

## 有珠山 2000 年噴火の推移

中田節也\*

東京大学地震研究所火山噴火予知研究推進センター

## Sequence of the 2000 eruption at Usu volcano, Japan

Setsuya Nakada\*

Volcano Research Center, Earthquake Research Institute, University of Tokyo

### Abstract

The eruption started on the northwestern flank of Usu volcano on 31 March 2000, following strong seismicity and inflation of the summit area. The initial vigorous phreatomagmatic eruption moved gradually into phreatic eruption with vertical cock's tail jets in early April. The phreatic eruption was replaced by intermittent small explosion in mid-April, and, furthermore, by continuous steaming that often included ash emissions. Although many craters had been formed by late-April, the eruptive activity became concentrated on a few craters, which enlarged with time. As the eruption proceeded, craters became dry and the amount of issued steam decreased with time. Uplifting of the crater area had been evident since 3 April, and the rate of uplifting decreased exponentially with time. The amplitude of volcanic tremors changed, reflecting the variation of eruption types; small during vertical jet eruption and large during small explosions.

The mode of eruption this time was similar in many ways to that of the 1910 eruption, when cryptodomes were formed in the northern slope over several months of sustained phreatic eruptions. The temporal change of eruption type probably reflected a decrease in water within the vents and rising explosion levels in the vent. This may have resulted from the successive production of slurry (clay and ash) there and, in addition, from the effective cooling of the magma head by groundwater (beneath the crater area). The volume of magma related to this eruption (about 0.1 km<sup>3</sup>) was similar to those of the previous two eruptions (1943-44 and 1977-78), though the mode and the duration of eruption were very different. The different environment of the magma's path, such as the abundance of groundwater, may be the reason.

**Key words:** Usu volcano, contribution of groundwater, cock's tail-jet eruption, phreatic eruption, mode of eruption

### 1. はじめに

有珠山では 2000 年 3 月 31 日に 23 年ぶりに噴火が起きた (Fig. 1; Plate 1-3). 最近 300 年間の噴火間隔が 30 年から 50 年であった (勝井, 1988; 曾屋ほか, 1981) のに比べて, 今回の噴火はより短い間隔で起こった. 今度の有珠山の噴火は, 顕著な地震活動が前駆するという有珠山特有の性質を活かして噴火の開始が上手く予知できたことでは, 大学の火山観測史上画期的な事件であった. 一方で, 噴火の推移予測という点では依然として達成度が低いということが認識された事件でもあった.

有珠山は最近 300 年間に 6 回の噴火活動を起こしている (勝井, 1988). 1910 年と 1943-45 年の 2 回を除く噴火では, 山頂から比較的爆発的な噴火が起き, 軽石噴火が起こっている. これに対して, 1910 年の噴火は水蒸気爆発を数ヶ月継続しながら, 有珠山の北東側斜面を隆起させて潜在ドームを作った (Fig. 2) (Omori, 1911). また, 1943-45 年噴火では, 比較的長い前駆的な地震活動の後, 東山麓に潜在ドームが形成され始め, その後, 水蒸気爆発からより爆発的な噴火へと移行した (Minakami *et al.*, 1951; 三松, 1962). 有珠山噴火では山麓噴火の場合,

\*e-mail: nakada@eri.u-tokyo.ac.jp

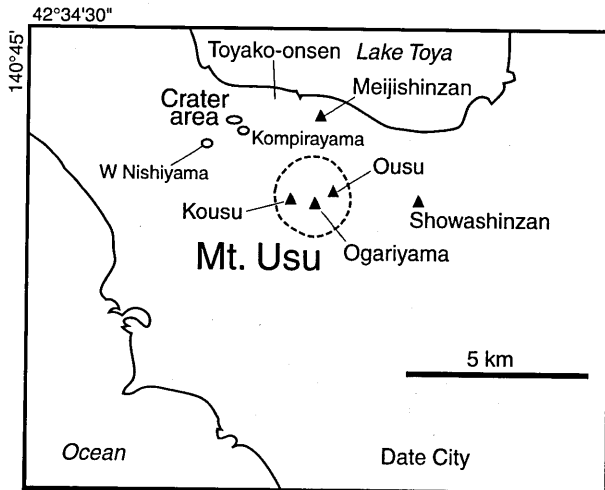


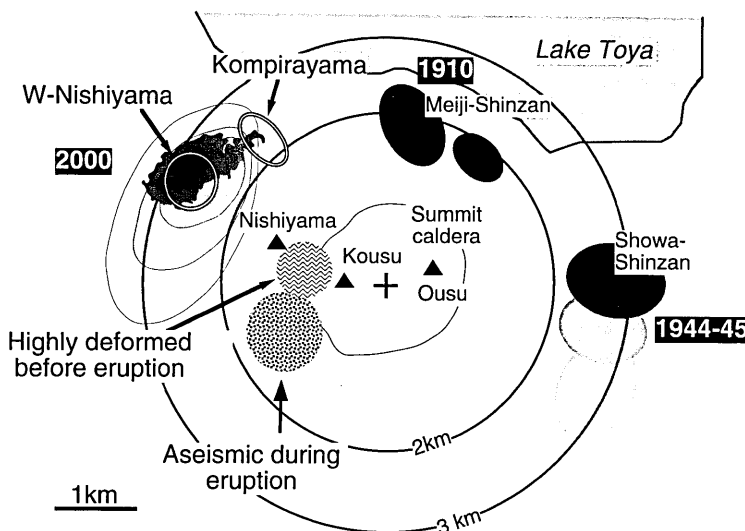
Fig. 1. Index map of Usu volcano. Kampirayama and West-Nishiyama are active crater areas of this eruption.

軽石噴火を伴わないが、山頂噴火と同様に、噴火毎に潜在ドームか溶岩ドームを形成するという特徴がある（勝井, 1988）。

2000年の噴火は、結果的に、1910年噴火と極めて似た現象であった。噴火の速報については既に宇井ほか（2000）、大島（2000）、中田（2000）、平林ほか（2000）、森・宇井（2000）、遠藤ほか（2001）が行っている。本論文では、複数の分野の観測結果を照らし合わせて、噴火現象の経緯をまとめ、総合的な噴火のモデルを提案する。また、1910年噴火や1944-45年噴火の推移との比較も行う。

## 2. 噴火の経緯

### 2-1. 噴火に先立つ現象



前兆的地震活動は3月27日朝から始まり、28日には最初の有感地震が発生し、その頻度は次第に多くなった。その後、29日午後から有感地震が急増して地震活動はピークに達し、30日午後から減少傾向に転じた後、北西山麓で噴火が始まった。

これらの噴火に先立つ地震はカルデラ北西部から温泉街の直下を震源とした（大島, 2000）。30日には山頂カルデラの北西部、北屏風山西尾根から西山にかけて多くの断層や地割れが航空機によって発見された（Fig. 2）。その後、午後になり洞爺湖温泉や壮瞥温泉でも地割れが地質調査所や北海道大学の地質グループによって報告された。これらの地割れや北海道大学有珠火山観測所などによる測量結果は、北屏風山を含む有珠山の北斜面が、洞爺湖側にややせり出す兆候を示していた。これは、マグマによる北斜面の押し出しと考えられ、最悪の場合には山体崩壊も懸念された。後からの調査結果によると、北屏風山の付近でできた断層の落差は大きいところで約2 mに達し、隆起によって生じた北西方向に伸びる地溝状の複雑な構造が出現していた。地震の震源は29日から外輪山を取り囲むようにドーナツ状に広がり、さらに南山麓にも拡大した（例えば、大島, 2000）。噴火を通して地震の空白域が西山の南に存在しており（Fig. 2）、ここにマグマポケットが一旦できたと考えられている（例えば、大島, 2000）。

### 2-2. 噴火活動の変化

今回の噴火は最初のマグマ水蒸気爆発をピークとして、活動が時間とともに単調に減少するものであった。活動期間は噴煙の発達具合などからいくつかに分けることができる（Fig. 3, 4）。Fig. 4には西山西麓火口域に見られた変化を模式的に示した。金毘羅山火口域の活動

Fig. 2. Map showing the locations of cryptodomes and lava domes formed in the flank-eruptions. The area highly deformed before eruption, the aseismic area during eruption, and the active crater areas are also shown. West-Nishiyama was uplifted as much as 60 m until the end of April 2000 (Public Work Research Institute, 2000 unpublished).

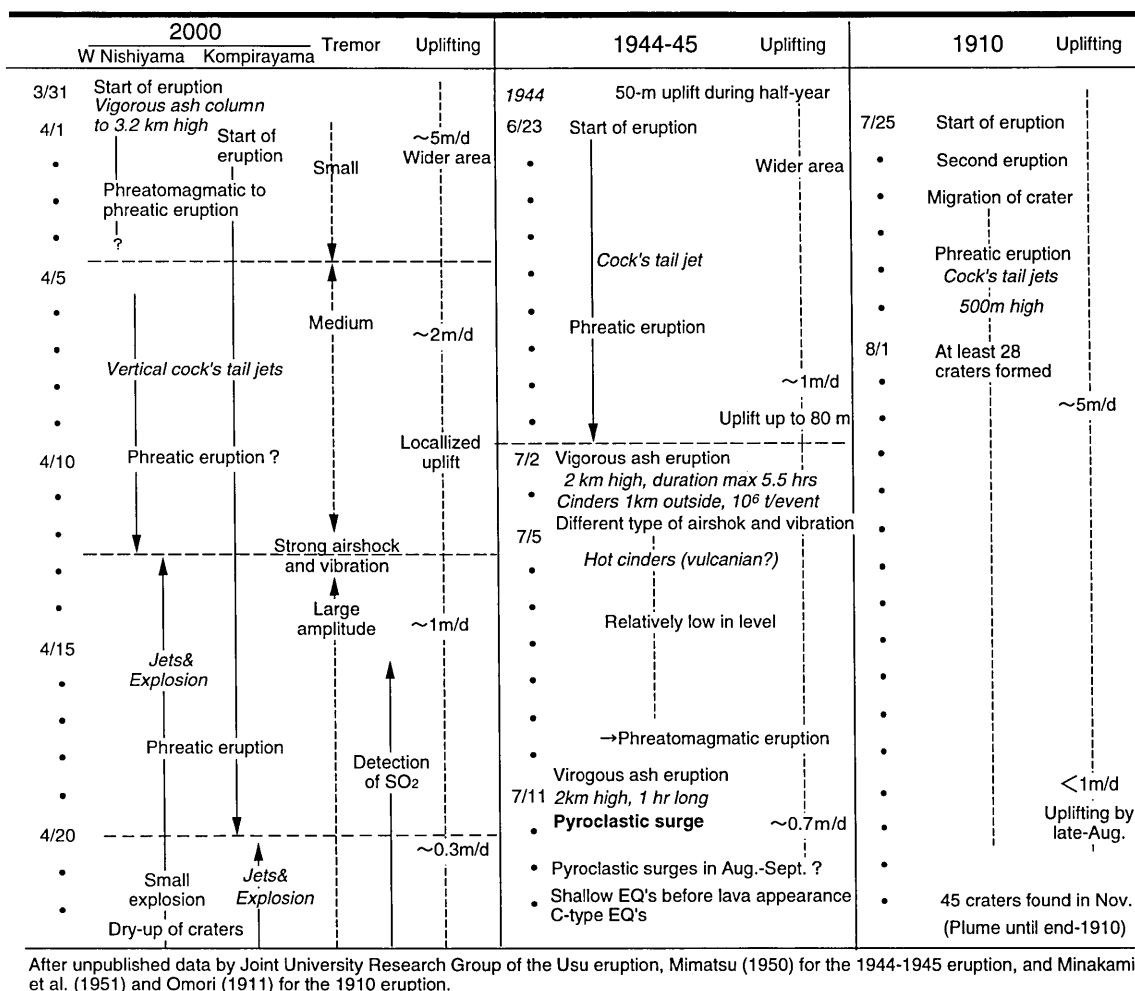


Fig. 3. Time sequence of the 2000 eruption in comparison with those of eruptions on the volcano flank in 1943-45 and 1910.

は前者の活動からは遅れて進行し、ほぼ1年経った2001年3月時点でも西山西麓の2000年4月末～5月頃の活動を依然として続けていた。

【火山灰噴火期】3月31日の噴火当初は軽石を伴う活発なカリフラワー状の噴煙が高さ3.2kmの高さまで上昇した(宇井ほか, 2000; Plate 1-3)。この噴煙は北東方向に流れた。その後、洞爺湖の東岸には多くの軽石が漂着したのが確認された。北大大学院理学研究科や地質調査所などによると、軽石などのマグマ物質がこの日の噴出物に占める割合は数十パーセントに達するとされている(例えば、宇井ほか, 2000)。軽石は翌日の噴火からはほとんど含まれなくなった(例えば、嶋野ほか, 2001)。翌4月1日には、最初の噴火地点から北東に約1km離れた、洞爺湖温泉の裏山である金毘羅山でも噴火が開始した。ここでは激しい火山灰噴火とともに、黒色の土砂が槍の先のような形をして勢い良く火口から飛び出すコックステールジェット噴煙が見られた。噴火場所であ

る西山西麓における地殻変動は、噴火当初は見られなかったものが、4月3日から顕著になり、地割れや断層を伴う地溝が発達し始めた(Plate 4, 5)。

【コックステールジェット噴火期】その後、高さ500mを越す垂直のコックステールジェットを伴う噴煙が間欠的に上昇するようになった(Plate 6)。この際、活発な火山灰噴煙から急激にコックステールジェットの噴火に変化したわけではなく、前者の合間にコックステールジェットが目立つようになり、時間とともにその頻度を増した。コックステールジェット噴火期には、噴出した土砂が火口の周囲に堆積し火砕丘を形成した(Plate 7)。その内側には熱泥水の湯だまりができた。泥水は火口の外に流出し熱泥流となった。これらのコックステールジェットを伴う水蒸気爆発は次から次に場所を変えて起こり、多数の火口が西山西麓と金毘羅山火口域に出現した(例えば、宇井ほか, 2000)。西山西麓火口域に当たる国道230号線や避難道路の上にもいくつかの火口が出現

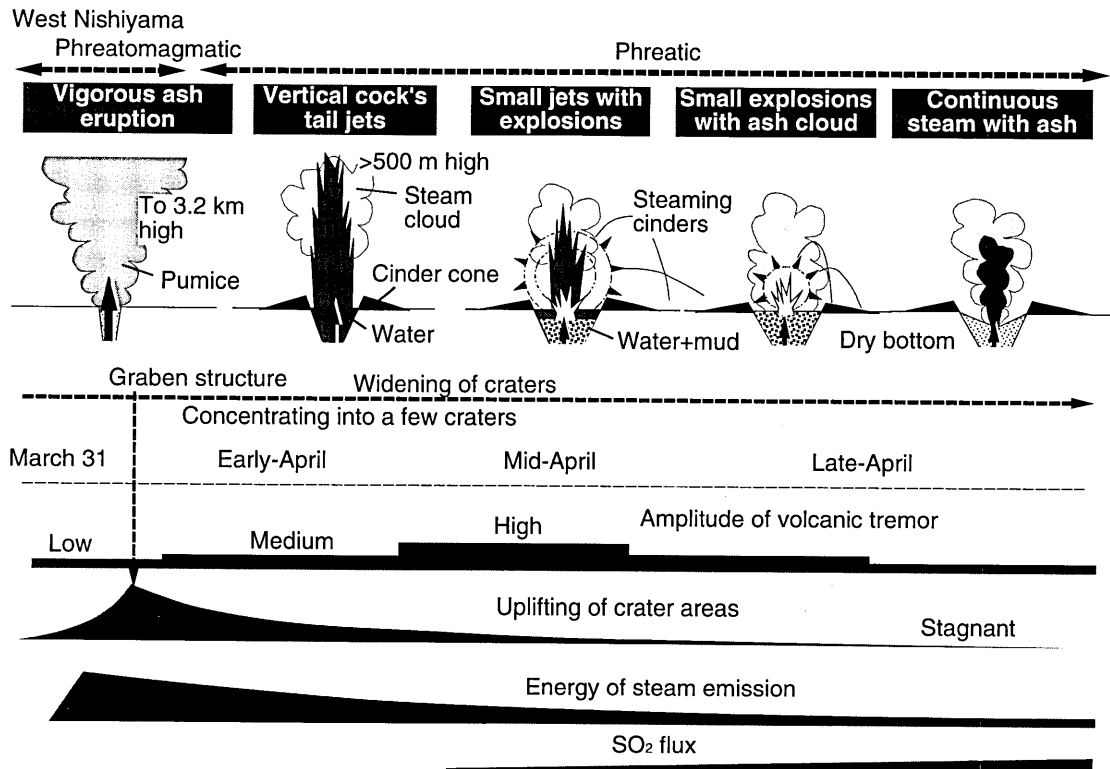


Fig. 4. Schematic illustration of eruption sequence in the West-Nishiyama crater area.

し、その周囲には火口から噴きだした土砂が厚く堆積するとともに隆起を続けた。

【炸裂型噴火期】コックステールジェット噴煙は時間とともに高度を低下させた。その後、やや低いコックステールジェットに前後して、火口の直上で泥や岩石が仕掛け花火のように破裂する噴火に移行した (Plate 8)。4月中旬には、この炸裂に伴って、強い空振が観測された。炸裂によって岩石や泥が火口から飛びだし、近くの家々の屋根に無数の穴を開けた。飛び出した岩石や泥は湯気を上げて火口から四方に飛び散った。4月中旬には噴泥が火口から約1 kmの距離まで飛来した。コックステールジェット噴煙の高度の低下と炸裂型への移動は、それまでに火口を満たした土砂を含んだ水柱の中で、爆発点が次第に浅くなり、ついには火口直上で爆発が起こるようになったためと考えられる。また、この頃から両火口域で活動続ける火口が限られだし、それぞれの火口径も拡大した。

【連続水蒸気噴煙期】4月下旬になると、炸裂型噴煙の進行とともに火口底が干上がり、小規模のコックステールジェットもほとんど見られなくなった。さらに、4月末には水蒸気を主体とする連続噴煙に移行した (Plate 9)。連続噴煙に移行する前頃から、時々、水蒸気噴煙に火山灰が混じり有色噴煙が認められた。北大大学院理学

研究科の調査によると、噴出した火山灰には本質物質が認められておらず、不安定になった火口壁の一部が時々崩れたために、それが火山灰として噴き上げられたものであると考えられる。

火山性微動の振幅の変化 (気象庁, 2000 未公表試料) はほぼ噴火様式の変化と対応していた (Fig. 3, 4)。すなわち、初期の火山灰噴火からコックステールジェットに至る期間は極めて振幅が小さい。コックステールジェット噴火期が炸裂噴火に移った4月中旬から、振幅が最も大きくなった。また、炸裂噴火ごとに大きな振幅を持つ微動が脈状に起こった。その後、乾いた炸裂型に移行した時から、脈状の大きな微動はおこるものの、微動振幅は小さくなった。このことから、観察された火山性微動は噴火による地表面の振動状態を主に反映したものであったと解釈される。

### 3. 地下水の関与

#### 3-1. 噴煙の時間的变化

過去の噴火で報告されたコックステールジェットを伴うマグマ水蒸気爆発、あるいは水蒸気爆発は、フィリピンのタール火山、アイスランドのスルツエイ、明神礁などで報告されている。それらの噴火では、マグマヘッドの上昇とともに、マグマと水の量比によって fuel-cool-

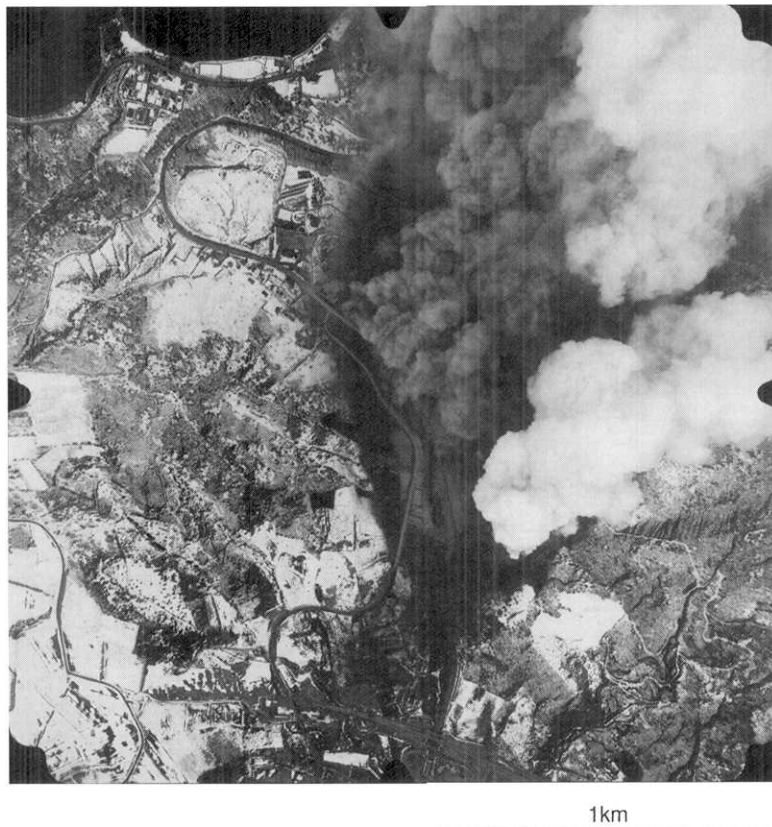


Plate 1. Start of phreatomagmatic eruption on the northwestern flank of Usu volcano on 31 March 2000. Taken around 2 P.M. by Shin Engineering Consultants Co. Ltd. (photo no. C3918)

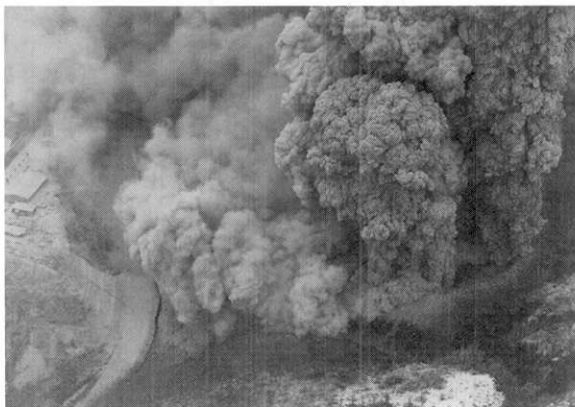


Plate 2. Phreatomagmatic eruption at the West Nishiyama craters. Houses at the left side were later greatly deformed by uplifting due to magma intruding beneath this crater area. Courtesy of Shin Engineering Consultants Co. Ltd.

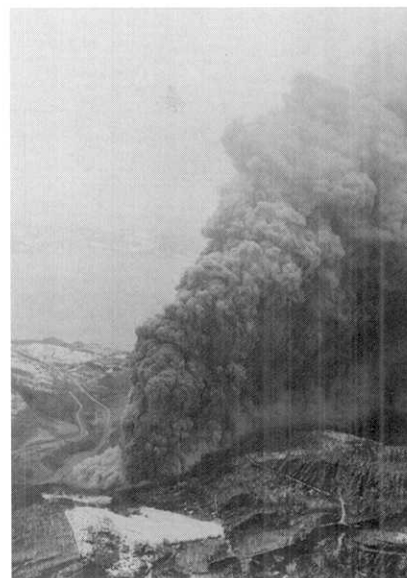


Plate 3. Southern view of eruption column formed on the afternoon of 30 March. In the background is Lake Toya. Courtesy by Shin Engineering Consultants Co. Ltd.

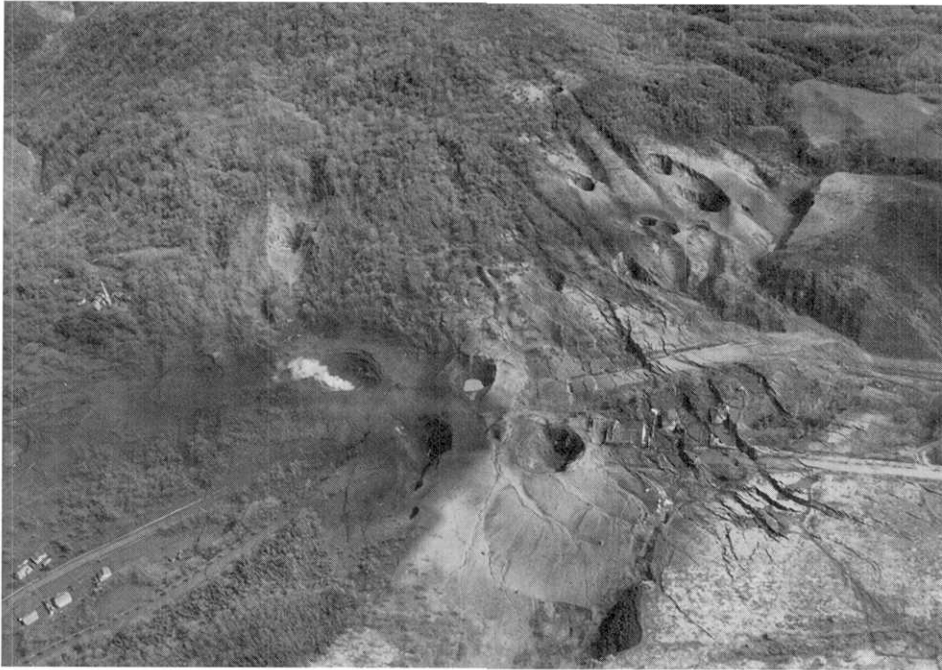


Plate 4. The West-Nishiyama crater areas with multiple craters were highly deformed by uplifting. Taken on 13 April from a helicopter of the Ground Self-Defense Force.



Plate 5. Close-up view of the uplifted area in the West-Nishiyama crater area. Houses were deformed and their roofs were penetrated by ballistics issued when craters opened. Taken on 5 May from a helicopter of the Ground Self-Defense Force.

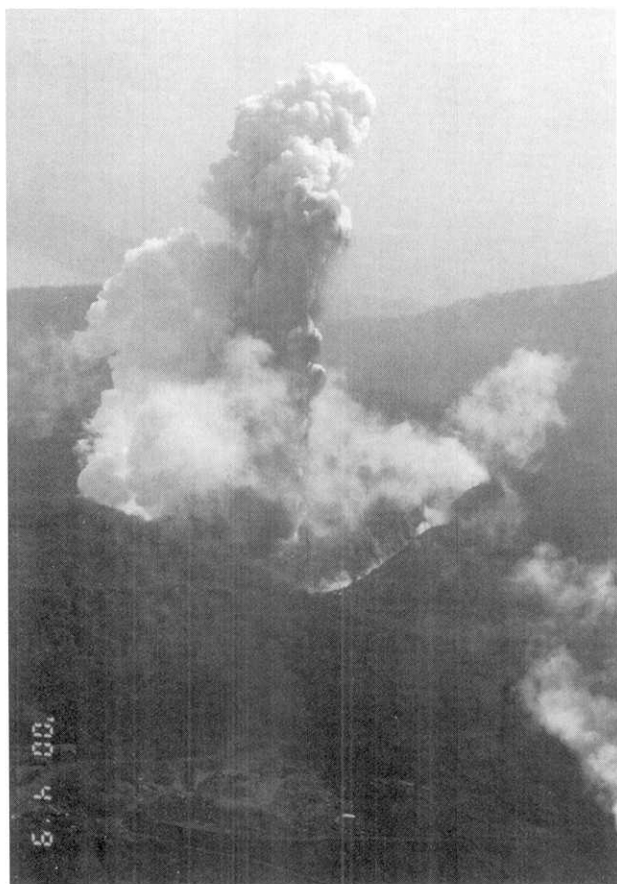


Plate 6. The Kampirayama crater area where there were repeated phreatic eruptions. Taken on 8 April from a helicopter of the Ground Self-Defense Force.

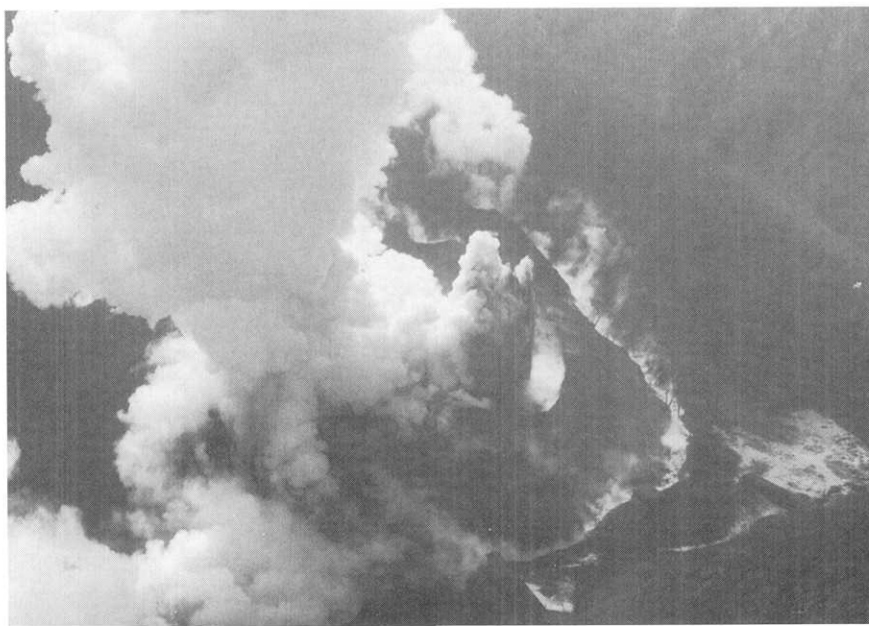


Plate 7. Pyroclastic cones were formed around active craters, which were filled with hot mud-water. Hot debris was flowing outside the crater toward the Toyako hot-spring resort. Taken on 9 April from a helicopter of the Ground Self-Defense Force.





Plate 8. Small explosions had occurred since mid-April (middle); steaming hot cinders and mud-balls were issued. In the background is the Kompirayama crater area. Taken on 13 April from a helicopter of the Ground Self-Defense Force.

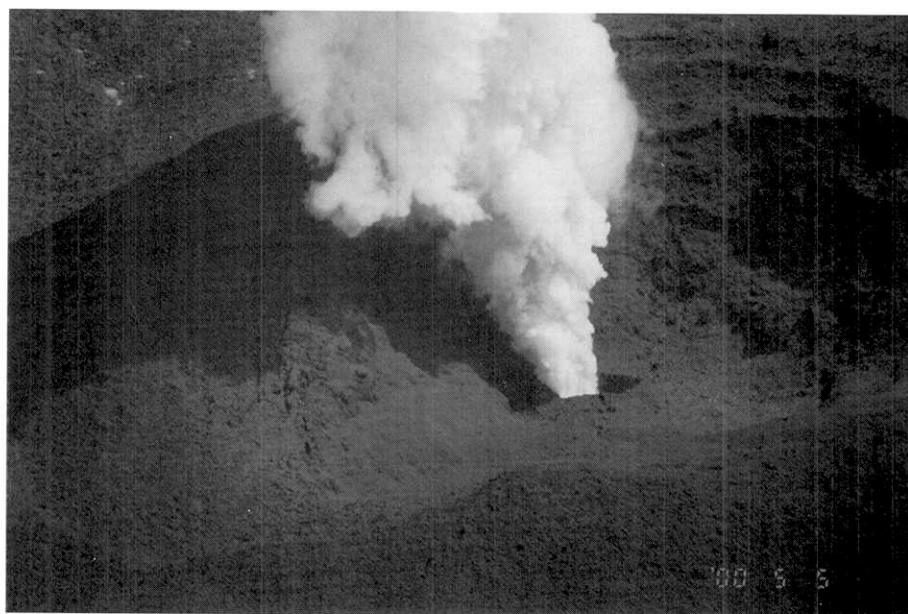


Plate 9. Continuous steaming from dried-up craters in the West-Nishiyama area. Taken on 5 May from a helicopter of the Ground Self-Defense Force.



ant 反応が効果的に起こったと提案されている（例えば、White and Houghton, 2000）。すなわち、水と接触しマグマヘッドにできた不安定な蒸気膜がマグマの破碎現象などによって破れ、粉々になった高温マグマと水との接触面積が急激に増えて、体積膨張を起こして激しい爆発が誘発されたというものである。しかし、今回の有珠山の噴火は最初のマグマ水蒸気爆発以外はマグマ物質を含んでいない。このため、マグマと水の接触によってコックステールジェットができたとは考えにくい。

西山西麓火口域の地下へ貫入したマグマの深度は噴出物中に見られる堆積物の特徴から数百 m 以深と考えられる（北海道地質研究所資料に基づく）。また、火口域の地殻変動の解析からは約 250 m 深にマグマが定置したと提案されている（Nishimura *et al.*, 2000）。マグマ物質が噴出されたのは 4 月 31 日にほぼ限られる。このため、地表とマグマヘッドとをつなぐ“火道”（マグマに満たされていない部分）へ流入した地下水がマグマの熱で加熱され、体積膨張し一定の過剰圧を稼いで定期的に水蒸気爆発を引き起こしたものと考えられるであろう。また、同一熱源と考えられる、洞爺湖側の金毘羅山火口ではコックステールジェットが長く継続したのに対して、西山西麓火口ではコックステールジェットの高さが直ぐに低くなり炸裂型に移行し、その後、噴火活動が衰えた。これは熱源が途絶えたというよりは、供給される地下水の量が変化したことを示している可能性が高い。その証拠に、金毘羅山火口では 1 年後までも炸裂型を続けた。後者は、マグマが十分な熱を保ち続け、ふんだんな量の地下水が供給され続けたものと考えられる。

西山西麓の火口では、噴出物が水を多量に含んだ土砂

から水分が少なくなった団子状の泥に変化したことや、火口が次第に干上がったことから考えると、“火道”を埋める物質が次第に水分を失って粘度を増し、それに連れて、水蒸気ポケット（Fig. 5）の爆発地点が浅くなったと考えられる。粘度の上昇は、変質した母岩からもたらされた粘土や、岩石が水蒸気爆発で“火道”を繰り返し上下に行き来する間に破碎されて細くなったものが懸濁したことが上げられる。さらに、これらの物質は“火道”の壁を充填し、外からの地下水の流入を妨げる役割をしたかもしれない。爆発点が浅くなった原因は、“火道”を充填する物質（熱泥水と懸濁物）の密度が上昇したため、浅所まで上昇（減圧）しないと、水蒸気ポケットが爆発に十分な過剰圧を稼ぐことができなくなったからであると考えられる。この場合、上昇による水蒸気ポケットの内圧増加と封圧の減少が効いていると考えられる。また、熱源としてのマグマが地下水による冷却で次第に温度低下した場合にも、地下で高温の水蒸気が生産されにくくなる。これは、出発温度が低い水蒸気ほど減圧に対する膨張率が小さくなるため、水蒸気ポケットが十分に上昇しないと過剰圧が稼げないという、上と同様の効果を引き起こすと考えられる。

### 3-2. 地下水と脱ガス

今回の噴火に水が大きく関与したことは、噴煙柱の二酸化硫黄の変化からも推定される。平林ほか（2000）によると、二酸化硫黄は噴火の初期には検出されていないが、4 月中旬からわずかに検出され始め、6 月末にピークを迎えている。しかし、ピーク時の値でも 1 日当たり 10 数トンと、前回の噴火で観察された量に比べて極めて少

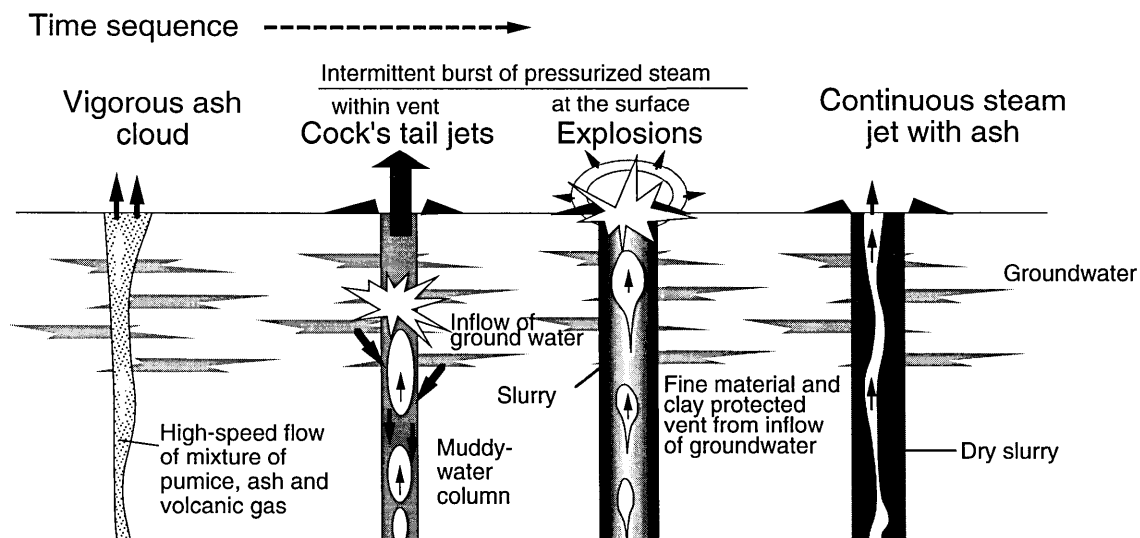


Fig. 5. Temporal change in subsurface processes of this eruption.

ない。鈴木・中田(2001)によれば、今回のマグマは約300 ppmの $\text{SO}_2$ がマグマに溶け込んでいたと考えられ、通常のデイサイトマグマに比べて $\text{SO}_2$ の含有量が少ないわけではない。このため、マグマから脱ガスした二酸化硫黄の多くが地下水に溶け込んだと考えられる。その証拠に有珠山周辺の温泉水からは今回の噴火後に硫酸イオンの濃度が急激に増加したことが報告されている(平林ほか, 2000)。噴煙の量から推定される放熱量とコスベックで観測される二酸化硫黄の量には6月まではほぼ逆相関が認められる。放熱量は今回の噴火ではほとんどが水蒸気からなる噴煙量から見積もられている。このため、水蒸気量と二酸化硫黄の逆相関は、“火道”中を埋める物質の水分が減るとともに二酸化硫黄が火口から直接放出され易くなったことを反映していると考えられ、上の噴火様式変化から推定されるものと調和的である。

最初の噴火でマグマ物質を含み、乾いた噴煙が高く上った。この時も地下水層が存在していたはずであるが、その噴火様式は特に水との反応を想像させない。しかし、軽石の岩石学的検討からは、マグマが地下で水との接触により急冷したことが推定されている(鈴木・中田, 2001)。おそらく、マグマ片+ガスの混合物(粉体)が地下深部で高い過剰圧を持って、有珠山の山頂直下から、高速度で貫入上昇したため、水に飽和した岩盤が割れただけで地下水層とマグマ物質との接触が十分に起こらなかった可能性がある(Fig. 5)。このため、最初の噴火時には火山性微動がほとんど検知されなかったであろう。火口域の隆起は噴火開始の3日(4月3日)後に顕著になっており、この時マグマポケットは西山西麓火口域の地下にゆっくり到来したと考えられる。その後、すでに冷やされて固体の殻を持ったマグマバッチと地下水の接触が火口域直下の浅部で継続したものと考えられる。

#### 4. 過去の噴火との比較

##### 4-1. 噴火の規模と様式

今回の噴火は、潜在ドームを形成し、山麓噴火したことで、1910年や1943-45年噴火と共通点がある。3回の山麓噴火は、有珠山の中心から2~3 km離れた場所にマグマが貫入している(Fig. 2)。今回の噴火は特に1910年噴火(Omori, 1911)と以下の点でよく似ている。(1)噴火開始までの地震の発生期間と頻度の減衰の仕方。(2)山麓噴火が起こり、水蒸気爆発によって数多くの火口が生じたこと。(3)噴火の初期に活動が活発で、時間とともに減衰したこと。(4)潜在ドームが形成されたこと。ただし、1910年噴火では最初に本質物質が出たことが確認さ

れていない点で今回とは異なる。

一方、今回の噴火と1943-45年噴火とは、後者において(1)噴火までの地震活動や隆起現象が半年以上継続したこと、(2)溶岩が地上まで達し潜在ドームから溶岩ドームまでを形成したこと、(3)火砕流が頻繁に発生したこと、で異なっている。さらに、1943年噴火では噴火の活発化とともに、噴出物の中に占める本質物質の量が増加した(Minakami *et al.*, 1951)点でも、今回の噴火とは異なっている。

今回の噴火に際して、3月31日から4月26日までの隆起量は約3,950万 $\text{m}^3$ である(土木研究所, 2000 記者発表資料)。測地データ(例えば森・宇井, 2000)によると、それ以降の隆起はほとんど無視できる。4月1日までの総噴出物の重量は遠藤ほか(2001)によれば94万トンであり、マグマの比重を2.5と仮定すれば40万 $\text{m}^3$ となり、隆起量に比べるとはるかに小さい。また、噴火前に山頂部を中心に隆起させたマグマ量は茂木モデルを仮定して、約5-6,000万 $\text{m}^3$ と見積もられている(Watanabe and Nakada, 2000; 森・宇井, 2000)。山頂部のこの隆起は噴火開始後元に戻った訳ではない(例えば、森・宇井, 2001)ので、一旦山頂直下に貫入したマグマが噴火で西方へ移動しただけではなく、それに見合う量のマグマが新たに地下から補填されたものと思われる。こうして、今回の噴火に関与したマグマの総量は約9,000万から1億 $\text{m}^3$ と考えることができる。

1943-45年噴火の噴出量は約400万 $\text{m}^3$ である(勝井, 1988)であり、昭和火山の体積は現在の地形からだけでもおおよそ1億 $\text{m}^3$ と計算される。また、1977-78年噴火の噴出物量は約9,000万 $\text{m}^3$ (勝井, 1988; 溶岩換算で6,300万 $\text{m}^3$ )であり、山頂部の隆起量は約4,000万 $\text{m}^3$ と見積もられる(渡辺, 2000 私信)。ここでも約1億 $\text{m}^3$ のマグマが関与していることになる。

このように最近3回の噴火に関与したマグマの量はいずれの噴火においても約1億 $\text{m}^3$ であったことになる。しかし、これらの噴火は3者3様の噴火様式をとった。このため、山頂噴火と山麓噴火の違い、さらには、山麓噴火どうしにおける噴火様式の違いは、マグマが貫入した場所の環境の違いが引き起こしたものかもしれない。すなわち、地下水の存在や中心火道がすでに過去の潜在ドームで栓をされているかどうかなどが、マグマの上昇速度や脱ガスの仕方に強く影響した可能性が考えられる。

##### 4-2. 火砕流の発生

Fig. 3に示すように、1943-45年噴火では、広域的な

隆起が噴火の半年も前から起こり 6 月下旬から噴火が開始した。この噴火では、水蒸気爆発から比較的乾いた噴火に移行し、激しい火山灰噴火が継続するようになった (Minakami *et al.*, 1951)。「昭和新山生成日記」(三松, 1962) は、1944 年 7 月 11 日には「この爆発は 1 時間余り続いたが…暗闇となって間もなく強い南風となり、火口の北方洞爺湖方面に幅 1.5 km の熱煙が地上を渦巻いて湖中まで噴きだし…この熱煙は湖岸沿いの保安林を吹き倒し、あるいは焼き、小屋を吹き飛ばした…西湖畔部落に吹き付けた熱煙は摂氏 60~70 度で、火口から 1.5 km 間の樹木は半面焼け爛れた…火口から 500 m 付近に住む…の住宅は熱石が降って焼失したが…」と記述しており、比較的熱い火砕サージが発生したことが読み取れる。さらに 8 月 26 日には「爆発後間もなく、火口辺より横に地上を這うように噴出する爆煙が、秒速 20~30 m の速さで地上を渦巻いて、赤黒い灰煙となり、風下の降灰に先駆けて、激しく家々の窓を打つ場合もあった。」と記述しており、火砕サージが繰り返し発生したことが読み取れる。三松 (1962) の図版からは、一旦立ち上った噴煙が倒壊して洞爺湖方面に流れたように見える。また、Minakami *et al.* (1951) も 1944 年 8、9 月に低温の火砕サージがしばしば発生したと記述している。ここでは、火山灰噴煙が数時間も継続しながら、多量の火山灰が放出されたこと (Fig. 3)、および、火山灰の化学組成が時間とともに後から出現した溶岩ドームの化学組成に近づいていったこと (Minakami *et al.*, 1951) から考えて、マグマ物質を含む火砕サージが発生したものと考えることができる。今回の噴火開始当初でも、同様に火砕サージの発生することが心配された。そして、低温の勢いのないサージが 4 月中に発生したことは森・宇井 (2000) や遠藤 (2001) などによって指摘されている。これは、映像で確認されたもののほか、横方向に流れてきて堆積したいくつかの証拠に基づいている。しかし、樹木への熱的影響や倒壊などは認められていない。この点、1944 年の火砕サージに比べると極めて小さい勢いのものであったと推定される。おそらくこれらの火砕サージはマグマ水蒸気爆発や水蒸気爆発にしばしば伴われるベースサージに近いものと考えられ、昭和新山の火砕サージとは異なる性質のものであろう。

#### 4-3. 隆起率

今回の噴火では、火口地域の隆起に伴う地割れや断層が 4 月 3 日に初めて認められ、その頃の隆起率が最も大きかったことが GPS の観測結果からも示されている (森・宇井, 2000)。隆起率は 4 月上旬が最大で指数関数的に減衰した (Fig. 4, 5; Watanabe and Nakada,

2000)。すなわち、当初数 m/日であった隆起率は 5 月末までに約 10 cm/日まで減少した。明治新山を作った 1910 年噴火でも隆起は噴火の初期に激しく、噴火開始後 1 ヶ月程度まで継続した (Omori, 1911; 三松, 1962)。逆に、潜在ドームを作った 1944-45 年噴火や 1977-78 年噴火では、隆起が噴火開始後も長期間継続した。三松 (1962) のデータによると、昭和新山では、爆発が開始してから溶岩が地表に現れだす爆発期までの約 4 ヶ月間で隆起率が指数関数的にゆっくり減衰している。その結果、まず地表から約 150 m まで隆起し、その後 (三松の溶岩塔推上期から) は新たな隆起が始まった。また、1977 年噴火の後に隆起したオガリ山では、噴火後約 5 ヶ月間かけて隆起率が指数関数的に減少し、1978 年 1 月からの銀沼からの噴火を含む第 2 期の開始とともに新たな隆起が始まり、この隆起率も指数関数的に減少した (Yokoyama *et al.*, 1981)。

このような指数関数的な隆起率の現象に関しては、Watanabe (1984) が地下に貫入したマグマの遅延発泡のモデルを提案している。実際、マグマの遅延発泡を行った最近の実験 (例えば、Bagdassarov and Dingwell, 1993) によっても、遅延発泡による膨張率が経験的には指数関数的に減少することが認められている。ただし、実験的に再現できるこの関係はタイムスケールが高々数週間と短い。隆起率の減衰は今回の噴火が 1943-45 年および 1977-78 年に比べてはるかに大きく、1910 年噴火に近いと推定される。このように地下マグマの挙動に関しても、今回の噴火と 1910 年噴火とが似ている。隆起率の減衰期間が噴火毎に異なるのは、マグマが貫入する場所の地下水系の発達度合いが異なり、マグマの遅延発泡に対する冷却効果が異なったためかもしれない (Watanabe and Nakada, 2000)。

#### 5. まとめ

今回の有珠山の噴火は過去 3 回の噴火と同じ程度の量のマグマが関与したと考えられるが、それらの中で最も噴火規模の小さいものであった。また、多くの点で今回の噴火は 1910 年の噴火に似ていた。噴火は当初のマグマ水蒸気爆発から水蒸気爆発へと進行し、時間とともに噴火の勢いを減じた。このような噴火様式の変化は地下に貫入したマグマと地下水の反応の仕方によって説明可能である。すなわち、“火道”を埋める物質の水分の減少と粘度増加に伴って、水蒸気ポケットの爆発点が上昇し、コックステールジェットから炸裂型に移行した。今回の噴火地点の地下には多量の地下水があり、このことがマグマを効果的に冷却して、爆発的な噴火や継続期間

の長い噴火活動を妨げた可能性がある。

## 謝 辞

現地観測は岡田 弘教授, 大島弘光助教授を始め総合観測班の皆さんや, 気象庁や陸上自衛隊などのお世話になった。また, 渡辺秀文教授を始めとする地震研究所の関係者, および, 有珠火山総合観測班のメンバーには機会あるたびに噴火モデルに関して議論していただいた。藤井敏嗣教授, 鍵山恒臣助教授からは粗稿に対して有益なコメントを受けた。噴火直後の写真は株式会社シン技術コンサルの提供による。以上の方々に感謝します。

## 引用文献

- Bagdassarov, N.S. and D.B. Dingwell, 1993, Deformation of foamed rhyolites under internal and external stress: an experimental investigation, *Bull. Volcanol.*, **55**, 147-154.
- 遠藤邦彦・大野希一・国方まり・諸星真帆・鈴木正章・西村裕一・長井大輔・千葉達朗・陶野郁雄, 2001, 有珠山 2000 年噴火におけるマグマ水蒸気爆発, 日大文理自然科学紀要, no. 36, 65-73.
- 平林順一・我孫子勤・野上健治・鍵山恒臣・大場 武・前川徳光・鈴木淳生・鈴木 隆, 2000, 有珠山 2000 年噴火の様式と活動の変化, 自然災害科学, **19**, 375-381.
- 勝井義雄, 1988, 有珠山. その生い立ちと噴火史, 角村 浩・岡田 弘・新谷 融編「有珠山. その変動と災害」, 北海道大学図書刊行会, 226-234.
- 三松正夫, 1962, 「昭和新山生成日記」, 壮瞥町三松正夫記念館 (1993 年復刻増補版)
- Minakami, T., T. Ishikawa and K. Yagi, 1951, The 1944 eruption of Volcano Usu in Hokkaido, Japan. *Bull. Volcanol., Ser. II*, **11**, 45-157.
- 森 濟・宇井忠英, 2000, 2000 年有珠山噴火の地殻変動と噴火活動について, 自然災害科学, **19**, 383-390.
- 中田節也, 2000, 有珠山噴火の推移, 地震学会ニュースレター, **12**, 2 号, 21-23.
- Nishimura, Y., E. Saito, K. Watanabe, T. Matsushima, K. Kazahaya, K. Uto, N. Matsushima, T. Yamamoto, T. Hasak, S. Takarada, Y. Tahakahshi, N. Bajagawa and A. Takagi, 2000, Deformation monitoring by EDM and theodolite surveys at the Western part of Usu volcano (abstract), *Eos Transac. Amer. Geophys. Union*, **81**, No. 48, WPI.
- Omori, F., 1911, The Usu-san eruption and earthquake and elevation phenomena. *Bull. Imp. Earthq. Inv. Com.*, **5**, no. 1, 1-38, no. 3, 101-107.
- 大島弘光, 2000, 2000 年有珠山噴火に伴う地震活動, 地震学会ニュースレター, **12**, 2 号, 23-24.
- 嶋野岳人・中田節也・金子隆之, 2001, 火山灰の XRF 化学組成分析に基づく本質物質寄与の見積もり—有珠火山 2000 年噴火を例として—, 東大地震研彙報, **76**, 本特集.
- 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 (1: 25,000). 火山地質図 2. 地質調査所.
- 鈴木由希・中田節也, 2001, マグマ上昇過程における発泡と結晶作用のタイミング—有珠山 2000 年噴火, マグマ水蒸気爆発の例—, 東大地震研彙報, **76**, 本特集.
- 宇井忠英・中川光弘・吉本充宏・総合観測班地質グループ, 2000, 有珠山 2000 年噴火, 火山, **45**, 195-196.
- Yokoyama, I., H. Yamashita, H. Watanabe and H. Okada, 1981, Geophysical characteristics of dacite volcanism—the 1977-1978 eruption of Usu volcano, *J. Volcano. Geotherm. Res.*, **9**, 335-358.
- Watanabe, H., 1984, Gradual bubble growth in dacite magma as a possible cause of the 1977-1978 long lived activity of Usu Volcano, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **20**, 133-144.
- Watanabe, H. and S. Nakada, 2000, The mechanisms of doming activity at Usu Volcano, Japan (abstract), *Eos, Trans. Amer. Geophys. Union*, **81**, No. 48, F1337.
- White, J.D.L. and B. Houghton, 2000, Surtseyan and related phreatomagmatic eruption, In H. Sigurdsson ed., "Encyclopedia of Volcanoes", Academic Press, 495-511.

(Received March 19, 2001)

(Accepted May 22, 2001)