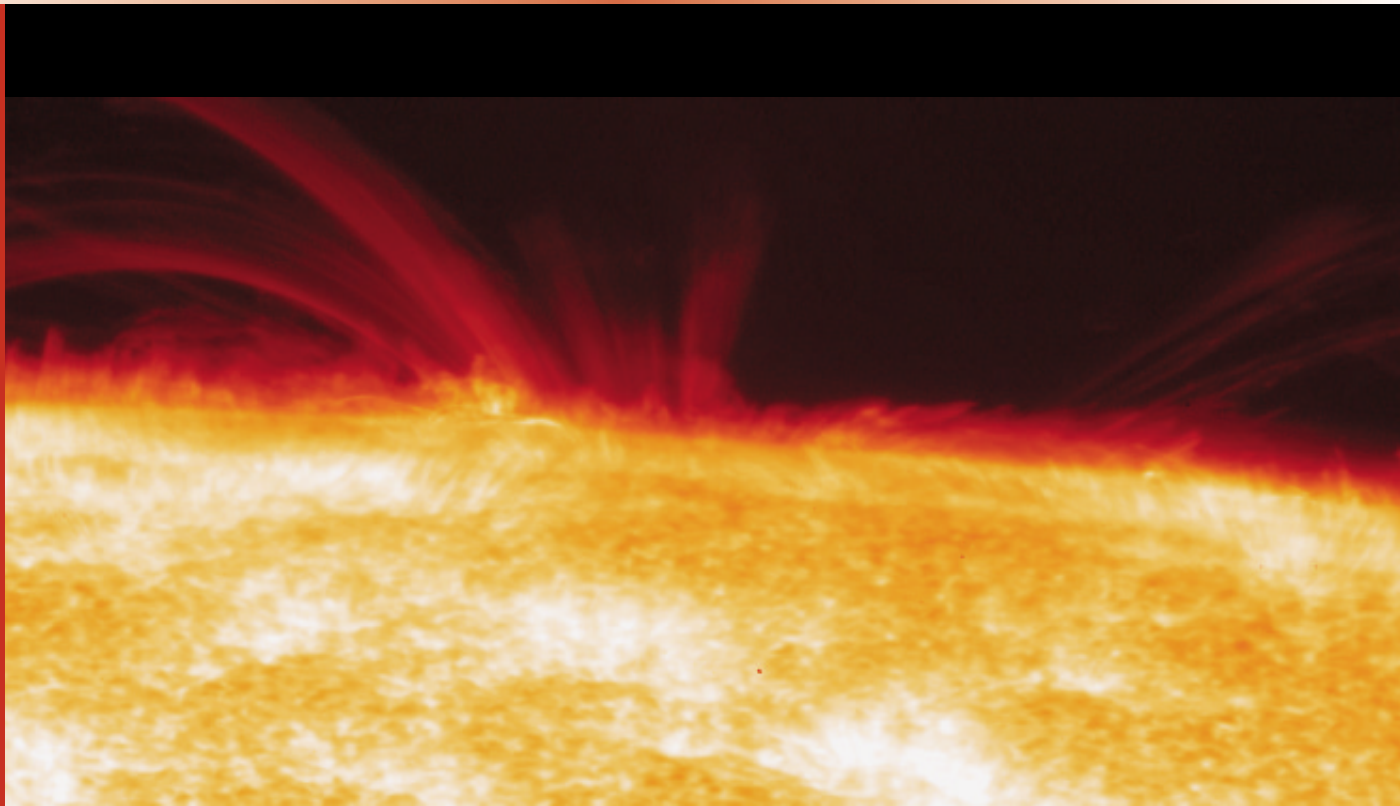




太陽観測衛星「ひので」の可視光磁場望遠鏡（SOT）がとらえた太陽表面。黒点の周辺で頻繁に増光が発生し、それに伴って物質が上空へ激しく噴き上げられている。

宇宙科学最前線

オーロラの起源粒子を運ぶ 宇宙空間ガスの渦

長谷川 洋

宇宙プラズマ研究系 助手

極域の夜空を彩るオーロラは、地球の夜側、高度10万kmほどにある磁気圏尾部と呼ばれる領域から、高エネルギーの荷電粒子（イオンや電子）が地球大気に降り込んでくることによって発生します。この荷電粒子は、元をたどれば大半が、太陽風と呼ばれる超音速で太陽から吹き出しているプラズマ（高温で非常に希薄な電離ガス）に由来することが知られています。地球の磁場は太陽風に対して盾となっているはずなのに、どうやって太陽風は磁気圏に入り込んでいるのでしょうか？

太陽風は高温のコロナガスとともに太陽の磁場を引き連れて流れ出し、太陽系全体を満たしています。太陽風中の磁場は、フレアなど太陽表面近くの爆発現象の影響を受けたり宇

宙空間で変形したりして、あるときには地球磁場と同じ方向を向き、またあるときには逆の方向を向きます。太陽風磁場が地球磁場と逆向き、つまり南を向いているときには、どのように地球磁場の盾にすき間ができるのか分かっています。「磁気リコネクション」と呼ばれる太陽フレアや天体現象でもおなじみのメカニズムによって、地球の磁力線が太陽風の磁力線とつながり、太陽風の粒子は自由に磁気圏に入り込めるようになります。反対に太陽風磁場が北を向いているときには、磁気リコネクションは発生できず、太陽風は地球磁場の盾に受け流されて脇にそらされてしまうというのが通説でした。ところが約20年前にNASAのISEE1衛星の観測により、磁気圏がより多くの太陽風プラズマで

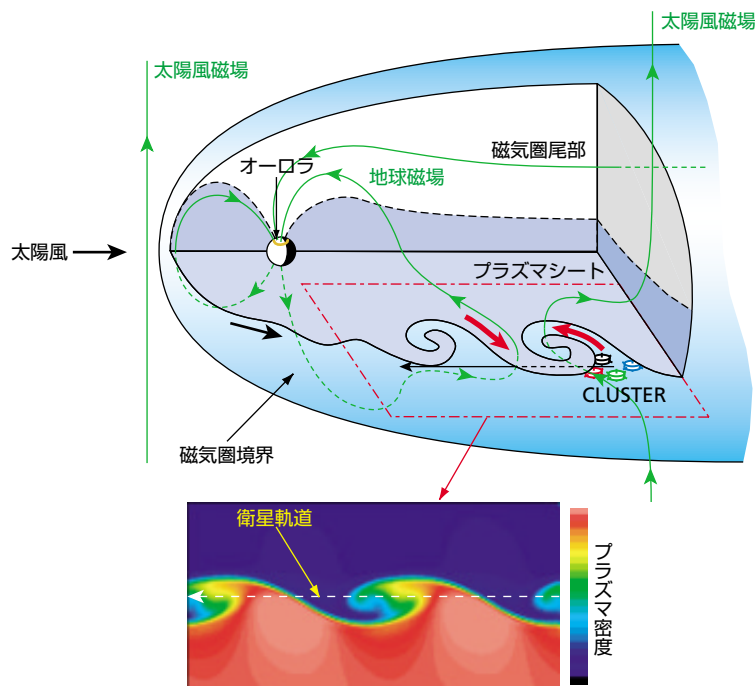


図1 上：CLUSTER衛星によって発見された地球磁気圏の脇腹で成長する渦の模式図。
下：ケルビン・ヘルムホルツ不安定の3次元シミュレーション結果。

満たされるのは、太陽風磁場が北向きのときであるという事実が判明したのです。

地球磁場がより強い盾として働くべきときに、いったいどのように太陽風は磁気圏に侵入しているのか？これは長年にわたる大問題でしたが、近年の研究から「ケルビン・ヘルムホルツ不安定」に伴って成長する渦が、謎を解く一つの鍵であることが分かってきました。

無衝突プラズマ中のケルビン・ヘルムホルツ不安定

ケルビン・ヘルムホルツ不安定とは、2種類の流体が相対速度をもって接しているときに、その接触面で成長する流体不安定です。風が吹くと水面に立つ波や雲層にできる渦などが、この不安定の例です。地球周辺の宇宙空間では、太陽風と磁気圏との間にある磁気圏境界層でこの不安定が起こり得ると、すでに半世紀も前から予言されていました(図1)。磁気圏内のプラズマは地球磁場にとらわれてほぼ止まっているのに対して、太陽風は猛スピード(秒速数百km)で磁気圏のすぐ外側を流れているからです。

ケルビン・ヘルムホルツ不安定が十分に成長すると、鎖状に連なった渦列ができます。渦があると物質の混合が促進されるというのは、コーヒーにミルクを注いでかき混ぜるときなど、私たちが身近に体験することでしょう。ここでの混合は、分子がお互いに衝突して拡散していくために起こります。しかし宇宙空間ガスは高温かつ超希薄であるがために、荷電粒子同士の衝突はほとんど起きていません。このような無衝突プラズマ中では、渦の存在と物質の混合とに因果関係が現れるとは限らないのです。

ところが最近の計算機実験から、無衝突プラズマの混合も渦があることで効率よく起こることが示唆されるようになってきました。渦が成長すると、渦に巻き込まれた磁力線はねじ曲げられ、逆向きの磁場成分が生じるので、磁気リコネクションが発生しやすくなるというのが一つのアイデアです。こうなると、次に問題となるのは、磁気圏で実際に渦は巻き上がる(ケルビン・ヘルムホルツ不安定が十分に成長する)のかどうかです。しかし磁場は同時に、一般流体という表面張力のような役割をするため、不安定の成長を妨げる方向にも働きます。その上、磁気圏は複雑な3次元構造を持っています(図1)。このような状況で、渦が巻き上がる段階まで発達するのかどうかは自明ではありませんでした。

巻き上がった渦を発見

図1下に示した計算機実験の結果からも明らかのように、巻き上がった渦はかなり複雑な形状をしています。このような構造の有無を、従来の衛星1機だけの観測から検証するのはほとんど不可能です。そのような折、地球磁気圏の時間変動や空間構造の実態を解明すべく、CLUSTER衛星が打ち上げられました。CLUSTERはヨーロッパ宇宙機関(ESA)とNASAが共同で企画した、4機からなる世界初の編隊観測衛星です。私たちは、この衛星群であれば磁気圏境界層の構造を解剖するかのように把握できるはずと考え、渦はないかと観測データを精査しました。そして2001年11月20日のデータに、渦が巻き上がっているのを発見したのです。この日まさに、太陽風観測衛星ACEが見た太陽風磁場は、長時間にわたって北向きでした。

4機の同時観測からは、渦が巻き上がったときにだけ現れる特徴的なプラズマ密度の構造(図1下)が確認されました。さらに重要なことに、巻き上がった渦の中に太陽風プラズマが、すなわち磁気圏に太陽風が侵入した証拠が見つかったのです。これは、渦がプラズマ混合を誘発するという計算機実験の予測とまさに合致します。CLUSTERが遭遇した渦列は、それぞれが長さ約4万kmにも達することが判明しました。発達した渦の長さとの比は約2:1であることが計算機実験から分かっているので、プラズマ混合層の厚みは約2万km、つまり地球半径の3倍ほどであったと推測されます。磁気圏尾部の幅(地球半径の約20倍)と比べて無視できない厚みの混合層が、渦により

形成され得ることが明らかになったのです。

宇宙空間ガスの可視化

私たちの学問分野の衛星に搭載される機器の多くは、探査機の飛んでいる「その場所」でのプラズマや電磁場を、直接観測しています。望遠鏡などによってリモートセンシングを行い、天体や宇宙空間ガスの2次元像を得る天文衛星とは対照的です。2次元像からは、どこに何があってどういう形をしているのか一目瞭然です。例えば9月に打ち上げられた「ひので」衛星の観測は、太陽磁場やコロナガスの構造や動きをまざまざと見せてくれます。それに対してその場観測は、精密計測が可能という特長がある一方で、データから有用な情報を抽出するのがかなり困難です。先述したように、渦のような2・3次元構造が「それだ」と分かるためには、CLUSTERのような編隊衛星を打ち上げなければならなかったわけです。

こうした中、その場観測からも宇宙空間ガス構造に関する2次元情報を得ようと、新しいタイプのデータ解析手法が開発されつつあります。図2に、宇宙科学研究本部とNASAの共同プロジェクトであるGEOTAIL衛星の観測データから再現された、磁気圏境界層の2次元像を示します。ここでは衛星軌道周辺のプラズマ構造（流れ場、密度など）を、観測値（プラズマの密度、速度、温度と磁場）を初期条件として用いて作成しています。一見して、長さ約2万km、幅が数千kmの渦が並んでいて、GEOTAILはその内部や近傍を通過していたのだということが分かります。

現状での2次元像再現法は、無衝突プラズマが流体として振る舞う場合に成り立つ理想電磁流体の理論に基づいています。また、再現できる構造は2次元で平衡状態にあるものに限定されています。これらの仮定は現実には成り立たないこともあるので、厳密な議論をするには編隊観測の助けも借りる必要があります。しかし図2のような流線マップからは、プラズマの流れる道筋などが分かってきます。手法の完成度が高まれば、太陽風がどのような経路をたどって磁気圏に侵入しているのか、といった疑問に答えられるようになると期待しています。

次世代の多点同時観測へ

磁気圏脇腹での巻き上がった渦の発見は、太陽風磁場が北向きのときの磁気圏へのプラズマ供給につながる物理過程を同定したとい

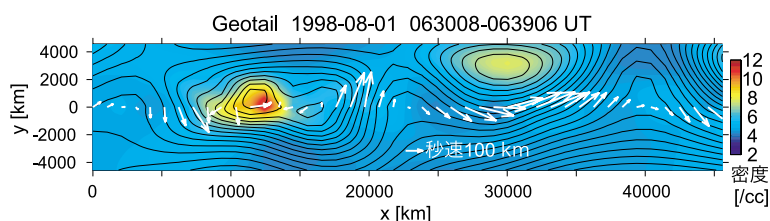


図2 GEOTAIL衛星の観測から再現された渦の構造。黒線は流線、白い矢印は実際に観測されたプラズマ速度ベクトルを示す（X軸は衛星の軌道）。

う意味で磁気圏物理学的に重要な成果であり、またプラズマ混合に果たす渦の役割を観測的に証明したという意味で宇宙プラズマ物理学的にも大きな成果といえるでしょう。しかし、渦中で起きているはずのミクロな混合過程が分かったわけではありません。CLUSTERの観測でも、渦のすぐ近くで地球磁場と太陽風磁場がねじれて逆向きの成分を持っている場所があることは分かりましたが、ここで実際に磁気リコネクションが発生しているのかどうかは不明のままです。また渦中の混合は、電磁波動を介した拡散のような別のメカニズムによるという指摘もあります。このミクロ過程の本質が分からない限り、渦に伴って太陽風が浸入する効率を正しく評価することは不可能でしょう。

渦中のミクロ過程の詳細を理解するには、渦の全体構造や成長段階を把握しつつ、どの部分で何が起きているのかを解明しなくてはなりません。要するに、渦（マクロスケール）構造を分解できる衛星編隊と同時に、ミクロスケールの構造を分解できる衛星編隊も必要です。さらには非常に高い時間分解能でプラズマ観測を行い、混合の現場を押さえることも不可欠でしょう。

CLUSTERプロジェクトを推し進めてきたヨーロッパの研究者たちも、大小の時空スケールを同時に観測することの必要性を感じており、現在私たちはESAと共同で10機以上の衛星群で磁気圏を観測する計画「CROSS-SCALE」を検討しています（図3）。衝撃波での粒子加速や磁気リコネクションなど、宇宙プラズマに普遍的な物理素過程の本質的理解が主な目的です。約10年後に期待されるCROSS-SCALEの打上げ後には、これらのメカニズムとともに渦に伴うプラズマ混合の謎も解き明かされているかもしれせん。

（はせがわ・ひろし）

図3 「CROSS-SCALE」計画



「ひので」可視光磁場望遠鏡がとらえた新たな太陽像

表紙の絵は、太陽黒点の周辺で頻繁に増光が発生し、それに伴って物質が上空へ激しく噴き上げられている現象を「ひので」可視光磁場望遠鏡 (Solar Optical Telescope : SOT) が世界で初めてとらえたものです。黒点が太陽の縁にあるときに可視光域のカルシウムH線で観測したもので、太陽光球面より数百~2000km程度上空の「彩層」と呼ばれる領域を見えています。宇宙空間からの観測は、地球大気や望遠鏡自身による散乱光の影響を極めて小さく抑えることができ、太陽縁周辺の淡い微細な活動をとらえることに成功しました。

SOTは、これまで宇宙に打ち上げられた太陽観測望遠鏡としては最も画像の分解能力が高く、太陽面上にある140~200kmの構造を分解することができます。いわば、太陽表面を詳しく観察するための「顕微鏡」ともいえる望遠鏡です。図1は、SOTがとらえた太陽黒点です。図1 (a) が示すように、黒点半暗部 (真っ黒な暗部の周辺のやや暗い領域) に細かい筋模様がたくさん見えます。黒点は、直径100km程度の磁束管が無数に集まってできています。半暗部の細かい筋は、磁束管に対応する構造と考えられます。

SOTは、単にきれいな画像を取得するだけでなく、偏光計測によって磁場の強度や向きなどの物理量を取得するという重要な能力も持っています。図1 (b) に示した磁場の分布では、白い部分がN極、黒い部分がS極の磁場を表しています。黒点には約3000ガウス (地球の磁場は0.3ガウス) という極めて強い磁場が存在します。黒点の外でも、約1000ガウスの磁場が局所的に存在しています。この黒点領域では、黒点周辺に局在する小さな磁場構造が黒点半暗部から外向きに移動していく現象が、黒点の周囲全体にわたって観測されました。これは黒点が崩壊していく現場をとらえたものです。太陽黒点がなぜ形成されるか、また消えていくかといった黒点の形成・崩壊過程には、いまだ分からないことが多数あります。SOTで得られたデータを用いて、磁束管が形成され、黒点へと成長し、さらに崩壊してなくなるまでの一連の仕組みを理解できると考えています。

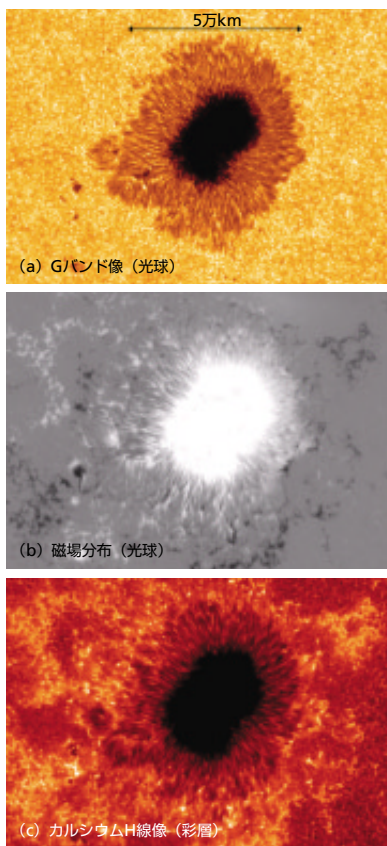


図1 「ひので」可視光磁場望遠鏡による太陽黒点画像

黒点から遠く離れた「静穏領域」と呼ばれるところにも、磁束管は多数存在します。図2の至る所で見える、みそ汁の泡のような構造が、対流によってできる粒状斑と呼ばれるもので、粒状斑の間に見える輝点が磁束管に対応する構造です。今までは、世界最高の地上太陽望遠鏡をもってしても、このような輝点を連続して観測することはできませんでしたが、SOTは、同じ高画質で何時間でも連続的に磁束管の運動を追跡することができます。磁束管やその周辺の対流の振る舞いを観測することは、太陽表面上の磁場の発展を理解する上で重要な情報をもたらしてくれるでしょう。

光球より上空の彩層に目を向けてみると、図1 (c) の黒点周辺にカルシウムH線で明るい領域が多数見えます。図1 (b) と (c) を見比べると、この明るい領域と磁場が局在化している領域とに対応関係があることが分

かります。明るい場所は周囲よりも温度が高く、磁場が加熱の原因となっていることを示しています。表紙絵の彩層での噴出現象や、彩層よりもさらに上層大気のコロナで起こる爆発現象 (フレア) を生み出すエネルギー源は、光球磁場だと考えられています。上層大気の加熱やダイナミックな現象と光球磁場との関係を解明することは、「ひので」衛星全体の重要な研究テーマです。SOTの観測によって、今までの常識を覆すような観測データが次々と得られています。今後の詳細解析によって、さまざまな新しい太陽の姿が明らかにされることをご期待ください。

(久保雅仁)

国立天文台のニュースリリースでは、動画を見ることができます。 <http://hinode.nao.ac.jp/news/061127PressConference/>

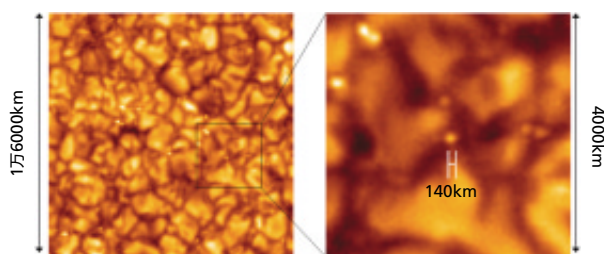


図2 粒状斑とGバンド輝点

大学院生ロケット打上げ体験記

胸にJAXAと書かれた作業服を着て、ヘルメットを片手に抱えながらコントロールセンターに入る僕は、すっかり職員になったつもりでした。2006年9月、M-Vロケット7号機の打上げ実験に、僕を含めて4人の総合研究大学院大学（総研大）の大学院生が実習という形で参加することになったのです。



左から大南、森田実験主任、三浦、和田。

実習は、ロケット打上げ実験の最後の段階であるフライトオペレーションという期間に行われました。フライトオペレーションでは、ロケット頭胴部の組み立て、各装置の動作チェック、リハーサルともいえる電波試験、そしてロケットの打上げが行われます。コントロールセンターに机を構えることになった僕の最初の仕事は、飛跡パネルの作成でした。飛跡パネルとは、あらかじめロケットの軌道を透明なパネルに書いておき、ロケットが正常な軌道に乗っているかどうかを目で確認するためのものです。発射後数秒間はレーダーでロケットの位置を確認することができないため、人間の目で正常に発射できたかどうかを確かめるのです。前回の打上げの軌道を消して、油性マジックで一点一点プロットして大きなパネルに軌道を書き込んでいく作業は、意外と重労働でした。

このほかに、オペレーション班(OP班)である僕には、毎日欠かさずやらなければならない仕事がありました。それは、気球による風の測定です。ロケットの姿勢や軌道、荷重には風が大きく影響します。打上げ本番では、風速や風向は予測値を用いて最適な姿勢目標や最大荷重を計算するのですが、その予測値が信頼できるものであるかどうか確かめるため、そして風の動向をつかむために毎日打上げと同じ時間帯に風の測定を行うのです。今回の打上げは朝6時から7時の予定だったので、OP班は毎朝6:30に気球の放球を行います。そのためには5:30には起床しなくてはなりません。毎朝眠い目をこすりつつコントロールセンターに向かい、測定機の準備をします。そしてロケットのランチャがあるM台地へと向かい、測定機を気球に取り付けて放球します。空高く上がった気球がきれいに朝焼けした空に吸い込ま

れていく光景は、今でも忘れられません。

ある朝、僕は放球のカウントダウンを任されました。僕の声がマイクを通して射場全体に響きます。

「放球10秒前、9、8、7、あ…、3、2、ほ、放球してください」

緊張して、見事に失敗してしまいました。穴があったら入りたいくらい恥ずかしかった

です。翌日、もう一度カウントダウンをやらせてもらい、何とかばん回しました。

仕事にも慣れてきたある日、ロケットが納まっている整備棟に行きました。目の前で見るM-Vロケットは想像以上に大きく、迫力があります。各部分や装置の説明を聞きながら、その洗練された知恵と技術に驚嘆するばかりでした。そして、今自分の目の前にあるものが数日後には宇宙まで飛んでいくと思うだけで、気持ちが高ぶるのを抑えられませんでした。

そして9月23日早朝、ついにロケット発射の時刻が迫ってきました。僕は飛跡という場所で、その瞬間を待っていました。

「……3、2、1、発射、1、2、3……」

バリバリバリと、体を直接揺さぶる轟音と、太陽のような強い光とともに、ロケットは空へと上がっていきました。打上げから75秒後、僕は飛跡からコントロールセンターへと全速力で急ぎ、ロケットの様子を確認しに行きました。打上げは、大成功でした。

「実験班に学生を加えるなんて今までなかったことだけど、総研大のカリキュラムの一環としてロケット打上げ現場での実地研修をしてもらうことになった」と、職員の方から聞きました。分からないことだらけで、班員としての仕事では役に立たなかったかもしれないけれど、僕たちは、ロケット打上げの現場と、そこで働く人たちの真剣で楽しそうな表情と、りりしく宇宙へと飛び立っていったM-Vの姿をしっかりと見届けてきました。こんなにも刺激的で貴重な経験をすることができて、僕たちはとても幸運です。この実習に際してお世話になった皆さんには感謝の念でいっぱいです。本当にありがとうございました。(総合研究大学院大学 三浦政司)

爆発的な星の誕生と死が生み出す巨大プラズマの「帽子」

X線観測衛星「すざく」は、おおぐま座にある系外銀河M82から北へ約3万8000光年離れて位置する巨大なプラズマ（希薄な分子が電離したガス）の塊「M82の帽子」から、大量の重元素（酸素や鉄など、水素とヘリウム以外の元素）が含まれることを明確にしました。約2000万年前に、M82銀河の中で巨大な星が1万個も大爆発を起こして、高速のプラズマ流を放出し、その結果として、この「帽子」状の高温ガスの塊が作られたことが確認されたのです。

星は誕生したときは水素ガスの塊で、その核融合によって輝いています。星はこうして今の私たちを作り出す炭素や酸素、カルシウムなどの重い元素を作りながら進化していくのですが、大きな星ほどその人生は短く激しいものとなり、太陽の10倍よりも重い星は、誕生から数百万年後には大爆発（超新星爆発）を起こしてしまいます。こうした大きな星と、ゆっくり進化する小さな星では、その最後に生み出される重元素が異なります。前者は酸素やマグネシウムなど軽いものを多く含み、後者は鉄やニッケルを多く含むのです。従って、宇宙空間に広がるガスの中に、どのような重元素が多いかを調べることで、そのガスを生み出したもととなる星がどのようなものであったかが分かります。

「M82の帽子」は小さな銀河に匹敵するサイズ（約1万2000光年×約3000光年）を持ちます。その存在は1999年ごろから知られていたのですが、とても淡い構造であったため、十分な観測ができていませんでした。「すざく」はその高い感度を活かして、鮮明な「帽子」の撮像に成功し、世界で初めて高い精度のX線データを取得することに成功しました（図1）。X線のスペクトル解析（色の違いを精度よく見ること）の結果、巨大プラズマの温度は約700万度であること、酸素、ネオン、マグネシウム、ケイ素という軽い重元素が大量に含まれており、鉄は相対的に半分の量にすぎないことを解明しました（図2）。このことから、（1）巨大な星の大爆発の連鎖が、（2）大きな銀河の風を作り出し、（3）それがここまで吹き出してきた、という仮説の正しさが示されました。

「M82の帽子」は小さな銀河に匹敵するサイズ（約1万2000光年×約3000光年）を持ちます。その存在は1999年ごろから知られていたのですが、とても淡い構造であったため、十分な観測ができていませんでした。「すざく」はその高い感度を活かして、鮮明な「帽子」の撮像に成功し、世界で初めて高い精度のX線データを取得することに成功しました（図1）。X線のスペクトル解析（色の違いを精度よく見ること）の結果、巨大プラズマの温度は約700万度であること、酸素、ネオン、マグネシウム、ケイ素という軽い重元素が大量に含まれており、鉄は相対的に半分の量にすぎないことを解明しました（図2）。このことから、（1）巨大な星の大爆発の連鎖が、（2）大きな銀河の風を作り出し、（3）それがここまで吹き出してきた、という仮説の正しさが示されました。

大量の重元素がM82銀河から約3万8000光年も離れた宇宙空間に発見されたことは、驚くべき事実です。必要な超新星の数は、1個や2個ではなく、1万個に達

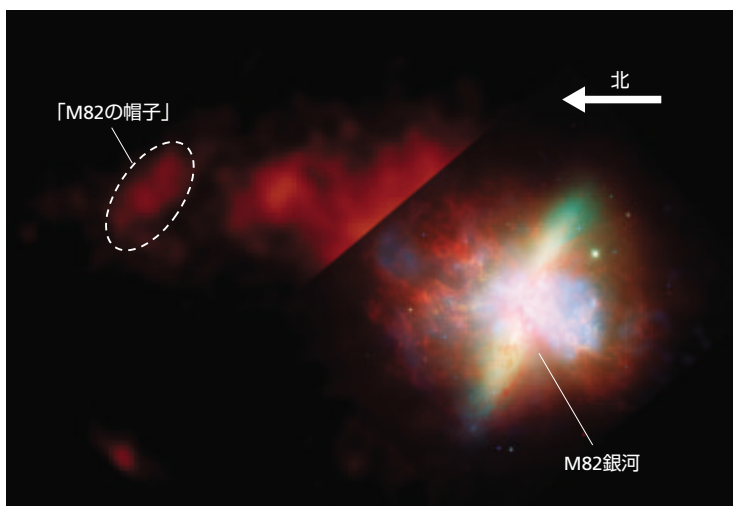


図1 「すざく」衛星のX線CCDカメラで得たX線画像。M82銀河の場所には、米国「チャンドラ」X線衛星、「ハッブル」宇宙望遠鏡、「スピッツァー」赤外線衛星で取得された3色写真を重ねた。

します。実は今回、「帽子」とM82銀河の間からもX線が検出され、両者を結んで高温プラズマが満ちていることも分かりました。プラズマの速度は秒速数百km、M82から帽子に達するには約2000万年必要です。巨大な星が1万個も誕生し死んでいったのは、まさにこの2000万年前だったと考えられるわけです。

巨大な星々の死は、多くのブラックホールを生み出したはずで、実際、我々は日本のX線衛星「あすか」やアメリカの「チャンドラ」衛星のデータを使って、太陽の重さの1000倍以上という大きなブラックホールがM82銀河の中心からやや外れたところにあることを発見しています。一方で、吹き出した重元素はこの宇宙を満たし、複雑で美しい宇宙を作り上げていきます。M82銀河は今、まさに激しく進化しているところなのです。

「M82の帽子」の巨大プラズマは、簡単には冷えません。これからも秒速数百kmで宇宙の旅を続けることでしょう。（参考 http://www.jaxa.jp/press/2006/12/20061206_sac_suzaku_j.html）

（京都大学理学部 鶴 剛, ISAS/JAXA 中澤知洋）

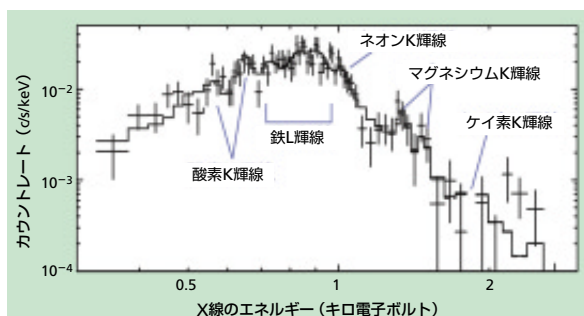


図2 「すざく」衛星のX線CCDカメラで得たX線スペクトル

あなたの名前とメッセージを月へ届けます

セレーネ「月に願いを!」キャンペーン

セレーネ「月に願いを!」キャンペーンがいよいよ始まりました。

平成19年夏に種子島から打上げ予定の月周回衛星SELENE(セレーネ)に、世界中の皆さんから名前とメッセージをお寄せいただき、月周回軌道までお届けしようというキャンペーンです。

電子メール(携帯電話メールも可)や往復はがきでお寄せいただいた名前とメッセージは、35 μ mという小さな文字にして、縦16cm×横28cmの薄いフィルムに刻み込まれます。1枚당に約30万人の名前と思いを載せて、セレーネの側面にあるアクセスバネル付近と、下部にあるアダプタートラスという部分に取り付け、打上げ後、1ヶ月前後で月周回軌道へとお届けする予定です。

今回のキャンペーンは、日本惑星協会(TPS/J)、米国の



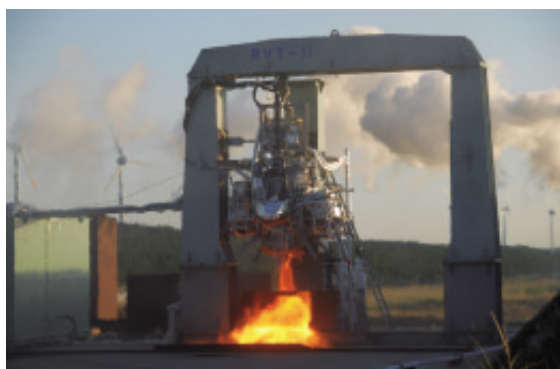
The Planetary Society(TPS)の協力を頂き、日本のみならず、世界中から募集しています。これまでに「のぞみ」で27万人、「はやぶさ」で88万人の名前を寄せていただいたのですが、今回のようにメッセージも募集したのは初めてです。月への願い、月から自分に向けてのメッセージ……、20文字(全角)と字数に限りはありますが、ご自由にあなたの思いをお寄せください。

このキャンペーンに携わることで、夜、月を見上げることが多くなりました。いつも見ていた月なのに、あらためて見ると何だかとても遠くに感じます。あんなところまで自分の名前

が届くんだな、と思うと、関係者でありながら、いつもわくわくしてきます。皆さんもぜひ、ご応募ください。募集期間は平成19年1月31日までです。詳細は下記HPをご覧ください。
<http://www.jaxa.jp/pr/event/selene> (広報部 木原 京)

再使用ロケット実験機 第11次地上燃焼試験

11月12日から能代実験場で再使用ロケット(RVT)実験機の地上燃焼実験を行いました。実験機はJAXA統合後に行った離着陸実験の後、樹脂ライナを用いた新しい複合材液体水素タンクの試作研究、寿命管理と高応答推力制御が可能で繰り返し運用の容易なターボポンプ式エンジンとヘルスモニタ技術、推進系



燃焼試験の様子。まだ“脳みそ”は乗ってないので、地上から操作している。

の統合化を目指した水素酸素姿勢制御エンジン、飛行範囲の拡大のための空力・飛行制御などをはじめ、多くの研究課題に取り組み、これらを順次実験機に搭載して実証するための活動を行ってきました。

これらはすべて、次の目標である100km以上の高度まで打ち上げて発射点に帰還し何度も繰り返し飛ばせる「再使用観測ロケット」に必要な工学課題の研究と実証のために、継続して研究を実施しているものです。「RVT、次はなかなか飛ばないな」と言われることも多いですが、これは皆さんの期

待の表れと理解しています。もう少し待ってください。

前回の飛行実験からこれまでいろいろなことがありました。JAXAの有人輸送の話や、月の探査の話、X-prizeの民間の弾道宇宙飛行やら、いろいろです。世の中の動きに遅れてはなりませんが、我々の目指すところは、今の使い捨てのロケットの世界を

小さなことからでも革新して「再使用」という新しい世界を実践してみせることです。

最近では、先ほどのX-prize財団からアメリカに持ってきて飛ばしてくれないか、との打診もあったりして、まあ、やっていればこそ世間の反応もあり、少しは世の中を前に進めるのに貢献しているのかな、とは思っています。X-prizeの連中もいろいろ飛ばして盛り上げたがっているの、協力したいのは山々ですが、こっちはまずは研究成果を実証するため、次の準備に専念する、ということにしています。この話は、まだ

こか別の機会です。

さてこちらは、初めに掲げた数多くの研究課題にトライしながら、今回の実験では写真のように一応飛ばす機体の形に仕上げて、新しい形式のポンプ式のエンジンを実際の飛行実験の運用を意識して運転し、応答特性の基本的なデータを取得することが主な目的です。大胆に推力制御をやったりして搭載の限られたリソースでエンジンを運転すると、いろいろなことが起こります。これを実際に飛ばすまでに持っていくた

めのいろいろな課題を抽出することが、実験の目的の一つです。チームのメンバーも新しい人が増えており、だんだん若い人に任せてできるようになればいいなと思っています。また、ほかの本部からの参加も増えて、現場で楽しくやっています。これまでのガス押し式エンジンに比べていろいろなことが複雑になり、効率的に繰り返し飛ばすまで持っていくにはまだいろいろあるな、というのが実感ですが、今回のデータをもとに、さらに前に進みたいと思っています。

(稲谷芳文)

「宇宙学校・あきた」開催

今年度1回目を飾る宇宙学校は、秋田県の日川で11月25日に行われました。ここでペンシルロケットが打ち上げられてから51年。また、秋田には能代の実験場もありますから、秋田での宇宙学校開催はとても自然で、遅いくらいでした。ポスターとチラシには、「なまはげ」登場。道川実験の写真などをあしらった、黒谷画伯の労作です。

開校式で佐々田教育長から熱い言葉を頂いて、宇宙学校が始まりました。

1時限目は日川さんによる日川を中心としたロケット開発の歴史の熱い講演と、映画『M-V 宇宙へ』の上映でした。

2、3時限は、Q and Aの時間としました。2時限の講師は澤井、岡田さん組で「ロケットと惑星探査」の時間、映画『小惑星探査機「はやぶさ」』の上映も。3時限の講師は山村、黒谷さん組で「宇宙と生命」の時間、それに映画『X線天文衛星「すざく」』を加えました。

1、2、3時限は入れ替え制で、出席者はそれぞれ261、180、163名でした。小中学生がマイクロバスなどであちこちから順次やってきては帰るというふうで、入れ替えが多く、大



「日川のロケットから50年」の講演から始まった

人が少ないというのが今回の特徴でした。

校長役を平林が務めました。100円ショップで鬼の面を買って持参し、前日の宿で夜なべしてザンバラ髪を付けて「なまはげ」面の出来上がり。こちらの皆さんが恥ずかしがりやで質問が途絶えたら、なまはげ面でマイクを突き付

けて、「しづもんねえが？ わりこいねが？」での強要も想定しました。ちょっと見で効果があったのでしょうか、会場を脅かして回らなくても済みました。

宇宙学校が終わって宿泊ホテルに向かうマイクロバスで、運転手さんにロケット実験の跡に連れて行っていただきました。もう暗い海岸を見渡す所に碑が立っていました。宇宙研一行12人みんなが初めての場所ですから、勝手川が海に注ぎ込むそばの碑の脇で、まったく勝手が分かりませんでした。とても暗い寒さの中に、月が澄んで光っていました。

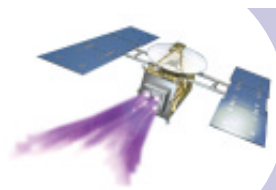
それから、後援していただいた地元教育委員会をはじめ、皆さんと懇親会を開きました。今回は宇宙学校出席者のほとんどが小中学生でしたが、今後も何らかの連続的なお付き合いができればいいと、語り合いました。

(平林 久)

ロケット・衛星関係の作業スケジュール（12月・1月）

	12月	1月
相模原	S-310-37号機 噛合せ試験	
内之浦		S-310-37号機 フライトオペレーション
筑波	SELENE システムPFM試験	

(PFM : Proto-Flight Model)



はやぶさ近況

地球帰還に向けて

最終回

「はやぶさ」は、2006年1月下旬に交信が復旧しましたが、化学推進機関が使用不可能な状態であったため、搭載しているイオンエンジン駆動用のキセノンガスによる姿勢制御を実施して、3月までにおおむね地球を指向させることができました。キセノンガスの消費が著しいことから、4月初めには1分に1回程度までスピン速度を落とし、最大の懸念であった探査機内外部からの残留ガスの排出、ベークン運用を実施し、一応の巡航条件を確立しました。

4月下旬には、イオンエンジンの運転試験を実施して、少なくとも2台のエンジンの運転が所期の性能通りに可能であることを確認し、地球帰還への可能性をつなぐことができました。軌道計画も2010年6月に帰還するよう変更を行い、2007年春までは、そのための準備の飛行に費やすこととしたわけです。

その後、運用計画を立てる上で思わぬことに気がきました。それは、姿勢の維持に要するキセノンガスの量です。幸いにもイオンエンジン用のキセノンガスが探査機に残されていたため、とにかくにも、とりあえずの姿勢制御はできました。しかし、太陽や地球への方向を維持して、また太陽の光の圧力で発生する外乱で姿勢が倒れていく効果を補償するための姿勢制御に要するキセノンガスが膨大な量に上ってしまうことが明らかになりました。光は太陽電池などの板面に当たると、板に力を与えます。この力は、地球上では無視できるほど微々たるものですが、「はやぶさ」は、小惑星イトカワへの降下時にこの力を利用して、化学エンジンを噴射することなく表面への接近・降下を図りました。太陽光が鏡のように理想的に反射するときには、光圧は板面に垂直方向の力を与えます。「はやぶさ」は対称に設計されているため、探査機全体では外乱トルクは発生しません。しかし、太陽光が斜めに当たると、極めてわずかですが探査機の姿勢を傾けるようなトルクを発生させ、これが外乱になるわけです。

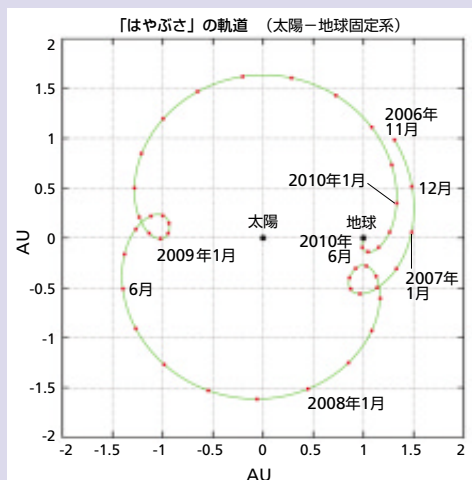
5月下旬ごろには、できるだけ太陽方向に姿勢を向けて太陽光圧による外乱を抑え、かつスピン速度を5分に1回まで低下させて、必要なキセノンガス量を削減してはどうかという方針を検討していました。しかし、太陽や地球の方向を追尾して姿勢制御するための燃料も多く必要で、それも十

分ではないことが明らかになりました。6月末の運用会議では、手詰まり感のある中、いろいろな方策を議論し、その結果、非常にユニークな窮余の策を採ることにしました。それは、この姿勢を乱している太陽光圧を逆手にとって姿勢制御に利用しようというもので、これはスピン安定化と光の圧力での姿勢変更を併用する方式です。従来は3軸安定の宇宙機で光圧を利用することはありましたが、スピン状態での利用はおそらく初めてではないかと思います。その方法とは、つまり、太陽光圧によるスピン姿勢の変化が、公転軌道に沿って「はやぶさ」が太陽や地球に相対的に回転する速さとうまく同期するように、「はやぶさ」の初期の姿勢をうまく設定してやることでした。

このようにすることで、それまでは姿勢を乱す悪要因だった光の力を、姿勢をほぼ太陽方向に維持し続けるために利用することができるわけです。7月からは、「はやぶさ」のスピン速度は10分に1回の非常に遅い速度まで下げられ、この方策が実行に移されました。この方策は、実際のところ思いのほか順調に機能し続け、キセノンガスをほとんど消費することなく探査機の運用を継続できています。これで、2010年の帰還までのキセノンガスの確保にもめどが付きました。

また、夏から「はやぶさ」が行ってきた大事な運用の一つは、故障したりリチウムイオン電池を復活させることでした。交信が復活したときには、地球帰還まではバッテリーを用いなくてよいと考えていました。しかし、延期されている「はやぶさ」のカプセルのふたを閉じるための操作には、このバッテリーを使用する必要があることが判明し、故障したバッテリーの復旧という前代未聞の運用を行ってきました。バッテリーは姿勢喪失後に過放電を経験し、構成する11直列セル中の4セルの電圧が許容電圧以下まで低下していました。残りの7セルに電力を蓄えた上で使用するには直列に連なる不調なセルにも電流を流す必要があります。リチウムイオン二次電池は不具合時に発熱や発火の可能性もあるため、不調なセルには意図的に内部ショートを形成して危険回避を試みました。検証試験を地上で実施しつつ、毎日少しずつ軌道上のバッテリーを充電してきました。秋までには充電を完了し、ふた閉めに必要な電力を確保しています。このバッテリーで駆動されるのは形状記憶合金を用いたふたの閉鎖装置で、その動作温度の条件が満たされるには、もう少し「はやぶさ」が太陽に接近する時期まで待つ必要があり、延期されてきました。これを、間もなく実施する予定です。

このように、「はやぶさ」プロジェクトでは、故障した探査機を延命する未曾有の運用を実施してきました。まだまだこの欄では書き切れないほどの、運用上の苦心がありました。故障した箇所では、いまだに進行する症状も散見されていて、とても予断を許す状況にはありません。しかし、「はやぶさ」の大きな目的の一つは、ほかの天体に滞在した後に復路の惑星間飛行ができることを実地に示すことにあります。これは将来の宇宙開発には必須の要素です。2007年3月からは、イオンエンジンを運転しての帰還の航海を開始する計画でいます。我が国の科学技術の高さを国際的に示していくためにも、大いにこだわって運用を継続してまいりたいと考えています。皆さんの励ましに応えられるよう努力してまいります。（川口淳一郎）



小杉健郎先生を送る

井上一
宇宙科学研究本部 本部長

JAXA宇宙科学研究本部教授・研究総主幹 小杉健郎先生(享年57歳)が、平成18年11月26日(日)12時58分、脳梗塞により急逝されました。小杉先生は、25日土曜の未明、入浴直後に倒れられ、その後、意識はしっかりしておられたとのことですが、26日の午前中に容体が急変されて、帰らぬ人となりました。同じ週の火曜日にはM-V ロケット7号機と太陽観測衛星「ひので」の打上げ成功祝賀会を相模原で開き、会の冒頭、小杉先生の元気なあいさつを頂いたばかりでした。また、土曜日の未明午前1時半ころには、電子メールをC.C.で頂いていました。倒られる直前だったようです。小杉先生を失ったショックは、とても言葉で言い表せるものではなく、心の中にできた大きな穴は、日がたつにつれますますます大きくなる気がしています。

小杉先生は、東京大学大学院において、太陽表面でのフレアと呼ばれる爆発現象の研究を始められました。博士課程途中で当時の東京大学東京天文台(現・国立天文台)助手に就職され、その後、助教授・教授と昇進されました。その間、野辺山の太陽電波干渉計の設営に尽力され、科学的成果を挙げることに大きな貢献をされました。さらに、当時の宇宙科学研究所にも足しげく通われ、太陽観測衛星「ようこう」の中心メンバーとしても活躍されました。

そして、1998年、このたび「ひので」衛星として文字通り日の目を見たSOLAR-B計画の立ち上げに合わせて、当時の宇宙科学研究所に移られました。すぐに、SOLAR-B計画のプロジェクトマネージャーになられ、世界第一級の太陽観測衛星を作るべく、大変難しい観測装置の開発を米英との国際協力を切り盛りしながら進められ、あわせて、大変高度な衛星の製作を見事にマネージしてこられました。ここ1年ほどは、衛星は打上げに向けた最後の試験を行ってきており、こういう段階ではどの衛星にも出てくる大小のトラブルに対処しながら、この9月の打上げに向けてそれこそ心血を注いで作業をしてこられました。特に、この5月、6月は、推進系バルブの一部に心配なことがあったりして、休みのない毎日を過ごしてこれたと伺っています。

小杉先生は、鋭い視点で、人の発言や行いに改めるべきことがあるとお考えになると非常に厳しく指摘されるところがおありでしたが、その分、自分に厳しく、細かなことにも気を配って非常にしっかり物事を進められる方でした。「ひので」の打上げ前の最終段階においても小杉先生は決して妥協を許さず、まさに精魂を傾けてこられました。その小杉先生をリーダーとする関係の皆さんの大変な努力の結果、「ひので」は予定通りに軌道に投入され、観測装置も見事な成果を出し始めました。打上げ直後や、X線望遠鏡や可視光望遠鏡が初めての画像を送ってきたときに、小杉先生が喜びで高揚しておられた姿が、昨日のことにように思い出されます。科学的成果を出す楽しみは果たせないことになってしまいましたが、素晴らしい画像を見てから逝かれたことが、せめてもの慰めです。

思えば、打上げ前のご苦勞で、お体に無理をかけてこれたのでしょう。それに加えて、この間、小杉先生には研究総主幹として、宇宙科学研究本部の運営においてもいろいろとご苦勞をお願いしてきました。数ヶ月前には、目の見える範囲が少し変だとおっしゃっていたり、数週間前には体にじんましんが出て休みをとられたり、少し体調が思わしくないことをうかがわせることがありました。今となつては、何とかして差し上げられなかったものかと、悔いばかりが残っています。

私は、小杉先生とは大学学部以来の友人でした。同じ天文学の研究の道を歩いてはきましたが、研究対象が違い、また、持ち味もずいぶん違いました。しかし、ここ数年は同じ職場で働くようになり、特にこの1年ほどは、宇宙科学研究本部の運営について苦勞を共にするようになり、お互いがよく分かり合えてきたような気がしていました。その矢先に、小杉先生は突然逝ってしまわれました。誠に残念でなりません。心からご冥福をお祈りするとともに、これからの人生、小杉先生の分も頑張らなければならぬと思っています。小杉先生、どうか安らかに眠りください。(いのうえ・はじめ)



「ひので」打上げ直後の衛星テレメータセンタにて

日曜日の昼に、ご長男の洋介さんから先生が亡くなったという電話を受け、言葉が出ませんでした。昭和53年に大学院に入学したころ、小杉さんの車に乗せてもらい、野辺山に見学に行きました。若くして東京大学・東京天文台の助手に抜擢され、野辺山で活躍する姿は、今でも目に焼き付いています。その後、小杉さんは、お仲間の方々と野辺山でラジオヘリオグラフの建設にまい進され、素晴らしい性能の装置を稼働させました。



「ひので」衛星の輝かしい成果をもとに、国立天文台が一丸となってSOLAR-B計画を提案したのは、1995年ごろのことです。SOLAR-B計画の開始に当たり、小杉先生は天文台から宇宙研に移り、衛星開発の指揮を執ることになりました。衛星計画は、極めて野心的な目標性能を掲げ、特に可視光望遠鏡は0.2秒角という途方もない解像度を達成すべき性能としました。また、X線望遠鏡も、極端紫外線分光撮像装置も、それぞれ野心的な目標を掲げていました。SOLAR-Bのサイエンスの方向性はロジカルには誤っていないと思いますが、可視光望遠鏡の開発は難航が予想され、またそのサイエンスの位置付けと成果にも不安が付きまとい、私の心は不安で張り裂けそうでしたが、小杉さんはやるしかないという覚悟を決めておられました。

難度の高い三つの望遠鏡、複雑に入り組んだ国際協力、それに起因する衛星バス開発への負担。SOLAR-Bの開発は難航を極めました。しかし、先生のリーダーシップのもと、多くの優秀な若手・中堅は、担当メーカーのエンジニアとともに、不屈の闘志で戦い抜き、「ひので」衛星が誕生しました。そのコンセプトは我が国独自のものであり、NASAやESAはそれを意義あるものと思って参入し、SOLAR-Bは世界の主要3宇宙機関を巻き込んだ国際協力ミッションとなっていきました。また、我々は中核装置の可視光望遠鏡を純国産で開発し、回折限界性能を実現し、先生のご期待に応えることができました。SOLAR-Bは多くの優れた人々を引き付け、その支援に支えられてミッションを達成できた先生は幸せ者であったと思います。

SOLAR-Bの国際的な注目度は、当初はそう高くはありませんでしたが、2000年を越えたあたりから、地上の可視光観測の進歩が急速になり、より優れた解像度を持つSOLAR-B計画への関心が急に高まってきました。地上観測が進歩しても、SOLAR-Bの地上に対するサイエンスマージンは圧倒的で、ここ1～2年で世界のSOLAR-Bに対する態度は、無関心から熱狂に変わっていきました。サイエンスの状況と「ひので」のもたらすであろうものが、打上げが近づくにつれ、ぴったりマッチしたのです。

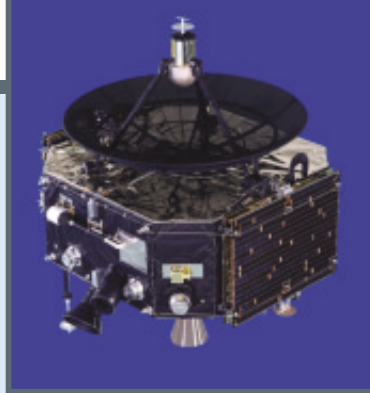
素晴らしいM-V ロケットのおかげで、「ひので」が無事上がり、人類が今まで目にしたことの無いデータが送られてきています。X線望遠鏡、極端紫外線撮像分光装置ともこれまでの観測装置の性能から大幅にアップして素晴らしいのですが、大気の影響を逃れた可視光望遠鏡の回折限界画像是、素晴らしい一言に尽きます。定量解析を可能にする分光スペクトルデータもあり、これが日本の衛星で、しかも世界で初めて得ることができたという感動を、先生とともに味わうことができました。

衛星計画は長期にわたり、最近10年近くの年月を必要とします。小杉先生は、宇宙研に移られてから、宇宙研のマネージメント・中枢に次第に深くかかわるようになりました。優れたマネージメントの重要性は、特に巨大科学において、強調してもし過ぎることはありません。先生はこの面で大きな才能を発揮され、宇宙研の運営にだんだんと深くかかわるようになりました。それは一面、我々から離れていくことを意味しました。政治的手腕を持った人を英語でステーツマンとかポリティシャンといいます。ここで、ステーツマンとは、ポリティシャンに対比して、私利私欲を忘れ、小事にこだわらず、大局観を持ち、良い判断・健全な判断をしていく真の政治家のことをいうのだと思います。小杉さんと接していると、私は次第に小杉さんにステーツマンを感じるようになり、その感はずっと強まっていったのであります。「ひので」衛星が軌道に乗り、日本の宇宙科学のためにステーツマンとしてさらに活躍することを周りの人も期待し、自らもそれに応えねばと思っていたであろう、その矢先に、このようなことになり、その損失は計り知れません。

さらなる活躍が約束されていた先生の生涯がこのような理不尽な形で終わらされてしまうことに、先生は^{じくじ}忸怩たる念をお持ちのことと思います。また、ご遺族にとっては、とても納得できることではないと思います。しかし、国家の重要な計画を担われ、多くの優れた若い研究者に支えられ、我が国の宇宙科学の発展の礎の一つを築くことにまい進されたその姿は、永く人々の心に残るものであります。「ひので」衛星から送られてくる画像は、美しいとさえいえ、またそのいくつかは人類が初めて見るような画像であります。先生は、「ひので」の初期画像をしっかりと見届けてから、満足の気持ちをお持ちになって、静かに去られたらいいのであります。残された私たちは、小杉先生の残したこの優れた衛星の成果を最大限挙げ、将来の展望を開く責任があり、先生に天より見守っていただきたくお願い致します。先生のご冥福を心からお祈り致します。

(つねた・さく)

浩三郎の 科学衛星秘話



「のぞみ」



井上浩三郎

長い旅路の始まり

探査機「のぞみ」は、1998年12月に行った地球パワー・スウィングバイで発生した燃料供給系の不具合によって火星到着が当初計画より4年あまり遅れ、その長い旅路が始まりました。この長期の航行に探査機が耐えられるか、プロジェクトマネージャーの鶴田浩一郎先生を中心に、衛星システムグループはいろいろな観点から検討に検討を重ねた末、「不測の事態」が起こらなければ大丈夫、という結論に達しました。

長期にわたり太陽を周回する惑星間空間の航行が始まりました。「のぞみ」チームはこの期間を有効に利用すべく、「のぞみ」の搭載機器の性能チェックをはじめとする各種の観測計画を立てました。そして、2002年12月の地球スウィングバイに向けて順調に航行を続け、多くの貴重な観測データを取得しました。

超遠距離通信と「合」運用技術の習得

「のぞみ」は、2000年12月26日から2001年1月20日にかけて、地球から見て太陽の向こう側に隠れる、いわゆる「合」となり、探査機との通信ができない期間に遭遇しました。また、この「合」の近傍で、地球との距離3億6300万kmという超遠距離通信（往復伝搬遅延時間40分20秒）を記録しました。この約3週間、自動地球追尾、自動姿勢制御など自律機能を働かせて無事「合」運用を乗り切りました。この自律運用成功はその後の運用に自信となりました。また、このとき、太陽近傍に地上アンテナを向けた際の貴重な太陽雑音データの取得にも成功しました。

火星探査機「のぞみ」その3

科学観測

「のぞみ」は搭載観測機器として総計14の観測手段を持っていましたが、巡航期間中でも観測できる項目については本格的な観測を開始しました。その主な成果としては、(1)火星撮像カメラが「地球と月のツー・ショット」や日本で初めて月の裏側撮影に成功、(2)紫外光撮像器が太陽系外の星間風を観測、(3)極端紫外光撮像器が地球プラズマ圏の初めての撮像に成功、などがあります。そのほかにも、恒星間ダストの検出、太陽フレア現象の観測、月ウェイクの観測、星間風の観測、太陽風の長期モニター、太陽のコロナの構造の観測などが挙げられます。

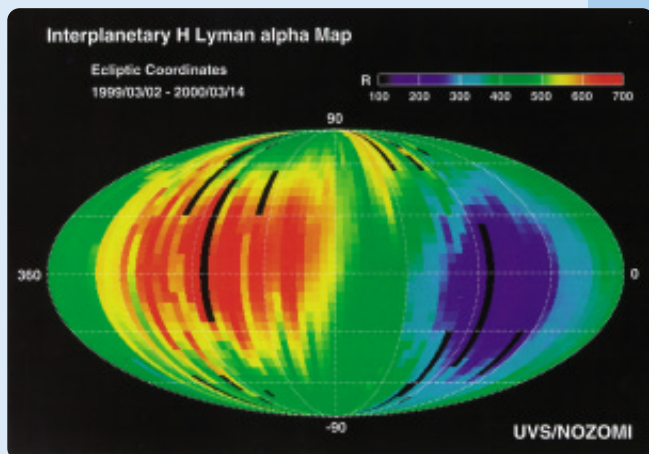
電気系に不具合発生

順調に航行を続けていた「のぞみ」に、2002年4月、ミッション遂行にとって致命的な不具合が発生しました。それは4月22日に発生した最大規模の太陽フレアの3日後でした。この太陽フレアは地球から見て太陽表面西側で発生したのですが、それは「のぞみ」にとって打上げ後最大規模の高エネルギー粒子の直撃となりました。

まず2002年4月25日18:05(世界時)に、「のぞみ」はテレメトリモードに切り替わって入感する予定だったにもかかわらず、ビーコンモードで入感しました。地上から送信コマンドでテレメトリモードへの切り替えを行いました、成功しません。4月25日の9:00に姿勢制御の実施を予定していましたが、これも受信レベルから判断して実施されていないことが判明しました。ここでいう「テレメトリモード」は、衛星からの電波にテレメトリの情報を乗せている状態であり、また「ビーコンモード」は衛星から電波は出ているが電波にテレメトリ情報を乗せていない状態を意味します。

従って、このビーコンモードでは衛星の動作状況の情報がまったく得られず、事実上運用不可能になります。すぐにこの不具合を解明するための調査が始まりました。所内では原因究明と回復のために、衛星システムグループをはじめ不具合調査委員長の中谷一郎先生を中心とした関係者の血のにじむような作業が始まりました。(つづく)

(いのうえ・こうざぶろう)



「のぞみ」が測定した惑星間空間の水素ライマン・アルファ光の強度分布。明るく見える方向が、星間風の上流である。



ロケットの姿勢制御

M-Vロケット 姿勢制御班

田村 誠

今回はロケットの電気屋さんのうち、姿勢制御班のお話をしたいと思います。そもそもロケットの役目は何なのでしょう？ それは人工衛星や惑星探査機などのお客さんを、あらかじめ決められた目的地（軌道）へ運ぶことです。そうすると、お客さんを目的地まで運んで、きちんと送り出せるようにロケットを操縦していかなければなりません。ロケットの姿勢制御とは、ロケットを思い通りに操縦していくことなのです。しかし、今のロケットは自動車や飛行機のように人間が操縦できるようなものではありません。そこで、人間の代わりにロケットに乗って操縦を行う装置を作るのが、姿勢制御班と呼ばれる電気屋さんの仕事なのです。それでは、姿勢制御班のもう少し詳しい仕事内容を、M-Vロケットを例に説明したいと思います。

巨大なロケット花火ともいえるM-Vロケットは、一度火がついたら止まることもスピードを調整することもできません。アクセルをずっと踏みっ放しにした自動車のようなものですから、M-Vロケットの操縦はとても難しいのです。また、ロケットは自動車や飛行機とは違って、寄り道はおろか、目的地までの最良のコースを大きく外れることも許されません。それに尾翼がないため不安定で、操縦を誤るとひっくり返って、落ちてしまうことにもなりかねません。ものすごく操縦が難しいロケットを、ものすごく正確に操縦しなければならないのです。

あらかじめ決められたコースに沿って目的地までロケットを操縦したいのですが、M-Vロケットではスピードの調整ができないため、ロケットが向くべき方向、つまり姿勢を調整することで操縦が行われます。ロケットがどれくらいのスピードで飛んでいくかは、あらかじめ計算することができます。スピードが分かれば、計画されたコースを飛んでいくためには、例えば発射してから10秒間は東を向いて、次の20秒間は南東に向けるなどと、目標姿勢の計画を決めればよいわけです。しかし、計算通りのスピードで飛ばなかったり、風の影響を受けたりして、計画されたコースを外れてしまうことがあります。そこで、もし予定のコースからずれていたら、地上から目標姿勢の計画を少しだけ修正する指令を電波でロケットへ送って、元のコースに戻るように仕向けられるようになっていきます。

ロケットの操縦は、姿勢センサと制御コンピュータの二つの搭載装置の協調で行われます。M-Vロケットの姿勢センサには、光ファイバジャイロというものが用いられています。ジャイロとは、回転の速度を計るための機械です。どれだけの回転速度でどれだけの時間だけ回転したかを計ってコンピュータで計算することによって、ロケットが回転した角度、つまり今どちらを向いているか（どういう姿勢か）を知ることができます。ジャイロには原理によっていろいろな種類があります。一昔前まではこまの原理を用いた機械式のジャイロが使われ



M-Vロケット姿勢制御班の顔ぶれ

ていましたが、機械式のジャイロはロケットのような激しい振動や大きな衝撃に弱いという欠点がありました。一方、光ファイバジャイロは機械的な部分がないので、M-Vロケットの振動や衝撃にも耐えて機能することができ、とてもわずかな姿勢の変化も察知することができるスグレモノなのです。

制御コンピュータには、発射してからの経過時間によってロケットが向くべき方向（姿勢の目標）があらかじめインプットされています。その目標となる姿勢と飛行中のロケットの実際の姿勢を比べます。目標とぴったり一致していればそのままの姿勢を保持すればよいのですが、目標からずれていたら、そのずれを修正するためにノズル（噴射口）をどのように動かせばいいか、どのガスジェットを噴かせて姿勢を変えればいいかをコンピュータが計算します。計算結果は制御指令として、ノズルやガスジェットの駆動装置（アクチュエータ）へ送られます。そして指令通りにアクチュエータが動くことによって、ロケットの姿勢が変化するわけです。すると、姿勢センサがその姿勢の変化を察知して、再び目標の姿勢と比較されます。このような一連のサイクルが1秒間に何十回も繰り返されて、ロケットが思い通りに操縦されるのです。

ロケットの姿勢制御は大変難しい仕事ですが、失敗は絶対に許されません。幸い、M-Vロケットでは、操縦を誤って失敗をすることは一度もありませんでした。これも姿勢制御装置の製作を担当した電気屋さんのチームワーク、ほかの関係する各班の電気屋さんの協力のおかげであったと思います。（たむら・まこと）



中性粒子 イタリアとインドへの旅

パドバでの調べもの

浅村和史
宇宙プラズマ研究系助手

飛行機に乗ると寝てしまう人は多いと思います。午前中の成田出発便に乗る場合、朝早くに家を出ることを強要されるためか、たくさんの方が寝ています。僕も朝が早く、すっきりしない頭で乗りました。研究会のあった愛知の豊川から成田空港に向かったことも朝を早くしました。が、飛行機では窓の外を見続けてしまう僕は眠くならず、そのままベネチアに着きました。

BepiColombo Science Working Team meeting (SWT)が行われるパドバへは電車で、駅からホテルまではタクシーで。でも、ホテルはありませんでした。辺りを歩いている誰に聞いても、住所や地図

を見て同じ場所に連れて来てくれます。夜12時近く、英語も通じずどこか楽しい。何人目かで、通じない会話が気になっているふうの夫婦を見つけました。夫婦は英語を話し、パドバ市とパドバ県の違いに気付き、ホテルまで30kmもあることを教えてくれました。そしてホテルまで車で送ってくれました。

「パドバへは何しに?」

「本当に人は月に行ったの? 私よりあなたの方が詳しくそうだから」

「たぶん……」

ホテル予約サイトの地図の間違いなど気付く人は多いと思いますが、間違い自体はあるようです。

残された時間は少ない

翌朝、タクシーと電車に乗ってSWT会場に着くと、スウェーデンのStasが待っていました。Chandrayaan-1のことかと思って身構えると、やはりそうでした。インドの月探査機Chandrayaan-1は2008年3月に打ち上がる予定です。搭載機器はもうすぐ衛星システム担当に渡さないといけません。そ

の中で、非熱的中性粒子観測器(SARA)は日本、スウェーデン、スイス、そしてインドの共同開発機器です。この観測器はBepiColomboにほぼ同等のものの搭載を予定していて、主要関係者が集まるSWTは打ち合わせのよい機会です。残された時間がそれほどあるわけではない今、話題はたくさんありました。まず、日本で作っている検出器部と電子回路部について。数多くの改修を加えてスウェーデンに送ったテストモデル回路は、基板に部品が付いているというより3次元構造になってしまっています。

「フライトモデルの配線レイアウト、変えます。部品が載らないから」

「もう変えたの?」

「まだあと1~2週間はかかりそう」

スウェーデン宇宙科学研究所は主開発機関なので、スケジュールをつつくのは分かるけれど、

インドの状況も気になります。インドが作ったデータ処理回路テストモデルは、試験用観測器ダミーとの間でデータの送信、受信とも未確立のままです。違う場所で開発したものの接続なので、担当の人がそろわないと問題解決は難しそうです。この前インドに行ったときはどうだった? インドに行くなら何を用意したらいい? いつ行こう? スウェーデンでの試験が止まるのでは?

ホテルを変えなかったのも、終電を機に駅に向かいました。

インドへ

トリバンDRAM空港にも夜着きました。言われた通りタクシーに乗ると、いつまでも走ってゆきます。インドでも英語が通じません。沿道が寂しくなり、イタリアを思い出します。このままホテルに着いても明日はどうするのかな、と考えていたら、ホテルの前で伝言の紙をもらいました。ありがとう。でも乗る前に欲しかった。

次の日、伝言に従うとStasたちに会えました。守衛所で持ち物検査を受け、研究所の中に入ります。

「終わらないと帰国できないのかな」

「そうねえ、僕は帰るよ。でも浅村は帰国便を変えられるチケットでしょ」

実験室ではすぐに試験を始めました。1日では分かりませんでしたが、電源オン手順とデータ処理部ロジックの問題でした。

帰れます。

(あさむら・かずし)



M-V ロケットの最期

秋葉鏢二郎

宇宙科学研究所名誉教授

昨年、私は内之浦婦人会の求めで、その創設55周年記念誌に、半世紀の間の内之浦を懐古し寄稿しました。そのとき、現状視察に訪れた実験場の変わりようにあらためて今昔の感を深くして、題目を「はるかなる内之浦」としました。そのときは、再びここを訪れることはあるまいとの思いを胸に、実験場を後にしました。にもかかわらず、今回お誘いに従い、気が進まぬままに、M-Vロケット7号機の打上げに臨みました。後輩たちが精魂傾けて開発した、M-V型の最期の打上げに、顔を背けるのは忍びなかったからです。それは、あたかも世のさまざまな思惑から解き放たれ、早朝の天空に自由を求めるかのように、台地を囲むフェンスを後にあけなく視界から消え去りました。

何でこの時期、これほど洗練された打上げ手段を放棄する意志をJAXAが表明しなければならなかったのか？ 多くの人々がげげんに思っています。長いことMシリーズの開発に携わった筆者などの反射的生理反応でもあります。でも、意外なのは、所内の後輩方が比較的冷静にこの事態を受け止めておられるようで、安堵する反面、時代が変わったという感慨をぬぐえません。

けれどもその一方で、今時代が大きく変わりつつあるという認識は欠落しているように見受けられます。これからは経済性を度外視した宇宙輸送手段は淘汰される運命にあります。すでに軌道への打上げ単価は、1kg当たり50万円が国際相場になりつつあります。ですから、M-Vの放棄が、いち早く新時代への転換を宣言し、平和利用に徹してきたこれまでの我が国の基本姿勢をあらためて近隣諸国に印象付けたとすれば、なかなか見上げた政治的決断と言ってもいいのかもしれませんが。しかし、最近の宇宙政策をめぐる議論を側

聞する限り、そのような深謀遠慮はみじんもないようです。それよりも皮肉なことに、固体ロケットは新時代の経済性実現に最短距離の道を用意しているようです。

筆者は宇宙科学研究所の名誉教授なので、身分証明書を発行してもらっていますが、それには「宇宙航空研究開発機構の勤務者であることを証明する」と書かれています。そこで、微力ながら趣旨に沿って、現役の方々に呼び掛け、固体ロケット低費用化のための勉強会を立ち上げていただきました。そこで今、あらためて低費用化へ向けて、魅力ある数多くの技術課題を見だし、年がいてもなく興奮を覚えています。高齢化社会において、有志とともにその課題に取り組み、余生を楽しみたいと思っています。

ところで、写真にわざわざフェンスに囲まれたロケットを選んだのには理由があり

ます。実際これのおかげで、自由な研究の場としての実験場の雰囲気は損なわれ、目を背けたくなくなってしまっただけでなく、これが本来受け入れるべき人々を疎外し、阻むべき者にはほとんど障害となっていないことを指摘したいからです。保安警備が極めて大切な世の中になったのは事実です。しかし、その本質は情報戦です。それに、保安警備について最近の技術進歩を積極的に取り入れれば、一般人から実験場を孤立させずに、本来の目的をもっと強化できるはずですよ。金がないなどというのは理由になりません。もしかすると、この面でも宇宙開発が一般社会に貢献できるかもしれませんから。どうも、最近の社会問題には、現場を無視し、一方的に管理組織内でのみ通用する論理で作り上げた制度や規制あるいは施策が現実と遊離し、破たんしてしまった例が多くなったようです。心底より憂慮の念を禁じ得ません。

これからは、民間参加型あるいは民間主導型ともなろうかという宇宙開発の時代を迎えます。ロケット開発にとどまらずに、JAXAはコペルニクス的発想の転換のもと、一般社会との関係を再構築しなければ、その将来が危ぶまれます。在野の方々の間では、JAXA解体論はもとより、不要論まで聞かれるようになっていきます。

(あきば・りょうじろう)



フェンスに囲まれたM-Vロケット

宇宙へのカウントダウン

宇宙基幹システム本部 M-Vプロジェクトチーム 開発員

餅原義孝

——ロケット打上げの秒読みを担当されていますね。

餅原：前任者の下村和隆さんに初めて会った日、“おまえは声がでかいから、そのうち俺に代わって秒読みをやれ”といきなり言われたんです(笑)。小型のMT-135型ロケット打上げの秒読みから始め、科学衛星の打上げを初めて担当した1997年2月のM-Vロケット1号機は、ちょうど10機目でした。

——普段から秒読みの練習をするんですか。

餅原：特に練習はしませんね。仕事が終わった後、発声練習のため、よくカラオケに行くくらいです(笑)。打上げ当日は緊張し過ぎないように心掛けています。実は、M-Vの1号機るとき、緊張し過ぎて頭の中が真っ白になった経験があるからです。打上げの10～15分前、何かの放送をしてくれと頼まれました。その声は耳に入っていたのですが、内容が頭に入りません。そんなことは、後にも先にもこのとき一度きりです。

M-Vの1号機るときには、私ばかりでなく、みんなの緊張感もすごかったですね。打上げの2分前からの約1分間は、管制室にいた50名くらいの人も、ほかのセンターで指令電話に付いていた人も、誰も一言も声を発さず、せき払いも聞こえません。まさに水を打ったような静けさでした。M-Vロケットは数多くの人たちが10年以上の歳月をかけて完成させました。その打上げが成功するかどうか、発射から10分足らずで結果が出ます。その緊張感が張り詰めた静けさは、今でも強く印象に残っています。その静寂を打ち破るかのよう、打上げ1分前から私は秒読みを開始しました。

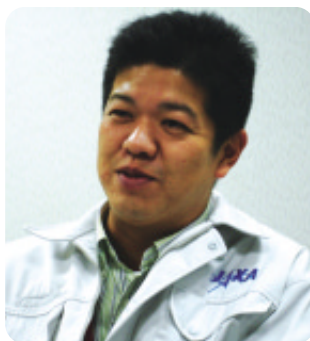
そして、打上げが成功したと分かった瞬間、本当に最高でした。しかしそのとき、みんなは抱き合ったり握手をしったりしていたのですが、私だけはカウントアップを続けていました。歓喜の輪にすぐに加わらず、少しだけ寂しかったですね。

——ロケット発射のとき、管制室はどんな様子ですか。

餅原：管制室は、打上げ台から100mくらい離れた場所の半地下にあります。ロケット発射直後は、巨大な衝撃波が頭の上を転がっていくような感じ……。ほかに例えようがないですが、それは管制室にいないと経験できないもので、我々だけが体感できる特権だと思っています(笑)。

——管制の仕事のやりがいはい?

餅原：ロケットを打ち上げられる時間帯は決まっています。作業に



もちはら・よしとか。1968年、東京都生まれ。東京都立大学工学部機械工学科卒業。1994年、宇宙科学研究所観測部打上管制課。2003年、宇宙基幹システム本部M-Vプロジェクトチームに配属。通信設備の整備・運用業務、打上げ・実験などにおける管制業務に従事。

遅れがあった場合に、的確に指示を出して遅れを取り戻せたときは、とてもうれしいですね。思ってもみないところからトラブルの報告を受けることもあります。私は調子が良いときには、三つくらいの報告を同時に聞き取ることがあります。それは学生のとき、バスケットボ

ールをやっていた経験が生きているんだと思います。バスケットボールでは、ディフェンスのとき、ボールを持っている相手だけでなく、違う方向からゴールに飛び込んで来る敵にも注意を向けなければいけません。1点ではなく多点に集中する必要があるのです。そういう経験が、今の管制の仕事に役立っているのだと思います。

——なぜ宇宙研を志望したのですか。

餅原：国家公務員試験に合格した後に、志望する役所の面接試験を受けるという形でした。いろいろな機関が集まった合同説明会があったのですが、ある省庁などは「真っ先にうちに来なければ採用しません」という感じでした。ところが宇宙研の担当者は「うちには最後に来てください。ほかを全部見てからでないと、うちの良さは分かりません」と言うんです。

実は、そのときまで私は宇宙研の存在を知りませんでした。その言葉がとても印象に残り、実際に宇宙研を訪ねて話を聞いてみると、とても面白そうだと思いました。その後、面接試験を受けて採用され、ロケット打上げ作業の全体を仕切るという面白い仕事に携わるようになりました。すごく幸運ですね。

——これからの目標は何ですか。

餅原：打上げ当日の作業スケジュールの作成も私が担当しています。M-Vの場合は約12時間にわたるスケジュールですが、次のロケット開発に向けて、もう少しシンプルにして短縮することが課題ですね。そして打上げの回数をもっと増やしていけるといいですね。今はロケットが打ち上がるとニュースになります。しかし、航空機が目的地へ無事に到着してもそれだけではニュースになりませんよね。打上げ成功だけではニュースにならないくらいロケットをたくさん打ち上げて、その成功率も航空機並みかそれ以上。それが究極の目標だと考えています。その目標に向かって一緒に汗を流してくれる若い人がJAXAに来てほしいですね。

ISASニュース No.309 2006.12 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。

デザイン／株式会社デザインコンピニア 制作協力／有限会社フォトンクリエイト

編集後記

「『ひので』は完璧です」とエレベータの中で満足顔の小杉先生に自慢されてから、さほど日がたっていません。これから面白いデータがどんどん出てくるのに。もっと自慢話が聞きたかった。(紀伊恒男)

*本誌は再生紙(古紙100%)、大豆インキを使用しています。

100
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