



SS-520-3号機の打上げ風景(左)と打上げ前に見られた紫色の発光現象(上)。

SS-520-3号機観測ロケットは、現地時間2021年11月4日(木)11時09分25秒にノルウェーのスパールバル諸島スピッツベルゲン島のニーオルスンロケット実験場から南南西に向けて打ち上げられました。打上げ前日までは吹雪の状態でしたが、打上げの際の天候は晴れで、SS-520-3号機は閃光と爆音と共に北極の空に吸い込まれていきました(p.4参照)。

The Forefront of Space Science

宇宙 科学 最前線

Exo-JASMINE

— 宇宙からの近赤外線精密測光で地球型系外惑星をさがす —

東京大学大学院 理学系研究科 河原 創(かわはらはじめ)

太陽以外の恒星の周りをまわる惑星、太陽系外惑星(以下、系外惑星)が発見されてから25年以上がたつ。当初、恒星の近くをまわる巨大ガス惑星、いわゆるホットジュピターが主な観測対象であった。しかし早くも2010年代には、爆発的と表現できるほど多種多様な惑星が見つかった。ここではいくつか例を挙げるにとどめるが、連星の周りをまわる周連星惑星、中心星の光の反射よりも自らの放射が卓越している若い惑星、水星軌道より内側に多数の惑星を宿すコンパクト惑星系、ハレー彗星のように極端な楕円軌道を持つ惑星といった具合である。一方、太陽系の木星のように、中心星から数au以上離れた巨大ガス惑星の普遍性も実証された。2009年に打ち上げられたケプラー宇宙望遠鏡は、地球の1~2倍程度のスーパーアースと呼ばれる種族が1au以下に普遍的に存在することを発見した。宇宙では普遍的な惑星が、太陽系には存在しない点も注目に値する。このように惑星の多様性と普遍性の知見が同時に得られたのが2010年代である。

上記の夥しい発見は、系外惑星が天文学の新分野としての地位を確固とするのに十分なものであったが、系外惑星研究が真に革新的たるのは、それが生命の存在しうる惑星の探査と結びついているからである。この特徴こそが系外惑星研究が一過性の流行ではないことを担保する。つまり系外惑星研究は、「我々は宇宙で孤独なのか」というこれまでは思弁的に

考えるしかなかった問いを科学的に探究可能な設問に焼き直すことを通じて、宇宙科学に新たな学問的意義を与えてくれる。2010年代を通じて、系外惑星における生命探査に関する知見も着々と積み上げられてきた。例えば、表面に海洋が存在可能な領域、すなわちハビタブルゾーン内に存在する地球型惑星が太陽型星のまわりに存在する確率は数十%のオーダーであること、太陽よりも低温・低質量の晩期型星のまわりにもそのような惑星が同じ程度存在していることも明らかとなってきた。

JAXA宇宙科学研究所に公募型小型3号機として選定されたJASMINE (Japan Astrometry Satellite Mission for INfrared Exploration) は、位置天文学を通じた銀河系考古学を行う(ISASニュース2019年11月号「小型JASMINEで迫る銀河系考古学」河田大介氏*)と同時に、生命探査のコンテキスト上に位置付けられる系外惑星探査を行う科学目的を持つ。このJASMINEを用いた系外惑星探査計画のことをExo-JASMINEと呼んでいる。系外惑星の生命探査は、まず探査のターゲット惑星となるハビタブルゾーン内に、地球程度のサイズの惑星を発見することからはじまる。これは、我々は液体の水が存在する惑星環境での生命の形態しか知らないためと、地球より大きいとガスだらけの惑星となってしまう生命探査には適さないからである。惑星表面の温度は恒星から受け取る光

* https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews464.pdf

量によりおおまかに決まり、恒星が小さく暗いとハビタブルゾーンは相対的に内側へと移動する(図1)。系外惑星自体が多様であったように、生命の存在できる惑星も多様であるかもしれない、さまざまな恒星のまわりのハビタブルゾーンが生命探査のターゲットとなっていることは自然である。しかし、恒星の大きさ(もしくは質量)によって探査手法や最適な装置は大きく変化する。太陽はスペクトルの分類でG型星とよばれるが、それより少し大きいF型星、少し小さいK型星を合わせたFGK星は、太陽半径の0.6~1.3倍くらいの大さきの範囲に収まる。図1にあるようにFGK星周りの探査はAstro 2020^[1]で推薦されたような大型宇宙望遠鏡による直接撮像探査^[2]で探すのがもっとも有力である。一方、それより低質量(小半径・低温度)の恒星(M型星)周りの惑星に対しては「トランジット法」を用いたほうが有利である。トランジット法とは、惑星が恒星の前面を通過することによる一時的な減光、すなわち惑星の影を検出する手法である。例えば、太陽の前面を地球が通過すると、地球は太陽の1/100の半径であるので隠す面積比はその自乗、すなわち1/10000=0.01%の減光を起こすことになる。トランジット惑星の場合、大気中の分子の吸収により減光の波長依存性が生じるため、これを利用して惑星の大気探査を行うことができる。

近年、このトランジット法でハビタブルゾーン内に大気探査が可能なトランジット惑星の発見があり、生命探査のための具体的なターゲットが得られてきた。1つは晩期型星の中でももっとも質量・半径・光度が小さく、ほぼ褐色矮星に近い恒星TRAPPIST-1の周りで見つかった複数のトランジット惑星である。TRAPPIST-1系の発見の経緯は今後の生命探査に対し示唆的である。まずTRAPPIST-1中心星に近い、ハビタブルゾーン外の2惑星が、地上望遠鏡による探査で発見された。一般に地上望遠鏡によるトランジット探査は、大気の影響で宇宙からの観測よりも測光精度(どれくらい減光したかを検出する能力)が低い。しかし太陽の1/10程度の半径しかないTRAPPIST-1中心星の前を通過すると、恒星の半径に対する地球型惑星の比が太陽より10倍大きくなり、減光は1%にもなる。これは地上からでも十分に検出可能な減光度だ。ただし、地上では昼夜や天候が存在するため継続的な観測は難しい。

そこでTRAPPIST-1に対してSpitzer宇宙望遠鏡による宇宙からの継続的なモニタリングが行われ、さらに外側に5つの惑星がまわっていることが発見された。このうち2、3個はハビタブルゾーン内に含まれていることが分かった。惑星系は軌道面が揃っていることが多いため、内側の惑星による減光が見つかれば、より発見が困難な外側の未知の惑星も恒星面を横切り減光を起こす可能性が高い。そのため追観測のメリットが大きいことがポイントである。

M型星は太陽半径の0.1~0.5倍くらい、温度が3,000K弱から3,500K程度の範囲にあり、それゆえFGK星より暗い。最も小さい晩期M型星と最も大きい早期M型星では大きさに5倍も違いもあるが、歴史上の経緯でひとまとめにM型星と呼んでしまっている。先に述べたTRAPPIST-1はM型星の中でも最も小さい晩期M型星である。最も大きい早期M型星のまわりの地球型惑星を探すには地上の測光精度では不十分であり、宇宙からの広視野探査であるトランジット系外惑星探査衛星TESSが有利である。近年見つかったもう一つのハビタブルゾーン内のトランジット惑星、TOI-700bは、TESSにより早期M型星のまわりで見つかった。TESSは口径が10.5cmしかないものの早期M型星くらいまで大きくなってくると、比較的明るくなるので精密な測光が可能になってくる。しかし実は、図1の斜線領域が示すようにTRAPPIST-1系とTOI-700bの間には中心星の質量(および半径)と惑星の公転周期に対して広い未探査領域が存在する。実際にこの領域には、地球近傍に、ハビタブルゾーン内の地球型惑星が数十程度、未発見であると予想されている。この未探査領域に存在する地球型惑星がJASMINEによる系外惑星探査計画Exo-JASMINEのメインターゲットとなる。

JASMINEは近赤外線的位置天文・測光観測衛星であり、1年のうち約半分を銀河中心方向の位置天文観測を行い銀河系の起源等の解明を目指している。残りの約半分の季節は銀河中心方向を観測することはできず、この季節を利用して宇宙からの近赤外線精密測光を行う。JASMINEは上記の未探査領域を探査するのに適している。それは、天気や昼夜に左右されない継続的かつ大気の乱れの影響を受けない精密な測光が可能であること、TESSの10.5cmよりも大きい30~40cmクラス

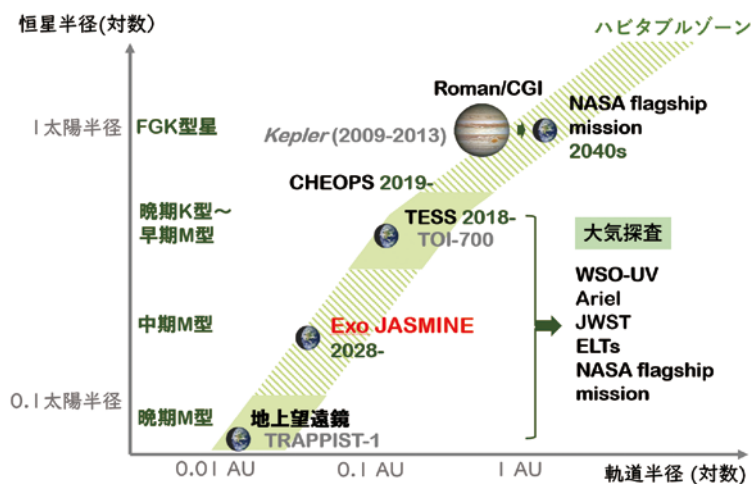


図1: 軌道半径と恒星半径平面におけるハビタブルゾーン(緑色)と関連するミッション。斜線部は現在の装置では探査が難しい部分。Astro 2020で2040年代に探索する領域は、太陽にちかいFGK型星まわり、Exo-JASMINEで探索する未探査領域は中期M型星まわりのハビタブルゾーン内の地球サイズの惑星である。

の口径、かつ低温のM型星に適した1.1~1.6ミクロン帯の測光であることの3点の利点があるからである。未探査領域は、TESSにとっては暗く、地上探査では精度と継続的な観測期間が足りないため探索が難しかったわけであるが、それが両方とも解決される。ただし、JASMINEの視野は、ブラインドサーベイ(あらかじめターゲットを決めず、ある領域の多数の恒星を見続けるサーベイ)をするには狭すぎるので、TESSや地上探査で内側の惑星が見つかった系にしぼり、モニターしていく必要がある。これはまさに地上+Spitzer宇宙望遠鏡で見つかったTRAPPIST-1系の発見経緯をモデルとしているともいえる。図2に、JASMINEでこのような惑星がどのように観測されるかシミュレートした光度曲線を示す。地球サイズの惑星のトランジットが0.2~0.3%の減光となり、JASMINEによって検出されることが見て取れる。

ハビタブルゾーン内に探査可能なトランジッ

[1] 最近発表されたアメリカの天文・天体物理学分野の今後の大型計画のあり方を述べたDecadal Survey
[2] 中心の恒星と惑星を分離するほどの高解像度で撮影する方法

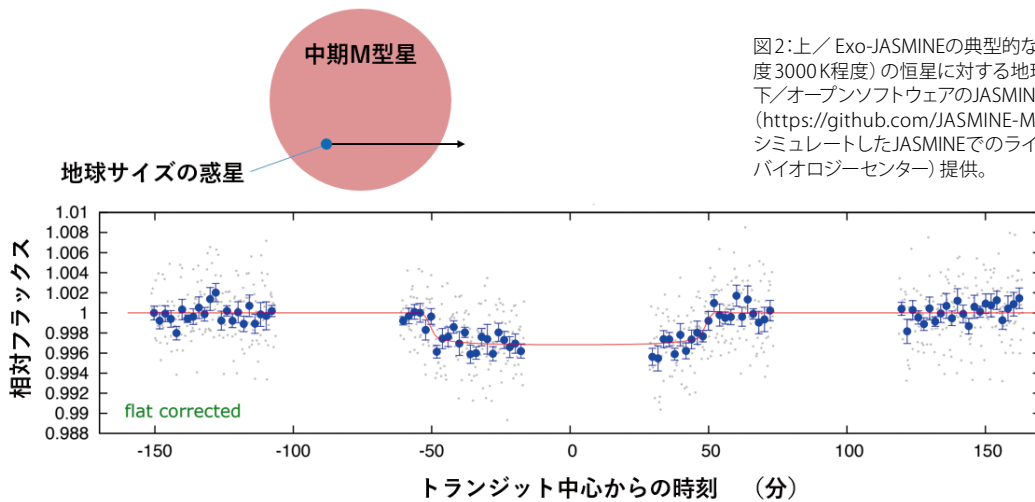


図2:上/ Exo-JASMINEの典型的なターゲットとなる中期M型星(温度3000 K程度)の恒星に対する地球サイズの惑星のトランジット。下/オープンソフトウェアのJASMINE検出器シミュレータ (<https://github.com/JASMINE-Mission/jasmine-imagesim>) でシミュレートしたJASMINEでのライトカーブ。平野照幸氏(アストロバイオロジーセンター) 提供。

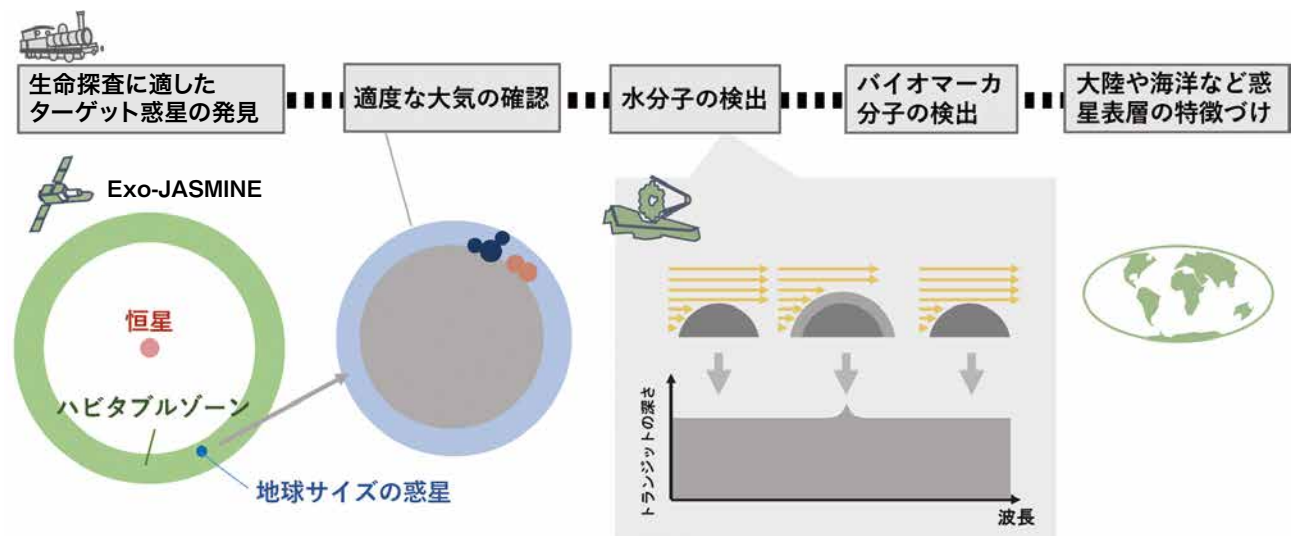


図3: 系外惑星における生命探査の手順。

トランジット惑星の場合、大気分子は特定の吸収波長で惑星半径の増大をもたらし、トランジット深さの違いとして検出できるようになる。

ト星系が見つかったとしても、これはあくまで生命探査のためのターゲットとなる惑星が見つかったということに過ぎない。例えば火星はハビタブルゾーン内に位置するが海洋をもっていない。そこで多数のハビタブルゾーン内の惑星を探索することが肝要であると同時に、その後、ターゲット惑星がどのような環境であるのかを調べられることが必要である。図3で示したように、大気は存在するか? バイオマーカーは存在するか? といったことを順次詳細に調べていくことになる。惑星が大気や海を持つ確率、生命の発生確率、さらに水を利用した大規模な光合成を行うまで進化する確率がどれくらいかは現時点では全く分からない。これらを調べるためには、数多くのターゲット天体を発見する必要があるだろう。その中には生命の存在に適する惑星が見つかるかもしれない。この詳細観測には口径の大きいフラグシップレベルの宇宙望遠鏡が必要である。その第一号ともいえるのがジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) であり、例えばTRAPPIST-1系の大気探査が可能である。宇宙研の参加する国際協力プロジェクトWSO-UVIによる紫外分光を用いた大気探査も詳細観測の強力な手段である。系外惑星の大気観測専用衛星ARIELも控えており、2030年代には詳細観測はさらに本格化していくであろう。いずれにせよ現在の我々の課題、そしてExo-JASMINEの目的は、詳細探査の時代までに生命探査に適したターゲット惑星をなるべく多数発見しておくことである。

ここまでExo-JASMINEの生命探査に関する意義を説明してきた。加えて、近赤外線の精密測光というJASMINEの持つ特徴は、例えば褐色矮星 (主に近赤外線で光っている) や星団での若い惑星探査 (黒点による光度変動の影響を抑えられる) といった生命探査以外にも独自性のある観測も可能である。また、系外惑星探査では、ブラインドサーベイでないターゲット型の宇宙精密測光の果たす役割は国際的にも大きい。宇宙からの系外惑星トランジット観測の種類を整理すると、ケプラーやTESSのようなブラインドサーベイを行う広視野モニタリング観測、HSTやJWSTのような大口径望遠鏡によるスペクトル観測、そしてこれまでSpitzer宇宙望遠鏡が担ってきたターゲット測光観測の3つにわけられる。Spitzer宇宙望遠鏡は引退してしましたが、TRAPPIST-1のほかにもさまざまな重要な発見をしてきた。Spitzer宇宙望遠鏡の強みは、地上や宇宙などさまざまな場所で次々に発見されていく新規惑星候補の高精度な光度曲線をフレキシブルに取得し、発見の確実な証拠や半径・周期やトランジットタイミング等の情報を得ることができた点であった。この役割は2019年に打ち上げられた可視測光衛星のCHEOPSに引き継がれている。2020年代末以降は、国際的な系外惑星探査ネットワークにおけるこのkey roleを日本主導の系外惑星探査計画Exo-JASMINEで引き継いでゆきたい。

観測ロケットSS-520-3号機の打上げ

電離大気流出の原因となるイオンの加速・加熱機構の解明を目指すSS-520-3号機観測ロケットが現地時間2021年11月4日(木)11時09分25秒にノルウェーのニーオルスンロケット実験場から打ち上げられました。

実験班は、日本国内での2週間の自主隔離の後、10月8日の飛行機でオスロに到着しました。その後ホテルでの10日間の隔離を経て射場のあるニーオルスンに向かい、10月20日にメンバー全員が到着した後、急ピッチで打上げに向けての準備が始まりました。2週間の打上げウィンドウ開始前日の11月2日には電波テストが実施されましたが、天気は大荒れ・吹雪の状態、ランチャーを立てることができませんでした。翌3日のウィンドウ初日も風が強く、打上げは断念することになりました。

地上の天気の条件に加えて、ターゲットとなるイオンの加速・加熱の起こる磁気圏のカuspと呼ばれる領域がロケット軌道の頂点付近に位置するという打上げ条件は地球の磁気的な活動度がかかなり高くないと満たされないことから、理想的な打上げタイミングを見つけるのはかなり困難だろうと覚悟していました。ところが、非常に幸運なことに、ウィンドウ開始の1日前に太陽でMクラスのフレアが発生し、しかもこのフレアに伴いHalo CMEと呼ばれる高速プラズマの塊が太陽から地球に向けて放出されたのです。このお陰で11月4日は磁気嵐となり、地球の磁気的

発射台上に搭載されたSS-520-3号機観測ロケット。



な活動度が非常に高くなり条件が満たされました。一方でこの日の天気予報は風も強く絶望的だったのですが、予報よりも早く回復したため、予定していた打上げ時間帯からは1時間遅れとなったものの、なんとか打ち上げることができました。多くのメンバーはこの日の打上げは無いと考えていた様で打上げに向けてカウントダウンを進めるという私のアナウンスを聞いて驚いたそうです。ロケットは無事打ち上がり、飛行中もいい条件が続き、搭載機器もほぼ全て正常に動作しましたので、今後の詳細なデータ解析の結果が期待できます。

今回の実験は、コロナウイルス禍における実験となり、ノルウェー宇宙庁、アンドーヤスペース、在ノルウェー大使館、国立極地研究所、JAXA内部の各部署等から多大なご支援とご協力をいただきました。この場を借りて深く感謝いたします。

(齋藤 義文)

XL-Calibur気球実験の初噛み合わせ試験

日米瑞共同のXL-Calibur気球実験の噛み合わせ試験がNASA Wallops Flight Facility (WFF) で行われました。本実験は硬X線の偏光観測によりブラックホールの幾何学的構造やパルサー風星雲内の磁場の様子を捉えることを目的として、2022年の5月から7月の間にスウェーデンのキルナから放球予定の小規模計画の気球実験です。コロナ禍という厳しい状況の中、宇宙研・大阪大学・広島大学から最少人数4名で渡米し11月4日～17日の間試験に臨みました。

XL-Caliburは15-80 keVの硬X線を、望遠鏡で12m先にある偏光計に集光します。今回の試験ではフライトに先駆けて、12m長のトラスの両端に望遠鏡や偏光計を取り付け、取り付け位置・バランス・姿勢制御などに問題ないかの確認が行われました。

硬X線望遠鏡、偏光計、姿勢制御系などはそれぞれ開発担当が異なり、日本は硬X線望遠鏡の開発を進めてきました。今回の試験ではフライトに使用するFM品ではなく、同等の質量・大きさを持つBBMを持ち込みました。我々は取り付け位置に問題がないか、望遠鏡の熱制御系のケーブルの接続が想定通りか、また偏光計との相対位置を把握するために取り付けられた可視光カメラが動作できるのかなどの確認を滞在した2週間の間に行いました。これらの確認は順調に行われ滞在期間中に目的を達することができました。

XL-Caliburは大気球により高度およそ40kmをスウェーデンからカナダへ向けて約1週間フライトします。その間に恒星質量ブラックホール連星はくちょう座X-1やパルサー風星雲であるかに星雲の2天体などを観測する計画となっています。フライト中、

天体の高度や方位は時々刻々と変化してゆきます。そのため、地上にある天体望遠鏡が星を追いかけるのと同じように望遠鏡と偏光計を天体の方向へと正確に向ける姿勢制御が求められます。WFFのWASPチームはこの気球に関する姿勢制御の技術が卓越しており、XL-Caliburは空中で数秒角のオーダーで制御されます。我々が滞在している最中にはフライトの姿勢制御系で、フライトと同等の慣性モーメントでの姿勢制御試験が行われました。

クレーンで4~5mほど持ち上げられた状態で仰角45°までの姿勢制御試験が行われ、十分な精度を確認することができました(写真)。12月にはより天井の高い建物で、本実験で計画している最大の仰角である70°までの試験が行われ、WFFでの事前試験が完了します(渡米時、この建物では、シグナス(はくちょう!)補給船の準備が行われていました)。新年早々にNASA Columbia Scientific Balloon Facility (CSBF) で気球との噛み合わせ試験が行われた後、いよいよスウェーデンでの打上げに臨みます。引き続きのご支援どうぞよろしくお願いいたします。(内田 悠介)



持ち上げ試験中の様子。総重量約2tのXL-Calibur本体が吊り上げられ、45°の傾きで望遠鏡が空を向くよう保つ姿勢制御が行われています。望遠鏡と偏光計の相対位置確認の試験も同時に行われました。

宇科連にてタウンホールミーティング開催

2021年11月9日から4日間、オンライン形式で開かれた第65回宇宙科学技術連合講演会の初日に、オーガナイズドセッションの1つとしてJAXA 宇宙科学研究所・タウンホールミーティングが行われました。このセッションは、宇宙科学研究所が宇宙科学関連研究者と直接対話することで、今後の宇宙科学・探査の方向性を共有し意見交換をする機会として開催され、およそ100名が参加しました。

はじめに宇宙科学研究所 國中所長より、現在進行中のプロジェクトの状況、日本が参画することが決定されている米国提案による国際宇宙探査(アルテミス計画)、宇宙科学研究所の予算状況、戦略的中型、公募型小型、戦略的海外共同計画、小規模計画というスキームからなる宇宙科学プログラムの定義とその予算規模などが紹介されました。つづいてイプシロンロケット5号機打上げ中継を挟んで、国際宇宙探査専門委員会 稲富委員長から、アルテミス計画において日本が月面で行う第一級の科学、すなわち、月面天文台、月サンプルリターン、月内部構造観測に関して紹介され、2030年代の科学成果の創出につなげていく旨が説明されました。さらに、宇宙科学研究所の5つの

研究系の研究主幹から、それぞれの研究系が担う学術分野の定義と今後5~10年の将来展望について紹介がありました。この将来展望は、宇宙科学研究所における人事計画を含む研究計画構築の基盤となるものです。

こうして今後の宇宙科学・探査の全体および分野別の展望の共有をいただいたうえで、「どのように戦略的に宇宙科学を進めるのか」という点を論点にパネルディスカッションが行われました。はじめにパネリストの国際宇宙探査専門委員会 稲富委員長より国際宇宙探査センターの月面計画への取り組みが、佐藤宇宙科学プログラムディレクタより宇宙科学研究所が目指す戦略的なミッションの進め方に関するビジョンが紹介されました。ディスカッションに十分な時間が残されていませんでしたが、プロジェクトを選択して進めていく中で技術開発の連続性も保てるように配慮すべき、大学コミュニティとの接点を具体的に作り協力体制を構築できるようにすべきといった意見が出ました。

日本の宇宙科学が直面している問題と宇宙科学コミュニティとの意見交換の重要性が感じられたセッションでした。

(水野 貴秀)

技術のフロントローディング

世界第一級の魅力的なミッションを創出する能力を強化するには、斬新な知恵やアイデアによる革新的な技術を世界に先駆けて確立することが重要である。このため宇宙研では、2020年度より、技術のフロントローディングという新たな取り組みを始めてきている。これは、多様なミッションに共通的なキー技術にプログラムとして戦略的に先行投資することで、ミッション全体として技術開発のリスクを低減し、コストのオーバーランを抑えることを目的とする取り組みである。

まずそのキー技術として、2030年代前半の宇宙科学・探査の将来構想からバックキャストし、下記の条件に適合するものを抽出した。特に直近のミッション立ち上げに貢献度が高い技術は、優先して選定している。

- ミッション固有の技術ではなく、新しい宇宙科学ミッションの創出に共通して貢献する技術であること。
- すでにBBMレベルの試作・検討が進んでいる、もしくは過去のヘリテージなどがあり、現時点での技術成熟レベルがTRL3~4に達していること。
- 本枠組みにおけるゴールとしては、搭載系開発の場合は数年後にEM相当(TRL5相当以上)、地上系開発の場合は実践投入できる(FMの開発や運用に使用できる)レベルと設定し、そこまでの開発計画・規模が見通していること。

抽出したキー技術は、2030年代前半の宇宙科学・探査の将来構想として掲げている「太陽系のその場観測・SR計画を実現する深宇宙探査船団構想」と「宇宙観測プラットフォームによるマルチメッセンジャー観測構想」それぞれについて、その適用ミッションを明確にした上で別表のように整理される。

今後も宇宙研は、この技術のフロントローディングをてこに、冷凍機技術を活用してLiteBIRDからAthenaとその先へ、高機能

技術フロントローディング活動内容概要

| 大分類 | 技術の6本柱 | 技術コンテンツ | 近々の適用ミッション |
|----------------|---------------------------|---|--|
| 深宇宙探査船団構想 | 超小型探査機技術 | 搭載機器技術(小型AVIO, EDL等) | OPENS Comet Interceptor SPUR DESNTIV* 他 |
| | | 地上系技術(設計技術, 惑星保護等) | Dragonfly OPENS ALL mission (超小型に限らない) |
| | サンプルリターン技術(日本の強み) | カプセル技術, サンプル技術, 回収技術, キュレーション技術など | CAESAR, OPENS HY2, MMX, OSIRIS-REx, MSR |
| | 深宇宙輸送ネットワーク技術(キラールコンテンツ) | 高性能キックステージ(OIVへ発展), ランデブードッキング技術等 | OPENS 次期小天体SR |
| マルチメッセンジャー観測構想 | 共通観測プラットフォーム技術 | センサ技術, 軽量望遠鏡技術など | JASMINE HiZ-GUNDAM LiteBIRD 他 |
| | 冷凍機・熱制御技術(日本の強み) | スターリング冷凍機, 擾乱抑制技術, 2KJIT冷凍機システム, 極低温熱制御技術など | LiteBIRD Athena |
| | フォーメーションフライト技術(キラールコンテンツ) | 地上系精密協調制御技術など | SILVIA |

センサ技術を活用してJASMINEからHiZ-GUNDAMを含むその先へ、というように、単一(点)のミッションではなく点と点をつなぐ一連のプログラムとして技術開発の最適化を行い、ミッション創出からプロジェクト化に向けての活動を効果的に進めていく。

(佐藤 英一)

はやぶさ2チームが「IAF World Space Award」受賞

はやぶさ2チームが、今年(2021年)の「IAF World Space Award」を受賞しました。IAFはInternational Astronautical Federation(国際宇宙航行連盟)という組織で、平和目的の宇宙航行の発展や研究を促進する国際的な活動を行っています。

受賞式は、アラブ首長国連邦のドバイで開催された第72回 International Astronautical Congress (IAC、国際宇宙会議)の開会式(10月25日)で行われました。広い会場に集まった多数の参加者前で、「はやぶさ2チーム」の名前が呼ばれ、プロジェクトを代表して津田 雄一プロジェクトマネージャとJAXAの山川 宏理事長が登壇し、賞状とメダルを受け取りました。その後、津田プロマネが受賞の挨拶を行いました。

「IAF World Space Award」は宇宙開発の分野では非常に注目されている賞です。たとえば2019年の受賞者はアポロ11号の乗組員ですし、2020年は中国のChang'e 4(嫦娥4号、月の裏側に着陸したミッション)の3人のリーダーが受賞しています。このような賞を「はやぶさ2チーム」が受賞できたことは非常に光栄です。

IACでは、この受賞式の他に、津田プロマネがHighlight Lectureとして受賞記念の講演を行いました。津田プロマネが

「はやぶさ2」ミッションの成果について約1時間の講演を行うと、講演後には津田プロマネの周りに質問のための長い列もできました。また、10月29日に行われた閉会式でも、再度「はやぶさ2チーム」が紹介されました。

コロナ禍のため、昨年以來、学会や研究会は中止かオンライン開催でしたが、今回のIACは久々の対面でのイベントになりました。JAXAからは限られた人数の参加でしたが、全体では発表者の9割近くが現地で参加しており、やはり多くの方が対面での会合を待ちわびていたようでした。IAC期間中、JAXAが設置したブースには海外の人が多数立ち寄ってきて、「はやぶさ2」やJAXAのミッションについて質問攻めにもあいました。

このように、世界的にも「はやぶさ2」は非常に注目されています。これから、リュウグウのサンプルの分析結果が発表されて、科学的にも注目されることを期待したいと思います。(吉川 真)



受賞式にて。津田プロマネ(右)と山川理事長(右から2番目)。

二宮 敬虔先生が瑞宝中綬章を受章

令和3年秋の叙勲で、宇宙航空研究開発機構名誉教授の二宮敬虔先生が瑞宝中綬章を受章されました。

先生の卓越した業績は、我が国の人工衛星開発黎明期から宇宙機の姿勢制御の研究を主導し、それを技術的に確立させたことです。同時に、姿勢制御に必要なセンサとアクチュエータの開発も数多く行っており、多くの科学衛星、実用衛星で使用されました。宇宙機は生かすも殺すもその姿勢を正しく制御できるかどうかにかかっており、先生の開拓された分野が今日の

日本の宇宙技術を支えていると言って過言ではありません。

また、SFUやIAAでの活動を通して、国際的な宇宙航空活動の発展に寄与されたと同時に、多くの卒業生を輩出し人材育成にも貢献されました。

本来なら、一同集まって盛大にお祝いをすべきところですが、時期的に難しい状況にあります。ここに、この度のご受章を心よりお祝い申し上げますとともに、先生のご健勝とご多幸を祈念いたします。(吉光 徹雄)

國中 均 宇宙研所長が紫綬褒章を受章

宇宙科学研究所 國中 均所長が紫綬褒章を受章しました。

地球と太陽系天体との往復探査には大型ロケットが必須ですが、探査機に推進剤消費の少ないイオンエンジンをいけば、中小型ロケットでもそれを実現できます。従来方式のイオンエンジンには取扱や運用方法が困難で短寿命という課題がありました。國中所長らは新たに1980年代末からマイクロ波放電方式の研究開発を開始しました。これが小惑星探査機「はやぶさ」の主推進機関として採用され、2003年に打ち上げられ、2005年に岩石質の小惑星イトカワに到達し2010年に地球帰還しました。この世界初の地球～小惑星間宇宙往復探査の成功は国内外に大きな反響を呼びました。さらなる研究開発でイオンエンジン物理の理解を深めるとともに性能向上を実現し、改良型が「はやぶさ2」に搭載され、炭素質の小惑星リュウグウと地球と

の往復を2020年に完遂し、その結果持ち帰ったサンプルの地上分析が進められています。國中所長は「はやぶさ」ではエンジンの研究・開発・運用の実施担当者、副プロジェクトマネージャ、豪州におけるカプセル回収責任者として、「はやぶさ2」の探査機開発から打上げにかけてはプロジェクトマネージャとして、「はやぶさ2」の小惑星探査から地球帰還にあたっては研究所所長として先頭に立って事業遂行にあたりました。今回の受章は、長年にわたる國中所長の功績が高く評価されたものです。

(西山 和孝)



「褒章」という2文字の周りに桜の花があしらわれている。

連載

超小型探査機

EQUULEUS と OMOTENASHI

世界最大のロケットで
打ち上げる世界最小の探査機

第 13 回

EQUULEUS構造系

EQUULEUS構造系では、様々な機器を収納して衛星を形作る構体の設計・製造、強度解析、そして実機の組み上げ、試験検証を担当しました。今回は、EQUULEUS構造におけるキューブサットならではの開発の苦労について少しご紹介したいと思います。

EQUULEUS構造の紹介

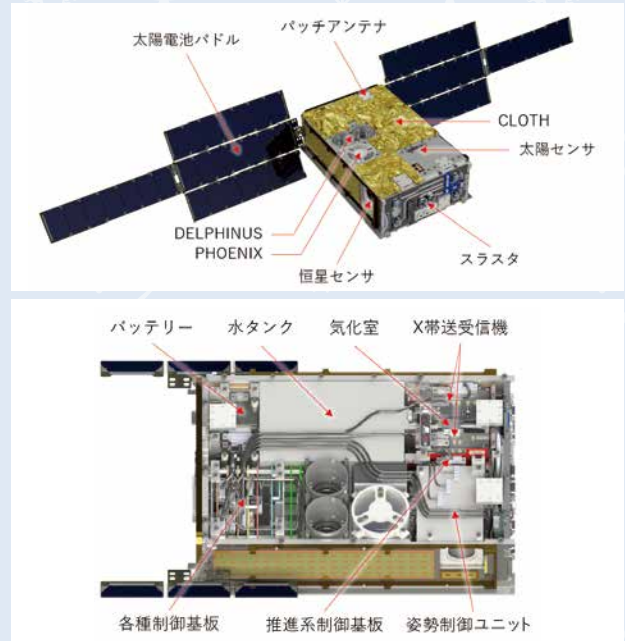
EQUULEUSの構造は6Uキューブサットサイズといって、10cm立方の箱(1ユニット、1U)が6つ収まるサイズとなっています。正確には11.6cm×23.9cm×36.6cmほどですが、引き出しや書類のサイズをイメージしていただければ丁度良いです。EQUULEUSではこの中に、3つの科学観測機器、水を推進剤とした推進系、そして探査機の基本的な機能を果たす通信・電源・各種制御基板などが超高密度に格納されています(図)。6Uサイズながらも軌道制御能力を有し、目的の軌道へ航行しながら科学観測による成果創出も期待されています。

構造設計の道のり

EQUULEUS開発当初は日本での6Uキューブサット開発の計画はほとんど無く、まず6Uサイズに収まる機器を新規に開発することが大きな課題でした。市場として先行している海外のキューブサット向け高密度実装機器も頼りつつ、科学観測機器や通信機器、電源制御基板などは過去衛星の設計をベースになるべく性能を落とさず小型化の開発が実施されてきました。この開発と並行して構造系による機器配置と構体設計が進められたのですが、検討の中で各機器のサイズ増加や形状変更があったり、新たに機能を追加するための機器が増えたりと設計確定への道のりは困難を極めました。

例として、ある日、衛星電力が不足しそうだという解析結果が出て、太陽電池パドルのサイズ増加が実施されることになりました(片翼3列から4列)。この際、姿勢を決定するために搭載されている恒星センサの観測方向にパドルの端が入り込んでしまうことが判明しました。このままでは姿勢決定に支障をきたしてしまう恐れがあったため、機器配置の大幅見直しが行われ、結果として各機器を左右総入れ替えする変更に見舞われたこともありました。

また各機器の設計が進む中で、ある機器の基板に実装され



図：EQUULEUSの外観(上)と内部機器配置図(下)

る素子と他の機器の基板の素子が構造的に干渉してしまうこともありましたが。これは機器によっては基板を囲う筐体を開ける空間の余裕がなく、向かい合う基板の素子が立体的に交差する必要があったためです。機器の開発担当と議論を重ねて、機能が損なわれない範囲で素子の型番、サイズや配置を0.1mm単位で見直すことで問題を解決していきました。

振り返ると、キューブサットの厳しいサイズ制約と開発要素の多さゆえ各機器の構造的なインターフェースが非常に切り辛く、各機器の詳細設計にまで立ち入りながら適切な設計解を導き出すのに苦労しました。結果としては、綿密な検討によって超高密度な機器配置を実現することができました。

機器配置ののち、構体の詳細設計・強度解析を経てエンジニアリングモデルの製造が行われ、実機を用いた試験検証が始まりました。ここで構造系が直面したのは、ケーブルハーネスを含めた機器組み上げの困難さです。隙間がないほど詰められた機器間にひとたびコネクタが隠れると、そこにケーブルハーネスを接続するのは不可能です。機器を構体に締結する前に予めケーブルハーネスを接続しておいたり、ルートを工夫したり、コネクタのアクセス用の穴を構体に設けておいたり、組み上げ手順の改善を行ったりする必要がありました。これらLessons Learnedを踏まえてフライトモデルでは改良が加えられ、無事EQUULEUSは6Uキューブサットとして組み上げ完了に至りました。EQUULEUSは様々な試験検証を終え、現在、NASAの開発した打上げロケットSLSの中に格納され打上げを待っています。

最後に

深宇宙を探査する性能を備えながら複数の科学観測を実施する探査機システムを、6Uサイズという非常に厳しい制約の中で構造的に実現できたことは、今後の探査ミッションの選択肢の幅を広げる非常に重要な成果です。様々な打上げ機会に恵まれているキューブサットは、高頻度な深宇宙探査を果たす上で今後重要な役割を担うはずで、その先駆けとなるEQUULEUSは今、小さな機体に皆さんの期待をいっぱい詰めて、活躍のときを待っています。

石川 晃寛(いしかわあきひろ)

》アイデアをプロジェクトへ育てる

プロジェクト実現に導くプロフェショナルに

——宇宙科学プログラム室では、どのようなことを行っているのですか？

大きく3つの役割があります。1つ目は、宇宙研の正規の計画として認められた科学衛星・探査機プロジェクトについて、立ち上げから衛星の製作、打上げ、運用までの進行が適切か、管理することです。科学衛星・探査機プロジェクトは、こういう観測や探査を行えば画期的な知見が得られるという研究者のアイデアから始まります。研究者のアイデアをプロジェクトにしていくための支援が2つ目です。そして、アイデアからプロジェクトの実現までどの段階でどのような評価や審査を行うべきかというルールや仕組み作りが、3つ目の役割です。

——プロジェクトにしていく過程で重要なことは？

現状の正確な把握と将来あるべき姿を見通して計画を立て実行することです。宇宙科学プログラム室では、プロジェクト化に至る各段階でここまで達成していなければいけないという成熟度レベルを設定し、チームの検討の指標にしています。しかし成熟度レベルを設定しただけではだめで、そのレベルに達しているかどうかを正しく見極め、またプロジェクトの段階であるべき状態からバックキャストして適切な計画を立てて実行することが不可欠です。それを誤ると、次の段階でつまずき、どんなに素晴らしいミッションであっても実現できなくなってしまいます。

宇宙科学プログラム室のメンバーはそんな支援のできるプロフェッショナルであって欲しいと考えています。そのために経験に基づく知見も重要です。私は、これまで3つの衛星プロジェクトに、それぞれ数年から10年以上にわたって参加してきました。その経験を現職に生かすことが出来ているように思います。

——これまで参加したプロジェクトで印象に残っていることは？

1990年にNASDA（宇宙開発事業団）に入社し、3年目から技術試験衛星VII型（ETS-VII）プロジェクトに参加しました。この衛星は「おりひめ」「ひこぼし」という2機で構成されていて、軌道上で自動ランデブ・ドッキング実験を3回行いました。1回目は1998年7月7日、七夕の日に行い、とてもうまくいきました。ところが2回目は難航し、分離してからドッキングするまで3時間の予定が3週間もかかってしまいました。

そのとき、宇宙で何かを成すことはとても難しいことだと、あらためて認識させられました。軌道上でなければならないこともありますが、地上でできることをどこまできちんと試験し

宇宙科学プログラム室 室長

空野 正明 (もくのまさあき)

1964年、大阪府生まれ。1990年、大阪大学大学院工学研究科修士課程修了。同年、NASDA（宇宙開発事業団）入社。技術試験衛星VII型プロジェクト、光衛星間通信実験衛星プロジェクトに参加し、地球環境変動観測ミッションプロジェクトマネージャを経て2019年より現職。博士（システムエンジニアリング学）。



ておくかが重要で、それがミッションの成否を分けることを学びました。

コミュニケーションで信頼関係を築く

——仕事をする上で大切にしていることは？

仕事というのは、互いに信頼関係を構築することが重要だと考えています。相手に信頼してもらうためには、自分が相手の信頼に応えられるようにしないといけない。逆も同じです。信頼関係を構築するときには欠かさないのが、言葉を交わすこと。仕事がうまくいくかどうかの半分くらいはコミュニケーションで決まると考えています。

ロケットの打上げを見た記憶に導かれて

——子どものころは、どういうことに興味がありましたか？

電気回路の工作が好きで、小学6年生のころにはアマチュア無線の免許を取りました。通信のエンジニアになりたいと思うようになり、大学は電気系の学科を選びました。大学院では高エネルギー電子ビームの研究をしていました。

——どういう経緯でJAXAに？

大学院在学中に国家公務員試験を受けて合格し、送られてきた資料の中にNASDAの紹介を見つけた瞬間、あっ!と思ったのです。

実は高校生のとき、種子島宇宙センターでのロケット打上げのテレビ中継をたまたま見て、「日本でもこんなことをやっているんだ」と驚いたことがありました。とはいえ、そのときそう思っただけで、宇宙関係の仕事をしたかったことはなく、その出来事も忘れていました。NASDAの案内を見た瞬間に、それを思い出したのです。もともと大きなプロジェクトに携わりたかったと思っていましたので、宇宙関係なら希望をかなえることができるに違いないと、NASDAを志望しました。幸い、これまで複数の衛星開発プロジェクトに参加することができました。自分の希望だけではかなわないことなので、感謝しています。

——今後どういうことをやりたいとお考えですか。

科学衛星・探査機プロジェクトには大小様々な規模のものがあります。これら全てを同じプロセス・基準で実施するのではなく、例えば、小規模なプロジェクトはタイムリーに実施できるようにプロジェクトの進め方に柔軟性を持たせるなど、規模に合った仕組みをつくりたいと思っています。

編集後記

柔らかな陽射しの中、お向かいのフィルムセンターや市立博物館の木々が赤や黄色に色付いて、通勤を楽しませてくれます。宇宙研の中では、梢まで鈴なりの柿が色付き、柚子や夏みかんの黄色と緑のコントラストもひととき新鮮やかです。平穏な日々と、それを取り戻すためのご尽力に感謝いたします。 斎藤 芳隆(さいとう よしたか)



ISASニュース No.489 2021年12月号

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