

審査の結果の要旨

氏名 チャマーシー アメーレシュワラー サイナド

修士（工学）チャマーシー アメーレシュワラー サイナド提出の論文は、“High order hyperbolic approach for diffusion dominated flows”（拡散が支配的な流れに対する高次精度双曲型解法）と題し、6 章及び付録から構成されている。

拡散現象が主体となる流れの数値シミュレーションでは、従来楕円型の拡散方程式が基礎方程式として用いられることが多いが、近年、拡散方程式と数学的に等価である双曲型方程式系を構築し、風上差分を適用して計算する手法が研究されている。この手法は磁化された電子の流れなどで現れる異方性拡散方程式を安定に計算する手法としても有用性が確認されているが、この場合は強い異方性に起因して生じる数値誤差を低減することが課題となっている。本研究の目的は、異方性拡散を含む種々の拡散が支配的な流れに対し、双曲型方程式系を用いた解法において、高次精度スキームを適用することによって数値誤差の少ない計算手法を確立することである。

本研究では双曲型解法において、数値振動を抑制しながらも空間 5 次精度を達成する数値スキームを目指している。拡散方程式の双曲型解法に対し、線形、非線形を含む様々な高次精度スキームが適用され、さらに境界条件の高次精度での実装方法を提案している。得られた高次精度の双曲型解法は、等方拡散方程式、異方性拡散方程式、移流・拡散方程式の種々の問題によって検証され、その結果衝撃波捕捉スキームの一種として知られる WENO 法によって数値振動なく高い計算精度が得られるという利点を実証するとともに、前処理法において用いられるパラメータが計算精度に影響を及ぼすことを明らかにして、これらの数値手法に関する最適な実装方法を提案している。

第 1 章は序論であり、空間的に高次精度な数値スキームの重要性を述べ、本論文に関連する先行研究に関するレビューを行った上で、本論文の目的を述べている。

第 2 章では本論文で用いられている数値手法を紹介しており、線形、非線形を含む様々な高次精度スキームの実装に関し記述している。

第 3 章では、等方的な拡散方程式を対象に双曲型方程式系を構築し、高次精度スキームを適用している。一次元および二次元の問題により数値手法の検証を行い、空間 5 次精度が達成されることを確認している。等方拡散のみの流れでは衝撃波捕捉スキームで用いられる流束制限関数などの非線形な手法を導入せずとも、数値振動無く空間 5 次精度が達成できることを示している。

第 4 章では、異方性拡散方程式に対して構築した双曲型方程式系に対し、線形および非線形の高次精度スキームを適用している。異方性拡散問題の双曲型方程式系は、前処理を行うことによって、等方拡散問題に対する双曲型方程式系と同様の特性を持つこととなる。このため前章で検証した双曲型解法及び高次精度スキームは異方性拡散問題に対しても適用可能となる。二次元の異方性拡散問題での検証の結果、同じ空間 5 次精度の中では、線形のコンパクトスキームが最も高い計算精度であったが、数値振動の抑制と高精度を両立するには非線形の WENO 法が最適であることを示している。さらに緩和時間や代表長さなどの前処理に関連するパラメータの最適化が可能であることを見出し、計算精度を著しく改善できることを明らかにしている。

第5章では、移流と拡散が拮抗する流れに対する双曲型方程式系を構築し、高次精度スキームを適用している。一次元での検証計算を行い、分布が滑らかな場合では双曲型解法において空間5次精度が得られることを確認し、急峻な勾配が存在する条件においてもWENO法であれば数値振動を抑えながらも勾配を捉えた計算が可能であることを示している。また二次元の問題に対してもWENO法を用いた双曲型解法で高精度な収束解が得られることを確認している。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果をまとめるとともに、今後の展望を述べている。

付録では、オイラー方程式を対象としたWENO法の検証を行っている。

以上要するに本論文は、拡散が支配的な流れに対する双曲型解法に対し、WENO法に加え適切な境界条件や前処理法により高精度化を行ったもので、等方性拡散方程式、異方性拡散方程式、そして移流・拡散方程式に対しても適用可能な、数値振動無く高精度な数値計算手法を提案したものであり、磁化プラズマ流体などの諸問題に対する応用可能性を示すなど、航空宇宙工学および数値流体力学の発展に貢献するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。