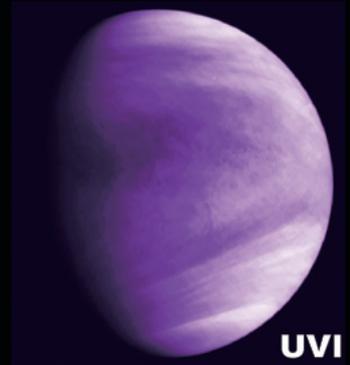
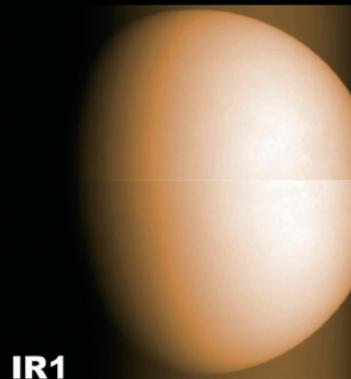


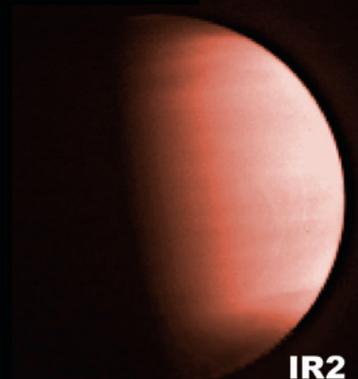
LIR



UVI



IR1



IR2

左：2015年12月4日13時9分に小惑星探査機「はやぶさ2」の光学航法望遠カメラによって撮影された地球。地球と「はやぶさ2」の距離は約34万km。右上にオーストラリア大陸，右下に南極大陸が見えている。右：金星探査機「あかつき」の四つのカメラによる金星の疑似カラー画像。紫外線・赤外線単色の画像を、波長の長短に合わせて着色している。

新年のごあいさつ

宇宙と生命と

常田佐久
宇宙科学研究所長

世界は太陽系大航海時代に突入しています。画家ポール・ゴーギャンが1897年に描いた絵画『われわれはどこから来たのか われわれは何者か われわれはどこへ行くのか』は、宇宙科学者の間ではつとに有名です(図1)。この絵画の題名は、まさに、世界の研究者が共有するthe big questionであります。新年に当たり、日本の宇宙科学がこのthe big questionにどう答えていくのか、皆さんと共に考えてみたいと思います。

太陽は、時をさかのぼること46億年前、宇宙の塵とガスが集まって生まれました。太陽の周りには塵とガスより成る巨大な円盤が形成され、これは、いわば宇宙のがれきりより成る円盤です。そこから惑星が誕生しました。そのころの地球に月はなく、現在の水星、金星、地球、火星、木星、土星……より

成る太陽系の姿とはかけ離れていたと考えられています。

火星は、数十億年前には水と大気をたたえた惑星であったと考えられています。地球には現在、生命すなわち我々が存在しています。火星はすぐ隣の惑星であるにもかかわらず、そこは荒れ果てた荒野であり、一見、生命が存在しているようには見えません。地球は生命を誕生させることに成功し、金星や火星は失敗したのかもしれない。それはなぜなのだろうか?—これは天文学と惑星科学、生物学にまたがる21世紀最大の科学課題の一つです。

太陽系を離れて大宇宙を見てみると、惑星系が多数発見されています。広大な銀河系にある千億の星の少なくともその3分の1は、惑星を従えていることが分かってきました。生命が居住可能な領域

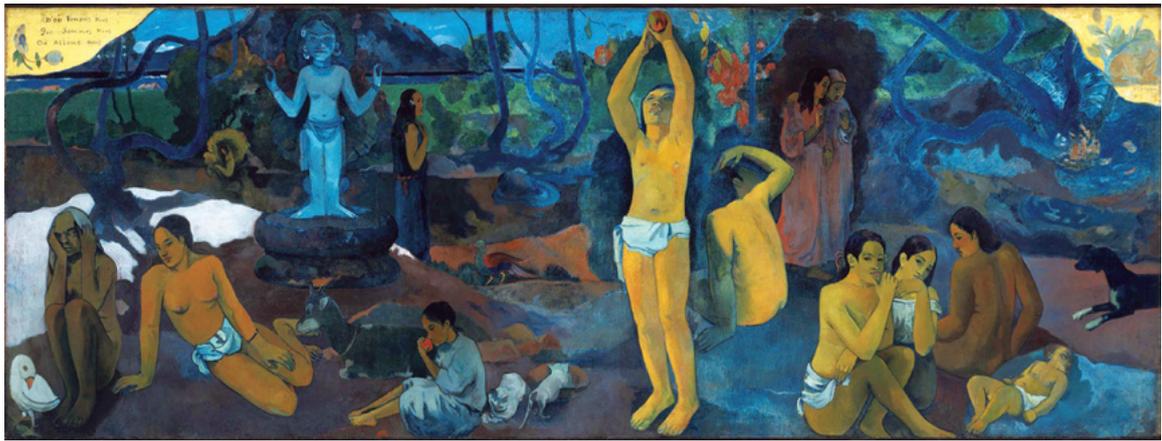


図1 ポール・ゴーガン『われわれはどこから来たのか われわれは何者か われわれはどこへ行くのか』（ボストン美術館所蔵）

はハビタブルゾーンと呼ばれ、そこより中心の星に近いと熱過ぎて生命が存在できず、そこより遠いと水は凍り付いてしまい生命は誕生できない。そのようなハビタブルゾーンに地球型の惑星、つまり岩石より成る惑星が数十あることが観測されています。このようなハビタブルゾーンにある地球型惑星の発見数は、今後の天文学の進展により急増していくことが予想されています。

詩人谷川俊太郎が『二十億光年の孤独』で詠った通り、大宇宙の中で我々は孤独ですが、独りぼっちではないかもしれない。このような惑星、系外惑星に生命が存在するか？を観測によりどう決着づけるかが、これから数十年の天文学の大きな課題です。それらのハビタブルゾーンにある地球型惑星に、生命の存在に必須あるいはその痕跡である水や酸素、オゾン、メタン、さらに植物による赤外線反射（red edge）があれば、惑星から来る光にその証拠が刻印されます。軌道上の最先端の宇宙望遠鏡により、圧倒的に明るい中心の星からの光に混ざっているごくごく弱い惑星からの光を分析することにより、生命を育む環境が系外惑星にあるかどうか分かる日がやって来ると思います。宇宙研とESA（欧州宇宙機関）が協力して建設する赤外線天文衛星SPICAや、NASA（アメリカ航空宇宙局）のJames Webb Space Telescopeの目的も、the big questionに密接に絡みます。しかし、系外惑星表面の本格的な観測はコロナグラフ^{*1}を搭載した衛星を待つ必要があり、世界の主要研究所がその開発にしのぎを削っています。

ところで、2009年に打ち上げられたNASAのケプラー衛星は、トランジット法^{*2}と呼ばれる手法により、現時点で1030個の系外惑星を発見するなどの天文学を一変する輝かしい成果を挙げています。その観測装置は、口径1.4mのシュミット望遠鏡と焦点面に敷き詰められた42個のCCDより成

ります。Bill Boruckiを中心とした30年にわたるケプラー実現のための苦難の歴史は、学術コミュニティとNASA本部の緊張に満ちた密接な協力の歴史でもあります。ケプラーの成功を受けてNASAは、Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS)を2017年に打ち上げる予定です。TESSは、トランジット法により近傍の50万個の恒星の全天サーベイを行い、ハビタブルゾーンにある地球型惑星を多数見つけることを目指していますが、これを総重量350kgの衛星に搭載したわずか口径10cmの望遠鏡4台により行います。TESSは太陽系外惑星の研究を大きく進展させる衛星として、大変期待されています。ケプラーもTESSも、技術的には日本で開発可能で、日本のロケットにより打ち上げることも可能でした。The big questionに取り組むケプラーやTESSが、なぜ宇宙研のミッションとして提案されなかったのか？なぜその検討さえされなかったのか？を考えることは、宇宙研が今後the big questionに取り組む道を切り開く上でも大切なことと思っています。

さて、これらの系外惑星に水や二酸化炭素が見つければ、これは21世紀を代表する発見となります。しかし、それだけでは生命の存在の証拠になりません。いわば、間接的証拠を得たにすぎないのです。我々と星々間の越え難い距離・断絶が生命の探索を遮るのです。そこで、我々は再び、我が太陽系に目を向けることとなります。

JAXAの小惑星探査機「はやぶさ2」は、昨年12月の地球スイングバイにより小惑星リュウグウに向かっており、太陽系最初期の揮発性物質（水・有機物）の探索、地球の海・生命材料との関連の解明がその主目的です。小惑星には2018年に到着、東京オリンピックの年である2020年に、この小惑星の物質を持って地球に帰還します。宇宙研の地球外物質研究グループでは、国内外の機関と協力して、

リュウグウから持ち帰った物質の分析を行う準備をしています。

「はやぶさ2」に引き続き、JAXAは小型月着陸実証機 (SLIM) の開発を開始しようとしています。すでに米国、旧ソ連、中国が月に着陸している現在、なぜ今、月なのでしょう。小惑星イトカワなどの小さい天体、言い換えれば重力の影響が無視できる天体への着陸、物質収集と帰還は、JAXAが世界の最先端を走っています。一方、月や火星など重力の強い天体への着陸は、JAXAはまだ行っていません。米国は数年おきに火星への着陸を成功させ、無人の探査機により惑星表面で縦横に研究活動を行っています。欧州も今年、火星着陸機の打上げを予定しています。各国は、巨額の費用を掛け惑星探査を競って行っています。これは、学術面のドライブを基礎として、各国の国際的プレゼンスの確保といった面もあると思います。

SLIMは、このような状況で、月の本格探査、火星へ行くための「さきがけ」として重要な使命があります。月への着陸は、「はやぶさ」の小惑星への着陸と本質的に異なっています。月の強い重力に抗して着陸するため、大きなエンジンを搭載し、そのエンジンの推力を調整しながら降下していき、表面に軟着陸をしなければなりません。

これからの惑星探査では、「降りたい所に降りる」のが必須となっていくと考えられています。月の表面は、混ざり物でできた砂状のレゴリス層で覆われています。JAXAの月周回衛星「かぐや」により、月面で着陸探査すべき対象は、これらの混ざり物に汚染されない岩石が顔を出す特別な場所、例えば特定のクレーター内にある特定の岩石や、クレーター中央丘に露出する地下岩盤と他相の岩相境界などの特殊地点に絞られています。そのため、大掛かりなローバーを使わずに科学的に意義の大きな成果を挙げるには、着陸地点は100mオーダーの精度が必要で、狙いを定めて降りるほど得られる成果が大きいとされています。つまり、アポロ時代の「大きなリソースを使ってとにかく降りてみる」とは違って、最近の惑星科学の急速な進展とより効率の良い探査を目指すことが相まって、着陸要求精度が質的に変わってきているということになります。SLIMによるピンポイント着陸の技術実証が大事な理由が、ここにあります。The big questionに答えていくには、宇宙工学の発展が決定的に重要です。

SLIMにより月の本格探査や惑星へのアクセスが可能となり、日本の宇宙開発は新しい局面を迎えます。宇宙研では、火星の衛星フォボスに着陸し、衛星の物質を収集し地球に帰還する火星衛星サンプルリターンミッション (Martian Moons Explorer : MMX) を進めています。現在、ミッションの検討が

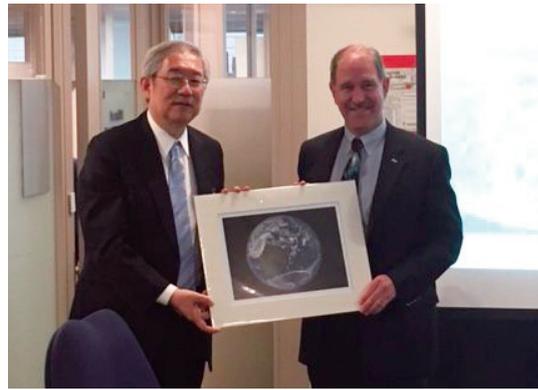


図2 John Grunsfeld NASA科学局長 (右) と筆者。
2015年11月、NASA本部にて。

急速に進んでいますが、探査機開発にNASAやESAの協力が得られる方向です。これからの宇宙研を取り巻く国際協力は、一段と進化したものになっていくでしょう (図2)。MMXは、火星の衛星の起源を解明するだけでなく、火星本体についても多くの知見を得ると期待されています。「地球は生命を誕生させることに成功し、金星や火星は失敗したのかもしれない。それはなぜなのだろうか?」に答えることにより、the big questionの答えに一步一步近づいていくことができます。

45年前、米国が人類を月に送った半年後、日本は、重さわずか24kgの人工衛星「おおすみ」を初めて軌道に乗せました。45年前の我が国と米国の技術格差は絶対に乗り越えられない壁と思えました。しかし、日本の科学者と技術者のたゆまぬ努力の結果、2010年、「はやぶさ」の地球帰還により、日本は世界に先駆けて小惑星サンプルリターン技術を確立しました。「はやぶさ」「はやぶさ2」に刺激を受け、NASAは小惑星サンプルリターン探査機OSIRIS-RExを打ち上げる予定で、今やOSIRIS-RExとの対等の協力が進んでいます。同様の状況は、天文学でも起きています。The big questionに答えていくには、天文学と惑星科学の垣根を越えて、大宇宙に存在する惑星・衛星の多様性と普遍性を探ることが重要になりつつあります。JAXAと宇宙研は、ほかの宇宙機関と共にその先陣に立っていきたいと考えています。JAXAと宇宙研、そして宇宙開発に携わる日本のすべての若者に大きな期待と希望を持って、新年のあいさつとさせていただきます。

(つねた・さく)

※1 コロナグラフ：恒星からの強い光をほぼ完全に打ち消して、系外惑星を直接撮像するための装置。高コントラスト撮像装置ともいう。

※2 トランジット法：惑星が星の前を通り過ると、一時的に星がわずかに暗くなったように観測される。その観測から、惑星の存在とその惑星の軌道についての多くの情報を得ることができる。

「はやぶさ2」地球スイングバイ成功！

小惑星探査機「はやぶさ2」は、2015年12月3日に地球スイングバイを実施しました。スイングバイの誘導目標は、地球最接近時に半径30kmの“鍵穴”に探査機を導くことでした。この鍵穴を通せば、「はやぶさ2」は小惑星リュウグウ(Ryugu)へ向かう軌道に遷移できるのです。

同様の軌道制御は2020年の地球帰還時に

おいても行われるので、我々は30kmでは満足せず、できるだけ鍵穴の中心を通すことを目指していました。

スイングバイのための最初の軌道修正は、実は化学推進系ではなく、イオンエンジン(IES)で実施しています。9月1～2日にかけて、IESを12時間稼働させました。IESの推力方向は太陽と直角の方向に限定されているので、どう誤差が出たとしても、ちょうどその方向に軌道修正が必要になるように、軌道計画にひと工夫加えました。IESを使う軌道設計は、いわゆる「非線形最適化問題」を解くのですが、ここではそれをわざと非最適化するのです。本当は1回の噴射で進めばいいところを、あえて“2段階右折”するようなものです。このIESによる軌道修正で、鍵穴に対する誤差は1万kmから400kmへ縮小しました。燃費の良いIESの出番を多くすることで、リュウグウ到着後に貴重となる化学推進燃料を節約できたわけです。

11月3日に、第1回の化学推進系による軌道修正(TCM-1)を実施しました。4回に分けて、合計4秒間の噴射を行いました。これにより、鍵穴に対する誤差は400kmから11kmへ縮小しました。第2回の軌道修正(TCM-2)は11月26日。これにより、誤差は11kmから3kmへ縮小しました。

スイングバイの運用は、探査機システムチーム、軌道計画チーム、軌道決定チーム、推進系、姿勢誘導制御系の緊密な連携のもとに成り立ちます。毎日のように航法誤差を再評価し、誘導計画に反映していく現場の空気は、とても張り詰めており、かつ活気のあるものでした。「はやぶさ」以来11年ぶりのスイングバイ運用をクールに決めると、プロジェクトメンバー全員燃えていましたし、深宇宙探査冥利に尽きるこの運用を、みな心底かみしめながら仕事を進めているようでした。

TCM-2で鍵穴の十分内側に誘導できたと確信し、12



12月3日、「はやぶさ2」地球スイングバイ後、管制室にて。

月1日に予定していたTCM-3はキャンセルしました。残っていた誤差3kmは鍵穴の大きさ30kmに対して十分小さいので、その3kmオフセットした点を通すことに決めたとわけです。スイングバイ後の評価で、この最終的に狙った点に対しての航法誤差は300mという高い精度であったことが確認されました。

このスイングバイでは、軌道制御の傍ら、多くの地球・月観測計画を入れ込みました。何しろ、「はやぶさ2」がリュウグウ以外で天体に接近できる唯一の機会です。サイエンス機器にとっては既知の天体でキャリブレーションできる絶好の機会ですし、アウトリーチとして「はやぶさ2」のことを広く知っていただく意味でも好機でした。

「はやぶさ」と異なり、今回のスイングバイ軌道は、天の北極側から南極へ深く抜ける軌道なので、地球・月系を観測するためには、探査機の姿勢をほぼ真横に倒さなければならない状態。姿勢を幾度も切り替えながら、軌道は乱さずスイングバイの精度を確保することに神経を使いました。

中間赤外カメラと近赤外分光計が地球・月の観測を成功させ、3基の光学航法カメラも地球・月の大変美しい画像を送ってきました(表紙)。また、LIDAR(光レーザー測距系)を使って、地球のレーザー局との間で光リンクの実験も行いました。天候依存の実験で、LIDARチームには忍耐の2ヶ月間でしたが、オーストラリアMt. Stromlo局との間のリンクに成功しました。

「はやぶさ2」の観測運用では、常にサイエンティストとエンジニアの共演(あるいは競演?)が光ります。近赤外分光計は、地球上の地域ごとの差異から較正データを得るために、深宇宙探査では聞き慣れない「オーストラリア指向」「南極指向」などの非常に細かい姿勢制御を行いました。これを実現したのは、近赤外分光計チームと探査機の軌道計画チーム、探査機システムチームです。光学航法カメラの角度を計算し、運用計画を立てたのは、カメラチームと探査機システムチームでした。極めて指向性の高いLIDARをオーストラリア局にぴったり向け続ける運用は、LIDARチームと軌道決定チーム、姿勢系チームの合作でした。「はやぶさ2」ならではの、理工共演の良いチームワークが、遣

憾なく発揮された場面といえるでしょう。

次に日本の探査機がスイングバイを行うのはいつになるのでしょうか。太陽系探査に欠かせないこの技術が使われる

機会が、もっともっとあれば願いながら、「はやぶさ2」は、第二ステージ、小惑星軌道遷移フェーズへ移行します。

(津田雄一)

「あかつき」の金星到着

2015年12月7日朝8時51分（日本時間）、宇宙研の金星探査機「あかつき」が金星に到着し、姿勢制御用のシステムを使って周回軌道への投入を試みました。4本の23N級スラスタがバランスよく探査機を速度を落としてくれた結果、「あかつき」は金星の衛星になりました。軌道制御後の「あかつき」は、金星周回周期約13日14時間、金星に最も近いところ（近金点）では高度約400km、金星から最も遠いところ（遠金点）では高度約44万kmの楕円軌道を、金星の自転と同じ方向に周回しています。原稿執筆現在（2015年12月15日）、探査機の状態は正常であることも確認されています。

周回軌道投入のオペレーションが成功することは、みんなが信じていましたが、実際その場では全員が緊張して探査機の状態変化を示すドップラーモニターを注視しておりました。指令電話では今村剛先生の読み上げる10秒ごとの噴射開始からのカウントと廣瀬史子主任が冷徹に読み上げるドップラーモニターからの推力の推定値だけが響いています。噴射が終盤にさしかかり、石井信明先生が「これで『あかつき』は周回軌道に入りました。R1c（コンティンジェンシープラン [緊急時対応計画] の呼び名）は行いません」と宣言しても緊張は解けませんでした。最後まで噴き切って探査機の各担当から異常なしの確認が取れたところで、一気にみんな立ち上がり握手攻めとなりました。立ち上がる直前に私から「我々はなすべきことをすべてやり終えたと思います。Our dreams will come true！皆さん、おめでとうございます」と申し上げたことを記憶しています。ちなみにこの言葉は、（ドリカムも意識しましたが）「あかつき」打上げ前にサンフランシスコの中華料理屋でフォーチュンクッキーを砕いたときに出てきた言葉「Your dream will come true when you least expect it.」から引用しました。

軌道投入4時間後からは観測機をONにして金星観測を始めました。5年間OFFにしてあったカメラ群ですが、熱や放射線による劣化もほとんどなくサイエンスに耐え得る精度の高い観測ができています。約7万kmの距離から画面いっぱい金星が現れたときには、当然ですが歓声が上がりました。と同時に、見たこともない温度分布に「何じゃこりゃ」と言ったのは私だけではありませんでした。昨年の宇宙理学委員会における年度評価では「慎重に観測機をONしていくんですね？」という質問に、「いいえ、淡々とスイッチを入れていきます」とお答えして（実際その通りのことをしたわけですが）ひんしゆくを買いました。本当は、金星にたどり着くまでに入念な準備と試験をしておりました。原稿執筆時には、中間赤外カメラ（LIR）、1μmカメラ（IR1）、紫外イメージャー（UVI）が続々と観測をしており、冷却の必要がある2μmカメラ（IR2）も無事画像データを地球に送ってきました（表紙）。

今回の周回軌道投入は、初めて日本がほかの惑星を回る人工衛星をつくり出したという意味で重要であり、日本の惑星科学が新たな領域に踏み出した意義があると考えます。とりわけ、一度失敗した探査機の周回軌道投入を5年を経た後に成功した背景には、皆さまの暖かい励ましとチームの努力がありました。責任者として良いチーム、良い理解者に恵まれたと思うこのごろです（報道などを見ると、私がチームをまとめ上げたような錯覚に陥りますが、本当はそうではありません。チームが“心を一つにして”取り組んだのです）。さらに、今回の成功のもっと深い意義は、日本が世界に向けて刻々と変化する惑星のデータを発信するレベルに到達したことであると考えています。これにより、日本は初めて太陽系探査を担う国として世界に認められるでしょう。あらためて皆さまにお礼を申し上げます。（中村正人）



「あかつき」を金星周回軌道に投入するための姿勢制御エンジンの噴射に成功し、管制室では拍手が起きた。

ESTEC Open DayでBepiColomboフライトモデル公開

日欧共同水星探査計画 BepiColomboは、JAXA の水星磁気圏探査機 (MMO) と ESA (欧州宇宙機関) の水星表面探査機 (MPO) を水星周回軌道に送り込み、太陽に最も近い灼熱の惑星を包括的に観測する挑戦的なミッションです。惑星間航行中は、MMO と MPO を水星まで運ぶための電気推進モジュール (MTM) も合わせ、だんご 3 兄弟の形状となります。

MMO は、JAXA 相模原キャンパスでの組み立て試験を終え、現在はオランダにある ESTEC (欧州宇宙研究技術センター) において、ESA 側モジュールとの結合試験の準備作業を続けています。その ESTEC で、2015 年 10 月 4 日、年に一度の一般公開イベント (Open Day) が開催され、BepiColombo 各モジュールのフライトモデルも公開されました。

今年は 1 万 2000 名限定の事前予約制とされましたが、6 月ごろから Web などでの宣伝が始められ、欧州の 4 名の宇宙飛行士の講演サイン会と BepiColombo フライトモデルの展示を目玉企画とし、予約は早々にいっぱいとなったようです。

フライトモデル展示に向けて、ESTEC スタッフの間では、探査機をどのように展示するか大議論となりました。探査機は温湿度および清浄度を管理したクリーンルーム内で製作・試験を行っています。探査機を見るにはセキュリティエリアに入る必要がありますが、多くの方を入れることはできません。そこで、見学用の窓をつくってしまおうということになりました。

公開前々日、窓の工事を実施しました。クリーンルームの隣の部屋は機材を搬入出するための開梱室で、壁一面の巨大なシャッターで仕切られています。そのシャッターを 2m ほど開け、大きなアクリル板をはめ込み、外気がクリーンルーム内に入らないよう周囲をゴムでシールしました。空気中の微粒子数を常時計測し、清浄度規格を超過しないことを確認しながらの作業です。探査機開発担当者が心配して見守る中、工事は無事に完了しました。その後、各探査機を見やすい位置に移動させ、床置き照明の設置を行い、クリーンルーム内の準備を完了しました。これで開梱室か



本番では披露できなかったブルーライトに浮かび上がる水星探査機。左から MPO、MTM、黒い保護カバー付きの八角柱形状が MMO。

ら水星探査機を見学できるようになりました。

公開前日、開梱室の整備を行いました。パーティションを並べて見学者の動線をつくり、並んでいる間に読めるよう説明パネルやポスターを張りました。配布用グッズも机に並べ、準備万端です。夕方、ESA Security Officer の確認を受けました。すると、さすがプロフェッショナルと感心したのですが、パーティショ

ンは倒れる危険があるので規制ロープに変更、見学者の流れをスムーズにするよう通路は入場側を狭く出場側を広くする、説明パネルとグッズは人の流れが停滞しないよう出口に置くなどの助言があり、夜までかかってレイアウト変更を行いました。

公開当日、早朝から最終確認、探査機をライトアップする照明スイッチオン。と、ここで問題が発生しました。本来はクリーンルームの天井灯を暗くして、床置きした青いライトが幻想的に探査機を浮かび上がらせるはずでした。前日の夜はとてもきれいに見えたのですが、日中の明るさの中ではアクリル板に外光が反射してクリーンルーム内が見にくくなってしまいます。仕方なくプランを変更し、苦心して設置した床置き照明の使用を諦め、天井灯を明るくして見ていただくことにしました。

10 時、開門です。探査機を見るための行列がどんどん長くなっていきます。あつという間に 30 分待ちの列ができていました。某テーマパークのように「10 分待ち」「20 分待ち」「30 分待ち」の看板をつくって立てました。水星探査機の説明は ESA から 3 名と JAXA から 1 名の計 4 名で対応しました。見学者は欧州中から来ているようで、さまざまな言語が聞こえます。説明者 4 名の前には質問を待つ人の列ができるほど関心を持っていただけました。配布用グッズは昼すぎにはなくなり、17 時の終了時間まで見学者が途切れることはありませんでした。水星探査への関心の高さを再確認し、スタッフ一同、ミッション成功への決意を新たにしました。

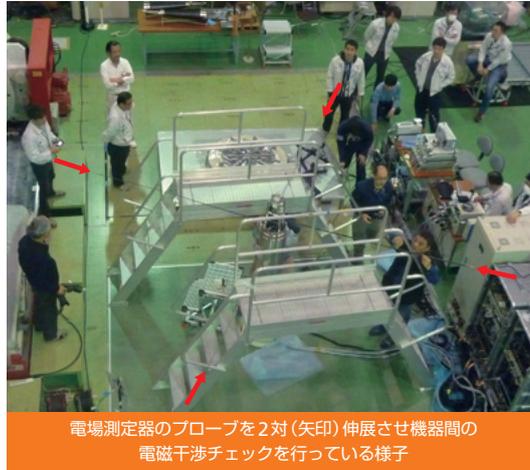
次に ESTEC Open Day に参加する機会があるならば、説明員ではなく見学者として回ってみたいと思います。

(前島弘則)

観測ロケットS-310-44号機噛合せ試験

電離圏Sq電流系中心に発生するプラズマ特異現象の解明を目指す観測ロケットS-310-44号機実験の噛合せ試験が、2015年12月初めからの約2週間、相模原キャンパスで行われました。Sq電流系とは、超高層大気の潮汐運動によるダイナモ作用によって電離圏下部に発生する大規模な渦電流のことです。大きなものは昼側の南北半球に各1個ずつ存在しますが、その中心には電子加熱やプラズマ密度擾乱をはじめとする特異な現象が存在しているという観測報告があり、その謎を解明することが本実験の目的です。

本来であれば、観測ロケットの噛合せ試験は構造機能試験棟を中心に行うのですが、今年はほかのプロジェクトが重要な試験に使用するため機械環境試験室を使用しました。機体やGSE（地上支援装置）の配置など、通常とは異なる使い勝手に実験班の方々は苦労されておりましたが、百戦錬磨の実験班員の努力により順調に作業は進められました。機器間の電磁的干渉など、“普通に”発生する問題は想定内でしたが、テレメータ立ち上げ時にフレー



電場測定器のプローブを2対(矢印)伸展させ機器間の電磁干渉チェックを行っている様子

ムがロックしない事象が多発したことは予想外の不具合でした。当初は対症療法で作業を進めたものの根本的な対策が必要ということで、対象の機器を機体から下ろして原因追究・改修後に再組み付けを実施、当初予定より多少遅れたものの梱包作業まで無事終了、ひとまず胸をなで下ろしたところです。

本実験で狙う現象の一つが、Sq電流系中心の電子加熱

現象です。それに重要な役割を果たしていると考えられるのが電離圏中の電場なのですが、その測定のために今回は3対のダブルプローブをロケットから伸展します。写真は、プローブを伸展させた状態で機器間の電磁干渉チェックを行う様子を示しています。地上ではプローブが重力のためにたわんでしまうので、ひもで支えながらデータの確認を行いました。S-310-44号機には電場測定器に加え、電子エネルギー分布測定器、プラズマ波動測定器などが搭載されますが、特異現象解明のための見事なデータを取得してくれるものと、実験班員は楽しみにしています。

(阿部琢美)

今月のキーワード

噛合せ試験～宇宙研独自の専門用語～

「ISAS事情」によく掲載される衛星やロケットの試験作業報告の中には、多くの専門用語が出てきます。例えば、GSE（Ground Support Equipment）は地上支援装置／設備のことですが、比較的一般用語に近いものです。GSEの具体的な例は、搭載機器をON/OFFする管制装置や、データを受信するテレメータ受信機、指令を送信するコマンド送信機などが該当します。

専門用語の中でも、「宇宙研用語」という特別なもの（方言のようなもの）がありますので、いくつか紹介しましょう。

衛星やロケットは打上げ前にさまざまな試験を行います。噛合せ試験という呼び名は宇宙研用語の最たるものでしょう。衛星やロケットを構成する機器や構造体は、いくつものメーカーが分担して製造します。それらを宇宙研に集め、組み立てながら機能確認することを噛合せ試

験と呼びます。一般的に「噛合せ」は、「ギアを噛み合わせる」や「論点を噛み合わせる」などと使いますが、構造的にも電氣的にもきちんと「噛み合った」状態にする目的のため、こう呼んでいます。

また、打上げ（ロケット点火）を1分前から点火直前の間に緊急中止したり、エンジン燃焼試験中に緊急停止したりすることを「エマスト」と言います。これはEmergency Stopの単なる略称なのですが、初めて聞く人には分かりにくい用語の代表格です。

ほかにも、打上げ作業期間中に「全打ち」というものがあります。これは、打上げ参加者全員が出席する打ち合わせのことで、比較的規模の小さい宇宙研の打上げ班編成だからこそ、全員参加が可能になるのです。

(竹前俊昭)

エンジニアリングとは人間がものを創る行為である。 学問とは真理をめぐる人間関係である。

後編

宇宙科学研究所 宇宙飛行工学研究系 教授 國中 均
宇宙探査イノベーションハブ ハブ長

宇宙工学研究の在り方について、宇宙探査イノベーションハブ長である國中 均教授より寄稿いただきました。先月号に引き続き、後編を掲載します。宇宙科学研究所の歴史を振り返りつつ、これからどのように研究を進めていくべきか、皆さまも一緒に考えていただければ幸いです。

電気ロケットの奮闘

日本で初めて電気ロケットの研究をされたのは、長友信人先生である。先生から頂いた講義録^{*1}によると、イオンエンジンやMPD（電磁加速）アークジェット、PPT（パルスプラズマスラスタ）を取り扱われ、マイクロ波スラスタにて博士論文を取得された。しかし、正式な論文としての出版はほんの一握りで、この経緯を知る方は少ない。現在の宇宙科学研究所工学にまん延する論文を書かない風潮は、どうも長友先生に由来するらしい。その後、工藤 勲氏（旧電子技術総合研究所）、中村嘉宏氏（旧航空宇宙技術研究所）、栗木恭一先生が刺激されて、各組織で電気ロケットが芽吹く。長友先生の活躍は電気ロケットのみにとどまらず、液酸液水ロケット、原子力ロケット、太陽発電衛星、SEPAC（粒子加速による人工オーロラ生成実験）、SFU（宇宙実験・観測フリーフライヤ）、宇宙旅行、宇宙農業など、次から次へと未来に向けた研究に着手し、多くの後進を奮い立たせた。

粘性流方程式は電磁流のそれと類似性があるので、多くの流体研究者はプラズマに興味を抱いていた。栗木先生は、谷 一郎先生に勧められて電磁プラズマ加速装置、MPDアークジェットの研究開発を進められ、1995年のSFUを用いた宇宙試験にまでたどり着いた。この技術開発で判明した事実は、MPDアークジェットは1 MWを作動レンジとしており、小型探査機の主推進としてはどうしても成立できないということ。時を同じくして、M-Vロケットを完成させて、いよいよ地球周回を離れ深宇宙に進出しようという機運が高まる。ロケットの大型化に頼らず、さらに到達距離を伸展させるには、探査機搭載推進器を高性能化するほかない。そこがまさに電気ロケットの出番なのだ。栗木先生はここに照準を合わせ、1 kW級のDC（直流）アークジェットとイオンエンジンをラインアップさせることを目標とした。特にイオンエンジンに関しては、欧米とは技術的に一線を画してマイクロ波

放電による無電極化にて長寿命・高信頼を図るとともに、省力化のためにマイクロ波源1台でイオン源と中和器へ同時に給電できないかと課題を出された。1989年に初めて試作したYoshino 1号エンジンは、実験室の小さな真空容器の中で、プラズマ生成性能こそ低いものの栗木先生の課題を見事に実証してみせた。翌年以降のYoshino 2号、3号モデルは着実に性能を向上させていった。機器の研究開発と並行し、ミッション獲得を熱心に行ったが、質量・性能・信頼性・開発費の制約により冷淡な扱いを受けた。これに乗り遅れると一生出番がなくなるとの切迫感から、背水の陣でMUSES-Cに挑戦する。これ以降の経緯は参考文献2を参照されたい。

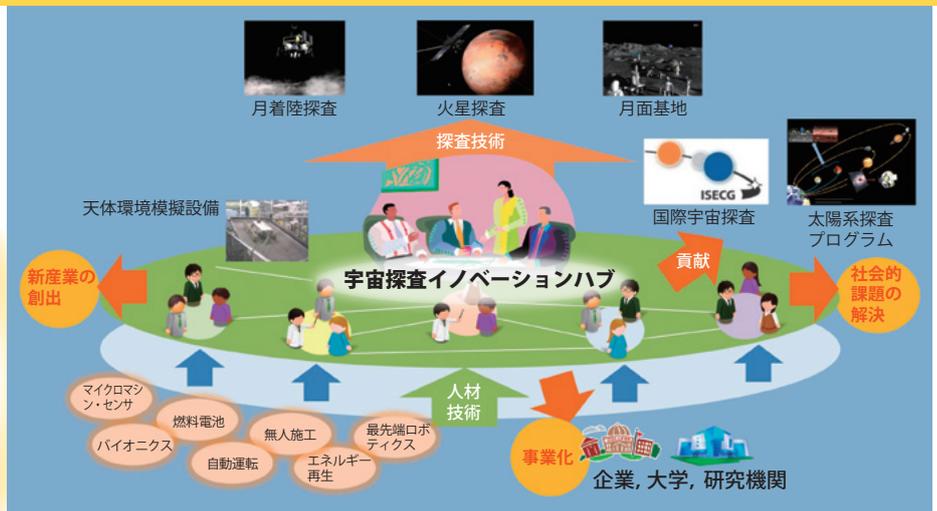
MUSES-C改め小惑星探査機「はやぶさ」は、2003年にM-Vロケット5号機にて深宇宙に投入され、紆余曲折を経て2010年地球帰還を果たした。「おおすみ」のころ、米国にはるか遅れて後塵を拝したけれど、全領域とは言わないまでも「小惑星サンプルリターン観測法」という狭小だが新機軸の分野を「はやぶさ」にて開拓した。マイクロ波放電式イオンエンジンとM-Vロケットを組み合わせた日本独自のイノベーションで、世界最小の深宇宙輸送システムであっても、米欧口に対抗できることを示した。このような「日本発のイノベーション」でますますGame Changeして世界の度肝を抜こうではないか。

宇宙工学の精神

学問や技術開発・イノベーションのライフサイクルを「波」に例えてみたい。当初は夢の技術であったものが技術開発により事物として形になり、現場で実証され、使いこなされて汎用化して、そして身の回りの普通のローテクに変わる。谷先生は層流乱流研究で大きな波をつくられた。糸川英夫先生は固体ロケット技術で波を起こし、後進が大波に成長させた。長友先生はたくさんの小波を起こし、それに刺激された仲間たちが液酸液水ロケット、

宇宙探査イノベーションハブ事業の概念

ハブ機構は、JAXA外の人材・技術・課題・費用を取り込み、研究開発を行う。ここで得た新技術をJAXAは宇宙探査に発展させ、一方、参加組織は地上に波及させて新産業・ソリューション・イノベーションを興す。



電気ロケット、SEFAC、SFUを実現させ、そのほかの波も成長の最中だ。

百戦錬磨の敏腕な研究者だって、その課題の重要性や解決手法がすぐさま分かるわけではない。優秀な先生と巡り会い影響を受けて、多くの人と議論し、信頼の置ける仲間を得て、ライバルと切磋琢磨しながら、枝葉を切り落とし真理真髄を徐々にあらわにさせるのだ。私が、素晴らしい諸先生に巡り会い、先輩らの指導を受け、よき同僚に恵まれ助けてもらい、後輩たちの献身的な尽力で、今まで生き永らえていることが、まさにその証拠である。このような、偶然の出会いを見逃さず予想外のものを見出す感覚をセレンディピティー (serendipity) とか、物理学的知見をもとにして技術的に実現させる能力をエンジニアリング・センスと言うことを、ごく最近、栗木先生から教えてもらった。長友先生は最終講義^{※1}で、「エンジニアリングとは人間がものを創る行為である。学問とは真理をめぐる人間関係である」と述べられた。本稿のタイトルは、長友先生の言を借用させていただいた。工学者が30年の計で夢の技術を形にしてその成否や真価を世に問う、という活動に議論の余地はなからう。先月号で説明した組織の沿革に伴う経験や反省を踏まえた上で、これからも日本のお手本となりイノベーションを巻き起こし、世界を先導しながら宇宙事業を遂行することに迷いはないはずだ。「はやぶさ」が帰ってきたとき、世界中が喜んでくれて、思いもかけず映画が三つも四つも出来上がった。「はやぶさ」は、宇宙業界やアカデミアが取りがちな内向性を飛び出して、日本中、世界中から支持された。皆が応援してくれたおかげで、「はやぶさ」地球帰還から5年後には「はやぶさ2」が宇宙に復帰し、次の新たな小惑星を目指し航海している。長友先生のご遺志の後半は、決して学問分野にだけとどまるものでない。

さて、本年度から新たに「宇宙探査イノベーションハブ」事業を興した(図)。JAXAは、地球周辺を飛び出して、月・小惑星・火星を人類の活動領域として取り込む「宇

宙探査」を将来の新たな事業の支柱として捉えている。民間企業と共同で宇宙探査に資する技術を開発し、JAXAは効率的に宇宙探査を進めたい。一方、ここで培われた技術を適正に地上に還元し、地上活動・ビジネスとしてイノベーションをもたらすことを標榜している。これまでのJAXAのJAXAによるJAXAのための宇宙開発ではなく、日本全体に資する技術開発を目指す。「ハブ」の言葉が示すように、この新たな施策や仕組みが、技術や人や費用が交流するネットワークの要となることを期待している。年間10件の規模で民間企業との共同開発を行い、「宇宙探査発のイノベーション」を興すべく、たくさんの「波」を宇宙と地上に発生させたい。相模原キャンパスを拠点に活動を拡大させる計画なので、お見知りおきを。

最後に個人的なことを言わせてほしい。栗木先生と長友先生は米国航空宇宙学会 (AIAA) Fellow 会員であり、谷先生は最高位の Honorary Fellow 会員でいらっしゃる。こんな私でも、きっと努力すれば先達に肩を並べることができるに違いないと、ここまで研究・開発・学術・教育・実証・プロジェクトに挑戦してきた。2012年に栗木先生をはじめ欧米の同僚に推挙され、念願かない AIAA Fellow 会員になることができた^{※3}。これは私の大切な勲章である。

なお、本稿はダイジェスト版であり、全文をホームページ (<http://www.isas.jaxa.jp/j/isasnews/special/2015/kuninaka/index.shtml>) に掲載する。ぜひ全文を読んでもらいたい。(くになか・ひとし)

参考文献

- ※1 長友信人「宇宙工学特論第1」, 1996年度東京大学大学院冬学期講義録, 1996年10月
- ※2 國中均, 西山和孝, 清水幸夫, 都木恭一郎, 川口淳一郎, 上杉邦憲「小惑星探査機『はやぶさ』搭載マイクロ波放電式イオンエンジンの初期運用」, 日本航空宇宙学会論文集, Vol.52 No.602 pp.129-134, 2004年
- ※3 國中均「東奔西走: Up in the Air」, 『ISAS ニュース』2012年7月号 (No.376)

