

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

浅部火山性流体挙動の理論的・実験的研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(4) 地震発生・火山噴火素過程

エ．マグマの分化・発泡・脱ガス過程

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

(2) 地震・火山現象に関する予測システムの構築

(2-2) 火山噴火予測システム

イ．噴火シナリオに基づく噴火予測

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-2) 火山噴火準備過程

ア．マグマ上昇・蓄積過程

(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

(3-3) 火山噴火過程

ア．噴火機構の解明とモデル化

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

火山体浅部におけるマグマあるいは熱水などによって生じる火山性流体挙動の素過程について、モデリングと数値シミュレーション、および室内実験によって調べる。火山噴火の多様性を生むマグマ内揮発性成分の挙動に着目し、気泡成長や脱ガス過程の素過程の解明と、それらのマグマ全体の動態への影響を明らかにする。また、火山活動によりしばしば観測される振動現象のメカニズムを明らかにする。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度においては、開口型火道内のマグマ上昇過程のモデリングを行い、数値計算を行うことで、マグマ物性の上昇過程への影響を明らかにする。マグマの剪断変形実験を行い、変形・破壊したマグマの浸透率と空隙率の測定を行う。

平成 22 年度においては、開口型火道内マグマ上昇過程と火山性地殻変動の関係を明らかにする。また、火道・破碎帯内における火山性流体と火山体の弾性的カップリングをモデル化する。マグマ剪断変形実験を引き続き行い、マグマの破壊条件と脱ガスの関係を調べる。

平成 23 年度においては、揮発性物質を含むマグマの実効的特性をモデルに取り込み、火道振動に対する流体粘性の影響を定量化する。剪断変形実験の結果をもとに、マグマの上昇距離・火道半径と浸透率との関係を求め、火山の噴火様式に対するマグマの流動の効果を明らかにする。

平成 24 年度と平成 25 年度は、平成 23 年度までに数値モデリングおよび室内実験から明かとなる素過程をもとに、実際の火山で得られる地球物理学的観測量、物質科学的分析量を考察し、火道内マグマ挙動の特性を明らかにする。

(7) 平成 22 年度成果の概要：

平成 22 年度は計画課題を遂行するとともに、平成 23 年度以降の課題を一部先行し実施した。

以下に成果の概要をまとめる。

(1) 開口型火道内マグマ上昇による地殻変動に対する地形の影響のモデリング

火山噴火に伴い火口近傍で観測されている山体膨脹・収縮現象は、火道内マグマおよび火山性ガスの上昇・下降を反映していると考えられている。本年度は、測地データからこの火山性流体の挙動を精度良く推定することを念頭に、2次元の有限要素法を用いて、山体地形の測地データへの影響を評価した。その結果、主に以下のことが明らかとなった。山体の傾斜角が0°から30°まで大きくなるにつれて、変位、傾斜量の最大値が現れる位置は火口中心に近くなり、最大の変位量や傾斜量は2～5倍大きくなる。ただし、カルデラ地形がある場合、リムの場所では圧力源からの距離が局所的に大きくなるので、変位量や傾斜量は遠地の観測点より小さくなることもある。また、火道内を上昇するマグマの位置が観測点よりも上方になると、変位量や傾斜量の時間変化が緩やかになる。このことは測地データの時間的变化から、火道内マグマの気泡成長の有無など、火山性流体挙動を推測するには地形を考慮する必要があることを示唆する。

(2) 固液二層系振動からの弾性波放射の定量化

流体亀裂振動・火道振動からの弾性波放射特性の検討を行った。流体亀裂の振動特性については Yamamoto and Kawakatsu (2008) の境界積分法を用いたモデリング手法を拡張し、亀裂表面での法線ベクトルを基とした偏微分行列を用いることにより扁平楕円体などの形状の計算を可能とし、矩形・楕円状流体亀裂からの弾性波放射の方位依存性・距離依存性の計算を固有振動の各モードについて計算を行った。この結果、いずれの固有モードにおいて亀裂外部への弾性波放射は亀裂面からの距離に応じて指数関数的に減少する境界波動的な性質を示す一方で、高次の振動モードにおいては、亀裂先端における変換・放射が卓越することが示された。また、亀裂先端における高次モードの放射に関しては、矩形・扁平楕円での差は顕著ではなく、従来用いられてきた計算効率のよい矩形亀裂の近似の妥当性が示された。これらの結果は、流体亀裂からの弾性波放射を地表観測点で観測し解釈を行うためには、地表面との相互作用による表面波励起などの効果を今後検討することが不可欠であることを示唆する。

(3) 高温封圧下での剪断変形・亀裂癒着の室内実験

マグマの脆性破壊による亀裂の形成は、火道浅部での脱ガスの素過程として重要であると考えられている。今年度は、発泡した流紋岩質マグマの高温封圧下での剪断変形実験を世界で初めて行い、(a) 脆性破壊が、気泡が無いマグマの場合に比べ、メルトがより低粘性(高温あるいは高含水量=火道深部)の条件から開始すること、(b) 破壊面に沿って脱ガスが生じるとともに、破壊面に向かって圧密が起こることを明らかにした。また、このようなマグマ破断面の癒着(ヒーリング)実験を世界で初めて行い、(a) 癒着の速度がメルトの粘性変形によって律速されること (b) 癒着に要する時間は亀裂が脱ガスの通路として働くのに十分であり、また典型的な浅部火山性地震の発生間隔と一致すること (c) 実験によって明らかにされた癒着の時間スケールは、火山性地震がメルトの脆性破壊と癒着の繰り返しによって発生するとするモデルを支持することを示した。さらに、火山深部の苦鉄質マグマから供給される二酸化炭素に富んだ流体が浅部マグマ溜まりの水に富んだマグマに付加される現象(CO₂ fluxing)において、圧力変化なしに化学的な作用によって気泡の成長が促進され、噴火がトリガーされる可能性を実験的に示した。

「 = = = = 平成 23 年度の成果 = = = = 」

ストロンボリ式火山で提案されている火道内スラグ流により生じる山体膨脹をモデル化した。その結果、スラグ流が地表面に近づくと連れて山体膨脹が収縮へ転じることが明らかとなった。

近年、斑晶メルト包有物の揮発性成分量の分析に基づき、世界各地の火山において、CO₂フラクシング（深部の苦鉄質マグマから地殻浅部のマグマにCO₂に富む流体が供給される現象）が見出されている。この現象を輸送反応モデルによって定式化し、マグマや地表で観測される火山ガスの揮発性成分組成について、その時間変化の基本的性質を明らかにするとともに、観測データを説明する流体のフラックスや輸送モードを推定する方法を提案した。

火道内現象から生じた地震波動場の解析・解釈のため、火道壁における固液弾性的相互作用を数値モデル化し、実効弾性率の導出を行った。

- (8)平成 22 年度の成果に関連の深いもので、平成 22 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
Okumura, S., M. Nakamura, T. Nakano, K. Uesugi, A. Tsuchiyama, 2010, Shear deformation experiments on vesicular rhyolite: Implications for brittle fracturing, degassing, and compaction of magmas in volcanic conduits, *J. Geophys. Res.*, 115, B06201, doi:10.1029/2009JB006904.
Yoshimura, S., M. Nakamura, 2010, Fracture healing in a magma: An experimental approach and implications for volcanic seismicity and degassing, *J. Geophys. Res.*, 115, B09209, doi:10.1029/2009JB000834.
Yoshimura, S., M. Nakamura, 2010, Chemically driven growth and resorption of bubbles in a multivolatile magmatic system, *Chem. Geol.*, 276, 18-28.
喜多村 陽, 2010, 有限要素法を用いた開口型火道内圧力源による山体変形の研究, 東北大学修士論文。

- (9)平成 23 年度実施計画の概要：

- (1) ストロンボリ式噴火前のマグマ挙動として提案されている火道内の大気泡上昇により生じる山体変形の時空間変化を明らかにする。
- (2) 火道周辺の弾性定数の動径方向変化が火道振動に及ぼす影響を検討し、火道内流体運動と外部弾性波動場の関係を明らかにする。
- (3) 火山深部から供給される二酸化炭素成分に富んだ流体が、浅部のマグマの揮発性成分組成に与える影響を明らかにする。プルカノ式噴火の爆発圧力源と考えられているガス溜まりの物理化学的な条件を岩石学的に明らかにする手法を開発する。

- (10)実施機関の参加者氏名または部署等名：

西村太志, 中村美千彦, 山本希
他機関との共同研究の有無：無

- (11)公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻
電話：022-795-6532
e-mail：zisin-yoti@aob.geophys.tohoku.ac.jp
URL：http://www.zisin.geophys.tohoku.ac.jp/

- (12)この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：西村太志
所属：東北大学大学院理学研究科
電話：022-795-6532
FAX：022-795-6783
e-mail：nishi@zisin.geophys.tohoku.ac.jp

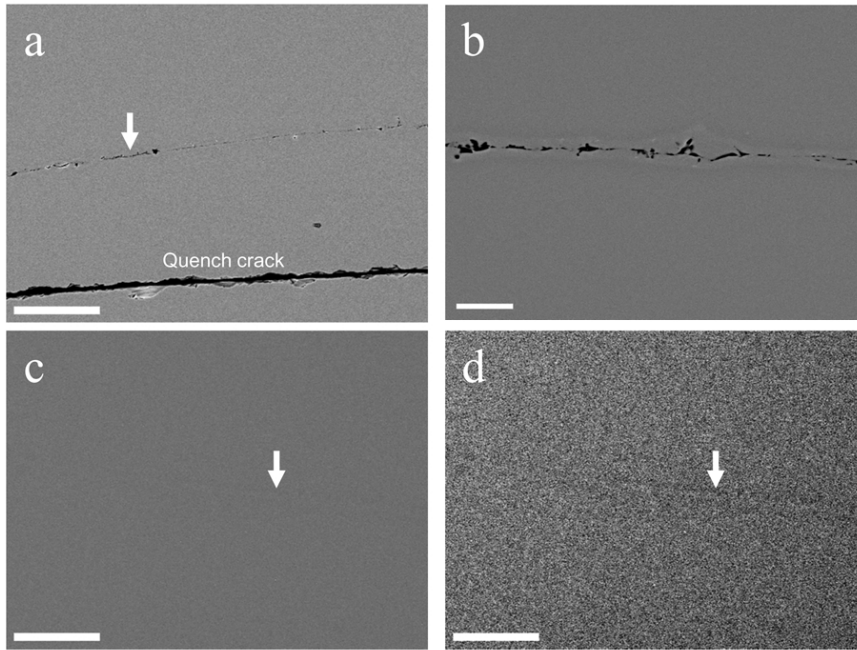


図 1: 900 におけるマグマ破断面の癒着実験の反射電子像

(a) 未癒着の亀裂 (矢印, 圧着 4 時間後). 左下の割れ目は試料冷却時のもの. スケールバーは $100 \mu\text{m}$. (b) (a) の拡大. 亀裂付近は脱水により輝度が上がっている. スケールバーは $20 \mu\text{m}$. (c) 亀裂部をまたいだ水の拡散プロファイルから, 完全に癒着したことがわかる部分 (8 時間後). 界面は消失している. スケールバーは $100 \mu\text{m}$. (d) (c) の高コントラスト像. 癒着した亀裂部がわずかに視認可能.

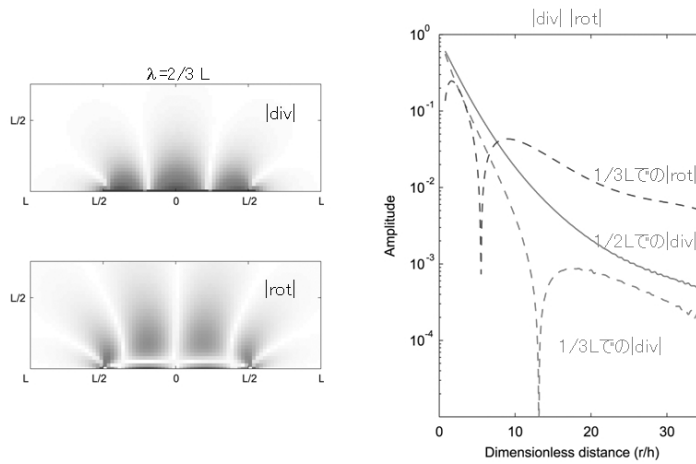


図 2: 矩形流体亀裂からの弾性波放射の例

流体亀裂からの弾性波放射はモードに応じた放射パターンを示すが (左図), 亀裂表面からの距離に応じ指数関数的にその振幅は減衰する (右図).