

News



2023年度 JAXA相模原キャンパス特別公開開催!!

11月3日(金・祝)に「特別公開(現地)」が開催されました。当日は天候にも恵まれ、キャンパスで、また隣接する相模原市立博物館で、多くの方が最新の宇宙科学の成果に触れました。写真は施設やブースの様子です。翌4日(土)にはYouTubeライブ配信(一部録画あり)による「特別公開(オンライン)」も実施され、対面とは違う切り口の内容を発信しました。

The Forefront of Space Science

宇宙
科学
最前線JASMINEミッション:
位置天文学の過去と未来をつなぐ

ハイデルベルク大学 天文学センター 天文計算研究所 Wolfgang Löffler (ヴォルフガング・レフラー)
日本語訳: 宇宙科学プログラム室 白井 文彦

地球の自転と公転によって、星の地上からの見かけの位置は、それを観測した時刻に関連付けられます。古代の人々もこれを理解しており、星空をすぐに利用できる正確な時計として、そして、1年の営みを計画するための暦として利用していました。この天体を使った壮大な時計の文字盤に時刻や季節を刻印するために、天空の星々とその位置をカタログ化したいという人々の願望は、人類の文明と同じくらい古いものです。

西洋文明で最も古い星のカタログは、紀元前150年頃のヒッパルコスによるもので、数百個の星の位置が、角度にして約1度の精度で記録されています。東洋文明に残る最も古いカタログとしては、紀元714年から724年にかけてインドの天文学者ゴータマ・シッダ(瞿曇悉達)によって発表された『大唐開元占經(だいたう かいげん せんきょう)』に、星座の名前だけでなく、800個以上の星の名前と121個の星の位置が記載されています。

16世紀になって望遠鏡が発明され、ガリレオ・ガリレイ(1610年)やヨハネス・ケプラー(1611年)によって改良されたことで、天体の物理的性質についての学術的な関心が高まりました。その後の数世紀にわたり、望遠鏡の口径が大きくなり、性能が向上するにつれて、さまざまな光り輝く天体を記載したカタログが公表される機会が増えていきました。しかし、これらがどのような天体であり、何がそれらを光り輝かせているのかという問いは、20世紀の現代天体物理学の登場まで解明されませんでした。

現代天体物理学は、望遠鏡で観測した光の量(測光観測)と質(分光観測)を測定し、星を物理的な対象として理解しようとしています。しかし、地上からの観測だけでは、星がその場で実際に放射している光に関する情報を得ることはできません。観測した量から天体物理学的な量を求めるためには、星の距離を知る必要があります。

星の距離を測定する方法として、星の視差があります。そ

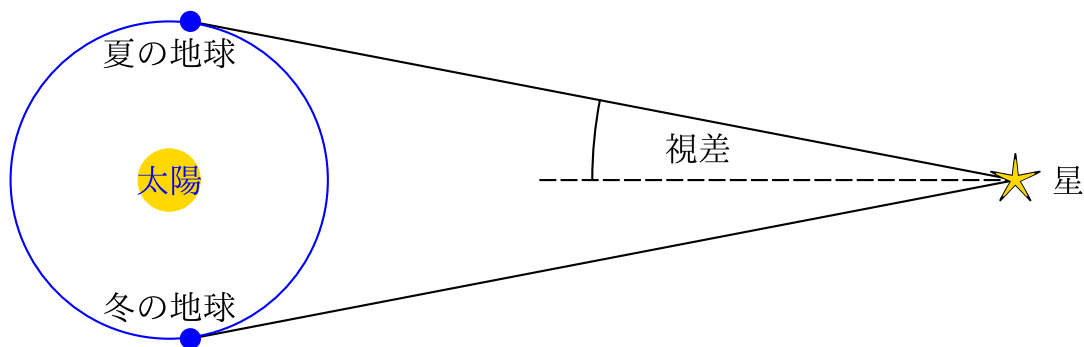


図1：星の視差とは、太陽の周りを公転する地球の異なる位置、例えば夏と冬にその星を見たときの天球上の見かけの位置の変化のことです。（訳注：位置天文学で用いられる年周視差とは、地球の公転運動によって星の見かけの位置が1年間を通じて変化する楕円運動の長半径を指します。図中の「視差」はこの年周視差の意味で使われています。）
Credit：Wolfgang Löffler

れは、地球が太陽の周りを公転する際に、軌道上の異なる場所から見ることによって、星の天球上の見かけの位置が変化する角度のことです（図1）。しかし、地球の公転軌道の直径は星までの距離に比べて非常に小さいため、それによって生じる視差はとてつもなく小さいです。最大視差が生じる最も近い恒星のプロキシマ・ケンタウリでさえ0.768秒角しかありません。これは1度の一万分の二（0.0002度）という小さな角度です。実際、この角度は、地上観測では避けることができない大気のゆらぎによる星像のぼやけとほぼ同じくらいです。そのため、地上観測で星の視差を測定することは非常に骨の折れる作業で、1990年頃までに視差が決定された星は約1,000個しかありませんでした。

大気ゆらぎという地上観測の限界を突破するために、人工衛星を使って宇宙から星の位置を正確に測るという計画が考えられました。それが欧州宇宙機関（ESA）の全天位置天文観測ミッションHipparcos（図2左）です。このミッションは、1989年から1993年の3年半の間に118,000個の明るい星の位置、固有運動、および視差を測定しました（訳注：固有運動とは、星が宇宙空間でさまざまな移動することで、その星の天球面上での位置が長い時間をかけてゆっくりと変化する現象のことです）。この衛星はゆっくり自転しており、望遠鏡はその自転軸に垂直な方向を向いています。衛星の自転に伴い、焦点面上の星の像はゆっくり移動します。焦点面上で星の像を検出する光電子増倍管の前にスリットを配置することで、星が規則的に点滅するようになります。これを利用して、星の通過時刻を正確に測定することができます。さらに、望遠鏡の設計を工夫して、約60°離れた視野を同一焦点面に入れて観測することで、衛星の回転速度と星と星の間の角度の2つが決定できます。これによって、平均0.001秒角の精度を持つ位置天文観測が実現しました。その後、衛星搭載の恒星センサ（スタートラッカー）による観測データも用いた処理により、精度は0.06秒角とやや劣るものの、さらに250万個もの星の位置と固有運動が求められ、Tychoカタログとして公表されました。

その後、半導体技術の進歩によるCCDの登場で同時・連続撮像が実現したことで、ESAでは全天位置天文・測光・分光観測を行うGaiaミッション（図2右）が計画されました。Hipparcosで用いられていたスリット付きの光電子増倍管の代わりに、連続読み出しが可能なCCDを7×9個並べることで、

焦点面上を同時に通過していく星の像を、Hipparcosよりはるかにたくさん捉えることができるようになりました。Gaiaの目標は、2014年から2024年の10年間に、天の川銀河内の星の1%にもなる20億個以上の星の位置、固有運動、視差、色、そしてスペクトルを測定することです（訳注：2023年10月現在もGaiaは観測を継続しており、これまでに得られたデータを解析した結果から、最高精度0.000020秒角（百万分の20秒角＝20マイクロ秒角）が達成されています）。

しかし、天の川銀河の円盤には、1マイクロメートル以下のサイズのダスト（塵）が大量に存在しています。これらのダストによって可視光を含む数マイクロメートルより波長の短い光は遮られてしまうので、可視光で観測するGaiaでは、天の川銀河でもっとも興味深い領域である、超巨大ブラックホールを含む銀河系中心部を観測することができません。このダストのバールを透かして見るには、より波長の長い光、すなわち赤外線が必要です。実際に、赤外線全天位置天文観測ミッションのアイデアはこれまでも検討されてきましたが、これを実現するには、新しい種類の赤外線検出器の開発を含む多くの技術的な課題を克服する必要があります。

ただし、全天ではなく、興味のある限られた領域に焦点を当てて、その領域だけを指向するような位置天文観測ミッションであれば、現代の赤外線技術でも実現可能です。JASMINE（Japan Astrometry Satellite Mission for INfrared Exploration, 図3）は、まさにそのようなミッションです。このタイプのミッションでは、HipparcosやGaiaのように焦点面上を動く星像を測定するのではなく、焦点面上で静止した星像同士のピクセル上の距離を直接測定します。JASMINEの目標は、銀河系中心部を含む約2.5平方度の領域の10万個以上の星の位置を、3年間かけて繰り返し何度も測定することです。これにより、可視光では観測できない星の位置、固有運動、視差について、系統的なカタログを世界で初めて正確かつ均一に得ることができます（訳注：Gaiaでは見ることができなかった銀河系中心部において、JASMINEでは最高精度0.000025秒角（百万分の25秒角＝25マイクロ秒角）を達成できると考えています）。

このJASMINEで得られるカタログから期待される科学的な成果は多岐にわたります。例えば、銀河系中心部に超巨大ブラックホールが存在するか、あるいはかつて存在したかなどの疑問に答えることもできるでしょう。

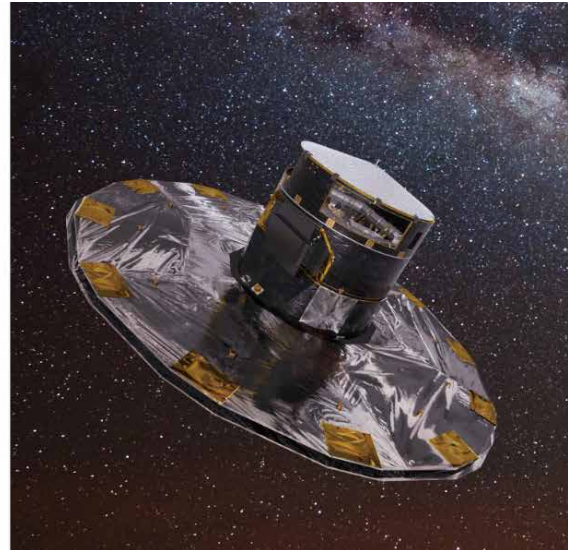
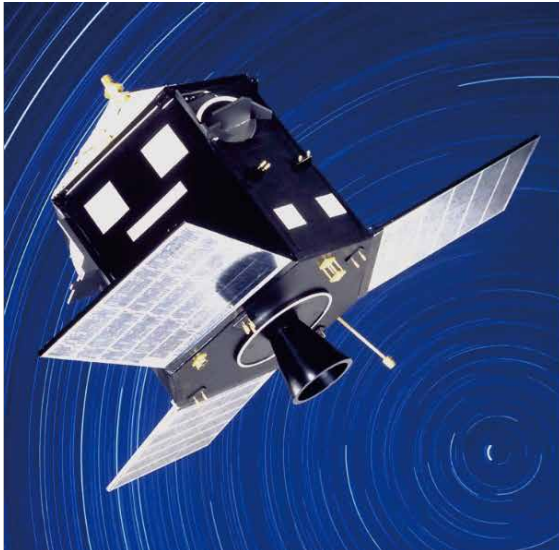


図2：ESAのHipparcos (左) とGaia (右) の観測イメージ

Image Credit: ESA, https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2000/09/Hipparcos_pinpointing_the_stars
ESA, https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/10/Gaia_astronomical_revolution

JASMINEはデータ解析の観点でも興味深いミッションです。位置天文学の数学的な基礎は明快で、容易に理解できます。結局のところ、位置天文学とは、多くの未知数を持つ線形代数方程式を標準的な最小二乗法で解くだけのものです。ただし、これを解くときに課題となるのは数値的な問題の大きさと規模です。Gaiaの場合、数十億の未知数と数兆の方程式を解く必要があります。全天観測ミッションでの位置天文学方程式を解くための行列は非常に巨大であり、現在のコンピュータのメモリでは不足してしまい、直接的に逆行列を求めることができないのです。問題を計算可能なサイズに小さくするためには近似と簡略化が必要です。そのため、位置天文学における数値的な解法では、近似・省略された部分を完全に取り戻すために何度も繰り返し計算を行うイテレーション処理が必要です。この計算は収束する保証もないし、収束したとしても物理的に正しい解に収束するとは限りません。

しかし、この状況は変わりつつあります。まず、JASMINE

での位置天文学的な計算は、数百万の未知数と数十億の方程式を解く必要がありますが、これは現在のコンピュータの記憶容量として使うことができる数テラバイトで済むくらいの規模になっています。さらに、この20年間でコンピュータの性能は大幅に上がってきています。CPUやGPUによって並列計算のための環境が整備されてきており、最新のGPUにはベクトル計算や行列演算がハードウェアとして実装されています。SSDは、大容量の記憶容量を内部メモリと遜色のない速度で利用できます。行列全体を外部に保存し、必要に応じて内部メモリに転送し、ハードウェアアクセラレーションによって一部ずつを並列処理するという方法も、計算方法の選択肢として考えられるようになってきました。JASMINEは、科学目標の探究だけでなく、位置天文学におけるこのような新しい数値的アプローチを開発してテストするための理想的な環境でもあります。

HipparcosやGaiaでは、2つのチームが独立にデータ解析を行い、お互いに結果の検証を行っていました。これと同様に、JASMINEでは2つのデータ解析チームを立ち上げて、独立に位置天文観測のデータ解析に取り組んでいます。我々ドイツのハイデルベルク大学 天文学センター 天文計算研究所 (ARI/ZAH) の位置天文学チームは、HipparcosとGaiaの経験を活かしてJASMINEのデータ解析手法を開発しています。これは、日本で国立天文台の位置天文学チームが主導する、従来の位置天文学で用いられる較正モデルを使った解析の独立な検証にもなります。また、ARI/ZAHの解析手法は、将来のGaiaミッションの後継機において重要となる新しいアプローチともなるでしょう。そのころには、コンピュータのメモリとしては現在のギガバイトからテラバイトやペタバイトとなり、データ転送速度も現在のSSDより高速になっていることでしょう。

このように、JASMINEは、その科学的な意義・価値だけでなく、全天位置天文観測として過去と未来のミッションをつなぐ重要なリンクとしても興味深いものです。ARI/ZAHの位置天文学チームは、宇宙科学研究所、国立天文台などと協力して、そのリンクを築くことを目指しています。

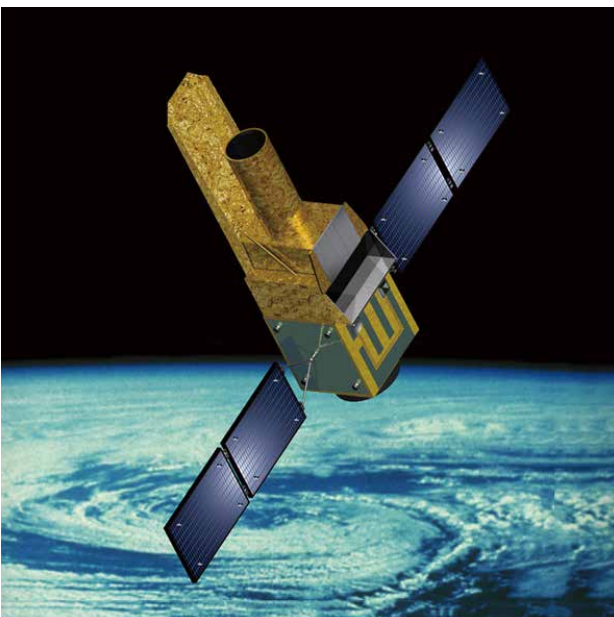


図3：JASMINEの想像図

OMOTENASHIの運用終了

2022年11月16日に打ち上げた超小型探査機OMOTENASHIは、ロケットからの分離直後の太陽捕捉制御（太陽電池面を太陽方向に向ける制御）が完了しなかったため、バッテリーを消耗して探査機電源がオフとなりました（ISASニュース2022年12月号参照）。その後、太陽電池に太陽光があたって電源がオンになる時期を推測し、探査機からの電波の探索および復旧を試みてきましたが（ISASニュース2023年4月号参照）、2023年9月頃には電波が届かなくなる距離まで遠ざかると予想されたため、9月25日をもって運用終了としました。

探索運用では、分離直後の約30分の追跡データを使った軌道決定情報や、同時に打ち上げられた他の超小型探査機の軌道情報を参照するなどしてOMOTENASHIの軌道をできるだけ精度高く推定し、探索の範囲を絞り込みました。また、探査機がどのような状態になっているかを、フライトバックアップ品を用いた実験を行って推定し、あらゆる状態（機器が永久故障しているような場合は除く）に対応できる復旧コマンドを用意し、これらを送信し続ける運用を行いました。コマンド送信など一連の作業に必要な時間を考慮して、1つの方向に2分間向けて、その後次の方向に向けるという運用を実施しました。地球とOMOTENASHIの間の電波の往復に数分かかるので、2分間で次の方向に向けてしまうと送信したコマンドにより探査機が電波を出すようになってもそれを受けることができません。しかし電波の往復時間だけに待つと探索に時間がかかってしまいます。そこで臼田局と内之浦局の2局使用できる日は送信用アンテナと受信用アンテナの

指向時刻を電波の往復時間だけずらして効率化しました。

概ね1ヶ月程度で予測された全領域を探索でき

るので、9月までには数回全探索できたはずですが。結果的に電波を受信できなかったということは、搭載機器が永久故障したと考えています。OMOTENASHIは1週間弱の運用で月面に到達する計画で、宇宙空間での寿命に関しては1ヶ月程度しか考慮していませんでした。また、電源がオフになった際には、探査機の温度が-80℃程度の低温になったと推定しています。多くの部品は一度低温になってもまた常温に戻せば使用できるはずですが、保証はされていないので、故障した可能性を否定できません。

これまでの宇宙開発では、機器の動作を設計や試験で「確実に保証する」という方針をとってきました。しかし超小型衛星では、保証された部品や装置だけで構成することはできず、「故障確率は十分に低い(0ではない)」機器を用いて設計をせざるを得ません。どこまでのリスクならば許容できるのか、各ミッションの状況に応じて考えていく必要があります。OMOTENASHIの開発・運用を通して得られた知見をまとめて文部科学省宇宙開発利用部会等で報告予定ですが、UNISEC（大学宇宙工学コンソーシアム）においても超小型衛星のミッション成功のための考え方をまとめています*。リソースの限られた超小型衛星・探査機をどのように活用していくべきかの議論については、別途、ご説明したいと思います。（橋本 樹明）



運用最終日の様子

* <https://ma.unisec.jp/ma-handbook/>

BepiColombo サイエンスチーム会議をドイツ・ミュンスターで開催

現在、国際水星探査計画BepiColombo探査機は水星に向けて順調に航行を続けています。2023年6月には3回目の水星スイングバイを実施し、想定通り軌道を調整しただけでなく、水星磁気圏の科学観測にも成功しました。得られたデータは過去2回の水星スイングバイ観測と比べてもひと際素晴らしく、各機器チームが嬉々として鋭意解析を進めています。

そうした状況のなか、2023年9月にBepiColomboのサイエンスチーム会議がドイツ・ミュンスターで開催されました。ミッションの立ち上げから長い歴史をもつBepiColomboでは慣習的にサイエンスチーム会合をヨーロッパと日本で交互に開催してきており、今

回は2022年11月の神戸開催以来となります。各機器チームによる最新の水星スイングバイ観測結果の報告を中心に、ミッション及び探査機の最新状況の共有や小グループに分かれての集中的な議論など非常に濃い5日間となりました。過去2回の水星スイングバイ観測による科学成果はすでに論文が出版されつつあり、ISASウェブサイトにもトピックスが掲載されています。まだまだ後続も予定されていますので、引き続き科学成果の報告にご期待下さい。

ちなみに開催地となったミュンスターは、BepiColomboプロジェクトサイエンティストであるJohannes Benkhoff氏が学生時代に過ごした青春の地とのこと。そんなJohannes氏も来年にはプロジェクトサイエンティスト職を後進に譲る予定です。BepiColomboには引き続き関わるものの、長年このミッションを牽引した頼れるリーダーであり筆者にとっては信頼しきりの“相棒”です。寂しさや感謝の思いを抱きつつ、深夜のバーでシュナップス（ドイツの蒸留酒）をあおりながら思い出話に花を咲かせました。

2025年12月の水星到着まで約2年と近づきつつあり、水星スイングバイも残り3回（2024年9月、12月、2025年1月）を残すのみです。「みお」にとっては水星到着後の分離・伸展運用が最もクリティカルであり、現在もプロジェクトチームが精力的に準備を進めています。BepiColomboの水星までの旅を引き続き応援をお願いします。（村上 豪）



ドイツ・ミュンスターで開催されたBepiColomboサイエンスチーム会議での集合写真

系外惑星大気赤外線分光サーベイ衛星Arielへの参加

系外惑星。その大気分光による特徴把握は、これからの宇宙科学におけるとても重要な課題です。系外惑星に関する研究課題は多様ですが、その中に、大気の観測データ中に生命の痕跡を見出したいという将来の大目標があります。私が系外惑星を志向する理由も、まさにこの目標にあります。

欧州宇宙機関が主導するAriel¹⁾ (アリエル) は、系外惑星の大気分光に特化した、初めての本格的な宇宙望遠鏡計画です (2029年打上げ予定)。これまでArielに参加するための活動が続けてきた結果、今年7月、宇宙研内にAriel所内事業チームが正式に認められました。日本はArielに、欧州各国と完全に同等の権利を持つCo-PI (共同研究主宰) 国として参加することになります (Co-PI: 生駒大洋/国立天文台)。

Arielではトランジット法で系外惑星の大気を分光します。つまり、系外惑星が主星の前を通過する際に惑星大気を透過した主星光のスペクトル、あるいは系外惑星が主星の後ろを通過す

る際に観測される惑星大気の放射光のスペクトルを測定し、惑星大気特性の詳細を明らかにするのです。Arielの観測ターゲットとなる系外惑星は約1,000個にも及びます。これほど多くの系外惑星の大気分光を行い、宇宙における系外惑星の多様性を系統的に把握するミッションは他にありません。Arielの望遠鏡口径は約1m、観測波長域は0.5–7.8 μ mです。

日本がArielにCo-PI国として参加する条件は、宇宙機器の開発に寄与することでした。日本はArielの主力分光器に用いる光学素子の開発・提供を行うことで、この条件を満たします。この開発は予算規模は大きくありませんが挑戦性を含んでおり、欧州で引き受ける国が無かった、日本ならではの要素技術に基づく開発です。さらに、日本はArielに系外惑星大気モデル等のサイエンス、および成田憲保 (東京大) らが確立したシステムによる地上観測支援でも寄与します。これらは欧州からは是非にと求められた日本の強みです。

宇宙望遠鏡による系外惑星大気の赤外線分光は、以前にSPICA計画を進めた時からの我々の悲願でした。欧州側にも、Arielの前身のECHOという不採択となった計画がありました。ミッション提案の採否は当事者にとって最大級の事象ですが、それをも1つのピースとして、長期的に粘り強く活動が続けてこそ、目的の計画が認められるのかもしれません。

Arielに個人ではなく宇宙研として、日本として参加する理由は、日本のスペースからの系外惑星研究が世界から遅れをとってしまうことなく、世界の先頭集団のなかで多くの日本の研究者が活躍し、次世代の人材が育つ場を作るためです。更に (Arielを以てしても恐らく困難である) 系外惑星大気に生命の痕跡を見出すためには、Ariel以降のミッションを準備しておくことも重要だと考えます。

(塩谷 圭吾)

1) The Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large-survey

2) https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Ariel_factsheet より



Ariel外観の想像図²⁾

上杉 邦憲名誉教授IAF/Hall of Fame受賞

JAXA名誉教授 上杉 邦憲先生が、今年、国際宇宙航行連盟 (IAF) のHall of Fameの一員として採択されました。これは、生涯に亘って宇宙科学、宇宙工学、宇宙プロジェクトマネジメント等において顕著な業績を残した個人を顕彰するためのもので、IAFのホームページ上のギャラリーに、その功績の概要と共に永くその名が掲載されるという、大変名誉なものです。これまで我が国からは、樋口 清司氏、五代 富文氏、松尾 弘毅先生、秋葉 録二郎先生 (採択年順) が受賞されています。

上杉先生の実績は、「さきがけ」「すいせい」「はやぶさ」等の宇宙科学探査ミッションへの貢献、「ひてん」における13回にも及ぶスイングバイという画期的チャレンジなどの宇宙科学・工学上の功績と共に、Geotailプロジェクトにおいて、日米の実りある国際協力を実現したInter-Agency Consultative Groupでの活動、IAA、ISCOPS等の国際学術活動への積極的貢献が高く評価

されたものです。

授賞式は本年10月6日、バクーで開催されたIAC 2023の閉会式で行われました。残念ながら諸般の事情で、ご本人の出席は叶いませんでしたが、JAXAの小坂 明調査国際部長が上杉先生からのメッセージを代読し、認定証の代理受領が行われました。

尚、上杉先生は2012年にも、当時IAFの最高位の顕彰である、Allan D. Emil Memorial Awardを授賞されています。

(IAF国内委員会委員長 木部 勢至朗)



上杉 邦憲先生近影

SLIM the Moon Sniper

降りられるところから、降りたいところへ

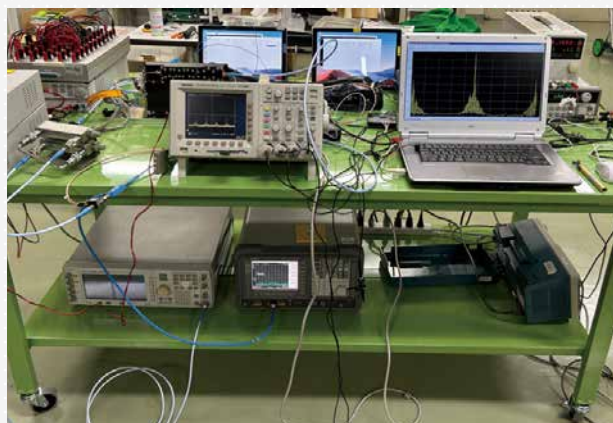
世界初、近未来の ソフトウェア通信系！

バス機器として世界初のダイレクトインプット・アウトプット型のSバンドトランスポンダ (STRX) を搭載したSLIMが2023年9月7日に打ち上げられ、月着陸に向けた運用を開始しました。この搭載通信機はSLIMが国内外の地上局と交信し、月着陸までのコマンドやテレメトリの送受信、測距といった運用に不可欠な機能を提供するものです。タダの黒い箱にしか見えない通信機のドコが凄いかというと、コンポーネント開発にあたった三菱電機株式会社の最先端のソフトウェア無線技術を導入し、無線通信に使用する高周波信号を直接、アナログ・デジタル変換器で入出力することができるのです。この方式を採用することで、無線に使用する高周波信号から周波数を変換して変調されたコマンドデータを復調したり、またテレメトリデータを変調して高周波信号に周波数変換したりする信号処理の全てを超高速デジタル数値演算処理で行っています。主要なアナログ高周波回路はコマンド受信のための低雑音増幅器やテレメトリ送信のための電力増幅器だけになり、専有面積が広く複雑なアナログ回路構成になっていた周波数変換回路を削減できたので、大幅な小型軽量化が実現できました。通信機の核となる数値演算によるデジタル信号処理を担っているのがFPGA (書き換え可能集積回路) という部品です。書き換えによるファームウェアの再構成によって、細かな機能の追加修正だけでなく、将来のミッションに柔軟に対応できます。

ソフトウェア無線技術は、近年、携帯電話基地局や放送機器、アマチュア無線機、軍用通信システム等に採用され、地上でも多く利用される最先端の無線通信技術です。一般的に20年以上前の家庭用電子機器はビンテージの扱いになりますが、宇宙探査においては、技術の新しさよりも実績が極めて重視され、一度開発したコンポーネントは20年以上にわたって使用されます。近年では半導体の微細化技術の進展により宇宙用に認定を受けた古いプロセスの製造ラインが維持出来ない状況が発生しており、部品の開発サイクルも早まっています。JAXAのミッションは開発サイクルも長くミッション数も諸外国と比較しても少ないため、将来にわたって利用される部品をあらかじめ用意しておくことができません。このような少量生産の状況下では部品の枯渇とともに、新規のミッションにおいて、新しい通信機を開発しなければならない事態となってしまいます。ところがソフトウェア無線技術を導入することで、開発した設計資産の多くを次のミッシ



世界初のダイレクトインプット・アウトプット型のSバンドトランスポンダ (STRX)



宇宙研でのSTRXの試験風景

ンで流用することができるようになり、サステナブルでスマートな技術開発が可能となりました。

ところでSLIMミッションにおいて新規開発の通信機を、日本初の月着陸に使用することに不安は無いのかとご心配されるかもしれませんが、宇宙研では、これまでの超小型探査機の通信系開発を通じて、宇宙探査の搭載通信機に不可欠な性能評価方法を軌道決定系と密接に連携をとりながら確立し、宇宙実証してきた実績があります。ミッション期間中に宇宙空間において想定される通信環境を模擬し、通信機に経験させることができます。一連の適合性試験と地上試験において、この模擬試験を実施し、通信に起因する不具合を見つけ出し、地上にある間に修正することができるので、新規開発の通信機でも極めて完成度の高いロバストな通信系をミッションに提供できるのです。この不具合の改善サイクルを、短期間かつ効率的にできるのが、国産コンポーネント開発の強みになっています。世界初の宇宙実証と、同時に技術課題に一石を投じたSLIMの搭載通信機の活躍に乞うご期待下さい。

SLIM通信系担当：富木 淳史 (とみき あつし)



宇宙物理学研究系・XRISM プロジェクト

山口 弘悦 (やまぐち ひろや)

辻本 匡弘 (つじもと まさひろ)

種子島探訪録

～歴史と技術と宇宙のつながり～

去る9月7日、我々が開発を進めたX線分光撮像衛星XRISMが、H-IIAロケット47号機によって種子島宇宙センターから打ち上げられた。搭載される検出器Resolveは、超流動ヘリウムを満載した状態で打上げに臨む。そのため、極めて制限の厳しい射場運用を行う必要があった。打上げ1週間前にフェアリング内の衛星への超流動ヘリウム転送、約30分前まで冷凍機駆動、打上げ約10分後にはヘリウム排気弁開放と、分刻みの24時間運用である。その上、天候不順による打上げ日の順延もあり、種子島逗留は長期間に及んだ。疲労も大きかったが、適宜休暇を挟んだので、島内各地を探訪し、見聞を深めることができた。

今では「宇宙に一番近い島」として知られる種子島だが、歴史上で最もこの島を有名にした出来事が1543年の鉄砲伝来であることは、おそらく異論を挟まないだろう。種子島家第14代当主・時堯(ときたか)が、ポルトガルからもたらされた2挺の火縄銃を高値で買い、翌年には量産に成功したことが伝わる。意外と知られていないが、種子島では海岸から多量の砂鉄が採れたため古くから製鉄業が盛んで、戦国期には日本刀の需要も相まって、腕利きの鍛冶職人が多くいたらしい。鉄砲大量生産の好条件が、初めから備わっていたのである。鉄砲に使用する火薬の調合も、種子島家の家臣が日本で初めて成功させたそう。この島の技術力の高さを窺わせるエピソードである。加えて、当時の種子島はアジア有数の海上交易拠点で、畿内とも直接交流があった。鉄砲が瞬間に全国へと普及したのは、そのおかげでもある。

その種子島家の本拠は、島の西北、西之表にある。宇宙センターからはほぼ対角線上だが、せっかくの機会なので、休日に足を延ばしてみた。明治期に種子島家当主が居住したことで知られる「月窓亭」に立ち寄ったところ、展示されていた武具や茶器に「三つ鱗」の紋が刻まれていることに気づいた。三つ鱗と言えば、鎌倉幕府の執権・北条氏の家紋である。「なぜこの家紋がこんなところにあるんだろう？」と不思議に思い、解説員の方に尋ねたところ、種子島家の初代当主・信基(のぶもと)が平清盛の曾孫で、北条時政を養父に持つことを知った。そもそも、時政が信基に種子島や屋久島を含む「南海十二島」を与えたことが、この家の始まりらしい。歴代当主に「時」が付く名が多いのはそのためだったのか。そして初代当主は、あの「直垂の色が段々濃くなる大河ドラマ史上最も凶悪な主人公」の義弟ということになる。いずれにせよ、こうした経緯が、他の離島とは異なり、種子島に武家文化が強く根付いたことのキッカケとなったのだろう。



茎永の田園風景とハイビスカス

種子島家の歴史に俄然興味を持ち、近代のことまで調べてみると、さらに面白い事実を知った。いや、これはもしかしたら宇宙工学がご専門の方には常識なのかもしれないが、昭和初期に日本で初めてジェットエンジンを開発した種子島時休(ときやす)海軍技術大佐は、種子島家の末裔とのことだ。このエンジンは、終戦1週間前に初飛行を行った幻の戦闘機「橘花(きっか)」に搭載された。H-IIAロケットとはおそらく直接の関係はないものの、現代の宇宙開発を支える推進技術の草分けに種子島家の方が関わっていたとは、歴史の面白さを感じる。話は逸れるが、宇宙物理学を支える天体観測技術も、実は少しだけ種子島と繋がりがあ。先述のように種子島から全国へともたらされた火縄銃は、すぐに畿内などでも量産されるようになる。代表的な産地が、近江の国友村だ。織田信長に始まる歴代天下人の保護下で、鉄砲の生産は隆盛を極めた。やがて江戸時代に入り武器需要が低下すると、鉄砲鍛冶は「鉄製の筒」を作る技術を別のものに応用する。その中で生まれたのが、天才鍛冶・国友一貫斎による日本初の反射望遠鏡である。この望遠鏡により、太陽の黒点や土星の環が観測されている。

話を種子島に戻そう。宇宙センターがある南種子町茎永は、島内最大の穀倉地帯として知られる。ロケット発射台から見て西側の平野部に広がる茎永集落の田園風景は、筆舌に尽くし難い美しさだ。「粳稻常に豊なり。一たび殖えて兩たび収む。」日本書紀の「天武紀」には種子島のことがかう記される。(おそらく米の貢納のために)種子島から訪れた使者を、天皇自らが饗応したことも伝わる。当時の社会において、米は生命の源であると同時に、通貨の役割も果たした。その米が豊富に穫れるこの島が、大和からも大切に扱われたことは理解に難くない。そしてこの茎永の風景は、当時の日本の都があった奈良県明日香村にもよく似ているのである。「武家社会が根付く前は、この辺りが島の中心だったのでは？」そんな想像をしながら射場に通勤するのも、日々の楽しみの1つであった。

鉄砲伝来のエピソードが有名すぎて他のことが霞みがちだが、種子島は長く充実した歴史を持つ。鉄や米(炭水化物)の産地として日本の文明を支え、優れた技術者も輩出してきた。宇宙の物質進化を解き明かすために鉄や炭素や酸素の起源を調べるXRISMの打上げの地としてピッタリじゃないか。と、取ってつけたようなことを考えながら、そろそろ出てくる科学観測データを心待ちにしている。

》太陽系のあらゆるところに 探査機を送りたい

火星探査機の写真から始まった

——現在、どのような研究開発を行っているのでしょうか。

太陽系のあらゆるところに探査機を送り込み、それらの行く先で発見があって、世界中の人をワクワクさせる。そういう世界の実現を目指して、超小型探査機の研究開発を進めています。

超小型探査機とは、全質量がおよそ100kg未満の探査機です。超小型探査機であれば、大型探査機よりもコストを2桁くらい下げられ、開発期間も短くなるため、打上げ頻度を上げ、新しい技術にも挑戦しやすくなります。

——なぜ超小型探査機による太陽系探査を目指すようになったのですか。

だいぶ変遷があるのですが……。私は大学進学が近くなっても、どの分野に進みたいか定まっていませんでした。そんな高校3年生のある日、たまたま手に取った新聞に、火星着陸探査機Mars Pathfinder(マーズ・パスファインダー)が撮影した火星表面のカラー写真が載っていたのです。それを見て、「地球から遠く離れた火星で動くものをつくっているなんて、とてつもなくすごい!」と猛烈に感動し、「惑星探査機をつくりたい!」と思うようになったのです。

大学時代は、キューブサットという1辺10cmの立方体で1kgの超小型衛星の開発に没頭しました。設計から試験のやり方まで研究室のメンバーでゼロから考え、失敗を繰り返しながらつくった「XI-IV(サイ・フォー)」は2003年に打ち上げられ、世界で初めて宇宙での運用に成功したキューブサットになりました。強烈な成功体験で、人生で何回でもやりたと思いました。

——2007年からJAXA宇宙研に。

当時は、超小型衛星ができることはあまりにも少なく、それが発展していても私の目指す太陽系探査ができるとは思いませんでした。探査をやるには宇宙研しかない、と考えたのです。小惑星探査機「はやぶさ」、小型ソーラー電力セイル実証機「IKAROS(イカロス)」、「はやぶさ2」プロジェクトに参加し、どれもチャレンジングで、ワクワクして、こんなことをずっと続けていきたいと思いました。しかし、自分でプロジェクトを企画して実現するのは一生に1回できたらいい程度だという現実も知りました。

一方で、大学を中心に超小型衛星の技術がものすごい勢いで進んできていました。この流れを発展させていけば高頻度な太陽系探査ができるのではないかと、思ったのです。しかし、当時のJAXAではまだ超小型衛星に対する評価が低く、それを正面突破するのは難しいと感じ、大学に移ることにしました。

編集後記

コロナ禍を経て事前予約という新たな方法で開催された特別公開には、多数の来場がありました。ネット上で今でも視聴できるオンライン特別公開では、ネットならではの、研究者が熱く語った濃い内容が多数。「はたらくうちゅうき」も必見です。是非ご視聴ください。(清水 敏文)

学際科学研究系 教授

船瀬 龍(ふなせりゅう)

1979年、大阪府生まれ。東京大学工学部航空宇宙工学科卒業。東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻博士課程修了。博士(工学)。JAXA研究員を経て、2012年より東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻准教授。2019年よりJAXA宇宙科学研究所学際科学研究系教授(東京大学と兼任)。



超小型探査機で深宇宙へ

——その後、どのような超小型衛星の開発を?

大学に移った直後に、「はやぶさ2」に相乗りする小型衛星の公募がありました。狙ったようなタイミングで、「自分のための公募なんじゃないか」とさえ思いましたね。深宇宙探査機に必要な基本的機能の実証を行う「PROCYON(プロキオン)」を提案しました。超小型衛星による深宇宙探査は、世界で初の試みでしたが、2014年に打ち上げられ、所定のミッションを達成しました。

翌年、NASAの月への無人宇宙船「オリオン」に相乗りする小型衛星の公募が出ました。これから月近傍への打上げは増えるでしょう。放出された後に自分で軌道制御できれば、ただ月へ行くだけでなく、月の重力などを使って超小型衛星自身が軌道を変えて深宇宙に行くこともできます。超小型衛星が軌道制御技術を磨けば、高頻度に太陽系探査を行う道が開けると考え、「EQUULEUS(エクレウス)」を提案しました。2022年に打ち上げられ、月の重力を使った軌道制御の実験を10回以上行い、狙い通りの制御に成功しました。しかし2023年5月に通信が途絶しました。超小型衛星による深宇宙探査は、まだ黎明期です。回数を重ねることで信頼性は上がっていくので、挑戦を続けることが大事だと思います。

——2019年から宇宙研の教授職を兼任されています。

JAXAとしても超小型衛星を宇宙探査に使ってほしいということで、その研究開発を主導する人材の公募がありました。「これやるのは自分しかいないだろう」と応募しました。

——動き出している超小型探査機の計画はありますか。

1つは、欧州宇宙機関(ESA)が主導する「Comet Interceptor(コメット・インターセプター)」です。母船と2機の超小型探査機で長周期彗星を観測するもので、JAXAは超小型探査機1機を担当する予定です。PROCYONとEQUULEUSは大学やJAXAの研究者・学生がインハウスで開発しましたが、そのような体制では年に2機、3機と打ち上げることはできません。このボトルネックを解消するため、これまで培った技術を宇宙ベンチャー企業に共有し開発を委託するという新しい取り組みを始めます。その先には、超小型衛星による土星探査も計画中です。

——いくつもの世界初を実現してきました。秘訣は?

こんなのできるわけないだろう、ということをもっと大胆に提案しているように他の人からは見えるようです。でも私としては、物理現象には反していないし原理的にはできるはずだからやってみよう、という感じなのです。ほかの人が尻込みしてやらないことに挑戦していく。それが私の研究者人生の探査戦略です。



ISASニュース No.512 2023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/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/>