

浅間山 2004 年噴火の噴出物の特徴と降灰量の見積もり

吉本充宏*・嶋野岳人*・*****・中田節也*・小山悦郎*・辻 浩*・
飯田晃子*・黒川 将*・岡山悠子*・*****・野中美雪*・金子隆之*・
星住英夫**・石塚吉浩**・古川竜太**・野上健治***・鬼沢真也***・
新堀賢志*****・杉本 健*****・長井雅史*****

(2005年5月10日受付, 2005年11月11日受理)

Mass Estimation and Characteristics of Ejecta from the 2004 Eruption of Asama Volcano

Mitsuhiro YOSHIMOTO*, Taketo SHIMANO*, *****, Setsuya NAKADA*, Etsuro KOYAMA*,
Hiroshi TSUJI*, Akiko IIDA*, Masaru KUROKAWA*, Yuko OKAYAMA*, *****, Miyuki NONAKA*,
Takayuki KANEKO*, Hideo HOSHIZUMI**, Yoshihiro ISHIZUKA**, Ryuta FURUKAWA**,
Kenji NOGAMI***, Shinya ONIZAWA***, Kenji NIHORI*****, *,
Takeshi SUGIMOTO***** and Masashi NAGAI*****

After 31 years of dormancy, magmatic eruption started at Asama volcano on 1 September 2004. Five major vulcanian explosions, intermittent strombolian explosions and many small-scale explosions were observed from September to December. The initial explosion on 1 September was the largest explosion and the volcanic ash affected areas up to 250 km northeast of the volcano. The maximum grain size and the weight of ash collected about 4 km NE of the vent were 96 mm and 1,000 g/m², respectively. Ash from the strombolian explosions during 16-17 September covered most of Karuizawa Town, including areas SE and E of the volcano. Ash fall also affected the Tokyo District on the night of 16 September. The main axes of ash fall on 23, 25, and 29 September, 10 October, and 14 November were dispersed toward NNE to NE, NE, N to NNE, NE, and E, respectively. The distribution of ash fall deposit was thought to be influenced by wind direction and velocity. Ballistics from these

* 〒113-0032 文京区弥生 1-1-1

東京大学地震研究所

Earthquake Research Institute, University of Tokyo,
1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0032, Japan.

** 〒305-8567 つくば市東 1-1-1

産業技術総合研究所地質情報研究部門

Institute of Geology and Geoinformation, National
Institute of Advanced Industrial Science and Techno-
logy, 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8561, Japan.

*** 〒377-171 吾妻郡草津町大字草津字滝尻原 641-36

東京工業大学火山流体研究センター

Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of
Technology, Kusatsu 641-36, Agatsuma, Gunma 371-
1711, Japan.

**** 〒263-8522 千葉県稲毛区弥生町 1-33

千葉大学理学部地球科学科

Department of Earth Sciences, Faculty of Science,
Chiba University, 1-33, Yayoi, Inage-ku, Chiba 263-
8522, Japan.

***** 〒874-0903 大分県別府市野口原 3088-176

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

Institute for Geothermal Sciences, Kyoto Univer-
sity, 3088-176, Noguchibaru, Beppu, Oita 874-
0903, Japan.

***** 〒156-8550 世田谷区桜上水 3-25-40

日本大学文理学部地球システム科学科

Department of Geosystem Science, College of
Humanities and Science, Nihon University, 3-25-
40, Sakurajyousui, Setagaya-ku, Tokyo 156-8550,
Japan.

***** 現在: 〒980-8576 仙台市青葉区川内 41

東北大学東北アジア研究センター

Center for Northeast Asian Studies, Tohoku
Univer-sity, Kawauchi 41, Aoba-ku, Sendai 980-
8576, Japan.

***** 現在: 〒102-8539 東京都千代田区麴町 5-4

日本工営株式会社

Nippon Koei Co., Ltd., 5-4 Kojimachi, Chiyoda-
ku, Tokyo 02-8539, Japan.

Corresponding author: Mitsuhiro Yoshimoto
e-mail: myoshi@eri.u-tokyo.ac.jp

explosions were thrown at least 2 km away from the vent, and the nature and proportion of rock fragments deposited on the volcano flank differ, depending on the size and type of explosions. The total thickness of proximal ash fall deposits from the 1 September and 14–18 September explosions varies from less than 5 mm at the northern rim of the crater to 50 mm at the southern rim. Using isopleth maps and excluding ballistic ejecta, the calculated amounts of ash deposited within the area of $1 \times 10^9 \text{ m}^2$ are as follow; $4.9 \times 10^7 \text{ kg}$, $5.9 \times 10^7 \text{ kg}$, $8.5 \times 10^6 \text{ kg}$, $3 \times 10^5 \text{ kg}$, $1.3 \times 10^7 \text{ kg}$, $2.8 \times 10^6 \text{ kg}$, and $2.5 \times 10^7 \text{ kg}$ on 1, 15–18, 23, 25, and 29 September, 10 October, and 14 November, respectively. The total amount of ash generated during the 2004 eruption is more than $1.6 \times 10^8 \text{ kg}$, but still small compared to the lava that formed within the crater.

Key words: Asama volcano, 2004 eruption, distribution of ash fall deposit, mass estimation, characteristics of ejecta

1. はじめに

浅間山は1783年(天明3年)のプリニー式噴火以降、ブルカノ式噴火を断続的に繰り返し行ってきた。特に19世紀後半から1960年代にかけて活発に活動し、火山弾による犠牲者も多数だしてきた(宮崎, 2003)。最近では1973年を最後に、マグマ噴火を起こしていなかったが、2004年9–12月に31年ぶりとなるマグマ噴火を行った。浅間山の火山活動に関する地球物理学的な観測研究は、これまで盛んに行われてきた(Minakami, 1935など)。今回の2004年噴火においても地震、地殻変動、重力変化、噴煙観測など様々な地球物理学的観測が行われ、噴火メカニズムを解明するための研究が数多く行われている(大湊・他, 2005; 青木・他, 2005など)。その一方で、浅間山におけるブルカノ式噴火の噴出物に着目した研究例は少なく、1942年(Minakami, 1942), 1973年(下鶴・他, 1975), 1982年(荒牧・早川, 1982), 1983年(荒牧・他, 1983)などの比較的規模の大きな噴火時のものに限られている。

火山噴火に際し、噴出量を見積もり、また噴出物がどのような物質で構成されているかを調べることは、噴火の規模・様式を明らかにする上で重要である。さらにそれらの時間変化を明らかにすることは現在の火山活動を理解するのに必要なだけでなく、今後の噴火推移を予測するための重要な基礎データを提供しうる。我々は、2004年噴火の個々のブルカノ式噴火の噴出物や噴火規模の推移を検討すると共に噴出物の岩石学的特徴から本噴火のマグマ上昇・噴出メカニズムを明らかにすることを目的として研究を行ってきた。本稿では、噴火ごとに行った降灰調査および火口近傍噴出物調査の結果明らかとなった堆積物の特徴・分布および降灰量の見積りについて報告する。これら噴出物の岩石学的特徴については別途報告する。

2. 2004年噴火の推移

2004年9月1日20時02分、浅間山は爆発音とともにマグマ噴火を開始し(Table 1)、噴煙は火口上3,500–

5,500 mまで上昇した(気象庁, 2004a)。この噴火では赤熱した岩塊が山腹に放出されているのがNHKなどの高感度カメラによって撮影され、西側斜面(火口から約2 km)では火山弾による火災が発生した様子が映された。

9月1日以降の噴火について気象庁(2004a, b, c, d)の報告をまとめると、最初の噴火から2週間後の9月14日から再び活動は活発化し、14日は3回(3:30, 13:31, 15:36)、15日は11時53分以降に約40回の小噴火を繰り返した。その後、16日4時00分から17日の18時30分にかけてはほぼ連続的に噴煙を上昇させ、17日夕方から18日21時頃までに50回以上の小噴火を繰り返した。16日夕方から17日未明にかけては連続的に赤熱した岩塊が放出された。14日の3回の噴火の噴煙はそれぞれ火口縁上約300 m, 約1,000 m, 約2,500 mに達し、15–18日噴火の噴煙は最高約1,500 mに達した。

9月18日以降、火口から4 km以遠に降灰が認められた噴火は、9月23日(19:44)、25日(18:36)、29日(12:17)、10月10日(23:10)、19日(14:46)、28日(4:24)、11月14日(20:59)の7回ある。9月18日以降、気象レーダーによって噴煙が確認されたのは11月14日のみで、その噴煙の高度は火口上3,500–5,500 mであった。11月14日以降12月末までの間に、火口から4 km以遠に降灰の認められないごく小規模な噴火が5回観測されている。

山頂火口内への溶岩出現は、9月13日の午後に行った現地火口調査では、確認されなかった。しかし、3日後の9月16日には国土地理院の航空機SAR観測により火口内に直径約200 mの溶岩の噴出が確認された(大木・他, 2004)。10月1日のヘリコプターによる火口観測では、火口底は溶岩の噴出によって2004年噴火前に比べて約60 m上昇し、山頂からの深さは約190 mとなっていた。この時、火口底中央には直径約70 m, 深さ約40 mの9月23日から29日の噴火によって形成されたと思われる噴出口が存在していた。10月以降の火口観測では新たな溶岩の噴出は確認されていない。

3. 噴出物調査

2004 年噴火のうち比較的規模の大きかった 9 月 1 日, 14-18 日, 23 日, 25 日, 29 日, 10 月 10 日, 11 月 14 日噴火を対象とした噴出物調査を, それぞれの噴火直後の当日ないし翌日に実施した. いずれの噴火も層厚を計測できるほど火山灰が堆積していなかったため, 上空に遮蔽物のない舗装道路, 郵便ポスト, 自動販売機, 橋の欄干, ベンチなどの平滑面を持つ人工構造物上に堆積した火山灰を採取し, その採取面積を測定した. 9 月 1 日噴火以外では, 火口から北-東-南の方向 4, 8, 12 km 付近に集灰器として直径 30-40 cm のプラスチック容器をのべ約 60 点設置し, 上述の人工構造物とあわせて降灰の定点観測を行った (Fig. 1). 集灰器中には粉塵やそれまでの降灰などが風や車により巻き上げられ混入するため, なるべく道路から離れた上空の開けた地点に設置すると共に, 噴火のない時も定期的 (2-3 日に 1 回) に清掃を行った. 粉塵等が混入しやすい地点は適宜廃止し, 適切な場所に再設置した. 集灰器は降雨や台風の通過後に

はすべて掃除した. 回収した降灰は, 恒温器やホットプレートなどで十分に乾燥の後, 秤量し, 1 m²あたりの重量を算出した. 9 月 1 日, 23 日, 29 日, 10 月 10 日はいずれも噴火後 1 日以内に降雨があったため, やや時間を置いて採取した遠方のデータには, 降雨による集積及び流失による誤差が大きいと考えられる.

また 9 月 13 日と 10 月 28 日に山頂周辺部で 2-3 時間程度の降灰および火山岩塊の噴出物調査を行い, 試料を採取した. その際, 9 月 13 日は火口の東側から北側を, 10 月 29 日は東側から南西側を中心に調査した. 採取した火山岩塊, 火山礫試料は肉眼による表面形態の観察, 火山灰試料は粒径 0.5-1 mm の範囲の実体顕微鏡による観察, および構成物の分類を行った.

4. 降灰の分布

降灰調査を行った各々の噴火の降灰分布図を Fig. 2, 分布主軸の方向, 降灰量を Table 1 に示す. また, それぞれの特徴を以下に記述する. なお, Table 1 に Trace と

Table 1. Chronology of the 2004 eruption of Asama volcano.

Eruption*			Maximum Grain Size		Maximum weight per unit area		Distribution Axis	Distal observed point* (km)	Area of isopleth (km ²)										Estimated amount of ash fall** (kg)
			mm	Distance (km)	g/m ²	Distance (km)			1024 g/m ²	512 g/m ²	256 g/m ²	128 g/m ²	64 g/m ²	32 g/m ²	16 g/m ²	8 g/m ²	2 g/m ²		
9/1	20:02		96	4.1	1209	5.5	NE	250	6	12	20	91	168	259					4.9x10 ⁷
9/14	3:30						ESE												Trace
	13:31						ESE												Trace
	15:36						ESE												Unknown
9/15-9/18					383	4.8	ESE, SE	200(SE)		6	26	62	135						5.9x10 ⁷
9/15	0:00-12:00	6																	
	12:00-24:00	34																	
9/16	0:00-4:00	36																	
	4:00-	continuously																	
	plume																		
9/17	14:00-21:00	16																	
9/18	00:00-12:00	14																	
	12:00-24:00	18																	
9/23	19:44		40	4.4	299	4.6	NNE	280		6	21	36	49	62	79				8.5x10 ⁶
9/24	9:33																		N.D.
9/25	18:36		1				NE	20										15	3x10 ⁵
9/29	12:17		38	5.2	260	4.7	N to NE	>30		5	12	26	72						1.3x10 ⁷
10/1	11:18																		N.D.
	17:12																		N.D.
10/10	23:10		21	4.2	99	8	NE	20			2	8	17	29	55				2.8x10 ⁶
10/15	10:02																		N.D.
10/16	12:06																		N.D.
10/18	7:36																		N.D.
10/19	14:46						SE												Trace
10/28	4:24						SE												Trace
11/14	20:59		75	4.3	891	4.3	E	130		6	17	38	78	258***					2.5x10 ⁷
11/15	19:55																		N.D.
11/16	15:23																		N.D.
11/17	16:49																		N.D.
11/18	2:15																		N.D.
12/9	16:27																		N.D.

N.D.: Ash fall was not detected 4km away from the vent, *: JMA (2004a, b, c, d),

: Calculated weight of ash fall is for deposition within the area of 1x10⁹m², *: 38g/m² isopleth

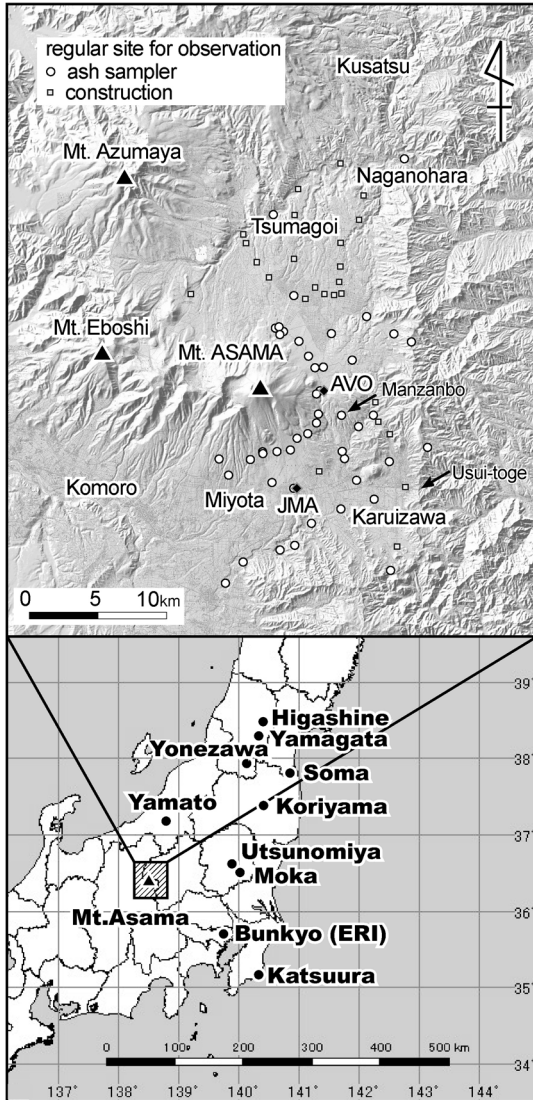


Fig. 1. Locality map of Asama volcano.

示された噴火は、火口から同一距離での降灰量比較から9月25日噴火とほぼ同じかこれよりも小さな規模であったと考えられる。

4-1 9月1日噴火

9月1日噴火の降灰は、北東方向に分布軸を持ち (Fig. 2a), 浅間山から北東に250 km離れた福島県郡山市, 相馬市でも観測された (気象庁, 2004a)。降灰分布は上空の風が強かったため幅が狭く、火口から約4 km地点で幅約3 km, 約8 km地点で分布幅約4.5 kmであり、遠方でもあまり分布幅は広がらない。等重量線のコンターも南東側で密になっており、北西側では広がって

いる。火口から4 km付近における降灰の粒径は火山灰および火山礫から構成されているが、火口からの距離が同一であっても分布域によって異なった粒度分布を示す。つまり、分布域の南東縁から約1 kmの範囲では、堆積物は火山礫が卓越し、細粒物をほとんど含まない。また分布軸周辺の降灰は火山礫と火山灰の混合物から構成されており、北西側では火山灰のみで構成される。1 m²あたりの降灰量は、火口から東北東約4 km地点では1,000 g/m² (Fig. 3a), 東北東約5.2 km地点では1,209 g/m²あり、火山礫の最大粒径は約4 km地点で長径約10 cmである。今回調査を行った事例中では、1 m²あたりの降灰量、最大火山礫径ともに最大である。また火口から北東約10 km地点での降灰量は521 g/m², 最大粒径は15 mm, 北東約50 kmの月夜野町では降灰量12 g/m², 最大粒径2 mmであった。

4-2 9月14-18日噴火

9月14日の3回の小噴火は、主に東南東方向に降灰をもたらした。3時30分の噴火は万山望 (東南東約6.5 km) や高崎市 (東南東約40 km) で、13時31分の噴火は碓氷峠 (東南東約15 km), 15時36分の噴火では松井田町 (東南東約30 km) や安中市 (東南東約35 km) でそれぞれ降灰が確認された。15日は約40回の小噴火を繰り返す。噴煙は主に南東から東の方向にたなびいた。しかし15日の降灰のほとんどは、噴煙のたなびく方向と異なる南南東方向から南の方向で観測された。16日未明から17日夕方の連続噴煙は、東から南方向へ広い範囲に降灰をもたらした。15-18日のすべての小規模噴火を総合した等重量線図を Fig. 2b に示す。降灰は東南東と南東の2方向に分布軸を持ち、西南西から東の方向に広く分布する。これは15-18日の間に風向が変化したことや、複数の小規模噴火の降灰分布が複合したことに起因する。1 m²あたりの降灰量は東南東約6.5 kmの万山望で373 g/m², 南東約11 kmの軽井沢で約140 g/m²であった。この噴火の降灰は東南東から南南東方向の埼玉県, 東京都, 神奈川県東部, 千葉県 (幅約100 km, 距離約200 km) で確認された。この一連の噴火の降灰が認められた最も遠いところは千葉県勝浦市である (気象庁, 2004a)。東京大学地震研究所 (南東約140 km, 東京都文京区) においても0.1 g/m²以下の降灰を観測した。14-18日の噴火による降灰は細粒で、火口から4 km以遠には火山礫が降下しなかった (Fig. 3b)。

4-3 9月23日噴火

9月23日噴火の降灰の分布軸は火口から10 kmまでは北北東であるが、そこで屈曲し、それ以遠は北東方向に変化する (Fig. 2c)。火口から約4.4 kmの地点における火山礫の最大長径は40 mmであった。分布軸上の1

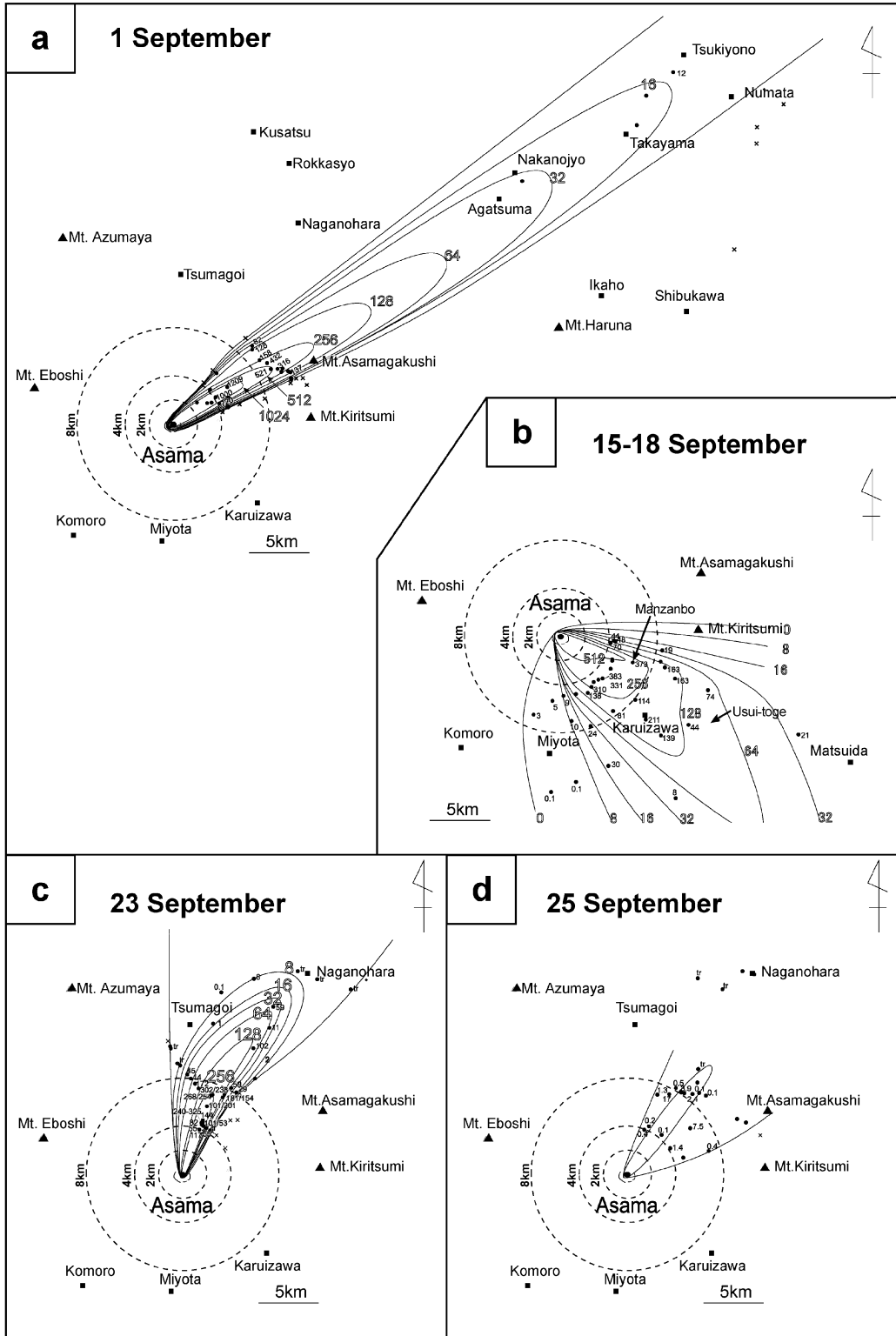


Fig. 2. Isopleth maps of the volcanic ash fall deposits for each explosion. Numbers beside the closed circles indicate ash sample weight per unit area (g/m^2). Closed circle: ash fall observed; tr: small amount of ash fall observed; x: not observed.

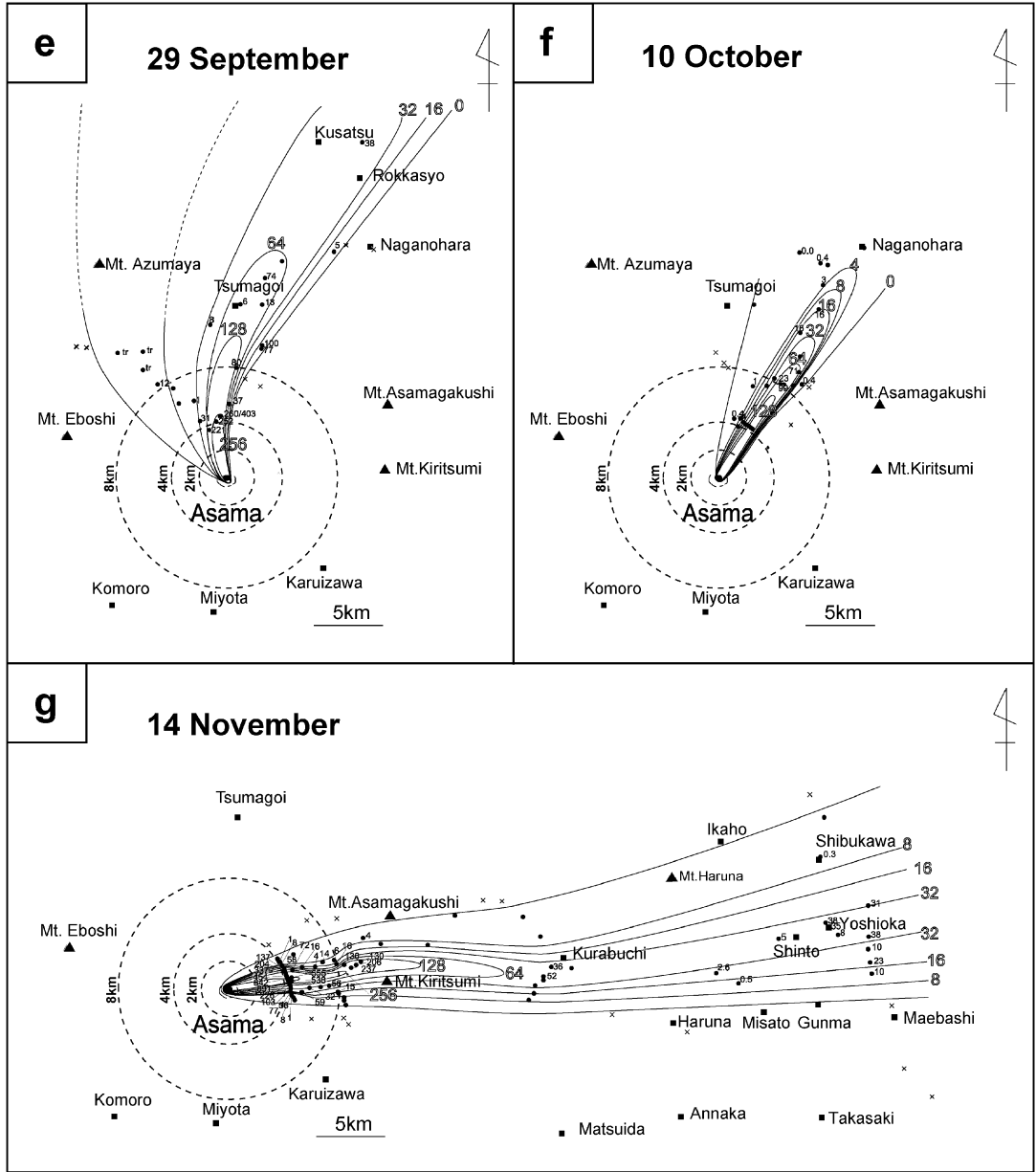


Fig. 2. Continued.

m²あたりの降灰量は火口から約 5 km の地点で 240–325 g (Fig. 2c), 約 7 km 地点で 238–268 g であり, 火口から 8 km 付近までは降灰量はあまり変化しない. 一方, 火口から 10–20 km にかけては降灰量が急激に減少する. 例えば, 北北東約 20 km の長野原町付近では 1 g/m²以下と非常に少ない. この噴火では北約 100 km の新潟県南魚沼郡大和町, 北北東 200–300 km の山形県 (米沢市, 山形市, 東根市など) でも降灰が確認された (気象庁, 2004a).

4-4 9月25日噴火

9月25日の噴火は, 今回調査を行った7つの噴火の中ではもっとも小規模なものであった. 9月1日と9月23日の噴火と重なる方向に降灰し, 分布主軸を北東方向に持つ (Fig. 2d). 降灰量は9月23日の噴火後に清掃した定点観測点に降下した火山灰を計測することによって決定した. 約 8 km 地点での 1 m²あたりの最大降灰量は 4 g である. 粒径 2 mm 以上のものは火口から 4 km 地点に

は到達していない。

4-5 9月29日噴火

9月29日噴火の降灰の分布主軸は火口から4kmまでは北北西方向で、次第に北向きになり、火口から約8km付近からは北北東方向となる (Fig. 2e)。火口から約5.2kmの地点における火山礫の最大長径は38mmであり、1m²あたりの降灰量は火口から約4.5kmの地点で400g、北北東約25kmの東京工業大学草津白根火山観測所では38g/m²である。降灰の分布幅は32g/m²以上の等重量線までは狭く、分布の西側は32g/m²以下の部分で広がっている。また、火口から16km以遠でも降灰量はあまり減衰せず、遠くまで火山灰が運ばれている様子がわかる。9月1日同様、火口から同一距離において粒子サイズによって異なる分布を示す。

4-6 10月10日噴火

10月10日の噴火の分布主軸は北東方向であり、分布幅は狭い。主軸上の1m²あたりの降灰量は約8km地点で99gであった (Fig. 2f)。火口から約4.2kmの地点における火山礫の最大長径は21mmであった。北東10km以遠では、降灰量が急激に減少した。

4-7 11月14日噴火

11月14日の噴火は東に分布主軸を持ち東から東北東方向に降灰をもたらした (Fig. 2g)。分布幅が狭く、分布軸が数回屈曲している。主軸上の1m²あたりの降灰量は火口から約4kmの地点で約900g、約9kmの地点で約240gであり、火山礫の最大長径は約4.3km地点で75mmであった。1m²あたりの火山礫の重量とその最大粒径はともに9月1日噴火に次ぐものであった。火口からの距離が25km以遠でも降灰量はあまり減衰せず、東方約45kmの吉岡町や前橋市では35gを超える降灰が観察された。気象庁 (2004c) によると、この降灰は東北東から東100-130kmの栃木県の宇都宮市や真岡市などでも確認されている。9月1日、29日同様この噴火でも、火口から4km付近の分布南縁では火山礫が卓越し、細粒物をほとんど含まず、北側では火山灰が卓越する。

5. 堆積物の特徴

5-1 火口から4km付近での降灰の特徴

火山礫: 9月1日噴火の火山礫の構成物は暗灰色の緻密な安山岩質石質岩片が約90%を占めており (Fig. 3c)、そのほかに酸化した岩片や変質岩片、軽石及びパン皮状の外殻を持つ軽石を数%ずつ含む (Fig. 3d)。火山礫は半数以上が角礫であるが、円磨された岩片も含む。円磨された岩片の空隙は火山灰や変質物によって充填されている。軽石及びパン皮状の外殻を持つ軽石は緻密な石質岩塊と異なる化学組成を示し、その産状および化学組成

から本質物質であると考えられる (嶋野・他, 2005)。また5cmを超える緻密な石質岩片の中には、着地した地点の植生を焦がしているものも存在するが、その化学組成は1108年溶岩と類似しており、火口底付近にあった過去の噴出物が再加熱されて放出されたものであると推定されている (嶋野・他, 2005)。

9月23日以降の噴火の火山礫は扁平な形状をしたものが多く、黒色から暗灰色の斑晶質の安山岩角礫、黒色スコリアが大半を占め (80%以上)、赤色酸化した安山岩角礫 (10-15%) と灰色ないし白色の火砕堆積岩角礫 (数%) を含む (Fig. 3e)。さらに、軽石がごくわずかに認められる。黒色から暗灰色の安山岩角礫は新鮮な破断面によって囲まれている。灰色ないし白色の火砕堆積岩角礫の一部には、発泡しているものや黒色から暗灰色の安山岩角礫に包有されているものが認められる。

火山灰: 9月1日の火山灰は主に暗灰色の緻密な結晶質粒子、変質粒子、斜長石や輝石などの遊離した結晶から構成される (Fig. 3f)。発泡した無色のガラス質粒子が1%以下とごく少量含まれる。緻密な粒子の一部は火山礫と同様に空隙に変質物が充填されている。

9月14日及び15日の火山灰は9月1日の火山灰と同様の構成物からなり、変質粒子の量が減少する。ただし、9月15日には発泡度の悪い黒色のガラス質粒子をわずかに含むようになる。9月16日未明から17日夕方にかけての火山灰は新鮮なガラス光沢を持ち、主に、比較的良好に発泡した黒色から褐色のガラス質粒子 (以下、褐色ガラス質粒子) と、新鮮なガラスの付着した遊離結晶からなる (Fig. 3g)。17日夕方以降、褐色ガラス質粒子は減少し、発泡度も悪くなる傾向になる。

9月23日噴火以降の火山灰は再び主に暗灰色の緻密結晶質粒子と遊離結晶から構成され、少量のガラス質粒子を含む。無色ガラス質粒子は全噴火を通して数%以下含まれており、9月23日以降若干増加する。一方、褐色ガラス質粒子は、9月23日以降噴火ごとに減少する (Fig. 3h)。

9月15-18日噴火では噴火の進行とともに褐色ガラス質粒子の含有量が増加していること、および、16日には火口内に溶岩噴出が確認されていることから、褐色ガラス質粒子は本質物質であると判断できる。また、9月23日以降の噴火の緻密結晶質粒子は、10月1日の火口観測によって火口内溶岩の中央に噴出口が開いていることから考えて、今回噴出した溶岩の破片であると判断できる。一方、無色ガラス質粒子はガラス組成や石基鉱物組み合わせから考えて、白色火砕堆積岩に由来したと推定されている (嶋野・他, 2005)。

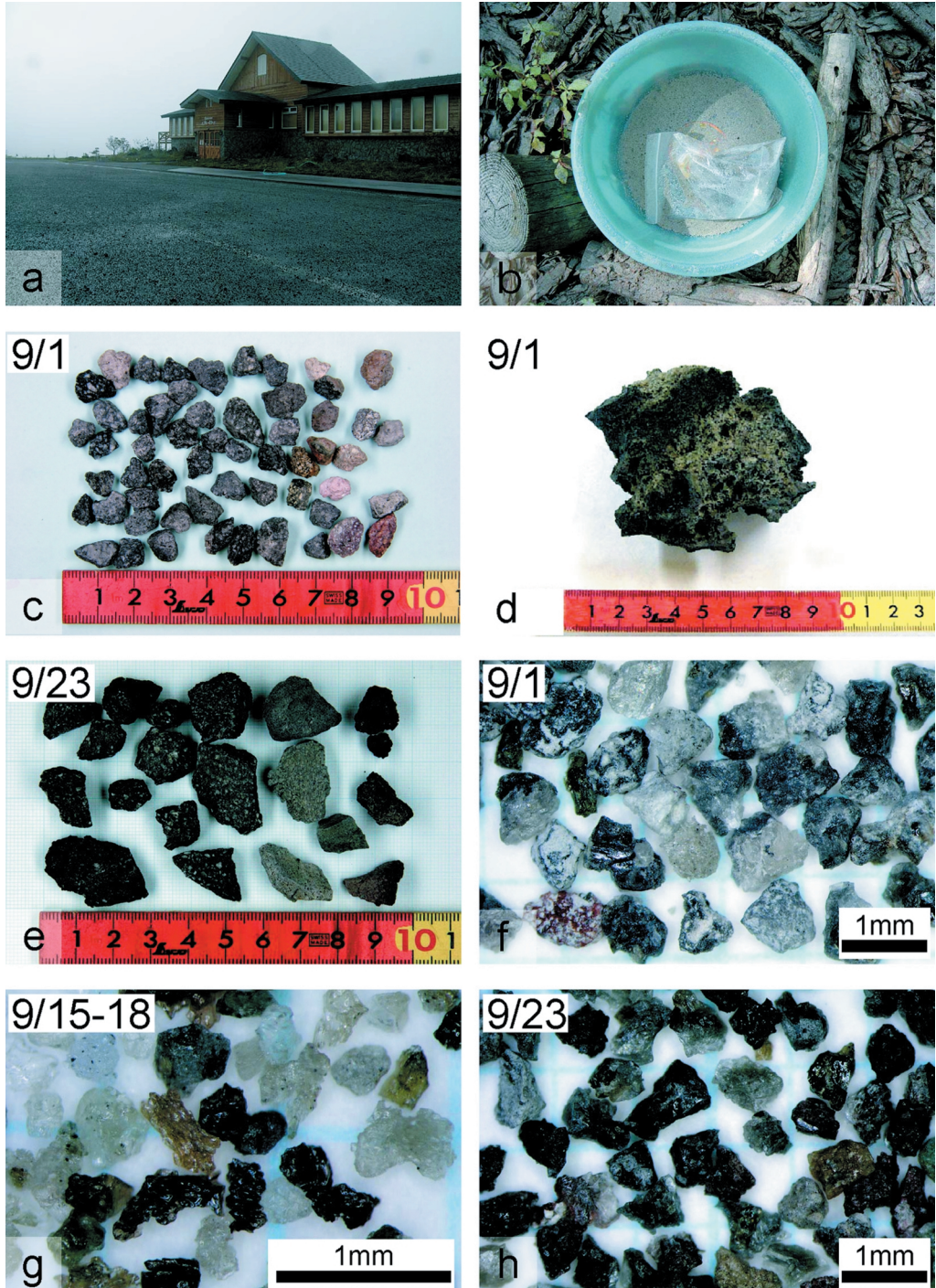


Fig. 3. Photographs of the products of the 2004 eruption. (a) Ash fall deposit erupted on 1 September at 4.1 km NE of Asama summit. (b) 20 g ash of 15–18 September explosions deposited in the ash sampler (31 cm in diameter), at 4.6 km N140°E from Asama summit. (c) Lapilli erupted on 1 September. (d) Juvenile pumice with bread crust erupted on 1 September. (e) Lapilli erupted on 23 September. (f) Ash erupted on 1 September. (g) Ash erupted on 15–18 September. (h) Ash erupted on 23 September.

5-2 火口近傍堆積物の特徴

9月13日の山頂周辺部調査では、9月1日噴火で放出された、インパクトクレーターを伴う火山岩塊が多数確認された。これらは噴火以前の山頂調査では確認されていなかった。火山岩塊には、パン皮状火山弾 (Fig. 4a)、軽石質 (Fig. 4b) から緻密なもの、および白色の変質火山岩塊が認められる。パン皮状火山弾は内部の発泡度の悪いものから比較的良いものまで様々あり、軽石質岩塊の一部にはパン皮状の殻を持つものを含む。これらの噴出物の多様性は山麓部に放出された9月1日の火山礫と同様である。確認された最大のものは、火口縁から約500 m 地点に着地した直径200 cm を超える軽石質岩塊である (Fig. 4b)。そのほか、南東約1.7 km の地点では直径200 cm の変質した火山岩塊、東南東約2 km の地点で直径30 cm のパン皮状火山弾、北東約3.7 km の地点で直径15 cm の類質岩塊を確認した。

山頂部周辺での降下火山灰層は非常に薄く、褐色の土壌化した粗粒火山灰層の上位に、層厚5 mm 以下の細粒火山灰層が存在する (Fig. 4c)。この細粒火山灰層は、北東側全域で最上位に確認されるため、今回の噴出物であると断定できる。北東側一部ではこれら新旧ふたつの火山灰層の間に、粒径2-20 mm の粗粒火山灰および火山礫からなる、土壌化していない、正級化構造を持つ層が観察できる。ただし、この粗粒火山灰層は局所的に存在するため、二次的に堆積した可能性が高いが、今回の噴火以前の噴火堆積物であると考えられる。

10月29日の調査では、火口の南側の地域に9月13日時点で観察できなかった数 cm の厚さの粗粒火山灰層と、その上位に火山礫や火山岩塊が点在しているのが確認された。また9月13日時点で観察された9月1日噴火の噴出物は、巨大なものを除いてその後の噴出物によって覆われたため観察することが困難であった。火山岩塊は調査を行った南東側から南西側にかけて広く分布する。これらの火山岩塊は9月1日に噴出した岩塊とは異なり、黒色から暗灰色を呈する緻密な安山岩岩塊である (Fig. 4d)。最大長径約150 cm の火山岩塊が火口縁上で確認された。これらの岩塊の一部には灰色から白色の火砕堆積岩の岩片が包有されていた (Fig. 4d)。

火口の南側では、9月中旬噴火の粗粒火山灰層が風化した火山灰層の上位に観察できる。その上位には9月23日以降の噴火の山麓部で観察される火山礫と同様の黒色緻密な角礫が堆積している (Fig. 4e)。この粗粒火山灰層は最下部の層厚約2 mm のやや淘汰の悪い層と上部の層厚約50 mm の淘汰のよい層からなる。上部の火山灰の粒径は約90% が5 mm 以下で、最大粒径は15 mm である。粗粒火山灰層上部は発泡した褐色ガラス質粒子、暗

灰色から黒色の緻密な粒子、変質した粒子、遊離結晶から構成されている (Fig. 4f)。遊離結晶を除くとほぼ半数を発泡した褐色ガラス質粒子が占める。下部の層は褐色ガラス質粒子をほとんど含まない。褐色ガラス質粒子の存在量から、下部の層は9月14-15日噴火、上部の層は16-18日の噴火の堆積物であると推定できる。粗粒火山灰層の上位に観察される火山岩塊および火山礫は、9月18日以降、現地調査を行った10月29日までの間に起きた噴火によってもたらされたものと考えられる。

6. 降灰量の見積り

降灰の等重量線図が作成できた9月1日、15-18日、23日、25日、29日、10月10日、11月14日噴火について、宝田・他 (2001) の方法を用いて降灰量の見積りを行った。この降灰量見積りには山頂付近の火山岩塊を含めていない。まず、各等重量線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、重量-面積図を作成した (Fig. 5)。重量-面積図上のデータをいくつかの区間に区切り、最小二乗法により直線で近似する。そして、各々の直線で区切られた範囲を積分することで各範囲の降灰量を算出し、これらを足し合わせた。

火口周辺の堆積物の層厚は、調査結果から9月1日噴火を5 mm、9月15-18日を50 mm とした。また他の噴火については、重量-面積図上で、火口に近い2、3点の値を外挿した。9月23日、29日、11月14日は共に2.5 mm、10月10日は0.5 mm となる。9月25日については、等重量線が1本しか描けなかったため10月10日と同じ火口での層厚を仮定した。火口近傍の火山灰の堆積密度はすべて1,000 kg/m³ と仮定した。また、火口内には火山灰が堆積していないものと仮定し、火口の領域1.6×10⁵ m² (直径450 m の円と仮定) を積分範囲から除いた。

我々は今回の一連の噴火において100-300 km 遠方での降灰調査を行っていない。報道などによる写真と降灰調査実施地域での降灰状況から予想される遠方部での降灰量は、重量-面積図上で、山麓周辺で得られた降灰量の減衰率を外挿して見積もられる量に比べて明らかに小さい。例えば、山形県、福島県、関東近郊などの遠方で確認された降灰は、0.1 g/m² より小さいと予想される。一方、降灰の確認された最も遠い地点を0.1 g/m² の分布限界とし、分布幅を降灰が観測された最大幅 (11月14日噴火: 30 km) より有意に大きい値50 km の楕円と仮定すると、等重量線の面積は9月1日、23日がそれぞれ1×10¹⁰ m²、11月14日が5×10⁹ m² と見積もられる。また9月15-18日噴火では関東周辺に降灰をもたらしたが、分布面積を大きく見積もっても1.5×10¹⁰ m² 程度と考えら

れる。今回作成した重量-面積図 (Fig. 5) に基づいて火口から 4-50 km のデータを遠方部へと外挿すると 9 月 1 日, 15-18 日, 11 月 14 日では上で推定した 0.1 g/m^2 の分布限界における単位面積あたりの重量は, それぞれ, 0.3 g/m^2 , 1.3 g/m^2 , 6.4 g/m^2 と算出される。また, 9 月 29 日は 9 月 1 日や 23 日のように遠方部で降灰が確認されていないが, 重量-面積図から外挿すると 9 月 1 日と同じ $1 \times 10^{10} \text{ m}^2$ 範囲で 1.5 g/m^2 の降灰があったこととなる。以上

のことから, 重量-面積図を外挿して遠方部の降灰量を見積もると過剰に見積もられることは明らかである。現時点では面積が $1 \times 10^8 \text{ m}^2$ となる場所から最遠方確認地点までのどの地点で降灰量の減衰傾向が変化するかは明らかでなく, また, 遠方部での単位面積あたりの正確な重量も不明である。そこで本論文では $1 \times 10^9 \text{ m}^2$ までは単位面積あたりの降灰量の減衰傾向が保たれていると仮定して, $1 \times 10^9 \text{ m}^2$ の範囲に限って堆積した降灰量を見積

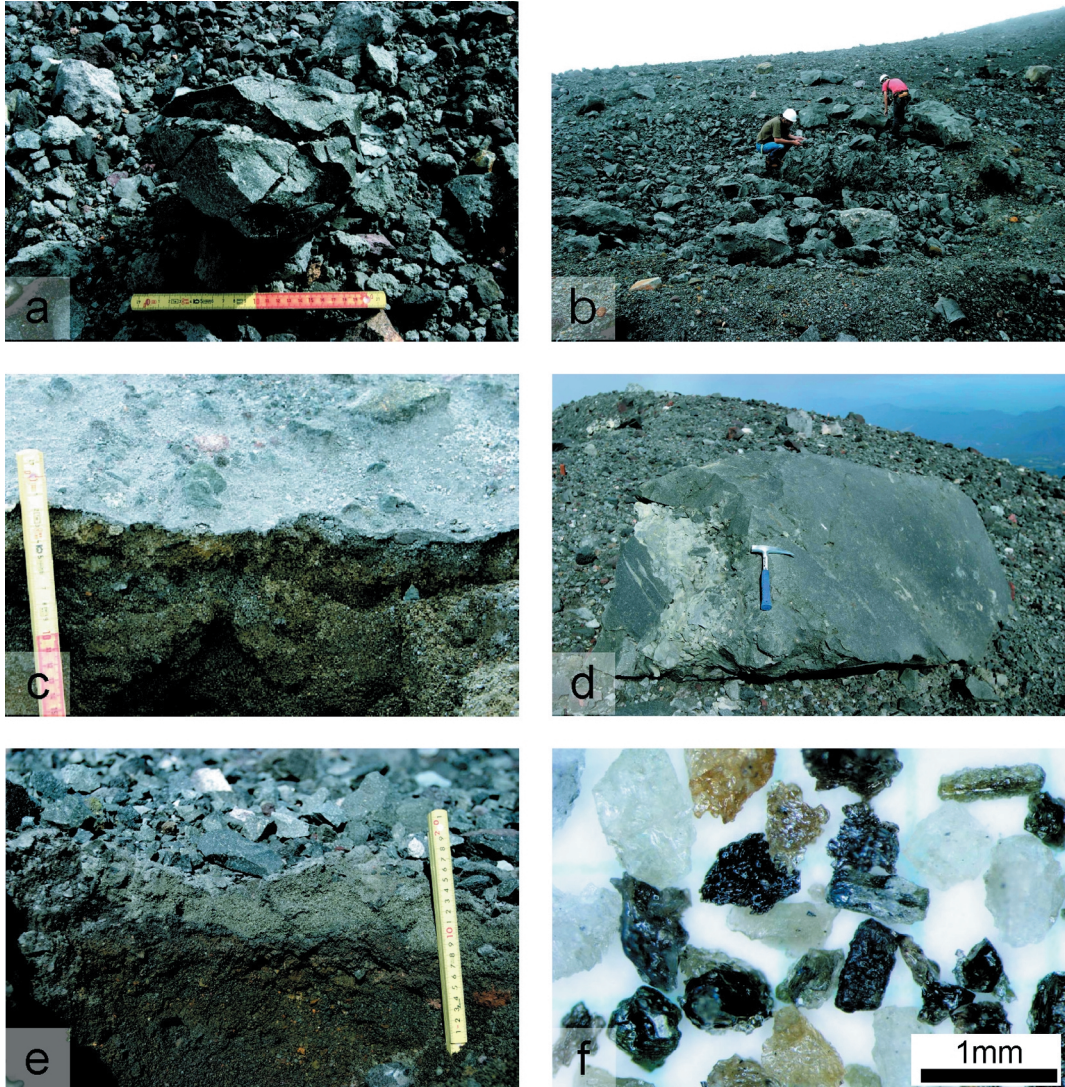


Fig. 4. Photographs of the proximal deposit of the 2004 eruption. (a) Bread crust bomb, (b) pumiceous block 500 m from the crater, and (c) ash fall deposit on the northern rim of the crater were taken on 13 September. (d) Dense block with xenolith of volcanic sediment, and (e) ash fall deposit of the 14-18 September explosions on the southern rim of the crater were taken on 29 October. (f) Ash sampled from on southern rim of the crater.

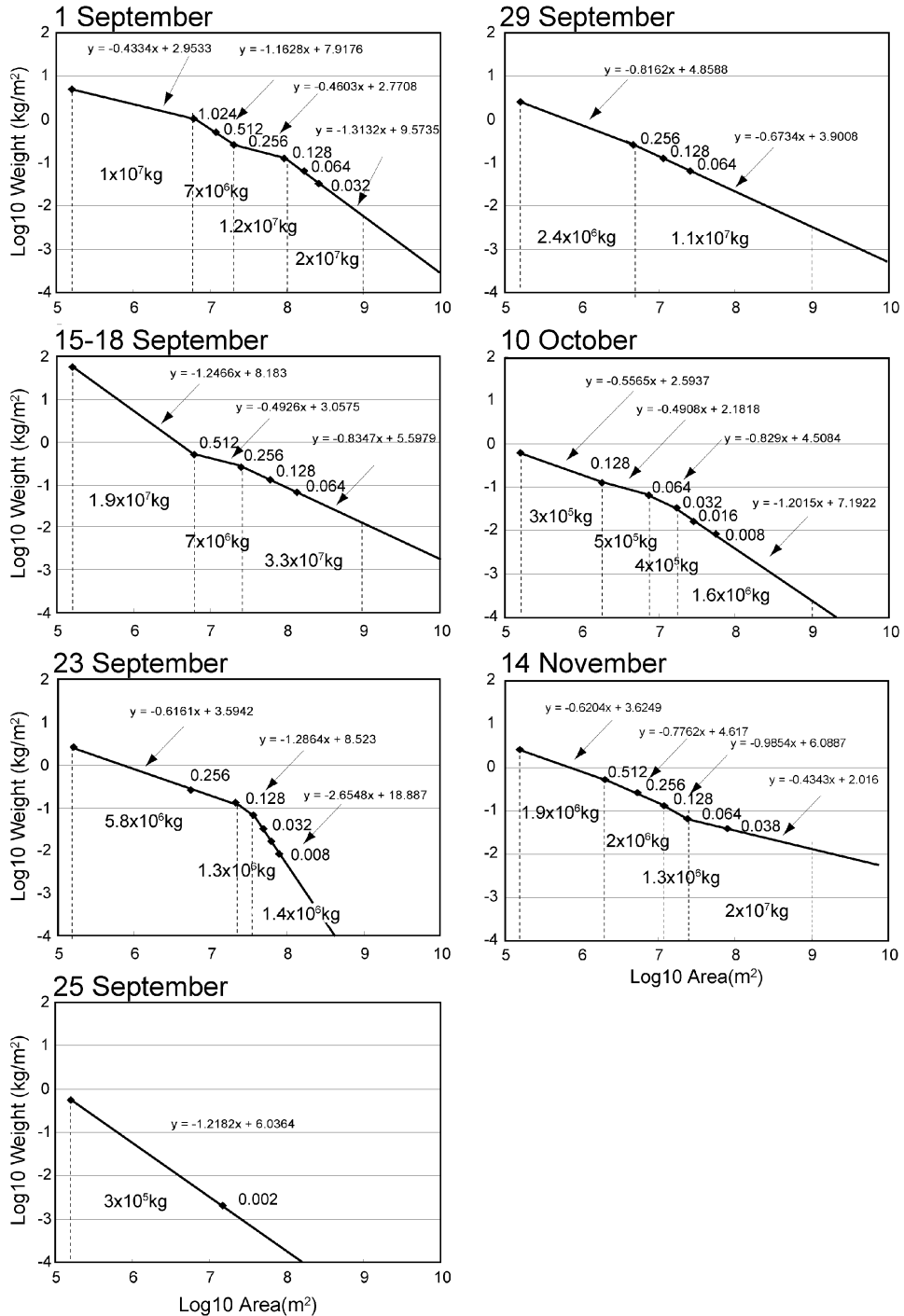


Fig. 5. Relationship between area (m²) and weight (g/m²) of ash fall deposits for the 2004 eruption. Weights were calculated by integration of the regression lines in each segment. Thicknesses of ash fall deposits near the source area were estimated as 5, 50, 2.5, 0.5, 2.5, 0.5 and 2.5 mm on 1, 15-18, 23, 25, and 29 September, 10 October, and 14 November, respectively. Amounts of ashes were calculated in the range of 1.6 × 10⁵ m² to 1 × 10⁹ m² for avoiding overestimation due to the uncertainties at both of proximal and distal areas.

ることとした。すなわちこの見積もりは、 $1 \times 10^9 \text{ m}^2$ までの範囲を超えて堆積したことが明らかな9月1日、15-18日、23日、11月14日では、降灰の総量を見積もっていることにならない点に注意してほしい。

計算の結果、 $1 \times 10^9 \text{ m}^2$ 範囲に堆積した降灰量は、9月1日噴火が $4.9 \times 10^7 \text{ kg}$ 、9月15-18日の断続噴火が $5.9 \times 10^7 \text{ kg}$ 、9月23日噴火が $8.5 \times 10^6 \text{ kg}$ 、25日噴火が $3 \times 10^5 \text{ kg}$ 、29日噴火が $1.3 \times 10^7 \text{ kg}$ 、10月10日噴火が $2.8 \times 10^6 \text{ kg}$ 、11月14日噴火が $2.5 \times 10^7 \text{ kg}$ とそれぞれ見積もられた。今回の2004年噴火で火山灰として放出された量は $1.6 \times 10^8 \text{ kg}$ 以上である。

Fig. 6に各噴火の $1 \times 10^9 \text{ m}^2$ 範囲に堆積した降灰量と噴火間隔、火口から約4km地点の火山礫の最大粒径、空振の関係を示す。降灰量と降灰が確認された噴火の噴火間隔に明瞭な関係は見られないが、降灰量の大きいものほど、噴火間隔が長い傾向がある(Fig. 6a)。また火山礫の到達距離は噴煙柱高度や風速によって影響を受けることが予想されるが、今回の噴火では火口から約4km地点の火山礫の最大粒径と降灰量はほぼ正の相関を持つ(Fig. 6b)。軽井沢測候所および浅間火山観測所で記録された空振は9月23日の噴火を除いて降灰量とよい相関を持つ(Fig. 6c)。

7. 考 察

7-1 降灰の分布特性

9月1日、23日、29日、10月10日、11月14日の降灰分布は東ないし南側で等層厚線が密になり、西ないし北側で薄く広がる傾向を示す(Fig. 2)。9月1日、29日、11月14日では火山灰と火山礫の分布が異なり、東ないし南側で火山礫が卓越し、西ないし北側で火山灰が卓越する。これらは地上付近の風向が上層の風に比べ西ないし北側に偏ったため、風の影響の受けにくい火山礫は上空の風を反映した分布を示し、火山灰は地上付近の風の影響を受けている可能性が高い。またほとんどの噴火で認められる分布主軸の屈曲は、屈曲部の外側で等層厚線が密になっていないことから、上層の風向の変化によるものと考えられる。

Fig. 7に各噴火における降灰主軸上の 1 m^2 あたりの降灰量と山頂火口からの距離の関係を示す。ただし15-18日の噴火に関しては降灰軸が2本観察されるので南南東軸と東南東軸を区別してプロットした。Fig. 7中において10km付近までは、9月23日の噴火を除くすべての噴火で降灰量が距離に対して同じような傾きで減少する。9月15-18日、10月10日の噴火では10km以遠でも同様な傾向が続く、それに対し9月1日、9月29日、11月14日の噴火では10km付近から減少の傾向に変化が見られ

る。特に11月14日は20-40km付近でもほとんど減少しておらず、この減少傾向が続くと仮定すると給源から150kmの地点に火山灰が 1 m^2 あたり数g堆積することになる。浅間山から150km地点には栃木県真岡市があるが、11月14日の噴火でここに降った火山灰の重量は 0.1 g/m^2 以下であると推定される。そのため、40-150kmまでの間に降灰量の距離に対する減衰率に変化があったと考えられる。11月14日のような細長く伸びる分布は風速が強いときに生じることが知られており(Suzuki, 1983)。このような強風下での噴火では、火口から十数から数十kmの間付近で風速が何らかの原因で変化し、火山灰の効率的な運搬が生じた可能性が考えられる。

7-2 降灰分布からみた噴火の規模

火口からある距離における 1 m^2 あたりの降灰量、ある等重量線に囲まれる面積、および特定の粒径の火山礫の到達距離は、風の影響によって変化するため個々を別々に比較しただけでは相対的な噴出量の規模の比較ができない。そこで、火口から4-5km付近における 1 m^2 あたりの降灰量、特定の等重量線に囲まれる面積、および火山礫の到達距離を総合的に比較すると、2004年噴火ではいずれの項目も9月1日が最大で、ついで11月14日となる(Table 1)。9月23日と9月29日は、火口から4-5km付近における 1 m^2 あたりの降灰量が同程度で、23日は到達距離が大きいものの、 32 g/m^2 の等重量線の囲む面積が小さい。9月25日はいずれの項目も最小である。9月15-18日は、無数の噴火の集合体であるため単純には比較できないが、その分布面積の広さおよび火口周辺の層厚からこの期間の降灰量は9月1日と同等以上であると推定できる。すなわち2004年噴火の規模は9月1日と15-18日が最も大きく、次いで11月14日、9月23日ないし29日、10月10日、9月25日という順に小さくなる。これらは $1 \times 10^9 \text{ m}^2$ 範囲に堆積した降灰量の見積もりと調和的である。このようにいくつかの観測量を組み合わせることによって、より厳密に噴火の規模を比較することができる。

次に過去の噴火とこのように求めた噴火の規模との比較をおこなう。1983年4月26日の噴火では、火口から12kmの軽井沢周辺で約 200 g/m^2 の降灰を観測し、東京都や千葉県などに降灰をもたらした(荒牧・他, 1983)。この噴火は、降灰範囲や単位面積あたりの降灰量から9月1日や9月15-18日噴火と同程度の規模の噴火であったと推定できる。また1973年2月1日、3月10日噴火は火口から4km地点で約 $3,000 \text{ g/m}^2$ の降灰が観測されており(下鶴・他, 1975)、9月1日の噴火に比べ規模が倍程度大きかったと考えられる。またMinakami (1935)は1930年代以降の噴火について、噴出量でなく、火山弾

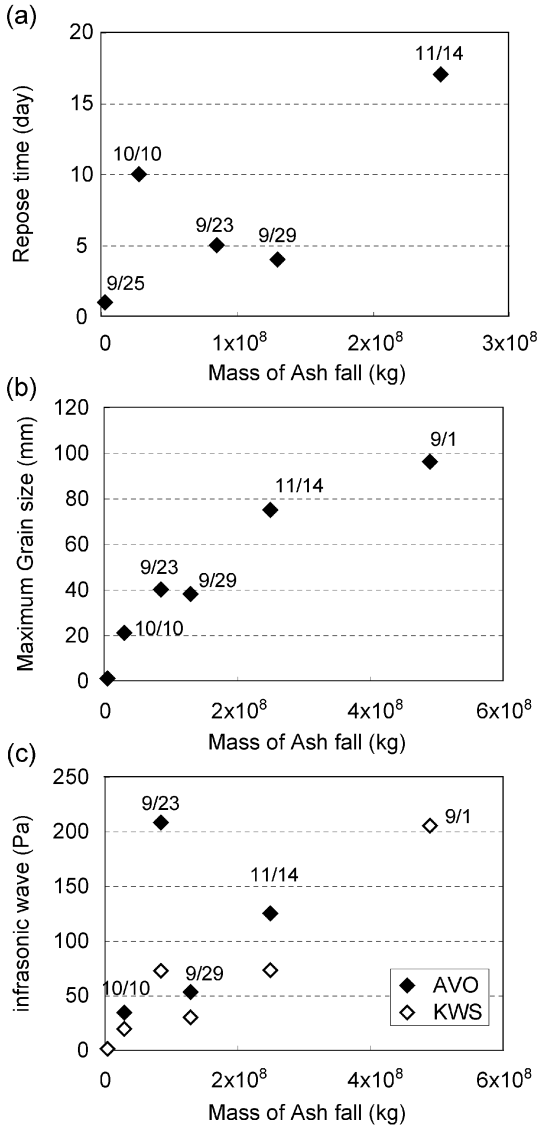


Fig. 6. Relationships between mass of ash fall deposit and (a) repose intervals of the 2004 explosions, (b) maximum grain size at c.a. 4 km from the vent, and (c) amplitude of an infrasonic wave at Asama Volcano Observatory (AVO, Ohminato *et al.*, 2005) and Karuizawa Weather Station (KWS, JMA, 2004a, b, c), respectively.

の到達距離、空振の有無及び空振による被害状況、火山灰の到達範囲から噴火の規模を A-D に分類した。宮崎 (2003) はおおむね Minakami (1935) の分類を基に大、中、小噴火に分類している。これらの分類に当てはめると今回の噴火で最も大きかった 9 月 1 日の噴火は各々の

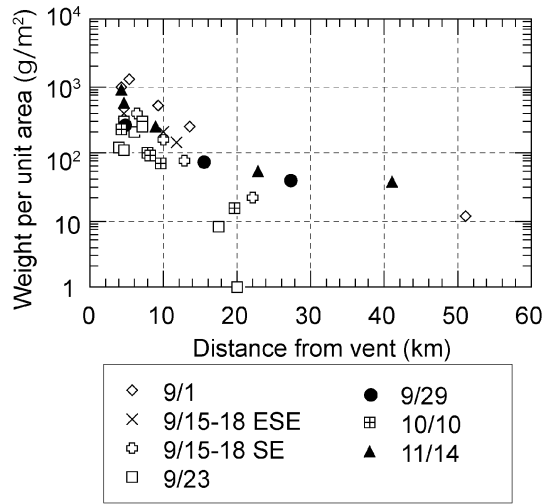


Fig. 7. Plots of log weight per unit area against the distance from the vent along the principal axis of the ash fall deposit for each Asama 2004 eruption.

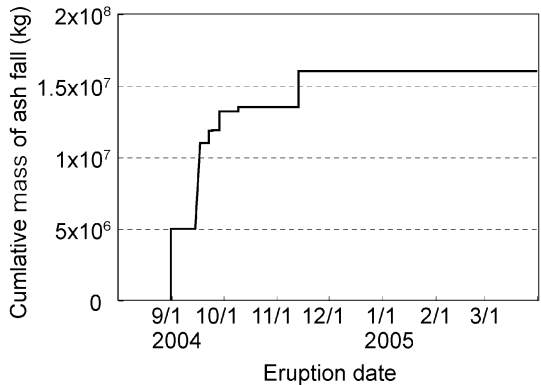


Fig. 8. Diagram showing the cumulative mass of ash fall during the period of Asama 2004 eruption.

分類の B および中噴火に相当すると考えられる。

7-3 降灰量の時間推移と噴火の推移

累積降灰量の時間推移を Fig. 8 に示す。2004 年の噴火活動では、はじめの 2 噴火 (9 月 1 日、15-18 日) で降灰量が多く、その後の噴火では降灰量が徐々に減少していく。9 月 1 日の噴出物のほとんどが類質岩片で、それ以降の噴出物のほとんどが本質物質であったことを考慮すると、マグマ物質自体の放出量は 9 月 15-18 日で最も高かったと考えられる。さらに 16 日未明から 17 日夕方の噴火で本質粒子の含有率が多く、最も発泡しているこ

と、および18日以降、発泡粒子が激減し、本質物質が緻密な結晶質粒子に移化することを考慮すると、15-18日の一連の噴火の中でも16日未明から17日夕方にかけて火口へのマグマ供給量が多く、活発に噴火が起こったと考えられる。その後はマグマの供給が低下し、火口溶岩の冷却が進み始めていたものと推定される。また23日以降はマグマの供給はほとんど起こっていなかったものと考えられる。

中田・他(2005)の見積もりによると、火口内に噴出した溶岩の量は $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ であり、そのほとんどは18日までに火口内に噴出したものと推定している。溶岩の密度を $2,500 \text{ kg/m}^3$ とするとその量は $5 \times 10^9 \text{ kg}$ となる。つまり、15-18日の噴火では供給された溶岩の100分の1程度が火山灰として放出されたと見積もられる。さらに2004年噴火全体を通してみると、供給された溶岩の50分の1程度しか火山灰として放出してされていないことが分かる。また、10月1日時点の噴出口が直径約70m高さ約40mであることから、この部分が9月下旬に噴き飛ばされたものとする、底面の直径を35m、密度 $2,500 \text{ kg/m}^3$ と仮定すると、欠損した溶岩の総量は約 $2 \times 10^8 \text{ kg}$ となる。9月23, 25, 29日噴火の降灰量の和は $2.2 \times 10^7 \text{ kg}$ と見積もられたことから、火山灰として降灰した量は放出量(欠損量)の10分の1程度であるため、欠損量がそのまま9月下旬に起きた噴火の放出量だとすると、残りの溶岩は火口周辺に放出岩塊としてもたらされたものと考えられる。

7-4 火口近傍層と噴火現象

北海道駒ヶ岳1996-2000年噴火(広瀬・他, 2002; 中川・他, 2001; 宇井・他, 1997a, b)や有珠2000年噴火(宝田・他, 2001, 2002)などの水蒸気噴火やマグマ水蒸気噴火では、火口近傍の層厚が山麓部や遠方部から外挿して求めたものより厚いことが報告されている。たとえば、有珠山2000年3月31日噴火では降灰量約 $2.2 \times 10^8 \text{ kg}$ に対し実際の火口近傍層は約100cm、4月1日噴火では降灰量約 $5 \times 10^7 \text{ kg}$ に対し火口近傍層は約50cm、北海道駒ヶ岳1996年3月6日噴火では降灰量約 $12 \times 10^8 \text{ kg}$ に対し火口近傍層は約85cmである。このように北海道駒ヶ岳や有珠山の噴出物に認められた火口近傍における層厚の増大は、上昇途中の噴煙から離脱した火山灰の降下やそれらによって発生したと考えられる火砕サージの堆積によるものと考えられる。実際に有珠山2000年噴火では上昇中の噴煙の途中から火山灰が降下している様子や火砕サージの発生が観察されている(宇井・他, 2002)。これに対し、今回の浅間山2004年噴火では、火口近傍で火砕サージおよび火砕流堆積物は確認できなかった。また、単一の噴火としてもっとも降灰量の大きかっ

た9月1日噴火でも、降灰量 $5 \times 10^7 \text{ kg}$ で火口近傍での層厚は0.5cm以下と山麓部から予想される降灰(層厚約7cm)に比べ遙かに薄い(Fig. 5)。つまり、浅間山2004年噴火のブルカノ式噴火では、同程度の降灰量の水蒸気噴火やマグマ水蒸気噴火にみられるような火口近傍での大量の噴出物の堆積はなく、火口近傍にほとんど降下堆積物を残さないという特徴が見られる。このことは、火山弾などの投出岩塊を除く火砕物のほぼすべての粒子が上昇中の噴煙から離脱することなく上空まで運ばれたのち、風で運ばれながら降下した可能性を示している。

8. まとめ

浅間山2004年噴火において、比較的規模の大きい6つの噴火とごく小規模な1つの噴火に対しての降灰調査と山頂周辺部での噴出物調査を行った。2004年噴火降下火山灰は結晶質粒子、黒色から褐色および無色のガラス質粒子、変質粒子、遊離結晶から構成されており、噴火によってその相対的な量が異なる。噴火の推移との比較から褐色ガラス質粒子および9月23日以降の噴火の緻密結晶質粒子は本質物質であると判断した。火口近傍では9月1日、15-18日噴火の降下火山灰の火口近傍層を識別し、それぞれの層厚は5mm, 50mmであった。浅間山2004年のブルカノ式噴火では、近年観測されているマグマ水蒸気噴火や水蒸気噴火と異なり、火口近傍に火山灰をほとんど降下させなかったことが明らかとなった。

降灰調査結果をもとに分布図を作成し、 $1 \times 10^9 \text{ m}^2$ 範囲に堆積した降灰量を見積もった。その結果、9月1日噴火は $4.9 \times 10^7 \text{ kg}$ 、15-18日の断続噴火は $5.9 \times 10^7 \text{ kg}$ 、23日噴火は $8.5 \times 10^6 \text{ kg}$ 、25日噴火は $3 \times 10^6 \text{ kg}$ 、29日噴火は $1.3 \times 10^7 \text{ kg}$ 、10月10日噴火は $2.8 \times 10^6 \text{ kg}$ 、11月14日噴火は $2.5 \times 10^7 \text{ kg}$ と見積もられた。降灰分布は主として上空の風向、風速の変化を反映したと考えられる粒子の分級や分布の屈曲が観察された。また分布遠方における火口からの距離に対する降灰量の減衰傾向は噴火ごとに異なり、特に11月14日噴火では十数-数十kmの範囲で火山灰が効率よく運ばれている。2004年噴火においては1回の火山灰放出量としては9月1日噴火が最も大きく、マグマ放出量としては15-18日の特に16-17日が多かったといえる。2004年噴火によってもたらされた降灰の総量は $1.6 \times 10^8 \text{ kg}$ 以上であり、これは山頂火口に供給された溶岩の約50分の1の量に当たる。また9月18日以降10月1日までのブルカノ式噴火では、噴火によって放出された噴出物のうち、1割程度が火山灰として遠方に運ばれ、9割程度が火口近傍に火山岩塊として放出された。

謝 辞

軽井沢測候所の上田義浩、飯島 聖両氏をはじめとして測候所職員の方々に噴火毎に情報をいただいたことにより、噴火後迅速な降灰調査を行うことができた。鬼押出し園、中尾眞氏、長野原町役場、嬭恋村役場には降灰観測点設置場所を提供していただくとともに噴火時状況などの情報をいただいた。また藤井敏嗣教授をはじめとする東京大学地震研究所の火山噴火予知推進センターのスタッフの方々、安田敦助教授、産業技術研究所、東京工業大学火山流体センターの方々、東京大学名誉教授荒牧重雄氏、信州大学三宅康幸教授、アジア航測の千葉達郎氏には噴出物や噴火現象に関する様々な議論をしていただいた。非常勤技術補佐員の小森和子さん、北沢園子さん、中西香苗さんには火山灰の処理やデータ整理を手伝っていただいた。Thomas L. Wright 博士には英文の不備を指摘していただいた。また、編集担当の小林哲夫博士、匿名の査読者および大野希一博士には多くの建設的なご意見をいただいた。以上の方々に深く感謝いたします。なお本研究では文部科学省科学研究費補助金特別研究促進費「2004年浅間山火山の噴火に関する総合的調査」(代表者: 中田節也, 課題番号 1680002) を使用した。

引用文献

- 青木陽介・渡辺秀文・小山悦郎・及川 純・森田裕一 (2005) 2004-2005年浅間山火山活動に伴う地殻変動。火山, 50, 575-584.
- 荒牧重雄・早川由紀夫 (1982) 1982年4月26日浅間山噴火に伴う火山灰降下。火山, 27, 203-216.
- 荒牧重雄・早川由紀夫・浅間山観測所 (1983) 1983年4月8日浅間山噴火の降灰調査。火山噴火予知連絡会会報, 28, 23-25.
- 広瀬 亘・岡崎紀俊・石丸 聡・志賀 透・松山輝雄・宝田晋治・吉田真理夫・吉本充宏・中川光弘 (2002) 北海道駒ヶ岳 1998年10月25日の噴火。北海道立地質研究所報告, 73, 143-150.
- 気象庁 (2004a) 特集1. 浅間山 2004年噴火の概要。平成16年9月 地震・火山月報 (防災編), 33-39.
- 気象庁 (2004b) 日本の主な火山活動。平成16年10月 地震・火山月報 (防災編), 27-35.
- 気象庁 (2004c) 日本の主な火山活動。平成16年11月 地震・火山月報 (防災編), 38-44.
- 気象庁 (2004d) 日本の主な火山活動。平成16年12月 地震・火山月報 (防災編), 94-113.
- 宮崎 務 (2003) 浅間山活動記録の再調査。震研彙報, 78, 283-463.
- Minakami, T. (1935) The explosive activities of volcano Asama in 1935 (Part 1.). *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 13, 629-644.
- Minakami, T. (1942) On the distribution of volcanic ejecta (Part 1.). The distribution of volcanic bombs ejected by the recent explosions of Asama. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 20, 62-92.
- 中田節也・吉本充宏・小山悦郎・辻 浩・卜部 卓 (2005) 浅間山 2004年噴火と過去の噴火との比較による活動評価。火山, 50, 303-313.
- 中川光弘・野上健治・石塚吉浩・吉本充宏・高橋 良・石井英一・江草匡倫・宮村淳一・志賀 透・岡崎紀俊・石丸 聡 (2001) 北海道駒ヶ岳, 2000年の小噴火とその意義: 噴出物と火山灰付着性成分の時間変化から見たマグマの活動活発化の証拠。火山, 46, 295-304.
- 大木章一・矢来博司・村上 亮・宮脇正典 (2004) 航空機 SAR で捉えた浅間山火口底のマグマ。日本火山学会講演予稿集 2004年度秋季大会, 183.
- 大湊隆雄・武尾 実・及川 純・熊谷博之・山品匡史・小山悦郎・辻 浩・卜部 卓 (2005) 2004年浅間山噴火に伴う爆発地震の解析。文部科学省科学研究費補助金特別研究促進費「2004年浅間山火山の噴火に関する総合的調査」(代表者: 中田節也, 課題番号 1680002) 報告書, 21-24.
- 嶋野岳人・飯田晃子・吉本充宏・安田 敦・中田節也 (2005) 浅間山 2004年噴火噴出物の岩石学的検討。火山, 50, 315-332.
- 下鶴大輔・内堀真雄・行田紀也・小山悦郎・宮崎 努・松本時子・長田 昇・寺尾弘子 (1975) 1973年の浅間山噴火活動について。震研彙報, 50, 115-151.
- Suzuki, T. (1983) A theoretical model for dispersion of tephra. In *Arc volcanism: Physics and Tectonics* (Shimozuru, D. and Yokoyama, I. eds), 95-113. TERRAPUB, Tokyo.
- 宝田晋治・吉本充宏・北川淳一・平賀正人・山元孝広・川辺禎久・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・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 (2001) 有珠山 2000年噴火の降灰と火口近傍の状況。地調研報, 52, 167-179.
- 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) 有珠山 2000年噴火の火口近傍堆積物。火山, 47, 645-661.
- 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 (2002) 有珠山 200年噴火の推移。火山, 47, 105-117.

(編集担当 小林哲夫)