

( 1 ) 実施機関名：

九州大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

マグマの発泡過程に注目した噴火履歴・多様性・推移の定量的把握と支配要因の特定

( 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：

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

イ．噴火履歴とマグマの発達過程

( 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

イ．噴火の推移と多様性の把握

( 5 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究では、これまでのマグマの発泡過程や結晶化過程の研究成果を利用して、選定した火山に対して、まず、1つの噴火において噴出物に記録されているマグマの経験した減圧速度を定量的に把握し、これまでに分かっている規則性を強固なものにすると同時に、マグマの増圧・減圧過程や噴火の推移の支配要因を特定することを目指す。また、比較的単純な単一様式の噴火(例えば、プリニー式、ブルカノ式、溶岩ドーム)について、噴火の推移を直接取り扱う火道内非定常モデルの作成と簡単な室内実験を試み、火道内部での素過程と火山灰生成や火山ガスの散逸など地表面象の関係を理解する。さらに、噴火履歴の中で噴火の推移の支配要因がどのように変動してきたかを解明し、噴火シナリオのデータベースに資する。本年度は、このような全体の計画を念頭に置き導入的基礎データを収集する。

( 6 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度においては、間欠泉噴火の基礎実験を行う。

平成 22 年度においては、物質科学的観測を用いた噴火の推移・様式・履歴の定量化のためのサンプリングを行う。間欠泉噴火の周期性に関して実験的検討を行う。

平成 23 年度においては、噴出物の分析を行い、噴煙柱崩壊に伴う、減圧速度の変化の見積を行う。間欠泉における微動発生機構について室内実験を行い、微動データを収集する。

平成 24 年度においては、マグマの発泡のカイネティックスを組み込んだ非定常火道モデルの理論的検討を行う。また、間欠泉実験の改良と、噴出物の物質科学的データの補足を行う。

平成 25 年度においては、これまでの研究結果を整理し、不足分を補い、噴煙柱崩壊の機構及び間欠泉噴火における噴火様式の遷移機構を理解し、マグマの発泡のカイネティックスのモデル化を行う。

( 7 ) 計画期間中 ( 平成 21 年度 ~ 25 年度 ) の成果の概要 :

5 か年の到達目標である噴火様式やその推移の支配要因の特定を達成するために、1) 火山噴火のアナログ系としての間欠泉実験、2) 特定の火山噴火の噴出物についての分析、3) 発泡カイネティックスを含む気液 2 相流の火道内非定常モデルの定式化、を行った。以下ではそれぞれの項目についてまとめる。

1) 火山噴火のアナログ系としての間欠泉実験

噴出の長期予測と短期予測に関わる以下の基本的性質を理解した。長期的予測の観点として間欠泉実験系は、天然の間欠泉の性質としての時間予測性を再現でき、質量とエネルギーの保存がもっとも簡単な火山噴火システムのアナログモデルとなりうることがわかった。噴出様式に関しては、爆発的噴火に相当する噴出と非爆発的噴火に相当する噴出があり、その噴出様式と噴出量の間に関連があることがわかった。爆発的噴出が卓越するシステムでは、一回の噴出の噴出量は比較的大量でかつ統計的分散が小さいが、非爆発的噴出が卓越するシステムでは、一回の噴出の噴出量は比較的小量な場合から大量な場合まで出現し統計的分散も大きくなり、様式も多様になる。さまざまな実験条件での連続噴出に対する統計的検討から、噴出量や噴出様式は、ヒータからの加熱速度、すなわち過飽和増加速度に関係していることを突き止めた。さらにより直接的な原因を特定するために、フラスコ内の温度の不均一構造を実験的に測定した。その結果、爆発的噴出が卓越するシステムでは温度の空間構造が均一で揺らぎが少ないこと、それに対し非爆発的噴出が卓越するシステムでは、温度の空間揺らぎが大きいことがわかった。このことは、天然では、マグマだまり中での結晶化による揮発性成分濃集過程やマグマ混合の程度が、噴出量や噴火様式を支配していることを意味している。この考えを定量的に評価するために、噴火の開始条件としての過飽和度 ( トリガー条件 ) と、トリガー後に起こる減圧発泡の程度を評価する噴火ポテンシャルという概念を導入し、モンテカルロシミュレーションを行った。その結果、間欠泉実験の噴出量及び噴出様式分布をうまく説明できることがわかった。この結果を用いると、天然での火山噴火様式と噴出量の関係が、噴出直前でのマグマだまり内での過飽和度不均一の観点から系統的に解釈できることがわかった。

短期的予想の観点としては、噴出の前駆振動を測定し、その特徴的周波数が、噴出の開始に向かって系統的に小さくなることを見出した。この前駆振動の実態を明らかにするために同期させた高速カメラ映像を記録し、圧力変動の記録と比較することで、気泡の生成に伴う圧力パルスの特定、圧力パルス数や振幅と加熱速度の違いの関係を明らかにした。その結果、前駆振動の周波数特性には、気泡の周期的発生の発生周期が支配している場合と、単発的気泡発生によって励起された系の流体振動が支配している場合の二つの場合があることがわかった。後者の場合を、より定量的に理解するために、マグマだまりと火道からなる系の流体系の力学をモデル化し、気泡生成の励起項や散逸項、重力の影響を含む一般化されたヘルムホルツ振動方程式を導出した。その結果、噴出に向かっての前駆振動周波数の系統的な時間変化は、気泡の寿命や流体系の実効弾性率など複雑な要因が組み合わさって決まっていることがわかった。この結果は、天然で見られる火山性微動やハーモニック微動の原因として、気泡の周期的発生や流体系のヘルムホルツ振動が示唆されるが、振動特性から励起源の事態を推定し、噴火の規模や推移の予測を行うためには、実験系についてのさらなる研究が必要である。

2) 特定の火山噴火の噴出物についての分析

プリニー式噴火から溶岩流への変化が起こった桜島大正噴火で、斑晶と石基マイクロライトの化学組成を検討した。その結果、プリニー式噴火と溶岩流では、マイクロライトの化学組成には系統的变化がないことがわかった。このことは、噴火様式の違いは、火道上昇以前のマグマだまり内部ですでに決定されていたことを示唆している。

プリニー式噴火から噴煙柱崩壊により火砕流へと移行した始良カルデラ噴火について、噴火様式遷移の間の斑晶量・斑晶組み合わせ結晶組織や発泡度の時間変化を検討した。その結果、斜長石・斜方

輝石・石英斑晶のサイズと体積分率はプリニー式噴火の間徐々に増加し、火砕流に移行した直後は斜長石・斜方輝石に関してそれらの値が急激に低下したことが分かった。また、発泡度と気泡径は、火砕流へ移行と同時に、増加していることが分かった。これらの事は、プリニー式噴煙柱崩壊による火砕流への移行が、マグマだまり内での結晶度・揮発性成分の過飽和度の空間構造にあることを示唆している。

2011年新燃岳噴火の準プリニー式噴火からブルカノ式噴火への噴火様式の遷移に関して、準プリニー式噴火の軽石およびブルカノ式噴火の火山弾を分析した。その結果、噴出物の発泡度は石基の全岩化学組成と負の相関があり、ブルカノ式噴火による火山弾ではSiO<sub>2</sub>に最も富んでいることが分かった。また、このマグマの化学組成の多様性はマグマ混合によってもたらされていることが斜長石のバイモーダルな組成分布や結晶組織から推定された。これらの事実から、この噴火の噴火様式の遷移が、マグマ混合過程およびその結果としての液の化学組成の改変と一意的に関係していることが分かった。

### 3) 発泡カイネティクスを含む気液 2 相流の火道内非定常モデルの定式化

気液の相対運動が支配的で、気相の圧縮性が無視できる場合において、気相の体積分率の不均一が自発的に発達するポイド波不安定の数理構造を調べるために、Toramaru(1988,GJI)の方程式系について、WhithamのWave hierarchyの観点から分析した。その結果、その方程式においては2階微分部分の波の速さが1つしかないために、wave hierarchyの条件を満たさず不安定が発生することが分かった。また、長波長極限では、形式的には負の拡散によって不安定が起こっていることが分かった。

気液の相対運動が支配的で、気相の圧縮性が有効な場合において、気相の体積分率の不均一が自発的に発達する解を示すMichaut et al (2013, Nature Geo.)の方程式系について、Wave hierarchyの観点から検討した。その結果、やはり負の拡散係数が見かけ上現れることがわかり、火道内でのポイド波不安定の数理的条件として、負の拡散係数がカギを握っていることを突き止めた。

気泡の核形成・成長など発泡カイネティクスの火道流への影響を検討するために、均一 2 相流の定式化を行った。この定式化では、1 相流の非定常の定式化に倣って、2 相流体の密度を圧力とガス量の関数として取り扱い、質量保存の密度の時間変化の式を圧力の時間変化の式に変換した(圧力方程式と呼ぶ)。その結果、圧力方程式、運動量保存の式、ガス量の変化を記述するカイネティクスの式などからなる一連の支配方程式系を定式化することが出来た。この定式化を用いて、衝撃波管問題を解いた結果、発泡カイネティクスの流体力学的振る舞いへの影響は、高圧側への減圧の伝播パターンに現れ、圧力がほぼ核形成圧力で一定値を取る空間領域が出現することがわかった。このことは、天然の噴火では、核形成圧力の大小あるいは既存気泡の有無などによって、噴火のダイナミクスが変化することを示唆している。それ故、発泡カイネティクスは、噴火様式やその推移の支配要因として、今後詳しく検討される必要があり、その際には、今回の定式化が有用である。

### ( 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) :

Toramaru, A., K. Maeda, Mass and style of eruptions in experimental geysers, J. Volcano. Geotherm. Res., 257 (2013) 227-239.

Miwa, T., A. Toramaru, Conduit process in vulcanian eruptions at Sakurajima volcano, Japan: Inference from comparison of volcanic ash with pressure wave and seismic data, Bull. Volcano., 75 (2013) 685:DOI 10.1007/s00445-012-0685-y.

Atsushi Toramaru, Kazuki Maeda, Laboratory geyser; Insights into predictability of mass and style of eruptions, IAVCEI 2013 Scientific Assembly - July 20 - 24, Kagoshima, Japan 0P1\_2K-O4 (Experimental volcanology) RoomA1 Date/Time: July 2015: 15-15:30.

Manami Araki, Atsushi Toramaru, Effect of seismic oscillation on the bubble detachment from wall of magma chamber, IAVCEI 2013 Scientific Assembly - July 20 - 24, Kagoshima, Japan, 1W\_2B-P2 (Seismic triggering of volcanic eruptions and related activities) Date/Time: July 21 Poster.

### ( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

寅丸敦志 吉田茂生

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：九州大学大学院理学研究院

電話：092-642-2696

e-mail：

URL：

( 11 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：寅丸敦志

所属：九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門