平成 24 年度年次報告

課題番号：1216

（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，及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・破砕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及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 24 年度成果の概要：

平成 24 年度は計画課題を中心に火山性流体挙動の素過程に関する研究を遂行した．
以下に成果の概要をまとめる．

(1) 物質科学的アプローチによる火山性流体挙動の研究

マグマ内揮発性成分の挙動，特にマグマからの脱ガスは，噴火様式・噴火推移の多様性を生み出す重要な素過程の一つである．本年度は，物質科学的アプローチから，以下の研究を遂行した: (a) マグマの剪断変形による開放系脱ガス・圧密・破砕過程の高温封圧下シンクロトロン X 線ラジオグラフィ・高速 CT 法観察に世界で初めて成功した (マグマの上昇・流動によって，溶岩流のような緻密なマグマが形成される過程がその場観察された)．また，シンクロトロン放射光 X 線を用いることで，高変形速度下での流紋岩 マグマの脆性破壊をその場観察することに成功した (図 1)．さらに，母岩からマグマが受ける粘性抵抗が火道壁附近のマグマの破砕によって低下し剪断変形量が低下することで，爆発的な噴火が発生するモデルを提案した (図 2)． (b) マグマの上昇を模擬した減圧発泡実験を行い，火山噴火の爆発性をコントロールするマグマからの脱ガス効率に対する結晶の効果について検討した．その結果，珪長質マグマからの脱ガス効率は＜ 50 vol %の結晶度においてほぼ一定であることが明らかになった． (c) 斑晶中のメルト包有物の組成に基づいて，火山から大気に放出された二酸化炭素の量を推定する数値モデルを構築し，データセットが最も豊富なエトナ火山を例として，その妥当性を検証した．これにより，火山から放出された二酸化炭素の観測量と地下のマグマプロセスを結びつける方法の一つが提案された． (d) 桜島大正噴火軽石に含まれる硫化鉱物の分解反応が，従来考えられていたようなマグマだまりプロセスではなく，噴出急冷直前の酸化によることを明らかにし，この分解反応が，地表付近でのマグマの上昇・破砕過程の速度計となる可能性を示した．

(2) 開口型火道内における気泡上昇に伴う山体変形のモデリング

多数の小気泡が火道内を上昇するプロセスを簡単モデル化し，火道壁圧力の時空間変化を基に山体変形を数値的に調べた結果，小気泡の上昇とともに山体が加速的に膨張することが明らかとなった．ストロンボリ火山の通常爆発に先行する傾斜計のデータ (Genco and Ripepe, 2010) から読み取った変動量と，小気泡上昇・スラグ流 (大気泡の上昇)・拡散による気泡成長の 3 つのマグマ上昇モデルから予測される傾斜変動量を比較した結果，いずれのモデルにおいても，山体膨張を引き起こした圧力源の深さは数百メートル以浅と求められた．さらに，傾斜計に記録された加速的に進行する山体膨張の時間変化は，スラグ流や拡散による気泡成長モデルでは説明できず，3 つのモデルのうちでは小気泡上昇モデルが最も妥当であることが明らかとなった．

(3) 火山性低周波地震・長周期地震のモデリング

火山浅部で発生する低周波地震・長周期地震は，地殻浅部における流体の動きを反映する現象であり，本課題でもこれまでの発生メカニズムのモデリング等を進めてきた．本年度も，前年度まで行ってきた研究を発展させ，固液二相系における波動現象の解析的・数値的モデリングを行った．具体的には，これまでの流体を含む薄い亀裂の振動問題に対し，数値モデリングで得られた結果を解析的扱いにフィードバックし，亀裂の固有振動の近似解を解析的に求める手法を開発し，効率的に観測記録の解析・解釈を行うための基礎を構築した．また，これらの浅部低周波地震・高周波地震のモデリン

グとの対比として，これまでその発生プロセスが明らかにされていない火山性深部低周波地震の発生様式を調べ，その発生メカニズムについての考察も行った．その結果，Frenkel-Kontorova モデルに基づく sine-Gordon 方程式系の解と深部低周波地震の相似性を明らかにすることが出来た．

（８）平成 24 年度の成果に関連の深いもので、平成 24 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

Matsumoto, K. and M. Nakamura, 2012, Syn-eruptive desulfidation of pyrrhotite in the pumice of the Sakurajima 1914-15 eruption: Implication for potential magma ascent rate meter, J. Miner. Petrol. Sci., 107, 206-211.

Okumura, S., M. Nakamura, K. Uesugi, T. Nakano, T. Fujioka, 2013, Coupled effect of magma degassing and rheology on silicic volcanism, Earth Planet. Sci. Lett., 362, 163-170.

Okumura, S., M. Nakamura, T. Nakano, K. Uesugi, and A. Tsuchiyama, 2012, Experimental constraints on permeable gas transport in crystalline silicic magmas, Contrib. Mineral. Petrol., 164, 493-504.

奥村聡・中村美千彦・上杉健太朗, 2012, 放射光 X 線を用いた流動するマグマのその場観察: 火山噴火の多様性の原因解明へ向けて, 放射光, 25, 222-228.

Yoshimura, S and M. Nakamura, 2013. Flux of volcanic CO_2 emission estimated from melt inclusions and fluid transport modelling, Earth Planet. Sci. Lett., 361, 497-503.

（９）平成 25 年度実施計画の概要：

(1) これまで進めてきた火道浅部マグマにおける気泡の合体・連結・脱ガス・圧密および結晶作用の実験的・記載的研究を発展させ，火山噴火の爆発性を支配する物理的要因を明らかにするとともに，天然の噴出物から実際に進行したマグマプロセスを推定する手法を開発する．

また，結晶・気泡を含むマグマの変形実験を行い，流動するマグマからの脱ガス率を制約する．

(2) ブルカノ式噴火時のマグマ後退現象をモデル化し，火道内圧力の時空間変化と山体変形の関係を調べる．

(3) 固液二相系・不均質場における振動現象のこれまでのモデリング結果を用いて，火山性地震・微動の観測データの解釈を行い，火山性流体の挙動およびその時間変化を推定する．

（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.gp.tohoku.ac.jp

URL：http://www.zisin.gp.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

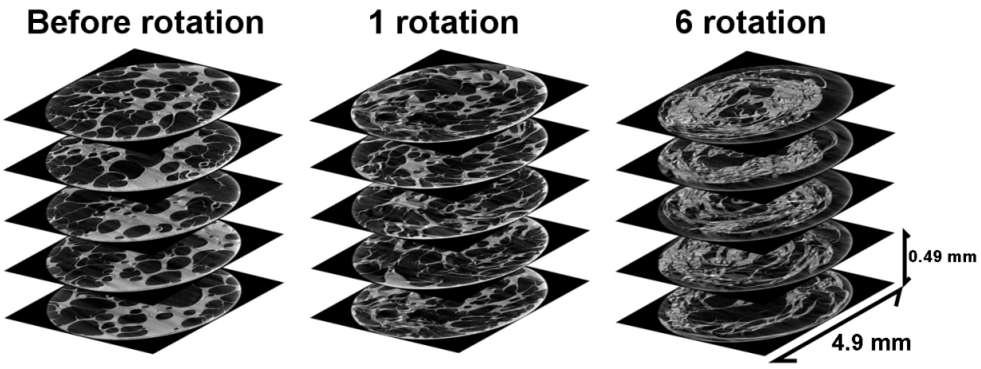

図 1
流動・変形するマグマのその場 X 線 CT．960 ℃の温度，0.5rpm の回転速度でねじり変形させた結果．
灰色の部分が流紋岩メルト，メルト中の黒い部分が気泡を表す．

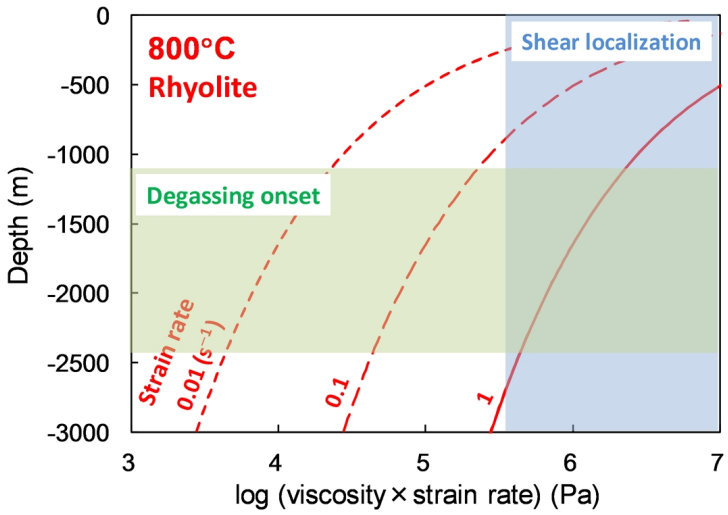

図 2
火道内を上昇するマグマの粘性変化と変形集中・脱ガス開始深度の比較．
火道内を上昇すると粘性が増加するため (赤い曲線)，地表付近ではマグマ中では変形集中が発生する．変形集中が開始する前に脱ガスが進行すると非爆発的噴火，脱ガスする前に変形集中が起こると見かけ粘性が低下することで急激なマグマの上昇，結果として爆発的噴火を引き起こす (Okumura et al., 2013, EPSL)．