

赤城火山起源の後期更新世テフラの記載岩石学的特徴

坂田健太郎^{1,*}・中澤 努¹

Kentaro Sakata and Tsutomu Nakazawa (2010) Petrographic properties of Late Pleistocene tephra layers of the Akagi Volcano, northern Kanto, central Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 61 (11/12), p. 465-475, 6 figs, 1 table.

Abstract: Petrographic properties of 12 layers of Late Pleistocene tephra which can be observed at the southeastern foot of the Akagi Volcano, Gunma Prefecture, central Japan are described. Detailed examination of these tephra layers reveals that Ag-Nm2, Ag-UP, Ag-KP tephra layers comprise a few fall units representing different refractive indices of orthopyroxene and hornblende crystal grains from each other. Furthermore, Ag-MzP3, Ag-MzP2, Ag-Nm2, and Ag-UP tephra layers represent largely different refractive indices from the property of the majority of the examined tephra layers. These petrographic features are important for identification and correlation of these tephra layers.

Keywords: tephra, fall unit, refractive index, Akagi Volcano, Late Pleistocene

要 旨

群馬県桐生市黒保根町水沼の露頭にみられる主に赤城火山起源の後期更新世テフラについて記載岩石学的特徴の検討を行った。層厚の大きいテフラについては、降下ユニットごとに検討し記載した。その結果、Ag-Nm2, Ag-UP, Ag-KPには同一テフラ内でも異なる屈折率を示す降下ユニットが存在することが明らかになった。このような降下ユニットごとの屈折率特性の差異は今後のテフラの対比・同定に有効であると考えられる。またAg-MzP3, Ag-MzP2, Ag-Nm2, Ag-UPの斜方輝石・角閃石の屈折率は、一般的な赤城火山起源テフラの屈折率から外れた特徴的な値を示し、対比に重要と考えられる。

1. はじめに

我が国の大規模プリニアン式噴火起源のテフラのうち幾つかは、降下ユニットごとに鉱物組成や屈折率など記載岩石学的特徴が異なることが知られている（例えばHk-TPテフラ：新井, 1972；新井ほか, 1977, TCu-1テフラ：中里, 2002, TB-8テフラ：中澤ほか, 2003など）。また、降下ユニットごとに異なるという特徴そのものが対比・同定の重要な根拠となるケースもある（中澤ほか, 2003）。しかしこれまで報告されてきたテフラ

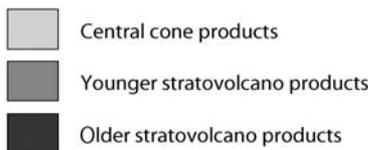
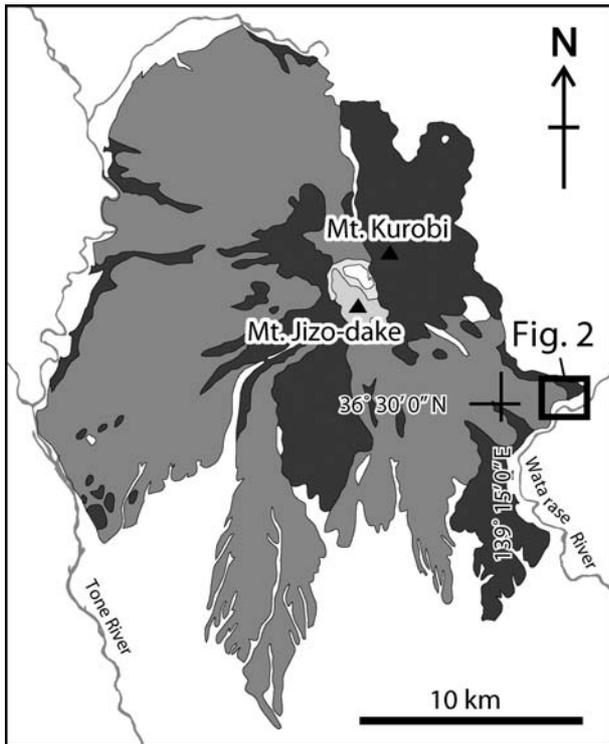
の記載岩石学的特徴は、多くの場合、そのテフラを代表する1層準(1点)のみの試料の検討によるものであった。そのため実際に降下ユニットごとに記載岩石学的特徴が異なる場合には対比において混乱する例もみられた（中里, 2001参照）。したがって従来から良く知られているテフラでも、改めて降下ユニットごとに記載岩石学的特徴を検討することにより、異なる結果が得られ、それがその後の対比・同定の重要な手がかりとなることも予想される。そこで筆者らは、過去に大規模プリニアン式噴火を繰り返した赤城火山を題材とし、代表的な後期更新世テフラの再検討を行なった。その結果、赤城鹿沼軽石(Ag-KP)、赤城湯ノ口軽石(Ag-UP)、赤城行川第2軽石(Ag-Nm2)といった極めて良く知られたテフラに、従来知られていなかった降下ユニットごとの記載岩石学的特徴の違いを見いだした。本稿ではこれらテフラの記載を行なうとともに、従来報告された記載岩石学的特徴との比較を行なう。また観察されたその他のテフラについても詳細な記載を行なう。

2. 試料及び研究手法

赤城火山の活動は大きく古期成層火山形成期、新时期成層火山形成期、中央火口丘形成期に分けられている（守屋, 1968, 1970；第1図）。本研究では、このうち新时期成層火山形成期から中央火口丘形成期に相当する噴出物

¹地質情報研究部門（AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation）

*Corresponding author: K. SAKATA, Central 7, Higashi 1-1-1, Tsukuba 305-8567, Japan. Email: sakata-ke@aist.go.jp



第1図 赤城火山噴出物の分布。
20万分の1地質図幅「宇都宮」(須藤ほか, 1991)を基に作図。

Fig. 1 Distribution map of products of the Akagi Volcano. Modified from Geological Map of Japan 1: 200,000 "Utsunomiya" (Sudo *et al.*, 1991).

が模式的に露出する赤城火山東麓の露頭で、テフラの詳細な観察と試料採取を行い、記載岩石学的特徴を再検討した。

検討した露頭は、守屋 (1968)、鈴木 (1990)、鈴木 (1996)、竹本 (1998) により報告された群馬県桐生市黒保根町水沼の露頭である (第2図)。鈴木 (1996) に基づけば、ここでは下位より赤城水沼第6軽石 (Ag-MzP6) から赤城水沼石質降下火砕岩 (Ag-CLP) までのテフラが褐色のローム層 (火山灰土) 中に挟在する (第3図)。筆者らが調査した時点で、これらのテフラのうち最下位の Ag-MzP6 は土砂に埋まって確認できず、露頭で確認できた最下位のテフラは Ag-MzP5 であった。また、本研究では確認できなかったものの Ag-MzP6 の直上には約 100ka に降灰した (町田・新井, 2003) On-Pm-1 が挟在し (鈴木, 1996)、Ag-CLP の直下には 45 ka 以降に降灰したとされる (町田・新井, 2003)



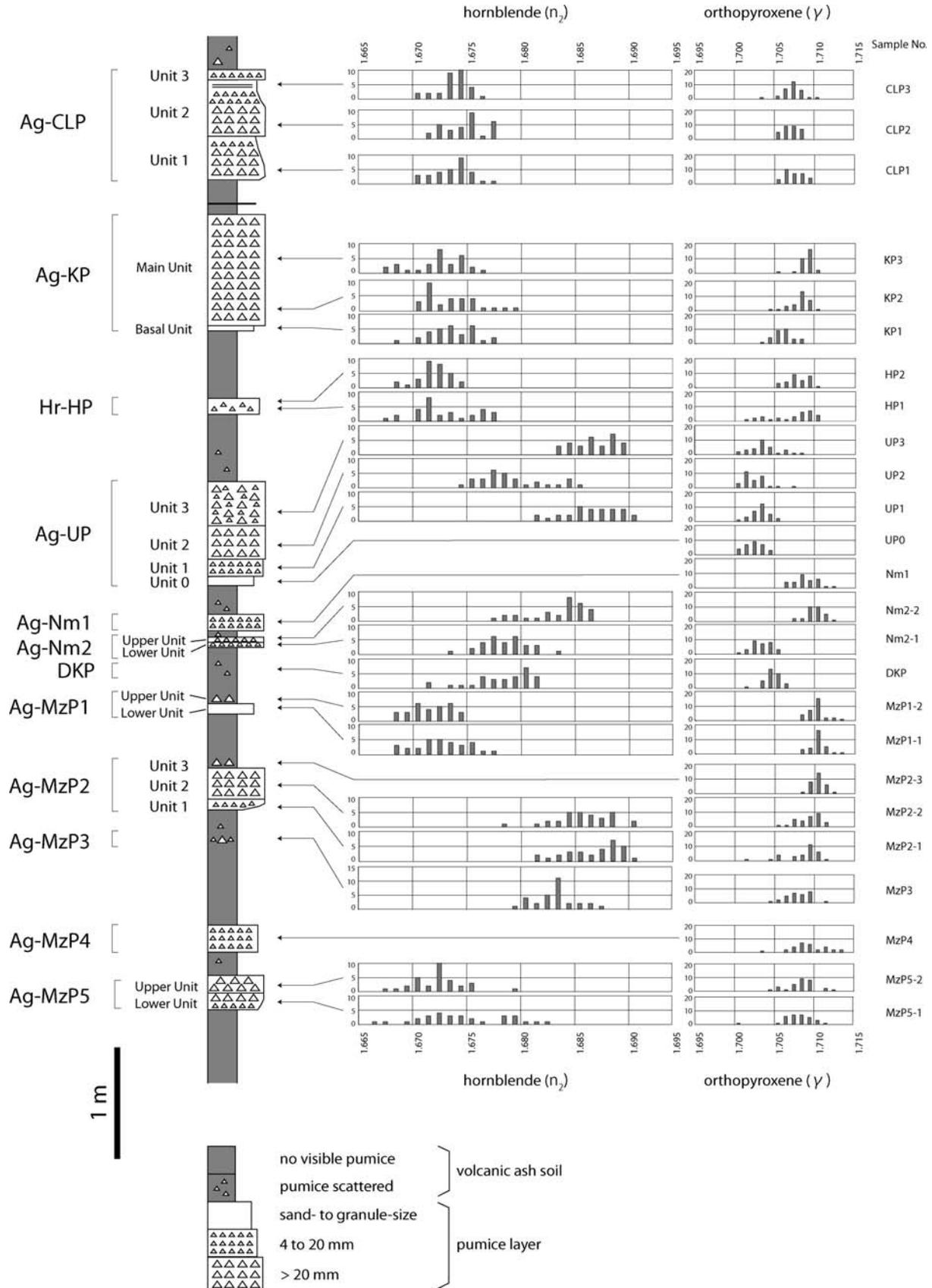
第2図 検討した露頭の位置図。
基図は国土地理院発行 1: 25,000 地形図「上野花輪」を使用。

Fig. 2 Index map showing location of the examined outcrop. Base map is Geomorphological Map 1: 25,000 "Kozukehanawa" published by Geographical Survey Institute.

Ag-KP が挟在することから、本露頭で観察されるテフラ群はおよそ 100 ~ 40 ka の間に降灰したものと考えられる。これらのテフラについては既に鈴木 (1990) や町田・新井 (2003) により記載岩石学的特徴の報告がなされているが、本研究で改めて詳細な観察を基に再検討を行なった。本研究ではこれらのテフラについて、まず野外で層相の特徴 (層厚、構成粒子、粒径、色調など) の詳細な観察を行い、次に室内分析用の試料の採取を行なった。比較的層厚の大きいテフラについては、野外で認識できる降下ユニットごとにそれぞれ最低1点ずつ試料を採取した。

採取した試料は室内において、篩目 0.063 mm のメッシュクロス上で水洗し泥分を除去した後、乾燥させ、鏡下の観察により、重鉱物組成を定性的に把握した。斜方輝石、角閃石が含まれる場合はそれらの屈折率を測定した。

屈折率の測定は、株式会社古澤地質製の温度変化型屈折率測定装置 MAIOT (古澤, 1995) を使用し、各試料の各鉱物をスライドガラスで挟んで潰し、へき開面を出した状態でそれぞれ 30 点以上の測定を行い、屈折率のレンジとモード値を把握した。また屈折率測定値のヒストグラムを作成することにより各テフラの比較を行なうとともに、これまで報告された屈折率との比較を行なった。



第3図 柱状図と各テフラに含まれる角閃石・斜方輝石の屈折率のヒストグラム。

Fig. 3 Columnar section of the examined outcrop and histograms of refractive indices of orthopyroxene and hornblende crystal grains contained in tephra layers.

3. テフラの記載

以下に水沼の露頭で観察されたテフラを下位のものから順に記載する。露頭の柱状図及び各テフラの斜方輝石・角閃石の屈折率のヒストグラムは第3図に、層厚や粒径、粒子組成、屈折率などの一覧を第1表にまとめた。本研究でのテフラの名称は鈴木(1990)に基づく。また屈折率の記載は、斜方輝石の場合は γ 、角閃石の場合は n_2 の値として示す。なお検討した露頭は風化が著しいため、火山ガラスはどのテフラからも検出することはできなかった。

赤城水沼第5軽石 (Ag-MzP5)

層厚約30 cm。下部ユニットと上部ユニットに分けられる。

下部ユニット

層厚約15 cm。粒径が約5～30 mmで上方に粗粒化する淡黄色の軽石層からなる。また同サイズの岩片を含む。ほぼ中央の層準から1試料(MzP5-1試料)を採取した。MzP5-1試料：重鉱物は斜方輝石が最も多く、そのほか単斜輝石、磁鉄鉱と極少量の角閃石を含む。屈折率は斜方輝石が1.700～1.711 (1.707～1.708, 括弧内はモード値, 以下同じ)、角閃石が1.666～1.682 (1.672)。

上部ユニット

層厚約15 cm。粒径が約5～30 mmの淡黄色の軽石を主体とし、ほかに少量の岩片を含む。基質は火山灰土からなる。ほぼ中央の層準から1試料(MzP5-2試料)を採取した。

MzP5-2試料：重鉱物は斜方輝石が最も多く、そのほか単斜輝石、磁鉄鉱と少量の角閃石を含む。屈折率は斜方輝石が1.704～1.712 (1.708～1.709)、角閃石が1.667～1.679 (1.672)と、下部ユニットとほぼ同様の値を示す。

赤城水沼第4軽石 (Ag-MzP4)

層厚約28 cm。粒径が約5～10 mmの淡黄色の軽石を主体とし、少量の褐色の軽石が混じる。上部は基質が火山灰土からなる。ほぼ中央の層準から1試料(MzP4試料)を採取した。

MzP4試料：重鉱物は斜方輝石が最も多く、そのほか単斜輝石、磁鉄鉱と極少量の角閃石を含む。斜方輝石の屈折率は1.703～1.713 (1.708～1.709)。

赤城水沼第3軽石 (Ag-MzP3)

層厚約5 cm。粒径が約5～30 mm径の淡黄色の軽石を主体とし、少量の岩片を含む。基質は火山灰土よりなる。ほぼ中央の層準から1試料(MzP3試料)を採取した。MzP3試料：重鉱物は主に斜方輝石、単斜輝石、磁鉄鉱からなり、ほかに極少量の角閃石がみられる。屈折率は

斜方輝石が1.704～1.711 (1.707～1.709)、角閃石が1.679～1.687 (1.683)。

赤城水沼第2軽石 (Ag-MzP2)

層厚約45 cm。下位よりユニット1～3の3つのユニットに分けられる。

ユニット1

層厚約10 cm。粒径が約3～40 mmで上方に粗粒化する軽石からなる。淡黄色の軽石を主体とし、粘土化した灰白色の軽石を含む。ほぼ中央の層準から1試料(MzP2-1試料)を採取した。

MzP2-1試料：重鉱物は主に斜方輝石、単斜輝石、磁鉄鉱を含み、ほかに少量の角閃石がみられる。屈折率は斜方輝石が1.701～1.711 (1.709)、角閃石が1.681～1.690 (1.688)。

ユニット2

層厚約25 cm。粒径が約3～40 mmの淡黄色の軽石を主体とし、粘土化した灰白色の軽石を含む。ほぼ中央の層準から1試料(MzP2-2試料)を採取した。

MzP2-2試料：重鉱物は主に斜方輝石、単斜輝石、磁鉄鉱を含み、ほかに少量の角閃石がみられる。屈折率は斜方輝石が1.705～1.711 (1.709～1.710)、角閃石が1.678～1.690 (1.684～1.685・1.688)。

ユニット3

層厚約10 cm。粒径が約3～40 mmの淡黄色の軽石を主体とし、粘土化した灰白色の軽石を含む。基質は褐色の火山灰土からなる。ほぼ中央の層準から1試料(MzP2-3試料)を採取した。

MzP2-3試料：重鉱物は主に斜方輝石、単斜輝石、磁鉄鉱を含む。角閃石は検出されなかった。斜方輝石の屈折率は1.708～1.712 (1.710)。

赤城水沼第1軽石 (Ag-MzP1)

層厚約18 cm。下部ユニットと上部ユニットに分けられる。

下部ユニット

層厚約8 cm。粗粒砂～細礫サイズの褐色軽石と岩片からなる。ほぼ中央の層準から1試料(MzP1-1試料)を採取した。

MzP1-1試料：重鉱物は斜方輝石が最も多く、そのほか単斜輝石、磁鉄鉱と極少量の角閃石を含む。屈折率は斜方輝石が1.708～1.713 (1.710)、角閃石が1.668～1.677 (1.671～1.672)。

上部ユニット

層厚約10 cm。粒径10～50 mmの淡黄軽石からなり、基質は褐色の火山灰土からなる。粒径40 mm以下の岩片も含む。ほぼ中央の層準から1試料(MzP1-2試料)を採取した。

MzP1-2試料：重鉱物は斜方輝石が最も多く、そのほか

単斜輝石、磁鉄鉱と少量の角閃石を含む。屈折率は斜方輝石が1.708～1.713 (1.710)、角閃石が1.668～1.674 (1.670～1.673)。

と、下部ユニットとほぼ同様の屈折率を示す。

大山倉吉軽石 (DKP)

MzP1テフラとAg-Nm2テフラの間の褐色の火山灰土層は層厚約40 cmである。鈴木 (1996) は、このMzP1とAg-Nm2の間の火山灰土層に大山倉吉軽石 (DKP) が認められるとしている。野外で肉眼では確認できなかったが、この火山灰土層のほぼ中央の層準で1試料 (DKP試料) を採取し、水洗により泥分を除去すると、多量の重鉱物が得られた。

DKP試料：重鉱物は角閃石、磁鉄鉱、斜方輝石を同量程度含む。屈折率は斜方輝石が1.701～1.706 (1.704～1.705)、角閃石が1.671～1.681 (1.680)。

赤城行川第2軽石 (Ag-Nm2)

層厚約8 cm。下部ユニットと上部ユニットに分けられる。

下部ユニット

層厚約4 cm。粒径5～15 mmの褐色軽石からなる。ほぼ中央の層準から1試料 (Nm2-1試料) を採取した。Nm2-1試料：重鉱物は斜方輝石が最も多く、そのほか単斜輝石、磁鉄鉱と少量の角閃石を含む。屈折率は斜方輝石が1.700～1.705 (1.702～1.704)、角閃石が1.673～1.683 (1.677～1.679)。

上部ユニット

層厚約4 cm。粒径5～15 mmの淡黄色及び灰色軽石からなる。ほぼ中央の層準から1試料 (Nm2-2試料) を採取した。Nm2-2試料：重鉱物は斜方輝石が最も多く、そのほか単斜輝石、磁鉄鉱と極少量の角閃石を含む。屈折率は斜方輝石が1.707～1.712 (1.709～1.710)、角閃石が1.677～1.686 (1.684) と、下位のNm2-1試料よりもそれぞれ高い値を示す。

赤城行川第1軽石 (Ag-Nm1)

層厚約15 cm。粒径2～20 mm。淡黄色の軽石を主体とする。灰色軽石を含む。ほぼ中央の層準から1試料 (Nm1試料) を採取した。

Nm1試料：重鉱物は斜方輝石が最も多く、ほかに単斜輝石、磁鉄鉱を含む。斜方輝石の屈折率は1.706～1.712 (1.708)。

赤城湯ノ口軽石 (Ag-UP)

層厚約95 cm。下位よりユニット0～3の4つの降下ユニットに分けることができる。

ユニット0

層厚約10 cm。粒径は極粗粒砂～細礫サイズ。スコリア岩片、淡黄色軽石からなる。ほぼ中央の層準から1試料 (UP0試料) を採取した。

UP0試料：重鉱物は斜方輝石が最も多く、ほかに単斜輝石、磁鉄鉱を含む。角閃石は確認できなかった。斜方輝石の屈折率は1.700～1.704 (1.701～1.703)。

ユニット1

層厚約15 cm。粒径5～15 mm。淡黄色の軽石を主体とし、ほかに少量の灰色軽石を含む。ほぼ中央の層準から1試料 (UP1試料) を採取した。

UP1試料：重鉱物は斜方輝石が最も多く、そのほか単斜輝石、磁鉄鉱と極少量の角閃石を含む。斜方輝石の屈折率は1.700～1.705 (1.703)。角閃石の屈折率は1.681～1.690 (1.685)。

ユニット2

層厚約30 cm。粒径は5～50 mm。淡黄色、橙色の軽石を主体とするほか少量の灰色軽石を含む。ほぼ中央の層準から1試料 (UP2試料) を採取した。

UP2試料：重鉱物は斜方輝石が最も多く、そのほか単斜輝石、磁鉄鉱と極少量の角閃石を含む。屈折率は斜方輝石が1.700～1.707 (1.701～1.703)。角閃石の屈折率は1.674～1.685 (1.677～1.678) で、上下のユニットに比べ低い値を示す。

ユニット3

下位ユニットから漸移する。層厚約40 cm。粒径は2～30 mm。淡黄色・黄橙色の軽石を主体とするほか少量の灰色軽石を含む。本ユニットの基底より約10～15 cm上で1試料 (UP3試料) を採取した。

UP3試料：斜方輝石が最も多く、そのほか単斜輝石、磁鉄鉱と極少量の角閃石を含む。屈折率は斜方輝石が1.700～1.708 (1.703)、角閃石が1.683～1.689 (1.686～1.688)。

榛名八崎軽石 (Hr-HP)

層厚約12～20 cm。粗粒砂サイズの淡黄色軽石を主体とし、粒径15 mm以下の黄橙色軽石が混じる。下半部と上半部のそれぞれほぼ中央の層準からそれぞれ1試料ずつ (下位よりHP1、HP2試料) 採取した。

HP1試料：重鉱物は同量程度の斜方輝石、角閃石、磁鉄鉱を含む。屈折率は斜方輝石が1.701～1.710 (1.708～1.709)、角閃石が1.667～1.677 (1.671)。

HP2試料：重鉱物は斜方輝石、角閃石が多く、そのほかに磁鉄鉱を含む。屈折率は下位のHP1試料とほぼ同様で斜方輝石が1.705～1.710 (1.707～1.709)、角閃石が1.668～1.674 (1.671～1.672)。

赤城鹿沼軽石 (Ag-KP)

層厚約105 cm。基底ユニットと主部ユニットの2つ

のユニットからなる。

基底部ユニット

層厚約5 cm。粗粒～極粗粒砂サイズのぶい黄橙色軽石からなる。ほぼ中央の層準から1試料 (KP1試料) を採取した。

KP1試料：重鉱物は角閃石が最も多く、そのほか斜方輝石、磁鉄鉱を含む。屈折率は斜方輝石が1.703～1.708 (1.705～1.706) と後述する上位ユニットのKP2, KP3試料よりもモード値が低い値を示す。角閃石の屈折率は1.668～1.677 (1.673～1.675)。

主部ユニット

層厚約100 cm。2～50 mm径の黄橙色軽石からなる。ユニット基底から約15 cm上と約60 cm上の2層準からそれぞれ1試料ずつ (下位よりKP2, KP3試料) 採取した。

KP2試料：重鉱物は角閃石が最も多く、そのほか斜方輝石、磁鉄鉱を含む。屈折率は斜方輝石が1.704～1.710 (1.708), 角閃石が1.670～1.679 (1.671)。

KP3試料：重鉱物は角閃石が最も多く、そのほか斜方輝石、磁鉄鉱を含む。屈折率は斜方輝石が1.705～1.710 (1.708～1.709), 角閃石が1.667～1.676 (1.672～1.675)。

赤城水沼石質降下火砕岩 (Ag-CLP)

層厚約100 cm。下位よりユニット1～3の3つの降下ユニットに分けられる。

ユニット1

層厚約40 cm。粒径1～40 mm径の岩片、黄色の軽石からなる。上方に細粒化する。本ユニットの基底部から1試料 (CLP1試料) を採取した。

CLP1試料：重鉱物は角閃石が最も多く、そのほか磁鉄鉱、斜方輝石を含む。屈折率は斜方輝石が1.705～1.709 (1.706), 角閃石が1.670～1.677 (1.674)。

ユニット2

層厚約50 cm。粒径1～80 mmの黄色の軽石と粒径1～30 mmの岩片で構成される。下部の約20 cmは軽石が卓越するが、その上位の約20 cmは軽石よりも岩片が多くなり、全体として上方へ細粒化する。また最上部の約10cmは、主に粗粒砂～細礫サイズの軽石・岩片を含み、ラミナの発達した細粒の凝灰質シルト層からなる。下部の軽石が卓越する層準から1試料 (CLP2試料) と最上部の凝灰質シルト層から1試料 (CLP3試料) を採取した。

CLP2試料：重鉱物は角閃石が最も多く、そのほか磁鉄鉱、斜方輝石を含む。屈折率は斜方輝石が1.705～1.708 (1.706～1.707), 角閃石が1.671～1.677 (1.675)。

CLP3試料：重鉱物は角閃石が最も多く、そのほか斜方輝石、磁鉄鉱を含む。屈折率は斜方輝石が1.703～1.710 (1.707), 角閃石が1.670～1.676 (1.673～1.674)。

ユニット3

層厚約10 cm。粗粒砂サイズ～10 mm径の岩片及び軽石よりなる。このユニットからは試料は採取していない。

4. これまでの研究との比較

今回検討したテフラについて、これまで最も詳細な記載岩石学的特徴を報告しているのは鈴木 (1990) であろう。その後、町田・新井 (2003) にも重鉱物の屈折率などがリストに掲載された。これらの研究に比べ、本研究では降下ユニットに分けるなどして更に詳細な層相の記載を行なったが、最も重要な記載岩石学的特徴である重鉱物の屈折率については、多くのテフラで鈴木 (1990) や町田・新井 (2003) が報告した値とおおむね一致した。しかし、赤城行川第2軽石 (Ag-Nm2), 赤城湯ノ口軽石 (Ag-UP), 赤城鹿沼軽石 (Ag-KP) については、同一テフラ内でも降下ユニットにより重鉱物の屈折率が有意に異なる値を示した。以下にこれら3つのテフラについて、鈴木 (1990) や町田・新井 (2003) の報告との比較を行なう。

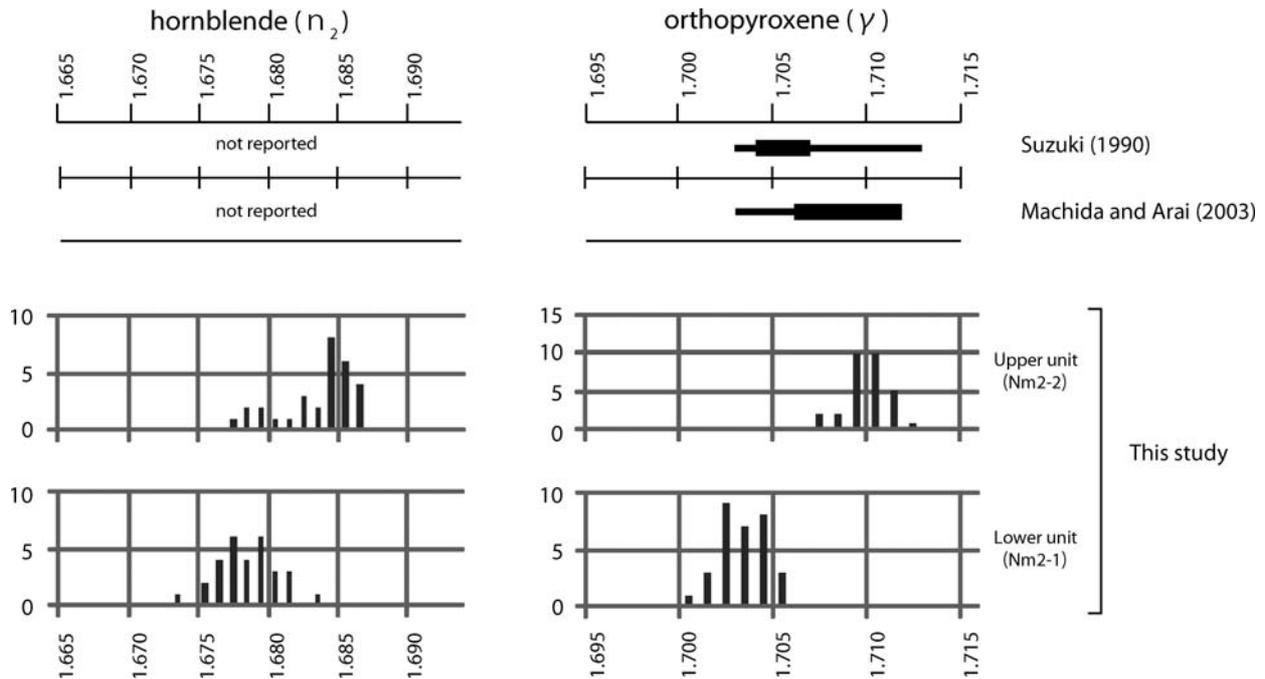
赤城行川第2軽石 (Ag-Nm2)

下部ユニット、上部ユニットに分けられるが、重鉱物組成はほぼ同様で、斜方輝石が最も多く、そのほか単斜輝石・磁鉄鉱と極少量の角閃石からなる。しかし斜方輝石の屈折率 (γ) は下部ユニットで1.700～1.705 (1.702～1.704), 上部ユニットで1.707～1.712 (1.709～1.710), 角閃石の屈折率 (n_2) は下部ユニットで1.673～1.683 (1.677～1.679), 上部ユニットで1.677～1.686 (1.684) と、それぞれ下部ユニットよりも上部ユニットのほうが有意に高い値を示した (第3, 4図及び第1表)。

鈴木 (1990) は本テフラをユニット区分していないものの、代表する1層準の斜方輝石として屈折率を図中に帯グラフで示している。その帯グラフから読み取れる屈折率はおよそ1.703～1.712 (1.704～1.706) である (第4図)。また町田・新井 (2003) では本テフラの斜方輝石の屈折率を1.703～1.711 (1.706～1.711) としている (第4図)。

本報告での下部ユニットの斜方輝石の屈折率は、モード値は鈴木 (1990) に類似の値を示すが、鈴木 (1990) のような高屈折率側のレンジの伸びはみられない (第4図)。また、町田・新井 (2003) とはレンジは重なるもののモード値は大きく異なる。一方、本報告での上部ユニットの斜方輝石の屈折率は鈴木 (1990) のレンジ内ではあるが、モード値は鈴木 (1990) が示した値に比べ明らかに高い。むしろ上部ユニットの屈折率は町田・新井 (2003) の値に近いものとなっている (第4図)。

以上をまとめると、本報告の下部ユニットの屈折率はほぼ鈴木 (1990) のモード値に、上部ユニットの屈折



第4図 本研究で測定した Ag-Nm2 テフラの斜方輝石・角閃石の屈折率とこれまでに報告された屈折率との比較。

Fig. 4 Comparison of refractive indices of orthopyroxene and hornblende crystal grains in Ag-Nm2 tephra measured by this study with those reported by the previous study.

率は鈴木 (1990) が示したレンジ内の高屈折率の部分に対応すること、Ag-Nm2が水沼では層厚が小さいことから考えて、鈴木 (1990) が示した斜方輝石の屈折率は、本報告での下部・上部の2つのユニットが混合している可能性がある。また町田・新井 (2003) が示した値は本報告の主に上部ユニットに相当する層準から採取した試料の可能性がある。なお鈴木 (1990) や町田・新井 (2003) では角閃石の屈折率は示されていないため、角閃石の屈折率の記載は本報告が初めてとなる。

赤城湯ノ口軽石 (Ag-UP)

下位よりユニット0～3の4つの降下ユニットに分けられる。重鉱物はどのユニットも斜方輝石が最も多く、そのほか単斜輝石・磁鉄鉱を含む。またユニット1～3には極少量の角閃石を含むが、最下部のユニット0からは角閃石が確認されなかった。斜方輝石の屈折率は基底のユニット0から上位に向け1.700～1.704 (1.701～1.703), 1.700～1.705 (1.703), 1.700～1.707 (1.701～1.703), 1.700～1.708 (1.703), 角閃石はユニット1から上位に向け1.681～1.690 (1.685), 1.674～1.685 (1.677～1.678), 1.683～1.689 (1.686～1.688) と変化する (第3, 5図及び第1表)。斜方輝石の屈折率は各ユニット間での大きな差異はみられないが、角閃石ではユニット2の屈折率のみ他と比べて低い値を示した。

鈴木 (1990) は Ag-UP を多数の降下ユニットが確認

できるとしているものの、斜方輝石の屈折率の報告は1点のみで、レンジを1.695～1.705としている (第5図)。鈴木 (1990) の図中の帯グラフから読み取れるモード値は (1.698～1.703) である。鈴木 (1990) には角閃石の屈折率は示されていない。また町田・新井 (2003) は Ag-UP の斜方輝石の屈折率を1.700～1.705 (1.702), 角閃石の屈折率を1.675～1.679としている (第5図)。

本研究では斜方輝石の屈折率はどのユニットにおいても鈴木 (1990) が示した1.700以下のレンジの広がり確認できなかった。とはいえ本研究の斜方輝石の屈折率は、多少のばらつきがあるものの、鈴木 (1990) や町田・新井 (2003) の値に大きく異なることはない (第5図)。一方、町田・新井 (2003) が示した角閃石の屈折率は本報告のユニット2の値とほぼ一致する (第5図)。しかしユニット2の値はユニット1やユニット3の値に比べ有意に低いため、この値が本テフラの角閃石の代表値とは必ずしもなり得ないであろう。むしろ本テフラはユニットごとに角閃石の屈折率が異なるということが特徴的である。

赤城鹿沼軽石 (Ag-KP)

砂サイズの軽石からなる基底部ユニットと礫サイズの軽石からなる主部ユニットの2つのユニットからなる。重鉱物組成は2つのユニットともに、角閃石が最も多く、そのほか斜方輝石、磁鉄鉱を含む。角閃石の屈折率はお

第1表 検討したテフラの記載岩石学的特徴.

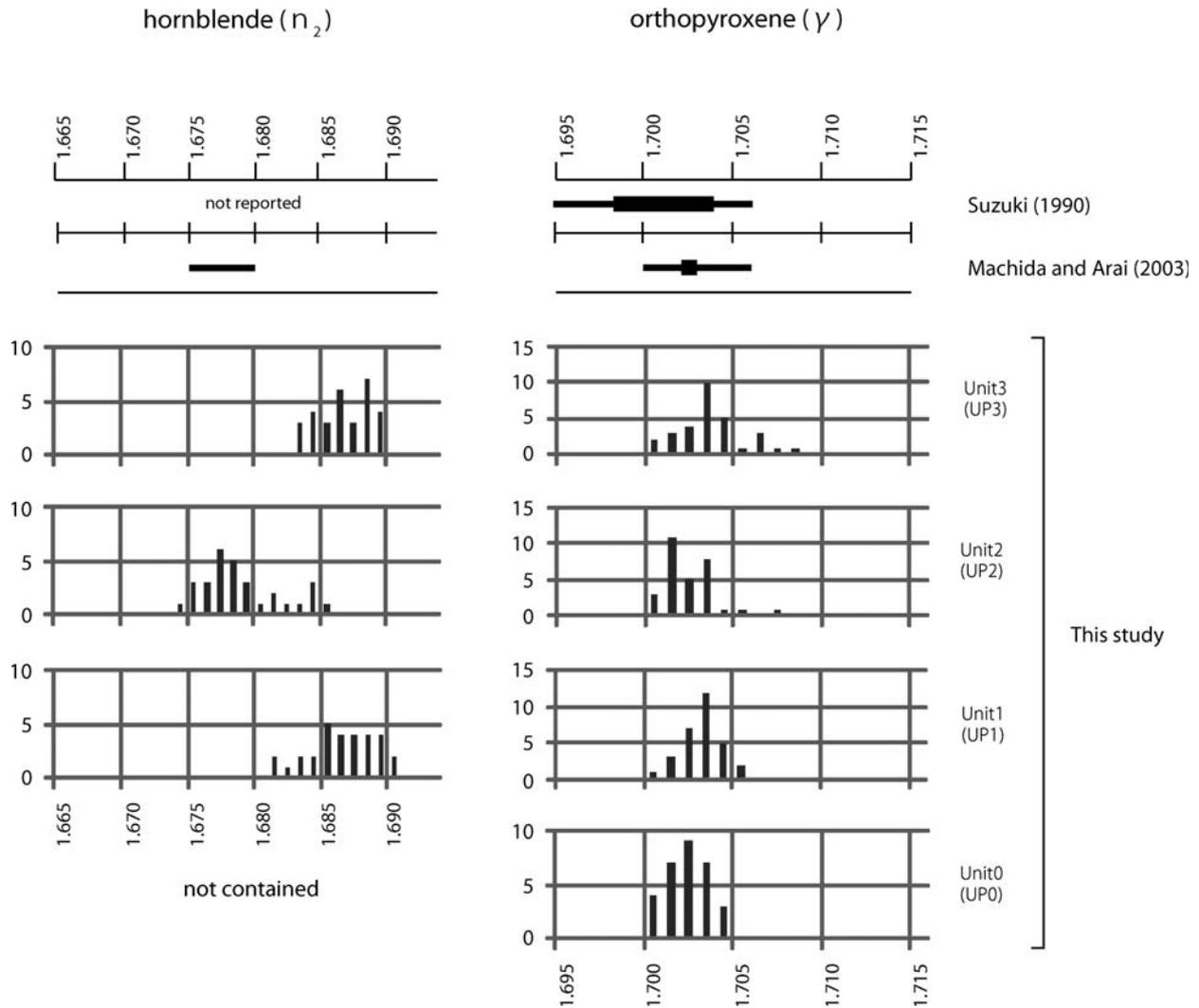
Table 1 Petrographic properties of the examined tephra layers.

Tephra	Unit division	Thickness (cm)	Grain size	Particle component	Sample No.	Heavy mineral composition	Refractive index of opx (γ)	Refractive index of ho (n ₂)
Ag-CLP	Unit 3	10	c. size-10 mm c.-gr. size	lithic frag > pm pm, lithic frag	—	—	—	—
	Unit 2	50	1-80 mm (pumice) 1-30 mm (lithic frag)	yw pm > lithic frag	CLP3 CLP2	ho>opx,mt ho>mt>opx	1.703-1.710 (1.707) 1.705-1.708 (1.706-1.707)	1.670-1.676 (1.673-1.674) 1.671-1.677 (1.675)
Ag-KP	Unit 1	40	1-40 mm	lithic frag > yw pm	CLP1	ho>mt>opx	1.705-1.709 (1.706)	1.670-1.677 (1.674)
	Main Unit	100	2-50 mm	yw-or pm	KP3 KP2	ho>opx,mt ho>opx,mt	1.705-1.710 (1.708~1.709) 1.704-1.710 (1.708)	1.667-1.676 (1.672-1.675) 1.670-1.679 (1.671)
Hr-HP	Basal Unit	5	c.-v. c. size	yw-or pm	KP1	ho>opx,mt	1.703-1.708 (1.705-1.706)	1.668-1.674 (1.673-1.675)
	—	12-20	c. size (lt-yw pm) * 15 mm (yw-or pm)	lt-yw pm, yw-or pm	HP2 HP1	opx,ho,mt opx,ho,mt	1.705-1.710 (1.707-1.709) 1.701-1.710 (1.708-1.709)	1.668-1.674 (1.671-1.672) 1.667-1.677 (1.671)
Ag-UP	Unit 3	40	2-30 mm	lt-yw pm ≧ yw-or pm >> gy pm	UP3	opx>opx,mt>ho	1.700-1.708 (1.703)	1.683-1.689 (1.686-1.688)
	Unit 2	30	5-50 mm	lt-yw pm ≧ or pm >> gy pm	UP2	opx>opx,mt>ho	1.700-1.707 (1.701-1.703)	1.674-1.685 (1.677-1.678)
	Unit 1	15	5-15 mm	lt-yw pm >> gy pm	UP1	opx>opx,mt>ho	1.700-1.705 (1.703)	1.681-1.690 (1.685)
	Unit 0	10	v.c.-gr. size	seo lithic frag. ≧ lt-yw pm	UP0	opx>opx,mt	1.700-1.704 (1.701-1.703)	—
Ag-Nm1	—	15	2-20 mm	lt-yw pm > gy pm	Nm1	opx>opx,mt	1.706-1.712 (1.708)	—
Ag-Nm2	Upper Unit	4	5-15 mm	lt-yw pm ≧ gy pm	Nm2-2	opx>opx,mt>ho	1.707-1.712 (1.709-1.710)	1.677-1.686 (1.684)
	Lower Unit	4	5-15 mm	br pm	Nm2-1	opx>opx,mt>ho	1.700-1.705 (1.702-1.704)	1.673-1.683 (1.677-1.679)
DKP	—	scattered	invisible	—	DKP	ho ≧ mt ≧ opx	1.701-1.706 (1.704-1.705)	1.671-1.681 (1.680)
Ag-MzP1	Upper Unit	10	10-50 mm (pumice) -40mm (lithic frag)	lt-yw pm > lithic frag	MzP1-2	opx>opx,mt>ho	1.708-1.713 (1.710)	1.668-1.674 (1.670-1.673)
	Lower Unit	8	c.-gr. size	br pm > lithic frag	MzP1-1	opx>opx,mt>ho	1.708-1.713 (1.710)	1.668-1.677 (1.671-1.672)
Ag-MzP2	Unit3	10		lt-yw pm >> gy-wh pm	MzP2-3	opx,opx,mt	1.708-1.712 (1.710)	—
	Unit2	25		lt-yw pm >> gy-wh pm	MzP2-2	opx,opx,mt>ho	1.705-1.711 (1.709-1.710)	1.678-1.690 (1.684-1.685, 1.688)
	Unit1	10	3-40 mm	lt-yw pm >> gy-wh pm	MzP2-1	opx,opx,mt>ho	1.701-1.711 (1.709)	1.681-1.690 (1.688)
Ag-MzP3	—	5	5-30 mm	lt-yw pm > lithic frag	MzP3	opx,opx,mt>ho	1.704-1.711 (1.707-1.709)	1.679-1.687 (1.683)
Ag-MzP4	—	28	5-10 mm	lt-yw pm >> br pm	MzP4	opx>opx,mt>ho	1.703-1.713 (1.708-1.709)	—
Ag-MzP5	Upper Unit	15		lt-yw pm > lithic frag	MzP5-2	opx>opx,mt>ho	1.704-1.712 (1.708-1.709)	1.667-1.679 (1.672)
	Lower Unit	15		lt-yw pm, lithic frag	MzP5-1	opx>opx,mt>ho	1.700-1.711 (1.707-1.708)	1.666-1.682 (1.672)

Grain size c: coarse sand, v.c.: very coarse sand, gr: granule

Particle component frag: fragment, pm: pumice, yw: yellow, or: orange, yw-or: yellowish orange, lt-yw: light yellow, gy: gray, br: brown, gy-wh: grayish white

Heavy mineral composition opx: orthopyroxene, cpx: clinopyroxene, ho: hornblende, mt: magnetite



第5図 本研究で測定したAg-UPテフラの斜方輝石・角閃石の屈折率とこれまでに報告された屈折率との比較。

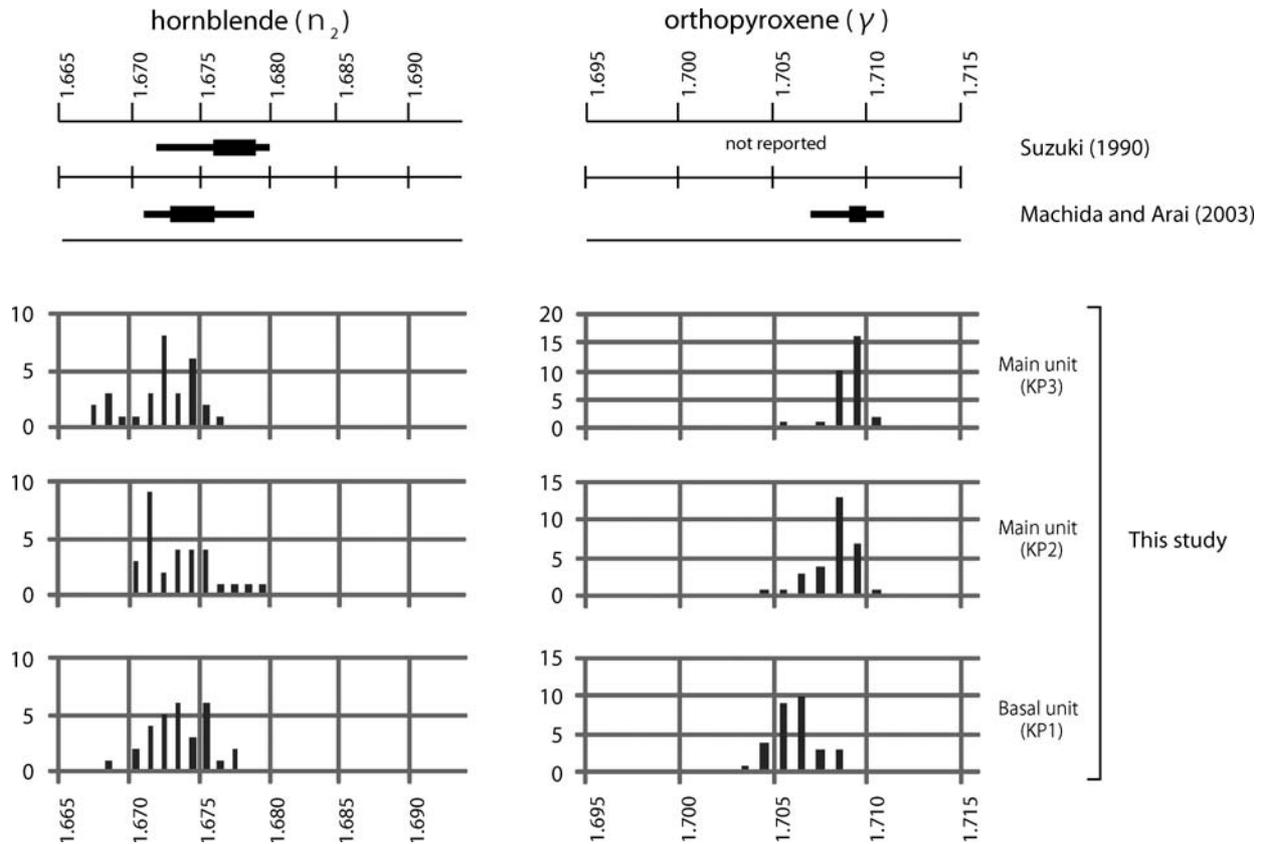
Fig. 5 Comparison of refractive indices of orthopyroxene and hornblende crystal grains in Ag-UP tephra measured by this study with those reported by the previous study.

よそ1.667～1.679 (1.671～1.675) となりユニットごとにあまり大きな変化はないが、斜方輝石の屈折率は基底部ユニットが1.703～1.708 (1.705～1.706)、主部ユニットが1.704～1.710 (1.708～1.709) と、レンジがほぼ同様ながらモード値が基底部ユニットで低い値を示す (第3, 6図及び第1表)。

鈴木 (1990) の図中の帯グラフから読み取れる角閃石の屈折率はおよそ1.672～1.679 (1.676～1.678) である (第6図)。鈴木 (1990) には斜方輝石の屈折率は示されていない。一方、町田・新井 (2003) は、角閃石の屈折率を1.671～1.678 (1.673～1.675)、斜方輝石の屈折率を1.707～1.710 (1.709) としている (第6図)。角閃石の屈折率は鈴木 (1990)、町田・新井 (2003) とともにレンジはほぼ一致しているが、モード値は鈴木 (1990) よりも町田・新井 (2003) のほうが低い値を報

告している。

鈴木 (1990) が報告した角閃石の屈折率モード値は本報告よりも高い (第6図)。一方、町田・新井 (2003) が報告した角閃石・斜方輝石の屈折率は、レンジがやや狭い傾向にあるものの、モード値をみると本報告の主部ユニットのそれとほぼ一致する (第6図)。なお本研究では本テフラの基底部ユニットで斜方輝石の屈折率 (モード値) が低い値 (1.705～1.706) を示すことを新たに確認した。基底部ユニットは主部ユニットと異なり細粒軽石からなる。Ag-KPについては、基底部にこのような斜方輝石の屈折率が異なる細粒のユニットを伴うことが極めて特徴的であり、この特徴が今後の他地域での同定・対比に有効と考えられる。



第6図 本研究で測定したAg-KPテフラの斜方輝石・角閃石の屈折率とこれまでに報告された屈折率との比較。

Fig. 6 Comparison of refractive indices of orthopyroxene and hornblende crystal grains in Ag-KP tephra measured by this study with those reported by the previous study.

5. 特徴的なテフラ

ここでは遠方での対比においてどのテフラが重要かを、重鉱物の屈折率特性の観点から述べる。今回検討したテフラに含まれる重鉱物の屈折率は、遠方から飛来したDKPを除くと、多くのテフラで類似の値を示した。すなわち斜方輝石の屈折率がモード値で1.705～1.710の範囲、角閃石が同じくモード値で1.670～1.675の範囲におおむね収まる（第3図）。榛名火山起源ではあるがHr-HPもこの範囲にある。このような類似の屈折率特性を持つテフラが累重するなかで、この一般的な屈折率特性から外れた値を示すものが、遠方での対比・同定において特に重要なテフラと言えるであろう。今回検討したテフラのなかでは、それに該当するのはAg-MzP3, Ag-MzP2, Ag-Nm2, Ag-UPである。

Ag-MzP3及びAg-MzP2については、斜方輝石は赤城火山としてはごく普通の値を示すが、角閃石の屈折率はおおよそ1.680～1.690と、一般的な赤城火山のテフラに比べ高い値を示す（第3図）。ただしAg-MzP3, Ag-MzP2ともに角閃石はあまり多くは含まれていない点（第1表）は留意すべきである。

Ag-Nm2は前述したように降下ユニットによって屈折率特性が異なる。上部ユニットの斜方輝石の屈折率は一般的な赤城火山の値を示すが、下部ユニットのそれは1.700～1.705（1.702～1.704）と一般的な値よりもやや低く、角閃石は逆に下部・上部ユニットがそれぞれ1.673～1.683（1.677～1.679）、1.677～1.686（1.684）と一般的な値よりも高い値を示す（第3, 4図）。また降下ユニットごとに屈折率特性が異なるという特徴そのものが対比には重要と考えられる。

Ag-UPも降下ユニットごとに多少屈折率が異なるが、斜方輝石は1.700-1.708（1.701-1.703）と他のテフラよりも低い値を示し、角閃石は下部から上部へ1.681～1.690（1.685）、1.674～1.685（1.677～1.678）、1.683～1.689（1.686～1.688）とユニットごとにばらつきがあるものの、どのユニットも他の一般的なテフラより高い値を示す（第3, 5図）。

このほか前述したようにAg-KPは最下部ユニットで1.703～1.708（1.705～1.706）とやや低い屈折率を示す斜方輝石が含まれ（第3, 6図）、Ag-KP全体の層厚が他のテフラに比べ大きいこととともに同定・対比には重要と思われる。

6. まとめ

群馬県桐生市黒保根町水沼の露頭にみられる主に赤城火山起源の後期更新世テフラについて記載岩石学的特徴の再検討を行った。検討した群馬県桐生市黒保根町水沼の露頭には、下位より Ag-MzP5, Ag-MzP4, Ag-MzP3, Ag-MzP2, Ag-MzP1, DKP, Ag-Nm2, Ag-Nm1, Ag-UP, Hr-HP, Ag-KP, Ag-CLP が確認された。これらのテフラは鈴木 (1990) や町田・新井 (2003) により既に記載岩石学的特徴が報告されているが、改めて詳細に各テフラの層相, 重鉱物組成, 斜方輝石や角閃石の屈折率などの再記載を行なった。層厚の大きいテフラについては、降下ユニットごとに検討し記載した。その結果, Ag-Nm2, Ag-UP, Ag-KP には同一テフラ内でも異なる屈折率を示す降下ユニットが存在することが明らかになった。鈴木 (1990) が示した Ag-Nm2 の斜方輝石の屈折率は、本研究の Ag-Nm2 の下部ユニット, 上部ユニットの両ユニットが混合している可能性がある。Ag-UP は今回4つのユニットに分けて検討したが、ユニット2の角閃石は、屈折率が他のユニットよりも有意に低い値を示した。一方, Ag-KP では、斜方輝石の屈折率が、基底部のユニットで上位のユニットよりも低い値を示した。このような降下ユニットごとの屈折率特性の差異は今後のテフラの対比・同定に有効であると考えられる。また Ag-MzP3, Ag-MzP2, Ag-Nm2, Ag-UP の斜方輝石・角閃石の屈折率は、一般的な赤城火山起源テフラの屈折率から外れた値を示し、対比には重要と考えられる。

謝辞：地質情報研究部門の及川輝樹氏には査読の過程でたいへん有益なご助言を頂きました。記して感謝いたします。

文 献

新井房夫 (1972) 斜方輝石・角閃石の屈折率によるテ

- フラの同定—テフロクロロジーの基礎的研究—。第四紀研究, 11, 254-269.
- 新井房夫・町田 洋・杉原重夫 (1977) 南関東における後期更新世の示標テフラ層—特性記載とそれに関連する諸問題—。第四紀研究, 16, 19-40.
- 古澤 明 (1995) 火山ガラスの屈折率測定および形態分類とその統計的な解析に基づくテフラの識別。地質学雑誌, 101, 123-133
- 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.
- 守屋以智雄 (1968) 赤城火山の地形と地質。前橋営林局, 65p.
- 守屋以智雄 (1970) 赤城火山の形成史。火山, 15, 120-131.
- 中里裕臣 (2001) 更新統下総層群のテフラに関する諸問題。千葉県中央博物館自然誌研究報告特別号, 4, 13-21.
- 中里裕臣 (2002) 下総層群上泉層 Km2 テフラの再記載。日本第四紀学会講演要旨集, 32, 28-29.
- 中澤 努・中里裕臣・小松原 琢・塚本 斉 (2003) 関東地方に分布する中期更新世指標テフラ TB-8 と Ky3 の対比の再検討。地質調査研究報告, 54, 341-350.
- 須藤定久・牧本 博・秦 光男・宇野沢 昭・滝沢文教・坂本 亨 (1991) 20 万分の1地質図幅「宇都宮」。産業技術総合研究所地質調査総合センター。
- 鈴木毅彦 (1990) テフロクロロジーからみた赤城火山最近20 万年間の噴火史。地学雑誌, 99, 60-75.
- 鈴木毅彦 (1996) テフラが示す赤城火山の噴火史。日本第四紀学会第四紀露頭集編集委員会編, 第四紀露頭集—日本のテフラ, 176-177.
- 竹本弘幸 (1998) 3. 赤城火山 北関東の火山灰のふるさとをめぐって。フィールドガイド日本の火山1 関東・甲信越の火山I, 築地書館株式会社, 52-73.

(受付：2010年1月20日；受理：2010年9月6日)