

Online ISSN : 2186-490X
Print ISSN : 1346-4272
CODEN : CCKHA7

地質調査研究報告

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 64 No. 9/10 2013



独立行政法人
産業技術総合研究所
地質調査総合センター



平成25年

論文

- 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
山元孝広 225

論文

- 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
山元孝広 251

概報

- 十和田火山, 先カルデラ期~カルデラ形成期テフラの放射年代測定
工藤 崇・小林 淳 305

表紙の写真

東茨城台地に分布する中期更新統夏海層の河川堆積物

中位の白色層は新潟県湯沢町の飯士火山から約 22 万年前に噴出した飯士真岡テフラの再堆積物で, 海洋酸素同位体ステージ MIS7c の指標である. この地層はかつて“見和層中部”と呼ばれていたが, MIS5e に形成された見和層とは別の地層として扱う必要がある. 茨城県大洗町神山.

(写真・文: 山元孝広)

Cover page

Fluvial deposits of the Middle Pleistocene Natsumi Formation in the Higashi-Ibaraki plateau

The middle white layer is a resedimented deposit of the Iiji-Moka tephra which was erupted from Iiji volcano in Yuzawa Town, Niigata Prefecture, at ca. 0.22 Ma and represents a time-marker for Marine Isotope Stage (MIS) 7c. This strata was previously called as “the middle part of the Miwa Formation”, but should be separated from the Miwa Formation deposited in MIS 5e. Kamiyama, Oarai Town, Ibaraki Prefecture.

(Photograph and Caption by Takahiro Yamamoto)

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

山元孝広

Takahiro Yamamoto, Revised stratigraphy for the Pleistocene system beneath the Higashi-Ibaraki plateau, NE Japan, and its relationship to the sea-level change in MIS 5-7: redefinition of the Ibaraki, Miwa, Natsumi and Kasagami Formations based on subsurface geology and correlation of tephra layers.

Abstract: The Pleistocene strata beneath the Higashi-Ibaraki plateau were formed under the influence of glacioeustasy. They consist mainly of muddy estuarine deposits filling an incised valley and overlying shoreface sandy deposits, and were called as the “Miwa Formation” by previous studies. However, the “Miwa Formation” includes several glacioeustasy cycles and should be divided into new stratigraphic divisions. In this paper, I have examined lithofacies data of 46 boreholes along the Kasumigaura-Dosui tunnel and 19 ones along the Kita-Kanto and Higashi-Mito Highways, and recognize 6 incised-valley systems within the Pleistocene strata. Furthermore, I have measured the major element compositions of 9 tephra samples from outcrops of the Pleistocene strata and detected the 95-ka Kikai-Tozuhara, 0.13-Ma Akagi-Mizunuma 8, 0.22-Ma Iiji-Moka and 0.24-Ma Ata-Toihama tephra. As the result, I have redefined the Ibaraki, Miwa, Natsumi and Kasagami Formations, in descending order. These formations were deposited in Marine Isotope Stage 5c, 5e, 7a-c, and 7e, respectively.

Keywords: Higashi-Ibaraki plateau, Pleistocene, Ibaraki Formation, Miwa Formation, Natsumi Formation, Kasagami Formation.

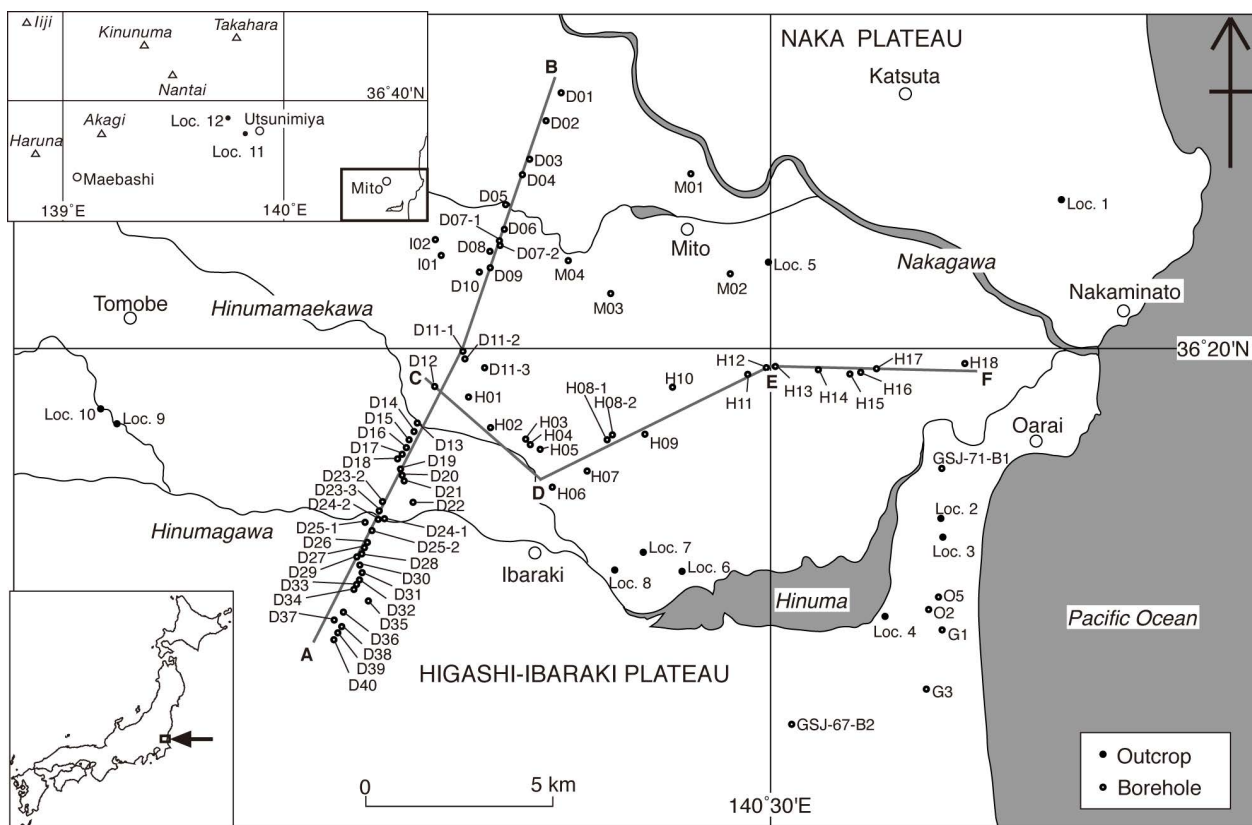
要 旨

東茨城台地を構成する更新統は、汎世界的な氷河性海面変化により形成された地層である。すなわち、この更新統は下刻した谷地形を埋める泥質のエスチュアリー堆積物とこれを覆う砂質の外浜堆積物から主に構成され、既存研究により“見和層”と呼ばれていた。しかし、“見和層”には複数回の氷河性海面変化が含まれるので、これを再区分して新しい地層名を設定する必要がある。本報告では公表されている霞ヶ浦導水トンネル沿い46ボーリング孔と北関東・東水戸自動車道沿い19ボーリング孔の岩相資料を検討し、東茨城台地更新統中に新たに6つの埋没河谷のあることを確認した。さらに、更新統の露頭から採取した9試料中の火山ガラスの主成分化学組成分析を行い、鬼界葛原テフラ(9.5万年前)、赤城水沼8テフラ(13万年前)、飯土真岡テフラ(22万年前)、阿多鳥浜テフラ(24万年前)を検出している。これらの検討の結果、新たに上位から茨城層、見和層、夏海層、笠神層からなる更新統の層序を定義した。これらの地層

の堆積時期は、それぞれ海洋酸素同位体比層序の5c, 5e, 7a-c, 7eに相当する。

1. はじめに

関東平野は日本最大の平野であり、約300万年前以降の上総・下総層群が厚く堆積する沈降性の堆積盆であるとともに、日本の首都機能が位置する地政学的に最も重要な地域でもある。その成り立ちやそこで進行中の地殻変動を理解するためには、関東平野及びその周辺丘陵構成層の層序・年代の詳細を明らかにすることが、当然ながら求められよう。このような背景から、特に南関東地域ではテフラ層序を中心とした編年が古くから進められ高精度な層序が確立されている(例えば貝塚, 1958; 町田ほか, 1974)。一方、北関東では南関東に比べ地殻変動量が少ないため地形的に識別される指標面の数が少なく、その編年は最終間氷期の堆積物がつくる地形面(貝塚, 1957; 小池; 1961; 坂本, 1972; 鈴木, 1989)にまでしか及んでいないのが現状であった。また、北関東の



第1図 掘削孔と露頭の位置図。A-B線とC-D-E-F線は第3・4図の断面の位置を示す。

Fig.1 Index map of boreholes and outcrops. A-B and C-D-E-F lines show the positions of cross sections in figures 3 and 4.

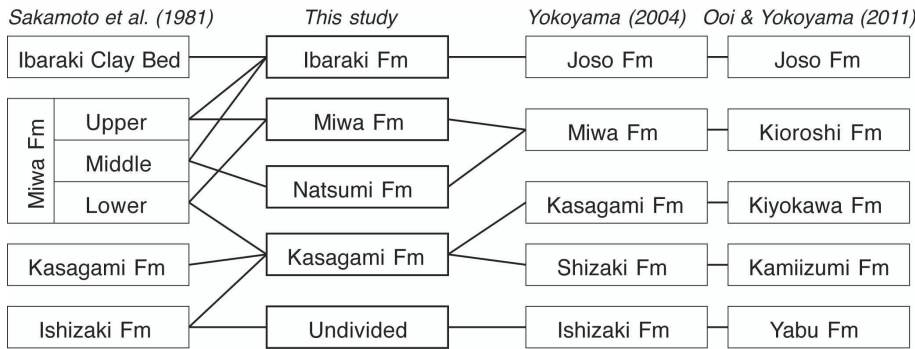
台地を構成する下総層群自体も、模式地のある房総半島のもの(例えば徳橋・遠藤, 1984)に比べ層厚が薄く、地域毎の岩相変化が大きいため、統一的な層序自体が確定しているわけではない。このような背景から、産総研では近年になり北関東地域第四系の再編年を中心とした調査研究を進めてきている(山元, 2006a; 2006b; 2007; 2012; 吉川ほか, 2010)。本論ではその一連の研究のなかから、東茨城台地を構成する更新統の新層序について報告する。

東茨城台地は茨城県中部地域にある海拔30m前後の平坦な台地であり(Fig. 1), MIS 5の下末吉海進で形成された下総層群の最上部である更新統見和層からなるとされ、更に見和層は下部・中部・上部に細分されていた(坂本, 1972; 1975)。しかし、山元(2007)は坂本の見和層中部がMIS7c-7aの海面上昇期に形成されたものであることを明らかにし、従来の見和層が複数回の氷期・間氷期サイクルを含むことから、見和層全体の層序を再検討する必要があることを指摘している。本報告では、まず東茨城台地の多数のボーリング資料に記載された岩相の水平分布から、海面低下で形成された不整合面(シーケンス境界)を識別し、これをもとに地層の区分を行う。次に、各地層に含まれるテフラの対比をもとに編年を行う。た

だし、対象とする第四系は浅海～河成の堆積物であるため、含まれるテフラのほとんどは二次堆積した混合物となっており、このことに留意した解析が必要となる。これらの検討の結果、東茨城台地を構成する更新統を、下位から笠神層、夏海層、見和層、茨城層(Fig. 2)に再区分し、編年を行った。更に、得られた結果から、東茨城台地の隆起沈降についての考察を行った。

2. これまでの研究

東茨城台地や那珂台地を構成する更新統を“見和層”と最初に呼んだのは、貝塚(1957)や斉藤(1959)である。その後、5万分の1地質図幅作成を中心とした坂本(1972; 1975)や坂本ほか(1967; 1969; 1972; 1981)の一連の調査の結果、“見和層”の詳細な岩相や層序が明らかにされている。坂本らが明らかにした重要な点は、“見和層”が埋没河谷に堆積した海面上昇期の泥質の下部と、ほぼ平坦な波曲面の上に堆積した間氷期最盛期の砂質の上部から構成されることである。そして最終的に、下位から“石崎層”、“笠神層”、“見和層”、“茨城粘土層”からなる更新統の層序が設定された(Fig. 2; 坂本ほか, 1981)。これに続く鈴木(1989)は東茨城・那珂台地の“見和層”から重



第2図 東茨城台地を構成する更新統の改訂層序. 比較のため旧層序との対応関係を示す.

Fig.2 Revised Pleistocene stratigraphy beneath the Higashi-Ibaraki plateau. Previous stratigraphic schemes are shown for comparison.

要な指標テフラである鬼界葛原テフラ (K-Tz), 赤城水沼8テフラ (Ag-MzP8), 箱根吉沢下部7テフラ (Hk-KIP7), 真岡テフラ (本報の飯士真岡テフラ: Ij-MO) を見出し, “見和層”の編年に重要な役割を果たしている。ただし, Ij-MOの降下年代については約22万年前のMIS 7と判断されたため(山元, 2007), “見和層”の再区分が必要となっている。

1990年代なると茨城県南部から千葉県北部の下総層群の堆積学的研究が盛んになり(例えば岡崎・増田, 1992), “見和層”についてもその堆積相が検討されるようになってきた(松本・牧野, 2000; 横山ほか, 2001; 2002)。特に横山(2004)は東茨城台地を含む常陸台地全体の第四系の堆積相解析を行い, 坂本(1975)や坂本ほか(1981)の層序に修正を加えている(Fig. 2)。横山(2004)や大井・横山(2011)が行った広範囲の地層の対比の根拠には, 彼らによって定義された多くのテフラ層の存在がある。しかし, 彼らのテフラ層の多くは, 高エネルギー環境であったはずの外浜～海浜堆積物中の細粒火山性碎屑層であり, これが同一時間面として意味を持つ一次堆積物であるのかどうかの検討がまず必要であろう。また, 鈴木(1989)や山元(2007)が, “見和層中部”に確認したIj-MOの降下層準が, “見和層中部”に不整合に覆われる“笠神層”にあるとする横山(2004)や大井・横山(2011)の記載も入念に再検討する必要がある。本報の結果は, 横山(2004)や大井・横山(2011)のテフラ対比の多くを支持せず, 彼らの層序(Fig. 2)とは大きく異なる。

3. 東茨城台地の地下地質

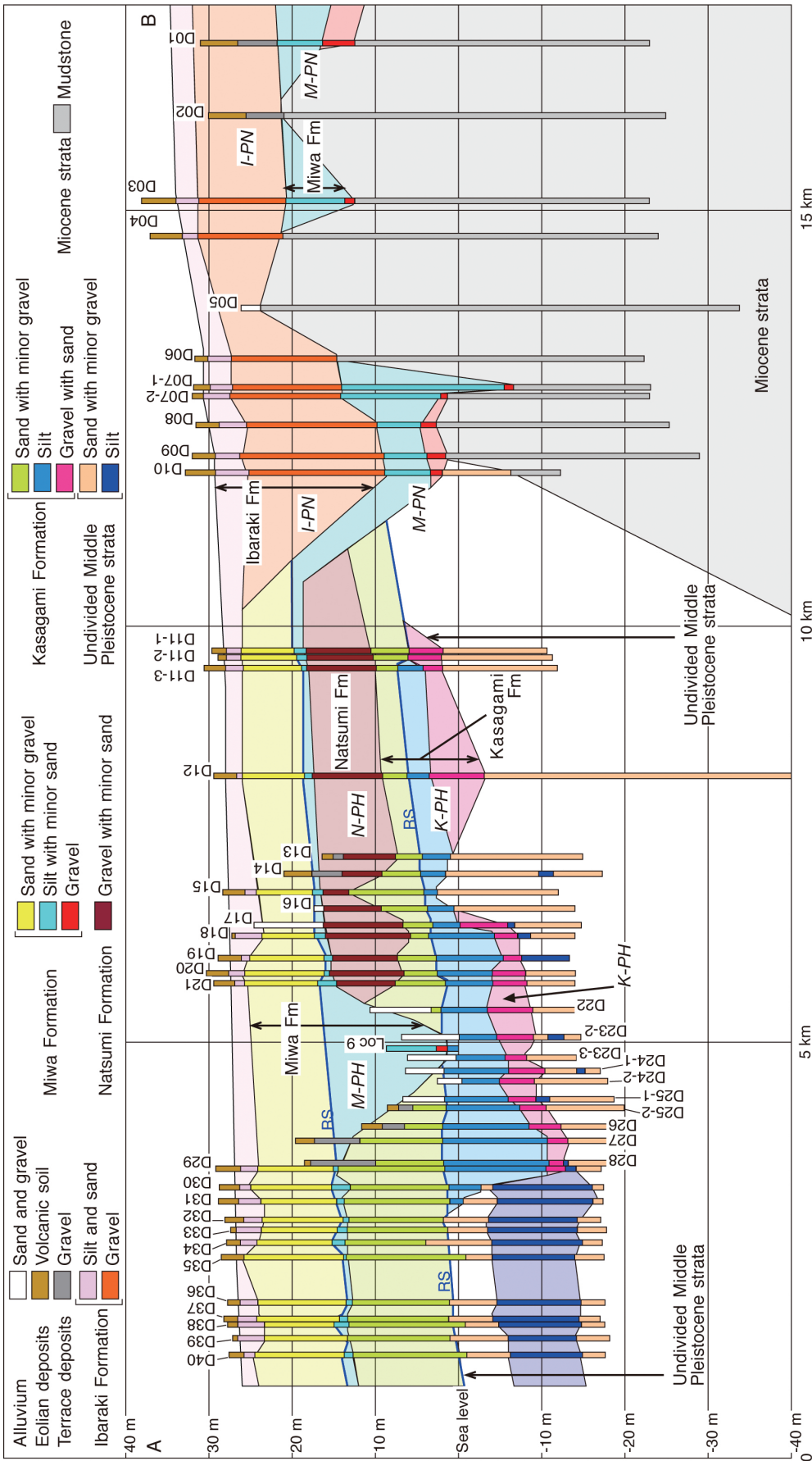
東茨城台地沿岸部, 涸沼の東～東南には地質調査所の試錐(GSJ-71-B1, GSJ-67-B2)や日本原子力研究開発機構大洗研究開発センター建設時の調査孔, 大洗町の水道井など多くの深井戸があり, それら資料は5万の1地質図幅「磯浜」に収録されている(坂本, 1975)。その後も, 東茨城台地では北関東自動車道・東水戸道路建設や霞ヶ浦導水建設をはじめとする多数のボーリング調査が実施されており(Fig. 1), その柱状図は国土交通省や茨城県土

木部の提供のもと独立行政法人防災科学技術研究所の統合化地下構造データベース (<http://www.geo-stn.bosai.go.jp/jps/indexagreement.html>) からダウンロード閲覧することが出来る(Table. A1)。A-B断面(Fig. 3)は国土交通省の霞ヶ浦導水調査ボーリング柱状図を, C-D-E-F断面(Fig. 4)は北関東自動車道・東水戸道路路沿いに周辺も含めた調査ボーリング柱状図を投影したものである。もとの柱状図では礫, 砂, 泥, ローム層のような簡単な岩相記載しかないものの, ほぼ水平に広がるこれらの岩相を追跡するといくつかの層準に, 坂本ほか(1967; 1969)が指摘したような埋没河谷と判断される不整合が那珂川沿いや涸沼川沿いに見出される(Fig. 5)。本報告では, これらの不整合と露頭で観察される地層境界との層位関係から, 以下に記述する地質断面における累層区分を行った。

3.1 茨城層

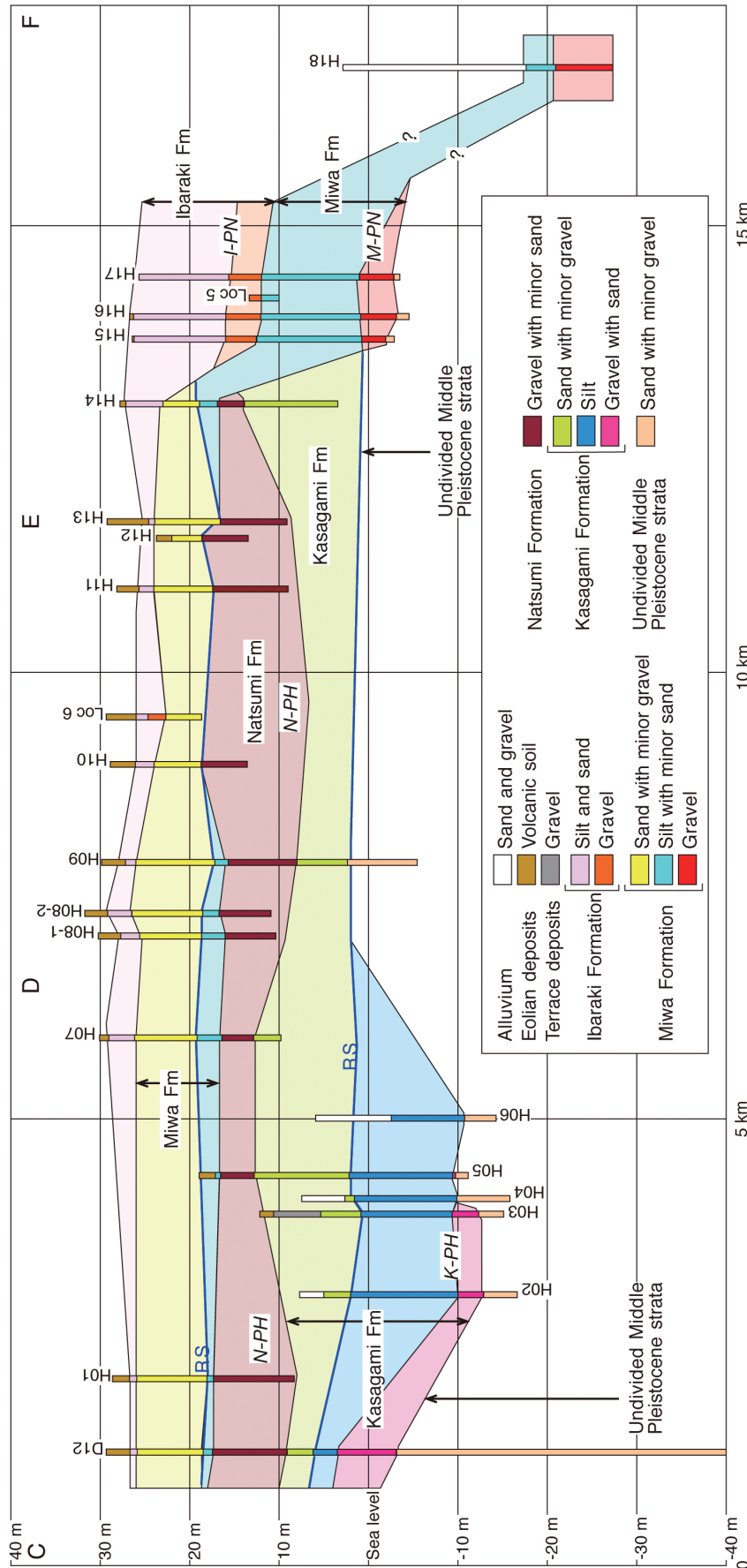
地層名 坂本(1975), 坂本ほか(1972; 1981)の“茨城粘土層”を再定義して用いる。横山(2004)が“茨城粘土層”と直下の砂・礫層を合わせて常総層と呼んだものと同じ地層であるが, 常総層の模式地は茨城県南部にあり, かつ模式地のもは古鬼怒川流系の堆積物からなる(小玉ほか, 1981)。本層は常総層と同時代の地層であるものの, 古那珂川水系の堆積場の異なるものであることから茨城層と呼ぶ。模式地は茨城県東茨城郡茨城町上石崎の砂利取り場(Loc. 6)である。

分布形態 東茨城台地表層をつくる土壌化した褐色の風成火山灰土(ローム層)の直下にある層厚1～2m前後の灰白～青灰色の塊状で砂混じりのシルト層を主体とし, 東茨城台地の全域に薄く広がっている。上面の標高はA-B断面の南端で26m程度であったものが北に向かって高度を上げ, 北端のD03では34mとなる(Fig. 3)。一方, C-D-E-F断面では標高27m前後で高度の変化は認められない(Fig. 4)。ただし, 大洗町夏海(Loc. 2)周辺では, 上面の標高は32m前後まで上昇する。本層是那珂川の南において砂層を伴い層厚が大きくなり, 下部に厚い礫層を伴うようになる(D03, D04, D06, D07-1, D07-2, D08, D09,



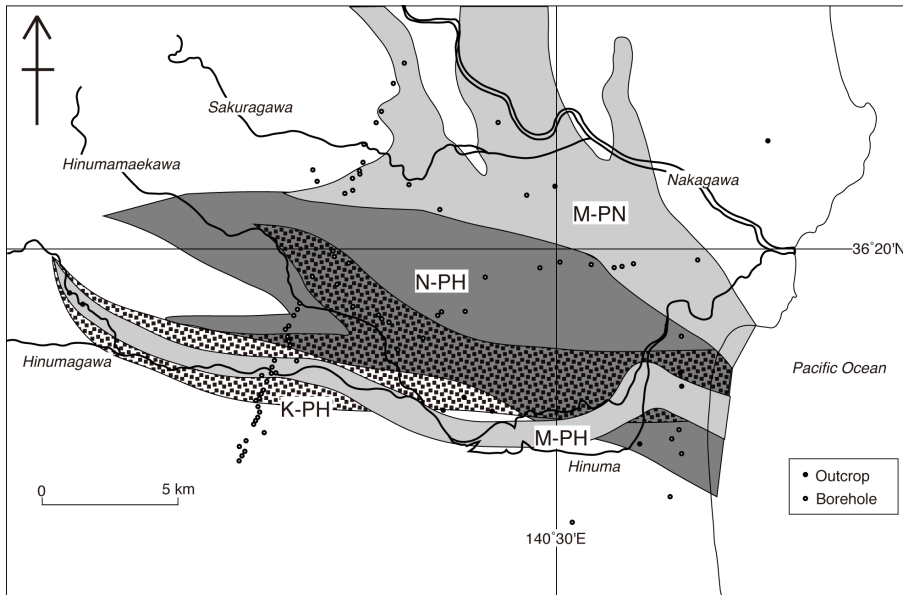
第3図 A-B線に沿う地質断面図。掘削孔の位置は第1図、名称は表A1を参照のこと。青太線はラビメント面(RS)。I-PN = 茨城古那珂川; M-PN = 見和古那珂川; M-PH = 見和古瀬沼川; N-PH = 夏海古瀬沼川; K-PH = 笠神古瀬沼川。

Fig.3 Geological cross section along the A-B line. See Figure 1 for the location and Table A1 for the name of boreholes. Blue solid lines are ravinement surfaces (RS). I-PN = Ibaraki paleo-Nakagawa; M-PN = Miwa paleo-Nakagawa; M-PH = Miwa paleo-Hinumagawa; N-PH = Natsumi paleo-Hinumagawa; K-PH = Kasagami paleo-Hinumagawa.



第4図 C-D-E-F線に沿う地質断面図。掘削孔の位置は第1図、名称は表A1を参照のこと。青太線はラビメント面 (RS)。I-PN = 茨城古那珂川; M-PN = 見和古那珂川; N-PH = 夏海古瀬沼川; K-PH = 笠神古瀬沼川。

Fig.4 Geological cross section along the C-D-E-F line. See Figure 1 for the location and Table A1 for the name of boreholes. Blue solid lines are ravinement surfaces (RS). I-PN = Ibaraki paleo-Nakagawa; M-PN = Miwa paleo-Nakagawa; N-PH = Natsumi paleo-Hinumagawa; K-PH = Kasagami paleo-Hinumagawa.



第5図 古河川チャネルの分布。M-PN = 見和古那珂川; M-PH = 見和古瀬沼川; N-PH = 夏海古瀬沼川; K-PH = 笠神古瀬沼川。

Fig.5 Distribution of paleo-river channels. M-PN = Miwa paleo-Nakagawa; M-PH = Miwa paleo-Hinumagawa; N-PH = Natsumi paleo-Hinumagawa; K-PH = Kasagami paleo-Hinumagawa.

D10, H15, H16, H17). この礫層の下面は、下位の見和層を最大で20 m程度削り込んでおり、この埋没河谷を茨城古那珂川 (I-PN) と呼ぶ。

堆積相 “茨城粘土層” と呼ばれた堆積物は、植物片や根痕を多産する淘汰の悪いシルトからなり、上部にはクラックが発達している。上方細粒化が顕著で、シルトの下位にはトラフ型斜交層理を持つ砂や礫層を伴っている。トラフ型斜交層理の多くは海側に傾斜し東への古流向を示すものの、東茨城台地の東部ではLoc. 1やLoc. 6のように陸側傾斜のトラフ型斜交層理を伴う中粒砂が伴われ、潮流影響下で形成されたヘリンボーン斜交層理をなしている。また、このような砂層には潮間帯に特徴的な白斑状生痕化石 (*Macaronichnus segregatis*) も場所によっては確認できる。一方、E-F断面 (Fig. 4) で見られる I-PN を埋積した茨城層下部の厚い礫層の露頭はLoc. 5で観察でき (Fig. 6)、塊状で岩片支持の中礫からなり、礫の長軸が流れ方向に直交するインプリケーションが発達する。インプリケーションの示す古流向は東ないしは南東である。Loc. 5の礫層は坂本 (1975) では“見和層中部” とされていたものの、礫層の下には後述する再堆積したAg-MzP8 (MT101) を挟む見和層、上には“茨城粘土層” が直接重なるので、本報の夏海層 (後述) に相当する“見和層中部” ではなく、茨城層に再区分すべきことは確実である。Fig. 4では、このLoc. 5の露頭柱状図をE-F断面に投影している。

堆積環境 I-PNを埋積した礫層の岩相は、これが典型的な網状河川堆積物 (例えばMiall, 1978) であることを示しており、その位置から当時の那珂川本流の流路沿いに形

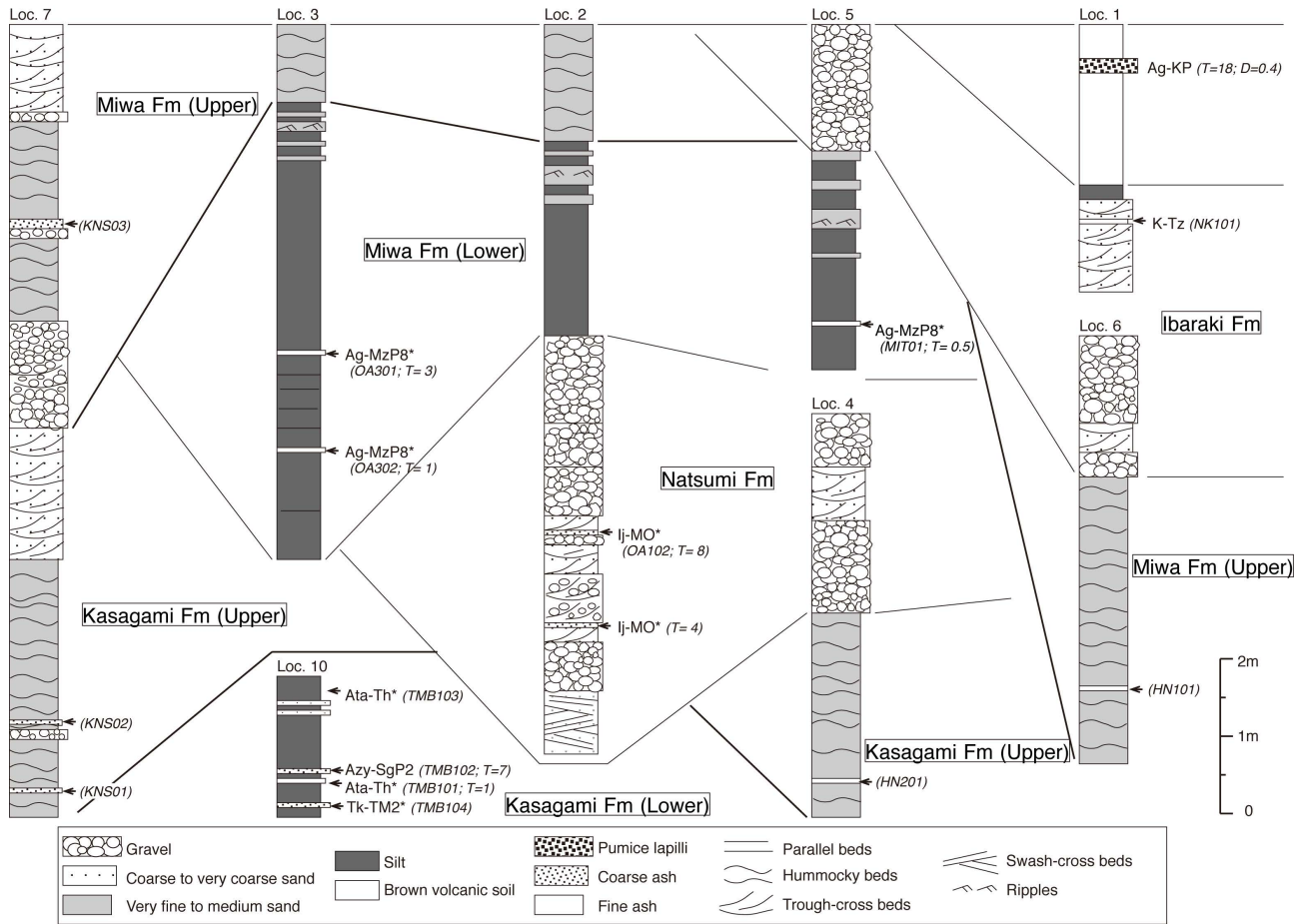
成されたものと考えられる。また、I-PNの外側に広がるオーバーク部の泥質堆積物卓越相は、横山 (2004) の指摘するように、その産状から陸成の後背湿地堆積物と判断される。一方で、台地の東部ではヘリンボーン斜交層理を持つ潮流堆積物が挟まれることから、この後背湿地は海に面しており河川流路を通じて上げ潮の影響があったことが示唆される。

3.2 見和層

地層名 齊藤 (1959)、坂本 (1972; 1975)、坂本ほか (1967; 1969; 1972; 1981) の“見和層”のうち、上部と一部を除いた下部を合わせて見和層と再定義する。従来の“見和層中部”の大部分は本報の夏海層、“見和層下部”の一部は本報の笠神層に再編される。元々の模式地は茨城県水戸市見和の周辺であるが、都市化が進んだため露頭として観察することは出来なくなっている。そのため茨城県東茨城郡大洗町の神山から夏海へと至る町道沿いの崖 (Loc. 2; Fig. 7) を新たな模式地とする。この地点では下位の夏海層から上位の茨城層までの地層が連続して観察できる。

分布形態 本層は、茨城層の下位にあり、後述する夏海層・笠神層を削り込んだ埋没河谷に堆積した泥質の下部と、これをほぼ平坦に覆う砂質の上部からなる。厚い泥質の堆積物は那珂川の南のD01, D03, D04, D07-1, D07-2, D08, D09, D10, H15, H16, H17やLoc. 5に認められ、その基底には礫層がある。また、瀬沼川沿いのLoc. 3 (Fig. 6)やLoc. 9 (Fig. 8)にも厚い泥質堆積物の露頭がある。ここでは前者を見和古那珂川 (M-PN)、後者を見和古瀬沼川 (M-PH) と呼ぶ (Fig. 5)。那珂川以北の

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 (山元)



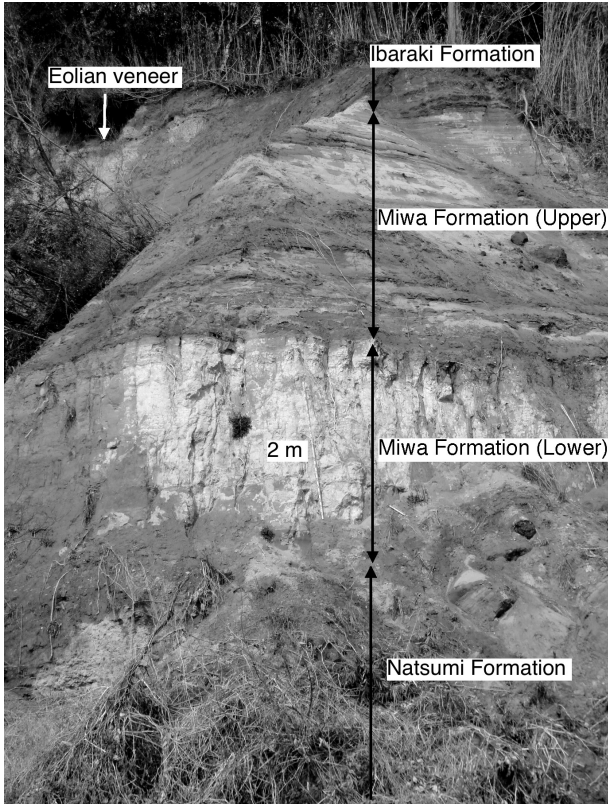
第6図 東茨城台地の更新統柱状図。テフラ層の名称は第1表、構成物の特徴は第2表参照のこと。太線はラビメント面。TMB101, KNS01等は第2表の試料番号。* =再堆積したテフラ。T = テフラ層の厚さで、単位はcm。D = テフラの平均最大粒径で、単位はcm。Loc. 7・10は、大井・横山(2011)のStop 3・1に対応する。

Fig. 6 Stratigraphic columns of Pleistocene strata in the Higashi-Ibaraki plateau. See Tables 1 and 2 for the tephra names and its compositions. Solid lines are ravinement surfaces. TMB101, KNS01, etc. are the sample number in Table 2. * = resedimented tephra. T = thickness of the tephra unit in centimeters. D = averaged maximum diameter of grains of the tephra unit in centimeters. Locs. 7 and 10 are corresponding to Stops 3 and 1 in Ooi and Yokoyama (2011), respectively.

M-PNの形態は、坂本ほか(1972)に従っている。本層下部と上部の境界の標高は、A-B断面の南端で13~14 m程度であったものが北に向かって高度を上げ、D11-1では約19 mとなる(Fig. 3)。一方、C-D-E-F断面では標高17~19 m前後で高度の変化は認められない(Fig. 4)。このボーリングで確認された下部・上部境界の標高は、坂本(1975)や坂本ほか(1981)が露頭で計測した“見和層上部”下面の標高分布と全く矛盾しない。この下部・上部境界の標高は、沿岸部の大洗町内(Loc. 2)で13~14 mまで低下し、反対に山沿いの笠間町内(Loc. 9)では25 m程度まで上昇する。このような高度の差は既に松本・牧野(2000)も指摘しており、上部の基底面はラビメント面であり

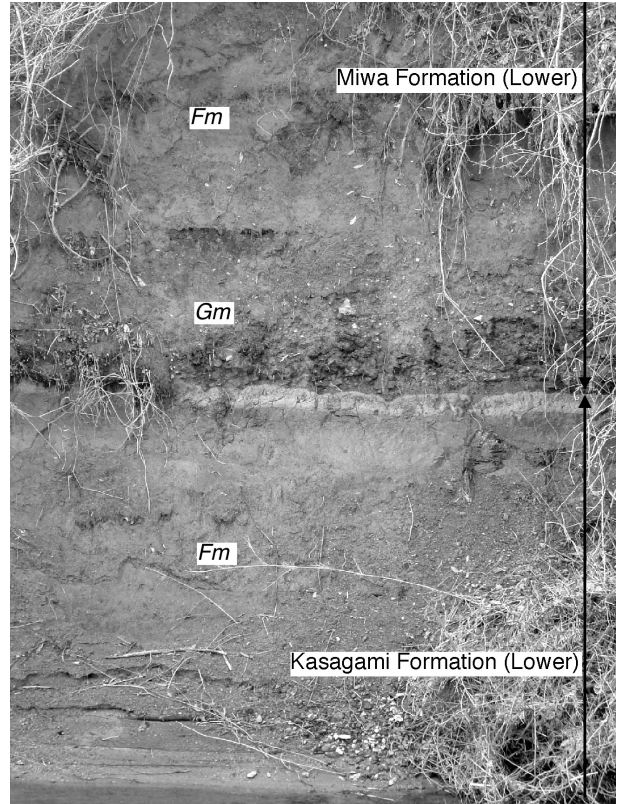
海進が東から西へ向かった結果と解釈されている。

堆積相 Loc. 3やLoc. 5に露出する本層下部は、生物擾乱を受けた塊状のシルトおよびシルト質極細粒砂層を主体とし、上部に平行層理やウェーブリップルを持つ細粒~中粒砂を伴っている(Fig. 6)。本層上部の基底面は平坦な侵食面となっており(坂本ほか, 1969)、偽礫を含む淘汰の悪い基質支持の塊状細礫~中礫層が重なっている。さらにその上位にはハンモック状型斜交層理を持つ細粒砂層、さらに上位にトラフ型や平板斜交層理を持つ細粒~中粒砂層が累重して、層厚10 m前後の側方へ良く岩相の連続する地層をつくる。



第7図 大洗町に露出する夏海・見和・茨城層(Loc. 2). この露頭は、夏海・見和層の模式露頭である。スケールは2m.

Fig.7 Outcrop of the Natsumi, Miwa and Ibaraki Formations in Oarai Town (Loc. 2). This outcrop is the type locality for the Natsumi and Miwa Formations. Scale is 2 m.



第8図 涸沼川沿いに露出する見和・笠神層のエスチュアリー相(Loc. 9). *Fm* = 塊状のシルト; *Gm* = 塊状で岩片支持の礫. 露頭の高さは約7m.

Fig.8 Outcrop of the estuary facies of the Miwa and Kasagami Formations along the Hinumagawa River (Loc. 9). *Fm* = massive silt; *Gm* = massive, clast-supported gravel. The height of the outcrop is about 7 m.

堆積環境 M-PNやM-PHの谷状地形を埋積する本層の下部は、横山(2004)の指摘するように、その岩相からエスチュアリーや潮汐低地の堆積物と判断される。また、ラベンメント面を覆う本層上部は、横山ほか(2001)や横山(2004)が既に指摘したように、海進ラグ堆積物とこれを覆う下部外浜～上部外浜の堆積物で、海進期後期とこれに続く高海水準期に形成されたものである。

3.3 夏海層

地層名 新称。涸沼周辺に分布する坂本(1972; 1975)の“見和層中部”に相当する。模式地は、見和層と同じ茨城県東茨城郡大洗町の神山から夏海へと至る町道沿いの崖(Loc. 2; Fig. 7)である。

分布形態 見和層の下位に位置し、笠神層を削り込む埋没河谷に堆積した礫の卓越する地層で、A-B断面のD11-1～D20の範囲の標高6～18mの間に層厚7～10mで位置し、北に向かって分布が高くなる(Fig. 3)。一方、C-D-E-F断

面ではD12～H14までの広い範囲で標高8～16mに連続し、高さの変化はない(Fig. 4)。また、涸沼の東では神山試錐(GSJ-71-B1)から原研1号井G1の範囲に本層の礫層の存在が確認されている(坂本, 1975)。神山試錐では礫層の下位に淘汰の良い砂層があり、これが標高-10mまで連続し、さらにその下位には砂礫層が標高-18.6mまで続くことから、ここまですべてを“見和層中部”と坂本(1975)は考えている。しかし、どこまでが本報の夏海層とすべきなのかは、コアを直接観察できていないので、判断することができない。また、坂本(1972; 1975)はこの涸沼東岸で確認されたこの埋没河谷が北西～北北西に延長され水戸付近から現那珂川に沿うものと考えていた。しかし、前述のように水戸周辺の礫層は上位の茨城層のもので、坂本(1972; 1975)の解釈は成り立たない。A-B断面・C-D-E-F断面からは埋没河谷は涸沼川に沿ってその北側に延びていたことは確実であるので、これを夏海古涸沼川(N-PH)と呼ぶ(Fig. 5)。

堆積相 模式地 (Loc. 2) に露出する本層の堆積相については (Fig. 6), 既に山元 (2007) が記載している. すなわち, 露頭基底部には成層した淘汰の良い石英に富んだ中粒～粗粒砂があり, 陸側傾斜の低角斜交層理・平行層理のくさび形セットの重なりを主とし, 間に古流向が海向きの小型リップルを伴っている. さらにその上位には, 海側傾斜のトラフ型斜交層理を持つ礫混じりの粗粒砂層と, 古流向が海向きのインブリケーションが発達する塊状中礫～大礫層が重なっている.

堆積環境 本層がN-PHの谷状地形を埋積することを重視すると, 露頭基底部の低角斜交層理・平行層理のくさび形セットは, 砂嘴プラットフォーム (spit platform; Kumar and Sanders, 1974; Moslow and Tye, 1985) のような上げ潮で形成された潮流口内の浅瀬を構成していたものと判断される (山元, 2007). これに重なるトラフ型斜交層理を持つ礫混じりの粗粒砂層や塊状礫層は典型的な網状河川流路堆積物 (Miall, 1978) で, 潮汐流の影響は認められない. この岩相の変化は, 海面上昇率よりも堆積物供給率が大きくなったため, 河口の位置が海側へと移動したことを意味するのであろう.

3.4 笠神層

地層名 坂本ほか (1981) の“笠神層”に, 潤沼川沿いに分布する彼らの“見和層下部”の一部を加えたものを笠神層と呼ぶ. 坂本ほか (1981) も指摘するように, 坂本 (1975) がかつて石崎層として1/5万地質図幅「磯浜」に示した地層のうち, 少なくとも最上部 (例えば旭村試錐GSJ-67-B2) は本層に再区分されるべきである. 坂本ほか (1981) は本層の模式地として茨城県東茨城郡茨城町笠神の茨城町青年共同宿泊研究所うらの露頭 (Loc. 8) を示したが, これは既に消失している. 代替の模式地としてはその北東の茨城町笠神剣尺の砂利取り場跡 (Loc. 7; Fig. 5) を指定する.

分布形態 本層は, 見和層・夏海層の下位にあり, 見和層と同様に, 下位層を削り込んだ埋没河谷に堆積した泥質の下部と, これをほぼ平坦に覆う砂質の上部からなる. 厚い泥質の堆積物はA-B断面のD11-3～D31の範囲と (Fig. 3), C-D-E-F断面のD12～H06の範囲に認められ, その基底には礫層がある. この厚い泥質堆積物が満たす埋没河谷を笠神古潤沼川 (K-PH) と呼ぶ (Fig. 5). 本層下部と上部の境界の標高は, A-B断面のD31で約1mであったものが北に向かって高度を上げ, D11-3では約7mとなる (Fig. 3). C-D-E-F断面でも境界の標高はD12の約6mから東に向かって1m前後まで高度が下がっている (Fig. 4). 潤沼北西岸の模式地 (Loc. 7) 周辺では標高10m前後に本層上部の砂層が分布するので, 断面の地層が坂本ほか (1981) の笠神層であることは問題ない.

堆積相 ボーリングで確認されたK-PHの谷状地形を埋積する本層下部の泥質堆積物は, A-B断面やC-D-E-F断面の近傍では地表に露出しないものの, 更に上流に位置するLoc. 9 (Fig. 8) やLoc. 10の潤沼川河床で観察することができる. Loc. 9の露頭は坂本ほか (1981) の地点 60の柱状図と同じもので, ここでは最下部に腐植混じりで淘汰の悪いシルト層があり, その上に厚さ2m弱の砂礫層を挟んで, 内湾生の貝化石 [種名は坂本ほか (1981) の第5表を参照のこと] を産する生物擾乱を受けた塊状シルト層が重なっている (Fig. 8). 坂本ほか (1981) は上下両層を“見和層下部”としたが, 本報では下位のシルト層を笠神層下部, 砂礫層よりも上位を見和層下部と解釈している. A-B断面においてM-PHの下限が笠神層下部まで削り込むのは, このLoc. 9での層序関係を投影したものである (Fig. 3). 模式地 (Loc. 7) の本層上部は, 見和層上部と同様な, ハンモック状型斜交層理を持つ細粒砂層とこれに重なるトラフ型斜交層理を持つ中粒砂層からなる. この露頭は, 大井・横山 (2011) のStop 3の笠神層の露頭と同じものであり, その堆積相解釈にも違いはない.

堆積環境 K-PHの谷状地形を埋積する泥質の本層下部は, その堆積相からエスチュアリー堆積物と判断される. また, 砂質の本層上部は, 横山 (2004) が既に指摘したように, 下部外浜～上部外浜の堆積物である.

3.5 未区分更新統

坂本ほか (1981) は, 見和層・笠神層よりも下位にある下総群層構成層を, “石崎層”と総称している. しかしながら, この地層は地表へほとんど露出せず, 坂本ほか (1981) も認めるように, 層序関係の不明な複数の地層をまとめて“石崎層”と呼んでいるに過ぎない. そのため, 本報では笠神層よりも下位の更新統を区分することはしない. それでもD28～D40の標高-4～-6 m以深に泥質堆積物で満たされた埋没河谷が存在するなど (Fig. 3), 今後の研究が進めば更なる層序区分は十分可能である. そのためには, コア試料の新たな編年が求められる.

4. テフラの対比

東茨城台地のテフラの対比する上で参照とすべきものは, 鈴木 (1989) も主張するように, 卓越風の風上側に位置する北関東の火山群近傍のテフラ層序である. Fig. 9はその代表で, 栃木県鹿沼市の鹿沼・上欠段丘における被覆風成堆積物の露頭柱状図を示している (山元, 2007; 吉川ほか, 2010). 褐色の火山灰土中には赤城火山由来の多数の降下テフラ層のほか, 日光火山群, 飯土火山や鬼怒沼火山由来の降下テフラ層が認められる. テフラの名称と命名はTable. 1に, テフラの構成物の特徴はTable 2に示している. これらのうち, 対比の上で重要

第1表 テフラ一覧. *Cpx* = 単斜輝石; *Cum* = カミングトン閃石; *Hb* = 普通角閃石; *Opx* = 斜方輝石.

Table.1 List of tephra units in this study. *Cpx* = clinopyroxene; *Cum* = cummingtonite; *Hb* = hornblende; *Opx* = orthopyroxene.

Tephra	Name	Age	Rock type	Reference
Ag-KP	Akagi-Kanuma 赤城鹿沼	44 ka	Hb Opx dacite	Akutsu (1955)
Ag-NM1	Akagi-Namekawa 1 赤城行川1	ca 51 ka	Hb Opx Cpx dacite	Suzuki (1990)
Ag-NM2	Akagi-Namekawa 2 赤城行川2	ca 52 ka	Hb Opx Cpx dacite	Suzuki (1990)
Ag-MzP1	Akagi-Mizunuma 1 赤城水沼1	56-59 ka	Hb-bear Opx Cpx dacite	Suzuki (1990)
Ag-MzP2	Akagi-Mizunuma 2 赤城水沼2	ca 60 ka	Hb Opx Cpx dacite	Suzuki (1990)
Ag-MzP5	Akagi-Mizunuma 5 赤城水沼5	ca 90 ka	Hb-bear Opx Cpx dacite	Suzuki (1990)
K-Tz	Kikai-Tozuhara 鬼界葛原	ca 95 ka	Opx Cpx rhyolite	Machida & Arai (2003)
Ag-MzP6	Akagi-Mizunuma 6 赤城水沼6	ca 0.10 Ma	Hb Opx dacite	Suzuki (1990)
Nk-MA	Nikko-Mamiana 日光満美穴	ca 0.10 Ma	Opx Cpx andesite	Akutsu (1957)
Ag-MzP7	Akagi-Mizunuma 7 赤城水沼7	ca 0.12 Ma	Hb Opx dacite	Suzuki (1990)
Ag-MzP8	Akagi-Mizunuma 8 赤城水沼8	ca 0.13 Ma	Hb-bear Opx Cpx dacite	Suzuki (1990)
Ag-MzP9-10	Akagi-Mizunuma 9-10 赤城水沼9-10	ca 0.13 Ma	Hb-bear Opx Cpx dacite	Suzuki (1990)
Ij-MO	Iiji-Moka 飯土真岡	ca 0.22 Ma	Cum-bear Opx Hb dacite	Yamamoto (2007)
Kn-KD	Kinunuma-Kurodahara 鬼怒沼黒田原	ca 0.23 Ma	Opx Hb dacite	Suzuki (1993); Yamamoto (1999)
Azy-SgP2	Azumaya-Sigadaira 2 四阿菅平2	ca 0.24 Ma	Bt Cum Hb dacite	Suzuki & Hayakawa (1990)
Ata-Th	Ata-Toihama 阿多鳥浜	ca 0.24 Ma	Opx Hb rhyolite	Machida & Arai (2003)
Tk-TM02	Takahara-Tomuroyama2 高原戸室山2	ca 0.24 Ma	Opx Hb dacite	Yamamoto (1999)

なものは赤城水沼8テフラ (Ag-MzP8), 赤城水沼9-10テフラ (Ag-MzP9-10), 飯土真岡テフラ (Ij-MO)である。本報では、テフラ対比のために、火山ガラスや斑晶鉱物の屈折率測定を温度変化型測定装置(MAIOT)で測定したほか、火山ガラスの主成分化学組成をエネルギー分散型X線マイクロアナライザー (EDX)で測定している。測定は、どちらも(株)古澤地質に依頼した。分析結果は付録2に示している。

4.1 茨城層中のテフラ

1) 鬼界葛原テフラ (K-Tz)

ひたちなか市部田野(Loc. 1)の本層最上部を構成する海側傾斜のトラフ型斜交層理を持つ砂層中に、細粒火山灰の団塊が径2cm以下の偽礫として再活動面に沿って配列している(Fig. 6)。この露頭とテフラは、鈴木(1989)が記載したものと全く同じものである。鈴木(1989)は、このテフラが低屈折率の気泡壁型火山ガラス片に富み、石英斑晶を含むこと、火山ガラスの全岩化学組成の特性から、約9.5万年前に鬼界カルデラから噴出したK-Tz(町田・新井, 2003)に対比している。本報でも同露頭のNK101を分析し、火山ガラスの屈折率(*n*)が1.497~1.500であること、石英斑晶を含むことを確認した(Table. 2)。細粒火山灰団塊自体の純度は高く、異質粒子はほとんど混入していない。テフラは団塊として再活動面にあることから、流れの停滞期にK-Tzが水域に堆積しマッドレイプとして層をなしていたものが、潮流によって斜層理

を形成する際に侵食され偽礫となったものとみられる。

4.2 見和層中のテフラ

1) 再堆積した赤城水沼8テフラ (Ag-MzP8*)

Loc. 3とLoc.5の見和層下部の泥質堆積物中には、軽石型火山ガラス片に斜方輝石・単斜輝石を含んだ細粒砂の薄層が挟まれている(Fig. 6)。Loc. 3では120cm離れた複数層準(OA301とOA302)に現れ、間のシルト層にも火山ガラスを含むシルトの薄層が平行層理をなしている。Loc. 5の薄層(MIT01)は、生物擾乱を受け側方へはあまり連続しない。OA301とOA302は層準が異なるものの、構成物の特徴は極めて類似しており、火山ガラスの屈折率(*n*)は1.505~1.507と1.496~1.502とバイモーダルで、斜方輝石の屈折率の分布範囲もかなり広い(Table. 2)。従って、両者は伴に再堆積した混合テフラであり、後背地から繰り返しエスチュアリーに流入したとみられる。MIT01も含めた火山ガラスの主成分化学組成(Tables A2, A3 & A4)の分布をみると、混合の特徴はより顕著である。3試料とも含まれる火山ガラスのうち半分強は同じ比較的狭い範囲に集中するものの、残りの火山ガラスの組成は広い範囲に分散してしまう(Fig. 10-1)。比較のため、Fig. 10-1には鈴木(1989)により見和層から記載されているAg-MzP8とAg-MzP9-10について、鹿沼段丘の試料(KN101とKN102; Fig. 9)の分析値(山元, 2013)も示している。Ag-MzP8の火山ガラスはSiO₂量が77.0~78.5 wt%で、CaOが若干低く、K₂Oが若干高い傾向があ

第2表 テフラの特徴

Cpx = 単斜輝石; Cum = カミングトン閃石; Hb = 普通角閃石; Opx = 斜方輝石; Qz = 石英; [] = 微量成分;
* = 再堆積したテフラ. A = 本研究; B = 吉川ほか (2010). 露頭の位置は, 第1図と第3表を参照のこと.
テフラ試料の層位は, 第6・9図を参照のこと.

Table. 2 Characteristics of tephra units. Cpx = clinopyroxene; Cum = cummingtonite; Hb = hornblende; Opx = orthopyroxene; Qz = quartz; [] = minor component; * = resedimented tephra. A = this study; B = Yoshikawa et al. (2010). See Figure 1 and Table A3 for outcrop localities. Stratigraphic positions of samples are shown in Figures 6 and 9.

Unit	Sample	Loc.	Mineral composition	Refractive index mode				Ref.
				Glass (n)	Opx (γ)	Hb (n2)	Cum (n2)	
K-Tz	NK101	1	Qz	1.497-1.500 (100%)				A
(not tephra)	KNS03	7	Opx, Cpx > Hb; Qz	1.497-1.503 (70%) 1.504-1.506 (20%)	1.697-1.703 (30%) 1.711-1.715 (30%) 1.716-1.719 (30%)	1.669-1.688 (100%)		A
Ag-MzP8	UT115	11	Opx > Cpx, [Hb]	1.505-1.507 (80%)	1.707-1.711 (90%)	[1.682-1.690 (60%)] [1.673-1.674 (10%)]		B
Ag-MzP8	KN102	12	Opx > Cpx, [Hb]; [Qz]	1.508-1.511 (80%)	1.708-1.711 (90%)	[1.679-1.690 (90%)]		B
Ag-MzP8*	OA301	3	Opx > Cpx	1.504-1.507 (40%) 1.495-1.502 (50%)	1.707-1.712 (40%) 1.696-1.701 (20%) 1.718-1.720 (20%)			A
Ag-MzP8*	OA302	3	Opx > Cpx	1.505-1.511 (40%) 1.496-1.504 (50%)	1.706-1.708 (20%) 1.711-1.716 (30%) 1.698-1.704 (20%)			A
Ag-MzP9-10	UT116	11	Opx > Cpx, [Hb]	1.500-1.504 (90%)	1.706-1.709 (80%)	[1.674-1.683 (80%)]		B
Ag-MzP9-10	KN101	12	Opx > Cpx, [Hb]; [Qz]	1.500-1.507 (80%)	1.707-1.709 (90%)	[1.672-1.688 (90%)]		B
(not tephra)	KNS01	7	Hb.; Qz	1.497-1.504 (90%)		1.669-1.689 (100%)		A

第3表 露頭位置一覧

Table. 3 List of outcrops.

No.		Latitude	Longitude
1	茨城県ひたちなか市部田野	36.37135	140.58262
2	茨城県東茨城郡大洗町神山町	36.29674	140.54638
3	茨城県東茨城郡大洗町神山町	36.29156	140.54760
4	茨城県東茨城郡大洗町松川第一	36.26921	140.52866
5	茨城県水戸市酒門町善重寺	36.35726	140.49538
6	茨城県東茨城郡茨城町上石崎東永寺	36.28067	140.47077
7	茨城県東茨城郡茨城町上石崎剣尺	36.28762	140.45897
8	茨城県東茨城郡茨城町笠神	36.28599	140.44811
9	茨城県笠間市大古山	36.31786	140.30288
10	茨城県笠間市大古山	36.32163	140.29670
11	栃木県宇都宮市上欠	36.54779	139.83152
12	栃木県鹿沼市宮脇	36.60955	139.73396

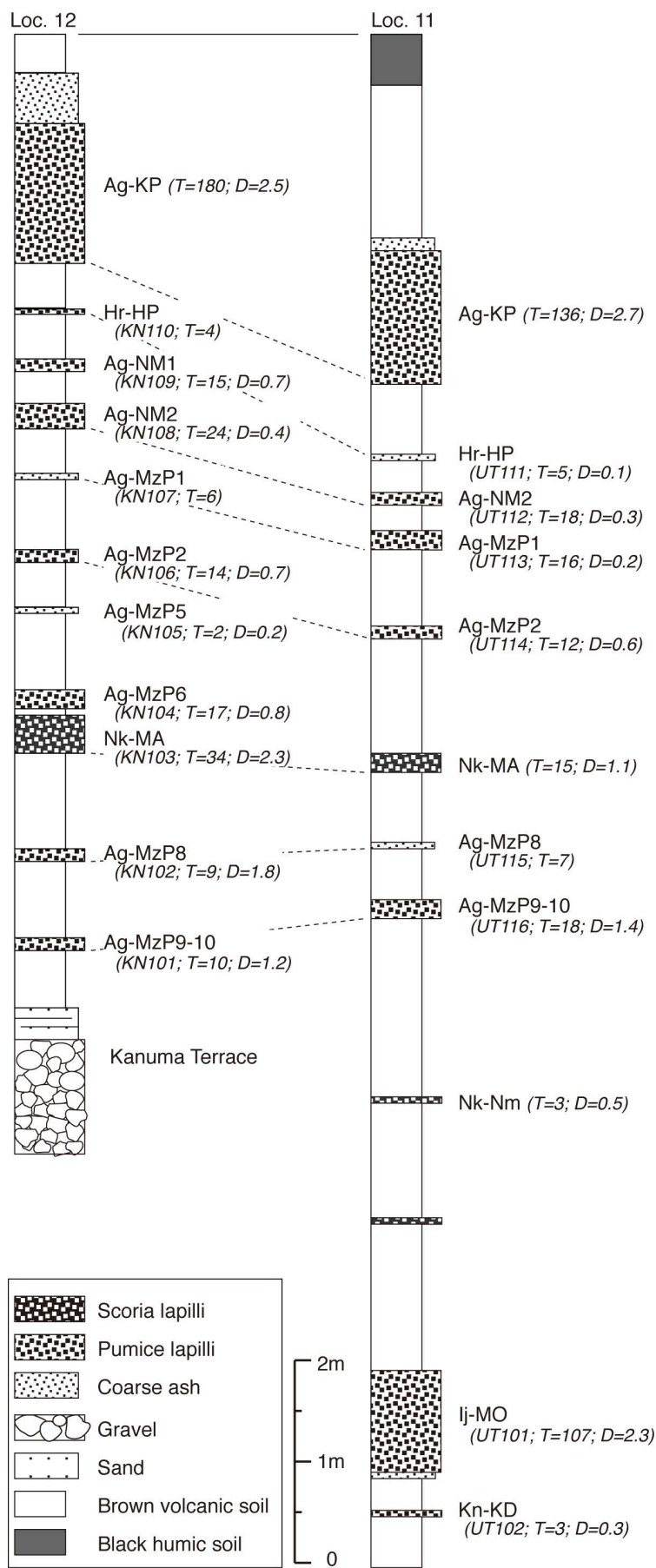
るものの, OA301・OA302・MIT101の火山ガラス組成中部との対応がよい. 一方, Ag-MzP9-10の火山ガラスはSiO₂量が75.0~77.0 wt%とAg-MzP8とは系統的にずれており, OA301・OA302・MIT101の火山ガラス組成とは一致しない. 以上の特徴から, OA301・OA302・MIT101をAg-MzP8の再堆積物と判断する.

2) 試料KNS03

茨城町笠神剣尺のLoc. 7は, 大井・横山(2011)のStop3と同じ露頭で, 彼らは見和層基底の海進ラグの礫層を覆うハンモック状斜交層理を持つ砂層から荒谷軽石を記載している. その記載した層準(KNS03)には中粒~極粗粒砂サイズの円磨された軽石粒子や斜方輝石・単斜輝石・普通角閃石が濃集している(Fig. 6). しかし, この試料の火山ガラスの屈折率(n)は1.497~1.506に分散し, 斜方輝石の屈折率もまとまりがない(Table. 2). さらに火山ガラスの化学組成(Table. A5)も, 全く特定の範囲に集中することがなく(Fig. 10-2), KNS03をテフラと認定することは出来ない.

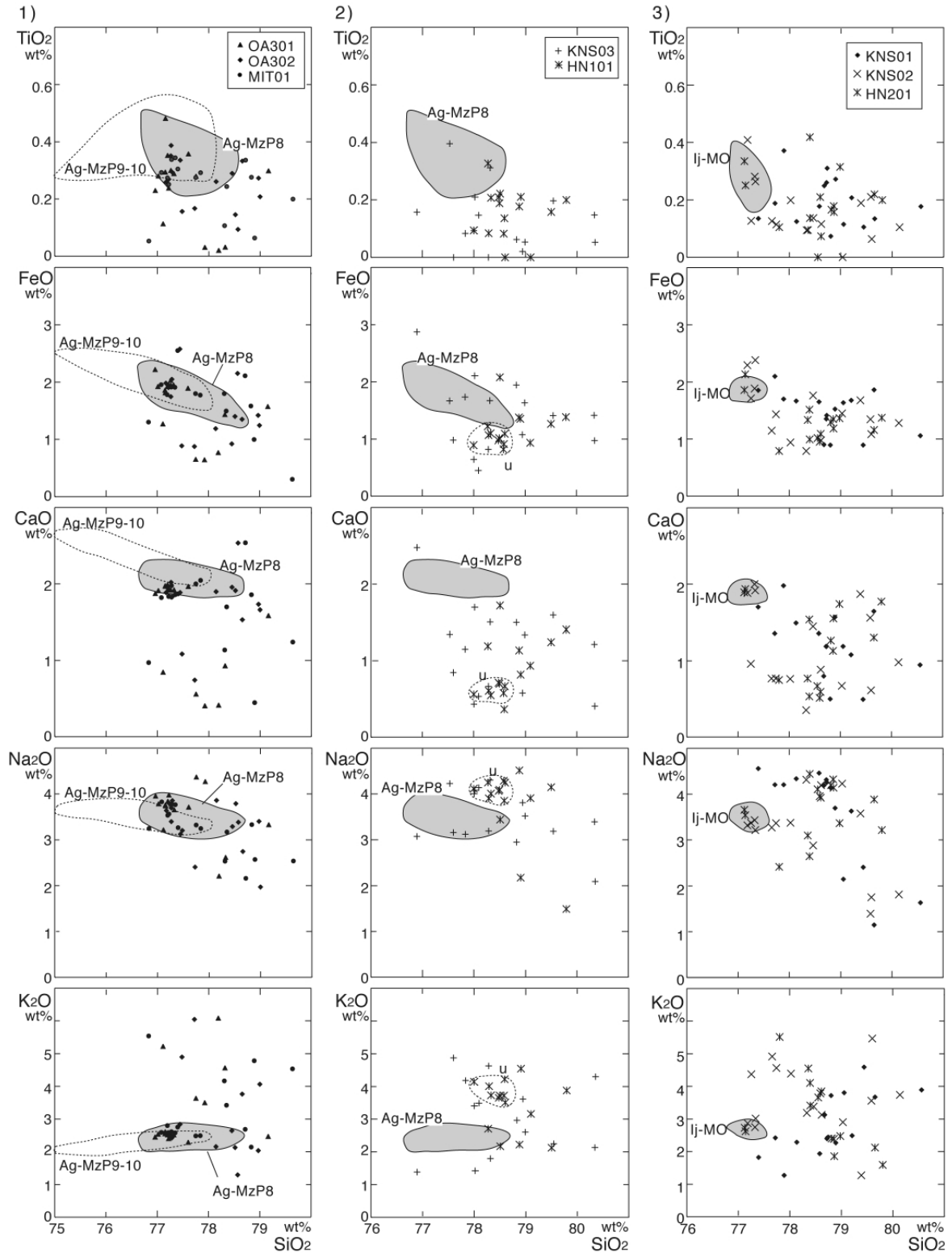
3) 試料HN101

茨城県東茨城郡茨城町上石崎のLoc. 6では見和層上部のハンモック状斜交層理を持つ砂層中に黒雲母片の目立つ火山砕屑物の多い厚さ1cm弱の薄層(HN101)が確認できる(Fig. 6). 黒雲母・普通角閃石のほか斜方輝石や斜長石・石英などの多様な結晶片に富み, 僅かに火山ガラス片を含んでいる. このような構成物の特徴から, 周辺の見和層上部で横山(2004)が記載した貝谷軽石に相当する可能性がある. HN101の火山ガラス片の化学組成



第9図 内陸宇都宮地域における風成被覆堆積物の層序。テフラ層の名称は第1表を参照のこと。Kn101, Kn102, UT101, UT102, UT115やUT116は第2表の試料番号。他のテフラ層の特徴は、吉川ほか(2010)に示されている。T = テフラ層の厚さで、単位はcm。D = テフラの平均最大粒径で、単位はcm。Loc. 11・12は、吉川ほか(2010)のLoc. 9・4に対応する。

Fig. 9 Stratigraphic columns of eolian veneer deposits in the inland Utsunomiya region. See Table. 1 for the tephra names. Kn101, Kn102, UT101, UT102, UT115, and UT116 are the sample number in Table 2. Characteristics of other sample are shown in Yosikawa *et al.* (2010). T = thickness of the tephra unit in centimeters. D = averaged maximum diameter of grains of the tephra unit in centimeters. Locs. 11 and 12 are corresponding to Locs. 9 and 4 in Yosikawa *et al.* (2010).



第10図 見和層(1・2)と笠神層(3)中の火山ガラスの主成分化学組成. 赤城水沼8テフラ (*Ag-MzP8*), 赤城水沼9-10テフラ (*Ag-MzP9-10*), 飯土真岡テフラ (*Ij-MO*)の組成範囲は山元(2013)による. サンプルの層序は第6図を参照のこと.

Fig. 10 Major element variations of volcanic glass shards from the Miwa Formation (1 and 2) and Kasagami Formation (3). Data fields for the Akagi-Mizunuma 8 tephra (*Ag-MzP8*), Akagi-Mizunuma 9-10 tephra (*Ag-MzP9-10*), and Iiji-Moka tephra (*Ij-MO*) are taken from Yamamoto (2013). See figure 6 for sample stratigraphy.

(Table. A6)は、約半分の粒子が特定の範囲(Fig. 10-2のu)に集まるので、何らかのテフラを母材とすることは確実である。しかし、残りの火山ガラスの組成は広く分散するので、再堆積した混合テフラであることは確実である。また、波浪時に特に濃集しやすい黒雲母や普通角閃石のようなフレーク状の鉱物が、はたしてu組成のテフラの本質物であるのかどうかは判断することは出来ない。

4.3 夏海層中のテフラ

1) 再堆積した飯土真岡テフラ(Ij-MO*)

山元(2007)が既に記載したように、Loc. 2の模式地の夏海層には、再堆積したIj-MOが複数層準に挟まれている(Fig. 6)。このうちのOA102は層厚8 cmの平行層理を持った細粒火山砕屑物で、火山ガラス片、普通角閃石、斜方輝石、石英の結晶片が含まれている。構成物の屈折率を検討した山元(2007)は、これがIj-MO以外にも直下のKn-KDや全く別のテフラ由来の少なくとも3つの混合物であることを示している。更に、山元(2013)はこのことを再確認するために、OA102とIj-MO給源近傍相の越後湯沢火砕流堆積物(Yz-PF)、Kn-KD給源近傍相のヒナタオソロシノ滝火砕流堆積物(Or-PF)の火山ガラスの主成分分析を行い、OA102がIj-MOを含む3つのテフラの混合物であるとする山元(2007)の記載の正しさを裏付けている。

4.4 笠神層中のテフラ

1) 四阿菅平2テフラ(Azy-SgP2)

大石(2009)は、笠間町大古山の涸沼川沿い(Loc. 10)の笠神層下部の泥質堆積物中に本テフラがあることを記載している(本報のTMB102; Fig. 6)。これは横山(2004)の「大古山軽石」と同じもので、大石(2009)は四阿火山近傍のAzy-SgP2との屈折率による構成物の比較から、両者が同一のテフラであることを明らかにしている。横山(2004)は全く別のテフラ堆積物[山元(2013)の涸沼川テフラ]にも「大古山」の固有名称を用いているが、このような重複使用は地層命名指針に反しており、「大古山」の固有名称を地層名として用いるべきではない。Loc. 10のAzy-SgP2(TMB102)は、再堆積を示唆するような堆積構造を持つことなく層厚7 cmの明瞭な単層として塊状のシルト層中に挟まれていること、火山ガラスの純度が高いこと(山元, 2013)から、降下火砕物として一次堆積したものと判断されよう。

2) 再堆積した阿多鳥浜テフラ(Ata-Th*)

横山(2004)は、Loc. 10においてAzy-SgP2の直下に約24万年前のAta-Th対比される火山灰があることを指摘している(本報のTMB101; Fig. 6)。この火山灰は暗灰色のシルト層中に厚さ1 cm弱の白色細粒砂のレンズとして挟まれ、側方への連続性は悪い。TMB101には、鏡下では、

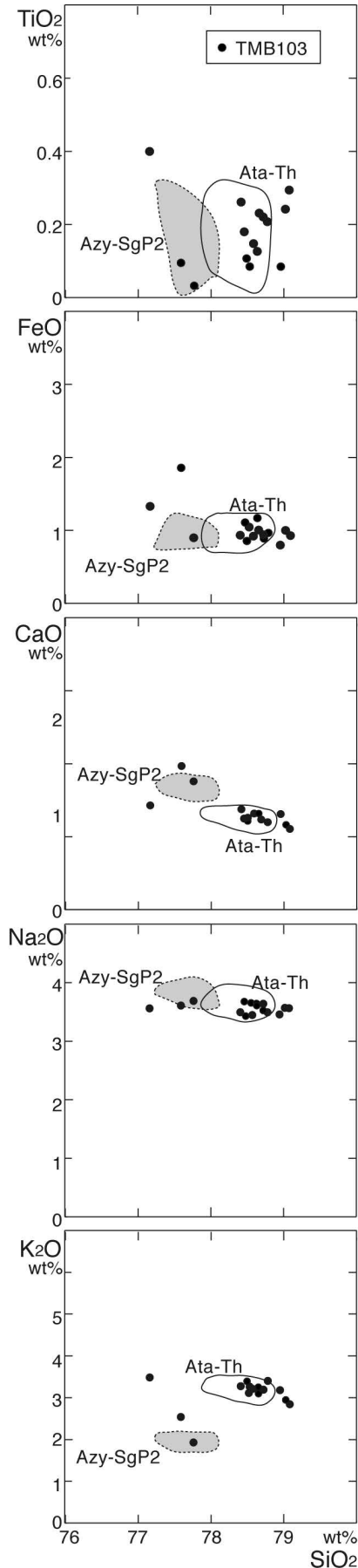
低屈折率($n=1.499\sim 1.502$)の気泡壁型火山ガラス以外に、高屈折率($n=1.518\sim 1.523$)の軽石型火山ガラスも含まれている(Table. 2)。その特徴は、火山ガラスの主成分化学組成でも認められ、気泡壁型火山ガラスのSiO₂量は77.9~78.8 wt%で、給源近傍の鳥浜火砕流堆積物中の軽石(試料Ata-Th)と良く一致するのに対し、高屈折率火山ガラスのSiO₂量は72.0~73.6 wt%と全く異なっている(山元, 2013)。このような結果から、TMB101は再堆積したAta-Thと判断される。ただし、TMB101直下の高原戸室山2テフラ(Tk-TM2)を含む再堆積した混合テフラ(TMB104)にはAta-Th由来の火山ガラスは全く含まれていないので(山元, 2013)、TMB101はAta-Thの降下層準にかなり近いものと見られる。

3) 試料TMB103

Loc. 10の露頭は、大井・横山(2011)のStop1と全く同じ露頭である。大井・横山(2011)はこの露頭最上部の塊状シルト層から、横山(2004)の貝谷軽石の産出を記載し(本報のTMB103; Fig. 6)、これが見和層の指標テフラであることから、Azy-SgP2やAta-Thを含む下位の塊状シルト層との間にシーケンス境界が存在すると主張している。TMB103は明瞭な単層として火砕物があるわけではなく、シルト中に中粒~粗粒砂サイズの軽石片や普通角閃石、黒雲母、斜方輝石、石英などの鉱物片が雑多に含まれ、鏡下では気泡壁型火山ガラスも多く含まれている。主成分化学組成(Table. A7)でみると、TMB103の気泡壁型火山ガラスのほとんどはAta-Thと一致し、軽石片の一部はAzy-SgP2と一致し、それ以外の組成の火山ガラスも混合している(Fig. 11)。従って、TMB103の火山砕屑物混じりのシルトは、露頭下部のものと構成物に違いはなく、両者の間にシーケンス境界が存在するとは考えられない。

4) 試料KNS01・KNS02

笠神層模式地のLoc. 7は、大井・横山(2011)のStop3と同じ露頭で、彼らは笠神層上部のハンモック状斜交層理を持つ砂層から真岡軽石を記載している。その層準(KNS02)には細粒~中粒砂サイズの普通角閃石、斜方輝石、石英が濃集し、鏡下では火山ガラス片も確認でき、同様な細粒火砕物は下位の層準(KNS01)にも存在する(Fig. 6)。しかしながら、その火山ガラスや斜方輝石・普通角閃石の屈折率の範囲は、山元(2007)が示したIj-MOの範囲よりも遙かに広く(Table. 2)、これがIj-MOの一次的な降下火砕物であるとはみなせない。KNS01とKNS02の火山ガラスを主成分組成(Tables A8 & A9)と比較しても、広い範囲に分散し(Fig. 10-3)、何らかの特定の母材テフラの存在を指摘することもできない。数粒の火山ガラスがIj-MOの組成範囲に落ちてはいるが、これを意味のあるものとはみなせないであろう。従って、KNS01とKNS02はテフラとは認定できない。



第11図 笠神層中の火山ガラスの主成分化学組成. 阿多鳥浜テフラ (*Ata-Th*), 四阿菅平2テフラ (*Azy-SgP2*)の組成範囲は山元(2013)による. サンプルの層序は第6図を参照のこと.

Fig. 11 Major element variations of volcanic glass shards from the Kasagami Formation, Data fields for the Ata-Toihama tephra (*Ata-Th*), and Azumaya-Sugadaira 2 tephra (*Azy-SgP2*) are taken from Yamamoto (2013). See figure 6 for sample stratigraphy.

5) 試料HN201

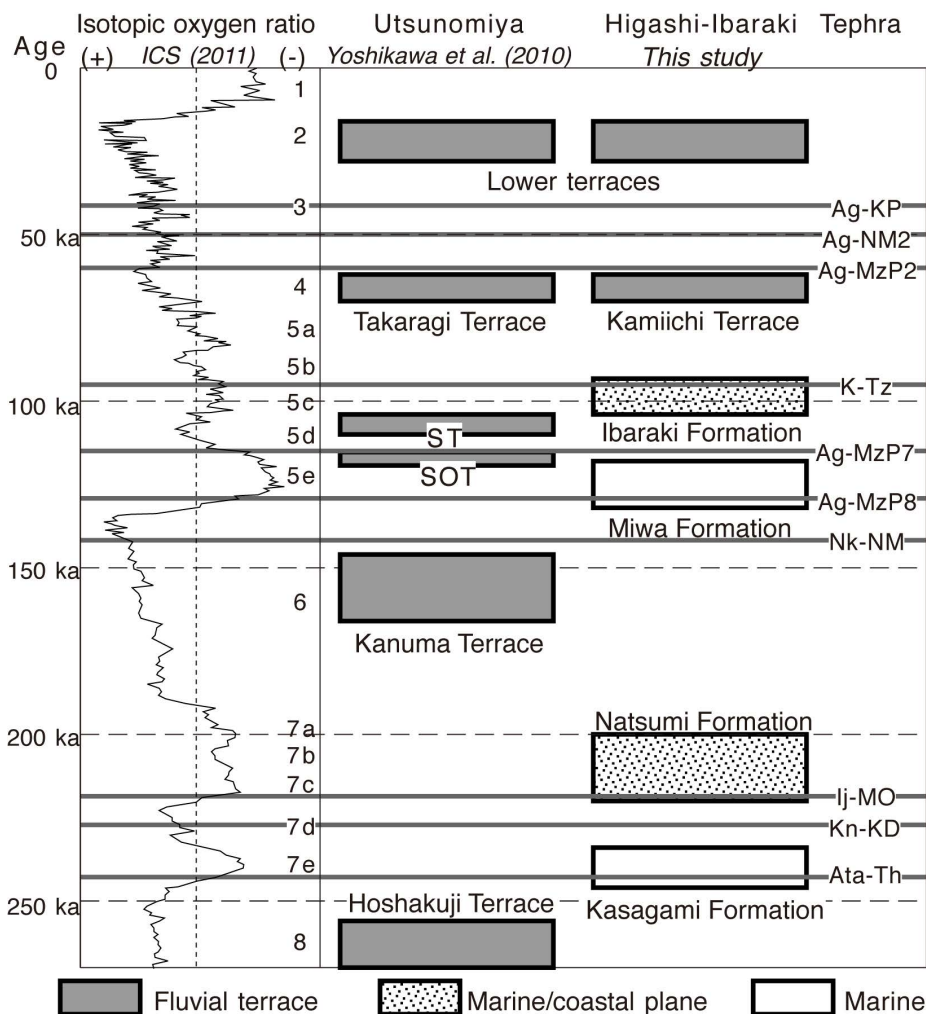
大洗町成田のLoc. 4の笠神層上部は(Fig. 6), 坂本(1975)の地質図では“石崎層”と区別されているが, 坂本ほか(1981)の区分に従えば笠神層とすべきものである. ここでもハンモック状斜交層理を持つ笠神層の砂層中に, 細粒~中粒砂サイズの普通角閃石, 斜方輝石, 石英や火山ガラス片を含む平行層理の発達した火山性碎屑物(HN201)が挟まれている. ただし, KNS01・KNS02と同様に, HN201の火山ガラスの主成分組成(Table. A10)は広い範囲に分散している(Fig. 10-3). 従って, HN201についてもこれをテフラと認定することはできない.

5. 議論

5.1 東茨城台地更新統の編年

茨城層は約9.5万年前のK-Tzをその最上部に挟むことから, 鈴木(1989)や横山(2004)の主張通りMIS 5cの高海面期に形成されたもので(Fig. 12), MIS5dに形成された谷地形を埋積した海岸平野や河口の堆積物からなる. 20万分の1地質図水戸(吉岡ほか, 2001)では, 東茨城・那珂台地の表層部は見和層を示すtm1に区分され, tm2の常総層が分布する茨城県南部の稲敷台地とは別の扱いになっている. しかしながら, 本報の結果はこの対比が間違っていることを示しており, 東茨城・那珂台地もtm2へと区分し直さなければならない. 東茨城・那珂台地は稲敷台地よりも標高が高いものの, この差は離水時期の違いを示すのではなく, 次章で記述するように台地の傾動運動の結果と考えられる.

見和層の形成時期は, 坂本(1972), 鈴木(1989), 横山(2004)の主張通り, MIS5eの高海面期で(Fig. 12), MIS 6に形成された谷地形を埋積したエスチュアリーとこれを覆う外浜・海浜などの堆積物からなる. 鈴木(1989)や横山(2004)は見和層上部の砂層中からAg-MzP8(彼らのMiwa-U)の産出を記載していたが, 本報で, 見和層へのAg-MzP8碎屑物の供給は, すでに下部のエスチュアリー相堆積時期から始まることを明らかにした. このことは, 東茨城台地と赤城火山の間にある後背地に積もったAg-MzP8から, 繰り返し碎屑物が供給されたことを示しており, Miwa-Uが見和層内の同一時間面を示す鍵層に



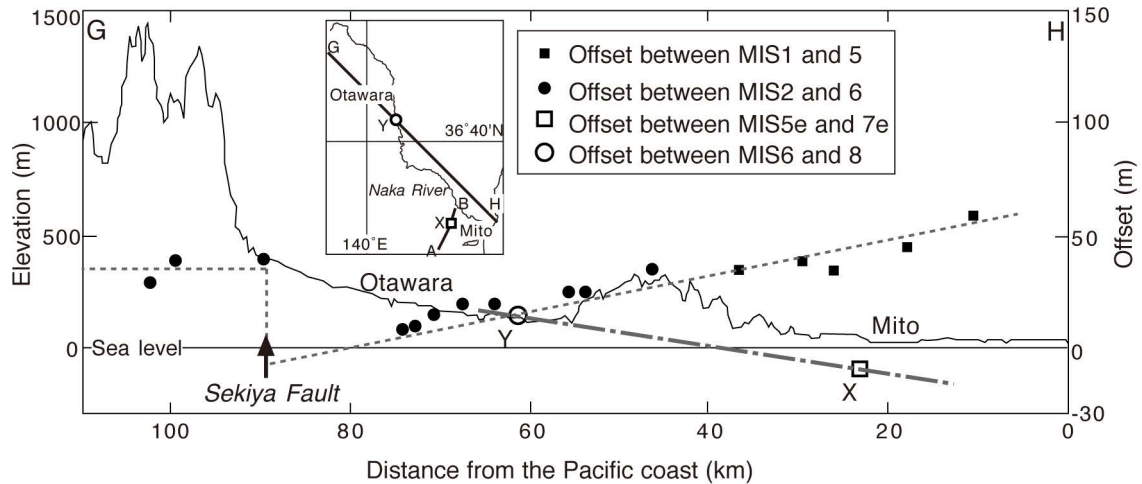
第12図 内陸宇都宮地域と東茨城台地の更新統の層序関係。酸素同位体比曲線の数字は海洋酸素同位体ステージの番号(ISC, 2011)。灰色の太線は、テフラ層の層位を示す。ST=白沢段丘; SOT=下野大沢段丘

Fig. 12 Stratigraphic relationship between the Pleistocene strata in the inland Utsunomiya region and the Higashi-Ibaraki plateau. Numerals in isotopic oxygen ratio curves are Marine Isotope Stages (ISC, 2011). Gray solid lines mean the stratigraphic positions for the tephra layers. ST = Shirasawa Terrace; SOT = Shimotuke-Osawa Terrace.

はなり得ないことを意味している。Ag-MzP8の噴火時期は、海面変化曲線との関係から、約13万年前とみなせよう(Fig. 12)。同様のことは、新潟平野の沖積層中の再堆積した沼沢沼沢湖テフラを検討した上部ほか(2011)も指摘している。上部らによると、洪水イベントで新潟平野に運搬された同テフラは、デルタを形成しながら海に向かって前進しており、同テフラの産出層準は時間軸と全く斜交することに注意を促している。また、横山(2004)や大井・横山(2011)は、外浜・海浜堆積物に含まれる火山砕屑物薄層を対比の根拠に、見和層を部層単位にまで細分している。しかし、彼らの指標テフラは、そもそも

本報の結果が示しように一次堆積したテフラではありえないものが多い。

夏海層は、再堆積した約22万年前のIj-MOがあることから、山元(2007)が主張したように、MIS7dに形成された谷地形を埋積したMIS 7c-7aの河川・潮流口の堆積物からなる(Fig. 12)。また、笠神層は約24万年前のAta-ThやAzy-SgP2を挟むことから、MIS 8に形成された谷地形を埋積したMIS 7eのエスチュアリーとこれを覆う外浜・海浜などの堆積物からなる(Fig. 12)。横山(2004)や大井・横山(2011)が主張したような、本層からのIj-MOの産出は確認できなかった。



第13図 那珂川に沿う地形断面と指標地形面のオフセット量。幡谷(2006)に、XとYを加筆。

Fig. 13 Topographic section and offsets among marker surfaces along the Naka River. Modified from Hataya (2006). X and Y are new data by this study.

北関東内陸部(吉川ほか, 2010)と本報の海岸部の対応関係は、テフラ層序をもとにFig. 12のようにまとめられる。海岸部では高海面期に海成層や海岸平野の地層が形成されるのに対して、内陸部では低海面期に段丘を形成する河川堆積物の地層が形成される。すなわち茨城層・見和層間の不整合時には、内陸の宇都宮周辺でMIS 5e-5d境界付近に噴出したAg-MzP7を伴う下野大沢段丘堆積物や約10万年前のNk-Maに覆われる白沢段丘堆積物が形成されている(吉川ほか, 2010; 山元, 2012)。また、見和層・夏海層間の不整合時には、内陸で鹿沼段丘堆積物やその相当層、笠神層基底の不整合形成時には、内陸で宝積寺段丘やその相当層が形成されている(山元, 2006a; 2006b; 2007; 吉川ほか, 2010)。海面低下期に形成されたこれらの内陸部の段丘は、典型的な気候段丘とみなせよう(山元, 2006b)。

5.2 東茨城台地の地殻変動

A-B断面の走向は、これが古瀬沼川や古那珂川とほぼ直交することから(Fig. 5)、笠神層～茨城層形成時の初生的な地形傾斜方向と直交し、各地層は断面方向にほぼ水平であったと見ることが出来る。しかしながら各地層面、特に笠神層下部・上部境界と見和層下部・上部境界のラビンメント面や茨城層上面の後背湿地堆積面は、A-B断面において明らかに南へ傾斜し(傾きは0.4~0.6 m/1 km)、かつ3面の平行性は良い。従って、A-B断面の地層の傾斜は、茨城層形成後の傾動運動の結果と考えられよう。広域的なMIS 5e旧汀線高度の分布を検討した小池・町田(2001)は、宮城・福島・茨城県の太平洋岸において、仙台平野の南からその高度が徐々に大きくなり福

島県の阿武隈山地の東縁で60 m前後まで上昇した後、茨城県内を徐々に低下していき、関東平野中央部に向かって極小になる、長さ250 kmに及ぶ曲動運動の存在を指摘している。小池・町田(2001)の指摘する曲動運動の傾きは、A-B断面の地層の傾斜とほぼ同じであり、本報で指摘した東茨城台地の傾動はより大きな地殻変動の一部をなすものと判断できよう。

幡谷(2006)は、那珂川沿いに海岸部から内陸へ向う、MIS 5e以降の隆起沈降量分布をMIS 1-5とMIS 2-6間の地形面オフセットから求めている(Fig. 13)。これによるとMIS 5e以降の隆起量は海岸部で最も大きく、内陸に向かって単純に減少する傾向が顕著である。一方、本報で明らかにした東茨城台地の地下地質構造からは、MIS 5eよりも古い時代の変動量も検討することが可能である。すなわち、氷期・間氷期変動において(Fig. 12)、ほぼ同じ海面位置の同じ成因の地形面を比べれば、そのオフセットを隆起沈降量と近似することが出来よう。ただし、地層の厚密の効果やMIS毎の海面変化量の違い等のかかりの誤差を無視しての仮定ではある。東茨城台地ではMIS 5eとMIS 7eのラビンメント面(見和層と笠神層の上部・下部境界)の比高(X)が計測でき、那珂川中流部においても山元(2006a)が示したMIS 6とMIS 8の河成段丘(th1及びth2)の離水河床面比高(Y)が計測できる。Fig. 13には、これらのデータを追加している。少なくとも24万年~12万年前の間のオフセットの傾向はMIS 5e以降と反対で、海岸部が沈降している。このことは東茨城台地で隆起が顕著になるのは茨城層堆積後の約9万年前以降であり、それ以前とはセンスの異なる地殻変動が太平洋岸で新たに始まったことを意味していよう。

6. まとめ

関東北部の更新統下総層群の従来の層序には、地層の区分や年代について改訂するべき問題が含まれていた。そこで本報では、茨城県中央部の東茨城台地で掘削されたボーリング資料の検討と地層中のテフラの対比によって、上位から茨城層、見和層、夏海層、笠神層からなる層序を新たに定義した。各累層は氷期の海面低下によって形成された谷地形を埋積しており、茨城層はMIS 5cに形成された海岸平野や河川・潮流口の堆積物、見和層はMIS 5eに形成されたエスチュアリー・外浜・海浜などの堆積物、夏海層はMIS 7c-7aに形成された河川・潮流口の堆積物、笠神層はMIS 7eに形成されたエスチュアリー・外浜・海浜などの堆積物からなる。東茨城台地は、宮城県・福島県・茨城県の太平洋岸に見られる隆起運動により南に傾動しているが、地層のオフセット量からは、少なくとも東茨城台地においては約9万年前以降に隆起が始まったものと解釈される。

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.
- 阿久津 純 (1957) 宇都宮付近の関東ローム(火山灰)層。地球科学, **33**, 1-11.
- 防災科学技術研究所 (2006) 統合化地下構造データベース。http://www.geo-stn.bosai.go.jp/jps/indexagreement.html (2012年6月20日参照)
- 幡谷竜太 (2006) 河成段丘を用いた第四紀後期の隆起量評価手法の検討(3)ー過去10万年間の隆起量分布により明らかにされる内陸部の地殻運動ー, 電力中央研究所報告, no.N05017, 21p.
- International Commission on Stratigraphy, 2011, *Regional chronostratigraphical correlation table for the last 270,000 years Europe north of the Mediterranean*. http://www.stratigraphy.org/upload/Quaternary_last270ka.pdf (2012年10月10日参照)
- 貝塚爽平 (1957) 関東平野北東部の洪積台地。地学雑, **66**, 217-230.
- 貝塚爽平 (1958) 関東平野の地形発達史。地理評, **31**, 59-85.
- 小玉喜三郎・堀口万吉・鈴木尉元・三梨 昂 (1981) 更新世後期における関東平野の地塊状造盆運動。地質学論集, no.20, 113-128.
- 小池一之 (1961) 那珂川流域の地形発達。地理評, **34**, 498-513.
- 小池一之・町田 洋 (2001) 日本列島の地殻変動特性。小池一之・町田 洋編, 日本の海成段丘アトラス。東大出版会, 97-105.
- Kumar, N. and Sanders, J.E., 1974, Inlet sequence: a vertical succession of sedimentary structures and textures created by the lateral migration of tidal inlets. *Sedimentology*, **21**, 491-532.
- 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]。東大出版会, 336p.
- 町田 洋・新井房夫・村田明美・袴田和夫 (1974) 南関東における第四紀中期のテフラの対比とそれに基づく編年。地学雑, **83**, 302-338.
- 松本 現・牧野康彦 (2000) 潤沼周辺に分布する上部更新統見和層の堆積相。茨城県自然博物館研究報告, no.3, 1-16.
- Miall, A.D. (1978) Lithofacies types and vertical profiles models in braided river deposits: a summary. In Miall, A.D., ed., *Fluvial Sedimentology*. *Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.*, no.5, 597-604.
- Moslow, T.F. and Tye, R.S., 1985, Recognition and Characterization of Holocene tidal inlet sequences. *Marine Geology*, **63**, 129-151.
- 日本地質学会 (2001) 地層命名指針。http://www.geosociety.jp/name/category0001.html (2013年7月1日参照)
- 岡崎浩子・増田富士雄 (1992) 古東京湾地域の堆積システム。地質雑, **98**, 235-258.
- 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。地質雑, **117**, 補遺, 103-120.
- 大石雅之 (2009) 四阿火山を起源とする噴出物の岩石記載的特徴とテフラ分布。地学雑, **118**, 1237-1246.
- 齊藤登志雄 (1959) 水戸・潤沼地域の地質(潤沼の地学的考察, 第2報)。茨城大文理学部紀要 (自然科学), no.10, 135-143.
- 坂本 亨 (1972) 茨城県大洗付近の第四系ー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ー。地調月報, **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地質図)。地質調査所, 55p.
- 坂本 亨・伊藤吉助・阿久津 純 (1967) 茨城県那珂台地に伏在する旧河谷とその埋積層の珪藻化石。地調月報, **18**, 787-792.
- 坂本 亨・岡 重文・伊藤吉助・後藤 進 (1969) 茨城県那珂台地の見和層とその基底のかたち。地調月報, **20**, 685-696.
- 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地質図)。地質調査所, 94p.
- 坂本 亨・相沢輝雄・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地質図)。地質調査所, 50p.
- 鈴木毅彦 (1989) 常磐海岸南部における更新世後期の段丘

(受 付 : 2013 年 4 月 15 日 ; 受 理 : 2013 年 8 月 21 日)

- と埋没谷の形成. 地理評, **62**(A), 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, **99**, 60-75.
- 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, **102**, 73-90.
- 鈴木毅彦・早川由紀夫 (1990) 中期更新世に噴出した大町 APm テフラ群の層位と年代. 第四紀研究, **29**, 105-120.
- 徳橋秀一・遠藤秀典 (1984) 姉崎地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図). 地質調査所, 136p.
- ト部厚志・藤本裕介・片岡香子 (2011) 越後平野の沖積層形成における火山性洪水イベントの影響. 地質雑, **117**, 483-494.
- 山元孝広 (1999) 福島-栃木地域に分布する 30-10 万年前のプリニー式降下火砕物: 沼沢・燧ヶ岳・鬼怒沼・砂子原火山を給源とするテフラ群の層序. 地調月報, **50**, 743-767.
- 山元孝広 (2006a) 1/20 万「白河」図幅地域の第四紀火山: 層序及び放射年代値に関する新知見. 地調研報, **57**, 17-28.
- 山元孝広 (2006b) 宇都宮市宝積寺段丘を貫く UT05 コアの層序記載と鬼怒川の堆積侵食履歴. 地調研報, **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土火山の形成史: 関東北部での飯土真岡テフラと MIS7 海面変動の関係. 地調研報, **58**, 117-132.
- 山元孝広 (2012) 福島-栃木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. 地調研報, **63**, 35-91.
- 山元孝広 (2013) 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. 地調研報, **64**, 251-304.
- 横山芳春 (2004) 茨城県における更新統下総層群の層序と堆積史. 早稲田大学大学院理工学研究科, 博士論文, 122p.
- 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.
- 横山芳春・大井信三・中里裕臣・安藤寿男 (2002) バリアー島に規制された堆積相と地形形成: 茨城県東茨城台地西縁地域における下総層群"見和層"を例に. 堆積学研究, no.55, 17-28.
- 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). 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.

付録1：ボーリング資料一覧

統合化地下構造データベース (<http://www.geo-stn.bosai.go.jp/jps/indexagreement.html>) から用いたボーリング資料の一覧をTable. A1に示す。

第A1表 掘削孔一覧。データは統合化地下構造データベースによる。

Table. A1 List of boreholes. Data from the Integrated Geophysical and Geological Information Database.

コア名	緯度	経度	孔口標高 (m)	総掘削長 (m)	工事名
D01	36.23514	140.25561	30.99	54.00	霞ヶ浦導水工事水戸地区基礎地質調査その20
D02	36.23294	140.25441	29.99	55.00	霞ヶ浦導水工事水戸地区基礎地質調査その20
D03	36.22574	140.25261	37.99	61.00	霞ヶ浦導水工事水戸地区基礎地質調査その20
D04	36.22434	140.25201	36.99	61.00	霞ヶ浦導水工事水戸地区基礎地質調査その20
D05	36.22194	140.25045	26.10	60.00	霞ヶ浦導水工事桜川機場基礎地質調査その1
D06	36.21584	140.24598	31.66	54.00	霞ヶ浦導水工事水戸地区基礎地質調査その17
D07-1	36.21477	140.24554	31.78	55.00	霞ヶ浦導水工事水戸地区基礎地質調査その19
D07-2	36.21427	140.24541	31.98	55.00	霞ヶ浦導水工事水戸地区基礎地質調査その18
D08	36.21364	140.24451	31.51	57.00	霞ヶ浦導水工事水戸地区基礎地質調査その13
D09	36.21238	140.24504	31.93	61.00	霞ヶ浦導水工事水戸立坑外1ヶ所基礎地質調査
D10	36.21187	140.24341	32.81	45.15	霞ヶ浦導水工事第一導水路基礎地質調査
D11-1	36.20100	140.24248	29.54	40.25	霞ヶ浦導水工事大山地先観測井戸設置業務
D11-2	36.20073	140.24270	28.90	40.31	霞ヶ浦導水工事大山地先観測井戸設置業務
D11-3	36.19584	140.24393	30.52	42.42	霞ヶ浦導水工事平成7年度地下水位観測所等設置業務その2
D12	36.19293	140.23501	29.35	80.35	霞ヶ浦導水工事平成8年度石岡第一立坑基礎地質調査
D13	36.19014	140.23334	16.36	31.33	霞ヶ浦導水工事水戸立坑外1ヶ所基礎地質調査
D14	36.18551	140.23305	20.94	38.30	霞ヶ浦導水工事内原地区基礎地質調査その3
D15	36.18485	140.23258	28.30	40.40	霞ヶ浦導水工事内原地区基礎地質調査その3
D16	36.18425	140.23221	17.38	31.45	霞ヶ浦導水工事渡里地区基礎地質調査外1ヶ所
D17	36.18375	140.23182	24.54	39.32	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その6
D18	36.18326	140.23152	27.19	41.26	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その6
D19	36.18235	140.23151	28.82	42.27	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その7
D20	36.18185	140.23161	30.25	44.39	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その7
D21	36.18115	140.23181	29.38	43.41	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その8
D22	36.17565	140.23256	10.59	24.73	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その8
D23-2	36.17555	140.22581	6.73	21.45	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その9
D23-3	36.17495	140.22541	6.10	20.32	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その9
D24-1	36.17425	140.22564	6.30	23.42	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その10
D24-2	36.17408	140.22539	2.46	20.44	霞ヶ浦導水工事恋瀧川及び沼沼川基礎地質調査
D25-1	36.17379	140.22366	6.60	25.39	霞ヶ浦導水工事第2機場及び沼沼川基礎地質調査
D25-2	36.17306	140.22466	8.48	28.45	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その11
D26	36.17245	140.22427	11.52	29.45	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その11
D27	36.17196	140.22397	19.52	37.42	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その11
D28	36.17129	140.22359	18.46	36.40	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その11
D29	36.17107	140.22311	29.11	46.29	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その2
D30	36.17035	140.22301	28.73	46.23	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その12
D31	36.16564	140.22291	28.81	46.25	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その12
D32	36.16503	140.22251	28.03	45.20	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その13
D33	36.16449	140.22216	27.35	45.23	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その13
D34	36.16372	140.22171	27.81	45.20	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その13
D35	36.16265	140.22406	28.48	46.09	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その14
D36	36.16195	140.22081	27.68	45.25	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その15
D37	36.16145	140.22031	28.09	45.24	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その15
D38	36.16083	140.22100	27.70	45.30	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その16
D39	36.16049	140.22053	27.09	45.30	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その16
D40	36.15593	140.22011	27.52	45.28	霞ヶ浦導水工事茨城地区基礎地質調査その16
H01	36.19239	140.24283	28.66	20.33	茨城県桜の郷アパート建設工事第2期地質調査委託
H02	36.18590	140.24489	7.66	24.39	08国補緊道第08-03-528-057号
H03	36.18487	140.25280	12.12	27.37	09国補緊道第09-03-528-055号
H04	36.18440	140.25310	7.43	23.40	08国補緊道第08-03-528-0-054号
H05	36.18431	140.25407	18.92	30.16	08国補緊道第08-03-528-057号
H06	36.18050	140.25508	5.88	20.26	国道6号茨城町バイパス地質調査
H07	36.18240	140.26295	30.09	20.35	13国補委託第13号
H08-1	36.18578	140.27000	30.30	19.98	茨城東IC歩道橋詳細設計業務委託
H08-2	36.19019	140.27076	31.80	21.00	茨城東IC歩道橋詳細設計業務委託
H09	36.19025	140.27300	29.90	35.44	工業技術センター清酒製造第07-12-301-0-057号
H10	36.19376	140.27565	28.95	15.45	水戸土木事務所建設機械課新築工事
H11	36.19485	140.29211	28.16	19.20	東水戸道路大場地区地質調査
H12	36.19554	140.29442	23.76	10.32	東水戸バイパス地質調査(その2)
H13	36.19575	140.29580	29.31	20.25	東水戸道路大場地区地質調査
H14	36.19520	140.30529	27.81	24.45	東水戸道路地質調査(9)
H15	36.19506	140.31130	26.46	29.37	東水戸道路地質調査(その1)
H16	36.19505	140.31221	26.76	31.35	東水戸道路大場地区地質調査
H17	36.19565	140.31406	25.73	29.33	東水戸道路大場地区地質調査
H18	36.19597	140.33161	2.78	30.24	東水戸道路地質調査(9)
I01	36.35841	140.39911	32.60	38.20	茨城町地区基礎調査
I02	36.36298	140.39787	32.44	29.00	茨城町地区基礎調査
M01	36.38278	140.46988	5.93	49.39	4国補道改第61-61号
M02	36.35409	140.48499	26.10	20.00	横宿アパート地質調査委託
M03	36.34718	140.46800	29.83	20.21	県立緑岡高校体育館改修
M04	36.35807	140.43761	15.48	23.37	準用河川狭間川(仮称)常磐橋詳細委託調査

第A8表 KNS01中の火山ガラスのEDXによる主成分分析結果 Ave. = 平均; S.D. = 標準偏差

Table. A8 Major element contents of volcanic glass shards in KNS01 by EDX measurements. Ave. = average; S.D. = standard deviation.

KNS01																		
point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Ave.	S.D.	
SiO ₂	75.87	75.55	75.67	75.86	75.25	75.62	77.10	76.43	75.90	75.63	77.65	76.26	74.70	74.47	75.55	SiO ₂	75.83	0.81
TiO ₂	0.07	0.12	0.10	0.24	0.17	0.25	0.13	0.20	0.11	0.36	0.17	0.30	0.13	0.18	0.26	TiO ₂	0.19	0.08
Al ₂ O ₃	11.32	11.37	11.47	11.47	10.98	11.17	11.23	11.23	11.41	11.77	11.20	11.15	11.87	11.34	11.00	Al ₂ O ₃	11.33	0.25
FeO	0.86	1.61	0.85	0.87	1.58	1.30	1.80	1.62	1.57	1.65	1.02	1.37	1.79	2.01	1.46	FeO	1.42	0.37
MnO	0.10	0.17	0.00	0.05	0.13	0.02	0.26	0.05	0.07	0.15	0.05	0.05	0.04	0.13	0.06	MnO	0.09	0.07
MgO	0.01	0.03	0.03	0.11	0.23	0.12	0.02	0.02	0.10	0.31	0.07	0.11	0.19	0.04	0.22	MgO	0.11	0.09
CaO	0.48	1.44	0.47	0.77	1.30	1.14	1.59	1.04	1.14	1.92	0.91	1.15	1.64	1.30	1.50	CaO	1.19	0.41
Na ₂ O	3.99	4.19	2.29	4.04	4.27	4.14	1.11	3.50	2.06	4.08	1.57	4.12	4.40	4.03	3.54	Na ₂ O	3.42	1.09
K ₂ O	3.58	2.21	4.37	3.01	1.85	2.30	3.55	2.40	3.65	1.23	3.75	2.35	1.76	2.32	2.17	K ₂ O	2.70	0.89
Total	96.28	96.69	95.25	96.42	95.76	96.06	96.79	96.49	96.01	97.10	96.39	96.86	96.52	95.82	95.76	Total	96.28	
point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Ave.	S.D.	
SiO ₂	78.80	78.14	79.44	78.68	78.58	78.72	79.66	79.21	79.05	77.89	80.56	78.73	77.39	77.72	78.90	SiO ₂	78.76	0.80
TiO ₂	0.07	0.12	0.10	0.25	0.18	0.26	0.13	0.21	0.11	0.37	0.18	0.31	0.13	0.19	0.27	TiO ₂	0.19	0.08
Al ₂ O ₃	11.76	11.76	12.04	11.90	11.47	11.63	11.60	11.64	11.88	12.12	11.62	11.51	12.30	11.83	11.49	Al ₂ O ₃	11.77	0.24
FeO	0.89	1.67	0.89	0.90	1.65	1.35	1.86	1.68	1.64	1.70	1.06	1.41	1.85	2.10	1.52	FeO	1.48	0.38
MnO	0.10	0.18	0.00	0.05	0.14	0.02	0.27	0.05	0.07	0.15	0.05	0.05	0.04	0.14	0.06	MnO	0.09	0.07
MgO	0.01	0.03	0.03	0.11	0.24	0.12	0.02	0.02	0.10	0.32	0.07	0.11	0.20	0.04	0.23	MgO	0.11	0.10
CaO	0.50	1.49	0.49	0.80	1.36	1.19	1.64	1.08	1.19	1.98	0.94	1.19	1.70	1.36	1.57	CaO	1.23	0.43
Na ₂ O	4.14	4.33	2.40	4.19	4.46	4.31	1.15	3.63	2.15	4.20	1.63	4.25	4.56	4.21	3.70	Na ₂ O	3.55	1.13
K ₂ O	3.72	2.29	4.59	3.12	1.93	2.39	3.67	2.49	3.80	1.27	3.89	2.43	1.82	2.42	2.27	K ₂ O	2.81	0.94
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	Total	100.00	

第A9表 KNS02中の火山ガラスのEDXによる主成分分析結果 Ave. = 平均; S.D. = 標準偏差

Table. A9 Major element contents of volcanic glass shards in KNS02 by EDX measurements. Ave. = average; S.D. = standard deviation.

KNS02																		
point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Ave.	S.D.	
SiO ₂	74.88	74.81	75.66	75.50	74.73	75.69	75.20	74.79	73.78	74.34	75.34	77.03	73.40	73.19	73.86	SiO ₂	74.81	1.01
TiO ₂	0.13	0.11	0.20	0.06	0.19	0.18	0.09	0.11	0.39	0.27	0.00	0.10	0.25	0.12	0.12	TiO ₂	0.15	0.10
Al ₂ O ₃	11.29	11.51	11.53	10.63	11.45	11.26	12.21	11.32	11.26	11.56	11.12	11.49	11.08	11.38	11.52	Al ₂ O ₃	11.37	0.33
FeO	1.68	1.38	1.28	1.03	0.90	1.60	0.76	0.93	2.19	1.81	1.38	1.23	2.26	1.62	1.09	FeO	1.41	0.45
MnO	0.10	0.00	0.09	0.16	0.21	0.00	0.20	0.04	0.12	0.08	0.03	0.00	0.00	0.17	0.01	MnO	0.08	0.08
MgO	0.00	0.05	0.13	0.05	0.14	0.21	0.00	0.14	0.14	0.22	0.03	0.00	0.19	0.02	0.00	MgO	0.09	0.08
CaO	1.38	0.74	1.48	0.58	0.73	1.78	0.34	0.84	1.80	1.92	0.64	0.94	1.82	0.91	0.73	CaO	1.11	0.53
Na ₂ O	2.75	3.24	1.32	1.66	3.23	3.41	4.14	3.99	3.17	3.30	4.03	1.74	3.05	3.19	3.11	Na ₂ O	3.02	0.85
K ₂ O	3.22	4.39	3.38	5.18	4.20	1.21	3.06	2.97	2.74	2.64	2.76	3.59	2.86	4.14	4.67	K ₂ O	3.40	0.99
Total	95.43	96.23	95.07	94.85	95.78	95.34	96.00	95.13	95.59	96.14	95.33	96.12	94.91	94.74	95.11	Total	95.45	
point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Ave.	S.D.	
SiO ₂	78.47	77.74	79.58	79.60	78.02	79.39	78.33	78.62	77.18	77.32	79.03	80.14	77.34	77.25	77.66	SiO ₂	78.38	0.98
TiO ₂	0.14	0.11	0.21	0.06	0.20	0.19	0.09	0.12	0.41	0.28	0.00	0.10	0.26	0.13	0.13	TiO ₂	0.16	0.10
Al ₂ O ₃	11.83	11.96	12.13	11.21	11.95	11.81	12.72	11.90	11.78	12.02	11.66	11.95	11.67	12.01	12.11	Al ₂ O ₃	11.92	0.32
FeO	1.76	1.43	1.35	1.09	0.94	1.68	0.79	0.98	2.29	1.88	1.45	1.28	2.38	1.71	1.15	FeO	1.48	0.47
MnO	0.10	0.00	0.09	0.17	0.22	0.00	0.21	0.04	0.13	0.08	0.03	0.00	0.00	0.18	0.01	MnO	0.08	0.08
MgO	0.00	0.05	0.14	0.05	0.15	0.22	0.00	0.15	0.15	0.23	0.03	0.00	0.20	0.02	0.00	MgO	0.09	0.09
CaO	1.45	0.77	1.56	0.61	0.76	1.87	0.35	0.88	1.88	2.00	0.67	0.98	1.92	0.96	0.77	CaO	1.16	0.56
Na ₂ O	2.88	3.37	1.39	1.75	3.37	3.58	4.31	4.19	3.32	3.43	4.23	1.81	3.21	3.37	3.27	Na ₂ O	3.17	0.89
K ₂ O	3.37	4.56	3.56	5.46	4.39	1.27	3.19	3.12	2.87	2.75	2.90	3.73	3.01	4.37	4.91	K ₂ O	3.56	1.05
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	Total	100.00	

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 (山元)

第A10表 HN201中の火山ガラスのEDXによる主成分分析結果 Ave. = 平均; S.D. = 標準偏差

Table. A10 Major element contents of volcanic glass shards in HN201 by EDX measurements. Ave. = average; S.D. = standard deviation.

HN201																		
point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Ave.	S.D.	
SiO ₂	76.34	73.86	75.38	74.63	76.12	74.86	73.87	74.90	76.26	75.30	75.04	75.38	75.07	75.76	75.16	SiO ₂	75.20	0.75
TiO ₂	0.21	0.32	0.30	0.09	0.16	0.10	0.24	0.13	0.19	0.15	0.00	0.17	0.40	0.07	0.20	TiO ₂	0.18	0.10
Al ₂ O ₃	11.05	11.60	10.92	11.07	11.08	12.02	11.52	11.38	11.30	11.46	11.38	11.13	10.69	11.41	11.30	Al ₂ O ₃	11.29	0.32
FeO	1.11	1.78	1.30	1.27	1.25	0.76	2.04	0.95	1.31	1.13	0.97	1.29	1.45	1.05	0.91	FeO	1.24	0.33
MnO	0.02	0.05	0.07	0.16	0.22	0.09	0.08	0.11	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.01	0.09	MnO	0.06	0.06
MgO	0.11	0.24	0.24	0.01	0.16	0.05	0.26	0.06	0.22	0.18	0.09	0.13	0.22	0.02	0.08	MgO	0.14	0.09
CaO	1.25	1.81	1.66	0.73	1.22	0.72	1.85	0.51	1.69	1.48	0.64	1.08	1.47	0.57	0.49	CaO	1.14	0.50
Na ₂ O	3.72	3.50	3.21	2.95	4.05	2.32	3.39	4.24	3.07	3.95	3.92	4.13	2.53	3.78	3.78	Na ₂ O	3.50	0.58
K ₂ O	2.03	2.61	2.36	4.33	2.32	5.30	2.51	3.26	1.52	1.77	3.49	2.28	3.93	3.70	3.62	K ₂ O	3.00	1.05
Total	95.84	95.77	95.44	95.24	96.58	96.22	95.76	95.54	95.56	95.48	95.53	95.59	95.76	96.37	95.63		95.75	
point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Ave.	S.D.	
SiO ₂	79.65	77.12	78.98	78.36	78.82	77.80	77.14	78.40	79.80	78.86	78.55	78.86	78.39	78.61	78.59	SiO ₂	78.53	0.75
TiO ₂	0.22	0.33	0.31	0.09	0.17	0.10	0.25	0.14	0.20	0.16	0.00	0.18	0.42	0.07	0.21	TiO ₂	0.19	0.11
Al ₂ O ₃	11.53	12.11	11.44	11.62	11.47	12.49	12.03	11.91	11.83	12.00	11.91	11.64	11.16	11.84	11.82	Al ₂ O ₃	11.79	0.32
FeO	1.16	1.86	1.36	1.33	1.29	0.79	2.13	0.99	1.37	1.18	1.02	1.35	1.51	1.09	0.95	FeO	1.29	0.35
MnO	0.02	0.05	0.07	0.17	0.23	0.09	0.08	0.12	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.01	0.09	MnO	0.07	0.07
MgO	0.11	0.25	0.25	0.01	0.17	0.05	0.27	0.06	0.23	0.19	0.09	0.14	0.23	0.02	0.08	MgO	0.14	0.09
CaO	1.30	1.89	1.74	0.77	1.26	0.75	1.93	0.53	1.77	1.55	0.67	1.13	1.54	0.59	0.51	CaO	1.20	0.52
Na ₂ O	3.88	3.65	3.36	3.10	4.19	2.41	3.54	4.44	3.21	4.14	4.10	4.32	2.64	3.92	3.95	Na ₂ O	3.66	0.61
K ₂ O	2.12	2.73	2.47	4.55	2.40	5.51	2.62	3.41	1.59	1.85	3.65	2.39	4.10	3.84	3.79	K ₂ O	3.13	1.10
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		100.00	

栃木ー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

山元孝広

Takahiro Yamamoto, Quantitative re-description of tephra units since 0.3 Ma in the Tochigi-Ibaraki region, NE Japan.

Abstract: Tephra units since 0.3 Ma in the Tochigi-Ibaraki region have been re-described with regard to their stratigraphy, compositions, ages and volumes, adding unpublished data. They were erupted from Takahara, Nantai, Akagi, Iiji and Haruna volcanoes. This study has listed up all tephra units, more than 0.1 km³ DRE in volume, from these volcanoes. The largest unit is the ca. 44-ka Akagi-Kanuma tephra (*Ag-KP*), whose minimum magma volume is 2 km³ DRE. Furthermore, this study has revised the tephrostratigraphy of the KR1 core in the central Tochigi by Kuwahara (2009), because his study included miscorrelations of some tephra units. New tephrostratigraphy is going to be a base of correlation for Quaternary strata and long-term evaluation for this region.

Keywords: tephra, tephrochronology, Late Pleistocene, Middle Pleistocene, Tochigi, Ibaraki.

要 旨

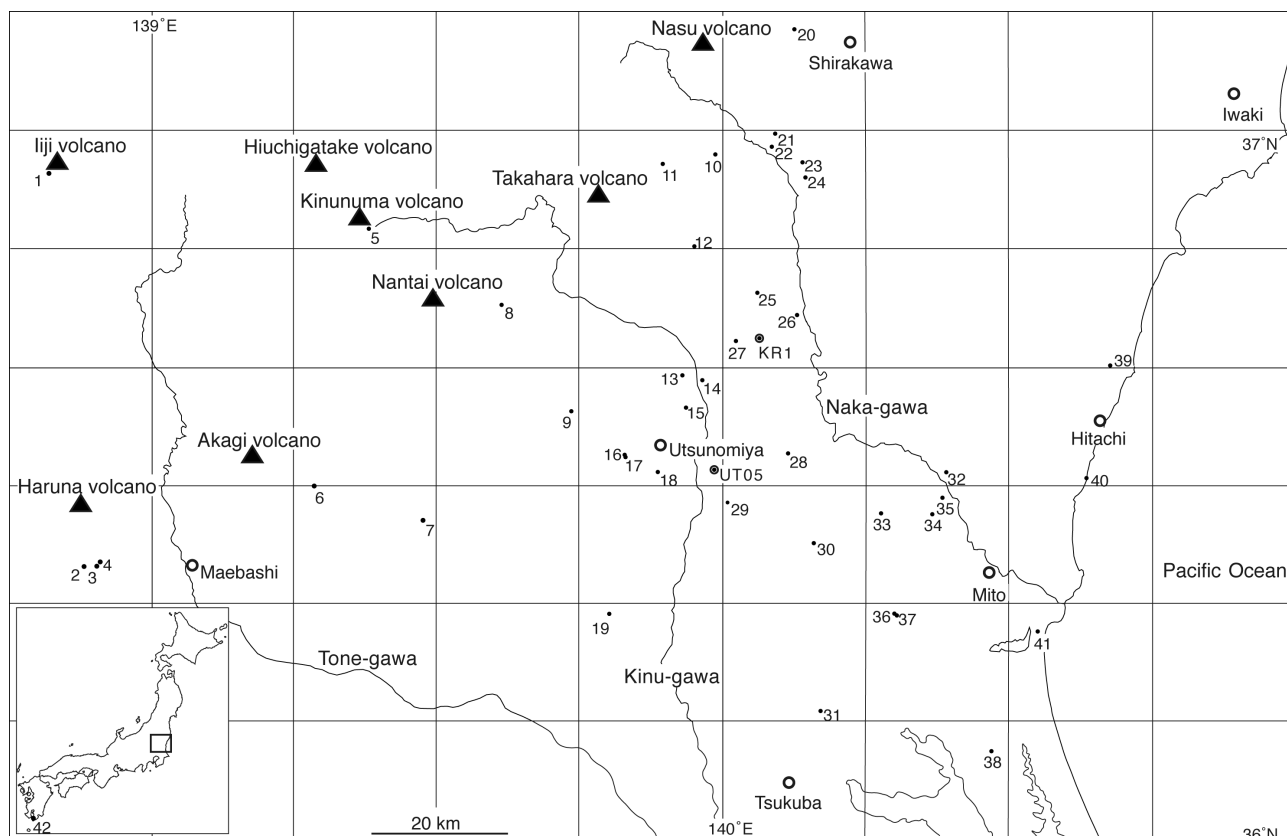
栃木ー茨城地域に分布する過去約 30 万年間のテフラを、未公表資料を追加して層序・分布・構成物・噴火年代・マグマ体積について再記載した。これらのテフラは高原火山、男体火山、赤城火山、飯士火山、榛名火山から噴出したものである。本報告では、域内のマグマ体積が 0.1 km³ DRE 以上のものについてはもれなく記載している。最大規模は約 4.4 万年前の赤城鹿沼テフラ (*Ag-KP*) で、その最小マグマ体積は 2 km³ DRE である。さらに、本報告では栃木県中央部で掘削された KR1 コアについての桑原 (2009) のテフラ層序記載を改めている。これは、桑原 (2009) のテフラ対比に重大な間違いがあるためである。再記載された新テフラ層序は、この地域の地層対比や地質環境の長期予測の基礎となろう。

1. はじめに

テフラと呼ばれる火砕物は、爆発的噴火により破碎されたマグマが火口から放出され地表に定置したものである。地層として保存されたテフラは過去に起きた爆発的噴火の証拠であるだけでなく、広域に分布するものは地層中の同一時間面を示す鍵層であることから、多くのテフラが記載されてきた (町田・新井, 1992; 2003)。特に列島規模の分布を持つ始良 Tn テフラ (AT: 町田・新井, 1976)、大山倉吉テフラ (DKP: 町田・新井, 1979)、

阿蘇 4 テフラ (Aso4: 町田ほか, 1985)、御岳第 1 テフラ (On-Pm1: 小林ほか, 1967) は後期更新世の時間指標面として重要性が高く、多くの地域でそれらの層準が確認されている。しかしながら、分布が地域的なテフラについての記載はまだ不十分で、個々の火山活動履歴の定量的な評価や第四紀層の編年のためには、更にテフラの記載を積み重ねていく必要がある。

本報告では、東北日本南部の栃木ー茨城地域 (Fig. 1) に分布する過去約 30 万年間のテフラの再記載を行い、当地域の地質環境の長期評価に必要な爆発的噴火の履歴データを整備する。これは福島ー栃木地域に分布するテフラを再記載した山元 (2012) に続くものである。また、約 30 万年前で区切ったのは、この前後で火山の分布状況に顕著な違いが認められ火山活動場の変化があったこと (Yamamoto, 2007) が主な理由である。対象とするテフラの給源火山は高原火山、飯士火山、男体火山、赤城火山、榛名火山で (Fig. 1)、そのテフラ層序は鈴木 (1990; 1993)、鈴木ほか (1998)、山元 (1999)、山元 (2006a)、吉川ほか (2010) などにより記載され、その大枠が確立されている。しかしながら、その後の調査・研究の結果、一部のテフラの対比に修正の必要があることが明らかになってきている。そこで、多くの未公表データを加え、個々のテフラを再記載するとともに、各テフラの分布図を再作成し、各火山噴出量の定量化を行うことにする。また、産総研では平成 18 年度に、栃木県中央部の喜連川丘陵において掘削進長約 350m の科学調査ボーリ



第1図 栃木－茨城地域周辺の第四紀火山の分布と露頭位置。
露頭位置の緯度・経度は表3に示した。

Fig. 1 Index map of Quaternary volcanoes (black triangles) and outcrops around the Tochigi-Ibaraki region. See Table 3 for the latitude and longitude positions of the outcrops.

ング(KR1)を実施し、その最上部約42mの完新世から中期更新世全体に及ぶ風成層のテフラ層序が桑原(2009)により記載されている。しかし、このコアに対して桑原(2009)の示したテフラの対比には重大な間違いが多数認められること、そもそも桑原(2009)のコアの記載自体が不十分であることから、本報告でその岩相も含め記載し直すことにする。

2. 露頭柱状図と分析結果

栃木－茨城地域に分布するテフラの多くは、山腹斜面・岩屑なだれ堆積物・段丘化した河川堆積物・海成堆積物を覆う褐色火山灰土を主体とした風成堆積物中に挟まれている。地域内の代表的な露頭(Loc. 1～Loc. 41)については、Fig. 2～Fig. 6にその柱状図を示した。柱状図中のGmsやStは、Miall(1978)の堆積相コードである。また、柱状図中のテフラの略号(Ag-KPなど)についてはTable. 1に、柱状図中の試料番号(UT102など)のついたテフラの分析結果はTable. 2に、露頭位置はTable. 3に示している。

さらに、各露頭に対する既報との対応関係や対比の修正などの注釈を付録1に列記している。テフラの名称については、町田・新井(1992; 2003)に従い、赤城鹿沼テフラ(Ag-KP)のように給源火山名の後に個別テフラ名を付けている。一方、星の宮テフラ(HoP)のように個別テフラ名単独のものは、給源火山が未確定であることを意味している。テフラの分析は(株)京都フィッシュン・トラック・(株)古沢地質に依頼しており、洗浄・篩別された125-250 mesh粒径試料について、全鉍物組成分析、重鉍物分析、火山ガラスの屈折率測定、鉍物の屈折率測定が行われている。また、いくつかのテフラに対しては火山ガラスのEDXによる主成分分析を(株)古沢地質に依頼した。屈折率測定法は横山ほか(1986)・古澤(1995)に、火山ガラスの主成分分析法は及川ほか(2005)に準じている。

テフラのうちの降下火砕物堆積物の体積については、各等層厚線と等層厚線が囲む面積の関係から見積もっている。火口近傍の堆積物層厚が測定できたテフラの場合は、各層厚と面積の相関から遠方部の層厚分布をグラフ上で作図・外挿し、各層厚毎の体積を積算して計測して

栃木ー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 (山元)

第1表 テフラ一覧.

Bt = 黒雲母; *Cpx* = 単斜輝石; *Cum* = カミングトン閃石; *Hb* = 普通角閃石; *Opx* = 斜方輝石. ^{a)} 下司・大石 (2011); ^{b)} 中村ほか(2011); ^{c)} 青木ほか (2008); ^{d)} Matsumoto *et al.* (1989).

Table. 1 List of tephra units in this study. *Bt* = biotite; *Cpx* = clinopyroxene; *Cum* = cummingtonite; *Hb* = hornblende; *Opx* = orthopyroxene. ^{a)} Geshi and Oishi (2011); ^{b)} Nakamura *et al.* (2011); ^{c)} Aoki *et al.* (2008); ^{d)} Matsumoto *et al.* (1989).

Tephra	Name		Age	Rock type	Reference
Hr-FP	Haruna-Futatsudake-Ikaho	榛名ニッ岳伊香保	1.4 ka ^{a)}	Opx Hb dacite	Arai (1962)
Tk-UH	Takahara-Uenohara	高原上の原	6.5 ka	Opx Hb dacite	Okuno <i>et al.</i> (1997)
Nt-S	Nantai-Shichihonzakura	男体七本桜	17 ka ^{b)}	Hb-bear Opx Cpx dacite	Akutsu (1955)
Nt-I	Nantai-Imaichi	男体今市	17 ka ^{b)}	Opx Cpx dacite to andesite	Akutsu (1955)
As-YP	Asama-Itahana-Yellow	浅間板鼻黄色	17 ka	Hb-bear Opx Cpx dacite	Arai (1962)
Nt-KU	Nantai-Kutsukake	男体沓掛	ca 19~22 ka	Basaltic andesite	Suzuki (1993)
Nt-OG	Nantai-Ogawa	男体小川	ca 23 ka	Andesite	Suzuki (1993)
As-BP	Asama-Itahana-Brown	浅間板鼻褐色	ca 23 ka	Opx Cpx dacite	Arai (1962)
AT	Aira-Tn	始良 Tn	29 ka ^{c)}	Opx Cpx rhyolite	Machida & Arai (1976)
Tk-KD	Takahara-Kashiwagidaira	高原柏木平	ca 30 ka	Opx Hb dacite	Yamamoto (2012)
Ag-KP	Akagi-Kanuma	赤城鹿沼	ca 44 ka ^{c)}	Hb-bear Opx Cpx dacite	Akutsu (1955)
Hr-HP	Haruna-Hassaki	榛名八崎	49 ka ^{a)}	Cum-bear Cpx Hb Opx dacite	Arai (1962)
Ag-NM1	Akagi-Namekawa 1	赤城行川1	ca 51 ka	Hb Opx Cpx dacite	Suzuki (1990)
Ag-NM2	Akagi-Namekawa 2	赤城行川2	ca 52 ka	Hb Opx Cpx dacite	Suzuki (1990)
DKP	Daisen-Kurayoshi	大山倉吉	ca 52 ka	Bt-bear Opx Hb dacite	Machida & Arai (1979)
Ag-MzP1	Akagi-Mizunuma 1	赤城水沼1	ca 60 ka	Hb-bear Opx Cpx dacite	Moriya (1968); Suzuki (1990)
Ag-MzP2	Akagi-Mizunuma 2	赤城水沼2	ca 60 ka	Hb Opx Cpx dacite	Moriya (1968); Suzuki (1990)
Ag-MzP5	Akagi-Mizunuma 5	赤城水沼5	ca 90 ka	Hb-bear Opx Cpx dacite	Moriya (1968); Suzuki (1990)
Nk-HG	Nikko-Higashiakata	日光東赤田	ca 90 ka	Opx Cpx andesite	Suzuki (1993)
Aso4	Aso 4	阿蘇4	89 ka ^{d)}	Opx Cpx Hb dacite	Machida <i>et al.</i> (1985)
On-Pm1	Ontake-1	御岳第1	96 ka ^{c)}	Opx-bear Bt Hb dacite	Kobayashi <i>et al.</i> (1967); Machida & Arai (1992)
Ag-MzP6	Akagi-Mizunuma 6	赤城水沼6	ca 0.10 Ma	Hb Opx dacite	Moriya (1968); Suzuki (1990)
Nk-MA	Nikko-Mamiana	日光満美穴	ca 0.10 Ma	Opx Cpx andesite	Akutsu (1957)
Nk-OK	Nikko-Ogikubo	日光荻久保	ca 0.10 Ma	Opx Cpx andesite	Suzuki (1993)
Ag-MzP7	Akagi-Mizunuma 7	赤城水沼7	ca 0.12 Ma	Hb Opx dacite	Moriya (1968); Suzuki (1990)
Ag-MzP8	Akagi-Mizunuma 8	赤城水沼8	ca 0.13 Ma	Hb-bear Opx Cpx dacite	Moriya (1968); Suzuki (1990)
Ag-MzP9-10	Akagi-Mizunuma 9-10	赤城水沼9-10	ca 0.13 Ma	Hb-bear Opx Cpx dacite	Moriya (1968); Suzuki (1990)
Nk-SO	Nikko-So-otome	日光早乙女	ca 0.13 Ma	Hb-bear Opx Cpx andesite	Muramoto (1992); Suzuki (1993)
Nk-NM	Nikko-Namekawa	日光行川	ca 0.14 Ma	Hb-bear Opx Cpx andesite	Suzuki (1993)
Nk-YT	Nikko-Yaita	日光矢板	ca 0.14 Ma	Hb-bear Opx Cpx andesite	Suzuki (1993)
Iz-Kta	Iizuna-Kamitaru a	飯縄上樽a	ca 0.14 Ma	Bt-Cum-bear Opx Hb dacite	Suzuki (2001)
Tk-Ub	Takahara-Ubasawakita	高原姥沢北	ca 0.15 Ma	Opx Cpx dacite	Suzuki (1992)
Tk-S12	Takahara-Siobara 2	高原塩原2	ca 0.15 Ma	Opx Cpx andesite	Suzuki (1993)
Tk-S13	Takahara-Siobara 3	高原塩原3	ca 0.16 Ma	Hb-bear Opx Cpx andesite	Suzuki (1993)
Tk-S14	Takahara-Siobara 4	高原塩原4	ca 0.16 Ma	Hb-bear Opx Cpx andesite	Suzuki (1993)
Yum	Yumihari	弓張	ca 0.16 Ma	Bt Cpx Opx Hb dacite	Suzuki <i>et al.</i> (2004)
Hu-NN	Hiuchigatake-Nanairi	燧ヶ岳七入	0.16-0.17 Ma	Opx Cpx dacite	Watanabe (1989); Yamamoto (1999)
YG	Yaguchi	矢口	ca 0.20 Ma	Andesite	Suzuki (1993)
Ij-MO	Iiji-Moka	飯土真岡	ca 0.22 Ma	Cum-bear Opx Hb dacite	Yamamoto (2007)
Kn-KD	Kinunuma-Kurodahara	鬼怒沼黒田原	ca 0.23 Ma	Opx Hb dacite	Suzuki (1992; 1993); Yamamoto (1999)
Tk-TM01	Takahara-Tomuroyama 1	高原戸室山1	ca 0.24 Ma	Opx Hb dacite	Yamamoto (1999)
Azy-SgP2	Azumaya-Sigadaira 2	四阿菅平2	ca 0.24 Ma		Suzuki & Hayakawa (1990)
Ata-Th	Ata-Toihama	阿多島浜	ca 0.24 Ma		Machida & Arai (2003)
Tk-TM02	Takahara-Tomuroyama 2	高原戸室山2	ca 0.24 Ma	Cum-bear Opx Hb dacite	Yamamoto (1999)
Tk-TM03	Takahara-Tomuroyama 3	高原戸室山3	ca 0.25 Ma	Cpx Opx dacite	Yamamoto (1999b)
Tk-TM04	Takahara-Tomuroyama 4	高原戸室山4	ca 0.25 Ma	Andesite	Yamamoto (1999)
Tk-TM05	Takahara-Tomuroyama 5	高原戸室山5	ca 0.26 Ma	Andesite	Yamamoto (1999)
Tk-TM06	Takahara-Tomuroyama 6	高原戸室山6	ca 0.26 Ma	Andesite	Yamamoto (1999)
Tk-TM07	Takahara-Tomuroyama 7	高原戸室山7	ca 0.26 Ma	Andesite	Yamamoto (1999)
Ij-TK	Iiji-Takatsue	飯土高杖	0.25-0.28 Ma	Cum Hb dacite	Yamamoto (1999; 2007)
Sb-OT	Shiobara-Otawara	塩原大田原	ca 0.30 Ma	Opx Cpx dacite	Sasaki <i>et al.</i> (1958)
Nm13	Nemoto 13	根本13	ca 0.34 Ma	Hb-bear Bt rhyolite	Koike <i>et al.</i> (1985)
Nm14	Nemoto 14	根本14	ca 0.36 Ma	Hb-bear Bt rhyolite	Koike <i>et al.</i> (1985)
Nm16	Nemoto 16	根本16	ca 0.40 Ma	Hb-bear Bt rhyolite	Koike <i>et al.</i> (1985)
HoP	Hoshinomiya	星の宮	-	Opx Hb dacite	Koike <i>et al.</i> (1985)
SkP	Sakuyama	佐久山	-	Opx Hb dacite	Koike <i>et al.</i> (1985)
KMT	Kaisho-Kamitakara	貝塩上宝	ca. 0.65 Ma	Bt rhyolite	Suzuki (2000)

第2表 テフラの特徴

Bt = 黒雲母; *Cpx* = 単斜輝石; *Cum* = カミングトン閃石; *Hb* = 普通角閃石; *Opx* = 斜方輝石; *Qz* = 石英; [] = 微量成分; * = 再堆積したテフラ; *n.m.* = 未命名テフラ; ^a = *Kn-KD*混合; ^b = *Ata-Th*混合. *A* = 本研究, *B* = 山元 (1999); *C* = 山元 (2006a); *D* = 山元 (2006b); *E* = 山元 (2007); *F* = 桑原 (2009); *G* = 吉川ほか (2010). 露頭の位置は, 第1図と第3表を参照のこと. テフラ試料の層位は, 第2~7図を参照のこと.

Table. 2 Characteristics of tephra units. *Bt* = biotite; *Cpx* = clinopyroxene; *Cum* = cummingtonite; *Hb* = hornblende; *Opx* = orthopyroxene; *Qz* = quartz; [] = minor component; * = resedimented tephra deposit; *n.m.* = no name tephra; ^a = mixed with *Kn-KD*; ^b = mixed with *Ata-Th*. *A* = this study, *B* = Yamamoto (1999); *C* = Yamamoto (2006a); *D* = Yamamoto (2006b); *E* = Yamamoto (2007); *F* = Kuwahara (2009); *G* = Yoshikawa *et al.* (2010). See Figure 1 and Table 3 for outcrop localities. Stratigraphic positions of samples are shown in Figures 2 to 7.

Unit	Sample	Loc.	Mineral composition	Refractive index mode				Ref.
				Glass (n)	Opx (γ)	Hb (n2)	Cum (n2)	
Hr-FP	SK101	11	Hb > Opx, [Cpx]	1.505-1.508 (100%)	1.707-1.710 (90%)	1.674-1.680 (90%)		A
Nt-I	T2	KR1	Opx > Cpx, [Hb]	1.500-1.504	1.707-1.716	[1.675-1.682]		F
As-YP	UT201	13	Opx > Cpx, [Hb]	1.501-1.503 (100%)	1.706-1.710 (90%)	[1.681-1.691 (60%)]		G
As-BP	SK102	11	Opx > Cpx, [Hb, Bt]; [Qz]	1.513-1.514	1.701-1.704 (90%)	[1.660-1.697 (95%)] [1.712-1.713 (5%)]		A
AT	SK103	11	glass >> [Bt, Opx, Hb, Cpx]	1.498-1.501 (90%)	[1.731-1.733 (10%)]			A
AT	BT101	26	glass >> [Opx, Cpx, Hb, Bt]	1.498-1.500 (90%)				A
AT	T5	KR1	glass only	1.498-1.502				F
Ag-KP*	UT203	13	Opx > Cpx, Hb; [Qz]	1.505-1.507 (100%)	1.704-1.707 (90%)	1.674-1.692 (80%)		G
Ag-KP	HT101	40	Hb > Opx	1.503-1.505 (100%)	1.706-1.709 (90%)	1.673-1.680 (90%)		A
Ag-KP	T6	KR1	Opx, Hb	1.503-1.506	1.705-1.714	1.668-1.683		F
Ag-KP	UTB02	UT05	Hb > Opx, [Bt, Cpx]	1.501-1.504 (100%)	1.705-1.709 (90%)	1.673-1.682 (90%)		C
Hr-SR	Hr-MZ	3	Hb > Opx; [Qz]	1.507-1.508 (100%)	1.706-1.710 (90%)	1.673-1.679 (90%)		C
Hr-SR	Hr-SR	4	Hb > Opx, [Cum]; [Qz]	1.505-1.507 (100%)	1.704-1.712 (100%)	1.671-1.681 (90%)		A
Hr-HP	KN110	9	Opx, Hb > Cpx, [Cum]; Qz	1.497-1.505 (90%)	1.704-1.711 (90%)	1.666-1.684 (90%) [1.658-1.662 (100%)]		G
Hr-HP	UT111	16	Opx > Hb, Cpx, [Cum]; Qz	1.502-1.504 (70%)	1.700-1.711 (90%)	1.671-1.677 (60%) 1.682-1.685 (30%)		G
Ag-NM1	KN109	9	Opx > Cpx, Hb; Qz	1.512-1.515 (50%) 1.503-1.507 (30%) 1.496-1.499 (20%)	1.702-1.710 (90%)	1.678-1.685 (90%)		G
Ag-NM1	UT302	15	Opx > Cpx, Hb; [Qz]	1.503-1.507 (70%) 1.495-1.498 (10%) 1.512-1.515 (10%)	1.702-1.710 (90%)	1.678-1.684 (90%)		G
Ag-NM1	T8	KR1	Opx, Hb > Cpx		1.701-1.712	1.679-1.683		F
Ag-NM2	KN108	9	Opx > Cpx, [Hb]	1.506-1.509 (90%)	1.705-1.712 (90%)	[1.673-1.677 (50%)] [1.680-1.688 (30%)]		G
Ag-NM2	UT303	15	Opx > Cpx, [Hb]	1.505-1.508 (70%)	1.707-1.712 (80%)	[1.673-1.689 (50%)] [1.694-1.698 (20%)]		G
Ag-NM2	UT112	16	Opx > Cpx, Hb	1.506-1.508 (90%)	1.702-1.711 (80%)	1.680-1.685 (80%)		G
Ag-NM2	T10	KR1	Opx > Hb, Cpx					F
DKP	T11	KR1	Opx > Cpx, Hb		1.702-1.709	1.679-1.683		F
Az-MzP1	KN107	9	Opx > Cpx, [Hb]	1.507-1.509 (90%)	1.707-1.711 (90%)	[1.676-1.687 (80%)] [1.693-1.700 (10%)]		G
Ag-MzP1	UT304	15	Opx > Cpx, [Hb, Bt]; [Qz]	1.504-1.509 (90%)	1.706-1.712 (90%)	[1.677-1.691 (90%)]		G
Ag-MzP1	UT113	16	Opx > Cpx, [Hb]	1.508-1.510 (90%)	1.707-1.711 (80%)	[1.673-1.685 (90%)]		G
Ag-MzP2	KN106	9	Opx > Cpx, [Hb]; [Qz]	1.498-1.503 (60%) 1.505-1.508 (30%)	1.706-1.710 (90%)	[1.672-1.700 (100%)]		G

第 2 表 (続き)

Table. 2 Continued.

Unit	Sample	Loc.	Mineral composition	Refractive index mode				Ref.
				Glass (n)	Opx (γ)	Hb (n2)	Cum (n2)	
Ag-MzP2	UT305	15	Opx > Cpx, Hb; [Qz]	1.502-1.509 (60%) 1.495-1.501 (40%)	1.704-1.712 (90%) 1.699-1.700 (10%)	1.674-1.684 (60%) 1.688-1.698 (20%)	G	
Ag-MzP2	UT114	16	Opx > Cpx, Hb	1.507-1.509 (60%) 1.498-1.501 (20%)	1.706-1.709 (60%)	1.682-1.692 (60%) 1.671-1.675 (10%)	G	
Ag-MzP2	UT402	18	Opx > Cpx, Hb, [Bt]; Qz	1.506-1.509 (90%) 1.498-1.501 (10%)	1.705-1.712 (90%)	1.671-1.677 (50%) 1.682-1.699 (40%)	G	
Ag-MzP2	UR310	34	Opx, Cpx > Hb, [Bt]; Qz	1.505-1.509 (90%)	1.705-1.710 (80%)	1.679-1.687 (70%)	A	
Ag-MzP2	MIT02	35	Opx, Cpx > Hb; Qz	1.506-1.509 (90%)	1.702-1.714 (100%)	1.677-1.687 (100%)	A	
Ag-MzP2	HT102	40	Opx, Cpx > Hb, [Bt]; Qz	1.506-1.509 (90%)	1.705-1.711 (90%)	1.672-1.677 (50%) 1.681-1.688 (40%)	A	
Ag-MzP2	UTB04	UT05	Opx > Cpx, [Hb]; [Qz]	1.506-1.509 (60%) 1.498-1.504 (20%)	1.706-1.711 (70%) 1.699-1.703 (10%)	[1.673-1.689 (90%)]	C	
Ag-MzP5	KN105	9	Opx > Cpx, [Hb, Bt]	1.503-1.507 (60%) 1.498-1.500 (30%)	1.706-1.712 (90%)	[1.673-1.684 (50%)] [1.689-1.704 (50%)]	G	
Ag-MzP5	UT306	15	Opx > Cpx, Hb; [Qz]	1.495-1.500 (50%) 1.502-1.505 (40%)	1.706-1.712 (90%)	1.678-1.686 (60%) 1.689-1.708 (30%)	G	
Nk-HG	T18	KR1	Opx > Hb, Cpx		1.704-1.717	1.673-1.687	F	
Ag-MzP6	KN104	9	Opx > Hb	1.505-1.507 (50%)	1.707-1.713 (90%)	1.674-1.683 (90%)	G	
Nk-MA	KN103	9	Opx > Cpx, [Hb]		1.704-1.710 (80%) 1.715-1.717 (10%)	[1.678-1.692 (90%)]	G	
Nk-MA	T23	KR1	Opx > Cpx, Hb		1.701-1.715		F	
Nk-OK	T26	KR1	Opx > Hb				F	
Ag-MzP8	KN102	9	Opx > Cpx, [Hb]; [Qz]	1.508-1.511 (80%)	1.708-1.711 (90%)	[1.679-1.690 (90%)]	G	
Ag-MzP8	UT115	16	Opx > Cpx, [Hb]	1.505-1.507 (80%)	1.707-1.711 (90%)	[1.682-1.690 (60%)] [1.673-1.674 (10%)]	G	
Ag-MzP9-10	KN101	9	Opx > Cpx, [Hb]; [Qz]	1.500-1.507 (80%)	1.707-1.709 (90%)	[1.672-1.688 (90%)]	G	
Ag-MzP9-10	UT116	16	Opx > Cpx, [Hb]	1.500-1.504 (90%)	1.706-1.709 (80%)	[1.674-1.683 (80%)]	G	
Ag-MzP9-10	UTB08	UT05	Opx > Cpx, [Hb]; [Qz]	1.498-1.506 (90%)	1.706-1.710 (90%)	[1.671-1.690 (90%)]	C	
Iz-Kta	T34	KR1	Hb, [Opx, Cum]; Qz		1.706-1.713	1.678-1.687 [1.659-1.668]	F	
Tk-Ub	NAS110	10	Opx > Cpx	1.515-1.516 (70%)	1.708-1.711 (90%)		B	
Tk-SI2	NAS111	10	Opx > Cpx		1.705-1.712 (80%)		B	
Tk-SI3	NAS112	10	Opx > Cpx, [Hb]		1.700-1.703 (60%)	[1.684-1.690 (60%)]	B	
Tk-SI4	NAS113	10	Opx > Cpx, [Hb]		1.709-1.712 (50%)	[1.674-1.706 (100%)]	B	
Yum	NAS114	10	Hb > Opx, [Cpx, Bt]		1.709-1.711 (40%)	1.687-1.692 (50%)	B	
Hu-NN	NAS115	10	Opx > Cpx	1.503-1.504 (60%)	1.704-1.708 (90%)		B	
Ij-YZ	1017-2	1	Hb > Opx, [Cum]; [Qz]	1.501-1.503 (100%)	1.709-1.712 (90%)	1.676-1.685 (100%)	[1.665-1.668 (90%)] E	
Ij-MO	UT101	17	Hb > Opx, [Cum]	1.501-1.504 (100%)	1.709-1.716 (100%)	1.680-1.684 (100%)	E	
Ij-MO ³⁾	KT101	25	Opx > Hb, Cpx, [Bt, Cum]; Qz	1.501-1.504 (70%) 1.496-1.499 (30%)	1.702-1.712 (90%)	1.668-1.688 (100%)	A	
Ij-MO	UR101	32	Opx, Cpx, Hb; [Qz]	1.501-1.502 (90%)	1.709-1.711 (90%)	1.676-1.680 (90%)		
Ij-MO	JO102	39	Hb > Opx, [Cum]; Qz		1.707-1.715 (90%)	1.679-1.683 (90%)	A	
Ij-MO*	OA102	41	Hb > Opx, [Cpx, Bt]; Qz	1.503-1.510 (60%) 1.497-1.501 (30%)	1.708-1.714 (30%) 1.719-1.722 (30%) 1.699-1.703 (20%)	1.680-1.684 (90%)	E	

第2表 (続き)

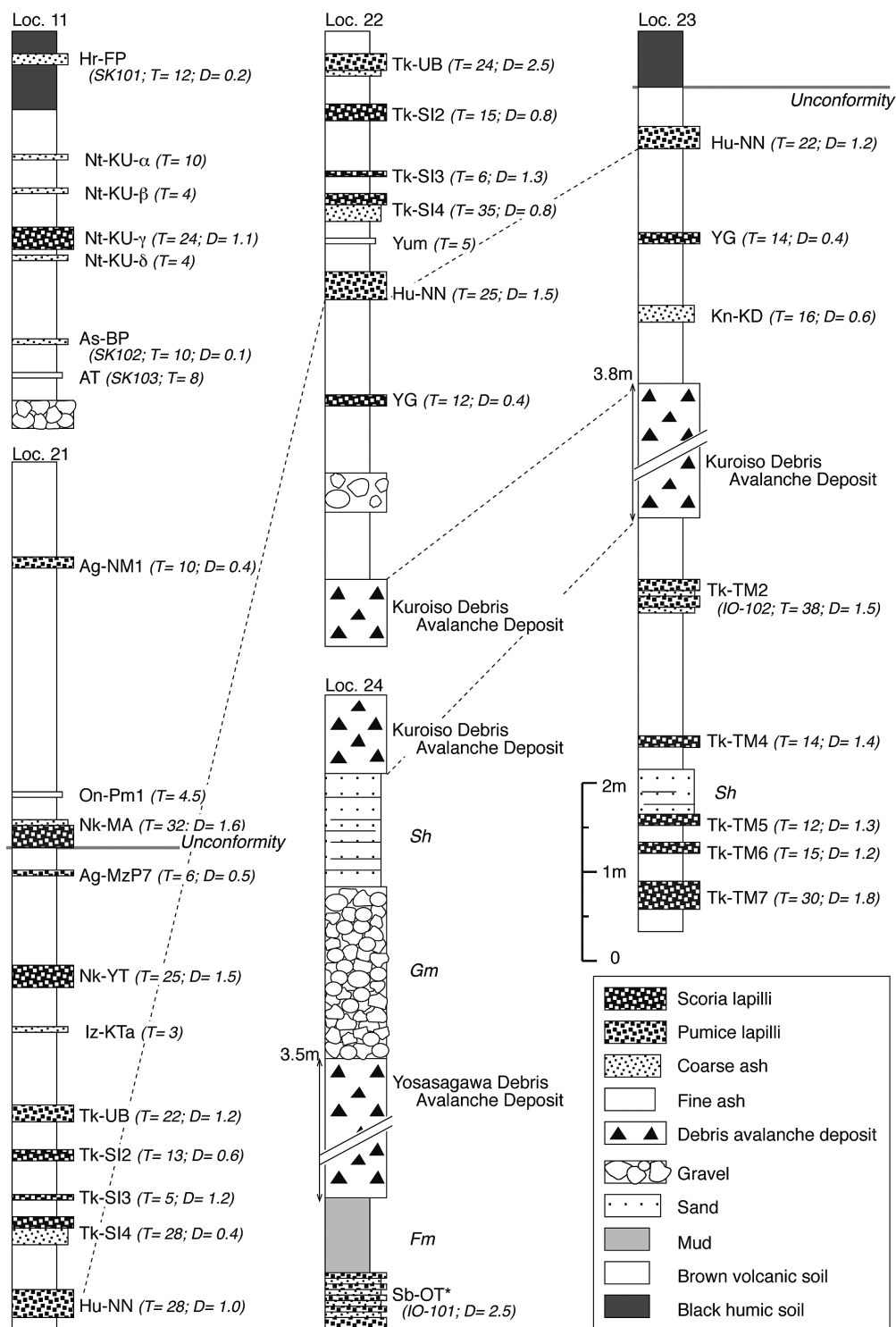
Table. 2 Continued.

Unit	Sample	Loc.	Mineral composition	Refractive index mode				Ref.
				Glass (n)	Opx (γ)	Hb (n2)	Cum (n2)	
Ij-MO	T56	KR1	Hb > Opx, Cum		1.707-1.720	1.668-1.688	1.657-1.667	F
Ij-MO	UTB09	UT05	Hb > Opx, [Cum]; Qz		1.708-1.715 (90%)	1.679-1.685 (100%)	[1.657-1.666 (90%)]	C
Kn-KD	Or-PF	5	Hb > Opx; Qz	1.497-1.498 (60%)	1.711-1.713 (70%)	1.677-1.680 (50%)		B
Kn-KD	UT102	17	Hb > Opx; Qz		1.705-1.712 (100%)	1.665-1.692 (100%)		G
Azy-SgP2	TMB102	36	Hb, Cum > Bt; Qz	1.499-1.503 (90%)		1.668-1.682 (100%)	1.662-1.666 (100%)	A
Ata-Th	Ata-Th	42	Hb, Opx; Qz	1.499-1.501 (100%)				A
Ata-Th*	TMB101	36	Hb, Opx; Qz	1.499-1.502 (80%)	1.716-1.720 (30%)	1.668-1.675 (60%)		A
				1.518-1.523 (20%)	1.705-1.712 (40%)	1.678-1.685 (40%)		
Tk-TM2	I0-102	23	Opx, Hb, [Cum], Qz	1.506-1.508 (100%)	1.708-1.718 (50%)	1.673-1.680 (80%)	[1.652-1.668 (100%)	A
					1.703-1.704 (20%)			
Tk-TM2 ^{b)}	KT102	25	Opx > Cpx, Hb; Qz	1.505-1.510 (50%)	1.700-1.713 (100%)	1.680-1.684 (100%)		A
				1.497-1.499 (20%)				
Tk-TM2*	TMB104	36	Hb, Opx; Qz	1.506-1.508 (50%)	1.703-1.713 (80%)	1.671-1.689 (90%)		A
				1.518-1.524 (30%)				
Tk-TM2	T68	KR1	Hb > Opx, [Cum]; Qz	1.501-1.510	1.705-1.724	1.667-1.684	[1.663-1.668]	F
Tk-TM2	UTB11	UT05	Hb > Opx; [Qz]		1.706-1.710 (60%)	1.672-1.691 (100%)		C
Tk-TM03	NAS119	10	Opx		1.694-1.701 (40%)			B
					1.714-1.721 (40%)			
Hng	TMB202	37	Hb > Opx	1.501-1.506 (90%)	1.703-1.708 (60%)	1.668-1.676 (90%)		A
					1.710-1.713 (30%)			
Sb-OT	KT103	12	Opx > Ap, Cpx, [Hb]	1.500-1.507 (100%)	1.715-1.722 (90%)			D
Sb-OT	IO-101	24	Opx > Cpx, [Ap]	1.502-1.507 (100%)	1.715-1.717 (90%)			D
MF06	604-1-2	20	Opx > Cpx		1.715-1.717 (70%)			B
n.m.	KT104	25	Hb, Cum, Opx; Qz			1.668-1.677 (90%)	1.662-1.667 (90%)	A
							1.656-1.657 (10%)	
Nm13	KT105	25	Bt > Hb; Qz			1.665-1.689 (100%)		A
Nm13	T73	KR1	Bt > Hb; Qz			1.668-1.687		F
						1.691-1.696		
Nm14	KT202	27	Bt, [Hb]; Qz					A
Nm14	T74	KR1	Bt; Qz					F
Nm16	KT203	27	Bt, [Hb]; Qz					A
Nm16	T76	KR1	Bt, [Hb]; Qz			[1.680-1.683]		F
						[1.687-1.698]		
n.m.	T82	KR1	Hb, [Opx]			1.667-1.672	[1.657-1.665]	F
n.m.	T92	KR1	Hb > Bt, [Cum]			1.668-1.680	[1.658-1.662]	F
HoP	KT205	27	Hb > Opx					A
HoP	T94	KR1	Hb, [Opx]		[1.711-1.717]	1.670-1.679		F
SkP	KT206	27	Hb > Opx					A
KMT	KT207	27	Bt; Qz					A

第 3 表 露頭位置一覧

Table. 3 List of outcrops.

No.		1/5万図幅	Latitude	Longitude
1	新潟県南魚沼郡湯沢町湯沢	越後湯沢	36° 56' 42"N (36.94501)	138° 48' 45"E (138.81247)
2	群馬県高崎市巾室田	榛名山	36° 23' 20"N (36.38906)	138° 52' 41"E (138.87816)
3	群馬県高崎市一後沢	榛名山	36° 23' 21"N (36.38913)	138° 54' 05"E (138.90142)
4	群馬県高崎市中宮沢	榛名山	36° 23' 40"N (36.39441)	138° 54' 29"E (138.90807)
5	栃木県日光市ヒナタオソロシノ滝	燧ヶ岳	36° 51' 50"N (36.86396)	139° 22' 48"E (139.38008)
6	群馬県桐生市黒保根町水沼	足尾	36° 30' 17"N (36.50472)	139° 16' 40"E (139.27777)
7	栃木県佐野市番場	足利及桐生	36° 27' 23"N (36.45638)	139° 28' 26"E (139.47384)
8	栃木県日光市所野	日光	36° 45' 28"N (36.75784)	139° 36' 36"E (139.61006)
9	栃木県鹿沼市宮脇	鹿沼	36° 36' 34"N (36.60955)	139° 44' 02"E (139.73396)
10	栃木県那須塩原市戸室山	塩原	36° 58' 03"N (36.96754)	139° 59' 07"E (139.98523)
11	栃木県那須塩原市京町	塩原	36° 57' 14"N (36.95393)	139° 53' 36"E (139.89361)
12	栃木県矢板市金和崎岩	塩原	36° 50' 21"N (36.83913)	139° 56' 40"E (139.94438)
13	栃木県宇都宮市西芦沼	宇都宮	36° 39' 38"N (36.66055)	139° 55' 34"E (139.92619)
14	栃木県さくら市上阿久津	宇都宮	36° 39' 18"N (36.65504)	139° 57' 55"E (139.96533)
15	栃木県宇都宮市奈坪	宇都宮	36° 36' 36"N (36.60999)	139° 56' 00"E (139.93335)
16	栃木県宇都宮市上欠	宇都宮	36° 32' 52"N (36.54779)	139° 49' 53"E (139.83152)
17	栃木県宇都宮市上欠	宇都宮	36° 32' 31"N (36.54206)	139° 49' 52"E (139.83113)
18	栃木県宇都宮市上横田町	宇都宮	36° 31' 32"N (36.52558)	139° 53' 04"E (139.88452)
19	栃木県小山市本郷町一丁目	小山	36° 19' 14"N (36.32060)	139° 47' 59"E (139.79971)
20	福島県西白河郡西郷村真船堀川ダム	白河	37° 09' 22"N (37.15600)	140° 04' 29"E (140.07464)
21	栃木県那須郡那須町高久	大田原	36° 59' 49"N (36.99705)	140° 05' 12"E (140.08667)
22	栃木県那須郡那須町芦ノ又	大田原	36° 58' 52"N (36.98112)	140° 04' 46"E (140.07946)
23	栃木県那須郡那須町沼井野	大田原	36° 57' 35"N (36.95983)	140° 08' 19"E (140.13869)
24	栃木県那須郡那須町沓掛	大田原	36° 56' 11"N (36.93637)	140° 08' 27"E (140.14087)
25	栃木県那須郡那珂川町芳井	喜連川	36° 46' 22"N (36.77284)	140° 03' 27"E (140.05753)
26	栃木県那須郡那珂川町高岡	喜連川	36° 44' 32"N (36.74217)	140° 07' 30"E (140.12491)
27	栃木県さくら市弥五郎坂	喜連川	36° 42' 23"N (36.70643)	140° 01' 09"E (140.01917)
28	栃木県芳賀郡市貝町市塙	烏山	36° 32' 54"N (36.54831)	140° 06' 37"E (140.11028)
29	栃木県真岡市堀内	真岡	36° 28' 33"N (36.47574)	140° 00' 19"E (140.00522)
30	栃木県芳賀郡茂木町深沢	真岡	36° 25' 15"N (36.42082)	140° 09' 22"E (140.15624)
31	茨城県石岡市柴内	真壁	36° 11' 00"N (36.18335)	140° 10' 00"E (140.16677)
32	茨城県常陸大宮市小野	常陸大宮	36° 31' 42"N (36.52843)	140° 23' 18"E (140.38840)
33	茨城県東茨城郡城里町小勝	水戸	36° 27' 50"N (36.48613)	140° 16' 30"E (140.38050)
34	茨城県東茨城郡城里町勝見沢	水戸	36° 27' 47"N (36.48613)	140° 21' 42"E (140.38050)
35	茨城県東茨城郡城里町石塚	水戸	36° 29' 10"N (36.46311)	140° 22' 50"E (140.36179)
36	茨城県笠間市大古山	石岡	36° 19' 18"N (36.32163)	140° 17' 48"E (140.29670)
37	茨城県笠間市大古山	石岡	36° 19' 04"N (36.31786)	140° 18' 10"E (140.30288)
38	茨城県鉾田市武蔵野原	玉造	36° 07' 36"N (36.12666)	140° 28' 02"E (140.46721)
39	茨城県日立市十王町友部	高萩	36° 40' 22"N (36.67287)	140° 40' 17"E (140.70245)
40	茨城県日立市大みか町三丁目	日立	36° 30' 50"N (36.51392)	140° 37' 53"E (140.63138)
41	茨城県東茨城郡大洗町神山町	磯浜	36° 17' 48"N (36.29674)	140° 32' 47"E (140.54638)
42	鹿児島県肝属郡錦江町上ノ宇都	大根占	31° 14' 07"N (31.23535)	130° 47' 50"E (130.79716)

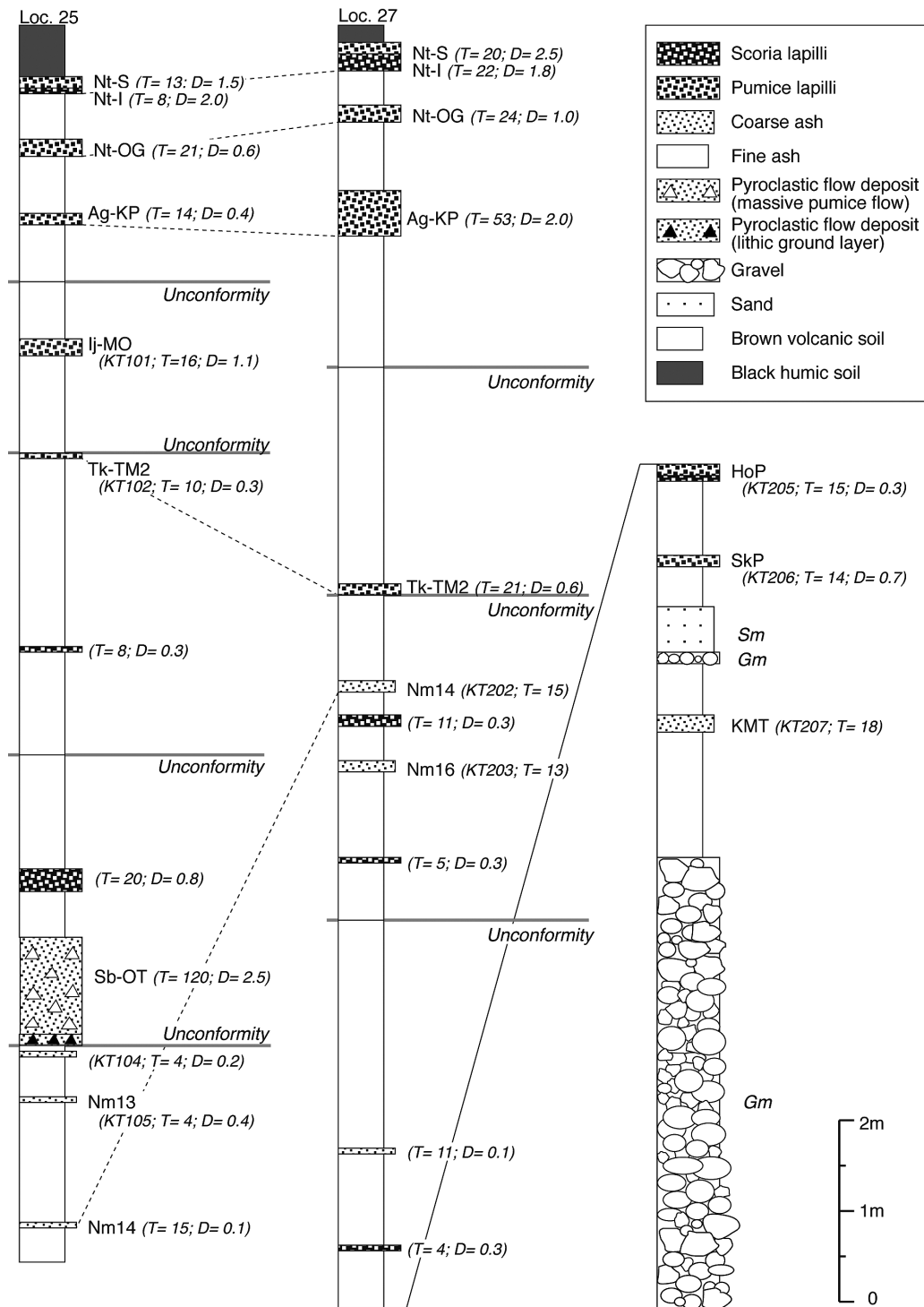


第2図 Loc. 11, 21, 22, 23 及び24における露頭柱状図。

テフラの名称とその特徴は表1・2を参照のこと。Gms = 基質支持で無級化の礫; Gm = 岩片支持で塊状の礫; Sh = 平行層理を持つ砂; Fm = 塊状の泥。Sk101, IO102などは表2の試料番号。*は再堆積したテフラ。T = テフラ層の厚さで、単位はcm。D = テフラの平均最大粒径で、単位はcm。

Fig. 2 Stratigraphic columns at Locs. 11, 21, 22, 23 and 24.

See Tables 1 and 2 for the tephra names and its compositions. Gms = matrix-supported, ungraded, massive gravel; Gm = clast-supported, massive gravel; Sh = horizontal-bedded sand; Fm = massive mud. Sk101, IO102, etc. are the sample number in Table 2, and * means resedimented tephra deposits. T = thickness of the tephra unit in centimeters. D = averaged maximum diameter of grains of the tephra unit in centimeters.

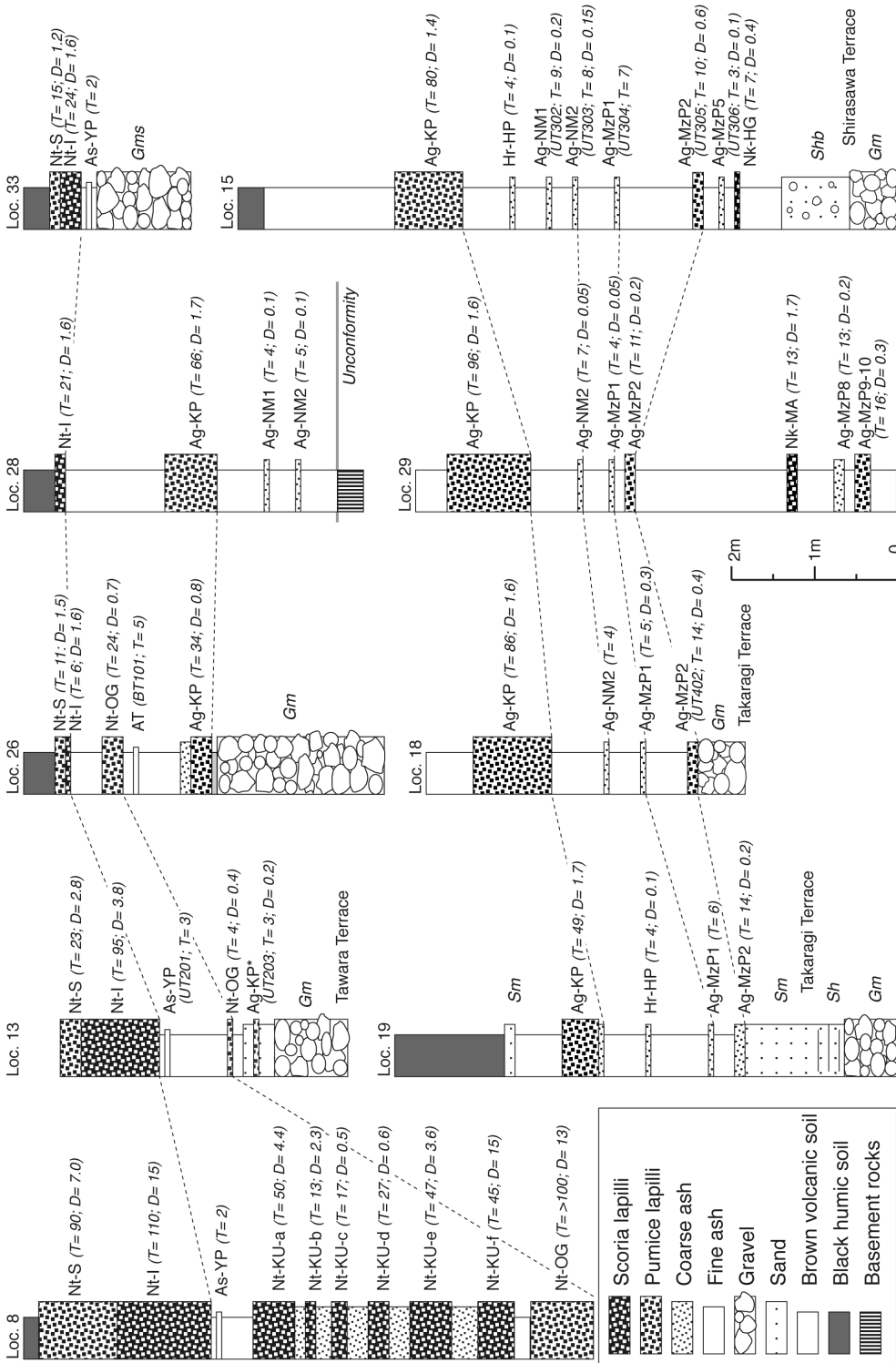


第3図 Loc. 25及び27における露頭柱状図。

テフラの名称とその特徴は表1・2を参照のこと。Gm = 岩片支持で塊状の礫; Sm = 塊状で淘汰の悪い～中程度の中～極粗粒砂。KT101, KT202などは表2の試料番号。T = テフラ層の厚さで、単位はcm。D = テフラの平均最大粒径で、単位はcm。

Fig. 3 Stratigraphic columns at Locs. 25 and 27.

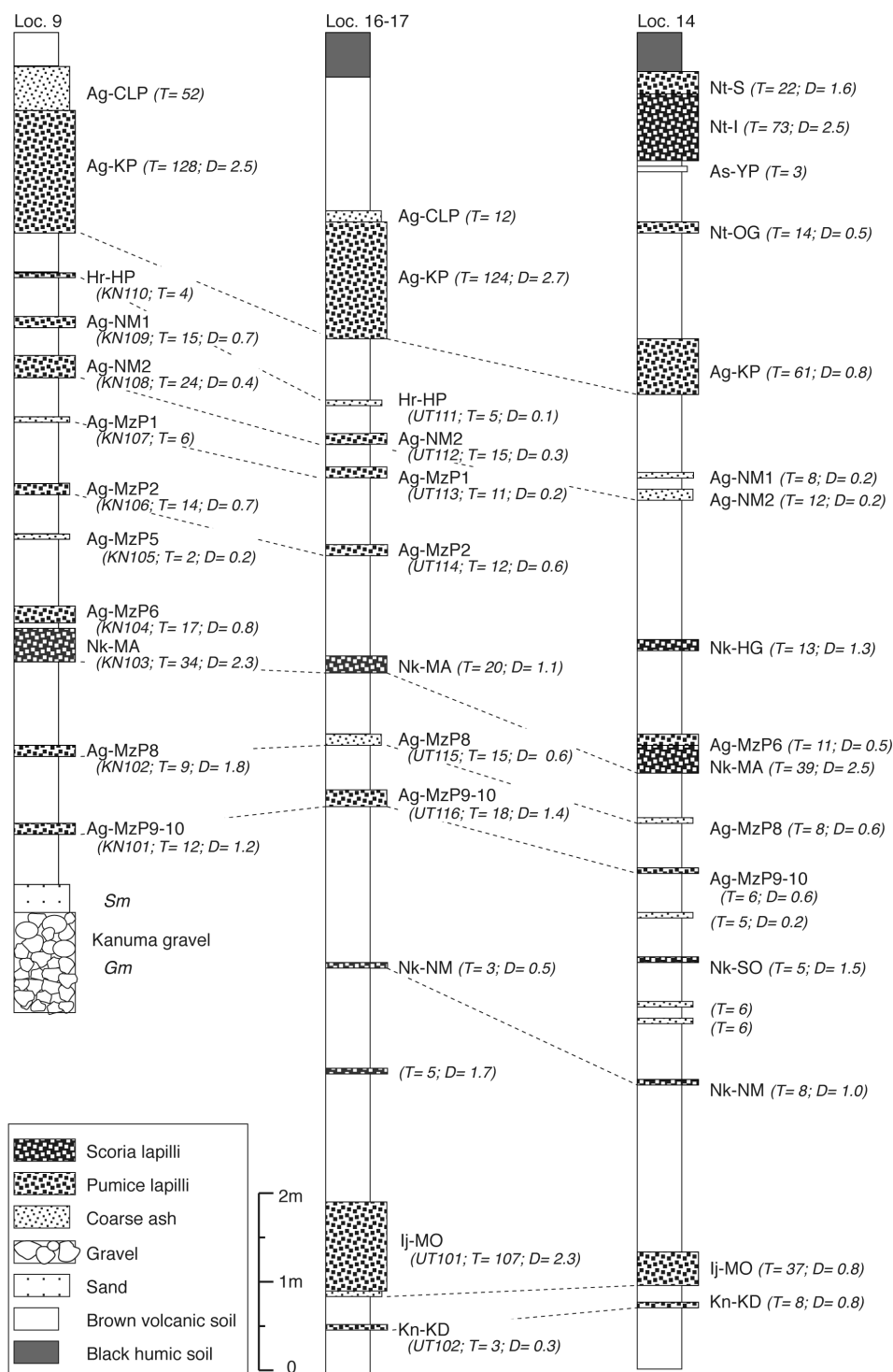
See Tables 1 and 2 for the tephra names and its compositions. Gm = clast-supported, massive gravel; Sm = massive, poorly to moderately sorted medium-very coarse sand. KT101, KT202, etc. are the sample number in Table 2. T = thickness of the tephra unit in centimeters. D = averaged maximum diameter of grains of the tephra unit in centimeters.



第4図 Loc. 8, 13, 15, 18, 19, 26, 28, 29 及び33における露頭柱状図。
テフラの名称とその特徴は表1・2を参照のこと。Gms = 基質支持で無級化の礫、Sgb = 連続性の悪い、平行層理を持つ淘汰が中程度～悪い砂・細礫・中礫、Sm = 平行層理を持つ砂、Sh = 塊状で淘汰の中～中程度の悪い、極粗粒砂。BT101, UT202などは表2の試料番号。T = テフラ層の厚さで、単位はcm。D = テフラの平均最大粒径で、単位はcm。

Fig. 4 Stratigraphic columns at Locs. 8, 13, 15, 18, 19, 26, 28, 29 and 33.
See Tables 1 and 2 for the tephra names and its compositions. Gms = matrix-supported, ungraded, massive gravel; Gm = clast-supported, massive gravel; Sgb = horizontal but discontinuous bedded, moderately to poorly sorted sand, granules, and pebbles; Sh = horizontal-bedded sand; Sm = massive, poorly to moderately sorted medium-very coarse sand. BT101, UT202, etc. are the sample number in Table 2. T = thickness of the tephra unit in centimeters. D = averaged maximum diameter of grains of the tephra unit in centimeters.

栃木ー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 (山元)

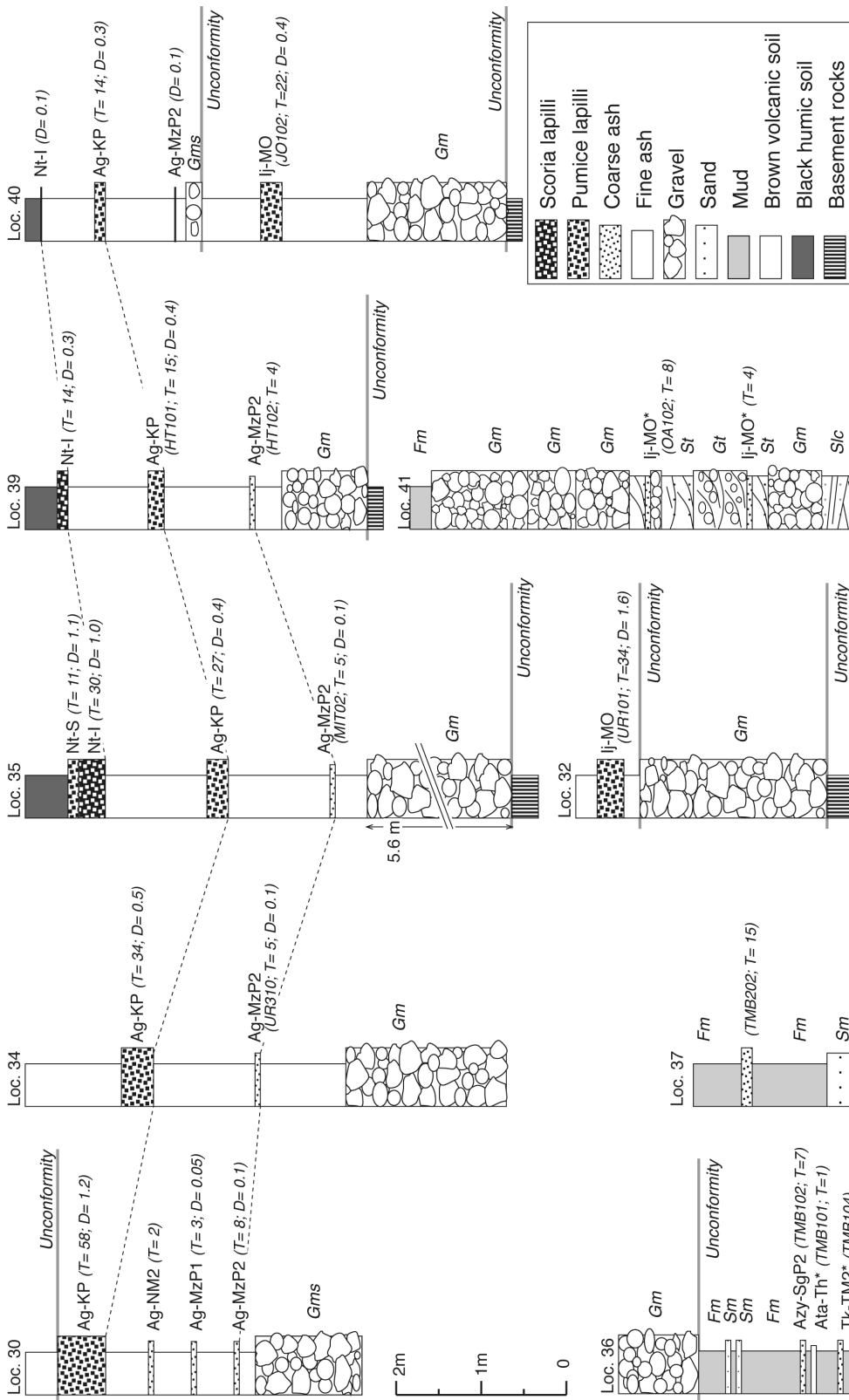


第5図 Loc. 9, 14, 16及び17における露頭柱状図.

テフラの名称とその特徴は表1・2を参照のこと. Gm = 岩片支持で塊状の礫; Sm = 塊状で淘汰の悪い~中程度の中~極粗粒砂. KN101, UT111などは表2の試料番号. T = テフラ層の厚さで, 単位はcm. D = テフラの平均最大粒径で, 単位はcm.

Fig. 5 Stratigraphic columns at Locs. 9, 14, 16 and 17.

See Tables 1 and 2 for the tephra names and its compositions. Gm = clast-supported, massive gravel; Sm = massive, poorly to moderately sorted medium-very coarse sand. KN101, UT111, etc. are the sample number in Table 2. T = thickness of the tephra unit in centimeters. D = averaged maximum diameter of grains of the tephra unit in centimeters.



第6図 Loc. 30, 32, 34, 35, 36, 37, 39, 40 及び41における露頭柱状図。

テフラの名称とその特徴は表1・2を参照のこと。Gms = 基質支持で無級化の礫；Gm = 基質支持で塊状の礫；Gi = 岩片支持で塊状の礫；S/c = 低角斜交層理を持つ砂；Sm = 塊状で淘汰の悪い～中程度の粗～極粗粒砂；St = トラフ型斜交層理を持つ砂；Fm = 塊状の中～極粗粒砂；Fm = 塊状の泥。OA102, TMB101などは表2の試料番号。T = テフラ層の厚さで、単位はcm。D = テフラの平均最大粒径で、単位はcm。

Fig. 6

Stratigraphic columns at Locs. 30, 32, 34, 35, 36, 37, 39, 40 and 41.

See Tables 1 and 2 for the tephra names and its compositions. Gms = matrix-supported, ungraded, massive gravel; Gm = clast-supported, ungraded, massive gravel; Gi = trough-crossbedded gravel; S/c = low-angle crossbedded sand; Sm = massive, poorly to moderately sorted medium-very coarse sand; St = trough-crossbedded sand; Fm = massive mud. OA102, TMB101, etc. are the sample number in Table 2. T = thickness of the tephra unit in centimeters. D = averaged maximum diameter of grains of the tephra unit in centimeters.

いる。一方、火口近傍の堆積物層厚が測定できていないテフラの場合は、Legros (2000)の簡便法を用いて体積を見積もっている。この方法は一つの等層厚線の面積から全体積の最小値を与えるもので、降下火砕堆積物全体の等層厚分布が把握できていない場合にも用いることが可能である。また、真の体積はLegros (2000)の最小値の数倍以内であることが多い。このLegros (2000)の簡便法は、Pyle (1989)の手法を拡張したものであるが、信頼性の高い結晶法適用例の平均値を用いるHayakawa (1985)の経験則と結果的に算術式の形は同じであり、Legros法最小体積はHayakawa法体積の約1/3となる。このことは第一次近似としてHayakawa (1985)の経験則は有効であり、既存文献にある彼の手法で決められた値もその意味を理解していれば十分使えるものであることを意味している。

3. KR1 コア風成層の再記載

平成18年度に栃木県那須烏山市上川井(北緯36°42'35", 東経140°3'45", 標高192m)で掘削されたKR1 コアは、地表から深度42.05mまでが風成層(Fig. 7)、深度42.05mから119.40mまでが主に砂礫からなる前期更新統境林層、深度119.40mから孔底の352.3mまでが泥岩・凝灰岩からなる中新統で構成されている。境林層は白河火砕流群を挟む下部更新統の陸成扇状地堆積物で、喜連川丘陵を構成する地層である(小池ほか, 1985; 山元, 2006b)。境林層の上位には最下部に貝塩上宝テフラ(KMT; 約65万年前; 鈴木ほか, 2000)を挟む層厚約20~40mの風成層の風成層が重なっている(小池ほか, 1985; 鈴木, 1996; KMTは法師峠黒雲母火山灰層と呼ばれている)。境林層とKMTとの関係は、弥五郎坂(Loc. 27; Figs. 3 & 8)で模式的に観察することができる。喜連川丘陵の風成層はその形成年代の古さから他に類を見ないものであるが、下部には頻りに砂礫層が挟まれていること、中・上部にも顕著な傾斜不整合が複数存在することなど、必ずしも過去60万年を超える風成層が同一地点で連続して堆積しているわけではない。露頭が少ない喜連川丘陵において、KR1のように40mを超える風成層のコアは貴重であり、その記載には正確さが求められよう。しかしながら、KR1 コアの風成層層序を示した桑原(2009)の内容は岩相記載があまりにも貧弱であり、参考になるものではない。

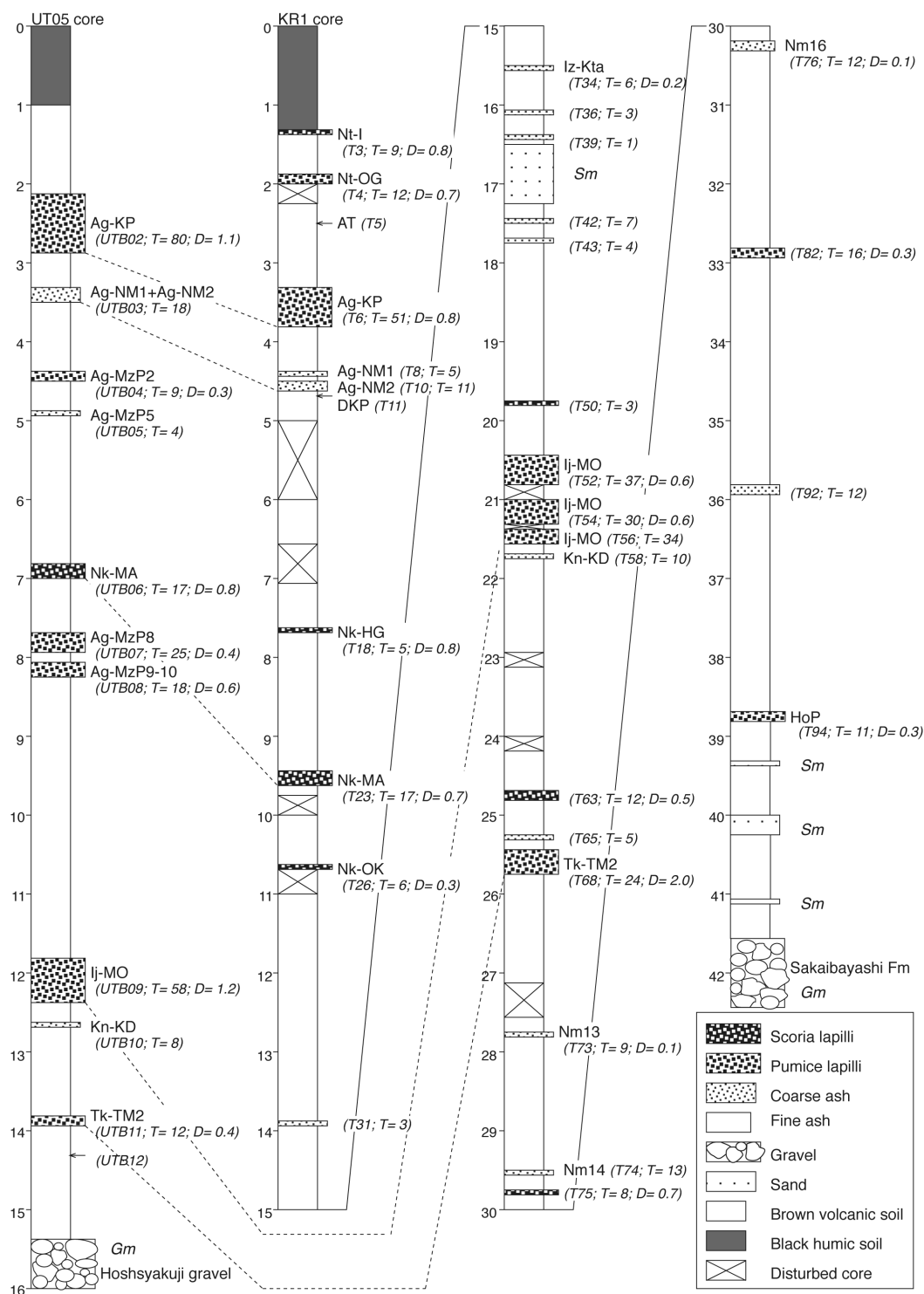
KR1 コア上部の風成層は、堆積物の固結度が低いため掘削時の擾乱が随所で認められるものの、コアの回収率は比較的高い(Fig. 7)。KR1のコア写真を付録2のFig. A1に示すとともに、(株)古澤地質により記載された岩相の詳細記載を、山元によるテフラの対比結果を合わせて付録2のTable. A1に示している。KR1 コアには赤城鹿沼テフラ(Ag-KP)、日光満美穴テフラ(Nk-MA)、飯土真岡テフラ(Ij-MO)、高原戸室山2テフラ(Tk-TM2)、根本13テフラ(Nm13)、根本14テフラ(Nm14)、根本16テフラ

(Nm16)や星の宮テフラ(HoP)など、喜連川丘陵に分布する代表的テフラを確認することができる(Fig. 7)。前述のように、このコアのテフラを記載した桑原(2009)には多数の対比間違いがあり、そのうち重大なものは以下の通りである。1) 桑原(2009)は深度9.5m付近のスコリア火山礫(T23)を赤城水沼6テフラ(Ag-MzP6)に対比したが、本来のAg-MzP6は後述するように発泡の良いデイサイト軽石からなり、岩種が一致しない。層序的位置と構成物の特徴(Table. 2)から、T23はNk-MAに対比される。2) 桑原(2009)は、深度15.6m付近の層厚6cmのカミングトン閃石含有斜方輝石普通角閃石デイサイト粗粒火山灰(T34)をIj-MOに対比したが、テフラの層厚・粒径は後述するIj-MOとするには小さすぎる。その層序学的位置と構成物の特徴(Table. 2)から、T34は飯縄上樽aテフラ(Iz-KTa)に対比される。3) 桑原(2009)が対比・命名できなかった深度21.4m付近のカミングトン閃石含有斜方輝石普通角閃石デイサイト軽石細粒火山礫(T56)は、その火山ガラス片や結晶片の屈折率の特徴(Table. 2)からIj-MOに対比される。4) 桑原(2009)は深度25.6m付近のカミングトン閃石含有斜方輝石普通角閃石デイサイト軽石(T68)を塩原大田原テフラ(Sb-OT)に対比したが、後述するようにSb-OTは単斜輝石斜方輝石デイサイトからなり斑晶組み合わせが全く一致しない。層序的位置と構成物の特徴(Table. 2)から、T68は後述するTk-TM2に対比される。

4. 高原火山のテフラ

高原火山は、栃木県北部の火山フロント上に位置する安山岩質の成層火山である。成層火山体形成に先立ち大田原火砕流(Sb-OT)の噴出と塩原カルデラの形成があった(尾上, 1989; 井上ほか, 1994)。大田原火砕流は那須野ヶ原から喜連川丘陵にかけて分布し、噴出年代は層序関係から約30万年前と判断されている(鈴木ほか, 2004)。また、塩原カルデラは高原成層火山体の北麓にあり、直径約10kmで、カルデラ内を塩原湖成層が埋積している(尾上, 1989)。玄武岩—デイサイトの溶岩流を主とする成層火山体の形成はカルデラ形成直後から始まり、30-20万年前のK-Ar年代値が報告されている(Itaya *et al.*, 1989)。その後、長い休止期を挟んで高原火山北山腹でデイサイトマグマの活動が再開し、約3万年前に高原柏木平テフラの噴出(山元, 2012)、6.5千年前に高原上の原テフラと富士山溶岩円頂丘の噴出(奥野ほか, 1997)が起きている。

本火山の東に分布する姥沢北テフラ(Tk-UB; 鈴木, 1992)や塩原テフラ群(Tk-SI2~SI4; 鈴木, 1993)は、その層厚分から本火山起源と考えられている(Fig. 9)。更に下位の層準にある戸室山テフラ群(山元, 1999)も本火山起源と推定されていたものの、テフラの粘土化が進み



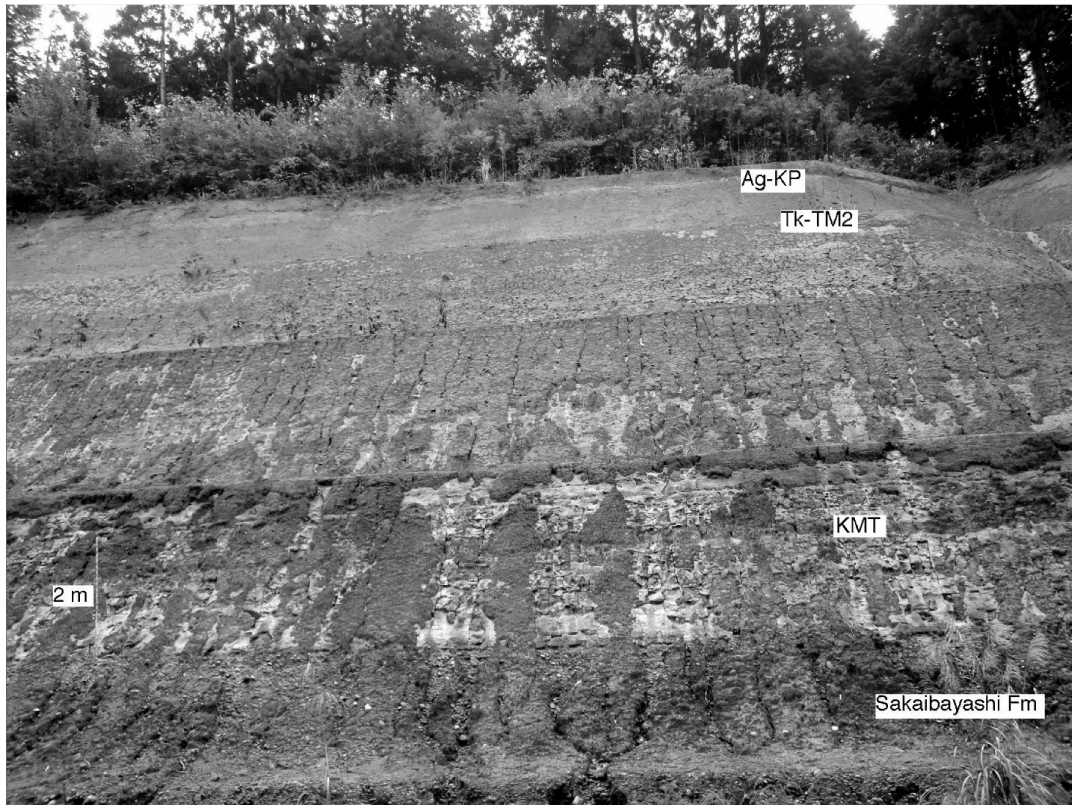
第7図 KR1及びUT05コア柱状図

テフラの名称とその特徴は表1・2, KR1コアの岩相は表A1を参照のこと. *Gm* = 岩片支持で塊状の礫; *Sm* = 塊状で淘汰の悪い~中程度の中~極粗粒砂. *UTB02*, *T03*などは表2の試料番号. *T* = テフラ層の厚さで, 単位はcm. *D* = テフラの平均最大粒径で, 単位はcm.

Fig. 7

Stratigraphic columns of KR1 and UT05 cores.

See Tables 1 and 2 for the tephra names and its compositions; see Table A1 for lithofacies of KR1 core. *Gm* = clast-supported, massive gravel; *Sm* = massive, poorly to moderately sorted medium-very coarse sand. *UTB02*, *T03*, etc. are the sample number in Table 2. *T* = thickness of the tephra unit in centimeters. *D* = averaged maximum diameter of grains of the tephra unit in centimeters.



第 8 図 境林層を覆う風成堆積物の露頭写真。

Ag-KP = 赤城鹿沼テフラ; *KMT* = 貝塩上宝テフラ; *Tk-TM2* = 高原戸室山2テフラ.
栃木県さくら市弥五郎坂 (Loc. 27).

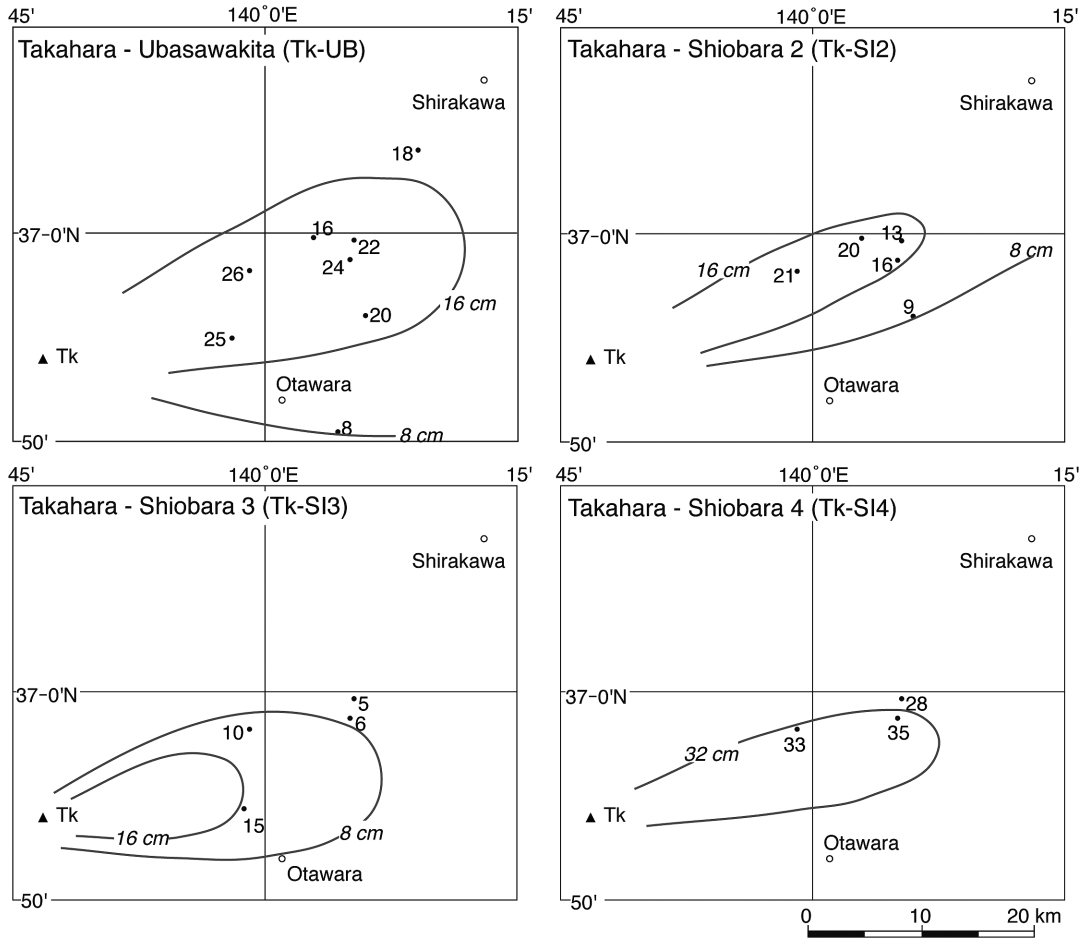
Fig. 8 Outcrop photograph of eolian veneer deposits overlying the Sakaibayashi Formation. *Ag-KP* = Akagi-Kanuma tephra; *KMT* = Kaisho-Kamitakara tephra; *Tk-TM2* = Takahara-Tomuroyama 2 tephra. Yagorozaka, Sakura City, Tochigi (Loc. 27).

その特徴が当初は良く分からなかった。しかしながら、その後の調査で高原戸室山2テフラ(Tk-TM2)から分析可能な火山ガラスを含む試料(IO-102)が得られ、このテフラが栃木県から茨城県にかけての広範囲に分布することが明らかになった。

4.1 高原戸室山2テフラ(Tk-TM2)

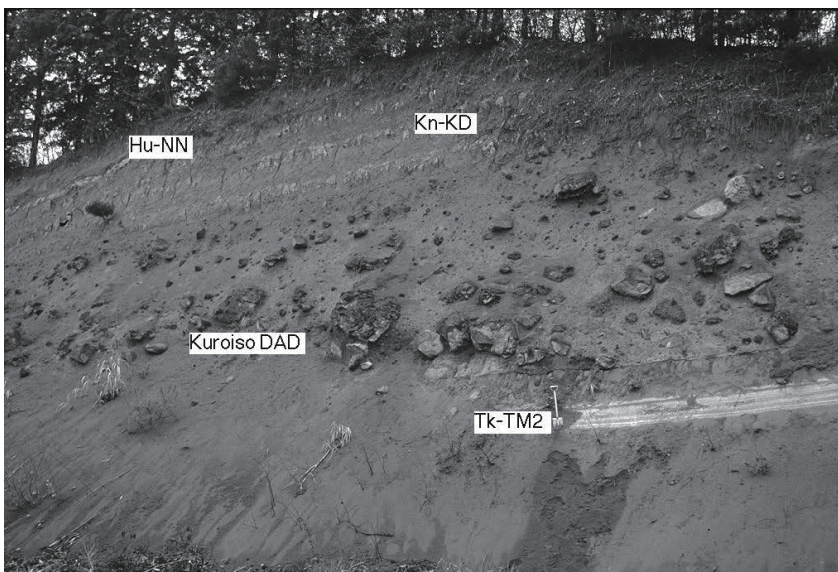
山元(1999)命名。元の模式地は、栃木県那須塩原市戸室山(Loc. 10)。ただし、本露頭は既に消失しており、高久丘陵内にある那須町沼井野(Loc. 23; Fig. 3)の露頭を新たな模式地とする。本テフラは黒磯岩屑なだれ堆積物の直下にある白色～明黄色の粘土質の基質を持つ成層した軽石火山礫からなり、よく目立つ(Fig. 10)。模式地では、径2cm以下の橙色～明黄色の軽石火山礫を含むほか、灰色の石質安山岩の異質火山礫を伴っており、比較的給源に近いことがその岩相からも判断される。模式地の試料(IO-102)にわずかに残った軽石質火山ガラスの屈折率は1.506-1.508で、普通角閃石・斜方輝石・石英を含むほか、微量のカミングトン閃石を伴っている

(Table. 2)。同様な見かけの降下堆積物は、層厚が小さくなるものの南の喜連川丘陵でもIj-MOの下位に確認することが出来る(Fig. 3)。さくら市芳井(Loc. 25)の試料(KT102)も普通角閃石・斜方輝石・石英を含むほか、屈折率が1.505-1.510の軽石質火山ガラスが特徴となっている(Table. 2)。ただし、この試料には1.497-1.499の低屈折率の気泡壁型火山ガラス片が少量検出でき、Tk-TM2近傍層準にあった別のテフラ(後述するAta-Th)との混合が風成層内で起きていることを示唆している。KR1コア深度25.6 m付近のカミングトン閃石含有斜方輝石普通角閃石デイサイト軽石(T68)も、構成物の屈折率の範囲が若干広めではあるものの、IO-102の値と重複しており、これもTk-TM2に対比されよう(Table. 2)。山元(2006a)は、更に南の宝積寺段丘で実施したUT5コア(Fig. 7)において、Ij-MOの下位にある深度13.8mの径4mmの斜方輝石普通角閃石デイサイト橙色軽石細粒火山礫(UTB11)を、榛名火山の宮沢火砕流に伴う降下火砕物と考えていた。しかし、宮沢火砕流本質物の斑晶は斜方輝石・単斜輝石が卓越すること、山元(2006a)が採取した試料(Hr-



第9図 高原姥沢北テフラ (*Tk-UB*), 高原塩原2テフラ (*Tk-SI2*), 高原塩原3テフラ (*Tk-SI3*), 高原塩原4テフラ (*Tk-SI4*) の分布. 数字は降下火砕堆積物の層厚で, 単位はcm. *Tk* = 高原火山.

Fig. 9 Distribution of the Takahara-Ubasawakita (*Tk-UB*), Takahara-Shiobara 2 (*Tk-SI2*), Takahara-Shiobara 3 (*Tk-SI3*), and Takahara-Shiobara 4 (*Tk-SI4*) tephtras. Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. *Tk* = Takahara volcano.



第10図 高原戸室山2テフラ(*Tk-TM2*)の露頭写真.

Kn-KD = 鬼怒沼黒田原テフラ;
Hu-NN = 燧ヶ岳七入テフラ;
DAD = 岩屑なだれ堆積物. 栃木県那須町沼井野 (Loc. 23).

Fig. 10 Outcrop photograph of the Takahara-Tomuroyama 2 tephra (*Tk-TM2*). *Kn-KD* = Kinunuma-Kurodahara tephra; *Hu-NN* = Hiuchigateke-Nanairi tephra; *DAD* = debris avalanche deposit. Numaino, Nasu Town, Tochigi (Loc. 23).

MZ)は、宮沢火砕流台地に刻まれた谷を埋めた白川火砕流であることがその後指摘された(下司, 私信). 後述するように白川火砕流の噴出年代は約4.9万年前であり, Ij-MOの下位にあるUTB11がこれに対比されることはありえない. UTB11からは火山ガラスが検出できていないものの, 普通角閃石と斜方輝石の特徴から, これもTk-TM2に対比される可能性が大きい(Table. 2).

大石(2009)は、笠間町大古山の瀬沼川沿い(Loc. 36)の“見和層下部(坂本ほか, 1981)”のエスチュアリー相泥質堆積物中に四阿菅平2テフラ(Azy-SgP2; 鈴木・早川, 1990; TMB102)とその直下に阿多鳥浜テフラ(Ata-Th; 町田・新井, 2003; TMB101)が存在することを記載している(Fig. 6; 詳細後述). 今回, この露頭のAta-Thの更に20 cm下位の泥層に径1 mm以下の白色軽石質火山灰(TMB104)が多く含まれることを確認した. この軽石質火山ガラスの屈折率は1.506-1.508で, 含まれる普通角閃石や斜方輝石の屈折率もIO-102の値と良く重複している. ただし, TMB104には値の全く異なる高屈折率の火山ガラスも含まれるが, 同じ高屈折率火山ガラスは直上のAta-Th (TMB101)にも含まれており, TMB101・TMB104とも再堆積した混合火砕堆積物であることを示している. Fig. 11はIO-102・TMB101・TMB104の火山ガラスの全岩化学組成の比較である(分析値の詳細は付録3; Tables A2 & A3に記載). Tk-TM2 (IO-102)の火山ガラスのSiO₂量は76.6 ~ 77.8wt%で, TMB104の低屈折率火山ガラスと組成が良く一致している. また, TMB101とTMB104の高屈折率火山ガラスは一連の組成トレンドをなしており, 同じテフラに由来することは確実である. さらにIO-102にもAta-Thと組成の一致する火山ガラスを僅かに含んでおり, ここでも両者が混合していることが明らかである.

以上の層序関係からTk-TM2は, Ata-Thの直下にあり, 場所によっては両者が風成層内の擾乱により混合していることが明らかになった. Ata-ThはMIS7eの高海面期の指標テフラであり, その噴火年代は約24万年前とされているので(町田・新井, 2003), Tk-TM2もほぼ同じ時期の噴出物となる. Tk-TM2の上位ある黒磯岩屑なだれ堆積物は, 給源の那須三本槍岳火山とこれを不整合に覆う南月山・朝日岳火山のK-Ar年代値(伴・高岡, 1995)から27 ~ 21万年前と考えられていた(山元, 1999). 黒磯岩屑なだれ堆積物の上位には, MIS7d ~ MIS7cにかけてのIj-MO・Kn-KD, 下位にMIS7eのAta-Th・Tk-TM2があることから約23万年前と判断されよう.

降下火砕堆積物の16-32 cm等層厚線(Fig. 12)が囲む面積(Table. 4)を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約1 × 10⁰ km³ (堆積物の平均密度を800 kg/m³として岩石換算最小体積は約4 × 10⁻¹ km³ DRE, 最小質量は約1 × 10¹² kg)である.

4.2 塩原大田原火砕流(Sb-OT)

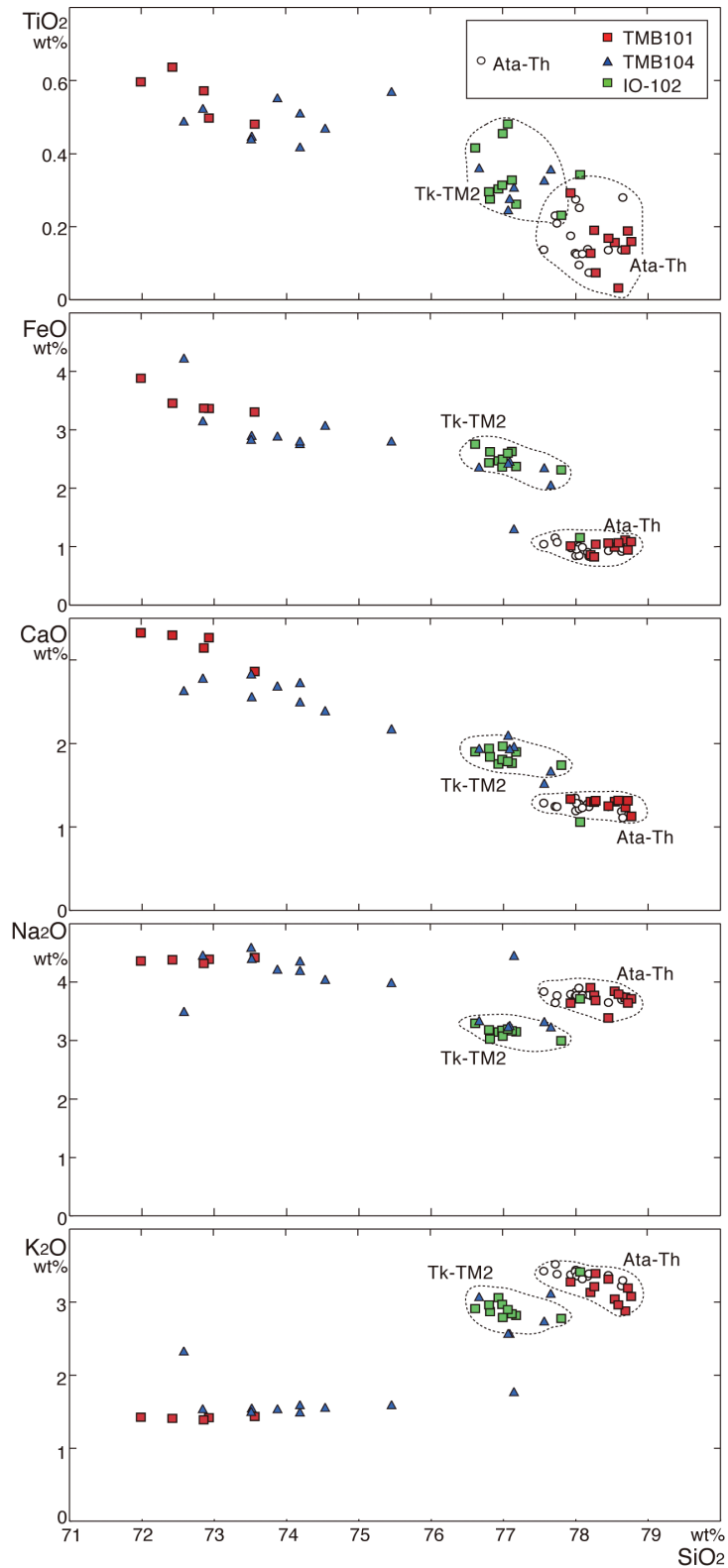
佐々木ほか(1958), 尾上(1986)命名. 模式地は, 栃木県大田原市山の手の蛇尾川右岸. 本火砕流は約30万年前に塩原カルデラから噴出したもので(鈴木ほか, 2004), その堆積物は高原火山東の那須野ヶ原及びその周辺に分布し, 非溶結から中溶結の斜方輝石単斜輝石デイサイト軽石に富む塊状の凝灰角礫岩~火山礫凝灰岩からなる. その体積は, 平均層厚を50 mとして約35 km³と見積もられている(尾上, 1989; マグマ体積は約3 × 10⁰ km³ DRE). 含まれる軽石の斜方輝石の屈折率は1.715以上と他のテフラよりも大きい特徴がある(Table. 2). 一般に風化により酸化された斑晶鉱物が異常な高屈折率を示すことがあるが, KT103やIO-101にはそのような変質は認められない. 軽石の全岩化学組成は, 付録4 (Table. A15)に記載されている.

喜連川丘陵の那珂川町芳井(Loc. 25)には, 模式地のSb-OTとは岩相が異なる本堆積物がみられる(Fig. 3). その層厚は120 cmで, 粘土化の進んだ火山灰基質に最大径2.5 cmの軽石火山礫をまばらに含んでいる. 基底には石質岩片と結晶質の粗粒火山灰からなるグラウンドレイヤーがあり, 火砕流の斜面被覆相に特徴的な密度級化が発達している. この堆積物の下位には侵食面を挟んで, Apm群に対比されるNm13やNm14 (鈴木ほか, 1998)を挟む風成層があり, 当時から喜連川丘陵は地形的な高まりを構成していたことがうかがえる.

Sb-OTに伴う降下火砕堆積物は, これまでその対比が確定していなかった. しかし, 給源の塩原カルデラの北東に分布する約23万年前の黒磯岩屑なだれ堆積物の下位に, その層準があることは確実である. 山元(1999)は福島県西郷村の堀川ダムサイト(Loc. 20)で, 黒磯岩屑なだれ堆積物の下位の風成層から14層のスコリアや軽石からなる降下火砕堆積物(真船テフラ群)を記載している. このうち上から6枚目で黒磯岩屑なだれ堆積物の下位約3.5mに位置する真船第6テフラ(MF06)は, 層厚20cmで, 径3cm以下の橙色軽石火山礫からなる降下火砕堆積物で, 斜方輝石と単斜輝石を斑晶として含んでいる[山元(1999)の第9図]. これまでに, この地点以外でMF06を確認していないため, 等層厚線から給源を示すことは出来ないが, MF06の斜方輝石の屈折率は1.715-1.717とSb-OTと良く一致することと(Table. 2), その層序学的位置関係から, これをSb-OTに対比することは可能であろう. MF06以外の真船テフラ群については, その大半は直ぐ西に位置する那須三本槍火山由来と推定される.

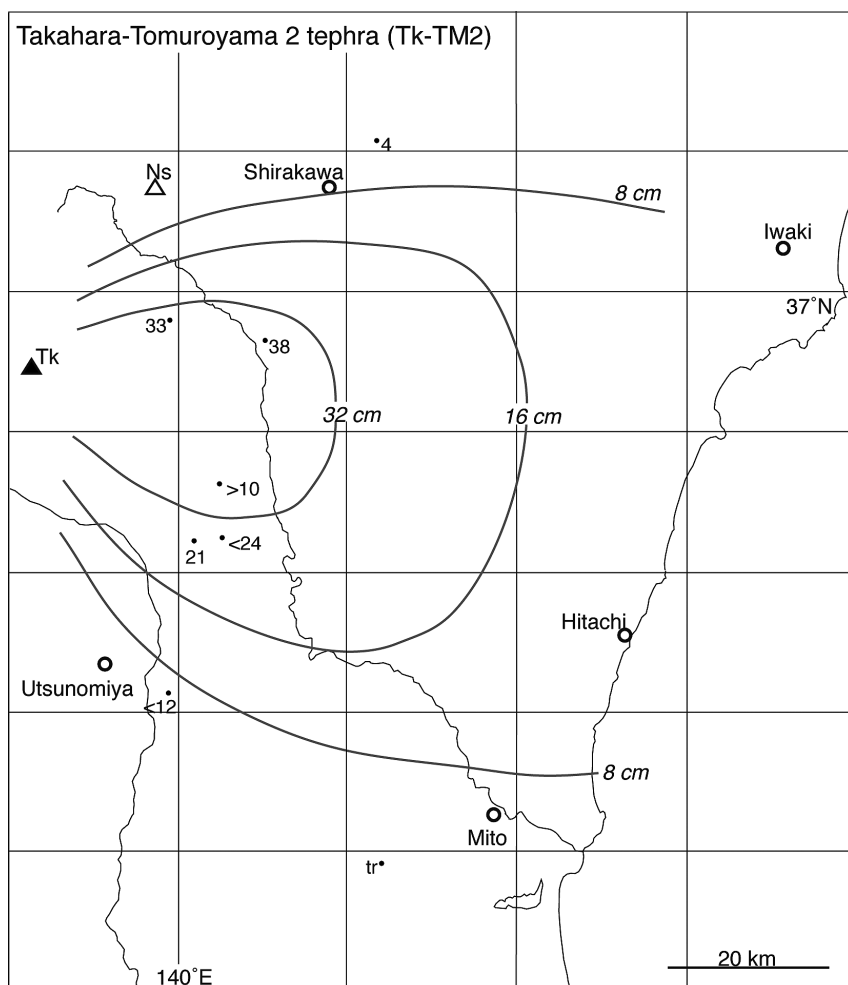
4.3 高原火山のマグマ噴出量

高原火山の成層火山体の体積は概算で約2 × 10⁰ km³ DREと見積もられ(伴ほか, 1992), その活動期間はテフラ層序から30 ~ 15万年とされている(山元, 2012). Tk-TM2はこの時期の最大規模の降下火砕堆積物であるが,



第11図 Ata-Th, TMB101 (*Ata-Th**), TMB104 (*Tk-TM2**), IO-102 (*Tk-TM2*)中の火山ガラス片の主成分化学組成図。試料の層準は第2・6図を参照のこと。

Fig. 11 Major element variations of volcanic glass shards in Ata-Th, TMB101 (*Ata-Th**), TMB104 (*Tk-TM2**) and IO-102 (*Tk-TM2*). See figures 2 and 6 for sample stratigraphy.



第12図 高原戸室山2テフラ(Tk-TM2)の分布.
数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm. Ns = 那須火山; Tk = 高原火山.

Fig. 12 Distribution of the Takahara-Tomuroyama 2 tephra (Tk-TM2). Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ns = Nasu volcano; Tk = Takahara volcano.

その最小マグマ体積は約 $4 \times 10^{11} \text{ km}^3$ DREと火山体の体積よりも十分に小さい. Tk-UB, Tk-SI2, Tk-SI3, Tk-SI4も、等層厚線面積から推定される最小マグマ体積はそれぞれ約 8×10^{12} , 4×10^{12} , 3×10^{12} , $9 \times 10^{12} \text{ km}^3$ DREと (Table. 4), 更に規模が小さくなる. Tk-TM2以外の高原戸室山テフラ群もおそらく同程度の規模であろう. これらを合わせた高原火山成層火山体形成時の降下火砕堆積物の総マグマ体積は、成層火山体の1割程度かそれ以下である.

5. 男体火山のテフラ

男体火山は、栃木県北西部に位置する基底径約6 km, 比高約1200 mの安山岩質の成層火山であり、周囲の成層火山・溶岩ドームとともに日光火山群を構成する(山崎, 1958). 日光火山群の中では若い火山であり、テフラ層序からAT降下後に形成が始まったことが明らかにされている(村本, 1992; 鈴木, 1993). 山崎(1957)は、男体火山の活動を、主成層火山体の形成期である主期と、今市降下スコリアと志津溶結火砕流、七本桜降下軽石、荒沢・竜頭滝軽石流の噴出を経て、御沢溶岩の流出へと

至る末期に区分している. その後、これら末期噴出物の上位から、三宅ほか(2009)は暦年代で11 ~ 12 cal ka, Ishizaki *et al.* (2010)は8.3 cal ka, 6.8 ~ 7.0 cal kaの更に若い噴出物の存在が確認されている.

5.1 男体今市テフラ(Nt-I)・男体七本桜(Nt-S)

阿久津(1955)命名. 模式地は、栃木県日光市七本桜、大谷川南岸. 本堆積物は、赤褐色で良く発泡した多面体型スコリアの火山礫降下堆積物からなる下部と、黄白色の軽石火山礫降下堆積物からなる上部で構成され、下部がNt-I, 上部がNt-Iと呼ばれている. 上部と下部の境界は明瞭で、漸移することはない. Nt-Iは基質に細粒物を持たず、淘汰が非常に良い. 一方、Nt-Sは基質に粗粒砂~細礫サイズの軽石や結晶片を持ち淘汰がやや異なる. 両者の間に土壌層の形成はなく、一輪廻の噴火堆積物における異なる噴火ユニットと考えられている(山崎, 1957; 石崎・呉山, 2004). Nt-Iの本質物は斑晶量の乏しい斜方輝石単斜輝石安山岩~デイサイト, Nt-Sの本質物は斑状の斜方輝石単斜輝石デイサイトを主体としている. 山体の北~西山麓ではNt-Iの上位に同質のスコリア

第4表 降下火砕堆積物の等層厚線の囲む面積と最小体積

Table. 4 Area within isopachs and minimum volume of pyroclastic fall deposits.

Tephra	4-cm-isopach (km ²)	8-cm-isopach (km ²)	16-cm-isopach (km ²)	32-cm-isopach (km ²)	64-cm-isopach (km ²)	128-cm-isopach (km ²)	Min Volume (km ³)
Ag-KP	n.d.	n.d.	n.d.	3.8E+03	2.1E+03	1.0E+03	4.7E+00
Ag-MzP1	1.7E+03	1.0E+03	4.9E+02	n.d.	n.d.	n.d.	2.8E-01
Ag-MzP2	5.1E+03	2.7E+03	1.2E+03	5.2E+02	n.d.	n.d.	7.1E-01
Ag-MzP6	n.d.	1.6E+03	8.2E+02	4.1E+02	n.d.	n.d.	4.8E-01
Ag-MzP8	n.d.	1.7E+03	7.6E+02	n.d.	n.d.	n.d.	4.8E-01
Ag-MzP9-10	n.d.	n.d.	1.1E+03	n.d.	n.d.	n.d.	6.7E-01
Ag-NM2	n.d.	2.5E+03	1.3E+03	6.3E+02	3.1E+02	n.d.	7.4E-01
Hr-FP	n.d.	3.9E+03	1.3E+03	5.1E+02	1.9E+02	9.5E+01	6.8E-01
Hr-HP	2.7E+03	1.6E+03	8.7E+02	3.7E+02	n.d.	n.d.	4.5E-01
Ij-MO	n.d.	n.d.	n.d.	3.7E+03	1.9E+03	n.d.	4.4E+00
Nt-KU-γ	n.d.	n.d.	3.6E+02	n.d.	n.d.	n.d.	2.1E-01
Nt-IP	n.d.	n.d.	n.d.	8.5E+02	3.4E+02	1.1E+02	7.7E-01
Nt-OG	n.d.	1.3E+03	6.7E+02	2.2E+02	n.d.	n.d.	3.4E-01
Nt-SP	n.d.	n.d.	9.4E+02	3.2E+02	9.9E+01	n.d.	3.9E-01
Tk-SI2	n.d.	n.d.	1.5E+02	n.d.	n.d.	n.d.	8.9E-02
Tk-SI3	n.d.	2.9E+02	9.2E+01	n.d.	n.d.	n.d.	7.0E-02
Tk-SI4	n.d.	n.d.	n.d.	1.7E+02	n.d.	n.d.	2.1E-01
Tk-TM2	n.d.	n.d.	2.7E+03	8.1E+02	n.d.	n.d.	1.3E+00
Tk-UB	n.d.	n.d.	3.9E+02	n.d.	n.d.	n.d.	2.3E-01

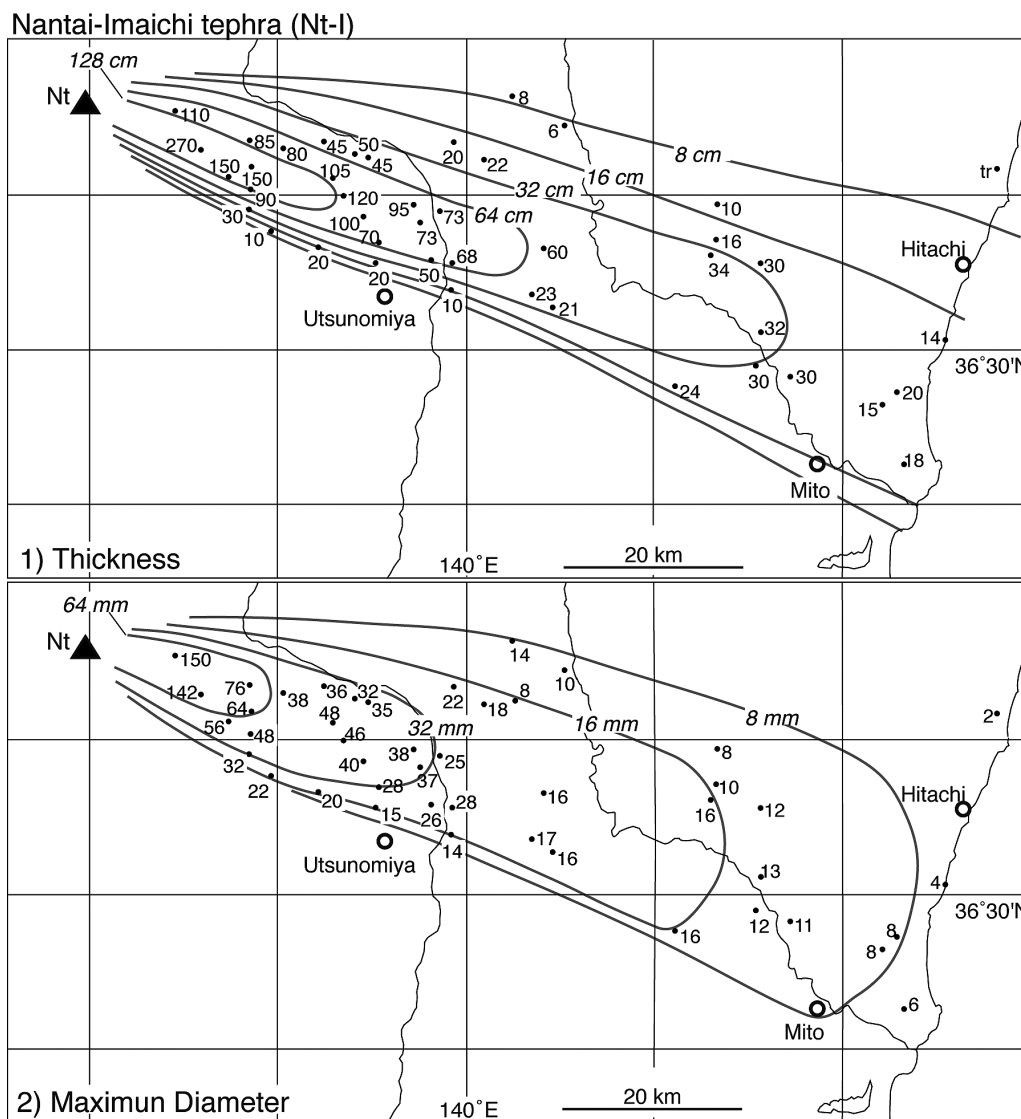
ア流堆積物を伴い、Nt-Sも荒沢・竜頭滝軽石流と呼ばれたNt-Sと同質の火砕流堆積物が重なっている(石崎・呉山, 2004). 本テフラの噴出年代は、これまで阿久津(1979)による日光市清滝白崖の火砕流堆積物中の炭化木片の放射性炭素年代から12 kaとされていた。しかし、最近の再測定結果では暦年補正值として14,935 ~ 14,770 cal yBCの年代値が報告され、ほぼ17 cal kaとなった(中村ほか, 2011)。

Nt-I・Nt-Sの分布は、ともに給源の男体山から東南東に延び、茨城県ひたちなか市で太平洋に達している(Figs. 13 & 14)。地表のクロボク土と下位の褐色火山灰土との境界部に位置しており、野外での認定は容易である。ただし、茨城県的那珂台地では生物擾乱によりNt-S・Nt-Iが土壌と混合し、明瞭な単層をなさない露頭が多い。

Nt-I降下火砕堆積物の32-64-128 cm等層厚線(Fig. 13)が囲む面積(Table. 4)を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 8×10^{-1} km³ (堆積物の平均密度を800 kg/m³として岩石換算最小体積は約 3×10^{-1} km³ DRE, 最小質量は約 6×10^{11} kg)である。また、Nt-S降下火砕堆積物の16-32-64 cm等層厚線(Fig. 14)が囲む面積(Table. 4)を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 4×10^{-1} km³ (堆積物の平均密度を800 kg/m³として岩石換算最小体積は約 1×10^{-1} km³ DRE, 最小質量は約 3×10^{11} kg)である。

5.2 男体沓掛^{くつかけ}テフラ群(Nt-KU)

鈴木(1993)命名。模式地は栃木県日光市沓掛。鈴木(1993)は日光市今市付近でNt-I・Nt-SとNt-OGの間にあり、褐色火山灰土で隔てられた4層の玄武岩質安山岩スコリア層を、上位から沓掛第1~4テフラ層と呼んでいた。スコリアはいずれも黒色~赤褐色で、良く発泡した不定形を呈している。斑晶には斜長石・単斜輝石・斜方輝石が含まれている。また、那須塩原市京町(Loc. 11; Fig. 3)でも、これらと岩相のよく似た降下スコリア堆積物群が浅間板鼻褐色テフラ(As-BP)の上位に確認できる。しかし、火山近傍の日光市霧降から日光にかけての地域では、降下スコリア堆積物のユニット数が増え、弱い成層構造を持った火山砂と互層するようになり、休止期を示す塊状で混合の進んだ火山灰土が確認できないようになる(Loc. 8; Fig. 4)。火山砂は多様な発泡度を持つ玄武岩~安山岩の粗粒火山灰からなり、斜面をマンテル被覆している。おそらく、男体火山でのストロンボリ式~ブルカノ式噴火や灰噴火などの小規模な噴火が、長時間継続して形成された火砕堆積物とみられる。村本(1992)はこれら近傍の火山砂層も含め細分化を行い霧降スコリア層・所野スコリア層として多くのユニットを認定しているが、露頭ではその全てを再確認することは出来ない。本報で準プリニー式噴火による比較的層厚の大きなスコリア火山礫降下堆積物について、鈴木(1993)になら



第13図 男体今市テフラ(Nt-I)の分布。

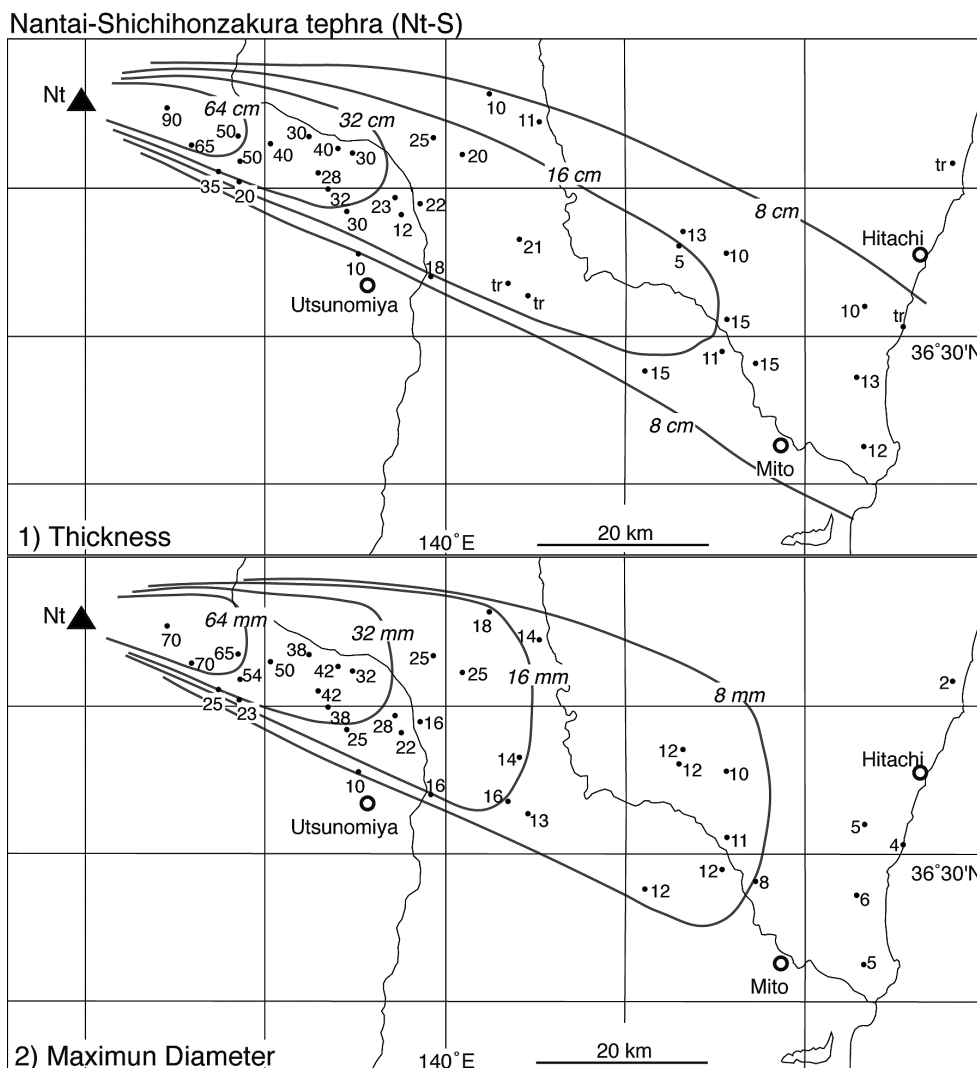
1) 数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm。2) 数字は本質粒子の平均最大粒径で、単位はmm。
Nt = 男体火山。

Fig. 13 Distribution of the Nantai-Imaichi tephra (Nt-I). Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters (1) and average maximum diameter of the essential grains in millimeter (2). Nt = Nantai volcano.

い男体沓掛テフラ群とまとめて呼ぶことにし、そのユニットの詳細は露頭毎に仮の番号だけを振っている。これらの降下堆積物は、いずれも外観のよく似た発泡の良い黒～暗褐色のスコリアからなり、給源近傍の多数のテフラ群との対比が難しい。Nt-KUで最も規模の大きなものは、Loc. 11でNt-KU-γと呼んだもので(Fig. 2)、男体火山から北東方に分布する。この降下火砕堆積物の16 cm等層厚線(Fig. 15)が囲む面積(Table. 4)を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 $2 \times 10^{11} \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 1000 kg/m^3 として岩石換算最小体積は約 $9 \times 10^{12} \text{ km}^3$ DRE, 最小質量は約 $2 \times 10^{11} \text{ kg}$)である。

5.3 男体小川テフラ(Nt-OG)

鈴木(1993)命名。模式地は栃木県日光市沓掛。男体火山最初期の噴出物で、約2.4万年前に噴出した、石質岩片に富む無斑晶質の安山岩軽石火山礫からなる。男体火山東山麓の日光市所野(Loc. 8)での層厚は1m以上(下限不明)で、最大径13cmの石質岩片を含む、直径3～6cmの軽石粗粒火山礫から構成されている(Fig. 4)。この本質軽石は直径3mm以下の細かい気泡に富んでおり、多面体型の形状を持っている。軽石内部は暗灰色であるが、その表層は黄灰～明灰色を呈していることが多い。本質物の形態は発泡の良いNt-KUのスコリアとは明瞭に異



第14図 男体七本桜テフラ(Nt-S)の分布。
 1) 数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm。2) 数字は本質粒子の平均最大粒径で、単位はmm。Nt = 男体火山。

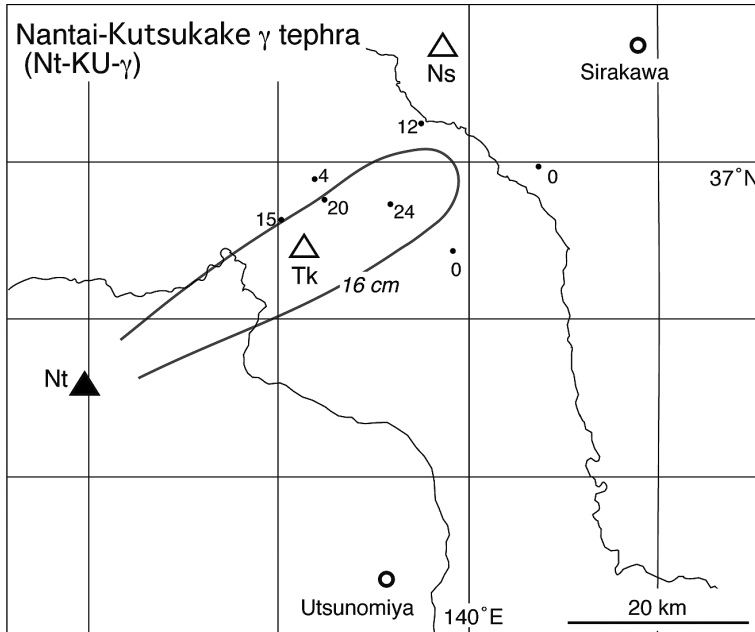
Fig. 14 Distribution of the Nantai-Shichihonzakura tephra (Nt-S). Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters (1) and average maximum diameter of the essential grains in millimeter (2). Nt = Nantai volcano.

なっており、野外での識別は容易である。また、石質岩片の含有量は30%前後で、その大半は斑晶量の多い緻密な斜方輝石単斜輝石安山岩の岩片で、僅かに花崗岩の岩片を伴っている。Nt-OGは男体火山からほぼ東に向かって分布する(Fig. 16)。Loc. 26ではNt-OGの下位に厚さ13cmの褐色火山灰土を挟んでAT (BT101)が位置している。

降下火砕堆積物の8-16-32 cm等層厚線(Fig. 12)が囲む面積(Table. 4)を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 $3 \times 10^{11} \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 1500 kg/m^3 として岩石換算最小体積は約 $2 \times 10^{11} \text{ km}^3$ DRE, 最小質量は約 $5 \times 10^{11} \text{ kg}$)である。

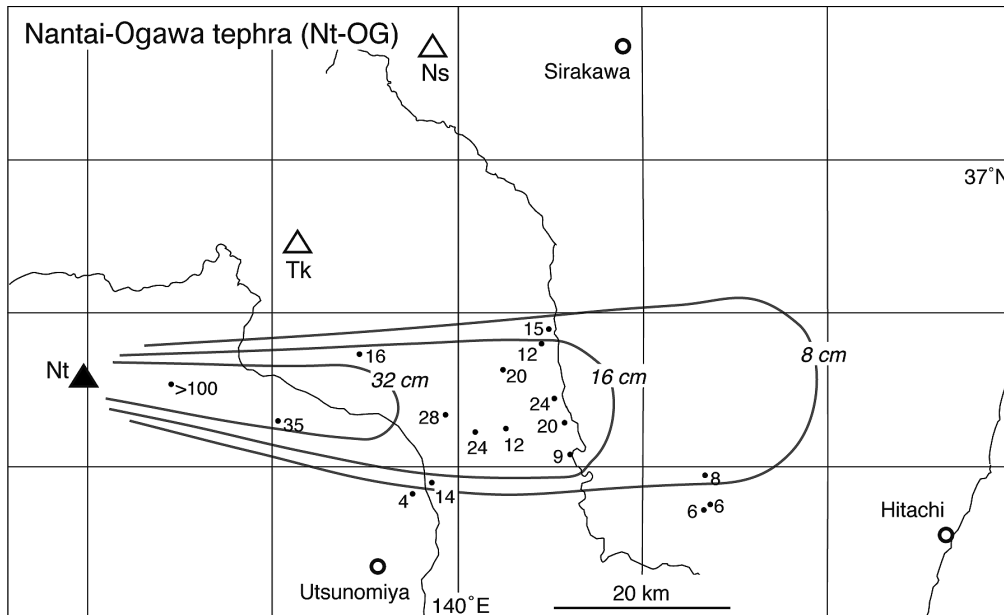
5.4 男体火山のマグマ噴出量

男体火山の成層火山体をつくる溶岩の体積は約 14 km^3 DRE, 降下火砕物の体積は約 3 km^3 DREと見積もられている(村本, 1992)。ただし、この降下火砕物の体積はHayakawa (1985)の経験式で求められたものであり、本報のLegros (2000)法の最小体積の3倍になる。体積推定のもとにした各テフラの等層厚線自体は村本(1992)と本報でほとんど違いはなく、体積値の違いは手法の差で、本質的な違いはない。成層火山体を形成した主期はNt-KU群の噴出に対応しており、2.3万年前から1.9万年前の約4千年間で山体のほとんどが形成されたものとみられる。その後、短い休止期を挟んで約1.7万年前にNt-I・Nt-Sの一連の噴火が起きている。



第15図 男体沓掛 γ テフラ($Nt-KU-\gamma$)の分布。
数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm。Nt = 男体火山。

Fig. 15 Distribution of the Nantai-Kutsukake γ tephra ($Nt-KU-\gamma$). Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Nt = Nantai volcano.



第16図 男体小川テフラ($Nt-OG$)の分布。数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm。Nt = 男体火山。

Fig. 16 Distribution of the Nantai-Ogawa tephra ($Nt-OG$). Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Nt = Nantai volcano.

6. 赤城火山のテフラ

赤城火山は、群馬県北東部に位置する東西20 km、南北30 kmにおよぶ大型の成層火山である(Fig. 1)。苦鉄質の薄い溶岩流と火砕岩からなる古期成層火山体の活動は30万年前以前までさかのぼれる可能性が高く、その後、13-14万年前からは珪長質の大規模な爆発的噴火が盛んになり、その活動は4.4万年前の赤城鹿沼テフラ(Ag-KP)まで続いている(守屋, 1968; 鈴木, 1990; 青木ほか, 2008)。赤城火山からみて東の調査地域に主に分布するテフラは、以下の赤城鹿沼・赤城行川2・赤城水沼1・赤城水沼2・赤城水沼6・赤城水沼8・赤城水沼9-10テフラである。北東に分布する赤城行川1・赤城追貝・赤城水沼5・赤城水沼7テフラについては、既に山元(2012)で記載している。また、南東には赤城湯ノ口・赤城水沼4テフラが分布している(鈴木, 1990)。東山腹で層厚の小さい赤城水沼3テフラの層準と斜方輝石・普通角閃石の屈折率(坂田・中澤, 2010)は、北東に向かう赤城追貝テフラのそれら(山元, 2012)と一致しており、同一テフラであるとみられる。

6.1 赤城鹿沼テフラ(Ag-KP)

阿久津(1955)命名。模式地は、栃木県鹿沼市下別府、黒川東岸の段丘崖。赤城火山で約4.4万年前(青木ほか, 2008)に発生したプリニー式噴火の産物で、東に向かう降下火砕堆積物で、栃木-茨城地域では最も層厚の大きなテフラ層である(Fig. 17)。黄～白色の発泡の良い軽石火山礫からなり、基質に細粒物がなく、極めて淘汰が良い。本テフラの岩質は普通角閃石斜方輝石デイサイトである。栃木県宇都宮市周辺の上欠・宝積寺・鹿沼・下野大沢・白沢・宝木段丘の被覆風成火山灰土(吉川ほか, 2010; Figs. 4&5)、喜連川丘陵の被覆風成火山灰土(Fig. 3)や茨城県の東茨城・那珂台地及び上市段丘の被覆風成火山灰土(Fig. 6)に挟まれている。栃木県鹿沼市での層厚は140cm前後で、園芸用に採掘されている。分布の南限は茨城県鉾田市(Loc. 38)で層厚2.5 cm、北限は栃木県那須塩原市(山元[2012]のLoc. 41)で、層厚5cmである。南縁部のAg-KPは逆級化層理が顕著で、基底部に成層した火山灰層を伴っている。また、栃木県宇都宮市から鹿沼市ではAg-KPの軽石粗粒火山礫の上位には、間に土壌を挟むことなく平行層理の発達した結晶片に富む灰色粗粒火山灰層が重なっている(Fig. 5)。このユニットはLoc. 6の赤城水沼石質降下火砕岩(Ag-CLP)に対応する。約4.4万年前の噴火年代は、茨城県沖で掘削されたコア中のAg-KPに対する酸素同位体比層序から決められたものである(青木ほか, 2008)。

降下火砕堆積物の32-64-128 cm等層厚線が囲む面積(Table. 4)を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 $5 \times 10^0 \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 800 kg/m^3 として岩石換算

最小体積は約 $2 \times 10^0 \text{ km}^3$ DRE, 最小質量は約 $4 \times 10^{12} \text{ kg}$)である。

6.2 赤城行川2テフラ(Ag-NM2)

鈴木(1990)命名。模式地は群馬県桐生市黒保根町水沼(Loc. 6)。赤城火山で約5万年前に発生したプリニー式噴火の産物で、東北東に向かう降下火砕堆積物からなる(Fig. 18)。白色の軽石火山礫からなり、基質に遊離結晶片を多く含んでいる。本テフラの岩質は普通角閃石斜方輝石単斜輝石デイサイトで、火山ガラスの屈折率は、1.506～1.508に集中する(Table. 2)。栃木県宇都宮市周辺の上欠・宝積寺・鹿沼・下野大沢・白沢・宝木段丘の被覆風成火山灰土(吉川ほか, 2010; Figs. 4&5)や喜連川丘陵の被覆風成火山灰土に挟まれている。また、本テフラの直下には大山倉吉テフラ(DKP)があり、火山灰土の攪拌が進んだ場所では、Ag-NM2中にDKP由来の低屈折率火山ガラス片や黒雲母が混在することがある。

降下火砕堆積物の8-16-32-64 cm等層厚線が囲む面積(Table. 4)を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 $7 \times 10^1 \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 800 kg/m^3 として岩石換算最小体積は約 $3 \times 10^1 \text{ km}^3$ DRE, 最小質量は約 $6 \times 10^{11} \text{ kg}$)である。

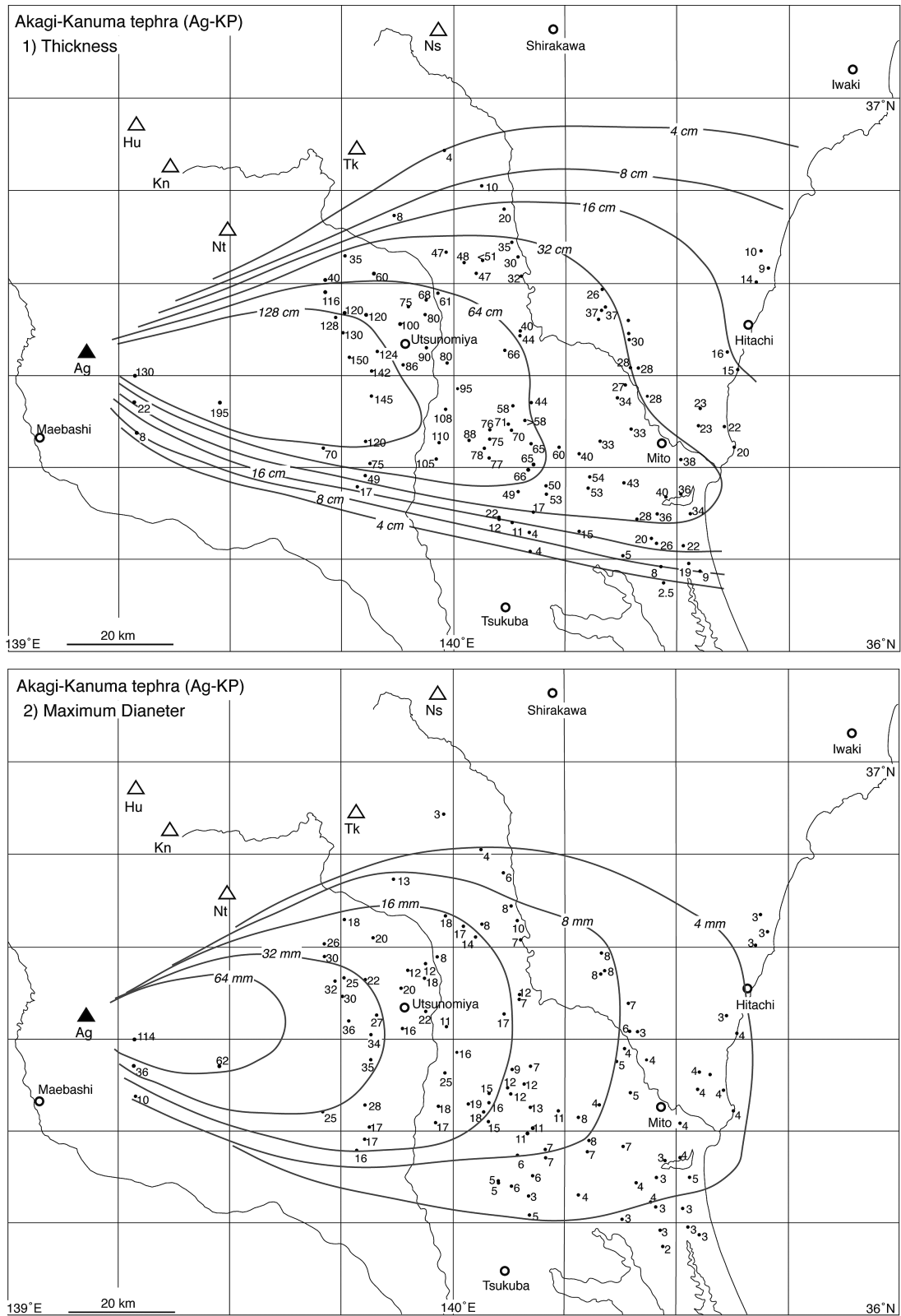
6.3 赤城水沼1テフラ(Ag-MzP1)

守屋(1968)のP1を鈴木(1990)が再定義。模式地は群馬県桐生市黒保根町水沼(Loc. 6)。赤城火山で約6万年前に発生したプリニー式噴火の産物で、東に向かう降下火砕堆積物からなる(Fig. 19)。本テフラの岩質は普通角閃石含有斜方輝石単斜輝石デイサイトで、火山ガラスの屈折率は1.507～1.509に集中する(Table. 2)。栃木県宇都宮市周辺の上欠・宝積寺・鹿沼・下野大沢・白沢・宝木段丘の被覆風成火山灰土(吉川ほか, 2010; Figs. 4 & 5)に挟まれ、中粒～粗粒砂サイズの結晶片に富む粗粒火山灰からなる。

降下火砕堆積物の4-8-16 cm等層厚線が囲む面積(Table. 4)を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 $3 \times 10^1 \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 800 kg/m^3 として岩石換算最小体積は約 $1 \times 10^1 \text{ km}^3$ DRE, 最小質量は約 $2 \times 10^{11} \text{ kg}$)である。

6.4 赤城水沼2テフラ(Ag-MzP2)

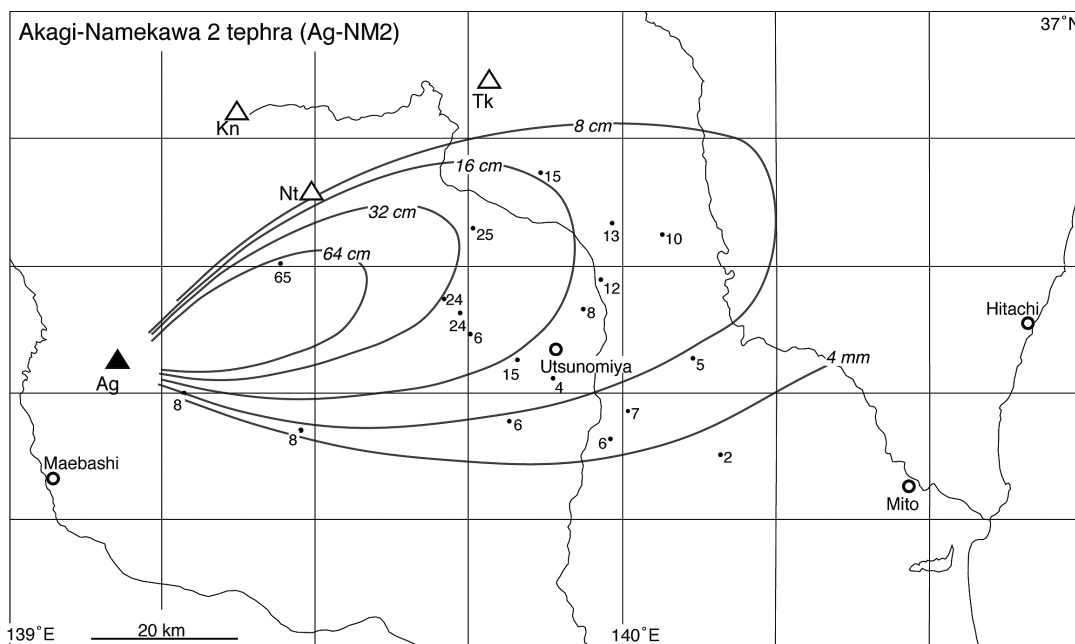
守屋(1968)のP2を鈴木(1990)が再定義。模式地は群馬県桐生市黒保根町水沼(Loc. 6)。赤城火山で約6万年前に発生したプリニー式噴火の産物で、東に向かう降下火砕堆積物からなる(Fig. 20)。白色の軽石火山礫からなり、基質に遊離結晶片を多く含んでいる。本テフラの岩質は普通角閃石斜方輝石単斜輝石デイサイトで、火山ガラスの屈折率は1.498～1.509に分散し、上位のAg-MzP1と区別される(Table. 2)。栃木県宇都宮市周辺の上欠・宝積寺・鹿沼・下野大沢・白沢・宝木段丘の被覆風成火山灰



第17図 赤城鹿沼テフラ(Ag-KP)の分布。

1) 数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm。2) 数字は本質粒子の平均最大粒径で、単位はmm。Ag = 赤城火山；Hu = 髙ヶ岳火山；Kn = 鬼怒沼火山；Ns = 那須火山；Nt = 男体火山；Tk = 高原火山。

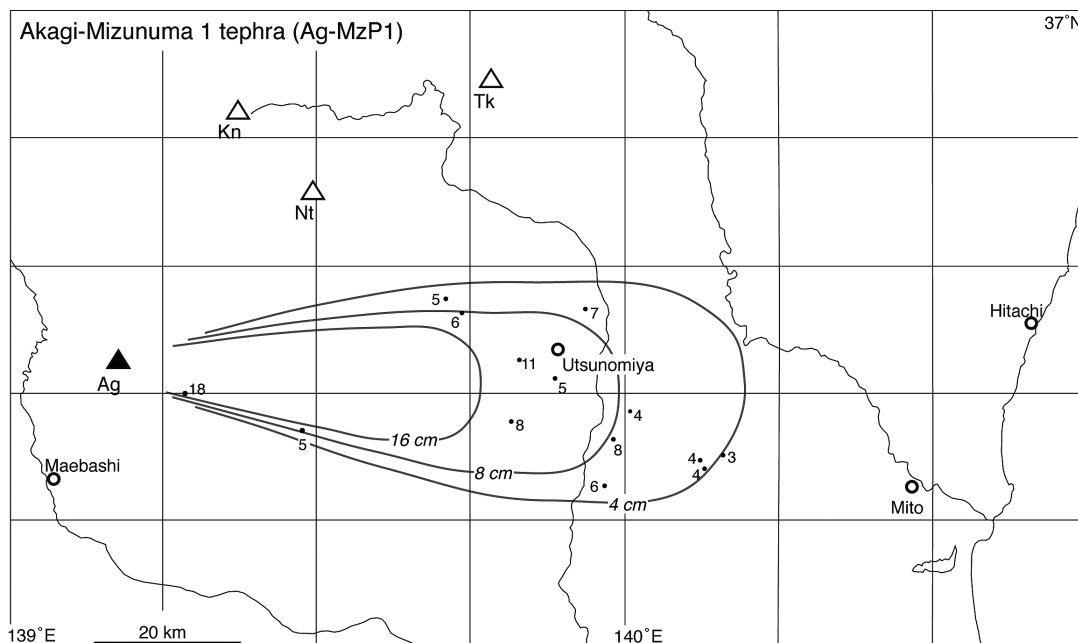
Fig. 17 Distribution of the Akagi-Kanuma tephra (Ag-KP). Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters (1) and average maximum diameter of the essential grains in millimeter (2). Ag = Akagi volcano; Hu = Hiuchigatake volcano; Kn = Kinunuma volcano; Ns = Nasu volcano; Nt = Nantai volcano; Tk = Takahara volcano.



第18図 赤城行川2テフラ(Ag-NM2)の分布.

数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm. Ag = 赤城火山; Hu = 燧ヶ岳火山; Kn = 鬼怒沼火山; Nt = 男体火山; Tk = 高原火山.

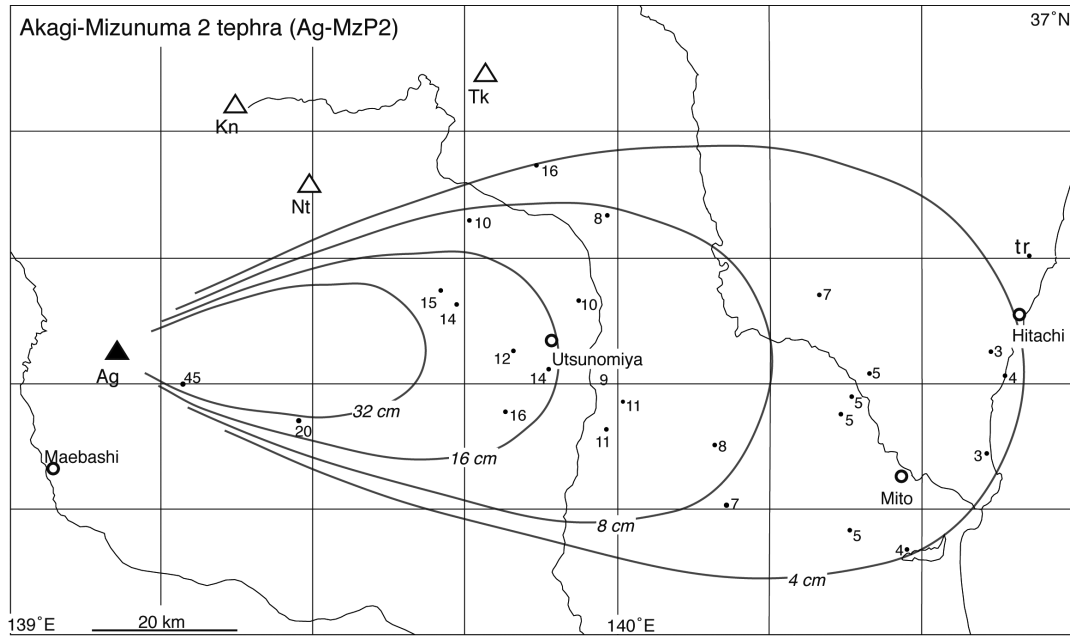
Fig. 18 Distribution of the Akagi-Namekawa 2 tephra (Ag-NM2). Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ag = Akagi volcano; Hu = Hiuchigatake volcano; Kn = Kinunuma volcano; Nt = Nantai volcano; Tk = Takahara volcano.



第19図 赤城水沼1テフラ(Ag-MzP1)の分布.

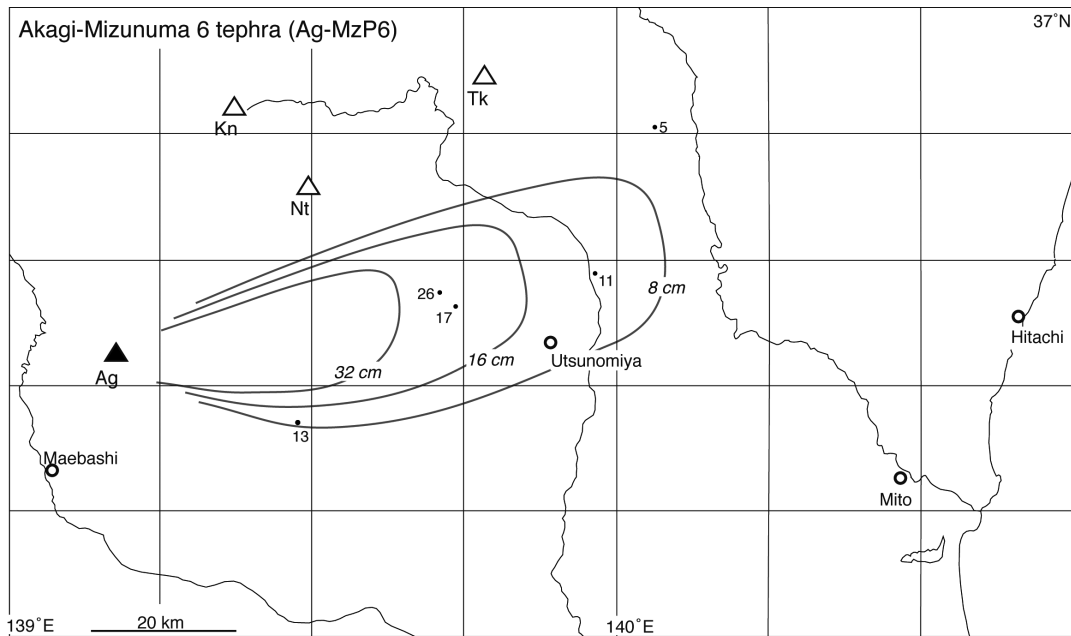
数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm. Ag = 赤城火山; Hu = 燧ヶ岳火山; Kn = 鬼怒沼火山; Nt = 男体火山; Tk = 高原火山.

Fig. 19 Distribution of the Akagi-Mizunuma 1 tephra (Ag-MzP1). Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ag = Akagi volcano; Hu = Hiuchigatake volcano; Kn = Kinunuma volcano; Nt = Nantai volcano; Tk = Takahara volcano.



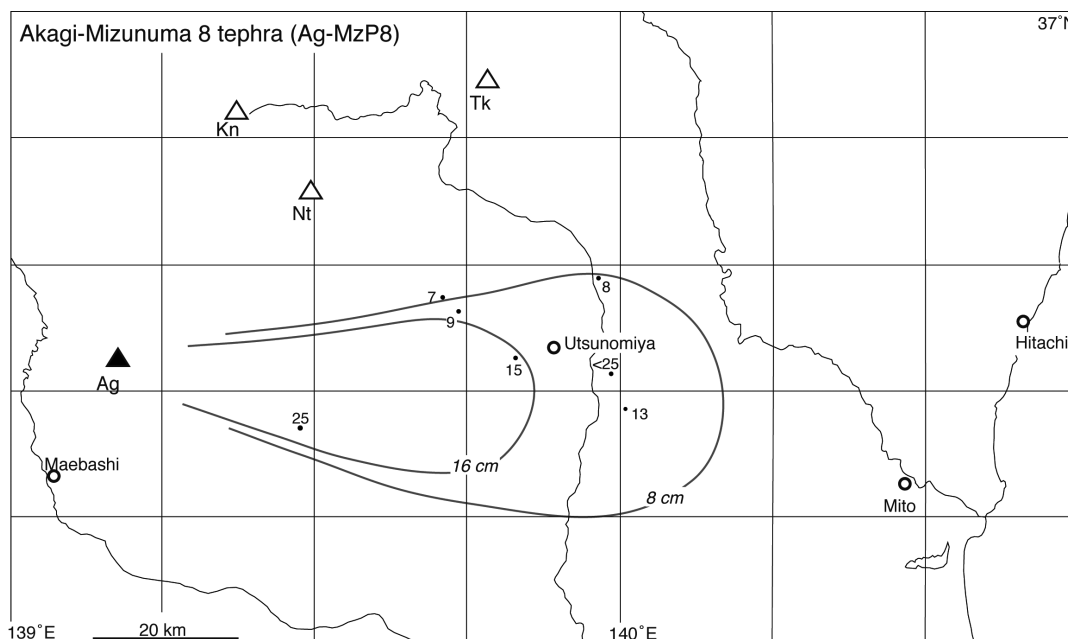
第20図 赤城水沼2テフラ(Ag-MzP2)の分布。
数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm。Ag = 赤城火山；Hu = 燧ヶ岳火山；Kn = 鬼怒沼火山；
Nt = 男体火山；Tk = 高原火山。

Fig. 20 Distribution of the Akagi-Mizunuma 2 tephra (Ag-MzP2). Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ag = Akagi volcano; Hu = Hiuchigatake volcano; Kn = Kinunuma volcano; Nt = Nantai volcano; Tk = Takahara volcano.



第21図 赤城水沼6テフラ(Ag-MzP6)の分布。
数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm。Ag = 赤城火山；Hu = 燧ヶ岳火山；Kn = 鬼怒沼火山；
Nt = 男体火山；Tk = 高原火山。

Fig. 21 Distribution of the Akagi-Mizunuma 6 tephra (Ag-MzP6). Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ag = Akagi volcano; Hu = Hiuchigatake volcano; Kn = Kinunuma volcano; Nt = Nantai volcano; Tk = Takahara volcano.



第22図 赤城水沼8テフラ(Ag-MzP8)の分布。
数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm。Ag = 赤城火山; Hu = 燧ヶ岳火山; Kn = 鬼怒沼火山;
Nt = 男体火山; Tk = 高原火山。

Fig. 22 Distribution of the Akagi-Mizunuma 8 tephra (Ag-MzP8). Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ag = Akagi volcano; Hu = Hiuchigatake volcano; Kn = Kinunuma volcano; Nt = Nantai volcano; Tk = Takahara volcano.

土(吉川ほか, 2010; Figs. 4 & 5)や茨城県の東茨城・那珂台地及び上市段丘の被覆風成火山灰土(Fig. 6)に挟まれている。その降下層準は、宝木段丘河川堆積物の離水直後である(吉川ほか, 2010)。なお、本テフラは貝塚(1957)が那珂台地軽石と呼んでいたものと同じものである。鈴木(1993)は那珂台地軽石をAg-MzP1に対比していたが、その層厚分布と火山ガラスの屈折率の違いから、本Ag-MzP2と那珂台地軽石が同一であることは明らかである。

降下火砕堆積物の4-8-16-32 cm等層厚線が囲む面積(Table. 4)を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 $7 \times 10^{11} \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 800 kg/m^3 として岩石換算最小体積は約 $3 \times 10^{11} \text{ km}^3 \text{ DRE}$, 最小質量は約 $6 \times 10^{11} \text{ kg}$)である。

6.5 赤城水沼6テフラ(Ag-MzP6)

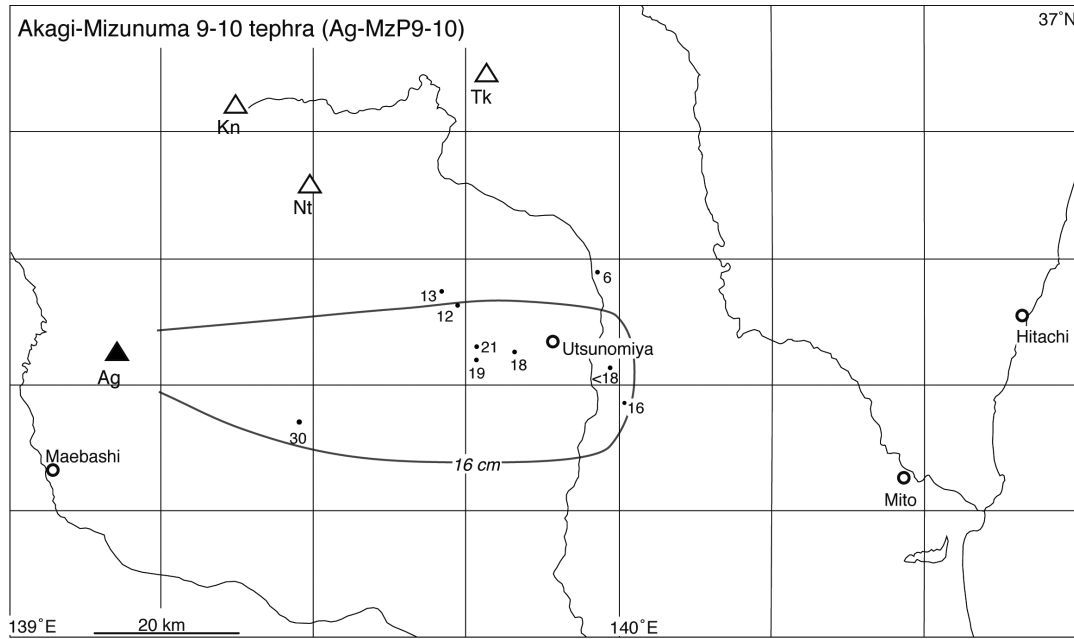
守屋(1968)のP6を鈴木(1990)が再定義。模式地は群馬県桐生市黒保根町水沼(Loc. 6)。赤城火山で約10万年前に発生したプリニー式噴火の産物で、東北東に向かう降下火砕堆積物からなる(Fig. 21)。白色の軽石火山礫からなり、基質に遊離結晶片を多く含んでいる。本テフラの岩質は普通角閃石斜方輝石デイサイトで、火山ガラスの屈折率は1.505 ~ 1.507に集中する(Table. 2)。栃木県宇都宮市周辺の宝積寺・鹿沼・下野大沢段丘の被覆風成

火山灰土(吉川ほか, 2010; Figs. 4 & 5)や喜連川丘陵の被覆風成火山灰土に挟まれている。その降下層準はNk-MAの直上にあり、間に厚さ3cm以下の火山灰土を挟んで重なっている。Nk-MAの上には侵食面があることが多く、そのような地点では間に火山灰土を挟むことなく本テフラが重なっている。

降下火砕堆積物の8-16-32 cm等層厚線が囲む面積(Table. 4)を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 $5 \times 10^{11} \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 800 kg/m^3 として岩石換算最小体積は約 $2 \times 10^{11} \text{ km}^3 \text{ DRE}$, 最小質量は約 $4 \times 10^{11} \text{ kg}$)である。

6.6 赤城水沼8テフラ(Ag-MzP8)

守屋(1968)のP8を鈴木(1990)が再定義。模式地は群馬県桐生市黒保根町水沼(Loc. 6)。赤城火山で約13万年前に発生したプリニー式噴火の産物で、東に向かう降下火砕堆積物からなる(Fig. 22)。白色の軽石火山礫からなり、基質に細粒物を欠き、淘汰がよい。本テフラの岩質は普通角閃石含有斜方輝石デイサイトである(Table. 2)。栃木県宇都宮市周辺の上欠・宝積寺・鹿沼段丘の被覆風成火山灰土(吉川ほか, 2010; Figs. 4 & 5)に挟まれるほか、茨城県の東茨城・那珂台地を構成するMIS5.5の海成層(見和層)中に確認されている(鈴木, 1989; 山元, 2013)。



第23図 赤城水沼9-10テフラ(Ag-MzP9-10)の分布。
数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm。Ag = 赤城火山；Hu = 燧ヶ岳火山；Kn = 鬼怒沼火山；
Nt = 男体火山；Tk = 高原火山。

Fig. 23 Distribution of the Akagi-Mizunuma 9-10 tephra (Ag-MzP9-10). Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ag = Akagi volcano; Hu = Hiuchigatake volcano; Kn = Kinunuma volcano; Nt = Nantai volcano; Tk = Takahara volcano.

また、本テフラの火山ガラスの主成分分析結果は、付録3 (Table. A4)に記載されている。

降下火砕堆積物の8-16 cm等層厚線が囲む面積 (Table. 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 $5 \times 10^1 \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 800 kg/m^3 として岩石換算最小体積は約 $2 \times 10^1 \text{ km}^3$ DRE, 最小質量は約 $4 \times 10^{11} \text{ kg}$) である。

6.7 赤城水沼9-10テフラ (Ag-MzP9-10)

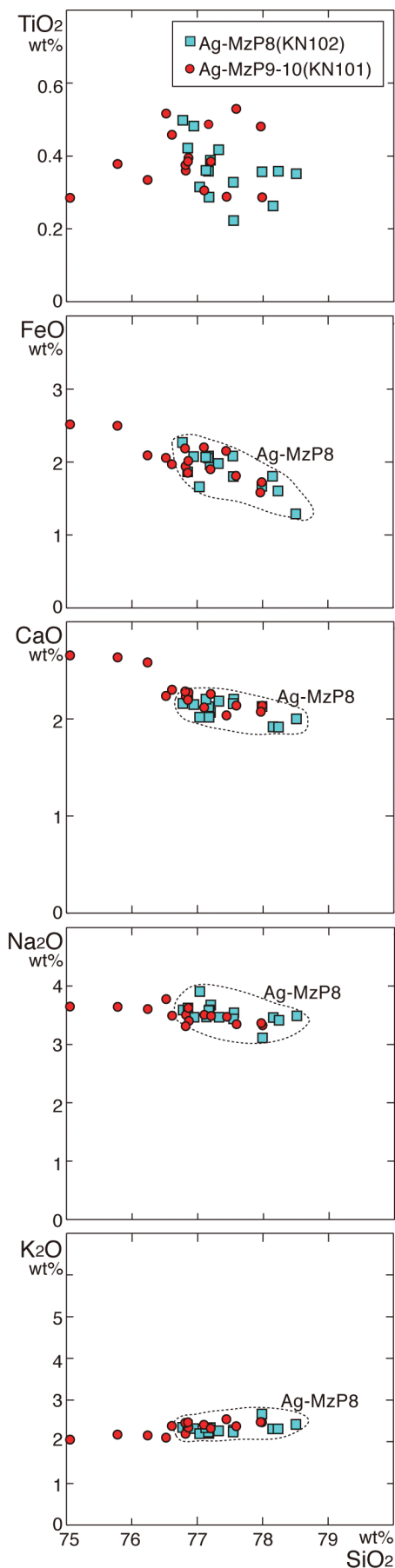
守屋(1968)のP9・P10を鈴木(1990)が再定義。模式地は群馬県桐生市黒保根町水沼(鈴木, 1990)。赤城火山で約13万年前に発生したプリニー式噴火の産物で、東に向かう降下火砕堆積物からなる (Fig. 23)。赤城火山東山麓で見られるAg-MzP9とAg-MzP10が合わさったもの、あるいはどちらか一方であると考えられ、Ag-MzP9-10と命名された。栃木県宇都宮市周辺の上欠・宝積寺・鹿沼段丘の被覆風成火山灰土(吉川ほか, 2010; Figs. 4 & 5)に挟まれており、逆級化層理の顕著な白色軽石火山礫からなり、基底部に結晶片に富む粗～極粗粒火山灰を伴っている。ただし、上下の火山灰土と混合していることが多く、このような級化構造は観察できない地点が多い。本テフラの岩質は普通角閃石含有斜方輝石単斜輝石デイサイト、火山ガラスの屈折率は1.498～1.507に分散し、上位のAg-MzP8と区別される (Table. 2)。また、本テ

フラの火山ガラスの主成分分析結果は、付録3 (Table. A5)に記載されている。火山ガラスのSiO₂含有量でも、上位のAg-MzP8とは明瞭に区別される (Fig. 24)。

降下火砕堆積物の16 cm等層厚線が囲む面積 (Table. 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 $7 \times 10^1 \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 800 kg/m^3 として岩石換算最小体積は約 $2 \times 10^1 \text{ km}^3$ DRE, 最小質量は約 $4 \times 10^{11} \text{ kg}$) である。

6.8 赤城火山のマグマ噴出量

赤城火山の活動は、古期成層火山形成期、新期成層火山形成期、中央火口形成期に大まかに区分されている (守屋, 1970; 竹本, 1998)。この区分では、赤城水沼テフラ群・赤城行川テフラ群・赤城湯ノ口テフラ (Ag-UP) が新期成層火山形成期、Ag-KPが中央火口形成期の噴出物となる。守屋(1970)による見積もりでは古期成層火山の体積は 60 km^3 以上、新期成層火山形成期の火砕流堆積物の体積は 40 km^3 程度、中央火口形成期の溶岩ドーム群の堆積が 1 km^3 程度とされている。また、13～14万年前以降の降下火砕物体積については、鈴木(1990)により見積もられ、Ag-KPが他のものよりも一桁噴出量が多いことが示されている。ただし、この見積もりにはテフラ噴火に伴った火砕流堆積物が入られていない。竹本(1998)によるとAg-MzP9-10からAg-MzP6の時期に不動・棚下・



第24図 NN101 (Ag-MzP9-10), KN102 (Ag-MzP8)中の火山ガラス片の主成分化学組成図。試料の層準は第5図を参照のこと。

Fig. 24 Major element variations of volcanic glass shards in KN101 (Ag-MzP9-10) and KN102 (Ag-MzP8). See figure 5 for sample stratigraphy.

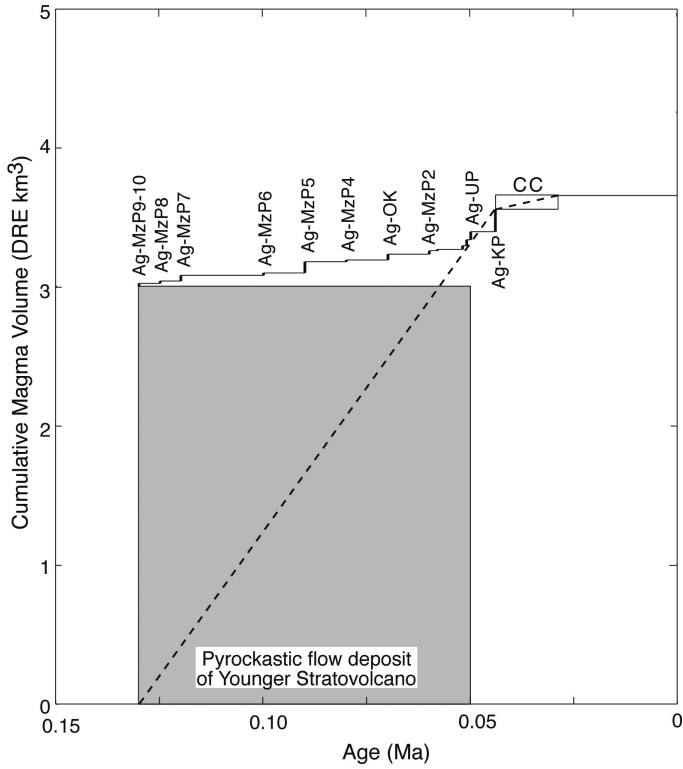
藤木火砕流堆積物, Ag-MzP5からAg-MzP1の時期に川額・輪久原・大胡火砕流堆積物など, Ag-NM2からAg-UPの時期に年丸・ガラン火砕流堆積物が噴出している。一方, Ag-KP噴火に伴う火砕流堆積物は確認されていない。守屋(1970)の火砕流堆積物のうち半分が溶結(2300 kg/cm³), 残りが非溶結(1200 kg/cm³)とすると, その岩石換算の総体積は約3 × 10¹ km³ DREとなる。これに本報および山元(2012)の見積もった降下火砕堆積物の積算マグマ体積を重ねると(Fig. 25), Ag-KPは新期成層火山形成期の平均的な噴出量トレンドの範囲内にプロットされる。結局, Ag-KPでは噴出したマグマが全て降下火砕物として定置したため規模が大きいだけで, マグマの噴出量自体は新期成層火山形成期のテフラ噴火と大きく変わるものではない。

7. 飯士火山のテフラ

飯士火山は新潟県南部の魚野川右岸に位置し, 火山フロントから約60km背弧側にある第四紀火山である(Fig. 1; 茅原ほか, 1981)。火山体はカルクアルカリ系列の安山岩-デイサイトの厚い溶岩流と溶岩ドームの集合からなり, 約30 ~ 20万年前のK-Ar年代値が報告されている(赤石, 1997)。本火山を給源とするテフラには, 東北東に向かう降下火砕堆積物からなる約25 ~ 28万年前の飯士高杖テフラ(Ij-TK; 山元, 1999; 2012)と, 約22万年前の越後湯沢火砕流堆積物と南東に向かう降下火砕堆積物からなる飯士真岡テフラ(Ij-MO; 山元, 2007)がある。

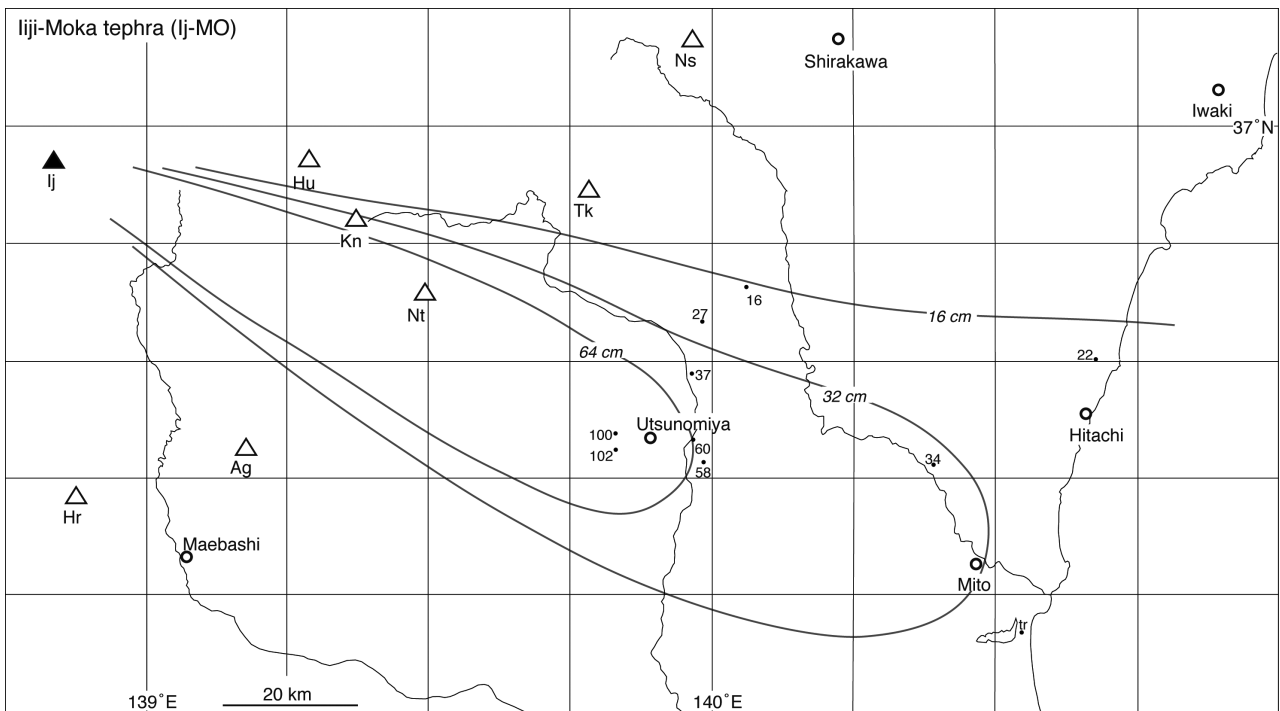
7.1 飯士真岡テフラ (Ij-MO)

阿久津(1957)命名を, 山元(2007)が再定義。模式地は栃木県宇都宮市上欠(Loc. 17; Fig. 5)。飯士火山で約22万年前に発生したデイサイトの爆発的噴火の産物で, 給源近傍の越後湯沢火砕流堆積物と東南東に向かう降下火砕堆積物からなる(Fig. 26; 山元, 2007)。本テフラの岩質はカミングトン閃石普通角閃石デイサイトである(Table. 2)。栃木県宇都宮市周辺の上欠・宝積寺・鹿沼段丘の被覆風成火山灰土(吉川ほか, 2010; Figs. 4&5), 喜連川丘陵の被覆風成火山灰土(Loc. 25; Fig. 3), 茨城県瓜連丘陵の被覆風成火山灰土(Loc. 32; Fig. 6)や茨城県日立市の高位段丘被覆風成火山灰土(Loc. 39; Fig. 6)に挟まれている。模式地(Loc. 17)での層厚は67cmで, 平均最大粒径8



第25図 赤城火山噴出物の時間積算マグマ体積。
CC = 中央火口丘。

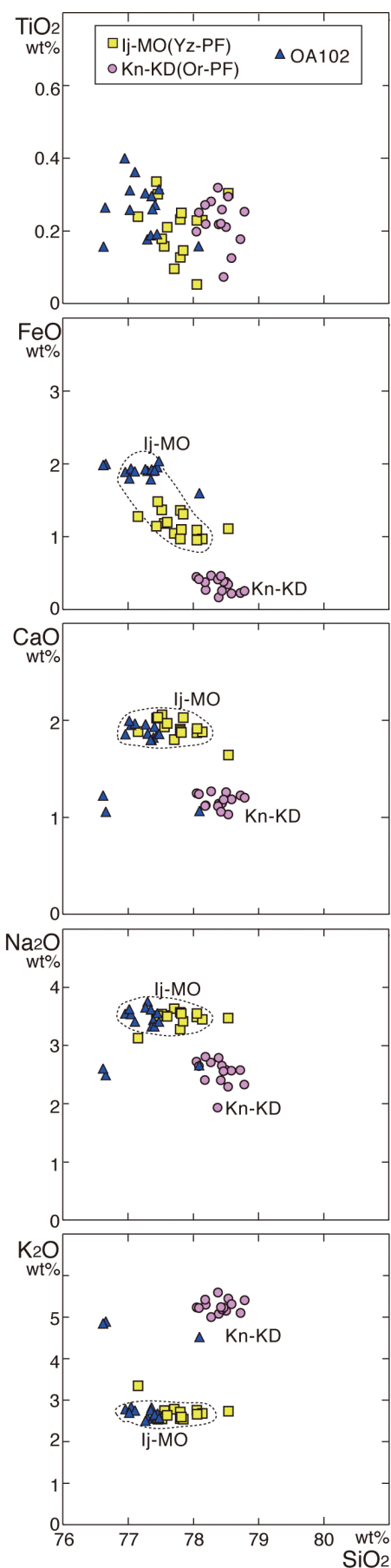
Fig. 25 Cumulative magma volume versus age for the products of Akagi volcano. CC = Central Cone.



第26図 飯土真岡テフラ(Ij-MO)の分布。

数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm。Ag = 赤城火山；Hr = 榛名火山；Hu = 燧ヶ岳火山；Ij = 飯土火山；Kn = 鬼怒沼火山；Nt = 男体火山；Tk = 高原火山。

Fig. 26. Distribution of the Iiji-Moka tephra (Ij-MO). Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ag = Akagi volcano; Hr = Haruna volcano; Hu = Hiuchigatake volcano; Ij = Iiji volcano; Kn = Kinunuma volcano; Nt = Nantai volcano; Tk = Takahara volcano.



第27図 YZ-PF (Ij-MO), Or-PF (Kn-KD), OA102 (Ij-MO*)中の火山ガラス片の主成分化学組成図。試料の層準は第6図を参照のこと。

Fig. 27 Major element variations of volcanic glass shards in YZ-PF (Ij-MO), Or-PF (Kn-KD) and OA102 (Ij-MO*). See figure 6 for sample stratigraphy.

mmの白色軽石や長径5 mmの針状普通角閃石結晶片を含む淘汰の良い降下火砕堆積物からなる (Loc. 50; Fig. 11). 降下火砕堆積物の32-64 cm等層厚線が囲む面積 (Table. 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 $4 \times 10^0 \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 800 kg/m^3 として岩石換算最小体積は約 $2 \times 10^0 \text{ km}^3$ DRE, 最小質量は約 $4 \times 10^{12} \text{ kg}$) である。一方、越後湯沢火砕流堆積物は火山体下の 30 km^2 範囲に層厚30mで一様に分布していたと仮定して、その体積は $1 \times 10^0 \text{ km}^3$ (岩石換算では $5 \times 10^{-1} \text{ km}^3$ DRE, 質量は約 $1 \times 10^{12} \text{ kg}$) と推定されている (山元, 2007).

山元 (2007) が既に記載したように, Loc. 41の“見和層中部(坂本, 1971)”には, 再堆積したIj-MOが複数層準に挟まれている (Fig. 6). このうちの試料OA102は層厚8 cmの平行層理を持った細粒火山碎屑物で, 火山ガラス片, 普通角閃石, 斜方輝石, 石英の結晶片が含まれている。構成物の屈折率を検討した山元 (2007) はこれが, Ij-MO以外にも直下のKn-KDや全く別のテフラ由来の少なくとも3つの混合物であることを示している。本報では, このことを再確認するために, OA102とIj-MO給源近傍相の越後湯沢火砕流堆積物 (Yz-PF), Kn-KD給源近傍相のヒナタオソロシノ滝火砕流堆積物 (Or-PF) の火山ガラスの主成分分析を行った (Fig. 27; 分析結果は付録3; Tables A7, A8 & A9に記載されている)。OA102の主体をなす火山ガラスはSiO₂量が77.0 ~ 77.5 wt%に対して, Yz-PFの主体をなす火山ガラスはSiO₂量が77.4 ~ 78.1 wt%とずれるものの, 両者は明瞭な一つの組成トレンドをつくっており, 一連の噴火の産物であることを示している。Yz-PFも組成の異なる火山ガラスが混入しているが, 試料自体が異質岩片の多い火砕流堆積物残留角礫岩相の基質部であるためである (山元, 2007)。一方, OA102のうちSiO₂量が78.0 wt%の火山ガラスの組成は, Yz-PFよりもOr-PFに近い領域にプロットされる。ただし, FeO量は大きく外れている。また, OA102のうちSiO₂量が76.6 wt%の火山ガラスの組成は, これらとは全く別のマグマに由良することが主成分からは明らかである。以上の結果は, OA102がIj-MOを含む3つのテフラの混合物であるとする山元 (2007) の記載の正しさを裏付けている。また, 坂本 (1971) の“見和層中部”は, 山元 (2013) により夏海層として再定義されている。

7.2 飯士火山のマグマ噴出量

飯士火山の活動期はIj-MOを挟んで、前期(湯元溶岩・立柄山溶岩・Ij-TK)と後期(主火山体溶岩群・奥添地(おくぞいち)火砕流堆積物・飯士山溶岩)に区分される(山元, 2007). それぞれのマグマ噴出量は、前期が約 $2 \times 10^0 \text{ km}^3$ DRE, 降下火砕物と火砕流堆積物を合わせたIj-MOの総量が約 $2 \times 10^0 \text{ km}^3$ DRE, 後期が約 $6 \times 10^0 \text{ km}^3$ DREである(山元, 2012).

8. 榛名火山のテフラ

榛名火山は、群馬県中央部にある直径約20 kmの大型の成層火山である。この火山は少なくとも約30万年前には既に成層火山として存在していたらしい。20数万年前頃には宮沢火砕流を噴出し、山頂部に氷室カルデラが形成されたと考えられている(Soda, 1996)。その後、約15万年間の休止期を挟んで、再開した数回のマグマ噴火により山頂部に榛名カルデラと複数の溶岩ドームが形成され、山麓には火砕流、東方に降下火砕物が堆積している(下司・竹内, 2012)。

8.1 榛名ニッ岳伊香保テフラ(Hr-FP)

新井(1962)のニッ岳浮石層(FP)を、早田(1989)が再定義した。模式地は、群馬県渋川市伊香保温泉湯元。本テフラは榛名火山で古墳時代に起きたニッ岳を給源とするプリニー式降下堆積物と山麓の火砕流堆積物からなる。模式地では降下堆積物の層厚が15 mを超え、14層の降下ユニットと少なくとも3回の火砕流の発生が認識されている(早田, 1989)。テフラの岩質は、斜方輝石普通角閃石デイサイトで、噴火の最後には同質のニッ岳溶岩ドームが火口内に形成された(下司・竹内, 2012)。本テフラの噴火年代は、考古資料との関係から6世紀中葉または後半と推定されていた(町田ほか, 1984; 阪口, 1986)。下司・大石(2011)による放射性炭素年代測定でもAD555～615の暦年代が得られており、6世紀後半から7世紀初頭に噴火したことは確実である。

降下堆積物は給源から北東の栃木県北西部から福島県東部地域に分布している(Fig. 28)。降下火砕堆積物の等層厚線と面積の関係から遠方部の層厚分布を外挿して(Fig. 29)、その体積を積算すると約 $2 \times 10^0 \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 800 kg/m^3 として岩石換算体積は約 $7 \times 10^{-1} \text{ km}^3$ DRE, 質量は約 $2 \times 10^{12} \text{ kg}$)となった。この値は8-16-32-64-128 cm等層厚線が囲む面積(Table. 4)を用いた降下火砕堆積物の最小体積約 $7 \times 10^{-1} \text{ km}^3$ のほぼ倍であり、降下堆積物の真の体積が同手法による最小体積の数倍であるとするLegros (2000)の主張とよく合う。また、この値はSoda (1996)の見積もった降下火砕物の体積 1.3 km^3 とも近い。本テフラの火砕流堆積物は非溶結で、その堆積は約 0.3 km^3 とされている(Soda, 1996)。

堆積物平均密度を 1200 kg/m^3 とすると、その岩石換算体積は約 $2 \times 10^{-1} \text{ km}^3$ DRE (質量は約 $4 \times 10^{11} \text{ kg}$)となる。また、テフラ噴出後に火口に形成されたニッ岳溶岩ドームの体積は約 $9 \times 10^{-2} \text{ km}^3$ DRE (質量は約 $2 \times 10^{11} \text{ kg}$)である(下司・竹内, 2012)。

8.2 榛名八崎テフラ(Hr-HP)

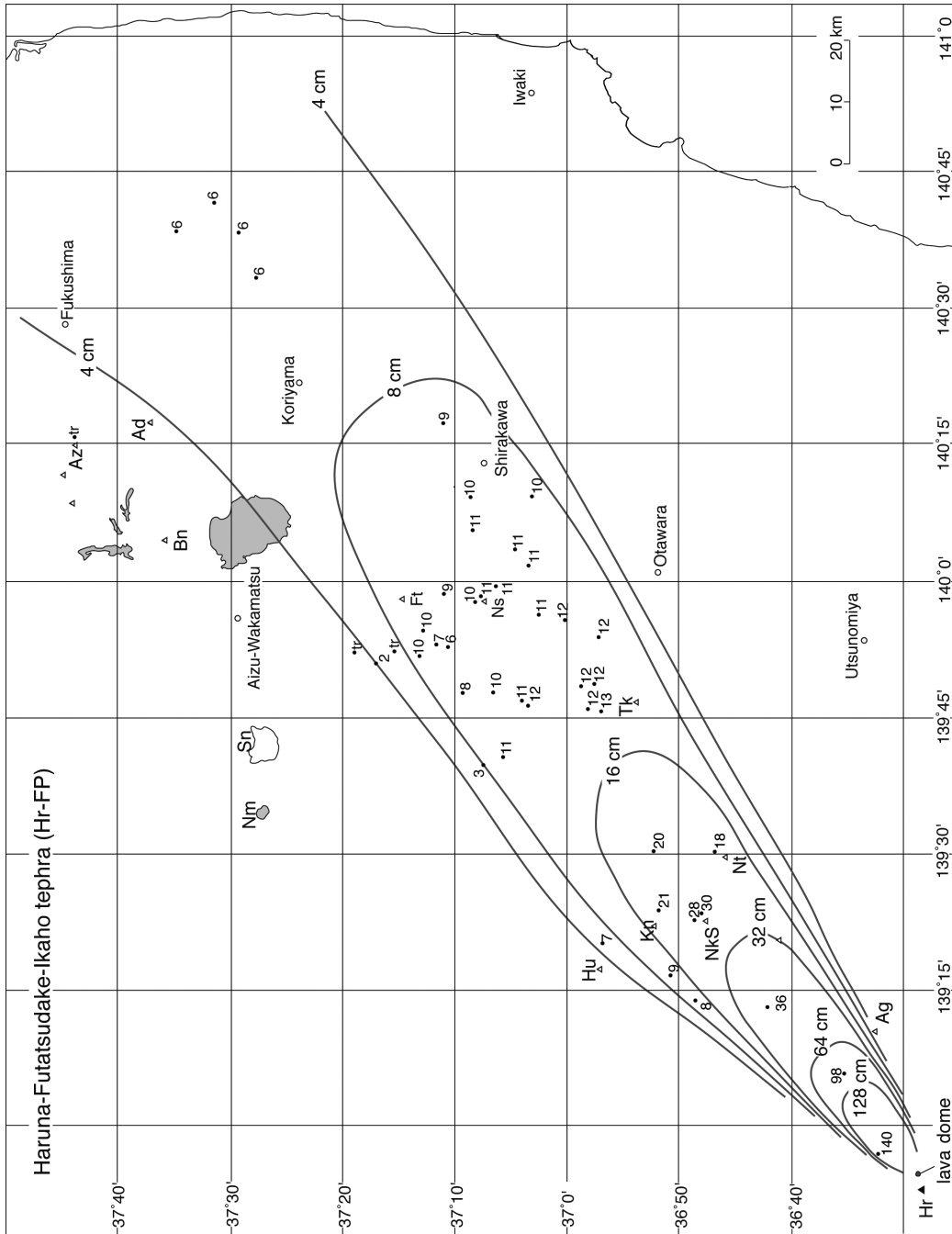
新井(1962)命名。模式地は、群馬県渋川市北橋町八崎。榛名火山の榛名カルデラを給源とする4.9万年前のプリニー式降下火砕物と山麓の白川火砕流堆積物からなる。本テフラの岩質はカミングトン閃石含有普通角閃石斜方輝石単斜輝石安山岩である(Table. 2)。白川火砕流堆積物中の本質物の全岩化学組成は、付録4 (Table. A15)に記載されている。露頭により若干、本質物の組成が異なり、山元(2006a)は相対的に下位にあるもの(Loc. 3)を別の火砕流(“宮沢火砕流”)と考えていた。しかし、大石ほか(2011)によると、白川火砕流には斜長石斑晶の屈折率の異なる2つのグループがあり、化学組成の違いはこのように同じ噴火産物のなかの組成変化であるとみなせよう。白川火砕流堆積物の降下堆積物は給源から東に向かって分布し、赤城火山南麓斜面の被覆風成火山灰土や栃木県の上欠・宝積寺・鹿沼・宝木段丘の被覆風成火山灰土(吉川ほか, 2010; Figs. 4 & 5)に挟まれている。赤城火山南麓までは淘汰の良い軽石火山礫からなるが、栃木県内では結晶片の多い粗粒火山灰からなり、少量の軽石砂粒火山礫を含んでいる。

白川火砕流堆積物中の炭化木からは $44740 \pm 450 \text{ yBP}$ と $45030 \pm 620 \text{ yBP}$ の補正放射性炭素年代値が得られている(下司・大石, 2011)。これらをReimer *et al.* (2009) のIntaCal09を使い暦年校正するとほぼ49 cal kaとなる。

降下火砕堆積物の4-8-16-32 cm等層厚線(Fig. 30)が囲む面積(Table. 4)を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 $5 \times 10^{-1} \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 800 kg/m^3 として岩石換算最小体積は約 $2 \times 10^{-1} \text{ km}^3$ DRE, 最小質量は約 $4 \times 10^{11} \text{ kg}$)である。また、白川火砕流堆積物は非溶結で、その堆積は約 2.7 km^3 とされている(Soda, 1996)。堆積物平均密度を 1200 kg/m^3 とすると、その岩石換算体積は約 $1 \times 10^0 \text{ km}^3$ DRE (質量は約 $3 \times 10^{12} \text{ kg}$)となる。

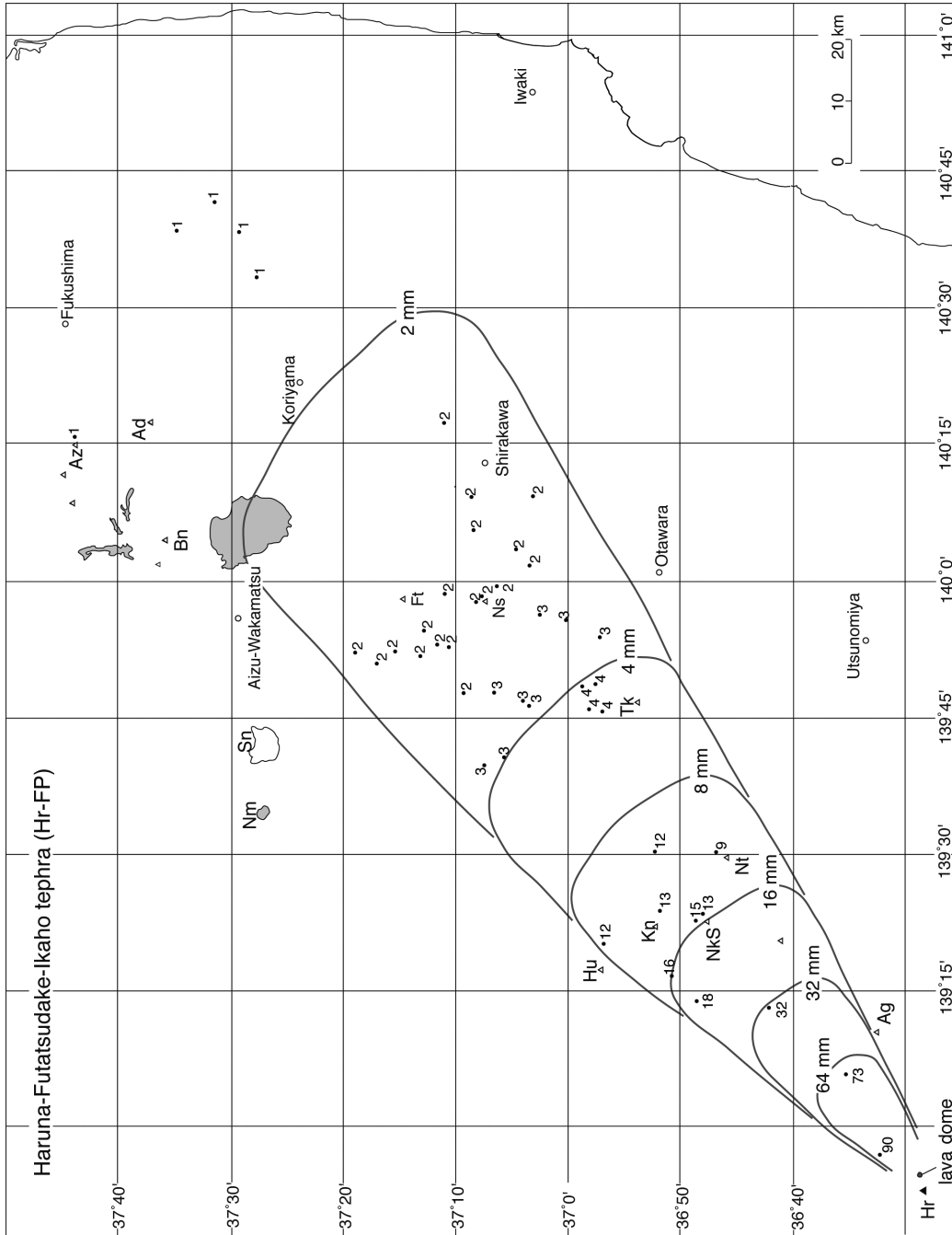
8.3 榛名宮沢火砕流堆積物(Hr-MZ)

早田(2000)の宮沢火砕流堆積物による。模式地は、群馬県高崎市巾室田(Loc. 2)。本火砕流は山頂の氷室カルデラ形成時に噴出したもので、南麓の開析された高位の火山麓扇状地をつくっている(早田, 2000; 大石ほか, 2011)。その岩質は斜方輝石単斜輝石安山岩で、径10 cm以上の石質岩片に富み、径5 cm前後の白色軽石を含む塊状の軽石流堆積物からなる。山元(2006a)がLoc. 3で“宮沢火砕流”としたものは、Hr-MZがつくる開析された扇状地を谷埋めした白川火砕流堆積物を誤認したものであ

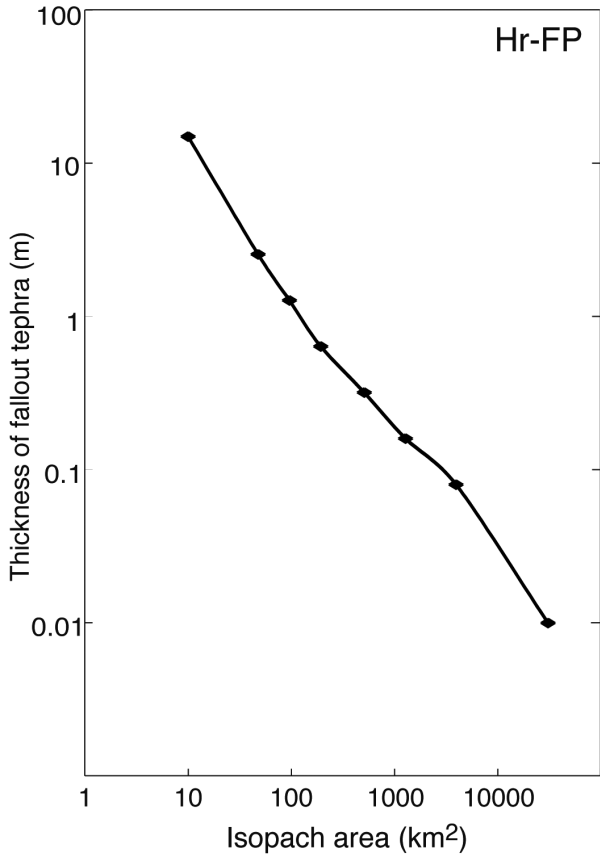


第28図 1) 榛名二ツ岳伊香保テフラ (Hr-FP)の分布. 数字は降下火砕堆積物の層厚で, 単位はcm.
 Ad = 安達太良火山; Ag = 赤城火山; Bn = 磐梯火山; Hr = 榛名火山; Hu = 霧ヶ岳火山; Ij = 飯土火山; Kn = 鬼怒沼火山;
 Nm = 沼沢火山; Ns = 那須火山; Ni = 男体火山; Nt = 高尾火山; Tk = 高原火山.

Fig. 28 1) Distribution of the Haruna-Futatsudake-Ikaho tephra (Hr-FP). Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ad = Adataro volcano; Ag = Akagi volcano; Bn = Bandai volcano; Hr = Haruna volcano; Hu = Haruna volcano; Hu = Hiuchigatake volcano; Ij = Iiji volcano; Kn = Kinunuma volcano; Nm = Numazawa volcano; Ns = Nasu volcano; Nt = Nantai volcano; S = Sunagohara volcano; Tk = Takahara volcano.

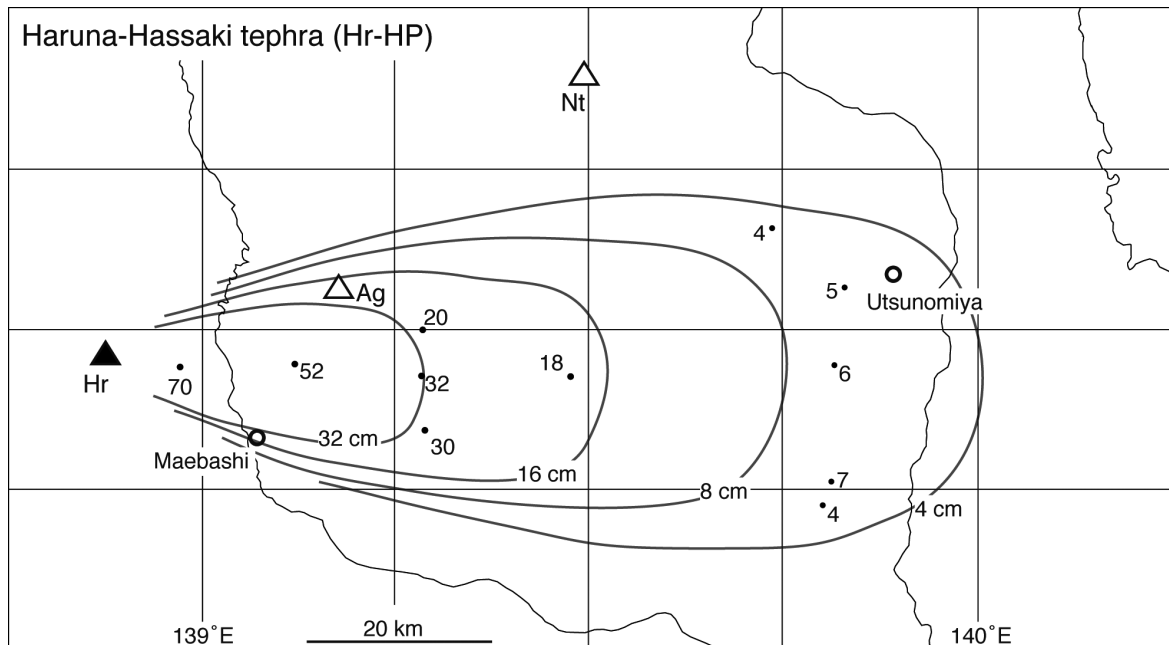


第28図 2) 榛名二ッ岳伊香保テフラ(Hr-FP)の分布。数字は本質粒子の平均最大粒径で、単位はmm。
 Ad = 安達太良火山; Ag = 赤城火山; Bn = 磐梯火山; Hr = 榛名火山; Hu = 樺名火山; Ij = 飯ヶ岳火山; Kn = 鬼怒沼火山;
 Nm = 沼沢火山; Ns = 那須火山; Nr = 男体火山; Tk = 高原火山。
 Fig. 28 2) Distribution of the Haruna-Futatsudake-Ikaho tephra (Hr-FP). Numerals are averaged maximum diameter of the essential grains
 in millimeter. Ad = Adataro volcano; Ag = Akagi volcano; Bn = Bandai volcano; Hr = Haruna volcano; Hu
 = Hiuchigatake volcano; Ij = Iiji volcano; Kn = Kinunuma volcano; Nm = Numazawa volcano; Ns = Nasu volcano; Nr = Nantai
 volcano; Sn = Sunagohara volcano; Tk = Takahara volcano.



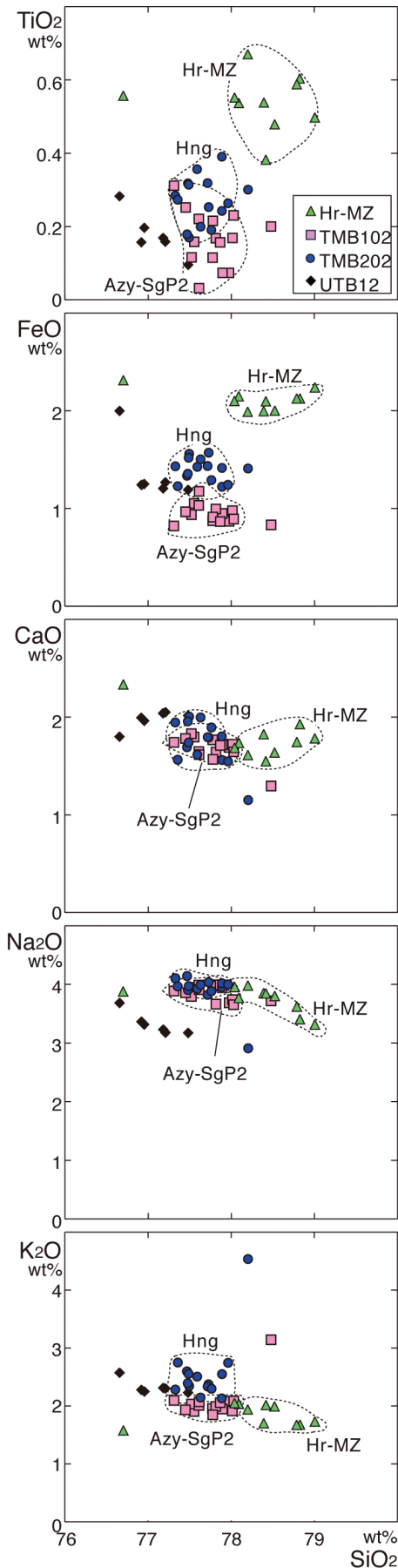
第29図 榛名二ツ岳伊香保テフラ(Hr-FP)の降下火砕堆積物における層厚と等層厚線面積の関係。

Fig. 29 Thickness versus isopach area for the pyroclastic fall deposit of the Haruna-Futatsudake-Ikaho tephra (Hr-FP)



第30図 榛名八崎テフラ(Hr-HP)の分布。
数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm。Ag = 赤城火山；Hr = 榛名火山；Nt = 男体火山

Fig. 30 Distribution of the Haruna-Hassaki tephra (Hr-HP). Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ag = Akagi volcano; Hr = Haruna volcano; Nt = Nantai volcano.



第31図 Hr-MZ, TMB102 (*Azy-SgP2*), TMB202 (*Hng*), UTB12中の火山ガラス片の主成分化学組成図。試料の層準は第6図を参照のこと。

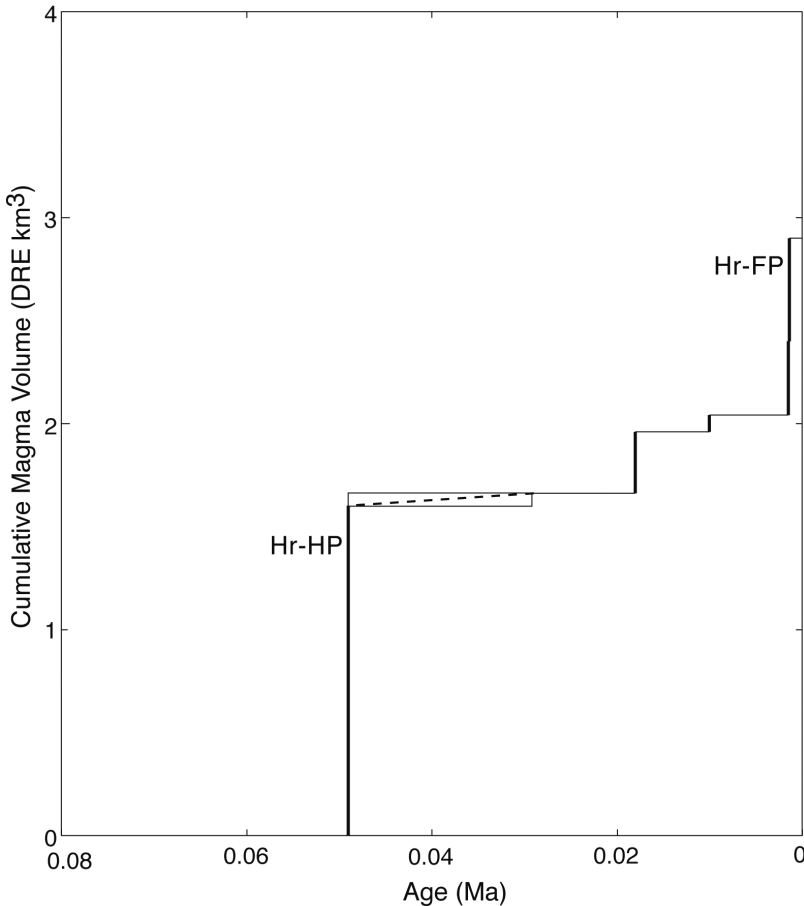
Fig. 31 Major element variations of volcanic glass shards in Hr-MZ, TMB102 (*Azy-SgP2*), TMB202 (*Hng*) and UTB12. See figure 6 for sample stratigraphy.

ることが前述のように明らかになった。Hr-MZの直上には約24万年前に噴出した後述のAzy-SgP2があるので(早田, 2000; 大石ほか, 2011), 本火砕流の噴出はおおよそ25万年前頃と推定されよう。また, 火砕流の体積は $>1.1 \text{ km}^3$ とさてられている(Soda, 1996)。

山元(2006a)は, Hr-MZ噴火に伴ったであろう降下堆積物として, 栃木県宇都宮市の宝積寺段丘を貫くUT05コアのUTB11をLoc. 3の白川火砕流に対比していたが, この対比は前述のように層準の違いから成り立たない。UTB11自体は今回これをTk-TM2に対比しているのので, Hr-MZの降下物はUTB11よりも下位の火山灰土中に検出されることが期待された。実際にUT05ではUTB11の下位である深度14.3m付近に, 斜方輝石・単斜輝石と火山ガラス片の目立つ層準がある(UTB12; Fig. 7)。Loc. 2のHr-MZとUTB12の火山ガラスの主成分を比較したものがFig. 31である(分析値の詳細は付録3; Tables A9 & A10に記載されている)。残念ながら両者の組成は一致せず, Hr-MZに対比可能なテフラを宇都宮市周辺から見いだすことはできていない。

8.4 榛名火山のマグマ噴出量

Hr-HPから始まる新期榛名火山の活動では, ATの降下までの間に 0.05 km^3 の榛名富士溶岩, 0.008 km^3 の蛇ヶ岳溶岩の噴出, 1.5~2万年前に 0.3 km^3 の相馬山溶岩, 1万年前頃に 0.08 km^3 の水沢山溶岩の噴出が起きている(下司・竹内, 2012)。これらはいずれも斜方輝石普通角閃石安山岩の溶岩である。その後, Hr-FP直前の5世紀末には二ッ岳・渋川テフラの噴出があり(下司・大石, 2011), 0.3 km^3 の降下火砕物堆積物と 0.5 km^3 の火砕流堆積物が形成された(Soda, 1998)。降下火砕物堆積物の平均密度を 800 kg/m^3 , 火砕流堆積物平均密度を 1200 kg/m^3 とすると, その岩石換算体積はそれぞれ約 $1 \times 10^{11} \text{ km}^3 \text{ DRE}$ (質量は約 $2 \times 10^{11} \text{ kg}$)と約 $3 \times 10^{11} \text{ km}^3 \text{ DRE}$ (質量は約 $6 \times 10^{11} \text{ kg}$)となる。Fig. 32は, これらをプロットしたマグマ噴出量の時間変化である。



第32図 榛名火山噴出物の時間積算マグマ体積。

Fig. 32 Cumulative magma volume versus age for the products of Haruna volcano.

9. その他のテフラ

9.1 四阿菅平2テフラ (Azy-SgP2)

鈴木・早川(1990)命名。模式地は長野県菅平高原西組群馬・長野県境に位置する四阿火山で約24万年前に発生したプリニー式噴火の産物で、東南東に向かう降下火砕堆積物からなる(大石, 2009)。岩質は黒雲母カミングトン閃石普通角閃石デイサイトである(Table. 2)。前述のように笠間町大古山の濁沼川沿い(Loc. 36)の“見和層下部(坂本ほか, 1981)”のエスチュアリー相泥質堆積物中に本テフラが存在することは大石(2009)により記載されている。なお、これは横山(2004)の大古山軽石と同じものであるが、後述のように横山(2004)は全く別の堆積物にも大古山テフラの名称を二重に用いており、地層命名規約に従い、大古山の名称を用いるべきではない。また、本泥質堆積物は“見和層下部(坂本ほか, 1981)”から笠神層に再定義されている(山元, 2013)。

Loc. 36のAzy-SgP2 (TMB102)は、再堆積を示唆するような堆積構造を持つことなく層厚7 cmの明瞭な単層として塊状のシルト層中に挟まれていること、火山ガラスの化学組成分布(火山ガラスのSiO₂量は77.3～78.0wt%)が示すようにその純度が高いこと(Fig. 31)から、降下火

砕物として一次堆積したものと判断されよう。本テフラの火山ガラスの主成分分析結果は、付録3 (Table. A11)に記載している。また、Azy-SgP2の等層厚線は大石(2009)により作成されており、Hayakawa (1985)の経験式を用いてその岩石換算体積は $8.5 \times 10^1 \text{ km}^3$ DREと試算されている。

9.2 阿多鳥浜テフラ (Ata-Th)

Ui (1971) 命名。模式地は鹿児島県肝属郡錦江町神川鳥浜。鹿児島湾の阿多カルデラから約24万年前に噴出した広域テフラである(町田・新井, 2003)。横山(2004)は、Loc. 36においてAzy-SgP2の直下にAta-Thに対比される火山灰があることを指摘している(本報のTMB101; Fig. 6)。この火山灰は暗灰色のシルト層中に厚さ1 cm弱の白色細粒砂のレンズとして挟まれ、側方への連続性は悪い。TMB101には、鏡下では、低屈折率(1.499～1.502)の気泡壁型火山ガラス以外に、高屈折率(1.518～1.523)の軽石型火山ガラスも含まれている(Table. 2)。その特徴は、火山ガラスの主成分化学組成でも認められ、気泡壁型火山ガラスのSiO₂量は77.9～78.8 wt%で(Table. A13)、給源近傍である鹿児島県大隅半島(Loc. 42)の鳥浜火砕流堆積物中の軽石(試料Ata-Th; Table. A12)と良

く一致するのに対し、高屈折率火山ガラスのSiO₂量は72.0～73.6 wt%と全く異なっている(Fig. 11). このような異質物が混入する結果から、TMB101は再堆積したAta-Thと判断される。

9.3 濁沼川テフラ(Hng)

新称. 模式地は笠間町大古山の濁沼川沿い(Loc. 37)で、“見和層下部(坂本ほか, 1981)”のエスチュアリー相泥質堆積物中に再堆積物として挟まれる軽石質の粗粒火山灰である(TMB202; Fig. 6). 岩質は斜方輝石普通角閃石デイサイト, 火山ガラスの屈折率は1.501-1.506である(Table. 2). 見かけはLoc. 36の再堆積したTk-TM2に似るものの, 火山ガラスの屈折率と主成分化学組成は明らかに異なっている(Fig. 31). 以上の特徴から本テフラは、横山(2004)の大古山テフラと同一のものと判断されるが、前述のように横山は別のテフラにも大古山の地層名を用いており、地層命名規約問題があるので新称を用いる。Loc. 37のHugとLoc. 36の再堆積したAta-Thの直接の層位関係は間で露頭が途切れるため確認できないが、両者がほぼ同じ層準にありMIS.7eと判断されよう。Loc. 37の泥質堆積物についても、“見和層下部(坂本ほか, 1981)”から笠神層に再定義されている(山元, 2013). Hngの火山ガラスの主成分化学組成は付録3 (Table. A14)に記載されている。その火山ガラスのSiO₂量は77.3～78.0wt%とAzy-SgP2の同量と同じであるが、TiO₂・FeO・K₂O量が有意に高い。Hngと対比可能なテフラ候補は確定していない。

10. まとめ

栃木・福島地域で確認された高原火山, 男体火山, 赤城火山, 飯士火山, 榛名火山起源の30万年前以降のテフラについて、その層序・分布・構成物・噴火年代・マグマ体積の再記載を行った。その結果、調査地域内のマグマ体積が約1×10¹¹ km³ DRE以上のテフラについては全てリストアップすることが出来た。再記載された新テフラ層序は、この地域の地層対比や地質環境の長期予測の基礎となるものである。特に、東茨城台地の中部更新統“見和層”(坂本, 1972; 坂本ほか, 1981)については層序の再編が必要であることを山元(2007)が既に指摘しており、本報の結果を受けた中部更新統の新層序が山元(2013)として、本報告と合わせて公表されている。

謝辞

本研究は、これまでの地質図幅の調査研究で得られた成果を取りまとめ直したものである。歴代の地質図幅研究の責任者の方々には、様々な便宜を図って頂いた。また、阪口圭一さん、大石雅之さんにはテフラ試料を提供して頂いた。以上の方々に感謝いたします。

文献

- 赤石和幸(1997) 東北日本弧南部背弧域四火山(守門火山, 浅草火山, 枳形火山, 飯士火山)の年代学的・岩石学的研究, および東北日本弧第四紀火山の時空分布についての考察. 東北大学博士論文, 154p.
- 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, **4**, 33-46.
- 阿久津 純(1957) 宇都宮付近の関東ローム(火山灰)層. 地球科学, **33**, 1-11.
- 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, **47**, 391-407.
- 新井房夫(1962) 関東盆地北西部地域の第四紀編年. 群馬大学紀要自然科学編, no.10, 1-79.
- 新井房夫(1971) 北関東ロームと石器包含層-とくに前期旧石器文化層の諸問題- 第四紀, **10**, 317-329.
- 伴 雅雄・高岡宣雄(1995) 東北日本弧, 那須火山群の形成史. 岩鉱, **90**, 195-214.
- 茅原一也・小松正幸・島津光夫・久保田喜裕・塩川 智(1981) 越後湯沢地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1図幅), 地質調査所, 108p.
- 古澤 明(1995) 火山ガラスの屈折率測定および形態分類とその統計的な解析に基づくテフラの識別. 地質雑, **101**, 123-133.
- 下司信夫・大石雅之(2011) 榛名火山の後期更新世及び完新世噴出物から得られた炭素14年代. 地調研報, **62**, 177-183.
- 下司信夫・竹内圭史(2012) 榛名山地域の地質. 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.
- 幡谷竜太(2006) 河成段丘を用いた第四紀後期の隆起量評価手法の検討(2)-那珂川沿いに分布する河成段丘の層序-. 電力中央研究所報告, N05016, 29p.
- Hayakawa, Y. (1985) Pyroclastic geology of Towada volcano. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, no.60, 507-592.
- 井上道則・吉田武義・藤縄宏和・伴 雅雄(1994) 東北本州弧, 高原火山群における山体形成史とマグマの成因. 核理研報告, **27**, 169-198.
- 石崎泰男・呉山正和(2004) 日光火山群男体火山の12ka噴火の推移とマグマ供給系. 岩石鉱物科学, **33**, 197-207.
- Ishizaki, Y., Oikawa, T. and Okamura, Y. (2010) AMS ¹⁴C dating of lacustrine and pyroclastic deposits in summit crater of Nantai volcano, NE Japan: Evidence of Holocene eruption. *Jour. Mineral. Petrol. Sci.*, **105**, 215-227.
- Itaya, T., Okada, T., Onoe, T. and Issiki, N. (1989) K-Ar ages of the Middle Pleistocene Takahara volcano, and argon

- release processes in cooling lava. *Mass Spectroscopy*, **37**, 365-374.
- 小林国夫・清水英樹・北沢和男・小林武彦(1967) 御嶽火山第一浮石層. 地質雑, **73**, 291-308.
- 小池一之・岩崎孝明・壇原 徹・百瀬 貢(1985) 下野火山灰下部層のフィッシュン・トラック年代とその地史的意義. 駒澤地理, **21**, 39-67.
- 桑原拓一郎(2009) 栃木県喜連川丘陵で掘削された風成堆積物のテフラ層序. 地調研報, **60**, 449-455.
- Legros, F. (2000) Minimum volume of tephra fallout deposit estimated from a single isopach. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **96**, 25-32.
- 町田 洋・新井房夫(1976) 広域に分布する火山灰-始良Tn火山灰の発見とその意義. 科学, **46**, 339-347.
- 町田 洋・新井房夫(1979) 大山倉吉軽石層-分布の広域性と第四紀編年上の意義. 地学雑, **88**, 313-330.
- 町田 洋・新井房夫(1992) 火山灰アトラス. 東京大学出版会, 276p.
- 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, 336p.
- 町田 洋・新井房夫・百瀬 貢(1985) 阿蘇4火山灰-分布の広域性と後期更新世指標層としての意義-. 火山, **30**, 49-70.
- Matsumoto, A., Uto, K. and Shibata, K. (1989) K-Ar dating by peak comparison method - New technique applicable to rocks younger than 0.5 Ma -. *Bull. Geol. Surv. Japan.*, **40**, 534-564.
- Miall, A.D. (1978) Lithofacies types and vertical profiles models in braided river deposits: a summary. In Miall, A.D., ed., *Fluvial Sedimentology*. *Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.*, no.5, 597-604.
- 三宅康幸・齋藤美由紀・竹下欣宏・及川輝樹・齋藤武士(2009) 日光男体火山における約1万年前の火砕流堆積物の発見. 火山, **54**, 163-173.
- 守屋以智雄(1968) 赤城火山の地形と地質. 前橋営林局, 64p.
- 村本芳英(1992) 日光火山群東方地域に分布する中・後期更新世テフラ: 日光火山群の噴火史. 静岡大地球科学研究報告, no.18, 59-91.
- 中村洋一・松居誠一郎・布川嘉英(2011) 男体今市(Nt-I)および男体七本桜(Nt-S)の噴出年代. 日本火山学会講演予稿集2011年秋季大会, 73-73.
- 及川輝樹・古澤 明・高橋 康(2005) 中部日本, 小諸層群における鮮新世広域テフラ; 大杭層中のU-1火砕流堆積物とZnp-大田テフラとの対比. 地質雑, **111**, 308-311.
- 大石雅之(2009) 四阿火山を起源とする噴出物の岩石記載の特徴とテフラ分布. 地学雑, **118**, 1237-1246.
- 大石雅之・下司信夫・下岡順直(2011) 斜長石斑晶の屈折率を用いた火山噴出物の識別—榛名火山南麓を中心に分布する噴出物を例に. 第四紀, **50**, 295-308.
- 奥野 充・守屋以智雄・田中耕平・中村俊夫(1997) 北関東, 高原火山の約6500 cal yr BPの噴火. 火山, **42**, 393-402.
- 尾上 亨(1989) 栃木県塩原産更新世植物化石群による古環境解析. 地調報告, no.269, 1-207.
- Pyle, D. M. (1989) The thickness, volume and grain size of tephra fall deposits. *Bull. Volcanol.*, **51**, 1-51.
- Reimer P.J., et al. (2009) IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP, *Radiocarbon*, **51**(4), 1111-1150.
- 坂本 亨(1972) 茨城県大洗付近の第四系一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-. 地調月報, **23**, 511-517
- 坂本 亨・宇野沢昭(1976) 茨城県瓜連丘陵の第四系と久慈川・那珂川の河谷発達史. 地調月報, **27**, 655-664.
- 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, 47p.
- 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. 地調研報, **61**, 465-475.
- 佐々木 実・鱈坂富夫・岡本 昭(1958) 那須野原の地質と地下水. 地学雑誌, **67**, 59-73.
- 早田 勉(1989) 6世紀における榛名火山の2回の噴火とその災害. 第四紀, **27**, 297-312.
- Soda, T. (1996) Explosive activities of Haruna volcano and their impacts on human life in the sixth century A.D. *Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University*, **31**, 37-52.
- 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. 地理評, **62**, 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, **99**, 60-75.
- 鈴木毅彦(1992) 那須火山のテフロクロノロジー. 火山, **37**, 251-263.
- 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, **102**, 73-90.
- 鈴木毅彦(1996) 北関東喜連川丘陵を覆う中～後期更新世テフラ—国内有数の古さをもつ風成テフラ層—. 日本第四紀学会第四紀露頭編集委員会編, 第四紀露頭集—日本のテフラ. 日本第四紀学会, 170-171.
- 鈴木毅彦(2000) 飛騨山脈貝塩給源火道起源の貝塩上宝テフラを用いた中期更新世前半の地形面編年. 地理評 Ser.A **73**, 1-25.
- 鈴木毅彦(2001) 海洋酸素同位体ステージ5-6境界に降下した飯綱上樽テフラ群とその編年学的意義. 第四紀, **40**, 29-41.
- 鈴木毅彦, 早川由紀夫(1990) 中期更新世に噴出した大町

(受付 : 2013 年 4 月 15 日 ; 受理 : 2013 年 11 月 14 日)

- APmテフラ群の層位と年代. 第四紀, **29**, 105-120.
- 鈴木毅彦・藤原 治・檀原 徹 (1998) 関東北部から東北南部に分布する第四紀テフラのフィジョン・トラック年代. 第四紀, **37**, 95-106.
- 鈴木毅彦・藤原 治・檀原 徹 (2004) 東北南部, 会津地域周辺における中期更新世テフラの層序と編年. 地学雑, **113**, 38-61.
- 竹本弘幸 (1998) 赤城火山. フィールドガイド日本の火山 1 関東・甲信越の火山 I, 築地書館, 52-73.
- Ui, T. (1971) Genesis of magma and structure of magma chamber of several pyroclastic flows in Japan. *Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Ser II*, **18**, 53-127.
- 渡邊久芳 (1989) 尾瀬燧ヶ岳火山の地質. 岩鉱, **84**, 55-69.
- 山元孝広 (1999) 福島-栃木地域に分布する 30-10 万年前のプリニー式降下火砕物: 沼沢・燧ヶ岳・鬼怒沼・砂子原火山を給源とするテフラ群の層序. 地調月報, **50**, 743-767.
- 山元孝広 (2006a) 宇都宮市宝積寺段丘を貫く UT05 コアの層序記載と鬼怒川の堆積侵食履歴. 地調研報, **57**, 217-228.
- 山元孝広 (2006b) 1/20 万「白河」図幅地域の第四紀火山: 層序及び放射年代値に関する新知見. 地調研報, **57**, 17-28.
- Yamamoto, T. (2007) A rhyolite to dacite sequence of volcanism directly from the heated lower crust: Late Pleistocene to Holocene Numazawa volcano, NE Japan. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **167**, 119-133.
- 山元孝広 (2007) テフラ層序からみた新潟県中期更新世飯土火山の形成史: 関東北部での飯土真岡テフラと MIS7 海面変動の関係. 地調研報, **58**, 117-132.
- 山元孝広 (2012) 福島-栃木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. 地調研報, **63**, 35-91.
- 山元孝広 (2013) 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. 地調研報, **64**, 225-249.
- 山崎正男 (1957) 男体火山末期の活動. 火山, **2**, 63-76.
- 山崎正男 (1958) 日光火山群. 地球科学, **36**, 28-35.
- 横山芳春 (2004) 茨城県における更新統下総層群の層序と堆積史. 早稲田大学大学院理工学研究科, 博士論文, 122p.
- 横山 卓雄, 檀原 徹, 山下 透 (1986) 温度変化型屈折率測定装置による火山ガラスの屈折率測定. 第四紀, **25**, 21-30.
- 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.

付録1：各露頭の注釈

- Loc. 1. 山元(2007)のLoc. 1と同一露頭。飯士火山の越後湯沢火砕流堆積物を、同火山の奥添地火砕流堆積物が覆う。2012年10月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 2. 大石ほか(2011)のLoc. 33と同一露頭。榛名火山の宮沢火砕流堆積物が露出した。分析試料は大石雅之氏が採取したものを頂いた。現在の露頭状況は不明。
- Loc. 3. 山元(2006a)のLoc. 8と同一露頭。山元(2006a)では榛名火山の宮沢火砕流堆積物と記載したが、同火山の白川火砕流堆積物(大石ほか, 2011; 下司・竹内, 2012)に修正した。現在の露頭状況は不明。
- Loc. 4. 初出。榛名火山の白川火砕流堆積物が露出した。現在の露頭状況は不明。
- Loc. 5. 山元(1999)のLoc. 44と同一露頭。鬼怒沼火山のヒナオソロシノ滝火砕流堆積物が露出した。現在の露頭状況は不明。
- Loc. 6. 鈴木(1990)のLoc. 7a, 坂田・中澤(2010)の水沼露頭と同一露頭。2006年10月時点で露頭は観察可能。赤城火山起源のテフラ群の模式露頭である。
- Loc. 7. 新井(1971)のLoc. B, 鈴木(1990)のLoc. 11と同一露頭。2006年10月時点で露頭は部分的に観察可能。山間部の段丘化した土石流堆積物とこれを覆う風成被覆堆積物からなる。
- Loc. 8. 初出。男体火山起源のテフラ群が日光霧降スケート場敷地内に露出した。露頭は植生に覆われ観察不能。ただし、本法面の裏の沢沿いには同じテフラ群が露出しているという(石崎泰男, 私信)。
- Loc. 9. 吉川ほか(2010)のLoc. 4と同一露頭。鹿沼段丘の河川流路堆積物と風成被覆堆積物が露出する。2011年6月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 10. 山元(2012)のLoc. 40と同一露頭。那須火山の黒磯岩屑なだれ堆積物と上下の風成堆積物が露出した。露頭は消失。
- Loc. 11. 初出。山元(2006b)のtl1段丘の河川流路堆積物と風成被覆堆積物が露出した。露頭は植生に覆われ観察不能。
- Loc. 12. 山元(2006b)のLoc. 7と同一露頭。高原火山の大田原火砕流堆積物が露出する。2010年11月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 13. 吉川ほか(2010)のLoc. 18と同一露頭。田原段丘の河川流路堆積物と風成被覆堆積物が露出した。現在の露頭状況は不明。
- Loc. 14. 吉川ほか(2010)のLoc. 19と同一露頭。宝積寺段丘の河川流路堆積物と風成被覆堆積物が露出した。露頭は植生に覆われ観察不能。
- Loc. 15. 吉川ほか(2010)のLoc. 16と同一露頭。白沢段丘の河川流路堆積物と風成被覆堆積物が露出する。2011年6月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 16. 吉川ほか(2010)のLoc. 9aと同一露頭。上欠段丘の風成被覆堆積物が露出する。2011年6月時点で露頭は部分的に観察可能。
- Loc. 17. 吉川ほか(2010)のLoc. 9bと同一露頭。上欠段丘の風成被覆堆積物が露出する。2011年6月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 18. 吉川ほか(2010)のLoc. 12と同一露頭。宝木段丘の河川流路堆積物と風成被覆堆積物が露出する。2012年9月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 19. 初出。宝木段丘の河川流路堆積物と風成被覆堆積物が露出する。2012年11月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 20. 山元(1999)のLoc. 28と同一露頭。那須火山の黒磯岩屑なだれ堆積物の下位にある風成堆積物で、前期更新世の芦野火砕流堆積物を不整合に覆う。風成堆積物には山元(1999)が真船テフラ群と呼んだ14層の降下火砕堆積物が挟まれるが、本報ではこのうちの真船第6テフラ(MF06)をSb-OTに対比し直した。露頭は堀川ダムにより埋没し、観察不能。
- Loc. 21. 初出。那須火山の黒磯岩屑なだれ堆積物を覆う風成堆積物が露出した。現在の露頭状況は不明。
- Loc. 22. 初出。那須火山の黒磯岩屑なだれ堆積物とこれを覆う風成堆積物が露出した。露頭は植生に覆われ観察不能。
- Loc. 23. 初出。那須火山の黒磯岩屑なだれ堆積物と上下の風成堆積物が露出する。2012年2月時点で露頭は部分的に観察可能。
- Loc. 24. 山元(2006b)のLoc. 6と同一露頭。那須火山の黒磯岩屑なだれ堆積物・余笹川岩屑なだれ堆積物と下位の高原火山、大田原火砕流起源のラハール堆積物が露出する。2012年2月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 25. 初出。境林層を覆う風成堆積物が露出した。現在の露頭状況は不明。
- Loc. 26. 初出。山元(2006b)のtm2段丘の河川流路堆積物と風成被覆堆積物が露出した。現在の露頭状況は不明。
- Loc. 27. 初出。境林層とこれを覆う風成堆積物が露出する。2012年10月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 28. 初出。斜面上の風成堆積物が露出する。2012年10月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 29. 初出。宝積寺段丘の河川流路堆積物と風成被覆堆積物が露出する。2012年5月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 30. 初出。山間部の段丘化した土石流堆積物とこれを覆う風成被覆堆積物が露出する。2012年9月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 31. 初出。斜面上の風成堆積物が露出する。2012年12月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 32. 初出。高位段丘である所貫礫層(坂本・宇野沢, 1976)とこれを覆う風成堆積物が露出する。現在の

露頭状況は不明.

- Loc. 33. 初出. 山間部の段丘化した土石流堆積物とこれを覆う風成被覆堆積物が露出する. 2012年10月時点で露頭は観察可能.
- Loc. 34. 初出. 幡谷(2012)の高位段丘Hf面の河川流路堆積物と風成被覆堆積物が露出する. ただし, 風成被覆堆積物中のテフラ層序から判断すると, この河川流路堆積物は東茨城台地構成層と時代的に異なるものではなく, これを高位段丘に対比することは出来ない. 山元(2013)の新層序では, 茨城層に区分される. 2012年7月時点で露頭は観察可能.
- Loc. 35. 初出. 幡谷(2012)の中位段丘Mt2面の河川流路堆積物と風成被覆堆積物が露出した. 露頭は植生に覆われ観察不能.
- Loc. 36. 大石(2009)のLoc. 12と同一露頭. 坂本ほか(1981)では“見和層下部”とされたが, 山元(2013)により笠神層として再定義された. 2012年7月時点で露頭は観察可能.
- Loc. 37. 初出. 坂本ほか(1981)では“見和層下部”とされたが, 山元(2013)により笠神層として再定義された. 2012年7月時点で露頭は観察可能.
- Loc. 38. 初出. 坂本ほか(1981)の“見和層上部” [山元(2013)の見和層]とこれを覆う風成堆積物が露出する. 2012年12月時点で露頭は観察可能.
- Loc. 39. 初出. 高位段丘の河川流路堆積物と風成被覆層が露出する. 2013年3月時点で露頭は観察可能.
- Loc. 40. 初出. 中位段丘の河川流路堆積物と風成被覆堆積物が露出した. 現在の露頭状況は不明.
- Loc. 41. 山元(2007)のLoc. 6と同一露頭. 坂本(1971)では“見和層中部”とされたが, 山元(2013)により夏海層として再定義された. 2012年10月時点で露頭は観察可能.
- Loc. 42. 初出. 鳥浜火砕流堆積物が露出した. 分析試料は阪口圭一氏が採取したものを頂いた. 現在の露頭状況は不明.

付録2：KR1コア風成層の岩相

KR1コアは全層準にわたって直径50 mmで、無水掘りにより深度352.3 mまで掘削されている。地表から深度50 mまでのコア写真をFig. A1に、地表から深度41.56 mまでの岩相をTable. A1に示している。Table. A1の岩相は、(株)古沢地質が産総研のコア作業スペースで当初記載したものに対して山元が追加観察を行い、一部修正を加え、テフラ対比を行ったものである。



A1図 KR1のコア写真.

Fig. A1 Photograph of KR1 core.



A1図 (続き)
Fig. A1 Continued.

栃木ー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 (山元)

第 A1 表 (続き)
Table. A1 Continued.

深度(m)	厚さ(m)	色調	岩相	最大粒径(cm)	テフラ名	試料番号
22.59-22.94	0.35	黄褐	塊状火山灰土. 径1mm以下の軽石混じり			
22.94-23.15	0.21		擾乱コア			
23.15-23.77	0.62	褐	塊状火山灰土			
23.77-23.80	0.03	黄褐	塊状火山灰土. 径1mm以下の軽石混じり			T61
23.80-24.00	0.20	褐	塊状火山灰土			
24.00-24.22	0.22		擾乱コア			
24.22-24.54	0.32	褐	塊状火山灰土			
24.54-24.61	0.07	黄褐	塊状火山灰土. 径1mm以下の軽石混じり			
24.61-24.72	0.11	暗褐	塊状火山灰土			
24.72-24.84	0.12	赤褐	赤褐色スコリア細粒火山礫. 灰~暗褐色石質粒子混じり	0.5		T63
24.84-25.22	0.38	暗褐	塊状火山灰土			
25.22-25.29	0.07	淡褐	塊状火山灰土			
25.29-25.34	0.05	暗褐	塊状火山灰土			
25.34-25.39	0.05	白	軽石質粗粒火山灰			T65
25.39-25.51	0.12	暗褐	塊状火山灰土. 径3mm以下の軽石, スコリア混じり			
25.51-25.75	0.24	明黄	軽石火山礫. 火山灰基質持つ	2.0	Tk-TM2	T68
25.75-26.16	0.41	暗褐	塊状火山灰土			
26.16-26.24	0.08	淡褐	塊状火山灰土			
26.24-27.16	0.76	暗褐	塊状火山灰土			
27.16-27.55	0.39		擾乱コア			
27.55-27.74	0.19	褐	塊状火山灰土			
27.74-27.83	0.09	褐	風化黒雲母に富む細粒火山灰. 最大径1mmの白色軽石含	0.1	Nm13	T73
27.83-29.00	1.17	褐	塊状火山灰土. 雲母片含			
29.00-29.37	0.37	暗褐	塊状火山灰土			
29.37-29.48	0.11	褐	塊状火山灰土. 雲母片含			
29.48-29.61	0.13	褐	風化黒雲母に富む細粒火山灰. 粗粒砂の白色軽石含		Nm14	T74
29.61-29.73	0.12	褐	塊状火山灰土. 径1mm以下の灰色石質粒子やや多			
29.73-29.81	0.08	褐	橙色スコリア細粒火山礫. 火山灰土混じり.	0.7		T75
29.81-30.18	0.37	褐灰	塊状火山灰土. 径2mm以下のスコリア混じり			
30.18-30.35	0.12	褐	風化黒雲母に富む細粒火山灰. 最大径1mmの白色軽石含	0.1	Nm16	T76
30.35-30.60	0.25	褐	塊状火山灰土. 雲母片含			
30.60-30.62	0.02	褐	塊状火山灰土. 径1mm以下の軽石混じり			T77
30.62-30.85	0.23	淡褐	塊状火山灰土			
30.85-31.14	0.29	褐	塊状火山灰土			
31.14-31.20	0.06	暗褐	塊状火山灰土. 径1mm程度の軽石点在			T81
31.20-32.80	0.60	褐	塊状火山灰土			
32.80-32.96	0.16	黄白	軽石細粒火山礫. 径1mm以下の灰色石質粒子含	0.3		T82
32.96-33.11	0.15	褐	塊状火山灰土			
33.11-33.84	0.73	暗褐	塊状火山灰土			
33.84-34.32	0.48	褐	塊状火山灰土			
33.32-34.35	0.03	淡褐灰	輝石結晶含む火山灰土			T88
34.35-35.00	0.65	暗褐	塊状火山灰土			
35.00-35.21	0.21	暗褐	塊状火山灰土			
35.21-35.83	0.62	褐	塊状火山灰土			
35.83-35.95	0.12	白	粗粒火山灰. 風化著しい			T92
35.95-37.32	1.37	褐灰	塊状火山灰土			
37.32-38.69	1.37	淡褐灰	塊状火山灰土			
38.69-38.80	0.11	白	軽石細粒火山礫	0.3	HoP	T94
38.80-39.00	1.20	淡褐灰	塊状火山灰土			
39.00-39.03	0.03	白	軽石質粗粒火山灰			T95
39.03-39.29	0.26	褐	塊状火山灰土			
39.29-39.33	0.04	赤褐	赤褐粒子主体の粗粒砂			
39.33-40.00	0.67	暗褐	塊状火山灰土			
40.00-40.24	0.24	灰	粗粒砂			
40.24-40.44	0.20	褐	塊状火山灰土			
40.44-40.45	0.01	白	軽石質粗粒火山灰	0.1		T104
40.45-40.76	0.31	暗褐	塊状火山灰土			
40.76-41.09	0.25	褐	塊状火山灰土			
41.09-41.16	0.07	灰	粗粒砂			
41.16-41.32	0.16	褐	塊状火山灰土			
41.32-41.56	0.24	褐	塊状火山灰土. 粗粒砂混じり			

第A13表 TMB101 (*Ata-Th**) 中の火山ガラスのEDXによる主成分分析結果
Ave. = 平均; *S.D.* = 標準偏差

Table. A13 Major element contents of volcanic glass shards in TMB101 (*Ata-Th**) by EDX measurements.
Ave. = average; *S.D.* = standard deviation.

point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Ave.	S.D.	
SiO ₂	74.79	75.47	75.21	74.31	73.96	70.45	69.00	74.67	69.47	74.36	74.86	75.51	68.87	74.63	68.88	SiO ₂	72.96	2.71
TiO ₂	0.28	0.15	0.13	0.15	0.12	0.46	0.47	0.03	0.61	0.18	0.16	0.18	0.57	0.07	0.54	TiO ₂	0.27	0.20
Al ₂ O ₃	11.81	11.53	11.41	11.22	11.56	12.76	12.71	11.26	13.04	11.52	11.57	11.41	12.97	11.54	12.92	Al ₂ O ₃	11.95	0.70
FeO	0.97	0.95	1.06	1.02	0.81	3.16	3.18	1.01	3.31	0.78	1.01	0.90	3.71	0.99	3.18	FeO	1.74	1.16
MnO	0.04	0.00	0.09	0.00	0.09	0.16	0.07	0.19	0.16	0.13	0.03	0.00	0.20	0.04	0.05	MnO	0.08	0.07
MgO	0.17	0.13	0.18	0.18	0.15	0.44	0.60	0.19	0.62	0.19	0.21	0.11	0.64	0.08	0.61	MgO	0.30	0.21
CaO	1.28	1.25	1.18	1.06	1.23	2.74	3.09	1.25	3.16	1.23	1.19	1.26	3.18	1.25	2.97	CaO	1.82	0.89
Na ₂ O	3.49	3.69	3.57	3.50	3.69	4.23	4.15	3.60	4.20	3.58	3.23	3.49	4.17	3.51	4.08	Na ₂ O	3.75	0.33
K ₂ O	3.14	2.92	2.75	2.90	2.96	1.37	1.34	2.81	1.35	3.05	3.16	3.06	1.36	3.23	1.31	K ₂ O	2.45	0.82
Total	95.97	96.09	95.58	94.34	94.57	95.77	94.61	95.01	95.92	95.02	95.42	95.92	95.67	95.34	94.54		95.32	

point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Ave.(1)	S.D.	Ave.(2)	S.D.	
SiO ₂	77.93	78.54	78.69	78.77	78.21	73.56	72.93	78.59	72.42	78.26	78.45	78.72	71.99	78.28	72.86	SiO ₂	78.44	0.27	72.75	0.59
TiO ₂	0.29	0.16	0.14	0.16	0.13	0.48	0.50	0.03	0.64	0.19	0.17	0.19	0.60	0.07	0.57	TiO ₂	0.15	0.07	0.56	0.07
Al ₂ O ₃	12.31	12.00	11.94	11.89	12.22	13.32	13.43	11.85	13.59	12.12	12.13	11.90	13.56	12.10	13.67	Al ₂ O ₃	12.05	0.15	13.52	0.14
FeO	1.01	0.99	1.11	1.08	0.86	3.30	3.36	1.06	3.45	0.82	1.06	0.94	3.88	1.04	3.36	FeO	1.00	0.10	3.47	0.23
MnO	0.04	0.00	0.09	0.00	0.10	0.17	0.07	0.20	0.17	0.14	0.03	0.00	0.21	0.04	0.05	MnO	0.06	0.07	0.13	0.07
MgO	0.18	0.14	0.19	0.19	0.16	0.46	0.63	0.20	0.65	0.20	0.22	0.11	0.67	0.08	0.65	MgO	0.17	0.04	0.61	0.09
CaO	1.33	1.30	1.23	1.12	1.30	2.86	3.27	1.32	3.29	1.29	1.25	1.31	3.32	1.31	3.14	CaO	1.28	0.06	3.18	0.19
Na ₂ O	3.64	3.84	3.74	3.71	3.90	4.42	4.39	3.79	4.38	3.77	3.39	3.64	4.36	3.68	4.32	Na ₂ O	3.71	0.14	4.37	0.04
K ₂ O	3.27	3.04	2.88	3.07	3.13	1.43	1.42	2.96	1.41	3.21	3.31	3.19	1.42	3.39	1.39	K ₂ O	3.14	0.16	1.41	0.02
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		100.00		100.00	

Group	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	2	1	2		Ata-Th
-------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--	--------

第A14表 TMB202 (*Hng*) 中の火山ガラスのEDXによる主成分分析結果
Ave. = 平均; *S.D.* = 標準偏差

Table. A14 Major element contents of volcanic glass shards in TMB202 (*Hng*) by EDX measurements.
Ave. = average; *S.D.* = standard deviation.

point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Ave.	S.D.	
SiO ₂	73.10	73.94	73.72	73.28	73.90	74.03	73.54	75.56	73.78	74.01	73.24	73.73	73.89	73.54	74.15	SiO ₂	73.83	0.57
TiO ₂	0.16	0.23	0.17	0.30	0.37	0.34	0.27	0.29	0.24	0.30	0.30	0.26	0.19	0.18	0.25	TiO ₂	0.26	0.06
Al ₂ O ₃	11.52	11.61	11.67	11.62	11.33	11.58	11.58	10.67	11.29	11.61	11.41	11.92	11.39	11.66	11.48	Al ₂ O ₃	11.49	0.28
FeO	1.47	1.16	1.27	1.28	1.34	1.36	1.36	1.36	1.49	1.45	1.35	1.17	1.43	1.22	1.18	FeO	1.33	0.11
MnO	0.01	0.08	0.04	0.04	0.07	0.13	0.10	0.26	0.00	0.10	0.03	0.20	0.00	0.00	0.00	MnO	0.07	0.08
MgO	0.27	0.26	0.27	0.26	0.33	0.30	0.33	0.18	0.34	0.25	0.35	0.31	0.34	0.34	0.17	MgO	0.29	0.06
CaO	1.89	1.48	1.61	1.85	1.71	1.54	1.85	1.11	1.70	1.66	1.69	1.49	1.90	1.79	1.47	CaO	1.65	0.21
Na ₂ O	3.70	3.75	3.94	3.69	3.81	3.74	3.90	2.81	3.83	3.79	3.60	3.78	3.80	3.67	3.80	Na ₂ O	3.71	0.26
K ₂ O	2.21	2.42	2.47	2.26	2.02	2.39	2.17	4.38	2.25	2.44	2.20	2.62	2.04	2.17	2.61	K ₂ O	2.44	0.57
Total	94.33	94.93	95.16	94.58	94.88	95.41	95.10	96.62	94.92	95.51	94.24	95.31	95.18	94.57	95.11		95.06	

point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Ave.	S.D.	Ave.(*)	S.D.	
SiO ₂	77.49	77.89	77.47	77.48	77.89	77.59	77.33	78.20	77.73	77.49	77.72	77.36	77.63	77.76	77.96	SiO ₂	77.67	0.25	77.63	0.20
TiO ₂	0.17	0.24	0.18	0.32	0.39	0.36	0.28	0.30	0.25	0.31	0.32	0.27	0.20	0.19	0.26	TiO ₂	0.27	0.07	0.27	0.07
Al ₂ O ₃	12.21	12.23	12.26	12.29	11.94	12.14	12.18	11.04	11.89	12.16	12.11	12.51	11.97	12.33	12.07	Al ₂ O ₃	12.09	0.33	12.16	0.16
FeO	1.56	1.22	1.33	1.35	1.41	1.43	1.43	1.41	1.57	1.52	1.43	1.23	1.50	1.29	1.24	FeO	1.39	0.12	1.39	0.12
MnO	0.01	0.08	0.04	0.04	0.07	0.14	0.11	0.27	0.00	0.11	0.03	0.21	0.00	0.00	0.00	MnO	0.07	0.08	0.06	0.06
MgO	0.29	0.27	0.28	0.27	0.35	0.31	0.35	0.19	0.36	0.26	0.37	0.33	0.36	0.36	0.18	MgO	0.30	0.06	0.31	0.05
CaO	2.00	1.56	1.69	1.96	1.80	1.61	1.95	1.15	1.79	1.74	1.79	1.56	2.00	1.89	1.55	CaO	1.74	0.23	1.78	0.17
Na ₂ O	3.92	3.95	4.14	3.90	4.02	3.92	4.10	2.91	4.03	3.97	3.82	3.97	3.99	3.88	4.00	Na ₂ O	3.90	0.29	3.97	0.08
K ₂ O	2.34	2.55	2.60	2.39	2.13	2.50	2.28	4.53	2.37	2.55	2.33	2.75	2.14	2.29	2.74	K ₂ O	2.57	0.58	2.43	0.20
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		100.00		100.00	

(*) Hng

付録4：テフラ本質物の全岩分化学組成分析結果

全岩化学組成分析はActivation Laboratories社に依頼し、主要元素及びSc, V, Ba, Sr, Y, ZrについてはThermo Jarrell-Ash ENVIRO II ICP, これら以外の微量成分についてはPerkin Elmer SCIEX ELAN 6000 ICP-MSで測定された。結果をTable. A15に示している。

第A15表 全岩化学組成分析結果. 主要・微量元素はICP・ICP-MSにより分析.
LOI = 灼熱減量. 全鉄はFe₂O₃で示す.

Table. A15 Whole rock chemical compositions. Major and trace-elements are measured by ICP optical and mass spectrometry. LOI = loss of ignition, Total Fe as Fe₂O₃.

Unit	Hr-HP	Hr-HP	Hr-HP	Hr-HP	Sb-OT
Sample	Hr-MZ	Hr-MZ2	Hr-MZ3	Hr-SR	KT103
Material	pumice	pumice	pumice	pumice	pumice
Loc	3	3	3	4	12
<i>Major elements (%)</i>					
SiO ₂	60.03	61.13	55.70	57.79	70.49
Al ₂ O ₃	16.84	16.64	18.57	17.22	13.34
Fe ₂ O ₃ (T)	6.61	6.61	8.34	6.92	3.00
MnO	0.159	0.157	0.163	0.168	0.084
MgO	2.52	2.31	3.39	2.81	0.59
CaO	6.77	6.51	6.61	5.23	3.03
Na ₂ O	2.96	3.02	2.62	2.92	3.50
K ₂ O	0.52	0.49	0.38	0.62	2.12
TiO ₂	0.500	0.506	0.630	0.520	0.387
P ₂ O ₅	0.12	0.12	0.07	0.07	0.08
LOI	2.07	2.46	2.85	4.62	2.98
Total	99.09	99.96	99.31	98.88	99.60
<i>Trace elements (ppm)</i>					
V	89	88	159	127	19
Rb	11	10	8	14	59
Sr	288	284	259	197	186
Y	16	17	18	18	36
Zr	59	60	54	51	170
Nb	2	2	1	2	4
Ba	138	144	122	159	501
La	5.8	5.7	4.7	4.9	15.3
Ce	13.0	13.0	10.6	11.3	32.7
Pr	1.74	1.76	1.44	1.54	4.19
Nd	8.2	7.9	7.1	7.3	17.9
Sm	2.2	2.1	2.1	2.1	4.4
Eu	0.80	0.75	0.77	0.66	1.12
Gd	2.5	2.2	2.5	2.4	5.2
Tb	0.4	0.4	0.4	0.5	0.9
Dy	2.6	2.4	2.7	2.7	5.5
Ho	0.5	0.5	0.6	0.6	1.2
Er	1.7	1.5	1.8	1.7	3.6
Tm	0.26	0.24	0.27	0.27	0.53
Yb	1.7	1.6	1.8	1.8	3.4
Lu	0.27	0.26	0.29	0.28	0.54
Hf	1.9	1.9	1.9	1.8	4.7
Th	0.7	0.7	0.6	0.9	6.7

十和田火山, 先カルデラ期～カルデラ形成期テフラの放射年代測定

工藤 崇^{1,*}・小林 淳²

Takashi Kudo and Makoto Kobayashi (2013) Radiometric Dating of tephtras from Pre-caldera and Caldera-forming stages, Towada volcano, Northeast Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 64, p. 305-311, 2 figs, 2 tables.

Abstract: Towada volcano is an active volcano located in the northern part of the Northeast Japan arc. We carried out fission-track (FT) and AMS radiocarbon (¹⁴C) dating of tephtras from Towada and Hakkoda volcanoes to establish a detailed eruptive history during the Pre-caldera and Caldera-forming stages of Towada volcano. The obtained FT ages were 0.23 ± 0.05 Ma for Shirobeta tephra (WP), 0.19 ± 0.05 Ma for T-6 tephra, 0.08 ± 0.03 Ma for Zaramé 1 tephra (ZP1), and 0.09 ± 0.03 Ma for Okuse Pyroclastic Flow Deposits. Although these FT ages are consistent with stratigraphy, they have large error ranges of several tens of thousands of years. Therefore, further examinations including application of other chronological dating methods are necessary to obtain more precise estimates of the eruptive age of these tephtras. The obtained ¹⁴C age was $17,730 \pm 70$ BP for Biscuit 2 tephra (BP2). Based on stratigraphical consistency, this ¹⁴C age is appropriate for the eruptive age of BP2.

Keywords: Towada volcano, tephtras from Pre-caldera and Caldera-forming stages, Shirobeta tephra (WP), Kamikita Plain, Middle to Late Pleistocene

要 旨

十和田火山先カルデラ期～カルデラ形成期のより詳細な噴火史編年を目的として、十和田火山及び八甲田火山起源テフラを対象に、フィッション・トラック (FT) 及び放射性炭素 (¹⁴C) 年代測定を行なった。その結果、白ベタテフラ (WP) より 0.23 ± 0.05 Ma, T-6 テフラより 0.19 ± 0.05 Ma, ザラメ 1 テフラ (ZP1) より 0.08 ± 0.03 Ma, 奥瀬火砕流堆積物より 0.09 ± 0.03 Ma の FT 年代が得られた。得られた FT 年代は、いずれも層序と矛盾はしないものの、誤差が数万年と大きい。そのため、より精度良く噴火年代を見積もるためには、他の年代測定法の適用も含めて、今後さらなる検討が必要である。一方、BP2 からは $17,730 \pm 70$ BP の ¹⁴C 年代が得られた。この年代は、層序と良く調和しており、BP2 の噴出年代を示すものとして妥当と判断される。

1. はじめに

十和田火山は東北日本弧北部に位置し、直径約 11 km のカルデラを有する活火山である (第 1 図)。十和田火山の噴火活動史は、Hayakawa (1985)、松山・大池 (1986)、中川ほか (1986) などにより明らかにされてきた。それら

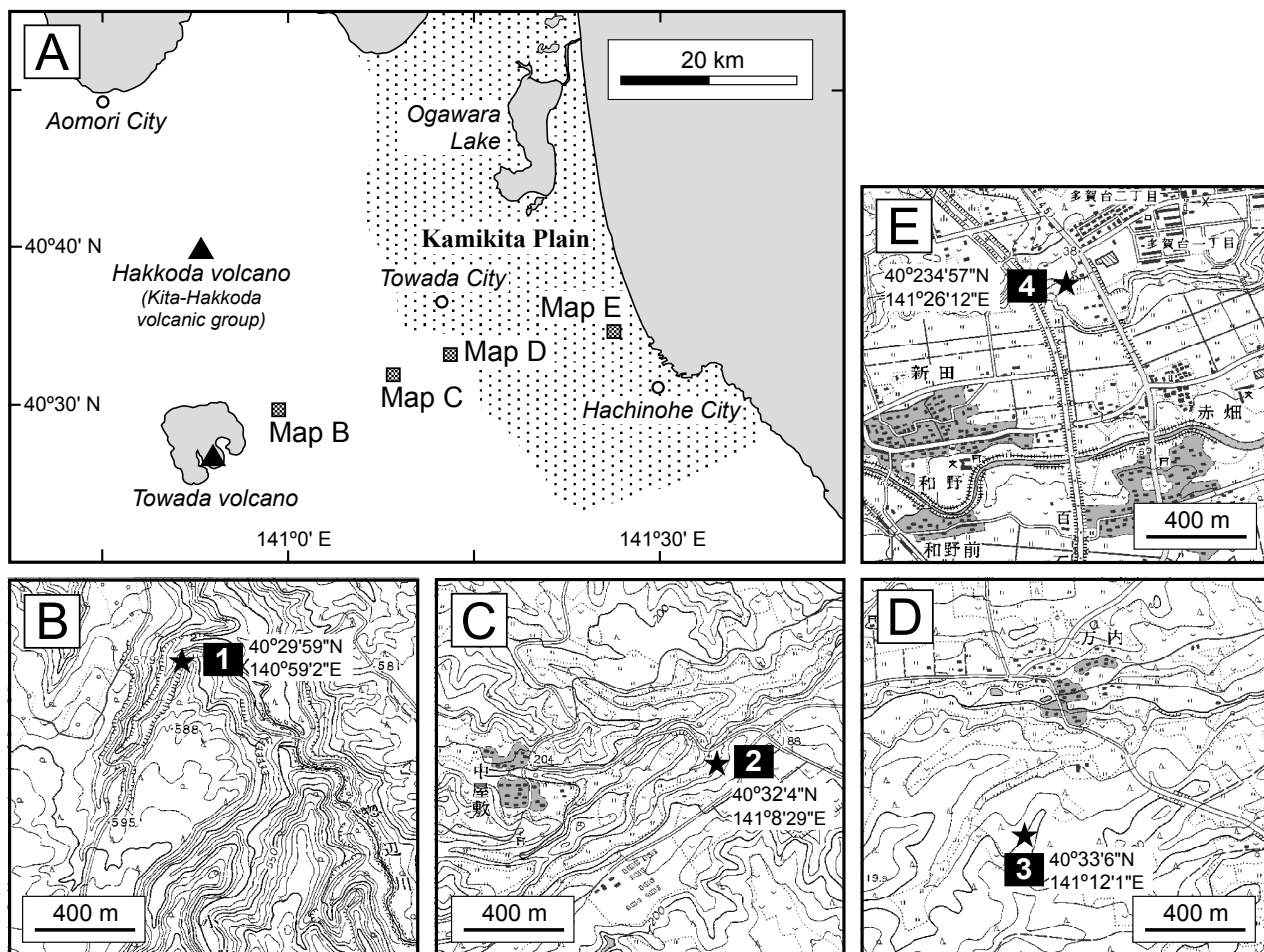
によれば、十和田火山の活動は、先カルデラ期 (55 ka 以前)、カルデラ形成期 (55 ~ 15.5 ka)、後カルデラ期 (15.5 ka ~ 現在) の 3 つの活動期に区分される。このうち、最新の後カルデラ期については、近年の研究によって、より詳細な噴火活動履歴が明らかにされつつある (久利・栗田, 2003; 工藤・佐々木, 2007; 工藤, 2008, 2010a, b など)。一方、先カルデラ期～カルデラ形成期に関しては、一部の大規模な噴火を除いて年代データに乏しく、活動履歴の把握が十分になされているとは言い難い。将来の噴火を予測するためには、過去の噴火履歴をできるだけ正確に把握しておく必要がある。その中でも噴火年代に関する情報は、噴火の発生頻度や周期性を知るための重要な基礎データとなる。そこで今回、十和田火山の先カルデラ期～カルデラ形成期のより詳細な噴火史編年を目指して、これまで放射年代が未報告のテフラを中心に、フィッション・トラック (FT) 及び放射性炭素 (¹⁴C) 年代測定を行なった。

2. 試料採取地点とテフラの産状

年代測定用の試料を、青森県十和田市奥瀬、十和田市中屋敷、十和田市万内^{まんない}の 3 ヶ所の露頭で採取した。各露頭の位置を第 1 図に、柱状図を第 2 図に示す。以下に、

¹ 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation) Email: kudo-taka@aist.go.jp

² 株式会社ダイヤコンサルタント (Dia Consultants Co., Ltd. 2-272-3 Yoshino-cho, Kita-ku, Saitama, Saitama 331-0811, Japan)



第1図 試料採取地点の位置図。国土地理院発行2万5千分の1地形図「十和田湖東部」「切田」「百石」を使用。

Fig. 1 Locality map showing the sampling sites. A part of 1:25,000 topographic maps “Towadako-toubu”, “Kirita” and “Momoishi” published by the Geographical Survey Institute is used.

試料採取を行った地点毎にテフラ層序の概要と、測定対象としたテフラの産状について記載する。

2.1 十和田市奥瀬(地点1)

本地点は十和田火山の北東約8 kmの林道沿いに位置する(第1図A, B)。ここでは、下位より奥瀬火砕流堆積物(大池・中川, 1979; Hayakawa, 1985), ローム層と1枚の火山灰層を挟んで、ピケット1テフラ(BP1: 東北地方第四紀研究グループ, 1969)とその直上に大不動火砕流堆積物(東北地方第四紀研究グループ, 1969; Hayakawa, 1985)が認められる(第2図)。いずれも十和田火山起源のテフラである。FT年代測定用試料として、奥瀬火砕流堆積物からスコリアを採取した(第2図)。

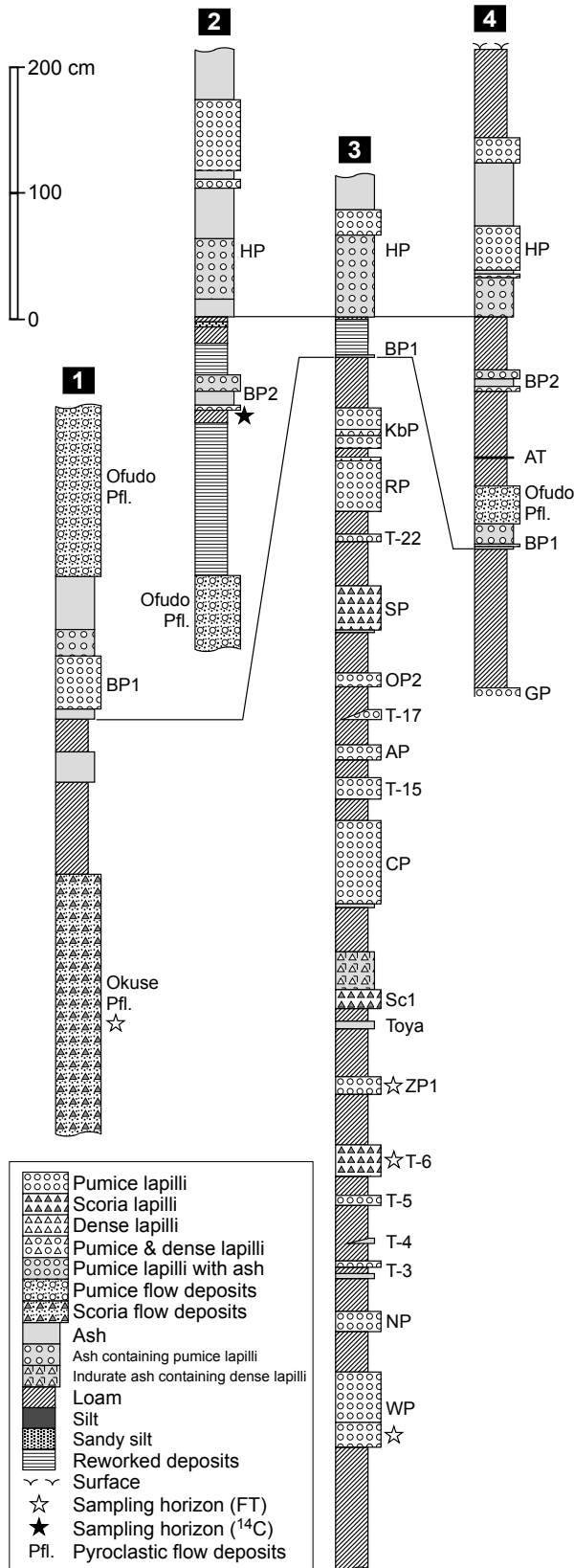
奥瀬火砕流堆積物

安山岩質の非溶結スコリア堆積物であり、層厚は10 m以上である。径40 cm以下のスコリアを主体とし、岩

片を伴う。スコリアは亜角礫で、表面は発泡度が悪く淡灰色～暗灰色を示すが、内部は発泡度が良く黒色を示す。スコリアは無斑晶質であるが、稀に3 mm以下の斜長石斑晶を含む。岩片は、安山岩及び玄武岩を主体とし、変質した火山岩、凝灰岩及び堆積岩を伴う。基質は褐色～淡褐色を呈する火山礫及び粗粒～細粒火山灰からなる。

2.2 十和田市中屋敷(地点2)

本地点は十和田火山の東北東約22 kmに位置する(第1図A, C)。ここでは、下位より大不動火砕流堆積物、再堆積物層・ローム層を挟んで、ピケット2テフラ(BP2: 東北地方第四紀研究グループ, 1969), さらに再堆積物層・ローム層を挟んで、八戸降下軽石(HP: 大池・中川, 1979)とその直上に八戸火砕流堆積物(中川ほか, 1972; Hayakawa, 1985; 第2図では省略)が観察される(第2図)。いずれも十和田火山起源のテフラである。このうち、¹⁴C年代測定用試料として、BP2直下のローム層を採取した。



第2図 試料採取地点における地質柱状図。各露頭の位置を第1図に示す。

Fig. 2 Stratigraphic columns at the sampling sites. Locality of each section is shown in Fig. 1.

ビスケット2テフラ (BP2)

BP2は上部、中部、下部の3枚の降下ユニットで構成される(第2図)。層厚は、上位からそれぞれ13 cm, 11 cm, 4 cmである。上部ユニットは塊状で淘汰の悪い軽石火山礫層である。径1.5 cm以下の白色軽石からなり、軽石の間隙を火山灰が充填している。中部ユニットは淡褐灰色を呈する火山灰層であり、径1 cm以下の白色軽石をまばらに含み、弱い成層構造が見られる。下部ユニットは淘汰の良い軽石火山礫層で、径5 cm以下の白色軽石からなる。

2.3 十和田市万内(地点3)

本地点は十和田火山の東北東約30 kmに位置する(第1図A, D)。ここでは、降下テフラとローム層からなる厚さ12 m以上の互層が観察され、下位よりWP, NP, T-3, T-4, T-5, T-6, ZP1, Toya, Sc1, CP, T-15, AP, T-17, OP2, SP, T-22, RP, KbP, BP1, HPの少なくとも20枚の降下テフラが認められる(第2図)。各テフラの命名・定義は、Toyaが町田ほか(1987)、WP, NP, RP, BP1が東北地方第四紀研究グループ(1969)、その他が大池・中川(1979)による。これらのうち、WPが八甲田火山起源(松山・大池, 1986)、Toyaが洞爺カルデラ起源(町田ほか, 1987)、その他が十和田火山起源である(松山・大池, 1986; 工藤, 2005)。ただし、T-3の一部は八甲田火山に起源を持つ可能性も指摘されている(工藤ほか, 2004)。

以上のテフラのうち、WP, T-6, ZP1からFT年代測定用試料を採取した(第2図)。WPは八甲田火山起源とされているが、十和田火山起源のテフラがWPよりも上位の層準で出現すること(岩崎, 1983; 松山・大池, 1986; 工藤, 2005)に加え、WPが上北平野で広域に分布し、かつ海成段丘との関係が明確な指標テフラの1つであること(宮内, 1985; 桑原, 2004)から、十和田火山の活動下限の年代を推定するのに適したテフラと考え、測定対象とした。

2.3.1 白ベタテフラ (WP)

白ベタテフラ (WP) は、上部と下部の2枚の降下ユニットで構成される。上部ユニットは層厚40 cmの淡褐灰色～乳褐灰色を呈する軽石火山礫層である。軽石は粒径数cm程度であり、著しい粘土化を受けている。長径2 cm以下の岩片を多く含み、やや不均質な岩相を示す。下部ユニットは層厚20 cmの黄白色～白灰色を呈する軽石火山礫層である。軽石は粒径数cm程度で、著しい粘土化と圧密を受けて扁平化している。長径2 cm以下の暗色岩片を少量伴う。今回は下部より年代測定用試料を採取した。

2.3.2 T-6テフラ (T-6)

T-6は上部と下部の2枚の降下ユニットから構成され、上部ユニットは膠結した火山礫凝灰岩層、下部ユニット

第1表 ジルコン・フィッション・トラック年代測定結果.

Table. 1 Results of zircon fission-track dating.

Stratigraphic position ⁽¹⁾	Locality ⁽²⁾	Sample name	n	Spontaneous ρ_s (cm ⁻²) (Ns)	Induced ρ_i (cm ⁻²) (Ni)	Dosimeter ρ_o (cm ⁻²) (Nd)	$P(\chi^2)$ (%)	r	U (ppm)	Age ($\pm 1\sigma$) (Ma)
Okuse Pfl.	1	101024-3	66	1.61×10 ⁴ (12)	9.88×10 ⁶ (7367)	14.60×10 ⁴ (4380)	99	0.506	560	0.09 ± 0.03
ZP1	3	100902-1 ZP1	58	9.78×10 ³ (5)	6.67×10 ⁶ (3412)	13.86×10 ⁴ (4159)	26	0.238	400	0.08 ± 0.03
T-6	3	100902-1 T-6	60	2.70×10 ⁴ (18)	7.32×10 ⁶ (4880)	13.90×10 ⁴ (4170)	21	0.221	440	0.19 ± 0.05
WP	3	100902-1 WP	60	1.95×10 ⁴ (20)	4.38×10 ⁶ (4494)	13.97×10 ⁴ (4142)	25	0.521	260	0.23 ± 0.05

⁽¹⁾See Fig. 2. ⁽²⁾See Fig.1. Pfl, pyroclastic flow deposit. n, number of grains. ρ and N, density and total number of counted tracks, respectively. Analyses were made by using the external detector method that applied to external surface of zircon (ED2: Danhara *et al.*, 1991). NIST-SRM612 standard glasses were used as a dosimeter. $P(\chi^2)$, probability of obtaining the χ^2 value for ν degrees of freedom (ν = number of crystals - 1) (Galbraith, 1981). r, correlation coefficient between ρ_s and ρ_i . U, uranium content calculated based on the induced track densities (Iwano *et al.*, 2000). Zircon grains were irradiated using the pneumatic tube of reactor unit JRR-3 at the Japan Atomic Energy Agency, Japan. Ages were calculated by using a zeta calibration factor of $\zeta_{ED2} = 371 \pm 3$ (1 σ) for HI with DAP detectors (Danhara and Iwano, 2009).

は淘汰の良いスコリア火山礫層からなる(工藤, 2005). 地点3では下部ユニットのみが認められる. 層厚は25 cmで, 長径3 cm以下の風化した褐色~黄褐色スコリアで構成される.

2.3.3 ザラメ1テフラ(ZP1)

ザラメ1テフラ(ZP1)は, やや粘土化した淡黄色~橙色軽石を主体とし, 灰色~暗灰色岩片を伴う降下軽石火山礫層である. 層厚は14 cmであり, 軽石・岩片の最大粒径は7 mmである.

3. 年代測定手法

3.1 フィッション・トラック年代測定

測定を株式会社京都フィッション・トラックへ依頼した. 年代測定手順はDanhara *et al.* (1991, 2003)に準拠し, ゼータ校正による外部ディテクター法(ED 2)を用いた. ジルコン中の自発トラックのエッチングは, KOH-NaOH共融液(225°C)で44~45時間行った. 誘導トラックの外部ディテクターにはDAP (diallyl phthalate) 樹脂を用いた. 熱中性子照射は日本原子力研究開発機構のJRR-3号炉気送管(Auに対するCd比は24)で行った. その際, 熱中性子線量測定用の標準ガラスとしてNIST-SRM612を用いた. 年代校正はゼータ法(Hurford and Green, 1983)で行った. ゼータ値は371 ± 3である(Danhara and Iwano, 2009).

3.2 放射性炭素年代測定

測定を株式会社加速器分析研究所に依頼した. 前処理として酸-アルカリ-酸洗浄を行い, ヒューミンを測定

対象とした. 試料は調整後, 3MVタンデム加速器(NEC製Pelletron 9SDH-2)をベースとした¹⁴C-AMS専用装置を用いて測定した. 得られた¹⁴C濃度については, 同位体分別効果の補正を行い, ¹⁴C年代を算出した. ¹⁴C年代値はLibbyの半減期5568年を用いて算出し, 西暦1950年から遡った年数をBPで記した. 測定結果の暦年校正には, ¹⁴C年代-暦年代校正曲線IntCal09 (Reimer *et al.*, 2009), 校正プログラムCALIB 6.1.0 (Stuiver and Reimer, 1993)を用いた.

4. 年代測定結果

4.1. フィッション・トラック年代測定

4.1.1 白ベタテフラ(WP)

本試料は1 kgあたり40個程度のジルコン結晶を含む. 抽出したジルコン結晶の90%は, 無色~桃色の自形結晶で, 自発FT密度が低い. 残りの10%は, 褐色の半自形結晶で, 自発FT密度が前者の100倍程度高い. ここでは, 本質結晶と考えられる前者を測定対象とした. 測定を行った60粒子のFT年代データは, χ^2 検定(有意水準: 5%)に合格し, 統計上外来結晶の混入を示す要素は認められない. そこで, 全粒子を単一年代集団に属するものとして, 0.23 ± 0.05 Maの年代を得た(第1表).

4.1.2 T-6テフラ(T-6)

本試料は1 kgあたり110個程度のジルコン結晶を含む. 抽出したジルコン結晶の80%は, 無色透明の細粒な自形結晶で, 自発FT密度が低い. 残りの20%は, 無色透明であるが短縮化したFTを多く含むため, 再加熱を受けた外

第2表 AMS ¹⁴C年代測定の結果.

Table. 2 Result of AMS ¹⁴C dating.

Stratigraphic position ⁽¹⁾	Locality ⁽²⁾	Lab. no.	Material	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	¹⁴ C date ⁽³⁾ ($\pm 1\sigma$)	Cal. range (2 σ) ⁽⁴⁾ (probability, %)
below BP2	2	IAAA-102008	loam (humin)	-22.03 \pm 0.43	17,730 \pm 70	20,563-20,649 cal BP (6.7) 20,818-21,485 cal BP (93.2)

⁽¹⁾See Fig. 2. ⁽²⁾See Fig.1. ⁽³⁾The Libby's half-life of 5568 years was used. ⁽⁴⁾Based on the calibration curve IntCal09 (Reimer *et al.*, 2009) using the computer program CALIB 6.1.0 (Stuiver and Reimer, 1993).

来結晶と判断される。よって、本質結晶と考えられる前者を測定に供した。測定を行った60粒子のFT年代データは、 χ^2 検定に合格し、統計上外来結晶の混入を示す要素は認められない。そこで、全粒子を単一年代集団に属するものとして、0.19 \pm 0.05 Maの年代を得た(第1表)。

4.1.3 ザラメ1テフラ(ZP1)

本試料は1 kgあたり20個程度のジルコン結晶を含む。ジルコン結晶は、無色透明で自形のものと同形度がやや不良なものからなるが、測定の際に区別は行なわなかった。測定した60粒子のFT年代データは、大きくばらつき、 χ^2 検定に失格した。そのため、年代の古いものから順に除外し、2粒子を除いたところで χ^2 検定に合格した。そこで、残りの58粒子を単一年代に属するものとして、0.08 \pm 0.03 Maの年代を得た(第1表)。

4.1.4 奥瀬火砕流堆積物

本試料は火砕流堆積物中の本質黒色スコリアのみを採取したものである。スコリアを水洗し、基質を除去した上で粉碎し、ジルコン結晶の抽出を行った。本試料は1 kgあたり30個程度のジルコン結晶を含む。ジルコン結晶の色調、形状、晶癖、自発FT密度などから判断すると、80%は本質結晶と推定される無色透明の自形結晶であり、残りの20%は褐色あるいは紫色の摩耗した外来結晶である。よって、本質結晶と考えられる前者を測定に供した。FT年代データは、若い試料のためばらつくものの、 χ^2 検定に合格し、統計上外来結晶の混入を示す要素は認められない。そこで、全粒子を単一年代集団に属するものとみなし、0.09 \pm 0.03 Maの年代を得た(第1表)。

4.2 放射性炭素年代測定

ビスケット2テフラ(BP2)直下ロームから、17,730 \pm 70 BP (IAAA-102008)の¹⁴C年代値が得られた(第2表)。この年代を暦年較正すると、20.5~21.5 kaとなる(第2表)。

5. 年代値の評価

5.1 白ベタテフラ(WP)

WPより0.23 \pm 0.05 MaのFT年代が得られた。この年代は、WPの上位にあるToyaの年代が酸素同位体比層序により0.112 Ma (白井ほか, 1997)、WPの下位にあるTE-1の年代がK-Ar年代やFT年代から約0.40 Maと考えられること(工藤ほか, 2004)と調和する。WPの放射年代としては、これまでに0.28 \pm 0.05 MaのFT年代が得られているが(桑原, 2007)、今回得られたFT年代とは誤差の範囲で重複する。他方、WPの年代は、年代が得られているテフラとローム層の層厚との関係から0.17~0.20 Ma(宮内, 1985)あるいは0.27 Ma (工藤ほか, 2004)と推定されており、今回得られたFT年代とは誤差の範囲で重複する。

上北平野に分布する海成の天狗岱段丘(大池ほか, 1959; 中川, 1961)は、酸素同位体比ステージ(MIS) 7 (0.19~0.24 Ma: Lisiecki and Raymo, 2005)の段丘とされており(桑原, 2004, 2009)、WP以上のテフラに覆われることが判明している(宮内, 1985; 桑原, 2004)。このことから、WPは少なくとも0.24 Maよりも若いと考えられ、上記2つのFT年代とも調和する。一方、ローム層の植物珪酸体分析結果(桑原, 2009)によれば、WP付近の層準を境に温暖帯を示す群集から冷温帯~亜寒帯下部を示す群集に変化することが判明している。このことから、WPの年代はMIS7・6境界にあたる0.19 Ma付近である可能性も考えられる。しかし、この場合には今回得られたFT年代とは調和するものの、桑原(2007)のFT年代とは矛盾する。いずれにしても、これらのFT年代は誤差が数万年と大きいため、今後、他の年代測定法と併せてクロスチェックを行ない、年代を絞り込むことが必要である。

5.2 T-6テフラ(T-6)

T-6より0.19 \pm 0.05 MaのFT年代が得られた。この年代は、誤差が大きいものの、T-6の上位にあるToyaの年代が0.112 Ma (白井ほか, 1997)、T-6の下位にあるWPのFT年代が0.23 \pm 0.05 Ma (本研究)、0.28 \pm 0.05 Ma (桑原, 2007)であることと矛盾しない。

5.3 ザラメ1テフラ (ZP2)

ZP1より 0.08 ± 0.03 MaのFT年代が得られた。この年代は、誤差が大きいものの、ZP1がT-6よりも上位、Toyaよりも下位であることと矛盾しない。

5.4 奥瀬火砕流堆積物

奥瀬火砕流堆積物より 0.09 ± 0.03 MaのFT年代が得られた。この年代は、奥瀬火砕流堆積物がBP1 (暦年代で36.2-36.9 ka: 小岩ほか, 2007)の下位, Aso-4 (87 ka: Aoki, 2008)の上位に位置する層序関係と矛盾しない。

奥瀬火砕流堆積物の発生直前に降下したレッドテフラ (RP)については、これまでいくつかの間接的な手法により年代が見積もられてきた。年代が得られているテフラとローム層の層厚との関係からは、55 ka (Hayakawa, 1985)もしくは50~70 ka (宮内, 1985)と推定されている。ただし、これらの推定年代は、暦年代未校正の ^{14}C 年代スケールによるものである。他方、ローム層の植物珪酸体分析結果(佐瀬・細野, 1999)からは、RPの挟在する層準はTG-E帯に区分され、MIS 5a (82 ka前後: Lisiecki and Raymo, 2005)に対比されている。また、上北平野における海成段丘との層位関係から、RPはMIS5aとされる柴山段丘(東北地方第四紀研究グループ, 1969)を覆うことが判明している(宮内, 1985; 桑原, 2009)。以上のように、間接的に推定されたRPの年代は、おおよそ50~82 kaの範囲にある。

今回得られたFT年代は、上記の海成段丘との関係、植物珪酸体分析から推定される年代とほぼ調和し、ローム層の層厚から見積もられた宮内(1985)による年代幅とも一部重複する。しかしながら、これまで火山研究者の中で広く受け入れられてきたHayakawa (1985)の推定年代(55 ka)と比較すると、やや古い結果となった。

奥瀬火砕流堆積物とRPについては、 ^{14}C 年代測定法の適用が難しい時代範囲にあり、得られたFT年代も誤差が3万年と大きいため、未だ精度の良い年代決定には至っていない。奥瀬火砕流堆積物とRPは、十和田火山の活動史においてカルデラ形成期最初の噴火(噴火エピソードQ)とされている(Hayakawa, 1985)。そのため、その噴火年代を精度良く求めることは、十和田火山活動史のさらなる理解、それを基にした長期的な火山活動予測のために必要不可欠なものである。奥瀬火砕流堆積物とRPの年代については、この時代範囲にも有効とされるルミネセンス年代測定法(塚本・岩田, 2005)の適用も含め、今後様々な面での検討が必要である。

5.5 ビスケット2テフラ (BP2)

BP2直下のロームから20.8-21.5 kaの ^{14}C 年代値(暦年代換算値)が得られた。BP2は、HPの下位、始良Tnテフラ(AT) (町田・新井, 1976)の上位の層準に挟在し(早川, 1993)、地点4においてその層序関係を確認できる(第2

図)。今回得られた ^{14}C 年代は、上位のHPが ^{14}C 年代(暦年代)で15.5 ka (Horiuchi *et al.*, 2007)、下位のATが酸素同位対比層序で約28 ka (池原ほか, 2006)であることと調和する。また、HPとATの年代と地点4におけるローム層の厚さを用い、堆積速度を一定と仮定してBP2の年代を算出すると約21 kaとなり、得られた ^{14}C 年代とほぼ一致する。以上のことから、今回得られた ^{14}C 年代は、BP2の噴出年代を示すものとして妥当であると判断される。

謝辞: 本研究は、産総研とリサイクル燃料貯蔵株式会社の共同研究(産総研側の研究代表者: 山元孝広)として実施された。関係各位に深く感謝申し上げる。野外調査の際には明治大学の近藤玲介氏にご協力いただいた。(株)京都フィッシュン・トラックの檀原 徹氏には、FT年代測定に関してご相談・ご助言頂いた。本論を執筆するにあたり、産業技術総合研究所の柳堀 昭氏、山川 弘氏、清水卓也氏のご協力を得た。匿名査読者および編集委員の川邊禎久氏には、本論を改善する上でお世話になった。記して感謝申し上げる。

文 献

- Aoki, K. (2008) Revised age and distribution of ca. 87ka Aso-4 tephra based on new evidence from the northwest Pacific Ocean. *Quaternary International*, **178**, 100-118.
- Danhara, T. and Iwano, H. (2009) Determination of zeta values for fission-track age calibration using thermal neutron irradiation at the JRR-3 reactor of JAEA, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **115**, 141-145.
- Danhara, T., Iwano, H., Yoshioka, T. and Tsuruta, T. (2003) Zeta calibration values for fission track dating with a diallyl phthalate detector. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **109**, 665-668.
- Danhara, T., Kasuya, M., Iwano, H. and Yamashita, T. (1991) Fission-track age calibration using internal and external surfaces of zircon. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **97**, 977-985.
- Galbraith, R. F. (1981) On statistical models for fission track counts. *Jour. Math. Geol.*, **13**, 471-478.
- Hayakawa, Y. (1985) Pyroclastic geology of Towada volcano. *Bull. Earthq. Res. Inst.* **60**, 507-592.
- 早川由紀夫(1993)火山の地質巡検案内2: 十和田湖。群馬大学教育学部紀要 自然科学編, **41**, 53-78.
- Horiuchi, K., Sonoda, S., Matsuzaki, H. and Ohyama, M. (2007) Radiocarbon analysis of tree rings from a 15.5-cal kyr BP pyroclastically buried forest: a pilot study. *Radiocarbon*, **49**, 1123-1132.
- Hurford, A. J. and Green, P. F. (1983) The zeta age calibration of fission-track dating. *Isotope Geoscience*, **1**, 285-317.
- 池原 実・村山雅史・多田井修・外西奈津実・大道修宏・

- 川幡穂高・安田尚登(2006) 四国沖から採取された2本のIMAGESコアを用いた第四紀後期におけるテフラ層序. 化石, **79**, 60-76.
- 岩崎孝明(1983) 青森県東部の火山灰. 駒沢大学大学院地理学研究, **13**, 33-39.
- 岩野英樹・吉岡 哲・檀原 徹(2000) フィッション・トラック法による年代およびウラン濃度算出式の再検討: 次世代年代測定システムに向けて. フィッション・トラックニュースレター, no. 13, 1-10.
- 小岩直人・柴 正敏・葛西優貴(2007) 青森県屏風山砂丘地帯, 館岡層中の十和田大不動テフラのAMS¹⁴C年代. 第四紀研究, **46**, 437-441.
- 工藤 崇(2005) 十和田地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅). 産総研地質調査総合センター, 79 p.
- 工藤 崇(2008) 十和田火山, 噴火エピソードE及びG噴出物の放射性炭素年代. 火山, **53**, 193-199.
- 工藤 崇(2010a) 十和田火山, 御倉山溶岩ドームの形成時期と噴火推移. 火山, **55**, 89-107.
- 工藤 崇(2010b) 十和田火山, 御門石溶岩ドームの形成時期に関する考察. 地質調査研究報告, **61**, 477-484.
- 工藤 崇・佐々木寿(2007) 十和田火山後カルデラ期噴出物の高精度噴火史編年. 地学雑誌, **116**, 653-663.
- 工藤 崇・宝田晋治・佐々木実(2004) 東北日本, 北八甲田火山群の地質と火山発達史. 地質学雑誌, **110**, 271-289.
- 久利美和・栗田 敬(2003) 十和田火山二の倉スコリア群の層序区分の再検討—二の倉スコリア期の噴火活動の推移—. 火山, **48**, 249-258.
- 桑原拓一郎(2004) 青森県東部上北平野における海成段丘堆積物の層序と相対的海面変化. 地質学雑誌, **110**, 93-102.
- 桑原拓一郎(2007) 青森県上北平野に分布する白ベタテフラ(WP)のジルコン・フィッション・トラック年代. 第四紀研究, **46**, 433-436.
- 桑原拓一郎(2009) 青森県上北平野で掘削された中期更新世後半以降のテフラ—土壤累積層の植物珪酸体群集に基づく環境変遷と段丘の対比. 第四紀研究, **48**, 405-416.
- Lisiecki, L.E. and Raymo, M.E. (2005) A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. *Paleoceanography*, **20**, PA1003, doi:10.1029/2004PA001071.
- 町田 洋・新井房夫(1976) 広域に分布する火山灰—始良Tn火山灰の発見とその意義—. 科学, **46**, 339-347.
- 町田 洋・新井房夫・宮内崇裕・奥村晃史(1987) 北日本を広く覆う洞爺火山灰. 第四紀研究, **26**, 129-145.
- 松山 力・大池昭二(1986) 十和田火山噴出物と火山活動. 十和田科学博物館, no. 4, 1-64.
- 宮内崇裕(1985) 上北平野の段丘と第四紀地殻変動. 地理学評論, **58** (Ser. A), 492-515.
- 中川久夫(1961) 本邦太平洋沿岸地方における海水準静的変化と第四紀編年. 東北大学理学部地質学古生物学教室研究邦文報告, no. 54, 1-61.
- 中川久夫・松山 力・大池昭二(1986) 十和田火山噴出物の分布と性状. 東北農政局計画部, 48p.
- 中川久夫・中馬教允・石田琢二・松山 力・七崎 修・生出慶司・大池昭二・高橋 一(1972) 十和田火山発達史概要. 岩井淳一教授退官記念論文集, 7-18.
- 大池昭二・中川久夫(1979) 三戸地域広域農業開発基本調査「地形並びに表層地質調査報告書」. 東北農政局計画部, 103p.
- 大池昭二・七崎 修・松山 力・松山 洋(1959) 青森ロームの問題点. 青森地学, **1**, 3-9.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Burr, G.S., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S.W., Reimer, R.W., Richards, D.A., Southon, J.R., Talamo, S., Turney, C.S.M., van der Plicht, J., Weyhenmeyer, C.E. (2009) IntCal09 and marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, **51**, 1111-1150.
- 佐瀬 隆・細野 衛(1999) 青森県八戸市, 天狗岱のテフラ—土壤累積層の植物珪酸体群集に記録された氷期—間氷期サイクル. 第四紀研究, **38**, 353-364.
- 白井正明・多田隆治・藤岡換太郎(1997) ODP日本海試料との対比に基づく男鹿半島安田海岸更新世中—後期テフラの同定と年代. 第四紀研究, **36**, 183-196.
- Stuiver, M. and Reimer, P.J. (1993) Extended ¹⁴C data base and revised CALIB 3.0 ¹⁴C age calibration program. *Radiocarbon*, **35**, 215-230.
- 東北地方第四紀研究グループ(1969) 東北地方における第四紀海水準変化. 地団研専報, no. 15, 37-83.
- 塚本すみ子・岩田修二(2005) ルミネッセンス年代測定法の最近の進歩—適用年代の拡大と石英のOSL成分について—. 地質学雑誌, **111**, 643-653.

(受付: 2013年7月9日; 受理: 2013年11月14日)

地質調査総合センター研究資料集

- | | | |
|-----|---|---|
| 573 | 地質調査総合センター第19回シンポジウム「地質学は火山噴火の推移予測にどう貢献するか」 | 地質調査総合センター 編 |
| 574 | 第10回水文学的・地球化学的手法による地震予知研究についての日台国際ワークショップ予稿集 | 謝 正倫・小泉尚嗣・松本則夫 編 |
| 575 | 第11回水文学的・地球化学的手法による地震予知研究についての日台国際ワークショップ予稿集 | 小泉尚嗣、松本則夫、謝 正倫 編 |
| 576 | 第1回アジア太平洋大規模地震・火山噴火リスク対策(G-EVER)シンポジウム講演要旨集 | 宝田晋治・石川有三・小泉尚嗣・内田利弘・桑原保人・高田亮・吾妻 崇・田村 亨・古川竜太・吉見雅行 編 |
| 577 | 地質情報展 2012 おおさか ―過去から学ぼう大地のしくみ― | 川畑 晶・中島和敏・大熊洋子・百目鬼洋平 編 |
| 578 | 第3回火山巡回展霧島火山ーボラ(軽石)が降ってきた!新燃岳の噴火とその恵みー | 及川輝樹・筒井正明・田島靖久・芝原暁彦・古川竜太・斎藤元治・池辺伸一郎・佐藤 公・小林知勝・下司信夫・西来邦章・東宮昭彦・宮城磯治・中野 俊・渡辺真人 |
| 580 | 十和田火山御倉山溶岩ドームの反射電子像 | 宮城磯治・工藤 崇 |
| 581 | 第3回火山巡回展 霧島火山ーボラが降ってきた!新燃岳の噴火とその恵みー資料映像「霧島火山新燃岳 2011年噴火」 | 芝原暁彦・及川輝樹 |
| 582 | 非常に古い地下水年代測定のための日本列島の帯水層岩石を対象にしたヘリウム同位体生成速度および放射性塩素同位体放射平衡値データ集 | 森川徳敏・戸崎裕貴 |
| 583 | 第1回アジア太平洋大規模地震・火山噴火リスク対策(G-EVER)シンポジウムプロシーディングス | 宝田晋治・石川有三・小泉尚嗣・内田利弘・桑原保人・高田 亮・吾妻 崇・重松紀生・田村 亨・丸山 正・安藤亮輔・古川竜太・吉見雅行 編 |
| 584 | 地質標本館特別展「地球の恵み地熱・地中熱エネルギーを活用しよう」 | 石戸恒雄・唐澤廣和・水垣桂子・大熊茂雄・阪口圭一・佐脇貴幸・杉原光彦・高倉伸一・内田洋平・柳澤教雄・安川香澄・吉岡真弓 |
| 585 | いわき地域重力探査データ | 村田泰章・松本 陽・岡田 力・高橋美江 |
| 586 | 日本列島の地殻温度構造と粘弾性構造の3次元モデルおよび地殻活動シミュレーションに関する数値データ | 長 郁夫・桑原保人 |

地質調査総合センターの最新出版物

200 万分の 1 地質編集図	No. 4 日本地質図 (第 5 版) No. 11 日本の火山 (第 3 版)
20 万分の 1 地質図幅	伊勢・静岡及び御前崎 (第 2 版)・与論島及び那覇・八代及び野母崎の一部・新潟 (第 2 版)
5 万分の 1 地質図幅	足助・京都東南部・新居浜・青森西部・今庄及び竹波・早池峰山
海外地球科学図	アジア地質図 (1:500 万) 中央アジア鉱物資源図 (1:300 万)
海洋地質図	No. 81 日高舟状海盆表層堆積図 (1:20 万) No. 82 奥尻海盆表層堆積図 (1:20 万)
構造図	No. 14 全国主要活断層活動確率地図
火山地質図	No. 1 桜島火山地質図 (第 2 版) (1:3 万) No. 16 十勝岳火山地質図 (1:3 万) No. 17 諏訪之瀬島火山地質図 (1:3 万)
鉱物資源図	No. 7 南西諸島 (1:50 万)
特殊地質図	No. 39 千葉県清和県民の森周辺の地質図
重力図	No. 29 姫路地域重力図 (ブーゲー異常) No. 30 徳島地域重力図 (ブーゲー異常) S3 甲府地域重力構造図 (ブーゲー異常)
空中磁気図	No. 44 岩手火山地域高分解能空中磁気異常図 No. 45 福井平野地域高分解能空中磁気異常図
数値地質図	G-16 20 万分の 1 日本シームレス地質図 DVD 版 G-17 九州地質ガイド FR-2 燃料資源地質図「東部南海トラフ」 GT-4 全国地熱ポテンシャルマップ S-2 海陸シームレス地質情報集「新潟沿岸域」 DVD 版 S-3 海陸シームレス地質情報集「福岡沿岸域」 DVD 版 V-3 口永良部島火山地質データベース P-2 日本重力データベース DVD 版 G20-1 20 万分の 1 数値地質図幅集「北海道北部」第 2 版 G20-2 20 万分の 1 数値地質図幅集「北海道南部」第 2 版 E-5 表層土壌評価基本図 ~富山県地域~
その他	日本の熱水系アトラス 海と陸の地球化学図

地質調査研究報告編集委員会

委員長	佐脇 貴 幸
副委員長	片山 肇
委員	大谷 竜
	長森 英 明
	鈴木 淳
	澤井 祐 紀
	月村 勝 宏
	川邊 禎 久
	神宮 司 元 治
	内野 隆 之
	森尻 理 恵
	高橋 浩
	工藤 崇
	中野 俊

事務局

独立行政法人 産業技術総合研究所
地質調査情報センター
地質・衛星情報サービス室
Tel : 029-861-3601
<http://www.gsj.jp/inquiries.html>

地質調査研究報告 第64巻 第9/10号
平成25年11月25日 発行

独立行政法人 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
つくば中央第7

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

©2013 Geological Survey of Japan, AIST
<http://www.gsj.jp/>

Bulletin of the Geological Survey of Japan Editorial Board

Chief Editor: Takayuki Sawaki
Deputy Chief Editor: Hajime Katayama
Editors: Ryu Ohtani
Hideaki Nagamori
Atsushi Suzuki
Yuki Sawai
Katsuhiko Tsukimura
Yoshihisa Kawanabe
Jinguuji Motoharu
Takayuki Uchino
Rie Morijiri
Yutaka Takahashi
Kudo Takashi
Shun Nakano

Secretariat

National Institute of Advanced Industrial
Science and Technology
Geological Survey of Japan
Geo-information Center Geoinformation Service Office
Tel: +81-29-861-3601
<http://www.gsj.jp/inquiries.html>

Bulletin of the Geological Survey of Japan
Vol.64 No.9/10 Issue November 25, 2013

National Institute of Advanced Industrial
Science and Technology
Geological Survey of Japan
AIST Tsukuba Central 7, 1-1, Higashi 1-chome,
Tsukuba, Ibaraki 305-8567 Japan

All rights reserved.

©2013 Geological Survey of Japan, AIST
<http://www.gsj.jp/>

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 64 No. 9/10 2013

CONTENTS

- New stratigraphy for the Pleistocene system beneath the Higashi-Ibaraki plateau, NE Japan, and its relationship to the sea-level change in MIS 5-7: redefinition of the Ibaraki, Miwa, Natsumi and Kasagami Formations based on subsurface geology and correlation of tephra layers
Takahiro Yamamoto.....225
- Quantitative re-description of tephra units since 0.3 Ma in the Tochigi –Ibaraki region, NE Japan
Takahiro Yamamoto.....251
- Radiometric Dating of tephra from Pre-caldera and Caldera-forming stages, Towada volcano, Northeast Japan
Takashi Kudo and Makoto Kobayashi.....305

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

1-1, Higashi 1-chome, Tsukuba, Ibaraki, 305-8567 Japan

地 調 研 報
Bull. Geol. Surv. Japan
Vol. 64, No. 9/10, 2013