JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	実数型格子ガス法による熱流動解析に関する研究
Author(s)	今川，洋造
Citation	
Issue Date	2001-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1478
Rights	
Description	Supervisor:松澤 照男，情報科学研究科，修士

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

実数型格子ガス法による熱流動解析に関する研究

今川 洋造

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

2001 年 2 月 15 日

キーワード: 格子ガス法、実数型格子ガス法、Maxwell-Boltzmann 分布、Benard 対流.

背景と目的

一般的な数値解析法は、流体の運動を表す支配方程式（Navier-Stokes 方程式等）を数値的に解くことにより、数値解を得る。数値解析法とは異なる手法として、流体を形成する分子の動きをシミュレートすることにより、流体の運動を解析する分子法（粒子法）と呼ばれる手法がある。この手法は、分子運動というミクロな視点から、流体運動というマクロな視点の運動を解析する手法である。

分子法（粒子法）により、流体を完全にシミュレートしようとする場合、莫大な数の分子が必要となる。そのため、分子運動のサンプルとなる粒子について、そのサンプル粒子の運動により流体をシミュレートする必要がある。

その粒子法による流体運動の解析手法の一つとして、格子ガス法という手法がある。この手法は、

- 粒子の位置と速度、時間を離散化する
- 粒子の運動は、粒子の運動量と速度を交換する衝突と、粒子が速度方向に時間分だけ移動する並進の 2 つである。
- 粒子の衝突は格子点上で行われ、論理演算によりあらかじめ設定された衝突ルールに従い、運動量と速度を交換する
- 局所的な物理量は、空間平均、場合によっては時間平均をとることにより得られる。
- 平衡状態における粒子速度の分布は Fermi-Dilac 分布に従う。

Copyright © 2001 by Imagawa Youzou

という特徴がある。

しかし格子ガス法では、粒子運動の等方性を満たすように衝突ルールと格子形状を設定する必要がある。また、衝突ルールが論理演算により記述されるので、衝突ルールに排他則が適用されており、格子上の粒子数に制限がある等の問題がある。そのために、空間の離散化に四角形の正方格子ではなく、6 角形格子の FHP 格子などを用いる必要があった。また、粒子の運動量の状態数が少なく、格子ガス法はこのままでは熱流動などのエネルギーの流動に関する流れ場をシミュレートできない。

近年、上記の格子ガス法を拡張した実数型格子ガス法が提案された。この手法は、空間と時間は離散化するが、粒子の速度に関しては実数で保持する。空間は正方格子で離散化する。また、格子点上で衝突が行わなければならないので、単位時間で実数分だけ移動した粒子の実数位置を、速度と位置から求まる確率過程に従い、格子点上に移動する。また、粒子の衝突の関しては、格子点上の粒子の平均速度からの、各粒子の速度成分との差ベクトルを、各格子点毎に異なるランダムな回転角により回転させることで、粒子の速度と運動量を交換する。この衝突ルールにより、格子点上にある粒子の運動量とエネルギーは保存される。これらの衝突ルールにより、格子点上の粒子数の制限がなくなる。また、平衡状態における粒子速度が、一般的な粒子運動と同様に、Maxwell-Boltzmann 分布に従う。そのため、格子ガス法に比べてより一般的な物理現象のシミュレートの可能性がある。

粒子の運動量の状態数に制限が無いこと、また、エネルギー方程式が導出されていることなどから、境界条件などに関して適切な条件を与えることで、熱流動解析が出来るのではないかと考えることができる。

しかし、この手法による熱流動現象の具体的な計算を扱った研究は、まだなされていない。本研究では、この実数型格子ガス法による熱流動問題のシミュレートと、その考察を目的とする。

実験の結果

境界に水平かつ垂直な方向の速度成分が 0 になる境界条件が、2 次元クエット流れをシミュレートする際に使用した滑りなし境界条件により実現できることが判明した。

2 次元キャビティ流れのシミュレートを行い、数値解法の結果と比較した。このことから、Reynolds 数が数百程度の流れ場に対しては、実数型格子ガス法により有効な結果が得られることが判明した。

粒子が壁から与えられた熱により浮力を得ることにより、対流ができる、熱対流からなるキャビティ流れをシミュレート出来ることが確認できた。このことから、熱を持つ境界条件の実装が適切であることが確認できた。

2 次元 Benard 対流については、温度壁の境界条件と重力の影響により、対流が発生し、温度や密度が対流により輸送されることが確認できた。

これからの課題

流れ場のシミュレーションについて、音速と動粘性係数が温度に比例して大きくなっているため、非圧縮性を維持したまま、大きな Reynolds 数の流れ場を計算するためには、格子数を多くする必要がある。また、実数型格子ガス法は 3 次元への拡張が容易であるという、優れた特徴がある。しかしその計算のためには、2 次元計算に比べてさらに多くの格子と粒子が必要である。実数型格子ガス法は、格子数と粒子数に比例して計算時間が増大するため、多くの計算時間が必要になると考えられる。しかし、この手法における計算は陽的である。そのため、計算を並列化することにより比較的容易に計算時間の短縮が出来るであろうと考えられる。

さらに、実数型格子ガス法は、計算空間に正方格子を用いている。今回の実験は、計算空間が正方形、または長方形の整った領域における流れ場であった。しかし、実際問題として、複雑形状まわりの流れ場の計算が必要とされる。格子ガス法で複雑形状物体の回りの流れ場を解析する場合は、さらに細かい格子を用いて、階段状に曲線または曲面を表現していた。しかしこの場合、計算コストが莫大になる。そのため、複雑形状の境界をどのように設定するかが問題になると考えられる。