

阿蘇火山中岳における 2005 年の火山活動と噴出物

宮 縁 育 夫*・池 辺 伸 一 郎**・渡 辺 一 徳***

(2006年2月16日受付, 2007年4月4日受理)

The 2005 Activity and Products of Nakadake Crater, Aso Volcano, Japan

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

Small ash emissions were frequently observed from a crater lake, in which the amount of water decreased considerably, at Nakadake, Aso Volcano, southwestern Japan, between April and August 2005. During this period, major ash emitting events, which produced mostly white aggregated ash, occurred on April 14, June 10–12, June 21 (4.2 tons) and July 25 (1.2 tons). Ash emissions at the Nakadake crater in 2005 were classified as three types: gentle release of white aggregated ash from fumaroles inside the crater lake (e.g. daytime of April 14, June 10–12 and July 25); short (ca. 20 seconds) gas-and-ash emission through the crater lake (April 14 20: 41); and emission of black ash from an almost dry vent (June 21). All products from these ash emissions were composed of fine-grained (< 1 mm) glass shards, crystals and lithic fragments, and contained neither lapilli nor blocks. Although the glass shards show varying degrees of crystallization and alteration, clear glass shards, which appear fresh and are not altered, may be juvenile materials.

Key words: ash emission, clear glass shards, crater lake, Nakadake, Aso Volcano

1. はじめに

阿蘇火山中岳第1火口内には、活動静穏期に“湯だまり”と呼ばれる火口湖が存在している。2003年7月と2004年1月には、その湯だまりからの火山灰噴出が発生する(宮縁・他, 2005)など、火山活動のやや活発な状態が認められた。その後、2005年4月14日にはごく小規模な噴火が起こり、同日夜には土砂噴出に伴うと考えられる火山性微動が観測された。さらに、火山性連続微動の発生、湯だまり量の減少、火口底の赤熱現象が観察されるなどの状態が2005年9月頃まで続いた。

筆者らは、2005年4月14日の小噴火発生当日より火口の状況観察と噴出物に関する調査を行い、噴出物の分布域を確認するとともに、複数の地点で試料を採取することができた。その後も定期的に現地調査を実施した結果、2005年6月以降、火口周辺域の人工物等に火山灰が

顕著に付着する様子を観察した。

宮縁・他(2005)は、中岳火口内に湯だまりが存在する状況下での火山灰噴出現象(2003年7月と2004年1月)について、噴出物の観点から議論し、見かけ上新鮮な火山ガラスの存在から、それらが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現象であると解釈した。一方、湯だまりの減少期から消滅時の活動に関する議論は行われていない。そこで本論では、阿蘇火山中岳において湯だまり減少期から消滅時にかけての活動であった2005年の火山活動に伴う噴出物の分布と特徴について報告し、火山灰噴出現象や噴火認定基準について考察する。なお、本論においては、火口から直径2mm以下の固形物が噴出される現象は、メカニズムに関係なく“火山灰噴出”と呼び、これは気象庁等がいう規模の大きな“土砂噴出(湯だまりにおいて火口

* 〒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, Kuma-

moto 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

底の土砂を噴き上げる現象)”を含んだものである。また、湯だまりの量(水量)については正確に測定することが困難なため、気象庁阿蘇山測候所職員が目視によって判定した表面積割合(2003年5月23日までの湯だまりを10割としたもの;気象庁,2004)のデータを用いる。

2. 阿蘇火山中岳における2004年以降の活動状況

阿蘇火山中岳では、1989年～1991年にかけて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湯だまりからの火山灰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。その後、2000年11月から南側火口壁下部で赤熱現象がみられるなど、表面活動に変化が認められるようになった。さらに2003年6月からは湯だまりの量が減少し始め、7月10日には湯だまりからの火山灰噴出が起こった(宮縁・他,2005)。ここでは、福岡管区気象台火山監視情報センター(2005a,2006)等を参考に2004年～2005年の活動状況について概説する(Fig.1)。

火口底の温度上昇と湯だまり量の減少傾向が続く状況で、2004年1月14日15時41分に再び湯だまりからの火山灰噴出が発生した(宮縁・他,2005)。その後も湯だまり表面温度(阿蘇山測候所による火口縁からの放射温度計での測定;以下同様)は60～80℃前後と高い状態が続いたが、南側火口壁下部の温度は4月から次第に下がりはじめ、その部分の赤熱現象は9月頃に消滅した。湯だまりの量は概ね3～8割の範囲で推移し、湯だまり内では高さ5m程度の小規模な土砂噴出が2004年1月～9月まで継続したが、10月以降は観察されなくなった。

2004年10月以降、湯だまりの量は8割が続いていたが、2005年1月からはやや減少傾向となり(Fig.2)、高さ5m程度の小規模な土砂噴出が観察されるようになった。湯だまり量が2割になった直後の2005年4月14日にごく小規模な噴火が発生し、同日20時41分には規模の大きな土砂噴出に伴うと推定される火山性微動が観測された。

湯だまり量が減少して露出面積が増大した火口底では、5月31日夜に北側噴気孔付近で赤熱現象が確認され、6月に入って、その範囲は徐々に拡大する傾向にあった。湯だまりの量は6月～8月下旬まで1～4割で推移した(Fig.1)。火口底の赤熱現象は、7月上旬の降雨による水没で消滅したとみられたが、同月下旬には再び確認され、中央部では火映現象も観察された。また、8月中旬には火口底の赤熱現象とともに、中央部付近の噴気孔では火炎現象が認められた。

その後、9月上旬に台風14号に伴う豪雨(9月5日～

7日;総雨量496mm)によって湯だまりの量は7割にまで一気に増加し(Fig.2)、火口底の大部分は水没して赤熱現象と土砂噴出は認められなくなった(噴湯現象は継続)。2005年10月以降は湯だまりの量が6～8割という状態が継続しており(Fig.1)、多数の噴湯現象(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で、土砂を含まないことが土砂噴出と異なる)は見られるものの、土砂噴出は発生していない。

3. 2005年における火山灰噴出活動

3-1 火山灰噴出活動の概要

阿蘇火山中岳第1火口では、2005年4月から8月頃にかけて頻繁に湯だまりからの火山灰噴出が起こった(Table1)。最初に、湯だまりの量が2割になった直後の2005年4月14日の昼間にごく小規模な火山灰噴出が発生した。また、同日20時41分には最大振幅16.8 $\mu\text{m/s}$ (東西動)の火山性微動が観測され、火山灰が火口外へと放出された(福岡管区気象台火山監視情報センター,2005b)。

その後、6月頃より水深が減少した湯だまり内では高さ数m程度の土砂噴出が活発に発生し、その飛沫(水と火山灰)が噴気とともに舞い上がって火口縁のソーラーパネル等に付着するようになった。火口縁における2005年6月～9月の火山灰堆積量(乾燥重量の単位面積あたりの換算値)の経時変化をFig.1に示した。なお、ソーラーパネルに付着した火山灰は降雨で洗い流された可能性もあるが、噴出した火山灰の最低限の量は把握できたと考えられる。また、周辺の裸地から風で舞い上がった火山灰(いわゆるレス)が含まれることも十分に予想されるが、非噴火時のソーラーパネル上にはほとんど火山灰の堆積が認められなかったため、2005年6月～9月頃に堆積していた火山灰の大部分は火口から直接飛来したものとして取り扱った。6月1日以降の火山灰の大部分は火口縁で1g/m²以下の堆積量であったが、6月12日と6月22日、7月26日に3g/m²を越える火山灰の堆積が認められた。しかし、9月以降は火山灰はほとんど堆積しなくなった。

2005年における火山灰の噴出現象は、その形態や堆積物の産状の違いから、(1)凝集した細粒な白色火山灰を穏やかに噴出する現象、(2)火山灰混じりのガスのごく短時間に湯だまりを突き破って噴出する現象、(3)黒色火山灰を噴出する現象の3つのタイプに分けることができる。

3-2 凝集した白色火山灰を穏やかに噴出する現象

(1)のタイプには、2005年の大部分の火山灰噴出現象

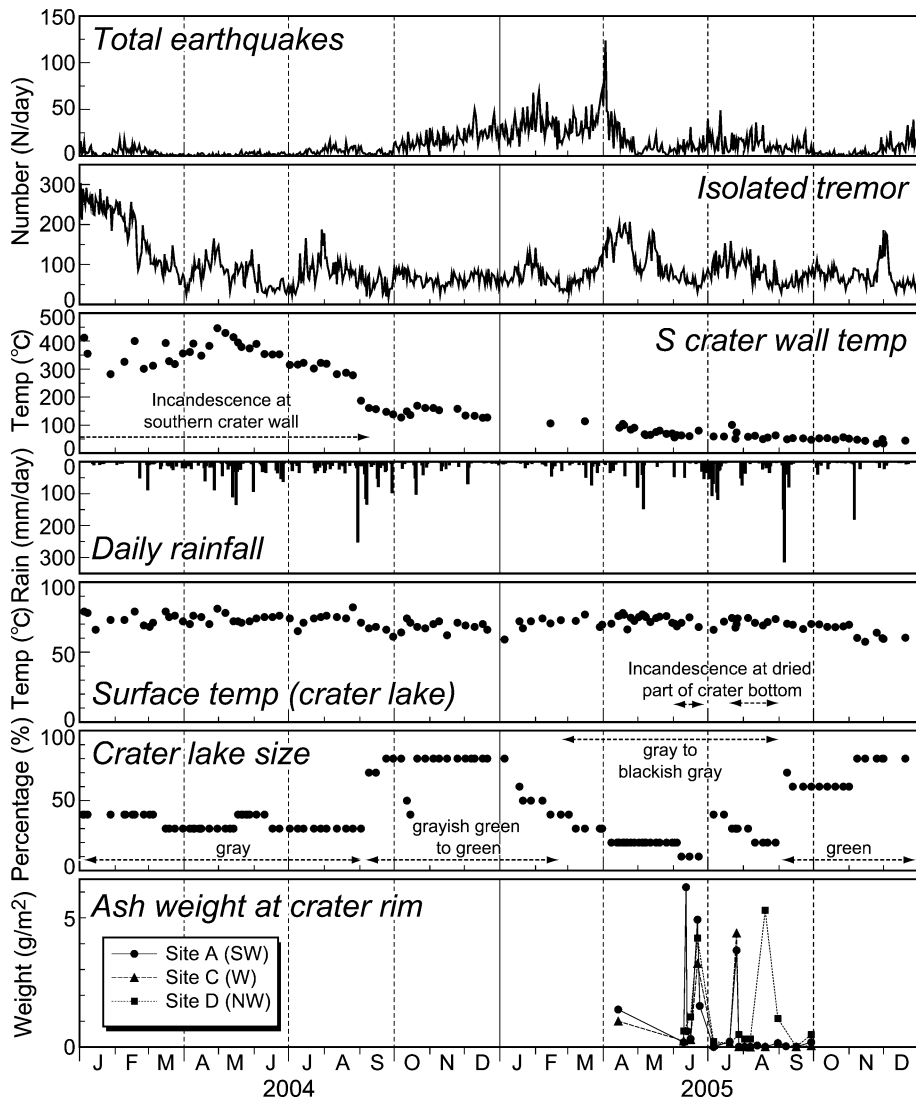


Fig. 1. Records of earthquakes, tremor, temperature at the southern crater wall, rainfall, surface temperature and size of Nakadake crater lake and weight of ash deposited at the crater rim. Data except for ash weight are from the Japan Meteorological Agency (JMA). Incandescent phenomena of crater bottom and southern crater wall were observed by JMA and Aso Volcano Museum personnel.

が含まれ、4月14日昼間や6月10日～12日のイベントがその代表例である。また、最大規模のイベントは7月25日に発生しており、1.2トン程度の火山灰が放出された。これらは、湯だまり量が2割程度と減少した状態で、湯だまり底部より火山ガスと火山灰が穏やかに噴出する現象である。

3-2-1 2005年4月14日昼間の火山灰噴出

2005年4月14日午前中、阿蘇山測候所等の調査によって中岳第1火口周辺域で、微量の灰白色火山灰の噴

出が確認された（福岡管区気象台火山監視情報センター、2005c）。その火山灰が第1火口縁の北西から北東の700m付近、南側700m付近、火口縁の南西から西側にも分布することが明らかとなり、これらを受けて福岡管区気象台は臨時火山情報第1号および火山観測情報第15号（阿蘇山でごく小規模な噴火発生）を相次いで発表した。

この日の阿蘇山測候所による現地観測では、湯だまりの量は約2割で色は灰色、表面温度は76℃とされている。

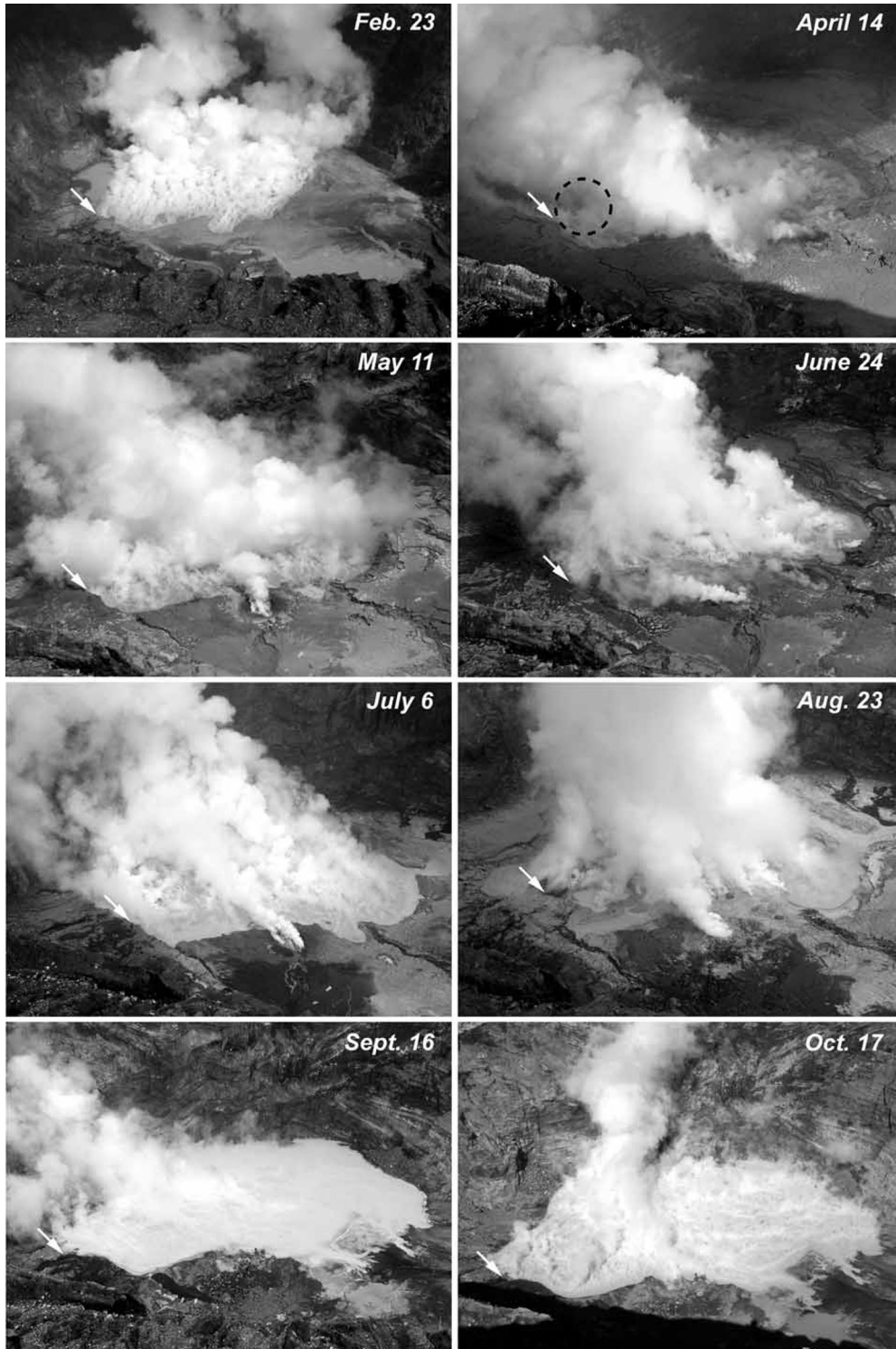


Fig. 2. Size variations of lake of the 1st crater, Nakadake Volcano, in 2005. Photographs taken from the southwestern crater rim. Arrow in each photo shows the northwestern edge of the crater lake. The crater bottom is about 200 m across.

Table 1. Major ash emission events at Nakadake 1st crater, Aso Volcano in 2005.

Event	Duration	Ash distribution	Maximum ash weight (g/m^2)	Eruptive mass (ton)	Characteristics of deposit
April 14 daytime	<9 hrs	NE 3.5 km, SW 2 km	1.7	unknown	Aggregated white silty ash
April 14 20:41	ca. 20 sec.	NE 2.3 km	>10.3	unknown	Aggregated white to gray ash like mud raindrops
June 10-12	<2 days	<1 km?	6.2	unknown	Aggregated white silty ash
June 21	<2 hrs	NNW 2.5 km, SSE 1.5 km	4.9	4.2	Ash including abundant black glassy particles
July 25	<16 hrs	SW 4.6 km, NE 2 km	4.4	1.2	Aggregated white silty ash

る。湯だまり中央部では高さ 5 m 以下の土砂噴出が認められた。また、湯だまり内の北側 (Fig. 2; 4 月 14 日写真の黒丸内) では青白色のガスが勢いよく噴出する噴気孔も観察された (福岡管区気象台火山監視情報センター, 2005c)。

同日の火山灰噴出の正確な発生時刻は明らかではない。火口カメラの記録によると、6 時にはカメラ前のガラスは汚れていなかったが、9 時にはガラスに多数の火山灰が付着していた。阿蘇山測候所などが行った 12 時までの現地調査では、実際に降灰が目撃されているが、その後 15 時から 17 時には降灰は観測されていない (火山観測情報第 15 号)。したがって、2005 年 4 月 14 日昼間の火山灰噴出は 6 時~9 時の間に開始し、15 時以前には終了したものと判断される。

同日昼間の降灰は全体的に微量であり、地面を埋めて堆積するよう量ではなかった。しかし、火口から 0.8 km 以内の地域では、木柵や看板などの人工物表面に付着する火山灰を容易に認めることができ (Fig. 3A)、火口を向く面に多く堆積している状況も認められた。火山灰は白色~灰色で、1 mm 以下の大きさに球状に凝集して堆積していた。また、その凝集した火山灰を実体顕微鏡で観察すると、複数のより細かい粒子が寄り添っていて表面が凸凹した状態であった。さらに、鉛直に近いガラス面に付着していることなどから、降下当時、火山灰は湿っていたものと考えられる。

4 月 14 日の昼間に噴出した火山灰は、概ね北東-南西方向を軸とする楕円状に分布していた (Fig. 4)。火山灰が確認できた最も遠い地点は、火口から北東へ 3.5 km 付近であった。また、南西側約 2 km 地点でも道路標識等にならずに付着する火山灰を観察することができたが、火口から 0.8 km より遠方では注意深く観察しないと認識できない程度であった。西側火口縁では、方位によって火山灰堆積量に若干の差異がみられた。北西側の地点 B から地点 D に向かって火山灰の付着は顕著になるが、地点 D から地点 C に行くにしたがって再び減少した。

しかし、地点 A から第 1 火口展望台 (南側火口縁) では最も顕著な火山灰の付着が観察された。このことは、第 1 火口縁から南側 700 m 付近まで火山灰が付着していたとする阿蘇山測候所の調査結果 (臨時火山情報第 1 号) とも調和している。

噴火当日に採取した火山灰の乾燥重量 (単位面積あたりの換算値) は、地点 A で $1.2\sim 1.7\text{g}/\text{m}^2$ 、地点 C で $1.0\text{g}/\text{m}^2$ であった。同日昼間の噴出物は試料を採取できた地点が少なく、複数の等重量線を得ることは不可能であった。本火山灰の分布範囲は約 15km^2 であった (Fig. 4)。前述したように、南西~西南西側火口縁においては、 $1.0\sim 1.7\text{g}/\text{m}^2$ の火山灰が堆積しており、これは本火山灰堆積量の最大に近い値と考えられる。したがって、この単位面積あたりの最大重量に分布面積を乗じると、14~25 トン程度の値になるが、実際にはこれよりはるかに少ないと考えられる。

3-2-2 2005 年 6 月 10 日~12 日頃の火山灰噴出

2005 年 5 月 31 日頃から火口縁に設置されている火口カメラ前面のガラスに火山灰が付着するようになった。また、6 月 1 日以降、木柵等に細粒な白色火山灰が径 1 mm 以下の大きさに凝集し、付着している様子が観察された。6 月 12 日に南西側火口縁 (地点 A) のソーラーパネル上に $6.2\text{g}/\text{m}^2$ という観測期間中最大の火山灰堆積が認められ (Fig. 1)、その火山灰の産状は 4 月 14 日昼間の堆積物と同様であった。気象庁の地震計では 6 月 10 日~14 日に火山性連続微動が観測され、その開始から 6 月 11 日まで微動振幅の増加も確認されている (福岡管区気象台火山監視情報センター, 2005d)。したがって、 $6.2\text{g}/\text{m}^2$ に達した火山灰の堆積量は、6 月 10 日~11 日の活動レベルの上昇に伴うものである可能性が考えられる。

3-2-3 2005 年 7 月 25 日の火山灰噴出

2005 年 7 月 26 日の現地調査では、第 1 火口南西側の人工物がこれまで見られなかったほど白く汚れていることが確認された (Fig. 3B)。この白色火山灰もシルト質であり、1 mm 以下の大きさに凝集して堆積していたが、

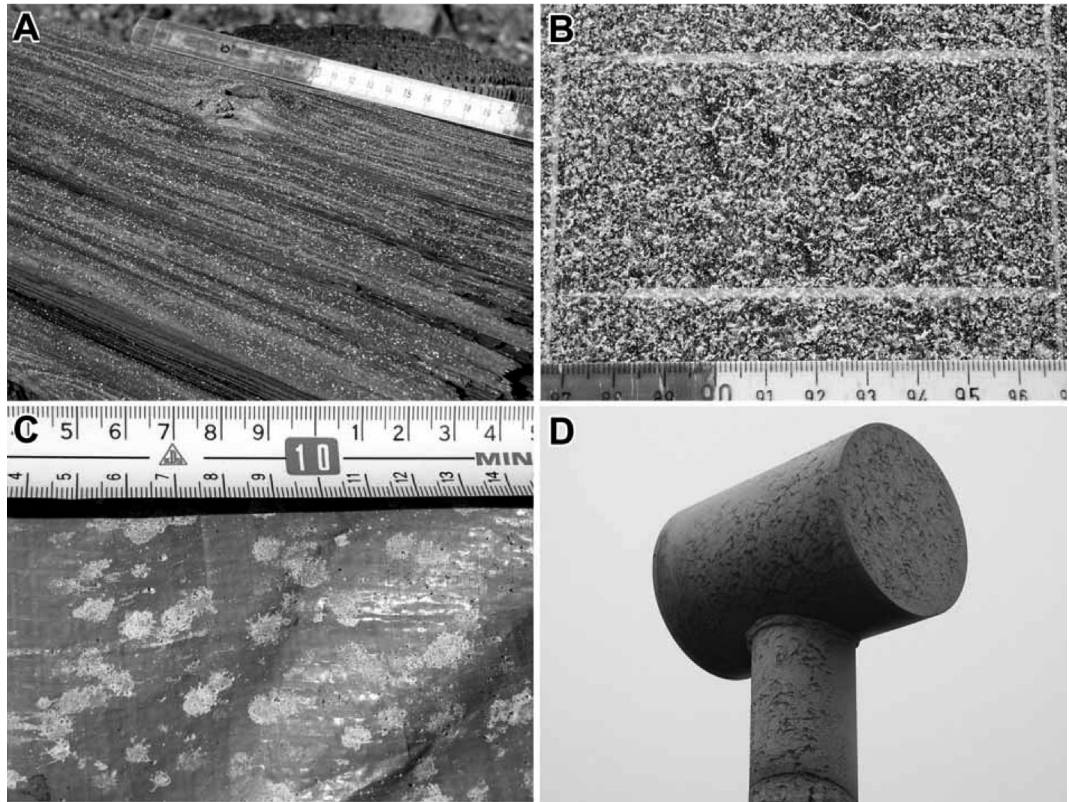


Fig. 3. Photographs of the 2005 ash-fall deposits from the Nakadake crater. (A) 14 April daytime white aggregated ash adhered to a wood fence at the SW crater rim. Scale in centimeters. (B) 25 July 2005 white ash deposited on a solar panel at site A. Scale in centimeters. (C) 14 April 20:41 muddy ash deposited near site MB. Scale in centimeters. (D) 21 June 2005 black ash adhered to a plastic pole at site D (NW crater rim). Top cylinder is about 15 cm across.

多量の水分を含んだ凝集火山灰粒子が降下時に薄く広がったような産状も観察された。南西側火口縁の地点Aで 3.7 g/m^2 、西南西側の地点Cでは 4.4 g/m^2 の白色火山灰が堆積していた (Fig. 1)。しかし、北西側火口縁の地点Dでの火山灰堆積量は 0.5 g/m^2 、また南南東の地点Fでは 0.8 g/m^2 となっており、南西側火口縁から離れると火山灰の量は急減することがわかった。火口西方約3kmの草千里ヶ浜付近でも道路標識が白く汚れている様子が認められ、南西側約4.6kmの池ノ窪付近まで火山灰の付着を追跡することができた。以上の結果から、この火山灰は火口から南西方向に軸をもつ分布をしていることが明らかになった (Fig. 5)。

7月26日以前に調査を実施したのは7月20日であるため、この白色火山灰は7月20日～26日の間に噴出したと考えられる。京都大学火山研究センターでは、7月25日23時42分に継続時間4～5分の土砂噴出に伴うと考えられる振動波形が観測されている (須藤・他, 2005)。

また、阿蘇山測候所 (火口西方約1km; 標高1,142m) における同日23時～24時の風向は北北東～北東で、風速は $2.9 \sim 4.5 \text{ m/s}$ であり、南西方向への火山灰の分布とよく一致する。さらに、7月25日は8時以降、東北東～北北東の風が吹いている。これらの事実から、7月26日に確認された白色火山灰は、7月25日深夜あるいは同日昼間から深夜に噴出したものと推定される。

この火山灰の各等重量線 (Fig. 5) が囲む面積と重量との関係を Fig. 6 に示す。得られた単位面積当たりの重量と面積の関係を4区間に分けて、各区間の重量を積分した。なお、 2 g/m^2 以上の近傍域については、Fig. 6のグラフ上で 2 g/m^2 と 1 g/m^2 を結ぶ直線の中岳第1火口のおおよその面積 (約 0.01 km^2) まで延長して重量を求めた。また、遠方は 0.1 g/m^2 までを計算の対象とした。以上の結果、降灰量は1.2トン程度と概算された。

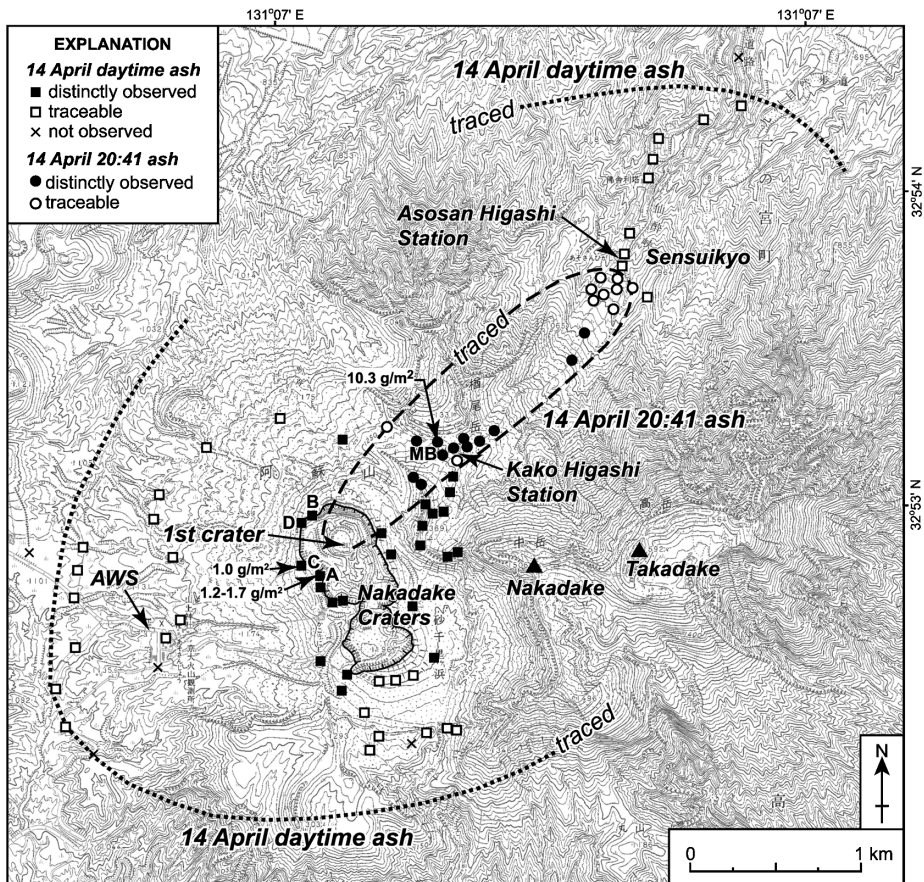


Fig. 4. Distribution of the 14 April 2005 ash-fall deposits from the Nakadake crater. Base map is 1: 25,000-scale topographic map of the Asosan district published by the Geographical Survey Institute. The crater camera of the Aso Volcano Museum (AVM) was installed at the site A. AWS: Asosan Weather Station (JMA). Longitude and latitude are shown as Tokyo Datum.

3-3 火山灰混じりのガスがごく短時間に湯だまりを突き破って噴出する現象

(2) のタイプには 2005 年 4 月 14 日夜の活動が挙げられ、2003 年 7 月 10 日や 2004 年 1 月 14 日の火山灰噴出(宮緑・他, 2005)と同様の活動である。これは、湯だまり底部より火山ガスと火山灰が高速で噴出する現象である。

気象庁の地震計によって、4 月 14 日 20 時 41 分に継続時間約 20 秒の土砂噴出に伴うと考えられる振動波形が観測され、白色で少量の噴煙が高さ約 400 m まで上昇し、北方向に流れることが認められた(火山観測情報第 16 号)。火口カメラのマイクでは 20 時 41 分 35 秒～47 秒に大きな鳴動が記録されており、微動の発生時間とも一致する。また、気象庁の高感度カメラ(火口西方約 3 km の阿蘇火山博物館に設置)では 20 時 41 分 45 秒頃に火口縁より噴煙が上昇する様子が観察された。噴煙は明

瞭なキノコ雲を形成し、20 時 44 分 10 秒頃まで北方向へ流されながら上昇を続けた。その後は高さが徐々に減少し、不明瞭になっていった。

4 月 15 日 10 時に実施された阿蘇山測候所の現地観測では、湯だまり周辺および火口壁北側から東側の一部に黒っぽい土砂の付着が認められた(火山観測情報第 16 号)が、4 月 14 日 20 時 41 分イベントに伴う火口外への降灰は確認されていなかった(火山観測情報第 17 号)。しかし、筆者らは 4 月 19 日午前ロープウェー火口東駅(火口北東約 0.9 km)周辺の旧マウントカー道路沿いで、4 月 14 日昼間に降下した火山灰とは産状が異なる噴出物(泥状に付着する多量の火山灰)を確認した。阿蘇山測候所の情報により、福岡管区气象台が 4 月 14 日午後同地点を調査した際には、1 mm 以下に凝集した微量の火山灰が存在しただけであったこと、および同日夜

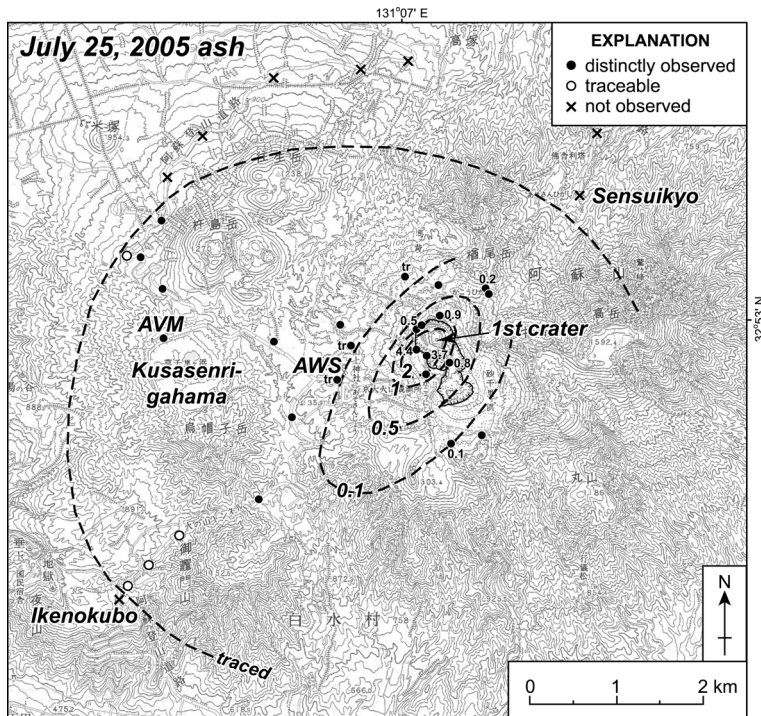


Fig. 5. Distribution of the 25 July 2005 ash from Nakadake crater. Base map is 1 : 50,000-scale topographic map of the Asosan district published by the Geographical Survey Institute. Broken lines indicate isopleths (g/m²). AVM: Aso Volcano Museum. Longitude and latitude are shown as Tokyo Datum.

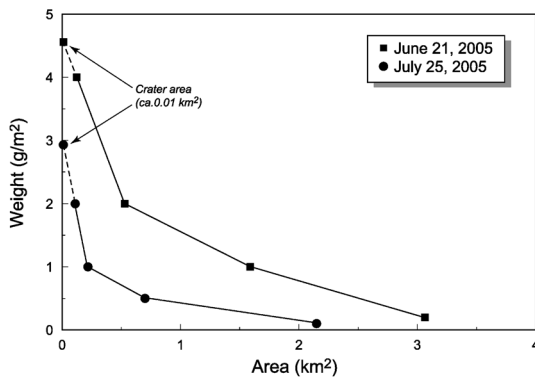


Fig. 6. Relation between area (km²) and weight (g/m²) of the 21 June and 25 July 2005 ash-fall deposits from Nakadake crater.

のイベント以降に新たな活動は認められていないことなどから、本堆積物は同日 20 時 41 分のイベントに伴うものと判断された。

本イベントによる火山灰は、同日昼間に噴出した火山灰と同様に、複数の細かい粒子が凝集して斑点状に堆積

していた。しかし、昼間の火山灰が 1 mm 以下の大きさで球状に凝集しているのに対し、この火山灰は泥雨が吹き付けられて平面的に広がった状態 (径数 mm~10 mm) で存在しており (Fig. 3C)、両者は容易に区別可能であった。また、その泥雨雨滴が広がった径が大きいため、人工物だけでなく岩石などの表面に付着していても識別が容易であった。この火山灰は、直立する杭などでは火口を向く面に多く付着していることもあったが、高さ 2 m を越える建物のすぐ背後にも堆積しているので、火山灰が横方向から吹き付けたというよりも、ほぼ鉛直 (80°程度) に落下したと考えられる。

火口から北東へ 1.5 km 以上離れた地域でも、白色で泥雨が吹き付けたような産状を示す火山灰が認められた。ただし、雨滴痕の大きさは最大 2 mm 程度であった。

4 月 19 日午後の現地調査では、この噴出物が中岳第 1 火口から北東 0.9 km 付近の仙酔峡ロープウェー火口東駅周辺だけでなく、北東 2.3 km の同ロープウェー阿蘇山東駅付近まで分布することがわかった (Fig. 4)。この分布は、4 月 15 日に火口壁が土砂で汚れていた方向とも調和的である。この火山灰は火口から 1 km 付近までは

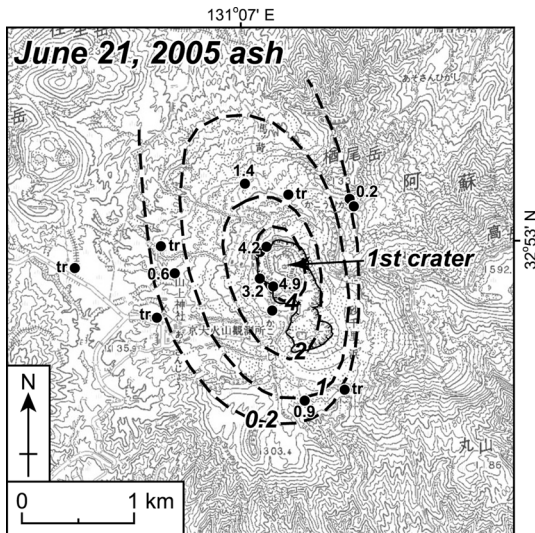


Fig. 7. Distribution of the 21 June 2005 ash from the Nakadake crater. Base map is a 1: 50,000-scale topographic map of the Asosan district published by the Geographical Survey Institute. Broken lines indicate isopleths (g/m^2). Longitude and latitude are shown as Tokyo Datum.

かなり明瞭であり、それを越えると広がった雨滴径が小さくなるために徐々に不明瞭になるが、2 km 付近までは確認することができた。

火口北東 0.9 km 地点 (Fig. 4; 地点 MB) には $10.3 \text{ g}/\text{m}^2$ (乾燥重量) の堆積が認められた。この火山灰の分布面積は約 1 km^2 であり、これらに乗じると約 10 トンになるが、 $10.3 \text{ g}/\text{m}^2$ は最大値に近い値であるため、20 時 41 分火山灰の総量は数トン程度と推定される。

3-4 黒色火山灰を噴出する現象

(3) のタイプに相当する現象は、2005 年には 6 月 21 日のみに認められた。中岳における典型的な噴火様式である灰噴火 (Ono *et al.*, 1995; 小野・他, 1995) と同様の活動であると考えられる。

2005 年 6 月 22 日の現地調査では、北西方向に軸をもって楕円状に分布する火山灰が認められ (Fig. 7)、南西火口縁の地点 A で $4.9 \text{ g}/\text{m}^2$ 、西南西側の地点 C で $3.2 \text{ g}/\text{m}^2$ 、南西側の地点 D で $4.2 \text{ g}/\text{m}^2$ という堆積がみられた (Fig. 1)。また、北東から西側の旧マウントカー道路沿い (火口から 1 km 程度) でも $0.2 \sim 1.4 \text{ g}/\text{m}^2$ の火山灰が観察された。

6 月 17 日以前の火山灰は白色で径 1 mm 以下の大きさに凝集し付着しているものであったが、6 月 22 日に確認された噴出物は白色火山灰粒子の他に、より粗粒で



Fig. 8. Photograph of a vent formed near the northwestern margin of crater lake probably on June 21, 2005. The photo taken from the SW crater rim on June 24, 2005. The vent is about 15 m across.

(細砂主体) 黒色の光沢があるガラス質火山灰粒子が多く認められるようになった (Fig. 3D)。

火口カメラの映像には、6 月 21 日 17 時頃に火口底北～北西側のほとんど乾燥した部分でやや大きな噴気孔があり (Fig. 8)、そこから土砂 (やや湿った黒色の火山灰) が間欠的に放出される状況 (高さ 10 m 以下) や褐色の噴煙が勢よく噴出する様子が認められた。阿蘇山測候所による 23 日の現地観測でも、火口底北側のほぼ同じ位置に噴気孔 (径約 15 m) が確認されており、陥没によるものと判断されている (福岡管区気象台火山監視情報センター, 2005d)。筆者らは、その噴気孔が陥没によって生じたのか、火口底の一部が吹き飛ばされてきたものなのか明らかにできていない。

阿蘇山測候所における 6 月 21 日 17 時～19 時の風向は南東で、風速は $2.1 \sim 5.3 \text{ m}/\text{s}$ であった。したがって、火口カメラで火山灰噴出が観察された時間に、火山灰が火口縁より高く上昇したとすると、北西方向に飛散することになるが、これは 6 月 22 日に確認された火山灰の分布傾向 (Fig. 7) と調和している。これらの事実から、6 月 22 日に観察された多量の黒色火山灰は、6 月 21 日 17 時頃に噴出した可能性が高いと判断される。

このイベントに伴う火山灰の等重量線図を Fig. 7 に示す。4 本の等重量線が囲む面積と重量の関係は、Fig. 6 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 区間に分け、各区間の重量を積分により計算した。なお、 $4 \text{ g}/\text{m}^2$ 以上の近傍域については、Fig. 6 のグラフ上で $4 \text{ g}/\text{m}^2$ と $2 \text{ g}/\text{m}^2$ を結ぶ直線の中岳第 1 火口のおおよその面積 (約 0.01 km^2) まで外挿して重量を求めた。

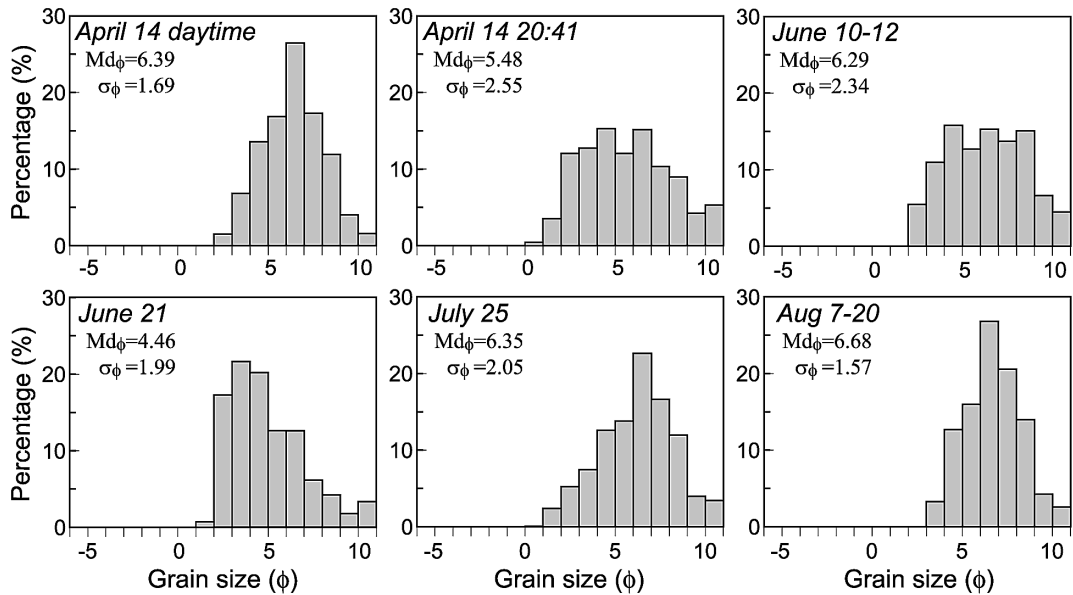


Fig. 9. Grain-size histograms of the 2005 ash-fall deposits from Nakadake crater.

また、 0.2 g/m^2 より遠方域に関しては計算を行っていない。以上の計算の結果、2005年6月21日の火山灰の総量は4.2トン程度となった。

4. 2005年に噴出した火山灰の特徴

4-1 火山灰の粒度組成

2005年に噴出した火山灰の中で十分な量を採取できたものについて、粒度分析を実施した。分析を行った試料は、地点A（南西側火口縁）で採取された2005年4月14日昼間の火山灰、地点MB（北東約0.9km）における4月14日20時41分の火山灰、地点Aにおける6月10日～12日および同月21日、7月25日の火山灰と地点D（西北西側火口縁）で採取された8月7日～20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）を用いた超音波照射下での湿式分散法（分散剤未使用）で実施した。その分析結果はFig. 9に示したとおりで、各グラフともに右端のバーは 10ϕ （ $1/1,024\text{ mm}$ ）以下のサイズの総割合を表している。

タイプ(1)の2005年4月14日昼間の火山灰は、 2ϕ （ $1/4\text{ mm}$ ）以下の粒子からなり、シルト成分を主体（約74%）とし、 $6\sim 7\phi$ （ $1/64\sim 1/128\text{ mm}$ ）にピークをもつ、ほぼ左右対称の分布をしている。6月10日～12日の白色火山灰は、4月14日昼間の火山灰とほぼ同様の中央粒径を示す（ $Md_\phi=6.3$ ）が、分級度 σ_ϕ （Inman, 1952）は2.3とやや淘汰が悪い。7月25日の白色火山灰は、 1ϕ 以下

の粒子で構成され、 $6\sim 7\phi$ にピークを有する。8月7日～20日の白色火山灰は Md_ϕ が6.7と今回分析した中で最も細粒である（シルト成分76%、粘土成分21%）が、4月14日昼間の火山灰と同様に $6\sim 7\phi$ にピークをもつ、ほぼ左右対称の分布をしていた。

タイプ(2)の4月14日20時41分の火山灰は同日昼間の火山灰よりもやや粗粒で（ $Md_\phi=5.5$ ）、 σ_ϕ が2.6とやや淘汰が悪い。また、タイプ(3)の6月21日の黒色火山灰は 1ϕ （ $1/2\text{ mm}$ ）以下の粒子からなり、 $3\sim 4\phi$ （ $1/8\sim 1/16\text{ mm}$ ）にピークをもち、中央粒径（ $Md_\phi=4.5$ ）が今回分析した中で最も粗粒であり（砂成分約39%）、ピークの粗粒側と細粒側とはかなり非対称な分布を示している。

以上のように、阿蘇火山中岳において2005年に噴出した火山灰は礫成分を全く含まず、シルト成分を主体とする細粒な噴出物であったが、火山灰の産状によって粒度分布に差異が認められた。白色で径 1 mm 以下に凝集した産状を示す4月14日昼間、7月25日、8月7日～20日の火山灰は $6\sim 7\phi$ にピークをもつ、ほぼ左右対称の分布をしており、比較的淘汰がよいことが特徴である。また、土砂噴出に伴うとされる4月14日20時41分の火山灰は白色火山灰よりも粗粒で淘汰の悪い噴出物である。さらに、黒色を呈する6月21日の火山灰は比較的淘汰がよいが、砂成分の割合が最も高く、ピーク前後で非対称な分布をしている。

4-2 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、偏光顕微鏡に

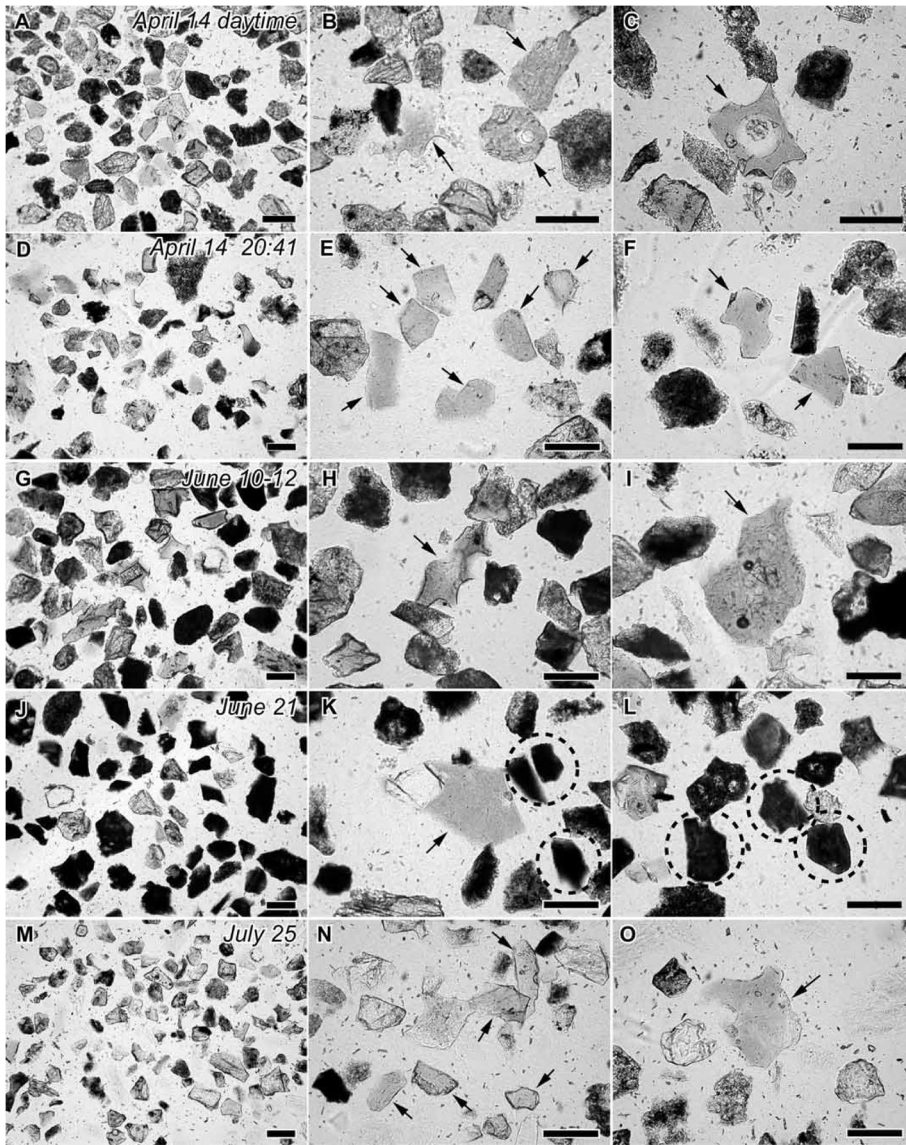


Fig. 10. Polarizing microscope photographs of glass shards included in the 2005 ash-fall deposits from Nakadake crater. Photographs A, D, G, J and M are representative of entire sample. Arrows in the middle and right photos indicate clear glass shards. Broken circles denote black glassy particles included in the 21 June 2005 ash-fall deposit. Bar of each photo is 0.1 mm.

よる観察を行った。観察に使用したのは粒度分析に用いたのと同じ試料である。それらの試料を10分間程度超音波洗浄後に乾燥させてから樹脂(ペトロキシ154)で封入した薄片を作製して偏光顕微鏡下で観察した。なお、薄片に封入した試料は超音波洗浄したものであるため、シルト以下の細粒な粒子の大部分は除去されている。したがって、本論で述べるのは2~4φ程度の大きさの火山灰粒子(全体の10~20%程度)についてである。

薄片を観察した結果、いずれの火山灰も構成物質の大部分は、さまざまな程度に変質・結晶化した粒子、変質した岩片、結晶片(主に斜長石>>輝石)からなるが、その他に見かけ上新鮮なガラス片が含まれていた(Fig. 10)。薄片中の火山灰粒子は、ほとんどが0.3mm以下のサイズであるが、まれに0.4mm程度のもも確認できた。見かけ上新鮮なガラス片とは、変質や結晶化が認められない透明から淡褐色のものであり、発泡しているも

の (Figs. 10B, 10C) と発泡していないもの (Figs. 10E, 10N) があつた。また、鉾物粒子に付着する淡褐色から透明なガラス (Fig. 10K) や内部に微結晶が生じているガラス (Fig. 10I) も認められた。

各薄片中の 200 粒子以上を観察したところ、新鮮な透明～淡褐色ガラスの含有量は 4 月 14 日昼間の火山灰で約 11%、同日 20 時 41 分火山灰で約 16%、6 月 10 日～12 日火山灰で約 9%、6 月 21 日火山灰で約 12%、7 月 25 日火山灰で約 14%、8 月 7 日～20 日火山灰で約 3% であつた。つまり、最後の 8 月 7 日～20 日火山灰を除くと、新鮮な透明から淡褐色のガラス片の量は 10 数%とほぼ同じ割合であり、20% に満たないものであつた。

いずれの火山灰においても、新鮮に見えるガラス片の大部分は透明から淡褐色のものであつたが、6 月 21 日に噴出した火山灰には暗褐色のガラス質粒子が多量 (約 29%) に観察された (Fig. 10L)。この暗褐色のガラス質粒子は内部に少量の微結晶を含んでいることもあるが、変質あるいは結晶化した粒子とは明らかに異なつた産状を示しており、透明から淡褐色のガラス片と同様に新鮮に見える。また、双眼実体顕微鏡下で観察すると、全体的に黒色であり、表面に光沢があることが特徴である。

5. 考 察

5-1 阿蘇火山中岳における湯だまり減少期から消滅時の火山灰噴出現象

阿蘇火山中岳においては 2003 年 7 月 10 日と 2004 年 1 月 14 日の火山活動 (宮縁・他, 2005) に引き続いて、2005 年 4 月～8 月頃にかけても火山灰の噴出が起つた。これらは、いずれも湯だまりが存在する状態での火山灰噴出であるが、2005 年の活動では湯だまりの量がかなり減少した状況で頻繁に火口から火山灰の噴出が認められたという点や形態・規模などが 2003～2004 年の活動と異なつたものであつた。ここでは 2005 年に見られたような中岳における湯だまり量が減少した状況での火山灰噴出現象について考察する。

2005 年 4 月～8 月頃にかけて発生した火山灰噴出は、堆積物の産状や現地を観察された噴出形態の違いから、(1) 湯だまりに覆われた噴気孔から凝集した白色火山灰を穏やかに噴出する現象、(2) 火山灰混じりのガスがごく短時間 (20 秒程度) に湯だまりを突き破つて噴出する現象、(3) 火口底の乾燥した部分に形成された噴気孔から黒色火山灰を放出する現象の 3 つに大別することができる。

まず (1) の現象であるが、2005 年に起つた火山灰噴出はほとんどこれに含まれる。最初に、湯だまりの量が約 2 割まで減少した直後の 2005 年 4 月 14 日の昼間に、

1 年 3 ヶ月ぶりに火口外への火山灰の噴出が認められた。それ以前の時期には湯だまりがある程度存在するために、火口底からのガス噴出が抑制されていたと考えられる。しかし、湯だまり水深の減少により、火口底からガスが放出されやすい状態になつたのであろう。また、中岳第 1 火口では火山活動の活発化に伴い湯だまりの温度が上昇して蒸発が盛んになつた結果、水位低下に至ることが報告されている (中禮・他, 1987)。2005 年においても湯だまり量の減少そのものが新しいマグマの上昇に起因している可能性があり、地下からのガス流量が増加していたことも十分に予想される。つまり湯だまり水深の減少に加えて、湯だまりに覆われた噴気孔においてガスの流量が一時的に増加したために、火山灰噴出に至つたものと推定される。さらに、水深が減少した湯だまり内では高さ数 m 程度の土砂噴出現象も活発に発生しており、その飛沫が噴気とともに舞い上がり、火口縁へ到達するようになった。こうした土砂と火山灰の噴出現象は、その後 6 月～8 月頃に頻繁に発生した。6 月 10 日～12 日や 7 月 25 日は代表的なイベントであり、とくに 7 月 25 日は、最大規模のイベントで 1.2 トン程度の火山灰が放出された。このタイプの火山灰噴出は湯だまりに覆われた噴気孔から穏やかに火山灰とガスが少量放出される現象であるため、噴出物は後述する (2) や (3) の現象による堆積物よりも細粒 (シルト以下の成分が 84～97% を占める) で比較的淘汰がよい。これらの細粒粒子が 1 mm 以下の大きさに凝集して降下堆積し、白色を呈することが特徴である。湯だまりの量が降雨量に影響を受けるということはこれまでも報告されており (中禮・他, 1987)、2005 年も梅雨時期 (7 月上旬) などに降雨による湯だまり量の増加が認められた。なかでも 9 月上旬の豪雨に伴う湯だまり量の増加は著しく (2 割から 7 割へ変化; Fig. 1)、それ以降 (湯だまり量 6～8 割で推移)、このタイプの火山灰噴出現象は観察されなくなつた。8 月になって火山灰中の見かけ上新鮮なガラス粒子の含有量が減少したことや湯だまり量が減少しないことは火山活動そのものの静穏化を示唆しているが、湯だまり水深の増加 (水圧の上昇) により火口底からのガス噴出が再び抑制された可能性がある。つまり、このタイプの火山灰噴出現象は湯だまりの量に大きく影響を受けているものと考えられる。

(2) の現象は 2005 年 4 月 14 日 20 時 41 分に発生したもので、明瞭な火山性微動を伴い、気象庁によって規模の大きな土砂噴出と考えられている (福岡管区気象台火山監視情報センター, 2005b など)。この現象は 2003 年 7 月 10 日や 2004 年 1 月 14 日のイベント (宮縁・他, 2005) と同様の現象であり、火道中を上昇してきた火山灰混じ

りのガスがごく短時間に湯だまりを突き破って噴出した現象と考えられる。4月14日20時41分のイベントに伴う噴出物量は数トン程度と推定されたが、さらに規模の大きな2003年や2004年のイベントでは30~40トンの火山灰が放出されている。ただ、いずれのイベントも噴石が認められず、1992年頃に発生したかなり爆発的な土砂噴出現象（京都大学理学部附属火山研究施設，1993）とは異なっている。しかし、4月14日20時41分に発生した現象は、明瞭な火山性微動を伴っていることや新鮮に見えるガラス片を16%程度（2005年で最大）含むことなどから、地下の帯水層等で小規模な爆発（マグマ水蒸気爆発）が起こった可能性がある。噴出物が最大1mm程度までの粒子を含んでいて淘汰が悪いこと、さらに噴出物の分布が一方向に限られることも、このイベントが爆発に起因するものであることを示唆している。この現象では、湯だまりからごく短時間に突発的に火山灰が多量の水とともに放出されるため、噴出物は最大1cm程度に凝集して泥雨状（白色~灰色）に降下して堆積した。このことは、同様の現象と考えられる2003年7月や2004年1月の火山灰噴出（宮縁・他，2005）でも認められている。

(3)の現象は、2005年では6月21日に唯一認められた。湯だまりはわずかに存在する状態（約1割）で、火口底のほとんど乾燥した部分に噴気孔が形成され、その孔から噴気とともに火山灰が放出されたことが、他のタイプの現象とは大きく異なっている。その火山灰は全体的に光沢のある黒色を呈しており、砂サイズの粒子が約40%を占め、2005年の噴出物では最も粗粒であり、噴出物量は4.2トン程度であった。中岳における最も特徴的な活動様式は湯だまりが皆無あるいはほとんどない状態での灰噴火であり、前回の活発な活動時期（1989~1990年）にも頻繁に認められた（Ono *et al.*, 1995; 小野・他，1995）。1989年8月23日などに噴出した黒色火山灰の産状は2005年6月21日の黒色火山灰と酷似していた。また、火口底のほとんど乾燥した部分に形成された火孔から非爆発的に黒色火山灰を噴出するという点からみても、(3)の現象は中岳の代表的な活動様式である灰噴火に近いものであると考えられる。こうした現象が湯だまりが完全に消失する前に起こっていることは、中岳でこれまで報告されていない事実である。

また、(1)と(2)の現象によって噴出した火山灰の構成物質は、いずれも本質物質の可能性が指摘されている2003年7月10日の火山灰（星住・他，2004）とよく似ており、見かけ上新鮮なガラス片が10数%含まれるという特徴がある。これらの新鮮に見えるガラス質粒子は、前回の活発な活動時期である1989~1990年頃などに噴

出した火山灰が火口底に残存し、今回再び火口外へ放出されたものである可能性もある。しかし、火口底の大部分はごく最近までpHが-0.7~0.8という強酸性の湯だまり（大沢・他，2003）に覆われていただけでなく、火山ガスの影響も強く受けていた。このような環境下において、10年以上の期間、火山灰がほとんど変質せず残存していたとは考えにくい。星住・他（2004）の指摘が正しいとすると、中岳における2005年の活動も2003年7月や2004年1月と同様にマグマが直接関与するものであった可能性が考えられる。

降下テフラをもたらず噴火様式については、噴出物の分散度と粉砕度による分類（Walker, 1973, 1980; Wright *et al.*, 1980）がよく用いられている。一般的に、この分類は本質物質が大部分を占める噴出物に使用されることが多い。しかし、この方法以外に適当な分類方法はほとんど提案されていないため、本論では分散度と粉砕度による分類を用いて、中岳で2005年にみられた火山灰噴出現象を火山学的に何と呼ぶべきか検討した。2005年に噴出した火山灰に関しては、正確な分散度（最大層厚の1/100の等層厚線が囲む面積）の値はわからないが、その分布面積は1~19km²程度であることが判明している。また、近傍域において採取された火山灰試料はすべて1mm以下の粒子からなるものであったので、粉砕度（最大層厚の1/10の地点での1mm以下の割合）は100%になる。したがって、その分類のダイアグラムでは左上隅にプロットされ、2005年の火山灰噴出現象は2003年7月や2004年1月の火山灰噴出（宮縁・他，2005）と同様に、スルツェイ式噴火に区分される。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おり（Walker, 1973）、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、2005年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、今後さらに検討が必要である。

5-2 阿蘇火山中岳における噴火認定基準

これまで、気象庁による阿蘇火山中岳の噴火基準は、(1)爆発した時、(2)火山灰を含む階級3（中量；噴煙垂直断面積7.3~16.7×10⁴m²）以上の有色噴煙を観測した時、(3)階級2（降灰が明らかにわかる程度）以上の降灰を観測した時、(4)火口内で連続して噴石が上がる時、または火口縁に噴石が達した時あるいは越えた時とされてきた（福岡管区気象台，2002, p. 38）。しかし、気象庁は2005年5月10日に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)。その新しい噴火記録基準は「噴火の規模については、大規模なものから小規模なものまで様々であるが、固形物が噴出場所から水平若しくは垂直距離概ね 100~300 m の範囲を越すものを噴火として記録する」というものである。中岳第 1 火口の場合、中心から火口縁までの距離は 200~250 m 程度あるため、放出された固形物が火口縁に達したなら、噴火として認定されることになる。この基準は 2005 年 3 月に発行された日本活火山総覧(第 3 版)(気象庁編, 2005)においてもすでに適用されている。また、この新しい基準により、それまで“土砂噴出”とされていた 2003 年 7 月 10 日と 2004 年 1 月 14 日の湯だまりからの火山灰噴出(宮縁・他, 2005)も“噴火”へと変更された。

このような状況を受けて、気象庁は火口周辺域に少量の降灰が認められた 2005 年 4 月 14 日の現象について、同日夕方に“噴火が発生した”と発表した(火山観測情報第 15 号)。前述したように、その後 2005 年 6 月頃から、火口周辺では頻繁に火山灰が確認されるようになった。筆者らが現地調査した限りでは、6 月以降に噴出した火山灰の大部分は、径 1 mm 以下に凝集した産状を示しており(Fig. 3B)、4 月 14 日昼間の火山灰(Fig. 3A)と酷似したものであった。また、6 月 10 日~12 日や 7 月 25 日などのイベントでは、4 月 14 日昼間よりも多量の火山灰噴出が発生している。さらに、6 月 21 日には灰噴火と考えられる現象も起きている。しかし、これらのイベントに関しては、筆者らの調査によって詳細が明らかになったものであり、気象庁によっては“噴火”として認定されていない。

阿蘇火山中岳はロープウェーや乗用車等を利用して容易に火口縁まで行くことができる世界でも珍しい貴重な火山であり、その火口見物は阿蘇火山観光のハイライトといえる。現在も国内外から年間約 100 万人が火口を訪れている。噴火災害を抑制・軽減するためにも、中岳においてどのような火山灰噴出現象を噴火と呼ぶべきかは重要である。

6. ま と め

近年、火山活動のレベルが上昇している傾向にある阿蘇火山中岳で、2005 年 4 月 14 日にごく小規模な火山灰噴出が発生した。また、その後もやや活発な状況が続き、6 月~8 月頃にかけて火口外への火山灰放出が頻繁にみられた。筆者らは、これらの噴出物に関する現地調査を実施し、火山灰の採取と観察を行った。

中岳第 1 火口において、2005 年 4 月 14 日に約 1 年 3 ヶ月ぶりに火口外への火山灰噴出が確認され、その火山

灰は昼間(おそらく午前中)に降下したものと 20 時 41 分に噴出したものに区分された。前者は北東-南西方向に軸をもつ楕円状に(北東 3.5 km, 南西 2 km まで)、後者は中岳火口から北東へ 2.3 km 付近まで分布していたが、噴出量はいずれも 10 トンには満たないものと推定された。

その後 6 月~8 月頃にかけて湯だまり量の減少傾向は続き、火口底では赤熱現象も認められ、火口外へ頻繁に火山灰が放出された。なかでも、6 月 10 日~12 日、6 月 21 日(噴出物量 4.2 トン)、7 月 25 日(1.2 トン)にはやや多い火山灰の噴出が確認された。

2005 年 4 月~8 月にかけて発生した火山灰噴出は、(1)湯だまり内の噴気孔から凝集した白色火山灰を穏やかに噴出する現象、(2)火山灰混じりのガスがごく短時間(20 秒程度)に湯だまりを突き破って噴出する現象、(3)火口底の乾燥した部分に形成された噴気孔から黒色火山灰を放出する現象の 3 つに大別された。これら 3 つの現象によって噴出した火山灰は、いずれも見かけ上新鮮なガラス片を少量(9~16%)含んでいることが特徴であった。

阿蘇火山中岳における 2005 年の火山灰噴出は、湯だまり量が 1~4 割と減少した状況で発生したものであった。こうした現象が、湯だまりが完全に消失した時期の活動とどのように異なるのかなど、今後詳しく検討しなければならないと考える。

謝 辞

地震計をはじめとする気象庁の観測データは本研究を進める上でたいへん有益であった。気象庁阿蘇山測候所(当時)の下村雅直氏と佐藤孝久氏には現地観測に同行させていただくなどお世話になった。福岡管区気象台火山監視・情報センター(当時)の松島正哉氏からは噴火記録基準等についてご教示いただいた。京都大学火山研究センターの須藤靖明氏、吉川 慎氏、井上寛之氏と阿蘇火山博物館の吉川美由紀氏には、中岳における最近の活動状況について熱心に議論していただいた。阿蘇山上事務所長(当時)の白石 晃氏には調査の便宜をはかっていただいた。Northern Arizona University の Nancy Riggs 氏には英文の校閲をしていただいた。二人の匿名査読者には原稿の細部にわたって貴重なご意見をいただいた。以上の方々に心から感謝いたします。

引用文献

Cas, R.A.F. and Wright, J.V. (1987) *Volcanic Successions, Modern and Ancient*. Chapman and Hall, London, 528p.
中禮正明・下村雅直・松田健助(1987)阿蘇山中岳第 1

- 火口湯溜り水位の測定 (1980-1984). 験震時報, **50**, 15-22.
- 福岡管区気象台 (2002) 九州地方の火山. 福岡管区気象台要報, **57**, 240p.
- 福岡管区気象台火山監視情報センター (2005a) 阿蘇山 (2004 年年報). 火山活動解説資料 (平成 16 年の活動), 19p.
- 福岡管区気象台火山監視情報センター (2005b) 阿蘇山. 火山活動解説資料 (平成 17 年 4 月), 8p.
- 福岡管区気象台火山監視情報センター (2005c) 阿蘇山. 火山活動解説資料 (平成 17 年 4 月 15 日), 2p.
- 福岡管区気象台火山監視情報センター (2005d) 阿蘇山. 火山活動解説資料 (平成 17 年 6 月), 7p.
- 福岡管区気象台火山監視情報センター (2006) 阿蘇山 (2005 年年報). 火山活動解説資料 (平成 17 年の活動), 21p.
- 星住英夫・斎藤元治・宇都浩三・渡辺一徳・池辺伸一郎 (2004) 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とその起源. 火山噴火予知連絡会会報, **86**, 112-117.
- Inman, D.L. (1952) Measures of describing the size distribution of sediments. *J. Sediment. Petrol.*, **22**, 125-145.
- 気象庁 (2004) 日本の火山活動概況 (2003 年 11 月~12 月). 火山, **49**, 45-50.
- 気象庁 編 (2005) 日本活火山総覧 (第 3 版). 635p.
- 気象庁 (2005) 噴火の記録基準について. 防災メモ, 4p.
- 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.
- 宮縁育夫・池辺伸一郎・渡辺一徳 (2005) 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. 火山, **50**, 227-241.
- 大沢信二・須藤靖明・馬渡秀夫・下田 玄・宇津木 充・網田和宏・吉川 慎・山田 誠・岩倉一敏・恩田裕二 (2003) 阿蘇火山の火口湖「湯溜り」の地球化学的性質. 九州大学地熱・火山研究報告, **12**, 62-65.
- 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.
- 須藤靖明・吉川 慎・井上寛之 (2005) 阿蘇火山中岳の最近の火山活動について. 日本火山学会 2005 年秋季大会講演予稿集, 59.
- 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.
- Wright, J.V., Smith, A.L. and Self, S. (1980) A working terminology of pyroclastic deposits. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **8**, 315-336.

(編集担当 川邊禎久)