

バクテリア運動マシナリーの物理学

和田 浩史 *Hirofumi Wada*

立命館大学 理工学部 物理科学科 准教授



2000年 3月 東京大学理学部物理学科卒業、2005年 3月 東京大学 大学院理学系研究科 物理学専攻 博士課程修了、
2005年 4月 ミュンヘン工科大学 博士研究員、2007年 10月 京都大学 基礎物理学研究所 助教、2012年 立命館
大学 理工学部 物理科学科 准教授

和田先生を知る質問

- 先生にとっての生物物理とは何ですか？
私たちが暮らすこの世界の仕組みや成り立ちについてよりよく知るためのこころみです。物理と生物の境界線上を歩いているとき、僕は一番わくわくするように思います。
- 好きな生物物理、尊敬する生物物理の仕事は何ですか？
たくさんあります。ひとつには選べないので、機会があれば直接聞いてください。
- 研究する上でのプリンシプルを教えてください。
実世界の現象、物質、生物について考察すること。モデルはつくるものではなく、おおもとの理論から「取り出す」ものであるということ。定量的な方法をもちいて、生物科学のひとつにとっても面白いストーリーを提案すること。
- 生物物理、あるいは今の研究を始めたきっかけを教えてください。
もともと、流体や弾性体の力学が好きで、鞭毛の力学について研究したことが生物物理学にはいるきっかけでした。メカニクスで生命現象に貢献できる科学があることを知ったのは、新鮮な驚きでした。

生き物の動きや輸送現象を分解していくと、畢竟、多彩な分子モーターの働きに帰着される。この「生命の動作原理」は、われわれの時代における支配的な科学観を形成している。けれども、個々の分子モーターはどのような仕組みを通じて協同的に機能し、より大きなスケールにおける「うごき」を実現しているのであろうか。この問いに答えようとする、私たちはミクロの科学とは別の難しさと面白さに直面する。私たちが家を建てたり車を選んだりする際に、まずは生活場所の自然環境、地形や気候などの物理的条件を優先的に考慮するのと同じように、生物たちも、そのサイズや生活場所、物理環境に応じた構造と力学的特性を備えている。このように、生き物の全体としての動きの仕組みや機能を理解するには、生物のサイズや形状、そして周囲の物理的環境との力学関係、といった物理的な性質について考えてみるのが重要になってくる。言い換えると、「生物」を理解するために、さしあたり「無生物」に着目するのである。

細菌（バクテリア）はマイクロスケールの単細胞生物である。あるものは水中を遊泳し、別のあるものは個体基盤の上を滑らかに移動する。微生物の世界は我々の日常経験とはかけ離れた力学法則が支配する世界であり、さまざまな微生物がその個性豊かな運動をどのように実現しているのかという問題は基礎科学的な興味だけでなく、マイクロマシンの設計原理や制御といった応用的側面にいたるまで、幅広い科学および工学の関心を引きつける問題である。驚くべきことに、微生物の運動マシナリーの大部分は現代でも科学的に未解明であり、多くの謎に包まれている。近年、光学顕微鏡技術

の著しい進歩とともに、これまで謎であったいくつかの細菌の動きがライブ観測できるようになってきた。これらの観測結果をもとに、その運動のメカニズムを数理モデルに立脚した理論的アプローチで明らかにしようという研究がますます盛んになりつつある。

微生物の運動というと、生物物理学を学ぶみなさんは大腸菌の鞭毛運動をまず想起されるであろう。鞭毛を回転モーターで駆動する遊泳運動は、水中を動く多くのバクテリアに共通してみられる運動様式で、これまでに数多くの重要な研究がなされ、深い理解が得られてきたモデルシステムである。しかし、すべての運動性のバクテリアが鞭毛を利用して遊泳するわけではなく、また水中ではなく固体基盤上を這い回るように運動する（滑走運動する）バクテリアのクラスも数多く知られている。この講演では、鞭毛や線毛に頼ることなく、独自の運動マシナリーを備えた、ふたつの異なるバクテリアを紹介する。ひとつめは、遊泳運動をするらせん形のバクテリア：スピロプラズマ、ふたつめは基盤上をすばやく滑走運動するフラボバクテリアジョンソニエである。この二つのユニークな細菌運動の仕組みを理論的に解明することを通じて、ミクロのスケールで動きを取り出す「自然のデザインの妙」を探っていきたい。

先生に一度は聞いてみたい 質問コーナー

- 物理で生物をどこまで理解できると思いますか？
- どこからが生物“物理”だと思いますか？
- 生物学科って必要でしょうか？

本来、分野による科学の分割というのは恣意的なものです。自然はそれらを区別しません。実際には分野の線引きなどはじめから存在していないです。この質問の答えには、尊敬する数学者マハデバン（ハーバード大）の言葉を引用しておきたいと思います。「自然は非常に複雑にできていて、それをさまざまな学問に区切っていくことで、人間は少しだけ理解することができます。でも忘れてはいけないのは、それらが全体を作っているということ。再びそれをくっつけなければ本当の世界にならないということです。」

「生物学科は必要か」という質問については、僕の答えは Yes です。（僕は生物学の素人ですが。）それはこの学問には深い歴史と膨大な知的蓄積があるからです。そういう学問はこれからもその存在意義を失うことはないと思います。

- 若手が研究者として悪い方向に行かないためには？

本当に科学を楽しんで研究している友人や研究者になるべくたくさん出会うことだと思います。さいわいにも、僕は何人かの優れた友人と、多くの優れた先輩研究者に出会うことができ、それらの人々からじつに多くのことを学びました。僕自身の研究者としてのあり方は、それらのひとたちから少しずつ盗んだ（コピペし

た）もののパッチワークに過ぎません。どれをとっても本家ほどの輝きはありませんが、少なくともそのおかげで悪い方向にはいかずにすんだと思います。

- 若手への一言

生物物理学の大きな魅力のひとつは、それが生物学と物理学およびその周辺分野との境界領域の学問であるということだと思います。そのような分野で活躍するには、自分とは専門の異なる人々とコミュニケーションする能力がたいせつです。僕の経験からいうと、すぐれた研究者の方々はみな、自分の狭い専門にこだわらずに、自分の知りたいことを知るためには使えるものはなんでも使うひとたちです。そういうひとたちは、自分の知りたいことの面白さを他の分野のひとにわからせるのが、とてもうまい。若手の人たちは、自分の専門性を磨き、技術を鍛え上げることに余念がないと思います。これはもちろん一番大切なことですが、視野の広さというか、ダイナミックで風通しのよい研究姿勢というようなものも意識してほしいと思います。（若手への助言というより、僕自身がぜひとも見習いたいとつねづね思っていることを書きました。みなさんにとっても参考になれば、さいわいです。）