

多成分混相系流動問題に対する数値実験法における界面現象の検証

Verification of interfacial phenomena of the numerical method for multi-component fluid system

新村 裕昭[1]

Hiroaki Niimura[1]

[1] 東大・新領域

[1] Univ. Tokyo

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/niimura>

【1.はじめに】 火成岩中には様々な組織や内部構造が観測されるが、そのパターン形成を理解する上で、流動力学的な要因は、熱力学的要因に関するものほど体系的には理解されていない。実際には流動により熱力学的な要因も複雑な影響を受けるため、パターン形成に関する流動過程を明らかにすることは非常に重要な問題である。この問題の複雑さは、岩石が一般に不均質で、異なる物性を持つ微少な要素の集合体であるという構造に原因がある。特に部分溶融状態や固結中のマグマにおいては、鉱物間の液体の運動が全体の流動特性の大きな鍵を握っている。

数種の物性を持つ要素が多数混在して構成されるような系を一般に混相系と呼ぶが、その組織形成に関しては、ある種の固体単体または液体単体からなる単相系の変形力学問題よりはるかに複雑で解析困難な問題である。混相系のダイナミクスを理解するためには、要素サイズのスケールから全体の巨視的なスケールまで、複数の空間スケールの問題を同時に扱うことが必要である。さらにマグマや部分溶融体のように変形性を有した要素が密に集合した混相系では、構成要素自体の変形性、構成要素間の相互作用、および系全体の変形・流動性が考慮される必要がある。部分溶融体では要素間の相互作用として、界面張力に起因する「ぬれ」も重要である。このような混相系のダイナミクスに対する研究事例は非常に少ない(例えば Niimura, 2000)。

本研究は、部分溶融体を想定した混相系の力学的構造進化問題を体系的に理解すること、およびそのための数値実験手法開発を計画している。具体的には、複数の非圧縮粘性体から構成される液液混相系に、壁面からのずり応力をかけたときの内部構造の時間発展を、各構成要素の粘性値、界面の濡れ、要素の体積割合などに対して観測する。

数値実験手法は、格子ボルツマン法の多相系モデル(Shan&Chen, 1993)をもとに3次元用のプログラムを開発した。この手法では、流体成分 s_0, s_1 間の界面張力 g_{01} は、流体粒子の局所分布 fs_0, fs_1 間に作用する相互作用の結果として得られる。しかしこれまで気液2相系の問題しか扱われておらず、多成分問題に対しての有効性は十分研究されていない。また、多成分系で得られる界面張力値についての定量的な研究もない。そこでまず、現時点では総合的な数値実験の準備段階として、数値モデルによって再現される界面物理現象の妥当性および界面張力値の計測、流体間の濡れ角制御に関する検証をおこなった。

【2.手法】 初期条件として、静的な場に2つまたは3つの流体を配置し、平衡状態における界面形状、圧力分布などを計測した。2流体の計算では $60 \times 60 \times 1$ 、 $60 \times 60 \times 60$ の2種類のメッシュを用い、一つを円状(球状)に配置した。3流体では $140 \times 70 \times 1$ の空間を用いて2流体を層状におき、3つ目をその界面に円状に配置した。

【3.結果】 2流体を用いた計算では、2次元、3次元両方においてラプラス則 ($dp = g_{01} * n$, dp : 円内外の圧力差, n : 曲率半径, $n = 1/R$ (2D), $n = 2/R$ (3D), R : 半径) が満たされることが検証された。また、各成分は界面張力が低いほど互いに拡散しやすい性質を持つため、3成分系では2つの流体間の界面張力が3つ目の成分の拡散量にも依存することが確認された。

相互作用係数の値 $0.10 \sim 0.19$ に対して、2つの界面張力の比 (g_{12}/g_{01}) が $1.0 \sim 2.0$ の範囲で得られた。これは3流体の濡れ角にして $120^\circ \sim 0^\circ$ と、あらゆるぬれを想定した計算が可能であることを示している。

3つの流体を配置したときの接触角 (F) は、3流体間のそれぞれの界面張力のバランスで力学的な平衡状態に達すること ($g_{12} = 2 * g_{01} * \cos(F/2)$) が確認された。

【参考文献】

H.Niimura, 2nd Japanese-European Two-Phase Flow Group Meeting, 2000.

X.Shan and H.Chen, Phys.Rev.E, 47, 1993.