

格子ボルツマン法による粘性体複合系の濡れに依存した内部構造とその変形過程

Lattice-Boltzmann Method for Patterns and Deformation of Viscous Material Complex with Various Wetting

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/>

部分溶融体のように異なる物性をもつ多数の要素が複合してできた系のダイナミクス問題は、変形性を持つミクロスケールの内部構造をマクロスケールに考慮しなければ、この問題の本質的な非線形現象をとらえることができない。さらに液体間の連結過程において構成要素間の「濡れ」を考慮することが重要である。この問題には自己組織的な現象の再現に基づく数値実験法が適している。

本手法では格子ボルツマン法を用い、各構成要素間の界面の「濡れ」を制御することで、複合系における複雑で多様な内部構造を再現し、液体の分離過程に対する濡れの影響を調べた。

部分溶融岩体は微小スケールの鉱物粒子とそのメルトから構成される複雑な複合系である。部分溶融岩体における主要な問題の一つは、わずかな体積割合のメルトが鉱物界面間に生成したのち、分離上昇しまとまった量のメルト濃集体へと集積していくプロセスの全体像の構築にある。メルトの生成と移動には水の効果も重要であると考えられている。このような複合系においてメルトや水といった液体の移動は、基本的に密度差による浮力が駆動力となるが、岩体中における液体同士の連結様式や鉱物 - 鉱物間および鉱物 - 液体間のぬれの影響、岩体の局所的なレオロジ - 変化、岩体全体の内部構造の変形過程とも密接に関連しており、時空間的に非線形な分離パターンが期待される。このような微視的な効果と巨視的な変形過程との非線形なカップリングは、従来の1次元モデルや均質媒体近似からは得にくい現象である。とくに液体の連結という空間的に広がりを持つ現象とそのダイナミクスに関しては、実際に微小な物体を空間的にまとまった量を用いた集合体として再現する方法が必要であるとする。

本研究では、このような微細構造を持つ複合系の変形・流動ダイナミクスを数値実験的に再現し体系化することを目指して、セルオートマトンにもとづく数値実験法を発展・応用してきた。これまで、格子ガスセルオートマトン(LGCA)法にもとづいて、複数種の粘性流体を一度に扱う手法を開発し、流体間の界面張力の多様性とそれに基づく濡れ角の制御および複合系の内部構造の制御を行ってきた(Niimura, Phys.Lett.A, 1998; Niimura, Compu.Phys.Comm., 2000)。さらに現在までに新たに格子ボルツマン(LB)法を元にしたより定量的な議論が可能な手法により、部分溶融体のような複合系の内部構造と変形問題に取り組んできている。

基礎となるLGCA法は、もとは1相粘性流体の代替的な数値計算法として1980年代半ば過ぎに登場したが、その計算手順が仮想的な粒子運動という簡便な記述によるミクロスケールの物理プロセスを、離散化された時空間の中で繰り返すものであるため、自己組織的な界面ダイナミクスその他の物理現象の導入が現象レベルで比較的容易におこなえるという利点をもつ。これによって80年代終わりごろから混相系ダイナミクスの解明へ向けた応用を目指して、世界的に研究、開発が行われてきた数値実験法である。そして並列計算に適しているというLGCA法の利点を活かし、更に定量的議論の改善が行われたLB法が1990年前後から急速に研究され、おもに気・液2相系の混相流問題で発展してきた。LB法によって、粘性流体にとどまらないダイナミクスの構築が他の研究者の間でも活発に進んでおり、これまでに複雑な多孔質媒体中の流れの問題や境界壁と液体の濡れの問題などが他の手法に比べて比較的効率良く計算されるようになってきている。これは沢山の微小要素の複合系として空間的におおきな系を扱ううえで重要な利点である。

本研究ではこれまでLGCA法で再現してきた多数の流体間の濡れの問題と、そのLB法による再現法、さらにLB法を用いた粘性流体複合系の複雑な内部構造の制御、及び浮力の効果による液体分離に関する濡れの影響について議論する。