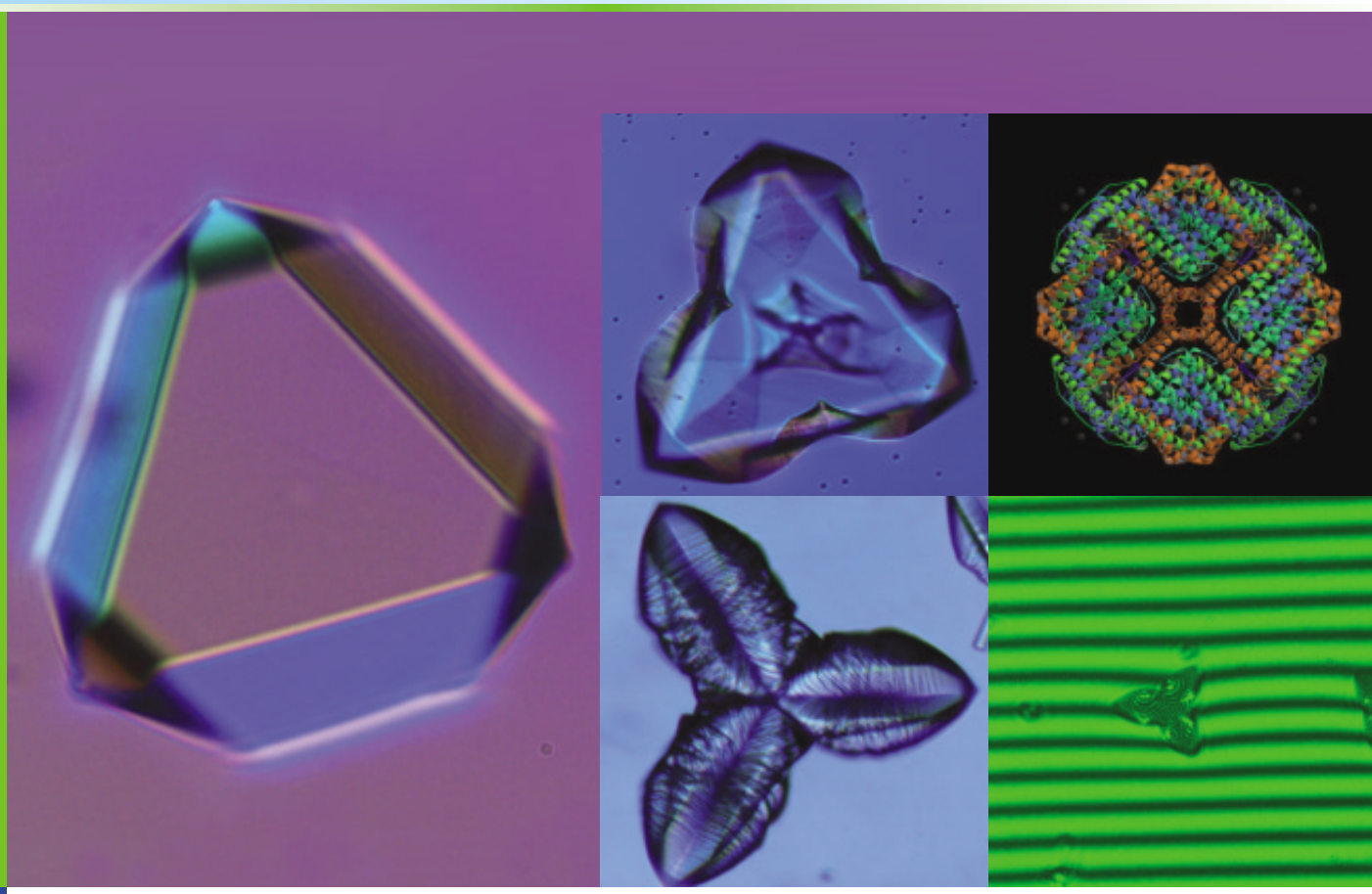
ISSN 0285-2861

JAXA 宇宙科学研究本部

ISASニュース

2004.4
No. 277



ウマ脾臓由来アポフェリチンの結晶。無機結晶と同様に，駆動力に伴って骸晶化し，デンドライト状にも変化する。右上はアポフェリチン分子24量体の立体構造。右下は干渉計による蛋白質結晶成長時の濃度変化計測。（PDBデータ1AEW）

宇宙科学最前線

宇宙科学の新たな展開

～宇宙環境利用科学～

依田眞一
宇宙環境利用科学研究系教授

JAXA設立に伴い，国際宇宙ステーション（ISS）利用を軸としたこれまでの研究を，「宇宙環境利用科学」という新たな宇宙科学の領域として定義しました。この新しい領域を宇宙科学研究の柱の一つにすべく，宇宙科学研究本部に宇宙環境利用科学研究系とISS科学プロジェクト室が設置されました。本稿では，これまで積み重ねられてきた宇宙環境利用を中心とした科学的成果を紹介します。

宇宙環境には，地球上では得難いいくつかの特徴があります。広大な空間を伴う真空状態，無重力（微小重力）状態，放射線および太陽エネルギーなどです。これらのうち，現在地上では利用可能な時間と質の点で得難く，また科学としての利用価値が高い環境因子が，微小重力（軌道上ではわずかに空気抵抗があるため完全な無重力にはなりません）です。この微小重力環境には，以下に述べる特徴があります。

- ●無対流：地上では流体が加熱されると，密度差により流動（熱対流）が生じます。一方，微小重力下では，ろうそくの炎が丸くなる現象がよく知られているように，熱対流が生じません。
- ●無沈降・無浮力：微小重力下では，水と油の分離というような，物体の密度差による浮遊と沈降が生じません。
- ●無静水圧：地上では液体および固体中に自重によって応力（圧力）が発生しますが，微小重力下では自重では変形しなくなります。
- ●非接触浮遊：地上では，液体を保持するために容器が必要です。一方，微小重力環境では物体は中空を浮遊し，液体も容器を必要としません。

これらの効果を利用して，これまで材料科学，燃焼科学，流体科学，生命科学などの分野で，スペースシャトルなどにおいて宇宙実験が行われてきました。

図1 育成した$In_{0.3}Ga_{0.7}As$単結晶の断面写真

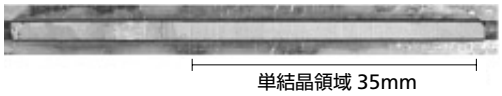
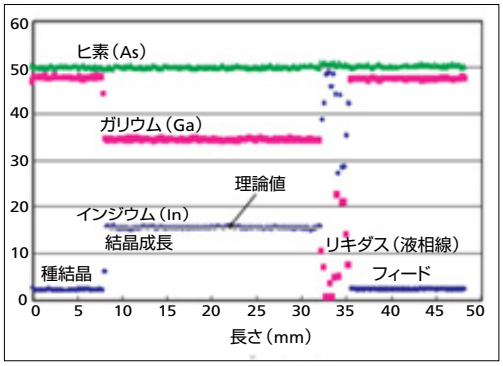


図2 育成結晶の軸方向組成分布の一例。モデルが予測した通りに25mm以上の長さにわたり均一組成単結晶が育成されている。



これまでの宇宙実験の成果

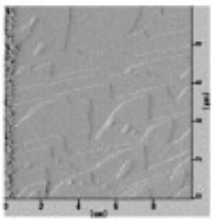
これまでに微小重力実験を通じて，以下のような成果が得られています。

- ●コロイド実験などに利用される有機物の真球の製造（一時期，リファレンス用としても販売されていました）。
- ●粒子分散複合材料製造実験により，粒子分散機構および気泡による粒子凝集機構を解明しました。
- ●液体の相分離現象，鋳造材における等方的内部組織と外部組織の相違，重力偏析現象などは，密度差に起因する沈降・浮遊現象により引き起こされることが解明されました。
- ●拡散係数を高精度に測定し，その結果新たな温度依存性が見いだされ，原子・分子の液体拡散機構の解明へ貴重なデータを提供しました。
- ●燃焼分野では，拡散による酸素の供給，輻射（ふくしゃ）による熱損失が釣り合うことにより，“人魂（ひとだま）”のような球形火炎が存在することを示しました。
- ●結晶成長では，自重で変形することから地上では製造困難とされる，柔らかい材料の大型結晶製造に成功しました。

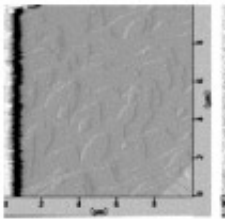
現在建設中のISSに日本の実験モジュール「きぼう」が設置されるのは2007年ごろ（2003年2月のスペースシャトル事故のため建設計画を検討中）で，そのときには数多くの宇宙実験が可能となります。それを目指しISSを利用する研究計画の立案および技術開発を進めています。ここでは，現在JAXAで進めている研究および具体的な成果の一部を紹介します。

図3 結晶に不純物を混入させたときの結晶表面の様子。不純物が増加するに伴って，表面が荒れていく。

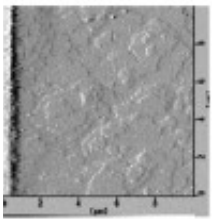
不純物0%



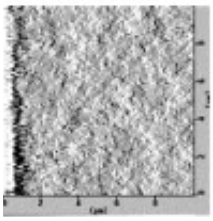
不純物1%



不純物5%



不純物10%



結晶成長メカニズムの解明

結晶が成長するメカニズムには，依然として未解明の科学的課題が残されています。その理由として，結晶が成長するときの原子・分子挙動を直接観察することが極めて困難であること，および対流により成長界面への熱・物質輸送が影響を受け，現象が複雑であることなどが挙げられます。微小重力下では，対流を抑制できるため，熱と物質を拡散によって輸送することが可能になります。そのため我々は，このように現象を単純化して理解しやすい条件を実現した上で，結晶成長実験を行うことにより，結晶成長現象のさらなる理解を目指しています。以下に，現在取り組んでいる研究の中から代表的な2例を取り上げて説明します。

均一組成$In_{0.3}Ga_{0.7}As$単結晶育成研究

この研究では，これまで地上では成長困難だった均一組成結晶を得るための熱・物質輸送の制御法についてモデル化を行い，成長法として確立しました。また，$In_{0.3}Ga_{0.7}As$（インジウム・ガリウム・ヒ素）は，次世代光通信用半導体レーザーのウエハーとして期待されている半導体です。InGaAsをウエハーとして用いると，現在主流の都市間光通信用レーザーよりも高温（70℃以上）での出力劣化が小さく，冷却装置無しで安定に動作可能と考えられています。しかし，InAsとGaAsが混じり合っているため，ウエハー面内での均質性を実現することが難しい結晶でもあります。そのため，これまでは長さ約5mmで，あまり均質ではない結晶しか得られませんでした。これに対し，我々は均一組成を得るためのモデル化を行い，そのモデルに基づいて結晶成長を行いました。具体的には，InAsを帯状に溶融させ，さらに試料径を2mmと細くして，対流を抑制しながら熱・物質輸送を制御しました。これにより，35mm以上の長さにわたりInAs組成が0.30±0.01と極めて均質な単結晶育成に，世界で初めて成功しました（図1，図2）。現在，微小重力を利用して，直径1cm以上の半導体を育成する実験を計画・立案しています。同時に，地上でも5mm角程度の大きさであればウエハーの製造が可能であると考え，地上での結晶の大型化に取り組んでいます。成功すれば，微小重力環境利用の成果を社会へ還元する画期的な事例となります。

生体高分子結晶成長機構解明研究

この研究では，先ほどの半導体結晶成長における巨視的なモデル化と異なり，科学的課題が多く存在する原子・分子レベルでの微視的結晶成長機構を調べています。モデル物質として蛋白質を用いていますが，これは巨大分子であるため観察が比較的容易であることに加え，我々にとって身近かつ重要な物質であるためです。例えば，生物は約10万種もの蛋白質を作っています。そして，これらの蛋白質の分子構造と機能を解明することにより，疾病の診断・治療法の開発，医薬品開発，食品開発などが可能となります。蛋白質分子の構造解明には，通常X線による結晶構造解析を行います。しかし，高精度に構造を決定するためには，高品質な蛋白質結晶が必要です。高品質結晶育成には，対流を抑制することが最も効果的と考えられ，諸

外国の宇宙機関を含めてこれまで1万サンプル以上の宇宙実験が行われてきました。しかし，品質向上の比率は半分に満たず，高品質化のためのメカニズム解明が必要になってきました。

前述の通り，蛋白質分子は一万から数十万程度の分子量であるため，分子レベルの観察が容易です。また，試料によっては一分子の観察も不可能ではありません。そのため，原子間力顕微鏡（AFM）を用いれば，蛋白質分子の成長界面への取り込みなどの微視的な挙動を観察可能と考えています。現在AFMを用いて，結晶表面観察やステップ前進速度計測などを行っています。また，界面濃度計測，結晶欠陥観察，X線による品質評価なども並行して行い，これらのデータを用いて，体系的なメカニズム解明を目指しています。これまでに得られた結果の一例として，不純物の取り込みによる結晶表面の荒れを図3に示します。

非接触浮遊技術を適用した科学的探究

微小重力下では，材料を無容器で浮遊状態に保持することができます。この性質を利用すると，材料を溶融状態から，その材料が本来凝固すべき温度（融点）以下にまで冷却しても凝固しない状態（過冷却状態）を実現しやすくなります。そして，材料を過冷却状態から凝固させると，アモルファスに代表される準安定相と呼ばれる状態の物質が得られる場合があります。一般に，材料の特性を決定しているのは，材料の原子配列と組織です。従って，準安定的な原子配列や組織を持つ材料は，新しい特性を示す可能性があります。今後，レーザー用材料や磁性材料などとしての新たな準安定材料開発が期待されます。

また，無容器技術を用いれば，反応性の高い物質の溶融状態の物性値を計測することができます。ここでは，ISSの次世代実験装置として期待されている静電浮遊炉（静電場を利用して試料を空間に位置制御する装置）の研究開発状況および本装置による科学的成果のいくつかを述べることにします。

高精度熱物性値計測研究

静電浮遊炉は，小さな試料であれば地上でも浮遊させることができます。このため，現在地上用の静電浮遊炉の研究開発を進めています。現在，3000℃程度までの液体状態の物質の粘性係数，表面張力，密度，比熱の温度依存性の測定が可能です。図4は，2500℃程度の融点を持つ金属（ニオブ）の世界初の粘性係数測定結果です。この材料は反応性が高く，これまでは物性値測定が困難でした。さらに，融点よりも500℃低い温度までの物性値も計測しました。このような大きな過冷却状態は，容器を用いる方法では達成不可能です。地上では試料の大きさが限定され，かつ重力により試料形状が真球からずれているため，物性値に誤差が生じます。このため，微小重力下での高精度物性値計測が期待されます。

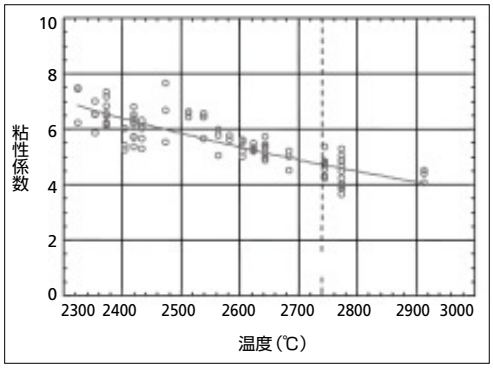


図4 2470℃の融点を持つニオブの粘性係数測定結果

非線形流体力学研究

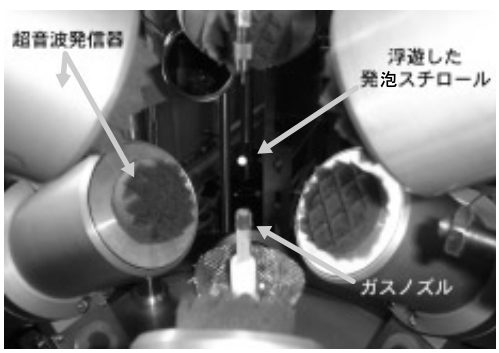
浮遊液滴が回転や外力などにより大きく変形するようになると，外力と変形量の間に比例関係が成立しなくなり（微小な変形であれば比例関係が成立します），非線形性と呼ばれる複雑な効果を考えなければなりません。図5に，先に述べた浮遊技術を用いて，直径2mmほどの液滴を浮遊させながら大きく変形させた結果を示します。このような実験や理論的検討により，表面や内部の流れなどに対する非線形効果を明らかにする研究を現在行っています。微小重力下では大型液滴の浮遊が可能となることから，精度の良い実験ができます。また，この研究は，現在盛んになりつつある界面流体力学の発展に貢献するとともに，先に述べた熱物性計測における高精度化への貢献が期待されます。

大過冷却からの凝固による新機能材料創製研究

準安定な物質はしばしば新しい機能を発揮することから，大過冷却からの凝固による新たな機能材料の創製を目指した研究を進めています。このため，超音波あるいはガスにより溶融試料を浮遊させる技術を開発しました。図6に，超音波によって浮遊させる装置の写真を示します。この装置を用いて，従来に比べて10万倍程度高速に酸化物超伝導物質を成長させることに成功しました。また，比誘電率が10万程度の極めて高い値を有する材料の創製に成功しました。現在，この新機能出現のメカニズム解明に取り組んでいます。ガス浮遊では，2mmほどの真球に近い単結晶の製造に成功しました。これは，光ファイバーの接続部品などに利用される球面レンズとしての応用が期待されます。地上での過冷凝固を利用した新機能創製の機構解明を基に重力依存性を明確にし，大型試料製造が可能な微小重力下での実験計画への発展を図っていきたいと考えています。

図5 大きく変形させた液滴の観察例（中央の白い部分で直径約2mm）

図6 超音波浮遊装置



今回はJAXAで行っている物質科学分野の一部の研究しか紹介できませんでした。今回紹介した研究以外に，生命科学，燃焼科学，基礎科学分野などの多くの研究がJAXAで行われています。

（よだ・しんいち）

一般講演会「ブラックホールの謎に挑む」

ノーベル物理学賞受賞者リカルド・ジャッコーニ博士を迎えて

1962年6月，リカルド・ジャッコーニ先生たちの作った小さな検出器は，ロケットに載って初めて大気の外から宇宙を眺め，誰も想像もしなかった明るいX線天体を発見しました。その天体はその後，小田稔先生が考案された「すだれコリメータ」で正確に位置が決められ，可視光でやや暗い星と可視光ではまったく見えないX線星の連星であることが分かりました。1970年には最初のX線天文衛星UHURU（ウフル）が上がり，こうしたX線天体が銀河面を中心に大量に見つかってきました。このころは，まるで「自然とホットラインがつながっている」かのように次々と新しい現象，天体が登場してきて，極めてエキサイティングだったとジャッコーニ先生は振り返っています。こうしたX線の放射は，望遠鏡の発展とともにほとんどすべての天体から観測され，X線観測は天文学のなくてはならない柱の一つに成長しました。40年後の2002年度のノーベル物理学賞として，「宇宙を見る新しい窓を開けた」功績により，ニュートリノ天文学の小柴昌俊先生とともに，X線天文学でジャッコーニ先生が受賞されたのは，むしろ遅過ぎるくらいといえるかもしれません。今回の講演会では，X線天文学の産みの親の一人であるジャッコーニ先生を招いて，その最も華々しい成果の一つであるブラックホールの謎に挑むお話をしていただくことにしました。

ジャッコーニ先生の演題は，ノーベル賞受賞講演と同じ「X線天文学の夜明け」でした。中でも，X線連星を追いつめ，コンパクトな星である中性子星，さらにはブラックホールへ至るところをお話しいただきました。それとともに，高感度観測，撮像観測に必要ということで1960年代からすでに始めていたX線望遠鏡の開発と，その成果であるアインシュタイン衛星とチャンドラ衛星による高解像度のX線画像を紹介されました。

これに続き，講演会の題名にもある「ブラックホール」について，最近の研究成果も取り入れて，東京大学の牧島一夫先生に「ブラックホール天文学の最前線」という題名で話していただきました。前半はブラックホールの理論的概念から，それがいかにX線観測で実証されていったかをテンポよく話されました。日本のX線天文学は世界的にもいち早く立ち上がり，これまで4機のX線天文衛星を上げてきました。その観測も，ブラックホールの謎の解明に大きく寄与しています。初期の寄与ばかりでなく，あちらこちらの銀河の中心核に潜む大質量（太陽の100万倍～10億倍）ブラックホールを見つけ出し，また成長途中の中間質量（太陽の1000倍）ブラックホールの発見において，日本の「あすか」衛星が世界に先鞭（せんべん）を付けてきました。お話の最後は，ガンマ線バーストが超新星の爆発に伴っているらしいことから，宇宙のはるか彼方で生まれるブラックホール誕生の瞬間を見ている可能性を示されました。

講演されるリカルド・ジャッコーニ博士

第二部は，講師のお二人に，講演会の最初にジャコーニ先生の紹介をされた宇宙科学研究本部の井上一先生，宇宙科学研究所名誉教授の田中靖郎先生を加え，サイエンスライターの野本陽代さんの司会で，トークショー「ジャッコーニ博士と宇宙を語ろう」が行われました。

初期のX線天文学の歩みを，小田先生のお話も交え，同世代のジャッコーニ先生と田中先生からご紹介いただきました。この中では，ジャッコーニ先生が天文学へ進むきっかけ，また，なぜ誰も予想しないX線天体の発見につながる実験を進めたのかなども話されました。先ほどの「自然とのホットライン」の話もこの辺りで出てきたものです。田中先生からは，日本では限られた観測条件の中で，スペクトルから現象の物理を究めるというジャッコーニ先生たちとは異なる方向を目指したという話がありました。その延長線上にあり，2004年度に打ち上げられる予定のASTRO-EIIの紹介が井上先生からあり，目指すサイエンスなど，期待される成果が説明されました。

最後はジャッコーニ先生に，X線から始まりハッブル宇宙望遠鏡，ヨーロッパ南天天文台，そして電波の大型国際プロジェクトALMA計画のリーダーを務めてこられた背景を聞きました。21世紀の天文学ではこうしたさまざまな天文台が高性能の装置で，国際的にも互いに手を携えて，宇宙の謎に挑んでいくことを期待する，ということで講演会が締めくくられました。

参加者は350名を数え，案内から受付締め切りまで1週間という短期間，金曜日夕方という制約にもかかわらず，満員の大盛況でした。開催にあたっては，総合司会の的川泰宣先生，JAXA広報部，宇宙フォーラムの皆さんの全面的なご協力を得て，プロによる行き届いた講演会にできたことを，この誌面をお借りしてお礼申し上げます。これは3機関統合の一つの成果といえるかもしれません。

（國枝秀世）

金星探査プロジェクトPLANET-Cの試作モデル着手

金星探査計画は2001年1月の宇宙科学シンポジウムにて発表され，その後宇宙理学委員会，宇宙開発委員会における高い評価を経て，2004年4月，ついに試作モデルに着手できることとなった。宇宙理学委員会への提案に至るまでのワーキンググループにおける活動を考えると，6年の歳月をかけ，十分練った計画として試作モデルを製作できることは誠に喜ばしい。実際に金星に到着して観測を開始するのはこれから6年程度先になることから，ちょうど道半ばに差し掛かったとも考えられる。

1960～80年代，ソビエト連邦は精力的に10機を超える探査機を金星に送り込んでいる。また1989年には，米国の合成開口レーダー衛星マジェランが地形の調査で目覚ましい成果を挙げている。しかしこの後，米ソともに金星への興味を失い，探査機は送られていない。

これらの探査機の調査目的は主に，金星の表面地形はどのような特徴を持っているのか，表面物質は何からできているか，大気の主成分は何か，その垂直温度構造はどのようになっていて地表面での気圧はどれほどか，といったことに絞られていた。ソビエト連邦の探査機では主に降下プローブが調査に用いられ，降下を行ったいくつかの地点でのデータが取得されたが，それは金星上である瞬間，ある地点でそれらの諸量がどのような値を示すかを与えただけである。我々が今回行おうとしている金星大気探査は，惑星の上を流れる大気の運動を時間的に，また金星表面全体にわたって鉛直構造も含めて追いかけ，気象学的データを取得するものであり，これまでの探査とはその目標とするところが大きく異なっている。

この違いを地球の場合に例えてみよう。ある日の東京，1年後のニューヨーク，さらに次の年のある日にカイロで温度と気圧を調べれば，そこが暑いか涼しいかは分かるが，地球全体の気象現象にアプローチすることは難しい。後者のためには，気象衛星（例えばMTSAT）を打ち上げて，地球大気の動きを雲や水蒸気量をトレーサーとして追跡するのが最も効率が良い。我々が金星でやろうとしていることは，ちょうど地球で気象衛星が行っている観測に対応する。

近赤外カメラの開発風景。円筒状の真空容器の中に試作モデルが収められている。

ここで問題となることは，金星が厚い硫酸の雲に覆われているという事実であり，可視の波長では高度70kmより下の気象現象を外から見ることができない。これを解決するため，日本の金星大気探査ミッションでは，主力の観測装置として近赤外のカメラを搭載する。ある特定波長の赤外線は，金星の地表面や下層の大気から発せられた後，金星の厚い雲を透かして外側に出ることができる。この波長の光を観測することによって，雲の下からの情報を得ることができるわけだが，この赤外線の特徴が発見されたのが約10年前である。この新しく発見された観測手段を有効に生かすことによって初めて，雲の下の大気の動きを探る「金星大気探査ミッション」が成立するのである。

2003年度（平成15年度）まで我々は，搭載する5つのカメラの開発を着実に行ってきた。特に中間赤外カメラで使用される常温使用のボロメター検出器や，打上げ時は常温，観測時には100K程度に冷却される近赤外カメラの光学系，雷の速い閃光（せんこう）をとらえる検出器，迷光を6～7桁（けた）落とす新型小型フードなど，机の上の検討では問題ないだろうと思われていても，実際に試作して確かめるまでは不安な要素はすべて試してみた。これらの検討結果を3月末のレビュー会において確認した後，4月からの試作モデル設計製作に進む。また，衛星自身もM-Vに最適，かつ事故の起こらない探査機を作るシステム検討を行っている。

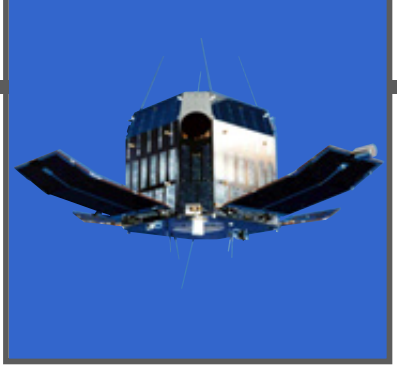
これだけのことをしても，実際に開発を進めていく間には多くの困難が待ち受けていると考えられる。宇宙航空研究開発機構の皆さんのサポート，国民の皆さんの支持を得て，これからの長い道のりを踏破していきたいと考えている。　（中村正人）

ロケット・衛星関係の作業スケジュール（4月・5月）

	4月				5月			
相模原	始	LUNAR-A FM総合試験						末
	始	ASTRO-EII FM総合試験						末
	始	SOLAR-B FM姿勢系評価試験						末
	始	INDEX FM単体環境試験		末	始	INDEX FM総合試験		末
三　陸						中旬	大気球実験	6月上旬
筑　波	始	SELENE FM単体環境試験						末

（FM：Flight Model）

浩三郎の
科学衛星秘話



「てんま」

井上浩三郎

X線天文衛星「てんま」

わが国2番目のX線天文衛星ASTRO-Bは，1983年2月20日14時10分（日本標準時）にM-3Sロケット3号機によって打ち上げられ，近地点高度497km，遠地点高度503km，軌道傾斜角31.5度，周期94.4分の軌道に投入され，「てんま（天馬）」と命名されました。

「はくちょう」の成果を発展させるため観測装置の性能向上を図り，私たちの銀河系の外まで観測範囲を延ばしました。衛星重量は約218kgで，ガスジェットを使わずホイール（はずみ車）の回し方を調節することによって姿勢の安定を保ち，約10分間に1回のゆっくりした回転をします。衛星のスピン軸は，地球の磁場を利用して天空上の任意の方向に向ける（磁気トルク方式）ことができ，目的のX線天体を捕捉します。軌道上で展開する4枚の太陽電池パドルの発生電力は約140Wです。

ニューテーションの増加

太陽電池パドルの展開，各機器のテスト，磁気トルクによる姿勢制御，スピン制御と順調に推移し，帆座のX線パルサーVela X-1の観測を皮切りに，定常観測に入ったのは3月初めのことでした。間もなく，衛星のニューテーション（軸のふらつき）が増加するという予想もしなかった不具合が発生しました。これはホイールの異常によるもので，ホイールを止め，「はくちょう」と同じフリースピン方式に切り替えました。ホイールが使えないことで，星姿勢計による位置決定の多少の困難や観測精度に若干の影響がありましたが，主観測機器には影響はなく，運用が続けられました。

バッテリの容量低下現象とメモリ効果

打上げ前の総合試験が後半に差し掛かった1982年の秋，温度試験後に行ったBAT（バッテリ）のリコンディショニング試験（バッテリの容量を回復させる試験）で，BATの容量が低下していることに気付きました。同一ロットのバッテリを使用してさまざまな試験を行った結果，「BATを完全充電に近い状態で長時間高温に放置した場合」に容量低下が顕著に現れることが判明しました。

この現象は，ニッケル・カドミウム電池で起こる，いわゆる「メモリ効果」と言われるもので，充電してもすぐにBAT電圧が上昇するため，電力制御ロジックによって充電が終了してしまい，結果的に充電ができず容量低下となったものです。これを解消するため同一ロットのバッテリで試験を行ったところ，過充電をした後，充放電サイクルを2ないし3サイクル繰り返すと，リコンディショニングに効果があることが分かりました。このとき経験した教訓は，①BATを放電（空）の状態で放置する，②温度試験は行わない，③定期的にリコンディショニングを行うなど，BATの性能を維持する方法として，今も生かされています

衛星寿命を縮めた電源系異常

「てんま」は1984年7月10日早朝までは正常に運用されていました。しかしその17時間後，7744周回の入感時に，テレメータ信号が復調しないという異常が発生しました。次の周回も同様でした。幸い地上からのコマンドによって復調ができるようになり，データ取得も可能になりました。

主観測装置
「蛍光比例計数管」

関係者による診断と解析の結果，おそらく何らかの原因によって電池出力回路にショート状態が発生し，その結果電池とバスライン間の接続が断線したと推定されました。そして，この不具合を起こした有力な原因は，電池の充電やバス電圧を制御している電力制御回路が，正常に動作しなかったためと考えられました。

この電源系の異常により運用に大きな制限が生じました。日陰のときは運用ができず，そしてプログラマブルタイマーも日陰をまたいでは使用できず，従って長時間運用は事実上不可能になり，観測は日照中に限られました。このように観測効率は低下しましたが，幸い「てんま」のユニークな性能は損なわれませんでしたので，細心の注意を払いながら運用が続けられました。

（いのうえ・こうざぶろう）

「てんま」第1周目。太陽電池パドル展開のコマンドを打つ前，緊張の中でのミーティング（手前右から時計回りに小野田，二宮，雛田，田中，小田，上杉，松井，高橋，筆者）

水星の超真空大気の生成

宇宙プラズマ研究系助手 吉川一朗

教科書によると,「水星には希薄な大気がある」と書いてある。どれくらい希薄かというと,地球の1兆分の1程度と考えられている。いろいろな仮定を用いて計算すると,1cm³当たりの原子や分子の個数は10万個程度になる。一方,私たちが一般的に「真空」と呼ばれる環境で実験を行うときは,1cm³当たり1000億個もの原子や分子が存在する。つまり,言葉の使い方からいえば,水星周辺にあるものは「大気」ではなく,真空を超えた超真空大気なのである。

水星の大気観測のはじまり

この水星の極希薄な「大気」が発見されたのは,1974年に水星に接近したアメリカの探査機マリナー10号によってである。この探査以前の地上観測では,水星の周りには地球や金星に豊富に含まれる二酸化炭素は存在しないことが明らかにされていた。そのため,水星探査機による大気の観測では,地球型惑星に固有に含まれるアルゴンやネオンなどの希ガスと呼ばれる成分と,太陽に起源を持つ電荷を持った水素やヘリウム粒子(太陽風)の検出に重点が置かれた。探査の結果,水素とヘリウムだけが観測され,地球型惑星固有の大気(希ガス)は見つからなかった。当時の研究者たちは,水星は太陽に近く,小さい惑星なので,惑星から生成された大気は吹き飛ばされてなくなってしまったのであろうと考えた。

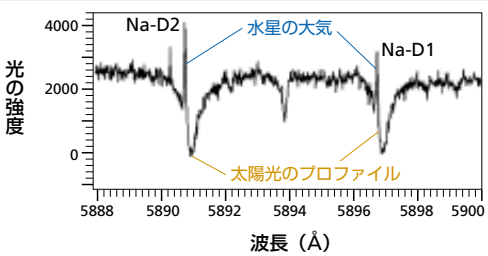


図1 地上の望遠鏡と分光器による水星大気の観測。Ring Effectという現象を研究するため,PotterとMorganは太陽光プロファイルの谷の部分を観察していた。そのとき,水星からの2つのピーク(Na-D1とNa-D2)を見つけた。

しかし1980年代に入ると,思わぬ発見が生まれた。PotterとMorganという研究者は当時盛んに開発が行われていた地上大型望遠鏡を使って,太陽と地球の大気に関する研究を行っていた。彼らの研究は水星とは無縁のものだったが,ひょんなきっかけから水星に望遠鏡を向けてみると,その方角からナトリウムの固有の輝線が発せられていることに気付いた(図1)。

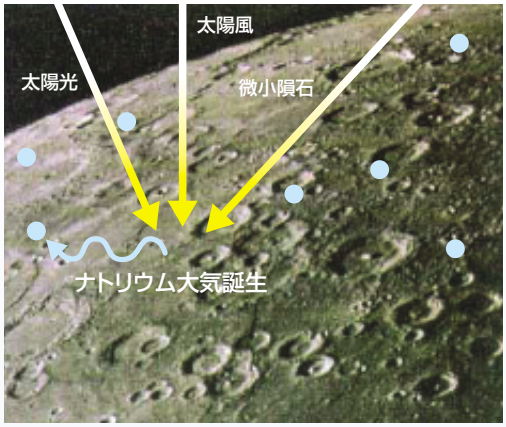


図2 岩石に含まれるナトリウムがガス化する様子。要因は,太陽光,太陽風(太陽から吹いている電荷を持った粒子の流れ),または微小隕石の落下によるものと考えられている。

BepiColomboでナトリウム大気の成因に迫る

さて,ナトリウム大気がどうして存在しているのか? 実は分かっていないのである。水星表面の岩石との相互作用で生成されたことは世界中の科学者の中でも意見がほぼ一致しているが,ナトリウムを放出するメカニズムが分からない。太陽光照射によって放出されたとされる説,太陽風の照射がその主な原因とする説,微小隕石(いんせき)の落下により岩石が気化するのが原因であるなど学説はいろいろとある(図2)。しかし,いずれの説も十分な根拠がなく想像の域を出ない。

日本の研究者たちは,この成因を突き止めようと研究を重ねてきた。その結果,この大気を生み出す成因の違いで水星周辺のナトリウム大気密度の分布に違いを生じることが見いだされた。図3はそれぞれ,太陽光,太陽風,微小隕石が原因で大気が生成したと考えた場合の大気分布予想結果である。つまり,水星周辺に漂うナトリウム大気の分布が分かれば,これらの計算結果と照らし合わせることでナトリウム大気が発生する原因が分かると考えている。日本の科学者たちは,ナトリウム大気を写真に収めることをBepiColombo計画で実現しようとしている。

(よしかわ・いちろう)

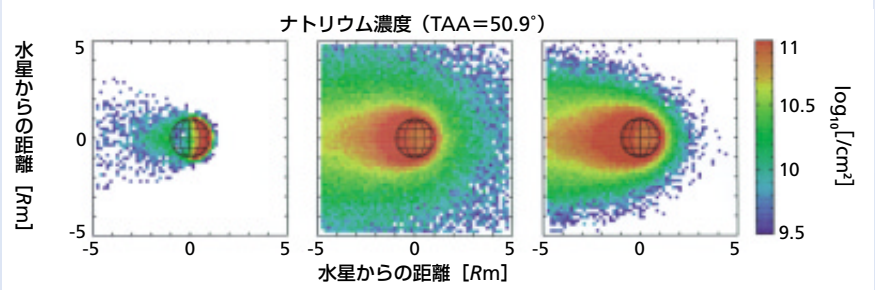


図3 仮定される大気の成因ごとに計算したナトリウムの分布
左 太陽光によると仮定した場合
中 太陽風によると仮定した場合
右 微小隕石の落下によると仮定した場合
(東北大学惑星プラズマ・大気研究センター提供)

極地での4カ月

システム運用部第2運用開発グループ
飯嶋一征

帰路「しらせ」に乗船してから40日がたつ。約1カ月半前まで，我々は昭和基地にいた。

昭和基地にて

第45次南極地域観測隊の越冬隊40名，夏隊22名を乗せた砕氷船「しらせ」は，オーストラリア出航後2週間かけて，2003年（平成15年）12月17日に南極に到着した。同日，昭和基地への空輸第1便が飛び立ち，観測隊による施設建設，専門分野の観測実験を含む夏オペレーションが開始された。

朝6時に起床，朝食を済ませ，身支度をして7時45分から宿舎前にてラジオ体操＆点呼を行い，8時から作業が開始される。正午の1時間の昼食タイム以外は19時まで作業が行われる。1日の気温差は大きく氷点下にもなり，強風の中での作業も続く。極地の環境と，あまりにも遠く隔離された場所ゆえ，作業方法は原始的な方法におのずと限定されてしまい，手間と時間を費やす結果となってしまう。限られた日数，人数で構築された夏期作業では，自分の担当する観測実験が終われば，すべての者が即座に他作業のサポートに入る。教授も外科医も役人も泥とほこりにまみれ，コンクリートを練り，土を掘り起こしていくのは当然“人力”である。

昭和基地を離れる日

作業中は小休止と称して朝の10時と午後3時に“中間食”なるものが配られる。中身は缶コーヒーなどの飲料とあんパン1個だったり，タイヤキ，大福だったりといったバリエーションまである。日本ではとうてい手を伸ばさない菓子類なのだが，作業中は配達のバギーが来るのをいまかいまかと待つのである。菓子を手にした後は風をしのげる小屋なり雪上車でむさぼり食うのだ。こういったサイクルが，10日に1回の休日を挟み繰り返される。

最初の1週間は慣れない環境と作業で筋肉痛，睡眠不足に悩まされ，昼食後でも10分でも時間があれば，みんな床に転がって体を休めていた。

時がたつにつれ，それぞれの工程も確立されて作業効率も上がり，作業に慣れた隊員たちの結束力も高まる。その後は作業期日との戦いになり，期限に間に合わせようと夕食後も作業が行われるようになる。思いがけないトラブルも当然頻出し，日本で考えられる限りの準備はすべてこなしてくるのだが，それでも“動かない”“物がない”状況が生まれる。予測し難い事態が起こり，日本では度外視される問題でも，ここでは大問題に発展する。今あるものでいかに対処するかという課題が，常に付きまとう世界である。

昭和基地での生活環境はというと，食事はプロの料理人たちが作ってくれるものをいただける。手間暇をかけ日本と何ら変わることのない食事が食べられる。また夜の楽しみの一つに，週3回開かれるバーがある。ここで皆，仕事の疲れを癒やし，日本では接点のない異分野の職人たちと話を弾ませ明日への活力とするのだ。休みには散策やらソフトボール大会などのレクリエーションも催される。

2004年2月15日(日)，夏隊が昭和基地を離れる最終日である。40名の越冬隊を残し，われら夏隊は一足先に昭和基地を後にする。南極時間AM8:00，ヘリポートに「しらせ」からのヘリが到着するとすぐさま荷物を積み込み，隊員も搭乗口に向かう。夏隊がヘリに乗り込む瞬間，去ってゆく者を見送る者たちが，搭乗口まですらっと一列に列を作りだした。一人ずつ握手を求めてきたのである。さようならを口から発しても，ヘリのローターの爆音でとうてい会話にならない。ぎゅっと握手した手を思いっきり引き寄せ耳元に最後の言葉を投げ掛けてくる。われら夏隊とともに常に一緒に作業し，起臥寝食を共にしてきた仲間を昭和基地に残し，引き上げる瞬間である。夏隊が乗船すると同時に「しらせ」も出航する。このときから越冬隊は約1年間，否応なしに自分たちだけで生きていくことを強いられるのだ。

帰路「しらせ」にて

「しらせ」は越冬を終了した44次越冬隊と45次夏隊を収容し，海洋観測オペレーションを行いながら約1カ月半かけてシドニーに向かう。

復路の船の中は出港初日から激しい揺れに襲われ，隊員の約3分の1が船酔いに悩まされた。海氷域を抜け，高さ30～40mある超巨大氷河を横にしながら船は進み，荒れ狂ううわさの暴風圏を通過する。船室の床には瓶，缶，私物が散乱し，落ちないように必死にベッドにしがみつきながら眠る日が数日続いた。

船の中では朝5:55「総員起こし5分前」の放送，6:00「総員起こし」放送，同時に朝食となる。昼食は11:00，夕食は17:00と，ここでも日本の食事と変わらぬものをいただくことができ，大人でも食べきれないほどの量の自衛隊食が出てくる。施設も整っていて歯医者から理髪店，ビデオ・DVDレンタル，船倉を改造したスポーツジムなどがある。天気が良い日などは飛行甲板での運動も許可され，揺れさえなければ快適な環境である。

観測隊はシドニー到着後，飛行機で日本へ帰国する。帰国予定日，2004年3月27日。あと数日で夏オペレーションが完遂する。

（いいじま・いっせい）

ウルトラマンはいますか?

金子 肇
神奈川県立座間高等学校

座間高校から車で30分ほどで行ける宇宙科学研究所（当時）を初めて訪問したのは，2002年の6月下旬であった。

的川泰宣先生の研究室に入ると，そこは広くて明るいながら，本や書類などが山積みの雑然とした部屋というのが正直な第一印象であった。……私はいたずら心を起こして，セクレタリーの利岡さんに小声で「ウルトラマンはどこにいますか?」と尋ねてみると，「ハア?」という返事。初対面の方に大変失礼したと今でも思っているが，それを許してくれるフランクさとヒューマニティーをその部屋に感じたからである。

宇宙研との教育連携

さて，的川先生をお訪ねしたのは，本校が7〜8年前より取り組んでいる理数教育の充実による高校の特色づくりの柱として，宇宙研との教育連携を依頼するためであった。その年の12月11日には的川先生に本校で1年生を対象として「宇宙・いのち・未来」と題して講演していただき，12月13日には平林久先生に2年生を対象として「私たちのいる この宇宙」と題して講演していただいた。

こうして宇宙研との教育連携が始まった。2003年度には文部科学省SPP（サイエンス・パートナーシップ・プログラム）事業（テーマ『宇宙開発最前線』）に採択され，本年度新入生から新たに本校で始まった科目「サイエンスA」の授業の一環として，次の4イベントを実施させていただいた。

（1）6月21日（土）　中澤知洋先生の講演
　「宇宙のサイエンスの最前線」
（2）12月6日（土）　竹前俊昭先生の講演
　「ロケット工学入門」と宇宙研施設見学
（3）12月12日（金）　澤井秀次郎先生の講演
　「惑星探査の現場から」
（4）12月18日（木）　的川泰宣先生の講演
　「M-Vロケットの技術について」と
　レゴロボット製作助言

左記（1）は，1年生の後期授業（10月〜3月，1単位）から始まる「サイエンスA」に先だって，受講生募集のための記念講演として実施した。教員側の予想を大きく上回り70名の受講生が集まった。

（2）は，惑星探査機「のぞみ」が火星探査断念かという大変な時期に宇宙研を見学させていただいたため（写真。写真提供は本校の段木先生），生徒たちはいろいろとインパクトを与えられたようであった。生徒の感想を一つ紹介する。

……ロケットの仕組みについて少し分かった。1回の打上げのために何年もの歳月を費やし，いろいろなテストを繰り返していく……。ホントに大変な作業ばかりだなって思う反面，興味をそそられました。でも，打上げ時に，たった一つの小さなミスがあってもいけないっていうのは，すごいプレッシャーだろうなと思いました。そのミス一つで，今までの努力がパー……。大変だ!　それらの作業を行っている人たちはホントすごいなって思いました。なかなか経験できないような体験を今回することができ，本当に良かったなって思いました。

なお，この施設見学には小山孝一郎先生にもご協力いただいた。この誌面を借りて感謝申し上げる。

（3）は，多くの生徒にサイエンスへの興味関心を持ってもらいたいと考え，「サイエンスA」受講生だけでなく，1年生全員（241名）を対象に実施した。

（4）は，日本のロケット開発の歴史から講義していただき，生徒からは「ロケットとか宇宙とかはまったく嫌いなのでいやだと思ったけど，今回の講演で少し興味を持った」や「宇宙に行くということは，つくづく大変なことだと思った。ヒトとチームということが大事!!」などの感想があった。

そして，年が明けた1月15日（月）には，生徒たちによる「サイエンスA・SPP事業についてのプレゼンテーション」が実施され，授業を締めくくった。

心の中に本物のウルトラマンを見たことに期待

さて，テレビに出てくるようなウルトラマンは，残念ながら宇宙研にはいなかった。しかし，宇宙研の先生方の講演や施設見学を通して，先生方の宇宙への情熱やサイエンスへの真摯（しんし）な姿勢に触れたことで，生徒たちは心の中に「本物のウルトラマン」を見たことと期待したい。生徒の興味関心は多様化しており一人ひとり違うが，今後も本校は，JAXA宇宙科学研究本部との教育連携の中で生徒たちにサイエンスへの興味関心を高めることができればと願いつつ，擱筆（かくひつ）することとする。

（かねこ・はじめ）

宇・宙・夢・人

宇宙に行くものに触りたい!

技術開発部機器開発グループ
太刀川純孝

たちかわ・すみたか。1967年，東京都生まれ。東京工業大学大学院総合理工学研究科エネルギー科学専攻修士課程修了。1997年，宇宙科学研究所技官。ロケットに搭載されている電子機器のON/OFFをコントロールするRB管制や，ロケットのテレメータから送られてくる電子機器情報の受信，衛星の熱設計や熱制御デバイスの開発などを行っている。第一級陸上無線技術士。

――ぜひ紹介したいデバイスがあると聞きましたが。

太刀川：私たちの研究室は，衛星の温度を一定に保つ熱制御の技術開発を一つのテーマにしています。最近，まったく新しいアイデアに基づく，SRD（Smart Radiation Device）というラジエターを開発したのです。

――ラジエターとは，熱を排出するものですね。

太刀川：宇宙では，太陽の光が当たると温度がとても高くなり，当たらないととても低くなります。地球周回軌道でも，＋100℃ぐらいから－100℃ぐらいまで変化します。惑星探査機の軌道では，変化はもっと大きくなります。しかし，衛星に搭載されている機器は，私たちが生活している温度でしか正常に動きません。熱過ぎても冷た過ぎても，衛星は“死んで”しまうのです。

衛星の中を常に一定の温度にするため，衛星にはラジエターが付いていて，機器が発する熱を排出しています。今までのラジエターは，熱をできるだけ多く排出するようになっているため，温度が高いときだけでなく，低いときも熱を排出していました。温度が低くなり過ぎると電気ヒーターで温めるのですが，そのときでさえ，ラジエターから熱を排出していたのです。これでは電気がもったいないでしょう。

――SRDは，どういう点が画期的なのでしょうか。

太刀川：今までも，ラジエターの前にブラインドのようなものを付けて，それを開閉することで熱の排出量を調節するものはありました。しかし，あまり使い勝手が良くなかった。私たちが開発したSRDは，見掛けは単なるセラミックの板です。しかし，温度が上がると自然に熱がたくさん排出され，下がれば排出されなくなる。そういう不思議なものです。

SRDの材料は，ペロブスカイトと呼ばれる結晶構造を持ったマンガン酸化物です。温度が高いときは電気抵抗が大きく，低いときは小さいという特徴があります。電気抵抗が大きいと輻射（ふくしゃ）率が大きく，つまり熱をたくさん排出することから，ラジエターに使えるのではないかと考えたのです。この材料を宇宙で使ったのは，私たちが世界で初めてです。シンプルな構造のSRDは，有望な新型ラジエターとして海外からも注目されています。

――実用化は近いのですか?

太刀川：SRDは，2003年5月に打ち上げた小惑星探査機「はやぶさ」に，試験的に搭載しています。黒い部分がSRDで（写真矢印），銀色の部分が従来のラジエターです。厚さ70μm，40mm角の板が35枚並んでいます。宇宙研のA棟1階のロビーに「はやぶさ」のモデルが展示されていますから，もし見学される機会があればSRDの実物をぜひ見てください。

SRDを実用化するには，もう少し性能を高める必要があります。温度が高いときと低いときで熱の排出量の差が大きく，さらに，ある温度を境に急激に変化するものが，理想的なラジエターです。そのために，いろいろな材料を合成して特性を調べています。軽量化にも取り組んでいます。小型衛星INDEXへの搭載は決まっていますが，ほかの衛星にもぜひ使ってほしいと打診しているところです。

――なぜこの仕事を選んだのですか?

太刀川：小さいころからの夢だったのです。宇宙に行くものに触りたいと，ずっと思っていました。宇宙への興味が加速したのは，「スタートレック」の影響ですね。でも，どうしたら宇宙にかかわる仕事ができるのか分からず，大学では応用物理の勉強をして，民間企業に就職しました。数年後，たまたまチャンスがあり，夢をかなえることができたのです。

――同じ夢を抱いている若い人へアドバイスを。

太刀川：宇宙にかかわる仕事がしたいと強く思いながら，とにかく今できることを一生懸命にやっていれば，道が開けると思います。大学での専門は何でもいいんです。宇宙ステーションの建設には建築学科の人も必要ですし，有人飛行では生物系や医学系の人も必要です。どんな専門の人でも宇宙にかかわる仕事に就ける可能性がある。大切なのは，「やりたい」という気持ちだと思います。

――これからの夢は?

太刀川：太陽系外への宇宙旅行を可能にする，有人宇宙船の技術開発に携わることです。まさに「スタートレック」の世界ですね。アメリカでは，そういう突飛（とっぴ）ともいえる技術開発にも予算が付くそうです。日本でもそういう計画があれば，宇宙に夢を抱く子どもが増えると思うのですが。「やるぞ!」と言って引っ張っていく，糸川英夫先生のようなカリスマが必要ですね。そうすれば，日本の宇宙開発は変わると思います。

ISASニュース No.277 2004.4 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。

編集後記 2004年度最初の「ISASニュース」をお届けします。今回は特に「専門用語をできるだけ使わずに高校生にも分かる」ことを目標に編集努力しましたが，いかがでしたでしょうか（まだまだかな）。字数制限もある中，いろいろと表現を工夫していただいた執筆者の方々に感謝いたします。（田中 智）

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