

S-520-33号機 打上げ成功

2023年12月2日(土)16:00、「先進的宇宙工学技術の実証実験」を目的とする、4つの実験機器を搭載した観測ロケットS-520-33号機が内之浦宇宙空間観測所から打ち上げられました。最高到達高度は打上げ279秒後に304 kmに達し、543秒後に予定した海域に着水しました。なお、実験の詳細は本誌2024年1月号にてお伝えいたします。



The Forefront of Space Science

宇宙科学最前線

宇宙科学ミッションを支える機械式冷凍機

研究開発部門 第二研究ユニット 主任研究開発員 篠崎 慶亮(しのざき けいすけ)

はじめに

30年以上活躍しているハッブル宇宙望遠鏡や2021年12月に打ち上げられたジェームズウェッブ宇宙望遠鏡(JWST)から送られてくる、まばゆいばかりの星々や銀河の世界。その観測装置が冷凍機によってマイナス200℃を下回る温度まで冷却されていることを、読者の皆さんは御存じでしょうか?そんなわけで、今回は宇宙用機械式冷凍機についてです。

宇宙科学ミッションにおいて望遠鏡や観測装置を冷却する技術は、より遠くの天体など微弱な観測対象の検出や詳細な観測を可能とし、ミッション価値を決めるキー技術の1つです。加えて、地球観測衛星や惑星探査においても、高感度赤外線センサの信号に混ざる熱雑音を抑えるための必須の技術となります。世界初の赤外線天文衛星IRAS(米蘭英)や、日本初の宇宙赤外線望遠鏡IRTSなど、初期の衛星では液体ヘリウムなど寒剤を用いる冷却方式が主流でしたが¹⁾²⁾、衛星全体の大部分を占める大きな寒剤タンクを必要とし、複雑な打上げ

運用を強いながら観測寿命は1~2年といったものでした。代わって機械式冷凍機は、寒剤を用いずにピストンを用いた機械的な圧縮・膨張によって低温を作り出すもので、軽量化かつ長寿命化に加えて高い冷凍能力が期待でき、より大型あるいはより高精細な観測装置の搭載を可能としました。いまや主流の冷却技術と言えるでしょう。

本稿では、JAXAで進めてきた宇宙用機械式冷凍機の研究開発と、搭載された宇宙科学ミッションの紹介、および将来ミッションに向け海外と共同で進めた冷凍機システムの技術実証などについて紹介します。

JAXA開発の機械式冷凍機

1970年代初頭には海外で衛星搭載された機械式冷凍機が登場していますが¹⁾、日本では1987年より80K(ケルビン)級1段スターリング冷凍機(1ST)の開発が始まっています³⁾。これは逆スターリングサイクルという冷却原理を用いています。

JAXAが開発した機械式冷凍機の中で主軸の1つとなるのが

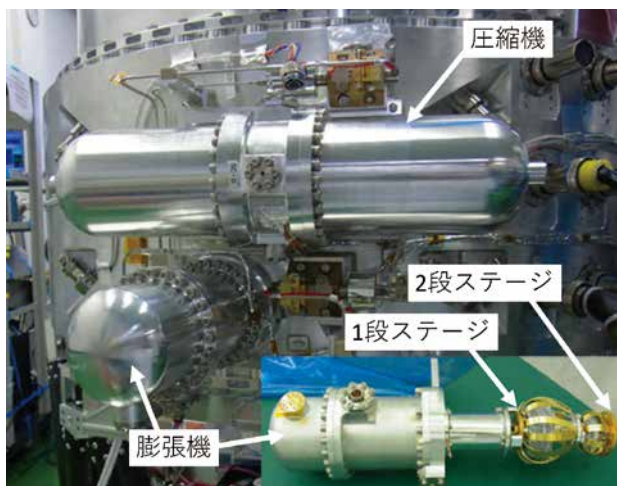


図1：XRISMに搭載された2ST冷凍機の様子³⁾

2段スターリング冷凍機(2ST)です²⁾³⁾⁴⁾。住友重機械工業と共に開発したもので、第一世代機は宇宙科学研究所赤外線グループが赤外線天文衛星「あかり」の搭載に向けて開発し²⁾、その後に研究開発部門が第二世代機を開発しました。逆スターリングサイクルを2段にすることで20Kを作り出します(図1)。最も大きな特徴は冷却効率(求められる冷凍能力/投入電力の比)です。基本的に衛星の電力は太陽電池パネルで得られた太陽エネルギーで賄われますが、その電力は1トン級の衛星でも1kW程度(ヘアドライヤー1つ分)のため、少ない電力でより高い冷凍能力が望めます。この2STは、圧縮機内部にある対向ピストンを15Hzという比較的low周波で駆動することで低温側の熱交換効率を高め、20Kにおける冷凍能力200mWを投入電力90W以下で実現する世界最高レベルの冷却効率を得ています。

日本の誇るもう1つの冷凍機がジュールトムソン冷凍機です³⁾。4.5Kにて冷凍能力40mWを作り出す4K級ジュールトムソン冷凍機(4K-JT)と、さらに低温の1.7Kにて冷凍能力10mWを持つ1K級ジュールトムソン冷凍機(1K-JT)があります。いずれもジュールトムソン膨張という液化機などで用いられている冷却原理を使っていて、世界最高レベルの冷却効率を誇ります。特に1K-JTは2K未満を生成できる世界的にも

数少ない宇宙用冷凍機で、次世代の赤外線天文衛星への搭載を目指して開発されました⁵⁾。

宇宙機器で重要なことの1つが信頼性です。軌道に投入されたあとは当然ながら部品交換含めた調整・修理など出来ません。特に機械式冷凍機の場合、圧縮機内部の対向ピストンなどが数十Hzで駆動されるため、劣化あるいは停止することなく要求寿命(現在は3～5年だが10年以上など長寿命化が求められている)を満たす必要があります。寿命を決める主要因は、駆動部における機械的摩耗と、内部に生じる不純ガスによる作動ガス(ヘリウム)の劣化の2つです。また、打上げ振動環境や放射線に耐える必要があります。JAXAでは、振動試験など一連の耐環境性評価を行いながら、実際に長期運転する寿命評価試験を進め、いずれの冷凍機も要求寿命を満たすことを確認しています²⁾⁶⁾(図2)。

JAXAの冷凍機搭載ミッション

世界的に見て、地球観測衛星などには50～80K級の冷凍機が主流で、それより低温は主に宇宙科学ミッションに搭載されています。2000年以前の日本の宇宙科学ミッションでは、ほぼ全て寒剤を用いた冷却システムでしたが、2005年以降から機械式冷凍機が搭載されるようになりました。

第一世代の2STを搭載した「あかり」は、2006年に打ち上げられました²⁾³⁾。「あかり」は主鏡および観測装置を7K未満に冷却するために約170Lの液体ヘリウムが用いられ、2STはヘリウムタンク周囲のシールド冷却用に2台用いられました。また、2009年には国際宇宙ステーション暴露部搭載ミッションSMILES(Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder)に4K-JTおよび2STが搭載され約8か月間軌道上運用されました³⁾。残念ながら不純ガスの影響により8カ月で観測不可能となりましたが、重要な知見として後述のミッションに生かされています。

2023年9月に打ち上げられたX線撮像分光衛星XRISMに搭載された観測装置Resolveの冷却システムに機械式冷凍機が搭載されています⁷⁾。この冷却システムには、検出器であるX線マイクロカロリメータを50mKまで冷却するために多段式断熱消磁冷凍機という磁気冷凍機(NASA開発)が搭載され、その予冷のために約30Lの液体ヘリウムと4K-JT、4K-JT予冷

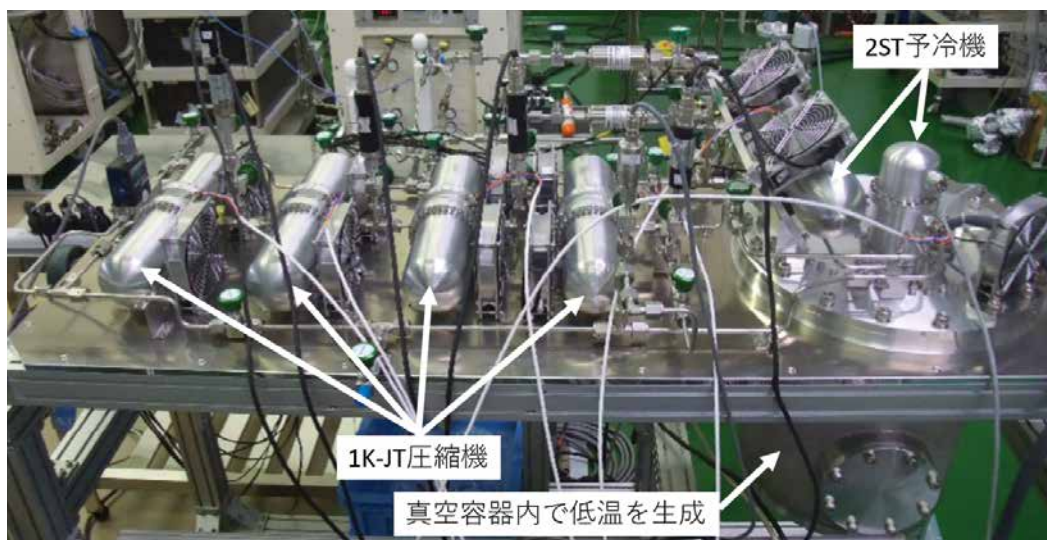


図2：1K-JT寿命評価試験の様子⁶⁾

のための2ST(第二世代機)2台に加え、さらにシールド冷却用の2ST 2台が用いられています(図3)。

この他、宇宙科学ミッションだけでも金星探査機「あかつき」(1ST)、月周回衛星「かぐや」(1ST)、X線天文衛星「すざく」(1ST)などに機械式冷凍機が搭載されました。

欧州の冷凍機と組み合わせた技術実証

機械式冷凍機は信頼性が重要ですが、さらなる長寿命化やより高い冷凍能力を目指した改良は、次世代ミッションの実現性を高め、冷凍機自身の国際競争力を高めることにつながります。

2STは、開発完了しXRISMに搭載された設計に対してさらなる高信頼化を狙い、技術フロントローディングとして圧縮機の改良開発を進めています⁸⁾。これは、構造・機構設計の観点で最も懸念の大きかったボール軸受をなくし、板バネのみでピストンを構造支持するのが狙いです。2019年までの試作評価では要求冷却性能を得ていることが確認されており、耐環境性や寿命評価のための開発を続けています。本開発で得られたピストン支持構造の成果は、ジュールトムソン冷凍機にも有効です。

欧州とは、将来ミッションのための冷凍機システム技術実証試験を進めました⁹⁾¹⁰⁾。これは、フランス開発の50mK冷凍機と、日本の1K-JTおよび4K-JTさらにフランス開発の15K級冷凍機を組み合わせた技術実証です(図4)。フランス原子力・代替エネルギー庁CEAの実験室で行った冷却試験では、約半年間かけて段階を踏んだ単体性能確認・組立を進め、50mKを設計通りの冷却能力で維持することに成功しました。冷凍機は、微妙な侵入熱や機械的振動については実機でなければ分からない事も多く、実際に組み合わせることで互いの特性を深く知ることができ、JAXAが提案する宇宙マイクロ波背景放射偏光観測望遠鏡LiteBIRDなど、将来ミッションに向けた貴重な実証機会となりました。

この他、宇宙用のクローズドサイクル希釈冷凍機(作動ガスを循環させ希釈冷凍の原理で冷却)の実現を目指した研究では、フランス国立科学研究センター CNRSのニール研究所が製作した低温部に日本のヘリウム3循環用圧縮機システムを組合せ、宇宙用としては世界で初めて70mK(低温部設計上の最低到達温度)の生成に地上実験として成功しています。

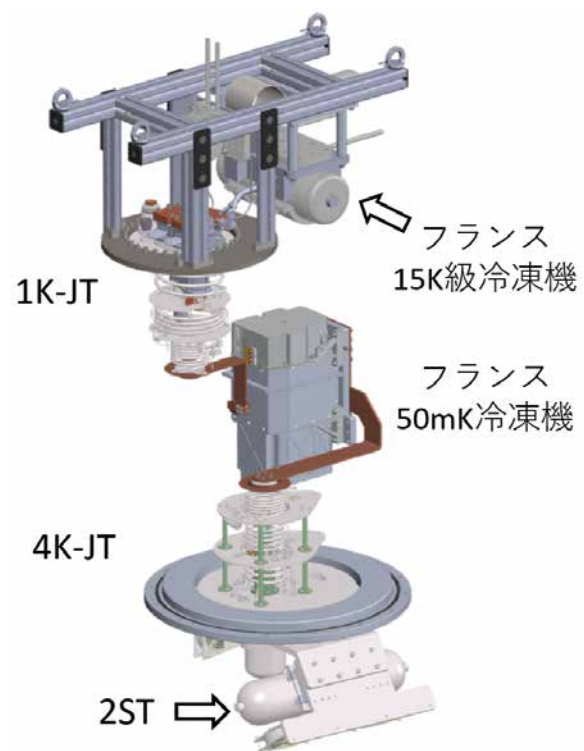


図4：欧州との冷凍機システム技術実証試験の際の概念図⁹⁾

おわりに

本稿では、主に宇宙科学ミッションへ搭載される機械式冷凍機の開発を紹介しました。今回紹介したのは開発全体のほんの一部で、他にも多岐に渡る研究開発が多くのの方々の尽力により進められています。

機械式冷凍機の搭載実績が増えつつある中、高い冷却性能と共に高信頼性がますます求められています。「冷却出来て当たり前」という時代がすぐそこまで来ているかもしれません。一方で機械式冷凍機の開発は、JAXA内だけでも研究開発部門および宇宙科学研究所の各スタッフのみならず各衛星プロジェクトメンバーなどall-JAXAで取り組んできました。数十年に渡るたくさんの研究者や企業の方々による地道な努力によって開発された世界最高レベルの宇宙用機械式冷凍機が、世界に誇れる日本の宇宙科学を支えていることを少しでも知っていただければ幸いです。

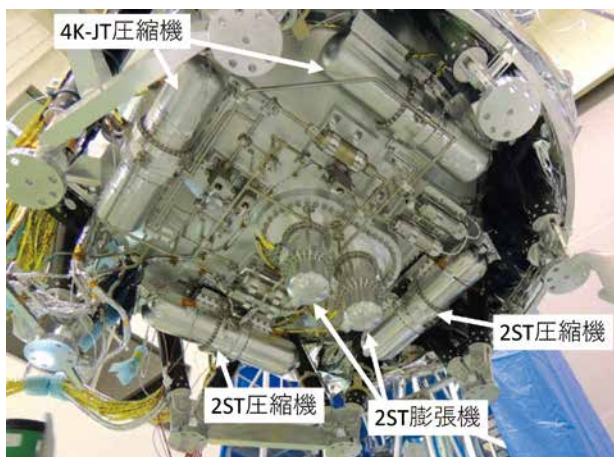


図3: Resolveの真空断熱容器の底面に4K-JTと2ST 2台が搭載された様子⁷⁾

参考文献

- 1) R.G.Ross, Jr. Cryocooler for Space Application, CEC Cryocooler Short Course, 2015.
- 2) T.Nakagawa et al. Flight Performance of the AKARI Cryogenic System, PASJ, 59 pp377 (2007).
- 3) K.Narasaki et al. Lifetime Test and Heritage On-Orbit of SHI Coolers for Space Use, Cryocoolers 19, pp.613, 2016.
- 4) H.Sugita et al. Status of Advanced Space Cryogenic Missions with Cryocoolers in JAXA, Toulouse Space Show, 2010.
- 5) K.Narasaki et al. Development of 1K-class mechanical cooler for SPICA, Cryogenics 44 pp375 (2004).
- 6) Y.Sato et al. Development of 1K-class Joule-Thomson cryocooler for next-generation astronomical mission, Cryogenics 74 pp47 (2016).
- 7) Y.Ishisaki et al. Status of resolve instrument onboard X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission (XRISM), Proc. SPIE, 1281, 121811S (2022).
- 8) K.Otsuka et al. Improvement of micro-vibration of a two-stage Stirling cryocooler, Cryogenics 111 103133 (2020).
- 9) T.Prouvé et al. ATHENA X-IFU 300-50 mK cryochain test results, Cryogenics 112, 103144 (2020).
- 10) 山崎、「CC-CTP Phase-1 実験終了」、ISASニュース 2018年6月号。
https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews447.pdf

過去最大規模の「はやぶさシンポジウム2023」開催

2023年11月15日から3日間にわたり、ISASにて「はやぶさシンポジウム2023」が開催されました。2013年から始まったはやぶさシンポジウム(宇宙物質科学シンポジウム)は、「はやぶさ」や「はやぶさ2」などの帰還試料の研究成果を発表し議論する場であるとともに、より広く惑星科学の発展へ寄与することを目的としています。

世界的なパンデミックによりしばらく対面開催を見送っていましたが、昨年よりZoomを利用したハイブリッド形式にて対面開催を再開し、いよいよ今年は感染症対策の規制が撤廃された中での本格的なシンポジウム開催となりました。今年は発表件数が口頭発表60件、ポスター発表11件と、3日間フルで発表が続くボリュームとなり、会場は常に熱気に包まれました。また参加者は国内外から140名を超える現地参加者に加え、オンラインでの参加も多くあり、参加者の関心の高さと期待感を強く感じました。

今回のはやぶさシンポジウムは宇宙物質科学シンポジウムとし

ては第10回という節目の機会となり、地球外物質研究グループからは「はやぶさ」「はやぶさ2」帰還試料のキュレーションの現状や研究成果の総括が行われ、また今後ISASでも受け入れ予定のNASAの小惑星探査機「OSIRIS-REx」による帰還



参加者の熱気に包まれるシンポジウム会場

試料や、MMXの帰還試料のキュレーションについての講演も行われました。

特に「はやぶさ2」帰還試料については、帰還直後に行った初期分析チームへの試料配布に加えて、2022年からは国際研究公募(AO)の枠組みでの試料配分も行っています。世界中の様々な分野の研究者が独自のテーマや研究手法で研究提案書を作成し、審査機関による審査を経て配分されるものです。このAOによる試料配分が開始されてから1年が過ぎ、今回のはやぶさシンポジウムではその成果が続々と発表されました。初期分析の成果をもとにした発展的な内容の研究だけでなく、初期分析に参加していない若手研究者による発表も行われ、引き続き今後の研究成果が大きく期待されます。

また、帰還から10年以上経過した「はやぶさ」試料についての最新の成果や、「はやぶさ2」帰還試料と比較されて注目を浴びる「OSIRIS-REx」帰還試料についての最新の情報が報告されるなど、参加者だけでなくスタッフにとっても大変充実した内容のシンポジウムとなりました。

来年は「はやぶさ」「はやぶさ2」「OSIRIS-REx」帰還試料の研究成果が発表されることが期待され、さらに世界中の研究者から注目を浴びるシンポジウムとなります。より多くの議論が行われ、参加者同士のコミュニケーションによりさらに研究が生まれる場となるよう、シンポジウム運営チーム一丸となって計画、実施していきたいと考えています。(小嶋 智子)

MMX 第7回サイエンスワーキングチーム会議を開催

2023年11月20日～22日、火星衛星探査機計画MMXの第7回サイエンスワーキングチーム会議(通称SWT)がISASにて開催されました。このサイエンス会議は、前回は2023年3月に日本橋のX-NIHONBASHI TOWERという施設で開催されており、それ以来となります。国内外から約90名が参加し、オンラインでの参加も約30名ほど見られました。前週の「はやぶさシンポジウム」に続けて開催することで、サンプルリターンにかかわる多くの海外からの研究者がISASで参加いただけることになりました。

この3日間を通して、35件の講演がありました。初日の午前には、MMXのプロジェクトマネージャーの川勝 康弘教授からMMXの概要と現在の開発状況に関する講演がありました。続いて、サイエンスボードのチェアである倉本 圭教授(北海道大学・JAXA)からMMXの科学研究に関する講演がありました。午後はNASAやESAによる公募で選定された研究者(PS: Participating

Scientist)による研究紹介、および招待講演も行われました。招待講演は3日間で計5件あり、そのうちの1つは、カリフォルニア大バークレー校の原 拓也氏による、火星の磁気圏の観測計画ESCAPADEで、MMXとの協調観測の提案がなされるなど、大変興味深い話題でした。2日目には、各ミッション機器の進捗状況の報告がありました。MMXの探査機には、ドイツ・フランスが中心に開発したローバも搭載されます。ローバには4種類の観測機器が搭載されており、機器や観測目的の詳細が紹介されました。3日目には、MMXによる成果論文の出版計画に関する議論がありました。最後に、5つのワーキング・グループに分かれてのスプリンターミーティングが行われました。どの講演でも多くの質問が飛び交い、Coffee breakの時間にも、会場のあちこちで熱心に議論する様子が見受けられました。多くの人にMMXへの期待をひしひしと感じさせる会議となったと思います。(矢治 健太郎)



第7回サイエンスワーキングチーム会議の集合写真

「種子島宇宙センターではありません。宇宙研です…。」

國中 均宇宙研所長から約1年前「種子島を見てきなさい」と指示があった。我々は微生物汚染管理を伴う惑星保護、すなわち「地球の微生物で生命生存可能な天体を汚染しない／他天体の生命で地球を汚染しない」任務をISASで担っている。ただ、微生物は目に見えないだけで、地球上のほぼすべての環境に、しかも宇宙の星の数以上(10の30乗細胞程度)存在する。地殻から成層圏に至るまで微生物は存在するし、人間の体に住む微生物の数は、人間の細胞の数を上回る(議論はある)。とにかく膨大な数存在する。そんな中で「探査機のパーツを作る段階から、探査機が宇宙空間に到達するまで、微生物の汚染管理を行いましょう」という惑星保護要請は、かなり難易度が高いように思うこともある。しかし、ありがたいことに、すでにNASAやESAがある程度の「プロトコール化」を進めており、このプロトコール通りにJAXAで遂行できれば、我々は、惑星保護要請を遵守した形で、少なくとも火星着陸探査ミッションを達成できるのだ。

さて、所長からの上述の指示は「射場での微生物汚染管理はできるのか？それにはいくらかかるのか？」と問われたことに端を発する。惑星保護に着手したばかりの我々は答えに窮した。すると所長は種子島宇宙センターに滞在するXRISMプロジェクトメンバーにつないでくださり、そこからさらに、種子島宇宙センターの射場技術開発ユニットとつながることができた。そして、万難を排して臨んだはずの種子島宇宙センター視察で

あったが、2023年8月、大型の台風に見舞われ、視察は中止となった。失意の我々に、射場技術開発ユニットの方が「後日、種子島宇宙センターを案内しますよ」と声がけてくれ、2023年10月、すみわたる晴天の中、種子島宇宙センターの視察が実現した。ほぼ全施設を視察させていただいた非常に濃密な2日間だったし、素晴らしい施設だった。我々は種子島から戻り、さっそく所長にその濃密な2日間の収穫を報告した。「所長、種子島の施設は素晴らしく、最新鋭で、惑星保護運用への適応も可能だと思います。惑星保護における本当の問題は、建物の老朽化が進む宇宙研です…。」

さて、この種子島宇宙センターでの充実した2日間の成果報告書と「宇宙工学者・理学者の皆さんにお届けする惑星保護の手引き(仮題)」については、近日公開予定なので、ぜひ楽しみにしてほしい。(鈴木 志野)



種子島宇宙センターで壁につく微生物を回収する木村氏。決して「いやみ」なわけではなく、真剣だ！

能代ロケット実験場の近況

能代ロケット実験場(NTC)では、真空燃焼試験棟の火災事故後、初期の安全化工事を完了し、今後の再建を目指して検討を進めています。また、真空燃焼試験棟以外での様々な実験を再開することができました。今年度も様々なユーザーにより複数の実験が並行で実施されるなど活況を呈していますが、中でも液体水素供給実験設備の稼働率が高くなっています。NTCで取り扱うロケット推進剤の液体水素は、化石燃料に変わるエネルギーキャリアとしても期待されています。LNGのように水素を液化して大量に海外から輸入するための液体水素運搬船や地上基地設備、水素を燃料とする航空機の開発が進められてお

り、これらの技術基準や安全技術の確立に貢献することがNTCの重要な役割になっています。具体的な実験内容としては、企業が開発した機器に対して、実際に液体水素を供給して-253℃の極低温に冷却し、さらに加圧した状態で性能や機能を確認しています。受入可能な機器の種類としてはバルブ、継手、安全機器、動機器、センサ、貯槽、超伝導機器、発電、熱交換器など多岐にわたります。今年度実施した少々変わった実験として、液体水素防護服の評価を実施しました。この実験では、防護服を着せたマネキンに対して液体水素のジェットを吹きつけ、防護服内部の温度低下状況に関するデータを取得しました。液体水素を大気中に大量放出し、防護服の表面で激しく沸騰させるため、爆発のリスクが非常に高い実験です。爆発が起きたとしても、人員に対しては確実に安全を確保するロケットエンジン地上燃焼実験の安全基準や実験技術が適用されています。今年度NTCでは、防護服以外にも様々な機器を受け入れて液体水素環境での性能を評価しました。また、ロケットの酸素水素燃焼技術を応用した蒸気発生器など、燃焼を伴う実験も数多く実施しています。NTCでは12月に入っても実験が続いていますが、年明け1月～2月は防火用水が凍結するため実験休業期間となります。NTC職員一同の鋭気を養い、3月以降の再開に向けて準備を整えていきます。(竹崎 悠一郎)



左：液体水素供給実験設備(手前の小屋に評価対象機器があります)
右：防護服を着たマネキンに液体水素を噴射する実験の様子



SLIM the Moon Sniper

連載

第6回

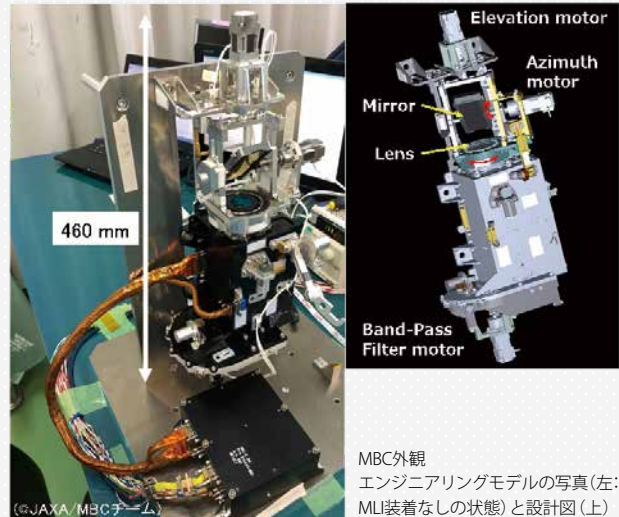
降りられるところから、降りたいところへ

マルチバンド分光カメラとその科学観測

SLIMに搭載されるマルチバンド分光カメラ(MBC)は、750nmから1,650nmまでの波長帯を10バンド、10mの距離で0.13cm/pixelの高解像度で観測するカメラです。打上げ後のチェックアウト観測により地球画像を取得し、機器の健全性を確認しました。MBCはSLIMの月面着陸後に本観測を開始し、着陸点周辺の岩石とレゴリス(月表面の土壌)を観測します。観測波長は月の主要鉱物である輝石、カンラン石、斜長石などを識別するために選定しています。

小型・軽量が特徴のSLIMに搭載するために、MBCにもサイズや質量などの厳しい制約があります(外観図)。それらを守りつつ科学目標を達成するために、MBCはレンズなど光学系に加えて4つのモータによる稼働部(カメラの視野よりも広い月面領域を観測するためのミラーを2軸で回転するための機構、高い空間分解能を確保するためのフォーカス機構、多バンド観測を行うためのバンドパスフィルタの切り替え機構)と、それを支えるロンチロックを持っており、それら技術がぎゅっと詰め込まれた観測機器なのです。ミラーの回転機構やフォーカス機構は、国内の月惑星探査用カメラとして初めて搭載しています。そんなわけで、SLIM探査機本体がとても挑戦的な新しい技術の塊であることは、皆さんで存知だと思いますが、搭載されるMBCも劣らず挑戦的な観測機器だと思います。開発に困難を伴ったことは想像いただけると思いますが、それをここで書き切ることとはとてもできません。この辺りのお話に興味のある方は、機器開発チームのリーダーである佐伯 和人先生(立命館大学)を見つけて質問してみてください。

さて、そんなMBCを使って我々が観測するのは、月深部にあるマントル物質が大型の天体衝突により掘削・放出され、月表面に露出したと考えられるカンラン石に富む岩石です。カンラン石に富む岩石の全球的な分布は、月周回衛星SELENE(「かぐや」)に搭載したスペクトルプロファイラの観測結果から初めて報告されており、分布地点の中から理学的な目的と着陸技術の観点での制約の両方を満たす場所として、SHIOLクレータの近くをSLIMの着陸点として選定しています。ここでMBC観測によって得られる情報がどう重要なかを説明しましょう。現在、月の起源は巨大衝突説(成長途中の地球に別の天体が衝突し、形成された破片やダスト、ガスなどが集積して月ができるとする説)が有力です。ただし、巨大衝突がどのような条件で起こったのか、例えば衝突天体のサイズや化学組成、またそもそも月の原材料が主に地球由来なのか、衝突天体由来なのかはわかっていません。地球と月を形成した巨大衝突がどのようにし



SLIM着陸後のMBC観測イメージ
赤いレーザーの領域を観測しています。MBCはSLIM側面の向こう側に取り付けられているので、このイラストでは見えていません。

て起こり、衝突で生じた破片やガスがどう惑星と衛星に再分配されるのかを知ることは、巨大衝突が惑星の内部構造や化学組成に与える影響、さらには現在の地球環境の成り立ちを理解する上でも重要です。また衝突天体のサイズや衝突の頻度を推定することにも繋がります。これを知る上での重要な情報が、月のマントルの組成(鉱物量比や鉄とマグネシウムの比など)です。月の体積の9割以上を占めるマントルの組成が分かれば、それと地球マントルの比較、巨大衝突の計算シミュレーションとの比較などにより、巨大衝突によって起こる惑星と衛星の再分配や衝突条件に制約を与えることができます。MBCは着陸点周辺の岩石やレゴリスを観測し、岩石に含まれる鉱物の種類や量比、鉱物の鉄とマグネシウム量比を推定することで、月のマントルの組成推定を目指します(観測イメージ図)。

ここまでMBC観測機器の特徴と科学目標を紹介しましたが、この後、SLIMが着陸した後、MBCがどんな月面を我々に見せてくれるのか、観測機器チーム皆はワクワクが止まりません。皆さんにも大いに期待して待っていて欲しいと思いますし、時には、今頃SLIMとMBCはどこを飛んでいるのかなあ、と考えながら月を見上げてみてはいかがでしょうか。

SLIMパイロードマネージャ:大竹 真紀子(おおたけ まきこ)



NHK 第2制作センター科学
チーフディレクター

三宅 浩太郎 (みやけ こうたろう)

若手が支えるフロンティア ～OMOTENASHI/EQUULEUSの 運用に密着取材～

普通、探査機運用中のオペレーションルームにメディアが入ることは許されない。関係者が喜ぶ姿をプレスルームのモニター越しに眺めるだけだ。いつか、感動を共有したかった。OMOTENASHIとEQUULEUSのおかげで、長年の夢が叶った。

1年前の2022年11月16日。NASAの新型ロケットSLSの相乗り探査機としてOMOTENASHIとEQUULEUSが打ち上げられた。6Uキューブサットが月を目指すという世界初の挑戦に密着取材が許され『コズミックフロント 密着！超小型探査機の冒険』が2023年4月6日に放映された。その舞台裏を記してみたい。

打上げから一週間で月着陸という短期決戦は、ドキュメントの対象としてうってつけだった。しかし不確定要素が多く事前台本は書けない。打上げは文字通り二転三転したが、別番組のロケや編集をこなしつつ、その日を待った。

当初考えていた番組の軸は、日本初の月着陸を目指すOMOTENASHI。プロマネの橋本 樹明先生に加え「JAXA入社後の初仕事としてOMOTENASHIを開発した若手チーム」が運用を担当する。打上げ延期に翻弄され結婚式まで延期になった…など、若者らしいエピソードも仕入れてあった。若手技術者が先輩に助けられつつ頑張る。そんな職業ドキュメンタリー的な番組ができるかも…と、展開をあこれ想像した。

午後7時半。OMOTENASHIの信号が届く予定時刻にカメラを回す。しかしテレメトリは無情なものだった。ニュースを見たデスクから「残念だったね。番組は諦める？」と優しい打診があった。しかし、「復活の可能性もゼロではない。順調なEQUULEUSを軸にすれば番組は成立させられるはず」と内心ドキドキで答え、密着を続けた。

2日目以降は、OMOTENASHIの探索（および復旧）運用を横目で見つつEQUULEUSに密着した。幸い部屋はとなり同士だった。プロマネの船瀬 龍先生を中心とした東大とJAXAの学生・教職員チームが交代で運用。「入感」「PZ太陽指向」「アンローディング」など意味不明なことをスマホで検索しつつ、カメラを回し続けた。

EQUULEUSの推進装置は東大小泉研が開発。その運用も小泉研の院生が中心だった。推進装置が設計通りに動かないとEQUULEUSは地球-月系の重力を振り切って飛び去ってしまう。緊張感あふれる運用中、学生たちはモニターに表示される圧力変化をみて、「地上試験より波形が美しい！」と感動していた。後ろで目を細めている船瀬先生も、学生



月の裏側の画像に沸くEQUULEUS運用チーム

©NHK

時代はキューブサット開発に没頭したという。自分たちで開発した装置を、宇宙で作動させる。リアルな運用経験以上に、宇宙人材育成に役立つものはないだろう。

推進装置は驚くほど順調で、EQUULEUSは2回の軌道制御に成功した。SLSに相乗りした10機中、計画通りの軌道制御に成功したのはEQUULEUSだけ。「超小型衛星による深宇宙探査」で、日本は大きな競争力を持つ。次の計画にも期待したい。

7日目の未明、EQUULEUSは予定通りの軌道で月に最接近した。そのときテスト撮影した画像に運用チームが沸いた瞬間は、理屈抜きに感動的だった。撮影は当初の予定にはなかった。理学チームが月の日照を予測して撮影計画を提案。熱や電源まわりのリスクを検討した末、直前に了承されたものだった。月の裏の画像データ自体は誰でもみられる。でも、自らの手で画像を得る作業は、まさに冒険だと感じた。分業化が進む今、工学・理学出身の若手が自然に協力する運用チームの雰囲気は、アカデミックな宇宙研らしかった。

ナレーターの坂井 真紀さんや技術スタッフも「運用のやりとりが新鮮だった」と評価してくれた。1人でも多くの視聴者が宇宙の冒険に共感し、応援してくれたらと願っている。スポーツ選手やアーティストだけが密着の対象ではない。宇宙ファンは予想以上に多い。

宇宙はいま、急速に身近なものになりつつある。今回の密着取材はその事実を説得力ある形で映像化できたと思う。米国がSLSの相乗り探査機を募集したとき、手を上げた宇宙機関は決して多くなかったという。月に行く絶好のチャンス！と前向きに捉え、リスクを過剰に怖れず、2機の開発を決めたJAXAを誇らしく思う。

外部から調達した推進装置の不具合で「固体モータによる月着陸実験」には挑めなかった、あのOMOTENASHI。今年10月に取材で訪れた宇宙科学技術連合講演会で、その遺産の一端にふれた。搭載された線量計の正常な稼働が確認され、今後の有人宇宙探査に活用されそうだという。さらにメンバーの1人は、小型固体モータを使った深宇宙探査の構想を発表していた。フロンティア精神あふれるOMOTENASHIを経験したJAXAの元新人たちは、必ずやたくましく育ち、未来の探査を支えてくれることだろう。

本欄への執筆を打診していただいたとき、独特の感慨があった。惑星科学を専攻していた院生時代（90年代初頭の話…）に水谷研（当時）の新着論文セミナーに通った経験があり、青春の思い出の地・宇宙研に一方的な親近感を抱いてきたからだ。2011年にスタートした『コズミックフロント』は、今年の12月に新番組『フロンティア』に生まれ変わった。番組は変わるが、これからも宇宙探査を応援していきたい。

》予算管理からオフィス改造まで

自分が理解できれば、相手も理解できる

——科学推進部では、どのような仕事をされているのですか。

宇宙研の予算管理等を行っています。文部科学省等へ予算要求をして、その予算を様々な事業に配分するのが主な仕事です。

予算要求では、各省庁に事業内容、その意義を理解していただく必要があります。各省庁の方々も、必ずしも専門知識を持っているわけではありません。専門的な内容を、いかに分かりやすく翻訳して伝えるか、というのが難しいところです。ただし私も素人です。自分が理解できないことは、相手も理解できない。逆に言うと、自分が理解できれば、相手も理解できる。そう考え、資料を調べ、研究者や技術者に聞いて、説明資料を作成、説明しています。

より難しいのは、予算配分の方ですね。本当は、すべての事業に十分な予算を配分したいのですよ。でも、我慢してほしいと伝えなければいけないこともあります。そうしたとき私は、「素直に」を心掛けています。良いか悪いか素直な心で受け取り、その気持ちに蓋をすることなく、自分の意志をはっきり伝えることが重要だと考えています。素直に生きる。それが私の信念です。

——人とのコミュニケーションが重要になる仕事ですね。

でも実は、人と話をするのが苦手なのです。緊張して、相手の目をしっかり見られないのです。仕事なのだからやらなければ、と頑張っています。

宇宙研の素晴らしいところを外へ伝える

——科学推進部に来て4年半になりますね。

これまでいくつもの部門や部署を経験してきましたが、宇宙研は初めてでした。JAXAの他の部門や部署から見ると、宇宙研は特殊な組織という印象があります。例えば、教育職の「先生」と呼ばれる人たちがいるのは、宇宙研だけです。最初は戸惑いましたね。

宇宙研に来て分かったのですが、皆さん、自分達で何かをやってみようというモチベーションを持っていて、自ら手を動かしています。それは、他ではあまり見られません。自分で手を動かさないと、発想が豊かにならないし、応用が利かなくなってしまう。宇宙研の素晴らしいところを、宇宙研の中から外へ伝える活動を始めています。

——科学推進部のオフィスの改装を中心になってやったと聞きました。

新たに管制室を作るために推進部の執務室に他部署を集約した

科学推進部 参事

立川 誉治 (たちかわ よしはる)

1979年、埼玉県生まれ。1999年、宇宙開発事業団 (NASDA、現在JAXA) 入社。有人本部、財務部、評価監査部、調達部などで、契約、資産管理、内部監査、業績評価などの業務担当を経て、2019年から現職。



のですが、どうしても人が入りきらず、フリーアドレス化することになりました。それにはオフィスの大改装が必要ですが、お金をかけられないので業者には発注できない。そこで、若い人たちに声を掛けたら、やってみたいと何人も言うてくれたのです。若い人中心にデザインを考え、建具の取り外しや壁・床の補修・塗り替え、床下のネットワークの配線も自分たちで行い、数カ月かけて完成させました。みんな楽しそうに作業していましたし、何より完成したオフィスでみんなが心地良さそうに仕事している様子を見て、大変でしたけどやってよかったと思いました。

——2010年にNASAからSFA (Space Flight Awareness) を受賞されています。

SFAは、国際宇宙ステーションプログラムに貢献した人を表彰するもので、有人部門に籍中に頂きました。当時は、「きぼう」日本実験棟が3回に分けて打ち上げられ、日本人宇宙飛行士のフライトも続き、宇宙ステーション補給機「こうのとり」の打上げもありました。多くの人がミッションに対応する中、私は予算等の業務を担当していました。縁の下の力持ちとしての仕事を評価していただけたのかなと。うれしかったですね。

■宇宙に憧れがあったわけではないが

——子供のころは、どういうことに興味がありましたか。

家は山の中にあり、いつも外で遊んでいて、休みの日は農作業の手伝いをしていました。父は技術者でもあり、旋盤等の機械を使ってゼロコンマ何ミリの世界でもものづくりをしていました。そんな父を見て、父のような技術者になりたいな、と思っていました。

——どのような経緯でNASDAに？

高校で、進路に悩んでいる時に、進路指導の先生から呼び出されたのです。「俺に人生を預けてみる」と言われて、勧められるまま経理の専門学校に進みました。高校は商業高校で、簿記の成績は良くなかったのになぜそこを勧めたのか、今でも謎です。

就職については何も考えていませんでした。ある日、校長に呼ばれて行くと、「NASDAの試験を受けられるから、受けてみなさい」と言われたのです。実は、NASDAを知りませんでした。でも、受けるのなら絶対受かってやる! と思って臨み、今に至ります。

——今後、異動したい部署はありますか。

私の場合、宇宙に憧れがあったわけではなく、仕事としてやってきました。だから、これからも何かを成し遂げたいという大きな志はありません。ただし、どの部署に行っても、その仕事を全力でやっていきます。

編集後記

SLIMが来年早々に月着陸に挑みます。私自身はほとんど関わっていませんが、チームの方々が着陸に向けて精力的に準備しているのを横目で見てみると、私も緊張してきます。年末年始を挟んで、運用しながらの準備で大変だと思いますが、成功を心からお祈りしています。(小川 博之)



ISASニュース No.513 2023年12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/宇宙科学広報・普及主幹 藤本 正樹
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/>