

阿蘇火山中岳で2003年7月10日と2004年1月14日
に起こった湯だまりからの火山灰噴出

宮 縁 育 夫*・池 辺 伸 一 郎**・渡 辺 一 徳***

(2004年8月31日受付, 2005年6月17日受理)

The July 10, 2003 and the January 14, 2004 Ash Emissions from a Hot Water Pool
of the Nakadake Crater, Aso Volcano, Japan

Yasuo MIYABUCHI*, Shin-ichiro IKEBE** and Kazunori WATANABE***

Ash emissions occurred from a hot water pool of one of the craters of Nakadake, the only active central cone of Aso Volcano, southwestern Japan, on July 10, 2003 and January 14, 2004. The former ash was dispersed throughout an area extending 14 km east-northeast of the vent, whereas the latter ash extended 8 km to the east-southeast. Based on isopleth maps, the total weight of ash discharged by each event was 41 tons and 32 tons, respectively. Both ash-fall deposits were composed of fine-grained (<1 mm) glass shards, crystals and lithic fragments, and contained neither lapilli nor blocks. Some glass shards appear fresh and are probably juvenile material. We therefore believe that these phenomena represent non-explosive gas-and-ash emissions through the hot water pool. The ash particles emitted from the hot water pool of the Nakadake crater were aggregated at a size of 1-3 mm and deposited because of a high content of water. The ash-fall deposits in proximal areas (<1.5 km from the crater) were finer grained and more poorly sorted than in distal areas (>5 km). Moreover, the deposit volume obtained from actual data in the proximal area was much larger than the volume extrapolated only from the isopleth data of the distal deposits. These phenomena suggest that the proximal deposits were emplaced mainly by another fine-grain-rich column different from the main ash plume that extended to distal areas, or that some parts of the column detached from the main plume that emplaced the proximal deposits.

Key words: ash emission, hot water pool, Nakadake, Aso Volcano

1. はじめに

阿蘇火山中岳では、2000年11月に第1火口南側で赤熱現象が確認されて以来、火山性地震や微動の増加など、火山活動のレベルが上昇している傾向にある。そのような状況の中で、2003年7月10日に湯だまりからの火山灰噴出が起こった(福岡管区気象台火山監視情報センター・阿蘇山測候所, 2003; 渡辺・他, 2003a; 星住・他, 2003)のに引き続き、2004年1月14日夕刻にも同様の現象が発生した。中岳において、このように湯だまりから火口底の土砂を噴き上げる現象は、「土砂噴出」と呼

ばれている(気象庁, 2003a; 福岡管区気象台火山監視情報センター, 2004a)。

筆者らは、それぞれの火山灰噴出翌日に噴出物に関する現地調査を実施した。とくに後者のイベントでは、新しい積雪が存在するという好条件に恵まれた結果、火山灰の詳細な分布域を確認するとともに、多数の地点で試料を採取することができた。これまで阿蘇火山中岳では、1回の噴火イベントにおける噴出物の分布や量が遠方域まで正確に調査された事例は、1979年9月6日(阿蘇山測候所, 1980; 小野・他, 1982)や1990年4月20日

* 〒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, Kurokami 4-11-16, Kumamoto 860-0862, Japan.

** 〒869-2232 熊本県阿蘇市赤水 1930-1
財団法人 阿蘇火山博物館
Aso Volcano Museum, 1930-1 Akamizu, Aso, Kumamoto

869-2232, Japan.

*** 〒860-8555 熊本市黒髪 2-40-1
熊本大学教育学部
Faculty of Education, Kumamoto University, Kurokami 2-40-1, Kumamoto 860-8555, Japan.

Corresponding author: Yasuo Miyabuchi
e-mail: yasuo@affrc.go.jp

(渡辺, 1991)などを除いてほとんどない。

本論では、現地調査にもとづく2003年7月10日および2004年1月14日における火山灰の分布・堆積状況・総量と、噴出物の特徴について報告する。さらに、阿蘇火山中岳における湯だまりからの火山灰噴出現象と小規模噴火による噴出物量に関して考察する。今回の噴出物が本質物質を含むか否かについては、現時点で明確な結論に至っているわけではなく、その検討は別の機会にゆずる。しかし、土砂噴出とされた現象については、これまで噴出物の観点から議論されたことはなく、土砂噴出に伴う噴出物が今回のように遠方域まで分布することもごく一部を除いて観察されていない。こうした現象が比較的近い時期に2回発生したことは、中岳の活動として特筆すべきことであり、今後の火山活動の推移を見守る上でも重要である。

なお、後述するように、2003年7月と2004年1月に発生した火山灰噴出現象は、これまで土砂噴出とされてきた現象とはメカニズムが異なる可能性があるため、本論では「土砂噴出」ではなく、「火山灰噴出」と呼ぶことにする。

2. 阿蘇火山中岳における最近の活動状況

阿蘇火山中岳では、1989年～1991年にかけての灰噴火(Ono *et al.*, 1995; 小野・他, 1995)およびストロンボリ式噴火などの活発な噴火活動以降、1995年9月頃まで規模が大きいとされる土砂噴出が繰り返し発生したが、以後の火山活動は比較的穏やかな状況となり、第1火口内は全面にわたって湯だまりが存在していた。最近の活動状況は、気象庁(2002, 2003b, 2004a, 2004b)などにまとめられており、概要は次の通りである。

1995年以降、火山性地震や微動の発生回数は増減を繰り返して推移していた。阿蘇火山において活動の活発化を示す一つの指標とされる孤立型微動は、2001年以降少ない状態(0～数回/日)となっていたが、2002年8月から増加し始めるようになった(2002年4月上旬にもやや多発)。とくに2002年12月～2003年2月(150～400回/日)や2003年9月以降(150～600回/日)は、孤立型微動が多い状態が続いた。

湯だまりの表面温度は1998年中頃から徐々に上昇し始め、その上昇は2003年に入ってから顕著になった。2003年9月には最高温度81℃(火口縁からの放射温度計による測定; 以下同様)を記録し、2004年1月中も66～79℃と高い状態が続いていた。また、第1火口南側火口壁下部の温度は2000年から徐々に高くなり、同年11月以降は赤熱現象が認められるようになった(2004年9月頃に消滅)。この南側火口壁下部の温度は2003年5月に

530℃を記録して、2004年1月も282～412℃であった。このような湯だまりや火口壁下部での温度上昇に対応して、2003年6月から湯だまりの量が減少するようになり、同年9月に約8割(2003年5月23日までの湯だまりを10割とした目視による表面積割合; 気象庁, 2004c)、11月には約5割と減少傾向が続き、2004年1月時点では約4割であった。また、2003年5月以降には湯だまり表面で噴湯現象(地下からの火山ガスなどの噴出により、湯だまり表面が沸騰するように盛り上がる現象、土砂を含まないことが土砂噴出と異なる)が認められるようになった。

以上のような状況で表面活動が推移する中、2003年7月10日夕刻に土砂噴出に伴うとされる微動が観測され、火口外へ噴出物が放出された。この火山灰噴出の後、湯だまりの色調は濃緑色から灰色に変化した。そして、2003年8月には灰緑色～乳緑色、9月～10月は緑色、11月に乳灰色～灰緑色、12月中旬以降は灰色を示すなどの変化が認められた。2004年1月上旬には、湯だまり表面での噴湯現象が活発化するとともに、頻繁に高さ数mまで土砂を噴き上げている現象(土砂噴出)が、阿蘇火山博物館の火口カメラで観察された。そして、1月14日午後に再び火口外へ火山灰が放出される土砂噴出が発生し、火山活動レベルが2(やや活発な火山活動)から3(小規模噴火の可能性)に引き上げられた(福岡管区気象台火山監視情報センター, 2004a)。その後も湯だまり内では高さ5m程度の小規模な土砂噴出や噴湯現象が継続したが、火山活動がより活発化したことを示す現象は認められなかったため、2月13日に再び火山活動レベルが3から2に引き下げられた(福岡管区気象台火山監視情報センター, 2004b)。しかし、火山性微動が多い状況や火口内の高温状態は続いており、3月中旬には湯だまりの量は約3割となった。

3. 2003年7月10日の火山灰噴出

3-1 火口およびその周辺域での観察状況

2003年7月10日は曇り時々雨の天候で、中岳火口周辺域は霧に覆われた状況であった。このような悪天候下ではあったが、火口内の状況は阿蘇火山博物館の2台の火口カメラおよびマイクによる映像と音声で記録されていた。また、火山灰噴出時の火山性微動が、気象庁によって火口周辺に設置されている6台の地震計で観測されていた。これらの観測記録をFig. 1にまとめた。

中岳第1火口西約500mに設置された地震計では、17時18分55秒頃から微動の振幅が大きくなり、19分25秒頃に最大振幅(東西動)を記録した。同分45秒以降は振幅が小さくなるが、以降も連続的な微動が観測された

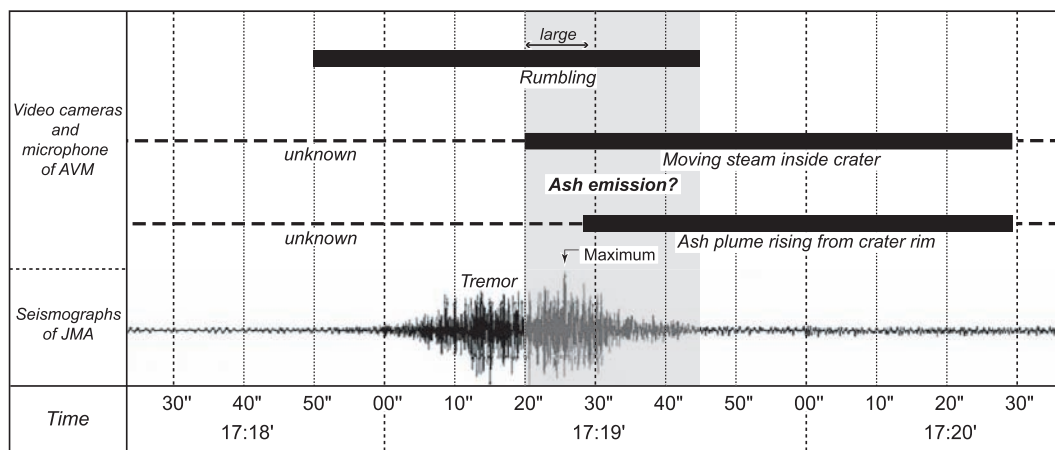


Fig. 1. Records of observations by video cameras and a microphone of the Aso Volcano Museum (AVM) and seismographs of the Japan Meteorological Agency (JMA) on July 10, 2003. The velocity seismogram records the E-W component observed 500m west of the Nakadake crater. Hatched area indicates the moment of the ash emission.

(阿蘇山測候所の観測データによる)。

火口カメラとともに設置されているマイクがとらえた音声記録では、微動振幅が大きくなると同時にゴージーという鳴動が聞こえ始め、17時19分20秒頃にはガラガラという音となっている(池辺・他, 2004)。

当日は悪天候下で火口カメラの視界はほぼ真っ白な状態であったが、17時19分28秒頃に湯だまりから土砂(黒い火山灰と白い蒸気が混合したもの)を噴き上げる様子がとらえられている。その様子は20分29秒頃まで観察されたが、以降は視界不良となった。ただ、カメラ映像で cock's tail jet などの爆発的な噴煙を確認することはできなかった。こうした土砂の噴出に先立って、19分20秒頃から火口内の蒸気が圧力等の影響で上方へ揺れ動く様子が認められている。また、阿蘇山ロープウェイ阿蘇山西駅プラットホームにいた同ロープウェイ所長(当時)が、17時20分頃に火口縁から100mくらいの高さまで黒煙が上がるのを目撃している。

これらの記録を総合すると、火山灰の噴出は17時19分20秒頃に始まり、同分45秒頃には終了したものと推察される(池辺・他, 2004)。

気象庁阿蘇山測候所の観測データによると、この火山灰噴出前後の17~18時には1mmの降雨があり、火口周辺域は霧に覆われていた。このため、噴煙がどの程度の高度まで上昇したかは観察できていない。当時(17時18分~30分)、阿蘇山測候所(標高1,142m)では西南西~南南西の風(平均風速5.0~6.3m/s)が吹いていた。また、福岡管区気象台の高層気象データ(7月10日15時)

によると、標高1,500m付近で南西風(風速16m/s)、標高2,000m付近で西南西風(風速20m/s)となっていた。こうした強風により、火山灰を含んだ噴煙は火口から北東~東北東方向へ流れたと考えられる。その後、箱石峠(火口から東北東へ約6km)の通行者(17時30分頃)や波野村遊雀なみののそんろうじやくで降灰を目撃した住民からの通報(18時頃)により、翌日午前阿蘇山測候所が現地調査を実施した。その情報を受けて、福岡管区気象台は7月11日11時50分に火山観測情報第11号を発表した。

7月11日以降の火口カメラによる観察では、湯だまりは灰色に変化しているものの(10日以前は濃緑色)、湯量がとくに減少した様子は認められず、南側火口壁下の赤熱現象にも大きな変化はみられなかった。また、阿蘇山測候所による11日の現地観測では、第1火口東~北東側の火口壁が灰色に変色していることが確認されている(気象庁, 2003a)。

3-2 火山灰の分布

筆者らは、火山観測情報第11号や阿蘇山測候所からの情報を受けて、降灰翌日の2003年7月11日午後、中岳火口から東北東にかけての地域で現地調査を実施した。

筆者の一人である池辺は、中岳第1火口から北東約0.9kmの仙酔峡ロープウェイ火口東駅(地点A; Fig. 2)付近で調査を行った。同駅付近でも降灰量はそれほど多いものではなかったが、駅舎の壁などに張り付いている火山灰を観察することができた。駅舎のやや南側付近が主軸と考えられ、駅舎の西方約100mや南方約250mの地点では、火山灰の痕跡はほとんど認められなかった。

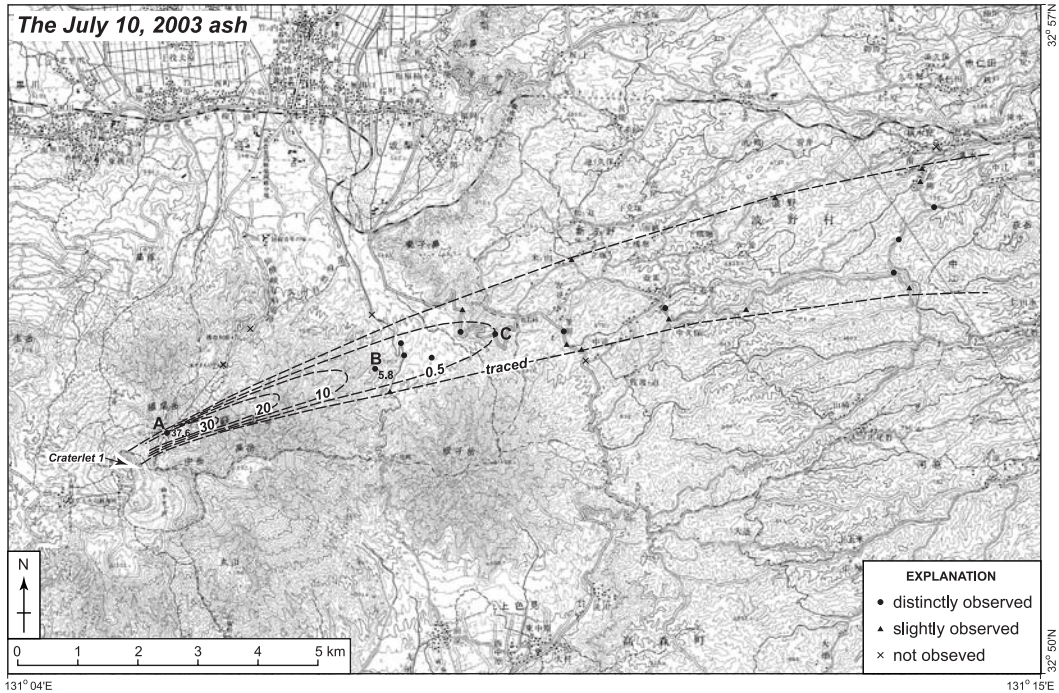


Fig. 2. Distribution of the 10 July 2003 ash from the Nakadake crater. Base map is a 1: 50,000-scale topographic map of the Asosan district published by the Geographical Survey Institute. Broken lines indicate isopleths (g/m^2). Longitude and latitude are shown as Tokyo Datum.

また、渡辺と宮縁は火口から4 km以上離れた中岳北東麓からカルデラ東方の波野村にかけて調査したが、降灰はごく少量で、草本類の葉に斑点状に付着する火山灰を認識できる程度であった。こうした植物に付着する火山灰の有無をもとにして、2003年7月10日火山灰の分布状況を示すと、Fig. 2 のようになる。▲印は火山灰が葉にわずかに残存していた地点であるが、●印はかなり明瞭に火山灰が付着していた地点である。

2003年7月10日火山灰の分布域は阿蘇山測候所の調査結果(気象庁, 2003a)とも調和しており、中岳火口から東北東方向に分布している。最も東方で降灰が確認された地点は、中岳火口から約14 km離れた波野村^{たかなさ}柳付近である。その分布は幅1~2 km程度と非常に狭く、分布軸は遠方ほど東方へ曲がっている。このことは、標高が高いほど風向が南西から西南西方向に変化しているという当日の高層気象データとも調和している。

3-3 火山灰の堆積状況

2003年7月11日午後の時点において、火口から約0.9 kmのA地点(ロープウェイ火口東駅)付近では、灰色で湿った泥状のもの、同質の乾燥したもの(Fig. 3A)、やや黒色の砂状のものという3種類の火山灰が認められ

た。いずれの火山灰も火口に向けた面に張り付いており、反対側には付着は見られなかった(Fig. 3B)。これは、降灰時に強風が吹いていたためか、あるいは噴煙そのものが水平方向の速度を有していたためと考えられる。この地点における火山灰は全て粒径1 mm以下のものであり、礫サイズの粒子は一切認められなかった。このことは、さらに火口近傍域において調査を実施した京都大学火山研究センターによっても報告されている(京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター, 2004)。

前述したように、火口から4 kmを越える遠方域における火山灰は草本類の葉に付着したものが確認できる程度の量であった(Fig. 3C)。しかし、火山灰が付着した植物の葉面や治山ダムの上面を注意深く観察すると、灰色で泥状のものが直径数 mmの斑点状に堆積していることがわかった。

3-4 噴出物の総量

2003年7月10日の噴出物量については、渡辺・他(2003a)ですでに報告されているが、過大評価である可能性が出てきたため、再検討を行った。

降灰が確認された地点の中で、火口北東約0.9 kmの

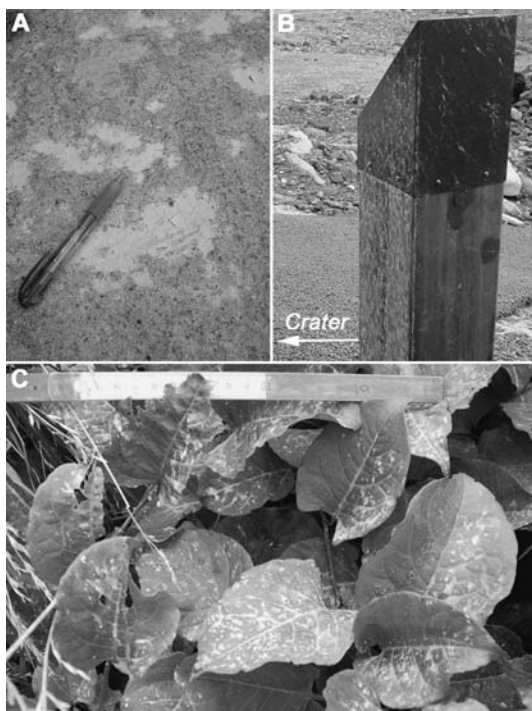


Fig. 3. Photographs of the July 10, 2003 ash-fall deposit. (A) Muddy volcanic ash deposited on a paved trail at site A (about 0.9 km NE of the crater). Pen is about 15 cm long. (B) A pole to which volcanic ash adhered at site A. (C) Plant leaves to which volcanic ash adhered at site C (about 6 km ENE). Scale in centimeters.

地点Aと東北東約4.4 kmの地点Bの2箇所において、火山灰の試料を採取することができた。地点Aでは9×65 cmの木材上に堆積する火山灰を、地点Bにおいては24×43 cmのクーラーボックス上に堆積した火山灰をそれぞれかき集めて持ち帰った。それらの試料は実験室において乾燥させて重量を測定し、1 m²当たりの重量に換算した結果、前者が37.6 g/m²、後者が5.8 g/m²となった。この2点のデータから、火山灰の分布状況を参考に、1 m²当たり30 g、20 g、10 gという3本の等重量線が得られた (Fig. 2)。

地点Bより遠方域においては、火山灰試料を採取することができなかったが、火口東北東約6 kmに位置する箱石峠付近 (地点C) では、植物の葉面に付着する火山灰の斑点 (直径2~3 mm)を確認することができた (Fig. 3C)。こうした状況は、後述する2004年1月14日の火山灰が地点G (Fig. 7) に堆積した状況 (Figs. 6D, 6E) に近いものであった。そのG地点での降灰量は0.5 g/m²

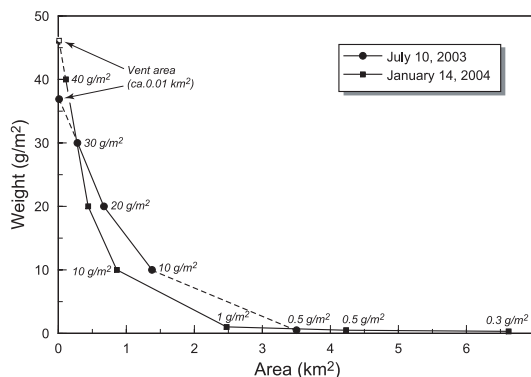


Fig. 4. Relation between area (km²) and weight (g/m²) of the 10 July 2003 and the 14 January 2004 ash-fall deposits from the Nakadake crater.

であり、同様の堆積状況にある地点C (2003年7月10日火山灰)も0.5 g/m²程度の降灰域であると判断することができ、0.5 g/m²の等重量線を仮定した (Fig. 2)。

以上のようにして得られた4本の等重量線が囲む面積と重量の関係は、Fig. 4のとおりである。この単位面積あたりの重量と面積の関係を4つの区間に分けて、各区間の重量を積分により計算した。なお、30 g/m²以上の近傍域については、Fig. 4のグラフ上で30 g/m²と20 g/m²を結ぶ直線の中岳第1火口のおおよその面積 (約0.01 km²)まで外挿して重量を求めた。また、0.5 g/m²より遠方域に関しては計算を行っていない。こうした計算の結果、2003年7月10日の火山灰の総量は41トン程度となった。京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター (2004) は、火口周辺域での調査結果により、火山灰の分布域を半径300 m、中心角60°の扇形とし、厚さを1 mmと仮定して、噴出物量を70~90トンと概算している。火口周辺域の全面において1 mmの厚さで堆積していたかどうかはわからないが、その概算値は筆者らの計算結果とオーダー的に一致している。

また、筆者らは中岳噴火時の降灰量と分布を把握するために、2001年5月より阿蘇カルデラ内外の66箇所に火山灰採取装置 (内径9.5 cm、深さ16 cmの円筒形容器)を設置していた (渡辺・他, 2003b)。それらの箇所には前述の地点Aと地点Bが含まれており、両地点とも7月11日に装置内の火山灰を回収することができた。その乾燥重量を単位面積あたりに換算すると、地点Aで93.1 g/m²、地点Bで11.3 g/m²となり、いずれも木材やクーラーボックス上から集めた火山灰の量よりも多かった。しかし、7月11日以前に火山灰採取装置を点検したのは2003年4月中旬であったため、7月11日に回収さ

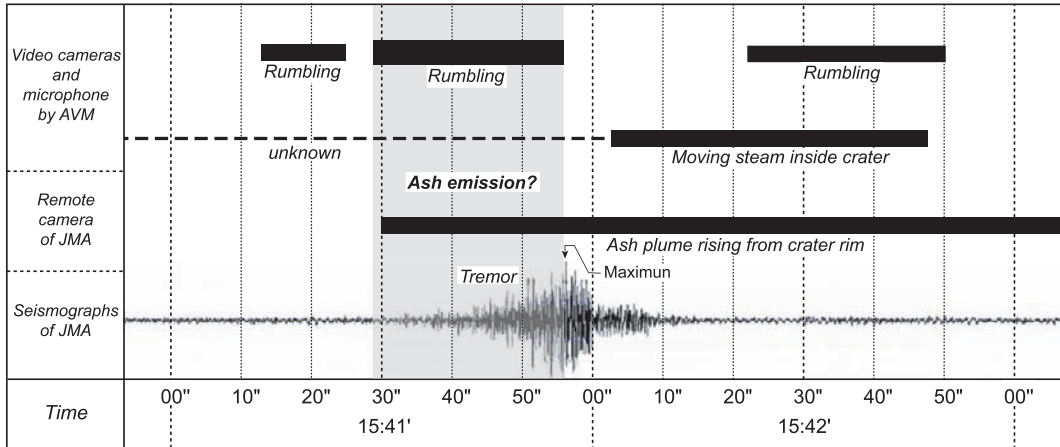


Fig. 5. Records of observations by video cameras and a microphone of the Aso Volcano Museum (AVM) and a remote camera and seismographs of the Japan Meteorological Agency (JMA) on January 14, 2004. The velocity seismogram records the E-W component observed 500 m west of the Nakadake crater. Hatched area indicates the moment of the ash emission.

れた火山灰は約4ヶ月間に容器内に入った総量ということになる。そうした長期間の場合、周辺の裸地から供給された風塵が混入している可能性が十分にあるため、火山灰採取装置のデータは今回の計算には用いないことにした。

4. 2004年1月14日の火山灰噴出

4-1 火口およびその周辺域での観察状況

2004年1月14日の火山灰噴出時の状況は、2003年7月10日と同様に阿蘇火山博物館の2台の火口カメラおよびマイク、気象庁の地震計で監視されていた。また、この日は晴天であったため、気象庁の遠望カメラ（火口西方約3kmの阿蘇火山博物館に設置）によっても上昇する噴煙の様子が観察されていた。それらの記録をFig. 5にまとめた。

火口での音声記録によると、15時41分13秒から鳴動が次第に大きくなり、25秒には一旦収まった。その後、同分29秒からさらに大きい鳴動が始まり、56秒まで続いた。さらに15時42分22秒~50秒にも鳴動があった。マイクでとらえられた音の強弱は火口内の風向きの変化によって生じることもあるが、鳴動そのものは何らかの火山活動に対応しているものと考えられる。

気象庁の遠望カメラによる映像では、15時41分30秒頃より火口縁から噴煙が上昇する様子が認められる。この噴煙の上昇は15時43分00秒頃まで続き、その後噴煙は南東方向へ流れていく状況が観察された。この噴煙が上昇した高度は、火口縁上約800mとされている（福

岡管区気象台火山監視情報センター、2004a）。

阿蘇火山博物館の2台の火口カメラは、15時42分03秒頃から火口内の蒸気が激しく動く状況を撮影していたが、それ以前については、火口内に多量に漂う噴霧のために、火山灰噴出などの詳細を観察することができなかった。

気象庁の6台の地震計は、15時41分~42分にかけて火山灰噴出に伴う微動を観測したが、中岳第1火口に最も近い地震計では、15時41分32秒から42分15秒頃まで微動の振幅が大きく、41分55秒頃に最大振幅29.7 $\mu\text{m/s}$ （東西動）を記録している（福岡管区気象台火山監視情報センター、2004a）。

火山灰噴出の瞬間をとらえた火口内の映像はないが、鳴動・噴煙・火山性微動の記録を総合すると、2004年1月14日における火山灰噴出は15時41分29秒頃から発生した可能性が高い。また、その直前の同分13~25秒頃に起こった鳴動も火山灰噴出と関連している可能性もある。

火山灰噴出当時、阿蘇山測候所では平均風速4.2~4.3 m/sの西風が吹いていた（気象庁の観測データによる）。噴煙は火口縁から約800mの高さまで上昇したことが報告されており、中岳第1火口縁の標高は約1,270mなので、噴煙は標高2,000m程度まで達したことになる。福岡管区気象台による高層気象データ（1月14日の15時）によると、標高2,000m付近の風向はおおよそ北西で、風速は12m/sであった（標高1,500m付近は8m/sの北西風）。こうした上空での風により、火山灰を含んだ噴煙は火口から南東方向へ流れたと考えられる。このこと

は、後述する火山灰の分布状況ともよく対応している。

また、阿蘇山測候所は直後の現地観測で、第1火口南側火口壁下に灰色の噴出物が付着していることを確認している（福岡管区気象台火山監視情報センター、2004a）

以上のような状況を受けて、福岡管区気象台は同日15時57分に臨時火山情報第1号を発表し、火山活動度レベルを2（やや活発な火山活動）から3（小規模噴火の可能性）に引き上げた。

火口カメラによると、翌日の1月15日夕刻には湯だまり中央部から激しく水蒸気が上昇していることが観察され、湯だまり外側には湯が飛び散って生じた水たまりが数箇所認められた。また南側火口壁下部からも激しい噴気活動が見られ、何箇所もの小さな噴気孔から火山ガスが活発に噴出していることが確認された。

4-2 火山灰の分布

火山灰噴出前日の2004年1月13日は強い冬型の気圧配置となり、熊本県では平野部でも降雪に見舞われた（熊本地方気象台、2004）。降灰時（1月14日15～16時）における阿蘇山測候所（中岳火口から西南西約1.3km）の積雪深は6cmであった（気象庁の観測データによる）。

降灰に関する調査は、降灰翌日の1月15日午前から夕刻に、中岳火口周辺（約1.5km以内）と火口から東方～南東方にかけての地域で実施した。中岳第1火口縁から東側の斜面では降灰により積雪が灰色に変色している様子が観察された（Fig. 6A）。また、より遠方においても積雪面上の火山灰堆積の有無を容易に確認することができた。

降灰翌日に行った現地調査の結果から、2004年1月14日における火山灰の分布図を作成した（Fig. 7）。●印は降灰が確認できた地点、×印は降灰が認められなかった地点である。1月14日火山灰は、中岳火口から東南東へ約8km、高森町上色見の国道265号線付近まで分布していることがわかった。火山灰の分布幅は最大1.5km程度であった。火口縁付近で現地調査を行うことはできなかったが、火口西方約1.3kmの山上広場周辺や北東方約0.9kmに位置するロープウェイ火口東駅においては、降灰が全く確認できなかった。

4-3 火山灰の堆積状況

2004年1月14日の降灰は積雪がある条件下で発生したため、火山灰が積雪面上に堆積している様子が観察された。その堆積状況を火口近傍域と遠方域に分けて述べる。

近傍域にあたる中岳火口東0.5kmの火口展望台（Fig. 7の地点D）では、降灰によって積雪表面がかなり汚れていた（Fig. 6B）。火山灰は砂サイズ以下の細粒なものであったが、最大3mm程度に凝集して堆積していた。凝集した火山灰は積雪内へ数cmめり込んでいることが

あった。しかし、この地点においては礫サイズの降下物（噴石）は発見できなかった。また、積雪面以外にも、木製柵や看板などにも火山灰が付着していた（Fig. 6C）。

それらは、火口側の面に多く付着していることから、西風によって吹き付けられたか、噴煙そのものが水平方向の成分をもっていたものと考えられる。その展望台から火口方向を遠望すると、降灰による積雪面の変色域が火口から東方向へ伸びていることが確認できた（Fig. 6A）。この変色域は、40g/m²の等重量線（Fig. 7）の範囲に概ね対応している。

遠方域にあたる高森町前原（地点G；火口東南東約6.3km）とその周辺域では、積雪面上に堆積する微量の火山灰を確認することができた。地点Gにおいては最大1mm程度の大きさに凝集した火山灰が認められた。この前原地区で、降灰当時に屋外で仕事をしていた住民から、次のような証言を得ることができた。

「1月14日は青空が広がっていたが、15時半過ぎ（正確な時刻不明）に急に灰色の雲が現れた。その直後にあられのようなものが降ったが、1分以内に降り止んだ。以前に経験した中岳の典型的な降灰（おそらく灰噴火によるものと考えられる）とは全く違うものであった。」

その住民が1月14日の降灰当時に被っていた帽子を見せてもらったところ、径1～2mm程度の灰白色の斑点が多数認められた（Fig. 6D）。また、自動車の荷台には最大3mmの灰白色斑点が観察できた（Fig. 6E）。

これらの堆積状況や証言から、2004年1月14日に噴出した火山灰は、最大3mm程度に凝集して降下したものと推定される。

4-4 噴出物の総量

降灰が認められた地点の中で12箇所においては、20×20cmの範囲内の火山灰を積雪とともに採取した。持ち帰った雪混じりの試料は実験室において乾燥させて重量を測定し、1m²当たりの重量に換算した。それらの値を分布図（Fig. 7）にプロットした結果、1m²あたり40g、20g、10g、1g、0.5g、0.3gという6本の等重量線を得ることができた。各等重量線が囲む面積と重量との関係は、Fig. 4のようになった。得られた単位面積当たりの重量と面積の関係を6つの区間に分けて、各区間の重量を積分した。なお、40g/m²以上の近傍域については、Fig. 4のグラフ上で20g/m²と40g/m²を結ぶ直線を火口の面積まで延長して重量を求めた。また、遠方は0.3g/m²までを計算の対象としている。各区間の重量を合計した結果、降灰量は32トン程度と概算された。これは、2003年7月10日の降灰量である41トンよりもやや少ない量であった。

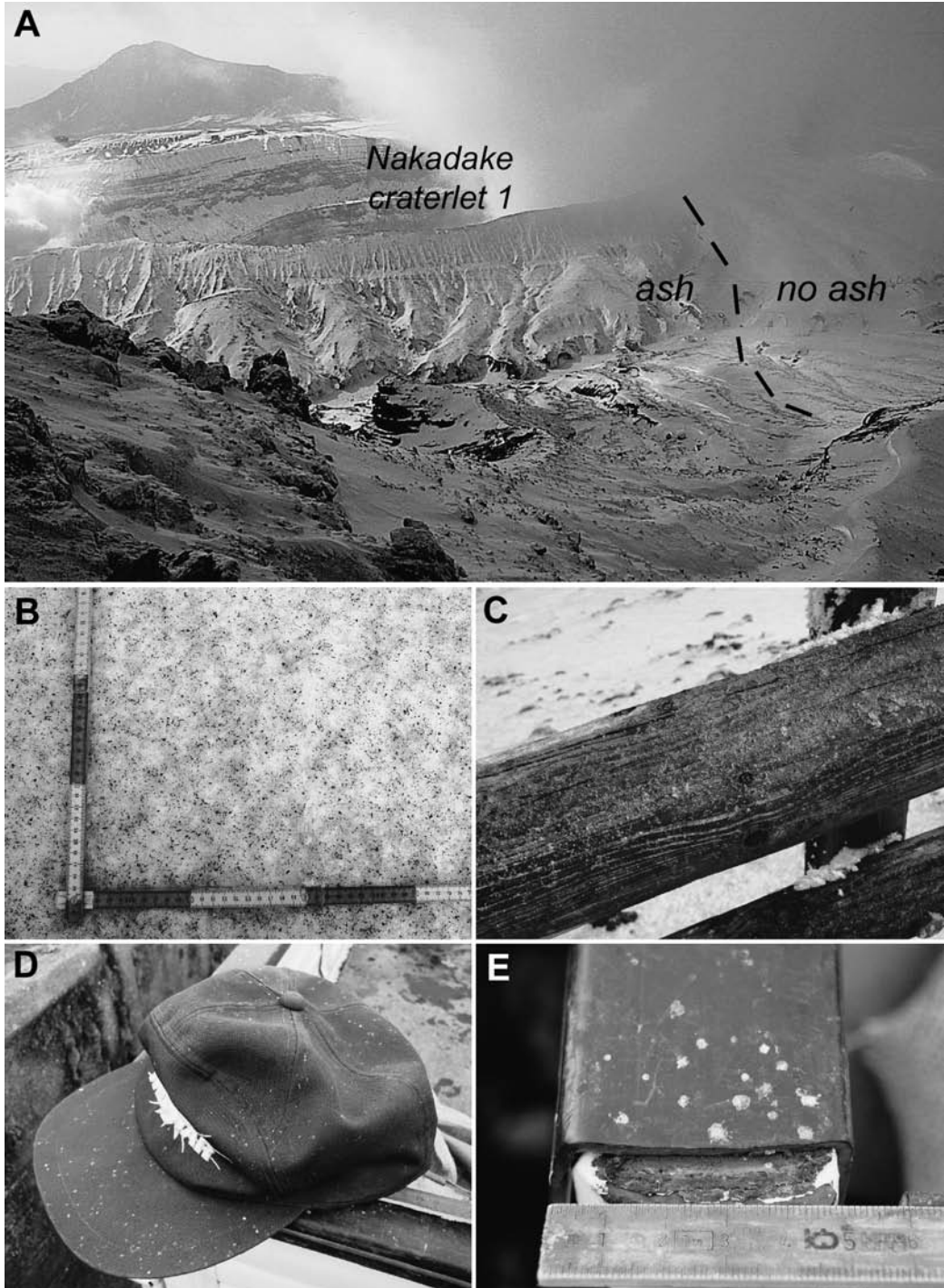


Fig. 6. Photographs of the January 14, 2004 ash-fall deposit. (A) Western view of the Nakadake crater and the 14 January 2004 ash-fall deposit on snowpack. (B) Aggregated volcanic ash deposited on snowpack at site D (about 0.5 km E of the crater). Scale segments are 10 cm. (C) A wooden fence to which volcanic ash adhered at site D. (D) A cap to which spot-like volcanic ash adheres at site G (about 6.3 km ESE). (E) The loading platform of a track to which volcanic ash adhered at site G. Scale in centimeters.

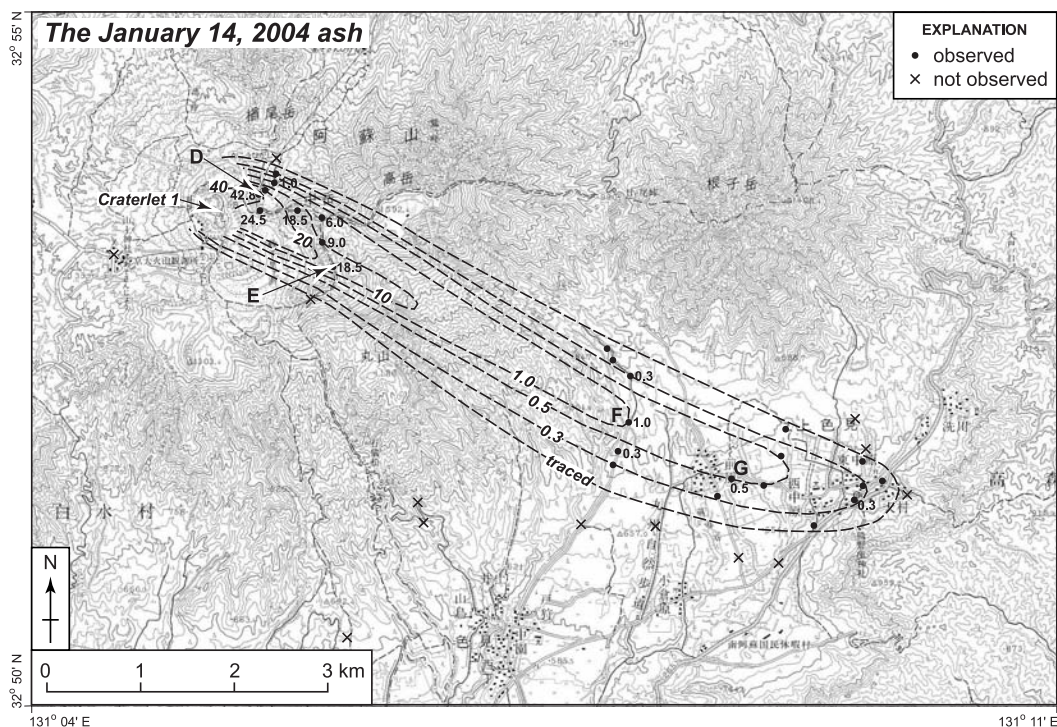


Fig. 7. Distribution of the 14 January 2004 ash from the Nakadake crater. Base map is a 1: 50,000-scale topographic map of the Asosan district published by the Geographical Survey Institute. Broken lines indicate isopleths (g/m^2). Longitude and latitude are shown as Tokyo Datum.

5. 2003年7月10日および2004年1月14日における火山灰の特徴

5-1 火山灰の粒度組成

両日に噴出した火山灰について、粒度分析を実施した。分析に使用したのは、地点A（火口北東0.9km）と地点B（東北東4.4km）で採取された2003年7月10日の火山灰と、地点D（東約0.5km）および地点E（東南東約1.5km）、地点F（東南東約5km）で採取された2004年1月14日の火山灰である。全ての試料の粒度分析はレーザー回折式粒度分布測定装置（Malvern Mastersizer S）を用いた湿式分散法によって行った。その分析結果はFig. 8に示したとおりで、各グラフともに右端のバーは 10ϕ （ $1/1024$ mm）以下の総割合を表している。

まず2003年7月10日の火山灰であるが、2試料ともに 0ϕ （1 mm）以下の粒子からなり、礫成分は全く含まれない。火口近傍域の地点Aの試料は $1\sim 2\phi$ （ $1/2\sim 1/4$ mm）付近にピークがあり、細粒な部分ほど割合が減少する粒度分布をしている。一方、遠方域の地点Bの火山灰は、 $3\sim 4\phi$ （ $1/8\sim 1/16$ mm）にピークをもつユニモーダルな粒度分布を示した。分級度 σ_ϕ （Inman, 1952）は地点Aで3.2、地点Bで2.5であり、近傍域の方が淘汰が

悪い堆積物であった。 4ϕ 以下の細粒成分（シルト・粘土成分）の割合は近傍域で約50%、遠方域では約41%であった。

つぎに2004年1月14日の火山灰についても、3地点の試料とも全て 0ϕ （1 mm）以下の粒子で構成されており、礫成分は全く含まれていない。火口近傍域にあたる地点Dと地点Eにおける火山灰の粒度組成は極めて類似しており、 $4\sim 5\phi$ （ $1/16\sim 1/32$ mm）にピークをもつユニモーダルな粒度分布を示している、 σ_ϕ は2.6程度であった。一方、遠方域である地点Fの試料も同様にユニモーダルの分布を示すが、 $1\sim 3\phi$ （ $1/2\sim 1/8$ mm）付近にピークがあり、 σ_ϕ は1.9と淘汰がよい。 4ϕ 以下の細粒成分の割合は、近傍域で約59%であるのに対し、遠方域では約26%であった。

これらの粒度分析結果を総合すると、両火山灰ともに遠方域の試料の方が淘汰がよく、細粒成分に乏しいことが特徴となっている。

5-2 火山灰の構成物質

火山灰の構成物質を明らかにするため、双眼実体顕微鏡および偏光顕微鏡による観察を行った。観察に使用したのは、地点A（火口北東0.9km）で採取した2003年7

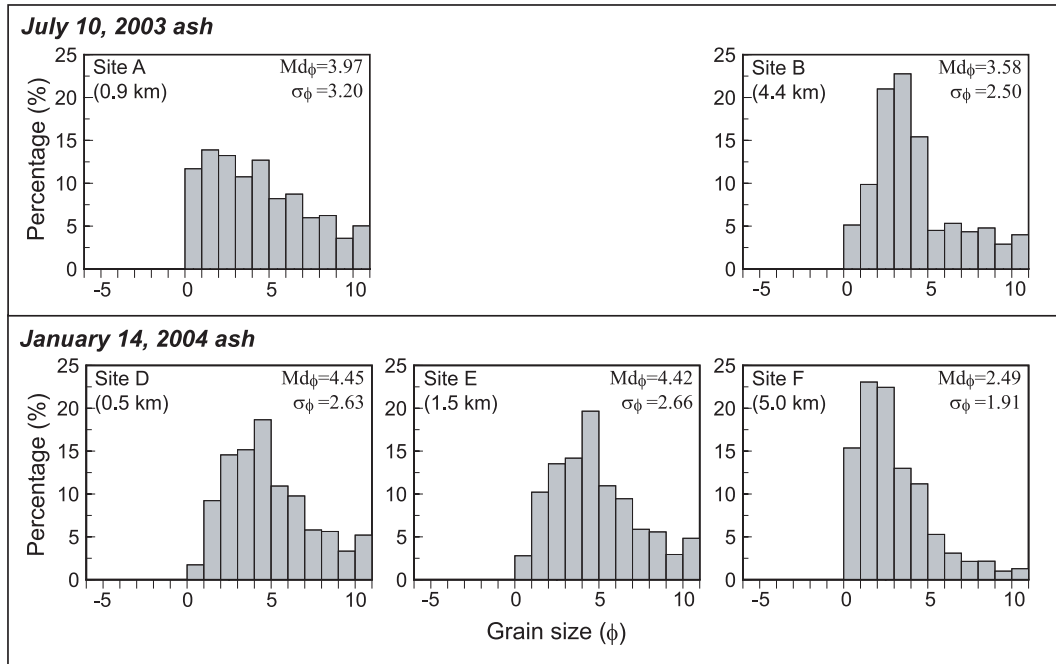


Fig. 8. Grain-size histograms of the 10 July 2003 and the 14 January 2004 ash-fall deposits. See Figs. 2 and 7 for locations of the sites.

月 10 日の火山灰と地点 D (火口東 0.5 km) で得られた 2004 年 1 月 14 日の火山灰である。これらの試料を約 10 分間超音波洗浄して双眼実体顕微鏡で検鏡するとともに、両面研磨薄片 (樹脂封入) を作製して偏光顕微鏡下においても観察した。

双眼実体顕微鏡下では、両火山灰ともに灰色～白色の岩片 (大部分が変質)、結晶片 (斜長石・輝石・かんらん石)、褐色で透明のガラス片が認められた。なお、火山灰のサイズは粒径 1 mm 以下であったが、その中でも大型のものは変質岩片が多かった。ガラス片には白色の粘土鉱物らしいものが付着するものと、ほとんど付着しないものがあった。また鉱物の一部には、まわりに透明なガラス片が付着するものが存在していた。

偏光顕微鏡下での観察においては、両火山灰ともおよそ 0.5 mm 以上の粒子では新鮮な結晶片が非常に少なく、変質した岩片がほとんどであった。また、見かけ上新鮮な褐色透明のガラス片が少量含まれていた (Fig. 9)。ガラス片は発泡しているもの (Figs. 9A, 9C) と発泡していないものがあり、大きさはほとんどが 0.5 mm 以下である。偏光顕微鏡下においても、鉱物のまわりに付着する透明なガラスが観察された (Fig. 9B)。また、マグマが引き伸ばされて生じたと推察されるガラス粒子もまれに認められる (Fig. 8D)。新鮮に見えるガラス片の

量は、およそ 0.1～0.5 mm の粒子の中で 10 数% と見積もられ、20% には満たない割合であった。

2003 年 7 月 10 日の火山灰については、火山ガラスの形態的特徴の記載と EPMA による化学組成の分析が行われている (星住・他, 2003)。その報告では、火山ガラスは褐色透明ガラス火山灰 G1～G3 および黒色ガラス火山灰 G4 の 4 つに区別されている。G1 は表面に光沢があり、球状の気泡をもち、見かけ上新鮮に見える多面体型のガラス火山灰であり、G2 および G3 は球状の気泡を有し、白色鉱物が表面に付着あるいは気泡を埋めていたりする多面体型のガラス火山灰である。これらの中で、化学組成のデータから G1 が本質物質である可能性が指摘されている (星住・他, 2003)。今回、2004 年 1 月 14 日の火山灰を実体鏡下で観察したところ、G1～G3 の 3 種類の火山ガラスと類似した形態をもつガラス片が認められた。新たに EPMA による化学組成の分析を行うことができなかったが、星住・他 (2003) の指摘が正しいとすると、2003 年 7 月 10 日と 2004 年 1 月 14 日に噴出した火山灰は、ともに新しいマグマに由来する本質物質が含まれていることになる。この問題については、今後詳しく検討する必要がある。

6. 考 察

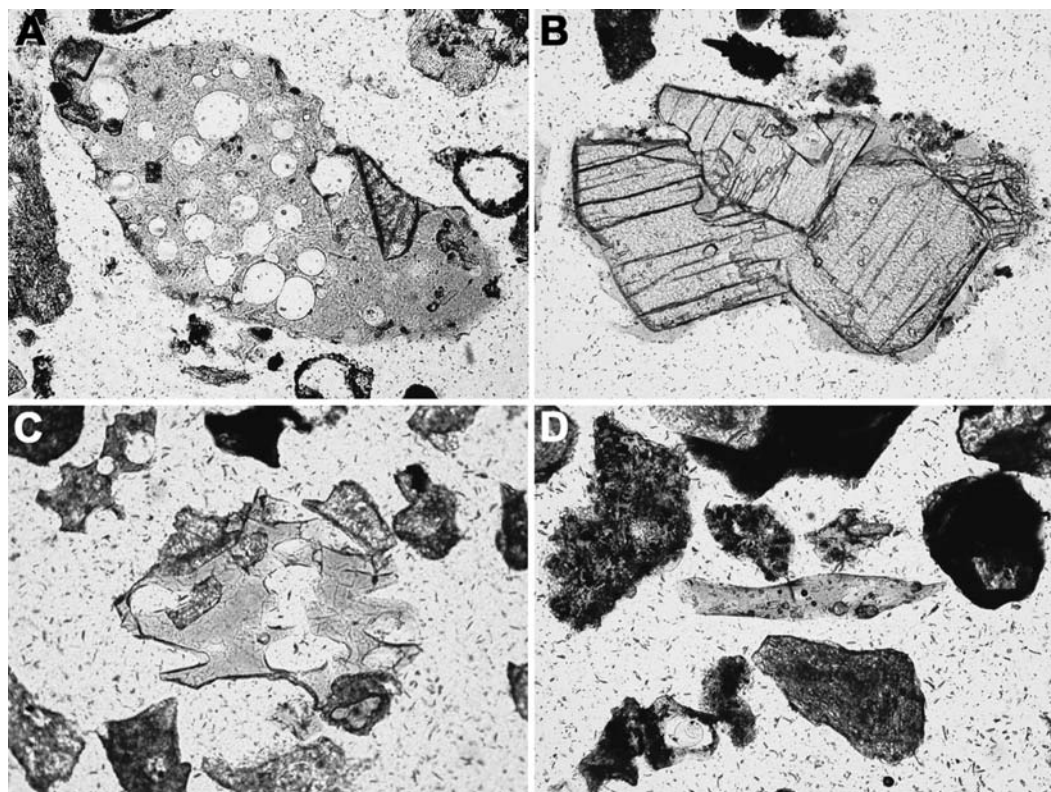


Fig. 9. Polarizing microscope photographs of glass shards included in the July 10, 2003 (A, B) and the January 14, 2004 (C, D) ash-fall deposits. Width of each photo is about 1 mm.

6-1 2003 年 7 月 10 日と 2004 年 1 月 14 日における火山灰噴出・堆積過程

本論で記述した 2003 年 7 月 10 日と 2004 年 1 月 14 日における火山灰は、火口内の湯だまりから噴出したものである。したがって、それらの火山灰には噴出時に多量の水分が含まれていたと考えられる。噴出物の産状がより詳しく観察できた後者の火山灰について、火口近傍域（東方 0.5 km 付近）で最大 3 mm 程度の大きさに凝集して堆積していることは、火山灰が湿った状態であったことを強く示唆している。また、東南東へ約 6.3 km 離れた地点でも、径 1~3 mm 程度の斑点状に堆積する産状が認められるとともに、あられのようなものが降下したという住民の証言も得られた。これらのことから、火山灰は水分を相当含んで凝集した状態で噴出して降下堆積したことが明らかである。2003 年 7 月 10 日の火山灰についても、火山灰が湿った状態で凝集して降下したことを示す産状が認められている（京都大学大学院理学研究科付属地球熱学研究施設火山研究センター，2004）。

また、2004 年 1 月 14 日における火山灰の粒度分析結

果から、火口から約 1.5 km の近傍域に堆積した火山灰はシルト・粘土成分を 59% 程度有するが、遠方域（5 km 程度）では約 26% しか含まれていないことがわかった。近傍域では火口方向を向く面に付着する火山灰が認められており、このことは火口壁に噴出物が付着していたという阿蘇山測候所の観察記録（福岡管区気象台火山監視情報センター，2004a）とも調和している。こうしたことは、火口近傍域（約 1.5 km 以内）において細粒物質に富む火山灰が凝集した状態で火口方向から吹き付けるような形態で堆積したことを意味している。火口カメラによる音声記録では鳴動が複数回観測されていること（Fig. 5）や、40 g/m² の等重量線（細粒物質に富む火山灰の堆積部分）の主軸が火山灰全体の分布傾向と異なること（Fig. 7）などから、2004 年 1 月 14 日のイベントでは火山灰噴出が複数回発生した可能性もある。したがって、標高 2,000 m 付近まで上昇して遠方まで流された噴煙以外に、細粒物質に富んで凝集した火山灰を主体とする別の噴煙が存在し、それが風に流されるなどして、横方向から吹き付けるような形で近傍域に堆積したのかもしれない

い、あるいは、同じ噴煙（上昇して遠方まで達したもの）の中に細粒物質に富んで凝集した火山灰を主体とする部分があって、それが上昇する部分から離脱して風に流され、近傍域に堆積したという可能性も考えられる。

6-2 阿蘇火山中岳における湯だまりからの火山灰噴出現象

これまで阿蘇火山中岳において、湯だまりから火山灰が噴出する現象は“土砂噴出”と呼ばれてきたことから、2003年7月10日と2004年1月14日の現象も土砂噴出と解釈されている（気象庁，2003a；福岡管区気象台火山監視情報センター，2004a）。

1989～1991年にかけての活発な噴火活動（灰噴火およびストロンボリ式噴火）以降、阿蘇火山中岳では1995年9月頃まで多くの土砂噴出が発生している（池辺，1999）。その中で、1992年6月～10月には火口外へ噴出物が放出される土砂噴出が複数回発生しており、とくに6月30日～7月1日や9月29日の土砂噴出では最大半身程度の噴石（いずれも類質岩片）が火口縁で認められたり、火口から東南東へ1.5 km付近まで飛沫がとんだことから、それらは大規模な土砂噴出として扱われている（京都大学理学部附属火山研究施設，1993）。これらの土砂噴出では遠方までの火山灰の飛散は認められていないが、1994年9月15日の土砂噴出（噴石の有無不明）では白水村の吉田料金所（当時；火口南南西約5.5 km）で飛沫が達したことが唯一報告されている（京都大学理学部附属火山研究施設，1994）。

そうした1992年頃の土砂噴出現象と比較しているためか、噴石を伴っていない2003年7月10日のイベントは小規模な土砂噴出現象とされ、遠方まで火山灰が飛散したのは強い西風によるものと考えられている（京都大学大学院理学研究科付属地球熱学研究施設火山研究センター，2004）。しかし、それほどの強風でもなかった2004年1月14日においても火口から8 km付近まで火山灰が飛散しており、こうした遠方域までの火山灰分布はこれまでの土砂噴出ではほとんど報告されていないことである。したがって、本論で述べた2回の火山灰噴出現象が小規模なものであったかどうかについては検討の余地がある。今後、土砂噴出とされる現象の規模を論じるのであれば、微動や空振の最大振幅、噴出物の量や分布状況で決定するなど、何らかの判断基準が必要であろう。

また、中岳における土砂噴出によって放出される物質は、湯だまりの湯とその底に堆積している古い火山灰と考えられてきた（京都大学大学院理学研究科付属地球熱学研究施設火山研究センター，2004など）。しかし、2003年7月10日と2004年1月14日に噴出した火山灰には見かけ上新鮮な火山ガラスが少量含まれており、それが

本質物質である可能性も指摘されている（星住・他，2003）。この指摘が正しいとすれば、本論で述べた現象は、火道中を上昇してきた火山灰混じりのガスが湯だまりを突き破って噴出したと解釈すべきである（渡辺・他，2003a）。2003年と2004年の火山灰噴出は、噴石を伴っていないことや1992年6月～10月（京都大学理学部附属火山研究施設，1993）や1995年3月（京都大学理学部附属火山研究施設，1995）などの土砂噴出に比べて、微動や空振の振幅が小さいことから、火口底において大きな爆発は起こらなかったものと考えられる。つまり、火山灰混じりのガスが大きな爆発を伴わずに湯だまりを突き抜けたということが1995年以前の土砂噴出現象と異なる点である。

本論で述べた火山灰噴出現象を、火山学的に何と呼ぶべきかを検討した。降下火砕物の分散度と粉砕度による分類（Walker, 1973, 1980; Wright *et al.*, 1980）では、今回の現象はスルツェイ式噴火に区別される（Fig. 10）。なお、この考察では最近傍域で得られたデータを最大層厚（実際には1 m²当たりの重量）と仮定した（Fig. 4で火口面積まで外挿して求めた重量とほぼ同じ値）。また、両イベントともに、近傍域で採取された試料はすべて1 mm以下の粒子であったので、粉砕度（最大層厚の1/10の地点での1 mm以下の割合）は100%になる。スルツェイ式噴火とは、海域や湖で起こる爆発的な玄武岩質マグマの噴火とされている（Walker, 1973）。噴出物の高い粉砕度はマグマと水の接触を示唆していることから、一般的にマグマ水蒸気噴火と同義で扱われている（Cas and Wright, 1987, p. 156–158）。こうした噴火様式は、中岳の化学組成（玄武岩～玄武岩質安山岩）や、今回の火山灰噴出が湯だまり状態で起こったことを説明するのに都合がよい。しかしながら、マグマと水の接触が実際に起こったかどうかについては、火山ガラスの形態を詳しく分析するなど、さらなる検討が必要である。今回の現象を厳密に定義することは、現段階では難しいといえる。

今回の火山灰噴出は、湯だまりの量が減少していき、火口底が乾燥していく過程で発生したものである。最近数10年間の活動記録からは、火口底が乾燥・露出した後に火孔が形成され、本質火山灰が噴出されるというモデルが提示されており、湯だまりが存在する段階で新しいマグマが噴出するという考えはなかったといえる。過去における土砂噴出現象で噴出物を詳細に観察した例がないため不明な点も多いが、本論で述べた2回のイベントは、本質物質を放出しないとされる、これまでの土砂噴出と呼ばれていた現象とは規模だけでなく、メカニズムが異なる可能性もある。これまでの観察からは、中岳では火口底が完全に乾燥しないと本質火山灰を放出する

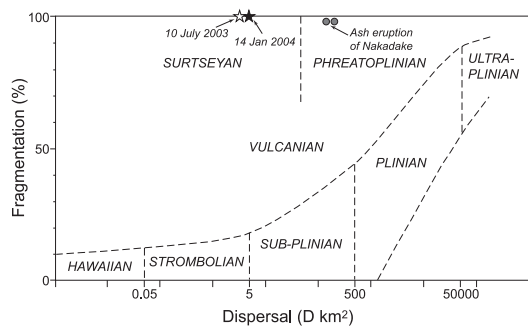


Fig. 10. Dispersal-fragmentation diagram (Walker, 1973, 1980; Wright *et al.*, 1980). The 10 July 2003 and 14 January 2004 ash-fall deposits from a hot water pool of the Nakadake crater are plotted in the area of Surtseyan eruption. Data for ash eruption of Nakadake are from Ono *et al.* (1995).

活動にはならないとされてきたが、こうした考えは見直すべきかもしれない。今後は、これまでと異なったパターンの活動へ推移することも十分に予想される。

阿蘇火山中岳において、これまで土砂噴出とされてきた現象は、高さ数 m のものから火口外へ噴出物が放出されるものまで、規模はさまざまである。これらは単に規模の違いだけでなく、本論で述べたように、メカニズムそのものが異なる可能性がある。今後の火山活動を見守る上でも、湯だまりからの火山灰噴出現象についてさらに検討を加えることは、火山学的にも防災的にも重要であろう。

6-3 小規模な火山灰噴出時における噴出物量の検討

本論で述べた2003年7月と2004年1月に発生した火山灰噴出は、阿蘇火山中岳においてこれまで土砂噴出と呼ばれてきた現象の中で、はじめて噴出物量が求められた例である。噴火現象全体の中でみると、両イベントは小規模な火山灰噴出といえるが、後者のイベントについては積雪によって多くの地点で降灰の確認と降灰量の計測が可能であり、さらに火口から1.5 km以内という近傍域におけるデータも得られたため、かなり正確な噴出物量を見積もることができた。これは、過去の本格的な噴火活動（灰噴火やストロンボリ式噴火）を含めても、阿蘇火山中岳においては貴重な調査事例といえよう。本節では、2004年1月14日の事例をとりあげて、小規模な火山灰噴出現象の噴出物量について検討する。

降灰の重量と面積との関係はFig. 4に示したとおりであり、噴出物総量は約32トンと見積もられた。もし今回、5 km以上離れた遠方でしか調査ができなかったと

仮定すると、得られた等重量線は 1 g/m^2 、 0.5 g/m^2 、 0.3 g/m^2 の3本になったであろう。それらが囲む面積との関係に回帰直線を与え、その直線をグラフ上で給源に向かって外挿して計算すると、噴出物量は5トン程度となる。この値は、火口近傍域のデータも使用して算出された噴出物量の約1/6であり、かなりの過小評価と判断される。

また、一般的に大規模噴火の噴出物量計算によく使用されるFierstein and Nathenson (1992)の方法についても考察した。近傍域のデータも含めた計算では、2004年1月14日の噴出物量は27トンとなり、この値は区分求積法による結果と近いものであった。一方、遠方域のデータ(1 g/m^2 、 0.5 g/m^2 、 0.3 g/m^2)のみでの計算では、約9トンとなった。2004年1月14日の噴出物について、全データを使用した場合にはFierstein and Nathenson (1992)の方法でも区分求積法と近い値が得られたが、遠方域のみの計算では、やはり相当な過小評価となった。

今回のように、火口近傍域での堆積物量が、遠方域から外挿して求めた噴出物量よりもかなり大きくなる現象は、北海道駒ヶ岳の1996年噴火(宇井・他, 1997a, 1997b)や有珠火山2000年噴火(宝田・他, 2002)などの小規模噴火において認められている。前節で述べたように、火口近傍域に量的に大部分の噴出物が堆積することは、上空に舞い上がって遠方域に達する噴煙以外に、近傍域だけに火山灰をもたらす別の噴煙が存在するためか、あるいは噴煙の一部が上昇する部分から離脱して近傍域に堆積するためと考えられる。安全上の問題はもちろん考慮しなくてはならないが、火口近傍域でデータが得られるかどうかは正確な噴出物量を見積もる際の鍵を握っているといえる。

7. ま と め

筆者らは、湯だまりから火山灰噴出が発生した2003年7月10日と2004年1月14日のそれぞれ翌日に中岳火口近傍域および遠方域において現地調査を実施し、火山灰の採取および観察を行った。その結果、降灰域は前者で中岳火口から東北東方向へ14 km付近まで、後者では東南東方向へ8 km付近まで分布することが確認された。堆積物総量はそれぞれ41トンと32トン程度と概算することができ、両者とも火山灰中には見かけ上新鮮なガラス片が少量含まれることがわかった。噴出した火山灰はすべて1 mm以下の細粒成分からなり、噴石を伴っていない。このことから、今回の火山灰噴出は火山灰混じりのガスが大きな爆発を伴わずに湯だまりを突き抜けた現象であると解釈することができる。細粒な火山灰は、多量の水分を含んで径1~3 mm程度の大きさに凝

集して、湯だまりから噴出し、降下堆積した。また、火口から 5 km 以上の遠方域よりも 1.5 km 以内の近傍域の堆積物の方が、細粒物質（シルト・粘土成分）に富んでおり、淘汰が悪いことが特徴である。さらに、今回のイベントでは、他の火山の小規模噴火と同じように、近傍域での堆積物量が遠方域から外挿して求めた噴出物量よりもかなり大きくなるという現象が認められた。こうしたことは、上空に舞い上がって遠方域に達する噴煙以外に、近傍域だけに火山灰をもたらす別の噴煙が存在するためか、あるいは噴煙の一部が上昇する部分から離脱して近傍域に堆積するためと考えられる。

謝 辞

気象庁阿蘇山測候所の水上元日出前所長、黒木義幸所長、下村雅直氏、佐藤孝久氏には、多くの観測情報を提供していただいた。産業技術総合研究所の星住英夫氏には、火山灰の構成物質について貴重なご意見をいただいた。USGS Cascades Volcano Observatory の Kevin M. Scott 氏には英文の不備を指摘していただいた。また、査読者である古川竜太氏と福島大輔氏のコメントにより、本論の内容は大きく改善された。以上の方々に心から感謝いたします。

引用文献

- 阿蘇山測候所 (1980) 1979 年の阿蘇山の火山活動。火山噴火予知連絡会会報, **17**, 17–20.
- Cas, R. A. F. and Wright, J. V. (1987) *Volcanic successions, modern and ancient*. Chapman and Hall, London, 528 p.
- Fierstein, J. and Nathenson, M. (1992) Another look at the calculation of fallout tephra volumes. *Bull. Volcanol.*, **54**, 156–167.
- 福岡管区気象台火山監視情報センター (2004 a) 阿蘇山。火山活動解説資料 (平成 16 年 1 月 14 日)。2 p.
- 福岡管区気象台火山監視情報センター (2004 b) 阿蘇山。火山活動解説資料 (平成 16 年 2 月 13 日)。8 p.
- 福岡管区気象台火山監視情報センター・阿蘇山測候所 (2003) 2003 年 7 月 10 日の阿蘇山の火山活動。日本火山学会 2003 年秋季大会講演予稿集, 110.
- 星住英夫・斎藤元治・渡辺一徳・池辺伸一郎・宇都浩三 (2003) 阿蘇火山中岳 2003 年 7 月 10 日火山灰中の火山ガラスの形態的特徴及び化学組成。日本火山学会 2003 年秋季大会講演予稿集, 124.
- 池辺伸一郎 (1999) 阿蘇中岳における 1990 年以降の表面活動の推移。熊本地学会誌, **121**, 12–16.
- 池辺伸一郎・渡辺一徳・宮縁育夫・星住英夫 (2004) 阿蘇火山中岳における 2003 年 7 月 10 日土砂噴出前後の火口状況。火山噴火予知連絡会会報, **86**, 110–111.
- Inman, D. L. (1952) Measures of describing the size distribution of sediments. *J. Sediment. Petrol.*, **22**, 125–145.
- 気象庁 (2002) 阿蘇山 (2002 年年報)。火山活動解説資料, 9 p.
- 気象庁 (2003 a) 阿蘇山 (平成 15 年 7 月)。火山活動解説資料, 6 p.
- 気象庁 (2003 b) 阿蘇山 (2003 年年報)。火山活動解説資料, 15 p.
- 気象庁 (2004 a) 阿蘇山。火山活動解説資料 (平成 16 年 1 月), 9 p.
- 気象庁 (2004 b) 阿蘇山。火山活動解説資料 (平成 16 年 3 月), 6 p.
- 気象庁 (2004 c) 日本の火山活動概況 (2003 年 11 月～12 月)。火山, **49**, 45–50.
- 熊本地方気象台 (2004) 熊本県気象月報 (2004 年 1 月)。24 p.
- 京都大学大学院理学研究科付属地球熱学研究施設火山研究センター (2004) 阿蘇火山の最近の活動 (2003 年 5 月～10 月)。火山噴火予知連絡会会報, **86**, 102–106.
- 京都大学理学部附属火山研究施設 (1993) 阿蘇火山の最近の活動 (1992.6–1993.2)。火山噴火予知連絡会会報, **55**, 26–41.
- 京都大学理学部附属火山研究施設 (1994) 阿蘇火山の最近の活動 (1994 年 5 月～10 月)。火山噴火予知連絡会会報, **60**, 44–54.
- 京都大学理学部附属火山研究施設 (1995) 阿蘇火山の最近の活動 (1995 年 2 月～5 月)。火山噴火予知連絡会会報, **62**, 17–19.
- 小野晃司・下川浩一・曾屋龍典・渡辺一徳 (1982) 火山噴出物の地質学的・岩石学的研究。昭和 54 年度特別研究促進調整費「1979 年の御岳山・阿蘇山噴火に関する特別研究」報告書, 科学技術庁研究調整局, 167–189.
- Ono, K., Watanabe, K., Hoshizumi, H. and Ikebe, S. (1995) Ash eruption of the Naka-dake crater, Aso volcano, southwestern Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **66**, 137–148.
- 小野晃司・渡辺一徳・星住英夫・高田英樹・池辺伸一郎 (1995) 阿蘇火山中岳の灰噴火とその噴出物。火山, **40**, 133–151.
- 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) 有珠火山 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 (1997 a) 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 (1997 b) 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.
- Walker, G. P. L. (1973) Explosive volcanic eruptions - a new classification scheme. *Geologische Rundschau*, **62**, 431–446.
- Walker, G. P. L. (1980) The Taupo pumice: products of the most powerful known (ultra-plinian) eruption? *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **8**, 69–94.
- 渡辺一徳 (1991) 阿蘇中岳噴火に伴う降灰現象が阿蘇くじゅう国立公園の植生に与える影響の緊急調査報告書。環境庁委託調査, 財団法人自然公園園美化管理財団, 69 p.
- 渡辺一徳・池辺伸一郎・宮縁育夫・星住英夫 (2003 a)

阿蘇火山中岳における 2003 年 7 月 10 日の大規模土砂噴出概報. 日本火山学会 2003 年秋季大会講演予稿集, 51.

渡辺一徳・池辺伸一郎・宮縁育夫・横山勝三・増田直朗・嶋野壽美・下川幸恵 (2003 b) 阿蘇火山中岳の降灰観測システムの構築. 熊本地学会誌, **133**, 12-17.

Wright, J. V., Smith, A. L. and Self, S. (1980) A working terminology of pyroclastic deposits. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **8**, 315-336.

付 記

本論文審査中の 2005 年 5 月 10 日に, 気象庁は新しい噴火記録基準を示し, 日本全国の火山に適用することを

公表した (気象庁, 2005). その基準見直しにより, 本論で述べた 2003 年 7 月 10 日と 2004 年 1 月 14 日の現象も“噴火”として認定された (福岡管区気象台火山監視情報センター, 2005). このことは, 両イベントを“土砂噴出”とあえて呼ばなかった筆者らの考えとも調和するものである.

福岡管区気象台火山監視情報センター (2005) 阿蘇山. 火山活動解説資料 (平成 17 年 4 月). 8p.

気象庁 (2005) 噴火の記録基準について. 防災メモ, 4p.

(編集担当 川邊禎久)