

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	New frameworks of high resolution schemes for Euler equations
著者(和文)	SunZiyao
Author(English)	Ziyao Sun
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10429号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:肖鋒,青木 尊之,奥野 喜裕,末包 哲也,長崎 孝夫
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10429号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名		Sun Ziyao (孫 紫堯)	
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	肖 鋒	准教授	審査員	長崎孝夫	准教授
	審査員	奥野喜裕	教授			
		青木尊之	教授			
末包哲也		教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「New frameworks of high resolution schemes for Euler equations」と題し、圧縮性流体力学におけるオイラー方程式の数値解法に関する研究をまとめたものであり、英文 6 章から構成されている。

第 1 章「Introduction」では、機械工学や航空工学分野をはじめ各応用分野で広く用いられている圧縮性流体モデルの中核となるオイラー方程式に対する数値解法の研究の現状、特に最もよく使われる解法である有限体積法 (FVM: Finite Volume Method) を概観し、既存の数値解法の問題点を述べるとともに、従来型の有限体積法の数値散逸および局所高次精度再構築における数値振動の問題を解決するために、新しい数値計算手法の提案を研究目的として掲げている。

第 2 章「Boundary Variation Diminishing (BVD) reconstruction: a new approach to improve Godunov schemes」では、オイラー方程式の主たる解法である Godunov 型有限体積法を構築するための新しい設計指針、すなわち BVD (Boundary Variation Diminishing) 法を提案している。既存の有限体積法では、高次精度解法を構築する際に、格子セル境界に不連続が存在することを前提とし、セル内部で高次多項式による補間を行う。その結果、場合によってセル境界における変数値の差が拡大され、過剰な数値散逸が生じる。このような従来型の有限体積法に比べ、BVD 法による再構築はセル境界における変数値を最小化することで従来型の有限体積法に比べ、数値散逸を大きく減少させることに成功している。また、BVD 法を適用することで連続解だけではなく、不連続解に対しても解の品質を画期的に改善できることを実証している。BVD 法は高解像度数値解法の研究における新しい方向性を示すものであり、関連分野の研究に大きく影響を与える可能性を示している。

第 3 章「A slope constrained 4th order multi-moment finite volume method with WENO Limiter」では、局所自由度を持つ高次精度解法である MCV (Multi-moment Constrained finite Volume) 法に伴う数値振動を回避するための新しいリミティング・プロジェクション法を開発している。本手法は、局所自由度に基づく WENO (Weighted Essentially Non-Oscillatory) 法を用いて再構築を行い、既存の DG (Discontinuous Galerkin) 法に代表される局所高次精度解法のリミティング・プロジェクション法に比べ、コンパクトなステンシルで再構築が可能であることを示している。また、従来手法に必要とされる不連続解の識別関数を導入しなくても優れた結果が得られることを示している。

第 4 章「A semi-Lagrangian multi-moment FVM with 4th-order WENO projection」では、第 3 章で示したリミティング・プロジェクション法を用いた新たなセミ・ラグランジアン法を提案している。本手法は、従来のセミ・ラグランジアン法の利点を生かし、計算安定性に対する時間積分刻みの制約条件を大きく緩和している。また、連続解の計算精度が 4 次精度であること、不連続解の数値振動を抑制することを確認するとともに、オイラー型の解法より計算誤差が少ないことを示している。

第 5 章「BVD algorithm for MCV-WENO4 method」では、第 2 章で提案した BVD 原理を第 3 章の MCV-WENO4 (MCV with WENO limiter of 4th order) 法に適用し、局所自由度を持つ高次精度解法において BVD 法の導入を試みている。BVD 法は Godunov リーマン問題だけではなく、微分リーマン問題に対しても有用性があることを確かめている。解析解と良く一致する数値結果が得られた一方、局所自由度を持つ高次精度解法に関する BVD 法の定式化について問題点を明らかにし、今後の研究の方向性を示している。

第 6 章「Conclusions and future work」では、本研究で得られた成果をまとめるとともに、今後の課題について検討している。

以上を要するに、本論文は圧縮性流体の数値解析において重要なオイラー方程式の数値解法の既存の問題点を解決するために、新しい計算手法の提案と実証をまとめたもので、理学上貢献するところが大きい。よって本論文は博士 (理学) 論文として十分な価値を有すると認められる。