

SVC047-01

会場:301B

時間:5月24日 08:30-08:45

火道・噴煙統合モデルの構築に向けて(その3) 3次元噴煙モデルによる数値シミュレーション

A combined model of conduit flow and eruption cloud dynamics. Part 3. 3-D simulations of eruption column dynamics

小屋口 剛博^{1*}, 鈴木 雄治郎¹

Takehiro Koyaguchi^{1*}, Yujiro Suzuki¹

¹ 東京大学 地震研

¹ ERI University of Tokyo

我々は、噴煙などの火山噴火の地表面現象と地殻変動などの火山周辺の地球物理学的観測を統一的に理解することを目標として、「火道・噴煙統合モデル」の構築を進めている。具体的には、ある開き角で上方に広がる火口をもつ火道を想定し、マグマ溜りの深さと圧力を境界条件として与えたときの、火道流と噴煙のダイナミクスを系統的に調べている。本研究では、これまでに、1次元定常火道流モデル(Koyaguchi, 2005)に基づき、火口底部におけるマグマの流量をマグマ溜りの深さ及び圧力の関数として得た(その1)。さらに、様々な形状の火口について、火口底部におけるマグマの流量と火口上端における圧力や噴出速度の関係を明らかにした(その2)。今回の報告では、これらの火口上端の噴出条件を与えて3次元噴煙モデルによる数値シミュレーションを行い、噴煙柱崩壊条件に対する火口形状の影響を論ずる。

爆発的噴火における火砕流発生(噴煙柱崩壊)条件は、マグマの性質(例えば含水量・温度)が与えられた場合、主に噴出率によって決定されると考えられている(例えば, Carazzo et al., 2008)。但し、火口の形状(例えば火口上端の径)が変化した場合、一定の噴出率の下で噴出圧力、噴出速度が変化し、それが火砕流発生条件に影響を与える。ここでは噴出率を与えたときの噴煙柱崩壊条件が、火口上端の径と噴出圧力というパラメータスペースでどのように変化するかを明らかにする。Koyaguchi et al. (2010)によると、上記のパラメータスペース上で、火口から噴出する流れは、(1)火口上端において大気圧以上の噴出圧力を持つ音速流、(2)火口底部で音速に達した後、火口上端で大気圧以上の噴出圧力をもつ不足膨張超音速流、(3)火口底部で音速に達した後、火口上端で大気圧以下の噴出圧力をもつ過膨張超音速流、(4)火口上端において大気圧で噴出する亜音速流、の4領域に分かれる。(2)、(3)の境界においては、火口上端で大気圧になる適合膨張超音速流としてマグマが噴出する。噴出率を固定した場合、火口上端の径の増加、噴出圧力の減少とともに、流れのタイプは(1)から(4)に向けて変化する。

上記のそれぞれの流れについて、噴出後の噴煙のダイナミクスについて3次元噴煙モデルによる数値シミュレーションを行ったところ、(1)(2)の流れにおいては火口直上で膨張波を伴う加速によって上昇速度が増加し、(3)の流れにおいては火口直上で衝撃波を形成し上昇速度が著しく減少することが示された。その結果、同じ噴出率でも、火口径が大きく、あるいは、噴出圧力小さくなると、(3)の流れになり、より火砕流を発生しやすくなることが分かった。今回の結果と(その2)の結果から、噴出率が一定の場合でも、火口の開き角が増加し火口上端の径が増加することによって、火砕流が発生する可能性があることが示唆される。

今回得られた火砕流発生条件は、1次元定常火口減圧モデル(Woods and Bower, 1995; Koyaguchi et al., 2010)と1次元定常噴煙モデル(Bursik and Woods, 1991)の組み合わせから求められる条件と半定量的に一致する。3次元数値シミュレーション結果からは、火砕流発生条件に加えて、流れの多次元性に由来する諸現象に関する知見が得られる。例えば、噴煙柱から火砕流発生への遷移状態の流れの性質は、(1)(2)の流れと(3)の流れで異なる。(1)(2)の流れにおいては、圧力変動を伴う不安定な流れが発生し、その流れが大気と噴煙の効率的な混合を促すことによって、安定な噴煙柱を形成しやすいことが分かった。一方、(3)の流れでは、噴煙柱から火砕流への遷移状態において噴煙が部分的に崩壊して小規模な火砕流を発生する現象が特徴的に観察される。

キーワード: 火山噴火, シミュレーション, 噴煙柱, 火砕流, 火口, 流体力学

Keywords: volcanic eruption, simulation, eruption column, pyroclastic flow, crater, fluid dynamics

SVC047-02

会場:301B

時間:5月24日 08:45-09:00

3次元数値シミュレーションによる噴煙柱崩壊条件の解析 3-D numerical simulations of eruption clouds: the critical condition for column collapse

鈴木 雄治郎^{1*}, 小屋口 剛博¹
Yujiro Suzuki^{1*}, Takehiro Koyaguchi¹

¹ 東京大学 地震研

¹ ERI University of Tokyo

爆発的火山噴火では、噴煙柱と火砕流という二つの特徴的な噴火スタイルが見られる。火山ガスと火砕物からなる噴出物は、固体である火砕物を含むために火口では大気よりも重い状態にある。しかし、噴煙と大気境界で乱流によって周囲大気を取り込むと、火砕物の熱によって取り込んだ大気を急激に膨張させ、噴煙密度は低下する。噴煙が火口での初期運動量を失う高さ到達する前に噴煙密度が大気密度よりも小さくなれば、浮力を獲得して噴煙柱となる。一方、噴煙密度が大気密度より大きいまま初期運動量を失ってしまうと、浮力は得られずに火砕流となる。これら二つのレジームの境界が噴煙柱崩壊条件であり、これまでは定常1元噴煙モデル(例えば、Woods, 1988)に基づいた予測がされてきた。しかし、その予測は野外観察や室内実験から見積もられる噴煙柱崩壊条件とのズレが指摘されてきた。火砕流発生条件を正確に予測することは火山学上のみならず防災上も非常に重要である。本研究では、3次元噴煙モデル(Suzuki et al., 2005)によるシミュレーションを行い、噴煙柱崩壊条件を求めた。

数値計算の結果、Jet-type collapse と Fountain-type collapse という2つの噴煙柱崩壊のタイプが存在することが分かった。火口から出た噴煙は、大気との境界で生じるせん断流れによって大気と混合する。その混合層は火口から離れるにしたがって中心軸に向かって成長するため、中心軸付近に存在するポテンシャルコアと呼ばれる周囲大気と混合していない領域は縮小していく。したがって、火口半径が大きいほどポテンシャルコアの長さは増大する。火口半径が大きいと、初期運動量を失う高さでせん断流れが中心軸付近まで達せず、ポテンシャルコアが残る。この時、ポテンシャルコアの重い噴煙は水平方向に広がって Fountain 構造を形成しつつ火砕流を発生させる(Fountain-type collapse)。一方、火口半径が小さいと、初期運動量を失う前にせん断流れが中心軸付近まで達し、ポテンシャルコアは消滅する。この時、噴煙が重い状態にあれば、ジェットのような構造をもった噴煙柱崩壊となる(Jet-type collapse)。

噴出速度が与えられた時、噴出率もしくは火口半径が増大すると噴煙柱から噴煙柱崩壊へのレジーム遷移が起こる。この遷移条件、すなわち噴煙柱崩壊条件は、臨界噴出率 MDR_{CC} として与えられる。また、Jet-type と Fountain-type を分ける臨界噴出率 MDR_{JF} がそれとは別に与えられる。パラメータスタディに基づくレジームマップを作成すると、噴煙柱崩壊条件の時に Jet-type か Fountain-type のいずれの噴煙柱崩壊となるかは、 MDR_{CC} と MDR_{JF} の大小関係に依存することが分かった。マグマ温度の低い噴火では MDR_{CC} が MDR_{JF} よりも小さく、噴煙柱崩壊条件で Jet-type collapse が発生する。この場合、火砕流発生条件はリチャードソン数のみに依存するという定常1次元モデルでの予測と同様の結果を得た。一方、温度の高いマグマ噴火では MDR_{CC} が MDR_{JF} よりも大きく、噴煙柱崩壊条件で Fountain-type collapse が発生する。この場合、噴煙柱崩壊条件はリチャードソン数に加え、マッハ数にも依存することが新たに分かった。噴出速度が音速を超えていると火口付近に衝撃波構造(バレルショック, マッハディスク)が形成される。噴出率が MDR_{FJ} よりも大きい場合には、Fountain 内部の衝撃波構造は混合層に擾乱されずに安定して存在し、マッハ数が増加するとそれらは連なる。これらの衝撃波構造は周囲大気の混合を妨げるため、噴煙柱はより崩壊しやすい方向にシフトすると解釈される。

キーワード: 火山, 火砕流, 数値シミュレーション, 噴煙

Keywords: volcano, eruption cloud, numerical simulation, pyroclastic flow

SVC047-03

会場:301B

時間:5月24日 09:00-09:15

Tephra2 の改良と伊豆大島 1986 年噴火への適用 Modify of Tephra2 and a test run using the 1986 eruption of Izu-Oshima volcano

萬年 一剛^{1*}, ローラ コナー², チャールズ コナー²
Kazutaka Mannen^{1*}, Laura Connor², Charles Connor²

¹ 神奈川県温泉地学研究所, ² 南フロリダ大学
¹Hot Springs Research Institute, ²University of South Florida

Tephra2 は移流拡散モデル (Suzuki, 1985; Macedonio et al., 1988) に基づき開発された降灰予想プログラムの一つである。このプログラムは、確率的ハザードモデリングのためのツールとして利用されているが、給源として既存の噴煙モデルを採用しているために、噴出物の分布を元に噴煙の高度をインバージョンにより復元できる可能性がある。実際、ニカラグアの Cerro Negro 1992 年噴火では良好な結果を得ている (Connor and Connor, 2006)。しかし、その後試みられたエクアドルの Pululagua の噴火 (Volentik et al., 2010) では噴煙高度をうまく復元できなかった。両噴火は噴煙高度に大きな違いがあることから、我々は、Tephra2 において傘型領域の存在が考慮されていないことが、復元の成否に関係していると考えた。そこで、我々は傘型領域の特徴的半径を示すパラメータ Sigma-plume を定義し、Tephra2 に傘型領域の効果を含めることができるようにした。このほか、今回の改良では任意の粒度分布を初期条件として与えられるようにしたほか、噴煙柱から粒子が離脱する確率分布関数として鈴木関数も利用可能にした。講演ではこれらの改良点と、テストケースとして伊豆大島火山 1986 年噴火へ適用した結果を紹介する。

キーワード: Tephra2, 火山灰, シミュレーション, 移流拡散モデル, 伊豆大島火山, 火山噴煙
Keywords: Tephra2, volcanic ash, simulation, advection diffusion model, Izu Oshima volcano, volcanic plume

SVC047-04

会場:301B

時間:5月24日 09:15-09:30

1991年ピナツボ火山噴火時の大気と固体地球の音響共鳴振動 Acoustic resonant oscillations between the atmosphere and the solid earth during the 1991 Mt. Pinatubo eruption

綿田 辰吾^{1*}, 金森博雄²
Shingo Watada^{1*}, Hiroo Kanamori²

¹ 東京大学地震研究所, ² カリフォルニア工科大学地震研究所
¹ERI, University of Tokyo, ²Seismolab Caltech

Long-period harmonic Rayleigh waves were observed on seismometers during the 1991 Mt. Pinatubo eruption in the Philippines. The amplitude spectrum of the Rayleigh waves shows two distinct peaks at periods of about 230 and 270 s. In the Earth's atmosphere, long-wavelength standing acoustic waves are bounded in a low-sound-velocity channel between the thermosphere and the ground. The Rayleigh waves and the fundamental and first overtone of atmospheric acoustic waves trapped in the low-sound-velocity channels have approximately the same horizontal wavelength and frequency at periods of 230 and 270 s, respectively, i.e., the atmosphere and the solid earth satisfy the condition for acoustic resonant oscillations. The standing atmospheric long-wavelength acoustic waves set off by the eruption selectively excited seismic spheroidal modes near the resonant period through acoustic resonant coupling and resulted in harmonic Rayleigh waves. In contrast, gravity waves and Lamb waves (atmospheric boundary waves) do not couple to the ground efficiently and are not easily observed as ground disturbance on seismograms during volcanic eruptions.

キーワード: レイリー波, ピナツボ山噴火, 大気と固体地球間の共鳴, 単色地動, 大気と地面のカップリング, スフェロイダルモードの異常励起

Keywords: Rayleigh waves, Mt. Pinatubo eruption, resonance between the atmosphere and solid Earth,, harmonic ground motion, air-ground coupling, anomalous excitation of spheroidal mode

SVC047-05

会場:301B

時間:5月24日 09:30-09:45

開口型火道内のスラグ上昇による山体変形 Volcano deformation caused by gas slug ascent in an open conduit

川口 亮平^{1*}, 西村 太志¹, 佐藤 春夫¹
Ryohei Kawaguchi^{1*}, Takeshi Nishimura¹, Haruo Sato¹

¹ 東北大・理・地球物理

¹Geophysics, Science, Tohoku University

1. はじめに

マグマ内揮発性成分の挙動を理解することは火山噴火の多様性を理解するために重要である。近年の地殻変動観測では、観測機器の精度や時間分解能の向上によりストロンボリ式やブルカノ式といった小規模の噴火を繰り返す火山において個々の噴火活動に伴う山体変形が捉えられるようになってきた (e.g. Genco and Ripepe, 2010, GRL)。マグマの粘性が高く、気泡とメルトの相対速度が無視できる場合には、マグマ内気泡成長の有無により、マグマ上昇速度や山体変形の時間変化に顕著な違いが現れることが指摘されている (川口・他, 2009)。一方、比較的低粘性のマグマによって起こるストロンボリ式噴火では、気相と液相間の相対運動が無視できない。このようなマグマの流れでは気泡が連結することでスラグ流が形成されていると考えられている。本研究では、マグマ内のスラグ上昇にともなう火道内圧力分布の時間変化から地表で得られる山体変形の時間変化の特徴を調べたので報告する。

2. スラグ上昇モデルと山体変形

低粘性マグマ内では発泡により生じた気泡は互いに接近して集団化し、大きな気泡を間欠的に含むスラグ流が形成されると考えられている。本研究では火道内部でのスラグの上昇過程を James et al., (2009) の標準静圧モデルに従い、次のようにモデル化した。断面積一定の円筒形火道内に半径一定の円筒形のスラグが一つ存在している場合を考える。火道下部からのマグマの供給がなく、マグマと気体の間での揮発性成分の流入はないとする。スラグ内の気体には大気圧とスラグより上のマグマの静水圧がかかる。スラグ底部の深さは火道の半径と Froude 数によって決まる一定の速度で上昇する。上昇に従い、スラグにかかる圧力は減少するため、スラグ内の気体は膨張する。スラグ内の気体を理想気体とし、等温過程と火道内のマグマとスラグ内の気体の質量の質量保存の関係から、スラグの長さやマグマヘッドの深さの時間変化を求めることができる。

火道内の圧力は、スラグ以外の部分はメルトの密度をもとに静水圧として、スラグ部分は水平断面あたりの密度が小さくなるため圧力勾配は小さくなる。そのため、火道深部から上昇するスラグは収縮源となる。火道の浅部ではスラグの体積膨張に伴うマグマヘッドの上昇により上部の火道壁に新たに圧力がかかるため、膨張源となる。火道は開口型であると考え、スラグ上昇に伴う火道内圧力分布の変化による地表の変形量を半無限均質弾性体の表面としたときの解析解 (Bonaccorso and Davis, 1999) からスラグ上昇に伴う火道内圧力分布の変化による山体変形の水平、上下変位、傾斜変動量を求める。

3. 計算結果

初期状態でスラグが火道の最下部にあるとし、マグマヘッドまでスラグが上昇したときを噴火の開始時としてスラグの上昇をまず計算する。玄武岩質マグマを想定し、マグマの密度を 2600 kg/m^3 、粘性を 100 Pa s とし、火道半径を 3 m 、初期のスラグの長さを 1 m としスラグの上昇過程を求めた。スラグは上昇に伴って膨張していくが、マグマヘッドから 100 m 程度の深さまで上昇すると体積増加率が急激に大きくなる。噴出直前にはスラグの長さは約 50 m にまで達し、マグマヘッドを押し上げる。次に、このスラグ上昇過程の計算結果をもとに、山体変形の時間変化を求める。火口に近い地点において、変位および傾斜はおおむね山体が膨張する変動を示す。それに対して、火口から遠い地点では、初め山体が膨張する変動を示すが、スラグが浅部まで上昇すると水平変位は膨張が停滞し、上下変位および傾斜は山体の沈降へと変動の様子が転じていく。これは、スラグによる収縮の効果が強くなるためであり、スラグの深さが火口から距離のおよそ半分よりも浅くなると収縮の影響が現れる。

4. まとめ

低粘性のマグマ内でのスラグ上昇過程では、異なる深さに収縮源と膨張源が存在することで、スラグの深さと火口から観測点までの距離によって山体変形の時間変化が大きく異なることが明らかとなった。火口からの距離が異なる複数の観測点での山体変形の時間変化の捉えることができれば、噴火の開始に重要な役割を果たすスラグの深さを推定することが可能になると考えられる。

キーワード: マグマ上昇, スラグ流, 開口型火道, 山体変形

Keywords: magma ascent, slug flow, open conduit, volcano deformation

SVC047-06

会場:301B

時間:5月24日 09:45-10:00

横方向脱ガスが溶岩ドーム噴火から爆発的噴火への遷移過程に与える効果 Effects of lateral gas escape on transitions from lava dome eruptions to explosive eruptions

小園 誠史^{1*}, 小屋口 剛博²

Tomofumi Kozono^{1*}, Takehiro Koyaguchi²

¹ 防災科学技術研究所, ² 東京大学地震研究所

¹NIED, ²ERI, Univ. of Tokyo

溶岩ドーム噴火中のマグマ上昇過程においては、マグマからのガスの分離（以下、脱ガスとよぶ）が大きく分けて2通りの方法で進行する。それは、ガスがマグマから火道壁に向かって逃げていく「横方向脱ガス」と、ガスがマグマから火口に向かって逃げていく「縦方向脱ガス」である。これらの脱ガス過程とマグマ発泡の競合によって、爆発的噴火への遷移などの複雑な火道流の性質が出現する。本研究では、横方向・縦方向脱ガスをどちらも考慮した一次元火道流の定常モデルおよび時間発展モデルを用いて、脱ガス過程が溶岩ドーム噴火のダイナミクスにどのような影響を与えるのかを調べた。

溶岩ドーム噴火から爆発的噴火への遷移過程は、定常状態におけるマグマ溜まりの圧力 (p) とマグマ流量 (q) の関係（以下、 p - q カーブとよぶ）によって予測される。この p - q カーブの傾き (dp/dq) が正のとき、火道流のシステムは安定になる一方で、 dp/dq が負のときは不安定になる。本研究では、 p - q カーブの特徴を定常火道流モデルに基づいて系統的に調べた。その結果 p - q カーブは、現実的なマグマ物性・地質条件のもとで S 字型になり、その場合 q が低い領域と高い領域で dp/dq は正で、その中間領域では dp/dq が負になることがわかった。低 q 領域においては、横方向・縦方向脱ガスがともに効果的になり、そのため火道内のマグマ空隙率が非常に低いという特徴がある。この領域は、安定な溶岩ドーム噴火における火道流に相当する。一方、高 q 領域における火道流は、マグマ空隙率が高いという特徴があることがわかった。この領域では、横方向脱ガスの効果は縦方向脱ガスのそれと比べて無視できるほど小さい。

本研究では、 p - q カーブが S 字型の場合に、火道流の特徴が時系列的にどのように変化するかを、時間発展火道流モデルに基づいて調べた。このモデルでは、マグマ溜まり圧力の変化が、深部からマグマ溜まりへのマグマ供給とマグマ溜まりから火道へのマグマ流出の間のバランスによって支配されると仮定している。解析の結果、 p - q カーブが S 字型であるために、深部のマグマ供給が連続的に増加していった場合、マグマ噴出率が低 q 領域から高 q 領域へ急激に増加することがわかった。このジャンプは溶岩ドーム噴火から爆発的噴火への遷移過程に相当する。以上のことから、この噴火様式の遷移過程は、横方向脱ガス支配から縦方向脱ガス支配への変化を伴っていることが示唆される。

キーワード: 溶岩ドーム噴火, 脱ガス, 噴火タイプの推移, マグマ上昇, 火道流, 数値モデル

Keywords: lava dome eruptions, gas escape, transition of eruption styles, magma ascent, conduit flow, numerical model

SVC047-07

会場:301B

時間:5月24日 10:00-10:15

急激な発泡によって誘発される長周期地震動：SPH法シミュレーションが示唆する新機構

Long-period seismic events induced by quick bubble formation: a new source mechanism predicted by SPH simulations

井田 喜明^{1*}, 小園 誠史², 藤田 英輔²
Yoshiaki Ida^{1*}, Tomofumi Kozono², Eisuke Fujita²

¹ アドバンスソフト株式会社, ² 防災科学研究所
¹Advance Soft Co., ²NIED

Long-period seismic signals whose periods are several seconds or longer are often observed in active volcanoes and suitable interpretations of these signals are expected to give important information about underground volcanic activities. In fact, the source process that causes long-period oscillations is not always understood satisfactorily. If elastic resonance produces such long-period oscillations the resonator must have sizes of kilometers (Fujita and Ida, 1999; Fujita et al., 1995) which are not usually compatible with known structures of volcanic interiors. Fluid-filled cracks can be a source of long-period oscillations with smaller sizes (Chouet, 1986; Ferrazini and Aki, 1987) but they are not well fit to axial symmetry that is required for such seismic events as observed at Miyakejima volcano in 2000 (Kobayashi et al., 2009). In this context a new mechanism of long-period oscillations is proposed here based on computer simulations in an SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) method.

The SPH method is one of the particle dynamics in which deformation and flow of materials are analyzed based on motions of particles subjected to suitable mutual interactions. Compared with other particle dynamics like DEM (Discrete Element Method) an important character of the SPH method is that interactions between particles are determined using the same physical concepts and the same equations as in corresponding continuum mechanics. Namely, velocity, density, stress and other physical properties are allocated to each particle and the relations that control the state and motion of particles are derived from the equation of motion and constitutive equations that hold for continuums. In this paper the SPH method has been further developed so as to apply to magmatic processes involving the effects of included volatile components. In particular, the particles that represent magma are assumed to meet the equation of state for bubbly magma when some of the volatile component has deposited as bubbles.

If some area of magma is over-saturated with volatile components this area should be released from the over-saturated condition sooner or later and should form bubbles in it with almost instantaneous volume expansion at that time. Our numerical experiments in the SPH method have revealed that quick bubble formation can induce long-period oscillations of the fluid system. The oscillations attenuate slowly and disappear after about ten cycles. The numerical experiments further point out that the long-period oscillations are realizable when the magma system has both a very compressible bubbly area and a free surface. The period of oscillations that has been obtained from the numerical experiments is about two seconds for the magma system that contains a bubbly area of radius 5m in a 50m-wide normal fluid with a density, viscosity, bulk modulus and volatile solubility similar to real magmas.

A simplified model of the long-period oscillations has been constructed based on the numerical experiments. In this model the fluid system is treated as consisting of the upper part participating in vertical rigid motions and the other lower part that transmits pressure between the upper part and the bubbly compressible area. An arithmetic expression of the period of the long-period oscillations is given by the model and predicts that the period depends on gravitational acceleration as well as an effective bulk modulus of the bubbly area and sizes of the fluid system. The model may be useful in getting an intuitive idea of the source process and applying it to observed long-period seismic events.

キーワード: 長周期地震動, 火山性地震, マグマ, 発泡, SPH法, 数値シミュレーション

Keywords: long-period seismic event, volcanic earthquake, magma, bubble formation, SPH method, computer simulation

SVC047-08

会場:301B

時間:5月24日 10:15-10:30

Rayleigh-Plesset 方程式と流体系振動方程式のカップリング

Coupling between the fluid system oscillation equation and Rayleigh-Plesset equation

寅丸 敦志^{1*}, 市原 美恵²

Atsushi Toramaru^{1*}, Mie Ichihara²

¹九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門, ²東京大学地震研究所

¹Dept. Earth Planet. Sci., Kyushu Univ, ²Earthquake Res. Inst., Univ of Tokyo

間欠泉や火山で起こる低周波微動の励起源として水の沸騰やマグマの発泡が考えられている。しかし、沸騰や発泡といった急激な体積変化を伴う相変化と、流体の振動系がどのように力学的にカップルしているかについては、詳しい定式化がなされていなかった。このことを背景として、我々は、間欠泉実験をヒントに、水の沸騰と流体振動系のカップリングの定式化を進めてきた。本講演では、これまでに導出した方程式系の励起項に相当する体積変化として、単一気泡の体積変化を記述する Rayleigh-Plesset 方程式を組み込んで、その解の性質を調べた。

我々が導出した方程式系は、火道流体の Poiseuille 流の振動を記述する式と下部流体だまり中の圧力増加（火道流体の駆動圧力）を記述する式からなる。これらを火道流体の体積流量（または駆動圧）についてまとめると、減衰項と励起項を含む簡単な振動の式になる。体積流量の固有振動は、流体だまりの圧縮振動（Helmholtz 振動）と静水圧つり合いへ回復する重力振動からなる。減衰項は、火道流における粘性抵抗である。一方、励起項としての気泡振動は、一般にその固有周波数が、先の流体系の固有振動に比べて桁で大きいことが特徴である。さらに、Rayleigh-Plesset 方程式によって記述される気泡振動と流体系振動のカップリングの強さを表すパラメータ（カップリングファクターと呼ぶ）が、流体系と気泡の幾何学スケールによって（気泡サイズ×火道の長さ）/火道の断面積、と定義される。

瞬間的に過剰圧を持った気泡が生成した場合について支配方程式系を数値的に解いた結果、次の事が分かった。1) 気泡振動が流体系の固有振動を励起する。2) カップリングファクターが大きい場合、気泡振動から流体振動へのエネルギーの転換が効果的に起こる。3) 気体の凝縮・生成は気泡振動と流体振動を減衰させる。4) カップリングファクターが大きい場合、気泡振動は減衰しても流体振動は残る。5) 気泡振動によって励起される流体振動は、流体振動の通常の過減衰領域であっても、減衰振動になる。

以上の結果から、カップリングファクターが流体系と気泡を力学的にカップルさせる重要な役割を担っていることが分かり、天然と実験室での間欠泉と火山に応用すると次の事が言える。実験室での間欠泉の場合、火道に相当する管の断面積が小さいので、カップリングファクターが大きくなり、気泡振動と流体系振動のカップリングが起こりやすい。一方天然の間欠泉と火山では、気泡サイズが十分大きくならないとカップリングが起こりにくい。

キーワード: 気泡, Rayleigh-Plesset 方程式, 微動方程式, 間欠泉, 低周波地震

Keywords: bubble, Rayleigh-Plesset equation, tremor equation, geyser, low-frequency earthquake

SVC047-09

会場:301B

時間:5月24日 10:45-11:00

爆発的噴火に伴う地震と微動における震源の上昇過程と火道内ダイナミクスへの示唆

Ascending seismic sources associated with an explosion and tremor and their implications for volcanic conduit dynamics

熊谷 博之^{1*}, パブロ・パラシオス², マリオ・ルイス², ウゴ・イエペス², 小園 誠史¹, 齊藤 竜彦¹
Hiroyuki Kumagai^{1*}, Pablo Palacios², Mario Ruiz², Hugo Yepes², Tomofumi Kozono¹, Tatsuhiko Saito¹

¹ 防災科研, ² エクアドル地球物理研究所
¹NIED, ²IG-EPN

はじめに: 活発な噴火活動を続けるエクアドルのトゥングラワ火山で、爆発的な噴火に伴う地震が、山体に設置した広帯域地震観測網で観測された。この地震に波形インバージョンと高周波振幅を用いた震源決定を適用した結果、山頂下6 km という深部から始まり火口へ向かって約1.6 km/s で上昇する震源過程が推定された。同様の結果は、噴火に伴う微動においても推定された。本研究の結果は、マグマ火道深部の圧力変化とその上方への移動が噴火のトリガーとして重要な過程であることを示している。

手法: 本研究では、Kumagai et al. (2010) によるS波の等方輻射を仮定した震源決定手法を用いた。この手法では、5-10 Hzの周波数帯における観測振幅を用いて、グリッドサーチにより理論振幅との最小残差点を見つけることにより震源決定を行う。5-10 Hzの周波数帯では、地震波の散乱により輻射分布が崩れ、等方的な振幅分布になると解釈されている。さらに、爆発的噴火に伴う地震は、立ち上がり部分にVLPシグナル(2.5-10 s)を伴っていたため、それらを用いて波形インバージョンを行い、震源メカニズムの推定を行った。

結果: 高周波の振幅を用いた震源決定を行った結果、初期震源は山頂下約6 kmの深さから始まり、約1.6 km/sの速度で上昇し火口付近に達したのち、噴火に伴う空振が発生したことを示した。同様の震源の上昇過程とその後の空振の発生は、その約50秒後にも見られた。さらに、点震源のモーメントテンソル6成分を仮定した波形インバージョンを行った結果、立ち上がり部分は山頂下約6 kmの深さの等方メカニズムが得られ、解析するウィンドウをさらに広げると震源は浅部に決まった。立ち上がり部分から決まった震源時間関数は、収縮で始まりその後の膨張するパターンを示した。また噴火に伴う微動に高周波振幅を用いた震源決定を行った結果、爆発地震と同様に山頂下約6 kmの深さから上昇する震源が決まり、それらが微動の間に継続して発生していることが分かった。

議論: 高周波振幅を用いた震源決定と波形インバージョンの両方から、山頂下約6 kmという深さから震源が上昇するという結果が得られた。この結果は、噴火が火道の深部からトリガーされたことを示している。このような過程は、Tameguri et al. (2002) によって示された桜島の爆発的噴火に伴う地震の震源過程と類似している。ただし、桜島では山頂下約2 kmから震源が上昇するのに対して、トゥングラワの例では6 kmというさらに深部から上昇している。また孤立的な噴火に伴う地震だけではなく、継続的な噴火に伴う微動にも同様の過程が見られたことは、このような上昇する震源過程が、噴火に伴う火道内で定常的に起こっている可能性を示唆している。収縮とその後の膨張を示す震源時間関数は、圧力の減少とその後のマグマ中の気泡の成長で説明ができる(Nishimura, 2004)。このような過程によって生じた圧力変化が浅部に伝わり、火道浅部のマグマ破碎を起こし、噴火を起こしたと解釈できる。Nishimura and Chouet (2003) は、マグマだまりと火道の間プラグが壊れることにより、火道内を上昇する震源を数値シミュレーションにより再現している。しかしながら、Nishimura and Chouet (2003) のシミュレーション結果では、火道内は膨張となっている。また、プラグの破壊では、定常的にこのような地震を起こすことは困難であると考えられ、火道深部からのトリガーのメカニズムをさらに検討する必要がある。

Kumagai, H. et al., *J. Geophys. Res.*, 115, B08303, doi:10.1029/2009JB006889, 2010.

Nishimura, T., *Geophys. Res. Lett.*, 31, L12613, doi:10.1029/2004GL019810, 2004.

Nishimura, T., and B. Chouet, *Geophys. J. Int.*, 153, 699-718, 2003

Tameguri, T., M. Iguchi, and K. Ishihara, *Japan. Bull. Volcanol. Soc. Jpn.*, 47, 197-216, 2002.

SVC047-10

会場:301B

時間:5月24日 11:00-11:15

地震・傾斜解析に基づく2007年スメル山ブルカノ式火山噴火の発生機構 Source mechanisms of vulcanian eruptions at Semeru volcano, Indonesia, as inferred from seismic and tilt data analyses

西村 太志^{1*}, 井口 正人², スロノ スロノ³, Hendrasto Muhamad³, Rosadi Umar³
Takeshi Nishimura^{1*}, Masato Iguchi², Surono Surono³, Muhamad Hendrasto³, Umar Rosadi³

¹ 東北大・理・地球物理, ² 京都大・防災研, ³ インドネシア・火山地質災害軽減センター
¹Geophysics, Science, Tohoku Univ., ²DPRI, Kyoto Univ., ³CVGHM, Indonesia

We analyze tilt records and broad-band seismic signals preceding or associated with vulcanian eruptions observed at the summit of Semeru volcano, Indonesia. Signals from a tilt meter (701-2 Applied Geomechanics) and a STS-2 seismometer (Streckeisen Ltd.) installed at a depth of 1 m are recorded at a temporal station located at about 500 m north from the active crater. More than 1000 explosions are well recorded on March and April in 2007. To know how the volcano inflation changes with eruptions, we examine temporal changes and amplitudes in tilt and seismic signals. We first classify the magnitude of each explosion into five categories according to the maximum amplitude of the velocity seismogram of the explosion earthquake. Then, we stack the tilt signals, adjusting the time to the initial motion of the explosion earthquake, to obtain an average view of the volcano inflation. The stacked tilt records show that gradual uplifts toward the active crater start about 200 to 300 s before each explosion. The uplifts accelerate with time, especially about 60 s before the explosions. There is no significant dependence on the magnitude of explosion in these time scales. On the other hand, the amplitude of tilt increases with increasing the magnitude of explosion. This strongly suggests that we are principally able to predict the magnitude of explosion from the geodetic measurements. We further examine the broad band seismic signals of explosion earthquakes to obtain the average processes of vulcanian explosion. According to the maximum amplitude of the explosion earthquakes, we stack the vertical component signals that are low-pass filtered at 0.5 Hz. The averaged signals show downward motions for about 5 s followed by upward motions. The amplitudes of upward motions are much larger and longer. This means that the volcano first deflates, and then inflates. The source depths are not determined yet, but are maybe withdrawal of magma in the conduit, and rapid supply or expansion of magma remained in the conduit. Although the stacked signals change about 6-8 times in amplitudes, we do not see any significant differences in the temporal changes. These tilt and seismic data analyses indicate that the vulcanian explosions repeatedly occurring at Semeru volcano are mainly different in the magnitude, but not in time scale.

Keywords: Vulcanian, explosion, tilt, explosion earthquake, inflation, deflation

SVC047-11

会場:301B

時間:5月24日 11:15-11:30

1888年磐梯山水蒸気爆発のメカニズム (3) 爆発源の位置と噴出方向 Mechanism of the 1888 Phreatic Explosion at Bandai Volcano, 3. Location of Explosive Source and Multi-directed Outbursts

浜口 博之^{1*}, 植木 貞人²

Hiroyuki Hamaguchi^{1*}, Sadato Ueki²

¹ 無, ² 東北大学理学研究科

¹Free, ²Graduate School of Scienc, Tohiku Univ.

1888年磐梯山噴火は水蒸気爆発として極めて規模が大きく稀な事象である。これまでは目撃談, スケッチ, 写真などの残された情報をもとに解釈がなされてきたが, 噴火過程の解明は遅々として進歩せず, また謬見を改めることも遅れているのが現状である。本研究は, 噴火から約1世紀後に発生した群発地震活動や3次元浅部構造調査などの新しい情報を活用してこの噴火の素過程を考察する。

Sekiya and Kikuchi(1890)によると, 噴出は, 上方, 北方, 南東の3方向がある, 上方には円柱状の水煙が15~20回噴出した。その直後に「最終ノ一発ノ北ニ向ヒテ横ニ抜ケタリ」と表現される山体崩壊に伴う岩屑なだれ(デブリ・アヴァランシェ)が北方に噴出した。これらの噴出とは別に南東方向の琵琶沢を猛烈な疾風(プラスト)と土石流が流下した。これらの噴出源はひとしく小磐梯山直下にあるがただその通り道が異なるとする Sekiya and Kikuchi(1890)の解釈が今日でも通説として流布し, 守屋(1980)等のモデルのベースとなっている。しかし, 小磐梯山直下に水蒸気爆発源があるとするとモデルではプラストによる被害の局地性や方向性等の説明ができないなど, 相容れない観察事実も散見される。

本研究では3次元速度構造データ(Yamawaki et al., 2004)をもとに沼の平の直下のドーム状に盛上った甲殻構造(Carapace)内の熱水の臨界異常に伴う急激な圧力上昇を想定し, それを半無限弾性体内の半径(r), 中心の深さ(d)の球内部に均様な圧力(P)が作用する簡単なモデルとして設定する。Savin(1961)によると(1) $d/r = 1$ の場合, 半無限表面の最大引張り応力(σ_x)_{max}と球表面の最大引張り応力(σ_{θ})_{max}は理論的に P よりはるかに大きくなるとなる, (2) $d < 1.73r$ の場合は球の中心直上の地表面で σ_x が最大値となる(3) $d > 1.73r$ の場合は球表面の σ_{θ} が最大値となる。 $(\sigma_x)_{max}$ または $(\sigma_{\theta})_{max}$ が引張り強度(T)より大きくなればそこで開口割れ目が起きると考える。

現実の3次元速度構造をモデルに適用すると, 球の中心の直上点は大磐梯山頂の北東約500mの沼の平(A点)に位置する。 d と r を構造モデルから正確に推定することはできないが, 地震空白域(Nishimura et al., 2002)などを参照して $d=1$ km, $r = 0.5$ kmを採用すると $(\sigma_{\theta})_{max}$ はA点から水平距離で約430mに位置する。南北断面でこの点は火口壁に近い水蒸気噴出点に対応する。一方, 東西断面では琵琶沢の上流の急峻旧火口壁に和田(1888)が指摘した「日蔭火口」にほぼ対応する。前者は北方に流下した岩屑なだれの開始点であり, 後者からプラストが水平方向に噴出したとすれば東方の渋谷, 白木城, 伯父倉などの疾風による被害の局地的分布を説明できる。

今回の解析から1888年磐梯山水蒸気爆発の源は小磐梯山直下ではなく沼の平の直下の浅部にその中心があり, そこから上方, 北方, 南東方の異なる3方向に噴出したと結論される。

キーワード: 磐梯山, 水蒸気爆発, 爆発の方向性, プラスト

Keywords: Bandai volcano, Phreatic explosion, Directed blast, Blast of wind

SVC047-12

会場:301B

時間:5月24日 11:30-11:45

宇宙線ミュオンによる平成新山溶岩ドーム密度構造観測計画 The plan imaging the lava dome structure with cosmic-ray muon at Unzen

N. D'Ambrosio¹, 清水 洋², 中村 光廣³, 中野 敏行³, G. De Lellis⁴, P. Noli⁴, P. Strolin⁴, 宮本 成悟^{5*}, 武多 昭道⁵, 田中 宏幸⁵

N. D'Ambrosio¹, Hiroshi Shimizu², M. Nakamura³, T. Nakano³, G. De Lellis⁴, P. Noli⁴, P. Strolin⁴, Seigo Miyamoto^{5*}, A. Taketa⁵, HKM. Tanaka⁵

¹ イタリア国立グランサッソ地下研究所, ² 九州大学地震火山観測研究センター, ³ 名古屋大学大学院理学研究科, ⁴ ナポリ大学理学部, イタリア, ⁵ 東京大学地震研究所

¹Ist Nazl Fis Nucl, Gran Sasso, ²Inst Seismol & Volcanol, Kyushu Univ., ³Grad. Sch. Science, Nagoya Univ., ⁴Ist Nazl Fis Nucl, Naples, Italy, ⁵Univ Tokyo, Earthquake Res Inst

粘性の高いマグマによって作られる溶岩ドームの内部構造を調べることは、溶岩ドームの成長メカニズムの解明にとって重要である。1991年～1995年の噴火により形成された雲仙岳の溶岩ドームの、宇宙線ミュオンを用いた内部構造観測計画が進められている。Nakada et al., (1995) は、の観測とそれに基づく雲仙溶岩ドームの内成的成長モデルの推察から、現在の溶岩ドーム密度構造を推定し、ミュオンラジオグラフィによってどの程度の優位な結果を得られるかシミュレーションを行った。結果、25mの高空間分解能で優位な密度決定を行うことができることがわかった。中田教授らの提案するモデルの検証が可能なデータを得られる見通しを得た。溶岩ドーム形成がこのような peel model を経て成長している場合、現在の溶岩ドームは楕円体の密度が高い部分と、その周りの密度の低い瓦礫の部分が massive な楕円体部分の下に存在することが予想される。その予想から、現在の溶岩ドームの密度構造を仮定し、ミュオンラジオグラフィによって、どれだけ有意な観測が行うことができるかシミュレーションを行った。結果、1.0m² のミュオン検出器を6ヶ月間設置すれば、25mの高空間分解能で massive な楕円体と外側の瓦礫を、優位な密度差として観測でき、中田教授らの提案するモデルの検証を行うことができる見通しを得た。2010年12月初めにミュオン検出器である原子核乾板を、雲仙岳にある自然の風穴のなかに1.0m² 設置した。2011年7月末に回収、現像、解析を行う予定である。原子核乾板の解析は高速読み取り装置によって行われる。今秋には最初の解析結果が得られる予定である。

SVC047-13

会場:301B

時間:5月24日 11:45-12:00

地表付近でのメルトフォームの崩壊メカニズム：ブルカノ式噴火機構への意義 Mechanism of foam collapse near the surface: implications for the Vulcanian eruptions

大槻 静香^{1*}, 中村 美千彦¹

Shizuka Otsuki^{1*}, Michihiko Nakamura¹

¹ 東北大・理・地学専攻

¹Dept. Earth Sci., Tohoku Univ.

In the eruption phase of vigorous Vulcanian explosions, lava domes or dribblets repeatedly appear in the volcanic crater. It is believed that dense lavas are formed via compaction of melt foam, namely, density contrast between gas and melt matrix causes densification of permeable foam. However, the mechanism of lava formation is still unclear. The permeability of the lavas overlying the melt foam should decrease quickly enough to accumulate magma pressure in the conduit that is required from both geophysical observations and modeling of Vulcanian explosions. In this presentation, we propose that surface tension-driven foam collapse may produce dense andesitic lavas in addition to the compaction driven by gravity.

We have carried out heating experiments of andesitic pumices in the air and evacuated silica glass tubes with NNO buffer. We used the pumice clasts of the 1914 (Taisho) eruption of Sakurajima volcano. Its water content in the groundmass glass is ca. 0.5 wt%. The experimental temperature ranges from 400 to 1000 deg. C, and the run duration from 0.5 to 8 hours. With increasing run duration at 1000 deg. C, the vesicularity decreased in both atmospheric and evacuated runs. At 400 deg. C, however, no significant densification was observed. Since there was no excess confining pressure or shear strain, the only possible force to have caused the densification of melt foam is surface tension of the melt. The textural observations of the bubbles and cavities support this idea. The time scale of compaction and its relation to the interval of Vulcanian explosions will be discussed.

SVC047-14

会場:301B

時間:5月24日 12:00-12:15

減圧による発泡マグマの破碎と脆性度の影響 Brittleness on the fragmentation of vesicular magma

岡部 渉^{1*}, 亀田 正治¹, 市原 美恵²

Wataru Okabe^{1*}, Masaharu Kameda¹, Mie Ichihara²

¹農工大・工・機シス, ²東大・地震研

¹Mechanical Systems Engineering, TUAT, ²ERI, Univ. of Tokyo

マグマの破碎は爆発的噴火のトリガとされ、火山の噴火様式を決めるカギとなる現象である。我々は破碎の詳細なメカニズムを調べるために、マグマの模擬材料を急激に減圧して破碎させる室内実験を行ってきた。

マグマは Maxwell 型粘弾性体であり、固体/流体遷移の緩和時間が存在する。緩和時間、粘性率を剛性率で除したものは応力を緩和する早さの指標である。緩和時間と現象の代表時間の比である Deborah 数によりその物体の性質が決定される。Deborah 数が大きければ、その物体中には応力が残留することで固体的な性質が示される。

本実験では、減圧時間が現象の代表時間である。Deborah 数に加えて、本実験では、ポイド率、初期圧力、減圧量も、現象を支配する重要な物理量であるが、これまでの実験により初期圧力に破碎の有無は依存せず、減圧量とポイド率による気泡内と外の応力差である差応力と Deborah 数によって破碎の有無はきれいに整理された。破碎を起こすには臨界差応力が存在し、差応力がそれよりも小さいとき破碎は起こらないことが分かっている。

我々は Deborah 数が 0.1-10 付近の粘性を無視できないマグマの破碎の有無を「脆性度」(Ichihara and Rubin 2010)を用いて整理した。脆性度はある瞬間にマグマに加えられた力学的エネルギーのうち弾性エネルギーに分配される割合を意味するパラメータで、応力、応力の変化率、および、歪み速度の関数である。Kameda et al. (2008) の実験結果 (初期ポイド率 0.06, 初期圧力 3MPa) が、このパラメータでよく説明できることはすでに示されている (Ichihara and Rubin, 2010) が、ここでは、幅広い初期条件に対して破碎の有無と脆性度の関係を議論する。

マグマの模擬材料として酸素気泡を混入した水あめを使用した。水あめの含水率によって試料の粘度を調整した。実験には高圧管、真空タンク、二重隔膜から構成される装置を使用した。高圧管には観察用のガラス窓があり、そこに実験試料を設置する。高圧管を任意の初期圧力まで加圧し、真空タンクは約 10kPa まで減圧する。隔膜を破膜させることで高圧管を急激に減圧する。観察窓より高速度ビデオカメラにて試料を撮影する。初期圧力は 1.1 から 3 MPa までの値とし、さまざまな減圧速度を与えて実験を行った。実験試料のポイド率は 6% から 20% の範囲であり、粘度は 105 Pa s から 109 Pa s の範囲とした。

我々は、急減圧時の試料の様子を次の 3 つに分類した: (a) 試料が延性変形せずに破壊が発生する「脆性破碎」、(b) 試料がわずかに延性変形した後に破壊が発生する「脆性的破碎」、(c) 試料は膨張するのみで破壊が生じない「延性膨張」。破碎の様子から、モード (a) は固体的性質に由来する脆性破壊、モード (b) は粘性流動も含んだ延性破壊を起こしていると考えられる。

実験結果を、気泡表面の差応力が臨界差応力に達する瞬間における気泡壁の「脆性度」によって整理した。「脆性破碎」(モード (a)) は差応力の大小に関わらず、脆性度が 0.9 から 1 の間で起こっている。一方、脆性度が 0.6 から 0.9 の場合には、その後さらに差応力が十分増加するときのみ「脆性的破碎」(モード (b)) が起こる。言い換えれば、最大差応力が臨界差応力付近では破碎起こらない。さらに、臨界差応力における脆性度が 0.6 よりも小さいとき、その後の差応力の大小に関わらず、「延性膨張」(モード (c)) を示した。ここでは、加えられた変形エネルギーのほとんどが粘性によって散逸され、破碎を引き起こすには至らないと考えられる。

以上から 2 つの結論が導かれる。(1) 最大差応力が臨界差応力近傍のときは脆性度が 1、すなわちマグマが弾性的にふるまうときのみ破碎が起こる; (2) 最大差応力が臨界差応力よりかなり大きくなると、過剰に加わるエネルギーによって、マグマが粘性を示し始める領域でも破碎が起こる。

キーワード: 破碎, 粘弾性, 室内実験, 脆性度

Keywords: fragmentation, viscoelasticity, analogous experiment, brittleness

SVC047-15

会場:301B

時間:5月24日 12:15-12:30

板状結晶を含む流体の自己組織化プロセス：剪断歪の影響 Self-organized microstructure in flowing suspension

川畑 博^{1*}, 西浦 泰介¹, 阪口 秀¹, 巽 好幸¹

Hiroshi Kawabata^{1*}, Daisuke Nishiura¹, Hide Sakaguchi¹, Yoshiyuki Tatsumi¹

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構

¹IFREE, JAMSTEC

We present a 3-D numerical simulation developed by combining the discrete element method (DEM) and computational fluid dynamics (CFD), assuming suspensions containing uniform rectangular rigid particles within a Newtonian viscous matrix. Our simulation revealed how the bulk viscosity is determined by the particle orientation, particle concentration, and development of both particle clusters and contact force chains. The evolution of the microstructure is governed by two factors: (1) geometric relationships between the particle orientation and the maximum principal axis and (2) magnitude of particle-fluid and particle-particle interactions, which modifies the rotation behavior of particles. The first factor results in the coupling of the particle orientation and the local fraction of particles. The second factor controls the mean preferred particle orientation and its intensity. Through the combined effect of the two factors, particles are rearranged because of shear-induced strain, and both the microstructure and the bulk viscosity reach a steady-state condition. Under this condition, the microstructure is composed of two domains having different particle fractions and particle orientations. These findings have important implications for the kinematics of the flow-related microstructure recorded in igneous rocks.

SVC047-16

会場:301B

時間:5月24日 12:30-12:45

発泡したマグマの流動・変形その場観察 In-situ observation of flowing magma at high temperature and pressure

奥村 聡¹, 中村 美千彦^{1*}, 上杉健太郎², 中野司³, 土山 明⁴

Satoshi Okumura¹, Michihiko Nakamura^{1*}, Kentaro Uesugi², Tsukasa Nakano³, Akira Tsuchiyama⁴

¹ 東北大学地学専攻地球惑星物質科学講座, ² 高輝度光科学研究センター, ³ 産業技術研究所, ⁴ 大阪大学宇宙地球科学専攻
¹Dept. Earth Science, Tohoku Univ., ²SPring-8/JASRI, ³AIST/GSJ, ⁴Dept. Earth Space Science, Osaka Univ.

The vesiculation and degassing of magma ascending in volcanic conduits control the explosivity and style of volcanic eruptions. To understand these processes, the vesiculation and degassing processes have been simulated by performing decompression and deformation experiments. Previous experiments were carried out using a quench technique in which magma was decompressed and deformed at high temperature and pressure, then cooled to room temperature and atmospheric condition to analyze run products. The quench experiments provided important information for processes whose timescale is relatively long. However, some processes cannot be observed directly. For example, it is difficult to observe brittle fracturing during magma deformation by the quench experiments, which seems to occur during short period and induce efficient degassing through the fractures. In addition, a sequential process of magma vesiculation, degassing, and compaction has not been observed experimentally, although it has been thought to be an origin of effusive eruptions.

In this study, we originally made a deformation apparatus to simulate decompression and shear deformation of magma. This apparatus can be combined with synchrotron radiation X-ray radiography and computed tomography of SPring-8 in Japan. In the apparatus, a sample is placed in a graphite cylinder and sandwiched between two pistons. An upper piston can be rotated by a rotating motor. The sample and graphite cylinder are externally heated using cartridge heaters. A small hole (ca. 10 mm in diameter) is created in the path of X-ray in the apparatus, except for the graphite cylinder which is X-ray-transmissive. To obtain three dimensional image (CT image), the sample is rotated on a theta stage and transmission images are taken from all direction. The approximately 10 degree images cannot be taken in this system because the deformation apparatus has two load frames which support internal pressure in the cell. Thus, the 10 degree images have to be obtained by interpolation. As a preliminary experiment, we performed a torsional deformation experiment at a temperature of ca. 1000 degrees C for vesicular rhyolite. The vesiculation and shear deformation of rhyolite was successfully observed using the X-ray radiography. In future studies, we will perform in-situ observation of shear fracturing and degassing-compaction processes of magma.

キーワード: マグマ, その場観察, 流動変形, 発泡

Keywords: magma, in-situ observation, shear deformation, vesiculation

SVC047-P01

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 14:00-16:30

Across arc variation of Magma Composition in Central Sunda Arc, Indonesia: A test of slab influence to mantle source Across arc variation of Magma Composition in Central Sunda Arc, Indonesia: A test of slab influence to mantle source

Haryo Edi Wibowo^{1*}, Toshiaki Hasenaka¹, Esti Handini², Yasushi Mori³, Agung Harijoko²
Haryo Edi Wibowo^{1*}, Toshiaki Hasenaka¹, Esti Handini², Yasushi Mori³, Agung Harijoko²

¹GSST Kumamoto University, ²Geological Dept. Gadjah Mada University, ³Kitakyushu Museum of National History

¹GSST Kumamoto University, ²Geological Dept. Gadjah Mada University, ³Kitakyushu Museum of National History

Sunda arc, a part of Pacific ring of fire, extends from West Java to Flores. The arc developed since Tertiary period at a convergent tectonic plate margin, where India-Australian plate is subducted northward beneath Eurasian plate. Central Sunda Arc (CSA) is represented by a series of volcanoes from the fore arc toward the back arc including Merapi, Merbabu, Telomoyo, Ungaran and Muria. The oldest activity represented by Muria was 1.11 Ma (Edwards, 1990) whereas the youngest one by Merapi was October 2010. Depth of Wadati-Benioff zone beneath CSA ranges from 190 km for Merapi (Gertisser & Keller, 2003) to 350 km for Muria (Nicholls & Whitford, 1989). Field works have been conducted for brief geologic observation and rock sample collection from Merbabu, Telomoyo, Muria, including Genuk on the north and Patiayam on the south of Muria. Data from Merapi is compiled from Handini (2010). Rock samples were analyzed using X-Ray Fluorescence, Prompt Gamma Ray and Instrumental Neutron Activation Analysis to obtain whole rock compositions. Using subduction component elements, we tried to estimate the sediment input from the slab in magma genesis of CSA.

High Al₂O₃ (~18 wt%), low Cr (~29 ppm) and Ni (~27 ppm) from CSA products characterize the volcanic products from these volcanoes. K₂O increases gradually with Benioff zone depth. Most samples from Merapi, Merbabu, Telomoyo and Ungaran are classified as subalkaline, whereas Muria samples fall on both Alkaline and Subalkaline fields. In detail, Merapi samples range from Medium-K to High-K, Merbabu Medium-K, Telomoyo and Ungaran High-K, and Muria samples range from High-K to Shoshonitic and Leucitic. We only selected unfractionated lavas to avoid assimilation, including basalt, basaltic andesite, andesite, basanite, trachy basaltic andesite and trachyandesite.

Chondrite normalized REE pattern of Muria samples including Genuk and Patiayam shows steeper patterns than those from fore arc volcano. LREE to HREE ratios of Muria samples are up to four times higher than those from the frontal volcanoes. Lead to HFSE ratios (e.g. Pb/Nb) reach the highest point around Merbabu (~17) and Telomoyo (~21) instead of frontal Merapi (~14), and gradually decrease toward back arc, suggesting the strongest sediment input at Merbabu and Telomoyo. Lead to HFSE ratios are the lowest (~0.25) at Muria Leucitic products. Those of Muria shoshonitic are ~0.67, and those of Muria High-K are ~1.27. Boron to HFSE ratios which also indicate the fluid significance on magmatism shows similar pattern with Lead. These results from fluid mobile elements provide possibilities on estimating slab influence to mantle source in CSA.

キーワード: Subduction, Across sunda arc, Quaternary volcanism, Fluid mobile element

Keywords: Subduction, Across sunda arc, Quaternary volcanism, Fluid mobile element

SVC047-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 14:00-16:30

Quaternary Gede Salak volcanic complex, Banten area, at the junction between Sumatra arc and Java arc, Indonesia Quaternary Gede Salak volcanic complex, Banten area, at the junction between Sumatra arc and Java arc, Indonesia

Idham Andri Kurniawan^{1*}, Toshiaki Hasenaka², Emmy Suparka¹

Idham Andri Kurniawan^{1*}, Toshiaki Hasenaka², Emmy Suparka¹

¹Intitut Teknologi Bandung, ²GSST, Kumamoto University

¹Intitut Teknologi Bandung, ²GSST, Kumamoto University

Pleistocene Gede Salak volcanic complex is located at Banten, northwestern edge of Java island. The volcanism is associated with the subduction of the India-Australia plate beneath Eurasian plate at the rate of 7 cm/y. These volcanoes are located near Sunda Strait, a transitional zone between Java arc and Sumatera arc where oblique subduction is observed. The distance from Java trench is 300 km, with a diameter of 30 km. This volcanic complex consists of Gede, Salak, Batur and Wadas volcanoes. To southeast is located Pinang volcano, and to south is Volcanic complex of Rawa Dano. This study is the first geochemical study of volcanic rocks characterizing across-arc variation of Java-Sumatra junction.

Gede Salak volcanic complex consists of pyroclastic flow deposits in the western part and lava flows in the eastern part. The later development of dome Wadas formation is probably associated with fault structures trending northwest to southeast.

Volcanic samples from this volcanic complex include basaltic to trachytic rocks, in the range of medium-K to high-K MgO content is less than 3 %. Elements of Rb, Zr, Ce, and La increase with increasing SiO₂. Chondrite-normalized REE patterns are similar to those of island arc basalts. When compared to volcanic samples from central western Java volcanoes, REE pattern is similar to those from backarc volcanoes (Sendjaja et al. 2009). Gede Salak volcano is slightly enriched in the subduction component, as illustrated by the low Nb/Zr and elevated Ba/Zr ratios. B/Nb and B/Zr ratios are in the range of (1.5 - 5.4) and (0.03 - 0.10), which are higher than the back arc volcano in central Java transect, but lower than the frontal volcanoes there.

キーワード: basalt, subduction, Gede Salak volcanic complex, Northwestern Java

Keywords: basalt, subduction, Gede Salak volcanic complex, Northwestern Java

SVC047-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 14:00-16:30

桜島火山大正噴火における、噴火様式の変遷とマグマ結晶化過程

The transition of eruptive style and crystallization process in the 1914-1915 eruption of Sakurajima volcano

北島 光朗^{1*}, 星出 隆志¹, 寅丸 敦志¹

Mitsuro Kitajima^{1*}, Takashi Hoshide¹, Atsushi Toramaru¹

¹九州大学 理学部 地球惑星科学科

¹Earth and Planet. Sci. Kyushu Univ.

[はじめに]

桜島火山の大正噴火では、初期の爆発的噴火で軽石を大量に噴出し、その後噴火強度が弱まり溶岩を流出させたという、噴火様式の変遷が見て取れる。このような噴火様式の変遷は、マグマの噴出前の状態や噴出の際の脱ガス作用に支配されるが、その原因が火道上昇中にあるのかマグマだまり内にあるのかは分かっていない。火道を上昇するマグマは、減圧・発泡を繰り返し、H₂Oを離溶させる。これによりマグマは融点の上昇、実効的過冷却状態に置かれ、火道内で結晶を晶出させる。それはマイクロライトと言われる、長径約100 μm以下の結晶であり、石基の構成要素の一つである。本研究では、噴火様式の変遷が何に起因するのかを探るために、桜島大正噴火で噴出した軽石・溶岩中の斜長石マイクロライトおよび斑晶の組織の観察、それらの化学組成の比較を行い、マグマだまり内や火道上昇中の発泡、結晶化プロセスと噴火様式の変遷について考察する。

[手法]

桜島西部に、大正軽石層のすぐ上部を大正溶岩が覆っている露頭が存在する。ここで採取した白色・灰色軽石それぞれの薄片を作成した。西部の溶岩はこの露頭付近を含め、その噴出順に16ユニットに細分化されている。この内の8ユニットから薄片を作成した。これらの薄片中の斜長石マイクロライト・斜長石斑晶リムを対象に、FE-EPMA(ビーム径100 nm、励起範囲約3 μm)を用いて化学組成を測定した。これにより、斑晶とマイクロライトの化学組成から見た特徴の違いを探る。また、画像解析ソフトImageJを用い、軽石・溶岩それぞれの斜長石マイクロライトのサイズ分布測定を行った。

[結果]

1. 軽石・溶岩共に、斜長石マイクロライトよりも斑晶リムの方が、An量が大きい。
2. 斜長石マイクロライトの化学組成は、軽石・溶岩による大きな違いは無かった。
3. 斜長石マイクロライトは、溶岩では10 μm以下の結晶が圧倒的多数でありサイズが大きくなるに従い、結晶数は指数関数的に減少する。軽石では20-30 μmの結晶が中心であり、ヒストグラムは正規分布に近い形になる。単位体積あたりのマイクロライト結晶数自体は、溶岩よりはるかに少ない。

[考察]

1 について、一般に、マグマが冷却、もしくは含水量が減少すると、マグマのAn量は減少する。マグマが発泡・脱水を起こしながら徐々に冷却した場合、どちらの効果にせよ、An量の小さいマイクロライトは、斑晶リムが出来た時より後のステージで結晶化したと考えられる。

2. より、マイクロライトの化学組成自体は、噴火様式の違いに影響されない可能性が高い。つまり、噴火様式の違いに関わらず、同じような条件で結晶晶出が起きていると考えられる。

3. より、溶岩では斜長石マイクロライトの大半が10 μm以下の微細結晶であり、結晶数密度が大きい。これは、溶岩を流出する非爆発的噴火では、マグマは脱水・冷却を効率よく起こったためだと考えられる。一方、軽石を噴出する爆発的噴火では、マグマの火道上昇速度が大きく、マイクロライトの核形成・結晶成長が進む前に急冷してしまったと考えられる。

以上より、マイクロライトサイズ分布は噴火様式に支配されると考えられる。また、今後軽石・溶岩それぞれの全岩化学組成を決定することにより、噴火様式の変遷が組成でなくマグマの温度・含水量に依存することを示すことができる可能性がある。

キーワード: 桜島, マイクロライト, 噴火様式, 化学組成, 軽石, 溶岩

Keywords: Sakurajima, microlite, eruptive style, chemical composition, pumice, lava

SVC047-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 14:00-16:30

桜島昭和火口の噴火前過程

Prior processes of Vulcanian eruption at Showa crater of Sakurajima volcano

横尾 亮彦^{1*}, 井口 正人², 為栗 健², 山本 圭吾²

Akihiko Yokoo^{1*}, Masato Iguchi², Takeshi Tameguri², Keigo Yamamoto²

¹ 京都大学大学院理学研究科, ² 京都大学防災研究所

¹Graduate School of Science, Kyoto Univ., ²DPRI, Kyoto Univ.

桜島において実施されている多項目地球物理観測によって、2009年に昭和火口で繰り返し発生したブルカノ式噴火に先行する個々の過程が次の通り明らかになった。

噴火開始の数時間前から山体内部（1 km 程度の極浅部）へのマグマ上昇・蓄積が開始される。有村観測坑道内（大隈河川国道事務所）に設置された、火口方向とそれに直行した方向の伸縮計記録において、それぞれ収縮、伸張の変化が観察される。この時間帯には卓越周波数が3~8Hzの極小規模なBH型地震の発生も見られる。いくつかの噴火事例では、次以降に示す噴火過程に至る前に、数10分から数時間程度の停滞期を経ることもある。

噴火10~20分前になると、火口底直下圧力溜りに対する「蓋」としての機能を有する領域が火口底に形成される。このとき、大隈河川国道事務所が桜島に展開している噴火映像で、火映の強度が減少し始め、やがて消滅する。同じタイミングでガス放出率の減少も観察される。

噴火直前（数分前）には圧力溜りからのガス抜けが発生し、火道最上部から内部に向かって減圧波が伝播して、連続的なマグマ発泡が誘引される。ガス抜けの数10秒前くらいからは微動（卓越周波数は<4 Hz）が発生し始めることがある。熱赤外映像には、火口内からのガス抜けのシグナルが記録されるが、その温度上昇幅は非常に弱い。ガス抜けの発生と同時に、前述伸縮計記録の変化傾向が反転する。圧力増加から減少に転じ始めたことを意味する。あわせて微動振幅の増大も認められる。蓋内に形成された割れ目、亀裂内をガスが抜けることで励起されている可能性がある。

減圧によって開始した発泡破砕が最も効果的で、マグマの体積増加が最大となる場所に到達するのは、噴火表面現象発生のおよそ1秒前である。発泡破砕して膨張を続けるマグマは、火口底直下の圧力溜りを下方から押し上げ再膨張させるため、火口底の変形隆起・破壊（蓋の破壊）がおきて、噴火表面現象（噴石飛散や噴煙放出）が開始される。爆発地震波形は初動が不明瞭であり、震源決定も難しい。全体的に複雑な波形様相を呈しており、南岳の爆発過程とはやや異なったプロセスがおきている可能性がある。空振先行相とのタイプ対応性を考慮することで、これらを明らかにすることができると考えている。

SVC047-P05

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 14:00-16:30

桜島火山昭和火口のマグマ供給システムと2009年噴火時地殻変動の研究 Magma plumbing system and ground deformation associated with the eruption at the Showa crater of Sakurajima in 2009

巳波 壮馬^{1*}, 井口 正人², 三ヶ田 均¹, 後藤 忠徳¹, 武川 順一¹

Soma Minami^{1*}, Masato Iguchi², Hitoshi Mikada¹, Tada-nori Goto¹, Junichi Takekawa¹

¹ 京都大学大学院工学研究科, ² 京都大学防災研究所

¹ Grad. School of Eng., Kyoto Univ., ² Disa. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.

これまで火山噴出物の分析や地質構造の解釈から定性的に噴火のメカニズムを解明する研究は多くなされてきたが、定量的にそのメカニズムを評価する研究はあまりされてこなかった。従来の研究例として火道流やマグマ溜まりでの結晶分化作用など、噴火機構の一部についての研究はあるが、火道とマグマ溜まりを一体として噴火メカニズムを考えた研究は少ない。

この後者の研究の一つとして本研究では、地殻変動から噴火直前のマグマがどのような挙動を示すのかを有限差分法等を用いてシミュレーションし、観測データと比較した。比較に用いたデータは2009年4月9日に桜島火山昭和火口で生じた噴火前36時間の間に、観測坑道内にある水管傾斜計と伸縮計によって測定されたものである。過去に行われたGPSデータの解析や地震波の異常減衰域の解析等により、桜島直下0.1 kmと4.0 kmに深さの異なる2つのマグマ溜まりが存在することが示唆されており、茂木モデルを適用することで、地殻変動量からそれらの体積変化を推定することができる。このようにして得られたマグマ溜まりの体積変化のデータより、深いマグマ溜まりの体積変化が浅い方と比較して40倍程度大きいことと、体積変化の傾向が減少から増加に転ずる時間に3時間程度の時間差があることがわかった。この2つの特徴的な挙動を解明するために、深さの異なる2つのマグマ溜まり間の火道をマグマが一次元気液二相流として流れると仮定し、深いマグマ溜まりへ定常的に供給されるマグマによって生じる過剰圧を引き金としてマグマが上昇するモデルを考えた。このモデルでのシミュレーションの結果、観測データで見られた時間差について十分に再現することができた。しかしながら、もう一つの特徴である数十倍程度の体積変化の差については説明することができず、定量的な噴火のメカニズムの解明のためには、新たな流動様式を考える必要があり、今後の課題といえる。

キーワード: 噴火, 火道, マグマ溜まり, 桜島, 地殻変動, 数値計算

Keywords: eruption, volcanic conduit, magma reservoir, sakurajima, ground deformation, numerical simulation

SVC047-P06

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 14:00-16:30

チリ・ビラリカ火山で観測された低周波空振の発振機構 Monotonic infrasound at Volcan Villarrica, Chile

後藤 章夫^{1*}, ジョンソン, ジェフリー²

Akio Goto^{1*}, Jeffrey Johnson²

¹ 東北大学東北アジア研究センター, ² ニューメキシコ工科大学地球環境科学科

¹CNEAS, Tohoku University, ²EES, New Mexico Tech

Volcan Villarrica in the southern Andes, Chile, is an active stratovolcano that hosts a convecting lava lake in the summit crater. The Villarrica lava lake is typically overhung by spatter roof that is broken by a central skylight through which the lava lake can be glimpsed. In January 2010 we pointed a video camera at the open vent and coincidentally recorded infrasound to better understand sound generation. We observed monotonic infrasound with stable peaked frequency of 0.77 Hz although there was a lack of visual correlation between discrete explosions and infrasound production. We demonstrate that the likely source of infrasound is Helmholtz resonance produced from a cavity that separates the active convecting lava lake from an overhanging spatter roof.

When pressure perturbation is applied to an air plug in a constriction (e.g., neck of a bottle or vent skylight) that is connected to a cavity, the plug will oscillate (Helmholtz resonance). The idealized Helmholtz frequency is given by:

$$f=(c/2*3.14)*(S/VL)^{1/2} \quad (1)$$

where c is sound velocity in the cavity, S is neck cross sectional area, L is neck length and V is cavity volume. In practice, an extra air volume proportional to the neck radius moves together with the air above and below the neck. This end effect may be added to the geometrical length of the neck and is calculated as 0.85 times the radius for a flanged end and 0.61 times radius at non-flanged (pipe) end (e.g., Fletcher and Rossing [1998]). By considering the skylight as a circular flanged hole with radius r , and when skylight length is negligibly short, Helmholtz resonance frequency is given by:

$$f=(c/2*3.14)*(3.14*r/1.7V)^{1/2} \quad (2)$$

Assuming Villarrica volcanic gas concentrations is 95 mol% H₂O, 2.0 mol% CO₂, 2.1 mol% SO₂, and less than 1 mol% of other species [Shinohara and Witter, 2005] and using mixing theory for each gas species [Morrissey and Chouet, 2001], $c=514$ m/s assuming cavity temperature is 200 °C. Using this value with $f = 0.77$ Hz and $r = 5$ m (skylight radius determined from video imagery) we obtain a cavity volume of $1.04*10^5$ m³ from eq. (2), and the cavity height is 31 m if we adopt cylindrical shape with the same diameter as that of spatter roof (65 m). Cavity gas might also mix with ambient atmosphere whose velocity is 0.85 times lower than that of Villarrica volcanic gas for the same temperatures. Although the atmosphere-volcanic gas mixing ratio in cavity is unknown, eq. (2) would predict a volume and height estimations as low as $7.51*10^4$ m³ and 23 m, respectively, for a cavity filled with atmospheric air at 200 °C. The actual cavity height should then most probably be somewhere between 23 m and 31 m.

In the video we are able to identify occasional lava dripping from the edge of skylight and falling into the lava lake. Forty-four independent measurements of fall time range from 1.3 to 2.2 sec with a 1.76 s average, corresponding to free fall distances between 8 and 24 m with an average of 15.5 m if we ignore drag force of the atmosphere. The wide range in estimates could be by dynamic levels of the lava surface due to bubble slug arrival and surface disruption and poor visibility due to volcanic fume that serves to decrease the estimated fall times. For these reasons we propose that the actual cavity depth could correspond to a fall of at least 2.2 s (or 24 m). The 24 m dimension is similar to the 23-31 m estimate determined from the Helmholtz resonance model, showing the plausibility of Helmholtz resonance for observed monotonic infrasound at Villarrica.

キーワード: 低周波空振, 溶岩湖, ヘルムホルツ共鳴

Keywords: Infrasound, lava lake, Helmholtz resonance

SVC047-P07

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 14:00-16:30

火山弾の組織変化に見る、珪長質マグマでの気泡核生成、成長、合体の素過程 Vesicle nucleation, growth and coalescence processes in felsic magma, inferred from textural change in a volcanic bomb

鈴木 由希^{1*}, 小屋口 剛博¹
Yuki Suzuki^{1*}, Takehiro Koyaguchi¹

¹ 東大・地震研

¹ Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo

珪長質マグマでのマグマの発泡や脱ガスの素過程の理解向上を図ることを目指し、浅間山 2004 年 9 月 1 日のブルカノ式噴火の単一の火山弾の気泡組織を解析した。大気放出後、固結までの時間は火山弾コアに向かい増大するので、リム-コアの連続的解析により、組織の進化過程が把握されるはずである。

火山弾の半径は約 10cm である。リム-コアの位置によらず、一様に約 40vol.% の斑晶を有し、石基には 20-30vol.% 程度のマイクロライトが存在する。おおまかに、緻密で濃灰色の急冷縁 (約 1cm 厚) と、淡灰色で発泡の進んだ内部という、段階的な組織変化を示す。薄片や BSE 像による組織定量化のため、火山弾の中心を通る断面において、リム (最外縁) から約 0.2cm, 1cm, 2cm, 3.5cm, 6cm, 8.5cm の 6 箇所 (順に Part1-6) を選び出した。Part 1 は急冷縁, Part2 は急冷縁と内部の境界, Part3-6 は内部に相当する。

ほとんど気泡のない Part1 に対し、Part2 では発泡度がコアに向け連続的に増加し、Part3-6 ではリムからの距離によらず発泡度が一定である (石基部分としての発泡度は 64-67%)。Part2 では 50 μ m 前後までのサイズの気泡が存在し、球形のものが多く、おそらく急冷縁と直ぐ内側 (Part1-2) は、ブルカノ式噴火爆発時の火道上昇から大気放出来までに起きた気泡核生成・成長過程を記録している。なお Part2 では、気泡の集中する部位と、ほとんどない部位の不均質が見られ、核生成過程を理解する鍵となる可能性がある。

Part3-6 は発泡度一定だが、サイズ分布、気泡数密度は、リムからの距離により系統的に変化する。500 μ m 長以下の気泡の発泡度に占める割合はコアに向け減少し、Part3 では約 90%、Part6 では約 75% である。同じサイズの気泡の単位石基当たりの数密度は Part 3,4 の $11.0-7.8 \times 10^4/\text{mm}^3$ に比べ、Part 5,6 では $6.7-6.2 \times 10^4/\text{mm}^3$ と系統的に低い。一方、肉眼でも識別可能な最大 1cm 長の気泡は、Part5, 6 には認められるが Part3, 4 には存在しない。合わせて大部分の気泡は、Part3-6 の位置によらず、不規則形であったり球形のものが複数連結した組織を示す。以上のことから、Part3-6 での系統的な変化は、メルト固結までの時間の長かったリムから遠くなる程、気泡の合体が進行し、その程度がコアに向けて高まったことを示唆している。合わせて気泡の円形度が Part 3,4 に比べ Part 5,6 で高く、合体気泡の形状緩和も進行したことが推定される。

以上のモデルの検証と共に、その知見を珪長質マグマでの素過程として広く応用するため、本研究では 1) 上記過程のシミュレーションや、2) その基礎となる気泡核生成・合体の物理モデルの改良も行う。シミュレーションで要求される石基メルトの含水量、マグマの物性値のデータや、物理モデルの制約となる組織データの取得も合わせて行う。

キーワード: 火山弾, 珪長質マグマ, 気泡核生成, 気泡合体, 発泡度, 気泡サイズ分布

Keywords: volcanic bomb, felsic magma, vesicle nucleation, vesicle coalescence, vesicularity, vesicle size distribution

SVC047-P08

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 14:00-16:30

上昇中マグマ内部の気泡からの脱ガスに関するアナログ実験 Analogue experiments on degassing from deformable bubbly fluid by decompression

鹿児島 渉悟^{1*}, 並木 敦子¹

Takanori Kagoshima^{1*}, Atsuko Namiki¹

¹ 東京大学理学部

¹ School of Science, University of Tokyo

火山の爆発的噴火はマグマ中の気泡が急激に膨張することによって起こる。つまり、マグマ中の気泡の量は火山の噴火スタイルを大きく左右する。マグマ中の気泡の量は、気泡に閉じ込められた火山ガスが爆発を伴わずに大気中に散逸(脱ガス)することで減少すると考えられている。つまり脱ガスはマグマ中の気泡の量を変え、噴火様式に影響を与える重要な素過程であるが、その詳細はよくわかっていない。よって脱ガスについて知ることは非常に重要であるが、直接的な火道内の観察は難しい。本研究では模擬実験を行い、火道を上昇するマグマからの脱ガスについて具体的なイメージを提出する。

実験では、マグマと同じ粘性流体である水あめの中に二酸化炭素ガスを発生させて気泡を含む水あめ泡沫を作り、これを真空ポンプを用いて減圧することによってマグマが火道を上昇する過程を模擬的に再現した。水あめの粘性率は10,1000,4000 Pa s の3種類で、玄武岩質から柔らかい安山岩質のマグマに相当する。実験容器の上部(水あめ泡沫外部)と下部(水あめ泡沫内部)に圧力センサーを配置し、水あめ泡沫中の圧力勾配を測定した。

実験の結果、膨張した気泡の壁に穴があいて気泡同士が繋がり、水あめ泡沫の上端からガスが抜ける様子が観察された。観察された水あめ泡沫の体積(V_a)は脱ガスが起こらなかった場合の体積(V_i)より小さく、脱ガスが起こった事が定量的に確認できた。脱ガスが始まる気泡の体積分率は概ね0.8~0.9であった。 V_a と V_i を用いて脱ガス速度を計算した所、水あめ泡沫内部の圧力勾配との相関がみられた。本実験で観察された脱ガスは気泡の構造が時間変化する粘性流体中の物であるにも関わらず、平均的には圧力勾配が流れを駆動するダルシー則に従っているように見える。そこで浸透率を計算したところ、 $10^{-7} \sim 10^{-10} \text{m}^2$ と従来固化したマグマ等を用いて測定された物よりも大きい値が得られた。また、粘性が低いほど大きくなる傾向もみられた。ただし、これらの結果は水あめ泡沫中の気泡サイズの決まり方に依存している可能性があるため、実際の火道内プロセスに応用するためには更なる検討が必要である。

本研究では従来から指摘されている、気泡内部の過剰圧力の減圧速度・粘性率依存性も観察された。粘性が高く減圧速度が速いほど水あめ泡沫内部と外部との圧力差は大きい。気泡サイズの変化が流体外部の圧力変化に追従できないと圧力差が大きくなっていると考えられる。

以上より、粘性率が低く減圧速度が速い、つまりマグマに置き換えれば低粘性で上昇速度の速いマグマほど脱ガスしやすいと推測される。

キーワード: 火山, 噴火, 脱ガス, 気泡, 模擬実験, 火道

Keywords: volcano, eruption, degassing, bubble, analogue experiment, conduit

SVC047-P09

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 14:00-16:30

マグマの上昇速度がその貫入形状に与える影響 Effects of rising velocity of magma changing its intruded shape

戸谷 佳純¹, 楠本 成寿^{2*}, 清水賀之³
Kasumi Toya¹, Shigekazu Kusumoto^{2*}, Yoshiyuki Shimizu³

¹ 富山大学理学部, ² 富山大学大学院理工学研究部 (理学), ³ 東海大学海洋学部

¹Faculty of Science, University of Toyama, ²Grad. Sch. Sci. Eng. Res., Univ. Toyama, ³Sch. Mar. Sci. Tech., Tokai University

個別要素法に基礎をおいた PFC 2D (Particle Flow Code in 2 Dimensions) を用いて、貫入マグマの上昇速度がその貫入形状に与える影響を調べた。マグマの挙動や貫入形状は様々なファクターによりコントロールされているが、本研究では、マグマの過剰圧を直接反映するマグマの上昇速度に着目した。

個別要素法では、媒質を粒子の集まりで表現し、粒子と粒子の間を弾性ばね (粒子間の垂直方向とせん断方向の2つのばね) で連結する。必要に応じて、粒子と粒子の接続に、ボンドとよばれる接着剤のような役割をするパラメータを設定する。これらの値は、計算機の中で圧縮試験を行い、試行錯誤的に決定される。本研究では、地表付近でのマグマ貫入のシミュレーションを行ったため、地殻の弾性定数がヤング率 16 GPa, ポアソン比 0.21 となるよう、2軸圧縮試験 (2次元解析のため) を行い、垂直ばね係数, せん断ばね係数とも 50 GN/m, 垂直方向, せん断方向のボンドとして 1 kN という値を得た。マグマは運動しやすいよう、垂直方向, せん断方向のボンドを 0 kN とした。

本研究では、幅 5 km, 深さ 1.6 km の地殻を設定した。マグマの貫入は、モデル低部からマグマが任意の速度で押し出されるモデルを仮定し、速度の変化が貫入するマグマの形状に与える影響を見積もった。なお、地殻を構成する粒子の半径は 4.8 ~ 6.4 m, 密度は 2500 kg/m³ とし、マグマは 0.8 ~ 0.96 m の半径, 2000 kg/m³ の密度をもつ粒子の集まりとして、それぞれモデル化された。貫入するマグマの体積は、 $2 \times 10^5 \text{ m}^3$ とし、マグマの上昇速度は $5 \times 10^{-4} \text{ m/step}$ から 0.16 m/step まで変化させた。

計算の結果、いずれの速度でも、初期段階は貫入マグマの形状は円形となった。しかしながら、 $2 \times 10^5 \text{ m}^3$ のマグマを貫入し終えたのちの形状は、上昇速度により変化した。上昇速度が遅いと縦に伸びた楕円となり、速度が速いと円形もしくは低部が横方向に伸びた形 (丸みを帯びた三角形) となった。また、地殻の隆起に着目したところ、速度が遅いほど縦に伸びるため、表面地殻への影響が大きく、隆起範囲が大きくなった。

SVC047-P10

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 14:00-16:30

衝撃波破碎パイプモデルによる噴火過程の思考実験

A thought experiment on the volcanic eruption by means of the shock-wave fracturing pipe model

飯田 義正^{1*}

Yoshimasa Iida^{1*}

¹ なし

¹ none

カナダ、アサバスカ盆地などに分布する不整合関連型ウラン鉱床の生成モデルとして、表記のモデルを提唱した (Iida, 2008; 資源地質学会第 58 回年会講演要旨, P-32)。そのシナリオは次の通り。(1) 原生代内陸堆積盆地の基底不整合部にある埋没残丘が、これを覆う砂岩層のドーム状天井に地圧を支えられ、周囲より圧力の低い低圧ポッドとして存在。(2) 盆地の沈降・堆積が進み地圧が高くなると、耐え切れずにドーム状天井が崩壊し、ポッド長軸の両方向に衝撃波を発生。(3) これらの方向性のある衝撃波は、その中心軸ほど破壊の程度が大きいため波速が周囲より遅いので、波は拡散せず中心軸に集中する傾向となって方向性を保つ。その結果、衝撃波が通過した跡に、ひび割れた岩石がパイプ状に分布する構造が形成される。(4) アップディップ側の衝撃波は、浅部ほど速度が遅くなるため、徐々に屈折して垂直に近い角度で地表に達する。ダウンディップ側の衝撃波は、次第に減衰して破壊を伴わない通常の押し波となる。(5) これにより不整合レベルと地表付近が水理的に連絡され、地下水がパイプ内を長期間 (約 4 億年) 循環することにより変質帯と鉱床が形成される (以下の鉱床生成プロセスは省略)。

一般論として、パイプ状構造は低圧ポッドの崩壊による衝撃波により形成される、と考える。例えば、グランドキャニオン周辺に多数分布するブレッチャーパイプは、埋没鍾乳洞の崩壊に伴う衝撃波により形成されたと思われる (従来説では鍾乳洞の真上の岩層の崩落で説明)。また、ギアナ高地の巨大縦穴も衝撃波破碎パイプである可能性を指摘したい。

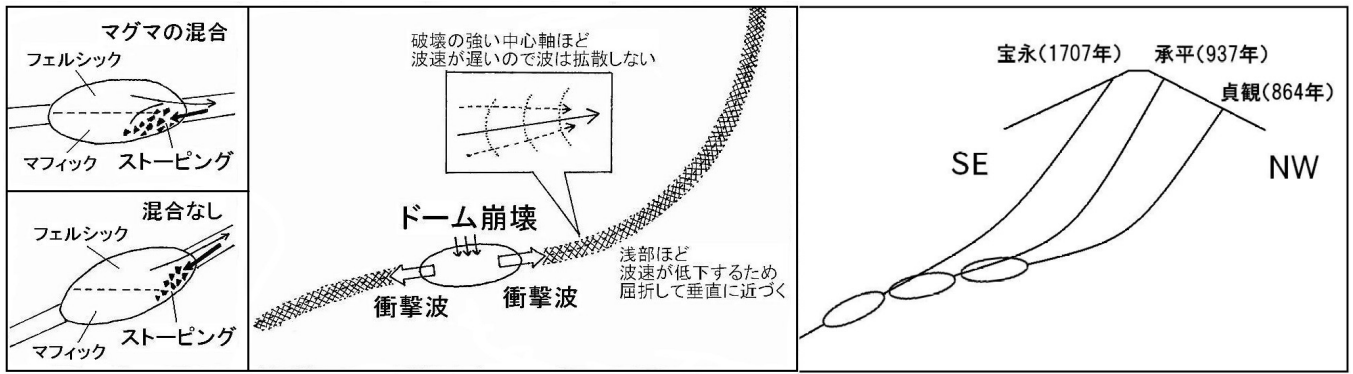
火山の火道の形成についても、衝撃波破碎パイプモデルを適用することを提案する。噴火のメカニズムとして、定説ではマグマ溜まりで沸騰が起こり、圧力が高まって爆発するとされているが、クローズドした環境では、圧力が上昇すれば沸騰は止まるはずであり、爆発的な圧力上昇は期待できない。爆発的な沸騰が起こるのはオープンな環境、すなわち火道の途中である。また、マグマ溜まりの圧力が上昇して爆発するとすれば、上位にテンション・クラックが生じるとしても、パイプ状の火道の形成は説明困難と思われる。

結晶の晶出に伴いマグマの体積が減少し、マグマ溜まりの圧力が減少すると、ドーム状ルーフの岩盤に地圧を支えられる形となる。この低圧ポッドが崩壊して衝撃波を発生させて破碎パイプを形成する過程は、上記の鉱床生成モデルと同様である。アップディップ側の破碎パイプの岩石は、重力によりマグマ溜まり内に流れ込む (文字通り鉱山のストーピングと同じである)。これと入れ替わる形でマグマがパイプを上昇する。この時、マグマ溜まり内でマグマが分化していて、フェルシクなマグマが上、マフィックなマグマが下にあり、マグマ溜まりの形状が比較的水平に近い場合には、ストーピングによりマグマの混合が起こる。しかし、マグマ溜まりの形状が比較的傾斜している場合には混合は起こらず、フェルシクなマグマから順に噴出するであろう (富士山の宝永噴火はこのケースと思われる)。上昇したマグマは途中で沸騰し、爆発的に噴火する。粘性の高いマグマは上昇に時間を要し、浅部に二次的なマグマ溜まりを形成して火砕流を発生させることがある。

噴火後、マグマ溜まりは、ダウンディップ側の破碎パイプに、徐々に後ずさりするようにして移動するはずである。数十年ないし数百年後の次の噴火も、その方向に移動するであろう。これが繰り返されると、噴火口が線上に分布することになる。従来、直線状に分布する火口群は構造線に規制されると見られてきたが、そうではなく、マグマ溜まりの長軸方向を反映するものと考えられる。

提案したモデルが正しければ、マグマ溜まりの頂部を爆破すれば、噴火を誘発することが出来るはずである。危険な噴火が起こる前に人工的に噴火させることが、将来実現すると予想する。また、同様に地震についても、人工的に誘発させる方向の研究が進展することを期待したい。

追記: 新燃岳の噴火についても論じる予定。



キーワード: 衝撃波, パイプ状構造, 噴火, ストーピング, マグマの混合
 Keywords: shock wave, pipe structure, volcanic eruption, stoping, magma mixing