

凝集粒子を用いた噴煙高度の推定

— 浅間火山 2004年9月23日噴火に伴う降下火砕物の堆積様式 —

大野 希一*・山川 修治*・大石 雅之**・高橋 康***・
上野 龍之****・井田 貴史*

(2005年3月31日受付, 2005年10月1日受理)

Using Aggregated Particles to Estimate a Cloud Height
— Sedimentation Process of the September 23, 2004,
Pyroclastic Fall at the Asama Volcano Eruption —Marekazu OHNO*, Shuji YAMAKAWA*, Masayuki O'ISHI**, Kou TAKAHASHI***,
Tatsuyuki UENO**** and Takafumi IDA*

A cloud height generated by a volcanic eruption reflects the immensity and/or magnitude of the eruption; thus a measuring of the height's temporal variation during the event is very significant in judging whether the activity will become violent or decline. However, when a volcanic eruption occurs during bad weather, we must take information about the cloud's height by means of the pyroclastic deposits. In general, the total time taken for pyroclastic materials to be ejected and deposited at a given distance from the source vent can be divided into three parts as follows: the time for the eruption cloud to ascend and reach its neutral buoyancy level (T_1); the time for the pyroclastic materials to be transported laterally by the eruption cloud (T_2); and the time for pyroclastic materials to fall and be deposited on the ground (T_3). Since T_3 can be calculated from the settling velocity of pyroclastic materials, if the time that the pyroclastic materials fell at a given locality was observed and a given value for T_1 is assumed, the most suitable wind velocity to explain T_2 can be determined. Thus the height at which pyroclastic materials separate from the eruption cloud can be determined by using the vertical profile of wind velocity around the volcano. These ideas were applied to the eruption occurred at 19:44 (JST) on September 23, 2004, at the Asama volcano, which produced a pyroclastic fall deposit with a minimum weight of 7.2×10^6 kg. Because this eruption occurred in bad weather, the pyroclastic materials fell as mud raindrops that were aggregate particles saturated by the rainwater. Based on the depositional mass, the number of impact marks of the mud raindrops in the unit area, and the apparent density and the equivalent diameter of these drops during their fall was estimated to be 2.2–3.1 mm, which is consistent with the grain-size distribution of pyroclastic materials. According to some experienced accounts, mud raindrops several millimeters in diameter fell at 20:03

* 〒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 Sciences, College of Humanities and Sciences, Nihon University, 3-25-40, Sakurajosui, Setagayaku, Tokyo 156-8550, Japan.

** 〒192-0397 八王子市南大沢 1-1
東京都立大学大学院理学研究科地理科学専攻
Department of Geography, Tokyo Metropolitan University, 1-1, Minamiosawa, Hachioji 192-0397, Japan.

*** 〒390-8601 松本市旭 3-1-1
信州大学大学院工学系研究科地球環境システム科学専攻
Division of Environmental System Sciences, Graduate School of Science and Technology, Shinshu University, 3-1-1, Asahi, Matsumoto 390-8601, Japan.

**** 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1
神戸大学大学院自然科学研究科地球惑星システム科学専攻
Department of Earth and Planetary System Sciences, Graduate School of Science and Technology, Kobe University, 1-1, Rokkodai-cho Nadaku, Kobe 657-8501, Japan.

現所属: 〒156-8550 世田谷区桜上水 3-25-40
日本大学文理学部自然科学研究所
Present: The Institute of Natural Sciences, College of Humanities and Sciences, Nihon University, 3-25-40, Sakurajosui, Setagayaku, Tokyo 156-8550, Japan.

Corresponding author: Marekazu Ohno
e-mail: mare@chs.nihon-u.ac.jp

in the Kitakaruizawa area (about 9 km north-northeast from the source). Assuming 2–5 minutes for T_1 and 11.5–12.0 m/s of average lateral wind velocity, the height at which the mud raindrops separated from the eruption cloud can be estimated at 3,430–3,860 m (3,610 m on average). From this conclusion, the transportation and depositional process of the pyroclastic materials generated on September 23, 2004, at the Asama volcano can be summarized as follows: the explosion occurred at 19:44 and the eruption cloud rose to 3,610 m while blowing 2.49 km downwind from the source. The cloud moved laterally for 4.51 km with generating raindrops. At 19:54, mud raindrops separated from the cloud 7.0 km north-northeast from the source, then fell to the ground at 20:03 after being blown 2.0 km downwind by a lateral wind.

Key words: cloud height, pyroclastic fall deposit, mud raindrops, sedimentation process, the Asama volcano

1. はじめに

火山噴火によって形成される噴煙柱の火口からの上昇高度は、単位時間あたりのマグマの噴出率を反映する (Wilson *et al.*, 1978; Woods, 1988). よって噴煙柱の上昇高度は、噴火の激しさを定量的に示す尺度になりうる重要な観測値といえる. 特に噴火活動を継続している火山の場合、その噴火の規模や激しさを随時定量化していくことが緊急の防災対策を立てる上で重要な判断材料になるため、たとえ現象が目視できないような状況下で発生した噴火についても、その規模や激しさを何らかの方法で定量化することには重要な意義がある. 噴煙等が目視できない状況下で発生した噴火の場合、その規模や激しさを推定するための唯一の直接的な情報源となるのが、噴火によってもたらされた火砕堆積物である.

Carey and Sparks (1986) は、火砕堆積物の分布面積や粒径の特徴から、噴火の激しさを尺度となる噴煙柱の上昇高度を求めるモデルを提唱した. このモデルは、噴煙と周囲の大気の密度が釣り合った密度中立点付近から側方に拡大する (傘型) 噴煙によって運搬される岩片や粗粒な火砕物が、それぞれの終端速度で降下堆積した事例については適用できる. しかし、悪天候下で噴火が発生した場合、噴火によって供給される火砕物は運搬過程で粒子同士が凝集し、火山豆石や泥雨状で降下堆積することが多い (たとえば鈴木・他, 1982; 寺井, 1993; 大野・他, 1995). そのため、悪天候下で発生した噴火については、Carey and Sparks (1986) の方法を用いて意味のある噴煙の上昇高度を決定することは極めて難しい.

これに対し、噴火の発生時刻と、ある所定の距離に降下した火砕物の粒径と降下時間が分かれば、火砕物の終端速度と噴火当時の火山体周辺の高層の風向・風速の観測データを組み合わせることにより、噴煙から火砕物が分離した高度、すなわち、噴煙の上昇高度に関する情報を得ることができる. そこで本論では、まず凝集粒子 (泥雨) の堆積状況と堆積量から、凝集粒子の降下中の粒径を復元する方法を述べる. 次に、噴火当時の火山体上空の風向・風速に関する高層気象データと凝集粒子の降下中の粒径から算定される終端速度を用いて、凝

集粒子が噴煙によって運搬され、地表に降下堆積するのに要する時間を決定する手法を述べる. さらにこの方法を、浅間火山で 2004 年 9 月 23 日に発生した噴火事例に適用し、現地での火砕堆積物の調査結果、噴火当時の高層気象データ、そして噴火時の目撃情報を総合し、同噴火によってもたらされた噴煙から火砕物が離脱した高度と、同噴火によってもたらされた降下火砕物の堆積プロセスを推定する.

2. 凝集粒子を用いた噴煙高度の推定

Fig. 1 はブルカノ式噴火のような継続時間の短い噴火によってもたらされる火砕物の運搬・堆積様式を模式的に示した図である. 継続時間の短い噴火の場合、形成される噴煙は継続的に熱エネルギーを大気に供給するプリュームではなく、瞬間的に熱エネルギーを大気に供給するサーマル雲 (Sparks *et al.*, 1997; 寺田・他, 2005a) として近似できる. サーマル雲はプリュームに比べて大気に与える熱エネルギーの量が小さいことから、密度中立点まで達したサーマル雲の温度は周囲の大気の温度とほぼ平衡になっていると考えられる. その場合、サーマル雲によって密度中立点付近まで運搬された火砕物は、周囲を流れる高層の風によって、側方に運搬されるとみなすことができる.

このようなサーマル雲によって火砕物が運搬・放出され、地表に降下する場合、噴火開始からある場所に火砕物が降下堆積するまでに要する時間は、

- T_1 : 噴煙が上昇し、密度中立点に達する迄に要する時間.
- T_2 : 噴煙によって密度中立点にまで運搬された火砕物が、局地風によって側方に運搬される時間.
- T_3 : 噴煙から離脱した火砕物が、地表に到達する迄に要する時間.

の総和として表せる (Fig. 1). 火口からある距離離れた地点に、ある粒径の火砕物が降下するのに要した時間が分かっている場合、 T_3 は火砕物の終端速度から計算できるため、実際に観察された火砕物の降下時間を説明するのに最も適切な条件、つまり火砕物を側方に運搬させるのに必要な風速が制約される. 噴火当時の高層の風向・