

氏 名	なか の あきら 中 野 明
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 120 号
学位授与の日付	平成 8 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科・専 攻	工芸科学研究科情報・生産科学専攻
学 位 論 文 題 目	デカルト格子局所選点法による任意形状物体周りの圧縮性粘性流の 数値計算
審 査 委 員	(主査) 教 授 里 深 信 行 教 授 矢 田 順 三 教 授 萩 原 良 道 助教授 徳 永 宏 助教授 森 西 晃 嗣

論 文 内 容 の 要 旨

本研究では、高効率かつ信頼性の高い圧縮性粘性流の数値計算法の構築を目的に、格子生成法の自動化及びそれにまつわる空間微分項の離散化法に焦点を当てた。また、数値計算法は線の方法を基本とし、時間積分法にはルンゲクッタ法を用いた。

従来の格子生成法は、構造格子系と非構造格子系に分類され、格子生成の自由度や演算量の観点からすれば一長一短である。そのため、物体形状の入力から計算結果の評価までのターンアラウンドタイムを短縮するには、新たなアプローチが必要と考えられる。これに対し、近年では簡便なデカルト格子を必要に応じ細分化し、格子生成を自動化するデカルト格子法が非粘性流の分野で研究されると共に、解析空間に計算点を散在させるだけで計算要件を満たす格子なし法が提案されるに至っている。

そこで、本研究ではまず格子なし法の研究に着手し、理論的考察とモデル方程式による検証計算を通じて、従来の最小自乗型格子なし法の拡散項の離散化に対する問題点を指摘し、それを解決する新たな格子なし法として近傍点局所選点法（以下、局所選点法とする）を提案した。更に、二次元円柱周りの圧縮性粘性流の数値計算においては、時間積分法以外の全ての計算が局所選点法の観点から構築できることを示すと共に、計算点配置がある程度不規則になっても安定した解を与えることを示した。しかしながら、計算時間の面では一般座標変換された差分法の数倍の時間を要することと、全く無秩序な計算点配置では計算の安定性が維持できないことが明らかとなった。その結果、全く無秩序な計算点配置において安定した数値計算を可能とするには、更に演算量の増加が予想される一方、何らかの方法で計算点を適切に配置することで、演算量の増加を抑制することが可能と考えられた。

そこで、演算量をカバーする一つの方法として、ワークステーションクラスター上でのメッセージパッシングソフトによる並列計算を試みた。その結果、理想値に近い並列化が可能であり、ワークステーション台数に見合った計算の高効率化が可能であることを示した。

次に、局所選点法とデカルト格子法とを組み合わせたデカルト格子局所選点法を提案した。本数値計算法では、階層的なデカルト格子を自動生成し、物体近傍での格子幅が任意な格子点に対しては局所選点法、それ以外の格子点では二次精度中心差分法により空間微分項の離散化を行う。これにより、デカルト格子法を粘性流れに適用した場合の任意形状物体に対する境界の精度良い取り扱いを可能とし、格子生成と実計算の負荷を共に削減することを試みた。

検証には、円柱周り及びNACA0012翼型を過ぎる圧縮性粘性流を対象に、亜音速から超音速に至る広い範囲での定常/非定常流を取り上げた。その結果、本数値計算法の信頼性を確認すると共に、定常問題

においては一般座標系の数値計算法に比べ計算時間を半減できることを示した。また、非定常問題に対しても階層的な格子系の利点を上手く利用し、時間的な内挿を全く使用しない二次精度の階層的な時間進行法を提案し、一般的な陽解法の時間進行法と比較して、大幅に計算時間を短縮できることを示した。

また、本数値計算法の拡張性を示すため、より現実的な適用例として複雑形状問題、移動境界問題、高レイノルズ数問題を取り上げた。

複雑形状問題においては、複雑形状の例として文字を取り上げ、文字周りの流れの数値計算を試み、形状データがあればそれ以降の格子生成及び実計算の負荷が大幅に削減できることを示した。

移動境界問題においては、デカルト格子での取り扱いが困難と考えられる、回転境界問題を取り上げた。その結果、物体境界が回転移動する場合においても、本数値計算法が有効であることを示した。

高レイノルズ数問題においては、格子生成の自由度を増し、物体近傍ほどアスペクト比を大きくすると共に、補助的な格子を生成することで総格子数の増加を抑制し、高レイノルズ数流れの取り扱いが可能であることを示した。

更に最終的には、本数値計算法の三次元への拡張を行った。格子生成においては、これまでに提案したデカルト格子法を拡張し、物体定義点から物体のサーフェース情報を生成し、任意形状物体に対する自動格子生成を可能とした。この結果、三次元における任意形状問題に対しても柔軟に適用できることを示した。

以上の研究の結果、提案するデカルト格子局所選点法は、ターンアラウンドタイムを重視した世界に類のない独創的な圧縮性粘性流の数値計算法として、その一般性が確立された。

論文審査の結果の要旨

中野明君の申請による博士論文の審査委員会においては、提出された資料、論文に基づき、論文内容の信頼性、独創性、新規性および工学への寄与の期待度、さらに完成度などについて慎重に審査を行った。

本論文は、論文内容の要旨に述べられているように、現在、計算流体力学の分野で最も重要で、緊急を要する研究課題の一つである、複雑な形状をした物体周りの流れを効率的かつ、高い信頼性を持って解くための数値計算法の構築に関するものである。この様な流れの計算に際しては格子の生成に従来主流であった構造格子、最近注目されている非構造格子のいずれにおいても多大の時間と経験を要し、これが計算流体力学的手法の流体機械設計への応用のネックになっている。

申請者は、まず、格子生成の困難さの解決策の一つとして提案されている格子なし法における空間微分項を最小自乗法により求められた一次関数の係数により近似するという本質的な問題点を選点法により解消することを試み、その理論的優位性を示すとともに、基本的な検定問題に適用して本論文で新しく提案した局所選点法が不規則な点配列に対しても柔軟に対応可能であり、かつ従来の一次関数最小自乗近似法より高精度であることを示した。

次に、格子生成に要する時間が実際上無視できるデカルト格子法と組み合わせることにより、複雑な物体形状に対してデカルト格子を適用した場合に生ずる物体形状の階段状近似を解消し、圧縮性ナビエ・ストークス方程式に支配される流れの代表的な検定問題である NACA0012 翼型周りの流れの計算において、定常解の場合に従来の境界適合構造格子による結果と同等の結果を得るのに計算時間を 1/2 以下に短縮できることを示した。

これらの成果をふまえて、高レイノルズ数流れ、移動境界および三次元問題への適用を試み、実用的問題への応用に対して高い汎用性があることを立証している。

また、内容の一部は国際会議のプロシーディングおよび日本機械学会論文集に刊行がされており、また、権威ある国際会議である第3回ヨーロッパ計算流体力学会議、第15回流体力学における数値的方法に関する国際会議でも発表予定であり、その学術的な価値と信頼性が客観的に認められているとともに今後の工学上に大きな寄与が期待できる。