

桜島火山昭和火口で発生する火砕流の特徴

Characteristics of Pyroclastic Flow at Sakurajima Volcano's Showa Crater

為栗健・井口正人

Takeshi TAMEGURI and Masato IGUCHI

Synopsis

Eruptions at the Showa crater become active since 2008 and are sometimes accompanied with small pyroclastic flows. It is important to understand the mechanism of generation of the pyroclastic flow for volcanic disaster prevention. We research characteristics of inflation and precursory earthquakes before eruptions, amplitude of air-shock and deflation after eruptions accompanied with the pyroclastic flow. In the case of eruptions accompanied with the pyroclastic flows, precursory earthquake swarm and long suspension of inflation (more than 30 min) before eruption and larger deflation after eruption are observed. It is considered that ascent magma before occurrence of pyroclastic flow is longer stay in conduit and erupt much volcanic ejecta than normal eruptions. The pyroclastic flows may be caused by fall down of much volcanic ejecta composed of high density magma. The possibility of the occurrence of the pyroclastic flow is high when swarm of precursory earthquakes and long suspension of inflation are observed.

キーワード: 桜島火山, 火砕流, 前駆地震, 地盤変動

Keywords: Sakurajima volcano, pyroclastic flow, precursory earthquake, ground deformation

1. はじめに

桜島火山では1955年以降, 山頂火口においてブルカノ式と呼ばれる爆発的噴火を繰り返している. 東側山腹の昭和火口では2006年に58年ぶりに噴火が再開し, 2009年以降, 噴火活動が活発化している. 2010年から2013年まで毎年1000回近くの爆発的噴火を繰り返しており, 爆発回数が増加とともに噴火規模が大きくなってきた. 2014年は爆発回数が約500回と減少したが, 噴煙高度が3000~5000mに達する噴火が多く発生している. 桜島火山の噴火の特徴として火山弾の放出, 衝撃波の発生, 急激な火山灰や火山ガスの放出を伴う爆発的噴火が上げられるが, 山腹にある昭和火口における噴火ではそれらに加えて, 頻度は少ないが火砕流の発生が上げられる.

火砕流は高温の火砕物や火山ガスが山腹斜面を高

速で流れ下るもので, 火山噴火の中で最も危険な現象の一つである. 火砕流は1991年雲仙普賢岳, 2010年メラピ火山(インドネシア)などの噴火活動で発生し, 人的被害を伴う甚大な火山災害を生じている. 桜島火山においては現在のところは小規模な火砕流しか発生していないが, 今後の活動次第では大規模な火砕流の発生も考えられる. 2015年8月15日に火山性地震の多発や急激な山体膨張を示す地盤変動が観測された. Hotta et al. (2016) によるマグマ貫入量から, 噴火が発生した際の火砕流の流下距離シュミレーションが行われた結果, 物理パラメータや流下方位にも依るが火口から2.7~3.0km付近まで火砕流が流下する予測がなされており(岩田・他, 2018), 居住区域まで火砕流が到達する可能性も示唆されている. 火砕流の発生予測は火山防災上, 必要不可欠である.



Photo 1 Pyroclastic flow at April 09, 2009. Photo by Dr. Akihiko Yokoo.

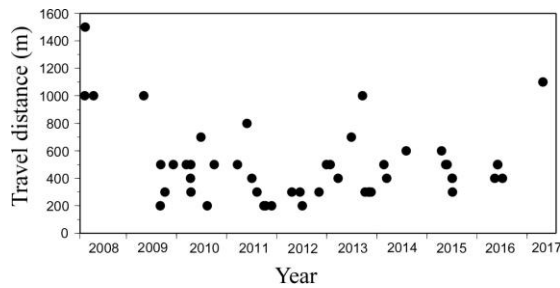


Fig. 1 Travel distances of pyroclastic flows from active crater during 2008 to July, 2017.

加茂・石原（1986）は1967年以降に桜島南岳の爆発的噴火の際に発生した小型火砕流について、高いrateで噴出が続くような噴火の際や短時間に噴火を繰り返している場合に火砕流を伴う噴火が発生していると示している。本稿では2006年以降の昭和火口の活動期に発生した火砕流を伴う噴火について、地震・地盤変動・空気振動など地球物理学的火山観測データの特徴から火砕流の発生を決定付ける要因を明らかにする。

2. 桜島で発生する火砕流のタイプと頻度

火砕流は発生条件によって噴煙柱崩壊型とドーム崩壊型に分類されている（例えば、Cas and Wright, 1987）。1955年以降、桜島火山の南岳山頂火口で発生する小型火砕流は溶岩ドーム崩落型ではなく、噴火によって放出されたレキ、岩塊等が斜面を流れ下ることで発生している（加茂・石原, 1986）。Photo 1 は2009年4月9日に昭和火口における爆発的噴火の後に発生した火砕流の写真である。火口から上昇す

る噴煙と斜面を流れ下る噴煙が見られる。噴火の前に火口外に突出するような溶岩ドームはなく、爆発的噴火の発生後に火砕物が斜面に落下して流れ下る現象が生じていることから昭和火口で発生する火砕流のタイプは噴煙柱崩壊型である。

加茂・石原（1986）によると、1967年～1985年の間に南岳山頂火口の噴火に伴い7回の火砕流が発生し、流下距離は0.5～1.3kmと短く、火砕流としては小規模であると報告されている。2006年以降の昭和火口活動期における火砕流については、鹿児島地方気象台が監視カメラ映像によって発生日時、流下距離をとりまとめた観測データを使用させてもらう。2006年の昭和火口における噴火再開以降、最初に火砕流が発生したのは2008年2月3日15:54の爆発的噴火である。その際に火砕流は山腹斜面を1000m流下した。さらに同年2月6日の爆発的噴火の際にも火砕流が発生し、流下距離は1500mに達した。これが現在までに発生した火砕流の流下距離の最長である。2009年以降の火砕流の流下距離は長くても1000mほどであるが、数100m程度の小規模な火砕流がたびたび発生している（Fig. 1）。2017年7月までに49回の火砕流発生が報告されている。南岳活動期の火砕流発生回数と比較すると昭和火口活動期の発生回数は多いが、年間約1000回近く噴火が発生する中で、火砕流は年に数回しか発生しておらず発生頻度は希である。

3. 解析

噴煙中崩壊型の火砕流は噴出物の放出によって発生することから、その発生メカニズムを解明する上で重要な情報は噴出物の物性や放出時の物理状況にある。Fig. 2 に桜島火山で発生する噴火過程の模式図を示す。噴火前には火口底のventに溶岩ドームが形成されマグマやガスの蓄積による山体膨張が観測される（例えば、Ishihara, 1990, Iguchi et al. 2013）。

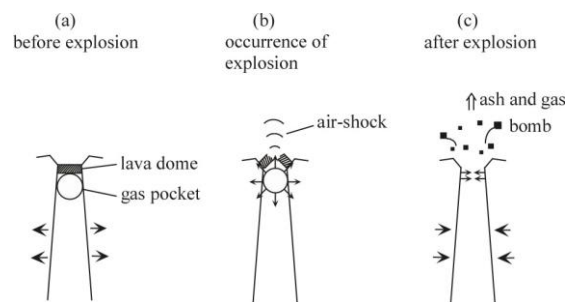


Fig. 2 Schematic of explosive eruption process. (a) Inflation before eruption. (b) Rapid gas release by outbreak of gas pocket. (c) Deflation after eruption.

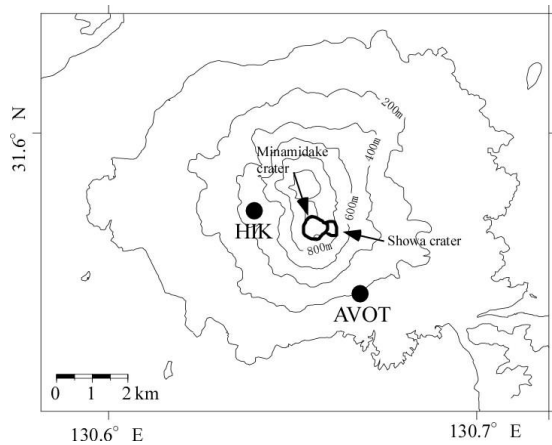


Fig. 3 Locations of active craters at Sakurajima volcano and observation sites of seismic (HIK) and air-shock and ground deformation (AVOT).

また、膨張中に火口近傍の観測点でのみ捉えられるような微小な前駆地震が群発することがある（為栗・井口，2013）。火口底での噴火開始の瞬間には高压なガス溜まりの破裂や噴出物による空気振動が生じる（Ishihara, 1990, Tameguri et al. 2002）。その際に生じる空気振動の大きさ（10Pa）で爆発的か非爆発的噴火かを判断している。噴火開始後には噴出物の放出により地盤変動の収縮が観測される（Iguchi et al., 2013）。火砕流を伴う噴火について、噴火前に発生する山体膨張や前駆地震、火口底のガス溜まりの破裂や圧力開放の強さ（空気振動）、噴出物の放出による山体収縮などの特徴を調べ、火砕流発生に関わる過程を明らかにする。

解析に使用する地震データは京都大学防災研究所汚火山活動研究センターが設置している火口近傍の引之平観測点の地震動（上下動）、地盤変動および空気振動は国土交通省大隅河川国道事務所によって桜島島内の有村に設置されている観測局舎および観測坑道のデータを使用した（Fig. 3）。

3.1 噴火前の膨張過程と前駆地震

昭和火口の爆発的噴火や火山灰放出量の多い噴火の前には山体膨張を示す明瞭な地盤変動が観測され、噴火後には急速に収縮する（Iguchi et al., 2013）。また、山体膨張の開始した後に微小な前駆地震活動が発生することがある（為栗・井口，2013）。Fig. 4に前駆地震の振幅変化とひずみ計記録の例を示す。山体膨張によるひずみ計の伸びは06:00頃から観測され始め、約3時間後に爆発的噴火が発生した。前駆地震は山体膨張開始の30分から1時間後に発生し始めている。膨張が進むにつれて、前駆地震の最大振幅が増大していく。山体膨張は爆発的噴火の30分から2

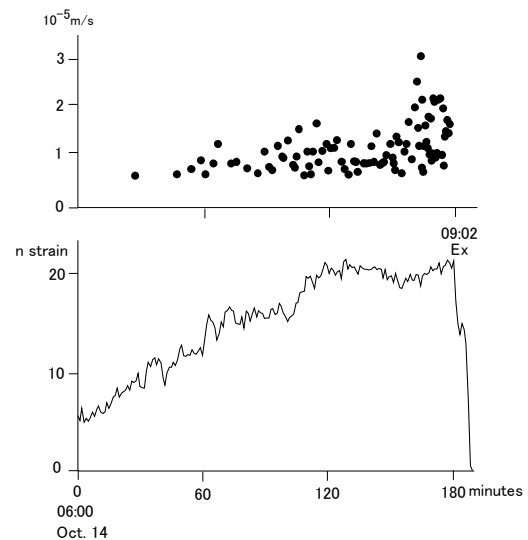


Fig. 4 Temporal change of amplitudes of precursory earthquakes at HIK (top) and tangential strain change at AVOT (bottom).

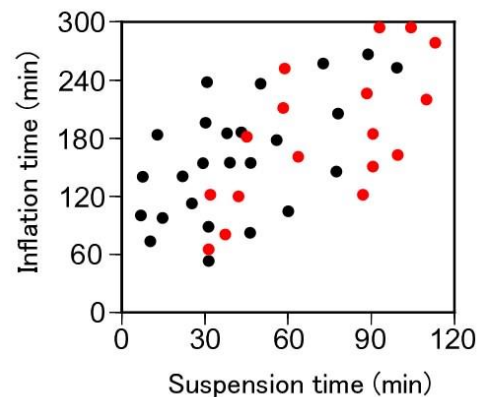


Fig. 5 Inflation times of ground deformation and suspension times of inflation before eruptions accompanied with pyroclastic flows (red circle) and no-pyroclastic flow (solid one), respectively.

時間ほど前に停滞に入ることがあり、それから前駆地震の発生頻度と振幅増大が加速している。爆発的噴火が発生して火山灰やガスが火口から放出されると地盤変動は山体膨張から収縮に反転する。前駆地震は噴火と同時に発生しなくなる。ただし、前駆地震を伴う爆発的噴火は全体の6%程度しかない（為栗・井口，2013）。一方、火砕流を伴う噴火では49例のうち27例で顕著な前駆地震活動を伴っていた。

爆発前に観測される山体膨張を示す地盤変動は噴火前に停滞することがある。全体の膨張開始から噴火までの継続時間と膨張の停滞時間の関係をFig. 5に示す。膨張継続中に何度か噴火を繰り返すことが

あり（為栗・井口，2013），その場合は継続時間や停滞時間を読み取ることが困難であるため，Fig. 5は膨張開始から1回の噴火で収縮し切ったものを示している．火砕流の有無を問わず，膨張時間が長く続くイベントでは膨張の停滞時間も長くなる．火砕流を伴う噴火の場合，膨張の停滞時間が30分以上続いている．

3.2 噴火に伴う空気振動振幅

噴火開始瞬間の圧力開放の強さと火砕流発生との関係調べるため，噴火の際に観測される空気振動の初動振幅をFig. 6に示す．昭和火口における爆発的噴火の定義はAVOTで10Pa以上の空気振動を観測されたものである．2008年以降の爆発的噴火の空気振動は最大で350Paほどである．火砕流を伴う噴火の空気振動振幅は10Pa以下の非爆発的のものから250Paを越える爆発的のものまでである．噴火開始の爆発力の大きさは火砕流発生を要因ではない．

3.3 噴火後の収縮量

Fig. 7に噴火後の収縮によるひずみ変化量を示す．噴火により火山灰やガスが放出されると山体が収縮しひずみは縮みとなる（Iguchi et al., 2013）．火砕流を伴う噴火のひずみ変化量は1例を除き10ナノストレインを超えている．通常の噴火によるひずみ変化量は70%近くが20ナノストレイン以下であるが，火砕流を伴う噴火の場合は約80%が20ナノストレイン以上であり，最大で100ナノストレインを超えている．火砕流を伴う噴火では噴火後の収縮量が大きく，火砕流は噴出物が多い噴火に伴って発生している場合が多い．

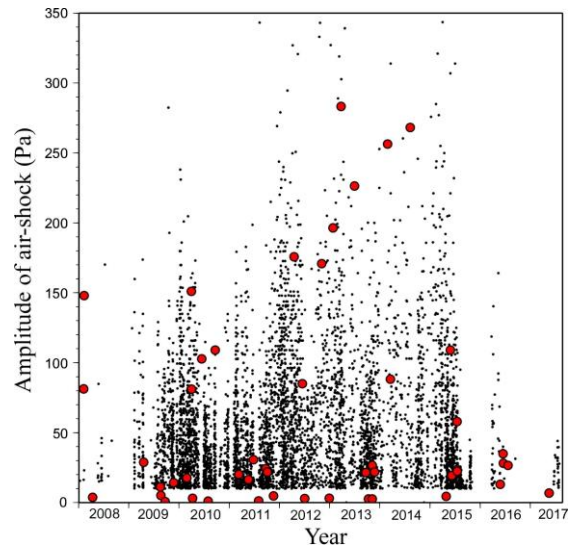


Fig. 6 Amplitudes of air-shocks of explosive eruptions (solid dot) and those accompanied with pyroclastic flows (red circle), respectively.

4. 議論

火砕流を伴う噴火の山体膨張の際には前駆地震が発生することが多く，また，噴火前の膨張停滞時間が30分以上続くことが言える．これは噴火の際に噴出するマグマが火道内に長時間停滞していると考えられる．停滞している間に火道内のマグマから脱ガスが発生し，密度が上昇したマグマが噴出し，火口周辺に落下して火砕流となっていると推測される．

加茂・石原（1986）では南岳山頂火口で発生する火砕流について，高いrateで噴出物の放出が続くような噴火の場合に発生していると述べている．昭和火

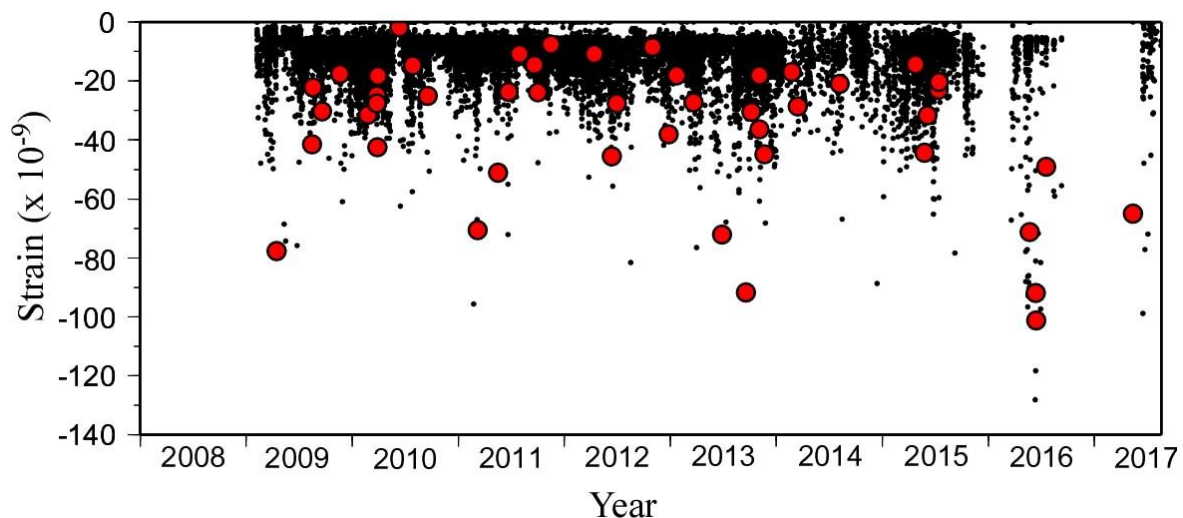


Fig. 7 Contraction after eruptions accompanied with pyroclastic flows (red circle) and no-pyroclastic flow (solid dot), respectively.

口の噴火で発生する火砕流についても、Fig. 7 で示すように収縮量が大きく多量の噴出物が放出されるときに火砕流が発生することが多く、南岳山頂火口と類似している。

Fig. 8 に2008年から2017年における長期の地盤変動と火砕流発生時期を示す。2010年以降、昭和火口の噴火回数の増大、噴煙高度の上昇と噴火活動が活発化しているが、それに先立ち2008年から2010年前半はマグマ貫入による地盤隆起が観測されている。その後、マグマ貫入による隆起と噴火による沈降を繰り返している。2010年以降について火砕流の発生時期を見ると、噴火活動によって沈降している時に多く発生している。2010年9月～2011年3月、2011年11月～2012年2月、2013年3月～8月、2014年2月～8月のマグマ貫入による隆起時期 (Fig.8 中の⇔) には噴火活動は継続しているが火砕流は発生していない。隆起している時期は深部から新鮮なマグマが供給されガスを多く含んでおり、噴火時のマグマの密度は小さく、逆に噴火が繰り返されている沈降時期は火道内のマグマの密度が上昇しており、噴火時に火砕流が多く発生していると考えられる。

5. まとめ

2006年以降の桜島火山昭和火口の活動期における火砕流発生の特徴として以下の点が言える。

1. 火砕流は爆発・非爆発を問わず発生しており、噴火の瞬間の爆発力が発生要因ではない。
2. 火砕流を伴う噴火では、通常の噴火より前駆地震を伴う割合が多い。また、噴火前に見られる膨張の停滞時間が30分以上と長く継続する。
3. 火砕流は噴出物量が多い（収縮量が大きい）噴火に伴って多く発生する。

4. 一連の噴火活動による収縮期に火砕流が多く発生し、マグマ貫入期には発生しない。

以上のことから、脱ガスが進み密度の上昇したマグマが多量に放出される際に火砕流が発生すると考えられる。発生予測としては、地盤変動の沈降期において顕著な前駆地震を伴い膨張停止時間が30分を超えるような時に火砕流を伴う噴火が発生する可能性がある。

謝 辞

火砕流の発生日時および流下距離については鹿児島地方気象台からデータ提供を受けた。国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所所有村観測坑道の空気振動および地盤変動データを使用させていただいたこと、感謝申し上げます。本稿で使用した火砕流の写真は京都大学理学研究科火山研究センターの横尾亮彦博士に提供いただいた。この研究は日本学術振興会科学研究費助成金（基盤研究(C) 26350476）の支援を受けたものである。

参考文献

- 岩田直樹・荒木義則・井口正人・宮本邦明・下村 誠 (2018) : 2015年8月の桜島の地殻変動に伴い噴火が発生した場合の火砕流シミュレーション, 第67回平成30年度砂防学会研究発表会概要集
- 加茂幸介・石原和弘 (1986) : 最近桜島火山で発生した小型火砕流, 文部省科学研究費自然災害特別研究, 計画研究「火山噴火に伴う乾燥粉体流 (火砕流等) の特質と災害」(代表者 荒牧重雄) 報告書, pp. 129-135.
- 為栗 健・井口正人 (2013) : 桜島火山昭和火口の

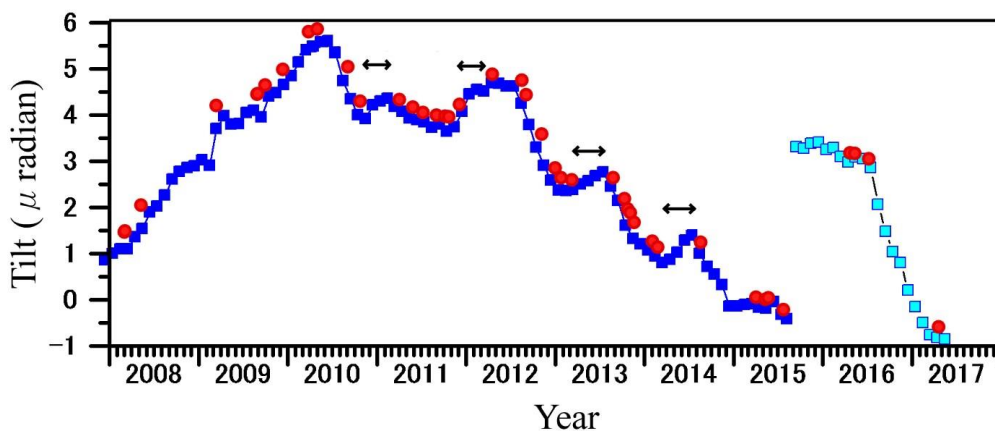


Fig. 8 Tilt change during 2008 to May, 2017. Rapid magma intrusion event occurred at August 15, 2015 (Hotta et al., 2016). Red circles indicate occurrence of pyroclastic flows.

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.

Hotta, K., Iguchi, M. and Taneguri, T. (2016): Rapid dike intrusion into Sakurajima volcano on August 15, 2015, as detected by multi-parameter ground deformation observations, *Earth, Planets and Space*, 68:68.

Iguchi, M., Tameguri, T., Ohta, Y., Ueki, S. and 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, In *Magma transport and storage* (Ed. M. P. Ryan), John Wiley and Sons, pp. 335-356.

R. A. F. Cas and J. V. Wright (1987): *Volcanic Successions: Modern and Ancient*, Allen & Urwin, London, 527 pp.

Tameguri, T., Masato, I. and Ishihara, K. (2002): Mechanism of explosive eruptions from moment tensor analyses of explosion earthquakes at Sakurajima volcano, Japan, *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, 47, pp. 197-215.

(論文受理日 : 2018年6月13日)