

バクテリア滑走マシナリーの幾何学と力学



わ だ ひろ ふみ
和 田 浩 史

本研究の目的は、バクテロイデーテス細菌の運動マシナリーを数理モデルを使って解明することである。とくに、バクテリア界最速の滑走運動を示す*Flavobacterium johnsoniae*にフォーカスする。我々は過去に、マイコプラズマの一種であるらせん状のバクテリア*Spiroplasma*が液体中で推進力を発生し運動するメカニズムを、連続体力学にもとづくモデル計算によって明らかにした。本研究では、バクテロイデーテス細菌の運動マシナリーの全容解明を実験的に進めている計画研究班A03:バクテロイデーテス細菌の滑走運動マシナリーの構造とダイナミクス(研究代表者:中山浩次教授)との密接な協力関係のもとに推進する。

「なぜ、前後の滑走運動と方向転換が可能なのか?なぜ、菌体はつねに左に回転するのか?」実験事実をもとに数理モデルを組み立て、この問いに理論サイドからの答えを提案する。細胞のデザインには、多数の分子モーターのでたらめな力生成が"必然的に"マクロな運動へとオーガナイズするような設計原理が隠されているはずである。数理モデルを活用することで、分析的手法で得られるミクロな生物学的知見を縦につなげて立体的にとらえなおし、「多数の分子モーターや生体分子の壮大なコヒーレンスとしての運動マシナリー」という、ひとつの大きなスケッチを描くことを目指す。

実験結果によると、細胞と基盤の接触面には相対する向きの接着タンパクの流れがある。これは一見、細胞が一方向に選択的に動く事実と相容れない。この「ねじれた」実験結果を矛盾なく理解する鍵となるアイデアが「対称性の破れ」である。物理学でなじみ深いこの概念が、バクテリアの滑走運動にも本質的な役割を果たしている可能性がある。数百のモータータンパクは個々に自律的に力を生成する。ところがこれらはみなひとつの細胞表面を流れており、細胞の重心が一方向へ運動すれば、すべてのモーターの運動に"一斉に"影響を与える。その結果、接着ダイナミクスの非対称性が生じ、細胞重心の運動をさらに増幅する(positive feedback)。熱ゆらぎに由来する接着タンパクの確率的な状態変化とグローバルカップリングの二つの要素を取り入れることで、実験事実に整合する細胞運動モデルが構築できる。確率的シミュレーションと平均場理論を発展させ、バクテリアのForce-velocity関係式を計算によって予測する。計画研究A03班の実験データとの定量的な比較を行いながら、方向性の運動を実現するマシナリー、および運動方向の切り替えや停止のスイッチングを支配するメカニズムを明らかにする。これらの知見をもとに、渦状コロニーパターン形成のダイナミクスについて調べる。

研究のキーワード：滑走マシナリー、ジョンソニエ、数理モデル、バイオメカニクス
研究室HPのURL：<http://www.ritsumeit.ac.jp/se/rp/physics/lab/biophys/index.html>