北海道東部, 根釧原野および斜里平野における約3万5千～1万2千年前の テフラ層序と後屈斜路カルデラ火山の噴火史

Eruptive history of post-caldera volcanoes of Kutcharo caldera, eastern Hokkaido, Japan, as inferred from tephrostratigraphy in the Konsen and Shari areas for the period 35–12 ka.

Abstract

長谷川 健* 岸本博志**
中川光弘* 伊藤順一** 山元孝広**

*Takeshi Hasegawa**, *Hiroshi Kishimoto**,
*Mitsuhiro Nakagawa**, *Jun-ichi Itoh***
and *Takahiro Yamamoto***

2008年11月12日受付.

2009年5月23日受理.

* 北海道大学大学院理学研究院自然史科学部門
Department of Natural History Sciences,
Graduate School of Science, Hokkaido Uni-
versity, N10 W8, Kita-ku, Sapporo 060-0810,
Japan

** 産業技術総合研究所地質調査総合センター
Geological Survey of Japan, The National
Institute of Advanced Industrial Science and
Technology, Central 7, Higashi 1-1-1, Tsukuba
305-8567, Japan

† 現所属: アジア航測株式会社防災地質部
Present address; Department of Disaster Pre-
vention, Asia Air Survey Company with Limit-
ed Liability, 2-18, Shinjuku-4, Shinjuku-ku,
Tokyo 160-0022, Japan

Corresponding author; T. Hasegawa,
hasegawatakeshi@mail.sci.hokudai.ac.jp

The eruptive history of post-caldera volcanoes of Kutcharo caldera (Atosanupuri, Nakajima, and Mashu), eastern Hokkaido, Japan, was re-examined based on tephrostratigraphy above the layer KpI (35 ka), which is the youngest caldera-forming ignimbrite produced from the caldera. The studied areas are located to the east (Konsen) and north (Shari) of Kutcharo caldera. Between KpI and Ma-I (12 ka; the first eruption of the caldera-forming stage of Mashu volcano), at least 24 explosive eruptions M-I-a to (M-I-d, Ch-a to Ch-d, and Nu-a to Nu-r, in descending order) are recognized in the Konsen area, and 10 (KoP, NaP, WTfI-2, KgSc, WTfI-1, KuSc, TyP, HkP, Ds-Oh, and YmP) are recognized in the Shari area. In addition, more than 20 thin scoria layers were found. Eight tephra layers in the Shari area can be correlated with those in the Konsen area, based on stratigraphy and petrology (e.g., glass chemistry and the mineralogy of juvenile materials). The main phenocryst phases in these tephra layers are plagioclase, two pyroxenes, and Fe-Ti oxides, although some layers contain olivine and Nu-q includes hornblende. These tephra layers are divided into the following three groups based on the K₂O content of glass: Low-K (K₂O = 0.4–0.9 wt.%), Medium-K (1.6–2.5 wt.%), and High-K (4.2–4.9 wt.%). Nu-q, characterized by the presence of hornblende and a High-K composition, was possibly produced by the Daisetsu Ohachidaira caldera of central Hokkaido. The Medium-K group consists of 10 porphyritic (> 11 % phenocrysts), white-colored tephra layers. All other tephra layers, including the thin scoria layers, are assigned to the Low-K group. Based on geological and petrological data, and correlations with proximal deposits and edifices of each post-caldera volcano, we infer that the source volcanoes of the Medium-K and Low-K groups were the Atosanupuri/Nakajima volcanoes and Mashu volcano, respectively. These results indicate that 10 explosive eruptions occurred at the Atosanupuri/Nakajima volcanoes over the period from 25 to 13 ka, with a total tephra volume of 16 km³. Mashu volcano produced more than 50 plinian eruptions (total tephra volume > 90 km³) over the period from 35 to 1 ka, with no dormant periods exceeding several thousand years in duration.

Keywords: Kutcharo caldera, post-caldera volcanoes, Atosanupuri, Nakajima, Mashu, eruptive history, tephra, correlation, K₂O content

はじめに

屈斜路火山は、千島弧南部、阿寒–知床火山列の南西部を構成する第四紀のカルデラ火山である。本火山は、約40万年前から3万5千年前までの間に、古梅溶結凝灰岩・屈斜路軽石流Ⅷ～Ⅰ (KpⅧ～Ⅰ) の大規模火砕流を噴出し、大型の屈斜路カルデラ (26 × 20 km) を形成した (勝井・佐藤, 1963; 伊藤ほか, 2007; など) (Fig. 1)。カルデラの形成後も現在に至るまで、本火山では複数の地域で噴火が頻発しており、これらの噴火は、屈斜路カルデラの東壁上に位置する摩

周火山、屈斜路湖中央部に位置する中島火山そして屈斜路湖と摩周火山の間に位置するアトサヌプリ火山を主な噴出源とする (勝井, 1958, 1962; など)。本論では、最新の屈斜路カルデラ形成噴出物である KpI の堆積後 (約3万5千年前以降) に、本火山地域で活動した複数の火山を総称して、‘後屈斜路カルデラ火山’と呼ぶこととする。

後屈斜路カルデラ火山の噴火史については、これまでにいくつかが報告がなされているが、不明な点も多い。摩周火山の噴火史は、Katsui et al. (1975) によって、成層火山形成期、カルデラ形成期および中央火口丘形成期に区分され、特

Fig. 1. Shaded relief map demonstrating digital topography of eastern Hokkaido illuminated by the light from the NW direction.

に最近約 1 万 2 千年間におけるカルデラ形成～中央火口丘形成期（下位から, Ma-1 ～ Ma-b）の噴火史とマグマ系は、勝井ほか（1986）や岸本ほか（2009）などによって解明されている。しかし一方で Katsui et al.（1975）は、摩周火山のカルデラ壁において、成層火山形成期噴出物の中に、層厚 20 m 以上の火砕堆積物（以下、火砕堆積物をテフラと呼ぶ）を見出しており、摩周火山はもっと古い時期から火砕噴火活動を開始していた可能性が残されている。中島およびアトサヌプリ火山については、いずれも、外輪山溶岩の流出～軽石噴出～溶岩円頂丘形成の活動期区分がなされており、特にアトサヌプリ火山の最近約 1 万年間における溶岩ドーム群の形成史が詳しく示されている（例えば、勝井, 1962; 勝井ほか, 1986）。しかしながらこれらの噴火史は、山体構成物や、その近傍で観察できる新期テフラの調査によるものがほとんどで、古い時期のテフラ情報に乏しい。このように、後屈斜路カルデラ火山の噴火史は、活動期の初期における、特に火砕噴火の情報に不明な点が多いと言える。

屈斜路火山の北～東方の遠方には、KpI と Ma-1 との間（約 3 万 5 千年前～1 万 2 千年前）に、多数のテフラ層が認識されている。このうち、東方の根釧原野地域に堆積するテフラは宮田ほか（1988）が、北方の斜里平野地域は佐藤

（1968）と隅田（1988）がそれぞれ調査し、テフラ層序を検討した。しかしこれらの報告では、両地域間のテフラの広域対比や給源・噴出量の推定はなされていない。前述のとおり、KpI から Ma-1 の間は後屈斜路カルデラ火山の活動初期にあたり、その噴火史については未だ不明な点が多い。したがって、これらのテフラを詳しく調査することで、後屈斜路カルデラ火山の噴火史の全貌を解明できる可能性がある。

以上を踏まえ本研究では、KpI より上位から Ma-1 の下位までのテフラを対象に広域的かつ系統的な調査を行った。具体的には、地質学的データ（層序、分布、岩相など）および岩石学的データ（斑晶量、鉱物組み合わせ、火山ガラス組成、全岩化学組成など）をもとに、これらのテフラの広域対比・給源火山の検討を行った。そして、既報の年代値や土壌層の厚さからおおよその編年を行い、概算した各テフラ層の噴出量も加味して、後屈斜路カルデラ火山の噴火史と火山ごとの噴火の特徴を再検討した。

従来の研究による後屈斜路カルデラ火山の 地質・噴火史概説

屈斜路カルデラ南東壁上に形成された摩周火山は、山頂に 7.5×5.5 km のカルデラを有する成層火山で、カルデラ南東

Fig. 2. Map showing the studied areas (a), and simplistic geology of Kutcharo volcano based on Katsui (1962) (b). Points and numbers are those of Kishimoto et al. (2009), indicating the localities of columnar sections and samples. Lakes are shown by light grey pattern. Solid squares indicate towns. Contour interval of the solid line is 100 m (dashed line is 50 m contour above sea level). A: Kamuinupuri lava; B: Atosanupuri/Nakajima lava dome; C: Ma-f; D: Atosanupuri pyroclastic flow deposit; E: Mashu somma and Nishibetsu lava; F: Atosanupuri somma lava; G: Kutcharo pyroclastic flow deposit; H: Lavas before KpI eruption; I: Other deposits. Heavy dashed lines of (b) indicate caldera rims.

部にはカムイヌプリ中央火口丘 (857 m) が存在する (Fig. 1). 中央火口丘の南東側に位置する西別岳も、本火山の活動初期に形成された一連の噴出物から構成される (国府谷ほか, 1962). Katsui et al. (1975), 勝井ほか (1986) および岸本ほか (2009) による摩周火山の形成史は、以下のとおりにより要約できる (噴出量と化学組成値は岸本ほか, 2009 による). 本火山の活動期は、噴火様式の変化や休止期などによって、成層火山形成期 (下位から, Ma- ζ ~ Ma- α 層), カルデラ形成期 (下位から, Ma-l ~ Ma-f 層) および中央火口丘形成期 (下位から, Ma-e ~ Ma-b 層) に大別される. 1 万数千年以上に前開始した成層火山形成期では、数千年間にわたって安山岩~玄武岩質溶岩・スコリアを噴出した. これらの溶岩は、摩周カルデラ壁で観察できる厚い降下軽石層を境に、'古期' および '新期外輪山溶岩' に細分される. 成層火山形成後、休止期をはさんで、約 1 万 2 千年前からカルデラ形成期が始まった. この時期のテフラ噴出量は、Ma-l が 6.6 km³, Ma-k が 0.5 km³, そして約 7 千年前に発生した主カルデラ形成噴火は 18.6 km³ と見積もられる. この主カルデラ形成噴火によって、現在の大きさの摩周カルデラが形成された. その後、約 3 千年の休止期を経た後の中央火口丘形成期では 3500 年~1000 年前の間に珪長質な軽石・火山灰噴出が継続し、最新の噴火である Ma-b は噴出量 4.6 km³ と見積もられる.

カルデラ形成期~中央火口丘形成期のテフラはいずれも、斑晶鉱物に斜長石、斜方輝石、単斜輝石および不透明鉱物を含み、全岩化学組成では低カリウム組成 (SiO₂ = 64 ~ 72 wt.%, K₂O = 0.5 ~ 0.8 wt.%) を示す. またこれらの本質物質には、白色の軽石以外にも灰色軽石やスコリアが多く含まれる特徴があり、スポンジ状で低発泡度、低斑晶量の特徴を

示すものが多い.

アトサヌプリ火山は、屈斜路カルデラ盆中央部の南北約 10 km, 東西約 7 km の範囲にあり、複雑な輪郭のカルデラ構造を持つ. 勝井 (1962), 勝井ほか (1986) による噴火史は以下のとおりである. 本火山では KpI の堆積後、安山岩質の溶岩 (外輪山溶岩) を流出し、その後大量のデイサイト質火砕流 (アトサヌプリ火砕流堆積物) を噴出してカルデラを形成した. 外輪山溶岩とアトサヌプリ火砕流堆積物は、古期アトサヌプリ火山噴出物と称され、その活動時期は 3 万~1 万数千年前とされる. アトサヌプリ火砕流の軽石は、白色で発泡が良く、斜長石、斜方輝石、単斜輝石および不透明鉱物の斑晶を含む. その後は、約 1 万年前から、専らデイサイト質の溶岩ドームを形成する噴火を続けており、これら 10 個以上のドーム群は新期アトサヌプリ火山と称される. 中島火山は、古期アトサヌプリ火山より新しい (または同じ) 時期に活動を開始したとされ、噴火史は外輪山溶岩流出~軽石噴出~円頂丘形成からなる (勝井, 1962). 軽石噴出期の堆積物 (中島軽石) は、白色、多孔質で斜長石、斜方輝石、単斜輝石および不透明鉱物の斑晶を含む (勝井, 1962).

研究方法

1. 野外調査

屈斜路カルデラ東遠方の根釧原野や北遠方の斜里平野では、摩周火山のカルデラ形成期以降のテフラ (以下、上部摩周テフラ層と呼ぶ) が薄いため、それより下位のテフラ層を比較的好条件で観察できる. この理由から、本研究では、屈斜路火山東方の根釧原野と北方の斜里平野を調査対象地域とした (Fig. 2). テフラ層を記載する際には、堆積物の間に大きな休止期を挟まない「一輪廻の噴火」 (中村ほか, 1963) を

基本の層序単位とし、間に土壌や風化面などの時間間隙を示す証拠がある場合、それぞれを別の噴火堆積物として区分した。各テフラ層については、野外において、色調、層厚、構成物の種類とその最大粒径（ひとつの露頭で確認できる最も大きい3つの岩片の平均粒径）、軽石の発泡・形態などを記

Fig. 3. Photographs showing the representative pumice clasts of low-vesicularity type (a: Ma-f3: Kishimoto et al., 2009) and high-vesicularity type (b: Atosanupuri pyroclastic flow: Katsui et al., 1986).

載し、砕屑物の粒度区分は Wentworth (1922) に従った。なお、本研究で対象とする軽石・スコリアは、相対的な発泡度の違いから、低発泡型と高発泡型に大別可能である (Fig. 3)。両者の違いを定量的には計測していないが、前者はスポンジ状、後者は繊維状の発泡痕が卓越することからも、両者は容易に分類可能である。

本研究で記載したテフラ層の大半は白色～暗灰色の輝石デイサイト～流紋岩質の降下軽石層である。このため、これらの層序を編む際には、かんらん石や角閃石を含む特徴的なテフラが鍵層となった。本論ではこれらの鍵層をもとに両対象地域におけるテフラ層序を検討した。その結果、宮田ほか (1988) や隅田 (1988) などによる既報のテフラ層に加え、新たに降下スコリア等を多数認識できた。本論では、混乱を避けるため、テフラ層の名称は既報のものを踏襲するが、従来記載されなかった模式地や詳しい岩相および新たな分布域を明示することで、各層の再定義を行った。

2. 室内分析

室内分析においては、各テフラ層に含まれる本質物質の斑

Fig. 4. The schematic tephrostratigraphy above KpI in the two different studied areas. Tephra names of Konsen and Shari areas are from Miyata et al. (1988) and Sumita (1988, 1996), respectively. Radiocarbon dates with an asterisk mark (“*”) are from Sone et al. (1991), and the other ages are from Itoh et al. (2007). T. F.: Tephra formation. Widespread tephra; Ta-a: Tarumai-a pumice fall deposit, Ko-c2: Komagatake-c2 pumice fall deposit, B-Tm: Baegdusan-Tomakomai tephra, Ta-c2: Tarumai-c2 pumice fall deposit (e.g. Committee on Nomenclature of Pyroclastic Deposits in Hokkaido, 1982). See text for the other abbreviations of tephra names. Solid lines are the correlative lines between two areas.

Fig. 5. Columnar sections in Konsen area. Locality of each section is shown in Fig. 2. Grain-size divisions are those of Wentworth (1922). Atosanupuri pfl.: Atosanupuri pyroclastic flow deposit (Katsui et al., 1986). See the caption of Fig. 4 for the other abbreviations.

Table 1. Summary of tephra layers in the Konsen area. Facies; Pfa: pyroclastic fall deposits, Pfl: pyroclastic flow deposits, Pfl/Pfa: Pfa and overlying Pfl. Grain size; m. s.: medium sand, c. s.: coarse sand. Types of juveniles; Wp: white pumice, Gp: gray pumice, Sc: scoria, Sc/Wp: the ratio of Sc to Wp. Vesicularity; H: high, L: low, VL: very low. Vesicular textures; Sp: sponge type, Fb: fiber type. Mineral assemblages of isolated crystals are shown in parentheses.

Name	Type loc.	subunit	Thickness at Type loc. (cm)	Facies	Grain size (max.)	Types of juveniles	Vesicularity of juveniles	Vesicle textures of juveniles	Mineralogy	Remarks
MI-a	12		10	Pfa		-	-		(Pl+Opx+Cpx+Opq)	Rich in lithic fragments
MI-b	16		40	Pfa	3 cm	Sc>Gp	VL	Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq+Ol	Rich in lithic fragments
MI-c	27		<10	Pfa	m. s.	Gp?			-	Rich in lithic fragments
MI-d	91		3	Pfa	m. s.	-	-		(Pl+Opx+Cpx+Opq)	Rich in lithic fragments
MI-e	63		5	Pfa	1.5 cm	Wp	L		Pl+Opx+Cpx+Opq	
Ch-a	91	1	10	Pfa	2 cm	Sc>Gp, Bp	VL	Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq	Rich in lithic fragments
		2	30	Pfa	3.5 cm	Wp	L	Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq	
Ch-b	91	1	15	Pfa	5 mm	Sc>>Wp	VL	Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq+Ol	
		2	25	Pfa	2.5 cm	Sc/Wp increase upward	L	Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq	
Ch-c	63		30	Pfl/Pfa	3 cm	Wp	H	Fb ~ Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq	
Ch-d	60		60	Pfa	5 cm	Sc/Wp & Gp increase upward	VL	Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq+Ol	Gray thin ash at the bottom
LowK-Sc-1	60		2	Pfa	m. s.	Sc	VL	Sp	(Pl+Opx+Cpx+Opq)	
Nu-a	60		10-20	Pfl	5 mm	Wp	H	Fb ~ Sp	(Pl+Opx+Cpx+Opq)	
Nu-b	60		20	Pfa	1.5 cm	Sc>>Gp>Wp	VL	Sp	Pl+Cpx+Opq+Ol	Gray thin ash at the bottom
Nu-c	60		2	Pfa	c. s.	Wp	H		Pl+Opx+Cpx+Opq	
Nu-d	60		10	Pfa	1 cm	Sc & Gp/Wp increase upward	VL	Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq+Ol	
Nu-e	60	1	20	Pfl	3.5 cm	Wp	H	Fb ~ Sp	(Pl+Opx+Cpx+Opq)	
		2	15	Pfa	granule	Wp	H	Fb ~ Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq	
Nu-f	60		50	Pfa	4 cm	Sc & Gp/Wp increase upward	L	Sp>>Fb	Pl+Opx+Cpx+Opq	Gray thin ash at the bottom
Nu-g	60	1	5	Pfa	granule	Wp	-		(Pl+Opx+Cpx+Opq)	Rich in isolated crystals
		2	20	Pfa	1.5 cm	Wp	H	Fb ~ Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq	
Nu-h	60	1	2-4	Pfa	1 cm	Gp>Sc>Wp	VL	Sp	-	Gray thin ash at the bottom
		2	20	Pfa	2 cm	Wp>Gp	VL	Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq	
Nu-i	60	1	5	Pfa	1 cm	SC, Gp	VL	Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq+Ol	Rich in lithic fragments
		2	10	Pfa	1.5 cm	Gp> Bp, Sc	VL	Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq+Ol	Normal grading
		3	25	Pfa	3 cm	Gp>Bp	VL	Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq	Rich in lithic fragments
		4	15	Pfa	2 cm	Wp	VL	Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq	
		5	25	Pfa	5 cm	Wp>Gp	VL	Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq	
Nu-l	67		80	Pfa	4 cm	Sc & Gp/Wp increase upward	L	Sp>>Fb	Pl+Opx+Cpx+Opq+Ol	Gray thin ash at the bottom
Nu-n	60		155	Pfa	2 cm	Sc/Wp increase upward	L	Sp>>Fb	Pl+Opx+Cpx+Opq	Gray thin ash at the bottom
Nu-o	60		5	Pfa?	2 cm	-	VL	Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq	Rich in lithic fragments
Nu-p	63		160	Pfa	4 cm	Sc, Gp & Bp/Wp increase upward	VL	Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq	Gray thin ash at the bottom
Nu-q	69		3	Pfa	granule	Wp	H	Sp>>Fb	Pl+Opx+Cpx+Opq+Hlb	Very well sorted
Nu-r	60		20	Pfa	4 cm	Wp	L	Sp>>Fb	Pl+Opx+Cpx+Opq	Gray thin ash at the bottom

晶量、斑晶鉱物組み合わせ、全岩化学組成および火山ガラス組成を分析した。ひとつのテフラ層に複数タイプの本質物質（例えば、白色軽石とスコリア）が含まれる場合は、タイプごとに試料を分けて処理した。本研究地域で採取できる試料は細粒なものが多いため、最大粒径 5 cm 以下のテフラ層の全岩分析に際しては、肉眼で判別した同一タイプの試料をまとめて処理した。細礫サイズ以下の粒子からなるような火山灰層については、全岩分析を行っていない。

乾燥させた全岩試料は、乳鉢で最大粒径 1 mm 程度になるまで粉碎して、水簸によって斑晶鉱物を分離し、斑晶量（重量%）を算出した。分離した鉱物から 250 ~ 355 μm の粒子を篩別して、実体顕微鏡下で 200 粒以上を識別・同定して組み合わせおよび量比を決定した。なお、著しく変質した軽石やガラスの比重が比較的大きいスコリアなど、水簸が効率よく行えない試料については、分析値を示していない。

全岩化学組成は、北海道大学理学部の XRF（PANalytical 社製 MagixPro 型）で、1 : 2 に希釈したガラスビードを用いて測定した。本研究で処理した大部分の試料はさまざまな程度の変質を受けており、特に強熱減量が 3.5 wt.% 以上を示す試料については、強熱減量と Al_2O_3 値との間に明瞭な正の相関が認められたので、これらの分析値は示さない。

粒径や変質の問題により、全岩組成分析の試料は制限されたが、火山ガラス組成においては、試料の新鮮な部分を取り

出すことで全テフラ層の分析値が得られた。北海道大学理学部の SEM-EDS システム（JEOLJSM-T330A + LINK ISIS）で測定し、大部分の試料の分析条件は長谷川・中川（2007）に示したものと同様である。石基ガラス部分に斜長石などの微細な斑晶が散在する試料（これらは一般に安山岩質スコリアに多い）については、ガラス部分の組成のみを測定することが困難であったので、プローブ径をやや大きくして（10 ~ 50 μm ）、微細斑晶も含めた分析値を参考値として示した。

これらの全岩およびガラス組成分析により、多数のテフラ層間において、有意な組成の差異を認識できた。この差異は、ガラス組成よりも全岩組成において、より明瞭に表れる。本研究では、これらの岩石学的特徴と、野外で得られた層位、層相および岩相を組み合わせることで、両地域間のテフラ対比や給源火山を検討した。

テフラの層相・岩相記載

根釧原野と斜里平野地域について、テフラの層相・岩相記載を下位から順に述べる。根釧原野における KpI ~ Ma-I の間の主要なテフラは少なくとも 24 層、斜里平野のそれは 10 層からなる（Fig. 4）。両地域の対比柱状図とテフラの特徴をまとめた表を Tables 1, 2 に示す。なお、1, 2 地点のみで観察されるような非常に連続性に乏しいテフラ層については、

Fig. 6. Field occurrences of tephra layers. (a) Pile of pumice and scoria fall deposits comprising the lower part of the Upper Nakashumbetu Tephra Formation (loc. 60). The scale is 1 m long. (b) Close-up photograph of Nu-i and -h at loc. 60. Nu-i consists of five sub-units separated by grain size and color tone. Volcanic ash soil and scoria layers above Nu-h show involution-structure. The scale is 1 m long. (c) Upper part of Nu-g is oxidized. Nu-e is composed of the lower pyroclastic fall and the upper pyroclastic flow deposits. The scale is 1 m long (loc. 62). (d) Nu-a, Ch-d, Ch-c and Ch-a at loc. 63. Nu-a (pyroclastic flow deposit) shows pinch-and-swell structure. ch-c consists of pyroclastic fall and overlying pyroclastic flow deposits. The scale is 1 m long.

新称を与えず、それを付随するテフラ層と併せて簡単に記す。また、ここでの記載は、地点が明記されていない限り模式地のものである。

1. 根釧原野地域

根釧原野地域における KpI ~ Ma-I の間のテフラ層序は、宮田ほか (1988) によって、上位から下部摩周テフラ層 (Ml-a ~ Ml-e)、茶内テフラ層 (Ch-a ~ Ch-d)、上部中春別テフラ層 (Nu-a ~ Nu-r) に大別される (Fig. 4)。宮田ほか (1988) は、上部中春別テフラ層と茶内テフラ層の間に侵食間隙を認めたが、本研究ではこれを確認できなかった。記載

したテフラ層の大部分は降下火砕物であるが、3 層 (Ch-c, Nu-a, Nu-e) は火砕流堆積物を含む。連続性の良い降下スコリアは少なくとも 11 層あり、これらは上部中春別テフラ層の中 ~ 上部および下部摩周テフラ層に卓越する (Fig. 5)。連続性の悪いものも含め、スコリア層が最も多く観察できるのは、遠方、中標津地域の loc. 60 であった。なお、宮田ほか (1988) は、いくつかのテフラ層をさらにサブユニットに細分しているが (例えば、Nu-p を上位から Nu-p1 ~ Nu-p5 に細分)、本論の記載とこのサブユニット区分との対応関係は、確認できた範囲で記す。

1-1. 上部中春別テフラ層 (Nu: 宮田ほか, 1988 を再定義)

上部中春別テフラ層-r (Nu-r) ^{しべつ とこたん} 中標津・別海町市街周辺や別海町中春別および標津町床丹地域に分布する降下軽石である (模式地: loc. 60) (Fig. 6.a). 層厚 10 cm の褐色火山灰土壌を介して, KpI の再堆積相を覆う. この土壌中には厚さ 1 cm の粗粒砂サイズのスコリア層が挟在する. Nu-r は, 全体に白色で層厚は 20 cm, 含まれる軽石は, 最大粒径 4 cm である. 本層下部には, 層厚 1 cm 以下の粗粒砂サイズの灰色火山灰が認められる. 軽石の発泡は悪く, 径 2 mm 以下のスポンジ状の発泡痕が多い. 軽石は斑晶に乏しく (約 8 wt.%), 斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石, 不透明鉱物が認められる.

上部中春別テフラ層-q (Nu-q) 中春別地域周辺や床丹地域に分布する, 黄白色の細礫~粗粒砂サイズのガラス質結晶火山灰である (模式地: loc. 69). 層厚 5 cm 前後の褐色火山灰土壌を介して, Nu-r を覆う. 層厚は 3 cm で, 非常に淘汰が良く, 火山ガラス・鉱物粒のほかに発泡の良い軽石片やスコリア片も少量認められる. 斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石, 不透明鉱物および角閃石斑晶を含む.

上部中春別テフラ層-p (Nu-p) 中標津・別海町市街周辺や中春別・床丹地域に分布する降下軽石である (模式地: loc. 63). 層厚 10 cm の褐色火山灰土壌を介して, Nu-q を覆う. 全体に白~灰色で, 層厚は 160 cm. 軽石の最大粒径は 4 cm である. 本層下部には厚さ 5 cm の細礫~粗粒砂サイズの成層した灰色火山灰が認められ, この部分は宮田ほか (1988) の Nu-p5 に相当する. また本層上部には, スコリア・灰色~縞状軽石および暗灰色の粗粒砂からなる層が認められ, この部分は宮田ほか (1988) の Nu-p1 ~ p2 に相当する. 軽石・スコリアの発泡は悪く, 発泡痕は径 4 mm 以下のスポンジ状を呈する. 本質物の斑晶は少なく (2~9 wt.%), 斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石, 不透明鉱物が認められる.

上部中春別テフラ層-o (Nu-o) 中標津市街周辺~中春別・床丹地域周辺に分布し, 白~黄色の軽石および火山灰層からなる (模式地: loc. 60). 層厚 3 cm の褐色火山灰土壌とその上位の 1 cm の灰色火山灰を介して, Nu-p を覆う. 層厚は 5 cm で石質岩片に富み, 軽石の最大粒径は 2 cm である. 軽石は発泡が悪く, 径 2 mm 以下の微小なスポンジ状の発泡痕を示す. 斑晶は乏しく, 斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石, 不透明鉱物が認められる.

上部中春別テフラ層-n (Nu-n) 中標津町・別海町市街周辺や中春別・床丹地域に分布する降下軽石である (模式地: loc. 60). 層厚 5 cm の褐色火山灰土壌を介して, Nu-o を覆う. 全体に白色で, 層厚は 155 cm. 上部には, スコリアおよび暗灰色で細礫サイズの石質岩片を多く含み, 下部には厚さ 2 cm の粗粒砂サイズの灰色火山灰が認められ, 後者は宮田ほか (1988) の Nu-n2 に相当する. 軽石は, 最大粒径 5 cm で, 発泡は悪く, 発泡痕の多くは径 1 mm 以下のスポンジ状である. 本質物の斑晶は少なく (2~5 wt.%), 斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石, 不透明鉱物が認められる.

上部中春別テフラ層-l (Nu-l) 別海町市街周辺および中春別地域に分布する降下軽石である (模式地: loc. 67). 厚さ 5 ~ 10 cm の褐色火山灰土壌を介して, Nu-n を覆う. この土

壌中には厚さ 2 cm の砂サイズのスコリア質火山灰が挟在する. Nu-l は, 全体に白色で, 層厚は 80 cm. 本層下部には, 厚さ 2 ~ 7 cm の粗粒砂サイズの 2 層の灰色火山灰層とこれに挟在する 1 層の軽石層が認められ, これらは下位からそれぞれ宮田ほか (1988) の Nu-l5, l4, l3 に相当する. 本層上部は, スコリアと灰色軽石に富み, この部分は宮田ほか (1988) の Nu-l1 に相当する. 軽石の最大粒径は 4 cm で, 発泡は悪く, 径 3 mm 以下のスポンジ状の発泡痕が多い. 軽石の斑晶は少なく (6~8 wt.%), 斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石, 不透明鉱物が認められるが, スコリアにはかんらん石も含まれる.

上部中春別テフラ層-i (Nu-i) 中標津・別海町市街周辺や中春別・床丹地域に分布する, 暗灰色~赤褐色の降下火砕物で, 本質物は白色・灰色軽石とスコリアからなる (模式地: loc. 60). 層厚 5 ~ 10 cm の褐色火山灰土壌を介して, Nu-l を覆う. この土壌中には厚さ 2 cm の白色~褐色の中粒砂サイズの火山灰が挟在する. Nu-i は, 層厚が 80 cm で, 全体に風化が進んでいる. 軽石の最大粒径は 5 cm で, 発泡が悪く, 発泡痕は径 1 mm 以下のスポンジ状を示す. 本層は, 構成物や粒度の違いから 5 つのサブユニットに区分でき, それらは宮田ほか (1988) により, 下位から Nu-i5 ~ -i1 とされる (Fig. 6.b). Nu-i5 は層厚 25 cm で, 白~灰色軽石からなり, 石質岩片に乏しい. Nu-i4 は層厚 15 cm で, Nu-i5 に比して暗灰色の石質岩片に富み, 変質した軽石が多い. Nu-i3 は層厚 25 cm で, 灰色~縞状軽石, および暗灰色の石質岩片からなる. Nu-i2 は層厚 10 cm, 上方細粒化し, 灰色軽石・スコリアおよび強変質した褐色岩片を多く含む. Nu-i1 は, 層厚 5 cm で, 細礫サイズのスコリア・灰色軽石と暗灰色の石質岩片からなる. 本質物に含まれる斑晶は少なく (約 4 wt.%), 斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石および不透明鉱物が認められる. また, Nu-i2, Nu-i1 のスコリアにはかんらん石も認められる.

なお, 宮田ほか (1988) は, Nu-i と Nu-l との間に, 連続性に乏しいテフラ層 Nu-j と -k を認めたが, 本研究ではこれらを発見できなかった.

上部中春別テフラ層-h (Nu-h) 中標津市街周辺~中春別・床丹地域に分布する, 白色~暗灰色の降下火砕物で, 本質物は白色・灰色軽石とスコリアからなる (模式地: loc. 60). 層厚 2 cm の褐色火山灰土壌を介して, Nu-i を覆う. 層厚は全体で 25 cm で, 2 つのサブユニットからなり, これらは下位から Nu-h2, -h1 とされる (宮田ほか, 1988). Nu-h2 は, 最大径は 2 cm 以下の白色軽石と少量の灰色軽石からなる. 軽石の発泡は悪く, 径 0.5 mm 以下のスポンジ状の発泡痕を示す. Nu-h1 は, 層厚 2 ~ 4 cm で, Nu-h2 に比べやや細粒であり, 白色軽石のほか灰色軽石・スコリアが多く含まれる. これら本質物は斑晶に乏しく (約 7 wt.%), 斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石および不透明鉱物が認められる.

上部中春別テフラ層-g (Nu-g) 中標津市街周辺~中春別・床丹地域および摩周カルデラ南方の多和平地域に分布する, 白色の, 遊離結晶に富む降下軽石堆積物である (模式地: loc. 60) (Fig. 6.c). 層厚 40 ~ 60 cm の褐色火山灰土壌を

介して, Nu-h を覆う. この土壌中には, 6 層の粗粒砂サイズのスコリア質火山灰が挟在する. Nu-g は, 層厚 20 cm であり, 2 つのサブユニットからなる (下位から Nu-g2, -g1: 宮田ほか, 1988). Nu-g2 は層厚 15 cm で, 上方粗粒化する. 発泡の良い白色軽石 (最大粒径 1.5 cm) と径 3 mm 以下の遊離結晶からなる. 軽石の発泡痕は, 繊維状ないしはスポンジ状を示す. Nu-g1 は層厚 5 cm で, 細礫～粗粒砂サイズの軽石と径 3 mm 以下の遊離結晶からなり, 粒度の違いによる葉理構造が発達する. 葉理の細粒部分は, 赤色～紫色を呈する. 軽石は比較的斑晶に富み (約 14 wt.%), 斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石および不透明鉱物を含む.

上部中春別テフラ層-f (Nu-f) 中標津・別海町市街周辺および中春別地域に分布する, 白色～灰色の降下軽石である (模式地: loc. 60). 層厚 15 cm の褐色火山灰土壌を介して, Nu-g を覆う. この土壌中には厚さ 2 cm の粗粒砂サイズのスコリア質火山灰が認められる. Nu-f の層厚は約 50 cm, 下部には厚さ 2 cm の中粒砂サイズの灰色火山灰層が認められ, この部分は宮田ほか (1988) の Nu-f3 に相当する. 含まれる白色軽石の最大粒径は 4 cm で, 発泡が悪く, 径 3 mm 以下のスポンジ状の発泡痕が多い. 本層上部約 7 cm には, 白色軽石にくわえて灰色軽石・スコリアが含まれる. これらの粒径は 2 cm 以下で, 発泡が非常に悪い. 本質物の斑晶は少なく (約 3 wt.%), 斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石, および不透明鉱物が含まれる.

上部中春別テフラ層-e (Nu-e) 中標津市街周辺～中春別・床丹地域および多和平地域に分布する, 白色の降下軽石とそれを覆う火砕流堆積物からなる (模式地: loc. 60). 層厚 15～25 cm の褐色火山灰土壌を介して, Nu-f を覆う. この土壌中には, 層厚 8 cm の粗粒～中粒砂サイズのスコリア質火山灰が挟在する. Nu-e の層厚は全体で 35 cm. 宮田ほか (1988) は堆積構造の違いから本層を 2 つのサブユニットに大別し, それらは下位から Nu-e2, -e1 とされる. Nu-e2 は層厚 15 cm の降下火砕物で, 中粒～細粒砂サイズの火山灰と細礫サイズの軽石からなる 4 層の互層を示す. 本質物は発泡の良い白色軽石であり, 最大粒径は 4 mm である. Nu-e1 は層厚 20 cm で, 主に細礫～粗粒砂サイズの軽石と細粒な白色火山灰基質からなる火砕流堆積物である. 軽石は最大粒径 3.5 cm で, 発泡が良く繊維状～スポンジ状の発泡痕を示し, 全体にやや円磨を受ける. 本層の軽石は比較的斑晶が多く, 斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石および不透明鉱物が認められる.

上部中春別テフラ層-d (Nu-d) 中標津・別海町市街周辺および中春別地域に分布する, 白色～褐色の降下軽石・スコリア層である (模式地: loc. 60). 層厚 3 cm の褐色火山灰土壌を介して, Nu-e を覆う. 層厚は 10 cm で, 下部は最大粒径 2 mm の発泡が悪い白色軽石からなり, 上部ほど灰色軽石・スコリア (最大粒径 1 cm) に富む. 本質物の斑晶は比較的少なく, 斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石および不透明鉱物が含まれるが, スコリアにはかんらん石も含まれる.

上部中春別テフラ層-c (Nu-c) 中標津市街周辺～中春別地域に分布する, 白色の火山灰層である (模式地: loc. 60).

2 層の粗粒砂サイズのスコリア質火山灰が挟在する層厚 20～40 cm の褐色火山灰土壌を介して, Nu-d を覆う. 本層の層厚は 2 cm で, 発泡の良い粗粒砂サイズ以下の白色軽石と, 火山灰基質からなる. 白色軽石は比較的斑晶に富み, 斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石および不透明鉱物が認められる.

上部中春別テフラ層-b (Nu-b) 中標津・別海町市街周辺や泉川地域に分布する, 黒色の降下スコリアである (模式地: loc. 60). 厚さ 10～20 cm の褐色火山灰土壌を介して, Nu-c を覆う. この土壌中には層厚 5 cm の粗粒砂サイズのスコリア質火山灰が挟在する. Nu-b の層厚は約 20 cm で, 構成物の大部分がスコリアからなるが, 灰色軽石, 石質岩片および少量の白色軽石も含まれる. 本層下部には, 層厚 1～2 cm の粗粒砂サイズの灰～黒色火山灰がしばしば認められる. スコリアの最大粒径は 1.5 cm で, 発泡は非常に悪く, 発泡痕は径 1 mm のスポンジ状を呈する. スコリアに含まれる斑晶は非常に少なく, 斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石, 不透明鉱物およびかんらん石が認められる.

上部中春別テフラ層-a (Nu-a) 中標津・別海町市街周辺や中春別～泉川地域, 床丹・多和平地域に分布する, 白色の火砕流堆積物である (模式地: loc. 60). 層厚 10～30 cm の褐色火山灰土壌を介して, Nu-b を覆う. この土壌中には 3 層の砂サイズの降下スコリア層が挟在する. Nu-a の層厚は 5～10 cm で, 軽石は白色で発泡が良く, 最大粒径は 5 mm で, 円磨を受ける. 本層基質部は中粒～細粒砂サイズの白色ガラス質火山灰からなる. 堆積時に高温であった証拠は得られていないが, 軽石が円磨を受け, これらの軽石と基質火山灰の岩質が一樣であることから, 火砕流堆積物であると判断した. 軽石の斑晶は比較的多く (> 11 wt.%), 径 2～3 mm におよぶ斑晶も認められる. 斑晶組み合わせは斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石, および不透明鉱物である.

1-2. 茶内テフラ層 (宮田ほか, 1988 を再定義)

茶内テフラ層-d (Ch-d) 中標津市街周辺～中春別地域に分布する, 白色～褐色の降下軽石である (模式地: loc. 60) (Fig. 6.d). 層厚 50～70 cm の褐色火山灰土壌を介して, Nu-a を覆う. この土壌中には, 2 層のスコリアと, その上位に 4 層の白色ガラス質火山灰が挟在する (Fig. 5). いずれも中粒～粗粒砂サイズで, 層厚 2～5 cm である. 以下, 4 層の白色火山灰を上位から MidK-2～-5, 比較的連続性良く追跡できる最下位のスコリアを LowK-Sc と呼ぶ. Ch-d の層厚は 60 cm, 軽石は白色～淡灰色で最大粒径は 5 cm である. 本層下部には, 層厚 2 cm の中粒砂サイズの灰色火山灰が認められ, この部分は宮田ほか (1988) の Ch-d4 に相当する. 軽石の発泡は悪く, 径 1 mm 以下のスポンジ状の発泡痕が認められる. 本層上部約 10 cm には, スコリアと, 変質した石質岩片に富む. これらの粒径は 1 cm 以下で, スコリアの発泡は極めて悪い. 軽石とスコリアはいずれも斑晶に乏しく (4～9 wt.%), 斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石, 不透明鉱物およびかんらん石が含まれる.

茶内テフラ層-c (Ch-c) 降下軽石と火砕流堆積物からなり, 根釧原野地域に広く分布する (模式地: loc. 63). 層厚 4～5 cm の褐色火山灰土壌を介して, Ch-d を覆う. 層厚は

Table 2. Summary of tephra layers in the Shari area. See the caption of Table 1 for the abbreviations.

Name	Type loc.	subunit	Thickness at Type loc. (cm)	Facies	Grain size (max.)	Types of juvenils	Vesicularity of juvenils	Vesicle textures of juvenils	Mineralogy	Remarks
KoP	80		40	Pfa	2 cm	Wp, Gp, Bp	VL	Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq	Rich in lithic fragments
NaP	77		18	Pfa	3 cm	Wp, Gp?	L	Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq+Ol	
WTfl-2	80		15~25	Pfl	3 cm	Wp	H	Fb ~ Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq	
KgSc	72		5	Pfa	1 cm	Sc	VL	Sp	(Pl+Opx+Cpx+Opq)	
WTfl-1	80		5	Pfl	2 cm	Wp	H	Fb ~ Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq	
KuSc	80		15	Pfa	1.5 cm	Sc, Gp > Wp	L	Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq+Ol	Rich in lithic fragments
TyP	77	upper	5	Pfa	granule	Wp	H	Fb ~ Sp	-	Rich in isolated crystals
		lower	25	Pfa	1.5 cm	Wp	H	Fb ~ Sp	Pl+Opx+Cpx+Opq	Rich in isolated crystals
HkP	77		80	Pfa	4 cm	Sc & Gp/Wp increase upward	L	Sp>>Fb	Pl+Opx+Cpx+Opq+Ol	Gray thin ash at the bottom
Ds-Oh	77		3	Pfa	granule	Wp	H	Sp>>Fb	Pl+Opx+Cpx+Opq+Hb	Very well sorted
YmP	78		260	Pfa	4 cm	Wp>Gp	L	Sp>>Fb	Pl+Opx+Cpx+Opq	

30 cm, 全体に白色で、少なくとも6層からなる軽石・火山灰の互層をなす。軽石は発泡が良く、最大粒径は3 cmである。本層下部を構成する2層の軽石層とこれに挟在する1層の火山灰層は、淘汰が良くマントルベディングしていることから、降下火砕物と考えられる。一方の上部は細粒砂サイズの白色ガラス質火山灰（基質）とレンズ状に介在する円摩された白色軽石からなり、全体に淘汰が悪く、露頭間やひとつの露頭でも層厚変化が顕著なことから、火砕流堆積物と判断できる。loc. 60での本層は火砕流堆積物のみからなる。白色軽石に含まれる斑晶は斜長石、斜方輝石、単斜輝石および不透明鉱物である。

茶内テフラ層-b (Ch-b) 別海町泉川地域に分布する降下軽石・スコリア層である（模式地: loc. 91）。層厚10～15 cmの褐色火山灰土壌を介して、Ch-cを覆う。この土壌中には変質した粒径2 cm以下の軽石質火山灰層が散在する。本層は全体の層厚が40 cmで、宮田ほか（1988）により2つのサブユニットに区分され、それらは下位からCh-b2, -b1とされる。Ch-b2は層厚25 cmで、最大粒径2.5 cmの白色軽石からなる。発泡は悪く、径0.5 mm以下のスポンジ状の発泡痕を示す。上部に向かって、発泡の悪い灰色軽石・スコリアと石質岩片が増加する。Ch-b1は、層厚15 cmで、細礫と粗粒砂サイズのスコリアからなる互層が認められ、白色軽石はCh-b2に比して少ない。本層の白色軽石は比較的斑晶に乏しく（約9 wt.%）、斜長石、斜方輝石、単斜輝石および不透明鉱物を含むが、スコリアにはかんらん石も認められる。

茶内テフラ層-a (Ch-a) 中標津市街周辺～中春別・泉川地域に分布する、白～暗灰色の降下軽石である（模式地: loc. 91）。厚さ60～120 cmの褐色火山灰土壌を介してCh-bを覆う。土壌中には粗粒砂サイズの白～灰色火山灰が挟在する。Ch-aの層厚は約40 cmで、2つのサブユニットに区分され、下位からCh-a2, -a1とされる（宮田ほか, 1988）。Ch-a2は白～赤褐色の軽石からなり、層厚は30 cm、軽石の最大粒径は3.5 cmである。軽石の発泡は悪く、発泡痕は径1 mm以下のスポンジ状を示す。Ch-a1はCh-a2よりも細粒で、斑晶に乏しいスコリア・灰色～縞状軽石および石質岩片からなる。軽石は斑晶に乏しく、これらは斜長石、斜方輝石、単斜輝石および不透明鉱物からなる。

1-3. 下部摩周テフラ層（宮田ほか, 1988 を再定義）

本テフラ層は、茶内テフラ層を覆って根釧地域に広く分布する、複数のスコリア・軽石層および火山灰からなる。全体にインボリューションが発達し、複雑な堆積構造を示すため、露頭間および1つの露頭内でもテフラ層を連続的に追跡することが困難である。ここでは、宮田ほか（1988）が命名した5層（M1-e～M1-a）に焦点を絞り、その他については、それを付随するテフラと共に簡単に述べる。

下部摩周テフラ層-e (M1-e) 中春別地域に分布する、褐色の降下軽石である（模式地: loc. 63）。層厚5 cmの褐色火山灰土壌を介して、Ch-aを覆う。層厚は5 cm、軽石の最大粒径は1.5 cmで、強い変質を受ける。軽石の斑晶鉱物は斜長石、斜方輝石、単斜輝石および不透明鉱物である。

下部摩周テフラ層-d (M1-d) 泉川地域に分布する、黄白色の降下火山灰層である（模式地: loc. 91）。層厚60～80 cmの褐色火山灰土壌を介して、Ch-aを覆う。この土壌中には少なくとも2層の灰色火山灰層と、その上位に粒径1.5 cm以下の白～灰色軽石層が認められる。宮田ほか（1988）では、M1-e層との直接の関係は不明とされており、本研究でも両者の関係を確認できなかった。M1-dは中粒砂サイズのガラス質火山灰で、層厚は3 cm、上部は石質岩片に富むため暗灰色を呈する。斜長石、斜方輝石、単斜輝石および不透明鉱物を含む。

下部摩周テフラ層-c (M1-c) 中標津市街周辺～計根別^{けねべつ}地域に分布する、灰白色～褐色の降下軽石である（模式地: loc. 27）。層厚100 cmの褐色火山灰土壌を介して、茶志骨内層^{ちやしこつない}（河川成の砂礫層: 命名は松井ほか, 1967）を覆う。この土壌中には、厚さ2 cmの粗粒砂サイズのスコリア層が認められ、これとM1-cとの間には褐色～灰色の軽石が散在する。本研究では、本層とM1-d・-eとの関係を確認できなかった。M1-cは、全体に強い変質を受けており、層厚10 cmの褐色火山灰層中に、変質した灰～褐色の軽石および石質岩片が散在する形で認められる。

下部摩周テフラ層-b (M1-b) 根釧原野全域に分布する、黒色の降下スコリアである（模式地: loc. 16）。層厚60～90 cmの褐色火山灰土壌を介して、Ch-bを覆う。この土壌中には平均層厚約2 cmの粗粒～中粒砂サイズのスコリア層が少なくとも7層存在する。またloc. 18では、KpIの上位に、侵食面とその上位の層厚10～20 cmの粗粒砂サイズのスコリア層を3層以上介して認められる。M1-bの層厚は、40 cm

Fig. 7. Columnar sections in the Shari area. Locality of each section is shown in Fig. 2. Grain-size divisions are those of Wentworth (1922).

で、石質岩片と発泡の悪いスコリアからなり、同じく発泡不良の灰色軽石も少量含まれる。これらの発泡痕はスポンジ状を示す。スコリアの最大粒径は3 cmで、斑晶は少なく、斜長石、斜方輝石、単斜輝石、不透明鉱物およびかんらん石が認められる。

下部摩周テフラ層-a (Ml-a) 本層は、根釧地域全域に分布する、灰色の降下火山灰層である(模式地: loc. 12)。層厚10～15 cmの褐色火山灰土壌を介して、Ml-bを覆う。土壌中には、厚さ2 cmで中粒砂サイズの黄白色のガラス質火山灰層(以下、MidK-1)が挟在する。Ml-aは、層厚10 cmで、石質岩片と遊離結晶からなり、斜長石、斜方輝石、単斜輝石および不透明鉱物が認められる。

本層の上位には、2～8 cmの褐色火山灰土壌を挟んで、上部摩周テフラ層が覆う。

2. 斜里平野地域

斜里平野地域におけるKpIとMa-1の間のテフラ層序は、佐藤(1968)、隅田(1988)および隅田(1996)などが検討した。主なテフラは下位から止別軽石、大雪御鉢平降下軽石、東カヤ野軽石、豊住軽石、黒ツブ、Wtfl-1、黒ゴマスコリア、Wtfl-2、中斜里軽石および江南軽石である(Fig. 4)。さらにこれらのテフラの間には、連続性に乏しい複数のスコリア層が挟在する(Fig. 7)。大半が降下火砕物であるが、Wtfl-1およびWtfl-2は火砕流堆積物である。

止別軽石 (YmP) (佐藤, 1968) 小清水～斜里地域および清里町江南地域に分布する、白～灰色の降下軽石である(模式地: loc. 78)。層厚10 cmの褐色火山灰土壌を介して、KpIの再堆積相を覆う。この土壌中には厚さ2 cmの粗粒砂サイズのスコリア層が挟在する。YmPの層厚は260 cm、軽石は最大粒径4 cmで発泡が悪く、発泡痕の多くは径5 mm以下のスポンジ状を示す。軽石の斑晶は少なく(約3～8 wt.%)、斜長石、斜方輝石、単斜輝石および不透明鉱物が認められる。

大雪御鉢平降下軽石 (Ds-Oh) (隅田, 1996) 江南地域に分布する、黄白色のガラス質結晶火山灰である(模式地: loc. 77)。層厚5 cm前後の褐色火山灰土壌を介して、YmPを覆う。層厚は3 cmで、淘汰度が非常に良く、構成粒子は細礫～粗粒砂サイズである。本層には斜長石、斜方輝石、単斜輝石、不透明鉱物および角閃石が含まれる。

東カヤ野軽石 (HkP) (佐藤, 1968を再定義) 小清水～斜里および江南地域に分布する、白～灰色の降下軽石である(模式地: loc. 77)。層厚40～60 cmの褐色火山灰土壌を介して、Ds-Ohを覆う。この土壌中には層厚2 cmの粗粒砂サイズのスコリア層等が挟在する。HkPの層厚は約80 cmで白色軽石に富むが、下部には厚さ2 cmの中粒砂サイズの灰色火山灰が、上部約7 cmには灰色軽石・スコリアも含まれ

Fig. 8. A photograph of the upper section at loc 77. The upper part of TyP is laminated and oxidized. WTfl-1 and -2 show white-colored and poorly sorted facies. The scale is 1 m long.

る。本質物の最大粒径は4 cmで、発泡は悪く、径3 mm以下のスポンジ状の発泡痕が多い。これらは斑晶に乏しく(2–5 wt.%), 斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石および不透明鉱物が認められるが, スコリアにはかんらん石も含まれる。

豊住軽石 (TyP) (佐藤, 1968) 小清水～斜里および江南地域の全域に広く分布する, 白～褐色の降下火砕堆積物である(模式地: loc. 77) (Fig. 8)。層厚40～50 cmの褐色火山灰土壌を介して, HkPを覆う。この土壌中には少なくとも6層の粗粒砂サイズのスコリア質火山灰が挟在する。TyPの層厚は30 cmである。下部約25 cmは上方粗粒化し, 軽石は白色で最大粒径は1.5 cmで, 発泡が良く, 径8 mm以下の繊維状ないしはスポンジ状の発泡痕を示す。径3 mm以下の遊離結晶も多く含む。上部約5 cmは, 細礫～粗粒砂サイズの軽石と径3 mm以下の遊離結晶からなり, 弱い葉理を示す。葉理は粒度の異なる薄層の互層からなり, 細粒部は赤～紫色を呈する。本層の白色軽石は斑晶に富み(約28 wt.%), 組み合わせは斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石および不透明鉱物である。

黒ツブ (KuSc) (隅田, 1988) 小清水～斜里および江南地域に分布する, 暗灰～黒色の降下火砕物である(模式地: loc. 80)。層厚6～10 cmの褐色火山灰土壌を介して, TyPを覆う。層厚は15 cmで, 最大粒径は1.5 cmである。構成物の大部分が発泡の悪いスコリアからなるが, 灰色軽石・石質岩片および極少量の白色軽石も含まれる。スコリアは斑晶に乏しく, 斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石, 不透明鉱物およびかんらん石が含まれる。

WTfl-1 (隅田, 1996) 小清水～斜里および江南地域に分布する, 白色の火砕流堆積物である(模式地: loc. 80)。層厚3 cmの褐色火山灰土壌を介して, KuScを覆う。層厚は約5 cmで, 粗粒砂サイズ～2 cmのやや円磨された発泡の良い軽石と火山灰基質からなる。堆積時に高温であった証拠は得られていないが, 軽石と基質火山灰の岩質が一樣であること

から, 火砕流堆積物と判断できる。白色軽石に含まれる斑晶鉱物は比較的多く, 2～3 mmの斑晶が多く認められる。斑晶組み合わせは斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石および不透明鉱物である。

WTfl-2 (隅田, 1996) 小清水～斜里および江南地域に分布する, 白色の火砕流堆積物である(模式地: loc. 72)。層厚20～45 cmの褐色火山灰土壌を介して, WTfl-1を覆う。この土壌中には, 少なくとも4層のスコリア層が挟在し, 層準および比較的粗粒な岩相からみてこのうちの最上位層が隅田(1996)の黒ゴマスコリア (KgSc) (23,430 yBP: 曾根ほか1991) に相当すると考えられる。本層の層厚は15～25 cmで, 粗粒砂サイズ～3 cmのやや円磨された発泡の良い軽石と火山灰基質からなる。WTfl-1と同様に, 軽石と基質火山灰の岩質が一樣であることから, 火砕流堆積物と判断した。白色軽石は斑晶に富み, 2～3 mmの斑晶が多く認められる。その組み合わせは斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石および不透明鉱物である。

中斜里軽石 (NaP) (隅田, 1988) 斜里および江南地域に分布する, 白～灰色の降下軽石である(模式地: loc. 77)。層厚30 cmの褐色火山灰土壌を介して, WTfl-2を覆う。この土壌には2層の粗粒砂サイズのスコリア層と, 2層の細礫サイズの白色軽石層が挟在する。NaPの層厚は18 cmで, 軽石は白～灰色を呈し, 最大粒径は3 cmで, 強い変質を受ける。発泡は悪く, 発泡痕は径2 mm以下のスポンジ状を示す。軽石は斑晶に乏しく, 斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石, 不透明鉱物のほかにかんらん石斑晶も認められる。

江南軽石 (KoP) (隅田, 1988) 斜里および江南地域に分布する, 褐色～灰色の降下軽石である(模式地: loc. 80)。層厚15～20 cmの褐色火山灰土壌を介して, NaPを覆う。この火山灰土壌中には層厚5 cmの粗粒砂サイズのスコリアと層厚2 cmの細粒ガラスからなる白色火山灰が挟在する。KoPの層厚は40 cmで, 変質した黄白～褐色の軽石と灰色～黒

Table 3. Summary of petrography of the selected tephra layers in the Konsen (upper) and Shari (lower) areas. Estimated modal composition; ++: > 10 %, +: 1 ~ 10 %, -: < 1 %, (-): trace. See the caption of Table 1 for the other abbreviations.

Name	Phenocryst content (wt.%)	Mineralogy					Types of juveniles	
		Pl	Opx	Cpx	Opq	Oi		
Konsen area								
Ch-a	9.1	++	+	+	+	-	Wp	
Ch-b		++	+	+	+		Sc	
Ch-b		++	+	+	+		Wp	
Ch-d		++	+	+	+		Gp	
Ch-d	4.1	++	+	+	+	(-)	Gp	
Ch-d	5.1	++	+	+	+		Bp	
Ch-d	8.8	++	+	+	+		Wp	
Nu-a	11.4	++	+	+	+		Wp	
Nu-b	3.1	++	+	+	+	-	Sc	
Nu-f		++	+	+	+		Wp	
Nu-g		14.1	++	+	+		+	Wp
Nu-h		6.5	++	+	+		+	Wp
Nu-i1		++	+	+	+	(-)	Gp	
Nu-i2		++	+	+	+		Bp	
Nu-i3		++	+	+	+		Gp	
Nu-i4		++	+	+	+		Wp	
Nu-i5	4.3	++	+	+	+	(-)	Gp	
Nu-l		++	+	+	+		Sc	
Nu-l		6.3	++	+	+		+	Wp
Nu-l		7.3	++	+	+		+	Wp
Nu-n	4.5	++	+	+	+		Wp	
Nu-n	2.8	++	+	+	+		Wp	
Nu-p	7.7	++	+	+	+		Bp	
Nu-p	2.9	++	+	+	+		Wp	
Nu-p	8.5	++	+	+	+		Wp	
Nu-r	8.1	++	+	+	+		Wp	
Shari area								
KoP	5.0	++	+	+	+	(-)	Wp	
NaP		++	+	+	+		Gp	
TyP		27.7	++	+	+		+	Wp
HkP		2.5	+	+	+		+	Sc
HkP	2.0	++	+	+	+	(-)	Wp	
HkP	4.2	++	+	+	+		Wp	
YmP	2.9	++	+	+	+		Wp	
YmP	6.3	++	+	+	+		Wp	

状軽石および石質岩片が認められる。軽石の最大粒径は 2 cm で、発泡が悪く、発泡痕は径 1 mm 以下の微細なスポンジ状である。軽石の斑晶鉱物は比較的少なく、斜長石、斜方輝石、単斜輝石および不透明鉱物が認められる。

岩石学的特徴

1. 記載岩石学的特徴

本研究で記載したテフラ層の記載岩石学的特徴を Table 3 に示す。テフラ層はすべて、斑晶鉱物に斜長石、斜方輝石、単斜輝石および不透明鉱物を含む (Table 1)。そのなかで、根釧原野の Ml-b, Ch-b, Ch-d, Nu-b, Nu-d, Nu-i, Nu-l および斜里平野の NaP, HkP, KuSc は特徴的にかんらん石斑晶を含む。そして、根釧原野の Nu-q および斜里平野の Ds-Oh が角閃石を含む点で特異である。

斑晶量を測定できた軽石試料の斑晶量に注目すると、ほとんどのテフラは 10 wt.% 以下であるが、根釧原野の Nu-a, Nu-g および斜里平野の TyP は 11–28 wt.% と比較的斑晶に富む。また、これら Nu-a, Nu-g, TyP は、大きめ (2 ~ 3 mm) の斑晶がしばしば認められる点と、本質物質が発泡の良い白色軽石のみからなる点も特徴的である。一方、斑晶量 10 wt.% 以下のテフラは、スポンジ状で発泡が悪く、白色軽石以外にも灰色軽石およびスコリアを含む場合が多い。

2. 火山ガラス組成

Fig. 9.a および 9.b に、それぞれ根釧原野と斜里平野に堆

Fig. 9. SiO_2 - K_2O variation diagrams of volcanic glass in tephra layers of the Konsen (a) and Shari areas (b). All data are normalized to 100 % anhydrous. Analyses by broad beam (probe dimensions = 10 ~ 50 μm) are shaded.

積するテフラの火山ガラス組成のハーカー図を示す。これらのガラス組成は、大半が $\text{SiO}_2 = 65$ wt.% 以上であり、デイサイト～流紋岩質の組成を示す。 $\text{SiO}_2 = 65$ wt.% 以下の安山岩質な組成を示すのは、スコリアおよび灰色軽石の試料である。

両地域のテフラのガラス組成は、いずれも SiO_2 - K_2O 図において、低、中および高カリウム組成を示す 3 つのグループに大別できる。角閃石を含む点で特異な根釧原野の Nu-q および斜里平野の Ds-Oh は、 $\text{K}_2\text{O} = 4.2$ – 4.8 wt.% の組成を示し、高カリウムグループに属する。根釧原野の Ch-c, Nu-a, Nu-c, Nu-e, Nu-g, Ch-d と Nu-a の間の土壌中の 4 層の白色火山灰 (MidK-2 ~ 5) と Ml-a と-b の間の黄白色火山灰 (MidK-1), および斜里平野の WTfl-1, WTfl-2, TyP は、

Fig. 10. SiO_2 - K_2O variation diagram of whole-rock chemistry of selected samples. The boundary line between Medium-K and Low-K series is based on Gill (1981). All data are normalized to 100 %.

$\text{K}_2\text{O} = 1.4\text{--}2.6$ wt.%の組成領域を示し、中カリウムグループに属する。そして、それ以外のテフラ層は、連続性の乏しいスコリア層も含めて、すべて $\text{K}_2\text{O} = 0.2\text{--}1.2$ wt.%で、低カリウムグループに属する。斑晶量を測定できたテフラ層のうち、高い斑晶量 (> 11 wt.%)と発泡の良い白色の軽石で特徴付けられるものは、すべて中カリウムグループに属し、低斑晶量 (< 10 wt.%)・低発泡度および灰色軽石・スコリアを含む特徴を持つテフラはいずれも低カリウムグループに属する。そして、灰色軽石・スコリアを含む特徴を反映して、低カリウムグループのテフラのみが、 SiO_2 が64 wt.%以下の組成領域を示し、 $\text{SiO}_2 = 64\text{--}79$ wt.%の中・高カリウムグループと区別できる。

なお、これらのテフラのガラス組成分析は、先行研究でもいくつかなされており、YmPが低カリウム組成を示すことは、奥村 (1991) が指摘した通りである。また、組成が大別されることは、吉川ほか (1990) による火山ガラスのICP発光分析からも指摘されているが、この報告では具体的なデータが示されていない。

3. 全岩化学組成

全岩化学組成のハーカー図をFig. 10に示す。全岩組成に認められる傾向は、上述の火山ガラス組成で述べたものと同様である。火山ガラスが中カリウム組成を示す斜里平野のTyPは、 $\text{K}_2\text{O} = 1.3\text{--}1.5$ wt.%で、中カリウム系列 (Gill, 1981) に属する。一方、ガラス組成が低カリウムを示す根釧原野のNu-p, Nu-n, Nu-l、および斜里平野のYmP, HkPは、 $\text{K}_2\text{O} = 0.3\text{--}0.6$ wt.%の低カリウム系列に属する。このうち、HkPに含まれるスコリアは、 $\text{SiO}_2 = 61\text{--}63$ wt.%の安山岩質な組成を示す。

Fig. 11. Glass compositions (TiO_2 - K_2O diagram) of selected tephra layers. Correlative pairs are enclosed by the same shades or dotted lines. KuSc and Nu-b were analyzed by broad-beam (probe dimensions = $10 \sim 50 \mu\text{m}$). All data are normalized to 100 % anhydrous.

議 論

1. 根釧原野と斜里平野の両地域間におけるテフラ対比

層位、岩相および岩石学的特徴を統合して、根釧原野と斜里平野間におけるテフラ層の対比を検討した。その結果、斜里平野で認識した主なテフラ10層のうち8層について、根釧原野のテフラ層序と対比を確定できた。以下、それぞれのテフラについて、火山ガラス組成の特徴などを示して対比を行う。なお、根釧原野のテフラと対比できた斜里平野のテフラは、その名称を根釧原野のものに統一する。

まず、本研究で記載したテフラの中で最も特徴的な層は、根釧原野のNu-qと斜里平野のDs-Ohである。両者は、各地域において唯一、角閃石を含み火山ガラスが高カリウム組成を示す点で共通する。火山ガラスの組成領域は、 $\text{TiO}_2 = 0.1\text{--}0.5$ wt.%, $\text{K}_2\text{O} = 4.2\text{--}4.8$ wt.%で一致する (Fig. 11.a)。

層序からみても、両者は KpI の上位に 1 層の降下軽石を介して、その上位に位置する。これらの特徴がすべて一致することから Nu-q と Ds-Oh は、同一層準であると考えられる。

次に、Nu-q (Ds-Oh) と KpI の間に挟まれる、根釧原野の Nu-r および斜里平野の YmP の対比を検討する。Nu-r と YmP の両者は、火山ガラス組成が共通して $\text{TiO}_2 = 0.5\text{--}0.8$ wt.%, $\text{K}_2\text{O} = 0.4\text{--}0.7$ wt.% の範囲を示す (Fig. 11.b)。含まれる軽石はいずれも、斑晶量が 9 wt.% 以下で、鉱物組み合わせも共通して斜長石・斜方輝石・単斜輝石・不透明鉱物である。また、スポンジ状で発泡の悪い白色軽石と灰色軽石とが混在する点も一致する。以上のことから Nu-r と YmP は対比可能である。

次に、両地域において厚く堆積する降下スコリア層、Nu-b (根釧原野) と KuSc (斜里平野) の対比を検討する。両者の火山ガラス組成は、 $\text{TiO}_2 = 0.9\text{--}1.4$ wt.%, $\text{K}_2\text{O} = 0.3\text{--}0.5$ wt.% の領域で一致する。またいずれものスコリアも、発泡が悪く、斑晶鉱物にかんらん石を含む点で共通する。これらの共通点から Nu-b と KuSc は対比可能である。

続いて、遊離斑晶に著しく富む特徴を持つ、根釧原野の Nu-g と斜里平野の TyP である。両者は、火山ガラスの組成領域が $\text{TiO}_2 = 0.3\text{--}0.8$ wt.%, $\text{K}_2\text{O} = 1.7\text{--}2.1$ wt.% の範囲で一致する。軽石の斑晶量は 14 wt.% 以上と共通して高く、鉱物組み合わせも斜長石・斜方輝石・単斜輝石・不透明鉱物と一致する。また軽石は、繊維状～スポンジ状に良く発泡し、白色を示す点で共通する。層序を見ても、両者はいずれも Nu-r (YmP) と Nu-b (KuSc) の間に位置する。よって Nu-g と TyP は対比可能である。

Nu-b (KuSc) の上位には、両地域ともに、2 層の火砕流堆積物が認められ、それぞれが対比される可能性がある。まず、下位層にあたる、根釧原野の Nu-a と斜里平野の WTfl-1 をみると、両者は火山ガラス組成領域が $\text{TiO}_2 = 0.3\text{--}0.6$ wt.%, $\text{K}_2\text{O} = 1.8\text{--}2.3$ wt.% と一致する。また両者に含まれる軽石は斑晶に富み、鉱物組み合わせも斜長石・斜方輝石・単斜輝石・不透明鉱物で一致する。続いて上位層にあたる、根釧原野の Ch-c と斜里平野の WTfl-2 をみると、両者のガラス組成は $\text{TiO}_2 = 0.2\text{--}0.6$ wt.%, $\text{K}_2\text{O} = 1.7\text{--}2.5$ wt.% で一致する。また、両者の本質物質はいずれも、斑晶に富み発泡の良い白色軽石からなり、鉱物組み合わせは斜長石・斜方輝石・単斜輝石・不透明鉱物と共通する。これらのことから Nu-a と WTfl-1、および Ch-c と WTfl-2 がそれぞれ対比可能と考えられる。

次に、両地域において Ch-c (WTfl-2) の直上に位置する降下軽石層、すなわち根釧原野の Ch-b および斜里平野の NaP の対比を試みる。両者の白色軽石のガラス組成は、 $\text{TiO}_2 = 0.6\text{--}0.9$ wt.%, $\text{K}_2\text{O} = 0.4\text{--}0.7$ wt.% で一致する。含まれる軽石は共通して、発泡が悪く、低い斑晶量で特徴づけられる。そして、かんらん石斑晶を含む点で共通することからも、Ch-b と NaP は対比可能と判断できる。

最後に Ch-b (NaP) の上位にある降下軽石層である、根釧原野の Ch-a と斜里平野の KoP の対比を検討すると、両者は $\text{TiO}_2 = 0.5\text{--}0.7$ wt.%, $\text{K}_2\text{O} = 0.5\text{--}0.7$ wt.% とガラス組

Fig. 12. Glass composition diagram ($\text{TiO}_2\text{--K}_2\text{O}$) showing correlation between distal and proximal tephtras of each volcano. All data are normalized to 100 % anhydrous. The type locality of Daisetsu Ohachidaira pyroclastic deposit is that of Nakamura and Hirakawa (2000). Sampling localities of the rim of Mashu caldera and the proximal deposits of Atosanupuri pyroclastic flow deposit are loc. 42 and loc. 55, respectively. Most of analyses showing over 1.0 wt. % in TiO_2 contents are from broad beam analysis (probe dimensions = 10 ~ 50 μm).

成領域が一致する。両者に含まれる軽石は発泡が悪く、径 1 mm 以下のスポンジ状の発泡痕を示す点で共通する。鉱物組み合わせも斜長石・斜方輝石・単斜輝石・不透明鉱物と一致することから、両者は対比可能である。

以上から、根釧原野と斜里平野の、Nu-r と YmP、Nu-q と Ds-Oh、Nu-g と TyP、Nu-b と KuSc、Nu-a と WTfl-1、Ch-c と WTfl-2、Ch-b と NaP そして Ch-a と KoP がそれぞれ対比できると結論できる (Fig. 4)。また、Nu-a と WTfl-1 および Ch-c と WTfl-2 が対比されたことから、WTfl-1 と-2 の間に挟まれる斜里地域の KgSc (約 23,430 yBP: 曽根ほか, 1991) は、根釧原野において Nu-a と Ch-c の間に堆積する LowK-Sc に対比される可能性がある。

2. 給源火山の推定

ここでは上述の地質学的、岩石学的データおよび先行研究で示された情報を用いて、各テフラ層の給源火山を推定する。

上部中春別テフラ層-q (Nu-q) 本地域で特異な岩相を持つ Nu-q は、研究地域の広範囲において層厚が 3 cm と一定で、細礫～粗粒砂サイズと非常に淘汰が良いことや、北海道東部の第四紀火成岩にほとんど産しない角閃石が含まれることから、遠方に給源を持つ広域テフラの可能性はある。隅田 (1996) は、火山ガラスの ICP 発光分析により、斜里地域に堆積する Nu-q が北海道中央部、大雪火山の御鉢平カルデラ噴出物 (約 30,000 年前: 勝井ほか, 1979) の遠方相であることを指摘し、大雪御鉢平降下軽石 (Ds-Oh) の名称を与えた

Fig. 13. Isopach maps of representative pyroclastic fall deposits; Nu-b (left) and Nu-g (right). Thickness in centimeters.

が、分析データは示していない。和田ほか (2007) は、中春別地域のひとつの露頭において、御鉢平カルデラ起源の火山灰を認識し、大雪山御鉢平火山灰と名づけたが、それが宮田ほか (1988) のどの層準にあたるかを明示していない。

本研究では、御鉢平カルデラ形成時に噴出した大雪御鉢平テフラ (中村・平川, 2000) の試料を模式地 (Loc. 1: 中村・平川, 2000) で採取し、これと Nu-q のガラス組成などを比較し、従来の指摘を再検討した。その結果、Nu-q と御鉢平降下軽石は、鉱物組み合わせがいずれも斜長石、斜方輝石、単斜輝石、角閃石および不透明鉱物と共通し、火山ガラスの組成領域も共通して $\text{TiO}_2 = 0.1\text{--}0.5\text{ wt.}\%$ 、 $\text{K}_2\text{O} = 4.0\text{--}4.9\text{ wt.}\%$ の範囲を示すことが分かった (Fig. 12)。このことから Nu-q は、大雪火山御鉢平テフラの遠方相であることが確認でき、本層は約 3 万年の時間面を示すことになる。なお岩質からみて Nu-q は、御鉢平カルデラ北東方に流出した火砕流 (若佐ほか, 2006) の co-ignimbrite ash (Sparks and Walker, 1977) である ‘大雪山御鉢平火山灰 (和田ほか, 2007)’ に対比される可能性が高い。

中・低カリウム組成のテフラ ガラス・全岩組成が中および低カリウム組成を示すテフラについては、従来、後屈斜路カルデラ火山起源である可能性が指摘されている。佐藤 (1968) は、大まかな等層厚線の傾向から、YmP (Nu-r に対比) と HkP が西別岳起源で、TyP (Nu-g に対比) は中島火山起源である可能性を挙げたが、さらなる根拠が必要であるとした。隅田 (1988) は斜里平野の KuSc と NaP の間 (すなわち Nu-b と Ch-d の間) にアトサヌプリ火砕流堆積物 (勝井ほか, 1986) を記載したが、給源決定の根拠となるデータは明示していない。そして宮田ほか (1988) は、下部摩周テフラ層が摩周火山の成層火山形成期噴出物 (Ma- α ~ ζ) の一部に相当するとした。

本研究では、先の議論で明らかにした対比により、連続性の良いテフラ層 (例えば、Nu-b, Nu-g) の等層厚線を描くことができた (Fig. 13)。しかしながら、これらのテフラは屈斜路火山に近づくにしたがって追跡不可能となるため、詳しい火口域を特定することは困難である。等層厚線からみて、これらの給源は、少なくとも屈斜路火山地域またはその周辺

にあることは推測できる。等層厚線が描けないテフラについても、西方に向かって層厚および粒径が増加することや、本火山地域の西方では露出が認められないことから (Fig. 5)、屈斜路火山地域またはその周縁に給源を求めるのが妥当である。

ここで屈斜路火山西隣、阿寒火山周縁をみると、約 1 万 3 千年前に後阿寒カルデラ火山の雌阿寒火山から噴出した中マチネシリ火砕流堆積物の直下には、KpIV (約 12 万年前; 町田・新井, 2003) が堆積し、雌阿寒火山と屈斜路カルデラの間の地域では、3 万 ~ 1 万年前のテフラは見出されない (横山ほか, 1976)。このことから、本研究対象テフラの給源を阿寒火山地域に求めるのは難しい。次に屈斜路火山東方近辺の斜里、武佐および江鷲火山の地形および噴火史をみると、これらの山体は侵食が進んでおり (Fig. 1)、各火山の最新の活動期はそれぞれ 25 ~ 28 万年前、48 万年前および前期更新世と報告されていることから (Goto et al., 2000; 船山・中川, 1991; など)、これらを給源と考えるのは困難である。したがって、中・低カリウム組成のテフラの給源は、屈斜路火山地域に限定される。

遠方に堆積したテフラ層の給源火山を推定する際には、等層厚線だけでなく、遠方テフラと、山体構成物もしくはその近傍相との対比を検討する方法も有効である (例えば、藤原ほか, 2007)。本研究では、後屈斜路カルデラ火山の各山体および近傍から、KpI ~ Ma-I の間の層準とされるテフラ試料を採取し、これらと根釧・斜里地域のテフラとの岩石学的特徴を比較し、給源火山を推定する方法を採った。摩周火山においては、Katsui et al. (1975) などが摩周カルデラ壁で記載した、新期外輪山溶岩と KpI の間に位置する厚いテフラ (以下、摩周カルデラ壁古期テフラと呼ぶ) を採取し、ガラス組成を分析した (採取地点は、Fig. 2 の loc. 55)。アトサヌプリ火山については勝井ほか (1986) が記載したアトサヌプリ火砕流堆積物の近傍相から試料を採取し、ガラス組成を分析した (採取地点は、loc. 42)。中島火山については山体近傍試料を採取できなかったため、勝井 (1962) による近傍堆積物の岩石記載・全岩化学組成を引用した。このほか、参考のために摩周外輪山溶岩 (loc. 55) ・西別岳溶岩 (loc. 92) の新

Fig. 14. Whole-rock chemistry (TiO_2 - K_2O) of Medium-K and Low-K tephra in this study and the other effusive deposits from post-Kutcharo caldera volcanoes. Analyses of Nakajima and Atosanupuri volcano are referenced from Katui (1962) and Homma (unpublished), respectively. T. F.: tephra formation. Refer to the text and Fig. 2 for sampling localities of lavas. All data are normalized to 100 %.

たな分析値と、岸本ほか (2009) による上部摩周テフラ層、および本間 (未公表: 付録参照) によるアトサヌプリ火山噴出物の全岩組成を示した。

後屈斜路カルデラ火山の山体・近傍のテフラ試料のガラス組成は、低カリウムと中カリウムグループで2大別され中間的な組成のものはない。このうち摩周カルデラ壁古期テフラは低カリウム、アトサヌプリ軽石流は中カリウム組成を示す (Fig. 12)。そして、両者の組成領域は、遠方テフラにおいて2大別された組成領域と重なる。すなわち、中カリウム組成を示す Ch-c, Nu-a, Nu-c, Nu-e, Nu-g および MidK-1 ~ -5 は、アトサヌプリ軽石流近傍相と、低カリウム組成の遠方テフラは、摩周カルデラ壁古期テフラと組成領域がそれぞれ重なる。現時点では近傍一遠方間における単層ごとの対比を確定することは難しいが、2大別されるガラス組成の特徴からみて、少なくとも低カリウムグループの遠方テフラのいずれかが摩周カルデラ壁古期テフラに、中カリウムグループのいずれかがアトサヌプリ火砕流に対比されることは推定できる。

全岩組成図 (TiO_2 - K_2O) では、各火山の古期溶岩および最近約1万年間の新期噴出物のデータも示した。これらを加味しても、ガラス組成の傾向と同様に摩周とアトサヌプリ火山で組成領域が大別される (Fig. 14)。また、アトサヌプリ火山を詳しく見ると、外輪山溶岩は他よりも高い TiO_2 値を示し ($\text{TiO}_2 = 0.77$ - 0.86 wt.%), 新期の溶岩ドーム群は、火砕流と組成領域を重ねる。中島火山噴出物は分析資料 (勝井, 1962) が少ないが、アトサヌプリ火山に類似した組成を示し、前述の2大別区分から見るとアトサヌプリ火山側の中カ

リウムグループに属する。また、同程度の TiO_2 量で比較した場合、アトサヌプリ火山噴出物よりもやや低い K_2O 値を示す。摩周火山を詳しく見ると、外輪山溶岩および西別岳溶岩が最も高い TiO_2 と低 K_2O 量を示し ($\text{TiO}_2 = 0.8$ - 1.0 wt.%; $\text{K}_2\text{O} = 0.2$ - 0.3 wt.%), 新期の上部摩周テフラ層は、より低い TiO_2 ・高い K_2O 量を示す ($\text{TiO}_2 = 0.6$ - 0.8 wt.%; $\text{K}_2\text{O} = 0.5$ - 0.8 wt.%).

このように、同じ時期に活動した複数の後カルデラ火山間であっても、火山体ごとに噴出物の組成が異なり、ひとつの火山体では活動を通じて類似した組成のマグマを出し続ける事例は、これまでに多くの島弧-海溝系のカルデラ火山で報告されている {例えば、九州南部の後阿蘇カルデラ火山群 (三好ほか, 2005); 北海道南西部、後洞爺カルデラ火山である中島・有珠火山 (Feebrey, 1995; 松本・中川, 2006); ニュージーランド、Taupo 火山帯の後 Kaingaroa カルデラ火山 (Beresford et al., 2000)}。後屈斜路カルデラ火山も、この事例にあてはまる可能性がある。この場合、遠方地域で記載した、低および中カリウム組成に2大別されたテフラは、それぞれ摩周火山およびアトサヌプリ・中島火山起源であると結論できる。屈斜路火山が位置する阿寒-知床火山帯は、太平洋プレートが沈み込むことで形成された島弧火山帯であり (例えば、Kimura, 1986), 東北日本弧などに見られるカリウム量の島弧横断方向の水平変化傾向も確認されている (船山・中川, 1991)。すなわち千島弧では、より前弧で低カリウム組成のマグマが噴出する傾向が確認されており、この点から見ても、低カリウムグループが前弧側の摩周火山から噴出したとする本論の結論は妥当といえる。記載岩石学的特徴を見ても、低カリウムグループのテフラは、新期の上部摩周テフラ層 (Ma-b ~ Ma-l) も含めて、低斑晶量、スポンジ状の低発泡で白色軽石のほかに灰色軽石やスコリアを含む傾向が共通しており (岸本ほか, 2009), 一方の中カリウムのテフラは、アトサヌプリ軽石流や中島軽石も含めて、比較的高斑晶量で発泡の良い白色軽石のみからなる点ですべて共通する。これら記載岩石学的特徴の相違も、火山ごとにマグマ系が異なることに起因すると解釈できる。

以上を総合すると、Ch-c, Nu-a, Nu-c, Nu-e, Nu-g および MidK-1 ~ -5 はアトサヌプリ・中島火山を起源とし、それ以外の、スコリア層を含むすべてのテフラは摩周火山起源と結論できる。なお、Nu-g (TyP) が中島火山起源であるとする従来の指摘 (佐藤, 1968) は、Nu-g と中島軽石の全岩化学組成および鉱物組み合わせが一致することから (Fig. 14), 矛盾ない。また、隅田 (1988) による、アトサヌプリ火砕流は、Nu-b と Ch-a の間に位置するとする指摘は、この層準にあたる2層の火砕流堆積物 Nu-a・Ch-c のガラス組成・鉱物組み合わせが、いずれもアトサヌプリ火砕流近傍相のそれに一致すること (Fig. 12) から矛盾がないと言える。

3. 後屈斜路カルデラ火山の噴火史

ここでは、各テフラ層の噴出量と噴火年代を概算し、摩周火山とアトサヌプリ・中島火山の噴火史と噴火の特徴を大局的な視点で比較する。

噴出量と噴火年代の見積もり 噴出量の見積もりに際して

Fig. 15. Volumes and ages of explosive eruptions from Atosanupuri/Nakajima volcanoes (a) and Mashu volcano (b). Gray-colored bars denote scoria-dominant eruptions. Volumes of dashed bars (0.1 km^3) are minimum estimations. Information during the last 12,000 years of Mashu volcano is based on Kishimoto et al. (2009).

は、等層厚線がある程度推定できた降下テフラについては Hayakawa (1985) の経験式に拠り、火砕流堆積物については推定分布面積と平均層厚を乗じて見積もった。比較的連続性に乏しく、等層厚線を描くのが困難なテフラについては、等層厚線から噴出量を決定できた噴火堆積物に対する同じ地点での層厚比を乗じて便宜的に体積を算出した。また、根釧原野地域において、層厚数 cm で堆積する極端に連続性に乏しいテフラについては、屈斜路火山地域を給源とし観察地点の方向を主軸と仮定した最小面積の等層厚線を描いても、少なくとも 0.1 km^3 の噴出量を持つことを確認した。これら小規模なテフラについては、他の主要テフラとの層位関係が分かるものだけを、Fig. 15 に表している。

テフラ層の編年にあたっては、含まれる炭化木片または直下・直上の土壌層から得た放射年代資料を参考にした。放射年代がないテフラについては、放射年代が得られている上下テフラ層の年代値と模式地における土壌層の厚さから、土壌の堆積速度を内挿し、内挿した部分では堆積速度が一定と仮定してそれぞれの噴火年代を推定した。この際、放射年代資料に関しては最新のものを採用し、各内挿部分で算出した平均堆積速度は、 $0.7 \sim 1.2 \text{ cm}/100 \text{ 年}$ であった。

各火山の噴火史と噴火の特徴 アトサヌプリ・中島火山におけるテフラ噴出量と噴火頻度から噴火史を考察する (Fig. 15.a)。中島火山では、約 2 万 5 千年前に最初の大規模な Nu-g の火砕噴火が発生した。その後本火山地域では、約 1 万 3 千年前までの間に、数百～数千年の休止期を挟んで爆発的な噴火を少なくとも 10 回発生した。比較的規模の大きな噴火は、Nu-g, Nu-e, Nu-a および Ch-c で、特に Nu-e, Nu-a, Ch-c では火砕流が発生した。なかでも Ch-c が噴出量 6.9 km^3 と最大規模で、おそらくアトサヌプリ火山のカルデラ形成に関与したと考えられる。現在のアトサヌプリカルデラの輪郭に着目すると、北部と南部のカルデラ壁が欠落し、円形というよりはむしろ長方形に近いことから (勝井, 1962) (Fig. 1), カルデラ形成イベントは Ch-c だけでなく複数回あった可能性 (例えば, Nu-a) がある。また、約 2 万 5 千年以前と約 1 万 3 千年以降は、広域に追跡されるようなテフラが見られないことから、大規模な火砕噴火が起らなかったと考えられる。この平穏期の前者と後者はそれぞれ、勝井(1962) が示した外輪山溶岩噴出期と溶岩ドーム群形成期に相当する。つまり、アトサヌプリ・中島火山では、KpI が堆積した約 3 万 5 千年前から約 2 万 5 千年前までの間に主

に安山岩質の溶岩が噴出し外輪山が形成され、その後約 1 万 3 千年前までは爆発的な噴火活動が卓越し、1 万 3 千年前以降は、専ら溶岩ドームを形成する噴火活動が継続している。

摩周火山では (Fig. 15.b), KpI の噴出後あまり長い休止期を経ずに大規模なプリニー式噴火 (Nu-r: 14 km³) が発生し、1 万 2 千年前の Ma-1 までの間に火砕噴火を 40 回以上頻発した。これらの規模は、約 7 千年前に発生した主カルデラ形成期 (Ma-f ~ -j: 18.6 km³; 岸本ほか, 2009) には及ばないものの、Nu-p (7.4 km³), Nu-n (6.4 km³), Ch-a (5.4 km³) などは、噴出量 5 km³ 以上と比較的大規模である。活動全体を通して見ると、珪長質な軽石噴火が卓越する時期が 3 回繰り返されており (3 万 5 千 ~ 2 万 7 千年前; 2 万 ~ 1 万 6 千年前; そして最近 1 万 2 千年間), これらの間隙を埋めるように苦鉄質なスコリア噴火が卓越する時期が 2 回繰り返されている。これらスコリア噴出期のうち、より新しい方 (1 万 6 千 ~ 1 万 3 千年前) が、年代的に見て、Katsui et al. (1975) の成層火山形成期に対応する。

またこの時期を境に前後のテフラの全岩化学組成をみると、同程度の TiO₂ 値で比較した場合、成層火山形成期後のテフラの方がやや高い K₂O 値を示すことから (Fig. 14), この時期にマグマ系の変換が起こった可能性がある。

両火山地域の噴火史を比較すると、火砕噴火の回数は摩周火山が 55 回、アトサヌプリ・中島火山が 10 回であり、摩周火山のほうが多数の火砕噴火を発生していることが分かる。このうちの降下スコリアは、摩周火山で 28 回以上、アトサヌプリ・中島火山では 0 回であり、摩周火山では苦鉄質なマグマ噴火であっても、その噴出物を 30 km 以上の遠方地域に飛来させるような噴火様式をとる特徴がある。テフラの総噴出量を比較しても、摩周火山は約 90 km³、アトサヌプリ・中島火山が約 16 km³ と、摩周火山がアトサヌプリ・中島火山よりも大量のテフラを放出している。

また両火山地域には、噴火様式の推移とその移行時期に関連性が認められる。3 万 5 千 ~ 2 万 7 千年前では、摩周火山で珪長質な大規模噴火が頻発し、一方のアトサヌプリ・中島火山ではテフラを放出するような噴出物が認められない。続く 2 万 7 千 ~ 1 万 3 千年前では、アトサヌプリ・中島火山でカルデラ形成噴火が起こり、摩周火山ではカルデラ形成噴火というよりも苦鉄質で小規模な噴火が卓越する。その後は、アトサヌプリ・中島火山ではテフラを噴出せず溶岩ドームを形成する噴火様式に移行し、逆に摩周火山では 1 万 2 千年前以降、カルデラ形成を伴うような火砕噴火を繰り返している。両火山地域は、組成の異なる独立したマグマ系を持つと考えられるが、噴火様式を決定するシステムは連動している可能性がある。現時点では、このシステムをうまく説明することはできないため、今後の検討課題とする。

ま と め

後屈斜路カルデラ火山の噴火史を再検討するため、北海道東部に分布する KpI ~ Ma-1 (3 万 5 千年前 ~ 約 1 万年前) の間のテフラ層について、広域のかつ系統的に調査した。本論で得られた結論は、以下の通りにまとめられる。

- (1) KpI ~ Ma-1 の間に堆積する主要なテフラ層序は、根釧原野では少なくとも 24 層、斜里平野では少なくとも 10 層からなり、このほかに連続性の乏しいスコリア層 (LowL-Sc) や白色火山灰層 (MidK-1 ~ -5) が 20 層以上挟在する。
- (2) 層位関係や岩石学的特徴を用いることで、斜里地域の主要なテフラ 10 層のうち 8 層が、根釧地域のテフラ層序と対比可能である。すなわち、YmP が Nu-r に、Ds-Oh が Nu-q に、TyP が Nu-g に、KuSc が Nu-b に、WTfl-1 が Nu-a に、WTfl-2 が Ch-c に、NaP が Ch-b に、そして NaP が Ch-a に、それぞれ対比できる。
- (3) 岩石学的手法などにより、各テフラ層の給源を推定した。Nu-q は、北海道中央部、大雪火山の御鉢平カルデラを給源とする広域テフラである。Ch-c, Nu-a, Nu-c, Nu-e, Nu-g および MidK-1 ~ -5 は、アトサヌプリ・中島火山を起源とし、それ以外のテフラはすべて摩周火山起源である。
- (4) アトサヌプリ・中島火山および摩周火山では、それぞれ異なるマグマ系が活動している。
- (5) KpI 以降における火砕噴火は、アトサヌプリ・中島火山で 10 回 (16 km³)、摩周火山で 55 回 (90 km³) 発生している。
- (6) 特に摩周火山では、苦鉄質なマグマ噴火でも爆発的な噴火様式をとる場合が多く、KpI から現在にいたるまで、数千年に及ぶような長期の休止期間を経ずに、大小の火砕噴火を継続的に頻発している。

謝 辞

本研究を行うにあたり、薄片製作においては北海道大学理学研究院の技官である野村秀彦氏、中村晃輔氏に、全岩化学組成および火山ガラス組成分析においては同大学理学研究院の技官である池田昌隆氏 (当時)、松本亜希子氏にお世話になった。応用地質株式会社の本間宏樹氏にはアトサヌプリ火山噴出物の全岩化学組成データの提供と開示のご快諾をいただいた。野外調査では中標津町教育委員会に長期の宿を貸していただき、同企画総務課施設係の佐藤和博氏には大変お世話になった。キール大学の隅田まり氏にはいくつかの露頭地点を教えていただいた。査読者である広島大学大学院文学研究科教授の奥村晃史氏と匿名査読者、および編集委員である農業・食品産業技術総合研究機構の中里裕臣氏には貴重なご意見をいただき、論文が改善された。以上の方々および機関に感謝いたします。なお、本論で使用した火山灰の化学組成分析は、「平成 19 年度地層処分に係る地質情報データの整備」として実施されたものである。

引 用 文 献

- Beresford, S. W., Cole, J. W. and Weaver, D. S., 2000, Weak chemical and mineralogical zonation in the Kaingaroa Ignimbrite, Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *New Zealand Jour. Geol. Geophys.*, **43**, 639-650.
- Feebrey, C. A., 1995, Petrology and geochemistry of the Toya ignimbrites and post-caldera volcanism, Toya caldera, SW Hokkaido, Japan-Impli-

- cations of island arc evolution-. Ph-D thesis of Hokkaido Univ., 237p.
- 藤原伸也・中川光弘・長谷川摂夫・小松大祐, 2007, 北海道中央部, 十勝岳火山の最近 3,300 年間の噴火史. 火山, **52**, 253-271.
- 船山 淳・中川光弘, 1991, 北海道東部佐佐火山地質と岩石. 岩鉱, **86**, 410-423.
- Gill, J., 1981, *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. Springer-Verlag, New York, 390 p.
- Goto, Y., Funayama, A., Gouchi, N. and Itaya T., 2000, K-Ar ages of the Akan-Shiretoko volcanic chain lying oblique to the Kuril trench: Implications for the tectonic control of the volcanism. *Island Arc*, **9**, 204-218.
- 長谷川 健・中川光弘, 2007, 北海道東部, 阿寒カルデラ周辺の前—中期更新世火砕堆積物の層序. 地質雑, **113**, 53-72.
- Hayakawa, Y., 1985, Pyroclastic geology of Towada Volcano. *Bull. Earth. Res. Inst., Univ. Tokyo*, **60**, 507-592
- 北海道火山灰命名委員会 (勝井義雄監修), 1982, 北海道の火山灰. 北海道, 23p.
- 伊藤順一・山元孝広・中川光弘・長谷川 健・岸本博志, 2007, 北海道東部, 屈斜路・摩周カルデラ噴出物の放射炭素年代値. 日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集, V157-P030.
- 勝井義雄, 1958, 阿寒・屈斜路火山群. 地球科学, **39**, 19-29.
- 勝井義雄, 1962, 5 万分の 1 地質図幅「屈斜路湖」および同説明書. 北海道開発庁, 42p.
- Katsui, Y., Ando, S. and Inaba, K., 1975, Formation and magmatic evolution of Mashu volcano, east Hokkaido, Japan. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ.*, **16**, 533-552.
- 勝井義雄・佐藤博之, 1963, 5 万分の 1 地質図幅「藻琴山」および同説明書. 北海道開発庁, 42p.
- 勝井義雄・横山 泉・伊藤太一, 1979, 旭岳, 火山地質・活動の現状および防災対策. 北海道における火山に関する研究報告書, 7, 北海道防災会議, 42p.
- 勝井義雄・横山 泉・岡田 弘・西田泰典・松本佳久・川上則明, 1986, アトサヌプリ・摩周 (カムイヌプリ). 北海道における火山に関する研究報告書, **10**, 北海道防災会議, 105p.
- 吉川清志, 1990, ICP 発光分光分析を用いたテフラの同定法とその応用. 地学雑, **99**, 743-758.
- Kimura, G., 1986, Oblique subduction and collision: Forearc tectonics of the Kuril arc. *Geology*, **14**, 404-407.
- 岸本博志・長谷川 健・中川光弘・和田恵治, 2009, 最近約 1 万 4 千年間の摩周火山のテフラ層序と噴火様式. 火山, **54**, 15-36.
- 国府谷盛明・松井公平・長谷川 潔・安藤久男, 1962, 5 万分の 1 地質図幅「摩周湖」および同説明書. 北海道開発庁, 45p.
- 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, 276p.
- 松井公平・国府谷盛明・杉本良也, 1967, 5 万分の 1 地質図幅「中標津」および同説明書. 北海道開発庁, 30p.
- 松本亜希子・中川光弘, 2006, 有珠火山, 歴史時代噴火のマグマ供給系の変遷. 月刊地球, **28**, 316-321.
- 宮田雄一郎・山口昇一・矢崎清貫, 1988, 5 万分の 1 地質図幅「計根別地域の地質」および同説明書. 地質調査所, 77p.
- 三好雅也・長谷中利昭・佐野貴司, 2005, 阿蘇カルデラ形成後に活動した多様なマグマとそれらの成因関係について. 火山, **50**, 269-283.
- 中村一明・荒牧重雄・村井 勇, 1963, 火山の噴火と堆積物の性質. 第四紀研究, **3**, 13-29.
- 中村有吾・平川一臣, 2000, 大雪御鉢平テフラの岩石記載学的特徴. 火山, **45**, 281-288.
- 奥村晃史, 1991, 北海道の第四紀テフラ研究. 第四紀研究, **30**, 379-390.
- 佐藤博之, 1968, 東北海道斜里地域における洪積世後期の火山灰と段丘. 地調月報, **59**, 47-58.
- 曾根敏雄・米村 衛・隅田まり, 1991, 北海道, 越川遺跡における約 2 万年前の細石刃様の石器. 第四紀研究, **30**, 107-114.
- Sparks, R. S. J. and Walker, G. P. L., 1977, The significance of vitric-enriched air-fall ashes associated with crystal-enriched ignimbrites. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **2**, 329-341.
- 隅田まり, 1988, 斜里地域におけるテフラ層序. 知床博研報, **9**, 19-31.
- 隅田まり, 1996, 清里～斜里地域に分布する後期更新世テフラ層. 第四紀露頭集—日本のテフラ, 105.
- 和田恵治・石崎直人・佐藤鋭一, 2007, 根釧台地, 別海町中春別露頭で同定された大雪山・御鉢平カルデラ起源の広域火山灰. 北海道教育大大雪山自然教育研究施設研報, **41**, 55-65.
- 若佐寛子・中川光弘・齊藤 聡, 2006, 大雪山, 御鉢平カルデラ形成時のマグマ供給系の構造と噴火プロセス. 月刊地球, **28**, 296-301.
- Wentworth, C. K., 1922, A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Jour. Geol.*, **30**, 377-392.
- 横山 泉・勝井義雄・江原幸雄・小出 潔, 1976, 雌阿寒岳—火山地質・噴火史・活動の現況および防災対策—. 北海道における火山に関する研究報告書, **5**, 北海道防災会議, 138p.

(要 旨)

長谷川 健・岸本博志・中川光弘・伊藤順一・山元孝広, 2009, 北海道東部, 根釧原野および斜里平野における約 3 万 5 千～1 万 2 千年前のテフラ層序と後屈斜路カルデラ火山の噴火史. 地質雑, **115**, 369—390. (Hasegawa, T., Kishimoto, H., Nakagawa, M., Itoh, J. and Yamamoto, T., 2009, Eruptive history of post-caldera volcanoes of Kutcharo caldera, eastern Hokkaido, Japan, as inferred from tephrostratigraphy in the Konsen and Shari areas for the period 35—12 ka. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **115**, 369—390.)

後屈斜路カルデラ (アトサヌプリ, 中島, 摩周) 火山の噴火史を検討するため, 最新の屈斜路カルデラ形成噴火 (KpI: 35 ka) 以降のテフラを対象に, 道東の根釧原野と斜里平野を調査した. KpI と, 最初の摩周カルデラ噴出物 (12 ka) の間には, 根釧原野で 24 層 (上位から Ml-a ～-b, Ch-a ～-d, Nu-a ～-r), 斜里平野で 10 層のテフラが堆積し, この他に薄いスコリア層等が 20 層以上挟在する. 層位や岩相から, 斜里地域の 8 層が根釧地域のテフラと対比できた. 岩石学的手法等により, Nu-q は道央の御鉢平カルデラ起源であり, Nu-e, Nu-g など 10 層がアトサヌプリ・中島火山, それ以外は全て摩周火山起源のテフラである事が分かった. 35 ka 以降の火砕噴火は, アトサヌプリ・中島火山で 10 回 (16 km³) であるのに対し, 摩周火山では, 数千年以上の休止期を挟まずに 50 回以上 (90 km³) 頻発している.

Appendix 1. Major element compositions of whole-rock samples.

Unit	(wt.%)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Total
Nu-l		68.89	0.68	16.12	4.20	0.20	1.12	4.51	3.69	0.57	0.16	100.13
		69.35	0.65	16.03	4.07	0.19	1.12	4.53	3.73	0.56	0.17	100.40
		70.32	0.65	15.67	4.00	0.19	1.12	4.51	3.80	0.58	0.17	101.01
		69.93	0.66	16.09	4.10	0.20	1.10	4.49	3.76	0.58	0.17	101.08
		69.57	0.65	15.68	4.06	0.19	1.15	4.55	3.76	0.57	0.17	100.34
		69.15	0.67	15.88	4.35	0.20	1.25	4.74	3.70	0.56	0.17	100.65
		68.91	0.67	16.07	4.37	0.20	1.24	4.71	3.73	0.55	0.16	100.60
Nu-n		70.43	0.66	15.31	4.00	0.19	1.17	4.60	3.77	0.59	0.17	100.88
		70.26	0.64	15.17	3.83	0.18	1.12	4.52	3.74	0.61	0.17	100.23
		70.58	0.64	15.33	3.86	0.18	1.12	4.55	3.82	0.59	0.16	100.84
		70.20	0.64	15.26	3.81	0.18	1.09	4.48	3.73	0.60	0.17	100.16
		69.96	0.65	15.31	3.93	0.19	1.14	4.57	3.72	0.58	0.17	100.20
		67.64	0.63	14.65	3.72	0.18	1.08	4.40	3.68	0.58	0.17	96.72
Nu-p		69.37	0.64	15.89	3.77	0.19	1.05	4.75	3.88	0.53	0.15	100.22
		69.11	0.65	15.85	3.92	0.19	1.10	4.83	3.81	0.53	0.15	100.15
		69.69	0.66	16.10	3.81	0.19	1.04	4.67	3.80	0.54	0.15	100.64
		69.80	0.64	15.87	3.82	0.19	1.08	4.79	3.88	0.53	0.15	100.75
		68.66	0.65	15.80	3.95	0.20	1.11	4.78	3.76	0.53	0.15	99.57
		68.26	0.69	16.39	4.35	0.20	1.28	5.17	3.77	0.50	0.15	100.75
		67.53	0.68	16.22	4.54	0.20	1.40	5.33	3.74	0.50	0.14	100.28
		68.05	0.70	16.20	4.55	0.20	1.38	5.31	3.77	0.51	0.15	100.81
		68.45	0.69	16.95	4.19	0.20	1.13	4.89	3.64	0.51	0.15	100.80
HkP		69.96	0.67	15.35	4.62	0.19	1.19	4.69	3.79	0.58	0.17	101.19
		69.41	0.65	15.10	4.51	0.19	1.18	4.71	3.87	0.59	0.17	100.37
		61.38	0.86	16.33	8.14	0.22	2.68	6.92	2.67	0.36	0.11	99.66
		62.58	0.85	16.53	7.97	0.21	2.46	6.59	2.70	0.39	0.12	100.39
		69.05	0.67	15.47	4.62	0.20	1.14	4.65	3.55	0.56	0.17	100.06
		69.13	0.66	15.42	4.55	0.19	1.14	4.66	3.67	0.57	0.17	100.16
		69.06	0.67	15.43	4.58	0.19	1.16	4.68	3.69	0.57	0.17	100.20
		68.45	0.68	15.55	4.72	0.20	1.20	4.72	3.54	0.56	0.17	99.78
TyP		66.90	0.71	15.13	4.48	0.14	1.39	4.56	3.95	1.47	0.19	98.91
		67.29	0.69	15.62	4.36	0.13	1.38	4.59	3.94	1.44	0.18	99.61
		66.68	0.71	15.35	4.86	0.14	2.06	4.88	3.83	1.39	0.19	100.08
		66.84	0.75	15.63	4.95	0.15	1.62	4.81	3.92	1.38	0.22	100.25
		67.20	0.72	15.44	4.63	0.14	1.44	4.49	3.85	1.44	0.19	99.51
YmP		68.87	0.67	15.60	3.95	0.19	1.28	4.86	3.84	0.58	0.18	100.00
		66.49	0.72	16.32	4.68	0.19	1.54	5.71	3.64	0.50	0.18	99.98
		68.07	0.70	16.02	4.34	0.19	1.42	5.25	3.67	0.53	0.18	100.36
		67.31	0.71	16.16	4.49	0.19	1.48	5.43	3.68	0.55	0.17	100.16
		67.46	0.71	16.16	4.54	0.19	1.49	5.41	3.69	0.53	0.17	100.36
		66.76	0.71	16.33	4.58	0.19	1.52	5.72	3.68	0.51	0.17	100.17
		67.68	0.71	15.99	4.41	0.19	1.44	5.26	3.70	0.54	0.18	100.10
		67.24	0.72	16.21	4.54	0.19	1.49	5.44	3.62	0.52	0.17	100.14
		67.56	0.70	16.10	4.44	0.19	1.47	5.29	3.60	0.54	0.17	100.06
		66.52	0.72	16.15	4.67	0.19	1.54	5.62	3.66	0.52	0.17	99.76
Mashu somma lava		52.23	0.86	18.07	10.32	0.19	4.06	10.71	2.25	0.24	0.08	99.01
		52.02	0.86	18.07	10.24	0.19	4.00	10.80	2.25	0.24	0.08	98.75
		51.14	0.85	17.58	10.41	0.19	4.01	10.76	2.25	0.25	0.08	97.52
		51.70	0.86	17.84	10.26	0.19	4.01	10.74	2.25	0.25	0.08	98.18
Nishibetsu lava		53.67	0.92	17.54	10.15	0.19	4.31	10.10	2.36	0.26	0.10	99.60

Appendix 2. Major element compositions of whole-rock samples from Homma (unpublished). Unit names are those of Katsui et al. (1986). pfl: pyroclastic flow deposit.

Unit	(wt.%)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Total
Atosanupuri lava dome	68.97	0.52	14.04	3.13	0.10	0.95	3.34	4.40	1.68	0.11	97.24	
	70.20	0.51	13.94	3.06	0.10	0.93	3.18	4.35	1.68	0.11	98.07	
	71.11	0.51	14.12	3.01	0.10	0.93	3.16	4.34	1.70	0.11	99.09	
	69.65	0.56	14.23	3.48	0.11	1.10	3.37	4.37	1.62	0.13	98.61	
	69.81	0.50	13.41	2.87	0.09	0.87	2.86	4.34	1.71	0.03	96.49	
	72.86	0.50	13.94	2.85	0.09	0.89	2.80	4.35	1.68	0.03	99.99	
	69.09	0.52	13.93	3.14	0.10	0.94	3.20	4.36	1.67	0.11	97.07	
	69.69	0.52	14.05	3.18	0.10	0.96	3.16	4.35	1.65	0.11	97.77	
	70.85	0.52	13.93	3.09	0.10	0.96	3.00	4.30	1.68	0.11	98.53	
	69.61	0.50	13.59	2.97	0.09	0.86	2.90	4.43	1.73	0.08	96.76	
	73.82	0.46	13.54	2.70	0.09	0.81	2.61	4.31	1.76	0.03	100.12	
	72.57	0.49	13.54	2.87	0.09	0.85	2.70	4.28	1.74	0.03	99.17	
	69.37	0.55	14.01	3.27	0.11	1.01	3.21	4.32	1.66	0.06	97.57	
	71.60	0.54	14.46	3.23	0.11	1.04	3.15	4.44	1.64	0.06	100.25	
	72.99	0.49	13.32	2.88	0.09	0.80	2.57	4.26	1.78	0.04	99.20	
	71.43	0.49	13.72	2.88	0.10	0.89	2.85	4.36	1.78	0.05	98.53	
Makuwanchisappu lava	69.60	0.54	14.09	3.21	0.11	1.04	3.36	4.35	1.66	0.12	98.08	
	68.88	0.51	14.10	3.11	0.10	0.94	3.29	4.39	1.65	0.12	97.09	
	68.70	0.53	14.31	3.30	0.11	1.02	3.54	4.41	1.60	0.12	97.65	
	69.09	0.54	13.99	3.34	0.11	1.08	3.23	4.35	1.62	0.09	97.43	
	71.76	0.52	14.39	3.06	0.10	1.01	3.24	4.34	1.62	0.11	100.15	
	69.20	0.53	14.42	3.25	0.11	1.02	3.46	4.29	1.66	0.12	98.05	
Sawanchisappu lava	69.17	0.56	13.91	3.05	0.12	0.87	3.07	4.46	1.71	0.11	97.02	
	70.79	0.56	13.93	3.01	0.12	0.87	2.99	4.45	1.70	0.12	98.53	
	69.73	0.55	13.93	2.95	0.12	0.81	3.03	4.56	1.71	0.12	97.51	
	70.22	0.57	13.97	3.06	0.12	0.88	3.03	4.54	1.68	0.13	98.19	
	68.85	0.55	13.93	2.98	0.12	0.83	2.88	4.51	1.71	0.05	96.38	
	70.17	0.55	14.21	2.98	0.12	0.86	2.88	4.57	1.68	0.05	98.06	
	69.97	0.56	13.86	2.99	0.12	0.85	2.92	4.60	1.69	0.12	97.68	
	70.85	0.56	13.93	2.95	0.12	0.86	2.90	4.58	1.69	0.12	98.55	
	69.49	0.55	13.83	2.98	0.12	0.85	2.95	4.64	1.70	0.12	97.21	
	71.12	0.56	14.11	2.97	0.12	0.87	2.97	4.54	1.68	0.13	99.07	
	68.61	0.56	13.65	3.07	0.12	0.83	3.01	4.50	1.71	0.12	96.18	
	68.77	0.56	13.74	3.07	0.12	0.82	2.99	4.48	1.69	0.12	96.37	
Rishiri lava	69.22	0.53	14.03	3.13	0.10	0.96	3.24	4.37	1.70	0.11	97.37	
	70.01	0.52	13.98	3.11	0.10	0.92	3.16	4.32	1.66	0.11	97.88	
	70.70	0.52	14.11	3.13	0.10	0.96	3.11	4.39	1.68	0.05	98.74	
	70.27	0.52	14.08	3.13	0.10	0.95	3.15	4.38	1.70	0.12	98.40	
Oputateshuke lava	72.86	0.53	13.73	2.65	0.12	0.74	2.38	4.57	1.81	0.10	99.48	
	73.24	0.56	14.04	2.74	0.12	0.76	2.47	4.51	1.75	0.12	100.29	
	72.63	0.54	13.91	2.73	0.12	0.76	2.43	4.52	1.77	0.11	99.51	
	70.53	0.54	13.86	2.80	0.12	0.77	2.72	4.63	1.78	0.10	97.85	
	70.67	0.54	13.94	2.78	0.12	0.75	2.75	4.62	1.74	0.10	98.00	
	70.22	0.52	13.62	2.66	0.11	0.72	2.65	4.51	1.82	0.10	96.92	
Tosamoshibe lava	69.28	0.52	13.55	2.72	0.12	0.71	2.67	4.68	1.76	0.10	96.11	
	71.37	0.62	14.22	3.14	0.12	0.90	3.11	4.45	1.68	0.14	99.75	
	69.20	0.64	14.38	3.37	0.12	0.96	3.39	4.49	1.64	0.15	98.33	
	70.23	0.64	14.38	3.33	0.12	0.95	3.29	4.46	1.64	0.14	99.16	
Nifushioyakotsu lava	68.85	0.63	14.25	3.39	0.12	0.93	3.35	4.44	1.66	0.15	97.77	
	70.85	0.63	14.31	3.18	0.12	0.86	3.18	4.46	1.67	0.13	99.40	
	70.25	0.63	14.37	3.24	0.12	0.89	3.25	4.45	1.66	0.13	99.00	
	68.98	0.63	13.89	3.29	0.12	0.91	3.23	4.37	1.72	0.13	97.26	
274 m lava	68.49	0.64	13.91	3.34	0.12	0.89	3.24	4.38	1.72	0.13	96.86	
	71.72	0.55	14.02	3.07	0.11	0.83	2.81	4.45	1.70	0.11	99.36	
	72.47	0.56	13.89	2.98	0.10	0.83	2.68	4.44	1.71	0.10	99.77	
	Nupuriondo lava	70.39	0.66	14.44	3.46	0.14	1.03	3.30	4.51	1.44	0.17	99.53
70.72		0.68	14.47	3.50	0.15	1.04	3.36	4.56	1.44	0.18	100.08	
70.68		0.66	14.47	3.47	0.14	1.03	3.32	4.56	1.44	0.17	99.93	
Maruyama lava	70.47	0.66	14.36	3.38	0.15	1.00	3.25	4.60	1.43	0.16	99.44	
	69.79	0.66	14.35	3.35	0.15	0.98	3.25	4.65	1.44	0.16	98.78	
Atosanupuri pfl	69.24	0.60	14.89	3.02	0.13	0.83	2.85	4.39	1.65	0.09	97.68	
	70.98	0.61	15.23	3.00	0.12	0.81	2.78	4.38	1.64	0.08	99.63	
	70.99	0.59	15.10	2.87	0.13	0.76	2.71	4.38	1.68	0.12	99.33	
	71.44	0.58	15.05	2.86	0.13	0.73	2.62	4.38	1.69	0.11	99.58	
	71.35	0.53	13.91	2.66	0.12	0.71	2.47	4.42	1.75	0.11	98.03	
	70.80	0.54	14.83	2.74	0.12	0.69	2.42	4.18	1.77	0.09	98.17	
	71.90	0.54	14.89	2.72	0.12	0.70	2.41	4.19	1.76	0.09	99.33	
	71.38	0.55	14.09	2.80	0.12	0.81	2.79	4.37	1.75	0.12	98.78	
	72.76	0.51	13.99	2.54	0.11	0.67	2.57	4.37	1.82	0.10	99.43	
Atosanupuri somma lava	64.84	0.85	15.44	5.90	0.16	1.84	4.97	3.94	1.26	0.20	99.38	
	65.04	0.84	15.37	5.80	0.15	1.77	4.91	3.94	1.27	0.19	99.30	
	64.82	0.75	14.68	5.03	0.14	1.47	4.32	4.10	1.45	0.18	96.94	
	64.90	0.76	14.74	5.07	0.14	1.48	4.27	4.11	1.44	0.18	97.08	