



◀ 昼間の  
アメリカ大陸

左：月周回衛星「かぐや（SELENE）」  
右：「かぐや」からハイビジョンカメラ（HDTV）により撮影された地球 ©JAXA/NHK

## 宇宙科学最前線

# 固体ロケットの研究 世界一から世界一への挑戦

森田泰弘

宇宙輸送工学研究系 教授  
元 M-Vプロジェクトマネージャ

### はじめに

昨年引退したM-Vロケットは、全段固体で惑星探査にも活用できる、世界で唯一かつ最高性能の固体ロケットシステムです。各サブシステムの設計には我が国独自の固体ロケット研究50年の叢智がちりばめられていて、ロケット全体は光り輝く技術の結晶といえます。

一方で、M-Vロケットは、性能に特化して最適化したためにコストが高いこと、加えて少ない開発費を機体の開発に優先的に投入したため組立・点検などの運用や地上系のコンセプトが昔のまま、という弱みがありました。内之浦での打上げ準備には多くの人手と日数がかかり、結果として、半年より短い間隔で打上げを

行うことは物理的に困難な状況でした。これでは、液体ロケットに比べて打上げが簡単という固体ロケット本来の真価を十分に発揮していたとはいえません。

他方、このようなロケット側の状況に対して、サイエンスの側でも新たなうねりが起こっています。これまでM-V級の科学衛星により世界をリードする観測成果が続々と得られてきたわけですが、衛星の大きさ故にコストと開発期間がかかり、打上げの機会は限られた頻度にとどまっています。小型でもいいからもっと高頻度に衛星を打ち上げたい。そこで、大型のミッションが今後も必要なことはもちろんですが、これからは低コストで機動性の高い小型衛星ミッションもどんどん推進していこう、というのがサイ



図1 シンプルな射点設備と次期固体ロケット(想像図)

エンスの新たな方針です。

このようなことを背景にして、次期固体ロケットで目指すのは、単に高性能というだけでなく、低コストで運用性のよい、つまり新しい時代のロケットシステムです(図1)。

### ロケットシステムの最適化——高性能と低コストの両立

M-Vロケットの後継機として、そして、次世代のロケットとして、次期固体ロケットには誇れる点がいくつかあります。最初にお話ししたいのは、ロケットシステムの最適化という観点です。M-V

では性能に特化してロケットを最適化しましたが、次期固体ロケットでは性能とコストという二つの視点からロケット全体を最適化しようと考えています。もちろん、これは容易なことではありません。一般に性能とコストは相反する要求であり、両者を同時に最適化することはできないからです。しかし、並び立たないものを並び立たせるのがシステム工学の真髄であって、同じような例題はどこにでも見ることができます。

例えば、自動車の制御には「直進性」と「操縦性」という大切な特性があって、これは基本的には相いれない性質のもので(直進性がよいと向きは変えにくいという仕組み)。しかし、速度という座標から眺めてみると、直進性が要求される速度の領域と操縦性が要求されるそれとが異なることに気がきます。直進性とは向きの安定性で、比較的速い速度で要求されます。一方、操縦性は自動車の向きの変えやすさであって、より遅い速度で要求されます。直進性のよい車は高速道路を走っていても楽ですが、F1

ドライバーでもない限り高速走行でハンドルさばきを自慢する人はいません。ですから、高速では直進性を優先、低速では操縦性を優先というように制御の特性を速度の関数として設計してやれば、両者を同時に満足させることができるというわけです。ロケットの制御も同じで、安定性と応答性という相いれない要求を同時に満足させています(詳しくは『ISASニュース』1997年4月号「ロケットの制御」参照)。

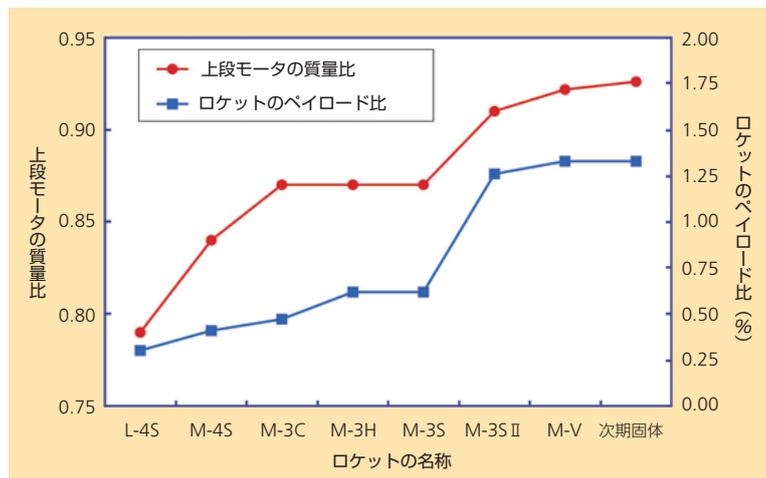
次期固体ロケットでは、能力感度(軌道投入できる衛星の質量に対する影響度)という概念を導入して、性能とコストの両立を図ります。つまり、能力感度の低いところは大胆に低コスト化、逆に感度の高いところは性能の向上に注力しようというわけです。例えば、推進薬量が大きいためにコストがかさむ一方で打上げ能力に対する感度の低い第1段モータ(第1段ロケットのこと)には、低コストのSRB-Aを流用。一方、相対的にコストは低いが能力感度の高い上段モータ(第2段と第3段ロケット)は、M-Vをベースに新規設計して、M-Vよりもさらに高性能化を図ろうという構想です。具体的には、モータケースの軽量化や推進薬充填効率の向上などを総合的に検討しています。

ちなみに、補助ブースタとして設計されたSRB-Aは、第1段モータとして使うには推力が小さく推進薬の量も少ないので、その分損をしまいます。そこで、次期固体ロケットでは、第1段に非力なSRB-Aを使いながらも衛星打上げ能力が最大になるように、第2段と第3段のパワー配分を最適化しています。これは最適ステージングといって、ロケット工学では最も大切な概念です。

さて、次期固体ロケットの性能はいかに。図2は、軌道投入能力に最も感度の高い第3段(次期固体ロケットでは第2段)モータの質量比と、ロケットのペイロード比の推移を示しています。モータの質量比とは、モータの質量に対する推進薬の質量の比で、モータの効率を表します。ロケットのペイロード比とは、ロケット全体の質量に対する衛星の質量の割合で、ロケットの輸送効率を表します。どちらも大きい方が、性能が高くなります。ご覧の通り、次期固体ロケットは、M-Vをものごと上段モータの卓越した質量比に加えて、世界最高レベルとうたわれたM-Vと同等の高いペイロード比も実現していることが分かるでしょう。

このように、上段ロケットのさらなる高性能化とロケット全体の最適ステージングによって、次期固体ロケットは高性能と低コストの両立を

図2 上段モータの質量比とロケットのペイロード比



果たし、M-Vレベルの高性能を保持しながら大幅なコストダウンを達成しているのです。これこそロケット工学の醍醐味で、私たちも喜びるところです。なお、次期固体ロケットの次の段階に向けて、M-V以上の打上げ能力を得るべくSRB-Aの改良、すなわち、推力増大と推進薬増量も視野に入れて検討を行っていることを付け加えておきます。

## 打上げシステムの革新 ——次世代技術の開拓

もう一つ特筆すべきは、打上げシステムの次世代化、すなわち小型衛星を高頻度にバンバン打てるような仕組みの構築です。そのために、次期固体ロケットでは組立や点検などの運用を効率化し、あわせて地上の点検装置や設備をコンパクトにして、打上げの準備に要する日数や人手を最適化する計画です。運用が簡単になるようにロケットの構造を新規設計しておくのはもちろんですが、鍵を握っているのはアビオニクス(搭載電気系)の改革です。

次期固体ロケットでは、搭載系を高速のシリアルバスでつないで情報ネットワーク化するとともに、インテリジェント化して、打上げ前の面倒な点検作業をロケットが自律的にこなすようにしようという構想です。自律点検という大げさなように聞こえますが、ほかの産業では特別なものではなく、例えば自動車のエアバッグの自動点検システムを考えると分かりやすいでしょう。エアバッグは衝撃を受けると小さな火薬が発動してガスをつくって膨らむという仕組みで、まさにロケットの点火系と同じものが私たちの車に乗っています。その点検をいつやっているかという、製造工場で済ましているのではなく、皆さんがエンジンをかけようとするたびに自動で点検を行って異常がなければ初めてエンジンがかかる、というシステムになっているのです。ロケットの点火系の点検は高度な安全性が求められるために、点検用のケーブルを一つ差すだけでも多大な手間と時間がかかります。それがこれからは遠隔で、しかも瞬時に終わってしまうというわけです。

しかも、点火系の点検だけでなくほかの搭載系の点検もロケットが自律的に行ってくれるので、これまで管制室を埋め尽くしていた多種多様な点検装置が不要になり、ロケットの管制は、極端にいうとノートパソコン1台で済むくらい簡単なものになってしまいます(図3)。なお、点検の自由度を拡大するために、機体のネットワーク機能を活用して、搭載系の内部を詳



図3 次世代のロケット管制のコンセプト

細にマニュアル点検できるような仕組みの構築も考えています。以前、私たちは移動できるくらいコンパクトなロケット管制を目指していたと言っていました。現在では当初の目標をはるかに上回り、もはやロケットの管制は小脇に抱えられるくらいコンパクトなものになりそうな勢いです。これを私たちはモバイル管制と呼んでいます。この夢のような打上げシステムは、固体、液体にかかわらず、次世代のロケット技術の標準になるであろうと予想していて、輸送系の分野においても私たちが世界最高レベルを維持するために絶対に不可欠なものです。

ロケットの打上げをもっと簡単に日常的なものにしたい。未来のロケットは、きっとサンダーバードのように毎週毎週飛んでいけるようなシステムになっていることでしょう。次期固体ロケットは、そうした未来のロケットへの大切な第一歩なのです。

## まとめ

最後のM-Vロケットが太陽観測衛星「ひので」を打ち上げてからはや1年余がたち、その間の研究の進捗により、次期固体ロケットのコンセプトはかなりはっきりとしてきました。私たちが目指すのは、M-Vロケットに比肩する高性能とコストダウン、そして次世代を切り拓く打上げシステムの革新です。もちろん、ユーザにとっての使いやすさを極めることはいまでもありません。次期固体ロケットでは、固体ロケット固有の厳しいペイロード環境の緩和を重点課題の一つとして研究を進めるとともに、軌道投入精度の向上などのために小型の液体エンジンを搭載した速度調整ステージの導入をも視野に入れていきます。

こうして、我が国独自の固体ロケット研究の歴史の歯車は、これまでよりもいっそう力強く動き出すこととなります。世界一のM-Vロケットの後継機にふさわしい、申し分のないロケット開発になるでしょう。(もりた・やすひろ)

## 月周回衛星「かぐや (SELENE)」 打上げ成功

2007年9月14日10時31分01秒に、月周回衛星「かぐや」を搭載したH-II Aロケット13号機が、種子島宇宙センターから打ち上げられました。打上げは、当初13日に予定されていましたが、悪天候のため、14日に延期になっていました。14日も秋雨前線と台風のため天候に不安がありました。しかし、打上げ1時間前に最終的な氷結層(雷の可能性のある雲の層)の有無を飛行機により確認するという条件付きながら、打上げ準備のGOが判断され、ロケット機体の射点への移動、燃料充填、地上設備の準備などが着々と進められました。そして、関係者の祈りが通じたのか、晴れ間が広がる中、予定通りの時間にリフトオフとなったのです。写真は、打上げの瞬間です。青空に向かって飛翔するH-II Aロケット13号機の勇姿がご覧いただけます。なお、今回は初めての三菱重工業(株)による打上げであり、三菱重工業とJAXAが協力して成功裏に「かぐや」を宇宙に運ぶことができました。

打上げ約45分34秒後にH-II Aロケットから分離された後、「かぐや」は太陽電池パドル、ハイゲインアンテナの展開、3軸姿勢制御確立などの衛星として基本的な機能を確保するための作業を終え、順調に飛行を続けています。「かぐや」は、地球を大きく回る長楕円軌道を2周半した後、月のまわりを回る軌道に入ります。それに向けて、マヌーバといわれる軌道制御のために衛星のエンジン(スラスター)を噴射しました。そして10月4日に無事、「かぐや」は月軌道へ投入されました。

この間に「かぐや」は、地球から11万kmの位置で、搭載したNHKが開発したハイビジョンカメラ(HDTV)によって“上弦の地球”の見事な動画を撮影しました。これほど遠い宇宙からハイビジョン撮影が行われたのは、世界で初めてのことです。表紙は、HDTV動画を静止画像として切り出したものです。皆さんも新聞などですでにご覧いただいたものと思いま

す。ハイビジョンならではの鮮明な輪郭の青い地球の中に、昼間のアメリカ大陸を見ることができます。

今後は、さらに月周回の高度を下げていき、途中で子衛星(リレー衛星およびVRAD衛星)を分離した後、この『ISASニュース』が発刊される10月末には高度100kmの円軌道に入ります。定常観測軌道にたどり着いた「かぐや」は、月レーダサウンダー(LRS)、月磁場観測装置(LMAG)、およびプラズマイメジャ(UPI)といった観測装置のアンテナ伸展などの作業を終了させるなど、衛星システムおよび観測装置の機能確認(初期チェックアウト)を1ヶ月半かけて実施します。そして、この初期チェックアウト後、定常観測に移行します。

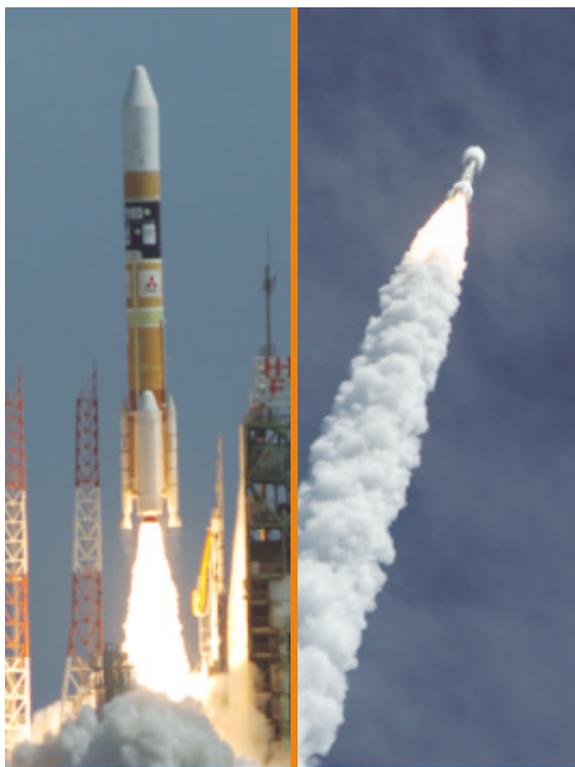
表紙を飾っているもう1枚の写真は、種子島宇宙センターで撮影された衛星本体の外観です。「かぐや」は、約3トンというマイクロバス程度の大きさで、15の観測を同時に実施する日本初の本格的な月探査ミッションです。この「かぐや」は、日本を中心にして300人を超える研究者と、同じくらいの人数の技術者が協力して実施している大規模なプロジェクトです。

打上げ後の記者会見で滝澤悦貞プロジェクトマネージャが言った「衛星は打ち上がったからが本番なので、しっかり今後の作業をこなしていきたい。「かぐや」の

データは優れたもので、日本だけでなく世界の科学者が待ち望んでいる。さらには今後の月探査に使われていくことになる。きちんとしたデータを出していけるようにしたい」という目標に向けて、まずは高度100kmの円軌道投入までの運用と初期チェックアウトを、プロジェクトメンバーと機器チームが一丸となって確実に行っていきます。

観測機器の初画像や現在位置など、「かぐや」の最新情報を、ホームページなどで広く提供していく予定です。今後も引き続き「かぐや」への応援をよろしくお願い致します。

(祖父江真一)



月周回衛星「かぐや」の打上げ。2007年9月14日。  
(写真提供：三菱重工業株式会社)

## 打上げ1年を迎えた「ひので」

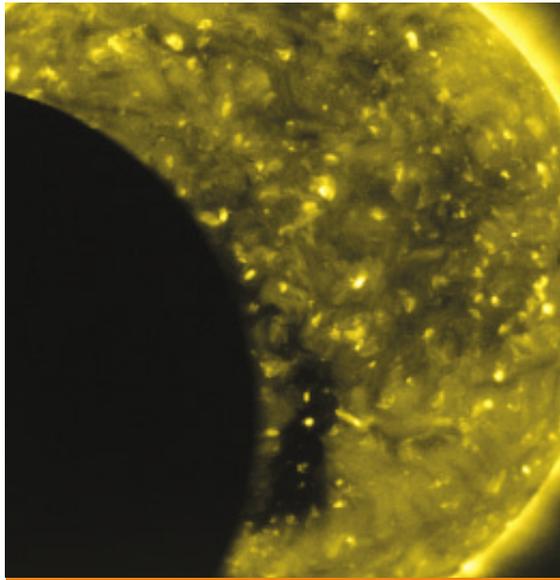
9月23日、太陽観測衛星「ひので」は打上げから1年を迎えました。この日は秋分の日なので、「ひので」の誕生日はだいたい祝日になります。打上げの1ヶ月以上前から、ほとんど内之浦に入り浸り。打ち上げてからも1ヶ月ほどは衛星の軌道調整や姿勢制御系の試験が続き、その後ようやく観測機器の立ち上げにこぎ着けた慌ただしくも充実した日々から、もう1年がたちました。

その間、打上げ後最初の日陰期間を経験しました。「ひので」は地球の昼と夜

の境界を飛ぶ太陽同期極軌道を取り、1年のうち9ヶ月間は衛星が地球の裏側にまったく入らない全日照の条件で観測を行えますが、夏至を挟んだ3ヶ月は、軌道1周回で最大20分程度、夜が発生します。この期間は、特に太陽を向いた面の昼夜の温度差が大きくなりますが、幸い衛星は健康そのもので日陰期間を乗り切りました。来年の5月まで、また夜に邪魔されずに太陽を連続して観測できます。

「ひので」は世界中の太陽および関連分野のコミュニティから観測提案を常時受け付けていて、運用はそれらの観測提案を取り入れつつ進めています。観測提案には、地上の観測所やほかの太陽観測衛星との共同観測も多く、引きも切らず申し込みがあります。「ひので」には、通常の運用当番以外に、3台の望遠鏡装置(可視光磁場望遠鏡[SOT]、X線望遠鏡[XRT]、EUV撮像分光装置[EIS])のそれぞれにChief Observer(CO)と呼ばれる観測運用当番がいて、日々の望遠鏡の観測計画を立案しています。COは観測提案に沿って計画を立てる一方、提案期間の合間や、観測提案が特にない期間など、自分の裁量で観測を組み立てることができます。もちろん、自分が観測提案者となり観測を行うこともできます。このCOには、「ひので」コアメンバーだけでなく、国内外の太陽研究者も多数参加しており、1週間を単位に国内・国外のCOが交代しながら望遠鏡の運用に当たっています。

「ひので」のデータは、今年の5月27日に完全公開され



2007年9月に「ひので」が観測した日食のX線画像。日食を利用して月の横に見えるコロナホールの温度を測定(露光時間が16秒と長いので、月の縁はぼやけて見えている)。

ました。「ひので」は内之浦以外に、ESAのサポートにより北極圏のスバルバードでも観測データのダウンリンクを行っています。これら観測データは相模原に到着後、解析を行いやすいFITS形式にリフォーマットされ次第、世界各地のWebサーバーからダウンロード可能となっています。日本では、宇宙研PLAINセンターのDARTSシステム(<http://darts.isas.jaxa.jp/>)からデータを取得できます。

打上げから1年、さまざまな観測成果も出てきました。個別の内容は省略し

ますが、現在、日本天文学会の『欧文研究報告』に40編を超える論文が「初期成果特集号」として出版予定であるのに加え、ほかの学術誌に出版予定の論文も多数あります。また、これまでに「ひので」をテーマとした国際会議が国内外で各1回、「ひので」特別セッションの設けられた国際会議(海外)が2回開催されています。小規模なものを含めると、もっとあるでしょう。ヨーロッパは伝統的に可視光での太陽観測や、それに関連した理論・シミュレーションの分野が強く、SOTをはじめ「ひので」には大きな関心が持たれています。今年の11月にはヨーロッパの太陽コミュニティで、「ひので」データに習熟するための解析ワークショップ(於フランス)も企画されています。

「ひので」による成果から、例えば太陽風などの太陽圏研究分野や、MHD乱流などの基礎物理分野など、周囲の分野との有機的なつながりの芽が出始めています。打上げ1年を越え、これらの新しい芽を力強い流れに育てていきたいと思えます。

最後に、「ひので」が無事1歳の誕生日を迎えられたのは、JAXA理工学ならびにメーカーの皆さんの、「ひので」開発・試験に当たった長きにわたるご努力のおかげです。厚くお礼申し上げます。また、観測が本格化する矢先に急逝された、故・小杉健郎先生の、プロジェクトマネージャーとして「ひので」実現に当たられたご尽力に謝意を表し、あらためてご冥福をお祈りします。(坂尾太郎)

## 平成19年度 第2次気球実験

平成19年度第2次気球実験は、8月20日から9月15日まで、三陸大気球観測所において実施されました。放球された気球は、B5型1機、B50型1機およびBU30型1機の計3機でした。

B5-140号機は、天体観測実験において天体の日周運動を追尾する汎用の姿勢制御システムを検証するために実施されました。方位センサはすべて正常に動作し、太陽追尾試験を含めた姿勢制御試験を3時間半にわたって行うことができました。今後、結果の解析により、異なる重量、慣性モーメントをもつさまざまな搭載機器に対して適切な制御パラメータが求められると期待されます。

B50-50号機は、観測機を確実に回収可能な地点に降下させる自律制御降下システムの性能試験と、飛翔体用電源として有望な燃料電池のシステム動作実証を行いました。自律制御降下試験については、パイロットパラシュートによる降下中に観測器が大きく振動し、予定より高い高度でメインパラシュートであるパラfoilが展開したため正常な開傘が行われず、所定の制御降下に至りませんでした。燃料電池の動作実証では飛翔体搭載用として簡素化を図ったシステムの飛翔中の特性ならびにシステム内の圧力や温度などを計測しました。気球の飛翔に伴い環境が大きく変動するような状態においても、本燃料電池システムは安定に動作することを確認しました。今後は、本実験により得られたデータを飛翔体搭載用燃料電池システムの開発に反映していく予定です。

BU30-5号機は、地表付近から上部成層圏にかけてのオゾン高度

分布、大気重力波などによるその微細構造、および水晶気圧計の性能実証試験を目的として、電気化学式および光学式オゾンゾンデと水晶気圧計を用いてオゾン、風速、気温、気圧の精密観測を行いました。今回の高度49.8kmの下部中間圏領域までの観測において三つの観測器とも良好に作動し、上部成層圏や下部中間圏のオゾン変動を調べる貴重なデータを得ることができ、地上から下部中間圏までの広い領域での重力波パラメータの導出が可能となりました。さらに水晶気圧計の有効性も確認できました。

なおB80-10号機およびB300-2号機は、上層風の状態が実験実施に適さなかったため、今期の実験を延期し、平成20年度以降に実施することとしました。

B50-50号機においては、気球と観測機の切り離し時に気球部の破断に失敗し、また気球の追尾を失ったために陸上に落下することが懸念されました。結果的には、気球部は三陸沿岸海上に降下し回収されましたが、関係諸機関に多大なご迷惑をお掛けしました。ご迷惑をお掛けした各位におわびするとともに、事態を厳しく受け止めて原因究明を早急に進め、今後の気球実験実施ではより高い安全性を確保すべく改善を図っていく所存です。

平成19年度第2次気球実験をもって、三陸大気球観測所での気球実験は終了となります。昭和46年の開所以来413機の気球を放球することができました。36年の長きにわたって三陸大気球観測所での気球実験にご協力いただいた関係各位に、深く感謝致します。

(吉田哲也)



三陸最後となったBU30-5の放球(写真提供:東海新報社)

## 一番星への助走——PLANET-Cプロトモデル総合試験

太陽と月を除くと全天で最も明るいこの星を、多くの人が一番星として見たことがあるだろう。金星は地球より一つ内側の太陽系惑星で、太陽の西側に位置するときは「明けの明星」、東側では「宵の明星」として見える。およそ9ヶ

月ごとに東から西へまたその逆へと移動し、本稿執筆時点では明けの明星として輝いている。大きさと密度が地球と同じくらいの金星は、地球と似た過程でつくられた双子のような惑星と、多くの人が考えている。金星と地球の環境

は、何が共通していて何が違うのか？そして、それはなぜなのか？地球環境の成り立ちを理解する上で、金星はいわば鏡のような存在である。

打上げが2年半後に迫るPLANET-Cは、この金星を周回しながら、硫酸の雲に覆われた厚い大気の3次元的な運動を描き出し、大気の高速循環の謎などに挑む。このプロジェクトの検討を始めてから7年がたち、今年8月、とうとう観測装置のプロトモデル（試作機）が相模原に勢ぞろいした。「プロトモデル総合試験」が行われたのである。この試験には、赤外から紫外までの異なる波長（色）で撮影する5台のカメラと、姿勢制御装置、衛星の主制御装置DHU、そしてDEという機器が一堂に会して接続された。

DEとは、観測データと衛星各部の状況を記録する機能や、画像の機上処理・圧縮機能を持つ、カメラ群の統合制御装置である。雲や雷や地面などさまざまな映像を統合解析するPLANET-Cの、いわば要となる装置である。金星到着後にカメラ群の動作パターンをさまざまに変えるため、それらをあらかじめDEに記憶させておき、DHUはこれらのうちいずれかの実行をDEに命ずることで「流れるように」カメラを連続動作させる。これがうまくいって初めて、金星大気圏のいろいろな高度での時間変化を動画として映像化することができる。



プロトモデル総合試験の様子（写真撮影：東北大学 山田学氏）

これらの機器はそれぞれ別のところで開発されてきたため、あらかじめ接続方法の取り決めをしているとはいえ、実際にうまく信号をやりとりして動作するかどうかは心もとない。そこで、フライト品の製作に入る前に試作機同士を探索機上と同じ形でつなぎ、金星での運用を模擬して動作させて、設計のバグを洗い出すのである。試験には研究所や大学の機器担当者のほか、実際に機器を製作しているメーカーの皆さんが勢ぞろいして、試験室は大にぎわいとなった。

試作機とはいえ、フライト品と同等の機器がプログラミング通りに実際の運用さながらに動作する様子には、まるで自分たちが金星周回軌道にいるような錯覚を覚えた。ただし、試験ではトラブルが続出し、何度も機器の動作が異常終了したりデータに異常が見られたりした。金星に行ってから異常が発覚しても、もはや我々が手を入れることはできない。トラブルを起こすなら、そしてそれを修正するならば、今のうちである。

これからさまざまな試験が控えており、一刻も立ち止まる猶予はない。今の明けの明星が宵の明星になり、明けの明星になり、もう一度宵の明星になったら打上げである。打上げは待ってくれない、とチーム全体があらためて気を引き締めたのである。（今村 剛，佐藤毅彦）

## 国際宇宙会議（IAC）ハイデラバード大会終わる

国際宇宙航行連盟（IAF）、国際宇宙工学アカデミー（IAA）、国際宇宙法学会（IISL）の三つの組織が主催する国際宇宙会議（IAC）の第58回大会が、9月24日から28日までの5日間、インドのハイデラバード市の国際会議場で開催された。大会を通したメインテーマは“Touching Humanity: Space for Improving Quality of Life”で、参加者2600人、発表論文数1200編という、世界最大の宇宙シンポジウムにふさわしい規模の大会となり、豊かな成果と感銘を残して終了した。

冒頭の開会式では、インド各地から呼ばれた音楽家とダンサーたちが次から次へと登場して華やかな雰囲気を作り出し、その合間に要人のスピーチが行われた。引き続き行われた宇宙機関長会議には、NASAのGriffin長官、

ESAのDordain長官、FSAのPerminov長官らと並んでJAXAの立川理事長が登壇した。各機関の現状と展望がこいつまんで紹介され、続いて会場とのQ&Aがかなり激しい調子で展開された。

大会は、各分野の専門会議（Technical Sessions）を軸に据え、前後あるいは並行して全体会議（Plenary Sessions）とHighlight Lecturesが配置され、すぐ近くの会場では世界各国・各機関の出展による展示会が開かれた。またニュースバリューの高いトピックスを披露するLate Breaking Newsでは、日本からも9月14日に打ち上げられたばかりの月周回衛星「かぐや」の概要と現状を、ISASの加藤学教授が紹介した。「かぐや」については、事あるごとに人々の口に上り、手を差し伸べながら「おめで

とう」と、多くの研究者の祝福を浴びた。誇らしい限りである。

なお展示会場にはJAXAブースも開設され、「かぐや」や超高速インターネット衛星「WINDS」、小惑星イトカワ、H-II Bロケット、宇宙ステーション補給機HTV、日本実験棟「きぼう」(JEM)の模型やパネル展示が行われ、5日間の会期中、約3500人の来場者を得た。インドでは宇宙への関心が高く、現地の子どもの質問やメディアの取材

も活発だった。なお、主催者による展示ブースの審査が実施され、JAXAブースは最優秀デザイン賞を受賞した。

シンポジウム会場からホテルまでの輸送の不便さはあったものの、インドという国の悠久の歴史やこの国の人々の生活ぶりについて、参加者に強く深い印象を与え続けた大会であった。なお、来年の開催はイギリスのグラスゴー、2009年は韓国の大田、2010年はチェコのプラハである。  
(的川泰宣)

## 東大—JAXA学際理工学20周年記念公開シンポジウム 「宇宙科学と大学」のお知らせ

東京大学と宇宙科学研究所(当時)の間に「学際理工学併任講座」が発足したのは1987年のことでした。2003年10月には宇宙科学研究所が宇宙航空研究開発機構(JAXA)へと統合され、2004年4月には国立大学が法人化されるなど、環境の激変がありました。この併任講座はそうした荒波を越えて、本年めでたく発足20年を迎えました。これを記念して、学際理工学講座の20年を振り返るとともに、激変する現状を見据え、こうした密度の濃い協力を今後とも堅持するため、「宇宙科学と大学」と題した公開シンポジウムを下記の要領で開催することに致しました。

この併任講座は、JAXA宇宙科学研究本部の約30人の理工学研究者が、東大の理学系・工学系の合計8専攻において、東大本務の教員と対等な権利と義務のもとに大

学院教育に参画するという画期的な協定に基づいており、日本の宇宙科学の発展および大学における理工学教育研究の先端化に、大きな成功を収めてきました。JAXA宇宙科学研究本部を中心とする日本の宇宙科学(理学・工学)が、限られた予算と人員で世界の三極の一翼を担っている背景に、「大学共同利用」の理念があることは申すまでもありませんが、学際理工学講座はそうした大学共同利用の精神にのっとり、研究のみならず教育においても緊密な協力関係を実現してきました。この仕組みは今後、10月5日に締結された「JAXA—東京大学包括協定」のもとで堅持され、包括協定に具体的な肉付けを与える重要な一環となると期待されます。

公開シンポジウムでは、JAXAおよび東京大学の関係者に加え、関連する大学、官界、産業界などからも識者をお招きし、多面的に宇宙科学と大学の在り方を論じていただく予定です。質疑応答の時間や、科学衛星ビデオの上映時間も設けますので、これから大学・大学院での研究を目指している学生さんなども、ぜひご出席いただくと幸いです。  
(安部隆士)



**日時:** 2007年11月26日(月) 9:30 ~ 17:20 (9:00開場)  
**場所:** 東京大学本郷キャンパス 安田講堂  
**問い合わせ:** 東京大学大学院理学系研究科・理学部広報担当  
**電話:** 03-5841-7585  
**mail:** kouhou@adm.s.u-tokyo.ac.jp  
詳しくは、<http://www.s.u-tokyo.ac.jp/event/UT-JAXA/>を参照ください。

### 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	PLANET-C 構造モデル試験	
ブラジル		平成19年度日本・ブラジル共同気球実験

# 重力探査から探る月内部構造

「かぐや(SELENE)」は、低い高度で月を周回する主衛星に加えて、高い高度で楕円軌道を周回するリレー衛星とVRAD衛星という二つの小型衛星から構成されています。これら子衛星には、月重力場観測のために2種類のミッション機器が搭載されています。リレー衛星に搭載された測距信号中継器(RSATミッション)と、両子衛星に備えられた相対VLBI用電波源(VRADミッション)です。重力場の観測から月の内部構造を推定し、月の誕生の謎に迫ることが我々の目標です。

## ■RSAT/VRADミッションの観測技術

月惑星探査機は、地上局との測距信号のやりとりを通して軌道が決まります。探査機は測距信号のドップラー効果を用いて測定の精度を高く、月の重力異常によって生じる微妙な速度のゆらぎさえも測定することができます。ただし、探査機が月の裏側に隠れると通信は途絶します。困ったことに、月はいつも同じ側を地球に向けており、地上から裏側を観察することができません。このため、月裏側の重力場はこれまで直接観測されたことがありませんでした。RSATは、裏側上空を周回中の主衛星と地上局の間の測距信号をリレー衛星が中継することで、初めて月裏側重力場の観測を試みるミッションです(図1上)。

VLBI観測は、地球のプレート運動を実証するために開

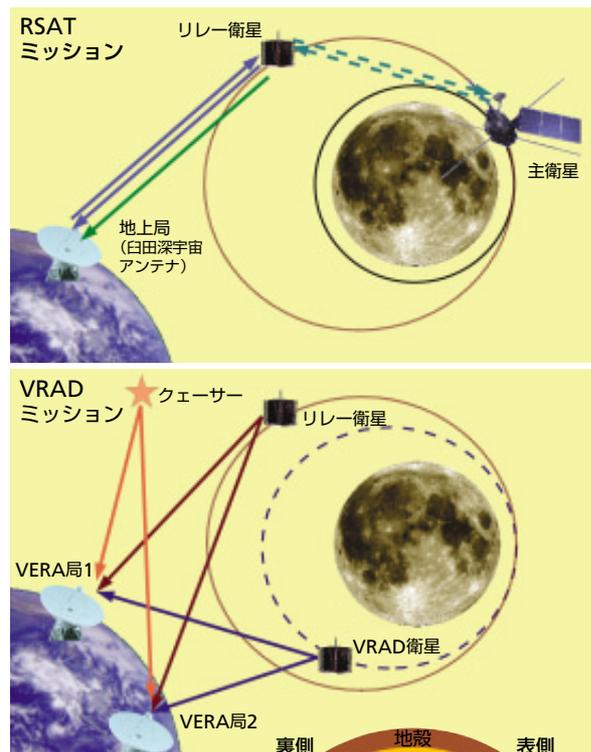
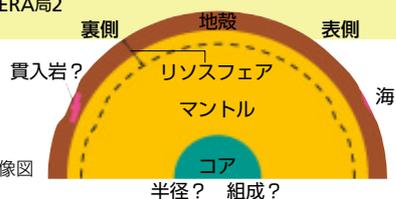


図1 重力観測の概念図

図2 月内部の想像図



発された、とても精密な測地技術です。VRADミッションでは、リレー衛星とVRAD衛星、キューサーの三つのうち二つを同時に相対VLBI観測することで、さらに観測精度を向上させています(図1下)。これにより、長波長の重力異常を、従来よりも1桁高い精度で決定することができます。また、測距信号の観測が地上局と衛星を結ぶ視線上の運動を測るのに対して、VLBI観測は視線と直交する運動に敏感です。したがって、重力の方向が視線と直交する縁辺部(表と裏の境目)での重力異常の解析に威力を発揮することでしょう。

## ■重力場ミッションの科学目標

重力観測の目標は、第一に全球の重力異常図を完成させることです。月の表面は白く明るい「高地」と暗い「海」に分かれています。月の海を埋めている溶岩は高地の地殻よりも密度が高いため、海の上では高地よりも重力が強くなります。月の海は表側に多いのですが、裏側にも重力の強い地域があると考えられています。そのうちのいくつかは、貫入岩として地下深部に噴出した溶岩かもしれません。このように、重力から地殻内部やマンテル上部の構造を推測することができます。

密度の高い溶岩は「重し」として月表面のリソスフェアをたわませます。現在の月のように、冷たくて固いリソスフェアであれば、わずかしかたわみません。しかし、誕生間もないころの熱く薄いリソスフェアは、同程度の荷重に対して大きくたわみます(図2)。したがって、重力(荷重の大きさ)と地形(たわみ具合)をスペクトル解析することで、月の冷却過程についてのヒントを得ることができるでしょう。月は表と裏で地形・地質が大きく異なっており、天体を二分するような要因が誕生直後にあったはずですが、全球の重力異常図が完成することで、二分性の定量的な研究が可能となります。

第二の目標は、月のコアの半径や組成に関する推定を絞り込んでいくことです。内部に鉄がどれだけ含まれているかは、月の起源にかかわる重要な情報です。そのために、VRADミッションでは重力ポテンシャルの二次の展開係数を解析します。その結果を秤動データと組み合わせることで、月の慣性モーメントを高精度で決定することができます。ただし、月の深部についてはまだ十分な観測データがありません。マンテル下部の密度やコアに含まれる軽元素を妥当な値に仮定して、コアの半径を制約します(図2)。

この原稿を執筆中の9月14日にH-IIA13号機が打ち上げられ、「かぐや(SELENE)」は無事に軌道に投入されました。10月9、12日には両子衛星の分離が実施され、水沢、相模原、臼田の各局でかたずをのんで見守っていたミッションチームは成功に沸き返りました。10年を超える準備期間を経て、いよいよ重力観測が始まるという興奮がじわじわと体中を浸していくようです。

(なみき・のりゆき、はなだ・ひでお)

ウルグアイ奮闘記

時計が反対に回る国？

冥王星は惑星ではないと決議された記念すべき(?)国際天文学連合(IAU)の総会(2006年8月, プラハ)の会場で, 2007年夏にはぜひウルグアイに来てほしいという誘いを受けました。ゴンサーロ・タンクレディという教育熱心なウルグアイの天文学者が, 惑星探査データを使った宇宙空間研究委員会(COSPAR)のワークショップを開きたいというのです。「はやぶさ」が探査した小惑星イトカワについて, いろいろな解析結果が出ているときでしたから, 二つ返事で引き受けたのですが……。

その後, しばらくいろいろな仕事に追われてしまい, ほとんど準備できずにウルグアイに向かうことになりました。ただし, 「はやぶさ」が取得した理学データは2007年4月に公開されていたから, 最低限の準備はできています。今回のワークショップは, 南米各国から大学院生や若手研究者

が集まってきて, 彼らに惑星探査のデータを使った講習会を行うというのが目的でした。ですから, 本当は何かチュートリアルが必要だったのですが, そこまで手が回りませんでした。

ウルグアイは, まさに日本と正反対のところに位置し, 日本からはアメリカ経由で行くことになります。マイアミの空港で夜遅い便に乗り継いでウルグアイに向かおうとしたところ, 飛行機は滑走路までは行ったのですが, 機体のトラブルということでそのまま飛ばなくなってしまいました。次の日の便が取れずに, 結局, マイアミで2泊してからウルグアイに行きましたが,

そのような話をしたところ, 別の人は飛行機がブラジル上空でアメリカに引き返してしまったとかで, ワークショップの出だしはスムーズにはいきませんでした。

ですが, そこは南米。気にしません。もともと2週間も期間が取ってあったので, 若干のスケジュールの変更は問題ないのです。合計で7ヶ国30人近くの学生や研究者が集まってきましたが, 非常に陽気な雰囲気です。ワークショップは進んでいきます。もちろん, 作業中は皆さんまじめに取り組んでいます。ちなみに, 国民性が南米で最も陽気で

ないのがウルグアイだとか。

今回のワークショップには, アメリカからはカッシーニ, ディープインパクト, ニア・シューメーカー, ヨーロッパからはマーズエクスプレスの各ミッション関係者が講師陣として参加していました。そして, 日本からは「はやぶさ」です。まずは各ミッションについての講演を聞いた後, 気の合ったメンバーで少人数のグループをつくって, 自分たちが興味を持ったミッションについてデータ解析をします。2グループがイトカワを取り上げてくれました。

解析作業中には, いろいろな質問が飛んできましたが, 中には私の手に負えない質問もあります。そのようなときには, メールで関係者に質問をしたり, 場合によってはインターネットによる通話で直接, 日本や韓国にいる「はやぶさ」関係者と話をしたりしながら作業を進めました。非常に便利な時代になったものです。まあ, 本当は, 事前にきちんと準備をしてくればよかったです。

実質的には3日間くらいの作業で, 一応のデータ処理をして, 最後にはみんなで発表し合いました。発表は基本的には英語で行われましたが, 英語が苦手な場合にはスペイン語でした。南米各国から集まってきた場合, 非常に有利なのがスペイン語でお互い自由に話せるということですね。ブラジルはポルトガル語とはいっても, 互いの意識疎通にはまったく問題ないようです。アジアではそうはいかないので, この点はうらやましいところでは。

さて, 最後に打ち上げのパーティーがありました。メインディッシュはウルグアイの肉料理でしたが, さすが畜産の国だけあっておいしいお肉でした。そのパーティーで今回の講師に記念品が手渡されたのですが, それは反対向きに回る時計でした。文字盤の数字も「反時計回り」に刻まれています。もちろん普通に使われている時計は日本と同じですが, 実は, この「反時計回りの時計」こそが, ウルグアイでは本来の時計の姿なのです。その理由は……, 皆さんへの宿題にしておきましょう。

予定外のマイアミ足止めから始まったウルグアイ出張でしたが, 首都モンテビデオ市内の高校で「はやぶさ」の話をしたり, JICAを訪れたり, 在ウルグアイ大使との会食があったりと, さらに予定外のおもしろい出来事があった10日間でした。

本当は, 現地の人の生活の様子や, 常時持ち歩いて飲んでいる「マテ茶」のお話もしたいのですが, もう誌面がないのでまた別の機会に。

(よしかわ・まこと)



イトカワのデータ解析について発表するウルグアイのチーム(上・左)とブラジルのチーム(上・右)。ウルグアイの高校で, 「はやぶさ」についての講義の後の記念写真(下)

宇宙情報・エネルギー工学研究系准教授

吉川 真



# 台湾の宇宙科学を応援する

## 小山孝一郎

台湾国立中央大学 客員教授

M教授に別件でお願いのメールを送ったら、まさに飛んで火に入る夏の虫(中国語で飛蛾撲火, Fei O Pu Huoだそうです)だったようで、この欄への寄稿依頼のメールを受け取ったのがインド・ハイデラバードでの国際宇宙会議(IAC)開催の約2週間前でした。IAC会期中に何とか書けるだろうと思いき受けましたが、締め切り日の9月28日、インドのホテルのロビーで空港への車を待ちながら呻吟するはめになりました。以下に近況を記して「いも焼酎」欄の拙稿と致します。

定年退職前にお会いした台湾の国立中央大学太空科学研究所の劉正彦教授に招かれ、2月に台湾に来てはや8ヶ月が過ぎようとしています。

この大学はこれまで、データ解析、計算機シミュレーションだけやってきました。最近ロケットによるTMA(トリメチルアルミニウム)実験、プラズマ計測が行われましたが、TMAは米国製、プラズマ計測器は日本製ですし、最近打ち上げられた6機の小型衛星群も米国製です。ほとんどの教官が米国でデータ処理、あるいはコンピュータシミュレーションで学位を取得した研究者ですから、自前の計測器を持ってなかったのは当然のことでしょう。

数年前から、観測ロケットや衛星用ロケットを使った自力による観測を目指し、これまで理論をやってきたHau教授の研究室で、ポスドクの学生を中心に測定器をつくり始めました。そして、大阪市立大学の南繁行先生のご努力で、小さな日本製小型スペースプラズマチャンバーが動き始めました。

私は、この太空科学研究所が台湾の宇宙科学研究の中心になるべきこと、まず手始めに教育用のミニ衛星を計画することを、事あるごとに主張しています。太空科学研究所には、電離圏・磁気圏の研究者

だけで、教授6人、助教授4人、助手1人がいます。これだけの人材を抱えている研究機関は、日本でも多くありません。それに校長(台湾では大学の学長をこう呼びます)、副校長ともに宇宙科学研究者です。機械工学部にはロケットで回収実験を行った経験のある研究者が2人おり、ごく最近、振動試験装置が設置され、クリーンルームも出来上がりました。9月から衛星ミッション関連の新しいクラスが始まります。余談ですが、宇宙へ目を向け始めたのは台湾だけに限りません。ベトナムには最近宇宙関係の研究所ができ、インドネシアは観測ロケット実験の準備を始めています。日本は、中国の有人飛行に大きく引き離され、そしてインドに追い越された今、せめて宇宙科学の分野で、世界の先端を誇り高く走りたいものです。

さて、私自身の研究について。定年退



台湾初のスペースプラズマチャンバー完成式(背後の赤い布に隠れている)。左から副校長の葉教授、中山研究所長、李校長、呉NSPO副主任、葉太空科学研究所長。

職前に始めた電離圏に現れる地震の前兆現象の研究に、ようやく明かりが見えてきたと確信し始めています。もともと台湾は地震の多いところで、劉教授が精力的に研究を行ってきていますが、これで彼に招聘してもらったお返しができそうです。1981年に打ち上げられた「ひのとり」衛星には、日本のユニークな電子温度、密度の測定器が搭載されていました。これらの機器で得られたデータはNASAのデータセンターに格納され、公開されています。データから、緯度10~20度に顕著に現れる電子温度のピークが地震発生の約5日前から減り始め、地震の後5日ぐらいでまた回復することが知られています。時には、このピークがまったく見えなくなることがあります。電離圏が擾乱を受ける領域は、震源を中心に西へ約40度、東に約40度に及びます。この範囲は、地震が大きいとさらに広がる傾向があります。ここまで分かってくると、特に地震に苦しむ国々と一緒になって、何とかして小さな衛星を数個打ち上げたいと思います。地震の電離圏への影響に関する研究は、ようやく芽が出始めようとしている極めて新しい領域なので、勇敢な若手研究者は別として、私のように年取った研究者の格好の研究課題です。

ということで、この拙文は「いも焼酎」欄への寄稿依頼者の期待するところとは程遠いものになったのではないかとおそれます。自ら酒仙の一人と称して、後世に語り継がれるほどの詩才を駆使して酒を語った杜甫の境地には程遠く、今のところ、この研究が酒の代わりです。しかし杯を重ねる人々との交わりがお互いの心を開かせ、それが大事を進める上でとても重要であることは、1988年より約10年間お手伝いした漁業交渉で十分過ぎるほど分かっているつもりです。

(おやま・こういちろう)

# 橋渡しとなって

科学推進部 庶務課 広報係長  
強瀬訓尚

——今年の1月から広報係所属になった  
そうですね。

強瀬：宇宙研の活動を一般の方々に広く  
知っていただくための広報活動をしてい  
ます。報道機関に対して研究成果をプレ  
スリリースする仕事を中心です。

——プレスリリースのご苦労は？

強瀬：最初に手掛けたプレスリリース  
が、4月に発表した「太陽電池用『多結  
晶シリコン基板』の品質評価法の開発に  
ついて」でした。フォトルミネッセンスという物理現象を  
利用した基礎研究の成果です。研究者から「この内容で  
プレスリリース出してね」と資料を渡されたときには、正直  
に言って、頭を抱えましたね。専門用語も多く、あまりに  
も難解で分かりませんでした。何度も研究者と話をして、  
文章も改訂を重ねて、ようやくプレスリリースにたどり着  
きました。

研究者が伝えたいことをいかに要約するかが大事であ  
り、それが難しい。研究者の言葉を一般の人に分かりやす  
く、そして興味をもってもらえるようにしていく過程は、  
翻訳に近いですね。そのプレスリリースは、たくさんの新  
聞で取り上げていただき、企業から研究室への問い合わせ  
も多かったそうです。そういう反響があると、苦労をした  
分、うれしいものです。

——技術開発から科学衛星による科学的な成果まで、扱  
内容は幅広いですね。

強瀬：もともと、宇宙は嫌いではなかったんですよ。中学  
卒業の記念に屈折望遠鏡を買ってもらい、月や土星をよく  
見ていました。科学雑誌を定期購読して、相対性理論を扱  
った本も読みあさりました。

——では、子どものころの夢は天文学者？

強瀬：そう書いたこともありますね。私は高校を出てすぐ  
に就職し、働きながら放送大学で学びました。「自然の理  
解」という専攻で、宇宙地球科学を勉強しているとき、縁  
があって宇宙研に採用されたのです。うれしかったですね。

でも、今となっては大学で学んだ知識はほとんど忘れて  
しまいました。宇宙研で働いて13年になりますが、その大  
半を経理関係の部署で過ごし、そこでは宇宙に関する知識



こわせ・のりひさ。1967年、埼玉県生まれ。1994年から  
宇宙科学研究所の庶務課、主計課、契約課、宇宙科学研  
究本部の財務・マネジメント課などに所属。1995年9月、  
放送大学卒業。2007年1月から現職。

はほとんど必要ありませんでしたから。  
今回の広報係への異動は突然だったので、少し戸惑いつつも、もう一度勉強  
をやり直しているところです。

——広報活動の難しさは？

強瀬：例えば、「水金地火木土天海」という太陽系の惑星  
の並びは、みんなが知っている当たり前のこと、そう思っ  
ていました。でも、誰もが知っているわけではなかった。  
すでに宇宙に興味を持っている人だけでなく、宇宙のこ  
とをまったく知らない人たちに、どのように情報を発信して  
いくべきかは難しいですね。知らない人を基準にしてすべ  
てを説明すれば全員が満足する、というわけではない。  
“落としどころ”は、永遠の課題です。でも、自分がプレ  
スリリースした記事がきっかけで今まで興味がなかった人  
が宇宙に目を向ける、そんな橋渡しができればいいですね。

——子どもたちに対してはどうでしょうか。

強瀬：今年の一般公開では山崎直子 宇宙飛行士の講演があ  
り、たくさん子どもたちが参加して盛況でした。宇宙飛  
行士にあこがれる子どもたちに、ぜひ「なぜ宇宙飛行士に  
なりたいの？」と問い掛けてみたい。きっと、さまざまな  
答えが返ってくることでしょう。それでいいんです。私た  
ちは、知識や常識を子どもたちに教えたがります。でも、  
それは子どもたちの見識を狭めてしまう危険性もある。子  
どもが本来持っている感性をつぶさないためには、何をど  
のように伝えるべきか、よく考えないといけない。伝える  
ことの難しさを痛感しています。

——今でも望遠鏡をのぞくことはありますか？

強瀬：残念ながら、ないですね。実家で、ほこりをかぶっ  
ています。最近では、唯一の趣味は車かな。運転が好きで  
す。運転席は快適だけど、助手席の人はちょっときつい、  
そんな車に乗って、時間さえあればドライブしています。  
車種は、内緒です……（笑）。

ISASニュース No.319 2007.10 ISSN 0285-2861

発行／独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所  
〒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ピビア 制作協力／有限会社フォトンクリエイト

編集後記

「かぐや」が月軌道投入に成功しました。駒場の事務所  
で会議をしていたころから10年が経過しています。私も地  
形カメラの共同研究者の1人であり、観測データが楽しみです。

(橋本樹明)

\*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