

有珠火山 2000 年噴火の火口近傍堆積物

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**

(2001 年 9 月 14 日受付, 2002 年 8 月 1 日受理)

Proximal Deposits of the Usu 2000 Eruption

Shinji TAKARADA*, Hideo HOSHIZUMI**, Isoji MIYAGI***, Yuichi NISHIMURA****,
Yasuo MIYABUCHI*****, Daisuke MIURA***** and Yoshihisa KAWANABE**

Events of the March 31, 2000 phreatomagmatic eruption at Usu Volcano can be subdivided into two stages: (1) large-scale black plume stage having 6 major events from 13 : 07 to 15 : 28, and (2) relatively small-scale, black plume and jet-type plume stage having 5 major events from 15 : 28 to 17 : 07. The total thickness of the March 31 deposit are 100 cm at a site 90 m north from the vent, 9 cm at 550 m NNE from the vent, and 2.5 cm at 1,030 m NE from the vent. The March 31 deposit at the proximal site (90 m north) comprises 10–70 mm thick 20 layers, consisting of sandy coarse 11 layers and sandy to silty matrix-supported 9 layers. The 20 layers at the proximal site can be correlated with each eruption event observed from 13 : 07 to 17 : 25 on March 31. In the proximal deposit, essential white pumice ratio is high in the early stage (42%), then the ratio decreases toward the final stage (up to 21%). Essential pumice fragments are white and subrounded, and contain many 0.05–0.2 mm vesicles. The pumice is relatively poorly vesiculated. Grain-size distributions of all layers in the proximal deposit show bimodal distributions, with peaks at -0.5ϕ to 1ϕ and 6.5ϕ to 7.5ϕ . Poorly-sorted muddy layers are observed in post April 1 deposits. These layers formed during repeated phreatic explosions associated with abundant mud-clast spattering. The proximal area data show that the discharged mass of the March 31 deposit was 2.2×10^8 kg in total and 1.1×10^8 kg in the proximal area to 8 mm isopach.

1. はじめに
西南北海道の有珠火山は、前回の 1977～78 年噴火
(Katsui *et al.*, 1978; Niida *et al.*, 1980; 曾屋・他, 1981;

新井田・他, 1982; Katsui *et al.*, 1985; 門村・他, 1988;
吉田, 1995) から 22 年ぶりに 2000 年 3 月 31 日 13 時 7
分に噴火を開始した(宝田・羽坂, 2000; 川辺, 2000; 川

* 〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 2 丁目
札幌第 1 合同庁舎
産業技術総合研究所北海道地質調査連携研究体
Hokkaido Branch, Geological Survey of Japan,
AIST, Kita-8, Nishi-2, Kita-ku, Sapporo 060-0808,
Japan.

Email: s-takarada@aist.go.jp

** 〒305-8567 つくば市東 1-1-1 中央第 7
産業技術総合研究所地球科学情報研究部門火山活
動研究グループ
Volcanic Activity Research Group, Institute of
Geoscience, Geological Survey of Japan, AIST,
AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsuku-
ba 305-8567, Japan.

*** 〒305-8567 つくば市東 1-1-1 中央第 7
産業技術総合研究所深部地質環境研究センター長
期変動チーム
Geodynamics Team, Research Center for Deep
Geological Environments, Geological Survey of

Japan, AIST, AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1
Higashi, Tsukuba 305-8567, Japan.

**** 〒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震火山研究観
測センター

Institute of Seismology and Volcanology, Hok-
kaido University, N 10 W 8, Kita-ku, Sapporo
060-0810, Japan.

***** 〒860-0862 熊本市黒髪 4-11-16
森林総合研究所九州支所
Kyushu Research Center, Forestry and Forest
Products Research Institute, 4-11-16, Kuro-
kami, Kumamoto 860-0862, Japan.

***** 〒270-194 我孫子市我孫子 1646
電力中央研究所地圏環境部
Geology Dept., Abiko Res. Labo., Central
Research Institute of Electric Power In-
dustry, 1646 Abiko, Chiba 270-1194, Japan.

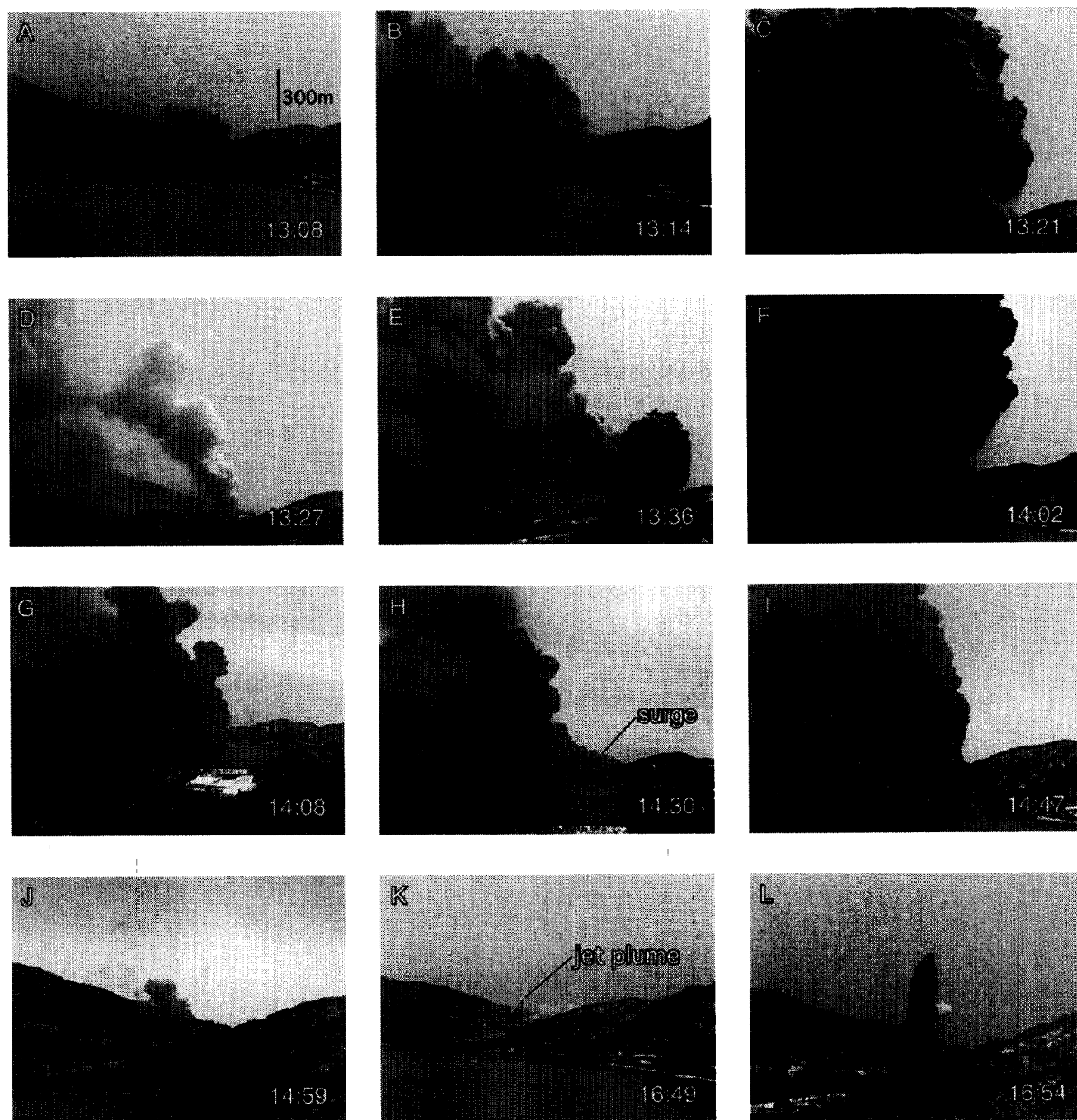


Fig. 1. Video images of the March 31, 2000 eruption, taken from Sairo observation point, 8.5 km north from the eruption vents (N-1, N-2, and N-3 craters). Time is shown at the lower right of each image. See text for details.

邊・他, 2000; 岡田・他, 2000; 宇井・総合観測班地質グループ, 2000). 3月31日の噴火では, マグマ水蒸気爆発が有珠山西山西麓の斜面上で始まり, 高度数 100 m ~ 3,500 m の噴煙が繰り返して立ち上がった (Fig. 1; Table 1; 川辺, 2000; 北海道新聞社, 2000). この噴火では火砕サージの発生が確認されている (Fig. 1H; Table 1; 遠藤・他, 2001; 大野・他, 2002; 宇井・他, 2002b). 噴煙は 15 時 40 分頃までは南西の風によって主に北東方向に流された (Fig. 2; 宝田・他, 2001b). この噴火によって,

西山西麓の斜面に N-1, N-2, N-3 の 3 つの火口が形成された (Fig. 3). この噴火による噴出物には本質物質が含まれていた (東宮・他, 2001; 東宮・宮城, 2002; 東宮・他, 2000). 3月31日の噴火は有珠火山 2000 年噴火の中で最大級の噴火であった. 翌 4 月 1 日には, 西山西麓や国道 230 号線付近では多数の火口が形成された (東宮, 2001). また, 4 月 1 日の昼ごろには洞爺湖温泉街南の金比羅山北西麓でもマグマ水蒸気爆発による噴火が始まった. 4 月上旬には, マグマ水蒸気爆発や水蒸気爆発

Table 1. Minute-by-minute summary of the March 31, 2000 eruption events. Column heights and wind directions are shown in the columns. Layer numbers at proximal deposit S 1, are shown in the right column, corresponding to the timed eruption chronology. Column height data from 13 : 07 to 14 : 45 is after JMA.

Stage	Time	Description	Column Height	Wind direction (origin)	Deposit at S1
large-scale black plume stage	13:07-13:10	weak white-gray (partly black) plumes	<1000 m	SW-WSW	1a
	13:10-13:15	strong black plumes	<1500 m	SW-WSW	1b
	13:15-13:18	weak white-gray (partly black) plumes	<1500 m	SW-WSW	1c
	13:18-13:25	strong black plumes	<3000 m	SW-WSW	1d
	13:25-13:28	weak white-gray and black plumes	<2000 m	SW-WSW	1e
	13:28-13:40	strong many black large plumes	1000 - 3500 m	SW-WSW	1f
	13:40-13:42	weak small plumes	<1500 m	SW-WSW	
	13:42-14:15	strong many black large plumes pyroclastic surge toward north at 13:52-13:53	1000 - 3500 m	SW-WSW	1g
	14:15-14:18	weak small plumes	500 - 1500 m	SW-WSW	
	14:18-14:32	many large strong black plumes pyroclastic surge toward north at 14:30	500 - 3000 m	SW-WSW	1h
	14:32-14:35	weak small plumes	<1000 m	SW-WSW	1i
	14:35-14:51	large strong black plumes	1000 - 3000 m	SW-WSW	1j
	14:51-14:57	no plume		SW-WSW	
	14:57-15:18	weak white-gray plumes	100 - 1000 m	SW-WSW	1k
	15:18-15:28	gray plumes (start weak raining)	100 - 1000 m	SW-WSW	1k
jet-type black plume stage	15:28-15:32	black plumes with minor jet-type plumes	200 - 1000 m	SW-WSW	1l
	15:32-15:33	weak small plumes		SW-WSW	
	15:33-15:39	white-gray plume	300 - 1000 m	SW-WSW	1m
	15:40-15:55	black-gray plumes with jet-type plumes	500 - 1500 m	no wind	1n
	15:55-16:07	weak small plumes source area is covered by low cloud due to reblowing of eruption plume (wind direction change)		NE-ENE	1o
	16:08-16:15	white-gray plumes	500 - 1000 m	NE-ENE	1o
	16:16-16:17	weak small plumes		NE-ENE	
	16:18-16:22	weak white-gray plumes	300 - 1000 m	NE-ENE	1o
	16:22	temporal stop (no plume)		NE-ENE	
	16:23-16:27	black jet-type plumes and gray plumes	black jet plume <500 m gray plume <1500 m	NE-ENE	1p
	16:28-16:44	no plume		NE-ENE	
	16:44-16:48	small weak white plumes from N2 crater (start weak snowing)	100 - 500 m	NE-ENE	1q
	16:49-16:52	Inclined (<30°) black jet plumes from N3 crater and white-gray plumes	black jet plume 100-300m white-gray plume <1000 m	NE-ENE	1r
	16:52-54	white plume	500 - 1000 m	NE-ENE	
	16:54	no plume			
	16:54-17:07	many black jet-type plumes and gray plumes from N2 (some inclined jet plumes)	black jet plume 100 - 500 m gray plume <1000 m	NE-ENE	1r
	17:07-	white plumes	<1000 m	NE-ENE	1s
	17:25-	no observation due to bad weather			1t

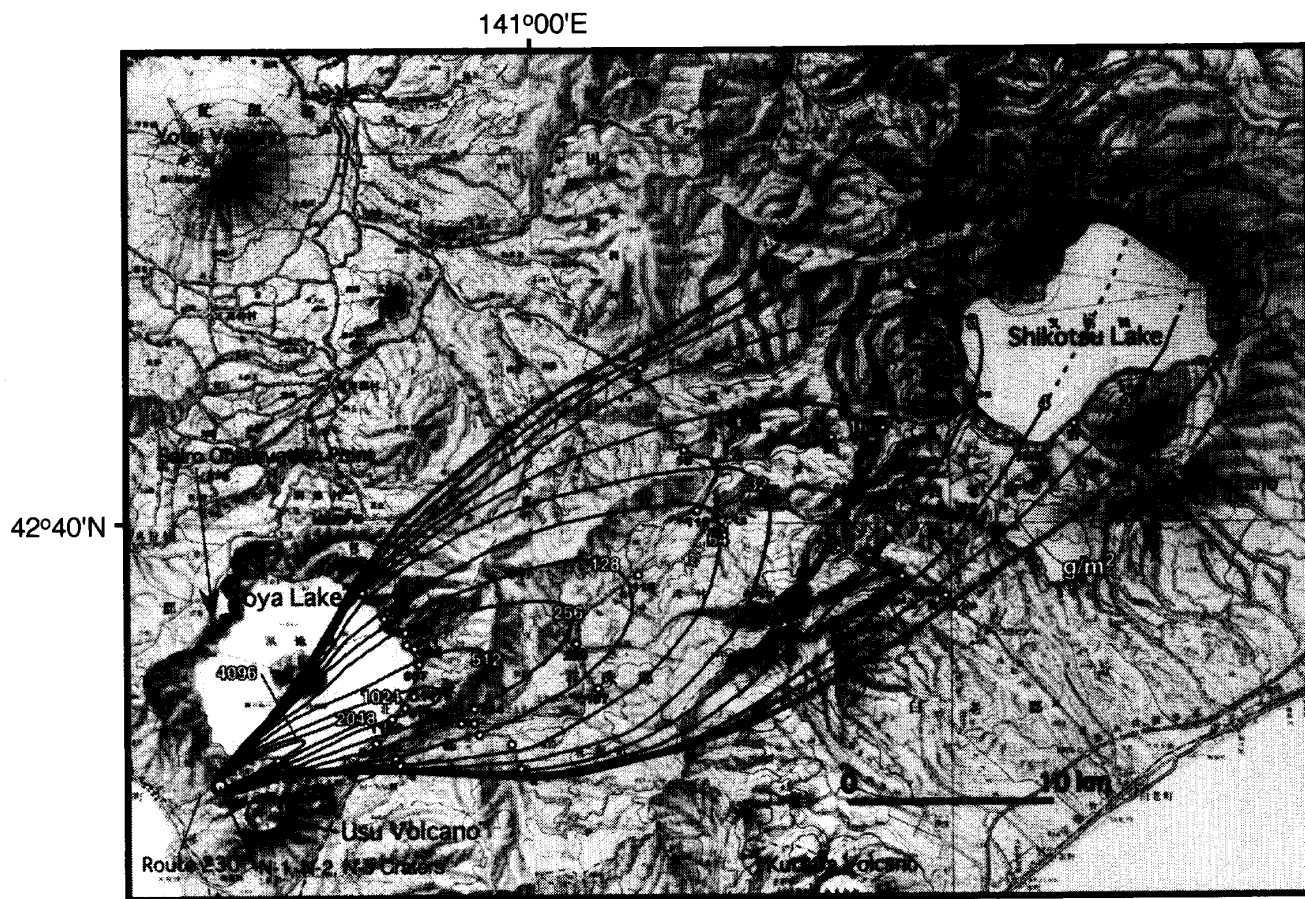


Fig. 2. Ash-fall distribution from the March 31, 2000 eruption (after Takarada *et al.*, 2001b). A broad outer line indicates detectable limit of the ash-fall deposit. Contours within the broad line indicate isopleths (g/m^2). Base is 1:200,000-scale topographic maps "Muroran", "Iwanai", "Sapporo", and "Tomakomai" published by the GSI.

が繰り返し発生し、多数の新火口が西山西麓や金比羅山北西斜面～山麓に形成された。これらの火口からは高度数 100 m～3,000 m 程度の噴煙が上がった。また、マグマ水蒸気爆発や水蒸気爆発に特有のジェット状の噴煙や花火状に周囲に噴出物を飛ばす炸裂型の噴火が何度も観測された。4月5日以降の噴火は比較的小規模であった。新火口の形成は4月中旬頃まで続き、西山西麓と金比羅山北西麓を合わせて、60以上の新火口が形成された（宇井・総合観測班地質グループ, 2000; 稲葉・他, 2000; 宇井・他, 2002a; 宝田・他, 2001a）。地下のマグマの貫入によって、西山西麓～西麓付近を中心とする地域では、隆起現象やそれに伴う断層群の発達が7月下旬まで続いた（羽坂・他, 2001; 宝田・他, 2000; 西村・他, 2000; 須藤・他, 2000; 斎藤・他, 2000; 広瀬・他, 2000）。西山西麓周辺は約 60 m 隆起し（長谷川・他, 2000）、潜在ドームが形成された。

本論説では、最大級の噴火であった 2000 年 3 月 31 日噴火について詳しく議論を行う。まず、(1) 3 月 31 日噴火の推移、(2) 降灰分布、(3) 火口近傍堆積物の特徴をま

とめる。次に、(4) 本質物含有量の時間変化、(5) 粒度組成の特徴について議論する。そして、火口近傍の層厚データを加えて再検討した、(6) 3 月 31 日の噴出量の推定結果を示す。最後に、(7) 噴出物各層と噴煙イベントとの対比を行う。なお、洞爺湖畔より遠方の降灰の現地調査・分析は、北海道大学、北海道立地質研究所、地質調査所（当時）が合同で行った。その調査結果については、宝田・他 (2001b) にとりまとめた。ここでは、その後の火口近傍堆積物の調査結果を中心に議論を行う。また、詳細な噴煙映像の解析と火口近傍堆積物の詳細な記載データに基づいて、これまで試みられたことがなかった、マグマ水蒸気爆発による火口近傍堆積物各層と観察された噴煙との分単位の対比を試みる。

2. 3月31日噴火の推移

2-1 噴火の推移

ここではまず、3月31日の噴火の推移をまとめる。3月31日の午後は、地質調査所（当時）の宝田晋治・川辺禎久・風早康平、北海道立地質研究所の廣瀬 亘、北海

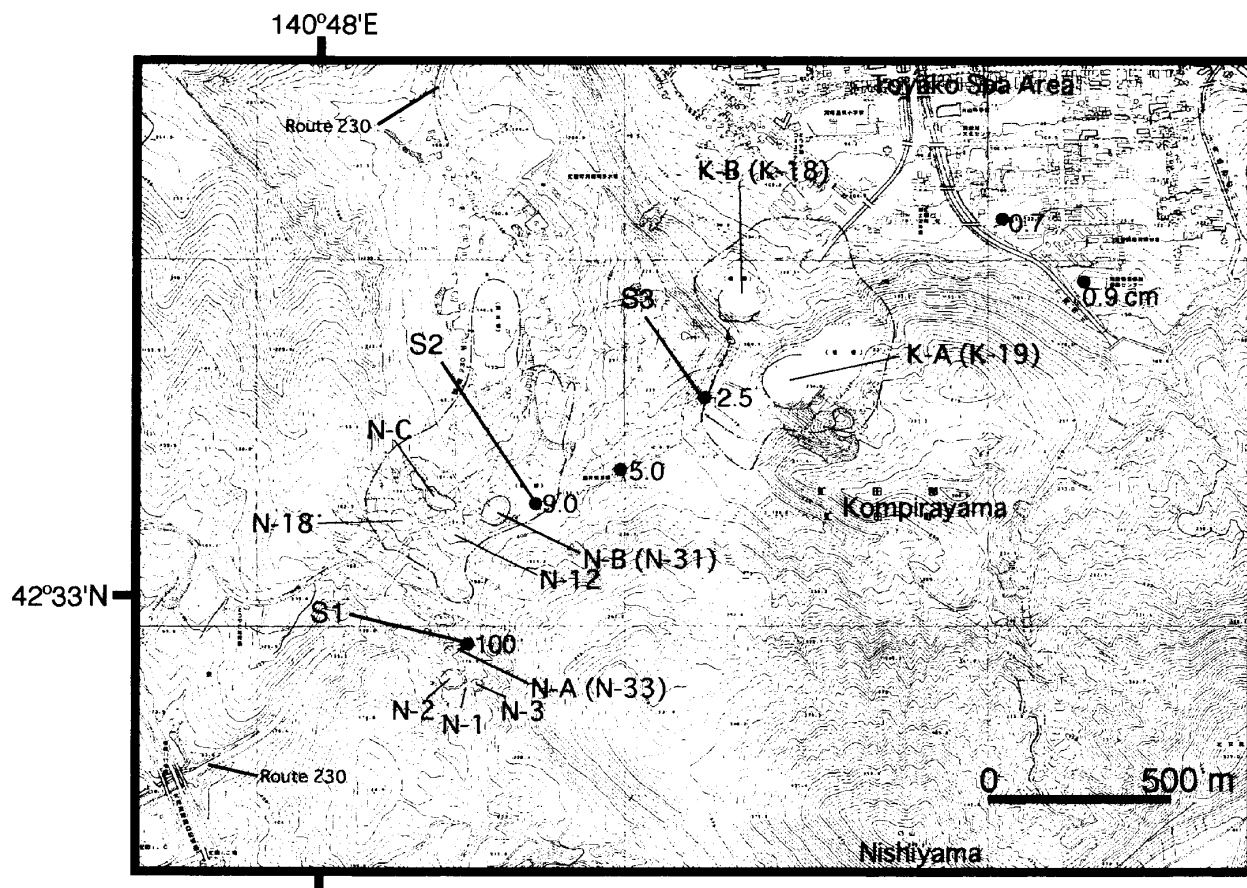


Fig. 3. Proximal vent-area map. Columnar section sites (S1, S2, and S3) and some survey sites are shown with closed circles. Numbers beside the closed circles indicate total thickness (cm) of the March 31 deposit. N-1, N-2, and N-3 are composite craters formed by the March 31, 2000 eruption. N-A, N-B, N-C, K-A, and K-B are long-lived active craters (continued more than one month). Base is a 1:5,000-scale Mt. Usu 2000 eruption topographic map, published by the GSI (C-1-No. 284; XI-PF31).

道大学 (当時) の吉本充宏は、洞爺湖北西のサイロ展望台 (Fig. 2) で遠望観測を実施していた。サイロ展望台は 3 月 31 日噴火口の真北 8.5 km のカルデラ縁上にある。12 時 48 分からデジタルビデオカメラによる撮影を開始した (ビデオ撮影は川辺による)。13 時 7 分に有珠山西側の西山西麓斜面上 (Fig. 3 の N-1 火口) で噴火が始まった (Fig. 1)。13 時 7 分から 17 時 25 分頃までの噴火の推移を Table 1 に示す。

2000 年 3 月 31 日の噴火は、大きく分けると、(1) 13 時 7 分～15 時 28 分の比較的規模の大きい黒色噴煙が繰り返し上昇したステージと、(2) 15 時 28 分～17 時 7 分のジェット状の黒色噴煙を伴う比較的低い噴煙が上昇したステージに分けることができる。比較的規模の大きい黒色噴煙が上昇したイベントは大きく分けて 6 回あり、一部ジェット状の黒色噴煙を伴う比較的低い噴煙が上昇したイベントは大きく分けて 5 回あった。

2-2 大規模黒色噴煙ステージ

前半の比較的規模の大きい黒色噴煙を繰り返したステージについてまとめる (Table 1)。13 時 7 分～13 時 10

分の間は、N-1 火口から白色～灰白色 (一部黒色) の噴煙がゆっくりと上昇した。噴煙は、南西の風によって、N65°E の方向に流された (Fig. 1A)。13 時 10 分～15 分の間は、黒色の噴煙が上昇した (Fig. 1B)。13 時 18 分～25 分の間は比較的情勢のある黒色の噴煙が上昇した (Fig. 1C)。このときの噴煙の高度は約 3,000 m に達した (気象庁室蘭地方気象台)。13 時 25 分～28 分の間は、噴煙の勢いが一時収まり、白色の噴煙がゆっくりと上昇した (Fig. 1D)。13 時 28 分～40 分の間は、再び黒色噴煙が次々と上昇するようになった。ときおり、南西方向に湧き出すような噴煙柱も見られた (Fig. 1E)。

13 時 42 分～14 時 15 分の間は、比較的勢いのある規模の大きい黒色噴煙が何度も上昇した (Fig. 1F)。13 時 52 分～53 分には北方向に地表を這うようにゆっくりと移動する火砕サージ状の灰白色の流れが見られた。この流れの厚さは約 100～300 m 程度であった。このころ噴煙柱の高度は、一連の噴火では最大の 3,500 m に達した (Fig. 1G)。この間、噴煙柱の傘から多数の岩塊が落下する様子が双眼鏡で確認できた。14 時 18 分～32 分の間

は、再び黒色の規模の大きい噴煙が発生し、14時29分～30分頃には高度2,000～3,000 mの比較的大きな黒色噴煙が立ち上がった。14時30分には、北方向に地表を這うようにゆっくりと移動する火砕サージ状の灰白色の流れがみられた (Fig. 1H)。この流れの厚さも約100～300 m程度であった。14時35分～14時51分の間は再び黒色噴煙が何度も上昇した (Fig. 1I)。14時57分～15時18分の間は、白色～灰白色の高さ100～1000 mの噴煙がゆっくりと上昇した (Fig. 1J)。

2-3 ジェット状黒色噴煙ステージ

ここでは、後半のジェット状黒色噴煙が繰り返したステージについてまとめる (Table 1)。15時28分～32分の間は、黒色の噴煙が上昇した。ときおり、ジェット状の噴煙も上昇した。15時40分～55分の間は、黒色の噴煙が繰り返して上昇した。ときおりジェット状の噴煙がみられた。15時55分～16時7分は風向きが南西の風から北東の風に変わったため、噴煙が吹き戻され、火口周辺に低い噴煙による雲が垂れ込めた。16時23分～27分の間は、N-3火口からジェット状の黒色噴煙が上昇した。その黒色噴煙は上部で灰白色～白色の噴煙となってさらに高く上昇した。その間に低い雲は晴れた。

16時49分には、N-3火口から西に約30度傾いたジェット状の黒色噴煙が上昇し、南西方向に流された (Fig. 1K)。その後、16時54分～17時7分までジェット状の黒色噴煙が何度も上昇した (Fig. 1L)。やや西側に傾いたジェット状噴煙も何度かみられた。17時7分以降は白色噴煙が何度か上昇した。17時25分以降は天候悪化ため観測不能となった。その後、何度かジェット状噴煙が発生した可能性はある。しかし、今のところ、3月31日の夜～4月1日の朝にかけてN-1、N-2、N-3火口から多数の大規模な噴火があったという記録は得られていない。

3. 降灰分布

北海道大学、北海道立地質研究所、地質調査所 (当時) が合同で行った、2000年3月31日噴火の降灰分布の調査結果を Fig. 2 に示す (宝田・他, 2001b)。降灰分布は、有珠山近傍では幅が狭く2.5 km程度であるが、火口から離れるにつれて次第に幅が広がっている。火口から約25 km離れた大滝村周辺では幅は約20 kmに広がっている。降灰の主軸は有珠山・洞爺湖周辺の火口から約15 kmまでの範囲ではN65°Eの方向であるが、次第に北より向きを変え、火口から約45 km離れた支笏湖周辺でN30°Eの方向となっている。

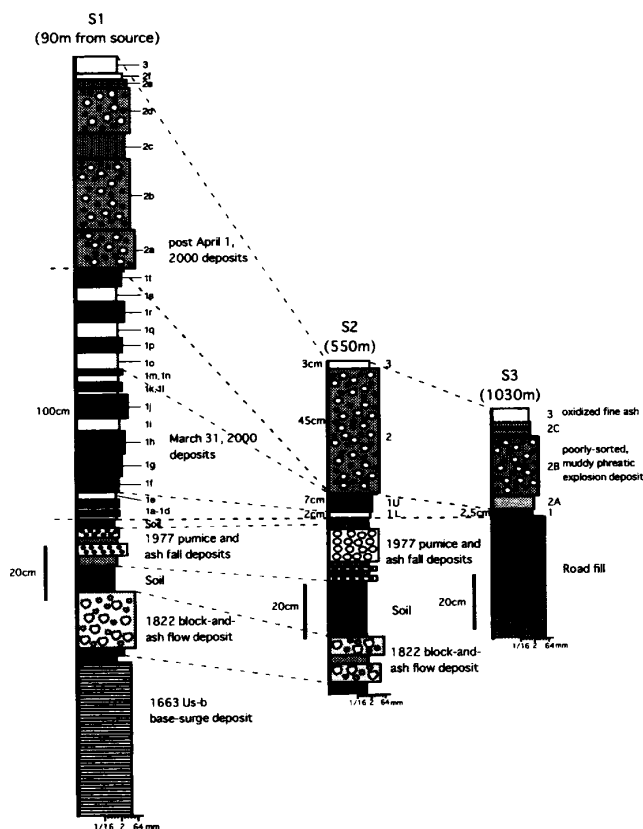


Fig. 4. Columnar sections at S1 (90 m north from the eruption craters N-1, N-2, and N-3), S2 (550 m NNE from the eruption craters), and S3 (1,030 m NE from the eruption craters). Small numbers at the right of the columnar sections represent layer numbers.

4. 火口近傍堆積物

4-1 調査地点

2000年6月以降、水蒸気爆発によって被害が及ぶ範囲が次第に小さくなってきた。このため、6月以降、研究者が火口近傍地域に立ち入って調査を行うことが可能となった。この時点では西山西麓火口群のN-B火口、金比羅山火口群のK-A火口、K-B火口で、ときおり激しい水蒸気爆発が起こっていた (Fig. 3)。

Fig. 4 に代表的な3地点の柱状図を示す。S1は、3月31日の火口であるN-1、N-2、N-3火口の北約90 mの地点にある (Fig. 3)。この地点は、5月ごろまでときおり水蒸気爆発を繰り返していたN-A火口 (N-33火口; 宇井・他, 2002a) のすぐ北東にあるピットクレータの北側の崖に露出している。ここでは、層厚約100 cmの3月31日堆積物がみられる (Fig. 5)。

S2は、N-1、N-2、N-3火口の北北東550 mの地点にある (Fig. 3)。この地点は比較的大きく活動を続けたN-B火口の中心から東北東に110 mの距離にある。ここでは、厚さ9 cmの3月31日堆積物が露出している。その

Table 2. Characteristics of the 2000 eruption deposit at S1, S2, and S3. MP=maximum pumice size, ML=maximum lithic size, M=matrix supported, C=clast supported, R=rounded, SR=subrounded, SA=subangular. Matrix color is after the Rock-Color Chart (Munsell color) by GSA.

Location	Sample	Depth (cm)	Grain Size (mm)	Matrix	Support	Color	Description
S1	3	60	-	2	M	SR, SA	medium yellowish brown (10YR 5/4)
	2f	20	-	2	M	SR	dark gray (N3)
	2e	30	-	2	M	SR	moderate brown (5YR 4/4)
	2d	180	-	10	M	SR	dark yellowish brown (10YR 4/2)
	2c	90	-	30	M	SR, SA	medium yellowish brown (10YR 5/4)
	2b	250	-	40	M	SR	medium dark gray (N4)
	2a	150	-	100	M	SR, SA	grayish brown (5Y 3/2)
	1t	65-75	7	15	C	SR, SA	greenish black (5GY 2/1)
	1a	55-70	4	2	M	SR	medium dark gray (N4, upper), olive gray (5Y 3/2, lower)
	1r	55-90	12	60	C	SR	medium dark gray (N4)
	1q	60	5	5	M	SR	brownish gray (5YR 4/1)
	1p	55	6	20	C, (M)	SR	medium dark gray (N4)
	1o	60	6	12	M	SR	medium yellowish brown (10YR 5/4)
	1n	20-35	7	10	C	SR, SA	medium dark gray (N4)
	1m	25-35	5	6	M	SR	olive gray (5Y 4/1)
	1l	25-35	15	7	C	SR, (SA)	medium gray (N5)
	1k	15	4	4	M	SR	light olive gray (5Y 6/1)
	1j	75-90	25	45	C	SR, (SA)	light olive gray (5Y 6/1)
	1i	45	6	20	M	SR	light olive gray (5Y 5/2)
	1h	75-85	6	40	C, (M)	SR, SA	light olive gray (5Y 5/2)
	1g	70-100	7	9	M	SR	medium dark gray (N4)
S2	3	30	-	15	M	R, SR	olive gray (5Y 4/1) - moderate yellow brown (10YR 5/4)
	2	450	-	50	M	R, SR, (SA)	dark gray (N3) - medium dark gray (N4)
	1U	60-70	3	10	M	SR, SA	light olive gray (5Y 6/1) - olive gray (5Y 4/1)
	1L	20	2	2	M	SA	medium gray (N5)
S3	3	50	-	2	M	SR	yellowish gray (5Y 7/2)
	2C	55	-	-	M	SR	dark gray (N3)
	2B	22	-	60	M	SR	medium dark gray (N4)
	2A	45	-	-	M	SR, SA	medium dark gray (N4)
	1	25	2	4	M	SR	dark greenish gray (5GY 4/1)

上位には、N-B 火口や周辺の火口から放出されたと考えられる淘汰の悪い泥質の水蒸気爆発堆積物が見られる (Fig. 6).

S3 は、N-1, N-2, N-3 火口の北東 1,030 m の地点にある (Fig. 3). この地点は断層で断面が露出した道路上に存在する. ここでは、厚さ 2.5 cm の 3 月 31 日堆積物が見られる (Fig. 7).

これらの他にも、N-1, N-2, N-3 火口の北東 750 m の塵芥焼却場跡の前では、層厚 5 cm の 3 月 31 日堆積物が露出していた (Fig. 3; 宝田・他, 2001b). また、N-1, N-2, N-3 火口の北東約 2 km の洞爺湖温泉街の南では層厚 0.9 cm と 0.7 cm の 3 月 31 日堆積物が見られた (Fig. 3; 宝田・他, 2001b).

4-2 堆積物の特徴 (S1 地点)

S1 地点では、下位から厚さ 60 cm 以上の Us-b ベース

サージ堆積物 (1663 年)、厚さ 2 cm と 3 cm の細粒火山灰を主体とするサージ堆積物、厚さ 20 cm の文政火砕流堆積物 (岩塊火山灰流タイプ, 1822 年)、厚さ 10 cm の土壌が露出している. その上位には、最大粒径 1.2 mm の白色軽石を含む厚さ 5 cm と 3 cm の 2 枚の細粒軽石層と、厚さ 2 cm~5 cm の 2 枚の火山灰層からなる、1977 年の降下堆積物が見られる. これらの細粒軽石層と火山灰層は 1977 年 8 月 8 日 23 時 40 分~8 月 9 日 1 時 55 分に発生した Us-1977-III (新井田・他, 1982) に対比できる. この上位には、厚さ 3 cm の土壌が露出している (Fig. 4). 3 月 31 日のマグマ水蒸気爆発による堆積物は、層厚約 1 cm~7 cm の 20 枚の層からなる (各層の層厚は側方に変化する). ここでは、下位から順に layer 1a, layer 1b, ..., layer 1t とした (Fig. 4; Fig. 5). 3 月 31 日堆積物は、比較的細粒な砂質層からなり、弾道礫によっ

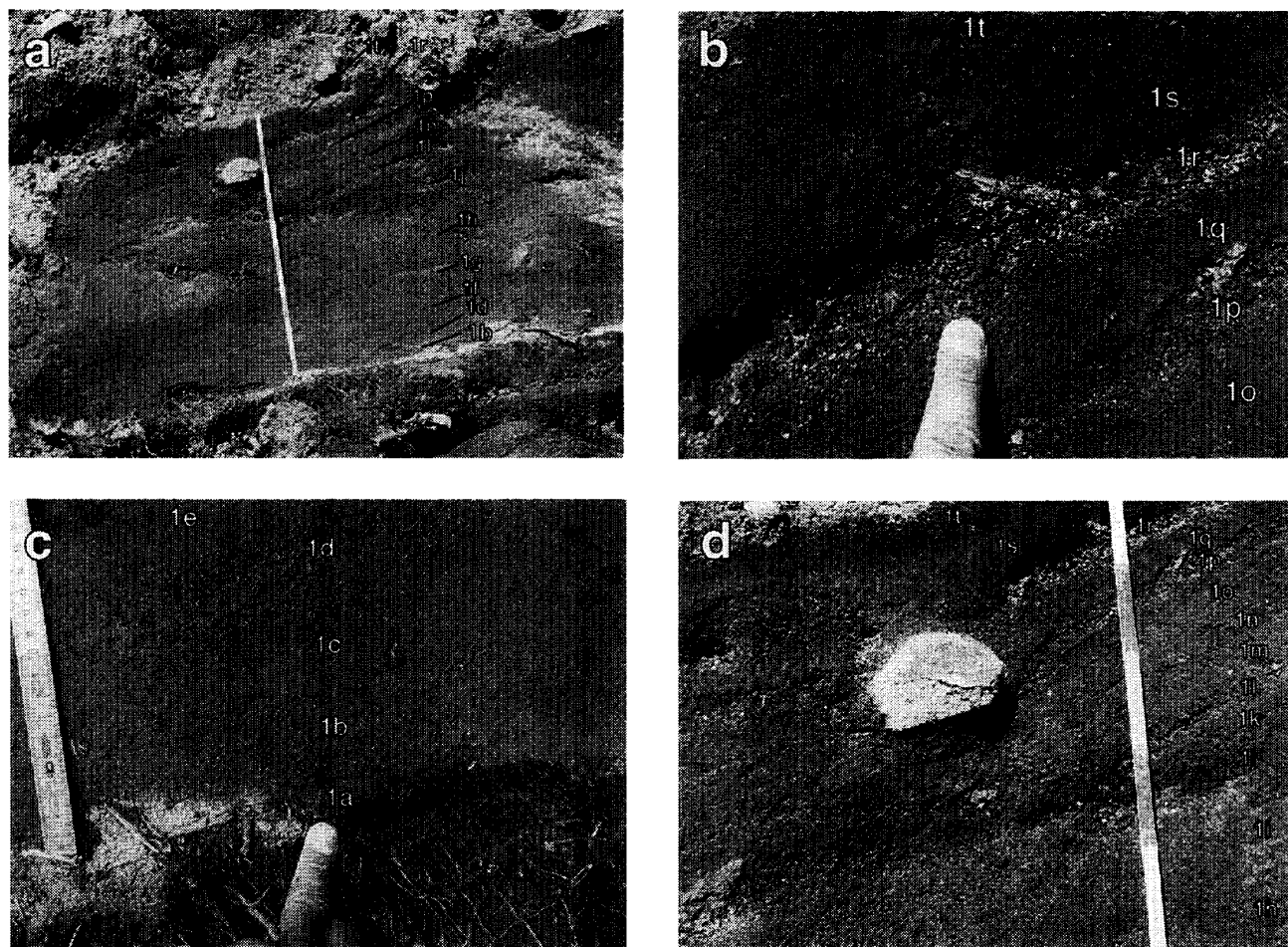


Fig. 5. The March 31, 2000 deposit at S1. (a) 1 m-thick March 31, 2000 deposit. Layer numbers are shown. A coarse, poorly sorted layer at the top is a deposit formed after April 1, 2000. (b) A close-up of the upper part of the March 31, 2000 deposit. (c) A close-up of the lower part of the March 31, 2000 deposit. (d) A ballistic block of Somma lava in the layer 1r. Deformation by impact in the lower layers is seen.

て下位の地層が変形している部分もみられた (Fig. 5d). 3月31日堆積物はすべて白色軽石を含むという特徴がある. 上位の4月1日以降の堆積物は, 層厚 2 cm~19 cm の比較的粗粒で淘汰の悪い堆積物からなる (Fig. 5 a). これらの地層にも少量の白色軽石が含まれているが, すべてよく円磨されており, 再堆積物であると考えられる. これらの地層は周辺の火口群 (主に N-A 火口) で観測された, 泥塊を繰り返し吹き上げるタイプの水蒸気爆発で形成された堆積物である可能性が高い. 4月1日以降の堆積物は, ここでは下位から layer 2a, layer 2b, ..., layer 2f, layer 3 とした. Layer 3 は, 最上部の酸化の進んだ茶色い細粒火山灰からなる層であり, 2000 年夏以降の比較的噴火活動が穏やかな時期の堆積物であると考えられる. 3月31日および4月1日以降の堆積物の各層の特徴を Table 2 にまとめた.

4-3 堆積物の特徴 (S2 地点)

S2 地点では, 旧地表面の下に厚さ 7 cm, 2 cm, 7 cm の冷却節理が発達した緻密な本質岩片を含む 1822 年の文

政火砕流堆積物が露出している. 厚さ 20 cm の土壌を挟んで, その上には, 1977 年の降下軽石層や火山灰層が見られる. 厚さ 2 cm, 1 cm, 11 cm の最大粒径 2 cm の 3 枚の白色軽石層があり, 間に厚さ 2 cm の細粒火山灰層を挟んでいる (Fig. 6a). これらの降下軽石層や細粒火山灰層は, 1977 年 8 月 8 日 15 時 20 分~18 時に発生した Us-1977-II (新井田・他, 1982), および 8 月 8 日 23 時 40 分~8 月 9 日 1 時 55 分に発生した Us-1977-III に対比できる. その上位には厚さ 2 cm の土壌が露出している (Fig. 4).

ここでは, 3月31日堆積物は厚さ 2 cm の比較的細粒の火山灰層 (layer 1L) と厚さ 7 cm の比較的粗粒な火山灰層 (layer 1U) からなる (Fig. 6b). その上位に層厚 45 cm の 4月1日以降の淘汰の悪い泥質の水蒸気爆発堆積物 (layer 2; Fig. 6c) があり, 最上部に厚さ 3 cm のサンクラックが発達した茶色い砂質の堆積物 (layer 3) がある. layer 2 は, 周辺の火口群 (主に N-B 火口) で観測された, 泥塊を繰り返し吹き上げるタイプの水蒸気爆発で

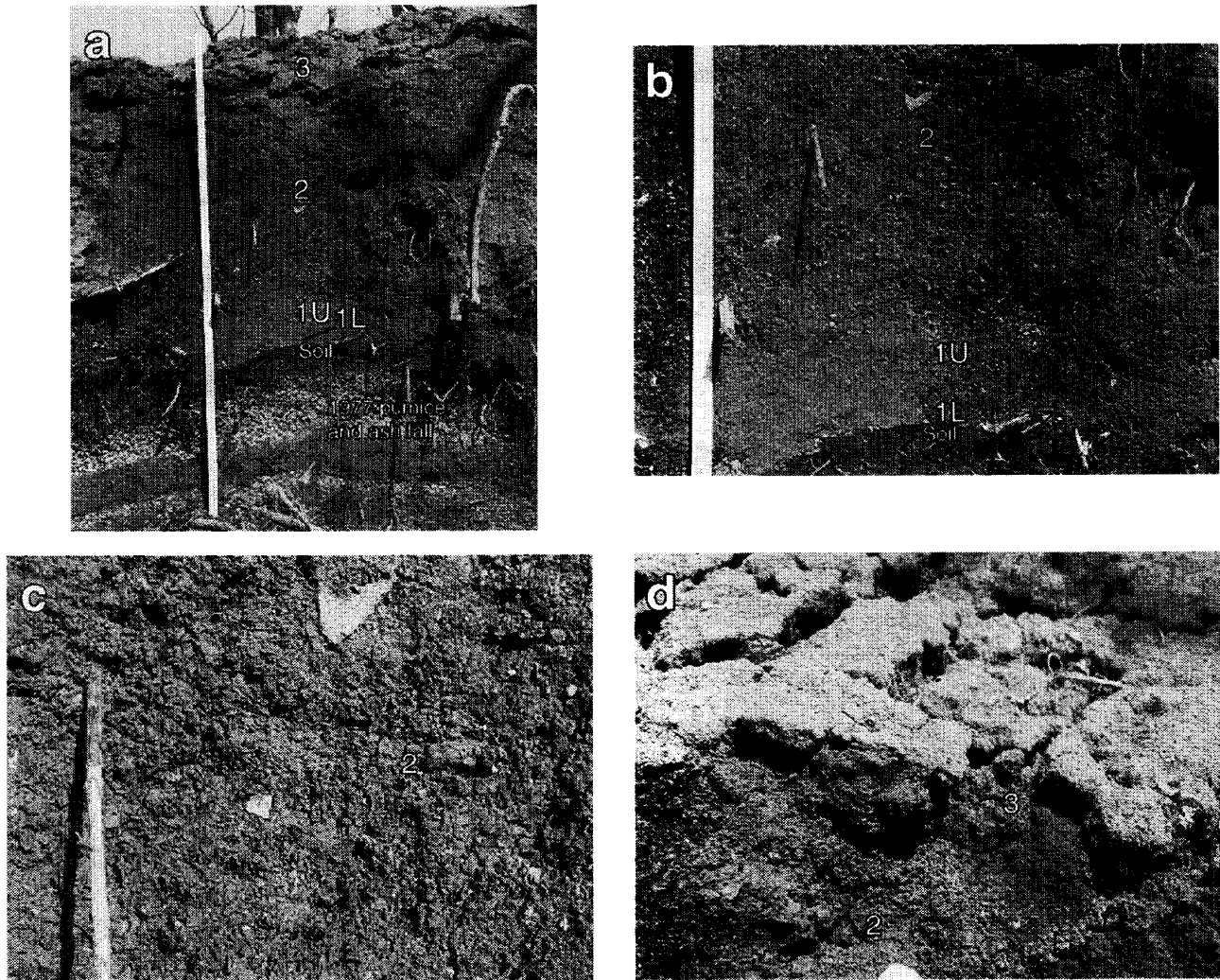


Fig. 6. (a) Section at S2. The 1977–78 pumice and ash-fall deposits are seen at the bottom. The March 31, 2000 deposits (layer 1L and 1U), muddy poorly-sorted phreatic-explosion deposits formed after April 1, 2000 (layer 2), and sandy well-sorted ash-fall deposits (layer 3) are seen. The scale is 1 m long. (b) A close-up of layer 1L (2 cm in thickness), layer 1U (7 cm), and layer 2. (c) A close-up of layer 2, which consists of poorly-sorted, muddy materials and sub-rounded lithics. (d) A close-up of the upper layer 2 and the layer 3. The layer 3 consists of relatively well-sorted, brown-colored, sandy ash. Desiccation cracks are developed on the surface.

形成された堆積物である可能性が高い。また、layer 3 は比較のおだやかな噴煙を上げている時期の N-B 火口からの堆積物である可能性が高い。各層の特徴を Table 2 にまとめた。

4-4 堆積物の特徴 (S3 地点)

S3 地点では、最下位に厚さ 2.5 cm の主に極粗粒砂～粗粒シルトからなる 3 月 31 日堆積物 (layer 1) が露出している (Fig. 7a)。その上位に厚さ 4.5 cm の主に中粒砂～粗粒シルトからなる砂質堆積物 (layer 2A) があり、その上に厚さ 21.5 cm の主にラピリサイズ～泥サイズの粒子からなる比較的淘汰の悪い泥質の水蒸気爆発堆積物 (layer 2B; Fig. 7) がある。上部には、厚さ 0.3 cm～2 cm の砂質の互層 (layer 2C) があり、最上部に厚さ 5 cm の極粗粒砂～細粒砂からなる茶色いやや淘汰のよい堆積物

(layer 3; Fig. 7b) がある。layer 2B は、周辺の火口群 (主に K-A 火口と K-B 火口) で観測された、泥塊を繰り返し吹き上げるタイプの水蒸気爆発で形成された堆積物である可能性が高い。layer 3 は、比較のおだやかな噴煙を上げている時期の K-A, K-B 火口からの堆積物である可能性が高い。各層の特徴を Table 2 にまとめた。

4-5 白色軽石の特徴

3 月 31 日堆積物には、白色の本質軽石が含まれている。実体顕微鏡による写真を Fig. 8a に示す。この白色軽石は、S1 地点の layer 1j に含まれていた軽石である ($\phi = -2 \sim -1.5$)。白色軽石の外形はやや円磨されており、円磨度は亜円礫から一部亜角礫である。いくつかの 0.3 mm～1 mm の気泡がみられ、全体的に 0.05～0.2 mm サイズの気泡が多数見られる。比較的発泡度は低い傾向

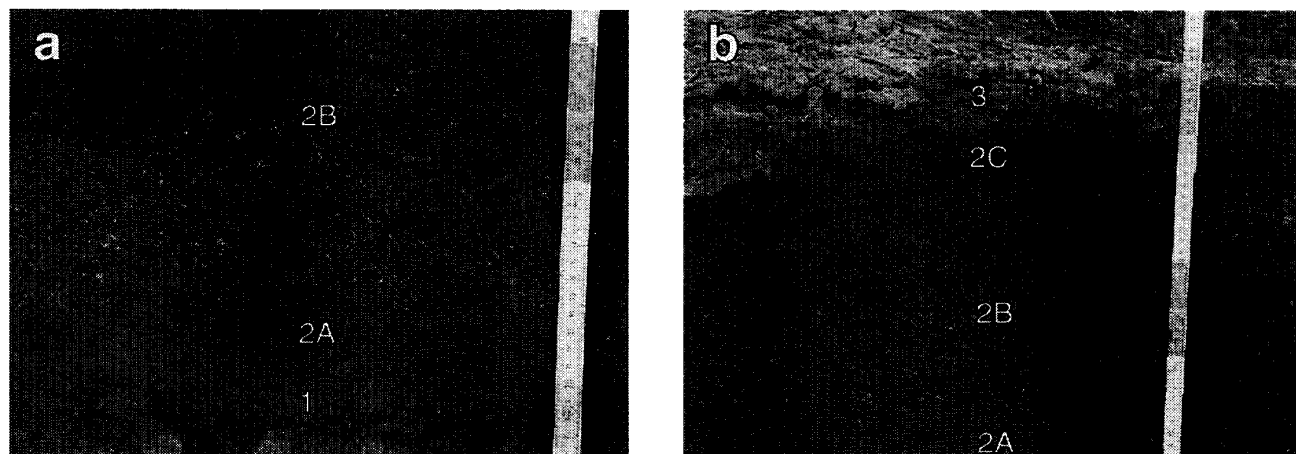


Fig. 7. (a) A close-up of the lower part of section at S3. The March 31 deposit (layer 1, 2.5 cm in thickness), sandy deposit (layer 2A, 4.5 cm), poorly-sorted muddy phreatic explosion deposit (layer 2B) are seen. (b) A close-up of the upper part at S3. Layer 2A, layer 2B, laminated sandy to silty part (layer 2C), and aggregated sandy brown-colored layer (layer 3) are seen.

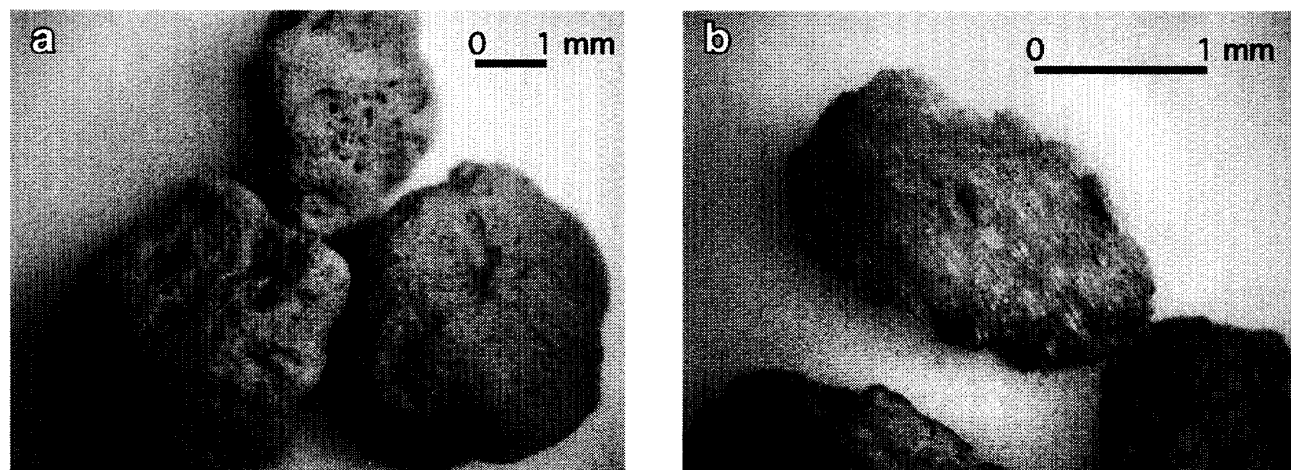


Fig. 8. (a) Subrounded essential white pumices in the March 31, 2000 deposit, collected from the layer 1j ($\phi = -2$ to -1.5) at S1. Many tiny vesicles (0.05–0.2 mm in diameter) and some larger vesicles (0.3–1 mm) are seen. Degree of vesiculation is relatively low. (b) Accidental Toya pumice fragments, collected from the layer 1j ($\phi = -1$ to -0.5). Glossy well-sorted vesicles are seen. The contrast with juvenile of the 2000 eruption is obvious.

がある。軽石の最大径は layer 1j の中にあった直径 25 mm の軽石であった。

3月31日堆積物の中には、本質軽石の他にも洞爺火砕流堆積物起源の軽石も少量（数%以下）含まれている（Fig. 8b）。写真のサンプルは、S1地点の layer 1j に含まれていた洞爺軽石（ $\phi = -1 \sim -0.5$ ）である。洞爺火砕流堆積物の軽石は、光沢があり、気泡が一方によく伸びていることが多い。このため、肉眼やルーペなどで洞爺軽石と本質軽石との判別は可能である。このよく発泡した軽石は、岩石学的特徴が洞爺軽石と一致している（東宮・他, 2001）。

3月31日の噴出物中の白色軽石は、噴火当初から、

1977年～78年の噴火による軽石の再堆積物ではないかという可能性が議論になっていた（例えば、東宮・他, 2001）。しかし、この周辺の地質調査によると、3月31日の火口周辺には、1977年～78年の噴火による軽石層は15 cm 程度しか分布していない（Fig. 4のS1地点）。また、新井田・他（1982）による当時の降灰調査データでも、火口周辺は降灰軸から外れており、約10 cm 程度の降下火山灰層と細粒軽石層しか分布していない。したがって、今回の噴出物中に1977年～78年の噴火による軽石が多量に含まれる可能性はかなり低いといえる。

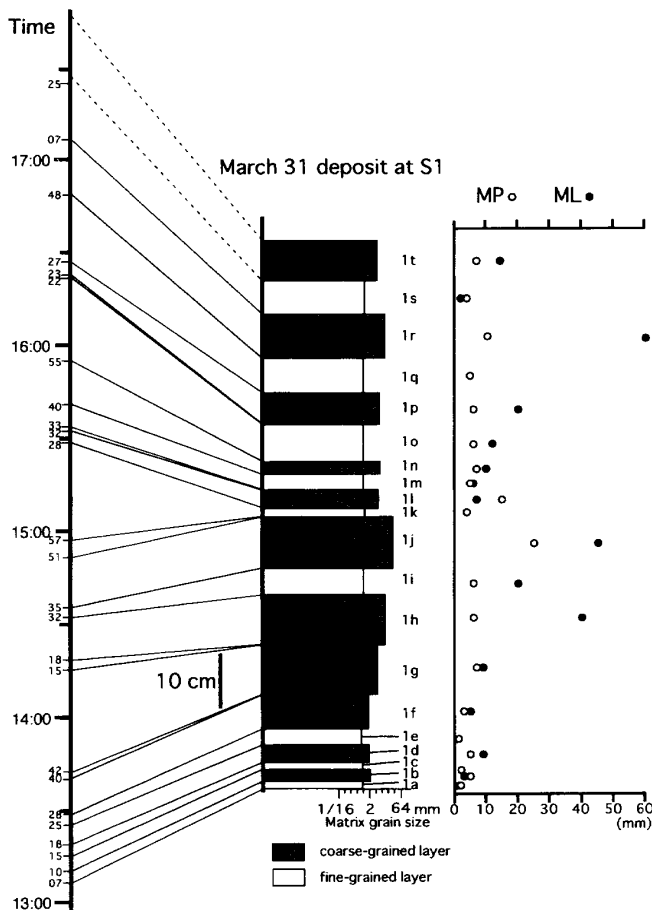


Fig. 9. Correlations between eruption events from 13:07 to 17:07 on March 31 and the 20 layers at S1. Maximum pumice size (MP, open circles) and maximum lithic size (ML, closed circles) in each layer are shown at the right.

5. 岩相変化

5-1 白色軽石・岩片の最大径

S1 の各層に含まれる白色軽石と岩片の最大径を Fig. 9, Table 2 に示す。layer 1a～layer 1e の白色軽石の最大径は、それぞれ 2 mm, 5 mm, 2 mm, 5 mm, 1 mm であり、噴火の規模に応じた軽石の最大径の変化が見られる。layer 1a～layer 1e の岩片の最大径は、それぞれ 1 mm, 3 mm, 2 mm, 9 mm, 1 mm であり、岩片でも噴火の強弱に応じた岩片の最大径の変化が見られる。一方、より上位の比較的規模の大きい layer 1f, 1g, 1h, 1j, 1r の白色軽石の最大径は、それぞれ 3 mm, 7 mm, 6 mm, 25 mm, 12 mm となっている。また、layer 1f, 1g, 1h, 1j, 1r の岩片の最大径は、それぞれ 5 mm, 9 mm, 40 mm, 45 mm, 60 mm となっている。このことは、これらの層が比較的規模の大きい噴煙と対比できることを示唆している。

5-2 粒度組成の変化

S1 地点の layer 1d, layer 1h, layer 1j, layer 1s, layer 1t

の 0.5ϕ ごとの粒度組成を Fig. 10 に示す。粒度分析は、 0.5 mm (1ϕ) 以上の粒子については、ふるいによる湿式粒度分析を行った。また、 0.5 mm 以下の粒子については、森林総合研究所九州支所のレーザー回折式粒度分析装置 (Malvern Instruments 社の Mastersizer S) を使用した。

すべてのサンプルで $-0.5\phi \sim 1\phi$ 付近と $6.5\phi \sim 7.5\phi$ 付近にピークがあり、バイモーダルな粒度分布を示す。比較的細粒な layer 1d では、粗粒なピークは $0.5\phi \sim 1\phi$ 付近にある。一方、layer 1h は $-0.5\phi \sim 1\phi$ 付近に、layer 1j は $-0.5\phi \sim 0\phi$ 付近に粗粒なピークがある。また、粗粒なモード ($-3\phi \sim 3\phi$) の粒子群の全体に占める割合が次第に増加している。このことは、噴火映像で見られたように次第に噴煙柱高度が増加し、単位時間あたりの噴出量が増加したこととよく調和している。

layer 1s の細粒層は粗粒なモード ($-3\phi \sim 3\phi$) 粒子群の割合が低く、細粒なモード ($3\phi \sim 14\phi$) の粒子群の割合が高い。これに対して、layer 1t は粗粒なモード ($-3\phi \sim 3\phi$) の割合が高く、細粒なモード ($3\phi \sim 14\phi$) の割合が低い傾向がある。このことは、噴火の強弱によって、粗粒部分と細粒部分のピークの位置はやや変動するものの、バイモーダルな分布は維持したまま、粗粒なモードと細粒なモードの量比が変動することを示している。このことは、マグマ水蒸気爆発の構成粒子の破碎メカニズムや噴煙柱内の粒子の運搬機構を検討するうえで興味深い。

5-3 本質白色軽石の含有量変化

S1 地点の堆積物の本質白色軽石の含有量の変化を Fig. 10 に示す。湿式粒度分析を行った後の $-1\phi \sim -0.5\phi$ ($1.4 \sim 2\text{ mm}$) の粒子について、本質白色軽石の含有量を計測した。この粒子サイズを計測した理由は、カウントする各粒子の特徴をきちんと識別でき、しかも十分な個数を確保できるサイズであったためである。layer 1d, layer 1h, layer 1j, layer 1s, layer 1t について、それぞれ 162 個, 220 個, 279 個, 250 個, 469 個の粒子を実体顕微鏡下で観察し、それらの中の本質白色軽石 (Fig. 8a) の数を計測した。その結果、layer 1d は 42%, layer 1h は 34%, layer 1j は 32%, layer 1s は 22%, layer 1t は 21% の本質白色軽石を含んでいた。したがって、噴火の初期は本質物質の含有量が高く、後期は本質物質の含有量が低くなる傾向があることが明らかになった。

6. 3月31日の噴出量

宝田・他 (2001b) で報告した 3 月 31 日の噴出物の総量は $1.2 \times 10^8\text{ kg}$ であった。この見積もりでは火口近傍のデータとして S1 地点の 100 cm の値だけで代表させていた。このため、火口近傍のより多くの層厚データを

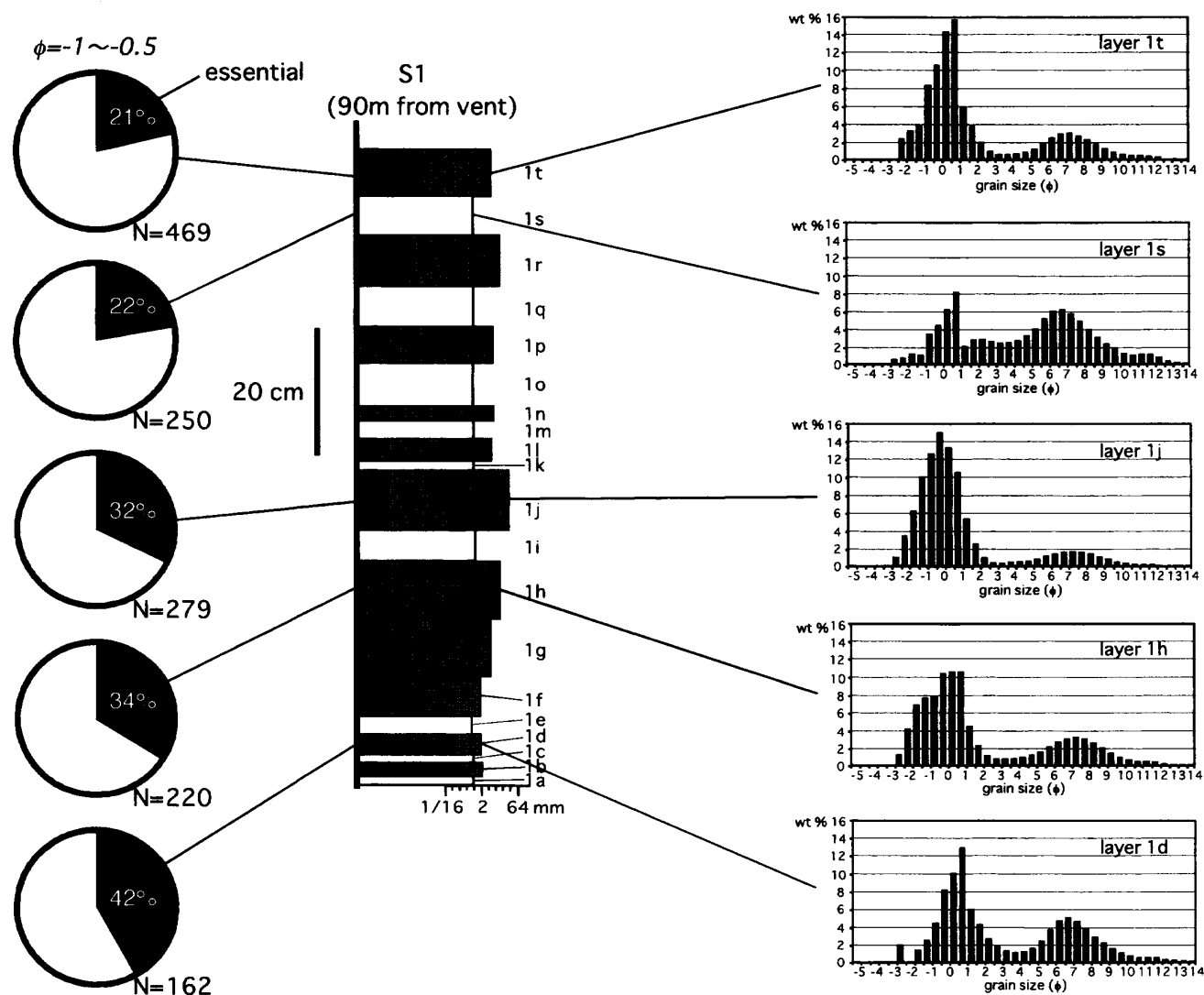


Fig. 10. Essential white-pumice contents of layers 1d, 1h, 1j, 1s, and 1t are shown in circles at the left. Particles in 1.4 mm to 2 mm (-1ϕ to -0.5ϕ) size range were counted. Number of clasts counted are shown for each circle (N). Pumice contents are high in the early stages (layer 1d=42%), then decrease toward the final stages. Grain-size distributions of layer 1d, 1h, 1j, 1s, and 1t are shown in bar diagrams at the right. Wet sieving was used for grains larger than 0.5 mm (1ϕ) and laser-light scattering under conditions of wet dispersion was used for grains smaller than 0.5 mm. All layers show bimodal grain-size distributions.

加えて再検討する必要があった。そこで、Fig. 3 に示した層厚データなどをもとに火口近傍の 8 mm~1,024 mm の等層厚線図を作成した。コンターの層厚は、平均密度 $1,000 \text{ kg/m}^3$ (野外での実測値は $800 \sim 1,400 \text{ kg/m}^3$) として、単位面積あたりの重量に換算した ($8 \text{ kg/m}^2 \sim 1,024 \text{ kg/m}^2$)。その上で、各コンターが囲む面積と単位面積あたりの重量を両対数でプロットした (Fig. 11)。各データをいくつかの直線で近似して、各々の直線の範囲を Mathematica で積分し、各範囲の噴出量を算出した (Fig. 11)。火口近傍の積分は N-1, N-2, N-3 火口を合わせた部分の面積までとし、火口内には噴出物がたまっていないと仮定した。計算方法の詳細は、宝田・他 (2001 b) に示した。その結果、火口近傍の 8 mm ($=8 \text{ kg/m}^2$)

のコンター内部の噴出量の合計は、 $1.1 \times 10^8 \text{ kg}$ となった。遠方に飛んだ降灰の総量と合わせて、総噴出量は $2.2 \times 10^8 \text{ kg}$ となった。このように、火口近傍の噴出量が、遠方から外挿して求めた噴出量よりもかなり大きくなる現象は、1996 年や 1998 年の北海道駒ヶ岳火山の噴火の際にも見られた (宇井・他, 1997a, b; 宝田・他, 1999)。再検討した火口近傍の $1.1 \times 10^8 \text{ kg}$ の値は、大野・他 (2002) が求めた火口近傍堆積物の噴出量の推定結果 (約 $1.2 \times 10^8 \text{ kg}$) とほぼ同じ値となった。

この総噴出量から、3 月 31 日の本質物質の噴出量を見積もることができる。堆積物中の $\phi = -1 \sim -0.5$ の粒子の本質物質の割合が、噴火の初期は layer 1d で 42% であり、次第に減少して layer 1t では 21% であることが

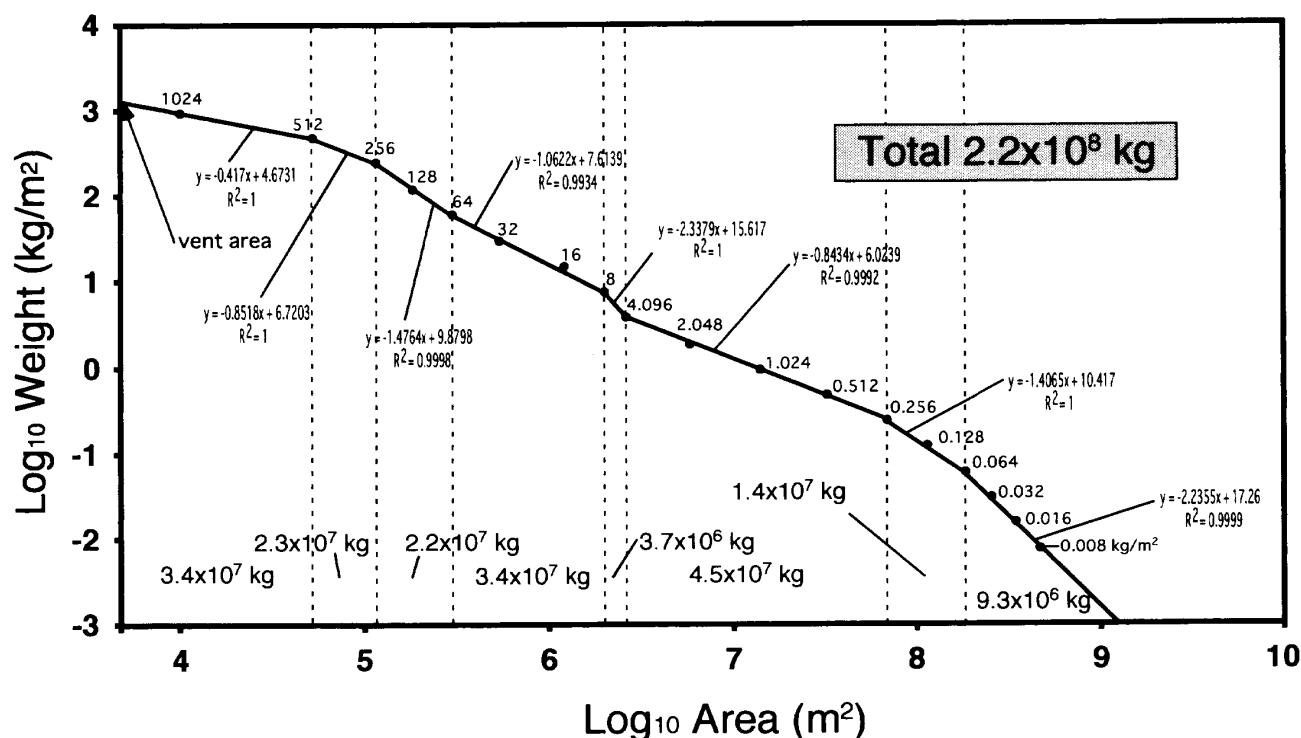


Fig. 11. Relation between area (m^2) and weight (kg/m^2) of air-fall deposit for the March 31, 2000 eruption. Data from proximal sites were added to those previously reported for distal sites (Takarada *et al.*, 2001 b). Regression lines were determined using the method of least squares. The regression lines were divided at 0.064, 0.256, 4.096, 8, 64, 256, and 512 kg/m^2 values. The total weight was calculated by integration of the approximation lines in each segment.

わかっている (Fig. 10). すべての粒子サイズでこの割合である保証はないが、各層の噴出量も考慮すると平均して約 25~35% が総噴出量に占める本質物質の割合であると見積もることができる。その場合、3 月 31 日に噴出した本質物質の量は、 $5 \times 10^7 \text{ kg} \sim 8 \times 10^7 \text{ kg}$ 程度であったと考えられる。

7. 議 論

7-1 噴出物各層と噴煙との対比

比較的良好に観測された噴火でも、比較的頻繁に噴火が繰り返すマグマ水蒸気爆発や水蒸気爆発は、噴煙と堆積物各層との対比が困難であった。このため、これまでの研究では、日単位や時間単位までの対比しか成功していない (例えば、Niida *et al.*, 1980 や吉田, 1995 など)。どのような噴煙柱からどのような堆積物が形成されるのかを精度よく記録・記載した上で、対比することができれば、マグマ水蒸気爆発の発生メカニズムやマグマ水蒸気爆発による噴煙柱形成プロセスを考察する際や、過去の噴出物の認定を行う際に貴重なデータとなる。有珠山 2000 年噴火では、詳細な噴煙映像記録 (Fig. 1; Table 1) に加えて、詳細な S1 地点での堆積物の記載 (Table 2) が得られた。そこで、S1 地点の layer 1a~layer 1t につ

いて、各層の噴出時刻を分単位で特定することを試みた (Fig. 9; Table 1)。

噴火記録によれば、3,000~3,500 m に達する最大級の噴火イベントは 4 回あった (Table 1)。それらは、(1) 13 時 28 分~13 時 40 分、(2) 13 時 42 分~14 時 15 分、(3) 14 時 18 分~14 時 32 分、(4) 14 時 35 分~14 時 51 分の規模の大きい黒色噴煙を伴う噴火イベントであった。ここでは、これらの最大級の噴火イベントを S1 地点の比較的粗粒で厚い層である layer 1f, layer 1g, layer 1h, layer 1j に対比した (Fig. 9)。一方、後半の比較的大きな噴火イベントには、(1) 16 時 23 分~16 時 27 分、(2) 16 時 49 分~16 時 52 分、(3) 16 時 54 分~17 時 7 分に起こったジェット状黒色噴煙がある (Table 1)。layer 1p と layer 1r には特徴的に 9 cm と 30 cm 以下の弾道礫が含まれており (Table 2, Fig. 5d)、ジェット状黒色噴煙起源である可能性が高い。したがって、layer 1p は、16 時 23 分~16 時 27 分のジェット状噴煙に、layer 1r は、16 時 49 分~16 時 52 分および 16 時 54 分~17 時 7 分の間のジェット状噴煙に対比した。そして、残りの比較的粗粒な layer を、比較的規模の大きい黒色噴煙に対比し、比較的細粒な layer を比較的規模の小さい穏やかな噴煙に対比した (Table 1, Fig. 9)。layer 1t については、layer

1q や layer 1s の堆積速度などを考慮して、17 時 25 分以降に悪天候で観測不能となってからの噴火イベントに対比した。

S2 地点の layer 1L は、layer 1U に比べて細粒であることから、S1 地点の比較的細粒な layer 1a～layer 1e (13 時 7 分～13 時 28 分) に対比できる可能性が高い (Fig. 4)。S2 地点の Layer 1U は、風向きが南西方向から北東方向に変化するまでの、比較的規模の大きい黒色噴煙が繰り返した時間帯 (13 時 28 分～15 時 55 分) の S1 地点の堆積物 (layer 1f～layer 1n) に対比できる可能性が高い (Fig. 4)。

7-2 粒度分布と本質物質の含有量

S1 地点の粒度組成は、噴火の強弱によって、粗粒部分と細粒部分のピークの位置はやや変動するものの、バイモーダルな分布は維持したまま、粗粒なモードと細粒なモードの量比が変動している (Fig. 10)。このことは、より規模の大きい噴火では、粗粒なモードの粒子群が S1 地点まで堆積し、細粒なモードの粒子群がより遠くまで運ばれたことを示唆している。また、より規模の小さい噴火では、粗粒なモードの粒子群がほとんど S1 地点まで到達せず、主に細粒なモードの粒子群が堆積したことを示唆している。

これに対して、layer 1s と layer 1t の違い (Fig. 10) は、粗粒なモードの粒子群がさらに細かく破碎されて細粒なモードの粒子群を形成したと考えることも可能である。しかし、より規模の小さい噴煙に由来する layer 1s がより規模の大きい噴煙に由来する layer 1t (Table 1) に比べて、より爆発的で粉碎度が高かったとは考えにくい。したがって、layer 1s と layer 1t の違いは、粗粒なモードの粒子群がさらに細かく破碎されて細粒なモードの粒子群を形成したためにできたのではない可能性が高い。

また、初期の比較的規模の大きい黒色噴煙に由来する layer 1h や layer 1j と、後期のジェット状の噴煙に由来する layer 1t (Table 1) の粒度組成は比較的良好に似ている。このことは、規模の大きい黒色噴煙もジェット状噴煙も地下浅所の爆発深度が異なるだけで、両者の破碎メカニズムに大きな違いがないことを示している可能性が高い。

一方、堆積物中の本質物質の含有量は、 $\phi = -1 \sim -0.5$ の粒度組成で、噴火の初期には 42% であったものが、噴火の後期には 21% まで減少している。このような時間変化が生じた原因として、後期ほど粗粒モードの本質軽石が選択的に破碎され細粒モードに移行した可能性も考えられる。しかし、3 月 31 日の噴火の初期と後期で粒度組成に大きな違いが認められない (Fig. 10) ことから、

この可能性は考えにくい。したがって、この変化はマグマと地下水の混合状態が噴火の経過に伴って次第に変化していったことを示している。この変化は、以下のモデルでうまく説明できる。(1) 噴火初期には、地下水層よりも深部から上昇してきた、すでにある程度破碎されていたマグマ物質 (東宮・他, 2001 の第 13 図) が、効果的に地下水と反応してマグマ水蒸気爆発を繰り返し、規模の大きい黒色噴煙が上がっていた。(2) 噴火後期には、脱ガスに伴いマグマが次第に上昇力を失い、爆発深度がより深くなったために、ジェット状の噴煙が上がるようになった。その結果、マグマと地下水層とが直接効果的に反応しなくなり、噴出物中の本質物質の割合が減少した。

7-3 噴出量の見積もり法

近年の国内の論文では、等層厚線が 1 本得られれば噴出総量を計算することができる Hayakawa (1985) の簡便法 ($V = 12.2 TS$; T = 等層厚線の層厚, S = 等層厚線が占める面積) が、比較的小規模な噴火によってもたらされた堆積物に対しても広く用いられている (例えば、奥野, 1995; 奥野・他, 1997)。この簡便法はもともとタウポ、十和田中堰、十和田南部などの 2 km^3 以上の規模の大きな噴火によってもたらされた堆積物に対して結晶法 (Walker, 1980) を適用して求められた噴出総量から算出した経験則にもとづいており、小規模な噴火によってもたらされた堆積物に対して適用できないことが多い (宝田・他, 1997)。

そこで、3 月 31 日の降灰分布で得られた等重量線の各コンターを用いて、Hayakawa (1985) の簡便法でそれぞれの総噴出量を算出した (Table 3)。堆積物の密度は $1,000 \text{ kg/m}^3$ とした (実測値は $800 \sim 1,400 \text{ kg/m}^3$)。計算の結果、 8 g/m^2 のコンターでは $4.5 \times 10^7 \text{ kg}$ となり、 256 kg/m^2 ($= 256 \text{ mm}$) のコンターでは $3.6 \times 10^8 \text{ kg}$ となった。したがって、コンターの選び方によっては、ほぼ 1 桁近いばらつきがあることがわかる。最も外側のコンター (8 g/m^2) を除いたとしても、約 5 倍程度のばらつきがあることになる。本論で示した方法では $2.2 \times 10^8 \text{ kg}$ という結果が得られている。これに対して、Hayakawa (1985) の簡便法では用いるコンターによって、1.6 倍～1/5 程度のばらつきがあることがわかる。

Hayakawa (1985) の簡便法では、層厚 (T) と等層厚線が占める面積 (S) の積が噴火の規模 (V) にかかわらず一定である ($V/TS = 12.2$) と仮定している。しかし、これらは 2 km^3 以上の規模の大きい噴火で得られた値 ($8.5 \sim 15.7$) の平均から算出した値であり、この値が小規模噴火にも適用できる保証は全くない。噴火直後に精度よく調査された小規模噴火の場合、面積-層厚線図に

Table 3. Evaluation of the Hayakawa (1985) method, using 18 isopleths obtained from the March 31, 2000 eruption. The value of average density of the deposit that was used is 1000 kg/m³. Total mass for each isopleth was calculated using the equation: $V = 12.2TS$ (V = volume, T = thickness of the isopleth, S = area of the isopleth).

Isopleth (g/m ²)	Total Mass (kg)
8	4.5×10^7
16	6.5×10^7
32	9.5×10^7
64	1.4×10^8
128	1.7×10^8
256	2.1×10^8
512	2.0×10^8
1024	1.7×10^8
2048	1.4×10^8
4096	1.3×10^8
8000	1.9×10^8
16000	2.3×10^8
32000	2.1×10^8
64000	2.3×10^8
128000	2.8×10^8
256000	3.6×10^8
512000	3.2×10^8
1024000	1.2×10^8

データをプロットすると多くの場合直線にならず、いくつかの折れ線で近似できることが多い (Fig. 11, 宇井・他, 1997b). このことは、小規模噴火では、TS の積が一定でないことを示す。また、Hayakawa (1985) の簡便法は、時間をかけていくつかのコンターを描いた場合でも、そのうちの1つのコンターしか用いないため、その他の各コンターの生データは活かされなくなる。一方、本論や宝田・他 (2001b) の方法では、すべてのコンターを使用しており、得られたコンター群に対して、数学的に正しい結果が得られるという利点がある。

最近多くの火山で精度の良い階段ダイヤグラムを作成する試みが行われている。しかし、Hayakawa (1985) の簡便法で算出した噴出量は、噴火ごとに大きな誤差を生じる可能性があり、注意が必要である。また、過去の小規模噴火で堆積物の保存状態がよくないため、1~2 本程

度のコンターしか得られないことがある。このような場合に、Hayakawa (1985) の簡便法はよく用いられている (例えば、奥野, 1995)。しかし、数本以上のコンターが得られる場合には、宝田・他 (2001b) の方法を適用する方がより望ましいといえる。

降下火山灰の降灰量を求める手法には、他にも鈴木 (1981) や Walker (1980), Pyle (1989) の方法などがあるが、これらの手法との比較検討は、別の機会に行う予定である。

8. ま と め

(1) 2000 年 3 月 31 日の噴火は、13 時 7 分から 15 時 28 分の比較的大きい黒色噴煙のイベントが 6 回発生したステージと、15 時 28 分から 17 時 7 分のジェット状の黒色噴煙を伴う比較的低い噴煙のイベントが 5 回発生したステージに分けることができる。

(2) 3 月 31 日のマグマ水蒸気爆発堆積物は、火口から 90m 離れた S1 地点では層厚約 100 cm であり、550 m 離れた S2 地点では層厚 9 cm であり、1,030 m 離れた S3 地点では層厚 2.5 cm であった。

(3) 3 月 31 日堆積物は、S1 地点では層厚 1 cm~7 cm の 20 枚のやや円磨された砂~シルトを主体とする細粒層と粗粒層の互層からなる。側方に層厚変化がみられ、弾道礫を含むことがある。この地点の軽石の最大径は 25 mm であった。

(4) 4 月 1 日以降の堆積物は、淘汰の悪い泥質堆積物であり、主に火口から泥塊を何度も吹き上げていた段階の堆積物である可能性が高い。最上部には比較的淘汰のよい茶色い砂質層があり、静穏期の N-B 火口や K-A, K-B 火口からの降灰であると考えられる。

(5) 本質白色軽石はやや円磨されており、ごく小さい 0.05 mm~0.2 mm サイズの気泡を多数含んでいる。全体として発泡度は低い傾向がある。

(6) 噴火の規模に応じた、白色軽石の最大径、岩片の最大径の変動が見られる。

(7) S1 地点では、3 月 31 日噴火初期の噴出物の白色軽石の含有量は 42% であった。次第に含有量は減少し、最後には 21% となった。

(8) S1 地点では、3 月 31 日の噴火の堆積物はすべてのサンプルで $-0.5\phi \sim 1\phi$ と $6.5\phi \sim 7.5\phi$ 付近にピークを持つバイモーダルな粒度組成を示す。

(9) 火口周辺の調査結果を加えた再検討の結果、3 月 31 日の火口近傍 (層厚 8 mm のコンターよりも内側) の噴出量は 1.1×10^8 kg、全体の噴出量は 2.2×10^8 kg となった。また、3 月 31 日の本質物質の噴出量は、 5×10^7 kg~ 8×10^7 kg 程度であったと考えられる。

(10) S1 地点の 20 枚の各層と、3 月 31 日の噴火イベントの分単位での対比を試みた。

(11) Hayakawa (1985) の方法で 3 月 31 日の各等重量線をもとにそれぞれ噴出量を計測した結果、 4.5×10^7 kg から 3.6×10^8 kg となり、用いる等重量線によっては 1 桁近い誤差が生じることが明らかになった。

謝 辞

2000 年噴火当時は、著者の一人宝田は、太田英順博士、中川 充博士、高橋裕平博士、羽坂俊一氏を始めとする当時の地質調査所北海道支所の方々に様々な面で大変お世話になった。磯部一洋博士、宇都浩三博士、篠原宏志博士、風早康平博士、伊藤順一博士を始めとする当時の地質調査所本所の噴火対策チームの方々や、北海道大学、北海道立地質研究所、有珠山総合観測班の方々には、調査においていろいろとお世話になった。特に、北海道大学の岡田 弘教授と宇井忠英教授には、調査・観測において大変お世話になった。また、日本大学の遠藤邦彦教授と国方まり氏、福岡大学の奥野 充博士との議論は大変有益であった。査読者の井村隆介博士と大野希一博士、編集委員の東宮昭彦博士のコメントによって、本論の内容は大きく改善された。気象庁札幌管区気象台の宮村淳一氏には、噴煙高度データを提供していただいた。ここに記して深く感謝する。

引用文献

- 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。日本大学文理学部自然科学研究所紀要, **36**, 65-73.
- 羽坂俊一・西村裕一・宝田晋治・高橋裕平・中川 充・斎藤英二・渡辺和明・風早康平・川邊禎久・山元孝広・広瀬 亘・吉本充宏 (2001) 有珠火山 2000 年噴火の山体変動—北東山麓割れ目群の変位およびセオドライトによる北麓、西麓の観測結果—。地調研報, **52**, 155-166.
- 長谷川裕之・小荒井衛・渡辺信之・飯田 洋・松尾 馨 (2000) 写真で捉えた有珠山の火山活動に伴う地表変動の時系列変化。日本火山学会秋季大会講演予稿集, 170.
- Hayakawa, Y. (1985) Pyroclastic geology of Towada Volcano. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **60**, 507-592.
- 広瀬 亘・田近 淳・八幡正弘・宝田晋治・川辺禎久・風早康平・山元孝広・吉本充宏 (2000) 地表変形からみた有珠山 2000 年噴火における地殻変動。日本火山学会秋季大会講演予稿集, 47.
- 北海道新聞社 (2000) 有珠山噴火。北海道新聞社出版局, 札幌, 64 p.
- 稲葉千秋・大図和哉・永田直己・並川和敬・曾我智彦・向山 栄・新井田清信・総合観測班地質グループ (2000) 2000 年有珠山噴火における火口分布の変遷と基盤の構造。日本火山学会秋季大会講演予稿集, 185.
- 門村 浩・岡田 弘・新谷 融 (1988) 有珠山 その変動と災害。北海道大学図書刊行会, 札幌, 258 p.
- Katsui, Y., Oba, K., 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., Shirahase, M., Nemoto, S., Yokoyama, S., Soya, T., Fujita, T., Inaba, K. and Koide, K. (1978) Preliminary report of the 1977 eruption of Usu Volcano. *Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. IV*, **18**, 385-408.
- Katsui, Y., Komuro, H. and Uda, T. (1985) Development of faults and growth of Usu-shinzan cryptodome in 1977-1982 at Usu Volcano, northern Japan. *Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. IV*, **21**, 3, 339-362.
- 川辺禎久 (2000) 速報: 2000 年 3 月 31 日有珠山噴火。地質雑, **106**, VII-VIII.
- 川邊禎久・風早康平・宝田晋治・総合観測班地質グループ (2000) 2000 年 3 月 31 日有珠山噴火。地質ニュース, **548**, 1-2.
- Niida, K., Katsui, Y., Suzuki, T. and Kondo, Y. (1980) The 1977-1978 Eruption of Usu Volcano. *Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. IV*, **19**, 3, 357-394.
- 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物。火山, **27**, 97-118.
- 西村裕一・宝田晋治・斎藤英二・宇都浩三・風早康平・松島 健・高木朗充 (2000) 有珠山 2000 年噴火に伴う西山麓の地殻変動。日本火山学会秋季大会講演予稿集, 45.
- 大野希一・国方まり・鈴木正章・西村裕一・長井大輔・遠藤邦彦・千葉達朗・諸星真帆 (2002) 有珠山 2000 年噴火でもたらされた火砕物の層序。火山, **47**, 619-643.
- 岡田 弘・森 濟・大島弘光 (2000) 2000 年有珠山噴火はどう予知されたか。日本火山学会秋季大会講演予稿集, 22.
- 奥野 充 (1995) 降下テフラからみた水蒸気噴火の規模・頻度。金沢大学文学部地理学報告, **7**, 1-23.
- 奥野 充・守屋以智雄・田中康平・中村俊夫 (1997) 北関東、高原火山の約 6,500 cal yr BP の噴火。火山, **42**, 393-402.
- Pyle, D. M. (1989) The thickness, volume and grain size of tephra fall deposits. *Bull. Volcanol.*, **51**, 1-15.
- 斎藤英二・西村裕一・渡辺和明・宇都浩三・風早康平・宝田晋治・羽坂俊一・高橋裕平 (2000) 光波測距による有珠山 2000 年噴火の山体変動観測。日本火山学会秋季大会講演予稿集, 160.
- 曾屋龍典・勝井義雄・新井田清信・堺幾久子 (1981) 火山地質図 2「有珠山地質図」。地質調査所。
- 須藤 茂・渡辺和明・斎藤英二・池田国昭 (2000) 空中写真による有珠山西麓 2000 年火口周辺の山体変動解析。日本火山学会秋季大会講演予稿集, 49.
- 鈴木建夫 (1981) 降下火砕堆積物の「層厚・面積」曲線。火山, **26**, 9-23.
- 宝田晋治・羽坂俊一 (2000) 北海道支所における有珠火山 2000 年噴火への対応 (速報)。地質ニュース, **551**, 11-19.
- 宝田晋治・広瀬 亘・荒井健一・吉田真理夫・佐々木寿・児玉 浩・宇井忠英・岡崎紀俊・石丸 聡・渡辺

- 精久・橋本政樹 (1997) 1996 年 11 月雌阿寒岳の噴火 (2): 一降灰の分布形態, 状況, 降灰量一. 地球惑星関連学会 1997 年合同大会予稿集, 801.
- 宝田晋治・中川光弘・吉本充宏・北川淳一・吉田真理夫・宇井忠英・岡崎紀俊・広瀬 亘・石丸 聡・佐藤十一・太田良久 (1999) 北海道駒ヶ岳 1998 年 10 月 25 日の小噴火. 1999 年地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, Vd-P014.
- 宝田晋治・西村裕一・羽坂俊一・高橋裕平・中川 充・渡辺和明・斎藤英二・風早康平 (2000) 有珠火山 2000 年噴火の山体変動—セオドライトによる北麓, 西麓の変動観測—. 日本火山学会秋季大会講演予稿集, 161.
- 宝田晋治・宮城磯治・東宮昭彦 (2001a) 有珠火山 2000 年噴火で生じた火口群周辺の状況. 地調研報, **52**, III-VI.
- 宝田晋治・吉本充宏・北川淳一・平賀正人・山元孝広・川邊禎久・高田 亮・中野 俊・星住英夫・宮城磯治・西村裕一・三浦大助・廣瀬 亘・石丸 聡・垣原康之・遠藤祐司・八幡正弘・野呂田晋・新井田清信・石塚吉浩・工藤 崇・相沢幸治・本間宏樹・江草匡倫・石井英一・高橋 良 (2001b) 有珠火山 2000 年噴火の降灰と火口近傍の状況. 地調研報, **52**, 167-179.
- 東宮昭彦・宮城磯治・星住英夫・川辺禎久・山元孝広 (2000) 有珠火山 2000 年噴火の本質物質. 日本火山学会秋季大会講演予稿集, 30.
- 東宮昭彦 (2001) 有珠火山 2000 年噴火の空撮写真—4 月 1 日に次々と形成された火口群—. 地調研報, **52**, I-II.
- 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. 地調研報, **52**, 215-229.
- 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**, 663-673.
- 宇井忠英・総合観測班地質グループ (2000) 有珠山 2000 年噴火: 噴火の推移と災害. 日本火山学会秋季大会講演予稿集, 23.
- 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・紀藤典夫・雁沢好博・野上健治 (1997a) 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 (1997b) 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.
- 宇井忠英・中川光弘・稲葉千秋・吉本充宏・総合観測班地質グループ (2002a) 有珠火山 2000 年噴火の推移. 火山, **47**, 105-117.
- 宇井忠英・池田保夫・小山真人・鎌田桂子・岡田 弘・新井田清信 (2002b) 有珠 2000 年噴火で発生した火砕サージ. 火山, **47**, 333-337.
- Walker, G. P. L. (1980) The Taupo pumice: product of the most powerful known (ultraplinian) eruption? *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **8**, 69-94.
- 吉田真理夫 (1995) 有珠山 1977-1978 年噴火による火砕物の火口付近での層序と岩相. 火山, **40**, 249-262.
- (編集担当 東宮昭彦)