

Title	格子ボルツマン法による並列アルゴリズムの開発
Author(s)	羽生, 匡之
Citation	
Issue Date	1999-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/1222">http://hdl.handle.net/10119/1222</a>
Rights	
Description	Supervisor:松澤 照男, 情報科学研究科, 修士

# 格子ボルツマン法による並列アルゴリズムの開発

羽生 匡之

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

1999年2月15日

キーワード: 格子ボルツマン法, 並列化, 領域分割法, T3E, 非圧縮性流体.

## 1 背景と目的

粒子法を微視的な立場から観察する方法だとすると、差分法、有限要素法等、流れを表すナビエ・ストークス方程式から導出し、離散化する従来の数値流体解析法を巨視的な方法だと見ることができる。格子ボルツマン法はちょうどその中間的な立場にある。

格子ガス法から発展した格子ボルツマン法は比較的新しい、力学理論に基づく数値計算法である。流体を衝突と並進を繰り返す多数の仮想的粒子の集合と考えて、粒子の動きを計算して流体の運動を求める。その仮想的粒子の流れを構成する最小の構造を考え、微視的に粒子の振る舞いを扱うことから、今まで扱いの難しかった種類の現象(非混合二相流、多孔質からの噴流、化学変化を伴う流れ、相変化等)を計算できる。

このアルゴリズムは、並列計算に非常に適している。時間発展の方程式は同時に実行できる局所的な演算を含んでおり、完全に陽的な解法だからである。

そこで本研究では、並列計算に適した格子ボルツマンモデルを開発し、高速で効率的な計算にする。同時に、並列化による性能向上を評価することを目的とする。

## 2 方法

格子ボルツマン法の粒子モデルとして、2次元平方格子上で9速度ある体系で流体を扱うことにした。平衡分布関数としては、ボルツマン方程式の平衡解であるマクスウェルボルツマン分布を考え、速度  $u$  について2次オーダーまでテイラー展開した式を仮定した。質量、運動量保存を完全に満たすため、ニュートン気体、非圧縮性、理想気体等の条件を課している。

本研究では、それぞれ 64MB のメモリを持つ 128 個の計算ノードから構成される SGI Cray T3E 上で並列化を行なうことにした。並列計算では、通信による計算速度の損出を避けるための通信量の最適化が重要である。Message Passing Interface を活用し、平衡分布関数のみをデータ通信することにした。また計算領域を 1 次元、2 次元に領域分割して並列化を行ない観察した。並列化の効率を検討するためパフォーマンスモデルを構築した。

### 3 結果

- 格子ボルツマン法の並列化をする時に生じる問題について検討した。並列化された格子ボルツマン法で計算を行ない数値力学的に正しい結果を得ることができた。
- 格子ボルツマン法を用いた 2 次元キャピティ流れのコードを並列計算機 SGI Cray T3E 上で開発した。計算領域を 1 次元に領域分割し並列化した計算では、グリッド  $384 \times 384$ 、64 プロセッサで並列化効率 75.0%、グリッド  $768 \times 768$  では、85.9% と、高い効率が得られた。また 2 次元に領域分割した計算では、64 プロセッサを使いそれぞれの大きさのグリッドに対して、88.0%、93.5%の効率を得ることができた。
- パフォーマンスモデルを用いた解析の結果、2 次元領域分割による並列化にはあまり速度向上の飽和が見られず、2 次元領域分割の特性を生かして計算できることが確認できた。