

富士火山宝永噴火の地震トリガー説の岩石学的検証 A petrological test of the earthquake-trigger model of the Mt. Fuji Hoei eruption

有賀 貴史^{1*}; 中村 美千彦¹; 奥村 聡¹; 吉本 充宏²

ARUGA, Takafumi^{1*}; NAKAMURA, Michihiko¹; OKUMURA, Satoshi¹; YOSHIMOTO, Mitsuhiro²

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻, ² 山梨県富士山科学研究所

¹Department of Earth Science, Graduate School of Science, Tohoku University, ²Mount Fuji Research Institute, Yamanashi Prefectural Government

It is fairly widely recognized that huge earthquakes may trigger volcanic eruptions. The statistic validity of this “hypothesis” is, however, under debate. Besides, only little is understood about the triggering mechanisms and resulting incubation period from the earthquake to the eruption. The Hoei eruption of the Fuji volcano in 1707 A.D. occurred 49 days after the Hoei M 8.7 earthquake, and thus often referred as a typical example of the earthquake-triggered eruption. This clear paleographic record of the incubation period provides us an excellent opportunity to test the cause-and-effect link between the huge earthquake and magmatic eruption. Fujii (2002) proposed a triggering mechanism of the Hoei eruption, in which basaltic magma injected into the shallow dacitic magma chamber and induced volatile exsolution. In this study, we elucidate the timescale from magma injection to eruption from the mineralogical record in the Hoei erupted materials, and compare the result with the known interval of 49 days.

We found reverse zonings of plagioclase phenocrysts in the basaltic scoriae. The phenocrysts were considered to have been derived from the dacite magma because their core compositions are consistent with those in the silicic magma initially erupted in the Hoei sequence. Based on the measured MgO concentration profiles, we can estimate the timescale of magma mixing and then test the scenario that the Hoei eruption was triggered by the Hoei earthquake. The temperature of basaltic magma of the Hoei eruption was estimated to be 1080-1180 (Sato & Hara, 1990). With this temperature range, the timescales of magma mixing were calculated to be 45.9, 9.6 and 2.2 days at 1080, 1130 and 1180 °C, respectively. Because these estimated timescales are shorter than 49 days, the mixing should have started after the Hoei earthquake. On the other hand, the estimated timescales are longer than the duration of the Hoei eruption, showing that the mixing was not syn-eruptive but pre-eruptive. These results support a model that the Hoei earthquake triggered the injection of basaltic magma into the shallow dacite magma chamber, leading to the Hoei eruption.

キーワード: 富士火山, 宝永噴火, 宝永地震, 噴火トリガー, 微量元素拡散

Keywords: Fuji Volcano, Hoei Eruption, Hoei Earthquake, Eruption Trigger, Tracer Element Diffusion

大地震が富士山周辺のダイクシステムに及ぼす静力学的影響の評価 Evaluation of elastostatic effects of large earthquakes on the dike system around Mt. Fuji

細野 将希^{1*}; 三井 雄太²; 石橋 秀巳²
HOSONO, Masaki^{1*}; MITSUI, Yuta²; ISHIBASHI, Hidemi²

¹ 静岡大学理学部, ² 静岡大学理学研究科

¹ Faculty of Science, Shizuoka University, ² Institute of Geosciences, Shizuoka University

地震が火山システムに与える力学的影響を議論した近年の研究 (Chesley et al., 2012) では、1707 年の宝永 (南海トラフ) 地震と 1703 年の元禄関東地震による富士山下の主ダイク (北西-南東走向) 上の静的応力変化を、半無限均質媒質におけるグリーン関数を利用して計算した。彼らの結果では、宝永 (南海トラフ) 地震の場合のみ主ダイク南東側の深部においてダイクが開くような法線応力変化が働き、浅部では逆にダイクが閉じるような応力変化が生じたため、49 日後の爆発的な富士山宝永噴火に繋がったとされた。

本研究では、まず同先行研究の追試を行った上で、2011 東北地震の直後に活性化したと地震活動から推定できる副ダイク (北北東-南南西走向) についても、同様の数値計算を行った。考察するシナリオ地震として、上記の 2 種類だけでなく、過去に近隣で起きた M8 級以上の地震である 2011 年の東北地震および 762 年の美濃-飛騨-信濃地震の断層モデルも考察した。この他、規模こそ小さめではあるが富士山の近場で発生し得る潜在的な地震として、富士川河口断層帯が活動した場合についても考察した。

結果、上記の宝永 (南海トラフ) 地震では、主ダイクとは異なり、副ダイクでは全体が閉じる方向に応力変化が生じることがわかった。元禄関東地震と美濃-飛騨-信濃地震では、双方のダイク共に全体が閉じる方向に応力が変化する。一方、2011 東北地震の場合は双方のダイク共に全体が開く方向に応力が変化し、富士川河口断層帯の活動では、双方のダイク共に浅部が開いて深部が閉じる方向に応力が変化するという結果が得られた。

このように、大地震が富士山のダイクシステムに与える力学的影響は多様であり、(宝永地震や東北地震の後に見られたように) 大地震がダイクの活動の on-off を入れるスイッチとして働く場合もあると考えられる。この考えに則れば、2011 東北地震が起きた直後である現在から次の南海トラフ地震が発生するまでは、副ダイク沿いの火山活動リスクが通常時よりも高いことになる。

キーワード: 富士山, ダイク, 大地震, 静的応力変化

Keywords: Mt. Fuji, dike, large earthquakes, static stress changes

富士火山宝永噴火末期におけるマグマ上昇過程の変化；斜長石マイクロライトからの制約

Magma ascent process during the late stage of Fuji 1707 eruption; constraints from plagioclase microlite

天野 大和^{1*}; 石橋 秀巳¹; 外西 奈津美²; 安田 敦²

AMANO, Yamato^{1*}; ISHIBASHI, Hidemi¹; HOKANISHI, Natsumi²; YASUDA, Atsushi²

¹ 静岡大学大学院理学研究科, ² 東京大学地震研究所

¹Guraduate School of Science, Shizuoka university, ²Earthquake Research Institute, University of Tokyo

1707 年におきた宝永噴火は、富士火山で最も新しい噴火である。富士火山の噴火はほとんどが玄武岩質のストロンボリ式噴火、或いは、溶岩流噴火であるのに対し、宝永噴火は富士火山では珍しいプリニー・準プリニー式噴火をおこし、玄武岩だけでなくデイサイトと安山岩を噴出した。噴火はおよそ 15 日間続き、3 日目以降、玄武岩質マグマのプリニー・準プリニー式噴火を継続したことが知られるが、宝永第一火口中の火砕丘の存在は、噴火の最終段階でプリニー式からストロンボリ式へと噴火様式を変えたことを示している。しかし、この様式変化の要因は明らかにされていない。そこで本研究では、宝永噴火末期の玄武岩質スコリアの鉱物化学組成と岩石組織からマグマの上昇プロセスを推定し、噴火様式が変化した要因を検証した。

プリニー式噴火の降下スコリア堆積物は、宝永火口から東へ 8km の地点で採取した。粒子の特徴に基づいて Ho-I ~ IV に 4 区分し、更に細かく 17 のユニットに分けて採取した。本研究では宝永噴火後期を対象としているため、採取したスコリアのうち Ho-IV の 6 ユニットのスコリアを対象とした。これに、宝永第一火口中の火砕丘で採取したスコリアを加えた計 7 ステージの試料について、斜長石マイクロライトの化学組成・サイズ・数密度の分析を行った。マイクロライトの化学組成は、東京大学地震研究所の EPMA (JEOL-8800R) によって測定した。マイクロライトのサイズと数密度の測定は、静岡大学道林研究室の SEM によって撮影した BSE 画像の解析によって行った。

プリニー式噴火とストロンボリ式噴火のスコリアは共にほぼ無斑晶質で、構成鉱物の組み合わせも同じであった。斜長石マイクロライトの最大 An 値 $[=Ca/(Ca+Na)]$ 、最大サイズと結晶数密度は、プリニー式噴火のスコリアでそれぞれ約 74.4、約 191 μm 、約 1240 /mm²、ストロンボリ式噴火のスコリアでそれぞれ約 78.3、約 293 μm 、約 881/mm² と、両者の間で明瞭な差が見られた。プリニー式噴火に比べてストロンボリ式噴火のスコリアの方が、An 値と結晶サイズは大きく、数密度は小さい値を示した。

わずかに含まれるオリビン・斜長石斑晶とメルトの相関係から、宝永噴火のマグマの温度を約 1135 °C と見積もった。そして、マグマがこの温度で等温上昇したと考え、Putirka (2008) の斜長石-メルト含水量計によってマイクロライトの晶出開始圧力を見積もった。その結果、プリニー式噴火ではおよそ 21MPa であったのに対し、ストロンボリ式噴火ではおよそ 24MPa とやや高压であることが分かった。それぞれの圧力は、深さ 840-870m および 940m に相当する。さらに、Toramaru et al. (2008) のマイクロライト数密度減圧速度計を用いて、マイクロライト晶出深度におけるマグマの上昇速度を見積もったところ、プリニー式噴火でおよそ 54km/h、ストロンボリ式噴火でおよそ 36km/h の値が得られ、プリニー式噴火の方が約 1.5 倍速かったことがわかった。この結果から、宝永噴火最末期のプリニー式-ストロンボリ式噴火様式変化は、火道上昇速度の減少によって引き起こされたと考えられる。また、この火道上昇速度減少の原因は、およそ 700m よりも深部での火道条件の変化（火道径の減少や過剰圧の減少）にあると考えられる。

キーワード: 富士火山, 斜長石, マイクロライト, 火道上昇速度, スコリア, 噴火様式

Keywords: Fuji volcano, plagioclase, microlite, conduit ascent velocity, scoria, eruption style

火砕物リサイクリングが支配する玄武岩質火山の小規模爆発様式 Recycling of pyroclasts controls style of small basaltic explosion at Stromboli Volcano, Italy

三輪 学央^{1*}; 川口 亮平¹; 西村 太志²; 青山 裕³; 山田 太志³; 藤田 英輔¹
MIWA, Takahiro^{1*}; KAWAGUCHI, Ryohei¹; NISHIMURA, Takeshi²; AOYAMA, Hiroshi³; YAMADA, Taishi³; FUJITA, Eisuke¹

¹ 防災科学技術研究所, ² 東北大学, ³ 北海道大学

¹ NIED, ² Tohoku Univ, ³ Hokkaido Univ

Understandings of controlling mechanism on eruptive style is one of the most important subject not only for volcanology but also for hazard mitigation. Vesiculation, outgassing and crystallization that drive or break their ascent have been considered as essential factors for the controlling mechanism (e.g., Jaupart and Allegre, 1990; Houghton and Gonnerman, 2005). In contrast, recent studies have suggested that vigorous recycling of pyroclast into the vent occurs at basaltic volcano where small explosions are repeated (D'Oriano et al., 2014; Eychenne et al., 2014). The recycling of pyroclast that fills the vent can affect explosion dynamics such as shape and ejection speed of jet cloud (Goto et al., 2001; Ohba et al., 2002; Taddeucci et al., 2013).

This study examined component, texture, granulometry and chemical composition of ash samples from normal activity at Stromboli to discuss a controlling mechanism of explosion style of small basaltic explosion. Stromboli volcano has three vent regions as northeast (NE), central (C), and southwest (SW) craters. The three craters emitted white steam continuously that was interrupted by relatively strong explosion. During studied term (14:26-18:29, May 21th, 2014), different explosion styles were observed in each vents. The NE crater exhibited explosive emission of ash rich cloud, and the C and SW craters showed emission of glowing bomb with dilute ash cloud. We collected falling ash from the three craters every 4-18 minutes. Although the samples contain ash particles from the three craters, ash falling rate at sampling site becomes large after occurrence of ash rich explosion at NE crater. The ash particles are divided into Juvenile (glassy particle with elongate, spongy, or dense morphology), Recycled (non-glassy particles with highly crystalline which has similar texture with product of reheating experiment of basaltic ash; D'Oriano et al., 2013), Altered, and Crystal particles. The origin of the each type of particles are interpreted on the basis of their external and internal textures observed under stereoscopic and electron microscope (D'Oriano et al., 2014). We calculated bulk componentry using the componentry variations with grain size (125-250, 250-500, 500-1000, and 1000-2000 μ m) and grain size distribution. The bulk componentry shows that the volume fraction of recycled particles increases with ash falling rate at sampling site that concords the occurrence of ash rich explosion at NE crater.

The ash observation implies that burial of eruptive vent by recycled particles relates with occurrence of ash rich explosion at NE crater. The explosion occurs at which the gas rich magma from deeper conduit (e.g., Ripepe et al., 2001; Lautze and Houghton, 2007) reaches to the boundary between magma column and buried sediment. Emission of gas jet by the explosion blows the sediment which buries the vent-conduit (Patrick et al., 2007). Thick sediment can store large amounts of gas, magma and heat that generate ash rich cloud at the blowing. Therefore, we suggest that thickness of buried sediment is one of a controlling factor for the style of small basaltic explosion.

キーワード: 噴火様式, リサイクリング, 玄武岩質マグマ, 火山灰, ストロンボリ火山

Keywords: eruptive style, recycling, basaltic magma, volcanic ash, Stromboli volcano

ストロンボリ火山の火道内マグマ圧力の時空間分布の推定 Spatio-temporal changes of magma pressure in the conduit at Stromboli as inferred from analyses of tilt records

川口 亮平^{1*}; 西村 太志²; 青山 裕³; 山田 大志³; 三輪 学央¹; 藤田 英輔¹; Genco Riccardo⁴; Lacanna Giorgio⁴; Ripepe Maurizio⁴
KAWAGUCHI, Ryohei^{1*}; NISHIMURA, Takeshi²; AOYAMA, Hiroshi³; YAMADA, Taishi³; MIWA, Takahiro¹; FUJITA, Eisuke¹; GENCO, Riccardo⁴; LACANNA, Giorgio⁴; RIPEPE, Maurizio⁴

¹ 防災科学技術研究所, ² 東北大・理, ³ 北大・理, ⁴ フィレンツェ大
¹ NIED, ² Science, Tohoku Univ., ³ Science, Hokkaido Univ., ⁴ Firenze Univ.

近年、爆発的噴火に伴う傾斜変動記録が火口極近傍で観測され、噴火直前に発現する山体の膨張といった現象が捉えられるようになってきた。これらのデータを解析することで、噴火直前のマグマ上昇過程を定量的に把握できるようになると期待されている。我々は2014年5月末よりイタリア・ストロンボリ火山の火口極近傍に傾斜計と広帯域地震計を設置し臨時観測を行った。この観測により得られた噴火に先行する傾斜変動記録から噴火直前の火道内マグマ圧力の時空間変化の推定を行ったので報告する。

ストロンボリ火山の火口群から距離500 m以内の3点(RFR, PZZ, CPL)に傾斜計と1点(RFR)に広帯域地震計を50cm程度の深さに設置した。これらの信号はサンプリング周波数100 Hzで連続収録した。3観測点全てで噴火に伴う傾斜変動が記録された7月中旬までの記録から、噴火発生の5分前から他の噴火によるシグナルが無く、噴火に伴う地震動に先行して加速的な傾斜変動が見られる26個のイベントを抽出してその特徴を調べた。その結果、噴火に伴う地震動発生の数分前から概ね火口方向の隆起を示す傾斜変動が始まり、地震動の発生までに100-400 nano radian程度の傾斜変動の増加が全ての観測点で記録されることがわかった。また、噴火の5分前からの傾斜ベクトルは地震動の約5秒前からRFR観測点で反時計回り、CPL点で時計回りにベクトルの向きが変化していることがわかった。これらの特徴は解析した26個のイベント中22個のイベントで認められる。これら22個のデータを地震動の発生時刻を基準として重畳し、傾斜ベクトルの方位角を調べると、RFR点は162.5°方向の隆起が地震動の発生時から5秒前に165.5°に、CPL点は87°から77°に変化した。また、PZZ点は常に113°方向の隆起を示した。

観測された傾斜ベクトルの特徴から、火道内部の圧力源の時空間分布を推定する。NE火口の直下に250 mの鉛直火道を設置し、境界要素法によってストロンボリ火山の地形を取り入れて山体変形を計算した。25 mの区間ごとに一定圧力を与えて計算した結果、圧力源の深さの違いによって地表に現れる傾斜ベクトルの方向と観測点間の振幅比が顕著に変化することがわかった。観測データと数値計算結果の比較によって、CPL点の約10°の方位角の変化を説明するためには、圧力源の重心が約50 mほど深くなる必要があることがわかった。また、RFR点とPZZ点の方位角を説明するためには、噴火に伴う地震動発生の5秒前より以前の圧力源の深さは火口下50-100 m程度であることがわかった。これらのことから、ストロンボリ式噴火の数分前から火口からの深さ50-100 m程度の場所で圧力の増加が始まり、噴火の直前に圧力源は火口下約150 m程度まで深くなっていると考えられる。このような火道内圧力源の時空間分布の特徴は今後ストロンボリ式噴火のメカニズムを理解する上で重要であると考えられる。

キーワード: 傾斜変動, ストロンボリ式噴火, 圧力源
Keywords: Tilt motion, Strombolian eruption, Pressure source

玄武岩質マグマの先行注入を伴わないプリニー式噴火：桜島火山歴史時代噴火の例 Plinian eruptions without precursory basalt injection: Case study of the Sakurajima historic eruptions

新谷 直己^{1*}; 中村 美千彦¹; 奥村 聡¹

ARAYA, Naoki^{1*}; NAKAMURA, Michihiko¹; OKUMURA, Satoshi¹

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻

¹Department of Earth Science, Graduate School of Science, Tohoku University

Injection of new magma into a shallow differentiated magma chamber is often considered as a trigger of volcanic eruptions. This is primarily based on the petrological observation that magma mixing precedes the eruptions by a short interval. However, some petrological records such as oscillatory zoning of phenocrysts, in addition to geophysical monitoring of active volcanoes (e.g. Iguchi et al., 2008), suggest that magma injections had occurred repeatedly without triggering eruptions immediately. In such a case, the mafic magma injection may be regarded as a preparation process for eruption rather than a trigger. To clarify the magma injection and accumulation processes prior to the past large eruptions is crucial for forecasting the volcanic activity. For this purpose, we investigated the pumice clasts of the three historic Plinian eruptions of the Sakurajima volcano, Kyusyu Japan in 1914-1915 (Taisho Era), 1779-1780 (Anei) and 1471-1476 (Bunmei). We have focused on compositional zoning of magnetite phenocrysts, because element diffusion in magnetite is relatively fast and thus has high time resolution.

The magnetite phenocrysts showed scarce compositional zoning in all the eruptions. This result indicates that the last magma injections occurred more than a few months before the eruptions. Hence, we infer that the magma injection did not trigger the historic eruptions immediately. This leads to an implication that a Plinian eruption may occur in the Sakurajima volcano without the injection of new magma prior to several months.

キーワード: 桜島火山, 噴火トリガー, 磁鉄鉱, マグマ注入, マグマ混合

Keywords: Sakurajima Volcano, eruption trigger, magnetite, magma injection, magma mixing

溶岩チューブ洞窟と溶岩樹型の空洞内部に見る溶岩鍾乳と溶岩石筈から推定される溶岩の表面張力

Estimation of surface tension of lava from lava stalactite and lava stalagmite appeared in lava tube cave and tree mold

本多 力^{1*}

HONDA, Tsutomu^{1*}

¹ NPO法人火山洞窟学会

¹ NPO Vulcano-Speleological Society

[はじめに] 玄武岩溶岩流によって形成される溶岩チューブ洞窟や溶岩樹型の空洞内部にはよく溶岩鍾乳や溶岩石筈が観察される。溶岩鍾乳とは天井や側壁に付着した溶岩層が重力により不安定となり規則的な凹凸を形成し天井や側壁から溶岩が垂れ下がる現象で、一方溶岩石筈とは溶岩の液滴が天井より落下し床部に堆積固化する現象である。天井や側壁に生じる溶岩表面の凹凸の配列の規則性と溶岩液滴が床面に落下して堆積する液滴体積から溶岩の表面張力を推定してみた。

[溶岩鍾乳の配列ピッチによる表面張力推定] 天井に付着した溶融溶岩層は重力により下側に膨らもうとするが、一方表面張力はそれを阻止しようとする。天井の溶融膜流体方程式に微小攪乱を与え、二次以上の項を省略すると線形方程式が得られ、その安定性限界条件から、液体層の波動の固有ピッチ $P = 2\pi(\gamma/g\rho_L)^{1/2}$ が得られる。ここで γ は溶岩の表面張力、 g は重力加速度、 ρ_L は溶岩の密度である。したがって洞窟あるいは樹型内部の天井からたれ下がる溶岩鍾乳や側壁の凹凸のピッチ P を測ることにより溶岩の表面張力 $\gamma = P^2 g \rho_L / 4\pi^2$ を求めることが出来る。各所の溶岩チューブ洞窟や溶岩樹型から得られるピッチはおおよそ $P = 3\sim 4\text{cm}$ であり、 $\rho_L = 2.5\text{g/cm}^3$, $g = 980\text{cm/s}^2$ を入れると表面張力として $\gamma = 560\sim 990\text{ dyne/cm}$ が得られる^{1,2)}。

[溶岩石筈を構成する落下液滴による表面張力推定] 溶岩液滴は天井の液体層から直接落下する場合もあるし天井からストローを形成した後そこから溶岩の液滴が落下する場合もある。液滴はある長さになると落下しその落下する液滴の形状はほぼ同じである。この現象にも液滴の表面張力が関与しており、表面張力が液滴の重量に耐えられなくなると液滴は引きちぎられて液滴は落下し、落下した後上部では液滴が供給されさらに落下を繰り返して床部に多くの液滴が堆積する。これには液体の表面張力を計測する一般的な方法である「液滴重量法」を適用することが出来る。液滴の質量を m とすると液滴を下に引く力は $f_1 = mg$ (g は重力加速度) で、一方これに対抗して上に引き上げようとする表面張力は $f_2 = 2\pi r\gamma$ である。ここで r は液滴の外形の半径、したがって $f_1 = f_2$ の時の液滴の重量がわかれば γ は計算できる。落下するときの液滴の長さを l とすると $f_1 = mg = \pi r^2 l \rho_L g$ で、ここで ρ_L は液滴の密度である。玄武岩溶岩はおおよそ 2.5 g/cm^3 でありここでは一定値とした。この関係により落下した液滴の長さ半半径から溶岩の表面張力、 $\gamma = r l \rho_L g / 2$ を得ることができる。ここで $g = 980\text{cm/s}^2$ である、実際の観察による多くの値、たとえば $r = 0.2\text{cm}$, $l = 2\text{cm}$ とすると $\gamma = 490\text{ dyne/cm}$, $r = 0.25\text{cm}$, $l = 4\text{cm}$ とすると $\gamma = 980\text{ dyne/cm}$ である。

[おわりに] 国内外各所の実際の観察によると、溶岩洞窟と樹型の天井と側壁の流体力学的不安定性と落下液滴から推定される溶岩の表面張力値はほぼ一致する。これはこの検討モデルが妥当であることを示していると思われる。結論として、溶岩洞窟内の溶岩鍾乳・溶岩石筈の形成においては、溶岩の表面張力が支配的な役割を演じていると言えそうである。また推定された表面張力値はおおむね横山・飯塚³⁾によって実験室で計測された値の外挿の範囲にある。今後さらに他所(富士山青木が原、阿蘇米塚、キラウェア火山、セントヘレンズ火山、メデイスン・レーク火山、クレター・オブ・ザ・ムーン等)を含めた溶岩チューブ洞窟と溶岩樹型の調査(溶岩密度の影響等を含めて)を続行してゆきたい。

[参考文献]

- 1) T. Honda (2000): 富士山溶岩樹型空洞内の溶岩鍾乳の形成過程の研究 (The investigation on the formation process of the lava stalactite in the lava tree mold of Mt. Fuji)、日本洞窟学会第26回大会 研究発表要旨集 p. 3
- 2) T. Honda, F. Martel, V. Bello, O. Lucas-Leclin (2014): A2-26: Investigation on the lava of 1998-2007 and lava tube caves in the Reunion Island, The 2014 fall meeting of the Japanese Society of Volcanology. p. 38
- 3) I. Yokoyama, S. Iizuka (1970): Technical Report, Hokkaido Univ. p. 57

キーワード: 溶岩チューブ, 火山洞窟, 表面張力, 溶岩樹型

SVC46-07

会場:304

時間:5月24日 17:45-18:00

Keywords: lava tube, volcanic cave, surface tension, lava tree mold

火山名、地域	珪酸重量分率(出典)、噴火年	種類	鍾乳のP(ピッチ)、石筈の r(半径)及びt(長さ)	推定表面張力
富士山、犬涼み山、 三ツ池穴	49.09%(津屋), 7000年前	洞窟	r=0.2~0.25cm, t=2~4cm P=3~4cm	490~980 dyne/cm 560~990 dyne/cm
伊豆大島, 三原山	52~53%(水上), 1951年	洞窟	P= ~3cm	~560 dyne/cm
島根県, 大根島	47%(沢), 19万年以上前	洞窟	P= ~3cm	~560 dyne/cm
仏国, レユニオン島, フルネーズ火山	48.8~49.8%(N.Villeneuve), 1998年 48~50%(A.Peltier), 2004年,	洞窟	r=0.2~0.25cm, t=2~4cm P=3~4cm	490~980 dyne/cm 560~990 dyne/cm
ベトナム、南部中央高原 チュールック火山	48~52%(N.Hoang)	洞窟	P=3~4cm	560~990 dyne/cm
富士山, 剣丸尾, 船津胎内	50.88%(津屋), 937年	樹型	P=3~4cm	560~990 dyne/cm
富士山, 剣丸尾, 吉田胎内	50.88%(津屋), 937年	樹型	P=3~4cm	560~990 dyne/cm
伊豆大島, 三原山	52%(中野, 山元), 1986年	樹型	P= ~4cm	~990 dyne/cm
三宅島, 雄山	53~54%(藤井他), 1983年	樹型	r=0.1~0.25cm, t=5cm	610~1530 dyne/cm
八丈島, 西山	50.4~50.5%(津久井), 1100年以上前	樹型	P=3~4cm, r=0.2~0.25cm, t=2~4cm	560~990 dyne/cm 490~980 dyne/cm
米国, オレゴン州、 ニューベリー火山、 溶岩鋤型の森	49~50%(J.Donnelly), 7000年以上前	樹型	P=3~5cm	560~1740 dyne/cm

溶岩ドーム破壊で始まったケルウト火山2014年のプリニー式噴火 Plinian eruption preceded by disruption of lava dome at Kelud volcano, Indonesia, in 2014

前野 深^{1*}; 中田 節也¹; 吉本 充宏²; 嶋野 岳人³; 外西 奈津美¹; Akhmad Zaennudin⁴; 井口 正人⁵
MAENO, Fukashi^{1*}; NAKADA, Setsuya¹; YOSHIMOTO, Mitsuhiro²; SHIMANO, Taketo³; HOKANISHI, Natsumi¹; AKHMAD, Zaennudin⁴; IGUCHI, Masato⁵

¹ 東京大学地震研究所, ² 山梨県富士山科学研究所, ³ 常葉大学大学院環境防災研究科, ⁴ CVGHM, インドネシア, ⁵ 京都大学防災研究所火山活動研究センター

¹ Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ² Mount Fuji Research Institute, Yamanashi Prefectural Government, ³ Graduate School of Environment and Disaster Research, Tokoha University, ⁴ Center for Volcanology and Geological Hazard Mitigation, Indonesia, ⁵ Sakurajima Volcano Research Center, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Kelud volcano, Indonesia, is an active andesitic stratovolcano that has repeatedly erupted over many centuries. After a quiescent period since the dome-building eruption in 2007-2008, a plinian eruption with a radially spreading umbrella cloud at 18 km height occurred in February 2014. We present results of field observations, and discuss the sequence of this plinian event, with estimation of some physical parameters controlling eruption dynamics.

Eruptive deposits can be divided into three major units, Unit A to C, which corresponds to the main stages of this event. Unit A is pyroclastic density current deposits characterized by massive, poor-sorted, and composed of pumice, lithics and woods fragments. The distribution is limited to the northeastern side of the volcano, and extends up to ~5 km from the summit. In distal area, this unit consists of a thin fine ash layer. Numerous trees blown down on the substrate in the northeast also belongs to the same unit. Unit B is pyroclastic fallout deposits. In proximal area, the unit is characterized by thick fallout deposits containing large pumice clasts and lava blocks. This unit underlies numerous ballistic ejecta originating from andesitic lava dome produced in 2007-2008. In distal area, the same unit is recognized as a thin ashfall layer. This unit is widely distributed from north to southwest. At Jogjakarta ~200 km away, ~2 cm ashfall was observed. This observation is consistent with satellite data showing the plinian plume drifted by strong easterly wind and dispersed mainly western side of the volcano. Unit C is poor-sorted, pumice-rich pyroclastic density current deposits that are distributed along southern and western valleys up to 3-4 km. Multiple, pumice-rich flow lobes are well developed. Large pumice clasts are generally concentrated in the upper part and flow front of the deposits. In the northern side, this unit is recognized as normally graded, fine ashfall layers. After the eruption, a number of secondary phreatic explosions occurred from the valley-filled pumice-rich deposits, and created explosion craters.

Volume of tephra fallout from all stages is estimated to be 0.32-0.46 km³, using relationships between dispersal area and tephra thickness. A total volume of pyroclastic density current deposits for Stages 1 and 3 was estimated to be ~0.1 km³ based on the deposit distribution and thickness assumption. Duration of plume development was estimated to be 2.5-3 hours based on satellite images. From the tephra volume and eruption duration, mass discharge rate was calculated to be in the range 5.6-8.6*10⁷ kg/s.

Our field observation suggests that, in Stage 1, pyroclastic density currents run at least 5 km to the northeastern side with blowing off vegetation including numerous trees. Perhaps, the 2007-2008 lava dome acted as a cap-rock of conduit, and it was partially destroyed from the northern edge. Initially, the eruption couldn't produce a buoyant steady column from an open conduit, but generated energetic and directed pyroclastic density currents (like a blast) from the partially disrupted dome. Then, the dome was completely destroyed and blown away by ascending magma, and the eruption entered the stable plinian phase, Stage 2. Within 3 hours, magma discharge rate decreased, and column collapse began. The eruption stage moved to Stage 3, when pumice-rich pyroclastic density currents occurred. They could run along valleys and buried them with multiple pumiceous flow lobes.

The plinian eruption in 2014 was characterized by a strong eruption plume preceded by blowing off lava dome and generation of energetic pyroclastic density currents. Also other pyroclastic density currents by column collapse followed the plinian eruption. Deposit data suggests that the scale of eruption is ranked as VEI 4 and one of the largest eruptions at Kelud volcano in the last few centuries.

キーワード: ケルウト火山, プリニー式噴火, 溶岩ドーム, 火砕流, 火砕サージ
Keywords: Kelud, Plinian, Lava dome, Pyroclastic density currents

噴煙や溶岩中への大気取り込みの指標としての磁硫鉄鉱の酸化反応 Pyrrhotite oxidation as an indicator of air entrainment into eruption columns and lava flows

松本 恵子^{1*}; 中村 美千彦¹
MATSUMOTO, Keiko^{1*}; NAKAMURA, Michihiko¹

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻

¹ Department of Earth Science, Graduate School of Science, TOHOKU University

火山噴火の地表面現象のダイナミクスには、噴煙や火砕流への大気を取り込みで生じる浮力やマグマの冷却が重要な役割を果たしている。我々は、噴霧流や高浸透性マグマへの大気の混合過程を実際の噴出物から定量化する手法を開発している。噴火に際して、マグマは地下の還元的環境から地表の高酸化（高 fO_2 ）環境へと急激に上昇し、その過程でマグマに含まれる硫化鉄鉱物は酸化する。その反応は高温（マグマの温度）下で数十秒から数十時間という、噴火の継続時間に対応した時間スケールで進行するため、噴火ダイナミクスを反映している可能性がある。Matsumoto and Nakamura (2012) は、桜島大正噴火のプリニー式噴火降下軽石中に、磁硫鉄鉱 (Po) から磁鉄鉱 (Mt) への酸化途中の組織を見出し記載した。噴火様式が異なれば、火道浅部～地表でのマグマと大気との混合や冷却の過程にも違いが生じると予想されるため、本研究ではさらに大正噴火の火砕成溶岩（安井ほか, 2007）と溢流溶岩中での反応進行度を調べ、酸化反応時間の見積りを行った。

Po にしばしば見られる酸化組織は反射顕微鏡観察とラマン分光分析から Mt と Hm（赤鉄鉱）と同定した。Po とその酸化組織について、反応進行度を定量化するため、各粒子に占める鉱物相の面積割合を各噴出物あたり約 30 粒子測定した。軽石では、一粒子中に Po と Mt あるいは Po・Mt・Hm 三相が存在するのが特徴で、火砕成溶岩では Po がほとんど残存せず完全に Hm 化している粒子が大多数であり、溢流溶岩では Po のみ、Po・Mt, Mt・Hm, Hm のみといった複数の段階の粒子が存在するものの、軽石のように三相同時には存在しなかった。また、Mt・Hm 中の Ti の EPMA による X 線元素マッピングを行ったところ、軽石と火砕成溶岩試料では Mt・Hm とともに Ti を含有しなかったが、溢流溶岩では Mt に Ti の拡散が認められた。

このような、噴火様式による Po 粒子の酸化組織の相違は、「高温・高酸化維持時間」に対する「到達 fO_2 」で整理できる。「到達 fO_2 」は (A) 噴火開始前のマグマ (B) Po と Mt の平衡 (C) Mt と Hm の平衡 (D) 大気 fO_2 の目盛を与えられる。これらの fO_2 は、桜島大正噴火の温度範囲 950～1050 °C において (A) $10^{-7.5} \sim 10^{-9.0}$ bar (B) $10^{-6.9} \sim 10^{-8.3}$ bar (C) $10^{-4.7} \sim 10^{-6.2}$ bar (Matsumoto and Nakamura, 2012; Huebner and Sato, 1970; Eugster and Wones, 1962) (D) $10^{-0.7}$ bar (地表の酸素分圧) と求められる。一方、「高温・高酸化維持時間」には、(i) Po から Mt への酸化反応時間 (ii) Mt から Hm への酸化反応時間 (iii) Mt 中の Ti の拡散時間 をもとに見積った目盛を与えられる。すると、プリニー式噴火軽石の到達 fO_2 は、酸化組織が無い約半数の粒子では (B) 以下、残り約半数は Hm が存在したため (C) を超え、まれに存在する Hm の無い粒子は (B) と (C) の間となる。酸化反応途中の粒子は多いものの、Hm 化が完了した粒子は存在せず Mt に Ti の拡散も見られなかったことから、軽石の急冷までの時間は 3.5 時間未満と見積られる (iii)。軽石は、マグマ破碎後に火道および噴煙中で様々な程度に大気と接触しつつ冷却すると考えられるので、その程度に応じて個々の粒子の反応度がばらつくと解釈できる。火砕成溶岩中の粒子はほとんどが Hm 化を完了していたため、到達 fO_2 は (C) 以上で、急冷または系の閉鎖により反応が停止するまでに 6.3～22 時間経過したと解釈できる (ii)。火砕成溶岩は、軽石同様に一旦は破碎を経験して効率的に大気 fO_2 環境にさらされた上に、その後噴出物が再溶結したために軽石よりも高温・高酸化状態が長く持続し、酸化反応が十分に進行したと解釈できる。溢流溶岩では、約半数の粒子が (B) 以下で残りは (B) ～ (D) で分散していた。酸化時間は (iii) から 3.6～33 時間と推定される。溢流溶岩の fO_2 のばらつきは、開放系脱ガス時の局所的な破碎と溶結や、大気と接触したマグマ表面の内部への巻き込みなどを反映している可能性がある。

以上の結果は、Po の酸化反応が、想定される一連の噴火様式とよく対応づけられ、また斑晶の破碎度や溶結組織などから独立に判定された火砕成溶岩と溢流溶岩の分類とも調和的であることを示す。よって、Po の酸化反応の程度は、噴火時の噴煙や溶岩への大気を取り込みの指標になる可能性がある。

キーワード: 酸化, 大気を取り込み, 磁硫鉄鉱, fO_2 , 桜島

Keywords: oxidation, air entrainment, pyrrhotite, fO_2 , Sakurajima

御嶽山 2014 年噴火から示唆される水蒸気噴火の発生機構のモデル Model of phreatic eruptions inferred from the 2014 eruption of Ontake Volcano

井田 喜明^{1*}
IDA, Yoshiaki^{1*}

¹ アドバンスソフト株式会社
¹ Advance Soft Co.

2014 年 9 月 27 日に御嶽山の山頂で水蒸気噴火（水蒸気爆発）が発生し、噴煙に巻き込まれたり噴石の直撃を受けたりして登山者など 50 名以上が亡くなった。水蒸気噴火はこの火山でもよく起こる現象であるが、相対的に噴火の規模が小さいこともあって、マグマを噴出する噴火に比べて発生機構の理解が遅れている。今回の御嶽山噴火ではビデオ映像、地殻変動、地震活動など、噴火の発生過程を究明する上で貴重なデータが得られた。本論文はこれらのデータを考慮して水蒸気噴火の発生機構を探り、噴火過程をシミュレーションするためのモデルを提案する。

御嶽山山頂の南東側に設定された国土交通省滝超観測点のビデオカメラには、噴出点の真上には雲がかかっているものの、噴火が開始した 9 月 27 日 11 時 55 分前後の噴火映像が見事に記録されている。噴火は噴気がかすかにたなびく状態で突然始まり、黒みがかった水蒸気を激しく噴出した。噴出気体はまず火砕流として火口から広がって 3km ほど流下し、数分後に上昇に転じて噴煙となった。レーダー観測によると、噴煙は火口から 8 km もの高さに達した。同日午後には上空からヘリコプターで撮られた映像によると、14 時頃には噴出が弱まり、水蒸気が数か所の噴出孔から分離して上昇するのが見分けられた。

ビデオ映像に捉えられた噴火開始直後の噴出気体は、色が濃くて火砕流として流れ下ったことから見て、多量の固体粒子を含んで密度が空気より高かった。噴火が多数の噴石を飛ばし、地面が火山灰に厚く覆われた事実もそれを裏付ける。噴出気体は、固体粒子を堆積して軽くなってから、上昇に転じて噴煙となったと解釈できる。固体粒子は噴出時に噴出孔の浸食でつくられたものだろうから、噴出孔が浸食されて拡大したことが激しい噴出をもたらしたと推測できる。

噴火の発生過程を探るためのもうひとつの重要な観測データに、気象庁田の原観測点で得られた傾斜変化がある。このデータによると、噴火開始の 7 分ほど前から噴火発生地点の地下で膨張が進行し、噴火による気体の噴出とともに膨張が徐々に解消された。

噴火発生源の膨張は地下水が蒸発して水蒸気が増えたことが原因だろうが、単純な蒸発はすぐに圧力増加に進行を抑制されるから膨張には結びつかない。噴火発生源の膨張は、重力下で何らかの物質が上昇するときによく起こる。ここでは、地下水の底で生まれた水蒸気が表面まで上昇する間に進行する膨張を考える。膨張を示す傾斜変動の開始時に顕著な地震活動は見られないから、深部から供給された熱によって地下水の底で不安定が起こり、急に沸騰が始まって気泡を生み出したと想定する。

以上の考えを定量化して、地下水系で水蒸気噴火が発生する過程をモデル化する。地下水系は下部の地下水と上部の水蒸気からなり、接触面では蒸発曲線に沿う熱力学的な平衡が成り立つものとする。地下水の底で生ずる水蒸気の流量は、外部条件として時間の関数として設定する。日常的な噴気や噴火時の激しい噴出は、地下水系を覆う岩板を水蒸気が浸透流として通り抜ける過程で表現する。浸食による噴出孔の拡大は浸透率の増加で表現し、浸透率が変化する速度は噴出流量と浸透率の適当な関数として設定する。

このモデルでは、圧力や噴出流量などの変数の時間変化は、保存則や熱力学的な関係から導かれる連立常微分方程式から計算される。計算に関与する定数、関数、初期値を適当に調整すると、噴火前の膨張から急激な噴出に至る水蒸気噴火の発生過程を定性的に説明する解が求まり、定数の値や浸透率の関数形が実際の噴火の進行に合うように制約される。

キーワード: 水蒸気噴火, 水蒸気爆発, 御嶽山, 火砕流, 地殻変動, 数値シミュレーション

Keywords: phreatic eruption, phreatic explosion, Ontake Volcano, pyroclastic flow, crustal deformation, computer simulation

火砕流ダイナミクスに関する数値的研究：浅水波方程式に基づく2層密度流モデルの開発

A numerical study of pyroclastic flow dynamics: Development of a two-layer model based on Shallow-Water equations

志水 宏行^{1*}; 小屋口 剛博¹; 鈴木 雄治郎¹
SHIMIZU, Hiroyuki^{1*}; KOYAGUCHI, Takehiro¹; SUZUKI, Yujiro¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

火山噴火でしばしば発生する火砕流は、火砕物粒子と火山ガスから成る混相流が周囲大気との密度差を駆動力に流動する密度流であり、幅広い密度比 ρ/ρ_a ($\sim 10^0$ - 10^3) をもつという特徴がある（ここで ρ は火砕流の密度、 ρ_a は周囲大気の密度）。また、その伝播速度などのダイナミクスは、火砕流内における火砕物粒子の沈降、周囲大気の取り込み（エントレインメント）などの様々な物理過程の影響を受ける。本研究の目的は、火砕流ダイナミクスにおけるこれらの効果を理解することである。そのために、浅水波方程式を基にした火砕流モデルを開発し、そのモデルを解析解や自己相似解が知られているダム・ブレイク問題に適用することによって、上述した効果を評価した。

幅広い ρ/ρ_a をもつ火砕流を浅水波方程式で正しく解くためには、先端における駆動力と周囲抵抗の力学的バランスを表す先端条件を正しく解く必要がある。先行研究では、先端条件の取り扱いに関する数値手法として、先端条件を境界条件として解く Boundary-Condition (BC) タイプモデルと、先端よりも先の領域に静止した微小な仮想流体層を置いて先端の計算を行う Artificial-Bed (AB) タイプモデルが提案されている。本研究では、ダム・ブレイク問題の解析解を用いた検証によって、 $\rho/\rho_a \geq 100$ では AB タイプモデルを用いることができ、 $\rho/\rho_a \leq 100$ では BC タイプモデルを用いるべきであることを明らかにした。さらに、これまでの BC タイプモデルを改善し、先端において保存則を数理的に正しく解く信頼性の高いアルゴリズムを開発した。

確立した数値手法を用い、ダム・ブレイク問題における流れの時間発展に対する ρ/ρ_a の影響、特に粒子沈降とエントレインメントの効果を含み系において ρ/ρ_a の影響がどのように変化するのかを調べた。粒子沈降には、先端の伝播速度を減衰させ、流れを不連続によって頭部と尾部に分離させる効果があり、その不連続の形成は ρ/ρ_a が大きくなるに従って早まる。エントレインメントには、先端の伝播速度を減衰させ、頭部と尾部の分離を抑制する効果があり、また、エントレインメントの激しさは ρ/ρ_a が大きくなるに従って激しくなる。粒子沈降とエントレインメントの両方の影響がある場合、それぞれのもたらす効果の競合によって、頭部・尾部境界の不連続の形成など、流れの様相にバリエーションが生じると考えられる。

火砕流は、一般には上部の低濃度部 ($10^0 \leq \rho/\rho_a \leq 10^1$) と底部の高濃度部 ($\rho/\rho_a \sim 10^3$) から成り、それによって大きな密度勾配をもつ。そのような密度勾配を持つ火砕流のダイナミクスを再現するためには、低濃度部を BC タイプモデル、高濃度部を AB タイプモデルで解く2層流モデルを適用する必要がある。本研究では、より現実的な火砕流ダイナミクスの再現を目指し、低濃度部には粒子沈降とエントレインメントの効果を、高濃度部には粒子沈降や底面抵抗の効果を導入した2層流モデルの定式化と実装を行い、低濃度部・高濃度部・堆積物の時間発展について予察的結果を得た。

キーワード: 火砕流, 密度流, 重力流, 浅水波方程式, 2層流モデル

Keywords: pyroclastic flows, density currents, gravity currents, Shallow-Water equations, two-layer model

降下火砕堆積物の分布から供給源を推定する逆解析手法の確立：鉛直拡散と噴煙形状の影響 Effects of vertical diffusivity and plume shape on the inversion analysis of tephra fallout deposits

清杉 孝司^{1*}; 小屋口 剛博¹; 鈴木 雄治郎¹
KIYOSUGI, Koji^{1*}; KOYAGUCHI, Takehiro¹; SUZUKI, Yujiro¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

降下火砕堆積物からその供給源の情報を得ることは、過去の爆発的噴火の噴煙ダイナミックスの再現や、それに基づく噴火時の降灰予測などのため、火山学上重要な意義がある。本研究は、火山灰の移流拡散モデルに基づいて、降下火砕堆積物から噴煙における火砕物供給源の性質(高さ、供給量、火砕物粒径)を正しく求める逆解析手法を確立することを目的とする。

移流拡散モデルを用いて降下火砕堆積物から供給源のパラメータを推定する逆解析については、これまでに Klawonn et al., (2012) や, Mannen (2014) などの研究例が報告されている。これらの逆解析では、鉛直方向の粒子の拡散を無視したり、風による噴煙の湾曲を無視するという仮定がなされている。本研究では、火口上の一点から放出された単一粒径からなる複数の粒子が一樣風速の大気中で移流・拡散する様子と、その地表における堆積量分布を見積もることによって、これらの仮定の妥当性について検討した。

一樣風速の大気中で火口上の一点から放出された単一粒径の粒子は、拡散によって時間とともに拡大する「粒子群」を形成する。粒子群の中心は風速の大きさと水平方向へ移動し、粒子の終端速度の大きさと鉛直方向へ移動する。鉛直方向の粒子の拡散を無視した場合、粒子群は水平円盤状に拡大し、地表において堆積量が二次元正規分布となる。一方、鉛直方向に粒子が拡散する場合、粒子群は楕球状の形態を持つ。鉛直方向へ厚みを持った粒子群では、底部の粒子と頂部の粒子の堆積に時間差が生じる。また、粒子群の底部の粒子が着地した後も、頂部の粒子が着地するまで粒子群は風によって水平方向に移動し続ける。その結果、堆積量分布は、二次元正規分布から、(1) 分布のピークの先鋭化、(2) ピーク位置の非対称化、(3) 風と平行方向への分布の伸びの3通りのズレが生じる。これらのズレのうち、(1) と (2) は、粒子群が堆積しつつさらに鉛直に拡散し続けることに起因し、 $(D_z/v_t z)^{1/2} \geq 0.2$ の場合に顕著になる。ここで D_z は鉛直拡散係数、 v_t は終端速度、 z は給源高度である。また、(3) のズレは、厚さを持った粒子群が堆積しつつ風に流されることに起因し、風速を W 、水平拡散係数を D_h とした時、 $D_z^{1/2} D_h^{-1/2} W v_t^{-1} \geq 3$ の場合に顕著になる。

一般に、風の影響下において、噴煙は風下に向かって湾曲する。噴煙の湾曲量が堆積物分布に与える影響について、噴煙の湾曲量と降下中の粒子の移流量を比較することによって評価した。次元解析および風の影響を考慮した噴煙モデル(例えば、BENT モデル; Bursik 2001)によると、風速 W の下で湾曲した、浮力を原動力とする弱い噴煙の高度 z と湾曲量 x の関係は、 $z = CB^{1/3} W^{-1} x^{2/3}$ という近似式で表すことができる(Wright 1971)。ここで C は定数、 B は有効浮力フラックス (Sparks et al., 1997) である。一方、降下中の粒子の移流量 b は給源高度 z とその粒子の終端速度 v_t 、風速 W から $b = zW/v_t$ と計算される。噴煙の湾曲量 x の値が粒子の移流量 b の値に比べて十分小さい場合 ($x/b < n$; n は 10^{-1} のオーダーの定数)、噴煙の湾曲による影響は無視できる。しかし、 x が b と比べて大きい場合 ($x/b > n$)、湾曲の影響は無視できない。この場合、噴煙の湾曲量の近似式と移流量の式の比較から、 $C^{-3} B^{-1} z W v_t^2 \geq n^2$ となることがわかる。

以上の結果は、大きな風速に加え、細かい粒子が低い高度から放出されたときに鉛直拡散の影響(二次元正規分布からのズレ)が大きく、逆に粗い粒子が高い高度から放出された場合に噴煙形状の影響(堆積距離のズレ)が大きくなることを示す。上で導いた鉛直拡散と噴煙形状の影響評価の関係式より、いずれの影響も少ない粒子の終端速度は限られた範囲にあることがわかり、その範囲は $Wz(D_z D_h)^{-1/2} < 75$ の時に $D_z/0.04z \leq v_t \leq n C^{3/2} B^{1/2} z^{-1/2} W^{-1/2}$ であり、 $Wz(D_z D_h)^{-1/2} > 75$ の時には $W D_z^{1/2} / 3 D_h^{1/2} \leq v_t \leq n C^{3/2} B^{1/2} z^{-1/2} W^{-1/2}$ である。こうした粒径と堆積物分布の特性は、火砕堆積物分布から噴煙の高さ等を求める逆解析において注意されなければならない。

キーワード: 噴煙, 降下火砕堆積物, 移流拡散モデル, 逆解析

Keywords: volcanic plume, tephra fallout deposits, advection-diffusion model, inversion analysis

デジタル画像解析を援用した降下火山灰の形状・流速同時測定の実行 A trial of measurement for shape and velocity of ash-fall by using a digital image analysis technique

服部 康男^{1*}; 中尾 圭佑¹; 須藤 仁¹
HATTORI, Yasuo^{1*}; NAKAO, Keisuke¹; SUTO, Hitoshi¹

¹ 電力中央研究所

¹ Central Research Institute of Electric Power Industry

Accurate descriptions of terminal velocity of ash-fall are practical interest in volcanic ash risk assessment on critical infrastructure (e.g. Wardman et al. 2012). Numerical simulations with an ash transport- and deposition-model, which has a capability to estimate spatial- and temporal-distributions of ash concentration and deposition, have become a powerful tool of the risk assessment (e.g. Folch 2012). Such simulations give the solution of governing equations on ash transport processes with numerical procedures. The governing equations include some empirical formulas with assumptions. Also for the estimation of terminal velocity of ash-fall, many empirical formulas have been already reported, but there exists considerable scattering of calculations among them (e.g. Folch 2012).

In the present study, we examined a measurement for shape and velocity of ash-fall by employing a digital image analysis technique. We configured the experimental setup based on a shadowgraph particle measurement system of Dantec Dynamics to deal with non-spherical particles. The particles were illuminated by high-intensity pulsed lasers, Nd: YAG laser, with an optical diffuser. A CCD camera was placed in front of the light source, and the camera was equipped with a long-distance microscope lens to obtain visualized images of small particles. We carried out a trial measurement for sedimentation of corrected ash and discussed the optimization of measurement parameters and relationship between shape and velocity of ash-fall in a laboratory test. More details will be presented in the presentation, and we believe that our study must be helpful to develop the numerical simulations for evaluation of volcanic ash risk.

The authors wish to express our gratitude to Mr. Y. Futawatari of Dantec Dynamics, Ltd., Mr. T. Sato and Mr. K. Ota for helpful comments on the design of the optical setup, and to Mr. K. Toshida, Dr. D. Miura and Dr. S. Takeuchi for fruitful discussions on this study.

キーワード: 沈降速度, 可視化流速計測, 室内実験, 火山灰輸送-堆積モデル

Keywords: Terminal fall velocity, Particle image velocimetry, Laboratory test, Ash transport- and deposition-model

Stokes-DEM法によるマグマだまりの粒子-流体混相シミュレーション Stokes-DEM coupled simulation for a granular media of magma chamber

古市 幹人^{1*}; 西浦 泰介¹

FURUICHI, Mikito^{1*}; NISHIURA, Daisuke¹

¹ 数理科学・先端技術研究分野, 海洋研究開発機構

¹Department of Mathematical Science and Advanced Technology, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

The dynamics of a granular media has been suggested to play an important role in a reheated magma chamber by a hot intrusion (e.g. Burgisser and Bergantz, 2011). Although several mechanisms, such as Rayleigh Taylor instability, unzipping, and rhythmic convection (e.g. Shibano et.al. 2012, 2013) have been proposed for characterizing an evolution of crystalline magma chamber, their contributions in the long geodynamical time scale are not clear yet. Thus we performed dynamical numerical simulations of the granular material in three dimensions to investigate the thermal evolution of the magma chamber.

In order to solve high-viscosity fluid and particle dynamics for modelling a melt-crystal jammed state of the magma, we have developed a coupled Stokes-DEM simulation code with two key techniques: formulation of particle motion without inertia and semi-implicit treatment of particle motion in the fluid equation (Furuichi and Nishiura, 2014). Our simulation can successfully handle sinking particles in a high-viscosity fluid.

In our simulation, the top fluid-particle jammed layer is heated by the hot basal fluid at the bottom. This initial setting represents the first-stage toy model for an erosion process at a melting roof of the magma chamber. We have investigated the dynamical patterns of the settling particles which strongly depend on the rheology of the granular layer. In addition, we have also examined the dynamical role of the density of the basal hot melt. Our numerical result indicates the possibility of the spontaneous formulation of crystal rich layer on the basal dense melt layer.

Keywords: Magma chamber, Viscous granular material, Magmatic dynamics, Reactivation, Discrete element method, Stokes flow

1次元火道流・3次元火山噴煙統合モデルを用いた爆発的噴火の推移予測 Forecasting the transition of explosive volcanic eruptions using a combined model for conduit flow and eruption column

小屋口 剛博^{1*}; 鈴木 雄治郎¹
KOYAGUCHI, Takehiro^{1*}; SUZUKI, Yujiro¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

爆発的噴火において、地球物理学的観測や地質学的・岩石学的データに基づいて噴火推移を予測することは可能か？本研究では、この問いに答えるため、1次元定常火道流モデルと3次元非定常火山噴煙モデルを連結した「統合モデル」を用いてシミュレーション解析を進めている。本発表では、統合モデルを用いた爆発的噴火の推移予測の理論的枠組み、及び、そこから見えてくる噴火推移予測に向けた課題について議論する。

爆発的噴火においては、一般に、火道上端付近でマグマの上昇速度が音速に達している。この場合、マグマ溜りから噴煙までのマグマの運動は、大局的に（1）マグマ溜りから音速に達するレベル（ここでは、そのレベルを「火口底」と定義する）までの上昇過程、（2）火口における膨張・圧縮過程、（3）大気中での噴煙運動、という3つの領域に分割できる。1次元定常火道流モデルによると、（1）の領域の流れ（例えば、流量）は、マグマ溜りの圧力、マグマ溜りから火口底までの長さ、火道径、マグマの含水量、粘性等に依存する（Koyaguchi, 2005）。（2）の火口における膨張・圧縮過程については、火口形状のパラメータ（火口底の深さおよび火口上端下端の断面積比）を与えることによって、火口上端における噴出物の圧力と速度を流量の関数として求めることができる（Koyaguchi et al. 2010）。1次元定常噴煙柱モデル（例えば Woods, 1988）によると、（3）の噴煙運動において、圧力が大気圧と平衡に達した後の噴煙ダイナミクス（噴煙柱崩壊や噴煙規模）は、主に、噴出率、マグマの温度（熱容量）・含水量、大気圧と平衡に達した時点での上昇速度、大気との混合効率で決まる。ただし、大気圧に達するまでの膨張・圧縮過程は、3次元火山噴煙モデル（例えば Suzuki et al. 2005）で直接計算する必要がある。以上の議論から、爆発的噴火の推移は、マグマの性質やマグマ溜りの圧力に加えて、火道や火口の形状の影響を含めた膨張・圧縮過程に支配されることが示される。

爆発的噴火の推移に対する火道・火口の形状の影響を評価するために、本研究では、火口形状と噴出圧力・噴出速度を関係付ける近似解析解を導出するとともに、大気圧と異なる圧力で噴出した噴煙の膨張・圧縮過程が噴煙の内部構造やダイナミクスに与える影響について3次元噴煙モデルを用いて系統的に調べた。火口上端から火砕物と火山ガスの混合物が大気圧と異なる圧力で噴出した場合、噴煙軸部の流れが垂直衝撃波によって減速し、周縁部に鞘状高速流が発達するという特徴的な構造を形成する。大気圧と平衡に達した時点での噴煙の上向き平均運動量流束は、これらの低速部と高速部のそれぞれの速度及びその断面積比から計算され、その値は1次元定常膨張・圧縮モデル（Woods and Bower, 1995）の予測値と概ね一致する。従って、3次元噴煙モデルによる計算結果は、噴煙柱崩壊や噴煙規模などの噴煙全体の大局的振る舞いについては、1次元定常膨張・圧縮モデルと1次元定常噴煙柱モデルを組み合わせた場合の計算結果（Koyaguchi et al., 2010）と定性的に一致する。一方、低速軸部と高速周縁部よりなる噴煙内部の不均質構造は、部分崩壊による火砕流発生や噴煙柱の振動現象など、1次元定常噴煙柱モデルでは表現されない現象をもたらす。これらの噴煙ダイナミクスの特徴は、火口形状と火口底の流量に関するパラメータ空間上のレジームマップとして整理することができる。

実際の噴火においては、噴火の経過とともにマグマ溜りの圧力と火道・火口の形状が同時に変化する。また、地殻変動・噴煙の高度等の観測量、火砕堆積物の地質学的データ、噴出物の岩石学データに基づいて、マグマ溜りの圧力、マグマの性質、噴出率、火道・火口の形状などに関するパラメータが、誤差を含んだ状態で推定される。誤差を含む観測データに基づいて爆発的噴火の推移予測を行うためには、マグマ溜りの圧力変化と火道・火口の形状変化の典型的シナリオに対する噴煙ダイナミクスの推移について、上記レジームマップ上で整理分類し、観測データから確実に読み取れる情報を予め把握しておく必要がある。

キーワード: 火道流, 火山噴煙, 数値モデル, 噴火推移予測

Keywords: conduit flow, eruption column, numerical model, transition of eruption style

2014年5月10日桜島爆発的噴火のMPレーダー観測 MP radar observation of the explosive eruption of Sakurajima on May 10th, 2014

佐藤 英一^{1*}; 福井 敬一¹; 新堀 敏基¹; 石井 憲介¹; 高木 朗充¹; 山内 洋¹; 真木 雅之²
SATO, Eiichi^{1*}; FUKUI, Keiichi¹; SHIMBORI, Toshiki¹; ISHII, Kensuke¹; TAKAGI, Akimichi¹;
YAMAUCHI, Hiroshi¹; MAKI, Masayuki²

¹ 気象研究所, ² 鹿児島大学

¹Meteorological Research Institute, ²Kagoshima University

火山噴煙が気象レーダーで捉えられることは1960年代後半から知られていたが、その定量的把握技術はまだ確立していない。一方、定量的降水推定(QPE)や粒子判別(HC)などの領域で、MP(二重偏波)気象レーダーによる技術が急速に発達してきている。現在、我々は気象レーダーによる噴煙の定量的観測技術(QAE)の開発を目指しているが、疑似エコーがQAEの障害の一つとなっている。

本研究では、2014年5月10日桜島噴火の事例を対象に、粒子の不均一性などを表す偏波間相関係数(ρ_{hv})による疑似エコー領域の特定を試みた。また、この手法で特定された噴煙領域および疑似エコー領域におけるレーダーパラメータの頻度分布を解析した。その結果、疑似エコー領域は複数の要因に依存していたと考えられる。

キーワード: 火山噴煙, MPレーダー, 二重偏波レーダー, 疑似エコー

Keywords: volcanic plume, MP radar, polarimetric radar, false echo

Xバンド偏波レーダおよびKaバンドドップラーレーダによる桜島火山の噴煙柱の観測 Observations of Sakurajima Volcanic Ash Column with X-band Polarimetric Radar and Ka-band Doppler Radar

真木 雅之^{1*}; 前坂 剛²; 棚田 俊收²
MAKI, Masayuki^{1*}; MAESAKA, Takeshi²; TANADA, Toshikazu²

¹ 鹿児島大学地域防災教育研究センター, ² 防災科学技術研究所

¹Research and Education Center for Natural Hazards, Kagoshima University, ²National Research Institute for Science and Disaster Prevention

桜島火山の二つの爆発的噴火事例について、Xバンド偏波レーダとKaバンドドップラーレーダのデータを解析して噴煙柱の内部構造を調べた。第一の噴火事例は2013年8月18日の噴火で、噴煙柱高度が火口から5.5kmまで達し、桜島から約10kmに位置する鹿児島市内に降灰をもたらした。火口から約10kmに配置された現業Xバンド偏波レーダの観測データ(5分間隔, 1.7°~20°の12仰角)を線形補間して、時間30秒間隔、仰角0.5°間隔の3次元ボリュームデータを作成した。データの種別は反射強度、ドップラー速度、反射因子差、水平と垂直偏波の相関係数である。3次元データの解析から、噴火直後の噴煙柱内は様な構造ではなく複数の反射強度のコアからなっていることがわかった。ドップラー速度から火口直上で約60m/sの噴出速度が検出された。噴煙柱が風下に流れていく過程ではふるい分け効果による粒径分布の均質化と降灰粒子の落下姿勢の一樣化が示唆された。二番目の事例は2014年5月10日の噴火で噴煙高度は火口から4500mであった。この事例では、Xバンド偏波レーダデータに加えて、火口から3.6kmに設置された研究用Kaバンドドップラーレーダの高感度・高時空間分解能のデータを解析した。Kaバンドレーダによる噴煙柱の鉛直断面解析から、噴火から最大高度に達するまでの噴煙柱の内部構造の変化を明らかにした。

キーワード: 気象レーダ, Kaバンドレーダ, 火山灰雲, 反射因子, ドップラー速度, サイズソーティング

Keywords: Weather radar, Ka-band radar, volcanic ash column, reflectivity, Doppler velocity, size sorting

結晶度の変化を伴うマグマ混合過程の赤外線集光変形炉による模擬実験 Experimental simulation of mixing processes of crystal-rich and -free magmas

駒宮 智全^{1*}; 奥村 聡¹; 中村 美千彦¹

KOMAMIYA, Chizen^{1*}; OKUMURA, Satoshi¹; NAKAMURA, Michihiko¹

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻

¹ Department of Earth Science, Graduate School of Science, Tohoku University

火山岩・深成岩中には、温度・組成の異なる複数のマグマが地殻内で混合したことを示す様々な組織が観察される。このような組織の再現や混合のメカニズム解明のために、様々な実験的研究が行われてきた。特に実際の岩石を用いた実験では、玄武岩とデイサイトを高温で変形させた実験 (Kouchi and Sunagawa, 1982) や、粘性の異なるメルト同士を高温で変形させた実験 (De Campos et al., 2008, 2011)、珪長質メルトと玄武岩を高温・高圧下で変形させた実験などがある (Laumonier et al., 2014)。異なる組成・温度のマグマ同士が接触・混合する際には高温マグマでは結晶化し、低温・高結晶度マグマでは部分溶融が起こると考えられる。すなわち、結晶度に関して端成分マグマはいずれも非平衡な状態にある。しかし、過去にこれらを明示的に意識した実験は行われていない。またマグマの機械的混合には流動が伴い、流動場においては結晶の成長が促進される (Kouchi et al., 1986; Vona and Romano, 2013) が、このような流動に伴う結晶化がマグマの混合にどのような役割を果たすかは明らかにされていない。

そこで、本研究では高温のメルトと低温・高結晶度のマグマが接触・混合する際に起こる結晶化・溶融の効果や、流動に伴う結晶化が混合にどのような影響を与えるかを、赤外線集光変形炉を用いた実験により調べた。本実験では、以下に示す二種類の岩石試料とガラス試料 (いずれも直径 5mm の円柱状) を接触させた後、集光加熱し上下から試料をねじり回転変形させた。実験の出発試料には、高温側のメルトとして、無水 1 気圧下でも比較的低い粘性が保たれるアルカリ岩質のガラス試料を用いた。このガラスは、利尻火山の粗面安山岩 (種富溶岩) の粉末試料をシリコン炉内で 1400° C で 2 時間加熱し合成した。また、高結晶度マグマの出発物質としては、同じ種富溶岩および雲仙火山のデイサイト (平成溶岩) のコア試料を用いた。雲仙火山デイサイトが、集光炉での加熱により最大限、部分溶融した際のメルトの粘性は、高温側のメルト粘性の約 200 倍である。実験はホットスポット温度 HT が約 1100° C、歪み速度が $4.2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ の条件下で行った。実験時間は 6, 30, 60 分とした。HT = 1100° C においては、粗面安山岩はリキダス相として斜長石を含む状態であり、1400° C で全溶融させ急冷したガラスは、1100° C においては、過冷却メルト状態となる。そのため、マグマ混合時の高温側マグマの冷却による結晶化を模擬できる。

まず試料の回転を行わない場合の実験によって、高結晶度マグマとメルトの境界から核形成し、過冷却粗面岩質メルト側に斜長石が晶出することが確認された。また、岩石円柱を出発物質とした高結晶度マグマ側では、時間とともに部分溶融の程度が増していた。回転を行った実験では、高結晶度マグマとして粗面安山岩を用いた実験において、30 分以降、部分溶融したマグマがメルト中へブロック状に取り込まれた組織が観察された。また、取り込まれたブロック周辺で、(おそらく不均質核形成の促進による) 過冷却メルトの結晶化が著しく、60 分の実験ではメルトがほぼ完全に結晶化した。すなわち、高結晶度マグマの部分溶融度が増すにつれて機械的混合が開始し、比較的短時間で混合が進行、そしてそれに伴って結晶化が促進されることが観察された。混合は著しくメルトの結晶化を促進させ高粘性化させるため、流動によるメルト同士の均質化を抑制している可能性もある。一方、高結晶度マグマとしてデイサイトを用いた実験では 60 分の実験で混合と著しい結晶化が確認されたが、30 分まで混合・結晶化が全く観察されなかった。これは高結晶度マグマの部分溶融度に加えて、メルト粘性の比が混合速度を支配している可能性を反映している。以上の結果から、結晶度に関して非平衡状態にあるマグマ混合では、単に組成が異なるだけの液体同士の混合とは異なり、①高結晶度マグマの溶融度の上昇による混合の開始 ②それに促進された高温メルトの結晶化と粘性上昇 ③それによる混合の抑制 のような、結晶度の変化と混合過程の相互作用が、現象を支配している可能性があることが見出された。今後、より詳細な実験と溶融度・結晶度の定量化を行い、混合の速度とメカニズムを明らかにする。

キーワード: マグマ混合, 流動場, 結晶化, 粘性率

Keywords: Magma mixing, Magma mingling, Shear flow, Crystallization, Viscosity

鶴見岳山頂熔岩のマグマだまり条件と噴火過程；角閃石斑晶からの制約 Pre-eruptive conditions and eruptive process of the Tsurumi-dake summit lava; constraints from hornblende phenocrysts

長崎 志保²; 石橋 秀巳^{1*}; 竹村 恵二³

NAGASAKI, Shiho²; ISHIBASHI, Hidemi^{1*}; TAKEMURA, Keiji³

¹ 静岡大学大学院理学研究科, ² 静岡大学理学部地球科学科, ³ 京都大学大学院理学研究科地球熱学研究施設

¹ Graduate School of Science, Shizuoka University, ² Faculty of Science, Shizuoka University, ³ Graduate School of Science, Kyoto University

九州北東部の火山フロント上に位置する鶴見火山は、鶴見岳をはじめとする火山群である。鶴見火山地下には、地震空白域が存在していることが Ohkura et al. (2002) により報告されており、Furukawa (2009) はこの震源空白域の空間分布から、地下 9-11km 付近に直径 1-2km 程度のマグマだまりがあると推定している。しかしながら、物質科学的観点からは、鶴見岳地下マグマだまりの物理化学状態は制約されていない。本研究で注目した鶴見岳山頂熔岩は、およそ 10,500 年から 7,300 年前の間に噴出した、鶴見火山では最も新しい溶岩である（藤沢ほか, 2002）。この溶岩は安山岩質であり、粗粒な角閃石斑晶を多く含む。近年、珪長質マグマ中で晶出した角閃石の化学組成のみから、その形成温度圧力条件を見積もる方法が提案されている（Ridolfi et al., 2010）。そこで本研究では、鶴見岳山頂熔岩に含まれる角閃石斑晶について組織解析と化学分析を行い、その形成したマグマだまりの物理化学的条件を制約するとともに、この溶岩の噴火プロセスについて検討した。

鶴見岳山頂熔岩は、斜長石、角閃石、斜方輝石、単斜輝石、石英、マグネタイツ、黒雲母の斑晶をおよそ 30vol.% 含み、そのうち 7 vol.% を角閃石が占める。今回、角閃石斑晶 566 個について組織観察を行ったが、このうち 503 個は細粒鉱物集合体へと完全に分解していた。完全には角閃石斑晶 62 個については、BSE 像の画像解析によってその分解度 [= 分解部分の面積 / 角閃石斑晶の面積] を定量したところ、18~98% の範囲をばらついた。

分解していない角閃石部分の化学組成を、東京大学地震研究所の EPMA (JEOL-8800R) によって定量分析した。粒子ごとに数点の分析を行ったが、ほとんどの角閃石斑晶はそれぞれ均質な化学組成を示した。これらの角閃石は、AIT [= 酸素 23 個に対する Al の数] はおよそ 1.2 と 2.1 の値を示す 2 つのグループに分かれた。AIT と Si 含有量の間には負の相関がみられ、また Si に富む角閃石ほど分解度が高い傾向が見られた。いずれの角閃石も、Al# [= [6]Al / AIT] は 0.21 以下の値を示し、Ridolfi et al. (2010) の角閃石温度圧力計の適用条件を満たした。そこで Ridolfi et al. (2010) の温度圧力計を適用したところ、角閃石斑晶は約 100~200MPa の圧力範囲を示す低圧グループと、約 350~450MPa の圧力範囲を示す高圧グループに分かれた。見積もられた温度範囲は、低圧グループで約 820~920 °C、高圧グループで約 970~1000 °C であった。これらの温度圧力条件は、安山岩マグマ内で角閃石が安定な条件と矛盾しない。また、低温の角閃石ほど分解度が高い傾向が見られた。

鶴見岳山頂熔岩中の角閃石斑晶に 2 つの異なる圧力領域を示すものが含まれていたことは、鶴見火山地下に少なくとも 2 つのマグマだまりが存在することを示唆する。浅部および深部マグマだまりの深さはそれぞれ約 2.5~5km と約 8.5~11km である。このうち、深部マグマだまりの深さは Furukawa (2009) によって推定された条件と概ね一致する。およそ 1 万年程度前の噴出物からの制約と現在での観測結果の一致は、このマグマだまりが 1 年以上維持されていることを示しているのかもしれない。一方、先行研究では想定されていない浅部マグマだまりについてだが、その深さ範囲は Ohkura et al. (2002) によって報告された地震空白域のそれと調和的である。このマグマだまりが現在も維持されているかどうかについては不明であるが、鶴見岳直下の地震空白域の形成に直接的に貢献したのかもしれない。

2 つの異なる圧力条件を示す角閃石斑晶の共存に加え、低温の角閃石ほど分解度が大きい事実は、この溶岩がマグマ混合によって形成された（太田ほか 1990, 1991）ことを考えると理解しやすい。深部マグマだまり由来の高温マグマと浅部マグマだまり由来の低温マグマが混合すると、低圧低温の角閃石ほど熱され分解しやすい一方で、高圧高温の角閃石は冷却されるので分解しにくい。その後、噴火過程での脱ガスにより、高圧高温の角閃石も一部分解する。このために、角閃石の分解度と温度の間に相関が見えたと考えられる。また、低圧の角閃石に分解度の小さいものが見られないことから、マグマ混合後に角閃石の結晶作用はおこっていないと考えられ、このことはマグマ混合後にあまり時間を隔てずに噴火がおこったことを示唆している。

キーワード: 角閃石, 鶴見岳, 地質温度計圧力計, マグマだまり

Keywords: hornblende, Tsurumi-dake, geothermobarometry, magma chamber

富士山貞観噴火マグマ中の斜長石斑晶の組成累帯構造解析：マグマだまりプロセスへの制約

Zoning pattern analyses of plagioclase phenocrysts in Fuji-Jogan magma; constraints on pre-eruptive magma process

三輪 遥奈²; 石橋 秀巳^{1*}

MIWA, Haruna²; ISHIBASHI, Hidemi^{1*}

¹ 静岡大学大学院理学研究科, ² 静岡大学理学部地球科学科

¹Graduate School of Science, Shizuoka university, ²Faculty of Science, Shizuoka University

富士山貞観噴火は、西暦 864-866 年にかけて富士山北西麓でおこった歴史時代最大の噴火である。この噴火では、比較的均一で分化した玄武岩質マグマが 1.3km³ 以上も噴火した。更に、その大部分は噴火初期の 2 か月間に噴出したことから、そのマグマだまりは比較的大規模であったと予想できる。それでは、このマグマだまり中で、マグマはどのようなプロセスを経て噴火に至ったのだろうか？

本研究では、貞観噴火の噴出物に含まれる斜長石斑晶に注目する。斜長石の化学組成は、共存するメルトの化学組成、含水量、温度、圧力に敏感に反応して変化する。これに加え、結晶中の元素拡散速度が遅い。これらの性質から、斜長石斑晶の化学組成ゾーニングは、その結晶が経験してきたマグマ状態の変化をよく記録していると考えられており、これを詳細に読み解くことで、マグマが経てきたプロセスを知ることが可能となる。そこで本研究では、貞観噴火噴出物中に含まれる斜長石斑晶について、BSE 画像観察による化学組成ゾーニングパターンの観察を行い、その分類を行った。更に、代表的なタイプの斜長石についてその形成過程を考察し、これに基づいてマグマが噴火に至るまでに経てきたプロセスの解明を試みた。

本研究では貞観噴火噴出物のうち、長尾山溶岩と長尾山スコリアに含まれる斜長石斑晶を対象とした。静岡大学道林研究室の SEM を用い、長尾山溶岩と長尾山スコリアに含まれる斜長石斑晶それぞれ 187 個、79 個について BSE 画像を撮影し、肉眼観察および画像解析ソフト ImageJ を用いた明度プロファイル分析に基づいて分類した。また、斜長石の BSE 画像の示す明度変化の原因を特定するため、代表的な粒子について元素マッピングも行った。更に、代表的な斜長石斑晶については、東京大学地震研究所の EPMA (JEOL8800R) を用いて化学組成分析も行った。

斜長石の BSE 像と元素マッピングの結果を比較したところ、BSE 像の明度は An 値 $[= \text{Ca}/(\text{Ca}+\text{Na})]$ のみに依存することがわかった。ゾーニングパターン観察の結果、斜長石斑晶を以下の 5 タイプに分類した；(A) An に富むコアを有し、リムはノーマルゾーニングを示すもの、(B) 均質で An に乏しいコアとノーマルゾーニングしたリムをもち、コアとリムの境界で急激なリバースゾーニングを示すもの、(C) 波状累帯構造を示すもの（振動回数によって更に細分できる）、(D) ゾーニングパターンが不規則なもの、(E) 均質なものの。このうち、タイプ D と E は稀であり、B がもっとも多かった。リムがリバースゾーニングしている斜長石はみられなかった。タイプ B の斜長石では、波状のコア-リム境界や、コア-リム境界に沿うメルト包有物の配列が確認できた。タイプ A 斜長石のコア部分は、タイプ B 斜長石のどの部分よりも An に富んでいた。

タイプ A の斜長石は、単純な結晶作用によって形成過程を説明できる。タイプ B のゾーニングパターンは、その最大 An 値がタイプ A 斜長石のコア部分よりも低 An 値であるため、マグマ混合によって形成されたと言える。これは、波状のコア-リム境界や、コア-リム境界に沿うメルト包有物の配列などの組織と調和的である。タイプ B のコアが最外殻リムよりも An 成分に乏しいことから、コア部分が共存したメルトは石基ガラスよりも分化していたと考えられる。タイプ C の斜長石は、マグマ混合と冷却・結晶作用の繰り返しによってその成因を説明できる。このタイプのうち同じ振動回数を示すものの割合が少ないのは、時間とともに噴出・沈降によって取り去られるためだろう。このような結晶が含まれることから、このマグマだまりはマグマの噴出・最充填を繰り返しつつ長期間維持されていると考えられる。ほぼすべての結晶でリム部はノーマルゾーニングを示すことから、この部分は噴火の際に形成されたと考えられる。タイプ B 斜長石でリバースゾーニング後すぐに最外殻リムまで連続的なノーマルゾーニングに転じることから、マグマ混合後も噴火がおきた可能性がある。

キーワード: 富士火山, 斜長石, 組成累帯構造, マグマだまり, 貞観噴火

Keywords: Fuji volcano, plagioclase, Compositional zoning, magma chamber, Jogan eruption

浅間火山天仁噴火の降下火砕堆積物の石基組織 Groundmass texture of B-fall deposit from the Ten-nin eruption, Asama volcano, Japan

本郷 結子¹; 中村 美千彦¹; 奥村 聡^{1*}; 無盡 真弓¹

HONGO, Yuko¹; NAKAMURA, Michihiko¹; OKUMURA, Satoshi^{1*}; MUJIN, Mayumi¹

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻

¹ Department of Earth Science, Graduate School of Science, Tohoku University

噴火活動は、爆発的噴火から非爆発的噴火、あるいは爆発的噴火でも異なる様式の噴火に遷移することがある。そのような噴火様式の変化を支配する重要なパラメータの一つがマグマの上昇速度である。上昇速度が高ければマグマは脱ガスせずに爆発性を維持し、逆に速度が低いと脱ガスが進行し非爆発的噴火へと推移すると考えられている（例えば Jaupart and Allegre, 1991）。そこで、本研究では火山噴出物の解析からマグマ上昇速度と噴火様式の関係を調べるために、減圧に伴って形成されるマイクロライトのサイズ分布（CSD）に注目した。対象としたのは、浅間火山天仁噴火（サブプリニー式噴火）による降下軽石である。この噴火で噴出したB降下火砕堆積物は下位からB-1－B-8の8層に分けられている。B-1, B-5層は火山灰、B-3, B-7層は黒色の石質岩片、B-2, B-4, B-6, B-8層は軽石で構成されている。軽石層は主に灰色及び褐色軽石から成り、B-4, B-6, B-8層には緻密な岩片も含まれている。そして、B-4, B-6, B-8層の褐色軽石について斜長石マイクロライトのCSD解析を行った。対象とした全ての試料で全岩化学組成に明確な差異は見られない（本郷他, 2013年日本火山学会）。CSDは以下の方法で得た。まず、800倍の電子像を用いて斜長石マイクロライトのサイズと数を測定する。次に、CSD Slice5（Morgan and Jerram, 2006）を用いてマイクロライトの形状推定を行った。最後にCSD Corrections（Higgins, 2000）を用いて形状などの補正を行ったCSDを得た。B-4, B-6層の発泡度と結晶度は、B-8層のものよりやや低いことが分かった。CSDの傾きは、B-8層がB-4, B-6層より大きかった。さらに、同じ分析手法を用いてこれまでに報告されているCSDデータをコンパイルし、今回得られたCSDデータと比較した。その結果、CSDの傾きは爆発的噴火で大きく、本研究で得られたデータは爆発的噴火の示す領域とおおよそ一致する事が分かった。平均的な上昇速度が大きいとCSDの傾きは急になることから、この結果は噴火様式と上昇速度には大まかな相関があり、上昇速度が大きいほど爆発的噴火になると考えることができる。一方で、サブプリニー式噴火と溶岩ドーム噴火ではCSDに違いが見られないという例も報告されており（Castro and Gardner, 2008）、今後より多くのケースについてデータの蓄積が必要である。

キーワード: 結晶サイズ分布, マイクロライト, 軽石, サブプリニー式噴火, 浅間火山

Keywords: crystal size distribution, microlite, pumice, sub-Plinian eruption, Asama volcano

気泡流における気泡粗密波形成の支配要因 Development process and controlling factors of bubble waves in bubbly flow

木下 茜^{1*}; 寅丸 敦志²
KINOSHITA, Akane^{1*}; TORAMARU, Atsushi²

¹九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻, ²九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, 33 Kyushu University, ²Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, 33 Kyushu University

The hydrodynamic behavior of a two-phase system is investigated by an analog experiment. Bubbly flows with spatially periodic distribution of bubbles are sometimes observed in various natural situations such as in the conduit and lava flow. For instance, the early stage of the 1986 fire fountain eruptions of the Izu-Oshima volcano had the continuous magma effusion with a rhythm of mean period about 5s. This suggests the inhomogeneous distribution of bubbles in the conduit. The similar structure of bubble distributions is observed in a glass of Guinness beer. The bubbles are distributed nearly uniformly at the moment Guinness beer is poured, and quickly form layers or waves which appear to propagate downward. Unfortunately, Guinness is not appropriate for scientific experiment because of difficulties to control parameters (e.g. volume fraction and radii of bubbles), formation and dissolution of bubbles, and poor reproducibility of initial conditions such as pouring condition. We therefore conducted an analog experiment using the special liquid and the hollow glass particles as analog materials of a beer liquid and bubbles, respectively, presuming that the bubble waves in Guinness form by the relative motion of bubbles to liquid by buoyancy, but not by the formation and dissolution processes. We mixed the liquid and the particles in cylindrical test tube by gently shaking the test tube. The bubble segregation or relative upward migration of bubbles starts from the homogenous mixture as an initial state just after stopping shaking. We found that under some conditions, the bubble waves form during the upward segregation of bubbles. In order to constrain factors for the formation of bubble waves, we conducted the series of experiments with varying the volume fractions, sizes of bubbles and the inclination of a test tube. We found that the bubble waves formed only when we incline the test tube, and when volume fractions of the particles are less than approximately 30 %. If we settled the test tubes vertically, the bubble waves didn't form. On the other hand, when we inclined the test tubes, we observed that the circulatory current of the particles directed upwards near the inner surface at higher wall of the test tube and downwards near the lower wall of it. The wave like structure of the particles with the wave length about 10-20 mm and the horizontal width about ~5 mm developed near the lower wall of the inclined test tube. The wave length and the horizontal width of bubble waves were inversely proportional to the inclined angle of the test tube and the volume fraction of the particles. We propose the formation mechanism of bubble waves on the basis of the Kelvin-Helmholtz instability which develops at the thin boundary layer formed near the lower wall, where the downward bubble-poor and overlaid upward bubble-rich layers contact each other.

Keywords: bubbly flow, inhomogeneous distribution of bubbles, analog experiment

気泡核生成の大規模分子動力学計算と古典的核生成論の改良 Direct molecular dynamics simulations of homogeneous bubble nucleation and improvements of classical theory

田中 今日子^{1*}; 田中 秀和¹; ディアモンド ユルグ²; アンジェリル レイモンド²
TANAKA, Kyoko^{1*}; TANAKA, Hidekazu¹; DIEMAND, Juerg²; ANGELIL, Raymond²

¹ 北海道大学低温科学研究所, ² チューリッヒ大学

¹Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, ²University of Zurich

Bubble nucleation in liquid is a liquid-to-vapor transition phenomenon and plays an important role in vulcanism. Studies of homogeneous liquid-vapour nucleation typically use the classical formula (CNT) for the bubble nucleation rate. However, the applicability of the CNT is not well understood.

Numerical techniques such as molecular dynamics and Monte-Carlo simulations are powerful methods to resolve details of the nucleation process and provide useful test cases for nucleation models. Typically, these simulations show large deviations from the CNT predictions. Most of the simulations for bubble nucleation in the literature use around 10^5 or fewer atoms, making it difficult to measure nucleation rates directly.

Recently, we presented large-scale, micro-canonical molecular dynamics simulations of homogeneous bubble nucleation with 5×10^8 Lennard-Jones atoms, and succeeded to directly measure nucleation rates in the range of $10^{21-25} \text{cm}^{-3} \text{s}^{-1}$ for argon by resolving bubble nucleation events in the steady state nucleation phase [1,2]. The unprecedented size of the simulated volumes allows us to resolve the nucleation and growth of many bubbles per run in simple direct micro-canonical (NVE) simulations while the ambient pressure and temperature remain almost perfectly constant.

We find bubble nucleation rates which are lower than in most of the previous, smaller simulations. It is widely believed that classical nucleation theory (CNT) generally underestimates bubble nucleation rates by very large factors. However, our measured rates are within two orders of magnitude of CNT predictions - only at very low temperatures the CNT underestimates the nucleation rate significantly.

We also derive an improved classical formula for the homogeneous bubble nucleation rate, where we revise the prefactor in the nucleation rate and compare it with the widely used classical nucleation theory (CNT) [3]. Our large-scale molecular dynamics simulations and laboratory experiments for argon bubble nucleation enable us to precisely test our theoretical models. The improved formula including the Tolman correction with a small positive Tolman length leads to good agreement with both MD simulations and laboratory experiments.

[1] J. Diemand, R. Angelil, K. K. Tanaka, and H. Tanaka, Pys. Rev E 90, 052407 (2014)

[2] R. Angelil, J. Diemand, K. K. Tanaka, and H. Tanaka, Pys. Rev E 90, 063301 (2014)

[3] K. K. Tanaka, H. Tanaka, R. Angelil, and J. Diemand, submitted

キーワード: 気泡の核生成, 液相-気相, 相変化, 分子動力学計算

Keywords: bubble nucleation, liquid to vapor transition, phase transition, molecular dynamics simulation

急減圧を受ける気泡を含む粘弾性体の挙動の数値解析 Numerical analysis of the behavior of a viscoelastic body containing gas bubbles by rapid decompression

黒川 紀章^{1*}; 亀田 正治¹; 市原 美恵²

KUROKAWA, Noriaki^{1*}; KAMEDA, Masaharu¹; ICHIHARA, Mie²

¹ 農工大・工・機シス, ² 東大・地震研

¹ Mech. Sys. Eng., TUAT, ² ERI, Univ. of Tokyo

マグマの固体的破碎は火山の爆発的噴火のトリガとされる。Ichihara and Rubin (2010) は、粘弾性体であるマグマの固体的破碎をつかさどるパラメータとして脆性度を定義し、脆性破壊はこの値が1に近いときに生じると結論した。しかし Kameda ら (2013) は、マグマの破碎現象を模擬した室内急減圧実験から、固体的破碎は脆性度が比較的低い場合（流体的にふるまう状況）でも生じることが示した。彼らは、脆性度が低い状態でも破碎が生じる理由として、試料内の不均一な気泡分布をきっかけにき裂が進展することで部分的な破碎が生じ、その破碎をきっかけに生じる破碎面近傍の急減圧が次々と破碎（sequential fragmentation events）を引き起こすと推測した。

本研究では、Kameda らの推測の妥当性を検証することを目的として、不均一に気泡が分布する Maxwell 粘弾性体について、周囲の減圧に対する粘弾性体内の応力、脆性度分布の時間変化を数値計算によって調査した。

数値計算は、COMSOL multiphysics ver5.0 をプラットフォームとした。空間次元には2次元軸対称、粘弾性モデルには一般化 Maxwell モデルを用いた。計算領域を半球（4分の1円、半径100mm）とし、直径の異なる2つの球形気泡を配置した。大きな気泡（直径20mm）は球の中心（原点）と同じ位置に中心を持つよう配置した。もう一つの小さい気泡（直径5mm）は、対称軸上に中心を持ち、気泡同士が孤立するように距離を設けて配置した。なお粘弾性体の物性値、急減圧の時間履歴は室内急減圧実験に用いる試料、減圧条件に準拠し、空隙内部の圧力は一定値とした。以降、この計算を計算 Case 1 とする。

Case 1 から大きい気泡と相対する小さい気泡の表面に応力集中が生じることが分かった。これに対して、大きい気泡の表面には応力集中は生じなかった。この理由を調べるため、Case 1 のジオメトリを用いて、Case 2：大きい気泡にのみ圧力を作用させ、小さい気泡には圧力を作用させない場合、Case 3：小さい気泡にのみ圧力を作用させ、大きい気泡には圧力を作用させない場合の二つの計算を行った。その結果、Case 2 では Case 1 と同様に小さい気泡の表面で応力集中が生じ、Case 3 では、大きい気泡の表面に応力集中が生じないことが分かった。

よって Case 1 で小さい気泡の表面にのみ応力集中が生じた理由は以下の様と考えられる。(1) 気泡周りに発生する差応力分布には影響領域があり、影響領域はその気泡の半径に依存する。(2) 大きい気泡が作る差応力分布の影響領域内に小さい気泡が存在すると、大きい気泡の作る差応力分布が乱されて小さい気泡の表面上に応力集中が生じる。(3) Case 1, 3 では、小さい気泡が作る差応力分布の影響領域内に大きい気泡は存在しなかったため、大きい気泡周りには応力集中が起きなかった。

次に、気泡の膨張にともなう気泡内圧力の変化を考慮に入れ、粘弾性体内における脆性度の時間変化を調べた。Case 1 の計算領域内にある気泡の体積を合わせた単一気泡の計算（Case 4）を行った。気泡の内部圧力は等温変化を仮定して定めた。その結果、Case 1 と 4 では、気泡表面上の脆性度の時間履歴には大きな違いは見られなかった。一方、気泡周りの差応力の最大値は応力集中のおきる Case 1 のほうが急峻に増していった。この結果、差応力が破碎臨界値に達する瞬間の脆性度（臨界脆性度）は、Case 1 のほうが高くなることが分かった。

以上から、複数の気泡が存在する粘弾性体の急減圧時の挙動に対し、次の結論を得た。(1) 周囲に存在する気泡表面との距離がその気泡の半径程度のとき、気泡表面に応力集中が生じる。(2) 応力集中を起こす気泡配置では、応力集中箇所の臨界脆性度が高くなる。

キーワード: マグマ, 粘弾性, 破碎, 数値計算

Keywords: Magma, Viscoelasticity, Fragmentation, Numerical analysis

X線CT撮影による発泡マグマ模擬材料の破碎観察 X-ray CT observation of fragmentation of vesicular magma analogue

青木 ヤマト^{1*}; 亀田 正治¹; 津郷 光明¹; 山田 晶史¹; 市原 美恵²; 奥村 聡³; 上杉 健太郎⁴
AOKI, Yamato^{1*}; KAMEDA, Masaharu¹; TSUGO, Mitsuki¹; YAMADA, Akihumi¹; ICHIHARA, Mie²;
OKUMURA, Satoshi³; UESUGI, Kentaro⁴

¹ 農工大・工・機シス, ² 東大・地震研, ³ 東北大・理・地学, ⁴ 高輝度光科学研究センター

¹ Mech. Systems Eng., TUAT, ² ERI, Univ. of Tokyo, ³ Earth Sci., Tohoku Univ., ⁴ JASRI

火山の「爆発的噴火」は我々の生活に甚大な被害を及ぼす。マグマの脆性破碎によるマグマ内ガスの急激な放出が爆発的噴火を引き起こすと考えられている。そこで本研究では脆性破碎、特に、試料のバルク的な性質が流体的であるにもかかわらず固体的な挙動を示す「脆性的破碎 (brittle-like fragmentation)」(Kameda et al. JVGR 2013) に着目し、そのメカニズムを解明することを試みる。

最近、我々が行ってきた室内実験 (Shida et al. IAVCEI 2013) では、バルク粘度、ボイド率をそろえた試料でも、サイズを小さくするにつれ、脆性度 (Ichihara and Rubin JGR 2010) が比較的高い状態でないと破碎が起きないことが分かった。この実験で用いている試料は、サイズが小さくなるほど内部の気泡分布がより均一になる。このことより、脆性的破碎を引き起こす亀裂の進展は、試料内部における気泡分布の不均一な分布をきっかけに生じていると推察される。

破碎の様子を観察するにあたり、マグマを模擬する材料として、水あめを用いる。水あめの剛性率はマグマに近く、また加水及び脱水によって粘度を柔軟に調節することが可能であるため、マグマの模擬材料として適している。更に、水あめの中に過酸化水素水及び二酸化マンガンを混入し、酸素気泡を発生させることで発泡マグマを模擬している (発泡マグマ模擬材料: 以下、試料)。また破碎の発生には急減圧装置を用いる。急減圧装置は、試料を入れる压力容器とふたの役目をするプラスチック (ルミラー) 膜から構成される。ルミラー膜にはニクロム線が貼り付けられている。压力容器の中に試料を入れ、目標圧力まで容器内に窒素ガスを充填する。次に、ニクロム線を通電加熱し、その熱を利用しルミラー膜を破ることで急減圧を行う。試料は直径約 20 mm、高さ約 10 mm の半球状とし、粘度を 10 MPa・s~200 MPa・s の範囲で変化させた。減圧前の初期圧力は 2 MPa、減圧特性時間 (容器内圧力が初期圧力の 1/e になる時間) は約 5~7ms である。

試料の内部構造を観察するために、我々は高輝度光科学研究センター (SPring-8) のビームライン (BL20B2) にて、X線マイクロCT撮影 (0°~180°, 0.1° 毎に透過像を取得) を行い、試料の断層写真 (2048pixels × 1400pixels, 15.5 μm/pixel) を取得した。CT撮影を行うタイミングは加圧前 (大気圧下)、加圧後、及び急減圧後 (大気圧下) の3回とし、急減圧時に高速度ラジオグラフィ (100 fps) によって破碎の挙動を動的に捉えた。

以上の実験から、複数の気泡が密集している部分において破碎が生じることが分かった。これに対して、大きな気泡が孤立して存在している箇所では破碎は生じなかった。更に、バルク状態における試料の性質が流体的 (脆性度が1付近ではない) であっても、気泡密集部における連結気泡の半径比によっては破碎が生じ得ることが分かった。

キーワード: マグマ, 破碎, 急減圧, 脆性度, X線CT撮影, 気泡の不均一分布

Keywords: Magma, Fragmentation, Rapid decompression, Brittleness, X-ray CT, Non-uniform distribution of bubbles

巨大噴火前に地殻に蓄積し得るマグマ体積の上限の推定 Estimating of the maximum volume of magma accumulation in the crust before a large volcanic eruption

藤田 詩織^{1*}; 清水 洋²

FUJITA, Shiori^{1*}; SHIMIZU, Hiroshi²

¹九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻, ²九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, Kyushu University, ²Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Sciences, Kyushu University

一回の噴火で数 100km^3 のマグマを噴出するような巨大噴火は、カルデラの形成を伴い、日本全体では1万年に一回程度の頻度で発生してきた。これだけのマグマを噴出するためには、噴火前にそれ以上のきわめて大量のマグマを地殻内に蓄積する必要があるが、マグマ溜まりの深さや形状、マグマ蓄積率などによって、地殻が力学的にどれだけのマグマを蓄積し得るのかについては、これまでほとんど考察がなされていない。

過去の巨大噴火のマグマ噴出量から推定される長期的なマグマ蓄積率は $0.001\text{--}0.01\text{km}^3/\text{yr}$ と推定されるが、Druitt et al. (2012) は Santorini 火山の斜長石中の Mg の組成解析から、噴火前 100 年程度の短期間で約 10km^3 の大量のマグマが蓄積した可能性を示した。これは、 $0.05\text{--}0.1\text{km}^3/\text{yr}$ という極めて大きなマグマ蓄積率を意味するが、このような大きなマグマ蓄積率は、近年いくつかの火山において観測されている。例えば、Chang et al. (2010) は、Yellowstone カルデラにおいて、GPS と InSAR を用いた地殻変動観測から、2005-2008 年に $0.06\text{--}0.07\text{km}^3/\text{yr}$ のマグマ蓄積率を得ている。また、ボリビアの Uturuncu 火山においても、InSAR 観測から $0.03\text{km}^3/\text{yr}$ (1994-2004 年) のマグマ蓄積率が推定されている (Sparks et al., 2008)。これらの研究結果は、少なくとも数年~100 年程度の短期間に急速にマグマが地殻内に上昇・蓄積する場合があることを示している。地殻を粘弾性体と考えた場合の応力緩和時間ははるかに長いことから、このような急激なマグマ蓄積による地殻の応答は弾性体の変形として扱うことができる。

そこで、本研究では、まず地殻の応力緩和時間よりも短時間にマグマが蓄積する場合に地殻内に蓄積し得るマグマ量について推定する。マグマ溜まりの深さ・形状・体積を様々に変えた場合の地殻の変形、ひずみや応力を計算し、地殻の限界ひずみと比較する。マグマ溜まりの形状は球状、ダイク、シルなどを想定し、10 数 km から数 km の深さにマグマ溜まりを仮定して考察する。ひずみの計算には、主に Okada (1992) による弾性体の地殻変動計算モデルを使用する。

マグマ蓄積率が大きく、地殻を完全弾性体と見なせる場合について、深さ 10km に体積変化量 10km^3 の球状のマグマだまりを置くと半径約 30km 内の範囲でひずみの値は地殻の限界ひずみである 10^{-4} を超えることが分かった。この結果は、深さ 10km の球状マグマ溜まりの場合は、 10km^3 蓄積する前にマグマ溜まり周辺の地殻は降伏して塑性変形するか、脆性破壊が発生することを示唆する。

キーワード: 巨大噴火, マグマ蓄積, 地殻, ひずみ, 応力, カルデラ

Keywords: large volcanic eruption, magma accumulation, crust, strain, stress, caldera

火道流モデルの逆問題解析：地殻変動および噴出マグマの観測によって決定されるパラメータの考察

Parameterization of conduit flow model based on the inverse analysis of data from ground deformation and magma extrusion

松尾 直弥^{1*}; 小屋口 剛博¹; 鈴木 雄治郎¹
MATSUO, Naoya^{1*}; KOYAGUCHI, Takehiro¹; SUZUKI, Yujiro¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

火道内を上昇するマグマの流れは強い非線形性を持つため、条件のわずかな違いによって溶岩ドームや巨大噴煙などの多様な噴火タイプをもたらす。そのような火道流のダイナミクスを理解するため、マグマ溜りの体積やマグマの物性などをモデルパラメータとして与え、火道内部の圧力や噴出率の時間発展を計算する火道流モデルが複数提案されている（例えば、Melnik and Sparks, 2005）。非線形現象である火山噴火の推移を予測するためには、観測データの逆解析によってモデルパラメータを正しく推定する必要がある。Anderson and Segall (2013) は、ベイズ理論に基づいて地殻変動や噴出マグマの観測が得られたときのモデルパラメータの事後確率密度関数を定式化し、マルコフ連鎖モンテカルロ法（MCMC）によってパラメータの確率密度分布を推定した。しかし、地殻変動と噴出マグマの二種類の観測から、なぜ多数のパラメータ推定が可能となるのか理解が難しい。また、彼らが用いた火道流モデルは、火道流の非線形性に大きな影響を与えるマグマ上昇に伴う脱ガスや結晶化といった素過程（例えば、Kozono and Koyaguchi, 2012）を考慮していない。本研究では、地殻変動や噴出マグマの観測がパラメータ推定に与える影響を理解し、最終的には非線形性の強い火道流モデルのパラメータ推定を目指す。

本研究では、弾性変形する球状のマグマ溜りの圧力が、地下深部からのマグマの供給量と火道へのマグマの噴出量のバランスによって決定されるマグマ供給系を考える。また、火道流は圧力勾配と粘性力のバランスによって決定される流れ（ポワズイユ流）であると仮定する。このシステムのモデルパラメータはマグマ溜りの体積、マグマ溜り周辺の岩石およびマグマ溜り内のマグマの実効弾性率、火道径、火道長、マグマの密度および粘性率などである。観測量は、球状圧力源を仮定したマグマ溜りの膨張あるいは収縮による体積変化量（ ΔV_G ）と地表におけるマグマ噴出量（ ΔV_E ）の時系列データである。

マグマの密度や粘性率が火道内で一定であると仮定し、マグマ噴出率 Q およびマグマ溜りの圧力 P の初期値として、定常解（ Q_s, P_s ）とは異なる値を与えた場合、 Q および P は時定数 τ で定常解に近づく。時定数 τ はマグマ溜りの体積、火道長、マグマの粘性率に比例し、火道径の 4 乗および実効弾性率に反比例する。 ΔV_G および ΔV_E の時系列データの逆解析によって定常状態への緩和過程の時定数 τ が決定できた場合、 τ からは火道流の流れやすさとシステムの規模に関する情報を、 ΔV_G および ΔV_E からはマグマの圧縮性やマグマ溜りの形状に関する情報を得ることができる。

本発表ではさらに、マグマの密度や粘性率に様々な関数形を与え、脱ガスや結晶化などの素過程がパラメータ推定に与える影響を考察する。また、確率密度分布の解析解と MCMC によって推定した数値解の比較を行うことで、火道流モデルにおけるベイズ推定の原理について考察する。

キーワード: 火山噴火, 火道流, 溶岩ドーム, 地殻変動, 逆問題解析

Keywords: volcanic eruption, conduit flow, lava dome, ground deformation, inverse analysis

噴火アナログ実験における周期的噴出とノコギリ波状圧力変動 Sawtooth wave-like pressure change and cyclic out-gassing observed in laboratory experiments

菅野 洋^{1*}; 市原 美恵¹
KANNO, Yo^{1*}; ICHIHARA, Mie¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ The Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

○はじめに

菅野・市原(2014, 火山学会)では水あめを用いて模擬火山噴火実験を行い、ノコギリ波状の圧力変動(Sawtooth wave-like pressure change, 以下 SWT)が見られるステージを発見した。SWTは噴火にともない山体の膨張・収縮のサイクルとして観測されており(Genco and Ripepe 2010, Lyons et al. 2012, Nishimura et al. 2013)、本実験のSWTのメカニズムを明らかにすることで実際の火山噴火現象の理解に役立てることを目標としている。火道流はガス・液相の相対速度、ガス体積分率によって様々な流動様式に遷移することが知られている(Vergnolle and Jaupart, 1986)。そこで我々は流動様式の変化がノコギリ波状の圧力変動を制御していると考え、管内流体のレオロジーや流速を変化させ実験を行ってきた。しかし、SWTは測定されなかった。今回はチャンバーの有無が圧力変動にどのように影響するかを検討する。

○実験装置

下流からガスを供給して水あめとガスの互層スラグ流れが管内に形成される装置を制作した。今回の実験では粘性率 1 Pa.s 程度の水あめを使用した。チューブ径は直径 5 mm とした。チューブの下部とガス供給元の間には直径 50 mm、高さ 100 mm のアクリル容器(以下チャンバー)を接続した。チューブ最下部とアクリル容器内部の圧力を測定した。チューブ上部には広帯域マイクロフォンを接続し、チューブ内ガス噴出による音波を捉えた。チューブ内は高速度ビデオカメラで撮影した(図 1 a)。チューブ下部のバルブを閉めた状態で 60mm の高さになるようチューブ内に水あめを注入し、その後バルブを開放しガス供給を開始した。水あめが噴出しないように長さ 800mm のチューブを使用した。チャンバー内に水を注入し、水面の高さを調整する事でチャンバーの体積(以下 V_c)を調整した。ガス供給はコンプレッサーによって行い、レギュレーターでチャンバー注入流量(以下 Q_{in})を調整した。

○実験結果

V_c を 0 から約 120 cm³ で 6 段階変化させた。それぞれの V_c に対して、 Q_{in} を約 0.1 - 30 μ m³/s の間で 3 段階に調節した。

1. V_c を変化させる (Q_{in} 一定)

V_c が小さい時、SWTは見られず、準正弦波状のなだらかな圧力上昇・下降がみられた。水あめ層の上昇速度は一定で、互層スラグ流最上部の水あめ層が割れても、下部に続く水あめ層は一定速度で上昇を続けた。 V_c を大きくしていくと、急激な圧力低下を伴う SWT が見られた(図 1 b)。SWT の際、管内の水あめ層がすべて連動して破裂し、環状噴霧流となってガスが一気に放出された。その後、水あめの流動によって液膜が再生成し、圧力が徐々に上昇した。再生成した水あめ層は管内壁を伝って下降する水あめと合体しながら成長しつつ急速に上昇し、水あめ層がある厚さに達すると減速して一定速度で上昇した。チャンバー内圧力が増加するに従い水あめ層は再加速し、層厚も減少していった。水あめ層がある薄さに達するとスラグ流の速度はさらに加速され、水あめ層が一斉に破裂し、再び圧力が急激に低下した。

2. Q_{in} を変化させる (V_c 一定)

V_c が小さいときには Q_{in} によらず、準正弦波状の圧力変動が見られた。 Q_{in} を上げていくと変動周期は短くなっていった。 V_c が大きいとき、 Q_{in} が小さいときには SWT モードと準正弦波状変動モードが混在した圧力変動がみられた。 Q_{in} を上げていくと SWT モードが卓越して見られた。

○考察

マグマ供給系において、チャンバー内の圧力変動と火道流の流速・圧力損失のカップリングによる圧力が数理モデルとして提案されている (Ida, 1996; Barmin et al, 2002; Nakanishi and Koyaguchi, 2008)。これらのモデルを参考に、

1. 水あめ層厚が大きく(小さく)なり、実効粘性、すなわち圧力損失が大きく(小さく)なる。

2. チャンバーが圧力バッファとして機能している。

という効果を想定し、簡単な常微分方程式によるモデル化を試みた。このモデルでは Q_{in} を一定に保った状態で V_c を上げていくと、SWTが見られる(図 1 c)。チャンバー体積を小さくしていくと、準正弦波状の圧力変動に遷移する。また、 V_c を一定に保った状態で Q_{in} を小さくしていくと、SWT から準正弦波状の変動に遷移する。

本モデルによって、今回の室内実験の振る舞いを定性的に再現できた。今後は方程式の各パラメータが振動パターンに対してどのように影響するのか、より深く考察し、定量的・定性的に評価を行う。

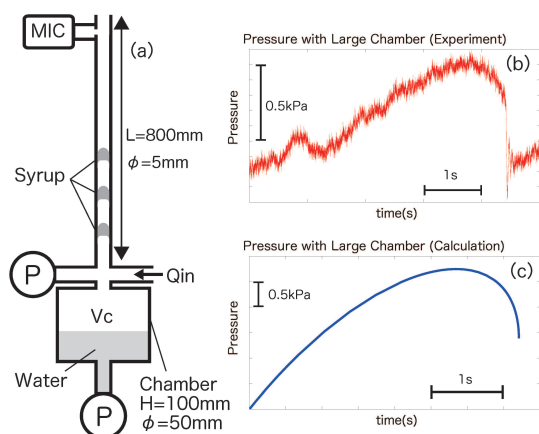
SVC46-P11

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 18:15-19:30

キーワード: ノコギリ波, アナログ実験, 混相流, マグマ溜まり, 火道流, 傾斜変動

Keywords: Sawtooth wave, Analog experiment, Multi phase flow, Magma chamber, Conduit flow, Tilt motion



ストロンボリ火山の噴火に伴う広帯域地震波形の特徴と分類 Variation of VLP signals accompanying eruptions at Stromboli volcano, Italy

山田 大志^{1*}; 青山 裕¹; 西村 太志²; 川口 亮平³; 三輪 学央³; 藤田 英輔³; リペペ マオリツィオ⁴;
ゲンコ リカルド⁴; ラカンナ ジョルジオ⁴
YAMADA, Taishi^{1*}; AOYAMA, Hiroshi¹; NISHIMURA, Takeshi²; KAWAGUCHI, Ryohei³; MIWA, Takahiro³;
FUJITA, Eisuke³; RIPEPE, Maurizio⁴; GENCO, Riccard⁴; LACANNA, Giorgio⁴

¹ 北海道大学大学院理学研究院, ² 東北大学大学院理学研究科, ³ 防災科学技術研究所, ⁴ フィレンツェ大学
¹ Faculty of Science, Hokkaido University, ² Graduate School of Science, Tohoku University, ³ National research Institute for Earth science and Disaster prevention, ⁴ Dipartimento Scienze della Terra, Università di Firenze

Stromboli volcano in Italy, one of the most active and famous volcano in the world, has been the target field of volcanology to understand eruption dynamics. From aspect of volcano seismology, broadband seismic observations have revealed that VLP (very-long-period) signals (10~sec) are dominant among the seismic signals accompanying eruptions at Stromboli volcano (e.g. Neuberg et al., 1994). Chouet et al. (2003) demonstrated that inflation-deflation-inflation sequence of moment components, which represent inclined crack, is dominant at VLP signals observed at Stromboli volcano. The estimated force system was considered to represent the rise and ejection of gas slug, which causes repressurization of crack corresponding second inflation. However, most previous researches have analyzed a few VLP events having specific waveform characteristics, that were typical among their temporary observation data for days or weeks.

We have conducted broadband seismic observation at Stromboli volcano since May 2014. From 4 month long broadband seismic record, most VLP events seem to have similar waveform characteristics mentioned in Chouet et al. (2003) (inflation-deflation-inflation sequence). However, we recognized there are several waveform types prior to main first inflation phase.

1. Gradual inflation (10 ~30 sec) prior to main inflation
2. Having small deflation phase (~5 sec) during gradual inflation (type 1)
3. Gradual deflation (10 ~30 sec) prior to main inflation
4. Combination of type 2 and 3
5. Short deflation (~5 sec) prior to main inflation
6. No main inflation phase (Only downward pulse)

As described above, there are certain groups of VLP events which have deflation phase prior to main first inflation phase. Even if amplitude of deflation phase is small, such deflation process cannot be explained by the simple gas slug rising model. Moreover, some VLP events (type 6) have no inflation phase at the onset. Particle motion analysis for onset and first inflation phase shows events in type 1, 2, 5, 6 have common azimuthal direction (NW-SE direction), while events in type 3, 4 have slightly different direction. Since Stromboli volcano has several active vents on the northwest direction from our seismic station, these differences of azimuthal motions may reflect the difference of vents where eruptions were taken place. Another remarkable feature is about the transition of occurrence frequency of each type. For example, occurrence frequency of type 6 has decreased at the beginning of Aug. 2014. Those days correspond to the period that amplitude of RMS (root-mean-square) of high frequency (>3 Hz) has decreased. Also transition of eruption style has been reported at that period, from intermittent Strombolian eruptions to lava outflow and effusive eruptions.

キーワード: ストロンボリ式噴火, 爆発地震, 広帯域地震観測
Keywords: Strombolian eruptions, VLP, explosion earthquakes

デコンボリューションを利用した噴火地震の相対震源決定—ストロンボリ火山への適用—

Relative hypocenter determination of eruption earthquakes using deconvolution: Application to Stromboli volcano

杉村 俊輔^{1*}; 西村 太志¹; 青山 裕²; 山田 大志²; 藤田 英輔³; 川口 亮平³; 三輪 学央³
SUGIMURA, Shunsuke^{1*}; NISHIMURA, Takeshi¹; AOYAMA, Hiroshi²; YAMADA, Taishi²; FUJITA, Eisuke³;
KAWAGUCHI, Ryohei³; MIWA, Takahiro³

¹ 東北大学大学院理学研究科, ² 北海道大学大学院理学研究院, ³ 防災科学技術研究所

¹Graduate School of Science, Tohoku University, ²Faculty of Science, Hokkaido University, ³NIED

ストロンボリ式噴火やブルカノ式噴火では、開口型火口から数分~数十分、あるいは数時間以上の間隔でマグマを噴出するのに伴い、噴火地震が繰り返し観測される。しかしながら、これらの地震のほとんどは、P波、S波の位相が不明瞭であるため、波の到達時刻を利用する一般的な震源決定は困難である。そこで、本研究ではデコンボリューションと相対震源決定法を組み合わせた相対震源決定をストロンボリ火山のデータに対して行った。

東北大学とフィレンツェ大学により、2014年5月からストロンボリ火山の火口極近傍に傾斜計が3点設置された。今回、これらの傾斜計により記録された、噴火地震に伴う0.5s程度の短周期の波形を解析に用いる。同一火口から繰り返し起こる噴火地震は、観測点ごとに観測波形が良く似ているという特徴がある。そこで、デコンボリューション法を用いて各観測点でのマスターイベントとスレーブイベントの地震波到達の時刻差を読み取る。デコンボリューション波形は、周波数領域でスレーブイベントの波形をマスターイベントの波形で割り算し、そのスペクトルを時間領域に変換して得る。2観測点間でその読み取り値の差は、マスターイベントにおける2観測点間の地震波到達の時刻差と、スレーブイベントにおける2観測点間の地震波到達の時刻差との差に相当する。この差は、地震波の発震時刻の差が消去されており、マスターイベントとスレーブイベントの相対位置の一次関数で表される。これより、その相対位置を最小二乗法で求める。

本研究では、2014年7月1日0:00~3:00までに発生した、全ての観測点で振幅が20 μ rad以上を記録した噴火地震31個を解析した。その期間の中で最初に発生したイベントをマスターイベントとし、スレーブイベントの震源を求めた。マスターイベントの震源をNEクレター、震源の深さ100m、地震波速度はS波速度800m/sと仮定し、相対震源決定を行った。その結果、同一火口で発生する地震の震源の深さは70~225mの範囲に求められた。本手法を用いれば、大量のデータに対しても地震波の読み取りを自動的に行うことができるので、今後解析の数を増やすことにより、ストロンボリ火山での爆発源の時空間変化をモニターすることが可能になると考えられる。

キーワード: 震源決定, 噴火地震, マスターイベント法, デコンボリューション, ストロンボリ火山

Keywords: hypocenter determination, eruption earthquake, master event method, deconvolution, Stromboli volcano

手石海丘における北西－南東方向に伸びるグラーベン構造と火口列 NW-SE trending graben structure and crater row on Teishi Knoll, off Izu Peninsula

南 宏樹^{1*}; 岩淵 洋¹
MINAMI, Hiroki^{1*}; IWABUTI, Yo¹

¹ 海上保安庁海洋情報部

¹ Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard

手石海丘は伊豆半島東方沖に位置する海底火山であり、伊豆東部火山群に分類されている。海上保安庁海洋情報部では海域火山の監視及び観測・調査を行っており、2014年12月に測量船及び自律型潜水調査機器（AUV）を用いて手石海丘の詳細な地形調査を実施した。手石海丘の地形については1989年の噴火直後に海上保安庁によって精力的な調査が行われたが（例えば Oshima et al., 1991）、現在に比べて分解能の劣る測深機で調査されているため、大まかな地形については分かっているが、詳細な地形については分かっていない。今回の調査の結果、手石海丘には北西－南東方向に伸びるグラーベンが形成されていることが明らかになった。また手石海丘の火口の内部には、グラーベンと同じく北西－南東方向に配列した4つの小火口が確認された。このようなグラーベンや小火口といった海底表面に現れた地形は海底下のマグマの挙動を推定する手がかりとなる。

1. 調査手法

調査は2014年12月に海上保安庁の測量船「海洋」（総トン数550トン）に搭載したマルチビーム音響測深機は EM302（Kongsberg 社製）及び AUV「ごんどう S」に搭載したインターフェロメトリ音響測深機 GeoSwath Plus を用いて実施した。

2. 調査結果

グラーベンは手石海丘の南東に形成されており、北西－南東方向に伸びている。グラーベンの長さは120m、幅は70m、深さ1.5mである。小火口は1989年の噴火（水蒸気爆発）に伴って生じた直径180mの中央火口の内部に形成されている。小火口は北西－南東方向に列をなして形成されており、各小火口の直径は20～50m程度であった。またグラーベンと小火口列の間には北西－南東方向に伸びる線状の盛り上がった地形も形成されていた。

3. 調査結果の解釈

手石海丘の1989年の噴火については、海底の堆積層へマグマが貫入したことで発生したと考えられている（Yamamoto et al 1991）。また海底の堆積層へのマグマの供給について北西－南東方向（N125° E）の開口断層が関与したことが指摘されている（Okada and Yamamoto 1991）。手石海丘についてではないが、海底下へのマグマの貫入（ダイク）と海底表面におけるグラーベンの形成との関係について研究されており、貫入したマグマの頂部の深度は、およそグラーベンの幅の約半分になると考えられている（Mastin and Pollard 1988; Chadwick and Embley 1998）。これらの研究結果をもとに今回の調査結果を解釈すると、手石海丘のグラーベンの幅は70mであったことから、その半分である海底下35m程度までマグマの貫入があったと推定される。このグラーベンが1989年のマグマの貫入に伴って形成されたことを示す直接的な証拠は無い。しかし複数の間接的な証拠から、例えば1989年の噴火によって形成されたと考えられる手石海丘内の4つの小火口が、グラーベンと同じ線状に、同じ幅で、かつ同じ北西－南東方向に配列していることから、小火口の形成と同じ環境、つまり、1989年のマグマの貫入に伴って形成されたと考えられる。

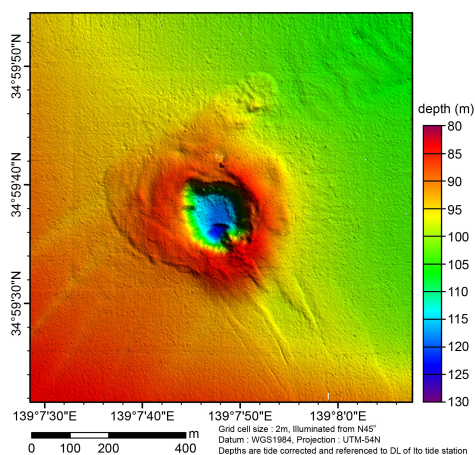
キーワード: 東伊豆単成火山群, 海底地形, マルチビーム音響測深機, グラーベン, 火口列, ダイク

Keywords: Higashi-Izu monogenetic volcano group, bathymetry, multibeam echo sounder, graben, crater row, dike

SVC46-P14

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 18:15-19:30



高温溶岩と水の接触で形成される地形の多様性 Variety of morphologies which are formed by molten lava-water interaction

野口 里奈^{1*}; 栗田 敬¹
NOGUCHI, Rina^{1*}; KURITA, Kei¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

There exists 2 types of responses when molten lava interacts with water environment: explosive and non-explosive. However, during eruption, it is difficult to make a judgment on whether explosion occurs or not. For example, in Nornahraun, Iceland, lava flowed into a river, but no explosion occurs to this day. This is a same as Nishinoshima Island. However, previous studies presented explosions which relate with lava-water interaction occurred in many places including Japan in the past [e.g. Mattox and Mangan, 1997; Ito and Taniguchi, 1996]. Its disaster risk has not been recognized; its explosivity would reach the degree of maar (magma-water interaction), and it is possible to generate low-concentration pyroclastic density current [Fagents and Thordarson, 2007]. Thus, it is important to understand this explosion mechanism for us Japan because of not only interesting of volcanic explosion but also prevention and reduction of disaster when lava flow into water environments near distinct of residence.

Today, it is known that there exists 3 types of morphometry which relates to lava-water interaction: rootless cones, spiracles, and lava pillars.

Lava-water explosive interaction have been well-known in basaltic volcanism, but previous studies showed it occurred in andesitic and rhyolitic [e.g. Hayakawa and Yui, 1989; Ito and Taniguchi, 1996]. Although their related-morphology has been studied, there remains problems to understand this phenomenon. Rootless cone (aka secondary crater and pseudocrater) is a typical morphology which is formed by lava-water interaction. They have a variety of shape; Hamilton et al., 2010 showed 3 archetypes of them which relates to flowing types of lava (tube-, channel-, and broad sheet lobe-fed). However, the relationship between their morphometry and formation conditions (e.g. explosivity, water/magma mass ratio, underlying sediments) has not been revealed. This is a problem for not only rootless cones but also other pyroclastic cones (e.g. scoria cone, maar, tuff cone). Rootless cones would be useful also in planetary science. Recent studies have found candidates of rootless cone on Mars [e.g. Greeley and Fagents, 2001]. These morphologies are expected to reveal recent 100Ma Martian magmatism. Thus this study could give great influence for planetary science. It is necessary to understand the variety of morphology and distribution of rootless cones to know the style of magmatism and environment.

Spiracles are found in bottom of lava flows as irregular shaped-vesicles which are formed by lava-water explosion. In Japan, cylindrical vesicles in Aokigahara lava flow was considered as typical spiracles for many years. Now its are considered as tree molds which were vertically-elongated by inflation of lava, and we lost an image of spiracle. Therefore we should reconstruct the image once again.

Lava pillars are considered as results of non-explosive lava-water interaction [e.g. Gregg et al., 2002]. They show chimney-like morphology, and has been found both in subaerial and submarine volcanism. Recently, Gregg et al., 2002; Gregg and Chirstle, 2013 showed that lava pillars were formed by water vaporization or hydrothermal activity at gaps of pahoehoe lava lobes. However, there exists lava pillars which were formed by a'a lava flow. Hence it remains problems for the lava pillar formation and non-explosive lava-water interaction.

In this presentation, we will review previous studies about morphologies which relate with lava-water interaction, and marshal problems to 1) understand volcanic explosion, 2) know its disaster risks, and 3) apply to planetary science. Especially focusing on rootless cone, we will discuss its variety of shapes based on our aerial photo analysis and field survey. Additionally, a new type of lava-water interaction-related morphology which we found both in Iceland (called as hraunbollar) and Hawaii will be introduced.

キーワード: 溶岩-水接触反応, 爆発, ルートレスコーン, スパイラクル, 溶岩ピラー
Keywords: lava-water interaction, explosion, rootless cone, spiracle, lava pillar

1次元準定常的降下堆積プロセスにおける直線的噴煙上昇の影響 The influence of the linear increase in the source height on the 1D quasi-steady state fall and sedimentation processes

入山 宙^{1*}; 寅丸 敦志²

IRIYAMA, Yu^{1*}; TORAMARU, Atsushi²

¹九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻, ²九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, Kyushu University, ²Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University

The stratigraphic variation of grain-size distribution (GSD) of pyroclastic fall deposit records the time variation which may reflect the time variation of GSD in the umbrella eruption cloud. In order to relate the stratigraphic variation of GSD and the time variation of umbrella eruption cloud GSD, it is necessary to consider the transportation process of ejecta.

Iriyama and Toramaru (2014, AGU) formulate the mathematical relationship between the depositional structure and the source (the umbrella eruption cloud upward in a vertical direction from the sedimentation point) parameters under the 1D constant height model in which the source height and the source GSD are constant with time throughout a release duration. In this case, we showed that the thickness ratio of the upper and lower layers, which is defined as the ratio of the thickness of the upper layer above the extinction point of the largest grain to whole layers depends on the ratio of the source height, the source GSD, and release duration. In nature, however, the eruption column height or ash cloud height may change even during continuous eruptions such as plinian type. In this study, we numerically assess the influence of the linear increase in the source height on the sorting structure of deposits in the simplest case.

When the linear increase rate in the source height is given as constant b , the increase in b makes the sedimentation duration longer than in the constant height model at the sedimentation surface. The numerical simulations for the linear increase height model are carried out with varying b under the same conditions of the initial source height, the source GSD, and release duration. Results show that the linear increase constant b have a negative correlation with the peak accumulation rate and have a positive correlation with the thickness ratio of the upper layer. These suggest that the increase in the source height (eruption intensity) can be detected from the thickness ratio of the upper layer which can be observed by the geological survey.

キーワード: 降下火砕堆積物, 粒子サイズ分布, 噴火推移

Keywords: pyroclastic fall deposits, grain-size distribution, development of eruption

阿蘇巨大噴火の降灰シミュレーション The Tephra Fall Simulations of the Ignimbrite Eruption of Aso Volcano

石井 憲介^{1*}; 鈴木 雄治郎²; 新堀 敏基¹; 福井 敬一¹; 佐藤 英一¹
ISHII, Kensuke^{1*}; SUZUKI, Yujiro²; SHIMBORI, Toshiki¹; FUKUI, Keiichi¹; SATO, Eiichi¹

¹ 気象研究所, ² 東京大学地震研究所

¹Meteorological Research Institute, ²Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

気象庁東京航空路火山灰情報センター(東京 VAAC)では、航空路上の浮遊火山灰による航空機への影響を回避するために、全球移流拡散モデル(JMA-GATM)を用いて火山灰の予測を行っている。このモデルは、気象庁全球モデルの結果(予報値または解析値(JMA, 2013))を大気場として利用し、移流過程・拡散過程・重力落下過程・沈着過程(湿性及び乾性)を考慮して火山灰粒子の時間発展を計算するモデルである。このモデルを用いて、巨大噴火の可能性が示唆されている阿蘇山噴火(Tatsumi et al, 2014)の降灰予測シミュレーションをおこなった。

阿蘇山は、約30万年前以降4回の巨大噴火を繰り返してきた。その中でも、約9万年前の噴火は最大規模であり、阿蘇4と呼ばれる。その降下堆積物(阿蘇4テフラ)は、北海道でも15cm程度の層厚が確認されるなど国内に広く分布し、後期更新世の重要な指標層の一つになっている。本研究では、阿蘇4に相当する巨大噴火を想定した数値実験をおこなった。火山灰の放出は一定強度で20時間継続し、総噴出量は 7.2×10^{14} kgと仮定した。

JMA-GATMの現業の利用では、噴煙柱モデル(Suzuki, 1983)及び衛星観測から得られる火山灰分布を初期値としている。本研究では、より精度の高い火山灰の空間分布を初期値として与えるため、火山噴煙ダイナミクスの3次元数値モデル(Suzuki et al, 2005)によるシミュレーションを行い、噴火後3時間30分のトレーサー粒子分布の結果を用いた。ただし、JMA-GATMは、火山灰粒子が大気に逆らわず風に流されていることを仮定しているため、3次元数値モデルの計算結果から初期値を作成する際には、大きな上昇流を持つ火山灰粒子や、大気場(風速)と大きく異なる速度を持つ火山灰粒子は初期値から除いた。国内への降灰分布を評価するために、対流圏中層で南西風が卓越した気圧配置である2014年4月3日12UTCを初期値とする全球予報値を用いて、約3日後までの移流計算を行った。その結果、地上降灰は北海道で数cm~10cm程度となり、野外観察事実と整合的な降灰量を再現した。また、気象場以外は同じ条件にして、異なる気象場を用いて降灰予測シミュレーションをおこなった結果、国内へはほとんど堆積せずに太平洋へと飛散するなど様々なパターンが存在することを示した。

キーワード: 移流拡散モデル, 巨大噴火, 火山灰, 降灰, 数値シミュレーション

Keywords: Atmospheric Transport Model, ignimbrite eruption, tephra, tephra fall, numerical simulation

大規模噴火を想定した降灰に関する準リアルタイム・コンテンツの作成 Quasi-Realtime Contents of the Tephra Fall Simulations against Large-Scale Eruption

新堀 敏基^{1*}; 石井 憲介¹; 佐藤 英一¹; 福井 敬一¹; 横山 博文¹

SHIMBORI, Toshiki^{1*}; ISHII, Kensuke¹; SATO, Eiichi¹; FUKUI, Keiichi¹; YOKOYAMA, Hirofumi¹

¹ 気象研究所

¹ Meteorological Research Institute

気象研究所では2014年度から、「大規模噴火時の火山現象の即時把握及び予測技術の高度化に関する研究」に取り組んでいる。対象としている、噴出量が10億 m^3 オーダーの国内火山の大規模噴火は過去100年間発生しておらず、日々の気象場の下で大規模噴火を想定した降灰のシミュレーションを準リアルタイムで実行することは、その影響範囲を大局的に予想するとともに、数値モデルを点検・改良する観点から意味がある。そこで火山研究部では、過去の大規模噴火である1707（宝永4）年富士山噴火（日本火山学会2013年度秋季大会, **P45**）や1914（大正3）年桜島噴火（日本地球惑星科学連合2014年大会, **SVC50-P01**）を想定して、直近の気象庁メソ解析を入力値とする領域移流拡散モデル（JMA-RATM）による降灰予想のコンテンツを作成した。

本発表では、気象研究所火山研究部のホームページから毎日更新することを計画している同コンテンツについて紹介する。

キーワード: 移流拡散モデル, 大規模噴火, 火山灰, 降灰, 準リアルタイム, 数値シミュレーション

Keywords: Atmospheric Transport Model, large-scale eruption, volcanic ash, tephra fall, quasi-realtime, numerical simulation

定期観測データに基づく、カメルーン火口湖における湖水爆発発生可能性の数値的評価

Numerical assessment of the potential for future limnic eruptions in Cameroon, based on regular monitoring data

小園 誠史^{1*}; 日下部 実²; 吉田 裕³; Ntchantcho Romaric⁴; 大場 武⁵; Tanyileke Gregory⁴; Hell Joseph V.⁴

KOZONO, Tomofumi^{1*}; KUSAKABE, Minoru²; YOSHIDA, Yutaka³; NTCHANTCHO, Romaric⁴; OHBA, Takeshi⁵; TANYILEKE, Gregory⁴; HELL, Joseph V.⁴

¹ 東北大・理, ² 富山大・理, ³ 吉田技術士事務所, ⁴ IRGM, ⁵ 東海大・理

¹ Science, Tohoku Univ., ² Science, Univ. of Toyama, ³ Yoshida Cons. Eng. Office, ⁴ IRGM, ⁵ Science, Tokai Univ.

「湖水爆発」は火口湖からの急激なガス放出を伴う現象であり、周辺地域への甚大な被害を及ぼすことがある。西アフリカ・カメルーンの火口湖であるニオス湖とマヌーン湖では、それぞれ1986年と1984年に急激なCO₂ガスの放出を伴う湖水爆発が起こり、約1800名の周辺住民が犠牲となった。これらの火口湖における湖水爆発のメカニズムを理解するために、湖水の化学組成の定期観測が湖水爆発発生以来継続して行われており、これによって湖水内CO₂鉛直分布の変動過程に関する詳細な情報が得られている。本研究は、数値モデリングと定期観測から得られたCO₂分布に基づき、ニオス湖及びマヌーン湖における湖水爆発の発生可能性を評価することを目的とした。

湖水内CO₂分布の変動過程によると、湖底からのCO₂に不飽和な流体の供給によって、その不飽和状態の深層水が上方に押し上げられ、その結果湖水内の中深度において湖水が飽和状態に達する、という湖水爆発発生へのシナリオを予想することができる。そこで本研究では、CO₂気泡を含むプリュームの上昇に関する数値モデルを用いることで、上述のシナリオにおける湖水内中深度での気泡生成が、湖水表面に達するようなプリュームを再現できるかどうかを調べた。その結果、定期観測データから推測される湖水内CO₂分布などの現実的な条件のもとで、湖内中央部で生成されたプリュームが高流量のCO₂を伴って湖水表面に達することがわかった。このプリュームの特徴は急激なCO₂ガス放出を伴う湖水爆発現象に相当する。以上のことから、CO₂に不飽和な最下部層の成長によって引き起こされる気泡プリュームの上昇が、湖水爆発をもたらす重要なメカニズムの一つとして考えられる。

ニオス湖及びマヌーン湖における湖水内CO₂分布に影響を与える重要な要素として、脱ガスパイプを用いた湖水からの人工的なCO₂除去が挙げられる。CO₂に富む湖水が深部の層からパイプを通して引き込まれると、上昇する湖水の減圧に伴う気泡生成と膨張の効果によって、パイプ内の流れが自立して継続（自噴）し、その結果湖水表面において噴水が生じる。定期観測に基づく最新の湖水内CO₂分布によると、湖底におけるCO₂濃度が急激に低下していることから、その湖底CO₂濃度の変化がパイプ内流れのダイナミクスや脱ガスの程度に与える影響を調べるために、本研究では脱ガスパイプ内の湖水の流れに関する数値モデルを新たに開発した。このモデルによって、湖底のCO₂濃度と、湖水表面において計測可能な噴水高度の間の定量的な関係を得ることができた。また、本モデルによる結果は実際に計測された噴水高度とよく一致しており、このことは本モデルがニオス湖及びマヌーン湖における脱ガスパイプのダイナミクスを正確に再現していることを示している。

キーワード: 湖水爆発, ニオス湖, マヌーン湖, 数値モデル, 脱ガスパイプ

Keywords: Limnic eruption, Lake Nyos, Lake Monoun, Numerical model, Degassing pipe