

トレンチ調査に基づく日光白根火山 1400 年間の噴火履歴

草野 有紀^{1,*}・石塚 吉浩¹

Kusano Yuki and Ishizuka Yoshihiro (2020) Eruptive history in the last 1400 years of Nikko-Shirane Volcano based on trench surveys. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 71 (1), p. 1–18, 12 figs, 2 tables.

Abstract: The eruptive history of Nikko-Shirane Volcano in the last 1400 years is revealed by observations from six trench survey sites and a drilling core sampled from Japan Meteorological Agency (JMA)'s borehole type volcano monitoring station located at less than 0.4 to 1.7 kilometers from the summit. We have detected three pyroclastic fall deposits derived from Nikko-Shirane Volcano in the last 1400 years based on the features of their stratigraphy, thickness, grain size, radiocarbon ages and modal compositions; A, B and C pyroclastic fall deposits of Nikko-Shirane Volcano in order from youngest to oldest. The A pyroclastic fall deposit can be correlated to the 1649 AD eruption. The B pyroclastic fall deposit directly overlies a foreign tephra derived from Asama Volcano (Asama-B tephra) of early 12th century age. The C pyroclastic fall deposit overlies thin soils and another foreign tephra derived from Haruna Volcano (Haruna-Futatsudake-Ikaho tephra) of middle 6th century age. The stratigraphic relations and four radiocarbon dates for soil layers show that the C pyroclastic fall deposit was derived from an eruption during the middle 7th to early 8th century. Based on the thickness, and grain size of ash, lapilli and volcanic blocks included in A, B and C pyroclastic fall deposits around the summit, the eruption magnitude of the middle 7th to early 8th century was larger than the 1649 AD eruption, which is the largest one of the historical eruption record of Nikko-Shirane Volcano.

Keywords: Nikko-Shirane Volcano, pyroclastic fall deposits, trench survey, radiocarbon age, eruptive history, 1649 AD, 12th century, 7th century

要 旨

日光白根火山山頂部で実施した6地点のトレンチ調査, 及び2016年度気象庁火山観測点ボーリングコア試料で認められた降下火砕堆積物の層序, 層厚, 粒径, 放射性炭素年代値及び細粒物の構成物組成に基づき, 日光白根火山の最近1400年間の噴火履歴を再検討した. 今回確認した日光白根火山を起源とする3枚の降下火砕堆積物を, 上位よりA, B, C降下火砕堆積物と呼ぶ. A降下火砕堆積物は地表下4–11 cmに位置する粘土質–砂質火山灰を主体とする火砕堆積物で, 日光白根火山の最大の歴史噴火である西暦1649年噴火に対比できる. B降下火砕堆積物は12世紀の外來火山灰(浅間Bテフラ)を直接覆う, 砂質火山灰を主体とする火砕堆積物で, 12世紀噴火によるものと考えられる. C降下火砕堆積物は, 6世紀中葉の外來火山灰(榛名二ツ岳伊香保テフラ)の上位に薄い土壌を挟んで覆い, 浅間Bテフラに覆われる. この層序関係と4点の土壌の放射性炭素年代値から, C降下火砕堆積物は7世紀中頃–8世紀初頭の噴火の噴出物と考えられる.

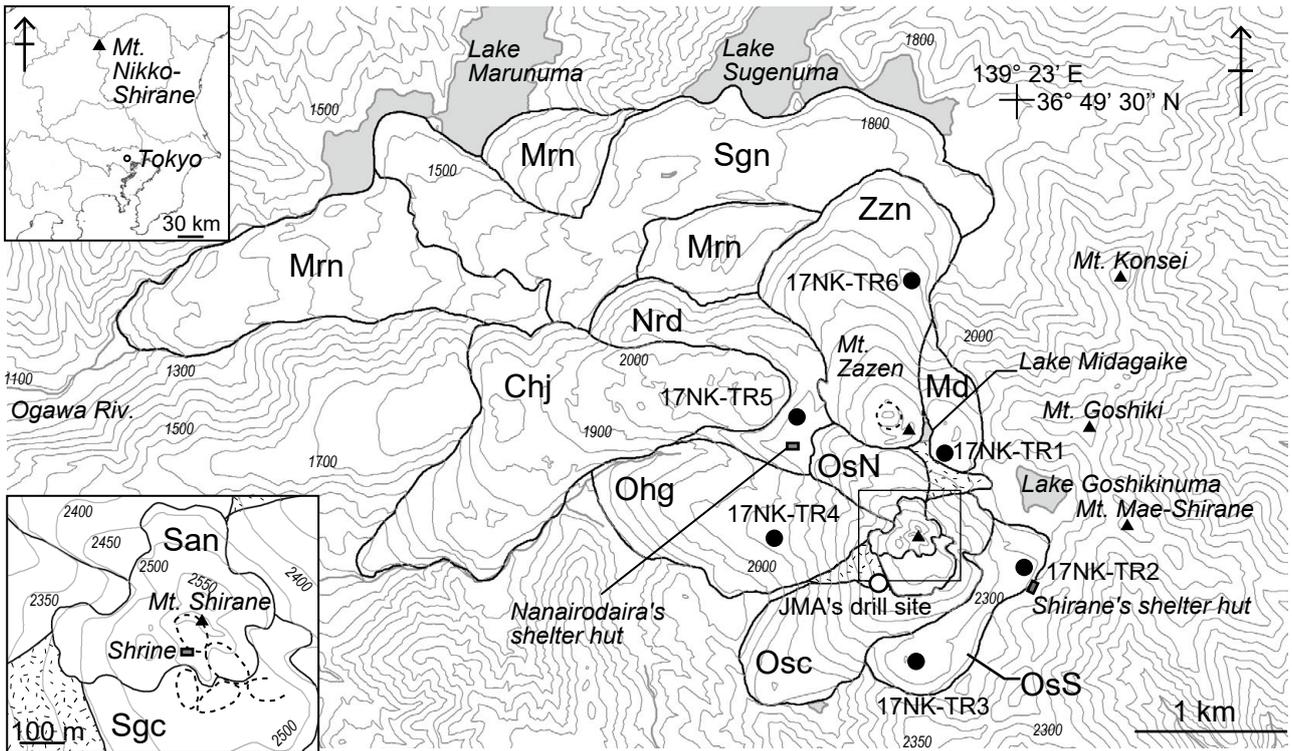
3枚の降下火砕堆積物のうちC降下火砕堆積物は, 最も日光白根火山山頂付近の層厚が厚く, 堆積物の粒径も大きい. したがって, 7世紀中頃–8世紀初頭の噴火は, 古記録上最大規模の西暦1649年噴火よりも噴火規模が大きかったと考えられる.

1. はじめに

群馬・栃木県境に位置する日光白根火山^{にっこうしらね}は, 気象庁により24時間体制で観測及び監視されている活火山の一つである. 最近では, 2011年東北地方太平洋沖地震以降に地震活動が活発化した. 古記録によれば, 明治時代の西暦1872–73年と1889–90年に水蒸気噴火が発生したこと, 1625年及び1649年に噴火があったことがわかるが, それ以前の記録はない(村山, 1979; 気象庁, 2005, 2013; 及川, 2016). 地質学的には, 過去6000年間で, さらに5回の噴火が認められており, このうち6世紀以前の3回はマグマ噴火の可能性が指摘されている(奥野, 1993; 鈴木ほか, 1994; 筒井ほか, 2005). しかし, これらの噴火イベントと, 給源火口, マグマ噴火に伴った火口近傍堆

¹産業技術総合研究所 地質調査総合センター 活断層・火山研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Earthquake and Volcano Geology)

* Corresponding author: KUSANO, Y., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan, Email: y.kusano@aist.go.jp



第1図 日光白根火山の地質とトレンチ掘削位置. 溶岩類の名称は佐々木ほか(1993)及び高橋ほか(1995)を一部改変. 等高線の間隔は50 m. 山頂周辺の拡大地図を左下に示す. 黒丸はトレンチ掘削位置, 白丸は気象庁火山観測点ボーリングコア採取位置, 三角は山頂, 破線は火口を示す. 白根山山頂の北東及び南西に位置する網掛けの部分は, 崖錐堆積物. Chj: 血ノ池地獄溶岩; Md: 弥陀ヶ池溶岩; Nrd: 七色平溶岩; Mrn: 丸沼溶岩; Ohg: 大広河原溶岩; Osc: 奥白根中央溶岩; OsN: 奥白根北溶岩; OsS: 奥白根南溶岩; San: 山頂溶岩; Sgc: 白根権現火砕丘; Sgn: 菅沼溶岩; Zzn: 座禪溶岩.

Fig. 1 Geology of Nikko-Shirane Volcano and locality of trench survey sites. The distribution of lava flows is modified from Sasaki *et al.* (1993) and Takahashi *et al.* (1995). Contour interval is 50 m. Lower-left inset shows enlarged map around summit of Mt. Shirane. Locations are shown for trench sites (closed circles), Japan Meteorological Agency (JMA)'s drill site (open circle), and the mountain summit (triangle). Broken lines show craters. Fluff-hatched areas at the northeast and southwest of summit of Mt. Shirane are talus deposits. Chj: Chinoikejigoku Lava; Md: Midagaike Lava; Mrn: Marunuma Lava; Nrd: Nanairodaira Lava; Ohg: Ohirogawara Lava; Osc: Okushirane-central Lava; OsN: Okushirane-northern Lava; OsS: Okushirane-southern Lava; San: Sancho Lava; Sgc: Shirane-Gongen Pyroclastic Cone; Sgn: Sugenuma Lava; Zzn: Zazen Lava.

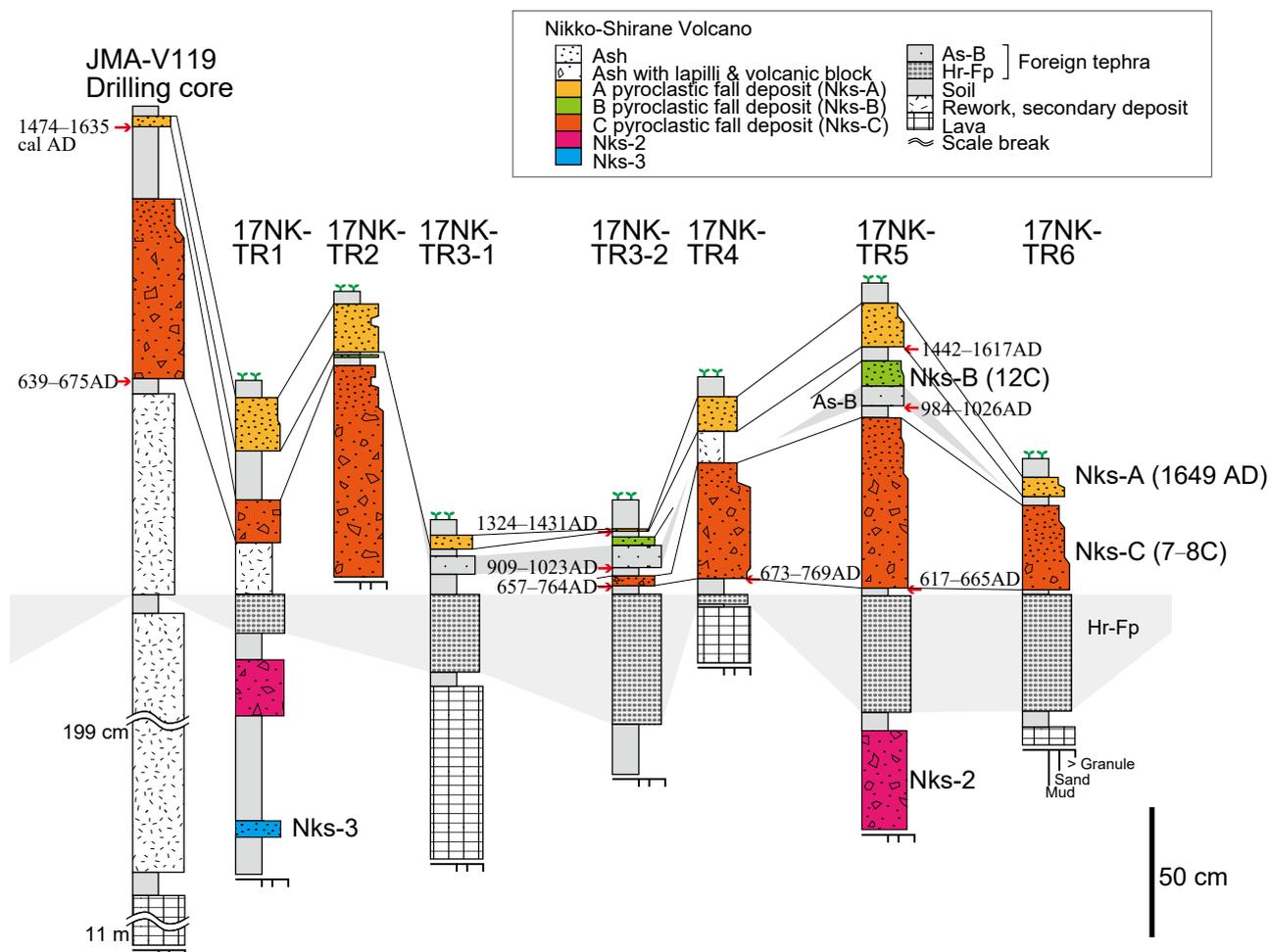
積物や溶岩流との関係は不明である. これは, 山頂部が急峻な高標高地域のため降下した火山噴出物が保存されにくいこと, 噴出物に埋積された火口近傍相の侵食が進んでおらず露頭が限られることにも原因がある.

我々は, 地表露頭がほとんど存在しない山頂部の6地点においてトレンチ掘削調査を行った. 本報告では, トレンチ壁面で確認された火砕堆積物を記載する. これらの火砕堆積物層直下の土壌の放射性炭素(¹⁴C)年代値及び火砕堆積物の細粒物の構成物組成を観察した結果を合わせて, 日光白根火山山頂部で実施された深度15 mのボーリングコアの記載(山元ほか, 2017)との対比を行う. また, 全7地点の降下火砕堆積物の対比結果から, 特に日光白根火山の6世紀以降の噴火について, その噴火年代を明らかにする. なお, 火山の岩体区分及び溶岩の記載は別途報告する予定である.

2. 地質概説

日光白根火山は, 日光火山群(山崎, 1958)の西部に位置する標高2578 mの安山岩質火山である(第1図). 溶岩流は主に白根山山頂の北側及び西側に分布し, 表面に明瞭な溶岩流地形が観察される. 最高峰の白根山は比高約400 mの溶岩ドームで, 山頂部に複数の火口とNW-SE方向の谷地形が発達する. 座禪山山頂には直径150 mの明瞭な火口が認められる. 日光白根火山の周辺は五色山や前白根山をなす約7.2 Maの鬼怒川流紋岩類(山口, 1991)があり, 日光白根火山の基盤となっている.

日光白根火山の地質学的・岩石学的研究は, 佐々木ほか(1993)によりまとめられた. 彼らによれば, 日光白根火山を構成する岩石は, 斜長石, 石英, かんらん石, 斜方輝石, 単斜輝石, 普通角閃石を斑晶として含む安山岩



第2図 日光白根火山山頂周辺の火砕堆積物層序対比柱状図。各トレンチの柱状図はHr-Fpの上面にそろえた。外来火山灰の対比線を灰色で示す。“Ash with lapilli & volcanic block”は、火山灰基質に5–25 vol%の火山礫及び火山岩塊を含む産状。火山礫及び火山岩塊を5 vol%以下含む場合は“Ash”とした。なお、本報告の降下火砕堆積物はすべて基質支持で、火山礫及び火山岩塊の含有量は最大でも25 vol%以下である。したがって、柱状図の幅は基質物質の中心粒径にそろえた。¹⁴C年代値は第1表を参照。

Fig. 2 Stratigraphic sections of the trench sites and a drilling core at summit area of Nikko-Shirane Volcano. Each section aligns the top of Hr-Fp. Distributions of foreign tephra are hatched gray. “Ash with lapilli & volcanic block” means ash containing with 5–25 vol% lapillus and volcanic blocks. <5 vol% lapillus and volcanic blocks contained in ash are summarized in “ash”. Width of stratigraphic sections is based on the median grain size of matrix because all pyroclastic fall deposits in this study are matrix-supported and the maximum lapilli and volcanic block contents are less than 25 vol%. See Table 1 for ¹⁴C age.

ーデイサイトである。また、奥野(1993)は、山頂南東部に層厚6 m以上の火山砂礫を認識し、高橋ほか(1995)がこれを白根権現火砕丘と名付けた。これらの火山噴出物はすべて、本火山から50 km以上南西の榛名火山を給源とする、6世紀中葉の榛名二ツ岳伊香保テフラ(Hr-Fp: 町田・新井, 2003)に覆われている。本報告では、空中写真と赤色立体地図の判読及び現地調査の結果に基づいて、日光白根火山噴出物を第1図のように区分した。溶岩名称は、山頂部に分布するものについては佐々木ほか(1993)、山頂部より北側に分布するものについては高橋ほか(1995)に従った。

日光白根火山東方の基盤岩上に分布する火砕堆積物層のうち、最上位の堆積物は、「日光山志」に記述された西暦1649年噴火の噴出物に対比されている(鈴木ほか, 1994)。この堆積物は黄白色–灰白色粘土質火山灰で、白根山の山頂方向に層厚が増すことが報告されている(奥野, 1993; 鈴木ほか, 1994; 筒井ほか, 2005)。また、1649年の噴出物と下位のHr-Fpの間には、白根山山頂付近ほど厚くなる2枚の火砕堆積物層が記載されている(奥野・筒井, 1998; 筒井ほか, 2005)。これらは山頂から東方に1.5 km以遠の基盤岩上で観察できるが、山頂から1 km以内では、谷沿いに1649年の噴出物が露出する

第1表 土壌の¹⁴C年代値.
Table 1 Results of ¹⁴C dating.

Locality	Sample No.	Material	Stratigraphy ¹⁾	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Conventional ¹⁴ C age (yr BP)	Calibrated range ²⁾ (2 σ cal AD)	probability (%)	Lab. ID IAAA-
17NK-TR3-2	TR3-2-2	soil	a	-26.50 ± 0.36	540 ± 20	1324-1345 1393-1431	18.0 82.0	171391
17NK-TR3-2	TR3-2-5	soil	b	-25.87 ± 0.49	1050 ± 20	909-912 969-1023	0.6 99.6	171392
17NK-TR3-2	TR3-2-7	soil	c	-25.48 ± 0.30	1320 ± 20	657-712 745-764	83.6 16.4	171393
17NK-TR4	TR4-7	soil	c	-26.55 ± 0.49	1280 ± 20	673-730 736-769	60.4 39.6	171394
17NK-TR5	TR5-3	soil	a	-26.19 ± 0.49	400 ± 20	1442-1500 1504-1511 1601-1617	90.1 1.7 8.1	171395
17NK-TR5	TR5-7	soil	b	-26.75 ± 0.36	1030 ± 20	984-1026	100.0	171396
17NK-TR5	TR5-10	soil	c	-24.18 ± 0.41	1390 ± 20	617-665	100.0	171397
JMA-V119	C1	soil	a	-25.78 ± 0.33	340 ± 20	1474-1531 1538-1635	35.2 64.8	162592
JMA-V119	C2	soil	c	-25.70 ± 0.51	1370 ± 20	639-675	100.0	162593

All samples were prepared by acid-alkali-acid wash.

1) a = just below the A pyroclastic fall deposit, b = just below Asama-B tephra, c = just below the C pyroclastic fall deposit.

2) Based on the calibration program CALIB ver. 7.1 (Stuiver *et al.*, 2018; <http://calib.org/calib>) with standard data from IntCal 13 (Reimer *et al.*, 2013).

のみとされた。

白根山山頂から南西0.4 km地点では、2016年度に気象庁火山観測点設置に伴い深度15 mのボーリングコアが掘削され、産業技術総合研究所にて観察・試料採取が行われた(山元ほか, 2017)。ここでは、Hr-Fp由来の軽石を含む二次堆積物よりも上位に、層厚4 cmの降下火山灰層及び層厚69 cmの降下火砕物層が認められている(第2図)。

3. 調査と分析手法

白根山山頂部のトレンチ掘削及びボーリングコア採取位置を第1図に示す。トレンチ掘削地点は山頂から4方位を基準とし、火砕堆積物が再移動の影響を受けにくい、地形が周囲よりも平坦な場所で、かつラハール堆積物や火砕流堆積物が到達しにくい尾根筋の場所を選定した。6地点のうち5地点が日光国立公園の特別保護地区及び特別地域内に位置することから、環境保護と調査の安全に配慮した最小限の土地の改変とするため、掘削深度は最大で2.1 mもしくは溶岩流に到達するまでとした。トレンチ掘削は全て人力で行った。

トレンチ掘削地点では、およそ幅1 m × 深度2 mの壁面観察を行ったほか、火砕堆積物の噴出年代を決定するための土壌試料と、構成物解析を行うための噴出物試料を採取した。2016年度気象庁火山観測点ボーリングコア試料からも同様に、土壌及び噴出物試料を採取した。

噴火年代を決定するため、土壌試料について¹⁴C年代測定を行った。土壌試料は火砕堆積物の下位の層厚1-2 cm以内から採取した。全ての試料の前処理及び¹⁴C年代測定は、株式会社加速器分析研究所に依頼した。分析試

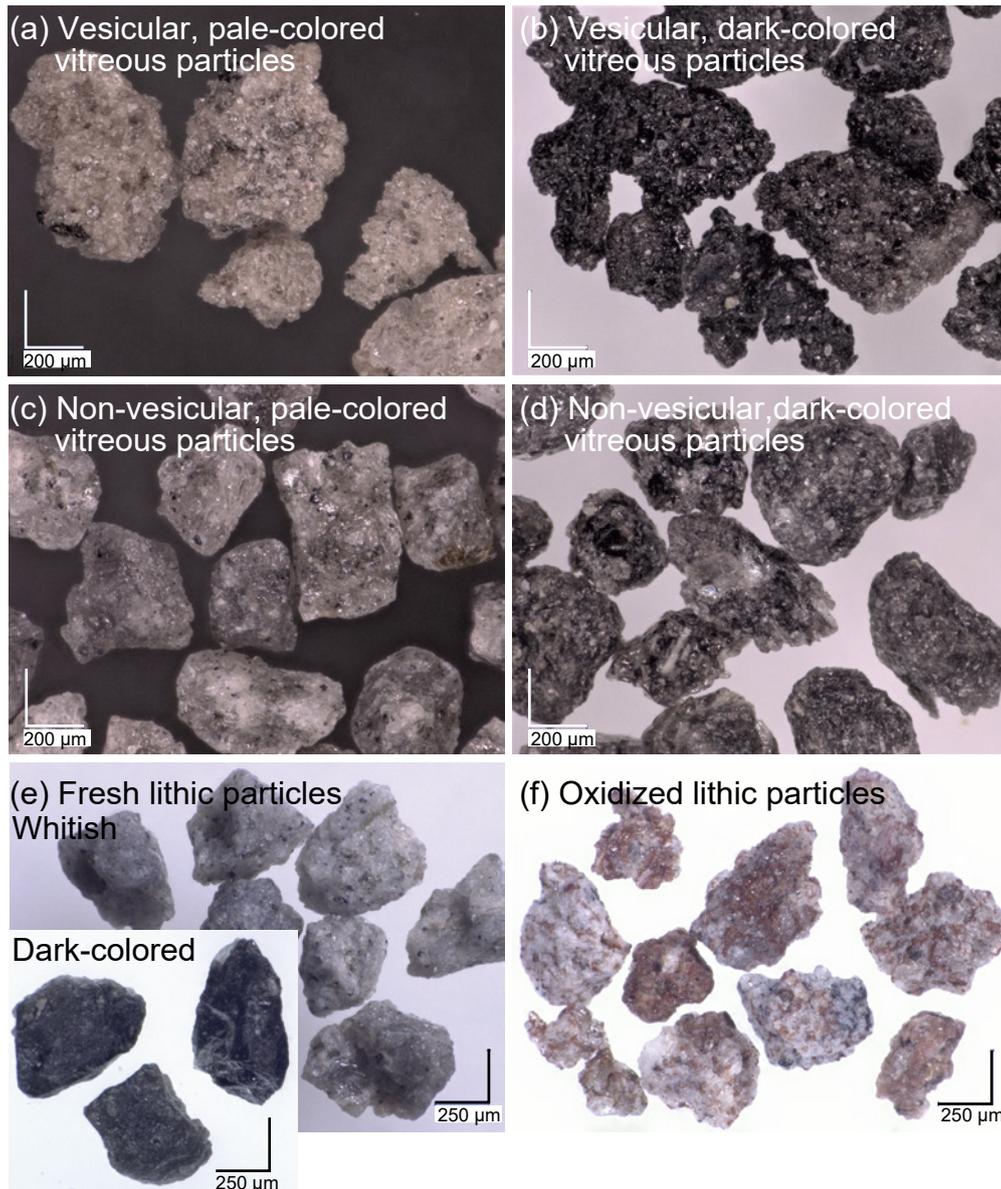
料はハンドピック・ふるいがけ後に酸・アルカリ・酸処理を行い、不純物を除いた。その後、試料を燃焼させて二酸化炭素を精製し、その二酸化炭素について鉄を触媒として水素で還元し、グラファイト化したものを測定試料とした。測定には加速器質量分析計を使用し、米国立標準局(NIST)のシュウ酸(HO_x II)を標準試料とした。本報告に示す¹⁴C年代値は、¹⁴C半減期を5568年とし、 $\delta^{13}\text{C}$ による同位体分別効果を補正した値である。¹⁴C年代(1950 ADを0年とする)から暦年代への較正は、暦年校正プログラムCALIB ver. 7.1 (Stuiver *et al.*, 2018)を使用し、較正データにはIntCal 13 (Reimer *et al.*, 2013)を適用した。土壌試料の¹⁴C年代測定結果を第1表に示す。

採取した火砕堆積物は超音波洗浄を行った後、<250 μm 、250-500 μm 、500-1000 μm 、>1000 μm にふるい分けて観察した。特に細粒な場合は<120 μm 、120-250 μm を含む5種類に分級した。ふるい分けた4または5種類の粒子を全て観察したところ、構成物の種類を全て網羅し、かつ最も観察に適したのが250-500 μm の粒子であった。そのため、250-500 μm の粒子が、採取した火砕堆積物の構成物の種類を代表すると考え、モード測定を行った(第2表)。モード測定は1試料につき500粒子以上を計測した。本研究で分類した、代表的な構成粒子の実体顕微鏡写真を第3図に示す。構成粒子は、発泡した淡色・暗色ガラス質粒子(第3図a, b)、淡色・暗色のガラス質岩片(第3図c, d)、石質岩片(第3図e)、赤色を帯びた酸化岩片(第3図f)、黄白-黄褐色を帯びた変質岩片、鉱物片(斜長石・石英・輝石・普通角閃石・不透明鉱物)と主に白-桃色の流紋岩からなる異質岩片に分類した。ガラス質岩片と石質岩片は、表面のガラス光沢の有無に加えて、岩片中の

第2表 250–500 μmサイズの降下火砕堆積物のモード測定値。
Table 2 Modal composition of pyroclastic fall deposits in 250–500 μm fraction.

Name	Sample No.	depth (m)	Vesicular vitreous particles (vol%)				Non-vesicular vitreous particles (vol%)				Lithic particles (vol%)				Crystals (vol%)				Accidental particles (vol%)
			Pale-colored	Dark-colored	Dark-colored	Pale-colored	Pale-colored	Dark-colored	Dark-colored	Pale-colored	Fresh	Oxidized	Altered	Pl+Qz	Px (Cpx & Opx)	Hbl	Opq		
Nks-A	17NK-TR1-3	0.27	2.4	0.2	0.2	0.5	30.3	3.0	8.5	1.3	0.2	0.3	49.0						
Nks-C	17NK-TR1-4	0.54	1.9	0.7	0.0	0.2	2.6	4.3	11.3	1.5	0.0	3.0	64.6						
Nks-2	17NK-TR1-5	1.20	0.0	0.2	1.4	0.5	3.5	7.7	14.2	2.3	0.0	1.4	66.0						
Nks-3	17NK-TR1-8	1.75	0.0	0.3	0.2	0.0	12.5	11.7	23.4	3.5	0.1	0.9	43.3						
Nks-A	17NK-TR2-3	0.18	0.3	0.0	0.0	0.0	8.9	3.9	9.5	0.6	0.0	0.0	57.5						
Nks-B	17NK-TR2-5	0.25	0.1	0.4	0.0	0.1	5.2	31.3	15.0	0.9	0.0	0.7	37.0						
Nks-C	17NK-TR2-9	0.90	0.4	0.0	0.0	0.5	9.0	4.8	5.4	0.9	0.4	0.0	48.2						
Nks-A	17NK-TR3-2-1	0.11	32.6	3.4	0.0	4.2	12.2	1.6	12.4	13.4	0.2	0.0	10.8						
Nks-B	17NK-TR3-2-3	0.16	11.3	1.5	0.0	0.0	8.1	8.6	7.1	5.5	0.0	0.0	23.2						
Nks-C	17NK-TR3-2-6	0.31	2.3	0.0	0.0	0.2	17.9	10.4	12.5	0.8	0.4	0.0	36.0						
Nks-A	17NK-TR4-2	0.16	12.9	0.6	0.0	0.0	13.3	1.9	9.4	0.4	0.0	0.0	6.0						
Nks-C	17NK-TR4-5	0.56	5.7	0.5	0.0	0.0	13.0	4.3	18.2	4.6	0.7	0.7	30.7						
Nks-C	17NK-TR4-6	0.76	47.8	3.8	8.6	0.0	4.2	1.0	12.7	7.6	0.2	0.4	5.9						
Nks-A	17NK-TR5-1	0.10	1.4	0.2	2.0	0.0	8.2	3.0	13.5	3.6	0.4	0.7	35.3						
Nks-A	17NK-TR5-2	0.20	0.2	0.0	0.0	0.0	10.2	6.5	14.3	1.6	0.4	0.5	36.2						
Nks-B	17NK-TR5-4	0.32	0.4	0.2	0.0	0.0	14.5	4.2	9.9	1.3	0.2	0.2	35.9						
Nks-B	17NK-TR5-5	0.36	4.4	0.7	0.0	0.0	11.8	1.1	6.9	2.7	0.0	1.2	36.7						
Nks-C	17NK-TR5-8	0.56	3.4	0.4	0.9	0.2	9.4	2.9	14.5	1.6	0.0	0.7	34.8						
Nks-C	17NK-TR5-9	0.90	0.7	0.0	0.0	0.0	20.0	4.5	10.8	1.6	0.7	1.8	19.7						
Nks-2	17NK-TR5-11	1.80	0.9	0.5	6.1	1.6	18.6	3.0	7.1	2.2	0.0	0.2	50.3						
Nks-A	17NK-TR6-2	0.12	2.1	0.2	0.2	0.2	5.9	5.4	13.1	1.7	0.2	1.3	45.3						
Nks-C	17NK-TR6-5	0.47	1.1	0.2	1.1	0.4	28.3	3.4	13.9	1.7	0.4	1.7	41.9						
Nks-A	JMA-V119.0.06-0.08	0.08	12.0	1.8	0.3	0.3	6.3	3.4	8.6	6.4	0.2	0.6	42.6						
Nks-C	JMA-V119.0.36-0.41	0.41	1.0	0.6	0.0	0.0	19.5	7.1	9.5	2.9	0.8	1.0	42.1						
Nks-C	JMA-V119.0.41-0.49	0.49	0.7	0.9	0.0	0.0	14.8	6.1	7.6	1.5	0.0	0.9	51.4						
Nks-C	JMA-V119.0.62-0.7	0.70	0.0	0.3	0.0	0.2	27.8	9.7	7.0	2.6	1.0	0.7	25.4						

Pl: Plagioclase; Qz: Quartz; Px: Pyroxene; Cpx: Clinopyroxene; Opx: Orthopyroxene; Hbl: Hornblende; Opq: Opaque mineral.



第3図 日光白根火山の降下火砕堆積物の構成粒子。(a) A降下火砕堆積物(17NK-TR5-1)中の発泡した淡色ガラス質粒子。(b) B降下火砕堆積物(17NK-TR3-2-3)中の発泡した暗色ガラス質粒子。Nks-2(17NK-TR5-11)に含まれる(c)淡色ガラス質岩片及び(d)暗色ガラス質岩片。A降下火砕堆積物(17NK-TR5-1)中の(e)石質岩片(白色・暗色)と(f)酸化岩片。(a)-(d)は500-1,000 μmサイズ、(e)と(f)は250-500 μmサイズの構成粒子。

Fig. 3 Sieved particles of the Nikko-Shirane pyroclastic fall deposit. Representative of (a) vesicular, pale-colored vitreous particles (collected from A pyroclastic fall deposit: 17NK-TR5-1), (b) vesicular, dark-colored vitreous particles (collected from B pyroclastic fall deposit: 17NK-TR3-2-3), (c) non-vesicular, pale-colored vitreous particles and (d) non-vesicular, dark-colored vitreous particles (collected from Nks-2: 17NK-TR5-11). (e) Whitish and dark-colored fresh lithic particles and (f) oxidized lithic particles (collected from A pyroclastic fall deposit: 17NK-TR5-1) are also shown. (a)-(d): 500-1,000 μm fraction; (e) and (f): 250-500 μm fraction.

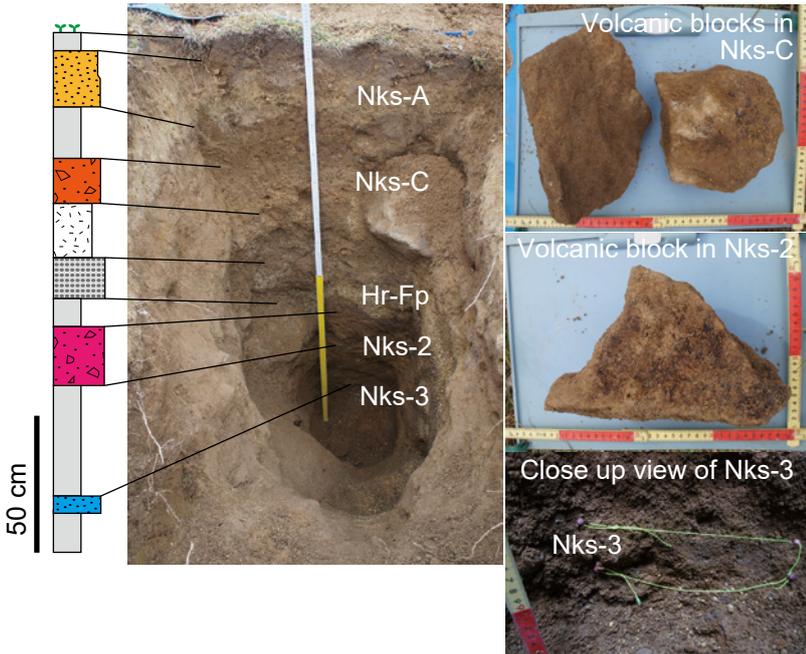
結晶量も考慮して可能な限り分けた。以下、本報告での細粒物の記載は、250-500 μmの粒子の観察結果による。

4. トレンチ調査及びボーリングコアの記載

6地点のトレンチ壁面及びボーリングコア試料で、日

光白根火山の噴火による合計5枚の火砕堆積物及び2枚の外来火山灰、浅間Bテフラ(As-B; Aramaki, 1963)とHr-Fpを確認した。これらの合計7枚の火砕堆積物は、地形的に周囲より高い尾根筋に堆積し、層厚はほぼ一定で層相に側方変化がなく、堆積物層の下面にも明瞭な削り

17NK-TR1



第4図 17NK-TR1の露頭柱状図と露頭写真。C降下火砕堆積物とNks-2中に含まれる火山岩塊及びNks-3中の拡大写真を右に示す。Nks-3は緑の糸で囲った部分。凡例は第2図と同じ。

Fig. 4 Stratigraphic section and photograph at the site 17NK-TR1. Volcanic block in the C pyroclastic fall deposit and Nks-2, and a close-up photo of Nks-3 are also shown. Nks-3 is marked by green string. Symbols are same as Fig. 2.

込みがないことから、降下火砕堆積物と判断した。噴火年代が明らかな2枚の外来火山灰に基づいて、日光白根火山の噴火による火砕堆積物を識別すると、As-Bの上位に2枚、As-BとHr-Fpの間に1枚、Hr-Fpの下位に2枚の降下火砕堆積物が認められた(第2図)。この層序は、奥野・筒井(1998)のテフラ柱状図と整合的である。Hr-Fpより上位の降下火砕堆積物について、筒井ほか(2005)はこれらを上位からNks-1U, 1M, 1Lと名付けた。奥野(2011)のテフラ層命名法では、テフラ層に数字を使い、その後アルファベットを付けた場合、一連の噴火エピソードのサブユニットを表すことになる。しかし、本研究で識別した降下火砕堆積物は、間に土壌を挟んだ、年代の異なる噴火エピソードに由来する堆積物である。そこで、本報告では奥野(2011)に従い、Hr-Fpより上位の堆積物について、上位からA降下火砕堆積物(略称: Nks-A)、B降下火砕堆積物(Nks-B)、C降下火砕堆積物(Nks-C)と呼び記載する。Hr-Fpの下位に位置する火砕堆積物は、奥野ほか(1994)に従ってNks-2, Nks-3と呼ぶ。

4. 1 17NK-TR1

地点：緯度36° 48' 12.9" N, 経度139° 22' 40.3" E, 標高2,300 m

掘削深度：1.9 m

トレンチ位置は山頂から0.6 km北北東の平地をつくる弥陀ヶ池溶岩の上である(第1図)。弥陀ヶ池溶岩は、白根山山頂の北側に位置する弥陀ヶ池の東側の台地を構成する溶岩流である。トレンチ調査では、上位より日光白根火山起源のA降下火砕堆積物、C降下火砕堆積物、

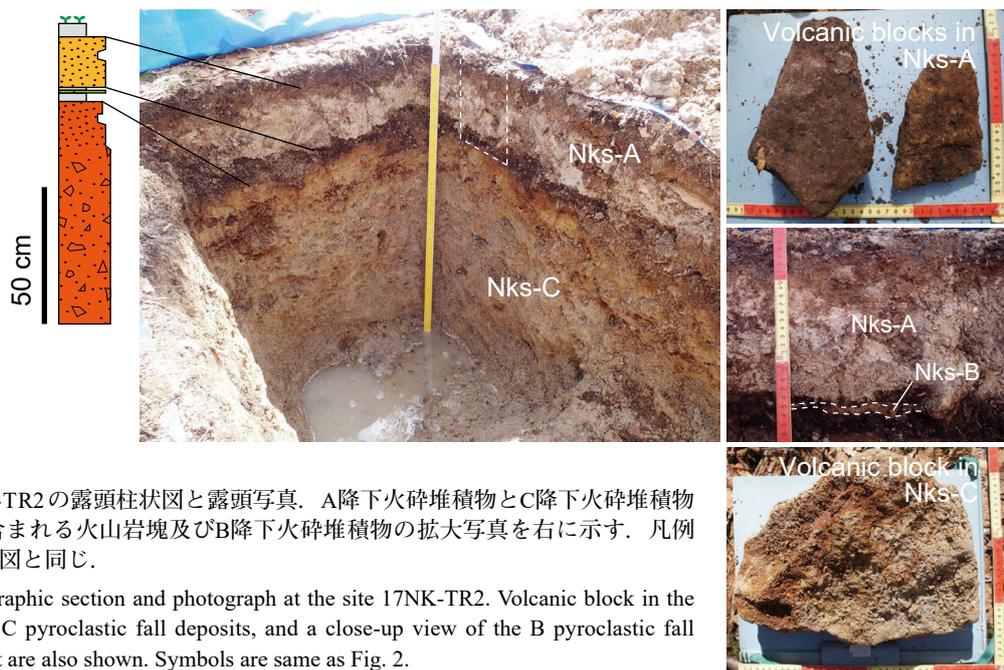
外来火山灰のHr-Fp、さらに日光白根火山起源のNks-2, Nks-3が認められた(第4図)。Nks-3の直下、トレンチの最下部は褐色土壌からなり、弥陀ヶ池溶岩には到達しなかった。

地表から層厚7 cmは表土である。その下位に層厚20 cmのA降下火砕堆積物が認められる。A降下火砕堆積物は、シルトサイズ以下-粗粒砂サイズの淡褐色火山灰を主体とする。最下部の層厚4 cmに粒径2 cm以下の安山岩火山礫を伴う。堆積物は全体に淘汰が悪い。火山礫は角礫状で、急冷縁は認められない。250-500 μmに粒径を揃えた粒子(以下、構成粒子)は、発泡した淡色・暗色ガラス質粒子、淡色・暗色ガラス質岩片、石質岩片、酸化岩片、変質岩片、鉍物片(石英・斜長石・輝石・普通角閃石)と異質岩片からなる(第2表)。異質岩片は主に、基盤岩由来の流紋岩片である。

その下位には層厚19 cmの褐色土壌を挟み、層厚16 cmのC降下火砕堆積物が認められる。C降下火砕堆積物は、細粒-粗粒砂サイズの黄褐色火山灰基質支持で、径3-50 cmの安山岩火山礫-火山岩塊が散在し、淘汰が悪い。これらの礫の平均最大粒径(礫4-8個の長径を平均して求めた値)は28 cmである。火山岩塊は多面体状の角礫で、急冷縁や冷却節理は認められない(第4図)。C降下火砕堆積物の構成粒子は、発泡した淡色・暗色ガラス質粒子、暗色ガラス質岩片、石質岩片、酸化岩片、変質岩片、鉍物片(石英・斜長石・輝石)と異質岩片である(第2表)。異質岩片には、基盤岩由来の流紋岩のほか、Hr-Fp由来の軽石と普通角閃石片が含まれる。

その下位は、層厚15-20 cmの再堆積物からなる。この

17NK-TR2



第5図 17NK-TR2の露頭柱状図と露頭写真。A降下火砕堆積物とC降下火砕堆積物中に含まれる火山岩塊及びB降下火砕堆積物の拡大写真を右に示す。凡例は第2図と同じ。

Fig. 5 Stratigraphic section and photograph at the site 17NK-TR2. Volcanic block in the A and C pyroclastic fall deposits, and a close-up view of the B pyroclastic fall deposit are also shown. Symbols are same as Fig. 2.

堆積物は、全体に淘汰が悪く、細-中粒砂サイズの黄褐色火山灰支持で、径5-10 cmの安山岩垂角礫やパッチ状ないし弱く成層したHr-Fp由来の軽石が混在する層相から、再堆積物と判断した。

その下位には、層厚15 cmのHr-Fpが認められる。日光白根火山周辺では、Hr-Fpは、極粗粒砂サイズ-粒径1 cm以下の白色-淡黄色軽石と普通角閃石片が特徴的に認められることから、野外で容易に識別できる。

Hr-Fpの下位には層厚10 cmの褐色土壌を挟み、黄褐色の降下火砕堆積物が認められる。層厚は20 cmである。細粒-粗粒砂サイズの比較的淘汰の良い火山灰基質支持で、径1-3 cmの火山礫や径20-30 cmの緻密で安山岩質の火山岩塊(平均最大粒径: 24 cm)を含む。全体的に淘汰が悪い。火山岩塊には平板状の角礫(第4図)と多面体状の角礫の両方が含まれる。火山岩塊の形状によらず、急冷縁や冷却節理は認められない。構成粒子は、発泡した暗色ガラス質粒子、淡色・暗色ガラス質岩片、石質岩片、酸化岩片、変質岩片、鉍物片(石英・斜長石・輝石)と異質岩片である。この降下火砕堆積物とHr-Fpに挟まれる土壌の厚さから、降下火砕堆積物は白根山山頂の東方2.7 kmで記載されたNks-2(奥野ほか, 1994)に対比できる。

Nks-2の下位には層厚40 cmの褐色土壌を挟み、層厚6 cmの降下火砕堆積物が認められる。この火砕堆積物は、細粒-粗粒砂サイズの、比較的淘汰の良い灰色火山灰である。構成粒子は、発泡した暗色ガラス質粒子、淡色ガラス質岩片、石質岩片、酸化岩片、変質岩片、鉍物片(石英・斜長石・輝石・普通角閃石)と異質岩片である。

火砕堆積物の層序関係と土壌の厚さから、Nks-2と同様に、白根山山頂の東方2.7 kmで記載されたNks-3(奥野ほか, 1994)に対比される可能性が高い。

4.2 17NK-TR2

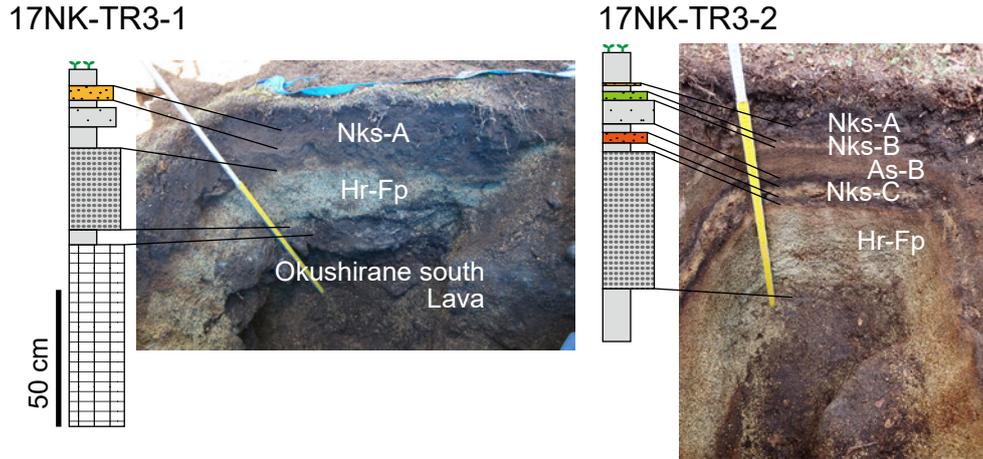
地点: 緯度36° 47' 48.3" N, 経度139° 23' 2.1" E, 標高2,280 m

掘削深度: 1.1 m

トレンチ位置は白根山山頂より0.7 km東南東の平地をつくる奥白根南溶岩の上、白根の避難小屋の北西側である。奥白根南溶岩は白根山山頂の南側から東側にかけて分布する溶岩流である。トレンチ調査では、上位よりA降下火砕堆積物、B降下火砕堆積物、C降下火砕堆積物が認められる(第5図)。このうちC降下火砕堆積物の掘削中に孔内から水が湧出したことから、掘削は深度1.1 mまでとした。

地表から層厚5 cmは表土である。その下位に層厚23 cmのA降下火砕堆積物が認められる。A降下火砕堆積物は、火山礫混じりのシルトサイズ以下-粗粒砂サイズの灰白色火山灰を主体とする。最下部に平均最大粒径20 cmの安山岩火山岩塊を伴う。全体に淘汰が悪い。火山岩塊は平板状の角礫で、急冷縁や冷却節理は認められない(第5図)。A降下火砕堆積物の構成粒子は、発泡した淡色ガラス質粒子、石質岩片、酸化岩片、変質岩片、鉍物片(石英・斜長石・輝石)と異質岩片である(第2表)。

その下位には濃褐色土壌を挟み、層厚1 cmのB降下火砕堆積物がパッチ状に認められる(第5図)。B降下火砕



第6図 17NK-TR3-1及び17NK-TR3-2の露頭柱状図と露頭写真。凡例は第2図と同じ。

Fig. 6 Stratigraphic section and photograph at the site 17NK-TR3-1 and 17NK-TR3-2. Symbols are same as Fig. 2.

堆積物は、安山岩火山礫(平均最大粒径0.2 cm)がわずかに混じった、シルトサイズ以下-中粒砂サイズの淘汰の悪い黄白色火山灰を主体とする。火山礫は多面体状の角礫で、急冷縁は認められない。B降下火砕堆積物の構成粒子は、発泡した淡色・暗色ガラス質粒子、暗色ガラス質岩片、石質岩片、酸化岩片、変質岩片、鉍物片(石英・斜長石・輝石)と異質岩片からなる。

その下位には、層厚3 cmの濃褐色土壌を挟み、層厚86 cmのC降下火砕堆積物が認められる。C降下火砕堆積物の上部9 cmはシルトサイズ以下-細粒砂サイズの黄白色火山灰が、粒度の違いにより成層する。下部は極細粒砂-4 mmサイズの淡褐色火山灰及び安山岩火山礫を主体とする。火山灰と火山礫からなる基質支持で、平均最大粒径22 cmの安山岩火山岩塊が散在する。全体に淘汰が悪い。火山岩塊は多面体状の角礫で、急冷縁や冷却節理は認められない(第5図)。C降下火砕堆積物の構成粒子は、発泡した淡色ガラス質粒子、暗色ガラス質岩片、石質岩片、酸化岩片、変質岩片、鉍物片(石英・斜長石・輝石・普通角閃石)と異質岩片からなる。

4.3 17NK-TR3

17NK-TR3では、2地点を掘削した。第1図には17NK-TR3-1地点を代表として示した。17NK-TR3-2は、17NK-TR3-1の約80 m東側に位置する。

4.3.1 17NK-TR3-1

地点：緯度36° 47' 27.7" N, 経度139° 22' 29.6" E, 標高2,350 m

掘削深度：1.3 m

トレンチ位置は白根山山頂から0.8 km南方の台地をつくる奥白根南溶岩の上である。トレンチ調査では、上位よりA降下火砕堆積物、As-B、Hr-Fp、奥白根南溶岩が認められた(第6図)。

地表から層厚6 cmは表土である。その下位に、層厚5 cmのA降下火砕堆積物が認められる。A降下火砕堆積物は、シルトサイズ以下-粗粒砂サイズの、淘汰が悪い褐色火山灰からなる。

その下位は暗褐色土壌を挟み、層厚7 cmのAs-Bが認められる。As-Bは、中粒-粗粒砂サイズの黄褐色軽石質火山灰で、淘汰が良い。本地域のAs-Bは、日光白根火山周辺で、1) 層厚が7-10 cmと一定で、2) 布川・竹下(2010)が記載したAs-Bの層厚よりも厚いものの、奥野・筒井(1998)や筒井ほか(2005)が記載した層厚と調和的であり、3) 中粒-粗粒砂サイズの淘汰の良い軽石及び石質岩片からなること、4) 軽石の構成鉍物組み合わせ(斜長石・単斜輝石・斜方輝石)がAs-Bの鉍物組み合わせ(町田・新井, 2003)と一致することから、As-Bと判断した。

As-Bの下位には層厚8 cmの暗褐色土壌を挟み、層厚30 cmのHr-Fpが認められる。この地点のHr-Fpは、粒径0.8 mmの軽石と粒径1 mmの普通角閃石片が顕著に認められ、粗粒-極粗粒砂サイズの火山灰からなる。上位10 cmは弱く級化(上方細粒化)している。

Hr-Fpの下位には層厚5 cmの褐色土壌を挟み、層厚67 cm以上の、暗赤色で弱く発泡した安山岩火山岩塊層が認められる。火山岩塊は径15-80 cmの角礫状で、火山岩塊間を同質の火山灰や火山礫が埋めている。火山岩塊が奥白根南溶岩と同様の斑晶鉍物組み合わせを持つことから、奥白根南溶岩の上面を構成する岩塊と考えられる。

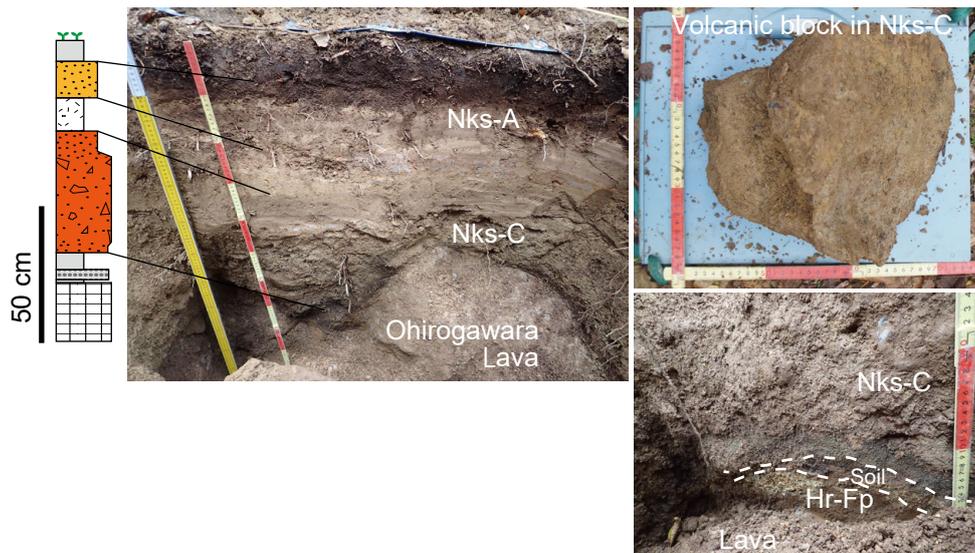
4.3.2 17NK-TR3-2

地点：緯度36° 47' 27.7" N, 経度139° 22' 32.8" E, 標高2,340 m

掘削深度：1.05 m

Hr-Fpよりも上位の日光白根火山起源の火砕堆積物を確認することを目的として掘削した。トレンチ調査では、

17NK-TR4



第7図 17NK-TR4の露頭柱状図と露頭写真。C降下火砕堆積物中に含まれる火山岩塊及びC降下火砕堆積物の基底部の露頭写真を右に示す。凡例は第2図と同じ。

Fig. 7 Stratigraphic section and photograph at the site 17NK-TR4. Close-up view of the base of C pyroclastic fall deposit and volcanic block in the C pyroclastic fall deposit are shown on right. Symbols are same as Fig. 2.

上位よりA降下火砕堆積物，B降下火砕堆積物，As-B，C降下火砕堆積物，Hr-Fpが認められる(第6図)。

地表から層厚11 cmは表土である。その下位に層厚1 cmのA降下火砕堆積物が認められる。A降下火砕堆積物は、シルトサイズ以下-中粒砂サイズの灰白色火山灰を主体とする。平均最大粒径0.4 cmの安山岩火山礫をわずかに含む。全体に淘汰が悪い。火山礫は多面体状の角礫で、急冷縁は認められない。これらの構成粒子は、発泡した淡色・暗色ガラス質粒子、暗色ガラス質岩片、石質岩片、酸化岩片、変質岩片、鉍物片(石英・斜長石・輝石・普通角閃石)と異質岩片からなる(第2表)。

その下位は層厚2 cmの濃褐色土壌を挟み、層厚3 cmのB降下火砕堆積物が認められる。B降下火砕堆積物は、火山礫混じりの、シルトサイズ以下-粗粒砂サイズの淡褐色火山灰である。全体として淘汰が悪い。火山礫は多面体状の安山岩角礫(平均最大粒径0.4 cm)で、急冷縁は認められない。B降下火砕堆積物の構成粒子は、発泡した淡色・暗色ガラス質粒子、石質岩片、酸化岩片、変質岩片、鉍物片(石英・斜長石・輝石)と異質岩片である。

B降下火砕堆積物の直下には、土壌を挟むことなくAs-Bが認められる。層厚9 cmのAs-Bは、中粒-粗粒砂サイズの軽石及び石質岩片を主体とする、淘汰の良い黄褐色火山灰である。

As-Bの下位には層厚3 cmの濃褐色土壌を挟み、層厚4 cmのC降下火砕堆積物が認められる。C降下火砕堆積物はシルトサイズ以下-粗粒砂サイズの火山灰を主体とし、上部は灰白色、下部は黄白色を呈する。粒径2 cm程度の

安山岩火山礫が散在し、淘汰が悪い。火山礫は多面体状の角礫で、急冷縁は認められない。C降下火砕堆積物の構成粒子は、発泡した淡色ガラス質粒子、暗色ガラス質岩片、石質岩片、酸化岩片、変質岩片、鉍物片(石英・斜長石・輝石・普通角閃石)と異質岩片である。

C降下火砕堆積物の下位には層厚3 cmの濃褐色土壌を挟み、層厚50 cmのHr-Fpが認められる。この地点のHr-Fpには、極粗粒砂サイズ-2 mm以下の軽石と普通角閃石片が顕著に認められる。

この地点では、A降下火砕堆積物，As-B，C降下火砕堆積物の直下のそれぞれの土壌から3点の¹⁴C年代値を得た(第1表)。較正暦年代はそれぞれ、1324-1431，909-1023，657-764 cal ADであった。層序関係と得られた年代値に矛盾はなく、すべて6世紀以降の年代を示す。また、As-B下の土壌の年代は、As-Bの噴出年代(1108AD: 新井, 1979)よりも若干古い値が得られたが、As-Bの堆積以前に形成されていた土壌の年代としては矛盾しない。

4. 4 17NK-TR4

地点：緯度36° 47' 54.1" N，経度139° 21' 54.5" E，標高2,090 m

掘削深度：1.1 m

トレンチ位置は白根山山頂から1 km西方で、^{おおひろがわら}大広河原溶岩上の平坦地である。大広河原溶岩は山頂の西側に分布する溶岩流である。上位よりA降下火砕堆積物，C降下火砕堆積物，Hr-Fp，大広河原溶岩が認められる(第7図)。

地表から層厚 8 cm は、表土である。その下位に層厚 13 cm の A 降下火砕堆積物が認められる。A 降下火砕堆積物は、シルトサイズ以下-中粒砂サイズの淡褐色火山灰を主体とする。平均最大粒径 0.4 cm の安山岩火山礫及び流紋岩質の異質岩片を極少量含み、淘汰が悪い。A 降下火砕堆積物の構成粒子は、発泡した淡色・暗色ガラス質粒子、石質岩片、酸化岩片、変質岩片、鉍物片(石英・斜長石・輝石)と異質岩片からなる(第 2 表)。

その下位には層厚 12 cm の灰白色シルト層を挟み、層厚 45 cm の C 降下火砕堆積物が認められる。シルトサイズ以下-粗粒砂サイズの淡褐色火山灰基質支持で、安山岩火山礫及び火山岩塊(平均最大粒径 29 cm)が散在し、全体として淘汰が悪い。火山岩塊は多面体状の角礫で、急冷縁や冷却節理は認められない。C 降下火砕堆積物層の上部 10 cm はやや細粒である。基底部 4 cm は中粒-粗粒砂サイズで、淘汰の良い灰色火山灰として認められる(第 7 図)。C 降下火砕堆積物の構成粒子は、発泡した淡色・暗色ガラス質粒子、淡色ガラス質岩片、石質岩片、酸化岩片、変質岩片、鉍物片(石英・斜長石・輝石・普通角閃石)と異質岩片である。C 降下火砕堆積物基底部の灰色火山灰は、発泡した淡色・暗色ガラス質粒子の含有量が 50 vol% 以上を占める(第 2 表)。

その下位は層厚 4 cm の濃褐色土壌を挟み、層厚 4 cm の Hr-Fp が大広河原溶岩を直接覆う。この地点の Hr-Fp には、粒径 1-2 mm の軽石と普通角閃石片が顕著に認められる。掘削地点は大広河原溶岩の溶岩堤防と考えられる地形的高まりに位置しており、トレンチ最下部に露出した層厚 21 cm 以上の安山岩は、大広河原溶岩と考えて差し支えない。

この地点の C 降下火砕堆積物直下の土壌から、較正暦年代として 673-769 cal AD が得られた(第 1 表)。

4. 5 17NK-TR5

地点：緯度 36° 48' 20.5" N, 経度 139° 22' 0.5" E, 標高 2,130 m

掘削深度：2.1 m

トレンチ位置は白根山山頂から 1.1 km 北西の七色^{なないろだい}平溶岩の上、七色平の避難小屋の北側である。上位より A 降下火砕堆積物、B 降下火砕堆積物、As-B、C 降下火砕堆積物、Hr-Fp、Nks-2 が認められた(第 8 図)。

地表から層厚 8 cm は表土である。その下位に層厚 17 cm の A 降下火砕堆積物が認められる。A 降下火砕堆積物は、シルトサイズ以下-粗粒砂サイズの淡褐色火山灰を主体とする。下部はより粗粒で黄褐色を呈し、径 1.5-3 cm の安山岩火山礫が散在する。全体として淘汰が悪い。火山礫は多面体状の角礫で、急冷縁は認められない。A 降下火砕堆積物の構成粒子は、発泡した淡色・暗色ガラス質粒子、淡色ガラス質岩片、石質岩片、酸化岩片、変質岩片、鉍物片(石英・斜長石・輝石)と異質岩片からなる(第 2 表)。

る(第 2 表)。

その下位は層厚 6 cm の土壌を挟んで、層厚 10 cm の B 降下火砕堆積物が認められる。B 降下火砕堆積物は、シルトサイズ以下-粗粒砂サイズの淡褐色火山灰を主体とする。下部ほど粗粒で、平均最大粒径 1.8 cm の安山岩火山礫を少量含むため、全体として淘汰が悪い。火山礫は多面体状の角礫で、急冷縁は認められない。B 降下火砕堆積物の構成粒子は、発泡した淡色・暗色ガラス質粒子、石質岩片、酸化岩片、変質岩片、鉍物片(石英・斜長石・輝石)と異質岩片である。

B 降下火砕堆積物の直下には土壌を挟まず、As-B が認められる。As-B は層厚 8 cm で、中粒-粗粒砂サイズの軽石と石質岩片からなる淘汰の良い黄褐色火山灰である。

As-B の下位には暗褐色土壌を挟み、層厚 65 cm の C 降下火砕堆積物が認められる。C 降下火砕堆積物の上部 10 cm は、細粒砂-粗粒砂サイズの赤褐色火山灰からなる。下部の 55 cm は極細粒砂-極粗粒砂サイズの黄褐色火山灰基質支持で、安山岩火山礫及び火山岩塊が散在し、全体として淘汰が悪い。火山岩塊の平均最大粒径は 26 cm で、直下の土壌に対してサグ構造が認められる(第 8 図)。火山岩塊は多面体状の角礫で、急冷縁や冷却節理は認められない。C 降下火砕堆積物の構成粒子は、発泡した淡色・暗色ガラス質粒子、淡色・暗色ガラス質岩片、石質岩片、酸化岩片、変質岩片、鉍物片(石英・斜長石・輝石・普通角閃石)と異質岩片からなる。

C 降下火砕堆積物の下位には層厚 2 cm の暗褐色土壌を挟み、層厚 45 cm の Hr-Fp が認められる。

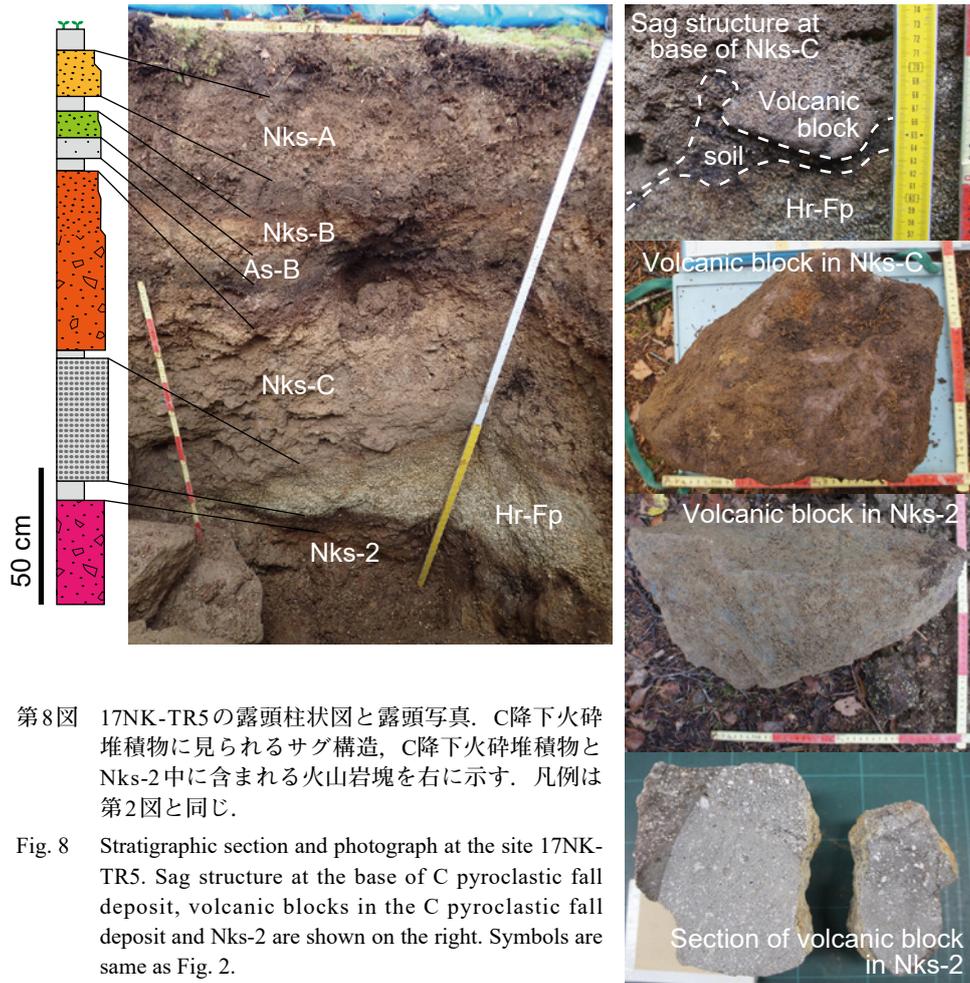
Hr-Fp の下位には層厚 7 cm の暗褐色土壌を挟み、層厚 40 cm 以上の Nks-2 が認められる。Nks-2 は、極細粒-粗粒砂サイズの黄褐色火山灰基質支持で、径 5-10 cm 程度の安山岩火山礫及び火山岩塊を伴い、淘汰が悪い。火山岩塊の平均最大粒径は 16 cm で、弱く発泡する(第 8 図)。火山岩塊はやや平板な角礫で、急冷縁や冷却節理は認められない。Nks-2 の構成粒子には、発泡した淡色・暗色ガラス質粒子、淡色・暗色ガラス質岩片、石質岩片、酸化岩片、変質岩片、鉍物片(石英・斜長石・輝石・普通角閃石)と異質岩片が認められる(第 2 表)。

この地点では、A 降下火砕堆積物、As-B、C 降下火砕堆積物の直下のそれぞれの土壌から 3 点の ¹⁴C 年代値を得た(第 1 表)。較正暦年代はそれぞれ、1442-1617, 984-1026, 617-665 cal AD であった。層序関係と得られた年代値に矛盾はなく、すべて 6 世紀以降の年代を示す。また、As-B 下の土壌の年代は、As-B の噴出年代(1108AD)よりも若干古い値が得られたが、As-B の堆積以前に形成されていた土壌の年代としては矛盾しない。

4. 6 17NK-TR6

地点：緯度 36° 48' 50.3" N, 経度 139° 22' 31.4" E, 標高 1,960 m

17NK-TR5



第8図 17NK-TR5の露頭柱状図と露頭写真。C降下火砕堆積物に見られるサグ構造、C降下火砕堆積物とNks-2中に含まれる火山岩塊を右に示す。凡例は第2図と同じ。

Fig. 8 Stratigraphic section and photograph at the site 17NK-TR5. Sag structure at the base of C pyroclastic fall deposit, volcanic blocks in the C pyroclastic fall deposit and Nks-2 are shown on the right. Symbols are same as Fig. 2.

掘削深度：1.1 m

トレンチ位置は白根山山頂から1.7 km北方の平坦地で、座禪溶岩の上である。座禪溶岩は日光白根火山の北側の座禪山を中心として分布する溶岩流で、座禪山山頂に火口を持つ。上位よりA降下火砕堆積物、C降下火砕堆積物、Hr-Fp、座禪溶岩が認められた(第9図)。

地表から層厚7 cmは表土である。その下位に層厚7 cmのA降下火砕堆積物が認められる。A降下火砕堆積物は、シルトサイズ以下-粗粒砂サイズの黄褐色火山灰を主体とする。下部ほど粗粒で、基底部には径約3 cmの火山礫を含む。全体として淘汰が悪い。火山礫は多面体状の角礫で、急冷縁は認められない。A降下火砕堆積物の構成粒子は、発泡した淡色・暗色ガラス質粒子、淡色・暗色ガラス質岩片、石質岩片、酸化岩片、変質岩片、鉱物片(石英・斜長石・輝石・普通角閃石)と異質岩片からなる。

その下位には層厚4 cmの土壌を挟んで、層厚32 cmのC降下火砕堆積物が認められる。C降下火砕堆積物の上部8 cmはシルトサイズ以下-粗粒砂サイズの黄褐色火山灰、下部の24 cmは細粒砂-4 mm以下の淡褐-灰色火山灰

及び火山礫を主体とする。全体的に淘汰が悪い。基底部には平均最大粒径17 cmの安山岩火山岩塊が認められる。火山岩塊は多面体状の角礫で、急冷縁や冷却節理は認められない(第9図)。C降下火砕堆積物の構成粒子には、発泡した淡色・暗色ガラス質粒子、淡色・暗色ガラス質岩片、石質岩片、酸化岩片、変質岩片、鉱物片(石英・斜長石・輝石・普通角閃石)と異質岩片を含む。

C降下火砕堆積物の下位には層厚2 cmの暗褐色土壌を挟み、層厚45 cmのHr-Fpが認められる。

Hr-Fpの下位は暗褐色土壌を挟んで安山岩溶岩に到達した。掘削地点の50 m東方の登山道沿いに座禪溶岩が露出していることから、トレンチの基底に露出した安山岩溶岩は座禪溶岩と考えられる。

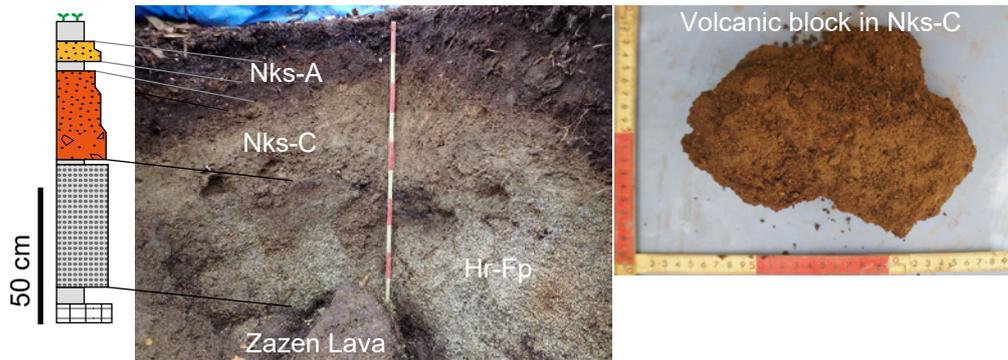
4.7 気象庁火山観測点ボーリングコア(JMA-V119)

地点：緯度36° 47' 44.9" N, 経度139° 22' 22.7" E, 標高2,413 m

掘削深度：15.23 m

ボーリング地点は山頂から0.4 km南西で、奥くしらね

17NK-TR6



第9図 17NK-TR6の露頭柱状図と露頭写真. C降下火砕堆積物中の火山岩塊を右に示す. 凡例は第2図と同じ.

Fig. 9 Stratigraphic section and photograph at the site 17NK-TR6. Volcanic block in the C pyroclastic fall deposit is shown on the right. Symbols are same as Fig. 2.

中央溶岩の上である。上位よりA降下火砕堆積物、C降下火砕堆積物、奥白根中央溶岩が露出する(第2図)。この地点は白根山の斜面に位置するため、C降下火砕堆積物の下位に位置する再堆積物中にHr-Fp由来の軽石が多量に認められた。この再堆積物の基底をHr-Fpと同時期面と仮定し対比柱状図(第2図)を作成した。以下に山元ほか(2017)の一次記載を抜粋し、構成粒子の記載を加筆して示す。

地表から層厚4 cmは表土である。その下位に層厚4 cmのA降下火砕堆積物が認められる。A降下火砕堆積物は、シルトサイズ以下-粗粒砂サイズの黄白色火山灰を主体とする。平均最大粒径0.6 cmの安山岩火山礫をごく少量含む。全体に淘汰が悪い。火山礫は多面体状の角礫で、急冷縁は認められない。A降下火砕堆積物の構成粒子は、発泡した淡色・暗色ガラス質粒子、淡色・暗色ガラス質岩片、石質岩片、酸化岩片、変質岩片、鉱物片(石英・斜長石・輝石・普通角閃石)と異質岩片からなる(第2表)。

A降下火砕堆積物の下位には、層厚3 cmの黒色土壌が発達する。黒色土壌の下位には、層厚25 cmの茶褐色土壌を挟み、層厚69 cmのC降下火砕堆積物が認められる。C降下火砕堆積物の上部5 cmはシルトサイズ以下-粗粒砂サイズの黄褐色火山灰からなる。下部の64 cmは、極細粒砂-4 mm以下の火山灰及び火山礫を主体とし、径1-3 cmの安山岩火山礫及び径7 cm以上(コア径が7 cm)の安山岩火山岩塊が点在する。全体として淘汰が悪い。火山岩塊は角礫状で、急冷縁や冷却節理は認められない。C降下火砕堆積物の構成粒子は、発泡した淡色・暗色ガラス質粒子、淡色・暗色ガラス質岩片、石質岩片、酸化岩片、変質岩片、鉱物片(石英・斜長石・輝石・普通角閃石)と異質岩片である(第2表)。

C降下火砕堆積物の下位には層厚6 cmの茶褐色土壌を挟み、層厚77 cmの再堆積物層が認められる。再堆積物

層は、径1-2 mmの軽石濃集部と、これらの軽石、暗褐色土壌及び細礫サイズの安山岩片が弱く互層する部分からなる。軽石はHr-Fp由来と考えられる。

再堆積物層の下位には層厚7 cmの茶褐色土壌を挟み、層厚199 cmの安山岩火山礫及び火山岩塊を主体とする層が認められる。粒間はシルトサイズ以下-中粒砂サイズの火山灰が埋めている。これらの安山岩の斑晶鉱物は、下位の溶岩や山頂部の火砕丘を構成する火山岩塊と同じであることから、転動や土石流による再堆積物と考えられる。

安山岩火山礫及び火山岩塊からなる再堆積物層の下位には、層厚9 cmの黄白色土壌を挟み、深度15.23 mまで奥白根中央溶岩が連続して露出する。

この地点では、A降下火砕堆積物、C降下火砕堆積物直下のそれぞれの土壌から¹⁴C年代値を得た(第1表)。較正暦年代はそれぞれ、1474-1635、639-675 cal ADであった。層序関係と得られた年代値に矛盾はなく、すべて6世紀以降の年代を示す。

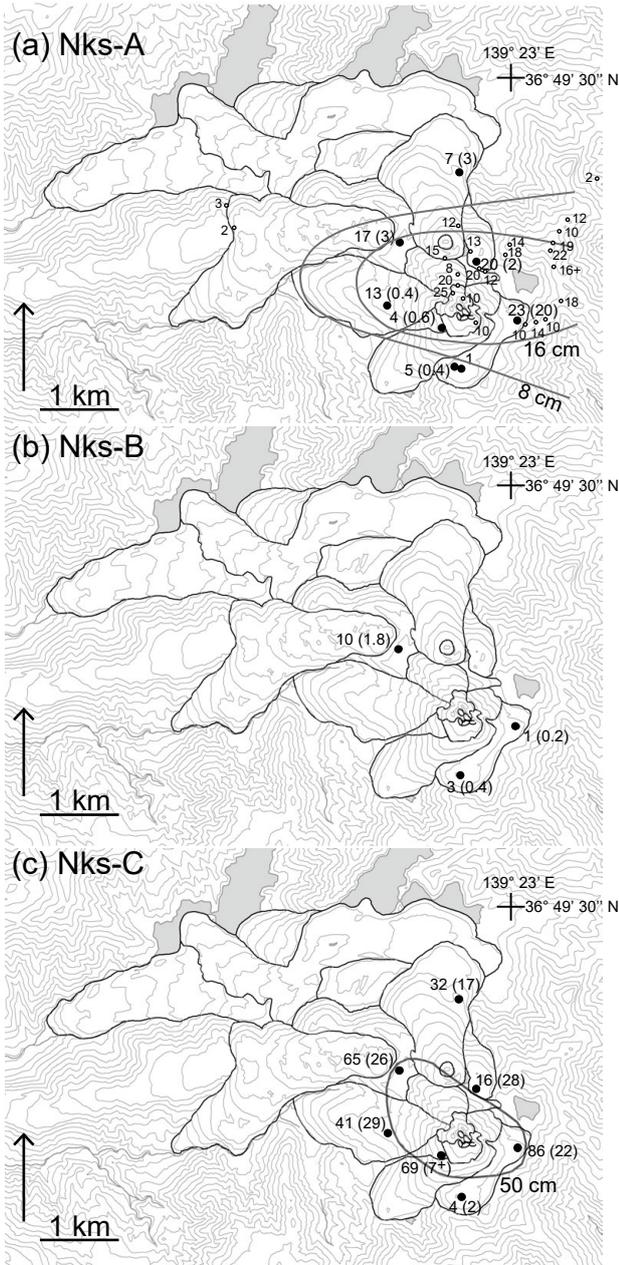
5. 噴火年代と噴火様式

本報告で記載した層序、層相、土壌の¹⁴C年代測定結果及び火砕堆積物の構成粒子組成に基づいて、各火砕堆積物の噴火年代と噴火様式について以下に考察する。

5.1 日光白根火山6世紀以降の噴火

5.1.1 A降下火砕堆積物

日光白根火山起源のA降下火砕堆積物は、白根山山頂から0.4-1.7 km範囲内の全7地点で、表土より4-11 cm下に認められる粘土質-砂質の火砕堆積物である(第2図)。A降下火砕堆積物は、層序と層相及び後述する噴火年代から、奥野(1993)、奥野ほか(1994)や鈴木ほか(1994)により定義されたNks-1及び、筒井ほか(2005)が定義した



第10図 日光白根火山降下火砕堆積物の分布図。(a) A降下火砕堆積物の分布と等層厚線。(b) B降下火砕堆積物の分布。(c) C降下火砕堆積物の分布と等層厚線。黒丸は本報告のトレンチ掘削及びボーリングコア採取地点、白丸は鈴木ほか(1994)のNks-1確認地点を示す。数値は各地点の層厚、括弧内の数値は噴出物の平均最大粒径を示す。

Fig. 10 Distribution maps of pyroclastic fall deposits of the Nikko-Shirane Volcano. (a) Distribution of A pyroclastic fall deposit and the isopach, (b) distribution of B pyroclastic fall deposit and (c) distribution of C pyroclastic fall deposit and the isopach. Filled circles are trench and drill sites used in this report and open circles are Nks-1 outcrops in Suzuki *et al.* (1994). Thickness of pyroclastic fall deposits are shown with trench and drill sites. Maximum mean average of pyroclastic fall deposit is shown in brackets.

Nks-1Uに対比される。

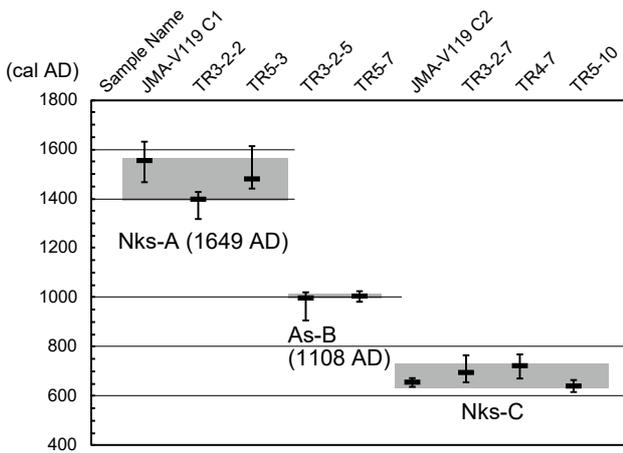
今回の調査により、山頂部のA降下火砕堆積物は、黄白色-黄褐色の、砂質あるいは粘土質火山灰を主体とし、噴出物中に安山岩火山礫及び火山岩塊を含むことが明らかとなった。本研究の噴出物層厚と粒径を、白根山の周囲約7 kmの噴出物層厚(鈴木ほか, 1994)と合わせて検討すると、山頂近傍ほど噴出物層厚が増すと見える(第10図a)。また、本研究の調査結果によれば、安山岩火山礫及び火山岩塊含有量は、山頂近傍ほど増加する。このことは、A降下火砕堆積物の噴出源が山頂部にあったことを示している。噴出物中の火山岩塊は、白根山山頂の東方0.75 kmで最も大きく、平均最大粒径は20 cmであった(第5図)。さらに、今回の調査結果と、白根山の周囲約7 km範囲内の結果(鈴木ほか, 1994; 草野・石塚, 2017)を合わせてA降下火砕堆積物の分布を検討すると、降下火砕堆積物の分布の主軸は、白根山山頂部を火口として東方へ延びる可能性が高い(第10図a)。なお、ボーリングコア試料にみられるA降下火砕堆積物の層厚4 cmは、降下火砕堆積物の等層厚線図から、傾斜地のため降灰後に火砕堆積物の大部分が移動し薄くなった結果と考えられる。

A降下火砕堆積物直下の土壤の較正暦年代は、1324-1431 cal AD (17NK-TR3-2), 1442-1617 cal AD (17NK-TR5), 1474-1635 cal AD (ボーリングコア)であった(第1表)。この年代値は、筒井ほか(2005)がHr-Fpとロームの厚さから推定したNks-1Uの噴火年代(約500年前)や、古記録「日光山志」の記述(西暦1649年、慶安2年; 鈴木ほか, 1994)と矛盾しない。したがって、A降下火砕堆積物は、日光白根火山の西暦1649年噴火による堆積物と考えられる(第11図)。

西暦1649年噴火については、古記録「日光山志」に、長径約200 m (二町)の火口が新たに形成され、石宮が火口へ落下したと記されている(鈴木ほか, 1994)。したがって、A降下火砕堆積物の噴出源は、現在の山頂祠周辺の火口を指すと推定される(第1図)。

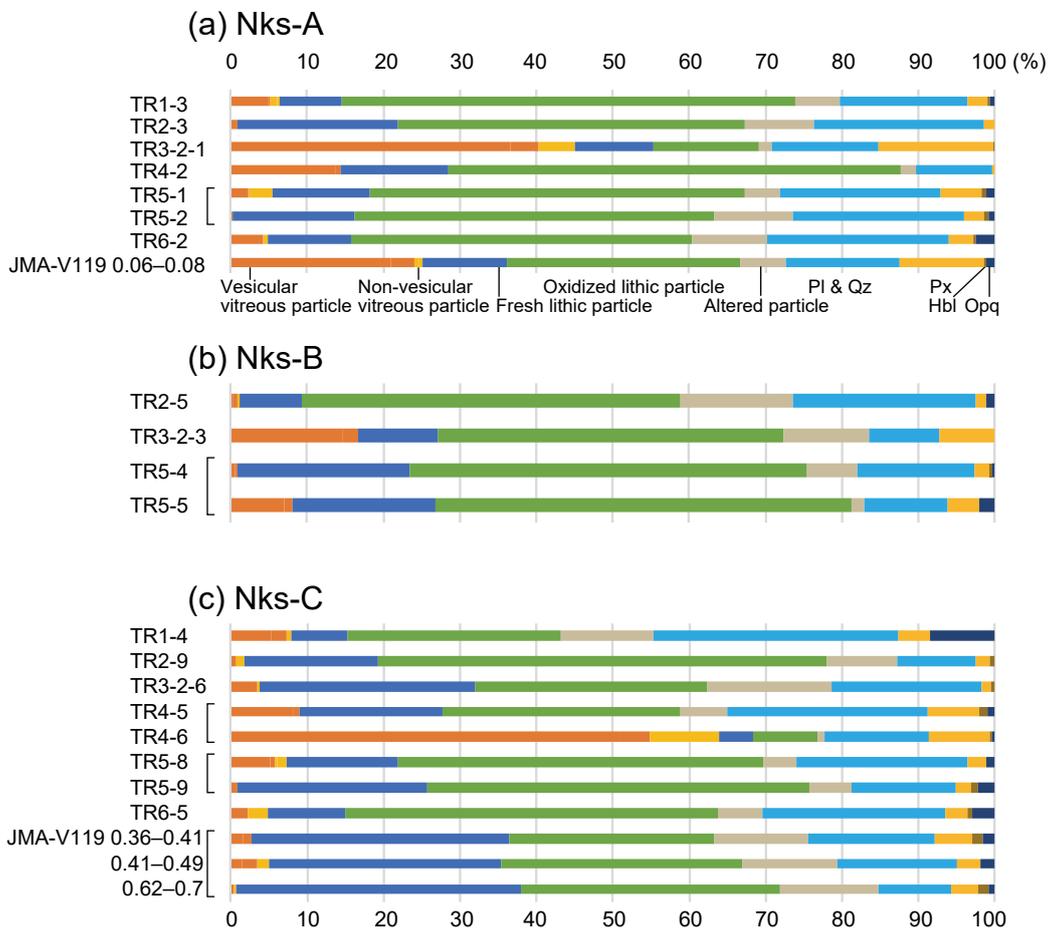
A降下火砕堆積物には、ボーリングコアを含む全7地点の細粒物の構成粒子に、発泡したガラス質粒子が認められる(第3図a; 第12図a)。発泡したガラス質粒子の含有量は最大30 vol%であった(第2表)。17NK-TR5地点の構成物の鉛直変化に着目すると、下位で発泡したガラス質粒子含有量が少なく(TR5-2)、上位ほど多い(TR5-1)。

草野・石塚(2017)では、1649年噴火の総噴出量を少なくとも 7.7×10^6 トン(VEI = 3)と見積もったが、今回確認された山頂付近及び山麓の降下火砕堆積物層厚を踏まえて再検討する必要がある。また、火砕堆積物に含まれる発泡したガラス質粒子の特徴について詳細に検討することにより、1649年噴火の規模や活動の推移、マグマ物質の関与について別途まとめる予定である。なお、1625年にあったとされる噴火(村山, 1979; 気象庁,



第 11 図 ^{14}C 年代値比較図. 各年代の中央値は、暦年代の 2σ 確率(%)とその年代範囲を加重平均して求めた. 垂線は 2σ 暦年代範囲, 太い水平線は各 2σ 暦年代範囲の中央値をそれぞれ示す. 各暦年代の中央値を結んだ年代収束範囲を灰色で示した. ^{14}C 年代値は第 1 表を参照.

Fig. 11 Comparison of ^{14}C age. Median age is a weighted average of the ranges of calendar age (cal AD) and the 2σ probability. Vertical line shows the ranges of cal AD and thick horizontal bar shows median age. Convergent age ranges which has tied median ages are hatched gray. See Table 1 for ^{14}C age.



第 12 図 (a) A降下火砕堆積物, (b) B降下火砕堆積物, (c) C降下火砕堆積物のモード組成. 異質岩片を除いて 100%換算したものを示す. 角括弧は同一露頭における上下変化を示す. モード組成は第 2 表を参照. Pl: plagioclase; Qz: quartz; Px: pyroxene; Hbl: hornblende; Opq: opaque mineral.

Fig. 12 Modal compositions of (a) A, (b) B and (c) C pyroclastic fall deposits. Bar chart shows recalculated composition excluding accidental particles. Vertical profile at the same locality put in square brackets. See Table 2 for modal compositions. Pl: plagioclase; Qz: quartz; Px: pyroxene; Hbl: hornblende; Opq: opaque mineral.

2005)に対比される噴出物はいずれの地点でも確認されなかった。

5.1.2. B降下火砕堆積物

日光白根火山起源のB降下火砕堆積物は、17NK-TR2, 3, 5の全3地点で確認した。B降下火砕堆積物は、層序と層相から、筒井ほか(2005)が定義したNks-1Mに対比される。

B降下火砕堆積物は、As-Bを土壌を挟むことなく覆っている(17NK-TR3及びTR5地点)。厚さ数cmの腐植質土壌の発達には、本地域より約50 km南西の榛名火山周辺で、20-50年を要したと見積もられている(下司・大石, 2011)。本地域は榛名火山周辺よりも高標高で土壌の発達もよくないと考えられるものの、B降下火砕堆積物とAs-Bの間に土壌が認められないことは、As-Bの噴火から数十年を経ず日光白根火山が噴火したことを示唆している。As-Bは浅間山1108 AD噴火の噴出物であり(新井, 1979)、本調査地域から得られた土壌の較正暦年代の909-1023 cal AD (17NK-TR3-2), 984-1026 cal AD (17NK-TR5)は、若干古めに出ているものの、噴火年代と概ね調和的である(第11図)。したがって、B降下火砕堆積物は、日光白根火山の12世紀噴火でもたらされた噴出物と考えられる。筒井ほか(2005)は、ロームの厚さとNks-1MがAs-Bを直接覆うことから、Nks-1Mを800年前の噴出物と考えた。本研究の¹⁴C年代もこれを支持する。

B降下火砕堆積物の層厚は1-10 cmで、黄白色-淡褐色の粘土質-砂質火山灰を主体とする。17NK-TR5地点で最も厚く(層厚10 cm)、平均最大粒径1.8 cmの火山礫が混じる。火山礫はB降下火砕堆積物下部に認められ、上位へ級化する。B降下火砕堆積物は白根山山頂より西側でやや厚いが、観察地点が少なく、現段階で噴出物の分布範囲や噴出量、火口位置を見積もることは困難である(第10図b)。

B降下火砕堆積物の構成粒子には、全3地点で発泡したガラス質粒子が認められた(第2表)。これらの含有量は最大で10 vol%である。17NK-TR5地点の構成物の鉛直変化に着目すると、下位で発泡したガラス質粒子の含有量が多く(第12図b; TR5-5)、上位ほど少ない(TR5-4)。また、A及びC降下火砕堆積物と比べて、ガラス質岩片の含有量は少ない。

B降下火砕堆積物の粒径が下位から上位に向かって小さくなり、構成粒子として発泡したガラス質粒子を含む特徴は、A降下火砕堆積物や後述のC降下火砕堆積物と類似する(第2, 12図)。一方、山頂部にもかかわらず火砕堆積物層として観察される地点は少なく、A及びC降下火砕堆積物よりも層厚が薄く、噴出物も相対的に細粒である(第10図b)。以上のことから、日光白根火山12世紀噴火は、西暦1649年噴火よりもやや規模が小さかったと推定される。しかしながら、筒井ほか(2005)では、山

頂付近ほど火山礫や火山岩塊の数が増加すると報告しており、山麓での調査と合わせて検討する必要がある。

5.1.3. C降下火砕堆積物

C降下火砕堆積物は、6地点においてHr-FpとAs-Bの間に認められた。C降下火砕堆積物は、その層序と層相から、筒井ほか(2005)が日光白根火山東方で定義したNks-1Lに対比される。

C降下火砕堆積物は、層厚4-86 cmで、黄白色-黄褐色の粘土質-砂質火山灰を主体とし、火山礫及び火山岩塊を含む。本調査で確認した日光白根火山の噴出物のなかで最も厚く、白根山山頂周辺では層厚50 cmを超える(第10図c)。17NK-TR2, TR4, TR5, TR6地点では、下位から上位に向かって噴出物の粒径が小さくなる特徴を示す(第2図)。火砕堆積物中に含まれる火山礫及び火山岩塊の平均最大粒径は2-28 cmで、山頂よりも北側で粒径が大きい。火山岩塊は、多面体状の安山岩角礫である(第5図; 第7-9図)。

C降下火砕堆積物直下の土壌の較正暦年代は、657-764 cal AD (17NK-TR3-2), 673-769 cal AD (17NK-TR4), 617-665 cal AD (17NK-TR5), 639-675 cal AD (ボーリングコア)であった(第1表)。以上の4試料の¹⁴C年代値は、約640-720 cal ADの範囲に集中するため(第11図)、この時期に噴火があったことを示す。Hr-Fp(6世紀中葉の噴出物)を覆う点とも矛盾しない。したがってC降下火砕堆積物は、7世紀中頃-8世紀初頭の噴火でもたらされた噴出物といえる。筒井ほか(2005)は、挟在するロームの厚さからNks-1Lを1200年前の噴出物と考えたが、本研究の¹⁴C年代に基づけば、噴火年代は約1300-1400年前で、100年程度古いと判断される。また、C降下火砕堆積物の構成粒子には、異質岩片として下位のHr-Fp由来の軽石が混じることがある。このことは、6世紀中葉に日光周辺を広く覆ったHr-Fp(本調査範囲では層厚約40 cm)を吹き飛ばして7世紀頃に噴火が発生したことを示唆する。

上述のように、C降下火砕堆積物の層厚は、日光白根山山頂に向かって厚くなる傾向が認められた。また、山頂南方を除き、山頂から約1 km範囲内の17NK-TR1, TR2, TR4, TR5で確認された火山岩塊の粒径が20-30 cmと大きい(第10図c)、山頂付近を噴出源とすると考えられる。しかしながら、具体的な火口位置は依然として明らかではない。

C降下火砕堆積物には、全6地点の構成粒子に発泡したガラス質粒子が認められた(第2表)。17NK-TR5地点及びボーリングコアのC降下火砕堆積物の細粒物の構成粒子の鉛直変化に着目すると、下部には発泡したガラス質粒子がほぼ含まれず(第12図c: TR5-9, JMA-V119 0.62-0.7)、やや細粒な上部では含有量が数vol%に増加することがわかる(TR5-8, Drilling core 0.36-0.41)。一方、17NK-TR4地点では基底部に、発泡したガラス質粒子

を 50 vol%以上含む灰色火山灰層がある(第2表; TR4-6). この灰色火山灰は淘汰が良く, C降下火砕堆積物上部や他地点のC降下火砕堆積物とは産状が異なるため, 噴火推移による構成物組成の違いを反映している可能性がある.

C降下火砕堆積物は, 上位のA及びB降下火砕堆積物と比べて, 白根山山頂から1 km範囲内の噴出物が厚く, 粒径も大きいことから(第10図), 日光白根火山の6世紀以降の噴火の中で最も規模が大きかった可能性が高い. そのため, C降下火砕堆積物をもたらした7世紀中頃-8世紀初頭の噴火について, 山麓の火砕堆積物分布や, A降下火砕堆積物及びB降下火砕堆積物中の発泡したガラス質粒子との検討など, 詳細な解析から噴火様式を推定する必要がある.

5.2 日光白根火山6世紀以前の噴火

6世紀以前の降下火砕堆積物は, 白根山山頂よりも北側の2地点(17NK-TR1及びTR5)で確認した. 日光白根火山で確認されている最も古い降下火砕堆積物(Nks-4; 奥野ほか, 1994)は, 本調査では確認できなかった.

Nks-2は17NK-TR1及びTR5地点で確認され, Hr-Fp下に土壌を約10 cm挟んで認められる. 層厚は20-40 cmをもち, 細粒-粗粒砂サイズの火山灰基質支持で, 粒径5-30 cmの安山岩火山岩塊が点在する. 火山岩塊はやや平板な角礫が多く, 弱く発泡したのも認められる(第4図; 第8図). どちらの地点もNks-2直下は土壌の発達が悪く, ^{14}C 年代値は得られていない. 日光白根火山6世紀以降の噴出物と同様に, Nks-2にも細粒物の構成粒子として, 発泡した淡色・暗色ガラス質粒子及び淡色・暗色ガラス質岩片(第3図c)が含まれる(第2表). しかし, 発泡した淡色ガラス質粒子の発泡度や色調など, 今後の詳細な観察及び分析により, 日光白根火山6世紀以降の噴出物とは異なる特徴が明らかになる可能性がある.

本研究において最下位に位置するNks-3は, 17NK-TR1地点でのみ確認した(第4図). 層厚6 cmの淘汰の良い中粒砂サイズの灰色火山灰である. 構成粒子として, 発泡した暗色ガラス質粒子や淡色ガラス質岩片を含む(第2表). Nks-3の下位は土壌の発達が良く, ^{14}C 年代値は得られていない. Nks-2とNks-3は, 奥野ほか(1994)や鈴木ほか(1994)によりマグマ噴火による火砕堆積物であったことが指摘されており, 日光白根火山全体の形成史を明らかにするために, 日光白根火山周辺で確認される火砕堆積物の層厚と層相の検討, 及び噴出年代や火口近傍堆積物の認定が今後の課題である.

6. まとめ

6地点のトレンチ断面及び2016年度の気象庁火山観測点ボーリングコアにおいて, 日光白根火山の噴火による合計5枚の降下火砕堆積物及び2枚の外来火山灰(浅間B

テフラ(As-B), 榛名二ツ岳伊香保テフラ(Hr-Fp))を確認した. これらの層序対比により, 6世紀中葉以降には, 日光白根火山の噴火が少なくとも3回あったことを白根山山頂付近で初めて確認した. 本研究では3枚の噴出物を上位からA, B, C降下火砕堆積物と名付けた. これらの噴火年代は, 火砕堆積物直下の土壌の ^{14}C 年代値に基づいて, 西暦1649年, 12世紀, 7世紀中頃-8世紀初頭と考えられる.

A降下火砕堆積物(略称: Nks-A)は, 粘土質-砂質火山灰を主体とし, 火山礫及び火山岩塊を含む. 日光白根火山周辺の表土直下に広域に認められ, 東方に分布軸を持つ. 山麓から山頂にかけて層厚が増し, 山頂より0.75 km東方では噴出物中に平均最大粒径20 cmの火山岩塊を含む. 層位, 層相, 直下の土壌の較正暦年代及び古記録の記述から, A降下火砕堆積物は西暦1649年噴火による降下火砕堆積物と考えられる. 細粒物の構成粒子として, 発泡したガラス質粒子が最大30 vol%認められる.

B降下火砕堆積物(略称: Nks-B)は, As-B(1108 AD)を直接覆うことから, 12世紀の噴火による降下火砕堆積物と考えられる. 白根山山頂近傍では, 層厚1-10 cmのB降下火砕堆積物が認められる. 粘土質-砂質火山灰を主体とし, 火山礫を少量含む. A及びC降下火砕堆積物と比較して細粒で層厚が薄く, 確認地点も限られる. したがって, B降下火砕堆積物をもたらした12世紀の噴火規模は, 西暦1649年の噴火よりもやや小さかった可能性がある.

C降下火砕堆積物(略称: Nks-C)は, As-BとHr-Fpの間に認められる. 粘土質-砂質火山灰を主体とし, 堆積物中に火山礫及び火山岩塊が散在する. 白根山山頂周辺で層厚50 cmを超え, 山頂の北側で噴出物の粒径が大きい特徴がある. 層位, 層相及び直下の土壌の較正暦年代から, 日光白根火山の7世紀中頃-8世紀初頭の噴火による降下火砕堆積物と考えられる. C降下火砕堆積物は, 6世紀以降の3枚の火砕堆積物のなかで山頂近傍での層厚が最も厚く, 噴出物の粒径も大きい. したがって, 7世紀中頃-8世紀初頭の噴火は, 日光白根火山の6世紀以降の噴火の中で最も噴火規模が大きかったと考えられる.

注釈: 本地域の地名である七色平の呼称は, 地元住民が使用している「なないろだいら」に統一した.

謝辞: 日本製紙総合開発株式会社, 環境省・林野庁・日光市・片品村の皆様には, 本研究に深いご理解とご協力を賜った. トレンチ調査では, 日光市山岳連盟のご協力を賜った. 産業技術総合研究所の石塚 治氏, 及川輝樹氏, 山元孝広氏には, 本研究をまとめるためにご議論いただいた. Christopher Conway氏には英文を添削していただいた. 星住英夫氏の査読により本稿は改善された. また, 編集担当の工藤 崇氏にもお世話になった. 記し

て感謝申し上げます。本研究では、気象庁の火山観測施設整備で採取され、産業技術総合研究所が保管するボーリングコア試料を利用した。本研究の一部は、文部科学省「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」の資金等の提供を受けたものである。

文 献

- 新井房夫(1979) 関東地方北西部の縄文時代以降の指標テフラ層. 考古学ジャーナル, **157**, 41-52.
- Aramaki, S. (1963) Geology of Asama Volcano. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo. Sect. 2*, **14**, 229-443.
- 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. 地質調査研究報告, **62**, 177-189.
- 気象庁編(2005) 日光白根山. 日本活火山総覧(第3版), 気象庁, 東京, 248-251.
- 気象庁編(2013) 日光白根山. 日本活火山総覧(第4版). 気象庁, 東京, 619-629.
- 草野有紀・石塚吉浩(2017) 日光白根火山1649年噴火の再検討. 日本火山学会2017年度秋季大会予稿集, 209.
- 町田 洋・新井房夫(2003) 新編火山灰アトラス—日本列島とその周辺, 東京大学出版会, 東京, 337p.
- 村山 磐(1979) 日本の火山(II). 大明堂, 東京, 276p.
- 布川嘉英・竹下欣宏(2010) 栃木県内の第四期火山灰露頭調査報告; テーマ展「栃木の火山灰から噴火を読む」の調査から. 栃木県立博物館研究紀要—自然—, **27**, 1-17.
- 及川輝樹(2016) 日光白根火山の歴史時代の噴火. 日本地球惑星科学連合2016年大会予稿集, SVC48-09.
- 奥野 充(1993) 日光白根山の噴火史. 日本地理学会予稿集, **44**, 66-67.
- 奥野 充(2011) 地質調査による高分解能なテフラ層序学・年代学の構築. 地質雑, **117**, 654-662.
- 奥野 充・筒井正明(1998) 日光白根火山—新鮮な溶岩地形と高山植物の宝庫—. 関東甲信越の火山II—フィールドガイド日本の火山1, 築地書館, 東京, 42-51.
- 奥野 充・守屋以智雄・中村敏夫(1994) 那須茶臼岳, 高
原山, 日光白根山の最近6000年間の噴火頻度. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, **5**, 207-216.
- Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Buck, C. E., Cheng, H., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hafliðason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T. J., Hoffmann, D. L., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kaiser, K. F., Kromer, B., Manning, S. W., Niu, M., Reimer, R. W., Richards, D. A., Scott, E. M., Southon, J. R., Staff, R. A., Turney, C. S. M. and van der Plicht, J. (2013) IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0-50,000 Years cal BP. *Radiocarbon*, **55**, 1869-1887.
- 佐々木 実・橋野 剛・村上 浩(1993) 日光火山群, 日光白根火山および三ツ岳火山の地質と岩石. 弘前大学理科報告, **40**, 101-117.
- Stuiver, M., Reimer, P. J. and Reimer, R. W. (2018) CALIB radiocarbon calibration program 7.1. <http://calib.org/calib> (Accessed:2018-06-07).
- 鈴木毅彦・奥野 充・早川由紀夫(1994) テフラからみた日光火山群の噴火史. 月刊地球, **16**, 215-221.
- 高橋正樹・小堀容子・矢島有紀子(1995) 日光白根火山下マagma供給システムの岩石学的モデル. 月刊地球, **17**, 113-119.
- 筒井正明・菊井稔宏・栃木県日光土木事務所(2005) 日光白根山起源のテフラの噴火様式とその噴火年代. 地球惑星科学関連学会2005年合同大会予稿集, V055P-011.
- 山口 靖(1991) 南会津地域の地熱系モデルと地熱資源量評価. 地質調査所報告, **275**, 199-227.
- 山元孝広・草野有紀・佐々木 実(2017) 日光白根山のボーリングコア. 気象庁火山観測点ボーリングコアの解析—2016 (平成28)年度成果報告書, 気象庁, 83-85.
- 山崎正男(1958) 日光火山群. 地球科学, no. 36, 27-35.

(受 付 : 2018年3月30日 ; 受 理 : 2019年12月2日)