



報道公開中のX線天文衛星ASTRO-H。  
2015年11月27日、筑波宇宙センター総合環境試験棟。

## 宇宙科学最前線

# 銀河団の元素組成は 一様だった

JAXA国際ナショナルトップヤングフェロー  
Aurora Simionescu

星は、私たちが普段考えているよりもずっと深く生命とつながりを持っています。我々の身の回りのすべての物、そして我々の身体さえも、はるか昔に星の中心部で合成された元素からできています。我々が吸い込む酸素や、海岸の砂に含まれるシリコン（ケイ素）など、炭素より重い<sup>\*1</sup>すべての元素は、星のライフサイクルに端を発しているのです。

星は、これらの元素を中心部の核融合反応で作り出します（このプロセスこそが、星を光らせるエネルギー源でもあります）。ほとんどの星は水素の核融合反応でヘリウムを合成し、さらにヘリウムを炭素や酸素に変え、最期は「炭素・酸素白色矮星」として、その一生を終えます。白色矮星とは、原子が本当にぎっしり詰まった

ボールのようなものです。その中では、いわゆる電子の縮退圧<sup>\*2</sup>が重力を支えています。つまり、電子が近づけない限界距離があり、それが重力とバランスを取る反発力を生み出しているのです。ところが、数では全体の1%程度の最も重い星<sup>\*3</sup>については、重力が電子の縮退圧に勝ります。これらの星では、炭素や酸素が次々に、ネオン、ナトリウム、マグネシウム、アルミニウム、シリコン、硫黄、アルゴン、カルシウム、ニッケル、そして鉄へと変換されていきます。この元素合成プロセスは、最後に星の外層を吹き飛ばす大爆発によって終焉を迎えます。こうして死にゆく星は、爆発後の数日間極めて明るく輝きます。時にはそれが属する銀河全体よりも明るくなることさえあり、「超新星」と名

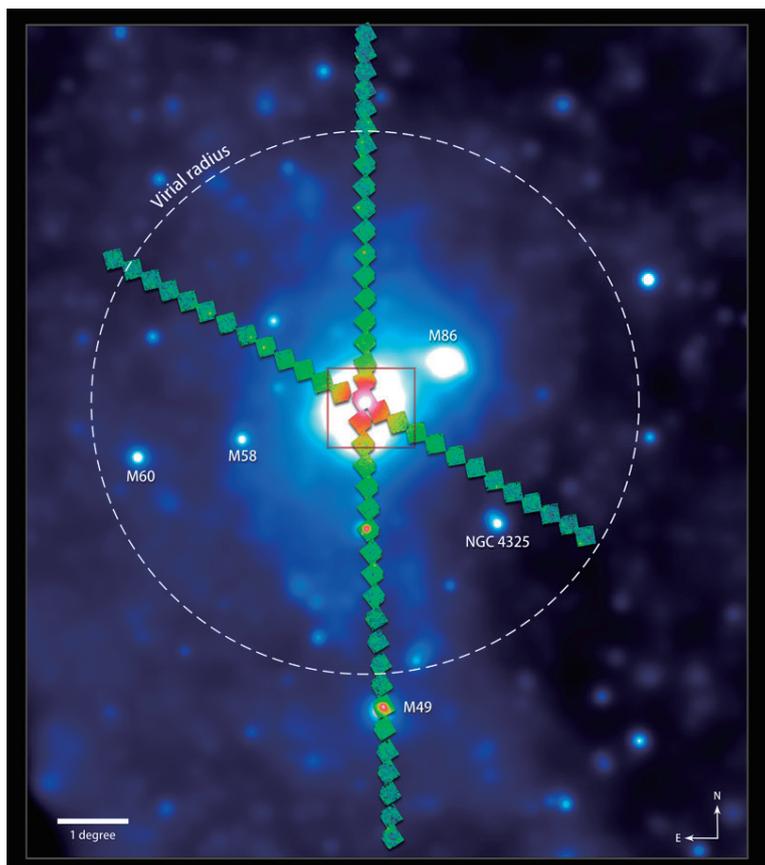


図1 「すざく」によるおとめ座銀河団の探査

「すざく」は、おとめ座銀河団の端から端まで4方向を探査した。観測領域は、銀河団の心臓部にある大質量銀河M87を中心に、北方向には500万光年まで伸びている。破線の円は、天文学者がビリアル半径と呼ぶ、銀河団の大きさの指標となる半径である。銀河団のメンバーであるいくつかの有名な銀河の名前を示す。背景の画像は、ドイツのローサット衛星によるX線全天サーベイデータより。中心部の赤い四角枠は、図2の可視光画像領域を示す。



図2 おとめ座銀河団の中心部分の可視光画像  
最も明るい天体は、巨大楕円銀河M87。この画像の差し渡しは、およそ1.2°（満月の2.4倍）。

付けられています。最も重く明るい星では、水素から猛烈な勢いで重い元素へと合成が進むため、燃料をあっという間に使い果たします。この種の「重力崩壊型」超新星爆発は、星が生まれてから数百万年程度の比較的短時間で起こります。

星が超新星爆発に至るには、もう一つルートがあります。これは、白色矮星が伴星を持っているときに起こるものです。伴星の表面の物質が白色矮星に徐々に滴り落ち（降着といいます）、重力の圧搾に電子の縮退圧が耐え切れる限界まで白色矮星を太らせます。限界に達すると、炭素や酸素からニッケルや鉄までの重い元素への

合成が一気に進みます。それによって開放された核エネルギーが白色矮星全体を爆発に至らしめ、宇宙空間に元素をまき散らします。これを「Ia型」もしくは「熱核反応型」超新星と呼びます。この仕組みでは、まず低質量星が進化して白色矮星になり、ここに伴星から質量が降着しなければなりません。従って、超新星爆発までに重力崩壊型超新星より長い時間がかかると考えられています。

重量崩壊型超新星とIa型超新星では、結果として宇宙空間に放出する元素の組成比パターンが大きく異なります。前者は、酸素やマグネシウムといった比較的軽い元素を多量に生成しますが、後者は、主に鉄やニッケルといった重い元素を生成します。シリコンや硫黄といった中間の質量数の元素は、どちらでも同程度つくられます。そこで我々は、宇宙の元素組成比を測定することで、生命の進化に必要な元素が、いつ、どこで、どのように生成されたのか、その履歴を明らかにできるのではないかと期待を持っています。初期宇宙は、今日とまったく異なるものだったのでしょうか？我々とまったく異なる元素組成比を持つ場所が宇宙のどこかに存在しているのでしょうか？

直感に反するようですが、これらの質問への答えは、実は星自身ではなく、むしろ星のない銀河と銀河の間の空間を観測することによって見いだすことができます。なぜなら、宇宙の「普通の物質」※4のほとんどは、星ではなく銀河間に充満する非常に高温で希薄なガス（プラズマ）に含まれているためです。従って、炭素やそれ以外の重い元素（ひっくり返って「金属」と呼びます→9ページ「今月のキーワード」）もほとんどは銀河間にあるのです。これは、銀河の大集団である「銀河団」で特に顕著です（→9ページ「今月のキーワード」）。銀河団においては、普通の物質の約90%が、X線を放射する高温の「ICM（intra-cluster medium、銀河団を満たす物質）」と呼ばれるプラズマなのです。ICMの化学組成比は、X線分光観測によって測定できます。元素は特定のエネルギーの光（輝線）を放射する性質があるため、輝線の波長からその放射源の元素を特定し、輝線強度から元素量を推定できるのです。

私は、大学院の1年目からずっとこのアイデア——我々の宇宙の構成要素をX線で解明すること——に興味を持ち続けてきました。ところが、ほぼ10年前の当時に振り返ると、銀河団の非常に高密度かつ明るい領域（中心部の差し渡し数十万光年の領域。大きいように見えますが、

典型的な銀河団の総体積のほんの0.1%でしかありません)を除き、ICMの元素組成比を高精度で測ることは非常に困難でした。その当時は、銀河団の半径とともに元素組成比が変化する、つまり、中心部は鉄などのIa型超新星由来の元素を多く含み、一方で外縁部は重力崩壊型超新星のみが金属の供給源となっている、という興味深い研究結果がいくつか報告されていました。しかし、中心からの距離が大きい場所ではX線の放射が弱く、しかもバックグラウンドノイズが大きいので、その結果に確信を持てなかったのです。実際、論文によって結論が異なることもしばしばでした。

X線天文衛星「すざく」は、この問題の解決を目指し、何週間にも及ぶ長時間の観測を行いました。「すざく」のバックグラウンドノイズは、現在運用中のほかのX線検出器よりも低いので、銀河団外縁の淡い領域における元素組成パターンを従来になく高い精度で測定することに成功しました。最も近傍で明るいペルセウス座銀河団の初期観測成果では、銀河団間ガス中の鉄の存在比が非常に一様に分布することが示されました。これは、過去の観測が示唆していたこととは裏腹に、銀河団外縁部が重力崩壊型超新星のみならずIa型超新星も金属量の増加に寄与していたことを示唆しています。しかし、このような非常に大きな空間サイズで、どちらの種類の超新星がICM中の金属を供給したのかを本当に明らかにするには、2種類の超新星の元素組成比パターンを直接比較する必要があります。つまり、Ia型超新星の生成物だけでなく、重力崩壊型超新星によって支配的に供給される元素の組成比も測定しなければなりません。これはペルセウス座銀河団では不可能でした。というのも、この天体の平均的なガス温度では、鉄以外の元素からの輝線は非常に微弱で検出が困難だからです。そのような測定には、ペルセウス座銀河団より温度が低く、それゆえ重力崩壊型超新星に由来する元素の輝線が相対的に強い銀河団を観測することが必要です。

そこで私は、全天で2番目にX線で明るく、かつ温度がほどほどに低いおとめ座銀河団を「すざく」で非常に長時間観測することを提案しました。提案は採択され、「すざく」は、この天体の観測に2週間(ペルセウス座銀河団の観測と同じ時間)を費やしました。この新しい観測データにより、おとめ座銀河団の中心から端にかけて連続的に、鉄のみならずマグネシウムやシリコン、硫黄を検出することに成功しました。我々が発見したことは、おとめ座銀河団全体を

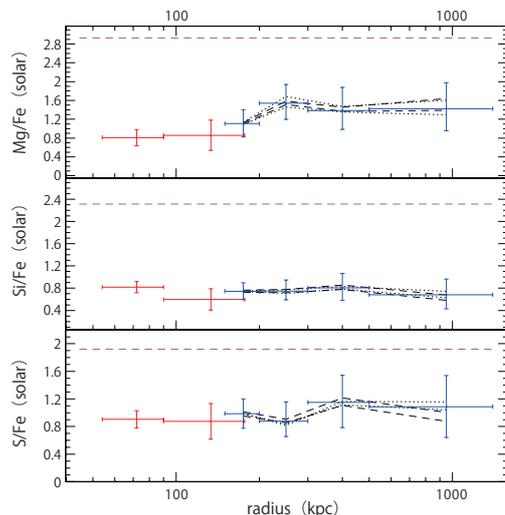


図3 おとめ座銀河団における元素組成比 「すざく」の観測から、鉄(Fe)、マグネシウム(Mg)、シリコン(Si)、硫黄(S)の相対組成比を、おとめ座銀河団の中心からの距離に対してプロットすると、元素組成比はこの銀河団内でほぼ一定であることが分かった。これは、これらの元素が宇宙の歴史の初期段階ですでに混合していたことを意味する。

通して、鉄、シリコン、マグネシウム、硫黄の相対組成比が一定で、かつその値が太陽および我々の銀河のほとんどの星とおおむね一致する、ということでした。これはすなわち、宇宙では元素が非常によく混ぜられ、太陽半径(数十万km)から銀河団サイズ(数百万光年)まで、均一に保たれていることを意味します。宇宙のほかの一部が、我々と大きく異なる元素組成比を持つことはないようです。生命は、ほかのどこでも同じように進化し得るのです!

そのような大きな空間中で金属が混合するためには、金属元素の大部分が、太古の昔に供給されていなければなりません。私たちは、100億年前の若い宇宙が激しい星形成の時代を経たことを知っています。おそらくそのときに、多くの超新星爆発が起こり、その爆発エネルギーと、その時代の活動的なブラックホールからの強い風が、銀河外に金属元素を吹き出し、銀河間空間に混ぜ込んだのでしょう。このことは、Ia型超新星と重力崩壊型超新星の両方が宇宙の金属量増加に寄与し、宇宙が現在の1/3年齢のときには、すでに私たちが今日見る元素組成比とほぼ同じ値に至っていたことを意味します。つまり、長い間(間違いなく地球年齢よりずっと長い間)、砂浜や赤血球を形成するのに必要な元素は、豊富に存在し続けてきたのです。

みんなが2016年の次世代X線天文衛星ASTRO-Hの打上げを熱望しています。というのも、ASTRO-Hに搭載されるカロリメータの優れたX線波長分解能は、ほかのどのX線天文衛星も寄せ付けない精密さで、銀河団の元素組成比を測定できるからです。これによって、いかにしてすべての元素が生成され宇宙に散布されたのかについて、これまでよりずっと多くのことを学ぶことができるのです。

(オーロラ・シミオネスク, 日本語訳: 勝田 哲)

- ※1 炭素より重い元素:ここでは質量数(大まかには原子に含まれる陽子と中性子の数の合計)の大きいものを「重い」という。
- ※2 電子の縮退圧:星の中心部など超高密度の環境では、複数の粒子(白色矮星の場合は電子)が同じエネルギー状態を取れないという「パウリの排除原理」により、エネルギーが高い状態を取らざるを得ず、そのため圧力が上昇する。
- ※3 最も重い星:太陽の8~10倍よりも重い星である。
- ※4 普通の物質:最新の研究では、宇宙は約4%の星や我々をつくっている物質(バリオン)、約23%のダークマター、約73%のダークエネルギーから構成されているとされる。本稿で「普通の物質」と言っているのは、このうちの「バリオン」のことである。

→9ページ  
「今月のキーワード」  
もご覧ください。

## X線天文衛星ASTRO-H機体の報道公開

11月27日（金）、筑波宇宙センターにて、X線天文衛星ASTRO-Hの機体が報道関係者に公開されました（表紙）。

ASTRO-Hの質量は約2.7トン、観測時の全長が約14mで、日本が打ち上げてきた天文衛星の中でも最大級の大きさです。銀河団においてダークマターの重力に閉じ込められた高温プラズマやブラックホールの周辺、超新星爆発など熱く激しい宇宙に潜む物理現象を解明することを目指します。そのために、X線光子のエネルギーを超高精度で測定できるマイクロカロリメータを搭載しており、また、複数の検出器を組み合わせた幅広いエネルギー帯域を同時に観測する能力にたけています。



報道関係者への説明の様子

機体の報道公開には、テレビ、ラジオをはじめ23社、34名の報道関係者の参加がありました。高橋忠幸プロジェクトマネージャによるASTRO-Hの科学目標や衛星の特徴、搭載された観測機器などについての説明の後、3班に分かれてクリーンルーム内の機体を実際に取材していただきました。

機体公開終了後も高橋プロマネに加え、開発に携わったプロジェクト関係者への取材や質問が終了予定時刻ぎりぎりまで続きました。

今後ASTRO-Hは、12月上旬に種子島宇宙センターへと移送され、射場での試験を経て、H-IIAロケット30号機により打ち上げられる予定です。（生田ちさと）

## 小型月着陸実証機SLIMのプリプロジェクト活動状況

SLIMは、日本として初めての月面軟着陸を、それも、これまでにない高い精度のピンポイント着陸を行う小型の月着陸機です。これまで月面軟着陸を行った例は多くありますが、いずれも「だいたいあの辺り」と、着陸すべき場所から数km～十数km程度の範囲に着陸できれば十分なミッションでした。ところが「かぐや」

やNASA（アメリカ航空宇宙局）のLROなど近年の月周回機の成果により、従来と比べて飛躍的に高分解能な月面観測データが手に入ったことにより、状況は一変しました。今、科学的に月を研究している人も、何らかの月探査を検討している人も、分解能50cmの高解像度画像などを眺めています。ですから当然、これからのミッションでは、「あの辺り」ではなく「ここ」に、ピンポイントで着陸する技術が求められるようになってきます。ピンポイント着陸を月のような有重力天体で行うためには、従来の月着陸機のように地上から誘導してあげるのではなく、自分自身で対月面の位置・速度を把握しながら、自律的に着陸する技術が必要になります。このピンポイント着陸技術こそが、



月面に着陸したSLIMの想像イラスト

SLIMで実証しようとしている中核技術の一つです。

SLIMは、10年以上にわたる研究活動の成果として、2014年2月にイプシロンロケット搭載宇宙科学ミッション公募に対して提案されたものです。その後、宇宙研内での選考や審査、2015年6月のプロジェクト準備審査などを経て、正式にJAXAプリプロジェクトとし

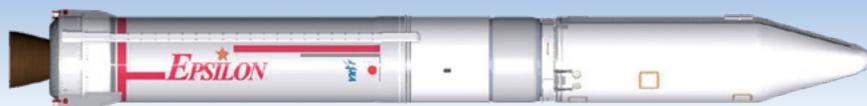
て認められました。現在は、SLIMをどのようなシステムとして開発するのか、細部にわたって定義する“概念設計”という作業を進めています。これが完了し、無事にプロジェクトへのフェーズアップが認められると、いよいよ本格的なものづくりも始まっていきます。その様子などは、適時また『ISASニュース』でもお伝えしていきたいと思います。

SLIMはおかげさまで、その小さな姿に似つかわしくないほど大きな関心を、各方面から頂いているように感じています。今後の日本の月惑星探査のためにも失敗の許されぬミッションであり、身を引き締めてまい進してまいりますので、ぜひご支援・ご指導をよろしくお願い致します。

（坂井真一郎）

# 強化型イプシロンロケット

来年度の打上げ予定に向けて、イプシロンロケットは強化型の開発を進めています。開発のエッセンスを紹介するミニ特集をお届けします。



強化型イプシロンの外観図

## 強化型イプシロンの開発

イプシロンロケットプロジェクトマネージャ 森田泰弘

### イプシロンの開発コンセプト

イプシロンロケットの魅力は一体どこにあるのか？ ロケット業界もビジネスの世界に入ろうとする今、出発点は機体の性能（打上げ能力）とコストですが、これだけで世界と勝負できるというものではありません。大事なものは付加価値を含めた総合力、いわゆるユニバーサルデザインです。ユーザーの観点で言うと、乗り心地や軌道投入精度という物理的なことはもちろん、その背後にあるホスピタリティという情緒的な部分も大切です。宇宙もこれからは「おもてなし」の時代です。輸送系の視点で言うと、ロケットの打ち上げ方をガラッと変えるような革新技術がどれだけ内蔵されているかがポイントです。簡単に言うと、レーシングカーのように特殊な乗り物だった宇宙ロケットを、高級乗用車並みに身近な乗り物に変えようというわけです。

### 開発戦略

このようなコンセプトを実現するための作戦の一つ、ご紹介しましょう。それは、「開かれた宇宙」という考え方です。これからの宇宙開発利用の発展にとって、ほかの産業の最先端の技術や汎用の技術と連携し異分野のアイデアも取り入れていく柔軟な発想がとても重要です。言い換えると、宇宙ロケットの中身のうち外界と共通化できる部分をどんどん増やし、外界の進歩と自動的に連動できるようにしていこうということです。これは言うはやすく行うは難しく、これまでの専門家にはない特殊な才能（センス）が求められます。ロケット技術と外界との融合は簡単なことではないです

から。一方、固体燃料や誘導制御などのロケット固有の部分は、どんどん専門性を高めて最先端の技術を開拓していくというわけです。

### 試験機の成功

イプシロンロケット試験機はこのようなコンセプトの実現に向けた最初の一歩でしたが、皆さんの後押しを頂いて見事な成功に至りました。まずユーザーにとっての利便性については、小型の液体エンジンを搭載した第4段ロケット（PBS：Post Boost Stage）をオプション装備して世界最高レベルの軌道投入精度を示すとともに、飛行中の振動を抑制する機構を新規に開発、さらに発射時の音の跳ね返りを低減するために地上設備を改修するなどして、世界最高レベルの乗り心地も達成できました。一方、革新技術の開拓という観点でも、モバイル管制を実現するなど素晴らしい結果となりました。このようにして開かれた新境地は、宇宙に挑戦するハードルを下げるという観点でとても意味のあることです。

### さらなる飛躍を目指して

そんな試験機の成功も過ぎたことであり、大事なことはこれからです。ありがたいことに、総合力の強化を目的とした強化型イプシロン開発が現在進行中です。最大の開発ポイントは、第2段ロケットを大型化してフェアリングの外に出すことにより、打上げ能力の増強（約30%増）とペイロードスペースの拡大（約15%増）を図ることにあります。これにより大きめの小型衛星打上げにも対応が可能となります。これからの小型衛星の進化を予測すると、革新技

術に挑戦してさらに小型・高性能・低コストを目指そうというスタイルと、ある程度の大きさを確保して手堅く成果を出していこうという二つの流れがあると考えています。その両方を守備範囲に収めることが、科学衛星はもちろん民間衛星を含めた小型衛星の発展には欠かすことができません。

構造系では、モータケースなどロケット固有の特殊構造において、設計にさかのぼった改革を行って高性能化と低コスト化の両立を図っています。これはロケット構造に関する深い知識と経験に基づく高い専門能力の発揮といえるでしょう。推進系でも、推進薬や断熱材を新規に開発、ノズルスロートの製造方法も変えるなどして高性能・低コスト化を図っていますが、これらは今後のキックモータ開発にもつながる取り組みといえます。一方、アビオニクス系（搭載電子機器）は外界との共通化をどんどん図って、特殊な部品に代えて汎用の部品を最大限に活用していける部分です。強化型イプシロンでは火工品に点火する電力分配器（PSDB）の革新を目指し、信頼性の確立している機械式リレーを半導体式リレーに置き換えて小型・軽量化を図る計画です。ロケット固有の厳しい安全要求ゆえ、長い間手堅い設計に縛られてきたこの基幹コンポーネントを革新することは、大きな挑戦といえます。

みんなの熱意を込めて進めている強化型イプシロン開発もすでに佳境に入り、いよいよ来年度打上げの予定です。イプシロンと我々のさらなる成長にご期待ください。（もりた・やすひろ）

強化型イプシロンの基本諸元		（かっこ内は試験機）
全長	26 m	(24 m)
質量	95 トン	(91 トン)
直径	2.6 m	
打上げ能力	590 kg	(450 kg)
	@太陽同期軌道	(高度500 km)
構成	全段固体3段式ロケット PBSオプション搭載可能	

# 2段モーターケースの開発

構造系担当 宇井恭一

私が担当している強化型イプシロンの構造系では、2段ステージを中心に、フェアリングの開頭する部分と1段モーター以外の構造体の新規開発または改修を行っており、話題はたくさんあります。

でもここでは、皆さんに最もアピールしたいコンポーネントとして、新規開発した2段モーターケースについてご紹介したいと思います。

## 復習：イプシロン試験機用

### 2段・3段固体モーターケース

『ISASニュース』の読者の皆さんなら覚えている方も多いと思いますが、試験機でも2段モーターケースは新規開発しました。イプシロン試験機用2段(および3段)モーターケースは高性能化(軽量化)と低コスト化を同時に実現した優等生コンポーネントで、実現のキーワードは「材料と成形方法(つくり方)」でした。詳しくは当時の『ISASニュース』(2012年6月号, No.375)を参照ください。

### キーワードは「設計係数」

試験機で新規開発した2段モーターケースをもう一度新規開発することになった直接の理由は、強化型イプシロンの

目的である打上げ能力向上と衛星搭載スペース拡大のため、2段モーターのサイズを大きくしてフェアリングの外に出すという、ロケットシステム設計の結果によります。ただし、ロケット研究者としては、貴重な新規開発の機会に何もしたくないというのは非常にもったいない。ということで、担当メーカーと相談し、数十年にわたる固体モーターケース開発の成果として、さらなる高性能化(軽量化)と低コスト化を目指して新しい試みに取り組むことにしました。キーワードは「設計係数」です。

少し難しい話になるかもしれませんが、設計係数の説明にお付き合いください。まず構造の設計について簡単に紹介します。ロケットに限らず、構造物(棒でも何でもいいです)は一定以上の力をかけると壊れてしまいます(棒の場合は折れたりします)。この構造物が壊れたときにかかった力を、その構造物の「強度」と呼びます。この強度は、構造物に用いる材料の種類(木とか鉄とかアルミとか)や構造物の形(棒なら角棒か丸棒か、棒の太さも)などから決まります。一方、打上げ準備から衛星を宇宙空間で分離するまで、ロケットの構造物にはいろいろな力がかかります。例えば、空気中を飛ぶときは、空気の抵抗によってロケットを折り曲げようとする力が働きます。このような構造物にかかる力のことを「荷重」と呼びます。そして、ロケットの構造は「強度>荷重」とすれば壊れないということになり、この大小関係を保ちながら軽くつくるのが構造系の使命となります。

ただし、ここで一つ問題があります。ロケット構造は棒のように単純ではないので強度を正確に予測することが難しく、また同じように荷重を正確に計算することも難しいのです。そこで、単純に「強度>荷重」とするのではなく、

「強度>荷重×設計係数(>1)」とします。つまり、わざと荷重を厳しく設定し、その分強い構造をつくることにします。この設計係数ですが、ロケットでは使用する材料によって異なる値を使うことにしています。例えば金属材料(アルミ、鉄など)を使う場合の設計係数は1.25でよいとされる一方、固体モーターケースで使われているCFRP(炭素繊維強化プラスチック)では1.5を使うこととされてきました。つまり、CFRPは金属材料と比較して1.2倍丈夫につくれ、ということを意味します。その理由は、CFRPが初めて導入された時代、金属材料に比べて出来上がり(強度)とCFRP各部に発生する荷重予測精度のばらつきが大きかったからです。試験機用イプシロン2段・3段モーターケースでも設計係数は1.5でした。

このような状況の中で、M-VロケットやSRB-Aの開発を通じて長年培ってきたCFRPを正確につくり上げる技術と設計解析技術の向上により、設計係数を金属材料と同等に見直せると判断し、設計係数1.25で開発をスタートさせました。これは単純計算でいうと、ケースの質量が20%軽量化され、同時に軽量化した分の製造工数も削減できることとなります。つまり、2段モーターケースは再び高性能化と低コスト化を両立する優等生コンポーネントになる予定です。

### 2段モーターケース開発状況

設計係数を見直したモーターケースの設計は終了し、試作モデルを用いた各種試験では良好なデータを取得でき、モーターケースとしての開発はほぼ完了しています。試作したモーターケースに水を入れて圧力をかける試験の様子を図に示します。この2段モーターケースのデビューは、12月に能代ロケット実験場で行われる地上燃焼試験です。構造としての性能は試作モデルで確認されていますが、やはりモーターは燃やしてこそですので、燃焼試験で新しいケースがきちんと活躍してくれることを期待しつつ今からドキドキしながら準備しています。(うい・きょういち)



試作した2段モーターケースに水を入れて圧力をかける試験の様子



## 2段モータ M-35 の開発

推進系担当 北川幸樹

強化型イプシロンの推進系では、打上げ能力の増強および衛星搭載スペースの拡大の要求に対応すべく性能を増強しつつ、低コスト化を目指しています。そのためにJAXAとメーカーが一体となって、試験機打上げ実績の反映、低コスト化の研究成果の活用、製造技術の最新化を行っています。

推進系の目玉は、2段モータの最新化です。新規開発の2段モータは、M-35と呼ばれます。宇宙研が開発した全段固体燃料であるM-Vロケットの3段目モータの第4形態であったM-34（イプシロン試験機の2段目にも搭載）の次の形態として、M-35という名称を付けました。新規開発のモータで強化型イプシロンの2段目に搭載されますが、M-34までに培った知識、経験、成果を最大限に活かして最新化しているので、敬意を表してM-3ナンバーを踏襲しています。今回は、そのM-35の最新化された新規開発項目と地上燃焼試験についてご紹介します。

### M-35の新規開発項目

まず、M-35のM-34からの最も大きな変更点は、全体的な大型化です。フェアリング内部に搭載していたモータケースの外径を2.2mから2.5mに拡大して、モータケース外殻構造をロケット外殻構造化（エクスポーズ化）し、推進薬量を11トンから15トンに増加していま

す。これを含んだロケット全体の最新化によって、トータルで打上げ能力の約30%の増強を実現しています。

推進薬は、強化型イプシロンの開発の趣旨を踏まえて、従来までの上段用と同等の性能を維持しつつ、低コスト化を実現できるものを新規開発しています。具体的には、金属燃料であるアルミニウム粉末はSRB-Aと共通品を使用、燃焼速度はこれまでは酸化剤である過塩素酸アンモニウムの粉末の大きさの割合で調整していたものを燃焼触媒の酸化鉄によって調整する方式に変更、推進薬の形状はこれまでヘッドエンドウェブ型（モータの前部まで推進薬を詰めた形状）であったものを内孔貫通型（モータの前部からノズルまで推進薬に内孔を設けた形状）に変更しています。量産品の共通化や余剰の削減、製造工数の削減によって、低コスト化を実現しています。

イグナイタ（点火装置）は、従来の上段モータに適用していた後方着火の投棄型を廃止し、前方着火方式を採用し、モータ組み立て時の運用性を向上しています。また、適用材料を主モータと共通化することによって、高性能化と低コスト化を両立させています。

ケースライニング（インシュレーションとも呼び、モータケースと推進薬の間にあり、推進薬の保持と燃焼からモータケースを保護する役割がある層）は新規

材料を開発しました。この材料は、従来材料と同等の断熱性を有しながら、気密性・水密性を持っています。従来は水密用、気密用の材料を積層する必要がありましたが、この新材料を適用することで単層構成によるケースライニングとすることが可能となりました。

ノズルは、性能とコストの両立を実現するために、伸張ノズルを採用せずに必要な比推力が得られる設計としています。過去のモータ開発で蓄積した実証技術をもとに、ノズル内面プロファイルを最適設計することで、高比推力を発揮できます。スロートインサート材には従来と同様に強度面での信頼性が高いC/Cコンポジット（炭素繊維強化炭素複合材料）を採用しています。新しい製造方法を採用することにより、従来と同等の性能を保持しながら低コスト化を実現しています。

### M-35真空地上燃焼試験

12月21日にM-35の設計・製造の最終検証を目的とした地上燃焼試験（M-35-1 TVC）を能代ロケット実験場で実施する予定です。高空を模擬したほぼ真空状態でM-35を燃焼させます。M-24-1 TVC以来、十数年ぶりのTVC（推力偏向装置）付き上段モータの開発および燃焼試験となっています。推力約40トン、燃焼時間約140秒の予定です。

今回はこれまでに例のない冬の真ただ中での実施になります。能代では気温は0℃を下回り、雪が積もることもあり、設備の凍結対策など、2年も前から入念な準備を行っています。現地での準備作業は、JAXAやメーカーの技術者70名ほどで3週間かけて行います。筆者が実験主任を拝命しており、宇宙研のスペシャリストを結集して実験チームを編成しています。着々と準備も進んでおり、燃焼試験のことを考え思わず武者震いしています。冬の厳しい条件下での準備作業・燃焼試験ですが、安全に留意し、関係者一丸となって最大限に力を発揮できるようにし、必ず成功させるという意気込みで挑んでおります。イプシロン2号機の打上げへ快くたすきをつなぎたいと思います。（きたがわ・こうき）



M-34真空地上燃焼試験の様子

# アビオニクス開発 ~PSDBの半導体化開発~

アビオニクス系担当 岡田修平

現在、イプシロンロケットでは打上げ能力向上によるパワーアップを目的とした「強化型イプシロン開発」を進めています。打上げ能力向上といえば真っ先に思い浮かぶのがロケットモータの大型化など推進系の高性能化ですが、ロケットに搭載する電子機器であるアビオニクス系においても打上げ能力を向上させるための開発を行っています。

## ロケットを人体に例えると

強化型イプシロンのアビオニクス系において、どのような開発によって打上げ能力向上を実現しているか紹介をさせていただく前に、そもそもロケットのアビオニクスとはどういったものかというお話をさせていただきます。

ロケットが飛ぶためには、モータやエンジンなどの推進力を得る推進システムが必要です。また、各段モータを支える構造体も必要です。しかし、これら推進系・構造系だけではロケットは飛ぶことができません。ロケットを正確に制御して飛ばすためのアビオニクスが必要になります。

その役割を人体に例えると、推進系は「筋肉」、構造系は「骨格」に当たり、

これらをコントロールする「脳」や「神経」に当たるのがアビオニクス系です。ロケットをどのように動かすか考え、どのように動かせばいいか伝達する役割を担っています。

## どのようにアビオニクスで打上げ能力を向上させるか

では、脳や神経に当たるアビオニクスでは、どのような開発を行って打上げ能力を向上させるのでしょうか。筋肉に当たるモータをパワーアップ（2段大型化）すれば打上げ能力が向上することは想像がつきますが、高性能な演算機能を持つ計算機を採用しても、打上げ能力にはつながりません。アビオニクスでは、性能向上よりも機器自身の「小型・軽量化」が重要なのです。

アビオニクスのほとんどはイプシロンの上段である2段・3段に搭載されています。仮に、3段のアビオニクス機器を1kg軽量化することができれば、そのまま打上げ能力が1kg向上することになります。小型衛星をターゲットにしているイプシロンにとって、1kgの打上げ能力の向上はとても貴重です。

## PSDBの半導体化開発

強化型イプシロン開発では、「小型・

軽量化」を目的にアビオニクスの開発を行っており、中でも「PSDB」という火工品に点火する電力分配器については新規設計をしています。PSDBとは電力・シーケンス分配機と呼ばれるアビオニクスで、内部のリレーのON/OFFによってロケットに搭載されているアビオニクスに電力を分配し、また、モータ点火や飛行安全などに使用される火工品に点火信号を分配する役割を担っています。人間でいうところの「中枢神経」に相当する大変重要な機器です。

これまで日本のロケットでは機械式リレー（メカリレー）を用いたPSDBを使ってきました。PSDBは電力・電装系機器の機能に加え、飛行安全機器の機能を持つため、万が一でも火工品の誤着火がないよう絶縁性に優れた機械式リレーを採用していたのです。しかし、昨今進歩目まぐるしい半導体リレーはとても小型で軽量の電子部品になっています。そのため、機械式リレーを半導体リレーに置き換えて小型・軽量化を実現することができれば、打上げ能力は格段に向上します。

PSDBで半導体リレーを採用する際には機能要求・回路構成・信頼性を踏襲したままリレーを半導体に置き換えて小型・軽量化を実現することを目指して設計を行いました。具体的には「漏れ電流・リレーステータス監視回路」を回路設計に組み込み、リレーの絶縁状態の監視を行うことで、半導体リレーにおいても十分な絶縁性を確保し、ロケットの安全審査をクリアする安全性・信頼性を確保しました。

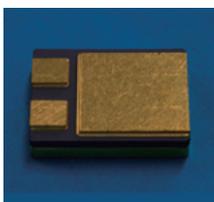
結果、PSDBの小型軽量化により、20kg以上あったPSDBの質量は約半分の12kg以下を実現し、打上げ能力は太陽同期軌道において19kg以上向上する見込みを得ました。

半導体化PSDBは詳細設計を終え現在は認定試験を行っています。次年度の強化型イプシロン打上げに向けて、これから各機器と組み合わせた試験を行い十分な検証を行っていきます。

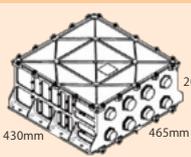
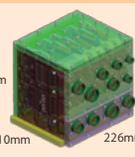
(おかだ・しゅうへい)



機械式リレー



半導体式リレー

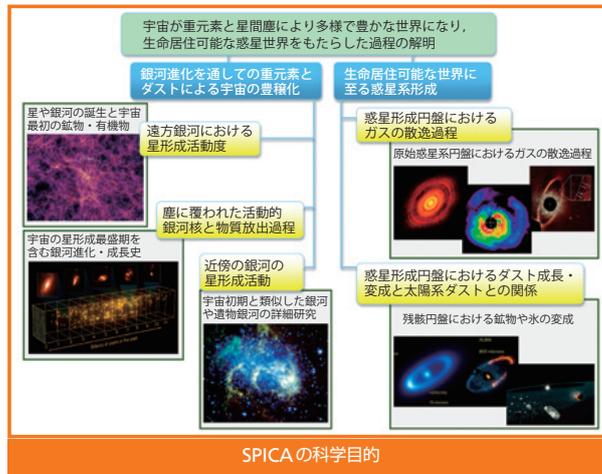
項目	現行PSDB（メカリレー方式）	半導体化PSDB
外観・寸法・質量	 <p>205mm 430mm 465mm</p> <p>20kg / 一式、1機当たり 3式搭載（3段×1、2段×2）</p>	 <p>250mm 210mm 226mm</p> <p>12kg / 一式、1機当たり 3式搭載（3段×1、2段×2）</p>
打上げ能力		<p>長楕円軌道 : +17kg 太陽同期軌道 : +19kg</p>

現行PSDBと半導体化PSDBの比較

## SPICAの新しいミッション定義承認

次世代赤外線天文衛星 SPICAの新しい計画が、ミッション定義審査委員会 (JAXA宇宙研宇宙物理学委員会が設置し、計画の意義・目的・目標を審査)により11月6日付で承認され、SPICA計画の概要が固まりました。

SPICAの新しい科学目的は「Enrichment of the Universe with metal and dust, leading to the formation of habitable worlds」、すなわち「宇宙が重元素と星間塵により多様で豊かな世界になり、生命居住可能な惑星世界をもたらした過程」を解明することと定義されました(図)。この目的を達成するために、口径2.5mで極低温冷却されたスペース赤外線望遠鏡に、中間赤外線・遠赤外線帯の最新鋭の観測装置を搭載し、天文観測にとって最適な場所である第2ラグランジュ点軌道に投入して、極めて高い感度で銀河や星惑星形成天体などの観測を行います。これには、我が国のお家芸である宇宙空間での望遠鏡冷却技術と、日本と欧州の高度な望遠鏡・観測装置技術が活かされます。「あかり」や米国Spitzerの10倍の集光力で、JWST (ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡)にもALMA (アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計)にも観測できない中間赤外線・遠赤外線



帯の高感度観測が実現できるため、極めて大きな研究成果が期待されます。

約2年前に、従来のSPICA計画のままではプロジェクトとして成立しないことが明らかになりました。しかしながら、極低温冷却赤外線望遠鏡が天文学に果たす役割の重要性を再確認するとともに、日欧の多くの研究者と双方の宇宙機関が精力的に検討を続け、

ようやく新しいSPICA計画を定めることができました。この間、科学目的の再定義、国際協力の枠組みと分担の変更、望遠鏡口径の縮小と観測装置の仕様変更・方式変更など、大幅な計画変更を行いました。その結果、従来より感度の向上が期待できるなど、より価値の高い、実現可能な計画になったと判断しています。

今回のミッション定義審査合格は、新しいSPICAにとって重要な一歩です。次はESA (欧州宇宙機関) へのプロジェクト提案が控えています。日本国内外で参加・協力・支援していただいた多くのメンバー・研究者・コミュニティの方々の貢献・努力に感謝するとともに、さらに良いプロジェクトにして実現するために、今後も積極的な参加・支援をお願いいたします。(SPICAチーム 芝井 広)

### 今月のキーワード

#### 銀河団

銀河が数十個程度集まったものを銀河群、数百から数千個程度の集団を銀河団と呼ぶ。銀河団は大きいものでは差し渡し数百万光年にもなる、宇宙最大の重力的に束縛された天体である。我々の銀河系は、アンドロメダ銀河や40個ほどの小さな銀河とともに局部銀河群と呼ばれる集団を構成しており、さらにこれは、おとめ座銀河団を中心とした銀河団の集団(超銀河団)の一部である。銀河団を構成しているのは銀河だけではない。X線天文衛星の観測から、可視光で見える銀河の総質量の5倍以上の高温ガスが銀河団に充満していることが分かっている。さらに、銀河の運動速度の解析や、大量の高温ガスがとどまっているという事実などから、目で見える銀河の数十倍の「ダークマター」も存在すると考えられている。

#### 金属

宇宙物理学では、多くの場合、水素とヘリウムより重い元素をひとまとめにして「金属」と呼んでいる。つまり、すべての元素(普通の物質)を、水素、ヘリウム、金属に大別するのである。二つの基本元素は、138億年前、宇宙を創世した「ビッグバン」と呼ばれる大爆発時に生成されたが、ほかの元素(金属)は、恒星内部あるいは超新星爆発時の核融合反応によって合成されたと考えられている。そのため金属量は、宇宙で最初の星が生まれてから現在まで増加の一途をたどっていると考えられるが、現在の宇宙の元素構成要素は、(100億年前からほとんど変わらず)まだ圧倒的に水素とヘリウムが多く、金属はほんのわずかしかない。

(勝田 哲)

# エンジニアリングとは人間がものを創る行為である。 学問とは真理をめぐる人間関係である。

## 前編

宇宙科学研究所 宇宙飛行工学研究系 教授 國中 均  
宇宙探査イノベーションハブ ハブ長

宇宙工学研究の在り方について、宇宙探査イノベーションハブ長である國中 均教授より寄稿いただきました。今月と来月の2号にわたって掲載します。宇宙科学研究所の歴史を振り返りつつ、これからどのように研究を進めていくべきか、皆さまもご一緒に考えていただければ幸いです。

### きっかけ

「研究をどのように進めたらよいか」というような唐突な質問をしばしば受ける。しかし、研究手法は時代とともに変遷するから、私の知見・経験をお伝えしても、未来においては無力であろう。研究のための個別テクニックは、その時代の最先端技術を駆使し使いこなせば事足りる。であるから、社会的遺伝子 (Meme) としてお伝えすべきは「研究の精神」でしかなさそう。

本稿を取りまとめる直接的きっかけは、若手研究者や学生があまりにも利他的に周囲のノイズに動揺し、自分に託された本務を見誤りそうになるありさまを見たことによる。宇宙科学研究所のお歴々が何を考え、どのように行動し、何をなし得てきたか、その経緯や経過を知る方が少なくなっていることも危惧する。私とて文献や伝聞で知るのみなのだが、理解するところのその精神を少しでもお伝えできたらと思い、ここに原稿を取りまとめる。なお、長文となったため、ダイジェスト版を『ISASニュース』(印刷版)に、全文をホームページ (<http://www.isas.jaxa.jp/j/isasnews/special/2015/kuninaka/index.shtml>) に掲載する。ぜひ全文を読んでいただきたい。

### 大学院新入生のころ

私の指導教官である栗木恭一先生は、東京大学駒場キャンパスにあるレンガ建ての1号館1階の部屋におられた。その部屋の高い所に怖い顔をされた方の写真(図)が飾っており、研究の相談に伺うたびに頭上からにらまれている感覚で、すこぶる居心地が悪かった。その写真の主が流体力学の名著『流れ学』<sup>\*1</sup>を編纂された谷 一郎先生であることをしばらくして理解した。また栗木先生からは、「旧航研」という単語をよく聞かされた。宇宙科学研究所は「新設」グループと「旧航研」グループの2派に分かれていて、どうも両者仲が悪いらしい。そして、前者はあのロケット研究の開祖といわれる糸川英夫先生に源を発し、後者は谷先生が率

いていたらしい。となると、糸川先生と谷先生は反目し合っていたのだなど、てっきり思い込んでいた。

新たに購入した海外学術雑誌の目次のリストが辞書のよ様な厚さになって、毎月図書館から送られてきた。栗木先生はそれすべてに目を通されて、注目すべき論文題名の脇にその担当者名を書き込んだ上で回覧されるものだから、学生一同困った。致し方なくその論文を読み、その参考文献を探し、孫引き、曾孫引きと古い論文をたどって乱読し、知識を増やしていった。時計台地下のカビ臭い書庫から大概の文献を見つけ出すことができ、宇宙科学研究所の図書館の蔵書量は膨大だった。あるとき偶然にも糸川先生の著述<sup>\*2</sup>を見つけ、何げなしに手に取ったところ、「私の師=谷 一郎さんについて」という章を見つけてびっくりした。私はすっかり誤解していたことに気が付いた。それがきっかけで、研究所の沿革や谷先生と糸川先生の人となりや活動・言動を気に掛けて見聞きするようになった。

### 宇宙科学研究所の沿革と谷 一郎・糸川英夫の活躍

組織の沿革と対比させながら谷・糸川両先生のご活躍をおさらいしてみよう。航空機の基礎研究を目的に、1918年に東京帝国大学の附置研究所として深川に航空研究所が創設され、関東大震災後に駒場へ移転した(ジブリ映画『風立ちぬ』にて堀越二郎が通っていた学舎が深川であり、被災の様子が描かれている)。いわゆるプロジェクトとして企画された航研機が1937年に1万kmを超える無着陸周回飛行の世界記録を樹立する。航空研究所は海外からの情報収集には大変熱心で、洋雑誌が大量に購入され、抄録委員会がすべての論文に目を通し、月1回集まり議論がなされた。抄録委員会空力部門の主宰は谷先生であり、構成メンバーとして当時学生の糸川先生が活躍された。宇宙科学研究所の誇る蔵書量はこの活動に由来し、栗木先生の指導方式もここにつながるのだと思う。谷先生は、粘性流・乱流の研究を進められ、抵抗の少ない層流(LB)翼を完成させ、戦闘機「紫電改」などに应用された。この技術は戦前戦中の最高軍

#### 谷 一郎先生

『一期一会 谷 一郎先生追悼文集』<sup>※4</sup>には、大勢の方が思い出を寄稿されている。谷先生はたとえ空襲の最中であっても、一部の隙もない背広姿、中央で節目の頭髪、厳格そのもののたたずまい、と皆そろってお書きになっている。



事機密であり、米国では極秘のうちに研究開発されていた。情報交換や技術交流が隔絶された環境で、谷先生は独自に研究を進められ、多くの学術論文として発表したものだから、米国側は肝を冷やしたらしい。糸川先生は中島飛行機(現IHIエアロスペース)に就職し、一式戦闘機「隼」などの開発に携わる。1941年、日米開戦直前、教室主任として谷先生、助教授として糸川先生という陣容で軍事教育をつかさどる東京大学第二工学部が組織された。しかし、敗戦となりGHQ(連合国軍総司令部)の統制下、航空技術の研究開発が禁止され、航空研究所は約半数の教授陣を公職追放により失い、規模を縮小し理工学研究所となる<sup>※3</sup>。

戦後、この2人はそれぞれに米国を訪ねて、独自の価値判断とその後の進路を決断する。谷先生は戦前戦中の業績が認められ、欧米から高い評価を受ける。「日本でやがて航空が解禁されたときに、すぐに列国の水準に追いつかなくては」<sup>※4</sup>と、航空技術再興を目標とされていた(今年、国産ジェット旅客機MRJが大空に勇姿を見せたことは喜ばしい)。片や、糸川先生はまだ若く、次なる新たな領域への挑戦を志す。ロケットの胎動を感じた糸川先生は、旅程を切り上げて早々に帰国し、1953年に研究開発に着手する。ペンシル、カップ、ラムダロケットと進捗し、国際地球観測年(IGY)の1958年には高度100kmに到達する。

航空研究禁止が解かれ、理工学研究所から名前を戻した航空研究所と糸川グループを合体させ、宇宙航空研究所として1964年に再編成された。このとき多くの議論が巻き起こる<sup>※4</sup>。基礎研究を目標としていた研究所が航研機といったシステム開発に手を染め多くの負の事柄を誘発した経験から、ロケット開発や衛星打上げといった事業を大学に持ち込むべきではないという主張や、航空研究禁止の期間に日本の航空技術は立ち遅れてしまいもはや研究の対象でなく、航空研究所としては存続し得ないといったことであった。このときの航空研究所所長というお立場で、人心を掌握し組織の整理統合に尽力されたのが、谷先生であった。ここを契機に、人工衛星の実現に向けて組織化と活動が加速されてゆく。そして1970年2月、24kgの日本初の人工衛星「お

おすみ」を軌道周回させるに至る。こうして世界で4番目に衛星打上げ国に名を連ねることができた。糸川先生が戦後に目標とされた「宇宙研究国際競争時代に出場資格」<sup>※5</sup>を得たのだ。しかし、米国はその半年も前の1969年7月に「アポロ」11号で有人月探査を実現させている。日米には、それだけの技術格差があった。

ロケット事業が拡大し予算が膨張した結果、東大を離れ文部省直轄の組織、宇宙科学研究所として再編される。このときも研究所を二分する大きな議論が巻き起こる<sup>※6</sup>。基礎研究に回帰するべしとするグループと、国立大学の枠組みを取り払い自由闊達に宇宙科学にまい進するべきと考える者たちとに分かれ、結局1981年、前者は境界領域研究所として駒場に残留し、後者は宇宙科学研究所となり相模原へと移転する。航空研究所から宇宙航空研究所へ、さらに宇宙科学研究所へと2回の組織改編の際に、関係者の心に残ったわだかまりが、栗木先生の言う「旧航研」の言葉に集約されているのだと思う。

ここまでの組織の離合集散は伝聞や記録から読み取って知ったことである。私がリアルタイムの目撃者となったのは、宇宙開発事業団・航空宇宙技術研究所・宇宙科学研究所を統合した2003年の宇宙航空研究開発機構(JAXA)の出現だ。統合前後にロケットや衛星の事故に多数見舞われたが、JAXAの英知を結集し立て直し、昨今では宇宙技術が安定に運用されるようになった。

いつも最先端を求め、創意工夫を発揮して「日本発のイノベーション」にて空から宇宙、さらに深宇宙へと射程を延ばし、人類の活動領域拡大に貢献してきた経緯が見て取れよう。

(くになか・ひとし)

(2016年1月号に続く)

#### 参考文献

- ※1 谷 一郎『流れ学』岩波全書、1963年
- ※2 糸川英夫『糸川英夫の「人生に消しゴムはいらない」』、中経出版、1995年
- ※3 河村龍馬「大学生生活思い出の記」、東京大学宇宙航空研究所報告第14巻第2号、1978年
- ※4 谷 一郎先生追悼文集委員会編『一期一会 谷 一郎先生追悼文集』、1991年
- ※5 糸川英夫「私の履歴書」、日本経済新聞、1974年
- ※6 竹野忠夫「大学における工学教育」、名城大学理工学部研究報告No.47、2007年

# 気球で世界一周

大気球実験グループ 梯 友哉



海外気球実験の様子。左はNASA実験、右はCNES実験。

仕事や用事のため、東へ西へとあちこち走り回ること——辞書によると、東奔西走の意味はこうある。そこで、今回は「気球で世界一周」というタイトルで、今年度、南へ、北へ、東へ、と走り回ったことを振り返ってみたいと思う。なお、残念ながら“熱気球”で世界一周旅行をしたという優雅な話ではない。我々が工学実験や科学観測のために実験を行っている“大気球”の業務で世界を旅した話である。

## ■4～5月：南へ

4月、我々JAXA大気球実験グループは、オーストラリアの中央に位置するアリススプリングスへ飛んだ。JAXAとしては初となる、オーストラリアでの気球実験を行うためだ。

気球実験では、自分たちで手を動かして実験を行っている。まずオーストラリアでもフォークリフトを運転できるようにするための講習から始め、送受信アンテナの設置、基地局のセットアップ、放球装置の組み立て、実験装置の動作確認、放球リハーサル……と、ほぼスケジュール通りに準備を進め、5月12日の早朝に大気球を放球、無事に実験を実施した。

初のオーストラリア実験ということでやるべきことは多く、実験機材の輸送・設営・片付けなどの設備関係から、試験、放球、運用、回収まで、実験全体を端から端まで経験することができた。

(約2ヶ月の相部屋生活で、同室の人の体重を20kgほど落としたダイエットトレーナーとしての話は、また別の機会に。)

## ■7～8月：北へ

大樹航空宇宙実験場で実験を行うため、北海道へ。

毎年実施している国内での実験ではあるが、常に新しいことが起きるのが気球実験。今年は、オーストラリアでの経験を活かしつつ、頭と手を働かせて実験に取り組んだ。

## ■9月：東へ

次は、NASA（アメリカ航空宇宙局）、CNES（フランス国立宇宙研究センター）の協力のもと海外の気球実験を視察する機会を頂いたため、アメリカ、そしてカナダへと向かった。

●NASA実験@アメリカ：大気球実験グループの海外実験視察メンバーは、まずニューメキシコ州フォートサムナーへ。この小さな村の空港で、NASAが気球実験を行っている。

飛行機を乗り継ぎ、日本からほぼ丸1日かけて移動し、宿に着いたのは現地時間の午後9時半ごろ。そこで（幸運にも?）、「翌日に実験をするかもしれない」という情報が入り、翌日午前2時半（5時間後!）集合で実験場へ。「どこの国へ行くこと、天候・風頼みのスケジューリングは変わらないものだな」と、5年間気球屋をやっていたら慣れたもの。チャンスを逃せば、いつ打ち上がるか分からない。こうしてドタバタと渡米1日目にして、NASAの気球実験を見学することができた。

●CNES実験@カナダ：次に我々が向かった先は、CNESがCSA（カナダ宇宙庁）と協力して気球実験を行っているカナダのオンタリオ州ティミンズ。

カナダでは天候・風頼みのスケジューリングが悪い方に働き、なかなか放球機会が訪れなかったが、帰国予定日の直前に2機の実験を見学できた。CNESの気球放球方法はとてもユニークで、メインの気球とは別の小さい気球を用いて、事前に実験装置を地上から数m浮かせておく。50kg程度の浮力で浮かせているものを“人力で”抑えておいて、放球時に離すのだ。小柄な私では一緒に飛んでいってしまうだろうと、CNESの方々に笑われてしまった。どうやら海外で気球屋を名乗るには、まだ足りないものが多そうだ。

今年度初めて実施したオーストラリア実験、毎年実施している国内実験を踏まえ、海外の実験を見て感じたことは、「目的が違えば、そのための手段が変わる」ということだ。実験の方法やシステムは、それぞれ目的があって、やり方や形態が決まっている。現状の方法やシステムが、慣習ではなく、どのような目的を持ってその方法やシステムになっているのかを見つめ直す非常に良い機会になった。

さて、南へオーストラリア、北へ北海道、東へアメリカ・カナダ。2015年度は、文字通り「東奔西走」、気球で世界を一周した。そんなことを言うと、西へ行っていないとの声が聞こえてきそうである。私事ではあるが、カナダから帰国して3日後にフィンランドへ行き、オーロラを見てきた。これで南北東西、世界一周である。（かけはし・ゆうや）

## ISAS ニュース No.417 2015.12 ISSN 0285-2861

発行/国立研究開発法人 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ビピア 制作協力/有限会社フォトンクリエイト

● 編集後記 ● 今年も広報もいろいろありました。ペンシルロケット発射60周年の記念行事、「はやぶさ」帰還5周年の記念行事、「はやぶさ2」打上げから1年の地球スイングバイ、そして「あかつき」の再挑戦。声援をたくさん頂いた年でもありました。皆さま、よいお年を。（大川拓也）

● \*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

