

流体力学的同期現象のミニマルモデル

(東北大学大学院理学研究科) 内田 就也

(Oxford 大学 Rudolf Peierls 理論物理学センター) Ramin Golestanian

【はじめに】

大腸菌やゾウリムシのような水中を泳ぐ単細胞生物は、鞭毛のバンドリングや繊毛のメタクロナル波など、運動器官の同期現象を利用して推進を制御している。これらの同期現象は流体力学相互作用によって誘起されると考えられるが、その機構は Taylor の先駆的研究から 60 年が経つ今なお十分には理解されていない [1]。我々はこれらの流体力学的同期現象のミニマルモデルとして、剛体球と駆動力からなるシンプルな回転子モデルのダイナミクスを解析した [2]。

【結果と考察】

粘性流体中で、任意形状の軌道上を任意の周期的駆動力を受けて回転する剛体球の集団について、それらが同期するための必要十分条件を導いた。従来、鞭毛や繊毛が同期するためにはそれらの持つ柔軟性が必須であると考えられてきたが、我々の解析はこの見方を覆し、駆動力の周期的変調がむしろ重要な要素であることを示す。また我々は、2つの回転子の位相差の非線形ダイナミクスを記述する有効ポテンシャルを導出し、位相スリップや位相ロッキングなど、鞭毛系の実験で見られているような動的現象が起きる条件を明らかにした。この回転子の多体系は、一様同期状態、伝播波、乱流的らせん波、フラストレート状態など多様な時空パターンを示し、バクテリアカーペットのようなマイクロ流動デバイスの制御に応用できる可能性がある。また駆動力のランダムな分布は集団的な同期・非同期転移を引き起こすが、これは従来の結合振動子系の平均場理論(蔵本モデル)では説明できないスムーズな転移であり、長距離相互作用系に特有の空間ゆらぎの効果と考えられる [3]。蔵本モデルを拡張した自己無撞着場理論によってゆらぎを扱う試み [4] を紹介すると共に、一般の集団同期現象に見られる長距離相互作用の重要性について論じる。

【参考文献】

- [1] For a review, see: R. Golestanian, J. M. Yeomans & N. Uchida, *Soft Matter* 7, 3074 (2011).
- [2] N. Uchida & R. Golestanian, *PRL* 104, 178103 (2010); *PRL* 106, 058104 (2011).
- [3] N. Uchida & R. Golestanian, *EPL* 89, 50011 (2010).
- [4] N. Uchida, *PRL* 106, 064101 (2011).