

宇宙科学・探査と「おすすめ」 シンポジウム



国立科学博物館日本館・講堂
2020年2月11日(火・祝)

ご挨拶



国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構
理事長 山川 宏

日本初の人工衛星「おおすみ」は、1970年2月11日13時25分に鹿児島県大隅半島にある東京大学鹿児島宇宙空間観測所、現在のJAXA内之浦宇宙空間観測所から打ち上げられました。「おおすみ」打ち上げから50年で、日本の宇宙開発は大きく歩を進めました。「おおすみ」の打ち上げでは、挑戦を繰り返し、5度目の挑戦である「L-4S（ラムダ4エス）ロケット5号機」にて、地球周回軌道への投入を成功させました。この「おおすみ」は、質量でいうと24kg程度、投入された軌道は高さ数百kmから5000km程度の楕円軌道でした。来年度打ち上げを予定しております、最新の基幹ロケット、H3ロケットは、遠地点高度36000km上空の静止トランスファー軌道に6.5トン以上のものを運べるよう開発しております。ロケットの能力向上に伴い、人工衛星の機能・能力が向上し、宇宙利用の範囲が急速に拡大しました。現在では、人工衛星は我々の生活に欠かせないインフラとなってきました。

これらの歩みの中で、多くの皆様から温かい応援をいただきました。これまで50年の長きにわたり、多大なご協力を頂きました皆様方に、ここに改めてお礼申し上げます。

我々JAXAはこれまでの50年を振り返り、新たな50年に向けて歩を進めます。より一層の宇宙利用を進め、人々の生活を豊かにしてまいります。宇宙科学においては、太陽系探査では、金星を周回し観測中の「あかつき」、地球へ帰還途中の「はやぶさ2」、水星へは「みお」が航行中で、将来はSLIMによる月着陸、MMX探査機による火星衛星探査を行います。天文分野では、X線分光撮像衛星「XRISM」、宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星「LiteBIRD」、位置天文衛星「Small-JAMINE」によって、宇宙の進化、誕生の謎を解き明かしたいと考えています。

本シンポジウムを開催するにあたり、国立科学博物館の皆様には多大なご支援・ご協力をいただきました。館外に設置された、「おおすみ」を打ち上げたラムダロケット用ランチャーをはじめ、本館には多くの宇宙開発関連の資料を展示いただいております。また、この度、「おおすみ」打ち上げ50周年を迎えて、科博NEWS展示として、企画展をしていただいております。

これら国立科学博物館の展示は、確実に国民の宇宙への興味・関心の向上に繋がっているものと感じております。我々JAXAの職員の中にも、幼少期、ここの展示を見て、宇宙開発を志した者もいると聞いております。

改めて国立科学博物館の皆様方にお礼を申し上げます。

最後になりますが、引き続き、宇宙開発利用と宇宙科学研究の推進に対する皆様の変わらぬご支援をお願いし、主催者としてのご挨拶とさせていただきます。

ご挨拶



国立科学博物館
館長 林 良博

日本初の人工衛星「おおすみ」が打ち上げられて今日で50年となり、このような素晴らしいシンポジウムを当館で開催できることをたいへん光栄に思います。

当館は、これを記念した科博NEWS展示「日本初の人工衛星『おおすみ』打ち上げ50周年」を開催いたしました。初期のロケット開発資料に加えて、「おおすみ」から「はやぶさ」等まで多くの打ち上げでロケット追尾に実際に使用されたレーダー用コンソール実物をご寄贈いただき、今回初めて展示いたしました。また、「おおすみ」を実際に打ち上げた「ラムダロケットランチャー」を屋外に常設展示しております。これは昭和49年(1974年)に当時の東京大学宇宙航空研究所(現在のJAXA宇宙科学研究所)から移管していただいたものです。

この他、若田光一宇宙飛行士がロボットアームでスペースシャトルへ回収した宇宙実験・観測フリーフライヤー(SFU)や「はやぶさ」が小惑星イトカワから持ち帰った微粒子サンプル実物等、実際に宇宙空間にあった資料をご寄贈あるいはお借りして展示しております。

1970年は当館にとっても、自然史科学研究センターとしての機能を受けるために整備拡充され、新宿分館庁舎が起工された重要な年です。また、後に国立極地研究所となる極地研究センターが当館極地研究部を改組して設置されたのもこの年になります。色々な意味で50年前が日本の宇宙科学に関しての出発点になったと思います。

先日は「日本を変えた千の技術博」という明治以降の我が国の科学技術の発展を示した特別展を開催し、たくさんの方に熱心にご覧いただきました。当館では今後も自然史や科学技術の研究史を紹介していきたいと思っています。

1970年における「おおすみ」打ち上げや2010年の「はやぶさ」帰還は、日本の科学全般を語る上で金字塔であり、当館でもそれを伝える努力をしています。さらにここ数年の「はやぶさ2」の活躍は素晴らしく、帰還の際には当館でもお祝いの展示ができればと企画しております。

今後も様々な宇宙科学探査の計画がされていると伺いますが、きっと素晴らしい成果をもたらすことと期待しております。



「おおすみ」50年 あれこれ

元宇宙科学研究所長

現・NPO 法人 北海道宇宙科学技術創成センター会長 秋葉 鏖二郎

科学衛星計画、始動

日本の科学衛星計画は、糸川英夫先生の他、電気工学が専門の高木昇先生や斉藤成文先生や野村民也先生、高速空気力学が専門の玉木章夫先生、構造力学の森大吉郎先生など、多くの意欲的な研究者が日本の宇宙開発を先導されてきました。日本初の人工衛星「おおすみ」という計画は、科学衛星計画を進める上で派生した先駆的な仕事だったのです。

この1960年代の初めという時代は、アメリカでアポロ計画が始動しており、ソ連による有人飛行も実現していた時代です。日本は、というと、政府部内に「宇宙開発審議会」が設置された時期でした。こういう時代に、糸川先生が中心となり、東京大学の生産技術研究所内のチームで人工衛星計画を進めていました。「ミュー計画」の骨子が作り上げられ、直径1.4mのミューロケットという仕様が決まっていきました。

次に、当時の政府に人工衛星計画を認めてもらうため、まずは学者の合意を作り上げていきました。そして、新しい研究所を作って衛星の打上げを本格的に推進することになり、東京大学宇宙航空研究所（現 JAXA 宇宙科学研究所の前身）が1964年に新たに設立されたのです。その後の1966年8月には、宇宙開発審議会での議論を経て、ミューロケットによる科学衛星計画が認められました。

全部が失敗、全部が成功

L-4S計画で最初の打上げは1966年9月です。これはものの見事に「失敗」した実験です。「失敗」から「学習」して成功を確実にしていくために、基礎実験をたくさん行いました。そして、1970年2月11日、5機目でやっと「おおすみ」を軌道に乗せることができたのです。

L-4Sの実験を総括すれば、「全部が失敗して、全部が成功した」と言っていると思います。全部が「学習過程」でした。問題点を直し、衛星を打上げるために獲得しなければいけない技術の一つ一つ確かめていたというのが1960年代後半です。

「おおすみ」自体も、「成功」とは言いながら、そうとは言い切れない部分もあります。地球を二周して電波が切れたのです。この原因は、「おおすみ」は最終段のエンジンと衛星本体がくっついていて、燃え尽きたロケットエンジンの熱がじわりじわりと衛星に伝わり、電源が故障したためと推測しています。このことから、いわばL-4Sの実験は「おおすみ」も含めて全部が失敗した実験であり、全部が成功した実験であるというのが私の総括です。

これからの宇宙開発

さて、「おおすみ」から50年経過し、我々は様々な応用を考え、

夢を語るができるようにはなりました。しかし、「大きな忘れ物」をしていないでしょうか？つまり、宇宙に出て行く手段は本当にちゃんとしたものになっているのでしょうか？

宇宙開発は国だけがやっていくという時代ではありません。今後は、民生利用が大いに発展し、民間と国が協調しながら大きく展開する時代になっていくでしょう。そういう時代に、例えばロケット打上げ手段は適切でしょうか？今は、打上げは地上から行われています。大きな音を立てて光と噴煙を残して飛び立つロケットには心躍るものがあります。しかし、それを一日に何回も行ったら、地上の生活は非常に乱されます。

ですから今後は、高空、つまり、成層圏からの打上げが変わっていく時代だろうと私は思います。そうすれば、成層圏までロケットを上げる、その分のエネルギーが大いに助かり、ロケットの効率は格段によくなります。さらに、これからは地上でいろんな試験をして、固唾をのんで衛星を打上げる時代ではなくなるでしょう。その代わり、最初から宇宙で組み立てる時代になるでしょう。

こうしたことができるためには、打上げに際して、スペースデブリの対策などをしつつ、ランデブーやドッキングなどを日常的に安全にできるようにする必要があります。また、宇宙ステーションも、宇宙輸送系の拠点としての役割を果たすのではないかと考えています。

結びに

「おおすみ」を打ち上げたL-4S計画は、「集団の成果」です。誰か一人がよいことを考えたからできたというものではありません。ですから、引き続き「集団の成果」をあげていくために、これからの教育を考えるということがまず基本だと、この点を最後に申し上げたいと思います。

今後も様々な宇宙科学探査の計画をされていると伺いますが、もっと一層素晴らしい成果をもたらすことを期待しております。





「おおすみ」からの50年 「はやぶさ2」からの50年

JAXA 宇宙科学研究所 教授

はやぶさ2プロジェクト プロジェクトマネージャ 津田 雄一

紛れもない事実 in 2019

2019年、「はやぶさ2」は、人類未到達の小惑星リュウグウに対してタッチダウンを成功。さらに、人工クレーターを生成し、二回目のタッチダウンで地下物質の採取にも成功しました。これら二回のタッチダウンは、いずれも位置精度1m以下で成功させています。2010年に小惑星往還を完遂した「はやぶさ」に続いて、世界で二例目となる「はやぶさ2」太陽系往復探査を今まさに、今年、日本がやり遂げようとしています。

「はやぶさ2」にはたくさんの方が関わっています。JAXAだけでなく、たくさんのメーカーの方、国内外の研究者が、それぞれの失敗体験、成功の経験、専門性などを結集したからこそ、成し遂げることができたのだと思います。この観点から、個人個人の技術力、それが一つにまとまる組織力、その背後に流れている宇宙科学のスピリット、こういうものが非常にうまくかみあった結果が成功につながったと思っています。

先人のたゆまぬ努力と情熱

もちろん、先人の宇宙科学に対するたゆまぬ努力と情熱があったからこそ、この成功に至ったのです。我々は、1955年以来、脈々と続いてきた我が国の宇宙開発黎明期を支えてきた研究者や技術者、国内関連企業の技術者の方々の積み重ねの上に成り立っています。

日本はアメリカに比べると非常にビハインドの中で、どう惑星探査を進めるか、どう人類に貢献する科学成果を得るか、もがいてきた一つの成果が、「はやぶさ」であり、「はやぶさ2」だったと思います。

技術は「人」によって受け継がれるもので、紙の上に残すもので受け継がれるものではありません。ですので、一度失われた技術を取り戻すのは簡単ではありません。今の状況が厳しいという理由で惑星探査を中断してはいけませんし、むしろ「はやぶさ2」が大きな成果を出している今こそ、これを踏まえてどんな将来につながるのかを考えるときではないでしょうか。

技術史の視点で見た「はやぶさ2」

太陽系探査に限れば、我々は「より遠くへ」「より自在に」という標語を掲げて、ミッションを打ち立ててきました。太陽系探査を簡単なものから難しいものへ順番に並べると、フライバイ、周回探査、着陸となります。その先に大きな惑星への往復飛行があり、世界の惑星探査もこれに沿って進んでいて、ある種の王道みたいなものです。一方、我々日本では、フライバイも周回探査も行っていますが、同時に「往復飛行」を一足飛びに実現させる対象として小さい天体にいち早く着目し技術を発展させた、これが「はやぶさ」であり「はやぶさ2」です。

日本は「王道」とは少し違うパスを開拓したことで、「小天体探査」という新しい分野を切り開くことができました。

「はやぶさ2」が見せたのは、ひとたび小天体に到着できれば、探査機は非常に高度な「自在性」を発揮できるということです。得られた科学・技術的成果は最大限利用する。これは我々がやるべき責任です。今、2020年代の探査計画が進んでいます。が、これらが計画されたのは「はやぶさ2」の成果が出る前でした。我々の実力を活かした計画は、これから考えなければなりません。

「より遠くへ」と「より自在に」を掛け合わせることが重要で、探査工学と宇宙輸送の組み合わせで世界を変えるという考え方をすれば、新たな科学技術の高みを目指せると思います。例えば、「輸送機」を宇宙空間で運行すれば、重力天体往復も可能です。地球と太陽の重力が拮抗する領域に探査機を置くと、この領域内で探査機は燃料なしで移動できます。こういう適切な領域に、探査機を燃料補給した上で、適切なタイミングで打ち出せば、火星・小惑星・木星などに探査機を運ぶことができ、人類の活動領域が格段に広がります。

そして今の日本の宇宙輸送系は元気をもっと出せる、という気がします。例えば、SpaceXで打上げロケットの再使用を実行するよりもはるか昔に、宇宙研では再使用ロケットの実験をしていました。こういう技術をうまく生かし切るというのが、一つの手なのではないかと思います。

宇宙科学の「課題」

「はやぶさ2」は探査機をシリーズ化して大幅に開発工程を省き、予算内にぎりぎり押し込めることでようやく実現できました。今の宇宙科学ミッションの枠組みでは、それさえもできないでしょう。もちろん我々は、「制約の割にはすごいことができる」ことは示せます。しかし、それで人類の科学に貢献したことになるでしょうか？

我々は「世界を変える科学」を実行するということを考えなければいけませんし、それができる実力があります。ただ、今の宇宙科学のミッションの頻度も規模も維持できないというのが現状です。だからこそ、面白いアイデアを、今、考えて、工夫しなければならないと思います。我々が自律的でユニークな技術を持っていることは、国際的な我々の立場、科学的な立ち位置という意味でも、非常に重要な役割を演じることができるのではないかと思います。

日本には、太陽系探査の教科書を一冊丸ごと書く力というのは残念ながらありません。ただ、教科書の一章を書く力は十分持っています。素晴らしい一章を書けるでしょう。ですから、教科書をなぞるのではなくて、教科書の一章を作っていくような惑星探査、太陽系探査になればいいと個人的には思います。



パネルディスカッション 話題提供 1

宇宙科学・探査の視点

JAXA 宇宙科学研究所教授 臼井 寛裕

我々のこれまでの小天体探査戦略は、地球に近づいてきた小天体を戦略的に探査して、一部はサンプルリターンを行うというものです。地球に近づいてきた小天体は、もともとは太陽系のもっと外側にあり、氷や有機物が固まって泥団子のような天体だったもの、これらの軌道が変化し地球に降ってきて生命を造る有機物や海水の起源になったと考えられています。小天体を探査することで、地球の水・有機物の起源、太陽系外縁部から内惑星に水や有機物が輸送された、その過程を研究しよう戦略です。

では、重力天体に水や有機物を含む天体が降った後にどう進化したかを調べるためにすべきことは、地球、そして火星の環境を、大気と水の、陸と大気、もしくは水と陸の循環や相互作用の法則を明らかにすることです。そのためのデータは金星や火星、氷衛星を探査して取得し、地球と比較すればよいということになります。このように考えるとたくさん探査機を送り込める技術が必要になってきます。

私の専門である火星に関しては、2020 年代に火星衛星サンプルリターンを行う計画があります。この計画は小天体探査戦略の枠組みですが、得られた通信技術や火星圏往還技術は、

次の火星周回探査や着陸探査、火星サンプルリターンミッションという重力天体探査へと派生します。

それから今後は、地下の探査が新たなフロンティアになるでしょう。火星の地下には分厚い氷の層が広がっていると推測されていますし、木星や土星の衛星の地下には海が広がっているということもわかっています。この新たなフロンティアに挑戦しようとするとき、日本の潜在的な強みを活かさなければなりません。

私は地質学という宇宙探査とは少し異なるフィールドからこの分野に入ってきました。大学院まで地質学をベースに研究してきた私の視点では、日本という環境が潜在的な日本の強みになっているように思えます。我々の国には地震が起り、それに伴って津波もあり得ますし、火山があり、台風も来ます。これらに対応するために、日本では地震学・火山学・気象学・海洋学・土木工学・建築学が相当なレベルにあります。これらは将来の重力天体探査や天体に基地を造るときのシーズになると信じています。こういう分野を取り込むような探査を是非考えていきたいと思っています。



パネルディスカッション 話題提供 2

国際宇宙探査の視点

JAXA 宇宙科学研究所教授・研究主幹 稲富 裕光

科学探査と別に、最近では国際宇宙探査という言葉に耳することも多くなりました。科学探査は、宇宙理学・工学という科学に資する探査活動を指します。一方の国際宇宙探査は、国際的な協力の下に例えば民間企業などを巻き込んだ視野の広い探査を行う枠組みです。

2018 年 2 月、アメリカが主導的に人類を再び月に送り込むという「アルテミス計画」の提案がありました。ここで、月の上空にあるのが「月近傍ゲートウェイ」です。月周回軌道を飛ぶ衛星で、地球からここに人が来て、ここから月に降りて活動を行うことを想定しています。実現のためには、それを支える技術が当然必要です。例えば、月面とゲートウェイの間を行ったり来たりする着陸機の推進薬を得る技術が必要となります。

資源探査という観点では、「超小型探査体」「小型サンプルリターン」「通信・測位のための衛星コンステレーション」というツールを手にとると、多くの探査機を使って月の全球で水の分布や資源の分布を調査したりすることができるようになります。これらのツールを開発し運用するには、軌道間輸送技術、月面の移動技術と探査技術、次々とサンプルを解析する技術などが

必要となります。例えば、レーダーを搭載した超小型探査体を多数用いて、それぞれを無線で通信させながら超多点で地中の様子を把握すれば、月の全球資源探査が可能になるでしょう。衛星コンステレーションによって実現された月-月ゲートウェイの高速ネットワークを使うと、大容量の通信が可能です。

月ゲートウェイという宇宙インフラは、今後の科学・探査の構想にも役立つでしょう。ただし、月ゲートウェイの利用については、アカデミアや民間企業の技術をいかに成熟させて発展させていくか、ということも併せて考える必要があります。

私は月全球の資源探査技術が確立したところで、民間企業による月資源探査のビジネス化が始まることを期待しています。月資源、特に、水を推進薬として利用できたならば、民間企業による大量物資輸送が実現し、その次には、推進薬製造プラントとともに人が活動する居住環境の整備が始まるでしょう。民間企業の参入により、挑戦的かつ機動的な探査ミッションがより多く実行できるようになり、並行して人類の活動圏も拡大するという明るい未来を私は描いています。



工学（探査）の視点

～超小型衛星技術によって可能になる新しい宇宙探査ミッションの展望～

JAXA 宇宙科学研究所教授 船瀬 龍

超小型衛星は、最近ようやく、深宇宙に進出し始め、宇宙研の科学探査ミッションを担えそうなどころまで来ています。「超小型衛星」は、文字通り非常に小さい人工衛星のことです。小さく高性能で、世の中でよく使われている最先端の技術、つまり従来は宇宙用とは見なされなかった技術を工夫して導入することで可能になった衛星です。

宇宙用ではない技術を導入するとき、例えば、信頼性や寿命について「割り切る」ことで、従来よりも圧倒的に小さくて軽くて安い人工衛星ができる、という勝負をしてきたのが超小型衛星かなと思っています。割り切った部分は弱点でもあります。が、圧倒的に低コストなので、開発→打上げ→運用→教訓を得る→次のミッション、というサイクルを早く回して技術革新のスピードアップを図ったり、人材を育成したりすることに重点を置き、結果的に大きな成果をあげることを狙ってきました。世界初の超小型衛星が打ち上がったのは2003年ですが、2013年頃からその数は爆発的に増えています。

では今後超小型衛星は探査の世界でどのように使えるようになるのでしょうか？三つの方向性を考えています。

一番目は、「より高度に・より自在に」という方向性です。中型や大型の探査機が輸送船と超小型衛星を組み合わせれば、ある種の危険を伴う探査機能を超小型衛星に任せてリスク分散するという使い方が考えられます。このときの超小型衛星は、活動環境や稼働時間を限定できるので、最適化すれば極限まで小型軽量化できます。

二番目は、「より高頻度に」という方向性です。例えば月ゲートウェイによって人間の拠点が月周辺まで行けば、そこから探査機をたくさん太陽系内に配備することができるとい世界も実現すると思います。

三番目は、「めっちゃくちゃ遠くへ」という意味で「より遠くへ」という方向性です。より小さく軽くなれば、より遠くへ行けます。そこで超小型衛星でしかできない、あるいは超小型衛星でこそ狙える探査というのが考えられると思っています。ただ、遠くに行くには必然的に時間がかかりますから、寿命や信頼性の課題が出てきます。超小型衛星の良さを損なわずに、これらの課題を解決する必要がありますが、私は解はあると考えています。



工学（輸送）の視点

～多様な宇宙科学の世界をカバーする軌道間輸送ネットワークを構築する～

JAXA 宇宙科学研究所准教授 徳留 真一郎

宇宙に限らず輸送系に対する本質的なユーザ欲求は、「行きたいときに行きたいところへいけること」だと言えます。中長期的視点で戦略を策定する際には、その欲求に基づいて戦略シナリオを描き、いま目の前にいるユーザに対して小さく素早く応えて味方を増やし、「もっとやろうよ」という雰囲気盛り上げていく方向性がよいと考えています。

宇宙科学研究所の宇宙輸送系分野では、中長期戦略の目標として、地上から深宇宙をつなぐ軌道間輸送ネットワークの構築を掲げています。それを実現するために取り組むべき開発研究の重点領域を三つ識別しました。一つめは、現在とはけた違いの高頻度大量輸送を実現する再使用型の軌道宇宙輸送システム。二つめは、探査の多様なニーズに応え、その自在性と効率を高める深宇宙・軌道間輸送システム。そして三つめは、以上の二つのシステムに係る技術を地球近傍で実証するための小規模飛翔体システムです。

最初に実現しようとしているのは、探査機技術と輸送系技術を組み合わせた深宇宙・軌道間輸送システムです。まず、太陽-地球系弱安定領域など探査に都合の良い深宇宙空間に、推進薬の貯蔵と補給を行うための深宇宙 OTV

（軌道間輸送機）を浮かべて拠点をつくります。そこに燃料を抜いた探査機を打ち上げて、燃料を補給した後に探査天体へ向けて打ち出すのです。イプシロンロケットは300kg程度のペイロードを運べますから、その拠点で燃焼補給をすれば、1トンクラスの比較的大きな探査機ミッションが実行できるでしょう。さらにこれを「深宇宙デポ」として大型化し、探査機だけでなく、探査天体の近くまで探査機を迎えに行く専用の OTV にも燃料補給して、地球近傍の宇宙ステーションに探査機の一部を連れて帰る機能を持たせます。こうすることによって、探査機は限られた質量をより多く探査ミッションの目的に充てられるようになり、その成果を最大化できるのです。

今から20年後には、二段式の再使用型宇宙往還機が本格的に運用されており、現在とはけた違いの頻度で大量の物資や人員が輸送される世界ができていでしょう。その結果、外惑星に行く様々な往還システムが定常運用され、科学・探査の自在性が大きく向上し、新たな科学が生まれている。私たち輸送系分野の研究者は、そんな未来を拓くことに貢献していきたいと考えています。

パネルディスカッション 総合討論

パネラー



JAXA 宇宙科学研究所
太陽系科学研究系 教授
臼井 寛裕



JAXA 宇宙科学研究所
学際科学研究系 教授
研究主幹
稲富 裕光



JAXA 宇宙科学研究所
学際科学研究系 教授
船瀬 龍



JAXA 宇宙科学研究所
宇宙飛行工学研究系 准教授
徳留 真一郎



北海道大学大学院理学研究院 教授
JAXA 宇宙科学研究所
宇宙理学委員会 委員長
倉本 圭

ファシリテーター



東京大学大学院
工学系研究科 教授
中須賀 真一



名古屋大学大学院
環境学研究科 教授
「はやぶさ2」プロジェクトサイエンティスト
渡邊 誠一郎



JAXA 宇宙科学研究所
宇宙飛行工学研究系 教授
「はやぶさ2」プロジェクトマネージャ
津田 雄一



JAXA 宇宙科学研究所
宇宙飛行工学研究系 教授
研究基盤・技術統括
森田 泰弘

はじめに

森田 今日は「おおすみ」からの50年の成果を踏まえて宇宙科学探査の未来を展望するという観点で議論したいと思います。

倉本 OTVや超小型衛星をうまく活用していく、というアイデアを拝聴し、理学の立場からできることが非常に増えるんだなあという実感を改めて持つことができました。

一方で、今の宇宙探査ミッションを選ぶ枠組みでは、対応しきれないところもあるように思えました。非常にいいアイデアが出て、今の枠組みだとそれを実現化する際、少し足枷になっている部分もあるという課題も発見させてもらった気がしています。

森田 宇宙科学を実行するためのツールとして、H-IIA ロケット、それからH3 ロケットで上げる「中型」とイプシロン級の「小型」があります。工程表では10年でそれぞれ2機とか5機とかそういう計画で進んでいるが、実際の機数がなかなか伸びない。そういう世界の中で、我々はどんどん自分たちの「質」を変えていかないと宇宙科学の未来はないという危機感が始めています。

超小型衛星の良さ

森田 「質」を変えるツールとして超小型探査機というコンセ

プトをどうやって実現し、実行していくか、というのがまさに我々の真骨頂です。

船瀬 超小型のいいところは、高頻度にたくさん、繰り返しやるということです。繰り返し、「おおすみ」の頃のように、学習しながら成熟度を上げていくという発想でミッションを組み立てることができたら、もっと宇宙科学って楽しくなるし、いろんな人も参入しやすくなるのかなというふうに思います。

森田 『「おおすみ」は何回かの挑戦の末の成功だ』とか、「失敗とも成功とも言える」、「それは全部挑戦だ」という話ができました。大きな目標に到達する過程での出来事をどう考えるか、それが、まさに我々宇宙開発をやっていく人間の系統的に一番大事なところだと思います。

中須賀 超小型衛星では、何でもそこでできると思わず、これは取っ払って、でもこれは実現するという、その感じがとても大事です。

それから、プロジェクトをプログラム化して、例えば1機目はまだ実証されていないコンセプトを実証する。2機目で例えば月くらいまで行って、少し高いレベルの技術実証をする。一番やりたいことを3機目で実行する。これだと、工学的にはすごく楽です。一步一步積み重ねていき、しかも早い段階からプロジェクトの成果を出せます。

この辺の仕組みを宇宙科学探査の中で作っていることが大事で、こういうシステムエンジニアリングの技術を身に付けていくことが大事だと思います。

森田 世界的にもそういう例が始まっていますか？

中須賀 アメリカではものすごい数のプロジェクトをしていて、いろんな技術を技術成熟度レベルの低い所から高いレベルに上げています。その中で本当に研ぎ澄まされた技術を、例えば JPL（ジェット推進研究所）の深宇宙探査をシリーズ化するとか、こういったことにつなげているということです。やっぱり、いきなり一発で、ということはやっていないのです。

● 超小型衛星のシステム工学

森田 例えば、3つめが最終目標だと、1つ目・2つ目は成功基準が単独の場合とは違ってきます。超小型衛星の長所を活かすために、このあたりを、体系化していくことは可能でしょうか？

津田 リュウグウを相手にして1年半の中で成果を挙げようというときに、相手が分からないところで一つ一つ成果を積み上げていく、これにはその場で学習していくような仕組み、それからチームメンバーが進歩していくような仕組みが絶対必要でした。見習ったのが、クイック・ターンアラウンドという素晴らしいやり方です。試しては失敗して直して、というのを繰り返してどんどん進化していく仕組みをうまく衛星開発でも活かせるようにできればいいと思います。

中須賀 超小型衛星は、まず衛星の基本的な機能の部分、バス技術をしっかりとすることが必要です。例えば国内では、大学もベンチャーも、1か所か2か所の拠点が超小型衛星のバスをしっかりと作り、それをみんなが使い続けることでバスの技術がだんだん枯れてくる、きっちりと悪いところが直されていくという世界を作っていかなければいけない。

次に大事なのはミッション系技術です。これも、この大学はこれをずっと作り続けるとか、そこに研究開発費と、プロジェ

クトのときにはオーダー（発注）することで、そこがどんどん伸びていくということです。例えばカメラでいうと、東京理科大学の木村真一先生（理工学部電気電子情報工学科教授）のところは、もう「木村商会」というくらいカメラを作っています。同様に小型センサーの製作も、大学の拠点化の中でやっていく必要があると思います。ここは是非、宇宙研が音頭を取ってほしいです。

● 人材の育成について

森田 一方で、そもそもミッションの頻度が少ないので人も育たないという話がありました。

津田 頻度とともにレベルアップしていくような仕組みが必要だと感じます。私がプロジェクトのメンバーを探すとき大切にしたのは失敗している人です。失敗している人は成功するための閾値を知っています。失敗を経験した人たちが集まってたくさん議論をして物事を進めていけば、失敗はしにくくなると思っています。

逆に言うと、失敗体験をちゃんとできる場がなければならぬし、宇宙科学をプログラム化するならば、そういう場にも一人一人にとってみたら成功や失敗をフィードバックできるような、そういう場が作れないかなあというふうに思います。

森田 人やお金が足りないなど、いろいろな理由でミッションが単発にならざるを得ない部分があります。が、今後は系統立ててやっていくこと（プログラム化）が重要であって、成功に向けたチャレンジをする場と、最終的にチャレンジの要素は小さくして絶対に成功させるフェーズというようなグラデーションが必要だということですね。大きなチャレンジを実現していく上で、「プログラム化」というキーワードは今後ますます



す重要になると思っています。

渡邊 今日話を聞いていても多少違和感があります。「頻度を上げる」ことは本当に可能なのでしょうか。スプートニクが上がったのが1957年、アポロで人類が初めて月に降り立ったのが1969年、12年後です。今や宇宙研のミッションは12年先というのはほぼ決まっています。新たなミッションは立ち上げられない。その問題がここで一番考えるべきことのように思えます。やりたいことをどんどんやる、その活力が今なくて、この場にも非常に若い人が少ないことを一番危惧します。

● 民間・異分野・国際協調

森田 宇宙科学は、今の頻度では「発展」ではなく「維持」もしくは「衰退」です。この状態をなんとか打破したいという意味での「頻度の向上（チャンスの拡大）」です。イブシロンロケットと深宇宙 OTV というコンセプトをセットにすると、ある種の「ブロック」で開発・運用ができ、例えば今より頻度も2倍くらい上がる。今まで単発でやっていたことをプログラムとして実行するチャンスです。

渡邊 年に一度ロケットを打てば昔の元気のいい宇宙研が取り戻せるというのは、僕は幻想ないしはノスタルジーに過ぎないと思われ。そうではなくて、一年に一回打ちたくなくらいいろいろなミッションの提案をしていくことがすべきことだと思います。

中須賀 そのとおり。そのためにこそ軌道間輸送機は非常に大事な概念で、要は深宇宙における、ある種のロジスティクスのインフラですね。これはやっぱり作っていく必要があるだろうと思います。一つ作ることによっていろんな国にメリットがあります。国際協力の枠組みで推進することになるでしょ

うが、日本は主導権を取るべくコンセプトをどんどん出して、ある種のイニシアティブを日本がとれば、我々は非常に有利になります。

徳留 まずは自分たちで意見を持って、同志を募るということじゃないかなと思います。なので、我々が活発にそういう活動を展開している中で、海外の人たちが「俺達も一緒にやりたい」というふうに言ってくれるのがいいのではないかなと、私は個人的に思います。

中須賀 確実に日本が強い技術を持ってなきゃいけないということですね。

徳留 その通りです。これまでに蓄積された技術というのはしっかりありますし、おそらく私の認識が間違っていなければ、やればできるだろうと。

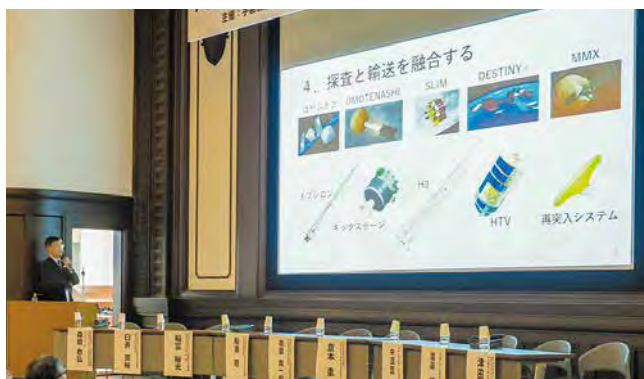
稲富 国際宇宙探査では、民間の活動の中に我々がやりたいことをもぐり込ませる、一緒にやるという考えも必要でしょう。

臼井 超小型衛星や、プログラム化というアイディアに加え、それを支える「パイ」を拡大していくという観点もあったらいいかと常に思っています。「民間」、「国際化」は新たなパイになりえます。それから他の学問業界も新たなパイです。

森田 それはものすごく大事な視点で、数年前から JAXA も「開かれた JAXA」といって、いろいろな方面の皆さんと連携を深めていますけれども、まさに異分野とか民間の皆さんとの連携というのはこれから大事なテーマですね。

● まとめ

森田 民間の皆さんがロケット開発でも月探査でもやる時代に我々は一体何を期待され、何を目指していくのか、という観点で最後に話をしたいと思います。それは世界初・世界一と



誇れるコンセプトを掲げ、何が何でもやりぬき、新たな世界を切り拓いていくということに尽きると思います。繰り返しになりますがそのためには人材が最も大事な要素です。日本の宇宙科学は一体これから何をやっていくべきか、それを実行するために必要な体制をまず先に定義し、そこから逆算して分野ごとに人を採っていくような仕組みを作ろうとしているところです。

中須賀 やはり、技術と人材のプールをしっかりと日本に作っていくことが必要です。それはおそらく紙の上でいろいろ議論するというのではなく、実践の場で培っていくものです。そういう場を数多くして、その中で人材と技術がちゃんと日本にあり、それを使っていろんなことができていくという、このペースを作っていくということがとても大事だと思います。

それからもう一つは、プロジェクトにおいて、「失敗したらもう絶対ダメだ」というコンセプトはやめた方がいいと思います。本当にきっちりやって挑戦して、それでも失敗したミッション、それは「失敗」ではありません。それは次につながる、とてもいい、ある意味での「成功」なんだと思って、失敗という言葉にあまり影響されないような、そういう宇宙研であって欲しいなというふうに思います。

倉本 「挑戦」できる環境作りはやはり非常に重要です。今そこが弱くなっているような気がしますので、皆さんと一緒に議論をして、うまい仕組みを作っていければというふうに思っています。

徳留 「失敗」と「挑戦」。これはまさに体で覚えることです。仮に何か失敗してもそのままその計画が終わってしまうというふうにならない程度の小さい計画をたくさん立てて、体験を積み上げてもらうような機会を作るのがいいと思います。これからは民間との協調が鍵になると思っています。ただ、民間との協調は、こちら側に相当の実力がない限り「協調」になりません。そのための実力を鍛えていくような計画を、意識的・連続

的に生み出していくということを、肝に銘じてどんどんやっていきたいです。

船瀬 「はやぶさ2」とか「はやぶさ」というのは世界から見たらありえないことをやってのけているわけですね。そういう精神を表現すると、例えば「やんちゃなミッションをやる研究所」みたいなコンセプト、挑戦を楽しむとか、たまにちょっと失敗をしてでも、世界があつと驚くようなそういうことをできるような研究所になるといいかなと思いました。

稲富 宇宙科学研究所は、とんがったこと、奇抜なこと、でもいつかはそこを目指したいという意欲あふれる研究所であることを期待しています。何かと制限が多いのですが、その状況でも、より先の、例えば50年先のことを考える人が多くいる組織になることを期待しています。

津田 失敗にも「いい失敗」と「悪い失敗」というのがあり、「いい失敗」は次につながります。そういう、いい経験は、失敗であれ成功であれ、チーム、組織、あるいはコミュニティで共有していけば、もっと、成功だけでなく成長できる「伸びしろ」があるんじゃないかなというふうに思いました。

先ほどのお子さんがすごく印象な質問を投げかけてくれ、嬉しくもありました。「サンプルリターンで冥王星に行けますか？」という質問です。我々は無意識に「いや、それはさすがに無理だよ」と思ってしまいました。だけど、重力天体・サンプルリターン・より遠くへ、といったら、冥王星ですよ。そういう新鮮な考え、発想、アイデアというのを取り入れてこそ、50年後の宇宙科学があると感じました。

森田 「宇宙研所長賞」の中に、「いい失敗部門」というのを作ったらどうでしょうか？それから、「一瞬間いたら笑っちゃうくらい難しそうなミッション賞」とか、そういうものを考えたら面白い。これからも大きなチャレンジを後押ししていきたいですね。





ご挨拶

JAXA 宇宙科学研究所長 國中 均

『宇宙科学探査と「おおすみ」シンポジウム』は、過去 50 年を省みるのみならず、「おおすみ」を礎に次の 50 年を目指すべく、未来志向のシンポジウムとして企画いたしました。

わずか 24kg の「おおすみ」人工衛星から発達し、現在、宇宙科学研究所は水星から木星まで各天体に探査機を配置する「深宇宙探査船団」を構築し、そして 46 億年の太陽系の歴史を明らかにする事業を進めております。また天文領域につきましても、国内外との共同事業として γ 線、X 線、紫外線、可視光、赤外、マイクロ波、電波を総合し、波長統合した宇宙天文観測網を確立し、138 億年の宇宙の歴史を明らかにするといった活動を行っています。

国際協力・協同につきましては、私の思うところ、実力以上に、宇宙科学研究所の研究開発力に期待が寄せられており、お断りするのに苦慮するほど国際共同計画の申し入れがあります。また、15 か国が共同で開発しました、国際宇宙ステーションのその先に、月近傍に、人類の拠点を設けるゲートウェイ計画が世界共同プログラムとして発進したところです。

さらに国の宇宙機関以外にも、民間の宇宙活動が大変活性化しております。私どもを取り巻く状況は、すさまじい勢いで変化し、発展しておりますが、引き続き、宇宙科学の全般にご理解をいただき、各実施主体を応援いただければと存じます。

特に、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構ならびに宇宙科学研究所にご高配をいただきまして、ご指導、ご鞭撻のほど、よろしくお願いいたします。



アクションアイテム (Action Item)

対応事項	担当	開始日	〆切
☐ A/I (Action Item) をまとめる作業を AI (Artificial Intelligence) に任せるシステムを作る	執行部	2020/2/11	2020 年度末
☐ 職員が学生・若い研究者や技術者とディスカッションする時間を増やせるように A/I 対応の時間を減らす	執行部	2020/2/11	2020 年度末
☐ 民間・他分野・国際での連携のあり方について考えをまとめる	臼井	2020/2/11	2020 年度 JAXA シンポ (秋)
☐ 宇宙研のなかで進行中のミッションに携わっている人の割合、エフォート率の統計を取る	執行部	2020/2/11	2020 年 8 月末
☐ 宇宙科学版地域通貨をつくる	徳留	2020/2/11	2022 年度末
☐ 宇宙研の今後の研究活動を見据え、そこから逆算して人材を獲得し、育成する仕組みを作る	藤本	2020/2/11	2020 年度末
☐ 「A/I は下から上にしか出さない」というようなポリシーを作る	執行部	2020/2/11	2020 年度末
☐ 「宇宙研所長賞」の中に、「いい失敗部門」と「一瞬間いたら笑っちゃうくらい難しそうなミッション賞」を創設することを検討する	所長	2020/2/11	2020 年 12 月末
☐ 本シンポジウムのパネルディスカッション続編を開催する	森田	2020/2/11	2020 年度末

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

〒 252-5210

神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1

TEL: 042-759-8008

