2K-1

複雑形状及び複合境界をもつ系に対する3次元格子Boltzmann法の並列化

清水　敬太† 　　高丸　尚教‡
中部大学大学院工学研究科情報工学専攻† 　　中部大学工学部情報工学科‡

1. はじめに

流体シミュレーションには従来手法として格子法や粒子法が存在する.しかし,それらの手法は境界条件の複雑化や計算コストの増大などのリスクを持つ.そこで,それら格子法と粒子法の利点を併せもつ格子Boltzmann法を用いた2次元シミュレーションを行った.今回の実験では空間中に円柱を配置し,その周囲に発生した渦度の可視化を行うとともに,配置された円柱の大きさをシミュレーションの中で動的に変化させることで格子Boltzmann法が複雑な形状を持つ空間格子について各法則を満足するシミュレーションが実行可能であることを確認した.この結果を受け,3次元への拡張及びGPGPUによる並列化を行う.

2. 実験環境

格子Boltzmann法は,空間に配置された格子状に存在する仮想粒子を考え,その粒子群の運動を考える手法である.今次の実験では格子モデルとして正方格子を用いたD2Q9モデルを,衝突モデルの中から格子BGKモデルを用い,流れ場の中に配置された円柱周りの渦度についてのシミュレーションを行った.また,境界条件としては円柱との衝突においてはバウンスバック法を用いて処理を行なった.

3. 計算モデル

3.1. D2Q9モデル

D2Q9モデルは2次元空間の格子において,各粒子の持ちうる速度状態が9種類存在することを示している.すなわち,図1に示す正方格子において,図2に示すように一つの粒子が8方向にそれぞれ1種類の大きさの速度と,静止状態が存在する.

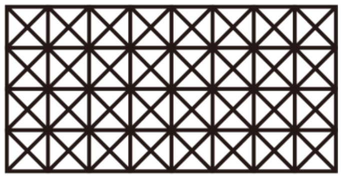


図 1　正方格子

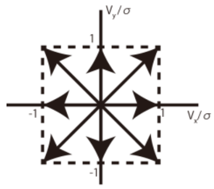


図 2 D2Q9 モデル

3.2. 基礎方程式

格子Boltzmann法では,密度および運動量について,(1)式および(2)式を満たすように計算が行われる.

$$\rho(\boldsymbol{r},t) = \sum_{\alpha} f_{\alpha}(\boldsymbol{r},t) \tag{1}$$

$$\rho(\boldsymbol{r},t)\boldsymbol{u}(\boldsymbol{r},t) = \sum_{\alpha} f_{\alpha}(\boldsymbol{r},t)\boldsymbol{c}_{\alpha} \tag{2}$$

ここで$f_{\alpha}(\boldsymbol{r},t)$は$\alpha$方向への速度成分を持つ粒子の分布関数を表し,格子BGKモデルに従って決定される.

3.3. シミュレーションにおける諸量の設定

今回のシミュレーションでは,図3に示すように2次元空間中に切られた格子上に円柱を配置し,その円柱を徐々に大きくしていくことで動的に変化する流れ場における渦度の可視化を行う.

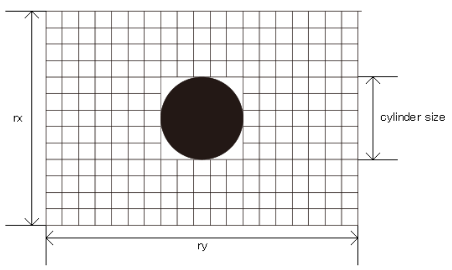


図 3　流れ場の設定

ここで,シミュレーションに用いる変数について表1に示す.この初期値を用いてシミュレーションを開始し,シミュレーションを行う中で動的に円柱の直径を動的に大きくしていく.

Parallelization of a three-dimensional lattice Boltzmann method for a system with a complex shape and complex boundary
†Keita Shimizu, Dept.Comp.Sci.,Grad.School Eng.,Chubu Univ.
‡Hisanori Takamaru, Dept.Comp.Sci.Col.Eng.,Chubu Univ.

表 1 シミュレーションに用いる変数

変数	大きさ
メッシュ点数	250×240
xの取り得る範囲	-125≦x≦125
yの取り得る範囲	-120≦y≦120
円柱の直径	20
円柱の位置	x = -50.0 y = 0.0
緩和時間 τ	0.515
Raynols数	20.0 - 2000.0

今回の実験では円柱を大きくした際の数値的な影響を均すために　十分な時間間隔をとる必要があるため,10000 τごとに直径を1.0ずつ増やしている.これにより,円柱の直径は初期状態の20.0から,40.0まで変化する.

4.　シミュレーション結果

前章で述べた条件を用いて200,000 τまでシミュレーションを行った.その一例としてRaynols数が2,000のものを図4に示す.このとき,渦度の大きさによって青から赤まで色を変化させている.

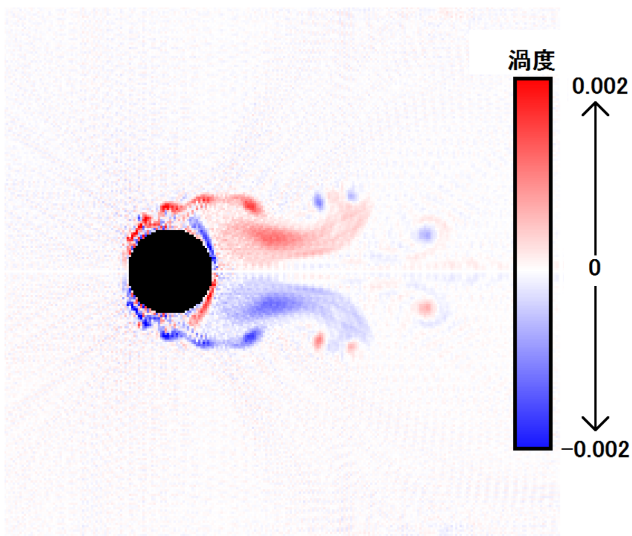


図 4 最終的なシミュレーション結果

この図から,円柱の後部に発生した渦を確認することができる.

また,表2にシミュレーションの経過に沿って流れ場の状態を出力し,上半分を切り出した結果と,そのときの円柱の直径を示す.

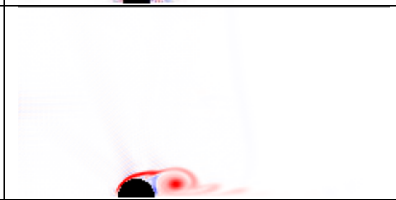
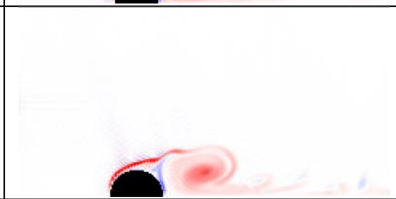
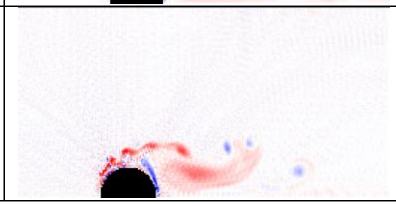
経過時間	流れ場	円柱の直径
5000 τ		20.0
50000 τ		25.0
100000 τ		30.0
150000 τ		35.0
200000 τ		40.0

表 2　計算過程における流れ場の変化

5.　まとめ

以上のように,本研究では動的に変化する複雑形状において格子Boltzmann法を用いてシミュレーションを行うことで従来手法よりも大幅にコストを低下させながら各種法則を満足するシミュレーションを行うことが可能である.これを用いることで流体シミュレーションの簡略化を行うことができる.また,今次の実験では2次元格子上におけるシミュレーションを行なったが,今後は3次元空間でのシミュレーションへと発展させ格子Boltzmann法の利点である並列化の容易さを生かし,GPGPUを用いた並列化を行う.