

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

2021 年度採択研究代表者

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

本研究課題は細胞内の分子の拡散動態を定量化する手法を拡張するとともに、その手法に基づき細胞内に生じる流動の一端を解明することを目指した研究課題である。昨年度までの研究成果では、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、短い FCS 時系列データから拡散動態を計測することができる機械学習支援 FCS を開発している。本年度はこの解析基盤を更に拡張し、純拡散だけでなく亜拡散・超拡散の異常拡散状態の擬似 FCS 波形を生成し学習させることにより、細胞内の様々な拡散動態を評価可能なシステムの構築に成功した。具体的には、異常拡散指数が 0.5-1.5 (1.0 が純拡散)、拡散係数が異なる条件を模擬したランジュバン方程式に従って粒子を動かし、教師データとなる波形データを生成した。機械学習支援 FCS では 10% 以下と小さい誤差で異常拡散指数を推定できたため、細胞内の異常拡散動態を高速に評価するシステムを構築することができたといえる。

本年度は他にも研究計画を拡張した研究として精子や線虫のように鞭打ちにより駆動する微生物の最適遊泳法を強化学習により解析を進め学術誌への発表を計画している。また、他にも本研究成果の延長として、「せん断流れ下の螺旋形状の粒子の配向現象」[原著論文 1] について国際学術誌 PNAS にて発表した。この論文ではせん断流れ下で懸濁する螺旋形状を有する粒子について、粒子の長手方向が渦度方向へと配向する速度を実験・理論・数値計算の連携により正確に明らかにした。渦度方向のどちらを向くかは螺旋のキラリティに依存するが、粒子・流体の密度差に起因する体積力の大きさによっては配向すべき渦度方向を向くことができず、双安定の解が現れることを明らかにした。

【代表的な原著論文情報】

- 1) A. Zöttl, F. Tesser, **D. Matsunaga**, J. Laurent, O. D. Roure, A. Lindner, Asymmetric bistability of chiral particle orientation in viscous shear flows, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, volume 120 (45), e2310939120 (2023)