

三宅島火山における地下マグマシステム

中田節也¹⁾・合同観測班地質グループ

¹⁾ 東京大学地震研究所火山噴火予知研究推進センター

Magma system of the Miyakejima 2000 eruption

Setsuya Nakada¹⁾ and Geologic Party, Joint University Research Group

¹⁾ Volcano Research Center, Earthquake Research Institute, University of Tokyo

要旨

The Miyakejima 2000 eruption started with submarine eruption, followed by the sudden collapse of summit area. The collapse that had continued was associated with phreatic to phreatomagmatic eruptions. The activity can be divided into stages of magma intrusion, summit collapse, explosion, and degassing. The characteristics of eruption products and observation results by electromagnetism and seismic activity imply the contribution of a hydrothermal system to these eruptions. Loss of mass due to magma's migration from Miyakejima to the NW would have produced large holes beneath the volcano, into which the summit had been subsided. Groundwater flowed into the holes generated the hydrothermal systems that was destroyed by the August 18 eruption but had survived by the end of August. Juvenile materials related to these eruptions are not evident except for the submarine eruption.

1 噴火の推移

三宅島 2000 年噴火では、前夜からの地震活動の活発化に引き続いて 6 月 27 日未明に海底噴火があった後、一旦おさまった島内の地震活動が 7 月 4 日から再活発化し 7 月 8 日の山頂陥没に伴って山頂噴火が起こった。その後、山頂陥没口が大きく成長するとともに 8 月末まで水蒸気ないしマグマ水蒸気爆発が繰り返した。9 月からは大量の二酸化硫黄の放出され始め火山灰を断続的に放出した。その後、火山ガスの放出は継続し、12 月末から 1 月初めにかけての火口壁の小崩壊を挟む期間には高温化した火口と火映現象が観察された。今回の活動は、7 月 8 日までの「マグマ貫入期」、8 月 10 日までの「山頂陥没期」、8 月 29 日までの「爆発期」、それ以降の「脱ガス期」に分けることができる (表 1)。爆発期には山頂噴火が連続して発生し、最大規模の噴火が 8 月 18 日に発生した。この噴火の噴煙は成層圏にまで達したと考えられ、火山弾様の噴石が山腹に降り積もり径 5cm に達する噴石が住宅地にも降り注いだ。8 月 29 日には噴煙高度が低いながらも、火砕流様の灰雲が島の北と南西方向にゆっくりと流れ下った。

2 噴出物の特徴

今回の噴出物の火山灰は三宅島におけるこれまでのマグマ噴火に比べて極めて細粒であるため、噴火に水蒸気が関与し、火口内で噴出物の破碎が効果的に起きたことを物語っている。火山灰は主に変質がやや進んだ古い溶岩の破片からなるが、中には結晶質の新鮮な火山岩片や、量は少ないが発泡した新鮮なガラスも認められる。スメクタイトやカオリナイトなどの熱水変質鉱物が8月までの噴出物には10%以下程度含まれたが、9月の噴出物からは認められていない。また、特徴的に硬石膏、焼石膏、石膏の石膏類が認められる。これらの石膏類は水に容易に溶けたり、乾燥すると析出したりする。このため、同一イベントの噴出物でも、豆石の有無、降雨を伴ったかどうかなどの産状によって、出現する石膏類の形態が異なっている。

無人潜水艇を使って採取した6月27日海底噴火の溶岩(玄武岩質安山岩)を除いて、2000年噴火に直接関与した本質物質は現時点でははっきりしない(表2)。しかし、8月18日噴火で放出された噴石がカリフラワー状を呈したり赤色火山灰を付着していることなどから本質物質である可能性が噴火直後から指摘された。この噴出物は結晶に富む玄武岩で、噴石によらず良く似た組織と狭い化学組成範囲を持つ(安田・他, 投稿中)。本質物質かどうかを見極めるひとつの方法として、堆積時に高温であったかどうかを検討することがあげられる。現在古地磁気学的な検討から噴石が堆積時に高温であったかどうかを検討中であるが、予備的な結果からは高温であったとの証拠は得られていない。

3 火山灰付着成分変化

3.1 硫酸・塩酸イオン比

採取した火山灰の水溶性付着成分が東京工業大学草津白根火山観測所の平林順一教授と野上健治博士によって分析された。それによると、8月までの噴出物は、水溶性の硫酸イオンが多量に含まれ、塩素イオンが極めて少ない(風早・他, 印刷中)。また、9月に入ってから噴出物は、硫酸イオンが急減し塩素イオンが急増している。前者は水蒸気爆発特有の性質であり、後者はマグマ水蒸気爆発特有の性質である(Nogami *et al.*, 印刷中)。8月29日噴出物ではそれ以前の火山灰に比べやや塩素イオン濃度が上昇する傾向が認められ、Nogamiらのモデルに従うと、水蒸気爆発からマグマ水蒸気爆発への過渡的なものと解釈できる。また、上の火山灰の特徴から考えても、強い熱水の関与が8月噴火までは存在し、9月噴火では消えたことが分かる。

3.2 硫黄同位体比

火山灰に付着した水溶性硫酸根の硫黄同位体比も上の結論を支持する。硫酸根の硫黄同位体比は東京大学大学院理学研究科の今井 亮博士と下司信夫君が測定した。すなわち、7月から9月まで継続した火山灰放出活動の期間を通して約+5~+9.5パーミルの間で変動し、かつ噴火の進行につれて系統的な減少した(図1)。すなわち、7月8日火山灰の+5~+7.3パーミルを除き、7月14日から8月29日にかけて発生したマグマ水蒸気

爆発による火山灰は+7~+9.4パーミルを示し、9月に放出された火山灰からは+5.3~+7.8パーミルと低い同位体比が得られた。マグマから脱ガスした硫黄は地下水や熱水に溶け込むと、硫酸イオンと硫化水素に分配される。この分配は温度に激しく依存する。硫化水素の同位体比はマグマに比較的近く、硫酸イオンの同位体比は温度が低いほど³⁴Sに富む。時間とともに減少する硫酸根の硫黄同位体比変化の可能性として2つの理由を考えることができる。ひとつは、硫酸根が主に硫酸イオンを代表し、熱水系の温度が時間とともに上昇したため、硫酸イオンに分配される³⁴Sが減少した。もうひとつは、熱水の中では平衡状態で同位体比が主に硫酸イオンを代表していたが、時間とともによりマグマから流入した硫黄が熱水中で平衡に達する前に爆発で放出されるようになり、熱水の同位体比からマグマに近い同位体比を示すようになった。従来伊豆弧の火山で想定されているマグマの硫黄同位体比(+0~+5パーミル)に入る(今井 亮によるまとめ, 未公表)。

4 熱水系の関与

図2には三宅島の南部にある大路池の水源における導電率の時間変化を示した。この変化は、一見、山頂の陥没口の陥没量変化と良く似ている。すなわち、陥没率は陥没開始時が最も大きく8月始めにかけて次第に小さくなる(中田・他, 2001)。電気伝導率は海水の流入やマグマ由来の硫酸や塩酸イオンなどが付加することで上昇する。これは地下水系に大きな変化が陥没開始から起こり始め、陥没開始時に最も急であったことを示している。すなわち、地下に空洞が形成されたため、地下水がそこに向かって流入して海水が火山内に引き寄せられたか、あるいは、マグマから脱ガスしたガスが効果的に地下水系に流入しやすい環境が整ったかのいずれかの可能性が考えられる。

一方、「山頂陥没期」~「爆発期」において、傾斜変動の規則的な発生に伴った自然電位変化や長周期地震の研究からも火山体内での流体の急速な移動や膨張があったことが提案されている(笹井・他, 2001; 菊地・他, 2001)。また、当初の陥没形態、噴出物に比べて大きい陥没量、および、電磁気と重力観測の結果(笹井・他, 2001; 古屋・他, 2001)からは、山頂の陥没中も地下に空洞が形成され続けたと考えられる(図3)。このため、空洞に入り込んだ地下水が熱水系を形成し続けた可能性が強く、この熱水系が8月18日噴火で破壊され、9月には消失したものと考えられる。この結果、9月に入って、マグマからの脱ガスが地表へ大量の二酸化硫黄を直接もたらすようになったと解釈できる。地下に空洞が成長し続けた原因は、古屋・他(2001)などが提案するように、三宅島の地下から大量のマグマが神津島方向に移動したためであると考えられる。このようなマグマの大移動は、フィリピン海プレート北端における特殊な造構的な要因によって、数千年単位で繰り返し起こっていたものであろう。

5 まとめ

以上のように、三宅島2000年噴火は地下マグマの西方移動に伴って、山頂の地下に空洞ができ、そこに山頂部が落ち込んで陥没が起こった。空洞に熱水が入り込んで熱水系が形成され、これが原因で規模の大きい水蒸

気ないしマグマ水蒸気爆発が連続して発生したものと考えることができる。熱水系は8月18日噴火で壊れ、9月までに消失した。今回の噴火に関与したマグマの特定は、現時点では6月27日海底噴火の溶岩を除いて難しい。

謝辞

三宅村役場には大路池の水源に関する情報を提供していただきました。

参考文献

古屋正人・大久保修平・田中愛幸・孫 文科・渡辺秀文・及川 純・前川徳光, 重力変化でとらえた2000年三宅島火山活動におけるカルデラ形成過程, 地学雑誌, 110, 2001 (印刷中).

風早康平・平林順一・森 博一・尾台信弘・中堀康弘・野上健治・中田節也・篠原宏志・宇都浩三, 三宅島火山2000年噴火における火山ガス: 火山灰の付着ガス成分およびSO₂ 放出量から推測される脱ガス環境, 地学雑誌, 110, 2001 (印刷中).

菊地正幸・山中桂子・瀧澤一起, 三宅島噴火に伴う長周期地震のメカニズム, 地学雑誌, 110, 2001 (印刷中).

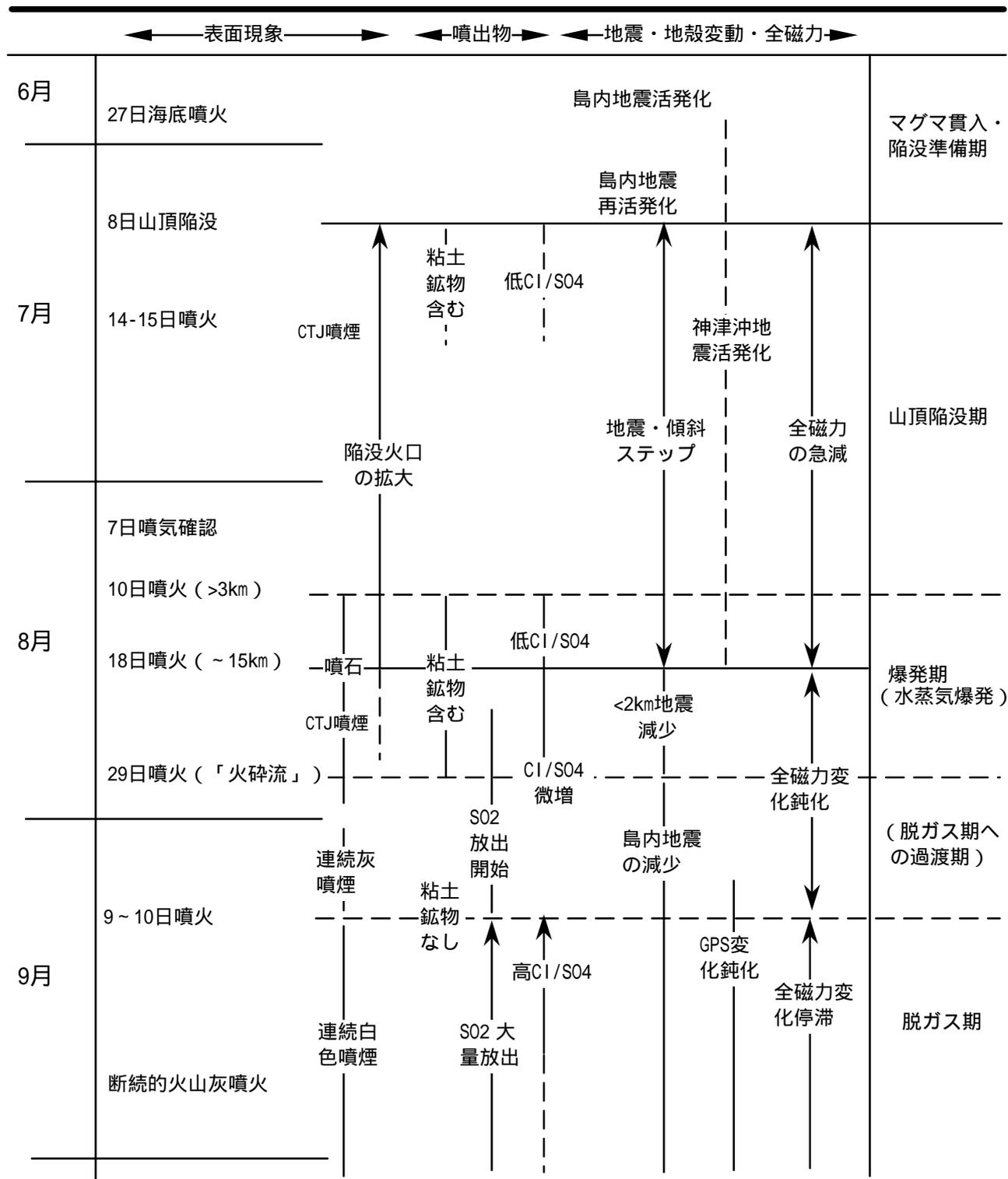
中田節也・長井雅史・安田 敦・嶋野岳人・下司信夫・大野希一・秋政貴子・金子隆之・藤井敏嗣, 三宅島2000年噴火の経緯: 山頂陥没口と噴出物の特徴, 地学雑誌, 110, 2001 (印刷中).

Nogami, K., Hirabayashi, J., Ohba, T., Ossaka, J., Yamamoto, M., Akagi, S., Ozawa, T., and Yoshida, M., Temporal variations in constituents of volcanic ash and adherent water-soluble components in the Unzen Fugendake eruption during 1990-1991, *Earth Planets Space*, 54, 2001 (in press).

笹井洋一・上嶋 誠・歌田久司・鍵山恒臣・Jacques Zlotnicki, 地磁気・地電位観測から推定される三宅島火山の2000年活動, 地学雑誌, 110, 2001 (印刷中).

安田 敦・中田節也・藤井敏嗣, 2000年三宅島噴出物の melt inclusion に記録されたS濃度とfO₂環境, 火山, 2001 (投稿中).

表1: 噴火の推移表。合同観測班、気象庁、防災科技研、国土地理院などの観測結果をまとめたものである。



CTJ噴煙：コックスタージェット噴煙

表2: 三宅島噴火の噴出物の全岩化学組成。6月27日噴火の溶岩は1983年溶岩と酷似した組成を持つ。8月18日の噴石はこれに対してより珪酸分に乏しく、いずれの有史溶岩とも組成が異なるが、今のところ噴石が高温で堆積したという確実な証拠は見当たらない。

N	1983年	6月27日 海底噴火	8月18日
	9	2	5
SiO ₂	53.17	53.51	51.60
TiO ₂	1.42	1.38	1.12
Al ₂ O ₃	14.88	14.74	17.91
FeO*	13.49	13.41	11.16
MnO	0.25	0.24	0.20
MgO	4.06	4.12	4.19
CaO	9.13	8.93	10.85
Na ₂ O	2.83	2.94	2.43
K ₂ O	0.56	0.58	0.41
P ₂ O ₅	0.20	0.15	0.12

(Normalized to 100%)

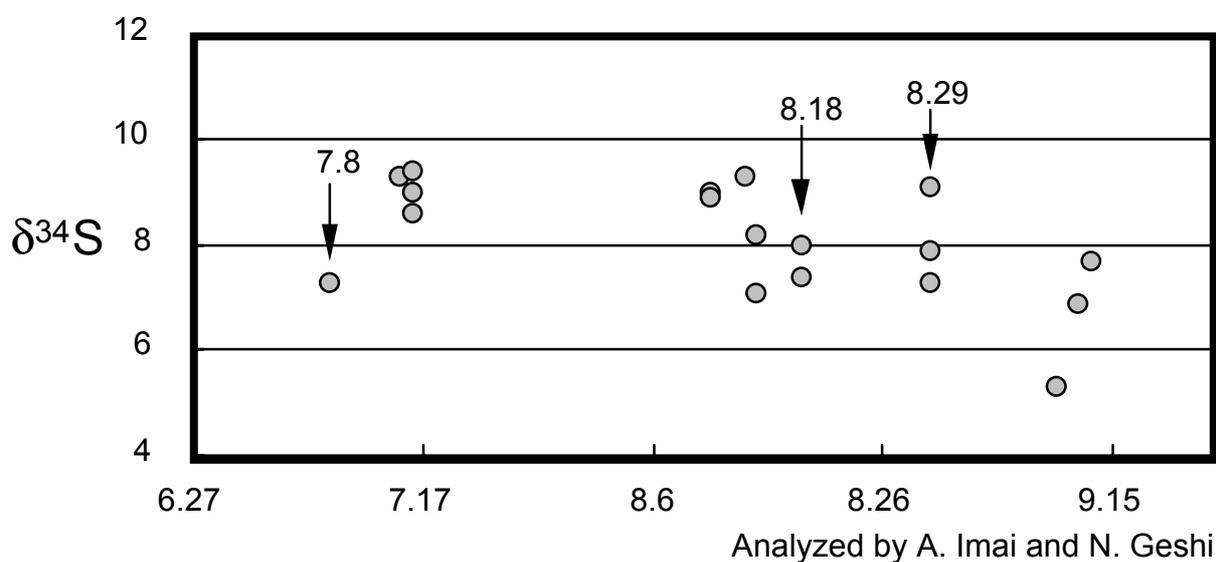


図1: 火山灰に付着した水溶性硫黄の同位体比変化。同位体比は7月8日噴出物を除き、次第に同位体比が減少する。7月8日噴出物だけは、主に酸化した既存の岩石からなる比較的粗粒の火山灰である。それ以外の噴出物は細粒の火山灰を主とする。

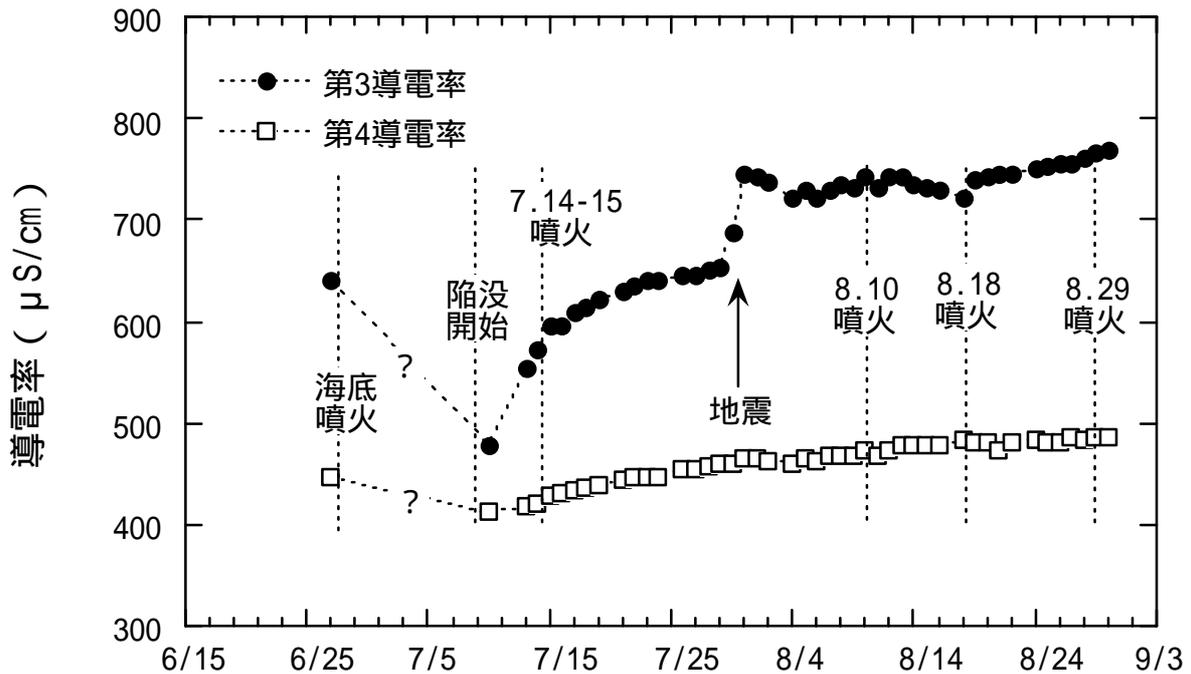


図2: 大路池水源における導電率の時間変化。地震による変動を除いて、導電率の変化は山頂陥没口の陥没量変化とよい相関を示している。データは三宅村役場による。

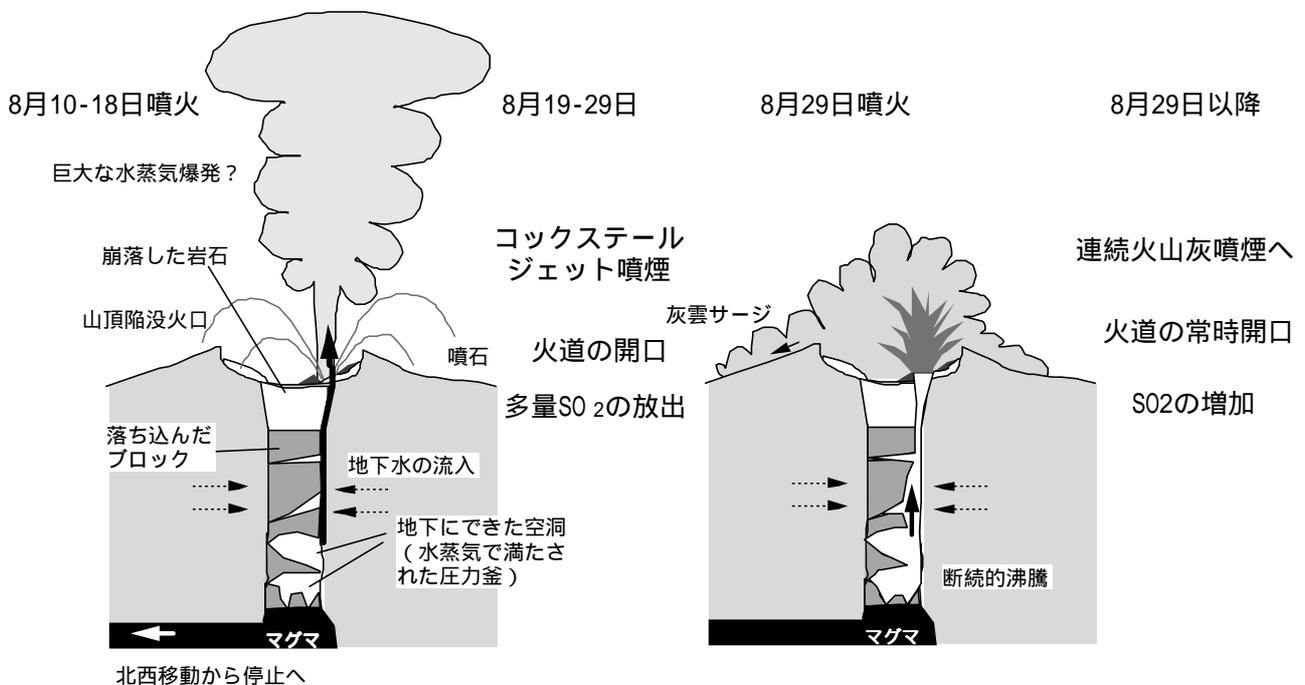


図3: 地下のマグマモデル。8月18日までは地下の空洞に入り込んだ地下水が加熱され熱水系を形成していた。18日の噴火でこの熱水系が破壊され始めた。噴火は熱水が強く関与した水蒸気マグマ水蒸気爆発であった。