



阿蘇火山の微小噴火活動

噴出物からみた 阿蘇火山中岳における 最近の微小噴火活動

宮 縁 育 夫

**Recent small eruptive activity of Nakadake
crater at Aso Volcano inferred from the ash-
fall deposits and lake sediments**

Yasuo Miyabuchi

みやぶち やすお : 熊本大学教育学部

阿蘇火山中岳第1火口内には静穏期に“湯だまり”と呼ばれる火口湖が形成されている。2003年以降、小規模な噴火活動が認められているが、それらは火口湖という場を通して発生したものである。中岳における現在の火山活動は火口湖の存在に大きな影響を受けており、本論では噴出物の観点から火口湖が存在する火山での微小噴火活動の特徴について述べる。

1. はじめに

阿蘇カルデラのほぼ中央部に位置する中岳はわが国を代表する活火山である。最近では1988年から1995年にかけて、灰噴火やマグマ水蒸気爆発などの本格的な噴火活動が認められた(池辺ほか, 2008)が、それ以降は比較的静穏な状況となり、第1火口内には湯だまりと呼ばれる火口湖がほぼ連続的に存在している。そのような状況下においても微小な噴火活動は発生しており、2003年7月や2004年1月には湯だまりからの火山灰噴出が発生し(宮縁ほか, 2005)、また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っている(宮縁ほか, 2007; Miyabuchi *et al.*, 2008)。さらに2008年2月(宮縁・池辺, 2008)や2011年5月(下司・篠原, 2012; 本特集号)にも小規模な火山灰放出が確認されている。こうした火山灰噴出活動は規模の大きな噴火活動とはいえないが、火口湖が存在する特異な条件下で発生した中岳に特徴的な火山活動である。

筆者は、2003年7月の火山灰噴出以降、各イベントごとに噴出物の分布や特徴を把握するための現地調査を行って火山灰試料の採取を続けてきた(Miyabuchi *et al.*, 2008)。また、2008年7月には中岳第1火口から湖水とともに初めて湖底堆積物を採取することに成功した(寺田・吉川, 2009; Miyabuchi and Terada, 2009)。本論では、2003~2005年の噴出物の観察結果や湖底堆積物の化学分析結果などを報告し、阿蘇火山中岳で近年発生している微小な火山活動の特徴について述べる。



図1 中岳第1火口に存在する火口湖“湯だまり” (2011年7月5日撮影).

2. 阿蘇火山中岳の概要

阿蘇カルデラ内には、約9万年前（松本ほか、1991）のAso-4噴火直後から活動を開始したとされる、後カルデラ中央火口丘群が存在している（小野・渡辺、1983）。これらの火口丘群は少なくとも17座以上の火山の複合体であり、膨大な量の溶岩や降下テフラを噴出してきた（Miyabuchi, 2009など）。カルデラ内で唯一活動を続ける中岳は、玄武岩質安山岩～玄武岩からなる火山の複合体である。中岳の活動は約22～21 cal kaに始まったとされており（宮縁ほか、2004）、古期山体（アグルチネート・溶岩）、新期山体（溶岩）および最新期火砕丘という3つの山体を形成している（小野・渡辺、1985）。中岳の最新期火砕丘には、ほぼ南北に並ぶ大小7個の火口が存在しているが、最近約80年間の活動は一番北側の第1火口で起きている。静穏期における第1火口内には、湯だまりと呼ばれる強酸性（ $\text{pH} = 0.42$ ）の火口湖（大沢ほか、2003；Miyabuchi and Terada, 2009）が存在している（図1）。活動期には湯だまりが消失し、火口底に形成された火孔から濃褐色または黒色の噴煙を継続的あるいは短い間隔で繰り返し放

出して黒色砂状の火山灰を周辺地域に降下させる灰噴火が最も特徴的な噴火スタイルとなっている（小野ほか、1995；Ono *et al.*, 1995）。さらに活発な時期には、スコリアを間欠的に放出するストロンボリ式噴火を起こす。また活動期の火口内が湖水や水で飽和した土砂で閉塞された場合には、水蒸気爆発あるいはマグマ水蒸気爆発が起こることがある。

3. 2003年7月10日の火山灰噴出

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、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。しかし、2000年11月から南側火口壁下部で赤熱現象がみられ、2003年6月からは湯だまりの量が減少し始めるなど表面活動に変化が認められるようになり、その直後の7月10日に湯だまりからの火山灰噴出が起こった（宮縁ほか、2005）。中岳第1火口西約500 mに設置された気象庁の地震計では、同日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

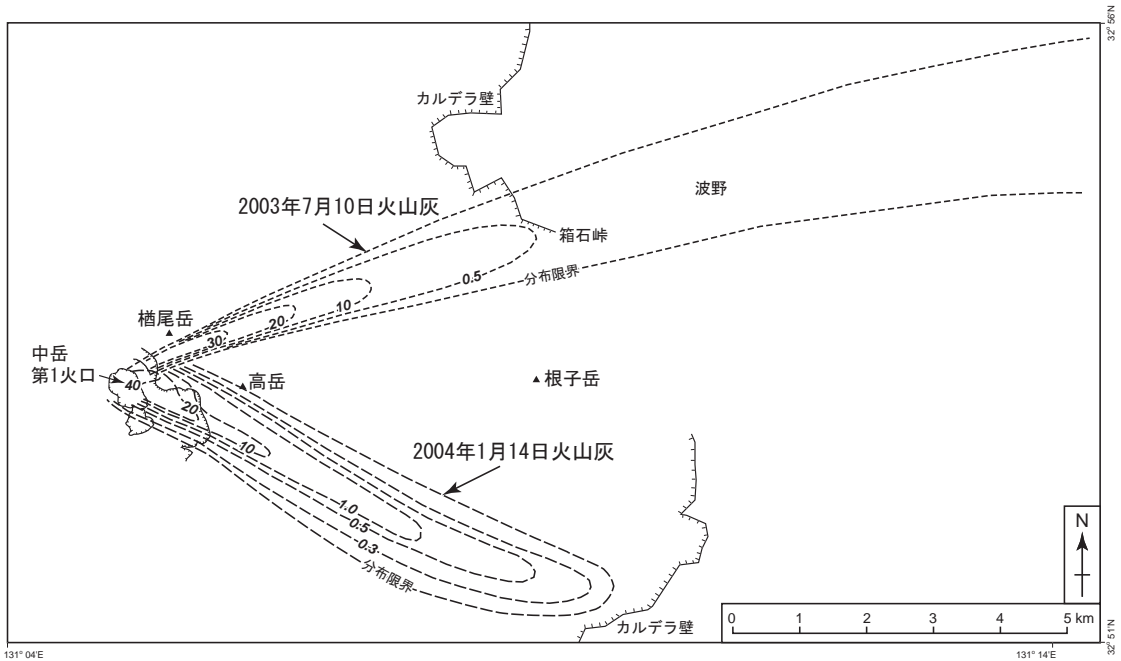


図2 2003年7月10日および2004年1月14日火山灰の分布 (Miyabuchi *et al.*, 2008). 数字は単位面積あたりの火山灰重量 (g/m^2) を示す.

た。火口カメラとともに設置されているマイクがとらえた鳴動の記録もあわせると、火山灰の噴出は17時19分20秒頃に始まり、同分45秒頃には終了したと推察されている (池辺ほか, 2004)。

降灰翌日の7月11日午後の現地調査では、中岳第1火口から北東約0.9 kmの仙酔峡ロープウェイ火口東駅付近での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100 mや南方約250 mの地点では、火山灰の痕跡はほとんど認められなかった。また、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の降灰はごく少量で、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。2003年7月10日火山灰は中岳火口から東北東方向に分布しており、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離れた波野村高柳付近であった

(図2)。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 (宮塚ほか, 2005)。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。

2003年7月11日午後の時点において、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、やや黒色で砂状のものという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い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。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。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の大部分は灰色で泥状のものが直径数 mmの斑点状に堆積しているもので

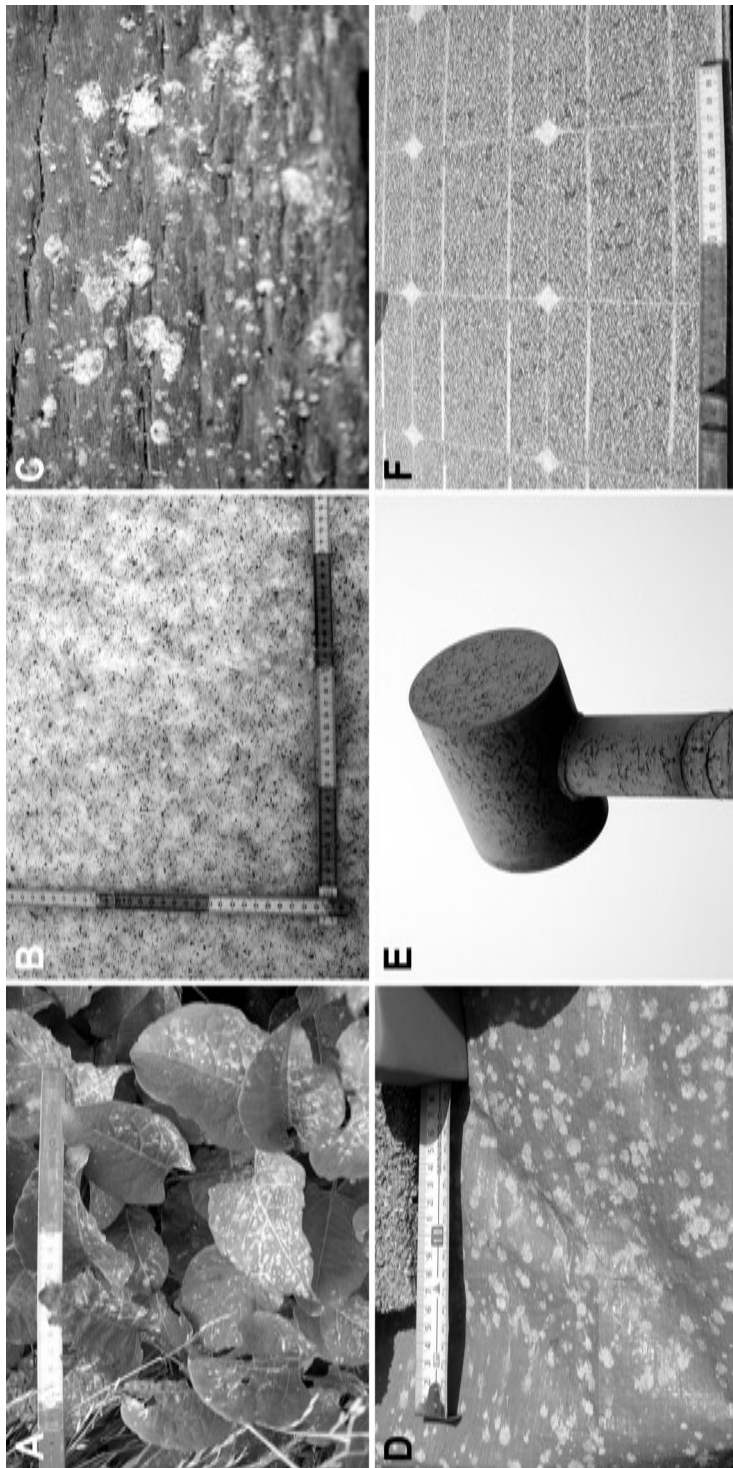


図3 2003~2005年における主な降下火山灰の産状。(A) 植物の葉に付着する2003年7月10日火山灰(中岳火口東北東6km地点)(B) 積雪面に堆積する2004年1月14日火山灰(中岳火口東0.5km地点)(C) 南西側火口縁の木柵に付着した2005年4月14日日中の火山灰(写真横幅は約5mm)(D) 2005年4月14日20時41分火山灰(中岳火口北東0.9km地点)(E) 2005年6月21日の黒色火山灰(北西側火口縁)(F) 2005年7月25日火山灰(南西側火口縁)。

あった(図3A)。

降灰が確認された地点の中で、火口北東約0.9 km地点(37.6 g/m²)と東北東約4.4 km地点(5.8 g/m²)での降灰量データをもとに火山灰の等重量線を描くと、2003年7月10日火山灰の総量は41トン程度と計算されている(宮縁ほか, 2005)。

4. 2004年1月14日の火山灰噴出

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(宮縁ほか, 2005)。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3 kmに設置)によって15時41分30秒~43分00秒頃まで火口縁から高さ約800 mまで噴煙が上昇し、その後南東方向へ流れていく状況が観察された。また、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~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 μm/s(東西動)を記録している。火山灰噴出の瞬間をとらえた火口内の映像はないが、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。

火山灰噴出時に阿蘇地域には積雪があり、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。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。2004年1月14日火山灰は、中岳火口から東南東へ約8 km、高森町上色見の国道265号線付近まで分布しており、分布幅は最大1.5 km程度であることがわかっている(図2)。この分布は福岡管区気象台による高層気象データ(1月14日15時の標高2,000 m付近; 12 m/sの北西風)ともよく対応している。さらに、2004年1月14日火山灰の量は32トン程度と概算されている(宮縁ほか, 2005)。

近傍域にあたる中岳火口東0.5 kmの火口展望台では、降灰によって積雪表面がかなり汚れてい

た(図3B)。火山灰は砂サイズ以下の細粒なものであったが、最大3 mm程度に凝集して堆積しており、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。また、積雪面以外にも、木柵や看板などにも火山灰が付着しており、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。その展望台からは、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されている。

遠方域にあたる高森町前原(火口東南東約6.3 km)付近では、積雪面上に堆積する最大1 mm程度の大きさに凝集した微量の火山灰が観察されている。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「1月14日15時半過ぎ(正確な時刻不明)に急に灰色の雲が現れ、あられのようなものが降った」という証言が得られている。また、自動車の荷台には最大3 mmの灰白色斑点が認められた。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3 mm程度に凝集して降下したものと推定される(宮縁ほか, 2005)。

5. 2005年における火山灰噴出

阿蘇火山中岳第1火口では、2005年4月から8月頃にかけて頻りに湯だまりからの火山灰噴出が起こった。最初に、湯だまりの量が2割になった直後の2005年4月14日中にごく小規模な火山灰噴出が発生した。また、同日20時41分には土砂噴出に伴う火山性微動が観測された。

その後、6月頃より水深が低下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の人工物に付着するようになった。6月1日以降の火山灰の大部分は火口縁で1 g/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3 g/m²を越える火山灰の堆積が認められた。しかし、9月上旬に台風14号に伴う豪雨(9月5日~7日; 総雨量496 mm)によって湯だまりの量は7割にまで一気に増加

し、火口底の大部分は水没して、それ以降、赤熱現象と火山灰噴出は認められなくなった。

5-1. 2005年4月14日日中の火山灰噴出

2005年4月14日午前中、気象庁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。その火山灰が第1火口縁の北西から北東の700 m付近、南側700 m付近、火口縁の南西から西側にも分布することが気象庁によって報告されている。この日の火山灰噴出は6時～9時の間に開始し、15時以前には終了したものと推定されている。

同日日中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、火口を向く面に多く堆積している状況も観察された。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(図3C)。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、垂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日の日中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。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わずかに付着する火山灰が観察されているが、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。南西～西南西側火口縁においては、1.0～1.7 g/m²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ている。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推定されている(宮縁ほか、2007)。

5-2. 2005年4月14日20時41分の火山灰噴出

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(最大振幅16.8 μm/s;東西動)が観測された。また、気象庁の高感度カメラ(火口西方約3 kmに設置)では20時41分45秒頃に火口縁より少量の白色噴煙が高さ約400 mまで上昇し、北方向へ流れたことが観察された。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て不明瞭になっていった。

この現象による火山灰は、同日日中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、日中の火山灰が1 mm以下の大きさに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)で堆積しており(図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たので、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イ火口東駅周辺だけでなく、北東2.3 kmの同ロープウェイ阿蘇山東駅付近まで分布することがわかった。この火山灰は火口から1 km付近まではかなり明瞭であり、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付近までは確認されている。

火口北東0.9 km地点には10.3 g/m²の堆積が認められ、火山灰の分布面積は約1 km²であり、これらに乗じると20時41分火山灰の総量は約10トンになるが、10.3 g/m²は最大値に近い値であるため、実際には数トン程度と推定されている(宮縁ほか、2007)。

5-3. 2005年6月10日～12日頃の火山灰噴出

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。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り、また6月1日以降、木柵等に細かな白色火山灰が径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ている。6月12日に南西側火口縁では6.2 g/m²という観測期間中最大の火山灰堆積が認められ、その火山灰の産状は4月14日日中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。したがって、火口縁で堆積物量6.2 g/m²に達する火山灰の噴出は、6月10日～11日の活動レベルの上昇に伴うものであると考えられている(宮縁ほか、2007)。

5-4. 2005年6月21日の火山灰噴出

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、南西火口縁で4.2～4.9 g/m²、西南西側で3.2 g/m²という堆積がみられた。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0.2～0.6 g/m²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(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(図3E)。

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、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)や褐色の噴煙が勢いよく噴出する様子が認められた。阿蘇山測候所(火口西南西1.3 km; 標高1,142 m)における6月21日17時～19時の風向は南東で、風速は2.1～5.3 m/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時頃に噴出したと推定されており、このイベントに伴う火山灰の総量は4.2トン程度と概算されている(宮縁ほか、2007)。

5-5. 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(図3F)。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、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。南西側火口縁で3.7 g/m²、西南西側地点では4.4 g/m²の白色火山灰が堆積していた。しかし、北西側火口縁での火山灰堆積量は0.5 g/m²、また南南東の地点では0.8 g/m²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3 km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4.6 km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。阿蘇山測候所における7月25日23時～24時の風向は北北東～北東で、風速は2.9～4.5 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日中から深夜に噴出したものと推定される。また、降灰量は1.2トン程度と概算されている(宮縁ほか、2007)。

6. 2003～2005年火山灰の構成物質

火山灰の構成物質を明らかにするため、偏光顕微鏡による観察を行った。採取した試料を10分

間程度超音波洗浄後に乾燥させてから樹脂（ペトロポキシ 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2~4 ϕ (1/16 ~ 1/4 mm) 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 \gg 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。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0.4 mm程度のものも確認できた。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、発泡しているものと発泡していないものがあった（図4A, B, D）。また、鉱物粒子に付着する淡褐色で透明なガラスや内部に微結晶が生じているガラスも認められた。

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2003年7月と2004年1月火山灰でそれぞれ9%と8%であった。また、2005年4月14日日中火山灰で約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%であった。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8~16%とほぼ同じ割合であった（宮縁ほか、2005、2007）。

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ったが、2005年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（図4C）。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っ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。

7. 中岳湖底堆積物の特徴

2008年7月8日、中岳第一火口の両側（東西約400 m）にポリプロピレン製ロープ（直径8 mm）を張り、滑車を用いて採泥器を降下させた（標高差約120 m）。採泥器は、ステンレス製三角コーナー（幅20 cm、深さ10 cm程度）にポリエステル製ネットを被せた簡易なもので、湖底をドレッジした後、補助ロープを用いて引き上げた。ドレッジ場所は、湯だまり南西部の水深15 m前後の湖底であった。採泥器を湖底に着底させるために、紙紐で結束した重りを用いた。紙紐は、回収時には自然溶解して重りは湖底に残されるため、採泥器を簡単に引き上げることができた。採泥器のネットの中には、耐酸性に優れたフッ素樹脂（変性PTFE）製のドーナツ型ブロック（0.24 kg）を取めた。ドーナツ型としたのは、試料が装置から化学的に汚染されることを防ぐためである（寺田・吉川、2009）。

エネルギー分散型蛍光X線分析およびX線回折分析によると、採取された湖底堆積物の全硫黄含有量は74 wt.%に達し、多量の自然（単体）硫黄のほか、石膏や硬石膏も比較的多く存在することがわかった（Miyabuchi and Terada, 2009）。

湖底堆積物を水洗いし、薄片に封入して観察した結果、構成物質の大部分はさまざまな程度に変質・結晶化したガラス片や結晶片からなるが、見かけ上新鮮なガラス片（図4E）が9%程度（0.05 mm以上の粒子中の割合）含まれていた（Miyabuchi and Terada, 2009）。また、斜長石粒子の大部分は別の物質に交代しており（図4F）、これは強酸性の湖水によって反応が進んだ結果と考えられる。ほとんど変質していない斜長石粒子の割合はわずか1%であった。このような変質の進んだガラスや斜長石粒子は、2003~2005年火山灰（Miyabuchi *et al.*, 2008）にはほとんど認められていない。

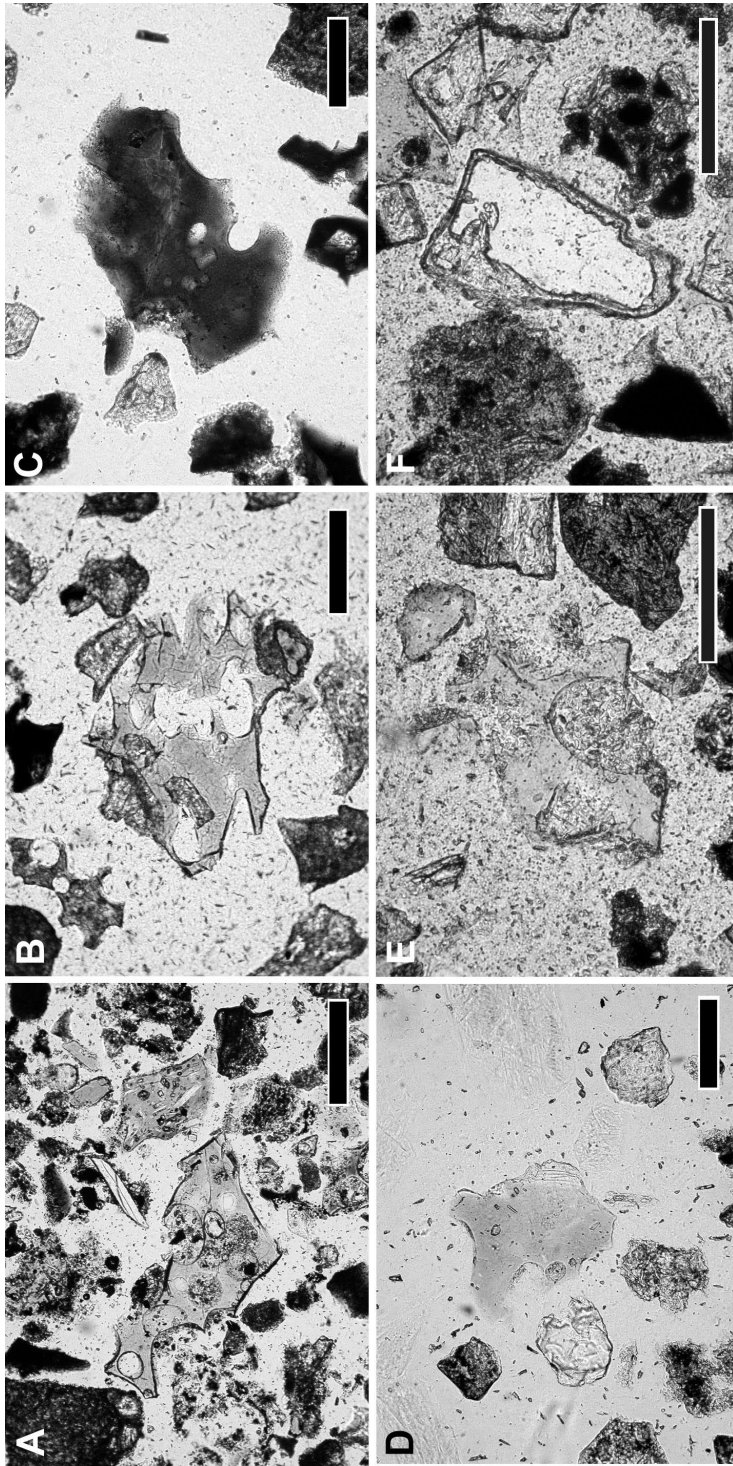


図4 2003~2005年の主な降下火山灰と2008年7月8日採取の湖底堆積物の偏光顕微鏡写真。(A) 2003年7月10日火山灰中の淡褐色火山ガラス (B) 2004年1月14日火山灰中の淡褐色火山ガラス (C) 2005年6月21日火山灰中の暗褐色ガラス (D) 2005年7月25日火山灰中の淡褐色火山ガラス (E) 2008年7月8日湖底堆積物中の淡褐色火山ガラス (F) 同湖底堆積物中の周囲が交代した斜長石粒子. 各写真右下のスケールは0.1 mm.

8. 阿蘇火山中岳における近年の小規模噴火活動

阿蘇火山中岳において2003年～2005年にかけて発生した小規模な噴火活動は、堆積物の産状や現地で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つに大別されている(Miyabuchi *et al.*, 2008)。

まず(1)の現象であるが、2005年に起こっ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日日中に、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。湯だまり水深の減少により、火口底から噴出するガスが大気中へ放出されやすい状態になったためであろう。そのような状態で、湯だまりに覆われた噴気孔からのガス流量が一時的に増加したりすると、火山灰噴出が発生すると推定される。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2005年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1mm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。湯だまりの量は降雨量に影響を受けており、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)、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った。湯だまり水深の増加により火口底から噴出するガスが大気中へ放出されにくくなったためと考えられる。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ことがわかる。

(2)の現象は2003年7月10日や2004年1月14日および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、気象庁によっては規模の大きな土砂噴出と考えられている。この現象は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する現象と推定され、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た。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、(2)の現象は、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8～16%程度含むことなどから、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に限定されることも、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。

(3)の現象は、2005年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、2005年以前には報告されていない。

また、2003年～2005年に噴出した火山灰には、見かけ上新鮮なガラス片が8～16%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、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1990年以降ほとんど強酸性の湯だまり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。星住ほか（2004）が指摘するように、見かけ上新鮮な火山ガラスは本質物質である可能性が高く、中岳における2003～2005年の活動はマグマが直接関与するものであったと考えられている（Miyabuchi *et al.*, 2008）。

9. 湖底堆積物から推定される中岳の火山活動

化学分析結果によって中岳湖底堆積物には約74 wt.%の全硫黄が含まれており、単体硫黄・石膏・硬石膏の順で多く存在することがわかった。単体硫黄は、湖水中でのSO₂とH₂Sの反応やSO₂の不均化によって生成され、湖底に沈殿したものと考えられる。測定された硫黄含有量と火口底の標高変化データ（Hashimoto *et al.*, 2003；Terada *et al.*, 2008）から推定された中岳火口湖における硫黄堆積量は約250トン/日に達する（Miyabuchi and Terada, 2009）。これはニュージーランド

White Islandにおいて測定された硫黄生成量（200トン/日；Werner *et al.*, 2008）と同程度の値である。このことは、中岳火口におけるSO₂放出量（200～600トン/日；気象庁観測データ）と比較すると、かなりの量のSO₂ガスが火口湖によって吸着されていることを示唆している。

また、中岳の湖底堆積物中には少量ながら見かけ上新鮮な火山ガラス片が含まれることが観察された（Miyabuchi and Terada, 2009）。当初、物質の変質が容易に進行すると考えられる強酸性の環境下に新鮮な火山ガラスが存在するとは想定されておらず、それゆえに2003～2005年火山灰に含まれる見かけ上新鮮なガラスは新しいマグマに由来する本質物質であると判断された（Miyabuchi *et al.*, 2008）。しかしながら、かつての噴火活動で放出された火山ガラスが長い期間、強酸性の湖水中に新鮮な状態で保存されているとは依然として考えにくい。したがって、中岳では静穏期においても地下のマグマに由来する新鮮なガラスが湖底噴気孔から絶えず噴出している可能性がある（Miyabuchi and Terada, 2009）。火口湖が存在する状況では、そうしたガラス片は湖水中にトラップされて、火山ガスのフラックスが一時的に高まったとき（2003～2005年の火山灰噴出）以外は外部へ放出されることはない。一方、2011年5月頃のように湖水が減少して火口底の噴気孔が露出した場合にはガラス片などの粒子は噴煙とともに大気中へ放出されることになる。

10. おわりに

阿蘇火山中岳第1火口内には、静穏期に“湯だまり”と呼ばれる火口湖が存在し、200 MWを超える放熱率が維持されている（Terada *et al.*, 2008）。こうした活発な活動は、地下に存在する活発なマグマによって維持されており、筆者のこれまでの調査結果からは火口底から放出される噴気には絶えず新鮮なガラスが含まれると推定されるが、普段は湖水中にトラップされている。最近、湯だまりの水位変化と火山活動との関係が議論されており（Terada *et al.*, 2012）、湖水とともに湖底堆積物

中の火山ガラスを高い頻度で採取し、分析を行えば、中岳の火山活動の推移を定量的に評価することができ、将来の噴火予測にもつながるであろう。

謝辞：本論で述べた地震計等の記録は気象庁による観測データである。気象庁阿蘇山測候所（現阿蘇山火山防災連絡事務所）と福岡管区気象台火山監視・情報センターの関係各位には日頃より有益な情報を提供していただいている。心より感謝いたします。

参考文献

- [1] 下司信夫・篠原宏志 (2012) : 阿蘇火山 2011 年 5 月の噴出物から推定する浅部火道プロセス. 月刊地球, 本特集号, 34, 679-684.
- [2] Hashimoto, T., Ikebe, S., Yoshikawa, S. (2003) : Water level of the crater lake (Yudamari) of Nakadake, Aso Volcano. Annual Report of Institute for Geothermal Sciences of Kyoto University, no. FY2002, pp. 11-12.
- [3] 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.
- [4] 池辺伸一郎・渡辺一徳・宮緑育夫・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.
- [5] 池辺伸一郎・渡辺一徳・宮緑育夫 (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.
- [6] 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.
- [7] 松本哲一・宇都浩三・小野晃司・渡辺一徳 (1991) : 阿蘇火山岩類の K-Ar 年代測定-火山層序との整合性と火砕流試料への適応-. 日本火山学会 1991 年度秋季大会講演予稿集, 73.
- [8] Miyabuchi, Y. (2009) : A 90,000-year tephrostratigraphic framework of Aso Volcano, Japan. Sedimentary Geology, 220, 169-189.
- [9] 宮緑育夫・池辺伸一郎 (2008) : 阿蘇火山中岳で 2008 年 2 月に噴出した火山灰. 火山, 53, 201-206.
- [10] Miyabuchi, Y. and Terada, A. (2009) : Subaqueous geothermal activity revealed by lacustrine sediments of the acidic Nakadake crater lake, Aso Volcano, Japan. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 187, 140-145.
- [11] 宮緑育夫・星住英夫・渡辺一徳 (2004) : 阿蘇火山における更新世末期, AT 火山灰以降のテフラ層序. 火山, 49, 51-64.
- [12] 宮緑育夫・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.
- [13] 宮緑育夫・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.
- [14] Miyabuchi, Y., Ikebe, S. and Watanabe, K. (2008) : Geological constraints on the 2003-2005 ash emissions from the Nakadake crater lake, Aso Volcano, Japan. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 178, 169-183.
- [15] 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.
- [16] 小野晃司・渡辺一徳 (1983) : 阿蘇カルデラ. 月刊地球, 5, 73-82.
- [17] 小野晃司・渡辺一徳 (1985) : 阿蘇火山地質図 (5 万分の 1) . 火山地質図 4, 地質調査所.
- [18] 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.
- [19] Ono, K., Watanabe, K., Hoshizumi, H. and Ikebe, S. (1995) : Ash eruption of the Naka-dake crater, Aso volcano, southwestern Japan. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 66, 137-148.
- [20] 寺田暁彦・吉川慎 (2009) : 接近困難な強酸性火口湖における観測技術-水温モニタリング・湖水および湖底泥の採取-. 日本地熱学会誌, 31, 117-128.
- [21] Terada, A., Hashimoto, T., Kagiya, T., Sasaki, H. (2008) : Precise remote-monitoring technique of water volume and temperature of a crater lake in Aso volcano, Japan : implications for a sensitive window of a volcanic hydrothermal system. Earth Planets Space 60, 705-710.
- [22] Terada, A., Hashimoto, T., Kagiya, T. (2012) : A water flow model of the active crater lake at Aso volcano, Japan : Fluctuations of magmatic gas and groundwater fluxes from the underlying hydrothermal system. Bulletin of Volcanology, 74, 641-655.
- [23] Werner, C., Hurst, T., Scott, B., Sherburn, S., Christenson, B.W., Britten, K., Cole-Baker, J., Mullan, B. (2008) : Variability of passive gas emissions, seismicity, and deformation during crater lake growth at White Island Volcano, New Zealand, 2002-2006. Journal of Geophysical Research 113, B01204, doi:10.1029/2007JB005094.

