

桜島昭和火口の2013年8月18日噴火について

An Eruption on August 18, 2013 at the Showa Crater of the Sakurajima Volcano

井口正人・為栗 健

Masato IGUCHI and Takeshi TAMEGURI

Synopsis

A large amount of volcanic ash attaining 1.5×10^5 ton was ejected by the vulcanian eruption at 16h31m on August, 2013 and the volcanic plumed at an elevation of 5,000 m above the Showa crater. The eruption is evaluated as the largest one among the eruptions at the Showa crater during the period from 2008 to 2013. The largest eruption was preceded by longer time inflation period than usual ones, marked by significant inflation strain starting 110h prior to the eruption. Considering balance of inflation with the sudden deflation accompanied by the eruption and deflation long-term trend starting July 11, 2013, the inflation may start on August 1, 17 days prior to the eruption. Eruption scale evaluated by volume of volcanic ash increased after November 2011, as shown by increase in co-eruptive contraction strain. The eruption on August 18, 2013 is a typical evidence to show increase scale of eruption.

キーワード: 桜島, 昭和火口, ブルカノ式噴火

Keywords: Sakurajima volcano, Showa crater, vulcanian eruption

1. はじめに

南岳の東山腹にある昭和火口では2006年6月4日に58年ぶりとなる噴火活動が再開した。2006年と2007年はマグマ水蒸気噴火（宮城・他，2010）で，噴火活動期もそれぞれ1～2カ月程度と短く，火山灰を放出するだけであったが，2008年2月以降，ブルカノ式噴火（以下，爆発と呼ぶ）が発生するようになった。2008年の爆発発生回数は20回であったが，2009年秋ごろから爆発回数が急激に増加した。この噴火活動は2009年12月～2010年3月にかけてピークに達し，1ヶ月に150回程度の爆発が発生した。その後，爆発的噴火の発生回数は減少し，2010年10月には15回まで低下したが，11月から再び増加し，2011年2月の爆発発生回数は128回に達した。このように，昭和火口における2009年以降の噴火活動では，月別の爆発回数が15回～159回，火山灰放出量が7万トン/月～107万トン/月の範囲で1桁程度の変動を示し，多い時期と少ない時期を繰り返してきた（井口，2010；2011）。

1955年に始まった南岳爆発期の年間爆発回数は最も多い1974年でも489回である。昭和火口の年間爆発回数は2009年～2013年まで毎年500回を超えており，最も多い2011年は1055回に達するなど，爆発発生頻度は南岳の爆発活動に比べてはるかに高い。一方，火山灰の放出量では，南岳の爆発期は1985年に2960万トンに達するなど，1983年から1986年まで年間1000万トンを超えていたが，昭和火口の噴火活動期では年間560～870万トンで推移している。このことは昭和火口の爆発は南岳のものより小規模であることを意味する。

このような昭和火口における小規模な爆発活動でも，例外的に規模の大きい噴火が発生した事例もある。2009年4月9日に発生した爆発では噴煙高度は4000mを超え，火砕流が約1km流下した（気象庁，2009）。さらに，2013年8月18日16時31分の爆発では噴煙高度が5000mに達した（気象庁，2013）。本稿では，この噴火の規模を評価した上で，噴火に至るまでの前兆現象の経過の特徴について考察するとと

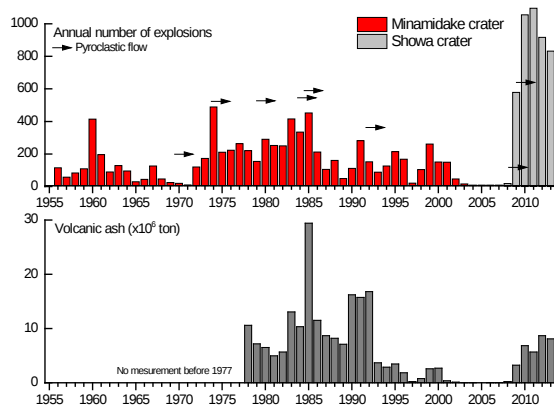


Fig. 1 Annual numbers of explosive eruption and weight of volcanic ash ejected from craters.

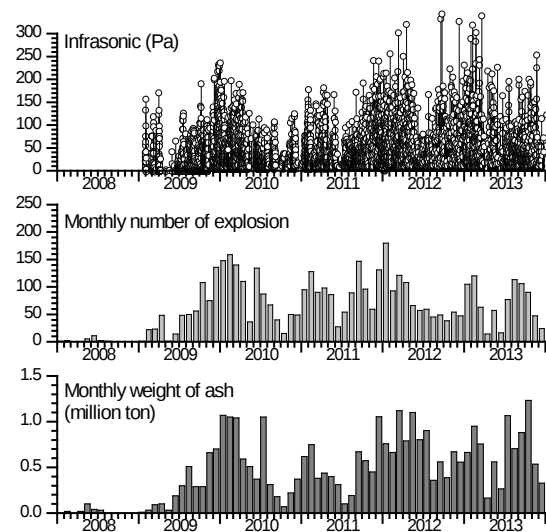


Fig. 2 Temporal change of eruptive activity since 2008. Top: amplitude of infrasonic wave generated by explosive eruption. Middle: monthly number of explosive eruption. Bottom: monthly weight of volcanic ash ejected from the Showa crater.

もに、噴火規模の拡大について議論する。

2. 昭和火口噴火活動の推移

南岳において爆発的噴火活動が始まった1955年10月13日以降の年間の爆発回数と1978年以降の火山灰放出量をFig.1に示す。火山灰放出量は、石川・他(1981)の手法に基づいて鹿児島県により測定されている鹿児島県内62点(当時58点)の月別降灰量から見積もったものである。2008年には4回、2009、2011、2012年にそれぞれ1回の爆発が南岳において発生しているが、2007年以前は南岳、2008年以降は昭和火口の爆発回数を示しているとみてよい。昭和火口では、2008年には20回の爆発が発生したが、2009年に

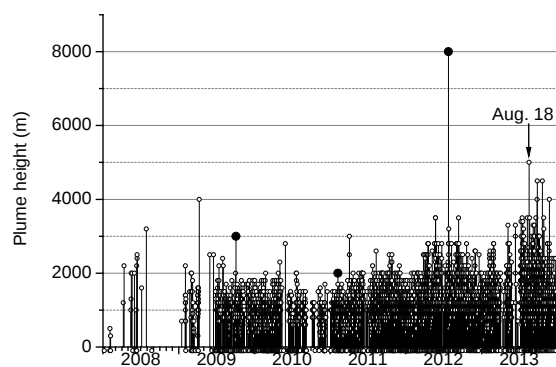


Fig.3 Temporal change of eruptive activity evaluated from plume of height of explosive eruptions at the Showa crater. Plume heights were measured by Kagoshima Local Meteorological Observatory, Japan Meteorological Agency. Dots indicate explosive eruptions at the Minamidake crater.

は578回、2010年には1055回、2011年には1090回、2012年には917回、2013年には832回の爆発が発生した。また、火山灰の放出量は、2008年には20万トンに過ぎなかったが、2009年は320万トン、2010年は680万トン、2011年は570万トン、2012年には870万トンと増加傾向を示した。2013年は例年とほぼ同量の810万トンの火山灰が放出された。なお、南岳では2009年10月3日、2011年2月7日、2012年7月24日に爆発的噴火が発生した。

2009年以降の噴火活動の推移を詳しく見るために月別の爆発回数と火山灰放出量および爆発に伴う空気振動の振幅をFig.2に示す。

凡そ1年おきに噴火活動のピークが現れていることがわかる。最初の噴火活動のピークは2009年12月～2010年3月であり、1か月に140～150回の爆発が発生し、火山灰放出量は100万トン/月を超えた。2番目のピークは2011年2月であり、128回の爆発が発生し、75万トンの火山灰が放出された。特に2月12日には21回の爆発が1日に発生した。3番目のピークは2011年12月から2012年3月頃にある。2012年1月の爆発回数が特に多く、1か月に180回の爆発が発生した。また、2011年12月と2012年3月には火山灰放出量は100万トン/月を超えた。この3番目のピークを含む活動期については2011年8月・9月頃から活発化がみられ、ピークを越えた2012年5月にも火山灰放出量が100万トン/月を超えるなど、比較的長期にわたる噴火活動であった。4番目の活動ピークは2013年2月に現れている。120回の爆発が発生し、95万トンの火山灰が放出された。5番目のピークは2013年7月～11月頃にあり、8月には113回の爆発が発生し、10月には120万トンの火山灰が放出された。この月別火山灰量は2008年以

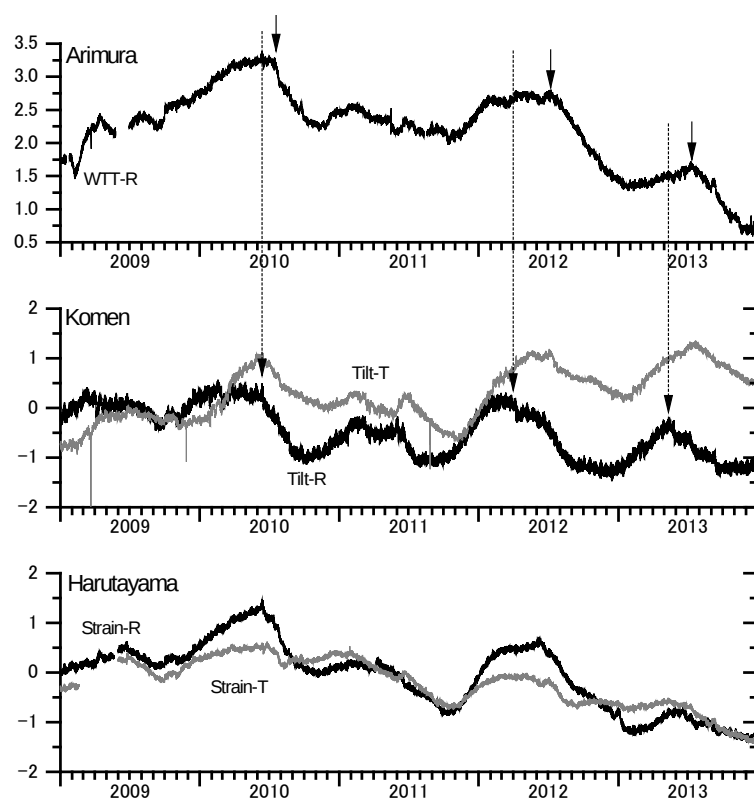


Fig.4 Tilt and strain changes. Top: radial tilt in Arimura tunnel (AVOT). Middle: Tilt at borehole Komen station (KOM). Bottom: radial and tangential strains in Harutayama (HAR). See the locations of the sites in Fig. 5. Unit in nano micro radian or micro strain. Downward arrows indicate start of downward tilts of the Minamidake crater side at the station Arimura and Komen.

降で最も多い。

また、Fig.2に示すように爆発回数が多い時期には爆発に伴う空気振動の振幅が大きくなる傾向が認められる。空気振動の振幅は月別の爆発回数が増加した2013年1月から2月には、9回の爆発が200Paを超えた。一方、空気振動の振幅は2009年以降大きくなる傾向がある。200Paを超える爆発は2009年に3回、2010年には2回しか発生しなかったが、2011年には9回、2012年には21回、2013年には19回発生するなど、急激に増加している。空気振動振幅の増加は2011年11月以降に顕著である。また、爆発回数が20回以下となった2013年4月と6月でも、100Paを超える爆発が5回発生しており、爆発回数が少ない時期における空気振動振幅の減少は顕著でなくなっている。

Fig.3に爆発によって放出された噴煙柱の到達高度の変化を示した。噴煙高度は鹿児島地方気象台により測定されたものである。2011年まではほとんどの爆発の噴煙高度は2000m以下であったが、2012年以降、2000mを超える噴火が増加した。2012年には64回の噴火、2013年には147回の噴火による噴煙が2000mを超えた。さらに、2013年5月以降、3000mを超える噴火が多数発生するようになり、18回の噴火において噴煙高度が3000mを超えた (Table 1)。

3. 地盤変動

3.1 長期的地盤変動

Fig. 4に桜島南部の有村観測坑道 (観測点AVOT)

Table 1 Numbers of eruption in volcanic plume height (Showa crater)

Plume height	2009	2010	2011	2012	2013
$h \leq 2000\text{m}$	540	894	1345	1047	951
$2000\text{m} < h \leq 3000\text{m}$	7	2	10	60	129
$3000\text{m} < h \leq 4000\text{m}$	0	0	0	4	15
$4000\text{m} < h$	1	0	0	0	3
Total	548	896	1355	1111	1098

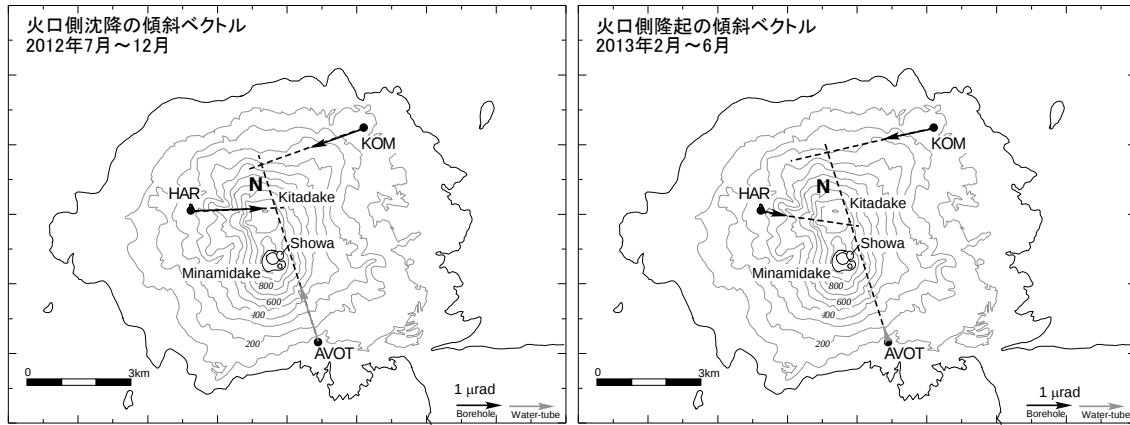


Fig.5 Tilt vectors from stations Arimura (AVOT), Harutayama (HAR) and Komen (KOM) in deflation period from July to December, 2012 (top) and inflation period from February to June, 2013.

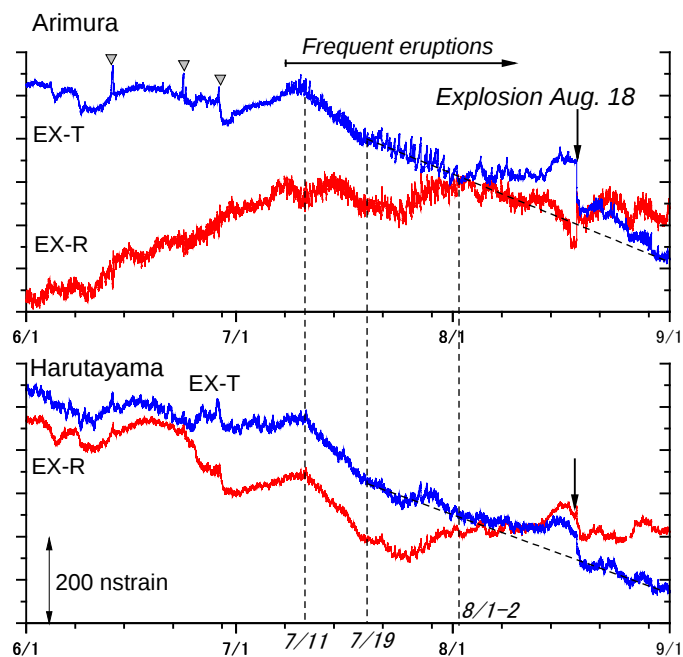


Fig.6 Strain changes in the Arimura (top) and Harutayama (bottom) underground tunnels during the period from June to August, 2013. “EX-R” and “EX-T” represent strain records in radial and tangential directions, respectively. Downward arrows indicate start of the explosive eruption on August 18. Triangles show minor explosive eruptions in June. Minor eruptions frequently occurred from July 8.

における火口方向の傾斜，北部の観測点KOMにおける傾斜，北西部のハルタ山観測坑道（観測点HAR）における伸縮計の2009年以降の記録を示す．いずれも一定速度のドリフト成分を除去したものである．

ほぼ1年周期で火口方向の隆起－沈降傾斜と伸長－収縮ひずみのサイクルを繰り返している．このうち，2009年10月～2010年3月，2011年11月～2012年2月の火口方向の隆起・伸長変化が大きい．一方，火口方向の沈降・収縮では，2010年7月～11月，2012年6月～12月および2013年7月～11月が大きく，長期的には2011年・2012年以降火口方向の沈降・収縮傾

向にある．

火口側の沈降・収縮の開始時点については北部に比べ南部が常に遅れることが指摘できる．2009年10月ごろから始まった山頂火口域の隆起・膨張は，2010年6～7月に沈降・収縮に反転したが，北部の観測点KOM, HARに比べて，南部の観測点AVOTは約1か月遅れている（井口，2011）．同様に，2011年11月から始まった顕著な火口方向隆起の傾斜変動と山体膨張を示すひずみ変化では，2012年2月からの横ばい状態を経て沈降・収縮期に入ったが，北部のKOM, HARでは6月から沈降・収縮変化に至ったが，南部の

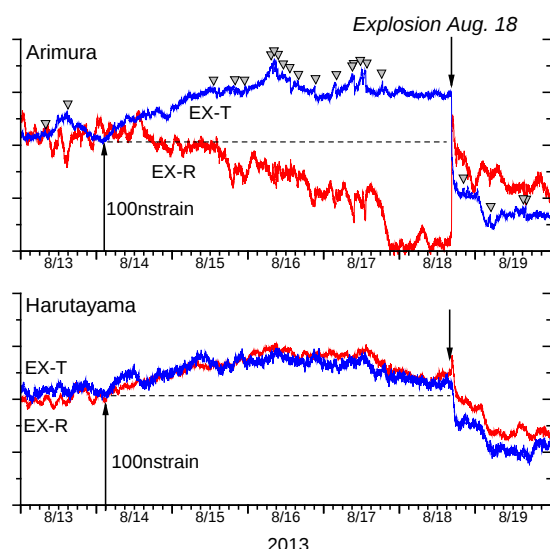


Fig.7 Strain changes in the Arimura (top) and Harutayama (bottom) underground tunnels during the period from August 13 to 19, 2013. “EX-R” and “EX-T” represent strain records in radial and tangential directions, respectively. Downward and upward arrows indicate start of the explosive eruption on August 18 and start of tensional strain, respectively. Triangles show minor explosive eruptions during the period.

AVOTでは約1か月遅れて7月に火口方向沈降を示すようになった（井口，2012a）。

2012年6・7月～2012年12月・2013年1月までの変動量は，1回の長期的火口側沈降・山体収縮イベントとしては2009年以降で最も大きい。観測点AVOTにおける火口側沈降の傾斜変化は $1.4\mu\text{rad}$ ，KOMでは $1.2\mu\text{rad}$ に達した。また，HARの伸縮計の火口方向の成分では， $1.8\mu\text{strain}$ の収縮ひずみを観測した。Fig. 5に観測点AVOT，HAR，KOMにおける2012年7月から12月までの火口方向の沈降を示す傾斜ベクトルを示す。隆起方向を示す直線，沈降方向を示す直線とも交差するのは北岳の山頂から北山麓にかけてである。昭和火口における爆発回数が急増した2009年以降における傾斜ベクトルの方向はおおむね北岳の北山麓において交差しており（井口，2012a），この場所には，GPS観測から副圧力源も推定されている（井口・他，2011；2012；Iguchi et al., 2013）。

本稿において対象とする2013年8月18日の爆発は，2013年7月に始まり11月まで続いた火口側の地盤の沈降・収縮期にあり，観測点AVOTにおける沈降・収縮期の開始から1ヶ月半後に発生した。これに，先行して，火口側隆起の傾斜変化と膨張ひずみが2012年12月～2013年1月に始まり，2013年5月～6月まで続いた。観測点AVOTにおける火口側沈降の傾斜変化

は $0.3\mu\text{rad}$ ，KOMでは $0.8\mu\text{rad}$ ，HARの伸縮計の火口方向の成分では， $0.4\mu\text{strain}$ の収縮ひずみを観測。2011年11月～2012年1月の変化量と比較して小さいものの，2013年7月以降の沈降・収縮期に先行して，隆起・膨張期がある。Fig. 5にAVOT，HAR，KOMにおけるこの隆起・膨張期の火口方向の隆起を示す傾斜ベクトルを示す。2012年7月から12月までの火口方向の沈降期と同様に，隆起方向を示す直線が交差するのは北岳の山頂から北山麓にかけてであり，2013年7月以降の山体収縮期の前には北岳下の圧力源が膨張していたことがわかる。

火口方向の沈降が始まったのは，北部のKOMでは5月中旬であるが，南部のAVOTでは1か月以上遅れて7月に火口方向の沈降を示すようになった。2010年7月以降および2012年6月以降の沈降・収縮期と同様に北部の観測点に比べ南部の観測点における沈降・収縮開始が遅れた。

3.2 2013年7月以降の地盤変動

次に，2013年7月以降の沈降・収縮期の開始から8月18日の爆発発生までの経過について地盤変動を中心に述べる。観測点AVOTおよびHARの2013年6月～8月のひずみ変化をFig.6に示す。Fig.4に示したようにHARのひずみは2013年6月下旬には収縮を示し始めているが，収縮が顕著になったのは，7月11日以降である。7月11日から19日まではHARの火口方向および直交方向のひずみは18ナノストレイン/日のほぼ一定速度で収縮した。AVOTの火口方向のひずみに大きな変化はないが，直交方向のひずみは14ナノストレイン/日の速度で収縮した。7月19日に収縮率の変化が現れ，収縮率が半分の7ナノストレイン/日に低下した。同様にHARの直交成分のひずみでも収縮率が6ナノストレイン/日に低下した。この速度の収縮は8月1日～2日まで続き，その後，変動が停滞した状態を経て，8月14日にHARの火口方向と直交方向およびAVOTの直交方向において伸張，AVOTの火口方向において収縮を示した後，8月18日の噴火に至った。

8月14日から爆発が発生した8月18日までの地盤変動について詳しく述べる。Fig.7に8月13日からの19日までのAVOT及びHARにおけるひずみ変化を示す。爆発は8月18日の16時31分に発生したが，17日21時以降，8月18日の16時31分までは顕著な地盤変動が検出されていない。昭和火口の爆発では，多くの場合，1～2時間前から火口方向成分において収縮，火口と直交方向成分において伸張のひずみが観測され（Iguchi et al., 2013），その変化量は最大で100ナノストレインに達する（井口・他，2010）。2013年8月18日の爆発では，直前の約20時間に顕著な地盤変動はなく，この点が昭和火口において発生する多くの爆発と異

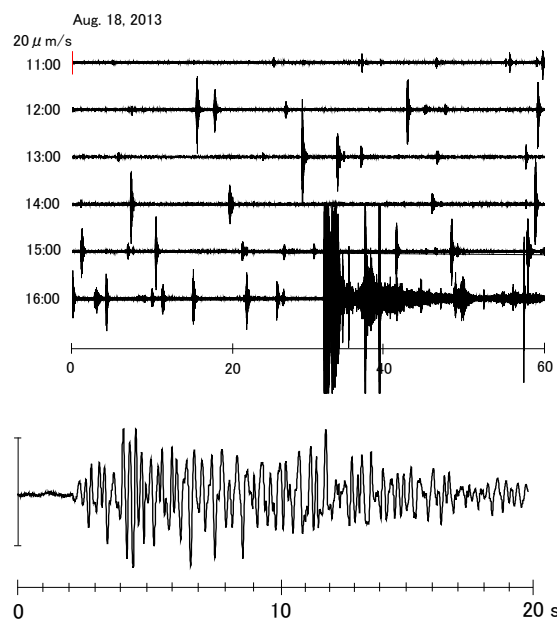


Fig.8 Velocity seismogram of vertical component at the station HIK prior to the explosive eruption at 16h31m on August 18, 2013. The station HIK is located 1.7km NW of the Minamidake crater. Top: Continuous record from 11h. Spike-like event is enlarged at the bottom (event at 15h01m). Vertical scale is $20\mu\text{m/s}$.

なる。

Fig.6に示したように8月18日の爆発に先行する地盤変動は8月14日に発生している。8月14日の2時～3時からAVOTにおける直交成分およびHARにおける火口方向および直交方向の両成分において膨張ひずみが始まっていることがわかる (Fig.7)。8月14日2時から18日16時の爆発まで、15回の爆発が発生したが、いずれも小規模な爆発であり、14日2時から始まった膨張のトレンドを大きく変えるものではない。14日2時から18日の爆発発生までにAVOTにおけるひずみ計の火口方向成分では100ナノストレインの収縮、直交方向では50ナノストレインの伸張ひずみが観測された。火口と直交方向のひずみでは15日の10時ごろには伸長ひずみが50ナノストレインに達したが、火口方向では15日の10時ごろから17日の21時にかけて100ナノストレインの収縮ひずみが進行した。観測点HARでは、AVOTとは異なる変化を示した。14日2時から15日の10時ごろにかけて火口方向および直交方向とも30ナノストレインの伸張を示した。その後、17日の14時ごろまで大きな変化はなかったが、17日の14時から収縮ひずみ速度が増加し、21時までに40ナノストレインの収縮が観測された。

一方、観測点HARでは、14日2時から15日10時ごろまでに火口方向および直交方向とも30ナノストレイ

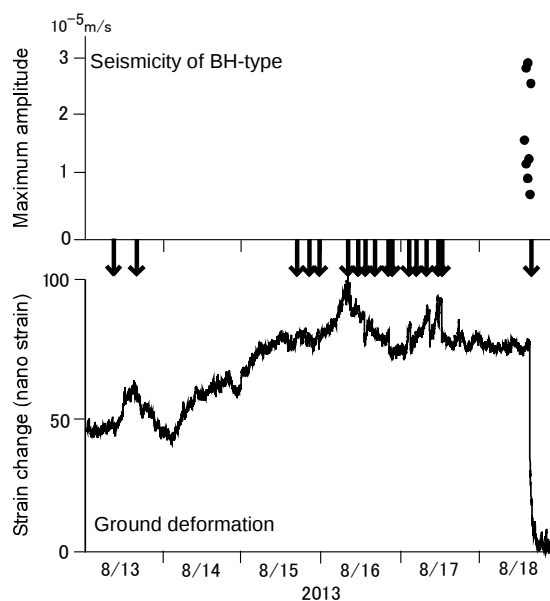


Fig. 9 Correspondence of seismicity to strain change prior to the explosive eruption on August 18, 2013. Maximum amplitudes ($\geq 5\mu\text{m/s}$) of BH-type earthquakes are plotted at the top.

ンの膨張が観測された (Fig.7) 17日の12時ごろまでは顕著な変化はなかったが、その後、18日16時31分の爆発発生まで20ナノストレインの収縮を緩やかに続けた。

14日の2時を18日16時の爆発に先行する地盤の膨張の開始点とすれば、爆発に至るまでの地盤変動パターンは、初期において変動速度が速く、その後、変動速度が低下して変動が停止して、爆発に至る昭和火口における爆発に先行する地盤変動によく見られる様式 (Iguchi et al., 2013) であるが、膨張開始の先行時間が110時間とこれまでの昭和火口における爆発の中では最も長い。

4. 直前の地震活動

前章に述べたように、8月18日16時31分の爆発に先行する地盤変動は110時間前の8月14日に始まった。次に、先行期の地震活動について検討する。

この期間においては、爆発が多数発生しているので、爆発地震が多数記録されている。それ以外で最も注目されるのは、爆発発生の5時間前の11時すぎから発生頻度が増加した火山性地震の活動である。Fig.8に8月18日11時～17時火山性地震の記録を示す。振幅の大きい記録が16時31分の噴火に伴う爆発地震であり、これに先行して多数の火山性地震が発生した。この火山性地震はBH型 (井口, 1989) に分類され、5Hz付近に卓越周波数をもつ。2009年以降の昭和火口の爆発活動期におけるBH型地震の発生様式と

して、爆発発生1～2時間前に、膨張するひずみが停滞した時に多発することが指摘されている（為栗・井口，2013）．Fig.9に2013年8月13日から18日までのBH型地震の最大振幅の時間変化と地盤変動を比較して示すが、2013年8月18日に多発したBH型地震は地盤変動の停滞期に発生しているものの、停滞期全体にわたって分布するのではなく、爆発直前に集中していること、また、その振幅は30 $\mu\text{m/s}$ （引之平観測点：山頂から1.7km）に達しており、これまで知られているものよりも大きいことが指摘できる．

5. 2013年8月18日の爆発

2013年8月18日16時31分に発生した爆発では、火山岩塊は3合目まで到達し、噴煙は火口上高度5000mまで上昇した（気象庁，2013）．火山灰は桜島から西北西方向に流れ、南岳山頂から5.6kmの距離にある桜島火山観測所では0.4kg/m²の降灰を観測した．また、爆発と同時に火砕流が発生し、約1km東まで流下した．噴煙高度や火砕流の流下距離は2009年4月9日に発生した爆発と同等規模である．一方、この爆発に伴う空気振動の振幅は21Paであり、通常の爆発よりも小さい（Fig.1参照）．

Fig.10に爆発に伴う地盤変動の記録を示す．爆発発生直後に、ひずみ計の火口方向の成分において伸張、直交方向の成分において収縮となるステップ的なひずみ変化が観測された．観測点AVOTの火口方向では+90ナノストレインの伸張ステップが観測され、20分後には130ナノストレインに達した．火口と直交方向では-50ナノストレインの収縮ステップが観測された．観測点HARでは、火口と直交方向のひずみステップは明瞭ではないが、火口方向では+15ナノストレインの伸張ステップが観測された．茂木モデル（Mogi, 1958）を仮定して観測点AVOTにおける火口方向と直交方向のひずみステップ量の比から圧力源の深さを求めると（Iguchi et al., 2013），0.5kmに求められた．ひずみステップが発生後は、AVOT及びHARとも、火口方向および直交方向の収縮ひずみと火口方向沈降を示す傾斜変化が2～3時間継続した．これらの変動が継続している間は、火山性微動が発生している時間とほぼ一致している（Fig.10）．ひずみステップ発生後のHARにおける火口方向および直交方向のひずみ変化は、それぞれ、-36ナノストレインおよび-40ナノストレイン、また、傾斜変化は-86ナノラジアンであった．火口方向と直交方向のひずみ変化の極性が一致している場合は、両者の比から圧力源の深さを求めると深さの誤差が大きくなるので、Ishihara（1990）にならい、面積ひずみと火口方向の傾斜変化の比から圧力源の深さを求めると、

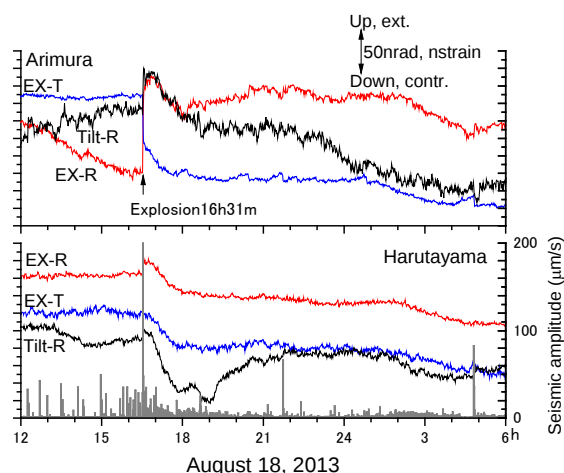


Fig. 10 Correspondence of seismicity to strain change prior to the explosive eruption on August 18, 2013. Maximum amplitudes ($\geq 5\mu\text{m/s}$) of BH-type earthquakes are plotted at the top.

4.4kmとなった．また、圧力源の体積変化量は $5.6 \times 10^4 \text{m}^3$ と見積もられた．井口（2013a）は、火山灰放出重量と火山性微動のパワースペクトル、爆発的噴火に伴う圧力源の体積変化量の和を月毎に比較することにより、以下の経験式を得た．

$$W = \beta V + \alpha A + \gamma$$

ここで、 W は火山灰放出重量、 V は爆発に伴う圧力源の体積変化量、 A は非爆発的噴火時に発生する火山性微動の速度記録の2-3Hz周波数帯域におけるパワースペクトルのそれぞれ月毎の和である．また、 γ は脈動などの非火山性震動を除去するための補正項である． W の単位をトン、 V の単位を m^3 とした時に $\beta = 2.6$ と求めている．この経験式を8月18日の爆発に適用すると15万トンの火山灰が放出されたことになる．

6. 議論

6.1 爆発規模の評価

2013年8月18日の爆発の規模を2008年以降、昭和火口において発生した爆発と比較し、その規模を評価してみる．井口・他（2010）は、昭和火口における爆発の規模を爆発地震の振幅、空気振動の振幅、地盤変動量および火山灰放出量の4つの観点から評価した．

8月18日の爆発に伴う空気振動は21Paにすぎず、Fig.2に示すように2008年以降の昭和火口爆発の中でも小さい．爆発地震の最大振幅は223 $\mu\text{m/s}$ であるので、最大規模ではないが、大きい部類に入る（Fig.11）．

8月18日の爆発に伴う地盤変動量は、Fig.12に示すように2008年以降では最も大きい。井口(2012b)は、個々の爆発について地盤変動を引き起こす体積変化量と火山灰放出量の間には相関があることを示しており、地盤変動量と火山灰放出量による規模評価は同等のものと考えてよい。火山の爆発強度をVEI (Volcanic Explosivity Index, Newhall and Self, 1982) のように噴出物量で評価するなら、2013年8月18日の爆発は2008年以降昭和火口において繰り返される爆発の中では最大規模である。さらに、Fig.3に示すようにこの爆発の噴煙高度は2012年7月24日の南岳の爆発を除くと、昭和火口における爆発では最も高い。

一方、南岳の噴火である2012年7月24日の爆発では、噴煙高度は8000mに達し、火山灰放出量も25万トンと見積もられている(井口, 2013b)。また、過去に遡ると、1987年11月17日の爆発では40万トンの火山灰が放出された例もある(石原・小林, 1989)。昭和火口の噴火で最大規模と評価できる2013年8月18日の爆発でも南岳の爆発に比較すると大きい部類には入るが、最大規模ではない。

6.2 2013年8月18日の爆発に至る経緯

8月18日16時31分の爆発の20時間前からは顕著な地盤変動が観測されていない。桜島の昭和火口の爆発においては、先行する地盤の膨張を示す地盤変動が観測されており、最大規模の爆発のみ、先行する地盤膨張がないとは考えにくく、20時間以上前に遡って、地盤の膨張があったと考える方が妥当である。Fig.7に示すように、8月14日の2時頃から観測点AVOTの直交方向のひずみに伸張が観測され始め、15日の12時頃まで続いた。変化量は47ナノストレインに達した。同様の変化は観測点HARの火口方向および直交方向のひずみにも見られる。ところが、爆発に伴う収縮ひずみはAVOTの直交方向では98ナノストレインに達しており、14日～15日の伸張ひずみのほぼ2倍である。14日からの膨張ひずみ量と18日の爆発に伴う収縮ひずみ量はHARのひずみ変化においても同様に収縮ひずみ量が多い。14日の2時ごろから18日16時の爆発に先行する地盤変動が始まったとすると、噴火に伴う圧力源の体積変化量が前駆する地盤変動を引き起こした圧力源の体積変化量を上回ってしまうことになる。したがって、18日の爆発に関与するマグマの貫入に伴う地盤変動は14日以前にすでに始まっていたと考える方が妥当である。

Fig.7に示すように、7月19日以降は、頻繁に繰り返される爆発によって、7ナノストレイン/日の速度で収縮ひずみが続いたが、8月1日ごろから地盤変動が停止し、8月14日からの山体膨張を示す地盤変動が開始した。7月19日～8月1日の7ナノストレイン/日の収

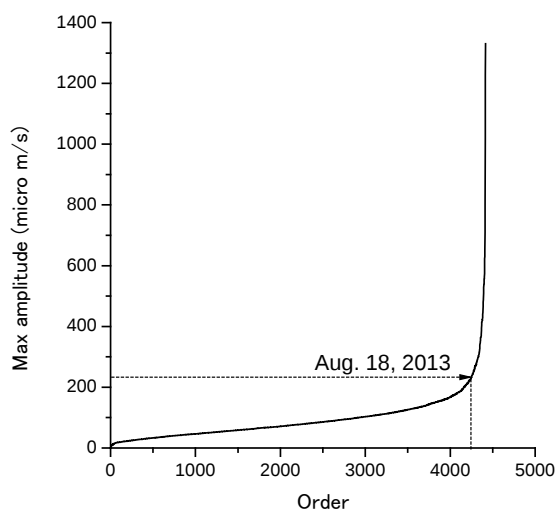


Fig. 11 Maximum amplitudes of explosion earthquakes arranged in the order of magnitude

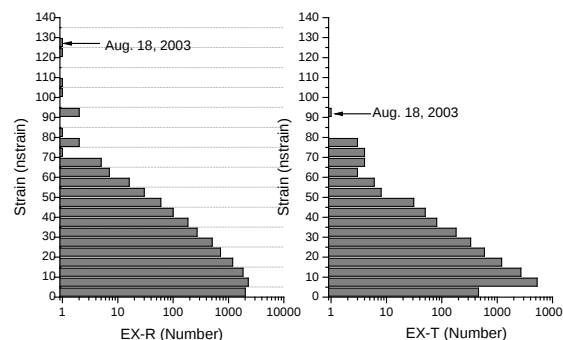


Fig.12 Histogram of strain changes associated with explosive eruptions during the period from 2008 to 2013. Left: radial strain, right: tangential strain at the Arimura underground.

縮率を延長すると、8月18日に爆発が発生し、急速に収縮が発生した後のひずみと18日以降の収縮トレンドに一致することから、7月19日以降の収縮トレンドに、伸張ひずみが重畳したことが、推定される。このことは観測点HARにおける直交方向のひずみでも同様である。火口と直交方向のひずみ変化をみる限り、8月18日の爆発に先行する山体の膨張は8月1日ごろにゆるやかに始まり、14日～15日の加速を経て、停滞した後、18日に爆発したと考えられる。

15日から17日までの地盤変動の停滞期にはFig.7に示すように、多数の爆発が繰り返されており、火口下のマグマ溜りからマグマが放出されていたため深部からの供給は続いていたが、見かけ上、地盤の膨張が停止していた時期と考えることができる。マグマの深部から浅部への上昇、さらには、浅部から火口からの噴出も停止したのは、17日の21時から18日

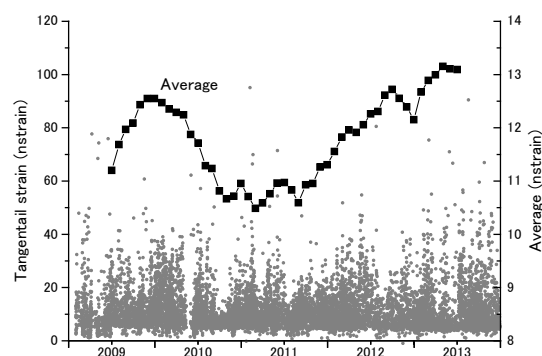


Fig. 13 Temporal change of strain changes associated with explosive eruptions during the period from 2009 to 2013. Strain changes were observed by tangential component in the station ARI. Squares represent average in one-year window.

16時31分までの爆発までである。18日の11時ごろからBH型地震が多発するようになり、16時31分の爆発に至った。

6.3 噴火規模の拡大

2013年7月以降に噴煙高度が3000mを超えるような爆発が頻繁に繰り返されるようになり、噴火規模の拡大が示唆される。(Fig.3)。しかし、噴煙高度は、冠雲等により常に測定できる量ではなく、放出される火山灰量よりも放出率に関係する量であり、噴火の規模を噴出物量で評価するのであれば適当ではない。ここでは、先に述べたように火山灰放出量に関係する地盤変動量から噴火規模の推移を評価する。Fig. 13に2009年から2013年までの観測点AVOTにおける爆発ごとのひずみ変化量（直交方向）を示す。爆発に伴うひずみ変化量は2013年7月以降、ステップ的に増加していることがわかる。それ以前でも、2012年3月頃や、2013年2月にもひずみ変化量の大きい爆発が多発している時期がある。そこで、爆発毎のひずみ変化量の平均値を1年間のウィンドウについて検討した。1月ごとにウィンドウをずらせて調べた結果をFig.13に示す。2009年秋以降の爆発発生頻度の増加に伴い、ひずみ変化量の平均値も増加したが、2010年以降は、減少傾向にあった。ところが、2011年11月ごろから平均値は増加を続けており、2012年9月以降は2009年末から201年初めよりも大きいレベルにある。このことから噴火規模の拡大は2011年11月ごろから始まったものと推定される。Fig.4に示すように2011年11月は、急速な傾斜およびひずみ変化と同時に噴火活動が活発化した時期であり、マグマ貫入量の増加が噴火規模の拡大につながったと考えられる。噴煙高度が5000mに達した2013年8月18日16時31分の爆発は規模の拡大を示す典型例と位置付け

られる。

7. まとめ

2013年8月18日の爆発では地盤変動を励起する圧力源の収縮体積変化量から火山灰放出量は15万トンと見積もられ、2008年以降、昭和火口において繰り返される噴火としては、最大規模であった。

この爆発は7月11日から始まった半年に及ぶ地盤の収縮期において発生した。この爆発に先行する地盤の膨張は、爆発発生の110時間前の8月14日の2時ごろ始まっており、他の爆発に比べて非常に長い。爆発に伴う地盤変動量から考えて、17日前の8月1日にはこの爆発に関与するマグマが供給され始めた可能性がある。また、爆発の5時間前かBH型地震は多発したことも前兆活動の特徴として指摘できる。

2012年以降、噴火規模の拡大傾向がみられる。2013年8月18日の爆発はその典型例と位置付けられる。

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。火山灰重量データは鹿児島県危機管理局から頂いた。本研究には地震及び火山噴火予知のための観測研究の一課題である「桜島火山における多項目観測における」（課題番号1809）を使用した。

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.
- 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・横尾亮彦・為栗健（2010）：桜島昭和火口噴火の規模について、京都大学防災研究所年報、第53号B, pp.233-240.
- 井口正人（2011）：桜島火山の噴火活動—2010年6月～2011年7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22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（2012a）：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.
- 井口正人（2012b）：桜島における火山灰放出量予測に関する研究，京都大学防災研究所年報，第56号B，pp.169-175.
- 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（2012）：桜島昭和火口噴火開始以降のGPS観測—2011年～2012年—，「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.47-53.
- 井口正人（2013a）：地震動および地盤変動データを用いた火山灰放出率評価のためのハイブリッド手法，地球惑星科学連合2013年大会要旨，SVC48-15.
- 井口正人（2013b）：桜島火山の噴火活動—2012年7月～2013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24年度報告書，pp.1-8.
- 石川秀雄・江頭庸夫・田中良和・植木貞人（1981）：桜島火山の噴火活動史，自然災害特別研究 研究成果No.A-56-1，pp.153-179.
- 石原和弘・小林哲夫（1989）桜島火山の最近の火山活動，火山，第33号，pp.269-271.
- 気象庁（2009）：桜島の火山活動解説資料（平成 21 年4月）
- 気象庁（2013）：桜島の火山活動解説資料（平成 25 年8月）
- 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.
- 為栗 健・井口正人（2013）：桜島火山昭和火口の噴火に伴う前駆地震の特徴，京都大学防災研究所年報，第56号B，pp.181-185.
- Iguchi, M., Tameguri, T., Ohta, Y., Ueki, S., Nakao, S. (2013): Characteristics of volcanic activity at Sakurajima volcano's Showa crater during the period 2006 to 2011, Bull. Volcanol. Soc. Japan, Vol. 58, pp. 115-135.
- 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.
- Mogi, K. (1958): Relation between eruptions of various volcanoes and the deformations of the ground surface around them, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, Vol. 38, pp. 99-134.
- Newhall, C. C. and Self, S. (1982): Volcanic explosivity index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism, J. Geophys. Res., Vol. 87, C2, pp. 1231-1238.

（論文受理日：2014年6月11日）