

2023 年度年次報告書

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

2023 年度採択研究代表者

大道 勇哉

宇宙航空研究開発機構 航空技術部門

主任研究開発員

非周期的・間欠的流動現象のデータ駆動モデリング

研究成果の概要

提案手法である Variational Mode Decomposition-based Nonstationary Coherent Structure (VMD-NCS)解析を複数の流れ場に適用し、主に手法の性質や有効性を調査した。

まず、VMD-NCS 解析で抽出される時空間パターン(Intrinsic Coherent Structure, ICS)に対するユーザ設定パラメータの影響を検証した。その結果、ICS の周期性に関連するパラメータ α の影響は比較的小さく、ICS 数を表すパラメータ K が支配的な影響を持つことがわかった。また、ICS 数 K を大きくすると、より単一周期の現象を抽出する傾向があり、動的モード分解と類似した結果に近づくことが観察された。したがって、パラメータを調整することで抽出される時空間パターンの性質を周期的(K が大きい場合)または非周期的(K が小さい場合)に調整可能である。

時間スケールの異なる複数の現象を含む流れ場への検証では、まずピッチング翼まわりの流れ場を解析した。VMD-NCS 解析の結果、渦放出現象(周波数 $St = 0.24$ 程度)がピッチング運動($St = 0.05$)の影響を受けて空間分布や変動の大きさが変化する様子が単一の ICS として捉えられた。また、後退翼まわりの遷音速流れ場データに対する検証では、 $St = 0.01$ オーダの 2 次元的バフエット現象と $St = 0.1$ オーダのバフエットセル現象をそれぞれ ICS として抽出することができた。また、それらの現象の空間分布や変動の大きさは非周期的な変動も含むことが明らかになった。

間欠的現象を含む流れ場への検証では、2 次元翼周りの衝撃波振動現象で生じる衝撃波背後の間欠的剥離現象を解析した。VMD-NCS 解析の結果、衝撃波振動現象と間欠的な剥離現象がそれぞれ ICS として抽出された。また、衝撃波が上流へ遡る際に間欠的剥離が強まる様子や、剥離の空間パターンが時間とともに変化する様子が ICS として表現されることを確認した。

これらの空間分布や変動の大きさが非線形に変化する現象は、既存の主要なモード分解手法では単一のモードとしては捉えられないものであり、非周期的・間欠的現象に対する提案手法の有効性を確認できた。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Yuya Ohmichi, Variational mode decomposition-based nonstationary coherent structure analysis for spatiotemporal data, Aerospace Science and Technology, Volume 149, 2024, 109162.