

# 生物流体力学 研究室

生体内の「流れ」の探究を通じて工学・医学の発展に寄与する



福井智宏 准教授  
【機械工学系】

【経歴】  
2006年04月- 東北大学 日本学術振興会 特別研究員 DC2  
2007年04月- 東北大学 助教  
2008年09月- 京都工芸繊維大学 助教  
2023年01月- 京都工芸繊維大学 准教授

【研究分野】  
流体力学, 生物流体力学, レオロジー, 粉体工学

研究室探訪

生物流体力学研究室

【研究概要】

微小循環系における血液の見かけ上の粘度は、その力学的環境（ひずみ速度）や幾何学的環境（血管径）に合わせて、実に10倍近くも変化します。これは主に、赤血球と血漿ならびに血管壁との力学的相互作用に起因します。本研究では、血液のように自発的・機能的レオロジー制御を可能とするような、機能的流体の創製を目指します。

どんな機械も比べものにならないほどに複雑な構造を持つ人体には、**いまだに解明されていない部分が多くあります。**  
**そんな人体、生物の体の仕組みについて力学的に研究する分野が「バイオメカニクス」です。**  
**その研究内容や面白さについて、福井先生にお話を伺いました。**

**力学の視点から生命現象の理解を試みる**

生物学 (biology) と力学・機械工学 (mechanics) を組み合わせた学問、それがバイオメカニクスです。日本語では生体工学と訳されています。「バイオメカニクスとは、生物の持つ機能や形状、あるいは生命現象そのものについて、機械工学を駆使して力学的な観点から考察を行う学問です。その結果を新しいものづくりや社会福祉に還元していくことを大きな目的としています」。そう話すのは、生物流体力学研究室内の福井智宏先生。先生はさらに、生命現象と力学の関わりについて、次のように分かりやすく説明してくれました。「身近な例としてよく取り上げられるのは筋肉です。筋トレでなぜ筋肉が鍛えられるのかという仕組みにも力学が関係しています。トレーニングによって筋肉に負荷がかかると、筋肉が破壊されてしまいます。すると、次に同じような負荷がかかっても壊れないように、筋肉は自らをより強く作り変えます。超回復と呼ばれるこの現象は、筋肉が外側から加えられる力、周囲の力学的環境に適応しようとして起こっているものです。生命体が機械構造物と決定的に異なる部分として、このように力学的なストレスに順応するように自らを作り直す点があります。骨についても同じようなことが起こり、骨にかかるストレスが少なくなると骨密度は下がっていきます。運動不足や、宇宙空間の無重力下での生活が続くと、それ以上の強度は必要ないと見なされ、骨が破壊（吸収）されていってしまうのです」

**血液の持つ不思議な性質を機能的流体の創製に生かす**

力学が関係するのは筋肉や骨だけではなく、その力学的環境（ひずみ速度）や幾何学的環境（血管径）に合わせて、実に10倍近くも変化します。これは主に、赤血球と血漿ならびに血管壁との力学的相互作用に起因します。本研究では、血液のように自発的・機能的レオロジー制御を可能とするような、機能的流体の創製を目指します。

流れていることになり。その限られた5Lの血液を消化器系や骨格筋、そして脳などいろんな場所に、必要とされる量だけ届くように調整しているのが血管です。血管は血液の通り道だけでなく、血液の分配や調整を担う、非常に賢い臓器であるといえます。なぜそのような高度な機能を実現できるのか。そんな興味から血管や血液の持つ力学的性質について研究を深めています」

血管系は、効果的な血液分配をどのように実現しているのでしょうか。「血管はそれ自身が収縮と拡張を繰り返すことで、血液の流体抵抗（血管が血液から受ける力）を局所的に変化させることができます。それによって流れやすい流路と流れにくい流路を作り、血流量をコントロールし、うまく全身に分配を行っているのです。さらに血液にも不思議な性質があるんです、と言いつつ先生は次のように話してくれました。「血液は見かけ上の流体抵抗、粘度を自律的に変える機能を持っています。流れ方によってはサラサラにもドロドロにもなるんです。粘度が上がると流れる量が減り、流速も下がります。反対に粘度が下がると同じ力でもより多くの血液を流せるので、流速が上がります。このように、血液は見かけ上の粘度を変化させて流れる速度を変えよう、すごいことをやっているんです」。なんとも不思議な血液の機能。研究の中で、そのメカニズムが分かってきたそうです。「液体の中に微小な粒子を混ぜると粘性が変わります。このことは『アインシュタインの粘度式』にも示されているように、以前から知られていました。ただし、それは入れ物に対して粒子が十分に小さい場合のみ成り立ちます。例えば血管のように、微細な粒子（赤血球など）の大きさが無視できないほどに流路が狭くなると、また違った現象が見られます。研究を進める中で、粒子が流路の壁付近を流れると粘度が上がってドロドロになり、粒子が流路の中心を流れると粘度が下がってサラサラになると分かってきました。血液においては、赤血球の流れる位置が変わることで粘度を変化させているのです」。粒子が流れる位置を制御し、粘度を自在に変化させる。このレオロジーコントロール技術を応用した機能的流体の創製にも取り組んでいます。「よく例に挙げられるのはペンキなんですが、塗る時はサラサラと塗りやすく、塗った後は粘度が高く液だれしないのが理想的です。こうした相反した機



Fig.1——学生とプログラミング勉強会



Fig.2——数値シミュレーションと可視化



Fig.3——高性能並列計算機

能を備えた機能的流体を作る上で、先ほど説明したような血液の性質が非常に参考になると考えています。また近年では輸血用血液の不足が問題になっており、いつかは人工血液の製造が必要となるタイミングがきます。そうした時にもこの技術が何らかの役に立てばと思っています」  
ここまで紹介した血管系の研究の他にも、呼吸器系をテーマとした「慢性閉塞性肺疾患 (COPD) 治療における薬剤吸入に関する研究」や、昆虫の飛翔などに着目した「生物の周囲の流れ解析」など、多彩な研究を実施する生物

流体力学研究室。新たな発見とものづくりへの還元を目指し、日々精力的に活動しています。  
**生体の中に隠されたものづくりの可能性を追い求めて**  
福井先生にとって、バイオメカニクスとはどのような学問なのでしょう。「知ってこそ実力は知らない体の中の不思議を、機械工学の知識を用いてしっかり説明できることにこの学問の面白さを感じます。食べたものが消化されてちゃんと排

泄できたり、怪我をしても時間が経てば治ったり。当たり前のように経験的に理解している事象を学術的に紐解いていくと、生体が非常に理にかなった集合体であることをひしひしと感じさせられます。機能的なものづくりを行うためのヒントが、実は私たちの体の中に隠れている。そして、体の仕組みにはまだまだ分からない部分がたくさんある。そうした点にこの研究の魅力、ロマンが詰まっています。この研究が未来のものづくりや医療にどのような影響を与えていくのか。生物流体力学研究室内の今後の展開から目が離せません。