

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

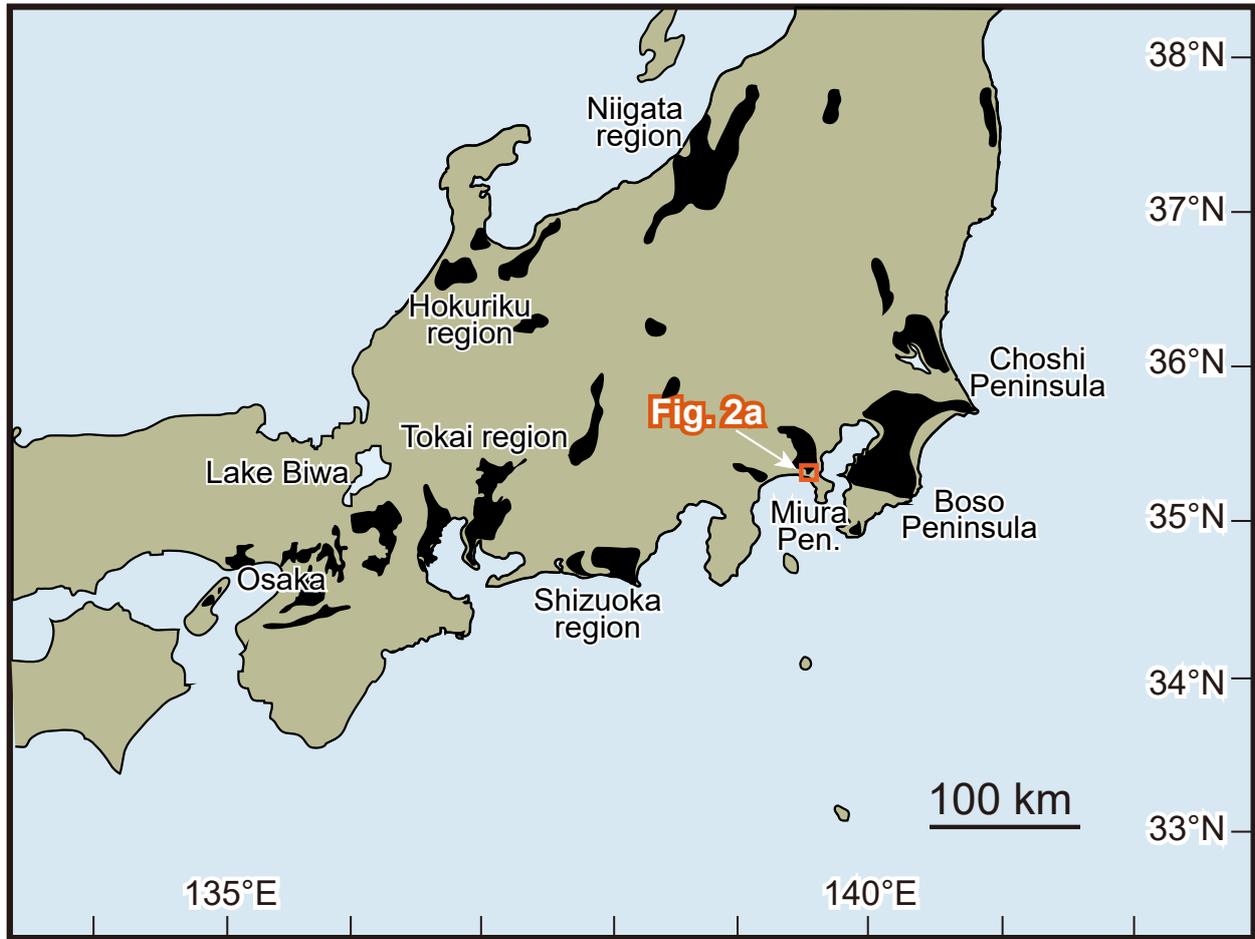
中で海成層と陸成層の両方に同一の時間面を提供するテフラ層は重要な役割を果たしてきた(Tamura *et al.*, 2008; Tamura and Yamazaki, 2010; Satoguchi and Nagahashi, 2012)。中央日本には鮮新世から更新世の堆積盆を埋積した地層が広く露出し、西から大阪層群と古琵琶湖層群(近畿地域)、東海層群(東海地域)、掛川層群(静岡地域)、北陸層群(北陸地域)、魚沼層群(新潟地域)、三浦層群と上総層群(南関東地域)などの地層から構成される(第1図)。

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).

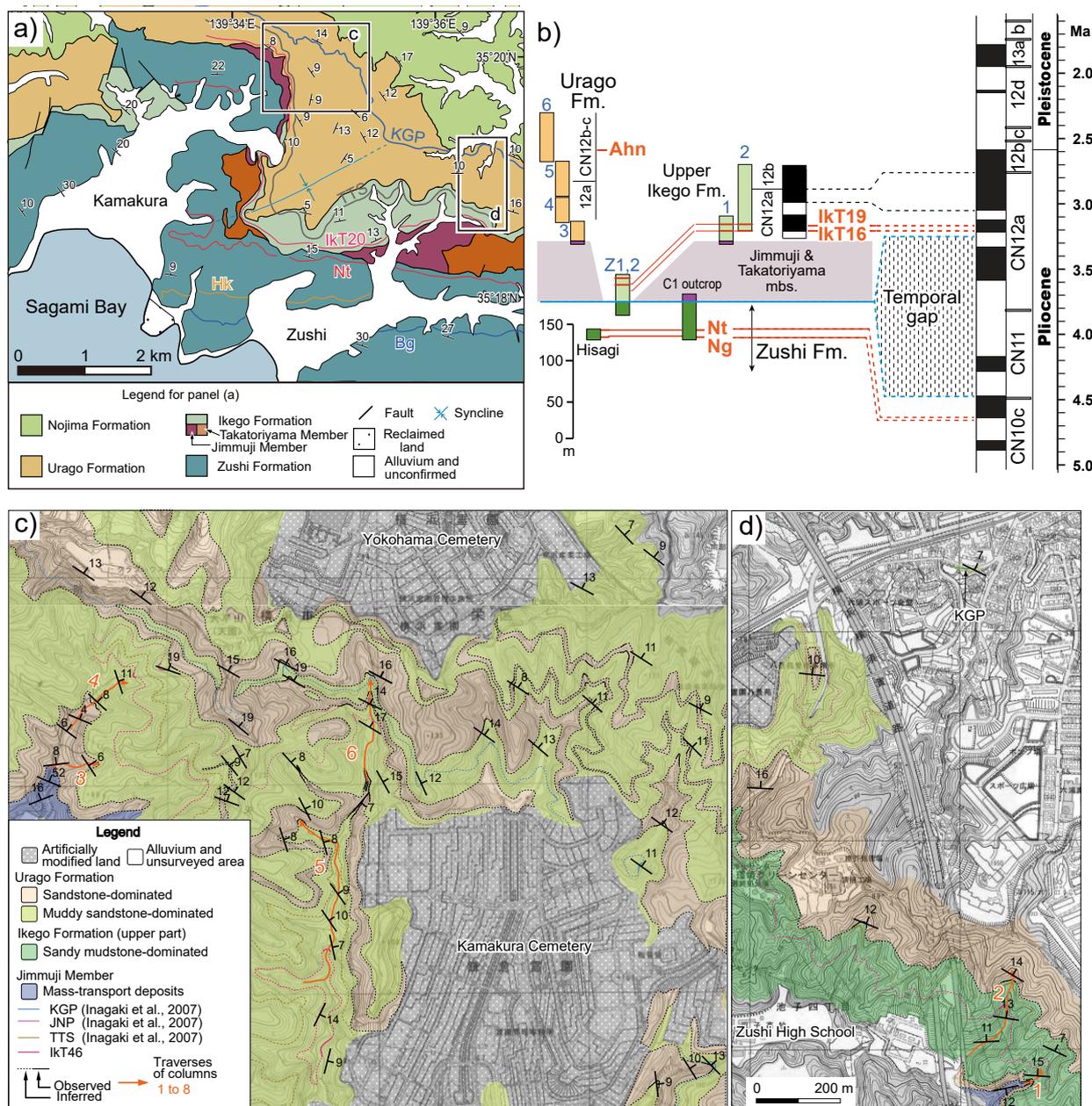
Fig. 1 Map showing distribution of the Plio-Pleistocene on central Japan (Ito *et al.*, 2016). Pen.: Peninsula.

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

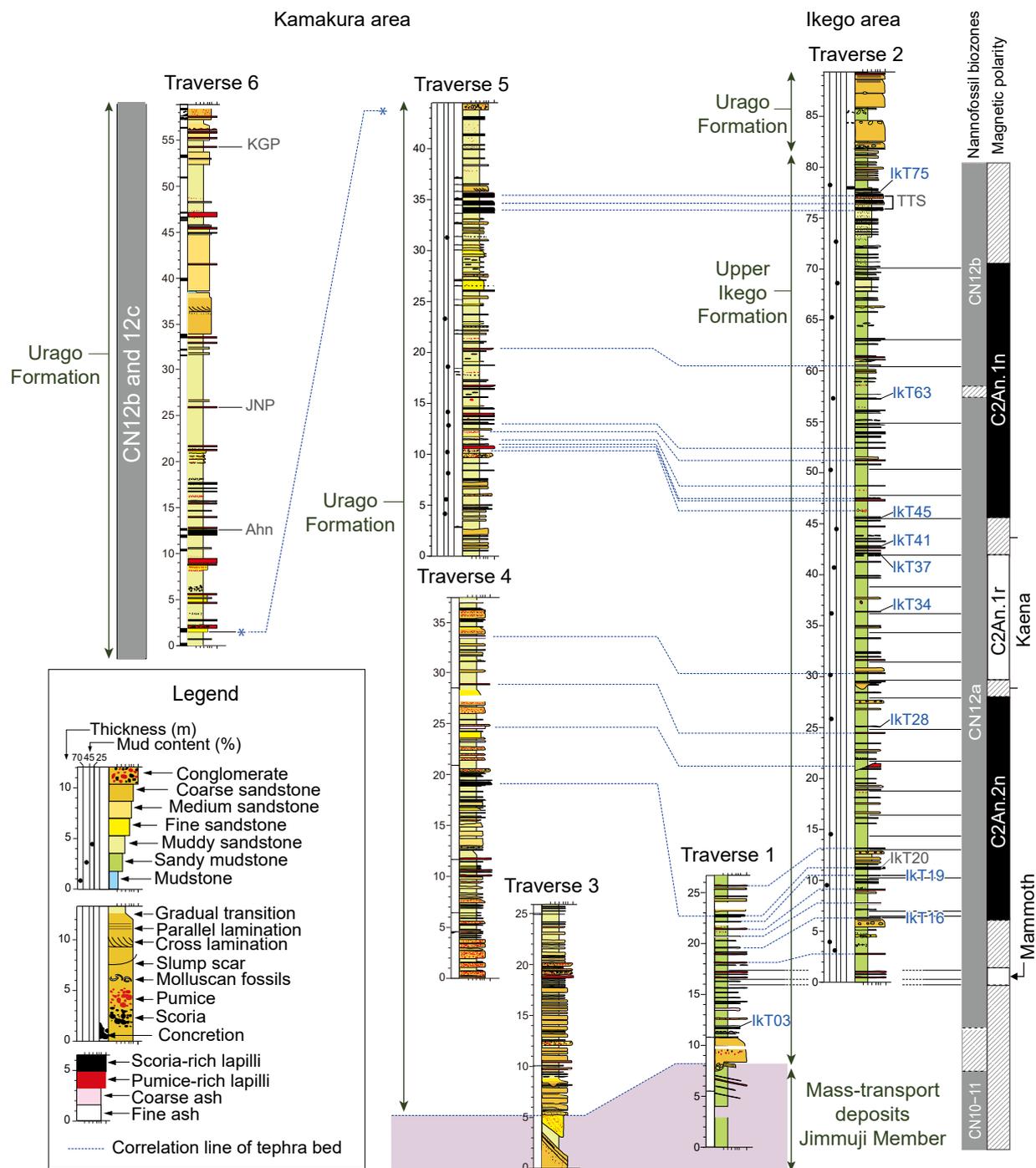
が堆積した北西部は定常的に底層流の影響を受ける環境にあり、細粒な碎屑物粒子が堆積しないような堆積場であったと解釈されている(Utsunomiya *et al.*, 2017)。

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

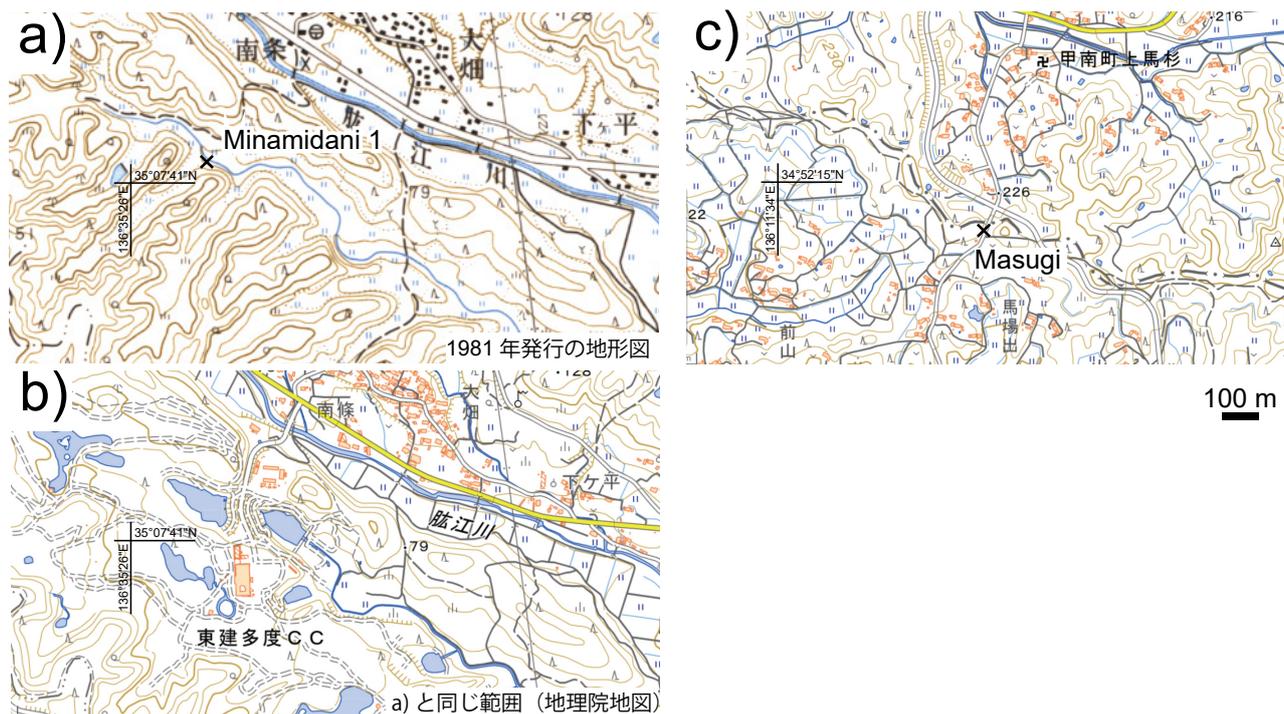
層厚2 cmの白色細粒火山灰層。生物擾乱により上下の砂質泥と不均質に混ざり合う部分がある。火山ガラスの形態はバブルウォール型や平行型が卓越する。重鉱物は極めて少ないが直方輝石を含み、そのほかにも単斜輝石、普通角閃石がわずかにみられる。また、高温型石英を特徴的に含んでいる。火山ガラスの屈折率は $n = 1.499\text{--}1.500$ 、直方輝石の屈折率は $\gamma = 1.701\text{--}1.707$ である。火山ガラスの化学組成は、 TiO_2 が0.22–0.26 wt.%、 MgO が0.15–0.16 wt.%、 K_2O が4.11–4.32 wt.%、Baは546–597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

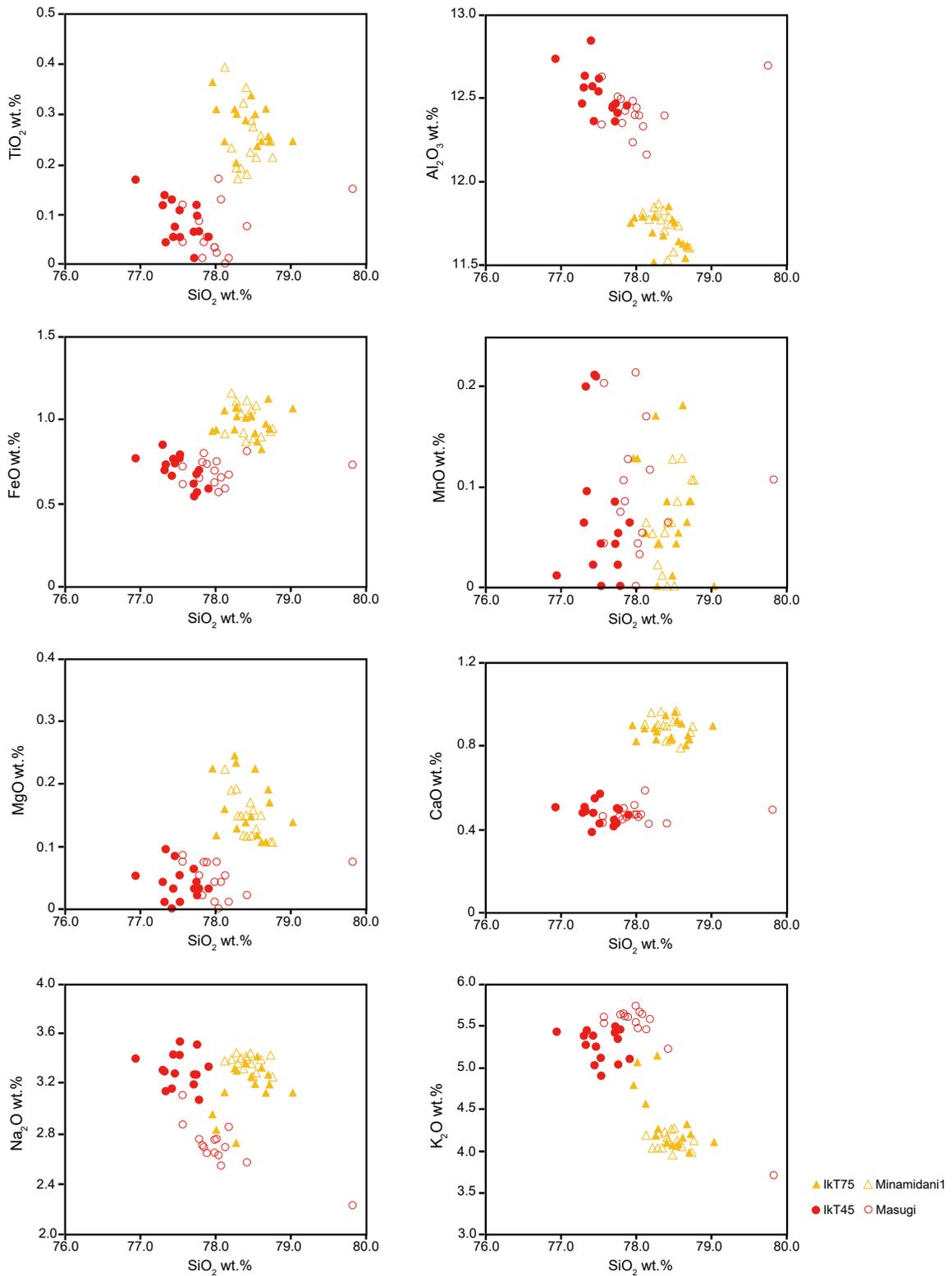
記載され、その分布や層位は、横山・楠木(1969)、横山ほか(1979)、川邊(1981)、吉川(1983)、Yoshikawa(1984)、Kawabe(1989)、横山・雨森(1991)、中野ほか(2003)などによって示されている。今回検討した試料は横山ほか(1979)で模式地とされた現在の滋賀県甲賀市甲南町上馬杉南方峠で採取した(第4図)。本地域の馬杉火山灰層は暗灰色な泥層に挟在し、層厚18 cmで中粒砂サイズを主体とする灰白色火山灰層であり、最下部1 cm程度はやや細かい。黒雲母が肉眼で識別される。火山ガラスの形態は厚手のスモールバブル型が卓越し、平行型もみられる。重鉱物は黒雲母が圧倒的に卓越し、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.

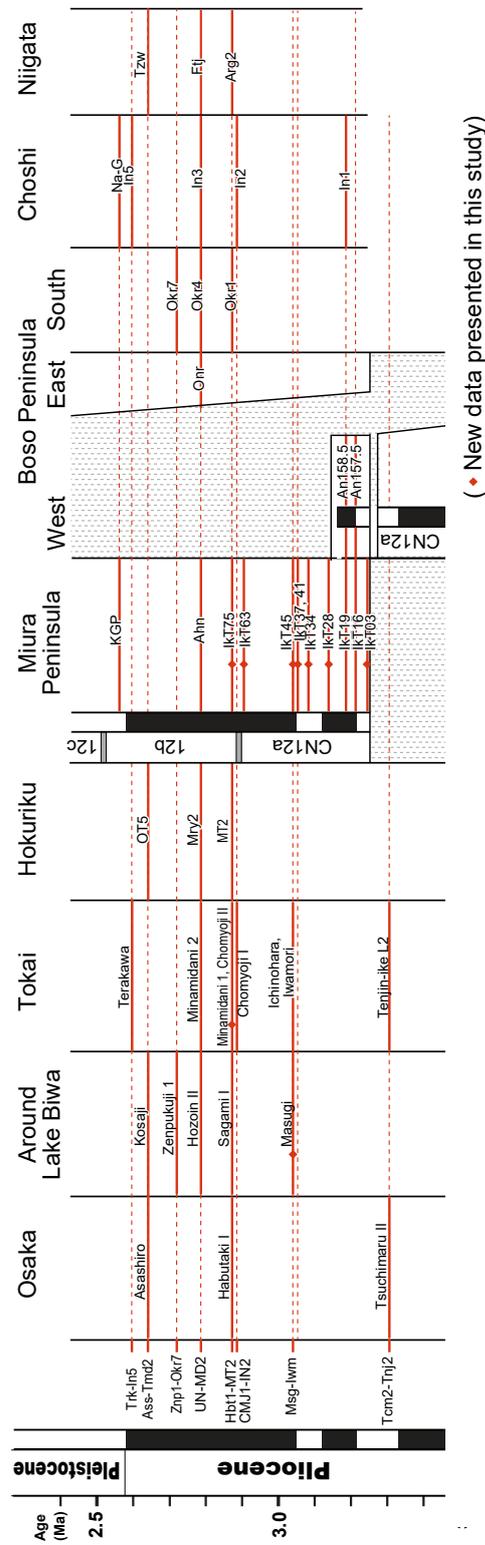
らはフィッシュントラック年代値 (3.1 ± 0.5 Ma) が得られており(西村・笹嶋, 1970), 市之原火山灰層からは 2.8 ± 0.2 もしくは 2.9 ± 0.2 Maのフィッシュントラック年代値が得られている(横山ほか, 1980). これらの年代値も池子層のIkT45の年代値と大きく矛盾しない.

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盆とのテフラ対比. 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)

