

坂上 貴之

北海道大学大学院理学研究院・教授

渦・境界相互作用が創出するパラダイムシフト

§1. 研究実施の概要

本年度は研究実施計画に基づき、クレスト研究実施体制を構築した。(1)北海道大学中央キャンパス棟にプロジェクトスペースを確保し、その整備を行った(2)クレスト研究の紹介や成果公開を目的としたホームページの構築も行った(3)平成23年度から雇用予定の博士研究員の選考を行い、採用者を確定した(4)名古屋大学石原チームではクレスト研究実施のための計算機環境を拡張・整備した。

基礎研究については「渦・境界相互作用」の数学的・計算科学的基礎の構築を各チームが行った。連携研究では生命流体に関するセミナーを開催した。また今後の連携研究に向けて、Kasper 翼や風力発電に関する研究サーベイなども行った。今後はこれらの基礎研究のさらなる進展、サーベイの結果に基づいた連携研究を開始する予定である。Labo. Stayについても現在アイシンAWでの実施を検討中である。

§2. 研究実施体制

(1)坂上グループ(北海道大学大学院理学研究院)

①研究分担グループ長:坂上 貴之(北海道大学大学院理学研究院、教授)

②研究項目

坂上グループでは H22 年度研究計画に基づき以下のような基礎研究を行った。

- ・ 一様流中にある平行平板における定常点渦の探索法の開発とその拡張
- ・ Kasper 翼における点渦閉じ込めに関する問題の定式化
- ・ 数値等角写像を用いた複雑形状多重連結領域での流れの構成
加えて、連携研究にむけて以下の話題に関する研究サーベイを行った。
- ・ 渦閉じ込めに関する基礎研究の現状についてのサーベイ研究
- ・ 風力発電に関するサーベイを実施し、今後の連携研究の方向性を探った

- ・ 国立環境学研究所の研究者との河川工学・河川環境学との連携のための準備

(2) 荒井グループ

① 研究分担グループ長: 荒井 迅 (北海道大学創成研究機構 特任助教)

② 研究項目

- ・ 渦・境界相互作用の力学系理論と流れ場位相解析ツールの開発

(3) 石原グループ (名古屋大学)

① 研究分担グループ長: 石原 卓 (名古屋大学工学研究科、准教授)

② 研究項目

- ・ 壁乱流の大規模直接数値計算による渦の生成と剥離及び発達現象の理解
- ・ 壁近傍の乱流場の位相構造の解析
- ・ 数理モデル解析の妥当性の現実的な視点からの実証研究, および, そのための直接数値計算手法の開発

§3. 研究実施内容

《CREST 研究実施体制の完成》

本年度は、CREST 計画の実施体制の構築を行った。まずは、チームミーティングを札幌と東京で行い、今後の方針や研究情報の交換を行った。各グループとも博士研究員の選考を行い、坂上チームは平成23年9月、荒井チームと石原チームは4月からの雇用を開始する。研究成果の公開やCREST 計画の説明や成果の社会への還元を目指したホームページの作成を行った。また、北海道大学で研究を進める坂上チームと荒井チームの強い連携を生むためのクレスト研究スペースを北海道大学中央キャンパス棟にレンタルし、その部屋の整備を行い2月より運用を開始している。第一回連携セミナーを12月に開催し、京都大学大学院横山直人助教に生命流体の研究の現状と今後の展望について紹介を受けた。また1月には明治大学にて行われたワークショップ「航空機の数理」に参加し、航空機開発の現状と数理の関係についてチームで議論する機会を得た。

《各グループの研究実施内容》

坂上グループの研究実施内容:今年度の研究計画は年次計画に基づいて、クレスト研究環境の整備を優先的に行った。基礎研究については、本研究計画申請書にもあるように、今年度平行してすすめているさきがけ研究「水圏環境力学理論の構築」の最終年度の研究を発展させる形で行われた。具体的には本研究計画における流体数理モデル構築の基礎をまとめた。多重連結標準円領域における点渦力学と、多重連結標準円領域から任意の配置を持つ多重連結スリット領域への数値等角写像の組み合わせによって幅広い応用を獲得できるようになった。この理論を用いて、二枚の平行平板の中に一様流がある時の平板の後ろにとどまっていられる点渦の配置を求め、その点渦の存在によって板に働く力がどう変化するかについて調べた。これは渦を利用した効率的二枚翼のモデルとなるだけでなく、縦置き風力発電のモデルとしても利用できる。その結果、渦が平板の後ろに定常にとどまっている場所が存在し、さらに点渦があることによって揚力および時計回りの回転が増すことが確かめられた。現在研究論文として投稿中である。今後は二枚の板の配置を自由に変える、あるいは非定常問題への拡張などを考えて研究を発展させる。また、次の数理流体モデルとして **Kasper** 翼のモデルを考えた。本年度は三重連結外部スリット領域における流体理論としてその数学的定式化を行った。このモデルにおいては、標準円領域から任意の配置を持った三つのスリットへの等角写像の構成が不可欠であるが、これに対して、ジュコフスキー変換に基づく数値等角写像の構成について研究をすすめた。今後はこのモデルの詳細な解析を進める予定である。一方基礎研究として、対称性を持つ多重連結標準円領域の定常配置の存在に関する研究が進んだ。この論文は現在査読中である。

連携研究については、連携セミナーを開催し昆虫の飛翔に関する流体の研究の現状について紹介を受けた。また、**Kasper** 翼に関するこれまでの研究の現状をサーベイした。さらに本研究の将来のターゲット分野になるうる風力発電機の現状についてもサーベイした。

荒井グループの研究実施内容: 坂上グループとの連携を進める上では、渦の閉じ込めをいかに幾何学的に表現するかという点が重要になるが、この問題へのとりかかりとして、セルオートマトンなどの離散的な構造を用いて閉じ込めが表現できないかという研究を進め、いくつかの例を構成した。これは格子ガスなどの、より流体现象に即した離散モデルへの拡張を試みるうえで基礎となる成果である。

また石原グループとの連携に関しては、計算トポロジーの手法を応用して、圧力場から渦構造を同定するアルゴリズムを改良するための予備的な研究を行なった。特に離散モース理論を用いて、圧力場の勾配的な構造を代数的に表現する研究を進めた。

石原グループの研究実施内容: 本年度は、壁乱流の大規模直接計算結果の詳細な可視化解析が実行可能な設備環境を整えた。また、高レイノルズ数平行平板間乱流の大規模直接数値計算(格子点数 $1024 \times 1536 \times 1024$, 壁摩擦速度に基づくレイノルズ数 $R_\tau = 2560$) データベースの構築・整備、および、乱流境界層の大規模直接数値計算時系列データ(格子点数: $1920 \times 256 \times 384$ 、運動量厚さに基づくレイノルズ数 $R_\theta = 1000$) の生成を実施し、壁近傍の渦と流れの詳細な構造解析、及び渦の生成・発展の動力学解析を開始した。荒井グループとの連携については、壁乱流の壁近傍の流れの位相構造解析を理解するための予備的な研究として、乱流中の圧力極小線に着目した構造解析を実施し、壁近傍の強いせん断中の管状渦も等方的な乱流場中の管状渦と同様に圧力極小線によって位置の特徴付けが可能であること、およびその圧力極小線は圧力勾配ベクトルを用いて効率的に抽出できることを見出した。今後、乱流場の位相構造とそのレイノルズ数依存性を定量的に特徴付けることを目指す予定である。また、坂上グループの提案する数理モデルを実証するために必要な数値計算法について先行研究を調査し、数値計算法の方針を確定した。具体的問題として、回転しながら落下するカエデの種子の周りに発生する渦とその維持機構を数値的に解析するためのコード開発に着手した。