

坂上貴之

京都大学大学院理学研究科
教授

渦・境界相互作用が創出するパラダイムシフト

§ 1. 研究実施体制

(1) 坂上グループ

① 研究代表者: 坂上 貴之 (京都大学大学院理学研究科, 教授)

② 研究項目

- [基礎研究] Kasper 翼の非粘性モデルを構築し, 渦閉じ込めが実現できることを数値的に確かめた. また, その定常渦が長時間にわたり安定的に閉じ込められることを数値的に確認した.
- [基礎研究] Kasper 翼の閉じ込め渦の線型フィードバック制御システムを構築した.
- [基礎研究] 二次元ハミルトンベクトル場の流線の位相構造と一対一に対応するグラフ表現とその正規表現を構成し, すべての流れ場の一意な特徴づけを可能にした.
- [基礎研究] 渦境界相互作用に関して, 流体基礎方程式を用いた流れの剥離現象の数学解析を行った.
- [協働研究] アイシン AW から二次元石鹸膜実験装置の寄贈をうけ, 二次元流体における渦閉じ込めの実証実験を開始した.
- [協働研究] 京都大学にて連携セミナーを計6回実施した.
- [協働研究] 沖縄科学技術大学院 流体力学ユニット (沖縄県, 恩納村) に Labo. Stay を行った. (2014 年 5 月)
- [協働研究] 第 2 回「数学」領域横断若手合宿を共催した. (休暇村志賀島, 福岡市, 2015 年 3 月 9 日～3 月 11 日)
- [国際研究] OIST ワークショップ “Joint Seminar between OIST and JST mathematics program on vortex-boundary interactions and wall-bounded turbulent flows” を共催した. (沖縄科学技術大学院大学, 恩納村, 2014 年 5 月 26 日)
- [国際研究] 英国 ACCA-UK との連携活動開始を開始し ACCA セミナーを開始するとともに

に, First International ACCA-UK/ACCA-JP Workshop を共催した. (インペリアルカレッジロンドン, ロンドン, 2015 年 3 月 12 日～13 日)

(2) 荒井グループ

① 主たる共同研究者: 荒井 迅(北海道大学大学院理学研究院, 准教授)

② 研究項目

- ・ [基礎研究] グラフクラスタリングによる流れの分解アルゴリズムの検証と改良を続け, その安定性や確率論的手法との比較についての進展が得られた.
- ・ [基礎研究] HodgeRank アルゴリズムを力学系や流れのグラフ表現に導入し, ノイズやデータの欠損の下でも擬リアプノフ関数を構築できる理論を開発した.
- ・ [基礎研究] 二次元ハミルトンベクトル場の流線の位相構造と一対一に対応するグラフ表現とその正規表現を構成し, すべての流れ場の一意な特徴づけを可能にした.
- ・ [協働研究] 沖縄科学技術大学院 流体力学ユニット(沖縄県, 恩納村)への Labo. Stay に参加した. (2015 年 5 月)
- ・ [国際研究] 英国 ACCA-UK との連携で開催された First International ACCA-UK/ACCA-JP Workshop に参加した. (インペリアルカレッジロンドン, ロンドン, 2015 年 3 月 12 日～13 日)

(3) 石原グループ

① 主たる共同研究者: 石原 卓(名古屋大学大学院工学研究科, 准教授)

② 研究項目

- ・ [基礎研究] 乱流境界層の乱流・非乱流界面の渦構造及び力学の特徴を直接数値計算により明らかにした.
- ・ [協働研究] パーシステントホモロジーや散逸要素の解析手法を導入し, 乱流中の渦度場や乱流燃焼中の温度場のトポロジーの特徴付けを行った.
- ・ [協働研究] 沖縄科学技術大学院 流体力学ユニット(沖縄県, 恩納村)への Labo. Stay に参加した. (2014 年 5 月)
- ・ [協働研究] デルフト工科大学航空・流体力学研究室(オランダ, デルフト)に Labo. Stay を行った. (2014 年 10 月)
- ・ [協働研究] ラトガース大学数学科 Mischaikow 教授研究室(アメリカ, ニュージャージー州)に Labo. Stay を行った. (2014 年 11 月)
- ・ [国際研究] 乱流境界層の乱流・非乱流界面について, J.C.R. Hunt 教授(UCL)との国際共同研究を推進した.
- ・ [国際研究] K. Mischaikow 教授(ラトガース大)とパーシステントホモロジーを用いた大規模データ解析に関する国際共同研究を開始した.

§ 2. 研究実施の概要

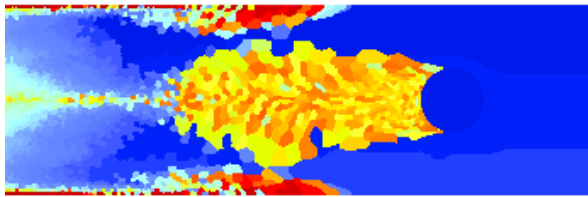
坂上 CREST では、流体が作る「渦」と物体の境界の相互作用の数理科学的研究により、「渦」の有効利用による新しい流体と構造のデザインの構築を目指しています。

(1) 研究成果の概要

▶ 効率的「渦閉じ込め」理論の進展とその実証実験(論文[1]) : 主翼の後ろに小さな二枚の補助翼を付けた Kasper 翼について、主翼付近での渦閉じ込め状態の実現可能性について研究をしました。流体モデルによる理論研究では、外部の乱れた流れの中でも主翼まわりに渦構造が長時間にわたり閉じ込められることを数値的に示しました。実験では、(株)アイシン AW より寄贈された石炭膜実験装置を使って Kasper 翼周辺にできる流れを可視化して渦閉じ込めの実現を確認しました(右図)。今後は理論と実験の融合研究を進めます。

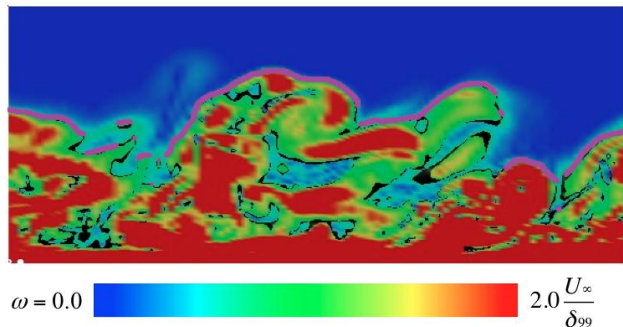


▶ グラフクラスタリングを応用した流れ構造の分解(論文[2]) : 流れや力学系の有向グラフ表現に対してグラフクラスタリングアルゴリズムを適用することで、系の力学系的な振舞いを高速に分解することが可能になることがわかりました。この手法を使うと複雑な流れを単純化



して、その構造を可視化することができます。右図は円柱回りの 2 次元流体の数値計算結果を Peer Pressure アルゴリズムというクラスタリングによって分解し、そのクラスタ構造を可視化したものです。

▶ 乱流境界層における乱流・非乱流界面の渦構造の解明(論文[3]) : 乱流境界層の直接数値計算の結果から、乱流・非乱流の境界面に渦あり・渦なし遷移部(表層)の 2 重構造を持つことを明らかにしました。これにより、従来曖昧だった乱流・非乱流界面とスーパーレイヤーの関係が明確になりました。また、乱流・非乱流界面が渦なし領域の速度変動をブロックする働きがあることを数値的にはじめて実証しました。



参考文献

- [1] R. Nelson and T. Sakajo, “Trapped vortices in multiply connected domains”, Fluid Dynamics Research, vol.46 No. 6 (2014) 061402
- [2] Z. Arai, “Decomposition and clustering for the visualization of dynamical systemsT”, Mathematical Progress in Expressive Image Synthesis I, Springer (2014), 13-20.

[3] T. Ishihara, H. Ogasawara, J. C. R. Hunt, “Analysis of conditional statistics obtained near the turbulent/non-turbulent interface of turbulent boundary layers”, *Journal of Fluids and Structures* 53 (2015) 50–57

(2) 今年度の実績概要

▶ **基礎研究** 査読付き論文 9 件(国内論文誌2件, 国際論文誌7件), 招待講演 16 件(国内7 件, 国際9 件), 学会など口頭講演 39 件(国内17 件, 国際22 件), 特許出願 2 件(国内1 件, 国際1 件)

▶ **協働研究** 連携セミナー6 回開催, Labo. Stay 2 回実施(沖縄科学技術大学院大学, ラトガース大学)

▶ **国際研究** 国際研究集会の主催・共催 2 回, 多くの国際共同研究の実施

(3) 詳しい研究業績については, 以下の坂上 CREST ホームページをご覧ください.

<http://www.math.sci.hokudai.ac.jp/crest/>