

Title	実数型格子ガス法による三次元数値シミュレーションに関する研究
Author(s)	今村, 太郎
Citation	
Issue Date	2002-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1572
Rights	
Description	Supervisor:松澤 照男, 情報科学研究科, 修士

実数型格子ガス法による 数値シミュレーションに関する研究

今村 太郎 (010010)

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

2002年2月15日

キーワード: 実数型格子ガス法、並列計算.

1 背景と目的

従来からの流体现象を解明する手段として、差分法や有限要素法がある。これらは、実在の流れをまず定式化、すなわち、微分方程式などの数式で表示することが必要である。問題を簡単にするために様々な近似解法を用いることで支配方程式が作られ、これを適切な数値解法によって代数方程式に置き換え、コンピュータ上で計算させることで、現象を解明する。したがって、流れを表す数式モデルが非常に重要な意味を持つ。

実数型格子ガス法は、格子ガス法を拡張した手法である。これらは、流れ場を規則的な格子で区切り、仮想的な粒子を運動させ、それらの運動を追跡することによって、系全体の流れ場を解明する手法である。このため、系を表す支配方程式は必要なく、流れ場を粒子に直接作用する境界条件や衝突則を決めることで解明する。つまり、流体现象をマクロな立場から数値的に解析する手法とは異なり、ミクロなレベルから流れ場を解析する非圧縮性流れの解析手法である。

しかし、格子ガス法は、空間と速度を離散化するため、粒子の速度方向の制限、同一格子には同じ速度を持つ粒子は存在しない、という排他原理が生じる。そのため、粒子の衝突ルールに特別な配慮をする必要があり、また、3次元においては格子の対称性のため、複雑な格子を用いる必要がある等の問題点がある。

実数型格子ガス法は1997年に A.Malevanets 氏によって提唱された非圧縮性流れの解析手法である。この手法は、従来の格子ガス法とは異なり、粒子の速度を実数値で持つ。これにより、従来の方法で必要であった排他則が必要なくなるため、粒子数を制限なく持つことができる。また、温度を粒子の速度として与えることができ、熱流動を伴う流れ場において、従来の解析手法では必要であったエネルギー方程式がこの手法では必要としない。つまり、熱流動を伴う計算を行う場合でも特別な配慮を必要としない。

また、衝突過程は同一格子点上に存在する全ての粒子の運動量を、その重心の回りで回転させるという単一な操作で記述される。また、等方性が成り立つために、二次元において、計算対象に用いられる格子には正方格子を用いる。これらは、三次元計算に適した計算方法であると考えられる。

この手法は格子点上にいくつかある仮想的な粒子1つ1つに関して計算を行うため、計算領域が大きくなることや粒子密度が大きくなるに従い、計算時間が大きくなっていく。したがって、三次元計算へと拡張した場合、計算時間の増加が大きな問題となる。しかし、粒子の移動や衝突は、系で一斉に計算ができるため、この手法は原理的に並列計算に適していると考えられ、並列化による計算時間の短縮が行えると考えることができる。

しかし、この手法による3次元における具体的な並列計算を扱った研究はまだなされていない。そこで、本稿では、実数型格子ガス法による三次元モデルの開発から、実数型格子ガス法に適した並列アルゴリズムを考え、それらを用いて、数値シミュレートと、その考察を行った。

2 実験

実数型格子ガス法に基づく三次元モデルを開発、それを計算機上で実装し、クエット流れとキャピティ流れについて計算を行った。クエット流れでは、得られた結果が解析解とよく一致した。これにより周期境界条件が有用であることが確かめられた。また、格子点数や粒子数密度を上げることで解析解に近づくことがわかった。

また、キャピティ流れでは、レイノルズ数が少ないため、定量的な評価は行えなかったものの、ベクトル線図と流線図から定性的に満足していることが確かめられた。また、格子数を増やすことにより、定性的に近づいていることが確認できた。

この手法におけるレイノルズ数は格子点数に比例するため、より大きなレイノルズ数を計算するためには格子点数を増やさなければならない。また、格子点数や粒子数が大きくなると精度が良くなるのが、先の実験からわかった。しかし、格子点数を増やすと計算時間が大きくなるのが問題となる。

3 並列化

そこで、並列処理により、計算時間の減少を試みた。並列手法には粒子を各PEで均等に分割し、格子点は分割しない手法を用いた。これをCRAY T3Eに実装し、計算時間を計測し、速度向上比を求めた。これにより、格子点数や数密度が大きいモデルほど、速度向上比が大きくなるのがわかった。また、通信時間を計測することで、この手法はPE数が増えるほど、実行時間に対する通信時間の占める割合が増えるため、速度向上比がなまってしまっていることがわかった。そこで、通信量を減らすことで通信時間を減らすことを試みた。しかし、試した方法では、通信量は減らすことができるものの、通信回数が

増えることにより、通信時間が増えてしまうため、最初の手法が一番効率の良いことがわかった。

4 課題

今後の課題は、通信時間を減らす観点から、よりよい並列アルゴリズムを開発し、レイノルズ数の大きなモデルを計算できるようにすることである。また、先にも述べたように実数型格子ガス法は従来手法に比べ、熱を容易に取り扱うことができるという利点をもつ。したがって、この利点を生かして具体的な熱流動を伴う計算を行うことである。