

論文の内容の要旨

論文題目「格子ボルツマン法による複雑流体の解析」

氏名 大西 順也

高分子溶液、コロイド、液晶、界面活性剤溶液などの複雑流体は水や空気などの単純流体には見られない複雑な流動特性をもつ。たとえば液晶は等方液体と同様に流れることができるがその流動特性は異方的である。また、高分子溶液は粘弾性を示す。これらの特異な流動特性は、系に内在する構造の変化と流れの変化が同時進行し、また相互作用をもつためであると考えられる。このような現象の理解には、Computational fluid dynamics (CFD) による解析が有効であるが、従来の CFD 手法は複雑流体の解析に適しているとは言えない。現在用いられる解析手法のほとんどは、連続体力学に基づいて導出された構成式を離散化し数値的に解くものであるが、複雑流体の内部構造を扱うことは難しい。また、ミクロなレベルにおける原子・分子の運動を直接計算することは、複雑流体のミクロスケールおよびメソスケールを詳細に解析することはできても、それらがマクロスケールにおける流れとの間にもつ相互作用を解析するには膨大な計算量を必要とし、現実的ではない。このような背景のもと、分子論的な背景は残しつつ、マクロスケールの流れを効率的にシミュレートできる流体モデルが求められ、格子ガスオートマトン (LGA) や格子ボルツマン法 (LBM) といった格子ガス法の開発が進められている。

しかしながら、格子ガス法は複雑流体のモデル化に適していると期待される一方で、複雑流体の粘弾性のモデル化に関する研究は、その重要性にも関わらず、非常に少ない。このことは、格子ガス法による研究のみではなく、その他の CFD 手法でも同様である。そこで本研究では、先に述べた特徴をもつ格子ガス法の一種である格子ボルツマン法を基礎とした新しい粘弾性流体モデルを提案し、検証をおこなう。また、高分子混合系エマルションなどで見られる粘弾性多相流れの解析を目的とし、開発した粘弾性流体モデルを多相モデルへと拡張する。多相モデルの適用例として、「せん断流れ場中の液滴」および「粘弾性流体中を上昇する気泡」に関する数値実験を行い、既存の理論および実験結果と比較、検討する。

本論文の構成は以下の通りである。第一章では研究背景および研究目的を述べる。第二章では本研究で開発する粘弾性流体モデルの基礎となる格子ボルツマン法の導入し、理論面から考察する。特に、格子ボルツマン法で用いる支配方程式である格子ボルツマン方程式をボルツマン方程式から直接導出し、導出した格子ボルツマン方程式が連続レベルにおいて Navier-Stokes 方程式に等価になることを示す。新たな粘弾性流体モデルの詳細は第三

章で述べる．粘弾性流体モデルの基礎方程式を，高分子溶液の運動論を基礎とし，離散 Fokker-Planck 方程式として導出する．また，導出された離散 Fokker-Planck 方程式が，連続レベルにおいて，線形粘弾性論で用いられる Oldroyd-B モデルと等価になることを示す．さらに，提案した粘弾性流体モデルの静的，動的レオロジー特性に関して，既存のモデルと比較，検討する．第四章では，第三章で提案する粘弾性流体モデルを多相流れに適用できるように拡張する．そして，多相モデルの適用例としておこなった「粘弾性流体のせん断流れ中にある液滴」および「粘弾性流体中を上昇する気泡」の解析結果を示す．また，解析結果を既存の理論および実験結果と比較，検討する．第五章では，結論を述べる．