JAXA宇宙科学研究所

ISAS News

ISSN 0285-2861

2024 10

No.523

XL-Caliburの打上げ

ブラックホールや中性子星の謎に迫るXL- Caliburは、スウェーデンのキルナ近郊にあるエスレンジ宇宙センターから7月9日に打ち上げられた。硬エックス線望遠鏡を用い、上空約38kmで観測を行った。右は、放球前に移動式放球装置ヘラクレスに釣り上げられたXL-Calibur。©NASA/SSC
左は打上げ直後、気球と共に上昇するXL-Calibur。©Nicole Rodriguez Cavero　（p.5参照）

The Forefront of Space Science

宇宙科学最前線

微生物汚染管理を伴う惑星保護活動の現状と課題

宇宙研 学際科学研究系 特任助教　木村 駿太（きむら しゅんた）

はじめに

本稿では惑星保護・惑星検疫（Planetary Protection）と呼ばれる活動の現状をご紹介したい[*1]。地球生命による地球外の天体の汚染を可能な限り防ぐことが惑星保護の大きな目的である。これは前方汚染（Forward Contamination）の防止と呼ばれ、後続の科学探査の価値の保全に繋がる。例えば火星で生命体と思われる存在を発見した時、これが元々火星にいたものなのか、人類の活動で地球から持ち込まれたものなのか見分けがつかない、といった事態を防ぐ。また、地球外のものを地球に持ち帰ることによって未知の危険が生じないかを丁寧に検討する。これは後方汚染（Backward Contamination）の防止と呼ばれる。宇宙で採取したサンプルを地球に持ち帰ろうとするときは事前に持ち帰りの合意をすることにしている。惑星保護活動の根拠は宇宙条約第9条にあり[2]、その具体的な実施方法や基準はCOSPAR（国際宇宙空間研究委員会）策定の惑星保護方針[3]に基づいている。しかし、この方針はあくまでガイドラインであり強制力はなく、ミッションごとに国際的な合意が形成されている。

例えばMMXで持ち帰る予定の火星の衛星フォボスのサンプルは、火星のパーティクルを微量に含んでいる可能性があるため慎重な議論を要したが、丁寧な検証と説明の結果[4-6]、未知の危険を保持している可能性は極めて低いため地球に持ち帰って良い、という判定を受けている（ただし、計画通りに進んでいるかを問う打上げ前審査と、帰還前審査は残されている）。なお、将来のMars Sample Return CampaignもMMXのように科学的、建設的に議論していくべきとの提言もされているように、このアプローチは国際的にも高い評価を受けている[7]。

このような惑星保護の方針[3]を各国が遵守することで、後続の科学探査の価値を損なわないように留意し、また地球が危険に晒される可能性を最小限にとどめつつ、惑星探査が実施されている。本稿では主に、無人探査時の前方汚染の防止に向けた現在のJAXAの取り組みを記す。

日本は宇宙機の微生物汚染管理は未経験

全ての太陽系探査ミッションには、その目標天体と目的に応じた惑星保護カテゴリが適用され、要求はそれぞれ異なる（表1）。火星、木星の衛星エウロパ、土星の衛星エンケラドスは、生命体が存在する可能性が比較的高いことや、地球微生物が持ち込まれた際に現地で増殖する可能性があるため「保護すべき天体」と呼ばれ、探査する際は特別に微生物汚染

*1 近年DART、Hera、はやぶさ２拡張ミッション等でその重要度が注目されている惑星防衛（Planetary Defense）[1] とはまた異なる活動分野である。

惑星保護カテゴリ	ミッションタイプ	対象天体	微生物管理要求	ミッション例[8]
I（前方）	フライバイ，オービター，ランダー	未分化または変性した小惑星，イオ．他については都度判断．		Ulysses（太陽に対して）
II（前方）	フライバイ，オービター，ランダー	金星，月（さらにカテゴリーII, IIa, IIbに分類），彗星，炭素質コンドライト小惑星，木星，土星，天王星，海王星，ガニメデ*，カリスト，タイタン*，トリトン*，冥王星とカロン*，ケレス,冥王星の1/2サイズ以上のカイパーベルト天体*，冥王星の1/2サイズ以下のカイパーベルト天体．他については都度判断．		Cassini-Huygens 「はやぶさ２」 OSIRIS-REx JUICE（ガニメデに対して） SLIM MMX（フォボスに対して）
III（前方）	フライバイ，オービター	**火星，エウロパ，エンケラドス．** 他については都度判断．	場合によりあり	Mars Reconnaissance Orbiter JUICE（エウロパに対して） Europa Clipper MMX（火星に対して）
IV（前方）	**ランダー**	**火星**（さらにカテゴリーIVa, IVb, IVcに分類），**エウロパ，エンケラドス．** 他については都度判断．	**あり**	Viking Landers InSight Mars2020
V（後方）（制限あり地球帰還）	サンプルリターン	**火星，エウロパ，エンケラドス．** 他については都度判断。	あり	Apollo 11, 12, 14 Mars Sample Return Campaign
V（後方）（制限なし地球帰還）	サンプルリターン	金星，月． 他については都度判断．		Apollo 15-17 「はやぶさ」，「はやぶさ２」 OSIRIS-REx MMX

これらの天体をカテゴリーIIに分類する場合は、天体の表面下に存在する可能性のある液水環境の汚染（生存可能な地球生命が持ち込まれる）可能性が10^{-4}未満であることを解析によって示す必要がある。

表1：惑星保護カテゴリと、それぞれに対する要求の抜粋[3]。

（Bioburden）の管理まで求められることになる。これまでの日本のミッション、たとえば小天体を目標とした「はやぶさ2」や月を目標としたSLIMなどにも惑星保護カテゴリは適用され、これに準じた適切な対応が行われてきたが、ここでは微生物汚染管理作業は要求されておらず、衝突確率の解析等によって「保護すべき天体」の汚染確率が規定値以下であると示すことが、前方汚染の防止の観点では主項目だった。諸外国はいくつかの火星着陸機等で微生物汚染管理の経験を有している一方、日本はこれまでに宇宙探査機の微生物汚染管理の経験がなく、惑星保護は、将来探査を実現する上での技術課題の1つと位置付けられている[9]。

そこでJAXAの惑星保護関係者（以降、我々とする）は現在、特に無人での火星着陸探査時の前方汚染の防止に向けた要素技術開発を進めている。まずは着陸技術の実証を主目的とした小型着陸機[10]の惑星保護対応を達成する。これをしっかりやり切ることで、その後の火星本格探査や、地球外海洋天体の探査にも繋がると考えている。

火星着陸を行う探査機、その中で最も基本的なカテゴリーIVaの場合、微生物汚染は一部の細菌が形成する耐久性の高い細胞（芽胞、spore）の数で規定されている。具体的には、打上げ時に、火星地表に到達する探査機システム全体に付着・含有する芽胞の合計値として全体で50万個未満、露出した表面の芽胞の合計値として30万個未満および、検査した全ての箇所に関して密度300個/㎡ 未満とするよう求められる[2]。多くの微生物は乾燥によって不活化するため、宇宙機に付着しても宇宙空間で容易に死滅するが、芽胞は乾燥に耐え、宇宙空間でも即座には不活化せず、乾熱耐性、アルコール耐性にも優れるため、基準値として長年用いられている。芽胞の合計数は非常に保守的な想定で算出されるので、実際に付着している数は算出値を大きく下回ると思われる。さらに実際に付着している芽胞も、対象天体までの航行中や到着後に曝される放射線環境等によって徐々に不活化していくため、生きて対象天体に半永久的に残存する訳ではないことを付記したい。

なお、火星での生命探査や、水分活性の高い地域の探査を目指す場合には異なるカテゴリー（IVbやIVc）が割り振られ、さらに厳しい基準が適用される。ただし過剰に厳しい基準を適用すると探査の著しい妨げとなるため、科学的な妥当性と厳格さのバランスをとった方針の設定も、国際的な惑星保護コミュニティの重要な役割のひとつである。

実際に達成するために

大きな流れとしては、探査機に付着・生存している微生物の数を減らす→サンプリングし、培養して検査する→基準値以下であることを示す→国内外の審査会で承認を受ける→打上げ、という流れとなる。少なくとも下記の要素が必要であり、現在それぞれについて進めている。

(a) 宇宙機にダメージを与えずに微生物汚染を低減する方法の確立：

我々が扱う着陸機に適した殺菌手法を見定めるため、複数の微生物試料に対して殺菌手法の比較研究を行った。詳細は別稿をご覧頂きたいが[11, 12]、結果的に、乾熱処理の殺菌効果が高いことを再確認する結果となった。乾熱は125℃で6時間以上もしくは111.7℃で30時間以上の処理を想定している。熱に耐える機器は乾熱処理することが望ましく、一方で熱に耐えない機器（たとえば、電子機器、バッテリー、モーター等が考えられる）は、最初からきれいに作る、またはイソプロピルアルコールふき取りや紫外線等の手法で微生物汚染を低減することになるだろう（図1）。

(b) 宇宙機を汚染せずに組み立て、打ち上げるフローの確立：

我々は種子島宇宙センター（TNSC）を視察させて頂き、TNSC搬入後は求められるクリーン環境に維持できることが確認できた（詳細は別稿をご参照頂きたい[12, 13]）。よって主な懸念箇所は、TNSCへの搬入まで。すなわち、組立・試験過程と運搬過程であると考えている。

(c) クリーン設備の整備：

惑星保護の観点から見て宇宙機の取り扱いに適したクリーンルームをJAXA相模原キャンパスに整備予定で、鋭意準備を進めている[14]。いきなり大がかりな惑星保護設備を設置・運用するのは難しいので、小型の火星着陸機を想定した施設とする予定である。

(d) 微生物汚染の検出やモニタリング手法の確立：

打上げ前の各過程において宇宙機表面をナイロン製の綿

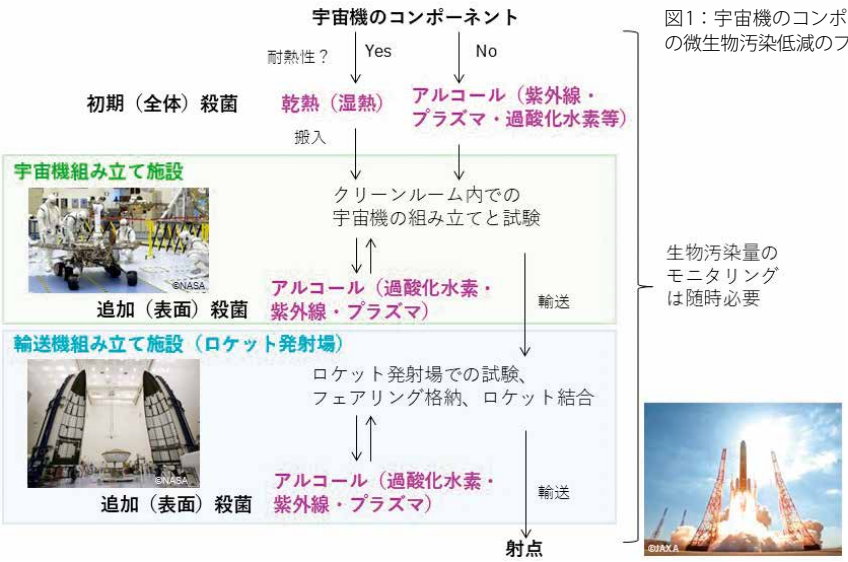

図1：宇宙機のコンポーネントから打上げまでの微生物汚染低減のフロー［11,12］。

棒やポリエステル製の布でふき取り、培養して微生物量を調べるのが標準法である[3, 12]。これまでの予備試験の結果から、要求される規定値は、我々が最初に想定している小型の着陸実証機で達成できない値ではないと感じつつある。一方、培養法に依存しない、DNAベースの検出方法も重要視されている。これは現在の惑星保護方針に要求として明記されていないが、近年の各国の探査では、研究者の良心（と興味）に則ってデータ取得・サンプル保存されているのが通例である。我々もこの部分にも取り組み始めており、今後ご報告させて頂きたい。

(e) 運用のための標準やハンドブックの準備：

基本になる国内標準文書は既に整備されている[15]。一方でまだカバーし切れていない部分もあり、今後拡充していく必要がある。惑星保護の方針は、基本的な理念に変化はないが、最新の科学に基づいて十年に2回程度の更新がなされるため、国際的な議論の動向も注視する必要がある。

(f) 運用準備および実際の運用：

手順 (e) に則って、(a) ～ (d) を活かして実施することになる。実際には微生物汚染を減らすこと (a) よりも、清浄なままキープする方が難しい可能性がある。このあたりは、運用における課題である。

(g) ミッションの各段階における国内外のコミュニティによる審査と承認：

きちんと準備して臨むのはもちろんのこと、ぶっつけ本番ではなく、こういったミッションをこういった方針で惑星保護対応しようと思っているがどうか、とあらかじめ国際コミュニティにインプットしておくことが重要だと考えられる（かつ、良好な関係を築いておくことが実はかなり大切、なのかもしれない）。

おわりに

惑星保護は、打ち上げて良いとか良くないとか、サンプルを持ち帰って良いとか良くないとか、そういった議論をする性質があるため、プロジェクトや、将来探査を考える方々から、若干（かなり？）厄介な、面倒なものと思われてしまいがちである。しかし決して宇宙探査を停滞させたいのではなく、後続の科学探査の価値を守りつつ、また人類を危険に晒す可能性を最低限に抑えつつ、宇宙探査を実現するための活動であることはご理解頂きたい。

また実際に惑星保護に関わる研究者は、プロジェクトの実施について国際的な合意を得られるよう、共に尽力する意思を持っている。どうすれば惑星保護方針に則ることができそうか、早い段階から一緒に考えていくことが重要だと思うので、ぜひご相談頂きたい。まだ日本においては経験の乏しい分野ではあるが、一歩一歩進んでいる自負を持っている。

これらの活動を進めるにあたり、謝辞に書き切れないが、多くの方々にお世話になって進めている。決して一人で、あるいは惑星保護関係者だけで進めることのできる仕事ではないので、一同深く感謝している。筆者が宇宙研に来てこの活動に携わって3年ほど経った。今は、地球生命を人類活動によって他天体に持ち込んでしまうことの防止に注力している段階だが、この活動がゆくゆくは、地球外で誕生した生命の探査や、地球生命の起源に迫る科学探査に繋がっていくと信じている。

参考文献
[1] ISASトークイベント：プラネタリーディフェンス(惑星防衛) のお話 . 宇宙科学研究所 . https://www.isas.jaxa.jp/gallery/feature/isas/isas_20241007.html
[2] United Nations Treaties and Principles on Outer Space. United Nations, ISBN 978-92-1-101164-7, 2008.
[3] COSPAR Policy on Planetary Protection. Space Research Today, 2024. https://cosparhq.cnes.fr/assets/uploads/2024/07/PP-Policy_SRT_220-July-2024.pdf
[4] Kurokawa et al., Life Sci. Space Res., 2019
[5] Fujita et al., Life Sci. Space Res., 2019
[6] 藤田 , 宇宙科学最前線 . ISASnews No.463, 2019. https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews463.pdf
[7] Committee on Planetary Protection Requirements for Sample Return Missions from Martian Moons. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2019.
[8] OSMA, Planetary Protection, NASA. https://sma.nasa.gov/sma-disciplines/planetary-protection
[9] 宇宙技術戦略 . 内閣府 , 2024.
[10] 永田 , 山田ら . 第 67 回宇宙科学技術連合講演会 , 1H09, 2023.
[11] Kimura, Suzuki et al., Front. Microbiol., 2023. https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2023.1253436/full
[12] 木村 , 菅原 , 小澤 , 鈴木ら , ミッションに関連して思うこと . 宇宙科学研究所 , 2023. https://www.isas.jaxa.jp/missions/documents/files/doc_25.pdf
[13] 鈴木 , ISAS 事情 . ISASnews No.513, 2023. https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews513.pdf
[14] 小澤 , 木村ら , JAXA における微生物実験および MMX 惑星保護状況 . Viva Origino, accepted.
[15] 惑星等保護プログラム標準 JMR-014A. JAXA 共通技術文書 , 2023. https://sma.jaxa.jp/TechDoc/Docs/JAXA-JMR-014A.pdf

X線天文衛星XRISMの一年

XRISMが2023年9月7日に打ち上げられてから一年がたちました。この間、打上げ後の搭載装置の起動と動作試験を行うコミッショニング運用に始まり、観測機器の調整と初期性能確認観測を進めながらの地上データ処理の微調整も整えてきました。いよいよ、観測成果論文の出版も始まっています。本稿ではこの一年を振り返ってみます。

コミッショニングからファーストライトへ

XRISMのコミッショニングで特徴的なのは、バス系と並行して主観測装置であるResolveの冷却系の立ち上げも行われたことです。大気圏外に出るやいなや冷媒である液体ヘリウムの排気バルブの開放、続いて機械式冷凍機を立ち上げます。整備組立棟で注入して超流動状態まで冷やし、射点移動の直前まで温度を維持し続けた冷媒も、射点移動後から徐々に温度が上がっていきます。これを打上げ後、いち早く冷やし蒸発を抑えることが、冷媒の寿命ひいては観測装置の寿命を伸ばすために重要です。一連の運用はたいへんスムーズに進行し、観測開始にむけて十分な量の冷媒を確保することができました。

ひと月ほどの衛星バス系立ち上げ期間の後は、観測装置の立ち上げです。X線マイクロカロリメータを搭載し分光能力で時代を画するResolveと、広大な視野を誇るX線CCDカメラであるXtendは、ともに、順調に起動し、機能が確認されました。しかし、その掉尾を飾るはずだったResolve検出器のX線入射部にある保護膜（ゲートバルブ）の開放で躓きました。当初の予定に加え2度の開放オペレーションを行いましたが、残念ながらいまだ開放できていません。それでも、ゲートバルブの窓材は2 keV以上のX線を透過するので、開放時に比べて効率は落ちるものの観測自体は可能です。議論の結果、まず、順調に立ち上がったXtendとともにResolveも本格的な観測を開始し、4回目の開放オペレーションは、これまでの事象の分析や地上での追加実験をふまえてから行うことにしました。

本格的な観測の幕開けとして、2つのファーストライトデータを、年明け1月5日に報道公開しました（ISASニュース2024年2月号*）。1つは姿勢系と望遠鏡の光軸の調整の過程でXtendがとらえた合体銀河団Abell 2319のX線画像、もう1つはResolveの機能性能確認のために観測した大マゼラン雲の超新星残骸N132Dです。

初期性能確認観測

ひと月ほどかけて観測系の較正観測を行った後、XRISMは初期性能確認（Performance Verification; PV）観測を開始しました。XRISMは公募観測を行う軌道天文台ですが、それに先立ってあらかじめ選んだ天体を観測するPV観測を行うことで、XRISMの実際のデータとそれが示す性能を世界の研究者に提示します。すなわち「ショーケース」を作ってお客さんにXRISMを使いたいと思わせるのが目的です。我々は、2018年に科学観測チームをつくり、じっくり議論してPV観測天体リストを作ってきました。XRISMの状態をみながら、観測天体の優先順位や観測時間を調整し、最終的に40天体の観測を行いました。感度が高く繊細なResolveの性能を十全に発揮させるため、観測の結果をみながらデータ処理プロセスも最適化しました。その結果、得られた分光スペクトルは、しばしば打上げ前の予想を超える素晴らしいものです。

XRISM 1st Yearのケーキを前にScience Team Meetingの参加者と。

Resolveだけではありません。Xtendは、その名の通り、XRISMの科学観測を拡張してくれます。特に打上げ後に、予想以上に活躍しているのが変動天体探査です。Xtendの広い視野に写りこんでくるX線星が急に明るくなる現象が、たくさん見つかっています。多くは銀河系内の恒星のフレアですが、ほかにも明るくなったX線連星系も見つかります。XRISMチームの突発天体探査チームの活躍で、本格観測開始から7ヶ月にして17報の突発天体発見の速報を、国際天文学連合の速報サイトAstronomer's Telegramに報告しました。

公募観測開始

この9月からは、いよいよ公募観測を開始しました。JAXA、NASA、ESAそれぞれで公募され今年4月に締め切られた計311件の観測提案は、それぞれの機関で審査され、優先順位づけされました。観測時間ベースの競争率は5.6倍で、最終的に104件が採択されました。採択された天体にも優先順位がついており、来年8月までの第一期の公募観測期間にすべてが観測されるわけではありませんが、多くの観測者のアイディアと挑戦によって、さらに新しい宇宙の姿を見ることができることを楽しみにしています。

おわりに

PV観測の結果に基づいた論文を鋭意、執筆中です。その嚆矢としてファーストライトでみたN132Dと、ファーストライト公開につづいてスペクトルを公表した、セイファート銀河NGC 4151の観測結果が論文として出版され、9月20日にXRISMの運用状況・観測状況とあわせ、記者説明会でも公表しました。

また、研究者コミュニティに対しては、秋の天文学会や物理学会で報告され、大きな反響をいただきました。なかでも、関西学院大学で行われた天文学会秋季年会では、「XRISM 衛星がひらく高エネルギー天文学」と銘打った企画セッションを開きました。20件の講演があり、新たなスペクトルがでるたびに嘆息が聞こえてきました。年会全体では、この企画セッションに入りきらなかったものも含め約60件の講演があり、続々と成果が出てきています。そして、9月末には、通算で12回目のチーム会議であるXRISM Science Team Meetingを東京都立大学で開き、今後の観測成果公表に向け、熱い議論を重ねました。今後、次々と発表される成果にご期待ください。

（XRISMプロジェクト 研究主宰者：田代　信）

＊ https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews515.pdf

XL-Calibur気球実験　スウェーデンから カナダまで大陸間横断フライトと硬X線観測に成功！

Esrange実験場でフライトレディになったXL-Calibur気球実験のゴンドラ前にて（筆者：左端）。

日米瑞共同のXL-Calibur気球実験は、2024年7月9日から14日までの5日16時間にわたってスウェーデンからカナダまでフライトしました。本実験は、硬X線の偏光観測によりブラックホールの幾何学的構造やパルサー風星雲内の磁場の様子を捉えることを目的としています。今回はスウェーデン・キルナ市にあるSwedish Space Corporation（SSC）のEsrange実験場での打上げ前の様子と、フライト運用についてお伝えしたいと思います。

日本グループは硬X線望遠鏡を担当しており、4月に学生を含む総勢11名が参加してEsrange実験場で望遠鏡を搭載し、アライメント調整を行いました（ISASニュース2024年7月号参照）。他のすべての準備も完了し、全長12m、重量2トンのゴンドラが、5月11日にフライトレディとなりました。しかし、ここからは冒頭の7月の打上げまで2ヶ月にわたって、打上げに適した穏やかな天候と、6月に優先権を持っていたフランスCNESの気球実験の完了を待つ日々となりました。例年通りに成層圏の風がスウェーデンからカナダまで十分な速度が維持される見通しが7月中旬までだったため、少しでも天候にチャンスがある際には打上げに挑戦し、XL-Calibur実験だけで14回も挑戦し、ようやく7月9日にやっと打ち上げることができました。打上げを待つ間は全員がハラハラドキドキしていましたが、今夏NASA/CSBFが予定していた4実験すべてが打ち上げられたので、結果としては大成功なシーズンだったのだと思います。

我々の気球ではTDRSとIridiumの衛星通信を経由して、常に気球と地上が通信できる状態のため、フライト中の6日間は日米瑞メンバーの3交代で24時間体制で運用・モニターを続けました。2ヶ月も待ち続けた打上げの余韻は10分で切り上げ、検出器の動作モニターをすぐ開始し、上空40kmに到達してからは、いよいよ天体観測が始まりました。初日の観測の時点で、天体からのX線信号が無事に検出されていそうだと分かった際には、日本の望遠鏡が性能を発揮していることにやっと胸をなでおろすことができました。その後は、一時的に、星姿勢系のドアが開かない、トラスの仰角方向の制御が効かない、GPS受信機の熱暴走などのトラブルに見舞われましたが、最終的には、はくちょう座X-1とかに星雲の観測を行い、充分な量のデータを取得することができました。

XL-Caliburは、着陸地カナダから無事に回収が済んでおり、次回は南極での長期間フライトを計画しています。引き続きのご支援どうぞよろしくお願いします。　（広島大学：高橋 弘充）

2024年度気球実験

5月中旬から8月末までの期間、大樹航空宇宙実験場にて2024年度気球実験を実施しました。地球温暖化の影響なのか、今夏も極端な気圧配置や台風の連続発生など実験実施に適さない気象状況の日が頻発し、実験班は大いに悩まされました。それでも、限られたチャンスを逃さず、以下に述べる4回の飛翔を計画通りに実施することができました。

まず、7月4日に「薄殻エアロシェル大気突入カプセルの自由飛行実験（略称RERA–4）」を目的とするBS24–02を実施し、昨年・一昨年に続いて新型カプセルの空力データを取得しました。同25日には、BS24–03「レーザー周波数比較による一般相対論の高精度検証に向けた基礎実験（II）」を行い、気球–地上間の光通信の構築に向けた基礎データを取得しました。8月3日には、B24–01「成層圏における微生物捕獲実験（Biopause V）」を実施し、微生物採取装置の性能データを取得しました。このB24–01にはピギーバック実験として「高精度変位計測装置の実証（DREAM）3」も搭載し、気球飛翔環境でのデータを取得しました。8月21日には「火星飛行機用プロペラ推進器の高高度試験（HIGHPER）」を目的とするBS24–04を実施し、火星大気と同程度の低い気圧環境下でプロペラの空力データを取得しました。異常気象の厳しい環境下でも実験機会を確保し科学成果を最大化する方策として、ここ数年、実験要件の緩和や複数実験の相乗りに取り組んでおり、今回もその効果を上記の4フライト・5実験の実施によって再確認できました。一方、この他に計画していた「皮膜に網をかぶせたスーパープレッシャー気球の飛翔性能評価」は実験機器の不具合のため、「改良型クライオサンプラー性能実証試験」は気象条件が適合する機会を得られなかったため、いずれも今期の実施を見送りました。

放球直前の大気球B24-01号機。

同じく近年の気球実験で注力している人材育成に関しては、従来の「現場実習コース」に加えて「プロマネ入門コース」の試行を開始するなど拡充を進め、JAXA内外から計31名の研修生、若手研究者、大学院生が実験運用の最前線に参加しました。また、フライト終了後に降下した実験機器を海上で回収する技術など、気球実験にて長年蓄積した独自の技術や経験を、JAXA内の他部署におけるロケットや宇宙機などに関する課題に適用し、JAXA横断的に相互技術連携を深める活動も開始しています。

今後もこれらの取組を推進する所存です。実験実施にご協力頂きました関係者の皆様に深く感謝します。　（福家 英之）

Bennu試料の到着とISASから届けることの価値

2024年8月21日、ISAS地球外試料キュレーションセンターにBennu試料が到着しました。この試料は、NASAが推進するOSIRIS-RExプログラムが小惑星Bennuから持ち帰った試料を、JAXAとNASA間の覚書（MOU）に基づいて、総重量の0.5%を受け取ったものです。翌22日に両者で試料を確認の上、受け取りの署名も交わされました。これらBennu試料は、今後、Itokawa試料、Ryugu試料と同様に初期記載がなされ、世界中の研究者に配布されることになります。

Bennu試料を受け取るまでに、多くの困難がありました。試料はNASAスタッフによりハンドキャリーされたのですが、その輸入手続き、空港での税関との調整、空港からISASまでの移動等の事前準備が必要でした。当初、書類的にきちんと準備することしか頭にありませんでしたが、NASA側と調整を進める内に、「空港や移動で試料が強奪される危険はないか？」「ハンドキャリーされることや飛行機の情報などを知られないようにしたい」と、国の背景の違いがあると思いますが、思いつきもしなかった危惧や要求が出てきて、それらに対応するために、部署を超え、さらに所外の方々との連携や調整が必要でした。この調整を通して、それだけ重要なものを運んでくるのだと再確認すると共に身の引き締まる思いでした。

試料受け入れの手続きでは、多くの機関の協力もいただきました。本来、税関手続き中は試料とNASAスタッフが離れざるを得ないのですが、試料を常時監視したいというNASA側の要求に合わせて、羽田税関との前広且つ密な事前調整のもと、到着後速やかに輸入許可を取得し移動することができました。税関だけでなく、航空会社、通関業者、大使館の方々のご協力もいただき、そのご協力に感謝すると共に、日本中が試料を喜び、期待してくれているのだと感じました。

試料到着時の集合写真。

多くの方のご厚意を受け、無事にBennu試料を受け取ることができました。試料は今後研究者に配布されていきます。試料量だけで見るとNASA側に比べて非常に少ないですが、国際公募以外に、Ryugu試料や将来ミッションとの比較研究が計画されています。OSIRIS-REx チームによる分析から、Bennu試料とRyugu試料の類似性が明らかとなっており、比較研究により重要な結果が出てくることが期待できます。Ryugu試料と同じプロトコルで初期記載や研究を行うことで、Ryugu試料ではこうだったという知識や、Ryuguではこれこれがよく見えるというように、Ryuguに深い知見や分析経験を持つ研究者による研究から太陽系の事実がよりわかってくると期待できます。

そのような比較研究をリードできるのは、これまでの探査での実績を一つ一つ着実に積み上げてきた結果であると言えます。単に試料を配布するのではなく、付加価値のある試料配布ができることが、ISASから試料を届ける価値と言えます。ISASから届けられる試料から紐解かれる事実がとても楽しみです。（坂本 佳奈子）

MMXの搭載機器、続々と搬入・引渡へ

火星衛星探査機MMXには、ミッション目的を達成するため、11の科学ミッション機器が搭載されます。加えて、探査技術獲得を目的とする2つの機器も搭載されます。IDEFIX（ローバー、CNES・DLRが開発）の引渡の記事が今年のISASニュース5月号に掲載されましたが、その後も搭載機器の搬入及びJAXAへの引渡が続いています。

その中には、IDEFIXのように、国外機関の協力で開発されたミッション機器があります。MIRS（赤外線分光計）、MEGANE（ガンマ線・中性子線分光計）、PSMP（ニューマティック採取機構）です。その引渡のときには、MIRSの場合はCNES・LESIAから、MEGANEはNASA・APLから、PSMPはNASA・HBR（Honeybee Robotics）から、各機器の代表者やPIらも来日して、引渡のセレモニーを行います。具体的には、クリーンルーム内で機器を囲んでの関係者で集合写真を撮影、さらには会議室で機器のPIと川勝 康弘プロジェクトマネージャが引渡の書類に署名するシーンも撮影します。川勝プロマネ曰く「機器の引き渡しは、責任の引き渡しでもあります。」とのこと。

MIRS引渡の様子。前列左3番目から右に、Michel Le Du（CNES）、Maria Antonietta Barucci（パリ天文台LESIA）、川勝プロジェクトマネージャ。

MEGANE（GRS）引渡の様子。左からLeonard Dudzinski（NASA）、川勝プロジェクトマネージャ、上原 晃斉（三菱電機）。

国内で製作するほかの機器についても、各機器の搬入後、外観検査を行い、JAXAや開発担当機器メーカーの関係者とともに、機器を前にして集合写真を撮影しています。このとき、衛星システム全体の開発とりまとめを担当する三菱電機の協力で、背景となるパネルボードを用意していただいています。また、各機器の開発担当者に苦労話や今後の抱負などのコメントをいただいて記事化し、MMXのホームページ*上で紹介しています。

これまでに、ほとんどの機器の搬入・引渡が完了しています。一つ一つの機器の引渡が完了するたびに、MMXの開発が一歩ずつ前進していることを実感します。これらの搭載機器の中には、すでに探査モジュールなどに組付けを完了しているものもあります。今後は、各種試験を含めた探査機システム総合試験へと向かいます。今後も、MMXの進捗にご注目ください。（矢治 健太郎）

＊ https://www.mmx.jaxa.jp

米国が立ち上げた有人探査プログラム"Artemis"（アルテミス）に、日本も含む各国が参加して、大規模に月面探査を実施していく予定です。これまで有人探査と科学探査は対立軸で捉えられることもありましたが、宇宙研では両者が有機的に連携して成果を最大化しようと考えています。本連載では、我々がどのような戦略で何を明らかにしようとしているのか、解説していきます。第1回は国際宇宙探査の動向と日本の取り組みについてです。（編集委員会）

月探査計画の概要

国際宇宙探査は新たな局面を迎えています。米国は、将来の火星探査を見据え、国際パートナーと共に月面での持続的な探査を目指す「アルテミス計画」を主導しています。日本も2019年にアルテミス計画への参画を決定しました。月活動の透明性や持続可能性も重視されてきており、宇宙探査等を行う際の諸原則についての共通認識を示す「アルテミス合意」は、日本が2020年に署名した後も、署名国が43か国（2024年7月現在）にまで増えてきています。

日本はこれまで、ISSの「きぼう」日本実験棟で、様々な実験や技術実証等を実施してきました。また、ISSへ物資等を輸送する宇宙ステーション補給機「こうのとり」（HTV）が9機連続で成功するなど、ISSの安定的な運用に大きく貢献してきました。このようなISSを通じて培った技術は、有人宇宙活動に不可欠なものであり、将来の国際宇宙探査の基盤となっています。

まず、月周回有人拠点「ゲートウェイ」は、ISSの参加国（米、日、欧、加）を中心として進められているもので、日本は、国際居住モジュール（I-HAB）の環境制御・生命維持システム（ECLSS）の開発・提供及び物資補給の役割を担っています。また、ゲートウェイへの物資補給を実現するため、HTV/HTV-Xの技術と経験を受け継ぐ次世代の補給機も検討を進めています。

また、ISRO等との国際協力の下、月極域探査機LUPEXの開発を進めています。LUPEXは、月面探査の鍵となる水資源の量と形態をその場観測で行う世界初のミッションです。

JAXAが日本の自動車メーカと共に研究開発を行っている有人与圧ローバーは、月面を走行する世界初のシステムです。

ゲートウェイ補給機　ゲートウェイの環境制御・生命維持システム

月ゲートウェイ（イメージ図）

有人与圧ローバー ©TOYOTA（イメージ図）

将来の月面基地（イメージ図）

宇宙飛行士2名が1ヶ月間、宇宙服無しで搭乗可能で、居住機能と移動機能を持ち合わせることにより、有人探査の範囲や、実施可能な科学の幅を拡大することに繋がります。今年4月には、日本による与圧ローバーの提供と日本人宇宙飛行士による2回の月面着陸が、米国との間で合意されました。

また、月面探査活動を行う上で必須なインフラである月面測位サービスとして、全球測位衛星システムGNSS（Global Navigation Satellite System）の月面版ともいえるLNSS（Lunar Navigation Satellite System）を、NASAやESAと協力しながら検討しています。

日本国内でも、昨年6月に改訂された宇宙基本計画や、今年3月に策定された宇宙技術戦略において、探査の重要性と、学術界や産業界との連携が強調されています。ISSへの参画や宇宙科学ミッション等で培った技術や知見を生かして、ISSが活躍する「地球低軌道」を超え、国際的なパートナーや学術界、産業界など様々な分野との連携を図りながら、人類の新たなフロンティアである宇宙探査の挑戦を続けていきます。

国際宇宙探査センター 長：**山中 浩二**（やまなか こうじ）

宇宙・夢・人

Space Human Dream

安全衛生管理のスペシャリストとして宇宙研を支える

科学推進部
林王 正樹（りんのう まさき）

1980年、福島県生まれ。東京都立科学技術大学工学部航空宇宙システム工学科卒業。2005年、川崎重工業㈱入社。JAXA種子島宇宙センターでのロケット打上げ作業や地上設計などに携わる。2018年、日産自動車㈱入社。安全衛生担当として栃木工場、本社に勤務。2023年より現職。

再び宇宙業界へ

――2023年にJAXAに入職されました。現在は、どのような仕事をされているのですか？

科学推進部で安全・衛生・厚生に関する業務の取りまとめを担当しています。具体的には、宇宙研で働く皆さんの安全を確保するためのルールづくり、安全教育や訓練の実施、法令を順守しているかの監査などを行っています。宇宙研では、化学物質や火薬などの危険物、高圧ガス、放射線も扱うので、安全管理はとても重要です。また衛生管理としては健康診断の実施や、健康に関する意識向上のための情報提供やイベントの開催など、厚生に関しては食堂やグラウンドの管理なども行っています。

――以前から安全管理の仕事をされていたのですか？また、なぜJAXAを選んだのですか？

私は、大学で航空宇宙システム工学を学びました。高校生のころから宇宙開発に携わりたいと思っていたのです。大学卒業後は川崎重工業㈱に入社し、JAXA種子島宇宙センターでのロケット打上げ作業や地上設計、またフェアリング製造などに携わってきました。しかし持病が悪化してしまい、治療に専念するために10年ほど務めた川崎重工を退社しました。当時は宇宙業界から離れることが、とてもさみしかったです。

その後、持病が回復してきたことから日産自動車㈱に就職し、5年ほど工場・本社で安全管理に携わっていました。その間も、実はJAXAの採用情報を定期的にチェックしていました。そして、「相模原キャンパスにおける労働安全衛生・環境等管理に関する業務」というキャリア採用の募集を見つけたのです。これに応募して駄目だったら、再び宇宙業界で働くという夢は諦めるつもりでした。

安全管理で大切なのは人と人の関係

――安全管理には、どのような難しさがあるのでしょうか？

現場の人が自発的に取り組まなければ、安全は確保できません。そして、一人一人が率先して取り組もうという雰囲気をつくるには、安全に対する理解をどのように促すかが重要になってきます。安全管理の担当者は現場から嫌われるのが当たり前だと、前職でもよく言われたものです。しかし、「ルールだからやりなさい」と強く言い過ぎると、現場との軋轢が生じることがあります。逆に低姿勢で接すると、軽視されてしまいます。どちらも仕事がやりにくくなります。

――では、どのような方法がよいのでしょうか？

安全管理で大切なのは、人と人の関係だと思うのです。私は、対等な目線で話すことを心掛けています。このルールを守らないとどういうリスクがあるのか、また、このルールがなぜつくられたのかを、対等な目線で説明します。とはいえ、全ての人と対等な目線で接するというのは、とても難しいことです。しかも宇宙研の場合、職員の研究者や技術者だけでなく、学生や、大学・企業の研究者や技術者など、多様な立場の人がさまざまな活動をしています。安全に対する意識も、人によって異なります。最大公約数的なノウハウをつくれないかと、考えているところです。

また、「安全管理の取り組みレベルを数段階引き上げてください」と急に言ったら、皆さんは戸惑うでしょう。少しずつ進めていくことも大切です。今、安全に関するリテラシー向上のための施策を準備しています。その施策が導入された際には、安全の重要性を再認識し安全に対する意識や対応を少しでも高めていただけたら、安全管理担当としてとてもうれしく思います。

縁の下の力持ちとして

――安全管理という仕事の魅力は、どのような点ですか？

多くの人がそうであるように私も、ロケットの設計をしたい、新しいエンジンを開発したいと、宇宙業界に飛び込んできました。最初は、そういうスポットライトが当たる仕事しか見えていませんでした。しばらくして宇宙業界の全体像が見えてくると、バックオフィスの仕事、つまり縁の下の力持ちとして多くの人たちの貢献があってこそ、ロケット打上げも衛星観測も惑星探査も可能になることに気付きました。安全管理も、まさに縁の下の力持ちです。スポットライトが当たるところよりも、縁の下の力持ちの方が、自分の性格に合っていると感じています。

――安全管理の仕事は、ストレスが多くありませんか？

安全管理の担当は、サッカーのゴールキーパーに例えられることがあります。3対0のように一方的に勝っている試合では、ゴールキーパーは注目されません。

しかし、点を取られるとゴールキーパーの責任が問われます。安全管理も同様で、ひとたび事故が起きれば責任が追及される厳しい仕事です。安全管理の担当者は離職率が高いという統計を目にしたことがあります。安全管理の担当者が次々と変わり、しかも引き継ぎが不十分だと、事故のリスクが高まります。安全管理の担当にとっては、もちろんやるべきことをしっかり行った上で、細く長く続けるというのも大切な考え方なのかもしれません。私は、安全管理のスペシャリストとして宇宙研を長く支え続けたいと思っています。

編集後記

10月11日から14日にかけては、太陽フレアによる磁気嵐、紫金山・アトラス彗星、SpaceXのStarshipの5回目打上げ、Europa Clipperの打上げなど、宇宙に関するニュースが盛りだくさんでした。ちょうど週末と連休で楽しませていただきました。

（小川 博之）

JAXA Explore to Realize **ISASニュース　No.523　2024年10月号**
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／ JAXA 宇宙科学研究所長　國中 均
編集責任者／ ISAS ニュース編集委員長　山村 一誠
デザイン制作協力／株式会社 トリッド
〒 252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1　isasnews@isas.jaxa.jp

ISASニュースはインターネットでもご覧いただけます。▶https://www.isas.jaxa.jp/