

坂上 貴之

京都大学理学研究科
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] 二次元多重連結領域における構造安定なハミルトンベクトル場の語表現理論を拡張し, 与えられたベクトル場の流線の位相構造の遷移の同定手法を確立した(荒井 G との共同研究)
- [基礎研究] 一様流中におかれた平板における非圧縮・非粘性流れの時間発展の語表現を行い, その遷移の記述と揚抗比の変動の対応付けに成功した(荒井 G および石原 G との共同研究)
- [基礎研究] ノイマン核を用いた数値等角写像手法により任意の境界形状を持つ多重連結沿岸領域におけるポテンシャル流の構成に成功した.
- [基礎研究] Kasper 翼問題における定常渦配置の摂動による非線型安定性に関する数値計算を実施し, これらの渦構造が閉じこめられるとの傍証を得た.
- [基礎研究] 二次元石鹸膜実験装置の予備実験を行い, 二次元流体内における流れの可視化とその撮影に成功した.
- [基礎研究] 多様体(特に球面)上の no-slip 境界付き Navier-Stokes 方程式の定常流問題の数学解析をおこなった.
- [協働研究] 公益財団法人 鉄道総合技術研究所(国立市, 東京都)に Labo. Stay を行った. (2013 年 7 月)
- [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 2 月)
- [協働研究] 京都大学にて連携セミナーを計 5 回実施した

- ・ [協働研究] 第 1 回 JST CREST「数学」領域横断若手合宿～冬の学校を共催した. 休暇村指宿, 指宿市(鹿児島県), 2014 年 1 月 31 日～2 月 2 日
- ・ [協働研究] 応用数学チュートリアル 2014 を主催した. かんぼの宿那覇レクセンター・沖縄青年会館, 那覇市(沖縄県), 2014 年 2 月 22 日～24 日
- ・ [協働研究] アイシン AW との協働により二次元石鹸膜実験装置の開発に着手した.
- ・ [国際研究] IMA Special Workshop Joint US-Japan Conference for Young Researchers on Interactions among Localized Patterns in Dissipative Systems を共催した. (ミネソタ大学(IMA), ミネアポリス(USA), 2013 年 6 月 3 日～7 日)
- ・ [国際研究] The 6th Pacific RIM Conference on Mathematics 2013 (第五回 CREST-SBM 国際シリーズ)において「Topological problems in fluid dynamics」を主催した. (札幌コンベンションセンター, 札幌, 2013 年 7 月 1 日～2 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, 特にその安定性や他のアルゴリズム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, ノイズが伴う力学系や不完全な時系列に対しても適用できる理論を開発した.
- ・ [協働研究] 公益財団法人 鉄道総合技術研究所(国立市, 東京都)に Labo. Stay を行った(2013 年 7 月)
- ・ [国際研究] Workshop on Lagrangian Coherent Structures and Dynamical Systems を共催した. (北海道大学, 2014 年 3 月 5 日～7 日)
- ・ [協働研究] 応用数学チュートリアル 2014 に参加しグループの研究成果を公表した. (かんぼの宿那覇レクセンター・沖縄青年会館, 那覇市(沖縄県), 2014 年 2 月 22 日～24 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] 高レイノルズ数乱流中の強渦度領域が強い剪断層を形成し, 低 Re 数乱流と全く異なる構造を持つことを明らかにした.
- ・ [基礎研究] 乱流境界層の乱流・非乱流界面がテイラー長でスケールする乱流・非乱流遷移層とコルモゴロフ長でスケールする表層(渦あり・渦なし遷移層)の 2 重構造であることを明らかにした.
- ・ [基礎研究] 平行平板間乱流に対し, ウェーブレット変換を用いたコヒーレント渦の抽出を行い, 少数のウェーブレット係数で壁近傍の渦が再現できることを示した. [基礎研究] 温度場を散逸要素に分解した解析を実施し, その解析手法が n ヘプタンの自己着火過

程の理解のために有効であることを示した.

- 【協働研究】 公益財団法人 鉄道総合技術研究所(国立市, 東京都)に Labo. Stay を行った. (2013 年 7 月)
- 【協働研究】 パーシステント・ホモロジーについての連携セミナーを開催した. 名古屋大学, 2014 年 1 月 24 日.
- 【協働研究】 パーシステント・ホモロジーの手法を活用した乱流データの解析, および, 大規模データを解析するためのソフトウェアの開発協力を開始した.

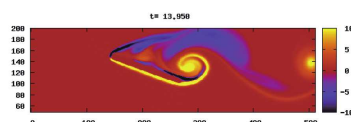
§2. 研究実施の概要

航空機の翼の設計においては、流れが乱れて翼から生成して剥離する「渦」は、航空機の失速の原因となるなど、従来の流体力学では渦の生成は厄介なものとして扱われてきましたが、坂上 CREST では、この厄介者とされる「渦」の運動と「物体」の境界の相互作用の数理科学的研究を推進することで、「渦」の有効利用による従来にはない新しい流体力学理論を構築しています。また、諸分野の研究室への滞在プログラム「Labo. Stay」や、諸分野の研究者による「連携セミナー」を開催し、得られた基礎研究の成果の様々な分野への応用を試みています。今年度の研究成果の概要は以下のとおりです。

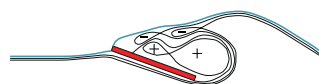
▶ **効率的「渦閉じこめ可能性」の数理的研究** 前年度までの研究により構築された平面内に多数の障害物(物体境界)の中を流れる非粘性・非圧縮流体運動を扱う数学理論と数値解析を用いて、三枚の翼で構成される「Kasper 翼」における渦閉じこめ問題を考え、渦の定常閉じこめの状態が実現可能であることを示しました。

▶ **「流れ」パターンのトポロジーによる新分類理論** 平面内に多数の境界を持つ流れ場において実現される全ての構造安定な流れパターンの書き出しに成功し、それらに固有の文字列を割り当てることができるようになりました(下図)。この文字列表現は、流れのパターンという幾何学的対象を表現する「共通言語」として他分野協働において利用可能なものです。また文字列の変化から流れに起こった変化がどのようなものかを特定できるようになりました。

流れの様子



語表現 :IA₀A₀CB₀



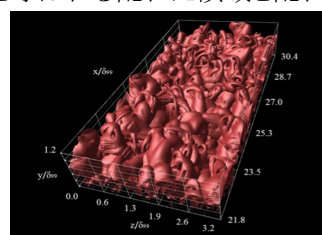
▶ **壁乱流の計算科学的研究**

流れと物体境界の間に起こる複雑な相互作用の時間発展とその微細な構造を大規模数

値計算によって研究しました。境界の近くでは「乱流境界層」と呼ばれる乱れた領域と乱れていない領域を分離するシャープな境界(右図)が存在することがわかり、その物理的特徴づけを行いました。また、高レイノルズ数乱流中の強渦度領域が強い剪断層を形成し、低レイノルズ数乱流と全く異なる構造を持つこともわかりました。

▶ **二次元石鹸膜実験装置による実証実験**

理論的に得られた成果が実際の流れにおいて観察されるかを実証的に研究するために、二次元石鹸膜実験装置による二次元流れの可視化実験をスタートさせました。予備的な実験により右図のような美しい流れのパターンを観察できるようになりました。来年度以後は、この装置を用いて様々な理論の実証実験を行う予定です。



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/>

§3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

論文詳細情報(国際)

1. T.Sakajo, Y. Sawamura and T. Yokoyama, “Unique encoding for streamline topologies of incompressible and inviscid flows in multiply connected domains”, Fluid Dynamics Research(受理済)
2. D. Chae and T. Yoneda, “On the Liouville theorem for the stationary Navier-Stokes equations in a critical space”, J. Math. Anal. Appl., vol. 405, pp.706-710, 2013
3. S. Ibrahim and T. Yoneda, “Long-time solvability of the Navier-Stokes-Boussinesq equations with almost periodic initial large data”, J. Math. Sci. the Univ. of Tokyo, vol. 20, pp. 1-25, 2013
4. C-H Chan and T. Yoneda, “On the stationary Navier-Stokes flow with isotropic streamlines in all latitudes on a sphere or a 2D hyperbolic space”, Dynamics of PDE, vol. 10, pp.209—254, 2013
5. G. Misiolek and T. Yoneda, “Ill-posedness examples for the quasi-geostrophic and the Euler equations”, Analysis, Geometry and Quantum Field Theory, Contemporary Mathematics, Amer. Math. Soc., Providence, RI, pp. 251—258, 2013
6. T. Yokoyama, “R-closed homeomorphisms on surfaces”, Topology and its Applications(受理済)
7. T. Yokoyama, “Recurrence, pointwise almost periodicity and orbit closure relation for flows and foliations”, Topology and its Applications(受理済)
8. T. Ishihara, Y. Kaneda, J.C.R. Hunt, “Thin Shear Layers in High Reynolds Number Turbulence-DNS Results”, Flow Turbulence Combust, vol. 91, No.4, pp. 895—929, 2013
9. J.C.R. Hunt, T. Ishihara, N. A. Worth, Y. Kaneda, “Thin shear layer structures in high Reynolds number turbulence-Tomographic experiments and a local distortion model”, Flow Turbulence Combust, vol. 92, No. 3, pp. 607—649, 2013

(3-2) 知財出願

- ① 平成 25 年度特許出願件数(国内 2 件)
- ② CREST 研究期間累積件数(国内 3 件)