



私たちの研究室

塚原 隆裕 研究室

創域理工学部 機械航空宇宙工学科 教授

つかはら たかひろ
塚原 隆裕 先生



研究室の学生たちと

流体と熱の流れをシミュレーションで 解明し、社会に役立てたい

機械航空宇宙工学科は機械工学を基盤として、航空宇宙分野をも工学的見地から学ぶことができる学科として、2023年度に名称変更された創域理工学部の中に設置された。塚原隆裕先生の研究室では熱流体力学をベースに流体の仕組み、特に「乱流」という複雑な乱れを伴う熱の流れを解明しようとしている。

「私は熱と流体の研究を中心に続けてきました。世の中にある物質のほとんどは流体です。たとえば水や空気も流体ですし、工場内で食品や薬品などを別の場所に輸送するためには流体の状態が一番適しています。物を箱詰めにして一つ一つ運ぶことと比較すれば、パイプで液体として押し流す方が効率的なのは一目瞭然です」と研究対象の幅広さについて語ってくれた。

翼面上の「乱流」を制御したい

その流体の流れ方には、「層流」と「乱流」という2つの状態がある。層流は層のように流れる安定した状態で、乱流は文字通り乱れを含む流れの状態だ。そのため、層流は扱いやすい（理解しやすい）流れだが、乱流にも様々な特性が見られ、利用の可能性も幅広く研究対象として興味深いと塚原先生は話す。

先端的な分野では、塚原先生がJAXAと共同研究している航空機の自然層流翼設計などに係わる、「後退翼表面における乱流遷移の研究」などがある【図1】。層流の良いところは、例えば飛行機の翼では空気が抵抗少なく流れることで無駄のない飛行ができるということ、それによって燃費効率も高まるという。航空機

では、乱流の発生を翼弦長の1%後ろにずらすことで、燃料効率が1%上がると言われるほどで、世界規模で考えれば膨大な経費削減につながるそうだ。

また、熱を遠くに、いかに効率よく運ぶかも、熱流体力学の大切な分野である。ただ、強く熱したい、熱を奪いたい、物を混ぜたいなどの要素が加わるなど、様々なニーズもあり、そこでは乱流を上手く利用していくことが重要になっている。

炉内の「乱流」の重要性と面白さ

流れが乱れることが常に悪いわけではなく、乱流には利点も多く、応用範囲も広くあるが、その構造自体がまだ完全に解明されていないと言う。

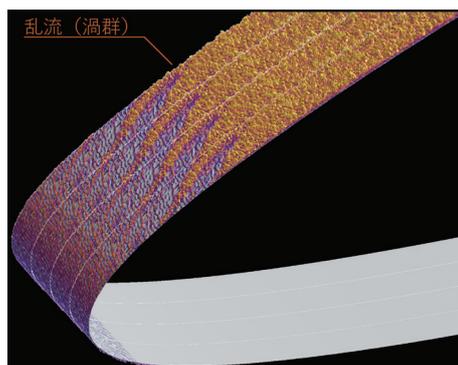
「たとえば私の研究に関連して、核熱の多目的利用で開発が進む高温ガス炉があります。そこでは水から水素に還元するためにヘリウムガスを1000℃まで温めます。ガスを温めるためには乱流の状態の方が温度が上がりやすいのです。ただ、乱流は速く流すことで起こりやすくなりますが、ガスが十分温まる前に炉を流れ去ってしまいます。そういう矛盾をどう扱うかがコントロールのポイントになるのです」。

乱流を起こすには速い流れが必要だが、対象物を温めるためにゆっくり流したいという矛盾の調整がとても難しいのだそうだ。

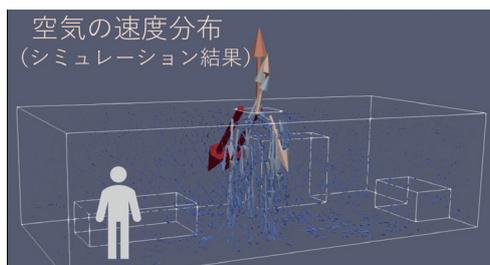
「そんなことを研究していると、乱流とは何なのか、どうやって発生・維持されるのか、その原点を知りたくなるものです。層流から乱流に変わることを『乱流

遷移』と呼びますが、いつ乱れ始めるのかということは学問的にはまだ解明されていないのです」とも言う。

乱れるきっかけはちょっとしたことであり、固体表面のキズであったり、流れ自体にそもそも少し乱れが残っていたなどで、それらの何かをきっかけに乱れ始めるのである。そして、その乱れが成長するか否かが自明でないのが、この学問の面白いところなのだと見えよう。



【図1】 後退翼の前縁付近における乱流遷移の様子。翼表面の凹凸も考慮した数値流体力学シミュレーション結果で、渦を可視化することで乱流の発生が分かる。(JAXAとの共同研究)



【図2】 室内の風をシミュレーションした結果(上)を、実際の室内にてAR(拡張現実)可視化する(下)。見えない気流の変化を容易に把握できる。(東京大学生産技術研究所・長谷川洋介教授との共同研究)

「乱流」の本質を知りたい！見たい！

博士課程3年の神山一貴さんは、「有向浸透現象の観点からみた壁面せん断流における垂臨界遷移のパン方向境界依存性」というテーマで、「乱流遷移の普遍性」をキーワードに研究を続けてきた。前出の高温ガス炉の設計などにつながる研究である。

「私の研究は実際には数値シミュレーションで行っています。同じようなテーマに実験中心で取り組んでいるグループもありますが、本格的な実験となるととても広い空間が必要だったり、実験装置はかなり大掛かりなものになりますし、設定自体が困難になることもあります。理想的な状況を考えようとするとシミュレーションの方が現象の本質に迫れると思いました。シミュレーションでは、自分の考える設定が自在にできるので、私の求めるものに合っていると思います。それを流体運動を表現するナビエ・ストークス方程式によって解いていきます。実際に、手計算ではできないような計算式に基づいて流体が流れるため、スパコンなどを利用してきました。

また、流体には液体の中に模様ができるなど、パターン形成のような現象もあり、身の回りにありながらも直感に反するようなことが起きて面白いですね」と話してくれた。

修士課程2年の太田佑さんは、「有限測定データを用いたPOD(正規直交分解)に基づく矩形風洞内速度場の推定とAR(拡張現実)可視化」というテーマに取り組んでいる。

「試験流路が矩形の風洞を使い、一般的な室内で起こる風の変化をまず再現します。この流れを何通りに

も分解し、重要な成分(速度情報)を取り出して、室内全体の空気の流れをわずか数点の速度情報で簡単に推定できるようにする研究です。また、その数値データを使ったAR可視化により、室内の空気の流れを見える化する工夫を行いました【図2】。

私が研究を開始した時期にちょうどコロナウィルスの蔓延が始まり、感染症の拡大防止に何か役立てることができればと思いました。AR可視化について一定の成果が出せたので、とても嬉しいです」と話す。

塚原先生は、

「流体の流れ方はどれをとっても複雑で、たとえば室内の空調などもそうですし、農業用のビニールハウス等の温度管理にも影響するため、流れ方の理解が必要です。ここでは利用できるセンサー情報も限られ、空間全体をシミュレーションしようとするればとても大掛かりな計算になります。たとえば研究室1部屋程度の広さであっても、完璧を目指すとしたら世界最高のスパコンを使っても解ききれないと思います。学生は主に「平板の上」、平板2枚で挟まれた「平板の間」、四角く囲われた「矩形」などで乱流遷移の研究を始めますが、設定が複雑である必要はなく、それはむしろ理想的な状態の物理現象が見られるからです。

神山さんの研究は世界最大級のシミュレーションで行ったことで、また新しいものが出てきましたし、太田さんの研究もARで可視化できたために学会での反応が良かったです」と話してくれた。

太田 正人(ジェイクリエイト)

※学年等は取材当時のものです。