

桜島昭和火口における噴火活動と地球化学的観測研究 —火山灰水溶性成分及びガス放出量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**

*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、非常に活動的な状態が続いている。継続的に採取した降灰の水溶性Cl、SO₄量及びCl/Sモル比の変動とSO₂放出量観測から、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1月からの噴火に先立ってSO₂放出量は増加したが、2月以降SO₂放出量は低下した。Cl/Sモル比もこれに同期して低下し、噴火活動の沈静化と整合的であった。2009年1月からの噴火でも同様に噴火に先立ってSO₂放出量は増加した。4月以降SO₂放出量の低下と同期してCl/Sモル比も低下したが、7月以降はCl/Sモル比はほぼ一定でSO₂放出量が増加していることから、HClの放出量も著しく増加していると考えられ、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がある。

キーワード：桜島、昭和火口、火山灰水溶性成分、SO₂放出率

1. はじめに

火山活動はエネルギーと物質の放出現象である。それらの変化を捉え、噴火予知に資するために地震、地盤変動、重力、電磁気、放熱量など多種多様な観測が行われている。火山ガス観測もまたその一つで、火山活動の変動に先立つ放出量や組成の変化を捉えることを目的としているが、爆発的噴火を繰り返す火山ではガスを直接採取することは現時点では不可能であり、様々な間接的方法で火山ガス組成が測定されている。最近では分光分析を応用したSO₂の放出量測定（例えば、Galle et al., 2002）やフーリエ変換型赤外分光放射計（FT-IR）を用いた火山ガス成分の遠隔測定が盛んに行われている。浅間山ではFT-IRによって2004年噴火の前後でのHCl/SO₂、HF/HClの変化が捉えられている（森・野津，2005）。

火山灰の水溶性成分の化学分析もガス組成を推定

する間接的な方法の一つである。降下火山灰の水溶性成分については古くから研究されており（朝比奈・三宅，1935），現在では水溶性フッ素，塩素，硫酸は噴煙中の火山ガス成分が火山灰に吸着したものであると広く考えられている（Taylor and Stoiber, 1973 ; Oskarsson, 1980）。火山ガス／火山灰比，ガス濃度，火山灰の粒径，表面積，温度等によってガス成分の吸着量は変動するが，降灰の水溶性成分のCl/SO₄モル比がほぼ同時期に測定した大気中に拡散していた噴煙のHCl/SO₂の平均値とよく一致していることが示されている（小坂・小沢，1975 ; Nogami et al., 2001）。噴火時には降灰によって光が著しく遮られるため，光を利用する測定は困難になるが，この結果は降灰の水溶性成分から噴火時の噴煙中のHCl/SO₂を推定することができることを意味する。桜島では水溶性成分のCl/SO₄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。

桜島の南岳における爆発的噴火回数は減少傾向にあり, 最近では年間10回以下の爆発しか発生しておらず, 南岳の噴火活動度は低下傾向にあるものの, その東山腹の昭和火口では2006年6月4日に噴火活動が58年ぶりに再開した(井口・他, 2008)。2006年, 2007年の昭和火口での噴火活動は短期間で終わったが, 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なっている。本報告では, 2006年6月から継続的に採取された昭和火口からの噴火に伴う降灰の分析結果と SO_2 放出量の観測結果を示し, 2010年5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スタッフ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, 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°C 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_4 量, 及びCl/ SO_4 モル比の時間変化をFig.1に, SO_2 放出量の平均値をFig.2に示す。2006年及び2007年の活動は短期間で終了した。これらの噴火に伴う降灰の水溶性成分量はCl, SO_4 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と比較して SO_4 は若干, Clは顕著に低く, 従ってCl/ SO_4 モル比も低い。 SO_2 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), これまでの観測で明らかになっている, 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。2006年から2007

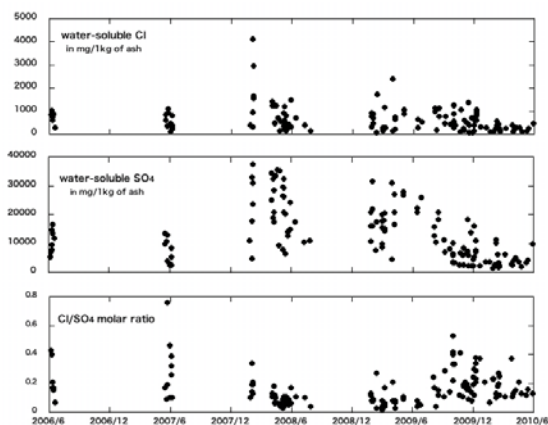


Fig.1 Temporal change in water-soluble Cl and SO_4 contents and the molar ratio of Cl to SO_4 between June 2006 and May 2010.

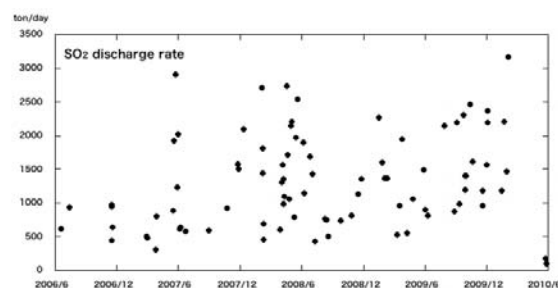


Fig.2 Temporal change in SO_2 discharge rate between June 2006 and May 2010.

年にかけては火道が確立されておらず, 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可能性がある。2007年の噴火以降, SO_2 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)。この結果は, 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_4 量は2007年に比べて著しく増加している(Fig.1)。外見上は変質していないが, 2007年の噴火以降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_4 が蓄積されていたものと考えられる。

水溶性 SO_4 量は6月以降著しく低下しており, SO_2 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_4

モル比も低下している (Fig.1)。従って、 SO_2 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、噴火活動は急速に沈静化していることを示している。噴火回数は5月をピークに減少し、9月の1回を最後に2008年は噴火が観測されていない (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, 2008)。

2009年1月の噴火再開直後の降灰の水溶性 Cl 、 SO_4 量は2008年7月末の降灰に比べて大幅に増えており (Fig.1)、2008年7月以降に水溶性塩類として大量の Cl 、 SO_4 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_4 量ともに4月以降低下し、 SO_2 放出量の減少と同期している (Fig.2)。7月までは Cl/SO_4 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_2 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_4 量は10月以降下げ止まっているに過ぎない。 Cl/SO_4 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、脱ガスが促進された可能性を示唆するが、地盤変動など地球物理学的観測結果との比較検討によって詳細が明らかになるものと思われる。

4. まとめ

2006年6月の昭和火口噴火開始から継続的に採取された降灰の水溶性成分を分析結果並びに SO_2 放出量観測の結果から、2006年、2007年に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_4 量は多く、外見上は変質していないが、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_4 が火口内に蓄積されてい

たものと考えられる。2009年7月までは水溶性成分量は時間とともに減少しており、 SO_2 放出量の減少と同期している。また、 Cl/SO_4 モル比の変化から推測される火山活動は爆発回数の変化とよく一致している。2009年7月以降、火映が観測され、 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。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、京都大学防災研究所附属火山活動研究センターの方々には試料採取や現地観測でご協力いただきました。ここに記して深く感謝いたします。

参考文献

- 朝比奈貞一・三宅泰雄 (1935) : 火山灰の水溶性成分 (其の一), 気象集誌, 第2輯, 第13巻, pp.549-554.
- 井口正人・為栗 健・横尾亮彦 (2008) 火山活動の経過—1997~2007—. 第10回桜島火山の集中総合観測, pp.1-18.
- 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.
- 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.
- 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 (2008) : 桜島の火山活動解説資料 (平成20年12月), pp.1-10.
- 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・野津憲治 (2005) : 浅間山噴煙中の火山ガス化学組成の遠隔測定. 火山, 第50巻, pp.567-574.
- 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.
- Galle, B., Oppenheimer, C., Geyer, A., McGonigle, A.J.S., Edmonds, M. and Horrocks, L. (2002): A miniaturized ultraviolet spectrometer for remote sensing of SO₂ fluxes: a new tool for volcano surveillance. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol.119, pp.241-254.
- 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 June 2006 to May 2010 through analysis of ash leachate and measurement of SO₂ discharge rate

Kenji NOGAMI*, Masato IGUCHI**, Daisuke MIKI**,
Takeshi TAMEGURI**, Keigo YAMAMOTO** and Tadaomi SONODA**

* 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. Change in the water-soluble chloride and sulfate contents of the ash samples and SO₂ emission rate demonstrated that volatiles discharged from magma partially absorbed in the shallow aquifer beneath the volcanic edifice from 2006 to 2007. After the explosions in June 2007, SO₂ emission rate steadily increased to over 2000 t/day prior to the explosions in January 2008. The rate was comparable to that from Minamidake, which demonstrated that volatiles were discharged from magma through volcanic vent free of influence from the shallow aquifer. Although eruptions with intermittent explosions occurred from January to June in 2008, SO₂ emission rate steeply dropped to 500 t/day during this period. The significant descent of the molar ratio of water-soluble Cl to water-soluble SO₄ foreran the steep drop of SO₂ emission rate and synchronized with the descent of frequency of eruption at Showa crater. The return increase in SO₂ emission rate from June 2008 to January 2009 reaching over 2000 t/day followed the eruptive activity from February 2009. The steep drop of the emission rate to 500 t/day in April synchronized with the decrease in the contents of water-soluble components and the Cl/SO₄ molar ratio. After July 2009, the significant increase in SO₂ emission rate synchronized with the rise in the Cl/SO₄ molar ratio. These results showing intensification of degassing of HCl from magma suggested ascent of magma head to the shallower volcanic edifice.

Keywords: Sakurajima volcano, Showa crater, water-soluble components, SO₂ emission rate