

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Tochigi-Ibaraki region have been re-described with regard to their stratigraphy, compositions, ages and volumes, adding unpublished data.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

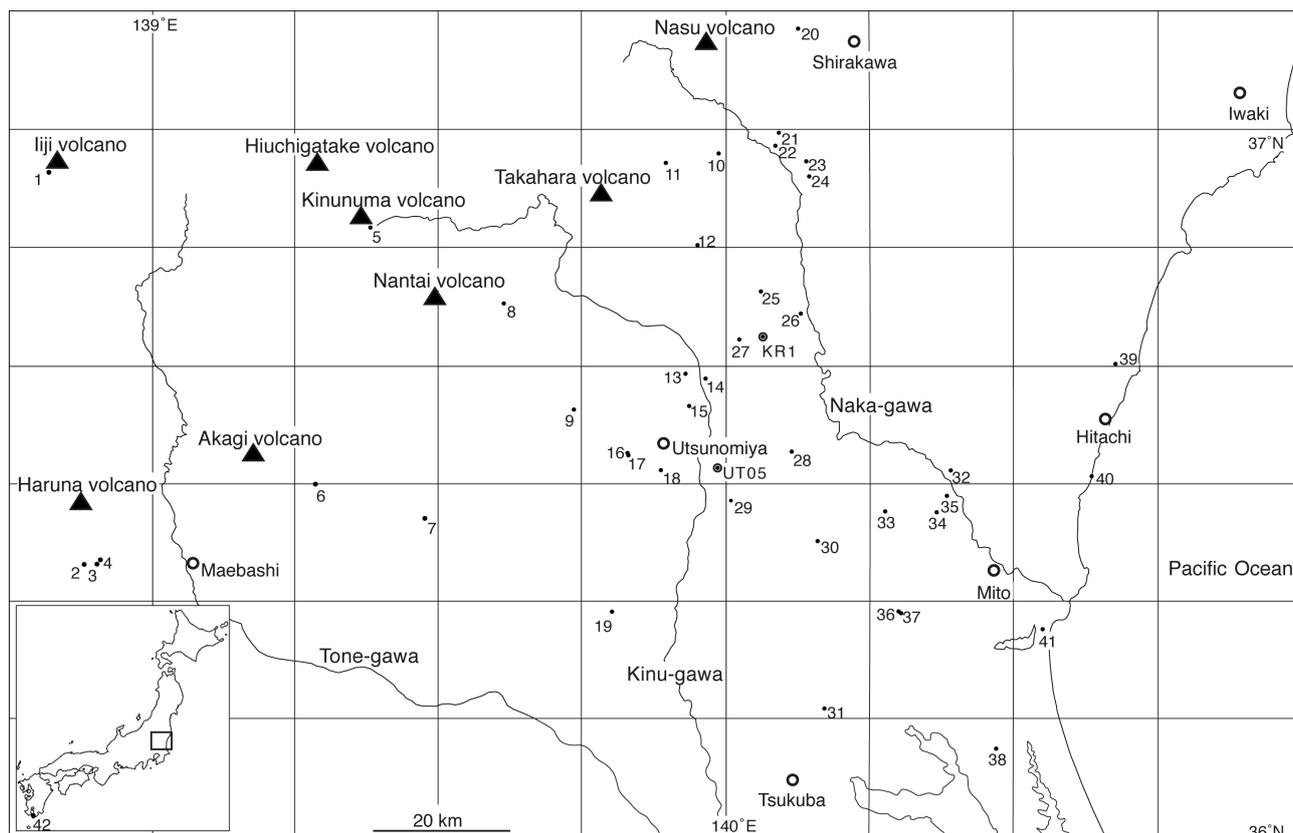
栃木ー茨城地域に分布する過去約 30 万年間のテフラを、未公表資料を追加して層序・分布・構成物・噴火年代・マグマ体積について再記載した。これらのテフラは高原火山、男体火山、赤城火山、飯士火山、榛名火山から噴出したものである。本報告では、域内のマグマ体積が 0.1 km³ DRE 以上のものについてはもれなく記載している。最大規模は約 4.4 万年前の赤城鹿沼テフラ (*Ag-KP*) で、その最小マグマ体積は 2 km³ DRE である。さらに、本報告では栃木県中央部で掘削された KR1 コアについての桑原 (2009) のテフラ層序記載を改めている。これは、桑原 (2009) のテフラ対比に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

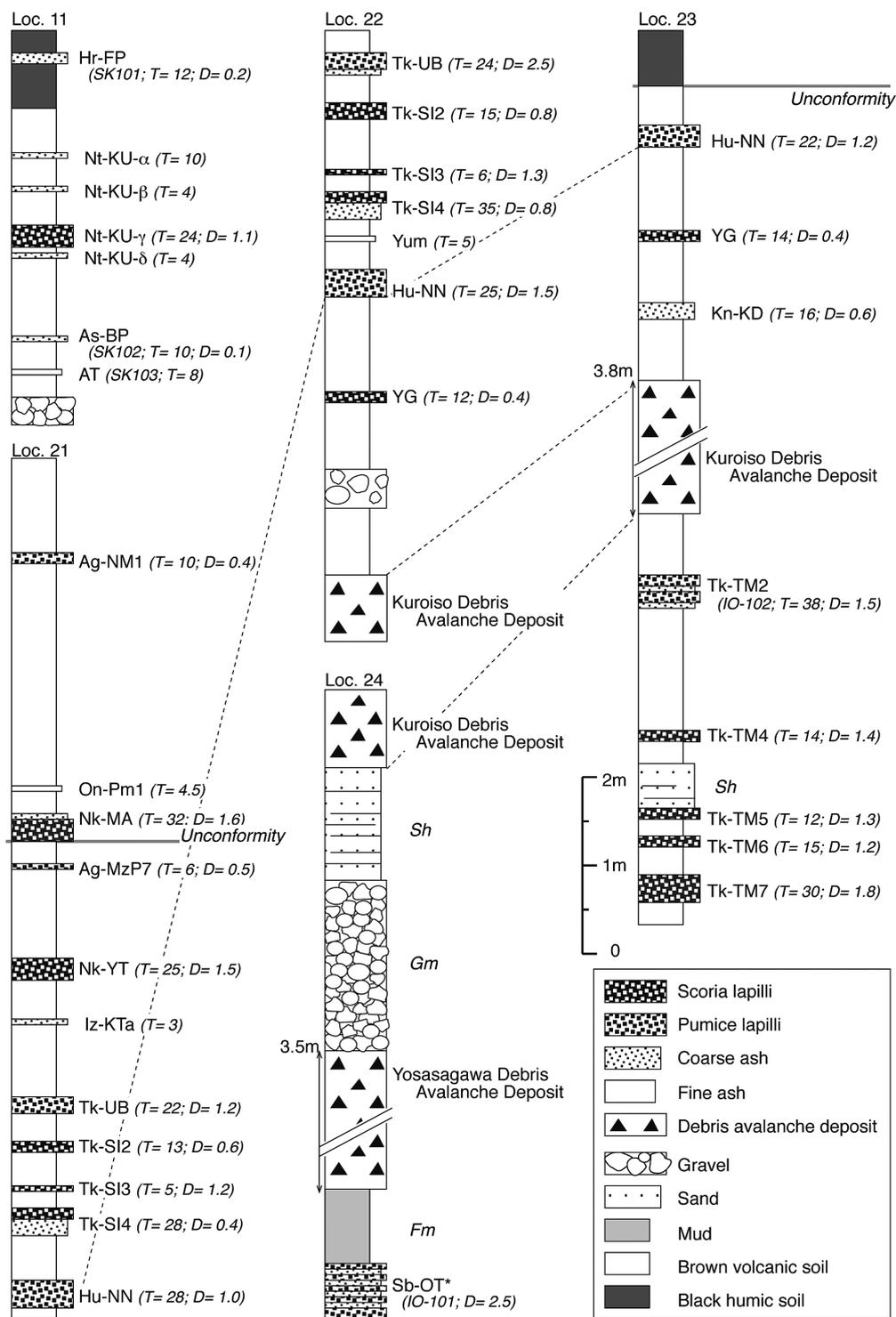
Table. 2 Continued.

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)

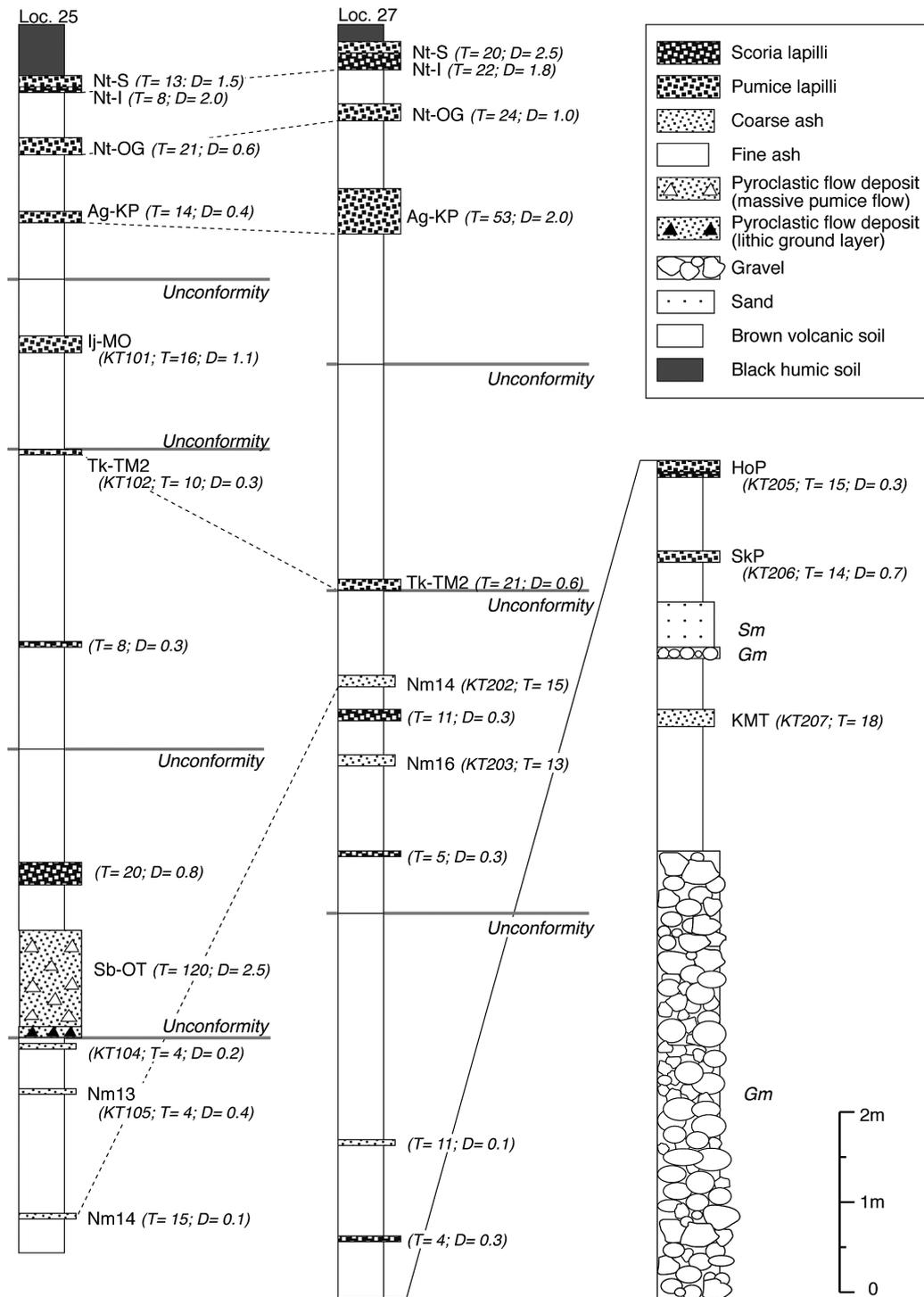


第2図 Loc. 11, 21, 22, 23 及び 24 における露頭柱状図。

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.

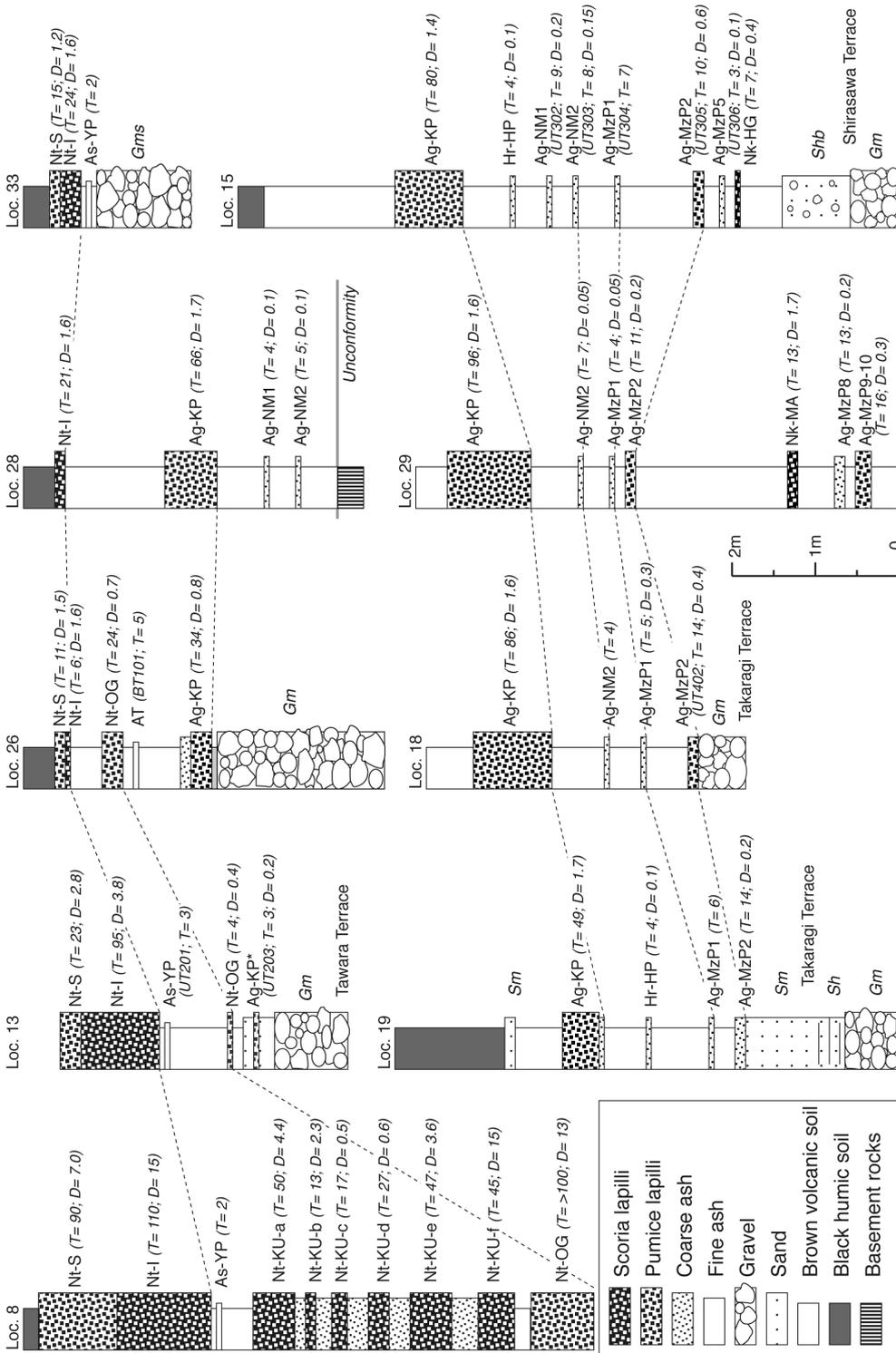


第3図 Loc. 25及び27における露頭柱状図。

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.

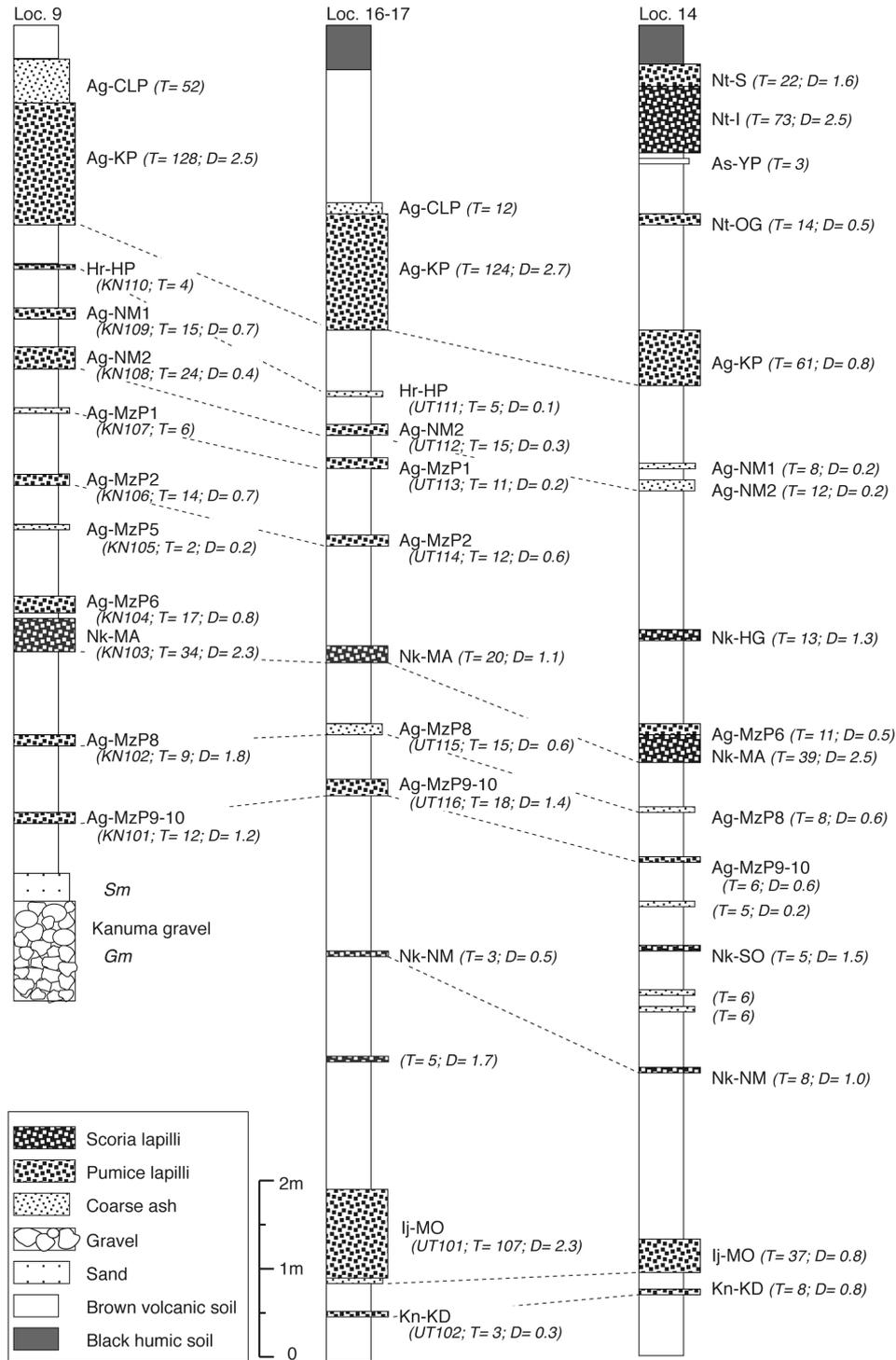
See Tables 1 and 2 for the tephra names and its compositions. Gm = clast-supported, massive gravel; Sm = massive, poorly to moderately sorted medium-very coarse sand. KT101, KT202, etc. are the sample number in Table 2. T = thickness of the tephra unit in centimeters. D = averaged maximum diameter of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

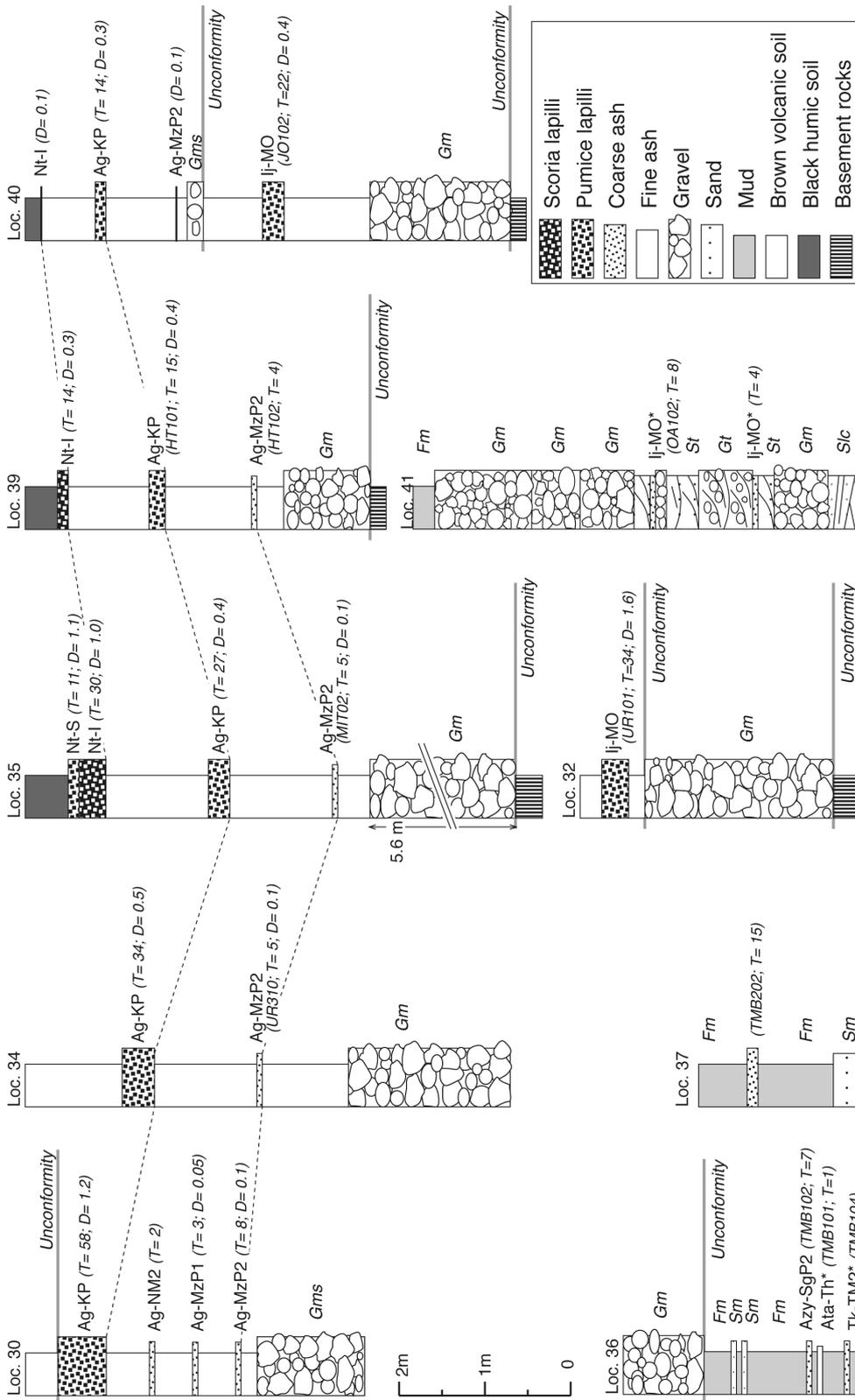


第5図 Loc. 9, 14, 16及び17における露頭柱状図.

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；Gt = 岩片支持で塊状の礫；Gt = トラフ型斜交層理を持つ礫；Slc = 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, massive gravel; Gt = trough-crossbedded gravel; Slc = 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。

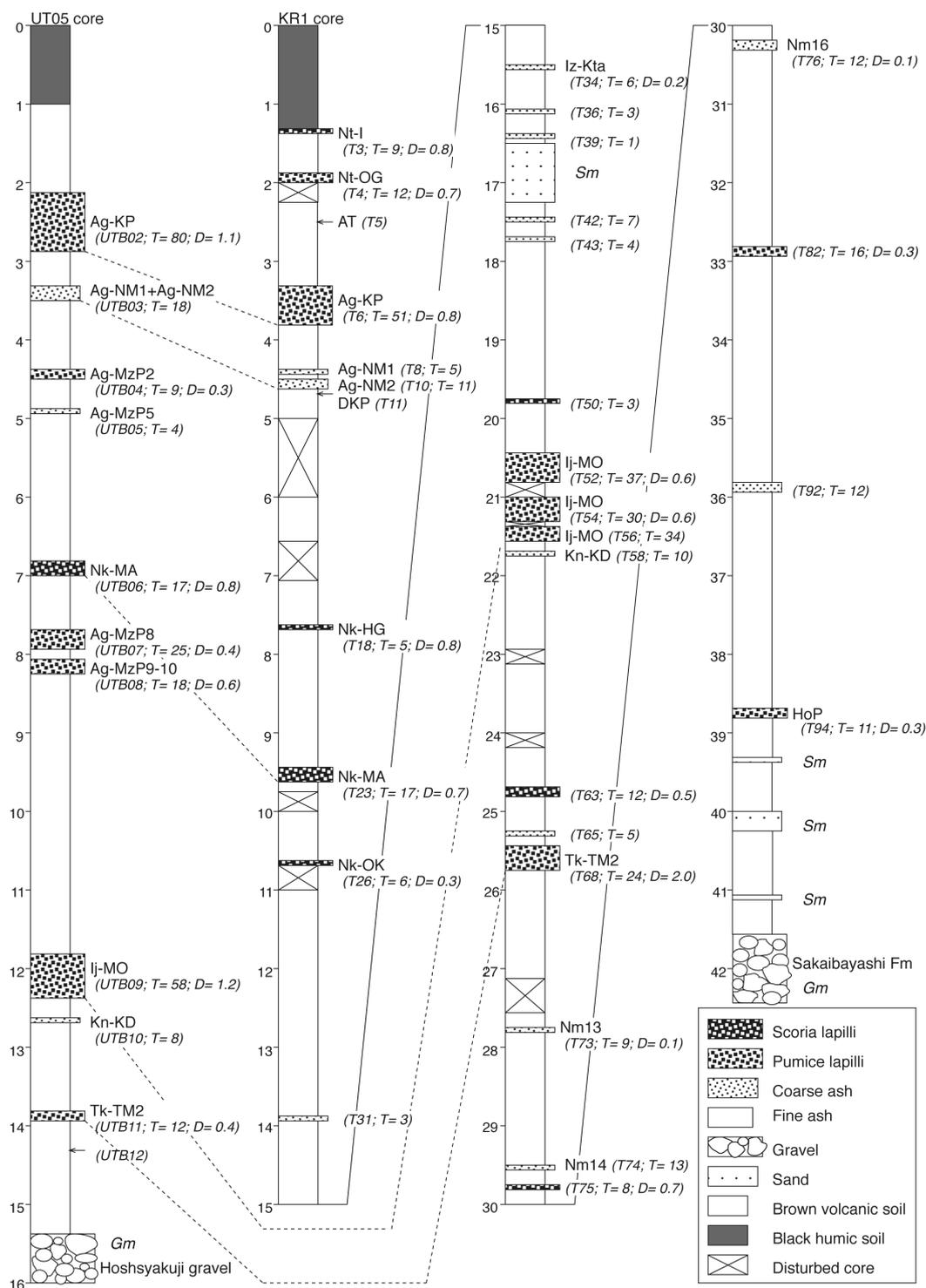
KR1 コア上部の風成層は、堆積物の固結度が低いため掘削時の擾乱が随所で認められるものの、コアの回収率は比較的高い(Fig. 7)。KR1のコア写真を付録2のFig. A1に示すとともに、(株)古澤地質により記載された岩相の詳細記載を、山元によるテフラの対比結果を合わせて付録2のTable. A1に示している。KR1 コアには赤城鹿沼テフラ(Ag-KP)、日光満美穴テフラ(Nk-MA)、飯土真岡テフラ(Ij-MO)、高原戸室山2テフラ(Tk-TM2)、根本13テフラ(Nm13)、根本14テフラ(Nm14)、根本16テフラ

(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



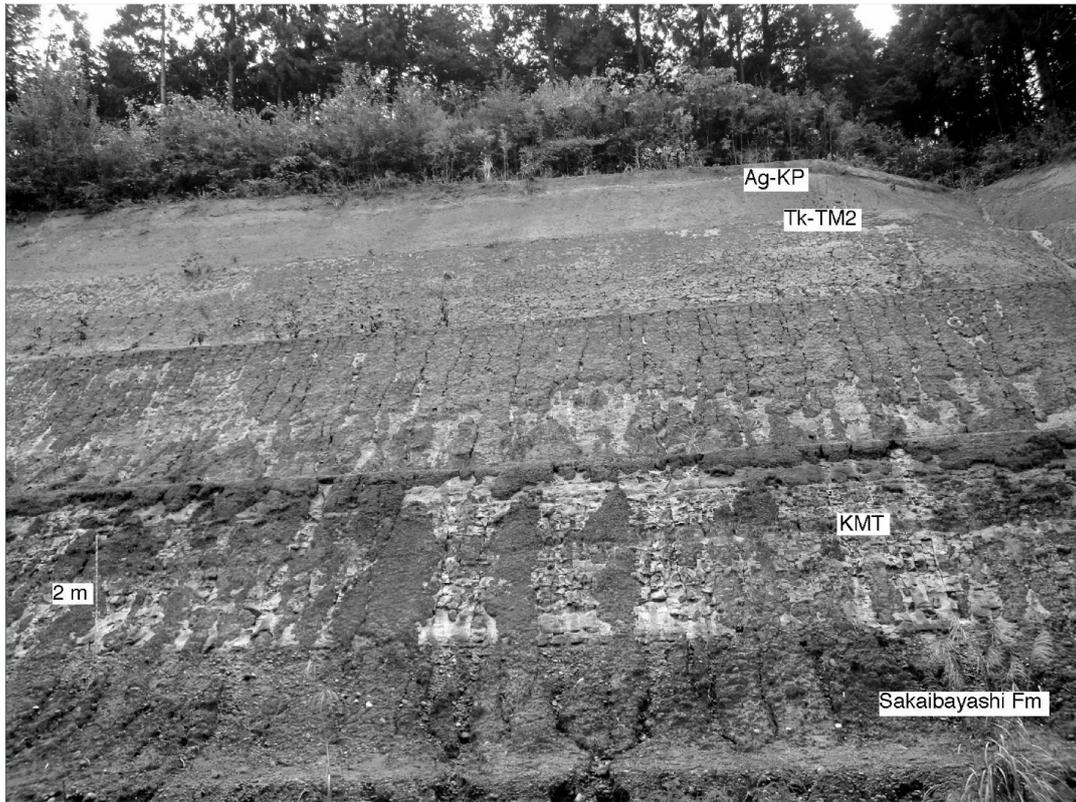
第7図 KR1及びUT05コア柱状図

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).

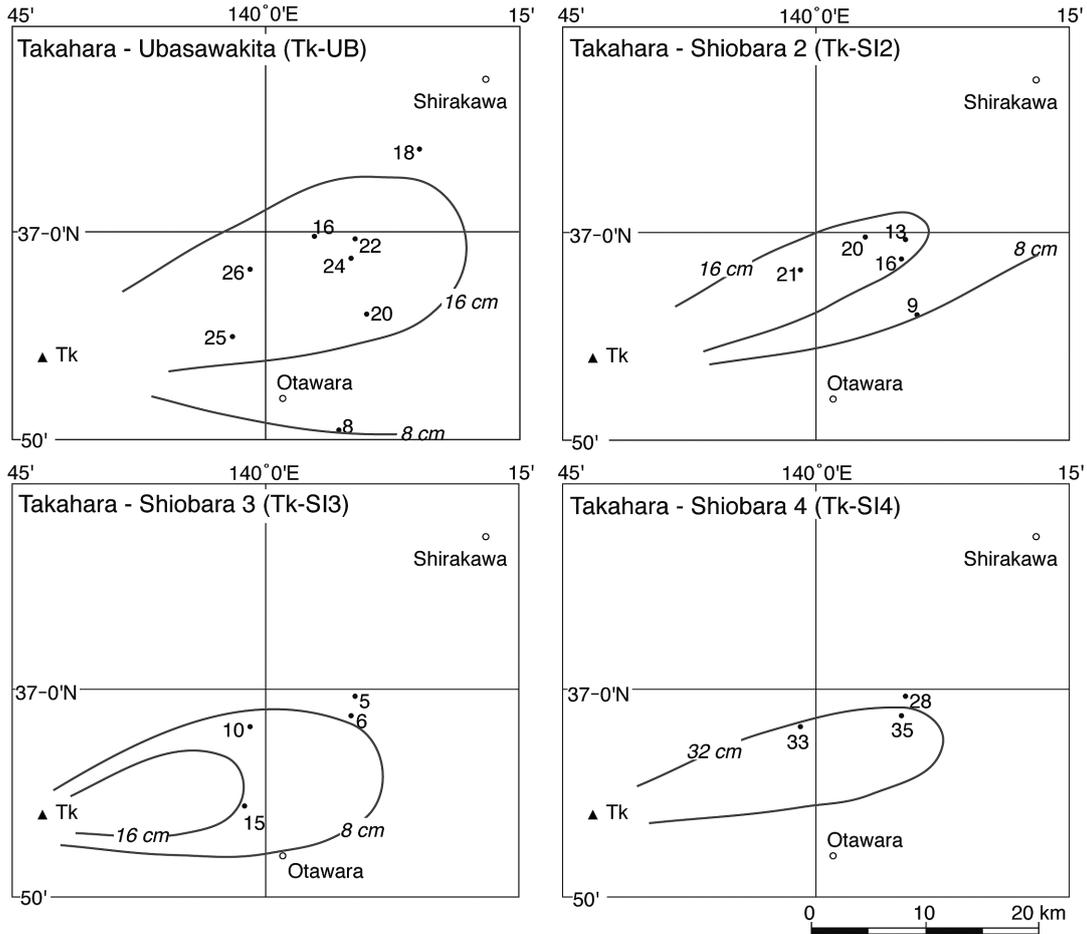
Fig. 8 Outcrop photograph of eolian veneer deposits overlying the Sakaibayashi Formation. Ag-KP = Akagi-Kanuma tephra; KMT = Kaisho-Kamitakara tephra; Tk-TM2 = Takahara-Tomuroyama 2 tephra. Yagorozaka, Sakura City, Tochigi (Loc. 27).

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)

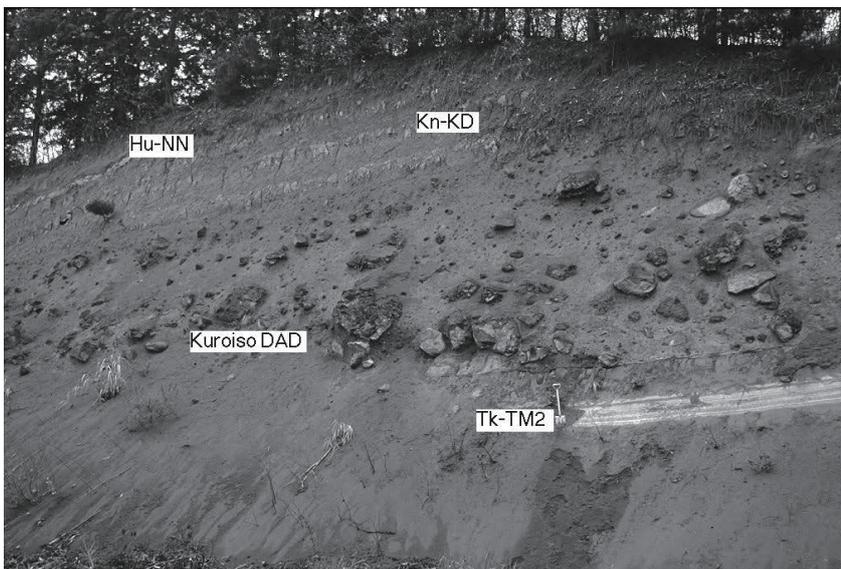
山元(1999)命名。元の模式地は、栃木県那須塩原市戸室山(Loc. 10)。ただし、本露頭は既に消失しており、高久丘陵内にある那須町沼井野(Loc. 23; Fig. 3)の露頭を新たな模式地とする。本テフラは黒磯岩屑なだれ堆積物の直下にある白色～明黄色の粘土質の基質を持つ成層した軽石火山礫からなり、よく目立つ(Fig. 10)。模式地では、径2cm以下の橙色～明黄色の軽石火山礫を含むほか、灰色の石質安山岩の異質火山礫を伴っており、比較的給源に近いことがその岩相からも判断される。模式地の試料(IO-102)にわずかに残った軽石質火山ガラスの屈折率は1.506-1.508で、普通角閃石・斜方輝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

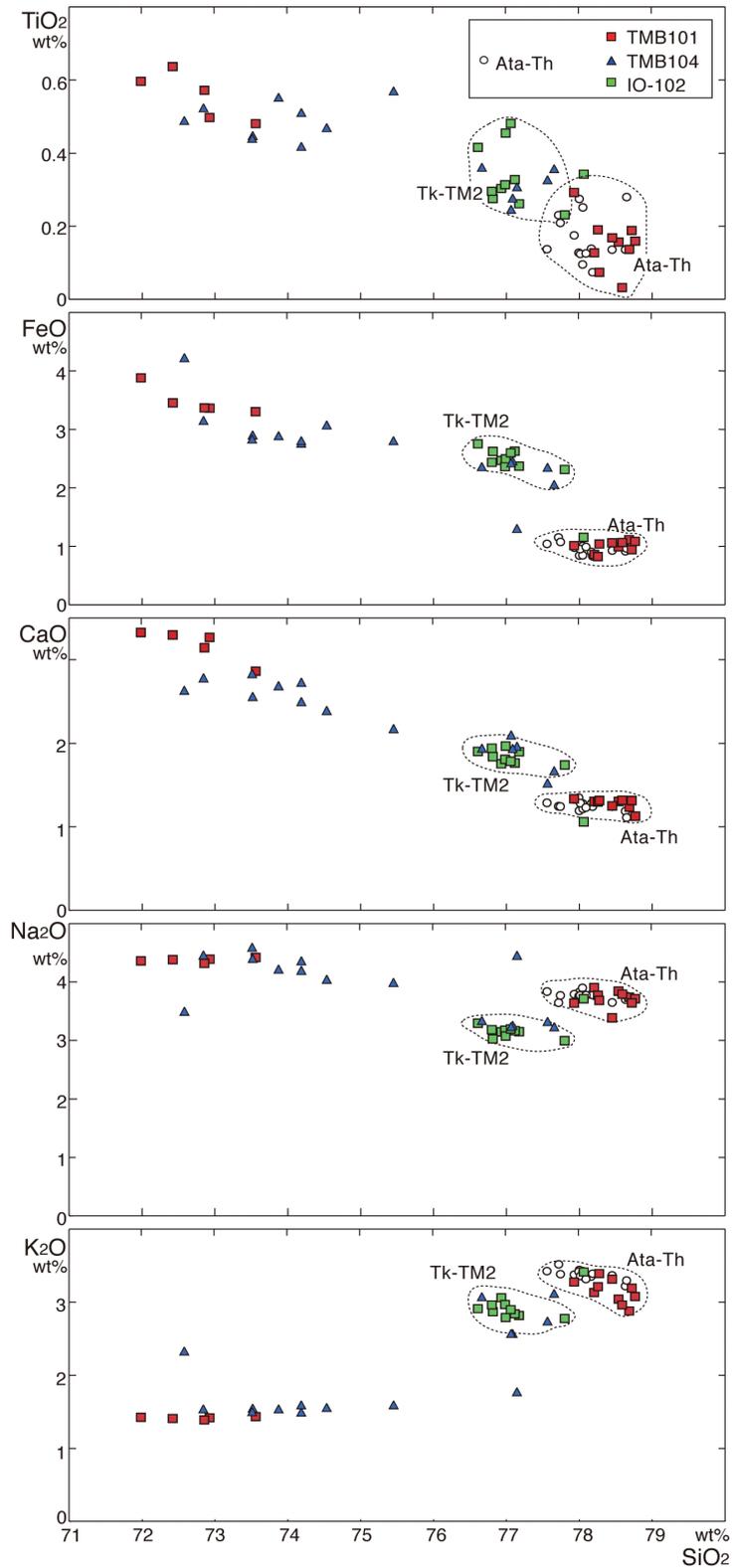
佐々木ほか(1958), 尾上(1986)命名. 模式地は, 栃木県大田原市山の手の蛇尾川右岸. 本火砕流は約30万年前に塩原カルデラから噴出したもので(鈴木ほか, 2004), その堆積物は高原火山東の那須野ヶ原及びその周辺に分布し, 非溶結から中溶結の斜方輝石単斜輝石デイサイト軽石に富む塊状の凝灰角礫岩~火山礫凝灰岩からなる. その体積は, 平均層厚を50 mとして約35 km³と見積もられている(尾上, 1989; マグマ体積は約3×10⁰ km³ DRE). 含まれる軽石の斜方輝石の屈折率は1.715以上と他のテフラよりも大きい特徴がある(Table. 2). 一般に風化により酸化され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.

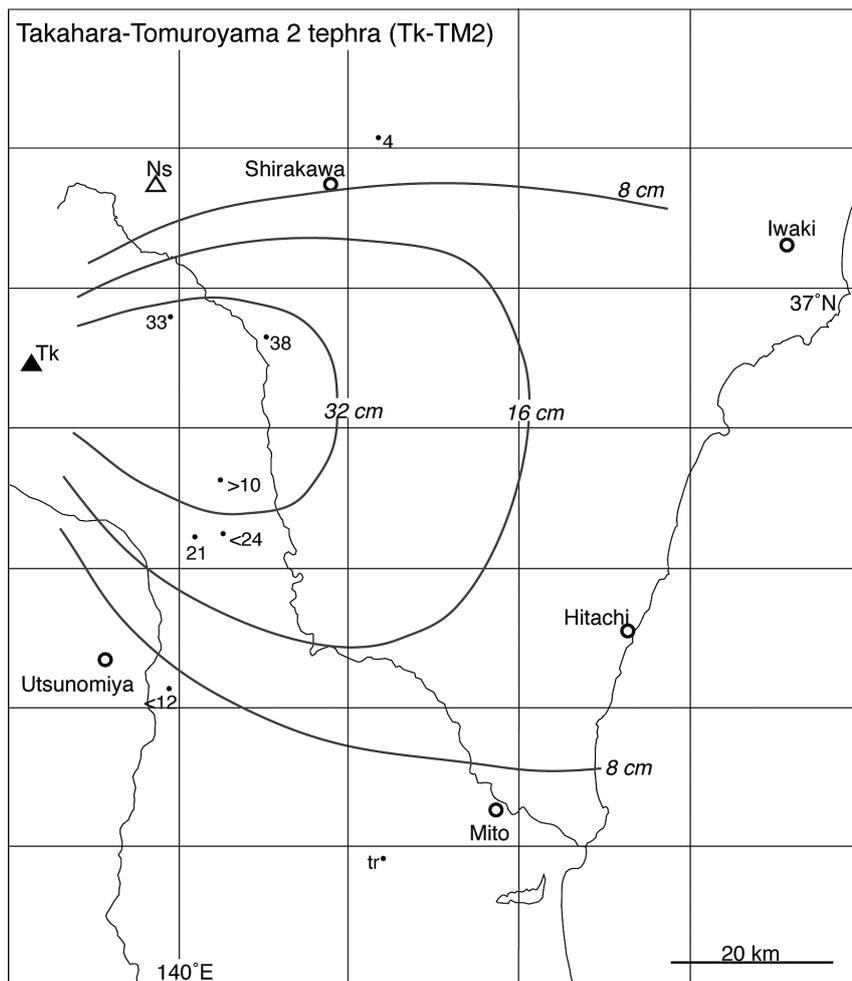
4.3 高原火山のマグマ噴出量

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

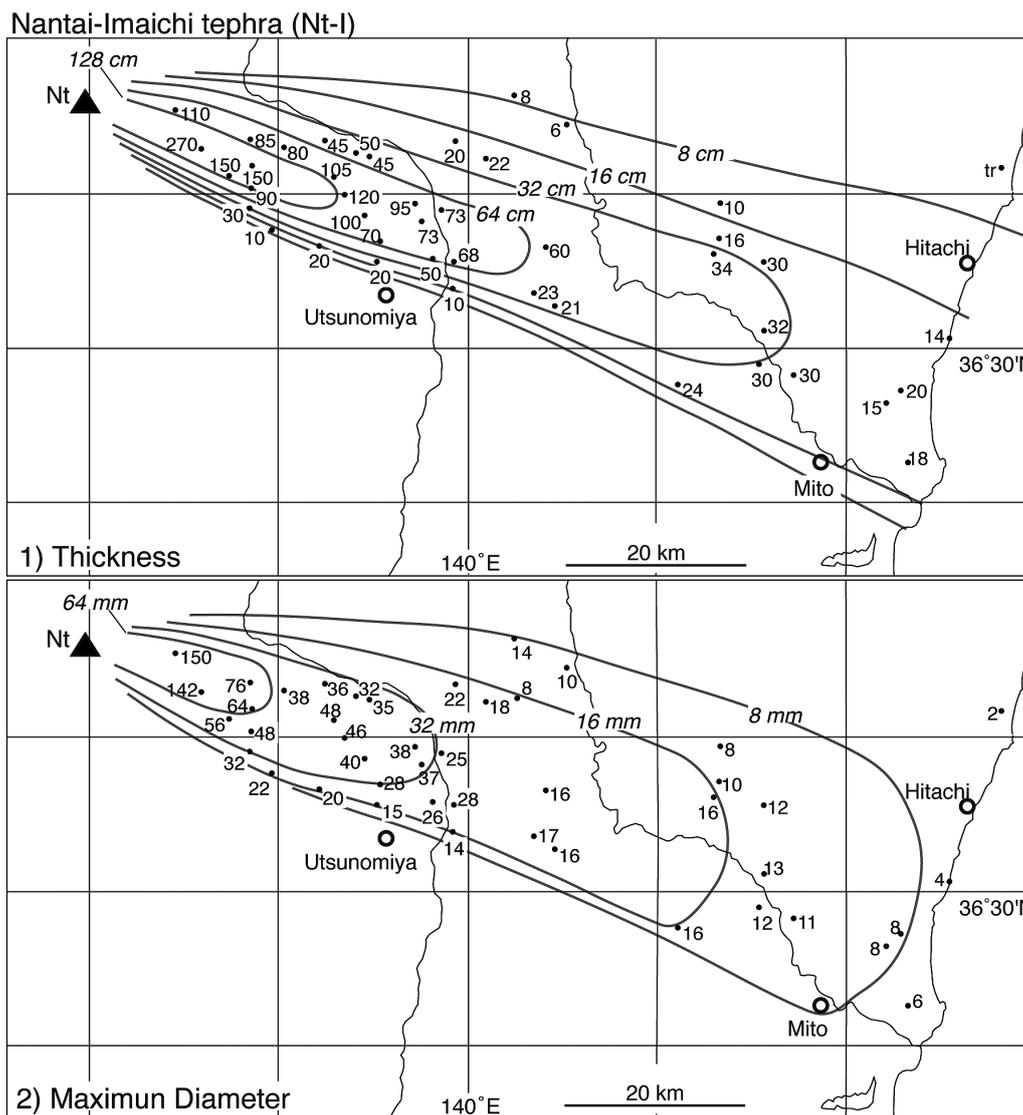
ア流堆積物を伴い、Nt-Sも荒沢・竜頭滝軽石流と呼ばれたNt-Sと同質の火砕流堆積物が重なっている(石崎・呉山, 2004). 本テフラの噴出年代は、これまで阿久津(1979)による日光市清滝白崖の火砕流堆積物中の炭化木片の放射性炭素年代から12 kaとされていた。しかし、最近の再測定結果では暦年補正值として14,935 ~ 14,770 cal yBCの年代値が報告され、ほぼ17 cal kaとなった(中村ほか, 2011)。

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。

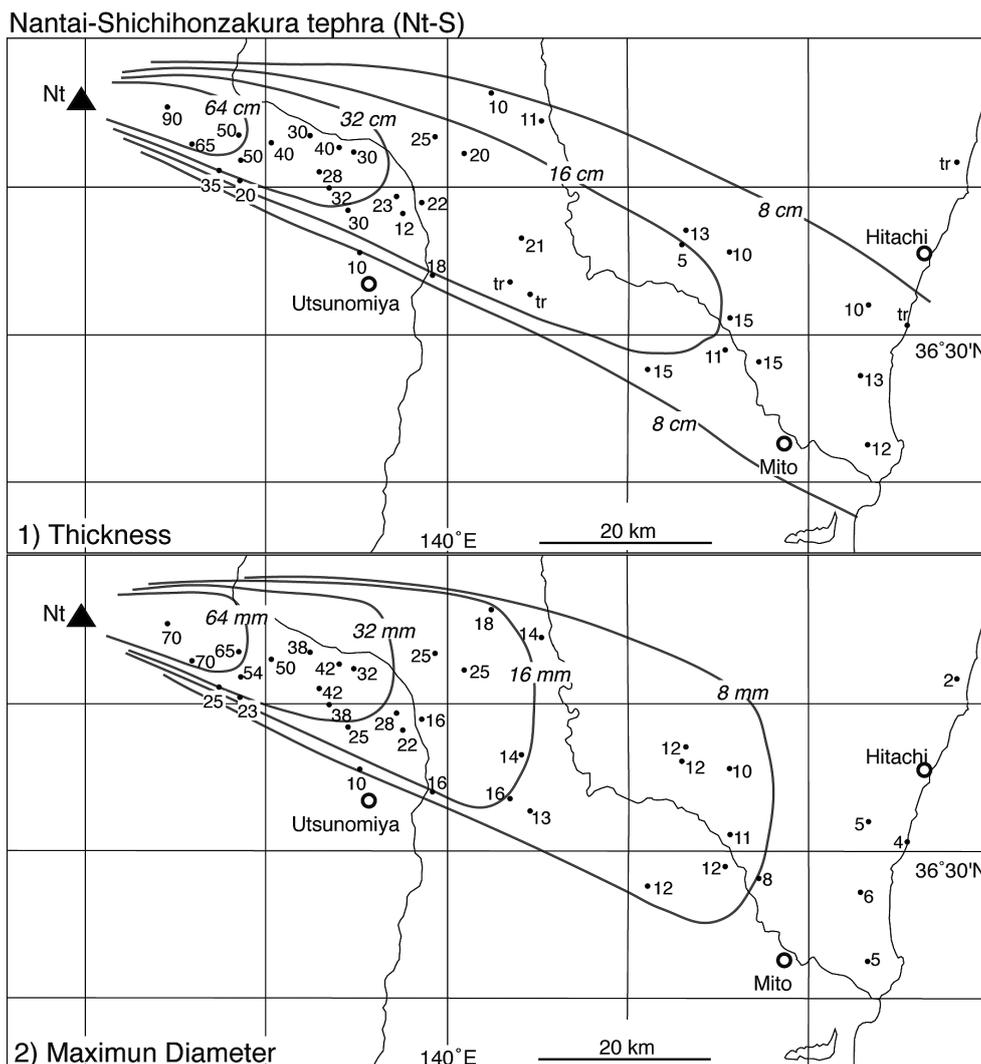
1) 数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm。2) 数字は本質粒子の平均最大粒径で、単位はmm。
Nt = 男体火山。

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。

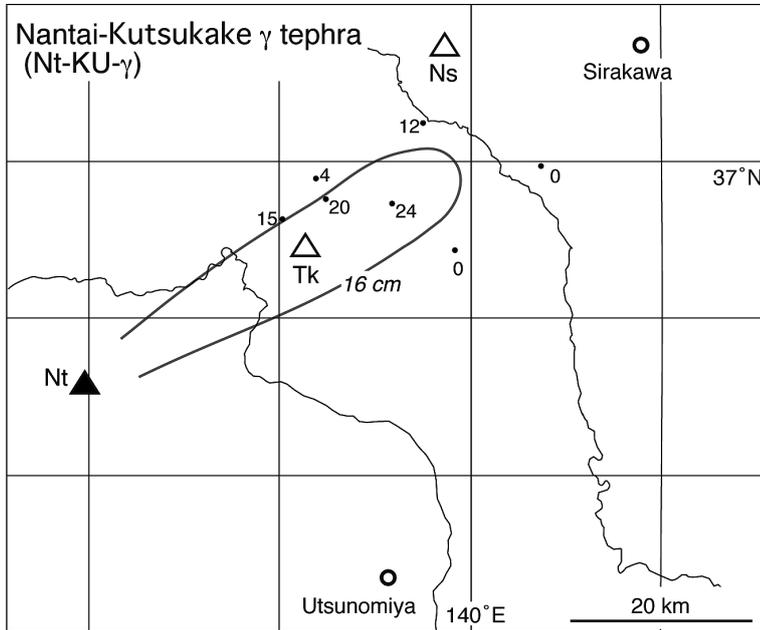
Fig. 14 Distribution of the Nantai-Shichihonzakura tephra (Nt-S). Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters (1) and average maximum diameter of the essential grains in millimeter (2). Nt = Nantai volcano.

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。

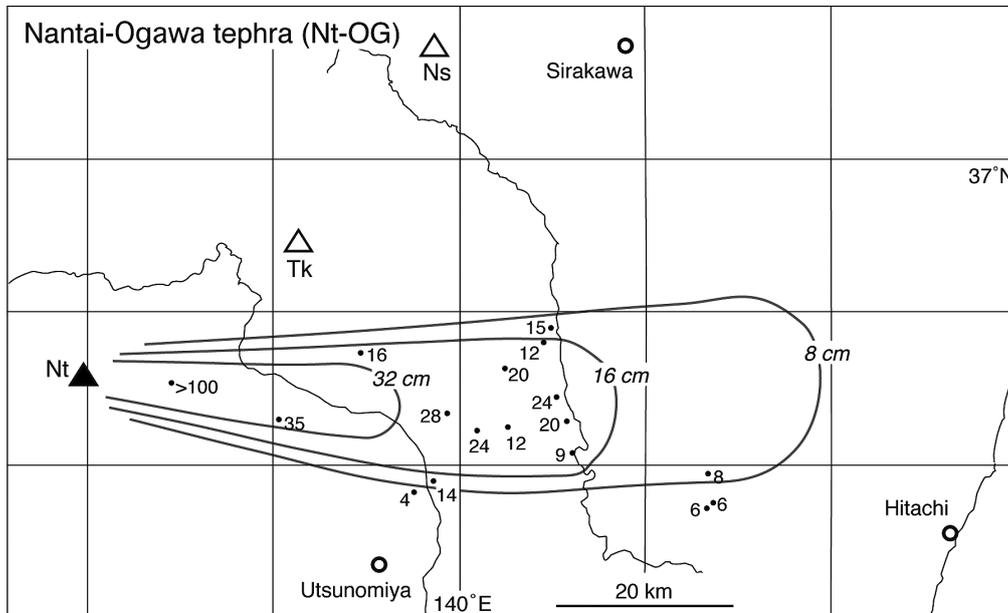
5.4 男体火山のマグマ噴出量

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。

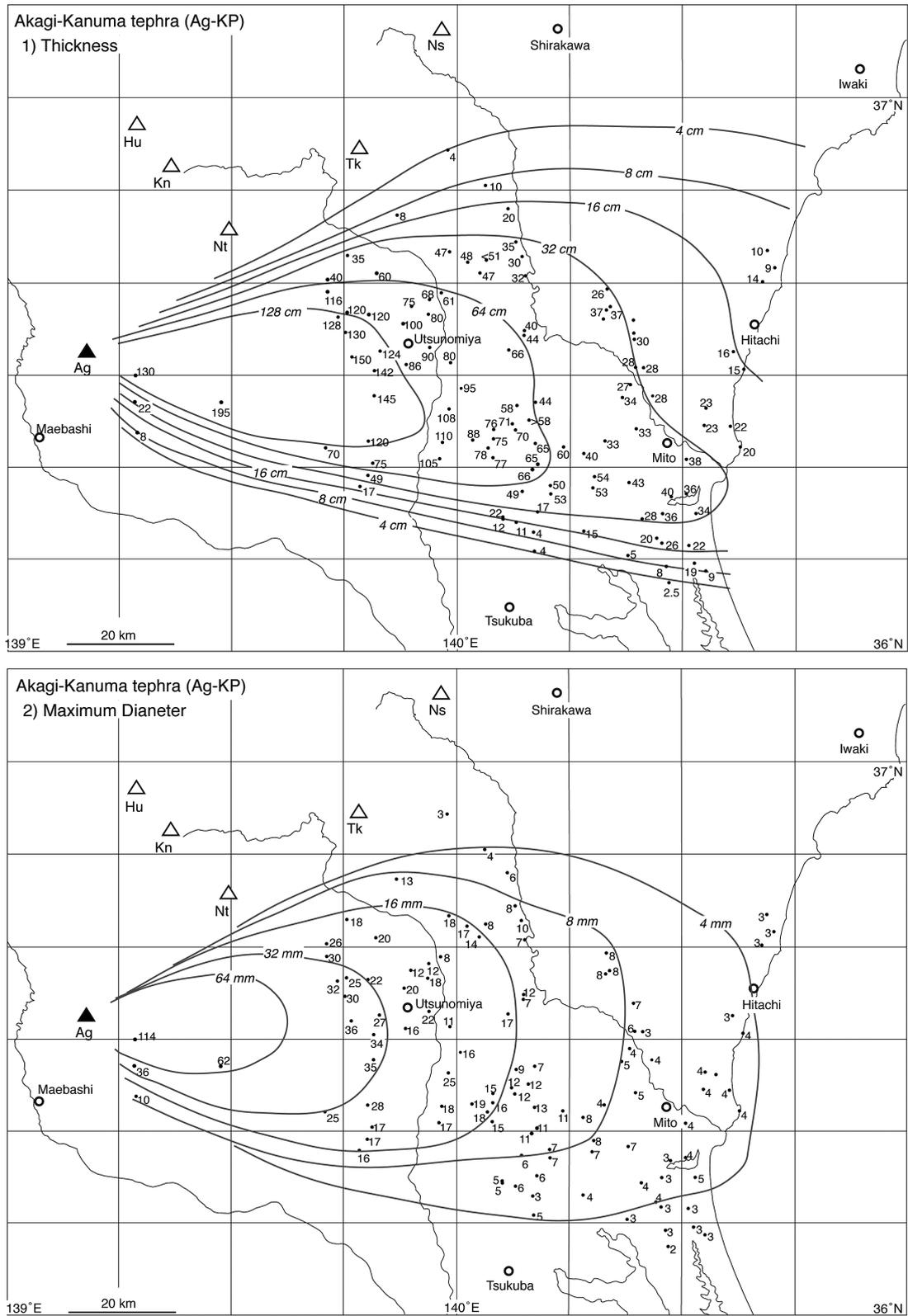
6.3 赤城水沼1テフラ (Ag-MzP1)

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)

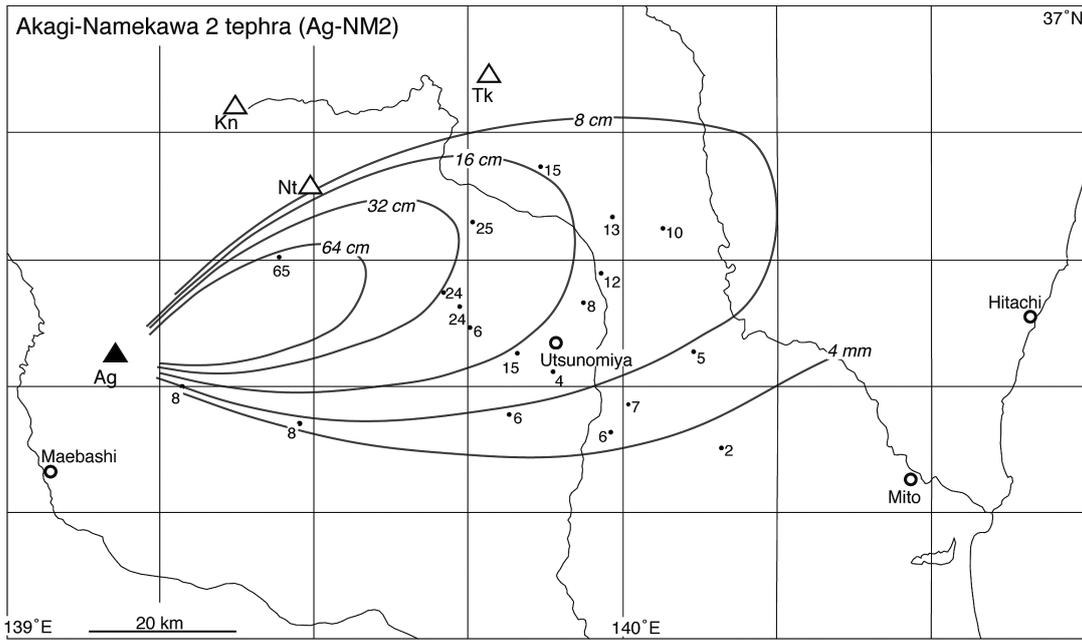
守屋 (1968) のP2を鈴木 (1990) が再定義。模式地は群馬県桐生市黒保根町水沼 (Loc. 6)。赤城火山で約6万年前に発生したプリニー式噴火の産物で、東に向かう降下火砕堆積物からなる (Fig. 20)。白色の軽石火山礫からなり、基質に遊離結晶片を多く含んでいる。本テフラの岩質は普通角閃石斜方輝石単斜輝石デイサイトで、火山ガラスの屈折率は1.498～1.509に分散し、上位のAg-MzP1と区別される (Table. 2)。栃木県宇都宮市周辺の上欠・宝積寺・鹿沼・下野大沢・白沢・宝木段丘の被覆風成火山灰



第17図 赤城鹿沼テフラ(Ag-KP)の分布。

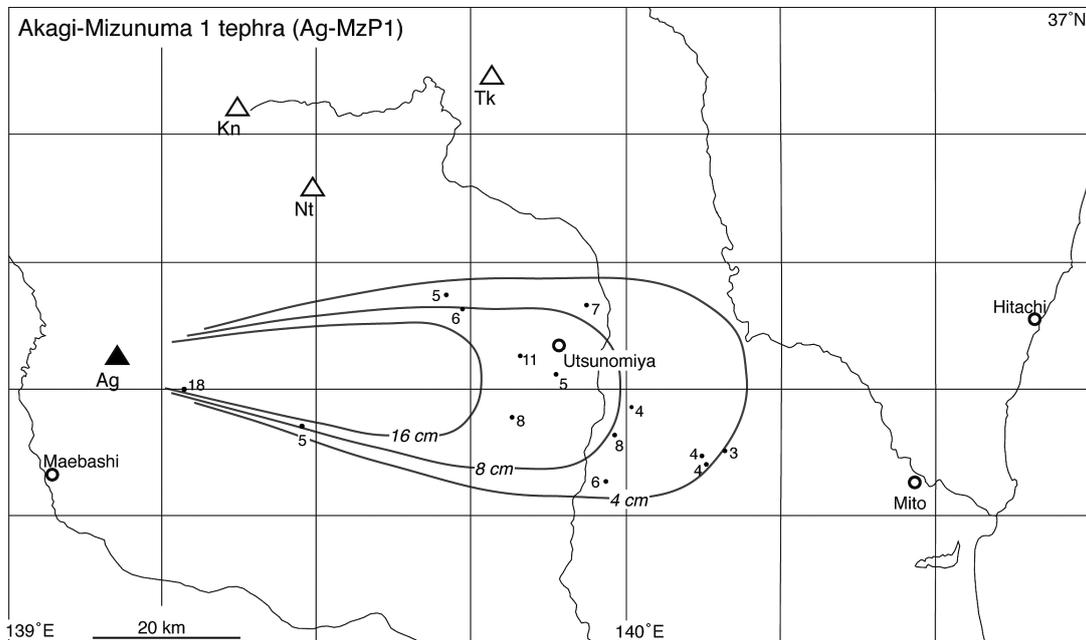
1) 数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm。2) 数字は本質粒子の平均最大粒径で、単位はmm。Ag = 赤城火山；Hu = 髙ヶ岳火山；Kn = 鬼怒沼火山；Ns = 那須火山；Nt = 男体火山；Tk = 高原火山。

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.



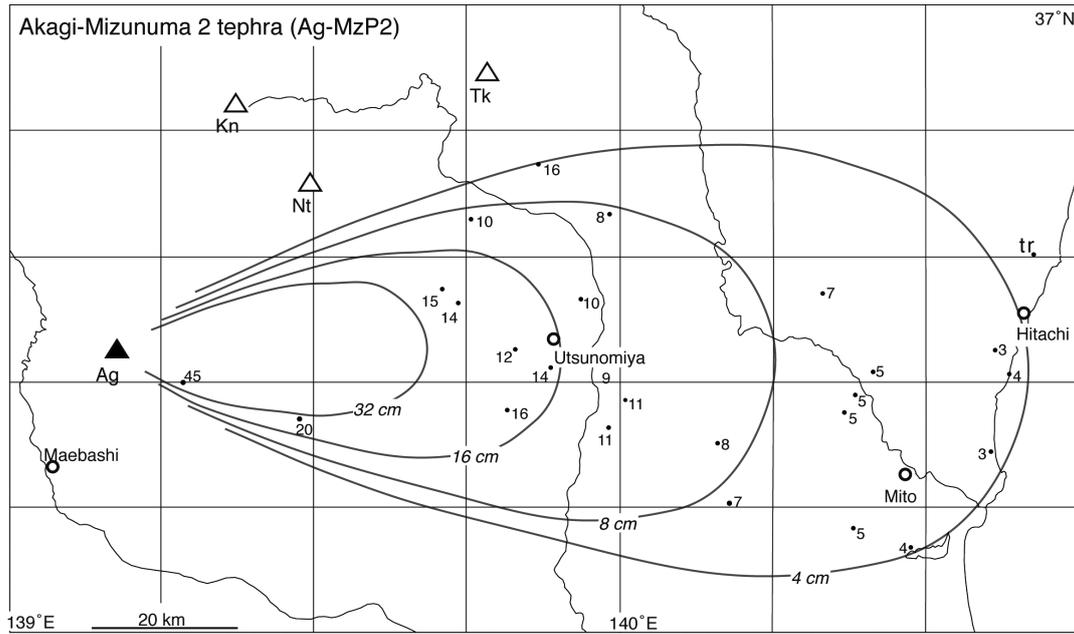
第18図 赤城行川2テフラ(Ag-NM2)の分布。
数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm。Ag = 赤城火山；Hu = 燧ヶ岳火山；Kn = 鬼怒沼火山；Nt = 男体火山；Tk = 高原火山。

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.



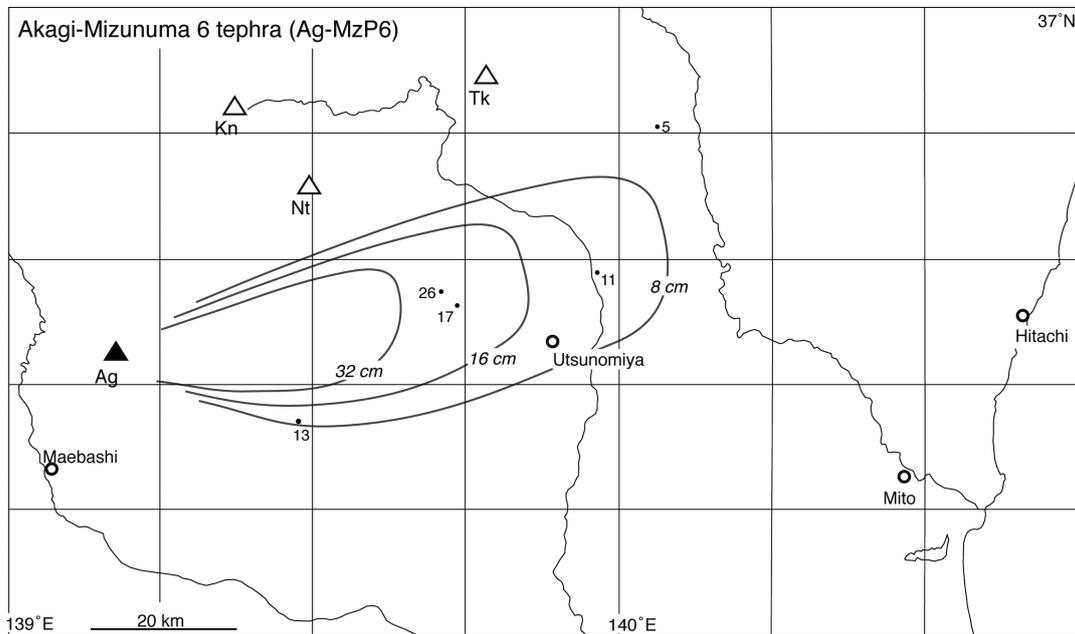
第19図 赤城水沼1テフラ(Ag-MzP1)の分布。
数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm。Ag = 赤城火山；Hu = 燧ヶ岳火山；Kn = 鬼怒沼火山；Nt = 男体火山；Tk = 高原火山。

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.



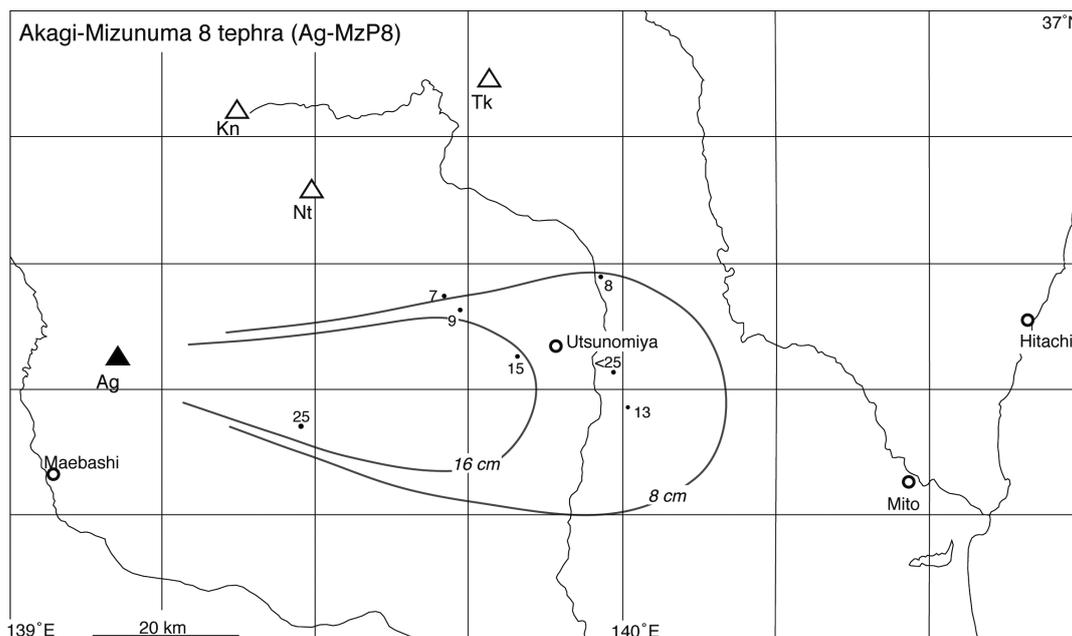
第20図 赤城水沼2テフラ(Ag-MzP2)の分布。
数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm。Ag = 赤城火山；Hu = 燧ヶ岳火山；Kn = 鬼怒沼火山；
Nt = 男体火山；Tk = 高原火山。

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)

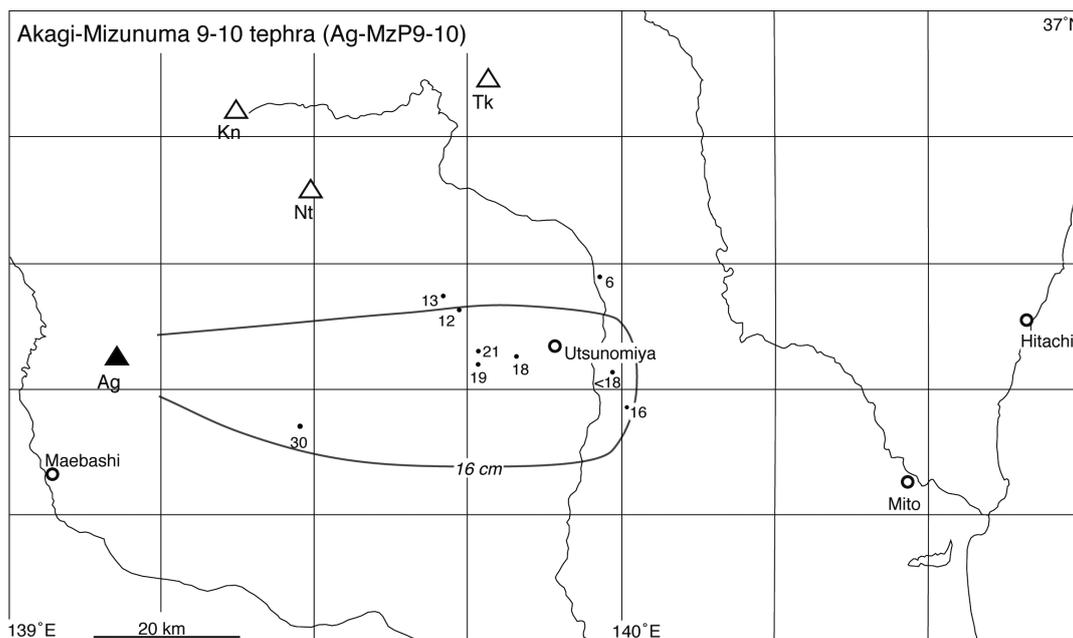
守屋(1968)のP6を鈴木(1990)が再定義。模式地は群馬県桐生市黒保根町水沼(Loc. 6)。赤城火山で約10万年前に発生したプリニー式噴火の産物で、東北東に向かう降下火砕堆積物からなる(Fig. 21)。白色の軽石火山礫からなり、基質に遊離結晶片を多く含んでいる。本テフラの岩質は普通角閃石斜方輝石デイサイトで、火山ガラスの屈折率は1.505 ~ 1.507に集中する(Table. 2)。栃木県宇都宮市周辺の宝積寺・鹿沼・下野大沢段丘の被覆風成

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)

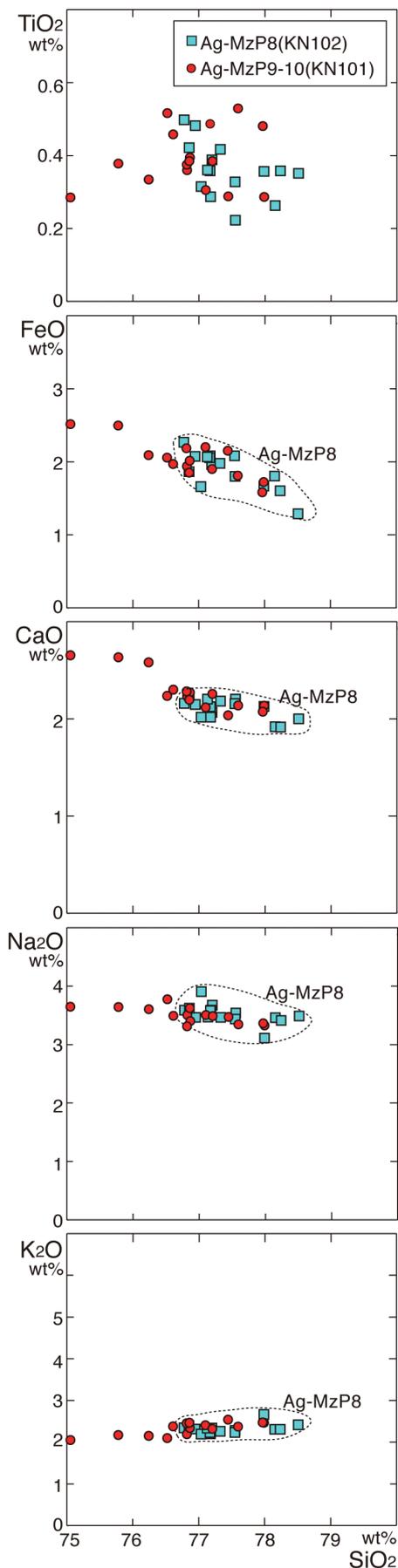
守屋(1968)のP9・P10を鈴木(1990)が再定義。模式地は群馬県桐生市黒保根町水沼(鈴木, 1990)。赤城火山で約13万年前に発生したプリニー式噴火の産物で、東に向かう降下火砕堆積物からなる (Fig. 23)。赤城火山東山麓で見られるAg-MzP9とAg-MzP10が合わさったもの、あるいはどちらか一方であると考えられ、Ag-MzP9-10と命名された。栃木県宇都宮市周辺の上欠・宝積寺・鹿沼段丘の被覆風成火山灰土(吉川ほか, 2010; Figs. 4 & 5)に挟まれており、逆級化層理の顕著な白色軽石火山礫からなり、基底部に結晶片に富む粗～極粗粒火山灰を伴っている。ただし、上下の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.

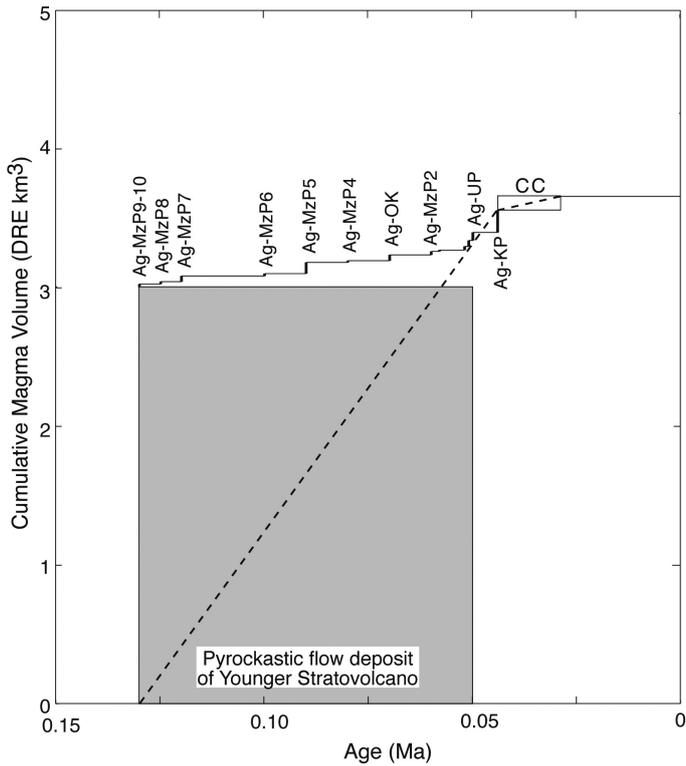
藤木火砕流堆積物, Ag-MzP5からAg-MzP1の時期に川額・輪久原・大胡火砕流堆積物など, Ag-NM2からAg-UPの時期に年丸・ガラン火砕流堆積物が噴出している。一方, Ag-KP噴火に伴う火砕流堆積物は確認されていない。守屋(1970)の火砕流堆積物のうち半分が溶結(2300 kg/cm³), 残りが非溶結(1200 kg/cm³)とすると, その岩石換算の総体積は約3 × 10¹ km³ DREとなる。これに本報および山元(2012)の見積もった降下火砕堆積物の積算マグマ体積を重ねると(Fig. 25), Ag-KPは新期成層火山形成期の平均的な噴出量トレンドの範囲内にプロットされる。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。

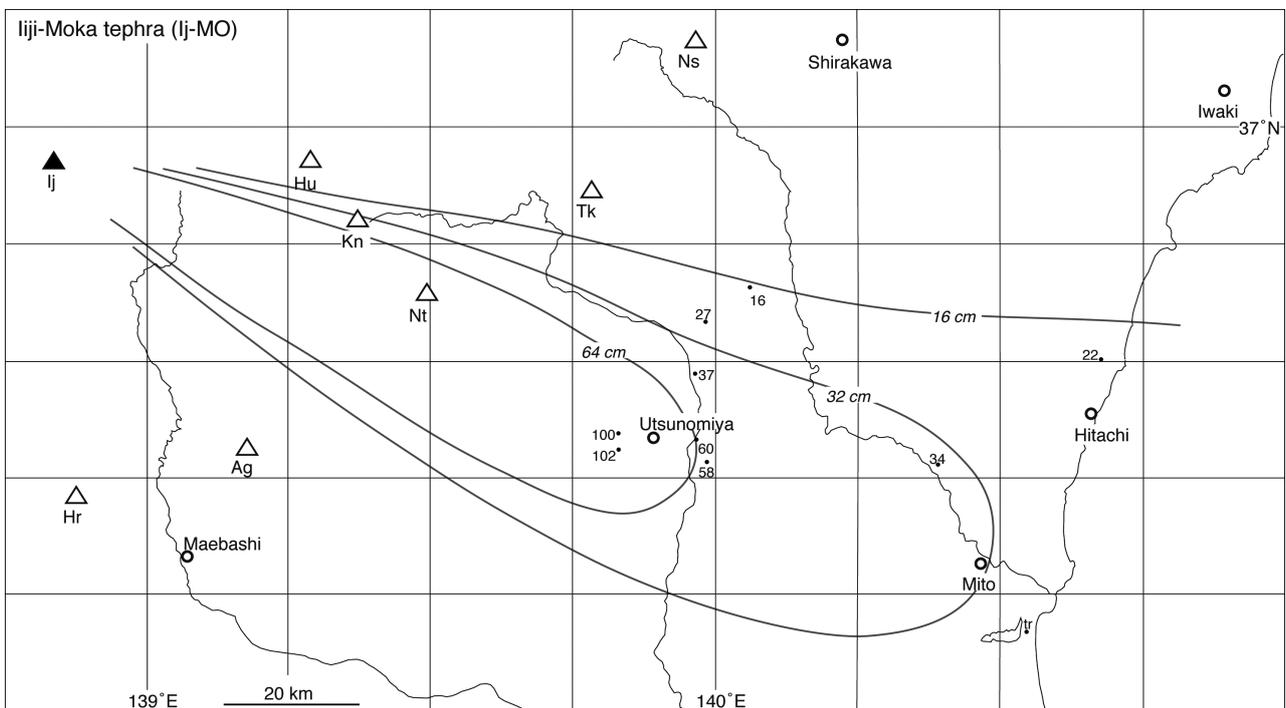
7.1 飯士真岡テフラ (Ij-MO)

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。

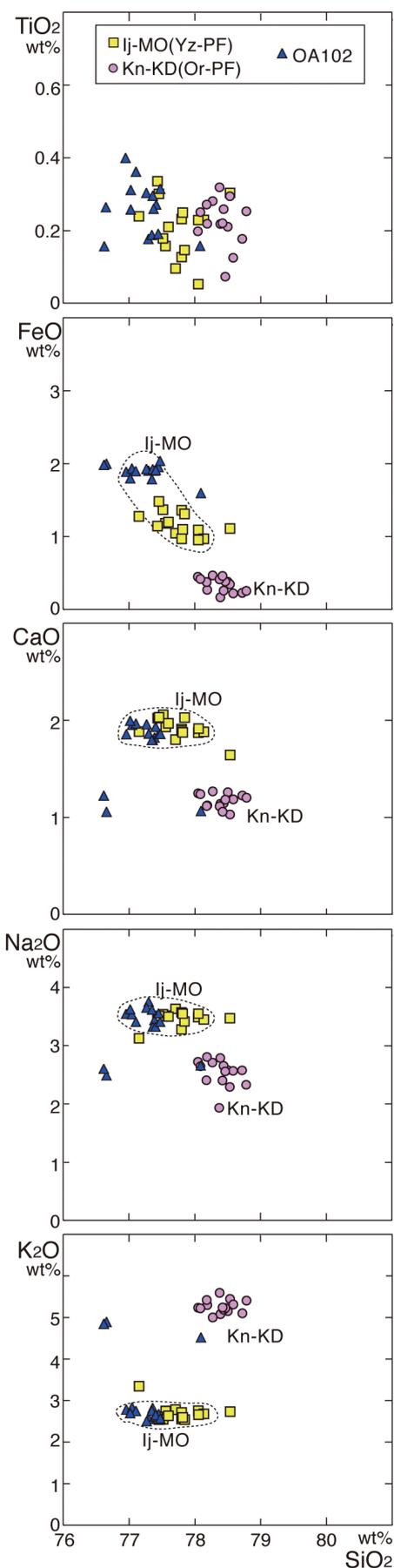
Fig. 25 Cumulative magma volume versus age for the products of Akagi volcano. CC = Central Cone.



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)

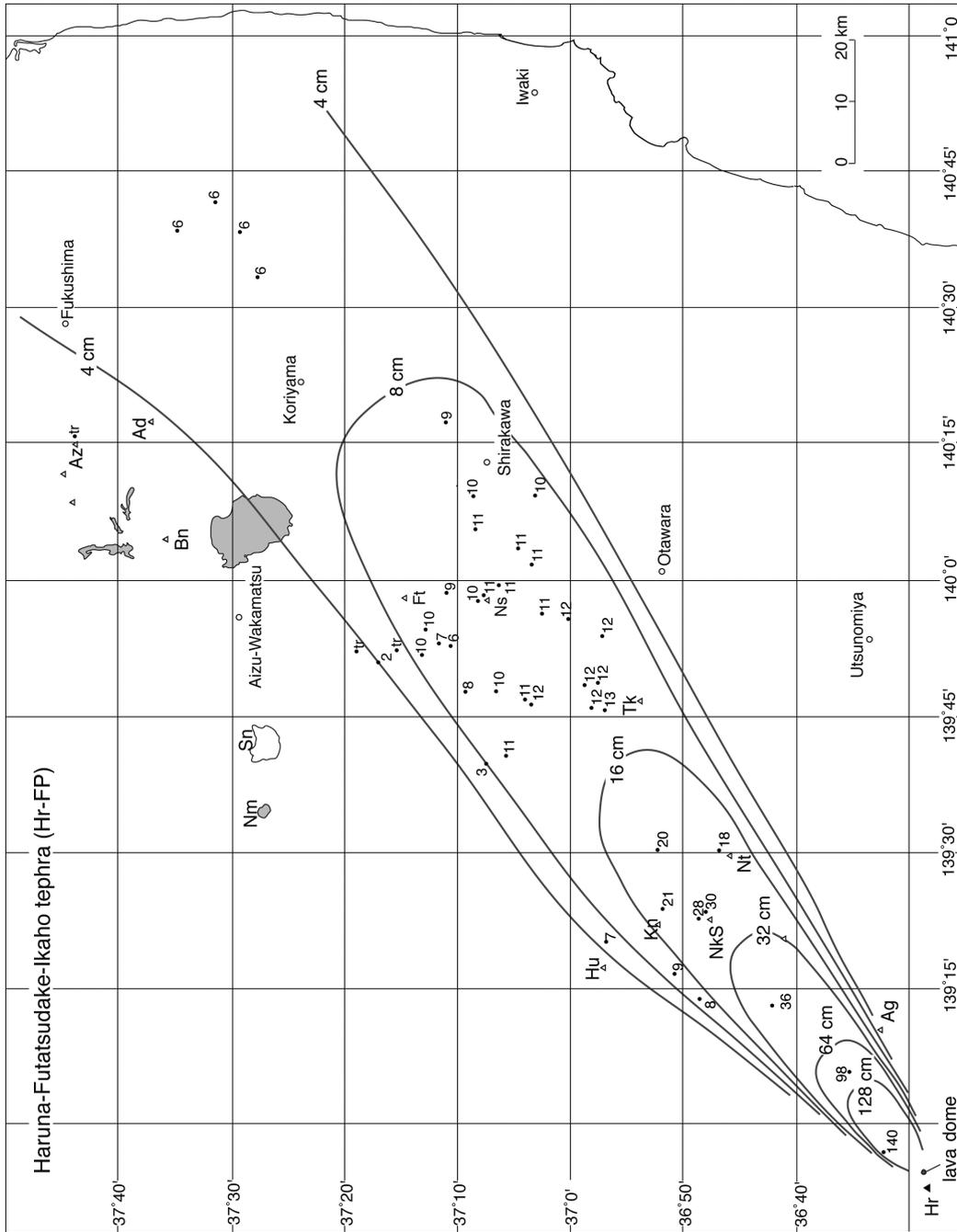
新井(1962)命名。模式地は、群馬県渋川市北橋町八崎。榛名火山の榛名カルデラを給源とする4.9万年前のプリニー式降下火砕物と山麓の白川火砕流堆積物からなる。本テフラの岩質はカミングトン閃石含有普通角閃石斜方輝石単斜輝石安山岩である(Table. 2)。白川火砕流堆積物中の本質物の全岩化学組成は、付録4 (Table. A15)に記載されている。露頭により若干、本質物の組成が異なり、山元(2006a)は相対的に下位にあるもの(Loc. 3)を別の火砕流(“宮沢火砕流”)と考えていた。しかし、大石ほか(2011)によると、白川火砕流には斜長石斑晶の屈折率の異なる2つのグループがあり、化学組成の違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。

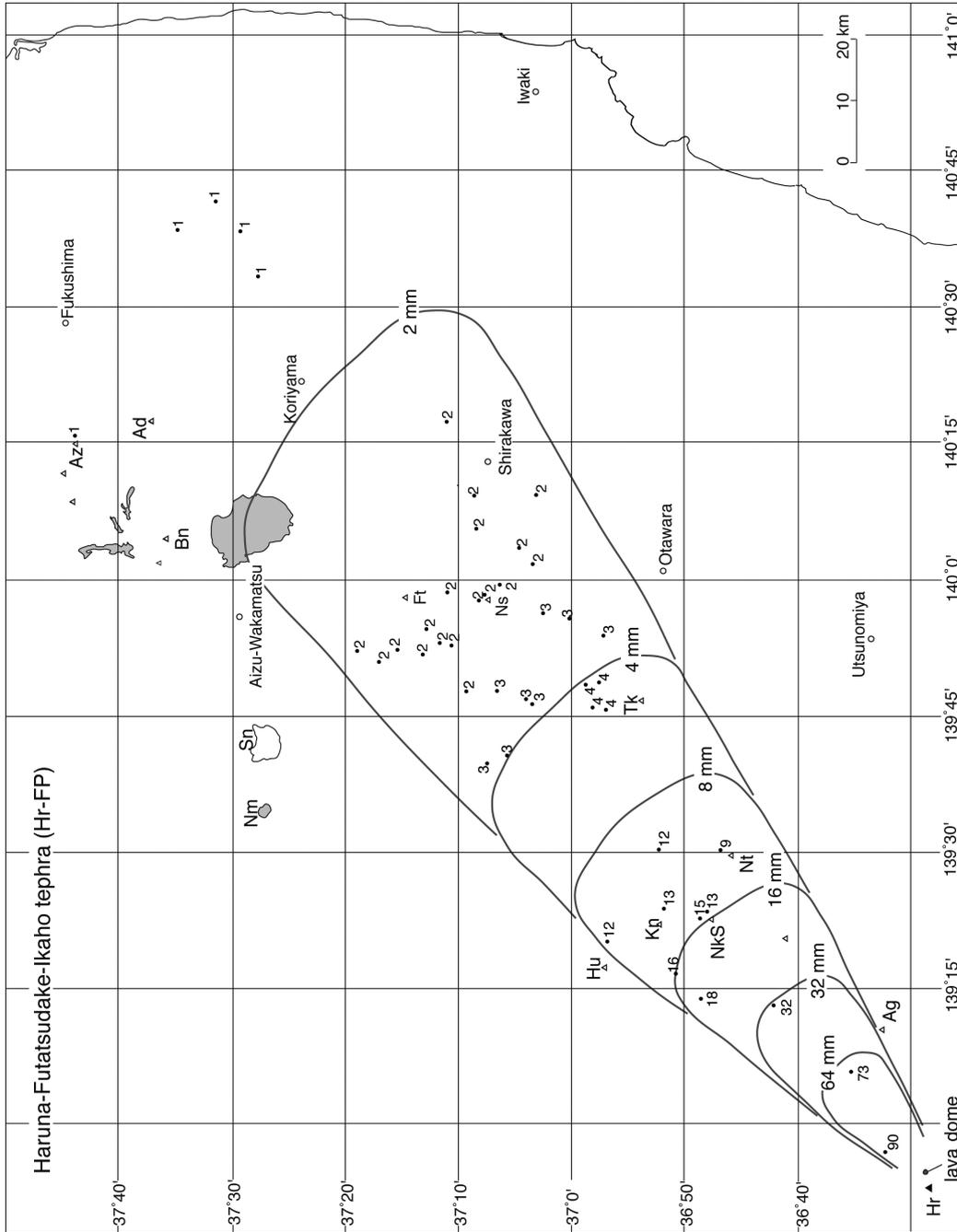
8.3 榛名宮沢火砕流堆積物(Hr-MZ)

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

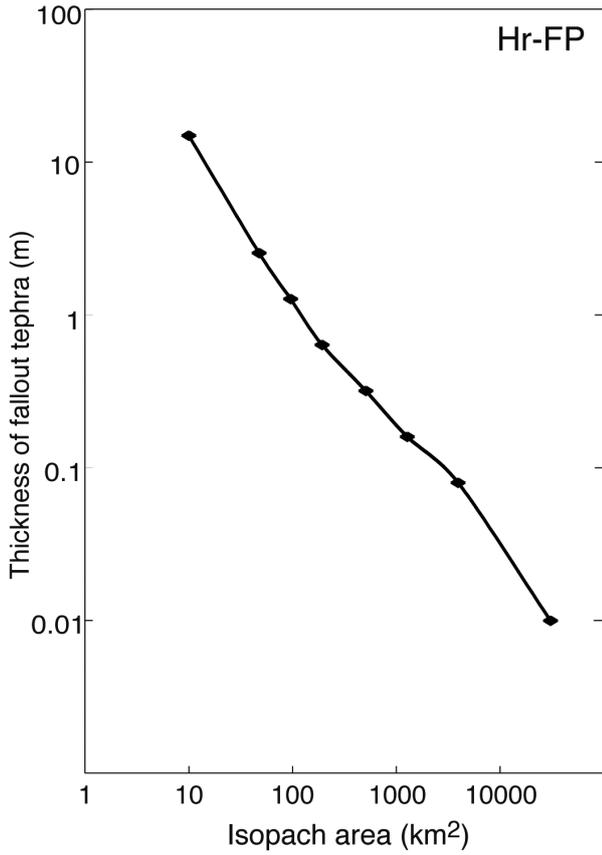


第28図 1) 榛名二ツ岳伊香保テフラ(Hr-FP)の分布. 数字は降下火砕堆積物の層厚で, 単位はcm.
 Ad = 安達太良火山; Ag = 赤城火山; Bn = 磐梯火山; Hr = 磐梯火山; Hu = 榛名火山; Ij = 飯土火山; Kn = 鬼怒沼火山;
 Nm = 沼沢火山; Ns = 那須火山; Ni = 男体火山; Tk = 高原火山.

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; Az = Azuma volcano; Bn = Bandai volcano; Hr = Haruna volcano; Hu = Hiuchigatake volcano; Ij = Iiji volcano; Kn = Kinunuma volcano; Nm = Numazawa volcano; Ns = Nasu volcano; Nt = Nantai volcano; Sn = Sunagohara volcano; Tk = Takahara volcano.

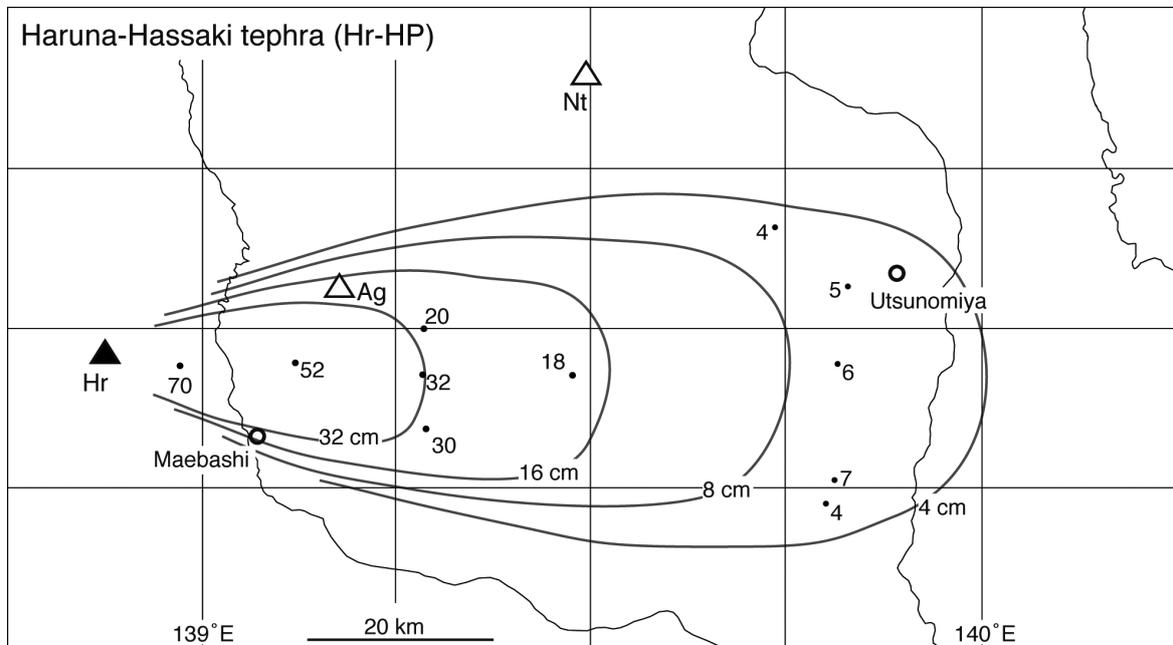


第28図 2) 榛名二ッ岳伊香保テフラ(Hr-FP)の分布. 数字は本質粒子の平均最大粒径で, 単位はmm.
 Ad = 安達太良火山; Ag = 赤城火山; Bn = 磐梯火山; Hr = 榛名火山; Hu = 榑ヶ岳火山; Ij = 飯ヶ岳火山; Kn = 鬼怒沼火山;
 Nm = 沼沢火山; Ns = 那須火山; Nr = 男体火山; Nt = 高尾火山; Tk = 高原火山.
 Fig. 28 2) Distribution of the Haruna-Futatsudake-Ikaho tephra (Hr-FP). Numerals are averaged maximum diameter 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.



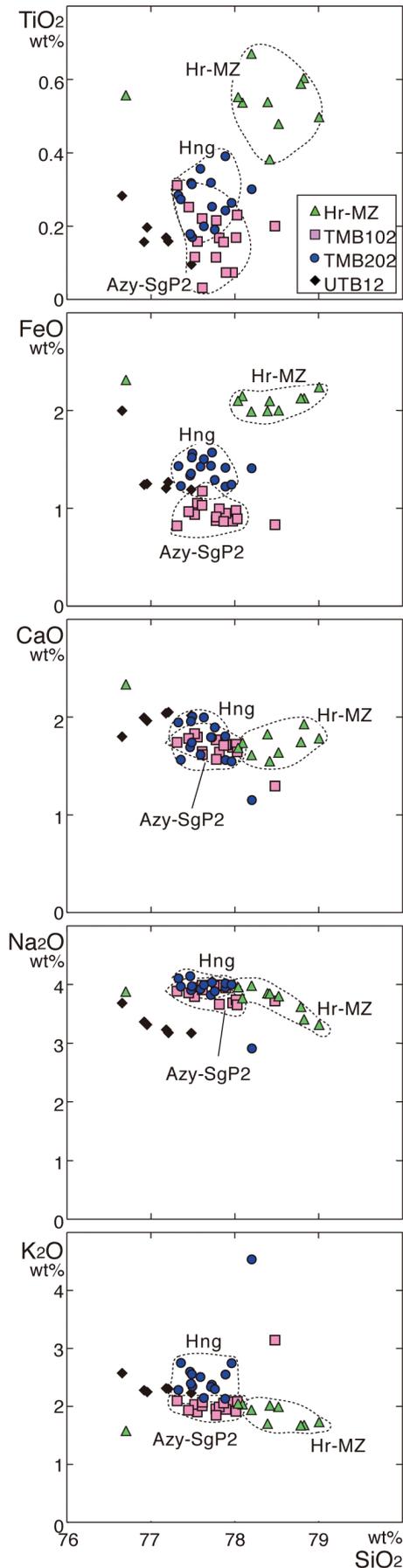
第29図 榛名二ツ岳伊香保テフラ(Hr-FP)の降下火砕堆積物における層厚と等層厚線面積の関係。

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。

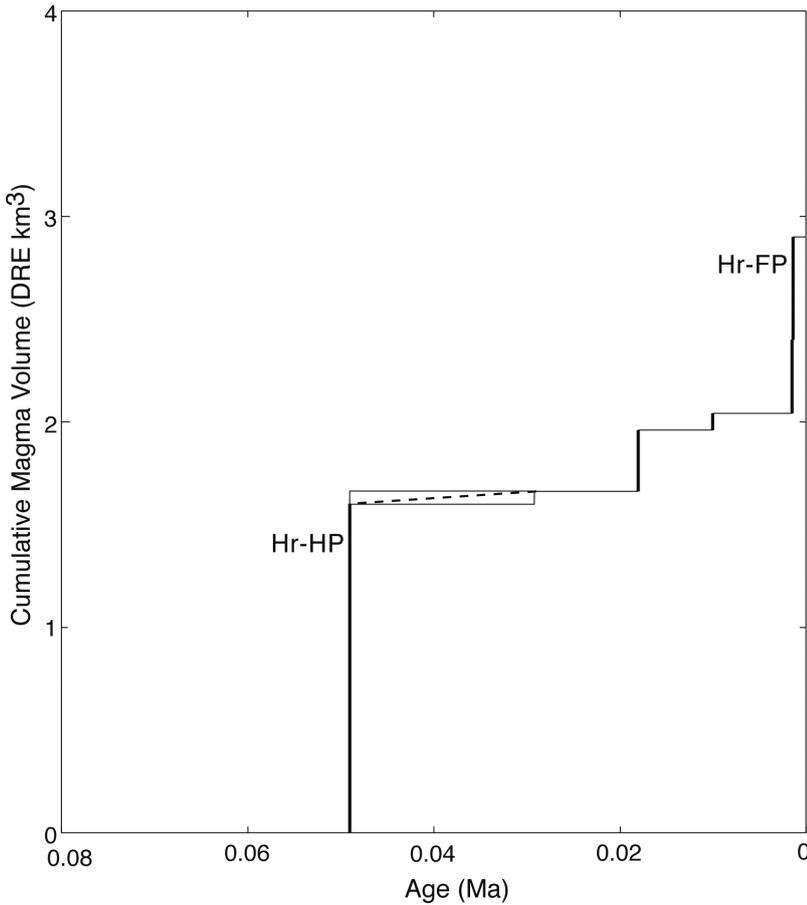
Fig. 31 Major element variations of volcanic glass shards in Hr-MZ, TMB102 (*Azy-SgP2*), TMB202 (*Hng*) and UTB12. See figure 6 for sample stratigraphy.

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 $1 \times 10^{11} \text{ km}^3$ DRE (質量は約 $2 \times 10^{11} \text{ kg}$)と約 $3 \times 10^{11} \text{ km}^3$ 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 澗沼川テフラ(Hng)

新称. 模式地は笠間町大古山の澗沼川沿い(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, 様々な便宜を頂いて頂いた. 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.

第A1表 KR1コアの岩相.

Table. A1 Lithofacies of KR1 core.

深度(m)	厚さ(m)	色調	岩相	最大粒径(cm)	テフラ名	試料番号
0.00-1.30	1.30	黒褐	黒褐色土壌			
1.30-1.39	0.09	赤褐	赤褐色のスコリア細粒火山礫. 白色軽石細粒火山礫混じり	0.8	Nt-I	T3
1.39-1.88	0.49	褐灰	塊状火山灰土			
1.88-2.00	0.12	黄灰	紫灰色の低発泡安山岩細粒火山礫	0.7	Nt-Og	T4
2.00-2.28	0.28		擾乱コア			
2.28-2.40	0.72	明黄灰	塊状火山灰土			
2.40-2.61	0.21	黄灰	火山ガラス片に富む塊状火山灰土		AT	T5
2.61-3.27	0.66	黄褐	塊状火山灰土			
3.27-3.78	0.51	黄白	軽石細粒火山礫. 基質に輝石結晶片目立つ.	0.8	Ag-KP	T6
3.78-4.36	0.58	褐	塊状火山灰土			
4.36-4.41	0.05	褐灰	火山灰土中に中粒砂サイズの輝石, 軽石多く含む		Ag-Nm1	T8
4.41-4.47	0.06	褐	塊状火山灰土			
4.47-4.58	0.11	褐灰	火山灰土中に中粒砂サイズの輝石, 軽石多く含む		Ag-Nm2	T10
4.58-4.61	0.03	褐	塊状火山灰土			
4.61-4.64	0.03	褐灰	火山灰土中に輝石, 角閃石結晶片多く含む		DKP	T11
4.64-5.00	0.36	褐	塊状火山灰土			
5.00-6.00	1.00		擾乱コア			
6.00-6.56	0.56	褐灰	塊状火山灰土			
6.59-7.10	0.51		擾乱コア			
7.10-7.65	0.55	黄褐	塊状火山灰土. 径2mm以下のスリリア, 石質岩片混じり			
7.65-7.70	0.05	橙	橙色のスコリア細粒火山礫	0.8	Nk-HG	T18
7.70-9.42	1.72	黄褐	塊状火山灰土. 径5mm以下のスリリア, 石質岩片混じり			
9.42-9.59	0.17	橙	スコリア細粒火山礫	0.7	Nk-MA	T23
9.59-9.75	0.16	黄褐	塊状火山灰土			
9.75-10.00	0.25		擾乱コア			
10.00-10.65	0.65	黄褐	塊状火山灰土			
10.65-10.71	0.06	橙	スコリア細粒火山礫	0.3	Nk-OK	T26
10.71-11.00	0.29		擾乱コア			
11.00-12.23	1.23	黄褐灰	塊状火山灰土			
12.23-12.69	0.46	褐灰	塊状火山灰土			
12.69-12.86	0.17	黄褐	塊状火山灰土			
12.86-13.00	0.14	黄褐	塊状火山灰土. 径2mm以下の軽石混じり			
13.00-13.34	0.34	黄褐	塊状火山灰土			
13.34-13.84	0.50	黄褐	塊状火山灰土. 径2mm以下のスコリア, 軽石混じり			
13.84-13.87	0.03	白	軽石質粗粒火山灰	0.2		T31
13.87-14.00	0.13	黄褐	塊状火山灰土			
14.00-14.07	0.07	黄褐	塊状火山灰土. 径2mm以下の軽石混じり			
14.07-14.82	0.75	黄褐	塊状火山灰土			
14.82-14.85	0.03	黄褐	塊状火山灰土. 径3mm以下の軽石混じり			
14.85-15.53	0.68	黄褐	塊状火山灰土			
15.53-15.59	0.06	白	軽石質粗粒火山灰	0.2	Iz-Kta	T34
15.59-16.07	0.48	黄褐	塊状火山灰土			
16.07-16.10	0.03	白	粗粒火山灰			T36
16.10-16.43	0.33	黄褐	塊状火山灰土. 径1mm以下の軽石混じり			
16.43-16.44	0.01	白	軽石質粗粒火山灰	0.2		T39
16.44-16.47	0.03	黄褐	塊状火山灰土			
16.47-17.24	0.77	黄白	砂礫. 軽石礫や結晶質の中～粗粒砂を含む			
17.24-17.41	0.17	黄褐	塊状火山灰土			
17.41-17.48	0.07	橙	スコリア質粗粒火山灰, 白～黄色軽石質火山灰混在			T42
17.48-17.68	0.20	黄褐	塊状火山灰土			
17.68-17.72	0.04	橙	スコリア質粗粒火山灰, 灰色石質火山灰混在			T43
17.72-17.91	0.19	黄褐	塊状火山灰土			
17.91-18.41	0.50	黄褐	塊状火山灰土. 径1mm以下の軽石, スコリア混じり			
18.41-18.86	0.45	黄褐	塊状火山灰土			
18.86-19.28	0.42	黄褐	塊状火山灰土. 径1mm以下の軽石混じり			
19.28-19.79	0.51	黄褐	塊状火山灰土. 径1mm以下の軽石散在			
19.79-19.82	0.03	橙	スコリア細粒火山礫	0.5		T50
19.82-19.92	0.10	黄褐	塊状火山灰土. 径1mm以下の軽石, スコリア混じり			
19.92-19.95	0.03	黄白	塊状火山灰土. 径3mm以下の軽石混じり			
19.95-20.45	0.50	黄褐	塊状火山灰土			
20.45-20.82	0.37	白	軽石細粒火山礫	0.6	Ij-MO	T52
20.82-21.00	0.18		擾乱コア			
21.00-21.30	0.30	白	軽石細粒火山礫	0.6	Ij-MO	T54
21.30-21.39	0.09		擾乱コア			
21.39-21.59	0.20	白	軽石細粒火山礫		Ij-MO	T56
21.51-21.63	0.12	黄白	塊状火山灰土. 軽石混じり			
21.63-21.73	0.10	白	軽石質粗粒火山灰		Kn-KD	T58
21.73-22.59	0.86	褐	塊状火山灰土			

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)

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			

付録3：火山ガラス主成分化学分析結果

以下のテフラについては、エネルギー分散型X線マイクロアナライザー (EDX)を用いた火山ガラスの主成分分析を行っている。分析は、(株)古澤地質に依頼した。EDX測定手法は及川ほか(2005)に準じており、4 μm四方の範囲を約150 nmのビーム径にて走査させている。結果をTable. A2～A14に示している。

第A2表 IO-102 (Tk-TM2) 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. A2 Major element contents of volcanic glass shards in IO-102 (Tk-TM2) by EDX measurements.
Ave. = average; S.D. = standard deviation.

point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Ave.	S.D.	
SiO ₂	74.02	73.70	70.73	73.80	72.66	73.13	73.75	72.91	75.33	72.16	72.97	SiO ₂	73.20	1.17
TiO ₂	0.25	0.29	0.21	0.40	0.26	0.31	0.30	0.43	0.33	0.45	0.28	TiO ₂	0.32	0.08
Al ₂ O ₃	11.48	11.41	10.77	11.45	11.32	11.30	11.45	11.35	11.55	11.00	11.45	Al ₂ O ₃	11.32	0.23
FeO	2.27	2.36	2.10	2.65	2.48	2.49	2.26	2.36	1.11	2.43	2.31	FeO	2.26	0.41
MnO	0.14	0.16	0.02	0.00	0.26	0.04	0.16	0.05	0.04	0.00	0.03	MnO	0.08	0.08
MgO	0.21	0.26	0.26	0.23	0.30	0.20	0.27	0.19	0.25	0.23	0.30	MgO	0.25	0.04
CaO	1.82	1.68	1.58	1.83	1.74	1.67	1.73	1.86	1.02	1.67	1.84	CaO	1.68	0.23
Na ₂ O	3.02	3.01	2.72	3.17	2.86	3.00	3.04	2.91	3.58	2.99	3.02	Na ₂ O	3.03	0.22
K ₂ O	2.70	2.93	2.52	2.80	2.71	2.69	2.84	2.64	3.29	2.71	2.81	K ₂ O	2.79	0.20
Total	95.91	95.80	90.91	96.33	94.59	94.83	95.80	94.70	96.50	93.64	95.01		94.91	

point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Ave.	S.D.	Ave. (*)	S.D.	
SiO ₂	77.18	76.93	77.80	76.61	76.82	77.12	76.98	76.99	78.06	77.06	76.80	SiO ₂	77.12	0.43	77.03	0.32
TiO ₂	0.26	0.30	0.23	0.42	0.27	0.33	0.31	0.45	0.34	0.48	0.29	TiO ₂	0.34	0.08	0.34	0.08
Al ₂ O ₃	11.97	11.91	11.85	11.89	11.97	11.92	11.95	11.99	11.97	11.75	12.05	Al ₂ O ₃	11.93	0.08	11.92	0.08
FeO	2.37	2.46	2.31	2.75	2.62	2.63	2.36	2.49	1.15	2.60	2.43	FeO	2.38	0.43	2.50	0.14
MnO	0.15	0.17	0.02	0.00	0.27	0.04	0.17	0.05	0.04	0.00	0.03	MnO	0.09	0.09	0.09	0.09
MgO	0.22	0.27	0.29	0.24	0.32	0.21	0.28	0.20	0.26	0.25	0.32	MgO	0.26	0.04	0.26	0.04
CaO	1.90	1.75	1.74	1.90	1.84	1.76	1.81	1.96	1.06	1.78	1.94	CaO	1.77	0.25	1.84	0.08
Na ₂ O	3.15	3.14	2.99	3.29	3.02	3.16	3.17	3.07	3.71	3.19	3.18	Na ₂ O	3.19	0.19	3.14	0.09
K ₂ O	2.82	3.06	2.77	2.91	2.86	2.84	2.96	2.79	3.41	2.89	2.96	K ₂ O	2.93	0.18	2.89	0.09
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	

第A3表 TMB104 (Tk-TM2*) 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. A3 Major element contents of volcanic glass shards in TMB104 (Tk-TM2*) 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	71.46	70.90	69.73	70.60	75.82	73.92	69.48	69.58	72.68	68.47	74.31	69.75	75.22	69.81	75.23	SiO ₂	71.80	2.50
TiO ₂	0.54	0.40	0.47	0.43	0.32	0.34	0.52	0.50	0.29	0.41	0.35	0.48	0.27	0.44	0.24	TiO ₂	0.40	0.09
Al ₂ O ₃	12.02	12.83	12.66	13.35	11.53	11.17	12.82	13.36	12.18	12.71	12.12	12.73	12.20	12.55	12.12	Al ₂ O ₃	12.42	0.61
FeO	2.66	2.64	4.06	2.79	2.30	1.96	2.72	3.01	1.23	2.64	1.79	2.64	1.90	2.88	1.87	FeO	2.47	0.67
MnO	0.33	0.16	0.25	0.18	0.12	0.03	0.13	0.13	0.03	0.14	0.03	0.21	0.19	0.07	0.19	MnO	0.15	0.09
MgO	0.35	0.43	0.77	0.50	0.24	0.13	0.43	0.55	0.08	0.45	0.23	0.41	0.22	0.42	0.25	MgO	0.36	0.18
CaO	2.06	2.61	2.53	2.46	1.49	1.59	2.53	2.66	1.85	2.64	1.88	2.35	1.89	2.24	2.05	CaO	2.19	0.39
Na ₂ O	3.78	4.17	3.36	4.23	3.25	3.08	3.97	4.26	4.20	4.28	3.24	3.95	3.18	3.79	3.16	Na ₂ O	3.73	0.46
K ₂ O	1.51	1.43	2.24	1.49	2.68	2.97	1.45	1.47	1.67	1.40	2.98	1.50	2.51	1.46	2.51	K ₂ O	1.95	0.62
Total	94.71	95.57	96.07	96.03	97.75	95.19	94.05	95.52	94.21	93.14	96.93	94.02	97.58	93.66	97.62		95.47	

point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Ave.	S.D.	A.D. (*)	S.D.	
SiO ₂	75.45	74.19	72.58	73.52	77.57	77.66	73.88	72.84	77.15	73.51	76.66	74.19	77.09	74.54	77.06	SiO ₂	75.19	1.83	77.21	0.41
TiO ₂	0.57	0.42	0.49	0.45	0.33	0.36	0.55	0.52	0.31	0.44	0.36	0.51	0.28	0.47	0.25	TiO ₂	0.42	0.10	0.31	0.05
Al ₂ O ₃	12.69	13.42	13.18	13.90	11.80	11.73	13.63	13.99	12.93	13.65	12.50	13.54	12.50	13.40	12.42	Al ₂ O ₃	13.02	0.72	12.19	0.39
FeO	2.81	2.76	4.23	2.91	2.35	2.06	2.89	3.15	1.31	2.83	1.85	2.81	1.95	3.07	1.92	FeO	2.59	0.71	2.02	0.20
MnO	0.35	0.17	0.26	0.19	0.12	0.03	0.14	0.14	0.03	0.15	0.03	0.22	0.19	0.07	0.19	MnO	0.15	0.09	0.11	0.08
MgO	0.37	0.45	0.80	0.52	0.25	0.14	0.46	0.58	0.08	0.48	0.24	0.44	0.23	0.45	0.26	MgO	0.38	0.19	0.22	0.05
CaO	2.18	2.73	2.63	2.56	1.52	1.67	2.69	2.78	1.96	2.83	1.94	2.50	1.94	2.39	2.10	CaO	2.30	0.42	1.83	0.23
Na ₂ O	3.99	4.36	3.50	4.40	3.32	3.24	4.22	4.46	4.46	4.60	3.34	4.20	3.26	4.05	3.24	Na ₂ O	3.91	0.53	3.28	0.05
K ₂ O	1.59	1.50	2.33	1.55	2.74	3.12	1.54	1.54	1.77	1.50	3.07	1.60	2.57	1.56	2.57	K ₂ O	2.04	0.62	2.82	0.27
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	

Tk-TM2

第A4表 KN102 (Ag-MzP8) 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. A4 Major element contents of volcanic glass shards in KN102 (Ag-MzP8) 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	73.65	73.57	73.47	72.78	74.60	72.41	72.61	73.43	73.29	74.52	74.39	73.47	73.12	73.88	72.96	SiO ₂	73.48	0.67
TiO ₂	0.37	0.46	0.30	0.27	0.25	0.39	0.47	0.34	0.21	0.34	0.34	0.31	0.40	0.33	0.34	TiO ₂	0.34	0.07
Al ₂ O ₃	11.51	11.54	11.70	11.43	11.15	11.16	11.25	11.37	11.16	11.35	11.20	11.22	11.49	10.87	11.31	Al ₂ O ₃	11.31	0.20
FeO	1.87	1.98	1.58	1.96	1.72	1.85	2.14	1.95	1.70	1.59	1.52	1.97	1.77	1.21	1.95	FeO	1.78	0.24
MnO	0.00	0.10	0.16	0.14	0.20	0.13	0.12	0.19	0.26	0.03	0.13	0.10	0.12	0.20	0.17	MnO	0.14	0.07
MgO	0.31	0.39	0.43	0.37	0.20	0.31	0.34	0.33	0.31	0.18	0.25	0.27	0.40	0.18	0.30	MgO	0.30	0.08
CaO	1.97	2.05	1.92	1.90	1.83	2.04	2.04	2.02	2.08	2.03	1.82	2.04	2.13	1.88	2.08	CaO	1.99	0.10
Na ₂ O	3.50	3.31	3.72	3.38	3.30	3.24	3.39	3.40	3.34	2.97	3.24	3.25	3.44	3.28	3.28	Na ₂ O	3.34	0.16
K ₂ O	2.22	2.21	2.09	2.07	2.20	2.11	2.21	2.12	2.15	2.54	2.19	2.11	2.27	2.27	2.20	K ₂ O	2.20	0.11
Total	95.40	95.61	95.37	94.30	95.45	93.64	94.57	95.15	94.50	95.55	95.08	94.74	95.14	94.10	94.59		94.88	

point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Ave.	S.D.	
SiO ₂	77.20	76.95	77.04	77.18	78.16	77.33	76.78	77.17	77.56	77.99	78.24	77.55	76.86	78.51	77.13	SiO ₂	77.44	0.54
TiO ₂	0.39	0.48	0.31	0.29	0.26	0.42	0.50	0.36	0.22	0.36	0.36	0.33	0.42	0.35	0.36	TiO ₂	0.36	0.07
Al ₂ O ₃	12.06	12.07	12.27	12.12	11.68	11.92	11.90	11.95	11.81	11.88	11.78	11.84	12.08	11.55	11.96	Al ₂ O ₃	11.92	0.18
FeO	1.96	2.07	1.66	2.08	1.80	1.98	2.26	2.05	1.80	1.66	1.60	2.08	1.86	1.29	2.06	FeO	1.88	0.25
MnO	0.00	0.10	0.17	0.15	0.21	0.14	0.13	0.20	0.28	0.03	0.14	0.11	0.13	0.21	0.18	MnO	0.14	0.07
MgO	0.32	0.41	0.45	0.39	0.21	0.33	0.36	0.35	0.33	0.19	0.26	0.28	0.42	0.19	0.32	MgO	0.32	0.08
CaO	2.06	2.14	2.01	2.01	1.92	2.18	2.16	2.12	2.20	2.12	1.91	2.15	2.24	2.00	2.20	CaO	2.10	0.10
Na ₂ O	3.67	3.46	3.90	3.58	3.46	3.46	3.58	3.57	3.53	3.11	3.41	3.43	3.62	3.49	3.47	Na ₂ O	3.52	0.17
K ₂ O	2.33	2.31	2.19	2.20	2.30	2.25	2.34	2.23	2.28	2.66	2.30	2.23	2.39	2.41	2.33	K ₂ O	2.32	0.11
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	

第A5表 KN101 (Ag-MzP9-10) 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. A5 Major element contents of volcanic glass shards in KN101 (Ag-MzP9-10) 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	72.62	71.07	72.25	72.13	71.73	73.89	72.72	73.35	73.45	71.18	73.27	73.01	73.03	72.28	72.00	SiO ₂	72.53	0.83
TiO ₂	0.34	0.27	0.36	0.37	0.35	0.37	0.27	0.50	0.27	0.48	0.29	0.45	0.32	0.36	0.43	TiO ₂	0.36	0.07
Al ₂ O ₃	11.61	12.32	11.85	11.54	11.26	11.77	11.06	11.19	10.85	11.54	11.42	11.00	11.99	11.22	11.57	Al ₂ O ₃	11.48	0.40
FeO	1.83	2.38	2.38	1.89	2.04	1.78	2.02	1.71	1.62	1.91	2.09	1.48	2.00	1.78	1.85	FeO	1.92	0.25
MnO	0.20	0.28	0.07	0.00	0.09	0.07	0.03	0.02	0.20	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.06	MnO	0.07	0.09
MgO	0.44	0.47	0.38	0.40	0.40	0.30	0.25	0.34	0.33	0.37	0.34	0.27	0.47	0.44	0.40	MgO	0.37	0.07
CaO	2.11	2.51	2.51	2.13	2.13	2.11	1.91	2.02	2.01	2.08	2.01	1.94	2.47	2.11	2.16	CaO	2.15	0.19
Na ₂ O	3.31	3.45	3.47	3.19	3.09	3.48	3.26	3.16	3.13	3.51	3.33	3.15	3.45	3.26	3.28	Na ₂ O	3.30	0.14
K ₂ O	2.07	1.94	2.07	2.19	2.29	2.37	2.38	2.24	2.32	1.95	2.28	2.31	2.06	2.17	2.23	K ₂ O	2.19	0.14
Total	94.53	94.69	95.34	93.84	93.38	96.14	93.90	94.53	94.18	93.02	95.03	93.64	95.79	93.62	93.98		94.37	

point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Ave.	S.D.	
SiO ₂	76.82	75.06	75.78	76.86	76.82	76.86	77.44	77.59	77.99	76.52	77.10	77.97	76.24	77.21	76.61	SiO ₂	76.86	0.78
TiO ₂	0.36	0.29	0.38	0.39	0.37	0.38	0.29	0.53	0.29	0.52	0.31	0.48	0.33	0.38	0.46	TiO ₂	0.38	0.08
Al ₂ O ₃	12.28	13.01	12.43	12.30	12.06	12.24	11.78	11.84	11.52	12.41	12.02	11.75	12.52	11.98	12.31	Al ₂ O ₃	12.16	0.37
FeO	1.94	2.51	2.50	2.01	2.18	1.85	2.15	1.81	1.72	2.05	2.20	1.58	2.09	1.90	1.97	FeO	2.03	0.26
MnO	0.21	0.30	0.07	0.00	0.10	0.07	0.03	0.02	0.21	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.06	MnO	0.07	0.09
MgO	0.47	0.50	0.40	0.43	0.43	0.31	0.27	0.36	0.35	0.40	0.36	0.29	0.49	0.47	0.43	MgO	0.40	0.07
CaO	2.23	2.65	2.63	2.27	2.28	2.19	2.03	2.14	2.13	2.24	2.12	2.07	2.58	2.25	2.30	CaO	2.27	0.20
Na ₂ O	3.50	3.64	3.64	3.40	3.31	3.62	3.47	3.34	3.32	3.77	3.50	3.36	3.60	3.48	3.49	Na ₂ O	3.50	0.14
K ₂ O	2.19	2.05	2.17	2.33	2.45	2.47	2.53	2.37	2.46	2.10	2.40	2.47	2.15	2.32	2.37	K ₂ O	2.32	0.15
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	

第A6表 YZ-PF (*Jj-MO*) 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. A6 Major element contents of volcanic glass shards in YZ-PF (*Jj-MO*) 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	74.41	73.91	75.17	73.89	74.03	74.73	74.32	74.84	74.60	75.28	74.18	74.17	75.00	75.22	75.49	SiO ₂	74.62	0.53
TiO ₂	0.15	0.09	0.29	0.12	0.32	0.05	0.17	0.29	0.23	0.22	0.20	0.22	0.14	0.24	0.22	TiO ₂	0.20	0.08
Al ₂ O ₃	12.06	12.07	11.34	11.74	11.92	11.82	11.89	11.88	12.13	11.83	12.01	11.96	11.92	12.05	11.98	Al ₂ O ₃	11.91	0.19
FeO	1.13	0.99	1.06	1.29	1.09	1.04	1.31	1.43	1.23	0.93	1.14	0.92	1.26	1.06	0.92	FeO	1.12	0.16
MnO	0.15	0.00	0.07	0.08	0.18	0.07	0.12	0.00	0.14	0.10	0.03	0.25	0.00	0.08	MnO	0.08	0.07	
MgO	0.19	0.25	0.28	0.23	0.31	0.27	0.26	0.38	0.29	0.27	0.30	0.31	0.34	0.27	0.25	MgO	0.28	0.05
CaO	1.85	1.71	1.57	1.81	1.93	1.79	1.97	1.96	1.82	1.81	1.88	1.80	1.95	1.81	1.85	CaO	1.83	0.10
Na ₂ O	3.37	3.45	3.32	3.39	3.33	3.34	3.39	3.39	3.02	3.32	3.34	3.12	3.29	3.43	3.43	Na ₂ O	3.33	0.12
K ₂ O	2.63	2.64	2.61	2.42	2.49	2.63	2.44	2.45	3.23	2.58	2.51	2.58	2.44	2.50	2.57	K ₂ O	2.58	0.20
Total	95.94	95.11	95.71	94.97	95.60	95.74	95.87	96.62	96.69	96.34	95.59	95.33	96.34	96.66	96.71		95.95	
point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Ave.	S.D.	
SiO ₂	77.56	77.71	78.54	77.80	77.44	78.06	77.52	77.46	77.15	78.14	77.60	77.80	77.85	77.82	78.06	SiO ₂	77.77	0.34
TiO ₂	0.16	0.09	0.30	0.13	0.33	0.05	0.18	0.30	0.24	0.23	0.21	0.23	0.15	0.25	0.23	TiO ₂	0.20	0.08
Al ₂ O ₃	12.57	12.69	11.85	12.36	12.47	12.35	12.40	12.30	12.55	12.28	12.56	12.55	12.37	12.47	12.39	Al ₂ O ₃	12.41	0.19
FeO	1.18	1.04	1.11	1.36	1.14	1.09	1.37	1.48	1.27	0.97	1.19	0.97	1.31	1.10	0.95	FeO	1.17	0.16
MnO	0.16	0.00	0.07	0.08	0.19	0.07	0.13	0.00	0.14	0.10	0.03	0.26	0.00	0.08	MnO	0.09	0.08	
MgO	0.20	0.26	0.29	0.24	0.32	0.28	0.27	0.39	0.30	0.28	0.31	0.33	0.35	0.28	0.26	MgO	0.29	0.05
CaO	1.93	1.80	1.64	1.91	2.02	1.87	2.05	2.03	1.88	1.88	1.97	1.89	2.02	1.87	1.91	CaO	1.91	0.10
Na ₂ O	3.51	3.63	3.47	3.57	3.48	3.49	3.54	3.51	3.12	3.45	3.49	3.27	3.41	3.55	3.55	Na ₂ O	3.47	0.12
K ₂ O	2.74	2.78	2.73	2.55	2.60	2.75	2.55	2.54	3.34	2.68	2.63	2.71	2.53	2.59	2.66	K ₂ O	2.69	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	

第A7表 Or-PF (*Kn-KD*) 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. A7 Major element contents of volcanic glass shards in Or-PF (*Kn-KD*) 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	75.36	74.85	74.78	75.28	75.63	75.63	76.00	75.75	75.10	75.03	75.85	75.01	73.90	74.83	75.05	SiO ₂	75.20	0.53
TiO ₂	0.27	0.20	0.28	0.21	0.21	0.12	0.25	0.07	0.19	0.26	0.17	0.24	0.30	0.24	0.21	TiO ₂	0.21	0.06
Al ₂ O ₃	11.54	11.36	11.49	11.54	11.53	11.64	11.59	11.56	11.47	11.45	11.60	11.56	11.13	11.59	11.51	Al ₂ O ₃	11.51	0.12
FeO	0.45	0.36	0.33	0.26	0.16	0.21	0.25	0.37	0.43	0.36	0.22	0.40	0.39	0.24	0.44	FeO	0.32	0.09
MnO	0.00	0.01	0.00	0.11	0.13	0.03	0.03	0.11	0.09	0.21	0.08	0.05	0.00	0.00	0.09	MnO	0.06	0.06
MgO	0.02	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.02	0.00	0.00	0.06	0.01	0.02	0.00	0.06	0.00	MgO	0.02	0.04
CaO	1.22	1.20	0.98	1.08	1.10	1.14	1.11	1.14	1.20	1.07	1.18	1.19	1.05	1.14	1.01	CaO	1.12	0.07
Na ₂ O	2.61	2.46	2.18	2.70	2.69	2.47	2.57	2.47	2.62	2.31	2.48	2.54	1.82	2.21	2.30	Na ₂ O	2.43	0.23
K ₂ O	4.81	4.91	5.18	5.10	4.90	5.11	5.02	5.04	5.03	5.20	4.91	5.01	5.27	5.13	5.01	K ₂ O	5.04	0.13
Total	96.28	95.35	95.22	96.28	96.48	96.24	96.89	96.54	96.22	95.97	96.35	96.06	94.29	94.98	95.70		95.92	
point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Ave.	S.D.	
SiO ₂	78.27	78.50	78.53	78.19	78.39	78.58	78.44	78.46	78.05	78.18	78.72	78.09	78.38	78.79	78.42	SiO ₂	78.40	0.22
TiO ₂	0.28	0.21	0.29	0.22	0.22	0.12	0.26	0.07	0.20	0.27	0.18	0.25	0.32	0.25	0.22	TiO ₂	0.22	0.06
Al ₂ O ₃	11.99	11.91	12.07	11.99	11.95	11.98	12.01	12.01	11.95	11.88	12.08	12.08	12.26	11.72	12.11	Al ₂ O ₃	11.99	0.12
FeO	0.47	0.38	0.35	0.27	0.17	0.22	0.26	0.38	0.45	0.38	0.23	0.42	0.41	0.25	0.46	FeO	0.34	0.10
MnO	0.00	0.01	0.00	0.11	0.13	0.03	0.03	0.11	0.09	0.22	0.08	0.05	0.00	0.00	0.09	MnO	0.07	0.06
MgO	0.02	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.02	0.00	0.00	0.06	0.01	0.02	0.00	0.06	0.00	MgO	0.02	0.04
CaO	1.27	1.26	1.03	1.12	1.14	1.18	1.15	1.18	1.25	1.11	1.22	1.24	1.11	1.20	1.06	CaO	1.17	0.07
Na ₂ O	2.71	2.58	2.29	2.80	2.79	2.57	2.65	2.56	2.72	2.41	2.57	2.64	1.93	2.33	2.40	Na ₂ O	2.53	0.23
K ₂ O	5.00	5.15	5.44	5.30	5.08	5.31	5.18	5.22	5.23	5.42	5.10	5.22	5.59	5.40	5.24	K ₂ O	5.26	0.16
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-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A8表 OA102 (Ij-MO*) 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 OA102 (Ij-MO*) 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	73.38	74.78	74.95	73.86	74.81	73.81	74.86	73.33	73.71	74.92	74.90	74.48	74.57	74.57	73.83	SiO ₂	74.32	0.59		
TiO ₂	0.38	0.17	0.25	0.29	0.25	0.18	0.15	0.25	0.28	0.18	0.35	0.26	0.30	0.30	0.15	TiO ₂	0.25	0.07		
Al ₂ O ₃	11.59	11.63	11.75	11.63	11.88	11.45	11.28	11.94	11.61	11.91	11.70	11.63	11.52	11.83	12.02	Al ₂ O ₃	11.69	0.20		
FeO	1.80	1.84	1.88	1.84	1.84	1.86	1.53	1.91	1.83	1.73	1.84	1.84	1.96	1.74	1.91	FeO	1.82	0.10		
MnO	0.10	0.12	0.12	0.02	0.03	0.04	0.14	0.16	0.06	0.00	0.18	0.16	0.10	0.13	0.09	MnO	0.10	0.06		
MgO	0.30	0.30	0.23	0.20	0.25	0.25	0.00	0.00	0.22	0.21	0.28	0.24	0.26	0.20	0.00	MgO	0.20	0.11		
CaO	1.77	1.80	1.90	1.87	1.76	1.77	1.02	1.01	1.71	1.74	1.91	1.86	1.79	1.93	1.18	CaO	1.67	0.32		
Na ₂ O	3.38	3.63	3.44	3.49	3.32	3.39	2.55	2.38	3.17	3.50	3.31	3.20	3.28	3.51	2.51	Na ₂ O	3.20	0.40		
K ₂ O	2.65	2.47	2.76	2.39	2.53	2.55	4.33	4.68	2.69	2.67	2.67	2.55	2.47	2.61	4.67	K ₂ O	2.98	0.83		
Total	95.35	96.74	97.28	95.59	96.67	95.30	95.86	95.66	95.28	96.86	97.14	96.22	96.25	96.82	96.36		96.23			
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	76.96	77.30	77.05	77.27	77.39	77.45	78.09	76.66	77.36	77.35	77.11	77.41	77.48	77.02	76.62	SiO ₂	77.23	0.36	77.26	0.18
TiO ₂	0.40	0.18	0.26	0.30	0.26	0.19	0.16	0.26	0.29	0.19	0.36	0.27	0.31	0.16	0.16	TiO ₂	0.26	0.07	0.28	0.07
Al ₂ O ₃	12.16	12.02	12.08	12.17	12.29	12.01	11.77	12.48	12.19	12.30	12.04	12.09	11.97	12.22	12.47	Al ₂ O ₃	12.15	0.19	12.13	0.11
FeO	1.89	1.90	1.93	1.92	1.90	1.95	1.60	2.00	1.92	1.79	1.89	1.91	2.04	1.80	1.98	FeO	1.89	0.11	1.90	0.07
MnO	0.10	0.12	0.12	0.02	0.03	0.04	0.15	0.17	0.06	0.00	0.19	0.17	0.10	0.13	0.09	MnO	0.10	0.06	0.09	0.06
MgO	0.31	0.31	0.24	0.21	0.26	0.26	0.00	0.00	0.23	0.22	0.29	0.25	0.27	0.21	0.00	MgO	0.20	0.11	0.25	0.04
CaO	1.86	1.86	1.95	1.96	1.82	1.86	1.06	1.06	1.79	1.80	1.97	1.93	1.86	1.99	1.22	CaO	1.73	0.33	1.89	0.07
Na ₂ O	3.54	3.75	3.54	3.65	3.43	3.56	2.66	2.49	3.33	3.61	3.41	3.33	3.41	3.63	2.60	Na ₂ O	3.33	0.40	3.52	0.14
K ₂ O	2.78	2.55	2.84	2.50	2.62	2.68	4.52	4.89	2.82	2.76	2.75	2.65	2.57	2.70	4.85	K ₂ O	3.10	0.87	2.68	0.11
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	

Ij-MO

第A9表 Hr-MZ (Hr-MZ) 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 Hr-MZ (Hr-MZ) by EDX measurements.

Ave. = average; S.D. = standard deviation.

point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ave.	S.D.			
SiO ₂	74.18	76.24	75.72	75.39	72.96	74.30	74.72	75.90	76.37	73.60	SiO ₂	74.94	1.17		
TiO ₂	0.51	0.48	0.58	0.46	0.53	0.51	0.64	0.37	0.57	0.52	TiO ₂	0.52	0.07		
Al ₂ O ₃	10.82	10.70	10.68	10.67	11.67	10.64	10.81	11.00	10.77	10.59	Al ₂ O ₃	10.84	0.32		
FeO	2.04	2.16	2.04	1.92	2.20	1.89	1.90	2.03	2.06	1.98	FeO	2.02	0.10		
MnO	0.00	0.00	0.01	0.08	0.01	0.16	0.00	0.00	0.01	0.00	MnO	0.03	0.05		
MgO	0.28	0.33	0.30	0.36	0.34	0.29	0.29	0.32	0.33	0.37	MgO	0.32	0.03		
CaO	1.65	1.72	1.85	1.57	2.22	1.73	1.54	1.50	1.69	1.59	CaO	1.71	0.21		
Na ₂ O	3.58	3.20	3.27	3.65	3.69	3.65	3.80	3.72	3.51	3.73	Na ₂ O	3.58	0.20		
K ₂ O	1.93	1.67	1.61	1.91	1.50	1.61	1.85	1.95	1.62	1.93	K ₂ O	1.76	0.17		
Total	94.99	96.50	96.06	96.01	95.12	94.78	95.55	96.79	96.93	94.31		95.70			
point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ave.	S.D.	Ave(*)	S.D.	
SiO ₂	78.09	79.01	78.83	78.52	76.70	78.39	78.20	78.42	78.79	78.04	SiO ₂	78.30	0.65	78.48	0.34
TiO ₂	0.54	0.50	0.60	0.48	0.56	0.54	0.67	0.38	0.59	0.55	TiO ₂	0.54	0.08	0.54	0.08
Al ₂ O ₃	11.39	11.09	11.12	11.11	12.27	11.23	11.31	11.36	11.11	11.23	Al ₂ O ₃	11.32	0.35	11.22	0.12
FeO	2.15	2.24	2.12	2.00	2.31	1.99	1.99	2.10	2.13	2.10	FeO	2.11	0.11	2.09	0.08
MnO	0.00	0.00	0.01	0.08	0.01	0.17	0.00	0.00	0.01	0.00	MnO	0.03	0.06	0.03	0.06
MgO	0.29	0.34	0.31	0.37	0.36	0.31	0.30	0.33	0.34	0.39	MgO	0.34	0.03	0.33	0.03
CaO	1.74	1.78	1.93	1.64	2.33	1.83	1.61	1.55	1.74	1.69	CaO	1.78	0.22	1.72	0.12
Na ₂ O	3.77	3.32	3.40	3.80	3.88	3.85	3.98	3.84	3.62	3.96	Na ₂ O	3.74	0.23	3.73	0.23
K ₂ O	2.03	1.73	1.68	1.99	1.58	1.70	1.94	2.01	1.67	2.05	K ₂ O	1.84	0.18	1.87	0.17
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	

Hr-MZ

第A10表 UTB12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

point No.	1	2	3	4	5	6	Ave.	S.D.
SiO ₂	73.33	73.02	73.13	73.14	74.57	73.69	73.48	0.53
TiO ₂	0.27	0.09	0.16	0.15	0.19	0.15	0.17	0.05
Al ₂ O ₃	12.11	12.65	12.72	12.81	13.21	13.06	12.76	0.35
FeO	1.91	1.12	1.14	1.20	1.21	1.19	1.30	0.28
MnO	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
MgO	0.34	0.35	0.38	0.30	0.43	0.40	0.37	0.04
CaO	1.72	1.90	1.93	1.94	1.90	1.91	1.88	0.07
Na ₂ O	3.52	2.99	3.06	3.01	3.21	3.22	3.17	0.18
K ₂ O	2.46	2.10	2.19	2.18	2.18	2.18	2.22	0.11
Total	95.66	94.24	94.75	94.73	96.90	95.80	95.35	

point No.							Ave.	S.D.
SiO ₂	76.66	77.48	77.18	77.21	76.96	76.92	77.15	0.20
TiO ₂	0.28	0.10	0.17	0.16	0.20	0.16	0.16	0.03
Al ₂ O ₃	12.66	13.42	13.42	13.52	13.63	13.63	13.53	0.09
FeO	2.00	1.19	1.20	1.27	1.25	1.24	1.23	0.03
MnO	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
MgO	0.36	0.37	0.40	0.32	0.44	0.42	0.39	0.04
CaO	1.80	2.02	2.04	2.05	1.96	1.99	2.01	0.03
Na ₂ O	3.68	3.17	3.23	3.18	3.31	3.36	3.25	0.07
K ₂ O	2.57	2.23	2.31	2.30	2.25	2.28	2.27	0.03
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Table. A10 Major element contents of volcanic glass shards in UTB12 by EDX measurements.
Ave. = average; S.D. = standard deviation.

第A11表 TMB102 (Azy-SgP2) 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. A11 Major element contents of volcanic glass shards in TMB102 (Azy-SgP2) 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	73.95	74.78	73.78	74.02	74.94	74.67	74.96	74.39	74.63	74.73	74.48	76.04	74.77	74.07	73.96	74.54	0.57
TiO ₂	0.15	0.07	0.11	0.21	0.11	0.30	0.07	0.16	0.22	0.19	0.16	0.21	0.15	0.03	0.24	0.16	0.07
Al ₂ O ₃	12.58	12.66	12.70	12.52	12.59	12.94	12.64	12.57	12.45	11.37	12.69	12.89	12.51	12.45	12.73	12.55	0.36
FeO	1.00	0.83	0.89	0.98	0.84	0.79	0.91	0.93	0.85	0.79	0.95	0.89	0.83	1.12	0.92	0.90	0.09
MnO	0.04	0.15	0.15	0.16	0.21	0.14	0.11	0.03	0.06	0.19	0.12	0.23	0.02	0.22	0.09	0.13	0.07
MgO	0.35	0.27	0.26	0.20	0.24	0.29	0.23	0.25	0.38	0.19	0.34	0.29	0.30	0.30	0.33	0.28	0.05
CaO	1.71	1.62	1.74	1.57	1.70	1.68	1.65	1.64	1.57	1.23	1.57	1.53	1.64	1.54	1.70	1.61	0.12
Na ₂ O	3.76	3.53	3.61	3.80	3.84	3.75	3.79	3.56	3.49	3.54	3.50	3.88	3.83	3.73	3.68	3.69	0.14
K ₂ O	1.81	1.99	1.93	1.91	1.88	2.02	1.87	1.82	1.99	2.99	1.90	1.80	1.97	1.97	1.84	1.98	0.29
Total	95.35	95.90	95.17	95.37	96.35	96.58	96.23	95.35	95.64	95.22	95.71	97.76	96.02	95.43	95.49	95.84	

point No.																Ave.	S.D.	Ave(*)	S.D.
SiO ₂	77.56	77.98	77.52	77.61	77.78	77.31	77.90	78.02	78.03	78.48	77.82	77.78	77.62	77.45	77.78	77.78	0.29	77.73	0.22
TiO ₂	0.16	0.07	0.12	0.22	0.11	0.31	0.07	0.17	0.23	0.20	0.17	0.21	0.16	0.03	0.25	0.17	0.08	0.16	0.08
Al ₂ O ₃	13.19	13.20	13.34	13.13	13.07	13.40	13.14	13.18	13.02	11.94	13.26	13.19	13.03	13.05	13.33	13.10	0.34	13.18	0.12
FeO	1.05	0.87	0.94	1.03	0.87	0.82	0.95	0.98	0.89	0.83	0.99	0.91	0.86	1.17	0.96	0.94	0.09	0.95	0.09
MnO	0.04	0.16	0.16	0.17	0.22	0.14	0.11	0.03	0.06	0.20	0.13	0.24	0.02	0.23	0.09	0.13	0.07	0.13	0.07
MgO	0.37	0.28	0.27	0.21	0.25	0.30	0.24	0.26	0.40	0.20	0.36	0.30	0.31	0.31	0.35	0.29	0.06	0.30	0.05
CaO	1.79	1.69	1.83	1.65	1.76	1.74	1.71	1.72	1.64	1.29	1.64	1.57	1.71	1.61	1.78	1.68	0.13	1.70	0.08
Na ₂ O	3.94	3.68	3.79	3.98	3.99	3.88	3.94	3.73	3.65	3.72	3.66	3.97	3.99	3.91	3.85	3.85	0.13	3.85	0.13
K ₂ O	1.90	2.08	2.03	2.00	1.95	2.09	1.94	1.91	2.08	3.14	1.99	1.84	2.05	2.06	1.93	2.07	0.31	1.99	0.08
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	

第A12表 Ata-Th (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. A12 Major element contents of volcanic glass shards in Ata-Th (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	75.25	75.48	73.64	73.49	73.96	73.87	75.71	74.29	75.92	73.47	74.25	74.56	75.33	74.93	74.50	74.50	0.82
TiO ₂	0.13	0.13	0.13	0.13	0.26	0.09	0.17	0.07	0.27	0.12	0.22	0.24	0.12	0.12	0.20	0.16	0.06
Al ₂ O ₃	11.53	11.36	11.72	11.46	11.54	11.69	11.87	11.67	11.32	11.40	11.62	11.43	11.90	11.61	11.88	11.60	0.19
FeO	0.89	0.88	0.99	0.85	0.80	0.80	0.95	0.79	0.93	0.96	1.10	0.96	0.92	0.95	1.03	0.92	0.09
MnO	0.01	0.16	0.18	0.01	0.13	0.00	0.06	0.04	0.03	0.05	0.16	0.13	0.00	0.12	0.04	0.07	0.06
MgO	0.19	0.20	0.18	0.17	0.11	0.13	0.14	0.17	0.18	0.17	0.16	0.17	0.17	0.24	0.14	0.17	0.03
CaO	1.19	1.14	1.22	1.20	1.13	1.21	1.29	1.18	1.07	1.27	1.19	1.16	1.24	1.18	1.19	1.19	0.05
Na ₂ O	3.50	3.55	3.64	3.56	3.63	3.69	3.68	3.59	3.63	3.54	3.48	3.61	3.64	3.62	3.61	3.60	0.06
K ₂ O	3.23	3.09	3.25	3.15	3.26	3.17	3.28	3.22	3.18	3.22	3.36	3.27	3.24	3.18	3.24	3.22	0.06
Total	95.92	95.99	94.95	94.02	94.82	94.65	97.15	95.02	96.53	94.20	95.54	95.53	96.56	95.95	95.83	95.51	

point No.																Ave.	S.D.
SiO ₂	78.45	78.63	77.56	78.16	78.00	78.05	77.93	78.18	78.65	77.99	77.72	78.05	78.01	78.09	77.74	78.08	0.31
TiO ₂	0.14	0.14	0.14	0.14	0.27	0.10	0.17	0.07	0.28	0.13	0.23	0.25	0.12	0.13	0.21	0.17	0.07
Al ₂ O ₃	12.02	11.83	12.34	12.19	12.17	12.35	12.22	12.28	11.73	12.10	12.16	11.96	12.32	12.10	12.40	12.15	0.19
FeO	0.93	0.92	1.04	0.90	0.84	0.85	0.98	0.83	0.96	1.02	1.15	1.00	0.95	0.99	1.07	0.96	0.09
MnO	0.01	0.17	0.19	0.01	0.14	0.00	0.06	0.04	0.03	0.05	0.17	0.14	0.00	0.13	0.04	0.08	0.07
MgO	0.20	0.21	0.19	0.18	0.12	0.14	0.14	0.18	0.19	0.18	0.17	0.18	0.18	0.25	0.15	0.18	0.03
CaO	1.24	1.19	1.28	1.28	1.19	1.28	1.33	1.24	1.11	1.35	1.25	1.21	1.28	1.23	1.24	1.25	0.06
Na ₂ O	3.65	3.70	3.83	3.79	3.83	3.90	3.79	3.78	3.76	3.76	3.64	3.78	3.77	3.77	3.77	3.77	0.07
K ₂ O	3.37	3.22	3.42	3.35	3.44	3.35	3.38	3.39	3.29	3.42	3.52	3.42	3.36	3.31	3.38	3.37	0.07
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-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.																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	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.																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