

クラミドモナスの鞭毛は上向きトルク発生に寄与する

鹿毛 あずさ*, 菊地 謙次, 石川 拓司
東北大学大学院工学研究科バイオロボティクス専攻
Azusa Kage*, Kenji Kikuchi and Takuji Ishikawa
Department of Bioengineering and Robotics,
Graduate School of Engineering, Tohoku University
* E-mail: kage@pfs1.mech.tohoku.ac.jp

1. はじめに

負の重力走性は原生生物や無脊椎動物の浮遊型幼生など、水生微小生物に広く観察される[1, 2]。負の重力走性を示す微小生物の多くは重力感知に特化した細胞小器官を持たないことから、純粋に力学的な（生理的感知によらない）上向きトルクの発生による負の重力走性メカニズムが提唱されてきた[2]。上向きトルクの発生には2種類のモデルが考えられ、いずれも微小生物の体の前後の非対称性による。これらのモデルは文献によって様々な名称で呼ばれているが、ここでは「密度非対称性モデル」と「形態非対称性モデル」と呼ぶ（図1）。密度非対称性モデルは微小生物の「おしりが重い（bottom-heavy）」ために重心が浮力中心・粘性抵抗中心より後方にずれ、そのために上向きトルク T_d が発生する（図1(A)) と考える。一方、形態非対称性モデルは微小生物の「おしりが太い」ために粘性抵抗中心が重心・浮力中心より前側にずれ、そのために上向きトルク T_s が発生する（図1(B)) と考える [1, 2]。

単細胞緑藻クラミドモナス (*Chlamydomonas*) は直径約 10 μm のほぼ球状の細胞体を持ち、2本の鞭毛で平泳ぎのように泳ぐ。Kessler [3] はクラミドモナスの葉緑体が細胞体の後方にあることから、クラミドモナスにおいて密度非対称性モデルが成り立つとした。彼の理論は鞭毛の存在を無視し、クラミドモナスの形態を球体に近似している。一方で、細谷ら [4] はクラミドモナスの生物対流において、外液密度を高くした場合にクラミドモナスが下に移動してプルームが上に吹き出す「逆対流 (reverse bioconvection)」が生じることを実験的に示した。この結果はクラミドモナスの上向きトルク発生における形態非対称性の寄与を示唆している。

クラミドモナスにおける形態非対称性の原因としては鞭毛が考えられる [5]。本研究では運動を止めた *Chlamydomonas reinhardtii* の上向きトルク発生において、脱鞭毛 [6] という手法を用いて密度非対称性と形態非対称性の寄与を

実験的に見積もることを目指した。

(A)密度非対称性モデル (B)形態非対称性モデル

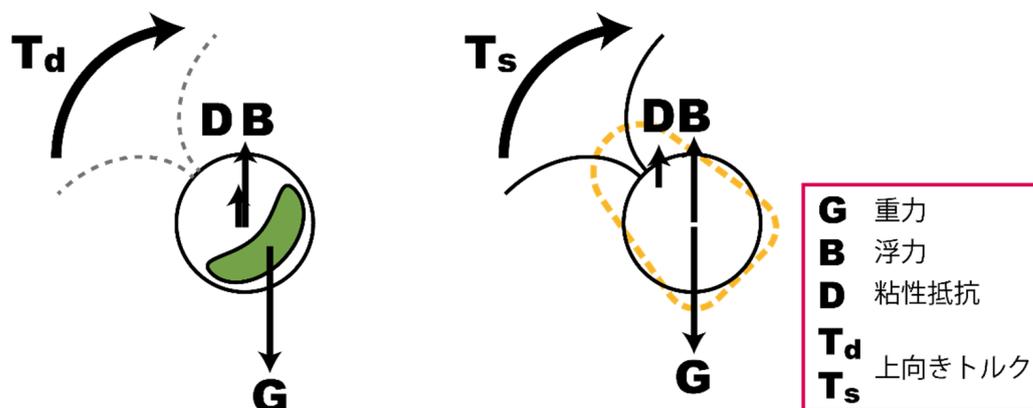


図 1: クラミドモナスにおける負の重力走性の力学メカニズムの模式図

2. 実験の概略と考察

材料として *Chlamydomonas reinhardtii* 野生型 (strain 137c mt-) を、運動を止める手法としてグルタルアルデヒドによる化学固定 (最終濃度: 約 0.1%) を用いた。pH ショック [6] により脱鞭毛したのち固定した細胞 (脱鞭毛群) と、鞭毛のある固定した細胞 (対照群) を密封容器の中で落下させ、回転角速度を比較した。先行研究 [7] ではクラミドモナスの向きの指標として鞭毛そのものを用いているが、本研究では脱鞭毛群でもクラミドモナスの向きを計測するために、U字型をした葉緑体の自家蛍光を利用した。重力に対して水平に近い細胞の落下時回転角速度を比較した結果、対照群は脱鞭毛群より有意に速く上向きに回転した (各群について $n > 10$, $p < 0.01$, Mann-Whitney *U*-test)。このことから、鞭毛の存在による形態非対称性の影響は、密度非対称性に比べて無視できないと考えられた。

3. 謝辞

本研究は科学研究費補助金特別推進研究「統合ナノバイオメカニクスの創成」(No. 25000008) の支援のもと行われた。

4. 参考文献

- [1] D.-P. Häder, R. Hemmersbach and M. Lebert, *Gravity and the Behavior of Unicellular Organisms*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- [2] Y. Mogami, J. Ishii and S. A. Baba, “Theoretical and experimental dissection of gravity-dependent mechanical orientation in gravitactic microorganisms,” *Biol. Bull.* vol. 201, pp. 26–33, 2001.
- [3] J. O. Kessler, “Hydrodynamic focusing of motile algal cells,” *Nature*, vol. 313, pp. 218-220, 1985.
- [4] C. Hosoya, A. Akiyama, A. Kage, S. A. Baba and Y. Mogami, “Reverse bioconvection of *Chlamydomonas* in the hyper-density medium,” *Biol. Sci. Space*, vol. 24, pp. 145-152, 2010.
- [5] A. M. Roberts, “Mechanisms of gravitaxis in *Chlamydomonas*,” *Biol. Bull.* vol. 210, pp. 78–80, 2006.
- [6] L. M. Quarmby, Y. G. Yueh, J. L. Cheshire, L. R. Keller, W. J. Snell and R. C. Crain, “Inositol phospholipid metabolism may trigger flagellar excision in *Chlamydomonas reinhardtii*,” *J. Cell Biol.*, vol.116, pp. 737-744, 1992.
- [7] K. Yoshimura, Y. Matsuo and R. Kamiya, “Gravitaxis in *Chlamydomonas reinhardtii* studied with novel mutants,” *Plant Cell Physiol.*, vol. 44, pp. 1112–1118, 2003.