

阿蘇火山中岳第1火口の温度変化と火山活動

吉川 慎・須藤靖明*

* 京都大学大学院理学研究科

要 旨

阿蘇火山中岳第1火口では、1993年から定常観測として阿蘇山測候所により赤外放射温度計を用いて、第1火口の湯だまりおよび南壁の温度測定がなされている。火山研究センターにおいても2003年2月から同様の測定を行っている。その結果、2003年4月頃から、湯だまり温度の上昇がみられ2003年7月10日に約7年ぶりの土砂噴出現象が発生した。温度測定の結果から、火山活動との対応の検証を試みた。

キーワード：阿蘇火山，温度，火山活動

1. はじめに

阿蘇火山の火山活動の記録は日本の火山の中ではもっとも古く、欽明天皇14年の頃の553年に火口から煙が出たと「肥後國誌」に記されている。しかし、当時どのような火山活動を呈していたかは不明である。その後の古文書によれば、どの火山活動も現中岳火口で活動し、最近と同じような活動があったことが述べられている。最近70数年間の阿蘇火山の火山活動は、1930年代に近年では稀な比較的大規模の活動をして以来、活動火口が中岳第1火口に限定され、湯だまり形成・土砂噴出・火口底赤熱・ストロンボリ式噴火という具合に活動が繰り返されている。

このような阿蘇火山の動的な面、すなわち噴煙・鳴動・火山灰・爆発などダイナミックに変化する中岳第1火口の火山活動を迎えるにあたって、その前段階にあたる湯だまりの状態変化を詳細に見ることは、火山活動の推移を把握するのに大変重要である。そこで、本報文では、1991年にマグマ活動が一通り終了し、第1火口に湯だまりが形成された以降の湯だまりについて、その状態の変化をまとめた。これまで、阿蘇火山の火山活動については、多くの場合、噴火や爆発などに注目が集まり、この湯だまりについては研究の対象とはならなかった。しかし、定期的になされた湯だまりの状態把握から、火山活動の推移、特に活動の上昇状態がはっきりと浮かび上が

ったので、此処に報告する。

2. 第1火口の活動の様相変化

最近70年間の火山活動の経過を見ると、中岳の火山活動は第1火口内に湯が溜まる状態、いわゆる湯だまりの状態から多量の火山灰の噴出を経て、噴石活動に移行する現象を繰り返していることがわかる。それらをもう少し詳しく見てみると次のようになる。

[1] 湯だまり - 噴湯現象 -

第1火口内には、通常約50℃～60℃前後の温度の緑色をした湯が溜まっている。湯だまりの水位は、地下水や天水などにより補充され、ほとんど変化しない。しかし、火山活動が活発上昇傾向となると、湯だまりの温度が上昇をはじめ沸点近くまでに達し、同時に噴湯が発生し蒸発が促進される。

[2] 土砂噴出 - 水蒸気爆発・爆発型噴火・小型低温火砕流 -

湯量が徐々に減少していく過程で、火口内で土砂噴出と呼ばれる湯と土砂が爆発的に噴出する現象が断続的に発生する。この時、火口底や火口壁を形成していた古い岩体の破片を放出することが多い。それらは火口内にとどまらず、火口壁を越えて1kmの距離まで達することも稀ではない。噴き飛ばされる岩体の大きさは、時には直径5m以上になることもある。

[3] 赤熱現象 - 火口底露出 -

土砂噴出が繰り返され、湯が火口外に放出されるとともに湯の温度もさらに上昇し蒸発が進み、湯がさらに減少して、まもなく火口底が干からび露出ようになる。この時、火口底に小さな噴気孔が出来、そこから高温の火山ガスが噴出するため噴気孔周辺が熱せられ赤く輝く。噴気孔の数によって、火口底の一部あるいは全面にわたって赤熱する。これはとても美しい光景である。

[4] 開口活動 - 火山灰噴出・噴煙型活動 -

その後、火口底の1カ所あるいは数カ所に直径数m程度の火孔が開き、火山灰が噴出する。開口活動である。火山灰の噴出がさらに激しくなり、鳴動とともに火炎が数10mの高さまで噴き上がる。この時には火孔に火山ガスが集中するため、赤熱現象は無くなる。火孔は拡大して合体し直径数10mまでの大きさに成長し、その後火口底全面までに広がる。この火孔が拡大する過程で火山灰の噴出が一層激しくなり、阿蘇火山周辺はもとより、阿蘇の東に位置する大分県も降灰の被害を受ける。

[5] ストロンボリ式噴火 - 火炎現象・鳴動・赤熱噴石・火映現象・火柱現象 -

火孔の拡大過程とその後に、赤熱の噴石が多数放出されるストロンボリ式噴火現象がみられる。この過程では多くの場合、噴石は新鮮な発泡の進んだスコリアで、マグマの上昇と放出が確認される。この時、鳴動は一段と激しくなり阿蘇カルデラ全域で聴くことが出来るまでになる。この間火映もみられ、時には火柱も見られる。これも美しい光景である。

[6] 終息過程 - 水蒸気爆発・爆発型噴火・小型低温火砕流 -

ストロンボリ式活動がしばらく続き、その後徐々に弱まって活動が終息する。そして、降雨により火口周辺に堆積していた火山灰が雨水とともに火口内に流れ込み、また、火口壁が崩落して火孔が埋まり、再び火口底が出現しだす。同時に火口底に徐々に水がたまり、火口底全面が湯で満たされ水位が徐々に上昇し完全な湯だまりが形成される。この過程で火山活動にまだ余力があれば水蒸気爆発など爆発的噴火を生じるが、それも終息過程のひとつである。こうしてある一定の水位を保った湯だまりが形成され、静穏な期間が続くと湯だまりが緑色となり、ひとつのサイクルが終了する。

ここで述べた中岳第1火口の活動様式をまとめたものを Fig. 1 に示す。もちろん、常に第1火口の活動がこのように変遷するとは限らず、サイクルの途中で終息することもあり、個々の現象が重複することもある。

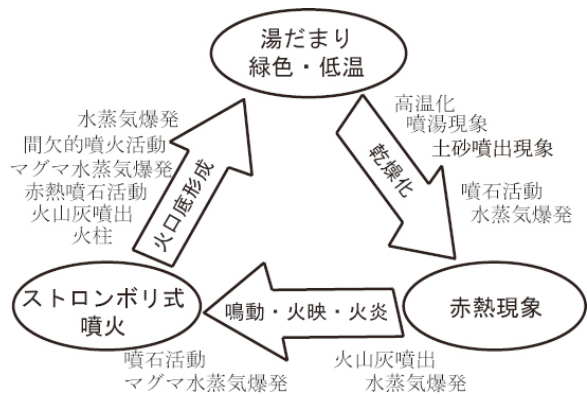


Fig. 1 Process of volcanic activity at Aso Volcano

3. 中岳火口の活動経過の同一性

古文書を見ても最近の活動を見ても、活動期には常に多量の火山灰の放出が見られる。中岳火口の活動は多量の火山灰を放出するのが大きな特徴でもあるが、これまで述べた活動の変遷は単に最近70年間だけのことではなく、記録に残っている過去の活動でも同じようであった。

今からおよそ190年前の1815年（文化12年）の活動がいくつかの資料（伊木常誠、大森房吉、今村明恒、熊本測候所）に載っている。元資料は「長野家日記」に依るらしい。この時の活動経過が次のように書かれている。

「神池（中岳火口）は常に水を湛えて静かなる平常の姿であるが、たびたび水が涸れ枯渇して、鳴動し始め、不穏な兆しが現れる。文化12年の時の活動は、安永年間（1772年から1780年）の活動に次いで最も激しく、これを目の当たりに見たのでその状況を報告する。

火口には湯だまりがあったが、徐々に涸れて、4月末には完全に枯渇し、池底（火口底）に火孔が出来（開口活動）、そこから火炎が勢いよく出て、火孔の周辺は赤く熱せられ、真っ赤に灼熱に焦げ、紫黄色や紫紅色となっている。

火孔では激しい鳴動とともに硫黄ガスが勢いよく噴出していた。5月になって黒煙を多量に出し始め、日ごとに勢いが増し、6月になってもその勢いは収まらず、黒い噴煙は巨大化し、2里ほどの道を覆うようになり、カルデラ一帯で日も差さず、昼なのに真っ黒で、その下は昼間でも夜ようになった。

火口周辺では噴煙の中に火炎が吹き、また、噴煙の中は噴石が混じり、火の玉が見え、12町くらいの距離まで赤熱噴石が降り注ぎ、火石が雨のように降り注ぎ、噴石同士がぶつかり合って、光り輝き、また、火山雷が激しい。

カルデラの中の田畑は火山灰で埋まり、あるいは

荒廃した。9月になると比較的穏やかになりつつあるが、カルデラ内の田畑原野みな霾（よな）で覆われ、荒涼となった。」この火口の表面活動の変化の様子は、先に述べた最近の活動状況と全く同じである。

つまり、阿蘇火山中岳の火山活動の特徴は、その活動の強弱の程度の差は大きい、多くの場合は、

[1] 活動火口に緑色を呈した温度60℃前後の湯だまりがある。

[2] 湯だまりの中で爆発を起こし、熱湯を噴出し、蒸気と古い岩片や火山灰を放出する。

[3] 火口底が湯だまり状態から乾き露出し、赤熱状態に入り、猛烈な火山灰を噴出する。

[4] 最盛期には、熔融マグマの破片をストロンボリ火山のように噴出する。

[5] 湯だまりの形成。
という過程を経る。

この過程の途中では、時には、火山ガスが多量に火口から噴き出され地面を這うように流下し、草木や農作物が帯状に枯れることもあり、また、湯だまりが火口から溢れ出て熱湯となって流下し、建物を破壊したこともあった。

さらに、土砂噴出活動が活発な時には、横殴りの（それほど高温ではないが）火砕サージといわれる火山灰を含んだ爆風が生じたりすることもあった。

つまり、阿蘇火山中岳の火山活動の変遷のパターンは、「湯だまり」→土砂噴出→「赤熱現象」→火山灰噴出→鳴動→噴石活動→「ストロンボリ式噴火」→「湯だまり」となり、Fig. 1 に示したような三角ダイアグラムでひとつのサイクルとなる。このサイクルを一回りするのには数日間という非常に短期間の時もあれば、数年間かかることもある。

これまで太古からこのサイクルが何度となく繰り返されてきた。中岳第1火口の活動は、このような火口内の表面状態の変化を観察することで充分理解できるわけである。

4. 火山性微動

- 活動に対応して大きく変化 -

阿蘇火山には多種の広帯域にわたる火山性微動が常に観測される。このうち短周期微動には連続的なものから孤立型のものまでである。これらの短周期微動は、噴火活動前期からその振幅が増大し卓越周波数が徐々に低くなり、活動最盛期には2Hzまで低下する。この周波数の高周波から低周波への変化は、火道の拡大を示すものと考えられる。

一方、孤立型微動も火山活動が活発化すると発生

回数・振幅がともに増大する。

いずれの微動の振幅は火山活動の状況に応じて大きく変動し、最盛期には火口から10数km以上離れたカルデラ外側においても記録される。

これらの微動の震源の特定は困難であるが、火口直下数100mから1km以浅程度で、極めて火口浅部で発生していると推定されている。

火山性微動は、このように活動期になると大きく変動するので、火山活動を表現する重要な指標ともなっている。

5. 第1火口の湯だまり表面と火口南壁赤熱部の温度変化

1989年から1993年はじめまでは、断続的なストロンボリ式噴火が発生していた。その後、噴火で火口外に落下した土砂や火山灰等が降雨によって雨水とともに火口底へ流れ込み、火孔が閉塞した後、流れ込んだ水が熱せられたことにより湯だまりが形成され現在に至っている。

阿蘇火山中岳第1火口では、1993年から定常観測として阿蘇山測候所により赤外放射温度計を用いて、第1火口の湯だまり表面温度および南壁噴気地帯の表面温度測定がなされている。火山研究センターにおいても、2003年2月から同様の測定を開始した。

1993年から2003年11月までの測定結果を Fig. 2 に示す。この間、1994年から1995年に火口中央部からの土砂噴出現象、1996年に火口中央部土砂噴出と南壁の赤熱現象があった。1997年以降は、第1火口南壁の赤熱現象は消失し噴気活動のみとなった。

Fig. 2 で示されるように、1998年には湯だまりおよび南壁の表面温度が最も低いレベルに落ち着いていることがわかる。これは、Fig. 3 で示す火山性微動振幅レベルと調和的である。しかし、2000年になると再び南壁の温度が上昇し赤熱現象がみられはじめ、2003年現在まで継続している。また、2003年7月10日には約7年ぶりの土砂噴出現象が発生した。2003年の温度測定結果を Fig. 4 に示す。（補足：Fig. 2 と Fig. 4では、絶対的な数値が違っているが、阿蘇山測候所と火山研究センターで使用している機械の相違によるもので、相対的な変動は同じ傾向を示している）

2月から南壁温度および湯だまり温度ともに上昇しているが、7月10日に火口中央部で土砂噴出現象が発生すると、南壁温度の低下がみられた。これは、中央部下において蓄積された高温の火山ガスが大量に放出されたことにより、南壁噴気地帯では大気の吸い込みが起こったためではないかと推察される。

その後、南壁の温度が再び上昇に転じていることから、この土砂噴出現象は、即噴火に繋がるものではなく一時的な高温火山ガス圧の高まりによるものと考えられる。しかし、熊本大学によって分析された降灰に含まれる新鮮な火山ガラスの存在からしても、今回の土砂噴出現象が第1火口浅部へのマグマの上昇に関係していること事は間違いないと思われる。

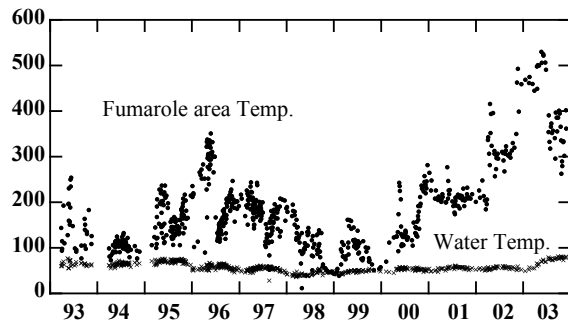


Fig. 2 Temperature variations of the hot water lake and the fumarolic area during the period at Naka-dake 1st crater from 1993 to 2003

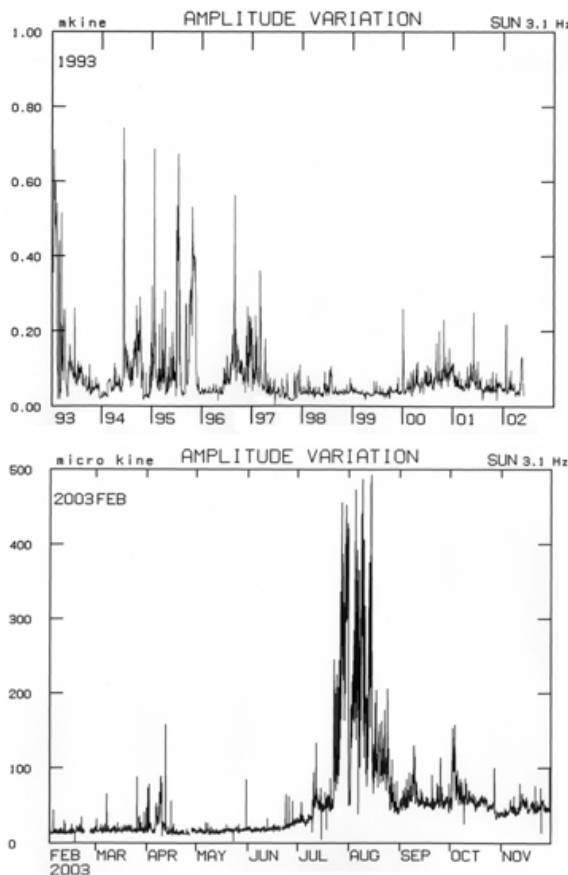


Fig. 3 Amplitude variations of volcanic tremor.

Up: the period from 1993 to 2002

Bottom: the period from February to November in 2003

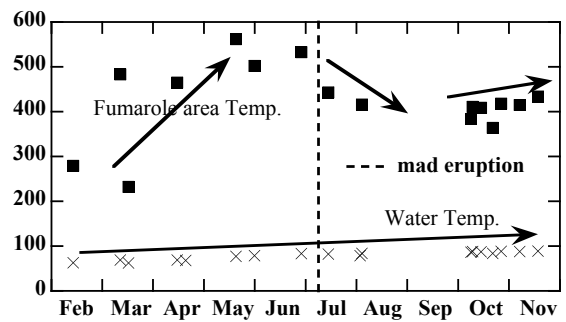


Fig. 4 Temperature variations of the hot water lake and the fumarolic area at Naka-dake 1st crater during the period from February to November in 2003

6. おわりに

ここでは阿蘇火山中岳第1火口の表面現象である湯だまりと火口南壁の温度変化を定期的に観測した結果をまとめた。この報告の意義は、阿蘇火山の10数年ぶりの活動が差し迫った昨今、その前段階である火口表面現象の変化を詳細に記すことが重要と考えたからである。

得られた結果からはっきりと言えることは、火山活動の上昇期には、

- 湯だまりの湯量が減少する。
- 湯だまりの温度が上昇する。
- 火口南壁の表面温度は、湯だまりの温度と連動して変化する。
- 湯だまりの温度は沸点以上には上昇できないので、その時は湯量が減少となる。
- 湯だまりが沸点に達すると、南壁温度がさらに上昇傾向となる。

このような変動は火口直下からの熱、火山ガスが大きな役割を担っている。従って、温度の上昇は、取りも直さずマグマからのガスの地表近傍での高温化を意味し、それはマグマの上昇か、あるいは、地下でのガス通路付近のドライアップ化を考えさせることになり、火山活動の活発化を物語る。今回は温度に焦点を絞ったが、火山活動の活発化は、当然湯だまりの成分や状態変化をもたらすものであり、また、南壁からのガスの放出量も増大すると考えられる。湯だまりの湯を直接採取することは困難であるが、別の報告にあるように、我々は数回直接採取に成功している。その結果によれば、明らかに温度も上昇し、pHの減少しており、成分にも変化が出ている。火山ガス、特に二酸化硫黄の放出量も徐々に増加傾向にある。

これらの測定結果を総合化すると阿蘇火山は近い将来、本格的な活動期を迎える可能性は極めて高い。

参考文献

- 伊木常誠 (1900) : 阿蘇火山調査報文. 震災予防調査会報告第33号, 1-90.
- 平塚忠之助 (1906) : 阿蘇新噴火実況調査報告. 震災予防調査会報告第56号, 25-27.
- 佐々憲三 (1937) : 阿蘇火山爆發予知の問題. 火山第1集3巻, 125-143.
- 福岡管区气象台 (1965) 九州の火山噴火史. 福岡管区气象台要報20号
- 福岡管区气象台 (1967) 近年の阿蘇・桜島火山の活動状況. 福岡管区气象台要報22号
- 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号
- 熊本測候所 (1931) : 阿蘇山噴火史要, pp128
- 荒木精之 (1990) : 阿蘇, 第4回熊本県民文化祭阿蘇実行委員会, pp. 254.
- 後藤是山編 (1916) ; 肥後国誌上巻. 九州日日新聞社印刷部, pp. 698.
- 後藤是山編 (1917) ; 肥後国誌下巻. 九州日日新聞社印刷部, pp. 809.
- 熊本県教育会阿蘇郡支会編 (1973) ; 阿蘇郡誌 (1926 発行の復刻). 名著出版, pp. 91

Volcanic Activity and Surface Temperature Variation of Crater Lake in Naka-dake Crater at Aso Volcano

Shin YOSHIKAWA and Yasuaki SUDO*

* Graduate School of Science, Kyoto University

Synopsis

In Naka-dake 1st Crater at Aso Volcano, very hot temperature crater lake has been kept from 1992. The temperature was about 60 degrees until summer 2003. From that time, the temperature has been increasing to 90 degrees, this temperature is nearly the boiling point, and the hot water level of the lake has been lower down about a few ten meters. Furthermore, at the south wall of 1st Crater, the incandescent field, its temperature has been about over 500 degrees, has been appeared from November 2000. This temperature has varied according to the volcanic activity.

Keywords: Aso volcano, temperature, volcanic activity