

## Two positive-feedback mechanisms controlling the bifurcation of gas-escape processes during volcanic eruptions

\*小屋口 剛博<sup>1</sup>、稲垣 湧斗<sup>1</sup>、小園 誠史<sup>2</sup>、鈴木 雄治郎<sup>1</sup>

\*Takehiro Koyaguchi<sup>1</sup>, Yuto Inagaki<sup>1</sup>, Tomofumi Kozono<sup>2</sup>, Yujiro J. Suzuki<sup>1</sup>

1. 東京大学 地震研究所、2. 東北大学大学院 理学研究科

1. Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 2. Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University

The dynamics of conduit flow is affected by density change of magma due to gas-escape and viscosity change due to crystallization. The processes of gas-escape and crystallization, therefore, lead to diverse features of volcanic eruptions such as a transition from a lava-dome forming eruption to an explosive eruption. The diverse features of eruption sequence are investigated using a model of magma plumbing system composed of a conduit and a magma chamber in elastic rocks, in which the effects of lateral and vertical gas-escape, as well as that of crystallization, are taken into consideration (Kozono and Koyaguchi, 2012). Here, using this model, we estimate the effects of gas-escape on the diverse features of eruption sequences.

Generally, the dynamics of conduit flow is controlled by the relationship between chamber pressure ( $P$ ) and mass flow rate ( $Q$ ) for steady conduit flow (the  $P$ - $Q$  relationship). The diverse features of eruption sequence can be explained by the variation in the  $P$ - $Q$  relationship. The variation in the  $P$ - $Q$  relationship can be systematically described using the two reference relationships of extreme cases: the efficient gas escape (EGE) case and the no gas escape (NGE) case. The  $P$ - $Q$  relationship for general cases is located between the EGE and NGE cases. In the  $P$ - $Q$  relationship for general cases, there are two mechanisms that cause a transition from the EGE case to the NGE case and bring forward its change (the two positive-feedbacks).

The first positive feedback occurs during the waxing stage of an eruption. As the magma flow rate,  $Q$ , increases in the waxing stage, magma porosity increases with increasing  $Q$  because of less efficient gas escape, which leads to further increasing in  $Q$  because of reduction of gravitational load. This feedback mechanism causes complex dynamics;  $Q$  changes abruptly and/or cyclically even if magma supply at depth gradually increases. This abrupt increase in  $Q$  may account for the transition from a stable lava-dome eruption to an explosive eruption.

The second positive feedback occurs during the waning stage of an eruption. During the waning stage, as the chamber pressure,  $P$ , decreases, the pressure inside the conduit also becomes lower than the lithostatic pressure. The decrease in pressure inside the conduit reduces the efficiency of the lateral gas escape. This reduction of lateral gas escape increases magma porosity, which, in turn, leads to a decrease of the gravitational load and a further decrease in  $P$ . This feedback mechanism is particularly important in the sense that it controls the magnitude of decrease in chamber pressure during eruption (i.e., pressure drop), and hence, the scenario towards the end of an eruption.

Results of an extensive parametric study indicate that whether the second feedback mechanism plays a role or not is sensitive to a slight change in the permeability of the country rocks. For the condition where this feedback does not work, an eruption ends when the initial overpressure of magma chamber is relaxed. When this feedback plays a role, on the other hand, even after the initial overpressure of magma chamber is relaxed, an eruption continues until the chamber pressure becomes as low as the static pressure of gas-rich magma.

キーワード：マグマ供給・噴出系モデル、脱ガス作用、噴火推移、分岐現象

Keywords: magma plumbing system model, gas-escape process, eruption sequence, bifurcation

# Mechanisms of transitions in eruption style at the end of the 1912 eruption of Novarupta, volcano, Alaska

\*Bruce F Houghton<sup>1</sup>, Samantha J Isgett<sup>1</sup>

1. University of Hawaii at Manoa

The 1912 Novarupta eruption consisted of five episodes ranging from strong Plinian (mass eruption rates of  $1.1 - 5 \times 10^8$  kg/s) to stable, steady dome effusion. Sixty hours of Plinian explosions erupted first predominantly rhyolite (Episode I) and then dacite with minor amounts of andesite (Episode II-III). Episode IV produced a dacitic block bed, interpreted as the product of complete destruction of a dacite plug/dome via Vulcanian explosions, before extrusion of a rhyolite dome in Episode V.

The transition in style and intensity from powerful explosions to dome growth is represented by three shifts in eruption style. We describe here the mechanisms of the first two shifts (lower Episode III to upper Episode III and upper Episode III to Episode IV).

The switch from sustained Plinian eruption to an unsteady subplinian phase during Episode III was brought about by progressive increase in the level of outgassing of the dacite melt remaining in the conduit. This is seen in a steady increase in the amount of dense dark grey juvenile ejecta as the outgassed melt slowed the rate of magma ascent and began to 'choke' the shallow conduit. The deposits are well bedded and markedly less dispersed than the Plinian falls of episodes I, II and early Episode III.

The second shift was from unsteady subplinian eruption (end to Episode III) to non-sustained transient Vulcanian explosions in Episode IV. Highly diverse juvenile blocks from Episode IV provide special insight to the state of the magma as an eruption passes from powerful sustained Plinian eruption to passive dome growth. They supply a picture of a dynamic and complex shallow conduit, now dominated by partially or completely outgassed dacitic melt that was resident at shallow levels, prior to fragmentation in repeated small Vulcanian explosions. Small total and individual explosion volume estimates, suggest that individual explosions during Episode IV disrupted the conduit to only shallow depths. Our data (1) suggest that different explosions tapped small yet diverse parts of the conduit's architecture and (2) require a more complex model than repeated progressive evacuation in a top-down fashion of a simple horizontally stratified magma-filled conduit. The shallow conduit architecture involved both the juxtaposition of domains of contrasting texture and vesiculation state and the intimate mingling of different textures on short vertical and horizontal length scales at the contacts between these domains.

Keywords: Plinian, Vulcanian, transitions in explosive eruptions

## What can “nanolites” tell us about eruption styles?

\*無盡 真弓<sup>1</sup>、中村 美千彦<sup>1</sup>、三宅 亮<sup>2</sup>

\*Mayumi Mujin<sup>1</sup>, Michihiko Nakamura<sup>1</sup>, Akira Miyake<sup>2</sup>

1. 東北大学大学院理学研究科地学専攻、2. 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地質学鉱物学教室

1. Department of Earth Science, Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Department of Geology and Mineralogy, Graduate School of Science, Kyoto University

Crystallization of groundmass minerals record physicochemical conditions of magmatic processes upon eruption. Mujin and Nakamura (2014) reported that different assemblages of the nanolites in pyroclasts of the 2011 eruption of Shinmoedake, the Kirishima volcano, recorded the bifurcation conditions of the eruption styles. The pyroxene nanolite crystallized in both of the sub-Plinian products and the lava extrusion and Vulcanian products of the 2011 activity, whereas the plagioclase nanolite followed that of pyroxene only in the lava extrusion and Vulcanian products. They pointed out that the presence of plagioclase nanolites indicates the prolonged residence (or transit) time in the shallow conduit or crater (under large  $\Delta T$ ) at magmatic temperature prior to the lava extrusion and the Vulcanian explosions. The lack of plagioclase nanolite gives the upper limit of the duration in which the magma ascent through the shallow conduit in the sub-Plinian eruptions, whereas the appearance of plagioclase nanolite gives the lower limit of magma residence time for Vulcanian explosions.

Following their study, we report the presence of nanometer-scale crystals down to 1 nm in the pyroclasts from the Shinmoedake 2011 eruption and their mineralogical characteristics based on field emission-scanning electron microscopy and transmission electron microscopy.

The main finding regarding nanolite crystallization is a gap (hiatus) from  $\sim 100$  to 30 nm in the size distribution of pyroxene in a dense juvenile fragment of a Vulcanian explosion. The finer-sized crystals of  $\sim 20$ –30 nm were defined as “ultrananolites.” In the dense fragment sample, bright spots of  $\sim 1$ –2 nm in diameter were recognized in high-angle annular dark-field scanning transmission electron microscopy images. These spots are presumed to be Fe–Ti oxide, although their mineral phase was not determined due to their small size. If so, the 1–2 nm crystals are ultrananolite with a  $\sim 9$  nm gap from titanomagnetite nanolites. The pyroxene ultrananolite and Fe–Ti oxide nanolite and ultrananolite are assumed to have been formed by the additional increase in  $\Delta T$  through cooling and oxidation, possibly by fragmentation followed by rewelding at the crater. Another important finding is that crystals smaller than a few tens of nanometers for pyroxene and a few hundred nanometers for plagioclase did not exist (or their number densities were too low for accurate determination). This indicates presence of practical minimum size of the crystals. These observations show that nucleation of the nanoscale crystals ceased, at least practically, in the late stage of groundmass crystallization owing to increased interfacial energy and decreased melt diffusivity in a dehydrated melt, whereas crystal growth was mostly continuous. The observation that pyroxene crystallization practically ceased before plagioclase nanolite appeared is consistent with the similarity in pyroxene characteristics such as the minimum crystal size of nanolite and the boundary size between microlite and nanolite between sub-Plinian and Vulcanian products, although plagioclase nanolites are found only in the Vulcanian products. The differences in the conditions between lava extrusions and Vulcanian explosions may be recorded in the later stage crystallization of plagioclase and Fe-Ti oxides.

# 塩素濃度マッピングを用いたマグマの発泡・気泡溶解の痕跡の解読

## Chlorine mapping as a new tool to investigate the degassing processes of silicic magma

\*吉村 俊平<sup>1</sup>、中川 光弘<sup>1</sup>、松本 亜希子<sup>1</sup>

\*Shumpei Yoshimura<sup>1</sup>, Mitsuhiro Nakagawa<sup>1</sup>, Akiko Matsumoto<sup>1</sup>

1. 北海道大学・地球惑星科学

1. Department of Earth and Planetary Sciences, Hokkaido University

### <はじめに>

マグマの発泡と気泡の消滅（開放系脱ガス、再溶解）は、マグマ密度を著しく変化させ、噴火様式を支配する主要過程と考えられている。しかし、この過程が火道内のどのような深度・タイミング・回数・メカニズムで起こるのか、詳細はほとんど理解されていない。これを解明する方法の1つは、石基ガラスの塩素濃度マッピングを行うことである。塩素は拡散が遅いので、脱ガス時に形成された拡散プロファイルが均質化せずに残っており、脱ガス履歴を解読できる可能性がある。実際、一見均質な石基中に、複雑な塩素濃度分布が存在することが確認されている（吉村・中川2016鉱物科学会）。本研究ではこの考えをさらに進めるため、そもそも発泡や気泡溶解が起きたとき、どのような塩素濃度の空間分布が作られるべきかを実験で調べた。

### <実験方法>

円柱形に成型した流紋岩質黒曜石（和田峠産、初期含水量0.6 wt%）をMgOセラミックスの開放系円筒容器に入れ、10または30気圧、1000°Cで3~24h加熱した。このような実験を行うと、試料には、①均質に発泡した中央部と、②気泡が全く存在しないガラス層の周縁部の2つの部分が作られることが知られている。この形成メカニズムはYoshimura and Nakamura (2008)で示されており、加熱初期には中心・周縁を問わず全体的に発泡するが、試料表面では拡散脱水が進行するため、メルト含水量が飽和溶解度を下回り、気泡が再溶解し、周縁層が発達するのである。したがって、1つの実験試料の中に、1) 気泡が成長しつつある部分、2) 溶解しつつある部分、3) すでに気泡が溶解しガラス層となった部分の3つを同時に観察することができる。実験後、試料断面を研磨し、FE-EPMAを用いて塩素濃度マッピングを行った。

### <結果と考察>

試料内部はほぼ均質に発泡した。一方、周縁部には気泡が含まれないガラス層が発達した。ガラス層近傍の気泡は、それより内側の気泡に較べ小さく、溶解中であることが読み取れる。FE-EPMAによるマッピングでは、さまざまな種類の塩素濃度不均質が観察された。まず、試料中央部では、気泡に近づくほど塩素濃度が低下する様子が観察された。これは、気泡成長に伴い塩素が吸引されていることを示すものと考えられる。一方、溶解しつつある気泡では、気泡に近づくほど塩素濃度が高まる分布が見出された。これは気泡溶解に伴い、ガス中の塩素が周囲メルトに再び吐き出されているものと考えられる。周縁部のガラス層内部には、塩素濃度の高い円形領域がスポット状に点在していた。これは、気泡自体は既に溶解・消滅したものの、塩素を放出した痕跡が残っているものと考えられる。10気圧の実験では、メルトが勢いよく発泡したため、気泡は一方に楕円形に伸長していた。溶解中の気泡は球形であったが、その周囲の高塩素濃度領域は楕円形であった。このことは、この気泡も初めは伸長していたが、溶解し気泡半径が小さくなると表面張力による形状緩和が強く働き、現在では球形になったものと考えられる。

### <展望>

塩素濃度マッピングを用いれば、発泡試料中の1つ1つの気泡が成長中なのか、溶解中なのか、明確に区別することが可能であることが分かった。また、気泡を含まない領域でも、かつて気泡が存在した痕跡が見出され、その位置を特定したり、当時の気泡形状を推定することも可能である。さらに、拡散プロファイルの解析

を組み合わせれば、気泡形成イベントの回数、気泡が形成されてからの時間、気泡溶解時間などを解読することができ、火道内での脱ガス過程を詳細に解明できるようになると期待される。

キーワード：塩素、発泡、気泡再溶解

Keywords: chlorine, vesiculation, bubble resorption

## Orientation of eruption fissures controlled by shallow magma plumbing system; example of the fissure pattern in Miyakejima

\*下司 信夫<sup>1</sup>、及川 輝樹<sup>2</sup>

\*Nobuo Geshi<sup>1</sup>, Teruki Oikawa<sup>2</sup>

1. 産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門、2. 産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門 (現：気象庁火山課)  
1. Geological Survey of Japan, The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2. Geological Survey of Japan, AIST (present: Japan Meteorological Agency)

Orientation of the eruption fissures and composition of the lavas of the Miyakejima volcano indicate the competitive processes of the regional tectonic stress and the local stress generated by the activity of a magma plumbing system beneath the volcano. We investigated the distributions and magmatic compositions of the recent 23 fissures that formed within the last 2800 years, based on a field survey. Some fissures are also confirmed their eruption date by new datasets of <sup>14</sup>C ages. The result highlights the tectonic influence of shallow magma chamber on the development of feeder dikes in a composite volcano.

As previously known, the dominant orientation of the eruption fissures in the central portion of the Miyakejima volcano was NE-SW during the last centuries, which is perpendicular to the direction of regional maximum horizontal compressive stress ( $\sigma_{Hmax}$ ) indicated by the regional seismicity. Our field survey reveals that the magmas that show evidence of mixing between basaltic and andesitic compositions erupted mainly from the eruption fissures with a higher offset angle from the regional  $\sigma_{Hmax}$  direction.

The dike pattern perpendicular to the direction of maximum compression  $\sigma_{Hmax}$  is an unusual and uncommon feature in volcanoes. The distribution and magmatic compositions of the eruption fissures in Miyakejima volcano can be explained by the tectonic influence of shallow magma chamber on the development of feeder dikes in a composite volcano. The presence of a shallow dike-shaped magma chamber controls the eccentric distribution of the eruption fissures perpendicular to the present direction of  $\sigma_{Hmax}$ . Injection of basaltic magma into the shallow andesitic magma chamber caused the temporal rise of internal magmatic pressure in the shallow magma chamber which elongates in NE-SW direction. Dikes extending from the andesitic magma chamber intrude along the local stress field which is generated by the internal excess pressure of the andesitic magma chamber. As the result, the eruption fissures trend parallel to the elongation direction of the shallow magma chamber. The dikes propagated from the andesitic magma chamber provide the evidences for magma mixing between the stored andesitic and injected basaltic magmas. Some basaltic dikes from the deep-seated magma chamber reach the ground surface without intersection with the andesitic magma chamber. These basaltic dikes develop parallel to the regional compressive stress in NW-SE direction. The patterns of the eruption fissures can be modified in the future as was observed in the case of the destruction of the shallow magma chamber during the 2000 AD eruption.

キーワード：噴火、噴火割れ目、マグマ溜まり、岩脈、三宅島

Keywords: eruption, eruption fissure, magma chamber, dike, Miyakejima

# 非噴火時における火山浅部熱水系の時間発展と地上観測への応答

## Numerical investigation of temporal changes in field observations associated with volcanic hydrothermal systems during inter-eruptive stages

\*田中 良<sup>1</sup>、橋本 武志<sup>1</sup>、松島 喜雄<sup>2</sup>、石戸 経士<sup>2</sup>

\*Ryo Tanaka<sup>1</sup>, Takeshi Hashimoto<sup>1</sup>, Nobuo Matsushima<sup>2</sup>, Tsuneo Ishido<sup>2</sup>

1. 北海道大学、2. 産業技術総合研究所

1. Hokkaido University, 2. Geological Survey of Japan

火口からの噴気活動が観察される火山において、非噴火時に噴気活動の消長、地磁気全磁力変化、地盤変動がしばしば同期して観測される（十勝岳、雌阿寒岳、樽前山、口永良部島など）。本研究では、非噴火時に山体内の状態変化をもたらすメカニズムとして、噴気火道の浅部における浸透率低下と、深部からの熱水供給率の変化に着目する。数値計算を用いることで、これらのメカニズムが地上の各種観測にどのような応答をもたらすかを系統的に検討することができる。そこで、本研究では、火山体浅部における温度・間隙圧の時間発展、地表における観測項目（噴気放熱率・地盤変動・全磁力）の応答を、熱水流動数値計算によって明らかにし、類型化することを試みる。

熱水流動数値計算は数値計算プログラムSTARと状態方程式BRNGAS(Pritchett, 1995)を用い、多孔質媒質中を流動する液相、気相、および気液2相の流れと、それらの流れに伴う岩石部への熱伝達を計算した。状態方程式BRNGASでは、流体の成分としてH<sub>2</sub>Oと空気を、温度0~350 °Cの範囲で取り扱うことができる。計算は以下の手順で行った。計算領域を円錐の山体を模した地形を考慮した2次元円筒座標系に設定した。計算領域の軸中心には高浸透率の火道を配置し、それ以外の山体（母岩）は浸透率及び空隙率を一様とした簡単な構造とした。境界条件として計算領域の上端には温度圧力一定の空気に接する条件を、低標高側端には温度圧力一定の水と接する条件を与えた。高標高側端および下端には断熱不透水条件を与えた。また、上端グリッドには年間降水量相当の水の流入のソース、下端グリッドには地殻熱流量に相当する熱のソースを配置した。火口（火道最上部）からの噴気放熱率が100 MWとなるように火道最深部から熱水を供給し、準定常状態を計算した。その後、火道最深部からの熱水供給率を増加させた場合（熱水供給率増加）、火道内の1つのグリッドの浸透率を低下させた場合（火道閉塞）、これらの効果を同時に導入した場合、それぞれの温度および間隙圧の変化を観察した。

火道閉塞は、火道閉塞部より上部の火道周辺の低温化および間隙圧の減少、火道閉塞部より下部の火道周辺の高温化および間隙圧の増加を引き起こす。一方、熱水供給率増加は火道およびその周辺での温度、間隙圧の増加を引き起こす。火道閉塞と熱水供給率増加が同時に起こった場合には、火道閉塞部より上部の火道周辺での温度、間隙圧の変化傾向は火道閉塞部の浸透率低下量と熱水供給率増加量のバランスに影響される。ただし、火道閉塞部の低下後の浸透率が母岩の浸透率よりも小さい場合、熱水供給率増加量によらず、火道閉塞部上部における温度、間隙圧の低下が観察された。

発表では、これらの温度、間隙圧の変化により地表で観察される噴気放熱率、地磁気全磁力、地盤変動の変化傾向の組み合わせについても議論する。また、今後、母岩の浸透率、火道閉塞部の深さ、母岩中の難透水層の存在が火道閉塞および熱水供給率増加による温度および間隙圧変化に与える影響を検討する。

キーワード：熱水系、火道閉塞、熱水流動数値計算

Keywords: hydrothermal system, hydrothermal sealing, numerical simulation



# Conduit flow dynamics during high-flux lava effusion events at Sakurajima volcano, Japan

\*小園 誠史<sup>1</sup>

\*Tomofumi Kozono<sup>1</sup>

1. 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

1. Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University

The ascent of multiphase magma in a volcanic conduit (a conduit flow) involves many complex processes such as vesiculation, gas escape, and crystallization, and it strongly controls eruption styles. By combining the modeling of conduit flow with some geological, petrological, and geophysical observations for eruptions, we can obtain detailed information on subsurface magma plumbing system. In this study, we investigated the conduit flow dynamics during lava effusion events in the historical eruptions of Sakurajima volcano, Japan by combining a 1-dimensional conduit flow model with the observed features of the lava effusion processes.

Lava effusion events during the four historical eruptions at Sakurajima volcano (1471-1476, 1779-1781, 1914, and 1946) are commonly characterized by effusions of andesitic magma from newly opened fissure vents radiating from the main summit, and the vents of the first three eruptions are symmetrically distributed with respect to the summit. Because these observations imply dike-like magma plumbing system during the lava effusion events, we added the effects of dike-like conduit geometry with an ellipsoidal cross-section to the previous conduit flow model by Kozono and Koyaguchi (2012). In the 1914 eruption, the lava effusion from the western flank showed an exponential decrease in the magma discharge rate. In the analyses of the conduit flow model, we obtain the relationship between chamber pressure ( $P$ ) and magma flow rate ( $Q$ ) in the steady conduit flow. When this relationship has a positive correlation, the conduit flow system becomes stable, leading to an exponential change in the magma flow rate. Therefore, we can identify magmatic and geological conditions for the exponential decrease in the magma flow rate to occur during the Sakurajima lava effusion event using the conduit flow model.

In the  $P$ - $Q$  relationship, there are regions of positive correlation in the low- $Q$  and high- $Q$  ranges, whereas the negative correlation region is generated in the intermediate range by the effects of magma viscosity change due to crystallization and magma density change due to gas escape. When we define the maximum flow rate of the positive correlation region in the low- $Q$  range (referred to as " $Q_{cr}$ "), the region of  $Q < Q_{cr}$  corresponds to the Taisho lava effusion phase. The results show that  $Q_{cr}$  strongly depends on the parameters related to the conduit geometry such as conduit radius and the ratio of the major to minor axes of the ellipsoidal cross-section. There are two competing effects of the change in the conduit radius on  $Q_{cr}$ . First, as the conduit radius decreases, vertical gas escape is promoted because of the suppression of the ascent of the liquid due to the increase in wall friction force, and lateral gas escape is also promoted because of the increase in the ratio of the perimeter to the area of the conduit cross-section. These promotions of gas escapes lead to more stable effusive eruptions, which corresponds to the increase in  $Q_{cr}$ . Second, as the conduit radius decreases, the area of the conduit cross-section decreases, leading to the decrease in  $Q_{cr}$ . When the ratio of the major to minor axes changes for a given minor axis, the second effect becomes predominant. We found that a drastic increase in  $Q_{cr}$  with increasing the ratio of the major to minor axes is necessary for satisfying the condition that  $Q_{cr}$  becomes greater than the observed maximum flow rate during the Taisho lava eruption (about  $2400 \text{ m}^3/\text{s}$ ). This suggests that a dike-like conduit geometry played a key role on the high-flux lava effusion processes in the Sakurajima

eruptions.

キーワード：火道流、桜島、溶岩流出

Keywords: Conduit flow, Sakurajima, Lava effusion

## Lava effusion modeling by a conduit flow model coupled with the brittle-ductile transition of magma

\*奥村 聡<sup>1</sup>、小園 誠史<sup>2</sup>

\*Satoshi Okumura<sup>1</sup>, Tomofumi Kozono<sup>2</sup>

1. 東北大学大学院理学研究科地学専攻地球惑星物質科学講座、2. 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

1. Division of Earth and Planetary Materials Science, Department of Earth Science, Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University

Silicic magma forms a magmatic fault in volcanic conduits via the brittle–ductile transition of the magma. The formation of the fault changes the type of magma flow from viscous flow to friction of the magma plug (e.g., Okumura et al., 2015). Frictional stress decreases with ascent of the magma because of the reduction of normal stress on the fault, while viscous shear stress increases because of the decrease in water content and dehydration-induced crystallization. Hence, the shear stress on magma has a maximum at the bottom of the magma plug. This maximum stress may control crustal deformation during lava effusion. Here, we investigate the flow dynamics of silicic magma by coupling a one-dimensional conduit flow model (Kozono and Koyaguchi, 2012) with an experimentally calibrated brittle–ductile transition (Cordonnier et al., 2012). The results demonstrate that the length of the magma plug at which friction becomes the main flow type depends on the magma flux, because of crystallization kinetics and the ductile–brittle transition. Under high mass flow rate, the plug becomes short, because non-equilibrium crystallization inhibits an increase of magma viscosity. This results in the effusion of less viscous lava and large shear stress at the shallow part of the conduit. In contrast, the long plug that forms under low magma flux cannot maintain large shear stress due to weakness of the magmatic fault, which may cause the extrusion of a solidified lava spine. These results indicate that the transition from viscous flow to friction should be included in modeling to predict crustal deformation caused by magma ascent and understand the behavior of lava effusion.

キーワード : Lava effusion、 Brittle-ductile transition、 Conduit flow model

Keywords: Lava effusion, Brittle-ductile transition, Conduit flow model

# Exsolution and dissolution of CHO fluids upon isobaric magma mixing

\*中尾 美紗子<sup>1</sup>、中村 美千彦<sup>1</sup>

\*Misako Nakao<sup>1</sup>, Michihiko Nakamura<sup>1</sup>

1. 東北大学

1. Tohoku University

Understanding the behavior of volatile components upon magma mixing is important to comprehend the eruption dynamics, especially the triggering mechanism, as it controls the density of magmatic systems through exsolution or dissolution of fluids (bubbles). However, due to the non-ideality of the H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> binary solution, the behavior of volatiles is not easy to understand. Yoshimura and Nakamura (2010) showed that H<sub>2</sub>O-rich melt may vesiculate by CO<sub>2</sub>-fluxing owing to a decrease in the H<sub>2</sub>O fugacity in the silicate melt. Magma vesiculation is expected to occur through a similar mechanism by mixing with CO<sub>2</sub>-rich magma, although the detailed conditions have not been clarified. In this study, we calculated the changes in the solubility of the volatile components in the H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> binary system upon magma mixing, and also the changes in the amount of bubbles (free-fluid phase) at 100 MPa and 100°C. In the mass balance calculation, it was assumed that magmas consist of melt and bubbles, and crystallization of basaltic melt was excluded from the preliminary calculations. The changes in the bubble content before and after the mixing were obtained for the following three initial situations. Case (1): basalt contained bubbles, but rhyolite was bubble-free, though saturated with volatile components; Case (2): rhyolite contained bubbles, but basalt was bubble-free, though saturated with volatile components; and Case (3): both basalt and rhyolite contained bubbles. The changes in solubility were investigated by employing various mixing ratios in each case.

Our findings showed that the total bubble content in the system increased under the following conditions. In Case (1), when the basaltic system is CO<sub>2</sub>-rich, and the rhyolite melt is H<sub>2</sub>O-rich; in Case (2), when the rhyolitic system is CO<sub>2</sub>-rich and the basaltic melt is H<sub>2</sub>O-rich; in Case (3), when the bubble content in the basaltic system is large, both the basaltic and rhyolitic systems are CO<sub>2</sub>-rich; and when the bubble content in basalt is small, the basaltic system is H<sub>2</sub>O-rich, and the rhyolitic system is CO<sub>2</sub>-rich. These results suggest that the total amount of bubbles may increase during the course of mixing of magmas with different volatile compositions. Injection of CO<sub>2</sub>-rich basalt into H<sub>2</sub>O-rich rhyolite, which is common in arc volcanoes, may trigger volcanic eruptions.

キーワード : H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>二成分溶解度、噴火トリガーメカニズム

Keywords: H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> binary solution, triggering mechanism

## Estimation of the re-equilibrium depths of the Sakurajima vulcanian eruption magma from 2010 to 2015

\*坂内 野乃<sup>1</sup>、中村 美千彦<sup>1</sup>、安田 敦<sup>2</sup>、奥村 聡<sup>1</sup>、下司 信夫<sup>3</sup>

\*Sakauchi Nono<sup>1</sup>, Michihiko Nakamura<sup>1</sup>, ATSUSHI YASUDA<sup>2</sup>, Satoshi Okumura<sup>1</sup>, Nobuo Geshi<sup>3</sup>

1. 東北大学大学院理学研究科地学専攻、2. 東京大学地震研究所、3. 産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

1. Department of Earth Science, Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Earthquake Research Institute University of Tokyo, 3. Geological Survey of Japan, The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Recent studies on melt inclusions (MIs) revealed that phenocrysts are not a perfect containers of volatile components; especially water diffuses out through crystal upon decompression quickly (Mann et al., 2013). Water contents in MIs therefore record final storage pressure at which magmas were stagnant in a duration longer than that required for MIs to be reequilibrated with surrounding melts in terms of water fugacity. In the Sakurajima volcano, vulcanian explosions have occurred repeatedly since 1955.

Determination of magma storage depths just prior to the explosions is useful to understand the eruption mechanisms. In this study we analyzed water contents and major element compositions of MIs in juvenile pumices from vulcanian eruptions from 2010 to 2015. The water contents of MIs were analyzed with FT-IR micro-reflectance spectroscopy (Yasuda, 2014). Most of the MIs have dacitic to rhyolitic compositions. Water contents of the MIs were mostly less than ca. 1 wt.%. Assuming water solubility of rhyolitic melt (Newman and Lowenstern, 2002) and density of the overlaying magma in the conduit to be 2400 kg/m<sup>3</sup>, this water content corresponds to below a few hundred meters.

Based on the geohyrometry of Putirka (2008), the equilibration between MIs and their host plagioclase was finally established at water contents of 1.3–2.8 wt %; this range is higher than the directly analyzed water contents of MIs, and the corresponding saturation depths were calculated to be 0.5–1.7 km. The difference from the final water reequilibration depth (< a few hundred meters) shows that the growth of plagioclase did not catch up with the magma ascent and resultant decompression and degassing prior to the explosions.

The depths of pressure sources of explosion earthquakes were estimated at 1–3 km from the crater (Iguchi, 2013), which is in between the water-reequilibration and plagioclase-reequilibration depths. Because the magma residence time at this depth is shorter than that required for the plagioclase reequilibration, degree of magma outgassing might be limited. This suggests a possibility that degassing of stagnated magma may causes pressurization to drive vulcanian explosions.

キーワード：メルト包有物、桜島火山、ブルカノ式噴火

Keywords: melt inclusion, Sakurajima volcano, Vulcanian eruption

## Textural relaxation and permeability evolution of bubble-bearing magmas

\*大槻 静香<sup>1</sup>、下司 信夫<sup>1</sup>、奥村 聡<sup>2</sup>、中村 美千彦<sup>2</sup>、佐々木 理<sup>3</sup>

\*Shizuka Otsuki<sup>1</sup>, Nobuo Geshi<sup>1</sup>, Satoshi Okumura<sup>2</sup>, Michihiko Nakamura<sup>2</sup>, Osamu Sasaki<sup>3</sup>

1. 産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門、2. 東北大学 理学研究科 地学専攻、3. 東北大学 総合学術博物館  
1. Research Institute of Earthquake and Volcano Geology, Geological Survey of Japan, Advanced Industrial Science and Technology, 2. Division of Earth and Planetary Materials Science, Department of Earth Science, Graduate School of Science, Tohoku University, 3. The Tohoku University Museum

Textural relaxation driven by interfacial tension is one of the fundamental processes in the microstructural evolution of bubble-bearing magma. A series of heating experiments of andesitic pumices by Otsuki et al. (2015) revealed that expulsion of bubbles to the outside of the system results densification and self-contraction of magma glob. In larger system, extracted vapor from the contracted melt glob may form “inter-glob pore” inside the system. Because this process may effect on the evolution of gas permeability of bubble-bearing magma, the textural relaxation process controls the outgassing within a volcanic conduit.

In this study, we examined the 3D bubble microstructure and gas permeability of the pumices after heating experiments to investigate the outgassing process from magma. The andesitic pumices of the 1914 Plinian eruption of Sakurajima were used for the starting materials. We prepared two types of the starting materials to investigate the size effect; cubes of pumice with sides 9 mm and non-shaped pumice pieces with 3–6 cm<sup>3</sup> in volume. The pumices were heated in silica glass tubes at a temperature of 1000°C under 0.1 MPa vapor pressure for up to 32 hours (Otsuki et al., 2015), and then their gas permeability and 3D bubble microstructure were examined. The permeability of the run products was determined with the method of Takeuchi et al. (2009) and bubble microstructure was investigated using micro X-ray CT (Otsuki et al., 2015).

Gas permeability of the pumice clasts ranges between 10<sup>-13</sup> and 10<sup>-11</sup> m<sup>2</sup>. We found that time evolution of the gas permeability depends on sample size. The permeability of the run products from cube-cut pumice with 9 mm side concentrates in relatively low value (10<sup>-16</sup>–10<sup>-15</sup> m<sup>2</sup>) after 8–32 hour heating, while the permeability of the run products after <2 hour run shows wider and lower ranges (10<sup>-16</sup>–10<sup>-11</sup> m<sup>2</sup>). The 3D analysis of the bubble microstructure shows the development of inter-glob pores formed by multiple-contraction in a run product with short heating time (~30 min). No remarkable inter-glob pore is recognized in the run products after longer run duration (8–32 h). Some run products from the large pieces of pumice kept high permeability up to 10<sup>-11</sup> m<sup>2</sup> after 8–32 hour heating. The 3D analysis shows that some inter-glob pores still survive in these samples. Based on the 3D analysis of bubble microstructure we infer that the time scale of permeability reduction were longer due to the larger (longer) size of inter-glob pores in larger samples. Therefore, the relaxation time of the inter-glob pores seems to control the evolution of gas permeability in relaxing magma at a shallow part of a volcanic conduit.

キーワード：形状緩和、ガス浸透率、マグマ

Keywords: Textural relaxation, Gas permeability, magma

## 阿蘇火山において2016年10月8日の爆発的噴火前に観測された急激な二酸化硫黄放出量の増加

The rapid increase of SO<sub>2</sub> emission rate observed in the Aso volcano before an explosive eruption on October 8, 2016.

\*森 健彦<sup>1</sup>、森 俊哉<sup>2</sup>、気象庁 福岡管区気象台

\*Mori Takehiko<sup>1</sup>, Toshiya Mori<sup>2</sup>, Fukuoka Regional Headquarters Japan Meteorological Agency

1. 気象庁 気象研究所、2. 東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設

1. Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, 2. Laboratory for Earthquake Chemistry, Graduate School of Science, the University of Tokyo

福岡管区気象台では、阿蘇火山における火山活動度評価のため、COMPUSSを用いた二酸化硫黄放出量観測を実施している。観測は概ね1週間に1回程度実施されているが、雨天が続くなど、条件によっては2週間以上もデータが取得できない場合がある。2016年10月8日に発生した爆発的噴火に先立つ期間においても、天候不順などによる理由から、8月31日から9月26日までは観測が実施できていなかった。

ほぼ1ヶ月ぶりの観測となった9月26日、二酸化硫黄放出量は前回8月31日の放出量値の倍近い3100 ton/dayとなり、二酸化硫黄放出量が増加していることを確認した。火山性微動の振幅レベルも高い状態で推移していたことから、火山活動の活発化を懸念し、観測頻度を上げることにした。しかしながら、10月に入ってからは風速・風向の不安定さや、検量線を作成する際に用いる最高カラム濃度を大幅に上回る高カラム濃度の検知など、従来の解析方法で放出量値を即時算出するのが困難な状況となった。そこで、10月3, 4, 6, 7日に実施された観測データについて、観測データをサンプルごとの吸収スペクトルから再精査し、高カラム濃度セルを用いた検量線の作成によって測定カラム濃度の再評価をすることで、精度の高い放出量値を求めた。

爆発的噴火前日の10月7日の観測結果については、当日の夕方から簡易的な再解析を実施し、1回のトラバースデータから、15000ton/dayとの値を21時に公表することができている。しかしながら、4000, 8000 ppmmの高カラム濃度セルで検量線を作成し、すべてのトラバース観測データでの再解析の結果、平均値で16700ton/day (Max: 20800ton/day, Min: 11800ton/day)の値となった。7日を含む再解析の結果、阿蘇火山における二酸化硫黄放出量は10月に入ってから顕著な増加傾向にあり、7日では急激な増加が確認された。この変動は火山性微動の振幅レベルの増加、GNSSによる短基線の面積ひずみ増加と対応しており、10月8日の爆発的噴火に至る過程で、マグマからの脱ガスの急激な増加による、火口浅部での多量の火山ガス蓄積が発生していたことが想定される。

キーワード：阿蘇火山、二酸化硫黄放出量、爆発的噴火

Keywords: Aso volcano, SO<sub>2</sub> emission rate, explosive eruption

# 阿蘇火山において2016年10月8日の爆発的噴火に先行した地殻変動について

## Ground deformation preceding to the explosive eruption eruptions of Aso Volcano, Japan, October 8, 2016.

\*大倉 敬宏<sup>1</sup>、吉川 慎<sup>1</sup>、井上 寛之<sup>1</sup>

\*Takahiro Ohkura<sup>1</sup>, Shin Yoshikawa<sup>1</sup>, Hiroyuki Inoue<sup>1</sup>

1. 京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター

1. Aso Volcanological Laboratory, Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University

### はじめに

2016年10月8日の午前01時46分に、阿蘇火山中岳第一火口で爆発的な噴火が発生した。この噴火では、噴煙高度が1.1万mに達し、熊本県はもとより大分県・愛媛県・香川県の広範囲で降灰が確認された。この噴火に先立ち、明瞭な地殻変動が観測されたので報告する。

### 阿蘇火山の活動について

近年の阿蘇火山では、1989年-1993年の噴火以来となるマグマ噴火が2014年11月25日に発生し、2015年5月3日まで続いた。その後、2015年9月および10月にマグマ水蒸気噴火が発生したのち、2016年3月まで散発的に水蒸気噴火が発生した。そして2016年4月16日の熊本地震本震の直後にごく小規模な噴火が発生した後は、噴火のない状態が継続していた。

### 観測坑道について

京都大学火山研究センターでは、1987年以降、中岳第一火口から南西に約1km離れた地点の地下30mにある本堂観測坑道で地震観測や地殻変動観測などを実施してきた。この坑道は等辺長約25m、斜辺長約35mの直角二等辺三角形の形状を有し、坑道内にはインパル棒伸縮計3成分、水管傾斜計2成分、広帯域地震計が設置されている。伸縮計および傾斜計のデータは、22bit,1秒サンプリングでA/D変換されたのち、リアルタイムで火山研究センターに転送されている。この地殻変動観測施設では、2013年9月、2014年1月、2014年7月に長周期地震活動の活発化と二酸化硫黄放出量の一時的な増大をとまなう明瞭な歪み変化と傾斜変化がとらえられていた。

### 爆発的噴火に先行した地殻変動

2016年7月ころから、マグマ溜まりをはさむGPS基線長で伸びの加速が観測されはじめた。それと同時に、本堂ではマグマ溜まり方向の隆起をしめす傾斜が観測されはじめている。その後の9月20日ころから、火口方向の伸縮計で伸びが観測され、10月2日ころからそれが加速するとともに、火口方向が沈降する傾斜が観測されている。同時に火山性地震の発生回数が増大し、10月7日には11000トン/dayの二酸化硫黄放出が気象庁により観測されている。上で述べた地殻変動は、地下深部のマグマだまりから供給される火山ガスの量が一時的に増加し、クラック深部を膨張させたことにより、引き起こされたものと解釈することができるであろう。これらの変動は、2013年9月や2014年1月にも観測されていたが、今回の変動がこれまでで一番顕著であった。

キーワード：阿蘇火山、爆発的噴火、クラック状火道、地殻変動

Keywords: Aso Volcano, explosive eruption, crack-like conduit, ground deformation





# 2015年8月桜島マグマ貫入イベントに伴う地震の震源—ASL法による推定—

## Hypocenters of earthquakes associated with rapid magma intrusion into Sakurajima volcano in August 2015 - Estimation by the amplitude source location method -

\*中道 治久<sup>1</sup>、井口 正人<sup>1</sup>、為栗 健<sup>1</sup>

\*Haruhisa Nakamichi<sup>1</sup>, Masato Iguchi<sup>1</sup>, Takeshi Tameguri<sup>1</sup>

1. 京都大学防災研究所附属火山活動研究センター

1. Sakurajima Volcano Research Center, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

### 1. はじめに

火山噴火に前駆して群発地震が起こることはよく知られているが、噴火未遂となるケースも知られている。群発地震の発生初期には頻度および規模ともに小さいが、時間経過に伴い頻度および規模が大きくなる。このため地震波形が重なることにより、初動到達時刻を用いた震源決定では、肝心の群発地震活動がピークの時に発生数に対する震源決定数は少なくなる。また、一般的に火山性地震のS波初動到達時刻の読み取りは容易ではない。そこで、火山の群発地震について初動到達時刻によらない震源決定を模索する必要がある。そのため、火山において振幅を用いた震源推定（以下ASL法とする）が試みられてきた（例えば、Kumagai et al., 2013）。

2015年8月15日に桜島において明瞭な地殻変動を伴った群発地震が発生し、マグマ貫入イベントであったと解釈されている（Hotta et al., 2016）。群発地震の初動を用いた震源決定結果は既に為栗・他（2016）にて報告している。そこで、本報告では振幅を用いた震源推定結果を示す。

### 2. データと震源推定方法

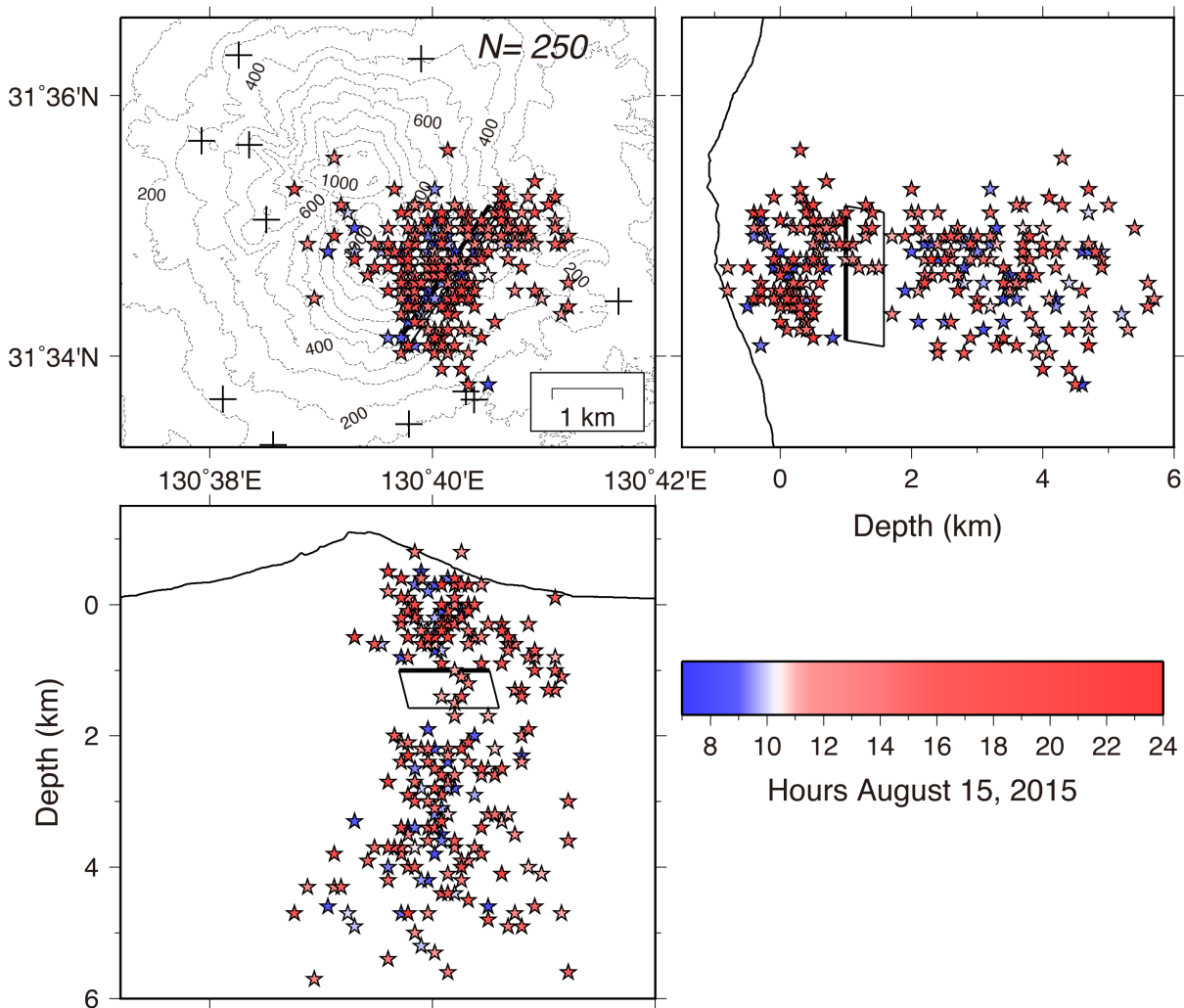
本研究では、防災研究所、気象庁、国土交通省の桜島の地震観測点14箇所の短周期上下動地震波形データを用いた。ASL法では、放射方向によらず地震の振幅が震源からの距離に反比例するという仮定をしている。この仮定は、火山地形および不均質構造を考慮した地震波動計算から、周波数5Hz以上の高周波数側で成り立っていることが確認されている（Kumagai et al., 2011）。そこで、本研究では地震波形に5-9 Hzの帯域通過フィルターを施した。一方、地震計設置場所付近の地形や地盤によって、地震波の増幅特性（サイト特性）が異なるが知られており、ASL法適用に当たっては、サイト特性の補正が必要である。そこで、コーダ正規化法（Phillips and Aki, 1986）にてサイト補正値を求めた。九州地方周辺（E128.3~133.3°, N29~34°, 深さ10~600 km）の2012年4月から2016年3月に発生した140個のM4以上の地震を用いて補正値を求めた。ASL法では震源位置はグリッドサーチにて推定するが、グリッド設定範囲を水平範囲は桜島全体をカバーする範囲（E130.58~130.73°, N31.53~31.63°）の深さ-1~6 kmに設定し、水平方向に0.001°間隔、深さ方向に0.1 km間隔にグリッドを配置した。この範囲内に、既往研究の震源とマグマ貫入イベント時の地殻変動ソース（Hotta et al., 2016）が含まれる。ASL法の適用にあたって、減衰定数 $Q=50$ 、時間窓長10 sを用いた。時間窓でのRMS振幅をASL法のデータとした。グリッドから観測点のS波走時を考慮して時間窓の位置をシフトさせるが、走時計算には2通りの半無限均質速度構造を用いた。ケース1では $V_s = 1.44$  km/sで、ケース2では $V_s = 2.13$  km/sとした。ケース1は既往研究（例えば、為栗・他2016）や気象庁の震源で用いられている構造（ $V_p = 2.5$  km/s,  $V_p/V_s = 1.73$ ）であり、ケース2はTsutsui et al. (2013)による2008年人工地震探査による結果の深さ地表から深さ6 kmのP波速度の加重平均値（ $V_p = 3.7$  km/s）に $V_p/V_s = 1.73$ を仮定した値である。群発地震発生当日の1日分の連続地震波形に対して1秒間隔でSTA/LTAのRMS振幅比でトリガーし、4点以上でトリガーが掛かった場合に14点のデータにてASL法による計算を行った。

### 3. 結果と議論

速度構造ケース1と2について規格化残差分布を比較すると、ケース1に比べて2の方が規格化残差0.5未満の範囲が狭い。ただし、両者ともに鉛直方向に広がっており、震源推定において深さの制約が悪いことを示している。同じ地震についてASL法による震源と為栗・他(2016)の初動による震源の比較をした。なお、速度構造はケース2を採用した。初動震源が火口直下の深さ1.5~4 kmに分布しているのに対して、ASL法では東方向にシフトしており、深さは1~5 kmと広がっている。本研究では、ASL法にて250個の地震の震源推定をし、震源分布の時間変化を追った。そして、午前10時半以前の震央は比較的近接して分布しているが、10時半以降の震央は広がっており、特に東方向への拡大が顕著であることがわかった。また、震央は矩形の地殻変動源の水平位置を取り囲むように分布している(図参照)。

キーワード：桜島火山、震源、群発地震

Keywords: Sakurajima volcano, Hypocenter, Earthquake swarm



## 2015年8月桜島マグマ貫入イベントに伴う地震の震源分布 ～Matched Filter Methodによる推定～

### Intense Swarm Activity in the Vicinity of the Sakurajima Volcano, Kyushu, Japan, in August 2015, detected by the Matched Filter Method.

\*大見 士朗<sup>1</sup>、井口 正人<sup>2</sup>、為栗 健<sup>2</sup>、中道 治久<sup>2</sup>

\*Shiro Ohmi<sup>1</sup>, Masato Iguchi<sup>2</sup>, Takeshi Tameguri<sup>2</sup>, Haruhisa Nakamichi<sup>2</sup>

1. 京都大学防災研究所地震防災研究部門、2. 京都大学防災研究所火山活動研究センター

1. Earthquake Hazards Division, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 2. Sakurajima Volcano Research Center, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

#### §はじめに：

2015年8月15日午前7時過ぎから桜島の島内で活発な群発地震が発生し、同時に伸縮計等にも急激な地殻変動が観測され、大規模な噴火が危惧される状況となった。この地震活動は同日9時から13時の間に集中して発生し、14時以降には地震発生数は減少していった。このような状況では、進行しつつある地震活動の状況を即時的に把握することはひじょうに重要なこととなる。本報告では、8月15日から8月16日にかけての地震活動の推移をMatched Filter Method (MFM)を用いて解析した結果を報告する。本解析の目標は、本手法により地震活動の推移を現象とほぼ同時進行にかつ効率的に把握できるかどうかを試みることである。解析には、大見(2015)による、MFMによる地震検出と震源決定を組み合わせた手法を用いた。

#### §対象地域とデータ解析の概要：

Fig.1に今回報告する対象地域を示す。使用したデータは震源域周辺の、京都大学および気象庁により運用されている微小地震観測点のうち10観測点のデータである。■が観測点を示す。MFMでのイベント検出は、対象とする地震とプレート地震（以下、TP地震）の距離が大きい場合や、両者のマグニチュードの差が大きい場合には検出効率が低くなることもあり、TP地震の選択方法が重要となる。TP地震を選択する手法としては、既存TP地震との震源距離の差やマグニチュードの差に一定の閾値を設けて新規のTP地震を選択する方法が考えられる。しかしながら今回の活動の場合、震源が比較的狭い範囲に集中していたことに加え、同様の震源位置をもつイベントでも波形の特徴が時間と共に変化していく様子が見られたことから、震源距離やマグニチュードの差のみを選択条件とすることは得策ではないように考えられた。そのため、従来からのSTA/LTA方式でトリガ判定を行う自動処理において、TP地震候補選択のためのトリガレベル（STA/LTA）を通常より大きく設定し、S/Nが高い比較的少数のイベントのみを候補とすることとした。ここでは、使用したすべての観測点でSTA/LTAが5.0以上になったイベントを候補地震とし、さらにこれらを再検出して比較的容易に震源決定できるイベントをTP地震として採用した。この条件で選定されたTP地震は8月15日の早朝から13時までの期間で56個であった。新規TP地震が選定された場合には、そのTP地震でそのつど期間中の全データのスキャンを行い、新規TP地震によるイベントの検出と全イベントリストの再構成を行った。Fig.1にはこれらのTP地震の分布も示す。

#### §解析結果：

Fig.2にMFM解析の結果による8月15日から8月16日までの震源分布およびその時空間分布を示す。ここにはMFMで検出された地震をすべてプロットしており、引き続き震源決定処理の結果の精度による選別は行っていない。MFMによる解析（Fig.2）では、2日間に56個のTP地震によって約1900個の地震が検出・震源決定された。それによれば震央には主に桜島南岳から北岳の周辺に分布し、深さは海拔下4km付近から0km付近に分布する。また、震源が最も浅いのは15日9時から12時ごろの活動であることなどが把握できる。これらの傾向

は、気象庁（JMA）による精査の結果（第133回火山噴火予知連絡会資料、2015）などと比較しても調和的である。

### §考察と課題

MFMによる自動処理とJMAの精査の結果を比較すると、両者には共通の傾向が見られる。震源分布の差は、解析に使用した観測点の分布等の差によるものが主たる要因と考えられるが、TP地震によっては、P波とS波の識別が困難なイベントも散見され、これによるTP地震の震源決定の不確かさに起因する部分があることも予想される。MFMの結果は自動処理結果であることから、MFMで認識されてもJMAで認識されていない震源クラスが存在するような場合は解析上の虚像である可能性もあり、今後個別の震源データを比較・精査することは必須である。さらに、これに関連して、MFMで検知された地震の震源決定精度を向上させる手法の精度向上も必要と考えられる。しかしながら、今回の解析では56個という比較的少数のTP地震の選定によって得られたMFM解析の結果の特徴と、精査を経たJMAの解析結果の特徴に共通点も多く見られることから、群発地震の進行中にその概要を同時進行的に把握するための手段として本手法は有用であると考えられる。

キーワード：桜島、地震活動、マッチド・フィルター法、半自動震源決定処理

Keywords: Sakurajima volcano, swarm activity, Matched Filter Method, pseudo-automatic hypocenter locating system

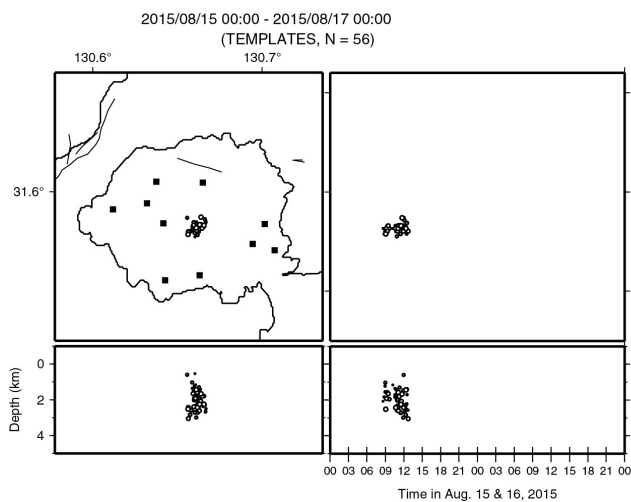


Fig.1

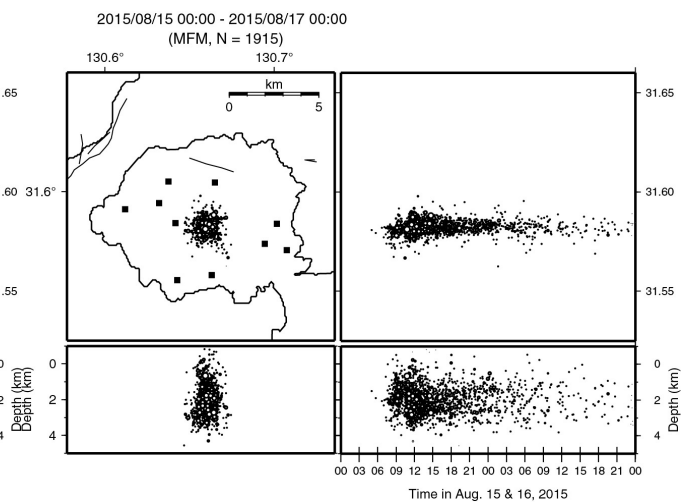


Fig.2

# Seismic analyses of Vulcanian eruption at Sakurajima volcano: Spectral ratio analyses of explosion and Volcano-tectonic earthquakes

\*Mohammad Hasib<sup>1</sup>, Takeshi Nishimura<sup>1</sup>

1. Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University

Spectra ratios of direct and coda waves between large and small earthquake represent the differences of source time function, and have been used to evaluate the corner frequencies and magnitudes of tectonic earthquakes. We applied the spectral ratio method to explosion earthquakes observed at Sakurajima volcano, and found the spectral ratio changes with the lapse time. We inferred that the seismic waves of explosion earthquakes are generated mainly by initial rapid pressure release in the conduit but also by successive oscillations of the magma system during continuous ash emission. This observation is contrary to the results of tectonic earthquakes in many previous papers which show almost same spectral ratio between the direct and coda waves. In the present study, we further apply the spectral ratio method to the volcano tectonic earthquakes (VTs) observed at Sakurajima to examine whether or not the characteristics of explosion earthquakes represent the source process and are not affected by volcanic structures.

We analyze VTs occurring during a significant swarm in August 2015. The seismograms recorded at three JMA stations located at distances about 3 km away from the active crater (Showa crater) are used. We pick up the VT waveforms that are not disturbed by other event, and select the waveforms from large events. Then, we classify them into 2 classes according to their maximum amplitudes: the amplitudes of class I are ranging from  $2 \times 10^4$  –  $6 \times 10^4$  nm/s and those of class II are ranging from  $8 \times 10^4$  –  $11 \times 10^4$  nm/s. Then, we calculate spectral amplitude ratios of large event (class II) to the small event (class I) by setting a time windows of about 5 s for the S- direct wave and coda waves at a lapse time of 5-10 s. The results show that the amplitude ratios of VTs are similar to each other between direct and coda waves. This is well consistent with the results of previous studies that analyzes tectonic earthquakes. However, VTs during the August 2015 swarm are not large enough to analyze later coda with lapse times of > 20s when the explosion earthquakes show different spectral ratios. We will analyze large tectonic earthquakes occurring around Sakurajima volcano, which generate long coda waves, to examine whether or not volcanic heterogeneous structure affect the spectral ratios.

Keywords: Spectral ratio method, VT earthquake, Explosion earthquake, Sakurajima volcano

# Triggering of volcanic eruptions: stress transfer by large earthquakes

\*西村 太志<sup>1</sup>

\*Takeshi Nishimura<sup>1</sup>

1. 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

1. Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University

It is often said that large eruptions may trigger new volcanic eruptions. Previous studies using historical data as well as recent observation results indicate that volcanic eruptions likely occur within a few days of the occurrence of large earthquakes locating close to the volcanoes (e.g., Linde and Sacks, 1998; Manga and Brodsky, 2006). However, historical data may be biased or disturbed by human activity such as world-war II. Triggering mechanism is also discussed at several volcanoes with the crustal stress changes generated by large earthquakes that may introduce magma upward migrations, but systematic research has not yet been done. The present study, therefore, analyzes recent reliable data of large earthquakes and volcanic eruptions to obtain empirical relations between the large earthquakes and volcanic eruptions. Global CMT catalog from 1976 to 2010 and Smithsonian data base of volcanic eruptions from 1966 to 2015 are used for the analyses. Large earthquakes with a magnitude of  $\geq 7.5$  are selected after removal of aftershocks of other large earthquakes, and volcanic eruptions nearby the large earthquakes are searched. The results show that occurrence rate of volcanic eruptions at volcanoes located within 200 km distance from large earthquakes increases about 50 % after the occurrences of large earthquakes. The large earthquakes with  $M \geq 7.5$  and locating 200 km far from the volcanoes or with  $M \leq 7.5$  do not affect the occurrence rate of volcanic eruptions. The volcanic eruptions occurring within 5 years after the occurrences of large earthquakes with  $M \geq 7.5$  at a distance of less than 200 km are further analyzed to examine whether the volcanic edifice are compressed or dilated by the large earthquakes. The results show that about 60 % of the volcanic eruptions occurred at volcanoes that are subject to dilatation after the large earthquakes. However, almost same percentages of the eruptions occurring before the large earthquakes are located at the dilated regions. Not only the dilatation that may lead gas bubble nucleation and growth in magma to get buoyancy force, but also the contraction that may squeeze up the magma may be the mechanisms to trigger new eruptions at volcanoes nearby large earthquakes.

キーワード：火山噴火、大地震、誘発

Keywords: volcanic eruption, large earthquake, triggering