

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。

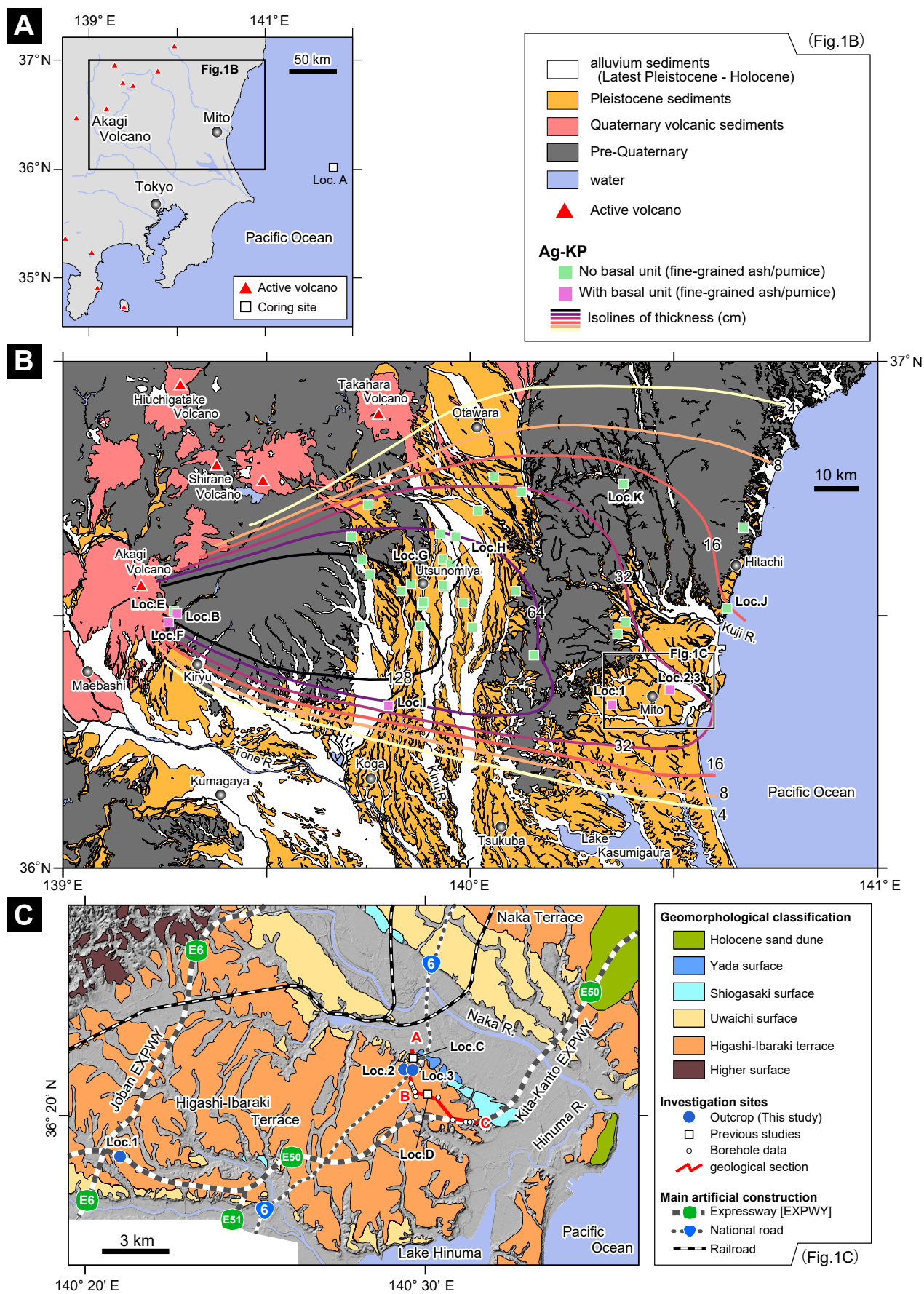
1. はじめに

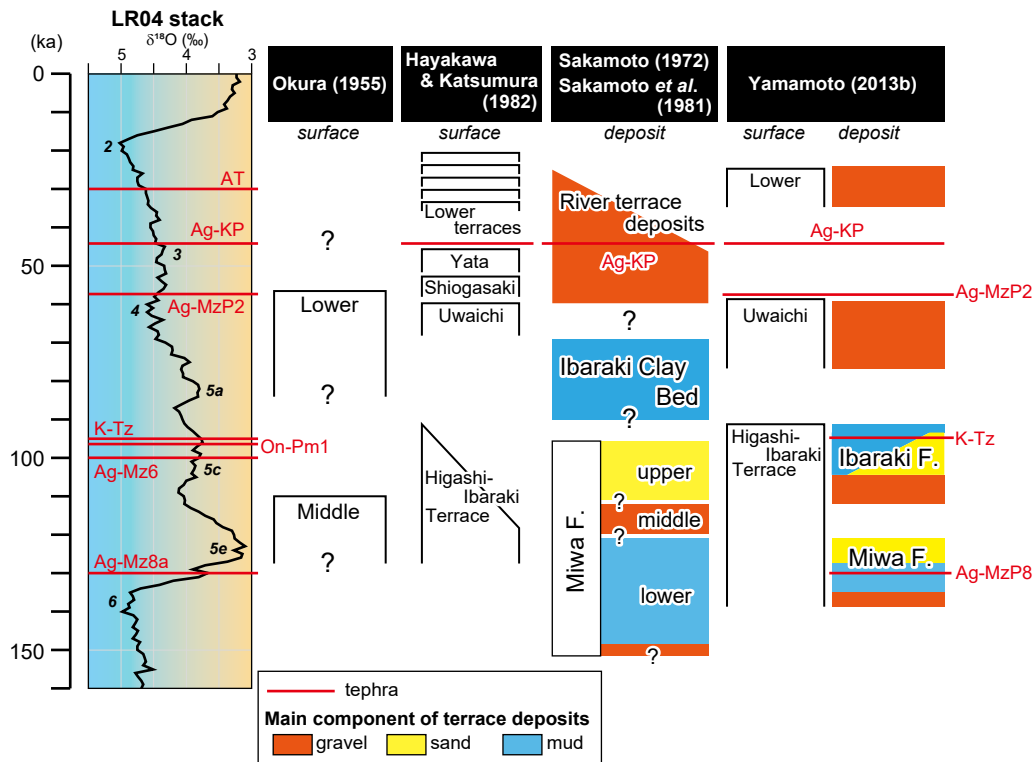
関東平野北東部の水戸地域周辺には、更新世中期以降に形成された複数の段丘面が発達する(第1図、大倉, 1955; 鈴木, 1989; 吉岡ほか, 2001; 大井ほか, 2013aなど)。これらの段丘面のうち、最も広く発達する段丘面は那珂台地、東茨城台地と称され、大局的には最終間氷期に形成された河成あるいは海成段丘(中位段丘面)として理解されている。より詳細にみると、海洋酸素同位体ステージ(Marine Oxygen Isotope Stage, 以下MISと略す) 5e以降の海水準変動や気候変動に応じて形成された複数の段丘面に細分され、那珂川や久慈川沿いには低位段丘面も分布する。

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」

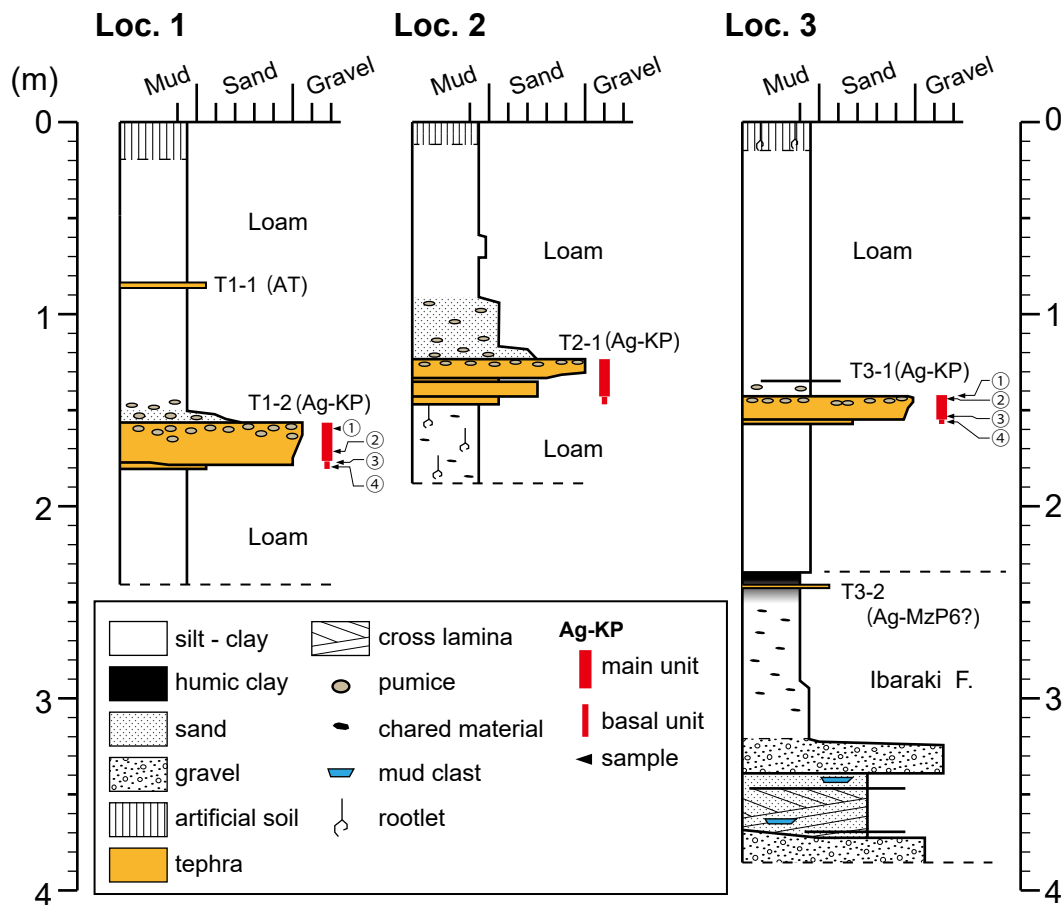
に対比される。本研究では、山元(2013b)でも指摘されている地層命名規約上の問題点も考慮し「茨城層」を用いる。茨城層上部には御岳第一軽石(On-Pm1; 約100 ka)、鬼界葛原テフラ(K-Tz; 約95 ka)が挟在する(第2図); 鈴木, 1989; 大井・横山, 2011; 山元, 2013a)。那珂川および涸沼川沿いには、東茨城台地よりも低位の段丘面が複数発達する(小池, 1961; 坂本・野間, 1969; 早川・勝村, 1982; 鈴木, 1989)。比較的広く発達する段丘面として、上位から順に上市面、塩ヶ崎面、谷田面の3面が分布する(第1図C, 坂本・野間, 1969; 鈴木, 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流堆積物(赤城沖門泥流, 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鉱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。

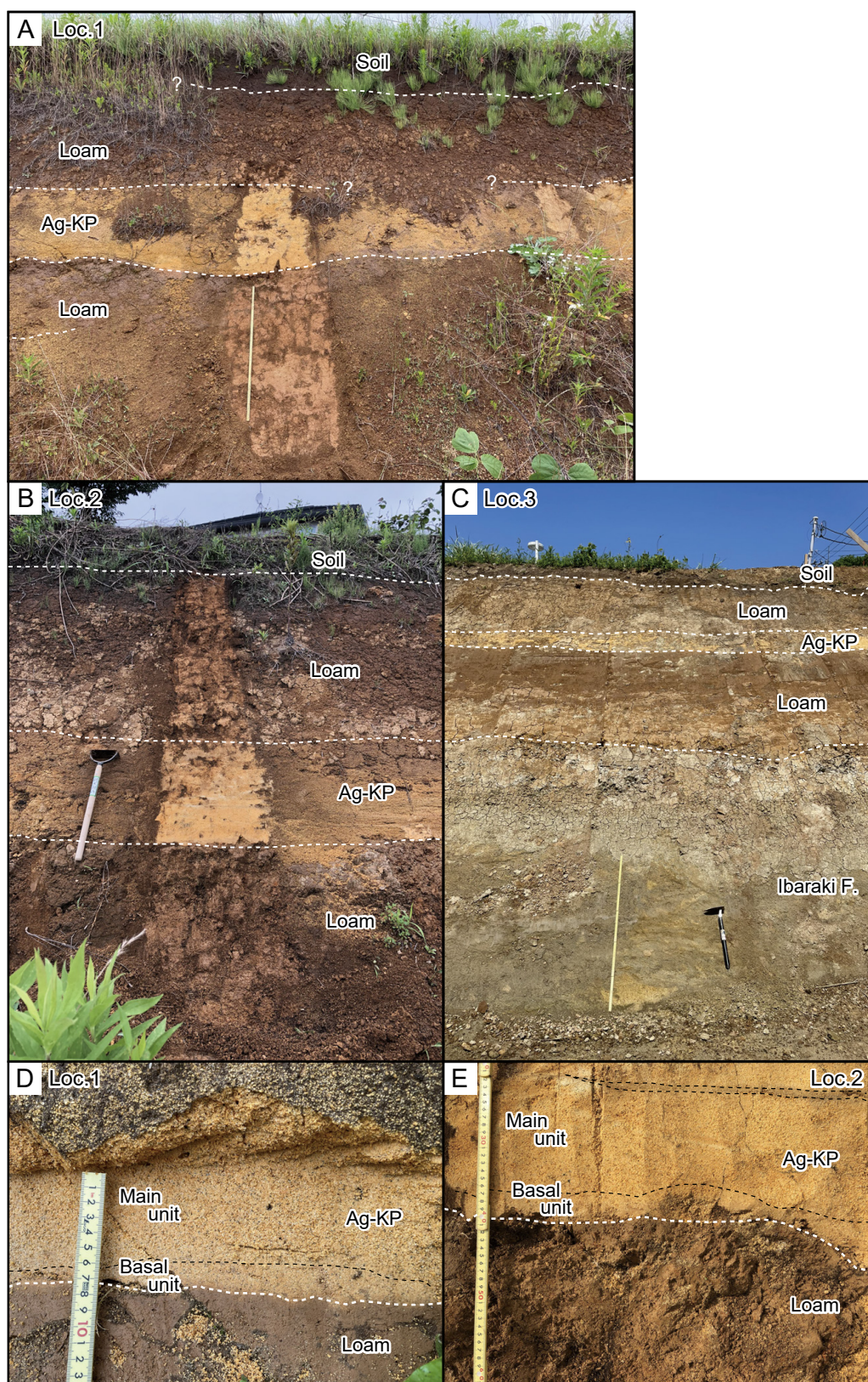
また、露頭で観察された堆積物の層序学的位置づけを検討するため、ジオ・ステーション（防災科学技術研究所, 2024）で公開されている既存ボーリング資料（xml形式）を収集し、ボーリング柱状図解析システム（木村, 2011）を用いて断面図を作成した。

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1 m、B中の鎌の長さは約53 cm。

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	basal fine-grain layer	Upward-coarsening	Unit	Thickness sample No. (cm)	grain size	Refractive indices					Reference		
		Orientation	Distance (km)								shape	range (mode)	N	range (mode)	N		range (mode)	N
Kasama	1	N101°E	107	AT	T1-1	—	—	—	—	vfs	bw, pm	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	yes	Main	23	①	vcs-granule	pm	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	
								Basal	1–2	③	vfs-fs		n.d.	1.694–1.706 (1.702)	39	1.671–1.682 (1.674)	45	
										④			n.d.	1.692–1.709 (1.698)	49	1.670–1.681 (1.677)	49	
Mito	2	N101°E	119	Ag-KP	T2-1	yes	yes	Main	22–23	vcs-granule								This study
								Basal	1–2		vfs-fs							
Off-Kashima	A	N104°E	239	Ag-KP	T3-1	yes	yes	Main	7–9	①	vcs-granule	pm	n.d.	1.705–1.711 (1.708)	22	1.669–1.680 (1.673)	42	This study
										②		pm	n.d.	1.700–1.708 (n.d.)	7	1.675–1.683 (1.679)	32	
										③		pm	n.d.	1.701–1.717 (1.713)	22	1.669–1.676 (1.673)	36	
								Basal	1–2	④	vfs-fs		n.d.	1.693–1.712 (1.707)	50	1.671–1.686 (1.681)	29	
										2		vfs	n.d.	1.701–1.713 (1.707)	30	1.675–1.686 (1.683)	41	
Ashio				Ag-MzP6	T3-2	—	—	—	—									Machida & Arai (2003)
				AT							pm, bw	1.498–1.501		1.728–1.734		n.d.		
				Ag-KP		unknown	unknown	—	—	—	pm	1.504–1.508	1.707–1.710 (1.709)	1.671–1.678 (1.673–1.675)				
				Ag-KP		unknown	unknown	—	8	—	vcs	1.498–1.507	1.707–1.711	1.671–1.679			Aoki <i>et al.</i> (2008)	
				Ag-KP		yes	unknown	Main	100	①	2–50 mm	pm	n.d.	1.705–1.710 (1.708–1.709)	1.667–1.676 (1.672–1.675)			
Kiryu & Ashikaga																		Suzuki (1990)
Usunomiya																		Yamamoto (2016)
Hitachi																		Yoshikawa <i>et al.</i> (2010)
Hirachi-Oniya																		Yamamoto (2013a)
Makabe																		Hosoi & Furusawa (2023)
Ishikawa																		Machida <i>et al.</i> (1984)
Ishikawa																		Miyazaki <i>et al.</i> (1996)
Ishikawa																		Sakamoto <i>et al.</i> (1981)
Ishikawa																		Sakamoto (1975)
Ishikawa																		Sakamoto <i>et al.</i> (1972)
Ishikawa																		Machida & Arai (2003)
Ishikawa																		Yoshikawa <i>et al.</i> (2010)
Ishikawa																		Machida & Arai (2003)
Ishikawa																		Ooi & Yokoyama (2011)

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。

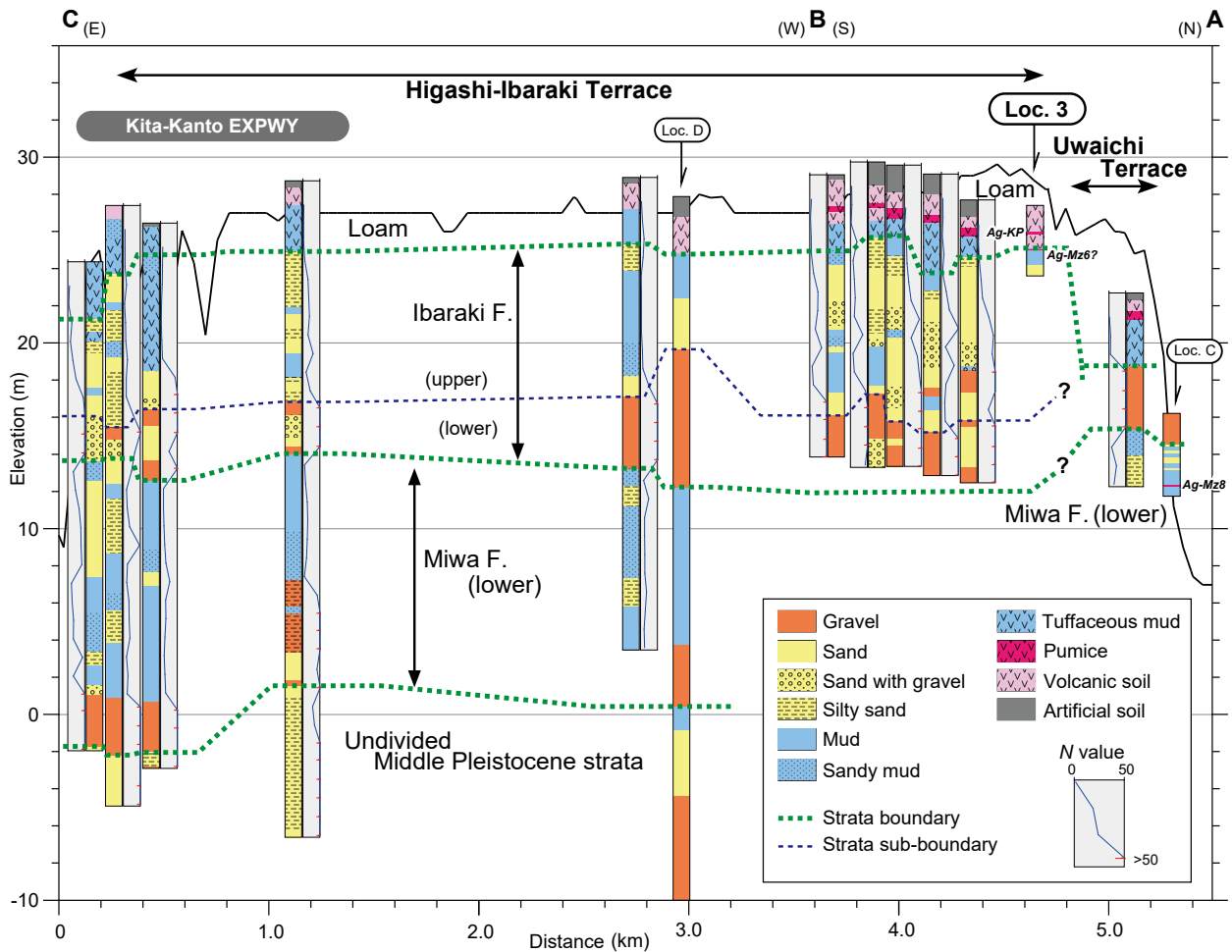
Loc. 1でのみ確認されたT1-1は、細粒砂サイズの火山

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）に対比されることが考えられる（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が確実である。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「見和古涸沼川(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)。

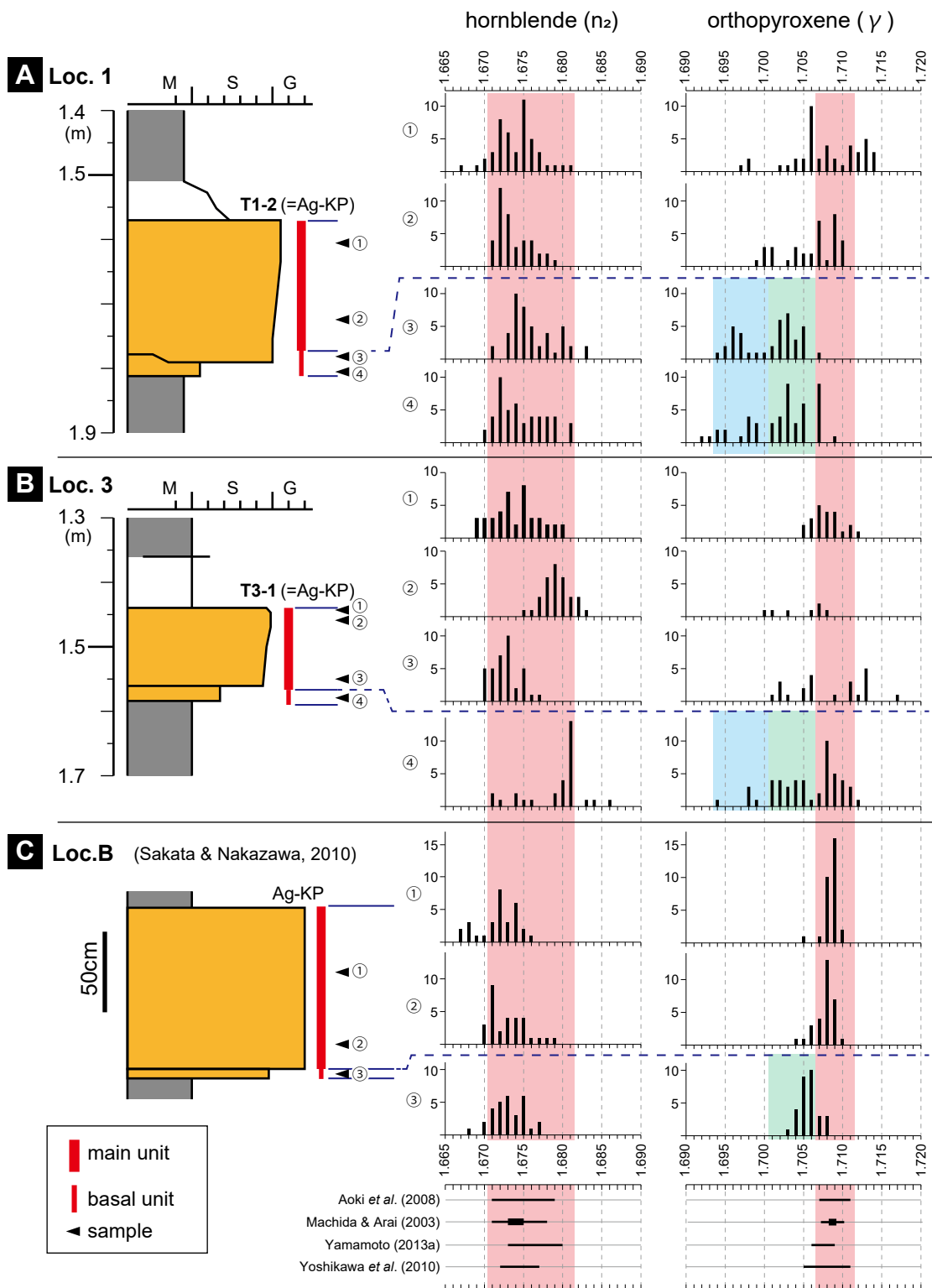
本研究のLoc. 1およびLoc. 3でもAg-KPは基底部に極細粒砂～細粒砂を主体とする基底部ユニットが認められ、直方輝石の屈折率は上位と異なる傾向を示す。すなわち、Loc. 1の主部ユニットでは1.706–1.716の屈折率を示すものが多いのに対し、基底部ユニットではそれよりも低い1.692–1.706の範囲に集中し、バイモーダル分布を示す特徴がある(第6図A)。また、Loc. 3では、主部ユニットで1.706–1.713が多いのに対し、基底部ユニットではそれらに加えて1.701–1.705にもピークがみられる(第6図B)。一方、普通角閃石の屈折率は概ね1.670–1.681の範囲に含まれ、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、分布域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 $N103^{\circ} \sim 104^{\circ}E$ 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/> (閲覧日: 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. 茨城大学文理学部紀要 (自然科学), no. 6, 39–51.
- 斎藤登志雄 (1959) 水戸・涸沼付近の地質. 茨城大学文理学部紀要 (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) テフロクロノ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—分析データ 381 個の総括—. 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—赤城山の活動とその影響について—. 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)