

大雪火山，御鉢平カルデラ形成期の噴出物と噴火活動

佐藤 鋭一*・和田 恵治**

(2014年8月28日受付, 2015年3月13日受理)

Volcanic Products and History of the Caldera-Forming Eruption of
Ohachidaira in Taisetsu Volcano, Central Hokkaido, Japan

Eiichi SATO* and Keiji WADA**

The 30 ka caldera-forming eruption of Ohachidaira in central Taisetsu volcano, Hokkaido, produced Plinian pumice-fall and pyroclastic-flow deposit that contain juvenile products of pumice, scoria, and banded pumice. We reconsidered the eruption history of the caldera-forming eruption on the basis of combined geological and petrological data. The pyroclastic-flow deposits are classified into two types based on petrological features: Hb-type and Px-type. We identified three representative outcrops of the main deposit types at the foot of Taisetsu volcano: the Oiwa outcrop of an Hb-type pyroclastic flow, the Obako outcrop of a Px-type pyroclastic flow and a Plinian pumice fall, and the Tenninkyo outcrop where a Px-type pyroclastic and an Hb-type pyroclastic flows are recognized in the upper and lower parts, respectively. We analyzed the glass compositions of juvenile pumices as means of discriminating the two types of pyroclastic-flow deposit and estimated the flow directions and distribution of the two types of pyroclastic flow. The Hb-type pyroclastic-flow deposit is distributed in north-westerly and south-westerly directions. On the other hand, the Px-type pyroclastic-flow deposit is distributed in north-easterly and south-westerly directions. There might be more than a few hundred years interval between the Hb-type and Px-type pyroclastic flows.

Key words: Taisetsu volcano, Ohachidaira, pyroclastic flow deposit, outcrop, volcanic history

1. はじめに

御鉢平カルデラ (Fig. 1) は、約3万年前の爆発的な噴火によって大雪火山の中央に形成された直径約2 kmの小型カルデラである(勝井・他, 1979)。御鉢平カルデラの活動では、複数回の火砕噴火によって山頂周辺に火砕物を堆積させた後に、プリニー式噴火による降下軽石を堆積させ、さらに広範囲に火砕物を堆積させたと考えられてきた(勝井・他, 1979; 目次, 1987) (Fig. 1)。この火砕流堆積物は山麓にある複数の露頭で確認できるが、それらの産状は強溶結して柱状節理が発達している点でよく似ていることから、御鉢平カルデラ起源の火砕流堆積物はこれまで1回の噴火イベントで堆積したと考えられてきた(勝井・他, 1979; 目次, 1987)。しかし、最近の

研究によって火砕流堆積物は、本質物質の岩石学的特徴によって2種類(Hb-type火砕流堆積物とPx-type火砕流堆積物)に分類できることが明らかとなり、カルデラ形成期において火砕流の発生したイベントが2回あったことが示された(若佐・他, 2006; 佐藤・和田, 2012)。しかしながら、ひとつの露頭で確認できる火砕流堆積物はほとんどの場合1種類のみで、それらの層序は不明のままであった。

最近、著者らは山麓に存在する御鉢平カルデラ起源の火砕流堆積物について新たに地質調査を行い、2種類の火砕流堆積物の層序が確認できる露頭を発見した(佐藤・和田, 2011)。その結果、御鉢平カルデラ形成期の噴火履歴が明確になり、岩石学的にマグマの進化過程が推

*〒657-8501 神戸市灘区鶴甲1-2-1
神戸大学大学教育推進機構
Institute for Promotion of Higher Education, Kobe University, Tsurukabuto 1-2-1, Nada, Kobe 657-8501, Japan.

**〒070-8621 旭川市北門町9
北海道教育大学旭川校地学教室

Earth Science Laboratory, Hokkaido University of Education at Asahikawa, Hokumon-cho 9, Asahikawa 070-8621, Japan.

Corresponding author: Eiichi Sato
e-mail: esato@people.kobe-u.ac.jp

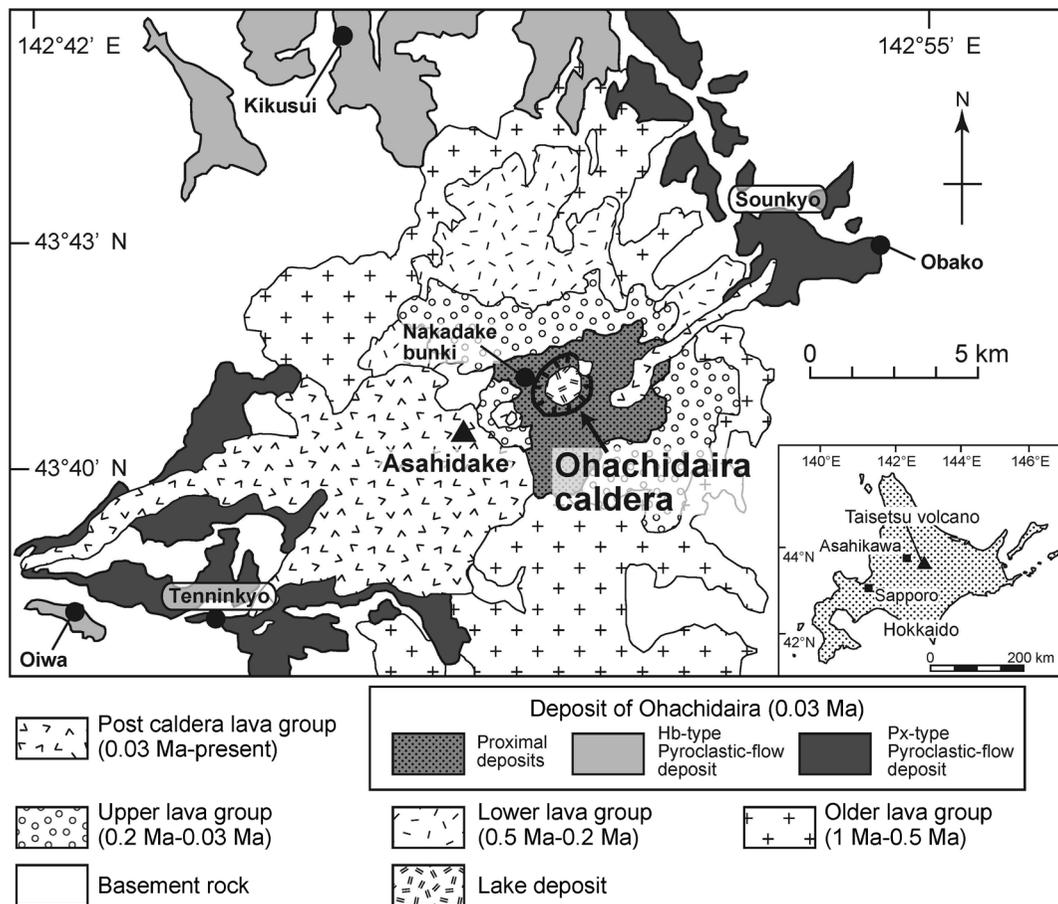


Fig. 1. Geological and index map of Taisetsu volcano. Solid circles show the locations of the outcrops and sampling points. The geological map is modified after Fig. 2 of Sato and Wada (2012).

定された (佐藤・和田, 2012). さらに, 安田・他 (2012) は, 火砕流堆積物の層序と古地磁気学的なデータを組み合わせることで, 2種類の火砕流堆積物の間には数100年以上の休止期間が存在することを明らかにした.

本論では, 御鉢平カルデラ起源の火砕流堆積物のうち山麓での層序が分かる模式露頭を設定し, その産状を示すとともに噴出物の岩石学的な特徴を示す. 模式露頭での噴出物の岩石学的特徴は, 山麓に単独で存在する火砕流堆積物が2回の火砕流噴火のうちどちらに対応するかを判断する基準となる. 本論では, 2種類の火砕流堆積物の流出順序に関する議論の他に, 火砕流の流出方向を含めてカルデラ形成期の噴火活動を明らかにしたので報告する. また, 軽石のガラス組成から火砕流堆積物が細分できる可能性や複数のマグマ溜まりの存在, 火砕流堆積物の溶結に掛かる時間についても言及した.

2. 御鉢平カルデラ噴出物の概説

山麓での御鉢平カルデラ起源の噴出物は, 北東麓で主に下位の降下軽石堆積物と上位の火砕流堆積物からなる. 火砕流堆積物には本質物質として軽石, スコリア, 縞状軽石が含まれる. 軽石はホルンブレンド斑晶と輝石斑晶 (斜方輝石斑晶とオーザイト斑晶) の量比によって2種類に分類できる (Hb-type 軽石と Px-type 軽石) (Fig. 2). スコリアは顕微鏡下の特徴で分類するのは難しいが, 全岩化学組成によって2種類に分類できる (佐藤・和田, 2012) (Fig. 3). 同一の火砕流堆積物には, それぞれ1種類の軽石, スコリアが含まれ, 2種類が共存することはない. このため佐藤・和田 (2012) は, Hb-type 軽石が含まれる火砕流堆積物を Hb-type 火砕流堆積物, Px-type 軽石が含まれる火砕流堆積物を Px-type 火砕流堆積物とした. より詳細な岩石記載, 鉱物化学組成は佐藤・和田 (2012) を参照されたい.

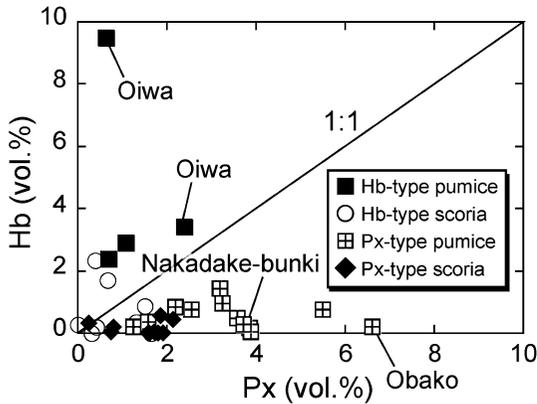


Fig. 2. Modal compositions of pyroxene (vol.%) and hornblende (vol.%) phenocrysts for pumice and scoria. This figure is modified after Fig. 3 of Sato and Wada (2012).

3. 模式露頭の設定と記載

山麓に堆積する御鉢平カルデラ起源の噴出物で、Hb-type 火砕流堆積物、Px-type 火砕流堆積物、2種類の火砕流堆積物の層序が確認できる露頭を模式露頭として設定し、以下にそれらの記載を行う。これらはすべて保存状態が良く露頭までのアクセスが容易である。

3-1 大岩 (N43° 37' 34", E142° 42' 13")

本露頭は、御鉢平カルデラから南西に約15kmの位置にあり (Fig. 1), 大岩とよばれている。ここでは、東西1.5kmに渡り、柱状節理が発達した層厚50mの火砕流堆積物を観察できる。しかし、その底部は確認できない。火砕流堆積物は全体に強溶結しているが、露頭下部の2~5mは弱溶結になっている。弱溶結部で観察できる本質物質はHb-type 軽石、スコリア、縞状軽石である。

3-2 層雲峡大函 (N43° 41' 57", E143° 0' 57")

層雲峡大函は、御鉢平カルデラから北東に約11kmの位置にあり (Fig. 1), 柱状節理の発達した層厚50mを超える火砕流堆積物が峡谷を形成している。大函では一部の露頭で、火砕流堆積物の他に御鉢平カルデラ起源の降下軽石堆積物も同時にみられる (佐藤・和田, 2010)。

露頭は下位から泥炭層、石質岩片に富む降下火砕流堆積物、降下スコリア堆積物、降下軽石堆積物、火砕流堆積物からなり、各層間に土壌や風化物を挟まない (Fig. 4)。降下軽石堆積物は少なくとも9つのフォールユニット (上位より a~i) で構成され、全体の層厚は2.4mである。火砕流堆積物の層厚は6m以上で、上部は強溶結して柱状節理が発達するが、下部1.5mは弱溶結である。本質物質を弱溶結部分で確認するとPx-type 軽石、縞状軽石、スコリアが含まれる。

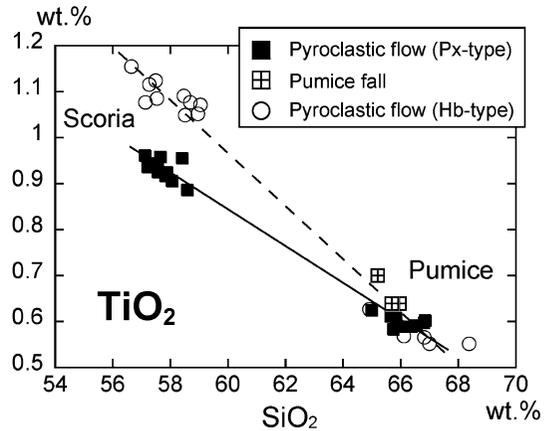


Fig. 3. Whole rock compositional variation diagram of TiO_2 vs SiO_2 . Analysis values are normalized to 100 wt.%. Solid and dashed lines show regression lines, drawn by the method of least squares, for Px-type and Hb-type, respectively. This figure is modified after Fig. 4 of Sato and Wada (2012).

3-3 天人峡 (N43° 37' 1", E142° 46' 22")

天人峡は、御鉢平カルデラの南西約11kmの位置にあり (Fig. 1), 柱状節理の発達した最大層厚約150mの火砕流堆積物が数カ所で観察できる。この周辺では、2010年の大雨によって表面の植生や崖錐が削られることで出現した新たな露頭がある (佐藤・和田, 2011)。

この露頭は大きく上下2層 (Layer-1 と Layer-2) に分けることができる (Fig. 5a)。上位の Layer-1 は層厚が20m以上の火砕流堆積物であり、全体的に溶結し節理が発達しているが、下部2mは非溶結になっている。非溶結部には本質物質としてPx-type 軽石、縞状軽石、少量のスコリアが含まれる。Layer-2の上部は層厚が数cm~数10cmで粗粒物に富む層と層厚が数cmで細粒物に富む層とが互層している (Fig. 5b)。粗粒物に富む層にはスコリア、少量の軽石、数cm~10cm程度の円礫、さらに溶結したHb-type 火砕流堆積物の亜角礫が特徴的に含まれる (Fig. 5c)。細粒物に富む層には斜交層理がみられる。Layer-2の下部は礫支持で1m程度の巨大な円礫を含み、層理は発達していない (Fig. 5b)。Layer-2の下部と上部に明瞭な境界は認められない。

Layer-2の上部について、佐藤・和田 (2011) は火砕流堆積物と火山灰が互層したものと判断した。しかし、安田 (2014) も指摘するように、粗粒物に富む層に円礫や溶結したHb-type 火砕流堆積物の亜角礫が含まれること、細粒物に富む層には斜交層理が確認できることから河川による二次的な堆積物と考えられる。

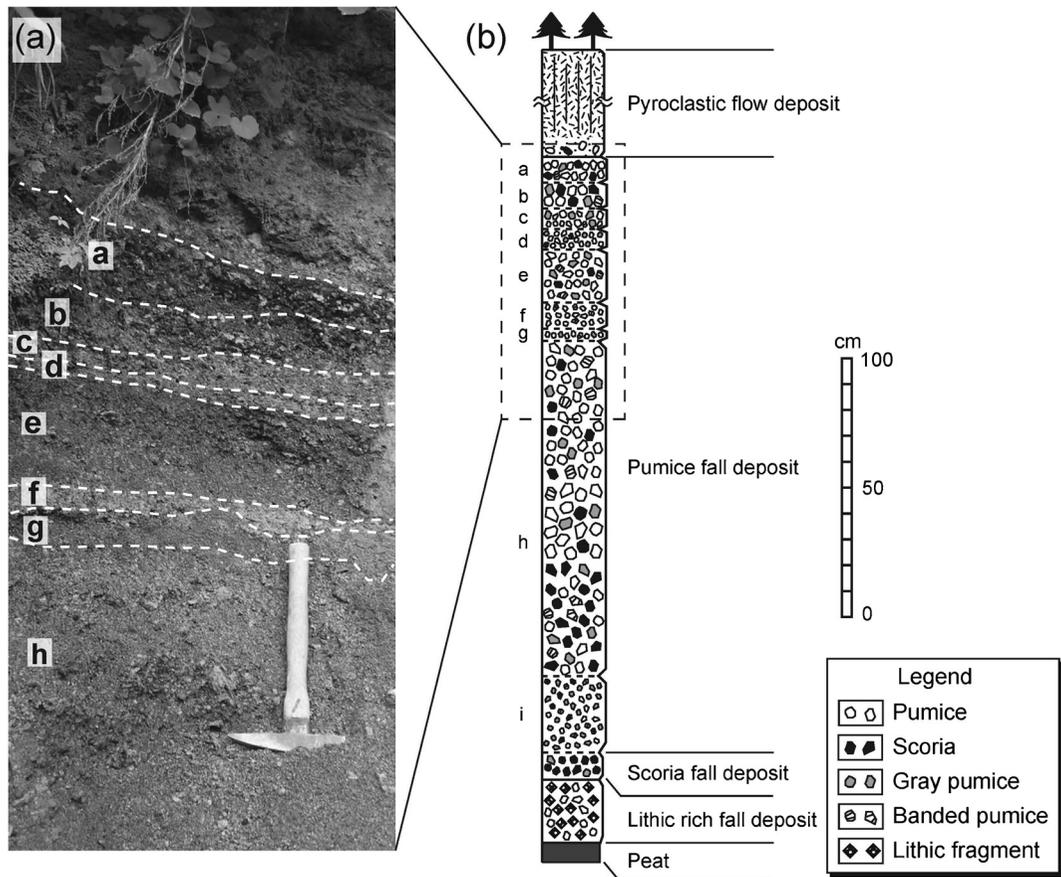


Fig. 4. (a) Photographic image of the pumice-fall deposit at the Obako outcrop. The dashed lines show the unit boundaries. The image shows the details of the area enclosed by dotted line in Fig. 4b. The hammer is 36 cm in length. (b) Columnar section of the Obako outcrop. These figures are modified after Fig.3 of Sato and Wada (2010).

4. 軽石のガラス組成によるタイプの特定

噴出物の概説で示したように御鉢平カルデラ由来の火砕流堆積物は、軽石に含まれるホルンブレンド斑晶と輝石斑晶の量比 (Fig. 2), およびスコリアの全岩化学組成 (Fig. 3) によって2種類に分類することができる。しかし、軽石の斑晶量が少ないときは斑晶量比によるタイプの特定が困難である。また、溶結した火砕流堆積物では基質部に混入した異質岩片をすべて取り除くことが困難であり、全岩化学組成を用いたタイプの特定に適していない。

本稿では、火砕流堆積物のタイプを特定する指標として本質物質の斑晶量比、全岩化学組成に加え、新たに本質物質 (軽石) のガラス組成の導入を試みた (Fig. 6)。本稿で測定したのは火砕流堆積物中の軽石が4試料、降下軽石が1試料である。また、天人峡の模式露頭の噴出物について報告している佐藤・和田 (2011) のデータの中

から、軽石および溶結凝灰岩中の本質物質 (軽石) のガラス組成を引用した。試料の採取地点は Fig. 1 に示している。測定には北海道教育大学旭川校の EPMA を使用しており、測定条件は佐藤・和田 (2011) と同様である。1試料につきガラス部分を複数点測定しており、Table 1 にはそれらの平均値を示している。測定した試料のうち、大函、大岩および中岳分岐の軽石については斑晶量比から (Fig. 2)、菊水については軽石と共存するスコリアの全岩化学組成からタイプの特定が可能である。Fig. 6 は、それらの結果を基に各試料のガラス組成を FeO^* と K_2O のハーカー図にプロットしたものである。

模式露頭である天人峡について、Layer-1 に含まれる軽石のガラスと Layer-2 に含まれる溶結凝灰岩中の新鮮なガラス部分の化学組成は明瞭に異なる。大函については、上位の火砕流堆積物中の軽石と下位の降下軽石堆積物の化学組成が異なり、火砕流堆積物中の軽石は天人峡

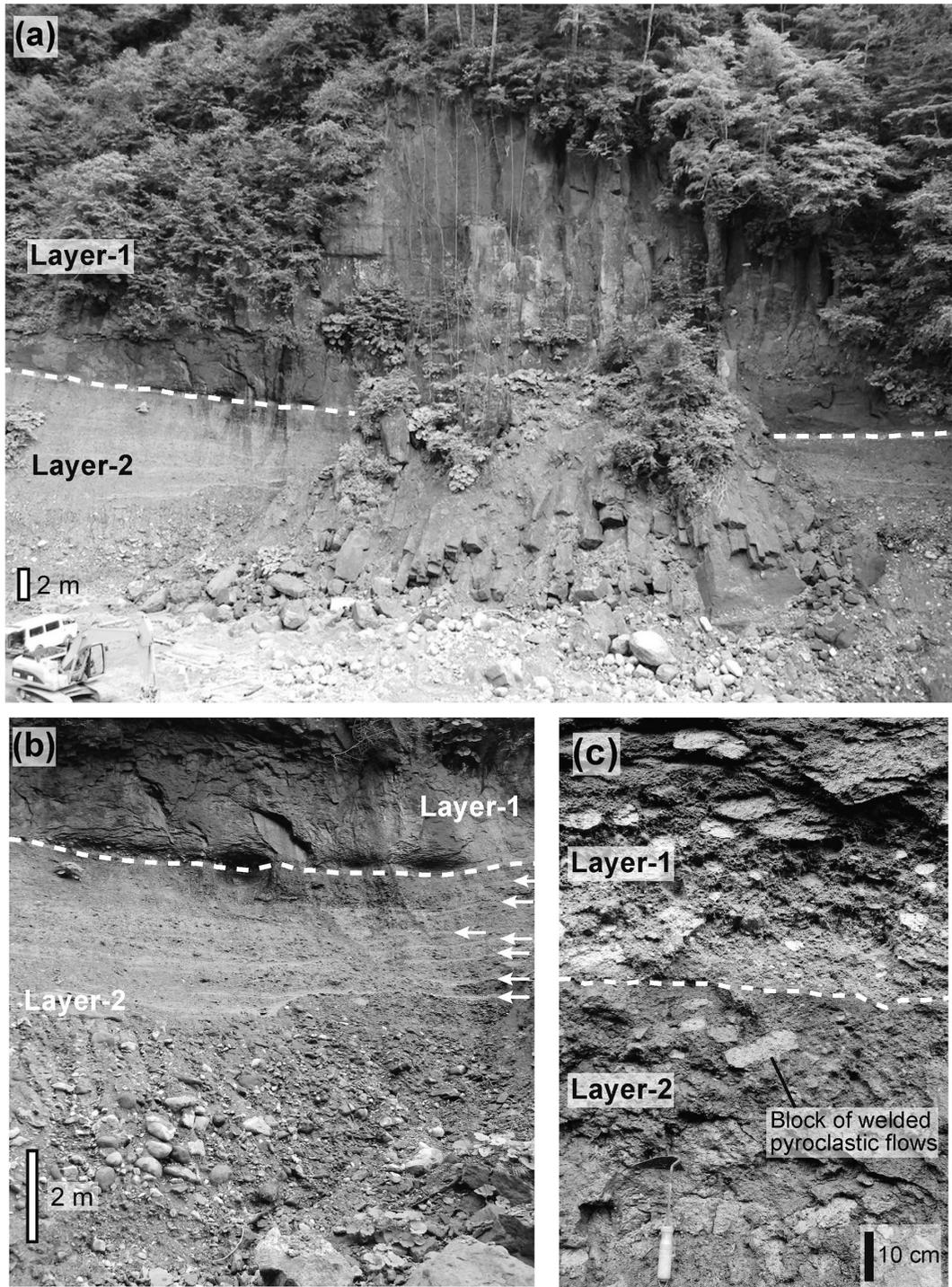


Fig. 5. (a) Photographic image of the outcrop around the Tenninkyo hot spring. The dashed line shows the boundary between Layer-1 and Layer-2. (b) Close-up photo of the upper part of Layer-2, composed of fine and coarse fragments alternations. White arrows show the fine layers. (c) Close-up photo of the boundary between Layer-1 and Layer-2.

Table 1. Major element compositions of glass from juvenile pumice samples.

Locality	Oiwa			Obako			Kikusui			Nakadake-bunki		
Lithology	Pyroclastic flow (pumice)											
Number	N=9			N=9			N=19			N=16		
(wt.%)	a ¹	b ¹	c ¹	a ¹	b ¹	c ¹	a ¹	b ¹	c ¹	a ¹	b ¹	c ¹
SiO ₂	75.57	0.54	79.23	76.08	0.91	78.06	75.69	1.14	78.93	75.67	0.99	78.63
TiO ₂	0.19	0.03	0.20	0.24	0.03	0.24	0.17	0.03	0.18	0.29	0.06	0.31
Al ₂ O ₃	11.22	0.13	11.76	11.54	0.10	11.85	11.23	0.22	11.71	11.59	0.28	12.04
FeO*	0.17	0.08	0.18	0.83	0.19	0.85	0.32	0.08	0.34	0.48	0.18	0.50
MnO	0.04	0.03	0.04	0.07	0.05	0.07	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02
MgO	0.12	0.02	0.13	0.18	0.02	0.18	0.06	0.03	0.06	0.13	0.04	0.14
CaO	0.95	0.05	0.99	1.05	0.06	1.07	0.96	0.04	1.01	1.07	0.16	1.11
Na ₂ O	2.65	0.07	2.77	2.84	0.07	2.92	2.46	0.12	2.57	2.63	0.17	2.73
K ₂ O	4.47	0.21	4.68	4.54	0.16	4.66	4.97	0.27	5.18	4.27	0.26	4.44
Cl	0.01	0.01	0.01	0.11	0.06	0.12	0.01	0.01	0.01	0.11	0.03	0.11
Total	95.38		100.00	97.46		100.03	95.91		100.00	96.23		100.02

Locality	Obako			Tenninkyo (Layer-1)** ¹			Tenninkyo (Layer-2)** ¹		
Lithology	Pumice fall (pumice)* ¹			Pyroclastic flow (pumice)			Block of welded pyroclastic flow		
Number	N=16			N=14			N=16		
(wt.%)	a ¹	b ¹	c ¹	a ¹	b ¹	c ¹	a ¹	b ¹	c ¹
SiO ₂	74.40	0.46	76.24	74.97	0.96	78.02	77.04	0.55	79.56
TiO ₂	0.33	0.05	0.34	0.22	0.04	0.23	0.19	0.04	0.19
Al ₂ O ₃	12.20	0.16	12.50	11.52	0.17	11.98	11.35	0.17	11.72
FeO*	1.71	0.15	1.75	1.02	0.08	1.06	0.22	0.08	0.22
MnO	0.06	0.04	0.06	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04
MgO	0.34	0.03	0.35	0.17	0.02	0.18	0.08	0.03	0.08
CaO	1.63	0.07	1.67	1.10	0.06	1.14	1.00	0.11	1.03
Na ₂ O	2.67	0.18	2.74	2.56	0.15	2.66	2.17	0.10	2.24
K ₂ O	4.11	0.16	4.21	4.34	0.15	4.52	4.72	0.31	4.87
Cl	0.19	0.02	0.19	0.21	0.03	0.22	0.05	0.06	0.05
Total	97.59		100.04	96.09		100.05	96.83		100.01

a¹ Average of *N* analyses.

b¹ Standard deviation of *N* analyses.

c¹ Analyses are normalized to 100 wt.%.

*¹ Pumice in Unit-h of pumice-fall deposit (Fig. 3).

**¹ Data after Sato and Wada (2011).

の Layer-1 の軽石とはほぼ一致している。したがって、大函の火砕流堆積物と天人峡の Layer-1 が対比可能と考えられる。大岩には火砕流堆積物が単独で存在し、軽石のガラス組成は天人峡の Layer-2 に含まれる溶結凝灰岩中の新鮮なガラスと近い組成を示している。したがって、天人峡の Layer-2 に含まれる溶結凝灰岩の岩片は、大岩と同一の火砕流堆積物の溶結部と考えられる。

以上の結果から、本質物質（軽石）のガラス組成を用いて火砕流堆積物のタイプを特定することが可能であると考えられ、斑晶量比や全岩化学組成とあわせて総合的に判断することでより明確にタイプを特定することができる。特に溶結凝灰岩については斑晶量比や全岩化学組成を用いた分類が困難なため、ガラス組成を用いることが有効な分類手段となる。また、ガラス組成を詳しく見ると、例えば Px-type 軽石については中岳分岐のガラス組成が大函や天人峡とやや異なっており、Hb-type 軽石

については特に K₂O vs SiO₂ 図において試料を採取した地点毎に異なるクラスターを示していることが分かる (Fig. 6)。今後の詳しい検討が必要であるが、これは同じタイプの火砕流堆積物が、指向性を持ったいくつかのフローユニットに分類でき、それらのマグマ組成がわずかに異なった結果を反映している可能性も考えられる。

また、上述のように大函の降下軽石堆積物とその上位に直接の火砕流堆積物中の軽石のガラス組成が明瞭に異なっている (Fig. 6)。最近、火砕流の流出に先立って生じた降下軽石と火砕流堆積物中の軽石の化学組成が異なる例がいくつかの大規模火砕流で報告されている (例えば、板東・中川, 2008; Bégué *et al.*, 2014)。Bégué *et al.* (2014) は、ニュージーランドのタウポ火山帯で 24.4 万年前に生じたオハクリ火山のカルデラ噴火について火砕流の発生前に生じた降下軽石のガラス組成が火砕流に含まれる軽石のガラス組成よりも SiO₂ 量で約 2 wt.% 低いこ

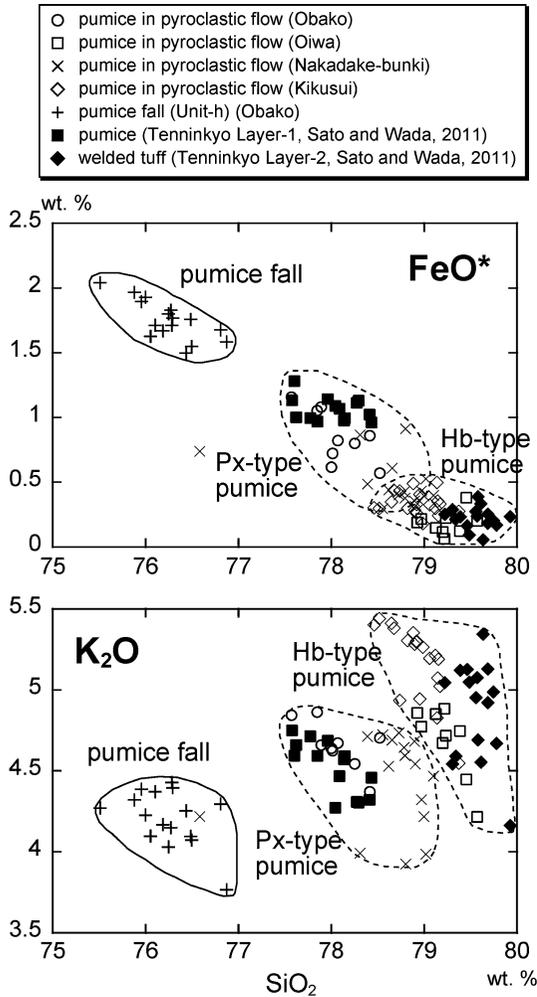


Fig. 6. FeO* vs SiO₂ (upper) and K₂O vs SiO₂ (lower) variations of glass compositions of juvenile pumices. Total iron calculated as FeO*. The enclosed areas by dashed lines correspond to Px-type and Hb-type pumices based on mineralogy.

とを示している。彼らは、火砕流堆積物中の軽石の組成は降下軽石の組成からの単純な結晶分化作用で導くことができず、両者が同一のマグマ溜まりから噴出したとは考えにくいと主張しており、火山体の地下に並列に位置する異なるマグマ溜まりの存在を提案している。御鉢平カルデラ形成期に生じた火砕流 (Px-type) はこれまで降下軽石の噴出と連続的な噴煙柱崩壊で生じたと考えられてきた (目次, 1987)。より詳しい岩石学的なデータが必要ではあるが、軽石のガラス組成の違いは、降下軽石と火砕流が同一のマグマ溜まり由来ではない可能性を示唆している。

5. カルデラ形成期の噴火活動

天人峡の露頭の Layer-2 には Hb-type 火砕流堆積物由来の溶結凝灰岩の亜角礫岩が含まれ、その上に Px-type 軽石を含む火砕流堆積物が堆積していることから御鉢平カルデラ形成期の噴火活動では、Hb-type 火砕流の堆積後に Px-type 火砕流が発生したと考えられる。Hb-type 火砕流の堆積後、Px-type 火砕流が流出するまでは、少なくとも Hb-type 火砕流堆積物が溶結し、さらにそれらの二次堆積物が形成される時間があつたことになる。

Riehle (1973) は定置した火砕流堆積物が圧密される時間を数値計算によって推定している。例えば、定置温度が 750°C、定置時の層厚が 20m の火砕流堆積物の場合、内部は数 10 日で溶結し、1 年以内には強溶結される。Hb-type 火砕流堆積物の大部分を形成したデイサイトマグマのマグマ溜まり内での温度は 750–770°C であり (佐藤・和田, 2012)、火砕流堆積物の定置温度はその値と同程度かそれよりも低いと考えられる。また、Hb-type 火砕流堆積物である大岩の現在の層厚が 50m 程度であることから、Hb-type 火砕流堆積物の定置時の層厚は少なくとも 50m はあつたと推定できる。Hb-type 火砕流堆積物の定置温度および層厚は Riehle (1973) のモデルとはやや異なり、モデルをそのまま適用することはできないが、溶結は長くても数年オーダーで完了したと考えられる。

天人峡の Layer-2 の下部は礫支持で 1m 程度の大きな礫を複数含み、全体として層理が発達していないことから土石流などのイベントによって短時間で堆積したものと考えられる。上部は細粒物に富む層と粗粒物に富む層が互層しており、粗粒物に富む層は円礫～亜角礫 (Hb-type 火砕流由来の溶結凝灰岩礫を含む) からなる。また、細粒物に富む層には斜交層理が発達している。これらの特徴は、河川成堆積物に一致する。安田・他 (2012) は、2 種類の火砕流堆積物の残留磁化を測定し、2 種類の火砕流堆積物には流出時期に数 100 年以上の時間差があつたことを示している。上述のように Hb-type 火砕流堆積物が溶結するのに要する時間は数年以内であり、Layer-2 の下部は比較的短時間で形成されたと考えられるので、安田・他 (2012) の推定時間が正しいとすると、Layer-2 上部を構成する河川成堆積物を形成するのに 100 年以上掛かり、その後 Px-type 火砕流が流出したと考えられる。

Fig. 1 には、本論で示した軽石ガラスの化学組成および過去の岩石データ (佐藤・他, 2005; 佐藤・和田, 2012) を用いて推定した 2 種類の火砕流堆積物の分布図が示されている。Hb-type 火砕流堆積物はカルデラから南西の大岩や北西の上川町菊水周辺で確認できる。したがって、Hb-type 火砕流は主にカルデラから南西、北西方向

に流出したと考えられる。Hb-type 火砕流に先立つ降下軽石は現在のところ発見されておらず、その存在は不明である。Px-type 火砕流堆積物はカルデラから北東の大函の他に、南西の天人峡にも堆積していることから、カルデラから北東、南西方向を主として堆積したと考えられる。この火砕流の発生の直前にはカルデラから北東方向に主軸を持つ降下軽石が堆積したと考えられる。

御鉢平カルデラ形成期の噴火活動については、山麓に分布する2種類の火砕流堆積物の流出順序が露頭レベルで明らかになったことで、その詳細が明らかとなった。また、ひとつの露頭では判別できない火砕流堆積物に対しても岩石学的な特徴を用いることでタイプの特定が可能であり、これらの分布を明らかにすることができた。本論で明らかとなったこれらのデータは、本噴火の推移の詳細を明らかにする上で重要である。

謝 辞

本稿は2014年2月に東京大学地震研究所で開催された共同利用研究会「火山噴火履歴解明のための露頭データベース構築法の検討」(2013-W-05)で発表した内容が基になっている。福岡大学の奥野充教授には発表の機会を与えて頂き、原稿についても多くの助言を頂いた。神戸大学の鈴木桂子准教授、同大学大学院在学中の安田裕紀さんには、原稿に関する議論をして頂いた。大雪山国立公園内の地質調査に関して環境省および文化庁の許可を頂いた。また、現地自然保護官事務所および上川中部森林管理署のご協力を得た。本稿は、査読者である山梨県富士山科学研究所の吉本充宏博士および匿名の査読者の方からのご指摘によって大きく改善することができた。編集担当の茨城大学の長谷川健准教授からも多くの重要なご指摘を頂き、改良することができた。これらの方々へ感謝致します。

引用文献

- 板東道子・中川光弘(2008) 始良カルデラ形成時のマグマ供給系の構造と噴火プロセス. 日本地球惑星科学連合大会予稿集(CD-ROM), V231-003.
- Bégué, F., Deering, C. D., Gvavley, D. M., Kennedy, B. M., Chambefort, I., Gualda, G. A. R. and Bachmann, O. (2014) Extraction, storage and eruption of multiple isolated magma batches in the paired Mamaku and Ohakuri eruption, Taupo volcanic zone, New Zealand. *J. Petrol.*, **55**, 1653-1684.
- 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, 第7編, 北海道防災会議, 42 pp.
- 目次英哉(1987) 御鉢平カルデラの火山活動史. 層雲峡博物館研究報告, **7**, 1-8.
- Riehle, J. M. (1973) Calculated compaction profiles of rhyolitic ash-flow tuffs. *Geol. Soc. Ame. Bull.*, **84**, 2193-2216.
- 佐藤鋭一・和田恵治(2010) 大雪火山噴出物の露頭紹介1—大函の御鉢平カルデラ噴出物—. 北海道教育大学大雪山自然教育研究施設研究報告, **44**, 1-5.
- 佐藤鋭一・和田恵治(2011) 大雪火山噴出物の露頭紹介2—天人峡の御鉢平カルデラ噴出物—御鉢平カルデラから流出した2種類の火砕流の流出順序. 北海道教育大学大雪山自然教育研究施設研究報告, **45**, 1-8.
- 佐藤鋭一・和田恵治(2012) 大雪火山群, 御鉢平カルデラ形成期における珪長質マグマ溜まりの進化過程. *火山*, **57**, 177-197.
- 佐藤鋭一・和田恵治・中川光弘(2005) 大雪火山, 御鉢平カルデラおよび旭岳の岩石記載と岩石の化学組成. 北海道教育大学大雪山自然教育研究施設研究報告, **39**, 1-16.
- 若佐寛子・中川光弘・斉藤 聡(2006) 大雪火山, 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.
- 安田裕紀(2014) 残留磁化から推定した大雪山御鉢平カルデラ形成期の火砕流噴火の推移. 神戸大学修士学位論文. 28 pp.
- 安田裕紀・佐藤鋭一・和田恵治・鈴木桂子(2012) 古地磁気測定により推定される2種類の御鉢平火砕流の休止期間と噴出順序. 日本火山学会2012年度秋季大会講演予稿集, p55.

(編集担当 長谷川健)