

マグマの非定常流動特性に関する考察: チクソトロピーの可能性と重要性

Consideration on transient rheology of magma: Possibility and importance of 'thixotropy'

市原 美恵 [1]

Mie Ichihara[1]

[1] 東大・地震研

[1] ERI, U. Tokyo

マグマの流動から破壊への遷移は、火山活動の重要な分岐点の1つである。この遷移を引き起こす素因は、マグマの非ニュートン性であるとして、次の2通りの説明がなされている。(1) マグマはマクスウェル型の粘弾性を持ち、内部構造の緩和時間より短い時間スケールでは弾性的に、長い時間スケールでは粘性的に振る舞う。従って、十分短い時間スケールで大きな応力が加えられると、固体として破壊する。(2) マグマは、歪み速度とともに粘性の低下するシアースニング流体である。粘性の低下は、緩和時間の逆数よりも2-3桁小さい歪み速度で始まる。粘性の低下により、歪み速度は加速的に増加し、やがて、内部緩和が追いつかなくなって破壊に至る。

上の2つの説明は、しばしば、組み合わせて用いられるが、両者の間には、本質的に相反する要素が含まれている。(1)は、破壊に向けてマグマが固体的になることを示唆しているのに対し、(2)では、マグマが流れやすくなることが破壊の引き金であるとされている。

火山学会2006年秋季大会においては、定常クリープ試験で見られるマグマの粘性率の歪み速度依存性が、応力変化に対するマグマの構造の変化によると仮定し、その構造変化の遅れを考慮に入れた構成方程式を提案した。このモデルにより、マクスウェル粘弾性とシアースニング性を表現し、内部応力の蓄積に対する歪み加速度の重要性を指摘した。

実は、この、内部構造の変化による粘(弾)性率変化の時間遅れは、チクソトロピー性と呼ばれる、よく知られたレオロジー特性の1つである。特に、シアースニング性を示す物質に関しては、そのメカニズムに依らず、原理的にチクソトロピー性を伴うものであると考えられている(Barnes, 1997)。従って、非定常流動の中で破壊に至るマグマの挙動を記述する構成方程式において、チクソトロピー性を考慮に入れることは妥当かつ重要である。

既に、Bagdassarov and Pinkerton (2004)は、気泡を含む流体のシアースニング性が、気泡の変形に要する時間だけ遅れるという、チクソトロピー性を指摘し、マグマの非定常流における重要性を議論している。彼らのモデルでは、マグマの粘性を決める内部構造に相当するものが気泡の形状で、応力ではなく、歪み速度の関数として与えられている。シアースニング性を記述するのに、粘性率を歪み速度の関数として与えても、応力の関数として与えても、定常状態では等価であり、定常クリープ試験ではその違いを区別出来ない。しかし、両者はメカニズムの違いとして区別されるべきであり、非定常状態で、粘弾性が関与するような場合には、重要な違いを生じさせる。

本論文では、チクソトロピー性を簡単な構成方程式で表現し、非定常場における応力と歪み・歪み速度の関係への影響を整理する。粘性率を変化させる内部構造が、応力に依存する場合と、歪み速度に依存する場合を仮定し、両者を比較する。さらに、それらの構成方程式を用いて、棒の引き延ばしや球殻の膨張における応力の蓄積過程を計算し、マグマ破壊過程におけるチクソトロピー効果の可能性と重要性について議論する。