

物理モデルへの依存性を最小化するための 高解像度非熱流体シミュレーションコードの開発

大木慎一*1、菊池俊彦*1、松岡浩*2、菊池範子*3、板倉憲一*4、齊藤展*1、緒方惟光*1

*1 株式会社テラバイト

*2 国立大学法人東北大学(委嘱)

*3 株式会社サイエンス・サービス

*4 独立行政法人海洋研究開発機構

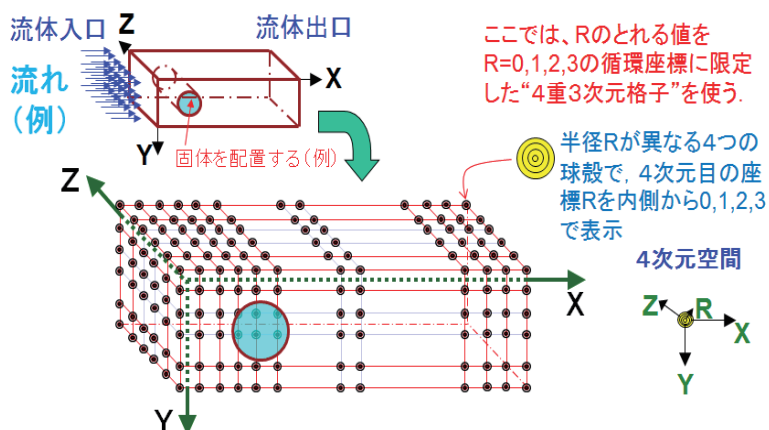
1. 目的

格子点 1000 億点規模の超高解像度な非熱流体シミュレーションを、産業利用で使えるスパコン規模で実現することを目指す。

このため、①各速度をもつ仮想粒子の存否情報を各格子点における基本的な状態量と考えることによるコンパクトな状態記述 と、②1 格子点に関する状態量の時間発展計算を 1 ビット幅で行うことによる超並列格子点計算 が可能な“多速さ格子ガス法シミュレーションコード”（以下、「性能試験コード」という。）をベースにして開発を進め、その性能確認と実用化に向けた機能の付加を行う。

2. 解析手法

性能試験コードが実現している計算手法は、3 速さ格子ガス法“面心超立方体 (FCHC) モデル”である。1 格子点に、約 50 種類の種類（速さは、0, 1, 2 の 3 種類）を持つ仮想粒子が存在し得ると仮定し、これらが衝突と移動を繰り返しながら格子上を動きまわる様子を平均化して非熱流体のマクロな挙動を得る。



3. 解析結果

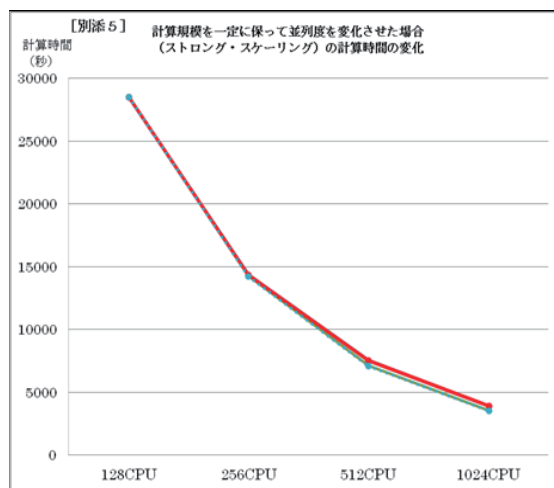
3. 1 ストロング・スケーリング性能

性能試験コードを用いて、計算規模（格子点数と各格子点における物理情報の更新回数）を以下のように固定し、MPI 並列度が 4 ケース（1024, 512, 256, 128）の計算を行った。

①格子点数： $3072(X) \times 1024(Y) \times 1024(Z) = \text{約 } 32 \text{ 億}$

②更新回数： 12288 時刻ステップまで計算。

このときのストロング・スケーリング性能をまとめると右図のようになり、約 32 億点規模のシミュレーションにおいては、良好な並列性能を示すことを確認できた。



3. 2 性能試験コードによる 1000 億格子点規模の流体シミュレーション

面心超立方体 (FCHC) 54 速度格子ガス法を用いることにより、主記憶容量の大きさとしては、ES2 の 64 ノード (512CPU, 主記憶合計約 8TB) でも、1000 億格子点規模の時間発展計算を進めることができることを確認した。

①計算条件

- ・解析事象： 無限長円柱に垂直に衝突する流体の過渡変化 (初期条件：静止流体)
- ・格子点数： $12288(X) \times 4096(Y) \times 2048(Z) \approx 1030$ 億
- ・疎視化： $64(X) \times 64(Y) \times 64(Z)$ 個ごとに疎視化
- ・並列計算： MPI による 2 次元領域分割 (rank 数 512 = y 方向 32 \times z 方向 16)

②性能測定

- ・計算時間： 時刻ステップ数 384 回目で 28765 秒 \approx 8 時間
- ・性能： ベクトル長： 255.927, ベクトル化率： 98.514%

3. 3 コードの汎用化と計算例

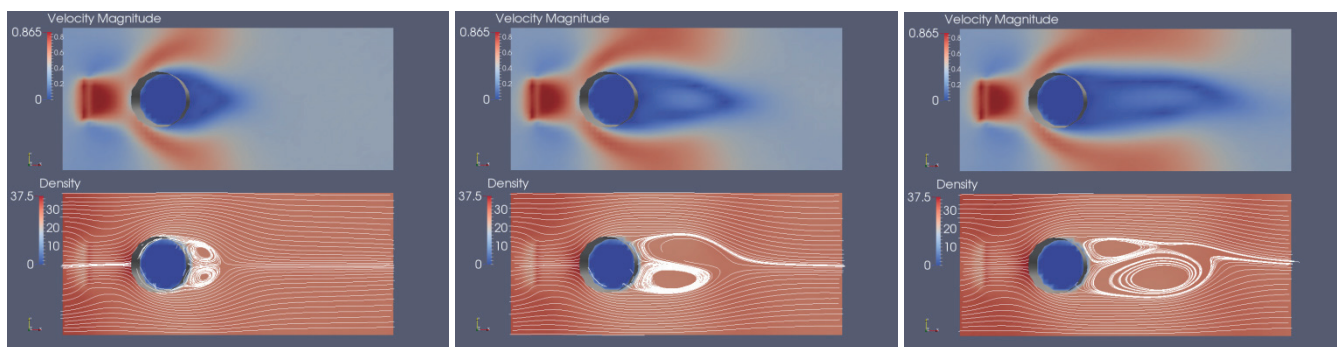
性能評価コードは解析データ (形状、境界条件など) がハードコーディングされた研究用コードであるため、地球シミュレータ上で一般利用可能なコードとして汎用化を行った (以下、「汎用化コード」という)。なお、入力データを容易に作成できるようにするための簡易 GUI の作成も行った。

汎用化コードを用いて、3.1 における 256CPU 解析ケースをベースとした条件で計算を行った。

性能測定結果は次のようになった。

- ・計算時間： 4275 秒
- ・性能： ベクトル長： 253, ベクトル化率： 97.113%

また、ParaView で作成した計算結果図を、出力ステップ (2, 4, 6) の順に下記に示した。



4. まとめと今後の方針

多速さ格子ガス法による大規模格子点計算の優位性についてはほぼ確認できたので、今後は、粘性制御機能を組み込んで計算可能なレイノルズ数の範囲を広げ、実用的な流体シミュレーションコードへ近づくための開発を進めたい。

また、赤青モデルの組み込みとチューニングを行い、この機能を用いて混相流解析を試みる。さらに、汎用化コードで大規模解析を実行してパフォーマンスを確認する。