

数学と情報科学で解き明かす多様な対象の数理構造と活用
2019年度採択研究者

2021年度 年次報告書

石本 健太

京都大学 数理解析研究所
准教授

生命ダイナミクスのための流体数理活用基盤

§ 1. 研究成果の概要

細胞スケールの物体周りの流体现象を記述するストークス方程式は、物体の形の情報によって、周りの全ての流れ場が決定されるという特徴を持っている。本研究課題では、この数理的な構造を探究し、生命ダイナミクス研究のための流体数理の活用基盤を構築することを目指している。本年度は、特に「流体を通して見た物体のかたち」である流体運動対称性という概念の拡張を目指し、特に生き物のように時間周期的に変形する場合に、変形と運動の時間スケールが異なる状況では、実効的な「形の定数」を用いることで、その時間平均的な挙動が全く同じ運動の方程式に従うことを見出した^{1,2)}。この結果は複雑な形状変化を伴う生き物の挙動に対して、これまでの非常に簡便なモデル方程式が正しい結果を与えることを保証するばかりでなく、多くの経験的なパラメータによって表現されてきた生物の変形に対して、流体中の挙動に注目する限りでは、一つのパラメータに情報が縮約できることを意味しており、実データの解析の観点からも有用性の高い結果である。また本年度は、流体中を運動する物体を、周囲の流れによって制御する手法についても検討を進めた。特に、系の可制御性の検証、及び最適制御問題について取り組み、制御のロバスト性の検証に加え、マイクロ流体デバイスを用いた流れの制御により輸送効率の劇的な向上が見込めることを見出した^{3,4)}。さらに、一つの粒子を動かすだけで、自身ともう一つの粒子を、流体相互作用のみで制御できるか、という一見不可能な問題が、可能であることを幾何学的な手法を用いて証明することができた⁵⁾。この結果も、流体方程式の数理的構造を利用したもので、光ピンセットなどのミクロスケールでの物体制御における基礎を形成するものである

【代表的な原著論文情報】

- 1) B. J. Walker, K. Ishimoto, E. A. Gaffney, C. Moreau and M. P. Dalwadi, The effects of rapid yawing on simple swimmer models and planar Jeffery's orbits, *Physical Review Fluids*, 7 (2022) 023101.
- 2) E. A. Gaffney, M. P. Dalwadi, C. Moreau, K. Ishimoto and B. J. Walker, Canonical orbits for rapidly deforming planar microswimmers in shear flow, *Physical Review Fluids*, 7 (2022) L022101.
- 3) C. Moreau, K. Ishimoto, E. A. Gaffney and B. J. Walker, Control and controllability of microswimmers by a shearing flow, *Royal Society Open Science*, 8 (2021) 211141.
- 4) C. Moreau and K. Ishimoto, Driving a microswimmer with wall-induced flow, *Micromachines*, 12 (2021) 1025.
- 5) B. J. Walker, K. Ishimoto, E. A. Gaffney and C. Moreau, The control of particles in the Stokes limit, *Journal of Fluid Mechanics* (2022), to appear.