

## 阿蘇火山中岳で2008年2月に噴出した火山灰

宮縁育夫\*・池辺伸一郎\*\*

(2008年7月1日受付, 2008年11月21日受理)

## The February 2008 Ash Deposit from the Nakadake Crater, Aso Volcano, Japan

Yasuo MIYABUCHI\* and Shin-ichiro IKEBE\*\*

A small ash deposit was recognized on snowpack around the Nakadake crater, Aso Volcano, SW Japan, on 18 February 2008. The ash deposit was distributed around the first crater of Nakadake with the NE- and SE-trending axes. Based on the isopleth map, the total weight of ash was estimated at about 2 tons. The ash deposit was composed of fine-grained (<0.5 mm) crystallized or altered glass shards, altered lithics, crystals and apparently clear glass shards. The clear glass shards were transparent to pale-brown in color, and the proportion of these clear glass shards in the deposit was about 19%. Some clear glass shards presented dark-brown rims and/or were characterized by typical blocky textures with cracked surfaces. The surface morphology of clear glass shards strongly indicates that they resulted from brittle behavior by interaction of magma and water under wet condition. We believe that the clear glass shards included in the February 2008 ash were related to newly ascending magma and that they were partially hydrated or altered due to hydrothermal water after fragmentation of magma, and erupted due to an increased gas flux probably in the evening of 17 February 2008.

**Key words:** ash deposit, clear glass shards, Nakadake, Aso Volcano

## 1. はじめに

阿蘇火山中岳では、1988年から1995年にかけての本格的な火山活動(池辺・他, 2008)から10年以上が経過している。近年、2003年7月や2004年1月に湯だまりと呼ばれる火口湖からの火山灰噴出が発生し(宮縁・他, 2005)、さらに2005年4月~8月頃にも水量の減少した湯だまりから頻繁に微量の火山灰噴出が起こる(宮縁・他, 2007; Miyabuchi *et al.*, 2008)などの現象が見られているが、基本的には静穏な状況が続いている。その後も中岳第1火口内は湯だまりが存在し、顕著な火山活動が認められていなかったが、2008年2月18日に火口周辺の積雪面上に堆積する少量の火山灰が観察された。

筆者らは、その翌日の2月19日から22日にかけて、この火山灰に関する現地調査を行った。この火山灰の生成・堆積メカニズムについては、新たに形成された噴気孔から新しいマグマに由来する火山灰が噴出したもので

あるという考えや、火口壁の崩落土砂が噴気に伴って舞い上がったものであるという可能性が指摘される(2008年2月21日の気象庁阿蘇山測候所の現地観測報告)など、現段階において明確な結論に至っているわけではない。しかしながら、阿蘇火山中岳においてはいずれの現象も今後発生することが十分に予想され、こうした調査事例を蓄積して、さまざまな形態で放出された火山灰の特徴を把握しておくことは中岳の防災対策を考える上で重要である。そこで、本論では2008年2月18日に中岳火口周辺域で発見された火山灰の分布と総量、特徴について報告し、その生成・堆積メカニズムについて考察する。

## 2. 中岳火口周辺域での観察状況

2008年2月18日午後、気象庁阿蘇山測候所の現地調査によって中岳第1火口内の湯だまり南側で高さ1m程度の小規模な土砂噴出(湯だまりにおいて火口底の土砂

\* 〒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.

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

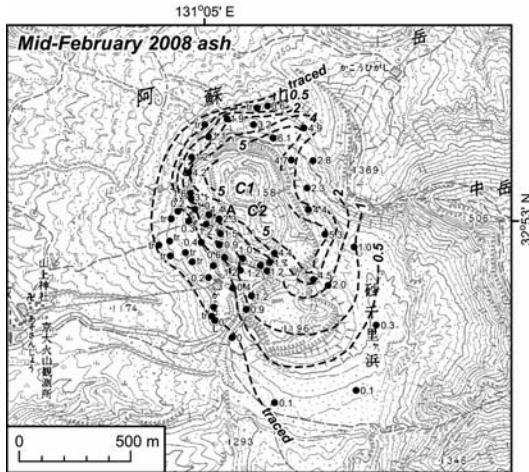


Fig. 1. Distribution of the Mid-February 2008 ash around the Nakadake crater. C1: 1st crater, C2: 2nd crater. Base map is 1: 25,000-scale topographic map of the Asosan district published by the Geographical Survey Institute. Broken lines indicate isopleths ( $\text{g}/\text{m}^2$ ). Longitude and latitude are shown as WGS84.

を噴き上げる現象)が観察された。これは、2006年9月14日以来、約1年半ぶりのことであった(福岡管区気象台火山監視・情報センター, 2008)。それと同時に、中岳第1火口から第2火口内に存在する積雪の表面が火山灰堆積によって黒く変色している状況が確認された。

こうした情報を受けて、筆者らは翌日の2月19日午後に阿蘇山測候所とともに現地調査を実施した。火口縁などに存在する積雪面上には、黒色の火山灰が1mm以下の大きさに凝集して堆積していた。しかし、その量はごく微量であり、積雪がなければ認識できない程度のものであった。火口内を向く壁面や凹地の積雪面は、平坦な場所よりもやや黒く見え、より多い火山灰の堆積が認められた。

2月20日、阿蘇山博物館の火口カメラによる観察では、湯だまり量が顕著に減少して、湯だまり南側では干上がった部分があり、それまで水面下にあった巨礫が露出している状況も認められた。さらに白煙を勢いよく上げる噴気孔も存在していたが、阿蘇山測候所が18日に観察したとされる土砂噴出は見られなかった。

また、阿蘇山測候所は21日の現地観測で、第1火口南東壁で新しい崩落跡を発見したことを報告している。

なお、火山灰堆積が認められた2月18日前後の時期は、火口内に多くの噴気が存在して視程が悪く、火口カメラによっても明らかに火山灰を噴出しているような状況はとらえられていない。

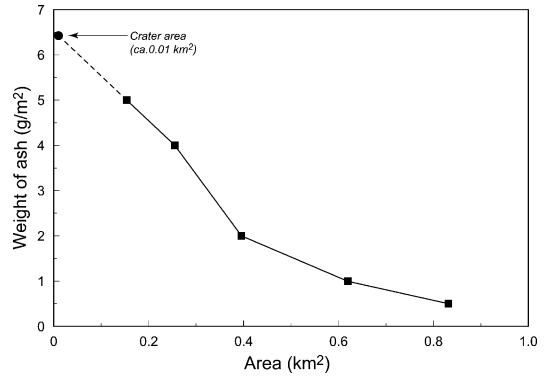


Fig. 2. Relation between area ( $\text{km}^2$ ) and weight ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) of the Mid-February 2008 ash around the Nakadake crater.

### 3. 火山灰の分布と総量

2008年2月19日から22日に、中岳火口周辺の54地点で火山灰の堆積状況に関する現地調査を行った。さらに、その中の40地点においては $50 \times 50 \text{ cm}$ 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、 $1 \text{ m}^2$ 当たりの重量に換算した。なお、今回観察した火山灰には周辺の裸地などから飛来した、いわゆる“レス”が混入している可能性も十分に考えられた。しかしながら、現地においてレスと火口内から供給された火山灰との区別は容易ではなかった。したがって、本研究ではできるだけ多くの地点で観察と試料の採取を行い、火口周辺域における全体的な分布傾向を把握することに努めた。

各地点で採取された火山灰の単位面積あたりの重量をプロットした結果、本論で述べる火山灰は中岳第1火口付近を中心に分布しているが、北東方向と南東方向の2つの分布軸をもつことがわかった(Fig. 1)。今回の調査では、中岳火口の北側から西側、さらに南西側にかけて分布の限界を確認することができたが、南側(砂千里ヶ浜方向)から東側については急斜面の存在等で現地踏査ができず分布限界の把握が不可能であった。火口の南側～東側には積雪の認められない裸地斜面が多く、そうした斜面からのレスが堆積している可能性もある。しかし、第1火口に近づくに従って火山灰の量は明らかに多くなるため、雪面上に堆積した火山灰の大部分は第1火口付近から飛来したものと考えられる。

今回調査した火山灰の各等重量線(Fig. 1)が囲む面積と重量との関係をFig. 2に示す。得られた単位面積当たりの重量と面積の関係を5区間に分けて、各区間の重量を積分により計算した。なお、 $5 \text{ g}/\text{m}^2$ 以上の近傍域については、Fig. 2のグラフ上で $5 \text{ g}/\text{m}^2$ と $4 \text{ g}/\text{m}^2$ を結ぶ直線

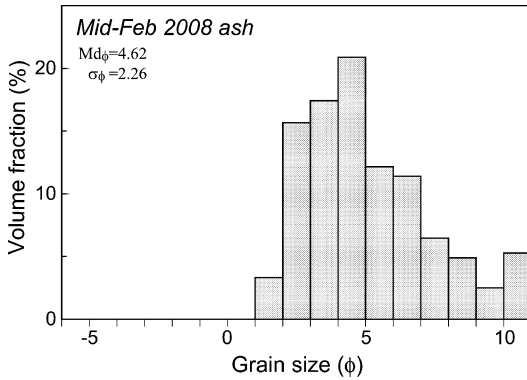


Fig. 3. Grain-size histogram of the Mid-February 2008 ash sampled at site A (SW crater rim).

を中岳第 1 火口のおおよその面積 (約 0.01 km<sup>2</sup>) まで外挿して重量を求めた。また、0.5 g/m<sup>2</sup> 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、2008 年 2 月 18 日に発見された火山灰の総量は 2 トン程度と概算された。

#### 4. 火山灰の特徴

##### 4-1 火山灰の粒度組成

2008 年 2 月 19 日午後地点 A (南西側火口縁; Fig. 1) で採取した火山灰について粒度分析を行った。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で実施した。その分析結果は Fig. 3 に示したとおりで、右端のバーは 10 φ (1/1024 mm) 以下のサイズの総割合を表している。

2008 年 2 月に中岳火口周辺で認められた火山灰は 1 φ (1/2 mm) 以下の粒子からなり、シルト成分を主体 (約 51%) とし、4~5 φ (1/16~1/32 mm) にピークをもつ分布をしている。中央粒径 Md<sub>φ</sub> は 4.6 で、分級度 σ<sub>φ</sub> (Inman, 1952) は 2.3 とやや淘汰が悪い堆積物であった。最近の活動である 2003~2005 年に湯だまりから噴出した火山灰と比較すると、礫成分を全く含まずシルト成分を主体とすることは共通している。2008 年 2 月の火山灰は 2005 年の白色火山灰 (南西側火口縁で採取; Md<sub>φ</sub> = 4.5~6.7; 宮緑・他, 2007) よりもわずかに粗粒であり、2004 年 1 月 14 日火山灰 (火口東方 0.5 km で採取; Md<sub>φ</sub> = 4.4, σ<sub>φ</sub> = 2.6; 宮緑・他, 2005) と類似した粒度組成を有している。

##### 4-2 火山灰の構成物質

火山灰の構成物質の種類と形態を明らかにするため、偏光顕微鏡と走査型電子顕微鏡 (SEM; 日立 TM-1000;

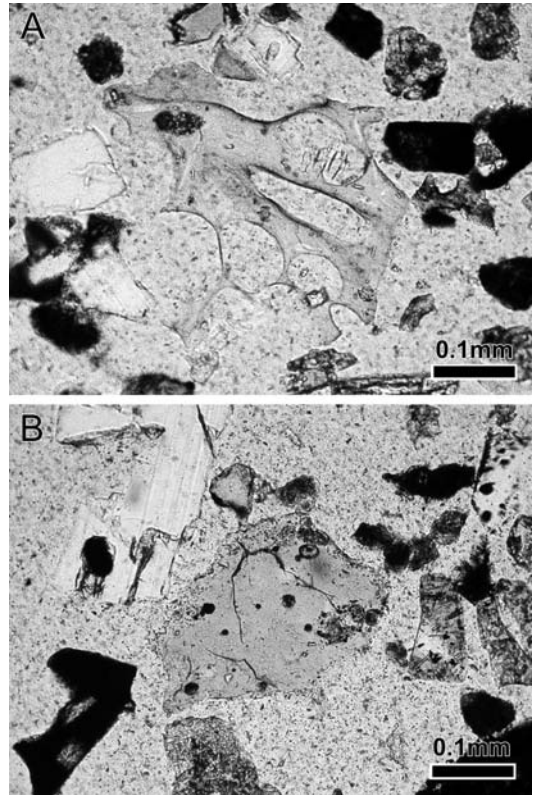


Fig. 4. Polarizing microscope photographs of clear glass shards included in the Mid-February 2008 ash deposit distributed around the Nakadake crater. (A) A vesiculated clear glass shard with brown rim. (B) A glassy grain with quench cracks.

加速電圧 15 kV) による観察を行った。両顕微鏡で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り、超音波洗浄後に乾燥させたものである。偏光顕微鏡観察用には樹脂で封入した薄片を作製した。なお、観察した火山灰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 2~4 φ 程度の大きさの火山灰粒子 (全体の 30% 程度) についてである。

偏光顕微鏡で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、その他に新鮮なガラス片が含まれていた (Fig. 4)。薄片中の火山灰粒子は、ほとんどが 0.3 mm 以下のサイズであるが、まれに 0.5 mm 程度のもも確認できた。新鮮なガラス片とは、見かけ上ほとんど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

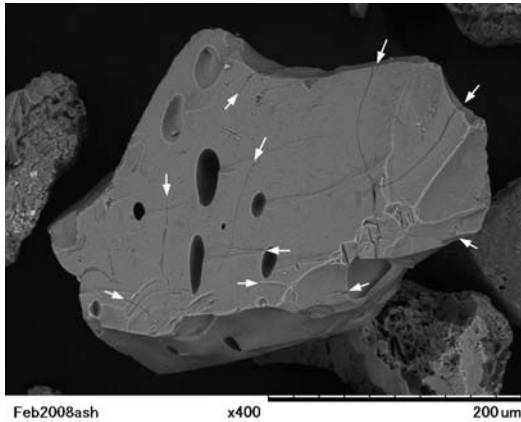


Fig. 5. SEM image of a typical clear glass shard included in the Mid-February 2008 ash around the Nakadake crater. The surfaces of blocky glass grain are covered by a branching network of cracks (arrows).

るものと発泡していないものがあった。また、鉋物粒子に付着する透明から淡褐色のガラス片や内部に微結晶が生じているガラス片も認められた。薄片中の400粒子程度を観察したところ、新鮮なガラス片の含有量は約19%であった。

薄片を注意深く観察すると、新鮮なガラス片の中には緑などに暗褐色の部分が存在する粒子 (Fig. 4A) や多数のひびをもつガラス片 (Fig. 4B) も認められた。新鮮なガラス片の中での割合は、前者が約61%、後者が約4%、両方の形態を併せもつ粒子の割合は16%程度であった。偏光顕微鏡下でのベッケ線の観察では、暗褐色の部分はガラス片内部の透明～淡褐色の部分よりも見かけ上屈折率が高いことがわかった。また、暗褐色の部分には複屈折を示す部分も存在していた。さらにひびをもつ粒子では、そのひびに沿っても暗褐色の部分が存在するものがあった (Fig. 4B)。

SEMによる観察では、新鮮に見えるガラス片の大部分は多面体型のガラス (小野・他, 1995) であり、20%程度のガラス片の表面には明瞭なひびが認められた (Fig. 5)。

## 5. 議 論

### 5-1 火山灰の堆積時期

今回の火山灰は、2008年2月18日午後の阿蘇山測候所の現地観測によって発見されたものである。同測候所による前回 (1月31日) の現地観測では火山灰が認められていないので、1月31日から2月18日の間に火山灰が堆積したことは確かである。2月以降は頻りに降雪が

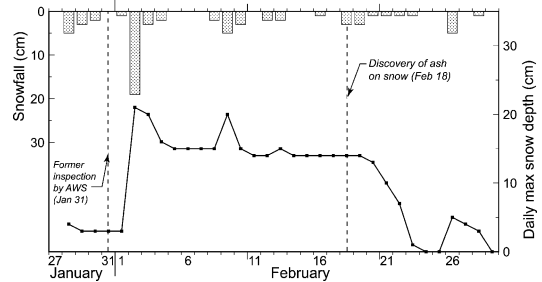


Fig. 6. Records of snowfall and daily maximum snow depth from 27 January to 29 February 2008 observed at the Asosan Weather Station (AWS), located at about 1 km west of the Nakadake crater. Data are from the Japan Meteorological Agency (JMA).

観測され、中岳火口西方約1 kmに位置する阿蘇山測候所 (標高1,142 m) では2月2日～19日まで14 cm以上の積雪が存在していた (Fig. 6; 気象庁観測データ)。2月18日以前で最後に降雪が観測されたのは2月16日の16～17時である。降雪量としては記録されていないが、阿蘇山測候所の視程計 (現象判別可能) によって2月17日の12～15時に、しゅう雪または止み間のある雪が観測されている。筆者の一人である宮縁は、同じ時間に阿蘇山測候所付近で吹雪を確認している。その後、17日15時から18日にかけては曇りまたは晴れの天気であった。2月18日午後に見えられた火山灰は火口付近の積雪表面に存在したことから、吹雪が終わった2月17日15時以降に堆積したと考えられる。

前述したように、今回の火山灰は北東方向と南東方向に軸をもつ分布をしていることがわかっている (Fig. 1)。阿蘇山測候所の観測データを見ると、2月17日21時から18日にかけての風向はおおよそ北北東から北東であったが、それ以前の17日15～20時には西北西から北の風が吹いていた。中岳火口と気象観測点とは約1 kmの距離があるために風向きが異なることや火口周辺では複雑な地形によって局地的な風が吹くことが十分に考えられる。しかし、阿蘇山測候所での観測データが中岳火口周辺のおおよその気象状況を表しているとする、2月17日15～20時頃の風向から推定される火山灰の分布と実際の分布はおおむね一致している。したがって、今回調査した火山灰は2月17日の15～20時頃に堆積した可能性が考えられる。

### 5-2 火山灰の噴出・堆積過程

2008年2月18日に中岳火口周辺で認められた火山灰が

どのようなメカニズムで噴出・堆積したのかを考察する。

阿蘇山測候所は2月21日の現地観測で、第1火口南東壁（赤熱現象が見られる部分の東側）で新しい崩落跡を発見し、18日に確認した積雪上の変色域は崩落土砂が舞い上がったものである可能性を指摘している。筆者らの調査によると、今回の火山灰は中岳第1火口付近から500mを越える地点まで認められている。そのような広範囲に火山灰を飛散させるような崩落であるならば、地震計に何らかの震動波形が記録されているはずである。実際に2008年5月28日早朝に第1火口南側壁が大きく崩落する現象（推定崩落土砂量1,000~2,000 m<sup>3</sup>; 重量800~1600トン程度）が起こっているが、その際には阿蘇火山博物館の地震計に明らかな震動波形が残されている。しかしながら、2月18日前後にそうした震動波形は観測されていない（下村雅直、私信）。また、先述したように、今回の火山灰には見かけ上新鮮な透明~淡褐色のガラス片が認められ、その含有量は約19%であった。これは、最近の活動である2005年に噴出した火山灰（3~16%; 宮緑・他、2007）よりもわずかに高い含有量である。崩壊した火口壁は、2007年9月頃から赤熱現象が見られる多数の噴気孔に隣接した部分である。その部分は常時多量の火山ガスにさらされている影響で変質が進んでいると推定される。これらのことにより、今回の火山灰が火口壁の崩落による土砂が舞い上がって堆積したものである可能性は低いと考えられる。

2008年1月~4月の気象庁の観測データによると、火山性地震（とくにB型地震）が4月1日に急増したり（32回/日）、2月27日に日最大振幅が $2.71 \times 10^{-5}$  m/s（東西成分）と大きくなるなどの活動が見られた。また、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、3月31日~4月3日に550回/日以上と多発した。しかしながら、今回火山灰が発見された2月18日前後の時期に火山灰の噴出時間を特定できるような地震活動は認められなかった。一方、中岳第1火口南側火口壁の温度は2007年8月頃より上昇傾向が続いており（2007年9月から赤熱現象が継続）、2008年2月18日には287°Cであった（赤外放射温度計による観測; 福岡管区気象台火山監視・情報センター、2008）。湯だまり表面の温度は2月に44~50°Cで顕著な上昇傾向は見られなかった（その後、5月以降に60°C以上に上昇）が、湯だまり水位は1月31日~2月21日にかけて1mほど減少している（阿蘇山測候所観測データ）。そうした水位低下を反映して、2月20日に火口カメラでは湯だまり南側で大きな礫が露出した部分があるなど、干上がった部分を確認された。それとともに、白煙を勢いよく上げる噴気孔も存在していた。以上のことから、中岳では顕著

な地震活動は認められなかったが、火口壁の温度上昇や湯だまりの水位低下に反映されるような火山活動レベルの上昇が1月末から起こっており、2月17日~18日頃に一時的に地下からの火山ガスの勢いが強くなるなどして、地下に蓄積されていた火山灰がガスとともに噴出したのかもしれない。

また、前章で述べたように、2008年2月の火山灰に含まれる新鮮な透明~淡褐色のガラス片の表面には多数のひびが観察された（Figs. 4, 5）。このようなひびは、マグマと水の接触による急冷で形成されることが実験（wet explosion experiment）で確かめられている（Buttner *et al.*, 1999）。多面体型ガラスの存在もそのことを示唆している（Heiken and Wohletz, 1985）。さらに、新鮮に見えるガラス片には暗褐色の縁を持つものが存在し、そうした暗褐色の部分はガラス片のひびに沿っても認められた。ガラス片の周囲やひび沿いに発達する暗褐色の部分は透明な部分よりも屈折率が高いこと（檀原, 1993）から、1988~1995年活動の残存マグマによる余熱活動期（1991年3月~1995年10月頃）に噴出した火山ガラスに認められたような水和層（池辺・他、2008）である可能性がある。また、暗褐色部分には複屈折が観察される部分も存在することから、結晶化や変質によって微細な鉱物が生成されていることも考えられる。さらに、暗褐色部分はリムやひびに沿って認められることから、地下である程度高温状態が続くなどして酸化を受けたのかもしれない。現段階ではどの考えが正しいのか断定することはできないが、ガラス片にひびができた後に、何らかの作用を受けていることがわかる。したがって、2008年2月18日に発見された火山灰は、地下でマグマと水が接触した際に生じた破片が、地表に放出されることなく火道内に蓄積され、熱水等によってわずかに水とあるいは変質、酸化など、いずれかの作用を受けた後、火山ガスの勢いが強くなって放出されたものと考えられる。ただ、そうしたマグマと水の接触がいつ起こったのかなど、現時点では不明な点が多い。また、かつてのマグマ水蒸気爆発（例えば1990年4月20日など）で生産された火山灰粒子（池辺・他、2008）などが火口底や地下で貯留された後に噴出したものであるという可能性も完全に否定できるわけではない。しかし、強酸性の湯だまり（大沢・他、2003）が存在する火口底や地下の熱水活動が活発な部分で、ガラス片がそれほど変質も進まず新鮮な状態で維持されている可能性は低いと考えられる。

わが国で最も活発な火山の一つである阿蘇火山中岳において、本論で述べた2008年2月のような活動はこれまでも頻繁に発生していたと考えられる。しかし、1988年~1995年（池辺・他、2008）などの本格的な活動と比較

すると、微弱な火山活動であるためか、ほとんど注目されず記録も残されていない。2008年2月に認められた火山灰の総量は2トン程度と概算され、近年の活動である2005年4月～8月の主要イベントの噴出物量(宮縁・他, 2007)と同じオーダーである。こうした小規模な火山灰噴出現象は、その噴出物が地層として残存しにくいいため、活動記録が残されていなければ、発生頻度を決定することが難しい。ただ、今回のような噴出物量が1トンオーダーの火山活動は、中岳において最も頻度の高い噴火現象である可能性もあり、長期間にわたって継続した場合にはマグマの噴出量として無視できないものであろう。筆者らは今回のような小規模な火山灰噴出現象が中岳において重要な火山活動と位置づけており、その頻度や規模を明らかにするために、今後も多くのデータの蓄積が必要であると考えている。

## 6. ま と め

2005年夏以降、顕著な火山活動が認められていなかった阿蘇火山中岳火口の周辺域で、2008年2月18日に積雪面上に堆積する少量の火山灰が認められた。筆者らは、この火山灰に関する現地調査を実施し、火山灰の観察と採取を行った。その結果、この火山灰は中岳第1火口付近を中心に分布し、北東方向と南東方向の2つの分布軸をもつことがわかった。堆積物総量は2トン程度と概算することができ、新鮮な透明～淡褐色ガラス片が19%程度含まれていた。それらの大部分は多面体型のガラス粒子であり、暗褐色のリムを持つものや表面にひびがあるガラス片も認められた。ひびが入ったガラス片の含有量は新鮮なガラス片の中で20%程度であった。今回の火山灰に関しては火口壁の崩落土砂が噴気に伴って舞い上がったものであるという可能性も指摘されているが、そのような大規模な崩落を示す震動波形は観測されていない。筆者らは新鮮なガラス片の特徴から、地下でマグマと水が接触して破砕が起こってから、熱水等によってわずかに水和や変質、酸化等が進んだガラス(火山灰)が2008年2月17日頃に一時的に噴気が活発となり、噴出したものと考えている。

阿蘇火山中岳では、2008年5月以降も小規模な火山灰を含む噴煙や火口壁の大きな崩落が火口カメラによって観察されるなど、火山活動の不安定な状況が続いている。もし2月18日に発見された火山灰が地下から新しいマグマが噴出したものであるとすると、2008年における先駆的な活動ということになる。

## 謝 辞

熊本大学教育学部の渡辺一徳教授には中岳の地質や噴出物について、懇切なご指導をいただいた。九州大学大学院工学研究院の渡邊公一郎教授には火山ガラスの形態や変質に関して貴重なご意見をいただいた。気象庁阿蘇山測候所(現 阿蘇山火山防災連絡事務所)の後小路義弘氏には、現地観測結果などの貴重な情報を提供していただき、福岡管区気象台火山監視・情報センターの下村雅直氏には地震データに関して詳しくご教示いただいた。阿蘇火山博物館の須藤靖明氏と吉川美由紀氏には中岳の火山活動について議論していただいた。査読者である嶋野岳人氏と長井大輔氏、担当編集委員の宮城磯治氏の意見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

- Buttner, R., Dellino, P. and Zimanowski, B. (1999) Identifying magma-water interaction from the surface features of ash particles. *Nature*, **401**, 688–690.
- 檀原 徹 (1993) 温度変化型屈折率測定法. 第四紀試料分析法 2 研究対象別分析法, 東京大学出版会, 149–158.
- 福岡管区気象台火山監視・情報センター (2008) 阿蘇山の火山活動解説資料 (平成20年2月). 7p.
- Heiken, G. and Wohletz, K. (1985) *Volcanic Ash*. University of California Press, Berkeley, 246p.
- 池辺伸一郎・渡辺一徳・宮縁育夫 (2008) 阿蘇火山中岳1988～1995年活動期における噴火様式の変化. *火山*, **53**, 15–33.
- Inman, D.L. (1952) Measures of describing the size distribution of sediments. *J. Sediment. Petrol.*, **22**, 125–145.
- 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.
- 宮縁育夫・池辺伸一郎・渡辺一徳 (2007) 阿蘇火山中岳における2005年の火山活動と噴出物. *火山*, **52**, 133–147.
- Miyabuchi, Y., Ikebe, S. and Watanabe, K. (2008) Geological constraints on the 2003–2005 ash emissions from the Nakadake crater lake, Aso Volcano, Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **178**, 169–183.
- 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.
- 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.

(編集担当 宮城磯治)