

## 2 (4) 桜島噴火総合研究

「桜島噴火」総合研究グループ 井口正人  
(京都大学防災研究所)

桜島噴火総合研究グループは、桜島火山におけるマグマ活動発展過程の研究を中核として、ミュオンなどの新手法を適用しつつ、火山現象を解明し、低頻度大規模現象の再考も含めた事象分岐論理の構築と火山灰拡散予測研究を行うことにより最終的に火山災害軽減研究を推進する。

2006年に58年ぶりに再開した桜島の昭和火口における噴火活動は2009年後半から2015年前半まで、ブルカノ式噴火が頻発した。2015年8月15日に急速なマグマ貫入があったものの、2015年以降の噴火活動は低下した状態にある。地震、地盤変動観測、重力測定、火山ガス放出量、噴出物の分析などによる桜島のマグマ活動の推移の評価は以下の通りである。

2017年の噴火活動は3つの活動期に分けられる。第1期：4月後半から7月上旬までの昭和火口における噴火活動、第2期：8月11日に始まり9月まで続いた昭和火口の噴火活動、第3期：10月31日に始まる南岳における噴火活動。第1期、第2期の噴火活動に先行してひずみ記録に山体の膨張が検出された。地盤変動から推定されるマグマ供給量は、2009年後半から2015年前半の噴火活動最盛期に比べて小さいが、確実に検出されている（京都大学防災研究所〔課題番号：1908〕）。

噴出物構成粒子には、これらの活動期に対応した変化がみられる。第1期における火山灰は濃色緻密粒子が多く、火口内でマグマが滞留して結晶化が進行した後で噴出したことが推定できる。一方第2期では、発泡粒子が増加した。この傾向は第3期の南岳山頂火口の噴火でも同様であり、揮発性成分を含んだマグマが比較的大きい減圧速度で噴出したことが推定できる。

桜島島内のひずみ変化は小さくなっており、GNSS連続観測からも同様の変化が確かめられる。桜島北部の地盤変動は始良カルデラ下及び北岳下の圧力源の体積変化を反映していると考えられているが、2015年1月に始まり、継続していた桜島北部の隆起は2017年2月ごろからは停滞している。2015年～2016年の桜島北部のFUTG観測点における隆起速度は2cm/年であったが、2017年の隆起量は1cmに満たない。水準測量でも同様の結果が得られている。2017年以降、北岳下へのマグマ貫入速度は低下していると評価される。

2017年の噴火活動では、2つの特徴的な噴火イベントを上げることができる。1つは8月22日の22時から23日の10時頃まで続いた溶岩噴泉活動である。傾斜及びひ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m<sup>3</sup>と見積られる。溶岩噴泉活動は12時間続いているので、噴出速度としては約40万m<sup>3</sup>/日となり、雲仙普賢岳や西之島の溶岩噴出率と同程度と考えられる。溶岩噴泉に先行するマグマ貫入速度もほぼ同じである。これまでも桜島におけるマグマの貫入速度とその後発生する噴火の規模との関係をまとめてきたが、溶岩噴泉に至るマグマ貫入速度が新たな知見として得られたので、図1のように噴火事象のマグマの貫入速度による分岐を改訂できる。

もう1つは、11月13日22：07に南岳火口において発生した爆発的噴火である。10月31日

から噴火活動は昭和火口から南岳山頂火口に移ったが、この噴火は2017年10月31日以降で最大規模である。11月7日から山体の膨張及び中央火口丘側の隆起を示す傾斜変化が捉えられ、11月11日に収縮、火口側沈降に反転した後、13日に爆発的噴火が発生した。ハルタ山観測坑道の傾斜及びひずみ変化量から球状圧力源の深度は5km、体積変化量は30万m<sup>3</sup>と見積もられ、昭和火口の噴火による放出マグマ量よりも多く、南岳の噴火としても最大クラスであった。傾斜変化に注目すると、有村及びハルタ山の傾斜ベクトルは南岳火口方向を向くが、高免観測坑道の傾斜ベクトルは北岳北麓を向く。月単位の長期的なマグマの蓄積及び放出については、北岳下の圧力源が支配的であることは、すでにわかっているが、個々の噴火の大きいものについても、圧力変動が北岳下の圧力源まで波及していること（京都大学防災研究所〔課題番号：1908〕）は注目に値する。

火山灰の即時予測研究（京都大学防災研究所〔課題番号：1913〕）における成果として、噴火活動を目視できない状況での噴煙の検知能力が大きく改善されたことが挙げられる。2017年11月13日22：07の爆発的噴火は地盤変動量からみて最大規模の噴火であるが、噴煙高度は目視により確認できていないが、XバンドMPレーダーやGNSS等のリモートセンシングによる観測手法を用いれば噴煙高度を推定することが確かめられた。南岳の西6kmに設置されたXバンドMPレーダーでは、強い反射強度が南岳北東方向の海拔高度3.5kmまで得られており、南岳の山頂から2.5km上空に対応する。南西20kmに設置したレーダーによるHSQスキャンでは、高度4.2kmにおいて強いエコーが観測されたが、高度6.2kmではエコーが検知できていないので、噴煙は高度5km程度まで上昇したことが推定される。さらに、GNSSの位相残差（PPR）解析でも噴煙によるPPRを桜島北東部の多くの観測点において検出でき、人工衛星とGNSS観測点を結ぶ直線の交差する高度は4.1kmとなることから高濃度の噴煙は少なくとも4km以上の高度に到達していたことが推定された。この結果は、レーダー観測の結果と整合的である。さらに、地盤変動と火山性微動の振幅を利用した噴煙見積もりの経験式から噴煙高度を求め、噴煙高度が噴煙率の1/4乗に比例するという理論式を用いると、噴煙高度は4.5kmと推定され、レーダー及びGNSS観測から求められる噴煙高度とほぼ同じである。一方、PUFFモデルから予測される降灰範囲は概ね、現地調査結果に一致しているが、北部及び北北西部での降灰と降灰量を予測できていないので、火山体の地形による風の分布などを検討する必要がある。

1914年噴火級の大規模噴火を可能とするマグマはすでに始良カルデラ下に蓄積されていることは地盤変動観測から示されている。この規模の噴火の広域事前避難についてインドネシアの事例から検討した。2010年メラピ火山噴火では、10月26日の噴火の前日に警報が4（避難）に引き上げられ、山頂から10km圏の住民7万人が避難した。11月3日以降の火砕流は17kmの距離まで達したので、警戒区域が20kmに拡大され、41万人の住民が避難した。2014年のケルト火山噴火では、噴火発生から1.5時間後に4（避難）に引き上げられ、山頂から10km圏の住民3万人が避難した。いずれの噴火でも警報は、1から2、3、4に順次引き上げられ、レベルの引き上げのたびに、着実に対策がなされた。例えば、避難場所、避難方法の確認や、家畜の移動などである。また、レベルの引き上げ以前にsister cityと呼ばれる相互受け入れ先が設定されていたことや、ケルト火山において直前に避難訓練が行われていたことは、注目に値する。また、いずれの火山でも数年前に避難を要する噴火が発生しており、それを反省材料として避難計画と対策を練り直している（京都

大学防災研究所〔課題番号：1914〕）。

### これまでの課題と今後の展望

2017年の第3期の活動以降、噴火活動の中心が南岳山頂火口に移行した。ブルカノ式噴火が始まった1955年から2007年までは噴火活動の中心は、南岳山頂火口にあったが、2008年に昭和火口でマグマ性噴火が発生するようになってからは昭和火口に活動の中心が移った。2017年に約10年ぶりに南岳山頂火口に回帰したことになる。南岳はA火口、B火口の2つのベントがあり、昭和火口は中央火口丘を形成する活動を続けたので、南岳山頂域には3つのベントがあることになる。経験的には、定常的な噴火活動が続いた後、静穏化が続くと、その後の噴火活動は異なるベントで発生することが多いが、ベントを切り替えるメカニズムについてはまだよくわかっておらず、火道の閉塞とその後のマグマ貫入について研究を進める必要がある。

昭和火口において噴火活動が活発化した2009年以降、4回の顕著なマグマ貫入があったが、2015年8月のダイク貫入は、顕著な地震活動と地盤変動を伴った貫入速度が極めて大きいイベントであったため、噴火警戒レベルは4に引き上げられ、現実的な防災対応として住民の避難まで行われた。このようなダイク貫入が起こりうる条件とマグマの由来は依然として未解決の問題である。その直前のマグマ貫入である2015年1月～6月の火山活動の特性を再検討しておく必要がある。この活動期については、玄武岩質マグマの関与の高まりや桜島南西部のやや深部で発生する火山構造成地震の活発化はすでに指摘されているところであるが、地盤変動の時空間特性を再解析し、2015年8月のダイク貫入に至るまでのマグマの移動について再検討する必要がある。

始良カルデラでの地盤の隆起は依然として続いており、1914年噴火時に沈降した地盤は、今後10～20年で噴火直前の状態に回復すると予想される。噴火ポテンシャルとしては既にVEI5級の噴火に相当する値に近づいており、大規模噴火の直前の変化を捉えることが最も重要である。1914年噴火の前には、南九州における地震活動が活発化したとされており、噴火が近づくにつれ、異常現象が把握される範囲が局在化し、強度を増した。始良カルデラから50km程度の範囲の下部地殻・上部マントルの深さまでの地震活動の推移の検討や、桜島北東部および南西部における詳細な地盤変動の観測が必要である。特に、始良カルデラの中央部海域における地盤変動については未着手の課題であり、今後、観測手法についても開発を進めていく必要がある。

### 成果リスト

Fee, D., Izbekov, P., Kim, K., Yokoo, A., Lopez, T., Prata, F., Kazahaya, R., Nakamichi, H., Iguchi, M., 2017, Eruption mass estimation using infrasound waveform inversion and ash and gas measurements: Evaluation at Sakurajima Volcano, Japan, *Earth and Planetary Science Letters*, 480, 42-52.

日向 洋・井口 正人・鍵山 恒臣, 2017, Backscattering characteristic of volcanic eruptions based on LIDAR observation around Sakurajima Volcano, 2017年地球惑星科学連合大会, MIS02-P06.

井口正人, 2017, 始良カルデラのマグマ蓄積モデルの高精度化, 号外地球「総特集 国際火

山噴火史情報研究(2)噴火史とその関連研究-火山と噴火のモデル」, 68, 104-108.

井口正人, 2017, 火山噴火の発生予測 (特集 未来予測), Re : Building maintenance & management 39(2), 32-35.

井口正人, 2017, 九州の火山における噴火活動の動向:特に桜島について, 学会会報, 925, 85-89.

太田 雄策・井口 正人, 2017, Possibility of real-time volcanic plume monitoring using GNSS phase residual and SNR data, 2017年地球惑星科学連合大会, MTT38-02.

中道治久・井口正人・為栗健, 2017, 2015年8月桜島群発地震の振幅を用いた震源推定, 京都大学防災研究所年報, 60B, 396-401.

田中 博・井口 正人, 2017, 火山灰追跡モデル PUFF の開発と空中濃度推定, 2017年地球惑星科学連合大会, MIS02-01.

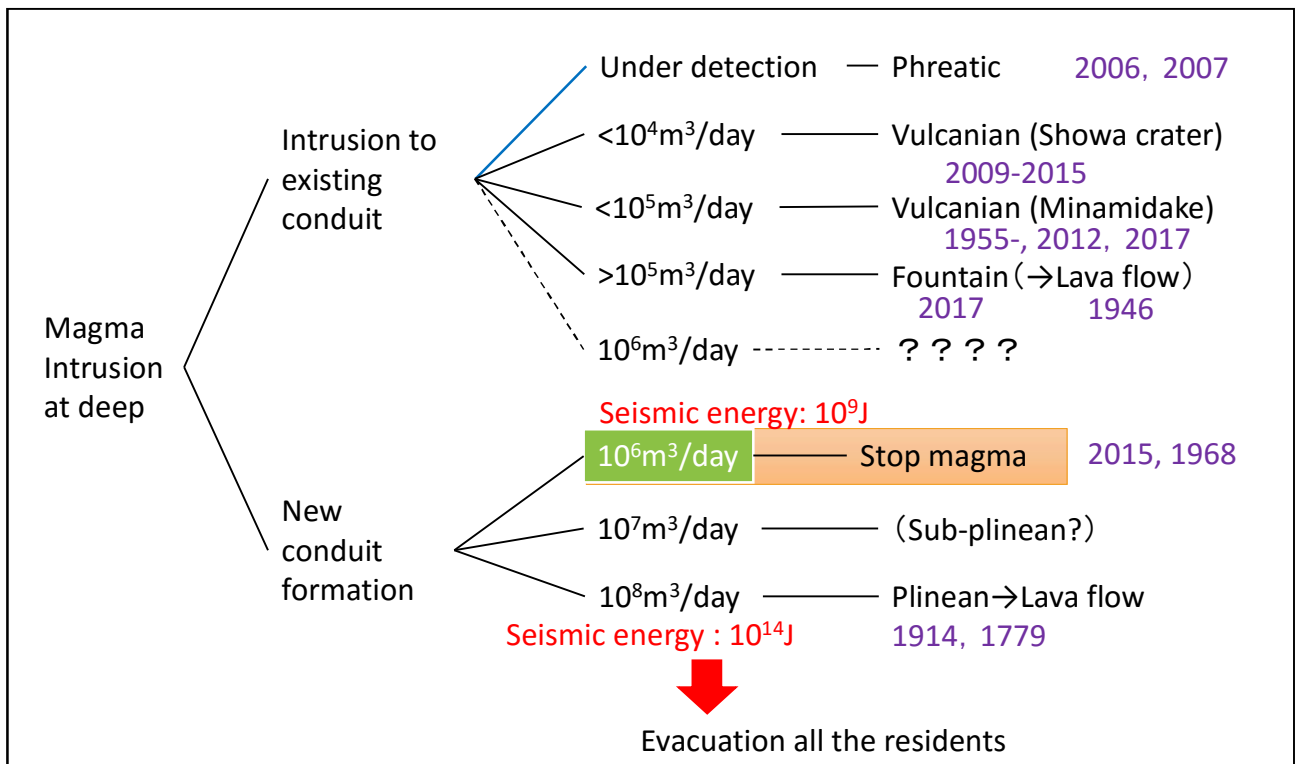


図1. 桜島におけるマグマ貫入速度による噴火事象分岐