



相模原キャンパスに展示された M-V ロケットの実機模型。左は M-3SII ロケット原寸模型。

宇宙科学最前線

低環境負荷の推進剤を開発する

堀 恵一

宇宙輸送工学研究系 准教授

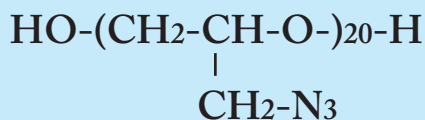
昔、「低公害」という単語がよく使われました。このところはもっぱら「低環境負荷」といいます。ロケットを考える際には、「高性能」「高信頼性」「低価格」といったキーワードがすぐに思い浮かびますが、「低環境負荷」というキーワードは常にリストアップされてきたものの、いつも下位、誰からも本気にされてきませんでした。ところがこのところ、少し風向きが変わってきています。

固体ロケットでは、その燃料中に過塩素酸アンモニウム (NH_4ClO_4) が酸化剤として、アルミニウム (Al) が金属燃料として含まれます。そして燃料が燃えて、塩化水素 (HCl) ガス、アルミナ (Al_2O_3) の粒子が出てきます。酸化剤 NH_4ClO_4 が分解することにより HCl が出てくる

ことは何となく分かっていたかと思いますが。また、アルミニウムが燃えて (酸化されて) アルミナになることも OK でしょうか？ 塩化水素はすぐに塩酸と結び付きます。誰の目にも、環境に悪い。アルミナは、基本的には問題ありませんが、微粒子で出てくるところに問題がありそうです。少し前はナノ粒子と呼ばれる微粒子が大きな注目を集めていましたが、ほんの少しの例外を除き、だいたいの微粒子は生体にとって悪影響が出ます。アルミナの微粒子について詳細に調べられたわけではありませんが、その可能性は否定できません。

これらの排出量は世界的規模からいって無視できるほど小さいことから、これまでは問題にされてきませんでした。しかし、皆さん重々ご

図 1 Glycidyl Azide Polymer (GAP) の分子構造



承知のように、これからはそんなことを言っ
許される時代ではありません。こと環境負荷に
関しては、どんな小さいことでも責任を取りな
さいというのが世の中の風潮です。さらにアル
ミナ粒子に関しては、デブリ（宇宙ごみ）の観点
から、欧州を中心に厳しいことが言われだして
います。長い目で見れば間違いなく、下の方（地
面の近く）では塩化水素フリーと微粒子フリー
が、上の方（宇宙空間）では微粒子フリーが達成
目標となるでしょう。そのためには、以下のい
ずれかの対応が必要です。

- (1) 液体ロケットに代替する
- (2) 固体と液体の推進剤を用いるハイブリッドロ
ケットを開発し、代替する
- (3) 素材を工夫して塩化水素フリー、微粒子フリー
を達成できる固体燃料を開発する

(1) はもちろんあり得る話ですが、私の守備範
囲ではありませんし、いろいろな制約があり総
取り換えは難しいところです。ここでは(2)と(3)
に話を絞ります。

GAPを用いたハイブリッドロケット

まずはハイブリッドロケットです。数種の形
態がありますが、ポリマーを燃料として液体酸
化剤を使って燃やすというのが一般的です（もち

ろん、材料中に塩素原子や金属粒子が含まれな
いことが条件になりますが）。これまでに燃やし
方にいろいろな試みがなされてきましたが、なか
なか注文通りに燃料ポリマーが元気に燃え
てくれません。結局、燃料となるポリマーに元
気のあるものを選ばねば、と考えています。

その候補の一つとして Glycidyl Azide Polymer
(GAP) という材料が挙げられます。このポリマー
は図1にあるような構造を取っており、分子内に
含まれるアジド基 (-N₃) が特徴です。アジド基が
大変エネルギーの高いパーツで、この基が分解
して窒素 (N₂) ガスを放出する際に大きな熱を出
します。この熱がGAPの「元気の素」となって
おり、酸化剤を充ててやらなくても、自分自身
で燃えることのできる貴重なポリマーです。

私たちはGAPを用いたハイブリッドロケット
の基礎研究を現在進めており、小型モータ（固
体燃料を使用したロケット推進装置をモータと
呼ぶ）を用いて推力200N級の試験を行っている
ところです。図2はGAPとガス酸素の組み合わ
せによるハイブリッドロケットの燃焼試験風景
です。小さいモータですが、迫力満点です。す
でにこのサイズのモータでは燃焼効率98%を達
成しており、高性能を確認できています。また、
GAPにある種のポリマーを少量混合することで
燃焼速度を大きく低下させることが可能なこと
から、燃焼速度の異なるGAPを層状に配して推
力変化をつくり出すことができます。またGAP
は、わずかな酸化剤対燃料の比の差で、比推力
がわりあい敏感に変化する特性を持っています。
この特性を利用すれば、酸化剤噴射量で推力を
コントロールすることも可能です。この二つを
組み合わせれば広い範囲で推力を変化させるこ
とが可能となり、ロケットモータの設計自由度
が大きく広がります。

また、上述したポリマーの添加量を増大させ
れば、GAPは自分で燃えなくなります。その領
域の組成を利用すれば、酸化剤を流して点火器
で火を付けても、酸化剤を止めれば消炎し、ま
た酸化剤を流して再点火することも可能になる
など、いろいろなオプションが考えられます。
こういった特性を考えながら小型試験をしっか
り行っ、徐々にサイズアップ、最終的には飛
翔型につなげていければ幸いです。

ハイブリッドロケットという概念は昔からあ
りました。「低環境負荷」以外にも「高性能」「安
全」といったキーワードが挙げられてきました
が、固体ロケットを完全に凌駕する性能を持っ
ているわけでもなく、昔は固体ロケットの代替
に、という議論は熱くありませんでした。ところ



図 2 GAP/酸素ハイブリッドロケット燃焼試験

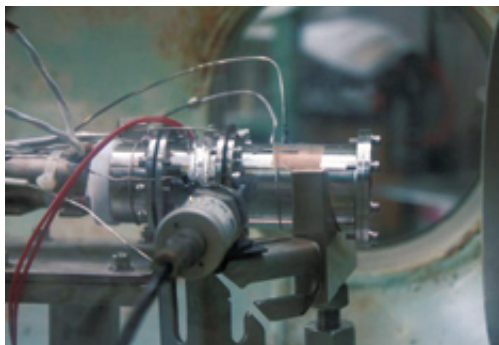


図 3 HAN系溶液を用いた試作スラスタ

が、特に近年「安全」も重要視されるようになり、こういった事情から、このところハイブリッドロケットは世界的に再評価されています。我が国でもいろいろな切り口でハイブリッドロケットを研究するグループが、宇宙科学研究本部の嶋田徹教授を代表として、JAXA・大学が中心となり形成されています。GAPを使ったハイブリッドロケットだけでなく、いろいろな研究が伸びていき、数年後にはこのグループが世界のハイブリッドロケットの研究を席卷すると期待しています。

塩化水素フリー・微粒子フリーを達成できる固体燃料

次は(3)です。現在のところ塩化水素フリー、微粒子フリーを両立させる固体燃料は、簡単にはできません。まだまだ塩化水素フリーを達成できる新しい酸化剤が一人前になっていないからです。ただし、「上の方」をにらんだ微粒子フリーの燃料なら、GAPを使ってできそうです。現状の酸化剤・過塩素酸アンモニウムとGAPの組み合わせがその候補です。性能的にも今のアルミニウムの入った燃料とほぼ同等であり、少し専門的な話になりますが、燃えるときに振動しにくい上段用の球形モータなら何とか「震える」ことなく正常に燃えてくれる可能性があります。「球形モータ限定」と球数の少なさがネックとなりますが、デブリ対応のリリーフピッチャーとして注目を集めてもよい存在だと思えます。

HAN系溶液を用いたスラスタを開発

さて、ここまではロケットモータの話でした。ここからはスラスタという小型エンジンの話をします。ロケットモータと比較するとずっと小さな話になりますが、スラスタは大変重要な推進装置です。ロケットのサイドジェット(SJ)や衛星の姿勢制御(RCS)に使われます。スラスタで使用する燃料はヒドラジン(N_2H_4)、またはヒドラジンベースの2液系と相場が決まっています。ところがこの材料、発がん性があり、取り扱いに難儀します。そこで、毒性が低くなおかつ性能が向上する材料はないかと、昔から多くの化合物が試験されてきました。Hydroxyl Ammonium Nitrate (HAN; NH_3OHNO_3) もその一つです。この材料、性能は大変魅力的なのですが、燃え方が「じゃじゃ馬」的なのが欠点です。その苛烈な燃え方のために、世界中の研究者たちが手を焼いてきた代物です。私のところではだいぶ前から、この材料をおとなしくさせる工夫を凝らしてきました。数年前に何とか、性能

	ヒドラジン	HAN系溶液 (SHP163)
密度 [$\times 10^3 \text{ kg/m}^3$]	1.0	1.4
融点 [$^{\circ}\text{C}$]	1.4	-68.0
比推力 [sec]	211	254
密度比推力 [$\times 10^3 \text{ sec} \cdot \text{kg/m}^3$]	211	356
毒性	高い	低い

表1 HAN系溶液(SHP163)とヒドラジンの性能比較

を大きく落とさずに、スラスタの作動圧域でおとなしい燃焼特性を持ったHAN系溶液の開発に成功し、スラスタの試験を開始しています。現在、推力20N級のスラスタを試作して試験を行っています(図3)。先に紹介したGAPを用いたハイブリッドロケットは推力200N級なので、まだまだ小さい話ですが、スラスタは実験室レベルでいきなり「フルサイズ試験」ができるのがうれしいところです。

表1に、HAN系溶液(SHP163)とヒドラジンの性能比較をまとめます。HAN系は、ヒドラジンと比べて密度比推力で約70%上回り、融点でもはるかに優れています。すぐにでも使いたいところですが、逆に性能が高い(燃焼温度が高い)がための難点があります。触媒や触媒の保持材などの「耐熱」がその難点ですが、設計パラメータを振ってスラスタ内の温度場を制御することで、上手にその難点を避けて通りたいと考えています。昨年度、JAXAの理事長裁量経費で後押しをしていただき、何とかロケットフェーズ(サイドジェット用)の100秒燃焼に成功する条件、素材を見いだしました。比推力も240秒を達成し、燃焼効率も90%近くまで向上させることができました。実は9月15～17日にベルギーのブリュッセルで行われた6th International Seminar on Flame Structureにおいて、この実験を主体的に行っている総合研究大学院大学博士課程の勝身俊之君に、その成果とHAN系溶液の燃焼機構をまとめた論文を発表してもらったところ、若手対象の論文賞を頂きました。しかし、衛星の姿勢制御で求められる耐久性の指標となる合計噴射時間「1万秒の世界」までは、まだ到達していません。ブリュッセルでは米国の大御所から「期待している」とプレッシャーをかけられましたが、何といたってここが腕の見せどころです。グループ一同、奮闘努力中です。

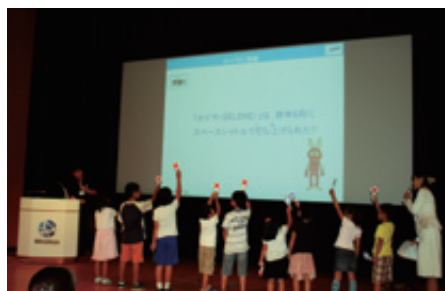
また、GAPの燃焼機構とハイブリッドロケットへの応用について、10月下旬にインドのPuneで行われる国際シンポジウムで招待講演を行います。話す内容はもちろん限られますが、少しは「見えを切って」くるつもりです。

(ほり・けいいち)

「かぐや」 打上げ 1 周年イベント開催報告

月周回衛星「かぐや」は、2008年9月14日に打上げ1周年を無事迎えることができました。この10月末には「かぐや」の定常運用を終了し、その後は低高度観測も視野に入れた後期運用を実施できる見込みであり、現在、観測機器チームと後期運用の計画を詰めているところです。

そんな中、9月14日には、「かぐや」の打上げ1周年を祝うイベントを、日本科学未来館の「中秋の名月 未来館でお月見! 2008」(9月10~15日、JAXAほか共催)とジョイントする形で「みらいCANホール」にて実施致しました。当日は、最新の科学成果をはじめとする「かぐや」の紹介のほかに、「かぐや」応援キャンペーン企業を代表して日本電気株式会社による「かぐや」の活用例の紹介、「かぐや」ハイビジョン映像と天才あひる倶楽部の美しい音楽のジョイントミニコンサート、ファッションデザイナー・松居エリさんによる「かぐや」映像を用いたファッショントークなどを行いました。その後、阪本成一教授による「月が教えてくれること」というお話、そして阪本教授と小学生による「かぐやに挑戦」と銘打ったクイズ大会も実施し、大いに盛り上がりしました。このイベントには



「かぐやに挑戦」クイズ大会の風景

来賓の文部科学省の方々をはじめとして200名を超える人々にご参加いただき、「かぐや」への理解を深めていただけたのではないかと思います。また、「中秋の名月 未来館でお月見! 2008」が開催された企画展示ゾーンでも、「かぐや」のハイビジョンカメラの映像や打上げの映像、「かぐや」のドキュメンタリー映像の上映

などが実施され、そちらも大変盛況でした。

また、その翌日、9月15日には、筑波宇宙センターで「かぐや」開発・運用関係者とその家族によるファミリーデーを開催しました。歌手で女優の土居裕子さんのハイビジョン映像をバックにした美しい「ふるさと」の熱唱、京都の西陣織の老舗である岡文織物株式会社 岡本繁夫社長からの額の贈呈、さらには特別ゲストとして「かぐや」応援キャンペーン企業である株式会社サンリオからハローキティの参加などもあり、「かぐや」のこれまでを振り返るよい機会であったと考えています。

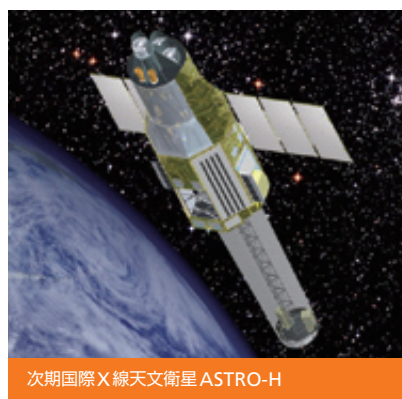
今後も「かぐや」が月に還るまで、関係者一同気分を新たに引き続き頑張りますので、「かぐや」への応援をよろしく願います。
(祖父江真一)

次期国際 X 線天文衛星 ASTRO-H プロジェクト始動

これまでNeXT衛星と呼ばれていた次期国際X線天文衛星計画が、第26号科学衛星ASTRO-Hとして、宇宙開発委員会における開発研究への移行審査そしてJAXAのプロジェクト移行審査を受け、プロジェクトとして認められ、10月1日より活動を開始しました。

ASTRO-Hは、(1) 宇宙はどのように進化したのか、(2) 宇宙はどのような物質、エネルギー形態で構成されているのか、そして(3) 宇宙の極限環境で何が起こっ

ているのかを知るために、日本のX線天文学のコミュニティが世界各国の研究者とともに総力を挙げて開発を進めている、新世代の観測機器を搭載した科学衛星です。(1) マイクロカロリメータによる超高分解能分光観測、(2) 硬X線望遠鏡による撮像分光観測、(3) 0.3~600キロ電子ボルトの3桁以上に及ぶ過去最高の高感度広帯域観測を行うことを目標としています。これらの観測によって、銀河団の中の高温プラズマの速度分布やブラッ



次期国際 X 線天文衛星 ASTRO-H

クホールの周辺における一般相対論的時空のひずみの効果、そして地上の加速器ではとうてい実現できないほど高いエネルギーを持つ宇宙線の加速環境など、多様な宇宙の構造やその進化を探るのに必須でありながら、観測が不十分であった領域の理解を、一変させることが期待されています。

衛星全体の重量は約2.5トン、軌道上で全長14mと科学衛星としては大型です。これを確実に開発していくために、

国際的なサイエンスや技術のレビューの体制とともに、プロジェクトを遂行する体制の上でもさまざまな工夫がなされています。9月29、30日には、JAXAと各大学のメンバーやNASAの科学者・エンジニアが集まり、設計会議を兼ねた全体会議を行って、宇宙科学におけるASTRO-Hの重要性を再認識するとともに、設計方針として今後のスケジュールを確認し、2013年打上げを目指したプロジェクトが始動しました。
(高橋忠幸)

第5回BepiColomboサイエンスワーキングチーム会合開催

2008年9月16～18日、東北大学と仙台市の協力のもと、仙台市戦災復興記念会館にて第5回BepiColomboサイエンスワーキングチーム（SWT）会合が開催された。BepiColombo計画は日欧共同の水星探査計画であり、この会合は全体進行状況の報告・確認・調整のためのものである。

JAXAが担当する水星磁気圏探査機（MMO）

側では、この直前にISASにおいてサイエンスワーキンググループ（SWG）会合と各観測機器チームの会合を持った。その会合は11日（木）に担当メーカーであるNECも参加して開始され、熱環境が厳しい水星近日点におけるシビアナ運用制限への検討などが、土曜日をもつづけて続けられた。しかし、MMOチーム欧州勢はその後の連休でリフレッシュしたらしく、機嫌よく仙台に現れた。そもそも訪日する海外勢は、ESAが担当する水星表面探査機（MPO）のメンバーも含めて、日本が好きだからわざわざ来るというメンツがほとんどであり、楽しそうである。対して日本勢はお疲れ気味である。

ESA標準では、SWTはプロジェクトサイエンティスト（ProSci）が仕切ることになっている。従来のISASにおける宇宙科学ミッションでは「プロマネ先生」がすべてを仕切ってきたのに対し、BepiColomboではESA標準に従い、MMO ProSciの藤本がMPO ProSciとともに仕切る。というわけで、いつも相模原でお世話になっている秘書さんに開催前日の夕方に仙台まで来ていただいて、会場設営を東北大メンバーとともにいった。経費削減のため、手づくりなのだ。その後も受付など、いろいろとお疲れさまでございました。

初日午前は、プロジェクト進捗報告。これは普通であれば退屈な部分である（良い意味で言っている、念のため）が、今回に限っていえば（こういうことが二度とないことを祈る）、目玉セッションである。というのも、BepiColomboはフェーズBの先に進んだ段階において、MPO側の大幅な重量オーバーが「検出」されるという噴飯物の事態に陥り（1月）、ついては、新規設計、打上げランチャーの交換、打上げ延期、そして、それらに伴うコ



休憩時間、東北大が準備してくれたコーヒーサーバーに群がる欧州勢と、机にしがみつきプレゼン最終調整をする齋藤義文ISAS准教授。このトークは好評であった。

スト増が見込まれるという危機的状況にあった（5月）からである。ESA側の科学プログラム会議（SPC）では、そのキャンセルが可否投票の対象となったのだが、JAXAとの共同が歯止めの一つとなったこともあり、キャンセルは可決されなかった。このように人的側面では最悪局面を無事脱出したのだが、肝心なことは、技術的に解決可能

なシナリオをつくり上げることである。6月末のESTEC（ESA欧州宇宙技術センター）においてのストレス満載緊急会合以降、じりじりと心配して待っていたのだが、9月16日、BepiColomboのプロマネは「楽観的な見通しを持っている」と高らかに宣言したのだった。プロジェクト史上のマイルストーンの一つが、仙台で築かれた瞬間である。

この勇気づけられるオープニングに続いて、サイエンス運用支援ソフト開発をESAで開始したという報告がなされた。これは惑星探査では必須のもので、JAXAにおいてもモデリング・グループと共同してつくらねばならないと肝に銘じる。サイエンスの話題では、NASAの水星探査計画MESSENGERのチームメンバーを招待して、今年1月に行われた1回目の水星フライバイ観測結果に関するレビューを聴く。JAXA側からは「かぐや」の最新成果に関するトークをぶつけた。特に、月面でイオンが反射されるという新発見は（雑誌『Science』の編集長には不本意にも嫌われたが）、心地よい驚き（pleasant surprise）として好評であった。天体表面が宇宙ガスと直接接触するのは水星でも同様であり、水星周辺環境もこの新しいプロセスの作用下にあると想像することは、MMOサイエンスの企画を加速させる。

懇親会ではプロマネのヤンと話し込んだ。「楽観」が自信に基づくものであり、悪い意味でのものではないことをすかさず確認する。ヤンは個人として、周囲が冷たい態度を取る中で技術検討を進めたつらさ、技術の見通しが立った途端に周囲が変わった不思議さ、試験設備などで今後ESAが強力にバックアップしてくれる心地よさ、を語った。自分は首尾一貫した宇宙科学人でいたいものだと、つくづく思った。（藤本正樹）

「すざくで探る高エネルギー宇宙」開催

2008 年日本天文学会秋季年会 企画セッション

2008 年日本天文学会秋季年会（岡山理科大学，2008 年 9 月 11～13 日）において，企画セッション「すざくで探る高エネルギー宇宙」が開催されました。このセッションは，X 線天文衛星「すざく」による多くの優れた成果を天文学会で報告することで，天文学のコミュニティ全体でこの成果を共有し，高エネルギー宇宙に対する理解を深め，研究を発展させることを目的としたものです。

セッションは，「すざく」の現状とこれまでの成果を分かりやすく紹介する基調講演（8 講演）と最新の成果とそれに関連する理論的研究を発表する一般講演（15 講演），ポスター発表（7 発表）で構成されました。一般講演は，応募していただいた多数の優れた研究成果から選定したもので，この中には，「鉄を助ける脇役元素の合成を宇宙で確認」（発表者：理化学研究所 玉川徹）という題で年会前日に記者発表されたものも含まれています。



セッション会場の様子（写真提供：金沢大学 佐藤浩介氏）

セッションは年会最終日の午前・午後の計 4 時間で行われ，満田和久プロジェクトマネージャーによる「すざく」の現状に関する講演から始まりました。広い会場は約 150 名もの聴衆でいっぱいになり，終始活発な議論が行われ，「すざく」への高い関心が表れたものとなりました。セッションは，緊張感の中にも笑いがある，非常に良い雰囲気の中で進み，國枝

秀世プロジェクトサイエンティストによるまとめで終了しました。

「すざく」は現在も優れた成果を多数出し続けており，その一部が『日本天文学会欧文研究報告』の「すざく」特集号第 3 集として 2009 年に出版される予定です。今後も多くの成果を出し，天文学のコミュニティに貢献できるよう努力を続けていきたいと思っています。今後とも，よろしくお願い致します。最後に，講演者，参加者，そして「すざく」衛星を支えてくださる皆さまに感謝致します。（愛媛大学 栗木久光）

相模原キャンパスに M-V 型ロケット実機模型展示

表紙を飾っているのは，相模原キャンパスで新たに展示されることになった M-V 型ロケット実機模型と，キャンパスのシンボリック存在であった M-3S II 型ロケット原寸模型のツーショット写真です。これまでに絵や数字などでこれらのロケットを比較したものがありましたが，こうして実機大のモデルが並んでいる姿を見ると，絵や数字では伝わらない大きさの違いや迫力を感じることができます。

これほど近くで M-V 全体を見る機会は，M-V 実験班員でも実はほとんどなかったと思います。基本的に見ることができるのは，各段ばらばらの状態が整備塔各階の床から天井までの径 2.5 m の輪切り状態で，ロケット然とした M-V の姿を拝めるのは打上げ間近に整備塔から出てくる限られたタイミングだけです。触れることが

できるほどの距離で前から後ろから，さまざまなアングルで見ることができるのは展示ならではのようです。

あらためて M-V 型ロケット実機模型が展示されている姿を見ると，卒業したロケットということを認識させられるようで寂しくも感じますが，現在は M-V の後継機となる次期固体ロケットの研究が M-V のプロジェクトマネージャーであった森田泰弘先生をリーダーとして進められています。展示をご覧の際は，M-V の雄姿とともに次期固体ロケットの姿もイメージしながら見ていただけると，M-3S II 型から 3 世代にわたる固体ロケットを楽しめるかと思います。この展示については 10 月 11 日に披露イベントが行われました。その様子は次号に掲載される予定です。（荒川 聡）

ロケット・衛星関係の作業スケジュール（10 月・11 月）

	10 月	11 月
相模原		ASTRO-G 設計確認会その 1
		PLANET-C 第 1 次適合試験
		S-310-39 号機 適合試験
角田		再使用ロケット実験機 ターボポンプ単体試験（TP-RVT-4）
能代	再使用ロケット実験機 ターボポンプ式エンジン第 3 次地上燃焼試験（RVT-13）	
ブラジル		日本ブラジル共同気球実験

第3回

きぼうの科学

マランゴニ対流実験で 新たな発見が

ISS 科学プロジェクト室 主任研究員

松本 聡

国際宇宙ステーション（ISS）の日本実験棟「きぼう」でのマランゴニ対流実験も順調に進み、着々とデータを取得してきており、非常に興味深い現象が明らかになりつつあります。今回は、実験運用についてと、これまでに得られた成果について簡単に触れたいと思います。

宇宙ステーションでの実験の特徴は何でしょうか？いくつか挙げられますが、その中でも有人施設であることは非常に大きなファクターかと思います。宇宙飛行士による実験装置の組み立て、メンテナンス、実験操作などが可能になります。それにより、実験の自由度が高くなることは非常に大きなメリットです。その一方で、閉鎖空間で活動している宇宙飛行士を危険にさらすことはあってはならないので、実験装置に対する安全要求は非常に厳しくなります。

今回のマランゴニ実験では、実験供試体を組み立て、装置へと組み込む作業が宇宙飛行士により行われました。実験中はすべて地上からのコマンドにより操作が行われます。液柱（円柱形状の液体）は上下のディスク間に液体を挟んだ構造になっているので、振動（g-jitter）に敏感です。宇宙飛行士の活動は主に0.1Hzから10Hzの間の振動源になるため、彼らの就寝時間を狙って実験を行います。通常は、日本時間の6時30分から15時までが就寝時間に計画されているので、その間が実験時間となります。

実験運用は、筑波宇宙センターのユーザ運用エリアで行っています。研究者2名、学生6名および実験運用の取りまとめの役割を担うユーザインテグレーター1名の

研究チーム体制により、宇宙実験を行っています。研究チームは、リアルタイムでダウンリンクされる画像や温度などの実験データを見ながら、温度プロファイル調整や、軌道上での画像録画、液柱形状調整などを要求します。それらの要求は、実験ラックを地上から管制しているRack OfficerとRack Operatorにより実験装置制御のコマンドが送信され、時々刻々最適な実験条件となるように制御されます。また、タイムラインを管理するJPOC、実験ペイロードを管理するJEM PAYLOADSが実験運用を直接担います。実験運用はJEMシステムやNASAなどとも緊密な連携を取りながら進められます。実験データやコマンドは、NASA経由で筑波宇宙センターとISSとをつないでデータやコマンドのやりとりが行われます。そのため、NASAの施設がなんらかの理由で閉鎖されると実験ができなくなります。実際、ハリケーン Ikeがジョンソン宇宙センターを直撃し、閉鎖されたことがありました。このときは1週間ほど実験が中止となりやきもぎしました。しかし、国内のみならず国際的な協力を得ながら実験が行われていることを、まさに身をもって実感した瞬間でもありました。

これまでに得られた成果について概略すると、以下になります。

まず技術的には、装置/実験供試体はほぼ正常にすべての機能が動作しています。その機能により、直径30mm×長さ60mmの液柱が形成でき、マランゴニ対流の観察、温度データなどの計測が適切に実施できました。世界最大級の大形液柱は形成されるまでは崩壊しないかと緊張しましたが、無事形成できた液柱は、大迫力、素晴らしくきれいで、その瞬間にはみんなで感動を分かち合いました。

科学的な成果について、この原稿を書いている時点での結果を整理すると、次の2点となります。大型の液柱によるマランゴニ対流について、小型ロケットやスペースシャトルを使った宇宙実験が行われてきましたが、振動流に遷移する臨界値が正確に観測されておらず、対流の強さを示す無次元数であるマランゴニ数がサイズ依存性を持つ結果となっていました。今回の実験では、宇宙ステーションの長時間微小重力環境の利点を活かし繰り返し実験ができること、リアルタイムで画像や温度データを確認しながら温度条件などをその場で変更可能なフレキシブルな実験装置、運用体制により狙った条件への調整ができることなどによって、精密な臨界値測定ができました。その結果、これまでパラドックスとされていたサイズ依存性について結論が出されようとしています。また、長さ60mmの液柱の振動流において、非定常的な温度分布が取得できました。特に、赤外線カメラの画像では、温度の高低のしま模様が床屋の店先にあるバーバースタンドのように移り変わっていく様子が観察されました。これは、理論検証となる、世界でも初めの実験データです。今後の詳細な解析と理論との突き合わせが非常に楽しみです。（まつもと・さとし）

最大の液柱形成の感動を分かち合う研究チームと実験運用担当者

後列右から4番目が代表研究者の河村教授、右から5番目が筆者。後ろの画面に液柱が映し出されている。



日食のもとに集まった 東アジアの若手天文学者たち

私は、この7月後半に、中華人民共和国 甘 肅 省 嘉 峪 関 で行われた East Asian Young Astronomer Meeting (EAYAM) 2008 に出席してきました。EAYAM とは、東アジアの若手天文学者の親睦を深め、我々が成長した暁にはその関係をもとに東アジアの天文学、特にその協力関係の発展の礎となることを目指した、若手研究員と学生の参加を主体とした研究会です。今回の開催が、2003年の台湾、2006年の日本に続く3回目で、私は初めての参加になりました。East Asia と銘打った会議ですので、主催国である中国からはもちろん、台湾、韓国、そ

して日本からの参加者が主体でしたが、フィリピン人、マレーシア人、スペイン人、イラン人の参加もありました。

今回の会場となった嘉峪関は、西安から敦煌へ向かう途中に位置し、万里の長城の西の果てがあるところ。砂漠に連なる万里の長城を越えるための関所、またそれを守るための要所としてつくられたのが嘉峪関です。

1950年代後半、当時100人にも満たない人しか住

んでいなかった土地が中国政府の号令のもとに開発され、鉄鋼の街、観光の街として成長を遂げ、現在は人口20万人程度の計画的につくられたきれいな近代的な都市となっています。文化的にはイスラム教回族の風習に基づいていて、羊の串焼きや辛い麺の屋台にたくさん遭遇しました。

さて、この嘉峪関にどうやってたどり着いたかですが、蘭州までは飛行機で飛び、蘭州からは寝台列車に乗って現地入りしました。飛行機はともかく、日本でも乗ったことのない寝台列車ということでやや緊張しましたが、4人で1コンパートメントをシェアし、比較的ゆっくりとした座席(ベッド)で旅をしました。また、これは大変失礼な感想ですが、大変時間に正確に鉄道が運用されており、時刻通りに出発し、時刻通りに到着することができました。

肝心の研究会ですが、発表者は若手が主体であ

り、またその運営も中国の天文台の学生が中心に行っていました。みんな母国語が異なるので、発表・会話は英語で行われました。英語のレベルもまちまちで、うまくコミュニケーションが取れずにストレスのたまることもありましたが、これも国際協力のときに経験しなければならないことのひとつだと思います。そういう経験を乗り越えて、我々は親睦を深めました。もちろん、夜になると飲み会が始まります。もうここまで来たら言葉なんてお構いなしです。自分たちの国の食べ物のことから始まって、国のこと、文化のこと、また自分たちが参加している天文のプロジェクトのことを、適当な言葉で話し合う、どんちゃん騒ぎでした。

私は今回の研究会で、赤外線天文衛星「あかり」の成果を発表しましたが、どんちゃん騒ぎの中でも、「あかり」のことについていろいろ質問を受けました。また、フィリピン人の参加者が一人おられたのですが、彼はフィリピンでの天文学の立ち上げのための第一世代の天文学者として、現在日本で修行中の身とのこと。現在は理論天文学の研究を行っているが、将来はぜひ自分のモデルを観測で証明してみたいという目標を持っている、しかしながら現在理論のグループに属しており、観測への足掛かりがない、と彼は言っていました。そこで、観測天文学ならいつでも私に声を掛けてくれ、協力できるから、という約束をしてくれました。ささやかですが、私個人でもできる国際協力かと思ひまして。きっとほかでもこのような話がなされ、研究協力の話が進んだことと思います。

最終日に、本研究会のメインイベント?! 皆既日食を見ることができました。研究会の最中には、乾燥地帯である嘉峪関には大変珍しい雨が降っていたのですが、最終日は完ぺきな天気でした。嘉峪関から少し北に行ったまさに砂漠の真ん中で、夕方に欠けていく太陽、そしてわずか2分弱の皆既でしたが、その皆既中の幻想的なまわりの光景は、今でも忘れられません。参加していた台湾の Jeremy Lin 先生の言葉を借りると、「日食を追いかけている人々の気持ちが分かった」。さて、2009年7月22日は日本のトカラ列島もしくは硫黄島で、今世紀最長クラスの6分の皆既日食らしいですよ。皆さん、どうされます?

(おおやぶ・しんき)



夜中に私の部屋を追い出されて、廊下に座り込みを始めた参加者たち。国籍を超えて、天文学の話で盛り上がっているようです。

赤外・サブミリ波天文学研究系研究員

大数進喜



最良の時を目指して

青木節子

慶應義塾大学 教授

宇宙開発のような巨大科学は、国際政治と切り離すことが不可能である。日本初のロケット打上げ前後もそうであったし、現在もそれは変わらない。しかし、科学技術発達の主役は決して政治ではなく、科学者であり、その才能と努力の結集がより効果的になるよう、政治は奉仕しなければならない。この基本だけは、堅持しなければならないであろう。

1970年2月、日本は、世界で4番目に、自国領域内の射場から、国産ロケットで、国産衛星を打ち上げた、自立的宇宙能力を持つ国となった。ここに至るまでの研究者の英知と努力は、何度振り返っても、最も興奮する日本宇宙科学史の英雄時代である。本欄「いも焼酎」でも、齋藤成文先生（2008年1月号「宇宙研追憶」）をはじめとして、初の打上げにまつわるエピソードが繰り返し登場し、そのたびに新しい感動に胸を突かれずにはいられない。日本のロケット打上げドラマ、その後、米国の20分の1程度の基礎研究資金での数々の卓越した業績、そして「はやぶさ」の帰還（少々先取りではあるが）までを映画に作るとしたら、登場人物は……と、さまざまな俳優を当てはめて想像するのは、筆者が眠りに就く前の楽しい「妄想」である。

とりわけ胸がすくのは、日本は、米国との困難な交渉の末に結ばれた1969年の「宇宙開発協力に関する交換公文」によって、長期的にはロケットの自主開発路線を放棄せざるを得なかったにもかかわらず、初めての衛星打上げ成功は、宇宙航空研究所が開発した完全自主開発のL-4S型ロケットによってであったということである。

巨大科学技術の振興は、国際政治学とは無縁ではいられない。米国がソー・デルタ・ロケットまでの機密扱いになっていない技術や機器を日本に輸出することを許可した背景には、1964年の中国の核実験成功、日本の固体ロケットが中距離弾道ミサイルに転用されるのではないかと懸念、あるいは、日本が転用せずとも日本が輸出するロケットがミサイル拡散の契機になるのではないかとい

う危惧が大きな要素を占めたことが、その後公開された米国の外交資料から、かなりの程度明らかになっている。中国の核兵器保有により、日本も核武装を考えるのではないか、それを押しとどめるためには、中国から受けた国家の誇りに対する衝撃を、日本が宇宙先進国となることによって和らげさせることだ、というのが当時の米國務省の見立てだったようである。

中国の核実験成功がなかったとしても、日本の自主開発路線が確立する前に、米国企業の市場確保のために、そして日本という競争相手の芽を早く摘むために、いずれは同様の「国際協力」を求めてきた可能性は大いにあるであろう。しかし、冷戦、中国の核、当時の米国の軍備管理政策、欧州への技術供与との調整、等々、さまざまな要因がそろっての1969年の日米協力合意であったといえる。宇宙科学技術と政治は切り離せない。

2008年5月21日、「宇宙基本法」が制定され、8月27日に施行された。宇宙基本法が必要とされたのも、やはり政治の要請からである。現在、米国、ロシア、フランス（およびESA）、中国、インド、カナダが商業打上げや遠隔探査衛星の画像販売などの宇宙の商業利用を進めているが、日本は大きく出遅れている。また、

1990年代以降、日本周辺の安全保障環境は相対的に悪化し、専守防衛の国としては、いっそう実効的な情報収集の必要性が痛感されるようになった。宇宙科学技術は一流であるのに、なぜそれを活かした宇宙応用ができないのか、という焦燥感が、①宇宙開発戦略本部の設置による一元的な宇宙開発利用体制の確立、②宇宙の平和利用解釈を諸外国並みの防衛的な安全保障利用を許容するものに緩めること、③国が宇宙産業振興策を取ることを、などを眼目とする宇宙基本法の制定に進ませたといえる。

宇宙基本法は、宇宙科学研究にとっては逆風のようにいわれることもある。しかし同法は、宇宙開発の基本理念として、人類社会の発展のための「宇宙科学の振興等」（第5条）を強調し、「国は、宇宙の探査等の先端的な宇宙開発利用及び宇宙科学に関する学術研究等を推進するために必要な施策を講ずるものとする」（第18条）と明記する。今後、宇宙基本計画が宇宙開発戦略本部で策定される。強靱な宇宙科学能力を自主的に育てあげていかない限り、政治の要請に応える宇宙利用はあり得ないこと、科学技術能力が国力と同義であること、そして、宇宙基本法の目的の達成は広義の安全保障向上（トップダウン型）と科学技術の自由な発展（ボトムアップ型）を両立させる仕組みにかかっていることを、広く政策決定者の間での合意事項にすべく、科学界も努力しなければならない。（あおき・せつこ）



日本初の人工衛星「おおすみ」と、L-4Sロケット5号機による打上げ。

図書室で逢いましょう

科学推進部研究推進室研究教育支援課図書・情報係 係長

井上喜美子

——司書のお仕事をされているそうですね。

井上：相模原キャンパス研究・管理棟の2階にある宇宙科学研究本部図書室が私の仕事場です。約8万冊の蔵書があり、24時間利用できるようになっています。手続きをしていただければ、一般の方も利用できます。

司書というと、皆さんはカウンターに座っている姿をイメージされるかもしれませんが、でも、宇宙研の図書室は貸し出しもコンピュータで行うので、カウンターは無人です。書籍・雑誌の購入、書架の整理、利用者用ホームページの作成、ガイダンス、質問への対応が、主な業務です。

私は、大学図書館に勤務した後、宇宙研の図書室に来ました。実家が相模原市内なので、宇宙研の存在は知っていましたが、どういうところかは知りませんでした。だから、宇宙研に来た当初は、戸惑うことだらけ。洋書や洋雑誌が多く、内容は専門的です。しかも、皆さんは雑誌名を省略して言うので、どの雑誌のことなのかまったく分からない。何度も聞き返していました。

——なぜ司書になろうと思ったのですか。

井上：ちょっと恥ずかしいのですが……。中学生のときに読んでいた雑誌の付録に「将来の職業テスト」というのがあり、記入して送って見たのです。そうしたら、「図書館司書」と返ってきた。それまで図書館司書という仕事があることも知りませんでした。職業テストの結果を意識していたわけではありませんが、気が付いたら、この道に進んでいました。

——子どものころから本は好きだったのですか。

井上：司書は、その質問に「ノー」と答えることになっています。だって、本が好きで司書になったというのでは、当たり前過ぎますから。でも、やはり本は好きです。司書をやっている友達の家に行くと、ここは図書室か、と思うほどたくさんの本が並んでいます。みんな同じなのでしょうね。

先日、部屋を片付けていたら、松谷みよ子さんの『ちいさいモモちゃん』が出てきました。子どものころに読んだのでしょ。もうボロボロでしたが、懐かしかったです。

——どういう人が司書に向いているのでしょうか。

井上：「本が好き。でも人とのコミュニケーションが苦手。だ



いのうえ・きみこ。1988年、筑波大学図書部より宇宙科学研究所管理部庶務課情報資料第一係へ（1996年から3年間、東京大学工学部機械系三学科図書室勤務）。2003年より現職。

からこの仕事を選んだ」という人が多いかもしれません。私もそうでした。でも、実際に仕事をしてみて気が付いたのですが、司書というのはサービス業なんです。コミュニケーションが苦手という人も、カウンターに立つと、不思議と変わるもので

す。強いて言えば、大ざっぱな人より、細かい人の方が向いているかな。私自身は大ざっぱですけども……。

資料の検索という仕事は、推理小説に似ています。犯人探しですね。こういう資料が欲しいという断片的な情報から、求められている資料を探し出す。それがまさに必要とされていた資料で、喜んでいただいたときは、とてもうれしいものです。

——逆に、仕事でつらかったことは？

井上：それは、忘れもしない去年の春のこと。電動書架が古くなり、入れ替えをしたのです。本を出すのは業者さんをお願いしましたが、新しい書架に並べるのは職員でやりました。約3万冊あって、やってもやっても終わらない。図書室が使えないと皆さんに迷惑が掛かるので、1日でも早く終わらせようと土日返上で頑張りました。もう同じ作業はできません。

——図書室のことは何でもご存じ、といううわさを耳にしました。

井上：ちょっと長くいるだけです。「こういう本がないかな」とあいまいな質問でも、あるかないか、だいたい分かります。でも、「検索システムで探してみましょう」と言うようにしています。間違えると恥ずかしい、というのが一つ。もう一つは、私がいないと本を探せないというのでは困りますから。

——図書室を利用する皆さんにメッセージを。

井上：資料のデジタル化が進み、研究室にしながらインターネットを介して必要な情報が手に入るようになり、図書室に足を運ぶ必要がなくなっています。適切な情報が得られているのならいいのですが、もしかしたら、より適切な情報を見逃している可能性もあります。所蔵資料の検索システムにしても、いろいろ便利な機能があります。最適な資料を見つけ出すとおきの方法をお教えしますから、まず図書室に来てください。

ISAS ニュース No.331 2008.10 ISSN 0285-2861

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

本ニュースは、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

今月も、最先端の研究成果や研究者・職員の一面をご紹介しますなど、多彩な内容でお届けすることができたと思います。執筆者の方々にはいろいろと注文をつけてしまいましたが、ご協力ありがとうございました。（田中 智）

* 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

