

霧島火山新燃岳 2011 年 3 月～2012 年 2 月の降灰量調査：  
即時的降灰量推定の子察的検討

西来邦章\*・及川輝樹\*・古川竜太\*・大石雅之\*・中野 俊\*・宮城磯治\*

(2012 年 3 月 13 日受付, 2013 年 3 月 12 日受理)

Amounts of Tephra Fall Deposits from Shinmoedake Volcano, Kirishima Volcanoes,  
during March 2011-February 2012:

A Preliminary Study for Immediate Estimation of the Eruptive Mass

Kuniaki NISHIKI\*, Teruki OIKAWA\*, Ryuta FURUKAWA\*, Masayuki OISHI\*,  
Shun NAKANO\* and Isoji MIYAGI\*

Since even small amounts of tephra fall can have a significant negative impact on infrastructure, a rapid estimate of the eruptive mass of magma, which is one of the most important indicators of the scale of eruption, is required. Shinmoedake volcano, part of the Kirishima volcanoes, Japan, began erupting on 19 January 2011 after a dormant period of 300 years. Sub-plinian eruptions occurred on 26-27 January, followed by vulcanian eruptions and eruptions of ash fall thereafter. Here, we report the results of a preliminary study that sought to estimate the eruptive mass and the distribution of ash fall based on observations of tephra fall within 2 weeks of an eruption at Shinmoedake. In cooperation with municipal authorities, we observed temporal changes in the amounts of ash erupted during volcanic activity at Shinmoedake volcano from 24 February 2011 to 29 February 2012. Observations were made at 35 sites in five municipalities (Miyakonojo City, Takaharu Town, Kirishima City, Kobayashi City, and Ebino City). The observations enabled estimates of the eruptive masses of ash from seven eruptive events. The eruptive masses are between  $1 \times 10^6$  kg and  $2 \times 10^8$  kg, with the largest being the eruption of 13 March 2011. We found positive correlations between (1) the eruptive mass and the height of volcanic cloud determined by radar echo and between (2) the eruptive mass and the height of cloud that reported by the Japan Meteorological Agency. The former correlation is consistent with a relatively well-known geophysical relationship between the maximum height of a convection current and the amount of thermal output pulse. The empirical correlation may allow us to easily and rapidly estimate the eruptive mass from the observed height of the volcanic cloud top.

**Key words:** Shinmoedake volcano, Kirishima volcanoes, tephra fall deposit, estimation of the eruptive mass, 2011 eruption

## 1. はじめに

マグマ噴出量は、噴火の規模を示す重要な指標であるため、噴火直後に迅速に求める必要がある。特に降下火砕物は、比較的小さな噴火でも条件しだいで遠方まで飛散するため、各種交通機関や道路交通のほか、農業などへの影響が広範囲にわたる。そのため、迅速に噴火時の降灰量と分布を集約することは、火山学的のみならず、噴火災害を軽減する観点からも重要である。しかし、小

～中規模噴火の降下火砕物は、遠隔地では堆積物として残りにくい程度の量であることが多い。そのため、噴火直後の調査でないと、詳細を明らかにすることが難しい。

宮崎県・鹿児島県境に位置する霧島火山の新燃岳（標高 1421 m, Fig. 1）では 2011 年 1 月 19 日の小規模噴火以降、1 月 26～27 日には噴煙到達高度が海拔 7000 m を超える準プリニー式噴火が発生し、1 月 27 日には火口内に蓄積された溶岩が確認された（福岡管区気象台・鹿児島

\* 〒305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1 中央第 7  
産業技術総合研究所 地質調査総合センター  
AIST, Geological Survey of Japan, Tsukuba Central 7,  
1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki, 305-8567, Japan

Corresponding author: Kuniaki Nishiki  
e-mail: k-nishiki@aist.go.jp

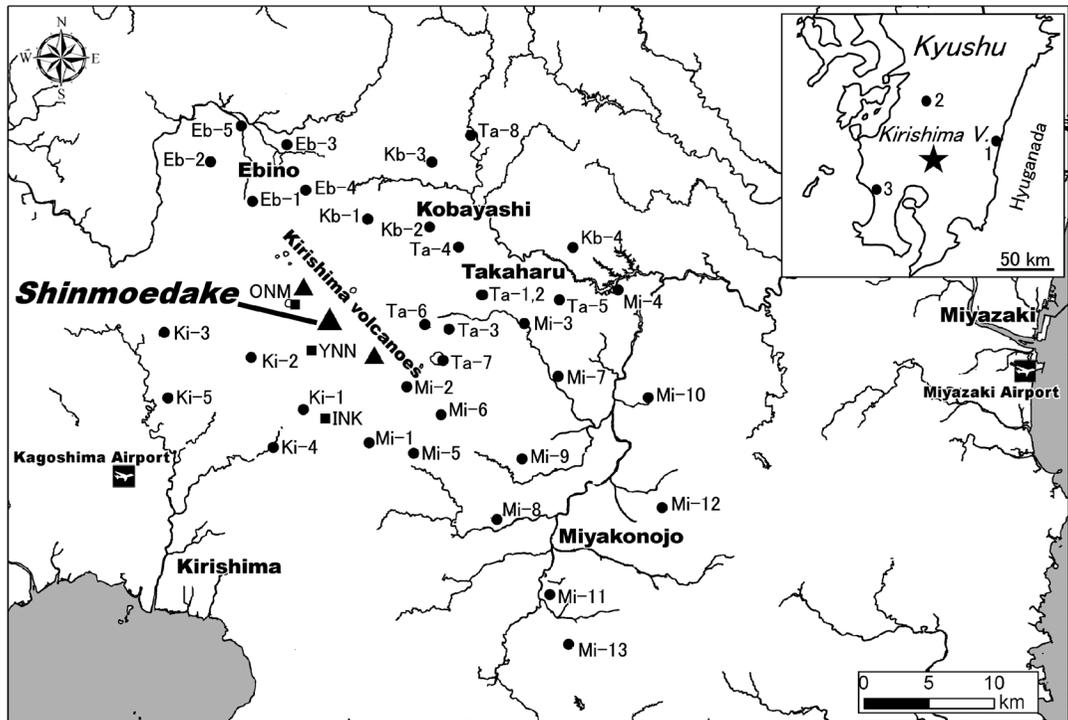


Fig. 1. Location of Shinmoedake volcano in Kirishima volcanoes, and observation sites of tephra fall deposits. 1: Shintomi town, Miyazaki Prefecture, 2: Itsuki village, Kumamoto Prefecture, 3: Higashi-ichiki town, Kagoshima Prefecture.

地方気象台, 2011a; 古川・他, 2011a など)。その後、爆発的噴火と小規模な噴火を繰り返し、2012年3月現在も注視すべき状態が続いている。産業技術総合研究所地質調査総合センターでは、噴火の推移を正確に把握し、中長期的な活動予測に資するため、霧島ジオパーク推進連絡協議会に協力を依頼して、5つの地元自治体（宮崎県都城市・高原町・小林市・えびの市、鹿児島県霧島市）と連携し、降灰量の定点観測を行った。

降灰量の観測方法として、自動降灰量計などの専用機器を設置して自動計測を行う方法（古川・他, 2011b; 田島・他, 2011 など）、現地にて直接、降灰量の観測・計測を行う方法（吉本・他, 2005 など）の大きく2つの観測方法がある。前者は、噴火中に人が近づけない地域での観測も可能であるが、機器の設置・運用までに時間がかかることや、降灰の検知限界や定量性などに改良の余地が多い。一方、後者は、安全性の問題で活動中の火山の火口近傍の調査が行えないなど調査地域に制限があるものの、層厚や重量を直接計測でき、試料の入手、構成粒子や層相の観察も容易である。本報告では、2011年2月<sup>1</sup> 気象庁の定義による、爆発地震を伴い、空振計で一定基準以上の空振が観測された噴火、

24日の観測開始から2012年2月末までの1年間の、現地で直接採取した試料と聞き取り調査などの噴火に関する現地情報を基に等重量線図を作成し、降灰量を求めた。その結果、6回の噴火継続時間の短い単発的な噴火（いわゆるブルカノ式噴火）および1回の噴火継続時間が長い連続した降灰を行う噴火について個別に降灰量を求めることができた。うち、6回の単発の噴火（ブルカノ式噴火）による降灰量には、噴煙到達高度と正の相関が認められた。このことは、噴火のパターンや規模が類似するブルカノ式噴火において正確な噴煙到達高度が判明すれば、迅速かつ簡便に降灰量が見積もられることが示唆されるので、ここに報告する。

## 2. 観測期間中の新燃岳の火山活動

### 2-1 活動の推移

観測期間中（2011.2.24～2012.2.29）の新燃岳の活動は、顕著な爆発を伴うブルカノ式噴火あるいは顕著な爆発を伴わないが火山灰を放出するごく小規模から小規模の噴火（福岡管区気象台・鹿児島地方気象台 2011c, d, e, f, g）で、少なくとも20回の噴火が発生した（Table 1）。新燃岳では、1月26～27日の準プリニー式噴火以降、2月中

Table 1. List of volcanic activity of Shinmoedake volcano (2011.2.28–2012.2.29). Data of timing of eruption, height of volcanic cloud above the crater and direction are after Fukuoka district meteorological observatory and Kagoshima local meteorological observatory (2011a, b, c, d, e, f, and g). Data of height of eruption cloud echo is after Shimbori and Fukui (2012a,b).

Timing of eruption time	d	m	y	Height of volcanic cloud <sup>a</sup>			Duration (minute)	Direction	Eruptive mass <sup>b</sup> (kg)	Remarks
				above the crater <sup>1</sup> (m)	volcanic ash advisories <sup>2</sup> (m)	eruption cloud echo <sup>3</sup> (m)				
3:38	24	Feb.	2011	600				N		not explosive
7:33	28	Feb.	2011	n.d.		2200		n.d.	2×10 <sup>7</sup>	not explosive
17:08	28	Feb.	2011	300				n.d.		continuous very minor eruption
19:23	1	Mar.	2011	not clear				n.d.		explosive eruption (No.13)
15:15	3	Mar.	2011	1500				SE		low eruption column
2:50	8	Mar.	2011	1000	1000	3200	12°	n.d.	9×10 <sup>7</sup>	
13:29	8	Mar.	2011	100				n.d.		continuous minor eruption
17:45	13	Mar.	2011	4000	9400	6200	65°	SE	2×10 <sup>8</sup>	
8:23	23	Mar.	2011	1000	1000	3300	40°	SE	7×10 <sup>6</sup>	
3:33	29	Mar.	2011	500			16°	SE	1×10 <sup>6</sup>	very minor eruption
5:16							2°			
8:41	3	Apr.	2011	3000		5600	50°	E	4×10 <sup>7</sup>	minor eruption
1:06	9	Apr.	2011	not clear			<30°	ENE	2×10 <sup>7</sup>	very minor eruption
19:22	18	Apr.	2011	2000	2200	5700	<128°	SE	3×10 <sup>7</sup>	
18:05	16	Jun.	2011	n.d.				E		very minor eruption
20:49	23	Jun.	2011	200	400			E		very minor eruption
10:27	29	Jun.	2011	1000	1000	2600	2334	N		minor eruption
9:41	6	Aug.	2011	not clear				NW		very minor eruption
18:29	6	Aug.	2011	not clear				n.d.		very minor eruption
2:43	31	Aug.	2011	500	700		9287	SW	7×10 <sup>6</sup>	continuous minor eruption
6:00	7	Sep.	2011	300	400		750	NE		continuous very minor eruption

a: Height is from the crater of Shinmoedake.

b: Eruptive mass was estimated by the method of Hayakawa (1985).

c: The duration was estimated from images of the observation camera at Onami-ike and Inokoishi.

1: Fukuoka District Meteorological Observatory and Kagoshima Local Meteorological Observatory (2011b, d, e, f, g)

2: Tokyo Volcanic Ash Advisory Center (2011)

3: Shimbori and Fukui (2012a, b)

旬までは爆発的噴火を頻繁に繰り返してきたが、本研究の観測開始時期には、噴火頻度も3月および4月は週に一回程度、それ以降は1ヶ月に0～数回程度にまで減少していた。また、観測期間中に発生した爆発的噴火は、湯乃野観測点 (Fig. 1 の YNN 地点) で 69.6 Pa の空振が記録された3月1日の噴火のみであった。観測期間中の多くの噴火は、顕著な爆発を伴わないものの噴火継続時間の短いブルカノ式噴火であったが、6月29日および8月31日の噴火は1日以上にわたって噴火を継続した連続噴火であった。

期間中の噴火のうち、3月3日、3月13日、4月3日、4月18日の噴火では、降灰が新燃岳から東～南東方60 km 以上の日向灘まで達した (福岡管区気象台・鹿児島地方気象台, 2011d, e)。4月9日の噴火では火口から北東約60 km の宮崎県新富町、6月16日の噴火では東約15 km の高原町および小林市、6月23日の噴火では東約19 km の小林市、6月29日の噴火では北約50 km の熊本県五木村、8月6日の噴火では北西約15 km のえびの市、8月31日の噴火では南西約60 km の鹿児島県日置市東市菜町でそれぞれ降灰が確認された (福岡管区気象

台・鹿児島地方気象台, 2011e, f, g)。

## 2-2 噴煙最高到達高度および噴火継続時間

本期間中に発生した噴火の噴煙到達高度は、福岡管区気象台・鹿児島地方気象台の遠望観測による火口縁上の噴煙高度 (福岡管区気象台・鹿児島地方気象台 2011d など) および東京航空路火山灰情報センター (東京 VAAC) による火山灰高度 (東京 VAAC, 2011) が噴火直後に発表された (Table 1)。また、新堀・福井 (2012a, b) によって、気象庁の種子島気象ドップラーレーダーおよび福岡気象ドップラーレーダーを使用して火山灰雲全体をスキャンして得られた、噴煙の最高地点のエコー頂高度が報告された (Table 1)。各観測手法による噴煙の最高到達高度は、レーダーエコーによって観測された噴煙高度の方が、気象台発表の地上からの遠望観察による火口縁上の噴煙高度より系統的に高い傾向が認められる (Table 1)。一方、衛星からの情報やパイロットレポートなど複数の情報に基づいて判断されている航空路火山灰情報 (VAA)<sup>2</sup>の噴煙高度は、噴火毎に両者のどちらか一方と調

<sup>2</sup> 気象庁東京航空路火山灰情報センターウェブサイト (<http://ds.data.jma.go.jp/svd/vaac/data/indexj.html>)

和的な値を示している。

噴火継続時間は、11の噴火に対して以下のように求めた。3月8日～4月18日の計8回の噴火の継続時間は、大浪池おおなみいけに設置された鹿児島県始良・伊佐地域振興局の観測カメラ (Fig.1のONM地点) から得られた画像 (宮城, 2012) および霧島市猪子石いのこいしに設置された気象庁の観測カメラ (Fig.1のINK地点; 3月13日の噴火のみ) で得られた画像を基に、有色噴煙が収まり白色噴煙のみとなった時点を噴火終了時刻と判断した (Table 1)。各々の噴火とも有色噴煙の激しい放出は、噴火開始後から10分後程度で収まり、20分を超えることはない。激しい有色噴煙の放出後は、急激に有色噴煙の量を減らして白色噴煙と混じりあった放出に移り変わる。6月29日, 8月31日および9月7日の噴火は、連続的な噴火であったため、観測カメラで得られた画像を参考にしたうえで、福岡管区気象台・鹿児島地方気象台 (2011f, g) が発表した噴火継続時間を Table 1 に示した。なお、福岡管区気象台・鹿児島地方気象台 (2011f, g) の噴火終了の判断基準については明確に述べられていない。

### 3. 降灰量調査

#### 3-1 観測方法

2011年2月以降の新燃岳の降下火砕物は、観測地域では主に砂サイズの粒径の火山灰が堆積していた。従って、試料採取に用いる容器は、一度回収された砂サイズの試料が風などで散逸せず、かつ周辺に堆積した砂サイズの降下火砕物が混入しないことが必要となる。地表付近を風によって移動する砂サイズの粒子量は、地表からの高度に応じて指数関数的に急速に減衰する (河村, 1951 など)。例えば、風速10m/s程度の風において、高さ30cmにおける砂サイズの粒子の移動量は、地表付近と比べて1000分の1程度になる (河村, 1951)。よって、本研究では、ある程度の面積を持って降下火砕物を回収でき、かつ安価に入手できるペール缶 (容量: 20L, 開口径: 28.7cm, 高さ: 36.1cm) を回収容器として採用した。回収容器は、地表からの土埃や風などで再移動する降下火砕物の混入を極力抑えるため、それらの影響が少ないと考えられる建物の屋上などの条件が良いと判断された場所に設置した (Fig. 2a)。ただし、設置施設の制約上、建物の屋上などに置けない観測点では、建物や道路の脇などの地面に設置した (Fig. 2b)。

観測点は霧島火山周辺の地元自治体が管理している施設 (小・中学校や地域センターなど) を中心に、火口からの距離と方向に偏りが出ないように、新燃岳火口から7kmから31kmの範囲に計35地点に設置した (Fig. 1)。新燃岳の上空の卓越風は、8月以外は主に西風であるこ

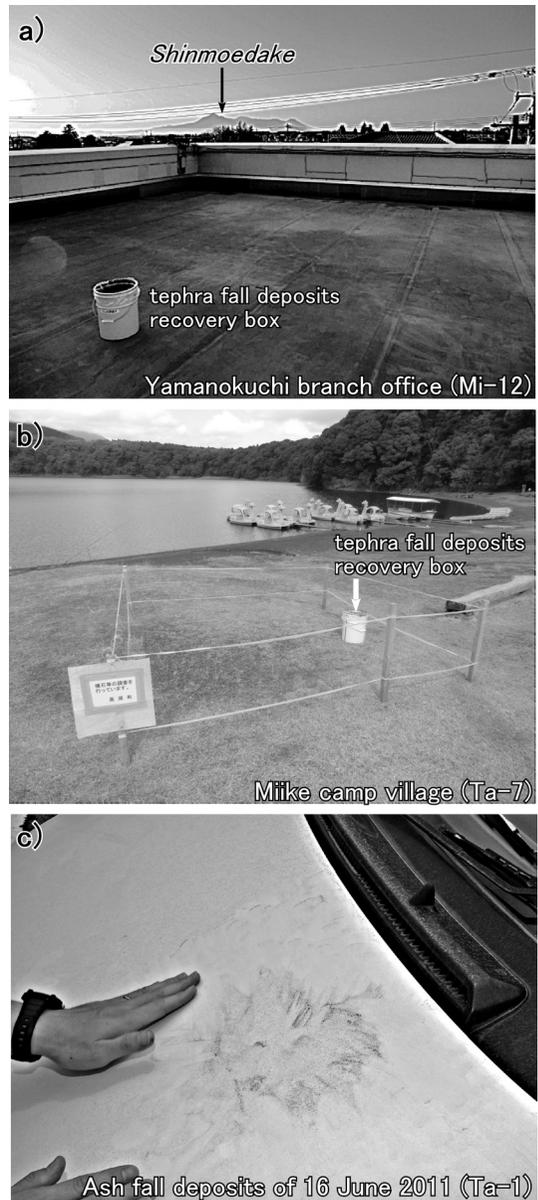


Fig. 2. (a) and (b) Example of setting appearance of tephra fall deposits recovery box. (c) Appearance of ash fall erupted on 16 June at Takaharu town office.

とから、観測点は火口の東方に重点的に配置した。観測は、2011年2月24日から都城市および高原町の21地点 (Mi-1～13, Ta-1～8)、同年3月9日から霧島市の5地点 (Ki-1～5)、同年6月9日から小林市の4地点 (Kb-1～4)、同年8月19日からえびの市の5地点 (Eb-1～5) でそれぞれ開始した。試料回収は、各市町村役場および設置施設の職員の協力を得て、噴火の有無にかかわらず5月末

Table 2. List of observation points and weights of weekly tephra fall deposits from Shinmoedake volcano.

point No.	facility	distance (km)	direction (°)	weight(kg/m <sup>2</sup> )															
				24 Feb.- 3 Mar.	3 Mar.- 10 Mar.	10 Mar.- 17 Mar.	17 Mar.- 24 Mar.	24 Mar.- 31 Mar.	31 Mar.- 7 Apr.	7 Apr.- 14 Apr.	14 Apr.- 21 Apr.	21 Apr.- 28 Apr.	9 Jun.- 23 Jun.	23 Jun.- 7 Jul.	4 Aug.- 18 Aug.	1 Sep.- 15 Sep.			
				▲▲▲▲	▲▲▲▲	▲▲▲▲	▲▲▲▲	▲▲▲▲	▲▲▲▲	▲▲▲▲	▲▲▲▲	▲▲▲▲	▲▲▲▲	▲▲▲▲	▲▲▲▲	▲▲▲▲	▲▲▲▲	▲▲▲▲	
Mi-1	Yoshinoto elementary school	9.9	162.2	0.00	0.00	0.10	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	0.00	(0.00)	(0.02)	—	(0.00)	—			
Mi-2	Mike elementary school	7.8	131.3	0.00	0.41	0.24	0.03	0.00	(0.00)	(0.00)	0.00	(0.00)	(0.00)	—	(0.00)	—			
Mi-3	Takasakifumoto elementary school	15	91.5	0.01	0.00	0.00	(0.00)	—	0.06	0.01	0.02	(0.00)	(0.00)	0.00	—	—			
Mi-4	Fuemizu elementary & middle school	22.3	84.4	0.01	0.00	0.01	—	—	0.08	0.04	0.01	(0.01)	(0.00)	—	(0.00)	—			
Mi-5	Nishidake civic center	12.2	149.6	0.00	0.00	0.11	0.00	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	—	—	—			
Mi-6	Natsuo civic center	11.2	130.7	0.01*	0.33*	0.18*	0.02*	(0.08)	(0.00)	—	0.04*	(0.05)	—	—	—	—			
Mi-7	Takasaki branch office	18.1	104.2	0.00	0.06*	0.00	0.00	—	—	—	0.06	—	—	—	—	—			
Mi-8	Shonai civic center	20.1	140.2	0.00	0.00	0.02	0.00	(0.00)	(0.01)	—	0.00	(0.00)	(0.00)	—	—	—			
Mi-9	Yamada branch office	18.2	126.1	0.00	0.29*	0.19	0.03*	(0.00)	(0.00)	(0.00)	0.01*	(0.01)	(0.01)	—	(0.00)	—			
Mi-10	Arimizu middle school	25.3	103.9	0.01	0.01	0.00	(0.03)	—	(0.00)	(0.00)	0.08	(0.00)	(0.01)	—	—	—			
Mi-11	Miyakonojo city office	27.1	141.4	0.01	0.01	0.02	0.00	(0.00)	(0.00)	(0.00)	0.00	(0.00)	(0.00)	—	(0.00)	—			
Mi-12	Yamanokuchi branch office	29.4	119.6	0.00	—	0.06	0.00	(0.00)	(0.00)	(0.00)	0.02	(0.00)	(0.00)	—	—	—			
Mi-13	Nakago civic center	30.9	143.7	0.01	0.02	0.03	0.00	(0.00)	(0.00)	(0.00)	0.00	(0.00)	(0.00)	—	—	—			
Ta-1	Takaharu town office	11.9	81.3	0.01	0.01	0.00	—	—	0.10	0.05	0.00	—	—	—	—	—			
Ta-2	Takaharu elementary school	12.1	81.2	0.02	0.07*	0.08	0.01	—	0.16	0.06	0.01	(0.01)	—	—	—	—			
Ta-3	Sano elementary school	9.3	95.1	0.08	0.01	0.00	0.00	—	0.01	0.00	0.02	—	—	—	—	—			
Ta-4	Hirowara elementary school	11.5	61.1	—	—	—	—	—	0.06	—	0.00	(0.00)	—	—	—	—			
Ta-5	Ushirokawauchi elementary school	17.8	85.3	0.00	0.00	0.01	—	—	0.11	0.03	0.01	(0.00)	—	—	—	—			
Ta-6	Ojibaru park	7.3	93.7	0.13	0.01	—	—	—	0.09	0.00	0.02	(0.01)	—	—	—	—			
Ta-7	Mike camp village	9.3	110.3	0.02	0.01	0.12	0.01	—	—	—	※0.51	—	—	—	—	—			
Ta-8	Personal residence	17.9	37.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
Ki-1	Kirishima elementary school	7.1	195.8	n.d	n.d	0.03	—	—	(0.00)	—	—	(0.00)	—	—	—	0.00			
Ki-2	Takachiho elementary school	6.6	243.2	n.d	n.d	0.04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.02			
Ki-3	Manzen elementary school	12.7	265.1	n.d	n.d	0.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
Ki-4	Ota elementary school	10.7	203.4	n.d	n.d	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
Ki-5	Makizono elementary school	13.8	243.6	n.d	n.d	0.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.00			
Kb-1	Sachigaoka elementary school	8.3	21.1	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	—	—	—	—			
Kb-2	Hosono middle school	10.5	47.7	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	—	—	—			
Kb-3	Nagakutsu middle school	14.4	33.1	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	—	—	—			
Kb-4	Nojiri middle school	19.5	73.7	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	—	—	—			
Eb-1	Oyabeno branch school	10.8	326.7	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	—			
Eb-2	Okamoto elementary school	15.1	322.9	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	—			
Eb-3	Uwae middle school	13.5	344.6	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	—			
Eb-4	Old Kirishima branch school	9.9	349.6	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	—			
Eb-5	Ebino city office	16.4	335.2	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	—			

0.00: failed under 0.00 kg/m<sup>2</sup>, n.d: not set, -: not failed, ( ): reworked sample, \*: contaminated sample of pumice erupted at January, ※: for refer.

▲: eruption

までは週に 1 回、それ以降は二週間に 1 回、各観測点とも同じ日に行った。

地点毎に回収した試料は、90℃に設定したオープンで一晩乾燥させ、混入した樹木の小枝や葉を取り除いた後、重量を計測し、単位面積当たりの重量を算出した (Table 2)。

### 3-2 計測結果とその評価

本研究では、回収容器や設置場所等を工夫したものの、試料は一週間あるいは二週間間隔の定期的な回収を行ったため、噴火による降灰のみならず、一旦堆積した火山灰が風などで再移動した再堆積火山灰などの粒子の混入が少なからず起こりうる。そのため、混入の程度と個々の観測値が降灰によるものか否かの評価は必要不可欠である。以下、混入によるものか、降灰によるものかの基準を示すとともに、個々の観測値の評価を行う。なお、観測期間中に採取された試料は、ガラス光沢のある緻密な岩片を主体とし、2月24日～3月14日の間に採取された試料には、火山灰から火山礫サイズの発泡した軽石

とスコリアがそれぞれ数～10%程度含まれる。

4月21～28日の期間は噴火が発生していないが、いくつかの観測点で0.01 kg/m<sup>2</sup>程度の試料が捕えられていた (Table 1, 2)。そのため、本観測においては0.01 kg/m<sup>2</sup>程度の再堆積粒子の混入が疑われる。なお、これらの観測点では全く試料を捕えられていない期間もあるので、常時、混入が起きているのではなく、偶発的な突風などで混入したものと判断される。

噴火が発生していない4月21～28日の期間に再堆積粒子が混入していた観測点のうち、Mi-6観測点では他の観測点よりも多い0.05 kg/m<sup>2</sup>の試料が捕えられていた。この観測点では設置場所の制約上、建物と道路に挟まれた地上に回収容器を設置しており、降灰量の少なかった3月24～31日の期間においても他の観測点より有意に多い0.08 kg/m<sup>2</sup>の試料が捕えられていた。観察の結果、これらには、1月26～27日に降下した火山灰から火山礫サイズの軽石質粒子 (以下、軽石質粒子) が大量に含まれていた。Mi-6観測点は1月26日～27日の噴火の降灰

軸付近(古川・他, 2011a)であるため, 多量の軽石質粒子が周囲に堆積している。そのため, 他の観測点と比べてより混入が起きやすい環境下であると考えられる。また, 1回の噴火が発生した4月14~21日の期間のTa-7観測点では, 周辺の観測点と比べて1桁大きい $0.51 \text{ kg/m}^2$ の試料が捕えられていた(Table 2)。この構成物を観察したところ, Mi-6観測点と同様に1月26~27日に降下した軽石質粒子が大量に含まれていた。そのため, 降灰によるものとは考えにくい量・構成物であるので, 参考値として扱う。

6月16日の噴火では, 高原町役場などで車のボンネット等の通常時は清浄な面にわずかに積もる程度の降灰があったことが, 聞き取り調査で確認された(Fig. 2c)。しかしながら, Ta-1観測点(高原町役場)など降灰したと考えられる周辺の観測点で噴火の1週間後である6月23日に試料の回収を行った結果, ほとんどの地域で回収担当者から「試料なし」の報告を受けた。この6月16日に高原町役場で観察された程度の降灰量は, 及川・他(2010)の浅間火山2009年噴火の例を基に判断すると, 多く見積もっても $0.01 \text{ kg/m}^2$ 以下であり, おそらく $0.001 \text{ kg/m}^2$ オーダーかそれ以下であると推測される。この量は, 噴火が発生しなかった期間にいくつかの観測点で捕えられた量( $0.01 \text{ kg/m}^2$ )よりも少ない。そのため, 本研究で展開した観測点と回収方法では, 6月16日の噴火程度の規模のものは捕えることが困難であると判断される。

以上のことから, 本調査地域のような周囲に十分に降下火砕物が存在する環境下での本回収方法は,  $0.01 \text{ kg/m}^2$ 程度の混入がある可能性があるが,  $0.1 \text{ kg/m}^2$ 以上の降灰は, 観測出来ていると考えられる。一方,  $0.1 \text{ kg/m}^2$ 以下の量が観測された場合には, ペール缶で捕えられた試料の構成粒子を検討し, その時に観測地域で降灰があったか否かの聞き取り調査の結果も踏まえて, 降灰によるものか否かを判断した。重量が $0.1 \text{ kg/m}^2$ 以下であるもののうち, 聞き取り調査から降灰が確認されず, 試料からも再堆積物であると判断されるものについては, “( )”をつけて示し, 降灰した地域ではあるが, 再堆積物である軽石質粒子の混入が多く認められるものは\*をつけて示す(Table 2)。

#### 4. 降灰量の推定

本研究では, 各観測期間中の等重量線図を以下の手順で作成した。まず, 各観測点の単位面積当たりの堆積重量の分布から降灰の主軸を決定する。そして, 等重量線はそれを長軸とした曲線をなすと仮定して描いた。等重量線が通る位置は, 各観測点の値から直線内挿した点を通過し, 各点を滑らかな曲線で結ぶように細部を調整し

ながら描いた。なお, 観測値から複数の主軸があると判断される場合は, 複数の軸を仮定した後, 観測値を直線内挿した点を等重量線が通るように描いている。各観測期間中の等重量線図をFig.3に示す。6月29日および8月6日の噴火については, 降灰の方向が観測網から外れたため, 噴出物を捕えることができなかった。6月23日の噴火による降灰と考えられる試料は, Mi-3観測点で捕えられていたが, 極々僅かであったため, 定量することが出来なかった。

本研究では, 作成した等重量線図を基に, 等重量線が囲む面積(A)とその層厚あるいは単位面積当たりの重量(T)から, Walker(1980)の分離結晶法の簡便法であるHayakawa(1985)の経験式 $V=12.27A$ を用いて噴出量(V)を算出した。テフラの体積を正確に求めるには, 火口近傍から遠地までの十分なデータが必要である(例えば, Bonadonna and Houghton, 2005)。しかし, 活動中の火山においては, 火口近傍のデータを得ることは難しい。そのため, 本研究では一本の等重量線から体積が求められるHayakawa(1985)の式を利用して体積を求める。算出した噴出量をTable 1に示す。

2月24日~3月10日の観測期間には, 複数回の噴火が発生したため, それぞれの噴火を合算した噴出量・等重量線が得られた(Fig. 3, Table 1)。一方, 個別に降下火山灰の採取に成功し, 降灰量を求めることが出来た噴火は, 3月13日, 3月23日, 3月29日, 4月3日, 4月9日, 4月18日の単発および8月31日から9月6日の連続の噴火である。個々の降灰量は $1 \times 10^6 \sim 2 \times 10^8 \text{ kg}$ の範囲で, 3月13日の噴火が最大量であった(Table 1)。なお, 3月29日の噴火は, 3:33および5:16に有色噴煙を伴う噴火が発生したが, 5:16の噴火は3:33の噴火後の白色噴煙が十分に収まる前に発生している。また, 5:16の噴火はその噴火継続時間が2分間と, 著しく短く, 放出された噴出物の量もごく小さいと判断される。そのため, ここでは区別せずにまとめて1回の噴火として扱う。本研究では, 以上の7回の噴火について考察を行う。

## 5. 考 察

### 5-1 噴煙の上昇様式

火山噴火の様式として比較的長時間継続するプリニー式噴火は定常的供給であるブルームであり, ブルカノ式噴火は瞬間的供給であるサーマルに近似される(例えば, 小屋口, 2008)。小屋口(2008)は, 発生した噴火に対して定常ブルームあるいはサーマルとして扱う基準を, サーマルの上昇時間スケールが内部重力波の周期(対流圏では約10分)と同程度であることを考慮して, それよりも十分に長い時間スケールの噴火が定常ブルーム, 短

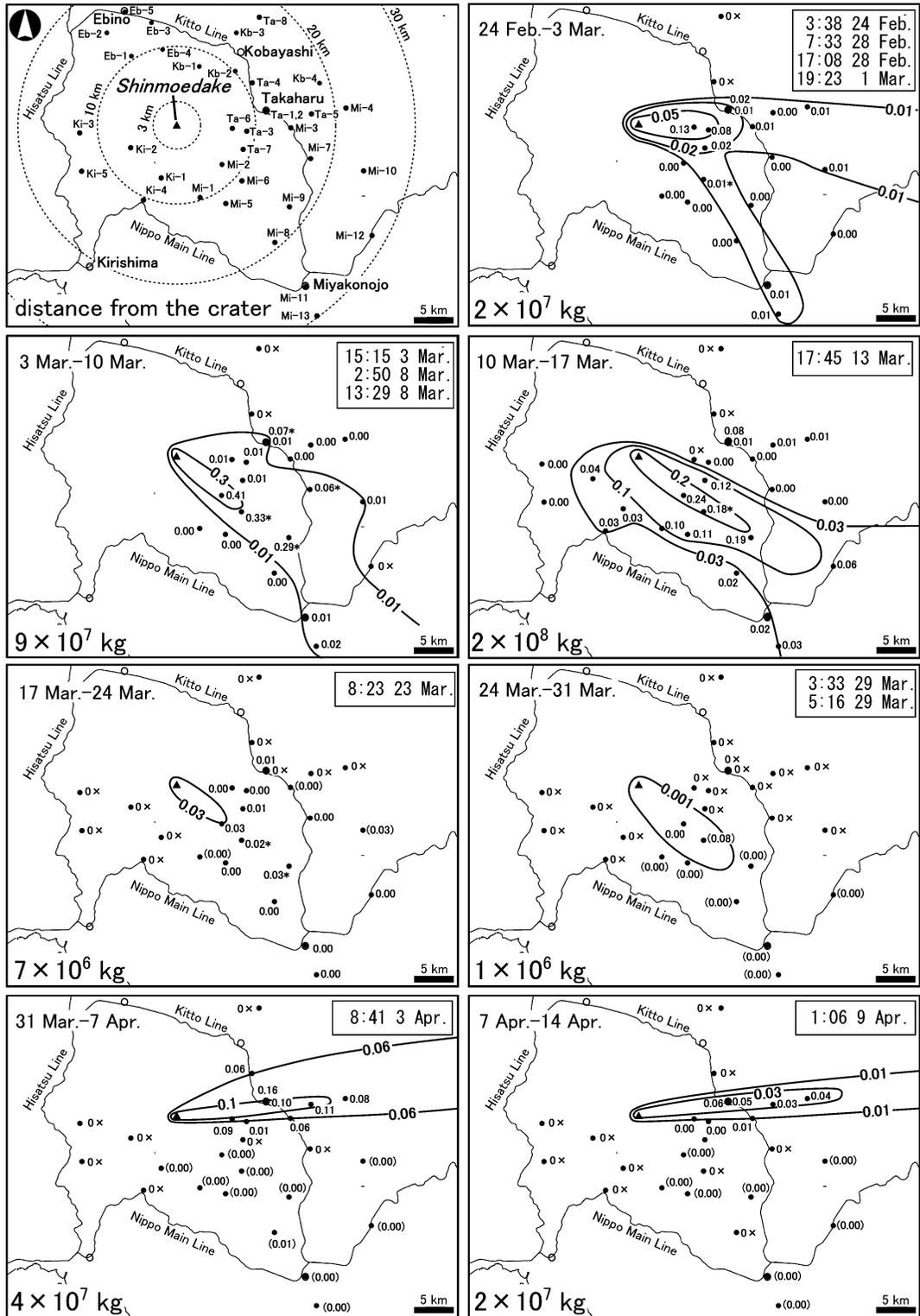


Fig. 3. Isopleth maps of tephra fall deposits for each observation period. Date and hour in closing line is the timing of eruption.

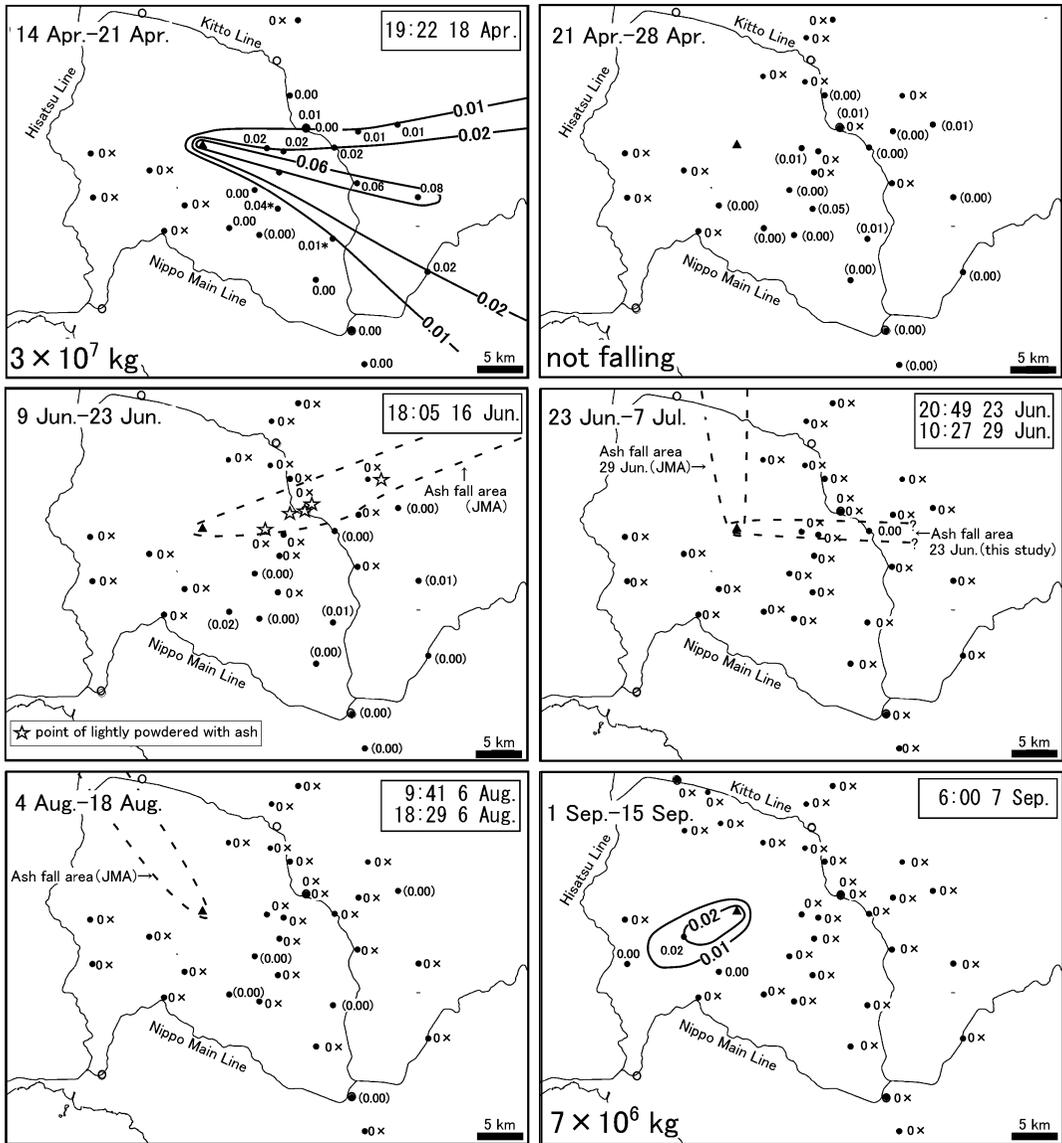


Fig. 3. Continued.

い噴火がサーマルに近似されるとした。本研究で個別に降灰量を求めることが出来た7回の噴火のうち、8月31日以外の噴火継続時間は、16~128分と幅がある (Table 1)。これらの噴火継続時間は、有色噴煙が取り白色噴煙のみとなった時点を噴火終了と判断したものである。しかし、8月31日の噴火を除き、各々の噴火は、噴火開始後から10分後程度までに勢いのある有色噴煙の放出が終了し、その後は急激に減衰し、有色噴煙混じりの高度の低い噴煙の放出に移行する。従って、8月31日以外の6回の噴火については、噴火継続時間が10分以上で

あるものの、噴火の様式としてはサーマルに近似されると考えられる。その一方、8月31日の噴火は、噴火継続時間が9287分と有意に長い為、この噴火はサーマルに近似できない。

5-2 噴煙最高到達高度と降灰量の関係

ブルカノ式噴火における噴煙到達高度と噴出量の関係について、小屋口 (2008)によれば、理論的に次式が成り立つ。

$$ht \sim 11 (m\Delta T)^{1/4} \tag{式1}$$

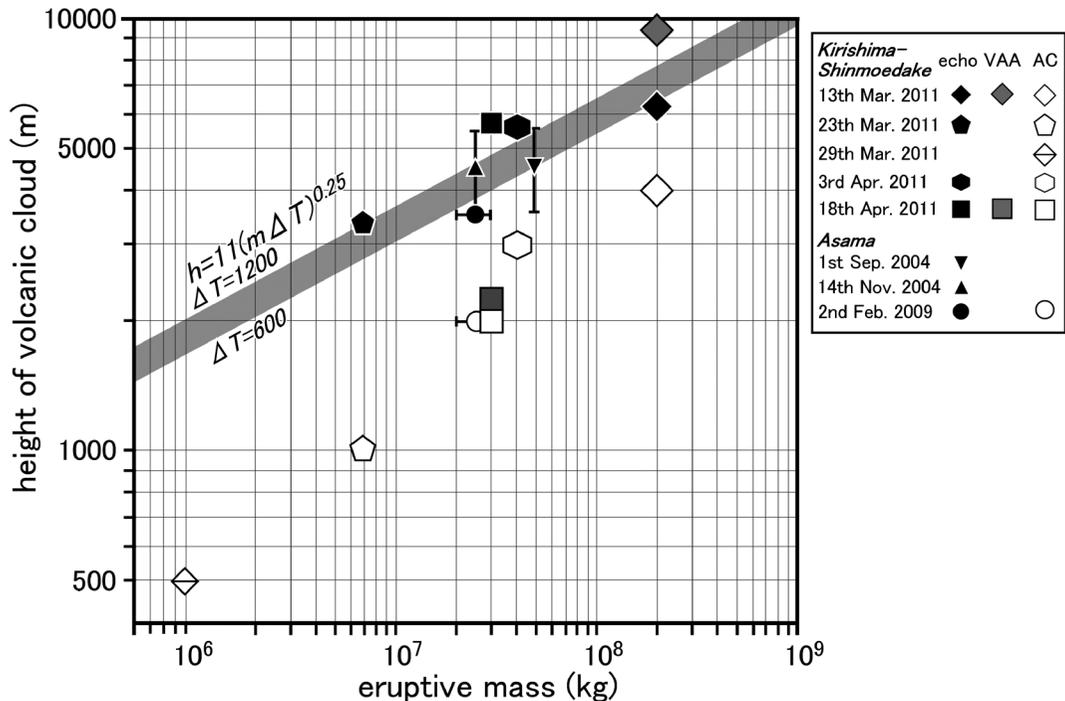


Fig. 4. The relationship between eruptive masses and heights of volcanic clouds. These data are shown in Tables 1 and 3. Gray zone is domain calculated by the formula related to the thermal eruption after Koyaguchi (2008).

ここで、 $ht$  は噴煙の最高到達高度 (m)、 $m$  は噴出量 (kg)、 $\Delta T$  はマグマと大気の温度差である。本研究で Hayakawa (1985) の計算式で求めた噴出量に対して、気象台発表の火口縁上の噴煙高度および噴煙エコー頂高度との関係は、それぞれ正の相関が認められる (Fig. 4)。本研究で求めた噴出量は理論式と比較できるほどの十分な精度・確度で求められていないが、先行研究の噴煙のエコー頂高度との相関関係は、この式 1 で求めた領域と調和的な関係である。また、噴火様式や規模などが類似している浅間火山 2004 年および 2009 年噴火のエコー頂高度のデータ (気象庁, 2004; 新堀・他, 2009) と噴出量 (吉本・他, 2005; 及川・他, 2009) (Table 3) についても、式 1 で求めた領域と調和的である (Fig. 4)。つまり、噴火のパターンや規模が類似したブルカノ式噴火において、同一の観測手法による噴煙高度と噴出量の関係は良く一致する。本研究で示された結果は、新燃岳 2011 年噴火や浅間 2004 年、2009 年噴火と似たようなパターンで発生するブルカノ式噴火の場合、噴煙の最高到達高度と噴出量に比例関係があることが実証的に示された。このことは、噴煙の最高到達点の観測から、降灰量が迅速かつ簡便に予測できる可能性がより高くなったことを示している。従って、本研究で行った観測のような降灰量デー

タを蓄積し、観測された噴煙高度と比較検討することは、噴火直後の降灰量予測を行ううえで重要であるといえる。

## 6. まとめ

本研究では、新燃岳の噴火の推移を把握するため、地元自治体と連携して新燃岳周辺に 35ヶ所の観測点を展開し、2011 年 2 月 24 日から 2012 年 2 月 29 日までの観測を行った。得られたデータを基に等重量線図を作成し、Hayakawa (1985) の経験式を用いて降灰量を求めた。その結果、7 回の噴火について個々の噴火に対応する噴出量を求めることが出来た。求められた個々の降灰量は  $1 \times 10^6 \sim 2 \times 10^8$  kg であった。

個々の噴火の降灰量と既知の研究で求められた噴煙最高到達高度の関係は、理論的予想と同じく噴煙高度と噴出量に正の相関が認められることが実証的に示された。つまり、既知の類似したブルカノ式噴火が発生した場合、噴煙の最高到達点が観測されれば、降灰量を迅速かつ簡便に予測できる可能性がより高くなった。

## 謝 辞

降下火砕物の採取を行ううえで、霧島ジオパーク推進連絡協議会に加わる都城市、高原町、霧島市、小林市、

Table 3. Data on eruption of Asama volcano which are known eruptive masses and column heights.

Timing of eruption			Eruption style	Height of eruption cloud (m)	Reference	Eruptive mass (kg)	Reference
time	d	m	y				
20:02	1	9	2004	vulcanian	3500-5500	JMA(2004)	$4.9 \times 10^7$ Yoshimoto et al. (2005)
20:59	14	11	2004	vulcanian	3500-5500	JMA(2004)	$2.5 \times 10^7$ Yoshimoto et al. (2005)
1:51	2	2	2009	vulcanian	3500	Shimbori et al. (2009)	$2.3 \times 10^7$ Oikawa et al. (2009)

\*: Height is from the crater of Asamayama.

えびの市の市町役場の方々には大変お世話になった。特に、観測点を提供していただいた各施設との交渉・調整は、各市町の教育委員会、都城市企画部、高原町まちづくり推進課、霧島市企画部、えびの市企画課の方々にお世話になった。また、新保正輝さん、折田健太郎さん、六部一智久さん、花牟礼秀隆さん、窪田宗摩さん、池田圭介さん、坂之上浩幸さん、奥 輝好さんには、交渉・調整のみならず、ペール缶の設置および試料の回収にもご尽力いただいた。特に、新保さん、池田さん、六部一さんには長期にわたり丁寧なご報告と現地状況の伝えていただいた。さらに、六部一さんには降灰時の写真を提供していただいた。後述する各学校・施設および個人の方々にはペール缶の設置および試料の回収にご協力をいただいた。西岳市民センター、夏尾市民センター、高崎総合支所、庄内市民センター、山田総合支所、山之口総合支所、中郷地区市民センター（以上都城市）、高原小学校、狭野小学校、広原小学校、後川内小学校（以上高原町）、霧島小学校、高千穂小学校、万膳小学校、大田小学校、牧園小学校（以上霧島市）、幸ヶ丘小学校、細野中学校、永久津中学校、野尻中学校（以上小林市）の職員の方々および坂之下利浩さん（高原町）。この他、Table 2 に記した学校・施設の方々には観測点の設置をご了承していただいた。本研究はこれら地元の方々のご協力がなければ、成り立ち得なかったことをここに記しておく。気象研究所の新堀敏基主任研究官には、噴煙エコーのデータを提供いただいた。また、産業技術総合研究所の下司信夫博士には草稿について助言を、山口珠美さんには試料の処理を手伝っていただいた。査読者の福岡大学の奥野充教授、神奈川県温泉地学研究所の万年一剛博士、編集委員の富士常葉大学の嶋野岳人准教授による有益なコメントにより本論は大幅に改善された。上述した方々に感謝しここに謝意を表します。

#### 引用文献

Bonadonna C. and Houghton B. F. (2005) Total grain-size distribution and volume of tephra-fall deposits. *Bull. Volcanol.* **67**, 441-456.  
 福岡管区気象台・鹿児島地方気象台 (2011a) 霧島山の火

山活動解説資料（平成 23 年 1 月）。火山活動解説資料（平成 23 年 1 月）。  
 福岡管区気象台・鹿児島地方気象台 (2011b) 霧島山の火山活動解説資料（平成 23 年 2 月）。火山活動解説資料（平成 23 年 2 月）。  
 福岡管区気象台・鹿児島地方気象台 (2011c) 霧島山（新燃岳）の火山活動解説資料。火山活動解説資料（平成 23 年 3 月 2 日）。  
 福岡管区気象台・鹿児島地方気象台 (2011d) 霧島山の火山活動解説資料（平成 23 年 3 月）。火山活動解説資料（平成 23 年 3 月）。  
 福岡管区気象台・鹿児島地方気象台 (2011e) 霧島山の火山活動解説資料（平成 23 年 4 月）。火山活動解説資料（平成 23 年 4 月）。  
 福岡管区気象台・鹿児島地方気象台 (2011f) 霧島山の火山活動解説資料（平成 23 年 6 月）。火山活動解説資料（平成 23 年 6 月）。  
 福岡管区気象台・鹿児島地方気象台 (2011g) 霧島山の火山活動解説資料（平成 23 年 8 月）。火山活動解説資料（平成 23 年 8 月）。  
 古川竜太・下司信夫・中野 俊・星住英夫・宝田晋治・竹内晋吾・土志田 潔・田島靖久・筒井正明 (2011a) 霧島山新燃岳火山 2011 年 1 月噴出物の緊急調査。日本地球惑星科学連合 2011 年大会予稿集, SVC050-05。  
 古川竜太・及川輝樹・中野 俊・星住英夫・田中明子・世一秀雄・吉田智一・平藤雅之・野友 卓・小井戸清和 (2011b) 霧島山新燃岳火山におけるリアルタイム降灰観測網の構築。日本火山学会講演要旨集 2011, 18-18。  
 Hayakawa, Y. (1985) Pyroclastic geology of Towada Volcano. *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*, **60**, 507-592。  
 河村龍馬 (1951) 飛砂の研究。東京大学理工学研究所報告, **5**, 95-112。  
 気象庁 (2004) 浅間山（平成 16 年（2004 年）年報）。火山活動解説資料（平成 16 年の活動）, 31p。  
 小屋口剛博 (2008) 火山現象のモデリング。東京大学出版会, 627p。  
 宮城磯治 (2012) 2011 年の霧島山噴火映像。地質調査総合センター研究資料集, **558**, 産業技術総合研究所・地質調査総合センター。  
 及川輝樹・下司信夫・星住英夫・鬼澤真也・大石雅之・田村糸子・古川竜太・伊藤順一・宮城磯治・石塚吉浩・林崎 涼 (2009) 浅間山 2009 年 2 月 2 日噴火の火山灰（速報）。日本地球惑星科学連合 2009 年大会予稿集, V159-P035。  
 及川輝樹・下司信夫・星住英夫 (2010) 浅間山 2009 年 2

- 月 2 日の首都圏での降灰. 地質調査研究報告, **61**, 6/7, 表紙写真.
- 新堀敏基・福井敬一・橋本明弘・山里 平 (2009) 2009 年 2 月 2 日浅間山噴火に伴う量的降灰予測—気象レーダにより観測された噴煙エコー頂高度の利用—. 日本火山学会講演予稿集 2009, 79-79.
- 新堀敏基・福井敬一 (2012a) 種子島・福岡レーダーで観測された 2011 年霧島山 (新燃岳) 噴火に伴う噴煙エコー頂高度の時間変化. 火山噴火予知連絡会会報, **108**, 189-196.
- 新堀敏基・福井敬一 (2012b) 種子島・福岡レーダーで観測された 2011 年霧島山 (新燃岳) 噴火に伴う噴煙エコー頂高度の時間変化 (その 2). 火山噴火予知連絡会会報, **109**, 174-179.
- 田島靖久・福田謙太郎・國友 優・高橋英一・下窪和洋・阿蘇修一・井口正人 (2011) 自動降灰量計によって捉えた桜島のブルカノ式噴火. 日本火山学会講演予稿集 2011, 100-100.
- 東京航空路火山灰情報センター (2011) 航空路火山灰情報一覧 (2011 年) [http://ds.data.jma.go.jp/svd/vaac/data/Archives/2011\\_vaac\\_listj.html](http://ds.data.jma.go.jp/svd/vaac/data/Archives/2011_vaac_listj.html)
- Walker, G. P. L. (1980) The Taupo pumice: product of the most powerful known (ultrapulianian) eruption? *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **8**, 69-94.
- 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) 浅間山 2004 年噴火の噴出物の特徴と降灰量の見積り. 火山, **50**, 519-533.

(編集担当 嶋野岳人)