

熱環境の数値シミュレーションへ向けて
計算コードへの伝熱・相変化モデルの実装 (FY2006)
熱模型タンクを用いたプログラミング・伝熱連成実験 (FY200

夢は宇宙空間で ビールを美味しく飲むこと

姫野武洋・准教授

ひめの たけひろ

航空宇宙工学専攻 / 航空宇宙工学科 博士(工学)

2001年東京大学 大学院工学系研究科 航空宇宙工学専攻博士課程修了、NASDA(宇宙開発事業団)特別研究員などを経て、07年より現職。08年には同准教授らが取り組む、液体ロケット推進薬のスロッピング現象に関する論文が、米国航空宇宙学会(AIAA)最優秀論文(液体ロケット分野)に選出される。専門は微小重力環境における気液二相熱流動の解析など

宇宙ロケットに必ず搭載される燃料タンク。地上と異なる加速度環境で、液体水素や液体酸素などの極低温推進薬を思い通りに操るには、想像以上の問題が付きまとう。ロケットの安全を第一に担保するためにも、燃料タンク内の熱流動現象を予測する理論と技術が欠かせない。

一定の重力がある地球上と違い、ロケットは、上昇中に推力変動や姿勢変化を受けるほか、宇宙空間で無重量飛行をするなど、様々な加速度環境におかれる。このような極限環境で作動するエンジンや燃料タンク内部の「気液二相流体(※)」を研究しているのが姫野武洋准教授だ。

極限環境での動きを予測

例えば無重量状態では、重いものほど下に落ち着くという常識は通用しない。曰く、「ジョッキを傾けてもビールが口の方へ流れて来ない」。

また、熱の伝わり方としても、比重差から生じる自然対流が存在しないため、地上とは全く異なる。宇宙空間で使えるタンクを設計するためには、その内部の液体や熱の動きを、コンピューターを駆使して予測

し、理解する必要がある。

「コンピューターによるシミュレーションは、理論、実験に続く第3のアプローチです。流体の挙動を記述する数式自体は19世紀には確立されましたが、コンピューターの性能向上に伴い、数値シミュレーション技術はここ20年で飛躍的な進歩を遂げてきました。現在は、複雑な形状をしたタンク内の流動現象も予測できます」

液体推進薬の管理を研究している研究者は、日本には10人もいない。いわば同分野のバイオニア的存在である姫野准教授だが、宇宙分野に興味を持ち始めたのは学部4年になつてからだという。

「航空宇宙工学科では、卒業論に加えて『卒業設計』を課されます。そこでロケットエンジン設計したことがきっかけとなり、エンジンシステムの内部熱流動現象に興味を持つようになりなりました」

最先端を支える技術

2001年に博士号を取得した後は、3年間の期限付き研究員としてNASDA(宇宙開発事業団)に採用された。「ロケット開発の現場では、燃料タンクに関する課題が数多く挙がります。それら

の問題と向かい合ったことで、知識とスキルが鍛えられました」と振り返る。

ロケットの飛行中に想定外のトラブルが発生したら、当然、次の打ち上げまでに必ず解決しなくてはならない。既に地上に残っていない燃料タンク内部で、何が発生していたのかを知るためにも、模型を使った実験やシミュレーションによる現象の再現が必要になる。自分が行ったシミュレーション結果がそのまま設計変更に反映される、緊張感のある現場だった。

そのような様々な経験を積んだ姫野准教授が、現在、JAXA(宇宙航空研究開発機構)とともに取り組んでいるのが、高度100キロ程度の熱圏を飛行する、再使用可能なロケットの開発だ。上層大気の観測機器を含め、現在は使い捨てにされているロケットを、着陸させて再使用しようという試みだ。

「ロケットの再使用が可能になれば、コストダウンにつながります。多くの飛行機会が提供され、ロケットを使う敷居も低くなれば、宇宙を利用した新たな産業やサービスが創出されるでしょう」

着陸の方法は、放物線を描

きながら大気圏へ再突入してきたロケットが、機体を回転させた後、エンジン逆噴射して減速し、垂直着陸するプロセス。タンクに加わる揺れは相当激しい。JAXAは5年後の飛行試験を目指しており、姫野准教授らはタンクの形状を決めるためのシミュレーションと実験を繰り返している。

未知の課題に向かう勇氣

人類が宇宙で成し遂げられていないことの1つに、軌道上での燃料再補給がある。現在のロケットは地上から打ち上げることが前提になっているが、本格的に人類が宇宙空間で活動するためには、宇宙でのロケットの乗り継ぎや、軌道間輸送が必要になる。

宇宙の交通インフラを支えるのが、燃料ステーションであり、燃料再補給の技術だ。ここでは、地上と異なる重力環境で液体を操る必要がある。軌道間輸送は10年、20年で実現する技術ではないだろう。その一方で、実現に近づくために、今から着実に成果を積み上げるべき課題もある。

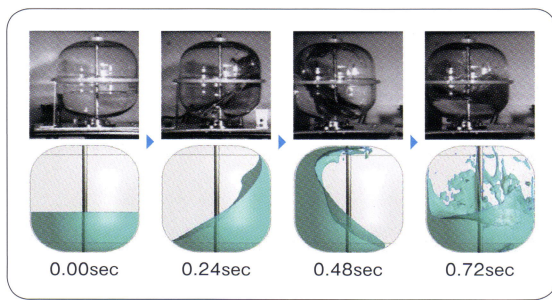
「学生に求めたいのは、未知の問題に挑む勇氣」と姫野准教授は意気込む。

意欲と努力次第で最新の

技術を使いこなす知識と技術は身に付けられるだろう。あとは、宇宙を開拓していきたいという熱意と、誰も挑んだことのない難題に挑む勇氣と好奇心があればよい。

「そういった意識を持ち続ければ、どんな課題も乗り越えていけます。どのような形状の燃料タンクでもシミュレーションしてみせますよ」

ほぼ笑みながら語る姫野准教授は、自らフロンティアを開拓してきたという自負と自信に溢れている。



タンク内の液体の動きのシミュレーション。下は姫野准教授がプログラムしたシミュレーションの結果だが、タンク内の水の動きを忠実に再現している

研究とは困難に対する挑戦 成果を創出し前人未到の世界へ

学部時代に打ち込んだ「鳥人間コンテスト」が契機となり、航空宇宙工学専攻への進学を決意した梅村悠さん。機体設計のために学んだ流体力学は、空よりもさらに遠く高い、宇宙につながる道を開いた。



東京大学 大学院工学系研究科
航空宇宙工学専攻 博士課程2年
渡辺・姫野研究室

梅村悠さん
(うめむら・ゆたか)

——出身は早稲田大学理工学部機械工学科ですよね。東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻に進学しようと思った経緯を教えてください。

いくつかの理由があります。1つには、早稲田時代のサークル活動を通じて、流体力学に興味を持ったことが挙げられます。私は子どものころから鳥人間コンテスト(※)が好きで、模型飛行機をつくって飛ばしたりしていました。そのような経緯もあり、早稲田では鳥人間コンテストへの出場を目指すサークルに所属していました。サークルでの私の役割は、機体を設計すること。流体力学を独学で学び、解析ソフトを作成して設計に生かしていました。そうするうちに、流体力学そのものに対する興味がわいてきたのです。流体力学という学問を学部の勉強のみで終わらせるの

ではなく、大学院に進学してより深めていきたいと思ったのです。

もう1つの理由は、姫野先生のもとで研究をしたかったということです。学部卒業論文では、液体を高速に噴射して金属を加工する技術と、そのシミュレーションをテーマに、研究を進めていました。当時から姫野先生の論文もよく拝見していましたし、二相流体の第一人者ですから、弟子入りする気持ちで東京大学大学院への進学を決意しました。

——大学院進学後の研究について教えてください。

地球周回軌道上での燃料の再補給を実現するための要素技術として、二相流体の振る舞いを研究しています。なかでも蒸発に関するコンピューターシミュレーションが、主な研究テーマになります。

宇宙空間を飛行するための

※鳥人間コンテスト 読売テレビ主催で毎年7月に琵琶湖で開催される人力飛行機の滞空距離を競う競技会。1977年から開催されており、全国ネットで放送されている。鳥人間は、読売テレビの登録商標です

燃料に必要な条件として、燃焼効率の高さが挙げられます。液体推進剤のなかで最も効率が高いのは、液体水素と液体酸素の組み合わせです。しかし、どちらも絶対零度に近い低温なので、周囲の温度で容易に気化してしまいます。つまり、ロケットの燃料タンクの設計には、熱や蒸発の理解が欠かせないのです。しかし、沸騰という現象は、あまり理解が進んでなく、シミュレーションといつても、蒸発を組み込んだ計算式は確立されていません。

研究では、既存の理論式を改良して、シミュレーションに組み込んでいますが、その計算が正しいことをどうやって証明するのか、ということも研究課題の1つです。

——興味深い研究ですね。研究を進める際、早稲田大学と東京大学の違いをどのような所に感じますか。

修士課程のとき感じたことですが、第一に、東京大学の指導はとても密度が高いということです。早稲田大学では1人の先生が、7から10人の学生を指導します。それに対して東京大学では、2人の先生で5、6人の学生を指導しています。当然、享受する知識や技術は、濃密になります。

2つ目は、雰囲気の高さ。航空宇宙工学専攻は特にそうなのかもしれませんが、周囲がとても気さくです。大学院の入学手続きで本郷に来た際、すれ違った人に「君も航空なの？僕もなんだ、よろしく」と声をかけてもらいました。外部からの入学でも不安だったので、その一声が大変嬉しかったのを覚えています。また、入学してみると、1学年が30人ほどで構成されているため、すぐに全員と顔見知りになれました。

——雰囲気が高いと研究にも勢いがつきそうですね。どのようなときに研究の面白さや魅力、やりがいを感じますか。

早稲田の学部時代から感じているのですが、研究と鳥人間コンテストには通じるものがあります。人間という空を飛べない動物が、飛ぶことに挑戦するのが鳥人間コンテストです。言い換えれば困難への挑戦だと思えます。より遠く、より長く飛行するという目標に対し、英知を集結して挑む。研究も同じです。地球周回軌道上での再補給という難題に向かって1つひとつ解決策を講じていく。挑戦するといったプロセス自体も楽しいですし、月並みですが成果が出

たときは嬉しいですね。

やりがいは、人や社会の役に立っていると考えた際に感じます。以前、研究テーマを考えているとき、姫野先生から「研究成果で誰が喜ぶのかを考えなさい。それが無いテーマは自己満足にすぎない」といわれました。最初はよく理解できなかったのですが、最近ではJAXA(宇宙航空研究開発機構)や航空宇宙関連企業の方と話しているなかで、自分の研究でこの人が喜んでくれるのだという実感が持てるようになりました。工学とはものづくりですが、成果を喜んでくれる人がいなければ成立しない学問なのです。

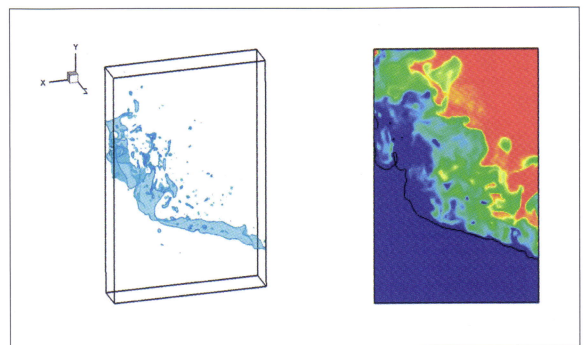
——最後に将来の夢について教えてください。

地球周回軌道上での再補給を実現したいと、最近、強く思います。実現すれば、宇宙に行くためのコストが格段に下がりますし、多くの可能性が開けてきます。人類がたどり着いていない宇宙の果てへとロケットを送ることも可能になるかもしれませんし、民間人が気軽に宇宙に行けるような世の中が実現するかもしれません。宇宙という無限の可能性に対し、これからも研究を進めていきます。

10

アンケートに答えていただきました

- Q ずばり！研究の面白さとは？
- ・「へんが分からない」「へんができない」という問題に挑戦すること。
 - ・自分の研究を他の研究者に興味を持ってもらえること。
- Q 本郷キャンパスのお勧めスポットを教えてください
- 安田講堂前の広場です。
安田講堂の色と空の青との組み合わせが大好きで、天気の良い日はよく見上げています。
- Q 尊敬する人は誰ですか？
- 渡辺先生と姫野先生です。
研究の取り組み方や研究のおもしろさを教えて頂いたので、研究を楽しく感じている今の自分がいるのだと思います。



梅村さんが開発したプログラムでは、微小重力環境下での気液二相熱流動解析が可能。左は液体の動き、右は気体の流れと温度を表している



微小重力環境の実験は、津江研究室の小型落下塔で実施される。塔は約10メートルの高さで、微小重力環境を最大1.4秒再現できる。写真は塔の内部で作業をする梅村さん

航空宇宙工学科

航空機や宇宙機には無駄のない極限的な設計が求められます。そこでは、流体、構造・材料、飛行・制御、推進など、様々な工学知識と、それらを統合できるバランス力が要求されます。研究者や技術者には、最先端技術を理解できる知性だけでなく、異分野の知見を統合して価値を創出する能力が求められます。航空宇宙工学科では、システム統合能力の育成を柱とするカリキュラムを提供し、的確に実践することで、航空宇宙工学分野をはじめとする科学技術分野の発展に努めています。