計算領域回転法による流体解析プログラムの並列処理

3D－1

清水　純†，石黒　美佐子†，島田　卓治‡
†茨城大学，‡日立ソフトウェアエンジニアリング

1．はじめに

差分法を用いた並列処理ではどうしても通信回数の削減が問題となる．そこでプロセッサ(PE)が分担する計算領域自体を移動させて通信回数の削減を図った"計算領域回転法"を提案する．まず，2 次元 r－θ 座標系の回転槽流れへの応用について基本的な説明を行い，そして，2 次元x－y座標系の流体解析コード[1]への適用方法を示す．

実装は SR2201 上で MPI 通信ライブラリを用いて行った．

2．2次元r－θ座標系の流体解析プログラム

2 次元r－θ座標系のナビエ･ストークス方程式と連続の式を差分し，時刻 n における流速 $v_\theta^{(n)}$，$v_r^{(n)}$，圧力変動 $p^{(n)}$ を HSMAC 法[2]によって求める．まず，陽解法により仮速度を求め，これを初期値として反復計算により実速度を求める．この計算を流れが定常状態になるまで繰り返す(図 1)．

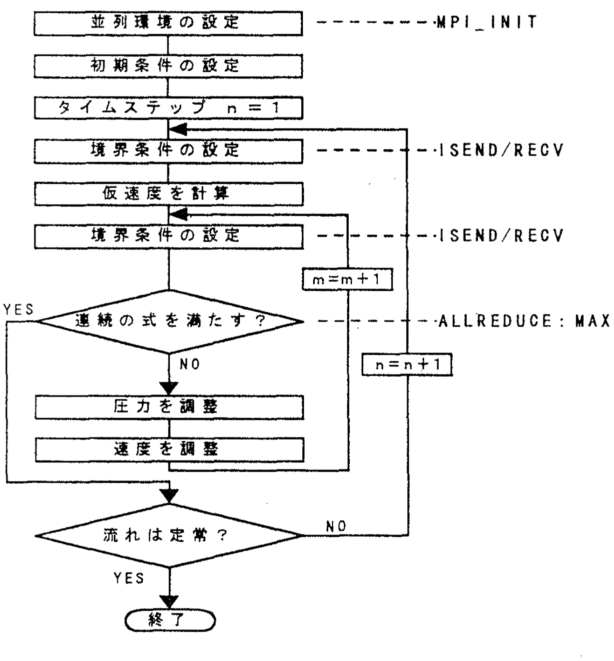

図 1 並列プログラムの計算手順

3．計算領域回転法

計算領域回転法の基本的な概念は，通常の手法における両側に位置する PE から 1 メッシュ分の領域のデータ送受信を，片側の PE からのみ２メッシュ分行い，その後 PE の担当領域を回転させることで演算に必要なデータを確保する方法である．

４PE にθ方向で領域を分割した場合を考える．ある時点における担当領域（IST～IED）の計算を行うために必要なデータは図２のように上流/下流側それぞれ 1 メッシュ分（斜線部分）拡張した領域（IST-1）～（IED+1）である．

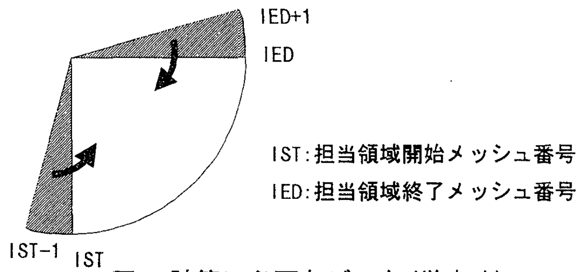

図 2 計算に必要なデータ（従来法）

計算領域回転法では，図３(a)のように，受信は上流側の PE からのみ行い，データ通信量は２メッシュ分とする．そしてデータ受信後，各々の PE が担当する領域を上流側に 1 つシフトする（IST←IST-1，IED←IED-1）．これにより演算に必要なデータは確保されたことになる（図３（b））．この手法のデータ通信回数は送信/受信それぞれ 1 回づつであり，通常の手法の半分となっている．

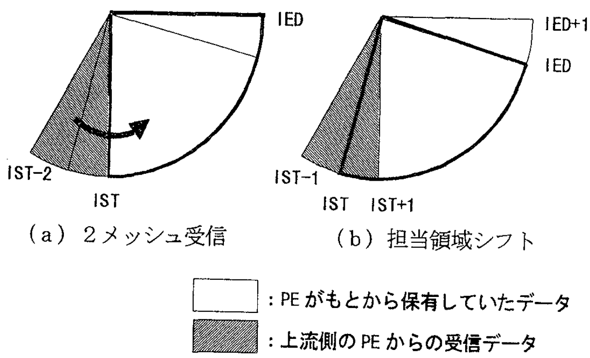

図３　計算領域回転法

Parallel Processing of Fluid Flow Analysis Program by Rotational Calculation Domain.

Jun Shimizu†, Misako Ishiguro† and Takuji Shimada‡,
†Ibaraki University, ‡Hitachi Software Engineering Co., Ltd.

このように計算領域回転法は，通信するデータの総量は変化しないが，データの通信回数を半減させるという手法である．

4．2次元ｒ－θ座標系における数値実験

計算領域回転法を通常の並列処理と比較した結果，図４に示すように20%程度の速度向上が見られた．実行時間の違いは，通信量と通信回数との関係からくる．通信対象となるデータはv_θ，v_r，p であり，どちらのケースにおいても転送データ量は通常の並列処理で480バイト，計算領域回転法では960バイトである．SR2201での１回の転送バッファは２キロバイトずつであるのでこの実行時間の差は純粋に通信回数に依存していると考えられる．

また，この２つの結果から比較的小規模な計算において通信を頻繁に行うような計算の方が計算領域回転法の効果が十分に現れていることが確認できる．

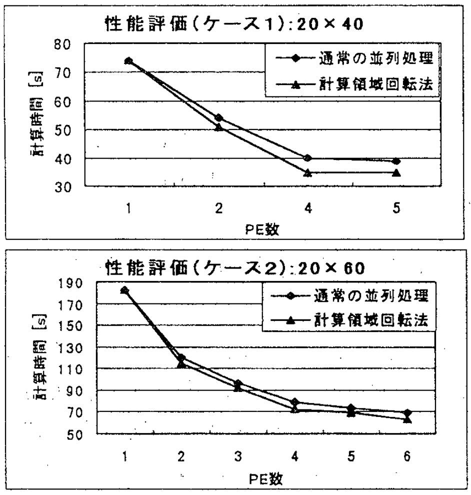

図４　計算時間の比較

5．2次元ｘ－ｙ座標系流体解析コードへの適用

この解析では，図５に示すような流れの計算を上下の境界にノイマン境界条件を用いて行っている．上下の境界をつなげ，領域を計算毎に移動させることにより回転法を適用する．そして，特に通信頻度の高いSOR法による圧力方程式を解く部分にのみ回転法を適用する(図６)．この理由は，この部分ではpのみ送受信を行えば良く，他の部分に回転法を導入することによって余分なデータの送受信が発生するのを避けた．

具体的には図６に示すように，回転法を適用する時にポアソン方程式の右辺の値を全てのPEに分配し，圧力計算後に通常の並列処理に戻すための作業として元の計算領域が持つはずのp のデータの受け渡しを行う．

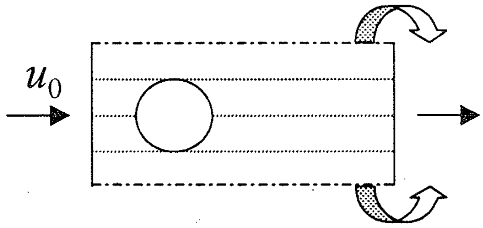

図５　計算領域回転法適用の概念図

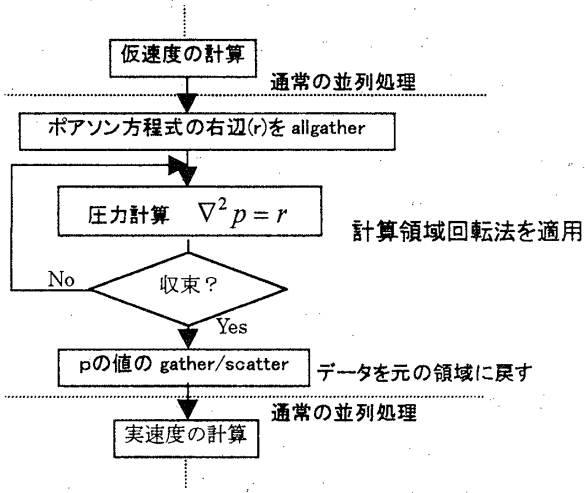

図６　ｘ－ｙ座標系への計算領域回転法の適用

6．まとめと今後の課題

通信回数の半減を図った計算領域回転法を提案した．

２次元ｒ－θ座標系への適用では，実行時間が10～20%減少し，回転法の効果が得られた．

デカルト座標系についても，回転法が適用できることを示し，その実装方法を具体化した．今後実規模の流体解析コードで数値実験し，その有効性を検証する．

回転法は通信回数が多く通信量の少ない問題に効果が期待できる．また，計算領域が絶えず変化していることに着目し，通信を１ステップ分スキップしても更新されないデータを使用する頻度が一様となり，収束遅れが起こりにくくなるということが期待できる．これらについても結果を出していきたい．

参考文献

[1] Tsuboi, K., Miyakoshi, K. and Kuwahara, K. : Incompressible Flow Simulation of Complicated Boundary Problems with Rectangular Grid System, Theo. App. Mech., 40 297-309. (1991)

[2] 高橋亮一：応用数値解析，朝倉書店(1993)