

噴出物から推定した有珠山 1663 年噴火の推移

中 村 有 吾* 松 本 亜 希 子** 中 川 光 弘**

Tephrochronological Study of the AD1663 Eruption of Usu Volcano, Western Hokkaido, Northern Japan

Yugo NAKAMURA*, Akiko MATSUMOTO** and Mitsuhiro NAKAGAWA**

Abstract

The AD1663 ejecta of Usu volcano, western Hokkaido, northern Japan, have a thickness of approximately 200 cm and are divisible into 7 units on the eastern foot of Usu volcano. The basal deposit, Unit-A, is composed of fine-grained, poorly sorted pumice and ash with well-developed stratification. It contains base surge beds near the sources, and is interpreted as phreatomagmatic in origin. Unit-B is typical in many respects of the product of plinian activity. It is characterized by coarse grain size and wide dispersal, combined with low lithic contents and poor development of internal stratification. This fallout deposit (Usu-b tephra) can be seen in the eastern regions of Usu volcano, and has a thickness of about 4 cm at 200 km from the vent. Unit-C, Unit-E, Unit-F, and Unit-G have characteristics that are satisfactorily interpreted as a consequence of phreatomagmatic activity: fine grain size near source, poor sorting, well-developed stratification and base surge bedforms. Unit-D is typical of phreatic deposits, being composed largely of non-juvenile lithic fragments.

According to historical records, the eruption was preceeded by earthquake swarms for 3 days from August 13, 1663. The first eruption (Unit-A) occurred on August 16, followed by an eruption associated with a large amount of pumice and ash (Unit-B) on August 17. The explosive eruptions lasted approximately 20 days.

The petrographic properties of the plinian product differ considerably from those of the phreatomagmatic products. The pumice clasts of Unit-B contain abundant glass and little phenocryst (plagioclase, orthopyroxene, and hornblende). The glass has a relatively high refractive index ($n = 1.490-1.492$) and a low SiO_2 content. Orthopyroxene in Unit-B has a relatively high refractive index ($\gamma = 1.735-1.740$) and low Mg#. The phreatomagmatic products are rich in massive glass. This glass has a relatively low refractive index ($n = 1.475-1.490$) and a high SiO_2 content, with values differing among horizons. The compositional diversity of the 1663 products indicates the existence of some magma. Presumably, their mixing triggered the 1663 eruption of Usu volcano.

* 北海道大学大学院地球環境科学研究院地球圏科学部門

** 北海道大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

* Section of Earth System Science, Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University

** Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University

Key words : Usu volcano, 1663 eruption, tephra, Plinian product, phreatomagmatic product

キーワード : 有珠山, 1663 年噴火, テフラ, プリニアン噴火, 水蒸気マグマ噴火

I. はじめに

有珠山は 1663 年以来, 22 70 年の活動休止期を挟んで, 歴史時代に 9 回の噴火をおこなった(曾屋ほか, 1981; 中川ほか, 2005)。なかでも, 1663 年の噴火は, プリニアン噴火による降下軽石(有珠 b テフラ: U_s -b) および水蒸気マグマ噴火によるベースサージや降下火山灰など多量のテフラを噴出した大規模な火山活動であり, 小有珠溶岩円頂丘もこのときに形成したと考えられている(横山ほか, 1973)。有珠山は現在においても, 日本で最も活動的な火山のひとつであり, その最大の火山活動を復原することは, 火山防災の観点からも重要である。

有珠山 1663 年噴出物(以下, U_s -1663 とよぶ)についての研究は古く, 浦上ほか(1933)に記載された火山灰層および軽石層(表 1 参照)が, おそらく最初の記載であろう。浦上ほか(1933)は, この火山灰層の噴出を寛文三年(1663 年)と推定した。その後, 山田(1958)は, これら火山灰層と軽石層の間には顕著な時間間隙が無く, 両者とも 1663 年の噴出物であるとした。大場・近堂(1964) Oba(1966)は, 軽石層の粒径組成変化を明らかにするとともに, 有珠山の一連の火山岩の主成分組成を示し有珠火山噴出物の組成変化を議論した。また, 瀬尾ほか(1968) 北海道火山灰命名委員会(1972) 横山ほか(1973)は, それまで一括されていた降下火山灰層を 6 のユニットに分割した。しかし, これらの研究では, ユニットごとの岩石学的特徴の違いや, それに関わる噴火様式の違いについては議論されなかった。また, 当時と同一の露頭が現在得られないため, 文献に記載されたユニットを現地で認定するのは困難である。奥村ほか(1979)は, 有珠山噴出物の斑晶の化学分析をおこない, 1663 年の降下軽石に含まれる斜長石, 斜方輝石がそれぞれ組成の異なる 3 群に分けられることを示した。

また, Tomiya and Takahashi(1995)は 1663 年以降の有珠火山噴出物について詳細な化学組成分析をおこない, マグマ供給・噴火モデルを提示した。しかし, 奥村ほか(1979)および Tomiya and Takahashi(1995)は, 降下軽石直上の降下火山灰や火砕サージ堆積物の詳細な記載, 分析をおこなっておらず, 1663 年噴火の全体像は明らかでない。そこで本研究では, 降下軽石(U_s -b)を含む U_s -1663 について, (1) 岩相および岩石学的特徴にもとづいたユニット区分をおこない, さらに, (2) 有珠山麓地域における層序, (3) ユニットごとの分布を明らかにすることで, 有珠山 1663 年噴火の推移を考察する。本稿で記載する岩石学的特徴は, 鉱物組成, 火山ガラスおよび斜方輝石の屈折率, 代表的な層準の主成分組成である。詳細な化学組成分析にもとづくマグマ供給モデルについては, 別稿で論じる。

II. 試料の分析方法

U_s -1663 の観察をおこなったのは, 有珠山周辺から十勝平野南部の 24 地点である(図 1)。ユニットごとの詳細な岩相記載は全地点でおこなった。室内分析による岩石学的特徴は, U_s -1663 のユニットが最も多く観察された Loc.11 で得た試料にもとづいて記載した。地点ごとのユニット対比は, 岩相にもとづいているが, 岩相だけで判別し難いときは, 試料を採取し, 火山ガラス屈折率などの測定結果により対比した。

野外で採取した試料は, 実験室内において洗浄, 篩別, 検鏡をおこなった。軽石を含む試料については軽石およびマトリックスを両者あわせて約 20 g とり, 乳鉢で粉碎したうえで洗浄, 篩別した。類質岩片・異質岩片の混入が明らかなユニットについては, 別途, 軽石のみを純化し洗浄, 篩別した。鉱物組成を計測するために, 1/4 1/8 mm サイズ試料を双眼実体顕微鏡で観察し, 主要鉱物を 200 粒子カウントした。火山ガラス

表 1 有珠山 1663 年噴出物の名称 .

Table 1 Nomenclatures of the Usu 1663 products.

浦上ほか (1933)	山田 (1958)	大場・近堂 (1964)	瀬尾ほか (1968)	北海道火山灰命 名委員会 (1972)	横山ほか (1973)	本研究
有珠統 A (d 層)	U.a ₃	Ua ₃	U-b ₁	Us-b ₁	Us-b ₁	Unit-G afa
			U-b ₂	Us-b ₂	Us-b ₂	pfa
			U-b ₃	Us-b ₃	Us-b ₃	Unit-F surge
			U-b ₄	Us-b ₄	Us-b ₄	afa
			U-b ₅	Us-b ₅	Us-b ₅	Unit-E afa
			U-b ₆	Us-b ₆	Us-b ₆	Unit-D lithic
有珠統 B	U.b	Ub	U-c	Us-c	Us-b p-fall	Unit-C afa
						Unit-B pfa(Us-b)
						Unit-A surge

Us-1663

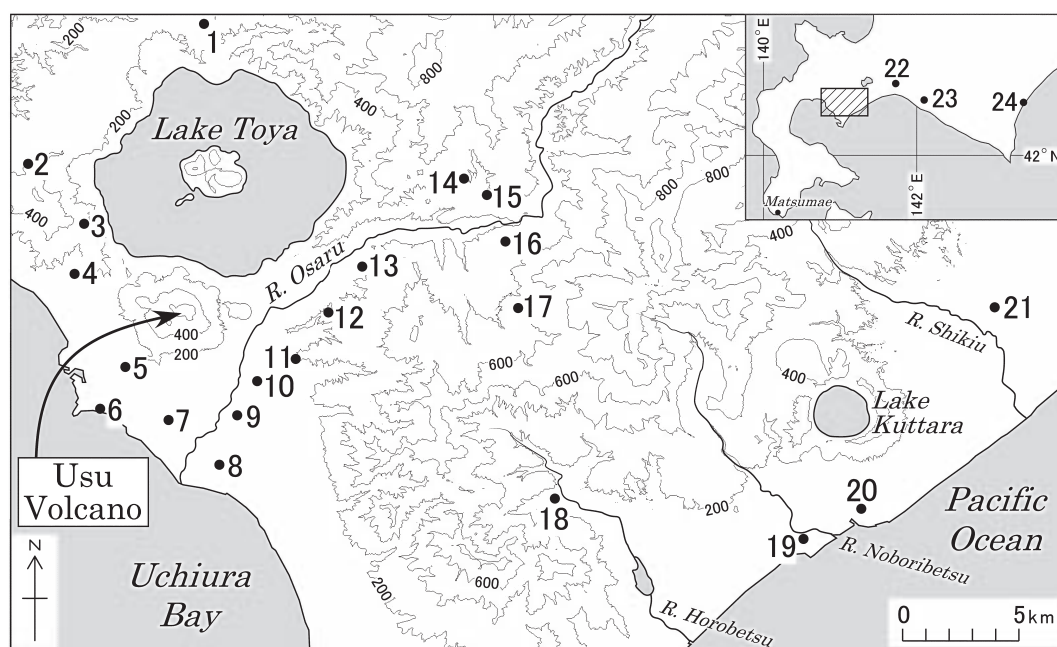


図 1 有珠山 1663 年噴出物の観察地点 .

Fig. 1 Localities of outcrops.

の形態は、町田・新井 (2003) の形態分類にしたがった。火山ガラスおよび斜方輝石の屈折率測定には、温度変化型屈折率測定装置 (RIMS86, 京都フィッション・トラック製) を用い、3 4 φ

サイズ試料を 1 試料につき 30 粒子ずつ測定した。火山ガラスの屈折率は、水和の影響を除去するため、400 12 時間法 (Nakamura *et al.*, 2002; 中村ほか, 2002) により脱水した試料について

測定した。なお、RIMS86による火山ガラスの屈折率測定誤差は ± 0.0002 程度である(檀原, 1993)。主要なユニットについては、火山ガラスおよび斜方輝石の主成分組成を、エレクトロンプロブX線マイクロアナライザ(JEOL8800波長分散型EPMA, 日本電子製)で測定した。ガラス組成の分析条件は、加速電圧15 kV, 試料電流10 nA, 電子ビーム径 $2\text{ }\mu\text{m}$ で、約 $10\text{ }\mu\text{m}^2$ をスキャンした。斜方輝石の分析もほぼ同様であるが、試料電流は20 nA, 電子ビーム径は $1\text{ }\mu\text{m}$ である。補正にはZAF法を用いた。

III. 有珠山1663年噴出物の岩相, 層序, 分布

Us-1663は, Loc.11では層厚200 cmにおよび、少なくとも18の層に細分化できる。しかし、堆積物の粒径や、構成粒子の種類などに大きな変化がない複数の層をひとつのユニットと考えると、Us-1663はUnit-AからUnit-Gの、7ユニットに分けられる(図2)。以下、Loc.11での観察にもとづいて岩相を記載するとともに、ユニットごとの分布(図3)を示す。Loc.11での詳細な層序・岩相を図4左の柱状図に示す。

Unit-A

Unit-AはUs-1663の最下位に位置する。Unit-Aの基底には層厚1.2 mmの火山灰がある。その上位は、粒径5 mmの軽石および少量(1%前後)の石質岩片からなる層厚10 cmの堆積物で、斜交葉理が認められる。Unit-Aの上部は、層厚7 cm, 粒径10 mm前後の降下軽石で、平行葉理が認められる。Unit-Aは、有珠山の東側地域(Loc.10, 11, 12, 16, 17, 18, 21)に分布する。ただし、斜交葉理・平行葉理はLoc.11のみで観察された。

Unit-B

Unit-Bは、層厚、粒径ともに、有珠山1663年噴火における最大の噴出物で、分布の中心では層厚150 cmを超える。この噴出物は優白色、粗粒の降下軽石で構成される。軽石の粒径は、本ユニットの中間付近で最大(60-80 mm)であり、上下の層準でやや細粒(30 mm前後)になる(Loc.17)。本ユニットの上部には、20-30 mm

の石質岩片が数%含まれる。Unit-Bは、有珠山東側地域に広く分布し、日高地方および十勝平野南部まで到達する。Loc.23での層厚は12 cm, Loc.24では4 cmになる。給源の南および西側には分布しない。

Unit-C

Unit-Cは、平行葉理を呈する細砂・極粗砂サイズの降下火山灰で、石質岩片を含む層準が一部に見られる。有珠山の東麓を中心に分布し、Loc.11での層厚は25 cmである。

Unit-D

Unit-Dは、アズキ色(暗赤・暗赤褐色)を呈する石質岩片の層で、層厚は、Loc.10で13 cm, Loc.11で5 cmになる。東南東方向に分布し、Loc.18まで到達している。

Unit-E

Unit-Eは、有珠山の南・東麓に分布する降下火山灰で、層厚は、Loc.5で15 cm, Loc.11で9 cmとなる。粒径は細砂・極粗砂サイズで、逆グレーディングする。層の上部には平行葉理が認められる。

Unit-F

Unit-Fの層厚は、Loc.11において24 cmである。その下部9 cmは斜交葉理を呈する火山灰で、火山豆石をとまう。上部15 cmは粒径2-60 mmの降下軽石で、細粒物質で充填される。Loc.8, 9, 12では、さらに上位を中砂サイズの火山灰が覆う。これら火山灰および軽石は、Loc.18まで到達している。有珠山南麓(Loc.5)では、斜交葉理を持つ火山灰の層厚は60 cm前後になるが、軽石は分布しない。Unit-Fに相当する火山灰は、有珠山北西麓のLoc.3およびLoc.4にも分布する。

Unit-G

Unit-Gは、平行葉理を呈する細砂・粗砂サイズの降下火山灰で、有珠山周辺に広く分布する。給源から5 km以内の地域では層厚100 cm以上になる。層の中程にやや粗粒の物質を挟むことがある(Loc.5, 11ほか)。有珠山南東麓では、下部に火山豆石をとまう(Loc.8, 11, 18)。

以上のユニット区分と先行研究のユニット区

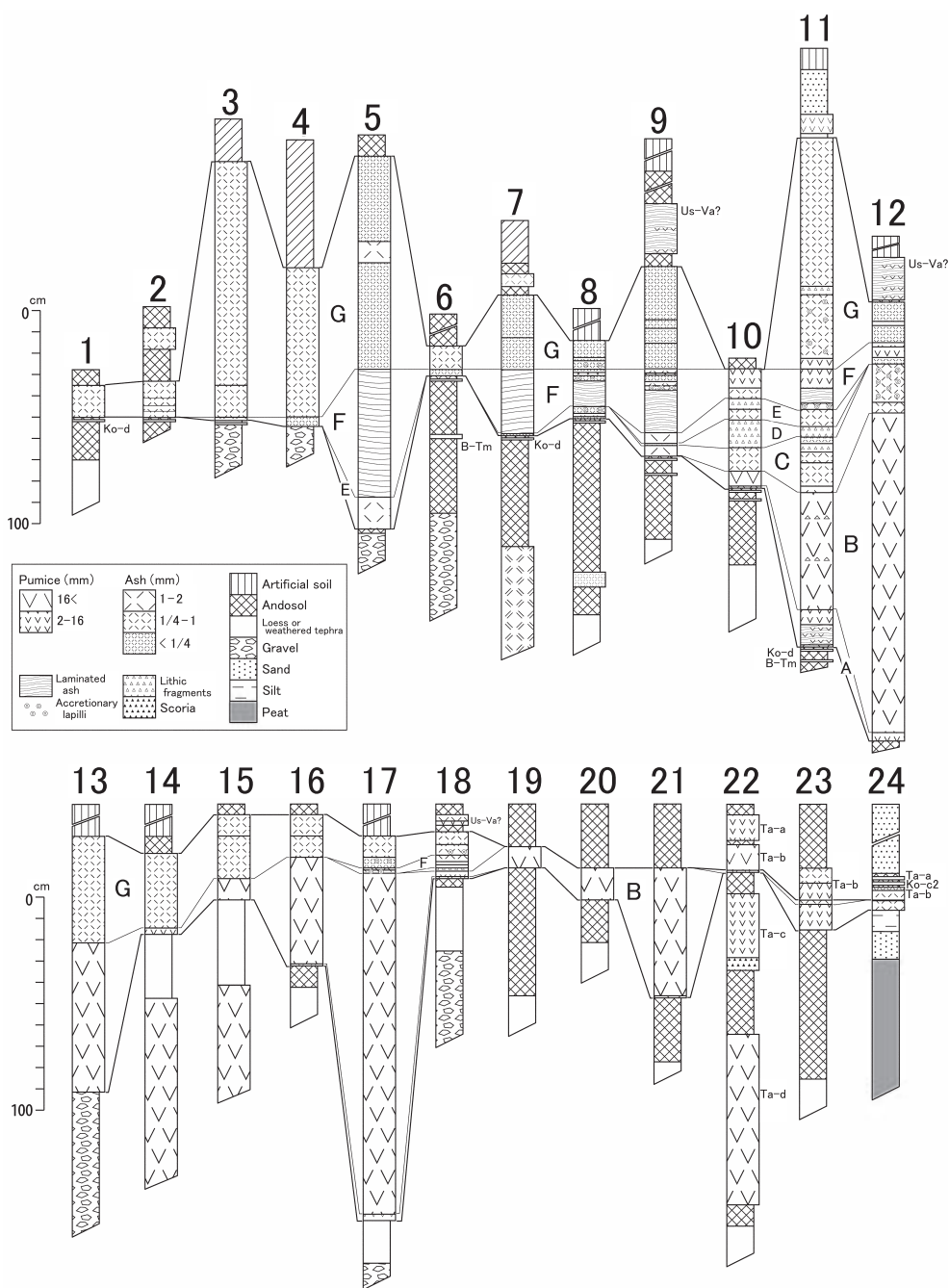


図 2 テフラの層序 .

A-G : 有珠山 1663 年噴出物のユニット名 . Us-Va : 有珠 Va テフラ, AD1769 . Ta-a : 樽前 a テフラ, AD1739 . Ko-c2 : 駒ヶ岳 c2 テフラ, AD1694 . Ta-b : 樽前 b テフラ, AD1667 . Ko-d : 駒ヶ岳 d テフラ, AD1640 . B-Tm : 白頭山 苦小牧 テフラ, AD947? . Ta-c : 樽前 c テフラ, ca. 2700 y.B.P. Ta-d : 樽前 d テフラ, ca. 8000 y.B.P.

Fig. 2 Stratigraphy of tephra.

A-G : Units of Usu 1663 products. Us-Va : Usu-Va tephra, AD1769. Ta-a : Tarumae-a tephra, AD1739. Ko-c2 : Komagatake-c2 tephra, AD1694. Ta-b : Tarumae-b tephra, AD1667. Ko-d : Komagatake-d tephra, AD1640. B-Tm : Baegdusan-Tomakomai tephra, AD947?. Ta-c : Tarumae-c tephra, ca. 2700 y.B.P. Ta-d : Tarumae-d tephra, ca. 8000 y.B.P.

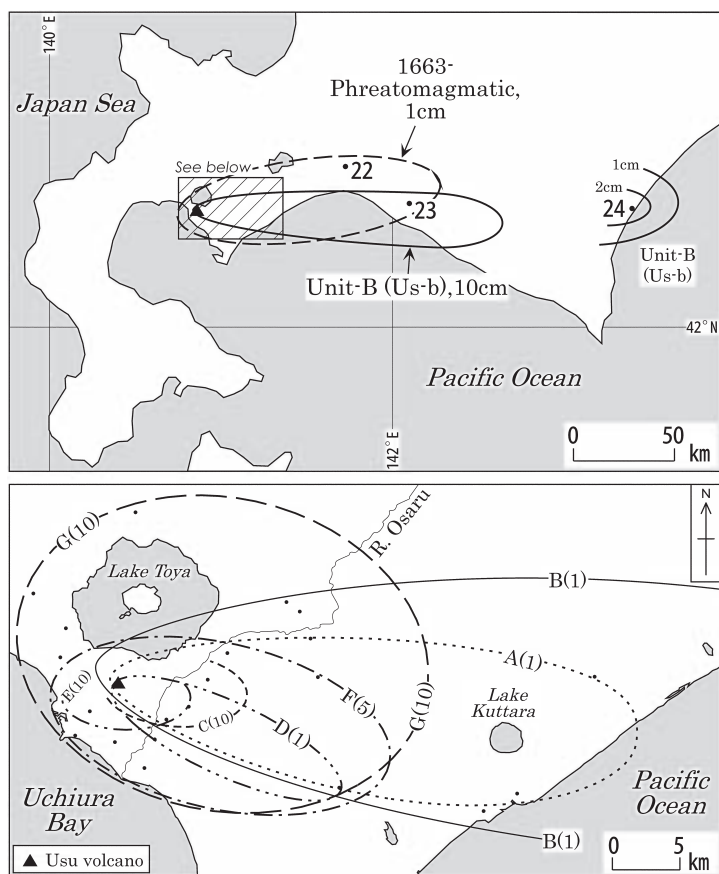


図 3 有珠山 1663 年噴出物のユニットごとの分布。

A-G: 有珠山 1663 年噴出物のユニット名。

括弧内の数値は層厚 (cm)

Unit-B の分布は、大場・近堂 (1964) および中村・平川 (2002) を簡略化。

Fig. 3 Distribution of Usu 1663 products.

A-G: Units of Usu 1663 products.

Figure between parentheses: thickness in cm.

Distribution of Unit-B: modified from Oba and Kondo (1964) and Nakamura and Hirakawa (2002).

分の対応を表 1 に示すが、一部に不明な点もある。堆積物の特徴にもとづくと、Unit-B は Us-b p-fall (横山ほか, 1973 による呼称。以下同じ) に、Unit-F は Us-b₂ に、Unit-G は Us-b₁ に、ほぼ相当する。Unit-C は Us-b₆ に対応すると思われるが、両者が完全に同一かは明らかでない。北海道火山灰命名委員会 (1972) は Us-b₅ が褐色火山灰と石質岩片からなると記述しており、この特徴は Unit-D および Unit-E に類似する。なお、降下軽石 (Unit-B) より下位の堆積物 (Unit-A) の記述は、先行研究に見られない。

IV. 有珠山 1663 年噴出物の岩石学的特徴

Loc.11 において、ユニットごとに全 23 試料を採取し、室内分析にもとづいて岩石学的特徴を明らかにした。Loc.11 での岩相の特徴と試料採取

層準、試料ごとの分析結果を、図 4 に示す。図 4 の試料のうち、番号に ○ 印を付した試料 (2, 3, 5, 6, 7, 8, 19, 20, 22) は、軽石のみを純化、分析した試料である。その他の試料は、軽石とマトリックスの混合、ないしは、軽石を含まない試料である。以下、分析項目ごとの特徴を示す。

1) 鉱物組成

Us-1663 のほとんどのユニットに共通して、重鉱物組成の大部分は斜方輝石で、少量の単斜輝石、磁鉄鉱を含む。Unit-B (試料 4, 5, 6) には、12.36% の普通角閃石が含まれる。また、Unit-B の試料 3, Unit-C の試料 10, Unit-F の試料 15 および 16 にも 1.3% 程度の普通角閃石が含まれる。

2) 火山ガラス形態

火山ガラス形態は、ユニットごとに若干異

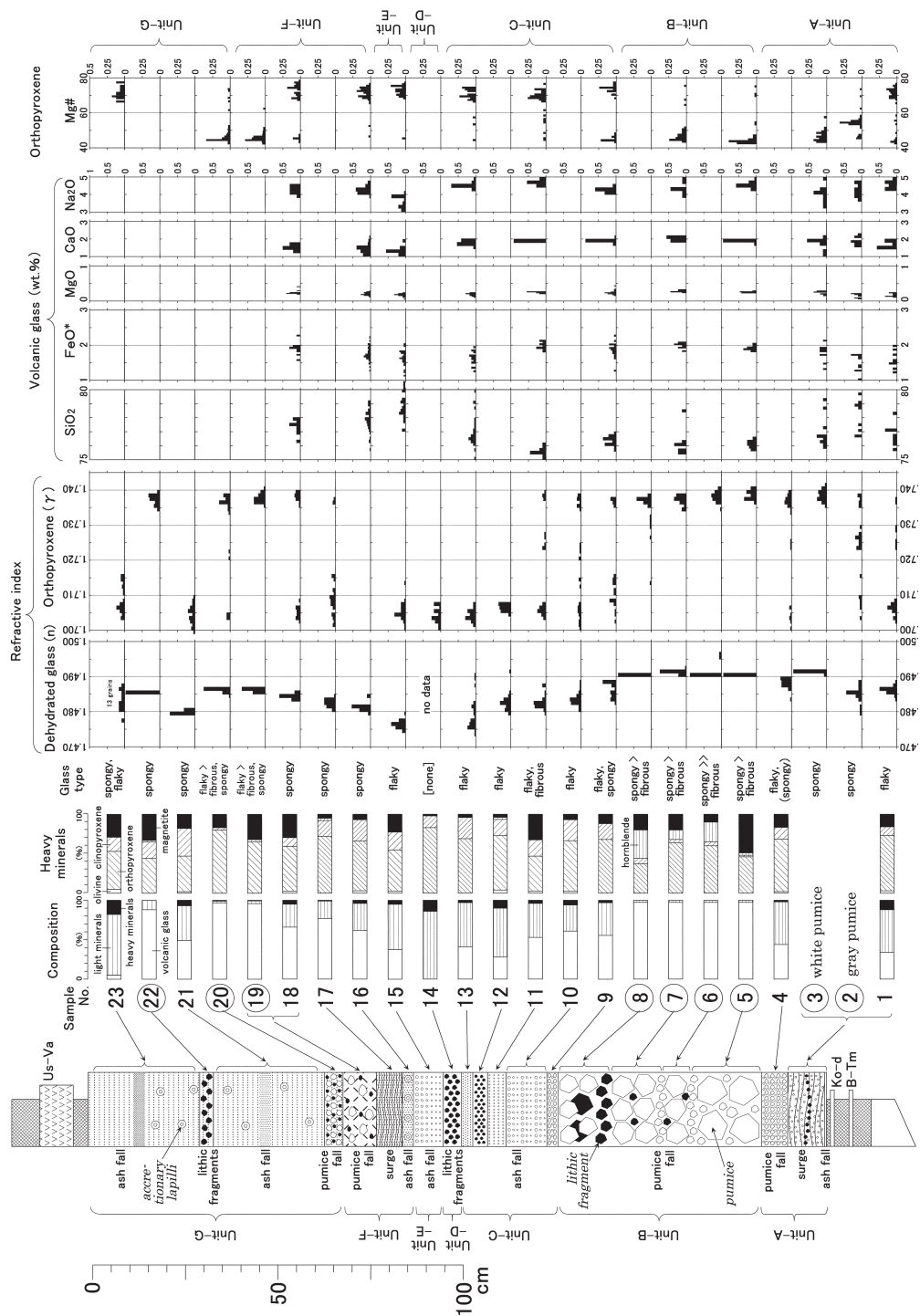


図 4 有珠山東麓 (Loc.11) における有珠山 1663 年噴出物の岩石学的特徴 .
Fig. 4 Petrographic properties of the 1663 products on the eastern foot of Utsunomiya volcano (Loc.11).

なる。Unit-B はスポンジ状および繊維状の、Unit-F はスポンジ状の、Unit-A および E はフレーク状の火山ガラスを含む。Unit-C および G には、複数のタイプの火山ガラスが混在する。

3) 火山ガラス屈折率

火山ガラス屈折率も、ユニットごとに変化が見られる。Unit-A の下部（試料 13）には、発泡の悪い灰色の軽石と、わずかに発泡した白色の軽石が含まれる。両者の火山ガラス屈折率は、それぞれ $n = 1.485$ 1.486 , $n = 1.491$ 1.492 にピークがある。Unit-A の上部（試料 4）に含まれる火山ガラスの屈折率は、上記 2 つの値の間で、 $n = 1.486$ 1.490 である。Unit-B の火山ガラス屈折率は、 $n = 1.490$ 1.491 に集中する。ただし Unit-B 中部および下部（試料 6）には $n = 1.495$ 1.497 の火山ガラスが少量含まれる。Unit-C の火山ガラス屈折率は、Unit-C 下部で $n = 1.489$ 前後、上部で $n = 1.475$ 前後を示す。Unit-E の火山ガラス屈折率は $n = 1.474$ 1.480 で、Unit-C の最上部（試料 13）とともに、Us-1663 の中で最も低い屈折率を示す。Unit-F では、火山ガラス屈折率は $n = 1.480$ 1.487 で、上位層準ほど値が大きい。Unit-G の火山ガラス屈折率は、ばらつくことが多い（たとえば試料 23）が、軽石のみを純化して測定すると、 $n = 1.485$ 1.487 に集中する（試料 20, 22）。

4) 火山ガラス主成分組成

Us-1663 の火山ガラスに含まれる SiO_2 の比率（wt%）は 75–80% の範囲にあり、層準により異なる。Unit-B のように屈折率の高いユニットでは SiO_2 比が 75–76% とやや低く、反対に、Unit-E のように屈折率の低いユニットで 77–80% と高い値を示す。FeO 比については、ガラス屈折率と正の相関を示す。

5) 斜方輝石屈折率

Us-1663 には、 $\gamma = 1.700$ 1.710 を示す屈折率の低い斜方輝石、 $\gamma = 1.720$ 1.730 の斜方輝石、 $\gamma = 1.735$ – 1.740 の斜方輝石の、3 種類の斜方輝石が含まれる。以下、屈折率の低い順に、タイプ A、タイプ B、タイプ C の斜方輝石とよぶこととする。

タイプ A の斜方輝石は、Unit-A（灰色軽石）および Unit-C 以降の噴出物に含まれる。タイプ A の斜方輝石は軽石を純化できなかった試料に多く含まれるが、純化できた試料 2, 20 にも含まれる。タイプ B の斜方輝石は、Unit-A（灰色軽石）Unit-C の下 中部（試料 10, 11）Unit-G の最下部（試料 20）に見られる。タイプ C の斜方輝石は、Unit-A（白色軽石）Unit-B, Unit-C の下 中部, Unit-F, Unit-G に含まれ、Us-1663 のほとんどの層準に見られる。

6) 斜方輝石主成分組成

Us-1663 の斜方輝石は、Mg 値が 40–50 を示すグループ、50–60 のグループ、63–78 のグループ、の 3 グループに分類できる。これらのグループはそれぞれ、上記のタイプ C、タイプ B、タイプ A の斜方輝石に対応する。

以上の記述にもとづくと、Us-1663 の岩石学的特徴は以下のように要約できる。

(1) Unit-A には、2 種類の軽石が含まれる。ひとつは屈折率が $n = 1.486$ 前後の火山ガラスおよびの 3 タイプの斜方輝石を含む発泡の悪い灰色軽石、もうひとつは高屈折率（低 SiO_2 比）の火山ガラスおよび高屈折率（低 Mg 値）の斜方輝石を含む白色軽石である。

(2) Unit-B には、Us-1663 の中で最も屈折率の高い火山ガラスが含まれる。また、屈折率が高く Mg 値が低い斜方輝石を含む。

(3) Unit-C から Unit-E にかけて、火山ガラス屈折率は低下する傾向にある。斜方輝石についても、屈折率の高い粒子が徐々に減少し、屈折率の低い粒子が増える傾向にある。ただし、Unit-C から Unit-E については本質マグマに由来する物質を純化できなかったため、捕獲岩に由来する低屈折率の斜方輝石を含んでいる可能性がある。

(4) Unit-F で、ふたたび火山ガラス屈折率が上昇する。また、屈折率の高い斜方輝石が増加する。とくに、軽石を純化して得られた斜方輝石は、屈折率の高い個体のみであった。

(5) Unit-G の岩石学的特徴は、Unit-F のそれをほぼ受け継いでいる。ただし、最上部ユニット

は本質ガラスの含有が少ない。

V. 有珠山 1663 年噴火についての古文書の記載

有珠山 1663 年噴火に関する記述は、松前藩、津軽藩など北方の諸藩で記されたいくつかの文献に残されている。ここでは、1663 年噴火の日時の推定と噴火様式の推定に役立つと思われる史料 3 点を提示する。

有珠山 1663 年噴火の経過については、松前藩主・松前志摩高広による『殿中日記 寛文三年八月廿日 松前志摩在所山焼申儀注進之』に詳しい（武者，1941 に収録）。松前高広の記述を以下に引用する。

「夷之地にうすと申所御座候（中略）右うすと申所之大山焼申付而、七月十一日より十三日迄、無間少宛地震仕候、同十四日明方より、殊外山焼出、同十五日、彌地震大に仕候、夥敷浦山共に鳴渡り、灰降申、うす近邊之夷之家焼、或灰降埋申候、夷五人立退兼、相果申候、山之焼灰に而、うすより在城之方海上二日路の間、汀より貳千七百間餘、陸地のごとくに罷成候、夫より沖も降埋申候得共、足場和に候得而、先へ難参、遠あいより見申候得ば、浪打際難及目體に而御座候、右より過半鳴止申候、然共七月末迄、すきとは止申さず候、其頃迄右之残山焼申候、十之内一つ二つ程崩残申候、右鳴音、北國之内庄内迄響申由に御座候、十五日晝八時分、右焼山之中より夷のかたち成、長け壹丈計之物、天へ上り可申と仕候を、南北より光物飛来、右之かたち成もの、焼山之中へ引落申と、山二つに破、大地震仕候、風南にて候故、在城邊へは少も焼灰降不申候、右山焼申候に而十一日より十五日迄、難及言語雲立仕候由に御座候、此旨、昨日在所より申来候

八月十九日 松前志摩」

この記述によると、七月十一日（グレゴリオ暦で 8 月 13 日）ころから火山性地震が発生したこと、十四日（16 日）に噴火が開始したこと、十五日（17 日）に大規模な噴火があり降下テフラが海上を覆ったことがわかる。また、十五日昼の八ツ（午後 2 時ころ）に長さ 1 丈（約 3 m）の物質が噴出したこと、十五日までの噴火で巨大な噴煙柱（「難及言語雲立仕候」）が生じたことが

記載されている。さらに、七月末（8 月末から 9 月初旬）まで小規模な火山活動が続いたことが読みとれる。ただし、十五日以降の火山活動について、具体的な記述はない。

有珠山噴火に関する記述は、津軽藩の記録にも残されている。東京大学地震研究所（1982）より、2 史料を以下に引用する。

『津軽家紀 弘前御城日譜』

（十五日）自朝北方大鳴動如震如烟物遥簇自晩及夜地震大震北方光如電

（十六日）辰刻地震如馬頭鬣物降

（十七日）就松前地震動遣飛脚訊安否

（十八日）未ノ刻地震

七月十九日 曉地震

『津軽家紀 日譜』

（十五日）朝ヨリ北ノ方鳴動ス（以下略）

七月十七日 松前へ飛脚船ヲ遣シテ震動ノ事ヲ訊フ

（二十五日）丑刻地震西ノ方ヨリ鳴物アリ家中ノ侍登城

これらの記述は、十五日（8 月 17 日）の噴火に続いて、十六日（18 日）に津軽領内でも地震および「如馬頭鬣物」の降下があったことを示す。「如馬頭鬣物」は火山毛であろう。十八日（20 日）と十九日（21 日）の「地震」も、有珠山の噴火を示唆する。さらに、二十五日（8 月 27 日）には、地震および空震の発生だけでなく、藩士が城に集合したことが記されている。

VI. 考察

1) 有珠山 1663 年噴火の推移

野外での観察結果にもとづけば、Us-1663 の間に風化物や土壌層を挟まないことから、各ユニット間に顕著な時間間隙はなかったと考えられる。

Unit-A は、斜交葉理のある軽石・石質岩片混合層と平行葉理のある降下軽石層が一連の堆積物をなす。これは、比較的物質に乏しいベースサージ堆積物に引き続いて噴煙柱起源の軽石が降下したことを示唆し、Unit-A の噴出が水蒸気マグマ噴火であったことを示す。Unit-A はクッタカルデラ東方にも到達しており、比較的大規模

な噴火だった。

Unit-Bは、量、分布範囲、粒径について、他のユニットよりはるかに規模が大きい。プリニアン噴火による噴出物と考えられる。

Unit-Cは、内部に明瞭な層理面が見られないこと、および、岩相および岩石学的特徴がほぼ均質であることから、単一のユニットとした。しかし、Unit-Cの内部を詳細に観察すると、平行葉理を持つ降下軽石層(Loc.11の試料9)の上位に、細粒物質から粗粒物質への変化を4回繰り返すことが見出される。すなわち、試料10の層内における3回の粗粒化、試料11から12にかけての粗粒化である。このことは、試料9の降下軽石の噴出に引き続いて少なくとも4回、試料13の火山灰を含めると合計7回の噴煙が上がったと解釈できる。

Unit-Dには軽石が含まれず、鏡下でも火山ガラスが見られないことから、マグマ物質に乏しい水蒸気爆発起源と考えられる。Unit-Eには、Unit-C内部と同様の粗粒化が見られ、Unit-Cと同様の水蒸気マグマ噴火によると推定される。Unit-CとUnit-Eの間には、火砕サージ起源と断定できる堆積物はない。比較的小規模の水蒸気マグマ噴火を何度か繰り返したと思われる。

Unit-Fには、降下火山灰、火砕サージ、粗粒の降下軽石と、3つのサブユニットが認められる。これらUnit-Fのサブユニットは、火山ガラス含有率が高く、スポンジ状ガラスに富むことで、Unit-EおよびUnit-Gと区別される。Unit-Fは、給源から15-20 km離れたLoc.17および18まで到達しており、比較的大規模な噴煙柱を形成したと考えられる。Unit-F内部の層相変化は、ベースサージ噴火から次第に噴煙柱高度が上昇したことを示唆する。降下火山灰層に火山豆石の含有が顕著であること、降下軽石に多量の細粒火山灰がともなうことから、Unit-Fの噴出ではマグマとともに多量の水を噴出したと思われる。

Unit-Gは、Unit-B以降最大の層厚を持つ噴出物で、楕円状のアイソパックが示すように広域に分布する(図3)。しかし、Unit-Gは、軽石などの本質物質に乏しく、火山ガラスの形態や屈折率

は層準によってばらつきがある(図4)。これらの特徴は、Unit-Gが、単一の噴煙に由来するのではなく、断続的に生じた比較的小規模な複数回の噴火によって形成された可能性を示す。Loc.11での岩相を詳細に観察すると(図4)、Unit-Gはさらに4つのサブユニットに分けられ、試料18および20の層には微細な水平葉理が見られる。これらの特徴も、Unit-Gが複数の噴火に由来することを支持する。Unit-Gの分布は、有珠山を中心にほぼ全方位におよぶ。その原因は、Unit-Gの活動期間中に有珠山付近の対流圏の風向が何度も変化したことによると解釈できる。

2) 噴火日時の推定

古記録に記された火山活動のうち最大規模の火山活動は、8月17日(以下グレゴリオ暦で記す)の噴火である。8月17日の噴火では、多量のテフラが海上を覆ったこと、巨大な噴煙柱が形成したことが松前藩の記録に残されており、このときの噴火がプリニアン噴火であったことを思わせる。この噴火記録に符合する堆積物はUnit-Bであり、有珠山1663年噴火のクライマックスであるプリニアン噴火は8月17日に発生したことになる。

8月17日のUnit-B噴火以外については、古記録と噴出物に対応させる明確な証拠に乏しい。しかし、記録に残された火山活動(地震、空震を含む)の回数と、噴出物から読みとれる主な火山活動(ユニット)の数は、ほぼ一致する。まず、8月17日以前の噴火で記録に残されているのは、8月16日の噴火のみである。よって、Unit-Aが8月16日の噴火で形成されたのは明らかである。

8月27日の噴火とUnit-Fの噴出は、以下の理由から8月17日以降最大の火山活動と考えられ、両者は同一の火山活動と思われる。すなわち、前項で示したように、Unit-FはUnit-Bに次いで噴出物の規模が大きい。また、『津軽家紀 日譜』には、七月二十五日(8月27日)に、津軽城下に地震および空震があったことを記している。とくに、藩士が城に集合(「家中ノ侍登城」の記述)したことは非常事態に備えるためと考えられ、この地震および空震が8月17日以降最大の事件であることを示す。ただし、「西ノ方ヨリ鳴物」と

あるように、空震の発生源の方角は有珠山と一致しない。これは、深夜（丑刻）突然の出来事による混乱と解釈できる。津軽領内において他の地震や火山噴火が8月27日に発生したとの記録はなく、やはり8月27日の現象は有珠山の火山活動によると判断される。

8月27日にUnit-Fが噴出したとすると、8月18日および20日、21日の噴火は、それぞれUnit-C、Unit-D、Unit-Eの形成に相当すると思われる。松前高広による「然共七月末迄、すきとは止申さず候」の記述は、数日以上にわたる断続的な火山活動を示唆しており、Unit-Gの噴出に相当すると思われる。

各ユニットを形成した火山活動と、その推定月日を以下にまとめる。

Pre-Unit-A：8月13日から15日（七月十一から十三日）火山性地震

Unit-A：8月16日（七月十四日）
水蒸気マグマ噴火

Unit-B：8月17日（七月十五日）
プリニアン噴火（Us-b）

Unit-C：8月18日（七月十六日）？
水蒸気マグマ噴火（火山毛の噴出）

Unit-D：8月20日（七月十八日）？
水蒸気噴火

Unit-E：8月21日（七月十九日）？
水蒸気マグマ噴火

Unit-F：8月27日（七月二十五日）
比較的大規模の水蒸気マグマ噴火

Unit-G：8月下旬ころ（七月末）
断続的に生じた複数回の小規模噴火
（水蒸気マグマ噴火）

3) 岩石学的特徴の変化

以上のように、有珠山1663年噴火では、おおまかに、(1)水蒸気マグマ噴火、(2)プリニアン噴火、(3)水蒸気マグマ噴火へと推移した。堆積物の岩石学的特徴がユニットごとに異なることを考慮すると、これら噴火様式の違いは噴出物の岩石学的特徴の違いと対応する。すなわち、活動初期の水蒸気マグマ噴火では、火山ガラスの屈折率が相対的に低く（ $n = 1.475 \sim 1.490$ ）また、3

種類の斜方輝石を噴出した。噴火様式がプリニアン噴火に移行すると、Us-1663の中で最も屈折率の高い火山ガラスと、屈折率が高くMg値が低い斜方輝石を噴出した。その後、水蒸気マグマ噴火が再び始めると、初期の活動と同様、屈折率の低い火山ガラスと、3種類の斜方輝石を噴出した。ただし前述のように、Unit-C以降の火山灰に含まれる低屈折率の斜方輝石（ $\gamma = 1.700 \sim 1.710$ ）は、捕獲岩起源である可能性が高い。しかし、軽石を純化できた試料20にも、少量ながら低屈折率の斜方輝石が含まれる。やはり、低屈折率の斜方輝石は、Us-1663における水蒸気マグマ噴火の特徴といえよう。

4) マグマ組成

Us-1663に含まれる3種類の斜方輝石は、有珠山1663年噴火に複数のマグマが関わったことを示す。この噴火のクライマックスであるUnit-Bの斜方輝石の大部分はMg値の低い（屈折率の高い）斜方輝石である。おそらく低Mg斜方輝石で特徴づけられるマグマが、マグマ溜まりの主要部を占めていたと思われる。いっぽう、それよりMg値の高い（屈折率の低い）2種類の斜方輝石も、噴火の最初期（Unit-A）において既に出現している。このことは、23種類のマグマによるミキシングが、有珠山1663年噴火のきっかけになった可能性を示す。

火山ガラスの屈折率（およびSiO₂含有量）のユニットごとの相違も、マグマ溜まりにおけるメルト組成の相違を意味する。この組成変化は連続的であり、マグマ溜まり内部に累帯構造が生じていたことを示唆する。

VII. ま と め

1. 有珠山1663年の火山活動による噴出物（Us-1663）は、岩相により7つのユニット（Unit-AからUnit-G）に区分できる。
2. Unit-Aはベースサージをとまなう水蒸気マグマ噴火、Unit-Bはプリニアン噴火、Unit-CからUnit-Gは水蒸気マグマ噴火を中心とした火山活動により生成した。
3. Unit-Bのプリニアン噴出物（Us-b 降下軽

石・降下火山灰)は、有珠山の東方 200 km に位置する十勝平野南部でも明瞭に観察される。また、水蒸気マグマ噴出物 (Unit-C から Unit-G) の一部は、有珠山の東方 100km 付近まで到達している。

4. 有珠山 1663 年噴火では、火山性地震が少なくとも 3 日続いた後、1663 年 8 月 16 日に最初の噴火 (Unit-A) が起こった。翌 8 月 17 日にクライマックスであるプリニアン噴火があり、Unit-B を形成した。爆発的火山活動は 8 月末頃まで続いたと考えられる。

5. プリニアン噴出物と水蒸気マグマ噴出物では岩石学的特徴が異なる。プリニアン噴出物は、相対的に屈折率が高いスポンジ状火山ガラス ($n = 1.490 - 1.492$) に富み、高屈折率の斜方輝石 ($\gamma = 1.735 - 1.740$)、および、少量の普通角閃石を含む。いっぽう、水蒸気マグマ噴出物は、屈折率の低いフレーク状およびスポンジ状ガラス ($n = 1.475 - 1.490$) および軽鉱物に富み、低屈折率の斜方輝石 ($\gamma = 1.700 - 1.710$) を含む。

6. 有珠山 1663 年噴火には化学組成の異なる複数のマグマが関わった。マグマミキシングが噴火のきっかけとなったと考えられる。

謝 辞

北海道大学大学院理学研究科地震火山研究観測センターの西村裕一氏には、伊達市西関内町の露頭 (Loc.11) について御教示いただいた。北海道大学大学院地球環境科学研究科 (当時) の Danko Taborosi 氏には、英文要旨を校閲していただいた。薄片作成においては北海道大学大学院理学研究科の桑島俊明技官ならびに野村秀彦技官に、鉱物化学組成・火山ガラス組成分析においては池田昌隆技官にご指導いただいた。以上の方々に厚く御礼申し上げます。

本研究には、平成 13, 14, 15 年度文部科学省科学研究費補助金 (特別研究員奨励費、代表者: 中村有吾, 課題番号 13010515) の一部を使用した。

文 献

檀原 徹 (1993) 温度変化型屈折率測定法. 日本第四

紀学会編: 第四紀試料分析法 2, 研究対象別分析法. 東京大学出版会, 149-158.

北海道火山灰命名委員会 (1972) 北海道の火山灰分布図 (1/60 万). 北海道火山灰命名委員会, 北海道農業試験場.

町田 洋・新井房夫 (2003) 新編火山灰アトラス. 東京大学出版会.

武者金吉 (1941) 増訂 大日本地震史料 第 1 巻. 文部省震災予防評議会.

中川光弘・松本亜希子・田近 淳・廣瀬 亘・大津直 (2005) 有珠火山の噴火史の再検討: 寛文噴火 (1663 年) と天明噴火 (1769 年) に挟まれた 17 世紀末の先明和噴火の発見. 火山, **50**, 39-53.

中村有吾・平川一臣 (2002) 有珠山 1663 年噴火と有珠 b テフラに関する新知見. 歴史地震, **18**, 123-126.

中村有吾・片山美紀・平川一臣 (2002) 水和の影響を除去した北海道の完新世テフラガラスの屈折率. 第四紀研究, **41**, 11-22.

Nakamura, Y., Katayama, Y. and Hirakawa, K. (2002) Hydration and refractive indices of Holocene tephra glass in Hokkaido, Northern Japan. *J. Volcanology and Geothermal Res.*, **114**, 499-510.

Oba, Y. (1966) Geology and petrology of Usu volcano, Hokkaido, Japan. *J. Faculty of Science, Hokkaido University, Series 4*, **13**, 185-236.

大場与志男・近堂祐弘 (1964) 有珠火山の降下軽石堆積物について. 火山, **9**, 75-86.

奥村公男・佐藤博之・小野晃司・曾屋龍典 (1979) 有珠山火山末期活動噴出物の斑晶の累帯構造. *Magma*, **55**, 11-16.

瀬尾春雄・後藤計二・天野洋司・佐々木竜男・富岡悦郎 (1968) 胆振国土性調査報告—胆振支庁管内 (市を含む)—. 北海道農業試験場土性調査報告, **18**, 1-294.

曾屋龍典・勝井義雄・新井田清信・堺幾久子 (1981) 有珠山地質図. 火山地質図 2, 地質調査所.

東京大学地震研究所 (1982) 新収 日本地震史料 第二巻. 東京大学地震研究所.

Tomiya, A. and Takahashi, E. (1995) Reconstruction of an evolving magma chamber beneath Usu volcano since the 1663 eruption. *J. Petrology*, **36**, 617-636.

浦上啓太郎・長沼祐二郎・富樫利八 (1933) 北海道に於ける火山灰に関する調査 (第 2 報) 中部胆振国に於ける火山灰の分布に就いて. 火山, **1**, 81-94.

山田 忍 (1958) 火山噴出物の堆積状態から見た沖積世における北海道火山の火山活動に関する研究. 地団研専報, **8**, 1-40.

横山 泉・勝井義雄・大場与志男・江原幸雄 (1973) 有珠山, 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, **3**, 北海道防災会議.

(2004 年 10 月 13 日受付, 2005 年 5 月 30 日受理)