrace outcrops have been created as a result of road construction, exposing Quaternary volcanic ash layers, including the Akagi-Kanuma Pumice (Ag-KP, ~44 ka). This photograph shows an outcrop located southeast of the Tomobe Junction, where the Joban and Kita-Kanto expressways intersect (Loc. 1 of Sato, 2025 in this issue). The light-colored yellow-brown layer is the Ag-KP, which is divided into two units based on grain size and the refractive index values of heavy minerals. A second tephra layer, located ~70 cm above the Ag-KP, is probably the Aira-Tanzawa tephra (AT, 29–30 ka). For details, see Sato (2025) in this issue.

(Photograph and Caption by SATO Yoshiki)

三浦半島北部, 池子層のテフラ層序と鮮新世広域テフラとの対比

宇都宮 正志^{1,*}・水野 清秀¹・田村 糸子²

UTSUNOMIYA Masayuki, MIZUNO Kiyohide and TAMURA Itoko (2025) Tephrostratigraphy of the Pliocene Ikego Formation on the northern Miura Peninsula and correlation with widespread tephra beds in central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 76 (3), p. 133–147, 6 figs. and 2 tables.

Abstract: The Ikego Formation is one of the upper Pliocene stratotype sections of the northwestern Pacific region, owing to the abundant tephra beds in the formation and a robust chronological framework based on biostratigraphy and magnetostratigraphy. This study aimed to correlate tephra beds in the Ikego Formation with widespread tephra beds in other basins in central Japan, based on microscopic observations, heavy mineral compositions, and refractive index measurements and elemental analyses of glass shards from 10 vitric fine ash tephra beds (IkT03, IkT16, IkT19, IkT28, IkT34, IkT37, IkT41, IkT45, IkT63, and IkT75). As a result, IkT45 is correlated with Msg-Iwm of the Kobiwako and Tokai groups, and IkT75 is correlated with Hbt1-MT2, which is widely recognized in other Pliocene basins in central Japan.

Keywords: correlation, tephra, Ikego Formation, Pliocene, forearc basin, widespread tephra

要 旨

三浦半島北部に露出する上部鮮新統の池子層は、古地磁気と微化石の複合年代層序により北西太平洋における上部鮮新統の模式的セクションの一つとして近年研究が進められている。しかし、池子層のテフラ層と中央日本に広く分布する広域テフラとの対比は十分に検討されてこなかった。本研究では池子層に挟在するテフラ層のうち、同時代の他の堆積盆との層序対比に有望な細粒ガラス質火山灰層であるIkT03, IkT16, IkT19, IkT28, IkT34, IkT37, IkT41, IkT45, IkT63, IkT75の10枚を選択して、それらの重鉱物組成の記載、火山ガラスの屈折率測定及び化学組成分析を行った。また、それらテフラ層と対比できる可能性がある中央日本に広く分布するテフラについても同様な観察と分析を行った。その結果、IkT45が古琵琶湖層群や東海層群で見出されているテフラMsg-Iwmに、IkT75が中央日本各地で見出されているテフラHbt1-MT2にそれぞれ対比されることが明らかとなった。

1. はじめに

日本列島に点在する新生代堆積盆間の時間面対比は、各地域の堆積盆発達史の比較による島弧スケールのテクトニクスや古環境変遷を理解する上で重要である。その

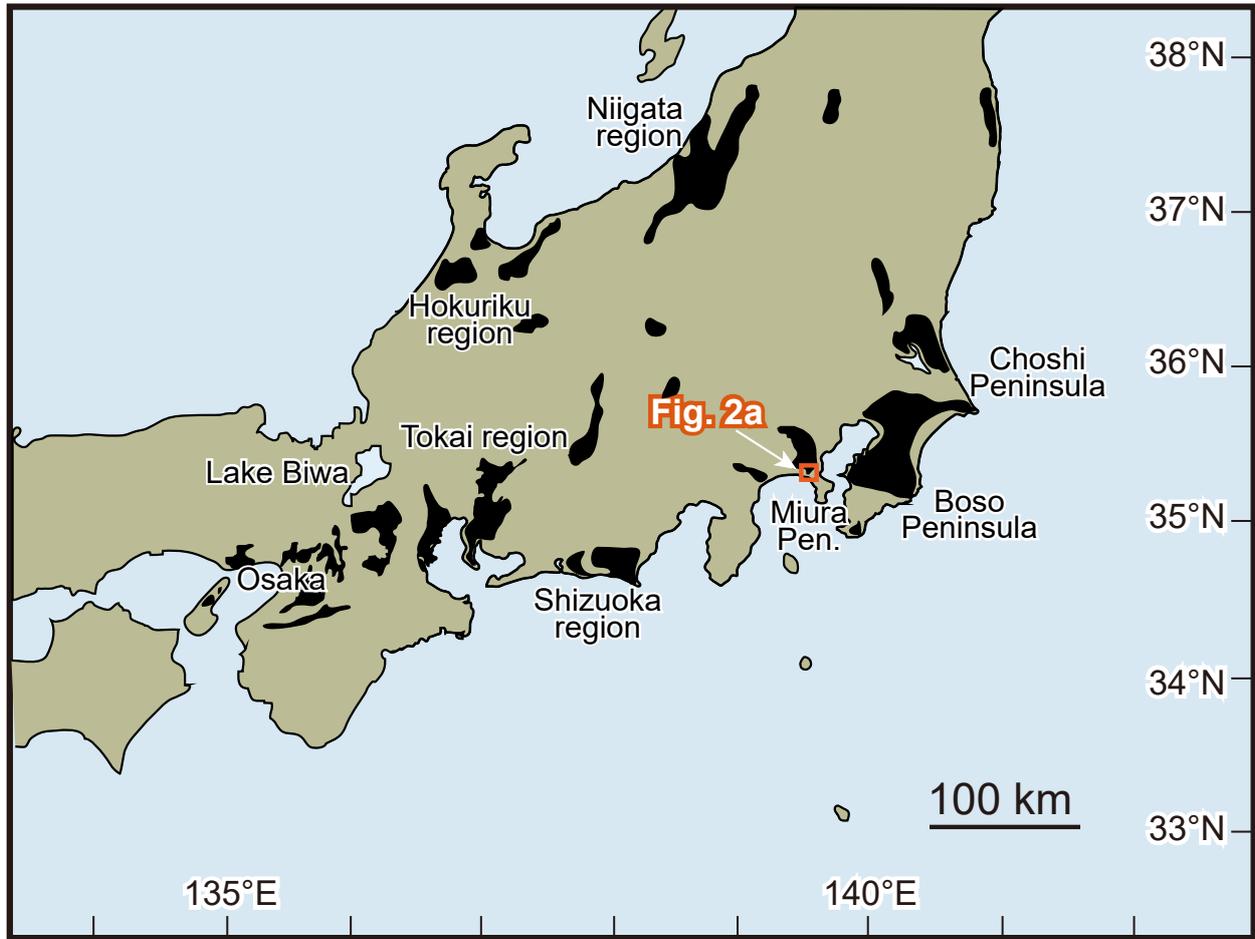
中で海成層と陸成層の両方に同一の時間面を提供するテフラ層は重要な役割を果たしてきた(Tamura *et al.*, 2008; Tamura and Yamazaki, 2010; Satoguchi and Nagahashi, 2012)。中央日本には鮮新世から更新世の堆積盆を埋積した地層が広く露出し、西から大阪層群と古琵琶湖層群(近畿地域)、東海層群(東海地域)、掛川層群(静岡地域)、北陸層群(北陸地域)、魚沼層群(新潟地域)、三浦層群と上総層群(南関東地域)などの地層から構成される(第1図)。

三浦半島と房総半島には三浦層群もしくは安房層群(中新統から鮮新統)と上総層群(鮮新統から更新統)がよく露出する。房総半島中央部に露出する上総層群は、数多くのテフラ層が同時代の他の堆積盆のテフラ層と対比されており、模式的なテフラ層序を提供している(田村ほか, 2019とその引用文献)。従来、房総半島では黒滝不整合(小池, 1951)と呼ばれるアバット構造により、上部鮮新統～下部更新統の一部(ca. 3–1.8 Ma)が欠如するとされ(亀尾・関根, 2013など)、それが東京湾を越えて三浦半島にも連続すると考えられてきた(三梨・菊地, 1982; 江藤ほか, 1998など)。しかし、三浦半島におけるテフラ層序の進展や(藤岡ほか, 2003; 稲垣ほか, 2007; 田村ほか, 2010)、約3.2 MaのMammoth 逆磁極亜帯の上限などの年代基準面が認定されたことから、

¹ 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)

² 中央大学経済学部 (Chuo University, Higashinakano 742-1, Hachioji City 192-0393, Tokyo, Japan)

* Corresponding author: UTSUNOMIYA, M., AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email:m.utsunomiya@aist.go.jp



第1図 中央日本から西南日本における鮮新統と更新統の分布域を示した地図 (Ito *et al.*, 2016).

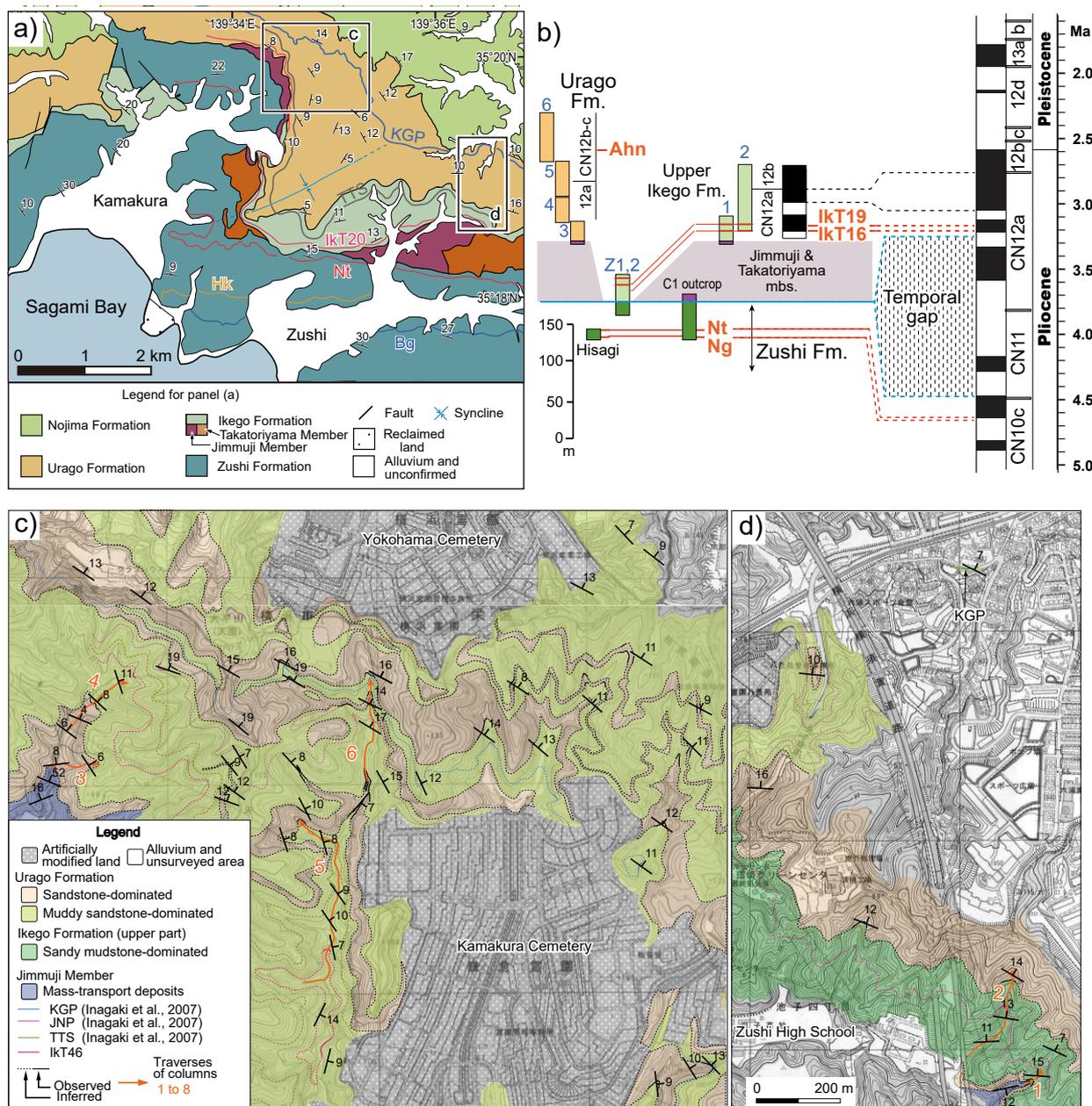
Fig. 1 Map showing distribution of the Plio-Pleistocene on central Japan (Ito *et al.*, 2016). Pen.: Peninsula.

上部鮮新統が連続的に存在することが明らかとなった (Utsunomiya *et al.*, 2017). また房総半島の鮮新統安野層にも, Mammoth 逆磁極亜帯の上限が認定された (Haneda and Okada, 2019, 2022). さらに最近, この磁極亜帯上限付近に挟在するテフラ層が両半島で対比され, 「黒滝不整合」の層序学的な実態とその形成モデルが示された (Utsunomiya *et al.*, 2023). これらの研究により, 両半島で上部鮮新統の相補的な複合セクションの構築が可能となった. しかし, 三浦半島の上部鮮新統のテフラ層と中央日本に広く分布する広域テフラとの対比は十分に検討されてこなかった. 本研究では, 三浦半島の上部鮮新統池子層に挟在する細粒ガラス質火山灰層の記載岩石学的特徴を記載し, 火山ガラスの化学組成分析を行った. その結果, 2つのテフラ層が中央日本の広域テフラと対比されたので報告する.

2. 地質概説：三浦半島北部，池子層周辺の層序

三浦半島北部, 神奈川県逗子市と鎌倉市及び横浜市

栄区周辺には, 下位から上部中新統～下部鮮新統逗子層, 上部鮮新統池子層及び上部鮮新統～下部更新統浦郷層が露出する (第2図a). 逗子層は主に砂岩層と泥岩層の互層 (層厚1000～1500 m) からなり, その基底部に主に礫岩層から成る下山口砂礫岩部層 (層厚0～130 m) と田越川砂礫岩部層 (層厚15～150 m) が挟在する (江藤ほか, 1998). 池子層は以下の三つの異なる岩相から構成される. すなわち, 主に凝灰質砂岩層と泥岩層の互層から成る池子層主部 (層厚150～400 m) と, 池子層最下部に挟在する主に凝灰質砂礫岩層から成る鷹取山火砕岩部層 (以下, 鷹取山部層. 層厚0～210 m) とそれと同時異相で凝灰質砂礫岩層と泥岩層の海底地すべり堆積物から成る神武寺火砕岩泥岩部層 (以下, 神武寺部層. 層厚0～60 m) である (横浜防衛施設局編, 1993; 江藤ほか, 1998). なお池子層主部は他の部層が露出する地域において池子層上部を構成するため, 本論では池子層上部と呼ぶ. 池子層上部の底生有孔虫化石群集による古水深は500～2000 mである (江藤ほか, 1987). 鷹取山部層は下



第2図 三浦半島北部の鮮新統と下部更新統の地質学的位置づけ。詳細は下記英文キャプションに記載。

Fig. 2 Geologic setting of the Pliocene-lower Pleistocene on the northern Miura Peninsula. (a) Geologic maps of the northern Miura Peninsula after Utsunomiya *et al.* (2023). (b) Summarized stratigraphy of the Zushi, Ikego and Urago formations, after Utsunomiya *et al.* (2023). (c, d) Geologic maps of the (c) Kamakura and (d) Ikego areas (modified from Utsunomiya *et al.*, 2017). Red arrows indicate the locations of traverses for which geologic columns were constructed. The surface distributions of marker tephra beds and lithologic boundaries are shown as solid (observed) and dashed (inferred) lines. The names of three marker tephra beds (KGP, JNP and TTS) are following those of Inagaki *et al.* (2007). The base map is from the 1:10,000-scale topographic maps “Kôndandai” and “Zushi” published by the Geospatial Information Authority of Japan. Mbs.: members.

方に凸で側方に尖滅する分布様式と粗粒な岩相から海底谷埋積物と解釈されており、神武寺部層は海底谷埋積物と海底谷壁が海底地すべりを生じて形成されたものと解釈された (Soh *et al.*, 1991)。Utsunomiya *et al.* (2023) は神武寺部層を構成する海底地すべり堆積物はMammoth逆磁

極亜帯上部 (約3.2 Ma) に挟在すること、これによって三浦半島側では少なくとも約130万年間に相当する地層が削剥されたこと (第2図b)、同時期に生じた浸食面と海底地すべり堆積物が房総半島まで連続していることを明らかにした。

逗子層上部には側方によく連続する名称が付されたテフラ層が挟在し、そのうちHkとNtは東京湾を挟んだ房総半島の清澄層のテフラ鍵層Ky21とKy26に対比されている(卜部ほか, 1990; 鈴木ほか, 1995). Utsunomiya *et al.* (2023)はNtの下位に位置するテフラ層Ngが清澄層のKy25に対比可能であることを示し、上記の対比を裏付けるとともに、池子層上部に挟在する2枚のテフラ層IkT16と19が安野層(房総半島)の2枚のテフラ層An157.5と158.5に対比されることを示した。IkT19は池子1として田村ほか(2014)で報告され、銚子の犬吠層群名洗層のテフラ層In1に対比された。In1の記載岩石学的特徴と火山ガラスの化学組成については植木ほか(2022)で報告されている。

上総層群は下位から浦郷層、野島層、大船層、小柴層、中里層及び富岡層から成る(江藤, 1986)。以下、浦郷層についてのみ概説する。浦郷層は鎌倉市を囲む丘陵沿いに分布し、最大層厚230 m以上で主に凝灰質砂岩層と凝灰質泥質砂岩層から成り、下部は池子層上部と同時異相の関係にある(第2図b, c: Utsunomiya *et al.*, 2017)。古水深は貝化石から400–600 mと推定されている(宇都宮・間嶋, 2012)。浦郷層には多数のテフラ層が挟在し、その中に広域テフラとしてKGP(稲垣ほか, 2007)やAhn(Tamura and Yamazaki, 2010)が含まれる。KGPはざくろ石を含む特徴的な軽石層で丹沢山地東部の中津層群大塚層、江東観測井コアの深度1217 mおよび銚子地域の犬吠層群名洗層から発見されており、その堆積年代は銚子の犬吠層群名洗層のテフラ層の挟在層準から約2.5 Maとされる(田村ほか, 2010)。Ahnは約2.7–2.6 Maの広域テフラUN–南谷2テフラ(UN-MD2)に対比されており(Tamura and Yamazaki, 2010)房総半島東部のテフラ層Onrに対比され、Okada and Bukry (1980)の石灰質ナノ化石帯CN12b帯に位置する(Utsunomiya *et al.*, 2023)。

本研究の調査対象である池子層上部は、逗子市池子と湘南鷹取西方の谷(Traverse 1とTraverse 2)に連続的に露出する(第2図d, 第3図)。本ルートでの池子層上部の層厚は約90 mである。これらのルートでは下位のテフラ層から順番にIkTの頭文字を付してIkT01からIkT75までの通し番号が付されている(Utsunomiya *et al.*, 2023)。これらのルートに露出する池子層上部は主に凝灰質な砂質泥岩層から成り、層厚5から少なくとも80 cmの凝灰質砂礫岩層とテフラ層が挟在する。Traverse 1の基底から約5 m付近には泥質な偽礫を含む層厚2 mを超える砂礫岩層が挟在するが、これは神武寺部層の海底地すべり堆積物の上面を覆う砂礫岩層と解釈されている(Utsunomiya *et al.*, 2017, 2023)。Traverse 2の最上部では、砂質泥岩層の上位に砂岩層が上方粗粒化・厚層化して重なり、砂岩層が卓越する。池子層上部は西方へ向かって粗粒となり浦郷層下部と同時異相の関係にある。池子層上部の細粒火山灰層の多くは浦郷層に追跡されないことから、浦郷層

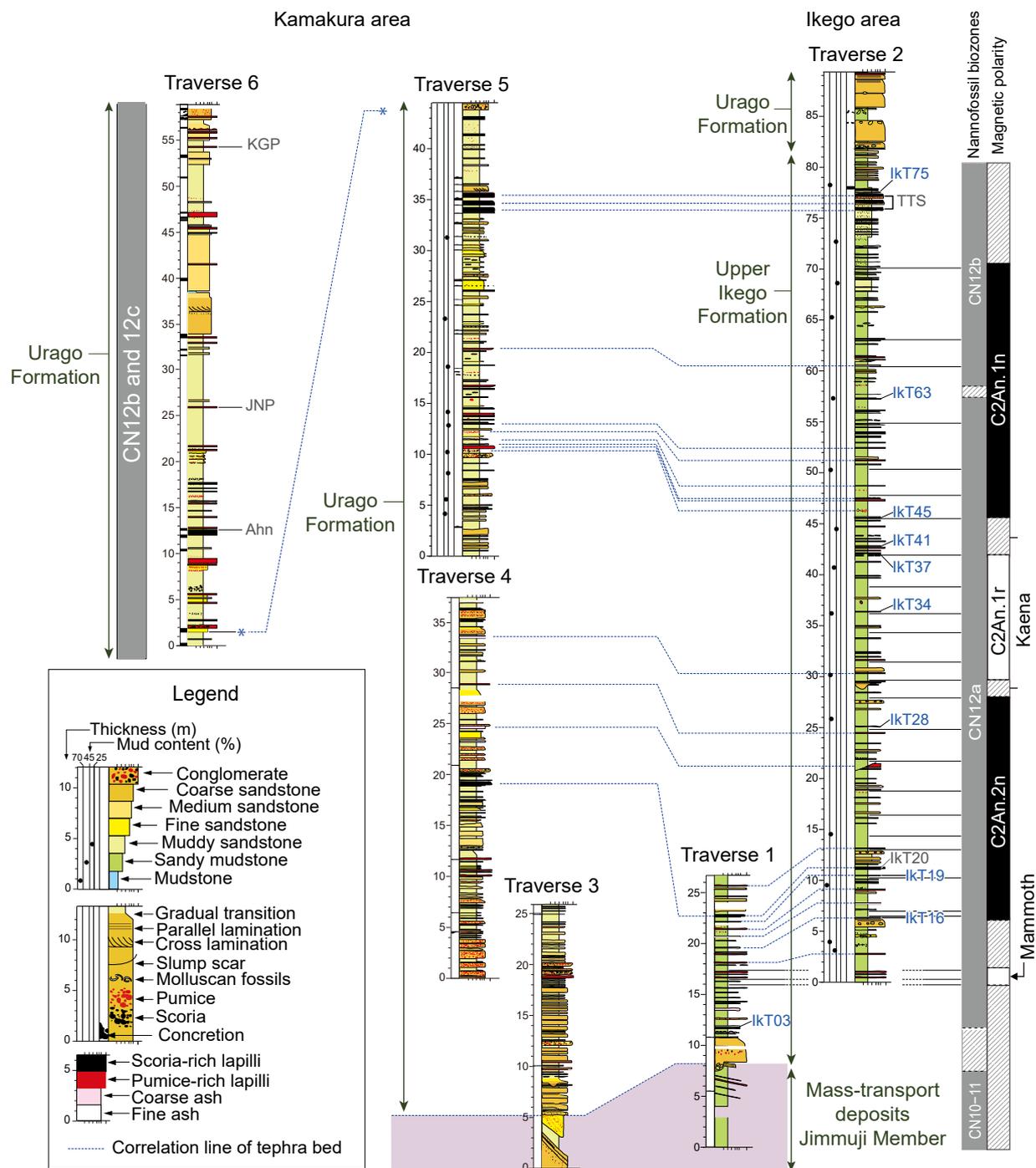
が堆積した北西部は定常的に底層流の影響を受ける環境にあり、細粒な碎屑物粒子が堆積しないような堆積場であったと解釈されている(Utsunomiya *et al.*, 2017)。

3. テフラ試料とその処理・分析方法

テフラ層は露頭観察で色調、粒度及び層厚を記載し、粒度によって火山灰と火山礫とに区分した。テフラの粒度区分は、Fisher (1961)に従った。火山灰は極細粒砂～細粒砂サイズの粒子の結晶と火山ガラスの構成割合を基準に、結晶が多いものを結晶質火山灰に、火山ガラスが多いものをガラス質火山灰に区分した。また、結晶と火山ガラスが等量含まれているものは結晶ガラス質火山灰とした。火山礫は主に軽石、スコリアから成るものに区分した。テフラ試料の採取においてはテフラ層基底の風化部を避けて新鮮な明白色～明灰色部分を対象にスクレーパー等を用いて採取した。採取したテフラ試料は、使い捨てのメッシュクロスを用いて粒径1/4～1/16 mmサイズを取り出し、洗浄・常温乾燥後、重鋳物組成、火山ガラスの形態の記載、火山ガラスの屈折率測定及び火山ガラスの主成分・微量成分化学組成分析を行った。まず重鋳物組成については、テフラ中の火山ガラスや重鋳物の割合は、噴出源からの距離や個々の露頭における保存状態等により変化することが多いので、定量的測定(粒数計測)は行わず定性的記載とした。火山ガラスの形態は岸・宮脇(1996)の分類に従った。

火山ガラスの屈折率(n)測定は温度変化型測定装置RIMS87(株式会社京都フィッシュン・トラック製)またはMAIOT(株式会社古澤地質製)を用いて測定した。一部の試料については、株式会社古澤地質に測定を依頼した。1試料あたり30点以上を測定した上で、屈折率の範囲とモードを示した。測定誤差は±0.001程度である。また、一部の火山灰層に対しては、MAIOTを用いて直方輝石の屈折率(γ)も測定した。ただし、構成重鋳物の中には生物擾乱などの影響により上下の地層からの混入の可能性があり、そのような直方輝石粒子も測定している可能性がある。第1表には1試料あたり20点に満たない粒子数を測定したものについては*4を付けて示した。

火山ガラスの主成分・微量成分組成分析はActivation Laboratories LTD. (Actlabs)社及び株式会社古澤地質に外注依頼した。Actlabs社では純化した火山ガラスの粉末試料をLiBO₂とLi₂B₄O₇を使用して溶融し、誘導結合プラズマ発光分析法(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry: ICP-AES)とICP質量分析(Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry: ICP-MS)により、ICP質量分析装置ELAN6000, 6100もしくは9000(パーキンエルマー社製)を用いて主成分・微量成分の分析が行われた。主成分のFe含有量に関しては、総FeをFe₂O₃^T(総FeをFe₂O₃^Tとして計算した値)として算出した。微量成分はBa, Sc, Sr, V, YはICP-AESにて、LaはICP-MSにて



第3図 池子層と浦郷層の柱状図と石灰質ナノ化石帯及び古地磁気極性帯. Utsunomiya *et al.* (2017, 2023) を基に一部修正. テフラ番号はUtsunomiya *et al.* (2023) のAppendix Fig. A2に基づく.

Fig. 3 Geologic columns, calcareous nannofossil biozone, and magnetic polarities of the upper Ikego Formation of the Urago Formation, Miura Peninsula (modified from Utsunomiya *et al.*, 2017, 2023). Numbering of all tephra beds are after appendix Fig. A2 of Utsunomiya *et al.* (2023).

分析された値を採用した。これらの測定では、地球科学標準試料 (JG-1a) の標準試料の分析、反復分析が行われており、分析精度のチェックがなされている。なお、火山ガラスの純化は、重液分離と電磁セパレーター、さらに場合によってはハンドピッキングにより火山ガラスを純化し、顕微鏡下にて98%以上であることを確認した。株式会社古澤地質への依頼分析では、火山ガラス粒子15~10粒子程度を用いて、主成分はエネルギー分散型X線マイクロアナライザー (Energy Dispersive X-Ray Spectrometry: EDX)、微量成分はレーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析 (LA-ICP-MS) によって求められた。Fe含有量に関しては、総Feを FeO^{T} として算出し、標準試料を同時に測定することで測定値の信頼性が確認されている。EDX測定においては、標準試料を同時に測定しチェックを行い、十分な精度が得られている (古澤, 2017)。測定条件等の詳細は古澤 (2017) を参照されたい。

本研究では異なる分析機関に外注依頼したため、試料により、Feの分析値が2通り ($\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}$ および FeO^{T}) の表示となる。 $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}$ (分子量78.94) と FeO^{T} (分子量71.84) の分子量の比率はおよそ1.1:1の割合となることから、 $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}$ の値を1.1で除し FeO^{T} に換算することで各試料のFe分析値の比較検討を行った。EDXによる主成分分析結果については100%換算値でないことに留意されたい。上総層群黄和田層のテフラ層の層位と特徴を示した宇都宮ほか (2019) や、千倉層群と上総層群でテフラ層の対比を行った小西ほか (2023) では、本論文同様に同じ産地の同じテフラをActlabs社と古澤地質に分析を依頼し、これら2つのラボの分析値に顕著な差異は見られないことが示されている。

広域テフラとの対比にあたっては、池子層と同時代の各地のテフラ層の既存分析値を文献から収集し、対比候補を検討した。関東西縁部では正田ほか (2005)、南房総地域 (千倉層群) ではTamura *et al.* (2016)、新潟地域では黒川・樋口 (2004)、北陸地域 (石川・富山) では田村・山崎 (2004)、東海地域 (東海層群) ではTamura *et al.* (2008) とKimura *et al.* (2015)、琵琶湖周辺地域 (古琵琶湖層群) ではKimura *et al.* (2015)、大阪地域 (大阪層群) では吉川ほか (2000)、長橋ほか (2015) の分析値を基に検討した。

4. 結果：池子層の細粒ガラス質火山灰層の記載

池子層でIkT01からIkT75までの番号を付したテフラ層のうち、すでに他地域のテフラ層との対比が報告されている2枚のテフラ層IkT16と19を除き、同時代の他の堆積盆との層序対比の可能性のある細粒ガラス質火山灰層を選択して火山ガラスの屈折率と化学組成分析を行った第1, 2表)。IkT16とIkT19の主成分の分析値は合計100%となるように換算された値がUtsunomiya *et al.* (2023) に

より報告されているが、異なる分析手法間で比較するため100%に換算する前の分析値を第2表に掲載した。各テフラ層の岩相と記載岩石学的特徴を以下に示す。

IkT03

層厚10 cmの主に灰色細粒火山灰層で、最下部に層厚5 mmの極細粒砂サイズの白色火山灰を敷く。風化するとベージュを呈する。下面は明瞭だが上面は生物擾乱により砂質泥と均質に混ざり合う。重鉱物は直方輝石、単斜輝石が卓越する。火山ガラスの形態はスポンジ型を主体とし繊維型、スモールバブル型、平行型を伴う。火山ガラスの屈折率は $n = 1.512\text{--}1.545$ 、直方輝石の屈折率は $\gamma = 1.702\text{--}1.712$ である。火山ガラスの主成分化学組成は、 SiO_2 が64–69 wt.%未満と本研究で報告するテフラの中では最も低い。IkT03はスポンジ型と平行型の火山ガラスで屈折率、主成分化学組成の差異は見られなかった。火山ガラスの主成分・微量成分組成ともに2つのモードが見られ、1つ目の粒子群 (mode 1) は SiO_2 が64 wt.%, TiO_2 , FeO , MgO がそれぞれ0.93 wt.%, 4.26 wt.%, 1.26 wt.%と高く、2つ目の粒子群では SiO_2 が69.76 wt.%, TiO_2 , FeO , MgO がそれぞれ0.56 wt.%, 2.25 wt.%, 0.54 wt.%の値を示す。

IkT16

層厚10–12 cmの白色細粒火山灰層で、極細粒砂サイズの粒子をわずかに含む。生物擾乱により上下の砂質泥と不均質に混ざり合い、一部で巣穴状の生痕化石も見られる。ガラスの形態はスモールバブル型、平行型、スポンジ型が卓越し、バブルウォール型も含む。重鉱物は少ないが、単斜輝石、普通角閃石がわずかに含まれ、ごくわずかに直方輝石を含む。火山ガラスの屈折率は $n = 1.507\text{--}1.511$ 、直方輝石の屈折率は $\gamma = 1.699\text{--}1.720$ である。火山ガラスの主成分組成は SiO_2 が73.96 wt.%であり K_2O が1.11 wt.%と低い特徴がある。 FeO , CaO , Al_2O_3 はそれぞれ2.4 wt.%, 2.3 wt.%, 12.1 wt.%と比較的高い。房総半島では安野層のAn157.5に対比されている。

IkT19

層厚6–7 cmの白色細粒火山灰層で、極細粒砂サイズの粒子をわずかに含む。生物擾乱により上下の砂質泥と不均質に混ざり合い、一部で巣穴状の生痕化石も見られる。直下に粗粒砂から細礫サイズの軽石粒が散在する。火山ガラスの形態はバブルウォール型が卓越する。重鉱物は少量、直方輝石、単斜輝石などを含む。火山ガラスの屈折率は $n = 1.500\text{--}1.506$ 、直方輝石の屈折率は $\gamma = 1.705\text{--}1.721$ である。火山ガラスの主成分組成は SiO_2 が75.24 wt.%であり K_2O は1.41 wt.%と低い。Yは44.7 ppmとやや高い。田村ほか (2014) で池子1として報告された。房総半島では安野層のAn158.5に対比されている。

第1表 テフラ層の試料採取地と特徴. Ikt16とIkt19の記載についてはUtsumiya *et al.* (2023)に従う.
Table 1. A list showing localities of sampling and characteristic of the marker tephra beds. Descriptions on Ikt16 and Ikt19 follow Utsumiya *et al.* (2023).

Tephra name	Locality	Thickness (cm)	Color*1	Dominant grain size	Shape of glass shards*2	Heavy minerals**3	Refractive index	
							volcanic glass (n)	orthopyroxene (y)
Ikt75	Ikego, Kanagawa Pref.	2	wh	silt	bw, str	Cpx, Opx, Hbl	1.499-1.500	1.701-1.707*4
Minamidani 1	Tadocho-Kono, Mie Pref.	65	wh	silt	bw, str	Cpx, Opx, Hbl	1.498-1.500	1.702-1.707*4
Ikt63	Ikego, Kanagawa Pref.	5	light gy	silt	bw	Cpx, Opx	1.505-1.506	-
Ikt45	Ikego, Kanagawa Pref.	30	wh (upper part) light gy (lower part)	silt (upper part) very fine sand (lower part)	bw, sb>fib, spg	Bt>Hbl, Opx, Cpx	1.496-1.498	-
Masugi	Koka, Shiga Pref.	18	gy-wh	very fine sand	sb>str	Bt>Hbl	1.494-1.499	-
Ikt41	Ikego, Kanagawa Pref.	0-3	wh	silt	str, sb, fib, spg, bw	Opx, Cpx	1.497-1.514	1.699-1.715*4
Ikt37	Ikego, Kanagawa Pref.	0-4	wh	very fine sand	fib>spg, sb	Bt>Cpx>Opx	1.497-1.499	1.737-1.743
Ikt34	Ikego, Kanagawa Pref.	12-13	light gy	silt	bw>sb, str, fib	Opx>Cpx, Hbl	1.499-1.503	1.721-1.750
Ikt28	Ikego, Kanagawa Pref.	5-6	light gy	silt	bw>str, fib	Opx, Cpx	1.498-1.501	-
Ikt19 (Ikego1)	Ikego, Kanagawa Pref.	6-7	wh	silt	bw>str, sb, fib, spg	Opx, Cpx	1.500-1.506	1.705-1.721*4
Ikt16	Ikego, Kanagawa Pref.	10-12	wh	silt	sb, spg, str>bw	Cpx, Hbl>Opx	1.507-1.511	1.699-1.720*4
Ikt03	Ikego, Kanagawa Pref.	10	gy	very fine sand	spg, str, sb, fib	Opx, Cpx	1.512-1.545	1.702-1.712

*1. wh: white, gy: grey. *2. Shapes of glass shards were classified on the basis of bubble shape and bubble size following Kishi and Miyawaki (1996); bw Bubble-wall type, fib Fiber type, sb Small-bubble type, spg Sponge type, str Stripe type. *3. Hbl Hornblende, Opx Orthopyroxene, Cpx Clinopyroxene, Bt Biotite. *4. The refractive index (y) of orthopyroxene which was measured for less than 20 grains due to low heavy mineral content.

第2表 池子層のテフラ層と対比候補のテフラ層の化学組成。
Table 2 Chemical composition of tephra beds in the Ikego Formation and the correlated tephra beds.

Data source	Analytical method	Major element composition (wt.%)											Minor element composition (ppm)										
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ ^T	Fe ₂ O ₃ ^{T*}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total	Sc	V	Sr	Y	Ba	La	Ba/La	La/Y			
IKT75	EDX+LA-ICP-MS	74.29	0.26	11.07	-	0.93	0.07	0.15	0.83	3.00	4.11	94.72	5	12	85	25	546	24	22.7	1.1			
This study	ICP-AES+ICP-MS	74.15	0.22	11.45	1.18	(1.07)	0.04	0.16	0.86	3.19	4.32	95.61	5	15	86	23	597	26	23.4	1.1			
Minamidani I	EDX+LA-ICP-MS	74.58	0.23	11.16	0.95	(0.90)	0.06	0.14	0.85	3.20	3.92	95.10	6	12	92	27	588	26	23.0	1.1			
This study	ICP-AES+AAAS	-	0.24	10.59	1.12	(1.02)	0.04	0.16	0.85	3.29	3.45	-	5	11	97	25	584	25	23.8	1.0			
Sagami I	EDX+LA-ICP-MS	77.52	0.31	12.20	-	1.06	0.06	0.23	0.96	3.14	4.52	100.00	6	11	77	26	500	23	23.8	1.0			
IKT63	EDX+LA-ICP-MS	72.05	0.37	12.99	-	1.32	0.08	0.26	1.20	4.05	3.68	95.99	6	5	136	32	534	29	18.1	0.9			
IKT45	EDX+LA-ICP-MS	73.95	0.08	11.95	-	0.67	0.07	0.04	0.46	3.15	5.02	95.39	2	<1	25	13	309	13	23.2	1.0			
This study	ICP-AES+ICP-MS	72.94	0.05	12.19	0.90	(0.82)	0.06	0.06	0.47	3.27	5.04	95.00	2	6	34	14	349	17	21.0	1.2			
This study	ICP-AES+AAAS	-	0.05	11.93	0.78	(0.71)	0.06	0.07	0.47	3.28	4.82	-	2	<1	33	14	334	17	19.2	1.2			
Masugi	EDX+LA-ICP-MS	74.02	0.06	11.78	-	0.66	0.09	0.04	0.45	2.56	5.16	94.81	2	<1	28	14	308	15	19.2	1.2			
This study	ICP-AES+AAAS	-	0.05	10.99	0.82	(0.75)	0.06	0.04	0.50	2.59	4.05	-	2	<1	35	12	326	13	25.1	1.1			
Kimura et al., 2015	EDS+LA-ICP-MS	77.03	0.09	13.16	-	0.83	0.05	0.10	0.59	2.91	5.23	100.00	4	<1	26	15	278	14	25.1	1.1			
IKT41	EDX+LA-ICP-MS	70.65	0.37	13.00	-	1.59	0.05	0.32	1.42	3.96	3.45	94.81	10	10	157	29	500	27	18.6	0.9			
This study	ICP-AES+AAAS	-	0.32	13.02	1.90	(1.73)	0.07	0.33	1.47	3.93	3.69	-	8	158	29	532	31	17.3	1.1				
IKT37	ICP-AES+ICP-MS	73.17	0.08	12.36	1.15	(1.05)	0.04	0.09	0.81	3.09	4.77	95.59	2	<5	102	18	634	43	14.6	2.4			
IKT34	ICP-AES+ICP-MS	71.20	0.10	12.65	1.53	(1.39)	0.06	0.09	0.84	3.60	4.35	94.47	2	<5	129	14	660	35	18.9	2.5			
IKT28	ICP-AES+ICP-MS	72.15	0.10	12.35	1.30	(1.18)	0.05	0.12	0.98	3.35	3.99	94.41	3	<5	74	21	596	26	23.1	1.2			
IKT19 (Ikego1)	EDX+LA-ICP-MS	75.24	0.24	11.66	-	1.48	0.09	0.27	1.90	3.64	1.41	95.93	12	4	118	45	481	16	30.0	0.4			
IKT16	EDX+LA-ICP-MS	73.96	0.18	12.10	-	2.41	0.10	0.15	2.34	3.77	1.11	96.12	20	<1	141	34	285	12	23.0	0.4			
IKT03 (mode1)	EDX+LA-ICP-MS	64.16	0.93	13.76	-	4.26	0.16	1.26	4.02	3.77	2.16	94.49	20	51	242	33	859	13	65.2	0.4			
IKT03 (mode2)	EDX+LA-ICP-MS	69.76	0.56	12.67	-	2.25	0.08	0.54	2.14	3.72	2.83	94.56	14	23	181	38	876	13	66.7	0.3			

*Fe₂O₃^T represents total Fe as FeO. The numbers in parentheses of FeO^T are recalculated from Fe₂O₃^T.

IkT28

層厚5–6 cmの明灰色細粒火山灰層で、極細粒砂サイズの粒子をわずかに含む。直下に粗粒砂から細礫サイズの軽石粒が散在する。生物擾乱により上下の砂質泥と不均質に混ざり合い、一部で巣穴状の生痕化石も見られる。火山ガラスの形態はバブルウォール型が卓越し、平行型、繊維型を伴う。重鉱物は直方輝石、単斜輝石が卓越する。火山ガラスの屈折率は $n = 1.498\text{--}1.501$ である。火山ガラスの化学組成を見ると SiO_2 は72.15 wt.%であり、Srが74.0 ppmと低めの値をとる特徴がある。

IkT34

層厚12–13 cmの明灰色火山灰層で、最下部は層厚5–10 mmで極細粒砂サイズの粗粒火山灰、中部は層厚約10 cmの細粒火山灰、最上部は層厚1–2 cmで極細粒砂サイズの粗粒火山灰から成る。火山ガラスの形態は厚手のバブルウォール型が卓越し、スモールバブル型、平行型、繊維型を伴う。重鉱物は直方輝石が卓越し、単斜輝石、普通角閃石を伴う。火山ガラスの屈折率は $n = 1.499\text{--}1.503$ 、直方輝石の屈折率は $\gamma = 1.721\text{--}1.750$ である。火山ガラスの主成分化学組成はIkT28と類似しており、 SiO_2 は71.20 wt.%である。

IkT37

層厚0–4 cmで白色、極細粒砂サイズの粗粒火山灰層である。生物擾乱によりレンズ状となる。火山ガラスの形態は繊維型が卓越し、スポンジ型、スモールバブル型などを伴う。重鉱物は黒雲母が卓越し、単斜輝石を含み、ごくわずかに直方輝石を含む。火山ガラスの屈折率は $n = 1.497\text{--}1.499$ 、直方輝石の屈折率は $\gamma = 1.737\text{--}1.743$ である。火山ガラスの主成分化学組成は SiO_2 が73.17 wt.%であり K_2O が4.77 wt.%と比較的高い値をとる。Ba/Laは14.6と低い。

IkT41

層厚0–3 cmで白色の細粒火山灰層である。生物擾乱によりレンズ状となる。火山ガラスの形態は平行型、スモールバブル型、繊維型、スポンジ型、バブルウォール型と多様である。重鉱物は単斜輝石、直方輝石が卓越する。火山ガラスの屈折率は $n = 1.497\text{--}1.514$ 、直方輝石の屈折率は $\gamma = 1.699\text{--}1.715$ である。火山ガラスの主成分化学組成はIkT63のものに類似しており、 SiO_2 は70.65 wt.%、 TiO_2 は0.3 wt.%程度、 Al_2O_3 は13.0 wt.%程度である。

IkT45

層厚約30 cmの火山灰層で最下部1–2 cmは白色細粒火山灰、下部18–20 cmは平行葉理やリップル葉理の発達した極細粒砂サイズの明灰色粗粒火山灰、上部10 cmは明灰色細粒火山灰から成る。上部の明灰色細粒火山灰には

層厚0–2 cmのレンズ状極細粒砂サイズの明灰色粗粒火山灰が挟まる。下部の明灰色粗粒火山灰は風化して淡黄色を呈し、黒雲母粒子が肉眼でも目立って観察できる。下部の明灰色粗粒火山灰から試料を採取して観察したところ、火山ガラスの形態は厚手のバブルウォール型、スモールバブル型が卓越し、繊維型、スポンジ型なども含まれる。重鉱物は黒雲母が圧倒的に卓越し、普通角閃石、直方輝石、単斜輝石を含む。火山ガラスの屈折率は $n = 1.496\text{--}1.498$ である。火山ガラスの主成分化学組成では K_2O が5 wt.%前後と高い特徴がある。

IkT63

層厚5 cmの明灰色細粒火山灰層。火山ガラスの形態はバブルウォール型が卓越する。重鉱物は単斜輝石、直方輝石が卓越する。火山ガラスの屈折率は $n = 1.505\text{--}1.506$ である。火山ガラスの主成分化学組成はIkT41と類似しており、 SiO_2 は72.05 wt.%、 TiO_2 は0.3 wt.%程度、 Al_2O_3 は13.0 wt.%程度である。

IkT75

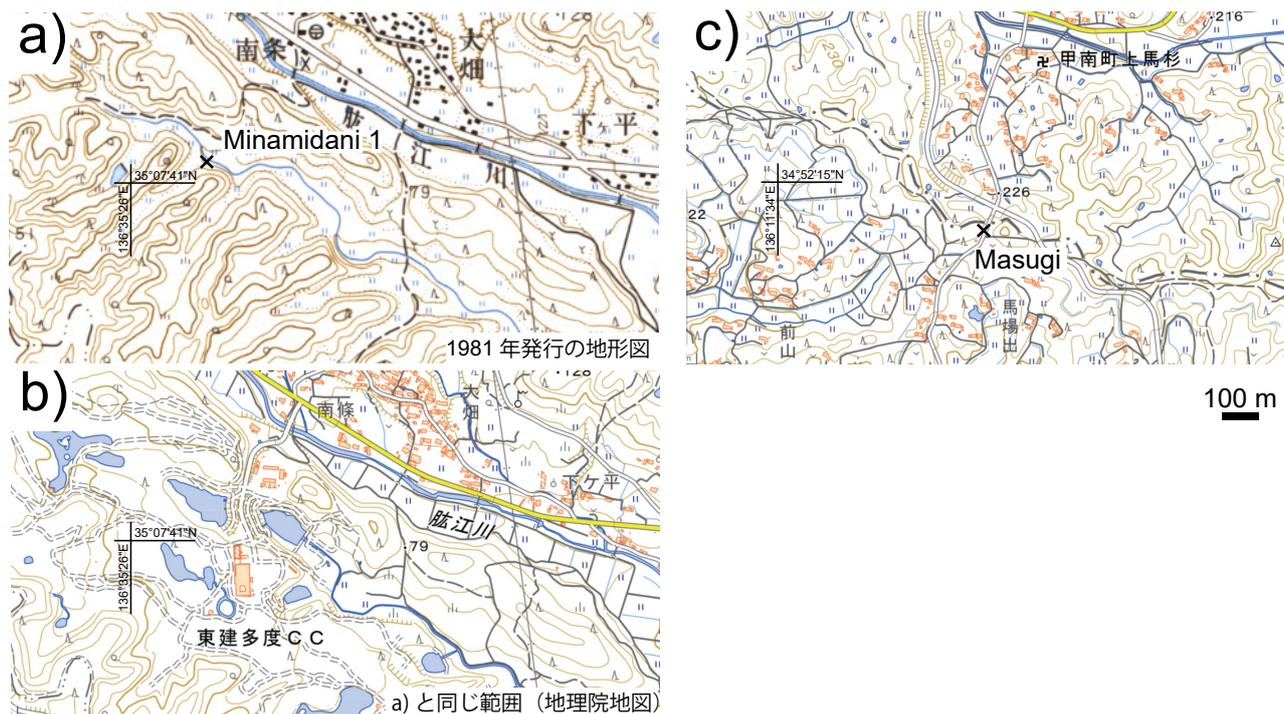
層厚2 cmの白色細粒火山灰層。生物擾乱により上下の砂質泥と不均質に混ざり合う部分がある。火山ガラスの形態はバブルウォール型や平行型が卓越する。重鉱物は極めて少ないが直方輝石を含み、そのほかにも単斜輝石、普通角閃石がわずかにみられる。また、高温型石英を特徴的に含んでいる。火山ガラスの屈折率は $n = 1.499\text{--}1.500$ 、直方輝石の屈折率は $\gamma = 1.701\text{--}1.707$ である。火山ガラスの化学組成は、 TiO_2 が0.22–0.26 wt.%、 MgO が0.15–0.16 wt.%、 K_2O が4.11–4.32 wt.%、Baは546–597 ppmでLa/Yは1.1である。

5. 考察：池子層のテフラ層と 広域テフラとの対比

池子層のテフラ層の火山ガラスの形態、屈折率及び化学組成を検討した結果、2つのテフラ層IkT45とIkT75が、中央日本の上部鮮新統の広域テフラと対比された。すなわち、古琵琶湖層群や東海層群に挟在する馬杉^{まさき}岩森テフラ (Msg-Iwm : Satoguchi and Nagahashi, 2012) と大阪地域から新潟地域、関東西縁部に至る広範囲で確認されているHbt1-MT2 (Tamura *et al.*, 2008) である。Msg-Iwmを代表して古琵琶湖層群の馬杉火山灰層、Hbt1-MT2を代表して東海層群の南谷1火山灰層について、池子層のテフラ層と同じ分析手法で比較した(第1, 2表)。第2表にはKimura *et al.* (2015) で報告されている馬杉火山灰層と相模I火山灰層の化学分析値を参考値として掲載した。

5.1 IkT45とMsg-Iwmとの対比

Msg-Iwmは古琵琶湖層群や東海層群で見出されている広域テフラである。馬杉火山灰層は横山ほか(1968)で



第4図 古琵琶湖層群の馬杉火山灰層と東海層群の南谷1火山灰層の試料を採取した露頭的位置。国土地理院発行の25,000分の1地形図に基づいて作成。(a)は試料採取時に近い時期の1981年発行の地形図「阿下喜」、(b)と(c)は地理院地図(国土地理院, 2025)であり、(a)と(b)は同じ地域の地形図である。

Fig. 4 1:25,000 topographic maps showing the sampling localities of the Masugi volcanic ash bed from the Kobiwako Group, and the Ichinohara volcanic ash and Minamidani 1 volcanic ash bed from the Tokai Group. (a) is a published topographic map from a period when the samples were collected, and (b) and (c) are GSI Maps (Geospatial Information Authority of Japan, 2025). The mapping area of (a) is the same area as that of (b).

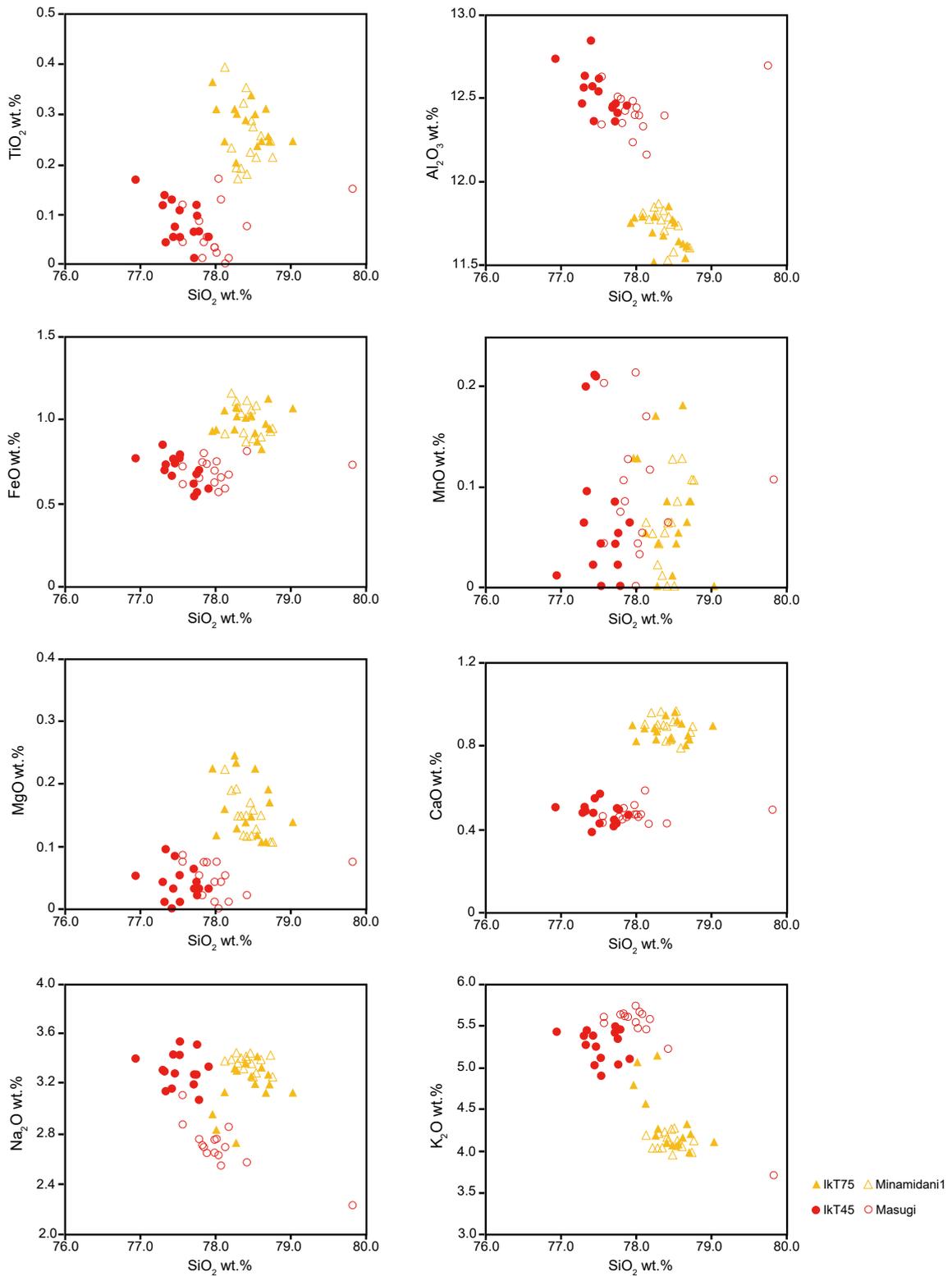
記載され、その分布や層位は、横山・楠木(1969)、横山ほか(1979)、川邊(1981)、吉川(1983)、Yoshikawa(1984)、Kawabe(1989)、横山・雨森(1991)、中野ほか(2003)などによって示されている。今回検討した試料は横山ほか(1979)で模式地とされた現在の滋賀県甲賀市甲南町上馬杉南方峠で採取した(第4図)。本地域の馬杉火山灰層は暗灰色な泥層に挟在し、層厚18 cmで中粒砂サイズを主体とする灰白色火山灰層であり、最下部1 cm程度はやや細かい。黒雲母が肉眼で識別される。火山ガラスの形態は厚手のスモールバブル型が卓越し、平行型もみられる。重鉱物は黒雲母が圧倒的に卓越し、普通角閃石、ジルコンなども含まれる。火山ガラスの屈折率は $n = 1.494\text{--}1.499$ である。火山ガラスの主成分化学組成では K_2O が4 wt.%前後と高い特徴がある。

EDXによる主成分分析結果について、 SiO_2 wt%を横軸にとったハーカー図を第5図に示す。IkT45は重鉱物として黒雲母を多量に含むこと、ガラスの屈折率が1.494–1.499の間の値をとること、 K_2O が比較的高いこと、Ba/Laが約20、La/Yが約1であることなどの特徴を有している。これらの特徴やその他の主成分・微量成分組成は、馬杉火山灰層のそれに類似している。一方、分析し

た馬杉火山灰層は Na_2O が低く K_2O が高い値をとる(第5図)。この違いの要因としては、火山ガラスは地表水との水和により Na_2O が溶脱し K_2O は不変かやや増加することが知られていることから(荒牧・原村, 1966)、馬杉火山灰層の火山ガラスが地表付近で変質作用を受けた可能性が考えられる。

古琵琶湖層群における馬杉火山灰層の層位と年代は古地磁気層序によって明らかにされている。Hayashida *et al.* (1978)、古琵琶湖団体研究グループ(1981)、Hayashida and Yokoyama (1983)によって古地磁気層序が検討され、いずれの研究でも馬杉火山灰層は正帯磁を示し、Gauss正帯極帯Kaena逆帯極帯(C2An.1r)の上位の正帯極帯(C2An.1n)に位置すると考えられている。馬杉火山灰層に対比されている東海層群の市之原火山灰層(吉川ほか, 1988; 吉川・吉田, 1989)も正帯磁層準にありGauss正帯極帯の中のKaena(C2An.1r)もしくはMammoth逆帯極帯(C2An.2r)の上位と解釈されている(中山・吉川, 1990)。池子層のIkT45の層位はKaena逆帯極帯(C2An.1r)直上の正帯極帯(C2An.1n)であり、馬杉火山灰層の古地磁気層序学的な層位と調和的である(第6図)。また、馬杉火山灰層に含まれるジルコン粒子か

鮮新統池子層のテフラ層の広域対比 (宇都宮ほか)



第5図 テフラ層の火山ガラスの主成分化学組成を示すハーカー図。

Fig. 5 Major chemical composition of the volcanic glass in the tephra beds.

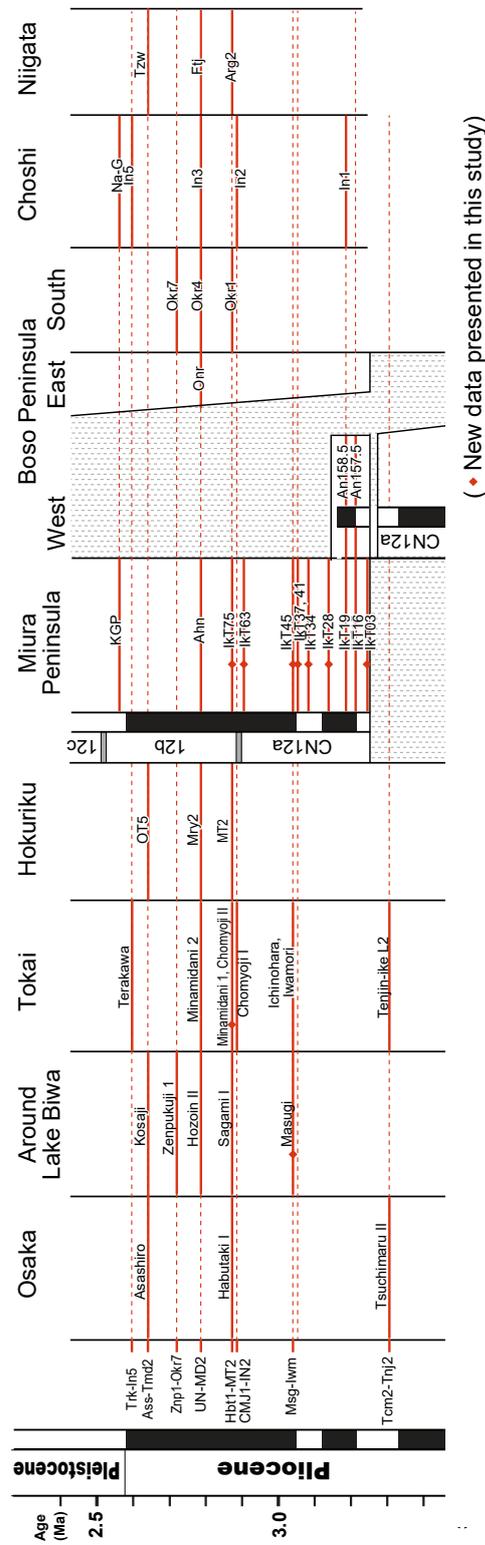
らはフィッシュントラック年代値 (3.1 ± 0.5 Ma) が得られており(西村・笹嶋, 1970), 市之原火山灰層からは 2.8 ± 0.2 もしくは 2.9 ± 0.2 Maのフィッシュントラック年代値が得られている(横山ほか, 1980). これらの年代値も池子層のIkT45の年代値と大きく矛盾しない.

5.2 IkT75とHbt1-MT2との対比

Hbt1-MT2は中央日本の水平距離500 kmに亘り鮮新統の堆積層に広域に分布するテフラであり, 大阪層群の土生滝I火山灰層, 東海層群の南谷1と長明寺II火山灰層, 及び古琵琶湖層群の相模I火山灰層などに対比されている(富田・黒川, 1999; 正田ほか, 2005; Tamura *et al.*, 2008). 今回観察と分析を行った南谷1火山灰層は竹村(1984)によって模式地とされた三重県桑名市の南谷川沿いの露頭から採取した(第4図a). この露頭は現在ゴルフ場になっており消滅している(第4図b). 層厚約65 cmの白色火山灰層で, 6つほどのユニットに細分されるが, 全体的に細粒火山灰から成る. 火山ガラスの形態はバブルウォール型や平行型が卓越する. 重鉱物は極めて少ないが直方輝石や単斜輝石が卓越し, わずかに普通角閃石も含まれる. また, 高温型石英を特徴的に含んでいる. 火山ガラスの屈折率は $n = 1.498 - 1.500$, 直方輝石の屈折率は $\gamma = 1.702 - 1.707$ である. 火山ガラスの化学組成は, TiO_2 が $0.22 - 0.24$ wt.%, MgO が $0.14 - 0.15$ wt.%, K_2O が $3.56 - 4.06$ wt.%, Baは $558 - 594$ ppmでLa/Yは1.1である.

IkT75は直方輝石と高温型石英を含む特徴を持つことや, K_2O が比較的低く (<4 %) La/Yが1.1であるなどの化学組成が, 南谷1火山灰層とよく類似する. 直方輝石の屈折率も両テフラとも γ 値で1.700と1.710の間にあり, 低くてレンジが短い特徴がよく類似している.

以上の特徴に加え, IkT75と南谷1火山灰層がともに Gauss正磁極帯上部の正帯磁層準にあると解釈されていることも(中山・吉川, 1990; Utsunomiya *et al.*, 2017), 今回のテフラ対比を支持する. 富山県氷見のテフラ層MT2は珪藻化石年代により $2.8 - 2.9$ Maと推定されている(渡辺, 2002). 房総半島南部の千倉層群では酸素同位体ステージG14とG15の境界付近 (2.89 Ma) に挟むするテフラ層OkrlがHbt1-MT2とされる(Tamura *et al.*, 2016). なお千倉層群では, テフラ層Okrlよりも上位の, 酸素同位体ステージG7とG8の境界付近に石灰質ナノ化石 *Discoaster tamalis* の終産出層準(CN12a垂帯上限)が位置する(Kameo and Okada, 2016). 池子層では, 本基準面はIkT75よりも下位にあることから(第3図), 両層群のテフラ層と石灰質ナノ化石基準面の関係は一致しない. 本基準面の層位と酸素同位体ステージの関係は地域により多少異なることが知られていることや(Raffi *et al.*, 2006など), *Discoaster*属が一般に低緯度沖合の地層から多産し, 南関東地域での本属の相対産出頻度は元々低い(Kameo and Okada, 2016など)ことを考慮すると, 時間



第6図 三浦半島北部の鮮新統と中央日本の他の堆積層とのテフラ対比. 田村ほか(2005), Tamura *et al.* (2016), 田村(2022)及び本研究に基づき作成. Fig. 6 Tephra correlation between the Pliocene on the Miura Peninsula and that of the other sedimentary basins in central Japan, based on Tamura *et al.* (2005, 2016) and Tamura (2022).

面としては本基準面よりも広域テフラであるIkT75と古地磁気極性境界の年代値を優先して用いる方が良いだろう。

6. まとめ

本研究では池子層に挟在する細粒ガラス質テフラ層IkT03, IkT16, IkT19, IkT28, IkT34, IkT37, IkT41, IkT45, IkT63, IkT75の火山ガラスの形態観察と屈折率測定, 重鉱物組成の検討, 及び化学組成分析を行い, 中央日本の広域テフラとの対比を検討した。その結果, IkT45は古琵琶湖層群や東海層群に分布するMsg-Iwmに, IkT75は中央日本に広く分布する指標テフラHbt1-MT2に特徴が類似しており, テフラの層位上も矛盾しないことから, それぞれ対比される。

三浦半島の下部更新統や最上部鮮新統からはこれまでも広域テフラが認められていたが(藤岡ほか, 2003; 田村ほか, 2010), 本研究によりIkT45とIkT75の2枚が広域テフラと対比されたことで, 新たな時間面が挿入され, 上部鮮新統の年代軸の精度がさらに向上した。この年代の模式的なセクションの一つとして, 古環境研究や島弧スケールのテクトニクス変遷の理解などに寄与できるだろう。広域テフラと対比されなかったテフラ層も他地域のテフラと対比できる可能性があり, 本研究で示された層位, 屈折率及び化学組成のデータが活用されることを期待する。三浦半島ではこの10年間でテフラ鍵層, 古地磁気及び微化石を複合させた層序学的研究が著しく進展してきた(楠ほか, 2014; Nozaki *et al.*, 2014; Kusu *et al.*, 2016; Utsunomiya *et al.*, 2017, 2023など)。このような複合年代層序を志向した岩相層序の構築が, 従来見過ごされてきた広域分布を持つテフラ層を見出すことに繋がったことを付記したい。

謝辞: 本報告で公表したテフラ層の化学分析にはJSPS科研費(No. 17K18415, No. 20K14568)の一部を使用した。査読者の納谷友規博士, 担当編集委員の宮城磯治博士のご指摘により本稿は大幅に改善された。ここに記して御礼申し上げます。

文 献

荒牧重雄・原村 寛(1966)火山ガラスの加水に伴う Na₂O の溶脱—実験的研究—。地質学雑誌, **72**, 69–73。
 江藤哲人(1986)三浦半島の三浦・上総両層群の層位学的研究。横浜国立大学理科紀要 第2類, no. 33, 107–132。
 江藤哲人・尾田太良・長谷川四郎・本田信幸・船山政昭(1987)三浦半島中・北部の新生界の微化石生層序年代と古環境。横浜国立大学理科紀要 第2類, no. 34, 41–57。
 江藤哲人・矢崎清貫・ト部厚志・磯部一洋(1998)横須

賀地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 128p。
 Fisher, R. V. (1961) Proposed classification of volcanoclastic sediments and rocks. *Geological Society of America Bulletin*, **72**, 1409–1414。
 藤岡導明・亀尾浩司・小竹信宏(2003)テフラ鍵層に基づく横浜地域の大船層・小柴層と房総半島の黄和田層との対比。地質学雑誌, **109**, 166–178。
 古澤 明(2017)レーザーアブレーションICP質量分析装置を用いた火山ガラスの分析による十和田カルデラ起源大不動テフラと八戸テフラの識別。地質学雑誌, **123**, 765–776。
 Haneda, Y. and Okada, M. (2019) Pliocene integrated chronostratigraphy from the Anno Formation, Awa Group, Boso Peninsula, central Japan, and its paleoceanographic implications. *Progress in Earth and Planetary Science*, **6**, 6。
 Haneda, Y. and Okada, M. (2022) A record of the lower Mammoth geomagnetic polarity reversal from a marine succession in the Boso Peninsula, central Japan. *Geophysical Journal International*, **228**, 461–476。
 Hayashida, A. and Yokoyama, T. (1983) Paleomagnetic chronology of the Plio-Pleistocene Kobiwako Group to the southeast of Lake Biwa, central Japan. *Journal of the Geological Society of Japan*, **89**, 209–221。
 Hayashida, A., Sasajima, S. and Yokoyama, T. (1978) The Brunhes/Matsuyama polarity Epoch boundary in the Kobiwako Group on the west coast of Lake Biwa, Central Japan. *Rock Magnetism and Paleogeophysics*, **6**, 48–51。
 稲垣 進・西川達男・満岡 孝・安野 信(2007)神奈川県鎌倉市北東部の上総層群下部から発見された含ザクロ石軽石層(KGP)について。地球科学, **61**, 143–148。
 Ito, M., Kameo, K., Satoguchi, Y., Masuda, F., Hiroki, Y., Takano, O., Nakajima, T. and Suzuki, N. (2016) Neogene–Quaternary sedimentary successions. In Moreno, T., Wallis, S., Kojima, T. and Gibbons, W., eds., *The Geology of Japan*, Geological Society of London, 309–337。
 Kameo, K. and Okada, M. (2016) Calcareous nannofossil biochronology from the upper Pliocene to lower Pleistocene in the southernmost Boso Peninsula, central part of the Pacific side of Japan. *Journal of Asian Earth Sciences*, **129**, 142–151。
 亀尾浩司・関根智之(2013)安房層群安野層の石灰質ナノ化石層序と地質時代。地質学雑誌, **119**, 410–420。
 川邊孝幸(1981)琵琶湖南東方, 阿山・甲賀丘陵付近の古琵琶湖層群。地質学雑誌, **87**, 457–473。
 Kawabe, T. (1989) Stratigraphy of the lower part of the

- Kobiwako Group around the Ueno basin, Kinki district, Japan. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, **32**, 39–90.
- Kimura, J.-I., Nagahashi, Y., Satoguchi, Y. and Chang, Q. (2015) Origins of felsic magmas in Japanese subduction zone: Geochemical characterizations of tephra from caldera-forming eruptions <5 Ma. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **16**, 2147–2174.
- 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. 地質学雑誌, **105**, 88–112.
- 古琵琶湖団体研究グループ (1981) 瀬田・石部地域の古琵琶湖層群. 地球科学, **35**, 26–40.
- 小池 清 (1951) いわゆる黒瀧不整合について. 地質学雑誌, **57**, 143–156.
- 国土地理院 (2025) 地理院地図 (電子国土Web). <https://maps.gsi.go.jp/> (閲覧日: 2025年1月23日)
- 小西拓海・宇都宮正志・岡田 誠・田村糸子 (2023) 古地磁気層序とテフラ層序に基づく房総半島南部の下部更新統千倉層群と同半島東部の上総層群の対比. 地質学雑誌, **129**, 469–487.
- 黒川勝己・樋口裕也 (2004) 新潟地域の鮮新世中頃 (4–2 Ma) のテフラ層序の再検討と広域対比—とくにNwgとArgテフラ層の層位関係, Tspテフラ層の分布と対比および氷見層群のYTテフラ層, 安野層のテフラ層との広域対比の検討—. 新潟大学教育人間科学部紀要 (自然科学編), **7**, 13–78.
- 楠 稚枝・野崎 篤・岡田 誠・和田秀樹・間嶋隆一 (2014) 三浦半島北部の上総層群中部 (下部更新統) で掘削されたコアの堆積相とオールドバイ正磁極垂帯の上限. 地質学雑誌, **120**, 53–70.
- Kusu, C., Okada, M., Nozaki, A., Majima, R. and Wada, H. (2016) A record of the upper Olduvai geomagnetic polarity transition from a sediment core in southern Yokohama City, Pacific side of central Japan. *Progress in Earth and Planetary Science*, **3**, 26.
- 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, 91p.
- 長橋良隆・中井聡子・吉川清志・奥平敬元・吉川周作・吉田武義 (2015) 火山ガラスの主成分・微量成分元素組成に基づくテフラ層の岩石学的特徴—大阪層群と琵琶湖高島沖コアに挟まるテフラ層の例—. 地球科学, **69**, 205–222.
- 中野聡志・川辺孝幸・原山 智・水野清秀・高木哲一・小村良二・木村克己 (2003) 水口地域の地質. 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, 83p.
- 中山勝博・吉川周作 (1990) 東海層群の古地磁気層序. 地質学雑誌, **96**, 967–976.
- 西村 進・笹嶋貞雄 (1970) Fission Track法による大阪層群とその相当層中の火山灰の年代測定. 地球科学, **24**, 222–224.
- 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 coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973; 1975). *Marine Micropaleontology*, **5**, 321–325.
- Raffi, I., Backman, J., Fornaciari, E., Pälike, H., Rio, D., Lourens, L. and Hilgen, F. (2006) A review of calcareous nannofossil astrochronology encompassing the past 25 million years. *Quaternary Science Reviews*, **25**, 3113–3137.
- 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.
- 正田浩司・菊地隆男・鈴木毅彦・竹越 智・関東平野西縁丘陵団体研究グループ (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. 地球科学, **59**, 339–356.
- Soh, W., Pickering, K. T., Taira, A. and Tokuyama, H. (1991) Basin evolution in the arc-arc Izu Collision Zone, Mio-Pliocene Miura Group, central Japan. *Journal of the Geological Society*, **148**, 317–330.
- 鈴木尉元・小玉喜三郎・三梨 昂・岡 重文・ト部厚志・遠藤 毅・堀口万吉・江藤哲人・菊地隆男・山内靖喜・中嶋輝允・徳橋秀一・楡井 久・原 雄・中山俊雄・奈須紀幸・加賀美英雄・木村政昭・本座栄一 (1995) 東京湾とその周辺地域の地質 (第2版). 特殊地質図 20, 10万分の1地質説明書, 地質調査所, 109p.
- 竹村恵二 (1984) 三重県員弁地域の鮮新・更新統東海層群: 特に岩相層序と火山灰層序の関係について. 地質学雑誌, **90**, 799–813.
- 田村糸子 (2022) 南関東における上総層群下部の指標テフラとその意義—2.5 Maのざくろ石テフラを中心に—. 日本地質学会第129年学術大会講演要旨, S1-O-5.
- 田村糸子・山崎晴雄 (2004) 北陸層群のテフロクロロジー—テフラ層序および広域テフラ層との対比に基づく北陸層群の堆積年代—. 地質学雑誌, **110**, 417–436.
- Tamura, I. and Yamazaki, H. (2010) Significance of the remarkable unconformity in the Plio-Pleistocene of the Japanese islands. *Quaternary International*, **219**, 45–54.
- 田村糸子・山崎晴雄・水野清秀 (2005) 関東平野西縁多

- 摩川河床に分布する友田2テフラと小佐治(古琵琶湖層群), OT5(氷見層群)テフラの対比—ガウス正磁極期最上部2.6 Ma頃の広域テフラ. 日本地質学会第112年学術大会講演要旨, O-90, 82.
- Tamura, I., Yamazaki, H. and Mizuno, K. (2008) Characteristics for the recognition of Pliocene and early Pleistocene marker tephros in central Japan. *Quaternary International*, **178**, 85–99.
- 田村糸子・高木秀雄・山崎晴雄 (2010) 南関東に分布する2.5 Maの広域テフラ: 丹沢—ざくろ石軽石層. 地質学雑誌, **116**, 360–373.
- 田村糸子・山崎晴雄・水野清秀 (2014) テフラ対比に基づく千葉県銚子地域の鮮新-更新統, 犬吠層群の堆積開始時期. 日本地球惑星科学連合2014年大会講演要旨, HQR24-04.
- Tamura, I., Okada, M. and Mizuno, K. (2016) An integrated stratigraphy around the Plio-Pleistocene boundary in the Chikura Group, the Boso Peninsula, central Japan, based on data from paleomagnetic, oxygen isotopic and widespread tephra correlation. *Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University*, no. 51, 41–52.
- 田村糸子・水野清秀・宇都宮正志・中嶋輝允・山崎晴雄 (2019) 房総半島に分布する上総層群の広域テフラ—特に上総層群下部におけるテフラ層序と新たな対比—. 地質学雑誌, **125**, 23–29.
- 富田裕子・黒川勝己 (1999) 中央日本における2.7 Ma頃の広域火山灰層: 土生滝 I (大阪層群) -MT2 (氷見層群) -Arg-2 (西山層) 火山灰層の対比. 地質学雑誌, **105**, 63–71.
- 植木岳雪・田村糸子・岩本直哉 (2022) 千葉県東部, 銚子周辺地域の鮮新—更新世テフラと銚子ジオパーク. 地質学雑誌, **128**, 345–369.
- 卜部厚志・佐目元昭・秋山晋二・椿和弘・山内靖喜・三梨昂 (1990) 房総半島中部西岸・浦賀水道地域の第三系の地質構造. 地質学論集, no. 34, 31–44.
- 宇都宮正志・間嶋隆一 (2012) 上総層群浦郷層と野島層(三浦半島北部: 鮮新—更新統)の新化石産地から産出した貝化石による古水深の再検討. 化石, **91**, 5–14.
- Utsunomiya, M., Kusu, C., Majima, R., Tanaka, Y. and Okada, M. (2017) Chronostratigraphy of the Pliocene–Pleistocene boundary in forearc basin fill on the Pacific side of central Japan: Constraints on the spatial distribution of an unconformity resulting from a widespread tectonic event. *Quaternary International*, **456**, 125–137.
- 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.
- Utsunomiya, M., Tamura, I., Nozaki, A. and Nakajima, T. (2023) Basin-wide erosion and segmentation of the Plio-Pleistocene forearc basin in central Japan revealed by tephro- and biostratigraphy. *Progress in Earth and Planetary Science*, **10**, 25.
- 渡辺真人 (2002) 富山県氷見・灘浦地域の鮮新統の珪藻化石層序と年代層序の再検討: とくに広域火山灰層とNo.3 *Globorotalia inflata* (浮遊性有孔虫) bedの年代について. 地質学雑誌, **108**, 499–509.
- 横浜防衛施設局編 (1993) 池子シロウリガイ類化石調査最終報告書. 横浜防衛施設局, 470p.
- 横山卓雄・楠木幹浩 (1969) 鍵層としての火山灰層, とくに大阪層群の火山灰について—近畿地方の新期新生代層の研究, その13—. 同志社大学理工学研究報告, **9**, 270–305.
- 横山卓雄・雨森清 (1991) 滋賀県湖東地域古琵琶湖層群地質図, その1: 日野・水口・甲賀地域, その2: 高宮・百済寺地域. 滋賀県自然誌, 滋賀県自然保護財団.
- 横山卓雄・松岡長一郎・那須孝悌・田村幹夫 (1968) 古琵琶湖層群下部, 特に佐山累層について—近畿地方の新期新生代層の研究, その9—. 地質学雑誌, **74**, 327–340.
- 横山卓雄・松岡長一郎・田村幹夫・雨森清 (1979) 古琵琶湖層群. 滋賀県の自然, 地形地質編, 滋賀県, 309–389.
- 横山卓雄・松田高明・竹村恵二 (1980) 東海層群の火山灰層のフィッシュン・トラック年代(その1). 第四紀研究, **19**, 301–309.
- 吉川周作 (1983) 大阪層群と古琵琶湖層群の火山灰層の対比. 日本の鮮新—更新統編集委員会編, 日本の鮮新—更新統, 地団研専報, no. 25, 45–61.
- Yoshikawa, S. (1984) Volcanic ash layers in the Osaka and Kobiwako Groups, Kinki district, Japan. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, **27**, 1–40.
- 吉川周作・吉田史郎 (1989) 三重県亀山地域の東海層群火山灰層. 地質調査所月報, **40**, 285–298.
- 吉川周作・吉田史郎・服部俊之 (1988) 三重県員弁郡付近の東海層群火山灰層. 地質調査所月報, **39**, 615–633.
- 吉川周作・水野清秀・加藤茂弘・里口保文・宮川ちひろ・衣笠善博・三田村宗樹・中川康一 (2000) 神戸市東灘1,700 mボーリングコアの火山灰層序. 第四紀研究, **39**, 505–520.

(受付: 2025年1月23日; 受理: 2025年5月21日)

水戸周辺, 東茨城台地北東部でみられた火山灰層とその予察的考察

佐藤 善輝^{1,*}

SATO Yoshiki (2025) Preliminary report on volcanic ash layers in the northeastern part of the Higashi-Ibaraki Terrace, Mito District, northeastern Kanto Plain, eastern Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 76 (3), p. 149–162, 6 figs. and 1 table.

Abstract: Loam (i.e., tephric loess deposits), terrace deposits, and three volcanic ash layers occur in three outcrops in the northeastern part of the Higashi-Ibaraki Terrace in Mito district, northeastern Kanto Plain. Analysis of the sedimentary facies, mineral compositions, and refractive index values of volcanic glass shards and heavy minerals suggest that the Akagi–Kanuma Pumice (Ag-KP) occurs at all three sites, in addition to tephra layers that are older and younger than the Ag-KP. The older layer occurs in the Ibaraki Formation and is presumed to be the Akagi–Mizunuma 6 tephra (Ag-MzP6), based on refractive index values and surrounding geology. The younger layer is most likely the Aira–Tanzawa tephra (AT). The Ag-KP deposit around the study area is characterized by a basal unit of fine-grained ash containing orthopyroxene with a lower refractive index than that of orthopyroxene in the rest of the deposit. Previous studies have reported similar basal units in areas to the ESE and SE of Akagi volcano. This distribution of the basal unit is generally consistent with that of the thicker part of the Ag-KP. The spatial distribution of refractive index values indicates that a precursory eruption might have occurred before the main eruption. This hypothesis should be evaluated by further studies, especially geochemical analyses that provide insight into magma mixing during the eruption event.

Keywords: Akagi Volcano, Akagi–Kanuma Pumice, Higashi-Ibaraki Terrace, Quaternary, tephra, Kanto Plain, Mito District

要 旨

水戸周辺の東茨城台地北東部において、計3地点の露頭でローム層と段丘構成層を観察し、複数の火山灰層を確認した。各火山灰層から採取した試料について層相、鉱物組成、火山ガラス・重鉱物の屈折率を観察・測定した結果、全地点で共通して赤城鹿沼軽石 (Ag-KP) が認められ、一部ではその上位のローム層中に始良丹沢テフラ (AT) が認められた。また、対象地域東部では、ローム層の下位の茨城層中からAg-KPよりも古いテフラが認められ、既報のテフラ分布も考慮すると、赤城水沼6テフラ (Ag-MzP6) に対比される可能性が高い。水戸周辺のAg-KPは細粒な基底部ユニットを特徴的に伴い、既報のものに比べて低屈折率の直方輝石が含まれる。類似する基底部ユニットは赤城火山の東南東～南東方向で報告されており、その方位は層厚分布の等値線が張り出す方向と概ね調和的である。多様な屈折率の直方輝石の混在からは、大規模噴火に先立つ先駆噴火によって細粒火山灰が噴出した可能性が示唆され、噴火イベントの経時的変

化などについて、今後、化学組成などのデータを補って検討していく必要があると思われる。

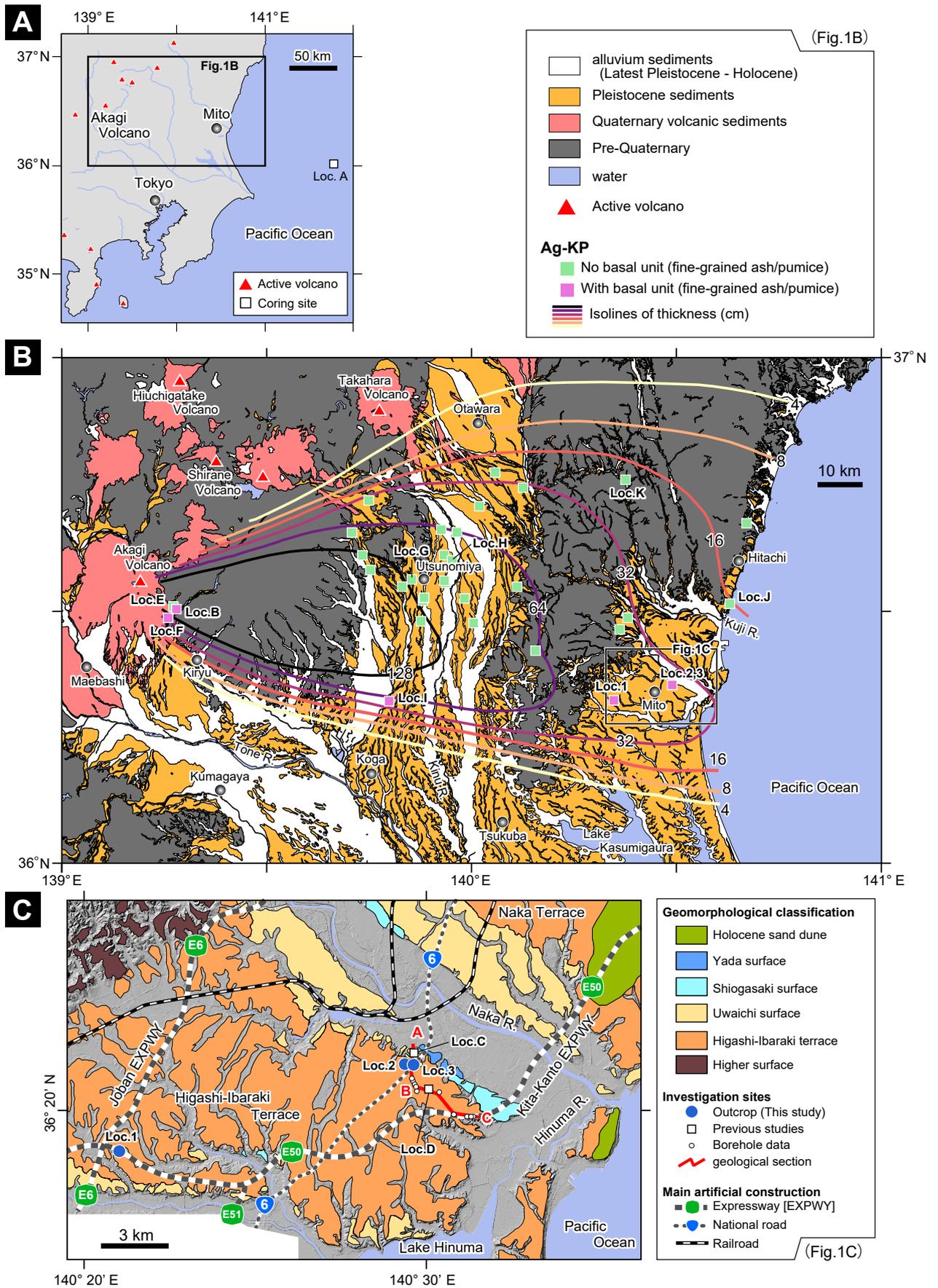
1. はじめに

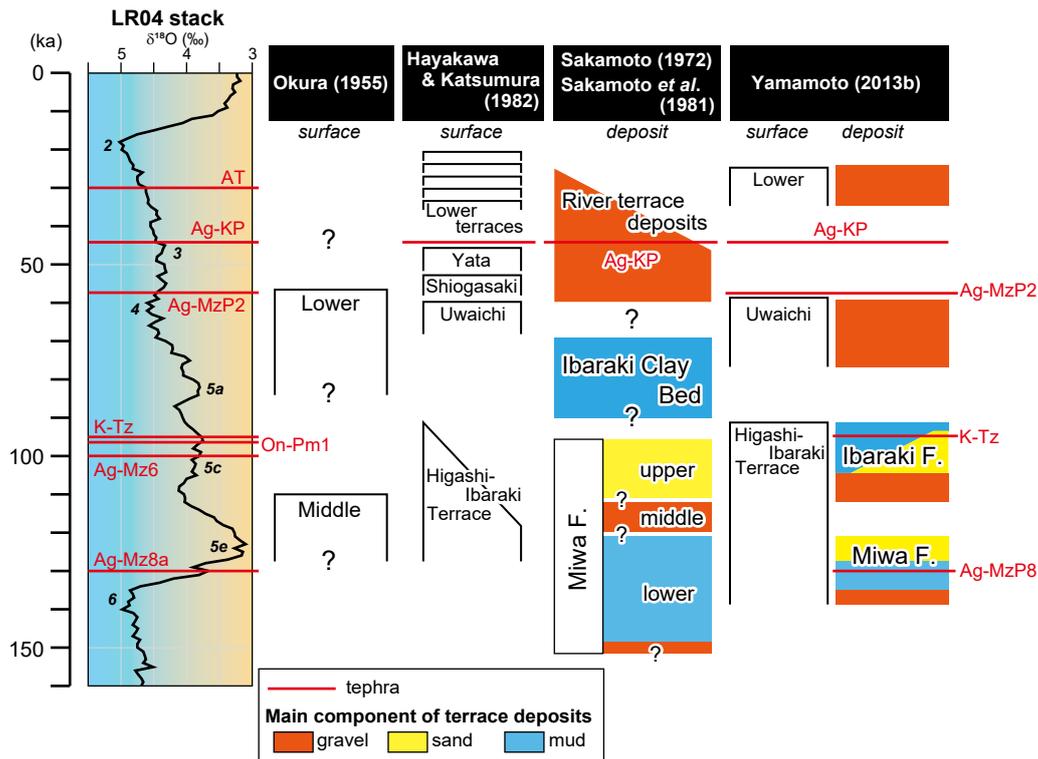
関東平野北東部の水戸地域周辺には、更新世中期以降に形成された複数の段丘面が発達する(第1図、大倉, 1955; 鈴木, 1989; 吉岡ほか, 2001; 大井ほか, 2013aなど)。これらの段丘面のうち、最も広く発達する段丘面は那珂台地、東茨城台地と称され、大局的には最終間氷期に形成された河成あるいは海成段丘(中位段丘面)として理解されている。より詳細にみると、海洋酸素同位体ステージ(Marine Oxygen Isotope Stage, 以下MISと略す) 5e以降の海水準変動や気候変動に応じて形成された複数の段丘面に細分され、那珂川や久慈川沿いには低位段丘面も分布する。

本地域の段丘面の編年や堆積物層序に関しては、広域テフラに加えて、赤城火山や日光火山などの北関東の火山(第1図A, B)を給源とする火山灰層が用いられている(例えば、鈴木, 1989; 植木ほか, 2009; 大井・横山,

¹ 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)

* Corresponding author: SATO, Y., AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: satou-yoshiki@aist.go.jp





第2図 東茨城台地における上部第四系の層序区分対比。LR04 stackは海洋酸素同位体曲線 (Lisiecki and Raymo, 2005) を示す。

Fig. 2 Comparison of Upper Quaternary stratigraphy around the Higashi-Ibaraki Terrace. A marine oxygen isotope curve (left), LR04 stack, is based on Lisiecki and Raymo (2005).

(← p. 150)

第1図 対象地域の地形・地質および調査地点。A：インデックスマップ。Loc. Aは青木ほか(2008)の鹿島沖海底コア(MD01-2421)の掘削地点を示す。B：北関東周辺における地質概略。20万分の1シームレス地質図(産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2023)を簡略化して作成。赤城鹿沼軽石(Ag-KP)の分布地点および基底部ユニットの存否は鈴木(1990)、吉川ほか(2010)、坂田・中澤(2010)、山元(2013a, 2016)に、同テフラの層厚分布は山元(2013a)にそれぞれ基づく。C：水戸周辺における地形分布と本研究の調査地点。地形面区分は鈴木(1989)を一部簡略化して作成。基図は地理院地図の陰影起伏図(国土地理院, 2024)を使用。

Fig. 1 Geomorphology and geology around the study area and location of the outcrops. A: Index map. Loc. A is the Off-Kashima core (MD01-2421) of Aoki *et al.* (2008). B: Geological map of the northern Kanto region. Geological information is modified after 1:200,000 seamless geological map (GSI, AIST, 2023). Location and classification of the Ag-KP are based on Suzuki (1990), Yoshikawa *et al.* (2010), Sakata and Nakazawa (2010) and Yamamoto (2013a, 2016). Contour of thickness of the Ag-KP is based on Yamamoto (2013a). C: Detail geomorphological classification map around the Mito district. Geomorphological classification is modified after Suzuki (1989). The base map is a shaded relief map of the GSI maps (GSI, 2024).

2011; 山元, 2013a, b, 第2図)。坂本(1972)や坂本ほか(1981)は、中位段丘面の主要な構成層として見和層を定義したが、その後、複数の氷期・間氷期サイクルに対応する地層の複合体である可能性が高いことが指摘された(鈴木, 1989; 大井・横山, 2011など)。さらに、山元(2013b)は、見和層を含む東茨城台地の第四系地下地質について、分布や堆積環境、火山灰層序を詳しく検討し、当該地域の層序を示した(後述、第2図)。

本地域を含む北関東周辺における重要な指標テフラのひとつとして、赤城火山を給源とする赤城鹿沼テフラ(鹿沼降下軽石; 阿久津, 1955, 以下ではAg-KPと略す)がある。Ag-KPの噴出年代は鹿島沖海底ボーリングコア(MD01-2421, 第1図AのLoc. A)の解析から 44.2 ± 4.5 kaとされており(青木ほか, 2008)、低位段丘面より古い段丘面を覆うローム層中に認められる(鈴木, 1989)。Ag-KPは複数の岩相ユニットからなることが示されており、降下軽石層が基底部ユニットと主部ユニットに細分される可能性も指摘されている(坂田・中澤, 2010)。これらのAg-KP構成層の細分は、赤城火山の噴火イベントの経時変化を解明するためにも重要であり、さらなるデータの蓄積が必要である。

本研究では、水戸周辺の上部～中部更新統の露頭でみられたAg-KPを含むテフラや堆積相について報告する。さらに、露頭でみられた堆積物の層序学的な位置づけについて検討するとともに、上述したAg-KPに関する課題も考慮し、Ag-KPの細分とその意義について予察的な考察を加えた。

2. 地域概観

2.1 東茨城台地の地形・層序

水戸周辺における東茨城台地北東部の地形面や上部～中部更新統の層序に関しては、これまでに大倉(1955)、斎藤(1956, 1959)、坂本(1972, 1975)、坂本ほか(1972, 1981)、鈴木(1989)、横山ほか(2001)、大井・横山(2011)、大井ほか(2013a, b)、山元(2013b)などの研究がある。坂本(1972)および坂本ほか(1972, 1981)は、斎藤(1956, 1959)によって定義された「見和層」を検討し、東茨城台地および那珂台地を構成する海成層を主体とする堆積物を「見和層」として再定義した(第2図)。坂本(1972)および坂本ほか(1972)は、見和層全体をMIS6～5期の海進・海退に対応する堆積物と解釈し、層相の違いに基づき上部(砂質)・中部(砂～礫質)・下部(泥質)に細分した。また、鈴木(1989)は見和層中部をMIS6頃に堆積したと解釈するとともに、同層中に真岡軽石(MoP)が挟在することを報告した。横山ほか(2001)や大井・横山(2011)は堆積相解析などに基づき、見和層中に2回の海進・海退サイクルが存在する可能性を示し、同層を下総層群木下層に対比した。鈴木(1989)や大井・横山(2011)は、上述したMoPを含む複数のテフラに基づき当該地域の層序を示したが、山元(2013b)はその多くが二次堆積物であり、層序区分に問題があることを指摘した。山元(2007)はMoPを飯土火山起源のテフラ(飯土真岡Ij-MO; 約220 ka)に対比するとともに、海浜性堆積物が含まれることから見和層中部が海面上昇期～高海面期の堆積物であることを示した。さらに、山元(2013b)は露頭観察や多数のボーリング資料、火山灰分析に基づき水戸地域における第四系地下層序を詳細に検討し、見和層とその下位の笠神層(坂本ほか, 1981)を再区分し、従来の見和層中部を茨城層と夏海層に再編するとともに、見和層下部の一部を笠神層に含めた。見和層はラビンメント面を境として上部・下部に細分され、下部は低海水準期の埋没河谷を充填した泥質～砂質堆積物から、上部は砂質堆積物からそれぞれ構成される(山元, 2013b)。また、夏海層はMIS7後半に、笠神層はMIS7前半にそれぞれ堆積したと推定されている。

見和層の上位には、山元(2013b)が「茨城層」として定義した古那珂川水系の礫質網状河川堆積物である砂礫とそれを覆う火山灰質の砂～泥質堆積物が分布する。茨城層上部の砂～泥質堆積物は、坂本ほか(1981)や鈴木(1989)の「茨城粘土層」、大井・横山(2011)の「常総層」

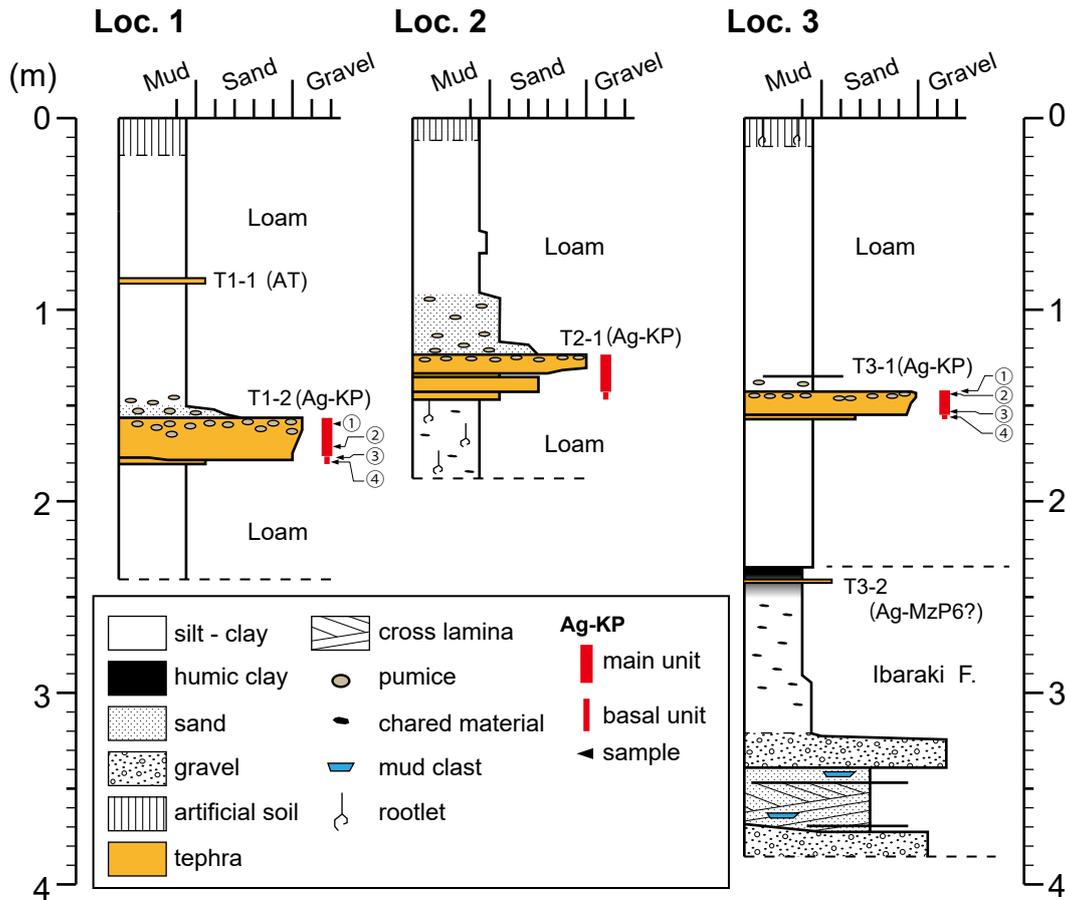
に対比される。本研究では、山元(2013b)でも指摘されている地層命名規約上の問題点も考慮し「茨城層」を用いる。茨城層上部には御岳第一軽石(On-Pm1; 約100 ka)、鬼界葛原テフラ(K-Tz; 約95 ka)が挟在する(第2図; 鈴木, 1989; 大井・横山, 2011; 山元, 2013a)。那珂川および沼沼川沿いには、東茨城台地よりも低位の段丘面が複数発達する(小池, 1961; 坂本・野間, 1969; 早川・勝村, 1982; 鈴木, 1989)。比較的広く発達する段丘面として、上位から順に上市面、塩ヶ崎面、谷田面の3面が分布する(第1図C, 坂本・野間, 1969; 鈴木, 1989)。これらの段丘構成層を覆うローム層中にはAg-KPが認められ(鈴木, 1989)、上市面ではAg-KPの下位に赤城水沼2テフラ(Ag-MzP2)が認められている(山元, 2013b)。早川・勝村(1982)はAg-KP以降に形成された段丘面を5面に区分しており、その一部は下流域で沖積低地に埋没する(坂本ほか, 1972)。

2.2 Ag-KPの層序

Ag-KPは、後期更新世に赤城火山で発生したプリニー式噴火によって噴出した軽石を主体とする堆積物である(山元, 2013a)。赤城火山は約50万年前に火山活動を開始し、約3万年前にマグマ活動を終えているとされており、Ag-KPはその噴火活動史の末期(中央火口丘形成期; 守屋, 1968)に発生した噴火とされる(守屋, 1968, 1970; 竹本, 1998; 高橋ほか, 2012; 山元, 2016)。山元(2013a)は堆積物の層厚分布(第1図B)から、Ag-KPの降下火砕物堆積物の最小体積を約5 km³(岩石換算で約2 km³ DRE, Legros, 2000の簡便法により算出)と推定している。噴出量は約25.9 km³と推定されている(鈴木, 1993)。

Ag-KPの模式層序は、下位から順に降下軽石層、降下火山灰層(Ag-KP(a); 南里・鈴木, 2016)、赤城清水石質テフラ(Ag-SLT; 南里・鈴木, 2016、水沼石質降下火砕岩(CLP; 守屋, 1968)を再定義)であり(鈴木, 1990; 南里・鈴木, 2016)、場所によってはその上位に泥石流堆積物(赤城沖門泥石流, OMf)を載せる(竹本, 1998)。

従来、降下軽石層からAg-SLTに至る噴火イベントは一連の噴火イベントで堆積したと解釈されてきたが(鈴木, 1990)、ローム層が挟在することからAg-KP(a)とAg-SLTの間に一次的な休止期が存在した可能性も指摘されている(南里・鈴木, 2016)。OMfは赤城火山の北～西方に局在し、一連の噴火イベント後に沼尾川・赤城川を流下した泥石流によって堆積したと推定されている(竹本, 1998)。また、降下軽石層は、赤城火山近傍の露頭(第1図B中のLoc. B)において、粒径や構成鉱物の屈折率の違いから基底部ユニットと主部ユニットに細分される可能性が示されている(坂田・中澤, 2010)。分布南縁のAg-KPでは逆級化層理が顕著で、基底部に成層した火山灰層を伴うとされているが(坂本ほか, 1981; 山元, 2013a, 2016),



第3図 露頭柱状図. 各調査地点の位置は第1図Cに示す.

Fig. 3 Columnar sections of outcrops. Location of the outcrops are shown in Fig. 1C.

この特徴は分布域の北側 (例えば, 吉川ほか, 2010; 細井・古澤, 2023) では管見の及ぶ限り報告されていない(第1図B). 山元 (2013a) の示したAg-KPの層厚分布を参照すると, 分布南縁で等値線が東南東方向にやや張り出す形状を示し, 水戸地域周辺では概ね30-50 cm程度とされる(第1図B).

3. 試料・方法

東茨城台地上に位置する計3地点 (Loc. 1~3, 第1図C) の露頭において, ローム層および段丘構成層を観察し, 火山灰質あるいは降下軽石からなる層準(テフラ層準)から分析用試料を採取した. 採取した試料は室内において, 篩目0.063 mmのメッシュクロス上で水洗し泥分を除去した後, 恒温乾燥機内で乾燥させた. 実体顕微鏡を用いて重鉍物組成を定性的に把握するとともに, 火山ガラス, 直方輝石, 普通角閃石が含まれる場合はそれらの屈折率を測定した. 屈折率は, 産総研の所有するMAIOT (古澤地質製; 古澤, 1995, 測定精度 ± 0.001)を用いて測定した.

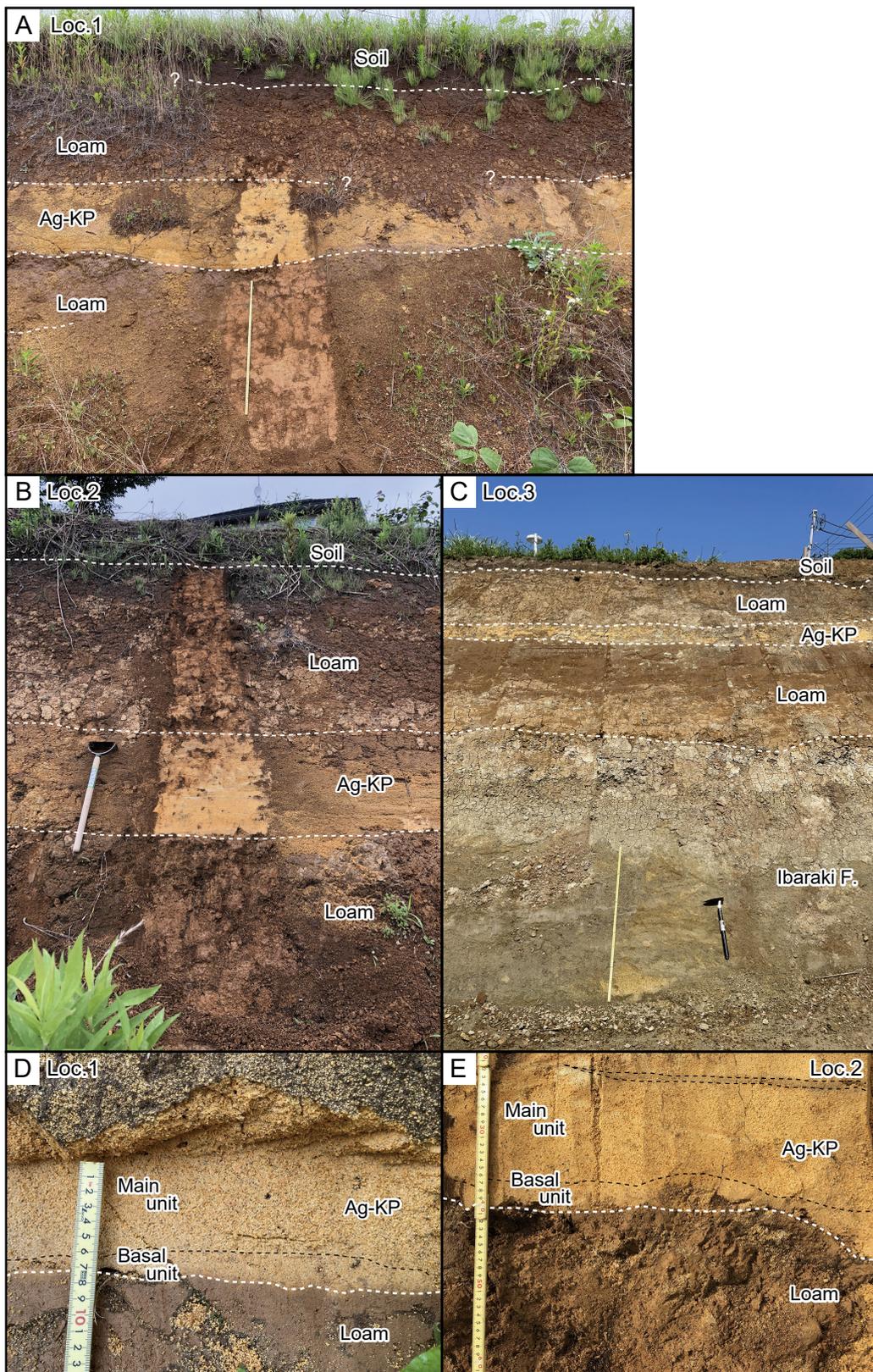
また, 露頭で観察された堆積物の層序学的位置づけを検討するため, ジオ・ステーション(防災科学技術研究所, 2024)で公開されている既存ボーリング資料(xml形式)を収集し, ボーリング柱状図解析システム(木村, 2011)を用いて断面図を作成した.

4. 結果

4.1 Loc. 1

位置: Loc. 1は笠間市柏井の友部ジャンクション南東に位置する(第1図C). 赤城火山からは東方(N104°E)に約107 kmに位置する. 本地点の標高は約30 mで, 鈴木(1989)の東茨城台地, 大井ほか(2013a)の常陸台地下位面に位置する.

層相: 地表から約2.4 mの堆積物を観察できる(第3図, 第4図A). 褐色を呈するロームがみられ, 段丘構成層(木下層剣尺部層; 大井・横山, 2011; 大井ほか, 2013a, b または見和層; 山元, 2013b)には到達していない. 最上部の約20 cmは腐植物に富む極細粒砂混じりシルトからなる土壌が分布する. 最上部の土壌の一部は, 近年の



第4図 露頭写真。露頭の位置および柱状図は第1図C、第3図をそれぞれ参照。AおよびC中の折れ尺(黄色)は1m、B中の鎌の長さは約53cm。

Fig. 4 Photographs of outcrops. Location and columnar sections of outcrops are shown in Figs. 1C and 3 respectively. Yellow colored scale in A and C is 1 m long. A small hoe in B is about 53 cm long.

造成によって失われている可能性がある。地表から約0.84 mのローム層中には、上下の地層境界は不明瞭ながら、極細粒砂が顕著に多く混じるテフラ層準 (T1-1) が認められた。地表から約1.57–1.82 mには、色調の違いから容易に判別可能なテフラ層準 (T1-2) が認められる。この火山灰層の大部分は明黄褐色を呈する極粗粒砂～細礫サイズの軽石からなり、軽石は上方粗粒化傾向を示す。軽石は著しく風化しており、ねじり鎌で容易に切断できる。T1-2最下部には層厚1–2 cm程度の細粒層 (基底部ユニット) が認められ、鈍黄色を呈する極細粒～細粒砂からなり、上位の軽石層 (主部ユニット) と区別される (第4図D)。基底部ユニットは明瞭な地層境界を介してローム層を覆う。他方、火山灰層の直上約5 cmはやや火山灰質のロームで、下位から混入したと推定される軽石が多く混じり、地層境界はやや不明瞭である。

屈折率: 上述した2層のテフラ層準 (T-1, T-2) からそれぞれ試料を採取した。T1-1ではバブルウォール型あるいは軽石型の火山ガラスが多量に含まれており、直方輝石および普通角閃石をわずかに伴う。それぞれの屈折率は、火山ガラスが1.498–1.504 (n=58, モード値1.500)、直方輝石が1.693–1.713 (n=41, モード値1.702)、角閃石が1.666–1.683 (n=33, モード値1.673) であった (第1表)。一方、T1-2からは計4試料 (上位から順にT1-2①～④と呼ぶ) を採取した。それぞれ地表から約1.60 m, 約1.72 m, 約1.78 m, 約1.81 mの層準で、T1-2③および④は基底部ユニットに該当する。いずれの試料でも直方輝石、普通角閃石が含まれる反面、火山ガラスは認められない。直方輝石の屈折率は、T1-2①が1.697–1.714 (n=43, モード値1.706)、T1-2②が1.699–1.710 (n=35, モード値1.709)、T1-2③が1.694–1.706 (n=39, モード値1.702)、T1-2④が1.692–1.709 (n=49, モード値1.698) であった (第1表)。普通角閃石の屈折率は、T1-2①が1.666–1.680 (n=47, モード値1.674)、T1-2②が1.671–1.678 (n=40, モード値1.673)、T1-2③が1.671–1.682 (n=45, モード値1.674)、T1-2④が1.670–1.681 (n=49, モード値1.677) であった (第1表)。

4.2 Loc. 2

位置: Loc. 2は水戸市酒門町の県道235号線バイパス沿いに位置し、赤城火山からみて東方 (N101°E)、約119 kmの位置にある (第1図C)。本地点の標高は約29 mで、鈴木 (1989) の東茨城台地、大井ほか (2013a) の常陸台地上位面に位置する。

層相: 地表から約1.9 mの堆積物を観察できた (第3図、第4図B)。全体に褐色あるいは明褐色を呈するロームがみられ、段丘構成層 (常総層、木下層剣尺部層または見和層) には到達していないと推定される。最上部の約15 cmは土壌である。本地点では、地表から約1.23–1.47 mに明褐色～黄白色を呈する明瞭なテフラ層準 (T2-1) が認められる。このテフラ層準は明瞭な地層境界を介して

ローム層を覆う。テフラ層準の上端はやや不明瞭で、火山灰層直上の5–10 cmは火山灰や軽石が混じり、上方に細粒化する。さらに詳細にみると、本テフラ層準は2層に細分される。基底には層厚1–2 cmで、極細粒砂からなる細粒層 (基底部ユニット) が認められる。その上位には、明褐色を呈し、中粒砂サイズの軽石を主体とする層厚約10–12 cmのやや粗粒な層準 (主部ユニット) が認められる。この層準は、主に極粗粒～細礫サイズの軽石からなり、上方粗粒化を示す層厚約12 cmの主部ユニットによって覆われる。主部ユニットの基底には、場所によってレンズ状に極細粒砂からなる細粒層準を挟むことがある (第4図E)。含まれる軽石は著しく風化している。テフラ層準より下位は、テフラ層準上位のローム層に比べてやや腐植質で、植物根痕や炭化物の混じるシルトから構成される。この層準では堆積構造が認められないことや、珪藻化石が含まれないことから、常総層 (大井・横山, 2011) あるいは茨城層 (山元, 2013b) ではなく、ローム層の可能性が高いと解釈される。

4.3 Loc. 3

位置: Loc. 3はLoc. 2の約260 m東側に位置する (第1図C)。Loc. 2と同様に、赤城火山の東方 (N101°E)、約119 kmに位置し、鈴木 (1989) の東茨城台地、大井ほか (2013a) の常陸台地下位面に位置する。地表面の標高は約27.5 mである。

層相: 本地点では地表から約3.9 mの堆積物が露出し、ローム層と段丘構成層 (常総層および木下層剣尺部層; 大井・横山, 2011; 大井ほか, 2013a, b, または茨城層および見和層; 山元, 2013b) が観察できた (第3図、第4図C)。ローム層は地表から約2.35 mまで認められ、褐色あるいは茶褐色を呈するシルトから構成される。最上部の約5–10 cmは土壌化している。ローム層中の地表から約1.47–1.56 mには白色あるいは褐色を呈する明瞭なテフラ層準 (T3-1) が認められる (第4図C)。本テフラ層準は明瞭な地層境界を介して、下位のローム層を覆う。テフラ層準の直上のローム層中には下位から混入したと推定される軽石が認められ、ところどころ軽石混じりの極細粒砂～細粒砂の砂層がレンズ状に挟在する。詳細にみると、本テフラ層準は2層に細分される。テフラ層準基底の約1–2 cmは、極細粒砂サイズの火山灰 (基底部ユニット) が認められる。一方、その上位には層厚約7–9 cmで粗粒砂～極粗粒砂サイズの軽石を主体とし、上方粗粒化を示す粗粒層 (主部ユニット) が認められる。軽石は著しく風化している。ローム層の下位には灰白色を呈する塊状の粘土層が認められる。粘土層中には植物根痕が多数認められ、最上部の約10 cmは腐植質で暗灰色を呈する。これは色調や粒度が明らかに異なることからローム層ではないと考えられ、茨城層に対比される可能性が高い。茨城層中の上端から約6 cmには白色を呈する極細粒

第1表 露頭および既存研究で示されたテフラの特徴。Locs. 1～3およびLoc. A, Loc. B, Locs. E～Kの位置は第1図に示す。Locs. 1～3とLoc. Bのユニット区分は第3図および第6図を参照。

Table 1 Lithologic features and refractive index of tephra layers found in outcrops and reported by previous studies. Location of Locs. 1 to 3, A, B and E to K are shown in Fig. 1. Sedimentary units of Locs. 1 to 3 and B are shown in Figs. 3 and 6.

District	Loc.	Positional relationship of Akagi Volcano	tephra	Horizon	Upward-coarsening	Unit	Thickness sample No.	grain size	Refractive indices				Reference		
									basal layer	fine-grain layer	shape	glass shards (n)		orthopyroxene (v)	hornblende (tz)
		Orientation					(cm)		range (mode)	N	range (mode)	N	range (mode)	N	
Kasama	1	N101°E	AT	T1-1	—	—	23	vis	1.498-1.504 (1.500)	58	1.693-1.713 (1.702)	41	1.666-1.683 (1.673)	33	This study
			Ag-KP	T1-2	yes	Main	①	ves-granule	n.d.	1.697-1.714 (1.706)	43	1.666-1.680 (1.674)	47		
							②	pm	n.d.	1.699-1.710 (1.709)	35	1.671-1.678 (1.673)	40		
							③	vis-fs	n.d.	1.694-1.706 (1.702)	39	1.671-1.682 (1.674)	45		
				④	pm	n.d.	1.692-1.709 (1.698)	49	1.670-1.681 (1.677)	49					
Mito	2	N101°E	Ag-KP	T2-1	yes	Main	22-23	ves-granule	n.d.	1.705-1.711 (1.708)	22	1.669-1.680 (1.673)	42	This study	
							Basal	1-2	vis-fs	n.d.	1.700-1.708 (n.d.)	7	1.675-1.683 (1.679)		32
Of-Kashima	A	N104°E	Ag-KP	T3-1	yes	Main	7-9	ves-granule	pm	n.d.	1.701-1.717 (1.713)	22	1.669-1.676 (1.673)	36	This study
							②	pm	n.d.	1.703-1.708 (1.705-1.706)	1.668-1.677 (1.673-1.675)	41			
							③	cs-ves	pm	n.d.	1.703-1.708 (1.705-1.706)	1.672-1.679	41		
Ashio	B	N129°E	Ag-KP	T3-2	—	Basal	5	vis	n.d.	1.701-1.713 (1.707)	30	1.675-1.686 (1.683)	41	Machida & Arai (2003)	
							②	pm	n.d.	1.704-1.710 (1.708)	1.670-1.679 (1.671)				
Kiryu & Ashikaga	F	N144°E	Ag-KP	—	unknown	—	132	<1.4 cm	pm	1.504-1.509	n.d.	1.671-1.678 (1.673-1.675)	—	Aoki et al. (2008)	
							①	2-50 mm	pm	n.d.	1.705-1.710 (1.708-1.709)	1.687-1.676 (1.672-1.675)	—		
Utsunomiya	G	N89°E	Ag-KP	>150	no	unknown	—	<1.4 cm	pm	1.504-1.508	n.d.	1.672-1.677	—	Sakata & Nakazawa (2010)	
							②	pm	n.d.	1.704-1.710 (1.708)	1.670-1.679 (1.671)	—			
Hitachi-Oniwa	K	N78°E	Ag-KP	—	unknown	—	14	<0.3 cm	pm	1.503-1.505	n.d.	1.675-1.679	—	Suzuki (1990)	
							③	pm	n.d.	1.704-1.707	1.674-1.692	—			
Makabe	H	N80°E	Ag-KP	—	unknown	—	49	<1.7 cm	pm	n.d.	n.d.	1.671-1.677	—	Yamamoto (2013a)	
							④	pm	n.d.	1.706-1.709	1.673-1.680	—			
Ishioaka	I	N110°E	Ag-KP	—	unknown	—	14	<0.3 cm	pm	1.503-1.505	n.d.	1.671-1.677	—	Hosoi & Furusawa (2023)	
							⑤	pm	n.d.	1.702-1.711 (1.706-1.711)	1.676-1.681	—			
Isohama	J	N92°E	Ag-KP	—	unknown	—	<60	1-5 mm	pm	n.d.	n.d.	1.671-1.677	—	Machida et al. (1984)	
							⑥	pm	n.d.	1.702-1.711 (1.706-1.711)	1.676-1.681	—			
Nakaminato	M	N101°E	Ag-KP	—	unknown	—	<60	1-2 mm	pm	n.d.	n.d.	1.671-1.677	—	Miyazaki et al. (1996)	
							⑦	pm	n.d.	1.702-1.711 (1.706-1.711)	1.676-1.681	—			
—	—	—	Ag-UP	—	unknown	—	<20	—	pm	n.d.	n.d.	1.671-1.677	—	Sakamoto et al. (1981)	
							⑧	pm	n.d.	1.700-1.705 (1.702)	1.675-1.679	—			
—	—	—	Ag-Og	—	unknown	—	—	—	pm	n.d.	n.d.	1.671-1.677	—	Sakamoto et al. (1972)	
							⑨	pm	n.d.	1.707-1.713	1.675-1.679	—			
—	—	—	Ag-Nm1	—	unknown	—	—	—	pm	n.d.	n.d.	1.671-1.677	—	Machida & Arai (2003)	
							⑩	pm	n.d.	1.705-1.711 (1.706-1.710)	1.676-1.681	—			
—	—	—	Ag-Nm2	—	unknown	—	—	—	pm	n.d.	n.d.	1.671-1.677	—	Hosoi & Furusawa (2023)	
							⑪	pm	n.d.	1.703-1.711 (1.706-1.711)	1.676-1.681	—			
—	—	—	Ag-Mz1	—	unknown	—	—	—	pm	n.d.	n.d.	1.671-1.677	—	Miyazaki et al. (1996)	
							⑫	pm	n.d.	1.702-1.711 (1.706-1.711)	1.676-1.681	—			
—	—	—	Ag-OK	—	unknown	—	—	—	pm	n.d.	n.d.	1.671-1.677	—	Sakamoto et al. (1975)	
							⑬	pm	n.d.	1.705-1.710	1.682-1.687	—			
—	—	—	Ag-MzP6	—	unknown	—	—	—	pm	n.d.	n.d.	1.671-1.677	—	Sakamoto et al. (1972)	
							⑭	pm	n.d.	1.702-1.711 (1.706-1.711)	1.676-1.681	—			
—	—	—	Ag-MzP8a	—	unknown	—	—	—	pm	n.d.	n.d.	1.671-1.677	—	Machida & Arai (2003)	
							⑮	pm	n.d.	1.702-1.711 (1.706-1.711)	1.676-1.681	—			
—	—	—	Ag-MzP8b	—	unknown	—	—	—	pm	n.d.	n.d.	1.671-1.677	—	Yoshikawa et al. (2010)	
							⑯	pm	n.d.	1.705-1.710	1.672-1.683	—			
—	—	—	KL17	—	unknown	—	—	—	pm	n.d.	n.d.	1.671-1.677	—	Machida & Arai (2003)	
							⑰	pm	n.d.	1.705-1.710	1.668-1.679 (1.671-1.674)	—			
—	—	—	Ag-MzP9,10	—	unknown	—	—	—	pm	n.d.	n.d.	1.671-1.677	—	Machida & Arai (2003)	
							⑱	pm	n.d.	1.703-1.710 (1.705-1.709)	1.668-1.679 (1.671-1.674)	—			
—	—	—	ArP	—	unknown	—	—	—	pm	n.d.	n.d.	1.671-1.677	—	Ooi & Yokoyama (2011)	
							⑲	pm	n.d.	1.701-1.712	1.671-1.679	—			

砂からなるテフラ層準 (T3-2) が認められる。その下位には、灰白色を呈し、細礫層と砂層の互層が認められる。細礫層は淘汰が悪く、径2-4 mm程度の細礫を主体とし、粘土～シルト混じり細粒砂が混じる。また、砂層はシルト混じり細粒砂～中粒砂を主体とし、斜交葉理が発達する。ところどころに粘土礫が混入する。層相から、本地点でみられた茨城層は河川性堆積物の可能性が高く、河川チャンネル堆積物とそれを覆う放棄河道あるいは後背湿地堆積物であると解釈される。下端に到達していないため本地点における茨城層の層厚は不明で、少なくとも0.6 m以上である。

屈折率組成：T3-1からは計4試料 (上位から順にT3-1①～④) を採取した。それぞれ地表から約1.44 m, 約1.48 m, 約1.54 mおよび約1.56 mに位置し、T3-1④は基底部ユニットに該当する。いずれの試料でも直方輝石、普通角閃石が含まれる反面、火山ガラスはほとんど認められない。直方輝石の屈折率は、T3-1①が1.705-1.711 (n=22, モード値1.708), T3-1②が1.700-1.708 (n=7), T3-1③が1.701-1.717 (n=22, モード値1.713), T3-1④が1.693-1.712 (n=50, モード値1.707)であった (第1表)。他方、普通角閃石の屈折率は、T3-1①が1.671-1.678 (n=30, モード値1.674), T3-1②が1.675-1.683 (n=32, モード値1.679), T3-1③が1.669-1.676 (n=36, モード値1.673), T3-1④が1.671-1.686 (n=29, モード値1.681)であった (第1表)。一方、T3-2には直方輝石が多く含まれ、普通角閃石をわずかに伴う。火山ガラスは含まれない。屈折率は直方輝石が1.701-1.713 (n=30, モード値1.707), 普通角閃石が1.675-1.686 (n=41, モード値1.683)であった (第1表)。

5. 予察的考察

5.1 テフラの対比

本研究で観察したいずれの露頭においても、ローム層中に明瞭な火山灰層 (T1-2, T2-1, T3-1) が確認された。その層厚は約9-25 cmであり、逆級化する極粗粒砂～細礫サイズの軽石層を主体とし、基底部に極細粒～細粒砂サイズの細粒層 (基底部ユニット) を伴う。重鉱物として普通角閃石と直方輝石を多く含む。中位段丘面を覆うローム層中にみられることから最終間氷期以降に噴出したことは確実であり、粒度や層厚、鉱物組成などを考慮すると、本火山灰層はAg-KPに対比される可能性が極めて高い (第1表)。既存研究による報告を参照すると、Ag-KPの重鉱物の屈折率は、直方輝石が1.704-1.711, 普通角閃石が1.671-1.680とされている (町田ほか, 1984; 宮崎ほか, 1996; 青木ほか, 2008; 吉川ほか, 2010; 坂田・中澤, 2010; 山元, 2013a)。本研究では、直方輝石の屈折率が低いものが含まれるものの (後述)、モード値は概ね従来研究と調和的であり (第1表)、上記の解釈を支持する。

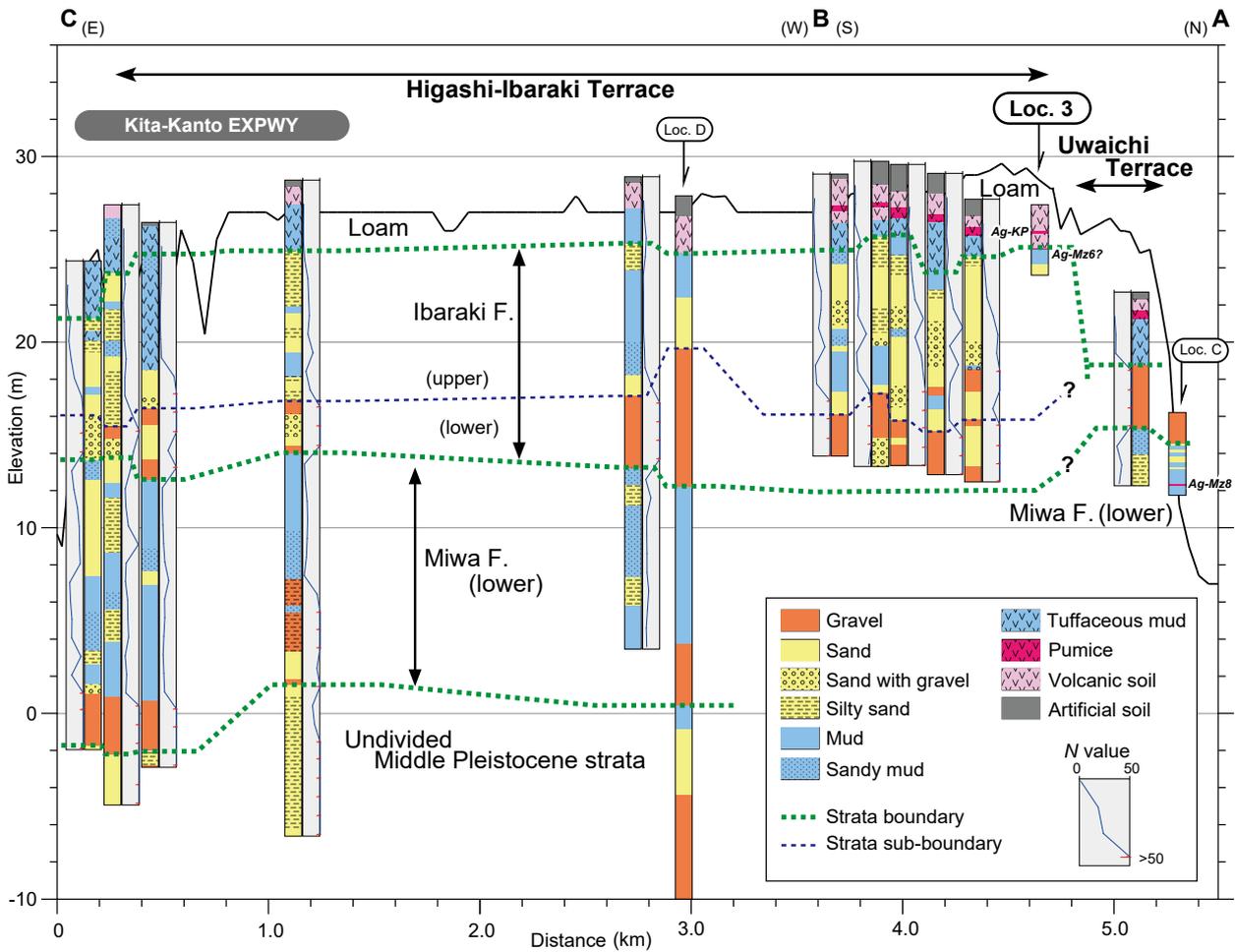
Loc. 1でのみ確認されたT1-1は、細粒砂サイズの火山

灰層で、バブルウォール型あるいは軽石型の火山ガラスを豊富に含むことから、遠方から飛来した広域テフラであると推定される。Ag-KPよりも上位に位置することを考慮すると、約44 ka以降のMIS3～2に噴出したテフラである可能性が高い。この時期に噴出した広域テフラのなかで、火山ガラスの屈折率が調和的であることから、T1-2は始良丹沢テフラ (AT; 29,428-30,148 cal BP, Smith *et al.*, 2013) に対比されると考えられる (第1表)。T1-1中では普通角閃石および直方輝石が含まれるが、これらはATの屈折率とは調和的でなく、Ag-KPのそれと重複する (第1表)。このため、T1-1はATを主体とし、二次的に堆積したAg-KPが混在している可能性が高い。

Loc. 3で確認されたT3-2は、Ag-KPよりも下位に位置することから、少なくとも44 kaよりも古い火山灰に対比されることは確実である。T3-2はAg-KPと類似する特徴を示すが、粒径が小さく、層厚が薄いことから、Ag-KPよりも小規模な噴火あるいは遠方の火山の噴火に伴う噴出物であることが示唆される。普通角閃石の屈折率がAg-KPよりもやや高く、1.680-1.686にピークを持つことが特徴である。これらの特徴に合致するテフラとしては、赤城追貝テフラ (Ag-OK)、赤城水沼6テフラ (Ag-MzP6, 約100 ka; 山元, 2013a)、赤城水沼8テフラ (Ag-MzP8) が考えられる (第1表)。このうちAg-OKは赤城火山から北北東方向に降下しており (鈴木ほか, 1995)、水戸地域では報告例がない。このため、Ag-OKに対比される可能性は低いと考えられる。Loc. 3の約0.7 km北側 (第1図CのLoc. C) では、茨城層下部の砂礫層の下位に見和層に対比される泥質堆積物が認められ、そのなかに再堆積したAg-MzP8が挟在することが報告されている (山元, 2013b, 第5図)。Loc. 3では厚い砂礫層は認められないため、T3-2はそれよりも上位の茨城層中に含まれると考えられる。従って、Ag-MzP8に対比される可能性も低いと考えられる。以上から、T3-2はAg-MzP6に対比するのが最も妥当であろう (第3図)。Ag-MzP6は赤城火山から東北東～東方に降下したと推定され (山元, 2013a)、水戸地域周辺に分布することに問題はない。また、茨城層およびその相当層にはOn-Pm1やK-Tzが挟在することが報告されているが (鈴木, 1989; 大井・横山, 2011; 山元, 2013b)、Ag-MzP6はこれらと同様にMIS5cに噴出したテフラ (山元, 2013a) であり、層位的にも矛盾しない。

5.2 東茨城台地北東縁の地下地質

第2章第1節で述べたように、東茨城台地の地形区分や地下地質層序は研究者間で見解の相違がある。本研究のLoc. 3に着目すると、鈴木 (1989) が東茨城台地 (形成時期: MIS5e～5c)、吉岡ほか (2001) がtm1面 (形成時期: 見和層堆積期=MIS5e)、大井ほか (2013a) が常陸台地上位面 (形成時期: MIS5e)、山元 (2013b) がtm2面 (形成時期: MIS5c) としている。



第5図 測線A-B-Cにおける地下地質分布。ジオ・ステーション(防災科学技術研究所, 2024)のボーリング資料および既存研究の柱状図(Loc. C; 山元, 2013b; Loc. D; 坂本, 1975)に基づいて作成。測線およびボーリング資料の位置は第1図Cに示す。

Fig. 5 Columnar sections of subsurface geology along the A-B-C section. Borehole data are based on the Geo Station (NIED, 2024) and previous studies (Loc. C, Yamamoto, 2013b; Loc. D, Sakamoto, 1975). Location of the section and borehole data are shown in Fig. 1C.

Loc. 3では、ローム層中に明瞭なAg-KP(約44 ka)が認められ、ローム層の下位には河川チャネル堆積物とそれを覆う放棄河道あるいは後背湿地堆積物と推定される茨城層の一部が認められた。前節で議論したように、その最上部の泥質層準中には、Ag-MzP6の可能性を示すテフラが挟在する。このことから、少なくともLoc. 3においては、MIS5c期に河川の影響を受ける環境下で土砂が堆積していたことが示唆される。これは、地下層序に関しては山元(2013b)の推論を、地形区分に関しては鈴木(1989)の推論の一部をそれぞれ支持するものである。

上記の解釈もふまえ、東茨城台地東北端部の測線A-B-Cにおける断面図(第5図)を作成し、地下地質分布について予察的に検討する。本測線は上市面と東茨城台地を北西~南東方向に横切る(第1図C)。資料としては、Loc. 3および既存ボーリング資料に加え、山元(2013b)

のLoc. 5(第1図CのLoc. C)、坂本ほか(1975)の地点I(第1図CのLoc. D)の柱状図も参照し、断面に投影して示した。

東茨城台地では、Loc. 3でも確認されたローム層および茨城層が広域に分布する。茨城層は大きく上下2層に細分され、上部は標高15~25 m付近に、下部は標高12~15 m付近に分布する(第5図)。茨城層上部は砂泥質~砂質堆積物を主体とし、泥質な層準では概ねN値10以下を示す。一方、茨城層下部は、山元(2013b)で指摘されているように、N値40~50以上に達する砂礫質~礫混じり砂質堆積物からなり、「茨城古那珂川(I-PN)」(山元, 2013b)の埋没河谷の充填堆積物に相当すると推定される。茨城層よりも下位には、層厚10~15 m程度の泥質~砂泥質堆積物が分布し、その下位には砂礫質~砂質堆積物が分布する。これらの堆積物は断面図の東端(北関東道周辺; 第1図C)において顕著に認められ、山元(2013b)を

参照すると見和層下部と解釈される。泥質な層準はN値10–15程度と茨城層より締まっているが、固結していない。泥質～砂泥質堆積物は断面図北端のLoc. Cにも分布する(山元, 2013b)。また、砂礫質～砂質堆積物は標高0–4 m付近よりも下位に分布し、山元(2013b)の「見和古澗沼川(M-PH)」の埋没河谷を充填した堆積物に対比されると推定される。標高–5–0 m付近よりも下位にみられる地層は、N値50以上の固結する砂泥質堆積物を含むことから、山元(2013b)の地層区分が「未区分更新統」とした笠神層よりも古い堆積物である可能性が高いと考えられる。

断面図北端では、見和層下部の上位に層厚3–5 m程度の砂礫層が分布する。山元(2013b)では、Loc. Cで確認された見和層下部を覆う砂礫層を茨城層の一部と解釈しており、この砂礫層に対比される可能性が示唆される。ただし、坂本ほか(1972)や早川・勝村(1982)が断面図北端の平坦面を上市面と解釈していることや、砂礫層の南方への連続性がやや悪いことを考慮すると、この砂礫層の一部に上市面を構成する河川堆積物が含まれる可能性もある。

5.3 Ag-KPの細分

Ag-KPは複数層準に細分され、特に、基底部に細粒層(基底部ユニット)が存在する可能性が指摘されている。坂田・中澤(2010)は赤城火山の南東約10 kmの桐生市黒保根町水沼の露頭(第1図B中のLoc. B)におけるAg-KPの層相および記載岩石学的特徴について報告し、細礫～中礫サイズの軽石を主体とする主部ユニット(層厚約100 cm)と、その粗粒砂～極粗粒砂サイズで上位よりも細粒な軽石を主体とする基底部ユニット(層厚約5 cm)に区分している。両ユニットにおける重鉱物の屈折率は、普通角閃石がいずれも1.670–1.676の範囲に入るのに対して、直方輝石はユニットによって差異が認められる。主部ユニットでは1.704–1.710(モード値:1.708)であるのに対して、基底部ユニットでは1.703–1.708(モード値:1.705–1.706)で、ピークが0.002–0.003程度低くなる(第6図C)。

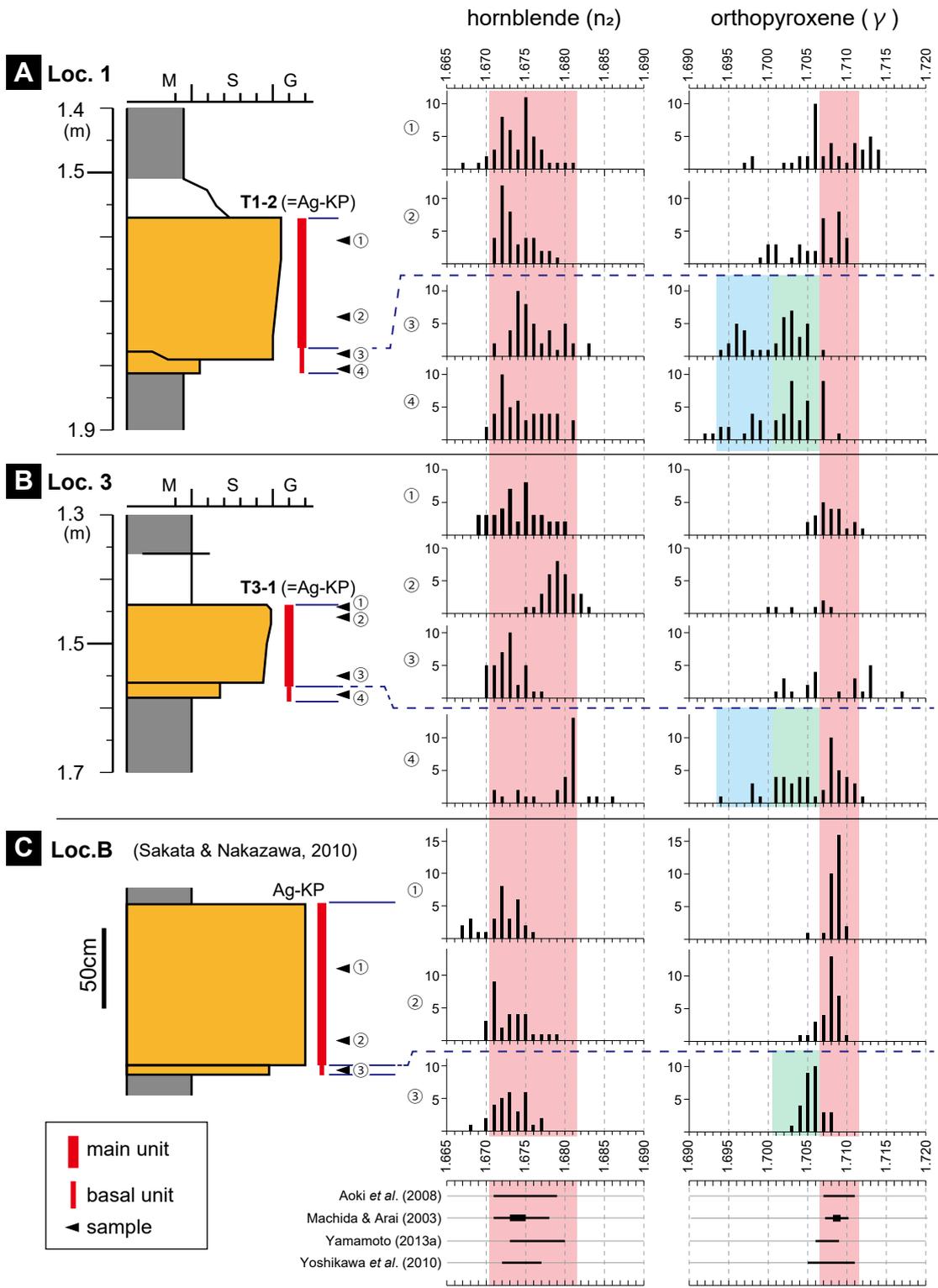
本研究のLoc. 1およびLoc. 3でもAg-KPは基底部に極細粒砂～細粒砂を主体とする基底部ユニットが認められ、直方輝石の屈折率は上位と異なる傾向を示す。すなわち、Loc. 1の主部ユニットでは1.706–1.716の屈折率を示すものが多いのに対し、基底部ユニットではそれよりも低い1.692–1.706の範囲に集中し、バイモーダルな分布を示す特徴がある(第6図A)。また、Loc. 3では、主部ユニットで1.706–1.713が多いのに対し、基底部ユニットではそれらに加えて1.701–1.705にもピークがみられる(第6図B)。一方、普通角閃石の屈折率は概ね1.670–1.681の範囲に含まれ、基底部ユニットと主部ユニットとで明らかな差異は認められない(第6図)。このように、本研究で

見出されたAg-KPでは、坂田・中澤(2010)と同様にユニット間で直方輝石の屈折率に差異が認められ、既報の屈折率(1.705–1.711:町田・新井, 2003;青木ほか, 2008;吉川ほか, 2010;山元, 2013a)に比べて低い値を示す点が共通するが、さらに低い屈折率(1.692–1.700)のものも多く含むという特徴がある。

坂田・中澤(2010)と本研究で認められたAg-KP基底の細粒層準は、赤城火山南西方向の複数地点で報告されている。例えば、赤城火山の南西麓では、上述した坂田・中澤(2010)(Loc. B)とLoc. G(山元, 2016のLoc. 17)で報告されている(第1図B, 第1表)。これらでは層厚100–130 cm程度の細礫～大礫サイズの軽石層を主体とするが、基底に数cmの粗粒砂～極粗粒砂サイズの粗粒火山灰層が堆積している。また、栃木県小山市のLoc. J(山元, 2013aのLoc. 19)で見出されたAg-KPは、層厚49 cm、細礫～中礫サイズの軽石層を主体とし、その基底部に粗粒砂からなる粗粒火山灰層の層準が記載されている(山元, 2013a, 第1図B, 第1表)。このような基底部の細粒層準は、宇都宮地域(Locs. H, Iなど, 吉川ほか, 2010)や鹿沼, 真岡, 高萩～日立地域(Loc. Kなど, 山元, 2006, 2013a)、常陸大宮地域(Loc. L, 細井・古澤, 2023;細井, 私信)では報告されておらず(第1図B, 第1表)、細粒分がなく極めて淘汰が良いとされている。層厚が薄く見落とされている可能性も排除しきれないが、上述した知見も含めて俯瞰すると、Ag-KP基底に細粒層を伴う地点は赤城火山の東南東～南東方向に偏っていると推定される(第1図B)。

赤城火山の東南東～南東方向では、基底部ユニットの存在に加えて、その上位の主部ユニットが上方粗粒化することも共通点として指摘できる(第1表)。この特徴は、赤城火山の近傍では顕著でないが、真壁地域付近よりも東方で顕著で、本研究のすべての露頭において確認できた。真壁地域および石岡地域では、基底部の細粒層の存否は不明であるものの、それぞれ1–5 mm, 1–2 mm程度の軽石を主体とし、上方粗粒化することが特徴として示されている(第1表, 宮崎ほか, 1996;坂本ほか, 1981)。なお、さらに東方の磯浜地域および那珂湊地域ではAg-KPの詳細な層相記載がなく、細粒層および上方粗粒化の存否は不明である(第1表, 坂本ほか, 1972;坂本, 1975)。

以上から、赤城火山の東南東～南東方向では、Ag-KPの層相や屈折率がそれ以外の地域と異なる可能性が示唆される。特に、基底部ユニットに、低屈折率の直方輝石を含む火山灰層が堆積することを特徴とする。山元(2013a)で示されたAg-KPの層厚分布(第1図B)をみると、分布城南縁で等層厚線が東方へ張り出すことが読み取れる。この等層厚線の張り出す方位は概ねN103°～104°E方向に軸を持ち、赤城火山の東南東～南東方向の基底に細粒層を伴う地点の分布と重複する。事例が少ないため



第6図 赤城鹿沼軽石 (Ag-KP) の直方輝石および普通角閃石の屈折率。Loc. Bは坂田・中澤 (2010) に基づき作成。各地点の調査位置は第1図に示す。ヒストグラム中の網掛けは屈折率の分布が集中する範囲を示す (赤色：既存研究，緑色および水色：本研究)。

Fig. 6 Refractive index of orthopyroxene and hornblende obtained from the Ag-KP. Result at the Loc. B is based on Sakata and Nakazawa (2010). Location of Locs. 1, 3 and B is shown in Fig. 1. Shading in histogram of refractive index indicate the range of concentrated distribution (red, previous studies; green and light blue, this study).

さらなる検討が必要ではあるが、Ag-KP主部を構成する軽石の噴出に先立ち、細粒で低屈折率の直方輝石を含む火山灰が主に東南東～南東方向の限られた範囲に基底部ユニットとして堆積したため、その層厚分、厚くなっている可能性が考えられる。

ただし、本研究で提示した仮説はあくまでも屈折率のみに基づく予察的な推論であり、今後、Ag-KPの一連の噴火イベントの詳細を解明するためには、さらなるデータの蓄積が必要不可欠である。特に、化学組成変化をより直接的に検証するための火山ガラスや斑晶鉱物の化学組成分析(例えば、堀尾・海野, 1995)を行うことが望ましい。また、Ag-KPの基底部ユニットの存否や層相・層厚などについても、地点数を増やして対比・検討していくことが必要である。これらは今後の課題としたい。

謝辞: 露頭観察にあたっては、工事関係者の方々にご配慮を賜った。茨城大学の細井 淳博士と活断層・火山研究部門の草野有紀博士には、本論の一部について議論していただいた。また、Loc. 1の露頭観察にあたり、茨城大学の長谷川 健准教授と甲野藤ゆうな氏にご助力いただいた。査読者の活断層・火山研究部門の山元孝広氏と編集担当の丸山 正氏による指摘により、本稿は大幅に改善された。以上の方々に、記して感謝申し上げます。

文 献

阿久津 純 (1955) 宇都宮周辺の関東火山灰層と河成段丘. 宇都宮大学学芸学部研究論集, no. 4, 33-46.

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.

防災科学技術研究所 (2024) ジオ・ステーション. <https://www.geo-stn.bosai.go.jp/index.html> (閲覧日: 2024年10月22日)

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. 地質学雑誌, 101, 123-133.

早川唯弘・勝村 登 (1982) 那珂川下流域における河成段丘および沖積低地の地形発達. 茨城大学教育学部紀要 (自然科学), no. 31, 2-22.

堀尾 淳・海野 進 (1995) 島弧火山下のマッシュ状マグマ溜り—赤城火山湯ノ口軽石の例—. 火山, 40, 375-393.

細井 淳・古澤 明 (2023) 茨城県北部, 久慈川流域の段丘堆積物から発見された大山倉吉テフラ. 地質調査研究報告, 74, 167-178.

木村克己 (2011) ボーリングデータ処理システムの公開. 産総研TODAY, 11, 19.

小池一之 (1961) 那珂川流域の地形発達. 地理学評論, 34, 498-513.

国土地理院 (2024) 地理院地図. <https://maps.gsi.go.jp/> (開

覧日: 2024年11月7日)

Legros, F. (2000) Minimum volume of a tephra fallout deposit estimated from a single isopach. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 96, 25-32.

Lisiecki, L. E. and Raymo, M. E. (2005) A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. *Paleoceanography*, 20, PA1003.

町田 洋・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.

町田 洋・新井房夫・小田静夫・遠藤邦彦・杉原重夫 (1984) テフラと日本考古学—考古学研究と関係するテフラのカタログ—. 渡辺直経編, 古文化財に関する保存科学と人文・自然科学, 865-928.

宮崎一博・笹田政克・吉岡敏和 (1996) 真壁地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 103p.

守屋以智雄 (1968) 赤城火山の地形と地質. 前橋営林局, 64p.

守屋以智雄 (1970) 赤城火山の形成史. 火山第2集, 15, 120-131.

南里翔平・鈴木毅彦 (2016) 関東北部, 赤城火山で約4万年前に相次いだ軽石噴火—鹿沼テフラと清水石質テフラ—. 日本地球惑星科学連合2016年大会, SVC48-10.

大倉陽子 (1955) 段丘堆積物よりみた久慈川下流地域の地形. 地理学評論, 28, 225-237.

大井信三・横山芳春 (2011) 常陸台地の第四系下総層群の層序と堆積システムの時空変化. 日本地質学会第118年学術大会見学旅行案内書, 地質学雑誌, 117補遺, 103-120.

大井信三・西連地信男・横山芳春・安藤寿男 (2013a) 常陸台地における段丘面区分の再検討. 茨城県自然博物館研究報告, no. 16, 51-56.

大井信三・横山芳春・西連地信男・安藤寿男 (2013b) 常陸台地における下総層群木下層のテフラ層序と広域対比. 地質学雑誌, 119, 488-505.

斎藤登志雄 (1956) 茨城県那珂湊市附近の第三系. 茨城大学文学部紀要 (自然科学), no. 6, 39-51.

斎藤登志雄 (1959) 水戸・濁沼付近の地質. 茨城大学文学部紀要 (自然科学), no. 10, 135-143.

坂本 亨 (1972) 茨城県大洗付近の第四系—とくに見和層堆積期の海進 (下末吉海進) の進行過程について—. 地質調査所月報, 23, 511-517.

坂本 亨 (1975) 磯浜地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1図幅), 地質調査所, 55p.

坂本 亨・野間泰二 (1969) 那珂川下流 (茨城県中部) における沖積層基底の埋積谷. 地質調査所月報, 20, 697-700.

坂本 亨・田中啓策・曾屋龍典・野間泰二・松野久也 (1972)

- 那珂湊地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1 図幅), 地質調査所, 94p.
- 坂本 亨・相原輝雄・野間泰二 (1981) 石岡地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1 図幅), 地質調査所, 50p.
- 坂田健太郎・中澤 努 (2010) 赤城火山起源の後期更新世 テフラの記載岩石学的特徴. 地質調査研究報告, **61**, 465–475.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2023) 20万 分の1日本シームレス地質図V2 Web API. Ver. 1.3.1. <https://gbank.gsj.jp/seamless/v2/api/1.3.1/> (閲覧日: 2024年10月8日)
- Smith, V. C., Staff, R. A., Blockley, S. P. E., Ramsey, C. B., Nakagawa, T., Mark, D. F., Takemura, K., Danhara, T. and Suigetsu 2006 Project Members (2013) Identification and correlation of visible tephra in the Lake Suigetsu SG06 sedimentary archive, Japan: chronostratigraphic markers for synchronizing of east Asian/west Pacific palaeoclimatic records across the last 150 ka. *Quaternary Science Reviews*, **67**, 121–137.
- 鈴木毅彦 (1989) 常磐海岸南部における更新世後期の段 丘と埋没谷の形成. 地理学評論, **62A**, 475–494.
- 鈴木毅彦 (1990) テフロクロロジーからみた赤城火山 最近20万年間の噴火史. 地学雑誌, **99**, 182–197.
- 鈴木毅彦 (1993) 北関東那須野原周辺に分布する指標テ フラ層. 地学雑誌, **102**, 73–90.
- 鈴木毅彦・木村純一・早田 勉・千葉茂樹・小荒井 衛・ 新井房夫・吉永秀一郎・高田将志 (1995) 磐梯火山 周辺に分布する広域テフラ. 地学雑誌, **104**, 551– 560.
- 高橋正樹・関 慎一郎・鈴木洋美・竹本弘幸・長井雅史・ 金丸龍夫 (2012) 赤城火山噴出物の全岩化学組成一 分析データ381個の総括一. 日本大学文理学部自然 科学研究所研究紀要, no. 47, 341–400.
- 竹本弘幸 (1998) 利根川水系片品川流域の地形発達史一 赤城山の活動とその影響について一. 地理学評論, **71A**, 783–804.
- 植木岳雪・鈴木毅彦・青木秀則・青野道夫・水戸第一高 等学校2007年SPP地学受講生徒 (2009) 関東平野北 東部, 東茨城台地北縁で掘削されたJST-MT-1コア の記載と編年—中期更新世以降の地形発達史の構 築を目指して—. 2009年度日本地理学会春季学術 大会, P0909.
- 山元孝広 (2006) 宇都宮市宝積寺段丘で掘削されたUT05 コアの層序記載と鬼怒川の堆積侵食履歴. 地質調査 研究報告, **57**, 217–228.
- 山元孝広 (2007) テフラ層序からみた新潟県中期更新世 飯士火山の形成史: 関東北部での飯士真岡テフラ とMIS7海面変動の関係. 地質調査研究報告, **58**, 117–132.
- 山元孝広 (2013a) 栃木–茨城地域における過去約30万年 間のテフラの再記載と定量化. 地質調査研究報告, **64**, 251–304.
- 山元孝広 (2013b) 東茨城台地に分布する更新統の新層序 とMIS5-7海面変化との関係: 地下地質とテフラ対 比による茨城層, 見和層, 夏海層, 笠神層の再定義. 地質調査研究報告, **64**, 225–249.
- 山元孝広 (2016) 赤城火山軽石噴火期のマグマ噴出率と 組成の変化. 地質学雑誌, **122**, 109–126.
- 横山芳春・安藤寿男・大井信三・山田美隆 (2001) 下総 層群“見和層”に認められる2回の相対海水準変動の 記録—茨城県南東部石岡-鉾田地域の例—. 堆積学 研究, no. 54, 9–20.
- 吉川敏之・山元孝広・中江 訓 (2010) 「宇都宮」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, 79p.
- 吉岡敏和・滝沢文教・高橋雅紀・宮崎一博・坂野靖行・ 柳沢幸夫・高橋 浩・久保和也・関 陽児・駒澤正 夫・広島俊男 (2001) 20万分の1地質図幅「水戸」(第 2版). 地質調査所.

(受付: 2024年11月28日; 受理: 2025年3月10日)

地質調査総合センター研究資料集

- 758 第41回地質調査総合センターシンポジウム講演要旨集「デジタル技術で繋ぐ地質情報と防災対策 活断層-火山-斜面災害-海洋地質」 地質調査総合センター (編)
- 759 点群法線ベクトルを用いた震源クラスタリングによる地震断層面抽出法 (FaultNVC) 佐脇 泰典・佐藤 圭浩・内出 崇彦
- 760 桜島の大規模噴火による降下テフラ分布の GIS データ 河野 裕希・西原 歩・宝田 晋治
- 761 大規模火砕噴火推移時系列データ集 その3 池上 郁彦・長田 美里・河野 裕希・米谷 珠萌・宝田 晋治
- 762 産総研綾川千疋観測点の地質概要とコア資料 木口 努・板場 智史・松本 則夫・山本 和広・長谷 和則・須永 崇之
- 763 産総研佐伯蒲江観測点の地質概要とコア資料 木口 努・北川 有一・落 唯史・松本 則夫・長谷 和則・猪狩 一晟
- 764 焼岳火山の火口位置データおよび完新世噴火イベント集 及川 輝樹・宝田 晋治
- 765 日本の火山ガスの化学・同位体組成 (1991-2024) 篠原 宏志・齋藤 元治・関 香織・風早 康平・風早 竜之介・森田 雅明・萬年 一剛
- 766 樽前火山及び磐梯火山の火口位置データ及び完新世噴火イベント集 古川 竜太・山元 孝広・宝田 晋治・及川 輝樹
- 767 機械学習に基づく地震信号分類器と観測点アソシエーション手法 寒河江 皓大・矢部 優・内出 崇彦
- 768 南硫黄島の全岩主成分化学組成と岩脈分布 中野 俊

地質調査総合センターの最新出版物

5 万分の 1 地質図幅	高見山 門 大河原 米子 (第 2 版)
20 万分の 1 地質図幅	広尾 (第 2 版修正版)
海洋地質図	No. 95 熊野灘海底地質図
火山地質図	No. 24 御嶽火山地質図 No. 23 秋田焼山火山地質図
海陸シームレス地質図	S-8 海陸シームレス地質情報集「伊勢湾・三河湾沿岸域」
大規模火砕流分布図	No. 5 洞爺カルデラ洞爺火砕流堆積物分布図
水文環境図	No. 15 「大井川下流域」
重力図 (ブーゲー異常)	No. 36 甲府ー静岡地域重力図
土壌評価図	E-10 表層土壌評価基本図 ~中国地方~
特殊地質図	Sr. 41 栃木県シームレス地質図 (第 2 版)
その他	東・東南アジア磁気異常図 改訂版 (第 3 版) 中部地方の地球化学図

地質調査研究報告編集委員会

委員長	鈴木	淳
副委員長	宮城	磯治
委員	東郷	洋子
	丸山	正志
	藤井	孝志
	斎藤	健志
	湊	翔平
	大谷	竜竜
	長森	英明
	天野	敦子
	伊藤	剛樹
	羽地	俊樹

Bulletin of the Geological Survey of Japan Editorial Board

Chief Editor: SUZUKI Atsushi
Deputy Chief Editor: MIYAGI Isoji
Editors: TOGO Yoko
MARUYAMA Tadashi
FUJII Takashi
SAITO Takeshi
MINATO Shohei
OHTANI Ryu
NAGAMORI Hideaki
AMANO Atsuko
ITO Tuyoshi
HAJI Toshiki

事務局

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター
地質情報基盤センター 出版室
<https://www.gsj.jp/inquiries.html>

Secretariat Office

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Geological Survey of Japan
Geoinformation Service Center Publication Office
<https://www.gsj.jp/en/>

地質調査研究報告 第76巻 第3号
令和7年8月1日 発行

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター

〒305-8567
茨城県つくば市東1-1-1 中央事業所7群

Bulletin of the Geological Survey of Japan
Vol. 76 No. 3 Issue August 1, 2025

Geological Survey of Japan, AIST

AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1 Higashi,
Tsukuba, Ibaraki 305-8567 Japan

BULLETIN
OF THE
GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 76 No. 3 2025

CONTENTS

- Tephrostratigraphy of the Pliocene Ikego Formation on the northern Miura Peninsula and correlation with widespread tephra beds in central Japan
UTSUNOMIYA Masayuki, MIZUNO Kiyohide and TAMURA Itoko 133
- Preliminary report on volcanic ash layers in the northeastern part of the Higashi-Ibaraki Terrace, Mito District, northeastern Kanto Plain, eastern Japan
SATO Yoshiki 149