栃木県北部, 福島県南部に分布する中期更新世火砕流堆積物群の層序

Stratigraphical study on the Middle Pleistocene pyroclastic flow deposits, northern Tochigi and southern Fukushima Prefectures, Northeast Japan

Abstract

山田真嵩^{*†} 河合貴之^{**}
西澤文勝^{*††} 鈴木毅彦^{*}

Masataka Yamada^{*†}, Takayuki Kawai^{**},
Fumikatsu Nishizawa^{*††} and
Takehiko Suzuki^{*}

2016年9月7日受理.

2018年3月22日受理.

^{*} 首都大学東京大学院都市環境科学研究科地理環境学域

Department of Geography, Tokyo Metropolitan University, Minamiosawa 1-1, Hachioji, Tokyo 192-0397, Japan

^{**} 国際航業株式会社

Kokusai Kogyo Co., Ltd., Harumi-cho 2-24-1, Fuchu, Tokyo, 183-0057, Japan

[†] 現所属: 北海道大学理学院自然史科学専攻地球惑星システム科学講座

Present address: Department of Natural History Sciences, Graduate School of Science Hokkaido University, N10 W8, Sapporo, Hokkaido 060-0810, Japan

^{††} 現所属: 山梨県富士山科学研究所火山防災研究部

Present address: Division of Volcanic Disaster Mitigation Research, Mount Fuji Research Institute Yamanashi Prefectural Government, 5597-1 Aza-Kenmarubi Kamiyoshida, Yamanashi 403-0005, Japan

Corresponding author: M. Yamada,
my-yamada@eis.hokudai.ac.jp

This study describes the revised stratigraphy and correlations of the middle Pleistocene tephra units around northern Tochigi and southern Fukushima prefectures. We have identified three pyroclastic successions consistent with the volcanic deposits So-OT, So-TN, and So-KT (from youngest to oldest). So-OT consists of a fall pumice deposit, a surge deposit, and three pyroclastic flow units. We observed the fall deposits of So-OT at six localities, with the northernmost occurrence in southern Fukushima city. So-TN is divided into four pyroclastic flow units on the basis of observed differences in the refractive index values of the orthopyroxene and the glasses. Importantly, the refractive index values of the So-TN orthopyroxene are higher than those of the So-OT and So-KT tephra units. From the distribution of pyroclastic flow deposits, and trends in grain size and thickness of the fall deposits, the So-OT tephra is confidently attributed to the Shiobara caldera. The So-TN and So-KT tephra units become thicker and coarser toward the Shiobara caldera; furthermore, similarities in the glasses to those of So-OT indicate a shared volcanic provenance. The stratigraphy of these pyroclastic flow deposits and other important tephra units is reconstructed as follows (from youngest to oldest): the Tobiyama tephra (Az-MiP), So-OT, So-TN, A₁Pm, So-KT, and A₁Pm or A₂Pm. The So-TN and the stratigraphically younger So-OT tephra units are constrained to between the dated A₁Pm (337 ka) and Az-MiP (300 ka). The stratigraphically older So-KT tephra is constrained to below the A₁Pm (337 ka) and above the A₁Pm or A₂Pm (337–410 ka).

Keywords: pyroclastic flow deposits, Shiobara Otawara tephra, Takahara volcano, Middle Pleistocene, tephrochronology

はじめに

栃木県北部には中期更新世に噴出した複数の火砕流堆積物(以下, 火砕流堆積物群と呼ぶ)が分布する. 火砕流堆積物群のひとつである大田原火砕流堆積物(Ot pfl; 小池ほか, 1985)は, 那珂川水系箒川上流に発達する塩原盆地の原型となる陥没カルデラの形成に伴い噴出した(尾上, 1989)とされ, その分布は喜連川丘陵や那須野原を中心に, 南は宇都宮丘陵まで知られている(鈴木, 2000a). Ot pfl は後に鈴木ほか(2004)により同一噴火イベントでもたらされた降下テフラと合わせて, 塩原大田原テフラ(So-OT)と再定義されている.

鈴木ほか(2004)によると So-OT は高原火山の活動初期の噴出物として位置づけられており, 井上ほか(1994)は 1

～7 期に区分した噴火期のうち, Ot pfl は第 2 期に噴出したとしている. また, So-OT の層位は, 大町 APm テフラ群(APms, 330～410 ka; 鈴木・早川, 1990; 鈴木, 2000a, b; 貝塚ほか, 2000)の上位, 鬼怒沼黒田原テフラ(Kn-KD, 230 ka; 鈴木ほか, 2004; 山元, 2013)の下位にあるとされた. また, 鈴木ほか(2004)は Kn-KD と So-OT の間にある飛山テフラに含まれるジルコンのフィッシュントラック(FT)年代値が 300±30 ka である(渡辺ほか, 1999)こと, 下位の APms の年代などから So-OT の噴出年代を 300～330 ka と推定している. 飛山テフラは後に塩谷・鈴木(2016)により四阿蓑原テフラ(Az-MiP, 矢口・田辺, 1990)に対比されている. しかし, 近年, 那須野原や矢板丘陵周辺に分布するとされてきた火砕流堆積物の中に, ジルコンの FT 年代値が約 600 ka を示す, So-OT と異なる火砕流堆積

物が大田原火砕流堆積物群として報告されている(杉原ほか, 2009; 弦巻ほか, 2009 など)。以下その詳細を詳しく述べる。弦巻ほか(2009)は, Ot pfl は少なくとも3枚の火砕流堆積物に分かれ, 300~330 ka の田野原火砕流堆積物(TN-pfl), 530~590 ka の片俣火砕流堆積物(KT-pfl), 530~580 ka の金和崎火砕流堆積物(KN-pfl)と定義した。またこれらの火砕流堆積物に加え, 福島県下郷町沢田で APms の下位にみられる塩原下郷テフラ群(So-SG; 弦巻ほか, 2009)も合わせて大田原火砕流堆積物群と定義した。弦巻ほか(2009), 弦巻(2013)では大田原火砕流堆積物群と他テフラとの層序関係を上位から下位に TN-pfl, APms, 貝塩上宝テフラ(KMT, 620 ka; Suzuki, 2008)の順に重なるとし, KT-pfl と KN-pfl の層序は不明であるが, それらは APms と KMT に挟まれるとしている。

このほか最近では, 河合・鈴木(2011)が栃木県北部にて So-OT 下位の中部更新統から琵琶湖高島沖コア中の BT72 テフラ(349 ka; 吉川・井内, 1991; 吉川・加, 2001)に対比されるテフラを検出した。また, 笠原ほか(2017)は郡山盆地地下の郡山層中から, 降下テフラとしての So-OT とその上位に砂子原逆瀬川テフラ(Sn-SK, 220 ± 50 ka; 鈴木ほか, 2004)を検出している。下北沖コア中からも So-OT の遠隔相が見出され(鈴木ほか, 2012)たが, その降下年代は, 堂満ほか(2010)の酸素同位体比層序からは 250 ka と推定され, 鈴木ほか(2004)により推定された年代値(300~330 ka)と大きく異なる。これに対し, Matsu'ura et al. (2014)は同コア中の So-OT 相当のテフラの年代を 320 ka とし, 堂満ほか(2010)と異なる年代モデルを示した。

このように So-OT の近傍相・遠方相は広範囲に分布すると思われるにもかかわらず, その認定・層位・年代について統一的な見解が得られていない。そこで本研究では, So-OT の給源周辺での層位と遠方での層位を新たなデータに基づいて検討したうえで, その前後のテフラとの層序関係と噴出年代を明らかにすることを目的とした。その結果 So-OT の下位に2枚の火砕流堆積物と数枚の降下テフラ層

Fig. 1. Location map of the study area. Abbreviations: NkVG: Nikko Volcano Group; SoC: Shiobara caldera; NsV: Nasu volcano, NmC: Numazawa caldera, SnC: Sunagohara caldera; BnV: Bandai volcano, Adv: Adatara volcano, AzV: Azuma volcano, H.: Hills, B.: Basin. (Satellite photograph: copyright free).

を認定し, So-OT 前後のテフラの層序関係および噴出年代が明らかになったため報告する。

調査地概要

So-OT の給源とされる塩原カルデラ(尾上, 1989)は, その南部がカルデラ形成後に形成された高原火山の成層火山体に埋積されるため, 北に凸の三日月状の盆地(塩原盆地)として認められる(Fig. 2)。塩原盆地の中央部には盆地北西部を源とする箒川が流れ, 盆地東部より峡谷をなして東流し, 鬼

Fig. 2. Detailed location map of the study area. The dotted line shows the location of the partial cross-section in Fig. 5. The relief map was created using a digital elevation map (10 m resolution) of the Geospatial Information Authority of Japan (GSI).

Fig. 3. Lithological columns of proximal (ignimbrite) deposits around the Yaita hills. The location of each section is shown in Figures 1 and 2. *a: Scale for Loc. 4; *b: Scale for Locs 7–11 and 13–15; *c: Scale for Loc. 12; *d: Scale for Loc. 16.

怒川低地帯に至る (Fig. 1)。鬼怒川低地帯は足尾山地、奥羽脊梁山脈と八溝山地、阿武隈高地に挟まれた南北に延びる東西幅約 20 km の低地帯であり、碓氷川は低地帯に発達する扇状地群である那須野原の南端を流れる。那須野原の南には丘陵が広がり、その大部分は喜連川丘陵と呼ばれているが、今回記載報告の便宜上荒川と内川に挟まれた丘陵を矢板丘陵と呼ぶ (Fig. 2)。これらの丘陵はかつての扇状地を形成していた境林礫層 (小池ほか, 1985) からなり、その上部は 20~30 m 程度の厚い火山灰土に覆われる。大田原市是那須野原中央部に位置する。

調査・分析方法とその概要

本研究では、野外において各テフラ層の色調、層厚、構成物の種類とその平均および平均最大粒径、本質物の発泡度・形態・堆積構造などを記載した。平均粒径は各層あたりラン

ダムに選んだ 10~20 個の粒子の長径の平均値、平均最大粒径は露頭中の各層で最も大きな 3 個の本質物の長径の平均値である。粒径表記は基本的に平均粒径を用い、粒径の大きな本質物、岩片が認められた場合は平均最大粒径を用いた。

採取した試料は、水道水と超音波洗浄器によって粘土分が除去されるまで洗浄した。そして、実体顕微鏡を用いて鉱物組合せと火山ガラスの形態といった記載岩石学的特徴を明らかにした。火山ガラスの形態分類は岸・宮脇 (1996) に基づく。火山ガラスや斑晶鉱物の屈折率測定は、温度変化型屈折率測定装置 (京都フィッション・トラック社製 RIMS2000) を用い、その手順は Danhara et al. (1992) に基づく。火山ガラスが残存している試料については主成分化学組成分析 (EDS 分析) をおこなった。火山ガラスの主成分化学組成測定には、アメテック製エネルギー分散型 X 線分析装置 EDAX-Genesis APEX2 および日本電子製走査型電子顕微

Fig. 4. Comparison of the stratigraphical frameworks of previous studies and the present study.

鏡 JSM-6390 を用い、分析条件は Suzuki et al. (2014) によった。なお、本文および Fig. 8, Fig. 10 に示した火山ガラスの組成は、無水で 100% 換算した値である。換算前の分析値を Appendix に示す。また、始良 Tn テフラ (AT; 町田・新井, 2003) 中の火山ガラスを未知試料の測定前後に測定し、分析の再現性を確かめた。使用した AT は全て富山県立山町千垣で採取した AT (町田, 1996) である。

栃木県北部、福島県南部に分布する火砕流堆積物群の層相と記載岩石学的特徴

本研究では、矢板丘陵内の片俣西 (Loc.7)、片俣 (Loc.8) および塩田 (Loc.9) にて火砕流堆積物を 3 枚認定した (Fig. 2)。それらは上位から塩原大田原テフラ (So-OT)、塩原田野原火砕流堆積物 (So-TN)、塩原片俣火砕流堆積物 (So-KT) である。火砕流堆積物の判断基準は Cas and Wright (1991) に従い、淘汰が悪く、基質支持であり、高温で火山ガスが媒介した流れを示すことである。今回火砕流堆積物と認定した一部の露頭では、赤色高温酸化部の存在や炭化した木片を含むことから火砕流堆積物と認定することができた (片俣 (Loc.7) など) が、全ての露頭からそのような特徴を確認することはできなかった。その場合は、構成物質および堆積構造が高温で堆積したことを示す火砕流堆積物と層相が酷似する堆積物を火砕流堆積物と判断した。火砕サージ堆積物の判断基準は、Schmincke (2004) に従い、明瞭な層理および斜交層理の構造もち、相対的に淘汰の良い層と悪い層の互層が認められ、若干丸みを帯びた軽石を含む堆積物を火砕

サージ堆積物として認定した。軽石およびスコリアの判断基準は発泡した白色の火山噴出物を軽石に、発泡した黒色の火山噴出物をスコリアとし、それらの名称の使用は火山礫サイズ以上の火山噴出物を対象とする。テフラ名は給源火山と遠地の模式地の名称を組み合わせ命名する二重命名法 (町田・新井, 2003) を基に定めた。

本研究における露頭位置を Fig. 1 および Fig. 2 に、各露頭の柱状図を Fig. 3 に示す。また、本研究によるテフラ層序と従来の研究によるテフラ層序の関係を Fig. 4 に示す。以下に火砕流堆積物の層相および記載岩石学的特徴について、上位のものから順に記載する。

1. 塩原大田原テフラ (So-OT: 鈴木ほか, 2004)

地層名: 本テフラは、鈴木ほか (2004) により Ot pfl に加えて同一噴火イベントによってもたらされた降下テフラを含めた一連の堆積物が So-OT と再定義された。また弦巻ほか (2009) の KN-pfl はその分布範囲の記述から、鈴木ほか (2004) の So-OT と同一の堆積物であると判断した。しかし、弦巻ほか (2009) で示された層位および噴出年代と本研究で推定したそれらが大きく異なることが明らかになったため、本研究では KN-pfl という名称を用いず、より以前から用いられた So-OT を用いることとする。本研究では So-OT 上部を占める火砕流堆積物を層相や火山ガラスの主成分化学組成の相違から、塩原大田原火砕流堆積物上部 (So-OT pfd-u)、塩原大田原火砕流堆積物中部 (So-OT pfd-m)、塩原大田原火砕流堆積物下部 (So-OT pfd-l) の 3 ユニットの区分した。また、So-OT の火砕流堆積物の下位

Fig. 5. Partial cross-section of the Yaita hills. The line of the section is marked on Fig. 2.

に認められる火砕サージ堆積物と降下テフラをそれぞれ塩原大田原火砕サージ堆積物 (So-OT sg) および塩原大田原降下軽石層 (So-OT pfa) とした。So-OT pfa については次項で説明する。

模式地：So-OT pfd-u：塩谷町鳥羽ノ湯 (Loc.12)，So-OT pfd-m，So-OT pfd-l：矢板市片俣西 (Loc.7)，So-OT sg：下郷町沢田 (Loc.4)

分布：鬼怒川低地帯においては So-OT pfd-m の分布が So-OT の他ユニットと比べ最も広く、南は宇都宮市飛山 (Loc.16) で層厚約 35 cm、北は那須町矢ノ目 (Loc.6) で約 14 cm である。また、箒川右岸では So-OT pfd-m が比較的厚く堆積しており、沢 (Loc.14) においての層厚は 30 m 以上 (上限未確認) である。矢板市西部における地質横断面図 (Fig. 5) に示したように、模式地 (Loc.7) を含む矢板丘陵では丘陵の頂部を構成し、層厚は約 10 m である。So-OT pfd-l は模式地 (Loc.7) および Loc.4 においてのみ認められ、層厚はどちらも 1 m 以下である。So-OT pfd-u、So-OT surge はそれぞれの模式地 (Loc.12 および Loc.4) においてのみ認められる。

層相：鳥羽ノ湯 (Loc.12) では、上位より So-OT pfd-u、So-OT pfd-m が認められ、層厚はそれぞれ 5 m 以上、36 m 以上 (下限未確認) ある。So-OT pfd-u は平均最大粒径 3 cm のスコリアを含む不淘汰な基質支持のスコリア質火山礫凝灰岩で、基質はスコリアと同質の黒色火山灰からなる。このような層相を示すことから、So-OT pfd-u はスコリア流堆積物と判断した。So-OT pfd-u と So-OT pfd-m の境界は植生に覆われ確認することができない。So-OT pfd-m は上部に平均最大粒径 30 cm の白色軽石を含む不淘汰な礫支持の軽石質火山礫凝灰岩で、基質は軽石と同質の白色火山灰からなる。このような層相を示すことから、So-OT pfd-m は軽石流堆積物と判断した。So-OT pfd-m の下部には、平均粒径 2 cm の黒色スコリアを含む黒～灰色の岩片の濃集する部位が認められた。このように岩片の濃集する So-OT pfd-m は関根 (Loc.10) においても認められる。金和崎 (Loc.13) の So-OT pfd-m は層厚 20 m 以上の不淘汰な礫

支持の軽石質火山礫凝灰岩として認められ、平均最大粒径 5 cm の発泡のよい白～灰色軽石を含む。

片俣西 (Loc.7) では上位より So-OT pfd-m、So-OT pfd-l および後述の So-TN d～a が認められ、So-OT pfd-l と So-TN の間には層厚約 80 cm の茶褐色火山灰土が認められる (Fig. 3)。本地点においては、So-OT pfd-m は層厚 8 m 以上 (上限未確認) あり、層相は発泡の良い平均粒径 1 cm の軽石を含む不淘汰な礫支持の軽石質火山礫凝灰岩である。基質は白～クリーム色火山灰および中粒砂～粗粒砂サイズの岩片からなり、下部 10 cm には部分的に白色軽石の濃集部が認められる。下位の So-OT pfd-l とは整合関係であるが、明瞭な境界をもって接する。So-OT pfd-l は層厚約 25 cm あり、稀に粒径約 1 cm の白色軽石を含む基質支持の軽石質火山礫凝灰岩で、基質は白～クリーム色の軽石と同質の白色火山灰からなる。このような層相を示すことから、So-OT pfd-l は軽石流堆積物と判断した。

So-OT の火砕流堆積物と降下テフラの関係は、塩原カルデラから北北東約 25 km の沢田 (Loc.4) と、塩原カルデラから東北東約 30 km の矢ノ目 (Loc.6) で確認できる。沢田 (Loc.4) では、上位より So-OT pfd-l、So-OT sg、So-OT pfa からなる So-OT が茶褐色火山灰土に挟まれて認められ (Fig. 3)、層厚はそれぞれ 60 cm、20 cm、30 cm である。So-OT pfd-l は不淘汰な基質支持の軽石質火山礫凝灰岩で、上部 40 cm に平均粒径 3 cm の軽石が偏在している。So-OT pfd-l の上面は上位の火山灰土に漸移する。So-OT sg は平行葉理がみられる淘汰の良い粗粒火山灰の互層からなる層相を示すことから、サージ堆積物と判断した。So-OT sg と下位の So-OT pfa は明瞭な境界で接する。矢ノ目 (Loc.6) では、上位より So-OT pfd-m と So-OT pfa が認められ、層厚はそれぞれ 14 cm、27 cm である (Fig. 6)。So-OT pfd-m は最大平均粒径 4 cm の軽石を含む、不淘汰な基質支持の軽石質火山礫凝灰岩で、基質は風化した橙色火山灰からなる。全体的に逆級化する傾向が認められるとともに、露頭内で軽石の含有率が水平方向に変化する。また So-OT pfd-m と So-OT pfa は上下の火山灰土と明瞭な境界で接す

Fig. 6 Lithological columnar sections of distal (thin ash layer) deposits of So-OT unit 1. The locations of the sections are shown in Figs. 1 and 2. *a: Scale for Locs 1 and 3–6; *b: Scale for Loc. 2.

る。

記載岩石学的特徴：鉱物組合せは今回区分した So-OT の全層準で共通であり、斜方輝石、単斜輝石、チタン磁鉄鉱を含む (Table 1)。火山ガラスの形態は地点により若干の差異があるが、全体を通してバブルウォール型が多く、次いでスモールバブル型が多い。無色透明の火山ガラスの他に、褐色～黒色の火山ガラスも認められ、沢 (Loc.14) や金和崎 (Loc.13) で採取した So-OT pfd-m についてはその割合が高い。火山ガラスの屈折率 (n) は So-OT pfd-u で 1.503～1.507, So-OT pfd-m で 1.501～1.504, So-OT pfd-l で 1.503～1.505 となり、後述の So-TN と比べ若干低い値を取る (Fig. 7)。斜方輝石の最大屈折率は全ての So-OT で $\gamma = 1.715 \sim 1.724$ であり、So-TN のそれと比べ明らかに低い (Fig. 7)。

それぞれの模式地での So-OT の火山ガラスの主成分化学組成値 (平均重量 %) は So-OT pfd-u が FeO : 2.1%, K_2O : 2.5%, Na_2O : 3.1%, So-OT pfd-m が FeO : 1.9%, K_2O : 2.4%, Na_2O : 3.6%, So-OT pfd-l が FeO : 1.9%, K_2O : 2.3%, Na_2O : 3.4%, So-OT sg が, FeO : 2.0%, K_2O : 2.2%, Na_2O : 3.8% (Table 2) である。So-OT pfd-u は K_2O および FeO に富み, Na_2O が低い (Fig. 8)。So-OT pfd-l は So-OT sg および他の So-OT pfd に比べ Na_2O が若干低い (Fig. 8)。So-OT sg は Na_2O に富み, K_2O が若

干低いことから So-OT の他ユニットと区別される (Fig. 8)。

2. 塩原田野原火砕流堆積物 (So-TN : 改称)

地層名：本テフラは、弦巻ほか (2009) により定義された TN-pfl と同一の堆積物と考えられる。その理由は、弦巻ほか (2009) が同テフラの FT 年代を引用した杉原ほか (2009) によれば、その産出地点 ($36^{\circ}51'2.59''N$, $139^{\circ}55'2.4''E$) が本論文の田野原 (Loc.11) と一致しているからである。なお後述するように、本研究にて本テフラの給源が塩原カルデラである可能性が高いことが明らかになったため、給源火山名を加えて塩原田野原火砕流堆積物 (So-TN) とする。本研究では本堆積物を層相や火山ガラスの主成分化学組成の相違から、上位から下位に塩原田野原火砕流堆積物 d～a (So-TN d～a) の 4 ユニットに細分した。

模式地：矢板市片俣西 (Loc.7)

分布：So-TN b は矢板丘陵内 (Loc.7, Loc.8, Loc.9) と喜連川丘陵西部の一部 (Loc.11) で認められる。層厚は田野原 (Loc.11) で最も厚く 10 m 以上 (上限未確認)、矢板丘陵内では 5 m 前後である。So-TN d, So-TN c および So-TN a は模式地 (Loc.7) のみで認められる。矢板丘陵内の Loc.7, Loc.8 と喜連川丘陵西部の Loc.11 ではともに標高約 260～270 m 付近に堆積面をもつ (Fig. 5)。

層相：模式地 (Loc.7) では、So-TN d は層厚約 160 cm の不淘汰な軽石火山礫凝灰岩で、上部 60 cm には平均粒径 1.5

Table 1. Properties of tephra in and around the Yaita hills and in areas distant from the source. (1) Tephra name. (2) References for tephra and their correlation: a) Suzuki et al. (2004), b) Suzuki (2011), c) Kasahara et al. (2012). (3) Localities are shown in Figs. 1 and 2. (4) Thickness of sediment (cm). (5) Type of deposit. afa: ash fall deposit, pfa: pumice fall deposit, pfd: pyroclastic flow deposit. (7) Type of volcanic glass shard and mineral composition (except plagioclase and ferromagnetic minerals). spg: sponge type, sb: small bubble type, bw: bubble-wall type, qt: quartz, opx: orthopyroxene, cpx: clinopyroxene, ho: hornblende, bi: biotite. Types of volcanic glass shards are after Kishi and Miyawaki (1996). Description of mineral compositions is after Machida and Arai (2003). (8) Determined by RIMS2000, after Danhara et al. (1992).

(1) Tephra		(2) Reference	(3) Locality	(4) Thickness (cm)	(5) Type	(6) Maximum grain size (mm)	(7) Composition			(8) Refractive index		
							glass shape	heavy mineral	light mineral	glass (n)	opx (v)	ho (n2)
Kn-KD	-	-	loc.15	5	pfa	2	-		ho>opx	-	1.709-1.715	1.676-1.682
So-OT pfd-upper	-	-	loc.12	>500	scfl	30	bw, sb	opx>>mt>cpx		1.503-1.507	1.719-1.724	-
So-OT pfd-middle	-	-	loc.6	14	pfl	40	-	opx>mt		-	1.717-1.719	-
-	-	-	loc.7	>800	pfl	15	bw>str>sb	opx>mt, cpx		1.503-1.504	1.720-1.722	-
-	-	-	loc.8	800	pfl	10	bw>str>sb	opx>mt>cpx		1.505-1.506	1.720-1.721	-
-	-	-	loc.9	>2000	pfl	15	bw>str>sb	opx>mt>cpx		1.501-1.502	1.719-1.722	-
-	-	-	loc.12	>3600	pfl	300	str>sb	opx>>mt>cpx		1.503-1.504	1.719-1.724	-
b	-	-	loc.13	>2000	pfl	50	str>bw	opx>>cpx>mt		1.503-1.504	1.719-1.722	-
-	-	-	loc.14	>2000	pfl	200	bw, str	opx>cpx>mt		1.501-1.502	1.720-1.724	-
-	-	-	loc.15	40	pfl	20	-	mt>>opx		-	1.715-1.720	-
So-OT pfd-lower	-	-	loc.4	60	pfl	40	sb	opx>>mt, cpx		1.503-1.505	1.719-1.723	-
-	-	-	loc.7	25	pfl	10	bw>str>sb	opx>mt>>cpx		1.505-1.506	1.718-1.721	-
So-OT surge	-	-	loc.4	20	surge	1	sb	opx>>mt, cpx		1.503-1.505	1.717-1.723	-
So-OT pfa	-	-	loc.1	8	pfa	3	sb	opx>>mt>cpx		1.502-1.505	1.715-1.722	-
-	-	-	loc.2	12	pfa	4	bw, sb	opx, mt>cpx		1.502-1.503	1.716-1.723	-
c	-	-	loc.3	16	pfa	5	sb, bw	opx>cpx		1.502-1.504	1.720-1.722	-
a	-	-	loc.4	30	pfa	5	sb, bw	opx>>mt, cpx		1.502-1.504	1.714-1.722	-
a	-	-	loc.5	55	pfa	30	bw, sb	opx>>mt, cpx		1.503-1.506	1.718-1.723	-
-	-	-	loc.6	27	pfa	20	-	opx>mt		-	1.711-1.718	-
So-TN Unit d	-	-	loc.7	160	pfl	40	str>sb	opx>mt>>cpx		1.505-1.506	1.719-1.721, 1.728-1.730	-
So-TN Unit c	-	-	loc.7	60	pfl	3	sb>str	opx>mt		1.507-1.508	1.719-1.720, 1.730-1.732	-
So-TN Unit b	-	-	loc.9	>200	scfl	5	sb>str	opx>mt (cpx)		1.506-1.507	1.728-1.732	-
-	-	-	loc.7	100	scfl	20	sb>str>bw	opx>mt		1.505-1.506	1.719-1.721, 1.729-1.731	-
-	-	-	loc.8	200	scfl	30	sb>str	opx>mt		1.507-1.508	1.731-1.733	-
-	-	-	loc.11	>1000	pfl	450	str>sb	opx>mt>cpx		1.506-1.507	1.728-1.731	-
So-TN Unit a	-	-	loc.7	170	pfl	40	sb>str	opx>mt>cpx		1.507-1.508	1.730-1.732	-
SwdP	-	-	loc.1	5	pfa	3	-	opx>>mt>cpx(ho)		-	1.718-1.724	-
-	-	-	loc.4	70	pfa	20	-	opx>mt		-	1.718-1.723	-
-	-	-	loc.5	30	pfa	15	-	opx>>mt>cpx		-	1.719-1.724	-
-	-	-	loc.6	60	pfa	1	-	(opx)		-	-	-
-	-	-	loc.15	50	pfa	10	-	(opx)		-	-	-
APms	a	-	loc.4	-	afa(patch)	<1	-	bi>>mt>ho; qz		-	-	1.687-1.694
-	a	-	loc.5	8	afa	<1	-	bi>mt; qz		-	-	-
-	-	-	loc.6	5	afa	<1	-	bi>mt		-	-	1.688-1.690
-	-	-	loc.6	5	afa	<1	-	bi>mt		-	-	1.688-1.690
-	-	-	loc.15	10	afa	<1	-	bi>>mt>ho; qz		-	-	1.692-1.693
A ₄ Pm	-	-	loc.7	10	afa	1	spg	bi>ho>>opx; qz		1.498-1.490	1.729-1.732	1.688-1.690
-	-	-	loc.8	10	afa	1	-	bi>ho>>opx; qz		-	1.731-1.733	1.687-1.690
-	-	-	loc.9	10	afa	1	spg	bi>ho>>opx; qz		1.497-1.500	1.727-1.734	1.688-1.694
So-KT	-	-	loc.8	800	pfl	200	str>sb	opx>mt(ho); qz		1.505-1.506	1.719-1.721	1.680-1.681, 1.683-1.685
-	-	-	loc.9	60	pfl	20	str, sb	opx>cpx>>mt, ho; qz		1.505-1.506	1.716-1.722	1.681-1.683
loc.17	-	-	loc.17	>450	pfl	20	sb>str	opx>mt, cpx>ho; qz		1.505-1.506	1.717-1.719	1.678-1.687
A ₂ Pm or A ₁ Pm	-	-	loc.8	10	afa	1	-	bi>ho>opx; qz, mt		-	-	1.686-1.694
BT72	-	-	loc.11	4	afa	<1	bw, sb	(ho, opx, cpx, bi)		1.502-1.505	-	-

Fig. 7. Histogram of the refractive index of volcanic glass (n) and rhombic pyroxene (γ) from So-OT, So-TN, and So-KT. The vertical axis indicates the number of occurrences.

cmの白色や灰色の軽石と青灰色や黒色の岩片が濃集し、逆級化している。基質は桃灰色火山灰からなり、最上部30 cmは赤色を呈しやや固結している。下部100 cmは基質支持で上部と同質の基質中に平均粒径約0.5 cmの白色軽石が散在する。このような層相を示すことから、So-TN dは軽石流堆積物と判断した。下位のSo-TN cとは整合関係であるが明瞭な境界をもって接する。So-TN cは層厚約60 cmあり、平均粒径0.3 cmの白色軽石を含む不淘汰な礫支持の軽石質火山礫凝灰岩で、基質は桃灰色火山灰からなる。このような層相を示すことから、So-TN cは軽石流堆積物と判断した。本堆積物は下位のSo-TN bを若干侵食して重なる。So-TN bは平均粒径1.5 cmの黒色スコリアと岩片を多く含む不淘汰な基質支持のスコリア質火山礫凝灰岩で、基質は黒～黒褐色火山灰からなる。層厚の側方変化が著しいが、厚いところで層厚約100 cmである。このような層相を示すことから、本地点のSo-TN bはスコリア流堆積物と判断した。下位のSo-TN aとは整合的に明瞭な境界をもって接する。So-TN aは層厚約170 cmであり、平均粒径4 cmの白～灰色の発泡の良い軽石を局所的に含む不淘汰な礫支持の軽石質凝塊角礫岩で、基質は桃灰色火山灰からなる。このよ

うな層相を示すことから、So-TN aは軽石流堆積物と判断した。軽石濃集部には比較的粒径の大きな軽石を多く含み、長径10 cmを超えるものも認められる。直下には層厚約10 cmの赤色を呈するやや固結したシルト層があり、So-TN aとの境界は明瞭である。

片俣(Loc.8)ではSo-TN bが層厚約200 cmで認められ、平均粒径2 cmの黒色スコリア・岩片・灰色軽石を含んだ不淘汰で基質支持のスコリア質火山礫凝灰岩である。最下部および最上部に平均最大粒径約10 cmの発泡の良い黄色軽石が認められ、直下には層厚約5 cmの赤色を呈するやや固結した火山灰土が認められる。このような層相を示すことから、本地点のSo-TN bはスコリア流堆積物と判断した。田野原(Loc.11)ではSo-TN bが層厚10 m以上(上限未確認)の不淘汰で基質支持の軽石質火山礫凝灰岩として認められ、平均粒径10 cmの白～灰色の軽石を多く含む。基質は白～灰色の火山灰からなる。このような層相を示すことから、本地点のSo-TN bは軽石流堆積物と判断した。田野原(Loc.11)でのSo-TN bは他地点と岩相が異なるが、火山ガラスの主成分化学組成の多くが模式地(Loc.7)においてのSo-TN bと類似すること、後述するBT72が下位に認められることから、So-TN bと同一の堆積物であると判断した。また、最下部には多量の岩片とともに、若干丸みを帯びた最大平均粒径45 cmの発泡の良い白色軽石を含み、火山ガラスの主成分化学組成の一部は模式地(Loc.7)のSo-TN aとも類似する。このことから、本地点のSo-TN bはSo-TN aの軽石を取り込んでいると判断した。本堆積物直下のシルト層とは整合的に明瞭な境界をもって接する。

記載岩石学的特徴：鉱物組み合わせは全てのユニットで斜方輝石、チタン磁鉄鉱を含み、単斜輝石の量比は地点により異なる。火山ガラスの形態は全体を通して平行型が多くみられ、次にスモールバブル型がみられる。また無色透明な火山ガラスの他に黒～褐色の火山ガラスも認められる。火山ガラスと斜方輝石の屈折率は全てのユニットで $n=1.505\sim 1.509$, $\gamma=1.728\sim 1.733$ であり、どちらもSo-OTと比べ高い値を示す(Fig. 7)。また、火山ガラスの主成分化学組成値(平均重量%)はSo-TN dが $\text{SiO}_2: 77.4\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3: 12.2\%$, $\text{K}_2\text{O}: 2.5\%$, $\text{Na}_2\text{O}: 2.9\%$, So-TN cが $\text{SiO}_2: 76.5\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3: 12.1\%$, $\text{K}_2\text{O}: 2.7\%$, $\text{Na}_2\text{O}: 3.3\%$, So-TN bが $\text{SiO}_2: 76.9\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3: 12.0\%$, $\text{K}_2\text{O}: 2.7\%$, $\text{Na}_2\text{O}: 3.3\%$, So-TN aが $\text{SiO}_2: 76.8\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3: 12.2\%$, $\text{K}_2\text{O}: 2.5\%$, $\text{Na}_2\text{O}: 3.3\%$ (Table 2)である。So-TN dは他ユニットと比べ若干 SiO_2 に富むこと、 Na_2O が低いことから区別される(Fig. 8)。So-TN cとSo-TN bの主成分は類似している。So-TN aは他ユニットと比べ SiO_2 が低いこと、 FeO に富むことで区別される(Fig. 8)。

3. 塩原片俣火砕流堆積物(So-KT：改称)

地層名：弦巻(2013)においてKT-pflが記載された同論文の地点aは、露頭の位置図および写真から、本研究にてSo-KTを記載した片俣(Loc.8)と同一の露頭であると判断した。また、同論文の地点aの柱状図から、本テフラは弦巻ほか(2009)によりKT-pflと定義された堆積物と同一の

Table 2. Chemical compositions of glass shards from So-OT, So-TN, and So-KT. (1) Localities are marked in Figs. 1 and 2. (2) Analyses recalculated to 100% on a volatile-free basis and presented as the recalculated mean and recalculated standard deviation of “n” shards counted. FeO: total iron as FeO, determined by JEOL JSM-6390 (scanning electron microscope) and an EDAX-Genesis APEX2 energy dispersive X-ray spectrometer using a 0.6 nA current at 15 kV, livetime 200 seconds, and ca. 10 μ m beam diameter.

(1) Tephra (Locality)	(2) Major element compositions (wt.%)										Analytical Total	(3) n
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	Total		
So-OT pfd-upper (loc.12 Tobanoyu)	77.1 0.4	0.3 0.1	12.6 0.1	2.1 0.2	0.1 0.1	0.4 0.0	1.8 0.1	2.5 0.2	3.1 0.2	100.0	97.2 0.7	16
So-OT pfd-middle (loc.7 Katamata Nishi)	77.1 0.3	0.3 0.0	12.5 0.1	1.8 0.1	0.1 0.1	0.4 0.0	1.9 0.1	2.3 0.2	3.6 0.2	100.0	94.7 4.0	15
(loc.8 Katamata)	77.0 0.3	0.4 0.1	12.5 0.1	1.9 0.1	0.1 0.1	0.4 0.0	1.9 0.1	2.3 0.1	3.6 0.2	100.0	96.1 0.7	16
(loc.9 Shiota)	76.9 0.2	0.3 0.0	12.5 0.1	2.0 0.2	0.2 0.0	0.4 0.0	1.9 0.1	2.4 0.2	3.4 0.3	100.0	97.4 0.9	16
(loc.12 Tobanoyu)	77.1 0.4	0.3 0.1	12.6 0.1	2.0 0.1	0.1 0.1	0.4 0.0	1.8 0.1	2.4 0.2	3.3 0.3	100.0	96.9 1.1	16
(loc.13 Kanawasaki)	77.0 0.5	0.3 0.1	12.5 0.1	1.7 0.4	0.2 0.1	0.4 0.0	1.9 0.1	2.4 0.1	3.6 0.2	100.0	95.5 2.9	16
(loc.14 Sawa)	76.9 0.2	0.3 0.1	12.6 0.1	1.9 0.1	0.1 0.1	0.4 0.0	1.9 0.1	2.3 0.0	3.7 0.1	100.0	98.8 0.9	16
So-OT pfd-lower (loc.4 Sawada)	77.1 0.2	0.3 0.0	12.5 0.1	1.9 0.1	0.1 0.1	0.4 0.0	1.9 0.1	2.3 0.0	3.4 0.1	100.0	94.0 0.3	20
(loc.7 Katamata Nishi)	77.1 0.2	0.3 0.0	12.6 0.1	1.8 0.3	0.1 0.1	0.4 0.0	1.9 0.1	2.4 0.0	3.4 0.1	100.0	98.2 0.6	14
So-OT surge (loc.4 Sawada)	76.7 0.2	0.3 0.1	12.6 0.1	2.0 0.1	0.1 0.1	0.4 0.0	1.9 0.0	2.2 0.1	3.8 0.1	100.0	97.8 1.6	20
So-OT pfa (loc.1 Amasake)	77.1 0.2	0.3 0.1	12.5 0.1	2.0 0.1	0.1 0.1	0.4 0.0	1.8 0.1	2.3 0.1	3.5 0.1	100.0	93.7 0.9	16
(loc.2 Kohata)	77.3 0.3	0.2 0.1	12.5 0.1	2.0 0.1	0.1 0.1	0.3 0.0	1.8 0.1	2.3 0.0	3.5 0.1	100.0	92.5 0.6	16
(loc.3 Yatsuyamada)	77.2 0.2	0.3 0.1	12.5 0.1	2.0 0.1	0.1 0.1	0.4 0.0	1.9 0.0	2.3 0.0	3.3 0.1	100.0	93.0 0.4	20
(loc.4 Sawada)	77.1 0.3	0.3 0.0	12.5 0.2	2.0 0.1	0.1 0.1	0.4 0.0	1.9 0.1	2.3 0.1	3.5 0.1	100.0	94.3 0.9	20
(loc.5 Yokoana)	77.3 0.1	0.3 0.0	12.5 0.1	1.9 0.1	0.1 0.0	0.4 0.0	1.9 0.1	2.3 0.1	3.3 0.1	100.0	93.0 0.7	20
So-TN Unit d (loc.7 Katamata Nishi)	77.4 0.3	0.4 0.1	12.2 0.2	2.3 0.1	0.1 0.1	0.3 0.0	1.8 0.1	2.5 0.1	2.9 0.2	100.0	96.1 1.6	15
So-TN Unit c (loc.7 Katamata Nishi)	76.5 0.2	0.4 0.1	12.1 0.1	2.6 0.1	0.2 0.0	0.3 0.0	1.8 0.1	2.7 0.1	3.3 0.1	100.0	97.3 0.8	16
So-TN Unit b (loc.7 Katamata Nishi)	76.9 0.2	0.4 0.1	12.0 0.1	2.4 0.1	0.2 0.1	0.3 0.0	1.8 0.0	2.7 0.1	3.3 0.1	100.0	96.2 0.8	16
(loc.8 Katamata)	76.6 0.2	0.4 0.1	12.1 0.1	2.7 0.1	0.2 0.0	0.3 0.0	1.9 0.1	2.7 0.1	3.2 0.1	100.0	96.5 0.6	16
(loc.9 Shiota)	76.8 0.6	0.4 0.1	12.1 0.2	2.4 0.2	0.1 0.1	0.3 0.0	1.9 0.1	2.7 0.1	3.3 0.1	100.0	95.5 0.9	16
(loc.11 Tanohara)	76.5 0.3	0.4 0.0	12.1 0.1	2.6 0.1	0.1 0.1	0.3 0.0	1.9 0.1	2.7 0.1	3.3 0.2	100.0	94.9 0.9	16
So-TN Unit a (loc.7 Katamata Nishi)	77.2 1.0	0.3 0.1	12.7 0.6	1.5 0.4	0.1 0.1	0.3 0.1	2.0 0.4	2.4 0.2	3.4 0.2	100.0	97.2 1.7	13
So-KT (loc.6 Shiota Minami)	76.9 0.6	0.3 0.1	12.7 0.3	1.9 0.1	0.1 0.1	0.4 0.1	2.2 0.2	2.0 0.3	3.4 0.2	100.0	96.3 0.6	16
(loc.9 Shiota)	76.8 0.4	0.3 0.0	12.7 0.1	1.9 0.1	0.1 0.1	0.4 0.1	2.3 0.1	1.9 0.2	3.5 0.2	100.0	97.3 1.8	15
(loc.8 Katamata)	76.8 0.5	0.3 0.1	12.7 0.2	2.0 0.1	0.1 0.1	0.4 0.0	2.3 0.1	1.7 0.1	3.7 0.1	100.0	95.9 1.9	16

堆積物であると考えられる。また本研究にて本テフラの給源が塩原カルデラである可能性が高いことが明らかになったため、給源名を加えて塩原片俣火砕流堆積物(So-KT)とする。

模式地: 矢板市片俣(Loc.8)

分布: 本テフラは矢板丘陵内の3地点(Locs.8, 9, 17)で認められる。層厚は模式地(Loc.8)では層厚約8 mで認められるが、塩田(Loc.9)では層厚約160 cmと矢板丘陵内でも異なる。矢板丘陵内のLoc.7, Loc.8では共に標高約260 m付近に堆積面をもつ(Fig. 5)。

層相: 模式地(Loc.8)では茶褐色の火山灰土中に層厚約8 m、平均粒径1 cmの発泡の良い白色軽石を含む不淘汰で礫支持

の軽石質火山礫凝灰岩として認められ、基質は一様に桃灰色火山灰からなる。下部50 cmに平均最大粒径約20 cmの発泡の良い繊維質白色軽石の濃集部が認められる。このような層相を示すことから、So-KTは軽石流堆積物と判断した。So-KTの下限および上限境界は明瞭である。塩田(Loc.9)では層厚約60 cmあり、平均粒径1 cmのつぶれた黄白色軽石を含んだ不淘汰で礫支持の軽石質火山礫凝灰岩で、基質は黄白色火山灰からなる。直上および直下のシルト層とは整合的に明瞭な境界をもって接する。塩田南(Loc.17)では、層厚が450 cm以上(下限未確認)であり、平均粒径1 cmおよび0.5 cmの白色軽石および青や青灰色の岩片が散在する

Fig. 8. Comparison of EDS results for volcanic glass shards from So-OT, So-TN, and So-KT.

不淘汰な基質支持の軽石質火山礫凝灰岩で、基質は桃灰色火山灰からなる。

記載岩石学的特徴：鉱物組み合わせは斜方輝石、単斜輝石、チタン磁鉄鉱の他に、高温型石英と微量の普通角閃石を含む。また、So-OTやSo-TNには黒～褐色の火山ガラスが認められるが、So-KTには認められない。火山ガラス、斜方輝石、普通角閃石の屈折率はそれぞれ、 $n=1.505\sim1.506$ 、 $\gamma=1.716\sim1.722$ 、 $n_2=1.681\sim1.683$ である。火山ガラスの主成分化学組成値(平均重量%)はSiO₂: 76.8%、Al₂O₃: 12.7%、FeO: 2.0%、CaO: 2.3%、K₂O: 1.7%、Na₂O: 3.7%(Table 2)である。

給源遠方における塩原大田原テフラとその直下に位置する 降下テフラの層相と記載岩石学的特徴

1. 塩原大田原降下軽石層(So-OT pfa: 鈴木ほか, 2004)

地層名：鈴木ほか(2004)のSo-OTの降下テフラにあたる。

模式地：下郷町沢田(Loc.4)

分布：本テフラは栃木県北部～福島県南西部にかけて分布する。層厚は福島県北部から栃木県北部にかけて増大し(Fig. 9), 福島市體(Loc.1)で8 cm, 下郷町沢田(Loc.4)で30 cmである。

層相：模式地(Loc.4)では淘汰の良い黄色軽石層として認められ、15 cm ずつ上部と下部に別れ、上部下部ともに正級化構造が認められる。軽石の平均最大粒径は上部で1.5 cm, 下部で0.8 cm あり、下部ユニットは岩片が多く含まれ、その岩片の平均最大粒径は5 mm である。泉崎村横穴(Loc.5)では淘汰の良い黄色軽石層として層厚約55 cm, 平均最大

粒径3 cm で認められる。那須町矢ノ目(Loc.6)では、淘汰の良い黄色軽石層として認められ、下部の7 cm に比べて上位20 cm の部分が相対的に粗く、平均最大粒径2 cm の軽石が認められる。郡山市八山田(Loc.3)では笠原ほか(2017)が、深度38.24～38.40 m(層厚16 cm)に平均最大粒径5 mm の淘汰の良い軽石層を認め、So-OTの降下堆積物と対比した。二本松市木幡(Loc.2)では最大層厚12 cm, 平均最大粒径0.4 cm の淘汰の良い橙色軽石層として認められ、レンズ状に層厚が側方変化する。體(Loc.1)では層厚約8 cm, 平均最大粒径は0.3 cm の淘汰の良い黄色細粒軽石層として認められる。

記載岩石学的特徴：鉱物組み合わせは斜方輝石、単斜輝石、チタン磁鉄鉱を含む(Table 1)。火山ガラスは主に無色透明の火山ガラスからなり、火山ガラスの形態はバブルウォール型が多くみられ、次いでスモールバブル型が多くみられる。火山ガラスの屈折率(n)は1.502～1.503, 斜方輝石の最大屈折率(γ)は1.716～1.723である。模式地(Loc.4)の火山ガラスの主成分化学組成値(平均重量%)はSiO₂: 77.1%, Al₂O₃: 12.5%, FeO: 2.0%, CaO: 1.9%, K₂O: 2.3%, Na₂O: 3.5%となり、So-OT pfd-Iと類似する。また、八山田(Loc.3)ではSiO₂: 77.2%, Al₂O₃: 12.5%, FeO: 2.0%, CaO: 1.9%, K₂O: 2.3%, Na₂O: 3.3%である。

2. 沢田降下軽石層(SwdP; 新称)

地層名：本テフラは模式地(Loc.4)にて鈴木ほか(2004)によりSo-OTの下位に黄～橙色降下軽石層(未命名)として記載されている(同論文のLoc.24)。今回この黄～橙色降下軽石層を沢田降下軽石層(SwdP)と命名し、層相および記載岩

Fig. 9. Isopach map of So-OT pfa and the distribution limit of So-OT pfd-m. Abbreviations: NkVG: Nikko Volcano Group, SoC: Shiobara caldera, NsV: Nasu volcano, NmC: Numazawa caldera, SnC: Sunagohara caldera, BnV: Bandai volcano, Adv: Adatara volcano, AzV: Azuma volcano, H.: Hills, B.: Basin.

石学的特徴を以下に示す。

模式地：下郷町沢田 (Loc.4)

分布：本テフラは栃木県北部～福島県南西部にかけて分布する。また、本テフラの層厚は福島市から栃木県北部にかけて増大し、醜 (Loc.1) で約 5 cm、模式地 (Loc.4) で約 70 cm である。

層相：模式地 (Loc.4) では、So-OT pfa の下底から約 10 cm の層位に、茶褐色の火山灰土に挟まれた層厚約 70 cm の淘汰の良い黄～橙色軽石層として認められる。本層はともに逆級化構造がみられる上部 50 cm と下部 20 cm に分かれ、下部は平均最大平均粒径 1 cm の青～黒色岩片や火山豆石を多く含む。軽石の平均最大粒径は上部で 2 cm、下部で 1.5 cm あり、上部が粗粒である。横穴 (Loc.5) では、So-OT pfa の下底から 50～100 cm 下位の層位に、茶褐色の火山灰土に挟まれた層厚約 30 cm、平均最大粒径 1.5 cm の軽石を含む淘汰の良い黄色軽石層として認められる。矢ノ目 (Loc.6) では、So-OT pfa の下底から約 80 cm 下位の層位に、茶褐色の火山灰土に挟まれた層厚約 60 cm、平均粒径 0.1 cm の軽石および平均最大粒径 1 cm の青～灰色火山礫を多く含む、風化した橙色軽石層として認められる。沼野井 (Loc.15) では、So-OT pfa の下底から約 70 cm 下位の層位に、茶褐色の火山灰土に挟まれた層厚約 50 cm、平均最大粒径 1.0 cm の軽石を含む風化した淘汰の良い黄色軽石層として認められる。醜 (Loc.1) では So-OT pfa の下底から約 1 cm 下位の層準に、茶褐色の火山灰土に挟まれた層厚約 5 cm、平均最大粒径 0.3 cm の淘汰の良い黄色細粒軽石層

として認められる。

記載岩石学的特徴：鉱物組合せは斜方輝石、単斜輝石、チタン磁鉄鉱からなり、模式地 (Loc.4) の斜方輝石の最大屈折率 (γ) は上部で $\gamma=1.715\sim1.720$ 、下部で $\gamma=1.713\sim1.722$ である (Table 1)。全ての地点で火山ガラスは風化により得ることができなかった。また、沼野井 (Loc.15) および矢ノ目 (Loc.6) では風化により斜方輝石の屈折率を得ることができなかったが、両地点とも他地点の SwdP と層相が類似しており、So-OT の直下および後述する黒雲母含有火山灰の上位に位置するため SwdP に対比されると判断した。

火砕流堆積物群に挟まれるテフラと岩屑なだれ堆積物の層相と記載岩石学的特徴

今回、火砕流堆積物群に近接する層準にて黒雲母含有テフラを 8 地点 (Locs.4～9, Loc.15, 16) で認定した (Figs. 3, 6)。Loc.8 で採取した試料では斜方輝石の屈折率が測定でき、Loc.7, 9 のものにおいては斜方輝石の屈折率と共に火山ガラスの主成分化学組成値を得たので以下に記載する。Locs.7～9, 15 以外の地点の黒雲母含有テフラの層相はいずれも茶褐色の火山灰土や砂層中に層厚約 5～10 cm の黒雲母密集帯またはレンズ状の黒雲母密集部として認められる。また、それらのテフラは多量の黒雲母と石英、普通角閃石を含み、普通角閃石の屈折率はいずれも $n_2=1.686\sim1.694$ である。また、田野原 (Loc.11) では細粒ガラス質火山灰を、沼野井 (Loc.15) では岩屑なだれ堆積物と黒雲母含有テフラを火砕流堆積物群と共に確認したため以下に記載する。それらの記載岩石学的特徴を Table 1 に示す。

1. 矢板市片俣西 (Loc.7)

本地点では、So-TN 下底から層厚約 40 cm 下位の層位に、シルト層に挟まれた黒雲母を多量に含む層厚約 10 cm の淘汰の良い白色火山灰層が認められる (Fig. 3)。本層はスポンジ型の火山ガラスを含み、多量の黒雲母と石英、普通角閃石および微量の斜方輝石を含む。火山ガラスの屈折率は $n=1.498\sim1.500$ 、普通角閃石および斜方輝石の屈折率はそれぞれ $n_2=1.688\sim1.690$ 、 $\gamma=1.729\sim1.732$ である。火山ガラスの主成分化学組成値 (平均重量%) は $\text{SiO}_2: 77.5\%$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3: 12.5\%$ 、 $\text{FeO}: 1.2\%$ 、 $\text{CaO}: 0.9\%$ 、 $\text{K}_2\text{O}: 4.5\%$ 、 $\text{Na}_2\text{O}: 3.1\%$ である。

2. 矢板市片俣 (Loc.8)

本地点では、So-TN 下底から層厚約 150 cm 下位の層位に、茶褐色の火山灰土に挟まれた層厚約 10 cm の淘汰の良い茶灰色火山灰層が認められる (Fig. 3)。本層には風化のため火山ガラスは認められないが、多量の黒雲母と石英、普通角閃石および微量の斜方輝石を含む。普通角閃石および斜方輝石の屈折率は $n_2=1.688\sim1.694$ 、 $\gamma=1.727\sim1.734$ である。茶灰色火山灰層の下底から層厚約 30 cm の火山灰土を挟んで So-KT がある。So-KT の下底から層厚約 50 cm 下位の層位には、シルト層に挟まれた層厚約 10 cm の淘汰の良い灰色火山灰層が認められる。本層にも火山ガラスは認められないが、多量の黒雲母と石英、普通角閃石を含む。普通角閃石の屈折率は $n_2=1.686\sim1.694$ である。

3. 矢板市塩田(Loc.9)

本地点では、So-TN 下底から層厚約 30 cm の層位に、砂質シルト層に挟まれた淘汰の良い層厚約 10 cm の白色火山灰層が認められ、その下位には So-KT が認められる (Fig. 3). 白色火山灰層にはスポンジ型火山ガラスが認められ、多量の黒雲母と石英、普通角閃石および微量の斜方輝石を含む。火山ガラスの屈折率は $n=1.497\sim1.500$ 、普通角閃石および斜方輝石の屈折率は $n_2=1.688\sim1.694$ 、 $\gamma=1.727\sim1.734$ である。火山ガラスの主成分化学組成値(平均重量%)は $\text{SiO}_2: 78.0\%$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3: 12.3\%$ 、 $\text{FeO}: 1.0\%$ 、 $\text{CaO}: 0.9\%$ 、 $\text{K}_2\text{O}: 4.7\%$ 、 $\text{Na}_2\text{O}: 2.8\%$ である。

4. 矢板市田野原(Loc.11)

本地点では、So-TN 下位のシルト層中には層厚約 4 cm の白色ガラス質火山灰層が認められる (河合・鈴木, 2011) (Fig. 3). 本層はスモールバブル型の火山ガラスを多く含み、鉱物はほとんど認められない。火山ガラスの屈折率は $n=1.502\sim1.505$ で、主成分化学組成値(平均重量%)は $\text{SiO}_2: 77.4\%$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3: 12.6\%$ 、 $\text{FeO}: 1.4\%$ 、 $\text{CaO}: 1.4\%$ 、 $\text{K}_2\text{O}: 3.0\%$ 、 $\text{Na}_2\text{O}: 3.5\%$ である。

5. 那須町沼野井(Loc.15)

本地点では、茶褐色の火山灰土中に 1 枚の岩屑なだれ堆積物とその上下に複数の降下テフラが認められる (Fig. 3). 岩屑なだれ堆積物の上位には 3 枚の降下テフラが認められ、上位から下位に、層厚約 25 cm で平均粒径 1 cm のスコリアを含む淘汰の良い橙色スコリア層、層厚約 7 cm で平均粒径 0.4 cm の軽石を含む淘汰の良い黄～白色軽石層、層厚約 5 m の淘汰の良い黄色火山灰層である。黄色火山灰層は普通角閃石と斜方輝石を含み、それらの屈折率はそれぞれ $n_2=1.676\sim1.682$ 、 $\gamma=1.709\sim1.715$ である。岩屑なだれ堆積物は層厚約 6 m の淘汰の悪い安山岩礫支持の火山角礫岩で構成され、一部の礫にはジグソークラック構造が認められる。基質は茶褐色の火山灰からなり、平均粒径 2～3 cm の赤色火山礫や最大粒径約 150 cm の角ばった火山岩塊が散在している。岩屑なだれ堆積物の下底から約 1 m 下位の層位には、茶褐色の火山灰土に挟まれた So-OT pfd-m が、さらにその下底から約 70 cm 下位の層位には、茶褐色の火山灰土に挟まれた SwdP がある。SwdP の下底から約 15 cm 下位の層位には、層厚約 10 cm の黒雲母密集帯が認められ、多量の黒雲母と石英、普通角閃石を含む。普通角閃石の屈折率は $n_2=1.692\sim1.693$ である。

6. 二本松市木幡(Loc.2)

本地点は花崗岩からなる二本松丘陵に位置し、丘陵を被覆する茶褐色の火山灰土の下部には、5 枚の淘汰の良い降下テフラが認められる (Fig. 6). 降下テフラ層は上位から、層厚約 30 cm で平均最大粒径 1 cm の軽石を含む橙色軽石層、層厚約 13 cm で平均最大粒径 0.2 cm の軽石を含む黄色細粒軽石層、層厚約 20 cm で平均最大粒径 2 cm のスコリアを含む赤～橙色スコリア層、層厚約 11 cm で平均最大粒径 0.2 cm の軽石を含む黒雲母含有灰色細粒軽石層、最大層厚約 12 cm で平均最大粒径 0.4 cm の軽石を含み、レンズ状に挟在する橙色軽石層である。橙色軽石層の下底から約 40

cm 下位の層位には、So-OT pfa が認められる。

7. 福島市^{あまぎ}鹽(Loc.1)

本地点が位置する二本松～福島間の二本松丘陵西部は、安達太良火山由来の伏拝岩屑^{ふしおがみ}なだれ堆積物から構成されている (阪口, 1995). 本地点においては、伏拝岩屑なだれ堆積物を覆う層厚約 16 m の茶褐色火山灰土層中に、5 枚の淘汰の良い降下テフラ層が挟在する (Fig. 6). テフラ層は上位から下位に、層厚約 20 cm、平均最大粒径 10 cm の軽石を含む橙色軽石層、その下底から約 13 m 下位の層位には層厚約 13 cm、平均最大粒径 1 cm の軽石を含む黒雲母含有黄色軽石層、その下位約 30 cm の層位には、層厚約 6 cm、平均最大粒径 1 m のスコリアを含む黒色スコリア層、さらにその下位約 10 cm の層位には、層厚約 1 cm の火山灰土を挟んで So-OT pfa および SwdP が認められる。

考 察

1. 火砕流堆積物群に挟まれるテフラと岩屑なだれ堆積物の対比

(1)大町 APm テフラ群(APms) : 本テフラ群は飛騨山脈水鉛谷給源火道より噴出した 5 枚($A_1\text{Pm}\sim A_5\text{Pm}$)のテフラ群で、鬼怒川低地帯でもその一部が確認されている (鈴木・早川, 1990; 鈴木, 2000a; 鈴木ほか, 2004). 本テフラ群は黒雲母と石英を多量に含み、高屈折率の普通角閃石を含むことで特徴づけられる。また、APm テフラ群の中での各テフラの識別は、微量に含まれる斜方輝石の最大屈折率により可能な場合がある (鈴木・早川, 1990). 鬼怒川低地帯に分布する中期更新世の黒雲母含有火山灰層として APms のうち $A_4\text{Pm}$ 、 $A_2\text{Pm}$ 、 $A_1\text{Pm}$ 、その下位には KMT (620 ka; Suzuki, 2008) が報告されている (鈴木, 1996, 2000c). APms と KMT の噴出年代には最大で約 30 万年間の時間間隙があり、黒雲母含有火山灰の対比によっては火砕流堆積物群の噴出年代が大幅に古くなることが予想される。鈴木 (2000c) では、APms と KMT を区別する大きな指標として斑晶鉱物の組合せを挙げている。KMT の鉱物組合せは黒雲母、石英が主で斜方輝石、普通角閃石はほとんど含まれない。一方で APms は比較的風化をまぬがれた試料であれば斜方輝石、普通角閃石を含むので、識別するのは容易であるとしている。

今回認定した黒雲母含有火山灰層はいずれも黒雲母と石英を主とし、 $n_2=1.690$ 程度の高い屈折率を持つ普通角閃石を含む。この特徴は APms と一致する。また Loc.7 で So-TN の下位に挟まれる黒雲母含有火山灰層、Loc.9 で So-TN と So-KT に挟まれる黒雲母含有火山灰層には火山ガラスが認められ、その屈折率および主成分化学組成は八ヶ岳東麓において報告されている B_2 (八ヶ岳団体研究グループ, 1988) の火山ガラスの主成分化学組成と類似する (Fig. 10). B_2 は鈴木・早川 (1990) により $A_3\text{Pm}$ に対比されたが、後に $A_4\text{Pm}$ に対比されると変更された (鈴木, 2000b). 上記で示した Loc.7 と Loc.9 の 2 枚の黒雲母含有火山灰層の斜方輝石の最大屈折率は $1.727\sim1.734$ の範囲にはいり、比較的高い屈折率を示す $A_1\text{Pm}$ や $A_2\text{Pm}$ ($\gamma=1.731\sim1.737$; 鈴

Fig. 10. Comparison of EDS results for glass shards from BT72 and A4Pm.

Table 3. Chemical compositions of glass shards from A4Pm and BT72. (1) Localities are marked in Figs. 1 and 2. References for B₂ and Hikage-7 are Suzuki (2000b) and Kawai and Suzuki (2011). (2) Analyses recalculated to 100% on a volatile-free basis and presented as the recalculated mean and recalculated standard deviation of “n” shards counted. FeO: total iron as FeO, determined by JEOL JSM-6390 (scanning electron microscope) and an EDAX-Genesis APEX2 energy dispersive X-ray spectrometer using a 0.6 nA current at 15 kV, livetime 200 seconds, and ca. 10 μm beam.

(1) Tephra (Locality)	(2) Major element compositions (wt.%)										Analytical Total	(3) n
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	Total		
A4Pm	78.0	0.1	12.3	1.0	0.1	0.2	0.9	4.7	2.8	100.0	94.1	16
(loc. 9 Shiota)	0.4	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.3	0.7	0.1		1.1	
(loc.7 Katamata Nishi)	77.5	0.1	12.5	1.2	0.1	0.2	0.9	4.5	3.1	100.0	95.2	16
	0.6	0.1	0.3	0.3	0.1	0.1	0.3	0.8	0.4		0.8	
B ₂	77.6	0.1	12.2	1.2	0.1	0.2	0.8	5.1	2.7	100.0	95.2	16
	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1		0.6	
BT72	77.4	0.3	12.6	1.4	0.1	0.4	1.4	3.0	3.5	100.0	96.5	16
(loc.11 Tanohara)	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1		0.7	
Hikage-7	77.2	0.3	12.6	1.4	0.1	0.4	1.4	3.0	3.6	100.0	92.8	21
	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1		0.6	

木・早川, 1990)とは合わない。従ってこの2枚の黒雲母含有火山灰層は A₃Pm~A₅Pm に絞られるが, A₃Pm および A₅Pm はどちらも給源周辺での分布が狭いことが報告されており(鈴木ほか, 2004), 鬼怒川低地帯ではその報告がない。そのため, 上位の黒雲母含有火山灰層は A₄Pm に対比される可能性が高い。また Loc.8 のみで検出された So-KT 下位の黒雲母含有火山灰層は A₄Pm の下位であることから A₁Pm ないし A₂Pm のいずれかに対比される可能性が高い。斜方輝石および火山ガラスが風化により得られなかった Locs.4~6, Locs.15, 16 の黒雲母含有火山灰層は, 黒雲母と石英に富むこと, 普通角閃石の屈折率($\gamma=1.686\sim1.694$)から, APms のいずれかに対比されると考えられる。

(2)BT72: 田野原(Loc.11)において認められた白色ガラス質火山灰層は, 上位に So-TN が整合的に重なるシルト層中に挟在されるため, APms の降下年代前後に噴出年代を持つテフラであることが推測される。そこで, その時期に噴出した北関東で記載されているガラス質火山灰層から対比候補を検討した。その結果, 群馬県南西部の中之条湖成層において APms に挟在される日影7テフラ(Hikage7, 高橋・早川, 1995)が候補となったため, 田野原(Loc.11)において認められた白色ガラス質火山灰層との対比を検討した。Hikage7 の火山ガラスの主成分化学組成値(平均重量%)は SiO₂: 77.2%, Al₂O₃: 12.6%, FeO: 1.4%, CaO: 1.4%, K₂O: 3.0% となり(Table 3), 田野原(Loc.11)に認められる白色

Fig. 11. Stratigraphy of pyroclastic flow deposits from Takahara Volcano (a), and activity of Takahara Volcano (b) (data from Nagahashi et al., 2004; Suzuki, 2008; Suzuki et al., 2004; Watanabe et al., 1999; Yamada et al., 2015; and Yamamoto, 2013).

ガラス質火山灰層の火山ガラスの主成分化学組成と類似し (Fig. 10), 対比される。Hikage7 は中里ほか (2005) により、琵琶湖高島沖ボーリングコアにおいて記載された BT72 テフラ (349 ka; 吉川・井内, 1991, 吉川・加, 2001) に対比されている。Hikage7 の層位については、高橋・早川 (1995) によって A₁Pm と A₂Pm に挟まれると記載されているが、A₁Pm と A₂Pm の対比を評価するための火山ガラスや鉱物の屈折率や主成分化学組成などの客観的な分析値は示されていない。そのため Hikage7 と APms の層位関係を明らかにすることは今後の課題である。

(3) 那須火山起源の岩屑なだれ堆積物：沼野井 (Loc.15) にて認められた黄色火山灰層は、鉱物組合せや普通角閃石および斜方輝石の屈折率から Kn-KD に対比される。またその下位に認められる岩屑なだれ堆積物はその分布および Kn-KD の下位、So-OT pfa-m の上位にあることから黒磯岩屑なだれ堆積物 (Kuroiso DA; 山元・伴, 1997) ないしは余笹川岩屑なだれ堆積物 (Yozasagawa DA; 山元, 2006) などの那須火山起源の岩屑なだれ堆積物に相当すると考えられる。

(4) 吾妻、安達太良火山起源のテフラおよび岩屑なだれ堆積物：木幡 (Loc.2) では So-OT pfa と SwdP の上位に 5 枚の降下テフラが認められた (Fig. 6)。それらは層相を基に既存研究で示されたテフラ層との対比をおこなうと、橙色軽石層は吾妻福島軽石 (Az-FK; 山元・阪口, 2000) に、黄色細粒軽石層は岡谷地火山灰 (OkA; 早田・西城, 1987) に、黒雲母を含む灰色細粒軽石層は箕輪火山灰 (MnA; 早田・西城, 1987) に対比される。また、赤～橙色スコリア層は OkA を

挟んで Az-FK の 2 m 下位にあることや層厚と粒径から、安達太良水原 1～4 テフラ (Ad-MH1～4; 山元・阪口, 2000) のいずれかに対比される可能性が高い。なお、OkA と MnA はそれぞれ砂子原松ノ下テフラ (Sn-MT) と Sn-SK に対比されている (鈴木ほか, 2004)。

體 (Loc.1) では伏拝岩屑なだれ堆積物、So-OT pfa および SwdP の上位に、3 枚の降下テフラ層が認められた (Fig. 6)。最上位の橙色軽石層は、層相を基に既存研究で示されたテフラ層との対比をおこなうと、安達太良岳テフラ (Ad-DK; 山元・阪口, 2000) に対比される。その下位の黄色火山灰層はチタン磁鉄鉱、黒雲母および微量のホルンブレンドを含む。風化により、火山ガラスやホルンブレンドの屈折率や化学組成を測定することはできなかったが、本層は、Sn-SK もしくはその上位の Sn-MT に対比される可能性が高い。このことは、So-OT が Sn-SK の下位にあるとする笠原ほか (2017) と矛盾しない。

2. 火砕流堆積物群の層序と年代

(1) 火砕流堆積物群の年代：火砕流堆積物群の他テフラとの層位関係は上位より Kn-KD、黒磯または余笹川 DA、So-OT、So-TN、A₄Pm、So-KT、A₂Pm または A₁Pm である (Fig. 11)。また、So-TN の下位に BT72 が位置するが、So-KT と BT72 の層序関係は確認できなかった。このうち BT72、A₄Pm および A₁Pm については、他のテフラとの層位関係や放射年代から噴出年代の議論がされている。A₄Pm に対比される、房総半島の藪層中の Yb1 テフラ (千葉県立中央博物館, 1991) は MIS9.3 直前に降下したとされ

(鈴木, 2003), その噴出年代は MIS10/9.3 境界(337 ka : Lisiecki and Raymo, 2005)周辺であることが推定される。A₁Pm に対比される Tyla テフラは MIS11 のピーク付近に層位を持ち(Kameo et al., 2006; 中澤ほか, 2009), その層位は MIS10/11 境界と MIS11/12 境界(374 ka, 424 ka : Lisiecki and Raymo, 2005)に挟まれる(鈴木, 2000b)ことから, 380~410 ka と推定される。So-OT の噴出年代は, 上位に Az-MiP (300±30 ka; 渡辺ほか, 1999)が, 下位に A₄Pm (337 ka) や BT72 (349 ka) があることから 300~337 ka と推定される。この年代値は鈴木ほか(2004)や河合・鈴木(2011)が他のテフラや溶岩の放射年代との関係から推定した年代(それぞれ 300~330 ka, 310~330 ka)や, Matsu'ura et al. (2014)が下北沖コアにおける微化石層序および酸素同位体層序より推定した年代(320 ka)と整合的である。山田ほか(2015)は塩原盆地内に分布する塩原層群(尾上, 1989)から, So-OT の二次堆積物の上位に BT65 テフラ(278.6 ka; 吉川・加, 2001; 長橋ほか, 2004)を認定していることから, BT65 は So-OT の上位に位置していると考えられる。笠原ほか(2017)は So-OT の上位に Sn-SK (220±50 ka; 鈴木, 2004)を認めている(Fig. 6; Loc.3)。これらのことも今回推定した So-OT の年代値と矛盾しない。

So-TN の噴出年代は So-TN の上位に So-OT があり, 下位に BT72 や A₄Pm があることから 300~337 ka と推定される。So-KT の噴出年代は上位に A₄Pm があること, 下位に A₂Pm または A₁Pm があることから 337~410 ka と推定される。

(2)先行研究の層序との比較: 以上で述べた塩原カルデラ起源のテフラおよび他火山起源のテフラの層序は, 弦巻ほか(2009), 弦巻(2013)で示されたテフラ層序といくつかの点で大きく異なる(Fig. 4)。そのひとつは APms と KMT の認定が異なることに由来するもので, 本研究の Loc.8(矢板市片俣; 弦巻(2013)に示された写真からみて同論文の地点 a と判断される)と Loc.4(下郷町沢田; 弦巻(2013)の地点 e, f, g 付近)において弦巻(2013)は KMT を認定している。しかしすでに述べたように, Loc.8 に露出する 2 枚の含黒雲母火山灰層はともに APms である可能性が高い。また, 下郷町沢田で弦巻(2013)が塩原下郷テフラ群(So-SG)および KMT としたテフラは, 同論文の地点 e の柱状図から判断して, 前者が So-OT と SwdP を合わせたもの, 後者が鈴木ほか(2004)で APms としたものに相当する。したがって, 本研究の APms の認定から本研究で扱った 3 枚の火砕流堆積物は, いずれも A₁Pm または A₂Pm より上位に位置することになる。なお, 弦巻(2013)の地点 b における柱状図では, 境林礫層の数 m 上位の火山灰土中に KMT が存在するように描かれている。Suzuki(2008)も同様に同礫層堆積面の数 m 上位に KMT を認定しており, この点は一致している。しかし KMT の上位 1 m には風化した層厚数十 cm の降下軽石層が存在するのみである。筆者らは, 弦巻(2013)がこの降下軽石層を KN-pfl として記載し, それを本研究の So-OT pfd-m と同一のものとしたことにより, 大きく異なる結論に導かれたと判断した。

3. 火砕流堆積物群の給源

So-OT pfd-m の層厚と本質物の平均最大粒径は宇都宮市飛山(Loc.16)でそれぞれ 20 cm, 5 cm(鈴木, 2000a)であり, 両者とも北に向かって増大し, 塩谷町鳥羽ノ湯(Loc.12)ではそれぞれ 36 m 以上, 30 cm となる。また, So-OT pfa は粒径および層厚が福島市體(Loc.1)から栃木県北部~福島県南西部にかけて増大し(Fig. 9), その先に挙げられる給源火山は塩原カルデラ(高原火山)以外に見当たらない。これらのことから So-OT の給源火山が塩原カルデラであるという従来の考えは支持され, So-OT pfa の分布軸は北~北北東方向であると推測される。So-TN の層厚と本質物の平均粒径および平均最大粒径は, 矢板市片俣西(Loc.7)でそれぞれ約 5 m, 4 cm, 10 cm, So-KT のそれらは矢板市田野原(Loc.11)でそれぞれ約 8 m, 10 cm, 450 cm であり, 両地点とも層厚が厚く粒径も粗いという特徴がある。そのため給源が各地点の近傍, すなわち塩原カルデラにある可能性がある。また, So-OT と So-TN は鉱物組合せが類似し, 3 枚の火砕流堆積物群はともに $\gamma=1.716$ 以上の高い最大屈折率を持つ斜方輝石を含み, 火山ガラスの屈折率および主成分化学組成が似た傾向を示す。これらのことから, So-TN および So-KT の給源は塩原カルデラであると推定される。

4. SwdP の給源と噴出年代

今回, 塩原カルデラ北北東 25 km 地点(Loc.4)において, So-OT pfa 直下の層準に SwdP を新たに定義した。本テフラの層厚と軽石の平均最大粒径は, 下郷町沢田(Loc.4)でそれぞれ約 70 cm と 2 cm, 矢吹丘陵内の泉崎村横穴(Loc.5)においてそれぞれ約 30 cm と 1.5 cm, 福島市體(Loc.1)においてそれぞれ約 5 cm と 0.3 cm で認められ, 塩原カルデラに近いほど層厚・粒径ともに増大する。また, 本テフラは斜方輝石, チタン磁鉄鉱, 単斜輝石を含み, 斜方輝石の屈折率は $\gamma=1.718\sim1.724$ である。これらの特性は, 鈴木ほか(2004)や本研究で報告された So-OT と類似する。以上のことから, SwdP は塩原カルデラを起源とし, So-OT 噴出前に火山灰土が 10~80 cm 形成される程度の休止期を挟んで SwdP が噴出した可能性がある。SwdP は上位に So-OT があり, 下位に APms (330~410 ka; 貝塚ほか, 2000 : 鈴木, 2000a)のいずれかがあることから, その噴出年代は 337~410 ka となる。しかし, SwdP と So-TN, So-KT との関係および層序は不明である。

5. So-OT の噴出量と噴火推移

(1)So-OT の噴出量: 噴出量の見積りに際して, 降下テフラは Hayakawa(1985)の経験式に拠り, 火砕流堆積物は推定分布面積と層厚を次のように乗じて見積もった。So-OT pfd の層厚は給源近くで最大約 35 m, 分布末端部では約 1 m あり, 見かけの体積を求めるにあたっては, 塩原カルデラの中心部とされる宮島(鈴木ほか, 1978)付近から東に 20 km (Fig. 9)までを平均層厚 10 m で, 20 km 外の地域は平均層厚 1 m で計算した。その結果, So-OT pfd と So-OT pfa のみかけの体積はどちらも 7 km³ と算出された。So-OT pfd と So-OT pfa の見かけの体積を合わせると 14 km³ となり, VEI 5 に相当する。また, 火砕流堆積物の密

度を 1.0 g/cm^3 、降下堆積物の密度を 0.8 g/cm^3 とし、密度 2.5 g/cm^3 で換算して岩石換算体積(DRE)を求めると、So-OT の総体積は約 5 km^3 DRE となる。尾上(1989)は So-OT pfd の分布面積を 700 km^2 、平均層厚を 50 m とし、So-OT pfd のみかけの体積を計算した結果、約 35 km^3 という値を出しており、今回得られた値と大きく異なる。この違いは今回見積もった分布面積および平均層厚が尾上(1989)と大きく異なるために生じたものと考えられる。また、So-TN と So-KT は、地質横断面図(Fig. 5)に示されるように、堆積面の頂面がそれぞれ 265 m 、 260 m と揃っていることから、当時の地形を埋めるように堆積したことは明らかである。しかし、両堆積物を観察できた地点は少なく、噴出量の推定をおこなうことはできなかった。

(2) So-OT の噴火推移：沢田(Loc.4)では下位から So-OT pfa, So-OT sg, So-OT pfd-l が認められるが、それらの間には時間間隙を示す堆積物は認められない。また、片俣西(Loc.7)および鳥羽ノ湯(Loc.12)でも So-OT pfd-l, pfd-m, および pfd-u の間に時間間隙を示す堆積物は認められない。So-OT 最下位の So-OT pfa は給源から約 100 km 離れた福島市(Loc.1)でも降下軽石層として層厚約 8 cm 、平均最大粒径 0.3 cm で認められ、その規模の大きさからプリニー式噴火により供給されたことが示唆される。これらのことから So-OT の噴出を伴う噴火は、プリニー式噴火から開始し、火砕サージ、少なくとも3ユニットに区分される火砕流の発生へと長い休止期間を挟まずに連続的に推移したと考えられる。また、So-OT pfd の分布をみると So-OT pfd-l は給源北方および東方に分布するが北側により厚く堆積しているため、主に北側の谷沿いを流下し、一部は東側にも流下したと考えられる。So-OT pfd-m は給源東方では広く認められるが、北方では認められないため、主に東側に流下したと考えられる。

ま と め

本研究では、栃木県北部、福島県南部に分布する中期更新世火砕流堆積物群の層序および分布を示し、それらの給源火山および噴出年代の推定をおこなった。今回記載した火砕流堆積物群は上位より塩原大田原テフラ(So-OT)、塩原田野原火砕流堆積物(So-TN)、塩原片俣火砕流堆積物(So-KT)の3枚である。また、これらの火砕流堆積物群と他テフラとの層位関係は上位から下位に So-OT, So-TN, $A_4\text{Pm}$, So-KT, $A_2\text{Pm}$ または $A_1\text{Pm}$ となる。BT72 と So-KT の上下関係は不明であるが So-TN の下位に BT72 がある。これらの火砕流堆積物群に関するテフラの特徴は以下のとおりである。

So-OT は分布・堆積様式の異なる複数の噴出物から構成されるユニットに細分され、上位から大きく火砕流堆積物、火砕サージ堆積物(So-OT sg)、プリニアン降下軽石(So-OT pfa)に分けられる。また、火砕流堆積物はさらに3つのユニット、上、中、下部(So-OT pfd-u, So-OT pfd-m, So-OT pfd-l)に細分され、So-OT pfd-u はスコリア流堆積物、So-OT pfd-m, l は軽石流堆積物からなる。各ユニットの火山

ガラスの主成分化学組成は So-OT pfd-l と So-OT pfa は類似するが、それ以外はわずかに異なる。So-OT pfd-m の分布は広く、南は宇都宮、北は高久丘陵まで達している。また、So-OT 噴出に伴う降下テフラは陸域では福島市南部まで確認されている。So-OT の総噴出量は 5 km^3 DRE となる。So-OT の噴出年代は上位の $A_2\text{MiP}$ の FT 年代、下位の $A_4\text{Pm}$ の年代から $300\sim 337 \text{ ka}$ となった。この年代は多数のテフラとの層序関係および鈴木ほか(2004)や河合・鈴木(2011)、Matsu'ura et al.(2014)が推定した値と整合的である。

So-TN は火砕流堆積物のみで構成され、それはさらに上位から下位に So-TN d~a の4つのユニットに細分される。So-OT とは斜方輝石の最大屈折率、火山ガラスの屈折率、主成分化学組成などにより明確に区別することができる。また、各ユニットの火山ガラスの主成分化学組成は So-TN c と So-TN b が類似する以外、それぞれわずかに異なる。今回確認された So-TN の分布は矢板丘陵周辺に限られ、その給源は層厚変化や粒径変化の傾向や So-OT との記載岩石学的特徴の類似性などから塩原カルデラと推測される。So-TN の噴出年代は上位の So-OT と下位の $A_4\text{Pm}$ の年代から、 $300\sim 337 \text{ ka}$ と推定した。

So-KT も火砕流堆積物からなるテフラ層であり、So-OT や So-TN とは鉱物組合せや火山ガラスの主成分化学組成により明確に区別することができる。So-KT の給源は、層厚変化や、粒径変化の傾向などから塩原カルデラが推測される。So-KT の噴出年代は上位の $A_4\text{Pm}$ と下位の $A_2\text{Pm}$ および $A_1\text{Pm}$ の年代から $337\sim 410 \text{ ka}$ と推定した。

今回、So-OT と APms の間の層準に降下軽石層である SwdP を認定し、その分布や層厚、記載岩石学的特徴などから塩原カルデラ起源であることが示唆された。SwdP の噴出年代は上位の So-OT と下位の APms の年代から $330\sim 410 \text{ ka}$ と推定した。また、SwdP と So-TN, So-KT との層位関係は不明である。

謝 辞

本論文は、山田、河合の卒業論文を基にその後の調査によるデータを加えて執筆したものである。本研究をおこなう上で、東京都環境局の笠原天生氏には郡山 KR-11-1 コアデータの提供を、日本大学鶴岡高等学校の斎藤はるか氏には福島市および二本松市周辺の露頭情報の提供を、University of Oxford の Paul Albert 氏には英文要旨の添削をしていただいた。編集委員の及川輝樹氏および査読者である竹下欣宏氏、匿名の査読者の方からは適切、丁寧かつ建設的なコメントをいただき、本論は大幅に改善された。また、首都大学東京都市環境科学研究科地理環境学域地形・地質学研究室の山崎晴雄名誉教授、白井正明准教授、石村大輔助教および諸先輩方にご議論いただきました。記して皆様に厚く御礼申し上げます。本研究の一部では、文部科学省科研費基礎研究(A)「変動地形マッピングに基づく伏在活断層・活褶曲と地震発生様式の解明」(研究代表者：今泉俊文、課題番号 21240074)および文部科学省科研費基礎研究(B)「火山灰・古地磁気編年

による東北日本弧内陸盆地・海岸域における第四紀地形発達の研究」(研究代表者: 鈴木毅彦, 課題番号 25282082)の一部を使用した。

文 献

- 千葉県立中央博物館(Natural History Museum and Institute, Chiba), 1992, 下総層群鍵層集(1992版)(*Catalogue of Key Tephra Beds in the Shimousa Group(the edition of 1991)*). 162p.
- Cas, R. A. F. and Wright, J. V., 1991, Subaqueous pyroclastic flows and ignimbrites: an assessment. *Bull. Volcanol.*, **53**, 357–380.
- Danhara, T., Yamashita, T., Iwano, H. and Kasuya, M., 1992, An improved system for measuring refractive index using the thermal immersion method. *Quat. Int.*, **13**, 186–192.
- 堂満華子・西弘嗣・内田淳一・尾田太良・大金薫・平朝彦……下北コア微化石研究グループ(Domitsu, H., Nishi, H., Uchida, J., Oda, M., Ogane, K., Taira, A., … Shimokita Microfossil Research Group), 2010, 地球深部探査船「ちきゅう」の下北半島沖慣熟航海コア試料の年代モデル(Age model of core sediments taken by D/V CHIKYU during the shakedown cruises off Shimokita Peninsula). 化石(*Fossils*), **87**, 47–64.
- Hayakawa, Y., 1985, Pyroclastic geology of Towada volcano. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, **60**, 507–592.
- 井上道則・吉田武義・藤巻宏和・伴雅雄(Inoue M., Yoshida, T., Fujimaki, H., and Ban, M.), 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(Geochemistry of the rocks from Takahara Volcano, NE Honshu Arc). 核理工学報告(*Res. Rep. Lab. Nucl. Sci. Tohoku Univ.*), **27**, 169–198.
- 貝塚爽平・小池一之・遠藤邦彦・山崎晴雄・鈴木毅彦編(Kaiduka, S., Koike, K., Endo, K., Yamazaki, H. and Suzuki, T., eds.), 2000, 日本の地形4 関東・伊豆小笠原(*Regional Geomorphology of the Japanese Islands vol.4 Geomorphology of Kanto and Izu-Ogasawara*), 東京大学出版会(Univ. Tokyo press), 349p.
- Kameo, K., Okada, M., El-Masry, M., Hisamitsu, T., Saito, S., Nakazato, H., … Taira, A., 2006, Age model, physical properties and paleoceanographic implications of the middle Pleistocene core sediments in the Choshi area, central Japan. *Island Arc*, **15**, 366–377.
- 笠原天生・鈴木毅彦・河合貴之・今泉俊文(Kasahara, A., Suzuki, T., Kawai, T. and Imaizumi, T.), 2017, 東北地方南部、郡山盆地地下における更新世テフラ層序と堆積物(Pleistocene tephrostratigraphy and underground sediments under the Koriyama Basin at the Southern part of Northeast). 地学雑(*Jour. Geogr. (Chigaku Zasshi)*), **126**, 665–684.
- 河合貴之・鈴木毅彦(Kawai, T. and Suzuki, T.), 2011, 栃木・福島に分布する塩原大田原テフラの層位と層相に基づく噴出過程の復元(Stratigraphic position, facies and eruptive process of Shiobara-Otawara tephra distributed in Tochigi and Fukushima areas, central Japan). 日本地質学会第118年学術大会講演要旨(118th Annu. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.), 58.
- 岸清・宮脇理一郎(Kishi, K. and Miyawaki, R.), 1996, 新潟県柏崎平野周辺における鮮新世-更新世の褶曲形成史(Plio-Pleistocene fold development in the Kashiwazaki Plain and vicinity, Niigata Prefecture). 地学雑(*Jour. Geogr. (Chigaku Zasshi)*), **105**, 88–112.
- 小池一之・岩崎孝明・檀原徹・百瀬貢(Koike, K., Iwasaki, T., Danhara, T. and Momose, M.), 1985, 下野火山灰下部層のフィッション・トラック年代とその地史的意義(Fission-track ages and their geological meanings of Quaternary volcanic ashes (Shimotsuke-loam) covering the Kitsuregawa Hills, Tochigi Prefecture, central Japan). 駒沢地理(*Komazawa Geography*), **21**, 39–67.
- Lisiecki, L. E. and Raymo, M. E., 2005, A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. *Paleoceanography*, **20**, PA1003, doi:10.1029/2004PA001071.
- 町田洋(Machida, H.), 1996, 富山県常願寺川の河成段丘にのる大山倉古および始良 Tn テフラ(Daisen-Kurayoshi tephra and Aira-Tanzawa tephra on the fluvial terrace along Joganji River, Toyama Prefecture)*. 日本第四紀学会第四紀露頭集編集委員会編, 第四紀露頭集-日本のテフラ(*Inventory of Quaternary Outcrops: Tephra in Japan*). 日本第四紀学会(Japan Assoc. Quat. Res.), 31.
- 町田洋・新井房夫(Machida, H. and Arai, F.), 2003, 新編火山灰アトラス-日本列島とその周辺(*Atlas of Tephra in and around Japan (Revised Edition)*) 東京大学出版会(Univ. Tokyo press), 360p.
- Matsu'ura, T., Furusawa, A., Shimogama, K., Goto, N. and Komatsubara, J., 2014, Late quaternary tephrostratigraphy and cryptotephrostratigraphy of deep-sea sequences (Chikyu C9001C cores) as tools for marine terrace chronology in NE Japan. *Quat. Geochronol.*, **23**, 63–79.
- 長橋良隆・吉川周作・宮川ちひろ・内山高・井内美郎(Nagahashi, Y., Yoshikawa, S., Miyakawa, C., Uchikawa, T. and Inouchi, Y.), 2004, 近畿地方および八ヶ岳山麓における過去43万年間の広域テフラの層序と編年: EDS 分析による火山ガラス片の主要成分化学組成(Stratigraphy and chronology of widespread tephra layers during the past 430 ky in the Kinki District and the Yatsugatake Mountains: major element composition of the glass shards using EDS analysis). 第四紀研究(*Quat. Res. (Daiyonku-Kenkyu)*), **43**, 15–35.
- 中里裕臣・鈴木毅彦・水野清秀・大井信三・横山芳春(Nakazato, H., Suzuki, T., Mizuno, K., Ooi, S. and Yokoyama, Y.), 2005, 茨城県中部の下総層群から検出された BT72 テフラ(BT72 tephra taken from the Shimosa Group in the middle part of Ibaraki Prefecture, central Japan). 日本第四紀学会講演要旨集(*Japan Assoc. Quat. Res. Program. Abstr.*), **35**, 4–5.
- 中澤努・中里裕臣・大嶋秀明・堀内誠示(Nakazawa, T., Nakazato, H., Oshima, H. and Horiuchi, S.), 2009, 関東平野中央部における上総-下総層群境界: 越谷 GS-KS-1 コアでの MIS 12 層準の特定(Boundary between the Kazusa and Shimosa groups beneath the central Kanto Plain: Recognition of MIS 12 in the GS-KS-1 core, Koshigaya, Saitama Prefecture, central Japan). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **115**, 49–63.
- 尾上亨(Onoe, T.), 1989, 栃木県塩原産更新世植物群による古環境解析(Paleoenvironmental analysis based on the Pleistocene Shiobara flora in the Shiobara Volcanic Basin, central Japan). 地調報告(*Rep. Geol. Surv. Japan*), **269**, 1–207.
- 阪口圭一(Sakaguchi, K.), 1995, 二本松地域の地質、地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)(*Geology of the Nihonmatsu District. With Geological Sheet Map at 1: 50,000*), 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 33p.
- Schmincke, H. U., 2004, *Volcanism*. Springer, 196p.
- 塩谷純佳・鈴木毅彦(Shioya A. and Suzuki T.), 2016, 栃木県鬼怒川流域における宝積寺段丘の離水年代(Reconsideration of the age of the middle Pleistocene Hoshakujii fluvial terrace in the Kinu River Basin, North Kanto, Japan). 日本地理学会発表要旨集(*Abstr. Assoc. Japan Geogr.*), **89**, 177.
- 杉原重夫・弦巻賢介・柴田徹・長井雅史・檀原徹・岩野英樹(Sugihara, S., Tsurumaki, K., Shibata, T., Nagai, M., Danhara, T., and Iwano, H.), 2009, 栃木県北部、高原山産黒曜石の記載岩石学的・岩石化学的検討とフィッション・トラック年代-黒曜石製造物の原産地推定法に関する基礎的研究(Fission track dating and petrological study of obsidian from Takahara Volcano located in the northern part of Tochigi Prefecture, Japan: the fundamental research for sources of obsidian artifacts). 明治大学博物館研究報告(*Bull. Meiji Univ. Mus.*), **14**, 43–69.
- 鈴木陽雄・宇塚清司・人見功・石川典枝(Suzuki, H., Uzuka, K., Hitomi, I. and Ishikawa, N.), 1978, 奥塩原の温泉地質(The geology of hot spring at Oku-Shiobara)*. 宇都宮大学教育学部紀要第2部(*Mem. Fac. Educ. Utsunomiya Univ. Ser. II*), **28**, 31–45.
- 鈴木毅彦(Suzuki, T.), 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性テフラ層-(Middle-Late

- Pleistocene tephra on the Kitsuregawa Hills, the northern Kanto District: One of the oldest aelian tephra layers in Japan)*. 日本第四紀学会第四紀露頭集編集委員会編, 第四紀露頭集—日本のテフラ (*Inventory of Quaternary Outcrops: Tephra in Japan*). 日本第四紀学会 (Japan Assoc. Quat. Res.), 170–171.
- 鈴木毅彦 (Suzuki, T.), 2000a, XIII 章 宇都宮丘陵, 大志白遺跡周辺の地形, 大志白遺跡群発掘調査報告書 (旧石器時代編) (Report of the Excavation of the Oshijiro Site: Paleolithic age), 栃木県河内町教育委員会 (Board of Education of Kawachi Town, Tochigi Prefecture), 164–191.
- 鈴木毅彦 (Suzuki, T.), 2000b, 埼玉県秩父盆地に分布するテフラとその考古学上の意義 (Tephra layers around the Chichibu Basin, central Japan, and their archaeological significance)*. 月刊地球 (*Chikyu Monthly*), 22, 687–692.
- 鈴木毅彦 (Suzuki, T.), 2000c, 飛騨山脈貝塩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 (Kaisho-Kamitakara tephra erupted from the Hida Mountains in the early half of the middle Pleistocene and its significance for the geomorphic chronology of central Japan). 地理評 (*Geogr. Rev. Japan*), 73, 1–25.
- 鈴木毅彦 (Suzuki, T.), 2003, テフラ研究からみた中部山岳域周辺における中・後期更新世編年の諸問題 (Recent progress and problems in the studies of middle and late Pleistocene tephra in and around the Japanese Alps, central Japan). 第四紀研究 (*Quat. Res. (Daiyonki-Kenkyu)*), 42, 157–163.
- Suzuki, T., 2008, Analysis of titanomagnetite within weathered middle Pleistocene KMT tephra and its application for fluvial terrace chronology, Kanto Plain, central Japan. *Quat. Int.*, 178, 119–127.
- 鈴木毅彦 (Suzuki, T.), 2011, 鬼怒川低地帯の第四紀テフラ層序—火山噴火史と平野の形成史— (Quaternary tephrostratigraphy in the Kinu River Lowland, northeast Japan: eruptive history of Quaternary volcanoes and landform development). 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), 117, S121–S133.
- 鈴木毅彦・青木かおり・河合貴之・坂本竜彦・飯島耕一 (Suzuki, T., Aoki, K., Kawai, T., Sakamoto, T. and Iijima, K.), 2012, 下北半島東方沖「ちきゅう」C9001 コア中の中期更新世テフラ層序とその陸域への応用 (Middle Pleistocene tephrostratigraphy of C9001 core drilled by CHIKYU off Shimokita Peninsula and its application for in). 日本地球惑星科学連合 2012 年大会予稿集 (*Japan Geosci. Union Meet. 2012, Abstr.*), CD-ROM, HQR23–14.
- 鈴木毅彦・藤原 治・檀原 徹 (Suzuki, T., Fujiwara, O. and Danhara, T.), 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 (Stratigraphy and chronology of middle Pleistocene tephra in and around Aizu area, northeast Japan). 地学雑 (*Jour. Geogr. (Chigaku Zasshi)*), 113, 61–138.
- 鈴木毅彦・早川由紀夫 (Suzuki, T. and Hayakawa Y.), 1990, 中期更新世に噴出した大町 APm テフラ群の層位と年代 (The age and stratigraphic horizon of the Omachi APm tephra beds, middle Pleistocene time-markers in central Japan). 第四紀研究 (*Quat. Res. (Daiyonki-Kenkyu)*), 29, 105–120.
- Suzuki, T., Kasahara A., Nishizawa F. and Saito H., 2014, Chemical characterization of volcanic glass shards by energy dispersive X-ray spectrometry with EDAX Genesis APEX2 and JEOL JSM-6390. *Geogr. Rep. Tokyo Metropolitan Univ.*, 49, 1–12.
- 早田 勉・西城 潔 (Souda, T. and Saijo, K.), 1987, 安達太良火山周辺に分布するテフラ (The tephra around Adatara Volcano)*. 東北地理 (*Ann. Tohoku Geogr. Assoc.*), 39, 205.
- 高橋 誠・早川由紀夫 (Takahashi, M. and Hayakawa, Y.), 1995, 群馬県中之条湖成層に産する植物遺体 (Plant remains from the Nakanojo Lake deposit in Gunma Prefecture, central Japan). 群馬大学教育学部紀要自然科学編 (*Jour. Gunma Univ., Nat. Sci.*), 43, 71–86.
- 弦巻賢介 (Tsurumaki K.), 2013, 斜長石の屈折率を用いた中期更新世テフラの対比とその意義—北アルプス起源の広域テフラを例に (The identifications of the middle Pleistocene tephra with reflective index of plagioclase and significance of these identifications—Example of wide spread tephra from Northern Japan Alps)*. 明治大学大学院地理学研究報告 (*Geogr. Res. Pap. Graduate School Meiji Univ.*), 7, 20–28.
- 弦巻賢介・長井雅史・杉原重夫 (Tsurumaki K., Nagai M. and Sugihara S.), 2009, 栃木県北部, 塩原カルデラを起源とする大規模火砕流堆積物群の岩石学的特徴とその層序 (Petrology and stratigraphy of large scale pyroclastic flow deposits erupted from Shiobara caldera, in northeast Japan). 日本火山学会講演予稿集 (2009 Fall Meet. *Volcanol. Soc. Japan, Abstr.*), 35.
- 矢口裕之・田辺智隆 (Yaguchi H. and Tanabe T.), 1990, 群馬県北部に分布する中期更新世の火山灰層 (Volcanic ashes of the Middle Pleistocene in North Gunma Prefecture). 日本第四紀学会講演要旨集 (*Japan Assoc. Quat. Res. Program. Abstr.*), 20, 120–121.
- 山田眞嵩・鈴木毅彦・井内美郎 (Yamada, M., Suzuki, T. and Inouchi, Y.), 2015, テフロクロノロジーによる栃木県北部中期更新統塩原層群の堆積年代の検討 (Tephrochronological study on the age of the middle Pleistocene Shiobara Group, northern Tochigi Prefecture, central Japan). 日本第四紀学会講演要旨集 (*Japan Assoc. Quat. Res. Program. Abstr.*), 45, 10.
- 八ヶ岳団体研究グループ (Collaborative Research Group for Yatsugatake), 1988, 八ヶ岳山麓の中部更新統 (Middle Pleistocene around foot of the Yatsugatake Mountains)*. 地団研専報 (*Monogr. Assoc. Geol. Japan*), 34, 53–58.
- 山元孝広 (Yamamoto, T.), 2006, 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 (Quaternary volcanoes in the geological map of Japan 1/200,000, Shirakawa, NE Japan: new evidences on the stratigraphy and radiometric ages). 地調研報 (*Bull. Geol. Surv. Japan*), 57, 17–28.
- 山元孝広 (Yamamoto, T.), 2013, 栃木—茨城地域における過去約 30 万年間のテフラの再記載と定量化 (Quantitative re description of tephra units since 0.3 Ma in the Tochigi Ibaraki region, NE Japan). 地調研報 (*Bull. Geol. Surv. Japan*), 64, 251–304.
- 山元孝広・伴 雅雄 (Yamamoto, T. and Ban, M.), 1997, 那須火山地質図 (*Geological Map of Nasu Volcano, 1: 30,000, Geological Map of Volcanoes*) 地質調査所 (Geol. Surv. Japan), 9p.
- 山元孝広・阪口圭一 (Yamamoto, T. and Sakaguchi, K.), 2000, テフラ層序からみた安達太良火山, 最近約 25 万年間の噴火活動 (Eruptive history of Adatara Volcano, NE Japan, during last 250,000 years based on tephrostratigraphy). 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), 106, 865–882.
- 吉川周作・井内美郎 (Yoshikawa, S. and Inouchi, Y.), 1991, 琵琶湖高島沖ボーリングコアの火山灰層序 (Tephrostratigraphy of the Takashima-oki Boring Core Samples from Lake Biwa, central Japan). 地球科学 (*Earth Sci. (Chikyu Kagaku)*), 45, 81–100.
- 吉川周作・加 三千宣 (Yoshikawa, S. and Kuwae, M.), 2001, 琵琶湖底堆積物による過去 40 万年間の高精度火山灰編年 (High resolution tephra stratigraphy in the lacustrine sediments of Biwa-Lake), 月刊地球 (*Chikyu Monthly*), 23, 594–599.
- 渡辺満久・長友恒人・鈴木毅彦・早津賢二・藤原 治・檀原 徹・斉藤裕二 (Watanabe, M., Nagatomo, T., Suzuki, T., Hayatsu, K., Fujiwara, O., Danhara, T. and Saito, Y.), 1999, 東北日本の第四紀中期テフラの放射年代 (Radiometric dating for the middle Quaternary tephra in northeast Japan). 日本地理学会発表要旨集 (*Abstr. Assoc. Japan Geogr.*), 55, 354–355.

*English translation from the original written in Japanese

以下の Appendix は, オープンファイルとして学会ホームページ上で公開しています. <<http://www.geosociety.jp/publication/content0006.html>>

Appendix. Major-element contents of volcanic glass shards obtained by EDS measurement.

(著者プロフィール)

山田眞嵩 北海道大学自然史科学専攻地球惑星システム科学講座 博士後期課程在学。18年 首都大学東京大学院都市環境科学研究科地理環境科学域 博士前期課程修了。研究内容：自然地理学，第四紀学，火山学。本研究では地質調査，テフラ分析，総括，原稿執筆，編集委員会との対応を担当。Email：my-yamada@eis.hokudai.ac.jp.

河合貴之 国際航業株式会社。11年 首都大学東京卒，13年 首都大学東京大学院都市環境科学研究科地理環境科学域博士前期課程修了，13年から現職。本研究では地質調査，テフラ分析を担当。

西澤文勝 山梨県富士山科学研究所火山防災研究部。11年 鹿児島大学卒，17年 首都大学東京大学院都市環境科学研究科博士後期課程修了，17年 首都大学東京都市環境学部地理環境コース特任研究員，18年から現職。火山学，第四紀地質学を専門とし，本研究では，地質調査・テフラ分析を担当。

鈴木毅彦 首都大学東京大学院都市環境科学研究科地理環境科学域教授。自然地理学，地形学，第四紀学，火山学を専門とし，テフラを用いてテフラ形成史，火山噴火史を研究。本研究では，地質調査・第四紀テフラの層序および年代論などを担当。

(要 旨)

山田眞嵩・河合貴之・西澤文勝・鈴木毅彦，2018，栃木県北部，福島県南部に分布する中期更新世火砕流堆積物群の層序。地質雑，**124**，837–855. (Yamada, M., Kawai, T., Nishizawa, F. and Suzuki, Takehiko., 2018, Stratigraphical study on the Middle Pleistocene pyroclastic flow deposits, northern Tochigi and southern Fukushima Prefectures, Northeast Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **124**, 837–855.)

本研究では火砕流堆積物を3枚記載し，上位からSo-OT，So-TN，So-KTとした。So-OTは上位の火砕流堆積物と下位の降下軽石堆積物とに大別される。3枚の火砕流堆積物は火山ガラスの主成分化学組成などにより明確に区別できる。また，So-OTの降下テフラを6地点で確認し，陸域での観察地点の北端は福島市南部である。火砕流堆積物群と他のテフラとの関係は，上位よりSo-OT，So-TN，A₄Pm，So-KT，A₂PmまたはA₁Pmとなり，BT72がSo-TNの下位に位置する。これらのことからSo-OTおよびSo-TNの噴出年代は300～337 ka，So-KTの噴出年代は337～410 kaと推定される。So-OT，So-TN，So-KTの給源は，各火砕流堆積物を含む本質物の粒径や降下火砕物の粒径・層厚変化などから塩原カルデラであると考えられる。