

## 観測ロケット実験事業の展望

2022.3.14

観測ロケット実験グループ長  
羽生 宏人

### 1. はじめに

観測ロケット実験事業は、ISAS の基盤活動として年に 2 機程度のロケット運用を行い、サイエンスを先導するべく実証活動に貢献している。2021 年度は、7 月に内之浦から S-520-31 号機、11 月にノルウェーから SS-520-3 号機の計 2 機をそれぞれ打上げた。これら打上げ実験を計画通り実施するにあたり、2019 年度に打上げた S-310-45 号機を皮切りに観測ロケット実験事業のやり方改革、すなわち段取りや手順の明確化、スケジュール管理の一層の工夫などに取り組んできており、大きくは JAXA のシステムエンジニアリング／プロジェクトマネジメント (SE/PM) に準拠し、部署単位としては観測ロケット実験に適した規模の計画マネジメント手法の実装を進めてきた。

S-520-31 号機は、名古屋大学が提案した「深宇宙探査用デトネーションエンジンシステムの実証」が実施テーマであった。S-520 に実装したデトネーションエンジンシステムは、世界に先駆けてロケット実験に供されたため、実証成果はデトネーション研究に携わる世界の研究者にインパクトを与える結果となった。

この実証実験を実施するにあたり、ISAS は実験の目的に照らして安全性に配慮した打上げシステムの検討を行った。一方、大学側は、打上げシステムの様々な技術要求に合わせて実験供試体の設計を進めた。この役割分担において双方が協力的に技術的な調整等を行っていくことで全機システムの設計が固められていったわけである。この過程では、開発に参加する研究者や大学院生らはプロジェクト運営の一端を垣間見、また自らが実験供試体の開発プロジェクトを通じて必要な役割を担った。彼らは時に関係者全体に向け自身の考えを述べなければならない。そのような経験は、自身の能力を引き上げていくきっかけになったはずだ。この学びの機会は、決して座学では得られない。これこそが観測ロケット実験の旨味なのだ。S-520-31 号機のフライトオペレーションでは、これ以外にも人材育成の取り組みの一環として JAXA 内の関連部署との連携により若手職員や ISAS 所属大学院生の研修を組み込むこととなった。参加者にとって、プロジェクト運営やロケット発射に関わる仕事について理解を深める良い機会となったようである。

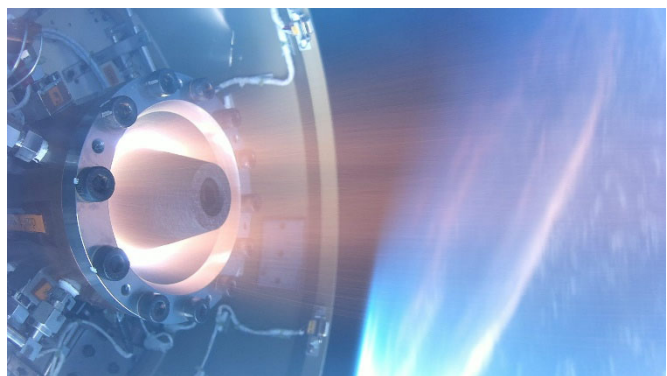


写真1 デトネーションエンジンの宇宙実証  
©JAXA/名古屋大学

一方の SS-520-3 号機は、コロナ禍における海外打上げとなり、通常の打上げ準備に加えて感染症対策を念入りに行うなど、実施に至る準備過程では負担が大きかった。当該計画の当初打上げ時期は 2017 年度冬期であったが、システム試験中に不具合が検知され、打上げ時期を延期していた。当該計画の再立ち上げに向け、上記 31 号機と同様の計画マネジメント手法を導入して、打上げまでの準備工程を再整備した結果、当初計画通りのサイエンス成果を獲得するに至った。海外の射場を使うこと自体滅多にない機会であった。相手国技術者とのやり方との差分を見ることも学びになったはずだ。

このように、従前のやり方の良いところ、すなわち研究者自らが実行者となって機器を取り扱うことができる現場であることは継承しつつ、計画通りの実験実施に必要な計画マネジメント手法を導入して事業運営改革を進めた結果、2021 年度はいずれの計画も予定通り進めることができた。計画マネジメントを洗練させ、これから先には宇宙科学研究の個の強みを活かしてサイエンスを先導することで、



写真 2 幸運にも SS-520-3 号機オペレーションで観測されたオーロラ ©ISAS/JAXA

成果の結合からより新しい宇宙科学プロジェクトが産み出されていくに違いない。そして、更なる高みを目指す意味でも開発の一層効率的なやり方を見出し、時間を無駄にしないよう開発期間の短縮を目指すことは、今後の宇宙科学の実行速度を上げることにもつながるはずである。以上のように、観測ロケット実験事業は、サイエンスの追求とプロジェクトマネジメントの両輪で多くの学びの機会、そして訓練の場を提供していく考えだ。

以降、上記趣旨に照らして当該事業の大きな方向性について自身の考えを述べたい。

## 2. 宇宙科学プロジェクトに携わるということ

宇宙科学は、「宇宙を知る」「宇宙から見る」「宇宙を自在に使う」が興味の対象であるとともに研究のモチベーションでもある。それはつまり、宇宙が、地球が、そして我々が存在する理由を究める壮大な学術テーマがそこにあるからだ。ISAS は宇宙科学における大学共同利用機関の機能を多に活かし、上述の謎を解き明かすべく科学者が提案するサイエンスミッションを着実に進めていかなければならない。プロジェクトとして進めるのは、リソースが有限だからである。資金、時間をはじめとする資源を無駄にしてはならない。そして研究者が提案するサイエンスが計画として承認されたということは、その提案研究者が国民からその実行を付託されたことと同義であり、狙った成果を適時獲得することが使命である。宇宙科学ロードマップにおいて、このようなプロジェクトは大きく 4 つのカテゴリ、すなわち戦略的中型計画、公募型小型計画、戦略的海外共同計画、小規模計画に分類されている。戦略的中型計画にあっては数百億円を投じる計画にもなるわけだが、結果の責任という意味では計画の規模に関わらずいずれも着実な実施と結果の説明責任が伴う。

宇宙科学ミッションは、採択時はともかく実行において盤石であるかといえば、必ずしもそうではない。状況は刻々と変化するし、想定を超える事象に出くわすこともあるだろう。外的要因に振り回されることだってある。プロジェクトマネージャ（PM）は、常に様々なリスクと正面に対峙し、これら課題を克服していかなければならない。責任者であるからだ。宇宙科学プロジェクトの成否は、提案研究者のプロジェクト計画立案・提案から実行そしてゴールまでけん引する力、そして何よりも様々なリスクに備えるために将来を見通す力が必要だ。言い換えれば、リスクに備えた先回り能力が大事なのだ。計画遂行とは実に泥臭いものである。それは、技術的なことばかりではなく、人と協力して進めることが本質であるからだ。上記の「将来を見通す力」とは、すなわちリスクに備える先回り能力に他ならない。リスクへの対処と一口に言っても、そもそもリスクとして認識できる能力次第で結果は大きく変わってくる。つまりは感度良くかつ正しくリスク識別できる能力を持たなければならないのである。

では、誰しもが宇宙科学プロジェクトを思い通りにマネジメントできるものなのだろうか。

宇宙の謎解きに向かう我々は、総合理工学からどのようにアプローチすべきか。大物相手に一人の研究者が立ち向かうだけでは到底かなわないし、通り一遍のやり方では歯が立たないことも十分理解している。だからこそ多くの知恵を結集し、一つの塊となって取り組まねばならないのである。

自身の出身地に帰り、耳に心地よい地域のことば（いわゆる方言）は、時に自らをリラックスさせるものだ。同様に、学問分野それぞれの方言、すなわち専門用語はこれに似た効果があるように思う。方言を知る者同士会話は弾む。研究室における会話なども同様だろう。ところが、分野を横断するとこれがなかなか容易ではなくなってくるものだ。しかも、興味の対象は異なるし、突き詰めたい学問は別世界であることも少なくないだろう。お互いに興味あるものを共有しなければ会話を続けることは難しいかもしれない。学問分野間にはこのような見えざる壁があり、領域を超えた交流は言うほど簡単ではない。しかし、皆で同じ宇宙の謎解きに向かうのであれば、時間をかけて互いの考えを理解しあうことはこれからも可能であるし必要だ。居心地の良さに甘えず、コミュニケーションの工夫によって垣根を取り払う努力は常に必要なのである。

では宇宙の理学、工学を糾合するにはどうしたらよいのだろうか。

### 3. 小型飛翔体を使った実証機会の活用と理工連携

近頃、人材育成の話題に事欠かない。求める人材には、自ら考え実行したこと、そしてその結果を正しく認識する能力が強く求められる。プロジェクトに関わる研究者は、いずれ自らの決断によって狙った成果を出さなければならないからである。もう一つ、結果の成否とは無関係に、しかも分野横断的に客観的事実を正しく説明する能力も重要である。特にPMにはこれらの充足が求められる。

たとえ話だが、自動車の運転をイメージしてもらいたい。初めての公道は目先で起こることを把握し、対処するだけで精一杯だろう。しかし、何度か類似の経験を重ねれば、次に起こり得るいくつかの事象を予見することができるようになるものだ。この予見する力、すなわち将来を見通す力がプロジェクトマネジメントではとても大切である。計画遂行の過程でネガティブな事象が予見されたなら、プランB（う回路への誘導）を発動させるべく適切な処方を適時に実施すること、それ

が正しいリスク認識とその対処である。リスクとして認識した理由やその対処方針の妥当性を丁寧に説明し、関係者の理解が得られたならば、その人物はPMとして素地が出来上がったも同然である。つまりは、ここに到達するまでにはある程度の慣れが必要だということである。

小型飛翔体（大気球、観測ロケット）を使った飛翔実証実験は、上述のような人材育成に好適な場を提供している。そして、技術的なことだけでなく、実行における多様な専門性を有する人材との関わり合い（一定水準以上の技量を有する人脈形成に相当）についても理解が深まる。これは、自身の専門領域を取り扱う研究室活動と少々趣の異なる環境かもしれない。本格的な宇宙科学プロジェクトに比べればライフサイクルが短かく、規模も小さいゆえに計画全体を見通しやすい。関係する人材の範囲もある程度限られる。であるからこそ各専門家の人となりを理解しやすいのである。現場に慣れてきたならば、自分の愛車でドライブするように、移ろう景色（変化）を眺める余裕が生まれてくる、すなわち自らが作り上げる仕事を楽しめるようになるだろう。

ここで改めて上述でハイライトした“**誰しもが宇宙科学プロジェクトを思い通りにマネジメントできるものなのだろうか**”および“**宇宙の理学，工学を糾合するにはどうしたらよいのだろうか**”という**重要な2つの問い**について考えてみる。上記を総括すればおのずと答えが導けるのではなかろうか。つまり、小型飛翔体実験は、より大きなプロジェクト活動と相似形であるから経験を積む上ではこの上ない環境であること、自らが考えて実行する場は研究人材の育成を促し、あらゆる場面を経て、すなわち慣れてきて、予見する力は養われる。いずれマネジメントは身につくはずだ。そして、その場の様々な専門方言に接し、その理解が深まれば、一定期間を経て自然と人材の結合、すなわち理工連携が姿を現すに違いない。

かつて、内之浦の射場では研究室を離れて日常的に理学・工学の研究者らが共に時間を過ごし、互いに語る時間があった。小型飛翔体実験はこれに似た環境を提供するに違いない。少なくとも私自身がこのような経験をしてきたからこそ、この機能の重要性を感じるのである。

次の時代を担う研究者の皆さんは、まずは小型飛翔体実験で汗し、経験を積むことを意識してほしい。その後は提案者としてプロジェクトの束ね役（PM）を目指してみたいはいかがだろうか。

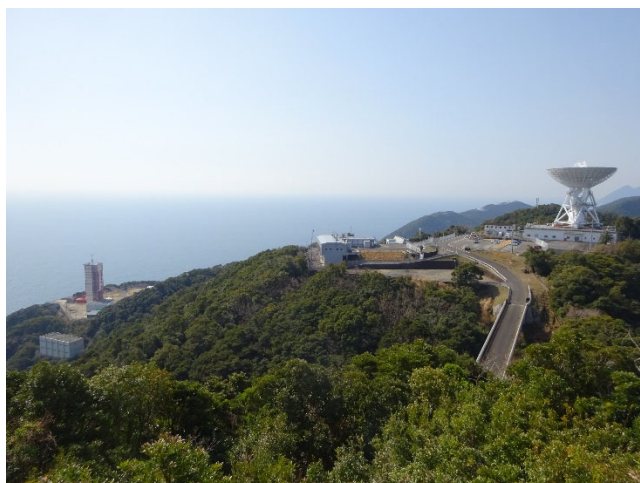


写真3 内之浦宇宙空間観測所

#### 4. 観測ロケット事業における課題および最近の取り組み

従前の観測ロケット実験の開発工程は、研究者含めた携わる専門家集団が段取りを心得ていたこともあり、SE/PMを意識したプロジェクト管理を導入せずとも円滑に物事が進められていた。しかし、昨今は組織運営上の理由などからJAXAの技術系職員の業務への携わり方の変化もあって、



かつてのやり方（長い期間運用を軸とした専門業務に携わることなど）を継続することが難しくなってきた。一方で、人材育成の観点での現場の価値が見直されているため、観測ロケットのやり方改革への取り組みは必然とも言うべき状況にあった。これが冒頭に述べたやり方改革に取り組み始めたモチベーションである。

現状の事業運営は、上記の背景など踏まえて実行の仕組みを再構築してきており、2019年度に打上げられた S-310-45 号機計画から部分的に導入を図ってきた。そのやり方は、SE/PM の本質を理解できるように意識しており、プロジェクト運営に関心を持つ参加者（駆け出しの研究者や技術者）が一連の工程を経験すれば、宇宙科学プロジェクト運営の基礎部分が理解できるように工夫してある。研修目的の参加であっても概要は掴めるだろう。一方、ミッションの提案をしやすくするためのユーザ側への配慮として、観測ロケットユーザハンドブックを最新化した。計画の運営にまつわる事柄や、ロケットへの搭載に関わる基本について記してあり、どうやったら観測ロケットを使うことができるのか分かりやすく解説してある。この文書のエッセンスの部分は間もなく一般向けに公開する予定である。

これまで述べたようなやり方改革の効果は直近の実施結果で確認できつつある状況だが、現状に満足しているわけではない。現在の観測ロケット実験事業は、ドメスティックな活動に留まっているが、より多くの飛翔機会を獲得するためには世界の活動や手段に関心を持っている。海外の観測ロケット運用の実態と比較すると、着手からフライトまで概ね 20 か月で実施されていることに対し、我々は 30 か月程度以上となっている。打上げ機数は比にならず、国内活動としては物足りないと言われても仕方のない状況である。実行ミッションのサイクルを上げるために**海外の打上げ手段の積極活用**、**ISAS の観測ロケット運用期間短縮は事業として本格的に取り組みなければならない**と認識しているところである。

内之浦宇宙空間観測所を使った観測ロケット実験は、太平洋に向けて発射する仕組みであるため、搭載機器のほとんどは海洋に投棄されてしまう。ユーザとしては虎の子の装置であり、実験後の装置回収は根強い要望だ。海外の打上げ手段の中には地上落下によって装置の全部が破損せずに回収できるものがあり、ISAS にはない機能があることも事実である。冒頭で紹介した S-520-31 号機のケースでは、デトネーションエンジン本体は水没してしまったが、インフレータブル回収カプセルを実装し、高画質データ等大容量データは回収している。デトネーションエンジンのような搭載ハードウェアの洋上回収は現状の仕組みでは難しく、依然として技術的なハードルが高い。装置含めた回収システムを構築することは引き続き取り組むが、すでにある海外の仕組みを活用することは大いに推奨すべきである。技術の種類によっては海外に持ち出すことが難しいものもあるが、今後は海外の打上げ手段を活用する計画の実行についても観測ロケット実験事業として取り組めるよう整備を進めたい。そのための道具立てとなる打上げ手段の使い方については後段の観測ロケット実験事業の中長期戦略で述べる。

## 5. 小型飛翔体実験プラットフォーム構想

小型飛翔体には、観測ロケットのほかに大気球や超小型衛星がある。ISAS においては特に大気球と観測ロケットの歴史は古く、実行体制はそれぞれに確保されている。しかし、技術系職員の実務への関わり方の変化とともに、配置の在り方を将来的に見直していくことも考えなければならない。

観測ロケットについては、一部の業務を定型化してアウトソーシングを活用するなど運用を見直してきている。しかし、この範囲を拡大しすぎることによる副作用、すなわち組織内部の空洞化が加速することも理解している。例えば、大気球と観測ロケットの活動を横通しするなどして、体制の見直しをすることも一案だろう。そう考えるには理由がある。通年で見ると時期によって仕事量のばらつきがあり、双方の業務の山谷をうまく組み合わせるなど、(現状それほど簡単な話ではないことは理解しているが) 改善に取り組む余地があるからである。重要な研究基盤としての位置づけのみならず、研究人材教育の現場としての活用にも力を入れていくことを想定するのであれば、**超小型衛星の開発と運用までを視野にいたした小型飛翔体実験プラットフォームの構築を目指してはどうか**。現在はこれら全体を取り廻せるような体制にはなっていないが、研究者育成にも目を向けつつ、技術系専任職員と併任職員のバランスや必要となる専門技術者の計画的な育成などを考慮し、理想的な運営状態を志向することによって、目先の課題の解決から長期的視点での運営最適化の道筋も見えてくるに違いない。このような取り組みについては観測ロケット実験事業が単独で取り組むだけでは成り立たず、各事業間の連携を取りつつ一刻も早く検討に着手すべきであるとの考えで議論を始めたところだ。

## 6. 観測ロケット実験事業の中長期戦略

述べたように、今後の中長期事業戦略には、

- ・開発の効率化、期間短縮
- ・海外打上げ手段の活用
- ・小型飛翔体実験プラットフォームの構築

といった要検討アクションが見えてきている。これらを実現していく方策の一つとして**デジタル化の活用**を視野に入れている。

これまで JAXA では情報化と称する紙に記載された資料の電子化が積極的に行われてきており、開発活動の記録情報を保管管理することが主たるものであった。提案するデジタル化は、この思想とは異なっており、簡単に言えば数値化された設計情報をソフトウェアに組み込み、動作シミュレーションを多用してシステム全体を組み立てるという思考である。

一般論になるが、プロジェクト活動で避けることができない審査会というものがある。簡単に言えば、実行側担当者が設計情報を委員として参加する関係者や専門家に説明し、資料の内容を双方で確認し、最終的には審査会の決裁者が承認するという行為である。そこで、次のような場面をイメージしてほしい。例えば、審査委員から「設計値が 10 となっているところを 15 にしたらシステムにどのような影響があるのか？」という質問を受けたとしよう。よくあるやり方としては、これをアクションアイテムとして記録し、担当者が別途検討した結果を後日指摘者に示して結果の了解を得るというものである。内容にもよるが、期間は週単位から月単位まで様々ある。この活動は担

当者と指摘者双方の労力と時間を奪うものである。もし、このようなパラメタの相違による影響評価がその場でシミュレーションなどを通じて直ちに評価され、説明できたなら、係る労力と時間は大いに減らせるだろう。当然に審査全体の時間も削減できる。逆に担当側もパラメタの影響評価を事前に確認することが容易であろうから、予め幅広い設計検討ができるはずである。

ここで述べるデジタル化とは、**設計に係る情報をあらゆる形で生きた数字として取り扱うことができるようにすること**を意味し、冒頭で述べた記録情報としての取り扱いとは対極的な位置にある。モノ作りの現場において、3次元 CAD などの汎用設計情報は、例えば 3D プリンタによるモック出力や、バーチャル空間における原寸大可視化を容易にし、インタフェース不整合の除去に大いに活用されるだろう。打上げ手段によって異なる搭載インタフェースは、搭載機器の開発において神経質な部分である。デジタル化が進めば、遠隔地との間でも情報流通が円滑になり、相手国側との認識合わせの障壁は無くなるかもしれない。結果として打上げ手段の活用が容易なれば、海外の打上げ手段の利用も活発になるのではないか。

このように、デジタル情報をこれまでのように PDF に埋め込んで安心することなく、これら情報の取り扱いをより洗練させることで、計画実行の速度や確度を上げることにつながるであろう。少子化が進む我が国にとって、リソース問題は遠くない将来に必ず顕在化するであろうから、デジタルツールの多用による省力化のような検討は早々に着手すべきであって、その效能については小型飛翔体実験で検証していけばよい。小型飛翔体実験で十分に使いこなした後は大きな宇宙科学ミッションに展開させていけばよい。すでに観測ロケットでは 2025 年の実現を目標に、計器合わせと称する機械的インタフェースの確認工程の廃止を目指して MR（仮想空間技術の一種）の導入検討、3次元 CAD とフライトモデル現物の差分抽出といった技術検討を始めたところである。

## 7. 2030 年代の宇宙科学へ

今後 10 年で打上げ手段である宇宙輸送の在り方は大きく様変わりするだろう。そして、DX すなわちデジタル革新は加速し、利用者の利便性の向上と共に輸送手段の選択の幅は広がる。結果として宇宙科学の世界では、搭載品の準備期間が劇的に短縮していくに違いない。著しい変化の中で、ISAS が従前のやり方に依存したままで良いはずがない。世界の潮流を敏感に感じ取り、より先へ進んでいくためには、宇宙科学プロジェクトは新しいやり方、例えば上述のような DX 化によるシミュレーション技術の汎用化などの積極導入等を通じて、(審査会等含めた) 開発時短、工程簡素化等の実現を志向すべきである。一方、駆け出しの研究者にとっては現在のやり方は物事を進める基礎になるので、まずは小型飛翔体実験の経験を通じてプロジェクト活動のイロハを学んでいただきたい。そして、変化の波に上手に乗って 2030 年を視野に入れた宇宙科学プロジェクトが充実し、これと共に新たなプロジェクト運営方法が相乗効果を発揮していくような姿を目指したい。