

石本健太氏の令和3年度科学技術分野の 文部科学大臣表彰若手科学者賞受賞に寄せて

京都大学数理解析研究所

山田 道夫

石本健太氏（京都大学数理解析研究所）が令和3年度科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞を受賞された。受賞題目は「微小遊泳体の流体力学に関する理論研究」である。心から祝福するとともに、石本氏の研究業績を簡単に説明したい。

石本氏の研究は、流体力学、その中でも生物流体力学とよばれる領域で、流体中の微生物運動の理論解析に関するものである。微生物の遊泳運動は、流体部分をまずは線形の Stokes 方程式によって扱うことから、20 世紀の半ばには摂動論的な研究がいくつか始まっていた。しかしそれ以後も、微生物運動の詳細が、高度な観測や数値実験によって分かるようになるまでは、流体力学、特に低 Reynolds 数流れ（遅い流れ）の研究者の興味は、主に典型的な形状の境界をもつ流れにあったようである。80 年代以降、数値計算環境が発達し現実に近い数値シミュレーションが可能になったこと、加えて、生物現象が科学の中心課題になったことが、この分野への興味を飛躍的に増大させた。近年はマイクロロボット工学など新しい関連工学分野も生まれている。このような背景から、近年の生物流体力学では、数値実験による現象の再現と解析が中心で、理論的な解明は、その困難さから一時棚上げされる傾向もなしとしなかった。その中で、石本氏の研究は、従来、実験研究だけでは理解できなかった現象に対し、数理的理論と数値解析を用いて、系統的・理論的な理解を与えようとするものである。生命現象の科学に新しい視点と手法を提供する数学として注目度も高い。

石本氏の研究は修士課程における「帆立貝定理」の証明から始まっている。この定理は「Reynolds 数ゼロおよび質量ゼロの極限で微生物は自己の形状の往復変形によっては移動できない」という命題として、物理学者 E. Purcell (1976) の直観的議論によって提唱され、石本氏によって証明が与えられた。この定理は微生物の運動に非常に強い制限を課すため、定理の回避手段が微生物の運動形態を決定すると言ってよい。石本氏は、この定理を起点に、質量効果について複雑な摂動論を展開し、羽ばたき運動（往復運動）の効率性など、生物のサイズと運動形態の関係も論じている。その後、石本氏は英国 Oxford 大学数理生物センターにおいて研究を進めた。その成果には例えば、哺乳類の精子が流れに逆らって泳ぐという古くから知られた性質（精子走流性）

が、精子の内部の細胞による制御ではなく流体力学的現象であることを見出したというものがある。この成果は、後に生化学的な実験研究によっても確認され広く知られることとなった。また、ヒト精子の遊泳を捉えた顕微鏡映像から、統計的手法により尾部の波形を抽出し、それを用いて現実の複雑な精子波形パターンを流体方程式の解として与えることにも成功した。この成果は社会にも大きなインパクトを与え、英国 BBC News で報道されて世界の 30 以上のメディアで取り上げられている。最近では、流体方程式に内在する対称性を導入することにより、広いクラスの微生物運動の新しい分類法を提案するなど活発な研究活動が続いている。

微生物の運動の研究は、近年、物理学における Viscek モデルなどアクティブマターの研究も加わり、参加研究者のスペクトルが広がっている。現在では、微生物、細胞、コロイド粒子など、流体中を自己駆動するマイクロスケールの物体は「微小遊泳体 (micro-swimmer)」と総称され、生物学・数学・物理学などの理学分野からマイクロ流体工学・マイクロロボット工学などの工学分野にまたがる学際的な一大分野が形成されている。石本氏の受賞題目の所以でもある。

多くの科学分野では、20 世紀後半からの計算機と測定機器の進歩によって、新しい博物学的興味のもと、現実を再現する計算への流れが理論的理解を追い越す状況が続いている。流体力学は早くからこの傾向が現れた分野の一つであり、現実の地形や容器など複雑な境界を伴う流れについても、巨大数値計算や精密測定が盛んに行われるようになった。しかしそこで得られた大量のデータを縮約し理解するための理論は周回遅れの現状であり、近年は機械学習の応用も試みられている。生物流体力学分野もその例に漏れない。現実の複雑なモノ、特に生物現象への興味の増大を反映して、数値計算による研究が急速に増加しているが、同時に、生物形状を含む数値計算は一段と難しいため、数値解析に意味と方向を与える数理的な理論が強く求められる状況にある。この傾向は今後も長く続くと思われる。生物運動の理解には力学的理解が不可欠であり、いずれそれは現生生物のみならず生物進化の大きな問題にもつながることが期待される。面白い問題の豊富さはいうまでもない。

2021 年には、京都大学数理解析研究所において多数多様な研究者が参加する生物流体力学の訪問滞在型研究「Mathematical Biofluid Mechanics (代表者: Lisa Fauci)」が実施され、この分野への注目度の大きさが感じられた。石本氏は組織委員の一人でありその積極的でフランクな発言に接した方も多いただろう。石本氏にはこの研究分野を牽引する一人としての益々の活躍を期待したい。