

粘性流体中の核形成に対する理論モデル：マグマ発泡への応用

Theoretical model of bubble formation in a viscous liquid: Application to bubble nucleation in magmas

山田 耕[1]; 榎森 啓元[2]; 田中 秀和[3]; 中澤 清[4]

kou Yamada[1]; Hiroyuki Emori[2]; Hidekazu Tanaka[3]; Kiyoshi Nakazawa[4]

[1] 東工大・理・地惑; [2] 東工大・理・地惑; [3] 東工大・地惑; [4] 東工大・理・地球惑星

[1] Earth and Planetary Sci., titech; [2] Earth and Planetary Sci., Tokyo Tech.; [3] Dept. of Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. of Tech.; [4] Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. Tech

マグマ内での気泡核形成過程を記述する理論モデルの構築は、減圧発泡実験から詳細な情報を引き出す上で非常に重要である。本研究では、構築した新しい理論モデルを使い、数値および解析的に気泡数密度や過飽和圧力(飽和圧力から気泡核形成が始まる圧力の差)を調べた。火道を上昇するマグマでは、火口に近づくにつれてマグマの圧力が減少していく。マグマは、たいがい大量の揮発性物質(水や二酸化炭素)を含んでおり、減圧の結果それらの揮発性物質が気泡として析出する。マグマ内での発泡現象は、爆発的な噴火や溶岩ドームを形成するような非爆発的な噴火などの多様な噴火様式を生み出す原因の1つとして考えられている。本研究ではこのような気泡核形成過程を記述するために、気泡サイズ分布を考慮して既存の気泡核形成モデル(Toramaru, 1995)を改良した。このモデルから気泡数密度などの解析解を導出し、解析解は数値解とよい一致を示した。さらに、改良されたモデルと均質核生成組織が観測された減圧発泡実験の結果とを比較することによって、メルト気泡間の表面張力や拡散係数の値を推定した。我々の主な結果は以下の通りである。

1. 気泡数密度の粘性率、拡散係数依存性に対して、従来の研究(Toramaru, 1995)で指摘された拡散律速領域と粘性率速領域があることが本研究でも確認された。拡散律速領域では、気泡数密度は拡散係数の1.5乗に反比例する。また、気泡核形成が起きている時間間隔や過飽和度は、主に表面張力のみに依存し、他の物性量に対する依存性は弱い。一方、粘性律速領域では、気泡数密度は粘性率と共に増加する。核形成の時間間隔は粘性率が高くなるにつれて非常に長くなり、マグマ圧力が大気圧まで減圧されても核形成が続くようになる。気泡サイズ分布は、気泡が成長するにつれて単一的な気泡サイズ分布に移行することがわかった。これは、気泡が大きくなると成長モードが拡散成長になり、小さい気泡は大きい気泡に比べて速く成長するためである。

2. 最近の減圧発泡実験では、高圧下に置かれた揮発性物質を含んだ岩石(メルト)をある終圧力まで減圧してクエンチすることにより、様々な終圧力に対する岩石中の気泡数密度が観測されている。このデータと我々のモデルを比較し、下の図を得た。この図の横軸に終圧力、縦軸に気泡数密度が示されている。白丸と+印が実験結果、実線が我々の解析解から導出された結果に対応している。解析解はメルトの表面張力が0.05、0.07、0.09N/mの場合を示している。この比較から、0.07N/mの解析解がもっとも実験データの振る舞いと一致していることがわかる。このことから、我々は流紋岩質メルトの表面張力は 0.07 ± 0.01 N/mと推定した。これと同じ方法で様々な実験データと比較した結果、同じ含水量を持った流紋岩質メルトに対して二酸化炭素を含有している場合とそうでない場合で表面張力はそれぞれ0.07と0.08N/mとなり、二酸化炭素濃度が多くなると表面張力が減少する傾向にある。また含水量が多いほど表面張力は小さくなることが示された。本研究では、拡散係数もパラメータとして与え、拡散係数は含水量5~7wt.%のメルトに対して約 $1 \times 10^{(-11)} \text{m}^2/\text{s}$ という結果を得た。拡散係数や二酸化炭素がない場合のメルト気泡間の表面張力は過去の測定値と一致した。

