

論文審査の結果の要旨

氏名 高嶋晋一郎

本論文は地球内部に普遍的に存在する部分熔融状態のレオロジー、及びそこで進行する固液分離過程を取り扱ったものである。部分熔融状態での固液分離過程は地球の化学的・熱的進化を大規模かつ効率的に制御している過程であり、地球の進化を考える上で鍵となっている。これまで、数値シミュレーション、高圧実験、岩石学、及び地震学的手法等を用いて研究がなされてきたが、その性質には未解明の部分が残されている。特に固体的性質から液体的性質へ移行する中程度の液体割合の領域での物性の挙動の理解が遅れている。本研究はアナログ実験によって、中程度液体割合を持つ部分熔融体の応力下と重力下での挙動を調べたものである。

本論文は6章から構成される。第1章・第2章は導入部で、部分熔融体・固液複合体に関する過去研究の成果、これまでに提唱されている固液分離過程等を述べ、本研究の目的をまとめている。第3章では、アナログ実験の重要性・アナログ物質の作成方法・実験手法を述べている。本研究では極めて柔らかな有機ゲルと粘性流体の混合物を地球内部の部分熔融体のアナログと見なし、実験を行っている。第4章は実験結果が述べられている。第5章では、実験結果に基づいて地球内部の部分熔融体の性質が議論されている。第6章は結論部である。

第4章の実験結果は2つの節から成り、前半は応力下での挙動、後半では重力の効果を調べたものである。応力下における挙動を調べる実験（レオロジー測定）では、中程度液体割合の固液複合体に回転応力を加え、液体割合25~45%の領域で固体相同士の不完全な連結に起因する降伏強度の存在が確認され、その大きさが測定された。また、降伏強度を超える応力下では、流動の進行と共に固体相と液体相の分離が進むことを検出した。固液分離過程にとって降伏強度を越える応力場の存在が必要な条件であることが明確にされた。

重力下における挙動を調べる実験（重力不安定実験）では固液複合体の上層により密度の高い粘性流体を設置し、その流体力学的挙動を計測した。系の初期の液体割合は60~70%の範囲で成された。固液複合体の流動が起きる前は、液体のグレインスケールでの浸透流という様式で重力方向の固液分離が進む。流動が起きると、遷移状態を経て固体相と液体相が一体となって動くチャンネル流として重力方向の固液分離が進むことが明らかになった。このチャンネル流が形成されると、重力と直交する方向に固液分離が進むことが明らかになった。

また、チャンネル流の波長形成過程は粘性流体の Rayleigh-Taylor 不安定で近似できることも明らかになった。レオロジー測定と重力不安定実験を通じて、固液複合体の降伏強度が固液分離を制御する要因の一つであることを解明したことが重要な成果である。

第5章は、過去研究との比較、実験結果に基づいた部分溶融体の降伏強度と地球内部での固液分離過程の考察を行っている。考察の一つはプルーム内部での固液分離の可能性である。大陸洪水玄武岩はプルーム起源と考えられており、短期間での大量マグマ噴出が特徴である。実験結果の示唆から、プルーム内部でのチャンネル流形成時間が見積もられ、直径数 100 km のプルーム内部でも効率的に固液分離が進み、大陸洪水玄武岩の特徴を説明しうる事が述べられている。これらに加えて、「チャンネル流形成で生まれる固液分離構造が階層性を持つ」という作業仮説が実験結果に基づいて提案されている。

以上述べてきたように、本研究はこれまで殆ど取り上げられなかった、中程度液体割合の部分溶融体の性質や、そこで進む固液分離過程を扱い、部分溶融体に対する新しい知見・モデルを提示している。従来物理過程の追跡には困難が多かった系を柔らかかな有機ゲルをアナログ物質として利用した実験により、その本質的性質の抽出に成功している。これは今後の部分溶融体のダイナミクスを考える上で多くの示唆を与えるものである。従って、審査委員全員は、論文提出者が博士（理学）の学位を受ける者として十分な技量を持つものと判定した。