

( 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及び室内実験から明ら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) 計画期間中(平成 21 年度～25 年度)の成果の概要:

##### (1) 物質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、特に火山浅部における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。そのため、本研究課題では、流紋岩マグマの高温封圧下における塑性変形実験および高変形速度下における脆性変形実験を行い、さらに塑性・脆性変形の際の場観察を世界に先駆けて行うことで脱ガスの効率を支配するマグマ中の空隙・破砕面の生成/癒着過程および流動による気泡組織の変形過程を明らかにし、マグマ変形とガス浸透率の関係の定量化を行った。また同時に、深部の苦鉄質マグマから浅部マグマ溜まりへの二酸化炭素の反応輸送( $\text{CO}_2$  fluxing)のモデルを構築し、浅部への流体の供給率や移動様式を観測データから明らかにする手法を提案する等、5 か年の計画に沿ったマグマ内揮発性成分の挙動およびそのマグマ全体の動態への影響に関する研究を進めた。

平成 25 年度には、剪断破壊を模擬したマグマの浸透率の測定を引き続き行い、破壊領域を介することで極めて効率的な脱ガスが起こる可能性を示した。さらに、従来より高温条件下(1200 まで)におけるマグマ剪断変形が可能な装置を作成し、アルカリ岩質マグマの流動場での結晶化実験を行い、流理構造の部分的な再現に成功した。また、霧島火山新燃岳 2011 年噴火における噴出物の解析から、マイクロライトよりさらに結晶数密度の高いサブミクロンスケールの結晶”ナノライト”の鉱物組み合わせとサブプリニー式・ブルカノ式・溶岩噴火といった噴火様式とが相関することを明らかにした(図 1)。さらにナノライトの結晶化カイネティクスを実験で決定することにより、マグマの上昇速度・地表付近でのマグマ滞留時間といった浅部マグマプロセスを定量的に明らかにできる見通しを示した。

##### (2) 開口型火道内におけるマグマ上昇過程および気泡上昇による山体変形のモデリング

火山噴火に伴い火口近傍で観測される山体膨張・収縮現象は、火道内マグマ・ガスの上昇・下降を反映したものである。そのため、本研究課題では、傾斜・ひずみ観測といった観測記録から火山性流体の挙動を推定することを目的に、マグマ上昇過程およびそれに伴う山体の弾性変形のモデリングを行った。噴火直後の開口型火道内のマグマ上昇の駆動力は、主に、火道内に生じた圧力勾配とマグマ中の気泡成長・体積増加である。そこで、これらの各々の素過程による影響を解析的に検討するとともに、マグマ中の小気泡群上昇・スラグ流・拡散による気泡成長といった両素過程が相互作用する場合のマグマ上昇モデルを数値的に検討した。さらに、マグマ上昇に伴って火道壁に働く応力が引き起こす山体の弾性変形を地形の影響を考慮した境界要素法により計算し、マグマ上昇に伴う地表変形の振幅や継続時間、変形の時間変化率が、火道半径や噴火直後のマグマの深さ等のみならず、揮発性成分の濃度や粘性といったマグマ物性によっても大きく変化することを明らかにする等、5 か年の計画に従った計画を遂行した。

さらに平成 25 年度においては、ブルカノ式噴火時のマグマ後退現象を Koyaguchi & Mitani (2005) の衝撃波管モデル(1-P モデル)をもとにモデル化し、噴火発生直後のマグマ挙動と山体変形の関係を調べた。このモデルでは、マグマ破砕面より上方では噴霧流となり、下方では粘性マグマは急減圧を受け発泡しながら急激に上昇するため、山体変形に対しては、破砕面上部では初期圧力に比して減圧収縮源、破砕面下では火道壁へ上向きに働く粘性剪断応力の力源となる。マグマの粘性や水の含有量、マグマ深部や破砕時の発泡度等をモデルパラメータとして火道内マグマ挙動を計算し、境界要素法を用いて山体変形を求めた結果、桜島で観測されたひずみや傾斜記録の基本的な特徴をよく説明出来た。

また、法線方向ひずみが伸張から収縮に転じる時間といった観測量からマグマ破碎面の平均的な降下速度の見積りが可能であることを明らかにした。さらに、桜島昭和火口の噴火記録にこのモデルを適用し、マグマ破碎面の降下速度および破碎時の発泡度の推定を行い、ブルカノ式噴火における火道内プロセスへの示唆を提示した。

### (3) 固液二相系における振動現象のモデリング

火山性流体と地殻・火山体の弾性的相互作用は、多様な振動現象を生み出す。特に、固液二相系の境界における波動・振動現象は、媒質物性によってその特性が大きく変化するため、その素過程を理解することは、地球物理学的観測による火山性流体モニタリングのために重要である。そこで、本研究課題では、固液二相系における振動現象と火山性流体物性の関係の定量的理解を目的に、流体亀裂や円筒状火道における固液弾性相互作用の解析的・数値的モデリングを行った。亀裂壁・火道壁における相互作用は、相境界における応力・変位の連続条件によって生じるものであるため、数値的モデリングにあたっては、先行研究で開発した境界積分法を基にした手法を拡張し、境界波特性の検討などを行った。さらに、現実的な火山環境および地震観測記録との比較などを念頭に、粘性流体を含む流体亀裂や飽和多孔質媒質中の流体亀裂といった異なる条件・設定における振動特性や流体亀裂からの弾性波放射特性の定量化などを進めた。また同時に、低周波地震の特徴を再現する作業仮説モデルとして破碎面上の動摩擦モデル (Frenkel-Kontorova モデル) に着目し、このモデルから得られる解の振動特性が火山性低周波地震の特徴を包括的に再現できることを示す等、5 か年計画の目標である火山性振動現象のメカニズムの解明を進めた。

平成 25 年度には、これらのモデリング結果と火山性地震・微動の観測データとの比較を行うために、阿蘇山・吾妻山・蔵王山・八甲田山といった活火山における長周期地震・単色地震の波形解析および振動特性の整理・検討を行った。その結果、いずれの火山における長周期地震も、その振動力源の卓越成分は開口亀裂型の体積変化成分であることが明らかとなった。また、その振動特性と本研究課題で行った流体亀裂振動の数値モデリングの比較から、これらの長周期地震が、火口直下の亀裂面・亀裂群における熱水反応によって生じていることを示した。

### (8) 平成 25 年度の成果に関連の深いもので、平成 25 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

Kawaguchi, R., T. Nishimura, H. Sato, 2013, Volcano inflation prior to an eruption: Numerical simulations based on a 1-D magma flow model in an open conduit, *Earth, Planets and Space*, 65, 1477-1489.

宮崎敏雄・山崎慎一・土屋範芳・奥村 聡・山田亮一・中村美千彦・長橋良隆・吉田武義, 2014, 偏光光学系方式の EDXRF による火成岩全岩化学組成分析, 岩石鉱物科学, 印刷中.

### (9) 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

### (10) 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/>

### (11) 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

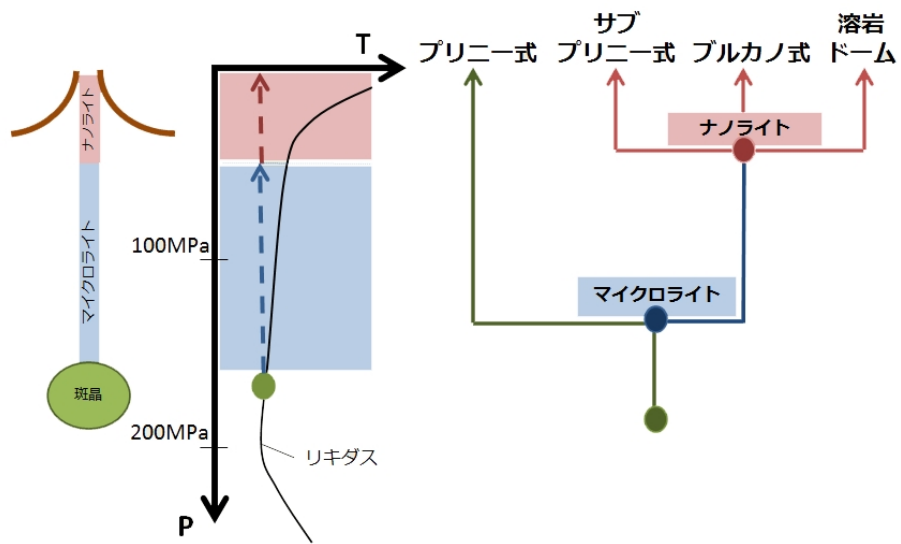


図 1. 結晶作用の深度と各石基結晶が可能な噴火様式の分岐

マイクロライトより小さく結晶数密度が高いナノライトは、火道のごく浅部や溶岩ドーム内での脱ガス（水蒸気圧の低下）による結晶化作用によって晶出したと考えられる。従って、この短時間分解能をもつナノライトの晶出条件を明らかにすることで、火山浅部における噴火様式の分岐を明らかにすることが出来る。