

# 桜島昭和火口における噴火活動と地球化学的観測研究 -火山灰水溶性成分による噴火活動評価-

野上健治\*・井口正人\*\*・味喜大介\*\*・為栗 健\*\*  
山本圭吾\*\*・園田忠臣\*\*・関 健次郎\*\*・佐藤 泉\*

\* 東京工業大学火山流体研究センター

\*\* 京都大学防災研究所

## 要 旨

桜島昭和火口の噴火活動は2006年6月に58年振りに再開し、2009年からは爆発的噴火回数も急増し、2011年以降は年間1000回を超える噴火・爆発が発生し極めて活動的な状態が続いている。2006年の噴火再開以降、降灰を継続的に採取し、それらに含まれる水溶性成分を定量した。

2006年から2007年にかけてはマグマから放出される揮発性成分は火山体浅部の地下水系の影響を受けていたが、2007年の噴火以降、地下水系の影響が小さくなり火道が確立されたと推察される。2008年以降の噴火活動と水溶性成分から求めたCl/SO<sub>4</sub>モル比は同期して変動している。2009年7月以降、SO<sub>2</sub>放出量が増加し、マグマヘッドが火山体浅部に移動して脱ガスが促進され、噴煙の温度も上昇したと考えられる。2010年以降、Cl/SO<sub>4</sub>モル比は急激に上昇し、徐々にその上昇の間隔が短くなっており、昭和火口に対して継続的にマグマが上昇していることを示している。降灰採取の時間分解能を向上させる事で、水溶性成分の時間変化からマグマの上昇を詳細に捉えられるようになり、より細かい火山活動のモニタリングができるようになると考えられる。

キーワード：桜島、昭和火口、火山灰水溶性成分

### 1. はじめに

火山噴火は極短時間にエネルギーと物質を大量に放出する現象であり、マグマ中に含まれる、H<sub>2</sub>Oを主成分とする揮発性成分がその原動力である。この揮発性成分がマグマから脱ガスすることでマグマの密度や粘性などの物性が急激に変化するために、噴火様式が多様化する。従って、火山噴火の準備過程においてマグマからの脱ガスプロセスを明らかにするためには、火山ガスの化学組成や放出量の継続的観測が不可欠である。

噴火によって放出される火山灰には水溶性成分が含まれており、これらは火山灰放出時に噴煙中で火山灰粒子と火山ガス成分が反応して表面に生成した水溶性の塩類であると考えられている (Taylor and

Stoiber, 1973)。火山灰水溶性成分中の Cl/S モル比と火山ガス中の HCl/SO<sub>2</sub> モル比が一致することが、小坂・小沢 (1975) や Nogami et al.(2001)、野上・他 (2008) など確かめられている。これは噴煙中の HCl と SO<sub>2</sub> がその割合を保って火山灰表面に付着することを意味し、降下火山灰の水溶性成分の分析によって噴火時の HCl/SO<sub>2</sub> モル比を推定する事が出来ることを示している。更に、桜島では水溶性成分の Cl/SO<sub>4</sub> モル比は爆発回数と調和的に変動することが明らかにされており (Hirabayashi et al., 1982)、有珠山(野上・他, 2002) や十勝岳(小坂・他, 1998)、雲仙普賢岳 (Nogami et al., 2001) などでもこの方法によって火山活動のモニタリングが行われている。

桜島火山は、約 22000 年前に起こった始良カルデ

ラの活動の後に形成された火山で、有史以降、溶岩の流出を伴う山腹噴火と噴石や火山灰が放出される山頂噴火とが繰り返されてきた。1955年10月より南岳山頂火口において突然噴火活動を再開し、50年間以上の長期にわたって約8000回の爆発を繰り返したが、ここ数年では年に数回しか爆発していない。その一方で、南岳東山腹の昭和火口で2006年6月4日に噴火活動が58年ぶりに再開した。2006年、2007年の昭和火口での噴火活動は数日間以内で終わったが、2009年以降は一ヶ月間の爆発回数が100回を超えることは珍しくなく、非常に活発な状態が続いており、2013年8月18日には噴煙高度が5000mを超える大きな噴火が発生した。本報告では、2006年6月の昭和火口噴火時から継続的に採取された降灰の水溶性成分の分析結果を示し、2013年12月末までの火山活動との対比を行った。

## 2. 火山灰試料の採取と分析

2006年以降の噴火に伴う降灰試料はその殆どを桜島火山観測所の方々に採取していただき、直ちに草津白根火山観測所に送付していただいた。火山灰試料は降灰中に採取したものだけではなく、土砂等の混入の恐れがないように、火山観測所構内や通行量の多い道路から離れた地点の植物の葉や駐車中の車両、観測井のステンレス製蓋などから採取した。

分析にはすべて特級試薬を用い、水は逆浸透 - イオン交換水を更にイオン交換高純度精製装置（著者らはBarnstead NANO pure IIを使用）により精製したものをを用いた。火山灰試料をビーカーに正確に秤り、これに精製水を加える。約80℃に保ったホットプレート上で一昼夜加温する。空冷後、これを濾過しながらメスフラスコに移し、精製水で定容にしたものを分析した。塩化物イオンおよび硫酸イオンはイオンクロマトグラフで定量し、火山灰量と濃度から火山灰1kgあたりの水溶性成分量を求めた。

## 3. 結果と考察

火山灰1kg中の水溶性Cl、SO<sub>4</sub>量、及びCl/SO<sub>4</sub>モル比の時間変化をFig.1に、SO<sub>2</sub>放出量の平均値の時間変化をFig.2に示す。

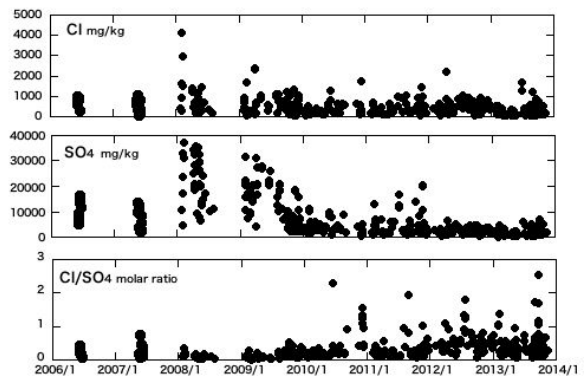


Fig.1 Temporal change in water-soluble Cl, SO<sub>4</sub> contents and Cl/SO<sub>4</sub> molar ratio between 2006 and 2013

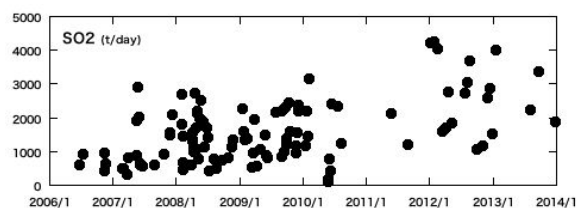


Figure 2 Temporal change in SO<sub>2</sub> discharge rate between 2006 -2013

2006年及び2007年の噴火に伴う降灰の水溶性成分量はCl、SO<sub>4</sub>ともに殆ど変わらないが、同時期に発生した南岳の噴火に伴う降灰の水溶性成分量に比べてSO<sub>4</sub>は概ね1/2~1/4であるのに対して、Clは1/10程度であり、従ってCl/SO<sub>4</sub>モル比も低い。SO<sub>2</sub>放出量も2006年の噴火以降、2007年の噴火再開まで日量1000トン以下であり（Fig.2）、南岳からの定常的放出量一日約2000トン（森・他、2008）に比べるとはるかに低い。2007年以降、SO<sub>2</sub>放出量は徐々に増加し、2008年の噴火までに放出量は一日約2000トンを超えていた（Fig.2）。これらの結果は、噴火が始まった2006年から2007年にかけては火道が確立されおらず、火山体浅部にあると考えられる地下水系に火山ガス成分が吸収されていたが、2008年以降になるとマグマから放出されたガスに対する火山体浅部の地下水系の影響が小さくなり、火道が確立されたことを示している。

2008年1月末から再開した噴火活動では、噴火直後は降灰の水溶性Cl、SO<sub>4</sub>量は2007年に比べて著しく増加している（Fig.1）。2007年の噴火以降の休止期に火口内にあった火山噴出物と大量の噴煙とが反応して水溶性塩類が生成し、相当量のCl、SO<sub>4</sub>が蓄積されていたものと考えられる。水溶性SO<sub>4</sub>量は6月以降著しく低下しており、SO<sub>2</sub>放出量の減少に対応した変動を示している（Fig.2）。水溶性Cl量は2月以降

低下し、これに対応してCl/SO<sub>4</sub>モル比も低下している (Fig.1)。従って、SO<sub>2</sub>放出量の低下と併せて考えれば、HClの放出量はこの期間に急激に減少しており、2008年の噴火活動は半年程度の間に急速に沈静化していることを示している。

2009年1月の噴火再開直後の降灰の水溶性Cl、SO<sub>4</sub>量は2008年7月末の降灰に比べて大幅に増えており (Fig.1)、この場合も2008年7月以降の休止期に水溶性塩類として大量のCl、SO<sub>4</sub>が火口内に蓄積されていたものと考えられる。水溶性Cl量、SO<sub>4</sub>量ともに4月以降低下し、SO<sub>2</sub>放出量の減少と同期している (Fig.2)。7月まではCl/SO<sub>4</sub>モル比も低下を続けており、従ってHClの放出量も急激に減少し、噴火活動は一時的に沈静化していると推測される。5月に一旦噴火回数は減少しており (福岡管区気象台火山監視・情報センター・鹿児島地方気象台, 2009)、火山ガス観測から推測される結果と一致している。

SO<sub>2</sub>放出量は2009年7月から2010年2月まで変動しながら大幅に上昇 (Fig.2) しているのに対して、7月以降水溶性Cl量は若干上昇し、水溶性SO<sub>4</sub>量は10月以降下げ止まっているに過ぎない。Cl/SO<sub>4</sub>モル比はこれらの変動に対応して僅かに上昇しており (Fig.1)、この期間でHClの放出量は増大したと推察される。火山ガス成分の付着量は噴煙中のガス濃度や比表面積などにも影響されるが、火山ガス—火山灰 (Oskarsson, 1980)、火山ガス—岩石粉末 (吉田, 1975) 反応実験結果によると、高温になるほど火山ガス成分は火山灰に付着しにくくなる。2009年7月頃からは火映も観測されており、水溶性成分量が減少したのは噴煙の高温化に起因するものと考えられる。これらの結果は、2009年7月以降マグマヘッドが火山体浅部に移動し、脱ガスが促進されはじめた可能性を示唆する。

これ以降、2010年6月までCl/SO<sub>4</sub>モル比は漸減していたものの、2010年6月17日にはCl/SO<sub>4</sub>モル比は急激に上昇した。その後、再び漸減したが、12月には再び急激に上昇している。2010年後半に見られたこの変動は、これ以前の変動に比べて非常に大きなものである。1970年代から80年代にかけて噴火活動が激化していた桜島南岳では、“BL型地震の群発を伴うストロンボリ式噴火”の後、“爆発地震を伴うブルカノ式噴火の発生”から“連続微動を伴う連続噴煙活動”へと噴火様式が変化した。BL型地震の群発を伴うストロンボリ式噴火で放出された火山灰のCl/SO<sub>4</sub>モル比は、爆発的噴火や連続噴煙に伴う火山灰のそれに比べて極端に高かった。また、爆発的噴火から連続噴煙へと噴火様式が移行するにつれてCl/SO<sub>4</sub>モル比が低下した。この結果は、揮発性成分に富むマグマが火口浅所に上昇した場合には、火山灰の水溶性成

分のCl/SO<sub>4</sub>モル比は非常に高くなり、活動の推移をこの比の値によって捉えられることを示している。従って、2010年後半に起こったCl/SO<sub>4</sub>モル比の急上昇はマグマが地表のごく近傍、おそらくは火口底まで上昇した事に起因すると言える。2011年以降、Cl/SO<sub>4</sub>モル比の上昇の間隔が短くなっている。これは、地表までのマグマ供給系が完全に形成された昭和火口に対して連続的にマグマが上昇していることを示している。2009年1年間に発生した噴火・爆発は548回だったが、2010年は896回、2011年は1355回、2012年には1107回、2013年12月23日現在で1093回 (鹿児島地方気象台, 2013) と爆発回数がここ数年で飛躍的に増加していることも継続的なマグマ上昇を指示するものと考えられる。

2013年9月に非爆発的噴火に伴って放出された火山灰を連続的に採取し、その水溶性成分の時間変化を Figure 3 に示す。

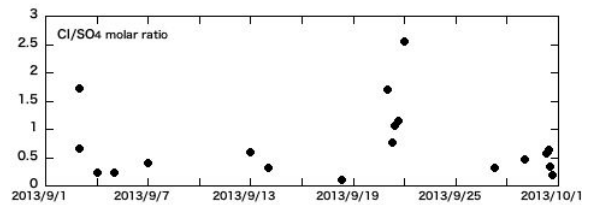


Figure 3 Rapid increase in Cl/SO<sub>4</sub> ratio through non-explosive eruption in September, 2013

Cl/SO<sub>4</sub>モル比が急激に上昇していること、ガス組成の変化が極めて短時間で起こっている事、それと同時に、マグマの浅部への上昇を捉えている事を示している。この結果から、降灰採取の時間分解能を向上させる事で、マグマの上昇を詳細に捉えられると考えられる。また、時定数の比較的長い傾斜計や伸縮計などの地球物理学的データなどとの対比が可能になり、より細かい火山活動のモニタリングができるようになると思われる。

#### 4. まとめ

2006年6月の昭和火口噴火時から継続的に採取された降灰の水溶性成分の分析結果と噴火活動の対比の結果、次の事が明らかになった。2007年まではまだ火道が確立していなかったが、2007年の噴火以降、火山体浅部の地下水系の影響が小さくなり火道が確立したと考えられる。2008年、2009年ともに噴火開始直後の降灰の水溶性Cl、SO<sub>4</sub>量は多く、休止期に噴煙と火山噴出物との反応によって水溶性塩類として大量のCl、SO<sub>4</sub>が火口内に蓄積されていたものと考えられる。2009年7月以降火映が観測され、水溶性成分から見積もられるHClの放出量は増大して

おり、噴煙が高温化したと考えられる。これらの結果はマグマヘッドが火山体浅部に移動して脱ガスが促進された可能性を示唆する。

2010年6月及び12月にはCl/SO<sub>4</sub>モル比は急激に上昇した。これはマグマが地表のごく近傍、おそらくは火口底まで上昇した事に起因するものである。2011年以降、Cl/SO<sub>4</sub>モル比の上昇の間隔が短くなっており、昭和火口に対して継続的にマグマが上昇していることを示している。降灰採取の時間分解能を向上させる事で、水溶性成分の時間変化からマグマの上昇を詳細に捉えられるようになった。これにより、より細かい火山活動のモニタリングができるようになると思われる。

### 参考文献

- 小坂丈予・小沢竹二郎（1975）：桜島火山噴出ガスの成分の観測と活動状況. 第1回桜島火山の集中総合観測, pp.62-66.
- 小坂丈予・野上健治・平林順一（1998）：十勝岳1988-1989年噴火で放出された火山灰の付着水溶性成分. 火山, 第43巻, pp.25-31.
- 鹿児島地方気象台(2013):桜島の噴火についての統計資料. 鹿児島地方気象台ホームページ
- 野上健治・平林順一・大場 武・安孫子 勤・岡田 弘・西村裕一・前川徳光・鈴木敦生（2002）：有珠山2000年噴火における地球化学的研究-火山灰付着水溶性成分の変動と火山活動-. 火山, 第47巻, pp.325-332.
- 野上健治・鬼澤真也・平林順一（2008）：2004年浅間山噴火における地球化学的観測研究-噴出物の水溶性成分の変動と火山活動-. 火山, 53, 69-77.
- 福岡管区気象台火山監視・情報センター・鹿児島地方気象台（2009）：桜島の火山活動解説資料（平成21年12月）, pp.1-14.
- 森 俊哉・影澤博明・平林順一・山本圭吾・味喜大介・横尾亮彦・風早康平・森 健彦・大和田道子・篠原宏志・斎藤元治・安原正也（2008）：最近10年間の二酸化硫黄放出率の推移, 第10回桜島火山の集中総合観測, pp.137-142.
- 吉田 稔（1975）：火山ガスと火山岩の反応によるフッ素, 塩素の分別に関するモデル実験. 日本化学会誌, 第3巻, pp.449-454.
- Hirabayashi, J., Ossaka, J. and Ozawa, T. (1982): Relationship between volcanic activity and chemical composition of volcanic gases – A case study on the Sakurajima volcano. *Geochem. J.*, Vol.16, pp.11-21.
- Nogami, K., Hirabayashi, J., Ohba, T., Ossaka, J., Yamamoto, M., Akagi, S., Ozawa, T. and Yoshida, M. (2001): Temporal variations in the constituents of volcanic ash and adherent water-soluble components in the Unzen Fugendake eruption during 1990-1991. *Earth Planets Space*, 53, 723-730.
- Oskarsson, N. (1980): The interaction between volcanic gases and tephra: Fluorine adhering to tephra of the 1970 hekla eruption. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol.8, pp.251-266.
- Taylor, P.S. and Stoiber, R.E. (1973): Soluble material on ash from active Central American volcanoes. *Geol. Soc. Am. Bull.*, Vol.84, 1031-1042.

## Geochemical Monitoring of Eruptive Activity of Sakurajima Volcano from 2006 to 2013 through analysis of water-soluble components

Kenji NOGAMI\*, Masato IGUCHI\*\*, Daisuke MIKI\*\*, Takeshi TAMEGURI\*\*, Keigo YAMAMOTO\*\*, Tadaomi SONODA\*\*, Kenjiro SEKI\*\* and Izumi SATO\*

\* Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology

\*\* Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

## Synopsis

Eruptive activity at Showa crater of Sakurajima volcano resumed in June 2006 after the dormancy of 58 years. Explosions occurred sporadically in 2007 and intermittently in 2008, which was followed by increase in frequency of explosive activity since 2009. Especially since 2011, rapid increase in number of eruptions and explosions was highly significant. Change in the water-soluble chloride and sulfate contents of the ash samples demonstrated that volatiles discharged from magma partially absorbed in the shallow aquifer beneath the volcanic edifice from 2006 to 2007. Since 2008, the rise in the Cl/SO<sub>4</sub> molar ratio synchronized with the significant increase in SO<sub>2</sub> emission rate, which demonstrates that degassing of HCl significantly increased and that the Cl/SO<sub>4</sub> molar ratio is a good indicator for volcanic activity. The interval of rapid increase of the Cl/SO<sub>4</sub> molar ratio was gradually shorter and shorter, which indicates that magma ascent to the shallower part of volcanic edifice repeatedly at short intervals. High resolution of temporal change in the Cl/SO<sub>4</sub> molar ratio will enable to monitor ascent of magma and provide information for prevention of volcanic disasters

**Keywords:** Sakurajima volcano, Showa crater, water-soluble components