空へ挑み、宇宙を拓く
JAXA 宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究所
ISSN 0285-2861
ISASニュース
2010.12
No. 357

アラスカの夕暮れの空に現れたオーロラ

宇宙科学最前線

自然が織りなす光のショー 惑星オーロラの魅力

Sarah V. Badman
JAXA インターナショナルトップヤングフェロー
宇宙プラズマ研究系

太陽系にいくつの惑星があるか，ご存知でしょうか。9個，と答えた方は調べ直す必要があります。太陽のまわりを地球と比べて30倍以上も遠くで公転する小さな冥王星が，国際天文学連合により惑星ではないと判定されたのは最近のことです。

残りの8個の惑星はそれぞれに個性的な世界を持っており，それらの特徴は惑星を形づくる材料と太陽からの距離によって決まります。ご存知のように，太陽系中心にある太陽が，地球を含めた惑星たちに光と熱を供給しています。実は，光だけでなく，太陽はその上層大気の粒子も周囲へと放出しています。これは太陽風と呼ばれ，とても希薄なもの（月と同じ体積の中にある太陽風粒子の数は，清涼飲料のボトル1本の中にある分子の数と同じぐらい！）ですが，惑星環境に大きな影響を及ぼすものです。

夜明けの女神

我々の地球について考えてみましょう。地球は固有磁場を持っています。その磁力線は北極と南極とをつなぎつつ宇宙空間にも広がっており，地球周囲の宇宙空間にカゴで囲まれたような隙間（訳注：磁気圏）をつくります。我々の目には地球の磁力線や太陽風は見えませんが，それらが相互作用するとき，自然界で最も魅力的な光のショーが展開します。これがオーロラです（極光とも呼ばれます。表紙写真）。オーロラは極域の夜空に現れる，まばゆい光が躍動する現象です。オーロラという言葉の起源は，それが夜空を照らす様子から，古代語で夜明けを意味する言葉にあります。しかし，太陽

の光にその原因があるわけではなく，あるいは，古代人が考えていたように勇者の武器が照り返しているわけでも，神からのメッセージというわけでもありません。

オーロラは，太陽から飛んできた太陽風の粒子（電子やイオン）が地球周囲のカゴを形づくる磁力線に捕まった後に大気に突入して生まれます。大気に突入した太陽風粒子は地球大気の粒子と衝突し，大気粒子をエネルギーの高い状態にして光を放出させるのです。最も普通に見られるオーロラは緑色をしていますが，これは上空の酸素原子からの光です。時には赤や紫色のオーロラが見られますが，これは大気に突入する太陽風粒子のエネルギーが変わって光を放出する大気粒子が別のものになるためです。

オーロラの形は，細いリボン状やカーテン状だったり，あるいは全天を覆う雲のようだったりします。オーロラは明滅を繰り返したりうねりながら夜空を移動したり，非常に素早くその姿形を変えることもあり，写真に撮ろうとすると消えてしまうこともしばしばです。

オーロラが映す宇宙嵐

北極と南極に一つずつ，それぞれのまわりを巡る環状の領域（オーヴァル）を思い浮かべてください。オーロラはその領域に出現します。その様相は地球の上空から撮影する科学衛星の観測によってとらえることができ，これまでにさまざまな太陽風条件での観測が行われてきました。オーロラは，ちょうどブラウン管のテレビのように，上空から電子が大気に飛び込んで光を出すことで，地球周辺の宇宙空間で何が起きていて，地球磁場と太陽風がどのように相互作用しているのかを映し出していると考えることができます。最も強いオーロラは，磁気嵐と呼ばれる，太陽から通常よりも大量の粒子が押し寄せてきて地球周囲に広がる磁気圏を占拠するときに発生します。磁気圏は，地球から出て宇宙空間へと延び，また地球へと戻る磁力線がつくる，やわらかいカゴで囲まれたような領域であり，太陽風の変動の影響を大きく受けます。磁気嵐のときには，より広い範囲で磁気圏から大気へと電子が注入されるのです。1870年に実際にあった極端な事例では，北極から遠く離れた北アフリカでオーロラが目撃されたこともありました。

図1　地球を周回するハッブル宇宙望遠鏡
（写真提供：NASA）

木星オーロラ

太陽系のほかの惑星にもオーロラは見られ，それを研究することで惑星周辺の宇宙環境を知ることができます。太陽系最大の惑星である木星は，大変強い固有磁場を持ちます。そのため，その周囲にできる磁力線でできたカゴは大きなもの――地球から見れば，ちょうど太陽と同じ大きさ，距離は木星の方が5倍遠いにもかかわらず――になります。木星周辺の宇宙環境は，この強い磁場とともに，10時間という短い自転周期にも強く影響されます。この高エネルギー現象が生まれやすい環境に加えて，火山活動をする衛星イオがガスを宇宙空間へと噴き上げています。このガスが宇宙空間で何かを引き起こすであろうことを想像するのは，容易でしょう。実際，これらの要素が木星のメイン・オーヴァルと呼ばれるオーロラの生成に寄与しており，太陽風との相互作用が要因である地球の場合とは異なった世界が展開されています。

イオは地球の月よりもやや大きな衛星で，木星の近くを周回します。イオは太陽系天体の中で最も火山活動が活発な天体であり，毎秒1トンものガス（酸素や硫黄など）を宇宙空間へと放散しています。宇宙空間を漂うこのガスはやがて電離しますが，そうすると磁力線を介して木星本体とつながることで，ガスも木星と同じように自転するようになります。この，イオからのガスに自転速度を獲得させる過程で，オーロラが生まれるのです。この意味において木星磁力線のカゴの中にあるイオこそが，カゴを外から揺さぶる太陽風ではなく，北極・南極の周囲を環状にめぐるメイン・オーヴァルのオーロラの主原因となっているのです。

ハッブル宇宙望遠鏡

木星は巨大ガス惑星です。オーロラ電子は水素原子でできた大気へと突入します。このことは，太陽系で最も明るい木星オーロラ（地球の10倍の明

るさ）は水素原子からの紫外線で光ることを意味します。人間の目は可視光域と呼ばれる，ある狭い波長範囲の光しか見ることができないので，紫外線のようなほかの波長域の観測は望遠鏡を用いて行います。最も有名で性能が良い望遠鏡の一つが，高度600kmの宇宙空間に浮かぶハッブル宇宙望遠鏡でしょう（図1）。複数の搭載機器を持つハッブルは，木星オーロラ観測に何度も供されてきました。

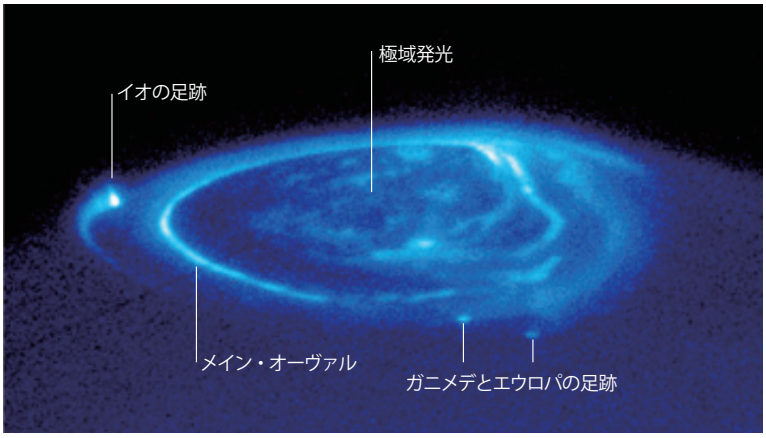
ハッブルにより撮像されたオーロラ画像には複数の要因で発生するものが含まれており，画像を解析することで多くを学ぶことができます（図2）。まず，メイン・オーヴァルと呼ばれるものが必ずしもオーヴァル（環）状ではなく，ある経度に局在する磁気異常によって「そら豆」形状にゆがんでおり，そのために極まわりの非軸対称性が生まれていることが分かります。メイン・オーヴァルの外側には，イオ・エウロパ・ガニメデというガリレオ衛星の「足跡」が見えます。これらの衛星の位置から出発して磁力線に沿ってたどってくると，やがて木星表面の足元の位置に達しますが，そこに明るいオーロラ・スポットが光っているのです。さらに，このスポットから後ろ側へとオーロラが続いていることも見て取れます。メイン・オーヴァルの内側には，原因が未解明の極域発光が見られます。これは位置・強さとも大きな時間変動を示すことが知られ，その原因として太陽風との相互作用が提唱されていますが，まだ解決していません。この問題は将来，木星ミッションが解くべき課題の一つとなっています。

土星：氷と光のリング

木星よりさらに遠くには，太陽系で二番目に大きい惑星，土星があります。土星の太陽からの距離は地球のそれの9倍で，1土星年は30地球年の長さになります。土星は木星同様にガス惑星ですが，その特徴は何といってもそのリングにあります。リングは，小さなもので塵程度，大きなものでは車サイズにもなる氷の集まりです。土星には60個以上もの衛星もあります。それらが土星周囲の宇宙空間に浮かんでいることは，木星系におけるイオほどの強烈な効果ではないだろうにしても，土星オーロラの主要因ともなっていることを期待させます。ところが，ハッブルや土星探査機カッシーニによって取得されたオーロラ画像の解析結果は，土星オーロラが，地球での場合と同様に，土星磁場と太陽風との相互作用に起源があることを示しています。この事実は，土星オーロラの強度や位置が太陽風条件に応じて変化することから見いだされました（図3）。土星周回軌道に投入されてから6年が経過し土星周辺の宇宙空間のさまざまな領域を探査してきたカッシーニは，土星近傍や土星から離れた磁気ディスクにおける磁場・粒子の詳細なデータを取得してきました。データ解析はまだまだ進行中であり，ここから木星系で見られるような衛星相互作用タイプのオーロラ，例えば衛星エンセラダスの足元のオーロラ・スポットといった発見が，今後ともなされるのでしょう。

それぞれに個性を持った太陽系の惑星たちは，まだまだ謎に包まれています。オーロラ研究は，その画像の美しさもさることながら，それぞれの世界において展開する複雑で興味深いダイナミクスを理解していく上で，大変強力な手法です。今，系外惑星への興味は高まっており，科学者たちは，より多くの系外惑星を観測するための科学衛星を検討しています。その一方で，すぐそこにある，私たちのまわりの宇宙においてもまだまだ発見されるべきことが眠っていることを忘れてはいけないでしょう。（サラ・V. バッドマン／日本語訳：藤本正樹）

図2　ハッブル宇宙望遠鏡で撮像された木星北極の紫外線オーロラ（写真提供：NASA）



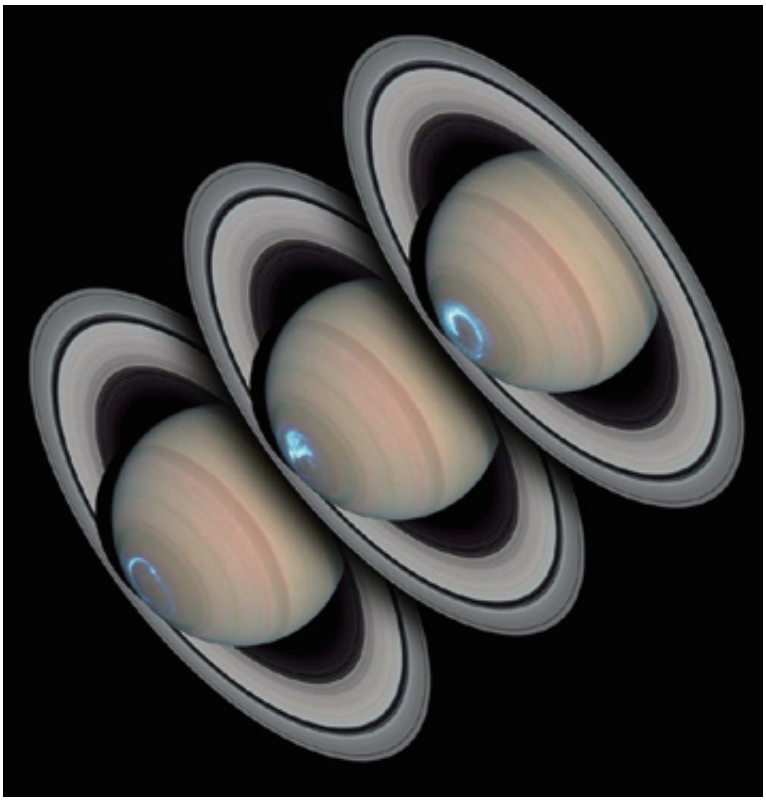


図3　三つの異なる時刻においてハッブル宇宙望遠鏡が取得した土星オーロラ画像
太陽風の変動に対応したオーロラの時間変化が見える。紫外線によるオーロラ画像を可視光による土星本体の画像に重ねてある。（写真提供：NASA）

「あけぼの」22周年記念シンポジウム開催

パーティーでの集合写真

11月22日から24日の3日間，磁気圏観測衛星「あけぼの」打上げ22周年を記念したシンポジウムを，東京工業大学・田町キャンパスにあるキャンパス・イノベーションセンターで開催しました。

「あけぼの」は，1989年2月22日にM-3SⅡロケット4号機で打ち上げられ，現在も現役で観測を続けています。打上げ当初は，極域のオーロラ現象の解明を主目的としていましたが，そのほかの磁気圏研究テーマにおいても多くの成果を挙げました。また，「あけぼの」で培われた観測機器開発技術が，その後に続く「GEOTAIL」「のぞみ」「れいめい」「かぐや」などの衛星プロジェクトに生かされました。シンポジウムは「オーロラ現象」「放射線帯」「電離圏からのイオン流出」「内部磁気圏」「観測機器の開発」などのテーマについて，「あけぼの」がどのような成果を挙げたかだけではなく，その後の磁気圏研究の発展にどのようにつながっていったかにまで話題が広がるように構成しました。

このシンポジウムを計画するにあたり，なぜ「22周年」なのか，という質問をよく受けました。オーロラ現象や放射線帯の様子は，太陽の（黒点などの）活動や，太陽から太陽系内に広がる磁場に大きく影響されます。そして，太陽の活動度は11年の周期で増減し，太陽の大規模な磁場の向きは22年で元に戻ります。「あけぼの」にとって22歳という年齢は，人間の還暦のようなものです。

シンポジウムには，「あけぼの」打上げにご尽力された先生方から，22年前にはまだ幼児だったという学生さんまで，多くの方々にご参加をいただきました。個々の講演に比較的長い時間を当てたので，各テーマについて22年間にどのような進展があったのか，まだ未解明で残っている問題は何かなど，じっくりとお話を伺うことができたと思います。ご講演いただいた皆さまと，シンポジウム準備にご尽力いただいた方々に，心から感謝致します。

（松岡彩子）

2010年度文化功労者に田中靖郎先生

このたび，宇宙科学研究所名誉教授 田中靖郎先生が2010年度文化功労者の顕彰を受けられました。X線天文衛星計画の推進や，新たな観測的研究の開拓などに優れた業績を挙げられ，天文学・宇宙物理学の発展および学術振興に多大な貢献をされたことが評価されてのことです。

先生は1974年，JAXA宇宙科学研究所の前身である東京大学宇宙航空研究所に教授として赴任され，X線のエネルギー分解能の良い蛍光比例計数管の開発を始められました。そして，この蛍光比例計数管を「てんま」に搭載し，銀河面に沿って広がる数千万度の高温ガスの存在や多くのX線源に鉄元素の出す輝線を発見して，鉄輝線学ともいえる新しい分野を開拓されました。続いて，大面積X線検出器を搭載した「ぎんが」を実現し，多くのブラックホールX線源の発見を主導されました。ブラックホールX線源からのX線放射に関しては，ほかのX線源とは違う特徴を見いだし，その後のブラックホール近傍からのX線放射の研究に重要な手掛かりを与えられました。さらに，世界で初めて，硬X線にまで感度のあるX線反射望遠鏡とX線CCD撮像分光装置を搭載した「あすか」を実現し，これにより，X線天文学に本格的X線撮像分光の時代を到来させました。また，多くの国際共同研究を実現して，国内外の高い評価を得，日本のX線天文学の国際的な地位を大きく高められました。

何機もの天文衛星を主導された田中靖郎先生

これらの業績は，多くの研究者・技術者と共同でなされた結果ではありますが，先生の指導力・牽引力によるところが非常に大きいといえます。先生は，卓越した物理実験家として，実に注意深く観測装置や人工衛星の開発を進められ，また優れた物理的直観で，新しい観測的研究を切り開かれました。その時々の，世界の装置開発の動向や観測的研究の進み具合を的確にとらえ，小型ながら切れ味の鋭い天文衛星の開発を主導されました。先生に直接指導・牽引いただいたものとして，先生の今回の文化功労者受章は，誠にうれしく，誇りに思うものです。

（井上 一）

第4回MAXI国際会議「The First Year of MAXI」開催

11月30日から12月2日の3日間，青山学院大学（青山キャンパス）で全天X線監視装置MAXIの国際会議が，約130名（外国からは13ヶ国33名）を集めて開催されました（主催：理化学研究所，共催：JAXA・青山学院大学・東京工業大学）。MAXIは，国際宇宙ステーションの「きぼう」の船外実験装置として搭載されています。データ取得開始から1年余りのMAXIの成果を多くの共同研究者と共有し，今後の戦略を議論しました。3日間でMAXIの報告，招待講演と応募講演合わせて36講演，ポスターは69編が発表されました。

初日は，草食系（質量降着が少ない状態を長期間持続する）ブラックホールXTE J1752-223やMAXI発見のブラックホールMAXI J1659-152を中心に，日米欧の研究者による熱い議論が繰り広げられました。現在はX線・ガンマ線による全天モニタが盛況の時代です。まだ健在のRXTE衛星，硬X線監視と迅速な追跡のSwift衛星，銀河中心を長時間監視しているINTEGRAL衛星，GeVガンマ線で全天監視のFermi衛星。皆が一堂に会し，おのおのが発見した新天体をフォローアップし正体を解明する体制を議論しました。2日目には，MAXIの増光速報に基づくX線天文衛星「すざく」のフォローアップ観測により，X線パルサーGX 304-1からサイクロトロン吸収線が発見されたことが発表されました。またMAXIが1ヶ月前に発見した新天体MAXI J1409-619からは「今朝Swiftが500sのパルスを発見」という最新ニュースも飛び込んできました。3日目は，多数の可視光変動天体を発見しているCRTSやPTFおよび「すばる」，LSSTなどの地上からの広天域モニタ，1年後に打上げ予定のインドのAstrosat衛星などが紹介されました。

国際会議「The First Year of MAXI」集合写真

低エネルギーのX線まで感度を持つ世界唯一の全天X線モニタMAXIへの期待は高く，今後長く観測を続けてほしいとの要望が出されました。

なお，本会議には，宇宙科学振興会，文部科学省科研費特定領域「ガンマ線バースト」，青山学院大学総合研究所からの補助を頂きました。深く感謝致します。会議の詳細は，http://maxi.riken.jp/FirstYearでご覧いただけます。

（理化学研究所／三原建弘）

「おおすみ」40周年記念シンポジウム開催

日本初の人工衛星「おおすみ」がL-4Sロケット5号機によって打ち上げられてから，2010年2月11日で40周年を迎えました。この衛星の打上げ成功が，今日の日本の宇宙科学，そして広く宇宙開発の基盤を築いたといえます。そこで，この「おおすみ」の打上げと，これまでの科学衛星の成果を振り返りつつ，宇宙科学の将来の展望を語る機会を催すこととしました。

科学技術館サイエンスホールにて

このような記念シンポジウムは2月にも上野の国立科学博物館で実施しましたが，このときは一般の参加が主でした。今回は「宙博（ソラハク）2010」（10月29～31日）と合わせて北の丸の科学技術館で平日の10月29日（金）に実施することで，研究者やメーカー関係者の参加ももくろみたのですが，参加者は，招待者（ラムダロケットや「おおすみ」の開発・打上げにかかわった方々が中心）88名，一般70名と，やはり招待者の比率が多いシンポジウムになりました。

当日は，立川敬二JAXA理事長，文部科学省および宇宙開発戦略本部からの来賓あいさつの後，松尾弘毅先生の「『おおすみ』の頃」と，中村正人研究総主幹の「日本の宇宙科学のいまとこれから」の2本の基調講演がありました。さらに，「宇宙科学のさらなる推進に向けて」と題した意見交換では，小野田淳次郎宇宙科学研究所長からの問題提起に続き，東北大学の吉田和哉教授からは大学から宇宙科学ミッションにかかわる立場で，秋田大学の和田豊助教からは大学でのロケット実験と教育の観点から，宇宙研工学の川勝康弘准教授からは深宇宙探査の観点から，そして理学の篠原育准教授からはデータ利用の促進の観点からお話しいただきました。

終了後には科学技術館の地階レストランで招待者向けの懇親会を実施。懐かしい顔が集まったようです。　（阪本成一）

「あかり」プロトモデル，名古屋市科学館での展示へ

赤外線天文衛星「あかり」の真空冷却容器プロトモデル(地上試験用モデル)が，名古屋市科学館で長期展示されることになり，10月14日に名古屋へ輸送されました。「あかり」は赤外線で宇宙を観測し，暗黒星雲中で生まれたばかりの星や，生涯を終えて死にゆく星，あるいは銀河の中での星形成活動の歴史などを追い掛けています。有効口径68.5cmの天体望遠鏡は，それ自身が赤外線を放射して観測を邪魔しないよう，超流動液体ヘリウムタンクを備えた真空冷却容器に納められ，マイナス267℃の極低温に冷却されました。この冷却容器のプロトモデルが展示されるのです。

名古屋市科学館への輸送のためトラックに積み込まれる「あかり」真空冷却容器プロトモデル

このプロトモデルは外見も機能も実際に打ち上げられたものとほとんど変わらず，超流動液体ヘリウムを注入して内部を冷却することができます。これが地上で冷却性能の確認に使われたのはもちろんですが，「あかり」開発の終盤に，望遠鏡主鏡の取り付け部に問題が発覚したときにも大活躍してくれました。問題が見つかった望遠鏡は設計が見直され，改修が行われました。そして極低温での振動試験にかけ，打上げの振動や衝撃に耐えられるか確認が必要でした。内部をマイナス267℃の極低温に冷やすことができて，しかも過酷な振動試験にも耐えられる容器は，「あかり」自身以外にありません。そこで，望遠鏡はこの冷却容器プロトモデルに納められ振動試験にかけられたのです。それも何度も，でした。このおかげで「あかり」は無事に打ち上げられ，成果を出すことができました。

「あかり」冷却容器プロトモデルが展示されることになった名古屋市科学館では，最近新しい展示館が完成し，来春の開館に向けて展示準備が進んでいます。冷却容器プロトモデルが展示されるのは，世界最大となる直径35mのプラネタリウムドームの真下の展示室とのことです。冷却容器プロトモデルにとっては2回目の晴れ舞台となります。（村上 浩）

キュウリの種，再び宇宙へ

2010年10月，植物生理研究プロジェクト「微小重力下における根の水分屈性とオーキシン制御遺伝子の発現（Hydro Tropi，代表研究者：東北大学大学院生命科学研究科・高橋秀幸教授)」の軌道上実験が，国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」で実施されました。この実験は1998年11月に向井千秋宇宙飛行士がスペースシャトルミッションSTS-95で実施した実験と同じく，キュウリの種子を使用した植物実験です。地上では重力の影響の陰に隠れなかなか見いだすことができない「水分屈性」という現象に着目し，根が水の存在を感知し，水分の多い方に向かって曲がるメカニズムについて，微小重力環境を利用して解明しようとするものです。

実験運用管制室で実験の進行状況を見守る研究チーム（手前が高橋教授）

キュウリの種子を載せた培養チャンバーや，培養後の根がそれ以上変化しないように固定して地上に持ち帰るためのチューブ（KFT）は，米国東部夏時間5月14日午後2時20分（日本時間5月15日午前3時20分）にスペースシャトル「アトランティス」(STS-132/ULF4）によりケネディ宇宙センターから打ち上げられ，その後キュウリの種子は乾燥した状態で船内に保管されていました。10月18日，宇宙飛行士の手により注射器で発芽に必要な給水がなされ，実験が始まりました。培養チャンバーはカメラ付き計測ユニット（V-MEU）に組み込まれ，「きぼう」船内に設置された細胞培養装置（CBEF）にて培養されました。管制室ではV-MEUにより撮影されたダウンリンク画像により，キュウリの種子が発芽し，根が伸びていく様子が観察できました。培養時間などの条件を少しずつ変えながら，5日

間で計3回の培養実験がすべて予定通りに実施されました。培養されたキュウリの根はKFTに入れられ，軌道上の冷蔵庫（MELFI）に保管されました。

キュウリの根を入れたKFTはSTS-133/ULF5フライトにより11月中旬には地上に戻る予定でしたが，スペースシャトルの打上げが遅れているため，現在も軌道上に保管されています。今後の解析により，根が効率よく水を探し当て，植物が「みずみずしく」育つ仕組みが解明されることが期待されます。（山崎 丘）

軌道上実験で使用されたものと同じ培養チャンバーと給水用の注射器。スポンジに刺さっているのがキュウリの種子。

次世代赤外線天文衛星SPICA日欧会議

天文学の究極の目的は「我々はなぜ，かく在るのか？」という問いに答えることです。銀河はどうやって誕生したのか（銀河誕生のドラマ）。太陽系のような惑星系は，何を原料に，どういうプロセスで形成されるのか（惑星系のレシピ）。そして，我々は宇宙でひとりぼっちなのか……。

会議での議論の様子

これらの問いに応えるべく，私たちは，次世代赤外線天文衛星SPICA（Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics）計画を推進しています。SPICAには，口径3.2mという大型の望遠鏡を搭載し，絶対温度で6K（マイナス267℃）という極低温にまで冷却して観測を行います。それにより，従来にない圧倒的な高感度・高空間分解能の観測が可能となります。SPICAは，宇宙論から太陽系外の惑星探査まで，天文学・宇宙物理学の幅広い分野に大きなインパクトを与えると期待されています。

SPICAは，日本が主導し，世界の多くの国が参加して進められる国際協力ミッションです。特に欧州はSPICAに強い興味を示し，ESAの宇宙科学長期計画であるCosmic Vision の枠組みの中で，SPICAへの参加が議論されてきています。

欧州のSPICAへの貢献の1つの大きな軸は，観測装置の1つであるSAFARI（SPICA Far-Infrared Instrument）の開発です。これは，欧州を中心とする14ヶ国からなるコンソーシアム（中心機関はオランダ宇宙研究機関SRON）により進められています。SAFARIは，SPICAの最も得意とする遠赤外線領域をカバーするものであり，最重要観測機器の1つです。

このSAFARIと衛星システムとのインターフェースを調整する会議が11月4，5日に宇宙科学研究所において行われました。欧州からは20名の科学者・技術者が来日しました。日本の参加者も含めると，大きな会議室でも席が足りなくなるほどで，2日間にわたって活発な議論が行われました。

国際協力ミッションですので，共通の言葉は英語になります。しかし，「英語を母国語とする参加者」は，実はごく少数でした。日本語をはじめとして，オランダ語，フランス語，ドイツ語，スペイン語，イタリア語……と，いろいろな言葉のなまりのある英語が飛び交う会議でした。

日欧のメンバーの固い協力のもと，2018年度の打上げを目指して，SPICA計画を進めています。

（中川貴雄）

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
大気球	日本・ブラジル共同気球実験（ブラジル）	

宇宙学校 開催～とうきょう・こおりやま～

入場者数は過去最大の415名

昨年度と同様に今年度も11月3日（文化の日）に，東京大学教養学部（駒場キャンパス）において宇宙学校が開催されました。対象は小学4年生より中学生ということでしたが，「おおきなおともだち」（進行役・校長の阪本成一教授談）も含めて415名という，宇宙学校としては過去最高の入場者数を記録しました。それもそのはず，今年度注目を集めた三つの深宇宙探査機が勢ぞろいという話題性抜群の構成で，入場者の皆さんをお迎えしたのです。阪本校長の開校式に続き，「金星到着迫る！『あかつき』の挑戦」（今村剛准教授），「ソーラーセイル宇宙船IKAROSの冒険」（津田雄一助教），「帰ってきた小惑星探査機『はやぶさ』」（西山和孝准教授）という授業が1時間ずつ，3時間目までありました。

各授業では，「講演は極力手短に」という阪本校長の指示のもと，それぞれ15～20分の講演に続いて，質問コーナーにたっぷり時間が費やされました。講演では，「あかつき」が撮影した地球と月の画像や，「IKAROS」の「自分撮り」画像，「はやぶさ」地球帰還の動画など，聴衆の視覚に訴える資料が用いられました。各探査機の名前の由来についての質問がお約束のように相次ぎ，二度目三度目になると会場は笑いに包まれました。「あかつき」が向かう金星の想像を絶する大気現象や表面環境は大いに関心を集めており，「あかつき」のミッション範囲外ではあるものの金星への着陸探査に関する質問が相次ぎました。「はやぶさ」の影響もあってか，話は金星表面からのサンプルリターンにまで及び，津田・西山の両名が工学の立場からその難しさを説明しました。「IKAROS」については，ソーラー電力セイルの将来構想図と膜の形がなぜ違うのかという専門的な質問が出て，観測ロケットによる実験以来の膜の形の変遷の詳細が説明されました。「はやぶさ」については，講演で触れなかったイオンエンジンの仕組みや，スペースシャトルで小惑星探査ができるのか，といった質問が出ました。三つの深宇宙探査機についてのQ＆Aを通して，光速で進む電波の往復時間で議論するような探査機と地球との間のスケールの大きな距離感を会場で共有することができたのではないかと思います。

子どもが主たる対象とはいえ，大人を含む熱烈な宇宙ファンの皆さんからの質問は講師陣をたじたじとさせる迫力があり，宇宙学校初参加の私にとっては新鮮な経験でした。会場となった駒場キャンパス13号館1323教室は学生時代から数えてかれこれ20年ぶりであったことや，小学生の娘を連れていって自分たちの授業を受けさせることができたことから，公私ともに充実した思い出深い祝日となりました。（西山和孝）

11月28日(日)に郡山市ふれあい科学館スペースパークにて，「宇宙学校・こおりやま」が開催されました。科学館では，11月に宇宙ステーションをテーマにした企画展「ようこそ宇宙ステーションへ！」を開催していたので，宇宙学校の授業も日本実験棟「きぼう」についてと，話題の小惑星探査機「はやぶさ」について行われました。JAXAからは国際宇宙ステーション科学プロジェクト室長の高柳昌弘先生，宇宙科学研究所月・惑星研究系で「はやぶさ」プロジェクトチームの一員の岡田達明先生，そして校長として阪本成一先生にお越しいただきました。

今回の宇宙学校は大好評で，定員を超える120名の方にお集まりいただきました。学校が始まる前から子どもたちはどんな話が聞けるのか，そして先生にどんな質問をしようかと，すでにヒートアップの状態でした。授業中も必死にメモを取る姿も見られ，質問コーナーではものすごい勢いで手が挙がり，先生たちもビックリの様子。帽子を振ったり，立ち上がったり，ジャンプしたり！などと，先生に当ててもらうために自分のアピール合戦が始まるほど。このような質問の嵐にも，先生方は一つひとつ丁寧に，分かりやすく答えてくださいました。特に多かったのは，宇宙に行くと体や物質の状態がどう変化するのか，という質問や，「はやぶさ」に関しての質問でした。「宇宙ステーションのような大きなものをどうやって宇宙に運んだのですか？」という子どもの質問に，「みんなの汗と努力です」という答えには，大人の方からも拍手が起きました（もちろん後から先生はきちんと回答してくれました）。

講師の話に聞き入る郡山の子どもたち

このように，普段は宇宙開発の最前線で活躍されている先生方と，宇宙について本当に楽しく学ぶことができました。参加された皆さんには貴重な経験になったと思います。先生方と開催に至るまでお世話をしていただいたJAXAの皆さんにあらためてお礼を申し上げます。今回はすてきな授業をありがとうございました。（郡山市ふれあい科学館・水谷有宏）

「あかつき」の熱システム

熱・流体グループ 主任開発員
太刀川純孝

金星は太陽に近い惑星なので，「あかつき」が金星に近づくほど太陽の光が強くなります。宇宙機の温度は太陽の光の強さに大きく依存します。そのため，地球の近くを飛んでいるときに比べ，金星周回軌道上での「あかつき」の温度は当然高くなることが予想されます。今回は，「あかつき」の熱システムについてのお話です。

熱システムとは

「あかつき」には，さまざまな電子機器が搭載されています。これらの装置は，地球上と同じような温度環境で動作します。さらに，それぞれ動作する温度範囲が決まっています。そのため，地球から金星への飛行中，また，金星周回軌道上でも，それぞれの機器が希望する温度になるようにコントロールすることが必要となります。そこで，断熱，放熱，熱拡散などを目的とした熱制御材と呼ばれる材料を「あかつき」の外面や内部の最適箇所に装着するとともに，ヒータをたいてそれぞれの機器の温度を適切にコントロールしています。温度コントロールは，熱くなったら冷やすのではなく，熱くならないように冷やしておき，冷え過ぎないようにヒータで温めるという方法が基本となります。

熱制御材料

「あかつき」の外観は，おおよそ金色の部分と銀色の部分に分かれています（図1）。金色の部分は，MLI（Multi-Layer Insulation）と呼ばれる断熱材です。断熱材の役割は，熱を探査機内部に伝えないこと，また内部の熱を探査機外部に逃がさないことです。銀色の部分は，OSR（Optical Solar Reflector）と呼ばれる放熱材です。宇宙空間は真空なので，熱は赤外線で伝わります。OSRの役割は熱を宇宙に放射することです。「あかつき」には，ガラスでできたOSRと高分子材料でできたOSRの2種類が使われています。前者は平らな面に，後者は曲面や形状が複雑な面に使用されています。

これらの熱制御材料は宇宙に露出されているため，放射線（陽子，電子）や紫外線が当たり，劣化してしまいます。劣化すると，太陽の光を吸収しやすくなります。そうなると探査機の温度が上がってしまいます。材料の劣化を防ぐことはできないので，劣化した状態でも熱設計が成立するようにしなければなりません。そこで，これらの材料に対し「あかつき」の運用年数分の劣化量を調べ，その値を設計に反映しています。

「あかつき」の熱環境

図2に「あかつき」が受ける太陽光強度を示します。打上げ後，いったん太陽から離れるため太陽光強度は減少していますが，地球近傍ではおよそ1300W/m^{2}程度です。金星に向かうにつれて太陽光強度が増加し，金星軌道上では約2倍の2600W/m^{2}となります。さらに，金星は太陽光の反射率が高く，金星に近いところでは金星からも強い太陽光の照り返しがあります。このように熱環境が大きく変化する「あかつき」の温度コントロールをいかにシンプルに実施するかが，熱設計のポイントとなります。

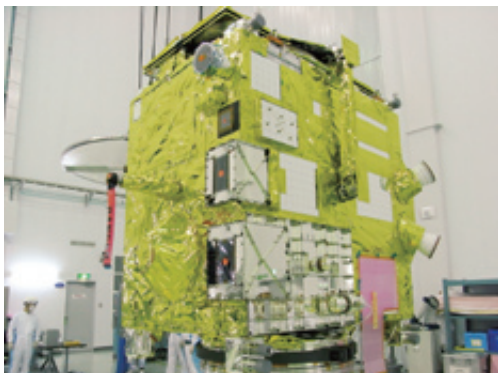


図1 クリーンルームで最終点検中の「あかつき」

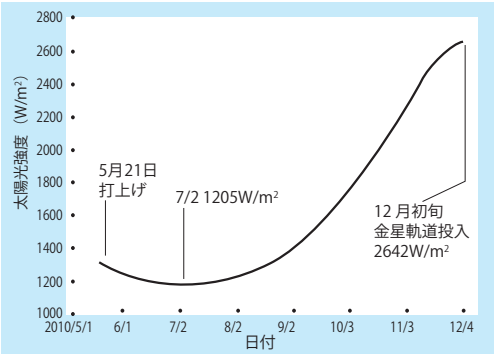


図2 「あかつき」が受ける太陽光の強度（計算値）

「あかつき」の温度

太陽に近づくにつれ，衛星全体の温度が上がり始めています。10月末時点において，熱システムは正常で，「あかつき」の各部は設計通りの温度になっています。また，太陽から一番離れた最低温度となる7月上旬付近においてもヒータ電力が不足することなく，第1関門は無事クリアしました。もちろん，一番熱くなる金星軌道上でも，許容温度範囲の上限を超えることがないように設計されています。（たちかわ・すみたか）

「あかつき」は2010年12月7日に金星周回軌道に投入される予定でしたが，探査機システムの不具合により十分な制動をかけることができず，金星を再び離れて太陽を回る軌道に入りました。「あかつき」は6年後に再び金星に接近します。現在，原因の調査を進めつつ，6年後の再観測の可能性を検討しています。

Game Changers in New Mexico

宇宙航行システム研究系 教授
稲谷芳文

毎年秋のIACはレギュラーで行くのですが，今年は雨のプラハと，もう一発ニューメキシコ(NM)に行ってきました。こちらはISPCSという有人・民間宇宙飛行のシンポジウムで，学術とは毛色が違いますが，国が税金でやるのとは違う仕掛けで宇宙を盛り上げようという人たちの集まりです。Space-X，Bigelow，バージンギャラクティック，XCORE，Masten，Armadilloなどベンチャーと世界各地のスペースポートの連中が集まります。今回は，このシンポジウムにNMスペースポートのお披露目をくっつけています。最近は我々と同業のスウェーデンEsrangeもその一角を占めていて，レセプションの単独スポンサーまでやっています。

実は私がここに行くのは，1990年代のDC－Xの親分だったBill Gaubatzや後で出てくるPat Hynesらが主催側でやっていて，こっちの再使用ロケットのことを話せ，と毎回呼んでくれるからで，いつも行かないのも不義理になるので今年は出掛けました。まあ細々とでもやっていればこそですし，付き合いも大事です。かつてはシャトルの次に向けたいろいろな活動がありましたが，なんでDC－X残党だけがここで転がす側をやっているかというと，ホストシティのLas Crucesから山一つ越えたホワイトサンズで試験をしていたからで，我々が能代や内之浦でやっているのと同様，地元との関係ができているからのようです。

ニューメキシコ・スペースポートのお披露目セレモニー。
なんだかみんな不良っぽくてなかなかいけてる。

シンポジウムは参加者500人規模，NASAの商業活動支援からマーケットやFAA（米連邦航空局）のライセンシングの現状，教育，啓発などいろいろあって盛況でした。最後の日にスペースポートツアーがあって，ここに開発中のバージンギャラクティックのホワイトナイト2がスペースシップ2（SS2）をぶら下げてモハビから飛んでくる，というので出掛けました。ウェブでは何やら未来的な空港設備のようなスペースポートの絵が出ていますが，どこまでホントか，と出掛けたら，まったくの更地に滑走路とウェブの絵の通りの巨大な建屋がもう姿を現していて，「ありゃー，ほんとにやってんだ」という感じでした。18ヶ月後にここでSS2で弾道有人飛行の商業運航を始める，というのが，まずは彼らのゴールです。

写真は，現場でのお披露目のセレモニーです。さて，こいつらがこれを転がしてるヤツらで，しゃべっているのがご存知バージン総帥のRichard Branson。右端の怖そうなオッチャンはNM州知事Bill Richardson，Bransonの左がスペースポート代表Rick Homans，その隣のおばちゃんはNASA副長官Lori Garver，左隣はバージンギャラクティックCEOのGeorge Whiteside，左端がNM州立大学Space GrantのPat Hynes。このスペースポート建設には200億円！NM州はそれを出すのに周辺の税金を上げたとか！ 村おこしもスケールが違います。これをやったのがこの知事さんとPatらの地元勢。さて，これでモト取れるの？と聞いたら，ビジターやリピーターやグッズやら版権やらの商売で，Magic Kingdom方式でいくんだそうです。

Game Changingとは，それまでの方法やルールからゲームもプレーヤーも違う仕組みに変えていくことで，宇宙の仕事では国がロケットや宇宙船を独占していた時代から民間をプレーヤーに新しい展開を，という感じでしょう。今後のアメリカの地上から軌道への輸送はヒトも含めて民間が担う図式になっていくことを目指し，NASAはこれを支援し，ヘビーリフターやら革新技術やら民間ではできないものにシフトしていく，FAAはライセンシングの仕組みをつくる，同時に弾道ビジネスなどの次の展開をエンカレッジしていく，という感じでしょう。うまくいくかどうかは別にして，ここに来てこのGame Changeを実践してるヤツらを見ていると，この動きが現実になってはいるな，と感じます。さて次の世界はどうなりますか？

向こうで驚いたこともう一つ。FAA副長官のPatty Smithというおばちゃんは，この一連の民間の宇宙輸送に関する安全のレギュレーションやライセンシングの仕組みづくりにリーダーシップを発揮した人です。今まで何回か呼んだり呼ばれたりしていたのですが，バッジを見ると何とバージンギャラクティック！「えーっ，あんたバージン⁉ あっ，失礼！」。日本だったら「何とやら」というのでしょうが，まあヒトの流動性高く上手にネットワーキング，の世界なんでしょうね。おまけに当時FAAでPattyの部下だったオッチャンも今は民間にいて，さっきグッズや版権商売といったのは，その人でした。

さてこっちはどうするか，でスペースポートでの会話。「向こうの方にvertical の離着陸場もつくってるから，おまえらのロケット，ここへ持ってきて上がったり降りたりやってくれ」……。実はこれには伏線があって，4年ほど前にも同じ話があり，当時の理事長裁量経費というのに「向こうへ持ってって飛ばしてくるがどうだ？」とやったら，「気持ちは分かるがお金があったらもっと研究しなさい」「なんじゃい，キモチだけか……」という一件があったので，今度は，「あほー，日本から飛んできて降りてやるからちゃんと用意しとけ」と言っときました。（いなたに・よしふみ）

宇宙取材を楽しんで40年

武部俊一
日本科学技術ジャーナリスト会議 会長

残念ながら「あかつき」は金星周回軌道に入れなかった。6年後の再挑戦を待つしかない。この惑星探査機に至るまで40年間の宇宙取材は，はらはら，わくわく，記者生活の中でも楽しい仕事だった。

いくつの衛星や探査機と付き合ったことか。なれそめの衛星は，1970年夏のMS-F1だった。不幸にして愛称が付かなかった衛星のことなど，大方の皆さまは覚えていないだろう。私にとっては忘れもしない，朝日新聞の新米科学記者として初のロケット取材，それに娘の誕生が重なっていた。

当時は東京大学宇宙航空研究所鹿児島宇宙空間観測所（内之浦）で，第1号科学衛星(MS-F1)を載せたミュー4S型1号機の打上げは8月19日の予定だった。それが，なかなか発射されない。4度の失敗の後，半年前にやっと打ち上がった第1号試験衛星「おおすみ」の教訓が効き過ぎたのか，慎重そのもの。ちょっとした風や雨でも延期した。独自開発の無誘導固体ロケットの苦労でもあった。

1日ごとの延期なので取材団は身動きが取れない。成功と失敗に備えた予定原稿も出来上がっていて，することがない。昼間はきれいな浜辺で海水浴をし，夕食は薩摩白波で宴会，夜は場末のバー「ロケット」に通った。そこで平尾邦雄先生（この欄の発案者？）によくお目にかかった。あのころ朝日新聞は東大ロケットに冷たかったのだが，先生は快く酌み交わしながら懇談してくれた。屈託のないお姿がしのばれる。

打上げは7度中止されたあげく，1ヶ月後に延期された。取材団はいったん解散となり，私は初めてわが赤ん坊と対面できた。結局，ミューロケットは9月25日に打ち上げられたが，4段目の制御用エンジンが点火せず，MS-F1は軌道に乗らなかった。米国から輸入した電磁弁が誤動作したためだった。

日本初の科学衛星が流産した前日，ソ連の月探査機ルナ16号が月の石を無人で回収し，地球に持ち帰っていた。米国は前年夏，アポロ11号で人間の月着陸を果たしている。この宇宙技術格差をどうすればいいのか。

そんな思いからすれば，40年後の今日，「はやぶさ」が世界に先駆けて小惑星に着地して地球に戻ってきたのは，隔世の感がある。20世紀の最後の25年は太陽系探査の黄金期だった。私が内外の探査の成果を楽しみながら報道しているうちにも，ISASの研究者やメーカーの技術者たちが並々ならぬ研鑽を積み重ねていたのだろう。

1990年には深宇宙探査に乗り出すための工学実験衛星（MUSES-A）「ひてん」が打ち上げられた。「おおすみ」の成功に当たって「中学の入学試験に合格した気分」（齋藤成文教授）だった日本が，やっと「大学」に入った。私は新聞の社説に「米ソに頼り切っていた宇宙のロマンづくりを日本が少しは肩代わりすべきときだろう」と書いた。20年後，「はやぶさ」の快挙が応えてくれた。

第1号科学衛星の発射準備作業を取材中の筆者（1970年8月，内之浦で）

「はやぶさ」がまだMUSES-Cだった1990年代中ごろ，ISAS幹部と各社論説委員の定例懇談会で面白い問答があった。「小惑星探査機と書いていいのですか」という私の問いに対して，どなただったか失念したが，担当教授の答えは「いや，これはあくまでも工学実験衛星。イオンエンジンによる自律航行の技を磨くのが使命で，標的小惑星に到着すれば100点（合格），サンプル採取なら200点，カプセル回収なら400点です」。これは「謙遜」か，それとも「予防線」だったのか。

もう一つの工学実験衛星MUSES-Bは宇宙電波望遠鏡「はるか」となって，地上と結んだスペースVLBI（超長基線電波干渉計）の新分野を開拓した。香り高い「VSOP」という国際プロジェクト名に推進者たちの遊び心がうかがわれた。

メディアは，成功・失敗の評価にこだわるきらいがあるが，失敗を怖れず野心的なMUSESシリーズに挑み続けて，宇宙探査に新境地を拓いてもらいたい。

衛星や探査機に多彩な愛称が付くのも楽しみの一つだ。「はくちょう」に始まって「てんま」「ぎんが」「あすか」「すざく」と続くX線天文衛星は，この分野で世界をリードしてきた。「ひのとり」「ようこう」「ひので」と世代を重ねた太陽観測衛星は，X線で太陽像を革新した。「あかつき」には金星像の描き換えを期待していたのだが……。

ところが21世紀に入って，軌道に乗っても愛称が付かない日本の衛星が登場した。2003年から打上げが始まった情報通信衛星（IGS）という名の偵察衛星だ。衛星の仕様も軌道要素も公開されない。軍事に手を染めないことを誇ってきた日本の宇宙開発ではなかったのか。こんな「日陰者衛星」がはびこるようでは，宇宙取材を楽しんでばかりもいられない。（たけべ・しゅんいち）

宇宙・夢・人

誰もが宇宙に行ける時代へ

熱・流体グループ 開発員
岩田直子

いわた・なおこ。1982年，大阪府生まれ。名古屋大学工学部物理工学科卒業。九州大学大学院工学府航空宇宙工学専攻修了。2007年，JAXA宇宙科学研究本部 探査機システム研究開発グループ 開発員。2008年より現職。X線天文衛星ASTRO-Hの熱設計，先進型ヒートパイプの技術開発などを行う。

―― JAXAに入って4年目。現在は，どのような仕事をしているのですか。

岩田：2014年打上げ予定のX線天文衛星ASTRO-Hの熱設計や，新しいヒートパイプの研究開発を行っています。ASTRO-Hは，宇宙空間で高温や低温など厳しい温度変化にさらされます。熱の変化によって衛星が膨張や収縮を起こしてしまうと，精度の良い観測ができません。そこで，ASTRO-Hの各機器の温度がそれぞれ正常に動作する範囲に収まるように材料を選定したり，機器の配置を設計したりすることなどが，私たちの仕事です。ヒートパイプは，40年以上前から宇宙で使われている熱制御材ですが，以前のものとは違うまったく新しいヒートパイプの研究開発を行っています。高度な機能を持つ熱制御材を開発することで，より柔軟な熱制御を可能にしたいと考えています。

―― 2種類の仕事があるのですね。

岩田：はい。数年後に宇宙に打ち上げることが決まっている衛星の開発と，将来を見据えた技術開発です。上司は，熱の技術者として成長するためにはその両方をやるべきだという考えですし，自分もそう思っています。異なった2種類の仕事が同時にできるのは，大きな魅力です。

―― 熱技術者としての苦労は？

岩田：ASTRO-Hの熱設計の主担当になってはいるのですが，技術者としてはまだまだですね。設計が正しいかどうか，要求を満たすにはどういう設計をすべきかなど，さまざまな問い合わせが来ます。一つ一つに対して適切な技術的な判断を限られた時間でしなければいけないのですが，それが難しい。求められることに答えられない自分がもどかしく，早く成長したいと，いつも思っています。

―― 子どものころの将来の夢は？

岩田：小学校高学年のときから，ずっと宇宙飛行士です。実は，友達が「宇宙飛行士になりたい」と言うのを聞くまで，そういう職業があることすら知りませんでした。でも，毛利衛さんや向井千秋さんの存在を知り，宇宙飛行士以外の職業は考えられなくなりました。しかし，宇宙飛行士になるにはどうしたらいいのか分かりません。しかも困ったことに，数学や物理など理系の教科は苦手で，得意なのは国語でした。今でも数学や物理には苦労しています。宇宙研にもそういう人がいるんですよ（笑）。

―― 夢の実現のため，どのような進路を選んだのですか。

岩田：NASAの宇宙飛行士の経歴を調べると軍のパイロットが多かったので，自衛隊のパイロットになろうと思ったこともありました。スペースシャトルの操縦をしたり，宇宙ステーションを組み立てる宇宙飛行士になりたかったので，工学部へ進学しました。本当は航空宇宙工学科に行きたかったのですが，学力が足りず，物理工学科へ。転科すればいいと軽く考えていたのです。入学後最初のガイダンスで，「転科するにはどうしたらいいですか」と質問して，教官にあきれられました。結局，転科はできませんでしたが，航空宇宙工学科の授業に出て勉強していました。

―― 宇宙飛行士になるためにJAXAへ？

岩田：いいえ，少し違います。大学時代にインドを旅したとき，列車で一緒になった人に「どんな勉強をしているの。何になりたいの」と聞かれました。「宇宙飛行士になりたい」と答えると，「宇宙に行くという夢が持てる日本人がうらやましい。私たちにとって宇宙に行くということは非現実的過ぎて，夢にすら持つことができない」と言われました。それをきっかけに，自分が宇宙に行きたいと思うだけでなく，誰もが宇宙に行くことができる宇宙船をつくりたい，と考え始めました。日本でそれを実現させるためにはJAXAに入るのがいいだろうと考えたのです。

―― では，これからやりたいことは？

岩田：まずは，一人前の熱技術者になることです。いつかは，日本の有人宇宙船をつくりたい。大学のとき原子力関係の研究をしていたことから，原子力を推進力とする木星探査機や土星探査機も実現したいですね。ただし，JAXAの宇宙開発は国民の皆さんの税金によって行われているのですから，日本の社会に貢献できることをしなければいけない。それだけは忘れないようにしています。そして，宇宙飛行士の夢もまだ持ち続けています。もう大人なので夢は絞らないといけないのに，かなえたい夢がいろいろあって悩んでいます。

ISAS ニュース No.357 2010.12 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
〒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ビア 制作協力／有限会社フォトンクリエイト

編集後記 今年は身の回りでいろいろなことが起きた1年でした。同時に，人の温かさを感じた1年でもありました。年齢のせいか，どんどん涙もろくなってきているような気がします。講演をしていても声が詰まることがありますし。（阪本成一）

＊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