

阿蘇火山，中央火口丘群の
歴史時代の噴火現象に関する研究

**Studies on the Eruptive Phenomena during Historical Time
of Central Cones of Aso Volcano, Kyushu, Japan**

2008年3月

池辺 伸一郎
IKEBE Shinichiro

Studies on the Eruptive Phenomena during Historical Time of Central Cones of Aso Volcano, Kyushu, Japan

IKEBE Shinichiro

Abstract

Aso Volcano, which is located in central Kyushu, is one of the largest caldera volcanoes in the world. Four major explosive eruptions occurred from 270,000 to 90,000 years ago, producing voluminous pyroclastic flows that covered central Kyushu. Post-caldera cones have arisen near the center of the caldera after the Aso-4 eruption at ca. 90 ka.

The activities of Aso volcano during historical time were mostly recorded at craterlets in the summit area of Naka-dake. However, small phreatic explosive events were observed in the area outside of Nakadake. These activities were not clarified enough in detail.

In the Middle Age, there were many small temples in the west area, 1-3 km, from the active crater of Naka-dake, and hundreds of bonzes or their associates made a living in this area. These temples were buried by thick ash layers from Naka-dake craters. Recently, many tourists visit the surrounding area of the active crater for sight-seeing and several facilities were built for the tourists.

In this paper, I described the process and variation of eruption style of Naka-dake during the historical time by using many archives and field examinations, and I discussed the mechanism of eruptions of Naka-dake by using many images recorded by TV cameras installed on the wall of the active crater. Additionally, I have described the 'Yunotani Catastrophe' which is a phreatic explosion at Yunotani spa on July 6, 1816. This fact is important for the prevention of volcanic disaster in Aso volcano.

Nakadake is the only active central cone in Aso caldera, and is a composite volcano of basaltic andesite to basalt. Nakadake became active from ca. 22-21 ka, and has formed the Old edifice, the Young edifice and the Youngest pyroclastic cone. Recent tephrochronological studies indicate that most of the edifice was constructed at ca. 22-21 ka.

The Young volcanic edifice is believed to have formed during Holocene time, and the Youngest pyroclastic cone subsequently grew inside the young edifice.

Nakadake, the only active central cone, has the longest documented volcanic history. Since 553 AD, more than 100 eruptions have been documented, making Nakadake one of the most active volcanoes in Japan. The active crater of Nakadake, formed within the youngest pyroclastic cone, is composed of seven craterlets aligned north to south. Only the northernmost crater (1st crater) has been active in the past 70 years, although some others were active before the 1933 eruption. A lake called 'Yudamari' (hot water pool) exists at the first crater during dormant periods. During active periods, volcanic activity of Nakadake is mostly characterized by a continuous fallout of black sandy ash from a dark eruption plume. This type of eruption is called an ash eruption. In more active periods, strombolian eruptions occurred, scattering red-hot scoria clasts around the vent. Occasional phreatomagmatic explosions eject coarse lithic blocks, which are likely to take human lives or damage buildings near the crater and generate small low temperature pyroclastic flows.

The latest eruptive activity of Nakadake cone, occurred during 1988-1995. I observed the surface activities and the ash-fall deposits to determine the mechanism of activities 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 in brown and clear scoria glasses in the deposits, together with increased isolated volcanic tremors. From the post-climactic stage (December 1989-February 1991) to the final stage (March 1991-October 1995), the 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. I 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. SO₂ volcanic gas concentration increased with the activity during this period.

The mechanism of the sequence of eruption style is estimated by a relationship between magma with water. In the early stage, the ash is derived from the solid glassy uppermost part of a magma column, and is transported by a gas stream from under the solid top. The solid of uppermost part is made by cooling action of water. In the climactic stage, there is no water around the magma column, and gas stream increases, as a consequence the ratio of fresh glass in ash fall deposit. After the climactic stage, there are many chances of magma-water interaction. When magma head drops down, groundwater can easily approach the magma head. This can result in a phreatic explosion.

A few hot spring resorts exist in the western part of the post-caldera central cones. A small phreatic eruption occurred at Yunotani spa in June 1816. At least two phreatic eruptions producing ejecta at an order of 10⁵ m³ occurred at Jigoku spa in the last 10,000 years. These phreatic eruptions provide important information of the volcanic activity and hazards in these areas.

Yunotani spa is located to the west part of the Central cones of Aso Volcano. Since the 14th Century, many people have been visiting this hot spring. A few explosions were referred in an old document 'Nagano-ke-nikki; Diary of Nagano family'. However, the details of these events are not yet clear. A set of historical records on the explosion called "Yunotani Catastrophe" that took place at Yunotani spa in July 6, 1816 was found in the Choyo village office. These records, consisting of two drawings and five reports on the explosion, describe the events and damages in detail. A lot of "hot mud" with many blocks were ejected from two vents, and destroyed 12 bathhouses and injured one person in the area about 100m from the vents. Judging from the descriptions and occurrences of the hydrothermally altered ejecta around the vents, it can be said that this event was caused by steam explosions. Through these records, it became clear that an explosion occurred not only at Naka-dake but also in the area outside of Naka-dake in the historical age. This fact is important in the prevention of volcanic disaster in Aso volcano.

目 次

1. はじめに	1
2. 阿蘇火山の歴史時代の活動に関する研究史	3
3. 阿蘇火山の地形地質の概要	5
3-1 火砕流噴火とカルデラ形成	5
3-2 中央火口丘群の発達	6
3-3 歴史時代の噴火史概要	8
3-3-1 中岳の噴火活動史	8
3-3-2 中岳以外の場所からの噴火活動史	9
4. 中岳の噴火活動	12
4-1 中岳周辺の地形地質	12
4-2 中岳の火山活動に関する語句の説明	13
4-3 古文書等の記録から見た中岳の活動	15
4-3-1 活動の推移	15
4-3-2 活動記録から推測される活動形態	23
4-4 N1期のテフラ産状	28
4-5 近年の中岳活動の特徴	36
4-6 火口カメラでの観測体制の確立とそこから得られた成果	39
4-7 最近の中岳活動の推移	40
5. 1988~1995年の中岳の活動	43
5-1 活動の推移	43
5-2 1988~1995年活動期の特筆すべき現象	47
5-2-1 「活動初期」における火山灰の間欠的な噴出	47
5-2-2 活動最盛期における特徴的噴火	48
5-2-3 活動減衰期における特徴的噴火	52
5-2-4 終息期（余熱活動期）における特徴的な活動	57
5-3 噴出火山灰の特徴とその変化	60
5-3-1 火山灰の採取と観察方法	60
5-3-2 火山灰の分類	60
5-3-3 一連の活動期における火山灰中の火山ガラスの形態と量比変化	62
5-4 多量の地下水の存在とそれによる噴火様式の変化	69
5-5 活動に伴う火山ガス噴出量の変化	71
5-5-1 SO ₂ 噴出量（濃度）の測定	71

5-5-2	SO ₂ 濃度と火山活動との関連性	71
5-6	各噴火ステージにおける地下状況のモデル	73
6.	最近の活動状況	79
6-1	2003年7月10日および2004年1月14日の噴火	79
6-2	2005年4月14日の噴火およびそれ以降の一連の活動	86
7.	歴史時代における中岳以外の場所からの噴火活動	94
7-1	湯の谷周辺の地形地質	95
7-2	”湯の谷大変”に関する古文書と絵図	97
7-3	絵図の概要	99
7-4	現地調査の結果	101
7-5	”湯の谷大変”のシナリオ	104
8.	阿蘇火山における防災対策	112
8-1	近年の噴火活動による火山災害	112
8-1-1	人的災害とその要因	112
8-1-2	その他の災害と要因	113
8-1-3	中岳以外の場所での噴火災害の可能性	114
8-2	火山ガスによる災害	114
8-2-1	人的災害とその状況	115
8-2-2	高濃度事象が現れる際の気象条件	116
8-3	阿蘇地域における防災対策の現状	117
8-3-1	阿蘇火山防災会議協議会	117
8-3-2	ハザードマップ	119
8-4	今後の阿蘇における火山防災	121
9.	まとめ	122
	謝辞	125
	引用文献	126

1. はじめに

阿蘇火山は九州のほぼ中央に位置し、大規模でかつ明瞭なカルデラ地形を有する活火山である。カルデラ内にはおよそ9万年前のカルデラ形成（松本・他，1991）以降、新たにカルデラ内に生まれた中央火口丘群が存在する。中央火口丘群はカルデラ形成直後から活動を始め（小野・渡辺，1985；宇都・他，1994）、現在ではおおよそ17の山体が認められる。そのうち、中岳が現在でも数年～十数年おきに活動を繰り返している。

中岳の有史以降の火山活動については、西暦553年以降、多くの噴火活動記録が残されており、それらによると、とくにここ1000年ほどの間は、火山灰の噴出を中心とした活発な活動を繰り返し、近年の中岳と似かよった活動を繰り返してきたことを伺い知ることができる。そして、中国の歴史書としても有名な「隋書」にも阿蘇火山についての記述が登場するなど、国内外によく知られた存在であったことも伺える。

また、中岳火口から西側1~2 km 付近一帯は、現在「古坊中」と呼ばれており、ここは、中世（鎌倉時代～室町時代）の時代に80件余りの坊舎（小さなお寺）が建ち並び、数百人の密教系の修験者たちが修行や生活をしていた場所であったことが知られている（熊本県教育委員会，1980）。

このようななか、現在ではカルデラ内におよそ5万人の人々が生活し、また年間おおよそ1900万人の観光客が阿蘇を訪れる（熊本県観光統計，平成18年度実績調査結果による）。そしてそのうちの約200万人は阿蘇山上一帯を訪れ、さらにそのうちの約半数にあたるおおよそ100万人が中岳の火口見物を目的として火口を訪れる（阿蘇市資料及び九州産交ツーリズム阿蘇山ロープウエー資料による）。

このように、中岳は歴史時代においては、活発な噴火活動を繰り返してきたことによって、崇拜や観光の対象とされてきた。そして近年においては国内はもとより、近隣の諸外国を中心に多くの観光客が阿蘇を訪れ、同時に国内においては単なる観光のみならず、環境学習や防災教育、エコツアーの場としても活用されている。

阿蘇火山は、噴火活動を繰り返す中岳を中心に多くの人々の関心を集め、また多くの人々との強いつながりを維持してきた。阿蘇火山の噴火活動、とくに中岳を中心とした歴史時代の噴火活動について解明を進めることは、今後の阿蘇における活動の予測や火山防災のみならず、火山教育や阿蘇の観光にとっても重要な事柄である。

本論では、人間の活動と関わりの深い歴史時代の阿蘇火山の活動について整理し、そのなかで中岳の活動史や噴火活動の特徴について記述する。また、近年の活動としては比較的規模の大きかった1988~1995年の活動状況について、その推移の詳細と特徴的な噴火様式の変化について整理するとともに、期間中採取した火山灰の観察や火山ガスの観測結果も含め、中岳に特徴的な活動を取り上げてまとめる。そしてこの噴

火様式が中岳に特徴的であることを述べ、そのときの地下の状況や噴火活動のメカニズムについて推定する。

加えて、歴史時代の噴火を考える上で重要な、中岳以外の場所からの噴火活動について検証し、そのなかでもこれまでに明らかとなった湯の谷温泉における 1816 年の水蒸気爆発「湯の谷大変」について記述する。そして阿蘇地域における温泉地での水蒸気爆発の可能性について述べる。さらにこれらのことが火山防災対策上重要であることを指摘する。

以上のことによって、阿蘇火山における中央火口丘群の歴史時代の噴火活動の実態をより明らかにし、今後の活動予測や防災対策に活かしていきたい。

2. 阿蘇火山の歴史時代の活動に関する研究史

阿蘇火山の地形地質については、伊木(1901)や Matumoto(1943)などによってその大枠が示され、その後中央火口丘群の岩体の形成順序やその分布等も含め、小野・渡辺(1985)や渡辺(1992)に詳しく述べられている。

歴史時代における阿蘇火山の活動は、主に中岳からのものであるが、中岳の活動について渡辺(1992)は、過去約 15,000 年間の噴出物について、主に中岳からの堆積物と埋没黒ボク土層の発達から 16 の活動期に区分し、さらに宮縁・渡辺(1997)や馬場・他(1999)は、19 の活動期に再区分した。そのうち歴史時代の活動については、今からおよそ 1600 年前ころから活発化する N 2 期、およびしばらくの休止期を経て、約 990 年前以降現在まで、活発な活動を続けている N 1 期に区分した。

中岳の噴火形態について、小野・他(1995)、Ono *et al.*(1995) は、中岳の主に黒色砂状の火山灰を噴出する活動について「灰噴火(ash eruption)」と名付けた。そして、「灰噴火(ash eruption)」は安山岩火山の、長期にわたってマグマが少量ずつ排出される噴出率の低い噴火活動の 1 つのタイプであるとした。さらに、この噴火によって噴出する本質火山灰を”多面体型”と”しぶき型”および”遊離結晶”とに分類し、最も多量にある多面体型は、マグマ柱頂部の半固体状部の脆性破壊による産物であり、噴出活動の盛期に放出されるしぶき型はマグマ柱頂部の下位にある液状のマグマの飛沫であることを指摘した。

また、歴史時代の噴火活動については、欽明天皇十四年(西暦 553 年)以降多くの記録が残されており、それらの記録は熊本測候所(1931)、福岡管区气象台(1965)、気象庁編(2005)、熊本県(1952)などにまとめられている。上記のとおり、N2 期の活動がおよそ 1600 年前に始まり、その後休止期を経て N1 期の活動が約 990 年前以降現在も継続していることから、渡辺(2001)は噴出物調査と古文書記録を対比し、阿蘇における最古の記録である、西暦 553 年頃の噴火活動に関しても矛盾ないことを指摘している。

池辺・他(2004)は、中岳西側の 5 地点に関して火山灰調査を行い、最近約 1000 年間の活動履歴についての概要と、「古坊中」が栄えた時代の地表面(遺物包含層)の推定を行った。

近年の活動については、平塚(1907)、岩崎(1909)、伊木(1909)が明治 39 年(1906 年)に砂千里ヶ浜で起こった噴火について報告し、熊本測候所(1940)が中岳における昭和 7~8 年の活動状況の報告をするなど、それ以降、数多くの報告や研究がなされている。1900 年代以降の活動については、須藤(2006)によって地震や火山性微動の状況と表面活動とを対比させてまとめられている。

最近の活動に関しては 1988~1995 年の活動について福岡管区气象台(2002)にその

概要がまとめられ、池辺・他(2008 印刷中)は同期間の活動について 4 つのステージに区分し、それぞれのステージにおける噴火様式の特徴を明らかにした。また宮縁・他(2005)は、2003 年と 2004 年に起こった湯だまりからの火山灰噴出による降灰域や噴出量を明らかにし、このような噴火形態が中岳における特徴的な噴火様式の一つであることを示した。また、宮縁・他(2007)は、2005 年の湯だまり減少期の小規模な火山灰噴出活動について、その噴火形態を 3 つに分類して詳細に述べている。

そのほか、歴史時代における中岳以外の場所からの活動について、池辺・藤岡(2001)は中央火口丘西側斜面の、湯の谷温泉地域における小規模な水蒸気爆発の発生について明らかにし、また、南葉(1939)や地元の記録である「長野家日記」(南阿蘇村教育委員会蔵)の記載などから、明治 14 年(1881 年)3 月 20 日にも同温泉の「赤湯」と呼ばれていた場所から、小規模な水蒸気爆発が発生したことが示された。

さらに、地獄温泉周辺でも過去 1 万年間に噴出物量が 10^5 m^3 オーダーの水蒸気爆発が 2 回起こっており、より小規模な爆発はさらに高い頻度で発生していることが宮縁・渡辺(2000)によって指摘された。このことから、これまでのところ明らかな活動の証拠は見いだされていないものの、地獄温泉地域においても歴史時代に小規模な爆発が発生している可能性は大きいと考えられる。

以上のように、歴史時代における阿蘇火山の活動については、多くの記録が残されているものの、ごく最近の活動による噴出物を除いて、詳細な現地調査は行われておらず、噴火記録と火口周辺の堆積物との対比は十分にはできていないのが現状である。しかしながら、近年の火山活動についてはその詳細が明らかになりつつあり、そのことが歴史時代の活動史解明につながっていくことが期待される。

3. 阿蘇火山の地形地質の概要

阿蘇火山は東西約 18 km, 南北約 25 km の、やや南北に長い楕円形をしたカルデラと、その中に 17 座ほどの山々を有する中央火口丘群とで形成され、その中では中岳が現在も活動を繰り返している。また、湯の谷地域や地獄・垂玉地域で小規模な噴気活動や温泉の湧出などが見られている。

カルデラの形成には大規模な火砕流噴火が関わっており、約 27 万年前、約 14 万年前、約 12 万年前、そして約 9 万年前（松本・他、1991）の計 4 回の活動期を経て現在に至っている（小野・他、1977）。現在見ることのできるカルデラ地形は、約 9 万年前に形成されたものであり、カルデラ形成直後から始まった活動によって中央火口丘群が形成された。同時にカルデラ内には、時期と場所を異にして少なくとも 3 度は湖沼が生じ、これらは古い順に、カルデラ生成直後に比較的短期間存在した「古阿蘇湖」、一度開いた古い火口瀬を溶岩がせき止めたために生じた南郷谷側の「久木野湖」、阿蘇谷側に 6300 年前より少し前まで残っていた「阿蘇谷湖」とよばれている（渡辺、2001）。

3-1 火砕流噴火とカルデラ形成

阿蘇火山は約 27 万年前から活動を始めた。外輪部に見られる鞍岳や俵山などは阿蘇火山より前から存在する火山体で、それらを形成する岩石を先阿蘇火山岩類（小野、1965）と呼んでいる。約 27 万年前以降の火砕流噴火による堆積物や、中央火口丘群の活動による堆積物は全期間を通じてアルカリとくに K（カリウム）に富むという特徴があり、先阿蘇火山岩類や、九重、金峰、雲仙などの化学組成とは明瞭に異なる（小野・渡辺、1983）ことから、これ以降の火山活動に対して、「阿蘇火山」の活動と定義づけられている。それ以前の火山については「先阿蘇火山」と呼ばれている。

阿蘇火山は、約 27 万年前以降、計 4 回の大きな活動期を経て、現在に至っている。それぞれの活動期においては大量の火砕流を流しており、それぞれ Aso-1, Aso-2, Aso-3, Aso-4 と呼ばれている（小野・渡辺、1983）。

各火砕流堆積物の間には、溶岩や軽石、火山灰などが挟まれていることから、現在の状況と同じように、火砕流噴火後にはその都度カルデラを形成し、また中央火口丘群も発達したものと考えられている（渡辺、2001）。

火砕流は中部～北部九州一帯に及び、とくに Aso-4 火砕流は四国や中国地方にまで分布している。

3-2 中央火口丘群の発達

現在の中央火口丘群の活動は、Aso-4 火砕流の噴火によるカルデラ形成直後から活動を始め（小野・渡辺，1983），活動開始から約 2 万年以内までに大量の溶岩や火砕岩を噴出した（宇都・他，1994）。

その後も活動を繰り返して現在に至っているが，その岩石の組成幅が非常に広く， SiO_2 で 49~72 wt % にわたっており（小野・渡辺，1983），そのために火山の構造や形態もさまざま，活動史も大変複雑である（渡辺，2001）。

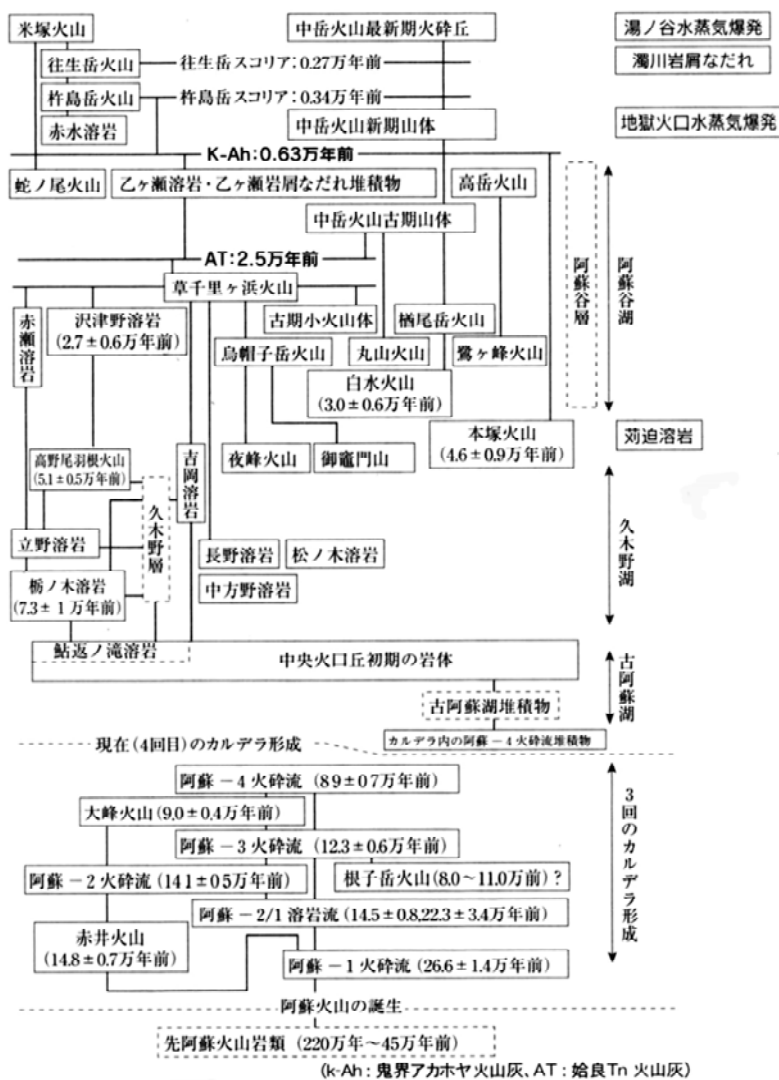


Fig. 3-1 Succession of major unit of Aso Volcano (Watanabe and Miyabuchi, 2005)

また、中央火口丘群起源の主要なテフラとしては、草千里ヶ浜軽石(Kpfa: 31 ka), 阿蘇中央火口丘第1軽石(ACP1: 4 ka)などがある。そしてその他にも多数の軽石やスコリア層が確認されており、その噴出総量は 18.1 km³ と見積もられている(宮縁, 2003)。

現在も活動を続ける中岳は、3重の構造をなす成層火山で、外側から、「古期山体」、「新期山体」、「最新期火砕丘」と呼ばれる(小野・渡辺, 1985)。そのマグマは玄武岩質安山岩～玄武岩質であり、25,000年前以前から活動していた火山であることが明らかとなっている(馬場, 1999)。中岳からの溶岩流出は、古期山体期と新期山体期の2回あるが、前者はAT火山灰(約25,000年前)よりやや新しい時期に噴出したことが明らかとなっており(馬場, 1999)、また後者はテフラ層序から約4800年前と推定されている(宮縁・渡辺, 1997)。

その他、中央火口丘群のなかでの比較的新しい時期の活動としては、玄武岩質のスコリア丘と溶岩流からなる杵島岳、往生岳、米塚などがある。このうち、杵島岳と往生岳では準プリニー式のスコリア噴火が発生しており、その時期は¹⁴C層位年代より、それぞれ約3400年前、および約2700年前と推定されている(宮縁・渡辺, 1997)。一方、阿蘇市賀田地区において、直径1m以上のケヤキと思われる大木が往生岳溶岩によって焼き敷かれているのが発見され、その埋もれ木から得られた¹⁴C年代は、約1720年前を示した(池辺・渡辺, 1998)。このように、往生岳の噴火時期については、両者の推定年代に約1000年の差があり、その原因としては往生岳の噴火が数回にわたって発生している可能性(単成火山ではない)、あるいは後者の約1720年前が正しければ往生岳溶岩としているものが他の溶岩(例えば米塚溶岩)である可能性も考えられ、また¹⁴C年代測定資料自体に問題があった可能性など、いくつかの要因が考えられる。また、杵島岳の北西側には、杵島岳と同時期に活動したと考えられている小規模なスコリア丘(渡辺, 2001)がほぼ東西方向に並んでおり、そのうち最も大きなもの(基底の直径約120m)が上米塚と呼ばれている。また、米塚火山は杵島岳溶岩の上に生じた玄武岩質の火山であり、その基底部からは主に北側に向かって溶岩を流している(渡辺, 2001)。米塚火山は非常に新鮮な火砕丘地形を保持し、最新の火山体と判断されるが、その活動に伴うテフラは見つかっておらず、形成年代も明らかとはなっていない。しかし、溶岩の分布から、往生岳火山より新しい(渡辺, 2001)ことがわかっている。

以上のような中央火口丘群の発達に関して、その年代や形成順序をFig. 3-1に示した。

なお、カルデラ内において中央火口丘群の一つにも見える根子岳は、Aso-3火砕流よりも下位にあり、中央火口丘群より古い時代の成層火山であることがわかっている(小野・渡辺, 1985; 松本・他, 1991)。

3-3 歴史時代の噴火史概要

3-3-1 中岳の噴火活動史

宮縁・渡辺（1997）は、現在から約 15,000 年前までの中岳の活動を主に中岳からの堆積物と埋没黒ボク土層の発達から、19 の活動期(N1~N19)に区分した (Fig. 3-2). そのうち歴史時代の活動については、今からおよそ 1600 年前ころから活発化する N 2 期, しばらくの休止期を経て, 約 990 年前以降再び活発となり現在に至る N 1 期に区分している.

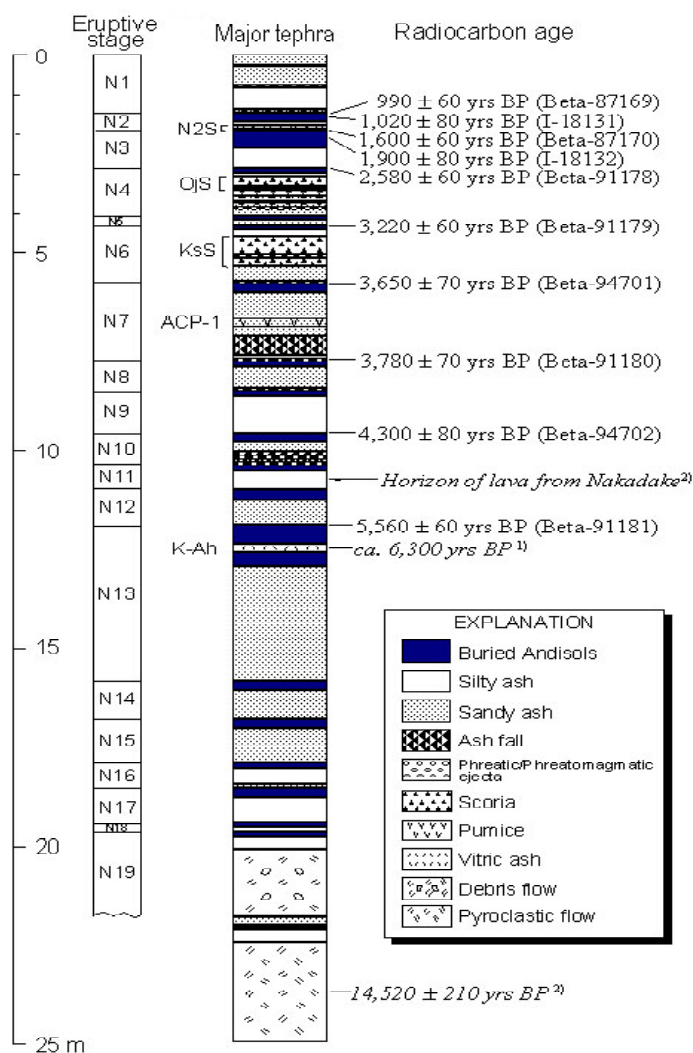


Fig. 3-2 Stratigraphic column of the sampling site showing horizons of buried Andisols and their radiocarbon ages. Marker tephras are Nakadake N2 scoria (N2S), Ojodake scoria (OjS), kishimadake scoria (KsS), Aso central cone pumice 1 (ACP-1), Kikai Akahoya ash (K-Ah) in descending order (Miyabuchi and Watanabe, 1997)

N 2 期の最初期には大規模なマグマ水蒸気爆発が発生しており、褐色～明褐色を呈する本質スコリアを主体とするテフラを広範囲に堆積させている（宮縁・渡辺，1996）。

N 1 期は水蒸気爆発の堆積物を幾層か挟むものの、おもに黒色の細粒火山灰からなり、大部分は灰噴火（小野・他，1995; Ono *et al.*, 1995)による堆積物である。N3 期以降も含め、堆積物の状況は Fig. 3-2 のとおりであるが、この状況から見て、およそ 6300 年前以降の、中岳の活動の大きな周期としてはおよそ 500 年程度と見積もられている（宮縁・渡辺，1997；渡辺，2001）。

一方、気象庁 編（2005）などに「西暦 553 年（欽明天皇 14 年）噴火？」の記載があり、このころに噴火を起こしていた可能性についての指摘もある（渡辺，2001）。これは、上記のテフラ層序から見て、このころの活動と N2 期の活動とを対比させれば、大きな矛盾はないということである。その後、しばらくの休止期（活動記録のない時期）を経て、8 世紀終わり頃から再び活動に関する記録が見られるようになる。活動記録のない時期が、そのまま活動の休止期であると断じるだけの十分な証拠はないが、テフラ層序との対比からすると、この間実際に噴火活動が穏やかとなっていた可能性が大きいと考えられる。

また、古坊中と呼ばれている一帯（中岳の西側 1 km ~ 2 km 付近に広がる平坦地）では、鎌倉時代から室町時代にかけて多くの坊舎や宿坊が建ち並び、多くの修験僧たちが修行や生活をしてきたとされる（熊本県教育委員会，1980）。1300 年代から 1500 年代には、その坊舎などがたびたび被害を受けていた様子も多くの記録に記されており、この時期の中岳の活発な活動が多くの人々に影響を与えたことがうかがえる。

13 世紀以降の記述内容からは、湯だまりの存在や土砂噴出、火山灰の噴出、水蒸気爆発、ストロンボリ式噴火などを起こしていたことが推定され、この時期はテフラ層序からみると N1 期にあたり、少なくともこの時期においては、最近の中岳の噴火活動と同じような活動形態を繰り返してきたものと考えられる（中岳の活動に関する独特の使用語句については後に説明する）。

3-3-2 中岳以外の場所からの噴火活動史

湯の谷温泉は阿蘇を代表する温泉地として知られている。この地域では有史以降、文化 13 年(1816 年)の噴火をはじめ、幾度か水蒸気爆発を起こしているらしく、それらの概略は福岡管区気象台(1965)などが「長野家日記」からの抜粋記録として既に報告している。一方、阿蘇郡長陽村（現阿蘇郡南阿蘇村）は村史の編纂作業にともなう資料収集の過程において、同年の水蒸気爆発に関する新たな古文書史料と絵図史料を発見した。それは噴火を体験或いは見聞した人から肥後細川藩に提出された正式な報

告文の写しと考えられる。これによって、湯の谷における当時の噴火の状況がより具体的に明らかになり、有史以降の阿蘇火山の活動史のなかで中岳以外の場所からも小規模ながら噴火活動があったことが確認された。この内容については、別途詳しく述べる。

そして明治 14 年（1881）4 月には「湯の谷大変」の場所とは異なる「赤湯」と呼ばれていた付近からも、小規模な水蒸気爆発を起こしたという記録が残されている（南葉，1939）。

また、湯の谷温泉地域のすぐ南側は、比較的急峻な斜面となっており、「吉岡温泉」とよばれる別荘地となっている。平成 18 年夏ころから噴気活動がやや活発化し、同年秋以降、直径約 7 m（気象庁，2006）の小火孔を開口し、一時的に火山灰を噴出した（火山灰中に本質物は確認されていない）。平成 19 年 5 月には旧来の火孔は閉塞し、その西側に新たに火孔を開口して、以後同様の活動が続いている（Fig. 3-3）。この地域においては、従来から小規模ながら噴気活動は見られており、過去においてもこのような活動を繰り返してきた可能性がある。



Fig. 3-3 Fumarolic activity at Yoshioka on 29 July, 2007 (Vent became active since October, 2006)

さらに、宮縁・渡辺（2000）は、阿蘇中央火口丘群南西部の池の窪付近で発見された水蒸気爆発堆積物について報告している。それによると、地獄温泉を含む池の窪付近では過去 10,000 年間に 2 回噴出物量が 10^5 m^3 オーダーの噴火が発生しており、そのほかにも局所的に分布する水蒸気爆発の堆積物が少なくとも 9 層存在している。このことから、小規模な水蒸気爆発はより高い頻度で発生している可能性があり、今後の火山防災を考える上で十分な考慮が必要であることが指摘されている。

4. 中岳の噴火活動

4-1 中岳周辺の地形地質

中岳は、先に述べたとおり「古期山体」、「新期山体」、「最新期火砕丘」と呼ばれる3重の構造を持っている玄武岩～玄武岩質安山岩の成層火山である（小野・渡辺，1985）。「古期山体」をつくる堆積物はアグルチネートや火砕サージによる火山灰、爆発角れき岩などからなり（渡辺・小野，1984）、その西側部分は山体崩壊あるいは爆発によって欠如している。この山体の形状は複雑で、現在活動中の「最新期火砕丘」の東側に大きな崖を形成している。この両者の間、「最新期火砕丘」の南～東側には「砂千里ヶ浜」と呼ばれている場所があり、砂漠状の平坦地となっている。この時期の溶岩は中岳の南北に広く流下しており、南麓では約 25,000 年前の AT 火山灰層の上位に存在する（馬場，1999）。

「新期山体」は外観上は目立たないが、「古期山体」の内側にあつて、「最新期火砕丘」の北東側に小高い火砕丘を形成している。それは砂千里ヶ浜の南側の小尾根につながっている。そして「最新期火砕丘」の西側の小高い尾根に続く。この新期山体形成の時期には、大規模な溶岩流出があり、中岳の北側と南側に流下しており（小野・渡辺，1985）、その年代は約 4800 年前と推定されている（宮縁・渡辺，1997）。

「最新期火砕丘」は、南北に長い形をしており、そのなかに大きく見ると4つの火口（第1～第4）が並んでいる。この火砕丘がいつ頃形成されたのかはわかっていない。しかし、後述するように、古文書などによる活動記録では「北の池」、「中の池」、「南の池」などと呼ばれていた火口から噴火活動を繰り返しており、これらは現在の「最新期火砕丘」の形状と大きな違いはなさそうである。また、現在の同火砕丘の地形を見ると、現在も活動を繰り返しているためでもあるが、全体的に輪郭が明瞭であり、それほど古い時期に形成されたものとも思えない。このようなことから、「最新期火砕丘」は有史以降の、活動記録に表れる時期、あるいはその少し前くらいから形成されてきたものと推測できる。

中岳の地形的構造とその概要を Fig. 4-1 に示した。

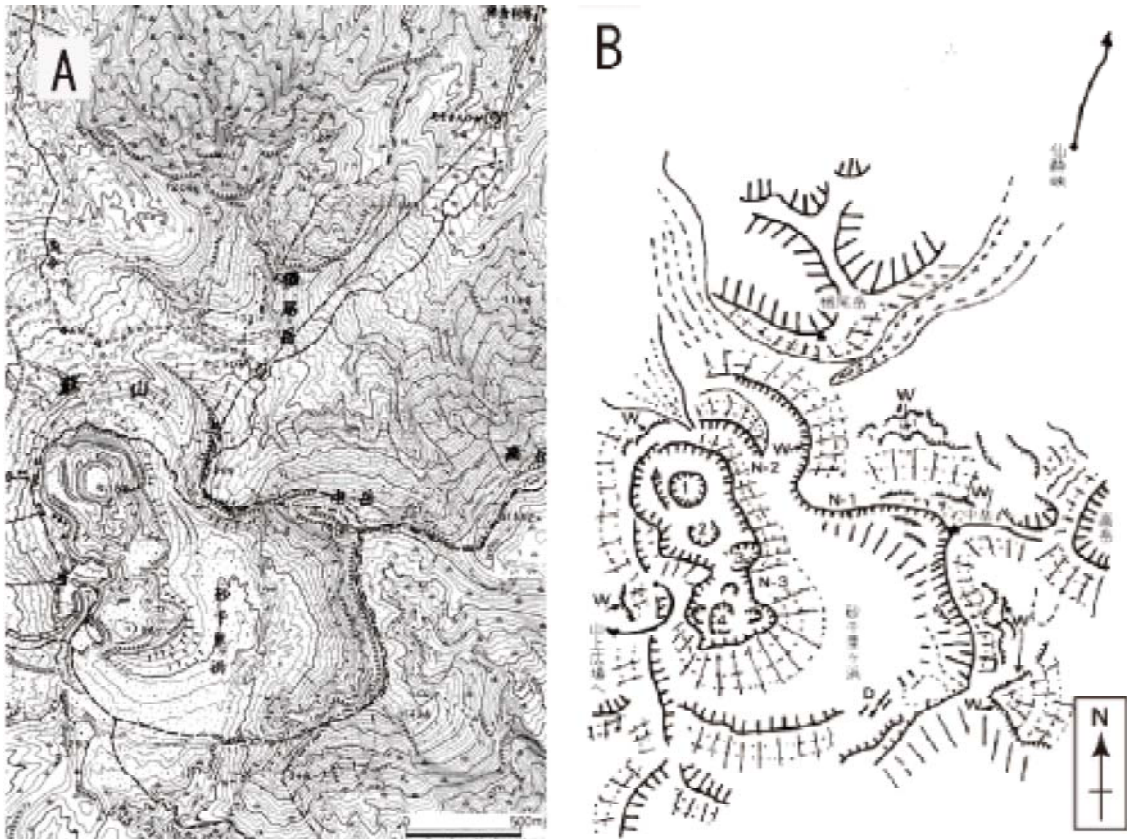


Fig. 4-1 Topographic map around Nakadake(A) and geomorphic structure of three-fold crater in the vent area of Nakadake(B) (Watanabe and Ono, 1984)

N-1 : 「Old edifice」 , N-2 : 「Young edifice」 , N-3 : 「Youngest cone」

4-2 中岳の火山活動に関する語句の説明

中岳の火山活動について論じる場合、「活動の規則性」、「活動期」、「活動周期」などの用語を用いるが、本論ではこれらは次のような考えに基づいて使用する。

中岳の活動は、活動が活発化するのに伴い、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は減少する。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、それとともに火炎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、中岳においては「活動の規則性」があると言われている(例えば、池辺・他, 1989 ; など)。

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噴出する活動期」→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。

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、以下にその用語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、天水や伏流水の流入が第1に考えられるが、火山性水蒸気がかなりの部分を占めているという考えもある（大沢・他，2003）。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（渡辺・他，2003；宮縁・他，2005など）。

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」（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100～300mの範囲を超すものを噴火として記録する）を示した。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。

火炎現象：火口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「火炎現象」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、その噴気孔周辺が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。

灰噴火：中岳の活動の活発な時期に、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する。このような時期のマグマ柱の頂部は半固体状であり、この部分の脆性破壊によって生じた破片（多面体型；後述）などを多く含む（小野・他，1995）。

4-3 古文書等の記録から見た中岳の活動

4-3-1 活動の推移

歴史時代の阿蘇火山の活動記録は、気象庁 編（2005）などにまとめられている。そのうち、西暦 553 年の記録として、阿蘇山噴火史要（熊本測候所，1931）に「春山上火起て天に接す，伺官笠忠久をして之をまつらしむ・・・」とあるが、もともとの引用原本は不明である。一方、同書には筑紫風土記からの引用として「肥後國關宗縣々坤二十余里有一禿山日關宗岳頂有靈沼石壁為垣「計可縦五十丈横百丈深或は二十丈或は十五丈」・・・」とある。さらに阿蘇家に伝わる「阿蘇家伝」には、「旧記曰阿蘇山ニ煙立コト欽明天皇貴樂二年 西歳始テ大明神山上ニ火焰ヲ出シ給フ・・・」という記述が見られる。これらはこの年に確実に噴火が起こったことを示すものではないが、少なくとも当時中岳で噴火活動が起こっていたことを示したものである（渡辺，2001）。

一方、西暦 636 年に唐の魏徵（ぎちよう）などによって書かれ、全 85 巻からなる中国の正史とされる「隋書（倭国伝）」（原文は「隋書タイ国伝」とされ、「タイ」は、人偏に「妥」という字であるが、一般には、「倭」の誤記とみなされていることから、「倭国伝」と呼ばれている）に、次のような記載が見られる。「有阿蘇山其石無故火起接天者俗以爲異因行禱祭有如意寶珠其色青大如鷄卵夜則有光云魚眼精也」。つまり、少なくとも 7 世紀の初めには阿蘇が噴火活動を起こしていたことを、中国の人たちが認識していたことになる。このことは、西暦 553 年の記録とも矛盾はしない。

その後、福岡管区気象台(1965)によると、8 世紀終わり頃から湯だまりの増減に関連した記録がみられるようになるが、実際に活動が活発化した様子に関しては、西暦 864 年に「・・・神靈池去十月三日夜有声震動，池水沸騰，空中東西洒落・・・」と記録されている。しかしながら、より本格的な活動の記録としては、西暦 1239 年の「靈池蛇形わること 30 計り黒煙大に昇り大小石を雨す（肥後国誌，阿蘇山上奇瑞記）」というものが初めてである。

このように、6 世紀中頃にやや規模の大きいと判断される噴火活動に関する記事があり、その後 8 世紀の終わりから 9 世紀終わり頃まで、火口の異常らしい記事が並ぶが、その後 13 世紀中頃までの約 360 年間は記録が見られない。上記のように、N2～N1 期の活動の推定年代から見れば、この約 360 年間は、実際に活動が穏やかであった可能性もある。

以後はほぼ連続して活動記録が残されており、中岳が連続的に活動を続けてきたことがわかる。現時点では中岳の最新期火砕丘のうち、どの火口がどのような活動を行っていたのかについては明らかとなっていないが、少なくとも歴史時代には大きく 3 つの火口があったことが伺え、それぞれが火口湖を形成し、また活動を繰り返してき

たものと考えられる(Table 4-2).

古文書等による活動記録からは、以上のようなことを読みとることができる。

福岡管区気象台(1965)や熊本測候所(1931), 福岡管区気象台(1990)をもとに, 活動記録のある 553 年以降, 福岡管区気象台(1990)に収録されている 1978 年までの噴火記録から, 活動の概要を Table 4-1 にまとめた。

Table 4-1 Documentary records of volcanic activities of Aso volcano in historical time

西暦	年号	活動場所	湯だまり枯渇	鳴動/地震	土砂噴出	土砂流出	火炎/火映	灰噴火	ストロンボリ式噴火	マグマ水蒸気爆発	その他
553	欽明天皇14										
785	延暦4										
796	延暦15										
814	弘仁5										
825	天長2										
840	承和7										
850	嘉祥3										健甞龍命正三位
851	仁壽元										健甞龍命従二位
852	仁壽2										阿蘇比咩神従四位下
859	貞観元										健甞龍命正二位
859	貞観5										阿蘇比咩神従四位上
864	貞観6										
866	貞観8										肥後国阿蘇大神, 懐藏怒気, ..
867	貞観9										
868	貞観9										
873	貞観15										授肥後国正四位下阿蘇比咩神正四位上
875	貞観17										授肥後国正四位下阿蘇比咩神正三位
1230	寛喜2										
1239	暦仁元										
1240	延応2										
1265	文永2										
1269	文永6										
1271	文永7										
1272	文永9										
1273	文永10										
1274	文永11	中池									
1281	弘安4										
1286	弘安9										
1305	嘉元3										
1324	正中元										
1331-1333	元弘元-3										
1335	建武2										堂舎破壊
1340	延元4~興国元	北池									堂舎破壊
1341	興国2	北池									堂舎破壊
1343	興国4										堂舎破壊
1346-69	正平										大衆祈禱
1375	天授元										
1376	天授2										
1376	天授2	南池									
1377	天授3										堂舎流出
1387	元中4										
1387	元中4										
1388	元中5										
1434	永享6	中池									
1438	永享9	中池									
1439	永享10	中池									

(continued from Table 4-1)

西暦	年号	活動場所	湯だまり枯渇	鳴動/地震	土砂噴出	土砂流出	火炎/火映	灰噴火	ストロンボリ式噴火	マグマ水蒸気爆発	その他
1473	文明5										
1473-74	文明5-6										堂舎破壊
1485	文明16	北池									大宮司惟忠死亡、僧徒など大半山を去る
1505	永正2										
1506	永正3										
1522	大永2										
1533	天文2										
1542	天文11										
1558-59	永禄元										
1559	永禄2										
1562	永禄5										白川水濁て衆魚皆死す
1563	永禄6										
1564	永禄7										
1573	天正元										
1574	天正2										
1576	天正4										
1582	天正10										
1583	天正11										霊水涌出して本堂を破り、慈恵大師、最榮讀師の像を流す
1584	天正12										
1587	天正15										
1592	文禄元										
1598	慶長3										
1611	慶長16										
1612	慶長17										
1613	慶長18										
1613	慶長18										
1620	元和6										
1631	寛永8										漲奔寺川の水熱湯の如し、行人絶ゆ
1637	寛永14										
1637	寛永14										
1649	慶安2										
1668	寛文8										苦水溢れ出て、其下流猶熱湯の如く行人渉ることを得ず
1671	寛文11										
1675	延宝3										
1683	天和3										宝池辺鶴二翼死す
1683	天和3										
1691	元禄4	北池									
1691	元禄4										阿蘇中間となり屋たいまつをとす
1691	元禄4										阿蘇山水赤き血の如し、魚鱗皆死す
1708	宝永5	南池									阿蘇山の水赤き朱の如し、魚多く死す
1709	宝永6										
1764	明和元										
1765	明和2										豊後路鶴崎府内筑後肥前薩摩當国は八代葦北天草辺迄10里の間砂を降らす
1765	明和2										朝より暮れに至り1坪に砂8升程降り積もりたり
1765	明和2										
1772-1780	安永年間										

(continued from Table 4-1)

西暦	年号	活動場所	湯だまり枯渇	鳴動／地震	土砂噴出	土砂流出	火炎／火映	灰噴火	ストロンボリ式噴火	マグマ水蒸気爆発	その他
1772-1780	天明年間										
1804	文化元										
1806	文化3										
1814	文化11										
1815	文化12										
1816	文化13										湯の谷に石降火出る(湯の谷の噴火～湯の谷大変～)
1821	文政4										
1826	文政9										堂舎悉く破る
1827	文政10										
1827	文政10										参拝者は後輩のため呼吸し難く多くは御池の南方20町の辺に於て屍れたり
1828	文政11										
1830	天保元										
1830	天保元										
1830	天保元										翌朝数百尋高き山神池の西方に出来せり、之を朝間山と名づく
1831	天保2										
1832	天保3										
1835	天保6										
1837	天保8										
1838	天保9										
1854	安政元										此時3人の参拝者2人は即死し1人は重傷を負ひ後死せり
1856	安政3										
1870	明治3										
1872	明治5										
1872	明治5										硫黄採掘者多く従業し居たりしが、中4名即死し・・・温泉山腹の各処に湧き、其下流白川に入りて、河水為に硫氣を帯びて白色を呈し、・・・
1873	明治6										
1874	明治7										
1881	明治14										湯の谷橋の少し東焼出石灰矢の音致し、焼ドロ其付近に1尺程積る(湯の谷の噴火)
1884	明治17										硫烟中に苦しんで小児は吐瀉病を發し、大人は眩暈、頭痛、腹痛に悩むものあり・・・
1894	明治27										
1894	明治27										8月8日、阿蘇地震(阿蘇山西麓、土地の亀裂、山崩等続出す)
1895	明治28										阿蘇地方の強震、家屋土蔵の破損せしもの400棟に及び堤處々亀裂せり
1897	明治30										
1906	明治39										砂千里ヶ浜での噴火
1907	明治40										
1908	明治41										
1909	明治42										
1910	明治43										
1911-1912	明治44～大正元										
1914	大正3										
1916	大正5										
1918	大正7										

(continued from Table 4-1)

西暦	年号	活動場所	湯だまり枯渇	鳴動/地震	土砂噴出	土砂流出	火炎/火映	灰噴火	ストロンボリ式噴火	マグマ水蒸気爆発	その他
1919	大正8										
1920	大正9										
1923	大正12										
1923	大正12	2,4火口									
1924	大正13										
1926	大正15										
1927	昭和2										
1928	昭和3										
1929	昭和4	4火口									
1930	昭和5										
1932	昭和7										
1933	昭和8										有史以来の大噴火
	昭和9										
1935	昭和10										
1936	昭和11										
1937	昭和12	1火口									
1939	昭和14										
1940	昭和15										
1941	昭和16										
1942	昭和17										
1943	昭和18										
1944	昭和19										
1945	昭和20										
1946	昭和21										
1947	昭和22										南郷谷方面に降灰多く放牧の牛馬200余頭斃死す。
1948	昭和23										
1949	昭和24										
1950	昭和25										
1951	昭和26										
1953	昭和28										登山者に死者5名, 負傷者約90名
1954	昭和29										
1955	昭和30										
1956	昭和31										
1957	昭和32										
1958	昭和33										死傷者多数
1959	昭和34										
1960	昭和35										
1961	昭和36										
1962	昭和37										
1963	昭和38										
1964	昭和39										
1965	昭和40										
1966	昭和41										
1969	昭和44										
1971	昭和46										
1974	昭和49										
1975	昭和50										
1976	昭和51										
1977	昭和52										
1978	昭和53										

この表から、基本的には近年の活動と同様、灰噴火の活動を中心に、マグマ水蒸気爆発（或いは水蒸気爆発）が頻繁に発生してきたことが伺える。また、近年ではあまり見られない特徴的な噴火形態として、19世紀終わり頃（明治時代始め頃）までは、大規模な土砂噴出によって大量の水（或いはお湯）混じりの土砂が火口縁を超え、周辺に流れ出す現象が頻繁に発生したようである。南郷谷の白川まで流れ下り、多くの魚が死んだという記載もいくつか見られる。ここで、中岳から白川に達するまでの最短距離（約4800年前の新期溶岩の流路）は、約9 km であり、それだけの距離を流れ下るほどの土砂が量的にまかなえるかどうかを考える。

① 総延長9 km の距離を平均層厚0.5 m, 平均幅10 m で流れたとすると

$$0.5 \times 10 \times 9000 = 45,000 \text{ m}^3$$

② つぎに、現在の中岳第1火口を考えた場合、湯だまりの直径がおおよそ150 m, お湯や土砂が埋めている深さを約50 m と考えて、全体の形を逆円錐形と仮定して計算すると、

$$75 \times 75 \times \pi \times 50 \times 1/3 = 294,375 \text{ m}^3 \rightarrow \text{約} 30 \text{ 万 m}^3$$

以前の火口の形状や大きさなど、不確定な要素は多々あるものの、このように計算上は、両者の値はオーダーとしては合っており、白川まで達するような土砂噴出も可能性としては十分にあり得ることになる。20世紀以降、このような現象はほとんど見られなくなったが、それまでは火口内を埋積した土砂や水を一気に噴き飛ばしてしまうような爆発的な活動が頻繁に発生していたものと考えられる。また、火口の形状としても、当時は近年に比べて火口縁から火口底までの深さが浅く、火口の外まで土砂を噴き飛ばしやすかったということも考えられる。

また Fig. 4-2 に、古文書等の記録内容から活動規模の大小を判断して時系列でまとめたものを示す。この図からは、6 世紀頃にやや規模の大きな噴火活動が起こっていた可能性があるものの、その後活動は穏やかとなり、9 世紀頃からやや活発化し、13 世紀以降継続的に活動を繰り返しているように見える。もちろん、古文書等による活動記録のうえでのみの判断であるので、単に記録が残されていないだけという可能性も否定できないが、現時点では活動記録の有無は、活動自体の有無を示しているものと考えておく。

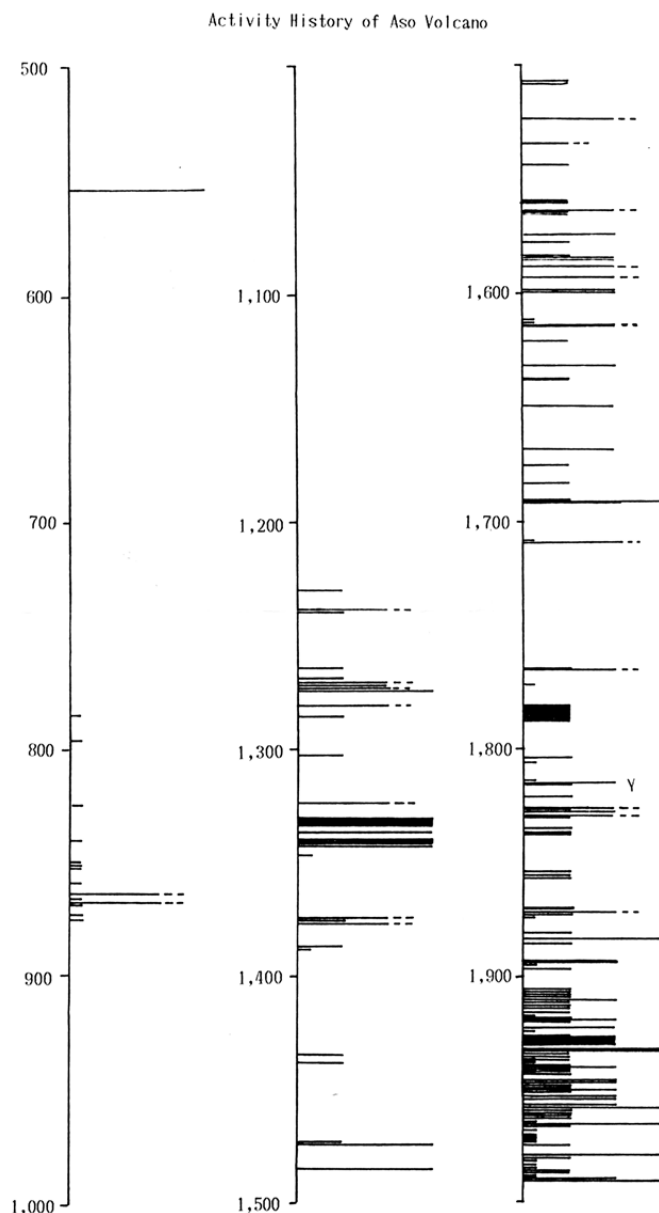


Fig. 4-2 Frequency and magnitude of historical volcanic activities of Aso Volcano
(personal communication, Prof. Watanabe of Kumamoto University)

また、旧来の中岳火口の呼び名についてまとめたものを Table 4-2 に示す。これによると、現在の第1火口付近が古来からも「阿蘇大明神」あるいは「健磐龍命」と、阿蘇開拓の神の名で呼ばれており、火口の名称から見ても当時から活動の中心が現在の第1～第2火口周辺であったことが想像できる。

Table 4-2 The names of each crater within the Nakadake crater
(Fukuoka District Meteorological Observatory, 1965)

	1	2	3	4	5	6	7	8
古 来 呼 称	阿蘇大明神 健磐龍命		比咩明神 阿蘇津姫命	彦御子明神 彦御子命				
	北の池		中の池	南の池 (法施崎)				
	一の池		二の池	三の池				
大森 房吉	北の池 甲	北の池 乙	中の池	南の池				
伊木 常誠	第一火口		第二火口	第三火口	第四火口			
納富 重雄	第一	第二	第三	第四	第五			
田中館秀三	北火口 A	北火口 B	中火口	南火口 B	南火口 D	南火口 E	南火口 C	南火口 A
熊本測候所	第一	第二	第三	第四	第五	第六	第七	

4-3-2 活動記録から推測される活動形態

次に、古文書等の活動記録の内容から推測される活動形態と、近年の活動との対比を試みた。活動の記録内容はさまざまであるが、その詳細を見ると噴火活動の様子をある程度とらえることができる。それによると、おおよそ近年の活動状況に対比できるようなものがほとんどである。以下にその例を示す。

- 欽明天皇 14 年(553 年) 「**靈沼**」(筑紫風土記)
「三池は即**神池**也」(阿蘇山噴火史要)
- 延暦 4 年(785 年) 「**神靈池**」(日本逸史)
- 承和 7 年(840 年) 「・・健磐龍命**靈池**」(続日本後記纂話)
- 寛喜 2 年(1230 年) 「鎮西**阿蘇宮池**」(肥後国誌)
- 文永 6 年(1269 年) 「**御池**より煙立つ」(肥州名勝略記, 肥後国誌)
- 文永 9 年(1272 年) 「**宝池**鳴動雷の如し」(肥州名勝略記, 肥後国誌)

基本的にはこれらはすべて「湯だまり」を示している(Fig. 4-3)。活動が穏やかな時期に形成されることが多い。「北の池」、「中の池」、「南の池」という言い方があったということは、当時少なくとも 3 つの火口湖が存在していたことを示しており、最新期火砕丘の形が現在と大きくは変わっていないことが想像できる。



Fig. 4-3 A hot crater lake at Nakadake crater 1

欽明天皇 14 年(553 年) 「・・・黒煙大に昇り・・・」(阿蘇山噴火史要)
「・・・砂硫黄四方に降らし・・・」(阿蘇山噴火史要)
文永 6 年(1269 年) 「阿蘇山の御池より煙立つ」(肥州名勝略記, 肥後国誌)

多量の火山灰を噴き上げつづける阿蘇独特の「灰噴火」である(Fig. 4-4). 火口底に十数m~数十mの火孔(小火口)を開口し, そこからほぼ連続的に火山灰を噴出する.



Fig. 4-4 Ash eruption from a vent in the crater 1

興国元年(1340 年) 「宝池鳴動黒白の煙相交わり・・・」(震災予防調査会報告, 伊木氏報文)

慶長 3 年～ 4 年(1598~99 年) 「石を雨し黒烟大に昇り火燃ゆ」(阿蘇山上奇瑞記)

マグマと地下水或いは湯だまりのお湯などが接触して起こす爆発的な噴火であると考えられる(Fig. 4-5). 灰噴火に比べて, 爆発的で, 噴石も伴う.



Fig. 4-5 Phreatomagmatic eruption at Nakadake

欽明天皇 14 年(553 年) 「・・・時々水満(従南)溢流入白川衆魚醉死土人號曰苦水其岳之・・・」(筑紫風土記)

天文 2 年(1533 年) 「泥水四方に溢流す」(肥後国誌, 阿蘇山上奇瑞記)

興国 4 年(1343 年) 「宝池より水上り本堂破損す」(阿蘇山上奇瑞記)

湯だまりの状態から, 土砂を噴き上げる現象であると考えられる(Fig. 4-6). 規模が大きい場合は火口縁を超えて火口周辺に土砂が流れ出すことがある. これは表面上湯だまりは形成されていても, 地下活動がやや活発な状態であり, 静穏期にはあり得ない.



Fig. 4-6 Large-scale explosive mud eruption from a crater lake

欽明天皇 14 年(553 年) 「・・・火石を吹き上げ・・・」(阿蘇山噴火史要)

興国元年(1340 年) 「泊千蒼天火坑光を放ち雷の如く火石を碧天に吹き上げ・・・」
(震災予防調査会報告, 伊木氏報文)

火口底からマグマのしぶきを十数秒～数十秒おきに, 間欠的に飛ばすストロンボリ式噴火である(Fig. 4-7). 中岳の場合, ここ 5000 年ほどは溶岩を流出していない. 従って今の中岳においては, この時期がマグマヘッドが最も地表に近づいているステージであり, 活動の最盛期だと考えられる.



Fig. 4-7 Strombolian eruption from Nakadake crater 1

以上のように, 少なくとも 8 世紀以降の, 記録に残されている時期以後 (N2 ~ N1 期) の中岳の活動は, 基本的には現在見られるような活動と対比することができ, 同じような活動を繰り返してきたものと考えられる.

4-4 N1 期のテフラ産状

中岳火口の西側 5 地点の露頭において、N1 期火山灰を中心とした堆積物の調査を行った(Fig. 4-8). Fig. 4-9 には、調査地域一帯の様子を写真に示した.



Fig. 4-8 Locality of the stratigraphic sections (Base map is a 1:25,000-scale topographic map of the Asosan district published by the Geographical Survey Institute)

- ① North-eastern side of Kusasenri-ga-hama
- ② Furubochu (south side of the road)
- ③ Furubochu (north side of the road)
- ④ Under Ryujin-bashi bridge (south)
- ⑤ Under Ryujin-bashi bridge (north)



Fig. 4-9 Photograph of Furubochu, and Nakadake and Takadake in background

以下に各地点の状況を概説する.

① 草千里北東縁(Fig. 4-10)

中岳第1火口の西方3.0 kmの場所である.

N1に相当する地層の厚さは48 cmである. この中の層を細かく区分することは困難であった. この下位には, N1期基底の黒ボク土層を挟んでN2期以前のスコリア層があり, 地表から3 m程の深さにはアカホヤ火山灰が存在する.

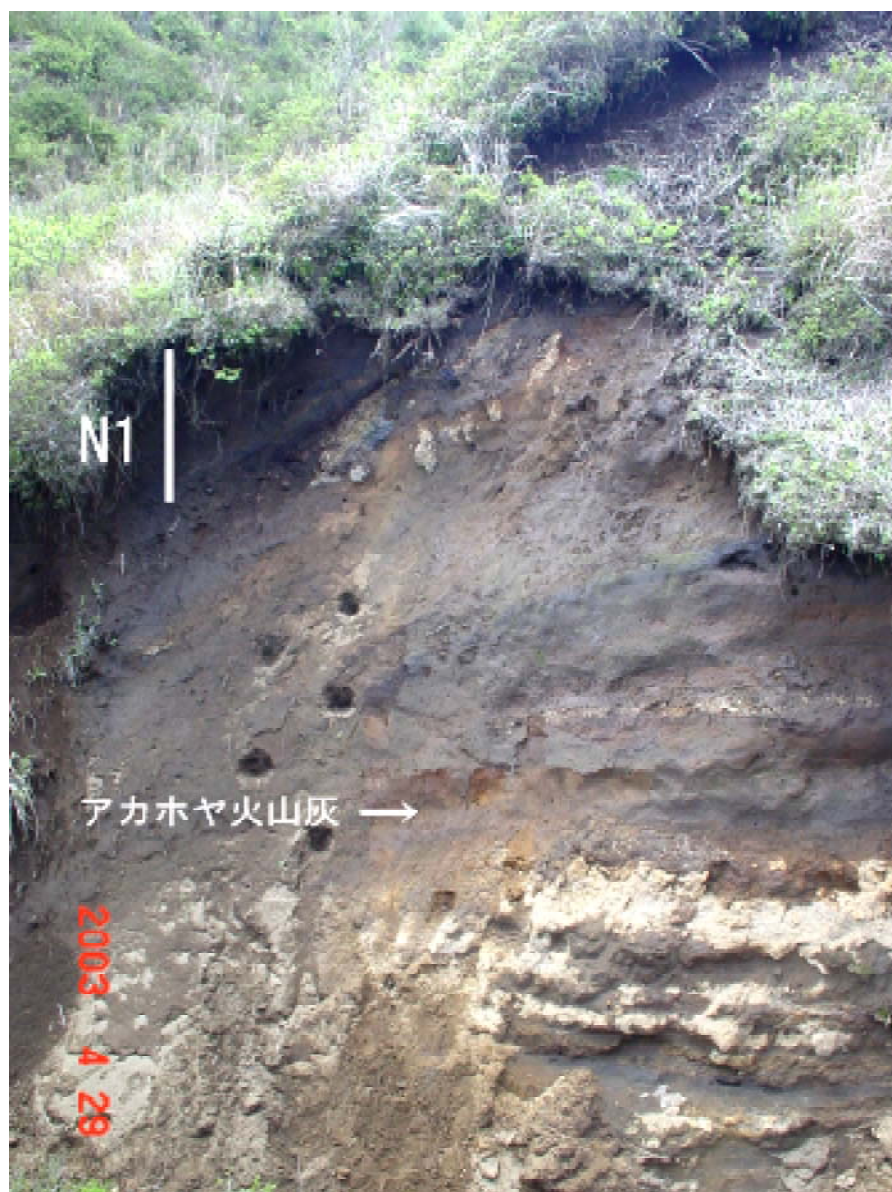


Fig. 4-10 Outcrop at Point 1 in Fig. 4-8

② 古坊中（登山道南）(Fig. 4-11)

中岳第1火口の西南西1.8 kmの場所である。

古坊中と呼ばれる地域内のガリーにみられる地層で、保存状態も比較的良好である。N1の基底となる黒ボク層が見えていないため、正確な層厚はわからないが、この地点でのN1層の厚さは4 m程と推定される。

地表から2 m程の深さまで灰噴火によると思われる、黒色～褐色の火山灰の層が幾層にも重なる。そのなかに、水蒸気爆発またはマグマ水蒸気爆発によると考えられる淡黄色～灰白色の層も何層か挟在し、その中には、1~2 mmの小岩片や、炭化した木片も混入する。地表から3 m程のところに特徴的な産状を示す黄褐色の堅い粘土層が存在し、その下位に腐植土層が存在している。この層の¹⁴C年代は430±60 y BPで、暦年較正年代は西暦1410~1530年である。この粘土層は地層の状況から、規模の大きな土砂噴出によって流出した土砂堆積物の可能性があるが、現時点で詳細は不明である。

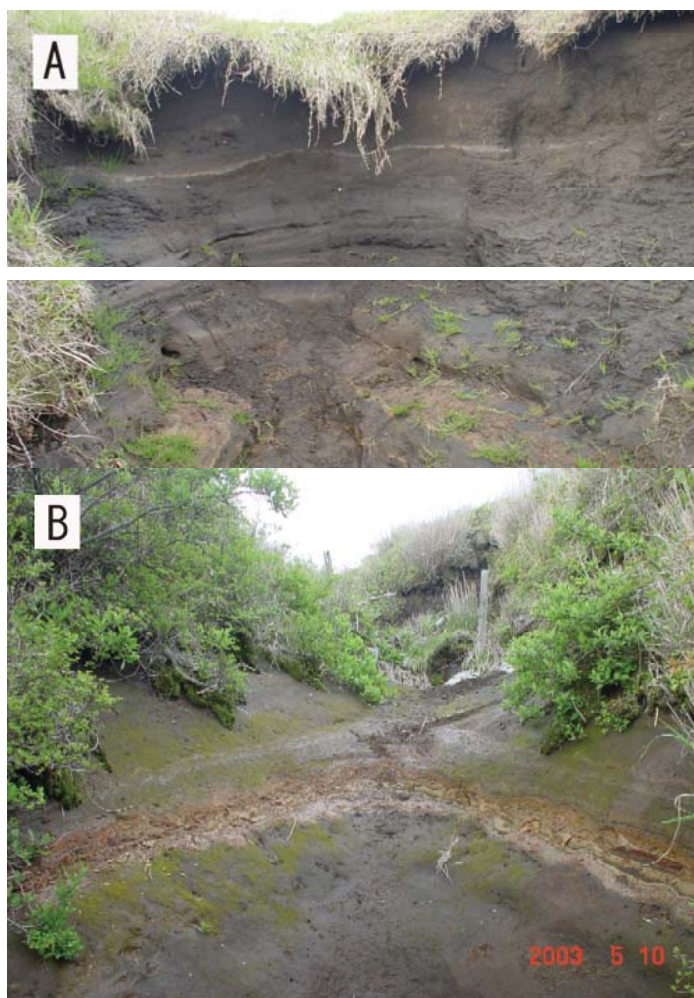


Fig. 4-11 A: The upper part of Point 2 in Fig. 4-8

B: Brownish-yellow clay layer at the lower part of Point 2 in Fig. 4-8

③ 古坊中（登山道北）(Fig. 4-12)

中岳第1火口の西南西1.2 kmの場所である。

この地点でのN1層の厚さは約3.4 mである（N1層基底の黒ボク土層が存在する）。

地表から2 mほどのところに、25 cmの厚さのやや乱れた層があり、その下部からは甕棺の一部（阿蘇市教育委員会学芸員 緒方徹氏による）と考えられる遺物が掘り出された(Fig. 4-12 B)。このことから、この乱れた地層は何らかの人為的な作用によるものと考えられ、古坊中時代の地表面であった可能性が大きい。その上位約40 cmの場所に腐植土層があり、その上に水蒸気爆発様の堆積物が存在し、この状況は他の調査地でも対比できる。この層の¹⁴C年代は210±60 y BP, 暦年較正年代は西暦1520~1575年である。



Fig. 4-12 Outcrop at Point 3 in Fig. 4-8 showing thick tephra deposit.
Inset B shows relic of a part of Kamekan or coffin

④ 龍神橋下（南）(Fig. 4-13)

中岳第1火口の西南西1.0 kmの場所である。この場所ではN1層基底の黒ボク土層まで見えていないため正確な厚さがわからないが、N1層の厚さは4 m以上である。水蒸気爆発あるいはマグマ水蒸気爆発によると考えられる、灰白色の地層が幾層か顕著に認められる。



Fig. 4-13 Outcrop at Point 4 in Fig. 4-8

⑤ 龍神橋下（北）(Fig. 4-14)

上記④の場所のすぐ脇でありながら、地層の対比は十分にできない。火口に近いということもあり、地層が2次的に動いている可能性があり、そのことによってN1下部層の欠落もあるようである。

地表から2 mあまりの場所には、古銭（森林総合研究所 宮縁育夫氏によって発見された）の遺物が包含されており(Fig. 4-14 B)、またその地層中には多くの岩片や炭化物も混入している(Fig. 4-14 D)。同時に、炭化木や当時の建物の柱の跡と思われる、直

径十数 cm の穴も見いだされた(Fig. 4-14 C). なお, 炭化木には木が燃えた灰のようなものも伴っていた. 炭化木の ^{14}C 年代測定は 160 ± 60 y BP で, 暦年較正年代は西暦 1645~1955 年となった.

なお, 発見された古銭を阿蘇市教育委員会の緒方 徹学芸員 (歴史, 考古学) に見てもらったが, 腐食が激しく文字も読みとれなかったため正確な年代等につながる情報は得ることが出来なかった.

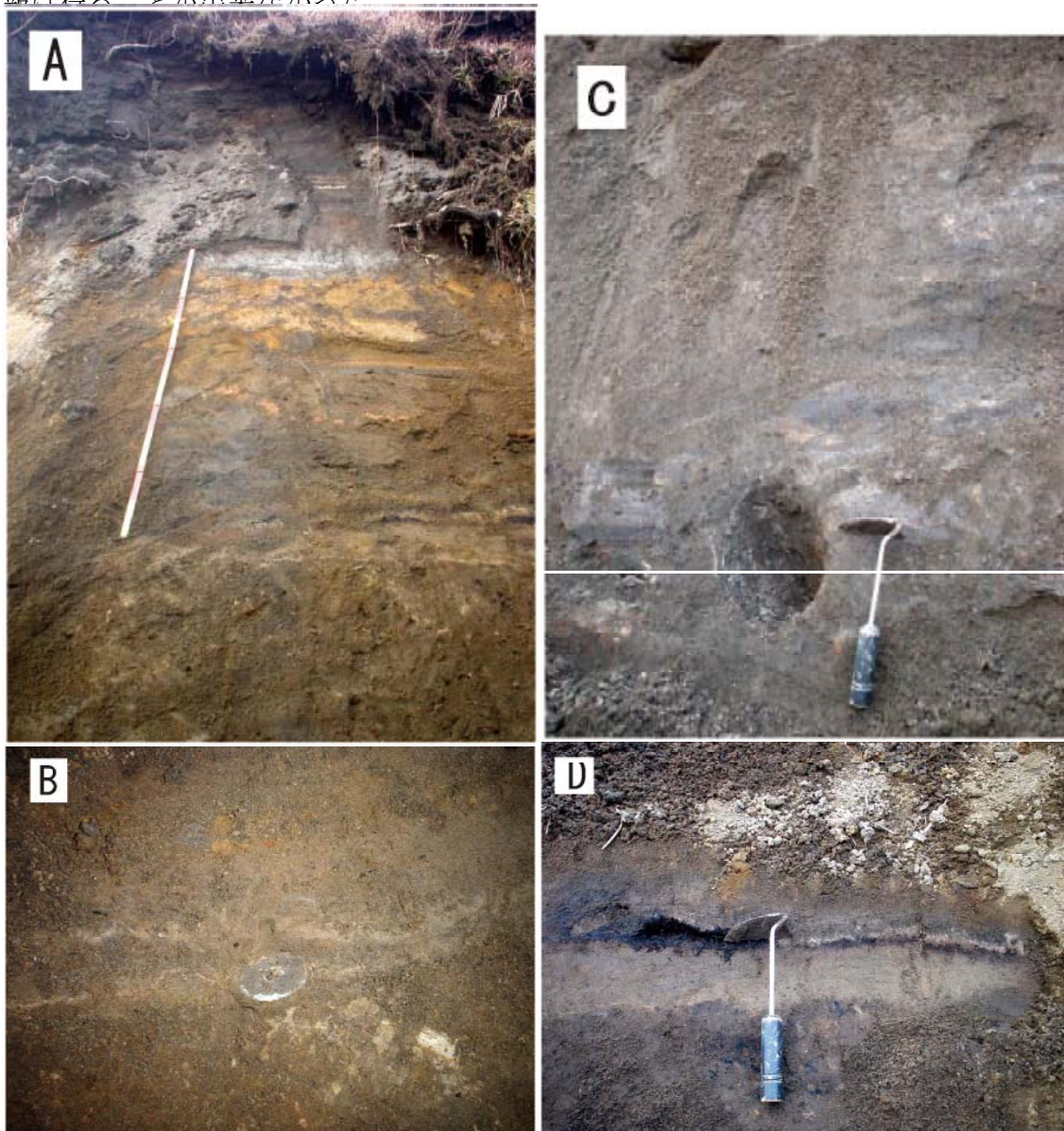


Fig. 4-14 Photos showing outcrop at Point 5 in Fig. 4-8.

- A: Thick tephra sequence, B: Relic of old coin in a layer,
- C: Column vestige of some structure in a layer and
- D: Carbonized wood in a layer

以上の調査結果を，柱状図にまとめて Fig. 4-15 に示した．

中岳火口の西側 1~3 km 付近一帯には，約 1000 年前以降の N1 期の火山噴出物が 3~5 m 程の厚さで堆積しており，その中には 11~15 世紀頃に山岳宗教の場として栄えた時代の，人々の生活の跡が封印されていることがあらためて確認された．

そして，その時期の地層は，基本的には灰噴火による黒色～灰色の火山灰の薄層からなり，そのなかに灰白色，黄灰色，赤褐色などの，水蒸気爆発によると思われる粘土質火山灰層が幾層も介在する．とくに，遺物包含層前後の火山灰には，水蒸気爆発によると思われる火山灰層が多いという傾向が見られた．

このようなことから，最近約 1000 年間の中岳の火山活動は，先に古文書等による活動記録の内容から推定された，「近年と同様，灰噴火を主とし，ときおり水蒸気爆発を発生させていた」ことが N1 期の地層状況からも裏付けられた．

また，調査地点のうち，3 ヶ所について ^{14}C による年代測定を行ったが，総じて期待された年代値より新しい値が出た．これは，測定した地層或いは炭化物中に，より新しい時代の植物片などが混入していた可能性や，地層編年自体の考え方に問題がある可能性などが考えられるが，このことについては今後さらなる調査が必要である．

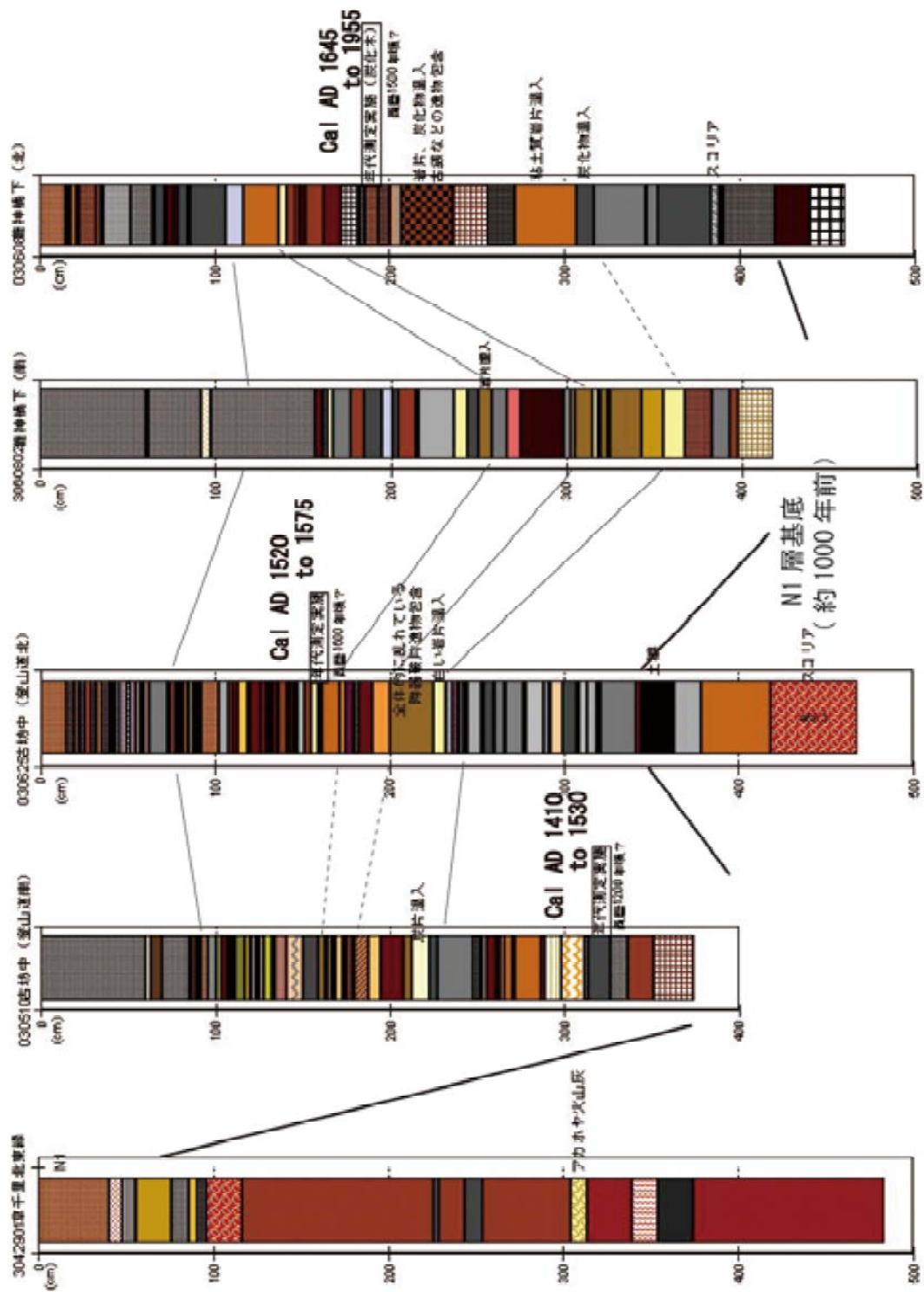


Fig. 4-15 Stratigraphic sequences exhibiting the ash layers during N1 period from Nakadake

4-5 近年の中岳活動の特徴

中岳では、最近 80 年間ほどは北端の第 1 火口を中心に活動を繰り返している。熊本測候所（1934）によると、昭和 7~8 年の噴火活動期には現在の第 1 火口のほか第 2、第 4 火口も活発に活動していた。阿蘇山測候所の記録をもとに、昭和期以降の第 1、2、4 火口の活動状況について以下のとおりにまとめた。

Table 4-3 Volcanic activity of Nakadake craters 1, 2 and 4 during 1933 and 1947

年 代	第 1 火口	第 2 火口	第 4 火口
S.8(1933)	活発 9月以降やや 衰える	活動に強弱あり 6月以降やや衰え白煙	1月まれに強い噴出あり 2月以降衰え白煙、白色の微弱な噴煙、3月以降水たまり 11月シューという弱い鳴動
S.9(1934)	白～灰色噴煙、2月 以降はほぼ白煙 11月鳴動あり	白～青白ガス 活動は弱い	
S.10(1935)	白～灰白色噴煙	同 上	白色の微弱な噴煙 火口内は水だまり
S.11(1936)	同 上	白煙,活動弱い	同 上
S.12(1937)	同 上 11月に黒煙	同 上 11月に青白色ガス	同上9月以降北側 壁より微弱な噴気
S.13(1938)	白～灰白色噴煙 活動弱い	弱い白煙、10月にシュー ーという噴気音	弱い白煙、10月白煙火口縁 上まで上がる
S.14(1939)	同 上		
S.15 (1940)	----	同上、8月噴気音あり 火口底と壁より シューという噴気	11月噴湯現象 火口底の 2~3 割が湯だまり,シューの噴気音と噴湯現象あり
S.16(1941)	----	同 上	火口底の北東側,東,南側より噴 気,火口壁より湧水
S.17(1942)	----	同 上	同 上
S.18 (1943)	----	同 上 7月噴気やや活発化	同 上
S.22(1947)	----	弱い噴気	同上,弱い噴気

中岳は、Table 4-3 のように、昭和 20 年代ころまで第 2、第 4 火口においても噴気活動を継続させていた。その後それらの火口の活動は次第に衰え、第 1 火口のみ活動に移行している。

第 1 火口の活動は、おもに玄武岩質安全岩 (SiO_2 : 52%) (小野・渡辺, 1985) のマグマであることや、火口の地形などにより、従来から次のような活動の特徴が指摘されてきた (池辺・他, 1989 など)。

- 穏やかな時期には第 1 火口底に雨水などが流れ込んで湯だまり (火口湖) をつくる。
- 活動が活発化していくときには地下からの火山ガス放出とともに湯だまりのお湯や土砂を同時に噴き上げる土砂噴出が見られ、同時に湯だまりの水位さがり、最終的には火口底が乾燥、露出する。
- さらに高温の噴気孔が赤く焼けてみえる赤熱現象がはじまる。
- 噴気孔が次第に拡大し、直径数 m ~ 数十 m の火孔となって火山灰の噴出「灰噴火」が始まる。同時に火山ガスが燃えるようにみえる火炎現象が見られることもある。
- 火山灰の中にマグマ物質 (本質物) が多くなり、マグマのしぶきを数秒から十数秒間隔で間欠的に飛ばす「ストロンボリ式噴火」がはじまる。
- 「灰噴火」や「ストロンボリ式噴火」の時期に、地下の状況変化などによって地下水が関与すると、突発的に「マグマ水蒸気爆発」や「水蒸気爆発」を起こすことがある。
- 活動が衰えると、周辺から土砂や雨水が流れ込んで再び湯だまりの状態にもどる。

ここ数十年の活動では、おおよそ以上のような活動を数年から十数年周期で繰り返している。

また、中岳の活動の大きな特色として「灰噴火」(小野・他, 1995) がある。もちろんほかの火山においても火山灰を多く噴出することはあるが、阿蘇中岳の場合、玄武岩質安山岩というマグマの性質により、マグマ噴火としては爆発的にはならず、比較的少量の火山灰を長時間にわたって噴出することが特徴的である。したがって、阿蘇中岳の場合、本格的な活動という「ストロンボリ式噴火」が目されやすいが、「灰噴火」こそ中岳の本格的な活動期に最も頻繁に見られる噴火形態である (小野・他, 1995)。

近年の活動時における火山灰等の噴出量からみた平均的な噴出レートを Table 4-4 に示す。これによって得られた噴煙の容積率を、噴煙柱高度 (中岳の噴煙活動の噴煙の高さは普通火口上 1000 m 以下) との関係を示す図にプロットすると Fig. 16 のようになり、小さい容積率に対応する。このことも中岳の灰噴火の大きな特徴である。

なお、有史以降、溶岩の流出は記録からも野外調査からも確認されていない。

Table 4-4 Discharge rate of ash from Nakadake, Aso volcano(Ono *et al.*, 1995)

Date	Duration (m, d, h)	Weight of ejecta ($\times 10^4$ t)	Rate of discharge ($\times 10^4$ t/d)	Volumetric eruption rate (m^3/s)
1979 June	18 d	142 ^a	7.9	12
1979 July	31 d	162 ^a	5.2	8
1979 Aug.	26 d	159 ^a	6.2	10
1979 Oct.	31 d	97 ^a	3.1	5
1979 Nov.	28 d	327 ^a	11.7	18
(1979 total)	(134 d)	(8840)	(6.6)	(10)
1989– 1991	10 m ^b	1200 ^c	4.0	8
1989 Oct. 9–Nov. 4	27 d		5.4 ^d	8
1989 Nov. 5–6	13 h		5.0 ^d	6

Duration : m = month; d = day; h = hour

^aMCCleland *et al.*(1989)

^bDuration of smoking phases(Watanabe and Ikebe, unpubl. data)

^cWatanabe(1991)

^dHayakawa and Imura(1991)

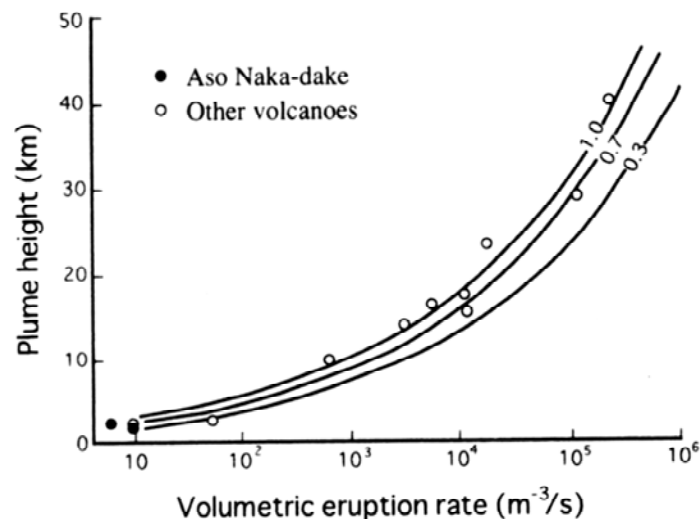


Fig. 4-16 Diagram showing the relationship between plume height and volumetric eruption rate (Wilson *et al.*, 1978).

Solid circles near the lower left corner of the diagram represent gas emissions from Aso Volcano(Ono *et al.*, 1995)

4-6 火口カメラでの観測体制の確立とそこから得られた成果

阿蘇火山博物館では、活動中の中岳第 1 火口壁の 2 ヶ所に TV カメラ（以下火口カメラという）を設置し(Fig. 4-17)、火口から直線距離で 3.2 km 離れた草千里ヶ浜まで光ファイバーケーブル（総延長はおよそ 4 km）をとおして火口内の状況をリアルタイムで中継し、博物館において生中継映像として放映している。

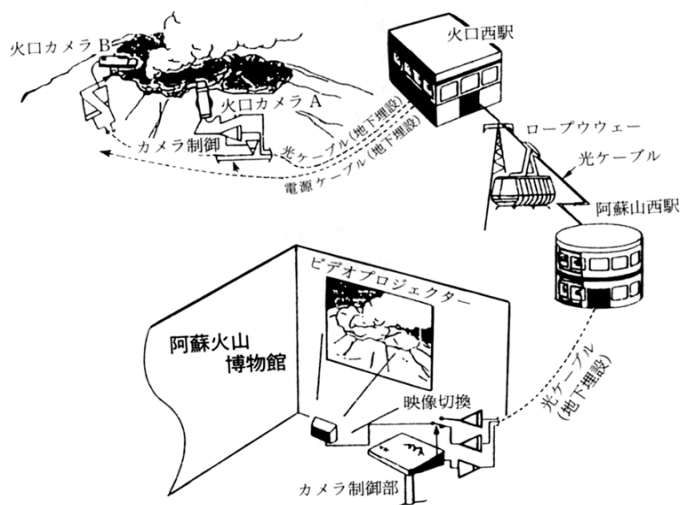


図 4-17 火口カメラの送信システム略図

Fig. 4-17 The outline of the broadcast system from Nakadake to Aso Volcano Museum(AVM)

この映像は気象庁の福岡管区气象台，阿蘇山測候所へ常時配信し，火山活動の監視に役立てられている。また RKK ((株) 熊本放送) のホームページ(<http://www.rkk.co.jp/>)をとおしてリアルタイム映像を流し，広く一般の人々への情報提供を行っている。さらに熊本県内の TV 局各社に対してもニュース素材としての提供を続けている。

4-7 最近の中岳活動の推移

火口カメラによる映像記録をとおして、近年様々な表面活動の様子がわかってきた。最近約 30 年間の活動の概要は次のとおりである。なお、以下の記載内容は火口カメラの映像資料をもとに、阿蘇山測候所発表の火山情報も加味して作成したものである。

〈最近約 30 年間の阿蘇中岳の活動概要〉

- S.54 5月まで 湯だまり、活動は比較のおだやか。
(1979) 6月以降 火山灰、噴石、ストロンボリ式噴火。
9月 6日 水蒸気爆発、死者3名、負傷者11名。
S.55 1月 火山灰、ストロンボリ式噴火、水蒸気爆発。
(1980) 2月以降 湯だまり、まれに土砂噴出するものの活動はおだやか。
S.59 10月 火口壁の一部から火山灰噴出（火口底には湯だまり残る）。
(1984)
S.60 1月 火山灰噴出。
(1985) 5月 噴石、スコリア噴出。
7月 中旬までに全面湯だまりを形成、活動は穏やかとなる。
S.61~62 湯だまり減少、小規模な土砂噴出、全般的に活動は穏やか。
S.63 5月 土砂噴出活発化（10~15 m）。
(1988) 10月 火口底の一部に赤熱現象。
H.元 2月 湯だまり消滅、赤熱現象。
(1989) 6月 火孔開口、以後灰噴火活動へ移行（火炎も伴う）。
7月以降 灰噴火活動、次第に火山灰の噴出量が増え火炎の勢いが強まる。
10月 スコリアを火口縁上まで噴出（ストロンボリ式噴火）。
火孔の拡大活動、径 100 m程にまで拡大。
11月 ストロンボリ式噴火とマグマ水蒸気爆発を繰り返す。
H.2 1月 活動不安定、断続的に火山灰や噴石を噴出。
(1990) 3月 火口閉塞、湯だまりからのガス突出（大きな土砂噴出）。
4月 20日 マグマ水蒸気爆発、以降、再び活発化。
7月 大雨によって火口閉塞、湯だまり発生、活動は小康状態。
11月 赤熱現象、湯だまり消滅。
12月 空振をともなってスコリアを爆発的に噴出（100 m以上）。
H.3 2月 火山灰の噴出はなくなる、以後白煙、湯だまり発生。
H.4 6月 再び土砂噴出が活発化（間欠的）。
(1992) 24日 5 m, 29日 30-50 m。
30日 100-150m（噴石も伴う）。

- 7 月 噴石を伴う噴火（以後、湯量減少、活動不安定、湯だまりの状態から時折噴石をともなって爆発的に土砂を噴き上げる）。
- 8 月以降 同上。
- 12 月 火山灰，火炎。
- H.5 1 月 火山灰やスコリアを噴出。
- (1993) 3 月 活動はおだやか，火孔閉塞。
- H.6 9 月 土砂噴出，最大で 150 m 以上，噴石も伴う，地下活動不安定。
- (1994) 12 月 再び活動不安定，土砂噴出を繰り返す，特殊微動，有感微動。
- H.7 1 月 有感微動（Ⅰ～Ⅱ）を繰り返す，大規模な土砂噴出。
- (1995) 2 月 有感微動，表面現象は比較のおだやか，10 m 前後の土砂噴出。
- 3 月 有感微動が頻発，17 日には噴石（こぶし大～人頭大）をともなって”噴火”，月をとおして 10~20 m の土砂噴出。
- 4 月 数 m の土砂噴出を伴って有感微動，以後，比較のおだやか。
- 7 月 有感微動数回，微動とは別にやや大規模な土砂噴出。
- H.8 以降 活動はおだやか（全面湯だまり）。
- H.12 火口底は全面湯だまり状態がつづく。
- (2000) 11 月 南側火口壁で赤熱現象。
- H.15 南側火口壁下の温度及び湯だまりの温度は高い状態。
- (2003) 5 月 噴湯現象。
- 7 月 10 日 大規模な土砂噴出で中岳第 1 火口東北東約 6 km に微量の降灰。湯だまりの量は，6 月から徐々に減少し 11 月には約 5 割。
- H.16 1 月 14 日 噴火，大規模な土砂噴出で中岳第一火口東南東約 8 km で微量の降灰。
- (2004)
- H.17 4 月 14 日 噴火，少量で灰白色の火山灰が中岳第一火口縁から南側 700 m 付近まで付着を確認，同日 20 時 41 分頃大規模な土砂噴出が発生し，火山灰が火口の北東側約 2 km の仙酔峡まで達した。
- (2005) その後湯だまり減少，赤熱現象，小規模の火炎。
- 9 月 以降再び全面湯だまり。
- H.19 9 月 14 日頃から南側火口壁で赤熱現象。
- (2007)

先に述べた「活動期」や「活動周期」の考え方にもとづいて、この期間の活動を考えると、本格的な本質火山灰噴出やスコリアを噴出したのは1979年6月～1980年1月、1985年5～6月、および1989年10～11月の時期である。したがって、それぞれの活動期における最盛期がこの時期と考えると、それぞれの活動期は、1979年6月～1980年1月、1984年10月～1985年6月、そして1988年3月～1995年10月となる。

一方、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。

5. 1988~1995 年の中岳の活動

上記のような近年の活動推移の中で、1988~1995 年の活動期ではさまざまな知見が見いだされた。以下に同時期の活動について詳述する。

5-1 活動の推移

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 5-1 にまとめた。

同時に、気象庁阿蘇山測候所による孤立型微動の推移について、Fig. 5-1 に示した。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)。このことから、孤立型微動の発生回数の推移を示したものである。

1988~1995 年活動期は、Table 5-1 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「終息期」(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」

活動の初期は、1988 年 3 月頃~ 1989 年 10 月はじめ頃までである。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、891 火孔から比較的安定して火山灰を噴出するなど、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」

この時期は、1989 年 10 月はじめ頃から 1989 年 11 月末頃のわずか 2 ヶ月間である。マグマヘッドが最も地表に近づいている時期といえる。この時期はストロンボリ式噴火を中心にした活動であったが、火孔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」

この時期は、1989 年 12 月~ 1991 年 2 月頃までである。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とを繰り返した。減衰期とはいえながらも、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。

「終息期」(残存マグマによる余熱活動期)

この時期は、1991年3月~1995年10月頃である。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、一連の活動期のうち1990年7月までの火山灰の総噴出量は約772万トンと推計(松田・他、1990)されており、以後の噴出量はそれまでに比べて1%に満たない量である(阿蘇山測候所の降灰量データ)。このことから、一連の活動のなかでの噴出物のうち、そのほとんどが1989~1990年に噴出した火山灰や噴石であることがわかる。このことから、1991~1995年においてはほとんど新たなマグマは供給されていないと考えられる。さらには、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「終息期」(残存マグマによる余熱活動期)として扱った。

Table 5-1 Summary of the activities from 1988 to 1995 at the Nakadake crater

CL: Crater Lake

ME: Mud Eruption

Inc: Incandescence

AE: Ash Eruption

Str: Strombolian Eruption

Phr: Phreatic explosion or phreatomagmatic eruption

	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.											
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。		
活動減衰期	1990			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.									
		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ペレーの毛が含まれた。				
残存マグマによる余熱活動期	1991	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。		
		Jul.									
		Aug.									
		Sep.									
		Oct.									
		Nov.									
		Dec.									
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。		

Continued from Table 5-1

CL: Crater Lake

ME: Mud Eruption

Inc: Incandescence

AE: Ash Eruption

Str: Strombolian Eruption

Phr: Phreatic explosion or Phreatomagmatic eruption

	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)をとまなげて”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.									

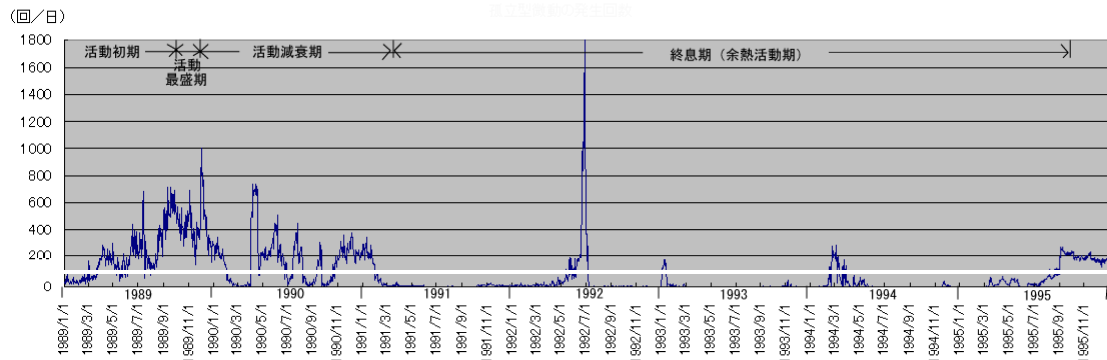


Fig. 5-1 Seismic signature and frequency of isolated tremors from 1988 to 1995 at Nakadake (Data are from the Asosan Weather Station, JMA)

5-2 1988~1995 年活動期の特筆すべき現象

5-2-1 「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。通常では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、1988~1995 年活動期における「活動初期」では、やや不安定な時期が存在した。特に 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. 5-3 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停止と急激な噴出とを繰り返した(Fig. 5-2)。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、火炎を勢いよく噴き出すこともあった。これは、地下からのマグマの供給率の微妙な変化によって、マグマヘッドが上下することにより、地下水が進入する場合があるであろう。

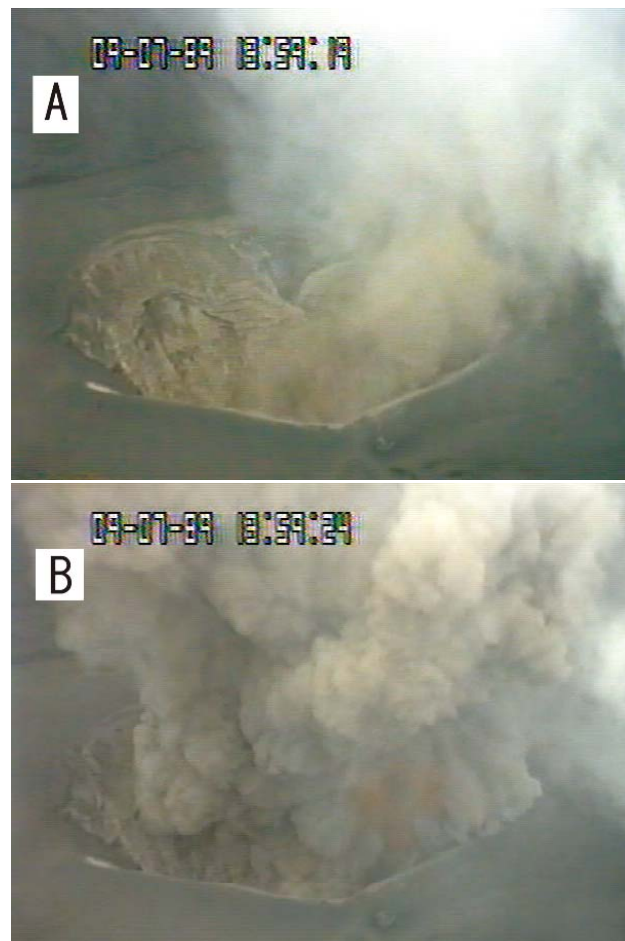


Fig. 5-2 Unsteady ash emission from the Vent 891
(A: No emission, B:Sudden emission)

5-2-2 活動最盛期における特徴的噴火

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、ストロンボリ式噴火が始まった10月6日から12月終わりにかけて、ストロンボリ式噴火の時期と、マグマ水蒸気爆発を発生させた時期が4回繰り返したことを指摘した。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 5-2に示した。10月6日からはストロンボリ式噴火に移行した。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. 5-3)、火道の近くまで地下水が近づいていたことを伺わせた。

Table 5-2 Strombolian and phreatomagmatic eruptions
at Nakadake from October 1989 to November 1989
St.: Strombolian eruption Ph.: Phreatomagmatic eruption

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)
			15:45 新火孔からスコリアを150mの高さまで噴出
15	◎		スコリアの噴出を確認
20			
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 (29日までに火孔は100m×50mに拡大)
28	◎		発泡したスコリア片を含む火山灰噴出
29	◎		
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火口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噴火による埋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	◎	★	

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。

ストロンボリ式噴火が始まった1989年10月6日頃の状態は、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。

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21~28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あつ、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。

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。

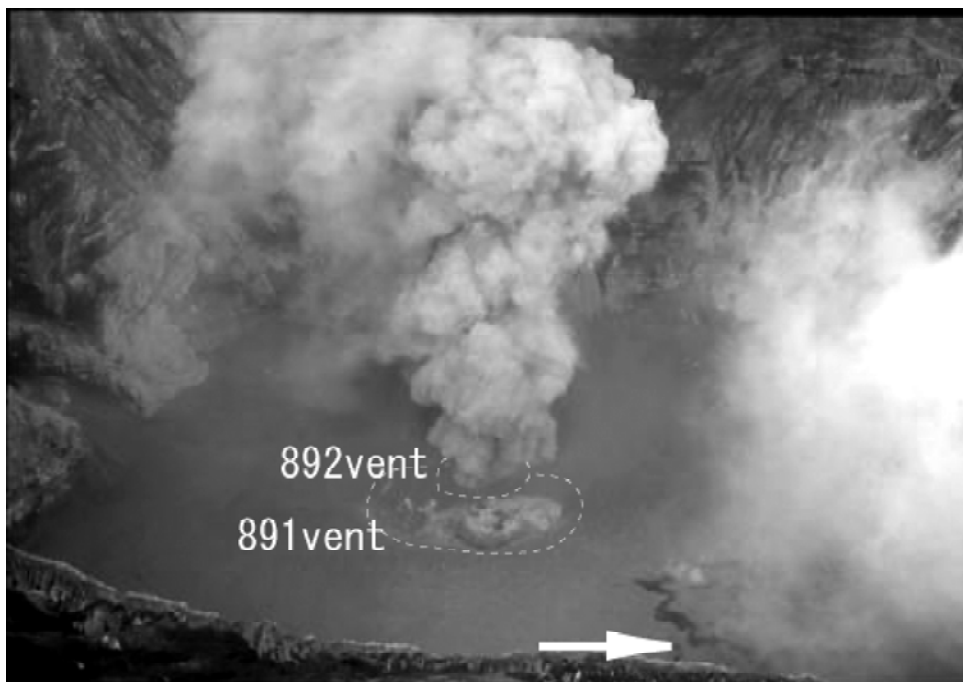


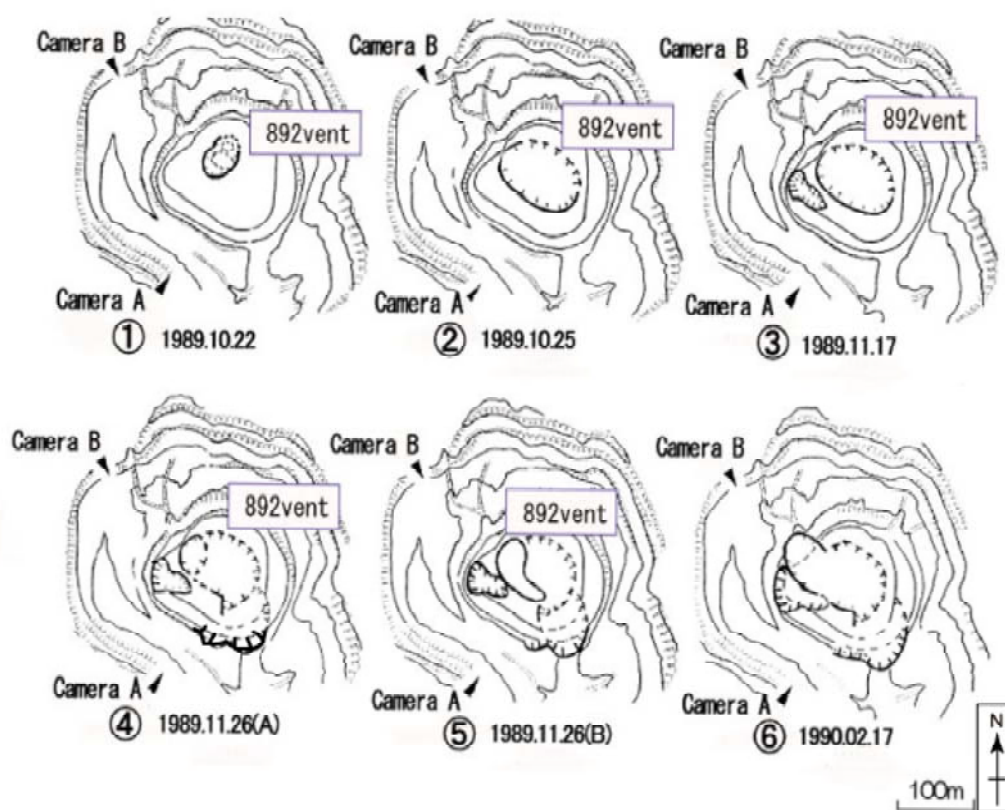
Fig. 5-3 The bottom of the first Nakadake crater during the climactic stage. Arrow indicates the wet part near the active vents (photograph was taken on 15 October 1989)

1989年10月初めまでは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. 5-4)。

10月9日に891火孔の北東側約10mのところへ新しい火孔を開き、翌日阿蘇山測候所によって892火孔と命名された。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. 5-4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. 5-4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火孔が埋積されており(Fig. 5-4の④)、その後爆発的な噴火によって再び892火孔が開いた(Fig. 5-4の⑤)。未明の活動では第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(気象庁阿蘇山測候所, 1990)した(Fig. 5-4の⑥)。



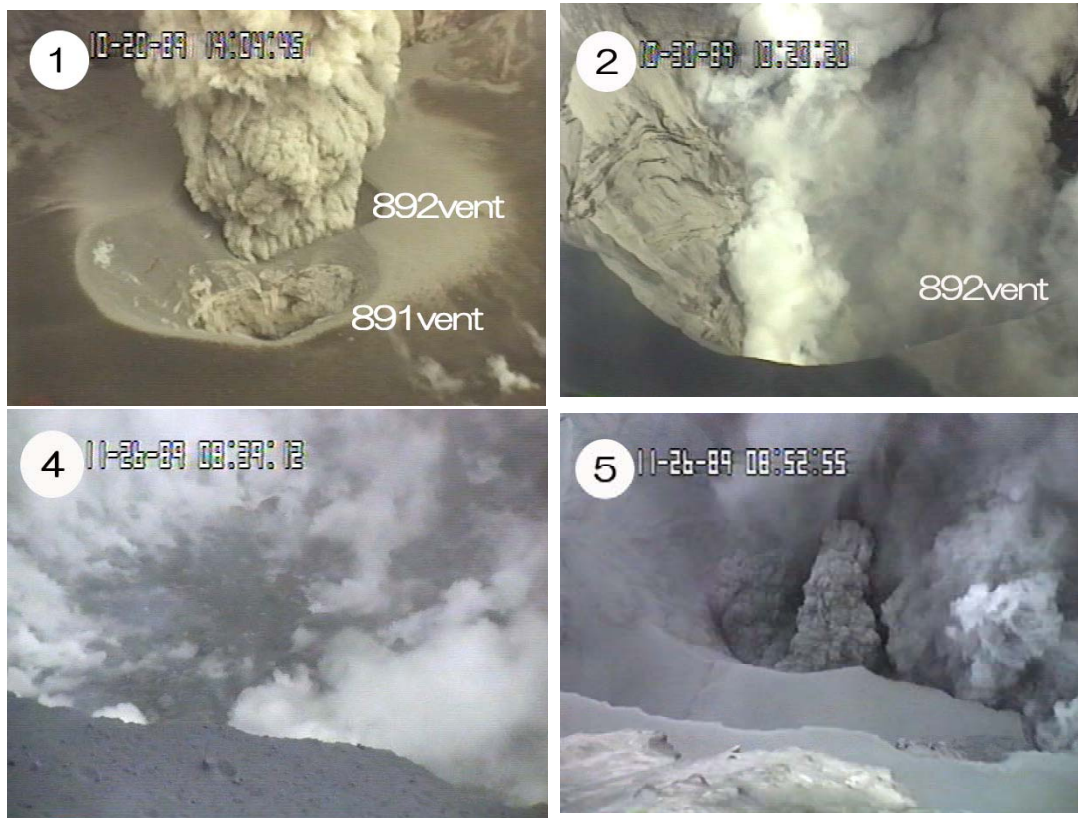


Fig. 5-4 Illustrations and photographs showing the variation of the vent size and location of eruptions within the Nakadake crater 1 during the climactic stage

- (1) Vents 891 and 892 occurred almost 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

5-2-3 活動減衰期における特徴的噴火

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 5-3にまとめて示す。ただし、このTable 5-3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。

Table 5-3 Sequence of the phreatomagmatic eruptions on 20 April 1990 recorded by a video camera

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	
15	横殴りの噴煙	尾を引く	
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	やや少量	
	噴煙に空気振動映る	サイズ小	
02			
10	茶色味を帯びた噴煙、勢い強い	赤熱噴石	
	火山雷数回発生、スコリアの噴出		
16	噴出力弱まる、噴煙やや湿った感じとなる	少量	
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		

4月20日、13時23分頃から火山性連続微動の振幅が大きくなり、13時25分には白煙を高さ1400m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. 5-5 A)。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. 5-5 B)。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。そしてその後も断続的に少量の火山灰の噴出があった。

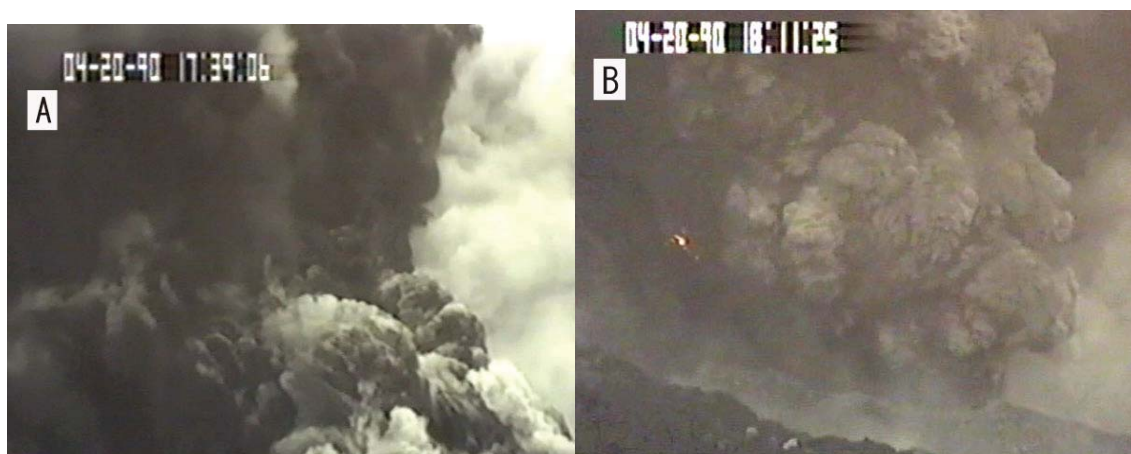


Fig. 5-5 Different types of eruptions during the 20 April 1990 event

- A) Black column with white steam and a large amount of cinders in the phreatic explosion
- B) Dark brown and dry ash column in magmatic eruption
(the bright object in the left part of this picture is scoria)

噴火の直後に行った現地調査では、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）(Fig. 5-6).

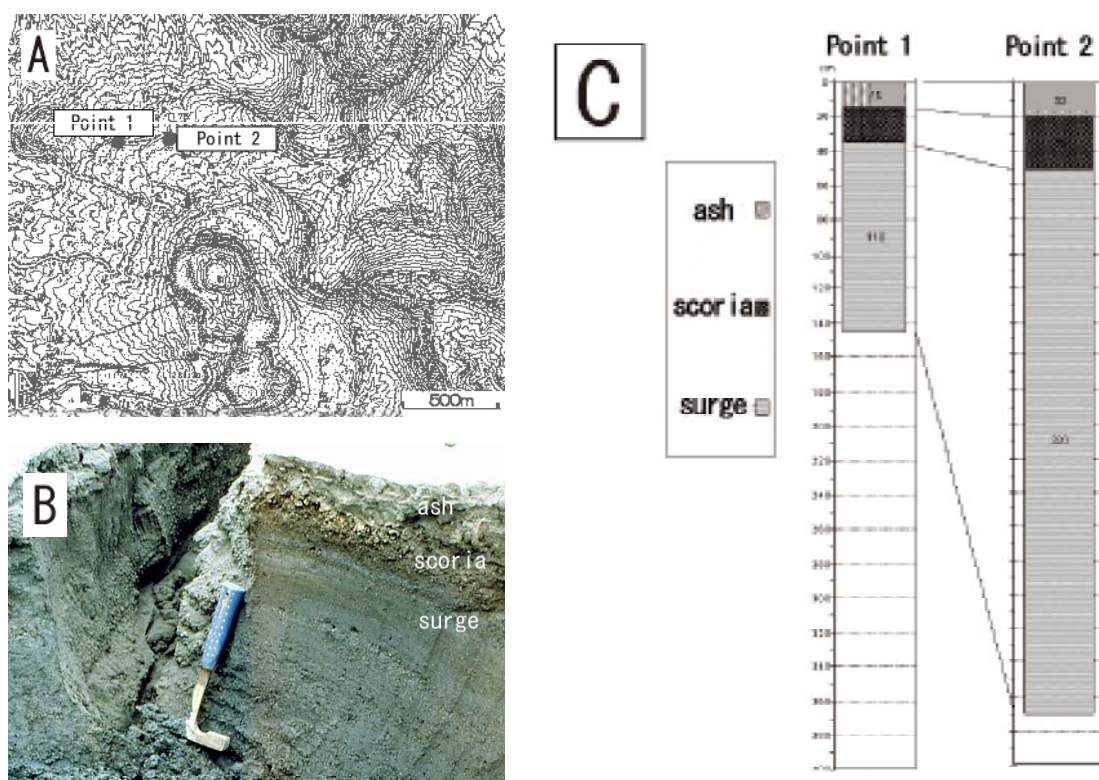


Fig. 5-6 Deposit of the eruption on 20 April 1990.

A: Location of study area (Base map is a 1:50,000-scale topographic map of the Asosan district published by the Geographical Survey Institute), B: Photograph of deposits(taken a few days after the eruption), C: Stratigraphic columns of deposits at Points 1 and 2

この結果、最下部には火砕サージによる堆積物が厚く堆積しており、その上位にスコリア層、最上部には火山灰層が見られ、堆積物の状況も火口カメラによる観察と調和的であった。Point 1 と Point 2 の火砕サージ堆積物の厚さの違いは、サージ自体がかなり指向性を持っており、その噴出の軸から離れると極端に厚さが減衰したことを物語っている。

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発生したマグマ水蒸気爆発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時前から数回火口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。

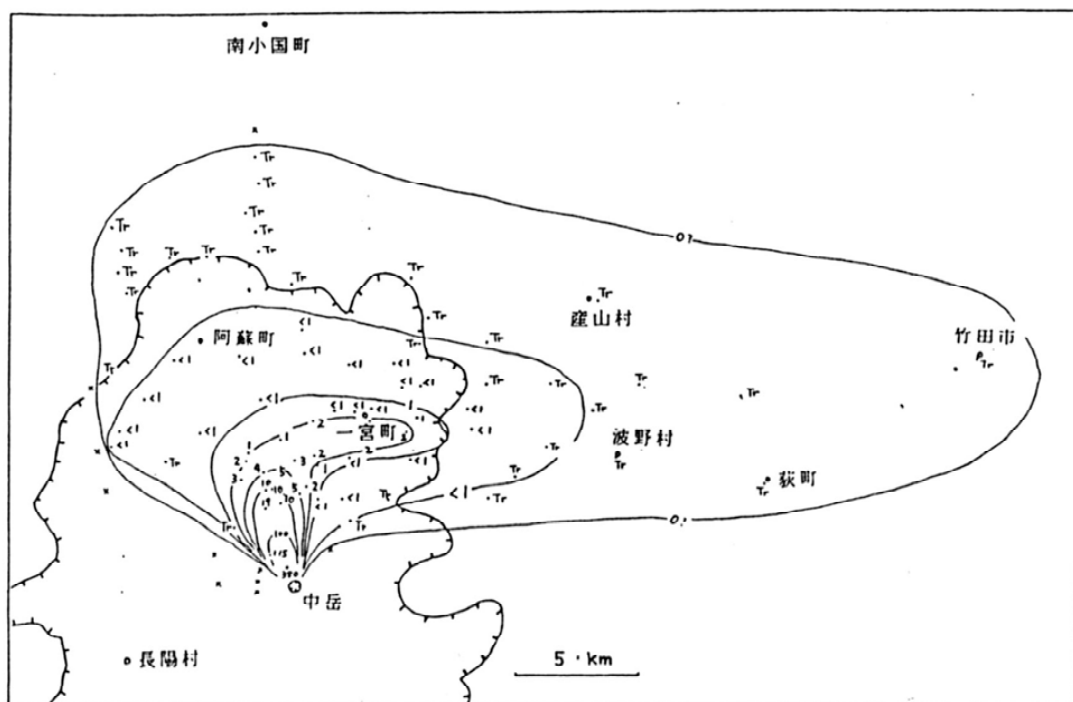


Fig. 5-7 Distribution of the 20 April 1990 ash from Nakadake crater
(Kumamoto University *et al.*, 1991)

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）(Fig. 5-7). そして、その分布は中岳の北側（阿蘇谷と呼ばれるカルデラ底）を中心に、大分県竹田市まで及んだ。

また、噴火後、大量の降灰のため、阿蘇谷の一部で停電が発生した。九州電力熊本支店の調査による停電範囲と、熊本大学渡辺一徳教授が作成した厚さ 1 mm 以上の降灰範囲がほぼ一致した (Fig. 5-8). このことは、降灰が与える被害を考える上で非常に重要なことである。

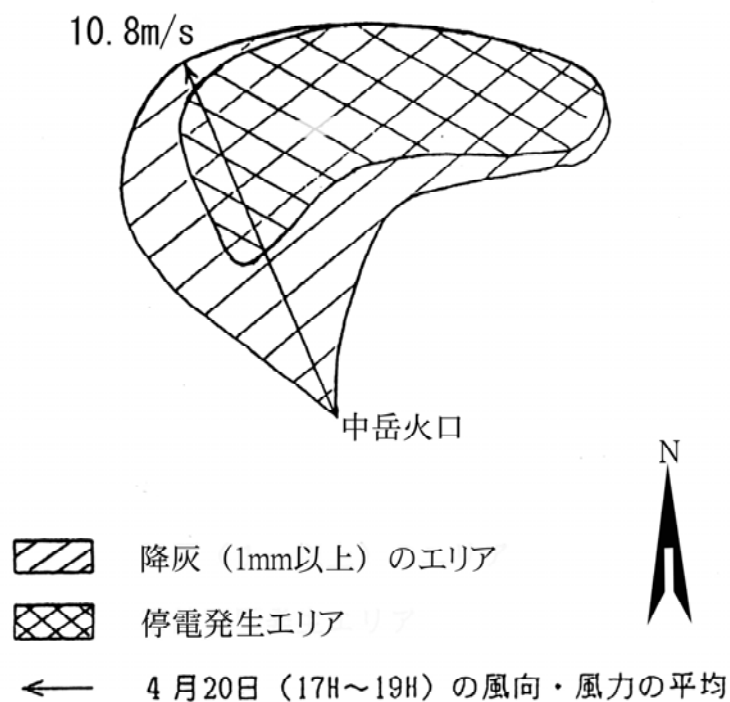


Fig. 5-8 Distribution of ash more than 1 mm thickness (oblique line) and blackout area by the ash(cross line) on 20 April 1990. Arrow denotes the wind direction at 5:00 p.m. - 7:00 p.m. on that day (Data come from Kyushu Electric Power Co., Inc. and Prof. Watanabe of Kumamoto University)

5-2-4 終息期（余熱活動期）における特徴的な活動

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5m、29日30~50m、30日100~150m（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. 5-9)。

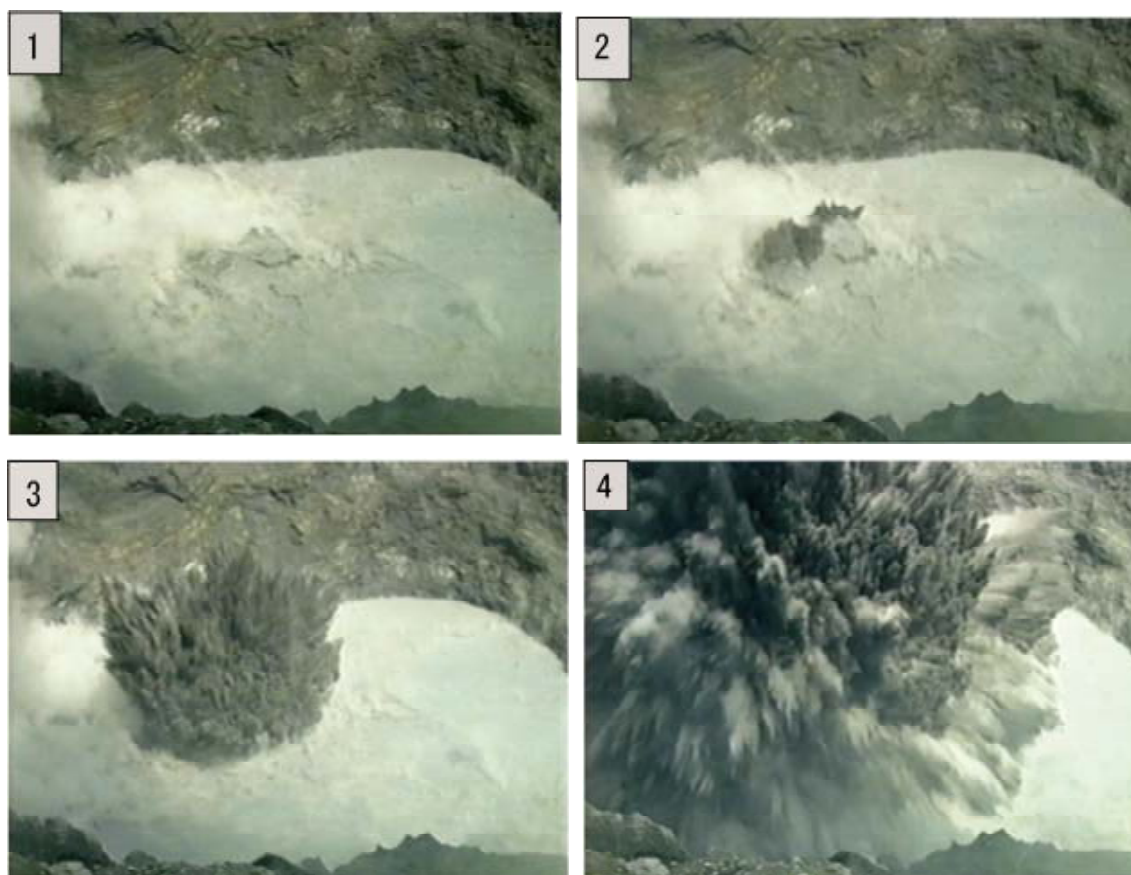


Fig. 5-9 Sequential photos of a large-scale mud eruption from the crater lake on 15 November 1992

また、1992年8月~10月にかけては、火口底の湯だまりにおいて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. 5-10)が見られた。



Fig. 5-10 Floating materials, possibly scoria, on the crater lake
on 12 October 1992

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. 5-11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10数m下がり(Fig. 5-11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. 5-11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. 5-11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。

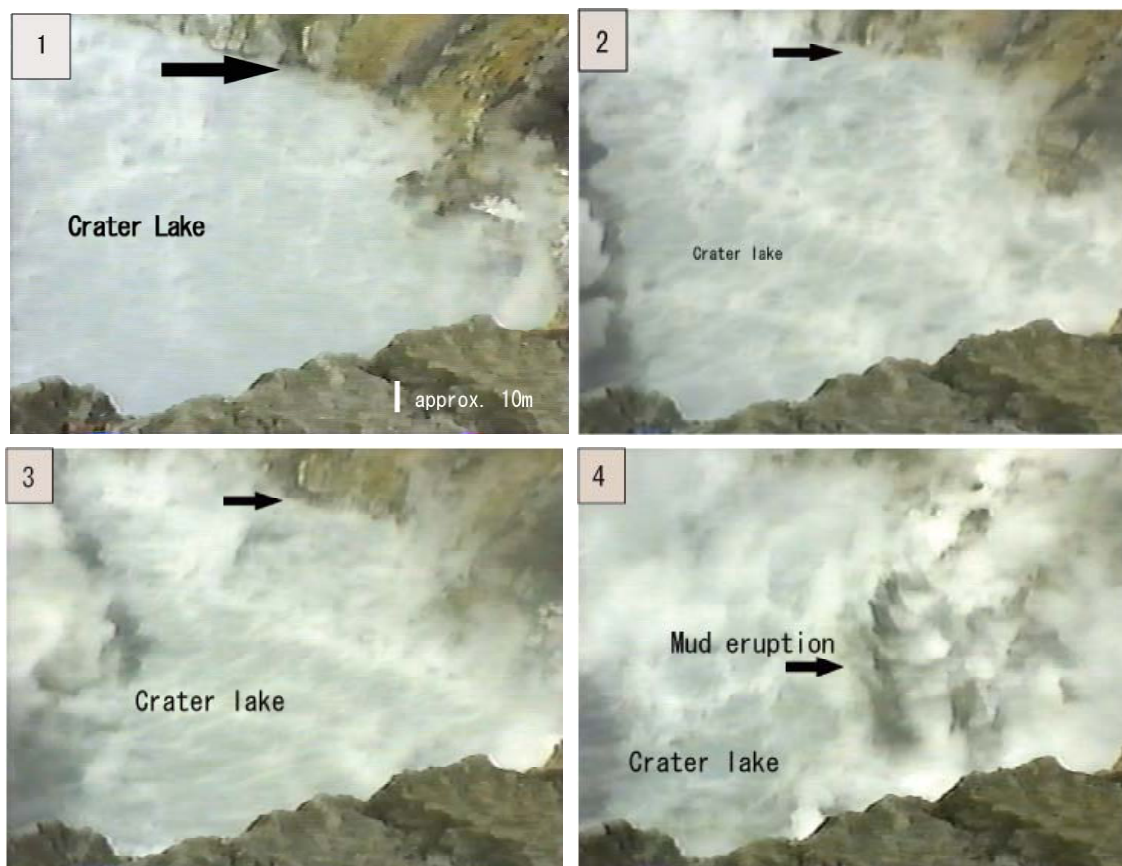


Fig. 5-11 The activity in the crater lake on 2 May 1994

- (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 fell)
- (3) Water level fell by about 10 m (3 seconds after the water level began to fall)
- (4) Mud eruption occurred 21 seconds after the water level fell

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地下水が温められたことによって発生したものであろう。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月の湖面変動は、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。急激な変動が始まる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、火口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るものと考えられる。

これらの現象が発生した時期は、「終息期（余熱活動期）」であり、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。

5-3 噴出火山灰の特徴とその変化

中岳では、灰噴火やストロンボリ式噴火にともなう火山灰については、星住・他(1991)、小野・他(1995)、Ono *et 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。本論では、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との関連を見るために、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。

5-3-1 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。

5-3-2 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: 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. 5-12 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. 5-12 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粒子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。

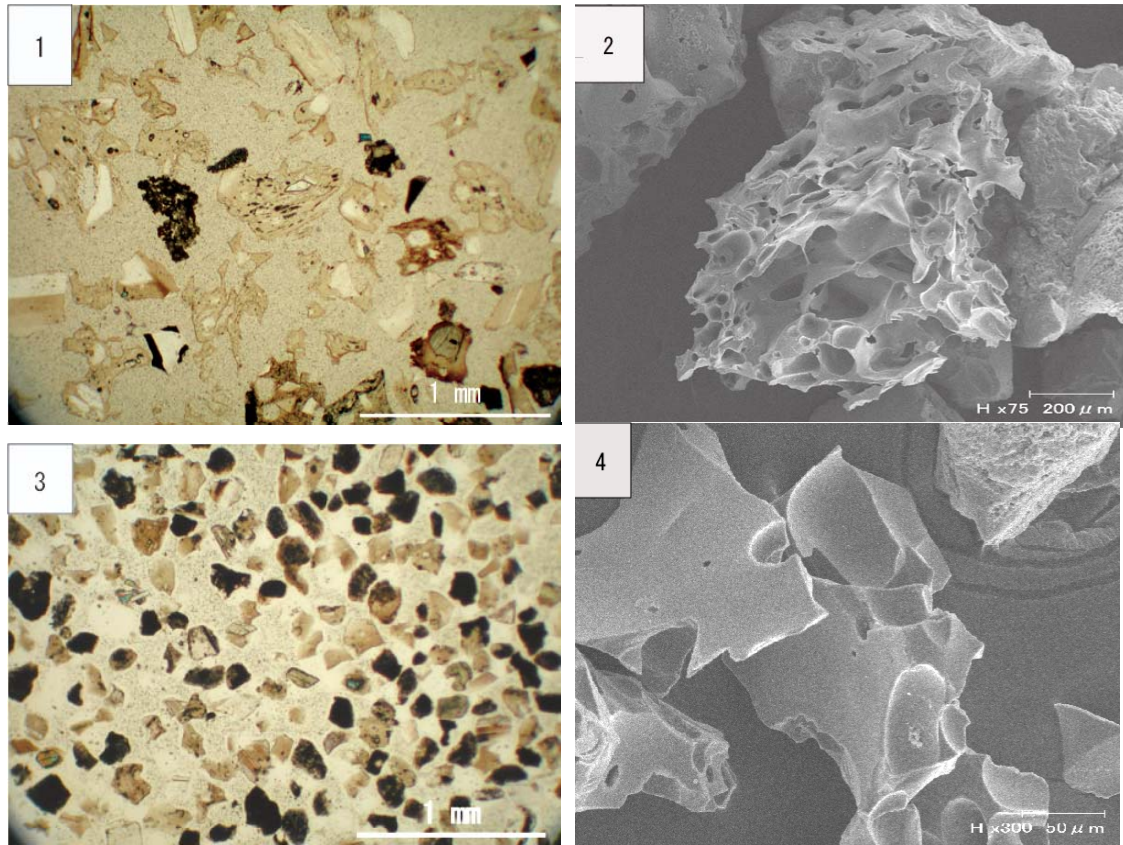


Fig. 5-12 Brown and clear scoria glass grains in the 2 November 1989 ash deposits (photos 1 and 2), and brown and clear, blocky glass grains in the 29 May 1990 ash deposit (photos 3 and 4)
 Left photos: Photomicrographs taken under crossed polars
 Right photos: Scanning electron microscope (SEM) images
 The particles in the photographs are not identical

5-3-3 一連の活動期における火山灰中の火山ガラスの形態と量比変化

偏光顕微鏡下で、任意の 1 mm 四方領域を設定し、おおよその粒径が 0.1 mm 以上の粒子について 100 試料それぞれ前節の 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. 5-13 に示した。

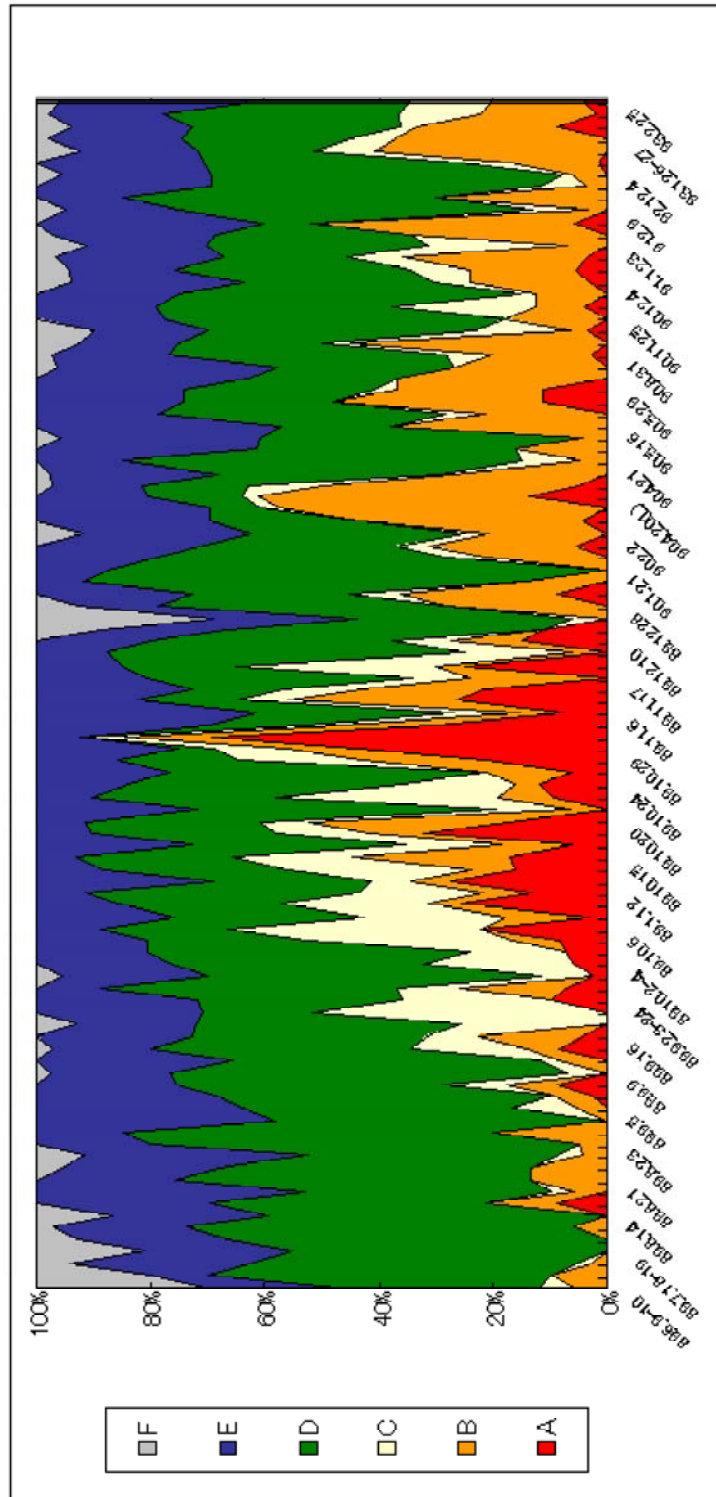


Fig. 5-13 The variation of ratio of each grain type in the ash
 A: brown and clear scoria glass B: brown and clear blocky glass
 C: opaque scoria grain D: opaque blocky grain
 E: crystals F: rock fragments and altered materials

この結果をまとめると、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。

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。

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 5-4 のような傾向が見られた。

Table 5-4 The component characteristics of ash-fall deposits during the 1988 to 1995 activity

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などが多い。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)

これらの結果から、各活動期における火山灰噴出の状況を以下に考察する。

〈活動初期〉

この時期は先にも述べたように、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。小野・他（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、マグマが火口底の堆積物中の地下水と接触し始めたことを示している可能性がある。

Fig. 5-13 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。

〈活動最盛期〉

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。

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 20~21 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. 5-13 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。

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. 5-14 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 μm 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良く一致している。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。

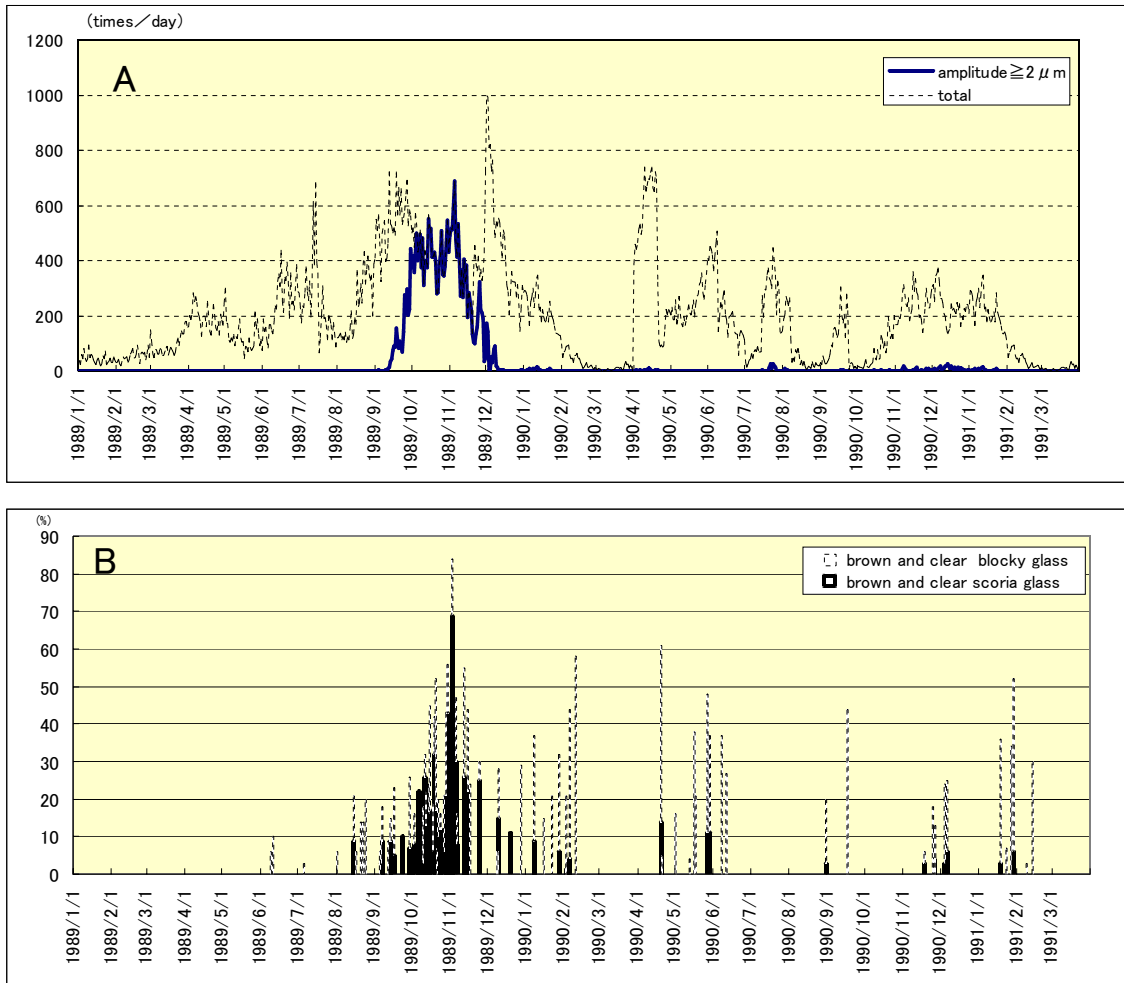


Fig. 5-14 A) Temporal changes in the frequency of isolated volcanic tremors (JMA data) and B) the proportion of brown scoria glass and clear, brown blocky glass

〈活動減衰期〉

この時期には、多面体型透明ガラス片が多く、とくに 1990 年 4 月 20 日のマグマ水蒸気爆発に伴う火山灰中には”ひび”が顕著に入っているガラス片が特徴的に見られている。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、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（0.2 mm 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. 5-15)。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．

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．

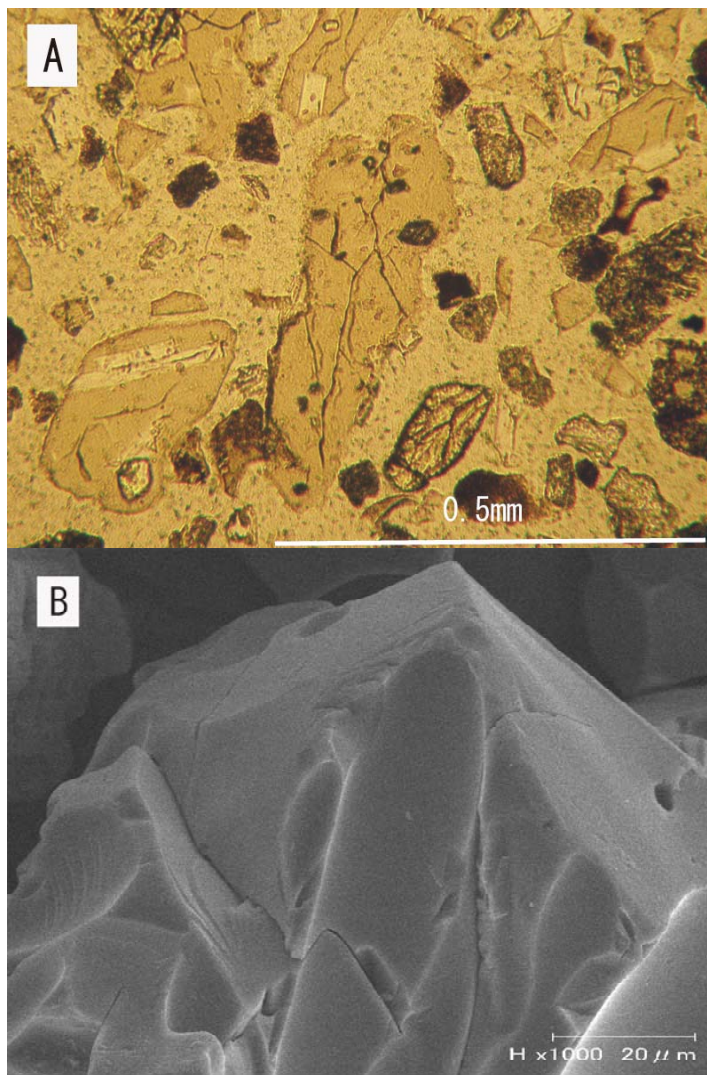


Fig. 5-15 Brown and clear blocky glass particles in the 20 April 1990 ash deposit with many rapid-cooling cracks caused by magma-water interaction

A) Photo taken under crossed polars

B) Scanning electron microscope (SEM) image

The particles in the photographs are not identical

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、相当な数の粒子において、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碎された粒子の、高速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。そしてこのような状態は、活動の最盛期においては生まれにくく、ややマグマの供給率が下がる「活動減衰期」において作られるのであろう。

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。

〈終息期（余熱活動期）〉

この時期には、スコリア型褐色透明ガラス片は極端に少なくなり、「活動減衰期」と同様、多面体型透明ガラス片が多くなる。

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大きかった。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. 5-16)、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明らかに様子が異なっていた(Fig. 5-16)。

このことは火口底下で、火山灰の水和が進みつつあることを示すもので、湯だまりの中での変質の進行あるいは、マグマコラムの一部が地下水によって変質が進んでいるものと考えられる。

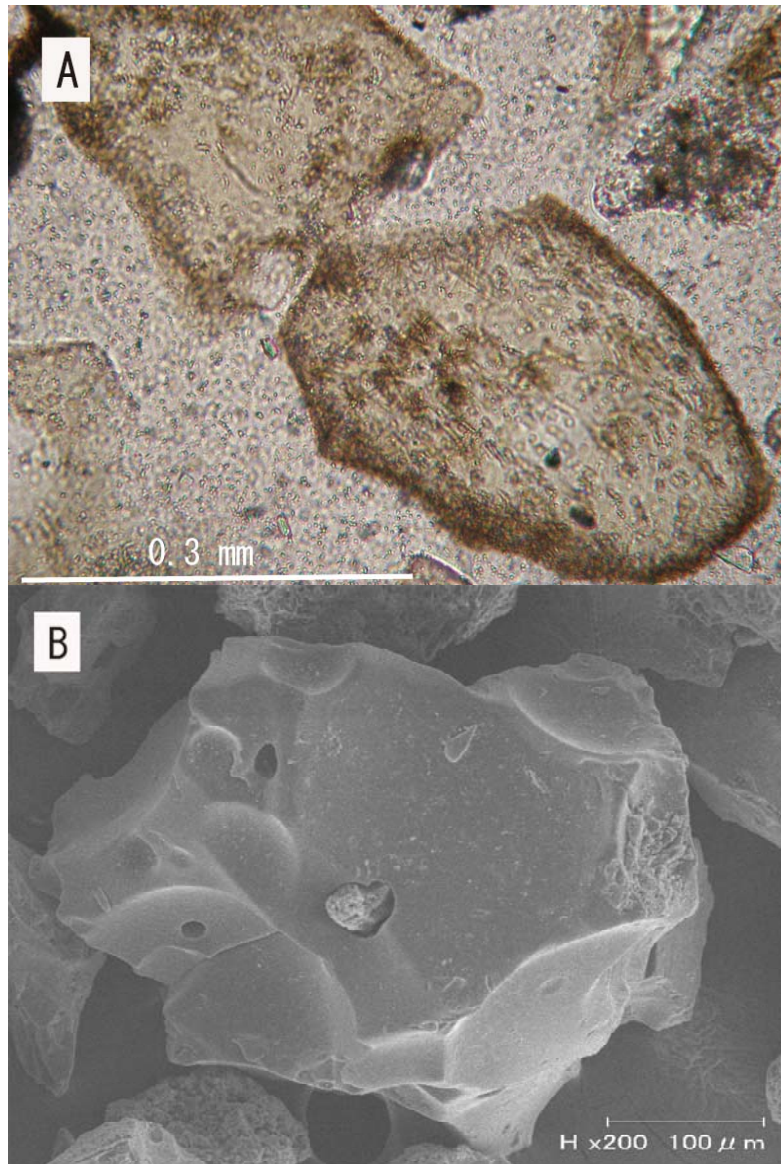


Fig. 5-16 Photos of brown blocky glass grains in the 25 February

1993 ash with a dark brown “skin” caused by hydration

A) Photo taken under crossed polars

B) Scanning electron microscope (SEM) image

The particles in the photographs are not identical

5-4 多量の地下水の存在とそれによる噴火様式の変化

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. 5-17). 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

口壁の数ヶ所から地下水湧出が観察できる(Fig. 5-18)ことから明らかである。また、湯だまりの水の供給源として、地下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“皮膜”が発達していること等といった事実が観察された。このような火山灰の観察結果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強く示唆された。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。

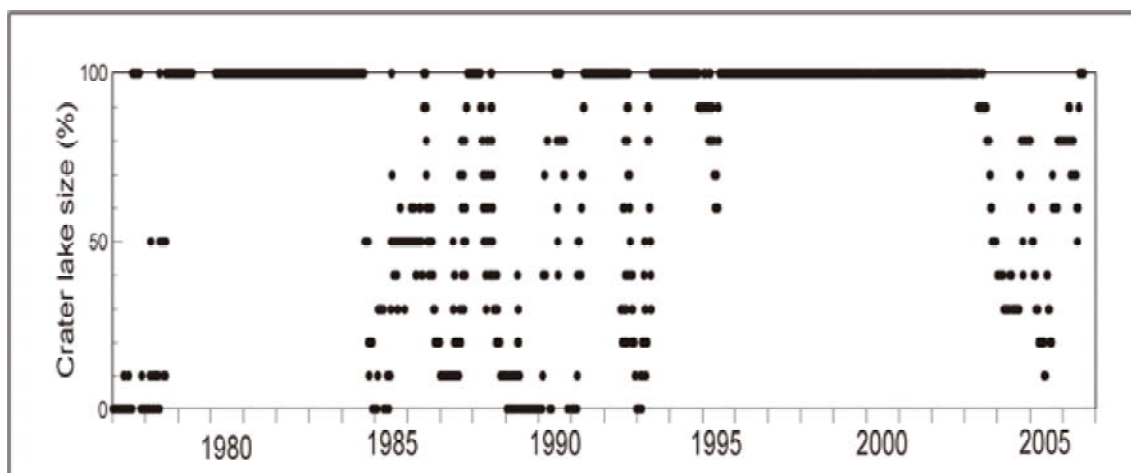


Fig. 5-17 Temporal change in size of the crater lake from 1977 until 2006 (JMA data)



Fig. 5-18 Groundwater discharge from the crater wall

5-5 活動に伴う火山ガス噴出量の変化

5-5-1 SO₂ 噴出量（濃度）の測定

中岳の約 3 km 西に位置する阿蘇火山博物館において、1988 年 11 月以降、ほぼ連続的に博物館周辺の大気中の SO₂ 濃度を測定した。測定は、京都電子工業製の二酸化硫黄自動計測器(MODEL Sx-07 467)による溶液導電率法で、1 時間の積算値として、1 日 24 個のデータをサンプリングした。

SO₂ の放出量の遠隔測定は、九州大学（当時）の太田らによる相関スペクトロメータ(COSPEC-IV)を使用して噴煙中の濃度を直接的に測る方法などがある。ところが、阿蘇火山博物館における遠隔測定は、無人での連続測定が可能である一方、気象条件（とくに風向き）に大きく左右されるため、測定値の起源に不確実な要素が含まれる。とくに 30 ppb 以上の高濃度事象のなかには桜島からの SO₂ の移流も確認されている（直江・他, 1992）。このようなことから、観測されたデータのうち中岳からのものと評価できるサンプルだけを取り出すために次のような操作を行った。

- 桜島上空の風向、風速データや日々の天気図を用いて、桜島から移流したと思われる高濃度事象を除外した。
- 阿蘇山測候所（山上事務所）で測定されている風向風速データによって、中岳からの火山ガスが博物館に到達していると思われる事象をピックアップした。
- さらに残ったうちから、確実に中岳の火山ガスだけを取り出すために、50 ppb 以上の高濃度事象を採用した。

なお、桜島以外の、当時の雲仙普賢岳など他の火山からの SO₂ 移流によると考えられる高濃度事象は確認されていない。

5-5-2 SO₂ 濃度と火山活動との関連性

以上の結果、1988 年 12 月から 1992 年 7 月までの観測で、31,803 個の観測データが得られ、そのうち上記の方法によって残ったものは、おおよそ全体の 3.6 %にあたる 1160 個であった。それらを各月別に平均値をとり、当時の表面活動と比較した。

Fig. 5-19 のとおり、期間中には 4 つの大きな濃度のピークが見られ、それらはそれぞれ、1989 年 7 月、1990 年 4 月、1990 年 10 月、1992 年 4 月である。1 番目のピークの時期は、891 火孔が開口し、活動が活発化する段階（活動初期）である。マグマの供給が増加しつつある状態で、ガスの放出量も多いと考えられる。2 番目のピークは活動減衰期であるが、阿蘇山測候所によると火山性連続微動の振幅は大きい状態が続いており、地下活動は活発な時期である。3 番目のピークは、2 番目と同様、活動減衰期であり、7 月の大雨で火孔が閉塞されながらも、地下活動は依然として活発な時

期である。4 番目のピークは、終息期（余熱活動期）であり、新たなマグマの供給はないにもかかわらず、地下の活動がやや活発化の兆しを見せている時期である。

以上のように、全体的には活動の活発化した時期と SO₂ 濃度との関係には、相関がみられる。しかし細かく見ると、表面活動が活発な時期と SO₂ 濃度のピークには微妙なずれがあり、表面活動の局所的な活動活発化に先立って、SO₂ 濃度のピークがあるように見える。このことは、表面活動の予兆的な現象の可能性として注目される。ただ、このような現象が見られることの原因は不明である。現時点では、表面活動が活発になったときには噴出力が強くなる影響で、火口との標高差が小さな博物館周辺に火山ガス自体が流れにくくなっている可能性、あるいは表面活動活発化に先立つ時期における火孔閉塞（湯だまり形成）等によって、一時的に SO₂ 濃度が高くなる可能性などが考えられる。

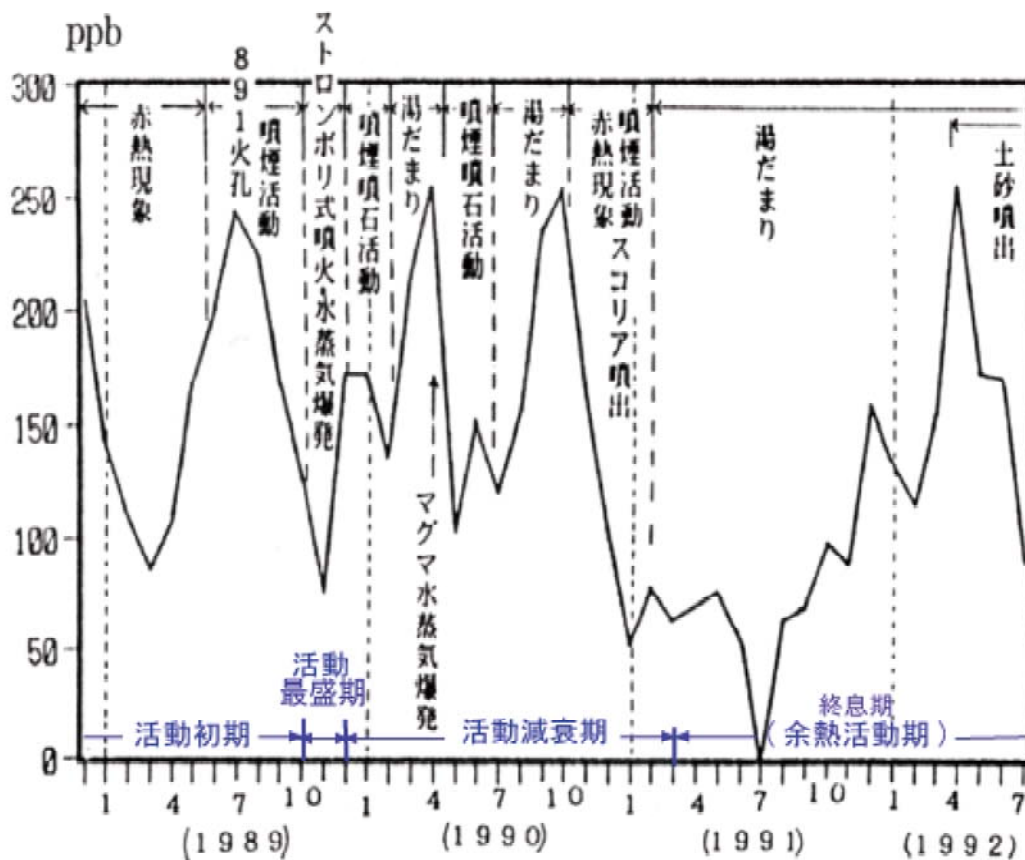


Fig. 5-19 Relationship between the SO₂ concentration at AVM in 1989~1992 and the surface activity at Nakadake crater

5-6 各噴火ステージにおける地下状況のモデル

これまで 1988~1995 年噴火の推移について、表面活動の変化、火山灰の変化、火山ガス中の SO₂ 濃度の変化などについて検証を行った。これらのことから、中岳における活動の変化に対応する地下の状況について、地下水やマグマの関係を中心に推定し、模式図(Fig.5-20)にまとめた。先に述べた「活動初期」は、①、② の状態、「活動最盛期」は③、④、⑤ の状態、「活動減衰期」は②、③、④、⑤ の状態の繰り返し、「終息期 (余熱活動期)」は、④、⑤、⑥ の繰り返しであると考えられる。

① 活動静穏期(Fig. 5-20-1)

マグマは地下深く (深さは不明) に存在し、直接のマグマ物質の噴出はない。火口底あるいは火口壁の一部で噴気が見られる程度。火口底は土砂で埋まっており、そこに周囲からの地下水などが流れ込んで湯だまりを形成する。土砂のある部分の深さまでは水で飽和している。

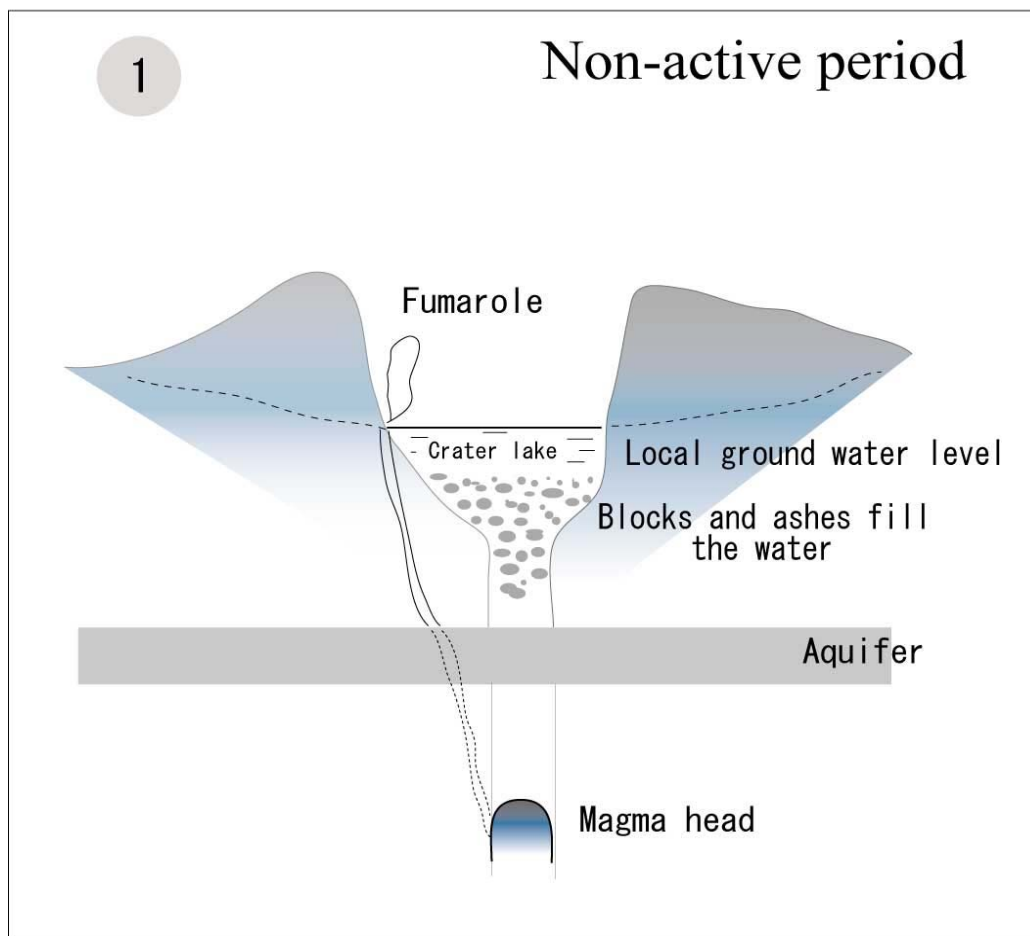


Fig 5-20-1 A model of the eruption mechanism of Nakadake crater during non-active period

② 灰噴火(Fig. 5-20-2)

ややゆっくりとした速さでマグマが上昇し、それによって地下深くの地下水は火道周辺から遠ざかり、近づけない状態。しかし火道周辺からは地下水の影響もあって効果的にマグマヘッドが冷却されている。そこをマグマから分離したガスが通過する際に、脆性破壊を引き起こして、火山灰中に多面体型褐色透明ガラス片を生産する。

マグマの上昇速度（供給量）がある程度定常的であれば、このような状況が長く続く可能性がある。

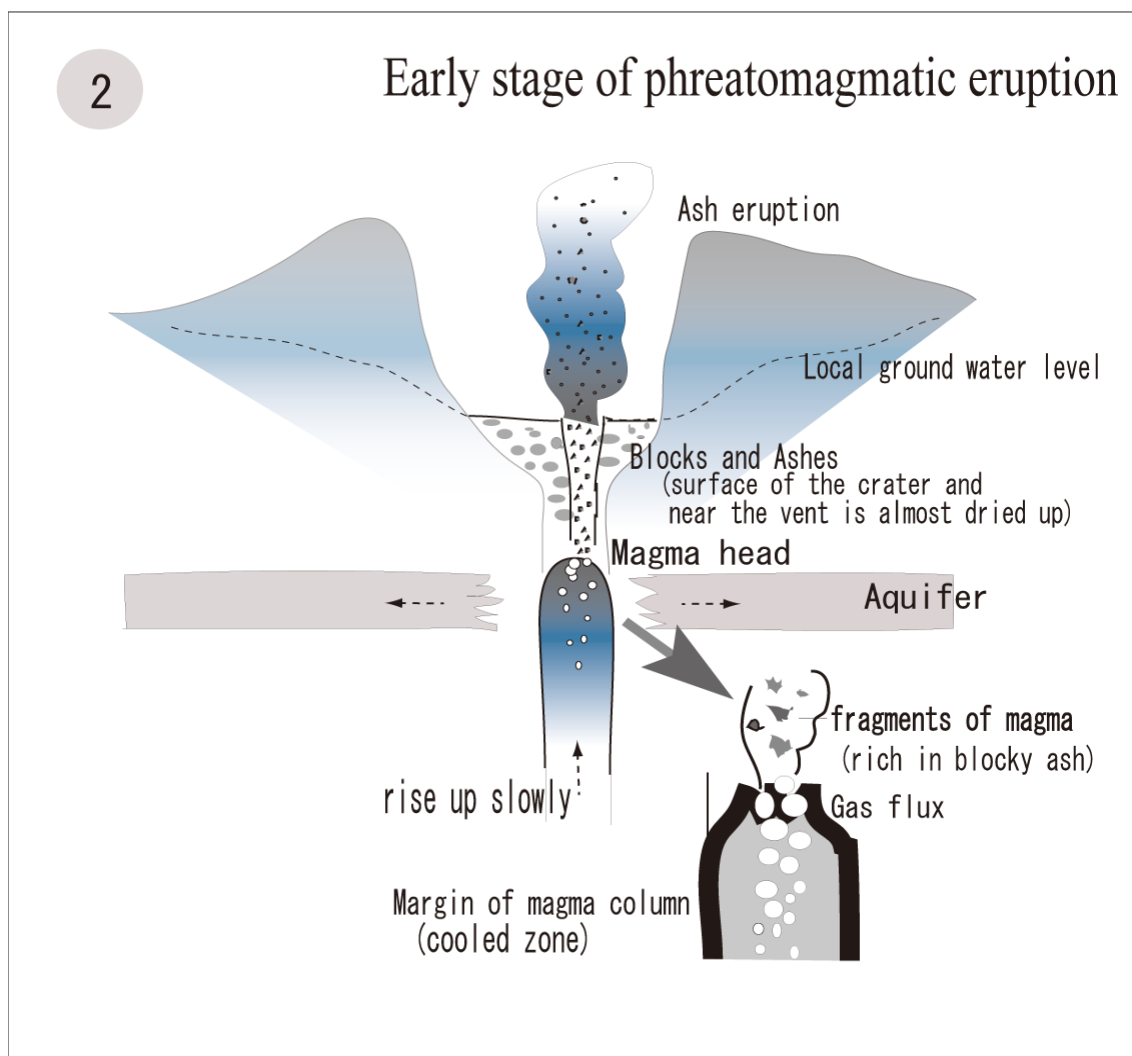


Fig. 5-20-2 A model of the eruption mechanism of Nakadake crater during early stage of phreatomagmatic eruption when magma head rises up slowly

③ ストロンボリ式噴火(Fig. 5-20-3)

マグマは火口底のかなり近くまで上昇し、マグマの噴出レートも高くなる。そのために、マグマ周囲の冷却部も小さくなって、ガスによる脆性破壊も少なくなる。液体マグマが直接ガスとともに噴出し、火山灰中にスコリア型褐色透明火山ガラス片が大量に生産される。マグマ上昇中に、火口底を埋める堆積物中に含まれる水との接触によって、爆発的な噴火を発生させることもある。1989年10月21~28日の爆発的な活動は、このようなメカニズムで発生したものと考えられる。

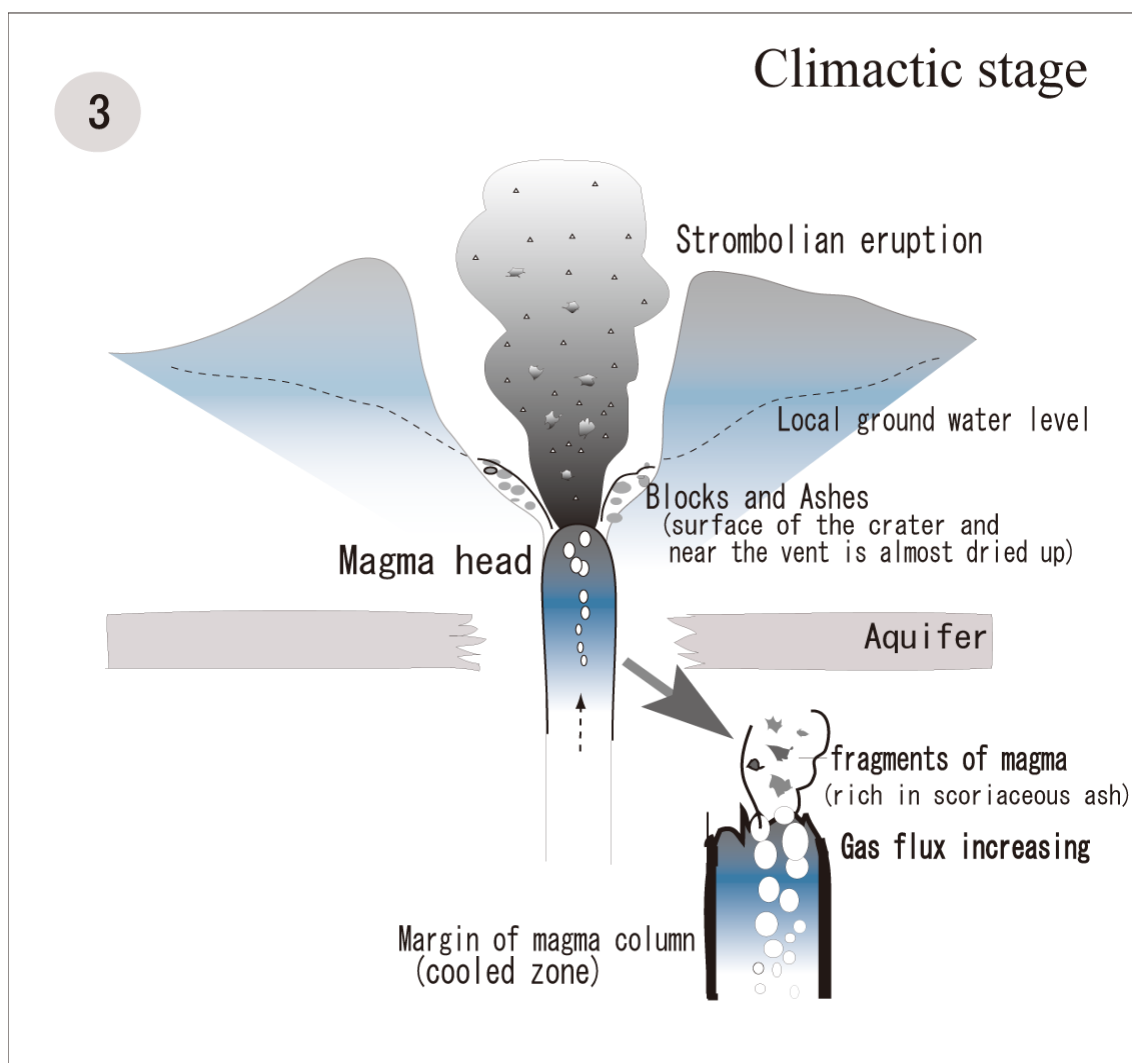


Fig. 5-20-3 A model of the eruption mechanism of Nakadake crater during climactic stage when magma head rises up to near the bottom of the crater

④ 一時的な小康状態(Fig. 5-20-4)

活動の最盛期を過ぎると、マグマの供給量が減少して一時的にマグマが下降する。マグマヘッドが下がると、周囲からの地下水が再び進入しやすくなり、そのことによってマグマの冷却を進行させることとなる。また、周囲からの地下水が急激に近づいてくることによって、マグマとの接触機会が得られて爆発的な噴火が発生することもある。

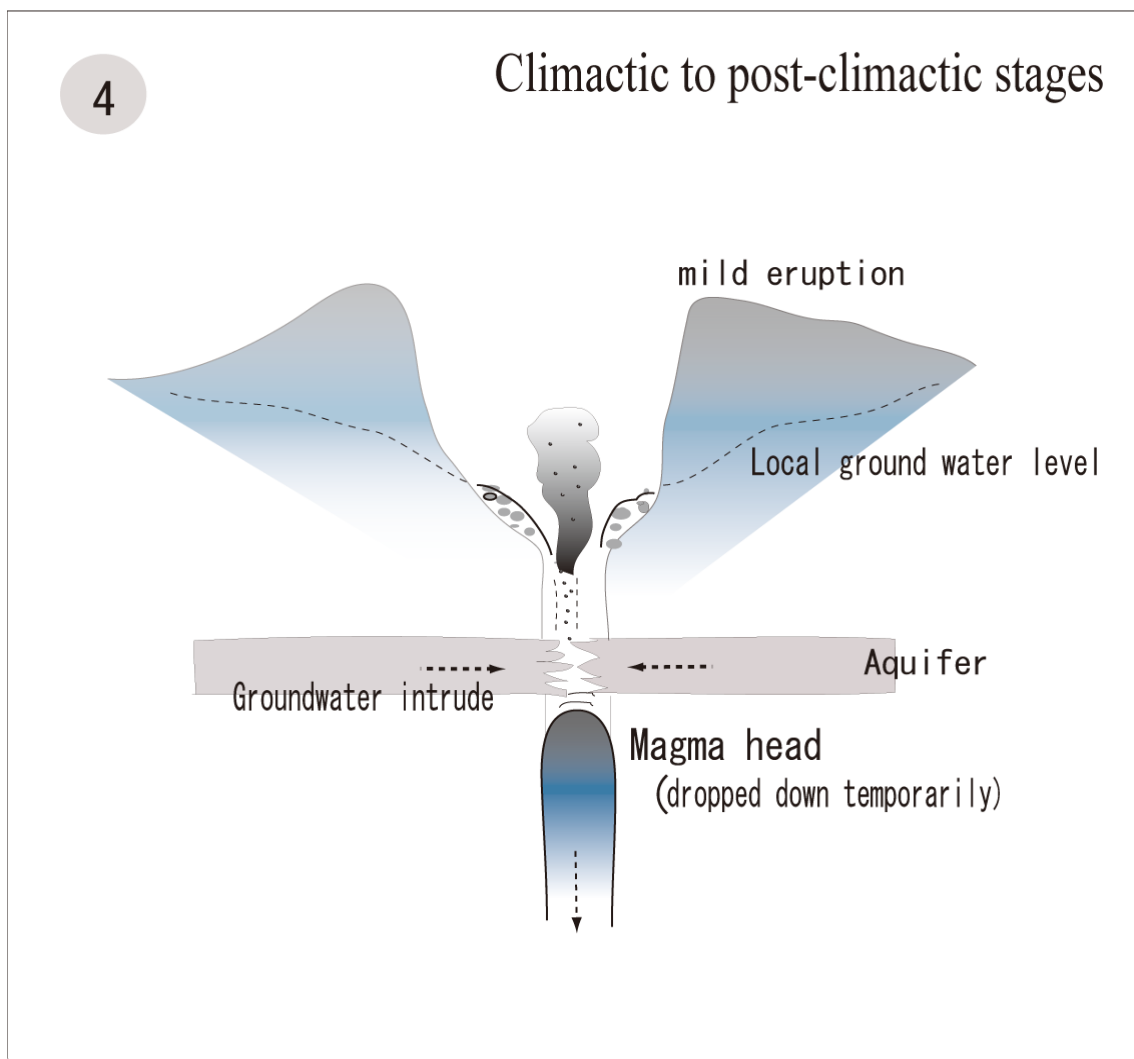


Fig. 5-20-4 A model of the eruption mechanism of Nakadake crater during climactic to post-climactic stages. Magma head drops down temporarily and groundwater intrudes the vent

⑤ マグマ水蒸気爆発(Fig. 5-20-5)

一旦下降したマグマが再び上昇する際に、ゆっくりと上昇すれば②と同じ状況になるが、やや急激に上昇した場合には地下水との接触機会が生じ、マグマ水蒸気爆発が発生しやすくなる。1989年11月17日や11月26日のマグマ水蒸気爆発は、このような状況で発生したものと考えられる。また、1989年12月の爆発的活動の繰り返しや、1990年4月20日のマグマ水蒸気爆発も、④ → ⑤の状況変化によって発生したものであろう。

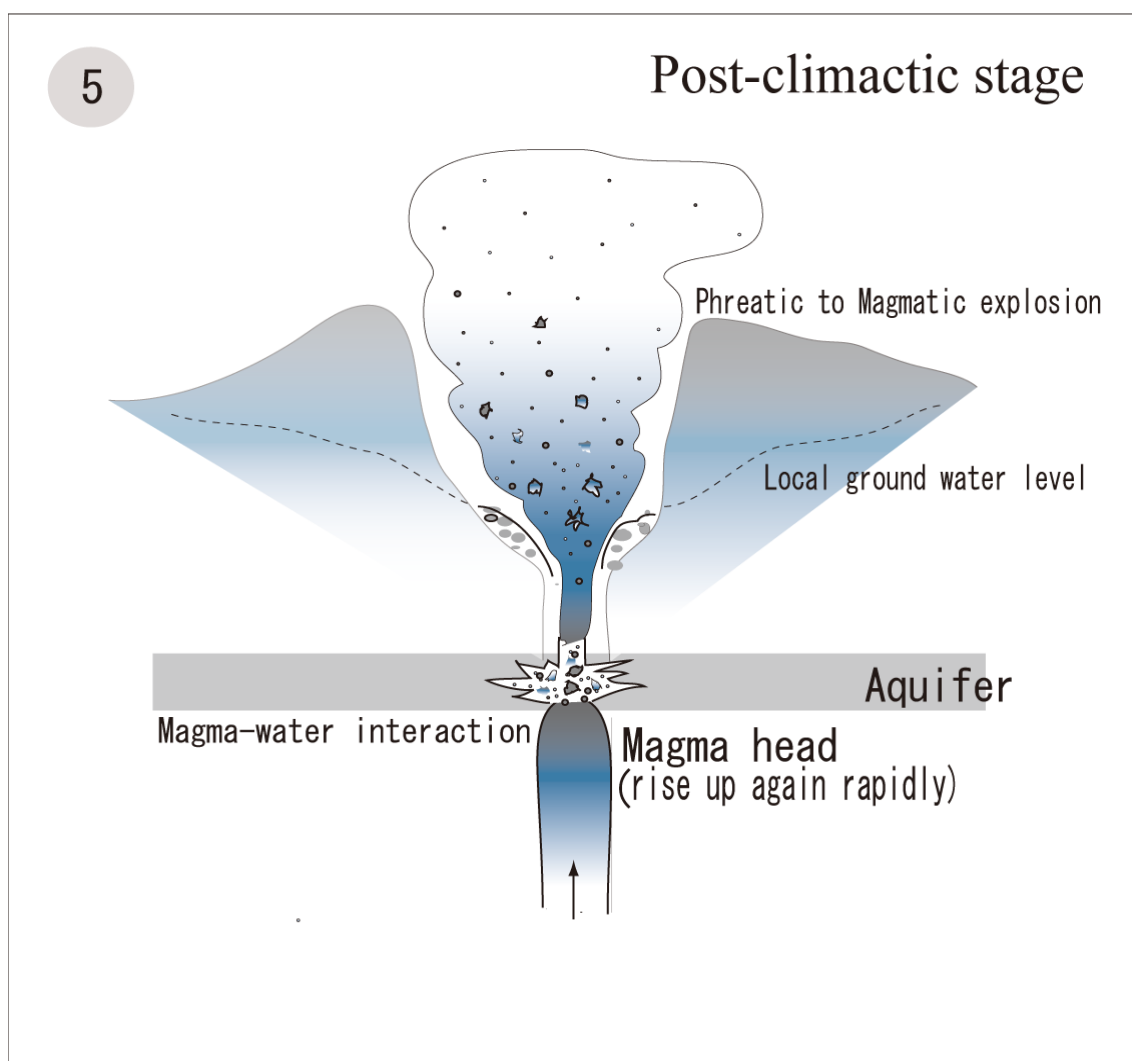


Fig. 5-20-5 A model of the eruption mechanism of Nakadake crater during post-climactic stage. Magma head rises up rapidly again and magma-water interaction occurs

⑥ 終息期（余熱活動期）の状態(Fig. 5-20-6)

新たなマグマの供給はなく、また一方ではマグマが下降しきれずに、ある深さに留まっている。そのためにマグマの余熱で地下水を温める、あるいは時折残存マグマと地下水の接触が起こることによって、マグマ水蒸気爆発（湯だまりが存在する場合には、表面的には大規模な土砂噴出になる）などの不規則な活動が繰り返される。

なお、ここでは”Local ground water”と”Aquifer”とを区別して図示しているが、この区別は明確になっているものではなく、実際には同一のものである可能性もある。

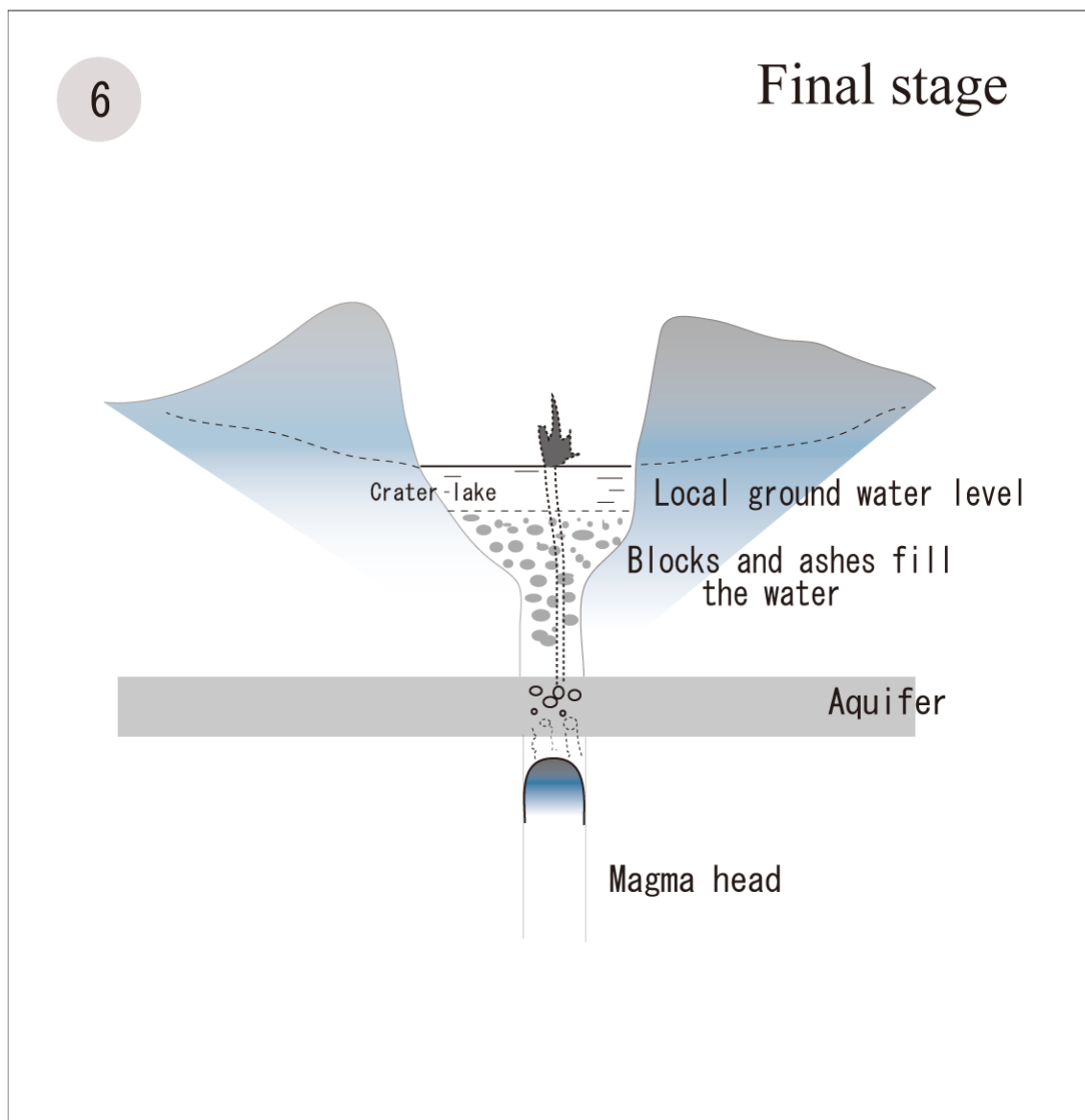


Fig. 5-20-6 A model of the eruption mechanism of Nakadake crater during final stage

6. 最近の活動状況

中岳の活動は、1995年以降、比較的穏やかな状態で推移しているが、2003~2005年にかけてやや不安定な状況となり、突発的な土砂噴出に伴う火山灰の噴出や、湯だまり減少期において、噴気とともに微量の火山灰が噴出する活動がみられた。その時期の火山灰の分布範囲や噴出量などを推定するとともに、火山灰に含まれる新鮮な火山ガラスについても検討を行った。

以下にそれらについての概要を述べる。

6-1 2003年7月10日および2004年1月14日の噴火

2003年7月10日と2004年1月14日、湯だまりの状態から、突発的な土砂噴出によって火山灰噴出が発生した(福岡管区気象台火山監視情報センター・阿蘇山測候所, 2003; 渡辺・他, 2003a; 星住・他, 2003)。それぞれ翌日に中岳火口近傍域および遠方域において現地調査を実施し、火山灰の採取および観察を行った。その結果、降灰域は前者で中岳火口から東北東方向へ14 km付近まで(Fig. 6-1)、後者では東南東方向へ8 km付近まで(Fig. 6-2)分布することが確認された。堆積物総量はそれぞれ41トンと32トン程度と概算することができた。

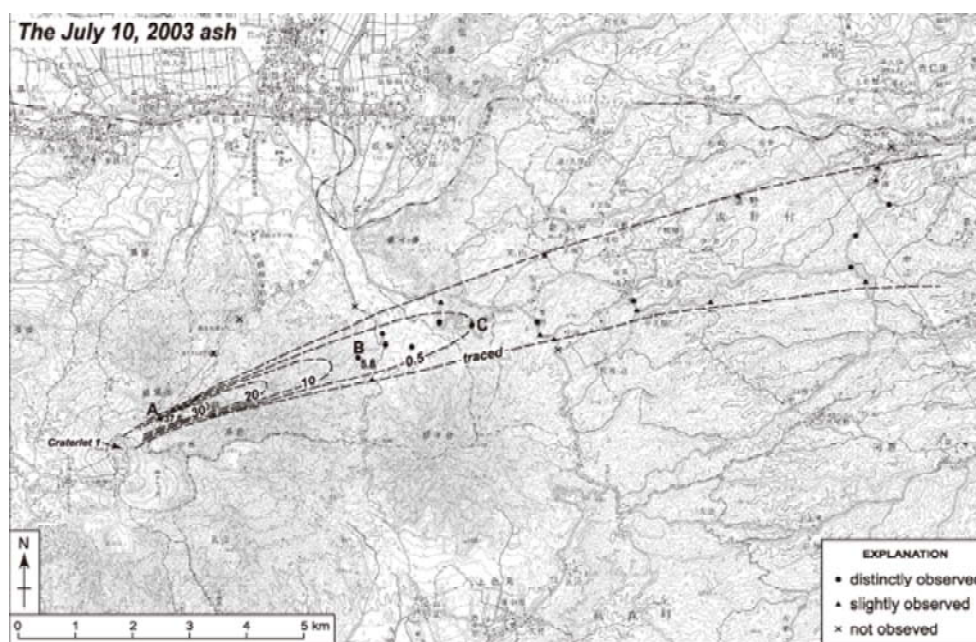


Fig. 6-1 Distribution of the 10 July 2003 ash from the Nakadake crater

Base map is a 1:50,000-scale topographic map of the Asosan

district published by the Geographical Survey Institute

Broken lines indicate isopleths (g/m^2)

Longitude and latitude are shown as Tokyo Datum

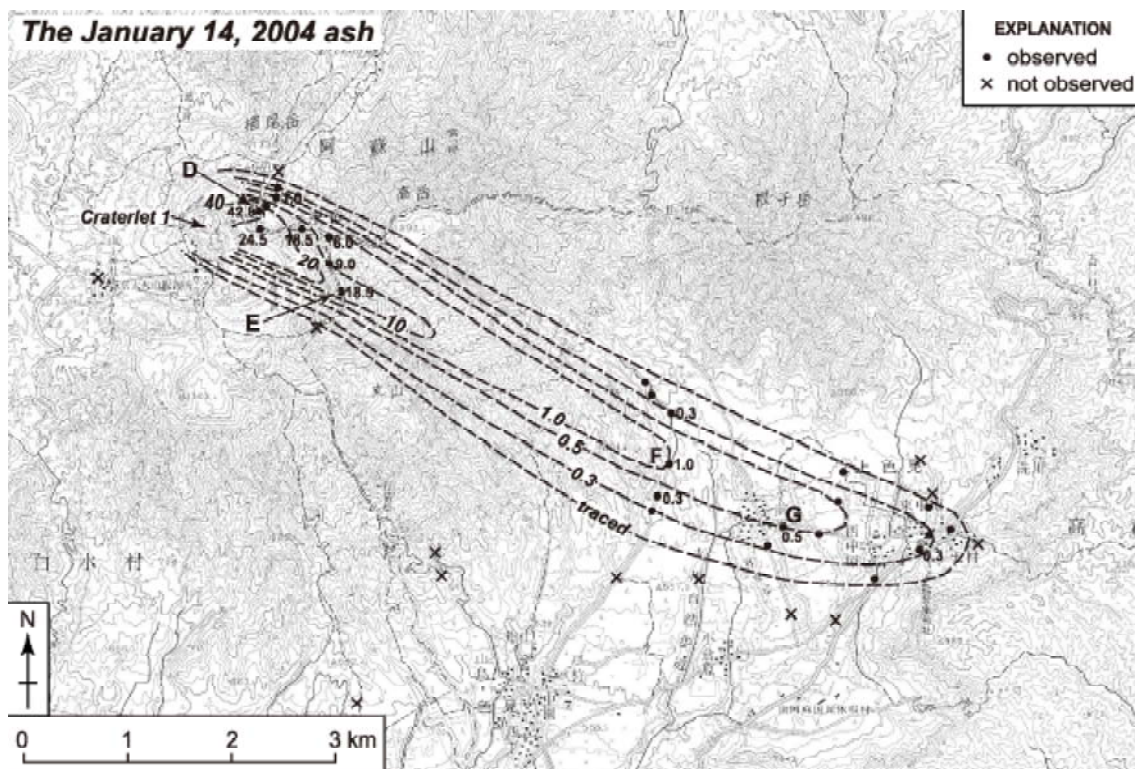


Fig. 6-2 Distribution of the 14 January 2004 ash from the Nakadake crater

Base map is a 1:50,000-scale topographic map of the Asosan

district published by the Geographical Survey Institute

Broken lines indicate isopleths (g/m^2)

Longitude and latitude are shown as Tokyo Datum

2003年7月11日の噴出物は、火口から約0.9kmのA地点（ロープウェイ火口東駅，Fig. 6-1）付近では、灰色で湿った泥状のもの，同質の乾燥したもの（Fig. 6-3 A），やや黒色の砂状のものという3種類の火山灰が認められた．いずれの火山灰も火口に向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（Fig. 6-3 B）．これは，降灰時に強風が吹いていたためか，あるいは噴煙そのものが水平方向の速度を有していたためと考えられる．この地点における火山灰は全て粒径1 mm以下のものであり，礫サイズの粒子は一切認められなかった．このことは，さらに火口近傍域において調査を実施した京都大学火山研究センターによっても報告されている（京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター，2004）．

前述したように，火口から4 kmを越える遠方域における火山灰は草本類の葉に付着したものが確認できる程度の量であった（Fig. 6-3 C）．しかし，火山灰が付着した

植物の葉面や治山ダムの上面を注意深く観察すると、灰色で泥状のものが直径数 mm の斑点状に堆積していることがわかった。



Fig. 6-3 Photographs of the 10 July 2003 ash fall deposit
(A) Muddy volcanic ash deposited on a paved road at site A (about 1 km NE of the crater). Pen is 15 cm long
(B) A pole to which volcanic ash adhered at site A
(C) Plant leaves coated with volcanic ash at site C (about 6 km ENE). Scale in centimeters

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

近傍域にあたる中岳火口東0.5 kmの火口展望台（Fig. 6-2の地点D）では、降灰によって積雪表面がかなり汚れていた（Fig. 6-4 B）。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いた。凝集した火山灰は積雪内へ数cmめり込んでいることがあった。しかし、この地点においては礫サイズの降下物（噴石）は発見できなかった。また、積雪面以外にも、木製柵や看板などにも火山灰が付着していた（Fig. 6-4 C）。それらは、火口側の面に多く付着していることから、西風によって吹き付けられたか、噴煙そのものが水平方向の成分をもっていたものと考えられる。その展望台から火口方向を遠望すると、降灰による積雪面の変色域が火口から東方向へ伸びていることが確認できた（Fig. 6-4 A）。この変色域は、 40 g/m^2 の等重量線（Fig. 6-2）の範囲に概ね対応している。

遠方域にあたる高森町前原（地点G；火口東南東約6.3 km）とその周辺域では、積雪面上に堆積する微量の火山灰を確認することができた。地点Gにおいては最大1 mm程度の大きさに凝集した火山灰が認められた。この前原地区の住民が1月14日の降灰当時に被っていた帽子を見せてもらったところ、径1~2 mm程度の灰白色の斑点が多数認められた（Fig. 6-4 D）。また、自動車の荷台には最大3 mmの灰白色斑点が観察できた（Fig. 6-4 E）。

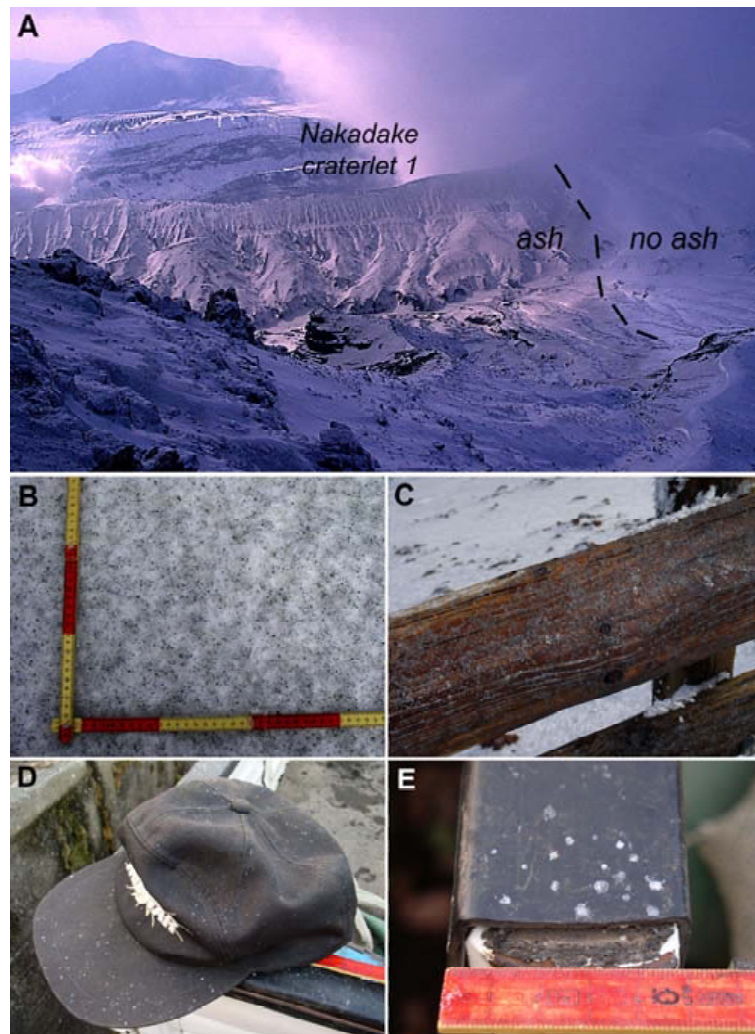


Fig. 6-4 Photographs of the 14 January 2004 ash fall deposit

(A) Nakadake crater as viewed from the west and the January 14, 2004 ash fall deposit on snowpack

(B) Aggregated volcanic ash deposited on snowpack at site D (about 0.5 km E of the crater). Scale segments are 10 cm

(C) A wooden fence to which volcanic ash adhered at site D

(D) Cap dusted by volcanic ash at site G (about 6 km ESE)

(E) The loading platform of a track to which volcanic ash adhered at site G. Scale in centimeters

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。

採取した火山灰中には、両者とも見かけ上新鮮なガラス片が少量含まれることがわかった。噴出した火山灰はすべて1 mm以下の細粒成分からなり、噴石を伴っていない。このことから、今回の火山灰噴出は火山灰混じりのガスが大きな爆発を伴わずに湯だまりを突き抜けた現象であると解釈することができる。細粒な火山灰は、多量の水分を含んで径1~3 mm程度の大きさに凝集して、湯だまりから噴出し、降下堆積した。また、火口から5 km以上の遠方域よりも1.5 km以内の近傍域の堆積物の方が、細粒物質（シルト・粘土分）に富んでおり、淘汰が悪いことが特徴である。さらに、今回のイベントでは、他の火山の小規模噴火と同じように、近傍域での堆積物量が遠方域から外挿して求めた噴出物量よりもかなり大きくなるという現象が認められた。こうしたことは、上空に舞い上がって遠方域に達する噴煙以外に、近傍域だけに火山灰をもたらす別の噴煙が存在するためか、あるいは噴煙の一部が上昇する部分から離脱して近傍域に堆積するためと考えられる。

採取した火山灰の構成物質を明らかにするため、双眼実体顕微鏡および偏光顕微鏡による観察を行った。観察に使用したのは、地点A（火口北東0.9 km）で採取した2003年7月10日の火山灰と地点D（火口東0.5 km）で得られた2004年1月14日の火山灰である。これらの試料を約10分間超音波洗浄して双眼実体顕微鏡で検鏡するとともに、両面研磨薄片（樹脂封入）を作製して偏光顕微鏡下においても観察した。

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

偏光顕微鏡下での観察においては、両火山灰ともおよそ0.5 mm以上の粒子では新鮮な結晶片が非常に少なく、変質した岩片がほとんどであった。また、見かけ上新鮮な褐色透明のガラス片が少量含まれていた（Fig. 6-5）。ガラス片は発泡しているもの（Fig. 6-5 A, C）と発泡していないものがあり、大きさはほとんどが0.5 mm以下である。偏光顕微鏡下においても、鉱物のまわりに付着する透明なガラスが観察された（Fig. 6-5 B）。また、マグマが引き伸ばされて生じたと推察されるガラス粒子もまれに認められる（Fig. 6-5 D）。新鮮に見えるガラス片の量は、およそ0.1~0.5 mmの粒子の中で10数%と見積もられ、20%には満たない割合であった。

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

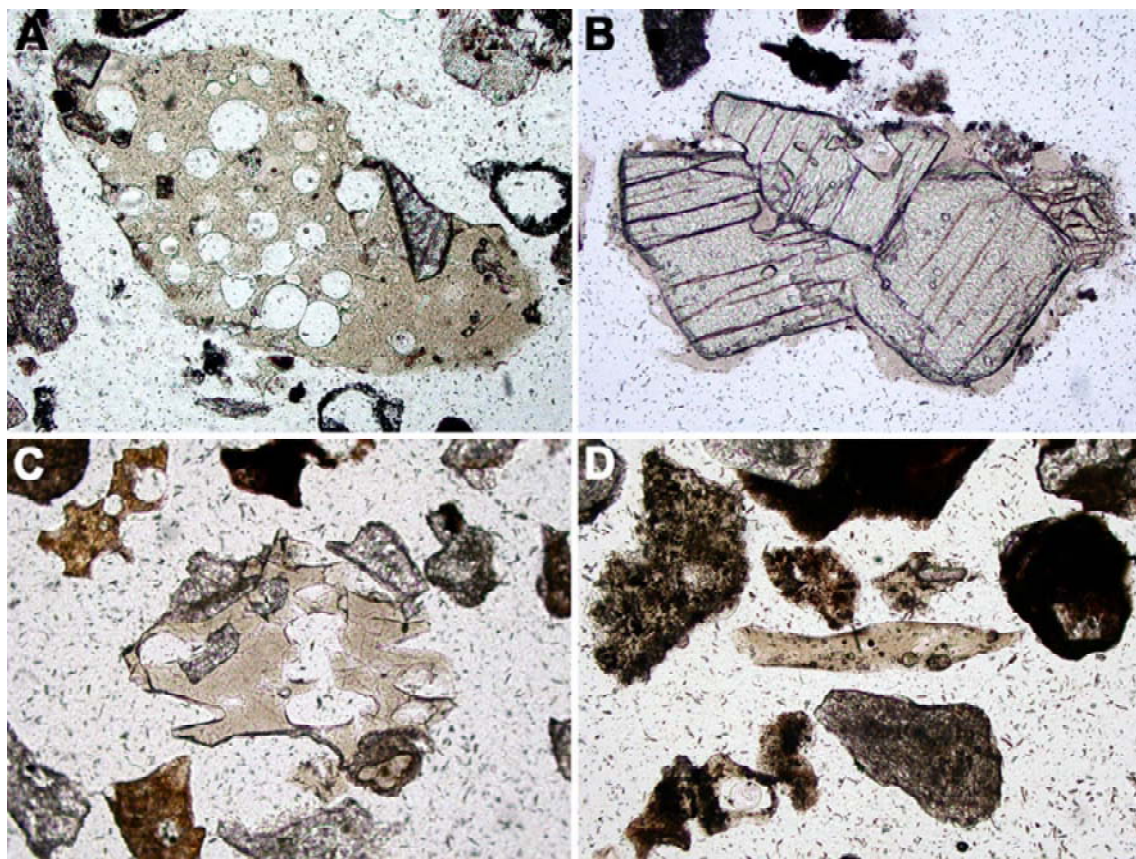


Fig. 6-5 Polarizing microscope photographs of glass shards included in the July 10, 2003 (A, B) and the January 14, 2004 (C, D) ash fall deposits
Width of each photo is about 1 mm

6-2 2005年4月14日の噴火およびそれ以降の一連の活動

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月以降やや減少傾向となり（Fig. 6-6）、高さ5 m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. 6-6）。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5～7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（Fig. 6-6）、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）。



Fig. 6-6 Changes in lake size of the Nakadake crater 1 in 2005. Photographs taken from the southwestern crater rim. Arrow shows the northwestern edge of the crater lake. The crater bottom is about 200 m across

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。その主なイベントを Table 6-1 にまとめた。

Table 6-1 Major ash emission events at Nakadake crater 1, 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

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 分には最大振幅 16.8 μ 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, 2005)。

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 月以降は火山灰はほとんど堆積しなくなった。

約 1 年 3 ヶ月ぶりに火口外への火山灰噴出が確認された 2005 年 4 月 14 日の火山灰は、日中 (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 (Fig. 6-7)、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。

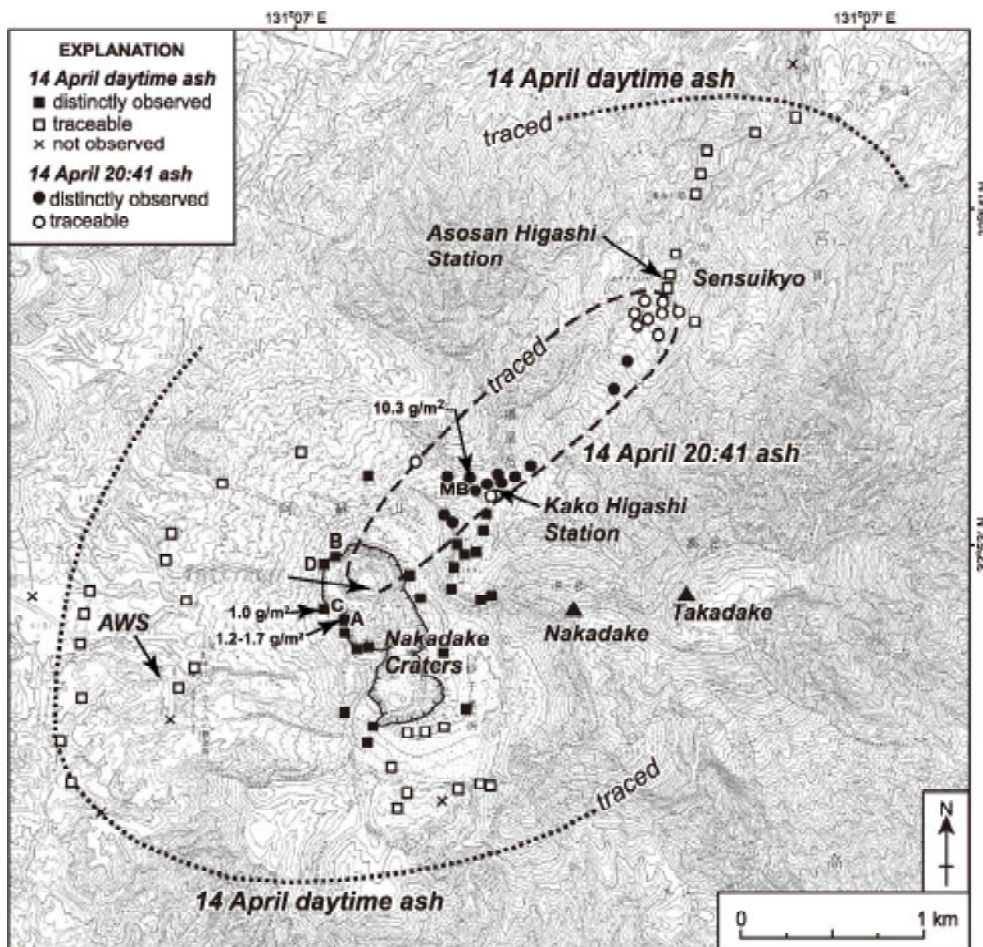


Fig. 6-7 Distribution of the 14 April 2005 ash fall deposits from the Nakadake crater. Base map is 1:25,000 scale topographic map of the Asosan district published by the Geographical Survey Institute. The camera in the crater at the Aso Volcano Museum (AVM) was installed at Site A. AWS: Asosan Weather Station (JMA). Longitude and latitude are shown as Tokyo Datum

2005年4月～8月にかけて発生した火山灰噴出は、湯だまり量が1～4割と減少した状況で発生したもので、(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。

2005年4月14日日中の火山灰噴出は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。そのとき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な

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. 6-8 A), 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、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。同日夜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. 6-8 C), 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。

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. 6-8 B)。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。

(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。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 (Fig. 6-8 D)。

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. 6-6), 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, 2005 d)。現時点では、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できたものなのか明らかにできていない。

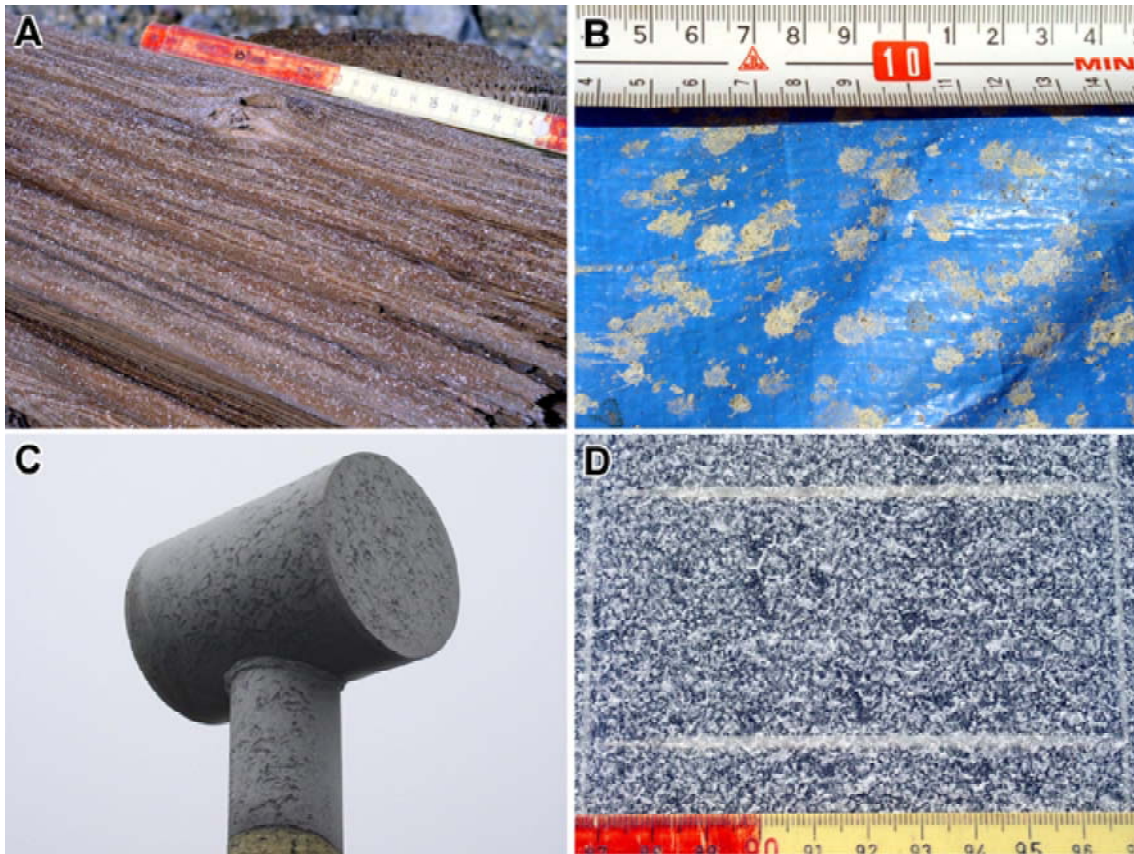


Fig. 6-8 Photographs of the 2005 ash-fall deposits from the Nakadake crater.

- (A) White aggregated ash adhered to a wood fence at the SW crater rim during daytime on 14 April 2005
- (B) White ash deposited on 25 July 2005 on a solar panel at site A
- (C) Muddy ash deposited on 14 April 8:41 pm near site MB
- (D) Black ash adhered to a plastic pole at site D (NW crater rim) on 21 June 2005. Top cylinder is about 15 cm across

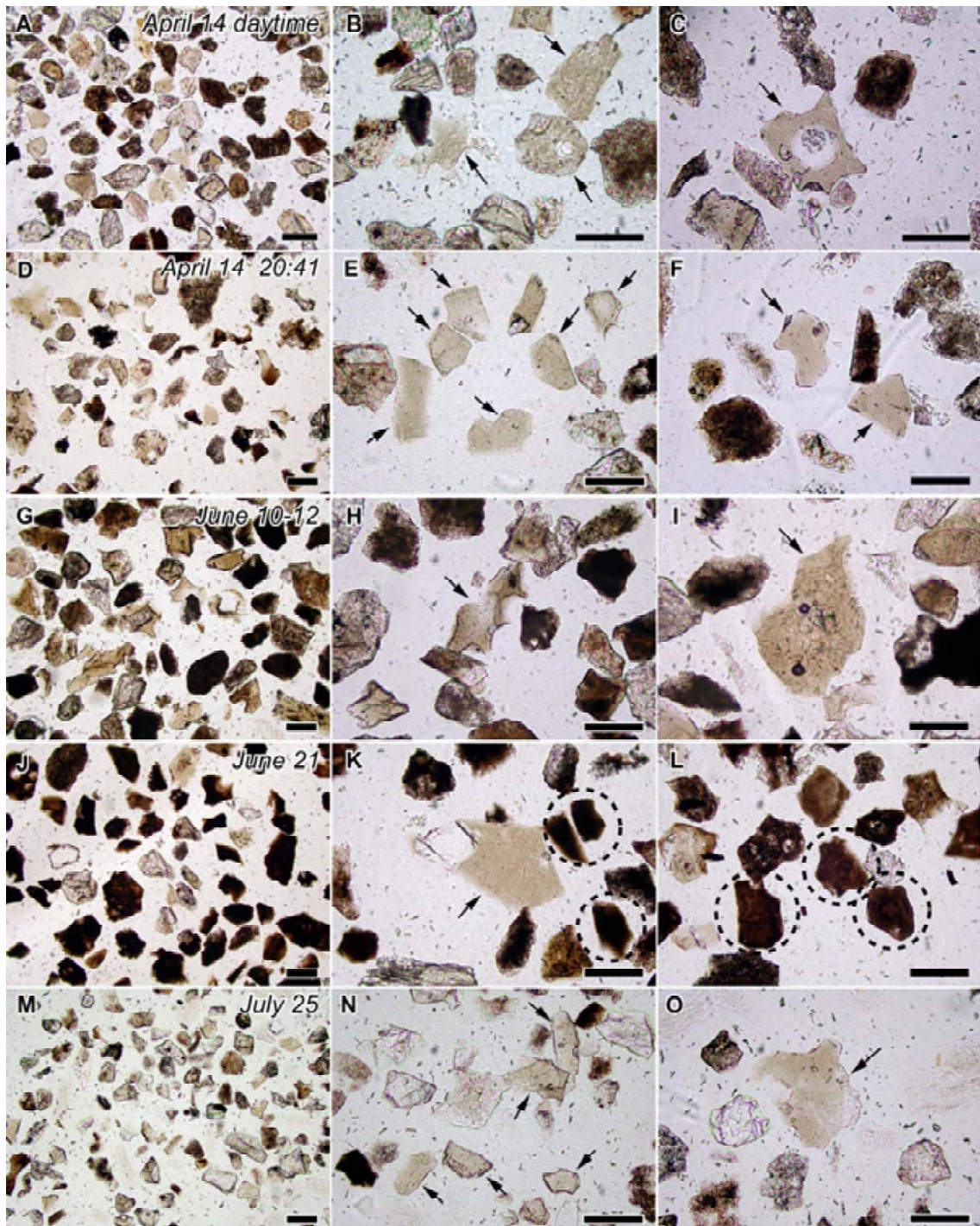


Fig. 6-9 Polarizing microscope photographs of glass shards in the 2005 ash-fall deposit from Nakadake crater. Photographs A, D, G, J and M are representative of the entire sample. Arrows in the middle and right photos indicate clear glass shards. Broken circles denote black glassy particles included in the 21 June 2005 ash-fall deposit. Bar of each photo is 0.1 mm

期間中に噴出した火山灰について、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. 6-9）。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（Fig. 6-9 B, 6-9 C）と発泡していないもの（Fig. 6-9 E, 6-9 N）があった。また、鉱物粒子に付着する淡褐色で透明なガラス（Fig. 6-9 K）や内部に微結晶が生じているガラス（Fig. 6-9 I）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。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った。

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ったが、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. 6-9 L）。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。

2005 年 4 月～8 月にかけて発生した火山灰噴出は、湯だまり量が 1～4 割と減少した状況で発生したもので、(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。

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。

7. 歴史時代における中岳以外の場所からの噴火活動

歴史時代における中岳以外からの噴火活動としては、湯の谷温泉における2度の水蒸気爆発が記録として残されている。そのうちのひとつは、文化13年(1816年)の「湯の谷大變」と呼ばれている噴火である。もうひとつは、明治14年(1881)3月20日の「赤湯」と呼ばれている場所からの水蒸気爆発である(南葉, 1939)。後者は、「山桜満開, 袴野上に新湯出候見物旁入湯に行。午後湯の谷橋の少し東焼出石灰矢の音致し, 焼ドロ其付近に1尺積る。其音は沢津野, 乙ヶ瀬, 黒川辺迄も聞之候由。(長野家日記)」また、伊木常誠(1900)には「・・聞ク明治十四年四月十八日ニモ現今ノ泉源ヲ去ルコト三十間許西ニ當タリテ俄然瓦斯爆発アリテ一時惨憺タル光景を呈セシカモ・・」とある。

明治14年の記録で示された三月二十日と四月十六日の日付は新暦と旧暦の違いで、両者は同一の噴火記録である。

本論では、前者の噴火活動「湯の谷大變」について古文書記録からの検証および現地調査を行ったので、その結果について詳述する。

湯の谷温泉は阿蘇を代表する温泉地として知られている。阿蘇郡長陽村(現南阿蘇村)は、村史の編纂作業にともなう資料収集の過程において同年の水蒸気爆発に関する新たな古文書史料と絵図史料を発見した(Fig. 7-1)。それは噴火を体験或いは見聞いた人から肥後細川藩に提出された正式な報告文の写しであった。これによって、湯の谷における当時の噴火の状況などがより具体的に明らかになるとともに、有史以降の阿蘇火山の活動史のなかで中岳以外の場所から小規模ながらも噴火活動があったことが再確認された。このことは今後の阿蘇火山の噴火災害を考える上で重要なことである。ここでは古文書および絵図史料の内容を吟味し、それとともに現地調査による状況を加味して、それらから推察される噴火の経緯の概要などについてまとめた。



Fig. 7-1 A booklet containing historical documents and two sheets of drawing

7-1 湯の谷周辺の地形地質

湯の谷温泉は阿蘇中央火口丘西側斜面の、標高約 800 m に位置し(Fig. 7-2), その南の地獄・垂玉温泉とともに中央火口丘群内における数少ない噴気地帯の一つとなっている。

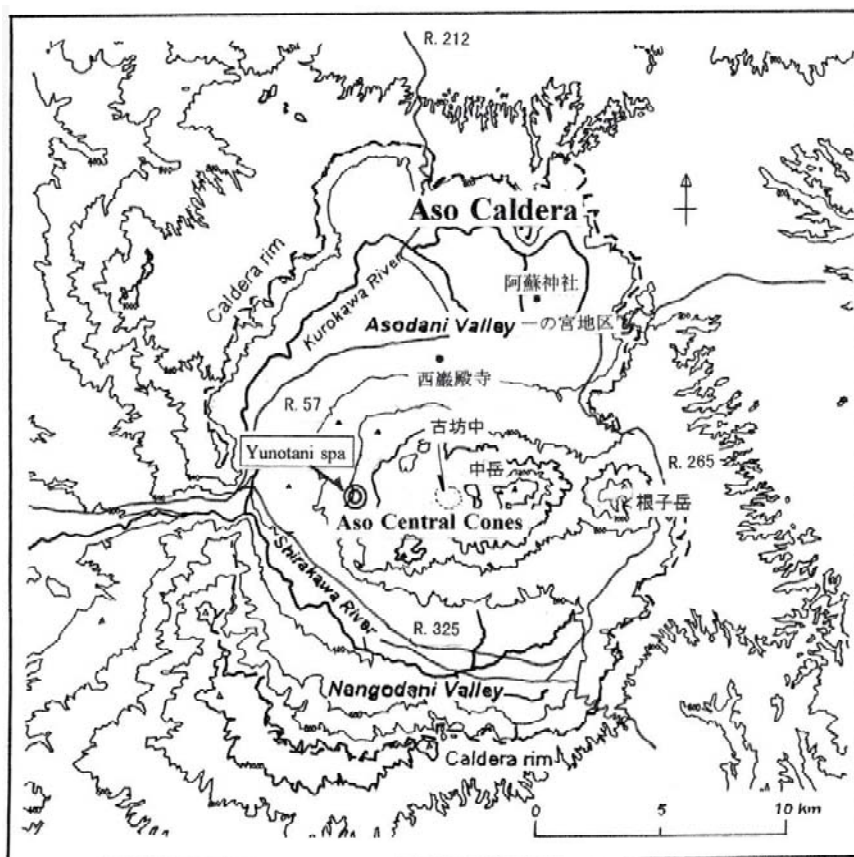


Fig. 7-2 Location of Yunotani spa.

周辺には噴出源不明で玄武岩質の「吉岡溶岩」(小野・渡辺, 1985) が広く分布しており, その上に約 27,000 年前に草千里ヶ浜が形成された際に噴出した溶結した降下軽石が覆っている. 湯の谷周辺においては, これらの堆積物は何れの層も温泉変質によって白色粘土化または源岩の岩石組織がわからなくなるほどに強く変質している.

湯の谷温泉・阿蘇観光ホテル(当時, 2000 年に廃業)の南方約 350 m には「雀の地獄」とよばれる径 30 m 程の湧泉池が存在する(Fig. 7-3). 雀の地獄付近は北側に開いた爆裂火口地形を呈しており, 国土地理院(1994)はその部分を推定火口としている.

"推定火口"内にはこの他「坊主地獄」などと呼ばれるいくつかの噴気孔が存在する. 雀の地獄周辺には幾層もの水蒸気爆発によると見られる堆積物が残っており, 現時点でその詳細は不明ながら小規模な水蒸気爆発がいくつかの場所で繰り返し発生してき

たと推察される。また雀の地獄を起点とした湯の谷川（下流では「濁川」に名称が
変わる）に沿った谷筋には噴気および温泉湧出地帯が広がっており、このことが”湯
の谷”の名前の由来となっている(Fig. 7-4).

また同温泉は中岳の火山活動との関連性が強く、近年では 1988~1995 年の中岳の活
動期に同温泉のキャンプ地が突然噴気地帯となり、すべてのキャンプ小屋が噴気によ
って使用できなくなっている。なお,キャンプ地の場所は Fig. 7-4 中に示した。



Fig. 7-3 Muddy pool "Suzume-no-Jigoku"

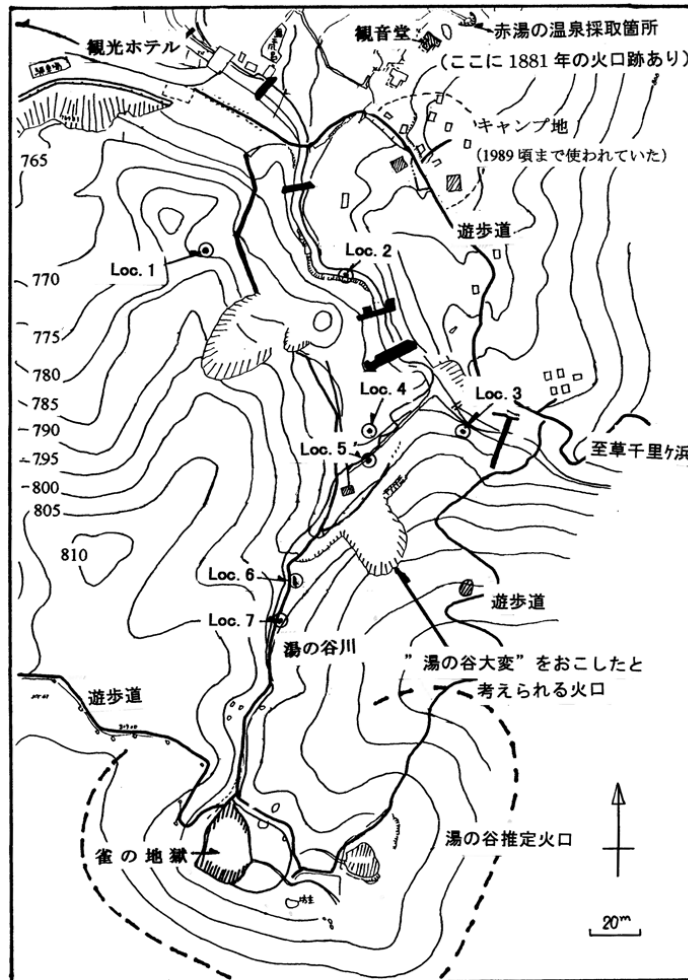


Fig. 7-4 Map of affected area during the Yunotani catastrophe

7-2 “湯の谷大變”に関する古文書と絵図

今回発見された史料は、5編の報告文が合冊された古文書1冊と2枚の絵図である(Fig. 7-1)。古文書の字体は全体的に似かよっており、1人(ないしは2人)で書き写されたように思われる。また紙質はすべて同質の和紙を使用している。

これらの史料は当時の肥後細川藩管轄下にある郡方奉行と寺社奉行にそれぞれ提出された報告文の写しであり、その報告経路と日付はFig. 7-5のとおりである。また、内容から読みとる限りでは、その素性は次のとおりである。

- ・報告文 A：地元の一領一疋(郷士)である長野角太が実際自分で体験したことを書いて惣庄屋藤井孫之助、郡代を経由して郡方奉行に提出された。
- ・報告文 B と絵図：藤井孫之助が長野角太と長野村庄屋 弥三太からの報告を受け、自らも実際に現地を見て報告文と絵図を描き、郡代を経由して郡方奉行に提出された。

- ・報告文 C：阿蘇神社の社家である宮川若狭が、実際に体験した「市次」からその時の様子を聞き取って報告文を書き、阿蘇大宮司を経由して寺社奉行に提出された。
- ・報告文 D：養福坊が、実際に自分で体験したことを書いて阿蘇大宮司を経由して寺社奉行に提出された。なお養福坊は成満院の一門である那羅延坊の下山伏である（～坊は、僧侶を指す場合と寺を指す場合とがある）。
- ・報告文 E：阿蘇神社の社家である宮川出雲、宮川萬馬、山口伊織、岩下峯戸らが噴火を体験した人（名前は不明）から聞き取りし、自分たちも現場を見て報告文を書き、阿蘇大宮司を経由して寺社奉行に提出された。

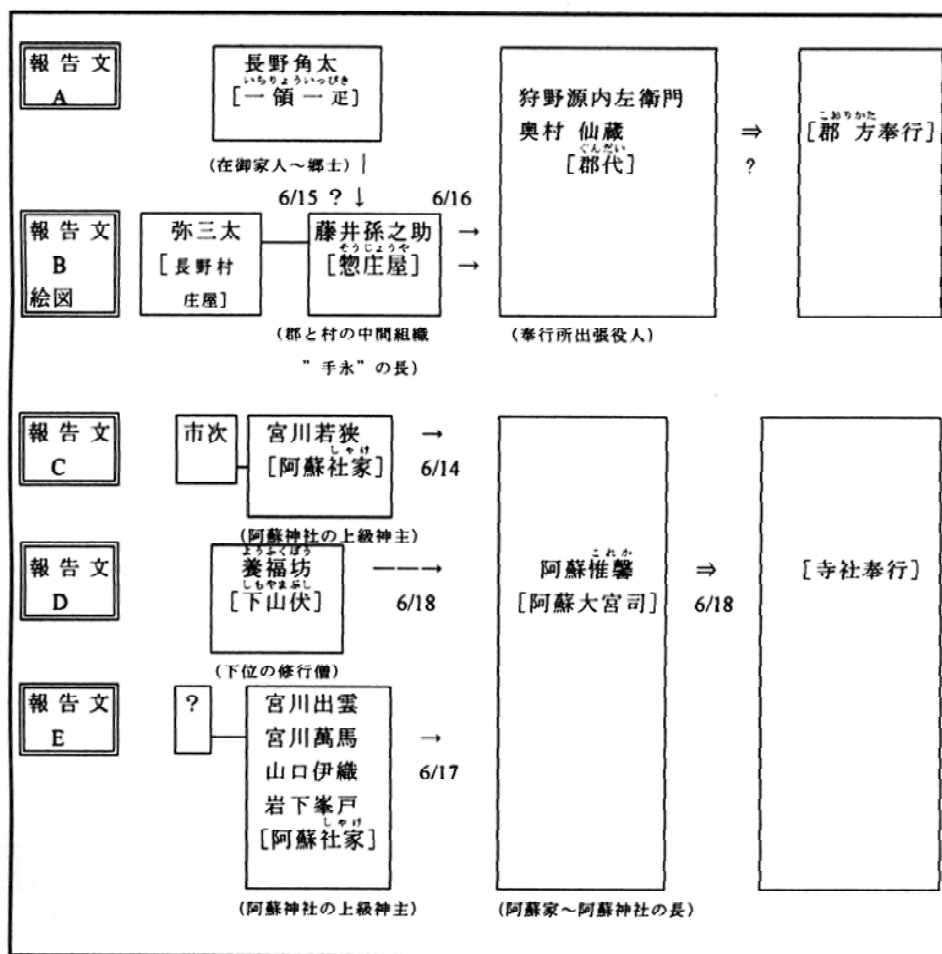


Fig. 7-5 Reporting procedure used during the explosion at Yunotani

以上のとおり郡方奉行に提出された報告文 A, B および絵図 2 枚と、寺社奉行に提出された報告文 C, D, E が、その後「湯の谷大變」として写しをとって合冊されている。現時点ではいつ誰が何のためにわざわざ絵図とともに写しをとり合冊したのかは不明である。ただ、この「湯の谷大變」の 24 年前、寛政四年(1792)の雲仙普賢岳噴火時の眉山崩壊による津波災害は、当時の肥後地方では「島原大變肥後迷惑」といわれた大事件であり、そ

の余韻が人々の頭の中に残っていたために、藩（あるいはある個人）がこのような火山の噴火と噴火災害に興味を持ち、このような名前を付け、記録を保存したのではないかという推測ができる。

7-3 絵図の概要

添付の2枚の絵図（何れも縦 655 mm，横 535 mm）は、当時藤井孫之助が描き、報告文 B とともに提出したものである。これらは噴火前後の様子を対比させて描かれており、当時の様子と噴火を検証する上でも有用である。以下に絵図から得られる噴火前後の様子をまとめて示す。

〈噴火前〉 (Fig. 7-6 A, 7-6 B)

12 軒の湯小屋（うち 3 軒が温泉所，9 軒が湯宿と思われる）と観音堂が描かれており，そのうちの 3 軒の湯小屋が山の手および谷の中にあるように見える。そして湯の谷川の北側に湯小屋に向かう道があり，草千里方面への登山道へとつづいている。これは現在も利用されている湯の谷川右岸の道と考えられる。そのさらに北側に観音堂を通過してまた草千里方面への登山道へとつながる道もある。観音堂の近くに露天風呂或いは温泉の取り込み口のようなものが描かれている。

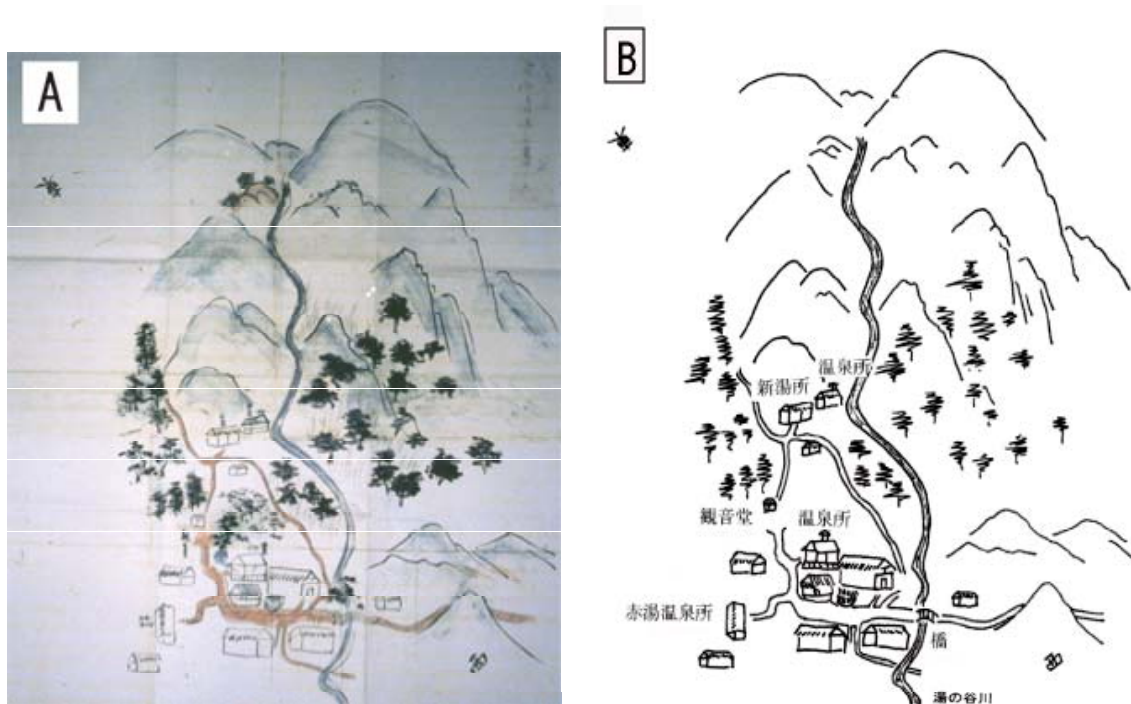


Fig. 7-6 Portrait of Yunotani area before the eruption

A: Original painting of the size 535 mm(W) and 655 mm(L), and

B: Sketch of the old painting in which the descriptions are reprints of the character in the painting

〈噴火後〉 (Fig. 7-7 A, B)

まず、山の手と谷中の3軒の湯小屋のうち2軒が噴石や砂泥によって破壊し、残りの10軒は傾いたり柱が折れたりして大きく破損している。そして谷中の湯小屋のすぐ上流の右岸で2ヶ所の火口が開口し、噴煙を上げている。2ヶ所の火口の対岸では白煙の上がる様子が描かれている。また、木々も折れたり枯れたりしている。また噴石や土砂が赤湯や観音堂付近から上流は山奥（雀の地獄付近?）まで飛び散っている。噴火前にあった露天風呂（あるいは温泉の取り込み口）らしきものは消失している。

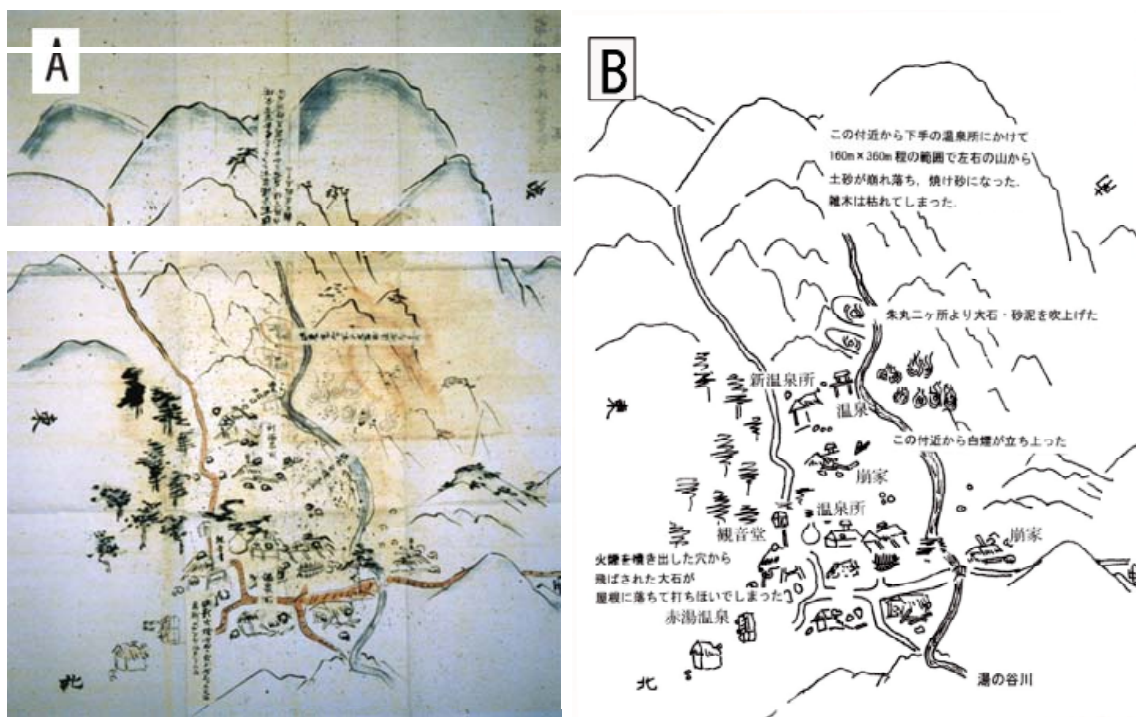


Fig. 7-7 Illustration of Yunotani area shortly after the eruption

A: Original painting of the size 535 mm (W) and 655 mm (L),

and B: Sketch of the painting in which the descriptions are reprints of the character in the painting

7-4 現地調査の結果

・噴出物の記載

先に述べたとおり，湯の谷周辺に分布する岩石は「吉岡溶岩」と「草千里ヶ浜降下軽石の溶結部」である．これらは特に湯の谷川周辺では変質度が高く，白色粘土化が著しい．従って，噴火による堆積物もこれが主体となっている．Fig. 7-9に Loc.1 の露頭写真を示し，Fig. 7-8に Loc.1 から Loc.7(Fig 7-4)までの模式的な柱状図を示した．

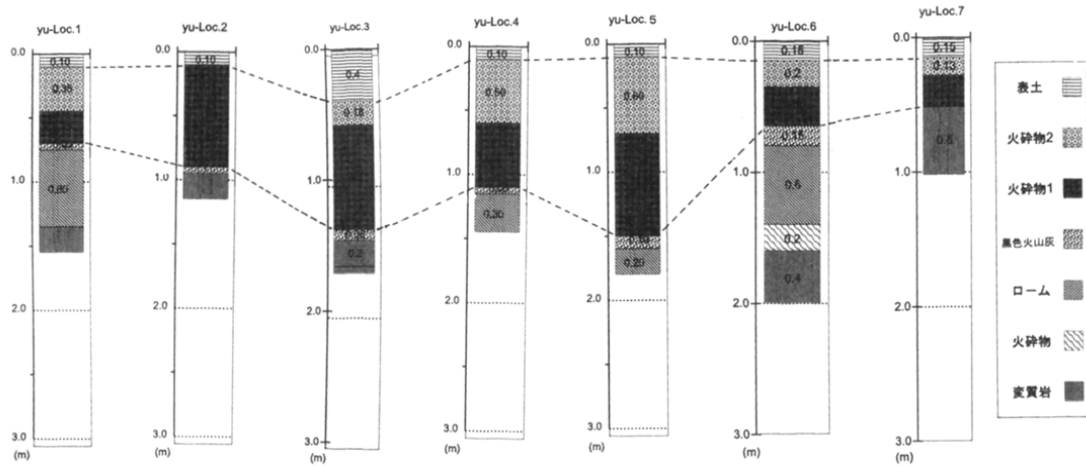


Fig. 7-8 Representative stratigraphic sections in Yunotani area. The locations are shown in Fig. 7-4.

Fig. 7-8 Representative stratigraphic sections in Yunotani area. Location is shown in Fig.7-4

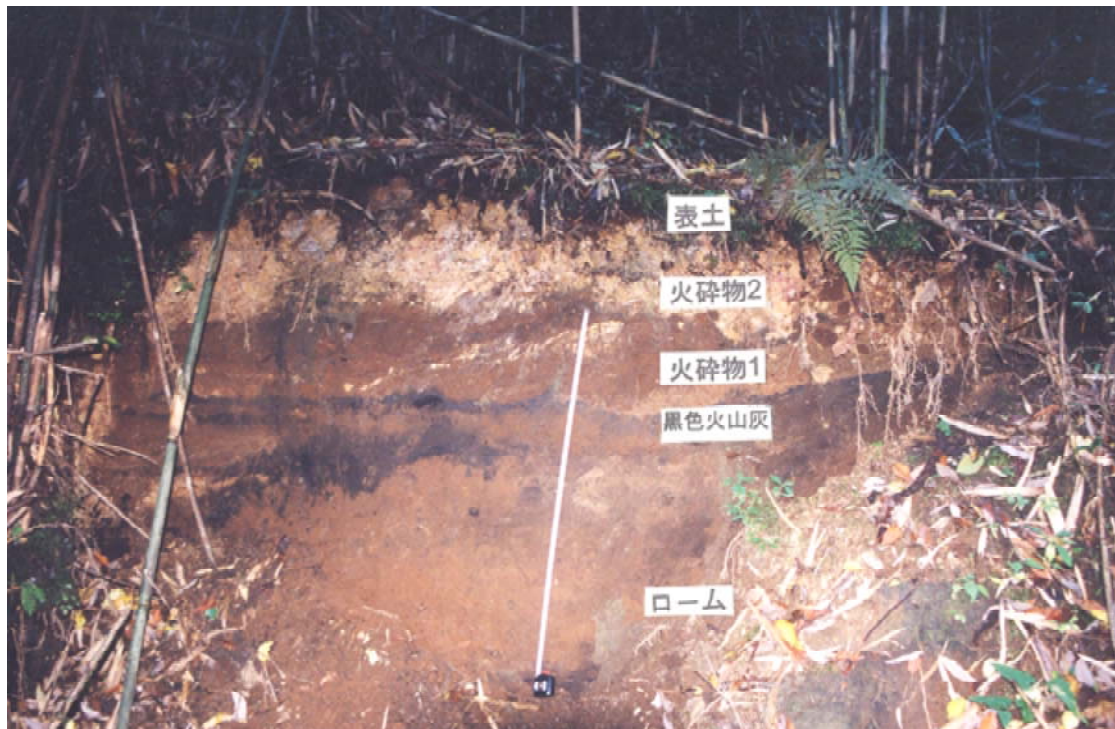


Fig. 7-9 Deposits of the phreatic explosion. Location is shown in Fig.7-4

以下に現地でみられる堆積物について記載する。なお、堆積物の名前は Fig. 7-8 の凡例と対応させた。

変質岩：源岩はわからなくなるほどに変質している。白色粘土化している部分も多い。

火砕物：下位の白い変質岩片を多く含む。マトリックスはローム質。

ローム：オレンジ色に近い茶色を呈し、全体的に均質。露頭によってはなかに白い変質岩片（平均径 5 mm 程度）を含むこともある。

黒色火山灰：小野・他（1995）による多面体型の不透明ガラスを多く含む。これは最近の中岳からの火山灰にきわめて似かよっている。なかに燃え残りと思われる木片や炭そのものも混入している。

火砕物 1：マトリックスは主に土壌やロームから成るが変質岩の噴石を多く含み不均質。まれに下位のスコリア層起源とみられるスコリア粒も含まれる。

火砕物 2：マトリックスはほとんどが白色粘土である。なかに混入する変質岩の噴石も全体的に下部（火砕物 1）より大きい。

・噴出物の成因と噴出場所の特定

報告文にもあるとおおり爆発をおこしてしばらく後に斜面から土砂がずり落ちたりしているため、さらには近年において温泉掘削などによって土地改変がなされていることなどのため、当時の堆積状況がそのまま保存されている場所が少ないのが現状である。現時点までで得られている前項の地層観察からの考察として次の事柄が考えられる。

「ローム」層については均質で乱れていないことからこれは今回の噴出物ではないと判断した。「黒色火山灰」は、報告文の内容（黒煙や火を噴くのを見た）、この火山灰と炭の存在や、さらに層厚が火口に近づくほど厚くなるように見えることなどから、”大変”の際にこのような本質物を噴出した可能性も捨てきれない。しかしながら福岡管区气象台(1965)によれば当時（1814~1816 年）は中岳の活動もきわめて活発だったことから、中岳の西方およそ 5 km 付近の湯の谷にその火山灰が厚く堆積していたことも十分に考えられる。また一般的にマグマ水蒸気爆発が発生する場合、噴火の始まりの段階から本質物を出すことは考えにくい。従ってここではこの噴出物は”大変”に直接関わったものではないと考える。また、「火砕物 1」は爆発の最初のステージで飛ばされたもの、「火砕物 2」は爆発の後半に噴出したもので、報告書 D で「雪が降ったように一面白く見えた」という記載に対応する部分と考えられる。

また先述のとおり、当時の堆積物の保存状態が良くないために観察可能な露頭の数も 7ヶ所と少ない状態であるが、地層観察をもとにおおまかな”大変”の噴出物の等層厚線を引くと Fig. 7-10 のようになる。

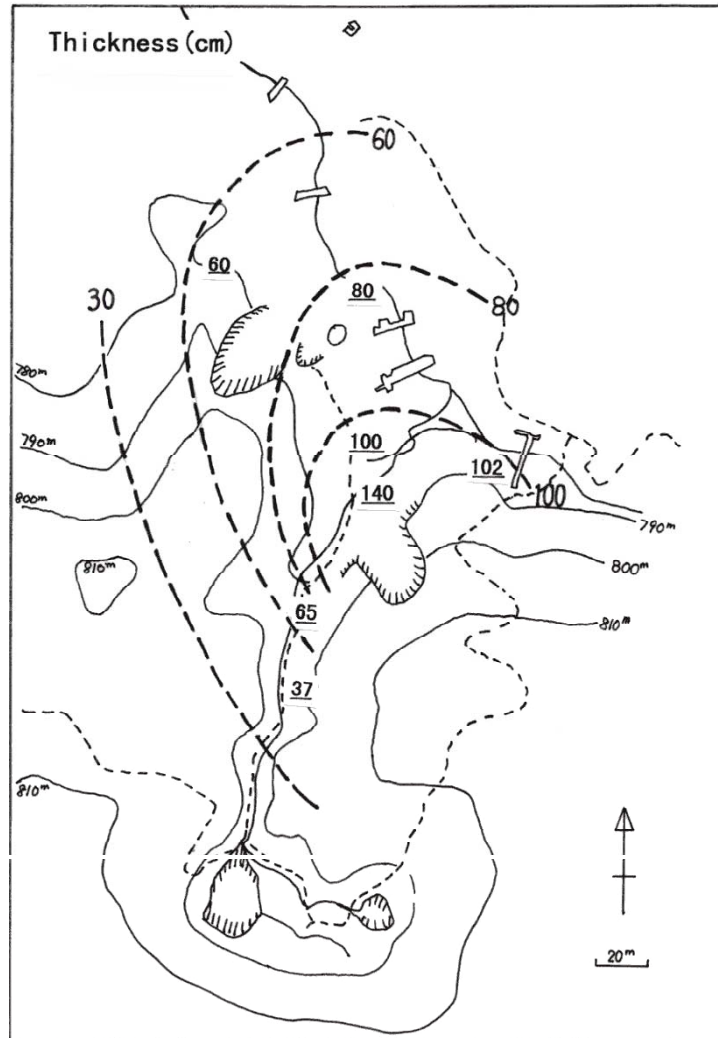


Fig. 7-10 Isopach map of the phreatic explosion deposit

さらに各報告文には噴出場所を示す次のような記載がある。

「・・・新湯の東脇阿蘇山神池之様に二カ所吹きほぎ・・・」(報告文 A)

「・・・申酉の方より熱泥沸き出し・・・」(報告文 C)

「・・・同夜熱泥吹き上げ候所は新湯之傍谷端より・・・」(報告文 E)

報告文 A, E からは少なくとも新湯のすぐ脇に噴火を起こした”火口”があったことがわかる。また報告文 C の”申酉の方”とは西南西の方角であり、この報告者(市次)が噴火の際、新湯の湯宿にいたと考えれば、火口の位置が新湯の脇であることに問題はない。

以上により、”大変”を引き起こした火口は Fig. 7-4 に示した場所であると考えられ

る(Fig. 7-11). またここは現在はほとんどの部分が土砂で埋まっており, Fig. 7-11 でも明確に火口跡とは判断しづらいが、北北西に向かって開いた火口地形をとどめ、周辺には変質岩片が山積している. なお, Fig. 7-4 に示すとおり”火口”の北西側に崩壊地形 (Loc.1 の右下) があるが,これはその直ぐ下流側 (東側) にマウンド地形がみられることから, 地滑り等によるものであり,火口跡ではないと判断される.



Fig. 7-11 Vent of Yunotani eruption

7-5 ”湯の谷大變”のシナリオ

報告文 A ~ E の内容から当時の「湯の谷大變」の推移を吟味する. カギ括弧内は原文を抜き出したもので, その後にそのうち”噴火”に関連のある内容について解釈を付け加えた.

また, 橋本(1999)によれば当時の地方における一般庶民の時刻法は不定時法 (太陽や月の動きに生活をゆだねていたため, 昼間と夜間をそれぞれ 6 等分して時刻を定めたもの. 従って, 当時と現代の時刻を対応させる際には季節によって変わってくることに留意する必要がある) を使っていたと考えられることから, そのことを考慮しておおまかな対応時刻を換算した.

さらに, これらの原文史料から主な内容を抽出し,その推移を Table 7-1 にまとめた. なお内田(1994)によれば, 旧暦の六月十二日は新暦では七月六日にあたり, このとき

の雨は梅雨末期の大雨であることが推察される。またこの頃は1年で最も日の長い時期で、熊本の日の出時刻は05時15分頃（阿蘇山測候所による）になることから、夜が白み始めるのはそれより40~50分早い時刻(おおよそ04時30分頃)である。

「其の夜四ツ頃より雷勢強く降雨にて谷川増水、音強く心元なく御座候て鶏鳴頃起き上り弟惠八同道仕り小丸燈灯を灯しそこかしこ小屋之邊を兩人共見繕い居り候処尚水音相増し谷内鳴動仕り候に付き…」(報告文A)

六月十一日午後11時頃から雷が強くなって、谷川の水も増え、十二日午前2時過ぎ頃から鳴動がはじまった。

「同十一日の夜八ツ頃も之有り候敷と覚え菊池檀方之人罷り越し居り入湯仕り候様子之有り候間私儀も跡より入湯仕るべしと存じ奉り湯所へ参り湯の様子見聞き仕り候處最早常躰の湯色と違い泥湯にて一同入方成り難く・・・」(報告文D)

十二日午前2時頃、お湯の色がいつもと異なり、泥湯となっていた。

「・・・鶏鳴の頃俄かに地中鳴動仕り申酉の方より熱泥沸き出し畳の上六寸程湛え大小石降り・・・」(報告文C)

十二日午前2時過ぎ頃から鳴動が始まり、西南西方向から熱泥を噴きだし、湯宿の畳の上に20cmほど積もった。

「怪しからざる谷之鳴動烈しく燈灯振り上げ見廻し申し候処新湯小屋の前に大小の石降り落ち申し候」(報告文A)

鳴動が烈しくなり、大小の石が飛んできた。

「・・・泥湯降り止み申さず・・・」(報告文A)

熱い泥湯は暫く降り続いた。

「・・・泥湯降り申し候に付き・・・」(報告文A)

熱い泥湯が降ってきた。

「大雪の降り積み候いき躰にて一圓に白く相見え平日往来の道筋は大水にて通路相成り難く平地は熱泥降り積み一尺五寸余も處により忒尺内外も之有り候哉・・・」(報告文D)

外は雪が降ったように真っ白くなり、熱い泥や砂が45~60cmほど積もった。

「・・・家内共は泥湯を踏み足に水ぶくれ出来仕り候に付き・・・」(報告文 A)

噴出した泥湯は水ぶくれができるほどの温度を持っていた。

「・・・夜を明かし少し東白み申し候間・・・新湯の東脇阿蘇山神池之様に二カ所吹きほぎ其中より白煙立ち登り申し候中に黒煙立之有り其所よりは火も時々もえあがり候・・・」(報告文 A)

「・・・夜少し明け申し候て各谷越しに見申し候處右湯処近邊烟覆い相分かり申さず候・・・」(報告文 C)

東側の空が白み始めた頃(4時半頃)には”新湯”の東側に2箇所の火口ができ、白煙が出ていたがそこから黒煙もあり、火も時々燃えていた。その周辺も炎で覆われていた。

「・・・小屋々々見繕い申し候處右火煙吹きだし候穴より吹き上げ候大石屋根に落ち懸かり悉く打ち崩し梁桁などを打ち折り言語道断痛み損じ居り申し候、・・・」(報告文 A)
小屋小屋を見て回ったところ、火煙を噴き出していた火口から飛ばされた噴石が湯小屋の屋根に落ちかかり、梁や桁を打ち折って破損してしまっていた。

「・・・同十二日九ツ頃より火且つ黒煙静まり向こうの山手に移り右同様白煙立ち申し候・・・」(報告文 A)

六月十二日 12時半頃から火煙はおさまって、谷を隔てた反対側の山で白煙が立ち始めた。

「・・・処其の夜降雨仕り二カ所の神池之様なる大ほげに上ハ手より土砂すずれ込み埋まり申し候、尤も右雨降り申し候間烈しき音にて地響き仕り申し候。」(報告文 A)
十二日夜には2箇所の火口は周辺の土砂が流れ込んだことによって埋没したが、鳴動は続いた。

「・・・翌十三日に相成り候えば煙の儀も少しは薄く相成り其の夕も雨降り申し候間前夜同様烈しき音にて地響き仕り候」(報告文 A)

十三日には煙は少なくなったが鳴動は続いた。

「・・・十四日に相成り候處白煙の儀前日よりは余程薄く相成り候えども夜分雨降り候に付き其の間右同様音仕り候」(報告文 A)

十四日、煙はさらに少なくなったが、鳴動は続いた。

「・・・十五日よりは格別の煙立ちは御座無く候えども少しずつ絶えず吹出し時を作り煙多少御座候」(報告文 A)

十五日からは目立った煙はなくなったが時折噴き出した。

「・・・火煙吹き出し候近邊より温泉所にかへ横九拾間余、立二百間余左右之山手より土砂すずれ落ち草木焼き枯らし申し候、右鳴動の内ちち巻(竜巻?)にても仕り候か、右雑木之内こげ居り申し候も之有り又は中程より巻切り候も相見え申し候」(報告文 A)

「右火大石砂泥湯吹き出し候谷筋の左右温泉所に懸け凡そ横九拾間位、堅式百間余左右の山の手より土崩れ落ち申し候・・・」(報告文 B)

噴火した火口から湯宿付近にかけて、**160 m × 360 m**程の範囲で土砂がずりおちた。草木も枯れたようになった。

「火大石砂泥吹き出し申し候穴の儀、四間四方位と相見え、右様の穴二ヶ所に穿け居り申し候、尤も山の手より土砂すずれ落ち埋まり浅く相成り居り申し候」(報告文 B)

「十二日の四ツ時分二十間計り上より崖崩れ候て火吹き上げ候穴にもすずれ込み右の穴は埋まり候て・・・」(報告文 E)

2箇所の火口はそれぞれ 7 m 四方程度で、その後十二日午前 10 時頃には土砂によって埋まってしまった。

「右湯所の内観音堂之有り屋根には砂小石積み居り申し候、此の堂左右に大松之有り候処火気に触れ枯れ及び焦がれ居り申し候・・・」(報告文 B)

「山野見渡し候所上ミは地獄の下通りより下は赤湯の近邊?谷筋表向え共に泥降り積り竹木草萱に至る?悉く枯れ居り申し候、其の内佛堂近邊に御座候松は大木にて右吹き上げ候ヶ所よりは五十間余も之有るべく候処木末?悉く枯れ申し候・・・」(報告文 E)
南は(雀の)地獄付近から北は赤湯付近まで泥が降り積もり、周辺の草木は枯れてしまった。また火口から**90 m**程離れた観音堂にも泥や砂が降り積もり、脇の大きな松の木も焼けて枯れてしまった。

「家数拾式軒にて御座候処右之内式軒は大小石砂泥降積み、破損に及び申し候、残り拾軒の儀倒れは仕り申さず候えども悉くゆるぎ損じ居り申し候」(報告文 B)

湯宿 **12 軒**のうち、**2 軒**は噴石や土砂によって倒壊し、残りは倒れてはいないが大きく破損した。

「・・・大石の儀屋根に落ち懸かり候分は皆家根を打ちほき間内へ落ち居り申し候、右

石数二十余之有り、重さ貳拾斤位より五拾斤位迄・・・」（報告文 B）
屋根に落ちた噴石は 20 個余りで、重さは 12 ～ 30 kg 程度であった。

「・・・上わ湯小屋之内に右同家根を打ちほき落ち居り候石凡そ貳百斤位も之有るべし
・・・」（報告文 B）

噴石のうち大きなものは 120 kg ほど。

「惠八は大怪我仕り居り一向歩行成り難く・・・」（報告文 A）

「長野惠八儀大怪我仕り相痛み居り申し候・・・」（報告文 B）

「湯亭長野惠八郎歩相分かり申さざる由・・・」（報告文 E）

長野角太の弟惠八は噴石が当たって大けがをした。

Table 7-1 Accounts of the "Yunotani catastrophe" as described in the historical documents

日付	時刻	状況
6月11日	23:00頃	(雷, 豪雨で川の水があふれる—噴火との関係は不明—)
12日	02:00頃	湯宿の温泉が泥色に変色 鳴動が始まり, その後水蒸気爆発 新湯小屋に大小の噴石, 熱い砂, 泥, 泥湯を連続的に噴出 (湯宿が噴石で破壊, 部屋の中に泥・砂が20 cmほど積もる) (外は一面雪が積もったような状況, 泥・砂が45~60 cmほど) (小屋を打ちほいだ噴石は12~30 kg程度, 最大120 kg程度)
	04:30頃	新湯の東脇の2カ所の火口(7 m四方程度)から白煙 時折黒煙, 火炎を伴う(木々が焼けた) (400~500 m四方の竹林が枯れたようになった)
	10:00頃	火を噴いていた火口に土砂が流れ込み, 埋没 (土砂が崩れ落ちた範囲は160 m×360 m程の範囲) その後, 谷を隔てた反対側の斜面で白煙があがる (20 m四方の範囲)
	12:30頃	火炎, 黒煙なくなる, 反対側の斜面で白煙
	夜	2カ所の火口, 土砂で埋没, 地響きあり
13日	夕方	煙減少 雨, 地響き
14日	夜	白煙さらに減少 地響き
15日		白煙時々上がるが, ほぼなくなる

噴火後の状況は、次のようにまとめることができる。湯宿 12 軒のうち 2 軒全壊、他の 10 軒も大きな痛手を受け、また観音堂（火口から 90 m ほどの所）の屋根に砂や小石が積もった。そして（雀の）地獄から赤湯周辺まで泥が降り積もった。観音堂近くの松の木が末端まで枯れ、枝も折れた。長野恵八は噴石のためか大怪我をし、恵八の家族は泥湯のために足に水ぶくれができた。

以上により、「湯の谷大変」における”爆発”の状況は次のように推察できる。

まず 6 月 12 日午前 2 時頃に湯の色が変色（報告文 D）していることから、このころに温泉水がマグマの熱によって高温状態となって、水蒸気爆発を起こした。その後徐々に活動のピークを迎え、それに伴って土砂と多量の噴石を噴出。最大 100 m 程まで噴石は飛散したものと推察される。数時間後、ガスがスムーズに抜けるようになってからは水蒸気とともに少量の土砂を噴出した。このころ木々が焼けているのが目撃されているが、日本火災学会(1984)によれば、その時の噴石の温度は少なくとも 250 °C 程度以上はあったことになる。小野・他 (1979) は阿蘇中岳の水蒸気爆発時に「天井を突き破って落ちてきた噴石の破片は暗いなかで赤く光っていた」という証言を記載しており、水蒸気爆発時においても木を焼く程度の温度を持つことがあるのかもしれない。また火口から火炎を出していたらしい記載があるが、Macdonald(1972)によると、少なくとも火口が赤く見えていたとすれば 500 °C 程の温度があったものと推定される。さらに、恵八の家族が泥湯を踏んだ為に水ぶくれができたとあり、これは医学書によれば泥湯は 50 °C 以上の温度があったものと考えられる。これらのことから、活動の最盛期には高温のガスや噴石を噴出したものと考えられる。その後、火口に土砂が流れ込んで閉塞。出口を失ったガスは湯の谷川を隔てた反対側の山の手へ移動し、そこから噴気をあげた。火口の閉塞によって鳴動が 2 日間ほど続いたが、活動はそのまま終息した。

〈マグマが関わった可能性〉

ここで、”大変”のイベントについてこれまで水蒸気爆発であるという前提で話を進めてきたが、その熱源について考えてみたい。従来より露木・他(1980)や三宅・小坂(1998)などが、火山地域において山頂以外の場所においても水蒸気爆発が発生することを指摘している。荒牧(1996)によれば、水蒸気爆発とはマグマが直接或いは間接的に関与した高温高压の水蒸気的作用によって引き起こされるものである。三宅・小坂 (1998) は現場で採取されたガスの成分と地下における地震波速度の減衰域の存在によってマグマの間接的関与を推定して「水蒸気爆発」の語を用いている。筆者もこの用語法には賛成であり、先に述べたように阿蘇においては現在でも湯の谷地域の熱的活動と中岳の火山活動とは強い関連性がある。福岡管区気象台(1965)によれば当時

(1814~1816 年) 中岳の活動はかなり活発な状態であったとみられ、それによって湯の谷の熱的活動が活発化した結果の水蒸気爆発であると筆者は考えている。マグマが直接関与したか否かについては、現時点で全くなかったと断言はできないが堆積物からは明らかな本質物は認められず、可能性としては低いと考える。また、露木・他(1980)は霧島火山群地域の手洗温泉において豪雨の後の地滑りに起因した水蒸気爆発を指摘している。”大変”においても豪雨の後のイベントであり、霧島の例と同様の原因で発生した可能性も考えられるが、イベントが少なくとも2時間以上続いたことから一過性のものではないと考えられる。なお、露木・他(1980)は手洗温泉におけるイベントの継続時間については直接触れていないが、文脈からきわめて短時間のうちに発生したことがうかがえる。

文化13年(1816年)に起こった「湯の谷大變」に関する信頼性の高い歴史史料が見いだされ、阿蘇地域において中岳以外の場所からも歴史時代に噴火を起こしたことが明らかとなった。特に、阿蘇地域において噴火に関する詳細な日時やその状況を示す絵図資料が見つかったのは初めてである。「湯の谷大變」はマグマの直接的関与も否定はできないものの、現時点では間接的関与による水蒸気爆発と考えられる。

湯の谷は古い時代から多くの人々に利用され、さらに近世以降観光地化した温泉でありながら、特に活火山に近い温泉として水蒸気爆発等の活動を引き起こす可能性を秘めている場所であることが再認識されたことは、今後の火山防災を考えるうえで重要な事柄である。

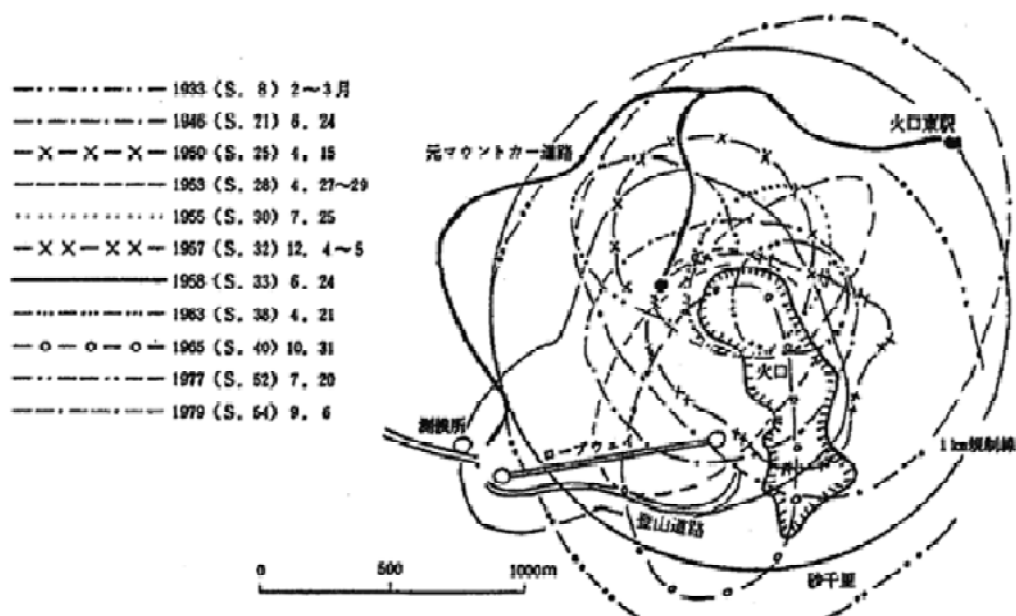
8. 阿蘇火山における防災対策

8-1 近年の噴火活動による火山災害

8-1-1 人的災害とその要因

中岳において、人的な被害が発生する要因としては、マグマ水蒸気爆発（水蒸気爆発）時の噴石と、小規模な低温火砕流によるものが考えられる（渡辺，2001）．その主な対象となるのはやはり観光客で，年間 100 万人が訪れるとされる中岳周辺での観光客に対する防災対策は特に重要である．

近年の爆発時の噴石が飛散した範囲を Fig. 8-1 に，昭和以降の主な噴火と災害を Table 8-1 にまとめた．



阿蘇山の噴石分布(1933年～1979年)

Fig. 8-1 Maximum distance reached by the ballistics (1933-1979)
(Fukuoka District Meteorological Observatory, 1990)

Table 8-1 The major eruptions and damages by the activities of Nakadake, after 1927(Showa period). Modified from the Asosan Weather Station, the Japan Meteorological Agency

発生年	噴火と被害の様子
昭和2年(1927)	噴火：4～5月に数回噴火、降灰。農作物に被害
昭和4年(1928)	噴火：4月11日第4火口で噴石。7月26日第2火口に新火口、噴煙、10月降灰多量。農作物被害。牛馬倒死
昭和7年(1932)	噴火：12月第1火口赤熱噴石・降灰。空振で測候所の窓ガラス破損。火口付近で 負傷者13人
昭和8年(1933)	噴火：近年の大活動。2・3月第2・1火口活動多量の赤熱噴石と降灰。降灰被害も広範囲
昭和15年(1940)	爆発：4月 負傷者1人 。8月降灰多量、農作物に被害
昭和22年(1947)	噴火：5月第1火口噴火、降灰砂多量。農作物、牛馬200余死
昭和28年(1953)	爆発：4月27日第1火口爆発、 死者6人、負傷者90余人
昭和33年(1958)	爆発：6月24日夜第1火口爆発、降灰多量。山上広場方向に低温火砕流、 死者12人、負傷者28人 。山上広場の建物に大被害
昭和40年(1965)	噴火：10月31日第1火口爆発的噴火、建物に被害
昭和49年(1974)	噴火：4～8月第1火口噴火、降灰、農作物に被害
昭和54年(1979)	爆発：6～11月第1火口噴火、降灰950万トン、農作物に被害。9月6日爆発、北東方向に噴石と低温火砕流、火口東駅付近で 死者3人、負傷者11人
平成元年(1989)	噴火：降灰多量、農作物被害。白川の魚大量死。 1人死亡
平成2年(1990)	噴火：4月20日爆発的噴火、火山灰120万トン。火砕サージ発生。降灰多量、農作物被害。着灰で一の宮町中心に3700戸停電。 3人死亡
平成6年(1994)	1人死亡
平成9年(1997)	2人死亡

(平成元年以降の死亡は火山ガスにかかわるものと考えられる)

8-1-2 その他の災害と要因

噴火活動に伴い、多量の火山灰が放出される。その結果、火山灰は風下に向かって流されて地上に降下する。このことによって直接的な被害が発生することはないが、放牧されている牛馬への影響をはじめ、農作物への被害が発生する。

一方、直接的な噴火によるものではないが、豪雨によって火山灰や火山灰土壌が削られて、下流域に泥流災害をもたらす危険性もある。近年では、1990年7月2日に一の宮地域を中心にラハールが発生した。根子岳や高岳、外輪部分の表層斜面が豪雨

によって削り取られ、その下流域にあたる一の宮地域で死者 11 人、負傷者 12 人という惨事となった。これは、当時の中岳の火山活動によって堆積した火山灰が影響しているという考えもあるが、その因果関係ははっきりしていない。しかし、削り取られた表層部は約 2000 年前以降の火山灰土壌であった（渡辺，2001）ことからすると、従来からの中岳の活動によって堆積した火山灰が、大きく影響していることはまちがいない。

平成 12 年、熊本県文化課によって中央火口丘西麓に位置する「河陽 F 遺跡」の発掘調査が行われ、その際弥生時代を中心とする遺物や遺構が「岩屑^{がんせつ}なだれ」によって埋積されている様子が発見された（渡辺・他，2001）。阿蘇火山においてはこのような堆積物は従来知られておらず、今回の発見は過去の災害実態を明らかにするだけでなく、今後の火山防災を考える上でも重要な意味をもっている。今回の岩屑なだれ堆積物の発見は、かつて岩屑なだれが谷に沿って流れ下り、弥生時代の人々の生活空間を襲ったことを意味している。しかも、この岩屑なだれは水蒸気爆発やマグマ噴火に伴うものである可能性は低く、地震や降雨による斜面崩壊・地すべりが発生要因と考えられる。

河陽 F 遺跡は、阿蘇中央火口丘群の西側斜面を流れる濁川の左岸段丘面上に位置し、地表に存在している阿蘇中央火口丘群の噴出物の中で、比較的古い溶岩が分布する地域である。さらに濁川流域の地質で特筆すべきことは、湯の谷温泉付近に分布する温泉変質地帯の存在である。そうした変質地帯には水蒸気爆発や地すべり・崩壊によって形成されたと考えられる馬蹄形地形も認められる。

このように、岩屑なだれの発生要因は複雑であって今後、変質地帯での規模の大きな水蒸気爆発は岩屑なだれを誘発する危険性は十分考えられる。河陽 F 遺跡を含む阿蘇中央火口丘群西側斜面では、水蒸気爆発・斜面崩壊・地すべりと岩屑なだれといった非常に多様な火山災害の発生が予想され、こうした現象は防災対策を作成する上で考慮すべき問題である。

8-1-3 中岳以外の場所での噴火災害の可能性

これまで述べてきたとおり、中岳以外の場所においても湯の谷や地獄といった温泉地においては小規模な水蒸気爆発を起こす可能性がある。また、2006 年から噴気活動が活発となっている吉岡温泉地域においてもやはり注意が必要である。

8-2 火山ガスによる災害

阿蘇においては、中岳第 1 火口から常時火山ガスを噴出しており、そのガスは風下に向かって常に流れている。火山ガスは SO_2 （二酸化硫黄） > H_2S （硫化水素）型であり（小坂・他，1984）、二酸化硫黄ガスが卓越している。

活動が穏やかで、火口周辺への立ち入りが規制されていない場合、年間およそ 100 万人の観光客が火口見物に訪れる。一般的に、約 3 %の人々が呼吸器疾患の症状を持っているというデータ（(財)自然公園美化管理財団、1995）もあり、これからすると、年間およそ 3 万人の呼吸器疾患を持った人が火口周辺を訪れており、この人たちは常に火山ガスの危険にさらされていると言うことになる。

8-2-1 人的災害とその状況

1980 年以降の、火山ガスが原因と考えられる救急搬送者数と死亡者数を以下の表にまとめた。これによると、1988~1995 年の活動期において、搬送者数が増加し、またその期間中に 7 人の死亡事故が発生している。

Table 8-2 Annual number of person hospitalized and killed by the volcanic gas of Nakadake crater 1(Data from Aso Fire department)

年	救急搬送者数(人)	死亡者数
1980	2	0
1981	1	0
1982	5	0
1983	2	0
1984	2	0
1985	1	0
1986	3	0
1987	4	0
1988	1	0
1989	1	1
1990	13	3
1991	0	0
1992	7	0
1993	5	0
1994	11	1
1995	5	0
1996	0	0
1997	6	2
1998	0	0
1999	1	0
2000	4	0
2001	1	0
2002	1	0
2003	2	0
2004	2	0
2005	2	0
2006	0	0

8-2-2 高濃度事象が現れる際の気象条件

阿蘇火山博物館での SO₂ 濃度は、低い時でも人間起源の影響のない清浄地に比べて高い傾向がある。Fig. 8-2 の例のように、好天が続き火山の影響が出ない時、9 時頃から増加し夕方から減少するという明瞭な日変化が見られる。このような変化は季節や年次を問わずに見られる。このような日には阿蘇山測候所の風速は 10 m/s 未満で、風向とは相関がない。ピーク値は冬期に 10 ppb、夏期に 20-30 ppb 程度である。これは日中の登山道路と博物館前駐車場の車両（車両の多くはディーゼル車の観光バスで、ガソリンエンジン等の乗用車やオートバイ等もある）の排気ガスが主因と思われる。一方、車両の排気ガスが主因というより、日中の対流混合の発達により、やや上空に拡散した火山ガスが地上に降りたためという考えもあり、詳細は不明である。

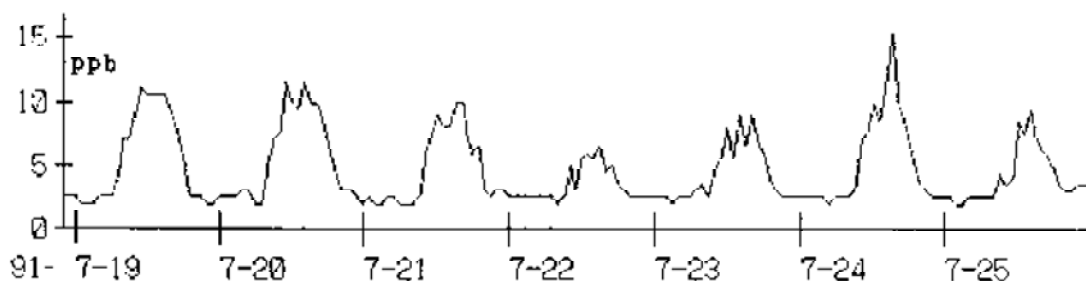


Fig. 8-2 SO₂ concentration for a week, July 19-25, 1991 exhibiting diurnal variation

〈弱風時の火山ガス滞留〉

阿蘇山測候所の風速が 0-2 m/s の前後に阿蘇火山博物館でしばしば SO₂ 高濃度が検出され、そのレベルは先に述べた背景濃度を越え、時間変化は後者の日変化のパターンではない。このような事象は、弱風時に中岳からの火山ガスが中央火口丘上に滞留するためと考えられる。

1991~92 年について詳しく見ると、91 年 3 月の湯だまりによる閉塞で 7 月に SO₂ 濃度は最低を記録したあと徐々に増大し、92 年 6 月にピークに達した。その後減少したが 8 月から高濃度事象が出現し、10~11 月にピークとなった。火山活動は 92 年 6 月頃から大規模な土砂噴出など不安定な状態が続いた。濃度レベルはこの様な変動に大体従っており、92 年 10~11 月には 1 ppm を越える事象が何れも弱風時に生じた。

一般に高気圧の支配下では弱風化しやすいが、Fig. 8-3 に示す 92 年 3 月の例のように気圧変化と高濃度事象の出現との相関が見られる。つまり、気圧の緩やかなピークにおいて SO₂ 濃度の鋭いピークが見られる。これは、中央火口丘上の緩やかな高原における火山ガス滞留の特徴である。なお、Fig. 8-3 では福岡市大濠の高層気象観測点

での6時間毎の地表気圧P(hPa)をスケールを変えて表示した。

弱風時の火山ガス滞留では、3km離れた測定点(阿蘇火山博物館)に比べて噴出源の火口付近では一層高濃度と考えられる。このような場合に対する警戒措置は重要であり、現行のマニュアルで最も注意が払われている。

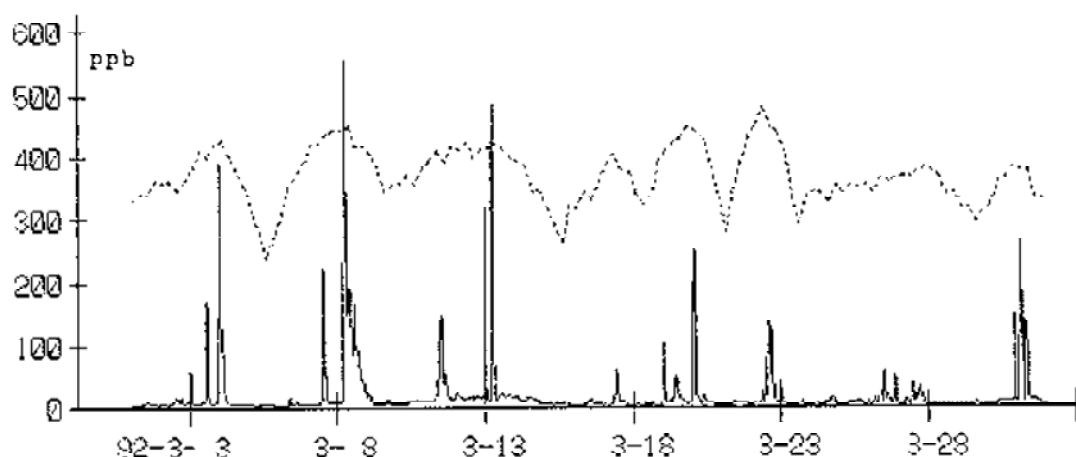


Fig. 8-3 SO₂ concentration in ppb at Kusasenri, Aso(solid line), and the atmospheric pressure P (hPa) at Ohori, Fukuoka, with the scale 10(P-980) (dotted line) in March 1992

〈強風による火山ガスの吹き付け〉

火山ガスは強風で吹き飛ばされてしまうというのは、活発な火口からの大量の連続的ガス放出に対しては当てはまらない。また、強風では乱流で拡散されて容易に薄められるというのも、障害物の少ないなだらかな高原に対しては誤解である。衛星画像では、阿蘇や桜島の濃い噴煙が特定の方向に数十km、時には100km以上流れているケースがしばしば見られる。強風のもとでは、火口の濃煙とガスがそのまま拡散する間もなく下流に吹き付けられると考えるべきである。

中岳火口周辺の強風は天気図や上空の一般風から容易に理解できる。

火口からの活発なガス放出があるとき、強風による火山ガスの吹き付けの危険性に対し、十分に警戒する必要がある。

8-3 阿蘇地域における防災対策の現状

8-3-1 阿蘇火山防災会議協議会

中岳の火山防災については、地元の阿蘇市を中心に周辺町村、警察、消防などをつくる「阿蘇火山防災会議協議会(会長:阿蘇市長)」が設置され、火山噴火や火山ガ

スに対する対策が講じられている。そして同協議会によって作成された「阿蘇火山防災計画」（阿蘇火山防災会議協議会， 2007）に沿って防災対策を実施しているところである。

〈噴火に対する規制〉

同計画によって、登山規制および解除の発令基準が定められている。それによると、自主規制，第1次規制，第2次規制，登山禁止の4段階に分かれており，それぞれの基準と規制範囲が決められている。Fig. 8-4 には第1次規制と第2次規制の地点を示した。なお，2007年12月より，気象庁によって「噴火警戒レベル」が設定され，「噴火警報」を発令していくことが発表された。このことによって今後，阿蘇においても規制方法の見直しが行われる可能性もある。

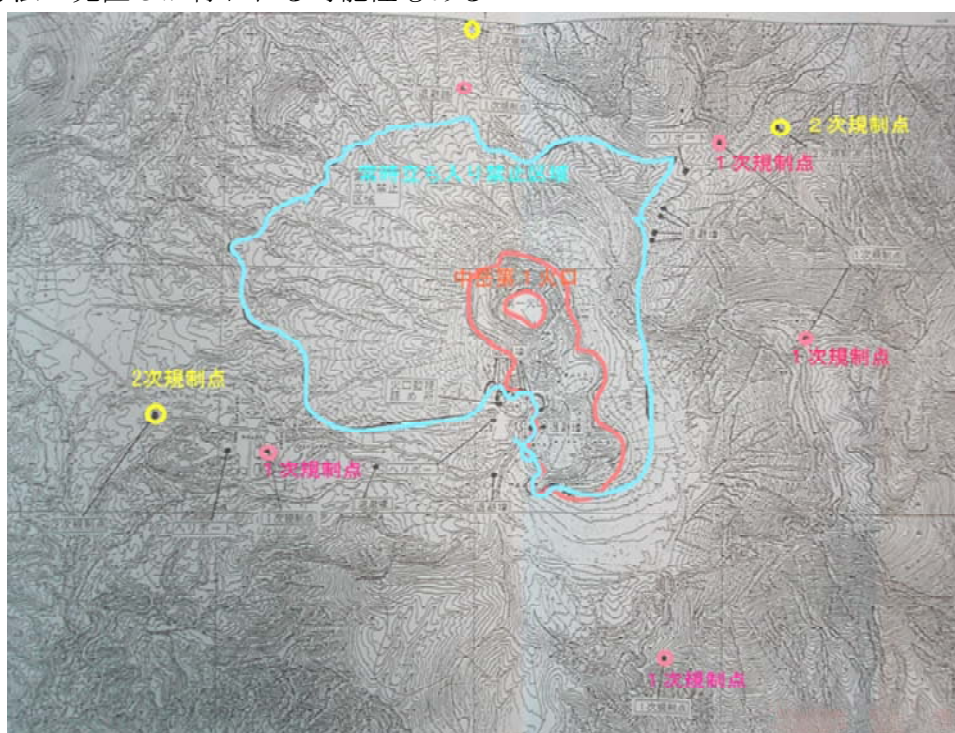


Fig. 8-4 Prohibited area around the crater when Nakadake becomes active
(Prevention of disasters meeting conference of Aso volcano, 2007)

〈火山ガスに対する規制〉

火山ガス対策としては，同協議会によって設置されている「火山ガス安全対策専門委員会」によって火山ガスの流れ方などが検討されており，それを受けて平成10年(1998年)以降，火口周辺では「ゾーン区分管理方式」が導入されている (Fig. 8-5)。これによれば，SO₂の濃度が5 ppmを超えた時点で立ち入り規制を行うことにしている。また，火口周辺に6基のSO₂センサーが設置されており，その場所ごとにSO₂濃度がリアルタイムで表示される。そして，規制濃度に達したゾーンのみを規制し，ガ

ス濃度が低いゾーンにおいては注意報を出しながら観光客の立ち入りを認めている。

この方式によって、平成 10 年(1998 年)以降は、火山ガスによる死亡事故は発生していない。

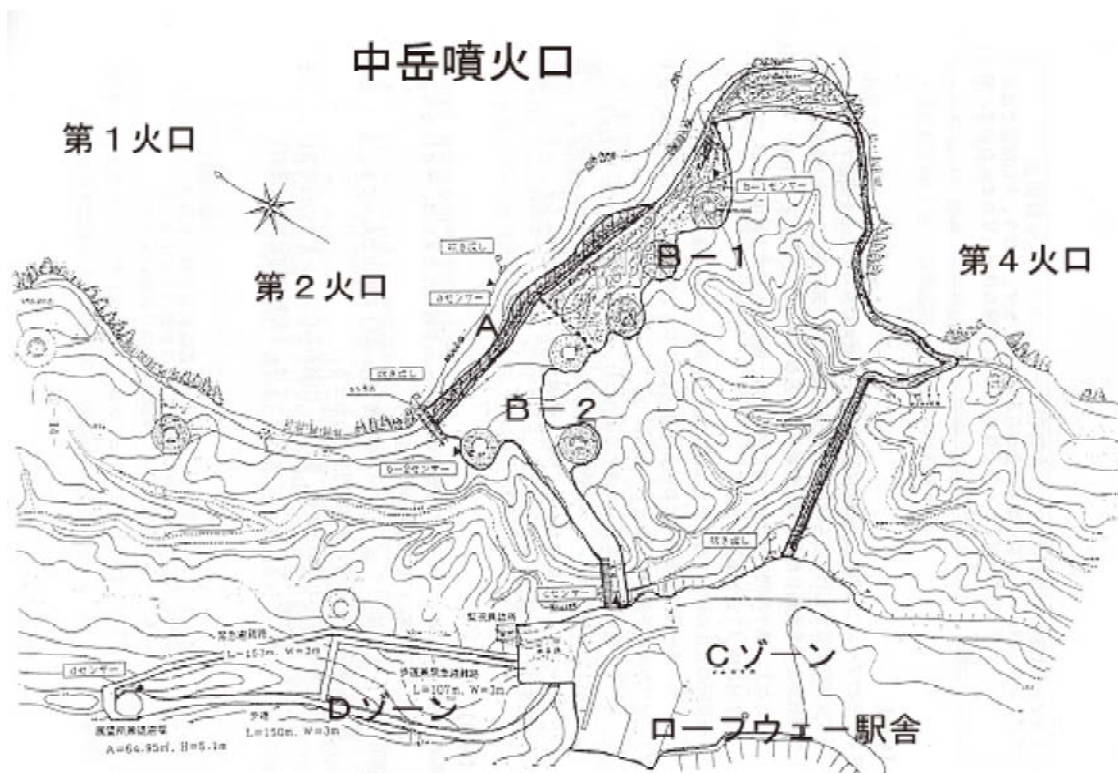


Fig. 8-5 Prohibited area around the crater by the system of "Management of zone division" when the volcanic gas flows down to the sightseeing area from the Nakadake crater 1

(Modified from Prevention of disasters meeting conference of Aso volcano, 2007)

8-3-2 ハザードマップ

阿蘇におけるハザードマップ (阿蘇火山防災会議協議会, 1995)は、1995 年に地元町村によって作成され、各家庭に配布された(Fig. 8-6)。これまでの中岳の活動による爆発時の噴石や火砕サージの及ぶ範囲を図示し、情報提供を行うとともに、周辺地域における火山災害の種類、火山情報の種類、災害時の避難経路、避難場所などを示している。当時のマップとしての情報量や内容についてはとくに問題はないが、現在、このマップの存在について知っている住民がどれほどいるのか、大きな問題点である。筆者が地元住民に聞いたところでは、マップの存在について知っている人の割合は数%以下であろうと思われる。情報を継続的にそしてわかりやすく、住民に伝えていく

工夫が必要である。

なお、平成 19 年(2007 年)現在、熊本県を中心にハザードマップの作成作業が進められており、近いうちに新たなマップが刊行されるものと考えられる。



Fig. 8-6 Volcanic hazard map of Aso volcano (Prevention of disasters meeting conference of Aso volcano, 1995)

8-4 今後の阿蘇における火山防災

阿蘇地域においては、まず第一に現在活動を続ける中岳において、十分な防災対策をとる必要がある。現在、上記のとおり噴火への対応や火山ガスへの対応など、かなりきめ細かな対策がとられつつある。しかしながら、より十分な対策をとるために以下のような事柄を十分に認識し、今後の対策にあたる必要がある。

- 静穏期における火山ガスへの対応としては、高気圧に覆われた時の弱風によるガス滞留、そして、強風時のガス吹きつけ、の双方で高濃度となる可能性があり、火口周辺における気象状況の詳細な把握が必要である。
- 活発な時期においては、爆発時の噴石と火砕サージへの対応が必要となる。先に示したとおり、活動最盛期においても、マグマの揺らぎによって地下水との接触が起こる可能性が十分あり、また活動減衰期～終息期（余熱活動期）においては、さらにマグマ水蒸気爆発の発生する可能性は高くなる。最盛期およびそれ以降の突発的な爆発に十分警戒する必要がある。

次に、中岳以外の場所における小規模な噴火の可能性を先に指摘したが、とくに中央火口丘群地域にある、湯の谷温泉、地獄・垂玉温泉、そして吉岡温泉の各温泉地域においては今後も小規模な水蒸気爆発を起こす可能性は十分にある。これらの地域は中央火口丘群にある温泉であり、従来から中岳の活動と関連性があると考えられており、このことからすれば、中岳の活動期においてはこれらの温泉地域でもある程度の注意をしておく必要がある。

最後に、火山防災の啓発活動の対象として、地元住民と観光客とが存在する。それぞれへの情報提供にやり方には工夫が必要である。中岳やそれ以外の場所での活動形態の特徴からしても、阿蘇における火山活動に直接関係する防災対策の対象は、ほとんどが観光客である。一方、地元住民への対策としては、噴火による火山灰の影響などの他、先に述べたラハールのような、やや長期的な観点から考えた防災対策が必要である。

このように、阿蘇独自の防災対策を今後十分に講じていくことが重要である。

9. まとめ

阿蘇火山地域は、カルデラ内だけでも約 5 万人の人々が生活し、また年間 2000 万人近い観光客が訪れるという場所である。これらの人々は、美しい景観や温泉、豊富な水などを享受しながら、一方では稀に発生する火山活動による危険性にもさらされている。

歴史時代における阿蘇火山の活動としては、中岳の活動がほとんどであるが、湯の谷温泉における活動も明らかとなっている。本論では、とくにこれらの阿蘇の火山活動について整理し、その履歴や活動の詳細について調査を行った。このように、人びととの関わりの深い阿蘇において、活動履歴を知り、今後の活動を予測することによって、教育活動や火山防災につなげることは重要である。

中岳においては、西暦 553 年から中岳の噴火活動に関すると思われる記載があり、その後多くの活動記録が存在する。そして、その時代から阿蘇を支配する「阿蘇氏」によって阿蘇山上に「阿蘇神社」が建てられたという記録もあり（阿蘇家と阿蘇神社展実行委員会編，1990），また中世の時代には、中岳の西麓一帯において密教系の山岳宗教が繁栄し、多くの修験僧たちが修行をしていたことがわかっている（熊本県教育委員会編，1980）。つまり中岳は、歴史時代以降宗教的な崇拜の対象として、また近年においては観光や火山教育の対象として、多くの人びととの関わりを持ってきた火山である。

中岳の火山活動については、多くの活動記録によって、有史以降のある程度の活動状況は把握することができる。しかしながら、火口周辺の噴出物との対比は、ごく最近のものを除いて十分に確認されておらず、過去の活動記録からはその概要を知ることしかできていない。

そこで、本論ではこの記録内容を検証し、同時に現地調査によって堆積物との対比を行うこと、さらには近年の活動を詳細に分析することによって、過去の活動をより明らかにすることを試みた。

その結果、中岳は 6 世紀頃にやや規模の大きな噴火活動が起こっていたものの、その後活動は穏やかとなり、9 世紀頃やや活発化し、13 世紀以降継続的に活動を繰り返してきたこと、そしてその活動形態は、基本的には近年の活動と同様、灰噴火の活動を中心に、マグマ水蒸気爆発（或いは水蒸気爆発）が頻繁に発生してきたことがより明らかとなった。また、やや特徴的な噴火形態として、19 世紀終わり頃（明治時代初め頃）までは、土砂噴出に伴ってその土砂が火口縁を超え、周辺に流れ出す現象が頻繁に発生したことが明らかとなった。

また、上記のような活動記録と現地調査のみでは、過去の活動履歴を十分知ること

ができないことから、過去の火山活動をより詳しく理解するため、近年の活動について詳細に検討を行った。

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) 1988~1995 年の活動は、活動初期、活動最盛期、活動減衰期、終息期（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) 活動初期には、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～終息期（残存マグマによる余熱活動期）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) 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“活動パターン”が見られるが、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、その量比変化に反映されており、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。
- 6) 全体的には、活動の活発化した時期と火口から噴出する火山ガス中の SO₂ 濃度との関係には大きな相関がある。

さらに、歴史時代における中岳以外の活動についての検討も行った。その結果、歴史時代には、湯の谷温泉地域において、少なくとも 2 度の小規模な水蒸気爆発を起こしたことがわかった。また地獄・垂玉温泉地域や吉岡温泉で、これまでも小噴火を起こしていた可能性も考えられた。そのうちのひとつ文化 13 年(1816 年)「湯の谷大變」といわれる活動について、新たに発見された古文書史料とともに現地調査を行って、詳細な検討を行った。その結果、この活動は中岳の活動に関連して活発化した温泉活動に伴う水蒸気爆発であり、当時温泉宿に宿泊していた人や建物に大きな被害が

発生したことが明らかとなった。また、「湯の谷大変」に関する歴史史料が発見されたが、阿蘇地域において、噴火に関する詳細な日時やその状況を示す噴火資料が見つかったのは初めてである。

湯の谷温泉地域は古い時代から多くの人々に利用され、さらに近世以降観光地化した温泉でありながら、特に活火山に近い温泉として水蒸気爆発等の活動を引き起こす可能性を秘めている場所であることが再認識された。

以上、阿蘇火山における歴史時代の噴火活動についての検討を行い、主に中岳の火山活動について、その履歴や噴火活動の特徴についてまとめた。また、阿蘇においては、中岳以外の温泉地域においても、小規模な水蒸気爆発を起こす可能性のあることがわかり、今後の火山防災に対しても十分な注意が必要である。

謝 辞

本論文をまとめるにあたっては、鹿児島大学理学部 小林哲夫教授に論文をまとめることを強く勧めていただき、終始多大な激励とご指導を賜った。

同学部、仲谷英夫教授、山本啓司准教授には貴重なご助言をいただいた。

熊本大学教育学部 渡辺一徳教授には、日頃から火山学や地質学をはじめ、様々な面でご指導いただき、今回の論文をまとめるにあたっても終始激励していただいた。

森林総合研究所九州支所 宮縁育夫主任研究員には、阿蘇火山の活動などに関して多くの有益な議論をしていただき、また様々な面においてご教示と激励をいただいた。

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、様々なご教示をいただいた。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。熊本大学教育学部の横山勝三教授には、日頃から様々な面でご指導いただいた。須藤靖明氏（元京都大学火山研究センター、現阿蘇火山博物館）には貴重な文献の紹介や助言をいただき、また阿蘇火山の活動等について議論していただいた。木下紀正氏（元鹿児島大学教育学部）には、火山ガスの動態についての知見や研究手法等について、様々なご指導をいただいた。走査型電子顕微鏡による観察や写真撮影にあたって、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をいただいた。また、熊本県文化課馬場正弘氏、阿蘇郡長陽村村史編纂室（当時）の方々、阿蘇神社権禰宜 池浦秀隆氏、西巖殿寺住職 鷲岡嶺照氏、財団法人永青文庫には資料調査のうえで様々な情報をいただいた。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。辛木ジェーン氏には、日頃からの英語の指導に加え、終始激励していただいた。

故 松田常子氏には、「湯の谷大変」について、歴史的な立場から様々な議論や現地での検証をし、歴史史料を読み解くうえで大きな力となっていた。

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指導、ご教示をいただいた。

以上の方々の他、多くの方々からのご指導やご教示に心から感謝したい。

最後に、阿蘇火山博物館の運営を支えていただいている阿蘇製菓グループの久木 康社主および財団法人阿蘇火山博物館 久木文化財団の久木康裕理事長に心からお礼を申し上げますとともに、財団の濤岡 淳常務理事をはじめ博物館職員、そして妻 豊美ほか家族の協力と理解なしには、この研究は成り立たなかったことを報告し、お礼の言葉としたい。

引用文献

- 阿蘇火山防災会議協議会(1995) 阿蘇火山噴火災害危険区域予測図.
- 阿蘇火山防災会議協議会(2007) 阿蘇火山防災計画. 35p.
- 阿蘇家と阿蘇神社展実行委員会編 (1990) 火の国の伝統阿蘇家と阿蘇神社展. 114p.
- 荒牧重雄 (1996) 新版地学事典. 地学団体研究会新版地学事典編集委員会編, 平凡社, 630
- 馬場正弘(1999)阿蘇南郷谷に伏在する溶岩流. 熊本地学会誌, 120, 2-8.
- 馬場正弘・渡辺一徳・宮縁育夫(1999) 阿蘇中央火口丘南部における中岳の噴出物の層序. 熊本大学教育学部紀要, 自然科学, **48**, 133-146.
- Buttner,R.,Dellino,P.andZimanowski,B.(1999)Identifying magma-water interaction from the surface features of ash particles. *Nature*, **401**, 688-690.
- 福岡管区气象台 (1965) 九州の火山噴火史. V, 阿蘇山. 福岡管区气象台要報, **20**, 15-46.
- 福岡管区气象台 (1990) 九州地方の火山. 福岡管区气象台要報, **45**, 1-46.
- 福岡管区气象台 (2002) 九州地方の火山. 福岡管区气象台要報, **57**, 240p.
- 福岡管区气象台火山監視情報センター・阿蘇山測候所 (2003) 2003年7月10日の阿蘇山の火山活動. 日本火山学会 2003年秋季大会講演予稿集, 110.
- 福岡管区气象台火山監視情報センター (2005) 阿蘇山. 火山活動解説資料 (平成17年4月), 8p.
- 橋本万平(1999)季節によって変わった時刻法と暦の知識. 暦の百科事典 2000年版, 202-213.
- 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.
- 平塚忠之助(1907)阿蘇新噴火の概況. 地学雑誌, **19**, 195-198.
- 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・渡辺一徳・池辺伸一郎・宇都浩三 (2003) 阿蘇火山中岳 2003年7月10日火山灰中の火山ガラスの形態的特徴及び化学組成. 日本火山学会 2003年秋季大会講演予稿集, 124.
- 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(1998) 波野村史「波野村の地形と地質」. 波野村, 3-33.
- 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.
- 池辺伸一郎・渡辺一徳 (1998) 阿蘇火山往生岳溶岩に焼き敷かれた木幹の放射年代. 熊本地学会誌, **118**, 2-4.
- 池辺伸一郎・藤岡美寿夫(2001)文化十三年の阿蘇『湯の谷大変』—古文書・絵図資

- 料による水蒸気爆発記録一. 火山, **46**, 147-163.
- 池辺伸一郎・小野博尉(2004)阿蘇町史「自然編」. 阿蘇町, 3-101.
- 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・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, 印刷中.
- 池辺伸一郎・宮縁育夫・渡辺一徳・中村仁美(2004)歴史時代における阿蘇火山・中岳の噴火活動と人間生活との関わり～活動史, および火山活動が人々に与えた影響の解明と教育普及～. 平成15年度財団法人日本科学協会 笹川科学助成研究成果報告書, 11p.
- 伊木常誠(1901)阿蘇火山調査報文. 震災豫防調査會報告, **33**, 28.
- 伊木常誠(1909)阿蘇火山の新噴火口. 地学雑誌, 第21年252号, 809-813.
- 岩崎重三(1909)阿蘇山噴火最近の状況. 地学雑誌, 第21年245号, 353-356.
- 気象庁阿蘇山測候所(1990)定期火山情報第3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.
- 気象庁阿蘇山測候所(1992)臨時火山情報第5号.
- 気象庁(2005)噴火の記録基準について. 防災メモ, 4p.
- 気象庁編(2005)日本活火山総覧(第3版). 635p.
- 気象庁(2006)阿蘇山. 火山活動解説資料 平成18年10月.
- 国土地理院(1994)火山土地条件図「阿蘇山」.
- 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.
- 熊本県(1952)熊本県災異誌. 農業改良資料第十八号, 250p.
- 熊本県(2006)熊本県観光統計. 平成18年度実績調査結果.
- 熊本県教育委員会編(1980)古坊中. 熊本県文化財調査報告, **49**, 253p.
- 熊本測候所(1931)阿蘇山噴火史要. 126p.
- 熊本測候所(1934)阿蘇火山に関する近況報告. 験震時報, **3**, 307-312.
- 熊本測候所(1940)阿蘇火山の活動調査報告. 験震時報, **11**, 133-162.
- 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.
- 京都大学大学院理学研究科付属地球熱学研究施設火山研究センター(2004)阿蘇火山の最近の活動(2003年5月～10月). 火山噴火予知連絡会会報, **86**, 102-106.
- Macdonald,G.A.(1972)Volcanoes. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.N.J., 510.
- 松田一成・鹿毛武二・三谷浩行(1990)1989年からの阿蘇山の火山活動. 福岡管区気象台研究会誌, **51**, 92-93.

- Matumoto, T.(1943) The four gigantic caldera volcanoes of Kyushu. *Japanese Journal of Geology and geography*, **19**, Special Number, 1-57..
- 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－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.
- 宮縁育夫・渡辺一徳 (1996) 阿蘇火山・中岳における大規模なマグマ水蒸気爆発堆積物. 地球惑星科学関連学会 1996 年合同大会予稿集, F41-10.
- 宮縁育夫・渡辺一徳 (1997) 埋没黒ボク土層の ¹⁴C 年代からみた完新世阿蘇火山テフラの噴出年代. 火山, **42**, 403-408.
- 宮縁育夫・渡辺一徳(2000)阿蘇火山地獄温泉付近における水蒸気爆発とその堆積物. 火山, **45**, 25-32.
- 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.
- 三宅康幸・小坂丈予(1998)長野県安曇村中ノ湯における 1995 年 2 月 11 日の水蒸気爆発. 火山, **43**, 113-119.
- 南葉宗利 (1939) 湯の谷間歇泉序報. 地球物理, 3, 4, 314-333.
- 長野内匠俊起(1813 ~ 1887) 長野家日記. 全 55 分冊. 長陽村 (現南阿蘇村) 教育委員会蔵. 日本火災学会編 (1984) 火災便覧, 586p.
- 小野晃司(1965) 阿蘇カルデラ東部の地質. 地質学雑誌, **71**, 541-553.
- 小野晃司・渡辺一徳(1983)阿蘇カルデラ. 月刊地球, **5**, 73-82.
- 小野晃司・渡辺一徳(1985) 阿蘇火山地質図. 地質調査所発行.
- 小野晃司・下川浩一・渡辺一徳(1979)阿蘇火山の爆発－ 1979 年 9 月 6 日－. 地質ニュース, **304**, 55-59.
- 小野晃司・松本徭夫・宮久三千年・寺岡易司・神戸信和(1977) 炊けた地域の地質. 地域地質研究報告, 5 万分の 1 図幅, 地質調査所, 145p.
- 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.
- 小坂丈予・平林順一・小沢竹二郎(1984)12.阿蘇火山の地球化学的観測. 阿蘇火山の集中総合観測 (第 2 回 1981) 報告, 82-84.
- 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, Vol.1.52-56.
- 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, Vol.2, 49-60.
- 須藤靖明(2007)阿蘇に学ぶ. 樺歌書房, 319p.
- 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.
- 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.
- 露木利貞・金田良則・小林哲夫(1980)火山地域に見られる地盤災害とその評価(1)霧島火山群地域にみられる崩壊型について. 鹿児島大学紀要(地学・生物学), **13**, 91-103.
- 内田正男編著(1994)日本暦日原典(第四版). 雄山閣, 560p.
- 宇都浩三・阪口圭一・渋谷明貫・吉岡 恒(1994)阿蘇カルデラ内の深部ボーリングコアの K-Ar 年代測定: カルデラ形成直後の火山活動史の解明. 日本火山学会 1994 年度秋季大会講演予稿集, 211.
- 渡辺一徳(1992)阿蘇火山. 日本地質学会第 99 年学術大会見学旅行案内書, 13-32.
- 渡辺一徳 (2001)阿蘇火山の生い立ち. 一の宮町史, 241p.
- 渡辺一徳・小野晃司(1984)阿蘇火山の中岳火砕丘. 空中写真による日本の火山地形, 日本火山学会 編, 98-99.
- 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固有セッション講演予稿集, 89.
- 渡辺一徳・宮縁育夫(2005)阿蘇火山. 九州地方, 日本の地質 別巻, 共立出版株式会社発行, 340.
- 渡辺一徳・宮縁育夫・池辺伸一郎(2001)長陽村河陽 F 遺跡において発見された岩屑なだれ堆積物, 河陽 F 遺跡調査報告書(熊本県教育庁文化課), 209-227.
- 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.
- (財)自然公園美化管理財団(1995)阿蘇山上(中岳)火口周辺における有毒火山ガス流動状況調査報告書. 126p.