

有珠火山1977年噴火におけるプリニアン噴出物

Plinian products of the 1977 Usu Volcanic eruption

中村 一輝 (Kazuki NAKAMURA)*, 谷口 宏充 (Hiromitsu TANIGUCHI)**

キーワード：有珠火山1977年噴火、プリニアン噴出物、堆積物の岩相、構成粒子の特徴

Abstract

In this paper we describe the Plinian products of the Usu 1977 eruption, and discuss the relation between the deposit and the eruption sequence. Special attention is focused on lithofacies, components of the deposit, and the characteristics of pumice in the Big I [Katsui *et al.* 1978: 385-408].

The deposits of the Big I consist of four fall units with sharp boundaries. According to an eyewitness account in [Niida *et al.* 1982: 97-118], the eruption column developed up step by step, and then rapidly decreased. The characters in the deposits are interpreted in connection the eyewitness account of the earlier gradual growth and the later rapid decrease.

The Big I deposit has various types and colors of pumice in bubble-form. Some of the bubbles are in elongated-form with a fibrous texture, while others are spherical or ovoid-form. Colors of the pumice vary from white to gray. Although we can observe these different points, the bulk chemical compositions of all pumice are almost identical; meaning that the differences in the pumice were not caused by differences of bulk chemistry, and suggests that they were produced by the same magma. The porosity of the white pumice was found to be higher and the crystallinity in the groundmass is lower. This suggests that the white pumice was produced by magma that ascended more rapidly in the conduit.

Based on the component analysis of the Big I deposit, it is found that the proportion of accessory rock, elongated pumice, and white pumice gradually increased toward the climax stage of the eruption. This may suggest that the increase of the eruption-rate induced increases of accessory rocks, and elongated and white pumices.

1. はじめに

火山噴火は、ピナツボ火山1991年噴火のように噴煙柱を立ち上げるような爆発的噴火 [小屋口ほか 1991: 447-451] から、雲仙普賢岳1991年噴火のように溶岩が流出するような非爆発的噴火 [大学合同観測班地質班 1992: 47-53] まで、幅広い様式があることが知られている。多様な様式を生み出す要因を理解するためには、火道中を上昇するマグマの挙動、特にマグマ中に溶解し

* 東北大学大学院理学研究科地学専攻

** 東北大学東北アジア研究センター

ている揮発性成分の挙動やマグマの破碎過程 [Hammer *et al.* 1999 : 355-380; Spieler *et al.* 2003 : 90-104] を理解する必要がある。しかしながら、火道内での現象を直接的に観測することは非常に困難であり、その知見はいまだ十分とは言い難い。

火山噴出物の形状や組織などは、火道中を上昇するマグマの発泡・破碎過程、噴出物の運搬・堆積過程など、火山噴火の一連の過程で起こった現象を記録していると考えられる。特に、軽石など爆発的噴火によって生じた噴出物には、マグマの発泡・破碎といった現象が組織などに保存されるため、その形状や組織を解析することによって、その現象に関する知見を得ることが可能である。

北海道南西部に位置する有珠火山は (Fig.1)、1977年にデイサイト質マグマによる、巨大な噴煙柱を形成する極めて爆発的な噴火を起こした [Katsui *et al.* 1978 : 385-408]。この一連の噴火活動において、特に規模が大きかった噴火イベントが4回起き、これらの噴火は準プリニー式噴火に相当し [鈴木ほか 1982 : 119-140]、その推移が詳細に観測されている [Katsui *et al.* 1978 : 385-408; 新井田ほか 1982 : 97-118]。そこで、本論文では、噴火が詳細に観測されている有珠火山1977年噴火において、その噴火の推移と噴出物の特徴との対応付けを行い、火道中でのマグマの発泡・破碎過程に関する情報を読み取る試みを行う。

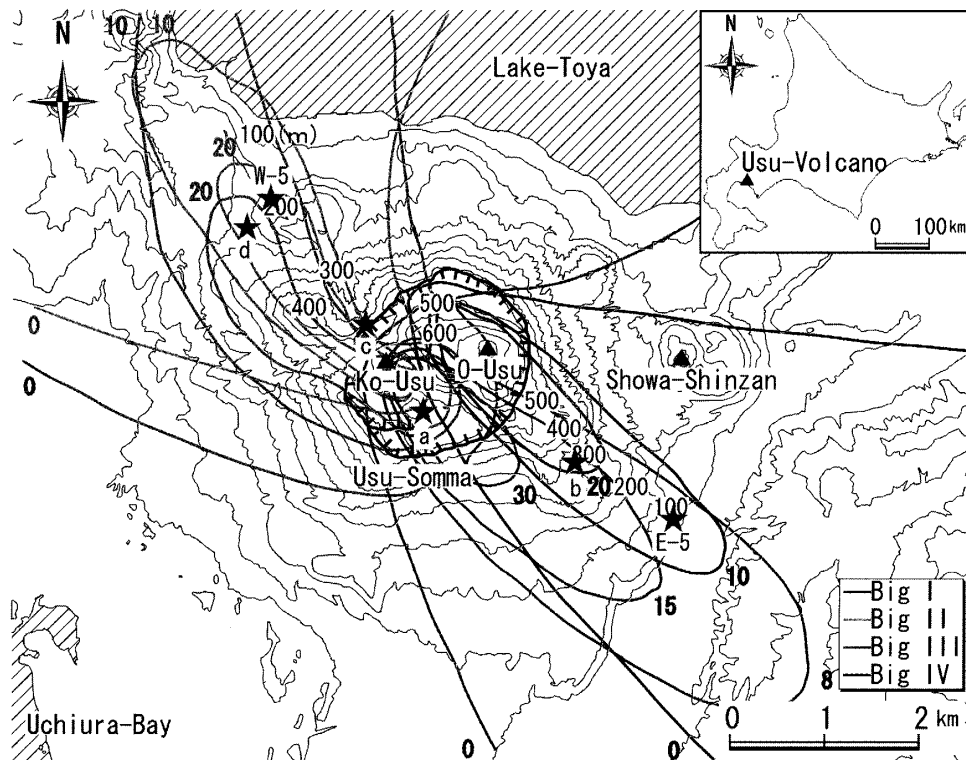


Fig. 1 Map showing the location of Usu Volcano, and outcrops investigated (localities of E-5 and W-5 quoted in [Niida *et al.* 1982 : 97-118], and the isopach of tephra of Big I, II, III and IV [Niida *et al.* 1982 : 97-118] in which values of thicknesses are in centimeters.

2. 有珠火山1977年噴火の概説

1977年8月、有珠火山は山頂から噴煙柱を立ち上げる爆発的噴火を発生させた [Katsui *et al.* 1978 : 385-408]。このとき、7日に起こった大規模な噴火をはじめとして、4回の大規模な噴火、2回の中規模な噴火、10回の小規模な噴火が起こった [Katsui *et al.* 1978 : 385-408]。このうち、4回の大規模な噴火は準プリニー式噴火に分類され [鈴木ほか 1982 : 119-140]、これらを発生した順番にそれぞれBig I、II、III、IVと呼んでいる [Katsui *et al.* 1978 : 385-408]。特にBig I噴火の推移は、[新井田ほか 1982 : 97-118] によって以下のように詳細に報告されている (Fig. 2)。

9:10~ まず、白い噴煙が立つ (Fig. 2のa、以下アルファベットはFig. 2中のアルファベットに対応する)

9:12~ 次に灰色の噴煙が立つ (b)

9:30頃 この噴煙は高度約3.5kmで勢いを減じ、約4 kmの高度で東南東へ流れはじめる (c)

9:30~ 次に続く噴煙は勢い良く上昇する (d)

10:30 高度12kmを頂点として東南東へ流れる (e)

10:40~ 噴煙柱は連続的に立っているが、その勢いは急に弱まる (f)

11:13頃 噴火が一時的に止む (g)

11:15~30 小噴火が引き続き発生し、巨大な“灰カグラ”が有珠山を覆う (h-i)

[新井田ほか 1982 : 97-118] は、このような噴煙柱の挙動を1. 噴煙柱の段階的成長 (a-e)、2. 噴煙柱の急激な減衰 (f-g)、3. 噴火の一時的休止後の“灰カグラ”を伴う小噴火の発生、というように3段階に分類し、有珠火山1977年噴火における噴煙柱の挙動の特徴とした。

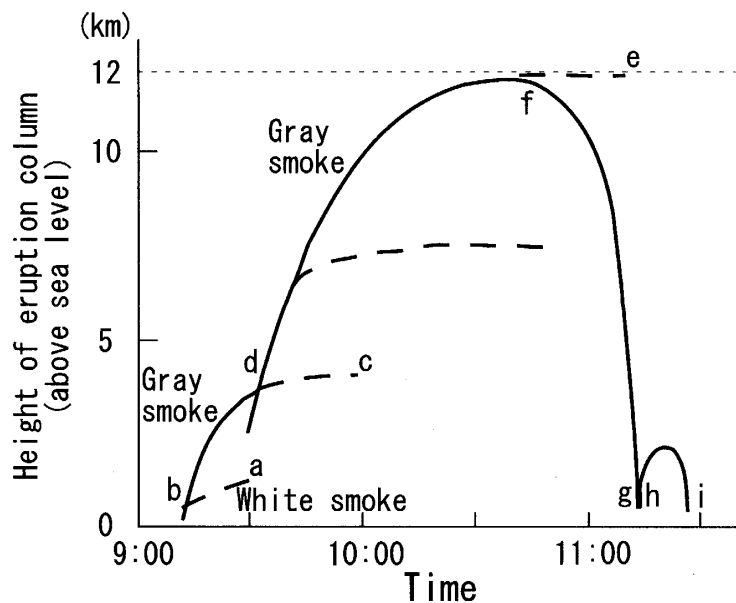


Fig. 2 Growth of the eruption column of Big I [Niida *et al.* 1982 : 97-118].

このとき発生したBig I、II、III、IV噴火によるテフラは、対照的な分布をとる (Fig. 1)。すなわち、Big IとIVのテフラの分布軸は、それぞれ有珠山体からS60° E、S45° Eの方向であり、ほぼ直線的であるが、Big IIとIIIのテフラの分布軸は、それぞれ有珠山体からN40° W、N45° Wの方向であり、山体から離れるにつれて北西、北、北東へと変化している (Fig. 1)。Big II、IIIのテフラがこのように複雑な分布を示すことに対して、[鈴木ほか 1982: 119-140] は南から低気圧が近づいてきたためであると説明している。

また、このときの噴火による堆積物の岩相は [新井田ほか 1982: 97-118] によってまとめられている (Fig. 3)。[新井田ほか 1982: 97-118] によると、Big Iの一回の噴火イベントに対して、その堆積物は4層のフォールユニットで構成されており、下位から順に降下軽石層、比較的粗い粒子からなる降下軽石層、降下軽石層、火山灰層となっている (Fig. 3)。同様に、Big II、III、IVも一回の噴火イベントに対して、それぞれ10層、4層、3層のフォールユニットで構成されており、それぞれ降下軽石層と火山灰層から構成されている (Fig. 3)。

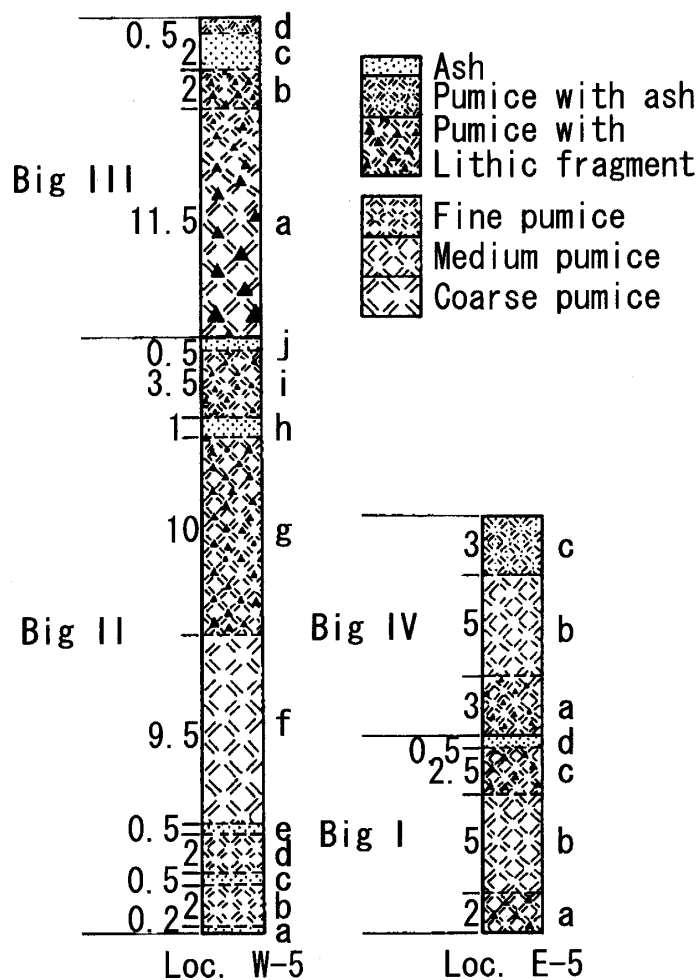


Fig. 3 Typical columnar sections of the deposit of the Usu 1977 eruption after [Niida *et al.* 1982: 97-118]. For locality numbers, see Fig. 1. Numerical values left of the column indicate the thickness in cm.

3. 堆積物の岩相

Fig. 4 に有珠1977噴出物の各調査地点での柱状図を示す。a地点のBig I堆積物は、明瞭な境界をもつ4層のフォールユニットに区分することができる。各々の岩相は、I-a：逆級化構造を呈する降下軽石層、I-b：逆級化構造を呈する降下軽石層でBig I堆積物の中で最も厚く粒子が粗い、I-c：降下軽石層、I-d：火山灰層、である。I-a、I-bの降下軽石層が逆級化構造を示すのに対して、I-cの降下軽石層は級化構造を示さない。また、b地点のBig I堆積物は、a地点と同様に、明瞭な境界をもつ4層のフォールユニットに区分することができる。それぞれの岩相はa地点の堆積物と似ているが、ここではI-a、I-b層に級化構造は見られない。

c地点のBig II堆積物は、明瞭な境界をもつ14層のフォールユニットに区分することができ、ほかの堆積物に比べて非常に複雑な岩相となっている。下部は火山灰層と降下軽石層の互層からなり (II-a-e)、その上部にBig II堆積物の中で最も厚く粒子が粗い層がのる (II-f、g)。その上部は再び火山灰層と降下軽石層の互層となる (II-h-j')。また、d地点のBig II堆積物は、明瞭な境界をもつ6層のフォールユニットに区分することができる。最下部層がどの層に相当するか判断できなかったが、ここでもBig II堆積物の主体となるII-f、g層が見られる。

c地点のBig III堆積物は、明瞭な境界をもつ5層のフォールユニットに区分することができる。下位から、Big III堆積物の中で最も厚く粒子が粗い降下軽石層 (III-a)、その上部に級化構造を

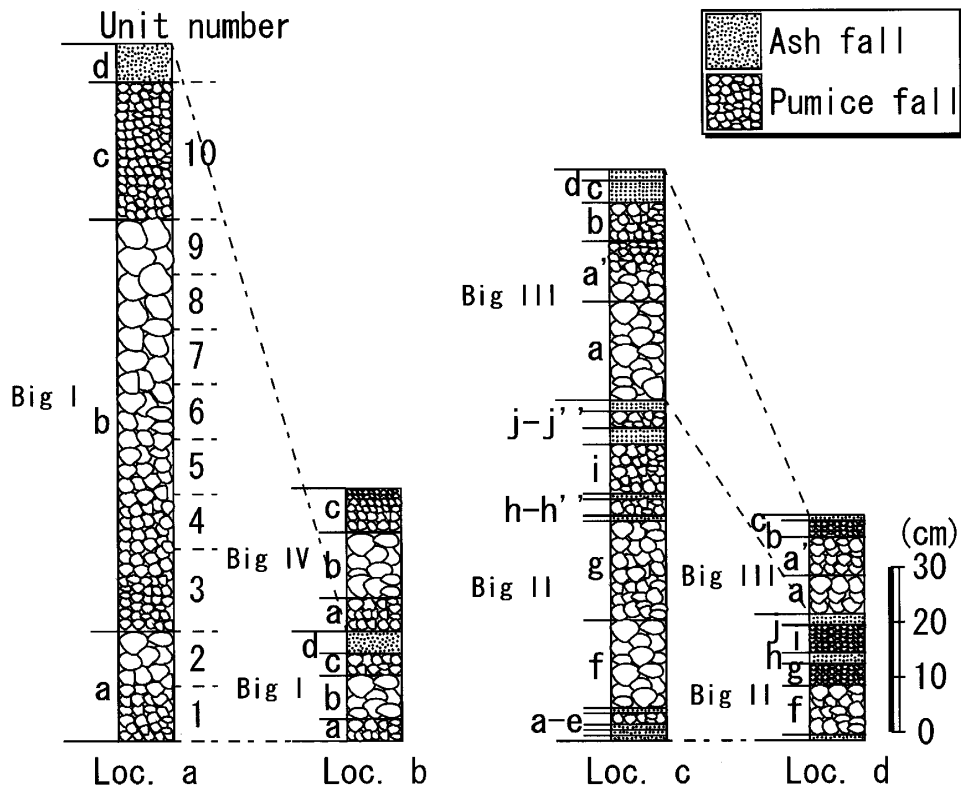


Fig. 4 Typical columnar sections of the deposit of the Usu 1977 eruption. For localities (a-d), see Fig. 1. Numbers right of the column of Loc. a indicate the unit number.

呈する降下軽石層 (III-a')、降下軽石層 (III-b)、その上部に火山灰層 (III-c, d) がのる。また、d地点のBig III 堆積物は、明瞭な境界をもつ4層のフォールユニットに区分することができる。ここでは、c地点で見られたIII-a'層の級化構造とIII-d層が見られない。

b地点のBig IV 堆積物は、明瞭な境界をもつ3層のフォールユニットに区分することができる。最下部層は降下軽石層、その上部にBig IV 堆積物の中で最も厚く粒子が粗い降下軽石層、最上部層は級化構造を示す降下軽石層である。

4. 構成粒子の特徴

Fig. 5 に有珠火山1977年噴火の軽石を示す。これらの軽石には、その気泡の形状やその色において多様性が認められる。軽石中の気泡の形状は、ある特定の方向に伸張している場合と、そうでない場合がある。また、気泡が伸張している軽石のほとんどは白色であるが、そうでない軽石の色は白色から暗灰色まで連続的に変化する。そこで、本論文では、軽石の気泡の形状によって、それが特定の方向に伸張している軽石を繊維状軽石、そうでない軽石を球状軽石の2種類に、

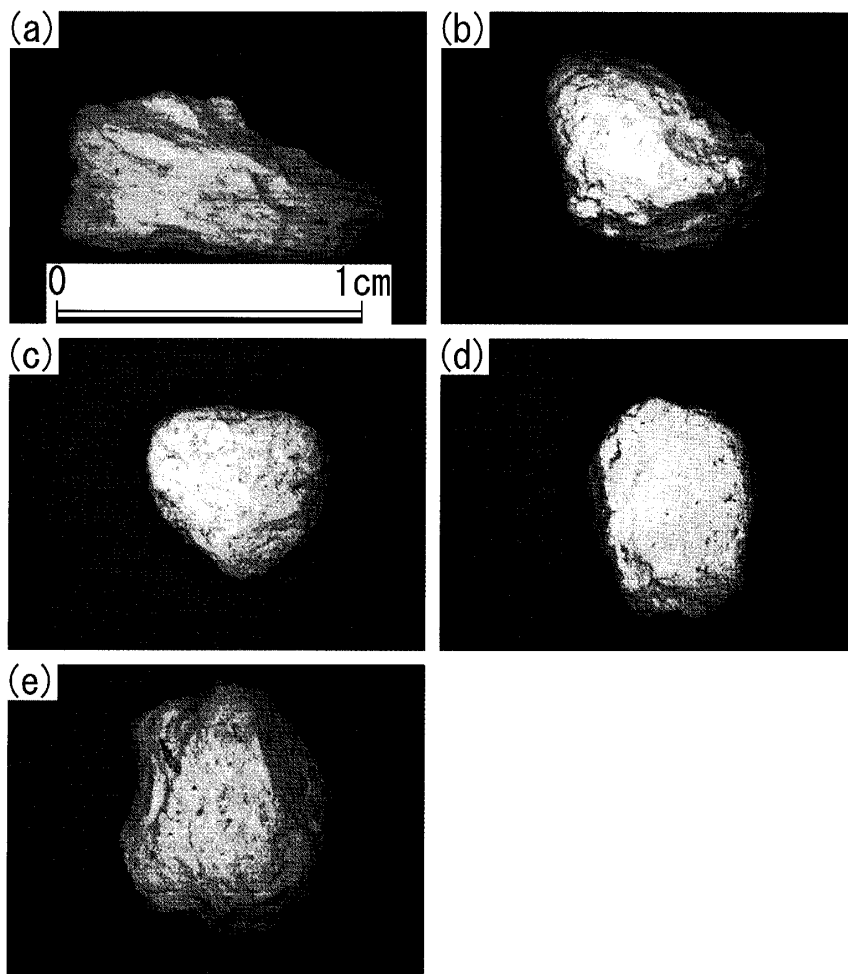


Fig. 5 Photographs of representative pumice of the Usu 1977 eruption; (a) elongated pumice, (b) spherical pumice, (c) white pumice, (d) bright-gray pumice, (e) dark-gray pumice.

また、球状軽石についてその色によって、白色軽石、明灰色軽石、暗灰色軽石の3種類に分類し議論した。

Fig. 6に軽石の全岩化学組成の内、TiO₂、CaO、MgO及びK₂Oについてのハーカー図を示す。軽石の全岩化学組成分析は、試料のガラスビード作成後、東北大学理学部地球物質科学科の理学電機工業社製RIX2100蛍光X線分析装置を用いて行った。試料は、それぞれ繊維状軽石、球状軽石、白色軽石、明灰色軽石、暗灰色軽石である。見かけなどの相違にもかかわらず、有珠火山1977年噴火による軽石のSiO₂重量%は、約69~70%のデイサイト質であり、ほぼ一致している。すなわち、軽石の気泡の形状やその色による特定のトレンドは認められない。

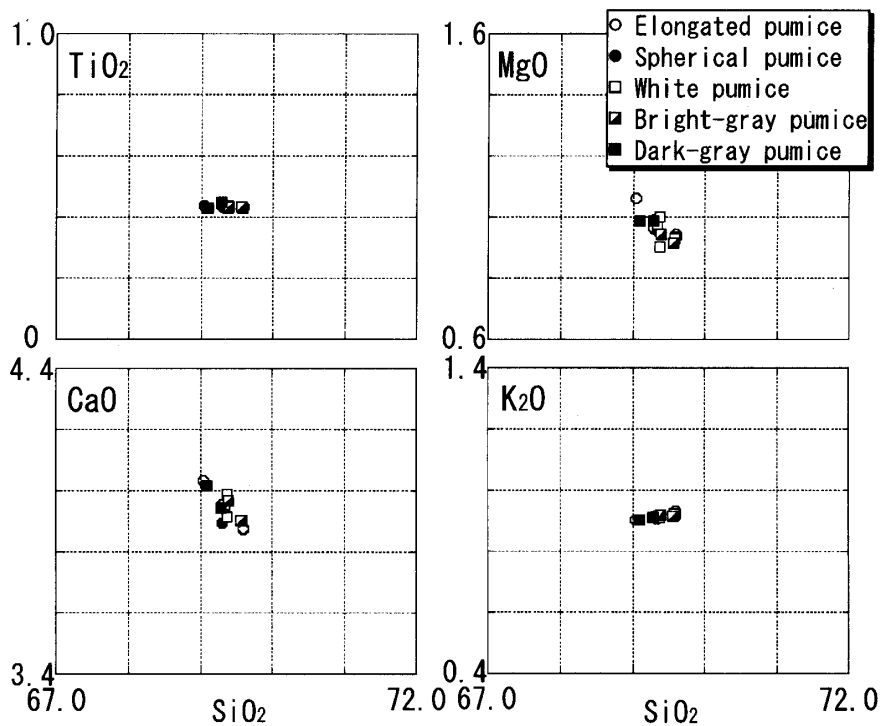


Fig. 6 Harker diagram for each type of pumice from the Usu 1977 eruption.

Fig. 7に白色軽石、明灰色軽石、暗灰色軽石のBSE像を示す。これらの画像は東北大学理学部地球物質科学科の日本電子製走査型電子顕微鏡5410を用いて撮影した。これらを比較すると、白色軽石、明灰色軽石、暗灰色軽石になるにつれて、発泡度が悪く、石基の結晶度が良くなる傾向が見られ、また、全体的に気泡が小さく、石基の結晶が大きくなる傾向が見られる。

Fig. 8にこれらのBSE像から求めた斑晶量、発泡度、そして石基の結晶度を示す。斑晶量は白色軽石で約7%、暗灰色軽石で約5%と、あまり変化はない。一方、発泡度は白色軽石で約76%、暗灰色軽石で約56%で、白色軽石から暗灰色軽石にかけて大きく減少する。また、石基の結晶度も白色軽石で約2%、暗灰色軽石68%で、白色軽石から暗灰色軽石にかけて明らかに大きく増加する。

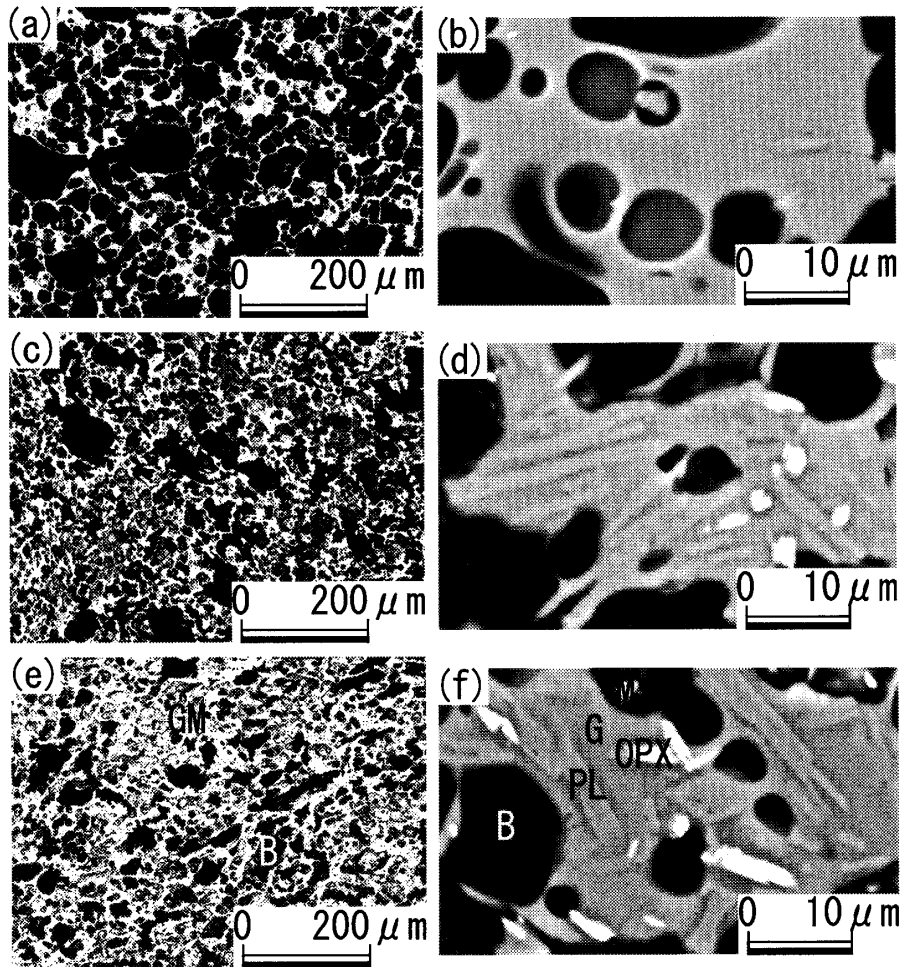


Fig. 7 Backscattered electron (BSE) images of each type of pumice from the Usu 1977 eruption; (a), (b) white pumice, (c), (d) bright-gray pumice, (e), (f) dark-gray pumice. B: bubble, GM: groundmass, PL: plagioclase, OPX: orthopyroxene, M: magnetite and G: glass.

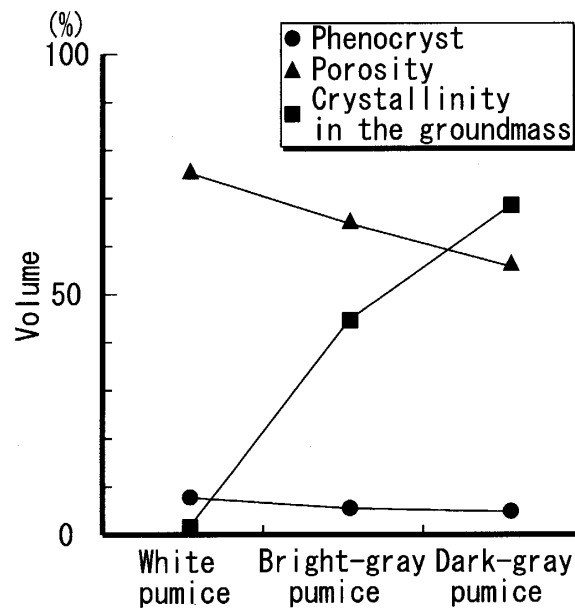


Fig. 8 Porosity and crystallinity in groundmass of each type of pumice from the Usu 1977 eruption investigated by analyses of BSE images of the pumice.

堆積物の全粒度分布は、 0.5ϕ ($\phi = -\log d$, d は粒子の直径) おきの -4.5 から 3.5ϕ の篩を用いて篩分けし、それらの重量を測定することにより求めた。Fig. 9にa地点のBig I堆積物 (Fig. 4) における $Md\phi$ ($\phi 50$)、 $\sigma\phi$ ($(\phi 84 - \phi 16)/2$) の垂直変化を示す。粒度は、ユニット1から2にかけて粗くなり、また、ユニット3から9にかけて再び徐々に粗くなり、最後にユニット10において細くなる傾向がある。淘汰は、ユニット1から2にかけて悪くなり、また、ユニット3から10にかけて再び徐々に悪くなる傾向がある。

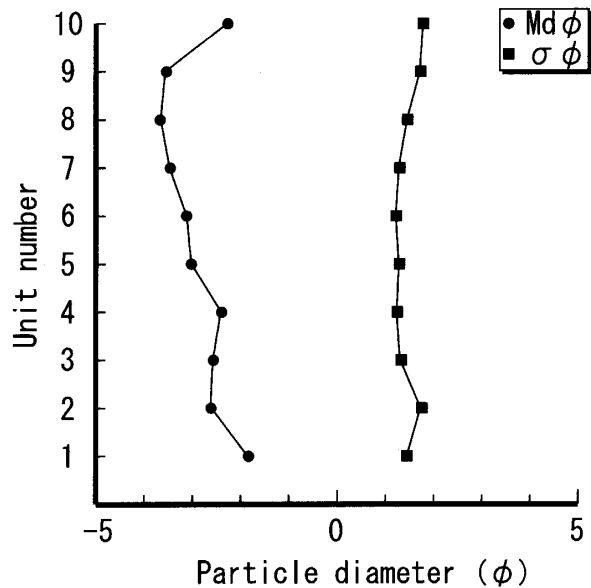


Fig. 9 Vertical variation of $Md\phi$ and $\sigma\phi$ of the Big I column (Fig. 4) at Loc. a. Unit numbers correspond to the numbers at Loc. a in Fig. 4.

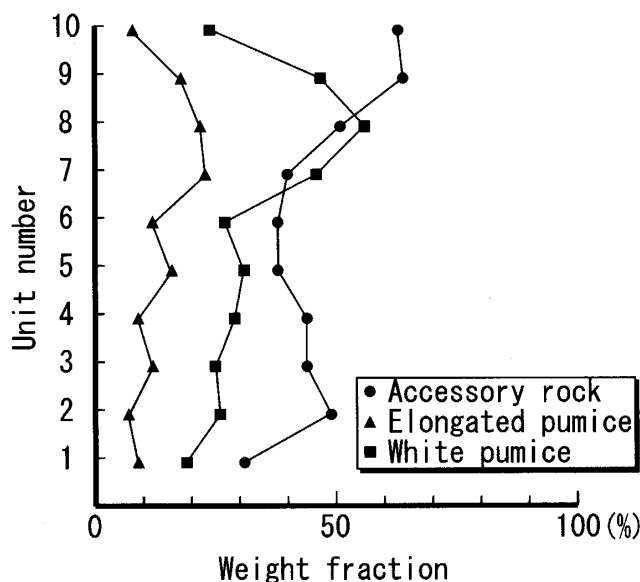


Fig. 10 Vertical variation of the proportion of accessory rock, elongated pumice and white pumice of the Big I (Fig. 4) at Loc. a. The proportions represent the weight fractions of accessory rock and essential rock, elongated pumice and spherical pumice, white pumice and gray pumice, respectively. They are investigated by judging about 300 particles in $> -2.0\phi$ with a naked eye.

各々のユニットにおける構成粒子の割合は、それぞれ $>-2.0\phi$ の粒子を約300から400個を肉眼で鑑定して分類し、その重量を測定することにより求めた。Fig. 10にa地点のBig I堆積物 (Fig. 4) における構成粒子の割合の垂直変化を示す。異質物質の割合は、ユニット1で少なく、ユニット2から10にかけて徐々に多くなる傾向がある。繊維状軽石の割合は、ユニット1から8にかけて徐々に多くなり、また、ユニット10で少なくなる傾向がある。また、白色軽石の割合は、ユニット1から8にかけて徐々に多くなり、ユニット10で少なくなる傾向がある。

5. 議論

軽石は、その組織や形態にマグマ噴火における発泡・破碎といった情報が記録されていると考えられる。そこで、有珠火山1977年プリニアン噴火で見られた多様な軽石を噴火の推移と対応付けることによって、この噴火におけるマグマ噴火のメカニズムに関する知見を得ようと考えた。ここでは、まず噴火の推移と堆積物がどのように対応できるかを整理し、その堆積物中で軽石の特徴がどのような原因によってもたらされるかを議論する。

Big Iの噴煙柱の挙動は、[新井田ほか 1982: 97-118] によって特に詳細に観察されている(2章を参照) ので、ここでは、その噴煙柱の挙動と堆積物の岩相を比較検討する。Big I堆積物は、a、b地点においてI-a、-b、-c、-d層の4層のフォールユニットに区分できた。このうちa地点におけるI-a、-b層は逆級化構造であった (Fig. 4)。従って、これら2層は噴煙柱高度が上昇していく過程で堆積したことを示唆している (例えば、[Jurado-Chichay and Walker 2001: 239-263])。一方、I-c層は級化構造を示さない (Fig. 4) ことから、I-a、I-bとは別な過程で堆積した可能性がある。これら堆積物の岩相と [新井田ほか 1982: 97-118] による噴煙柱の挙動に関する観察結果 (Fig. 2) を比較検討することにより、Big I堆積物の堆積過程を次のように推定した。

1. 噴火開始直後に立ち上げた灰色の噴煙 (Fig. 2中のb-c、以下アルファベットはFig. 2中のアルファベットに対応) によってI-aが堆積する
2. 次に勢い良く上昇し、最大高度に達した噴煙 (d-e) によってI-bが堆積する
3. 噴煙柱が急激に減衰 (f-g) した後で、空中に浮遊していた噴出物によってI-cが堆積する
4. “灰カグラ”を伴う小噴火 (h-i) によってI-dが堆積する

各々のフォールユニット間の明瞭な境界は、噴煙柱の段階的成長と噴煙柱の急激な減衰によって生じた。Big IV堆積物の岩相はBig I堆積物のそれと非常によく類似しており (Fig. 4)、Big I堆積物の堆積過程と同様に、各々のフォールユニット間の明瞭な境界は、噴煙柱の段階的成長と噴煙柱の急激な減衰によって生じたと考えられる。一方、Big II堆積物の岩相は、火山灰層と降下軽石層が互層するきわめて複雑なものであった (Fig. 4)。これら降下軽石層に挟まる火山灰層の成因は、噴出量の一時的な減少によるもの、噴火中に発生した火砕流または火砕サージによるもの、雨による火山灰粒子の凝集によるもの、などが考えられるが、現段階では判断できない。ま

た、Big III堆積物の岩相は、最下部層がBig III堆積物の中で最も厚く粒子が粗い降下軽石層であり、ほかのBig I、II、IV堆積物の岩相にみられる最下部層が細粒粒子による降下堆積物である様子とは異なっている (Fig. 4)。この特異な岩相から、Big IIIの噴煙柱が段階的ではなく急激に上昇したことが示唆される。

有珠火山1977年プリニアン噴火の軽石には、その色や気泡の形状において多様性がある。本論文では軽石の気泡の形状によって2種類に、球状軽石についてその色によって3種類に分類した (Fig. 5)。

白色の軽石と灰色の軽石が見られることから、まず、珪長質マグマとより苦鉄質なマグマとの混合が考えられる。しかし、これら軽石の全岩化学組成は互いに良く一致し、また、その気泡の形状や色による特定のトレンドは化学組成上に認められない (Fig. 6)。これらは、色や気泡形状において見られる軽石の多様性は、全岩化学組成の違いを反映したものではないことを示している。

軽石の色別にその組織を比較すると、白色軽石から暗灰色軽石にかけて、発泡度が減少し、石基の結晶度が增加する傾向がある (Fig. 8)。同時に、気泡のサイズが小さくなり、石基の結晶のサイズが大きくなる傾向がある (Fig. 6)。軽石などの火山噴出物に見られる気泡や石基の結晶の組織は、マグマが火道中を上昇する際の条件、特にその上昇速度を反映していると考えられている (例えば、[鈴木・中田 2002: 675-688])。もし、有珠1977年噴火による白色軽石、明灰色軽石、暗灰色軽石の組織などの相違も、火道中におけるマグマ上昇速度の相違を反映していると考えられるなら、発泡度が高い白色軽石は火道中をより速い速度で上昇したマグマによってもたらされ、発泡度が低い暗灰色軽石はより遅い速度で上昇したマグマによってもたらされたものである、と理解されよう。また、[Hammer *et al.* 1999: 355-380] によって、ピナツボ火山における軽石に見られる石基の結晶はマグマの脱ガスによって晶出したと報告されている。このように、本論文で明らかにした軽石の石基の結晶度の相違は、脱ガス過程の相違を反映している可能性が考えられる。

上述したように、a地点におけるBig I堆積物は噴火の推移を良く反映している。このBig I堆積物中において、噴火の絶頂期 (ユニット9) にかけて、異質物質、繊維状軽石、白色軽石の割合が増加する傾向が見られた (Fig. 10)。このことから、異質物質の割合の増加は、マグマの噴出率が増加したことによって火道壁が崩壊したためであると推定できる。また、繊維状軽石は剪断応力によって気泡が引き伸ばされることによって生じると考えられているが [Marti *et al.* 1999: 650-653]、繊維状軽石の割合の増加は、マグマと火道壁との剪断応力が増加したことを意味し、マグマ噴出率が増加したことを示唆していると考えられる。さらに、白色軽石の割合の増加は、マグマの噴出率が増加したことを反映しているのであろう。

6. まとめ

本論文では、有珠火山1977年噴火におけるプリニアン噴出物について、その岩相や堆積物構成粒子の特徴と、実際に観察された噴火の推移とを対応付けた。その結果、以下のことが理解された。

1. 堆積物は、1回のプリニアン噴火イベントに対して、明瞭な境界を持つ3から14層のフォールユニットに区分することができる。これらの境界は、噴煙柱の段階的な成長・急激な減衰によって生じたものである。
2. 軽石は、その気泡形状や色において多様であるが、それらの全岩化学組成はほぼ同一であり、多様性は全岩化学組成の相違に由来するものではない。
3. 軽石の色の相違は、発泡度と石基の結晶度の相違に密接に関係している。これは火道中のマグマの上昇速度の相違、あるいは、マグマの脱ガス過程の相違を反映しているものと考えられる。
4. Big I 堆積物中において、噴出率が最も高かったときの噴出物には、異質物質、繊維状軽石、白色軽石が相対的に多く含まれる。これらのことは、マグマの噴出率が増加することによって説明される。すなわち、その増加は火道壁の崩壊とその結果として異質岩片の増加をもたらした。同時に、マグマと火道壁との剪断応力の増加をもたらし、その結果、繊維状軽石が増加した。言うまでもなく、白色軽石の増加も噴出率増加の一つのあらわれである。

謝辞

野外調査の際には、北海道大学の大島弘光助教授、新井田清信助教授、中川光弘助手、青山祐助手、また、有珠火山観測所の前川徳光氏、鈴木敦生氏に大変お世話になりました。全岩化学組成分析の際には、東北大学の藤巻宏和教授にお世話になりました。薄片の作成の際には、東北大学の大山次男氏、伊藤嘉紀氏、川野部裕之氏にお世話になりました。軽石のBSE像を撮影する際には、東北大学の岩村武氏にお世話になりました。東北大学の中村美千彦助教授には粗稿を読んでもいただきました。また、研究を進めるにあたり、東北大学東北アジア研究センターの後藤章夫助手、宮本毅助手、市原美恵博士には、有益な助言をいただきました。以上の方々に感謝します。

引用文献

大学合同観測班地質班 1992

「雲仙火山1991年噴火、地質観察記録（その1）」、『火山』、37、47-53、東京都：日本火山学会。

Hammer, J. E., Cashman, K. V., Hoblitt, R. P., Newman, S. 1999

「Degassing and microlite crystallization during pre-climactic events of the 1991 eruption of Mt. Pinatubo, Philippines」, 『Bulletin Volcanology』, 60, 355-380, London : Springer-Verlag.

Katsui, Y., Oba, Y., Onuma, K., Suzuki, T., Kondo, Y., Watanabe, T., Niida, K., Uda, T., Hagiwara, S., Nagao, T., Nishikawa, J., Yamamoto, M., Ikeda, Y., Katagawa, H., Tsuchiya, N., Sherahase, M., Nemoto, S., Yokoyama, S., Soya, T., Fujita, T., Inaba, K. and Koide, K. 1978

「Preliminary report of the 1977 eruption of Usu volcano」、『J. Fac. Sci. Hokkaido Univ.』、18、385-408、北海道：北海道大学。

小屋口剛博・徳野正己・Eddie Listanco 1991

「フィリピン、ピナツボ火山の噴火、1991年6月15日」、『火山』、36、447-451、東京都：日本火山学会。

新井田清信・鈴木建夫・勝井義雄 1982

「有珠山1977年噴火の推移と降下火砕堆積物」、『火山』、27、97-118、東京都：日本火山学会。

Spieler, O., Alidibirov, M., Dingwell, D. B. 2003

「Grain-size characteristics of experimental pyroclasts of 1980 Mount St. Helens cryptodome dacete: effects of pressure drop and temperature」、『Bulletin Volcanology』、65、90-104、London：Springer-Verlag.

鈴木建夫・新井田清信・勝井義男 1982

「有珠山1977年輕石・火山灰の堆積様式」、『火山』、2、119-140、東京都：日本火山学会。

鈴木由紀・中田節也 2002

「気泡組織・サイズ分布から見た、有珠山2000年噴火でのマグマ上昇と発泡プロセス」、『火山』、47、675-688、東京都：日本火山学会。