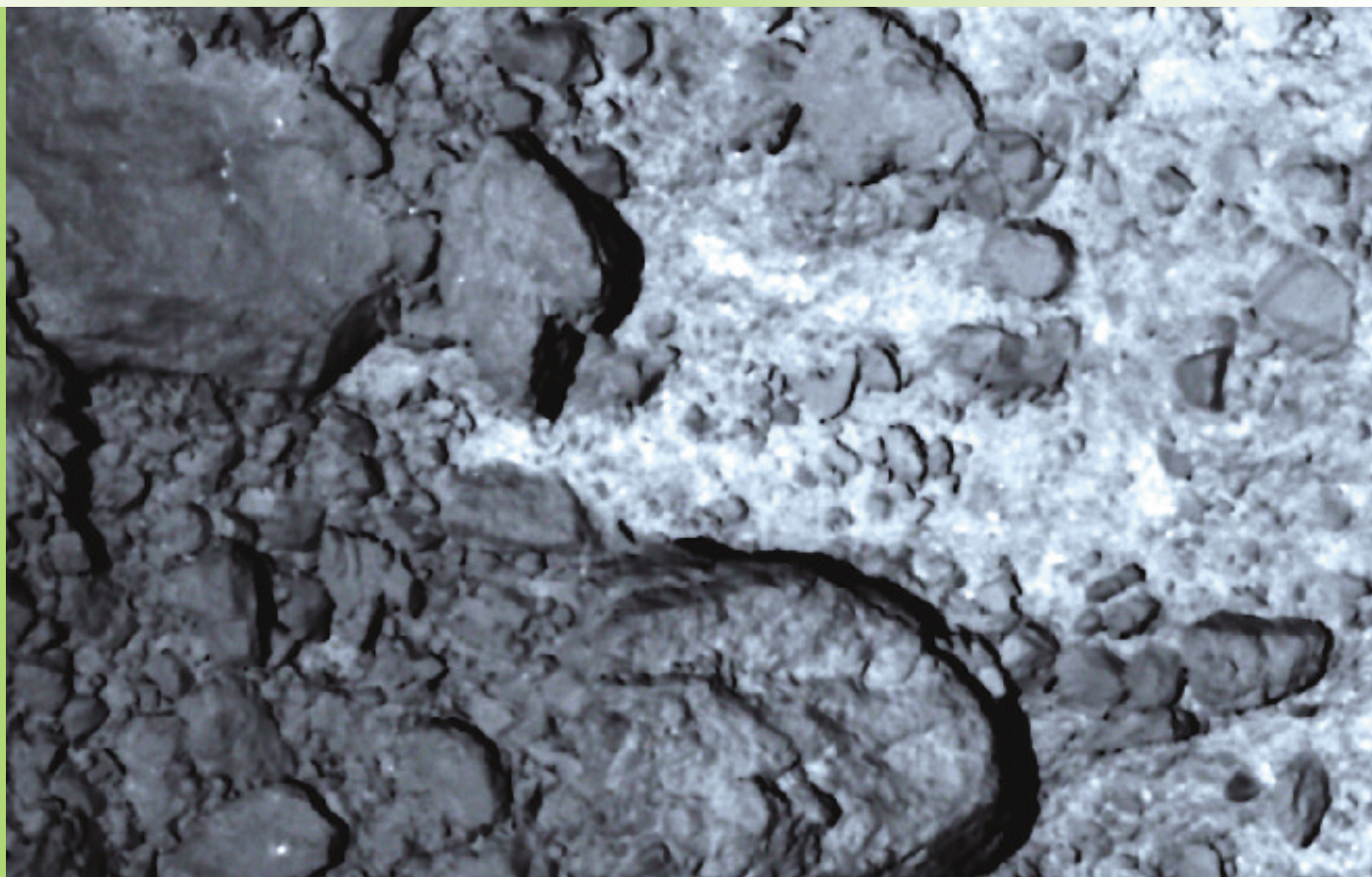




「はやぶさ」の搭載カメラが撮像したイトカワ表面の接近写真 (ST_2544617921)

宇宙科学最前線

小天体研究を通じた太陽系の理解
～地上観測研究と隕石分析研究の橋渡し～

安部正真

固体惑星科学研究系 助手

冥王星と小惑星

2006年の国際天文学連合 (IAU) の総会で、冥王星がいわゆる「惑星」という定義から外される決議が行われ、マスコミなどを通して多くの人々にそのニュースが届きました。もちろんこれは、冥王星が何か悪いことをしたわけではなく、我々の太陽系に対する理解が進み、“太陽系に多く存在する「太陽系小天体」の代表格として、冥王星を認識し直す方がよい”，と多くの科学者が判断したことによるものです。

「太陽系小天体」の代表格の呼び方については、「準惑星」などが考えられていますが、これまでは「惑星」以外の太陽のまわりを公転する小さな天体の呼び名は「彗星」と「小惑星」しかありませんでした。

最初の「小惑星」は1801年に発見され、現在までに

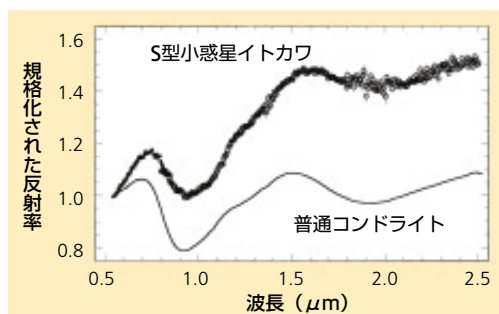
40万個近くが発見されています。現在では、水星軌道の内側から冥王星軌道の外側まで、太陽系の全領域にわたって分布していることが分かっています。

小惑星の物質科学的研究の幕開け

太陽系の物質科学的な研究は、これまで主に隕石の研究によって進められてきました。隕石の物質分析は地上の研究設備で詳細に行うことができ、その形成年代や形成環境などを調べることができます。我々が現在得ている太陽系の起源と進化に関する情報の多くは、隕石分析研究によるものといってもよいでしょう。

しかし、隕石は地上に落ちてきたものを使って調べているため、それが太陽系のどの場所から来たのかよく分かりませんし、そもそも地球に落ちてくる隕石が太陽系全体の情報を示しているのかも不明です。

図1 S型小惑星イトカワの反射スペクトル(丸印)と普通コンドライトの反射スペクトル(実線)(Binzel et al.2001を改変)



こういった問題を相補的に解決しているのが、小惑星の地上観測研究です。

1970年代になると、隕石は小惑星のかけらが地球に落ちてきたものだと考えられるようになりました。その理由は、小惑星の分光観測(細かい色の違いを調べる観測)が行われるようになり、隕石のデータとよく似た特徴を持つ、小惑星の分光観測データが明らかになったからです。

小惑星の分光観測が進むにつれて、小惑星にはさまざまな特徴を持った天体があり、その特徴は太陽からの距離に応じて変化していることが分かってきました。つまり、太陽からの距離に応じて、小惑星の物質の傾向に違いがあるということです(『ISASニュース』2004年5月号、矢野氏の記事図4参照)。一方、隕石の研究から、隕石の形成年代の多くは太陽系の形成初期を示しており、小惑星の物質分布は太陽系の初期の物質分布を表しているのではないかと考えられるようになったのです。

小惑星と隕石の関係の謎

小惑星の分光学的な特徴と隕石の物質的な特徴を結び付ける研究は、多くの研究者によって進められてきました。しかし、この研究には一つの大きな謎がありました。それは、小惑星に多く発見されているS型小惑星の特徴と、隕石で多く見つかった普通コンドライトの特徴が、分光学的な観点で一致しないということでした。

この問題は長い間議論され、いくつかの説が残りました。①S型小惑星と普通コンドライトは違うもので、地上に落ちてくる隕石は太陽系の非常に偏ったサンプルリングとなっている、②地上観測では隕石サイズの天体までは観測できておらず、小さな小惑星を観測すれば普通コンドライトに似た特徴の天体が見つかるはずだ、③S型小惑星の表面は風化されていて、その風化していない部分が普通コンドライトと同じ特徴を持っている、などです。

この問題を解決する

には、探査機が実際にS型小惑星に行って、確かめる必要がありました。

「はやぶさ」探査機と近赤外線分光器

「はやぶさ」はそのような背景で計画された探査機でした。「はやぶさ」の第一の目的は次世代の太陽系探査機に必要な工学的技術を実証することですが、小惑星の近傍観測と表面物質の採取および地球へのサンプルリターンという、理学的な大きな目的も持っていました。

「はやぶさ」は2003年5月に打ち上げられ、2005年9月に小惑星イトカワに到着しました。地上観測によって、イトカワはS型小惑星に分類されていましたが、やはり普通コンドライトとは違った特徴を持っていることも分かっていました(図1)。

「はやぶさ」には分光観測のための装置として、近赤外線分光器という科学観測装置が搭載されていました(図2)。近赤外線分光器はその英語名Near Infrared Spectrometerを略してNIRS(ニルス)と呼ばれています。我々は、この装置を用いてイトカワの観測を行いました。

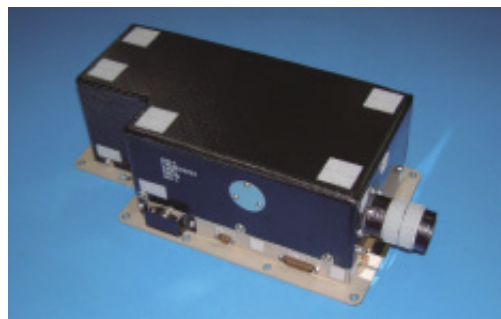
NIRSの観測波長域は800nm~2100nm程度です。小惑星の表面に多く存在すると考えられている(実際に隕石の分析研究でも存在が確認されている)輝石やカンラン石の特徴をつかめるように設計されています。地上観測との違いを得るために、視野サイズを0.1度にして、小惑星の表面を十分空間分解して観測できるようにしました。NIRSによるイトカワ表面の詳細な地図は現在作成中ですが、可視カメラの観測で明らかになった小惑星表面上の色や明るさの違い(『ISASニュース』2006年5月号、齋藤氏の記事写真参照)は、NIRSでも観測されています。

「はやぶさ」の分光観測で明らかになったこと

NIRSはまず、地上観測との比較を兼ねて分光データの平均的な特徴を調べました。NIRSのデータからも輝石やカンラン石の特徴を検出することができ、表面物質に両者が含まれていることを明らかにすると同時に、その組成比についての情報も明らかにしました。そして、イトカワの表面物質は、地上に落ちてくる隕石の中では普通コンドライトに最も近く、さらにその中でもLLコンドライトという隕石に近いことを明らかにしました。

NIRSはさらに、空間分解して観測されたデータを用いて、色や明るさの変化している領域も鉱物組成の違いがほとんどないことを明らかにしました。これは、イトカワの表面はほぼ一様な物質からなり、大規模な熱的な進化過程を経っていないことを意味します。普通コンドライトは熱的な進化を経験していない始原的な隕石とされており、この観点からもS型小惑星と普通コンドライトの関係が強くなりました。この結果は、同じく「は

図2 「はやぶさ」探査機に搭載された近赤外線分光器(NIRS)



やぶさ」に搭載された蛍光X線スペクトロメータの観測結果からも支持されています。

さらに、探査機の小惑星表面接近時には小惑星の明るい領域をより詳しく観測することができ、明るい領域の分光データは、ほかの比較的暗い領域に比べて、より普通コンドライトの特徴に似ていることが分かりました。

イトカワの表面物質が推定できると、重力計測から求められたイトカワの質量と、カメラの観測から求められた体積を使って、面白いことが分かりました。質量と体積からイトカワの全体の密度が推定されるのですが、その値は 1.9g/cm^3 で、LLコンドライトの平均的な密度 3.2g/cm^3 とは大きく異なるのです。このことは、イトカワの内部に空隙が存在することを意味していました。

イトカワの形成過程

以上の結果をもとにイトカワの形成過程をまとめると、次のように考えることができます。

イトカワの岩石物質は、太陽系形成初期に形成されました。その物質は、我々が手にしている普通コンドライトと同様の特性を持っていたと考えられます。その後何回か天体の衝突を経験し、大規模な衝突によって飛び散った破片が再集積して現在のイトカワを形成しました。しかし、大規模な熔融や組成の分化は起きませんでした。その一方で、再集積する際にその破片同士の間には空隙が残り、全体密度の低い現在の姿になったのだと考えられます。

イトカワ表面の色の違いや明るさの違いがいつできたかについてはまだよく分かっていませんが、接近写真などの様子から、明るい領域は暗い領域を構成する岩塊の下にあり、暗い岩塊が別の場所に移動して現れたのだと考えられています。イトカワのような小さな天体でも物質の移動が起きていることは驚きでした。地上観測だけでは、小惑星の表面はすべて積分された一つの点でしか見ることができませんでしたから、探査機が近づき空間分解して観測できたことによって、初めて分かったことなのです。

S型小惑星と普通コンドライトの関係は解決されたか

長年の謎であったS型小惑星と普通コンドライトの関係については、現在は、「宇宙風化」という概念(前述の③の説)で説明されようとしています。小惑星のように大気のない天体の表面は、常に太陽風や微小隕石の衝突にさらされています。この状況を模擬する実験が地上でも行われていますが、このような作用(我々は「宇宙風化作用」と呼んでいる)によって、表面物質の分光データの特徴が変化することが、近年明らかになってきています。宇宙風化作用が小惑星上で起こっていることは、ニア・シューメーカー探査機の観測などに

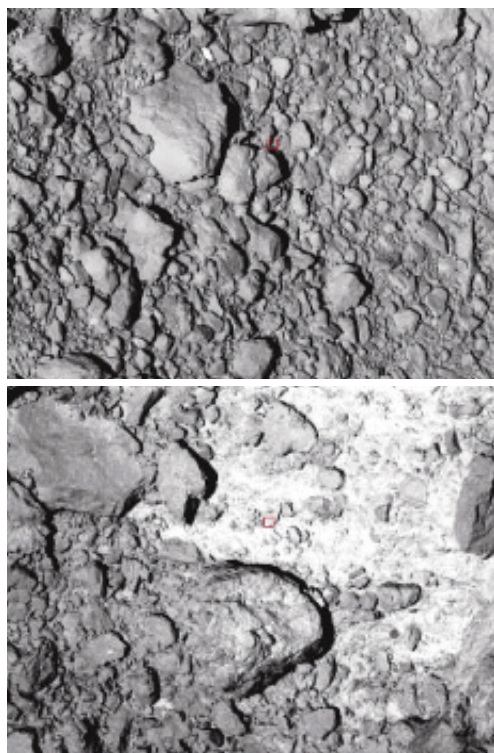


図3

上：イトカワの表面に見られる暗い領域の接近写真(ST_2539429953)

下：イトカワの表面に見られる明るい領域の接近写真(ST_2539467169)。中央の四角い枠は近赤外線分光器の観測領域

よっても示唆されていましたが、「はやぶさ」のデータは高い空間分解能による観測でこのような作用の特徴を説明する、よりはっきりした証拠をイトカワの表面(図3)に見つけました。つまり、明るい領域と暗い領域の特徴が宇宙風化作用の特徴とよく似ていて、明るい領域は暗い領域より新しく、分光データの特徴も普通コンドライトの特徴により近いことを明らかにしたのです。

我々の推定が本当に正しいかどうかについては、実際にイトカワの表面サンプルが採取されていて、無事地球に持ち帰ることができ、その試料が分析されるまで分かりません。しかし、探査機の近傍観測によって、これまで地上観測だけでは分からなかった多くのことが明らかになりました。

「はやぶさ」の次の探査

「はやぶさ」は、S型小惑星についてさまざまなことを明らかにしてくれていますが、太陽系にはS型以外の小惑星もまだまだたくさんあります。次はS型小惑星より太陽から遠いところに多いといわれるC型小惑星、さらにその次にはその外側に多く存在しているD型小惑星、そして究極的には冥王星軌道の外側に存在する太陽系外縁天体、とシリーズ的に探査していくことで、太陽系全体の初期の物質分布情報などが分かると同時に、太陽系小天体そのものに対する理解をもっと進むでしょう。これまで地上観測と隕石分析研究で進められてきた太陽系の起源と進化についての研究(もちろん理論的研究やその他の実験的な研究もあるが)は、太陽系小天体探査機のもたらす新たな情報によって結び付けられ、総合的な理解をもたらしてくれることを、我々は期待しています。(あべ・まさなお)

講演と映画の会，大盛況

4月14日(土)，東京の新宿明治安田生命ホールにおいて，恒例の「講演と映画の会」が開催されました。会場が開く1時30分には，会場前の広間に参加者があふれ，340人の定員に対して510人もの人々が詰め掛けました。補助いすをある限り動員してもまだ足りず，ホールの階段に座って講演を聴く人が大勢いました。

井上 一 宇宙科学研究本部長のあいさつの後，最初の講演は，藤原 顕さんの「“はやぶさ”が見た小惑星イトカワ」でした。本邦初公開の精細画像を交えながら，主として「はやぶさ」の科学的成果について解説をしました。イトカワの表面から約60mの高度から撮影した写真がスクリーンに現れたときは，会場からため息が聞こえました。

第二の講演「日本の天文衛星——そのめざましい成果」では，現在地球の空にあって精力的に観測を続けている三つの天文衛星，「あかり」(赤外線)，「すざく」(X線)，「ひので」(太陽観測)の現在までの成果を，村上 浩さん，満田和久さん，清水敏文さんがそれぞれ紹介

しました。日本の天文衛星が三つも地球を周回しながら競うように次々と宇宙の秘密を暴いていくという事態は，史上初めてのことに，相模原キャンパスの宇宙科学チームにとってはエキサイティングな日々が続いています。その雰囲気十分に伝わる講演でした。

いずれの講演も，ミッション遂行上の苦勞がひしひしと感ぜられるものでした。それも心から宇宙の謎への挑戦を楽しんでいるといった風情で，内発的な宇宙活動の魅力が遺憾なく発揮されたものであったということが出来ます。

講演の後には，講演者に井上本部長も交えた5人と会場との質疑応答が行われました。毎年参加している人も多く，質問が非常にレベルの高いものであることは，この「講演と映画の会」の特徴ですが，今年は特に将来計画への期待を感じさせる質問が多かったことが，印象に残りました。

最後は，映画『宇宙の謎に挑む2006』をみんなで楽しみました。
(的川泰宣)



会場を埋め尽くした参加者



「はやぶさ」の藤原 顕さん



「あかり」の村上 浩さん



「すざく」の満田和久さん



質疑応答の時間



「ひので」の清水敏文さん

月惑星探査推進グループの設立

この記事を読まれる方の大部分は誤解されるかもしれません。いささかややこしい話ですが、JAXAは本年4月、宇宙科学研究本部（ISAS）と横並びの組織として、「月惑星探査推進グループ」を設立しました。名称が“グループ”で、またこの記事が「ISAS事情」というカテゴリーですから、宇宙科学研究本部の内部に月探査に関係する数人の組織が設けられたように思われるかもしれませんが、実際、宇宙科学研究本部の諸委員会に参加されている大学などの先生方の中には、完全に誤解しておられる方もいらっしゃると思いますので、十分ご注意くださいと思うところです。

月惑星探査推進グループは、JAXA内で機構横断的に人材を集めて、今後本格化する月探査あるいは惑星探査の推進を行う、宇宙科学研究本部など各本部と横並びの新たな組織です。同様の組織として、昨年度に「航空プログラムグループ」、この4月には「有人宇宙環境利用プログラムグループ」が設けられていますが、月惑星探査推進グループの最大の特徴は、何とんでもJAXA発足後初めて機構横断的に組織されたという点にあります。航空や有人宇宙環境利用はいわば親本部から分裂して組織されたのに対し、この月惑星探査は宇宙科学研究本部、総合技術研究本部、宇宙基幹システム本部、そして東京事務所から人材を集めて組織された、いわば組織上のモデル実験ともいえるものです。

担当する業務は、月惑星探査にかかわる企画立ち上げのための国際調整、研究技術開発、また関連するプロジェクトの推進です。研究技術開発には、月惑星探査に特有のミッション機器、バス機器、探査機システムのほか、特有分野の理学研究を含みます。研究開発組織を明示しつつ、プロジェクト遂行部門をコアだけに限定することで、JAXAになかなか根付かせるのが難しい、マトリクス制の業務推進を図るメカニズムの構築を目指しています。

宇宙科学とこの月惑星探査をどこで区切るのか、という質問をよくいただきます。もちろん、月惑星探査



探査を待つ私たちの太陽系の天体

にかかわる活動を中心としていますから、天文理学観測は該当しないことは明らかです。月惑星探査を目的・テーマという視点で整理すると、月惑星探査に関する理学（サイエンス）のほか、技術開発や教育・人材育成などをテーマとしたミッションが含まれます。しかし、もう一面では、我が国が先進

国の一員として果たすべき国際秩序の確保や安定といった観点の政策的な目的を実施するミッションも含むという点で、宇宙科学研究本部の実施するミッションとは一線を画していることになります。月への有人探査など、我が国が応分に早期に実現を目指すべきミッションが、後者に属する活動の例です。月への無人・有人探査、また小惑星・彗星など我が国が「はやぶさ」を通じて先端に立った始原天体探査、あるいは惑星環境の直接観測が、当面の大きな柱であると考えています。探査は科学と不可分であるとともに、両輪で推進され、双方がより発展していくことが、宇宙科学研究本部と月惑星探査推進グループ両組織のみならず、JAXA全体で目指すべき方向であると信ずるところです。

次期あるいは次々期中の中期計画に向かって、SELENE後継機、「はやぶさ」後継機といった、差し迫って重要な探査プロジェクトを新たに立ち上げていくことが、まず取り組み、解決すべき課題です。加えてこの組織の構築もJAXA初の試みであって、職制に絡む諸検討課題も山積しています。来年4月の次期中期計画の開始に向けて、精力的にこれらの検討を進めていくこととしています。

月惑星探査推進グループは、本拠を相模原キャンパスに置いています。建家・棟単位で居住エリアの調整も進めており、ご迷惑をおかけしている場合もあるかと思えます。どうぞご容赦いただければと思います。月惑星探査推進グループの英語愛称はJSPEC (JAXA Space Exploration Center) に決まりました。どうぞよろしくお願い致します。

（月惑星探査推進グループ
JSPEC 推進ディレクタ 川口淳一郎）

世界一の挑戦——新しい固体ロケットの研究

M-Vロケットは、全段固体で惑星探査にも貢献できる、世界で唯一かつ最高性能の固体ロケットです。すでに最高のものが、さらに良くなるのか？ ご心配なく。M-Vロケットは、とことん機体の性能に特化して最適化しているので、新しい時代のロケットとしては、ほかにやるべきことがたくさんあります。

その一つが打上げシステムの革新です。衛星の打上げはロケットだけで行うわけではなく、ロケット本体に地上の設備と運用（組み立てや試験の手間）を加えた総合力で行います（これを打上げシステムと呼ぶ）。M-Vロケットは機体自体の性能は申し分ないのですが、内之浦の運用は延べ3ヶ月近くにも及びます。取り扱いが簡単であるという固体ロケット本来の特徴を追求することは、これからの課題です。

加えて、内之浦は世界にも胸を張れる低コストの素晴らしい射場ですが、その設計コンセプトはラムダロケットのころとあまり変わらず、今の時代には大掛かりで手間がかかり過ぎます。打上げは大勢の人がまるで甲子園の決勝のようなお祭り騒ぎでやっていて、これでは来るべき高頻度の打上げに耐えることはできません。これを改革して、ロケットの打上げを平凡な内野ゴロの処理くらい淡々としたものに変えようというわけです。具体的には、地上設備と運用について究極のコンパクト化を図ります。例えば、機体にネットワークケーブルを一つ挿せばノートパソコン1台でロケットの点検や管制ができてしまう、それも、どこででもできてしまう、そういうことを考えています。

そのためには、ロケットをインテリジェント化して、手間のかかる点検は機上で自律的にやりたい。電子部品の目覚ましい進歩のおかげで、これまでは大掛かりな地上装置が何台も必要であったロケットの点検が、今では基板たった1枚で可能です。これをロケットに載せてしまえば、地上装置はパソコン数台で済み、小さな個人用のコンテナに納まるくらいの規模になります（これをコンテナ管制と呼ぶ）。こうすれば地上装置をメンテナンスする手間も、頭の痛い老朽化の心配もなくなります。ロケットに点検用のケーブルをいちいち装着する手間も省けます。しかも、インターネットにアクセスさえできれば、世界中のどこにいてもロケットの点検や管制を行うことができるのです。もちろん、飛行中には使わない点検用のものをロケットに載せることに抵抗を感じる人もいでしょう。ロケットが重くなる、点検装置が使い捨てでもったいない、故障の

可能性が増えて信頼性が下がってしまう。こうした心配は30年前には正しかったのですが、もはや時代が違います。基板1枚の重さはいくらでもないですし、コストも地上に試験装置を置いた場合のメンテナンスや老朽化対策よりはるかに安上がりです。また、機上の点検装置は飛行直前に電源などほかの搭載機器と遮断しますから、飛行中に悪さをすることもありません。

もう一つ、新しい固体ロケットでは、超高速で柔軟性のある通信規格で搭載系をネットワーク化しようと考えています。そのメリットは、機器の追加や変更など拡張性や自由度が広がり、搭載系は標準化されてロケットの種類に依存しないものにできるということです。それ以上に魅力的なのは、地上試験の仕組みを劇的に変えることができるということです。例えば、搭載機器を組み合わせたシステム試験は、これまでは噛合せ試験といって相模原キャンパスにすべてのコンポーネントを集めて行っていました。これからは、たとえ各機器が世界中のどこに散らばっていても、それらをインターネットにつなぎさえすれば、あたかもすべての機器が一ヶ所に勢ぞろいしているかのようにリアルな環境でシステム試験ができるのです。

加えて、ネットワークのインターフェースにはソフト機能を持たせようとも考えています。地上試験装置につなぐ搭載系のハードウェアの定義、つまり、試験をする対象が誘導計算機なのかセンサなのかという指定をインターフェース部分で行うことにより、これまで搭載機器ごとに専用のものを用意していた地上の試験装置を、搭載機器の機能によらず共通のものにすることができるわけです。目指すは、ロケットに依存しない搭載系、搭載系の機能に依存しない試験系です。夢のような時代が、もうすぐそこまで来ています。

宇宙開発は、信頼性がかりうるさく言うものですが、どうしても設計が保守的になってしまいます。電子部品にしても、認定部品とかいって市場ではもう売っていないような何世代も古いものを使っています。世の中はどんどん進歩しているのに、内之浦も種子島も管制室の中はアポロの時代と同じで、まるで博物館のようです。今こそ改革の時です。新しい固体ロケットの研究では、積極性とチャレンジを合言葉に、これまでの慣性ではなく新しい概念をどんどん取り入れて、新しい時代にふさわしいロケットシステムを作ろうと心に決めています。

（森田泰弘）

ロケット・衛星関係の作業スケジュール（5月・6月）

	5月	6月
相模原		S-520-23号機 噛合せ試験
三 陸	平成19年度第1次気球実験	
種子島	SELENE 射場作業および運用の訓練・リハーサル	

月の元素組成探査

月周回衛星SELENEは蛍光X線分光計(XRS)とガンマ線分光計(GRS)を搭載し、月から出てくるX線やガンマ線を観測することによって、月の元素組成と地域分布を全球的に、史上最高の精度で調べます。

■主要元素、放射性元素、揮発性元素を測定

元素組成は、天体を構成する物質やその物理的・化学的な性質を決めるので、天体の起源や進化を知るための重要な手掛かりです。周回軌道からの遠隔探査では主に、主要元素、放射性元素、揮発性元素を測定します。微量元素や年代測定に必要な同位体測定などを行うには、サンプルリターンが必要です。

主要元素とは、岩石の主な構成元素(マグネシウム、アルミニウム、ケイ素、鉄など)のことで、岩石タイプの決定に不可欠です。太陽X線や宇宙線が天体表面に照射することで生じる、元素に固有なエネルギーを持つX線やガンマ線の観測によって調べます。クレータなど掘削された場所、熔岩など内部物質が噴出した場所では、表面だけでなく深部の情報も得られます。

放射性元素はカリウム、トリウム、ウランなどで、自然に放射壊変する際に出すガンマ線を観測します。放射壊変エネルギーは天体内部の熱源になるので、その存在度は惑星の熱史の解明に重要な手掛かりとなります。

月の極域のクレータ底は、1年を通して日陰となる永久影です。彗星起源の塵や隕石に含まれる水などの揮発性成分や、太陽風の陽子が月表層と反応してできた水が永久影内にトラップされ、蓄積している可能性があります。

■月全球の元素組成探査の必要性

実は、月の元素組成は、いまだによく分かっていません。アポロ周回船によるX線・ガンマ線探査が行われたのは、赤道付近の一部の地域だけです。月の海が常に地球から見える表側に多く裏側に少ないこと、重心が形を中心よりも地球側にずれていることは知られていましたが、1990年代以降に行ったクレメンタインの多色撮像観測、ルナークロスベクタのガンマ線・中性子線の観測で、鉄やトリウムなどの濃集度に大きな地域的偏りが発見されました。その成因は、現在の重要な科学テーマです。しかし、低いエネルギー分解能での観測結果や多くの仮定を含む解析法に基づいた議論であり、また元素の種類も少ないため、SELENEによる観測がこの科学テーマの解明に大きく貢献すると期待されます。

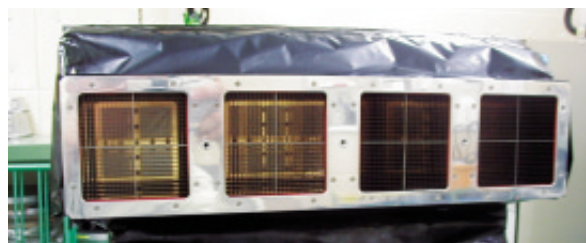
アポロやルナによって月面の数地点から試料が回収され、それらの分析結果をもとに物質科学的観点から月の進化が論じられてきました。しかし回収地点が表側赤道域に限られており、それらを月の代表とすることは困難です。月から飛来した隕石の中には、マグネシウム組成など回収試料と特徴が異なるものも見つかっており、月全表面の探査が必要なことを裏付けています。

■蛍光X線分光計(XRS)

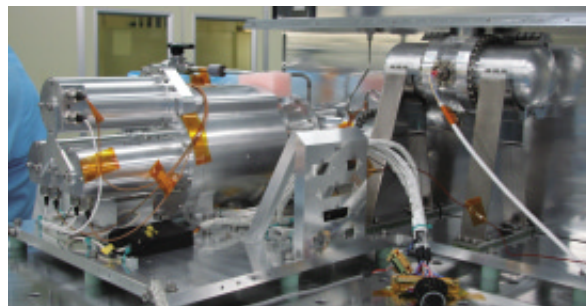
史上初の月全球X線探査を行うXRSは、「はやぶさ」で小惑星イトカワの元素組成を調べた機器の発展型で、検出器に電荷結合素子(CCD)を使用します。主要元素の蛍光X線を含む1〜10キロ電子ボルトのエネルギーを検出し、各元素の蛍光X線を分離できる高いエネルギー分解能があります。SELENE衛星の対月面速度が秒速1.5kmと速いので、高い空間分布を得るために短時間で統計的に有意な観測ができるよう、CCDを16枚並べて総面積100cm²に大面積化しています。太陽X線が時間変動する影響を補正するため、シリコンPIN型検出器による太陽X線の直接モニタと、標準試料に太陽X線が照射して発生するX線の較正観測を同時に行います。月全球の岩石タイプとその分布を調べるほか、クレータ中央丘や熔岩ドームなど10km規模の地質構造まで観測して、深部物質の手掛かりを得ます。

■ガンマ線分光計(GRS)

GRSは検出器に高純度ゲルマニウム結晶(250cm³)を用い、スターリング冷凍機によって絶対温度90度以下に冷却することで、0.2〜12メガ電子ボルトの広いエネルギー域を3キロ電子ボルトという高い分解能で観測し、ほぼすべての主要元素、放射性元素、揮発性元素を調べます。月面以外からくる高エネルギー粒子やガンマ線はBGO結晶のシールドで除去します。月全球のガンマ線探査はルナークロスベクタですでに実施されましたが、圧倒的に優れたエネルギー分解能によって、元素組成の決定精度や元素の種類が飛躍的に向上します。空間分解能は約100kmですが、周回軌道の重なりを利用して実効的に向上させます。また、現在計画中の月探査機では、永久影内の氷の存否を水素の存在度から直接観測できる唯一の観測機器であり、その成果は世界で注目されています。(おかだ・たつあき、はせべ・のぶゆき)



蛍光X線分光計(XRS)



ガンマ線分光計(GRS)

まったく突然に4月17日に長友信人先生が亡くなった、と知りました。ご本人とご家族の強い要望で、状況は知らせない、葬儀その他はご家族で、ということでしたので、我々としてはここは先生の言うことを取りあえず聞こう、と昔から言いつけを聞けなかったり聞けなかったりしたことの穴埋めも兼ね、そう決めました。その後ご家族からご了解をいただいたので、皆さんへお知らせしました。いろんな反応がありましたが、「最後まで長友先生らしくやったんだね」というのが大半でしたので、少しは救われた気持ちになりました。



長友先生が何をやった人かというのはここであらためてご紹介するまでもありませんが、要するに、日本の宇宙の仕事で新しく物事が始まるときにはいつも長友先生がいた、ということです。ロケット、宇宙実験、宇宙ステーション、探査、有人……、すべてです。ラムダやミューロケット、液体水素のロケット、SEPAC、SFU、ソーラーセイル、マイクロG、有翼宇宙飛翔体、宇宙旅行、発電衛星、宇宙農業……。いつも最初にコトを起こして、モノでやってみせて、新しいサークルを作って、プログラムが動きだしたらそれぞれにリーダーを作って、計画が正式に動きだすころには自分はいなくてもいい状態にして、もう次のことを始めている……というのが長友流です。今さらながら、先生の仕事の資料を見たりして、その感を強くします。もっとも、最後の方は実行するには話が大き過ぎるのと、私に限っては後を走るのに実力が追いつかないのですが……。このあたりは、それぞれにゆかりの方々が別の機会に触れられるそうですので、ここでは割愛します。

長友先生から学んだことは何かと考えると、思索の跳躍とか無限の想像力、世の中との付き合い方、約束を守ること、それからJUST DO IT精神、などということでしょうか。どれも陳腐な表現にしかありませんが、少なくともこういう言葉のふさわしい人はほかになかなかいません、とは自戒も込めてです。退官後も思索はさらに跳躍して、最近では宇宙探査や民間の宇宙旅行について、例えば人が火星の往復や火星に滞在するときの問題の本質は、とか、民間が有人ロケットを飛ばせるアメリカの仕組み作りは、火星に種子を持って行って木を育ててキャビンにするには……など、いろいろ議論をしてもらいました。「先生、有人探査というのはロジスティックスですよ」「アホー、おまえなあ（これはどの話でもいつも）、そんなことは50年も前から分かっとるわ。フォン・ブラウンの本を読んでみよ」……などという上等な会話はもうできません。

実は去年の11月、日本ロケット協会の50周年記念総会の場で、長友先生に名誉会員になってもらうと同時に、「ロケット、この先の50年」と題して特別講演をしてもらいました。我々にとっては、そのときの講演と頂いた原稿が、長友先生からの最後のメッセージとなりました。この1、2年は「日本の宇宙なんとか50周年」というように、だいたいが過去を振り返る話が多かったのですが、長友先生には先のことを話していただきました。珍しく、「おれはこれをやるぞ」ではなく「何をやるか言え」ということでしたので、私がタイトルを決めて頼んだのですが、先生ご自身としては今日のことが頭にあっての話だったか、とは今にして思います。内容は、ロケットにとどまらず宇宙旅行や人類の火星への進出や恒星間飛行のことなど、さらには、この先人類が直面するであろうエネルギーや資源の問題など、まさに縦横無尽でした。そして、これらの課題を追求する上での本質は何かという話に及び、結局はやるのは人だから……と、最後は「このような大きな視点からロケットの未来を構築していただきたいと祈念致します」と締めくくられました。

宇宙の仕事がどんどんサラリーマンの仕事になっていく現在、社会や文化という領域もしくはそれらとの接点で仕事をする人がいなくなってしまったのを惜しむとともに、もっといろいろな話を聞かせてほしかったと悔恨することしきりです。先生とさまざまな場面と時間を共有できた幸運に感謝すると同時に、いま長友先生が現役でいたらどうするかなあ、と考えてしまいます。時代が違うので変わらないでしょうか？

(いなたに・よしふみ)

管制のお仕事

M-Vロケット・管制班
大島 勉

「管制」という言葉を辞書でみると、「物事を集中的に管理および制御すること」とあります。ロケットの仕事でいえば、レーダーやテレメータなどロケットに使われている機器のスイッチをリモート操作で入れたり切ったりしながら、打上げの準備作業を指示することになります。つまり、管制班は、準備作業の進行係というか、交通整理のようなことをやっているのです。発射のときに秒読みをするのも、管制班の仕事です。

この説明だけではイメージがわかないでしょうから、管制班がやっていることの一部を例に挙げて、もう少し具体的に説明します。例えば、こんな具合です。
管制「それでは、次いきます……。レーダー」
レーダー「はい、レーダー。準備オーケーです」
管制「では、トラボン、オンします。に、い、いち、はいオンです。……では、オン確認したら、チェック開始してください」と、こんな調子で作業が進んでいきます。そのほかにも「〇〇班は△△ケーブルを接続してください」などと指示をしたりします。

当然、これらのやりとりには台本があって、台本を作るのも管制班の仕事です。ひとたび台本ができてしまえば、あとは手順通りにガイドを進めるだけです。管制が作る台本はとてもシンプルなもので、上の会話の例では「レーダー ON」と書いてあるだけです。場合によっては、ほかの装置も含めて「搭載機器 ON」とだけ書かれていることもあります。そういう場合は、もう少し細かく書いた手順書があって、必要なときにそれを見ながら作業を進めます。各装置のさらに細かいチェック手順は、それぞれの担当者が作って管制班に渡してくれます。管制班は作業全体の流れも把握しなければならぬので、一目で全体を見渡せるものの方が使いやすいのです。

「こういう仕事だったら、何も電気屋さんでなくてもよいのでは？」と思うでしょう。そうです。管制班は電気が専門でなくても務まるのです。でも、電気系に詳しい方が、少しだけ都合がよさそうです。それは、ロケットに使われている装置の多くは電子機器だからです。その電子機器が正常に働くことを確認するために、打上げまでの途中で何回も動作試験をします。たいていは問題なく進むのですが、ごくたまに装置の動作がおかしいことを発見する場合があります。そうなると、装置の担当者は大変です。ひょっとしたら、担当者は頭の中で、「今まで同じような試験をしてきたときは問題なかったのに……。どこか壊れたんだろうか？ うん、そうに違いない……。もう駄目だ……。やり直しだ」と考え、落ち込んでいるかもしれません。

そういうとき、管制班は試験を続けることができるのか、それとも中断すべきなのか、の判断を迫られます。まず、



指令電話によって秒読みを行う管制班

電源の担当者に、電流や電圧に異常がないか確認します。正常ならば、慌てることはありません。できるだけ今の状態を維持したまま、担当者に原因究明の手だてを考えてもらいます。電流が異常に大きくなったりした場合には、原因究明よりも安全を優先して、その機器をオフにします。そして、気持ちが落ち着いたところで、また担当者に原因究明の手だてを考えてもらいます。

結局、管制班は大したことをやっていませんね。でも、それぞれの機器については、その担当者が一番詳しいのです。担当者の提案を受けて効率よく作業を進めるのも、管制班の大事なお仕事です。ただし、これは打上げ日まで十分な余裕がある場合で、打上げ当日に異常を発見した場合には十中八九、中断するように手順が決まっています。

ところで、初めの方に出てきた会話ですが、あれはお互いが目の前にいるわけではありません。管制室とレーダーの地上局は数km離れています。テレメータのデータを見ている人も、別の建物にいます。そのため内之浦では、「指令電話」と呼ばれる、大勢で同時に会話ができるヘッドセットを使っています。近ごろ、テレビのコマーシャルなどで見掛けますが、内之浦で使っているものはあんなに格好よくありません。古くて調子が悪いのですが、新しくするお金がなかったもので、我慢して使い続けていました。でも、ありがたいことに、もうすぐ新しい指令電話がやってくるらしいです。

最後になってしまいましたが、写真は、動作試験中に“古い”指令電話を使いながら秒読みのカウントをしている“管制班の人”です。この写真から「管制のお仕事」の雰囲気を感じ取っていただけたら、うれしく思います。

(おおしま・つとむ)



構造形成を考える

スイスにて宇宙の

肌寒い体育館。大きな壁にはプロジェクターによって宇宙の構造形成の様子が映し出されている。解説は、この分野の第一人者のBen Moore。数千万年を数秒に短縮してみると、ぼんやりしたガスから子どもの銀河が現れ、時には合体・衝突してその形を変えていく。人が町を作り、町が合体して都市、大都市ができていくように、大きな銀河に小さな銀河がのみ込まれ、気が付くと「銀河団」ができていく。ふと体育館の大きな窓から外を見ると、スケートリンクの向こうに見える万年雪をかぶった巨大な山々に、太陽の光が

当たり、東から西へと順番に明るくなっていく。この山脈も地球も宇宙の進化の結果だと思えば、博士の解説もより面白い。

その日の夜。4人テーブルの相棒は、料理とワインに詳しいフランス人のLionel君、パリでポストク中の陽気で元気なメキシコ人のIsauraさん、デンマークから来た美貌のCamillaさんでした。メキシコでは科学プロジェクトがなかなか進まないこと、ヨーロッパで話題のガイア衛星、漢字の話と、

いろいろな話題で盛り上がりました。

スイスで2007年3月4日から開催された「Saas-Fee advanced course of the Swiss Society for Astrophysics and Astronomy」に参加しました。「The Origin of the Galaxy and Local Group」というテーマの「冬の学校」です。午前4時間と夕方3時間の講義が5日間続きました。講師は、前述のBen Moore、陽気なオージーJoss Bland-Hawthorn、話しだしたら止まらない情熱的なFrancesca Matteucci、ベテランKen Freeman、素晴らしく流暢な講義をしてくれたEva Grebelの5人でした。

特に私の研究に関連が深いのは、中高温銀河間物質（WHIM；Warm-Hot Intergalactic Medium）の話でした。星・銀河の種となる銀河

空間物質について、実はほとんど観測が進んでいません。その密度がとて薄く、その輝度が検出器のバックグラウンドより暗いからです。現在では10万度から1000万度になっていると考えられ、WHIMと呼ばれています。フィラメント状に分布していると考えられていますが、誰もその全体像を見たことがありません。私は「あすか」、XMM、そして現在は「すざく」衛星を用いて、このWHIMの観測に取り組んでいます。

「生徒」はヨーロッパ勢を中心に約90人でした。私を含め、多種多様な職種の人が講義に参加していました。参加者の年齢制限がないからでしょうか、場所が良かったからでしょうか。例えば、鉄道会社で運行の研究・業務をしている元・天文学生。つい1週間前に大学院に入ったドイツ人。昔、埼玉で忍術の修行をしたことがあるという3人の子どもの育てた北欧のお母さん。うれしいことに、男女比は半々でした。

「学校」はスイスアルプスの有名なスキーリゾートであるMürren村で開催されました。村は標高1634mにあり、よくもこんなところまで鉄道を引いたものだと感心しました。スキーのワールドカップが最初で開催された場所だそうです。講義は、村のスポーツセンターの体育館を借りて、バスケットコートのようなジムに机といすを並べて行われました。スイスアルプスを横目に見ながら宇宙の歴史を考えるのは、なかなか良いものです。何か新しいアイデアでも出てきそうです。

12時から5時までは、講義はありません。初日は雪が降り曇り空でしたが、次の日は快晴。ついスキーバスを買ってしまいました。午後数時間をスノーボードで楽しみました。今年の冬はどこも寒くないようで、雪の状態は完全ではありませんでしたが、雄大な4000m級のアルプスを目の前に滑走するのは気持ちが良いものです。午後の数時間滑っただけですが、体がへろへろになってしまいました。

このような若手研究者向けの「学校」は頻繁に開催されているようです。大学院生の皆さんには、ぜひ参加してもらいたいです。世界中の人々と共通の話題で盛り上がるのはとても楽しいものです。次回は、講師として参加できるとうれしいです。（たむら・たかゆき）



ユングフラウ山とアンドロメダ銀河
(冬の学校のweb-siteより許可を得て転載)

宇宙科学情報解析センター 助手

田村隆幸



はじめまして内之浦

大高郁子

イラストレーター

昨年8月、『はじめまして数学』（幻冬舎）という子ども向けの本で一緒にさせていただいた吉田武先生から、「日本画は宇宙を描く」コンテストにオブザーバーとして参加して、ロケットの打上げ現場に来てみませんか、というお誘いを受けました。めったにないチャンスと思い、伺うことにしました。

私は、フリーランスのイラストレーターです。狭い部屋の机の上で、一人黙々とペンや水彩、時にはパソコンで書籍の表紙や雑誌のためのイラストレーションを描いているのが日常です。そんな私にとってロケット体験は、驚きの連続でした。何より朝の5時に起きることが「事件」です。始発電車で羽田空港まで出掛け、約2時間のフライトの後、鹿児島空港へ。それからバスに2時間以上も揺られて到着した内之浦。その「陸の孤島」的な山あいの村の、例えば橋の欄干など、至る所に点在するオモチャのような衛星のオブジェ。あたかもサンダーバードの基地のような打上げ場のたたずまいや、冗談のようにあちこちに配置されているロケットや巨大なレーダーたち。空間そのものがまるで幻を見ているような感覚でした。「なんなのだ、ここは」。いつもとあまりにも違う景色に、ヘルメットをかぶり、施設内をあちこち見学しながら、私は子どものようにワクワクしていました。

話は少しそれますが、イラストレーションの世界では「センスの良さ」や「オシャレな感じ」がけっこう幅を利かせています。ところが、私はそういう感覚的なだけの絵にあまりなじめていません。教育、医学、金融など、比較的「かたい文章」向けに、モノクロのペン画を主に描いているということもありますが、こんな地味な絵を描く人間がイラストレーターを一生の仕事に選んでよかったのかと、いつ

も「頭に小骨が刺さった」状態で悩んでいます。

そんな私が内之浦で見た光景は、「センス」「オシャレ」とは程遠いものでした。ロケット、ランチャー、山の上のレーダー、建物、地下壕とそこへ続く地下道、何だか分からない計器類等々。すべてがロケットを打ち上げるために作られていて、その目標のためだけに人も道具もみな集まり、それ以外には金はかけない。潔い。そして本気でロケット開発をしている。

こんなふうには書くと怒られるかもしれませんが、門外漢である私にとって、「宇宙」というのは映画やアニメの世界で語られるイメージが先行していて、自分たちと同じ時代の人たちがリアルな仕事をする「現場」ではなかったのです。「わ、ホントにこんなことしている人たちがココにいる」という素直な驚き。ニュースで見るロケット打上げの派手な映像

の裏には、ちゃんと日々の仕事をプロとしてこなす人たちがいるという、考えてみれば当たり前のことに、内之浦の現場に立って初めて私は気付きました。と同時に、宇宙というのは何と近くて遠いものかとも思いました。宇宙船が飛び交い、時には宇宙人と戦争までしてしまうような映画を見慣れてしまったせいか、勝手に身近な空間だと感じていた宇宙。実際、目の前の空気は宇宙とつながっていて、そういう意味では近い宇宙なのですが、人類はまだロケットを打ち上げるためにこんなに努力をしている。そして、打ち上げた衛星で少しずつ情報を集めながら、地球や銀河系や宇宙の成り立ちを少しでも知ろうとしている。気の遠くなるような作業、純粋な研究欲。この地道な仕事をコツコツと積み重ねてきた方たちにとって、ロケットの打上げが毎回どれだけ感動的で美しいものか、私には想像することもできませんが、この人たちのことや、この人たちのなさっているお仕事は、もっと広く世の中に知られていいことだと思いました。

東京へ戻ってから、そんなJAXAが「セレーネ 月に願いを!キャンペーン」をされると吉田先生から伺いました。悩みながらも、私にできることは何かと考え、つたないものですが、イラストレーションで協力させていただきました。関係する皆さんのお仕事を知った今、ロケットの打上げは、私にとっても、かつてとは同じではなくなっているのです。また、この春から、母校の京都精華大学でイラストレーションの授業を受け持つことになりました。よくマンガを使った教科書が話題になりますが、私は、イラストレーションでノンフィクション分野を描くことの楽しさを学生たちに伝えていければ、と思っています。

（おおたか・いくこ）



「日本画は宇宙を描く」見学風景（イメージ）

わが町のロケット打上げ場

宇宙基幹システム本部 内之浦宇宙空間観測所 総務係

井手郁夫

——ロケットの発射場がある内之浦の地元
のご出身ですね。

井手：母校の中学は、発射場から3kmと離れていない場所にあります。私がちょうど中学生のとき、日本初の人工衛星「おおすみ」の打上げがありました。それを校庭で見た記憶があります。大型ロケットの打上げがあるときには授業が中断され、全校生徒が校庭に出て見学しました。

その後、福岡県にある大学を卒業して企業に勤めたのですが、親父が「帰ってこい」とうるさいものですから、地元に戻り家の農作業や役場のアルバイトをしていました。そして1年もたたないうちに、観測所で臨時職員の募集があり、運良く採用されました。1976年9月のことです。以来、ほとんどの期間を内之浦の観測所での総務の仕事に携わってきました。見学者の案内係もしています。

——どのような見学者が多いのですか。

井手：今は少なくなりましたが、かつては多くの中学・高校の修学旅行コースになっていました。地元のリピーターも多いですね。見学者の質問に答えられるように、研究者や技官の人にいろいろと質問をして知識を増やすようにしているのですが、時々ロケットにすごく詳しい小学生がやってくることがあります。専門的過ぎて、質問の意味が分からないんです（笑）。

——ロケット打上げのときには、どのくらいの見学者が内之浦を訪れるのですか。

井手：大型ロケットの打上げのときには、2000名くらいですね。2006年9月、M-Vロケットでの最後の打上げとなった太陽観測衛星「ひので」のときには、1万5000名もの人が来て、駐車場に入り切れず国道の片側に縦列駐車していました。観測所の近くに打上げの様子がよく見える小高い丘があるのですが、そこも満杯で、見学できる場所がなくて帰った人も結構いたそうです。

2006年2月、赤外線天文衛星「あかり」の打上げのときには、不思議なことがありました。朝6時半ごろの打上げだったのですが、数百kmも離れた長崎や下関から、「ロケットが飛んでいくのが見えたが、打上げは成功だったのか」という問い合わせが20件くらいありました。そんなことは初めてです。前



いで・いくお。1952年、鹿児島県生まれ。1975年、久留米大学商学部卒業。1976年、宇宙科学研究所鹿児島宇宙空間観測所（現・内之浦宇宙空間観測所）総務係。2003年より、現職。

日に雨が降って当日はきれいに晴れたので、蜃気楼のような現象が起きたのでしょうか。

——打上げの当日は、どのようなお仕事を？

井手：進行を確認しながら、関係者の車や宿の手配をしたり、保安の関係で全国約120ヶ所に打上げの通知を行ったりします。数が多いので、その連絡がとても大変なんです。保安のために、M-Vのような大型ロケットの打上げでは、陸上は発射場から半径2.1km、空は半径約8kmの円柱の領域、海上は2.1km四方を封鎖します。海上封鎖では、海上保安庁や鹿児島県、地元の漁協の皆さんにご協力いただき、封鎖ラインを船でブロックします。

——ロケット打上げでは特に地元の方々の理解と協力が必要ですね。

井手：そうですね。皆さんロケットに関心を持ってくれます。打上げのときには、町中がその話題で持ち切りになるんです。そして私の顔を見ると、男女年齢を問わず、打上げのことを必ず聞いてくれます。うれしいことですよね。地元の人たちは、観測所がもたらす経済効果にも期待しているのですが、それだけではなく、ロケットや観測所に愛着を持ってきているのです。

——ロケット打上げの何が人を引き付けるのでしょうか。

井手：私は音だと思います。まずカウントダウン。見学者の皆さんが声を合わせて、一緒にカウントダウンを始めます。そしてロケットが打ち上がるときの、あの轟音。すごい衝撃です。あの一連の音で、自分たちの夢を乗せてロケットが飛んでいくような気持ちになるのでしょうか。

——今後に期待することは？

井手：とにかく内之浦から打ち上げた衛星によって研究者の先生方により研究をしてもらうこと。これからも内之浦からどんどん打ち上げて、新しいことをやってほしいですね。職員としてだけでなく、地元の人間としても、そう願っています。

ISASニュース No.314 2007.5 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ニア 制作協力／有限会社フォトンクリエイト

編集後記

「ISAS事情」でもご紹介しているように、人工衛星や探査機を使った日本の宇宙科学は、今とても元気です。SELENE以降の科学衛星打上げ空白期間をできる限り短くし、さらにわくわくする宇宙科学を皆さんにお届けしたいものです。（竹前俊昭）

*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