

微小遊泳体の流体力学的な制御機構

(東北大学大学院工学研究科) 石川 拓司

【はじめに】

微生物などの微小遊泳体は、鞭毛や繊毛などの細胞小器官を用いて推進する。こうした微生物の遊泳挙動は古くから流体力学の研究対象となっており、単体の遊泳挙動から多体干渉現象まで、多くの研究成果が報告されている。しかしながら、微小遊泳体の推進機構や制御機構に関しては未解明な点が多く残されており、生体分子モータの機能の理解や、マイクロ推進機構の工学的応用が遅れている。

本講演では、微小遊泳体の推進・制御機構に関する3つのトピックスを解説する。まず始めに、バクテリアの鞭毛に非常に小さなトレーサを付着させた際に観察される、鞭毛の歳差運動を調べる。そして、鞭毛を駆動する分子モータの基礎特性を理解するために有用な理論を示し、フック特性の解明に向けた課題を述べる。次に、繊毛虫の遊泳時に観察される重力応答を調べるため、細胞膜に作用する張力を表現できる繊毛虫モデルを提案する。そして、このモデルから予想される、繊毛虫の重力応答メカニズムを考察する。最後に、流体の剛体振動を利用した、マイクロマシンの実現可能性について検討する。

【結果と考察】

バクテリア鞭毛を駆動するトルクを細胞膜に垂直に作用させ、フックをユニバーサルジョイント、鞭毛フィラメントを剛体でモデル化することで、実験で観察された鞭毛の歳差運動を再現することに成功した⁽¹⁾。数値シミュレーションで得られた結果を再現できるシンプルな理論を用いることで、フックの曲がり角やモータトルクを予測した。一方、歳差運動が小さなトレーサを付着させた際にのみ現れる理由は不明であり、この解明にはフック特性の更なる理解が必要と考えられる。

次に、繊毛虫を弾性膜を持つカプセルとモデル化し、繊毛打による駆動力をトルクで表現した新しい繊毛虫モデルを提案した⁽²⁾。このモデルを遊泳させると細胞形状はハート形へと変形した。カルシウムのイオンチャンネルが局在する細胞前方においては、鉛直下向きに遊泳する場合に強い張力が、鉛直上向きに遊泳する場合には弱い張力が作用し、生物学の先行研究で提案された重力下の遊泳制御メカニズムと定性的な一致をみた。

最後に、流体の剛体振動を利用した、マイクロマシンの実現可能性を検討した⁽³⁾。提案するマイクロマシンは周囲流体に比べ密度の低い球と高い球をばねで連結したものであり、全体としては中性浮力を実現している。2方向から位相をずらして振動を印加することで、1ステップ当たり半径の千分の一程度のスピードで推進可能であることを示した。

【参考文献】

- (1) Shimogonya Y. et al., *Sci. Rep.* in press
- (2) Ishikawa T. et al., *P. Roy. Soc. A*, under review
- (3) Ishikawa T. & Vladimirov V. A., *J. Fluids Eng.*, **137**, 84501-1-3 (2015)