

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 12926 号
------	---------------

氏名 櫻井 照夫

論文題目

固体壁を伴う流れの計算科学的手法の開発

(Study on computational methods for wall-bounded flows from viewpoints of wavelets and volume penalization)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	准教授	芳松 克則
委員	名古屋大学	教授	白石 賢二
委員	名古屋大学	教授	辻 義之
委員	愛知工業大学	准教授	岡本 直也

論文審査の結果の要旨

櫻井照夫君提出の論文「固体壁を伴う流れの計算科学的手法の開発」は、直交デカルト座標系における構造格子を用いて、固体壁を境界の一部に持つ非圧縮乱流の自由度縮約手法、および複雑な形状をした固体壁境界の下での熱を伴う流れのシミュレーション手法を開発し、それら開発手法の評価・検証を実施している。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、乱流の効率的なシミュレーションを可能にするアダプティブ格子によるシミュレーション手法の概要を述べ、ウェーブレット解析に基づく乱流の自由度縮約手法、および複雑な形状の境界をもつ流れの構造格子を用いたシミュレーション手法である体積ペナライズ手法に関する過去の研究をまとめている。また、壁乱流の統計的性質、秩序構造についても要約している。

第2章では、壁面を境界にもつ規範的な乱流である平行二平板間乱流における、3次元直交ウェーブレット解析に基づいた自由度縮約手法を開発し、その評価を行っている。壁面の滑りなし境界条件も満たす直交ウェーブレットを用いて3次元直交ウェーブレットを構成している。直接数値シミュレーションにより得た平行二平板間乱流の渦度場の直交ウェーブレット変換を行い、渦度のウェーブレット係数の強いものだけからなる場を抽出している。この抽出された場は、元の乱流場の約6%の自由度からなるにもかかわらず、元の乱流場の乱流統計、非線形動力学、およびチューブ状の秩序渦度構造をよく再現することを明らかにしている。残りの大多数の自由度からなる場の乱流統計への寄与はほとんど無視できるものであり、秩序的な構造も観測されないことも示している。このことは、秩序渦度構造を保ちつつ、乱流の自由度を大幅に削減できることを示す重要な知見である。

第3章では、複雑な形状をした壁面を通じた熱輸送や物質輸送などスカラー輸送を伴うスカラー場を、構造格子を用いて簡易にシミュレーションする体積ペナライズ手法を開発している。この方法は、ノイマン境界条件を模擬するものであり、スカラー流束の連続性を満たしている。ノイマン境界条件を持つ1次元ポアソン方程式とそのペナライズ化した方程式を用いて、解析的および数値的に評価し、モデル化誤差がペナライズパラメータの1次のオーダーであり、離散化誤差は一般には格子間隔の1次のオーダーであることが明らかにしている。さらに、熱対流に開発手法を適用し、スカラー輸送を伴う流れのシミュレーションに対する開発手法の有効性を示した。

第4章では、本研究の結論を与えていた。

以上のように本論文では、ウェーブレット解析を応用した平行二平板間乱流の自由度縮約手法、および複雑な形状をした固体壁境界を通じたスカラー流束を境界条件にもつスカラー量を伴う流れの構造格子を用いたシミュレーション手法を開発し、その評価、検証を行うことで、開発手法の妥当性を明らかにしている。これらの手法並びに得られた結果は、壁面を境界の一部に持つ乱流の高効率なシミュレーション手法、特に、体積ペナライズ手法とウェーブレットに基づくアダプティブ格子を用いたマルチフィジックス乱流をシミュレーションする手法の発展、それに基づく流れの制御への応用を実現するために重要であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である櫻井照夫君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。