

複雑な流動・輸送現象の解明・予測・制御に向けた新しい流体科学
2021 年度採択研究代表者

2022 年度
年次報告書

佐藤 慎太郎

東北大学 大学院工学研究科
助教

アポステリオリ流体幾何学の創出

研究成果の概要

実験・数値流体力学から得られる大規模で複雑なデータを基にした流動現象の本質を幾何学的な観点から帰納的に理解する学問の構築に向けて、本年度はまず、流れ場の時間平均分布も考慮した固有直交分解法 (POD: proper orthogonal decomposition) の研究を実施した。通常の POD では特定の条件の流れ場を対象に、流れ場の時間平均部分を差し引いて時間変動成分のデータに着目することでモードを抽出する。しかし、本研究のように広範囲のパラメータ条件を網羅したモード抽出を行う際は時間平均部分もパラメータに依存して変化するため、この特徴も捉えたいという要請が出てくる。そこで、本研究では各パラメータ条件での時間平均部分も含めて流れ場の特徴を抽出する手法を考案した。また、POD モードを用いて流れ場を再構築する際に必要なモード数を算出する新たな基準も提案した。提案手法の実証として、空間一次元の Burgers 方程式を考え、複数のパラメータ条件のデータセットを用意して POD 解析を実施した。パラメータ条件が複数ある場合でも提案手法を用いることで単一のパラメータ条件での POD 解析と同程度の再構築誤差でオリジナルのデータセットを表現できることを確認した。

これに加え、流れ場の固有モードのパラメータ依存性を記述するモデルの構築に向けた研究を実施した。昨年度は円柱周りの流れ場を対象として、 $Re = 60-160$ の範囲でレイノルズ数を変化させた数値計算を実施し、抽出される POD モードの構造はレイノルズ数に対して滑らかに変化することを示した。そこで、この POD モードがレイノルズ数方向に対して連続的に変化すると仮定して、力学系から類推した解析を行なった。その結果、各次数の POD モードのレイノルズ数変化を捉える構造を抽出し、それらの特徴的な構造を利用することで幅広いレイノルズ数域で適用可能な Reduced Order Model (ROM) を構築できることを明らかにした。さらに、提案手法によって推定された POD モードの再構築誤差を正準角を用いて定義される部分空間同士の類似度を指標に評価する手法について考案した。