



イプシロンロケット試験機の打上げ。2013年9月14日14時00分、内之浦宇宙空間観測所。

宇宙科学最前線

「はやぶさ2」の レーザー高度計

宇宙機応用工学研究系 准教授
水野貴秀

時が過ぎるのは早いもので、小惑星探査機「はやぶさ」の打上げからもう10年もたってしまいました。そして、2機目の小惑星探査機「はやぶさ2」の打上げに向けて、チームの努力と多くの方のご協力で着々と開発が進められています。

本稿では、「はやぶさ2」に搭載されるレーザー高度計について、「はやぶさ」のそれと比較しながらご紹介します。

距離を測る

長い距離を測る技術は、宇宙開発においてロケットや衛星の軌道決定、位置決定のために大変重要です。地上とロケットや衛星との距離測定は、近年GPSによるものもありますが、マイクロ波（波長が1m～1cmぐらいの電波）を使ったレーダー

（RADAR：RAdio Detection And Ranging）の技術が主になります。例えば、地上とロケットとの距離はマイクロ波パルスの往復時間から測定され、衛星との距離は特殊な配列の符号や周期的に変化する変調周波数をマイクロ波に乗せることで電波の往復時間から測定します。

こうした宇宙での距離測定の中で、やや特殊なケースとして、惑星探査機（地球周回衛星でない）自身による対象天体との距離測定があります。例えば、月や惑星探査機による地形調査や、軟着陸のために天体表面との距離を測定する場合です。マイクロ波を使った距離測定は、大気による減衰が少なく、距離に加えて速度も比較的容易に出すことができるというメリットがあります。しかし、重量制限の厳しい惑星探査機では大きなアンテナ

を持ってないため、ビームの指向性(特定方向にエネルギーを絞る特性)が広がってしまい、測定距離は数km程度になるのが通常です。それに対して、指向性に優れたレーザー光を使い、マイクロ波レーダーよりも小型・軽量で、遠い場合には数百kmに及ぶ距離測定を可能にするのが、レーザー高度計です。

こうした特徴から、レーザー高度計は惑星探査機の天体との会合、地形測定、着陸といった航法・誘導の重要な場面で活躍します。また、高度計としての機能を使って天体の重力を測定したり、天体から返ってくる光の強さを測ることにより表面特性の分布を調べたりといった、科学観測機器としても重要な役割を果たします。

レーザー高度計

「はやぶさ2」が搭載しているレーザー高度計はライダー (LIDAR: Light Detection And Ranging) と呼ばれ、レーザーパルスの往復時間から距離30m~25kmを測定することができます。レーザーパルスとは短い時間だけ照射されるレーザー光で、「はやぶさ2」のレーザーパルスの場合、10ナノ秒(1億分の1秒)程度の時間です。

レーザー高度計の動作を、図1に示す構造図を使って説明します。右側にあるコントローラーは、光が目標まで行って反射して返ってくるまでの時間測定、レーザーの発射指示、探査機システムとのやりとりが主な役割です。コントローラーからの指示で発射されたレーザーは、ビームエキスパンダーというレンズ系で指向性を鋭くして目標へ向かいます。このとき、レーザー光の一部をPIN PD

(PIN Photo Diode) へ送って、コントローラーに発射の正確な時刻を知らせます。惑星表面で反射して返ってきた微量の光は、カセグレン型の望遠鏡でAPD (Avalanche Photo Diode) 上に集光されて微量の電流に換わります。この電流はアンプで適当な電圧レベルに調整され、タイミング検出器でデジタル信号となって、コントローラーに光が返ってきた時間を知らせます。例えば、30kmであれば、数十兆分の1の強度になって返ってくる光を検出して、往復で200マイクロ秒(1万分の2秒)の時間測定をすることになります。ただし、この光量は距離の2乗に反比例するため、30mになると30kmのときの100万倍も強い光が入ってくることになり、後で説明する受信回路は広い範囲のゲイン調整(電圧レベルの調整)が要求されます。

レーザー

それでは、レーザー高度計の特徴的な部分である、レーザーと微量光量の検出回路について説明していきます。レーザーは、YAG (Yttrium Aluminum Garnet) と呼ばれる結晶に発光素子としてNd (ネオジム) イオンを添加したロッドに、LD (Laser Diode) の光を吸収させて、波長1.064 μ mの光をつくり出します。図2aは「はやぶさ」に使われたレーザー部プロトタイプモデルの写真です。ベースは約15cm角で、共振器を構成する出射ミラーとポロプリズムの間にレーザーロッド、台形プリズム、短いパルスで大きな出力を出すためのQスイッチが並んでいます。赤線は光路を示し、矢印はレーザー光の出射方向です。QスイッチはYAGロッドに吸収されたエネルギーが十分になる

図1 レーザー高度計の構造

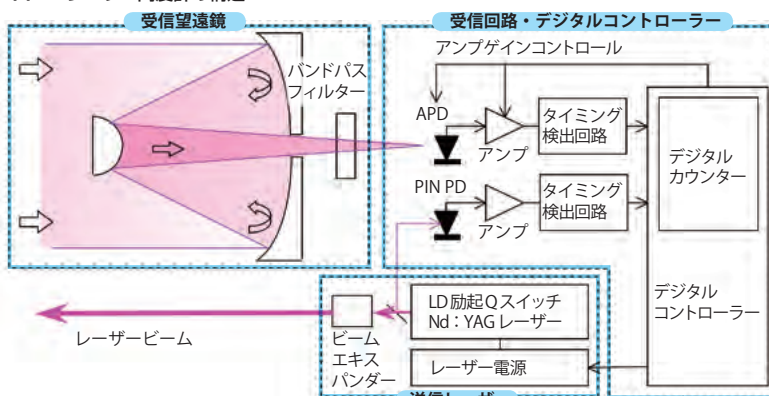


図2 レーザー部の写真

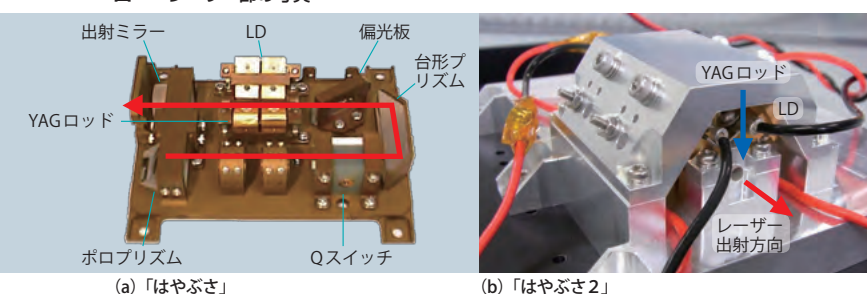
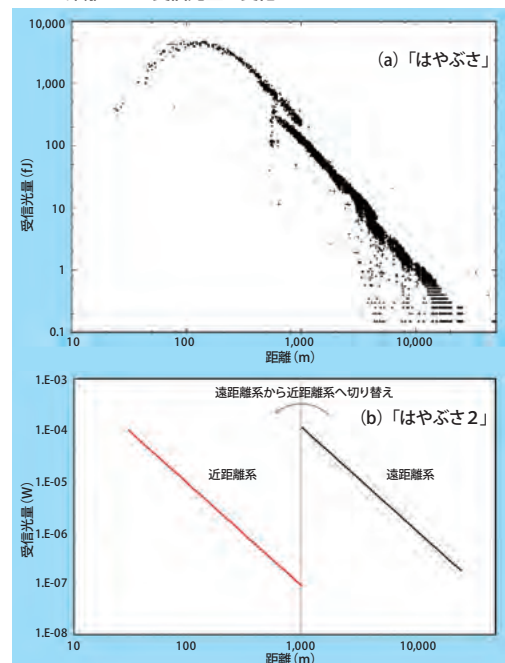


図3 距離による受信光量の変化



のを待って、一気に短く強いパルス発振をさせる役目を持っています。

「はやぶさ」のレーザーは、15ナノ秒という短い時間ですが1メガワットという強いレーザー光を出します。しかし、このQスイッチは真空中での温度変化に弱いことが分かっていたため、打上げ翌年からメーカーと協力して、Qスイッチとして Cr^{4+} 可飽和吸収体を使用したレーザーを開発しました。それが図2bに示す「はやぶさ2」に使われるレーザー部の試作品です。可飽和吸収体はYAGロッド内のエネルギーがあるレベルまではエネルギーの吸収体として働きますが、そのレベルを超えると急に吸収しなくなるため、この特性をQスイッチとして利用しています。

「はやぶさ2」のレーザー共振器は、片側に可飽和吸収体の薄板が付けられたYAGロッドと、その前後にコーティングされたミラーでできています。その結果、「はやぶさ」のレーザー部では約150mmのコの字をしていた共振器は、直径3mm・長さ40mmのYAGロッドに納められ、レーザー部全体の大きさも50mm角まで小型化されています。もちろん、真空中の温度変化にも強い頼もしいレーザーです。

受信光の検出

次に、対象物から反射して返ってきた微少光の検出ですが、光を電流に変換するAPD、その後段の増幅回路とタイミング検出回路で行います。特に増幅回路には設計者の思想が強く反映されます。レーザー高度計の設計は、レーザー出力と受信望遠鏡を含めた検出感度の最適なバランス設計が必要で、どちらかにアンバランスになると大きさや重量が増えていきます。さらに惑星探査機の場合は、その打上げウィンドウの狭さから短期間の開発が求められる場合があります。

「はやぶさ」ではチャージアンプを使った信号帯域を狭くしてノイズを抑えて増幅する回路が採用され、回路のゲインはAPDのバイアス電圧とアンプの帰還容量の切り替えと極近距離では送受光学系の視野のずれの利用で、100万倍もの光量変化に対応しています。図3aは「はやぶさ」のレーザー高度計が測った受信光量と距離のデータで、距離によってきれいに受信エネルギーが変化する様子が測定できています。しかし、「はやぶさ」ではチャージアンプ回路の調整に多くの時間を費やしました。

そこで開発期間の厳しい「はやぶさ2」では、APDとアンプ（トランスインピーダンスアンプ）が一つのパッケージになった月周回衛星「かぐや」で実績のあるHIC（Hybrid IC）を採用して、開発

期間の短縮を図りました。しかし、このHICにはアンプゲインが切り替えられないという弱点があり、回路ゲインとしてはAPDのバイアス電圧による2段階だけになってしまい、100万倍ものゲイン範囲に対応できません。これを補うために、「はやぶさ」にはなかった近距離用の小さな望遠鏡を用意して、1km付近で切り替えて光量を約1/1000に絞ることにしました。図3bが予想される受信光量です。「はやぶさ」（図3a）と「はやぶさ2」（図3b）の特性がだいぶ違うのがお分かりいただけるでしょうか。

フィールド試験

こうして設計され製造された「はやぶさ2」のレーザー高度計のEM（Engineering Model）が、5月に北海道大樹町多目的航空公園の滑走路で試験されました。図4aの写真手前は滑走路の延長上に設営されたテント内のレーザー高度計で、奥では地上試験装置の画面をにらむ実験班員の姿が見えます。図4bの写真中央の灰色の四角い板はレーザーを照射するターゲット、キノコのように生えたアンテナはGPS測量機です。このターゲットを台車に乗せて長さ1kmの滑走路を歩くことで、「はやぶさ2」が着陸する状況を模擬したのです。滑走路の周囲にはタンポポが咲き乱れ、林にはカッコウが鳴き、時折キタキツネが姿を見せるのどかな風景の中で試験は順調に進み、レーザー高度計が設計通りの機能と性能を持っていることが確認できました。

おわりに

レーザーを使った距離測定は、ゴルフの飛距離測定、車の衝突防止など、私たちの生活の中でも広く利用されています。本稿では小惑星探査機「はやぶさ2」という特殊な用途に特化したレーザー高度計について、設計上の悩みなども混ざってお話させていただきました。

最後になりますが、レーザー高度計のレーザーに使われているYAGロッドは、イットリウムとアルミニウムの複合酸化物から成るガーネット構造の結晶です。1月の誕生石でもあるガーネットはパワーストーンとして、「再会」「努力の成就」といった意味もあると聞きます。「はやぶさ」に続いて、パワーストーンを身に付けて長く孤独な宇宙の旅に出る「はやぶさ2」を、どうか皆さんで応援してください。（みずの・たかひで）

図4 大樹町多目的航空公園でのフィールド試験風景



(a) 試験中の「はやぶさ2」LIDARのEM



(b) 滑走路端まで来たターゲット台車

2013 年
9 月 14 日
打上げ成功
!!

イプシロンが翔んだ

～みんなで夢を追った 7 年間～

M-V ロケットを卒業してからの 7 年間は、自分たちの力で未来を変えようという熱意が試されるような試練の連続でした。また、5 月から始まった内之浦宇宙空間観測所でのオペレーションも、新しいことを生み出す生みの苦しみでいっぱいでした。しかし、苦しくとも開発チームをはじめ関係者一丸となってみんなで頑張ってよかった。終わってみれば最高でした。これほどの成功は誰も予想できなかったと思います。この成功を私たちと一緒に勝ち取ってくれた全国の宇宙ファンの皆さんと内之浦の皆さんには、感謝の気持ちでいっぱいです。

今回のイプシロンの打上げは多くの皆さんに注目していただきましたが、今、宇宙開発はそれに値するような大きな時代の転換点に差し掛かっています。これからは小型・高性能・低コストという考え方が大事な時代で、打上げの頻度を上げてチャンスを増やしていくことが宇宙科学の進歩と宇宙開発利

用の発展のためにとっても重要です。今後は大型衛星ばかりでなく、小型衛星を活用して効率よく成果を挙げていくことが強く求められているのです。その最初の一步がイプシロンで打ち上げた惑星分光観測衛星「ひさき」です。この衛星は世界初の惑星専用の宇宙望遠鏡であり、小さくても夢のある挑戦が可

能なことを示すとても大事なミッションです。今まさに新しい時代の幕が切って落とされたといえるでしょう。

このような時代の要請にばっちり応えるロケットがイプシロンです。イプシロンは打上げシステムを革新、ロケットを効率よく高頻度に打てる仕組みを構築し、みんなの宇宙への敷居を下げることを目的としています。そのために私たちは、モバイル管制などの世界をリードする革新技術を開拓し、イプシロンを世界で最も簡単に打てるロケットに仕上げました。このような革新コンセプトは、これまでのロケット業界の常識を覆す革命であり、宇宙ロケット全体の未来を切り拓く大切なものです。次の段階では大きな液体燃料ロケットにも応用可能であり、将来の再使用ロケットにもつながるものです。イプシロンは未来のロケットに向けた大きな一歩でもある

のです。このように、イプシロンの開発の良さは、しっかりと未来を指向しているところにあります。

ロケット開発は最先端の科学ですが、大事なのは人の力です。みんなの長い間の努力の積み重ねとエネルギーが一つになって、最後にきれいな打上げにつながる。これがロケット開発の醍醐味でしょう。未来を牽引するロケットを目指して、どんなときにも一丸となって開発を進めてきたこのチームこそが宝です。さらに全国の宇宙ファンの皆さんと内之浦の皆さんの後押しが加わっているのですから、イプシロンはまさに鬼に金棒ですね。特に、8 月 27 日の延期のときには多くの方々にご迷惑をお掛けしてしまいましたが、本当につらいときに私たちを励まし勇気づけてくれたのは、多くの方々から頂いた温かい応援の言葉でした。イプシロンは、みんなの夢を乗せて、みんなの熱意と声援を推進力に飛んでいく、素晴らしいロケットだと思います。

イプシロンには、宇宙研の固体燃料ロケットに代々受け継がれている遺伝子がしっかりと内蔵されています。それは、世界に追い付き追い越せではなく、自分たちの力で未来を切り拓こうというフロンティア精神です。伝統に根差しながらも、常に革新を続ける固体燃料ロケット。イプシロンはまさにその最新鋭機と呼ぶにふさわしいロケットに育ってくれたと思います。今振り返ると、M-V 最終号機からイプシロンまで、私たちがたどってきた道程が真っすぐな一本の道筋として見えるような気がします。しかし、その道中はまるで地図も磁石も持たない冒険のようでもありました。そんな私たちが自信を持ってここまで来ることができたのは、秋葉鎮二郎先生や小野田淳次郎先生をはじめとする先輩方の激励が大きかったと思います。まさに伝統の力がものをいったのだと思います。

イプシロン試験機の打上げは素晴らしかったと思いますが、本当に素晴らしかったのは開発チームのみんな、全国の宇宙ファンの皆さん、そして内之浦の皆さんと一緒に夢を追って走り続けた 7 年間です。イプシロンの挑戦はまだ始まったばかりです。これから私たちは新たな革新に挑戦し、夢のさらに向こうに向かって走り続けたいと思っています。それはさらなる打上げシステムの改革とコストの低減です。今どきの低コスト化技術は小型化・軽量化を意味していますから、同時に高性能化にもつながります。一粒で二度おいしい魅力ある開発になりそうです。今後ともどうぞ応援よろしくお願い致します。

(森田泰弘)



イプシロンロケット試験機打上げ後、握手を交わす森田プロジェクトマネージャー（左）。イプシロン管制センター（ECC）内の管制室にて。

イブシロン打上げオペレーション参加記(上)

宇宙研にとってM-Vロケット7号機以来、7年ぶりの固体燃料ロケット打上げとなったイブシロンロケット試験機。

今回の打上げオペレーションには宇宙研に所属する5名の大学院生が実習として参加しています。

宇宙研所属の学生に、この打上げオペレーションはどのように映ったのでしょうか。

今月号では、総合研究大学院大学(総研大)の久保田勇希さん、山本啓太さん、

東京大学大学院の山中翔太さんの3名の感想をご紹介します。(羽生宏人)

リアル・ロケット

私たち宇宙研に在籍する学生は、日ごろから「ロケット」という単語を当たり前のように口にしています。例えば、「こんなロケットはどうだ!!」とか、「このロケットのこの場所の材料は? 構造は?」など。しかし、学生同士で実際の打上げについて話をするとはないし、ましてや打上げ準備などに想いを巡らせている人など、私の知る限り存在しません。今回の打上げオペレーションを通じて分かったことは、私を含め宇宙研の学生の多くの中で、ロケットという言葉に対するリアリティが不足しているということです。

内之浦宇宙空間観測所には、私のイメージを超えた現実がありました。打上げ施設は想像以上の規模で、迫力を感じました。一

方、最新鋭ロケットを打ち上げる場所にしては意外なほど、建物は老朽化していました。打上げシーケンスは緻密に組み立てられ、リハーサルでは経験のない緊迫した雰囲気と心拍数は最高潮に達しました。そして直面したトラブル、打上げの延期。その後のマスメディアの報道から垣間見た国民からの想像以上の期待感。

今回感じたのは、それらすべてが「ロケット」なのだということです。私たち学生が日ごろ語らう外見や打上げ性能だけではなく、一見すると雑然として複雑な人の動きや、緊迫と期待に満ちた作業を含めた、それらすべてがロケットなのだ。内之浦にはリアル・ロケットがありました。私は、この「ロケット」に対し研究者として貢献したいと強く思うようになりました。

(総研大 久保田勇希)

内外との信頼関係

私は音響計測班(第1段ロケットの噴煙から生じる音響計測)に加わりました。今回の打上げオペレーション実習を通じて、私は内と外との信頼関係の重要性を強く感じました。

「内での信頼関係」とは、班内と射場関係者との信頼関係のことです。

今回所属した音響計測班のメンバーは、能代ロケット実験場での実験からの長い付き合いがあり、作業中や移動中の車内など常に会話が途切れないほど和気あいあいとしていました。オペレーションにおける作業範囲はランチャの中から宮原までと広く、円滑なコミュニケーションが不可欠でした。班内の仲の良い関係だけで

なく、内之浦漁港での壮行会などを通じて築いた関係も、現場のさまざまな担当者との調整に生かされ役に立ちました。現場作業を通じて内での信頼関係の重要性を学びました。

次に「外との信頼関係」とは、地元住民の方々との信頼関係のことです。

今回宿泊した民宿では、おかみさんから、名だたる先生がいかにかに礼儀正しく、地元住民の方との交流を大事にされていたのかをお話いただきました。この歴史があるからこそ、現在でも地元との良好な関係が存在するのだと感じました。

今回は今までにない貴重な経験をさせていただきました。今後は人としても成長して良い信頼関係を築き、お世話になった方々に恩を返せるよう努めたいと思います。(東京大学大学院 山中翔太)

宇宙研の経験と歴史

私はイブシロンロケット試験機打上げの衛星班に加わりました。作業のすべてはもちろん経験がありません。しかし、現場では澤井秀次郎先生や山崎敦先生、吉岡和夫さんが丁寧に指導してくださり、自信を持って積極的に作業に取り組むことができました。短期間の滞在でしたが、作業現場では教科書には書かれていないたくさんのことを学ぶことができました。滞在中、今いるここは私たち学生の憧れの世界であり、宇宙開発の最前線なのだということを、かみしめていました。

今回、宇宙研の経験と歴史がどれだけ大切なものか教わった

ように思います。内之浦での人工衛星を載せたロケットの打上げは、地元内之浦の方々との良い関係を築いてきたからこそ実現されていることを知りました。そして、「宇宙科学研究所とは?」という大きな命題に対して、これらの理解なしには語るできないことを知りました。このような積み重ね(経験と歴史)が宇宙研の強みであり、宇宙研で学ぶ私たち学生はこれを受け継ぐことが使命なのだと感じました。

今回経験したものの、芽生えた強い想いを忘れることなく、いずれは憧れの世界としてではなく現実の最前線で活躍したいと思います。

(総研大 山本啓太)



無事に打上げ当日の衛星運用を終え、衛星班の方々と記念撮影。

平成25年度第二次気球実験

平成25年度第二次気球実験は、8月19日から連携協力拠点大樹航空宇宙実験場において実施されました。年度当初は、大型気球による実験も計画されていたのですが、第一次気球実験で発生した不具合のため、超薄膜高高度気球の飛翔性能試験のみを実施することとしました。

超薄膜高高度気球は、成層圏を越えて高度50km以上の中間圏に到達できる気球です。気球を高く飛ばすには大きな気球を用いればよいのですが、大きな気球をつくると気球そのものが重くなり、さらに大きな気球を必要とします。大気観測などの軽い観測器によるその場観測には、はなはだ効率の悪いことになってしまいます。そこで、宇宙研では1990年ごろから薄いポリエチレンフィルムを用いた軽い気球の開発を続けてきました。平成14年には、厚さ3.4 μm （1000分の3.4mm）のフィルムで満膨張時の直径が54mの気球を高度53.0kmまで上昇させることができました。その後、さらに薄い厚さ2.8 μm のフィルムを用いた気球の開発を進めてきましたが、なかなかうまく



超薄膜高高度気球飛翔性能試験の放球の様子

いかず、10年以上がたってしまいました。今回の飛翔性能試験は、これまでに見つかった問題点一つ一つに対策を施した、集大成の場であったのです。

台風18号が去り、地上天候も高層風も実験に適した9月20日、「空の日」の未明から準備を始め、午前

5時22分、満膨張時の直径が60m、体積8万立方メートルの気球が放球されました。実験メンバーが気球の様子を映し出すモニタ画像を見つめる中、気球は上昇を続け、8時4分に高度53.7kmに到達し、8時15分に地上からの無線信号で気球を破壊するまで水平浮遊を続けました。厚さ2.8 μm のフィルムで気球をつくり、放球し、飛翔制御できることを実証したことは、無人気球の世界最高到達高度を更新できたことに加えて、大きな成果となりました。

相模原に戻り、来年度こそは大型気球を含む多くの気球実験を実施できるようにと準備を始めています。今年度の気球実験にご協力いただいた関係者の皆さまに深く感謝致しますとともに、今後もご支援のほどよろしくお願い致します。（吉田哲也）

「宇宙学校・ほうふ」開催

山口県の防府市青少年科学館では9月21日（土）に「宇宙学校・ほうふ」を開催しました。当日は小学生を中心に保護者も含め多くの参加者があり、会場内は宇宙に対して興味津々な子どもたちとその保護者の熱気であふれていました。

今回の宇宙学校では、1時限目は「宇宙に浮かぶ巨大な発電所『太陽発電衛星』の研究」をテーマに、牧謙一郎先生から、宇宙に太陽電池を浮かべクリーンかつ安定的に電気エネルギーを供給できるという、将来のエネルギー問題に大きな影響を与える可能性を秘めた素晴らしい技術についてのお話をいただきました。

2時限目には、「次世代赤外線天文衛星 SPICA」という



積極的に質問の手を挙げる子どもたち

テーマで阪本成一先生から、宇宙観測はさまざまな電磁波を使って行っていること、その中で赤外線の効果や見えない天体ブラックホールなどの一見理解しにくい内容を、身近な事象に置き換えて、とても分かりやすく楽しくお話ししていただきました。

先生方の興味深いお話に対して驚き、感動し、刺激を受けたのか、質疑応答の時間には多くの子ども

たちから次々と手が挙がりました。会場は、先生方との距離が近くアットホームな雰囲気、参加者と先生方との質問のやりとりがものすごく身近に伝わり、一体感を感じました。

子どもたちからは「太陽発電衛星を静止軌道に入れたら

どうか?」「ブラックホールの特異点はどうなっているの?」「宇宙の果ては見る事ができるの?」「太陽発電衛星からほかの衛星に電気を送ることはできるの?」「衛星設置と宇宙のゴミ問題」など、専門家もうなるような質問や実用的かつ生産的な質問が多く飛び交い、将来、宇宙開発の担い手がたくさん生まれそうな頼もしさを感じました。また、

これからの宇宙開発に熱意を持って意見や質問を述べる子どもたちの姿から、会場にいた保護者の方や運営する私たち職員も胸が熱くなる場面が多々ありました。JAXAの皆さまに本当に素晴らしい機会を提供していただいたことに、職員一同、心から感謝申し上げます。

(防府市青少年科学館／岩下貴文)

市民が詰め掛けたパブリックビューイング

9月14日(土)のイプシロンロケット打上げの様子は内之浦宇宙空間観測所からライブ中継が行われ、相模原キャンパスでは研究・管理棟の展示ロビーにてパブリックビューイングを実施しました。打上げが延期となった8月27日(火)にもパブリックビューイングを実施しており、そのときは学校の夏休み期間中ということもあって子どもたちをはじめ約280名が来場されました。

そして、いよいよ迎えた9月14日。8月27日以来たくさんの報道がありましたからイプシロンロケットの知名度はぐっと上がり、打上げの注目度はますます高まっていたのでしょう。朝から人が集まり始め、打上げ時刻が近づくとともに多くの方が集結し、展示ロビーはすし詰め状態になりました。会場には打上げの瞬間を初めて見る方や、相模原キャンパスを初めて訪れたという方もいましたし、M-Vロケットの打上げの記憶がない世代の子どもたち、さらに相模原市内だけでなく市外や県外からの来場もありました。パブリッ



クビューイングならではのどきどき感の共有や、カウントダウンに声を合わせる一体感は、独特のもの。私は司会を務めさせていただきましたが、集まった方々の熱気を肌で感じることができました。

臨時にモニター画面を増設したり所内からいすをかき集めたり、できる限りの対応をしましたが、会場が狭いことはどう

にもならない状況でした。これ以上は入場できないと判断した時点でやむを得ず門衛所の受け付けを止め、道を挟んだ相模原市立博物館のパブリックビューイング会場を案内しました。来場者数は相模原キャンパス484名、博物館209名。中継開始をお待たせしたり現地情報との時間差があったことはやや残念な点でしたが、惑星分光観測衛星(SPRINT-A)の軌道投入を伝えた中継終了時までほとんどの方が温かく見守ってくださり、最後は大きな拍手に包まれました。将来的には展示施設を整備してさらに多くの方をお迎えし、期待に応えていければと思います。(大川拓也)

IAC 展示と国際学生ゾーン

9月23～27日に中国・北京でIAC(国際宇宙会議)が開催されました。IACは今年で64回目となり、「Promoting Space Development for the Benefits of Mankind」をメインテーマとし、5つのカテゴリー、32のシンポジウム、約190のセッションから構成され、JAXAを含む世界の主要宇宙機関長による公開討議などが行われています。世界の宇宙開発活動・計画、学術研究成果発表など、情報交換の場として宇宙工学関連(工学以外のセッションあり)の学会では最大規模で、今年は74ヶ国から約3700名が参加しました。

IACでは、さまざまな学術セッションや講演に加え、いろいろな宇宙関連企業や宇宙機関が展示場にてブースを出しています。今年は地元中国の宇宙関連企業のブースが多く、展示エリアの半分ほどは中国で占められていました。中国のロケットの模型、企業の商品、帰還カプセルなども展示されており、中国の宇宙開発を知るにはよい機会です。そのほか、新規・常連さまざまな宇宙機関、宇宙関連企業などがブースを出しており、JAXAもブースを出しています。展示場では展示だけのブースもあれば、飲食物・グッズを無料で配ったり、パーティーを開催していたり、オリンピッ

クのように開催地の誘致合戦も行われています。

その中で、ちょっと異色なブースが国際宇宙教育会議 (International Space Education Board : ISEB) が出している「国際学生ゾーン」です。ISEBは、8宇宙機関 (含む JAXA) と1科学館が参加しており、毎年大学生・大学院生を派遣し、国際交流を行っています。国際学生ゾーンでは、ランチタイムにいろいろなセッションを行っており、今年は学生の発表や、研究者によるミニ講演など



国際学生ゾーンにおける ISEB 派遣学生によるグループワークの様子

が行われました。機関長による Q&A セッションも実施されており、普段会えない機関長を近くで見られるということで、ISEB 派遣学生以外の方も大勢来ました。ISEB は、ほかにも IAC 中に学生交流プログラムを実施しており、「Meet & Greet」「アウトリーチ活動」などで絆を深めています。人脈を築くことは本人だけでなく国際社会

における日本の国益にもつながると思っております。

(宮川弥生)

オーロラの魅力を音楽とともに。「宇宙と音楽の夕べ」

JR 横浜線・淵野辺駅のホームからガラス張りの建物が見えます。桜美林大学プラネット淵野辺キャンパス (PFC) です。宇宙研はこれまでも桜美林大学とはさまざまなイベントを共に開催してきましたが、「宇宙と音楽の夕べ」は特に好評な企画の一つで、今年で3回目となりました。



抒情的な演奏と歌声でオーロラの映像が鮮やかに引き立った

の所蔵するオーロラ映像を背景に、音楽専修の教員による G. フォーレ作曲『オーロラ』など4曲の演奏があり、実にぜいたくな時間が流れました。

この企画は、宇宙と音楽という意外な組み合わせが新しい価値を生み出しているところに意味があると考えています。宇宙科学に関する講演会

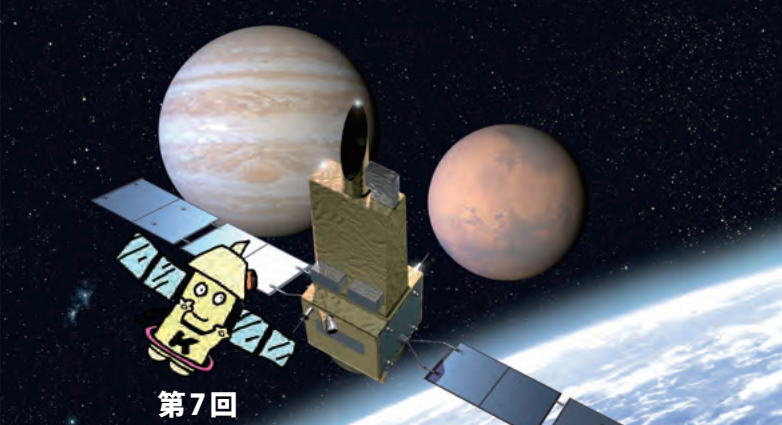
今回は「オーロラ～光と音のハーモニー」というテーマで、9月15日 (日) に開催しました。オーロラ映像と演奏との見事な調和。歌や朗読、さらに講演会をも組み合わせた内容です。3部構成の第1部では、Z. トペリウスの童話『星のひとみ』をもとにした脚本に合わせ、桜美林大学の松岡邦忠教授が作曲・指揮をして同大学の音楽専修の学生たちが演奏をしました。そのバックを彩るオーロラの写真は、川崎市在住のアマチュア天文家・小川誠治さんにご提供いただきました。第2部は、JAXA の阿部琢美准教授によるオーロラの仕組みや観測ロケット実験についての講演です。第3部では国際宇宙ステーションなど宇宙から捉えた JAXA

を単独で開催する場合、市民はそのテーマに関心があれば参加しますが、関心が薄い場合は参加することはないでしょう。また、講演会という形式に敷居の高さを感じる方も多いと思われます。一方、今回のように音楽と組み合わせたイベントにすることにより、普段宇宙に関心の薄い市民の参加も期待できます。宇宙と音楽という組み合わせそのものに興味を持っていただけたのでしょうか。当日は必ずしも宇宙ファンでない市民約200名が、オーロラの科学の話に耳を傾ける機会となったのです。今後もさまざまな機会を捉えて、これまでにないイベントの可能性を探っていきたいと思います。

(大川拓也)

ロケット・衛星・大気球関係の作業スケジュール(10月・11月)

	10月	11月
ASTRO-H		一次噴合せ試験 (筑波)
BepiColombo		フライトモデル総合試験 (相模原)
はやぶさ 2		フライトモデル総合試験 (相模原)
S-310-43 号機		噴合せ試験 (相模原)



第7回

小さな衛星の大きな挑戦 惑星分光観測衛星の世界 電源システム

高橋 優

電子部品・デバイス・電源グループ 開発員

惑星分光観測衛星「ひさき」は、9月14日14時00分、内之浦宇宙空間観測所からイプシロンロケット試験機で無事に打ち上げられ、現在、上空947～1157kmの楕円軌道を周回しています。太陽電池パネル（SAP）で発電した電力で機器は正常に動作しており、姿勢も安定、通信状況も良好です。極端紫外光による惑星観測に向けて、着々と準備を進めています。

「ひさき」の電源システムは、太陽電池パネル、電力制御器、バッテリーで構成されています。

衛星のバス部側面に取り付けられた黒い板が太陽電池パネルです。ロケットのフェアリングに収納できるように、図1のようにパネルを折り畳んだ状態で打ち上げられます。写真で見えている太陽電池パネルは発電するセル面の裏側で、発電した電力を衛星に供給するための白い配線が見えるかと思います。

太陽電池パネルが展開して太陽電池セルに太陽光が当たれば、発電した電気を各機器に供給することができます。「ひさき」は小型科学衛星標準バス（SPRINTバス）を採用したJAXAで最初の衛星です。標準バスでは太陽電池の回路構成やパネル



図1 ロケットに結合した「ひさき」

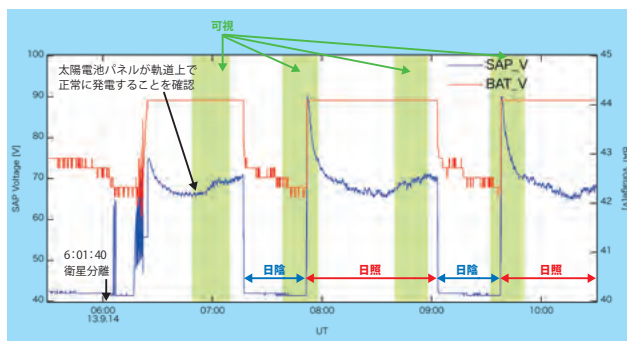


図2 太陽電池パネル電圧（SAP_V）とバッテリー電圧（BAT_V）のテレメトリデータ

の展開機構は共通ですが、各衛星で必要とする電力は異なるので、1翼当たりのパネル数は自由に選択します。「ひさき」は、1翼当たりパネル2枚の2翼構成で、約4m²の太陽電池で900W以上の電力を発電することが可能です。太陽電池セルには、地球上で通常用いられているシリコン太陽電池に比べ2倍ほど効率よく発電できる、3接合太陽電池セルを採用しています。

900W以上発電可能と書きましたが、衛星は常に900Wの電力を必要としているわけではありません。例えば、打上げ後しばらくはミッション機器がOFFであるため、極端紫外光観測時より必要な電力は少なくなります。そこで、電力制御器が必要です。「ひさき」を含め標準バスでは、電力制御器としてAPR（アレイパワーレギュレータ）を用いています。APRは、スイッチングレギュレータ方式で太陽電池パネル発生電力を降圧安定化させています。APRは地球周回衛星から惑星探査機まで対応可能で、まさに標準バスに最適な機器といえます。また、専用の充電器の削除や回路の簡潔化が可能であるため、小型で軽量にできることや、費用を安くできることも、APRの特徴です。

「ひさき」は1周106分ほどで地球を周回しており、そのうち35分ほどが日陰期間です。日陰時は、太陽電池で発電することができないため、バス部に搭載されたリチウムイオンバッテリーから機器に電力を供給します。標準バスを用いる衛星では、バッテリーの種類や回路構成は共通ですが、バッテリーの容量は選択式になっており、「ひさき」のバッテリー容量は50Ahです。

バッテリーには電気を供給できる量に限りがあるので、日照時の太陽電池の発電によるバッテリーの充電が必要不可欠です。それ故ロケットから分離した衛星が太陽電池パネルを展開できなかったら、もしくは展開しても太陽方向に太陽電池パネルを向けることができなかったら、バッテリーを充電できず、衛星の生死に関わる大問題になります。ほかにも、バッテリーの電圧が異常に下がっていたら、バッテリー温度が異常な値だったら、などのさまざまな異常事態に備えて、打上げ前には入念に対策を練ります。衛星全体で検討した異常ケースは計100以上にもなりました。

ですが、皆さんご存知の通り、今回の打上げは、それらの検討が無駄になるほど順調でした。図2が、打上げ30分後の太陽電池パネル電圧とバッテリー電圧のテレメトリデータです。図2では、継続したテレメトリデータが見えていますが、リアルタイムではアンテナから衛星が見える（可視）位置にいるときしかテレメトリデータを見ることができません。

衛星分離・太陽電池パネル展開後の運用時に、太陽電池パネル電圧が想定通りの正常な値を示していることを確認したときは、衛星管制室では自然と拍手喝采が湧き起こりました。

（たかはし・ゆう）

初めてベトナムに行って 見たこと、会った人。

宇宙物理学研究系 教授 松原英雄

「ああ、危ない！大丈夫かな？」。ホーチミン市の空港から市街に向かう私の乗ったタクシーが、車のそばを歩道すれすれに追い越しをかけてきたスクーターに接触した瞬間、ドキッとした。運転していた女性は歩道に倒れ込んでしまった。タクシーの運転手が心配そうに見守る中、女性は特にはがもなく立ち上がって、比較的広い交差点の歩道の方へスクーターを引きずっていく。それを見てタクシーは何事もなかったかのように運転を再開する。

ものすごいバイクやスクーターの数。小さな子どもを乗せたお母さんもいる。とても危ない。「自動車では渋滞でまったく進めないんだ。だから私も通勤にはバイクを使っているよ」と、同乗するPhan-Bao Ngoc（ノック）さん（ベトナム国立国際大学／ホーチミン市）が言う。地下鉄の建設の計画はあるそうだが、今は我慢せざるを得ないらしい。

曲がった先の路地をタクシーは、うるさいハエを追いつながら突進する。この先においしいコーヒー豆が買える店があるとのことで、ノック氏が案内してくれたのだ。豆の生育に適した気候らしい

（実は日本よりも涼しかった！）。モカとブレンドを一袋ずつ購入。日本の半額ぐらいの感覚だろうか（ただ、1円が200ドンという換算なので、やたらゼロの多いお札のやりとりをすることになって、安いという実感は全くなかったのだが）。

8月11～17日というお盆の真ただ中の日程で、私はベトナムの教育研究機関Interdisciplinary Science and Education（ICISE）の開所式を兼ねて開催された“Windows on the Universe”と題する国際会議に参加した。ICISEは長細いベトナムのほぼ中央付近にあるQuy Nhon（クイニョン）という所にあるのだが、クイニョンの空港からバスで1時間ぐらい離れたものすごい田舎に突如出現した大変立派な建物であった（写真上）。

国際会議の狙いは、最先端の素粒子物理学や宇宙論の展開で、会議のほとんどは私のような天文屋には付いていけないもので普段なら参加しないのだが、今回はNASA JPLに勤務するベトナム人の友人のHien（ヒエン）さんが「天文に興味のある若者を紹介するからぜひ来い」と強く誘ってくれたおかげで参加することになった。ちなみに私は総合研究大学院大学の宇宙科学専攻長を兼務している関係で、優秀な留学生を探して宇宙研に連れてくる立場にもあり、「そういうことなら」という思いもあった。

実際、この国際会議には宇宙を志す大学院生も多数来ていて、例えばハノイ科学技術大学では宇宙利用専攻なるものを、フランスからの併任教授を主体として立ち上げている。また前述したノックさんは、物理学専攻長として近い将来に宇宙物理に関わる研究室を立ち上げたいと言っており、この国際会議に私が参加すると聞いて、わざわざクイニョンまで来てくれたのであった。この国際会議で私は次世代赤外線天文衛星SPICAの紹介を行ったが、ノックさんなど宇宙物理の関係者に大変興味を持ってもらえたのは収穫であった。

私は世界中の誰とでも仲よくできる自信があるのだが（笑）、特に同じような肌の色をしたアジアの人たちにはまったく自然に振る舞っても大丈夫と感じた。滞在したホテルはICISEに近いビーチにあって、ヒエンとノックさんや学生たちを交えて夜半まで浜辺で飲んだのは、大変素晴らしい思い出になった（写真下）。会って話した学生は皆真面目で、英語は大変流ちょうであり、国際化という点ではむしろ進んでいるように感じた。今後ベトナムも含めてアジア諸国との学術研究・教育の交流が促進するように、私も微力ながら頑張っていこうとあらためて思った。（まつはら・ひでお）



国際会議の会場となったICISE。会議の初日はその開所式であった。



クイニョンでの滞在先ホテルに隣接するビーチで夜半まで語り合った。左からヒエンさん、筆者、1人おいてノックさん。



「宇宙研」から始まった

浅田正一郎

三菱重工業(株)
防衛・宇宙ドメイン
宇宙事業部長

1978年4月に意気揚々と駒場にあった東京大学宇宙航空研究所(宇宙研)の正門をくぐったものの、指導教官は誰がよいかと聞かれても、秋葉鏖二郎先生が偉大な先生という知識もなく、誰も希望者のいなかった長友信人先生の名誉ある初代の弟子となることになりました。

宇宙研のロケット工学部門では久々の大学院1年生の大量獲得と大層喜ばれました。私のほかに稲谷芳文(現・教授)、川口淳一郎(現・教授)、土井隆雄(元・宇宙飛行士)および小野晋也(元・衆議院議員)の計5名が修士1年生で、修士2年生は皆無、博士課程に2~3名といった状況でしたから、入学してからは、研究室の所属にかかわらず、あらゆる先生にこき使われました。

従って、宇宙研での2年間は本当にあっという間に時間がたってしまったとの感慨です。私が宇宙研時代に経験したプロジェクトについてご紹介したいと思います。

まず、ニュートンダンパーの真空落下実験です。雛田元紀先生から依頼されて、真空落下の試験装置の開発に携わりました。衝撃緩衝装置として梱包用の発泡スチロールの小球を選定しました。この実験は当時の宇宙開発事業団(NASDA)筑波宇宙センターにあった直径10mの真空チャンバ内で行ったわけですが、実験当日にチャンバの真空ポンプが作動を始めると、衝撃緩衝装置から白い煙がもうもうと出てくるではありませんか。発泡スチロールに含まれていた水分が原因でした。この事件では、秋葉先生が筑波宇宙センターの実験部長に呼び出され、私の目の前で大目玉をくらいました。秋葉先生を叱る人がいるんだと、茫然と思った次第です。

長友先生から、「コイをロケットで打ち上げてみないか」と問われ、これも実験装置の開発を任されることになりました。このコイをロケットで打ち上げる実験は、残念な

がら日本生物学会から中止の勧告を受けて、頓挫してしまいました。日本で最初の生物を用いた宇宙実験は、それなりの選考過程が必要というのが、その理由でした。

2年の夏休み前に、長友先生から『宇宙時代』という雑誌に何か投稿しないかとの依頼を受け、月面基地計画について投稿することになりました。修士2年のメンバーで夏休みをほぼつぶして執筆しました。その当時、日本ではまともに月面基地について述べた論文もなく、日本での最初のまとまった「月面基地計画」を作成したと自負しています。原稿料を頂く予定でしたが、『宇宙時代』の出版社は財政が非常に切迫しており、そのうちにと言われながら卒業を迎えてしまいました。

あれもこれもやっていたので、2年の秋ごろに長友先生から「修士論文はどうするの?」と言われたときには非常に悩みました。長友研究室はそのころ、10トン級液体

水素/液体酸素ロケットエンジンの開発の真っ最中でした。私も能代での燃焼試験に1年生のころから駆り出されていました。結局このエンジンの始動特性に関する実験とシミュレーション計算で臨むことになったわけですが、論文審査で大変なことになるてしまいました。論文が完成し、緊張の中、秋葉先生と長友先生の前で修士論文発表を行いました。秋葉先生に間違いを指摘されたのです。自信のなさを見透かされたか、先生が偉大なのか。1週間で書き直せとの指示を受け、宇宙研に寝泊まりし、当時のロケット工学部門の院生を総動員して何とか修士論文を受理していただくことができました。この誌面をもちまして、当時の院生一同に深く感謝致します。

最後に、長友先生についての思い出を書きたいと思います。

先生自身は多くのプロジェクトへの対応でとてもお忙しい状況にあり、直接的にご指導をいただいた時間は非常に限られていました。しかし、昼食は研究室のほぼ全員がいつも一緒に食堂に出向き、先生のしゃべくり講談の聴衆となっていました。この講談により間接的にご指導をいただいたと思っております。

棚次巨弘先生が何かの折に言った言葉が忘れられません。「人間の瞬時の活動量と時間の積分は一定だよ」ということで、パワフルに働かれていた長友先生は、棚次先生の予言通りに長生きはかないませんでした。

振り返ってみると、宇宙研で長友先生に学んだことはシステム工学だったのかなと思っています。三菱重工に就職してから、日本の主力ロケット開発にずっと携わってこられたのも、宇宙研で鍛えられたおかげと考えています。偶然、ご指導いただいた長友先生ですが、その後の私の人生を決定づける運命的なものを感じています。

(あさだ・しょういちろう)



『宇宙時代』1979年冬号



木星のトロヤ群小惑星からサンプルリターン

宇宙飛翔工学研究系 助教

森 治

—— 小型ソーラー電力セイル実証機「IKAROS (イカロス)」のプロジェクトリーダーを務められました。次の目標は？

森：世界で初めて、外惑星領域を往復する探査機をつくることです。ターゲットは、まだ誰も訪れたことのない未知の天体である木星トロヤ群小惑星。その試料を持ち帰って分析することで、木星とトロヤ群小惑星は共に現在の軌道付近で形成されたのか、あるいは木星が現在の軌道まで移動していく過程で太陽系の端で形成された小惑星たちを捕獲したのかを探り、太陽系形成の謎に迫ることができると期待されています。

—— 木星トロヤ群小惑星までの往復をどのような方法で実現するのですか。

森：「イカロス」は帆を広げて太陽光を受けて推進する“宇宙ヨット”の技術を世界で初めて実証しました。その技術と小惑星探査機「はやぶさ」で実証した燃費の良いイオンエンジンの技術を組み合わせます。帆の全面に太陽電池を貼り付けて発電し、イオンエンジンを動かすのです。従来のエンジンでは、木星軌道には行けても地球への帰還は難しいでしょう。帰還用の燃料で機体が重くなり過ぎます。見通しが立つ技術で木星軌道からのサンプルリターンが可能なのは、ソーラー電力セイルとイオンエンジンの組み合わせしかないと思います。ただしその実現には、「イカロス」より10倍も大きな帆を宇宙で展開・制御する技術や、「はやぶさ」よりも数倍燃費が良い世界最高性能のイオンエンジンのほか、木星圏という日本が経験したことのない深宇宙探査の技術を開発する必要があります。

—— 子どものころから理系志向だったのですか。

森：小学1年生のときから、とにかく国語は大嫌いでした（笑）。筆者の気持ちを答えなさいと言われても、解釈の仕方はたくさんあるはずだと納得がいきませんでした。一方、あいまいさのない算数は美しい世界だと感じ、好きでした。自然豊かな土地に育ち、虫捕りやザリガニ釣りも大好きでした。

—— ものづくりにも興味があったのですか。

森：実家が自動車修理工場を営んでいて、機械に囲まれて育ちました。事故で車が壊れて暗い顔で工場に来た人たちが、車がきれいに修理されて笑顔で帰っていく様子を見て、ものづくりは人の役に立つ仕事だと感じました。

—— 探査機に興味を持ったきっかけは？



もり・おさむ。1973年、愛知県生まれ。博士（工学）。東京工業大学大学院理工学研究科機械物理工学専攻修士課程修了。東京工業大学工学部機械宇宙学科助手を経て、2003年、JAXA宇宙科学研究本部宇宙航行システム研究系助手。2007年より現職。

森：高校1年生のとき、テレビで米国の惑星探査機「ボイジャー」の番組を見ました。ボイジャー2号が海王星探査を終え、主要ミッションを成し遂げたお祝いのパーティーの様子を伝えていました。そのとき、探査機の開発・運用にはたくさんの人が携わっているこ

とを知り、それなら私も何らかの形で加わることができるかもしれないと思いました。また、パーティーに参加していた誰もがボイジャー計画の一員となったことを誇りに思い、ミッション成功の喜びを分かち合っている様子に感銘を受けました。

私も宇宙研で「はやぶさ」の運用や、「イカロス」の開発・運用に携わり、探査機がわが子のように思える感覚を実感しました。さらに、多くの方々に挑戦的なミッションに共感していただき、今でもたくさんの手紙などが届きます。探査機には、人を引き付ける不思議な魅力があります。

ただし、新しい探査機の開発過程は失敗の連続です。「イカロス」の開発でも、泣きたくなくらい失敗を繰り返しました。それは、苦しいけれど楽しい、という何とも言えない感覚です。

—— どのような楽しさですか。

森：ものづくりは自然との勝負。自然の物理法則に泣き落としや賄賂は通じません。厳しくも美しい世界、そこがいいんです。たくさんの失敗を重ねるうちに原因が分かってきて、改良するにつれて少しずつうまく動くようになっていきます。それが、苦しくも楽しいのです。その過程を共有した仲間だからこそ、ミッションが成功したとき、喜びを分かち合うことができるのだと思います。

—— 木星のトロヤ群小惑星の次はどこを目指しますか。

森：土星の衛星エンケラドスでは、有機物を含む海水が氷の大地の割れ目から宇宙空間へ噴き出しています。その海には、もしかすると今も生命がいるかもしれません。そのサンプルを持ち帰り、生命の存在を確かめてみたいですね。

—— プライベートの楽しみは？

森：今年の夏は、6歳になる息子と夜に宇宙研の敷地でカブトムシやクワガタ捕りをしました。子どもよりも、実は私の方が楽しんでいたらかもしれません。

ISAS ニュース No.391 2013.10 ISSN 0285-2861

発行／独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1

TEL: 042-759-8008

本ニュースは、インターネット (<http://www.isas.jaxa.jp/>) でもご覧になれます。

デザイン／株式会社デザインコンビニア 制作協力／有限会社フォトンクリエイト

編集後記

イプシロンロケットによる、惑星分光観測衛星「ひさき」の打上げが、無事成功しました。国際的な共同観測計画も目白押しで、惑星大気・磁気圏コミュニティ（特に若手研究者）の興奮が伝わってきます。観測結果が楽しみです。（笠原 慧）

* 本誌は再生紙（古紙100%）、植物油インキを使用しています。

R100
古紙配合率100%再生紙を使用しています

VEGETABLE
OIL INK