

# 2006年以降の桜島の火山活動の評価

井口正人\*

\* 京都大学防災研究所

## 要 旨

2006年6月に再開し、2009年後半から爆発回数を増加させた桜島の昭和火口における噴火活動は小規模爆発の頻繁な繰り返しであるが、火山灰放出量からみて依然として低いレベルにあると判断される。噴火活動は活発化と低下をおよそ1年の周期で繰り返してきたが、活動期には火山ガス放出量も増加し、水溶性火山灰付着成分のCl/S比も増加する傾向にあるとともに、地盤が隆起・膨張する。桜島に貫入したマグマの一部が噴火に放出され、残りが蓄積されると考えられる。噴火活動が低下した時期には、それまでに蓄積されたマグマが穏やかに放出される。地盤変動観測から、桜島島内における地盤変動の圧力源は北岳付近に求められ、北岳下のマグマ溜まりの存在が指摘できる。

**キーワード:** 桜島, 昭和火口, 爆発的噴火, マグマ供給系, 火山活動評価

## 1. はじめに

2006年6月4日に58年ぶりとなる噴火活動が再開し、2009年以降爆発的噴火の発生回数が急激に増加した桜島の南岳東山腹の昭和火口における噴火活動について多くの観測がなされた。それらの観測は、

- 1) 地震および地盤変動観測を主体とする火山体および地殻内応力状態の変化把握のための観測
- 2) 火山体の構造変化や内部の状態の変化のための観測
- 3) 桜島に供給されるマグマの流入および噴火に伴う火山灰や火山ガス放出率の観測
- 4) 火山噴火に伴って放出される噴出物の化学的組成変化を把握するための観測に

大別される。本稿では、これらの観測項目について概観することにより、桜島の火山活動の評価とマグマ供給系について考察を行う。

## 2. 噴火活動の概要

現在の昭和火口の噴火活動は2006年6月4日の昼前に始まった。2006年の活動と2007年の活動は、それ

ぞれ、2週間と3週間と短期であり、マグマ水蒸気爆発と考えられている（宮城・他、2011）。ブルカノ式噴火が発生するようになったのは2008年2月3日であり、2月3日と2月6日の爆発では火砕流が1kmを超える距離まで達した。2008年の噴火活動は7月28日に終息し、爆発回数は18回であったが、2009年2月1日に爆発活動が再開すると、短期間の爆発停止状態はあるものの爆発が繰り返されるようになり、秋以降、爆発回数が急激に増加した。2009年には578回、2010年には1055回、2011年には1095回、2012年は6月までの半年間で625回の爆発が発生した。

2009年後半以降の噴火活動は活動期と低下期を交互におよそ1年の周期で繰り返している。活動のピークは2009年12月～2010年3月、2011年2月、2011年12月～2012年1月にあった。火山灰放出量についても同様の傾向を示すが、2012年に入って、火山灰放出量が相対的に多い状態にある。

爆発回数が多い時期には爆発に伴う空気振動の振幅は大きいですが、爆発的噴火活動が低下すると、空気振動の振幅も小さくなる傾向がある。

## 2. 項目毎のまとめ

#### 1) 火山体および地殻内応力状態の変化

桜島島内の傾斜変化とひずみ変化は年周的变化を示しているが、2009年後半以降の傾斜およびひずみ変化はそれまでの年周変化よりもはるかに大きい。火山体の隆起・膨張期に爆発回数と火山灰放出量は増加し、沈降・収縮期に減少する傾向が認められる。

地震活動は低いレベルにあるが、ひずみ速度の速い2010年7月と2012年1・2月にA型地震が多発しており、ひずみの蓄積がA型地震を誘発させる傾向が認められた。

#### 2) 火山体構造の変化

2008年以降、毎年繰り返し実施した反復反射法探査により、桜島北東部および北部の反射構造の変化が認められた。2010年以降は、検出される反射断面が少なくなっている。このことは、2009年以降頻繁に噴火が発生し、それに対応したマグマの北岳下への貫入の繰り返しにより、マグマがより上昇しやすくなったものと解釈できる。

空中磁気測量によって2007年と2011年の間の磁場の変化が検出できた。昭和火口周辺の地形変化量を考慮することにより、火口下では蓄熱が進行していることが推定される。一方、MT観測では山腹域浅部の熱水構造に顕著な変化は認められなかった。

#### 3) フラックスの変化

火山灰放出量は2009年後半から増加し、最大で110万トン/月程度に達している。爆発回数と同様に1年周期で多い時期と少ない時期を繰り返している。

SO<sub>2</sub>の放出率も噴火活動期に増加する。2009年以降は平均的に多く、2000～3000万トン/日のレベルにある。特に、2011年12月から2012年1月の噴火活動のピークにおいては2000～3000万トン/日まで増加した。これには、南岳からの火山ガス放出の寄与が大きい。

黒神の温泉ガス中のCO<sub>2</sub>およびH<sub>2</sub>濃度は、2009年10月以降の噴火活動活発化に数か月先行して増加した。CO<sub>2</sub>濃度はその後も噴火活動期に増加、低下期に減少するサイクルを続けているが、H<sub>2</sub>濃度は2009年以降、長期的な低下傾向にある。

#### 4) マグマ物質の変化

火山灰付着成分の水溶性成分のCl/Sモル比は、2009年以降、長期的な増加傾向が継続している。特に、Cl/S比は噴火活動期の初期において著しく大きい値をとり、高温のマグマが供給されたことが示唆される。FT-IR法による昭和火口からの火山ガス中のCl/S比も2011年2月前後の活動期に前駆して増加した。一方、南岳からの火山ガス中のCl/S比は2012年1月に増加して、以前の活動的な状態に戻った。

火山灰に含まれるガラス中のSiO<sub>2</sub>の組成比は噴火活動期に低下し、活動低下期に増加し、玄武岩質マ

グマが活動期に関与を強めている。周期的な変動を繰り返しつつも、長期的には2010年以降、増加の傾向にある。

### 3. 火山活動評価

昭和火口の爆発的噴火（空振振幅 10Pa 以上）は2008年2月から発生し始めたが、急激に発生回数が増加したのは2009年以降であり、2010年以降は年間1000回程度の爆発が繰り返されている。火山灰放出量も増加傾向にあり、2008年までは年間20万トン以下であったが、2010年以降は年間500万トン程度まで、増加した。これを南岳の爆発活動が激しかった1972年～1992年と比較すると（井口、2012、本報告を参照）、爆発回数では2倍以上多いが、火山灰放出量は1/2以下である。昭和火口の噴火活動は小規模爆発の頻度の高い繰り返しであり、火山灰放出量からみて、桜島の昭和火口活動期の活動は依然として低いレベルにあると言える。

噴火活動のピークは2009年12月～2010年3月、2011年2月、2012年1月、2013年1月以降と4回あり、およそ1年ごとに消長を繰り返している。爆発回数が増加する時期はハルタ山観測坑道に設置された伸縮計において膨張ひずみ、傾斜計において中央火口丘（南岳～北岳）側が隆起する傾斜変化が観測され、爆発回数が減少する時期は収縮・沈降の地盤変動が観測された。噴火活動が活発化する時期に地盤の隆起・膨張がみられることは、桜島直下に貫入したマグマの一部がそのまま噴火により火口から放出されると同時にその一部が火山体内部に蓄積されることを意味する。傾斜ベクトルからは地盤変動を励起する圧力源の位置は北岳付近の深さ6kmと推定される（井口・他、2010）。また、GPS観測からも北岳付近の圧力源が求められた（井口・他、2012）。火山灰放出量と地盤変動の圧力源の体積変化から見積もられるマグマの供給率は、爆発回数が多く、火山灰放出量が多い時期には、増加している。一方、少ない時期は、マグマの供給はほぼ停止し、それまでに蓄積されたマグマがゆっくりと放出されている。マグマ供給率大きい貫入期と放出期を繰り返していることは他の観測項目とも整合的である（図1）。

1年ごとに繰り返される変化に加え、より長期間の変化についても考察した。桜島への百年間の平均的マグマ供給率1千万m<sup>3</sup>/年（Ishihara, 1981）を上回る供給率が、1995年以降のGPS観測データでは、1998年～1999年に観測された。昭和火口噴火再開以降では、2009年後半～2010年初め、2011年8月～2012年2月に検出された。2000年から2009年までのマグマ供給率は400万m<sup>3</sup>/年程度に低下したが、2009

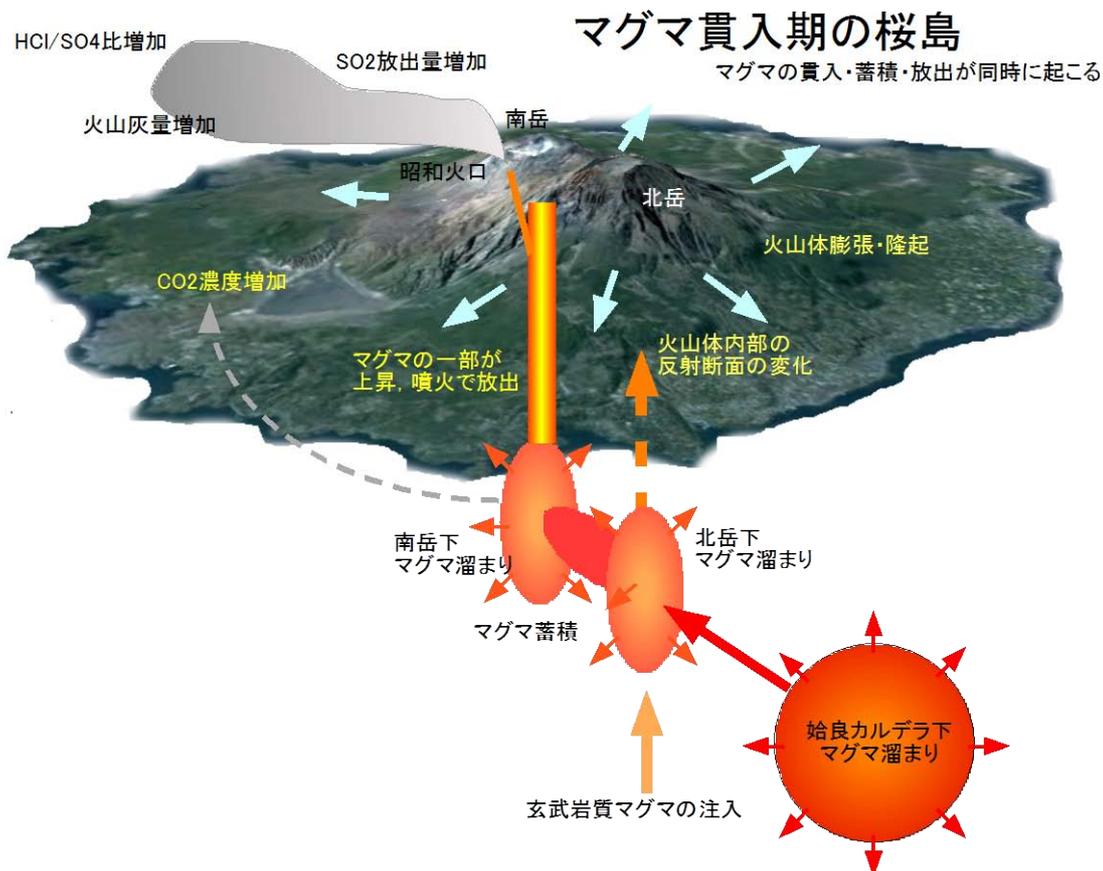


図1 昭和火口の活動期におけるマグマ貫入期の桜島のマグマ供給系

年以降は、長期的に見てもマグマの供給率が桜島の平均的なレベルに戻っている。2009年秋以降、爆発回数が急激に増加しているが、それ以上に活動が活発化する兆候は見られていない。2009年秋以降の活動に前駆して観測された温泉ガス中の $H_2$ 、 $CO_2$ の急激な増加は、その後は減少傾向が続いている。また、噴出物の分析により認められる玄武岩質マグマの関与は、その程度を2010年以降弱めている。

一方、火山灰付着成分水溶性成分の $Cl/S$ モル比は長期的には増加傾向にある。これは、高温のマグマが浅部まで上昇していることを意味し、しかもその量が増加していることを意味し、噴火活動の継続による火道の拡大が示唆される。噴火活動が活発な時期に火山体が隆起・膨張することは、マグマの蓄積と放出を同時に行っていることを意味し、開口型の火道を持つ桜島の昭和火口での活動の特徴であり、火道の拡大に注意を払う必要がある。

1974年から1992年までブルカノ式噴火が多発した南岳の活動は、2003年以降著しく低下した。しかし、南岳の活動は停止したわけではない。 $SO_2$ 放出量は2011年12月以降、高いレベルにある。これは昭和火口に加え、南岳の火口からも多量の $SO_2$ 放出が再開したためである。また、2012年7月24日に

は南岳でおよそ2年ぶりに爆発が発生した。この爆発の規模は、1970年代後半から1990年代初めの南岳活動期の爆発の規模の大きいものに位置付けられ、噴煙は5000m以上の高度に達し、30万トンの火山灰が放出された。これに前駆して21時間前から隆起・膨張が捉えられた。体積増加量は $10^5 m^3$ であり、昭和火口爆発に前駆する地盤変動の体積変化量である $10^4 m^3$ よりも1桁大きい。このことは、昭和火口における活動期においてもマグマの供給率が安定的に増加しさえすれば、すぐにでも南岳の噴火活動期へ回帰する可能性があることを意味する。

#### 4. マグマ供給系に関する考察

桜島の主マグマ溜まりは始良カルデラ下の深さ10km付近に推定されている(例えば、Kamo, 1989)。そこから、火口へのマグマ供給路についていくつかの仮説がある。南岳の活動期においては、水準測量による上下変動(Yoshikawa, 1961; 江頭・中村; 1986)や、爆発前後に観測される火口方向が隆起する傾斜変動(Ishihara, 1990)から南岳下の深さ5km付近にもマグマ溜まりが推定され、南岳下のマグマ

溜まりから火口へは鉛直に伸びる火道が存在すると考えられた (Ishihara, 1990)。噴火が発生するのは昭和火口であるが、昭和火口の活動期における南岳の爆発は昭和火口の噴火と数分以内に連動して発生することや昭和火口噴火の規模の大きい噴火では昭和火口直下の 1.5km 以浅の浅い圧力源に加え、深さ 4km 付近の圧力源も膨張・収縮することから、やや深い圧力源はこれまでに推定されている南岳下のマグマ溜まりに対応するものであり、昭和火口へつながる火道は、南岳下のマグマ溜まり、もしくは南岳火口へつながる火道から枝分かれしたものの推定される (図 1)。

本研究計画においては、桜島北部において水準測量や GPS 観測の基準点を増設し、桜島北部における地盤変動観測を強化した。GPS 観測や傾斜変化から桜島島内での地盤変動の圧力源は北岳付近の 5~6km に求められたが、このことは北岳の下にもマグマ溜まりが存在することを示唆する (図 1)。桜島の中央火口丘直下を通過する地震波は著しく減衰することが知られているが、地震波減衰領域は南岳の直下にとどまらず、北岳の直下までにも及んでいることはこれまでも指摘されている (加茂・他, 1980; 鈴木, 1999)。噴火活動の活動期には、火山灰ガラスに含まれる SiO<sub>2</sub> の組成比が減少し、玄武岩質マグマが安山岩質マグマに混入してくることが指摘されているが、この時期は北岳を中心とする火山体の膨張が観測される時期であり、玄武岩質マグマは北岳の下で注入されている可能性を指摘できる。

Hidayati et al. (2007) は桜島南西部における A 型地震活動の活発化を説明するために、桜島北東沖の始良カルデラから桜島の南西側に至る深さ 6~9km の開口割れ目の膨張モデルを提出したが、少なくとも 2006 年以降の活動期には北東-南西方向の開口割れ目により説明できる地盤変動は観測されておらず、開口割れ目に沿ってマグマは移動するにしても、南岳下にマグマが移動する前段階における桜島島内の主要なマグマ蓄積場所として北岳下のマグマ溜まりが存在するものと考えられる。

## 参考文献

井口正人 (2010) : 桜島火山の噴火活動—2009年2月~2010年5月—, 「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成 21年度報告書, pp.1-8.

井口正人・太田雄策・植木貞人・為栗 健・園田忠臣・高山鐵朗・市川信夫 (2011) : 2010年桜島火山活動を考える, 京都大学防災研究所年報, 第54号 B, pp.171-183.

井口正人 (2012) : 桜島火山の噴火活動—2011年7月~2012年6月—, 「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成 23年度報告書, pp.1-6 (本報告) .

江頭庸夫・中村貞美 (1986) : 桜島火山周辺における地盤変動—1982年~1985年—, 第6回桜島火山の集中総合観測, 15-19.

加茂幸介・西潔・高山鐵朗・植木貞人(1980)桜島南方の地震活動と地震波異常伝播域, 第3回桜島火山の集中総合観測, pp.11-15.

鈴木 拓(1999)1997年鹿児島県北西部地震の余震波を用いた桜島火山浅部におけるP波伝播異常の検出, 京都大学大学院理学研究科修士論文.

宮城磯治・伊藤順一・篠原宏志・鹿児島地方気象台 (2010) : 火山灰から見た2008年の桜島昭和火口の再活動過程, 火山, 第55巻, pp.21-39.

Hidayati, S., Ishihara, K. and Iguchi, M. (2007): Volcano-tectonic earthquakes during the stage of magma accumulation at the Aira caldera, southern Kyushu, Japan, Bull. Volcanol. Soc. Japan, Vol. 52, pp. 289-309.

Ishihara, K. (1981): A quantitative relation between the ground deformation and the volcanic materials ejected, Abstract 1981 IAVCEI Symposium - Arc Volcanism, p.143.

Ishihara, K. (1990): Pressure Sources and Induced Ground Deformation associated with Explosive Eruptions at an Andesitic Volcano: Sakurajima Volcano, Japan, Magma Transport and Storage (Ed. M. P. Ryan), John Wiley and Sons, pp. 335-356.

Kamo, K. (1989): A Dialogue with Sakurajima Volcano, Proc. Kagoshima Int. Conf. on Volcanoes, pp.3-11.

Yoshikawa, K. (1961): On the crustal movement accompanying with the recent activity of the volcano Sakurajima (Part 1), Bull. Disast. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., No.48, pp.1-15.

## Evaluation of volcanic activity of Sakurajima after 2006

Masato IGUCHI\*

\* Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

### Synopsis

Eruptive activity at Showa crater of Sakurajima volcano resumed in June 2006 after 58 years dormancy of the crater and the activity has increased since autumn in 2009. The activity is a frequent repetition of vulcanian eruptions and still remained in a lower level than the eruptivity at the Minamidake crater during the period from 1974 to 1992. The eruptivity repeated increase and decrease with a cycle of about 1 year. Increase in the eruptivity was accompanied by increase in discharge rate of SO<sub>2</sub>, molelar ratio of Cl/S in water-soluble component of volcanic ash and inflation of the volcano. A part of magma intruded into the volcano is ejected by eruptions and the other part of the magma is accumulated in reservoirs beneath the volcano. In the declination periods of eruptivity, the accumulated magma is ejected at a lower rate. Pressure sources are estimated beneath the Kitadake cone. This suggests a magma reservoir beneath the cone.

**Keywords:** Sakurajima volcano, Showa crater, explosive eruption, ground deformation, amount of volcanic ash, magma flux