

News

2024
11

No.524

特別公開の実施

宇宙科学への理解をより深めていただくことを目的としたJAXA相模原キャンパス特別公開2024が11月2日(土)に実施されました。あいにくの雨天でしたが、4,530人の方々においでいただき、相模原市立博物館を含む各ブースとも大変盛況でした。翌3日にはオンラインでの特別公開も配信もされました*。

*https://www.youtube.com/watch?v=IX1IXuo_HGE



The Forefront of Space Science

宇宙科学最前線

ムーンショット型研究開発事業が目指すAI・ロボット群による月溶岩チューブ探査と月面未来都市 ～月面跳躍ローバLEV1のDNAが向かう未来～

中央大学理工学部電気電子情報通信工学科 教授／中央大学研究開発機構 ユニット長／
内閣府ムーンショット型研究開発事業 プロジェクトマネージャ

国井 康晴(くにい やすはる)

はじめに

子供の頃、親に付き合っって流星や月食などの天体現象を見上げ、宇宙に惹かれた。Star TrekなどのSFで描かれる人類が宇宙で生活する世界に憧れ、ロケット、宇宙船、ロボットといった宇宙時代を支える電気・機械技術に興味を持ち、月面基地やスペースコロニーでの生活を夢見た。様々な縁で宇宙科学研究所と共に研究する機会を得て、気づけば30年近くが経つ。だが夢見た未来が遠い現実を感じてきた。もちろん工学的に未熟な部分、そして日本では月や深宇宙に行く理由がほぼ科学的探究でしか見出せない現実もあった。もちろん宇宙科学のための研究開発も十分に筆者の興味を満たしてきた。一方で近年、状況は大きく動いている。宇宙、ロボット、AI分野の発展と応用の勢い、それら技術融合の相性、技術要素の大衆化、それらの展開には目を見張るものがある。一過性であっても過去と明らかに異なる様相を呈する。また我が国でも科学以外の理由を見出す流れもアルテミス計画など国際的動きに押され変化してきた。さらにSLIMやLEVなどの成果も積み上がり、宇宙戦略基金など宇宙技術の大型予算も整

備され、筆者がPM (Project Manager) を務める内閣府ムーンショット型研究開発事業 (MS) でも2つのプロジェクトが月を目指す。まさに宇宙時代の幕開けに立ち会える情勢が揃いつつある。そこで本稿では、MSにおける我々のプロジェクトに関し紹介したい。

月面を目指しての25年とその先へ

2024年1月20日深夜、筆者は月面着陸機SLIMに搭載した小型ローバLEV1の運用画面を開発チームの一人として見つめていた。LEV1は無事、日本初の月面探査ローバとなり、世界初の月面跳躍移動、地球直接通信などを実証し今後に関わる成果を得た(図1①②)。だが月面への道のりは長かった。2007年にSELENE(「かぐや」)による月周回観測が成功し、着陸の機運が高まるが、続く着陸計画SELENE-B(2000～2004年検討)は採択されず、その後も検討は続けたが約25年間実現されなかった。SELENE-BはSELENEから分離された実験計画で、小型ローバ搭載が議論されていた。米国がローバSojournerによる火星探査を計画(1997年に成功)したことを受け、我々は小型月ローバを研究し、その成果を基にSELENE-Bローバ(図

1③)を検討した(その姿は近年の極域ローバ達に先行する)。しかし通常サイズのローバを研究しつつも、ミッション実現には技術以外の壁が感じられ、議論は徐々に小型機に移った。そして宇宙研 吉光 徹雄先生と移動する車中、着陸地点から500m程離れた直径50mの縦孔に落ちるロボットを議論し、それがLEV1の原型となった。「はやぶさ」搭載MINERVAより始まる小型機の系譜は、最初は微小重力下での摩擦不足のため、続くLEV1では移動能力低下を補う手段として跳躍を採用し、理由は異なるが脈々と繋がっている。またかつては探査機余剰重量が唯一の機会ゆえの小型機だったが、それが前向なものに代わった個人的な契機は、JAXA/JST探査イノベーションハブ(RFP3)に採択された図1④に示す次世代未踏峰探査方式の提案であった。多数の小型機を群行動させ点から面探査への転換、数を活かし高リスク環境への対応などで、その後のRFP4、そして現MS検討課題へと繋がり、宇宙研と縁が深いプロジェクトになる。

ムーンショット型研究開発事業で開く宇宙時代

ムーンショット型研究開発事業は、10の目標(分野)で構成される。我々が所属する目標3は、AIとロボット、その融合領域を課題とし、現在8人のPMが各プロジェクトを遂行中である。その内2つが“人間が活動できない難環境”として宇宙、特に月を対象とし、2050年の未来都市構築に向けた研究開発を進める(図2①②)。我々は特に、土壌に守られ、より安全かつ安定な環境とされる溶岩チューブ(洞窟)内部を居住対象地とする。溶岩チューブは溶岩流の跡にできる横型洞窟で、

月面上に多数ある穴(縦孔)の一部は天井部が崩落した穴とされるが実際は未確認となる。宇宙研でも長く科学ミッション検討がある対象だが、MSは工学利用を主とした別検討になる。MSでは、まず図2③の様に縦孔に侵入、横穴の存在を確認、続いて探査を経て居住環境調査、適地選定、資材輸送、建築と進み前哨基地を確保(図2④)、最終的に一般の人々が居住する月未来都市(図2②)の構築を目指す。しかし横穴は月周回軌道上より観測不能で、地球上と異なる物理環境、溶岩成分(水分の有無など)などで内部状態予測が困難な未踏未知難環境となり、ロボットには高リスク過ぎる環境となる。ゆえに従来手法でのアプローチは不可能なため、中央大、宇宙研を含む国内7機関が一丸となり各種研究開発を進める(海外1機関が応用検討)。

AIロボット群による溶岩チューブの探査・開拓

従来、ほぼ唯一の機体で探査達成を目指すゆえ、設計・運用の際、転倒、衝突、機体損失などの様々な危険要素を排除するリスク管理のため、高性能な計測と処理を行う機器が必要であった。さらに少ない打上げ機会が多様な成果を期待するため観測機器が増加し重量増と大型化そしてコストが上昇、当然、機体数が制限され、結果、リスク回避圧力が上昇という悪循環にある。しかし超難環境を狙うには、この点での発想の転換、すなわちリスクとの対峙法を根本的に変える必要がある。そこで、あえて機能抑制しても小型軽量化し機体数を確保し数でリスクを分散・抑制(図3)、運用数および編成の自由度の向上、そして余剰重量・容積の利用による打

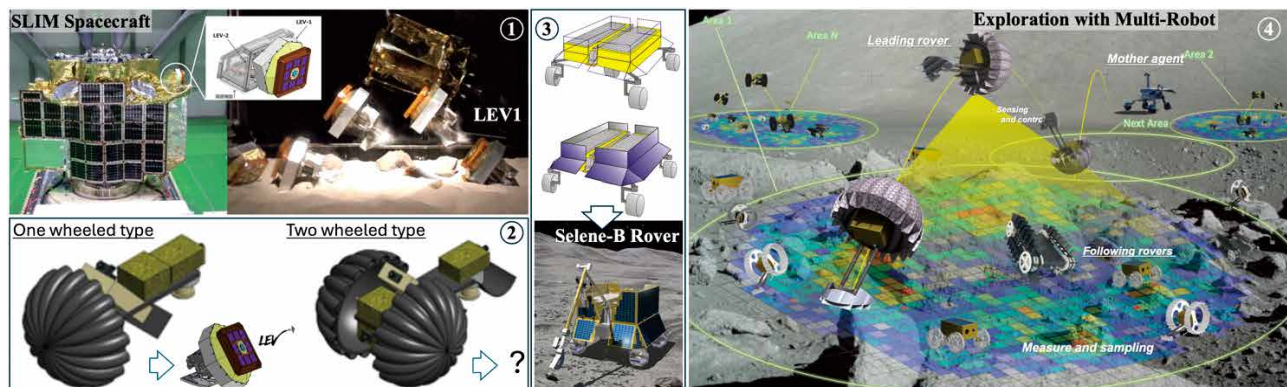


図1: 日本初の月面探査の実現を目指した25年~その先へ

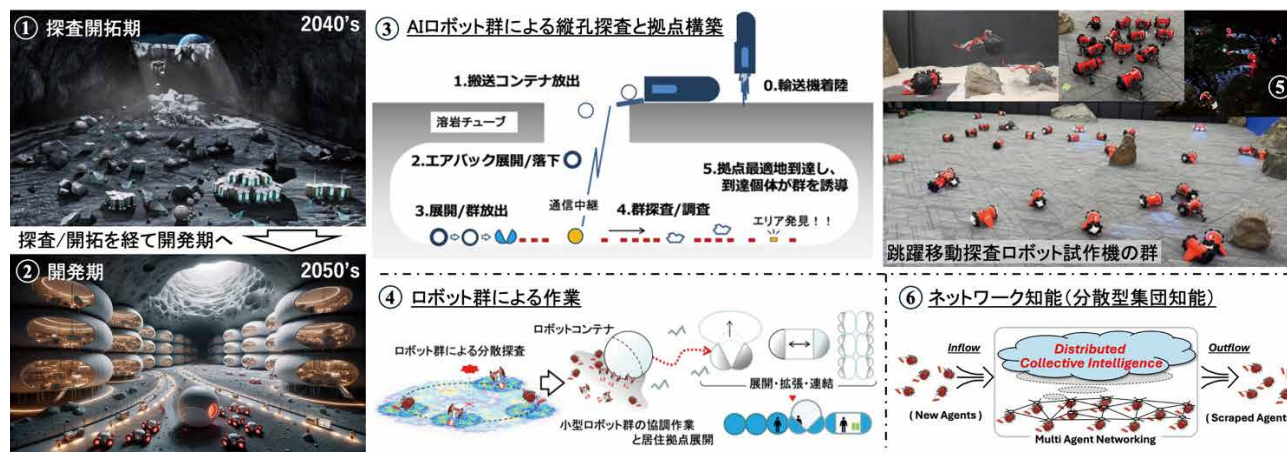


図2: 2050年の月面未来都市実現に向けたAIロボット群の研究開発と未踏峰探査技術

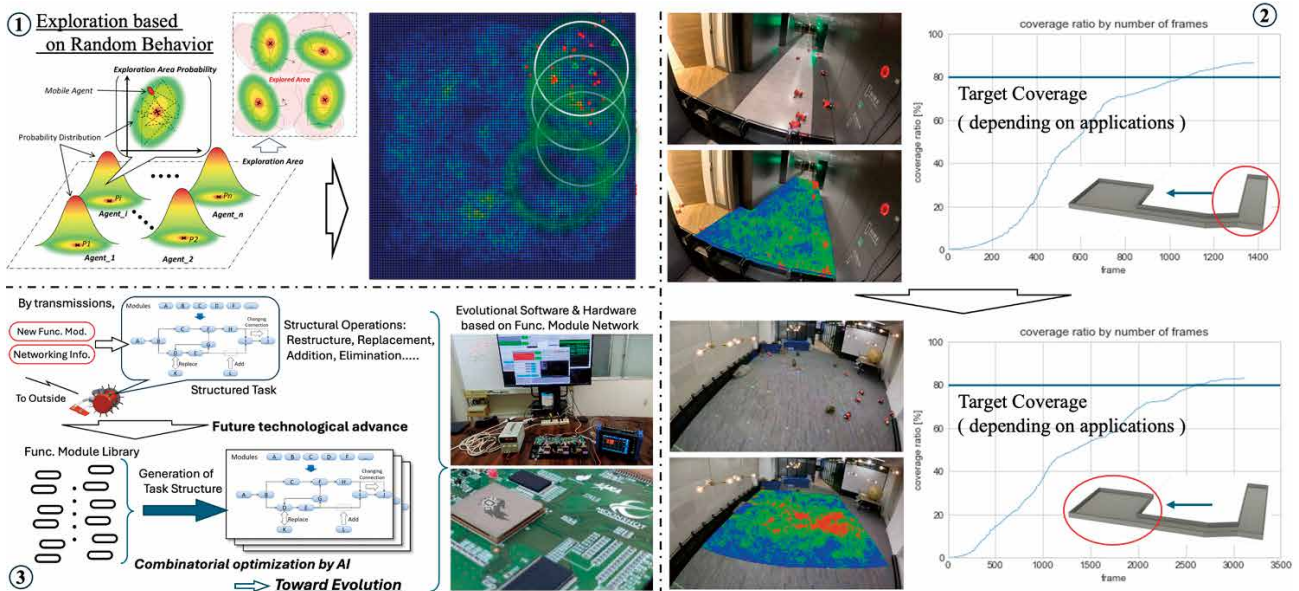


図3：群知能、分散共有型集合知能そして機能進化型制御機構の研究開発と実現

上げ機会確保を狙った。問題は力学的制約、機器・機能の削減による性能低下など負の側面である。大型機に比べ機能・性能では不利となるが、機数確保を優先し、主に以下3つの回復策をとった。

1. 群行動と分散共有型集合知能の実現

機体の物理性能、計測性能、処理能力を補うため、群知能と連携する分散共有型集合知能（ネットワーク知能：N知能）を個体間ネットワーク上に構築する。図3①の様に群知能では確率的動作による群生成を採用し可能な限り制御に必要な環境情報（≒センサ数）を減らす。そもそも小型機では、地形や岩で先が見えず、生成できる経路が極端に短くなり、計測制御精度も低いため経路計画が困難となる。そこで個体を空間に分散、流動化して探査能力を向上した。図3②に提案方式による探査結果を示す。洞窟を模した実験環境を右から左に区画と通路を面的に探査させ、移動中に先への経路・観測対象などが確率的に発見される。一方、N知能は、各個体の余剰処理能力による分散処理で実行され、群の編成や役割、群間協調などを担当して未知環境中を戦略的に生き抜く。ここでN知能は、図2⑥にある様に世代を超え、個体新陳代謝の流れの中で永続的に生き続けるAI機能の実体となる。

2. 機能構成の柔軟化と進化による状況適応能力

未知環境・状況への適応能力確保では機能の変更・更新さらに生成も鍵となる。機能のモジュール化により組換え可能な機能実現の仕組みにより、個体、群およびN知能の各機能を構成する（図3③）。非搭載モジュールの送信追加、モジュールの接続変更にて搭載機能は様々に構成できる。これにより様々な状況に対処し、将来的に機能の自動生成や進化へと繋げる。またネットワークを介した機能の相互利用により個体と群の能力が向上し、さらに機能群の分散実行がN知能の実行基盤になり、機体損失や通信障害等へも対処する。一方、計算機ではクロックを用いると電力と処理速度がTrade-off関係になるが、モジュール化した機能の並列実行で省電力で高速動作を実現した。現在、提案機能制御アーキテクチャを搭載し

たソフトウェアとFPGAを利用した進化型機能制御装置を開発、宇宙仕様化も視野に試験中である（図3③右）。

3. 跳躍移動による走行性能の担保

車輪や走行機構の小型化で移動能力は低下する。物理能力の低下に加え、サイズと障害物（凹凸や岩）数の反比例関係が影響する。一方、軽量化で運動エネルギー（または衝撃）が減少、さらに衝突・転倒などが不可避と考えれば跳躍移動が能力回復の解となる。図1②の様にLEV1では方向（1輪）と跳躍（前進）の最小構成を月面で実証試験し、MSでは探査対象との柔軟な距離調整のため2輪＋跳躍を採用、そこに月土壌との物理作用などを考慮した性能向上を検討、図2⑤の様な試作ロボットを開発した。さらに新しい発想を加えた機体、縦孔投入カプセル、拠点構築や長期探査を見据えた輸送・中継コンテナと展開構造に異種間の協働機能などのロボット技術についても研究中である。それら成果を活用し、現在、LEV1に続き、民間ミッション用の探査機のFlight Modelの開発を始めた。

宇宙時代開拓期の幕開けに向けて

MSが目指す宇宙に生存圏が拡大した未来、その第一歩として2030年までに月に戻り、縦孔に進入して横穴の存在と居住適性を確認して2030年以降に企業などが参加する開拓期の扉に指をかける。幸いムーンショット、スターダスト、宇宙戦略基金などで研究開発成果の創出と人材集約が始まり、各成果の融合がなされれば開拓期の到来も夢ではない。だからこそ未来に向け、2030年までに可能性を示すことが望まれる。

いま我々は、来たる未来に向けて、自らが研究開発する各種技術、装置等の全体または一部を活用・応用し、国内外の人々、プロジェクトと協力することを積極的に模索している。もちろん宇宙科学分野との協力も同様で、未踏環境の観測と知見は工学分野にも重要である。このような活動と月での実践の先にこそ、火星、その先のどこかの探査・開拓などが見えてくると信じ、真の宇宙時代の到来に寄与できることを望みながら今後も研究開発を続けて行く。ぜひ応援して頂けると幸いです。

Heraの最新状況～打上げ・初期動作チェック完了！

二重小惑星探査計画Heraは欧州宇宙機関 (ESA) が主導する小惑星探査計画であり、小惑星ディディモスとディモルフォスの二重小惑星系にランデブして約半年間にわたって探査する計画です。日本も熱赤外カメラTIRIを提供するほか、小惑星の科学の面で貢献します。Heraは、2022年9月26日に米航空宇宙局 (NASA) のDART (Double-Asteroid Re-direction Test) が小惑星ディモルフォスに衝突し、軌道速度を微修正することに成功した後に現地を訪れ、地上からの観測では分からない状態、特に衝突痕の大きさや



TIRIが距離140万kmから撮像した地球・月の熱画像。地球の左半分は夜間だが、赤外線では明るく見える。

形状、自転・公転軌道の状態、小惑星の質量や脆さなどを現地で詳細に観測します。それによって、DARTの衝突によって加えられた運動量に対する衝突後の小惑星の運動量の変化を定量的に評価し、将来の別の小惑星の軌道修正に応用できるよう準備することが最終目的です。DARTとHeraは当初より連携して検討されており、史上初の本格的な国際共同プラネタリーディフェンス計画AIDA (Asteroid Impact & Deflection Assessment) を構成します。また、取得した観測データは科学的にも貴重であり、小惑星の科学、特に惑星形成過程の解明に向けた研究も推進します。

Heraは現地時間で10月7日10時52分 (日本時間で同日23時52分) にフロリダ州ケープカナベラル宇宙軍基地からスペースX社ファルコン9によって打ち上げられました。ハリケーン・ミルトンの接近による天候悪化が懸念されましたが、降りしきっていた雨も奇跡的に回復し、無事に打ち上げることができました。リフトオフから30秒ほどで曇天の中へと消えてゆき、その後に轟音が続きました。打上げ後の探査機の状態は良好であり、バス系機器の初期チェックに続いて、いよいよ観測機器の初期チェックが開始されました。TIRIは10月10日と16日に機能チェックを実施し、打上げ後の健全性が確認されました。機器校正を兼ねた地球や月の撮像も実施、良好な熱画像を取得できました。2025年3月の火星フライバイ、2026年12月の小惑星到着に向けて準備が整いました。乞うご期待!!

(岡田 達明)

池田 博一先生を偲ぶ ～「池田スクール」の追憶～

「はやぶさ」初号機がイトカワ着陸に成功した2005年、池田博一先生はKEKから宇宙研に教授として着任された。集積回路設計の巨匠との噂は耳にしていたが、私と先生のお付き合いは翌年の冬からになる。

開発が難航したレーザー高度計LIDARの受信回路をいかに改良するか悩んでいたある日、高橋 忠幸先生のご紹介で池田先生に相談する機会を得た。先生の前に回路図を持ち出し、LIDARの回路に必要な機能や性能について、1時間ぐらいたったか話をさせていただいた。それから1ヶ月ほどしたある日、池田先生がふらっと私の居室にいらっしゃり「こういうのでどうでしょう?」と、集積回路の回路図を広げて静かに説明をはじめられた。ICにするなど全く頭になかった私は足が震えるほど驚愕した。これがMMX搭載LIDARに実装されている光パルス受信IC LIDARXの開発のはじまりだった。その後も、シミュレーションから製造発注、周辺回路の設計から試験まで、まさに手取り足取り、「ハハハッ」と快活な笑いととも丁寧にご指導くださった。

開発の途中、回路シミュレーションでは現れなかった信号干渉が実験で測定されて困ったことがあった。先生は実験条件やICの設定を丁寧に聞き取り、その数日後、このラインが干渉しているからレイアウトで変更すれば良いと指摘くださった。でもレイアウトを反映したシミュレーションにも出ていないんだけど

なあ・・・と実は半信半疑のまま、次の試作でレイアウト変更を行った。

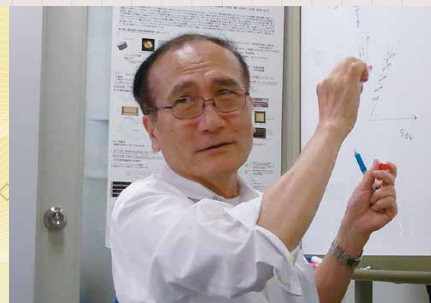
数ヶ月の製造工程を経て、結果を実験室で先生と一緒に確認すると、問題の干渉はきれいに消えていた。その時、私にはとくに立つ先生の横顔が仙人に見えた。

高崎で行った重粒子試験 (2019年) にもご足労いただいた。深夜に及ぶ試験の終盤、ラッチアップを監視する学生が眠気にあらがいきれずに船をこぐのを見て、学生の後ろに静かに立って電流モニタを監視してくださったのが印象に残っている。

定年退職後も、宇宙探査イノベーションハブの招聘職員として引き続きご指導をいただいた。HTV-Xに搭載されるFlash LIDARの3Dイメージセンサーは、先生がその時に設計されたICである。私だけでなく、多くの大学関係者やメーカーの方々が、設計の依頼や相談のために頻繁に「池田スクール」を訪れていた。まさに「桃李ももの言わざれども下自ら蹊を成す」である。

MMXのLIDARは、多くのメーカーの技術者や他大学の先生方の努力によってFMが完成し、ワンチップで100km～100mまでの測定を可能にしている。池田先生への感謝を胸に火星へ向けて送り出したい。

(水野 貴秀)



ある日の「池田スクール」にて (2018年6月)。



SLIMにつづく日本独自の 月探査計画 月面3科学

2022年11月16日にSLSロケット初号機によって打ち上げられたアルテミス1ミッションによって、本格的な国際宇宙探査（月探査）がスタートしました。前号で紹介があったように、米国のアルテミス計画において、JAXAはゲートウェイの居住モジュール・補給機、そして有人探査ローバ等の重要な役割を分担することになっています。アルテミス計画のような、有人を中心とした本格的な月面探査／開発は、一国が行うには規模が大きいため、国際協力で進めていく必要があります。その中で日本がプレゼンスを発揮することができているということは、これまでの宇宙開発でJAXAが積み上げてきた技術や経験によるところが大きく、国際的な協力とともに独自の活動が重要であることは言うまでもありません。日本は、単独で宇宙開発を行える数少ない国であり、国際的な責任も大きく、今後も「日本ならではの」活動を継続することが必要です。

月探査における日本の独自の活動といえば、小型月着陸探査機SLIMが記憶に新しいところです。SLIMは日本初の月面着

陸に挑むだけではなく、将来の月惑星探査ミッションを見据えて、世界初となる月面への「ピンポイント着陸」の技術の獲得を目指して計画され、2023年9月7日に打ち上げられました。2024年1月20日には着陸に挑戦し、目標としていた100m精度を上回る高精度の航法誘導を成功させました。SLIMが実証したこのピンポイント着陸技術は、質の高い月面探査を行うために非常に重要な技術であり、有人活動においても活用されることが期待されています。

SLIMミッションによって得られた月面着陸の次に日本が行うべきは、当然その先にある月面における活動となります。月面は一級の科学成果が期待できる場であり、様々な研究テーマが考えられます。その中で、現在我々が世界的レベルの成果を達成できるとして設定しているのが、以下の「月面3科学」（タイトルのBig Threeは3科学を意味しています）です。

- 1) 月面からの天体観測（月面天文台）
- 2) 重要な科学的知見をもたらす月サンプルの選別・採取・地球帰還（月面サンプルリターン、月面SR）
- 3) 月震計ネットワークによる月内部構造の把握（月震計NW）

月面天文台は、電波的に静穏である月面の裏側の環境を生かして、低周波数帯での電波干渉計によって、宇宙の始原状態の物質分布について調べることを目指しています。月面SRは、太陽系初期から現在までの天体衝突の記録媒体である月の始原地殻岩または衝突熔融岩の露頭において、サンプルのその場分析・地球帰還により、初期天体衝突史を解明することを目指します。また、月震計NWでは、月面における広域な月震観測ネットワークを構築し、月のグローバルな3次元構造を明らかにすることを目指しています。連載では、これらの3科学の内容の詳細と、それを実現するための技術に関する説明が予定されています。

上記の3科学の実現のためには、今まで日本では未成熟であった、天体表面における走行・輸送技術、ロボティクスを用いた探査技術、天体表面におけるエネルギー管理技術、自律探査技術等が必要になります。我々はISASが従来行ってきた「一級の科学と技術獲得の同時実行」によって、科学成果を得ながら、「天体表面における探査技術」を効率的に獲得することを目指しています。ただし、それは1回のミッションで完了するものではありません。そこで、アルテミス計画によって世界的に増加している輸送機会を積極的に活用していくことが重要です。これは、「アルテミス計画への参画により我が国の月面活動の機会が拡大していくことを念頭に、当該機会を活用して新たな知の創造につながる世界的な科学の成果を創出することを目指す」という政府方針にも沿っています。

月面開発で目指す壮大な有人月面基地は、簡単に実現できるものではありません。そのため、できる小さなことから始めることが重要です。SLIMミッションで一步目を歩み始めた日本の月表面の探査。その次に月面の3科学を実施することで、大きなミッションや火星探査等に繋げていければと考えております。

佐伯 孝尚（さいき たかなお）



月面3科学から本格月面探査と火星探査へ。

XRISM、「校正クラブ」デビュー

中央大学理工学部
XRISM ミッション機器 (Xtend) チーム、科学運用チーム

米山 友景 (よねやま ともかげ)

天文学は、天体を観測することから始まる。輝かしい宇宙の神秘を宿した星々は、愛でるだけでも素晴らしい。しかし、「学問」をするならば、それだけで満足してはいけない。天体の物理量を引き出さなければならないのだ。星の色と明るさからは温度や大きさを、スペクトルの輝線や吸収線からは組成やガスの運動を、という具合である。そのためには、観測された信号を物理量に変換するための「校正 (calibration)」が重要である。これは、可視光線の遙か外側、紫外線よりも高エネルギーのX線や、さらにその先のガンマ線で輝く天体を研究する高エネルギー天文学でも同様である。

我が宇宙研の最新鋭のX線天文衛星「X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission (XRISM)」は2024年10月現在順調に運用されており、素晴らしい観測成果が続々と挙がっている。XRISMは前人未踏の高エネルギー分解能 (= 分光性能) をもつX線分光装置「Resolve」と広視野のX線撮像装置「Xtend」を搭載している。科学成果を最大化するためには、もちろん精密な校正が欠かせない。しかしながら、校正というのは常に頭痛のタネである。XRISMでも、日夜研究者たちが地上試験や天体観測のデータを突き合わせながら検出器の性能を引き出すべく四苦八苦している。

幸いなことに、我々は孤独ではない。高エネルギー天文学では、その頭痛のタネを持ち寄り、解決を目指す場がある。すなわち、天文衛星間の相互校正を目的とした組織「International Astronomical Consortium for High-Energy Calibration (IACHEC)」である。IACHECには天文衛星の開発者が集結し、それぞれ検出器の校正状況の共有や相互校正を目的とした同時観測の実施を行う。分野外の人々はもちろん、高エネルギー天文学の中でも知名度はさほど高くないと思われるが、人知れず天文衛星の性能評価を支える縁の下の力持ちである。

IACHECは例年年度集会を行っている。コアメンバーの大半がJAXA (日本)、NASA (米国)、ESA (欧州) の所属であるため、会場は日米欧持ち回りである。2024年は、順当にいけば日本での実施だった。しかし、日本側メンバーがXRISM初期運用に忙殺されていることは明白であったため、例外的に欧州での開催となった。ありがたい限りである。

かくして2024年5月12日から16日にかけて、16回目のIACHEC meetingが開催された。場所はスペイン、マドリッド郊外。古代ローマの遺構が威容を留める町セゴビアから車でおよそ20分、小ベルサイユとも形容すべきラ・グランハ宮殿にほど近いホテル、パラドル・デ・ラ・グランハ (Parador de La Granja) が会場である。標高およそ1,000mの地で、昼は半袖で十分であるが、夜はなかなか冷え込む。



16th IACHEC meeting 参加者の集合写真。いずれも天文衛星校正のエキスパートである。背景が La Granja 宮殿。



参加した XRISM チームメンバー。吉報をもたらし、晴れやかな表情である。筆者は左から4番目に立っている。

乾いたイベリアの風が心地よい風土である。

XRISMチームからは、日米合わせて11名が参加した。うち2名は日本の博士課程学生である。XRISMの開発、運用、校正に際しては、学生さんの貢献は大変大きい。そのことをチーム外にアピールできる機会としてもよい場だったように思う (かくいう筆者も、XRISM開発には学生のころから参加していた)。

IACHEC meetingには、いつも独特な空気がある。口角を飛ばし侃々諤々議論するというよりは、むしろ協調してことを進める姿勢が通底している。要するに、みなさん穏やかで話しやすい。スペインらしく (?), ブレイクタイムごとに無限に供給されるワインやビールを嗜みながら、データ解析の相談や愚痴の共有を行った。

筆者は日本で開催された2019年以来、およそ5年ぶりの参加となった。当時は博士課程の学生としてXRISM/Xtendの焦点面検出器を開発していた。今回はXtendの初期軌道上校正という結果を引っ提げての参加である。他のXRISMチームメンバーも、XRISM特有の校正や他衛星との共通項目、あるいは科学成果拡張のための取り組みなど、さまざまな発表を行った。XRISMはほとんどの性能において要求値を満足、あるいは凌駕する実績値が得られている。IACHECメンバーからは、もちろん温かく祝福いただいた。衛星開発・運用にはさまざまな節目があるが、順調に稼働するXRISMの軌道上データをIACHECの場で共有できたことは筆者としては感慨深い1つの節目であった。そのようなことを思いつつ、スペインの夕風を感じながらひとときの達成感を噛みしめた。



同志社大学生命医科学部 教授
渡辺 公貴 (わたなべ きみたか)

SORA-Qの偏心車輪の着想

SORA-Qの解説については探査ハブの平野 大地さんが7月号*で説明をされているので、私はSORA-Qの偏心車輪の着想に至った経緯について記憶をたどって書かせていただきます。

私は1984年に大学を卒業して時計メーカーに就職しました。1996年に時計メーカーからアメリカの玩具メーカーの日本法人に転職をしました。転職して半年ほどして前職の時計メーカーの開発部長が私の事務所を訪れて、玩具の試作品を紹介してくれました。試作品は時計メーカーらしい構造の興味深いものでありましたが、玩具の品質基準をクリアできないため採用には至りませんでした。

その縁で私のアイデアの試作を依頼しました。それは長さ25mm、幅10mmのmini Radio Control Carでした。試作は1ヶ月ほどで完成しました、さすがに電子回路まで小型にする予算がなかったので有線でコントロールできる小さな車が出来上がりました。当時の部材では部品が高価なため量産に至りませんでしたでしたが、この試作機の動きは強く印象に残りました。人工物でこのような小さいものが遠隔操作で動くことをとても新鮮に思い、小さい車やロボットに魅了されました。アメリカの本社の開発者に紹介をしました。"Size doesn't matter."と言われ、この時点での商品化にはなりませんでしたが。

その後、アメリカの玩具メーカーが日本で当時のトミーと提携をしたため、自動的にトミーに入社しました。トミーでは主に海外向けの商品開発を行っていました。2001年にmini Radio Control Carを商品化して、これは世界的なヒット商品となりました。余談ですが、残念なことに翌年から海外では類似品が多量に販売されてしまいました。2002年にはMicro Petsと言う世界最小のペットロボット(ギネスブック認定)を開発しました。サイズは長さ45mm、幅28mmでした。機能は簡易音声認識と車輪による2輪走行でした。この商品は玩具メーカーでは珍しく、全世界同時発売をしました。販売も好調で大ヒットとなりました。さらに2007年には、世界最小の二足歩行ロボット(ギネスブック認定)i-SOBOTを開発しました。サイズは身長165mm、体重350gでした。この小さな筐体の中に17個のサーボモーターを配置して、自由度の大きい動きを実現しました。i-SOBOTは2008年の「今年のロボット大賞(経済産業大臣賞)」を受賞しました。

推測ですが、i-SOBOTが認められて2016年の探査ハブ



世界最小のなかまたち。

の第1回研究提案募集に我々の提案を採択していただいていると思っています。2015年にはナノドroid R2-D2を開発しました。サイズは高さ30mmでした。このロボットの中には1個のモーターを配置して、2輪で前進と回転することで方向を変えてロボットをコントロールしています。この考え方は2016年の探査ハブで行った成果物にも採用しています。また電源には1Fのコンデンサーを使用しました。コンデンサーは電圧降下が激しいため、コンデンサー周りに電気回路を入れて安定的に長く動作するようにしています。

この考え方はSORA-Qの電気回路に取り入れられています。これらのアイテムに共通するものは“最小”、“2輪、2足”です。また、動画をお見せできないのは残念ですが、車を除くと、どのアイテムも前進動作が構造上不安定で、少し左右に本体を振れながら移動します。SORA-Qの走行は車輪に偏心機構を採用することで砂上のスムーズな走行を実現しています。この偏心機構を思いついたのは、前述のアイテムが左右に振れることが頭の片隅にあったことで、SORA-Qを左右に振って走行させたらと思いついたのがきっかけであったと思っています。実際には左右に本体を振るのは困難であるため、ウミガメの赤ちゃんが砂の穴から出てくる様子を思いつき、観察をすることによって車輪をウミガメのヒレのように動かすにはどのようにすればよいかと考えました、結果として偏心車輪が生まれました。偏心車輪は玩具では良くみられるもので、幼児玩具などでは通常車輪では安定して動くので面白さに欠けるときなどは後輪を偏心させることにより上下動させて動きに揺らぎを与えます。幸運だったのは、私の机の上には1982年に発売されたTOMY Minimalsシリーズのアヒルが15年間くらい置いてあります。私の大好きな商品です。サイズは25mm、偏心車輪でお尻を振りながらゼンマイで可愛く動く玩具です。今でも大学の私の机の上には小さなアヒルが鎮座しています。おかげ様で、この文書を書いている途中で玩具の新しい企画が思い浮かびました。寄稿の依頼をいただき感謝です。

》MMXを支えるサブプロマネの思い

「得意淡然 失意泰然」で臨む

——火星衛星探査計画MMXのサブプロジェクトマネージャ(サブプロマネ)を務めていらっしゃいます。ミッションの内容と現状について教えてください。

MMXは、火星の衛星フォボスとダイモスを観測し、フォボスの表層物質を採取して地球に持ち帰る世界初の火星衛星サンプルリターンミッションです。これまで搭載機器の開発や試験を個別に進めてきましたが、現在、完成した搭載機器を1箇所に集め、宇宙に打ち上げるフライトモデルの組み立てを行っています。日々、さまざまな問題が発生しますが、一つひとつ解決し、小さな問題も見逃さないように慎重に作業を進めています。フライトモデルの組み立てが完了すると、1年以上かけて総合試験を行います。2026年度の打上げを目指しており、2027年度に火星周回軌道投入、2031年度に地球帰還を計画しています。

——サブプロマネはどのような役割を担っているのでしょうか？

サブプロマネの主な役割は、現場の人と話して問題をいち早く把握し、いつどのように解決するかを、プロジェクト全体を俯瞰してプロマネと共に判断することです。

私の座右の銘は「得意淡然 失意泰然」です。明の崔復渠による「六然訓」に含まれる言葉で、物事がうまくいっているときこそ淡々と振る舞い、失敗や困難に直面したときには焦らず落ち着いて行動せよ、という意味です。これは、今の自分の立場において必要だと思えます。また、羽生 善治さんは、将棋に必要なのは直観、読み、大局観だと語っています。ひとつの局面で約80通りの可能性から直観で候補を3通り程度に絞る、それを繰り返して何十手先を読む、しかし10手先でも6万通りにもなるので今は素早く攻めるか、じっくり守るかを大局観で判断して打つ手を1つに決める。これもサブプロマネに必要なことだと考え、普段から心掛けています。

——どのような経緯でMMXのサブプロマネになったのですか？

宇宙研のシステムズエンジニアリング室で、さまざまなプロジェクトの立ち上げを支援していました。MMXもその1つでした。どのプロジェクトにも魅力がありますが、学生時代に惑星科学を専攻していたこともあり、惑星科学の最先端を行くMMXに強く惹かれました。その時に声をかけていただきました。

——声がかかった理由は何だと思われますか？

当時の宇宙研所長から搭載機器の選定と国際協力の立ち上げを依頼いただきました。搭載機器の選定では、その性能や期待される成果について研究者の意見を聞き、理解することが必要です。

火星衛星探査計画 MMX
サブプロジェクトマネージャ

大嶽 久志 (おおたけ ひさし)

1971年、神奈川県生まれ。東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻修士課程修了。1995年、宇宙開発事業団 (NASDA) 入社。2008年、東京大学大学院理学系研究科論文博士 (理学) 取得。月周回衛星「かぐや」の開発・運用、かぐやデータアーカイブシステムの開発・運用、月惑星探査データ解析グループなどを経て、2016年より現職。



私はNASDAに入ってから月周回衛星「かぐや」プロジェクトに参加し、観測機器の開発も担当し、惑星科学のバックグラウンドを持っていたからではないかと思っています。また、「かぐや」はNASDAが衛星を、宇宙研が搭載機器を担当する共同プロジェクトでした。2つの機関の異なる文化を融合した大型プロジェクトの経験が、MMXのような大型のプロジェクトの遂行に役立つと思われたのかもしれません。

世界初のピンポイントサンプリングに期待

——MMXで特に期待していることを教えてください。

たくさんありますが、1つ挙げるとすれば、表層物質のサンプリングです。MMXは、ロボットアームを使って筒状の装置をフォボスの表面に突き刺し、その筒を抜いて試料を採取します。2024年1月、小型月着陸実証機SLIMが月面へのピンポイント着陸に成功しました。日本独自のこのピンポイント着陸技術をMMXに活用してフォボスに着陸し、目標地点から数cm以内の精度での試料採取を目指しています。ぜひ成功させて、ピンポイント着陸に続き、ピンポイントサンプリングも日本の宇宙探査の看板技術にしたいと思っています。

補佐役に徹した豊臣 秀長を尊敬

——仕事以外で最近興味を持っていることはありますか？

奈良の古墳をたびたび訪れています。きっかけは、キトラ古墳の色鮮やかな壁画を見て、その技術の高さに驚いたことです。これをつくるのにどれほどの苦労があったのだろうと、はるか昔に思いを馳せながら、一つひとつの古墳をじっくり見て歩きます。キトラ古墳が造られたとされる7世紀末から8世紀初めは律令制が始まり、日本が国家として歩み始めた時期です。古墳造営の過程では、資金や技術、人手などさまざまな問題が発生したことでしょう。そうした問題を解決し、古墳を完成させる。それは巨大プロジェクトであり、ついMMXに重ね合わせて見てしまいます。

——尊敬する人はいますか？

豊臣 秀長です。豊臣 秀吉の3歳年下の弟で、110万石の大名になりましたが、歴史的には目立たない存在です。秀長は調整力や軍事戦略、統治能力に優れ、秀吉の補佐役として重要な人物でしたが、あえて目立たないよう努めていたとも言われています。この姿勢が生涯、秀吉の信頼を得ることにつながったようです。秀長は現場の声をよく聞き、周囲からの信頼も厚く、人々は秀吉の前にまず秀長に相談していたそうです。秀長のそうした振る舞いは、サブプロマネにも通じます。2026年のNHK大河ドラマは秀長が主人公だと聞き、とても楽しみにしています。

編集後記

池田先生を偲ぶ記事を読みながら、先生のことがまざまざと眼前に浮かんできました。私も色々なプロジェクトが終わったら「池田スクール」にどっぷり浸かりたかったのですが、遅きに失しました。LIDARXのことは知らなかったのが、MMXへの親近感がわきました。成功を祈っています。(三谷 烈史)



ISASニュース No.524 2024年11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