

あろうか。

### 参 考 文 献

- Yoshizawa, A. (1990a). Three equation modeling of inhomogeneous compressible turbulence based on a two-scale direct-interaction approximation, *Phys. Fluids A*, **2**, 838-850.  
 Yoshizawa, A. (1990b). Self-consistent turbulent dynamo modeling of reversed field pinches and planetary magnetic fields, *Phys. Fluids B*, **2**, 1589-1600.  
 Yoshizawa, A. (1991). Subgrid-scale modeling of compressible turbulent flows, *Phys. Fluids A*, **3**, 714-716.

## 圧縮性 Navier-Stokes 方程式の解法とモデリング

東北大学 流体科学研究所 沢 田 恵 介

本講演は、圧縮性ナビエ・ストークス方程式の数値解法における最近の動向と、2方程式乱流モデルの数値的な取扱いについて今までの経験から重要と思われるいくつかの点に関する報告である。前者に関しては、80年代初期の標準であった Beam-Warming 法に対して、空間精度と数値安定性の一層の向上、計算時間の短縮化および定常解への収束の加速を実現するためにどのような改良が施されてきたかについて簡単に述べた。例えば、対流項の差分近似は中心差分＋人工散逸から TVD 法にすることによって安定性と精度の向上がはかられた。また、陰解法の行列演算量をさらに減少させるために、流束のヤコビ行列の LU 分解化や対角化が導入されている。局所時間刻み法や緩和法、あるいは座標線を適当に間引いて複数の格子を作り、異なる波長の残差を効率的に減衰させるマルチグリッド法などの収束加速法が一般的であることなどである。これらの結果、今日のスーパーコンピュータを用いると、複雑な航空機周りの流れ場を 100 万点以上の格子を用いて 1 時間以内に求めることが可能となっている。

一方、後者の乱流モデルの取扱いに関しては、安定な計算を実現するためにはどのような方法にすれば良いかについての私見を述べた。即ち、安定な計算を実現するためには、元々数値的に安定なモデルを選ぶことが大切である。また、2方程式の対流項を TVD 法で差分近似を施すときにナビエ・ストークス方程式と密にカップリングした形で定式化できる。そして、壁面境界条件の陰的な取扱いも極めて効果的である。さらに、生成項の安定な取扱いのために、生成項の積分を解析的に行う天体物理における手法を紹介し、2方程式乱流モデルへの適用に関して検討した。最後に、究極の乱流モデルの出現による工学分野での実験と計算の間の主従関係の決定的な転換の可能性に触れ、その様なモデルの早期実現への期待を述べた。

## 高並列計算機向き CFD プログラムの並列化技法

日立製作所 中央研究所 田 中 輝 雄  
 日立製作所コンピュータ事業部 面 田 耕一郎

次世代スーパーコンピュータの有力候補として、半導体の高集積化技術あるいは実装技術の進歩を背景に、多数台のプロセッサを同時に動作させることにより高い性能を実現する高並列計算機の研究が多くの研究機関で行われている（日経エレクトロニクス（1989））。

報告者らは数値流体力学 (CFD: Computational Fluid Dynamics) シミュレーションのよ  
うな大規模数値シミュレーションの実現を目的とし、並列計算機 H2P の研究を進めている (田  
中・濱中 (1990), 田中 他 (1988, 1989)). H2P は、各々が記憶部を持つ数百台から数千台のプロ  
セッサをハイパースパネットワーク (田中・濱中 (1990)) と呼ぶ相互結合網で接続した  
並列計算機である。

並列計算機の研究では、プログラム内から並列性を引き出しプロセッサを効率よく稼働させる  
ためのプログラムの並列化が大きな課題となる。この課題に対しては、まだ、自動並列化技術  
が未熟であり、並列化作業はユーザに任されている段階にある。

一方、CFD シミュレーションは、① 大規模の配列データを扱うこと、② 各々のデータ毎に  
並列に演算を行える可能性があること、③ 演算手順が静的に決まっていること等の特徴を持  
ち、プログラムの並列化では各プロセッサへの配列データの割付け方法が最も重要となる。

割付けの方針としては、① プロセッサ毎の演算量の均一化、② プロセッサ間のデータ転送量の  
抑制等が挙げられる。この方針のもと、CFD シミュレーションで用いられる基本的な数値計算  
アルゴリズム R/B SOR, ICCG<sup>#1)</sup> について割付け方式を示した。

また、実用プログラムの例として航空宇宙技術研究所で用いられている ADI<sup>#2)</sup> 的アルゴリズム  
を用いた CFD プログラムを取り上げ、WF 型および SWAP 型と呼ぶ 2 つの方式を組合せた  
割付け方式を提案した。各割付け方式の概要を表 1 に示す。この CFD プログラムに対して、机  
上評価の結果、並列計算機 H2P においてプロセッサ 1 台ですべての処理を行う場合に比べて、プ  
ロセッサ 512 台で 186 倍の性能を実現する見通しを得た (田中・面田 (1990)).

今後は、さらに新しい並列計算向き新アルゴリズムの研究を進める。

なお、本報告の一部は航空宇宙技術研究所の委託研究「数値空気力学シミュレータ概念検討  
およびフィージビリティスタディ」の結果を用いた。

注 1) R/B SOR: Red/Black Successive Over-Relaxation method

ICCG: Incomplete Cholesky Conjugate Gradient method.

注 2) ADI: Alternating Direction Implicit iterative method.

表 1. 割付け方式.

アルゴリズム	名 称	割 付 け 方 式
R/B SOR	—	計算領域を矩形領域に分割し各プロセッサに割付ける。 R/B SOR では、各格子点の計算においてその隣接の格 子点の値を用いるため、隣接領域を持つプロセッサ間で データ転送が必要となる。したがって、各プロセッサには 担当する領域の表面積が小さくなるように割付けを行 う。
ICCG	WF 型	ICCG のような陰的反復解法では、Hyper-plane [6] と 呼ばれる超平面上の格子点間に並列性がある。演算はこ の Hyper-plane を波面として進む。並列性を確保するた めに、この Hyper-plane が各プロセッサにまたがるように 計算領域を分割し各プロセッサへ割付ける。Hyper-plane とプロセッサ間の境界面の交差部でプロセッサ間データ転送 が必要となる。
ADI		他プロセッサにある計算に必要なデータをすべて自プロセ ッサ内に確保した後に、プロセッサ毎に独立に演算を行う。

## 参 考 文 献

- 村田健郎, 小国 力, 唐木幸比古 (1985). 『スーパーコンピュータ』, p. 248, 丸善, 東京.  
 日経エレクトロニクス (1989). 10年後の主役を目指す超並列マシン, No. 478, 123-146.  
 田中輝雄, 濱中直樹 (1990). Hyper crossbar network におけるメッセージ自動経路迂回機構の導入, 並列処理シンポジウム JSPP 90 予稿集, 97-104, 情報処理学会.  
 田中輝雄, 面田耕一郎 (1990). 高並列計算機による空気力学シミュレーションの構想, 第8回航空機計算空気力学シンポジウム論文集, 航空宇宙技術研究所特別資料 (SP-13), 99-108.  
 田中輝雄, 濱中直樹, 村松 晃 (1988). データ転送オーバーヘッドの削減を主眼とした並列処理アーキテクチャの提案, 情報処理学会第37回全国大会予稿集.  
 田中輝雄, 濱中直樹, 村松 晃 (1989). 識別子を用いたデータ転送方式を基本とする MIMD 型並列計算機アーキテクチャ, 並列処理シンポジウム JSPP 89 予稿集, 115-122, 情報処理学会.

## 一様回転の渦に対する安定化・不安定化効果

岡山大学 工学部 柳 瀬 真一郎

Institute de Mécanique de Grenoble M. Lesieur · O. Métais

University of Washington J.J. Riley

地球大気・海洋, また惑星・恒星大気の流体運動は回転によるコリオリ力, 遠心力の影響を強く受けている。一方これらの流体運動において, しばしば特徴的な渦運動が発生し, 木星大気の大赤斑の様に長時間安定に存在するものもあることが知られている。従って渦運動に対する回転の効果調べることは, 地球・宇宙流体力学において重要であり, 研究の第一歩としては一様な回転の渦に対する影響を調べるのが適当と考えられる。ところで, これらの系における渦は多く2次元的な形態を示すが, 一様な回転の効果調べるためには3次元的な流体運動を調べる必要があることがわかる。本研究では, ケルビン・ヘルムホルツ渦に対する一様回転の影響を3次元直接数値計算及び  $\tanh$  型の主流に対する3次元線形安定性計算によって調べた。結果は, 渦が一様回転に対してサイクロニック (渦が一様回転と同方向に回転) であるかアンチサイクロニック (反対方向に回転) であるかによって全く異なり, 前者の場合, 渦は常に安定であるが, 後者の場合は, 弱い一様回転に対して渦は激しい3次元不安定を起こすことが示された。図1に不安定化した場合の等圧力面の3次元グラフィクスを示す。



図1.