

流体物理研究室の紹介

〇.1 流体物理とは

液体や気体など自由に変形できる物体を総称して「流体」と言う。固体は力が加えられて変形してもその力がなくなると元に戻ろうとするのに対して、液体や気体といった流体は、力がなくなっても元に戻らない。このような流体の運動は「流れ」と呼ばれる。

流体の最も身近な例は空気や水であろう。例えばそよ風や川のせせらぎなど、空気や水の流れは私たちの周りにあふれている。面白いことに川の流れ一つを取っても流れは多様に変化する。小川から始まり、滝や橋脚で作られる乱れた流れが、大河に合流してきれいに揃った流れに変化する。時には鳴門の渦潮のように一つの組織だった回転の流れを作り出すこともあるし、またあるときは大きな波を形作り浜に押し寄せる。自然の中の流れは美しく、変幻自在で見ても飽きない。皆さんの中には、レオナルド・ダ・ヴィンチが描いた流れの詳細なスケッチを見たことがある人がいるかもしれない。このように水というたった一種類の流体だけでも多種多様な流れを作り出すことができる。



ところで流体は不思議な一面を持ち合わせていることがある。例えば数百人の乗客を乗せた、重さ何トンもの飛行機がなぜ空中に浮くことができるのだろうか？野球でピッチャーがボールの握り方をわずかに変えるだけで、自在に球種をコントロールできるのはなぜだろう？新しいサッカー公式球で無回転のボールをけるとどうしてキーパーはとりにくいのだろうか？実はいずれの問題でも飛行機やボールの周りの空気の流れが深く関わっている。流体物理研究室では、そういった流れにまつわるさまざまな不思議を対象として、科学の知識や数学・物理、さらには計算機を駆使して流れを解析し、現象の本質・原理を理論的に解明することを目指している。



〇.2 流体現象の特徴

現象の多様性・科学的な面白さに加えて、社会に還元できる実用性を持ち合わせている点も流体物理の特徴の一つである。たとえば我々が乗り物で移動する際には常に空気の抵抗を受ける。したがって飛行機・船舶・自動車・列車のボディーの設計には流れの理解が欠かせない。地球温暖化など気象変動の原因解明や、防災、治水、都市計画、建物・プラントの設計など、理工学の広範な分野でも流体物理の知識は欠かせない。動脈硬化・血栓症・動脈瘤などの発症・進展に血液の流れが大きな影響を与えていることが明らかになるなど、生物・医学の分野でも流体物理の重要性が増している。最近では、マイクロタスと呼ばれるマイクロ・ナノサイズの微小な流路、ポンプ、混合器などの化学プロセスを集積したチップ内の流れが、新材料開発に関わる研究分野で大きな注目を集めている。

以上、流体物理の特徴として、(1) 現象の多様性、(2) 応用への直結・実用性、を挙げたが、第三に(3) 流体の数学的記述で現れる統一性・普遍性が挙げられる。つまり、さまざまな流れがあるにもかかわらず、それらは一つの方程式で統一的に表されている。流体の方程式の基本的な特徴を調べて流体现象共通の性質を理解することができれば、個々の現象の解析に役立つだけでなく、流体運動の本質・原理が分かるということにつながる。そこで、流体の運動を記述する方程式について、次節でもう少し詳しく見て見よう。

○ 3 流れの方程式

流れ、つまり流体の運動がどのように記述されるかを考えよう。例えば、水槽の中の水をかき混ぜたときの流れの様子は、流れの中に1滴、インクをたらしてみると分かる。最初、一塊のインクは時間の経過とともにゆっくりと引き伸ばされて、次第に細長くなっていく。さらに時間がたつと、インクの拡がりや墨絵のような複雑な模様が発達する。



このように、模様の発達を考えると水の流れの解析は困難に思えるが、実は、少量のインクで色をつけた流体の小さな部分に着目すると、その運動は各瞬間で、『質量×加速度＝力』と表されるニュートンの法則に従っているのである。右辺には、重力や浮力といった通常の力のほかに、着目している流体部分が、隣の部分と接している面を通して押されたり（圧力）、こすられたりする力（粘性力）も加える必要がある。これら力の具体的な表式をニュートンの運動方程式の右辺に代入すると、流体の運動方程式が得られる。方程式を適当な初期条件と境界条件のもとに解けば流れの様子が分かる。

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = \nu \Delta \mathbf{u} - \nabla p + \mathbf{f}(t, x)$$

実は、流体の方程式は既に19世紀に導かれていた。そういう意味で流体物理学は古くからある力学の一分野と言える。しかし、流体の方程式を解くのは大変難しく、近年になるまで、限られた場合しか解が得られていなかった。つまり方程式の形は分かっているけど答えが分からなかったのである。しかもたいていの場合、解はひとつとは限らない。ひょっとしたら解がないかもしれない。流体の方程式は、数学的にも面白い性質をもっていて、応用数学として非常に興味深い問題である。「流体方程式の解の存在と滑らかさ」は、クレイ数学研究所が2000年に発表したミレニアム懸賞問題のひとつとなっているほどの難問なのである。

数学的な厳密性はともかく、このような流体の方程式の数学的特徴から、流体物理では他の分野では知られていなかった沢山の新しい物理現象が導き出されてきている。滑らかな流れから乱れた流れへの遷移過程や、乱れた流れの性質の解明など、最近ではコンピュータを使った活発な研究がなされ、流体運動の普遍的な性質の理解に向けて、大きな成果を上げてきた。たとえばソリトン、カオス、フラクタルなど新しい概念や、「非線形科学」と呼ばれる物理の一大分野は流体物理から生まれた経緯がある。

○. 4 流体物理研究室

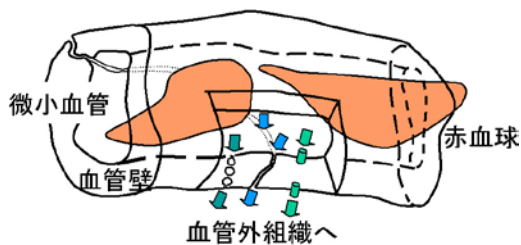


図1 毛細血管内を流れる赤血球と物質輸送

現在、流体物理研究室では、上に挙げたような流れの不思議に関わるテーマについて幅広く研究を行っている。研究テーマのひとつは従来の流体物理ではあまり扱ってこなかった、血液流れなどの生物流体である。図1には、毛細血管内の赤血球の運動と物質輸送を模式的に描いている。また、図2には、分子動力学法と呼ばれる新しい計算機シミュレーション手法により得られた、溶液の流れの計算例を示した。この研究では、ミクロな視点から溶液を構成する個々の分子運動を解析している。その他、具体的な研究内容について詳しくはホームページを参照して欲しい。

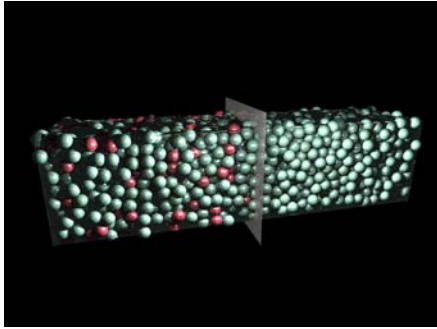


図2 半透膜を介した溶液の流れ

○.5 これから大学で学んでほしいこと

皆さんが専門課程でどのような分野を選ぶにしても、まず正しい日本語で論理的に議論ができることが必須である。日頃から新聞や本などを読むことが論理的な思考の糧となる。また、上で述べたように、流体の運動方程式は古典(ニュートン)力学に基づいている。したがって1, 2年次では、力学、電磁気学、熱・統計力学といった物理学の基礎をしっかりと身に着けることが重要である。また、流体の運動は空間・時間を連続的に占める「場」によって記述されるので、微積分学、ベクトル解析は十分に使いこなせるようにしておいて欲しい。実際に場の動きを解析する際にはほとんどの問題で計算機の助けを借りる必要性がでてくる。したがって計算機の扱いに習熟しておくことも必要である。そして何よりも重要なことは、どんな些細なことにも「なぜ？」と疑問に思う感受性と、それを科学的に解明しようとする探究心を常日頃から養っておくことである。