

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

松永 大樹

大阪大学 大学院基礎工学研究科  
准教授

実験と数理の融合による細胞内流体構造連成の解明

## 研究成果の概要

本研究課題ではモータータンパク質の動態がどのように細胞収縮力を決定し、引いては細胞グローバルスケールの流動を生み出すのか、広い時空間の階層に跨る力学現象の一端の解明を目指している。本年度は初年度の結果を発展させ「機械学習支援 FCS の開発・検証」および「細胞骨格のリモデリングの流動場解析」の結果を得たため、以下に概要を述べる。本課題で開発する機械学習支援 FCS とは、細胞内分子の拡散係数を測定する既存の計測手法である蛍光相関分光法 (Fluorescence correlation spectroscopy; FCS) と機械学習を組み合わせ、FCS 時系列データの特徴を事前に学習することにより FCS 計測の機能を拡張し短時間で多地点の拡散係数を推定することを目指した。初年度に開発した機械学習支援 FCS と従来法の自己相関ベースの FCS を本年度に詳細に比較したところ、機械学習支援 FCS は従来法に比べ時系列データの長さが 1/100 でも同程度の推定精度を有することがわかった。既存の自己相関関数ベースの推定では、長い時間長を用いた平均化処理を経なければ誤差が小さくならないのに対し、機械学習支援 FCS では短い時系列データのゆらぎの特徴量から拡散係数を推定できるため、相対的に短い時系列データでも正しく推定できたと考えられる。これまでは数値的に擬似的に生成した FCS の時系列データにより検証を行ってきたが、共焦点顕微鏡ユニットを用いた実験系での FCS 計測が準備できたため、今後は実験データを入力とした機械学習支援 FCS により短時間・多地点の拡散係数の推定を目指す。細胞骨格の流動現象について、本年度より導入した新しい共焦点顕微鏡ユニットの設置が完了し、細胞内構造物の時間的な変化、それに伴う構造の移流・伸縮を解析する解析基盤(顕微鏡撮像・画像処理・後処理の技術開発)を構築した。播種した直後の細胞は細胞骨格の方向が一方向に定まっていないが、時間経過に伴い構造物を構築・解体・移流し一方向への定常的な接着を細胞は実現する。本年度はこのプロセスの詳細を可視化するとともに、細胞骨格の配向のトポロジカル欠陥と構造物の流動にどのような相関があるかを解析した。

またスピノフの研究として「平行平板間のせん断流れ下に存在する磁性液滴の集団運動制御」[原著論文 1] について国際学術誌 *Physics of Fluids* にて成果を発表した。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) Ishida\*, Yang, Meng\*, **Matsunaga\***, “Field-controlling patterns of sheared ferrofluid droplets”, *Physics of Fluids*, volume 34, 063309, 2022