

発泡カインेटックスを考慮した 1 次元マグマ流れの定式化と衝撃波管問題への応用 Formulation of the 1-D magmatic flow including vesiculation kinetics

寅丸 敦志^{1*}
TORAMARU, Atsushi^{1*}

¹九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門
¹Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University

これまで、火道流ダイナミクスのモデル化や数値計算では、マグマの発泡（ガス量の変化）に関しては溶解度に従った平衡が仮定されていた。しかし、実際には、気泡の核形成・成長のカインेटックスのために、必ずしも平衡が成り立っているわけではない。また、運動量保存に関しては、多くの場合定常状態が仮定されていた。減圧過程と発泡カインेटックスの相互作用、その結果生じる速度・圧力変化の基本的特性を知ることは、天然での爆発現象の時間発展やそれに関連する波動の励起を理解するために必要である。本研究では、気泡形成のカインेटックスを考慮した一次元の均一 2 流体モデルを定式化し、その基本的性質を調べたので、その結果を報告する。

均一流体を仮定するので、定式化の方針として、そのメリットを生かして、1 流体の定式化にできるだけ沿う。すなわち、1 流体では、密度の時間変化を記述する質量保存の式を、状態方程式を介して圧力の時間変化の式に変換するので、その方針に従う。発泡のカインेटックスを含める今回の定式化では、密度が圧力だけでなくガス量の関数でもある点だけが異なる。ガス量は、発泡のカインेटックスで決定される。定式化は基本的に次の 3 つの方程式系から成る。1) 圧力方程式（質量保存）、2) 運動方程式（運動量保存）、3) 発泡カインेटックスの構成式。結果として、圧力と速度に関して 1 流体の場合と異なるのは、圧力変化の式に、発泡による反応項が加わることだけである。この方程式系は、圧力、速度、液相中ガス濃度（すなわち気相ガス量）に関する偏微分方程式系になり、数値的に解くことができる。

定式化の正当性と基本的性質を理解するために、ショックチューブ問題を数値的に解いた。移流項に関しては改良 CIP 法を用いた。高圧側の初期ガス量が多く発泡のカインेटックスが無視できる場合には、圧力は通常の 1 流体と同様に、低圧側に進む衝撃波と高圧側に進む希薄波が形成され、解析解と一致する。それに対し、高圧側の初期ガス量が少なく発泡カインेटックスが効いてくる場合には、低圧側では同様の振る舞いを示すが、高圧側では希薄波フロント、核形成圧力フロント、核形成イベントが、それぞれ異なる速度で伝播することがわかった。それぞれの伝播速度は、核形成圧力（気液界面エネルギー）や気泡成長速度、高圧側での初期ガス量に依存する。発泡のカインेटックスが働く場合とそうでない場合での基本的な違いは、前者の場合、ガス生成の圧力が飽和圧力より小さくなることであり、気泡の核形成から噴出して急冷されるまでの時間が短くなる。逆に発泡が平衡で進行する場合は、噴出までにより長い時間を必要とし、気泡同士の合体や気液間の相対運動、脱ガスなどの影響を受けやすいと考えられる。このことは、発泡のカインेटックスが、爆発的噴火や非爆発的噴火といった噴火様式の遷移を支配している可能性を示唆している。

キーワード: 火道流, 発泡カインेटックス, 気泡核形成, 衝撃波管
Keywords: conduit flow, vesiculation kinetics, bubble nucleation, shock tube