

北海道駒ヶ岳 1942 年噴火はマグマ水蒸気噴火だった

高橋 良*・中川光弘*・中西 清**・吉本充宏***

(2003年12月10日受付, 2004年4月10日受理)

The 1942 Eruption of Hokkaido-Komagatake Volcano Was Phreatomagmatic

Ryo TAKAHASHI*, Mitsuhiro NAKAGAWA*, Kiyoshi NAKANISHI** and Mitsuhiro YOSHIMOTO***

During the 20th century, two major eruptions of Hokkaido-Komagatake volcano occurred in 1929 and 1942. The 1929 eruption was one of the largest magmatic eruptions in Japan in the last 100 years, and has been investigated in detail. On the other hand, no systematic volcanological research has ever been done on the 1942 eruption. Since it has not been clarified whether the 1942 eruption was magmatic or phreatic, we decided to investigate the sequence and eruption mode of this event. At the summit, the 1942 eruptives overlie the 1929 pyroclastic fall deposits and are covered by ash-fall deposits of recent phreatic eruptions. Based on the photographs, documentary descriptions and sequence of the eruptive deposits, we were able to divide the eruption into three phases. Phase-1: Start of the eruption on November 16 at 8:00 (JST) that formed NW-SE trending fissure 1.6 km in length. This was followed by eruptions at the main crater (1929 crater) that produced the pyroclastic surges (~8:10). Phase-2: Eruption column had grown up from 8:18-8:20 and ash-fall started to spread towards the southeast portion of the 1929 crater. Phase-3: Decrease of the eruption activity at 8:40 and continuous ash emission until the evening.

We newly found fresh pumice and its fragments in the deposits associated with the Phase-1 event. This fresh pumice exhibits no alteration features and has similar petrological features to other historic pumice since 1640. This fresh pumice, however, could be distinguished from other historic pumice by the most silicic nature of its matrix glasses. Therefore, we concluded that the pumice was derived from the juvenile magma that caused the 1942 eruption. Considering the temporal evolution of the component of the eruptive materials, the 1942 eruption began with a phreatomagmatic eruption (Phase-1) followed by phreatic eruptions (Phase-2 and -3).

Before the two major eruptions in 1929 and 1942, small eruptions occurred intermittently from 1919-1924 and 1934-1938, respectively. Based on these observations, the preceding eruptions could be possible precursor activities of subsequent magmatic eruptions. Since 1996, small phreatic eruptions have intermittently occurred in Hokkaido-Komagatake until 2000. The present state of the volcano, as we would like to emphasize, has been quite similar to the conditions prior to the two previous magmatic eruptions.

Key words: Hokkaido-Komagatake volcano, phreatomagmatic eruption, juvenile ejecta

1. はじめに

北海道駒ヶ岳 (以下、駒ヶ岳と呼ぶ) は西南北海道に位置する成層火山で、1640年以降4回のプリニー式噴火を起こしており、日本で最も活動的な火山の1つである (Fig. 1)。駒ヶ岳では1996年から2000年まで小規模な

水蒸気噴火が頻発しており、近い将来の噴火の可能性が指摘されている (宇井・他, 1997a; 中川・他, 2001)。その議論の根拠のひとつとして20世紀における、駒ヶ岳の2回の本格的噴火の事例がある。1929年には総噴出量約0.52 km³の、火砕流をともなう大規模なプリニー式噴

* 〒060-0810 札幌市北区北10条西8丁目
北海道大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻
Department of Earth and Planetary Sciences,
Graduate School of Science, Hokkaido University, N
10W8 Kita-ku, Sapporo 060-0810, Japan.

** 〒049-2393 北海道茅部郡森町字御幸町144-1
森町役場
Mori Town Office, 144-1 Miyuki, Mori, Kayabe,

Hokkaido 049-2393, Japan.

*** 〒113-0032 東京都文京区弥生1-1-1
東京大学地震研究所
Earthquake Research Institute, University of Tokyo,
1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0032, Japan.
Corresponding author: Ryo Takahashi
e-mail: takaryo@ep.sci.hokudai.ac.jp

火が発生した。その13年後の1942年に、17世紀以降の噴火の中では中規模の噴火があった(石川・橋本, 1943)。いずれの噴火でも噴火前に小噴火が頻発した時期が、1919~1924年と1934~1938年であった。そしてこれらの小噴火が本格的噴火の前駆活動であると考えると、1996~2000年の活動から、その後に本格的噴火に至る可能性は否定できない。

1929年の噴火については噴火直後の研究だけではなく、火砕流に関する研究(勝井・他, 1989)や、マグマ系に関して(Takeuchi and Nakamura, 2001)すぐれた研究が行なわれている。ところが1942年噴火に関しては、噴火当初から明瞭なマグマ物質の放出は確認されず(石川・橋本, 1943)、水蒸気噴火の可能性が高いとされている。その後に堆積物の層序や構成物の岩石学的研究を行った例はなく、わずかに噴火に伴う地形の変化が報告されているのみである(Katsui and Komuro, 1984; 勝井・他, 1989)。そのため1929年と1942年の噴火前の小噴火が散発した時期を、マグマ噴火の前兆現象として同列に解釈できるかどうかは疑問であった。

噴火がマグマ噴火であったかどうかは、その噴火活動の特徴を理解するための基本的な情報である。駒ヶ岳においても、かなりの規模の噴火であるにもかかわらず研究が不十分な1942年噴火を火山学的に再検討し、特にマグマの関与の有無について明らかにする必要がある。その結果は1942年噴火の理解だけにとどまらず、駒ヶ岳のマグマ噴火の前兆現象の特徴を理解する上で重要である。そのことによって最近小噴火が頻発している駒ヶ岳において、これらの噴火活動が理解でき、今後の噴火予測を行う、あるいは観測体制を構築する上での指針と

なると考えられる。我々は駒ヶ岳の1942年噴火を古記録及び火山地質学的に再検討し、噴火推移と堆積物の対比を行い、それらの堆積物の岩石学的検討を行った。そして1942年噴出物からマグマ物質を検出し、その噴火がマグマ水蒸気噴火であったことが明らかになったのでその結果を報告し、その意義について議論する。

2. 北海道駒ヶ岳の噴火史

駒ヶ岳は32,000年以上前に活動を開始してから、有史以前に少なくとも5回の活動期が認められ、それぞれでプリニー式噴火が発生している。そして約5,500年前の活動期から約5,000年の休止期間において、駒ヶ岳は17世紀に活動を再開し(歴史時代噴火)、現在までに1640年, 1694年, 1856年, および1929年と、4回の火砕流をとまなう大規模なプリニー式噴火を繰り返している(勝井・他, 1975; 1989; 古川・他, 1997; 吉本・宇井, 1998)。さらに19世紀後半からは数多くの小規模な水蒸気噴火の記録が残っている(勝井・他, 1975)。

1929年噴火は20世紀では国内最大規模の噴火である。この大規模噴火の前には、1919年から1924年まで小規模な水蒸気噴火を繰り返す期間があった。1929年噴火の堆積物は降下軽石堆積物、火砕流堆積物、および火砕サージ堆積物からなり、総噴出量は約0.52 km³である(勝井・他, 1989)。

そして1934年から1938年までほぼ毎年小規模な水蒸気噴火を繰り返す時期を挟んで、1929年の大規模噴火から13年後の1942年に、駒ヶ岳は中規模噴火を起こした。この噴火は歴史時代の4回のプリニー式噴火よりは規模が小さいが、総噴出量は3×10⁶ tと見積もられ、1996年以降の水蒸気噴火と比較すると噴出重量で1桁以上規模が大きい(宇井・他, 1997b; 中川・他, 2001)。

その後は50年以上静穏な状態が続いたが、最近では1996年(宇井・他, 1997a)、1998年、2000年と水蒸気噴火が頻発している。特に2000年には6回の小噴火を起こしており、火山灰の付着水溶性成分のCl/S比から、マグマまたはそれに由来する高温の火山ガスの影響が大きくなっていることが示された(中川・他, 2001)。

3. 1942年噴火の推移

1942年の噴火の推移は石川・橋本(1943)および森観測所(1944)によって報告された。さらに近年、駒ヶ岳周辺地域住民から記録や画像の収集を行ってきた。それらをもとに噴火の推移をTable 1にまとめた。

1942年噴火の直前の前兆現象としては、噴火の4日前の11月12日に山麓および山頂で“ドーンドーン”という音が認められている。その音の方向は砂原岳の中腹の

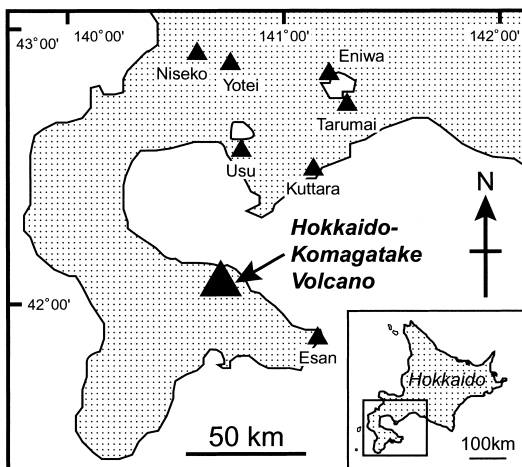


Fig. 1. Location of Hokkaido-Komagatake volcano. Active volcanoes are also shown.

方向だった。これ以外の地震活動や噴煙の異常等は認められていない。

噴火活動は 11 月 16 日午前 8 時頃に鳴動とともに開始した。8 時 10 分頃には噴煙がのぼり始め、噴煙の上昇と同時に南方、東南方、および東南東方の 3 方向に火砕サージが発生した (Fig. 2 a)。このとき西山麓以外の広い地域で鳴動が確認されている。8 時 18~20 分にはやや強い爆発地震を伴って、噴煙が高く上昇し 8,000 m にまで達した。噴煙の上昇の際に、南山麓からは“ドーン”という音とともに、山頂に 2 本の火柱が目撃されている。このとき噴石の放出が北山麓の砂原でも確認でき、噴石は火口上 100 m 以上に達したと考えられる。8 時 20~23 分頃、南および南東山麓で強い空振が感じられた。またこのとき雷光と雷鳴も確認されている。噴煙は上昇後に東南東方向にたなびき (Fig. 2 b)、約 5 分後には東南東山麓地域に最大径約 6 cm の火山礫や火山砂を降下させた (Fig. 2 c)。噴出物は火山礫、火山砂、火山灰の順番で山麓地域に降下した。火口から東南東方向に約 12 km 離れた鹿部では、降灰と同時に周囲が暗闇に包まれ、それは約 10 分間続いた。8 時 40 分頃に黒煙は白煙に変わり、8 時 50 分頃には噴煙高度は 500~1,000 m 程度になった。主軸にあたる東南東山麓の鹿部では、降灰は夕方まで続き、堆積物の厚さが 2 cm 以上に達した (Fig. 3)。またこの噴火では、高く上昇し山麓地域に降灰をもたらした噴煙や、火砕サージのほかに、「低迷噴煙」が南山麓から確認されている (石川・橋本, 1943)。この噴煙は噴火開始とともに剣ヶ峯を包み込んだ黒煙で、高く上昇したり山腹を流下したりすることはなかった。この噴火によって山頂火口原に北西-南東方向に約 1.6 km

におよぶ割れ目火口が形成された (Katsui and Komuro, 1984)。またこの噴火の 2 日後の 11 月 18 日も小規模な噴火を起こしている。噴火後の火山泥流は、主に 1929 年火口の東側で発生した。

これらの噴火活動はその特徴から 3 つの噴火期 (Phase) に区分することが可能である。それは火砕サージが発生した噴火の初期 (Phase-1)、噴煙が高く上昇した最盛期 (Phase-2)、白煙に変わり噴煙高度も低くなってから噴火の終わりまでの末期 (Phase-3) である。

4. 1942 年噴出物の層序と記載

1942 年噴出物は新雪上に堆積し、その後の融雪や噴火から数日後の降雨による泥流によって、堆積物の多くは流出し再堆積している。しかし山頂火口原の比較的平坦な地域では、二次的に移動していない初生的な噴火堆積物が残存している。我々は山頂火口原の 1929 年火口や 1942 年亀裂の壁、または火口原で穴を掘ることによって 1942 年噴出物を確認した (Figs. 4, 5)。山腹地域は斜面であるために初生的な 1942 年噴出物を確認することはできなかった。

山頂火口原には 1929 年噴火の降下軽石が 100 m 以上の厚さで堆積している (勝井・他, 1975)。この降下軽石堆積物の最上部には 1929 年噴火の最末期の噴出物と考えられる細粒な赤褐色の火山灰層が 2~4 cm の厚さで認められた。1942 年噴出物はこの火山灰層を直接覆っている。1934 年から 1938 年の活動のうち 1937 年の小噴火に関しては中村・他 (1939) によって降灰方向などが簡単に報告されているが、今回の調査ではそれに対応する降下火山灰を確認することはできなかった。この期間のそ

Table 1. Sequence of the 1942 eruption of Hokkaido-Komagatake volcano.

Date	Time	Remarks	Phase
Nov. 12		Rumblings were observed at the summit and the foot.	
Nov. 16	8:00	Eruptive activity started with rumbling.	Phase-1
	8:10	Eruption cloud ascended. Pyroclastic surges occurred (Fig. 2a).	
	8:18~20	Eruption cloud ascended as high as 8,000m.	Phase-2
		Two pillars of fire were observed above the crater.	
	8:20~23	Eruption cloud trailed toward east-southeast (Fig. 2b).	Phase-2
		Strong air-shocks were felt at southern to southeastern foot.	
	8:40	Lightning and peal of thunder were observed.	Phase-3
8:50	The color of eruption cloud changed from dark to white.		
Nov. 18		Altitude of eruption cloud was 500~1,000m.	Phase-3
		Ash-fall had continued until the evening at Shikabe town (about 12km east-southeast from the vent).	
	10:51	Small phreatic eruption occurred.	
	10:57	Ash fell toward northwestern.	

after Ishikawa and Hashimoto (1943) and Mori Meteorological Observatory (1944)

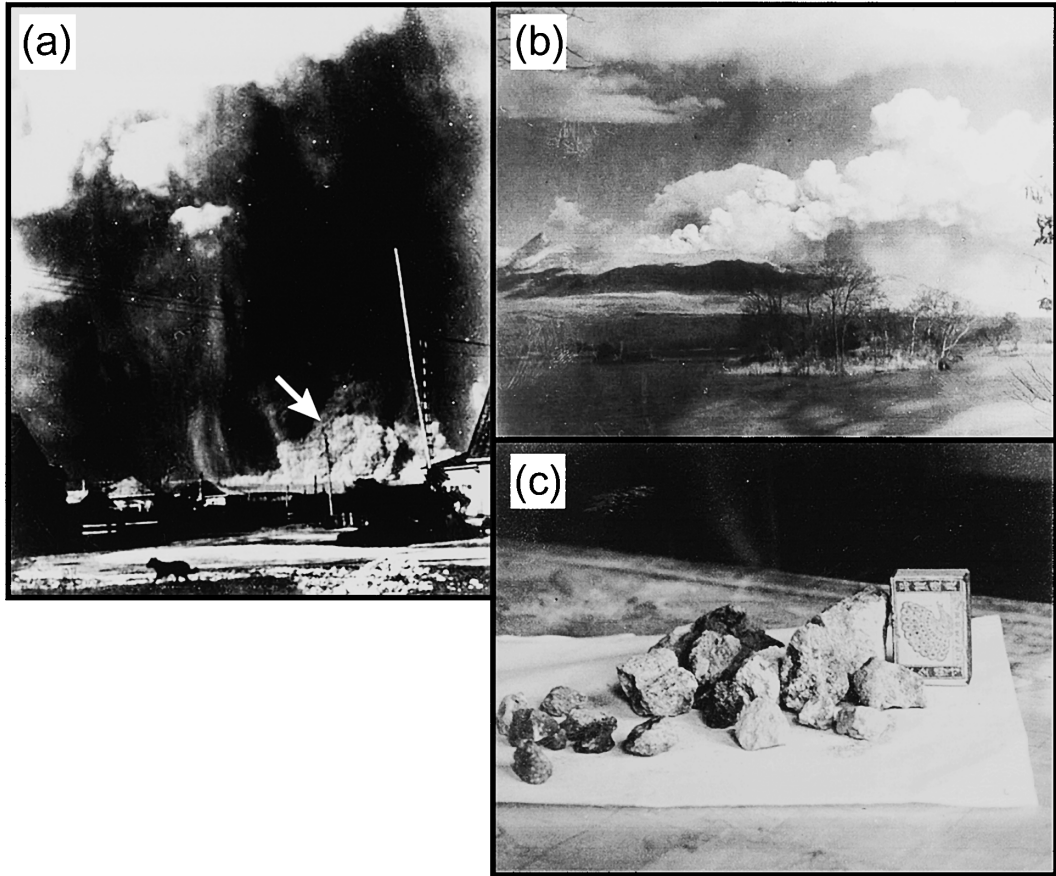


Fig. 2. Photographs of the 1942 Hokkaido-Komagatake eruption (Mori Meteorological Observatory, 1944). (a) Eruption cloud of about 5 minutes after beginning of eruption from Shikabe town (about 12 km east-southeast from the vent). The arrow indicates pyroclastic surge. (b) Eruption cloud at 10 : 20 from Onuma (about 8 km south from the vent). (c) Eruptives of the 1942 eruption at Shikabe town.

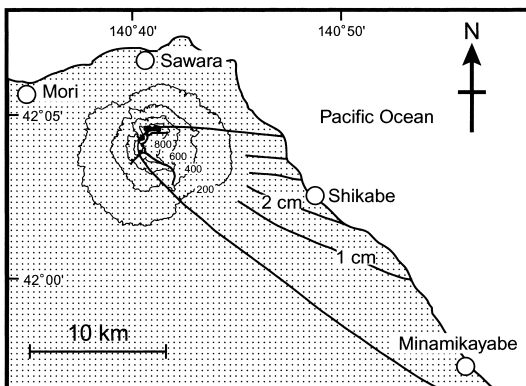


Fig. 3. Isopach map of the 1942 volcanic ash (Mori Meteorological Observatory, 1944). Contour lines are 200 m intervals.

他の活動は1937年よりも小規模であったため、噴出物は残っていないと考えられる。1942年噴出物の上位には1996年以降の水蒸気噴火による細粒な火山灰が堆積している。確認できた1942年噴火の堆積物は、最大層厚が57 cmである。その堆積物は色調、淘汰、粒径および層厚変化から、I, II, IIIの3つのユニットに区分できる (Fig. 6)。Fig. 4には各地点における各ユニットの最大層厚を示している。以下に各ユニットの特徴を、 -4ϕ よりも細粒な噴出物について1 ϕ ごとに粒度分析を行った結果と共に述べる (Fig. 7)。

最下部のユニットIは粒径8 mm以下と小さく、1~2 ϕ にピークを持つ比較的淘汰のよい暗褐色の火砕物からなる。この堆積物は1929年火口の南方から東方にかけて広く分布しているが、層厚は5 cm前後と薄く、系統的な層厚の変化は見られない (Fig. 4)。またどの調査地点で

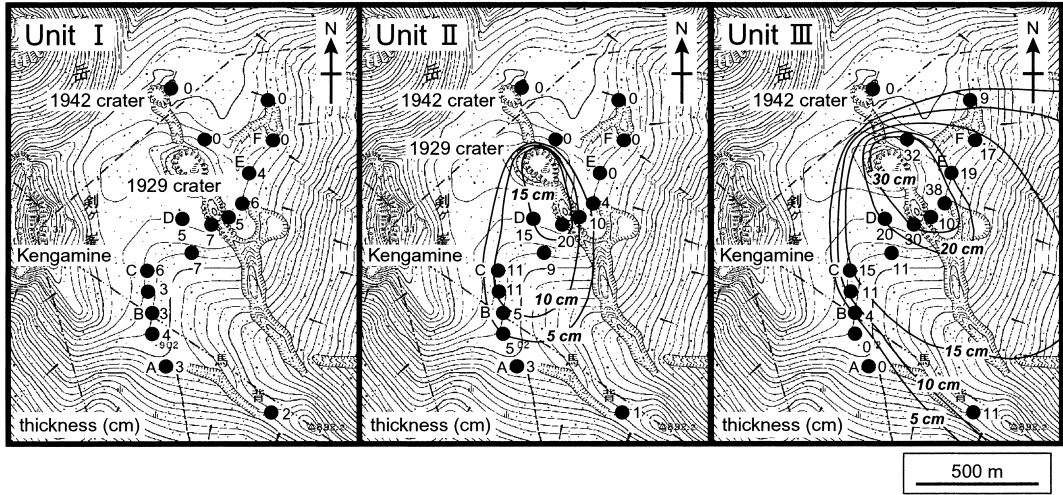


Fig. 4. Maps showing thickness of each unit in centimeters at each locality. Symbols A to F indicate the localities of stratigraphic columns in Fig. 5. Contour lines are 10 m intervals.

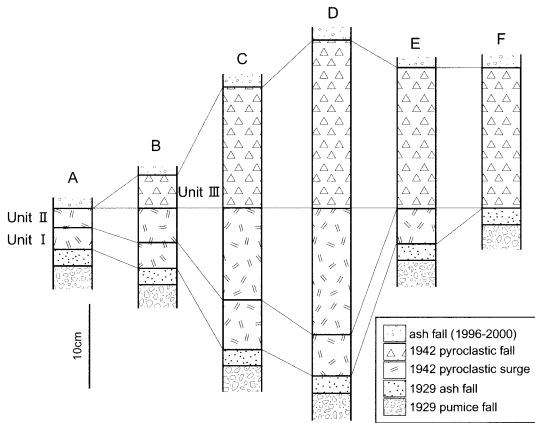


Fig. 5. Correlative stratigraphic columns for representative sections. Locations of each section are shown in Fig. 4.

も層厚が一定しなく、数 cm の幅で層厚変化が見られる。中間部のユニット II は粒径分布に顕著なピークは見られず、淘汰の悪い黄褐色の火砕物からなる。この堆積物は 1929 年火口の東方では認められず、南方でのみ確認できる。層厚はユニット I と比較して厚く、1929 年火口に近づくほど層厚が増加する傾向が見られ、最大 20 cm である (Fig. 4)。またユニット I と同様に同一地点で層厚が一定しない特徴を持つ。ユニット II にはまれに 10 cm 程度の火山弾が含まれる場合がある。この火山弾は火砕物の集合体で、ユニット II にも見られるが、ユ

ニット II とは岩相が異なる。上部のユニット III はユニット II と同様に粒径分布に顕著なピークは見られず、淘汰の悪い赤褐色の火砕物からなる。しかしユニット I や II のような同一地点での層厚変化は認められない。この堆積物は山頂火口原の広い範囲で確認できるが、1929 年火口から南東方向に分布軸を持つ (Fig. 4)。またその層厚は最大 38 cm で、1929 年火口に近づくほど厚くなる傾向がある。

5. サンプル処理および分析手法

1942 年噴火の噴出物について以下のような処理・分析を行った。まず噴出物を 1φ ごとに篩い分けし、肉眼および実体顕微鏡で岩種を識別した。ラピリサイズの噴出物は樹脂に埋め込んで薄片を製作した。火山灰は水簸を行った後、サイズごとに樹脂に埋め込んで薄片を製作した。これらを偏光顕微鏡で観察し、岩種構成を検討した。岩種構成を明らかにした後、それぞれの大きさごとに噴出物の構成物量比の測定を行った。主成分全岩化学組成は北海道大学理学部の PW-1404 型 XRF で、1:2 に希釈したガラスビードを用いて測定した。ガラス組成および斑晶鉱物組成は、北海道大学理学部の JEOL8800 波長分散型 EPMA で ZAF 補正を適用して測定した。

歴史時代噴出物に関しては、各噴火の降下火砕堆積物および火砕流堆積物中の白色軽石について 1942 年噴出物と同様の手法で主成分全岩化学組成、ガラス組成および斑晶鉱物組成の測定を行った。

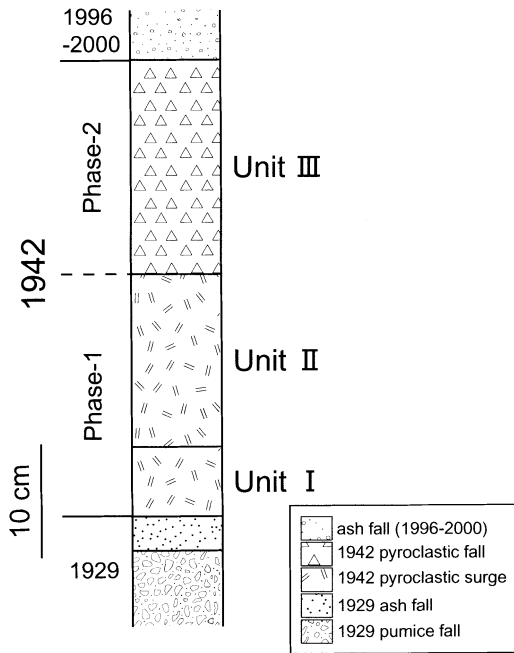


Fig. 6. Generalized columnar section of the 1942 tephra.

6. 噴出物のタイプと時間変化

6-1 噴出物のタイプ

ラピリサイズ以上の噴出物は軽石（タイプ A, タイプ B）、安山岩質溶岩、溶結凝灰岩および強変質岩から構成され、それと細粒の火山灰からなる。以下に各噴出物の特徴を述べる。

6-1-1 ラピリサイズの噴出物

(a) タイプ A 軽石

タイプ A 軽石は黄褐色または赤褐色を呈し、角は丸く円磨されている場合が多い。斑晶鉱物組み合わせは斜長石、斜方輝石、単斜輝石、Fe-Ti 酸化物で、斑晶量は 34~40 vol.% である。気泡部分は多量の粘土鉱物で埋められており、石基ガラスにも粘土鉱物の成長が認められる。わずかに縞状軽石も認められる。

(b) タイプ B 軽石

タイプ B 軽石は白色または灰色を呈し、ほとんど円磨されておらず鋭利な破断面で囲まれる。わずかに縞状軽石も含まれる。斑晶鉱物は斜長石、斜方輝石、単斜輝石、Fe-Ti 酸化物とタイプ A 軽石と同じで、斑晶量も同様に多い。石基ガラスは無色透明で良く発泡しており、気泡およびガラスに粘土鉱物の成長は認められない。

(c) 安山岩質溶岩

安山岩質溶岩は斑状で暗灰色を呈し、斑晶は斜長石、

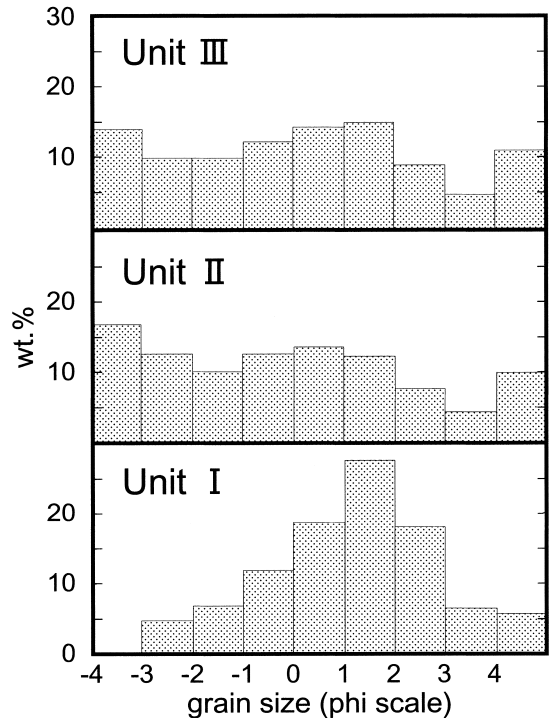


Fig. 7. Grain size distribution at representative section of the 1942 ejecta.

斜方輝石、単斜輝石、および Fe-Ti 酸化物からなる。石基組織から大きく 2 つの種類に分けることができる。1 つは石基の結晶度が良く短冊状の斜長石と粒状の輝石からなる intersertal 組織を示すもの、もう 1 つはやや石基の結晶度が悪く hyalo-ophitic 組織を示すものである。一般に変質の程度は低く新鮮な場合が多いが、わずかにシリカ鉱物が晶出している岩片も認められる。円磨された外形を示す場合が多い。

(d) 溶結凝灰岩

溶結凝灰岩は斑晶量が非常に多く、様々な程度に変質している。岩片の角は丸く円磨されている場合が多い。斑晶鉱物は斜長石、斜方輝石、単斜輝石、Fe-Ti 酸化物であり、石基は一般に不均質で eutaxitic 組織を示す。

(e) 強変質岩

源岩の斑晶鉱物組み合わせや組織が判定不可能な程度に強変質した岩石で、主としてシリカ鉱物からなる。

6-1-2 火山灰

火山灰中には上述の噴出物のほかに、それらが細かく破碎されたと考えられるガラス片（タイプ A, タイプ B）と鉱物片が確認された。

(a) タイプ A ガラス片

タイプ A 軽石と同様に気泡は多量の粘土鉱物で埋められており、石基ガラスにも粘土鉱物が成長している。

(b) タイプ B ガラス片

タイプ B 軽石と同様に気泡部分に粘土鉱物の成長は認められず、石基ガラスは無色透明でよく発泡している。

(c) 鉱物片

鉱物片としては駒ヶ岳の噴出物に普通に見られる斜長石、斜方輝石、単斜輝石、および Fe-Ti 酸化物が認められる。

6-2 構成物の起源

噴出物の構成物のうち岩片はその多くが、様々な程度に変質を受けており、異質岩片と考えられる。1942 年噴火前の山頂周辺の表層部はほとんどが溶結凝灰岩から構成されており（勝井・他、1989）、岩片の大半を占める溶結凝灰岩は駒ヶ岳山体を構成していた岩片と考えられる。また駒ヶ岳は軽石噴火だけではなく溶岩も流出させており、安山岩質溶岩片も駒ヶ岳山体からもたらされた可能性が高い。ただこれまでに確認されている安山岩片は石基がガラスに富む特徴があり、石基が intersertal 組織を示し、比較的結晶度の良好な安山岩片は駒ヶ岳山体の下位の基盤岩に由来する可能性もある。強変質岩は火道周辺の岩石に由来すると考えられる。

駒ヶ岳の歴史時代のマグマ物質はいずれも軽石として放出されており、今回認められた軽石片はマグマ物質の可能性が高い。特に変質の影響が認められないタイプ B 軽石はその可能性が高い。しかし軽石は過去の噴火でも放出されており、堆積した過去の軽石が二次的に再放出された可能性も否定できない。軽石がマグマ物質であるかどうかについては、岩石学的にさらに検討する必要がある。

6-3 構成物量比の時間変化

各ユニットには軽石の他に溶結凝灰岩が多く含まれ、それ以外の岩片は 10 wt.% 程度である。代表的な値として Table 2 に -3~-2φ の噴出物の構成物量比を示す。

Table 2. Temporal variations in component of the 1942 ejecta.

	-3~-2φ (wt.%)	Unit-I	Unit-II	Unit-III
Pumice(Type-A)		1.4	60.8	29.3
(Type-B)		0	20.6	0
Andesitic lava	8.5	0.9	6.5	
Welded tuff	86.9	17.2	59.5	
Altered rock	3.2	0.5	4.7	
Total	100	100	100	

ユニット I は岩片が 95 wt.% 以上を占め、中でも溶結凝灰岩が 85 wt.% 以上である。軽石ではタイプ A 軽石がわずかに含まれるが、タイプ B 軽石は認められなかった。細粒の火山灰では結晶片と岩片が主体である。ユニット II は軽石が 80 wt.% 以上を占め、タイプ A 軽石は 60 wt.% 以上でタイプ B 軽石も 20 wt.% 程度含まれる。このユニットに含まれる火山弾はタイプ B 軽石から成る。細粒部分は結晶片に加え、タイプ A ガラス片が多く、それに加えタイプ B ガラス片も認められる。ユニット III では岩片の量比が再び多くなり、軽石は 30 wt.% 以下であり全てタイプ A 軽石からなる。細粒部分では結晶片や岩片が多く、その他にタイプ A ガラス片も認められるが、タイプ B ガラス片は認められない。

7. 軽石の岩石学的特徴

7-1 軽石の岩石記載

1942 年噴出物について軽石の色に注目すると、タイプ A、B ともに白色軽石が主体で、その他にやや灰色を呈するものや縞状軽石も認められる。軽石は斑晶鉱物として多い順に斜長石、斜方輝石、単斜輝石、および Fe-Ti 酸化物を含んでいる。最も多く含まれる白色軽石の場合、その斑晶量はタイプ A および B とも 34~40 vol.% である。白色軽石の石基はガラス質で、マイクロライトは認められない。一方灰色軽石や、縞状軽石の灰色部分の石基には針状の斜長石マイクロライトがみられる。

7-2 全岩化学組成

歴史時代噴火の白色軽石の全岩 SiO₂ は 59.8~62.4 wt.% で、各噴火で明瞭な組成の違いは認められない (Table 3)。1942 年噴火のタイプ B 軽石は組成範囲がやや狭く、SiO₂=60.8~61.3 wt.% である。これらの白色軽石は歴史時代噴火の白色軽石と同じ組成を示す (Fig. 8)。

Table 3. Representative whole rock chemical compositions of white pumice of the 1942 and historic eruptions. Total Fe as Fe₂O₃.

Year Sample No.	1640 fa5-5	1694 1-1-6	1856 1-20-2	1929 3-6-2	1942 42②-2-1
(wt. %)					
SiO ₂	60.09	60.23	60.07	60.01	61.14
TiO ₂	0.68	0.71	0.71	0.68	0.70
Al ₂ O ₃	16.76	17.02	16.68	16.96	17.34
Fe ₂ O ₃	7.78	7.73	7.82	7.40	7.86
MnO	0.21	0.21	0.21	0.20	0.21
MgO	2.79	2.74	2.85	2.63	2.77
CaO	6.85	6.80	6.86	6.88	6.82
Na ₂ O	3.15	3.13	3.18	3.24	2.91
K ₂ O	0.91	0.90	0.91	0.90	0.91
P ₂ O ₅	0.16	0.17	0.17	0.17	0.18
Total	99.38	99.63	99.47	99.06	100.83

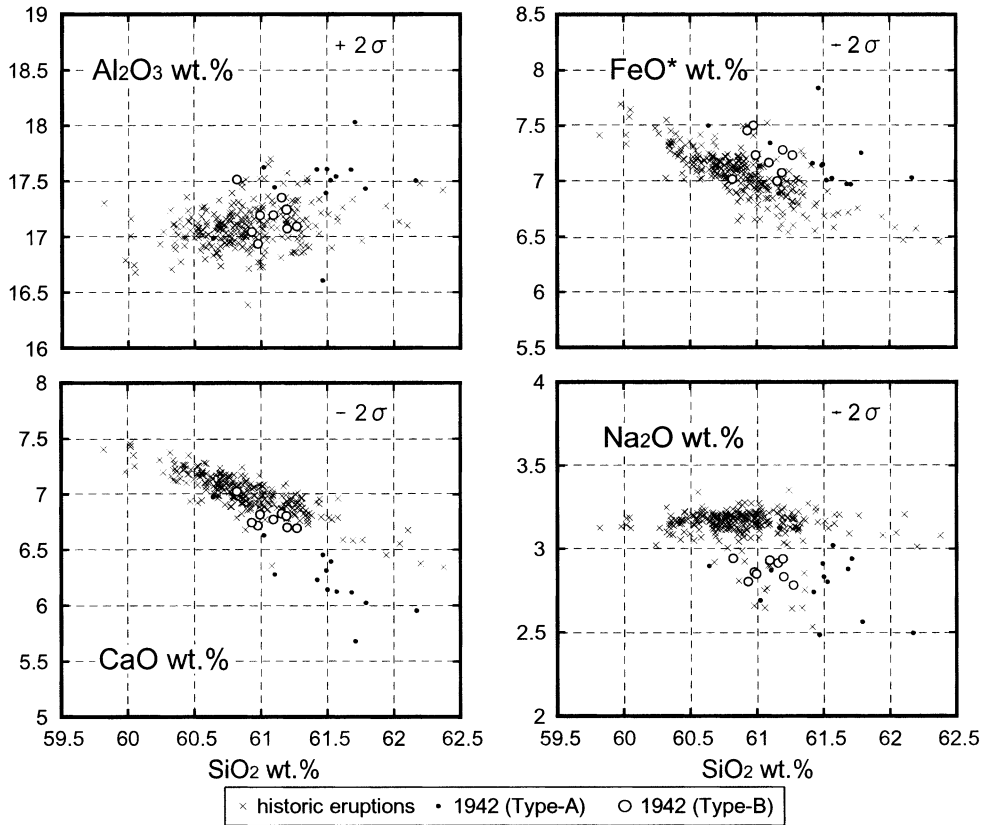


Fig. 8. Harker diagrams for white pumice of the 1942 and historic eruptions.

Table 4. Representative matrix glass chemical compositions of white pumice of the 1942 and historic eruptions.

Year	1640	1694	1856	1929	1942	1942	1942
Unit					II	II	III
Type					Type-B	Type-A	Type-A
Sample No.	fa17-5	1-2-12	1-21-4	4-7-1	42②-2-1	42②-4	42③-r-1
(wt. %)							
SiO ₂	74.61	75.50	75.79	76.25	75.81	77.72	76.31
TiO ₂	0.42	0.44	0.44	0.35	0.44	0.41	0.43
Al ₂ O ₃	12.30	12.00	12.01	12.13	11.67	12.18	11.70
FeO	2.46	2.33	1.94	2.08	2.10	1.76	2.07
MnO	0.10	0.02	0.09	0.12	0.08	0.11	0.16
CaO	2.44	2.47	2.24	2.25	2.11	0.66	1.92
MgO	0.49	0.50	0.45	0.43	0.39	0.43	0.42
Na ₂ O	3.91	3.81	4.10	3.84	3.85	2.39	2.90
K ₂ O	1.95	2.05	2.06	2.08	2.20	1.96	1.82
P ₂ O ₅	0.13	0.13	0.12	0.14	0.09	0.07	0.08
Cl	0.14	0.16	0.17	0.14	0.11	0.14	0.16
S	0.01	0.02	0.03	0.03	0.01	0.02	0.02
Total	98.92	99.42	99.44	99.84	98.85	97.84	97.98

Na₂O量に注目すると、歴史時代噴出物の中にはやや低いNa₂O量で特徴づけられる軽石が存在し、タイプBの軽石もそれらと同様にNa₂O量がやや低い傾向を示す。一方タイプA軽石は、歴史時代噴火やタイプBの白色

軽石と異なる組成を示し、SiO₂、Al₂O₃、FeO*にやや富み、CaOに乏しいサンプルがみられる。

7-3 ガラス組成

タイプAとタイプBの軽石の違いは石基ガラス組成で明瞭である (Table 4)。歴史時代噴火の白色軽石の石基ガラス組成はSiO₂=75.0~77.0 wt.%で、SiO₂量が増加するとAl₂O₃やFeO*、CaOが乏しくなる組成多様性を示す (Fig. 9)。1942年噴火のタイプA軽石の石基ガラス、およびタイプAガラス片はSiO₂=75.8~80.2 wt.%で、歴史時代噴火の白色軽石の石基ガラス組成と比較してSiO₂やAl₂O₃量が高く、CaOやFeO*量が低い (Fig. 9)。一方、タイプB軽石の石基ガラスおよびタイプBガラス片はSiO₂=75.7~77.3 wt.%で、歴史時代噴火の石基ガラスと同じ組成トレンドを示す。タイプB軽石の石基ガラスは1856年や1929年と比べてややSiO₂に富みAl₂O₃に乏しく、他の歴史時代噴火とは異なる組成領域を示すようである。

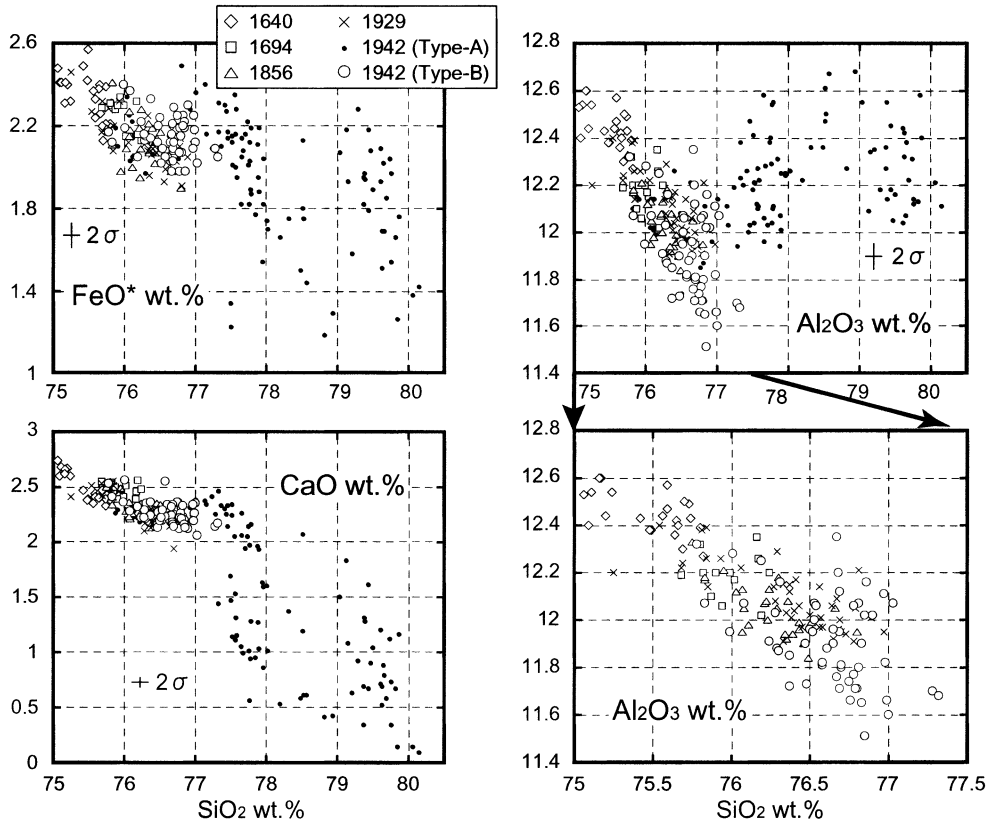


Fig. 9. Harker diagrams of matrix glass chemical compositions of white pumice of the 1942 and historic eruptions.

8. 議 論

8-1 噴火に関与したマグマ物質の認定

高温の溶岩流や火砕物が大量に噴出した場合にはマグマ物質の認定は容易であるが、マグマ物質に加え異質岩片や類質岩片が多量に含まれる場合には、その認定は容易ではない。マグマ物質の認定は一般的にその火山の噴出物であることを示し、かつ変質を受けていない新鮮な特徴を有する噴出物を同定することが必要であると考えられてきた。具体的には新鮮なガラス片、あるいは新鮮なガラスを含む火砕岩片を確認することとなる。しかし雲仙普賢岳の1990~1995年噴火 (Nakada *et al.*, 1995; Watanabe *et al.*, 1999), 有珠山2000年噴火 (東宮・他, 2001; 中川・他, 2002; 東宮・宮城, 2002) や三宅島2000年噴火 (中田・他, 2001; 宇都・他, 2001; 宮城・東宮, 2002) でも議論となったように、必要十分条件を満たすことを示すのは一般には容易ではない。

それらの経緯を踏まえて、本研究では火山噴火におけるマグマ物質の認定は、次のような条件を満たすことを

必要十分条件とすることを提案したい。

- 1) 対象火山の噴出物であること。
- 2) 変質を受けておらず新鮮な特徴を有すること。
- 3) 対象火山の該当する活動期噴出物の共通の岩石学的特徴を有するが、対象噴火以前の該当する活動期噴出物とは岩石学的に区別できること。

1) および2) についてはこれまでも、マグマ物質の認定条件として広く認められてきたものである。特に2) については噴出物の野外での肉眼観察や鏡下での観察で判断できるために、最も迅速に行える判断基準である。しかし2) と同時に1) であることを厳密に示すためには岩石学的な検討が必要となる。例えば2000年有珠山噴火では、最初の3月31日噴火の火山灰には、見かけでは新鮮な透明ガラスがかなりの量が含まれていた。これらのガラスは噴火に関与したマグマ物質の可能性もあったが、ガラス組成を検討したところ、有珠火山の基盤の火砕流 (洞爺火砕流) 中の軽石のガラスであることが確かめられ、異質ガラス片であることが明らかになった (東

宮・他, 2001; 中川・他, 2002).

1) および 2) を満たした場合でも, 特にマグマ物質の可能性のある噴出物の放出量が少ない場合, 噴火の際に該当火山の以前の噴出物が放出された可能性は否定できない. その場合には岩石学的な検討を行って, 上記の 3) を検討する必要がある. この条件は火山体全体あるいは特定の噴火活動期に対する, 近年の詳細な岩石学的検討結果に基づいている. 火山毎にその噴出物には, 固有の岩石学的特徴を有することは指摘されてきた (例えば, Sakuyama, 1983). また数万から数十万年にわたる火山の活動を通じて, いくつかの活動期に区分でき, 活動するマグマは活動期毎で共通の特徴を有し, 他の活動期とは識別できることも, 詳細な研究によって多数の火山で明らかになった (例えば, 石塚・中川, 1999).

活動期毎に噴出物に固有の岩石学的性質を有するということは, その活動期のマグマ供給系が大きく変化することなくある期間維持され, そこからマグマが噴出しているということを示している. ただし共通の岩石学的性質を有しているとは言え, マグマ供給系は一般には物質的にも熱的にも開放系であり, マグマの供給, 地殻物質の混成作用, そして温度低下に伴う結晶分化によって, その岩石学的性質は変化しているはずである. したがって同じ活動期であっても, 異なる噴火では噴出物の岩石学的性質には差異が認められるのが自然であると考えられる. したがって上記の 3) にあげたように, 同じ活動期内でも噴火毎に噴出物の岩石学的性質が区別できることが一般的であると考えられる. このことは近年の噴火を対象とした研究で実証されている. 実際の研究例としては Ruapehu 火山の 1995 年 9~10 月の噴火では噴火した日毎で岩石学的特徴が異なっていることが指摘され (Nakagawa *et al.*, 1999), 20 年間にわたり断続的に噴火している中米の Arenal 火山でも噴出物の岩石学的性質が変化している (Reagan *et al.*, 1987; Streck *et al.*, 2002). 有珠山 2000 年噴火ではマグマ物質の全岩化学組成は, ひとつ前の 1977 年噴出物と酷似するものの, いくつかの元素で区別できた (中川・他, 2002). また三宅島 2000 年噴火では海底で噴火したマグマと山頂から噴火したマグマではその岩石学的性質が異なり, そのため山頂噴火がマグマ噴火であるかを確定するために議論が続いた (中田・他, 2001; 宇都・他, 2001; 宮城・東宮, 2002). しかし, 2000 年噴火前までの約 500 年間のマグマ供給系の変遷 (Ammu-Miyasaka and Nakagawa, 2003) をもとに, 2000 年噴火では過去 500 年間存在した, マグマ供給系からのマグマが海底と山頂から噴火したことが示された (Ammu-Miyasaka *et al.*, 投稿中).

これらの研究例でわかるように, マグマ物質とともに

大量の類質岩片が放出された場合に, 対象噴火のマグマ物質を 3) の条件を満たすかを検討して特定するには, それ以前の噴火をできるだけ過去に遡って岩石学的検討を加え, マグマの特徴とその変遷をとらえておく必要がある.

8-2 1942 年噴火のマグマ物質

上記 1) から 3) を満たすことを判断基準として, 駒ヶ岳の 1942 年噴出物から噴火に関与したマグマの特定を行う. 前述したように, マグマ物質の可能性があるのは軽石およびガラス片である. タイプ A, タイプ B どちらも, 斑晶鉱物組み合わせや, 斑晶量, 石基組織などの特徴は過去の噴火と同じである. タイプ A の軽石およびガラス片は気泡に多量の粘土鉱物の成長が認められ, 変質を受けた特徴を持つ. またそのガラス組成は過去の噴出物と比較して SiO_2 や Al_2O_3 に富み, FeO^* に乏しい (Fig. 9). 火山ガスなどの影響により岩石が強酸性または弱酸性の環境下で変質を受けると, その全岩化学組成やガラス組成は FeO^* 量が減少し, SiO_2 と Al_2O_3 の両方, またはどちらか一方に富むようになる (小坂, 1968; 小坂・平林, 1981; 小坂, 2003). このことからタイプ A 軽石およびガラス片は, 火山ガスなどによって変質した過去の噴出物の再堆積であると考えられる.

一方タイプ B の軽石およびガラス片は新鮮な特徴を持つ. ガラス組成や全岩化学組成は変質した組成を示さず, 過去の噴出物の組成と一連のトレンドを形成する (Figs. 8, 9). また斑晶鉱物コア組成は組成領域と平均組成で見ても, 歴史時代を通してほぼ同じ値を示し, タイプ B 軽石でも違いは見られない (Fig. 10). 以上のことから, タイプ B の軽石およびガラス片は異質岩片ではないと判断できる. さらにガラス組成は SiO_2 や K_2O に富み, Al_2O_3 に乏しく, 他の歴史時代噴火とは異なる組成領域を示す (Figs. 9, 11). このことからタイプ B 軽石およびガラス片は, 類質岩片ではないといえる. よってタイプ B 軽石および同質のガラス片は, 上記の 1) から 3) の条件を全て満たし, 1942 年噴火のマグマ物質であると結論できる.

8-3 1942 年噴火の推移

ここでは噴火の記録と堆積物の両者をもとに, 1942 年噴火の推移を復元する. 1942 年噴火では 1929 年火口から噴火するとともに, 北西-南東方向の約 1.6km の割れ目火口も形成されている (Katsui and Komuro, 1984). まず割れ目火口形成の時期を考察する. 各ユニットの層厚変化によると, ユニット II と III は 1929 年火口に近づくほど, 層厚が増加する傾向にあり (Fig. 4), これらが 1929 年火口及びその周辺の割れ目火口から噴出したことを示している. 一方ユニット I はどの地点でも層厚に

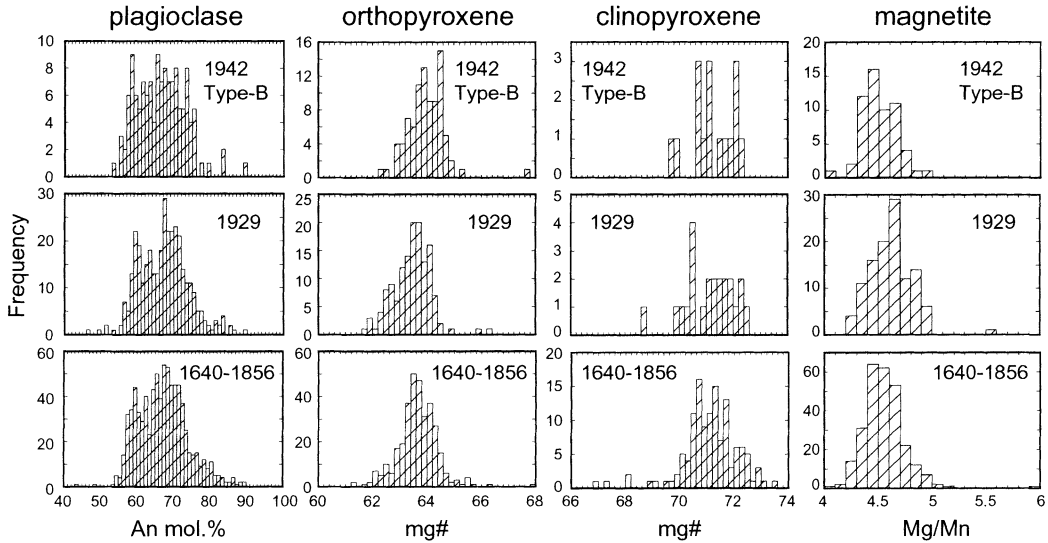


Fig. 10. Histograms of core compositions of phenocrystic minerals in white pumice of historic eruptions and Type-B pumice of the 1942 eruption.

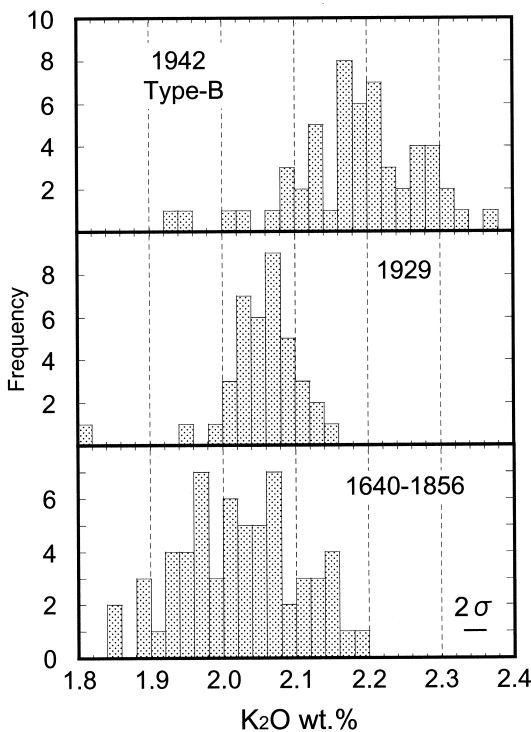


Fig. 11. Histograms for K₂O content of matrix glass of white pumice from historic eruptions and Type-B pumice of the 1942 eruption.

系統的な変化は見られなく、割れ目火口に沿って分布しており、1929年火口が主要な噴出火口とは考えにくい。割れ目火口形成により噴出物が放出されたとすると、その噴出物はユニット I である可能性が高い。ユニット I はユニット II および III とは構成物が顕著に異なり、溶結凝灰岩が大部分を占める。割れ目火口壁に露出する堆積物は 1929 年軽石による溶結凝灰岩である。したがって割れ目火口形成が、表層近くの爆発によるものであれば、その放出物は溶結凝灰岩が大部分を占めるであろう。ユニット I が表層近くの爆発に由来することは、マグマ物質が含まれないことも調和的であり、このユニットが割れ目火口形成による噴出物と考えられる。1942 年火口は割れ目火口の北西端に位置し、割れ目火口の一部であると考えられる。しかしその周囲に 1942 年噴火の噴出物はなく (Fig. 4)、1942 年火口からの火砕物の噴出はなかったと考えられる。

次に噴火目撃記録によって区分された噴火フェーズと堆積物の対比を試みる。ユニット I は同一地点で層厚に変化が見られることから、火砕サージ堆積物と考えられる。ユニット II は、ユニット I と同様に同一地点で層厚に変化が見られる。またその分布軸は、記録に残っている降下火砕物の分布軸と異なることから、ユニット II も火砕サージ堆積物と判断した。一方ユニット III は、同一地点での層厚変化は見られず、その分布軸は、記録に残っている降下火砕物の分布軸とほぼ一致する (Figs. 3, 4)。このことからユニット III は降下火砕堆積物と判断した。ユニット III の淘汰が悪いのは、火口近傍であ

るためと考えられる。以上のことから、ユニット I と II は Phase-1 の、ユニット III は Phase-2 の噴出物と考えられる。

以上の堆積物の給源火口の変化と、堆積物の構成物の種類及び量比の変化から、1942年噴火の推移は次のように復元できる。まず山頂火口原の表層近くの水蒸気噴火により、割れ目火口が形成された (Phase-1 前半)。その後、1929年火口に活動の中心は収束し、マグマ水蒸気噴火が発生し (Phase-1 後半)、噴火は最盛期を迎えたが (Phase-2)、活動は急激に衰えた (Phase-3)。噴火活動の主要なものは約1時間しか継続しなかった。

8-4 1942年噴火の意味

本研究によって1942年噴火はマグマ噴火であったことがわかった。その結果、中川・他 (2001) によってまとめられた駒ヶ岳の噴火史は Table 5 のように改定される。これによると詳細な噴火記録が残っている既に述べたように20世紀に起こった2度のマグマ噴火は、その数年前に小規模な水蒸気噴火を繰り返す期間をとましていることがわかる (Table 5)。

20世紀の2つの本格的噴火事例を見ると、小噴火頻発時期はマグマ活動の活発化によって引き起こされていると考えられ、マグマ噴火の前兆噴火と見なすのが妥当であろう。このことから最近の駒ヶ岳で、1996年と1998年に1回、そして2000年には6回の小規模な水蒸気噴火を繰り返していることはマグマ活動の活発化のためで

あると考えられる。実際に2000年噴火では物証の面からも、マグマ活動がより活発になっていることが指摘されている (中川・他, 2001)。1929年噴火と1942年噴火では、同様な前兆噴火活動があったが、実際に噴火したマグマの量では2桁違っている。したがって1996年から2000年までの小噴火頻発が、1929年噴火と同程度の規模のマグマが関与していると推論することはできない。1942年噴火と同程度あるいは、より小規模のマグマの関与の可能性もある。

2000年以降本論執筆時の2003年末まで、駒ヶ岳は比較的静穏な状況である。これは1929年と1942年の噴火前の状況と同じである。1929年と1942年噴火前の数年間の静穏時期に、どのように噴火が準備されたかについては現時点では明らかではない。しかしこれらの事例をもとにすると、駒ヶ岳では少なくとも今後数年間は、噴火に対して最大の監視を払うべきであると考えられる。今後は地球物理学的手法による観測を強化して、直前の前兆現象をとらえる体制を維持することが必要であろう。

9. ま と め

1942年噴火の火山弾や火砕サージ堆積物の一部に見られる新鮮な特徴を持つ軽石およびガラス片は、歴史時代噴火の軽石と同じ岩石学的な特徴を持ち、過去のどの噴出物よりも分化したガラス組成を持つことから、この噴火のマグマ物質であると判断した。従って1942年は

Table 5. Summary of eruptions of Hokkaido-Komagatake from AD 1856 to 2000.

Year	Month-day	Scale	Mass (ton)	Remarks	
1856	Sept. 25	Large	2.1×10^{8*}	Plinian eruption	
1888	Apr. 14	Small	-		
1905	Aug. 19	Small	-		
1919	Jun. 17	Small?	-		
1922	May 22	Small?	-		
1923	Feb. to Mar.	Small	-		
1924	Jun. 31	Small	-		
1929	Jun. 17	Large	4.7×10^{8*}		Plinian eruption
1934	Sept. 29	Small?	-		
1935	Nov. 15	Small	-		
1937	Mar. 17	Small	-		
1938	Feb. to Apr.	Small?	-		
1942	Nov. 16	Medium	3×10^{6*}	Phreatomagmatic eruption	
1996	Mar. 5	Small	1.2×10 ^{5**}		
1998	Oct. 25	Small	5×10 ^{4*}		
2000	Sept. to Nov.	Small	1.3×10 ^{5*}		

Eruptive history is after Katsui *et al.* (1975).

Eruptive mass is after Nakagawa *et al.* (2001) (*) and Ui *et al.* (1997b) (**).

マグマ水蒸気噴火であると結論できる。

1929 年と 1942 年に起こった 2 回の中一規模なマグマ噴火の数年前には、小規模な水蒸気噴火を繰り返す期間がある。このような小噴火頻発は、マグマ活動の活発化によって引き起こされていると考えられ、駒ヶ岳のマグマ噴火の前兆としての特徴であろう。最近の駒ヶ岳でも小噴火が頻発しており、過去の 2 つの事例と非常によく似ている。少なくともここ数年はマグマ噴火に対する警戒がよりいっそう必要である。

謝 辞

薄片製作においては、北海道大学の桑島俊昭技官、野村秀彦技官に、全岩化学組成分析、鉱物化学組成分析、およびガラス組成分析においては、池田昌隆技官に大変お世話になった。また本論文をまとめるにあたって岩森光編集委員、査読者の西村裕一博士、金子隆之博士には有益なコメントをいただいた。以上の方々に深く感謝いたします。

引用文献

- Amma-Miyasaka, M. and Nakagawa, M. (2003) Evolution of deeper basaltic and shallower andesitic magmas during the AD 1469–1983 eruptions of Miyake-jima volcano, Izu-Mariana arc: inferences from temporal variations of mineral compositions in crystal-clots. *J. Petrol.*, **44**, 2113–2138.
- 古川竜太・吉本充宏・山縣耕太郎・和田恵治・宇井忠英 (1997) 北海道駒ヶ岳火山は 1694 年に噴火したか?—北海道における 17~18 世紀の噴火年代の再検討—。火山, **42**, 269–279.
- 石川俊夫・橋本誠二 (1943) 昭和 17 年 11 月 16 日駒ヶ岳爆発。岩鉱, **29**, 65–80, 100–112.
- 石塚吉浩・中川光弘 (1999) 北海道北部, 利尻火山噴出物の岩石学的進化。岩鉱, **94**, 279–294.
- 勝井義雄・横山 泉・藤田隆男・江原幸雄 (1975) 駒ヶ岳—火山地質・噴火史・活動の現況および防災対策。北海道防災会議, p. 194.
- Katsui, Y. and Komuro, H. (1984) Formation of fractures in Komagatake volcano, Hokkaido. *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. IV*, **21**, 183–195.
- 勝井義雄・鈴木建夫・曾屋龍典・吉久康樹 (1989) 北海道駒ヶ岳火山地質図。地質調査所。
- 宮城磯治・東宮昭彦 (2002) 三宅島 2000 年火山灰粒子の特徴と本質物の特定。火山, **47**, 27–31.
- 森観測所 (1944) 昭和 17 年 11 月 16 日駒ヶ岳爆発調査報告。北部管区森観測所。
- Nakada, S., Motomura, Y. and Shimizu, H. (1995) Manner of magma ascent at Unzen Volcano (Japan). *Geophys. Res. Lett.*, **22**, 567–570.
- 中田節也・長井雅史・安田 敦・嶋野岳人・下司信夫・大野希一・秋政貴子・金子隆之・藤井敏嗣 (2001) 三宅島 2000 年噴火の経緯—山頂陥没口と噴出物の特徴—。地学雑, **110**, 168–180.
- Nakagawa, M., Wada, K., Thordarson, T., Wood, C. P. and Gamble, J. A. (1999) Petrologic investigations of the 1995 and 1996 eruptions of Ruapehu volcano, New Zealand: formation of discrete and small magma pockets and their intermittent discharge. *Bull. Volcanol.*, **61**, 15–31.
- 中川光弘・野上健治・石塚吉浩・吉本充宏・高橋 良・石井英一・江草匡倫・宮村淳一・志賀 透・岡崎紀俊・石丸 聡 (2001) 北海道駒ヶ岳, 2000 年の小噴火とその意義: 噴出物と火山灰付着性成分の時間変化から見たマグマ活動活発化の証拠。火山, **46**, 295–304.
- 中川光弘・石塚吉浩・吉本充宏・工藤 崇・相澤幸治・北川淳一・平賀正人・松本亜希子・外狩英紀・高橋良・石井英一・江草匡倫・清野寛子・安間-宮坂瑞穂・和田恵治・新井田清信 (2002) 有珠 2000 年噴火の噴出物: 構成物とその時間変化。火山, **47**, 279–288.
- 中村左衛門太郎・加藤愛雄・佐藤隆夫 (1939) 北海道駒ヶ岳の近況。地震, **11**, 152–160.
- 小坂丈予 (1968) 火山温泉地域における岩石の変質現象について。地熱, **17**, 65–79.
- 小坂丈予 (2003) 日本各地の火山噴出物に含有される粘土鉱物と噴火活動様式の考究。火山, **48**, 43–61.
- 小坂丈予・平林順一 (1981) 火山活動に伴う粘土鉱物。鉱物雑, **15**, S223–238.
- Reagan, M. K., Gill, J. B., Malavassi, E. and Garcia, M. O. (1987) Changes in magma composition at Arenal volcano, Costa Rica, 1968–1985: real-time monitoring of open-system differentiation. *Bull. Volcanol.*, **49**, 415–434.
- Sakuyama, M. (1983) Petrology of arc volcanic rocks and their origin by mantle diapirs. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **18**, 297–320.
- Streck, M. J., Dungan, M. A., Malavassi, E., Reagan, M. K. and Bussy, F. (2002) The role of basalt replenishment in the generation of basaltic andesites of the ongoing activity at Arenal volcano, Costa Rica: evidence from clinopyroxene and spinel. *Bull. Volcanol.*, **64**, 316–327.
- Takeuchi, S. and Nakamura, M. (2001) Role of precursory less-viscous mixed magma in the eruption of phenocryst-rich magma: evidence from the Hokkaido-Komagatake 1929 eruption. *Bull. Volcanol.*, **63**, 365–376.
- 東宮昭彦・宮城磯治 (2002) 有珠火山 2000 年 3 月 31 日噴火の噴出物とマグマプロセス。火山, **47**, 663–674.
- 東宮昭彦・宮城磯治・星住英夫・山元孝広・川辺禎久・佐藤久夫 (2001) 有珠火山 2000 年 3 月 31 日噴火とその本質物。地質調査研究報告, **52**, 215–229.
- 宇井忠英・吉本充宏・古川竜太・石塚吉浩・吉田真理夫・宮地直道・勝井義雄・紀藤紀夫・雁沢好博・野上健治 (1997 a) 北海道駒ヶ岳 1996 年 3 月の噴火。火山, **42**, 141–151.
- 宇井忠英・吉本充宏・佐藤十一・橋本 勲・宮村淳一 (1997 b) 北海道駒ヶ岳 1996 年 3 月噴火の噴出量の再検討。火山, **42**, 429–431.
- 宇都浩三・風早康平・斎藤元治・伊藤順一・高田 亮・川辺禎久・星住英夫・山元孝広・宮城磯治・東宮昭彦・佐藤久夫・濱崎聡志・篠原宏志 (2001) 三宅島火山 2000 年噴火のマグマ上昇モデル—8 月 18 日噴出物

- および高濃度 SO₂ 火山ガスからの考察一. 地学雑, **110**, 257-270.
- Watanabe, K., Danhara, T., Watanabe, K., Terai, K. and Yamashita, T. (1999) Juvenile volcanic glass erupted before the appearance of the 1991 lava dome, Unzen volcano, Kyusyu, Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **89**, 113-121.
- 吉本充宏・宇井忠英 (1998) 北海道駒ヶ岳火山 1640 年の山体崩壊. 火山, **43**, 137-148.

(編集担当 岩森 光)