

気泡を含む粘弾性流体の破砕実験：マグマ破砕過程のモデル化に向けて

Experiments on fragmentation of porous viscoelastic liquid: Implications to magmatic fragmentation

市原 美恵[1], Bradford Sturtevant[2], Daniel Rittel[3]

Mie Ichihara[1], Bradford Sturtevant[2], Daniel Rittel[3]

[1] 農工大・工・機シス, [2] カルテク・航空, [3] イスラエル工科大学テクニオン・機械

[1] Dept. Mech. Sys. Engr., Tokyo Univ. Agri. & Tech., [2] Graduate Aeronautical Lab., Caltech, [3] Mech. Engr., Technion, Israel Inst. Tech.

発泡したマグマの破砕過程を模擬する実験を行った。粘弾性体であるマグマの破砕過程では、マグマの応答特性の時間依存性と、高圧の気泡を含んだマグマを減圧する時間スケールの関係が重要であると考えられている。本実験では、この点に注目して、粘弾性物質を試料として用い、減圧速度を変化させた。その結果、ある時間内にある値以上の減圧が与えられる減圧速度に対して、固体的な破砕が生じ、減圧速度がそれに満たない場合には破砕が生じないことが分かった。また、別に物性試験を行い、その臨界的な時間が、物質の応答特性が弾性的なものから粘性的なものへ変化する時間と対応することを確認した。

火山の噴火には、火砕流、火山弾、爆風などを伴い、時として大災害を引き起こす爆発的な型と、溶岩を流出して終わる静かな型がある。マグマの破砕は、噴火がどちらの型をとるかを決める最終過程である。そして、その過程で、マグマがどのくらい効率よく、どのくらい細かく砕かれるかによって、爆発の規模や形態が左右される。

噴火中の火道内には、破砕面と呼ばれるある境界面を挟んで、それより下は気泡を含む液体マグマ、上は破砕したマグマが飛び散っている、という構造が出来ていると考えられている。しかし、噴火中の火道を実際に見ることは不可能であり、破砕面の実体は全く分かっていない。爆発的噴火の発生や規模、推移などを予測するための、観測手法や数値計算方法を開発するためには、マグマの破砕の微視的条件と、破砕面の巨視的な構造や振る舞いについてのより具体的なモデルが必要である。

これまで、マグマの破砕を模擬しようとして様々な工夫を凝らした室内実験が行われ、破砕過程の描像を構築するのに役立ってきた。しかし、もっとも重要な要素であると考えられている、粘性と弾性、塑性と脆性を兼ね備えたマグマの性質や減圧速度を表現したモデル実験は未だ行われていない。本研究は、これらの要素を含む模擬システムを組み立て、破砕現象の観察を行った。今回の発表では、破砕を引き起こす微視的条件に注目する。

実験は、縦型衝撃波管を用いて行った。試験部は、ガラスの管でできており、内部の観察が可能である。高圧部の初期圧力とガラス管の途中に挿入されたオリフィスの径を変えることにより、減圧量と減圧速度を制御する。オリフィス直下とガラス管底面に、石英ピエゾゲージが取り付けられており、圧力の測定を行う。撮影には、3000コマ毎秒の高速動画カメラと30コマ毎秒のCCDビデオカメラを用いた。

本実験では、マグマの模擬物質として、Dow Corning社製3179 Dilatant Compoundというシリコン系粘弾性物質を用いた。回転式レオメータによる周波数試験と超音波実験の結果、緩和時間は約0.3秒、高周波での剛性率は3 MPa、

低周波での粘性率は約50000 Pasであった。この物質を用い、空隙率50%程度の半円筒を二つ作る。それらを冷却し、砕いたドライアイスで詰める。その状態で二つを合わせてガラス管底部に挿入する。即座に管を密封し、サンプルが室温に戻るまで待つ。これは、サンプルの空隙率を下げずに加圧するために考案された方法である。

急激な減圧を与えた場合、サンプルはほとんど変形しないまま、軸に垂直な面でいくつかに破砕され、高速で飛び上がる。各破片には、まだ高圧の気泡が含まれており、ゆっくりと膨張する。破砕と膨張の時間スケールは、大きく異なっており、それぞれ、0.01秒と1秒程度である。減圧速度を下げていくと、破砕の時間スケールが増加し、破断面の数は少なくなる傾向がある。そして、減圧速度がある値以下になると、サンプルは破砕せず、ただ膨張する。

オリフィス直下の圧力データから、減圧初期の圧力勾配を計算し、それを減圧速度を表すパラメータとする。この減圧速度と、高圧部と低圧部との初期圧力差をパラメータとして、実験結果を整理すると、破砕が生じた場合と生じなかった場合が、減圧速度によって明瞭に分かれ、初期の圧力差には依存しなかった。さらに、減圧の時間履歴を調べると、最終的な減圧量に関わらず、減圧開始後0.1秒位の間に、減圧量が200kPa程度を越えた場合に、破砕が生じていることが分かった。200 kPaは、粘弾性物質の強度を表していると考えられる。0.1秒という時間は、物質の緩和時間と同じオーダーであり、また、粘性流動による気泡の膨張が開始する時間スケールとも同程度である。二者のどちらが支配要因であるかはまだ明らかではない。しかし、いずれかの緩和が始まる前に、強度以上の圧力差が気泡壁に掛けられることが、粘弾性体の固体的な破壊の条件であると考えられる。

急激な減圧を受けて、固体のように破壊し、破片が飛散しながらゆっくりと膨らむ、という現象は、火山噴出

物である軽石のできるプロセスとして、想像されてきたものである。今回、それと同様の現象が実験室内で再現され、粘弾性物質の挙動や圧力変化を観察することができた。実際、実験後に得られた物質の破片は、天然の軽石と非常によく似ており、また、測定された圧力変化は、実際のマグマを用いた破碎実験で得られているものと同じ特徴を示している。今後、実験データをさらに詳しく解析し、マグマの破碎過程を理解することに役立てたい。