

# 有珠火山の噴火史の再検討： 寛文噴火（1663年）と明和噴火（1769年）に挟まれた 17世紀末の先明和噴火の発見

中川光弘\*・松本亜希子\*・田近 淳\*\*・広瀬 亘\*\*・大津 直\*\*

(2004年1月14日受付, 2005年1月8日受理)

## Re-investigation of Eruption History of Usu Volcano, Hokkaido, Japan: Finding of Pre-Meiwa Eruption (Late 17<sup>th</sup> Century) between Kanbun (1663) and Meiwa (1769) Eruptions

Mitsuhiro NAKAGAWA\*, Akiko MATSUMOTO\*, Jun TAJIKI\*\*,  
Wataru HIROSE\*\* and Tadashi OHTSU\*\*

We newly identified tephra layers sandwiched by soil layers between AD 1663 (Kanbun age) and 1769 (Meiwa age) tephra at several sites on the northwestern flank of Usu volcano. The layers consist of pumice fall, ash fall and pyroclastic surge deposits. The presence of soil layers were confirmed by their carbon and nitrogen analysis. Petrographical and geochemical features of the pumice from newly recognized tephra largely differ from those of 1663 eruption, and are similar to those of 1769 one. However, on the basis of modal volume and chemical compositions of phenocrystic minerals, it can be possible to distinguish the pumice from those of the 1769 eruption. Considering the thickness of soil layers, the eruption would occur at around end of 17<sup>th</sup> century. We name the eruption as the pre-Meiwa eruption, because petrological features of the pumice is similar to those of 1769 (Meiwa). The eruption was generated by distinct magma from other historic eruptive magmas. The sequence of the tephra suggests that the eruption started with phreatic eruptions followed by magmatic eruption to form plume. In the climactic stage, pyroclastic surge occurred with the formation of plume and its activity ended with phreatic eruptions. The finding of the pre-Meiwa eruption could provide important information to reveal not only relationship between eruption and dormancy but also evolution of magma systems.

**Key words:** Usu volcano, pre-Meiwa eruption, historic eruptions, tephra, soil layer

### 1. はじめに

有珠山は西南北海道に位置する洞爺カルデラの後カルデラ火山で (Fig. 1), 数 1000 年にわたる休止期の後, 西暦 1663 年 (寛文 3 年) から噴火活動を再開した (横山・他, 1973). それ以降, 2000 年の噴火まで少なくとも 8 回のマグマ噴火, あるいはマグマの浅所貫入を伴う本格的噴火が記録されている. 特に 19 世紀以前の噴火については, 古記録の解析と詳細な地質学的調査を組み合わせ, 噴火履歴と噴火様式は解明されてきた (曾屋・他,

1981). その結果, 有珠火山での噴火と休止期の規則性が明らかにされた. それによると 1663 年噴火の後, 106 年の休止期を経て 1769 年 (明和 5 年) に再び噴火した. それ以後は 30-50 年の休止期と噴火を繰り返しており, この噴火と休止期の規則性が有珠火山における噴火の長期予測の基礎となった (横山・他, 1973). しかしながら寛文噴火と明和噴火の間は, 休止期が 106 年と他の休止期と比べると異常に長い. この長い休止期の意味を考えると, 有珠火山の噴火の周期性を科学的に解釈する

\* 〒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  
Division of Earth & Planetary Sciences, Graduate  
School of Science, Hokkaido University, N10 W8,  
Kita-ku, Sapporo 060-0810, Japan.

\*\* 〒060-0819 札幌市北区北 19 条西 12 丁目

北海道立地質研究所  
Geological Survey of Hokkaido, N19 W12, Kita-ku,  
Sapporo 060-0819, Japan.

Corresponding author: Mitsuhiro Nakagawa  
e-mail: nakagawa@ep.sci.hokudai.ac.jp

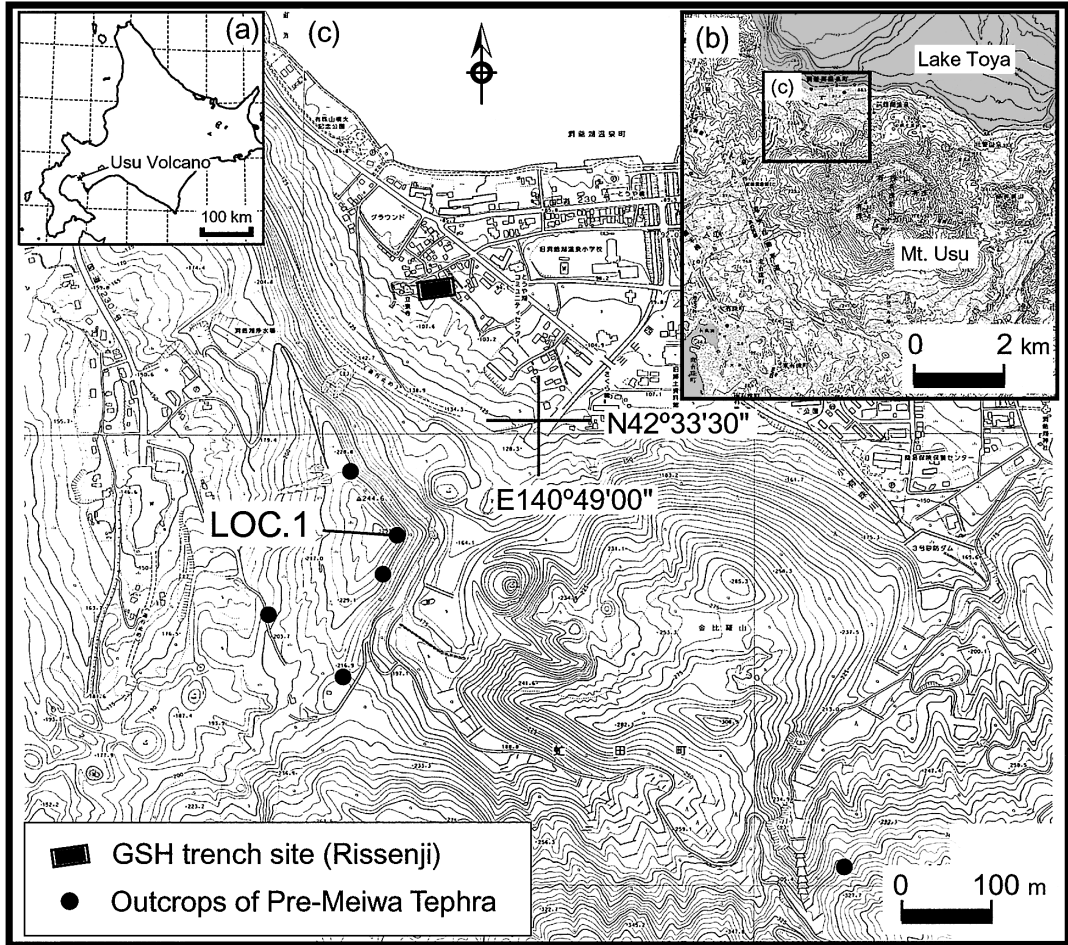


Fig. 1. Index map of Usu volcano, showing the locations of the trench site and outcrops where unknown tephra layer has been recognized. Basal map of 1: 10,000 topographical map of Geographical Survey Institute.

ためには重要であると考えられてきた。しかしながら北海道では古記録に乏しく、特に17-18世紀以前の噴火履歴を考える場合には注意が必要である。有珠火山における1663年と1769年の間の噴火活動については、規模が小さい噴火の場合は記録には残っていない可能性も考えられる。

北海道立地質研究所では2001年秋に、有珠火山の歴史時代噴火に伴う地殻変動の履歴を明らかにする目的で、有珠火山の北西山麓でトレンチ調査を行った。そこに露出した地層を調査してゆく過程で、我々は1663年と1769年噴火堆積物の間に、土壌を挟んで、これまで知られていない火山噴火堆積物を見出した。そして周辺地域の地質調査と堆積物の岩石学的検討を行い、新たに見出した堆積物が、1663年と1769年の間に発生した有珠火山のマグマ噴火の産物であることが明らかになった。

本報告ではこの堆積物の野外の産状および噴出物の岩石学的特徴について記載し、その意義について述べる。

## 2. 地質記載

トレンチ調査は有珠火山北西山麓、洞爺湖温泉街の中心部から西南西に約500mの位置にある立泉寺の境内で行われた (Fig. 1)。その壁面に有珠火山1663年噴出物及びその上位の噴出物が露出した (Fig. 2)。最下位の堆積物は茶褐色をしたサージ堆積物である。また堆積物中に含まれる軽石は白色で斑晶に乏しい。これらの岩相及び軽石の岩質からは、この最下位の堆積物は、有珠火山1663年噴火堆積物のうち、プリアン降下軽石層の上位の、ベースサージからなるUs-b1~6とされる層準 (曾屋・他, 1981) のいずれかに対比される。その上位には土壌を挟んで3層の主要な火山砕屑物が認められる。そ

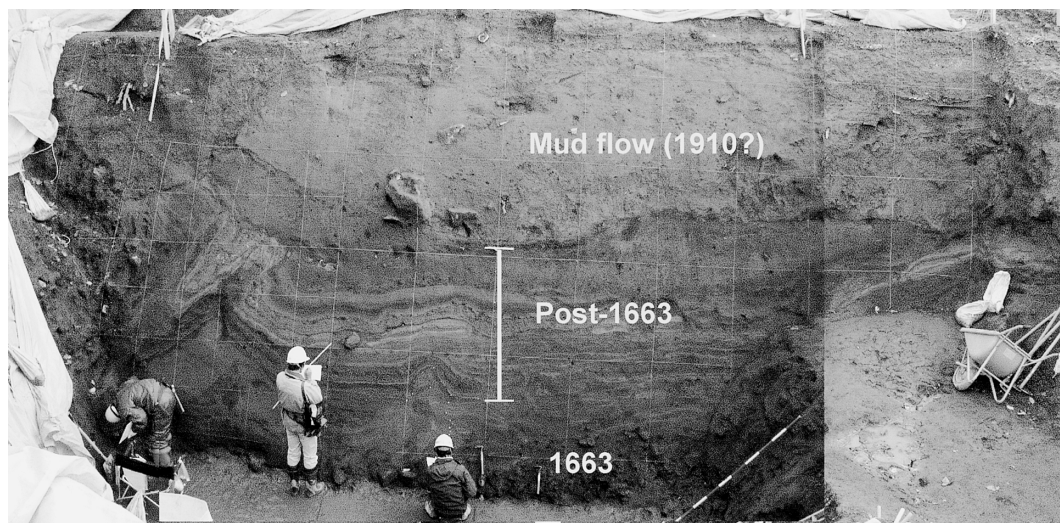


Fig. 2. Trench site at the Rissenji temple of Toyako spa, Abuta town.

れらを上位より A, B として C 層と仮に呼ぶ。これらは地殻変動や地すべりによって堆積後の乱れが著しい。A 層の上位には土壌及び再堆積した地層を挟んで、円磨された岩片が、淘汰の比較的良好な灰褐色を呈するシルトからなる基質中に散在する土石流堆積物がある。それより上位の地層は人為的に攪拌されている (Fig. 2)。

上記の1663年堆積物およびA-C層の3つの堆積物の累重は、トレンチ地点の南～南東の6箇所においても確認した (Fig. 1)。上記の露頭のうちの地点1では、堆積後の地殻変動や人工的な改変の影響が少なく、各層の特徴がよく観察できる (Figs. 3 and 4)。地点1では、立泉寺では認められたA層の上位の土石流堆積物を欠くが、土壌および再堆積層を挟んで1977年噴火の降下軽石堆積物が覆う。以下に地点1での観察結果を記す。

A層は、弱く土壌化し時間間隙を示すと考えられる薄層 (5mm>) を挟んで、上位と下位に2分できる。A層のうち下位層は層厚が約13cmで、火砕流堆積物および降下火山灰層からなる。火砕流堆積物中の本質岩片は発泡度が低い。上位層は層厚が約12cm、火砕流堆積物および降下火山灰層からなり、軽石の発泡度は低い。これらの火砕流堆積物は基質および岩片は高温酸化のため、全体として赤みがかった灰色を呈することが特徴である。

B層は層厚約20cm、下位から降下火山灰層と降下軽石層、降下軽石の薄層を挟む降下火山灰層、分級の良好な火山灰からなる火砕サージ堆積物、降下軽石層、そして降下火山灰層の順に累重している。下位の降下軽石層中には、分級の良好な軽石層の間に火山灰まじりの軽石層が

挟まれる。軽石及び同質の細粒火山灰はA層と異なり、茶灰色～灰白色を呈する特徴がある。またB層の軽石は、A層のものと比較して発泡度が高い。

C層は層厚は約17cm、下位から降下火山灰層、降下軽石層、降下火山灰層、細粒降下軽石層、降下火山灰層、火砕サージ堆積物、火山灰層を挟む降下軽石層、そして降下火山灰層の順に堆積している (Fig. 3)。降下軽石層の軽石は最大粒径は5cm、平均1-2cmであり、白色を呈し発泡度は比較的良好である。火砕サージ堆積物は、分級がよく弱く成層している。最下位及び最上位の火山灰は灰白色の粘土質であり、本質物の可能性のある軽石片や新鮮なガラス片は含まれていない。

土壌の厚さはA層とB層の間は約1-2cm、B層とC層の間も約1-2cmで明瞭である。一方、1663年噴火物とC層の間は0.5-1cm程度で、他の土壌と比べると不明瞭である。

### 3. 実験方法

上記の露頭から採取されたサンプルについて、まず土壌の存在を、全炭素・全窒素量分析によって検討した。サンプリングは対象とするテフラ層の最下層を基準として、上下1cmは0.5cmの幅で、その上下は1cm間隔で試料を採取した。それとは別に2cmの厚みでも採取した。採取した試料は60℃で2時間乾燥させた。乾燥させた試料から約10mg (10-11mg) 秤量し、有機炭素分析用は銀箔に入れる。銀箔には1規定の塩酸を試料が全て浸るまで加え、発泡しないことを確認した後、110℃のホットプレートで3時間加熱し、試料を乾固させ、銀箔



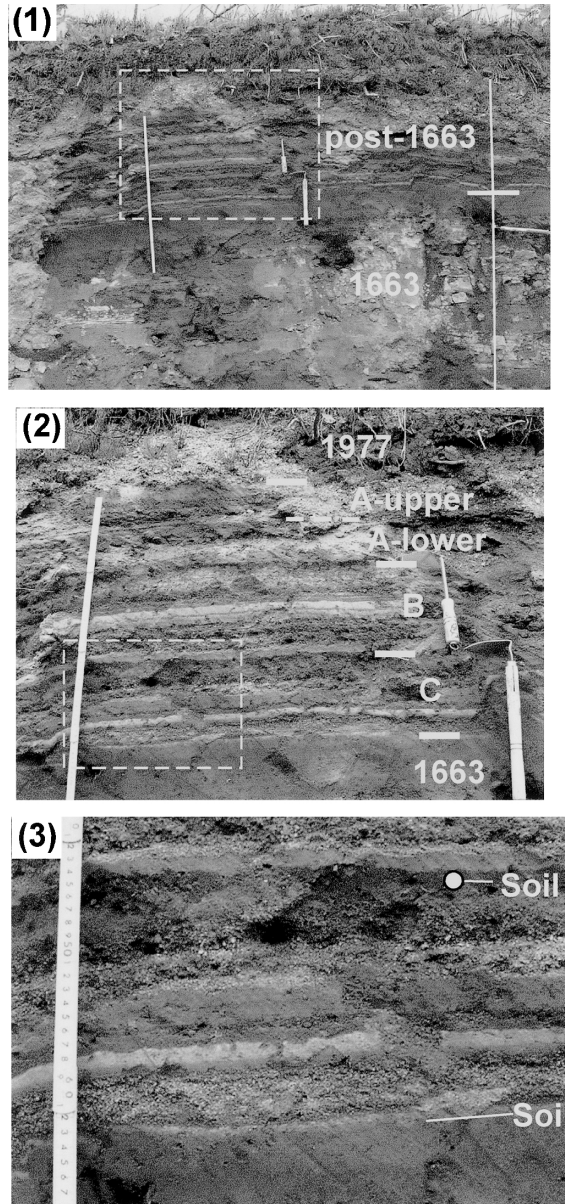


Fig. 3. Historic tephra layers outcropped west of Konpira crater (Loc. 1 of Fig. 1).

- (1) The outcrop at Loc. 1, indicating tephra layers from Us-b surge deposits (AD 1663) to pumice fall deposit (AD 1977). Dotted square shows the area of photograph 2.
- (2) Tephra layers between Us-b surge deposit of 1663 eruption and 1977 pumice fall layer. We recognized three or four layers on the basis of soil and weathered layers. Bar indicates 1m thick. Dotted square shows the area of photograph 3.
- (3) Photograph of the Unit C, which is considered as newly found tephra (Pre-Meiwa tephra) in this study.

に畳む。その試料を北海道大学の PERKIN ELMER 2400 II CHN ANALYZER により全窒素、全有機炭素濃度を測定した。定量用標準試料はキシダ化学(株)の

Acentanilide (C=71.09%, N=10.36%) を用いた。

それぞれのテフラ層から、粗粒部については軽石を、細粒部については層全体を採取した。細粒試料はまず超

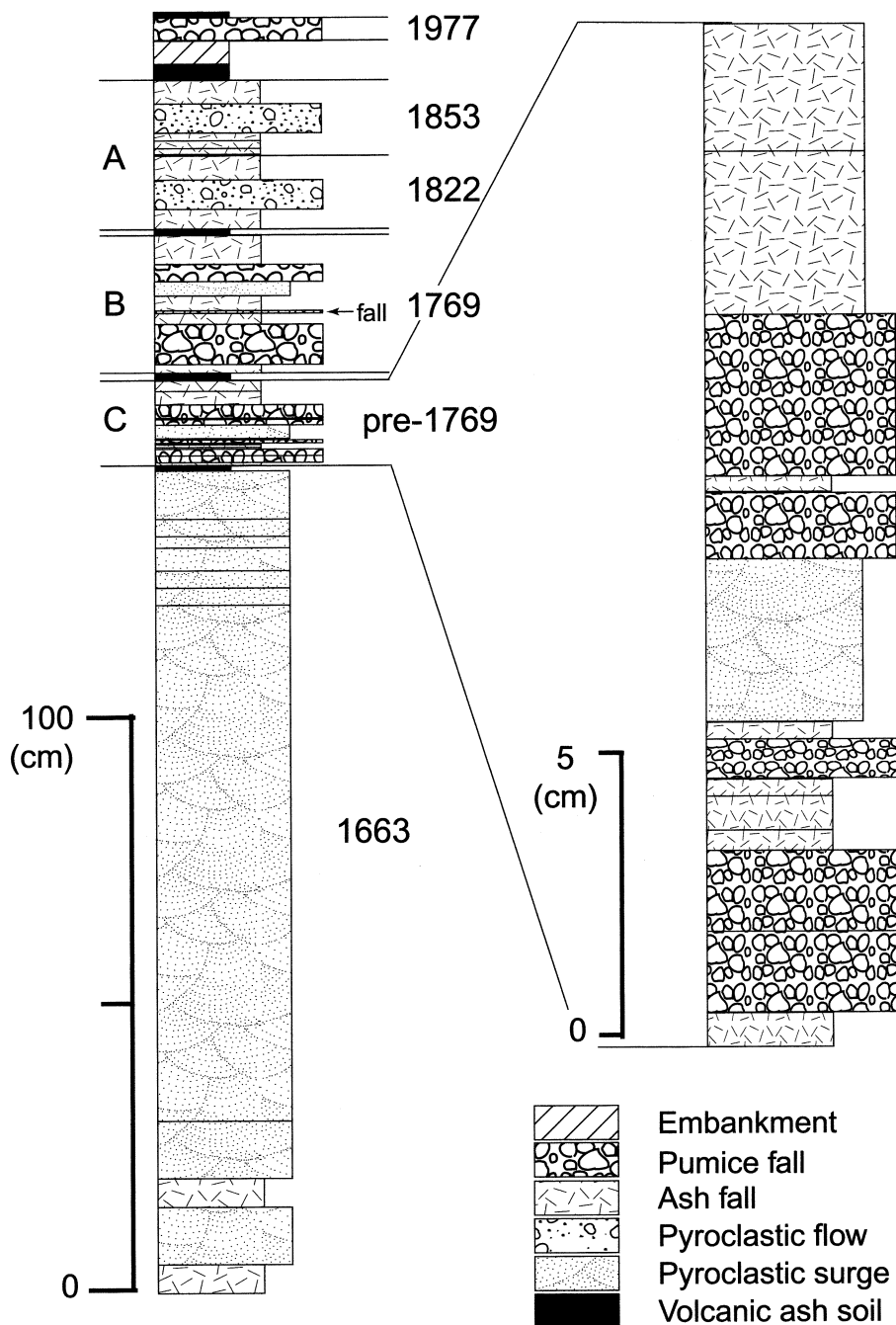


Fig. 4. Columnar section of the outcrop at Loc. 1.

音波洗浄を行い微粒部を除去した後、実体顕微鏡で粒子の識別と選別を行い、そして代表的な構成物について薄片を作成した。径5 cm以上の軽石については個別の軽石について薄片作成と全岩分析用の粉末を作成した。それ以下の大きさの軽石については、径2 cm以上のもの

について肉眼でタイプに分け、それぞれのタイプで複数個を合わせて、薄片作成及び粉碎し全岩分析に供した。しかしながら肉眼で分けたタイプを比較すると、薄片での特徴及び全岩化学組成に差は認められなかった。以下の記述では特に肉眼でのタイプ分けは用いない。鉱物組

成分分析は薄片を用いるほかに、軽石を粉砕し水簸し鉍物を集め、その後鉍物分離を行い、薄片を作成して分析した。分析は全て北海道大学で行われ、全岩化学組成はXRF (Philips-PW-1404)、鉍物化学組成はEPMA (JEOL-8800) で求めた。ガラスの分析はSEM-EDX システム (JEOL-330 & Link-880) とEPMAで行った。

#### 4. 土壌の炭素・窒素分析

Fig. 5 に土壌と野外で判定した層と、その上下から採取したサンプルの炭素量 (有機炭素量: 以下同じ) と窒素量を示した。1663年テフラとC層の境界にある、土壌と考えられる層の直上の、C層テフラ最下部は炭素量は0.2%以下であるが、土壌と考えられる層では炭素量は0.5%以上になり、境界から0.5-1cm深度では最大値の1.1%に達する。それより境界から離れると炭素量は単調に減少し、境界より7cm深度では0.2%となる。窒素量も炭素量と同様の変化を示し、境界から7cmの深度までは窒素量はその上下より高い。

この結果は、1663年テフラとC層の間には炭素及び窒素に濃集した層が形成されていることを示している。またそのC/N比は約10であり、生きている植物による炭素の混入の可能性は否定される (例えば米林, 1997)。

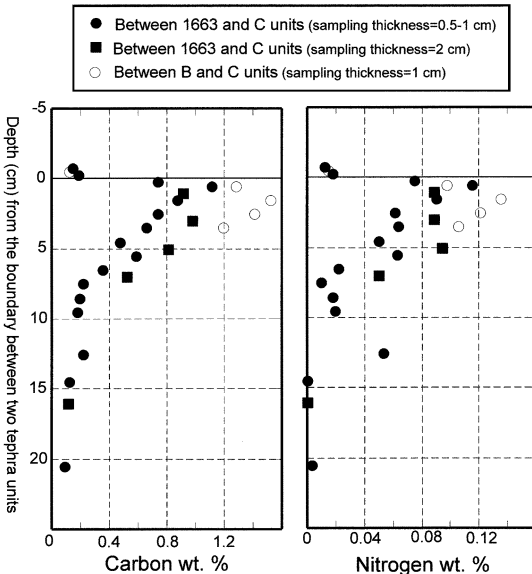


Fig. 5. Carbon (organic carbon) and Nitrogen contents of layers between Us-b (1663) and Unit C, and between Unit C and B. Depth 0 means the top of soil layer identified in the field. Systematic sampling based on its depth was carried out.

したがって1663年テフラとC層の境界にある野外で土壌層と判断した茶褐色層は、C層によって埋没した古土壌であることが炭素及び窒素量分析によって示された。ただし野外では茶褐色層は約1cm前後であり、それを土壌層の厚さと考えたが、分析によると土壌化は約7cm深度程度まで進行していたことが明らかになった (Fig. 5)。

比較のために測定したC層とB層境界の土壌は、採取した4cmまでの炭素量は1.2%以上で、1-2cmで最大値の1.5%となる。この値は1663年テフラとC層境界の土壌層のそれより有意に高い。この差が、C層とB層境界層の方が、1663年テフラとC層境界よりも明瞭な土壌層として野外で認識した理由であろう。

以上の結果から、1663年テフラおよびA-C層の間には土壌が存在し、それぞれが独立した別の時代の噴出物であるとした、野外での観察事実が確かめられた。

#### 5. 岩石記載及び全岩化学組成

A~C層の軽石は斑晶量5-20%の斑晶を含む。それらの斑晶は最大径2mm、普通は1mm以下であり、斜長石、斜方輝石及びチタン磁鉄鉍を含み、その他に微量の単斜輝石および普通角閃石を伴う (Table 1)。それらの斑晶の間を無色ガラスが埋める。斑晶量はC層が最も少なく5-6%で、B層そしてA層の軽石と上位に向かって次第に斑晶量が増加する。

3層の軽石はいずれもデイサイト~流紋岩であり、ハーカー図上で有珠火山の1663年以降の歴史時代噴出物の組成変化トレンド上にプロットされる (Fig. 6)。BとCの軽石のSiO<sub>2</sub>量 (無水100%換算) はそれぞれ、71.9-72.5%及び71.5-72.5%であるが、A層中の軽石は69.5-71.5%で、BおよびC層の軽石よりSiO<sub>2</sub>に乏しい。有珠火山の1663年噴火からの歴史時代噴火のマグマの特徴として、その全岩化学組成が時間とともに次第にSiO<sub>2</sub>やMgOに乏しくなることが指摘されてきた (Oba *et al.*, 1983; 中川・他, 2002)。Fig. 7にA-Cの軽石のSiO<sub>2</sub>及びMgO量を、他の歴史時代噴出物と比較した。これによるとA層の軽石は1822年あるいは1853年噴出物の組成範囲に含まれる。一方、B層とC層の軽石はいずれも1769年噴出物と一致する。

#### 6. 堆積物の噴火年代の特定

##### 6-1 岩相・土壌の存在による噴火年代の対比

有珠火山の噴火履歴 (曾屋・他, 1981) を考えると、作業仮説としてA-C層は1663年以後1853年噴火までの堆積物に対比される可能性が高く、トレンチで見出されたA層上位の泥流堆積物は1910年噴火の産物であると

Table 1. Whole-rock chemistry and modal volume of phenocrystic minerals of pumices of historic eruptions and Unit C (pre-Meiwa tephra).

No. unit type	Tr-3-1 A p	Tr-3-2 A p	Tr-3-3 A p	Tr-4-2 A p	Tr-2-5 B p	Tr-7-1 C p	Tr-7-2 C p	Tr-7-5 C p	Tr-7-7 C p	Tr-7-13 C p	2-11-3 1663 p	2-9-4 1663 p
(wt.%)												
SiO <sub>2</sub>	72.83	71.96	70.89	68.97	73.39	72.70	73.79	71.90	71.88	72.97	73.98	76.19
TiO <sub>2</sub>	0.35	0.35	0.37	0.37	0.32	0.31	0.29	0.29	0.32	0.29	0.21	0.17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.95	14.74	14.87	14.80	14.66	14.51	14.67	14.45	14.44	14.75	14.09	13.73
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.68	3.75	3.91	4.18	3.61	3.56	3.29	3.52	3.82	3.45	2.77	2.38
MnO	0.16	0.16	0.17	0.18	0.15	0.16	0.15	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15
MgO	0.80	0.82	0.82	0.91	0.72	0.73	0.63	0.72	0.83	0.68	0.44	0.27
CaO	3.24	3.21	3.48	3.60	3.02	3.00	2.88	3.01	2.99	3.05	2.40	2.06
Na <sub>2</sub> O	4.57	4.49	4.64	4.62	4.61	4.62	4.64	4.69	4.56	4.70	4.65	4.75
K <sub>2</sub> O	0.99	0.97	0.98	0.93	1.03	1.09	1.02	1.04	1.07	1.00	1.07	1.09
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12	0.12	0.12	0.12	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.07	0.06
total	101.67	100.58	100.23	98.68	101.61	100.78	101.45	99.88	100.18	101.14	99.84	100.85
Modal vol. %												
gm					81.8	94.0			93.5	95.4		97.1
pl	10.8				16.3	4.9			3.5	3.6		2.7
opx	0.8				1.3	0.7			2.0	0.5		0.2
cpx	-				-	tr			tr	-		-
hb	-				0.1	0.1			0.1	0.3		-
opq	0.4				0.4	0.3			1.5	0.2		-
qtz	0.5				tr	tr			-	-		-
No. year type	3-6-3-a 1769 p	3-4-2-2 1769 p	1-35-3 1822 p	1-19-1 1822 p	Os-1 1853 ld	Os-2 1853 ld	Shw-1 1943 ld	B1-35-3 1977 p	B4-29-3 1977 p	Y-3M-3 2000 p	Y-1-22H-4 2000 p	
(wt.%)												
SiO <sub>2</sub>	70.32	71.60	71.03	69.97	70.50	69.57	69.80	69.68	68.35	69.71	68.30	
TiO <sub>2</sub>	0.33	0.29	0.35	0.37	0.37	0.37	0.42	0.44	0.45	0.47	0.47	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.48	14.27	14.54	14.90	14.74	14.70	15.00	15.05	14.81	15.04	15.07	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.76	3.42	3.72	4.11	3.93	3.94	4.02	4.09	4.25	4.31	4.37	
MnO	0.16	0.16	0.16	0.17	0.16	0.17	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	
MgO	0.78	0.65	0.78	0.87	0.84	0.82	0.85	0.92	0.97	1.00	0.99	
CaO	3.31	2.95	3.33	3.56	3.42	3.51	3.64	3.73	3.89	3.88	3.99	
Na <sub>2</sub> O	4.61	4.59	4.57	4.57	4.59	4.58	4.50	4.54	4.56	4.49	4.50	
K <sub>2</sub> O	0.94	1.00	0.96	0.93	0.92	0.91	0.90	0.92	0.88	0.90	0.90	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11	0.09	0.12	0.12	0.10	0.13	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16	
total	98.80	99.02	99.56	99.57	99.56	98.70	99.43	99.67	98.47	100.12	98.91	
Modal vol. %												
gm	84.4		88.4	90.0	84.1	86.9	87.4	95.1		89.6	90.5	
pl	12.8		10.3	7.7	13.4	11.4	11.0	4.2		9.2	8.6	
opx	2.0		0.8	1.5	1.6	1.1	1.0	0.6		1.0	0.7	
cpx	tr		-	-	-	-	-	-		0.1	tr	
hb	0.5		-	-	-	-	-	-		-	-	
opq	0.6		0.4	0.7	0.7	0.5	0.5	0.1		0.1	0.2	
qtz	tr		tr	tr	-	-	-	-		-	-	

考えられる。その後の3回の噴火である1943-45年、1977-78年そして2000年の噴火堆積物は、1977年軽石層は認められるものの、ほとんどは堆積物が薄い、あるいは噴火後の人工的な改変によって認めらなくなっている。

単純に明瞭な土壌の存在だけで考えると、AからC層は、それぞれ1853年、1822年そして1769年に対比できる可能性がある。これら3つの噴火については詳細な地質記載(横山・他, 1973; 曾屋・他, 1981)や、山麓周辺での我々による地質調査の結果を参考にすると、上記の

対比には疑問が生じる。すなわち代表的な露頭では、1769年の堆積物は軽石や細粒部は灰白色を呈し、逆に1822や1853年はやや赤みを帯びた高温酸化を受けていることで特徴づけられる。また軽石の発泡度は1769年では良好であるが、1822年では発泡度は不良であることが多い。この野外での産状を参考にすると、A層は1822年および1853年堆積物のいずれかあるいは両方、B層は1769年堆積物と考えたいが、その場合にはC層の存在が説明できない。

## 6-2 噴出物の岩石学的対比



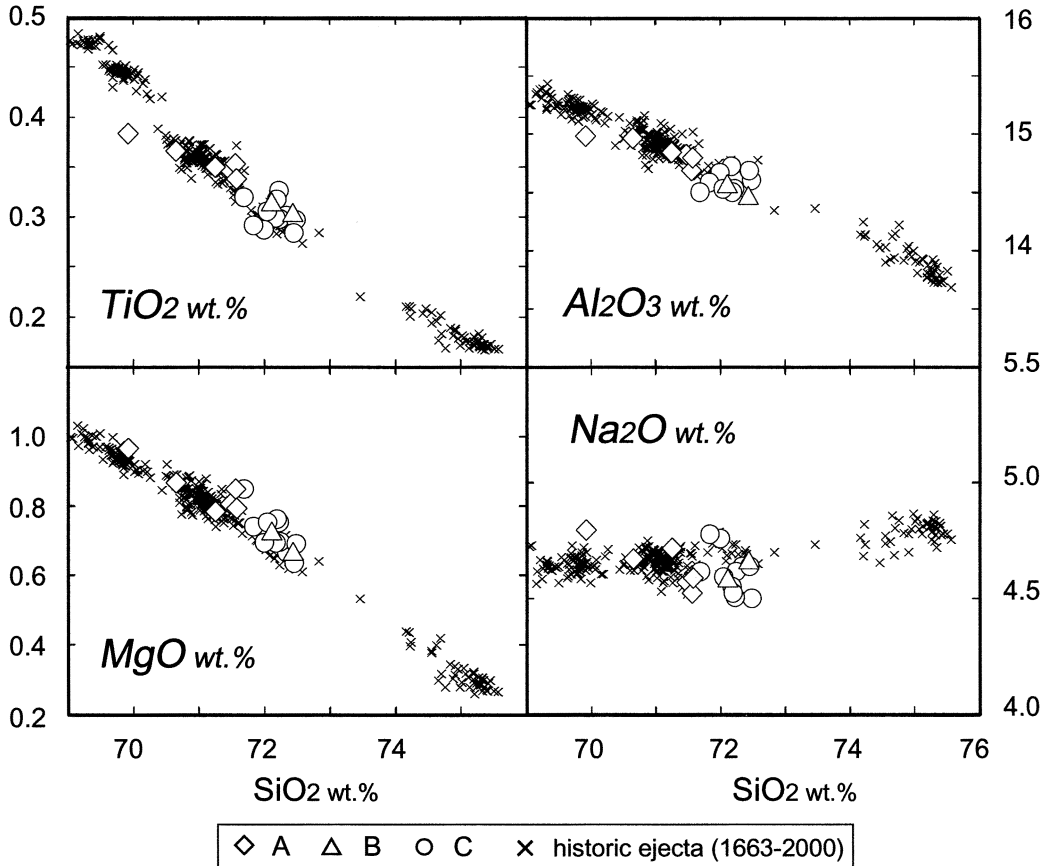


Fig. 6. Whole-rock chemical compositions of pumice from three layers found at outcrops of northwestern flank of Usu volcano.

既に述べたように、有珠火山の歴史時代噴火のマグマは、噴火年代が進むにつれて、次第にマフィックに変化する。逆にこの関係を利用することによって、有珠火山の場合、未知の噴出物の噴火年代を、噴出物の岩石学的性質を用いて決定できる。軽石の全岩化学組成に注目すると、A層は1822年あるいは1853年噴火に対比できる。先にA層は不明瞭ではあるが土壌と考えられる層を挟んで上下に分けられると述べたが、この下位のユニットが1822年、上位が1853年噴出物に対比される可能性がある。

B層およびC層は岩石学的性質からはいずれも1769年噴出物に対比できる。岩相および層内の堆積物の層序からは、B層は1769年噴出物に対比できる。それに対してC層は軽石の岩石学的性質からは1769年と酷似するものの、B層とC層の境界の土壌の存在を考えると、別の噴火堆積物とみなさなければならない。

## 7. C層と1769年噴出物の比較

地質学的検討により、C層は1663年と1769年の間に起こった、これまで認識されていない噴火の堆積物と考えられる。しかしながら全岩化学組成では、C層は1769年噴火と区別できない。ここではC層の本質噴出物（軽石）について、1769年噴出物との比較を中心に検討する。比較検討した1769年噴出物は、有珠火山南斜面に露出する1769年の山体近傍層から採取した軽石を用いている。その他に、1663年と1822年噴出物も模式地で採取した試料とも比較する（松本、未公表データ）。

### 7-1 記載岩石学

C層と1769年の軽石は、共に斜長石、斜方輝石及び磁鉄鉱を主要な斑晶鉱物とし、その他に少量の普通角閃石と普通輝石斑晶を含み、稀に石英が斑晶として認められる。斑晶モードは1769年軽石が15%前後であるのに対して、C層は6%前後である（Table 1）。鏡下でも、C層の軽石と比べて、1769年軽石の方が微斑晶サイズの結晶



数が増加している (Fig.8). このことから, C層と1769年軽石の斑晶組み合わせは類似しているが, 記載岩石学的には両者は同一のものであるとは判定できない.

### 7-2 ガラス組成

C層及び1769年輕石の石基ガラスの化学組成は,  $\text{SiO}_2=77-80\%$ ,  $\text{TiO}_2=0.1-0.25\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3=11-13\%$ ,  $\text{FeO}=1-2\%$ ,  $\text{K}_2\text{O}=1.5\%$  で類似した組成を示す (Fig. 9). 両者を比較すると, 1769年輕石のガラスの方が組成幅が

広く,  $\text{SiO}_2>79\%$  のより  $\text{SiO}_2$  に富んだガラスに卓越する特徴がある.

### 7-3 鉱物化学組成

斜長石および斜方輝石斑晶 (Table 2) は, 1663年が極端なバイモーダルな組成分布を示すのに対して, 1769年では広く連続的な組成分布を示す (Okumura *et al.*, 1981; Tomiya and Takahashi, 1995). 実際に1663年輕石では斜長石は  $\text{An} (100 \cdot \text{Ca}/(\text{Ca}+\text{Na}+\text{K}))=40-50$  と85前後, 斜方輝石は  $\text{Mg}\# (100 \cdot \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}))=42-47$  と70前後のバイモーダル分布である. 一方, 1769年輕石では斜長石は  $\text{An}=40-85$ , 斜方輝石は  $\text{Mg}\#=42-70$  までのユニモーダルな広い組成分布を示す. チタン磁鉄鉱は1663年ではウルボスピネル成分が35 mole%,  $\text{Mg}/\text{Mn}$  比が1であるが, 1769年ではそれぞれ30-40 mole%, 1.5-2.5の値をとる. そして僅かに含まれる単斜輝石は1663年の方がより  $\text{Mg}$  に富み, 普通角閃石では1663年の方がより  $\text{Mg}$  に富む傾向がある (Fig. 10).

C層の軽石は, 各斑晶鉱物の組成範囲では, 1769年のそれと酷似する. すなわちC層の軽石中の斜長石や斜方輝石では, 1769年と同様に広い組成幅を有し, チタン磁鉄鉱のウルボスピネル量や  $\text{Mg}/\text{Mn}$  比でも1769年と類似している. しかしながら斜長石と斜方輝石斑晶の組成分布では差異が認められ, C層では  $\text{An}=40$  のCaに乏しい斜長石, そして  $\text{Mg}=43$  前後のFeに富んだ斜方輝石斑晶の量比が, 1769年のそれと比べて高い. また単斜輝石斑晶や普通角閃石でも, 1769年には認められなかったよりFeに富んだ斑晶が出現する (Fig. 10). 以上のように鉱物組成からは, C層の軽石は1769年のそれとは区別できる.

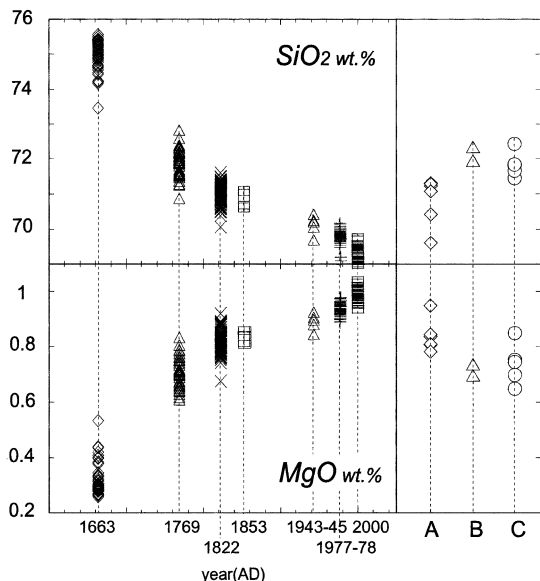


Fig. 7. Temporal changes in whole-rock  $\text{SiO}_2$  and  $\text{MgO}$  contents of historic ejecta of Usu volcano (modified from Nakagawa *et al.*, 2002), and compositional variations of whole-rock  $\text{SiO}_2$  and  $\text{MgO}$  contents of pumices from three units.

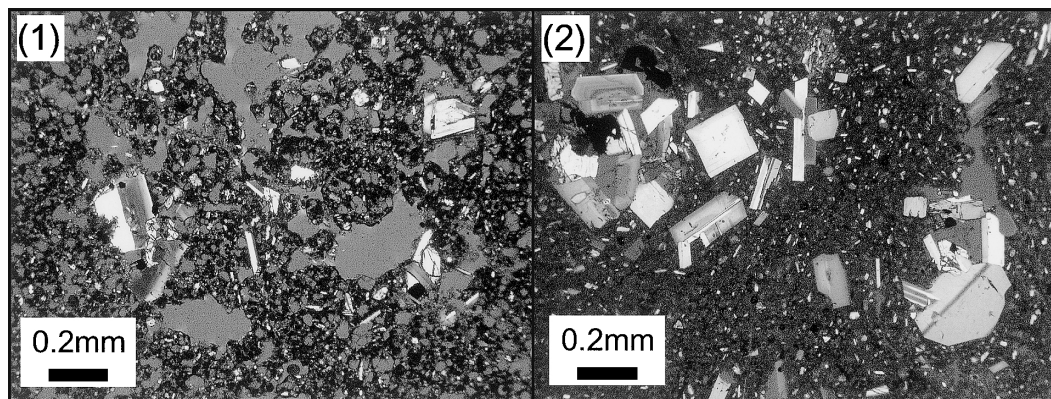


Fig. 8. Microscope photograph (half nicol) of thin sections of pumice. (1) Unit C, (2) Meiwa (AD 1769).

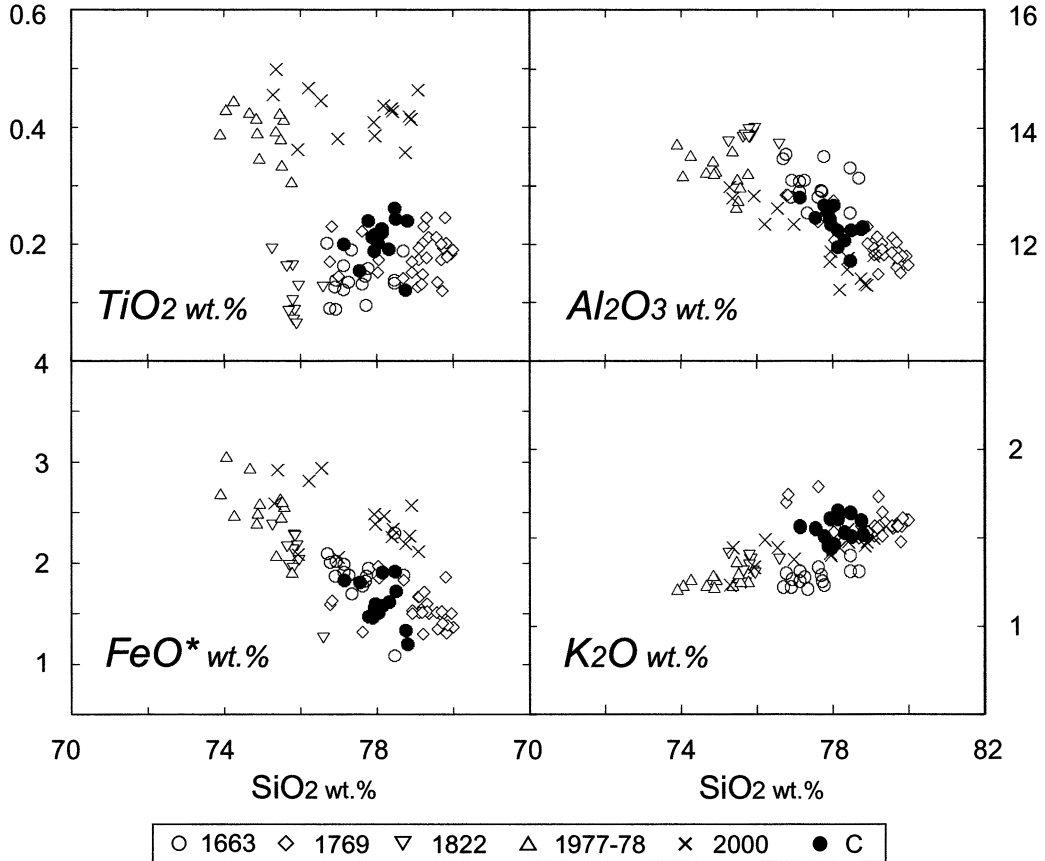


Fig. 9. Chemical compositions of matrix glass compositions of historic pumices and those of Unit C.

## 8. 議 論

### 8-1 先明和噴火の提唱

露頭での土壌の存在、堆積物の岩相、それから読み取れる噴火推移、軽石の岩質および全岩化学組成から、A層は1822年と1853年、B層は1769年噴火に対比されることは既に述べた。1769年と1663年噴出物との間に土壌を介して存在するC層は、その層厚や軽石の岩質や岩石学的性質から有珠火山の噴出物であることは明らかである。しかしながら1663年から1769年の間に噴火は記録されていないし、地質学的にも認識されていなかった(曾屋・他, 1981)。

C層の軽石は1663年の軽石とは明瞭に異なるが、1769年噴火のそれとは類似する。詳細な岩石学的検討によると、C層の軽石は1769年噴火のそれと比較して、斑晶量が少なく、普通角閃石の組成が異なる。さらに斜長石と斜方輝石の斑晶の組成分布でも区別できる。よってC層のマグマは、有珠火山1663年から2000年の噴火で放出されたマグマのいずれとも一致しない、独立したマ

グマであると結論できる。

近年、噴火毎に異なる岩石学的性質を有するマグマが活動することが、詳細な研究によって明らかになってきた(有珠火山: 中川・他, 2002; 三宅島: Amma-Miyasaka and Nakagawa, 2003; ルアペフ火山: Nakagawa *et al.*, 1999)。逆に、過去に放出されたマグマとは識別できるマグマを確認することが、噴火での本質物の認定で重要なことが最近の噴火事例で示されてきた(中川・他, 2002; 東宮・宮城, 2002; 高橋・他, 2004)。C層をもたらした噴火では、これまで認識されてきたいずれのマグマとも区別できる、別の岩石学的性質を持つマグマが活動した。このことは、1663年と1769年の間に、これまでは認識されていない有珠火山のマグマ噴火があったとの地質学的結論と調和的である。

C層の噴火年代は不明であるが、C層の上下の土壌の発達状態を考慮すると、1663年と1769年の間で、より1663年に近い時期であると考えられる。野外での土壌の層厚(1cmと2cm)を考えると、噴火年代は17世紀末

Table 2. Representative chemical compositions of phenocrystic minerals of pumice of Unit C (pre-Meiwa tephra).

mineral	PL	PL	PL	OPX	OPX	OPX	OX	OX	OX	CPX	CPX	HB	HB				
sample.No	tr-79	tr-71	tr-79	tr-71	tr-71	tr-72	tr-77	tr-77	tr-79	tr-77	tr-77	tr-77	tr-77				
grain.No	pl81	pl46	pl129	opx18	opx23	opxb42	mt27	mt18	mt36	cpx10	cpx7	hb17	hb18				
(wt%)																	
SiO <sub>2</sub>	58.20	60.24	46.47	49.78	50.58	53.35	0.10	0.07	0.09	51.25	51.61	45.56	47.42				
TiO <sub>2</sub>				0.17	0.18	0.15	12.41	11.24	11.19	0.24	0.25	2.00	1.51				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.67	25.36	34.09	1.31	1.05	0.81	2.37	2.61	2.39	1.67	1.09	9.46	6.91				
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.05	0.00	0.02	0.01				
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							43.09	44.77	44.64								
FeO*	0.19	0.17	0.59	30.29	27.81	19.28	40.71	39.84	39.49	22.08	14.62	16.23	17.57				
MnO				2.06	1.59	0.88	1.06	1.02	0.99	1.23	1.17	0.51	0.57				
MgO	0.01	0.01	0.05	15.40	16.54	23.47	1.03	0.83	0.91	21.09	11.80	12.06	11.63				
NiO				0.00	0.05	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.01						
CaO	9.06	7.67	18.41	0.87	1.28	1.56	0.00	0.00	0.00	1.05	19.10	10.13	10.30				
Na <sub>2</sub> O	6.34	7.15	1.18	0.01	0.02	0.02				0.03	0.25	2.04	1.63				
K <sub>2</sub> O	0.06	0.10	0.01									0.13	0.12				
total	100.53	100.69	100.79	99.89	99.11	99.52	100.79	100.41	99.69	98.69	99.91	98.15	97.68				
<b>Cations(O=8)</b>				<b>Cations(O=6)</b>			<b>Cations(O=4)</b>			<b>Cations(O=8)</b>		<b>Cations(O=23)</b>					
Si	2.590	2.666	2.126	1.951	1.971	1.977	0.004	0.003	0.003	1.947	1.972	6.726	7.056				
Ti	0.000	0.000	0.000	0.005	0.005	0.004	0.345	0.314	0.315	0.007	0.007	0.222	0.169				
Al4+												1.274	0.944				
Al3+	1.403	1.326	1.844	0.061	0.048	0.035	0.103	0.114	0.106	0.075	0.049	0.377	0.271				
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000						
Fe3+							1.199	1.252	1.258								
Fe2+	0.007	0.006	0.022	0.993	0.906	0.598	1.258	1.238	1.236	0.701	0.467	2.004	2.187				
Mn	0.000	0.000	0.000	0.068	0.052	0.028	0.033	0.032	0.031	0.040	0.038	0.064	0.072				
Mg	0.001	0.001	0.004	0.899	0.961	1.296	0.057	0.046	0.051	1.194	0.672	2.653	2.580				
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000						
Ca	0.432	0.364	0.903	0.037	0.053	0.062	0.000	0.000	0.000	0.043	0.782	1.602	1.642				
Na	0.547	0.613	0.104	0.001	0.001	0.002				0.002	0.018	0.585	0.470				
K	0.004	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000				0.000	0.000	0.024	0.022				
total	4.984	4.981	5.004	4.014	4.000	4.002	3.000	3.000	3.000	4.009	4.006	15.531	15.413				
An	44.0	37.0	89.6	Mg#	47.5	51.5	68.4	Mg/Mn	1.7	1.4	1.6	Mg#	63.0	59.0	Mg#	51.4	54.1

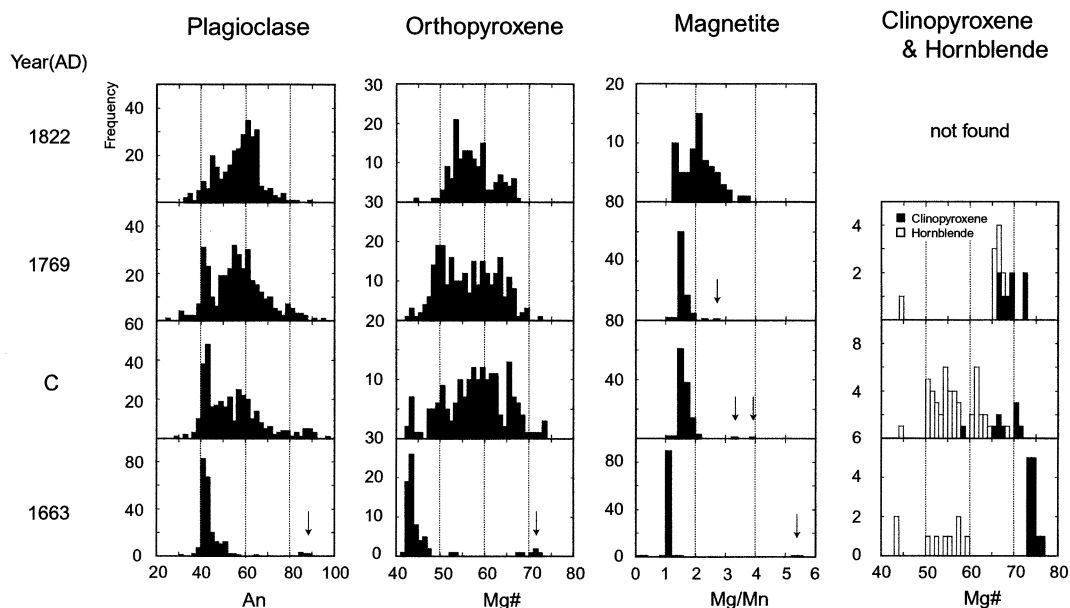


Fig. 10. Histograms of chemical compositions of phenocrystic minerals of historic pumices (Matsumoto and Nakagawa, in prep.) and those of Unit C. Abbreviations: An, 100\*Ca/(Ca+Na+K); Mg#, 100\*Mg/(Mg+Fe)



と考えるのが妥当であろう。噴火年代は1663年(寛永噴火)により近いと考えられるが、噴出物の岩石学的性質は1769年(明和噴火)に類似する。我々はマグマの性質が、寛永噴火(1663年)の後で大きく変化し、明和噴火(1769年)に似たマグマが17世紀末に噴火したことを重視し、新たに見出された噴火を先明和噴火(pre-Meiwa eruption)と呼ぶ。

### 8-2 先明和噴火の噴火推移と給源火口

先明和噴火堆積物は本質物質を含まない水蒸気爆発の産物と考えられる火山灰層が最下層にあり、その上位には降下軽石層とサージ堆積物と考えられる火山灰層が互層し、最上部に再び水蒸気爆発堆積物がある。これらから、先明和噴火は水蒸気爆発から開始して、その後にマグマ噴火に移行し噴煙柱を立ち上げ、軽石を降下させたと考えられる。またこのマグマ噴火の間に、火砕流が発生したかどうかは不明であるが、少なくとも火砕サージは発生したと考えられる。

先明和噴火の噴出物は山体の北西麓でのみ確認されており、給源火口は北西麓の可能性がある。しかしながら、軽石の最大粒径は5 cmであり、また弾道軌道を描いたと考えられる火山弾や放出岩塊は見出されていない。これらのことから北西山麓で見出された露頭の堆積物は火口近傍層の特徴を有しておらず、先明和噴火は山頂噴火と考えても矛盾はない。

先明和噴火の規模は、直上の1769年や1822年噴火堆積物の層厚を比較することで、大まかに見積もることができる。1769年や1822年堆積物の層厚は先明和噴火のそれと同程度か、やや厚い。しかしながらこれらの18世紀以降の噴出物の分布主軸は山体の東方であり(横山・他, 1973)、山体北西麓は分布主軸から大きくはずれている。一方、先明和噴火は現在までのところ山体北西麓以外では見出されず、その分布主軸は山体の北西方向であった可能性が高い。分布主軸でありながら、分布主軸から大きくずれている1769年や1822年噴出物の層厚と同程度であることは、先明和噴火は1769年や1822年と比べると、かなり小規模であると考えられる。しかしながら山体西-北西麓から噴出した2000年噴火よりは、噴火規模は大きいであろう。歴史時代噴火のテフラ噴出量のオーダーは、1769年および1822年では $10^{-1} \text{ km}^3$ 、そして2000年は $10^{-5} \text{ km}^3$ である(勝井・鈴木, 1982; 宝田・他, 2002)。先明和噴火の噴出量は大まかに見積もって、 $10^{-3} \text{ km}^3$ 程度としても大きくは矛盾しないであろう。

### 8-3 先明和噴火発見の意義

現在までに、先明和噴火の存在を示唆するような古文書は発見されていない。これは1663年の噴火の規模が大きく、周辺地域の荒廃が進み住民の帰着が大きく遅れたことと、先明和噴火の規模が小さく遠隔地からの噴火

Table 3. Revised eruption history of Usu volcano since AD 1663.

year(AD)	era	dormancy (year)	tephra	lava dome
2000	Heisei 13	-22-	ash and pumice fall	cryptodome
1977-78	Showa 52-53	-32-	pumice and ash fall	Usu-Shinzan cryptodome
1943-45	Showa 18-20	-30-	ash fall(phreatic?)	Showa-Shinzan lava dome
1910	Meiji 43	-56-	ash fall(phreatic?)	Meiji-Shinzan cryptodome
1853	Kaei 6	-30-	pumice and ash fall pyroclastic flow	O-usu lava dome
1822	Bunsei 5	-52-	pumice and ash fall pyroclastic flow	Ogari-yama cryptodome
1769	Meiwa 6	-70?-	pumice and ash fall pyroclastic flow	Ko-usu lava dome(?)
<b>pre-1769</b>	?	-30?-	pumice and ash fall pyroclastic surge	?
1663	Kanbun 3		pumice and ash fall base surge	Ko-usu lava dome(?)

目撃が困難であったためであろう。またその降灰の主軸が山体から北西内陸方向であったと考えられ、当時の主要な居住地域から離れていたことも、噴火が記録に残らなかった理由であろう。

先明和噴火の発見によって有珠火山噴火史は、Table 3に示したように改定される。有珠火山は噴火と噴火の間の規則性が認められ、それが中長期噴火予測の基礎となってきた。例えば1769年から1977年の噴火では噴火間隔は30-50年である。それに対して1663年から1769年は106年の休止期があり、有珠火山では例外的な噴火間隔とされてきた。しかしながら先明和噴火の発見によって、有珠火山での噴火間隔は1663年以降、100年以下であることが明らかになった。

先明和噴火の発見は、有珠火山のマグマ供給系の進化を考える上でも重要である。有珠火山では1663年の噴火以来、マグマの化学組成が規則的にマフィック( $\text{SiO}_2$ 減少)に変化することが指摘されてきた(Oba *et al.*, 1983; 中川・他, 2002)。このことは、1663年以降珪長質

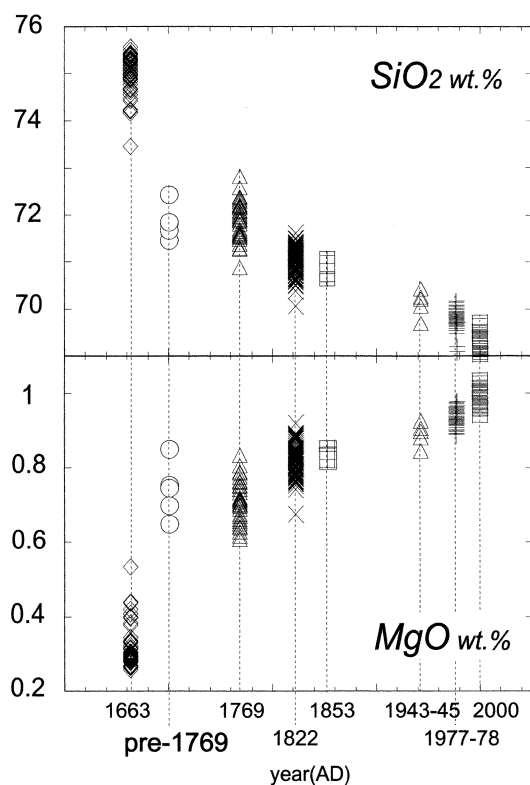


Fig. 11. Revised diagram showing temporal variations of whole-rock  $\text{SiO}_2$  and  $\text{MgO}$  contents of juvenile ejecta during historic activity of Usu volcano since AD 1663.

マグマにマフィックマグマが混合することが主要なプロセスで、間歇的に起こるこのマグマ混合によって噴出物が次第にマフィックに変化すると考えられている(Tomiya and Takahashi, 1995; 東宮, 1995)。しかしながら、先明和の全岩化学組成は引き続き1769年噴火のそれと同じであり、これまでの規則的な変化とは非調和的である(Fig. 11)。この噴出物組成の時間変化の原因は、これまで考えられていたような単純なマグマ混合ではない可能性が高い。このマグマの時間変化の成因は、有珠火山の噴火メカニズムや噴火間隔を理解するために重要であるが、それは本報告の目的ではない。先明和噴火の岩石学的な議論については別報で論ずる。

## 9. まとめ

北海道立地質研究所が行った有珠火山北西山麓でのトレンチ調査をきっかけに、周辺の複数箇所の露頭から、1663年(寛文3年)と1769年(明和5年)噴火堆積物の間に、上下に土壌を挟んだ未知の有珠火山由来の噴火堆積物を見出した。堆積物に含まれる軽石の岩石学的性質は、他の有珠火山歴史時代噴火のものとは区別できる。土壌の厚さから考えて、新たに見出された堆積物は17世紀末頃に起こった、有珠火山の本格的マグマ噴火に由来するものと結論づけた。マグマの性質を考慮して、この噴火に先明和(pre-Meiwa)噴火と命名することを提案する。この噴火の発見によって、有珠火山の噴火史は改定され、これまでの休止期と噴火との再考が必要となる。さらに先明和噴火の発見は、中長期噴火予測に必要なマグマ供給系の時間変遷についても重要な情報を与えるものと考えられる。

## 謝 辞

本研究を行なうきっかけは、北海道立地質研究所が実施したトレンチ調査であった。実施にあたっては虻田町に協力していただいた。著者らは有珠火山噴火史全体について勝井義雄先生から御教示をいただいている。また土壌の炭素・窒素分析では北海道大学鈴木徳行教授には機器の使用を快諾していただき、同大学の齋藤裕之氏には前処理および分析の指導をいただいた。また東北大学菅野均志博士には土壌の有機物について種々の御教示をいただいた。さらに古川竜太博士、匿名査読者および宮縁育夫編集委員の尽力により原稿は改善された。本研究を行なうにあたり、重点領域研究・計画研究「火山噴火の長期予測と災害軽減のための基礎科学」および北海道受託研究「北海道の火山に関する研究」の研究費を使用した。以上の方々および当局に感謝する。

## 引用文献

- Amma-Miyasaka, M. and Nakagawa, M. (2003) Evolution of deeper basaltic and shallower andesitic magmas during 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.
- 勝井義雄・鈴木建夫 (1982) 北海道西南部における完新世火山噴出物の量. *火山*, **27**, 325.
- 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.
- 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.
- Oba, Y., Katsui, Y., Kurasawa, H., Ikeda, Y. and Uda, T. (1983) Petrology of historic rhyolite and dacite from Usu volcano, north Japan. *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ., Ser. IV*, **20**, 275–290.
- Okumura, K., Soya, T., Ono, K. and Satoh, H. (1981) Petrology of rhyolite and dacite erupted in last 300 years from Usu volcano, Japan. 1981 IAVCEI Symposium, 276–277.
- 曾屋龍典・勝井義雄・新井田清信・堺幾久子 (1981) 有珠火山地質図および同説明書. 地質調査所.
- 高橋 良・中川光弘・中西 清・吉本充宏 (2004) 北海道駒ヶ岳 1942 年噴火はマグマ水蒸気噴火だった. *火山*, **49**, 129–142.
- 宝田晋治・星住英夫・宮城磯治・西村裕一・宮縁育夫・三浦大助・川辺禎久 (2002) 有珠火山 2000 年噴火の火口近傍堆積物. *火山*, **47**, 645–661.
- 東宮昭彦 (1995) 有珠火山は今後も噴火し続けるか. *科学*, **65**, 692–697.
- 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.
- Tomiya, A. and Takahashi, E. (1995) Reconstruction of an evolving magma chamber beneath Usu volcano since the 1663 eruption. *J. Petrol.*, **36**, 617–636.
- 横山 泉・勝井義雄・大場与志男・江藤幸男 (1973) 有珠火山—火山地質・噴火史・活動現状および防災対策一. 北海道防災会議, 254 p.
- 米林甲陽 (1997) 土壌の有機物. 久馬一剛編「最新土壌学」, 朝倉書店, 43–53.

(編集担当 宮縁育夫)