

A02 班「マグマ内揮発性物質による火道内部の増圧過程の解明」

西村太志 (東北大学・大学院理学研究科・地球物理学専攻)

1. 研究目的

火山爆発の発生前の火道内およびマグマ溜まり内のマグマの挙動は、火山爆発の様式や規模に密接に関係していると考えられる。それらの挙動は、主に、メルト中に溶け込んでいた水の脱水及び発泡、発泡によるマグマの浮力の獲得、マグマ上昇に伴う火口浅部の圧力増加、マグマからの脱ガスなどに大別できる。これらのマグマの挙動を大きく支配し、爆発的噴火あるいは非爆発的噴火の発生に大きく関与しているのが、マグマに溶け込んでいる水や CO₂ などの揮発性物質である。例えば、火道を上昇中にマグマから脱ガスが進まない場合には爆発的噴火を引き起こし、脱ガスが効率よく行われた場合は非爆発的噴火となり溶岩ドームを形成すると考えられる。また、火道の閉塞は、爆発的噴火に繋がる火口直下の圧力蓄積を引き起こし、ブルカノ式噴火などの激しい噴火を生じさせる可能性が高い。本特定領域研究の開始から継続して、A02 班は、火山爆発の発生前のマグマの状態と爆発的噴火プロセスの関係を明らかにすることを目的とし、これら爆発的噴火の準備に関する一連のプロセスを、発泡過程、脱ガス過程、火道開口・閉塞過程などの素過程に分解し、主に、実験的、理論的な研究を進めた。また、これらの過程を統合したモデルの構築や、噴出物の複数解析や他現象との比較検討に基づき、火道内の増圧過程やマグマプロセスを調べた。

2. 平成18年度の成果の概要

2. 1. 発泡過程に関する研究

佐伯らは、雰囲気制御可能なその場観測装置を用いて、珪酸塩メルトの発泡脱ガス過程を調べた。和田峠の黒曜石を一定温度下、様々な水蒸気分圧下で発泡させ、その推移を逐次観察した結果、発泡過程は、メルト中の独立した多数の小気泡の成長段階、これらの気泡の接触段階、試料全体の膨脹段階、最大に膨脹した後の試料縮退段階に大きく分けられることが明らかとなった。また、試料全体の膨脹段階や縮退段階では、気泡膜の破断や破砕が認められないものの、縮退段階では球状の外形表面がしわ状になり、へこむように潰れた。さらに、その脱ガス速度は泡周辺の水蒸気分圧と関連があった。以上のことから、複数気泡が近接する状態では、気泡膜を通じた水蒸気フラックスの気泡内外へのやりとりがあり、それは浸透流ではなく、揮発成分の膜への溶解度と膜内の揮発成分の拡散速度で単純に決定されているフラックスであることが示唆された。

2. 2. 脱ガス過程に関する研究

火道内外への脱ガス過程は、噴火様式（爆発的か非爆発的か）に大きな影響を及ぼす。そこで、気泡連結や浸透流による脱ガス過程について、実験的なアプローチをもとに、これらのメカニズムを調べた。

中村らは、開放系セルを用いた含水流紋岩質メルトの加熱発泡実験を行い、浸透流脱ガスではなく拡散-気泡再吸収による脱ガス過程を調べた。実験で得られた結果は拡散過程を用いたモデルから計算される予測値でよく説明できることが明らかとなった。この結果から、マグマ内に剪断破壊により生じた通路や気泡連結による通路が生じている場合、浸透脱ガス流とともに気泡吸収がマグマ内で生じ、マグマ内に気

泡の無い層を形成する可能性がある示唆された。

奥村・中村らは、剪断応力をかけられる回転ピストン型の実験装置により、マグマ内の気泡連結過程を調べた。気泡の大きさと形状をX線トモグラフィー法で測定した結果、20%という非常に低い発泡度でも、剪断応力が強い場合には、気泡が十分連結することが明らかとなった。火道内を上昇するマグマは、火道壁近傍で大きな剪断力が働くことから、発泡が十分進んでいない深い領域でも、火道近傍沿いの気泡連結により脱ガスが進行する可能性が明らかとなった。

2. 3 火道開口・閉塞過程

火道の閉塞は、上昇するマグマ、熱水やガスなどの火山性流体を閉じこめ、火道内の増圧を引き起こす。本研究では、このメカニズムとして、熱水循環による火道壁面の固着と、熱応力による火道変形に着目し、それらについて実験を行った。また、巨大噴火を引き起こすカルデラ噴火についてこれまでの文献を整理して、マグマ溜まりの火道開口への影響を調べた。

磯部と竹内らは、流紋岩質火山ガラス粉末試料を用いて、熱水流動による火山ガラスの水和・変質・溶脱過程を、実験生成物の組織観察を行った。当初含水率の小さな火山ガラスは、超臨界条件の高圧水と接触することにより水和し、火山ガラスを溶解させる。そして、十分に溶存成分が高くなった流体は、水和したガラス粒子の粒界に析出物を生じさせる結果、浸透率を増加させることが明らかとなった。そこで、精密な透気測定を行い、実験後の試料の浸透率測定を行った。その結果、試料の下流部では、3日から8日のうちに、1桁から3桁以上の浸透率の低下がおきることが明らかになった。

伊藤らは、マグマと周囲岩体に温度差により生じる熱応力が火道変形を及ぼし、火道を閉塞することがこれまでの数値解析結果から示唆されたことから、室内実験によってその効果を検証した。既存の高温岩体圧縮試験装置を利用し、10MPaの封圧のもとで、円筒型の亀裂を用いた試料で実験を行った。熱水は、亀裂に、2°C/minで上昇させながら70°Cになるまで流入した。その結果、約50°Cに達した段階で急激に亀裂を流れる水の量が減少した。また、-2°C/minの割合で温度を低下させると、50°C付近で逆に流入量が増大した。これらの実験結果は、亀裂のような細い通路にマグマのような高温の流体が貫入した際に、熱により周辺岩体が大きく変形し、通路を閉塞する可能性があることを示唆している。

吉田らは、カルデラ崩壊とプルトン貫入の関係を検討することにより、カルデラの火道形成過程を調べた。その結果、テーブル状貫入マグマは、マグマの大きさと同規模のカルデラを形成し、火道をリング状に形成する。それに対し、ラコリスの場合、貫入したマグマよりも小さい規模のカルデラを形成する。また、カルデラ壁の傾斜の向きは、マグマ溜まりの圧力の大小により決まることが明らかになった。以上のことから、地表に現れているカルデラ形状から、リング状の火道の形成を明らかにすることができることがわかった。

2. 4. 火道内プロセス

素過程の解明とともに、地表にマグマが到達する前に、火道内マグマの全体像を明らかにすることは爆発の準備過程を理解する上で重要であるので、発泡・脱ガス過程を加味したマグマ上昇過程に関する研究を行った。

西村らは、揮発成分の発泡過程を加味したマグマの火道方向の上昇過程をモデル化した。また、脱ガス過程は、マグマ内の気泡がマグマから外部に抜け出すことに相当することから、脱ガス過程をマグマ密度

の増加で表現し、マグマ上昇過程のモデルに組み込んだ。このモデルを用いて、脱ガスが起きない場合と、火口直下 1 km で急速に脱ガスが進行する場合について、数値計算を行った。その結果、以下のことが明らかになった。脱ガスが起きない場合、マグマは浅部に近づくにつれ、より浮力を獲得し、体積を増加させる。そのため、噴火直前に火山体の変形が加速度的に進行する。一方、浅部で脱ガスが進む場合には、気泡の体積が減少することによる密度の増加により上昇速度が小さくなるとともに、マグマ全体の体積も減少する。この効果は火山体の変形速度を小さくする効果があるため、噴火直前には火山体の変形は緩やかに試行する。さらに、過去の噴火の事例を調べた結果、5火山の内4火山（セントヘレンズ火山、メラピ火山、雲仙岳、モンスレー島スーフレーヒルズ火山）で、モデルから予測される傾向が認められることが明らかとなった。まだ事例は少ないものの、観測データとモデルの予測の一致は、短時間の内に大災害を引き起こす可能性のある爆発的噴火と、溶岩ドームのような非爆発的噴火の発生を、地殻変動観測によって予見することができる可能性が高いことを示している。また、これまで噴出物などの物質科学的なアプローチでは、脱ガスの発生している場所やその規模等についての情報を得ることが容易ではなかったが、地殻変動等の地球物理学的観測によってこれらのパラメータを抑えられる可能性があることを示唆している。

寅丸らは、噴出物特性と火山爆発の様式の間を明らかにするために、桜島のブルカノ式噴火の爆発的噴火に伴い噴出された火山灰の火山ガラスの特徴を物質科学的観点から調べた。さらに、火道内の力学的過程により励起される地震や空気振動の活動や規模と比較した。爆発的噴火に伴い発生する爆発地震の規模と火山ガラス中の光沢のある粒子の割合の比例関係から、新鮮なマグマほど爆発地震の規模が大きいことが示唆された。また、爆発的噴火に伴う空気振動の大きいほど発泡していない粒子数と発泡している粒子数の比は、爆発的噴火前に前駆する BL 型地震の活動や空気振動の規模と相関が認められることなどが明らかとなった。寅丸らは、そのほかに、火山岩の石基鉱物であるマイクロライトの存在形態を調べ、その特徴を明らかにするとともに、マグマサンプルの減圧室内実験結果を踏まえて、それらの特徴が生じた原因について考察を加えた。

中嶋らは、火道内のマグマ上昇に伴う揮発性物質の挙動や噴出物特性の変化の室内実験結果をもとに、マグマ上昇過程に関連した時間スケールを議論した。流紋岩質火山ガラスの水の実効的な拡散係数を測定した結果は、マグマ上昇からマグマ破碎までに少なくとも数秒から数時間かかることを示唆している。また、流紋岩質火山ガラスの色変化に関する室内実験の結果は、鉄イオンを含む黒曜石の色の変化は、拡散過程に強く依存し、脱水速度に比べて2桁から4桁ほど遅く進行することが明らかとなった。プリニー式噴火時の噴出物の色変化を測定し、実験結果をもとに解釈すると、マグマがマグマ破碎時から噴煙下部に到達するまでに12分から207分かかったと推察された。小型透気測定器によるマグマ発泡物質の浸透率測定は、浸透によってマグマ内の気相が脱ガスするには、1cm から 1m 程度の距離を約 10 秒から 10 時間という時間を要することが明らかとなった。

2. 5. その他

久利らは、脱ガス過程が進行したマグマが閉鎖系であるか、開放形であるか、あるいは、噴出時に脱ガス過程が進行したのかを識別するのに有効と考えられる、噴出物中の水の含有量と水素同位体比を測定するための段階加熱水素ガス抽出装置を製作した。

3. 研究組織

氏名	所属	職	専門分野	役割
西村太志	東北大学大学院 理学研究科	助教授	火山物理学	総括・火道内増圧過程
吉田武義	東北大学大学院 理学研究科	教授	火山地質学	カルデラ・マグマ溜まり形成解析
中村美千彦	東北大学大学院 理学研究科	助教授	火山岩石学	脱ガス機構解析
伊藤高敏	東北大学流体科学研究所	助教授	岩石破壊力学	マグマ貫入現象解析
中嶋悟	大阪大学大学院 理学研究科	教授	実験地球物理 化学	水分布測定・脱ガス過程・噴出物 解析
寅丸敦志	九州大学大学院 理学研究院	教授	マグマ物理学	噴出物組成解析
佐伯和人	大阪大学大学院 理学研究科	助教授	実験惑星科学	気泡形成・連結過程解析
磯部博志	熊本大学大学院 自然科学研究科	助教授	鉱物学	熱水流動過程・割れ目閉塞解析
久利美和	東北大学大学院 理学研究科	支援研究 院	岩石学	水素同位体比解析
竹内晋吾	産業技術総合研 究所	研究員	実験火山学	脱ガス過程解析
奥村 聡	東北大学大学院 理学研究科	学振研究 院	火山化学	気泡連結過程実験

今年度の予算総額と主な用途

予算総額 28,300 千円

主な用途 実験消耗品, 研究成果のための国内外旅費