

打上げに向けた準備が進むSLIM

小型・軽量な着陸機で、従来と比べて飛躍的に高精度な100m精度のピンポイント着陸技術を実証するべく開発されてきた小型月着陸実証機SLIMであるが、その探査機フライトモデルは、組み立て後の一連の試験検証を経て、既に種子島宇宙センターに輸送されている。右はメディアに対する機体公開(p.4参照)時の写真であるが、上部に2本見えるのが軌道遷移や着陸降下時に主たる推力を発生するメインエンジンであり、H-IIAロケットにもこの姿勢(メインエンジンが上向き)で搭載される。打上げ時には取り外される複数のノンフライトアイテムも各部保護のためまだ取り付けられているのが見える。



The Forefront of Space Science

宇宙科学最前線

Roman宇宙望遠鏡が切り拓く新時代

宇宙物理学研究系 宇宙航空プロジェクト研究員 宮崎 翔太(みやざき しょうた)

Nancy Grace Roman宇宙望遠鏡(以下、Roman)は、NASAの大型旗艦計画として2026年に打上げが予定されている、口径2.4mの大型宇宙望遠鏡です。Romanの主力装置である広視野撮像装置WFI(Wide-Field Instrument)は、ハッブル宇宙望遠鏡と同等の測光精度・空間分解能を持ちながらその200倍の視野を備えたサーベイ特化型の観測装置です。Romanではこれを用いて、大量の遠方銀河の形状・明るさを精密に測定し、Ia型超新星を大量に観測することでダークエネルギー宇宙論の高精度な検証を行います。また、重力マイクロレンズ探査観測から従来発見が困難であった「冷たい系外惑星」を大量に発見し、系外惑星の分布を包括的に解明する事が期待されています。さらに、Romanにはコロナグラフ直接撮像装置CGI(Coronagraph Instrument)が搭載されています。CGIは宇宙空間初の波面補償を行う本格コロナグラフ装置で、太陽系の木星のような系外惑星の反射光を初めて捉える事で、将来の超大型宇宙望遠鏡による地球型惑星の直接撮像に向けた技術実証を期待されています。

以上のように、各分野で絶大な観測成果を期待されているRoman計画に日本は国際パートナーとして参画しており、日本独自の研究成果や貢献の創出を目指し、ISAS Romanプロジェクトチームを中心に活動を行っています。本稿では、

Romanが解き明かすサイエンスについてレビューを行ったのち、具体的に行っている日本・JAXAの貢献について紹介したいと思います。

ダークエネルギー宇宙論の精密測定調査

ダークエネルギー宇宙論の精密測定調査における最も重要な動機の一つは、20世紀の終わりに初めて観測された宇宙の加速膨張の起源を理解する事です。それまで、宇宙膨張は重力によって徐々に遅くなると一般的に考えられており、加速膨張の発見により人類の宇宙観は大きく揺らぐ事になりました。この宇宙の加速膨張を駆動すると示唆されている「ダークエネルギー」の正体や性質は、現代物理学の最大の未解決問題の一つであり、その解明は我々の宇宙についての理解を一段階進める可能性があります。

Romanはダークエネルギーの影響を検証し、その性質を理解するための鍵となる観測結果を提供することで、この困難な挑戦に取り組みます。具体的にはWFIを用いて、①遠方の銀河の形状と明るさを大量に精密観測し、ダークエネルギーが宇宙の大規模構造の形成と進化にどのように影響を与えるかを調査します。さらに、②標準光源となるIa型超新星を大量に観測し、超新星の距離とその赤方偏移を比較すること



(図1) Nancy Grace Roman宇宙望遠鏡。

Credit:NASA GSFC

で、宇宙の膨張速度とダークエネルギーの性質の関係について精密に調査します(p.6解説もご覧ください)。

重力マイクロレンズ法による 冷たい系外惑星の分布調査

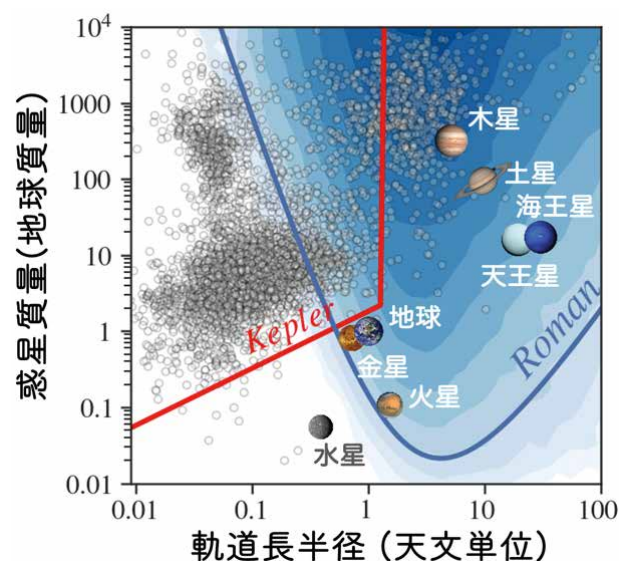
20世紀の終わりに主系列星を周回する系外惑星が初めて発見されてから、現在まで5,000個以上の系外惑星が発見されてきました。この約30年間の観測から、宇宙において系外惑星自体は普遍的な(珍しくない)存在であることが示されてきましたが、我々の太陽系の惑星とは全く異なる性質を持つ惑星が数多く発見されています。例えば、ケプラー宇宙望遠鏡の観測によって、水星よりも近い軌道を周回する灼熱の岩石惑星が豊富に存在することがわかっています。このような系外惑星の多様性の理解やその起源の解明は、一般的に惑星がどのように形成されるかを理解するのに重要であるのみならず、宇宙における生命の拠り所としての太陽系・地球の普遍性を理解する上で非常に重要です。ここで重要であるのが、現在発見されている系外惑星の大半が比較的主星の近傍に位置する灼熱の惑星であり、太陽系のような温度の惑星の分布は観測方法や精度の限界でほとんど解明されていません(図2)。

Romanは重力マイクロレンズ法という少しトリッキーな手法を用いて、冷たい系外惑星を大量に発見し、冷たい系外惑星の分布を包括的に解明します。マイクロレンズ法は、星の手前を「偶然」通り過ぎる惑星系の重力で、背景星の明るさが特徴的に変化する様子を捉えて、惑星を発見する手法です。惑星を発見するためには、天体同士が「偶然」重なる瞬間を捉える必要があります。RomanではWFIを用いて、銀河系(天の川)中心に近い領域に位置する数億個の星の明るさを、これまでにない精度で合計10数ヶ月間監視することで、冷たい惑星を約1,400個発見すると期待されています。

コロナグラフ装置による系外惑星反射光の 検出技術実証

Romanに搭載されるもう1つの革新的な観測装置として、

宇宙空間初の波面補償を行うCGIがあります。コロナグラフは、明るい中心星の光を遮蔽しその周囲に存在する微弱な光を観測するための装置です。この技術により、系外惑星や原始惑星系円盤など主星の近くに存在する暗い天体の直接観測が可能になります。宇宙空間における直接撮像では、地上望遠鏡が直面する大気による光波面の乱れの影響を受けないため、望遠鏡光路で生じる微小な歪みを波面補償することで、これまで検出不可能であった微弱な信号を捉えることができます。Roman CGIでは主星からわずか0.2秒角しか離れていない位置で、主星の10億分の1の明るさの天体を検出することを目指しています。これは、可視光での太陽と木星の明るさの比に対応しています。Roman CGIは技術実証装置と位置付けられていますが、地球のような暗い天体を直接観測するための重要なステップであり、将来の超大型宇宙望遠鏡による地球型惑星の直接撮像、さらにはその大気の分析を行う際の重要な前提となります。



(図2) これまで発見されてきた系外惑星が黒丸で示されている。ケプラー衛星が探査した領域(赤線)に対して、Romanは青線で示された冷たい領域に存在する惑星分布を解明する。太陽系のような惑星の分布も初めて解明する。(Penny et al. 2019, ApJS, 241, 3を参考に筆者が作成)

観測装置を活かした広範な研究提案の募集

Romanはその機能と規模を活用して、上述の調査観測を主に行いますが、観測はそれだけに限定される訳ではありません。実際、その機能性と柔軟性を最大限に活用するために、公募を通じて広範な研究提案を受け付ける予定です。これにより、様々な観測時間帯がゲスト観測者に提供され、一般の科学者も自身の研究目的のために望遠鏡を利用できます。これは、世界中の研究者による創造性と多様性を活かし、未知の科学的発見を促進するための重要な活動の一環です。ゲスト観測者による新たなアイデアや観測戦略は、Romanの潜在能力を引き出し、宇宙物理への包括的な理解に新たな視点をもたらすことが期待されています。この開放性とコミュニティとの連携が、Romanの大きな特長の1つといえます。

日本・JAXAの取り組み

Romanの先進的な科学目標は、各学術領域で将来的な科学的戦略の方向性を示し得る重要な成果を提供すると期待されています。このような決定的な時期に、日本とJAXAが国際協力パートナーとして、独自の科学成果と貢献を創出するチャンスを得られることは大変価値のあることです。ここでは、JAXAと日本の研究者がRoman計画に対して行っている貢献をご紹介します。

コロナグラフ装置偏光観測のための光学素子とコロナグラフ基板の提供

日本は、Roman CGIに高精度偏光観測機能を追加する提案を行い、そのための光学素子を製作して提供しています。この偏光観測チャンネルは、無偏光の恒星光に対して惑星や円盤の反射・散乱光が部分的に偏光することを利用し、主星/惑星の明るさのコントラスト比を抑えることを目指し、同時に偏光特性を解析して新たな科学的成果を創出します。さらに、コロナグラフマスク基板と呼ばれるRoman CGIの中核部分も日本から提供されています。コロナグラフマスクは、明るい恒星像やその回折光を遮蔽する重要なパーツで、その製造には高度な技術が必要とされ、日本企業の技術力が存分に発揮されています。提供されたこれらの光学素子と基板は、既に実際のCGIのフライトモデルに搭載されており、近くCGIの光学調整・性能試験が行われる予定です。

JAXA地上局によるデータ受信

Romanは従来の宇宙望遠鏡とは比較にならない程の超大容量の観測データを収集します。例えば、ハッブル宇宙望遠鏡が約30年かけて収集したデータ量に対して、Romanはその100倍以上の観測データ量を5年間で収集してしまいます。NASAはRoman専用といえる受信局を整備しますが、それでも最大データ収集量の半分以下しか受信できないため、JAXAを含む国際協力が必須となります。JAXAは今回新たに、長野県的美笹深宇宙探査用地上局54mアンテナに26GHz帯の高速受信システムを開発・導入し、Romanのデータ受信を支援します。このKa帯受信システム開発は、将来の科学衛星のデータ大容量化に伴うJAXAの環境整備という観点からも有益です。



(図3) 美笹深宇宙探査用地上局54mアンテナ(長野県)。

独自性の高い日本の地上望遠鏡群との協調観測

ユニークな日本の地上望遠鏡とRomanの協力観測が検討されており、これにより科学成果の相乗効果が期待されます。国立天文台が運営するすばる望遠鏡は、広視野の可視光撮像装置HSCと多天体分光装置PFSを搭載しており、これらはRomanと相補的な観測を可能にします。例えば、すばる望遠鏡による暗い天体の多天体分光観測は、Romanが観測する遠方銀河の赤方偏移分布の詳細な情報を提供し、精密宇宙論観測の精度を高めることができます。大阪大学が運営するPRIME望遠鏡は、Romanの観測と同時に重力マイクロレンズ現象を観測し、“マイクロレンズ視差”という観測量を測定し、Romanによって発見されるマイクロレンズ惑星の質量をより正確に推定することを可能にします。(ちなみに、現在PRIME望遠鏡は試験観測中で、筆者はPRIMEのある南アフリカの観測所から本稿を執筆しています。)これら協調観測より、Romanの科学成果の最大化や新たな科学成果の創出が期待されます。

Roman科学検討チームの参加

Roman計画への日本の貢献として、科学検討チームの公募も注目されます。この公募は、Romanの観測戦略を共同で検討するチームを募集するもので、採択されたチームはRomanの科学成果について重要な意思決定に関与します。日本人研究者コミュニティからも多くの方がこれら検討チームへの参加を申し込んでおり、その結果を待ち望んでいます。Roman計画にとって最適な観測戦略が形成され、その結果新たな科学的発見が可能になることが期待されています。また、このように日本の研究者が国際的な大型プロジェクトにおける観測計画の策定に直接参加する経験は、国内の次世代研究者への教育や育成にも繋がり、日本の宇宙科学分野の更なる発展に寄与すると考えられます。現在は結果待ちの状態ですが、日本からの多数の参加があったこと自体が、我が国の科学研究の活力と国際的なプロジェクトへの関与の意欲を示しており、これら活動を通じて、国際的な科学協力体制における日本の役割が強化されることを期待しています。

種子島にその姿を現したSLIM

2016年のプロジェクト発足以来、開発が続けられてきた小型月着陸実証機SLIMですが、設計や各機器製作の期間などを経て、実際に打ち上げられ月に向かう“フライトモデル”が組み立てられました。その後、このフライトモデルに対する一連の試験が1年以上かけて実施され設計・製造の妥当性が確認された後、ついに探査機は種子島宇宙センターに運び込まれました。種子島に到着後は、輸送後の健全性確認や、打上げへ向けた準備作業等が進められているところです。

その合間には、SLIMについて多くの方により身近に知ってもらうための活動も行っています。SLIMが種子島に到着後の2023年5月14日には、種子島宇宙センターの特別公開が開催されました。折角の機会、SLIMもブースを設けて参加させて頂き、SLIMのミッションやその特徴などを、展示品や着陸模型なども用いながらプロジェクトの開発メンバーがお越し頂いた皆様に説明させて頂きました。種子島の特別公開で衛星・探査機が展示ブースを出すことは史上初らしく、プロジェクトメンバーが直接技術解説を行うISAS方式の展示が面白かったとのアンケート回答もいただきました。ロケットの射場である種子島宇宙センターの特別公開への参加は、SLIMにとっても大変貴重な機会となりました。

また、6月4日には、メディアの方がSLIMの探査機実物を間近で取材して頂く機会も設けさせて頂きました(表紙写真参照)。あいにくの台風で2日延期になったにも係らず多くの方にご参加頂き、様々な媒体で紹介頂いているところです。探査機はクリー



種子島宇宙センター特別公開2023におけるSLIMブースの様子。

ンルームの中にありますので、防塵着の着用が必要で取材できる時間も限られるなど、色々制約のある取材となります。それでも、実際に月に向かう機体の、本物の持つ存在感を感じて頂けたことで、報道を通じて多くの方にその存在感が伝わったのではないかと思います。サポート下さった種子島宇宙センターやJAXA広報の関係者にも感謝致します。

全ての準備が整った後、SLIMはH-IIAロケットに搭載され、X線分光撮像衛星「XRISM」と共に打ち上げられることになります。その後、順次必要な軌道制御を行って数ヶ月後に月周回軌道に到達した後に、月に着陸することになります。38万km先の100mを狙う旅、まだ誰も成し遂げたことがないその旅を、ぜひ応援頂ければと思います(p.7 SLIM新連載もご覧ください)。 (坂井 真一郎)

超小型探査機EQUULEUSの運用状況

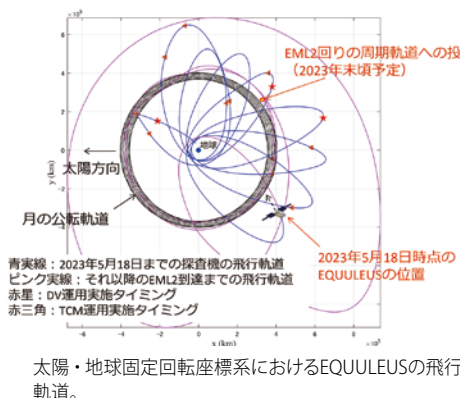
本誌2023年1月号*で、高精度な軌道決定・軌道制御により、EQUULEUSのミッション期間全体で最もクリティカルな打上げ直後の月フライバイに成功したことを報告しました。その後もEQUULEUSは順調に航行を継続し、打上げ直後から計14回の軌道変換運用(DV運用)と軌道修正(TCM)を予定通り実施しました。各観測機器のチェックアウトも今年4月までに終了し、磁気圏プラズマ撮像装置によるサイエンスデータ取得にも成功(今後論文発表予定)。プロジェクトとして設定していた計画通りの成果を得て、フルサクセスを達成しました。

その後、2023年末までのEML2(地球・月系第2ラグランジュ点)到着に向けて航行を継続していたところ、5月18日のパスで探査機からの電波が確認できませんでした。その前に正常に運用できていた5月16日以降、いつどのような状

況で電波が停止したのか直接的な証拠が得られない中、EML2へ向けた軌道における最後の地球最接近のタイミングを迎えようとしていました。急遽このタイミングにあわせて世界各地の大型望遠鏡に協力を要請し、5月23日から25日にかけて探査機自体の光学観測に成功しました。その結果から、探査機はある軸のまわりに回転していて、しかもその回転速度が5月16日時点で探査機が持っていた角運動量ともよく合っているようでした。そこから、探査機は電源が確保できず、無制御で最大慣性主軸まわりに回転している状態と推測されています。このような状態に陥った詳細な原因はまだ検討中ですが、運用チームとしては探査機の姿勢運動・軌道運動により太陽電池パドルに太陽光があたり電源が確保できるようになることを期待しながら探索運用を継続しています。

大きな軌道変換は全て完遂し、あとは定期的なTCMと科学観測を継続しながらEML2へ到達できる状況でした。月以遠での精密軌道決定・軌道制御成功という超小型探査機として世界的にも大きな成果をあげ、EML2という最初は遠かった最終目標が視界に入ってきた段階での足踏みとなってしまいましたが、探査機を復旧させ、EML2への航行を再開したいと考えています。(船瀬 龍)

詳細はEQUULEUSのTwitter (@EQUULEUS_ja)と2023年6月27日の第76回宇宙開発利用部会 https://www.mext.go.jp/content/20230627-mxt_uchukai01-000030691_3.pdfにて報告しましたので、そちらもご覧ください。



* https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews502.pdf

BepiColomboが3回目の水星スイングバイを実施

日欧共同水星探査計画BepiColomboの水星磁気圏探査機「みお」および水星表面探査機(Mercury Planetary Orbiter: MPO)は、2023年6月20日(日本時間)に3回目の水星スイングバイを実施



しました。探査機は同日の4時34分(日本時間)に最接近高度236 kmを通過し、その後も目標通りの軌道を航行しています。水星周回軌道投入まで合計9回実施されるスイングバイのうち今回は6回目となります。2025年12月に予定される水星到着に向けて長い旅路

Credit: ESA/BepiColombo/MTM

もいよいよ終盤

戦に突入します。

今回「みお」に搭載されているほぼ全ての観測装置を稼働させ、水星磁気圏や周辺宇宙環境の科学観測を実施しました。スイングバイ前にプロジェクト・機器チームが取り組んだ観測シーケンスやソフトウェアの改善が実を結び、観測データはこれまでのスイングバイの中でも最も良好で、翌週にオンラインで開催した科学チームミーティングも予定時間を大幅に超過する盛り上がりとなりました。過去2回の水星スイングバイとの比較という観点でも面白いデータが得られており、今後の観測成果報告にご期待下さい。

最接近前後には3回に分けて運用状況を運用室からYouTubeで生配信する取り組みを若手有志チームとともに実施し、合計視聴回数9,000回以上と多くの方に視聴頂きました。改めて運用イベント配信がもつライブならではの臨場感と魅力を実感しました。また筆者念願の企画として実現した『機動戦士ガンダム 水星の魔女』からの応援コンテンツも公開され、若い世代を中心に新たな関心層の拡大も進んでいます。

4回目の水星スイングバイは2024年9月に予定されています。運用チームはすでに水星到着に向けた運用準備を本格的に進めており、忙しい日々が続きます。水星への旅路を続けるBepiColomboの今後に引き続きご注目下さい。(村上 豪)

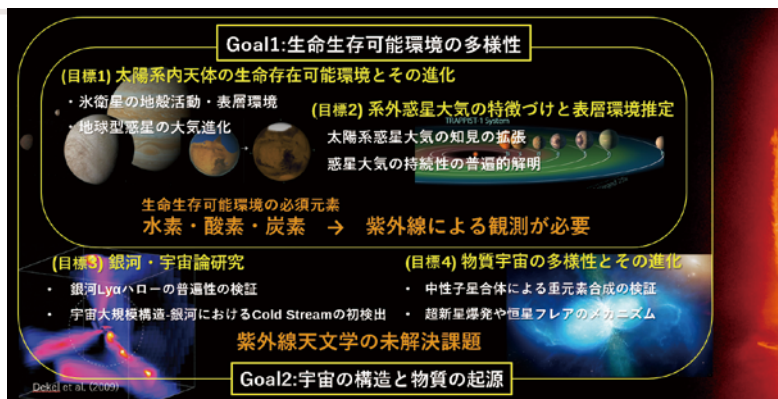
*https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/BepiColombo/A_trio_of_images_highlight_BepiColombo_s_third_Mercury_flyby

LAPYUTA計画実現への第一歩

LAPYUTA (Life-environmentology, Astronomy, and Planetary Ultraviolet Telescope Assembly) は、公募型小型計画の6号機候補に選定された紫外線宇宙望遠鏡計画です*。科学目標が、太陽系科学、系外惑星大気、天文学と多岐に渡るユニークな計画です。2018年ごろに惑星分光観測衛星「ひさき」の有志メンバーが、木星・土星系の衛星表層から放出される希薄ガスや金星・火星の大気散逸の観測検討を始めたことからこの計画がスタートしました。これらの天体は生命生存可能環境の観点から太陽系探査の焦点となっています。その後、系外惑星大気、銀河・宇宙論、マルチメッセンジャー天文学の研究者が参加して現在のチーム体制になりました。

LAPYUTAは太陽や磁気圏からのエネルギー流入により、時々刻々と変化する惑星・衛星大気の観測を通して、惑星大気・衛星表層の環境と進化の知見を獲得します。系外惑星ではハビタブルゾーン内にある惑星大気の検出を通して惑星表層環境の推定を目指します。宇宙論・天文学では、銀河周辺物質の構造の観測を通して宇宙構造形成の枠組みで予言されたガスの流入による星形成を検証し、中性子星合体直後の高温ガスの紫外線放射の観測から重元素合成過程の解明を目指します。

LAPYUTAが観測する110-190nmは真空紫外と呼ばれる波長域で、火星探査機「のぞみ」の紫外観測を皮切りに多くの宇宙機搭載実績があります。ここに望遠鏡の光学設計を得意とするメンバーが参加し、イプシロンロケットに搭載可能な主鏡口径60cm



LAPYUTA計画の科学目標。

の回折限界望遠鏡の設計解を見出しました。LAPYUTAには技術的なチャレンジもあります。高い解像度を達成するため、「ひさき」が実現したガイドカメラによる惑星追尾機能に加えて、「電子式手振れ補正機能」を新たに搭載し、望遠鏡の微小な指向ブレを機上制御と地上処理で補正します。

LAPYUTAの名前の由来は皆さんのご想像の通りですが、名付け親の村上豪さんには別の機会に熱く語って頂きたいと思います。

最後になりましたが、公募型小型計画の審査員の皆様、WG活動をサポート頂いた皆様に感謝を申し上げます。皆様からの引き続きのご支援をどうぞよろしくお願い致します。

(東北大学大学院理学研究科 惑星プラズマ・大気研究センター 土屋 史紀)

*選定の経緯は、ISAS ニュース 2023 年 4 月号 https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews505.pdf の「ISAS 事情」をご覧ください。

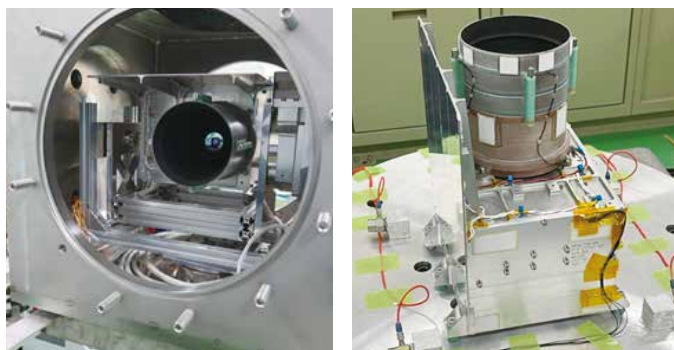
プラネタリー・ディフェンス計画Hera:製造・試験フェーズに移行

最近、地球のすぐ近くを小惑星が通過したというニュースをよく耳にしますが、直径10mを超える天体が地球に衝突すると人類社会に甚大な被害を与えます。2013年にチェリャビンスク近郊に落下した直径17mの天体による爆風被害は記憶に新しいですが、1908年のツングースカの上空を通過した50～60mの天体による爆風被害は、それらが大都会を直撃していれば壊滅的被害となったはず。実際、直径100m以下の小惑星は100～200年に1回は地球に衝突すると考えられ、それらの回避手段の準備や、衝突時の被害最小化のための活動がプラネタリー・ディフェンスです。

特に直径100m以下の小惑星の地球衝突回避には探査機衝突が有効な手段とされ、NASAのDART^{*1}はその技術実証のために2022年9月にS型小惑星ディディモスの衛星ディモルフォスに衝突し、ディモルフォスの軌道変化を軌道周期の変化として検知しました。その技術実証の評価には、両小惑星の質量や表層物質の組成や物性、衝突後の軌道や自転状態などを精度よく調べる必要があります。

Heraは、DARTと連携してプラネタリー・ディフェンス計画AIDA^{*2}を構成するESAの小惑星探査計画です。Heraは2024年に打ち上げられ、2027年に両小惑星にランデブーし、約半年かけて探査します。ちなみにHeraとはギリシア神話の結婚と子供を守護する女神であり、二重小惑星の探査に相応しいネーミングです。

日本は、Heraに戦略的海外共同計画として熱赤外カメラTIRIを提供するとともに、「はやぶさ」「はやぶさ2」で培ってきた小惑星の



TIRIの較正試験(左)と機械環境試験(右)。

科学的知見や解析技術を活かして参画します。プラネタリー・ディフェンスに加えて、二重小惑星を探査する希少な機会を活かして、惑星形成過程の解明につながる科学観測も重要な目的です。

Heraに搭載する熱赤外カメラTIRIは「はやぶさ2」で活躍した同種のカメラの約4倍の解像度の熱撮像(サーモグラフィ)で表層物質の熱物性を調べ、さらに波長フィルタを用いて化学組成や熱変成の状態を調べます。

Hera日本チームは2023年5月に所内の詳細設計審査を実施し、製造・試験フェーズへの移行が承認されました。TIRIのEMをESAに搬入して環境試験等を実施すると同時に、PFMの製作・試験を進めています。(岡田 達明)

*1 Double-Asteroid Redirection Test *2 Asteroid Impact & Deflection Assessment

解説

宇宙の加速膨張とダークエネルギー

ビッグバンで始まった宇宙は、膨張を続け現在の宇宙となりました。では、宇宙はこの先どのようなようになるのでしょうか？このまま膨張を続けるのか、あるいはどこかで収縮に転じて最後にはまた元の一点に戻るのか？科学者たちは、その答えを求めるため、地球からさまざまな距離にある銀河が、どのように遠ざかっていくのか、すなわち宇宙の膨張速度を精密に測定しようとしてきました。膨張速度は、観測された光の波長のずれ(赤方偏移)を精密に測定することで知ることができます。一方、天体までの距離を測定するのは簡単ではありません。ここで利用されたのがIa型超新星です。超新星は、星の生涯の最期に起きる大爆発ですが、その性質からいくつかの型に分類されます。Ia型とは、太陽のような比較的小さい星の最終形態である白色矮星に、連星系をなす相手の星から物質が降り積もり、ある臨界点を超えると爆発すると考えられています。そのメカニズム上、爆発時に放出するエネルギーが一定であることが知られており、実際に観測された明るさから、爆発がどれくらい遠方で起きたかを知ることができます。

1990年代に、アメリカとオーストラリアの研究者を中心とする2つのグループが、この手法で多数の超新星を測定し、宇宙の膨

張の様子を調べました。すると、驚くべき事に現在の宇宙は膨張を加速していることが明らかになったのです。この成果に対して、2011年のノーベル物理学賞が授与されました。

では一体どのような仕組みで膨張が加速しているのか？その加速の源とされているのが「ダークエネルギー」と呼ばれるものです。ただし、ダークエネルギーは、まだある種仮想的な存在で、誰もその正体を知りません。

Roman宇宙望遠鏡や、先日打ち上げられたESAの天文衛星Euclidでは、超新星の観測に加え、遠方の銀河の分布や、形状、明るさを測定することで、ダークエネルギーの謎に迫ろうとしています。遠方の銀河の光は、地球に届くまでの間に、途中にある物質による重力の影響で道筋を曲げられる(重力レンズ効果)結果、見かけの銀河の形状が変化します。宇宙そのものの膨張の仕方、そして宇宙の中の銀河の分布や赤方偏移の分布、さらに重力レンズ効果は、ダークエネルギーの存在やその性質によって、わずかな違いを示すことが予想されています。これらを多数の銀河に対して精密に測定する事で、ダークエネルギーの性質や、我々の宇宙の進化への影響を明らかにしようとしています。

(ISASニュース編集委員会 協力：山田 亨、宮崎 翔太)

連載

第1回

SLIM the Moon Sniper

降りられるところから、降りたいところへ

旅の始まり、連載の開始

今月号から、小型月着陸実証機SLIM (Smart Lander for Investigating Moon)の連載がスタートします。SLIMは、月や惑星への高精度軟着陸技術(ピンポイント着陸)を開発し月着陸により実証すること、併せて軽量化のためのシステム技術を開発することを目的としています。これまでの各国の月着陸機はいずれも、その着陸精度は数kmから10数km程度であり、そのため、「海」と呼ばれる広く平坦なところに降りてきました。SLIMが目指す100mの着陸精度が実現できると、クレータ近傍や極域など、これまで降りたくとも降りられなかった場所への安全な着陸が可能となり、次世代の月惑星探査への扉が開かれます。

図1にSLIMの外観図を、表1に探査機の主な仕様を示します。特徴的な外観となっているのは、多量の推進薬を搭載するための大きなタンクを中心とした構造とすることで軽量化を図っていること、小型探査機でも斜面に安全に降りるために斜面に向かって機体を倒し込みながら着陸する「二段階着陸方式」を採用していること等によるものです。

ピンポイント着陸を実現するためのキー技術の1つは、搭載カメラで撮像した月面画像からSLIMがクレータを識別し、その分布をクレータ地図と見比べることで自身の現在位置を把握する「画像照合航法」技術です。また、「画像照合航法」により自身の正確な位置を把握すると、着陸目標地点上空まで効率良く到達するためSLIMは自分の判断で軌道の修正を行います(「自律的な航法誘導制御」技術)。SLIMには、この「画像照合航法」技術や「自律的な航法誘導制御」技術を始め、大学の研究者の方々とも共同で開発してきた色々な新しい技術がてんこ盛りです。

SLIMの主な目的は小型実証機によるピンポイント着陸技術実証ですが、着陸後には月面での活動にも挑戦します。SLIM

表1: SLIMの主要な仕様

質 量	約200kg (推進薬なし) / 約700 - 730kg (打上げ時)
サ イ ズ	高さ: 約2.4m、縦: 約1.7m、 横: 約2.7m
着陸精度	100m
打上げから着陸まで	約半年
搭載月面活動機器	分光カメラ、 小型プローブ(LEV-1, LEV-2“SORA-Q”)



図1: SLIM外観図。



図2: 月面着陸後のSLIM。

には「マルチバンド分光カメラ」という観測装置が搭載されており、着陸後、月内部に由来すると考えられている岩石の成分分析を行って、月の起源に関する手がかりを探る予定です。その目的に適した岩石は月面上の特定の場所にしか見つからず、それらの場所はいずれもクレータ近傍で、傾斜のある複雑な地形をしている場所です。すなわち、ピンポイント着陸技術や二段階着陸技術が実現できて初めて実現できる観測ということになります。また、着陸直前には2つの小型プローブを分離します。2つのプローブはそれぞれ、月表面移動技術の実証や、月面上での写真撮影などに挑戦します。

技術開発要素が多く、その意味でチャレンジングなSLIM開発は、長く研究開発を主導してきたベテランと、エネルギーで意欲的な若手が両輪となって進めて来ました。この後の連載に登場するのは、実際に開発に当たってきた彼ら・彼女らで、各技術やその開発過程を、時にはその長い歴史を紐解きながら紹介してくれる予定です。H-IIAロケットで打ち上げられて月へ向かいピンポイント着陸するSLIMの姿も思い浮かべながら、連載記事を楽しんで頂ければと思います。

SLIMプロジェクトマネージャ
坂井 真一郎(さかい しんいちろう)

》さまざまな望遠鏡を宇宙へ

小惑星カタログづくりは砂金採り

——もともとは天文学の研究者だったそうですね。

はい。赤外線天文学と惑星科学、特に小惑星を専門にしています。私たちの住む太陽系の成り立ちに関心があり、その中でも特に小惑星を長年研究してきました。

——小惑星と言えば「Usui」という名前的小惑星があるそうですね。

小惑星(24984) 1998 KQ 42が「Usui」と命名されています。赤外線天文衛星「あかり」による小惑星カタログを作成した成果が国際的に認められたもので、「Usui」という天体名がこの先もずっと残ると思うと感慨深いですね。

——「あかり」による小惑星カタログとは？

「あかり」は全天をくまなく観測しました。その膨大なデータから、小惑星からの赤外線のシグナルを、砂金採りのように1個1個拾い集めていき、そこから小惑星の大きさを調べました*1。このカタログには5,120個の小惑星の大きさを掲載しており、公開した2011年10月時点で世界最大の小惑星カタログでした。私は性格的に、こういう細かい作業に向いていたのかもしれませんが。

——なぜ「あかり」で小惑星を観測するようになったのですか。

星が好きだったので、大学では天文学を学びたいと、ぼんやり思っていました。サークルも天文部に入りました。大学院では一般相対性理論に取り組んだのですが、私には難しすぎました……。この先どうしようと悩んでいたころ、しし座流星群の観測に誘ってもらったのです。2001年、大出現の年でした。次々と出現する流星を一晚中観測していて、実際に観測することの楽しさ・面白さにあらためて気付いたのです。そして縁があって、宇宙研の研究者として「あかり」に携わることになりました。衛星開発中の2003年から2006年の打上げ、2011年の運用終了、その後のデータ解析まで、所属を変わりましたが「あかり」とずっと付き合ってきました。観測対象に小惑星を選んだのは、しし座流星群を観測したあの日の経験と無縁ではないと思います。

——ほかにはどのような観測研究を？

「あかり」で小惑星の分光観測を行い、小惑星に水があるかどうかを調べました。小惑星に水と岩石が反応してできた含水鉱物があると、赤外線のスペクトルで特徴的なパターンが現れます。「あかり」で数多くの小惑星を観測し、特にC型小惑星の7割以上に含水鉱物があることを突き止めました。以前からC型小惑星は水に富むと考えられていましたが、それを初めて観測によって明らかにしたのです*2。

*1 ISASニュース2011年11月号・星空の砂金採り—「あかり」による世界最大の小惑星カタログ <https://www.isas.jaxa.jp/ISASnews/No.368/ISASnews368.pdf>

*2 ISASニュース2019年3月号・水を湛えた小惑星たち—「あかり」による小惑星の含水鉱物探査 https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews456.pdf

編集後記

7月号を担当しました。打上げが流動的なこともあって、ISAS事情欄の記事に苦労しました。皆様ご協力ありがとうございました。SLIMの連載が始まりました。うまくいくことを祈っています。

(石川 毅彦)

宇宙科学プログラム室 主任研究開発員

白井 文彦 (うすい ふみひこ)

1974年、東京都生まれ。東京大学大学院総合文化研究科博士課程単位取得退学。博士(理学)。JAXA宇宙科学研究本部招聘職員(研究員)、東京大学大学院理学系研究科特任研究員、神戸大学大学院理学研究科惑星科学研究センター特助助教などを経て、2020年より現職。



プロジェクトマネジメントに教科書はない

——2020年8月、再び宇宙研へ。どのような理由からですか。

小惑星の水についてさらに理解するには、100個、1,000個と観測数を増やす必要があります。しかし、そのような小惑星の観測ができる望遠鏡がないのです。赤外線は地球の大気で遮られてしまうので、望遠鏡を宇宙に打ち上げるしかない。そう考えていたときに、赤外線位置天文観測衛星JASMINE(ジャスミン)でプロジェクト業務を担う人材を募集していることを知りました。JASMINEでは小惑星の水の観測はできませんが、次々と望遠鏡を打ち上げる流れをつくるのが重要だと考え、まずはJASMINEを実現しようと思い立ち、応募して採用して頂きました。

——JASMINEとは？

JASMINEは星の位置を正確に測る、日本初の位置天文観測衛星です。可視光ではガスやちりに遮られてしまう天の川銀河の中心領域を赤外線で見通し、この方向にある恒星の距離や運動を世界で初めて非常に正確に測ります。ここから、太陽系が天の川銀河の中でどのような変遷を辿ってきたかを明らかにする手掛かりも得られると考えています。

——プロジェクトマネジメントの仕事には慣れましたか。

2020年8月に着任して約3年。何をすべきかが、少しずつ分かってきたように思っています。天文学の研究では論文や教科書があって、それを読んで勉強ができます。プロジェクトマネジメントも一般的な教科書はありますし、資格も取りました。しかし、マネジメントはプロジェクトごとに違います。また、物言わぬ小惑星と違って、相手は「人」なので、そこが大変ですが、面白いところでもあります。プロジェクトマネジメントに一番大切なのは、コミュニケーションです。私は口下手で、どちらかというとコミュニケーションは苦手なのですが、意識して頑張っています。また、プロジェクトを進めるには自分で経験しないと分からないことも多いですが、JAXAにいらっしゃるさまざまな経験者の方々の話を聞いて、日々参考にしています。

——今後どのようなことをやりたいとお考えですか。

まずはJASMINEを実現することが私の役目です。ただし、宇宙の多様な姿を捉えて理解するには、いろいろな特徴を持った望遠鏡をたくさん打ち上げなければいけません。その道筋を付けたい。「あかり」での経験から、世界に名だたる超大型の望遠鏡でなくても、創意工夫でやれることはまだまだたくさんあると確信しています。



ISASニュース No.508 2023年7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/>