



2010年12月8日、小型ソーラー電力セイル実証機 IKAROS が金星フライバイの際、自身の姿越しに撮影した金星。金星までの距離は約8万km。

宇宙科学最前線

MAXI が見た ブラックホール連星

河合誠之

東京工業大学大学院 理工学研究科 教授

はじめに

MAXI (Monitor of All-sky X-ray Image) は、国際宇宙ステーション (ISS) に搭載された全天 X 線監視装置です。同じく X 線で天体を観測する「すざく」が、空の一点を精密に長時間観測するのとは対照的に、MAXI は ISS が地球を一周する 92 分ごとにレーダーのようにほぼ全天を掃天し、さまざまな X 線源の活動を監視します。

MAXI は、2009 年 7 月、スペースシャトル・エンデバー号で ISS に輸送され、8 月から定常観測を開始しました。『ISAS ニュース』2009 年 8 月号と 11 月号に MAXI の観測装置の概要と ISS への輸送・設置が紹介されています。本稿では、ミッション最初の 1 年半の観測成果のハイライトとして、主にブラッ

クホール連星に関する成果を紹介します。

X 線で見る空

X 線で観測する空は、可視光によるものとまったく様相が異なります。可視光で見る夜空には、無数の星が天の川を除いてほぼ一様に広がり、いつも同じように輝いています。一方で、強い X 線を放射する天体の数は限られ、しかもその多くは激しく変動しています。図 1 に、MAXI の最初の 10 ヶ月間の観測によって得られた、X 線全天画像を示します。世界地図のように天球を平面に展開して表現したもので、世界地図の赤道に当たるのが銀河面 (天の川)、図の中心が銀河系の中心の方向です。

なぜ、X 線天体と可視光で見る恒星は、それほど違うのでしょうか。可視光で観測される星の大部分



図1 MAXIの最初の10ヶ月の観測で得られたX線全天画像

銀河系の中心（いて座方向）付近と銀河面（天の川）に沿って明るいX線源（主に中性子星やブラックホールを含む連星）が多数分布し、日々変化している。色はX線スペクトルの「硬さ」を示す。弱いものまで含めると、約200個を超えるX線源が検出されている。

は、中心部の核融合反応で発生したエネルギーによって光っています。このような恒星では、もし中心で発生するエネルギーが通常より増えると星全体が膨れて中心部の温度が下がり核反応が抑制される、という負のフィードバックがかかるようになっています。そのため、星の一生の大部分の期間は極めて安定に光るのです。それに対して強いX線星の多くは、ブラックホールや中性子星のように極めてコンパクトな天体に周囲からガスが吸い込まれるときに解放される重力エネルギーが、X線放射のエネルギー源です。この過程では、普通の恒星のような安定化のメカニズムは働かず、周囲からのガスの供給の変化に応じてX線強度は変動します。

さらに、ブラックホールなどのコンパクト天体に渦を巻いて落ち込むガスが形成する円盤（降着円盤）では、周囲からの物質流入がほぼ一定であっても、ブラックホールや中性子星へガスが吸い込まれる速度（降着率）やX線放射の激しい変動が生じると考えられています。逆に、X線放射の変動やスペクトルを調べることによって、ブラックホールや中性子星の近傍でどのような現象が起きているか、また中心にいる天体はブラックホールなのか、もしブラックホールならその性質は、といった疑問に答えることが可能になります。

ただし、この研究のためには、X線源が面白い活動をしているときを捉えなくてはなりません。これこそがMAXIの最も重要な使命です。今まで知られていなかった新しいX線源が出現したときはもちろんのこと、はくちょう座X-1のように既知のX線源が普段とは異なる振る舞いを見せ始めたときにも、警報を全世界に発し、「すざく」などの科学衛星や地上望遠鏡による精密観測を呼び掛けます。

ブラックホール連星

銀河面に沿って並ぶ明るいX線源のいくつかは、ブラックホールと普通の恒星の連星です（図2）。最も有名なブラックホール連星であるはくちょう座X-1は、常に明るくX線で輝いていますが、放射スペクトルが極端な二つの状態の間で変化します。多くの場合は「ハード状態」と呼ばれる、高エネルギーまでX線光子が分布しているべき乗型スペクトルを示します。ところが時折、「ソフト状態」と呼ばれる、低エネルギー光子が支配的な熱的なスペクトルに移ります。それぞれ、ブラックホールのまわりのガスが高温で希薄に広がった「コロナ」になっている状態と、ガス密度が高く厚みがない（レコード盤のような）降着円盤を形成している状態に対応すると考えられています。降着円盤の最内縁半径（レコードの穴に当たる）は、一般相対論の効果によってシュバルツシルト半径（ブラックホールの重力圏を示す距離で、ブラックホール質量に比例する）の3倍以下になることはありません。ソフト状態のX線強度と放射スペクトルを調べれば、ブラックホールの質量の手掛かりが得られるわけです。はくちょう座X-1の場合には、連星系の重心を回る伴星の運動を解析した結果、X線源の質量が太陽質量の10倍程度ありながら可視光をほとんど出さない（普通の恒星より圧倒的に小さい）天体であることが示されました。恒星の理論を適用すると、そのような天体は必ずブラックホールでなくてはなりません。

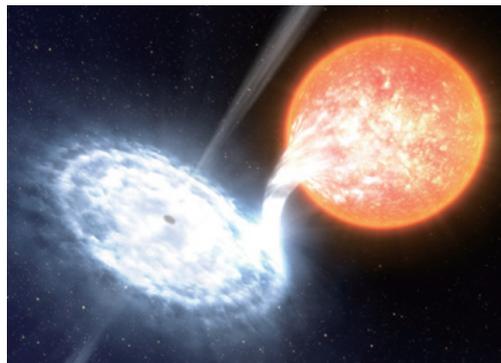
今ではほかにも20個余りの天体がブラックホール連星であると思われていますが、そのすべてに対してはくちょう座X-1のように確実に質量が測られているわけではありません。しかし、スペクトルが極端に異なる状態間の変化など共通の性質を示すことなど、ブラックホールに落ち込むガスの挙動から、そう判定されるわけです。以下、このような候補天体を含めてブラックホール連星と呼ぶことにします。

多くのブラックホール連星は、ほとんどの期間はX線を放射せず、数ヶ月間ほど爆発的増光（アウトバースト）する「X線新星」です。数年ごとに活動するものもあれば、40年のX線天文学観測史上1回しか活動が記録されていないものもあります。過去20年間を平均すると、およそ1年に1個の割合で新しいブラックホール連星の候補が出現しています。MAXIは、今までの全天監視装置の中で最も高い感度を持つために、X線新星の出現を直ちに検知して全世界に通報し、活動初期からの詳細観測に結び付けます。また、数ヶ月にわたるX線新星のアウトバーストを始めから終わりまで追いつけて、強度とスペクトルの変化を調べることができるのも、MAXIの特徴です。

図2 ブラックホール連星の想像図

普通の恒星（右側の赤い星）から流れ出したガスが、ブラックホールのまわりに円盤をつくり、X線で輝いている。

© NASA



XTE J1752-223

ブラックホール連星 XTE J1752-223 は、2009 年 10 月に米国の X 線天文衛星 RXTE による銀河中心領域の定期パトロール観測で発見され、ATEL (Astronomer's Telegram, 突発天体現象速報メーリングリスト) に報告されました。この X 線新星の出現は MAXI でも同時に検出され、翌年 4 月に消えるまで活動の始終を観測することができました。図 3 に約半年間にわたるこの天体の X 線強度とスペクトルの硬さ (エネルギーの高い X 線と低い X 線の強度比、可視光の「色」に相当する) の変化を示します。

活動の前半は「ハード状態」にあり、しかも強度が 2 段階で変化しています。この状態は、流れ込むガスの量が比較的少なく、主にブラックホール近傍の膨れて希薄な高温ガスから X 線が放射されている状態と考えられます。その後スペクトルは「ソフト状態」へと急変して X 線強度はピークに達し、約 2 ヶ月間直線的に減光しました。この状態ではブラックホール近傍まで伸びた低温の円盤が形成されていると考えられます。その後、再び「ハード状態」へ遷移した後に消えました。

XTE J1752-223 の活動で注目すべき点が 3 つあります。

- (1) X 線新星が出現後に 3 ヶ月もハード状態にあることは珍しく、「草食系ブラックホールの発見」としてプレス発表も行いました。「ハード状態」をつくり出す物質流入の仕組みの解明において新しいデータとなりました。
- (2) ハードからソフトへの状態変化に伴い、電波観測でジェットが放出が観測されました。宇宙のさまざまな天体に見られるジェットの生成機構の謎の解明に役立つデータです。
- (3) ソフト状態でのスペクトルを解析すると、強度はどんどん低下しているのに降着円盤の最内縁半径はほぼ一定で、銀河系の中心付近にあると仮定するとその半径は約 100km となります。この半径に対応する中心天体質量は太陽の約 10 倍なので、その正体がブラックホールであるという推測を裏付けます。

MAXI J1659-152

対照的に、出現後にすぐに状態遷移を見せたブラックホール連星が MAXI J1659-152 です。2010 年 9 月 25 日に Swift 衛星とほぼ同時に MAXI が発見しました。Swift は異常に長いガンマ線バースト (GRB) として速報をして GRB 100925A という名前を付けていたのですが、MAXI の観測データをさかのぼって調べると、Swift に検出される前日から X 線増光が始まっていたことが分かりました。

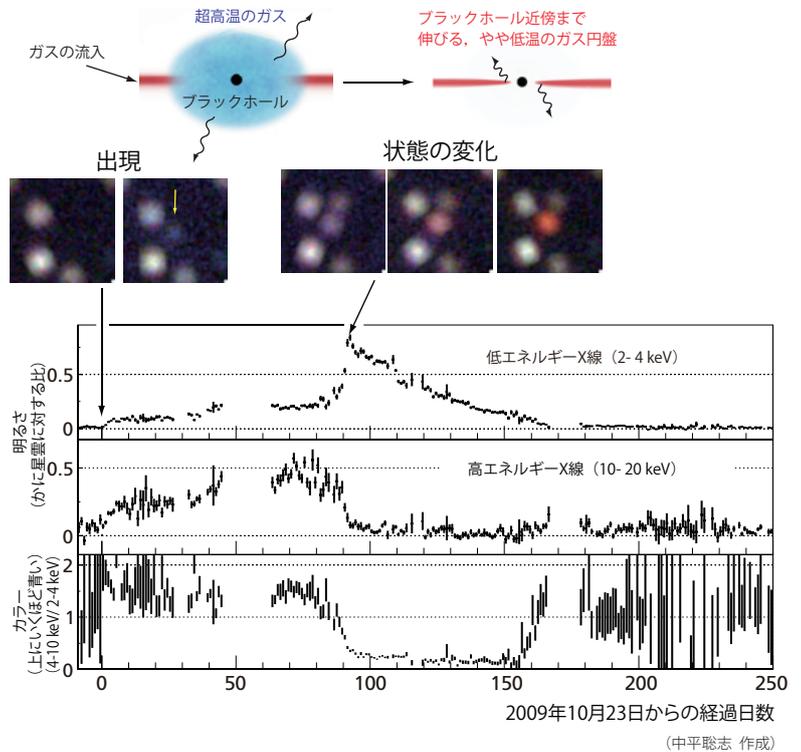


図 3 ブラックホール連星 XTE J1752-223 の X 線強度の変化と、各観測時期に対応する X 線カラー画像

出現してから 3 ヶ月間の「ハード状態」の後に「ソフト状態」に遷移した (上の X 線像では青から赤へと色が変化)。これは、高いエネルギーの X 線を放出する希薄で膨れたコロナ状態の高温のガスが、低いエネルギーの X 線を放出するやや低温でブラックホール近傍まで伸びる降着円盤に変化したことを示している。

この天体は可視光でも検出され、アマチュアを含め世界中で観測されました。また、MAXI による報告を受けて、RXTE と「すざく」による追跡観測も行われ、ブラックホール連星の性質を持つことが明らかにされました。発見直後の MAXI と Swift によるデータは「ハード状態」のスペクトルを示していますが、3 日後に RXTE と「すざく」が観測したときには、すでに降着円盤起源と思われるソフト成分が卓越する状態に変化していました。興味深いことに、RXTE によって 2.4 時間ごとに X 線光度がへこむことが観測され、さらに同じ周期で可視光でも変光しており、2.4 時間は連星系の公転周期を示すものと考えられます。これほど短い公転周期を持つブラックホール連星は、これまで知られていません。X 線が弱くなるとともに可視光でも暗くなっていましたが、太陽が近づいてきたため、伴星の詳細観測は数ヶ月お預けとなりました。今後、静穏期における X 線や可視光の詳細観測によって、この連星系の距離や伴星の種別が分かってくれば、このブラックホールの性質が明らかになると期待されます。

ほかの X 線源と今後の展望

MAXI によって、今回紹介した以外にも X 線観測史上最大の活動銀河核フレアの検出、新しい連星 X 線パルサー MAXI J1409-619 の発見、多数の大規模恒星フレアの検出など、さまざまな興味深い観測成果が得られています。ISS の運用が続く限り、絶えず激しく変化する X 線の空を MAXI で監視し続けるつもりです。

なお MAXI チームメンバーは、JAXA、理化学研究所、東京工業大学、青山学院大学、大阪大学、日本大学、京都大学、中央大学、宮崎大学の研究者・大学院生です。
(かわい・のぶゆき)

第11回「宇宙科学シンポジウム」開催される

1月5日から7日まで、「宇宙科学シンポジウム」が相模原キャンパスにおいて開催されました。金星探査の提案が熱く議論された第1回シンポジウムから数えて、今年は11回目の開催になります。仕事初めの翌日からの開催にもかかわらず延べ764名もが参加し、盛大なシンポジウムとなりました。

「宇宙科学シンポジウム」は、宇宙研を中心に行われている宇宙科学研究の活動や将来計画について、理学と工学の研究者が一緒に分野横断的に議論できる、全所的な唯一の機会です。



企画セッション「2030年代の宇宙科学」にて、講演した6名の若手研究者との議論が盛り上がった。

できるだけ深く議論する時間を確保するために、今年は3日間の日程で開催しました。

今年の目玉は2つの企画セッションでした。1つ目の企画セッションは「2030年代の宇宙科学」です。普段目先のプロジェクトや研究に力を注ぎがちですが、20年後には宇宙科学をけん引している年代になる30歳代の若手研究者6名に、単なる現在の延長ではない研究の世界や夢をイメージした上で、それに向けて何をすべきかという視点で話をさせていただきました。将来の方向性についてホットな意見交換が行われました。もう一つの企画セッションは「次世代赤外線天文衛星 SPICAの挑戦」です。半日を使い、大型ミッションになるSPICA計画について科学目的、技術、開発体制など多岐にわたる説明および議論が行われました。

ポスター発表には291件もの申し込みがありました。3日間通して発表できる場をつくるために、一般開放されている展示室の展示物を一部移動させて会場の一つにさせていただきました。その結果、多数のポスターを見るスペースも時間も十分に確保でき、すべてのポスター会場は盛況で夜遅くまで活発な議論が行われていました。
(世話人代表 清水敏文)

固体ロケット、内之浦に還る

必ずここに帰ってくると思っていましたが、ようやくイプシロンロケットの打上げ射場が、固体ロケットの「聖地」内之浦に正式決定しました。イプシロンの原動力は全国の固体ロケット応援団と内之浦応援団の皆さんの熱い思いですから、これでようやくそろったという感じがですね。もちろん、どんな



内之浦のM整備棟を背景にしたイプシロンロケット(想像図)

困難にも負けないプロジェクトチームの不撓不屈の精神、そして最後はJAXA全体がイプシロンのために一丸となったその姿にも美しいものがあつたと、私は思います。

イプシロンの初飛行は2013年。内之浦の射場開発はいきなり全力疾走です。何ともうれしい悲鳴ですね。今回の射場開発では、打上げまでの期間が短い

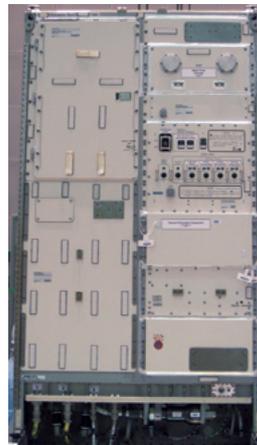
ので、既存の設備を最大限に活用する計画です。M-Vロケットのランチャーも斜めに傾ける前は真っすぐ立っていますから、垂直打ちに問題はありません。もちろん、発射時の音響を緩和するためなどもあって、ランチャーまわりは少し改造しようと考えています。一方、イプシロンの魅力の一つであるモバイル管制など革新技術の導入により、管制室の様子はすっかり変わってしまうことでしょう。ロケットの知能化などにより、大きな管制室の機能がパソコン1台程度に集約されてしまうというわけです。

こうしてイプシロンと内之浦にも展望が開けてくると、大切なのは将来の構想ですね。イプシロンロケットでは2段階開発を打ち出しており、さらなるコストダウンを目指す計画です。その中でロケットの機能をさらに高めて、追跡レーダなど、いわゆるアンテナ系もモバイルできるくらいコンパクトにしようと考えています。構造がシンプルな固体ロケットとコンパクトな射場……。この最強の組み合わせによって、皆さんの宇宙への敷居をどんどん下げたいというのが、私たちの狙いです。2013年のイプシロン初飛行に向けて申し分のない開発となるでしょう。皆さん、今後とも応援よろしくお願い致します。
(森田泰弘)

ついに打ち上がった温度勾配炉

1月22日、宇宙ステーション補給機「こうのとり」2号機（HTV2）によって、ついに温度勾配炉（GHF：Gradient Heating Furnace）が国際宇宙ステーション（ISS）へ打ち上げられました。開発当初から関わってきた者としては、感慨深いものがあります。装置は、毛利衛さんが参加したスペースシャトルを使用した微小重力実験「ふわっと'92」用の仕様をもとに、大型試料対応（25cm）にする、大きな温度勾配を確保（150°C/cm）するのが中心で、ほかの装置と比較するとあまり議論を巻き起こすことなく開発が始まりました。

その後、ISS計画の変更を受け、宇宙飛行士の手をなるべく煩わせないように試料自動交換機構を導入して基本設計に着手したのが1993年です。装置としての開発が完了したのが2001年ですから、打上げまで17年間という今までにない地上での長い期間を経た装置とな



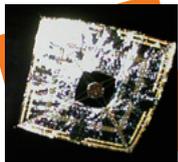
HTV引き渡し前の温度勾配炉（GHF）搭載実験ラック

りました。

苦勞した点を思い返せば、鉄を熔融可能な試料最高加熱温度1600°Cを達成するためにヒータは1700°C以上の温度性能を持つ必要があり、要素試作試験でいろいろ確認した後もヒータ寿命の考え方の設定に苦心したことが挙げられます。また開発完了のころには、日本実験棟「きぼう」の冷却水供給が最高温度で加熱中に停止し、さらに電源が切れないという故障モードでも安全かどうかの議論が巻き起こり、開発としてはこれが一番クリティカル（危機的）でした。

GHFは現在（原稿執筆時）、HTVの中で「きぼう」に取り付けられるのを待っています。あとはISSへの到着と「きぼう」での無事な稼働、

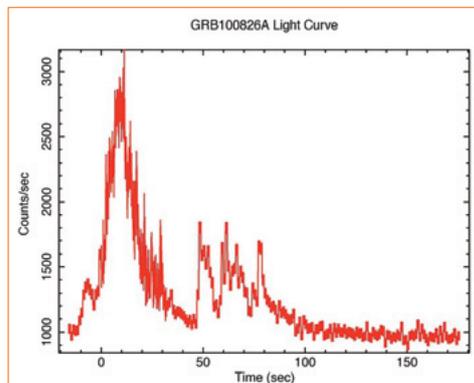
GHFを使った実験の遂行を待つばかりです。GHFを使った実験を提案されていた研究者の皆さま、開発を担当された製造メーカーの方々、長い間お待たせしました。（村上敬司）



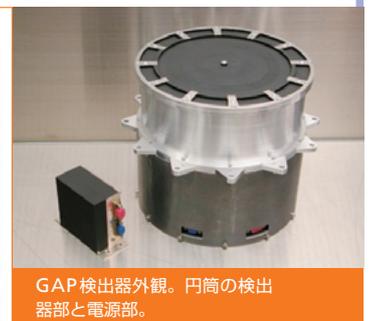
IKAROSに搭載されたガンマ線バースト偏光観測装置

小型ソーラー電力セイル実証機IKAROSには、理学委員会の公募で選ばれた、ガンマ線バースト（GRB）の発生と偏光の有無を検出する機器が搭載されています。直径17cm、重さ4kgで、GAP（GAMMA-ray burst Polarimeter）と呼ばれます。工学衛星に公募で搭載された珍しい理学機器で、金沢大学と山形大学に理化学研究所が協力する形で、地方大学だけでつくられました。宇宙研から援助を受けましたが、ほぼ科研費（科学研究費補助金）でつくられました。

GAPは、GRBの偏光度を専門に測る世界で初めての装置です。ガンマ線のような電磁波は、波長や振幅のほかに波面の偏り（偏光）を持っています。GAPは、GRBの偏光度を測ることにより、その巨大なエネルギー源に迫ろうとするものです。GRBは宇宙で最大の爆発現象で、超巨星の死のときの爆発と考えられますが、ほとんどガンマ線で輝きます。その理由として、爆発の瞬間に光速の99%以上に達する物質の放出と強い磁場が関わるといわれます。この理論の確認を、偏光面の観測から切り込みます。X線やガンマ線の偏光を測ることは難しく、かに星雲での成功例を除くと、信頼性の高い観測が行われていません。GAPはコンプトン散乱の同時計数法で、GRBに挑みます。



観測されたガンマ線バーストの一例



GAP検出器外観。円筒の検出器部と電源部。

IKAROSのセイル展開から1ヶ月後にGAPの電源が入られました。2010年8月26日に観測された例を図に示します。この一例は100億光年先のはるかな宇宙から届いたもので、このGRBに偏光があるかどうかは興味があるところですが、慎重に解析しています。結論は、もっと多数のGRBを観測してから出すつもりです。IKAROSは低利得アンテナしか使えないため、実運用期間はまだ5ヶ月弱ですが、約15回のGRBが観測されています。今後に期待してください。

（金沢大学 村上敏夫・米徳大輔／山形大学 郡司修一／理化学研究所 三原建弘／IKAROSチーム）

IKAROS 航宇日誌 3

前回の日誌（『ISAS ニュース』2010年8月号）で定常運用後の様子を報告した小型ソーラー電力セイル実証機IKAROSですが、その後も太陽の光をいっぱい受け順調に深宇宙を航海しています。今年の1月4日には、ついに地球から1億km以上離れた。では、IKAROSの航海を簡単に振り返ってみましょう。

定常運用に入ったIKAROS。『ISAS ニュース』2011年1月号で津田雄一さんがレポートしてくれたように、将来ミッションのための貴重なデータを取得し、フルサクセスに向け着実に進んでいきました。2010年9月に入り「通信不可帯」という山場を迎えます。IKAROSは軌道、太陽—地球の位置関係により、どうしてもアンテナを地球に向けられない時期が生じてしまいます。

■2010年9月14日

ついに通信不可帯に突入しました。初めての通信不可帯、低利得アンテナ(LGA2)での通信と、いろいろ不安だったのですが、9月18日にはあっさり通信不可帯を越え、通信を再開することができました。

後期運用に向けての検討を始めた11月。IKAROSにとって大きなイベントが近づいていました。「金星フライバイ」です。

この時期、金星探査機「あかつき」が重要な局面を迎えるためIKAROSの運用は2週間休む予定でした。運用がないこの間、

『イカロス君の大航海』好評発売中！
IKAROSのことを子どもたちにも分かってもらおう、IKAROSを通じて宇宙工学を学んでもらおうと、宇宙教育センター、月・惑星探査プログラムグループ、広報部の協力で実現しました。分かりやすい内容ですので、ぜひご覧になってください。



IKAROSは12月8日の日本時間16時40分、金星からの距離約8万kmのところをフライバイする計画でした。

実は、このフライバイに向けて、金星撮像という密かなたくらみが進められていました。軌道計画と姿勢予測から最適な撮像タイミングを解析しました。運用計画担当に何百ものタイムラインを作成し登録してもらいました。撮像は4台のカメラで2回ずつ合計8枚、時間を機体スピン周期の8分の1ずらすことで金星を逃さないように設定しました。

■2010年12月8日

一つの不安は、IKAROSの姿勢が予測から太陽側に5度以上違つと、金星がセイルの影に隠れてしまうことでした。結果は皆さんご存知の通り、見事、金星フライバイの証拠写真を撮ることができました(表紙写真)。

■2011年2月10日

その後、2度目の通信不可帯も無事に脱けてビーコン運用を続けていましたが、2月10日にテレメトリ・コマンド運用することができ、2011年初のハウスキーピングデータを取得することができました。2月10日現在、地球から1億3000万km以上離れたましたが、元気いっぱいに飛び続けています。(澤田弘崇)

第5回「かぐや」拡大サイエンス会議開催

1月17日から3日間、早稲田大学の西早稲田キャンパスで月周回衛星「かぐや」の拡大サイエンス会議が開催されました。打上げ前の2007年から毎年この時期に海外の共同研究者を含めて国際会議を開催しており、今回が5回目になります。今回の参加者は、多忙な時期にもかかわらず日本全国から約80名、海外からは米、英、仏、独、中、韓、スイス、ウクライナ、香港、マカオの研究者が22名参加しました。

昨年までは「かぐや」の運用会議も兼ねていたため、参加者は原則として「かぐや」チーム限定でした。「かぐや」の運用が終了し、データの一般公開が開始された今回からは、チーム外の

研究者の参加を歓迎し、さらに将来の月探査につなげる意味で、SELENE-2や将来月探査のセッションを設けました。

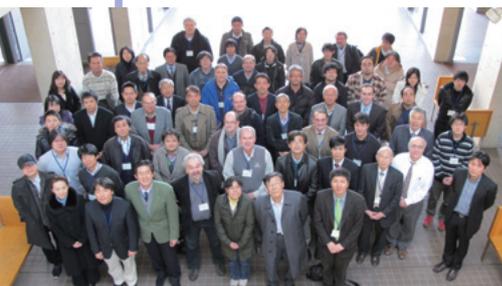
月の科学はアポロ月探査で幕を開け、その後の20年以上の成熟期を経て今、再び熱気を帯びています。

それは90年代以降に7機の月周回機が飛び、多くの新たな観測データが収集されたためです。その中で観測データの種類や精度で際立つのが「かぐや」です。撮像・地形、重力・高度分布、元素組成・分光観測、磁気・プラズマ物理、将来月探査の各セッションで口頭40件、ポスター13件の報告があり、最新のデータ解析結果の議論が行われるなど盛況でした。

本会議に先立って行われた、「かぐや」とインド月探査機「チャンドラヤーン1号」に搭載された米国機器との相互校正や、中国月探査機「嫦娥1号・2号」との共同研究振興の目的で中国と共催(開催場所はマカオ)した国際会議についての報告もありました。

固体惑星科学は宇宙研の中では後発の部類ですが、「はやぶさ」「かぐや」と科学成果を世界に向けて発信し、日本発のデータや研究が海外からも認知されてきたと実感するようになってきました。来年も第6回拡大サイエンス会議を開催する方針であり、「かぐや」データによるさらなる月科学の発展につなげていければと願っています。

最後に、会議室の借用や会議の運営に多大なる協力をいただいた早稲田大学の長谷部先生、唐牛さんにこの場を借りてお礼申し上げます。(岡田達明)

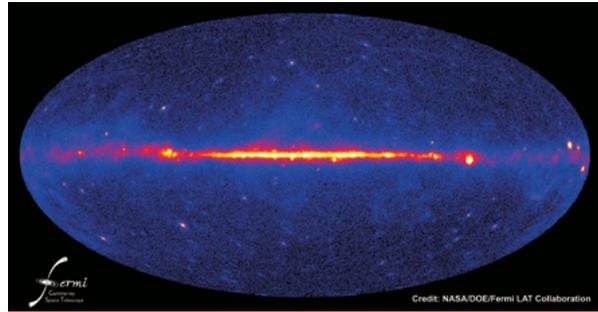


第5回「かぐや」拡大サイエンス会議の参加者

フェルミLATチームがブルーノ・ロッシ賞を受賞

ブルーノ・ロッシ賞 (Bruno Rossi Prize) は、米国天文学会の高エネルギー天文学部門より、高エネルギー天文学の発展に多大な貢献のあった研究に対して毎年贈られるものです。2011年のブルーノ・ロッシ賞は、フェルミ衛星のLAT (Large Area Telescope) 検出器の開発によって、中性子星、超新星残骸、宇宙線、近接連星系、活動銀河核、ガンマ線バーストに関する目覚ましい研究成果創出を可能にしたことに対して、ビル・アトウッド、ピーター・マイケルソンとフェルミ衛星LATチームに贈られました。フェルミLATは、米国スタンフォード大学を中心として米国、日本、イタリア、フランス、スウェーデンの研究者からなる国際共同チームにより開発されました。日本から広島大学、JAXA宇宙研、東京工業大学などが参加し、さらに釜江常好先生がスタンフォード大学においてLAT開発の主要なメンバーとして貢献されました。LATの心臓部ともいえるシリコン・マイクロストリップ検出器は日本の貢献なしには実現し得なかったものです。

ブルーノ・ロッシ賞は1985年に始まった賞で、これまで日本からは、1989年に超新星1987Aからのニュートリノの検出



フェルミ衛星LAT検出器の全天ガンマ線マップ

フェルミ衛星は、約90分で地球を一周し、衛星の姿勢を動かすことで2軌道周期で全天をスキャンする。この図は、3ヶ月の観測データを積分したもので、中央に輝く銀河面のほかにパルサー（中性子星）や活動銀河核などが見える。黄道面に沿って動く太陽も写っている。(http://www.nasa.gov/mission_pages/GLAST/news/gammaray_best.html より)

でカミオカンデチームが（米国IMBチームと共同受賞）、2001年にX線天文衛星「あすか」による重力の効果を受けた活動銀河核の鉄輝線の研究で田中靖郎先生が（英国のA. ファビアンと共同受賞）受賞しています。（満田和久）

「はやぶさ」チームが朝日賞を受賞

「はやぶさ」プロジェクトチームが2010年度の「朝日賞」を受賞し、1月27日、帝国ホテルにて授賞式が行われました。受賞理由は、産官学の協力による世界初の小惑星探査往復飛行で、JAXAはもとより、大学関係者、そして産業界、メーカーさん全体での受賞です。大学関係者を代表して現・



受賞のスピーチをする川口教授と萩野氏（中央）と土屋氏（右）。
（写真提供：朝日新聞社）

同志社大学、当時は京都大学の土屋和雄先生、また産業界を代表してNECの萩野慎二さんとともに、賞状と目録、ブロンズ像を頂きました。関係された方々を代表して、産官学から50余名の方々とともに授賞式、そして祝賀会に参列させていただきました。皆さんがとても喜んでおられ、本当によかったなと思った次第です。

受賞者からのスピーチということでもお話しさせていただきましたが、我々「はやぶさ」チームは、日本の宇宙開発50年のこの時期にたまたま、このプロジェクトを担う立場にあっただけで、諸先輩方が多大な努力をもって築かれた多くの業績の礎の上に今回の成功があったものと思っています。先輩の皆さま、もちろん同僚の皆さま、本当におめでとうございました。

これもスピーチで触れさせていただいたことですが、エピソードを一つご披露したいと思います。カプセルがオーストラリアに着陸し、記者発表を行った後、こんなことがありました。コンビニで野菜ジュースをレジに置いて支払いをしようとしたときです。気付くと、店員さんが、まじまじと私の

顔を見ています。そして、少し間をおいて、こう言ったのです。「砂が入っているといいですね」。野菜ジュースに砂が入っていてよいことはありません。一瞬、つながりが分からなくて困惑しました。しかし、すぐにその意味を理解し、たくさんの方が「はやぶさ」の帰還に関心を持ってくださっていたことを、本当にありがたく思いました。幸いにして、微粒子ではありませんが、「はやぶさ」帰還カプセルからイトカワ起源の物質が確認され、現在分析が行われているところです。帰還できただけでも夢のようでしたので、関係の皆さんもまた、夢を超えた成果で感慨無量というところではないかと思います。

この成果をリセットすることなく、次の世代が新たな進展をこれに重ねていってもらえたらと願ってやみません。（川口淳一郎）

宇宙圏研究会「SPICAサイエンスワークショップ」開催

2010年12月16～17日の2日間、宇宙圏研究会「SPICAサイエンスワークショップ」が国立天文台三鷹の大セミナー室で開催されました。SPICA (Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics) は、次世代の宇宙赤外線天文台で、絶対温度6K (マイナス267°C) に冷却した口径3.2mの大型望遠鏡を、太陽・地球で構成されるL2点 (地球からおおよそ150万kmの場所) に設置します。このように大規模なSPICA計画を実現するためには、天文コミュニティからの幅広い支援が必須です。SPICAプリプロジェクトチームは、国内の天文コミュニティグループの協力を得てワークショップを開催し、110名を超えるさまざまな分野の研究者の方々に参加いただきました。

SPICA計画では、「銀河はどうやって誕生したのか」「太陽系のような惑星系は何を原料にどういふプロセスで形成されたのか」を明らかにすることを目標に掲げています。この目標を達成するために提案された観測装置の具体的な仕様にに基づい



SPICAへの搭載が提案されている観測装置について熱い議論が繰り広げられた

て、さまざまな分野で活躍している研究者の方々にご講演いただき、参加者全員で深く掘り下げた議論を行いました。

SPICA計画は、欧州・米国・韓国なども参加する国際ミッションです。SPICA計画が今後、正式なプロジェクトに移行するためには、搭載される観測装置の仕様を明確にしなければなりません。今回のワークショップは、日本・韓国が提案す

る観測装置の仕様を決める重要なステップに位置付けられています。欧州および米国から提案される観測装置も同様の手続きを経て、SPICAに搭載する観測装置を最終的に決定します。

今回のワークショップにより、天文コミュニティでのSPICAへの関心がより広がったと思います。このワークショップの講演資料や議論の内容はホームページ (http://www.ir.isas.jaxa.jp/SPICA/SPICA_HP/Science_WS_2010/index_j.html) に掲載してあります。ぜひ多くの方々がSPICA計画に興味を持ち、プロジェクトに参加・支援していただければと思います。

(川田光伸)

宇宙から金環日食

太陽観測衛星「ひので」は1月4日、偶然にも金環日食に遭遇し、黒い月が太陽面にすっぽりに入った瞬間に太陽X線像の撮影に成功し、その画像を6日に一般に公開しました。

日食によって一時的に太陽光が遮られて太陽電池の発電が下がったりするため、太陽指向する衛星の運用において日食は特に注意を要するイベントです。一方で、太陽観測衛星にとっては、日食は望遠鏡内で発生する散乱光の較正をはじめとして科学的に重要な機会

です。毎回日食が近づいてくると、国立天文台の相馬充さんに「ひので」軌道から見た月と太陽の関係を詳しく計算してもらい、観測計画の立案に役立っています。今回の日食では、計算結果とともに、『ひので』からは金環になるのですね。びっくりです。そういえば、2007年3月のときの皆既も驚きでした」とのメッセージが相馬さんから届き、大変珍しい瞬間にまたも



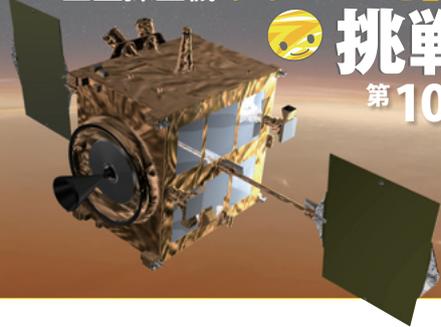
「ひので」がX線で見た金環日食

や遭遇できることを知りました。今回の日食は、地上では欧州などで部分日食しか見ることができませんでしたが、高度約680kmを周回する「ひので」は、北極の上空を通過する際に金環日食帯に入り、この瞬間の唯一の目撃者となりました。

X線で撮影された画像は、太陽の内側に黒い月がすっぽり入り込み、オレンジ色に疑似的に着色された太陽コロナが輪のように見える、幻想的な画像となっています。今回の日食は、日本か

らは一切観察できないものでしたが、「宇宙から金環日食 世界初 衛星ひので撮影」(朝日新聞)などと、新聞各紙にカラー写真が掲載され、日食に対して大変関心が高いことを感じました。来年2012年5月21日には、金環日食が東京など太平洋沿岸地方で見ることができるので、今から楽しみです。

(清水敏文)



1 μ m赤外カメラIR1で見る金星の雲と地表

東京大学大学院 理学系研究科 地球惑星物理学科 准教授
岩上直幹

1 μ m赤外カメラIR1は「あかつき」に搭載された5台のカメラの一つで、ほかのカメラなどと協力して、「あかつき」の大テーマである「大気超回転の謎」を解くことを主目的としています。大気超回転は、この「あかつきの挑戦」シリーズ2回目の「金星の風に訊け」（今村剛）で紹介しています。金星本体が時速6kmで回っているのに、その上に時速360kmの風が吹いているという不思議な現象です。つまり風が勝手に地表の60倍の速さですっ飛んでいる。ちなみに地球ではその逆で、最大風速は地表速の10分の1くらいです。

では、どういう方法で謎解きをするかというと、金星周回軌道上から雲の写真を2時間おきに撮って比較し、雲の動きから風速の分布を決めるのです。超回転の原因は雲層（45～70km）あたりにあるらしいので、「雲層中のいろいろな高度で風速を測れば加速の仕組みが分かるはずだ」という戦略です。カメラが多数あるのは、波長によって見える高さが違うことを利用するためです。IR1カメラは高度55kmあたりを担当します。紫外カメラでは高度70kmあたり、2 μ m赤外カメラの夜面では50kmが見えます。

カメラ自体は、焦点距離84mm・F8・視野12度のCCDカメラのようなものに、昼面用1波長・夜面用3波長のフィルターを組み合わせています。センサー部分は普通のデジタルカメラと一見大差ありませんが、目には見えない1 μ mの赤外光を扱うところが違います。また、大違いなのは信頼性です。壊れたら直すことができない宇宙の彼方で、熱や放射線にさらされながら何年も働き続けなければなりません。

IR1カメラには副目的があり、夜側も3波長で観測します。1 μ m域の特色は、雲と大気を通して地表が透けて見えることにあります。一つの狙いは地表付近の水蒸気量で、水蒸気吸収のある波長とない波長の明るさを比べることによって、半球分の水平分布を調べます。地球大気中と同様、水蒸気は地表付近の環境を左右する重要な気体です。もう一つの狙いは地表物質で、別の波長ペアの明るさ比較によって、地表にある鉱物の種類を推定する手掛かりを得ようとしています。例えば、黒っぽい第1鉄が多いのか、赤さびの第2鉄が多いのか分かる可能性があります。もう一つのおまげが活火山探しです。金星では数億年前に盛んな火山活動があったらしいのですが、活火山は見つかっていません。もし見つか



図1 金星通過2日後、60万kmの距離から撮像した金星(0.90 μ m)
昼面が三日月状に見えている。視直径は約1度。

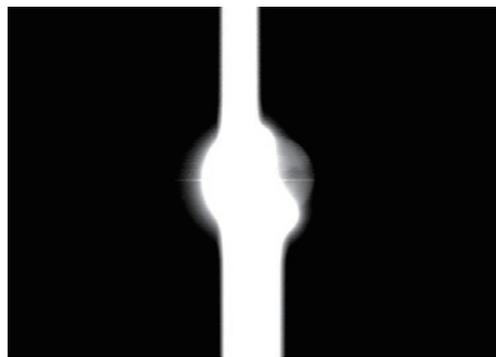


図2 金星通過2日後、60万kmの距離から撮像した金星(1.01 μ m)
右側の薄い部分が夜面からの熱放射。左側の明るい部分および上下に伸びる明帯は昼面とその迷光。

れば金星内部状態に関する大ニュースです。詳しく調べることができれば、金星の起源や進化に関するいろいろな情報が得られるはずですよ。

残念ながら2010年12月7日の周回軌道投入は失敗してしまいましたが、2日後に60万km行き過ぎたところから振り返って金星を撮像しました(図1)。昼面は細い三日月状に見えています。上方が二重になっているのは、撮像中に「あかつき」の姿勢が変わったためです。夜面では1万倍も明るい昼面からの迷光がとても強いのですが、右側にぼんやり、しかしくっきり半球状に夜面が見えています(図2)。夜面中央に見える横長の暗部は、この経度域の赤道部分に東西に横たわるアフロディーテ大陸と思われる。大陸はまわりより標高が高いので気温が低く、赤外熱放射が弱いためIR1カメラでは暗く写るのです。実際の観測では、昼面部分を視野の外に出して夜面だけを撮像する予定です。なお、昼夜の明るさの違いにはフィルター透過率の違いで対応しています。

現在、探査機の現状の確認作業を進めており、再挑戦の可能性を探っています。

(いわがみ・なおもと)

IXO
プラハ・ミュンヘンの陣

酷暑の夏から一転して、寒波の押し寄せるヨーロッパへ旅立ったのは12月5日でした。幸い遅れることなくドイツ・ミュンヘンから乗り継いでチェコ・プラハに着くと、積雪30cmの銀世界が出迎えてくれました。チェコへ来たのは、大型国際X線天文台IXO (International X-ray Observatory)の望遠鏡ワーキンググループ(WG)の会議のためでした。

IXOは10年以上前から日本とESAで検討してきたXEUS (ゼウス) 計画に、Beyond Einsteinプログラムに選ばれなかった米国のX線コミュニティがNASAに後押しされて合流してできた計画です。2020年代に日米欧が協力して、宇宙で最初の世代の巨大ブラックホールを探ろうというのが最初のアイデアでした。そのため、XEUS計画は当初、口径10m近い超巨大X線望遠鏡を宇宙ステーションで組み立て、焦点距離50mを編隊飛行で実現しようという壮大な案からスタートしました。

20世紀の終わりに、Newton, Chandraという巨大衛星がほぼ同時期に打ち上げられたときは異なり、この規模の衛星は一つの宇宙機関で実現できるものではなくなってきました。予算規模も2000億円を超えるようなミッションとなれば、世界で一つとなることは当然でしょう。その中で、これまで水と油にもたとえられてきた欧米のX線天文学の主力ががっちり手を組むことになりました。日本はその中で、三つのEqual Partnersという枠組みの一つであり、独自の技術とサイエンスを打ち立てるとともに、欧米の接着剤としての機能も果たすように心掛けています。

IXOの最大の課題は、数平方メートルの有効面積を持つ巨大X線望遠鏡の製作です。宇宙初期のブラックホール天体探査のためには、5秒角という高い空間分解能を持たせる必要があります。それも衛星全系で6トン台の重量に抑えるため、これまでにない画期的な望遠鏡技術が求められます。巨大な面積のX線反射鏡を精度よく作り、組み上げるため、欧州ではシリコン板を積み重ねる方法を進め、

米国ではガラス薄板を曲げる方法を開発してきました。いずれも、日本の「あすか」「すざく」の多重薄板望遠鏡による超軽量高効率と、EinsteinとChandraの重厚で超高分解能を持つ望遠鏡の、双方の特徴を併せ持つことを目指すものです。市販のシリコンウェハーを使ったり、市販のガラスシートを用いるなど、これまでにない挑戦ですが、まだ目標の性能を実現できていません。米国がミッションに合流してきたとき、欧米が持つ二つの望遠鏡技術を並行して開発し、途中で比較して絞り込むことにしました。私は望遠鏡WGのメンバーとしてそれぞれの開発に関わりながら、その進化を見てきました。今回のプラハとミュンヘンの会議もこの開発成果を聴き、ESA Cosmic Vision提案の中で優先すべき技術の選択を決める場でもありました。細かな技術論は別にしても、大変興味深い議論でした。

技術成熟度のレベルの定義から始まり、少しでも自らの技術の優位性を示そうと懸命でした。その議論は真剣で深く、ストレートなもので、まわりの雪を解かす熱いものでした。SPIE (国際光学会)などの成果報告的な講演での質疑とは比べ物になりません。私たちは中立の立場から冷静に問題点を指摘し、双方の主張を整理するほか、硬X線反射のための多層膜を持ち込むなどの努力をしています。今回は、ガラス製品で有名なチェコのX線光学研究者が会議の場所を提供し、続いてやはりX線望遠鏡を開発しているミュンヘンのマックス・プランク研究所で会議をしました。去年はイタリアのX線望遠鏡開発チームのいるミラノで会議。その前には、NASAゴダード研究所の望遠鏡開発現場を訪れました。日本では、次期X線天文衛星ASTRO-HのXRT (X線望遠鏡)に関するEngineering Peer Reviewの際、IXO望遠鏡WGのメンバー5名を招き、大型放射光施設SPring-8、名古屋大学、宇宙研を案内しました。いずれは2種類の光学系を中立国のSPring-8で比較実験しようと考えています。望遠鏡WGのメンバーが、互いの開発現場を見ることで相互理解を深め、共に競い合い、協力し合う基盤が醸成されてきたと思います。IXOは少し先の計画ですが、IXO望遠鏡WGのメンバーとして、また、統括委員会の委員として、東奔西走の日々が続いています。

(くにえだ・ひでよ)



かつての貴族の館をチェコ科学アカデミーが改造し、会議場、宿泊施設として提供している。

國枝秀世

高エネルギー天文学研究所 客員教授



ペンシルロケット26号機と 嘆きの一言

廣川賢二

2007年9月25日の朝、新聞のテレビ・ラジオ欄を見て驚いた。なんと『開運! なんでも鑑定団』にペンシルロケットが登場すると書いてあるではないか。え! ペンシルロケットなら我が家にもあったはず。しかし、今住んでいる家に引っ越してきてからでも20年近くたっている。さて、どこにあるのか見当もつかない。仕事を終え帰宅し、夜の9時をそわそわしながら待つが、こんなときはなかなか時間がたたない。ようやく番組が始まったが、なぜかペンシルロケットがすぐに出てこず、結局番組の最後に出てきた。

形は同じだが先端部分の材質が違うようなので、我が家のものは偽物かもしれないなどと考えながら探し始めるが、見つからない。日付が変わるころ、たんすの上の一番奥に、ほこりがかぶってみすばらしい姿で載っているのをようやく発見。ヤレヤレ。偽物か本物か調べようがないが、とにかくきれいに飾らなければならないと思い、次の日に近くの骨董品屋の主人に事情を話すと、ガラス製のカプセルケースを探し出してくれた。VIP並みの待遇で、茶だんすの上の特等席に飾ることになった。

時は流れ、運命の2010年10月25日、国立科学博物館での「空と宇宙展」の内覧会に招待された。もしかするとペンシルロケットが展示されているのではないかと期待して、我が家のペンシルロケット26号機の写真を持って出掛けた。航空機の歴史などいろいろ説明を聞いた後、いよいよロケットの番となりJAXAの阪本成一教授の説明が始まった。新聞記者たちの後ろからのぞくと、あった! 我が家のと同じ形、同じ材質のものが。機体番号は6だ。いつの間にか一番前に出て眺めていると、阪本教授の声が耳に入ってきた。「残念ながらこのペンシルロケットが、我がJAXAにはないんです」。この嘆きの一言が我が家のペンシルロケット26号機の運命を変えることになる。

そして説明はロケットから衛星に移り、最後

は今回の目玉である小惑星イトカワから帰ってきた「はやぶさ」のカプセルだった。「はやぶさ」カプセルの展示物は3つ。私が2つ目の展示物を見終わって最後の展示物へと歩きだしたとき、私のいる方向に阪本教授が歩いてこられた。とっさに「先生!」と声を掛けていた。「実は我が家にこんなものがあるんです」と、26号機の写真を見せる。阪本教授は一瞬びっくりして、目が点になった様子だった。教授はこのときどのような思いだったのか、機会があったら聞いてみたいと思っている。もしあのとき、記者たちが阪本教授を質問のため取り囲んでいたら、たぶん声を掛けられなかったと思う。そうなれば、ペンシルロケット26号機は一生我が家から出られなかっただろう。その後、もし必要ならばお貸しするという話になり、名刺交換をして別れる。数日後、電話およびメールで貸し出しの打ち合わせを済ませる。

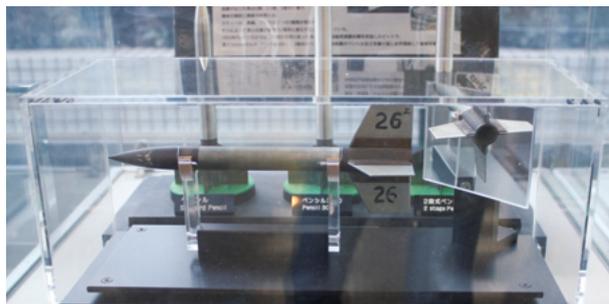
ここまでが最近の話だが、ではペンシルロケットがなぜ私の手元にあるのかという昔話をしてみよう。

実は、私の父は東京の品川で鉄のスクラップ問屋を営んでいた。そこには都内および周辺から出たスクラップが集まってきていた。役所や地方自治体が行う入札で落札したスクラップを業者が持ってくることもあった。

たぶん1961年だったと思う。何月だったかはまったく記憶にないが、ある朝、「東京大学から面白いものが入ったので見に来い」と父親から連絡があった。高校生だった私は、授業が終わるやいなや店に飛んで行ってヤードの中を探したが、それらしきものはなかった。父親に「何もないじゃん」と言うと、「ああ、さっき業者が来て持って行ってしまった」と言われてガックリしながら事務所に入った。すると、何と机の上にペンシルロケットが1本だけぽつんと、小さいながらも輝いて立っていた。そのころ新聞やラジオでよくロケットに関するニュースが流れており、私自身大変興味を持っていたので、夢を見ているような気持ちで見ていた。しばらくして現実の世界に戻り、あらためて目の前にあるのが糸川英夫教授が飛ばしたペンシルロケットなんだなどと考えながら新聞紙に包み、勇んで我が家へ持ち帰った。

その日から私の唯一の宝物として我が家にあったのだが、2010年11月9日、相模原のJAXAに嫁入り(婿入りか?)。今はもう何も入っていない空のカプセルケースだけが、茶だんすの上に寂しく載っている。

(ひろかわ・けんじ)



JAXA相模原展示室に飾られたペンシルロケット26号機

