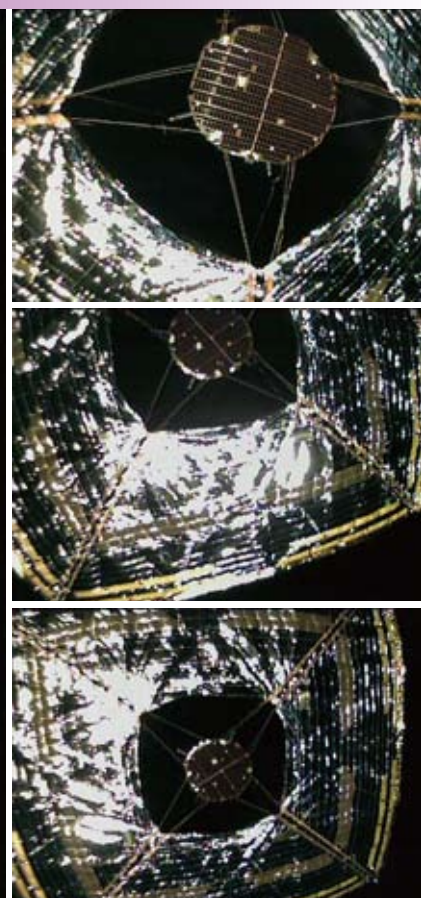




分離カメラが撮影した小型ソーラー電力セイル実証機「IKAROS」。深宇宙でカメラを本体から分離させ、探査機自身の全体写真を撮像したのは世界初。

宇宙科学最前線

ブラックホールの美

Gandhi Poshak

JAXA国際ナショナルトップヤングフェロー
高エネルギー天文学研究系

イギリスの詩人バイロン卿は、「真実は小説よりも奇なり」と言った。宇宙には、気が遠くなるようなスケールの現象や幻惑的な美しさを持つ光景、人類の想像を絶する爆発的な力が存在する。しかし、そのどれよりも不思議なのはブラックホールである。時空を無限に湾曲させるほどの大きな重力と、迷い込んできたすべての物質や光さえも飲み込む食欲さを考えれば、ブラックホールが死や破壊を連想させるのも無理はない。

しかし、ここ数十年の発見により、ブラックホールに対する我々の考え方は完全に覆されてしまった。今では、誕生と進化が破壊的な力と密接に結び付いていることが分かっている。また、ブラックホール近傍で輻射やエネルギーがこれまで知られていなかった過程で生成されること、ブラックホールの巨

大な力によってのみ可能となる美しい過程も明らかになっている。ここでは、そうしたブラックホールに対する新たな描像を簡単に紹介したい。

超高速で変動するブラックホールの明るさ

太陽よりはるかに大きな質量を持つ星が核融合によって水素やその他の元素を消費し尽くしてしまうと、後には暗くて非常に重く小さい物体が残る。これがブラックホールである。しかし、そもそも暗黒の宇宙空間で「黒い物体」をどうすれば見つけれられるのだろうか。非常に重くて小さいというブラックホールの性質そのもののために、上手に観測を行うと、そのすぐ近くが「見えて」くることが分かったのである。

第一に、ブラックホールは重力がとてつもなく強

図1 チリの超大型望遠鏡の前で小さく見える筆者



図2 ブラックホールにおける高速フレア
伴星の表面からガスをはぎ取るのに十分なほど強い重力を持った銀河系のブラックホールを長時間観察した場合における2つの「瞬間」を示している。左図では、ブラックホールの円盤とジェットは非常に明るく、右図ではその明るさは約3分の1である。イラストは想像図であり、実際の明るさの測定結果は下のグラフに示した。ブラックホールの明るさは、1/20秒という短時間のバーストやスパイクで劇的に変動する。

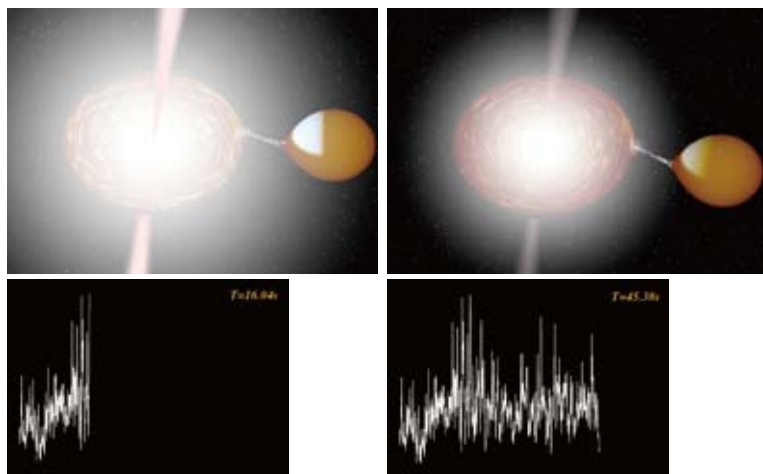
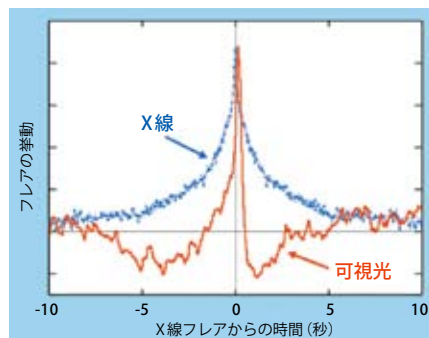


図3 ブラックホール天体GX339-4から1秒より短い時間分解能で得られた可視光とX線の強度変動パターン
X線の発光(青線)は、単純で幅広いピークを形づくり、数秒にわたるなだらかな下降を示している。可視光(赤線)は、X線がピークを示した直後(0.15秒後)に非常に速い閃光を放ち、わずかな間に下降している。これは、可視光の閃光がX線に比べ、わずかな間しか続かないことを示す。こうした一連の現象は、何時間にもわたる観測中に繰り返し認められ、図はそれらを多数重ねたものである。



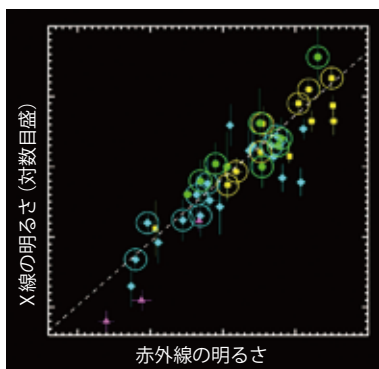
高速フレアを発見した。ある特異なケースでは、ブラックホールの明るさがわずか1/20秒で2倍になった(図2)。太陽の明るさがこれほど急激に変化すれば、地球上の生命に壊滅的な影響をもたらすだろう。このような急激な変化は、可視光の放射領域が非常に小さく、ブラックホールの近くにある場合にのみ起こり得るものである。一般に、ブラックホール周辺の温度は非常に高く可視光を発生しにくいと考えられているため、これは意外な結果であった。

しかし、最も重要な発見はこれからである。我々はNASAのX線衛星と共同観測を行った。可視光とX線のデータを組み合わせたと、両者の間に興味深い関係が見つかった。ブラックホールからのX線強度が増加すると、可視光の強度は逆に減少するのである(図3)。しかし、X線がピークに達すると、可視光強度は突然増加し、鋭いスパイクを生じる。可視光はX線に対し、1/6秒という非常に短い時間だけ遅れているのである。この興味深い相関の原因は何だろうか。ブラックホールから放出される高温プラズマのジェットが関係しているのかもしれない。このプラズマは光速に近い速度で移動し、太陽1000個分に相当するエネルギーを持ち、そのエネルギーの放出を我々が可視光の急速な点滅として観測している可能性がある。現在では、ブラックホール近傍で大きなエネルギーを持つプラズマの挙動を、光やX線の変動パターンから詳しく探ることができる。ブラックホールを直接見なくてもこれほどまで詳細に知ることができるということを考えてみていただきたい。これこそが科学的手法の力である。

超大質量ブラックホール： シャーロック・ホームズにうってつけ

これらのブラックホールが猛烈な存在であることは確かであるが、宇宙の真の怪物であるいわゆる「超大質量ブラックホール」の前ではその存在も色あせてしまう。超大質量ブラックホールは大きな銀河の中心には必ず存在し、その名前が示すように、いずれも太陽の100万～100億倍の重さがある。我々の銀河系にも、太陽の約300万倍の質量を持つ超大質量ブラックホールが存在する。多くの銀河では、これらの超大質量ブラックホールはガスに取り囲まれており、そのガスは高温で明るく輝いた後ブラックホールに落ち込む運命にある。驚くべきことに、これらのブラックホールと、ブラックホールを擁する銀河との間には密接な関係があり、ブラックホールの質量は銀河の質量に忠実に比例している。これがなぜ驚くべきことなのか。それは、我々の太陽系よりも小さいブラックホールが、何らかの方法でその100万倍以上も大きい銀河の存在を知っていることになるからである。どうしてこういうこと

図4 近傍銀河の中心にある超大質量ブラックホールのX線および赤外線固有光度異なる色と円は、我々の視線方向に対するガスの分布の違いに対応している。あらゆる種類のブラックホールが単一の相関に精度よく従っており、ダストやガスの降着雲の性質を理解する上で重要な手掛かりとなる。



が起るのかは、現在のブラックホール研究のホットな話題の一つになっている。

この研究での重要な課題の一つは、桁違いに大きな銀河から降着物質がその中心に向かってどのように流れているのかを明らかにすることである。物質は川のように流れているのか、それとも近づき過ぎた星全体が引き裂かれ、ブラックホールに丸ごとのみ込まれるのか。これを明らかにするには、ブラックホールのまわりの環境を「分解」することが必要になる。特に、ブラックホールとそれを取り巻く星々とを区別できなければならない。銀河は極めて遠方にあるため、これは容易なことではない。ロンドンにある車の2つのヘッドライトの光を約1万km離れた東京から見て分離する場合を想像してみたい。超大質量ブラックホールの環境を決定するために我々が試みているのは、まさにそういうことなのである。しかし、世界の最大級の望遠鏡のおかげで、我々は着実にこの目標に近づきつつある。

天文学者であることの役得の一つは、自由に異境の地を訪れることができる点である。私にとって、南米のチリにあるヨーロッパ南天天文台の超大型望遠鏡VLT(Very Large Telescope)で仕事ができたことは幸運であった。口径8mの巨大な主鏡を持つこの望遠鏡は、ブラックホールを研究するために私が今使っている、ハワイにある日本のすばる望遠鏡の南半球版に当たる。VLTは、地球上で最も乾燥した場所の一つであるアタカマ砂漠に設置されている。澄み切った砂漠の夜空の下で眺めた何千もの星々は、本当に感動的だった。

私はチームを率いて、(天文学的には非常に近い距離である)約1億光年ほどの距離にある多数の銀河で、明るい超大質量ブラックホールを観測した。我々は赤外線を検出できる最新のカメラを使用した。これは低温のガスやダストなどの降着雲は強力な赤外線を出すからである。同時に、分解能に優れた望遠鏡によって銀河の星々とブラックホールへの降着ガスを識別することも可能になり、これらの天体の固有の光度を初めて正確に測定することができた。最も暗いブラックホールでも、太陽3億個分のエネルギーを放出していた。それにしても、このよ

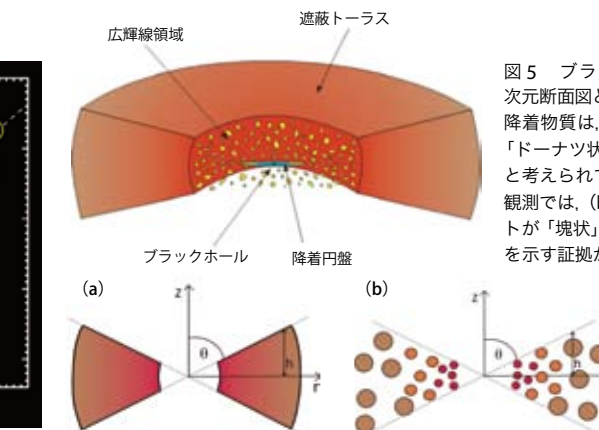


図5 ブラックホール近傍の3次元断面図と降着物質の分布
降着物質は、(a)に示すように「ドーナツ状」に一樣に分布すると考えられていた。我々の新たな観測では、(b)に示すようにダストが「塊状」に分布していることを示す証拠が得られた。

うな驚異的なエネルギーを発生させるメカニズムとはいかなるものであろうか。

図4に示すように、観測したブラックホールからの赤外線とX線を比較すると、重要なことが分かる。この2つの波長帯で放出されるエネルギーの間には非常に密接な関係がある。上で述べたように、X線はブラックホールに非常に近い最も高温の内縁付近で発生する。非常に高温のオープンから放出される熱と同様、この放射光は周囲のガスを照らし、一番内側のガスを1000度まで加熱する。そのため、必然的に赤外線を放出することになる。

このような物理的相関関係には多くのヒントが含まれており、ブラックホールの秘密のすべてを解き明かすには、名探偵シャーロック・ホームズと同様、我々もそれらのヒントをどれ一つとして見逃してはならない。例えば、X線と赤外線が非常に密接な関係にあるという事実は、降着ガスそのものの性質を我々に教えてくれる。降着ガスが一様に厚い場合、最も高温の内側の雲を見ることはできず、X線光度にかかわらず赤外線では暗くなってしまうだろう。従って、無作為に抽出した多数の銀河のサンプルにおいては、赤外線とX線のエネルギー比が大きく異なることが予想される。しかし、図4は全体にわたって赤外線とX線の比が一定であることを示している。このことは、一様に厚い雲で覆われているのではなく、雲と雲の間にいくつかのすき間や穴が存在し、そのために最も内側の高温領域が常に観測可能になっているのだとすれば説明がつく。雲が塊状に分布すること(図5)は何年も前から予測されてきたが、我々の新たな観測によってその存在を示す初めての確かな証拠が得られた。

結び

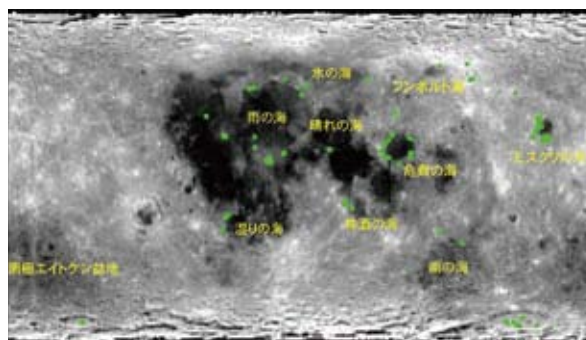
我々はブラックホールの研究で大きく前進しているが、この分野はいまだ未熟でなすべきことが多く残されている。ブラックホールは一般には「怪物」のようなものと考えられているが、私にとっては、宇宙のほかのいかなる場所でも目にするのできない現象をもたらすことのできる非常に美しい存在である。(ガンディ・ボシャク、日本語訳：堂谷忠靖)

「かぐや」搭載スペクトルプロファイラによる最新成果発表

国立環境研究所の山本聡さん主著の、月周回衛星「かぐや (SELENE)」データ関連研究成果論文が、『Nature Geoscience』誌に掲載発表されました(英語題目“Possible mantle origin of olivine around lunar impact basins detected by SELENE”)。本研究は、主に「かぐや」搭載スペクトルプロファイラ(Spectral Profiler, 以下SP)のデータの解析から得られました。

開発当初、SPについては多くのことがいわれました。「こんなもので新しいことなど出るわけない」とか「ハイパー(水平2次元分布でそれぞれの観測点について分光データを取ることができる)機器にしなければ意味がない。SPなんて“簡単なもの”で済ますべきではない」という声もありました。しかしPIである松永恒雄さん(国立環境研究所)が理解し、覚悟していたように、開発では多くの困難がありました。開発終了間際でも問題は多発し、打上げ時期が迫る中いつも針のむしろに座っている気分だったことなど、今から思えば良い思い出……とは、とうていまだに思えません。苦勞して打上げにこぎ着けたSPが送ってきてくれたデータから、こうして重要な科学的知見につながる解析結果が出せたことを、今は月にいるSPに報告でき、うれしい限りです。

「かぐや」の成果を一言で言うと、「過去のデータによる月の研究には、再度根本的に見直されるべきものが多いことを明らかにしたこと」だと私は思っています。例えば、今回の成果に関していえば、クレメンタイン衛星のデータ解析からカンラン



スペクトルプロファイラ(SP)で初めて明らかになったカンラン石に富む領域の月全球分布(緑点)。カンラン石に富む領域は、地殻の薄い巨大衝突盆地のまわりに限られていることなどが明らかにされ、これらカンラン石は月のマントル起源である可能性が高い。

石が存在するとされていた場所のいくつかで、SPデータの解析から、その存在が否定されました。今、自前で取得したデータを解析し思うのは、「過去においてはそれなりの技術限界があり、一見確実なようなことでもかなり憶測でいわれていたことも多いのだな」ということです。月には、未知のことが多いということを、あらためて実感しています。

論文の解説記事は、『ISASニュース』9月号の「宇宙科学最前線」にて掲載される予定です。この成果は、月のマントルの組成や生成に関して今後研究の発展をもたらすとして、海外の月科学の第一線を張る研究者の方々からも、高い評価を受けています。お楽しみに。(春山純一)

「あかつき」世界初のセラミックスラスタによる軌道変更に成功

5月21日、種子島宇宙センターからH-IIAロケット17号機で打ち上げられた金星探査機「あかつき」は、現在金星に向かって順調に飛行を続けています。7月6日には遠日点を通過し、これまで熱・電力の観点から寒くてひもじい思いをしてきた「あかつき」も、これからはおなかいっぱい発電しながら常夏の金星に向かいます。

「あかつき」には、金星軌道へ投入するために新規に開発されたメインエンジンが搭載されています。燃料としてヒドラジンを、酸化剤としてMON-3を使用する2液式の500N級軌道変換エンジン(Orbit Maneuvering Engine: OME)です。従来、このクラスのスラスタには金属製燃焼器



地上燃焼試験中のセラミックスラスタ

が用いられてきましたが、高温の燃焼ガスに耐えられるように高融点金属を使用し、燃焼器自体が酸化剤に腐食されないために耐酸化コーティングを行う工程が必要です。さらにそれらはすべて海外技術であるため、開発期間が長くなるだけでなく、コアとなる技術がブラックボックスに包まれていました。そこで、材料として耐酸化性があるだけでなく、高融点金属より耐熱性があり、コスト面や品質管理および将来的な性能向上を期待

して、国産技術である窒化ケイ素(Si_3N_4)を使用したセラミックスラスタを新規に開発しました。

セラミックスラスタはより高温にも耐えられることから、将

来的には、これまで燃焼器の冷却のために壁面に流していた燃料を削減できるなど、さらなる高性能化が期待できます。

6月28日、「あかつき」は金星への接近条件を調整する軌道調整噴射を実施しました。世界初のセラミックスラスタによる軌道変更です。この日の運用は、黄道面垂直方向に13秒間噴射して、ほぼ計画通りの約12m/sの速度修正が確認されました。

次はいよいよ「あかつき」を金星軌道に投入するために行う逆噴射で、12月に予定されています。そこで、およそ700秒の長秒時燃焼を行って金星周回軌道に投入します。貴重な観測データを取得するために金星周回軌道へ入れる最後の大仕事です。まだ約4ヶ月ありますが、万全を期すためにこれからも気を抜かず運用していきます。(中塚潤一)

「IKAROS」航宇日誌 その2

前回の日誌で順調に航宇中の小型ソーラー電力セイル実証機「IKAROS」の様子を報告しました。その後、定常運用に入り、現在も順調に深宇宙を進んでいます。すでに地球からは2500万km以上離れた「IKAROS」は、さまざまな結果や成果を出しています。今回の日誌を見てみましょう。

■6月27日(出航後37日) 宇宙塵衝突データ候補の検出開始

宇宙空間でのダスト計測・捕集は、半世紀もの歴史がある惑星探査の老舗分野ですが、「IKAROS」セイル膜に貼られた大面積のPVDFセンサアレイ「ALADDIN」は、日本初の深宇宙ダスト計測器です。22日に電源を入れた後、全チャンネルの感度や探査機由来のノイズなどを確認し、この日から待ち受けモードに入り、ダスト衝突らしきデータの連続取得を始めました。太陽距離と宇宙塵の分布の関係を探るのが目標の一つです。(矢野 創)

■6月28日(出航後38日) 定常運用に移行

「IKAROS」はセイル展開と薄膜太陽電池による発電のミニマムサクセスを達成した後、2台の分離カメラによる撮影に成功し、すべてのオプション機器を無事立ち上げました。本日からいよいよソーラーセイルによる加速実証、航行技術の獲得というフルサクセスミッションに着手します。世界初の宇宙ヨットの旅はここからが本番です。オプション機器による観測・実験も開始しており、成果を着実に出して、こまめに発表していきたいと思えます。(森 治)

■7月1日(出航後41日) 初VLBI実験

本日はVLBIの実験をし、臼田局と筑波局とで「IKAROS」として最初のVLBI観測量を得ました。1860年6月23日、坂本龍馬の師・勝海舟が率いた咸臨丸が日本の船として初めて太平洋往復に成功し帰還したとき、過酷な航海で測位に使われたのが六分儀です。天球に輝く星を観測し自らの位置を知ることができました。2010年6月25日、150年の時を経て、航宇時代の六分儀「VLBI」に初めて電源が入りました。VLBIとは、複数の地上アンテナで天球に輝く電波星と宇宙船を交互に観測し、宇宙船の天球面上の位置を測る技術です。今回は2局でVLBI実験を行いましたが、今後は多くの海外局との間で計測が予定されています。(竹内 央)

■7月7日(出航後47日) ガンマ線バースト検出

地球では七夕の今日、「IKAROS」として初めてのガンマ線バースト検出に成功しました。「IKAROS」の反太陽面には、金沢大学、山形大学、理化学研究所が開発したGAPという観測装置が搭載されていて、宇宙最大の爆発現象ガンマ線バーストを観測しています。ガンマ線の偏光を測定できる新しいコンセプトの装置で、どのようにエネルギーを解放しているのかを突き止めることが目的です。出航からちょうど1ヶ月後の6月21日に電源を入れ、本日、初のバーストを検出しました。次の目標は週に1発程度の頻度でバーストを検出し、世界初の偏光検出を実現することです。(金沢大学 米徳大輔)

■7月9日(出航後49日) 光子加速を確認

「IKAROS」はセイル展開が完了した直後から、ドップラーレートの変化が観測され、光圧加速が開始されたことが確認されました。光圧による推力は1.1mN。ソーラーセイルとして設計通りの加速を得られることが確認できました。軌道決定がそのままソーラーセイル性能の評価につながる「IKAROS」では、頻繁に測距をして軌道決定データを集めています。ソーラーセイル機の航法と誘導。この新しい技術への挑戦を続けていきます。

(津田雄一)

■7月23日(出航後63日) 液晶デバイスによる姿勢制御成功

液晶デバイスは、反射特性を電気的に制御することによって、太陽光圧を利用して姿勢制御する薄膜状のデバイスです。燃料を用いずに姿勢制御する技術は、「IKAROS」のようなスピニング型ソーラーセイルにとって、航行時間の制約を緩和する非常に重要な技術です。6月19日に分離カメラからの画像でON/OFFの状態の「目視」確認に成功した後、徐々に連続稼働時間を長くしながら、姿勢制御実験を繰り返してきました。本日、ついに約24時間の連続稼働を達成し、想定通りの姿勢制御に成功しました。(船瀬 龍)

7月27日現在、ミッション機器の実験を行いながらフルサクセスに向けた航宇を続けていて、約1ヶ月半後には「IKAROS」の姿勢と地球との関係で通信が困難になる時期が来ます。この山場を越えると、いよいよソーラーセイル探査機として初めての地球外惑星、金星に向かって舵を取ります。次回の航宇日誌をお楽しみに。(澤田弘崇)

「はやぶさ」サンプルコンテナの帰還

宇宙を旅した小惑星探査機「はやぶさ」のサンプルコンテナが、カプセルのヒートシールドやパラシュートとともに相模原のキャンパスに戻ってきました。6月18日の早い時刻でしたが、報道陣が列をなして出迎える中、試料の受け入れ・処理・保管を行うキュレーション設備に運び込まれました。宇宙でふたを閉められ、小惑星イトカワ表層の砂粒や塵が入っているかもしれないコンテナは、通関や検疫手続きのために中

を確認することはできないので、変則的な手続きをしてもらっています。豪州の検疫官がウーメラで封をした中箱のふたをクリーンルーム内で開けるときには川口淳一郎プロジェクトマネージャに立ち会っていただき、コンテナの帰国後最初の姿を見ていただきました。川口先生にとって、コンテナとの再会は打上げ以来でした。

コンテナはいくつかのチェックと処置の後、X線CT撮像のため調布飛行場分室に移送されました。複合材料グループの協力によって大型CT装置で内部を調査した結果、電気ボックスカバーやサンブラアプレータを外す作業を実施できることが確認されました。次に相模原のクリーンルーム内の工作機械も使ってそれらを取り外して単体のコンテナとし、再度CT撮像を行ってふた開封作業を予定手順で実施できることを確認しました。コンテナ外側を何種類もの方法で清掃し、十分に清浄になったことを確かめた後にふた開封機構装置に組み込み、クリーンチャンバーに取り付けました。これでコンテナの周囲が制御されたガス環境になるので安心です。

コンテナはOリングと呼ばれるゴムで真空シールされています。しかし実は、このOリングはほんの少しですがガスを透過するので、長く大気中に置くと地球大気がだんだんと入り込んでいきます。イトカワサンプルから出たガスがコンテナ内にあっても、時間がたつと、染み込む地球大気のために区別がつかなくなります。そのためカプセルの地球帰還からは時間との競争で、国内到着からクリーンチャンバー内に設置するまでは連続作業でした。



コンテナふた開封直後のクリーンチャンバー第1室前での集合写真（キュレーションメンバーとNASA関係者）。コンテナはクリーンチャンバー第1室で開封された。コンテナ容器はその後、左側のエリアに移動され、観察と写真撮影が行われた。コンテナ容器から取り出された試料容器は右奥のクリーンチャンバー第2室に移動され、内部の観察と試料粒子回収作業が実施されている。

クリーンチャンバー内でふた開封機構装置を使ってコンテナの内部ガス圧を推定した後、コンテナを開封してガスサンプルを採取しました。その後、コンテナ容器はクリーンチャンバー内の別の場所に移動され、写真撮影や光学顕微鏡観察を実施しました。これと並行してサンプル容器については観察と試料回収を開始しました。サンプル容器は2部屋構成ですが、A室と呼んでいる部屋について観察と回収の作業を行っています。

ステージにサンプル容器をセットし、容器の開口部からの光学顕微鏡観察と2本のマニピュレータプローブによる試料回収など、あらかじめ決めてある手順に従っての観察・回収作業を進めています。回収粒子はサンプル容器のどこにあったか分かるように記録され、番号を付けて保管されます。

今までのキュレーション作業では、事前に準備した装置（例えば、ふた開封機構装置や静電制御型マイクロマニピュレータ装置）などはそのほとんどすべてが想定通りに稼働し、ほぼ予定の手順に沿って作業を進めることができています。これはコンテナが破損することなく予定通り回収されたことに大きく依存しますが、非常に幸運であったと思っています。今後、一部の回収粒子の形や元素組成について、試料汚染防止の工夫がされた走査電子顕微鏡で調べることも行っていきます。回収粒子が地球外物質であると結論を出すにはさらなる総合的な分析結果を待つ必要があるので、地球外物質の有無が分かるまでには、まだしばらく時間がかかると思います。帰ってきたカプセルに入っている粒子には地球起源のものもあるでしょうが、イトカワのものがあつた場合にそれを見落とすことなく、失うことなく、また極力地球環境で汚染することなく回収・保管できるように、慎重に作業を進める必要があります。キュレーション設備の特殊な装置を運用リハーサルなどによって使いこなせるようになった東北大学、茨城大学、九州大学の3名の研究者にJAXAのキュレーション設備の5名を加えた、8名のキュレーションメンバーで実作業を行っています。（藤村彰夫）

「あかつき」「IKAROS」「はやぶさ」の同時運用

2010年5月21日（日本時間、以下同）、H-II Aロケット17号機によって金星探査機「あかつき」と小型ソーラー電力セイル実証機「IKAROS」は種子島宇宙センターから打ち上げられました。当初の打上げ予定は18日でした。悪天候のため21日に延期になりましたが、関係者の祈りが通じ、当日は予定通りの時刻に打ち上げられました。同日、「あかつき」の電波が内之浦宇宙空間観測所34m局(USC34)にて、「IKAROS」の電波が白田宇宙空間観測所64m局(UDSC64)にてそれぞれ受信され、両探査機の健全性が確認されました。

「あかつき」と「IKAROS」の運用が続く中、6月13日に小惑星探査機「はやぶさ」はカプセルを分離、大気圏に突入し、見事に地球への帰還を果たしました。同日、カプセル本体はオーストラリア・ウーメラ予定区域内で目視により発見されています。

これら3つの探査機の活躍を支えた2つの地上運用局、USC34とUDSC64に焦点を当て、「あかつき」「IKAROS」「はやぶさ」同時運用について紹介します。

JAXAが保有する地上運用局のうち深宇宙探査機を運用できるのは、USC34とUDSC64だけです。探査機は可視時間においては地上運用局での運用を要求しますが、使用できる地上運用局には限りがあり、「あかつき」「IKAROS」「はやぶさ」の場合は可視時間が重なったことから、USC34とUDSC64の2つのアンテナで3つの探査機を運用する必要がありました。

各探査機のイベントに応じた地上運用局の割り当ての検討は、数ヶ月前から始められました。しかし、地球帰還直前まで軌道補正が続くため、「はやぶさ」の運用計画を事前に確定することは不可能です。さらに「あかつき」と「IKAROS」の打上げ日が天候によって延期の可能性があります（実際に延期）、3つの探査機のクリティカルイベントが当初の予定からどれくらいずれるかによって、干渉はさまざまなケースが想定されます。従って、衛星運用と「あかつき」「IKAROS」「はやぶさ」関係者は、想定される複数のケースについて地上局および時間の運用調整案を作成し（「あかつき」と「はやぶさ」はNASAの深宇



「あかつき」と「IKAROS」の打上げ時の相模原管制室。各担当者がH-II Aロケット打上げを見守っている。

宙ネットワーク [DSN] 局の支援も考慮)、何度も練り直し、最適化していきました。

結果、「あかつき」「IKAROS」「はやぶさ」3機同時運用は、相模原運用装置の割り振りが複雑だったものの、USC34とUDSC64を時間的に割り当て、どちらも使用できない場合はDSN局を使用し、問題なく運用することができました。

次に「あかつき」「IKAROS」の

同時打上げ時の運用について紹介します。打上げ前～直後はUSC34とUDSC64の第一可視の衛星状態が判明していないので、両地上運用局の関係者は2機の第一可視の衛星状態に応じた運用ケースおよび技術情報の整理が必要でした。さらに、第一可視でどちらの衛星の運用にも対応できるように、想定される複数のケースについて、地上局に設定するパラメータの設定手順、初期捕捉手順を事前に訓練しました。

本番に至るまでは、地上運用局メンバーに加え、相模原運用メンバーも運用訓練を繰り返し、ノミナル/オフノミナルケースの手順を確認しました。結果、「あかつき」と「IKAROS」の初期捕捉に成功し、その後も両探査機は順調に航行しています。

衛星ミッションを成功させるためには、その衛星を運用する地上局の存在が必要不可欠です。地上運用局としては万全の状態では衛星を運用するのは当然のことですが、その状態をつくり出すのは、設備の開発・維持、関係者の経験（訓練）、ならびに関係者による日々の調整・協力関係です。3機同時運用ではこれらが満たされ、無事成功することができました。

なお、ここでは触れていませんが、内之浦宇宙空間観測所の2つのアンテナ(USC34, USC20)では上記3つの探査機のほかに、5つの地球周回衛星も運用しています。これらの衛星の協力も、今回の3機同時運用を支えたことを付け加えます。（林山朋子）



3機同時運用で活躍した地上運用局の1つ、白田宇宙空間観測所64m局(UDSC64)のアンテナ。

ロケット・衛星関係の作業スケジュール(8月・9月)

	8月	9月
S-520-25号機	フライトオペレーション(内之浦)	

「宇宙最初の星を探索する」 ロケット実験CIBER 第2回打上げ成功

宇宙赤外線背景放射の観測を目的とするCIBER (Cosmic Infrared Background Experiment)の装置を搭載したNASAの観測ロケットが、2010年7月10日22時50分(米国中部標準時間)に、ニューメキシコ州ホワイトサンズのミサイル実験場から打ち上げられました。最高高度は330kmに達し、約420秒間にわたって良好なデータを得ることに成功しました。『ISASニュース』2009年3月号と5月号では、第1回の打上げ成功を報告しましたが、今回はロケットが落下した砂漠から回収した装置を改良して行った再実験についての報告です。

我々の研究の目的は、宇宙が始まって数億年の時代に生まれたとされる宇宙最初の星々が放射した紫外線を、現在までの宇宙膨張により波長が約10倍にまで伸びた近赤外線(波長1マイクロメートル程度)の宇宙背景放射としてとらえることです。CIBERでは、液体窒素で冷却した望遠鏡を用いて、装置自身が出す赤外線の影響なく微弱な赤外線を測定し、そのスペクトルや空間的ゆらぎの中に宇宙最初の星の痕跡を見つけ



打上げを間近に控えたロケットの前にて実験チームの記念撮影

ようとしているのです。

しかし、現実はそのやすやすとはいきません。第1回実験は成功したものの、宇宙最初の星をとらえるほどの精度が得られませんでした。後に判明したのですが、望遠鏡のパッフル能力が不十分なため、装置からの赤外線の混入やゴースト像が生じたのです。我々は1年をかけて望遠鏡の改良と評価実験に取り組み、やっと自信の持てる装置が仕上がりました。例のごとく、大学院生の新井君らがカリフォルニア工科大学に滞在し、泥臭い作業に尽力しました。そのかいあって今回は余分な放射は見られず、今度こそ宇宙最初の星の謎に迫ることができると確信しています。

本研究に協力いただいた皆さまに感謝致します。今回も装置回収に成功し、再利用を予定していますので、今後ともご支援よろしく願います。本研究に関するWebサイト (http://www.irisas.jaxa.jp/~matsuura/darkage/index_da.html)にもぜひお立ち寄りください。(松浦周二)

「はやぶさ」イオンエンジン組のAIAA技術賞受賞

電気推進を駆使して宇宙往復ミッションを達成したことを評して、「はやぶさ」イオンエンジン組に対して米国航空宇宙学会(AIAA)から、2010 Electric Propulsion Outstanding Technical Achievement Awardが授与されました。7月26日、米国ナッシュビルにて開催されたJoint Propulsion Conferenceの電気推進技術委員会の席上にて頂いてまいりました。

マイクロ波放電式イオンエンジンは当時としては新しい概念でしたから、イオン源・中和器・グリッド・イオンビーム計測・プラズマ計測……と各部分から学術的テーマを抽出し、学生の論文課題として研究を進めてきました。当初は学会に出掛けても、会場にはセッションチェアマンと発表者だけという大変ごちんまりした風景もしばしばでした。それでもイオンエンジンの権威Dr. Beattie(Hughes Corp.)やProf. Wilbur(Colorado State



授与された盾

Univ.)に励まされ、研究開発にいそしんだことが思い出されます。今回の学会では、当方の口頭発表に際し多くの聴衆が集まり、講演後には賞賛のお言葉を頂くことができて、隔世の感を禁じ得ません。研究・開発・運用に携わった職員・学生・企業技術者を含めた「イオンエンジン組」に本賞を頂けたことを素直に喜んでいます。

電気推進の第一の応用範囲は「静止衛星の南北制御」ですが、宇宙科学にかかわる分野ではなく、貢献の機会はありませんでした。次なる応用場面は「深宇宙探査」であり、ここに独自のイオンエンジン技術で先鞭をつけ、想定した範囲は当然としてそれを超えてもなお、「はやぶさ」小惑星探査ミッションを支えることができました。この部分を「Innovative」とのご評価を頂き、留飲が下がる思いです。その先の第三の方向へも端緒を見いだすべく努力する所存です。(國中 均)



しなやかで堅牢な 電源システム

宇宙探査工学研究系 助教
豊田裕之

金星で観測を行う「あかつき」も、当然ですが、地球から打ち上げられます。それは、地球近傍、地球から金星へ向かう軌道、そして金星を回る軌道という、まったく異なる3つの環境で動作しなければならないことを意味します。それを実現する電源システムについて、太陽電池パネル、電力安定化方式、電池の3つの面から説明します。

金星軌道上の太陽光強度は地球近傍の約2倍に達します。太陽電池パネルが高温になると、構造部材の強度低下や太陽電池の変換効率低下を招くため、例えばESAのVenus Expressでは太陽電池セルとOSR (Optical Solar Reflector) という鏡のような材料とを一例おきに貼り、温度上昇を防いでいます。しかし「あかつき」は当初M-Vロケットによる打上げを予定していたため、表面にOSRを貼るだけの面積は確保できませんでした。そこで、表面は太陽電池セルで覆う代わりに、パネル基材であるアルミハニカムコアを通常より薄く高密度にすることで、排熱効率を高めました。裏面は全面をOSRで覆い、金星アルベドによる熱入力を抑制しました(図1)。その結果、太陽電池パネルの設計温度はプラス185℃に抑えられ、各種試験により性能が確認されました。

さて、通常の地球周回衛星はシャントレギュレータを用いて太陽電池パネルの発生電力を安定化します。これを図2 (a) で説明します。まず、「高温・高照度時太陽電池特性」をご覧ください。太陽電池特性上の動作点はバス電圧で固定されますから、「負荷電力」+「高温・高照度時余剰電力」が取り出され、後者はシャントで熱として捨てられます。次に、負荷は一定のまま「低温・低照度時太陽電池特性」に変わると、余剰電力はなくなりますが、実は斜線で示した「低温・低照度時最大電力」を発生する能力を持っています。つまり、温度や日照条件が大きく変化する場合には、シャントレギュレータでは無駄が多くなるのです。そこで

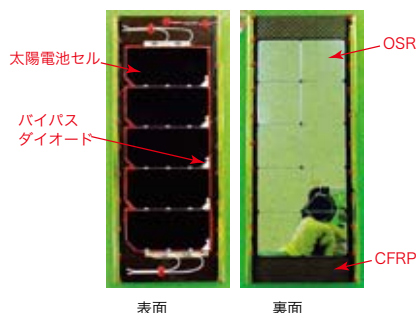
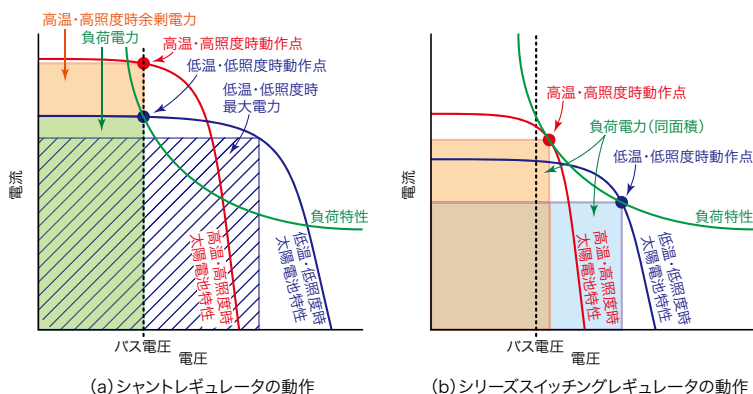


図1 太陽電池パネルの試験用モデル



「あかつき」は、図2 (b) に示すシリーズスイッチングレギュレータを用いて電力を安定化します。シリーズスイッチングレギュレータでは、太陽電池特性上の動作点をバス電圧にあまり縛られずに決定できます。そのため、図2 (b) の負荷特性は図2 (a) とまったく同じですが、太陽電池特性は原点寄りに小さくなっています。すなわち、同じ負荷に対して太陽電池パネルの面積を小さくすることができるのです。

最後に、電池のお話をしましょう。「あかつき」はリチウムイオン電池を搭載しています。リチウムイオン電池は充電状態が高いほど、そして温度が高いほど、容量劣化が進みます。そこで、運用フェーズを「バッテリーセル製造～打上げ」「打上げ～金星到着」「金星周回軌道」の3つに分けて充電状態を管理することで、劣化を最小限に抑えます。「バッテリーセル製造～打上げ」の1.5年間は、基本的にバッテリーを使用しません。そこで充電状態を10%程度に低く設定し、開回路保管します。充電状態を0%まで下げないのは、過放電を避けるためです。「打上げ～金星到着」のクルージング期間は、ノミナル軌道で0.5年、バックアップ軌道では2.5年にわたります。この間は日陰期間がありませんので、セーフホールド時の電力を賄える41%の充電状態に設定し、定電圧充電で保持します。「金星到着後」は、2地球年以上の充放電サイクル運用に移行します。この期間は日陰時間が変化しますので、それに応じて充電状態を41～85%の間で変化させ、できるだけ充電状態を低く保ちます。こうした運用試験をあらかじめ実時間をかけて行い、容量劣化を見積もることで、必要な初期容量を決定しているのです。電源システムはどんな場合にも堅牢であることが欠かせませんが、「あかつき」では、しなやかさも求められています。

(とよた・ひろゆき)

図2 太陽電池パネルの発生電力の安定化

回収カプセルの輸送

「はやぶさ」

6月9日に最後の軌道修正が完了したことを確認して、翌10日に成田を出発し、オーストラリア（豪州）・ウーメラに向かう途に就いた。カプセル回収隊のメンバーのほとんどは6月初めから現地へ赴き、すでに荷物の展開や回収リハーサルを実施している。私は、相模原でのカプセル受け入れの担当者でもあるので、ぎりぎりまで相模原に残り、試料の受け入れ・処理・保管を行うキュレーション設備の最終準備状況も確認しながらの渡豪であった。回収カプセルを専用輸送箱に梱包するクリーンブースが設置されている本部を12日に確認し、カプセルの着地点の土壌を持ち帰るための容器の最終洗浄を13日に済ませ、カプセル帰還の晩を迎えた。

その後の進行はすでに報道などでも伝えられた通り、極めて順調で、準備に多くの時間を割いたコンティンジェンシー（理想的な帰還から外れた場合の）対応がほとんど無駄になる状況が続いた。カプセルは14日夕方までに無事、本部の建物に運び込まれた。回収カプセルを航空機で持ち帰るために、本部で火工品とバッテリーの取り外し作業を1日かけて実施し、16日に

カプセル外部の汚れ除去と輸送箱への梱包作業を実施した。この間、豪州の安全審査官や検疫担当官の立ち合いが終始あり、夜間には輸送箱に入れて施錠して部屋を立ち入り禁止状態にするなど厳重な管理下に置かれた。

17日は輸送箱内に再度窒素封入を行い、最も近い軍の空港へ4WD車に乗せて移動した。専用輸送箱は窒素封入の機能と衝撃を緩和する機能があり、車での輸送にも十分耐える性能を有している。空港にはすでにチャーター機が待ち構えており、検疫と通関を済ませて、輸送箱を機内の荷物室に搬入した。空港にはリフターがなく、ピックアップトラックの荷台をステップとして、人力で輸送箱をチャーター機の荷物室まで持ち上げる必要があったが、特に問題はなかった。チャーター機はボンバルディアのグローバル・エクスプレスという高速ビジネスジェット機を借りることができた。チャーター機を使用し

た理由は、離着陸による気圧変化回数を最小にし、短時間で迅速に輸送する必要があったこと、また積み降ろしの立ち会いや、輸送中常時目の届く場所に輸送箱を置き万が一の場合に備える必要があったためである。今回の輸送担当は、私を含め理学担当2名、工学担当1名、輸出入担当の業者1名で、あとは操縦士、副操縦士、アテンダント、計7名のフライトであった。事前のパイロットとの打ち合わせでも、荷物はファーストクラス扱いでお願いしたが、搭乗者はエコノミー扱いでお願いし、我々もそのような心構えで搭乗した。パイロットも輸送する荷物の重要性を理解しており、通常の離陸より緩やかな上昇を行うなど、輸送荷物への気配りをしていた。輸送中も何度か荷物室の見回りを実施し、荷崩れや異常がないことを確認し、わずか9時間ちょっとのフライトで羽田に着陸した。

羽田では、当初の予定とは大きく異なり報道陣などが集合しており、輸送担当の我々には大きな戸惑いがあったが、皆さんのご協力もありほぼ予定通り羽田を出発し、相模原キャンパスへ18日未明に搬入することができた。相模原キャンパスでは、正門で横断幕によるお迎えもあり、これまた驚きであったが、多くの人の注目を浴びながらも無事戻ってくることができて大きな安堵感を抱くことができた。相模原搬入後も、クリーンチャンバー搬入までさまざまな手順があり、時間がかかればかかるほど、サンプルが地球大気に汚染される可能性が高くなるため、交代で休みなく作業が行われ、20日には無事サンプルコンテナ部をクリーンチャンバーに搬入することができた。その後も慎重な作業が続いている。

「はやぶさ」が帰還する前には、「はやぶさ」や、それをサポートしてくれた関係者すべてに「お疲れさま」と言うだろうという想いがあった。しかしそれ以上に、今は「ありがとう」という気持ちでいっぱいである。「はやぶさ」は地球大気突入で燃え尽きてしまったが、「はやぶさ」が我々に送り届けてくれたものがたくさんあることをあらためて実感しているからである。カプセルやヒートシールドのような形あるものは、実際にこれからさまざまな分析にかけられ研究対象となると同時に、一般公開も実施されることになるだろう。それだけでなく、我々が経験したことすべてが、我々および将来にとって財産になっていると思う。この財産をありがたく享受し、将来につなげていくことが我々の責務であると感じている。

（あべ・まさなお）



カプセル輸送箱の積み降ろしは人力で慎重に

安部正真

固体惑星科学研究系准教授



「はやぶさ」と「人生観が変わる軌道計算」

山根一眞

ノンフィクション作家
獨協大学 経済学部 特任教授

2010年6月5日の昼過ぎ、「はやぶさ」の地球帰還のための3回目の軌道修正(TCM-3)を見届けるため、宇宙研の相模原キャンパスを訪ねた。数人の記者と別室でその瞬間を待っていた午後1時半少し前、トイレへ抜け出した。と、川口淳一郎先生とバッタリ出くわした。ハンカチで手をぬぐいながらトイレから出てきた川口先生は、余裕の表情だった。「どうですか?」「大丈夫でしょう」

TCM-3は13時44分の予定だ。あと15分か20分後に、ウーメラ立ち入り制限区域(WPA)に着けるかどうかの最も重要な軌道修正を行うのに、この余裕。13時44分の、その瞬間は深宇宙管制室のガラス窓の外から見ていたが、准教授の西山和孝さんが頭上に手で輪をつくった。やった!その後ろでモニターをのぞき込んでいた川口先生の表情も見えた。いつもクールな川口先生だが、その表情は何とにもこやかだった。

私がこの瞬間を見届けたかったのは、執筆中だった『小惑星探査機はやぶさの大冒険』(マガジンハウス刊)を、どこまで書いて入稿するか瀬戸際だったからだ。もし、TCM-3に成功すれば、ウーメラへ行き、「はやぶさ」の大気圏再突入のシーンを取材し書き加えて入稿しよう、と。TCM-3の成功でWPAへの着地を確信した私は、その場で携帯で豪州行きの手続きの依頼をし、連れていくカメラマンの手配もした。

6月13日23時21分過ぎ(現地時間)、「はやぶさ」は何とも見事でダイナミックな大気圏再突入を見せてくれた。そして着地に向かうカプセルの小さな赤い光跡も肉眼で見ることができた。

その興奮が冷めやらぬままレンタカーで

ウーメラ村への250kmの道を戻りながら、私は7年間、60億kmの旅を続けてきた「はやぶさ」の宇宙での日々への思いを巡らせながら、43年前のある講義を思い出していた。

「皆さん、太陽系の定義は何だと思えますか? 定義は3つです。第1に、とてつもなく広大である。第2に、きわめて物質が少ない。第3に、きわめて正確な運動をしている」

それは、獨協大学の1年生だった私が受けていた「天文学」担当の教授、辻光之助先生の講義の1シーンだった。1900年(明治33年)生まれの辻先生は、1925年(大正14年)に東京帝国大学を卒業後、東京天文台(現 国立天文台)に着任、長年太陽系の研究に携わった方だ。麻布にあった天文台が三鷹へ移転したのは1924年(大正13年)なので、その翌年に着任された辻先生は、近代天文学の先駆けのような方だったのだと思う。当時、月の観測研究でも第一人者だったようだ。その辻先生があるとき口にされた、今も忘れられないもう一つの言葉がある。



『小惑星探査機はやぶさの大冒険』に収載した山根チーム(山口大志カメラマン撮影)による大気圏再突入写真

「山根さん、彗星の軌道計算式をご覧になったら人生観が変わりますよ」

文科系大学であるため軌道計算式そのものの披露はなかったが、それがいかにすごいものであるかは「人生観が変わります」という表現で十分に理解できた。

ウーメラ村へ戻りながら、あの辻先生の太陽系の定義、そして彗星の軌道計算式の2つが、ついさっき大気圏再突入した「はやぶさ」と、それを導いてきた「はやぶさ」チームの7年間の努力と重なってよみがえった。そして思ったのである。そうか、私が宇宙へとのめり込んできたのはあの2つの言葉が原点だったんだ、と。

「はやぶさ」の姿勢軌道制御系担当の教授、橋本樹明さんは、『カプセル』を分離した後の『はやぶさ』は姿勢変動が大きくなり、それを収めるのに1時間ぐらいかかりました。その姿勢制御は、生き残っていた1基の『リアクションホイール』で行いました」と、後に語ってくれたが、「はやぶさ」の7年間は、まさに外部の人が知れば「人生観が変わる」ほどの苦労と努力の連続だったはず。帰国後、私は、何とか「人生観が変わる」ほどの「はやぶさ」の仕事をより多くの人に伝えたいという思いから、拙著の最後の章を書くことができた。

辻先生ご夫妻は私たち夫婦の仲人も引き受けてくださったが、お二人ともすでに故人。私を宇宙へと導いてくれた先生は、あの講義から43年目に出版した教え子の「はやぶさ本」に、宇宙の彼方で何点の成績をつけてくれるのだろうか。

(やまね・かずま)

奇抜なアイデアを美しく実現しよう

宇宙情報・エネルギー工学研究系 准教授

吉光徹雄

—— 小惑星探査機「はやぶさ」に搭載した超小型探査ロボット「ミネルバ」の開発を担当されましたが、「はやぶさ」の帰還はどこで観になりましたか。

吉光：大気球実験のため北海道大樹町に滞在していたので、インターネットやテレビで見ました。「はやぶさ」は、とても珍しいミッションです。突然通信が途絶してしまう場合は別として、ミッションの終了を決めるのはとても難しいものです。探査機の機能がだんだん失われていく中、まだいけるか、もう限界かを見極めなければいけません。それに対して「はやぶさ」の場合、大気圏突入でミッション終了、とはっきりしています。月周回衛星「かぐや」も月面に衝突してミッションを終えましたが、その様子を直接見た人はいません。「はやぶさ」は、私たちの目の前で燃え尽きていきました。これほどドラマチックな終わりを迎えたミッションはないでしょう。

—— 「ミネルバ」とは？

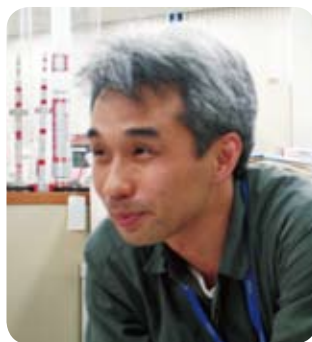
吉光：「ミネルバ」は直径12cm、高さ10cm、重さ591gの超小型の探査ロボットで、小惑星イトカワの表面を跳びはねながら、温度を測定し写真を撮影する計画でした。2005年11月12日に「はやぶさ」から放出されましたが、着陸に失敗してしまいました。そのときから、もう一度チャレンジしたいと思い続けてきました。現在、改良を加えた「ミネルバ2」を「はやぶさ」に続く小惑星探査ミッションに搭載することを提案しています。

—— 跳びはねて移動するというのは、面白いアイデアですね。

吉光：変わった移動メカニズムを考えるのが好きなんです。火星や月のように固体の表面を持つもの、氷に覆われているもの、大気があるものと、太陽系にはさまざまな天体があり、それぞれに適した移動手段があるはずなんです。ほかの人とは違うアプローチで、オリジナリティの高い探査ロボットを提案したいと、常に思っています。

地球には固体の表面も、氷に覆われた場所も、大気もあります。太陽系の天体の環境がそろっているのです。先人たちは、地球上の多様な環境に応じてさまざまな移動手段を考え、実現してきました。その中にヒントがあります。

しかし、小天体だけは例外です。小天体の重力はとても小さく、そうした環境は地球上にありません。重力の小さな天体での移動は、人類にとって初めての経験です。ぜひ「ミネルバ2」で実現したいと思っています。



よしみつ・てつお。1970年、広島県生まれ。博士（工学）。2000年、東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻博士後期課程修了。同年、宇宙科学研究所助手。2003年、同助教授。専門はロボティクス。小惑星探査機「はやぶさ」搭載の超小型探査ロボット「ミネルバ」を開発。現在は、次世代の小天体探査ロボットや月探査ロボット、超小型衛星などについて研究を進めている。

—— 小惑星以外の天体をターゲットとした探査ロボットの構想はありますか。

吉光：検討中の小型月探査技術実験機（SLIM）に、1kgくらいの小型探査ロボットを搭載する

ことを計画しています。それは、膨らむロボットです。探査機から放出されると、まずエアバッグが膨らみ、着陸時の衝撃を吸収します。無事着陸すると、車輪が大きく膨らみます。SLIMと呼ばれているように、このミッションの特徴は「小型」です。しかし、小さいと移動には不利です。そこで、車輪を大きく膨らませることを考えたのです。

—— いろいろな探査ロボットのアイデアをお持ちのようですね。

吉光：はい、頭の中にはいくつもあります。例えば、二つ折りの携帯電話型の探査ロボット。開いたり閉じたりするときの反動を使って移動します。カメラも通信装置も付いているので、宇宙環境に耐えられることが確認できれば、携帯電話をそのまま持っていてもいいかもしれません。

—— どういう子どもでしたか。

吉光：車が大好きでした。走っている車の名前をすべて言えたそうです。車好きは大人になっても変わらず、大学時代は車の整備ばかりしていました。今でも車検は自分でやります。

理科や数学、そしてものづくりが好きだったので、大学は迷わず工学部を選びました。大学院時代は、宇宙研で小天体表面を自律的に探査するロボットシステムを研究。「ミネルバ」のアイデアは、その中で出てきたものです。宇宙研の研究室を選んだのは、宇宙に興味を持っていたことありますが、実は都心と比べて駐車場代が安かったからなんです（笑）。

—— 仕事をする上でのモットーはありますか。

吉光：「美しくつくる」。宇宙に持っていくフライト品はきれいにっくって当たり前ですが、たとえば実験用の試作品でもガムテープをべたべた貼っているのは許せません。汚くつくった装置がきちんと動くはずはありませんから。私はきれいい好きではないので、部屋は散らかっています。しかし、装置づくりは別。どんなに手間がかかっても、装置はきれいにっくつくり上げます。そこだけは譲れません。

ISAS ニュース No.353 2010.8 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

こんなに暑い夏に、内容が盛りだくさんの熱い、熱い8月号をお届けします。「ISASニュース」を編集しながら、一足先に記事を読ませていただきました。わくわく、どきどきでした。熱中症にならないよう、皆さん気を付けてください。（久保田 孝）

*本誌は再生紙（古紙100%）、大豆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

PRINTED WITH
SOYINK
Trademark of American Soybean Association