

## A04 光の射す方へ：微生物の動線をつくる流体力学

立命館大学理工学部 和田浩史

東京農工大学大学院工学研究院 村山能宏

東北大学 原子分子材料科学高等研究機構 義永那津人

東京工業大学 資源化学研究所 植木紀子

本研究の目標は、緑藻類ボルボックスが光走性をなしとげる力学的な仕組みを、理論的なアプローチを実験結果と組み合わせて明らかにすることである。提出した研究課題では、一個体の光刺激への応答のしくみ（光刺激のセンシング、情報処理、鞭毛運動の制御、コロニーの旋回運動、という一連の動作がどうやっとうまくいくのか）に注目していたが、種類の異なるボルボックスを用いた先行研究[1]で、光センシングからコロニーの旋回運動の動作については一通り理解できることがわかった。しかし、提唱されているモデルの枠組みだけでは、光刺激がないときの運動や集団の応答特性は説明できない。

そこで、当初の研究計画の枠組みでは発展的な課題と位置づけていた「個体の応答特性のゆらぎと集団運動の関係」に着手することにした。具体的には、光応答の集団運動に関する最近の実験結果[2]に注目している。この実験では、相対光強度を増すとともに、走行性を示す集団としての速度（平均速度）が比例して増加する。

この観測結果を「個々のボルボックスが強度差とともに徐々にその遊泳速度を増す」と解釈すべきかどうかについては、議論が必要である。むしろ、強度差の増大とともに、光の方向に向かって動く個体の数が増える、と解釈すべきかもしれない。実際、個体の速度自体は（多少のばらつきはあるとしても）ほぼ一定であり、環境の光条件によって大きく変化することもない。つまり、個々のボルボックスの光への感受性にはもともとばらつきがあり、その結果として集団の線形応答性が創発する、という性質を実験結果は示唆しているように思われる。

水面下で太陽光を探す場合、水面の変化や水中の様々な物体（水性植物や土、岩など）による光の散乱や吸収のために、光源は常に時間空間的にゆらいでいる。このような標的を空間的に正しく認識するには、集団が光源の位置をある程度「拡散的」にサーチすることは戦略的に理にかなっている。またボルボックスは高密度になると、流体を介した相互作用によってクラスター化してしまう[3]。これはおそらく、彼らにとってかなり不幸な出来事である。このような事態を避けるため、個々の応答性に内在的なばらつきを備えたことは、集団としての利点（群知能）とも考えられる。

本研究では、以上のようなシナリオを、物理学的なアプローチで定量化しようとしている。具体的には、まず、光源付近に集まるボルボックス集団の密度分布を、理論、実験の両面から調べている。

理論的には、光源へ集まろうとするボルボックスの流束は、光源へ向かう遊泳成分と、実効的な拡散による成分からなる。有限の領域における定常状態を考えると、ボルボックスの密度分布は、指数関数型になることがわかる。すなわち、光源からの距離とともに密度分布は指数関数的に減少するが、この傾きから逆に光への応答係数がわかる。これは、コロイド粒子系の熱泳動の実験において、コロイドの定常分布からソーレ係数を決めるときのロジックと同じである[4]。

---

連携研究者の村山（東京農工大）が、光勾配下におけるボルボックス定常分布の検証実験を進めている。また、われわれ（立命館）は、個々のボルボックスの動きを簡略化した粒子系シミュレーションによって、分布の時間発展を予測しようとしている。

**参考文献：**

- (1) K. Drescher, R. E. Goldstein and I. Tuval, PNAS 107, 11171-11176 (2010).
- (2) M. Ozaki and Y. Murayama, Curr. Phys. Chem., 5, 64-72 (2015).
- (3) 樋口岳流, 村山能宏, 物理学会第 71 回年次大会 口頭発表（東北学院大学）(2016).
- (4) H-R. Jiang, H. Wada, N. Yoshinaga, and M. Sano, Phys. Rev. Lett. 102, 208301 (2009).