

左：2015年1月20日、イオンエンジン24時間運転を達成し沸き立つ「はやぶさ2」管制室。
右：正常な伸展が確認されたサンプラーホーン（「はやぶさ2」への一般の方々からの寄付金により開発された搭載カメラCAM-Hで2014年12月3日に撮影し、試験電波にて取得した画像）

宇宙科学最前線

低重力環境における 沸騰冷却現象

東京大学 大学院工学系研究科 航空宇宙工学専攻 准教授
姫野武洋

JAXA宇宙輸送ミッション本部 射場技術開発室 主任開発員
更江 渉

人間の日常的な活動領域が地球周回軌道上まで拡大するのに伴い、宇宙機の推進薬や軌道上構造物の冷媒として、液体と気体が共存する流れ（気液二相流）を扱う場面が増えつつあります。しかし、地球周回軌道上の低重力環境では、比重差を利用して液体を動かすのが難しく、相対的に影響が大きくなる表面張力を無視できません。このため、「重いものほど下に沈む」という地上での経験を頼りに設計された流体機器は、軌道上で期待された性能を発揮できず、計画通りに運用できない不具合を起こすことがしばしばあります。このような地上とは異なる加速度環境における気液二相流の振る舞いを予測し、思い通りに操る技術のことを、宇宙工学分野では「流体管理」、あるいは宇宙輸送分野に限って「推進薬管理」と呼びます。

極低温上段エンジンの予冷

推進薬管理に関する技術課題の一つに、基幹ロケット（H-IIA）上段エンジン内部で起こる沸騰冷却現象の予測があります。具体的には、上段エンジンの第1回燃焼停止に続く数千秒間の弾道飛行（慣性飛行）の間、第2回燃焼開始（再着火）に先立って、燃焼残留熱や太陽光入射によって温まってしまったターボポンプの軸受を、極低温推進薬（液体酸素と液体水素）を冷媒とする沸騰対流熱伝達により再冷却（予冷）することを指します。熱くなったフライパンに水をかけて冷やす際に沸騰が起こる様子を思い描いてください。

もったいないことに、これらの冷媒は機外へ捨てられてしまい、推力に寄与しません。この冷媒（無

効推進薬)の量を節約することは、ロケットの打上げ能力向上に直結するだけでなく、現状でたかだか数十分に限られる作動時間を延長し、数時間から数日に及ぶ慣性飛行とエンジンの多数回着火を伴うような、軌道間輸送にも対応できる「多用途化」を実現するための鍵となります。

低重力環境における気液二相流を地上重力環境で再現するのが困難であることから、過去の開発では、予冷流量と予冷秒時を安全側(数百g/秒、数分)に設定してきました。大量の冷媒を一気に流して確実に冷やす「インパルス予冷」と呼ばれる方式で、水洗式便所に例える人もいます。

これに対して、図1に示す基幹ロケット高度化プロジェクトでは、エンジン再着火直前の予冷秒時を短縮するのに加え、慣性飛行中に軸受が温まるのを抑えるために、推進系の液体酸素側で「トリクル予冷」を採用することになりました。トリクルは、したたり落ちると和訳されます。つまり、従来と比べて予冷流量を少なく絞り(数g/秒)、冷媒の持つ蒸発潜熱をできるだけ使い切ることで、無効推進薬の削減を目指しています。

けれども、何事も節約というのは簡単ではなく、流速が遅い場合ほど、重力の有無による気液二相流の挙動に大きな違いが表れることが知られています。したがって、トリクル予冷の開発と実装に当たっては、予冷に関連する気液二相流の理解を深め、重力の大きさが沸騰対流熱伝達特性に与える影響を定量的に把握することが必須です。

観測ロケットを用いた低重力実験

このような背景から、実機による地上試験や軌道上試験に加え、各種の基礎試験と数値解析を、従来にも増してしっかりやろうということになりました。JAXAと大学の混成チームにより基礎試験の計画*が練られ、「ロケット慣性飛行中の二相流挙動および熱伝達特性の観測実験」(代表:東京大学)として提案されました。実験では、観測ロケットS-310-43号機による弾道飛行で実現される加速度環境(約150秒間、 $10^{-3} \sim 10^{-2}G$)で、

液体酸素と似た物性を持つ液体窒素を用いて、

- ①低重力環境で極低温流体が沸騰を伴いながら複雑流路を通過する流れ場を実現
 - ②気体単相流から気液二相流を経て液体単相流へ至る流動様式の遷移を可視化
 - ③複雑流路の上下流配管における気液体積割合(ボイド率)を計測
 - ④温度・圧力計測に基づき、その間の伝熱特性と圧損特性を取得
- することを目標に掲げました。今回は詳しく触れませんが、先行実施した地上実験と観測ロケット実験で取得されたデータをもとにして、
- ⑤流路網解析や数値流体解析(CFD)などの数値解析手法に組み込まれた気液界面熱伝達と相変化モデルを改良
 - ⑥数値計算で実現象の再現を試みる作業を通じ重力感度を持つ伝熱特性と圧損特性の定量予測手法の確立

につなげることを企図しています。

観測ロケットに搭載された供試体の模型流路を図2に示します。透明なポリカーボネート製で、流路内の様子を外から見えるようにしました。図3のように、流路形状はやや複雑であり、絞り部、行止部、分岐管は、それぞれ実機におけるポンプ側軸受、タービン側軸受、トリクル予冷排出ライン入り口に対応しており、絞り部により流路が上流室と下流室に隔てられています。

模型流路のほか、液体窒素の貯蔵タンク、ヘリウム気蓄器、排液蒸発器などの実験ペイロード(PI)は、直径約30cmの限られた空間に収納されなくてはなりません。そのため完璧な断熱はあえて追求せず、侵入熱で揮発してしまった液体窒素を打上げ直前に補充して満載状態とし、大気圧から約0.65MPaまでタンクを昇圧した上で、沸点に対する温度余裕(サブクール度)を持たせた状態で打ち上げる方針を採りました。このようなPI側の作業を実現できるよう、柔軟に打上げ手順を組み替えてくださった宇宙研の方々の知恵と経験には大変頭が下がります。

*JAXAの宇宙輸送ミッション本部、航空本部、情報・計算工学センター、東京大学、早稲田大学により計画された。

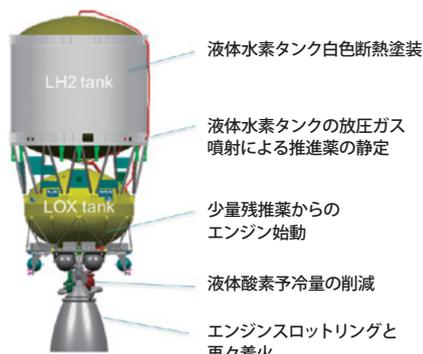


図1 基幹ロケット高度化上段推進系開発要素



図2 模型流路外観

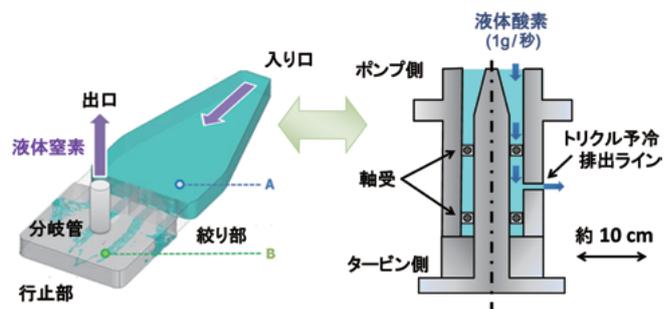


図3 模型流路と実機ターボポンプ軸受室との対応

複雑流路内の沸騰二相流観察結果

観測ロケットS-310-43号機は、2014年8月4日23時00分00秒、鹿児島県の内之浦宇宙空間観測所から打ち上げられました。ロケットの飛行ならびに搭載機器の動作は正常に行われ、機体は内之浦の南東海上に着水しました。

実験データのうち、流量を1g/秒に設定した模型流路の絞り部と下流室を撮影した画像を図4に示します。送液開始から50秒後(b)と80秒後(c)に撮影された画像で、左が飛行実験、右が対応する地上実験のもので、地上実験での重力は、画像の下向きに加わっています。また、上流室のAと下流室のBの位置で計測された固体壁内の温度変化を図5に掲げます。

送液開始時(a)、模型流路と上流配管の固体壁はほぼ常温ですが、上流配管がタンクに近い側から順次液温付近まで冷やされると、模型流路に液体がやって来ます。送液開始50秒後(b)には、上流室は沸騰を伴う気液二相流となっており、液体窒素の一部は絞り部のスリットを通して下流室の行止部へ向けて噴射されていることが、図4から分かります。地上実験の場合、液体が重力に逆らって噴射されるので、なかなか行止部の壁に届きません。一方、飛行実験では、噴流は慣性によりやすやすと行止部へ達した後、下流室の内壁全体をぬらしています。流路が全体的に白く不透明に映っているのはそのためです。図4の送液開始80秒後(c)を見ると、下流室での違いが際立ってきます。地上実験では、分岐管の高さの位置に液体窒素の液面が明確に形成され、位置Bを含めて行止部付近には液体窒素が届いていません。このため、図5に示す位置Bの温度 T_B がなかなか下がらないことも、納得がいきます。対する飛行実験の場合、下流室の内壁全体が液体窒素に覆われ、温度 T_B は液温へ向けて一本調子に冷えていきます。また、沸騰で発生した気泡は伝熱面にとどまることなく、互いに合体して大きな気泡を形成することが認められました。

見ることは信じること

一般に、低重力環境での沸騰対流現象については、直管や平板など単純形状の流路や伝熱面を伴う場合、浮力の消失により伝熱面からの気泡離脱が進まないため、地上の場合に比べて熱伝達が抑制されることが知られています。しかし、複雑形状の伝熱面を伴う今回の場合、地上実験では、鉛直方向の高い位置に冷媒が行き渡らず、局所的に冷却が進まない部分が生じたのに対し、低重力環境の飛行実験では、行止部を含めて等方的な冷却

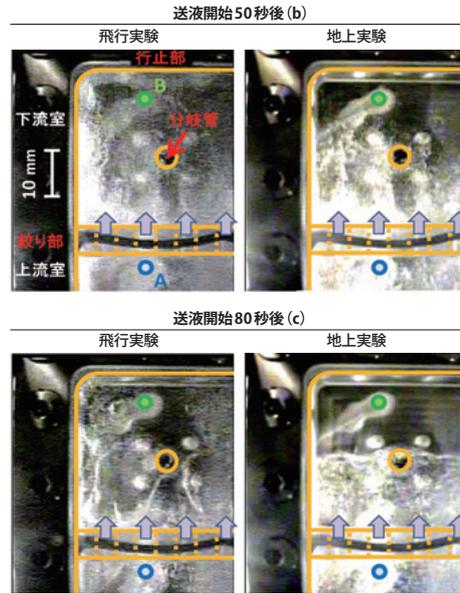


図4 液体窒素沸騰対流現象の可視化画像

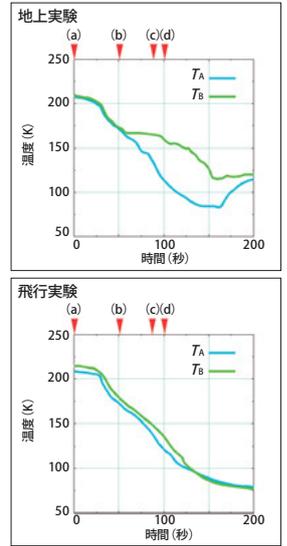


図5 模型流路固体壁の温度変化

図4の上流室の位置Aと下流室の位置Bの温度を示す。

が進み、熱伝達はむしろ促進されました。これは、重力の不在によって相対的に支配的となる表面張力の効果で気液界面の形状が決定され(絞り部における液糸形成と微粒化、循環流の遠心力による気泡合体の促進、固体表面のぬれなど)、壁面全体を覆う液膜が形成された結果であることが、可視化画像からはっきりと分かりました。

実際、基幹ロケットがペイロードを分離した後の慣性飛行中に実施されたトリクル予冷の効果実証試験では、地上試験の場合と比べて、タービン側軸受の冷却が促進されるという結果が報告されています。ロケットの飛行中にターボポンプ軸受まわりの流動現象を可視化するのは現実的にはほぼ不可能ですが、今回の観測ロケット実験で得られた映像は、この冷却促進の仕組みについて一定の説明を与えたものといえます。

同時に、表面張力が支配的となる条件での複雑流路における沸騰冷却現象を理解するためには、流動場を均質な混相流と捉えるのではなく、本質的に非定常な自由表面流として捉えた上で、液面挙動と熱伝達特性を関連付ける視点が大切だとあらためて気付かされました。

むすび

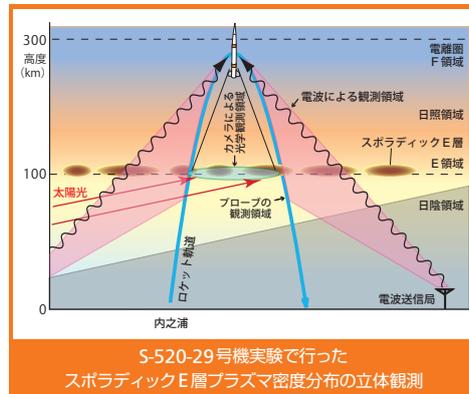
今回の実験は、大型液体燃料ロケットに関する技術課題の解決へ向けたアプローチとして、柔軟性に優れた小型固体燃料ロケットを活用したという点でも面白い試みです。この計画の実現に協力を頂いた関係各方面に対し、あらためて筆者らの深い謝意を表します。今後も、各種の基礎試験と数値解析を上手に組み合わせ、推進薬管理に関するさまざまな熱流動現象の理解と予測技術の確立を目指したいと考えています。

(ひめの・たけひろ、さらえ・わたる)

スプラディックE層の空間構造を探る

スプラディックE層（以下、Es層と略す）とは、高度100km付近の電離圏下部に突発的に出現するプラズマ密度の高い層のことで、この層の出現により、隣町の防災無線放送が混信したり、アナログ方式だったころのテレビでは画像が乱れたこともあったそうです。Es層の存在は数十年前から知られ、垂直構造は理解されていますが、水平分布は観測が難しく、現在でもよく理解されていません。

Es層の3次元空間構造を理解するため、観測ロケットS-520-29号機実験が2014年8月に行われました。Es層内にはマグネシウムなどの金属イオンが多く存在し、太陽光の散乱光を発するため、その撮像によりEs層の水平分布が観測できます。また、地上からの送信電波をロケット上で受信すると伝搬経路上の電子密度分布の推定が可能で、送信局の位置に応じてさまざまな方向と距離の情報を得ることができます。さらに、ロケット搭載のプロローブは軌道に沿った詳細な電子密度分布を提供してくれます。これら



のデータを組み合わせれば、図に示すようなEs層に関する立体的な密度分布を推定することが可能です。図はある断面を示しますが、金属イオンの発光分布や受信電波はこの面以外の方向にも広がり、立体的な情報が得られます。

条件が満たされず打上げを計3回延期しましたが、4回目に背景密度の約40倍に達する非常に強いEs層が発生し実験が行われま

した。電波送信局の方向に応じ異なる高度で強度の減衰が観測された結果は、Es層の構造を反映したものです。強いEs層内ではプラズマ密度が急勾配で変化し、プローブデータの解析方法の見直しを迫られるという、うれしい悲鳴も聞こえています。ロケット姿勢の複雑な運動のため、肝心のイオン散乱光観測に基づいたプラズマ密度の水平分布推定はまだ解析中ですが、興味深い結果が期待されます。

電離圏プラズマ観測の歴史は長いですが、今回の実験のように新たな手法を取り入れて科学的発見を目指していきたいと考えています。
(阿部琢美)

第15回宇宙科学シンポジウム開催

第15回宇宙科学シンポジウムが、1月6～7日に相模原キャンパスで開催されました。宇宙科学のすべての分野の研究者が一堂に集う年始恒例の一大行事として、関係者のカレンダーに完全に定着した感があり、今年も2日間で延べ600名程度の参加となりました。口頭40件、ポスター306件の発表が行われ、最新の科学成果や新規技術、および将来のミッション計画などについて、活発な議論や情報交換がなされました。

シンポジウムは、昨年末に打ち上げられた小惑星探査機「はやぶさ2」の最新状況に関する講演から始まりました。初日の午後には、宇宙政策委員会委員長代理の松井孝典先生に、新しい宇宙基本計画について特別講演をしていただきました。松井先生は、講演の後にも企画セッションに残っていただき、我々宇宙科学コミュニティに激しい叱咤激励を下さいました。

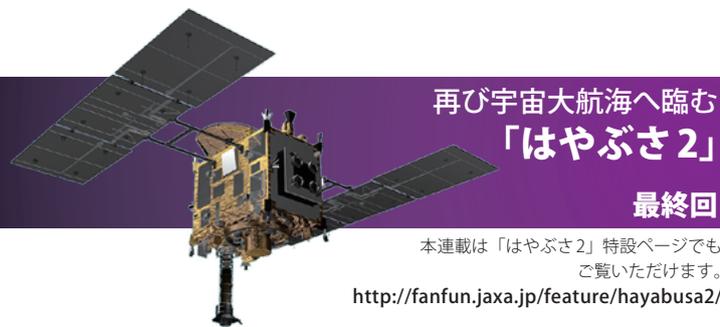
さて、その企画セッションですが、今年は「今後の太陽系探査」というタイトルで実施しました。「宇宙科学・探査ロードマップ」で掲げられた考え方を背景に、最新の公募型小型計画の候補ミッションの提案紹介、イプシロンロケットの強化型形態や将来地上系といったインフラの構想、探査機のリソース

検討や技術展望、各探査分野のサイエンス戦略など、多岐にわたる議論が行われました。昨今の流れで、いかに「プログラム化」を魅力的かつ持続可能に仕込んでいけるかが、議論のキーワードでした。シンポジウムでの議論をスピーディにどれだけ深めていけるかが、太陽系探査や宇宙研にとって死活的に重要であるとの認識を共有できたと思います。

さて、当シンポジウムの規模は年々拡大し、かなり限界に達しています。今年も、ポスターボードをレンタルでやりくりしたり、裏ではいろいろたばたががありました。時間的な制約もきつく、多くの口頭発表の申し込みに対しポスターに回っていただくようお願いするのは心苦しい限りです。宇宙研の看板シンポジウムにふさわしい姿でさらに発展していけるよう、今後ともぜひ皆さまのお知恵を頂ければ幸いです。

最後に、本シンポジウムの開催にご尽力いただいた宇宙理学・工学委員長ほか関係者の皆さま、およびお手伝いいただいた各位に、世話人一同、感謝申し上げます。

(宇宙科学シンポジウム世話人代表：福田盛介、
世話人：足立 聡、齋藤義文、野中 聡、村田泰宏)



再び宇宙大航海へ臨む 「はやぶさ2」 最終回

本連載は「はやぶさ2」特設ページでも
ご覧いただけます。

<http://fanfun.jaxa.jp/feature/hayabusa2/>

打上げは極めて順調だった。探査機がロケットから分離されて約20分後、NASA・DSN（深宇宙ネットワーク）のゴールドストーン局で予定通り「はやぶさ2」の電波を捕捉。この捕捉の早さにこだわり、H-IIAロケットには、地球を1周してから探査機を深宇宙へ打ち出す「ロングコースト打ち」という技術に挑戦していた。打上げ直後の軌道投入精度評価結果は、極めて良好。探査機から送られてくるテレメトリからは、パドル展開、太陽捕捉が正常に実行されたことがうかがえ、管制室は「俺たちの出番!」とばかり、訓練を積んできた管制メンバーの良い緊張感で満ちる。

打上げ7時間後からは内之浦(USC) 34m局による国内第1可視運用が開始。三軸姿勢確立、サンプラーホーン伸展、イオンエンジン3基のロンチロック解除を実施した。私たちはここまでの作業の異常想定と緊急手順作成に多くのエネルギーを費やしてきたのだが、ふたを開けてみたら素晴らしいスムーズな進行。さらにいくつかの重要な初期設定と精密軌道決定を行い、3日間のクリティカルフェーズを無事完了したのだ。

2014年12月7～17日には、搭載各機器の軌道上チェックアウトを順次実施。バス系各機器の健全性確認に加え、個性豊かなミッション機器群のチェックアウトを完了させ、ミッション系としても軌道上運用に供する準備が整った。

12月18日からは電気推進系関連の試験を開始。4基のイオンエンジンを1基ずつ立ち上げ、全スラストが設計通り機能することを確認した。

年末年始は精密軌道決定運用。年越し運用に携わった皆さん、本当にお疲れさまでした。

年明け1月6～10日には、深宇宙探査用に新規開発したKa帯通信系の運用を集中的に実施。残念ながら白田・内之浦の地上系はKa帯に対応していないため、「はやぶさ2」では全ミッション期間を通じて主にDSN局を利用することとなっている。DSN側にもこの運用の重要性を大変よく理解していただき、重厚な技術サポート体制を敷いていただいた。「はやぶさ2」のKa帯全機能が、DSNのマドリッド、ゴールドストーン、キャンベラ全局で実証された。「普通は30日間くらいかけてやるんだけど」と言いながら、こちらの提示した試験メニューすべてに対応してくれたDSNスタッフの底力には畏敬の念すら感じる。個人的には、機関間の垣根を感じさせず、純技術的に高みを目指そうとする彼らとの調整は、厳しくも大変楽しいものであった。これらの運用により、日本の深宇宙探査機として初めてKa通信が実現し、ミッションとしては小惑星到着後の高速通信にめどが付いたことになる。

1月11～20日は、再び電気推進系の試験。イオンエンジン2基・3基同時運転を実施し、電気推進系チームの微に入り細にわたる調整の後、想定通りの最大推力約28mNを出せることが確認された。姿勢軌道制御系チームの良い仕事で、推力軸も正確に探査機重心を貫いた。そして、定常巡航を実現するためのハードルに設

「はやぶさ2」 初期運用速報

津田雄一 「はやぶさ2」プロジェクト エンジニア



図1 2014年12月3日、打上げを見守る管制室の「はやぶさ2」管制チーム。

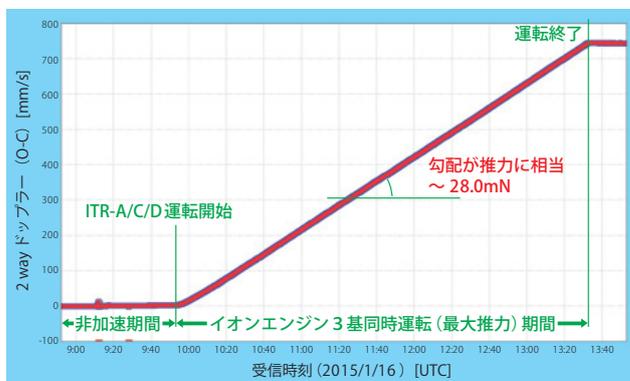


図2 1月16日のイオンエンジン3基同時運転時の2wayドップラーデータ加速により探査機の受信周波数がドップラーシフトを受け変化していく様子が見える。変化レートから、設計推力である28mNが出ていることを示している。

定していた24時間連続運転を、1月20日に無事完了させたのであった。深宇宙探査の運用はテンポが遅く、なかなか感極まる瞬間がないものだが、この時ばかりは、管制室は打上げ時以来の拍手と笑顔、笑顔、笑顔。

その後、「はやぶさ2」は、およそ1ヶ月かけて、まったく新しい運用に着手することになっている。それは、「ソーラーセイルモード」とでも呼ぶべき運用法で、太陽光の光圧による擾乱を積極的に利用することで、より安全かつ省燃料で巡航姿勢を維持するモードである。「はやぶさ」初号機で編み出され、小型ソーラー電力セイル実証機IKAROSで洗練された運用法を、さらに発展させた。このように過去の経験を積極的に技術展開するのも、2号機ならではだろう。

探査機は3月には定常運用へ移行し、2015年12月の地球スイングバイに向けて、本格的な動力航行を開始する。

思えば本格検討開始から約4年。チームの皆さんとは非常に濃密な時間を過ごさせていただいた。これまでに順調な成果が得られたのは、JAXA・メーカーの開発メンバー各位の努力と献身のため以外の何物でもない。エンジニアリングとサイエンスが一体となった良いチームワークも醸成できた。「はやぶさ2」は難しいミッションであり、前途が約束されているわけではない。今チーム内を満たしている結束力と挑戦力で、これからの多難を乗り越えていきたい。(つだ・ゆういち)

静電気で試料を浮かべて溶かし、物性の未踏領域を拓く

宇宙環境利用科学研究系 教授

石川毅彦

—— 2015年夏に国際宇宙ステーション (ISS) の「きぼう」日本実験棟に運ばれる静電浮遊炉の開発を担当されています。

石川：静電浮遊炉は、電極の間に電圧をかけて発生するクーロン力いわゆる静電気を利用して、帯電させた試料を浮かべる装置です。試料にレーザーを照射して加熱し、融解した状態で密度や比熱、表面張力、粘性係数などを測定します。

—— なぜ試料を浮かべるのでしょうか。

石川：試料を溶かすとき普通は容器に入れて加熱しますが、融点が高い試料の場合、容器も溶けてその成分が混ざってしまい正確な測定ができません。そのため融点が2000℃を超える物質の物性データは、ほとんどありません。浮かべて溶かすことができれば、不純物の混入なく物性を測定できます。

—— ずっと静電浮遊技術を研究してきたのですか。

石川：いいえ、私は1987年にNASDAに一般職で入り、種子島宇宙センターに配属された後、宇宙飛行士の毛利衛さんの訓練や宇宙実験を支援する仕事をしていました。毛利さんが1992年にスペースシャトルに搭乗したとき、音波を使って試料を浮遊させる実験もありましたが、うまくいきませんでした。それを見ていたので、浮遊実験にはいい印象がありませんでした。

静電浮遊と本格的に出会ったのは、1997年に留学したNASAのJPL (ジェット推進研究所) です。宇宙環境では試料を浮かせることは簡単ですが、わずかにある重力などの影響で試料が動いてしまい、物性を測定できないことが問題になっていました。それが、JPLの実験では試料がピタッと止まって浮いていたのです。感動して、静電浮遊技術の研究にすっかりはまってしまいました。JPLでは静電浮遊の宇宙実験は行わないことが決まったため、「日本が必ずやります」と約束して、技術やノウハウをすべて吸収させてもらいました。

—— これまで、どのような苦労がありましたか。

石川：地上での実験を繰り返していたのですが、やり過ぎてしまったのです。融点が3420℃のタングステンをはじめ、いろいろな試料を浮遊させて物性を測定できるようになり、「宇宙に行く必要がないよね」と言われてしまって……。やればやるほど宇宙が遠くなる。その時期は、つらかったですね。地上では浮遊させることが困難な試料があり、その物性データの取得は



いしかわ・たけひこ。1962年、茨城県生まれ。工学博士。東京大学工学部機械工学科卒業。同大学大学院修士課程修了。東京工業大学大学院博士課程修了。1987年、宇宙開発事業団 (NASDA)。2003年、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 設立とともに宇宙研へ異動。2010年より現職。

新材料の開発に貢献することを根気よく示し、ようやく「きぼう」で実験ができることになりました。

—— どのような試料で実験するのですか。

石川：ESAは、ISSで電磁気を利用して導伝性試料の浮遊実験を行っています。我々

のターゲットは酸化物で、絶縁体で帯電もしにくく地上でもESAでも扱えない試料です。まずは、ジルコニアや希土類の酸化物15種類について実験します。2015年夏に打ち上げる静電浮遊炉を宇宙飛行士が組み立て、実験開始は冬の予定です。

これまで多くの宇宙実験に携わってきました。ほかの研究者が提案した実験はわりと落ち着いて見ていられるのですが、自分が提案した実験は今からドキドキです。一つ目の試料が浮かび、ピタッと止まって測定できたときは、泣くでしょうね。

—— 子どものころは、どういうことに興味がありましたか。

石川：機械いじりや、ものづくりが好きでした。時計を分解してみたり、プラモデルをつくったり、中学時代にはパーツを少しずつ買い集めて自転車を組み立てたりもしました。

—— なぜNASDAに就職したのですか。

石川：大学は機械科で、宇宙関連の仕事を目指していたわけではありません。就職先を考え始めたころ、研究者をしている父に「宇宙は伸び伸びしていて、よさそうだよ」と言われたのがきっかけです。当時はまだ社会の宇宙への関心は低く、NASDAもそれほど知られていなかったのが、私には好都合でした。たくさんの方がやっていることは、あまり好きではないのです。小学校から大学まで、フィールドホッケーという日本では超マイナーなスポーツをやっていたくらいですから。

—— 仕事をする上で心掛けていることはありますか。

石川：一つは、実験に失敗した場合も理由をきちんとまとめることです。物事をスムーズに進めるには、次のシナリオを考えることも必要です。しかし私は目先が利かないので、結果をまとめることで次のシナリオづくりに貢献したいと思っています。

もう一つは、やると言ったことは必ずやる。静電浮遊炉の実現というJPLとの約束も、ようやく守れそうです。

ISAS ニュース No.407 2015.2 ISSN 0285-2861

発行/独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

発行責任者/ISASニュース編集委員会 委員長 山村一誠

〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1

TEL: 042-759-8008

本ニュースは、インターネット (<http://www.isas.jaxa.jp/>) でもご覧になれます。

デザイン/株式会社デザインコンピビア 制作協力/有限会社フォトンクリエイト

編集後記

「はやぶさ2」は打上げ成功に続き、運用も目下順調に進められており、「一度経験することの重み」を感じます。私も自身も本プロジェクトに参加させていただいており、毎日気を引き締めて臨んでいます。(田中 智)

*本誌は再生紙 (古紙 100%)、植物油インキを使用しています。

R100
古紙配合率100%再生紙を使用しています

