



鶴田浩一郎 前本部長（向かって右）から井上 新一 本部長へバトンタッチ

退任にあたって

鶴田浩一郎

私、9月30日をもってJAXA理事および宇宙科学研究本部長を退任致しました。3機関統合直前の旧宇宙科学研究所長の期間を加えますと2年半弱にわたって、大きな変革の時期を「宇宙科学」という切り口を通して日本の宇宙関係者と共有できたことは、幸いであつたと考えております。

2年前、統合の直後には、私はJAXAの中で宇宙科学を進めていくことに危惧を持っておりました。JAXAの中では宇宙科学は少数派で、役員会での私の発言は場違いに響き、居並ぶ役員に何の反応ももたらすことができませんでした。状況の変化は、皮肉なことに、三つの連続した不具合によって起きた気がします。H-IIAの事故ではM-Vチームが、「みどりII」の放電問題では理学チームが、また、「のぞみ」の火星軌道投入断念では本社機能が活躍しました。いずれも現実の作業を通して一体感が生まれ、言葉の障害が薄まるきっかけとなったと思います。

発足1年後の「JAXA長期ビジョン」作成、外部諮問委員会の示唆によるシステムズエンジニアリング部門の新設で

は、大規模な議論が各部署を巻き込んで行われました。結果の良し悪しはこれからの努力次第という気がしますが、全JAXAを通じた熱い議論ができる環境は整いつつあると思います。宇宙科学に対する理解も、ずいぶん変わったと思います。私たちは、今年になって「すざく」「れいめい」を打ち上げ、この後ASTRO-Fを、さらにSOLAR-Bを打ち上げようとしています。これらは、JAXAの宇宙科学に対する理解なくしてはできないことです。

組織としての大きな課題は、冷戦終結後の宇宙開発をめぐる環境の変化に対応して、開発目標を具体化していくことだろうと思います。かつて宇宙科学研究所がそうであり、H-IIAを開発した宇宙開発事業団がそうであったように、組織の構成員が自分たちの組織JAXAを誇りに思えるような目標になればと思っています。

最後に、私の在任中に寄せられました皆さまのご助力・ご協力に、心から感謝致します。

(つるだ・こういちろう)

「中くらいのブラックホール」は存在するか？

海老沢 研

宇宙科学情報解析センター教授

星の周りの重力場はアインシュタインの重力方程式で記述され、それを解くとブラックホールというものが現れる。小さいところにモノを押し込め過ぎて自己重力が無限に強くなってしまった、という不思議な天体だ。最初にその解を見つけたシュバルツシルト博士の名前にちなんで、これ以上小さくなるとブラックホールになってしまう限界半径を「シュバルツシルト半径」と呼ぶ。

太陽のシュバルツシルト半径は約3km、地球は約1cm。地球を半径1cmまでつぶすと、ブラックホールになってしまう。でも、そんな小さなブラックホールを作るメカニズムは知られていない。この宇宙には、太陽の3倍から10倍程度の質量を持つ比較的小さなブラックホールと、数百万倍以上の巨大ブラックホールが存在する。では、その中くらい、太陽の数百あるいは数千倍の質量を持つブラックホールはこの宇宙に存在するだろうか、というのがこの記事のテーマである。

星サイズのブラックホールと巨大ブラックホール

質量 M の天体のシュバルツシルト半径は $2GM/c^2$ 。 G と c は万有引力定数と光速であり、どちらも宇宙の構造を決めている根本的な自然常数だ。すなわち、シュバルツシルト半径は質量に単純に比例する。これはブラックホールの性質を調べる上でとても大事なことだ。ブラックホールを遠くから見たとき、その体積(みたいなもの)は、シュバルツシルト半径の3乗に比例すると思ってよい。密度は質量/体積で、ブラックホールの質量はシュバルツシルト半径に比例するから、結局ブラックホールの密度はシュバルツシルト半径の2乗に反比例することになる。つまり、重くて大きなブラックホールほど、その密度は小さいということになる。太陽の約10億倍以上の質量を持つブラックホールの密度は、水よりも小さくなる。

宇宙には太陽の50倍くらいまでの重さの星が存在すると考えられている。ももとの質量が太陽の約10倍以上のものは、星の進化の最終過程で超新星爆発を起こす。その後に燃え尽きた星のしんとして、中性子星かブラックホールのどちらが残る。超新星爆発の衝撃で星のしんが

ギュッと押し込まれると、陽子と電子がくっついて、すべて中性子になってしまう。普通の星は、核融合反応を起こして燃えていることで、その圧力と重力が釣り合って安定している。それに対して、もう燃焼していないので燃焼の圧力で自分を支えることはできないが、中性子同士の強い反発力で形を保っているのが中性子星だ。典型的な中性子星は、東京の山手線くらい(半径約10km)の大きさ、太陽くらいの質量を持つ。しかし、それにも限界があって、太陽の約3倍より重くなると、中性子間の反発力でも支え切れない。それほど強い重力にあらがう力は、自然界には存在しないのだ。そういう天体は重力崩壊を起こしてブラックホールになってしまう。

つまり、活動を終えたコンパクトな星で、太陽の3倍以上の質量を持つものは、ブラックホールにはかならない。消去法的な議論だが、こうやって我々の銀河系の中に、確実なブラックホールが10個以上見つかっている。それらは通常の星とペアを組んでおり、その伴星の運動をスペクトル線のドップラーシフトで測ることによってブラックホールによる引力が分かり、その質量が求められるのである。この測定は精密で、今ではブラックホールの存在を疑う天文学者は存在しない。今までに測定されたブラックホールのうち最も重いものは、太陽の14倍の質量を持つ。このようにして超新星爆発の後にできる太陽質量の3倍から10倍程度のブラックホールを、ここでは「星サイズのブラックホール」と呼ぼう。

一方、銀河の中心には、星サイズのブラックホールよりもはるかに重いブラックホールが存在する。ほとんどの銀河は回転していて、その中心には強い重力源がある。その重力に引かれて銀河の中心にどんどんモノが集まってくると、その生成過程はともかく、ブラックホールにならざるを得ない。このような、銀河の中心に存在するブラックホールを「巨大ブラックホール」と呼ぶことにしよう。ある種の巨大ブラックホールは、モノがそこに落ち込むときの重力エネルギーを、電波からガンマ線まで広い範囲の電磁波として放射することで知られている(活動銀河核)。また最近では、星サイズのブラックホールと同様に、銀河の中心の巨大ブラックホールに関して

も、その周りの星や物体の運動からブラックホールの質量を直接測定できるようになってきた。例えば、我々の銀河系中心のブラックホールは太陽質量の300万倍、M87という銀河では30億倍程度である。

X線観測からブラックホールの質量を求める

星サイズのブラックホールや巨大ブラックホールは、強いX線源として観測されることが多い。X線の観測データを解析することによって、ブラックホールの質量、周辺の物理的状況、それに最近ではブラックホールが回転しているかどうか、そんな議論もできるようになってきた。

宇宙研の「てんま」「ぎんが」「あすか」というX線天文衛星も、X線観測によるブラックホールの研究に大きな貢献をしてきた。「ぎんが」衛星の大きな成果の一つが、X線のスペクトル観測から星サイズのブラックホールの質量が推定できることを示したことである。その原理は単純で、星サイズのブラックホールの降着円盤（伴星からの物質が渦を巻いて落ちていくときに見える）のサイズをX線観測から決めて、それをシュバルツシルト半径と結び付けてやればよい。「てんま」や「ぎんが」の観測から、降着円盤のX線エネルギースペクトルは黒体放射（真っ赤に燃えている石炭みたいなもの）で近似できることが分かった。石炭でも降着円盤でも何でも、黒体放射のエネルギースペクトルは温度だけから、そこから出てくる熱の量は表面積だけから決まる。星サイズのブラックホールの周りの降着円盤の温度は約1000万度。X線スペクトルフィットからその温度を決めて、観測されたフラックスから円盤の面積、すなわち内縁の半径が決まる。

「ぎんが」衛星は、円盤の温度とフラックスが大きく変化しても、内縁の半径は一定であることを発見した。ブラックホールの周りでは、物体はシュバルツシルト半径の3倍より近づけないことが、一般相対性理論から分かっている。円盤の半径は、シュバルツシルト半径の3倍でピッタリと一定であるべきだ。「ぎんが」はまさにそれを発見したのである。この美しい結果は、最近の高エネルギー天文学の教科書にも引用されている(図1)。

X線で明るく光る天体ULXの正体は？

さて、ブラックホールについてもう一つ大切な性質がある。それは重くなればなるほど、その周りの降着円盤が低温になるということだ。

降着円盤は黒体放射に近いから、その光度は表面積と温度の4乗の積に比例する。一方、以下で述べるように、ブラックホールの最大光度は質量に比例する。ここで、シュバルツシルト半径が質量に比例することを思い出してほしい。円盤の表面積は、シュバルツシルト半径の2乗、つまり質量の2乗に比例する。その結果、質量の大きなブラックホールほど円盤の内縁が大きくなり、温度が下がる。実際、星サイズのブラックホールの降着円盤は1keV程度のX線領域で観測されるが、巨大ブラックホールに関しては、それよりもずっと波長の長い、紫外線領域で観測される。

ブラックホールにモノが落ち込み、重力エネルギーを解放して光るとき、その光度は質量によって決まる「エディントン限界光度」を超えることができない。球対称を仮定すると、光の圧力でモノが押し返されて重力と釣り合い、それ以上は重力エネルギーを解放できない、という限界が存在するのである。エディントン限界光度は質量に比例し、太陽質量では 10^{38} エルグ/秒。つまり星サイズのブラックホールでは、その10倍程度、 10^{39} エルグ/秒を超えられない、ということになる。しかし、1980年代、X線天文学で撮像観測が可能になり始めたころから、銀河の中心核からずれたところに、やけに明るく、 10^{40} エルグ/秒程度で光る天体が存在することが知られていた。もし太陽質量の100倍のブラックホールなら、エディントン限界を超えずに済むのだが、果たしてこれらの天体は「中くらいのブラックホール」なのだろうか？

1993年に打ち上げられた「あすか」衛星により、これら「Ultra-Luminous X-ray sources (ULX)」のエネルギースペクトルを初めて精密に測定できるようになった。それに対して「ぎんが」衛星で星サイズのブラックホールについて確立した手法を当てはめれば、ULXの質量に制

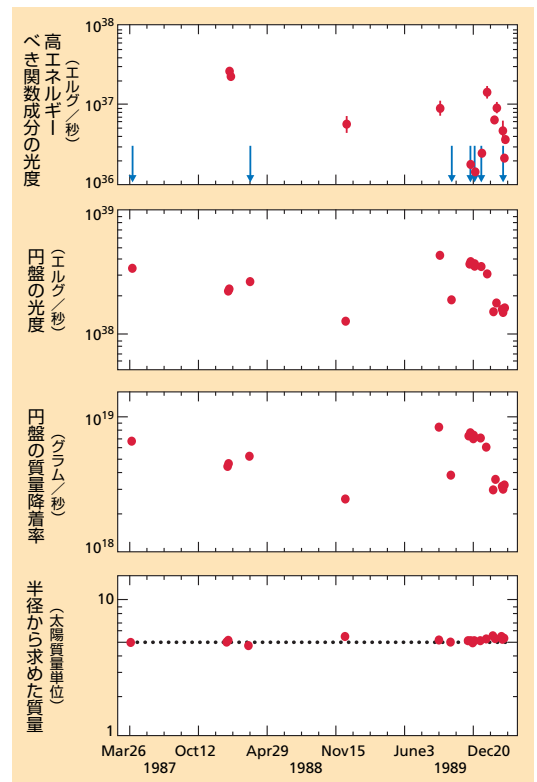


図1 「ぎんが」衛星が観測した、星サイズのブラックホールLMC X-3のX線スペクトルパラメータの時間変化。降着円盤の質量降着率、光度、高エネルギー成分が大きく変化しても、円盤の内縁は一定で、それからブラックホールの質量が決まることが分かる。筆者の博士論文から取った図だが、Longairの「High Energy Astrophysics」という教科書にも載っている。

限が付くかもしれない。しかし、出てきた結果は予想とは正反対であった。もしULXが中質量ブラックホールならば、その降着円盤は星サイズのブラックホールよりも低温であるべきだ。しかし、観測された降着円盤の温度は、どれも星サイズのブラックホールよりも高かったのである。これはそのまま解釈すると、星サイズのブラックホールよりもさらに小さな質量(例えば中性子星)で、数十倍のエディントン光度で光っていることになる。そんなことは物理的にあり得ない。いったいULXでは、何が起きているのだろうか？

スリムディスクか、中くらいのブラックホールか

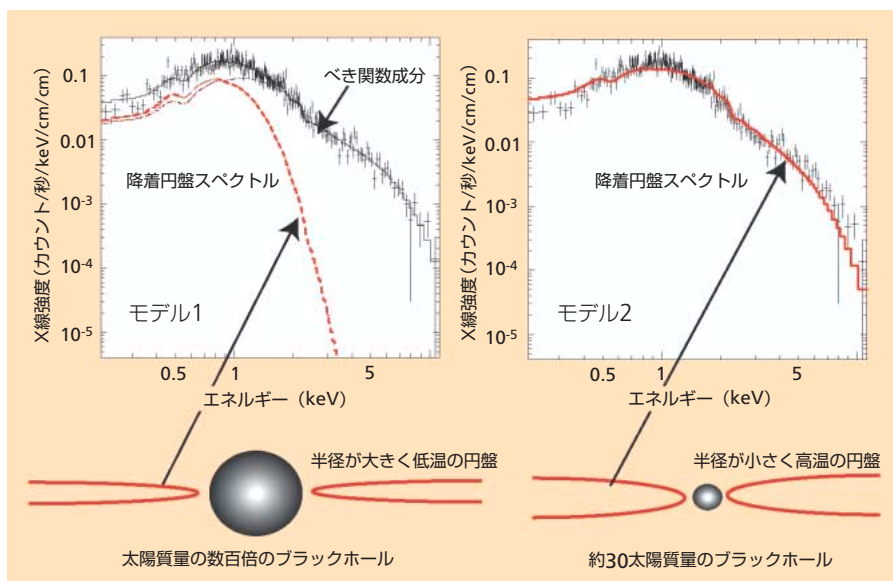
ここで、二つの解釈が登場する。まず一つは、予想通りの低温降着円盤成分と、高エネルギー側の残りを説明する、べき関数スペクトル成分を仮定するものである(図2左側)。星サイズのブラックホールでも、降着円盤成分よりも高エネルギー側で非熱的な、べき関数スペクトル成分が存在した。それと同じ2成分モデルを適用したものである。この解釈によると、低温降着円盤スペクトルから推定されるブラックホールの質量は、太陽質量の数百から数千倍になる。もう一つの解釈は、ULXにおいては質量降着率が高くなり過ぎ、標準的な降着円盤モデルは破たんしており、円盤は「スリムディスク」と呼ばれる別の物理状態になっている、というものだ(図2右側)。実際、スリムディスクモデルは理論的に予言されており、円盤の光度がエディントン限界に近くなると重力エネルギーのすべては局所的に熱化されず、移流によってエネルギーが内側に運ばれる。スリムディスクから期待さ

れるエネルギースペクトルの計算は複雑だが、最近の研究によると、どうやら標準的な降着円盤よりもかなり温度が高くなるようで、これはULXの観測とうまく合う。また、スリムディスクは文字通り薄過ぎず、厚過ぎず、球対称の仮定を逃れたおかげで、エディントン限界の10倍ほどの光度まで出すことができる。

図2に示したように、どちらのモデルでも観測スペクトルをうまくフィットさせることができる。しかし、私は以下の理由から、前者のモデルを信じない。(1)星サイズのブラックホールの場合、高エネルギー側のべき関数成分の時間変動は大きく変動していた。しかし、ULXの場合、常に低温円盤成分とべき関数成分の比はほぼ一定であり、不自然である。これは、スリムディスクの形を無理やり現象論的な2成分モデルで合わせているためではないか？(2)星サイズのブラックホールでは、円盤の光度と温度が大きく変わっても内縁の半径は一定、という降着円盤の半径とシュバルツシルト半径を結び付ける強い証拠があった(図1)。そういう証拠がULXについては見つかっていない。

私は後者のモデルの立場に立ち、降着円盤の理論家と協力し、スリムディスクのスペクトルをULXに当てはめ、ブラックホールのパラメーターを求めようとしているところである。我々のモデルでは、ULX中のブラックホールの質量は30太陽質量程度、かなり重い星サイズのブラックホールである。降着円盤はスリムディスクになっていて、エディントン光度の数倍で光っている。これによって、観測された 10^{40} エルグ/秒程度の光度も問題なく説明できる。数百、あるいは数千太陽質量の「中くらいのブラックホール」は必要ない。

図2 謎のULX天体、NGC1313 X-2のX線エネルギースペクトルを説明する二つのモデル。モデル1では、太陽の数百倍の質量を持つ「中くらいのブラックホール」の周りの低温降着円盤を仮定する。一方、モデル2では、約30太陽質量を持つ「星サイズのブラックホール」の周り的高温降着円盤を仮定する。筆者は後者を支持しているが、いったいどちらのモデルが正しいのだろうか。



近い将来さらに観測と理論が進めば、我々のモデルが正しいことが証明され、ULXの正体に決着をつけられると思っている。いや、もしかすると我々が間違っていて、本当に中くらいのブラックホールの証拠が発見されるかもしれない。そのときは頭をかいて反省するといけないが、もしもそんなものが宇宙に本当に存在するとしたら、それはそれでものすごくエキサイティングで面白いことなのである。宇宙は簡単には真の姿をさらけ出してはくれない、実にじれったくもあるが、ULXの謎解きではまだしばらくは楽しめそうだ。(えびさわ・けん)

宇宙の苦勞人

GX 339-4

日本大学理工学部物理学科宇宙・数理解析研究室専任講師 根来 均

GX 339-4。この天体をご存知の方はおられるだろうか？ その知名度は、あまりに低い。白鳥座X-1 (Cyg X-1) に次いで2番目に発見されたブラックホールらしき天体であるにもかかわらずだ。「なんだ2番手か」と思われた方もおられるかもしれない。しかしGX 339-4は、ブラックホールを研究する者にとって、「優等星」の白鳥座X-1を（はるかに？）しのぐ魅力的な特徴を多く持っている。

GX 339-4は1970年代初頭まで、白鳥座X-1な

どとともに、ほかのX線星とは異なる不規則な短時間変動を示す奇妙な天体として認識されていた（図1）。しかし、白鳥座X-1はその後、連星を組む相手方の星の運動から、その質量が中性子星が持ち得る上限の質量を超える、つまりブラックホールかもしれないということが分かった。その結果、白鳥座X-1は一躍、時の人、いや「時の星」となり、一方のGX 339-4はその後長い間、白鳥座X-1とよく似た特徴を持つからブラックホールだろう、という1ランク下の第二集団に入れられてしまった。

しかし、GX 339-4は「ブレイク」する。

多くのブラックホール候補天体では、明るく穏やかな状態と、先に記した奇妙な短時間変動が観測される暗い状態の二つの姿が、X線で観測される。エリート路線をひた走る白鳥座X-1は、明るい状態が観測されるたびにその珍しさゆえ、『Nature』に掲載された時期もあった。一方、GX 339-4は、白鳥座X-1よりはるかに高い頻度で状態変化を起こすことが分かっている。さらに、白鳥座X-1は決して見せてくれない、発狂状態ともいべきより明るくさまざまな不可解な時間変動を示す状態（図2）や、瀕死ともいべき非常に暗い状態など、技のオンパレードのごとく物理的に興味深いさまざまな変化をも見せてくれた。それらの現象の中には、その特異さゆえ、まだ見つかっていないブラックホールである直接の証拠が隠されているかもしれない。

そんな魅力的なGX 339-4が、どうしてここまでマイナーなのか。名前が悪いのかもしれない。GX 339-4は「銀河X線源の銀経339度、銀緯-4度に位置するもの」という安直なネーミングであり、優雅でかつ神秘的な雰囲気が漂う「白鳥」を冠するライバルとは、最初から水をあけられている。その特徴から、いっそのこと「ミラクルX」とか、対抗して「黒鳥座X-1」（注意：そんな星座はない）にでも改名していたら、状況も変わっていただろうか。最初の発見を重んじる科学の世界ゆえ、永久に2番手でも仕方ないのかもしれない。

そんなGX 339-4も一昨年、ようやく質量が5.8太陽質量程度と分かり、名実ともに第一集団に入った。GX 339-4、別名ミラクルXから、まだ目が離せない。

（ねごろ・ひとし）

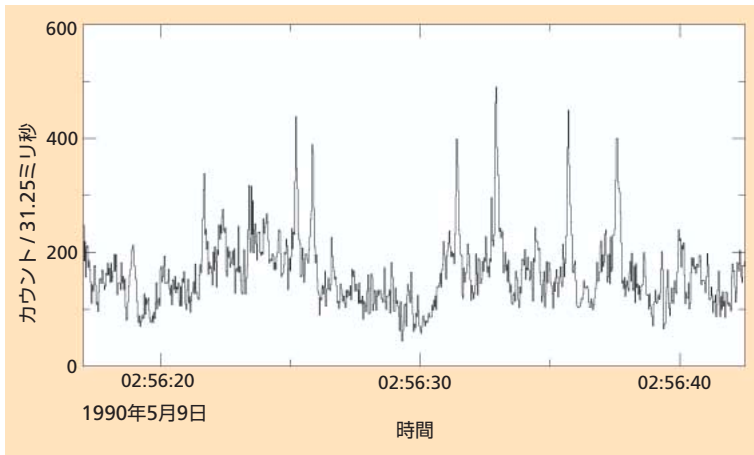


図1 「ぎんが」衛星により観測された、白鳥座X-1の暗い状態でのX線強度の短時間変動。小田稔元宇宙科学研究所長らは、このような奇妙な短時間変動の様子からブラックホールの存在を直感し、1971年の論文で初めてブラックホールの存在を観測的に示唆した。

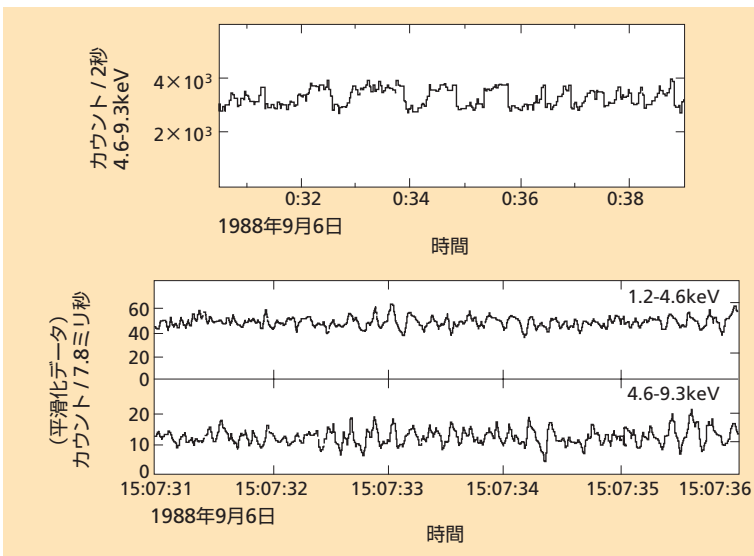
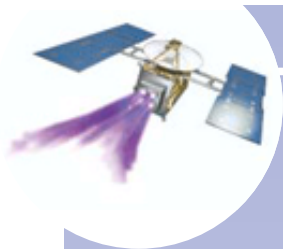


図2 「ぎんが」衛星により GX 339-4 の非常に明るい状態時に観測された「フリップフロップ」(上)と「準周期的振動」(下)と呼ばれる奇妙なX線の短時間変動 (Miyamoto et al. ApJ. 1989 より)



はやぶさ近況

「はやぶさ」がイトカワに到着

2003年5月に打ち上げられた第20号科学衛星「はやぶさ」は、その探査対象である小惑星イトカワに到着し、ランデブー飛行を開始しました。「はやぶさ」は、2003年6月末からイオンエンジンの運転を開始し、2004年5月の地球スウィングバイによって、小惑星イトカワを目指してさらなる加速と軌道面修正を行いました。本年2月には遠日点（太陽から最も遠ざかる点）を、5月には地球から2.6天文単位の最も遠い点を通過し、7月には地球から見て太陽の裏側の地点である「合」を切り抜けるという、三つの難関を乗り越えてきました。7月30日には、探査機の姿勢を制御するために使用するリアクションホイールの一つが故障で失うという非常に大きな試練がありました。8月28日にはイオンエンジンの運転を停止し、その後は化学エンジンによる微小な軌道修正を繰り返して、9月12日の日本時間午前10時、イトカワから地球側に約20kmの通称ゲートポジション点に、相対的に静止することに成功しました。我が国が、他天体にランデブーを行うのは初めてのことです。

火星探査機「のぞみ」は残念な結果となりましたが、その経験を随所に活かすことによって、「はやぶさ」は我が国の惑星探査に大きな一歩を踏み出したといえるでしょう。諸外国もイオンエンジンの実用化と天体へのランデブー探査を計画していますが、次と目されるNASAのDawn探査機も打上げ準備中であり、今回の飛行はまさに世界的に見ても初のことです。加えて、「はやぶさ」は往復飛行を目指しています。途中にランデブーを経過させて往復飛行を行わせる計画は、「はやぶさ」以外には開発中のミッションさえありません。我が国の技術レベルを世界に訴えられる時代がようやく実現したとの思いがあります。

今回のランデブーは徐々に減速を行ったため、接近してからの飛行には長時間を要しました。8月末には時速36kmという自動車並みの速度で、イトカワから3500km地点にありました。それから2週間、まるで台風の接近のようにしずしずと近づいていきました。軌道修正も数十cm/秒ずつという精密さで、最後の静止化の軌道修正も7cm/秒を逆噴射させて、0.25mm/秒というほぼ完璧な静止条件を実現しています。NASAのDeep Impact探査機は世界中の関心を集めました。飛行制御の精密さでは「はやぶさ」の方がはるかに勝っており、大いに誇りたいものです。

こうして到着したイトカワは、実に意外な表情を見せてくれました。人類はこの大きさの天体の素顔に初めて接したといえます。誰もがぎとこうだろうと想像していたことは見事に打ち砕かれ、その形成・成因の謎解きがさっそく始まっています。

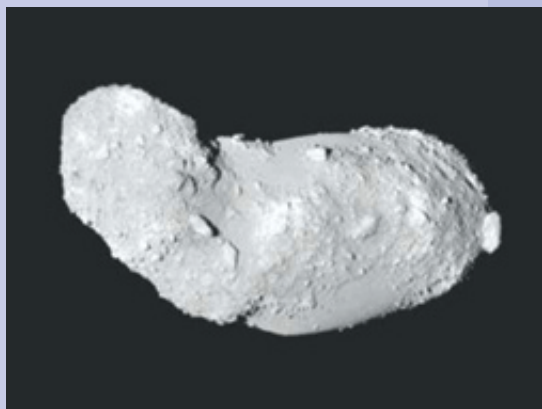
搭載した科学観測機器は正常に機能しています。多波長域での可視カメラ撮像、近赤外の分光、蛍光X線分光観測、レーザ高度計による地形計測など、科学観測結果は毎日順調に収集されています。10月上旬には、高度を約7kmにまで下げ、より詳細な観測と着陸点選定のための地図づくりが始まります。そして11月には、1回のリハーサル降下に続き、2回の着陸と試料採取を予定しています。

「はやぶさ」の航法、誘導、推進と軌道計画には、ほかに手本がありません。先日はさらにもう一台の

リアクションホイールが故障するアクシデントもあり、探査機バスシステムは完調ではないわけですが、これから、接近・降下と着陸・試料採取という、これも前人未踏の挑戦を行ってまいります。慎重にかつ勇気をもって臨みたいと思っています。最後に、JAXA全体の各方面からの協力に深くお礼を述べるとともに、今後ともご支援を賜りたく、誌上ながらお願いする次第です。

(川口淳一郎)

10月2日に高度約8kmの地点から撮影されたイトカワ



科学観測を開始した「すざく」

この7月10日に打ち上げられたX線天文衛星「すざく」は、8月中旬にファーストライトを迎えた後、本格的な科学観測を開始した。7月末からの観測機器の立ち上げの途中で、X線マイクロカロリメータ(XRS)による観測が不可能になるという不具合が発生したものの、硬X線検出器(HXD)とX線CCDカメラ(XIS)は順調に観測を続けており、期待通りの性能を發揮している。

XISは全部で4台搭載されており、うち1台には新開発の背面照射型CCDが採用されている。この背面照射型CCDは、約1keV以下のX線に対する分解能が優れており、超軟X線の観測に威力を發揮する。一方、HXDは硬X線から軟ガンマ線領域を受け持つ検出器で、バックグラウンドを極限まで落とすことで、硬X線領域で過去最高の感度を達成している。「すざく」はこの2種類の観測装置により、0.2~600keVという広帯域を一挙に観測することができる。

「すざく」は、8月後半から本格的な科学観測を開始した。X線からガンマ線の波長域ではチャンドラ、ニュートン、RXTE、インテグラルなどの衛星が活躍中で、これらの衛星との協力と競争のもと、優れた成果を出す必要がある。それには、XISとHXDの特長を踏まえた上で、その性能を極限まで引き出す観測を行わなければならない。一方、打上げ前に準備した観測計画はXRSに特化しており、使えない。そこで、科学ワーキンググループで急きょ観測天体の選定を行うことになった。ところがメンバーは全世界に散らばっている。そこで、電子メールと電話会議システムを駆使し、迅速かつ濃厚な議論を重ねて観測天体の選定を行っている。時には、天体選定から観測までが1週間という慌ただしいスケジュールになったものの、そこは練達の運用チームに支えられて、順調に観測が続けられている。

9月末までには約30天体を観測し、その種類は通常の星から銀河団にまで及んでいる。「すざく」の第一の特長は、硬X線領域での過去最高の感度である。それを活かした観測の手始めとして、活動銀河核の「ケンタウルス座A」(HXDのファーストライト)やNGC4945, MCG-6-30-15, NGC2110などを観測し、硬X線放射をきれいにとらえている。一方、硬X線観測で初めて見えてくるのが非熱的宇宙である。そこで「すざく」は、宇宙線加速の現場である超新星残骸SN1006やRX J1713.7-3949の入念な観測を行っ

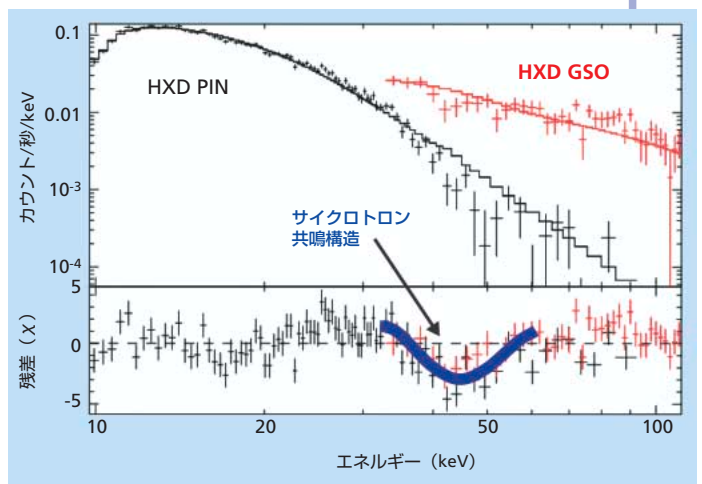
た。硬X線観測は電子の加速効率を探るために不可欠で、解析結果が待たれるところである。

「すざく」の第二の特長は、軟X線領域でのXISの優れた特性である。特に、大きく広がった天体は、チャンドラやニュートン搭載の分散型の分光器が使えないため、「すざく」の格好のターゲットになる。この特長が遺憾なく發揮されたのが、黄道北極の観測である。銀河系内には100万度程度の高温の星間ガスが至る所に存在し、我々の太陽系もそのようなガスの中にいると考えられている。ほかに明るい天体の少ない黄道北極を観測することで、このようなプラズマからの輝線放射を直接とらえることができる。「すざく」は、高階電離した炭素や酸素からの輝線を明確に検出しており、その性能の高さを実証した。

このような観測の中で、最初に科学成果としてコミュニティに速報されたのが、回帰型X線パルサーA0535+26の観測である(ATEL #613)。「すざく」は、フレアのピークから2桁近く減光したところで観測し、45keVにサイクロトロン共鳴構造を見事に検出した(図)。サイクロトロン構造は、X線パルサーの輻射領域の磁場強度を直接探る唯一の方法であり、今後重要なデータになると考えられる。

「すざく」では、現在新たな公募観測の募集案内を準備中であり、来年度からは公募に基づく天体観測を行う予定である。

(堂谷忠靖)



「すざく」の硬X線検出器(HXD)で観測した回帰型X線パルサーA0535+26のエネルギースペクトル。サイクロトロン共鳴構造が見事にとらえられている。

小型科学衛星「れいめい」搭載のオーロラカメラによる初期観測

8月24日6時10分(日本時間)にバイコヌール宇宙基地から打ち上げられたINDEX衛星は「れいめい」と命名され、この1ヶ月間で3軸姿勢制御への移行や理学観測機器の初期運用・観測が行われました。

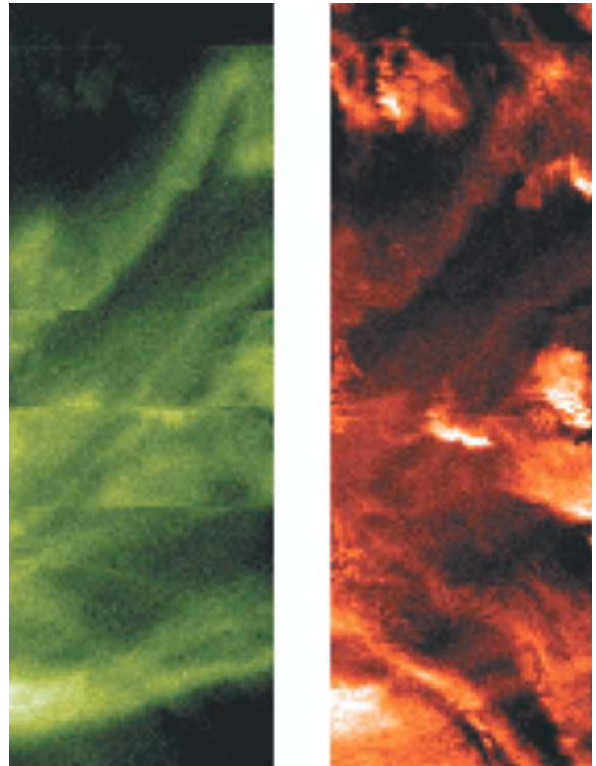
9月20日の南極上空でのオーロラカメラ観測では、活発に動くオーロラの2波長同時観測に成功しました。写真はこのときに得られたオーロラの合成画像で、酸素原子の緑色と窒素分子の赤色の発光分布を示しています。画像の範囲は南北約420km、東西約130kmで、空間分解能は約2kmです。明るく曲がりくねった緑色オーロラと暗い赤色オーロラが、ほぼ同じ場所に見られます。合成画像が不連続に見えるのは、オーロラの動きのためです。赤色画像に顕著な明るいパッチ状の広がり、月明かりに照らされた雲です。動画にすると赤色オーロラ帯に沿って小さな渦構造が移動するのが分かりますが、このような特徴はオーロラ発光現象解明の鍵となります。

南極昭和基地からのオーロラ同時観測結果と比較するため、「れいめい」衛星は10月中旬まで南極上空でオーロラを撮影します。それと並行して、オーロラ粒子分析器の高圧電源を慎重に投入し、初期観測を行います。定常的な理学観測状態に移行した後、北極圏上空において3軸姿勢制御により観測機器の視野を制御し、地上に展開されている電離圏レーダー・光学観測網との共同研究を行う予定です。

「れいめい」チームでは、多様で多色、微細な構造を呈しながら、しかもダイナミックに活動するオーロラ現象

の世界初の高時間分解能による光・粒子同時観測を目指します。

(立教大学理学部物理学科助教授 平原聖文、東北大学大学院理学研究科助手 坂野井 健)



「れいめい」の多波長オーロラカメラ(MAC)による合成画像。左は酸素原子(波長557.7nm)、右は窒素分子(波長670nm)の発光分布を示す。

SOLAR-Bの現状——総合試験始まる

SOLAR-B衛星の総合試験が開始されました。今年の6月から組み立て作業を行い、7月の末に三つの望遠鏡を搭載した光学ベンチユニットとバス部がドッキング、衛星として姿を現しました。写真は、クリーンルームで振動試験前の最後の作業(スラストタンクへの擬似推薬注入)を行っているSOLAR-B衛星です。上部に並ぶいずれの望遠鏡も塵や汚れを極端に嫌うため、クリーンルームの中においても、さらにシートでくるまれ保護されています。

SOLAR-B衛星が構造的に、あるいは電気的なシス

完成し、振動試験を待つSOLAR-B衛星。左から順に極端紫外線分光撮像装置(EIS)、可視光磁場望遠鏡(SOT)、X線望遠鏡(XRT)。



テムとして組み上がるのは、構造・熱モデル、プロトモデルも含めてこれが3度目です。さすがに3度目ともなると、驚くようなこともほとんど起こらず、スケジュール通りに組立・試験が進んでいきます。特に可視光磁場望遠鏡の光学試験では、組み上がっ

た状態においても望遠鏡の性能が維持されていることが確認されました。

今後、来年夏の打上げまで、絶え間なく試験・作業が続いていきます。

(松崎恵一)

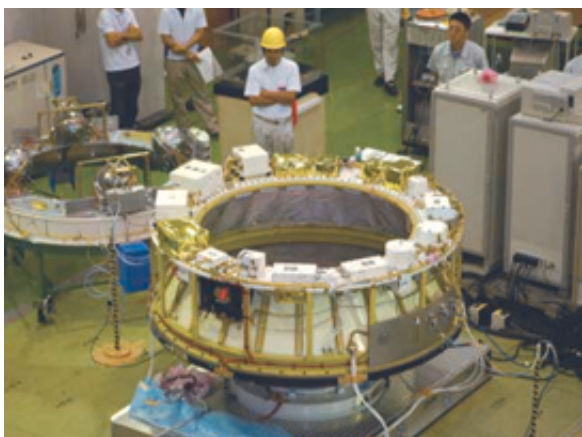
M-V-8号機噛合せ試験

M-Vロケット6号機打上げ成功の余韻にゆっくりと浸る間もなく、来年2月の打上げを目指して、早くも8号機の噛合せ試験が8月23日～9月21日の日程にて、JAXA相模原キャンパスで行われました。ご存知のように、M-V-8号機は赤外線天文衛星ASTRO-Fの打上げを目的としています。M-Vロケットとしては初めての南打ちであり、この噛合せ試験のほかにも誘導制御系のモーションテーブル試験など、初号機のとくに準ずる態勢で慎重に打上げの準備を進めています。

さて、M-Vロケットの打上げは今回で6回目になりますが、いまだ不具合の撲滅に至ることはなく、年1機程度という打上げ頻度の中での一品製作の難しさを感じています。とはいえ、さすがに大きなトラブルはなく、この噛合せ試験の中で衛星とのインターフェース試験も無事に完了し、衛星との共同作業も順調に運んでいます。10月末から、いよいよ内之浦で第1組立オペレーションが始まります。8号機の打上げは、M-Vロケットとしては初めての半年間隔打

ちであり、スケジュールはとても厳しいものとなっています。しかし、「はやぶさ」「すざく」と続いた連続成功の勢いを大切に、チーム一丸となって、絶対に8号機の打上げも成功に導きたいと思います。

(森田泰弘)



振動試験中のM-Vロケット第3段計器部

ロケット・衛星関係の作業スケジュール(10月・11月)

	10月		11月	
相模原	M-V-8号機 モーションテーブル試験			
	ASTRO-F FM総合試験			
	(IA富岡)	M-V-7号機 B1仮組		
		(IA富岡)	M-V-7号機 B2仮組	
	SOLAR-B FM総合試験			
筑波	S-310-36号機 噛合せ試験			
	SELENE システムPFM試験			
内之浦	M-V-8号機 第1組立オペレーション			
				M-V-8号機 第2組立オペレーション

(FM : Flight Model PFM : Proto-Flight Model)

バイコヌール

出張記

気温45℃の砂漠へ

「暑い」ではなく「熱い」のだ。

7月7日。小型オーロラ観測衛星INDEXチームの先遣隊としてバイコヌールの地を踏む。気温は45℃。こんな「熱い」七夕は、生まれて初めてだ。

バイコヌール宇宙基地は、カザフスタン共和国のほぼ中央南に位置する。アラル海の東200km。旧ソ連の宇宙への玄関口であり、世界初の人工衛星スプートニク、さらに人類初の宇宙飛行士ガガーリンも、この地から宇宙へ昇った。ソ連崩壊後の現在でも、この基地は軍事用も含めたロシアの主要なロケット打上げ場として活躍中だ。

そのバイコヌール宇宙基地から車で1時間ほど走ったところに、射場で働く労働者などが生活する町がある。町はコンクリートの塙で囲まれ、その塙の向こうには広大な荒野が広がる。カザフスタン領だ。40平方kmほどの小さな町の中には、約6万人のロシア人とカザフ人が生活している。砂漠のど真ん中と聞いていたのですごい場所をイメージしていたが、想像していたよりはるかに文明的な町だ。中心部には市場があり、シャンプー、リンスに歯磨き粉、酒もあるシタバコもある。スターウォーズのDVDだって手に入る。銀行、郵便局、学校など、普通の町と何ら変わりない。

だが、さすが砂漠だ。気温45℃。部屋のエアコンを全開にするも効果なし。オフィスでは汗だく。夜も眠れない。砂漠なんだから、夜中はもう少し冷えてもよさそうなのに。スタッフの中には少しでも快適にしようと、枕を冷蔵庫に入れて冷やして使う人もいる。部屋の清掃に来たロシア人が冷蔵庫に入った枕を見つけ、「あの日本人は大丈夫か?」と同僚と話している。だが、そんなことを気に掛けている余裕はない。それほど「熱かった」。

ロシア人たちは皆、陽気で親切だ。正直、ロシア人は陰気とばかり思い込んでいた。彼らは踊りながら歌を唄い、大声で笑い、酒を飲む。バイコヌールに向かう飛行機の中で、隣のロシア人が私に話し掛けてくる。「日本から来たのか? 仕事は

何だ? トウキョウってどんな町だ? 英語はどこで習った? お前の出身はどこだ? キュウシュウって何だ?」。宇宙関係の仕事をしているというそのロシア人は、プログラミングが専門らしい。「ロシアといえばアナログ」と、ずっと思い込んでいたのだが。

常識の違いを超えて

そんなロシア人たちとの仕事は、順調とはいかなかった。日本人とロシア人では、「常識」が明らかにずれていた。我々の常識では、「クリーンルーム」にトンボやハエ、ましてヤコウモリなど飛んではいけない。クリーンルームの床を掃除のおばさんが無塵衣も着けずにモップでごしごし洗うことはない。機材の搬入時に、開梱室の外の扉とクリーンルームの扉を同時に開けたりはしない。だが……、彼らはそうではないらしい。衛星のそばに設置してあるパーティクルカウンターの数値が跳ね上がる。日本のスタッフがそれを見せて、「そんなことは絶対にしないでくれ」と申し入れるが、「なんでそんなことを気にするんだ?」と言わんばかりの顔。ロシアの宇宙機は、さぞホコリに強いのだろう。

しかし「絶対に成功させる」という意識だけは、日本人もロシア人も一緒。やり方や考え方は違っても、目指す目標は同じなんだ。

8月12日、INDEXをロケットに載せる。後は、彼らを信じて打上げを待つのみだ。

8月24日。打上げ当日。オフィスの部屋で打上げの瞬間を待つ。スピーカーから聞こえる通訳の声にじっと聞き入る。

“Final count down”

いよいよだ。ロシア人の一人が、胸の前でそっと十字を切っている。

“……5, 4, 3, 2, 1, launch!”

瞬間、射点が赤い光で照らされた。そして、その光はすごい速さで真っすぐ宇宙へ昇っていく。20秒ほど遅れてロケットのごう音が聞こえてくる。

“……Motor pressure steady……Flight parameter nominal……”

我々にできることは何もない。ロシアのスタッフを信じるだけだ。

“……Separation of OICETS……”

OICETSチームの部屋から拍手が聞こえる。OICETS分離後にINDEXが分離される。いよいよだ。ひたすら待つ。その待ち時間が異様に長く感じられる。いや、実際に長かった。まだか? もしかして分離失敗? 焦り始めたその瞬間、

“……Separation of INDEX!”

拍手喝采だった。(いけなが・としのり)



バイコヌール射場での作業のひとつ (左から齋藤宏文教授、友谷 茂氏、筆者)

システム運用部第一運用開発グループ

池永敏憲



うれしい表紙

井手洋子

嬉野温泉 井手酒造

探査機「はやぶさ」はもう目的の小惑星に着くころかなと何げなく話していた夏の昼下がり、宇宙科学研究本部の方から突然のお電話を頂いた。何か偶然とは思えないものを感じながら受話器を耳に当てると、『ISASニュース』の「いも焼酎」というコラム欄に何か書いてほしいという依頼でした。なぜ私に？ しかも芋焼酎。うちは日本酒しか造りませんから……と、ちょっとちんぷんかんぷんな返事をしたところ、ロケット打上げ場が鹿児島だから芋焼酎なんですよ。日本酒は今、芋焼酎に一番打ちのめされている最中なのに何と皮肉なタイミング、と独りくすっと苦笑しながら、何を書こうかと思い始めたところです。

2年前、私どもの酒「虎之児」のラベルが「はやぶさ」の性能計算書の表紙になったきっかけは、的川教授が興味をお持ちの、行乞流転の自由律の俳人で大のお酒好きだった種田山頭火とつながっているようです。そういえば、山頭火の『行乞記』に「昭和7年1月31日 曇 歩 行四里 嬉野温泉 朝日屋。一気にここまで来た。なかなかよい。よいだけに客が多いのでうるさい。飲んだ。たらふく飲んだ。虎之児よろしい。ぐっすり寝た。アルコールと入浴のおかげで」とある。

選挙の騒々しさが終わった9月12日の夕方のニュースが、「はやぶさ」の小惑星イトカワ到着を伝えている。夕食の用意をしていた私は、思わずヤッター!と手をたたいていた。きっと思い通りに作動して石や砂など貴重な研究試料を採取し、2年後には無事還ってきけると信じています。「虎は千里往って千里還る」といいますから。そして「とらのこ」って、その人にとって大事なもののことをいいますよネ。的川教授や川口探査機主任、スタッフの方々の「とらのこ」の一つは、「はやぶさ」とその研究成果ですから。

小さいころ、「ツインクル ツインクル リトルスター」と口ずさみながら見上げた星空は、私にたくさんの想いを広げさせてくれました。「名月を取ってくれよと泣く子かな」。その気持ち分かるな〜としたり、初めて宇宙を飛んだガガーリンの姿に息をのんだあの日。ディスカバリー号の船外活動で大活躍し、13日間の宇宙生活を送った野口聡一さんが無事帰還してテレビの前での第一声、「明日にでもまた宇宙に戻りたい」の言葉は、宇宙の素晴らしさをこの上なく伝えてくれました。そして、「日本に帰って温泉に入り、家族とゆっくり休みたい。日本酒ですネ、やっぱり」のコメントに、思わずうれしくなる私。

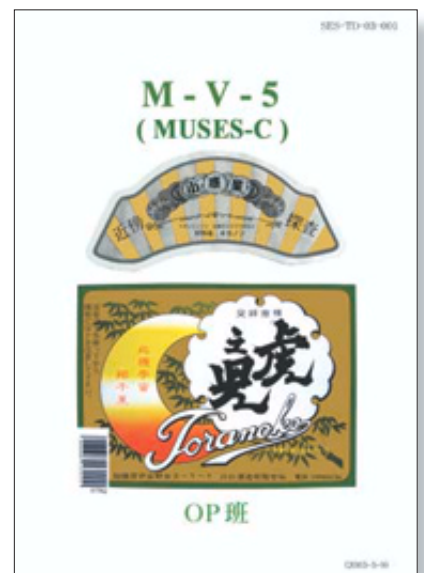
地球に優しく自然を大切に、と今しきりに世界が叫び始めています。思いもよらぬ大津波、思いもよらぬ大地震、思いもよらぬ異常気象、おまけに人間が引き起こす大惨事。狂い始めた四季のリズムは、私たち地球に住む人間に戒めのサインをしきりに送っていると思えません。明治元年から日本酒を造り続けている小さな蔵ですが、いまだに、杜氏や蔵人たちが冬の仕込みの期間は正月も泊まり込みで酒造りに励んでくれます。小さな酒蔵にもその折々の小さな音が聞こえます。蔵人が朝早くから働く音、蒸し器から出る湯気の音、寒さを

我慢する蔵人の声、そしてタンクに耳を当てると醗のはじける優しい音、古い木のきしむ音。温泉街の小さな酒蔵ですが、杜氏と蔵人の阿吽の感ピュータで小さな音を守りながら、日本酒を造り続けたいと思っています。不況の波が押し寄せる日本酒業界ですが、その波打ち際を小さく跳ねながら乗り越えていけたらと願っております。

「蔵人に温泉つきの泊まり部屋」「とらのこをはたいても飲む虎之児の味」。私の好きなキャッチコピーです。最後にちょっとCM。私どものお酒は、少々飲み過ぎても決して大虎にはなりません。なぜって？ それは、「とらのこ」ですから。

これからも「はやぶさ」の成功を祈りながら、見守っていきたいと思います。2年後の帰還の折は、打上げのときに頂いたパネルを眺めながら、皆で祝杯を挙げたいと思います。そのときは、スタッフの皆さまへ祝杯の「虎之児」を、喜んで贈らせていただきます。

(9月末日、いで・ようこ)



「はやぶさ」の性能計算書の表紙を飾った「虎之児」のラベル

3, 2, 1, ペンシルロケット発射!

技術開発部飛翔体技術グループ
八木下 剛

—8月に幕張メッセで行われた「ペンシルロケットフェスティバル」では、ペンシルロケットの水平発射の再現実験を担当されていましたね。

八木下: 再現実験をやると聞き、ぜひ参加したいと思ったのです。ペンシルロケットの水平発射は、50年前に糸川英夫博士が行った日本で最初のロケット実験です。宇宙研は、そこから始まった。その実験を宇宙研の若手だけで再現しようという試みは、魅力的でしたね。

イベントまで3ヶ月を切った5月、若手11人が集まって「ペンシル再現チーム」を結成し、まずは50年前の論文や資料を読むことから始めました。ペンシルロケットは長さがわずか23cmで、発射装置もシンプルです。燃焼時間がたった0.1秒程度というのは、びっくりしましたね。しかし、50年前のペンシルロケットは、我々が思っていた以上に素晴らしい技術でした。しかも、限られた条件の中でデータをたくさん取るために、上に向かってではなく水平に飛ばすことが有効だったんだとあらためて思いました。

再現実験自体は、特別に高度な技術を必要とするわけではありませんが、多くの人が見守る中で失敗は絶対に許されません。あきる野実験施設や能代多目的実験場で、念入りに予備実験を繰り返しました。

—4000人を超える来場者の中で行われた本番はいかがでしたか?

八木下: 私は、点火管制班として発射のカウントダウンを担当しました。それはもう、ドキドキでしたよ。とにかく「成功してくれ!」と祈りながらカウントしていました。でも、カウント中は時計から目を離せないで発射の瞬間はどうしても見るができず、顔を上げたときにはもう飛び終わっていますから、成功したかどうか分かりません。発射から一瞬、間があって、周りの声でようやく成功したと分かる。3回とも成功し、本当に良かった。予備実験より本番の方がうまくいったんじゃないかな。

宇宙研の根源となる技術の再現に参加できたことは、私自身、非常に価値ある経験となりました。今回のイベントは、50年前を振り返るだけでなく、次の50年へつなげるという大きな目的もありました。宇宙研は、自分たちの手でロケットを作り、飛ばしてきた。それは今も、そしてこれからも変わらないことを、再現実験を通して多くの、特に子供たちにアピールできたと思います。

—現在は、どのような仕事をされているのですか。

八木下: 主にロケットの推進にかかわる実験をしています。ペンシルロケットやM-Vロケットは固体の推進剤を使う固体ロケットですが、私が今メインでやっているのは液体ロケットの実験です。



やぎした・つよし。1976年、神奈川県生まれ。2001年、明治大学大学院理工学研究科工業化学専攻修士課程修了。同年、宇宙科学研究所技官。これまでにM-Vロケットモータの地上燃焼実験から小型液体ロケットの燃焼実験まで、ロケット推進にかかわるさまざまな研究や開発に携わる。

—なぜ液体ロケットを?

八木下: 宇宙研に入った年、実験で液体酸素を見せてもらったのです。液体酸素は-180℃もの極低温ですから、じかに見ることが出来る機会はそう多くありません。液体酸素は、とてもきれいな色をしているんですよ。コバルトブルーというのでしょうか。まず、液体酸素という極低温の推進剤にすぐ引かれたのです。その後すぐ、H-IIロケットのLE-7エンジンの展示を見て、さらに液体ロケットに引き付けられました。あの複雑な配管、これほど繊細に作られたエンジンからあの大きなロケットを宇宙まで飛ばすエネルギーが発生する。なんてすごいものを作っているのだろうと。

宇宙研の液体ロケットにはRVT(再使用ロケット実験機)があります。ぜひ液体ロケットをやりたいと思い、RVTの実験にも参加させてもらっています。将来、日本がもし有人宇宙飛行を行うとしたら、それは液体ロケットでしょう。だから、今から液体ロケットの開発に携わり、技術を身に付けておきたいという思いもあります。

—新しい液体ロケットの研究・開発も進んでいるのでしょうか?

八木下: N₂O(亜酸化窒素)とエタノールを推進剤とする新しい液体ロケットを作ろうと、基礎実験を行っています。これは新しい推進系で、小型ロケットの主推進や衛星の姿勢制御用に適用できないかと考えています。衛星の姿勢制御は現在、NTO(四酸化二窒素)とヒドラジンを使っていますが、これらは有毒です。それに変わる無害な推進剤として、N₂Oとエタノールを使えるのではないかと思います。将来の推進系を考え、研究・開発を引っ張っていくのは研究者です。私たち技術者は縁の下の力持ちとなり、実験を行ってデータを出し、技術的な課題を一つ一つ解決していく。そうすることで初めて、新しい推進系が実現するのです。

推進系の実験をする上で必要な火薬や高圧ガスの取り扱いには、資格はもちろん、熟練が必要です。私はもっと経験を積んで、将来的には大きなプロジェクトを担えるようになりたい。そのためにも、現場に出て自分の手で物に触って実際に起きる現象を体感し、何か問題にぶつかったときに自らそれを解決する力を養うことが大切だと思っています。現場には紙に残せない多くのノウハウがあり、それらを自分のものにすることができずから。そのスタンスは、ずっと持ち続けていきたいですね。

ISASニュース No.295 2005.10 ISSN 0285-2861

発行/独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部
〒229-8510 神奈川県相模原市由野台3-1-1 TEL: 042-759-8008

本ニュースに関するお問い合わせは、下記のメールアドレスまでお願いいたします。
E-Mail: newsedit@adm.isas.jaxa.jp

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。

*本誌は再生紙(古紙100%)を使用しています。 古紙配合率100%再生紙を使用しています



編集後記 3機関統合に伴って「ISASニュース」に参加して、初めての編集担当となりました。筑波にいなから編集に携われるのは、電子メールの発達、時代の進歩ですね。「すざく」「れいめい」「はやぶさ」と盛りだくさんの最新情報を、いち早く入手できる役得を満喫させていただきました。統合3年目の節目に当たって、本部長の交代もあり、印象深い初編集となりました。(石川毅彦)

デザイン/株式会社デザインコンビピア 制作協力/有限会社フォトンクリエイト