

2017年8月桜島溶岩噴泉活動に伴う地震活動及び地盤変動

Seismicity and Ground Deformation Associated with Fountain Lava at Sakurajima

井口正人・中道治久・為栗 健・堀田耕平・園田忠臣

Masato IGUCHI, Haruhisa NAKAMICHI, Takeshi TAMEGURI, Kohei HOTTA and Tadaomi SONODA

Synopsis

Continuous lava fountain and following intermittent explosions on August 22-23 is the significant eruptive phenomena of the Sakurajima volcano in 2017. Prior to the lava fountain, inflation of the volcano started from the end of July. Eruption with volcanic ash emission occurred from 11 to 20 in August. Following rapid inflation from 10h on August 22, lava fountain occurred from 22h on August 22 and continued to 10 h on the next day. Volcanic tremor and minor infrasound were detected, associated with the lava fountain. Deflation of the volcano was also detected during the fountain and the volume decrease of the pressure source amounted $1.9 \times 10^5 \text{m}^3$. The eruptive rate is significantly higher than eruptive activity with volcanic ash emission. The eruptivity change to intermittent explosions from 11h on August 23. The explosions were followed by “chugging event” with repetition of pulses of volcanic gas and fragment emission. Volcanic tremor and infrasound shows monotone.

キーワード: 桜島, 溶岩噴泉, 噴火, チャギング

Keywords: Sakurajima, Lava fountain, Eruption, chugging event

1. はじめに

桜島火山の昭和火口の噴火活動は2006年6月に58年ぶりに再開し, 2009年の後半から2015年6月までブルカノ式噴火が年間1000回のペースで頻発した. 2015年の後半以降は, 2015年8月15日に急速なマグマ貫入イベント (Hotta et al., 2016) があったものの噴火活動は低調であり, ブルカノ式噴火は2015年7月~12月は87回, 2016は48回, 2017年は108回しか発生していない. その中で, 2017年8月22日の夜から翌朝にかけて発生した溶岩噴泉活動は特筆されるものである. 溶岩噴泉とは溶岩片を連続的に噴出する噴火現象であり, 玄武岩質マグマが噴出するハワイ, エトナや伊豆大島ではよく知られているが (例えば, Andronico et al., 2008, 阪口・他, 1988), 安山岩質火山である桜島では頻度は高くない. 南岳の噴火活動が活発であった1980年代には時々, 溶岩噴泉が確認されている. 溶岩噴泉はBL型地震 (Iguchi, 1994)

の群発現象を伴い, 火口方向が沈降する傾斜変化及び収縮ひずみが観測される (石原・井口, 1989). 新鮮なマグマが火道最上部まで上昇し, 減圧発泡を起こしている現象と解釈される (Iguchi, 1994). 溶岩噴泉後には火口底に溶岩ドームが形成されており (Ishihara, 1985), 溶岩ドーム下に推定されるガス溜まりの膨張と収縮は, その後に発生するブルカノ式噴火の特徴である火山岩塊の遠方放出と強い空振の発生原因である (Ishihara, 1990).

本稿では, 昭和火口において8月22日から23日にかけて発生した溶岩噴泉とそれに伴う地震, 空振, 地盤変動について報告し, 2017年における桜島の火山活動の評価を行う.

2. 2017年溶岩噴泉に至る火山活動推移

2016年7月26日以降, 昭和火口において噴火は発生しなかったが, 2017年3月25日に南岳において噴火が

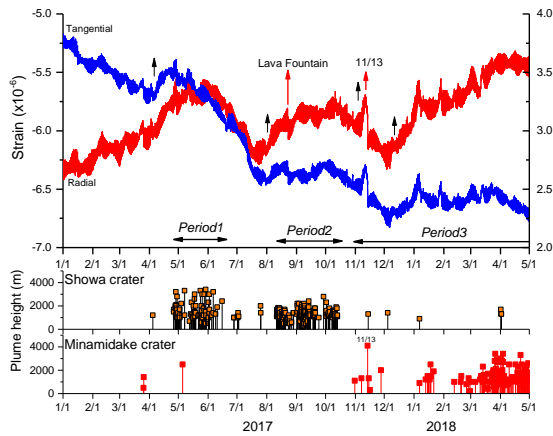


Fig. 1 Eruptive activity and ground deformation of Sakurajima volcano during the period from January 2017 to May 2018. Upper: Strain changes in underground tunnel Harutayama. Lower: Eruptive activity of Showa and Minamidake craters, shown by plume height of individual eruptions.

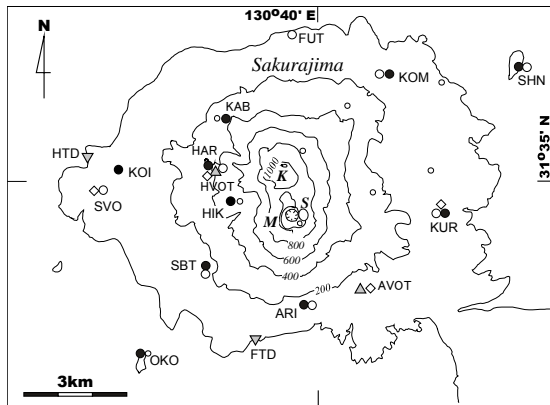


Fig. 2 Location of stations in Sakurajima. Tiltmeters and strainmeters are installed in underground tunnels Harutayama (HVOT) and Arimura (AVOT). Seismometers and infrasonic microphone are installed at AVOT, too.

発生した。Fig. 1に2017年1月以降の昭和火口及び南岳における噴火の噴煙高度とハルタ山観測坑道におけるひずみ変化を示す。また、Fig.2に本稿において使用したデータを取得した観測点の位置を示す。2017年4月以降の噴火活動は3つの期間に分けられる。4月26日に始まり、6月中旬頃まで昭和火口において頻発した噴火活動を第1期とする。その後、噴火の発生頻度は低下したが、8月11日から再び昭和火口において噴火活動が頻発するようになった。昭和火口の噴火活動は10月上旬まで続いた。これを第2期とする。本稿で取り扱う溶岩噴泉は第2期の噴火活動において発生したものである。10月31日からは南岳におい

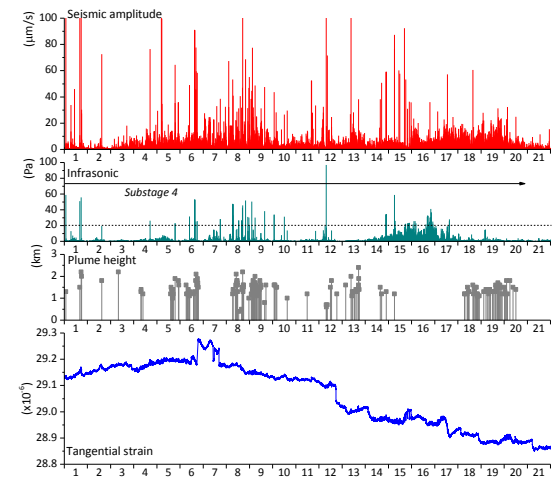
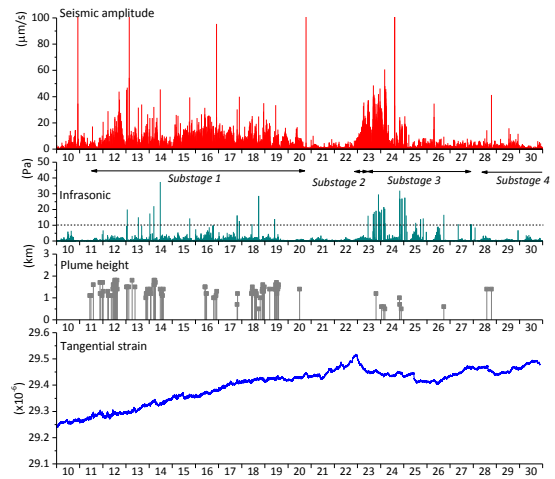


Fig.3 Seismicity, eruptive activity and ground deformation during the period from August 10 to 30, 2017 (Top) and September 1 to 21 (Bottom).

て噴火が発生するようになり、昭和火口における噴火は少ない。これを第3期とする。11月13日に南岳において発生したブルカノ式噴火はそのうち最大規模のものである。2018年3月以降は南岳における噴火の発生頻度が急激に増加した。

噴火活動と地盤変動の関係を見てみると、4月26日～6月上旬まで噴火が頻発した第1期の活動期に前駆して4月11日から地盤の膨張が検知された。この期間の噴火の1～3時間前から小振幅の膨張ひずみ（10ナノストレイン程度）が観測され、噴火に至った。2009年後半から2015年前半の昭和火口における噴火活動期の小規模のものと同様である。また、8月11日から10月上旬まで噴火が頻発した第2期では、7月下旬から火山体の膨張が検知されている。第2噴火活動期後の地盤の収縮の過程において、第3期活動期は始まっているが、最大規模の噴火が発生した11月13日のブルカノ式噴火に先行して11月6日から地盤の膨張が

検知され（堀田・井口，2018），2018年1月6日から16日の噴火活動に前駆して，前年12月中旬から膨張が検知されている．一連の噴火活動期に前駆する2～3週間前から膨張が検知されている．

7月下旬から中央火口丘側の地盤の隆起と膨張が再び検出された．8月11日から昭和火口において噴火活動が始まり，8月20日まで続いた．

3. 第2期の噴火活動の推移

8月11日から第2期の噴火活動期に入った．第2期の噴火活動，地震活動及び地盤変動をFig.3に示した．噴火活動は1分間の空振振幅の最大値及び噴煙高度により示した．地震活動は1分間の有村観測坑道における地震動振幅の最大値により示した．地盤変動は有村観測坑道の伸縮計の火口と直交方向の成分により代表させた．第2期の噴火活動は4つのサブステージに分けられる．

サブステージ1は8月11日から20日までの噴火活動期であり，火山灰の放出を伴う噴火が昭和火口において頻発した．この噴火活動期の火山灰は発泡度が高いことが知られている（産業技術総合研究所，2017）．地盤の膨張は7月下旬に始まっているが，サブステージ1においても依然として地盤の膨張は続いた．

サブステージ2は，本稿において主題とする溶岩噴泉の活動である．溶岩噴泉活動は，8月22日の22時に始まった．この噴火活動は23日の10時頃まで続いたものと推定される．21日に地盤の膨張率が増加し，23日にはさらに増加して溶岩噴泉開始に至った．溶岩噴泉が始まると収縮に反転し，溶岩噴泉の停止とともに，地盤の収縮も停止した．

サブステージ3は，突発的な爆発の後にchugging（Johnson and Lee, 2000）と呼ばれる音波と低周波地震が溶岩片の放出を伴いながら間欠的に繰り返される噴火によって特徴づけられる．最初のイベントは溶岩噴泉停止直後の23日10：54であるが，夜間になった19：20の爆発的噴火ではこの現象が明瞭に識別できるようになった．この噴火活動ではサブステージ2と同様に溶岩片の放出が主体であり，火山灰は極めて少ない．この噴火活動は27日まで繰り返された．

その後，昭和火口における通常のブルカノ式噴火が頻発するようになった（サブステージ4）．サブステージ4の噴火は顕著な火山灰の放出を伴い，第1期の噴火活動に類似している．これまでに発生した噴火と同様の先行過程と収縮過程をもち，2009年以降活発化した昭和火口の爆発の範疇にある．

サブステージ1は，マグマの貫入により第1期の残留噴出物を放出する過程，サブステージ2から4へは，



Photo 1 Lava fountain at Showa crater of Sakurajima, taken by Mr. Nishiinoue.

新鮮なマグマが地表に到達した後，脱ガスしながら結晶化が進行した結果，火道上部の閉塞が進み，溶岩噴泉活動からブルカノ式噴火へ移行していったステージと解釈される．なお，産業技術総合研究所（2017）によれば，サブステージ1において発泡度のすすんだ火山灰が混じっていることは，新鮮なマグマが地表に達したサブステージ2を予測するものとして注目に値する．

4. 溶岩噴泉活動の推移

8月22日の22時ごろから，昭和火口において溶岩噴泉が認められるようになった．はじめは，昭和火口の火口縁をわずかに超える程度であったが，徐々に溶岩噴泉の高度は増加し，23日の3-4時ごろには火口からの高度200mに達するようになった（Photo 1）．溶岩噴泉活動に伴い，火山性微動と最大1 Pa程度の空気振動が連続的に観測された．火山性微動と空気振動の記録をFig.4に示す．朝になって明るくなると溶岩噴泉活動を目視することはできなくなったが，火山性微動と空気振動から溶岩噴泉活動は23日の10時頃まで続き，それらの振幅の変化から活動のピークは4時から8時ごろであったと考えられる（Fig.5）．

溶岩噴泉活動に伴い地盤変動も観測された．溶岩噴泉に先行して，8月22日の10時ごろから地盤の膨張速度が増加した．溶岩噴泉の開始とほぼ同時に膨張は収縮に転じ，収縮が停止したのは，溶岩噴泉の活動が呈したと推定されるのは23日の10時ごろである（Fig.5）．このことから，地盤の収縮は溶岩噴泉活動に対応しているといえる．ハルタ山観測坑道（南岳から約2.7km）の傾斜及びびずみ変化量から球状圧力源の深度は5.8km，体積変化量は19万m³と見積もられる．溶岩噴泉活動は12時間続いているので，噴出率としては約40万m³/日となる．この値は，1991年

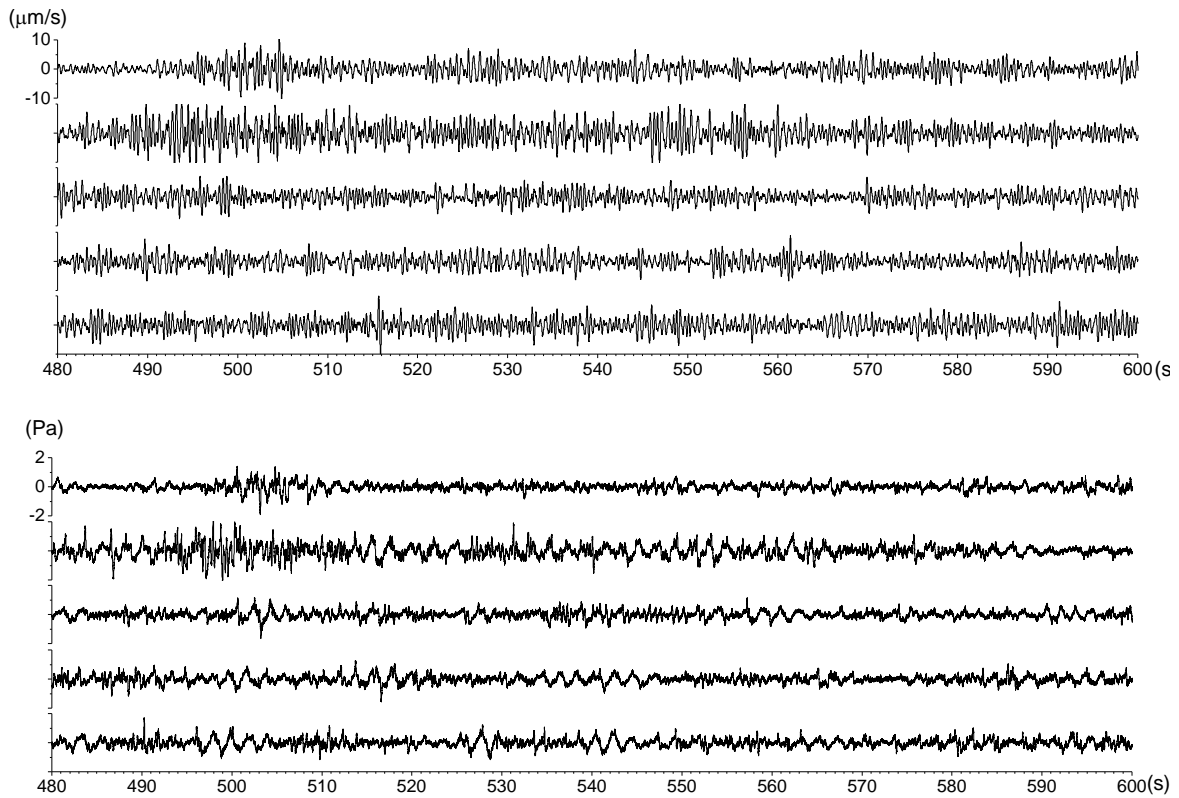


Fig. 4 Seismogram (top) and infrasound record (bottom) associated with lava fountain during the period in 4:00 – 4:10 on August 23, 2017.

以降の雲仙普賢岳の溶岩ドーム形成 (Nakada et al., 1999) や西之島の溶岩流出 (Maeno et al., 2016) に伴う噴出率と同じオーダーである。桜島では2015年前半にブルカノ式噴火が頻発し、昭和火口底に溶岩ドームが現れたが、当時のマグマ噴出率2万m³と推定されている (京都大学防災研究所, 2015)。一時的ではあるが、2017年の溶岩噴泉活動に伴う噴出率は2015年前半よりも1桁大きい。

2017年8月の溶岩噴泉活動を南岳活動の溶岩噴泉活動と比較すると、溶岩片の到達高度は200mとほぼ同程度であるものの、溶岩噴泉活動に伴う火山性微動や空気振動の振幅は南岳活動期の溶岩噴泉の方が大きい。一方、2017年8月の昭和火口における溶岩噴泉活動は約12時間継続しており、南岳活動期のものより長い。

5. 溶岩噴泉後のchugging

連続的な溶岩噴泉に続き、間欠的な噴火活動が繰り返された (サブステージ3)。気象庁により最初に爆発と認識されたイベントは23日の19:20に発生したものであるが、それ以前にも10:54以降、数回にわたり、低周波地震と10Pa以上の空振を伴う噴火が発生している。これらのイベントは火山灰放出量が少なく噴煙高度も低いために噴火と定義されなかったものと思われる。19:20の爆発は、夜間になって最初のイベントであり、火山岩塊が約1kmの距離まで飛散したことが確認できた。間欠的な爆発の空振振幅は10~30Paであり (Fig.5)、昭和火口において発生するブルカノ式噴火としては小さいが、溶岩噴泉活動に比べると1桁大きい。

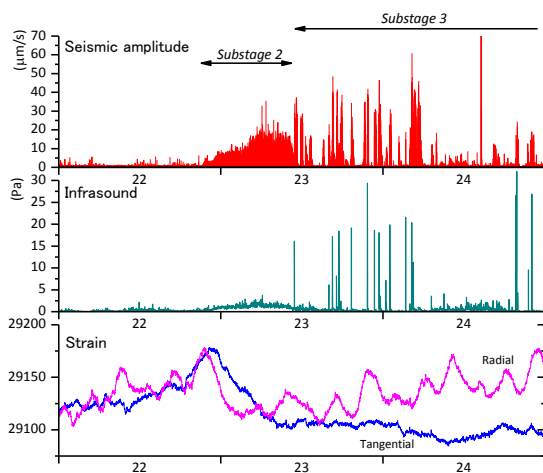


Fig. 5 Seismicity, eruptive activity and ground deformation during the period from August 22 to

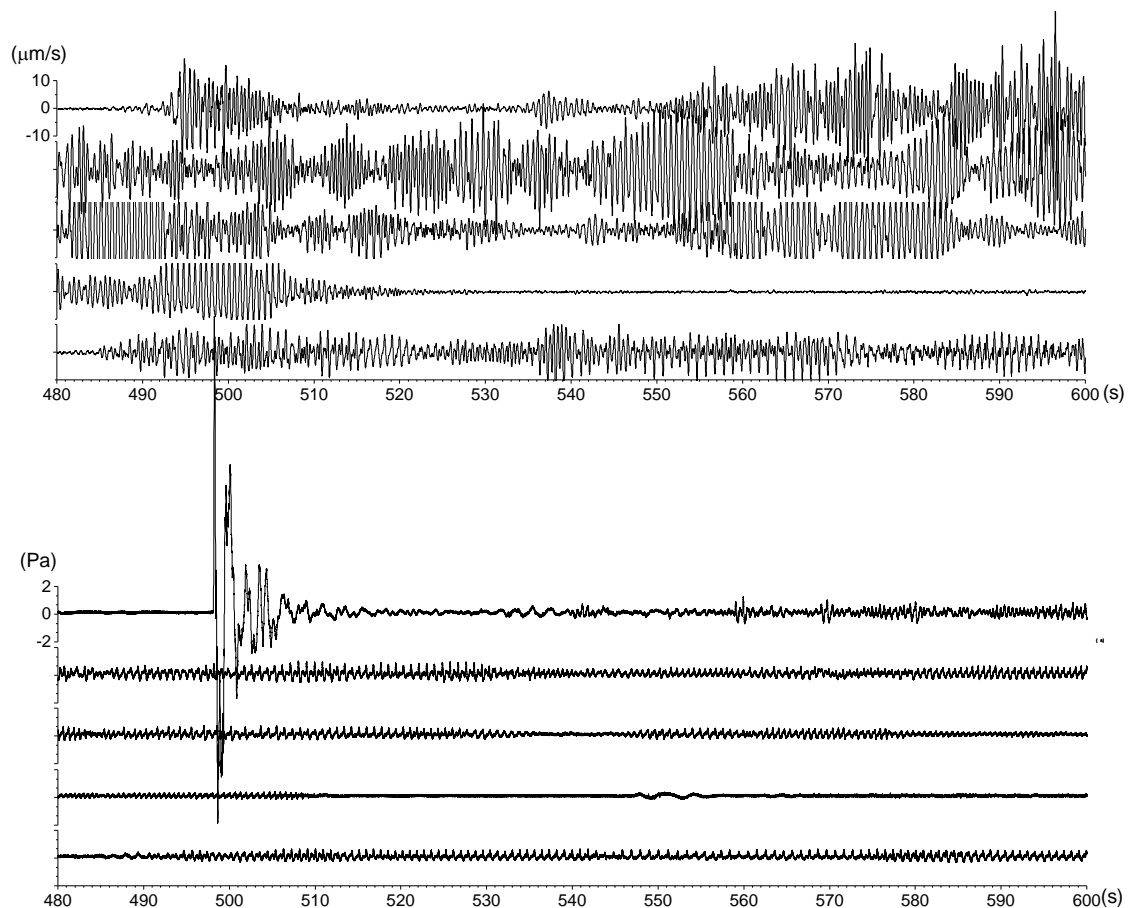


Fig.6 Seismogram (top) and infrasound record (bottom) associated with eruption at 19:20 and following chugging event during the period in 19:20 – 19:30 on August 23, 2017.

この間欠的な爆発活動に特徴的なことは、噴火発生後にハーモニックな振動が火山性微動と空気振動に現れることである。低周波地震の発生から火山性微動に至る一連の地震記録と空振記録をFig.6に示す。19:20の爆発の例ではイベントの開始から2分間は1.6Hzと2.2Hzにピークが現れ、3～6分は1.6Hzのピークが卓越した。1.5分程度の停止の後、1.3Hzにピークをもつ震動が約9分間継続した。この種のイベントはchuggingと呼ばれるもので、Karymsky, Sangay火山など玄武岩質安山岩～安山岩質火山において知られている (Johnson and Lee, 2000)。Chuggingはインパルスなガス放出の繰り返しで、火道を上昇するガス流に対して火口内にたまった噴出物が圧力鍋の調圧弁の役割を果たすと考えられている。19:20の爆発では、インパルスな音を繰り返し聞くことができ、この音は間欠的な噴石の放出 (Photo 2) に対応していることが確かめられた。

桜島のブルカノ式噴火では、火道最上部のplugを完全に破壊してしまう強いものがほとんどであるが、稀にブルカノ式噴火後にハーモニック微動が観測さ

れることがあり、不十分なplugの破壊がchuggingを引き起こしていると考えられている (Maryanto et al., 2008)。2017年8月23日10:54以降のイベントに伴う地震動、空気振動とも通常の昭和火口におけるブルカノ式噴火より小さく、弱い爆発による不完全なplugの破壊がchuggingを発生させたと考えられる。Chuggingイベントは8月27日まで続いた。

6. 2017年の火山活動の評価

2017年8月22日～23日の溶岩噴泉は一時的にマグマの噴出率を約40万 m^3 /日まで増加させたイベントと言える。この噴出率は、1991年以降の雲仙普賢岳の溶岩ドーム形成 (Nakada et al., 1999) や西之島の溶岩流出 (Maeno et al., 2016) に伴う噴出率と同じく、数十万 m^3 /日にあり、溶岩を流出の場合は、少なくとも10の5乗 m^3 /日のオーダーとなることが推定される。溶岩噴泉に先行する地盤の膨張及び膨張時間は、収縮とほぼ同じ (Fig.5) であることから、溶岩噴泉直前のマグマの貫入速度も10の5乗 m^3 /日のオーダーと



Photo 2 Eruption and following chugging event

なることが推定される。

一方、第1期および第2期の噴火活動期に先行して地盤の膨張が検知されているが、マグマの貫入速度は10の4乗 m^3 /日のオーダーでしかなく、マグマの貫入率は依然として小さいといえる。また、溶岩噴泉に引き続き発生したchuggingイベントは、爆発力が低下していることを意味する。通常のブルカノ式噴火であれば、火道最上部の栓を完全に破壊するが (Ishihara, 1990) , これまで桜島において検出されたchuggingイベントに類似する噴火では栓であるドームの不完全な破壊と推定されるからである (Mariyanto et al., 2008) 。2018年3月以降、南岳における噴火の発生頻度は急増しているのが活発化の傾向にあるといえるが、過去の南岳及び昭和火口の噴火活動と比較して依然として噴火活動度は低い。

謝 辞

有村観測坑道における水管傾斜計および伸縮計のデータは国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所より受託研究の一環として提供を受けたものである。輝北天球館長の西井上剛資氏より溶岩噴泉の写真及び動画の提供を受けた。記して御礼申し上げます。

参考文献

井口正人 (1989) : 火山性地震BL・BHの初動の押し引き分布, 京都大学防災研究所年報, 第32号B-1, pp.13-22.
石原和弘・井口正人 (1989) : 火山体の変形, 表面活動と火山性地震発生の関係 (1), 京都大学防災研究所年報, 第32号B-1, pp. 1-11.

京都大学防災研究所 (2015) : 桜島, 第132回火山噴火予知連絡会資料.

阪口圭一・高田亮・宇都浩三・曾屋龍典 (1988) : 伊豆大島火山1986年噴火と噴出物, 火山特集号「伊豆大島火山1986年噴火」, Vol. 33, pp. S20-S31.

産業技術総合研究所 (2017) : 桜島, 第139回火山噴火予知連絡会資料.

堀田耕平・井口正人 (2018) : 2017年の桜島南岳爆発に前後する傾斜ひずみ変化, 京都大学防災研究所年報, 第61号B-1, pp. - .

Andronico, D., Cristaldi, A., Scollo, S. (2008): The 4-5 September 2007 lava fountain at South-East Crater of Mt Etna, Italy, *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol. 173, pp. 325-328.

Hotta, K., Iguchi, M., Tameguri, T. (2016): Rapid dike intrusion into Sakurajima volcano on August 15, 2015, as detected by multi-parameter ground deformation observations, *Earth Planets Space*, Vol. 68, DOI 10.1186/s40623-016-0450-0.

Iguchi, M. (1994) :A vertical expansion source model for the mechanisms of earthquakes originated in the magma conduit of an andesitic volcano: Sakurajima, Japan, *Bull. Volcanol. Soc. Jpn.*, Vol. 39, pp. 49-67.

Ishihara, K. (1985): Dynamical analysis of volcanic explosion, *Jour. Geodyn.*, Vol. 3, pp. 327-349.

Ishihara, K.(1990): Pressure sources and induced ground deformation associated with explosive eruptions at an andesitic volcano: Sakurajima volcano, Japan , In *Magma Transport and Storage*, John Wiley & Sons, pp. 335-356.

Johnson, J.B., Lees, J.M. (2000): Plugs and chugs-seismic and acoustic observations of degassing explosions at Karymsky, Russia and Sangay, Ecuador, *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol. 101, pp. 67-82.

Maeno, F., Nakada, S., Kaneko, T. (2016): Morphological evolution of a new volcanic islet sustained by compound lava flows, *Geology*, Vol. 44, pp. 259-262.

Maryanto, S., Iguchi, M. and Tameguri, T. (2008) Constraints on source mechanism of harmonic tremor based on seismological, ground deformation and visual observations at Sakurajima Volcano, Japan, *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol. 170, pp. 198-217.

Nakada, S., Shimizu, H., Ohta, K. (1999): Overview of the 1990-1995 eruption at Unzen Volcano, *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol. 89, pp. 1-22.

(論文受理日 : 2018年6月13日)