

DESTINY+探査機の想像図

地球周回軌道上でイオンエンジンを噴射する深宇宙探査技術実証機DESTINY+。ロケットによって直接惑星間空間に送り込まれた「はやぶさ」、「はやぶさ2」とは違い、イプシロンロケットで地球周回軌道に投入された後、イオンエンジンで加速して自ら高度を上げ、精密にタイミングを合わせた月スイングバイで惑星間に飛び出す。目的地は、ふたご座流星群の母天体(3200) Phaethon。将来の低コスト・高頻度な深宇宙探査技術の実証と、太陽系内の有機物輸送の鍵を握る宇宙塵の実態解明を目指す。2024年度打上げ予定。



The Forefront of Space Science

宇宙
科学
最前線

DESTINY+が目指すサイエンス

千葉工業大学 惑星探査研究センター 主席研究員 荒井 朋子(あらいともこ)

はじめに

深宇宙探査技術実証機DESTINY+ (デスティニープラス) は、「はやぶさ」、「はやぶさ2」に続く日本の小惑星探査計画です。「はやぶさ2」は大型ロケットH-IIAで打ち上げられましたが、DESTINY+は、開発中の小型ロケット「イプシロンS^{*1}」を利用します。

DESTINY+はDemonstration and Experiment of Space Technology for INterplanetary voYage with Phaethon fLyby and dUst Scienceの略称で、前半が工学ミッションの目的である「深宇宙探査技術の実証」、後半が理学ミッションの目的である「小惑星(3200) Phaethon(フェートンまたはファエトンと呼ばれる)のフライバイ及びダストサイエンス」を表しています。工学と理学の連携により、小惑星の近傍を通過しながら観測を行う「フライバイ探査技術」の獲得を目指します。工学ミッションはISASが、理学ミッションは千葉工業大学が中心となって計画を進めています。また、ダスト観測装置はドイツのシュツットガルト大学が中心となり開発を進める国際共同ミッションです。

本計画の前身となるDESTINYは、ISASの「2013年度イプシロン搭載宇宙科学ミッション」の提案募集に応募しましたが、最終審査で不採択となったため、理学ミッションを加えたDESTINY+として、ISASの「2015年度公募型小型計画・宇宙科

学ミッション」の提案募集に再応募し、2017年8月に選定されました。今年6月1日にプリプロジェクト(プロジェクトの前段階)となり、2024年度の打上げを目指しています。

DESTINY+探査機(表紙図)は、イプシロンSロケットとキックステージで地球周回長楕円軌道(230km×37,000km)へ打ち上げられた後、「はやぶさ2」の技術を継承したイオンエンジンを使って、約2年かけて地球を周回しながら徐々に高度を上げ、月の重力を利用してフェートンに向かう軌道に移り、さらに約2年かけてフェートンに接近します。「はやぶさ2」は小惑星リュウグウに1年以上滞在して観測や着陸を行ったのに対し、DESTINY+は秒速33km以上という高速で、フェートンから約500kmの距離を通過しながらフェートンを観測します。本稿では、DESTINY+の理学ミッションに焦点を当て、DESTINY+が目指すサイエンスについてご紹介します。

地球に飛来するダストの科学的意義と課題

近年、地上で回収された隕石や地球外の固体微粒子(以下、ダストと呼ぶ)から様々な種類の有機物が発見されたり、米国の彗星探査機スターダストが持ち帰った彗星ダストや欧州の彗星探査機ロゼッタが直接分析した彗星表面からも有機物が報告されています。また、地上望遠鏡や宇宙望遠鏡による、惑星間や星間のダストの観測も有機物の存在を示しています。これらの

^{*1} https://www.jaxa.jp/projects/rockets/epsilon/index_j.html

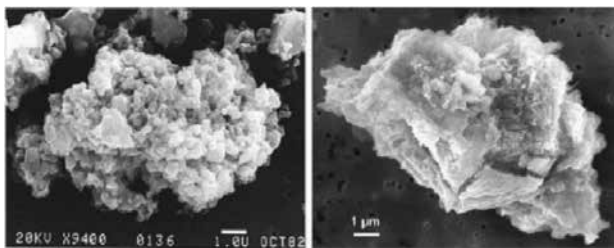


図1. 成層圏で回収された二種類の惑星間ダストの走査電子顕微鏡写真。左が彗星起源とされる惑星間ダスト。空隙が多いのは、氷が昇華した痕跡だと考えられている。右は小惑星起源とされる惑星間ダスト。空隙は少なく、密な構造を持ち、結晶構造中に水を含む鉱物が存在する。スケールバーは共に1 μm (Engrand et al. (2011))。

研究結果を踏まえ、地球生命の種となった有機物や炭素物質が地球外から持ち込まれたとする仮説の実証を目指して、惑星科学、天文学分野において様々な手法で研究が進められています。

隕石の中で炭素を含むものは5%程度ですが、ダストは一般的に炭素を含む隕石の数倍から10倍の総炭素量を持ち、複数種の有機分子を含みます。地球に飛来する年間4万トンを超えるダストのうち、有機物が分解されずに大気圏を通過できる100 μm以下のものは年間約2,500トンと見積もられており、これは隕石の年間飛来質量の約50倍に相当します。小惑星や彗星が地球に衝突した場合の落下質量はダストに比べると圧倒的に大きいですが、半径100m以上のものは大気摩擦による減速が効かないため、地表への激突時に発生する高温で有機物の大部分が分解してしまいます。一方、大気摩擦で効率的に減速するダストは地表への有機物供給として有利であるため、ダストは地球外から地表に有機物を持ち込む主要な媒体と考えられます。

地球に飛来するダスト（以下、地球飛来ダストと呼ぶ）には、主に惑星間ダストと流星群ダストがあります。惑星間ダストには太陽系の外から来るものも少量含まれ、これらを星間ダストと呼びます。惑星間ダストは、太陽系内の不特定多数の彗星や小惑星由来のダストを含むため、ダスト粒子の由来はわかりません。成層圏で回収された惑星間ダストには、水を含まない鉱物からなるダストと水を含む鉱物からなるダストの二種類があり（図1）、前者は彗星由来、後者は小惑星由来と考えられています。しかし、両方の特徴を持つものもあり、ダストの由来については推測の域を出ません。大気圏突入やサンプル捕獲時の熱変成による有機物量や組成への影響もよくわかっていません。また、星間ダストの望遠鏡観測データは有機物の存在を示唆している一方、米国の土星探査機カッシーニが星間ダストを直接分析したところ、有機物はおろか炭素も検出されなかったことから、太陽系に流入する星間ダストの有機物の存在有無ははっきりしていません。

一方、流星群ダストは、地球の軌道と交差する軌道を持つ彗星や小惑星から放出されたダストが、それらの天体の軌道に沿って帯状に分布したダストレイルを経由して地球に運ばれてきています。そのため、流星群ダストの由来天体（流星群母天体と呼ぶ）は、地球に有機物を含むダストをもたらす天体として重要な研究対象です。流星群母天体の多くは彗星ですが、小惑星もあります。三大流星群の一つであるふたご座流星群の母天体は小惑星フェートンであり、DESTINY⁺の探査標的天体です。

小惑星フェートンの特徴と謎

フェートンは、1983年に赤外線天文衛星IRAS（アイラス）により発見された地球近傍小惑星です。直径約6kmで、地球に

衝突する可能性のある天体としては最大級です。太陽光の反射分光特性（スペクトル）からリュウグウと同様に炭素に富む小惑星と考えられており、太陽系天体で最も青いスペクトルを持つことで知られています。1.4年の公転周期で、彗星のように黄道面から22度も傾いた細長い楕円軌道を描いて回っていて、自転軸は黄道面の方へ大きく傾いています。太陽に最も接近する小惑星の一つで、近日点距離は水星より太陽に近い。近日点付近では小惑星の表面は700度以上に加熱されます。米国の太陽観測衛星ステレオは、近日点通過時の数日間のみ、フェートンからのダスト放出を観測しています。このようにフェートンは彗星と小惑星の特徴を併せ持つため、活動的小惑星^{*2}に分類されています。また、直径約1kmの小惑星2005 UDは、フェートンから分裂したと考えられており、フェートン自身は小惑星帯にある太陽系最大の小惑星(2) パラスから分裂した可能性があります。このようにフェートンは多くの興味深い特徴を持つため、これまで様々な観測が行われてきましたが、フェートンからどのようにダストが放出しているかは、地球からの望遠鏡観測ではわからないため、謎に包まれたままです。

ふたご座流星群は、1時間あたりに観測される流星の数が多く、それはダストの帯を構成するダストの量が多いことを意味します。しかし、フェートンがダストを放出するのは、太陽に最接近する数日間のみで、放出ダスト量も少ないため、フェートンからいつ、どのような形でふたご座流星群のダストが放出されたのか、大きな謎です。また、地上からの流星群の分光観測から、ふたご座流星群のダストは、他の流星群のダストに比べてナトリウムが乏しいこともわかっています。ナトリウムは高温で蒸発しやすい性質のため、フェートンの表層物質あるいはフェートンから放出されたダストが太陽の輻射熱で加熱された影響かもしれないと考えられています。

DESTINY⁺の理学ミッション

DESTINY⁺の理学ミッションの目的は、地球への主要な有機物供給源と考えられるダストの実態と、地球に流星群としてダストを供給しているフェートンの謎を解明することです。探査機が地球からフェートンへ向かう道筋は、ダストが地球に運ばれてくる道筋の逆方向に相当します。イプシロンロケットで打ち上げられた探査機は、地球周回軌道を回りながら徐々に地球から離れ、惑星間空間を航行し、ふたご座流星群のダストレイルを通過し、母天体であるフェートンに向かいます。探査機はダストの輸送経路を遡りながら、その場でダスト粒子の物理化学特性を継続的に観測します。フェートンへ接近する際はフェートンの地質調査と周辺のダストを観測します。これらの観測は、ダスト粒子毎の物理化学特性を直接分析するダストアナライザ「DESTINY⁺ Dust Analyzer (DDA)」、追尾撮像機能を持つ望遠カメラ「Telescopic Camera for Phaethon (TCAP)」、可視近赤外域を複数波長で観測するマルチバンドカメラ「Multiband Camera for Phaethon (MCAP)」の三つの観測装置で行います。

DDAは、衝突電離型のダスト検出器と飛行時間型質量分析計が一体となった観測装置で、米国の土星探査機カッシーニに搭載されたダストアナライザの進化版です。数10nmから数10 μmのサイズのダスト粒子毎の質量、速度、飛来方向、化学組成をその場分析することが可能です。DDAによるダストの観測により、惑星間ダストの粒子毎の由来に制約を与え、

^{*2} 小惑星的な軌道を持ちながらもダストなどを活発に放出する現象が観測される天体。このような天体は2000年代後半に小惑星帯で次々と発見されたため、当初は小惑星帯彗星と呼ばれていました。その後小惑星帯以外でも発見されたため、より一般的な「活動的小惑星」という名称で呼ばれるようになりましたが、その起源や実態はよくわかっていません。

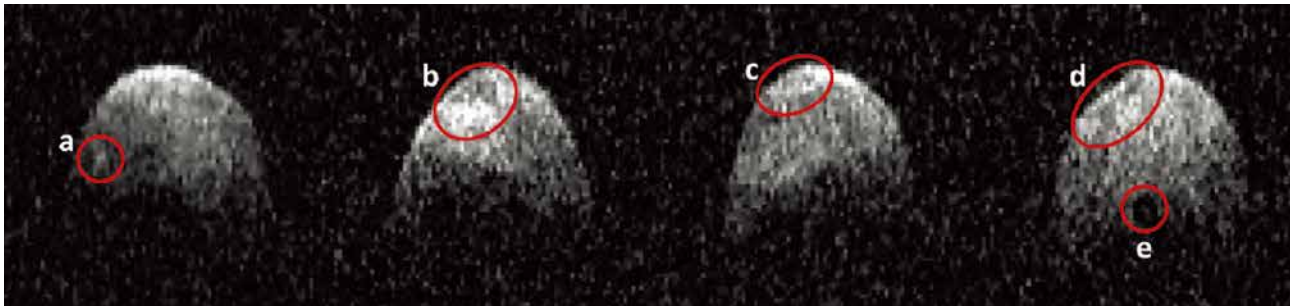


図2. 2017年12月16日～18日に世界最大級の電波望遠鏡である米国のアレシボ天文台のレーダ観測で観測されたフェートのレンジ-ドップラー画像 (Taylor et al., 2019)。フェートの直径は約6km。空間分解能は1ピクセルあたり75m。フェートが自転する間に、複数の特徴的な地形が確認された。フェートは自転軸が寝ているため、この画像ではフェートの北半球が主に見えている。(a) 高緯度地域にみられる300m程度の岩塊あるいは隆起地形、(b) 低緯度地域のkmサイズの陥没地形、(c)、(d) 赤道付近に見られるkmサイズの陥没地形、(e) 北極域に見られる約600mの円状のダークスポット (レーダ反射が乏しい地域)。

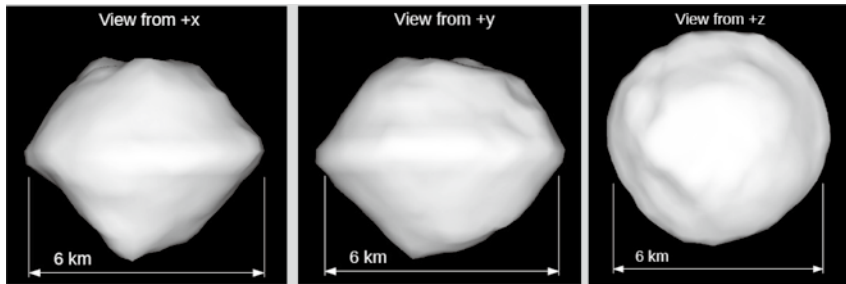


図3. アレシボの観測データやこれまでに得られたライトカーブを元に作られたフェートの3次元形状モデル (アレシボ天文台のS. Marshall博士提供)。

大気圏突入やサンプル捕獲時の熱変成の影響を受けないダスト中の有機物の情報を得ることができます。

フェートは細長い楕円軌道を持つため、探査機との相対速度が非常に大きく、高速で通過するフェートをカメラで追尾撮像することは技術的な挑戦です。探査機がフェートから500kmの距離まで接近する際、TCAPは秒速33km強で通過するフェートを追尾しながら撮像し、約5m/ピクセルという高空間解像度で表層の地形を観測します。MCAPはフェートから約800kmの距離で約50m/ピクセルという空間解像度で、天体表面の太陽光の反射分光特性を測定し、表面の物質分布を調べます。これらの観測で得られるフェートのグローバルな天体形状や物質分布、そしてローカルな表層地形のデータにより、活動的小惑星からのダスト放出機構や太陽光により著しく加熱を受けた小惑星の様相が世界で初めて明らかにされます。この探査では「はやぶさ」や「はやぶさ2」のように表層の物質を採取することはできませんが、高速フライバイ時にDDAがフェート由来のダストをその場で分析し、得られるダストの化学組成から、フェート表層に存在する鉱物や有機物の情報が得られると期待されます。また、フェートに到着するまでの惑星間空間やダストトレイルのダストとフェート近傍でのダストの観測データを比較することで、流星群母天体から放出したダストが地球に飛来するまでの間に、物理化学特性にどのような変化が生じるのかを調べることができます。

フェートのフライバイ前に、追尾撮像の予行演習のために別の小惑星をフライバイすることを計画しています。また、フェートをフライバイした後、探査機が健全な状態であれば、ボーナスミッションとしてフェートからの分裂天体である小惑星2005 UDをフライバイする計画も検討しています。

フライバイ探査前の地上観測の重要性

高速フライバイで、ほぼ自動観測で行う一発勝負のミッションを成功させるためには、事前に地上から天体を詳しく観測することはとても重要なことです。2017年12月に、フェートが地球から約1000万kmまで接近した際、世界中

で多くの観測が行われました。測光観測や分光観測からは自転周期 (3.6時間) やスペクトル型 (B型) が精度よく求められました。また、偏光観測から、フェートが太陽系小天体の中で最大の直線偏光度を持つことが明らかになりました。世界最大級の電波望遠鏡である米国のアレシボ天文台のレーダ観測により、天体の形状や表面の地形の情報が得られました (図2)。レーダ観測やライトカーブの観測データを用いて3次元形状モデルが得られ、「はやぶさ2」の目標天体であるリュウグウや米国の小惑星探査機オサイリス・レックスが探査中のベンヌと同様に、フェートは赤道一帯が盛り上がったコマ型の形をしていることがわかりました (図3)。

一方、2017年の一連の観測後、アレシボのレーダ観測と米国の広域赤外線探査衛星WISEの観測から求められた天体サイズに比較的大きな開きがあること (前者は直径6.1km、後者は直径4.6km)、それにより天体表面の反射率の推定誤差が大きいために課題として残りました。天体の真の大きさや形を直接知る方法として、小惑星による恒星食の観測があります。一般的にフェートのような小さいサイズの惑星では、軌道決定精度が十分でないために恒星食の予報精度が悪いのですが、フェートの場合は2017年の地球接近時に多くの観測が行われたことで、軌道決定精度が著しく向上しました。さらに、最近、欧州の位置天文衛星ガイアにより、恒星の位置もこれまで以上の精度で決定され、これらの相乗効果でフェートによる恒星食の予報がこれまでにない精度で出されました。2019年7月29日にアメリカ南西部で観測されたフェートによる7等星の食は、NASAや米国の天文家及び研究者の協力により歴史的成功を収め、10月16日には日本でもフェートによる11等星の恒星食の観測に成功しました。その結果、アレシボの観測から推定されたサイズより6%小さく修正されました。今後も、探査機がフェートに接近する直前までフェートの地上観測を継続し、高速フライバイに備えます。「高速フライバイ」という新たな探査技術を獲得することで、今後のわが国の小惑星探査の探査対象や頻度の拡大につながることが期待されます。

詳細設計も大詰めを迎えたSLIMプロジェクト

小型月着陸実証機SLIMは、月面上の狙った所に降りるための「ピンポイント着陸技術」を開発・実証すること、併せて小型軽量化技術を開発・適用すること、この2つを大きな目的としたプロジェクトです。これまでは難しかった「降りたいところに降りる」を実現するために、着陸の正確さを、これまでの数km～10数km程度から一気に100m級にまで高めようとしています。

2016年4月からJAXAプロジェクトとなったSLIMですが、2019年度からは“詳細設計フェーズ”という段階へと進んでいます。このフェーズでは、モデルを使った各種試験なども行いつつ、細部の設計を確定させる作業を行っています。設計結果についての一連の技術レビューも進められており、これが完了すると、いよいよフライトモデルの製作が本格化していくことになります。

詳細設計フェーズで行った試験の中には、かなり規模の大きい試験もありました。「システム燃焼試験」は、SLIMの根幹を担う推進システムの燃焼試験です。SLIMに搭載される推進配管なども模擬した上で、500N級メインエンジンと20N級補助スラスタの試験用モデルを同時に燃焼させて特性を確認するなど、実運用へ向けた様々なデータを取得し、設計に反映させることができました。プロジェクトメンバーに加えて、関係メーカーやJAXA内の他部門（研究開発部門）のメンバーの力も結集することができたからこそ、実現できた試験だったと思います。

他にも、着陸レーダのフィールド試験なども実施しています。

これは、着陸レーダの試験用モデルをクレーンで空中につり上げ、時には上下あるいは左右に動かしながら高度や速度の計測結果を取得し、評価する試験です。大樹航空宇宙実験場にて実施し（写真）、天候の影響なども受ける中、何とか無事に試験を終えることができました。

2020年度に入ってから、新型コロナウイルスの影響を受けたり（JAXA相模原キャンパスも一時は閉鎖）、打上げスケジュールの見直しが必要になったりしていますが、月着陸を目指して、引き続き前を向いて開発を進めていきたいと考えています。（坂井 真一郎）



着陸レーダフィールド試験風景（2019/10大樹航空宇宙実験場にて）。

イプシロン級ロケットで深宇宙探査へ

深宇宙探査技術実証機DESTINY⁺ミッションは、小型探査機とキックステージの組合せによりイプシロン級ロケットによって、深宇宙探査を切り開くことを目的にしています。

DESTINY⁺ミッションの特徴は、工学目的とともに、その実証結果として理学目的を達成することにあります（理工一体ミッション！）。興味深い理学目的は、本号の千葉工大・荒井さんの記事を参照ください（P1～3）。ここでは工学目的に絞って述べていきます。

一つ目は、電気推進（イオンエンジン）の活用範囲の拡大です。活用範囲を広げるため、DESTINY⁺では、航行能力の増強とともに重力天体周回・脱出への活用（スパイラル航行：重力天体を周回しながら軌道高度を徐々に上げていき、最終的には重力圏から脱出する）を実証していきます。

二つ目は、薄膜軽量太陽電池による太陽電池パドルの軽量化と電気推進に必要な電力の確保です。小型深宇宙探査機にとっては1kgの質量がとてつもなく大事なリソースです。探査機システム設計にとって重要な実証項目となります。

三つ目は、フライバイ探査技術の獲得です。「はやぶさ」、「はやぶさ2」、MMXとランデブーによるサンプルリターンミッションが続いています。一方で、ランデブーができない興味深い小天体も太陽系にはたくさんあります。小型探査機DESTINY⁺が目指すフェートンは、黄道面に対してその軌道面が大きく傾いているため、ランデブー探査が困難な天体です。相対速度33km/sを超えるような速度で、すれ違いざま（フライバイ）にカメラ

撮像観測を行います。「待ったなしのワンチャンス観測」は、挑戦という言葉がふさわしいミッションです。また、将来的にはフライバイ時に対象天体周辺からサンプルを獲得して持ち帰る（フライバイ・サンプルリターン）という新しい手法にも繋がります。

この挑戦を成功させるためには、探査機システム開発はもとより、軌道精密決定、地上自律運用や異常判断支援システム開発など、地上運用システムも一緒になって開発を進めていく必要があります。また、次の世代がさらに魅力的なミッションを創出できるように、人と環境を作り上げていくことも重要な役割と認識しています。（高島 健）



DESTINY⁺の技術開発結果がもたらす未来。

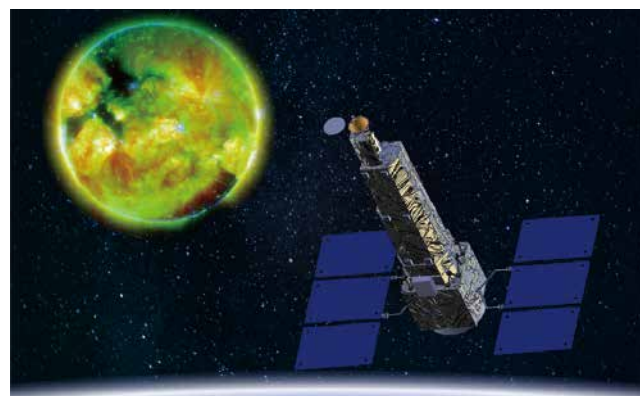
公募型小型4号機にSolar-C(EUVST)を選定

宇宙科学研究所は、2020年4月22日に公募型小型計画4号機のダウンセクションを実施し「高感度太陽紫外線分光観測衛星Solar-C(EUVST)」を選定し、5月22日に政府の宇宙政策委員会宇宙産業・科学技術基盤部会 宇宙科学・探査小委員会に報告しました。また、2020年6月2日の宇宙政策委員会です承された宇宙基本計画工程表(案)にSolar-C(EUVST)が明記されました。

Solar-C(EUVST)は、本誌2018年9月号にあるように、「平成29年度公募型小型計画・宇宙科学ミッションコンセプト提案」公募において、宇宙理工学合同委員会による評価により選定されたミッションコンセプトの一つです。宇宙科学プロジェクトの新しい立ち上げ方(本誌2018年5月号)に従い、アイデア実現加速プロセス(Pre-Phase A1b)の実施後、2019年3月にプリプロジェクト候補選定審査を受審し、ミッション定義フェーズ(Pre-Phase A2)活動に入りました。2020年1~2月に公募型小型4号機プリプロジェクト候補ダウンセクション前審査に臨み、その審査結果を基に、高感度太陽紫外線分光観測衛星(Solar-C(EUVST))は公募型小型4号機に選定されました。

Solar-C(EUVST)は、太陽から届く紫外線を分光観測することで、太陽の高温プラズマがどのように形成されるのか、太陽フレアがいつどのように発生するのかという謎に挑む、日本の次期太陽観測衛星計画です。「ひので」などこれまでの観測は、太陽大気へのエネルギー入力(太陽表面での磁場活動)と最終的な

エネルギー出力(解放)の振る舞いを明らかにしてきましたが、Solar-C(EUVST)は、その中で働くブラックボックスな物理過程の解明を極端紫外線(EUV)分光観測により行います。EUV分光望遠鏡EUVSTは、太陽大気の色層からコロナにわたる温度領域を隙間なく、かつ今まで成し得なかった高空間・高時間分解能でプラズマのダイナミクスを追跡できる能力を世界で初めて実現し、日本が主体となって米欧各国とともに開発します。2020年代中頃にイプシロンロケットによる打上げを目指し、今後ミッション定義審査へ向けて概念検討を加速していきます。(清水 敏文)



高感度太陽紫外線分光観測衛星Solar-C(EUVST)の概念外観図。

6月13日 「はやぶさ」地球帰還10周年

6月13日は「はやぶさの日」。「はやぶさ」が地球に帰還した日です。「はやぶさ」が地球に帰還したのは2010年ですから、今年ちょうど10年となります。「はやぶさ」が大気中でバラバラになって燃え尽きていく感動のシーンからもう10年。そして、今年は「はやぶさ2」が地球帰還をするということで、非常に感慨深いものがあります。

この10周年を記念して、6月13日には何かイベントを行いたいと思っていたのですが、新型コロナウイルス感染拡大のために人が集まることができなくなってしまいました。そこで、オンラインでのイベントとして“「はやぶさ」地球帰還10周年記念：「はやぶさ」メンバーによるリレートーク”を行うことにしました。「はやぶさ」のプロジェクトマネージャの川口 淳一郎先生やプロジェクトサイエンティストの藤原 顕先生をはじめとして、10名ほどのプロジェクトメンバーが自宅などからネット会議のシステムで接続し、それをYouTubeで中継する方法です。中継は、星空公園の小野間 史樹氏にお願いしました。

最初、6月13日のお昼過ぎにこのトークイベントを行うつもりで準備をしていましたが、直前になって、是非とも「はやぶさ」が地球に帰還した22時51分前後にもトークイベントを行いたいということになり、昼の部と夜の部の二本立てで行うことになりました。昼の部の方は、「ミッション中、最も印象に残っていること」とか「もうダメだと思った瞬間」などのテーマをいくつか挙げて、各自が簡単にコメントするというやり方で進めました。また、事前に「はやぶさ」および「はやぶさ2」のメン

バーに宇宙に関心を持つきっかけとなったアニメ・本・映画・事柄についてアンケートを取っていましたが、その結果発表も行いました。夜の部の方は、実際のプロジェクト進行に合わせて、当時を再現した実況中継仕立てで、その合間に当時の思い出などをざっくばらんに話すという進行でした。橋本 樹明先生(当時の航法誘導制御担当)から、「はやぶさ」による地球撮影の画像が次々と示されましたが、「最後に撮影した写真」が映し出された瞬間、ツイッターで桁違いに多い反応がありました。この写真は、今回のイベントのアナウンスでも使ったものです。

今回のトークイベントのお昼の部の視聴者は約800名、夜の部の方は約900名でした。多くの皆さんに、10年前を思い出していただけたかと思います。(吉川 真)



ネット中継の様子。左：夜の部の参加者(阿部 新助氏撮影) 右：中継作業の様子(小野間 史樹氏撮影)。出演者は昼の部と夜の部を合わせて次のメンバーになります(敬称略、順不同)：川口 淳一郎、藤原 顕、土山 明、橋本 樹明、廣井 孝弘、道上 達広、寺園 淳也、阿部 新助、細田 聡史、曽根 理嗣、吉川 真。

光通信実験装置「SOLISS」フルサクセス達成！

2019年9月に、「こうのとりの8号機」で打ち上げられた小型光通信実験装置「SOLISS」(Small Optical Link for International Space Station)は10月より軌道上実証実験を開始し、1歩ずつステップアップしてきました(初期運用についてはISASニュース2019年11月号をご覧ください)。

先に光通信装置のモニタカメラとして搭載した全天球カメラのチェックアウトが終わり、360°画像を公開したため、そちらの話題が先行してしまいましたが、「SOLISS」の本業は光通信です。チェックアウトで機器の正常動作を確認した後は、光通信を確立すべく機能の一つずつ確認していきました。特に最初は「SOLISS」側、地上局である情報通信研究機構(NICT)光地上局側、双方の特性を把握するのに苦労しました。当然ですが、ISSに取り付けると僅かながら方向がずれます。それに加え、大気圏を通過して1,000km近く離れた宇宙空間と地上が通信するのは初めてになります。更には、宇宙と光通信する際の特有の事情ですが、雨や曇りの日には光が減衰し十分な受光強度が得られません。

天候に左右されながらも、少ない運用機会を活かして課題を1歩ずつクリアしていきました。特に太陽光などの外乱ノイズがない環境として、夜間の運用を狙うことが多かったため、運用担当者は大変だったと思います。

2020年3月に双方向光通信リンクを確立し、100MbpsのEthernet通信に成功することができました^{*1}。これはSOLISSプロジェクトとして、エクストラサクセスとして掲げていた実験の成功であり、およそ4ヶ月にわたる運用の末、ようやく「SOLISS」に

とつても、我々にとつても希望の光が届きました。最終的には地上からのデータ通信も確立し、双方向通信



「SOLISS」からEthernetで地上に伝送されたHDの360°画像。の結果として、モニタカメラで撮影した360°画像(写真)を地上に転送することができました。

ここに至るまで、ソニーコンピュータサイエンス研究所(ソニー CSL)のメンバーは光ディスク、レーザーシステム、リモート会議システム、半導体メモリ、医用機械、デジタルカメラやロボットなどの観点を、またJAXAのメンバーからは宇宙システムの観点をそれぞれ持ち寄りながら、SOLISS開発チームとしてあきらめることなく運用を行えたことが今回のエクストラサクセス達成に欠かせない要素だったと思います。

最後に、「SOLISS」の取り組みが評価され、第4回宇宙開発利用大賞^{*2}内閣総理大臣賞を頂くことになりました。非宇宙企業であったソニー CSL主導で、最先端の技術を宇宙で実現できたことが高く評価されたのだと思います。SOLISS開発チームのチームワークによって短期間でも軌道上実証に成功し、このような映えある賞を頂くことができました。この場を借りてSOLISS関係者の皆様に深く感謝の意を表したいと思います。

(宇宙探査イノベーションハブ 澤田 弘崇・岩本 匡平)

^{*1} 双方向光通信成功のプレスリリース https://www.jaxa.jp/press/2020/04/20200423-1_j.html

^{*2} 第4回宇宙開発利用大賞 http://www.uchuriyo.space/taishou/pdf/1_primeminister.pdf

山口 弘悦准教授が、令和2年度「科学技術分野の文部科学大臣表彰」若手科学者賞を受賞

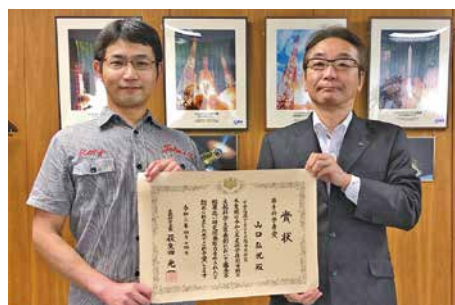
令和2年4月7日に、文部科学省による令和2年度「科学技術分野の文部科学大臣表彰」の発表があり、宇宙科学研究所宇宙物理学研究系の山口 弘悦准教授が、若手科学者賞を受賞されました。まずは、山口さん、たいへんおめでとうございます。この賞は、科学技術に関する研究開発、理解増進等において顕著な成果を収めた方が顕彰されるもので、特に若手科学者賞は、萌芽的な研究、独創的視点に立った研究等、高度な研究開発能力を示す顕著な研究業績をあげた若手研究者に贈られます。若手研究者賞の受賞はJAXAとしては初めてということです。新型コロナウイルス対策など大変な状況が続く中で、とても素晴らしいニュースでした。

山口さんは、京都大学、NASAゴダード宇宙飛行センターなどで活躍し、2018年9月に、准教授として宇宙研に赴任されました。これまでの山口さんの研究の一端を紹介させていただくと、主にX線天文衛星を利用して、超新星残骸や銀河団のX線プラズマの観測研究を行っています。特にX線プラズマからの放射のスペクトルデータを扱う分光学的手法を中心に、「放射の物理」、すなわちプラズマ中の原子過程を忠実に突き詰める解析を行う研究を進めてきており、非平衡状態のプラズマからの蛍光輝線スペクトルの算出などについて、独自の解析的な手法を発展させて、それまで標準的なものとして受け入れられていた理論モデルを越える新しい物理現象の発見など、多数の

画期的な成果を挙げています。

JAXAの科学衛星を用いた成果として、山口さん自身も開発や較正にかかわった「すざく」を用いた研究では、超新星残骸の高温プラズマ中の元素の観測から、Ia型と呼ばれる超新星爆発の起源についての理解を大きく進展させる成果を挙げています^{*1}。また、続くASTRO-Hの初期観測では、国際チームを主導して研究成果をとりまとめ、ペルセウス座銀河団の高温プラズマ中の重元素の組成比が太陽組成と一致することを明らかにし、宇宙の歴史の中で同じような化学進化の変遷を経てきたと示唆されるという重要な成果を得ています^{*2}。准教授として宇宙研に赴任されてからは、XRISMを用いて行う科学研究計画策定の統括として中心的な役割を果たしており、米国や欧州の研究者を含む国際研究チームを牽引しています。今回の山口さんの受賞は、宇宙科学研究所の若手研究者の大きな励みにもなると期待しています。

(山田 亨) 國中 均宇宙研所長より賞状を手渡される山口 弘悦氏(左)



^{*1} <http://www.isas.jaxa.jp/feature/forefront/160711.html> (本誌2016年6月号) ^{*2} <http://www.isas.jaxa.jp/topics/001181.html>

「みお」つくし

世代も国境も越え水星へ挑むベピコロンの物語

水星／「惑わない星」より



「みお」の地上試験と打上げまでの道のり

「みお」(当時MMO)のシステム総合試験は、2012年秋に相模原キャンパスのクリーンルームにて機体を組み立てるところから始まりました。プラズマ・磁場環境を調べるミッションの特徴として搭載される観測機器数が多く、「みお」も10以上のセンサが搭載されています。半年かけて機器を組付け、2013年5～6月に探査機全体の初期電気試験を行いました。その後スピン試験、システムEMC試験、2013年11～12月に「みお」単体の機械環境試験(振動、衝撃)を実施しました。その後、2014年11月に相模原キャンパスの真空チャンバにおいて熱真空試験・熱平衡試験を約1ヶ月かけて行いました。そして2015年1～2月の最終電気試験をもって、「みお」(このときまだ愛称はついていませんでしたが)のシステム総合試験は完了しました。約2年半の試験期間は科学衛星としても長いもので、ここまでにシステムレベルの電気試験を、規模の大小はありますが合計16回も行っています。試験を全て終え綺麗に片づいたクリーンルームで、報道公開後の機体を背景に記念撮影したことをよく覚えています。

通常であれば、相模原での試験後に射場へ送り出し、いざフライトオペとなるわけですが、「みお」はESAの探査機MPO・推進モジュールMTMと一緒に打ち上げるため、3モジュール組み合わせた状態での試験が必要です。これらはオランダにあるESTEC(欧州宇宙技術研究センター)で行われました。探査機だけでなく、相模原で使っていた地上試験装置や治工具はほぼ全てを持ち込み、試験センターの一室に展開して試験に臨みました。BepiColomboは3つの探査機/モジュールで構成されるので、試験に必要な機材・人員・作業場所も必然的に約2～3倍に増えます。ESTECではBepiColombo以外のプロジェクトの試験も当然行われているので、クリーンルーム内のエリア配分、立ち入り規制、搬入搬出の動線にはこまめな調整が欠かせませんでした。ESTEC滞在中はプロジェクトメンバーが必ず一名は常駐する体制をとり、日々の清浄度管理、試験進捗の把握、スケジュール調整、エアバス社に出向いての電気試験、さらには年一回のESTEC一般公開での解説、など様々な業務をこなしました。英語でのコミュニケーションでは思うように伝わらないこともあり、ヨーロッパの人にアドバンテージがあるものだと思っていましたが、「MMOチームはほとんど日本人だから、交渉や技術的な議論を母国語でできるのはうらやましい」と言われた時は目からうろこが落ちる思いでした。確かに会議で彼らは同じ話題を繰り返して述べることもあり無駄を感じていたのですが、これは全員が同じレベルで理解していることを確認しあうための、ヨーロッパならではのノウハウなのでしょう。

先にシステム試験を完了したMPOと「みお」の結合試験を



左：熱真空試験の準備作業中(ISASにて、2014年10月)。右：全機結合のためにクレーンで探査機を吊り上げている様子(ESTECにて、2017年5月)

2016年6月に開始しましたが、ここで比較的大きな改修を要する不具合が見つかりました。ESA、JAXA、関連メーカーを交えた連日の白熱した電話会議を経て対応方針が決まったときは安堵したものです。筆者は、この件で欧州メーカー関係者と率直な意見交換ができる関係を築けたことが、大きな自信になりました。この頃から、ESOC(欧州宇宙運用センター)との調整も本格化し、MPOを経由する「みお」テレメトリをESOC管制システムで取り込む等、打上げに向けた準備も始まっていました。

2017年、BepiColomboはようやく打上げコンフィギュレーションである全機結合の状態での試験を開始しました。連結された「みお」とMPOがクレーンに吊られてMTMの結合部におろされていく様子を、筆者はESTECのクリーンルームで注意深く見学していましたが、3時間たってもなかなか連結されず、しびれを切らして帰宅するということがありました。「みお」は3つのモジュールが積み重ねられた状態で一番上部に位置しており、予想どおりアクセスが難しく、側面の保護パネルの取り外しにも非常に気を使いました。設計時にはなかなか想像し辛いところですが、作業者の安全にも関わるので今後の教訓とできればと思います。一連の環境試験終了後に機体のメディア公開イベントが催され、ようやく全貌がお披露目となりました。

その後、各モジュールを再び切り離し、健全性確認・輸送の準備などを経て、2018年4月に無事にESTECを離れ、射場のあるフランス領ギアナへと出発しました。長い長い地上試験を乗り越えたBepiColomboには、やはり長い長い射場作業が待ち受けていました。

射場輸送にまつわるエピソードも山のようにあり、ここには到底書ききれません。結局、機材は全部無事ギアナに到着し、探査機以外は最終的に日本に戻ってきましたので、万事OKというところでしょうか。

衛星システム試験・運用担当 関 妙子(せき たえこ)



理化学研究所理事長

松本 紘 (まつもとひろし)

ウイルスは宇宙を征くか

1999年、2009年に続いて、3杯目のいも焼酎をいただくこととなった。まったくの偶然ではあるが、1999年はリンカーン研究所の自動観測プログラムLINEARが小惑星リュウグウを発見した年のようだ。よもや2020年、「はやぶさ2」がリュウグウからの帰還を開始する年にこうして寄稿してようとは、私も含め、誰も予測していなかっただろう。ちなみに、2009年は、「はやぶさ」がイオンエンジンのトラブルを乗り越えて、イトカワからの帰還プログラムを再開した年でもある。

誰も予測していなかったといえやはり、2020年にこれだけの規模のパンデミックが起きた、ということだろう。我々がCOVID-19の猛威に曝されてから、半年近くが経とうとしている。世界中で亡くなった方の冥福を祈るとともに、医療従事者をはじめ、生活の基盤を支える従事者の皆様に敬意と感謝を表したい。

COVID-19の猛威は、本当に誰も予測していなかったのだろうか。実態は、一部の専門家は予測できていたにも関わらず、多くの国で事前の対策を取っていなかった、ということだろう。現に、2015年にMERS（中東呼吸器症候群）を経験した後、クレジットカードの利用履歴や携帯電話の位置情報について個人情報に配慮したうえで衛生当局が扱えるよう法改正した韓国では、ビッグデータを活用した接触者の追跡と韓国全土に設置したウォークイン式検査場のあわせ技で、早期にCOVID-19を封じ込めている。まさに、「次、新たな感染症がやってきたとき、我々はどうやって生存するか」を考え、先手を打ってきたということだろう。疫学や生命科学の観点からは、感染者を特定し隔離するという判断には何ら異論はないだろうが、実際に社会生活の中で実行するには、個人のプライバシーや経済の停滞といった問題がつきまとう。百年前、スペイン風邪の流行時と変

わらず、手洗いとマスクで予防し続ける我々が生き残る確率を上げるには、自然科学と人文社会科学の融合を一刻も早く進めていくしかなさそうだ。

ふと疑問に思うことは、ウイルスは宇宙にも存在しうるか、ということだ。もちろん、ウイルス自身が自力で宇宙空間へ飛び出していくことは（恐らくは）無いだろう。だとすると、地球産のウイルスが宇宙を征くとすれば、キャリアとなるのは地球から宇宙へ飛び出すヒト、もしくは人類が手掛けた機器などのモノになる。地球上では開拓フェーズがほぼ終焉を迎えているので、ヒトの移動を減らしモノを移動させる社会構造でも成り立つかもしれない。しかし、これから本格的な開拓を進めていく宇宙に対してはそうはいかない。ヒトを経由してスペースステーションにウイルスが入り込んだらどう対処するのか？ 遠い将来、惑星間を生命体が往き来するようになった時は宇宙港で「惑星間検疫」が必要になるのだろうか？ ふとした疑問からでも、様々な想像が膨らむ。感染症は地球上だけでなく、宇宙空間における人類史も変えるかもしれない。なお、ISASニュースの読者ならばもうご存知と思うが、2019年のNASAの報告*によるとISSには、ブドウ球菌などの細菌や、真菌が多数存在しているようだ。20年を超えて運用され、200名以上が滞在したステーションであれば、当然といえば当然である。ロケット打上げ前に、飛行士は2週間ほど隔離されるようだが（コロナ禍ではロシアは4週間隔離したようだ）、人間から菌や細菌を完全に無くすることはできないだろう。ではどうすればよいか。ウイルスや菌を我々が驚異に感じてしまう一番の要因はやはり「見えない」ことにある。であれば、見えるように細工してやれば良い。そこで、現在、私が理事長を務めている理化学研究所では、理事長裁量経費を投じ、理研が独自に開発した頑強な蛍光タンパク質を用いてウイルスを可視化する研究にチャレンジしてもらっている。吉報を期待したい。

宇宙科学にかかる研究開発、特に人工衛星や探査機の開発、運用については、予測しうる限りのトラブルを予見し、次善の策を用意しているものと思う。こうした基本姿勢は、科学とは縁遠い世界においても素地とすべきものではないか。また、宇宙空間という特殊な環境下に適用するための材料やソフトウェアが、地球上では全く別の用途で絶大な効果を発揮するかもしれない。つい、日々のプロジェクト遂行に尽力するあまり狭まりがちな視野を、はてしない宇宙を夢見た初心のように大きく広げようではないか。

* (Checinska Sielaff, A., Urbaniak, C., Mohan, G.B.M. et al. Characterization of the total and viable bacterial and fungal communities associated with the International Space Station surfaces. Microbiome 7, 50 (2019). <https://doi.org/10.1186/s40168-019-0666-x>)

編集後記

リモートワーク、バーチャル会議、ウェビナー、遠隔講義、オンライン飲み会に、新しい生活様式。微小なウイルスが生活を一変させた。ネット環境で順応しているが、雑談～アイデアの源～がしにくくなった。研究にも新しい思考が求められている。

(清水 敏文)



ISASニュース No.472 2020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／株式会社アズディップ
〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1 TEL: 042-759-8008

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