

阿蘇火山中岳 1988~1995年活動期における噴火様式の変化

池辺伸一郎*・渡辺一徳**・宮縁育夫***

(2007年7月17日受付, 2007年12月18日受理)

The Sequence and Style of the 1988–1995 Eruptions of
Nakadake Aso Volcano, Kyushu, Japan

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

The latest eruptive activity of Nakadake, Aso Volcano, occurred in the period 1988–1995. We observed the surface activity and the ash-fall deposits to determine the sequence and style of eruption during this period. The 1988–1995 Nakadake activity is divided into four stages: the early stage, the climactic stage, the post-climactic stage, and the final stage. The final stage means afterheat activity. In the early stage (March 1988–October 1989), the crater bottom, which had been occupied by water, gradually dried up. Thereafter, it emitted black ash from dried-up vents. The glass included in the ash fall deposits was composed mainly of blocky particles. In the climactic stage (October–November 1989), the activity alternated between strombolian and phreatomagmatic eruptions. During this stage, there was a rapid increase of brown and clear scoria glasses in the deposits, together with increased activity of isolated volcanic tremors. From the post-climactic stage (December 1989–February 1991) to the final stage (March 1991–October 1995), surface unrest at the crater continued due to a remarkable change in water level of the crater lake. Ash, strombolian and phreatomagmatic eruptions were observed. In the post-climactic stage, opaque blocky grains were predominant in the ash fall deposits. The largest explosive eruption of the 1988–1995 activity occurred at the crater lake on 20 April 1990, generating scoria deposits. Distinct fractures were identified on the surface of ash particles in the 20 April 1990 deposit, which strongly suggests that the ash grains were chilled rapidly by magma-water interaction (phreatomagmatic eruption). In the final stage, most of the blocky glass particles were surrounded by a brown skin, possibly a hydration skin. Thus, the surface activity and characteristics of the ash fall deposits probably varied between stages during the activity of 1988–1995. We believe that the presence of a large amount of water in and around the crater played an important role on the eruptive activity at the Nakadake crater. For hazard mitigation purposes, it is important to remember that phreatomagmatic eruptions can suddenly occur, not only in the climactic stage, but also in the post-climactic and final stages of an eruption.

Key words: 1988–1995 activity, phreatomagmatic explosion, ash grain morphology, Nakadake, Aso Volcano

1. はじめに

阿蘇火山中岳の第1火口では、1988年から1995年にかけて一連の火山活動があり、その後、明らかに本質物質を噴出するような顕著な活動はみられていない。中岳の活動は、1989~1991年がとくに活発であったために、

この時期が一つの活動期のようにもみえるが、本論ではその前後の期間も含め、1988~1995年を1サイクルの活動期として捉え、この時期を「1988~1995年活動期」として取り扱う。

近年の中岳の活動周期は、数年~十数年程度であり、

* 〒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.

*** 〒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.

Corresponding author: Shinichiro Ikebe
e-mail: ikebe-shinichiro@asomuse.jp

そのことからすれば2007年現在、新たな活動期が近づいているとも考えられる。事実、2003年7月10日および2004年1月14日には、湯だまりからの火山灰噴出が起り、火口東方に少量の火山灰を降らせた(宮縁・他、2005)。また、2005年4月14日にも同様の活動があり、同年9月初旬までに、湯だまり量の減少、火口底の一部露出、赤熱現象などが見られた(宮縁・他、2007)。その後、2007年9月以降中岳第1火口の南側火口壁において再び赤熱現象が見られるようになっていた。しかしながらこれまでのところ、基本的には静穏な状態が続いている。

このような状況で、中岳の前の活動期における噴火様式の変化を把握しておくことは、その活動の理解のためのみならず今後の活動予測と防災対策のためにも重要である。

1988～1995年活動期には、これまでの中岳における噴火の規則性(例えば、池辺・他、1989)とされている変化に加え、活動の様式が不規則に目まぐるしく変化した時期が存在した。このことは阿蘇火山博物館の火口カメラおよび現地観測などによって克明に記録された。

本論では、1988～1995年活動期における活動様式の変化と噴出物について記述し、そのような変化の要因について考察する。加えて、中岳における噴火様式の変化の、防災上の意義についても言及する。

2. 阿蘇火山中岳の活動に関連する用語および「活動期」についての考え方

阿蘇火山中岳の活動において、「活動の規則性」、「活動期」、「活動周期」などの用語は、次のような考えに基づいて使用する。

中岳の活動は、活動が活発化するに伴い、湯だまりの温度が上昇し、そのために蒸発量が増えて湯量が減少する。そして地下からの火山ガス噴出量増加に伴って、土砂噴出が見られるようになり、その後火口底は乾燥する。火口底の温度の高い噴気孔では赤熱現象もみられ、やがて火孔(小火口)を開口して火山灰噴出(灰噴火)に移行し、それとともに火災現象がみられることもある。活動が本格化すると、ストロンボリ式噴火やマグマ水蒸気爆発を頻発し、その後徐々に終息に向かう。このような変化は、中岳の活動としてよく見られる変化(例えば1984年秋から1985年7月頃までの変化)であることから、先にも述べたように、中岳においては「活動の規則性」があると言われている。

中岳の静穏期は、地下活動が穏やかで孤立型微動の発生回数は少なく、また火山性連続微動の振幅も小さい(福岡管区気象台、2002; 須藤、2007)。同時に表面的には

第1火口内に60℃前後の青色～緑色の湯だまりが形成される(福岡管区気象台、2002)。従って、ここでは上記のような噴火の規則性に沿い、「安定的な湯だまり形成期」→「本質火山灰或いはスコリアを連続して噴出する時期」→そして再び「安定的な湯だまり形成期」に至るまでの期間を1活動期とし、活動期から次の活動期までを活動周期として考えることとする。

また、今回議論している1988～1995年活動期の前の時期を見ると、1984年10月頃まで穏やかな状態で湯だまりが形成されていたが、その後活発化して湯量が減少、1985年5～6月に本質火山灰やスコリアを噴出、同年7月中旬以降活動は衰えて再び湯だまりが形成され、1986～1987年には小規模な土砂噴出活動がみられた。これにともなって火山性微動も増減した(気象庁編、2005)。従って1985年5～6月の時期が前の活動の最盛期で、1986～1987年は1985年頃の活動の余熱によるものと考えられることから、その前の時期を含めて、前回の活動期は1984～1987年と考えられる。

このようなことから、今回の活動期の始まりは1988年であるとした。

一方、先に述べた2003～2005年の活動については、いずれも本質火山灰やスコリアを連続して噴出するような状況には至っておらず、その後再び安定した湯だまりの状態が続いていることから、これらは一時的な活動であり、新たな活動期に入っているとは考えていない。

さらに本論で用いる用語には、阿蘇火山に特有のものもあるため、以下にそのいくつかについて説明を加えておく。

湯だまり。中岳第1火口内が土砂で埋積され、その後活動の静穏期に雨水などがたまって出来た火口湖。地下からの熱によって、通常60℃前後のお湯の状態となっている。水のもたらされる要因としては、火山性水蒸気がかなりの部分を占めている(大沢・他、2003)という考えもある。また活動期においても、大雨などによって大量の土砂が火口に流入し、強制的に湯だまりが形成されることもある。

土砂噴出。火口底に湯だまりがある状態で、火山ガスの噴出に伴って湯だまりのお湯とともに火口底の土砂を連続的に噴き上げる現象。なお、最近ではこの時期に既に灰噴火が始まっているという考えもある(例えば、宮縁・他、2005; 渡辺・他、2003)。本論では、見かけ上は土砂噴出であるが、噴出物が火口の外まで達するような規模の大きなもので、単発的に発生するものに対して「大規模な土砂噴出」と呼ぶことにする。気象庁(2005)は新しい「噴火の記録基準」を次のように示した。「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。これによって、阿蘇中岳における土砂噴出は、「大規模な土砂噴出」の場合は「噴火」として記録されることになる。

火災現象。火孔から火山灰とともに噴出する火山ガスが、燃えるように見える現象をさす。そのメカニズムの詳細はわかっていないが、気象庁 阿蘇山測候所ではこのような現象を「火災現象」と呼んでいるため、本論においてもこの用語を用いた。

赤熱現象。噴気孔から噴出する高温の火山ガスが、その周辺の岩石を熱するために、赤く見える現象をいう。火口底に湯だまりが形成されている状態で、火口壁の噴気孔で見られることもある。

3. 1988～1995 年活動期のステージ区分とその概要

中岳の 1988～1995 年活動期は、1988 年 3 月頃からの湯だまりの減少で始まった。翌 1989 年 10～11 月にストロンボリ式噴火が頻発する最盛期を迎え、その後複雑な活動を断続的に続けて、1995 年 10 月にほぼ終息した。この一連の活動期に起こった中岳第 1 火口の表面現象について Table 1 にまとめた。

1988～1995 年活動期は、Table 1 に示すように、火口表面活動の変化に基づき、4 つのステージ、すなわち、活動初期、活動最盛期、活動減衰期、および残存マグマによる余熱活動期に大きく区分することができる。以下にそれぞれのステージについて概略を記述する。

活動初期。1988 年 3 月頃～1989 年 10 月はじめ頃まで。この時期は、活動が徐々に活発化してくるステージで、湯だまり量が減少し、火口底が乾燥した。高温の噴気孔では赤熱現象が見られるとともに、比較的安定して火山灰を噴出するなど、活動としては中岳でよく見られるような規則性にほぼ従って推移した時期である。

活動最盛期。1989 年 10 月はじめ頃から 1989 年 11 月末頃の 2 ヶ月間。マグマヘッドが最も地表に近づいている時期といえる。この時期にはストロンボリ式噴火を中心にした活動であったが、火口の位置の移動や拡大、マグマ水蒸気爆発を頻発するなど、活動が目まぐるしく変化した。中岳の活動の最盛期に、噴火様式が頻繁に変化した例はこれまでほとんど知られていない。

活動減衰期。1989 年 12 月～1991 年 2 月頃まで。地下からのマグマ供給量が減少するために、表面的には不規則な活動状況となったと推測され、火孔の閉塞と活発な噴火活動を繰り返した。減衰期とは言いながらも、断続的に本質物の噴出も見られた。とくに、1990 年 4 月 20 日には、1988～1995 年活動期のうちで、最大のマグマ水

蒸気爆発が発生している。その後活動は再び活発化し噴石を伴う火山灰の噴出やストロンボリ式噴火を繰り返した。

残存マグマによる余熱活動期。1991 年 3 月～1995 年 10 月頃。表面的には火山灰などで火口内は埋積された状態であり、一旦活動は終息したかに見えた。その後、火口底の温度も下がったために湯だまりが形成された。しかし地下にはマグマ本体あるいはその熱が残っており、それが地下水に影響を与え、マグマ水蒸気爆発や規模の大きな土砂噴出が発生した。土砂噴出は 1995 年 10 月ころまで続き、その後活動は終息した。

なおこのステージは、上記のとおり火口底に湯だまりが形成されたことや、1991 年 3 月頃には一旦孤立型微動の発生回数が減少し、1992 年 4 月頃から再び増加（気象庁編、2005）したことから、独立した新たな活動期ではないかとの見方もできる。しかしながら、筆者らはこの期間中新たな本質物の噴出はほとんどないと考えており（後述）、また橋本（2001）は、Tanaka（1993）の中岳周辺での地磁気測定結果から、「1991～1994 年までの時期は、1989～1990 年活動期の余波的活動の時期」と考えている。このようなことから、この時期を「残存マグマによる余熱活動期」として扱った。

4. 1988～1995 年活動期の特筆すべき現象

4-1 「活動初期」における火山灰の間欠的な噴出

これまでの活動では、「活動初期」において突発的に活動の様式が変化することは少なかった。火山灰を連続的に噴出するなど、比較的安定した活動を続ける時期である。しかし、そのなかでも 1988～1995 年活動期にはやや不安定な時期が存在した。とくに 1989 年 7 月 19 日および 9 月 6 日～7 日頃には、この年の 6 月に中岳第 1 火口のほぼ中央部に開口した直径 15 m ほどの 891 火孔（1989 年の 1 番目に生じた小火口；阿蘇山測候所命名、Fig. 1 参照）から連続的に火山灰を噴出していたなかで、数分おきに火山灰の急激な噴出と噴出停止を繰り返した。いったん噴出が弱まり、その後急激な噴出が見られるときには、火山灰を含む噴煙に伴って水蒸気の多い白い噴煙をまじえ、同時に、火炎を勢よく噴き出すこともあった。

4-2 「活動最盛期」におけるストロンボリ式噴火とマグマ水蒸気爆発の繰り返し

1989 年 10～11 月の「活動最盛期」における活動様式の変化については渡辺・池辺（1990）が指摘している。また、須藤（2004）は 11 月 17 日以降、爆発的活動とストロンボリ式噴火が交互に生じたことを述べている。

この時期の活動様式の変化を Table 2 に示した。10 月

Table 1. Summary of activities from 1988 to 1995 at the Nakadake crater. C.L.: Crater Lake, M. E.: Mud Eruption, Inc.: Incandescence, A.E.: Ash Eruption, Str.: Strombolian Eruption, Phr.: Phreatic Explosion or Phreatomagmatic Explosion.

表 1. 1988年～1995年における活動の推移概要. C.L.: 湯だまり, M.E.: 土砂噴出, Inc.: 赤熱現象, A.E.: 灰噴火, Str.: ストロンボリ式噴火, Phr.: (マグマ) 水蒸気爆発.

year	month	CL	ME	Inc	AE	ST	PH	Activity		
活動初期	1988	Mar.						下旬より湯だまりは減少傾向.		
		Apr.								
		May						下旬, 土砂噴出活発化(10~15m).		
		Jun								
		Jul.								
		Aug.						16日 南側噴気孔より黄味を帯びたガス(火山灰?)を噴出.		
		Sep.								
		Oct.						湯量さらに減少, 16日 火口底の一部に赤熱現象見られる.		
		Nov.						湯だまりは火口底の一部に残るのみ, 赤熱現象続く.		
		Dec.						28日 小噴気孔より火山灰噴出.		
		活動最盛期	1989	Jan.						
				Feb.						
Mar.								火口底は乾燥状態, 赤熱現象の範囲がやや広がる.		
Apr.								5日と27日には小噴気孔より火山灰を噴出.		
May								下旬には赤熱現象の範囲はさらに拡大(火口底のおよそ5割).		
Jun								4日, 6日に小噴気孔開口, 10日, 891火孔開口, 以後, 灰噴火に移行(火炎も伴う).		
Jul.								灰噴火活動.		
Aug.								しだいに火山灰の噴出量が増え, 噴出力, 火炎の勢いが強まる.		
Sep.										
活動減衰期	1990	Oct.						9日, 892火孔を開口, スコリアを火口縁上まで噴出(ストロンボリ式噴火), 下旬, 火孔の拡大活動, 892火孔は891火孔を吸収し, 径100m程にまで拡大.		
		Nov.						スコリアの噴出(ストロンボリ式噴火)と爆発的噴火(マグマ水蒸気爆発)を繰り返す.		
		Dec.						活動はやや静かになるが, 時折噴石を飛ばすような小噴火が続く.		
		Jan.						活動不安定, 断続的に火山灰や噴石を噴出.		
		Feb.						14日頃から火口壁の崩落などにより火口は閉塞状態となる, 下旬には湯だまり発生.		
		Mar.						地下活動活発, 表面上は湯だまりの状態, 22日 ガス突出(規模の大きな土砂噴出).		
		Apr.						20日 マグマ水蒸気爆発.		
		May						火山灰, 噴石をほぼ連続して噴出.		
		Jun								
		Jul.						大雨によって火口も閉塞状態となる.		
		Aug.						17日 901火孔開口, 火山灰, 噴石, 火炎.		
		Sep.								
残存マグマによる余熱活動期	1991	Oct.								
		Nov.						13日 赤熱現象, 湯だまりはほぼ消滅24日 902火孔開口.		
		Dec.						903火孔よりほぼ連日, 空震をともなってスコリアを爆発的に噴出, この頃の火山灰には発泡のいいスコリア片やベレーの毛が含まれた.		
		Jan.								
		Feb.						8~9日を最後に火山灰の噴出はなくなる, 以後白煙.		
		Mar.						中旬以降湯だまり発生.		
		Apr.						湯量増加.		
		May								
		Jun						全面湯だまり.		
		1992	Jan.							
			Feb.						水蒸気の噴煙量, やや増える.	
			Mar.							
Apr.							下旬, 土砂噴出活発化(10~15m).			
May							小康状態, 時折小規模な土砂噴出が見られる.			
Jun							下旬より再び土砂噴出が活発化30日 100~150m(噴石も伴う).			
Jul.							1日噴石を伴う噴火, 湯量減少, 活動不安定, 湯だまりから時折爆発的な土砂噴出.			
Aug.							湯だまりの状態から, 時折噴石を伴って爆発的に土砂を噴出.			
Sep.							8月下旬から9月上旬, 火口底中央部から土砂噴出とともに, スコリアらしい浮遊物.			
Oct.							中旬~11月上旬にかけてスコリアらしい浮遊物が多量見られた.			
Nov.							下旬, 土砂噴出活発化, 湯だまり減少.			
Dec.							4日921火孔開口, 火山灰, 火炎, (6日閉塞) 26日922火孔開口, 赤熱, 火山灰噴出.			

Table 1. Continued

表 1. 続き

	year	month	CL	ME	Inc	AE	ST	PH	Activity	
残存マグマによる 余熱活動期	1993	Jan.							922火孔から時折折火山灰やスコリアを噴出.	
		Feb.							20日 連続的にスコリアを噴出して"噴火".	
		Mar.							活動はおだやかとなる中旬以降, 922火孔は閉塞.	
		Apr.								
		May								
		Jun								全面湯だまり.
	1994	Jan.								
		Feb.								
		Mar.								下旬 噴湯現象.
		Apr.								
		May								2日 湯だまりの湯面が一時的に低下, 土砂噴出もみられる.
		Jun								地下活動不安定.
Jul.										
Aug.										
Sep.									中旬 土砂噴出. 最大で150m以上, 噴石も伴う. 地下活動不安定. 阿蘇山測候所で特殊微動, 有感微動を観測.	
Oct.									火口底は全面湯だまりにもかかわらず, 前月と同じ状況が続く.	
Nov.								活動は小康状態.		
Dec.								6日より再び活動不安定, 土砂噴出を繰り返す.		
1995	Jan.								2日 05時～12時頃にかけて有感微動(I～II)を繰り返す. 大規模な土砂噴出を伴い火口縁の外まで泥水が飛散した. 4日夜有感微動.	
	Feb.								有感微動が観測されたが, 表面現象は小康状態. 10m前後の土砂噴出や噴湯現象が続く.	
	Mar.								中旬 有感微動が頻発. 17日 噴石(こぶし大～人頭大)をともなって"噴火". 月をとおして10～20mの土砂噴出.	
	Apr.								9日に数mの土砂噴出を伴って有感微動. 以後, 比較のおだやか.	
	May								比較のおだやか. 湯だまりのお湯は下旬にやや減少.	
	Jun								小康状態. 24日 有感微動発生.	
	Jul.								2～4日 有感微動4回. 微動とは別にやや大規模な土砂噴出以降, 10m前後の土砂噴出を断続的に繰り返す.	
	Aug.									
	Sep.								月を通して10m前後の土砂噴出を断続的に繰り返す.	
	Oct.									
	Nov.								土砂噴出は見られなくなる. 以後全面湯だまりで, 穏やかとなる.	
	Dec.									

6日からはストロンボリ式噴火に移行し, その後2ヶ月ほどの間, スコリアや本質火山灰を同時に噴出する比較的穏やかな活動と, マグマ水蒸気爆発によって火孔を拡大する活動を何度か繰り返した. このなかで, 類質岩塊を伴う爆発的な噴火は, 水蒸気をまじえる白い噴煙や噴出物の観察からマグマ水蒸気爆発と考えられるが, この間とくにまとまった降雨による火孔の閉塞があったわけではない. しかしながらストロンボリ式噴火に移行した直後の10月15日には, それまで乾燥していた火口底において, 赤熱噴石を放出している火孔のすぐ近くまで湿っていたこともあり (Fig. 1), 火道の近くまで地下水が近づいていたことを伺わせた. また, 爆発的な噴火が起こっているときには, 従来の火孔の拡大や新火孔の開口が見られている.

4-3 「活動最盛期」における第1火口内での火孔位置の移動・拡大

1989年10月初めまでの活動初期では891火孔はわずかな拡大はしたものの, 基本的には同じ状況で噴火活動を続けた.

ところが「活動最盛期」にあたる10月はじめからは,

火孔の位置や大きさがめまぐるしく変化した (Fig. 2).

10月9日に891火孔の北東側約10mのところに新しい火孔を開口し, 翌日測候所によって892火孔と命名された (Fig. 2). 892火孔は次第に拡大すると同時に, 赤熱したスコリアを噴出するストロンボリ式噴火が始まった. その後22日には892火孔の拡大に伴って891火孔は吸収された (Fig. 2の①). この時期は爆発的な噴火が連続して発生するとともに, 火山灰中には火口底を埋めていた土砂に含まれていたと考えられる硬石膏やみょうばん石が多く含まれていた (池辺・渡辺, 1990). 合体した892火孔はさらに拡大を続け, 10月25～29日頃には第1火口全体にまで広がった (Fig. 2の②). また, 11月17日には892火孔の西側に10～20mの火孔を形成, 26日早朝には, 未明の噴火によって892火孔が埋積されているのがみられたが (Fig. 2の④), その後爆発的な噴火によって再び892火孔が開口した (Fig. 2の⑤). 未明の活動では南東側の第2火口との境界付近が大きくえぐられているのが確認された. また, 活動減衰期の1990年2月17日頃には, 北西側の火口壁が大きく崩落した (気象庁阿蘇山測候所, 1990).

Table 2. Strombolian and phreatomagmatic eruptions at Nakadake between October and November 1989. St.: Strombolian eruption, Ph.: Phreatomagmatic eruption.

表 2. 1989年10～11月における、ストロンボリ式噴火とマグマ水蒸気爆発の繰り返し。St.: ストロンボリ式噴火, Ph.: マグマ水蒸気爆発。

日付	St.	Ph.	記 事
1989. 10. 6	◎		夜, 891 火孔からスコリアを噴出
7	◎		朝, 火口縁にスコリア散在 (測候所が確認)
9	◎		891 火孔の北東約 10m に新火孔開口
			(10 日に測候所が 892 火孔と命名)
15	◎		15:45 新火孔からスコリアを 150m の高さまで噴出
20			スコリアの噴出を確認
21			灰白色の多量の火山灰を噴出 (山上広場で厚さ 3cm)
22			
		★	黒い火山灰と水蒸気の混じる噴煙と、
		★	人頭大～半身大の類質岩塊を伴う連続的な爆発
28		★	(29 日までに火孔は 100m×50m に拡大)
29	◎		発泡したスコリア片を含む火山灰噴出
11. 02	◎		スコリアの噴出再開
			断続的にストロンボリ式噴火
16	◎		
17		★	11:35 爆発的噴火
		★	(翌日 892 火孔の西側に 10～20m の新火孔を測候所が確認)
21	◎		
24	◎		緻密な本質岩塊を伴うスコリアの噴出
26		★	01:07 第 1 火孔東方に主に類質物からなる
		★	小規模な火砕流と噴石を噴出
		★	892 火孔は東方に大きく拡大
		★	09:10 01:07 噴火による堆積物で火口底の様子が大きく
		★	変化。その埋積物を爆発的に噴出。
28	◎	★	同日夜には、赤熱噴石を噴出 (測候所による)
		★	翌日未明、類質岩塊を主とする噴火
12. 10		★	火山灰と類質岩塊を噴出
17		★	
28		★	

4-4 「活動減衰期」における 1990 年 4 月 20 日の大規模なマグマ水蒸気爆発にはじまる一連の噴火

活動減衰期の 1990 年 4 月 20 日に、1988～1995 年活動期では最大規模のマグマ水蒸気爆発が発生した。4 月 20 日の活動の変化を Table 3 にまとめて示す。ただし、この図の噴煙中の水蒸気量については、火口カメラの映像から感覚的に読み取って作成したものである。

4 月 20 日、13 時 23 分頃から火山性連続微動の震幅が大きくなり、13 時 25 分には白煙を高さ 1,400 m まで噴き上げた (気象庁地震火山業務課, 1990)。その後、16 時 52 分には湯だまりから爆発的に土砂噴出が発生、16 時 54 分頃からはほぼ連続的にやや規模の大きな土砂噴出が発生した。これらはマグマ水蒸気爆発の前駆的な活動である。

そして 17 時 08 分に湯だまりから、大量の噴石を伴う爆発的な噴火が始まり、上空に達した噴煙は地上風の影響を受けて北北西に流れた。その噴煙からは火砕サージも発生した (熊本大学・他, 1991)。噴火開始後約 50 分 (17:58 頃) には噴煙の勢いは最盛期に入ったが、その間、黒色と白色の入り混じった噴煙からは、水蒸気の白い尾を引く多数の噴石が放出された (Fig. 3)。この間、火口カメラからの観察では、噴煙中の水蒸気量や火山灰や噴石を噴出する強さは一定ではなく、強弱を繰り返し

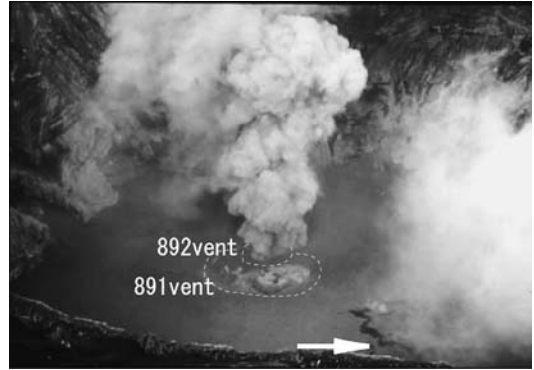


Fig. 1. The bottom of the Nakadake first crater during the climactic stage. Arrow indicates wet part near active vents (the photograph was taken on 15 October 1989).

図 1. 活動最盛期における中岳第 1 火口底の様子。矢印は活動中の火孔近くまで水が染み出している部分。(1989 年 10 月 15 日撮影)。

ていた。18 時 10 分頃からは噴煙はほとんど黒色となり、火山雷、赤熱スコリアの噴出が観察された (Fig. 3)。18 時 30 分過ぎには噴煙の勢いは弱まり、その少し前からは時折土砂噴出が見られた。その後も断続的に少量の火山灰の噴出があった (渡辺・他, 1990)。

筆者らは噴火の直後に現地調査を行い、噴火時の上記のような噴火様式の変化に対応した堆積物を確認することができた (熊本大学・他, 1991)。

4-5 「余熱活動期」における大規模土砂噴出とそれに伴う表面活動の変化

1992 年 4 月頃から火口底の湯だまりから土砂噴出活動がやや活発となり、6 月下旬には日に日にその規模が拡大した。土砂噴出の高さは、同月 24 日 5 m, 29 日 30～50 m, 30 日 100～150 m (噴石も伴う) と変化し、7 月 1 日には噴石を伴う大規模な土砂噴出を起こして噴火 (気象庁阿蘇山測候所, 1992) した (このときの気象庁による「噴火」記録は、旧来の阿蘇山における記録基準のひとつ「火口内で連続して噴石が上がる時、又は噴石が火口縁に達したとき」を満たしたことによるものである)。その後 9 月まで同様の活動が続いた。

とくに、8 月～9 月に発生した大規模な土砂噴出の際には、湖面が 1～2 秒かけてゆっくりとふくらみ、その後破裂する状況が観察された (Fig. 4)。

また、1992 年 8 月～10 月にかけては、連続的に土砂噴出を行っている場所から、スコリア状の物質が湯だまり中にわき出して、湖面に浮かんだ状態で湯気を出しながら漂う様子 (Fig. 5) が見られた。

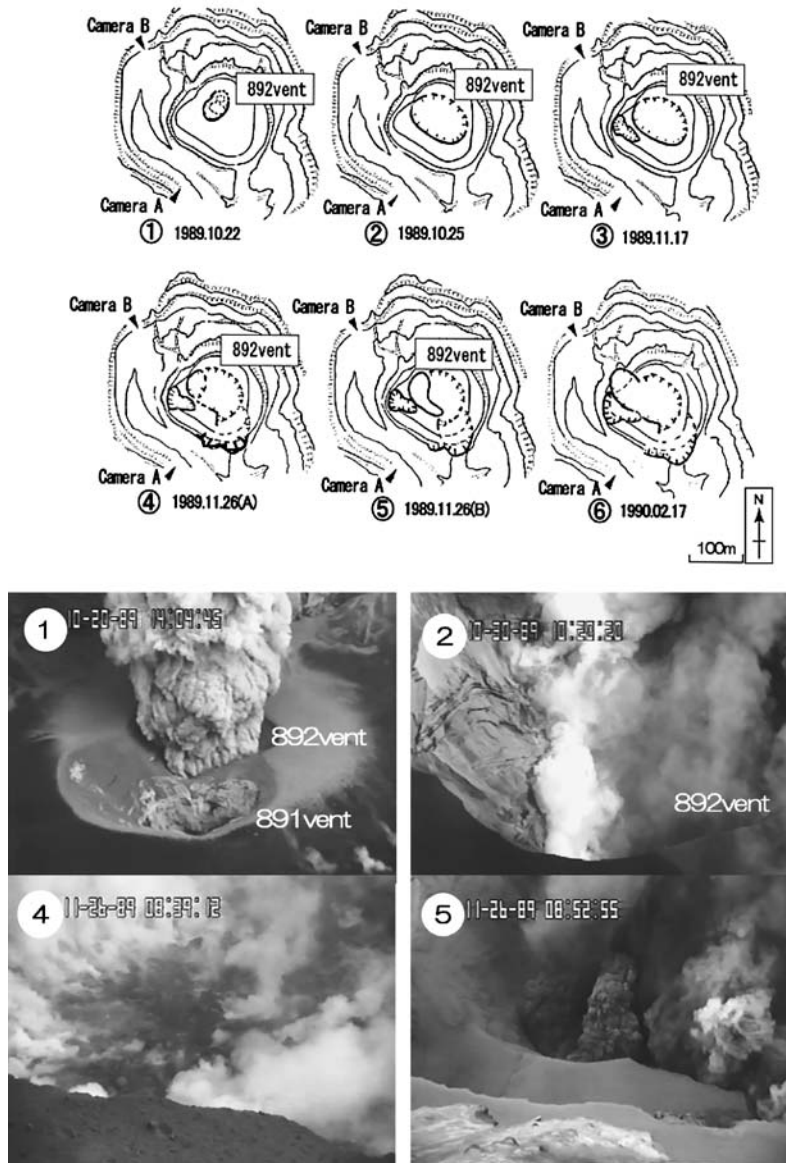


Fig. 2. Illustrations and photographs showing the variation of the vent size and location within the Nakadake first crater during the climactic stage. (1) Vents 891 and 892 were combined almost in the same location (photograph no.1 was taken a few days before the combination). (2) Vent 892 was enlarged after a phreatic explosion at the end of October 1989 (photograph no. 2 was taken on 30 October). (3) A new vent opened at the west of 892 vent on 17 November. (4) Vent 892 was buried by the deposits of the phreatic explosion before dawn on 26 November (photograph no. 4 was taken in the morning on 26 November). (5) Vent 892 opened again due to the phreatic explosion in the morning of 26 November (photograph no. 5 was taken on the same day). (6) The north western part of the crater wall collapsed on 17 February 1990.

図 2. 活動最盛期における中岳第 1 火口内での火孔位置や大きさの変化。(1) 891 火孔と 892 火孔とが結合 (結合する数日前のもの)。(2) 1989 年 10 月下旬に、892 火孔は水蒸気爆発によって拡大した (10 月 30 日撮影)。(3) 11 月 17 日、892 火孔の西側に新しい火孔を開口。(4) 892 火孔は、11 月 26 日未明に発生した水蒸気爆発によって埋積された (11 月 26 日 8:39 撮影)。(5) 11 月 26 日朝から、再び水蒸気爆発が発生し、892 火孔は開口した (11 月 26 日 8:52 撮影)。(6) 1990 年 2 月 17 日、北西側火口壁が崩壊した。

Table 3. The sequence of the phreatomagmatic explosions on 20 April 1990, recorded by the AVM camera.

表 3. 火口カメラの観察による、1990年4月20日のマグマ水蒸気爆発の推移。

時 間	火口カメラから見た噴火状況	噴 石	噴煙中の 見かけの 水蒸気量 少→多
13:25	白煙、1400mの高さまで噴出 (測候所による)	(不 明)	
16:52	湯だまりの状態から爆発的噴出(1発)	多量	
54	土砂噴出の大きなもの(50~60m)	なし	
	ほぼ連続的、噴出箇所不定		
17:00	土砂噴出なし。火口北西側噴気がやや多い	なし	
	爆発的噴出(cock's tale jet)	多量	
08	約30秒後、横殴りの噴煙(S-N方向)	サイズ大	
10	噴煙の勢い強く黒色で湿った感じ 中段火口丘は泥沼状	白い湯気の 尾を引く	
15	横殴りの噴煙		
17	赤熱した噴石(本質物ではない?)		
20	噴煙の見かけ上の湿り気減少		
30	噴煙の見かけ上の湿り気少ない	やや少量	
36	噴煙柱が明瞭、 中段火口丘の水はなくなる	多量	
37	噴煙、やや乾燥	やや小さい	
39	噴出力弱まる		
	噴煙柱不明瞭、やや湿った感じ		
46	噴出力強まる、 噴煙は茶色味を帯び、乾いた感じ	やや少量	
58	噴出力弱まる 噴煙柱不明瞭、やや湿った感じ	多量	
18:00	その後、爆発的噴出 横なぐりの噴煙		
01	噴出力強まる、茶色味を帯びた噴煙 噴煙に空気振動映る	やや少量 サイズ小	
	茶色味を帯びた噴煙、勢い強い		
10	火山雷回数発生、スコリアの噴出	赤熱噴石	
	噴出力弱まる。噴煙やや湿った感じとなる	少量	
16	噴出力やや強まる		
21	噴出力やや強まる		
25	噴出力弱まる、噴煙は水蒸気とともに拡散	なし	
27	噴出力やや強まる、噴煙は湿った感じ	以後見られず	
36	噴出力弱まる、噴煙は湿った感じ		
44	以後弱まる		

1994年5月2日には、湯だまりの湖面が大きく上下変動した。同年4月頃から表面的には大きな変化はなく推移していたが、その日(5月2日)も朝から湯だまりは静穏な状態であった(Fig. 6の①)。昼頃から湖面に水蒸気が目立ちはじめ、温度が上がってきていることが推測された。そして14時47分頃に湖面が急激に十数m下がり(Fig. 6の②から③)、およそ10分間にわたって湖面が大きく揺れ続けた。それに先立って、10秒ほど前からは湖面が10mほど徐々に上昇していたことが火口カメラ画像によって確認され(Fig. 6の②)、また湖面の下降

が始まって7秒後と21秒後には、ガス突出や土砂噴出(Fig. 6の④)が発生しているのが確認できている。このように、一見静かな湯だまりの状態においてその湖面が大きく変動するのが確認されたのは、このときが初めてである。

5. 噴出火山灰の特徴とその変化

阿蘇中岳では、火山灰を連続的に噴出する特徴的な活動である灰噴火やストロンボリ式活動にともなう火山灰については、星住・他(1991)、小野・他(1995)、Ono et

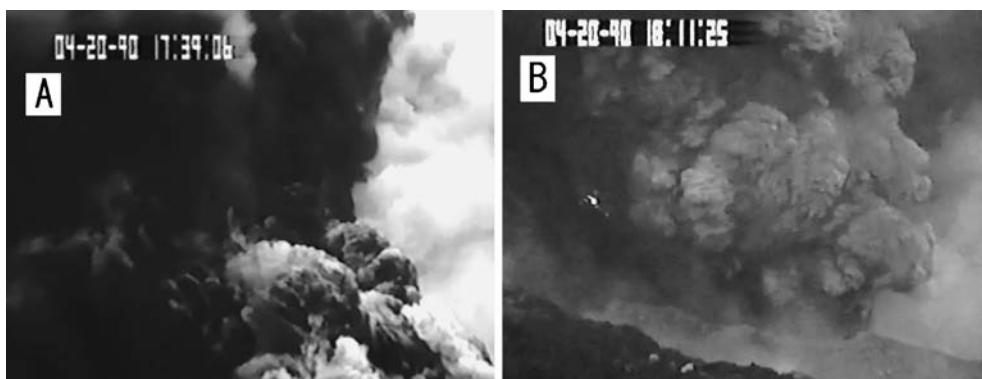


Fig. 3. Different types of eruptions during the eruption on 20 April 1990. (A) Black smoke with white steam and a large amount of cinders in the phreatic explosion. (B) Dark brown and dry smoke in magmatic eruption (the bright object in the left part of this picture is a heated scoria).

図 3. 1990年4月20日の一連の噴火における2種類の噴火形態。(A) 水蒸気爆発の際の、大きな大量の噴石とともに白色の水蒸気を伴う黒い噴煙。(B) マグマ噴火の際の、乾燥した焦げ茶色の噴煙(写真左側の明るい点は赤熱したスコリア)。

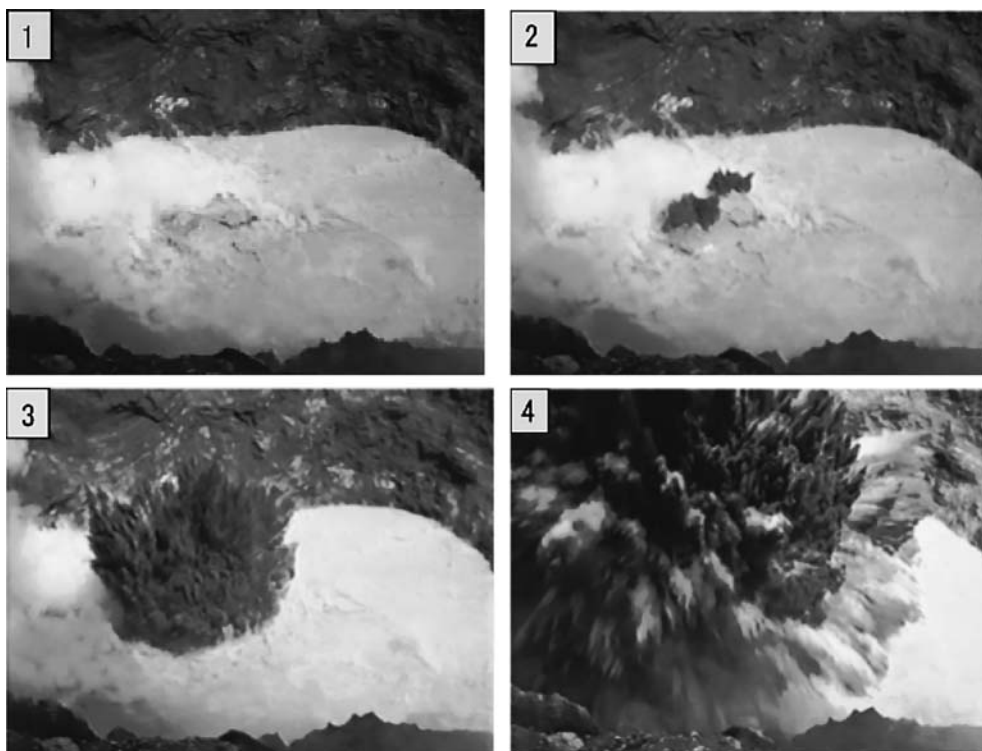


Fig. 4. Sequential photos of a large-scale mud eruption from the crater lake on 15 November 1992.

図 4. 1992年11月15日 湯だまりからの大規模な土砂噴出。



Fig. 5. Floating materials, possibly scoria, on the crater lake on 12 October 1992.

図 5. 1992 年 10 月 12 日, 湯だまり中に見られたスコリアと思われる浮遊物.

al. (1995) などによってその形態や量比が火山活動の変化を反映していることが指摘されている. 本報では, 1988~1995 年活動期の全期間中に採取した火山灰について, 噴火様式の変化と形態や量比の変化にどのような関連があるかを見るために, 火山灰を見かけ上の特徴によって分類し, 量比の計測を行った.

5-1 火山灰の採取と観察方法

火口外への火山灰の放出がはじまった 1989 年 6 月 9 日以降, 可能な限り火山灰を採取した. その方法は, 火口周辺では, アクリル製のトラップ容器を設置して, 翌日に回収する方法によった. また, 遠方については, 中岳第 1 火口の風下側で, 直接降灰を採取する方法などによった.

期間中, 合計 375 の火山灰試料が採取でき, それらのうち 100 試料について検討した. 火山灰は細粒物質を除去するため, 超音波洗浄した後“水ひ”し, 残った粒子

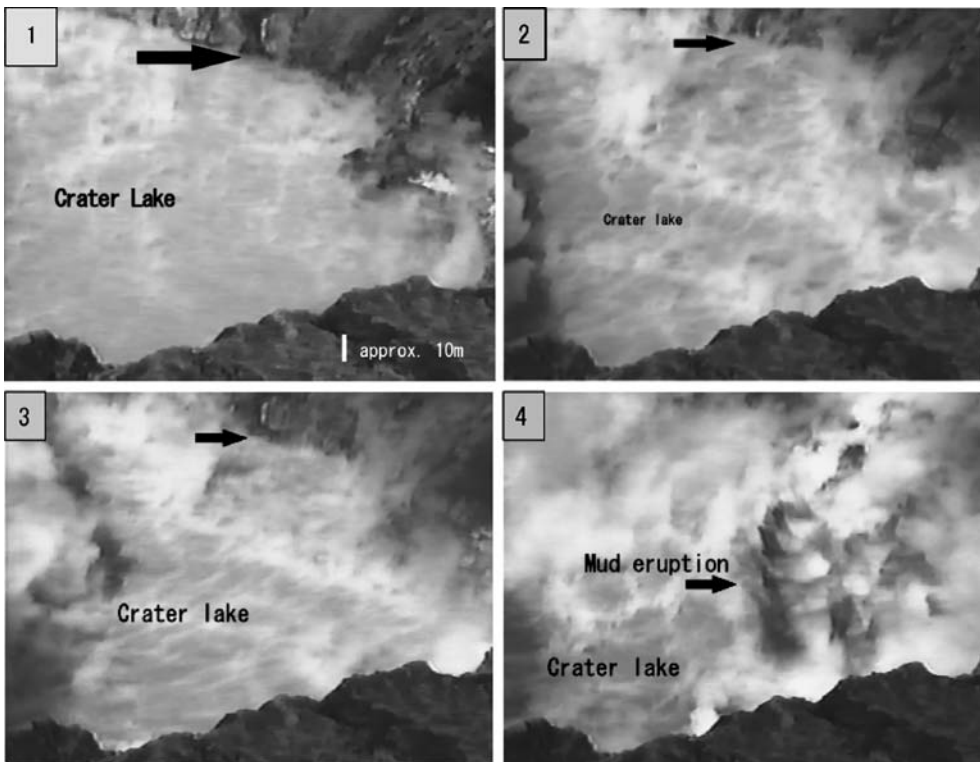


Fig. 6. The activity in the crater lake on 2 May 1994. (1) Before the rise of water in the crater lake (normal status). (2) Water level rose slowly by approximately 10m (1 second before the beginning of the water level fall). (3) Water level fell down by about 10m (3 seconds after the beginning of the water level fall). (4) A mud eruption occurred (21 seconds after the beginning of the water level fall).

図 6. 1994 年 5 月 2 日, 湯だまりの湖面変動状況. (1) 湯だまりの湖面変動前 (常態). (2) 湖面が約 10m 上昇している (湖面の急激な下降開始 1 秒前). (3) 湖面が約 10m 下降 (湖面の急激な下降開始から 3 秒後). (4) 土砂噴出発生 (湖面の急激な下降開始から 21 秒後).

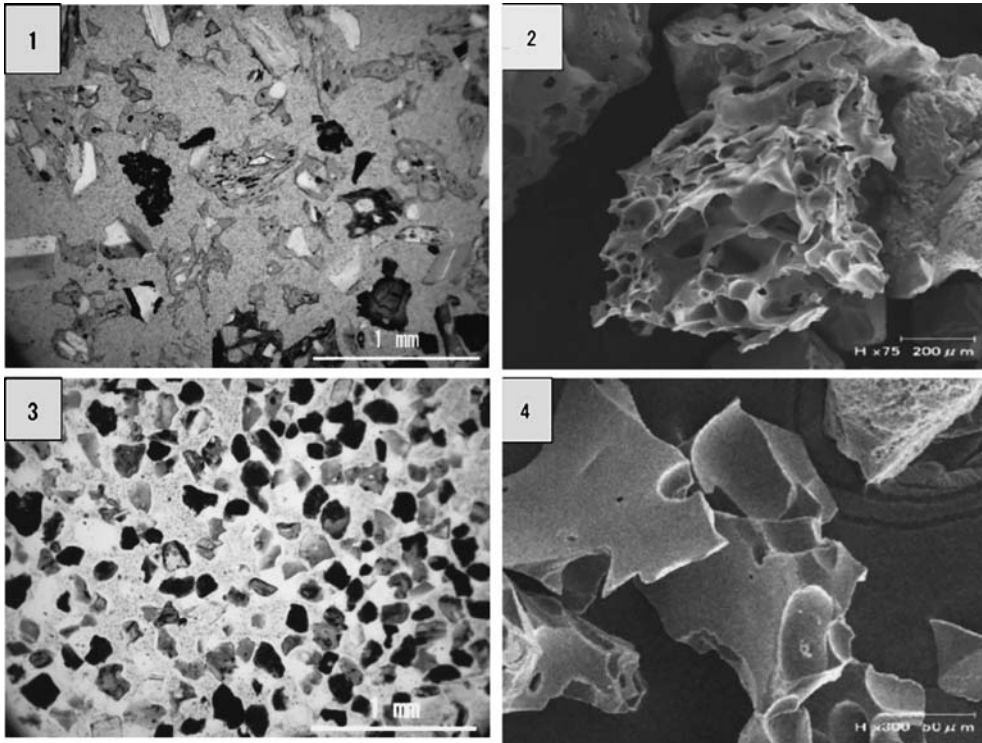


Fig. 7. Brown and clear scoria glass grains in the 2 November 1989 ash deposit (photos 1 and 2) and brown and clear blocky glass grains in the 29 May 1990 ash deposits (photos 3 and 4). Left photos: Photomicrographs taken under crossed polars. Right photos: Scanning electron microscope (SEM) images. The particles in the photographs are not identical.

図 7. 1989 年 11 月 2 日のスコリア型褐色透明ガラス片 (写真 1, 2) と, 1990 年 5 月 29 日の多面体型褐色透明ガラス片 (写真 3, 4). 左: 偏光顕微鏡写真. 右: 走査型電子顕微鏡写真. ※ これら左右の写真は同一粒子ではない.

について実体顕微鏡, 偏光顕微鏡, 走査型電子顕微鏡によって観察を行った.

5-2 火山灰の分類

本論では, 小野・他 (1995), Ono *et al.* (1995), 星住・他 (2004) などによる分類の仕方をもとに, 形態的特徴及び色調から放出された火山灰を以下のように A～F の 6 種類に分類した. A～F の火山灰の特徴と成因を以下に述べる.

A: スコリア型褐色透明ガラス片

褐色透明な火山ガラスには, 少なくとも脱ガラス化や微結晶の発達は見られないことから, 新鮮な液体マグマに直接由来し, 急冷されたものであると考えられる (星住・他, 1991 など). そのうち, 「スコリア型」(Fig. 7 の ①②) は, 発泡が良く新鮮なマグマがより高い供給率で噴出したもので, 脆性破壊によらず, 脱ガスとともに低粘性のまま細片となって噴出したマグマ片であると考え

られる.

B: 多面体型褐色透明ガラス片

「多面体型」のガラス片では, 褐色透明なものから黒色不透明なものまで漸移的に存在することから, 小野・他 (1995) は全て本質物と考えた. 本報では, 見かけ上黒色不透明なものには古い火山灰 (例えば, その時の活動以前の火山灰のリサイクルしたものなど) が含まれる可能性を排除できないこと, 褐色透明なガラス片については確実にその噴火を引き起こしたマグマの急冷された破片と判断できることから, それらを区別して取り扱った. 多面体型褐色透明ガラス片 (Fig. 7 の ③④) は, スコリア型に比べやや粘性が高くなった状態で噴出したもので, マグマ頂部やその周縁部が脆性的な破壊によって生じたものと考えられる (小野・他, 1995).

C: スコリア型不透明粒子

「スコリア型」のうち, 黒色～不透明なものについて

は、基本的に円磨された形態が多いことから、この時期に一度噴出したスコリア型火山灰のリサイクルであると考えられる。

D: 多面体型不透明粒子

マグマがやや徐冷され、脱ガラス化が進んだものと考えられる。不透明度には様々な度合いがあることから、冷却のされ方がそれぞれ漸移的であると思われる。これらの粒子の多くは本質物である可能性があるが、ここでは、個々の粒子については古い(或いは変質した)火山灰との識別が必ずしも明瞭ではないので、褐色透明なものとは区別して取り扱った。

E: 結晶片

中岳の火山灰には、変質した物質を主とする噴火の場合を除いて、ほとんどの場合、遊離結晶片が含まれる。これらの結晶片については、本活動期のスコリアの斑晶と共通していることから、そのほとんどが本質物質であると考えられる。

F: 岩片及び変質した粒子片

実体顕微鏡下で輪郭が不明瞭で、褐色や白色に見える粒子である。形態が不定なものが多く、火口底あるいは湯だまりの中で変質が進んだ粒子、または火道周辺の岩石が削り取られたものと考えられる。

5-3 火山灰の量比の変化

偏光顕微鏡下で、任意の1mm四方領域を設定し、およそその粒径が0.1mm以上の粒子について前節のA～

Fの粒子の含まれる個数を計測し、量比を算出した。その結果をFig. 8に示した。

なお、粒子の判定には実体顕微鏡での色についての観察を補った。さらに、いくつかの代表的な粒子については走査型電子顕微鏡による観察も行った。その結果、火山灰粒子の形態的特徴や量比の変化にはTable 4のような傾向が見られた。

以上の変化をまとめると、次のとおりである。

A(スコリア型褐色透明ガラス片)の割合が1989年10～11月の活動最盛期に急増し、その後はほとんど噴出していないこと、それに代わって1990年以降の活動減衰期に入ってからB(多面体型褐色透明ガラス片)の割合が増加する。逆に、C(スコリア型不透明粒子)の割合は活動初期の1989年9～10月に多いことが特徴である。一方、D(多面体型不透明粒子)やE(結晶片)の割合に活動期に対応したような明瞭な変化は見られない。F(岩片及び変質した粒子片)は、火山灰噴出が始まる時期や活動の終息期に多く見られる。

5-4 火山灰中の特異なガラス片

期間中の火山ガラス片のうち、特異なものが2例あった。それらを以下に記述する。

ヒビの発達したガラス片。1990年4月20日には、湯だまりからの大規模なマグマ水蒸気爆発が発生した。このときの爆発ではとくに後半では本質物である大型のスコリア片(数十cmを超える)を多量に噴出した。一方、

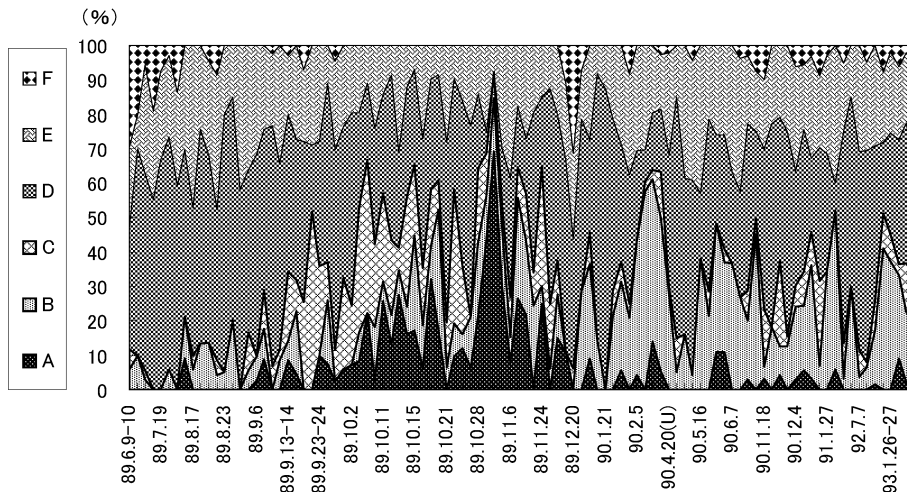


Fig. 8. The variation of ratio of each grain type in the ash. A: brown and clear scoria glass. B: brown and clear blocky glass. C: opaque scoria grain. D: opaque blocky grain. E: crystals. F: rock fragments and altered materials.

図 8. 火山灰中の各粒子の量比変化。A: スコリア型褐色透明ガラス片。B: 多面体型褐色透明ガラス片。C: スコリア型不透明粒子。D: 多面体型不透明粒子。E: 結晶片。F: 岩片及び変質した粒子片。

Table 4. The component characteristics of ash-fall deposits during the 1988 to 1995 activity.

表 4. 1988 年～1995 年における噴出火山灰構成物の特徴.

Year	Month	Detail
1989	June	類質岩片が多く、新鮮な本質ガラスの割合は小さく、多面体型不透明粒子や岩片が多い。全体的に円磨された粒子が中心。
	Aug.-Sep.	火山灰の噴出量が増加。7月頃までは多面体型不透明～黒色ガラス片の量が多く、また円磨された岩片が多い。8月中頃から新鮮な多面体型透明ガラスの量が増加。9月からはスコリア型不透明粒子が増加。
	Oct.-Nov.	ストロンボリ式噴火がはじまる。特に10月中頃からスコリア型褐色透明ガラス片が急激に増加し、10月28日から11月初めにかけては、同ガラス片がほとんどとなる。また10月21日～10月28日までは、多面体型不透明ガラス粒子が増加。
	Dec.	結晶片や多面体型不透明～黒色のガラス片増加
1990	Jan.	終わり頃に多面体型褐色透明ガラス片が増加。
	Apr.	20日にマグマ水蒸気爆発が発生。このときの火山灰にはスコリア型褐色透明ガラス片はほとんどなく、多面体型透明ガラス片が多量に見られた。
	after May	スコリア型透明ガラス片は減少し、多面体型透明ガラス片の割合が増加。
	Dec.	新鮮な多面体型透明ガラス片が増加。スコリア型透明ガラス片もやや増加。
1991	Jan.-Feb.	褐色透明なガラス片が減少
1992		褐色透明なガラス片はほとんど見られない
1993		多面体型褐色透明ガラス片が増加(周縁部には茶褐色のうすい”皮膜”がみられる)

前半の火山灰には多面体型透明ガラス片が非常に多く(全体の 57%)、スコリア型褐色透明ガラス片は 10% しか含まれていなかった。さらには、多面体型透明ガラス片のうち粗粒 (0.2mm 以上) のほとんどの粒子には粒子全体に「ヒビ」が発達していた (Fig. 9)。薄片作成は外注で行ったが、鏡下で近くの粒子同士が一つの粒子から分離しつつある、すなわち、ジグソウブロック状に見えるものが含まれている。このことは、薄片製作の際に割れてしまったことを意味し、火山灰粒子中のひびが、僅かの力でほぐれる程に発達していることを示している。

水和層の発達した火山ガラス片。1992 年末～1993 年初めにかけて火山灰の噴出があり、この時期においても、火山灰中に含まれる多面体型褐色透明ガラス片の量比が多かった。しかしながら、この時期のガラスの周縁部には、内部よりやや茶褐色を帯びた「皮膜」が存在しており (Fig. 10)、鏡下ではその部分の屈折率は内側の褐色透明の部分よりやや高く、水和層が形成されていると

判断された。また SEM による画像からも一見新鮮な多面体型のガラス片に見えるが、気泡内部やガラス表面に粒状の白色物の付着が見られるなど、新鮮なガラス片とは様子が異なっていた (Fig. 10)。

6. 考 察

6-1 「活動初期」における火山灰の間欠的な噴出

この時期は先にも述べたように、これまで知られていた中岳の活動活発化の規則性を比較的順調にたどってきている。しかし火孔開口後、火山灰の噴出が安定しているときと不規則な時期が観測されている。安定的に火山灰を噴出している状況は、小野・他 (1995) が指摘している「灰噴火」の状態である。Ono *et al.* (1995) は灰噴火には火道上部での地下水によるマグマヘッドの効果的な冷却効果があり、マグマが脆性破壊を引き起こして火山灰が生産される可能性を指摘している。今回観察された、断続的な火山灰噴出時の水蒸気の混じる噴煙は、マ

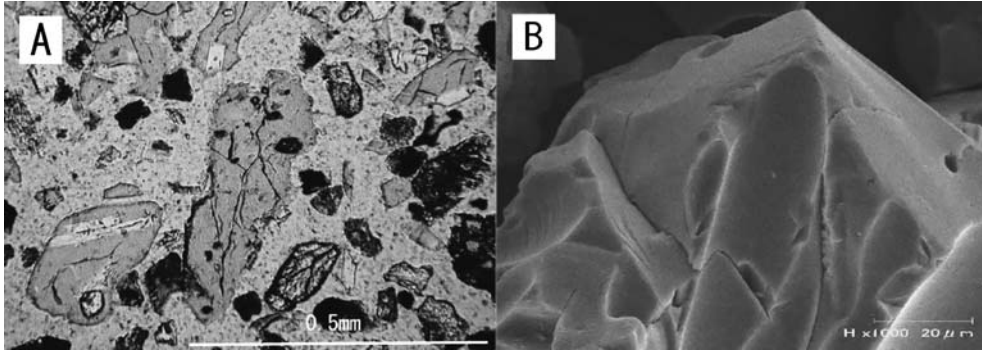


Fig. 9. Brown and clear blocky glass particles in the 20 April 1990 ash deposit with many rapid-cooling cracks caused by magma-water interaction. (A) Photo taken under crossed polars. (B) Scanning electron microscope (SEM) image. The particles in the photographs are not identical.

図 9. 1990年4月20日の多面体型褐色透明ガラス片中にみられる、マグマと水との接触時の急冷によると思われるヒビ。(A) 偏光顕微鏡写真。(B) 走査型電子顕微鏡写真。※これらの写真は同一粒子ではない。

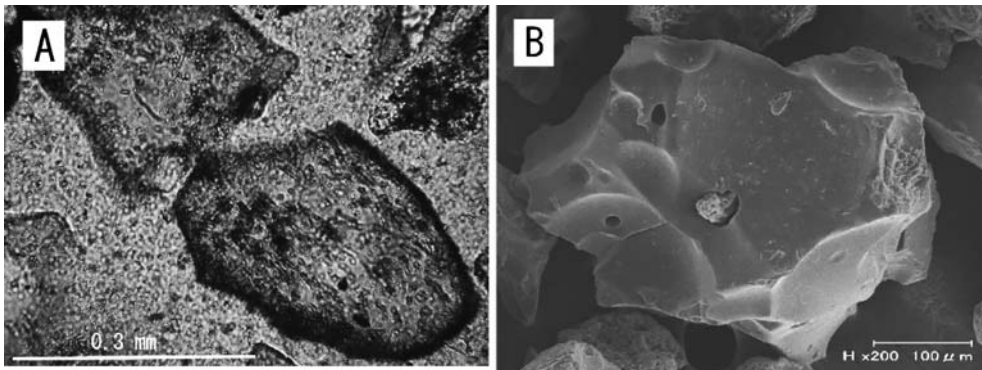


Fig. 10. Photos of brown blocky glass grains in the 25 February 1993 ash with a dark brown "skin" caused by hydration. (A) Photo taken under crossed polars. (B) Scanning electron microscope (SEM) image. These particles in the photographs are not identical.

図 10. 1993年2月25日の多面体型褐色透明ガラス片中にみられる、水和によるこげ茶色の皮膜。(A) 偏光顕微鏡写真。(B) 走査型電子顕微鏡写真。※これらの写真は同一粒子ではない。

マグマが火口底堆積物中の地下水と接触したことを示している可能性がある。

6-2 「活動最盛期」におけるストロンボリ式噴火とマグマ水蒸気爆発の繰り返しおよび火孔の移動・拡大について

1989年10月6日からストロンボリ式噴火が始まった。ストロンボリ式噴火の状態では、マグマヘッドが火口底のすぐ近く(数十m下?)まで上がってきていると考えられる。このことは赤熱噴石が火孔から放射状に噴出される写真や現地観測などから明らかである。

火山灰の観察からは、この時期はスコリア型褐色透明ガラス片が増加した時期で、噴出レートが高くなり、低

粘性の液体マグマが断続的に噴出している状態である。

このような状態ではマグマ周囲の冷却固化した部分も薄くなって、ガスによる脆性破壊も少なくなる。そして液体マグマが直接ガスとともに噴出し、スコリア型透明ガラス片が生産されるのであろう。

10月下旬から、ストロンボリ式噴火とともにマグマ水蒸気爆発も頻発するようになり、火孔が拡大する活動が目立っている。10月21日~28日の時期にはマグマが、地下水を含む火口底近くへ急激に貫入したものと推定できる。しかも、この期間中に火孔が徐々に1週間ほどかけて移動・拡大し、ほぼ第1火口いっぱいまで広がったことから、その接触したところはかなり浅い場所でか

つ、水との直接的な接触ではなく、水を多く含んだ堆積物との接触であったと考えられる。

この、火孔を拡大させるような時期における火山灰には、本質物よりも変質した岩片が多く（池辺・渡辺, 1990）、火口底あるいは火道の一部を壊しながら飛ばした火山灰が主であったことを示している。10月20日から21日にかけて噴出した白色の火山灰はその典型的な例である（池辺・渡辺, 1990）。

なお、本論におけるこの時期の火山灰観察では、褐色透明ガラス片は少なく、多面体型不透明粒子が大きな割合を示している。Fig. 8 の 1989 年 10 月 21 日のデータでは F（岩片および変質した粒子片）の割合はゼロとなっているが、これは偏光顕微鏡下においては変質した粒子片と D（多面体型不透明粒子）との識別が必ずしも容易でなかったため、両者をすべて D（多面体型不透明粒子）としてカウントしているためである。

11月17日と26日の新たな火孔の開口や、先に述べたような第1火口内の状況の変化は、ストロンボリ式噴火とマグマ水蒸気爆発が短期間に頻繁に繰り返されたことによるものである。この時期の爆発的な噴火は、マグマのゆらぎ、つまり上昇レートの変化によるもので、先に述べた10月21日頃のマグマの動きとは異なり、マグマの上昇レートが小さくなっていったんマグマが下降したところに地下水が急速に進入してくることによって両者が接触する機会が得られたものと考えられる。

6-3 1990年4月20日の、マグマ水蒸気爆発にはじまる一連の噴火について

このイベントは、1988~1995年活動期の中では最大規模の噴火で、しかも、「活動減衰期」に起こったものであった。この爆発的な噴火は湯だまりの中からはじまり、一発型の爆発ではなく、多量の噴石をまじえた火山灰を断続的に噴出し、その活動は50分間ほど続いた。そしてその後、一連の噴火の後半ではスコリアを放出するマグマ噴火に至った。また、最初の爆発時には明瞭な *cock's tail jet* が火口カメラでとらえられているにもかかわらず、爆発音は観測されておらず、湿った状態からの爆発であったこと伺わせる（この点は1989年10~11月のマグマ水蒸気爆発時も同様であった）。このように、通常の中岳における湯だまりからの爆発的な噴火は、単発的で、いわゆる水蒸気爆発であるのに対して、1990年4月20日の噴火は、湯だまりの状態から始まって、爆発的な状態が長時間（約50分間）続き、その後本格的なマグマ噴火に至るといふ噴火であり、この点から、最近の中岳の活動としてはきわめて珍しい現象であった。

気象庁の微動データからみると、1990年4月はじめ頃から孤立型微動が増加しており、また2月以降火口底直

下の温度が上昇してきたことが推定されている（京都大学理学部火山研究施設, 1990）。このことから、マグマが火口底近くまで接近していたことが推測できる。従って、4月20日の爆発的な噴火は、マグマが地下水、あるいは湯だまりの水との接触によってマグマ水蒸気爆発が発生したものであると考えられる。

この噴火は17時08分から本格的に始まったが、その日の13時過ぎからは前駆的な現象が起こっていた。13時23分の白煙は湯だまり状態から規模の大きな土砂噴出があったことによると考えられ、同様な現象が、17時前から数回カメラでとらえられている。

17時08分からのマグマ水蒸気爆発で火口内にあった湯だまりを形成する火山灰や岩塊などが取り除かれた結果、18時10分頃からは本質物を多く含んだ火山灰やスコリアの噴出活動に移行した。18時30分頃には一連の活動は終息したが、そのころから火口底では小さな土砂噴出も見られており、活動の減衰に伴って、急激に火口底周辺に地下水が進入してきていることを示している。

今回本質火山灰やスコリアの噴出量は正確には見積もっていないが、当日のイベントの総噴出量は約100万トンと試算されている（熊本大学・他, 1991; 下村・他, 1990）。

火山灰の観察からは、多面体型透明ガラス片が多く、それには「ひび」が顕著に入っているのが特徴的に見られている。

Buttner *et al.* (1999) は、マグマと地下水の接触による爆発的な噴火堆積物について、細粒火山灰の形成過程を *dry-type* と *wet-type* に分け、実験結果とイタリアの *La Fossa di Vulcano* の堆積物とを比較した。そのなかで、「*wet* タイプの爆発実験からの細粒火山灰は、ブロック型を示し、それに加えて、相当数の粒子において、ガラス表面はひびによって被われる。」さらにこれは、「*dry* な実験では観察されなかった急冷パターンは、水の領域を通過して新たに破砕された粒子の、速い速度での通過による高い冷却率による。この種類の粒子は多量の水が通路にあるときのみ形成される。それらは *La Fossa* では "*dry*" なマグマ水蒸気爆発堆積物より、"*wet*" なマグマ水蒸気爆発堆積物で多く見られる。」と述べている。

阿蘇における1990年4月20日の「ひび」の発達したガラス片の存在は、Buttner *et al.* (1999) の述べていることと調和的であり、中岳の地下に存在する地下水あるいは湯だまりの水に、ガラス粒子が触れて急冷されたことを示すものである。

6-4 1992~1994年にみられた不安定な活動（湖面がゆっくりとふくらむ土砂噴出やスコリアの浮遊、湖面の変動など）

この時期には火口底に多量の地下水や表層水が流れ込み、湯だまりが形成されていた。

1992年6月下旬から始まった大規模な土砂噴出活動は、地下に残っていたマグマの余熱によって発生したものである。この時期には、比較的ゆっくりと湯だまりの湖面がふくらんで“破裂する”土砂噴出の状況や、湯だまりの湖面上をスコリアが浮遊する現象などが見られた。

また、1994年5月には湯だまりの湖面が急に大きく上下に揺れ動いたが、この変動は、基本的には1992年の土砂噴出の際にみられた“湖面のふくらみ”に似た現象が起こっていたものと考えられる。変動が始まる10秒ほど前から少しずつ湖面が持ち上がり、その後急激な降下に転じた。このときに火口底の一部で土砂噴出やガスの突出のようなものが発生していたのかもしれないが、カメラ画像ではとらえておらず、実態は不明である。しかしながら、少なくとも湖面の変動は地下の火山ガスが関与していたものと考えられる。

本格的な活動期から間がないことから、火口底を埋積しているスコリアや火山灰は十分には固結していない。このため、地下からの水蒸気を主とした火山ガスの上昇によって、火口底を埋積しているスコリアなどの物質が運び出されて湖面を浮遊したり、ガスが抜ける際にゆっくりと風船のように火口底がふくらむような現象がおこったのであろう。

6-5 一連の活動期における火山灰の形態や量比の変化

Fig. 7より、スコリア型不透明粒子の割合が1989年9~10月に多いことは、表面的に活動の最盛期になる前か

ら、既にスコリアの噴出が始まっていたことを伺わせる。また1990年から多面体型褐色透明ガラス片の割合が増加する事実からは、最盛期を過ぎたあとは地下水がマグマの冷却に有効に働いているという推察ができる。

岩片及び変質した粒子片が、火山灰噴出が始まる時期や活動の終息する時期に多く見られることは、火口底を構成する、あるいは埋積する古い火山灰を噴出していることによるのであろう。

1990年4月20日のマグマ水蒸気爆発時の多面体型透明ガラス片のほとんどの粒子全体に「ひび」が発達していたことは、火口底周辺に大量の地下水が存在していることを示す。一方、他のマグマ水蒸気爆発時の火山灰中のガラスにはほとんどそういった「ひび」は認められない。このことは、4月20日のイベントが、より水の多い状態で発生したことを示している。

1993年の活動では、2月頃まで火山灰を噴出しており、そのなかでは一見新鮮に見える多面体型透明ガラス片が多量に認められる。しかし、鏡下ではほとんどのガラスの周縁部が茶褐色に縁取られており、これは水和が進みつつあることを示すものである。このことは、湯だまりの中での変質の進行あるいは、マグマヘッドの一部が地下水によって変質が進んでいることを示すものと考えられる。

6-6 多量の地下水の存在

中岳第1火口は、活動が穏やかな時期には湯だまりが存在することが特徴である (Fig. 11, 気象庁編 (2005))。このことは第1火口底周辺には基本的に大量の地下水が存在していることを意味している。湯だまりの底の堆積物中や、中岳火口周辺の山体内に地下水が存在することは、降雨後の表層水の流れ込みだけでなく、火口底が下がったときに、火口壁の数カ所から地下水湧出が観察できること (Fig. 12) から明らかである。また、湯だまり

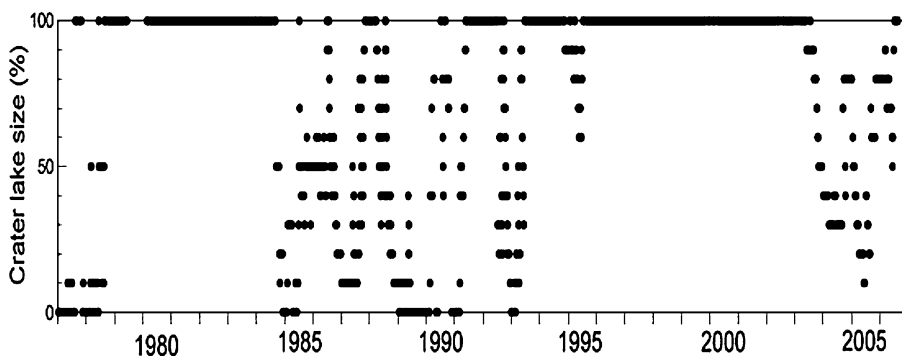


Fig. 11. Temporal change in size of the crater lake from 1977 until 2006 (observed by JMA).

図 11. 1977年から2006年の湯だまり量の変化 (気象庁観測資料)。



Fig. 12. Groundwater discharge from the crater wall.
図 12. 火口壁からの地下水流入。

の水の供給源として、湖底からの噴気の可能性も指摘されている(大沢・他, 2003)。

さらには、マグマ水蒸気爆発の際に“ひび”割れをともなう新鮮なガラス片が火山灰中に見られること、また活動の終息期に近い時期の火山灰中には、一見新鮮に見えるガラス片の周縁部に水和層とみられるような“皮膜”が発達していること等といった事実も火口底周辺に多量の地下水が存在することを裏付けている。

従来から他の火山と同様、中岳においてもマグマ水蒸気爆発に地下水が大きく関わっており、とくに中岳の活動には地下水の影響が大きいと考えられてきた(Ono *et al.*, 1995)が、今回あらためてそのことが明らかになった。湯だまりの存在を含めて、多量の地下水の存在は、中岳の活動様式の変化に与える大きな要因のひとつと考えられる。

6-7 孤立型微動と火山活動の関連性

孤立型微動については、気象庁は次のように説明している。「火口直下のごく浅い場所で発生し、周期 0.5～1.0 秒程度で、連続微動の中に孤立的に現れ、この微動の増減が火山活動を評価する指標の一つになっている。測候所では最大振幅 $0.5\mu\text{m}$ ($5\mu\text{m/s}$) を越えるものの計数をおこなっている」(福岡管区気象台, 2002)。

孤立型微動発生回数の推移と火山灰中の褐色透明ガラス片の割合の変化との対比を Fig. 13 に示す。これによると、孤立型微動のうち振幅の大きなもの ($2\mu\text{m}$ 以上) が発生したのは 1989 年 10～11 月に集中しており、スコリア型褐色透明ガラス片の噴出量の多い時期とよく一致している。このことは、孤立型微動が大きな振幅となって発生している時期は、マグマの供給レートが高くなっている時期であることを示している。

7. 阿蘇火山中岳における火山防災上の意義

中岳においては突発的な水蒸気爆発が常にあり得ることについては、従来からある程度は指摘されてきた(須藤, 2003 など)。今回、活動が活発化し、その後穏やかになっていく過程において、つまり活動最盛期～活動減衰期～余熱活動期において、微動の急増や表面現象の変化などといった予兆的な活動が見られない、予測困難な噴火様式の変化が見られる可能性が高いことが強く示唆された。中岳には通常、年間およそ 100 万人の観光客が火口見学に訪れる。今後、多くの観光客に対してより有効な火山防災を考える上で、中岳の一回の活動期の中での推移を見極め、またそれぞれの時期にどのような噴火様式の変化の可能性が考えられるのか等について整理し、それを防災対策に活かすことが重要である。そのためには、表面活動の変化に加え、火山灰などの噴出物をきめ細かく見ながら、活動の推移をとらえていくことが有効である。

8. ま と め

筆者らは、1988～1995 年の、中岳としては比較的活発であった時期を一連の活動期と捉え、表面活動の推移と火山灰中の構成物を中心に検討を行った。

以下に検討結果をまとめて示す。

- 1) 1988 年から 1995 年の活動は、活動初期、活動最盛期、活動減衰期、残存マグマによる余熱活動期に分けてとらえることができる。
- 2) 活動初期は、湯だまりの減少から黒色火山灰を噴出する活動まで、活動が活発化する段階であり、活動は比較的安定していた。約 2 ヶ月間の活動最盛期には、火孔位置の移動や火孔拡大などがあり、またストロンボリ式噴火とマグマ水蒸気爆発が頻繁に繰り返された。活動減衰期～余熱活動期は活動が不安定な時期であり、灰噴火、ストロンボリ式噴火、マグマ水蒸気爆発、湯だまりの湯面変動などが発生した。期間中最大の噴火は、活動減衰期の 1990 年 4 月 20 日に湯だまりの中から発生したマグマ水蒸気爆発であった。
- 3) 阿蘇火山中岳の 1988～1995 年活動期においては、大局的に見れば従来から言われているような“活動の規則性”が見られたが、活動の推移を詳細に検討した結果、さまざまな特徴的な活動様式の変化が認められた。その要因としては、中岳の火口底周辺に大量の地下水が存在し、マグマ自体の微妙な上下変動により、マグマと地下水との接触機会が得られることがあげられる。
- 4) 今回の活動期における活動様式の変化は、その時期の火山灰中に含まれる火山ガラスの形態的特徴や、その

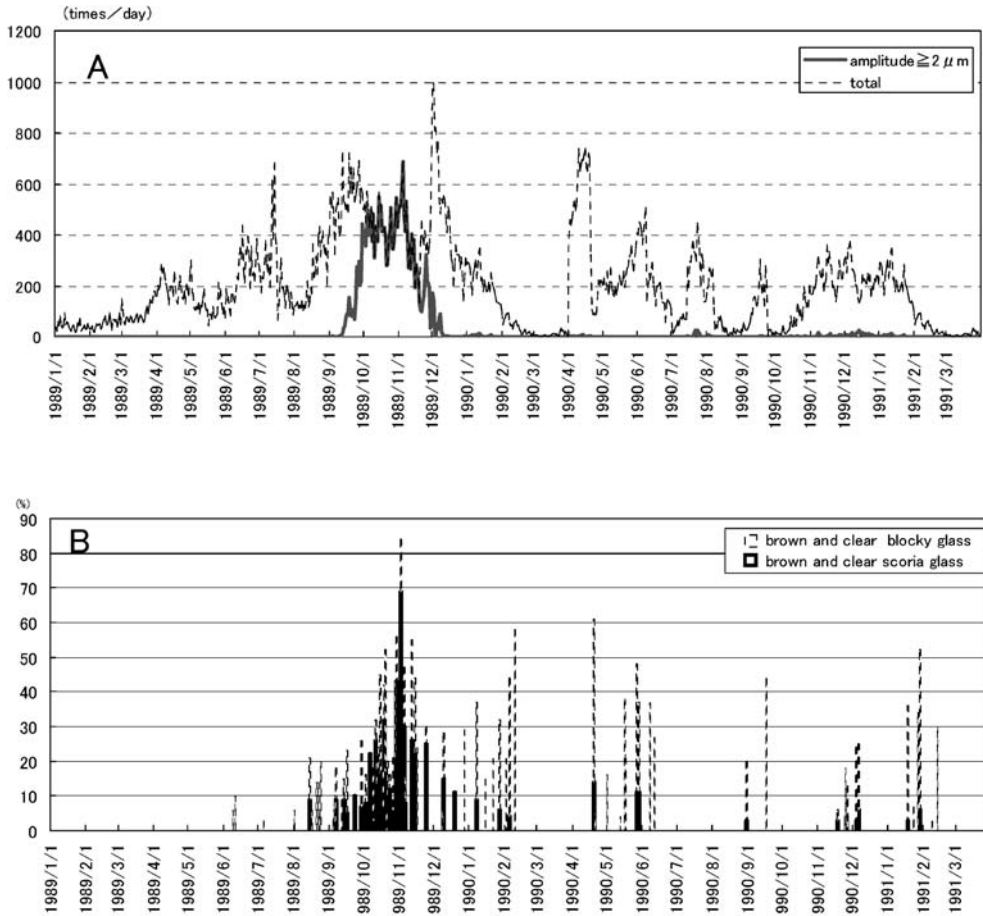


Fig. 13. (A) Temporal changes in the frequency of isolated volcanic tremors (observed by JMA) and (B) Proportion of brown scoria glass and clear, brown blocky glass.

図 13. (A) 孤立型微動発生回数の推移 (気象庁観測資料) (B) スコリア型褐色透明ガラス片および多面体型褐色透明ガラス片の量比変化。

量比に反映しており、とくに、湯だまりの水や火口底付近の多量の水の存在を読みとることができた。

5) 活動最盛期に、ストロンボリ式噴火に移行した後でも爆発的な噴火を繰り返した例や、活動が穏やかとなる過程における不安定な活動の例は、阿蘇における観光や防災対策を考える上で重要である。

謝 辞

中岳の噴火活動に関して、故小野晃司先生には生前には現地調査を含めて多大のご教示を戴いた。産業技術総合研究所の星住英夫氏には、現地での議論に加えて、火山ガラスの変質等についてご教示いただいた。後小路義弘調査官をはじめ気象庁阿蘇山測候所の方々には、火山観測データ等に関して便宜を図っていただいた。熊本県

御船町恐竜博物館の池上直樹学芸員の協力とご指導により、走査型電子顕微鏡による観察や写真撮影を行うことができた。鹿児島大学の Ma. Hannah T. Mirabueno 氏 (PHIVOLCS 所属) には英文の校閲をしていただいた。同大学の小林哲夫教授には論文全般について有益なご助言をいただいた。阿蘇火山博物館の須藤靖明学術顧問、吉川美由紀学芸員には中岳の活動についてさまざまな議論をしていただいた。また、査読者である井村隆介氏と工藤 崇氏からの貴重な指摘とコメントによって、本論の内容は大きく改善された。以上の方々には心から感謝申し上げる。

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.
- 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.
- 橋本武志 (2001) 全磁力変化から推定される阿蘇中岳火口の熱放出過程と浅部構造. 京都大学防災研究所研究集会 12K-3「火山の浅部構造と火山流体」論文集, 149–159.
- 星住英夫・渡辺一徳・池辺伸一郎 (1991) SEM 画像でみる阿蘇中岳 1989–1990 年火山灰. 地球惑星科学関連学会合同大会日本火山学会固有セッション講演予稿集, 40.
- 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.
- 池辺伸一郎・長野敏郎・渡辺一徳 (1989) 最近の阿蘇中岳活動の推移. 日本火山学会講演予稿集, 369.
- 池辺伸一郎・渡辺一徳 (1990) 阿蘇火山中岳の最近の活動—1988 年 3 月～1989 年 11 月—. 地質ニュース, **426**, 6–14.
- 気象庁阿蘇山測候所 (1990) 定期火山情報第 3 号.
- 気象庁阿蘇山測候所 (1992) 臨時火山情報第 5 号.
- 気象庁地震火山業務課 (1990) 阿蘇山の火山活動. 火山噴火予知連絡会会報, **47**, 61–70.
- 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.
- 熊本大学・阿蘇火山博物館・地質調査所 (1991) 阿蘇中岳 1990 年 4 月 20 日の噴火と噴出物. 火山噴火予知連絡会会報, **49**, 39–42.
- 京都大学理学部火山研究施設 (1990) 阿蘇火山の最近の火山活動および 1990 年 4 月 20 日の噴火. 火山噴火予知連絡会会報, **47**, 71–83.
- 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, **57**, 133–147.
- 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.
- 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.
- 下村雅直・高松政美・鶴長千秋 (1990) 1990 年 4 月 20 日阿蘇山の噴火. 福岡管区気象台研究会誌, **51**, 94–95.
- 須藤靖明 (2003) 阿蘇火山の活動様式と爆発の形態. 火山爆発のダイナミクス平成 14 年度研究成果報告書, 52–56.
- 須藤靖明 (2004) 阿蘇火山における過去の爆発現象. 火山爆発のダイナミクス平成 15 年度研究成果報告書, 49–60.
- 須藤靖明 (2007) 阿蘇に学ぶ. 権歌書房, 319p.
- Tanaka, Y. (1993) Eruption mechanism as inferred from geomagnetic changes with special attention to the 1989–1990 activity of Aso Volcano. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **56**, 319–338.
- 渡辺一徳・池辺伸一郎 (1990) 阿蘇中岳 1989 年の噴火様式の変化 (演旨). 地球惑星科学関連学会合同大会日本火山学会固有セッション講演予稿集, 89.
- 渡辺一徳・池辺伸一郎・星住英夫・小野晃司 (1990) 阿蘇中岳の 1990 年 4 月 20 日の噴火. 日本火山学会講演予稿集, 126.
- 渡辺一徳・池辺伸一郎・宮縁育夫・星住英夫 (2003) 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.

(編集担当 三浦大助)