

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

2020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ます。

この数理的な特徴に注目し、昨年度に引き続き、流体運動的対称性という「流体を通してみた物体のかたち」という概念の探究を行いました。特にその「かたち」の分類の研究を中心に研究を行い、物体が n 回回転対称性を持っているとき、 n が4以上であれば、流体力学的な軸対称小物体である「らせん物体」になることが分かりました。さらに通常の意味での軸対称物体である回転体と、この「らせん物体」の間には、2つの流体力学的な「かたち」が存在することがわかり、これらは流れの中で特徴的な運動をするため、流れ中の渦の可視化や、キラリティの異なる物体の分離技術に応用されることが期待できます。

一方、 n が3のときは流体中の物体の運動がカオス的になりうることがわかり、また同時に、 n が3以上の全ての3次元物体に対し、それに対応する「流体力学的なかたち」が何かという分類が完成しました。

一方で、この「らせん物体」の有用性を探るべく、らせん物体の代表的な例である遊泳バクテリアに注目し、バクテリアが作り出す周囲の流れの簡潔な記述方法の研究を行いました。バクテリア周りの流れは回転するべん毛運動により、3次元的で複雑な構造を持っています。しかし、それらは正則化ストークス極と呼ばれるストークス方程式の解の組み合わせで精度良く記述できることが分かりました。この極表現と呼ばれる手法により、流体中のバクテリアの運動やその個体間の流体相互作用の数値計算が簡便になるだけでなく、大規模なバクテリア集団の運動のシミュレーションも可能になります。

【代表的な原著論文情報】

- 1) B. J. Walker, S. Phuyal, K. Ishimoto, C.-K. Tung and E. A. Gaffney, Computer-assisted beat-pattern analysis and the flagellar waveforms of bovine spermatozoa, Royal Society Open Science, 7 (2020) 200769.
- 2) B. J. Walker, M. P. Curtis, K. Ishimoto and E. A. Gaffney, A regularised slender-body theory of non-uniform filaments, Journal of Fluid Mechanics, 899 (2020) A3.
- 3) B. J. Walker, K. Ishimoto and E. A. Gaffney, Efficient simulation of filament elastohydrodynamics in three dimensions, Physical Review Fluids, 5 (2020) 123103.
- 4) K. Ishimoto, Helicoidal particles and swimmers in a flow at low Reynolds number, Journal of Fluid Mechanics, 892 (2020) A11.
- 5) K. Ishimoto, Jeffery orbits for an object with discrete rotational symmetry, Physics of Fluids, 32 (2020) 081904.

6) K. Ishimoto, E. A. Gaffney and B. J. Walker, Regularized representation of bacterial hydrodynamics, *Physical Review Fluids*, 5 (2020) 093101.