



M-Vロケット7号機による「ひので」(SOLAR-B)の打上げ(2006年9月23日午前6時36分)

宇宙科学最前線

雷放電観測の展開
対流圏から超高層大気, そして惑星へ

高橋幸弘

東北大学大学院理学研究科 講師

雷放電観測の新展開

数ある身近な発光現象の中で、雷ほど未解明な課題が多く残っているものはないのではないだろうか。地球上で1秒間に40~100回も起きているといわれる雷放電は、その電荷分離のメカニズムの主因が氷晶とあられの摩擦であるということさえ、明らかになってきたのは比較的最近のことである。実際の絶縁破壊電圧が単純な理論よりも1桁以上小さい理由も、はっきりしていない。積乱雲の激しい気流の真ただ中で起きる放電現象は、その過酷かつ限られた発生領域故に研究者の直接計測を拒み、そのスケール故に室内実験や数値実験によるシミュレーションというアプローチを寄せ付けない側面がある。さらに、限られた地上観測拠点はグローバルな活動の把握に限界をもたらしていた。

ところが、この15年余りの間に、状況は大きく変化してきた。まず1989年、地上の高感度カメラによって偶然、スプライトと呼ばれる中層・超高層大気(高度50~90km)で発光する新たな放電現象が発見される(図1)。これを契機に、それまでの大気電気分野の研究者に加え、1990年代前半には多くの超高層大気・電離圏領域の研究者が、雷放電研究に参入することになる。それまで個別に調べられていた対流圏と電離圏・磁気圏の電気現象が、結び付けて考えられるようになったのである。1995年には雷放電発光専用観測器OTDを搭載した衛星MicroLab 1が、1997年にはTRMM/LISが打ち上げられ、ダイナミックな季節変動を示す雷放電マップを披露し、衝撃を与えた。2004年には、スプライトなど高々度発光現象(TLE: Transient Luminous Event)の観測を目的とした観測器ISUAL

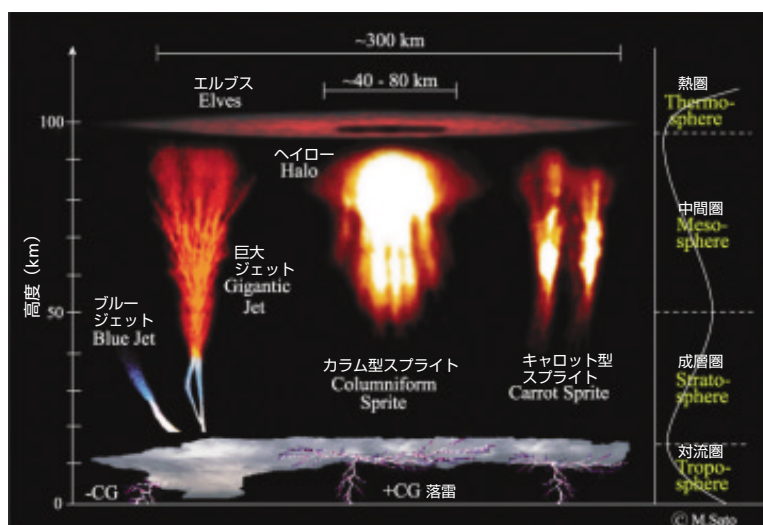


図1 雷雲活動に伴う高々度発光現象 (TLE)

が台湾の衛星FORMOSAT-2に搭載され、観測を開始した。

一方、地上では誘雷実験が成果を挙げ始める。特に注目すべきなのは、落雷に伴うX線・ガンマ線の検出に成功したことである。後に誘雷だけでなく、自然落雷でも確認されるこの事実は、絶縁破壊メカニズムの解明につながる可能性があると考えられる。さらに、雷雲活動に伴うガンマ線は、1994年、人工衛星に搭載された宇宙ガンマ線センサCGRO/BATSEでも確認された。これは当初スプライト現象に直接関連すると予測されたが、2004年のRHESSI衛星が取得した大量のデータによって、大幅なモデルの変更を迫られている。

また、世界各地に電波を用いた落雷の位置決定システムの構築が進み、ローカルな雷放電活動はかなり詳しく知られるようになってきた。米国では、それらのデータを数値予報モデルに同化(アシミュレート)することで、ストームなどシビアウエザーの予報精度を格段に向上させる可能性を証明している。次世代の気象衛星には、雷放電発光検出器が標準装備されるのが世界的な流れとなっている。

こうした数々の観測上の技術革新とそれに伴う新発見によって、雷放電現象の描像とサイエンスの中での位置付けは、従来のものから大きく書き換えられつつある。大気電気学は、電離圏・磁気圏物理学、気象学、ガンマ線物理と融合し、基礎、応用の両面でまさに新しいフェーズを迎えようとしている。

雷放電観測の意義

雷放電データが短期の気象予報に有効であることはすでに述べたが、グローバルな大気中の電流(グローバルサーキット)の理解は、長期的な気候変動にも影響を及ぼしていると考えられる研究者も少なくない。グローバルサーキットモデルの概念は古い、長い間仮説の域を出なかった。最近の雷放電観測技術の発達とTLEの発見は、このモデルの再構築を強く促すかもし

れない。大気電流はイオン・電子の分布を決定する要因だが、下層大気においてイオンはエアロゾルの振る舞いに影響を及ぼすことで、気象・気候までも変調するといわれる。また、雷放電に起因する劇的な温度上昇やイオン化は、大気化学反応を促し、大気組成を変える可能性が高い。まだ誤差の大きな議論だが、NO_xの20~30%は雷放電起源という説もある。グローバルサーキットにおける「発電機」は雷雲とオーロラ(磁気圏・電離圏)電流であり、これらは、どちらも大きな時間・季節変動を伴う。オゾンやNO_xなどに対する人為的な影響を理解するためにも、雷放電活動やオーロラ現象の理解と定量的把握は不可欠と推測される。

筆者らは、台湾衛星に搭載したISUALの一部であるアレイフォトメータの開発・製作を担当し、現在は毎日送られてくるデータの解析にグループを挙げて取り組んでいる。地球大気やエアロゾル・雲による吸収・散乱から解放された宇宙からの光学観測データは、TLE発生の世界分布や、TLE発光領域での電子エネルギー、消費エネルギーに関する定量的情報を提供してくれる。これまでに、想像を上回る高い発生頻度や、陸上と海上など地域や季節におけるバリエーションの複雑さ、そしてエネルギー消費に関する新たな知見などが次々と得られている。今後、下層大気のような大気組成への影響なども明らかにされていくだろう。

さらに、地球ガンマ線の理解は、新現象の相次ぐ発見に沸くTLE研究の業界にあって、今最もホットな話題といつてよい。今後5年くらいの間に、フランス中心の小型衛星計画TARANIS、デンマーク中心のESA/ISSミッションASIMが地球ガンマ線と雷放電の謎の解明に挑戦するが、日本でもそれらに先行する形で大学衛星計画が進行中である。

惑星大気における雷放電研究

地球における研究から、その重要性が示されてきた雷放電活動であるが、翻って惑星探査におけるメリットは何であろうか。実は、雷放電の存在が認められた、あるいは存在の可能性が指摘されている太陽系内の惑星・衛星は少なくない。木星、土星、天王星、海王星は、Voyagerなどの探査機に搭載された光学あるいは電波受信機によって、雷放電の明らかな兆候が確認されている。また、火星、金星、タイタンでも、放電現象の存在が期待されている。こうした惑星・衛星にもグローバルサーキットが存在するならば、エアロゾルや雲物理に影響を及ぼしているはずだと指摘する研究者はいる。また、木星のCH₄、C₂H₄、金星のNO、天王星のCOは雷放電によって生成されているとする説がある。

木星は、地球以外で唯一、雷放電発光の確実な証拠を持つ惑星である。Voyager 1号、2号に続き、Galileo探査機によって、夜間の激しい雷放電発光が撮像されている。1回の放電発光規模は地球の100~

1000倍と推定され、昼間の雲の観測と比較すると、地球と同様、雷放電は発達した積乱雲地域で起きているらしい(図2)。今年の9月にベルリンで開かれた第1回のヨーロッパ惑星科学会議(Europplanet congress)では、Mars Express, Venus Express, Cassini/Huygensの相次ぐ成功に沸くヨーロッパのあふれるばかりの熱気を感じたが、その中には「惑星雷放電」のセッションもあった。Cassiniの観測から、土星の雷放電は巨大白斑付近のみから、しかも地球の100~1000倍という大規模なものだけが発生しているという興味深い報告があった。金星における雷放電の存在の有無は20年以上に及ぶ論争に決着がついていないが、Venus Expressの磁力計は雷起源の可能性が極めて高い変動を記録しており、決定的な光学観測が待たれるという状況である。

日本は、金星探査プロジェクトPLANET-Cで雷放電発光の検出に最適化した雷・大気光カメラLAC(Lightning and Airglow Camera)を搭載し、長年の謎の解明に挑む。地球と違って、風の直接観測ができない、あるいは極めて限られた観測しかできない惑星にあって、雷放電発光・電波放射は対流活動を比較的に忠実に反映する指標として、その価値は非常に高い。

惑星宇宙望遠鏡による惑星大気観測へ

惑星や衛星の大気・プラズマの研究において、その天体のオービターまたはランダーなどによる直接的な探査が最も効果的なことは言うまでもない。一方で、低いリスクで複数の天体について継続的な観測が可能で、地上望遠鏡による観測も重要である。しかし地上での観測は、地球の大気・エアロゾルの影響を強く受け、安定したモニター的な観測がものをいう惑星大気・プラズマ観測にとって、必ずしも満足のいく手段ではない。

もし地球周回軌道に惑星観測専用の宇宙望遠鏡を置くことができれば、たとえ小口径であっても、その威力は絶大である。第一に、天候に左右されず連続モニターが可能になる。回折限界に近い安定した像が得られ、例えば口径30cmでも近紫外から可視にかけては、すばる望遠鏡のベストコンディションに引けを取らない解像度が常時確保できる。第二に、大気の吸収を受けないので、木星オーロラなど紫外域の観測や、惑星大気中で大きな役割を持つ水蒸気などの計測を精度良く行うことができる。第三に、大気散乱がないので、惑星から流出する大気や内惑星の夜面観測で高いコントラストが得られる。

このように、宇宙望遠鏡の観測意義、メリットは非常に大きく、これまでに米国やヨーロッパで独立に複数の提案がなされてきたが、まだ実現には至っていない。筆者らは、オーロラ観測を目的とした紫外線(121nm)から、波長1100nmまでの可視、近赤外をカバーする、

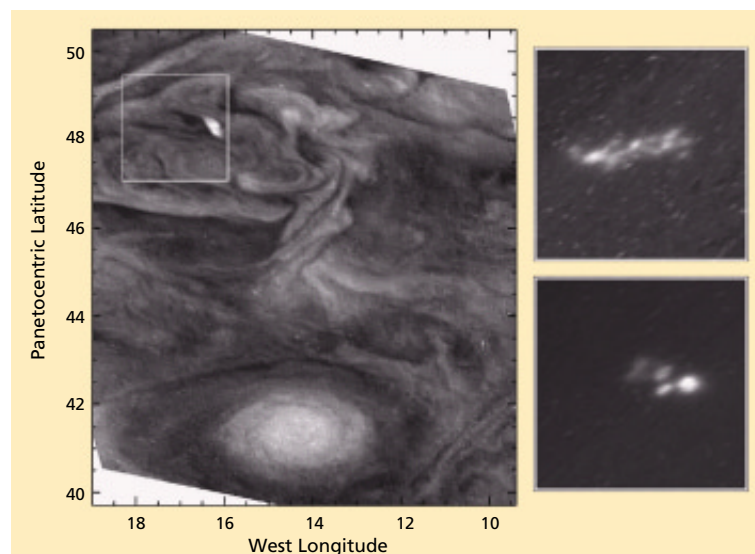


図2 Galileo探査機が撮像した木星の積乱雲(左図の四角枠内)と、同領域での夜間雷画像(右図)(NASAのHPより)

口径30cmの惑星宇宙望遠鏡TOPS(Telescope Observatory for Planets on Small-satellite)を提案している(図3)。既存の最新民生技術の応用によって、400波長以上でのスペクトルイメージングや、形状可変のオカルティングマスク(惑星の明るい昼面を隠し、夜面の淡い光や外気圏大気を撮影できるようにする)などの機能を持つことが特徴である。

TOPSの重要なターゲットの一つが、雷放電発光を含む、木星の雲と大気組成の立体観測である。木星の雷が積乱雲に対応した場所で起きているらしいことは指摘されているが、積乱雲と雷放電活動の同時観測は例がない。宇宙望遠鏡の高解像度と連続性というメリットを生かした、いわば木星の気象衛星と呼べる機能によって、これまで目にしたことのないダイナミックな大気活動の様相が明らかにされると期待される。こうした観測は、金星夜面での雷放電・雲観測でも力を発揮するだろう。

TOPSのような宇宙望遠鏡による観測は、PLANET-C, BepiColombo, Solar Sail, さらには日本とヨーロッパが20年後の実現を目指して検討を開始しているCosmic Vision計画など、世界が進める数々の惑星オービター・プローブ計画に優れた見通しを与え、また、もし同時期に運用ができれば相補的性能を活かした理想的な惑星観測プログラムが実現するだろう。

(たかはし・ゆきひろ)

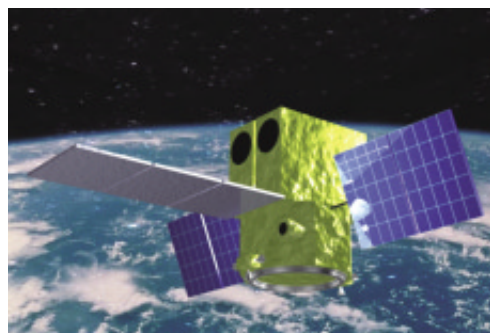


図3 惑星宇宙望遠鏡TOPSの想像図

M-V ロケット7号機の実験成功

固体ロケット新時代の幕開け

M-Vロケット7号機は、平成18年9月23日午前6時36分、予定の日、予定の時刻に狙いすましたようにびたりと打ち上げられ、世界一の太陽観測衛星「ひので」を所定の軌道に投入、その名を永遠に歴史に刻むことになりました。

いろいろなことを試された打上げでした。秋雨前線の影響による天候不順、そして台風や雷の襲来。実験場のあちこちが直接に被害を受けたばかりでなく、商用電力の停電に備えて酷使した自家発電機が悲鳴を上げるなど、内之浦の地上設備は満身創痍の状態でした。しかも、M-V終了という不安定な精神状態。締めくくりは、お決まりのようによってくる発射の瞬間の雨。こうした困難をすべて乗り越え、予定の日にきれいな成功を飾ることができたのは、実験班のチーム一丸となった見事な勝利だったと思います。

M-Vロケットは、全段固体で惑星探査までやり遂げることのできる、過去にも現在にも世界のどこにも例のない史上最高の固体ロケットです。しかも今回のフライトオベでは、前号機から連続して機体系の不具合が1件もなしという奇跡をも超える大記録の達成となり、あらためてM-Vロケットの信頼性の高さを証明する結果となりました。

まさに、M-Vロケットは惜しまれつつ引退することになります。残念に思う人もたくさんいるでしょう。私も一人の宇宙ファンとして、心からそう思います。しかし、これは新しい段階に我々が進むために必要な区切りであって、ペンシルから始まった我が国独自の固体ロケットの研究開発の歴史の中では単なる通過点にすぎません。技術の発展のためには、いつかはM-Vを卒業して次の段階に進まなければならないのです。その時が少しだけ早く来たというだけのことです。新しい固体ロケットの研究は小さな形態でスタートしますが、これはM-Vロケットをさらに良くしようという壮大な計画の最初の一步です。これまで培ってきたMシリーズロケットの研究成果とM-Vロケットの良いところを最大限に活かして、固体ロケットの研究をさらに発展させていくことができと思っています。まさしく、M-Vロケットの終わりは新しい時代の幕開けです。ですから、今回の打上げ



M-Vロケット、最後の勇姿

で我々実験班が目指したのは、これが有終の美ではなく、これから始まる新しい時代への幸先の良いスタートでした。さすが、我が実験班。実験成功というただ一つの目的のために心を一つにして、新たな時代の幕はきれいに切って落とされました。

実験班に心から乾杯。打上げ後ほどなくして、成功を祝う祝勝会が管理棟の大会議室で開かれました。この大きな部屋の壁には、代々の打上げ実験ごとの寄せ書きが掛けられています。一つ一つの寄せ書きは、それぞれの打上げ実験に参加した人たちがさまざまな思いを込めつつ自筆で署名したものです。ラムダロケットで打上げた我が国初の人工衛星「おおすみ」から始まり、今回のM-Vロケット7号

機による「ひので」の成功に至るまで、今やその数は27枚にもなりました。連綿と続く我が国の固体ロケット研究の歴史です。ペンシルロケットを始めた糸川英夫先生から今日の我々まで、技術も知識も夢に向かってひたむきに進む前向きな精神も、すべてこの寄せ書きのように人から人へと受け継がれてきたものです。Mロケットの研究開発では、こうして大切なことはすべて人から人へと直接に受け継がれ、ただ単にハードウェアが進歩してきただけでなく、同時に人も育ててきたわけです。人と物の融和、これこそ世界に誇れるMロケットの文化です。

実験班の皆さん、後方支援により実験を支えてくれた皆さん、そして全国の宇宙ファンの皆さん、実験成功おめでとうございます。人と物の見事な融和が美しい打上げとして実を結んだことを皆で祝いましょう。そして、Mロケット文化の良いところがこれからも受け継がれていくことを皆で願いましょう。

(実験主任 森田泰弘)



固体ロケットの歴史を伝える内之浦の寄せ書き

たいまつは受け継がれた 「ようこう」から「ひので」へ

9月23日午前6時36分、轟音とともにM-Vロケット7号機が飛び立ち、34m管制室には秒を刻む餅原さんの声のみが聞こえている。皆の眼はロケットの飛跡を示すスクリーンにくぎ付けだ。「ロケットは正常に飛翔しております」「第2段の点火、確認しております」のアナウンス。この段階で衛星班にできることは何もない。ノーズフェアリング開頭、第2段の分離、第3段の点火が確認され、正常な飛翔が続いている。しかし、内之浦から追跡できるのはここまでだ。

X+14分(打上げ14分後)、オーストラリアの新GNパース局に衛星が入感した。予定通り、衛星は太陽捕捉姿勢制御を開始している。直後、太陽センサが太陽を視野にとらえ、衛星は太陽円盤の中心に向かってぐんぐんと姿勢を変えていく。X+17分、太陽捕捉完了。電源オンの状態にあるすべての機器の正常動作も確認された。緊張の中にも、一瞬、ほっとした空気が流れる。しかし、まだまだだ。

X+45分。新GNサンチャゴ局に入感。太陽電池パドルが展開状態にあり、発生電力も正常値であることが分かり、思わず「万歳」の声が出てしまった。「打上げが成功したときからが衛星の正念場」「一喜一憂せずに全力を」「無用の発声・私語を慎むこと」(打上げオペレーションについての衛星主任制定の注意事項)を、衛星主任自らが放棄してしまった瞬間である。「ひので」



快調なオペレーションに喜び爆発、打上げ3日後のひとこま

は、このようにまったく危なげなしに誕生し、地球を半周しないうちに親の力を借りずに自給自足の基礎を確立した。

打上げから3週間が過ぎた。「ひので」はこの間、近地点高度を上げ、高度約680kmの太陽同期極軌道へと移された。ほうっておいでも10年間は太陽同期が保たれる理想の軌道だ。姿勢制御系のチェックもほぼ完了し、いよいよ打上げ

後最大の山場である三つの太陽観測望遠鏡の蓋開け、観測開始を迎えようとしている。本稿が皆さんの手元に届くころには、ファーストライトの映像を公開できるかもしれない。まだまだ気は抜けないが、親孝行の息子のことだ。きっと信頼に応えてくれるものと期待している。

さて、私事で恐縮だが、9月5日のフライトオペレーション「全打ち」を間近にした3日の日曜日に、衛星主任が自らの不注意で足を骨折してしまい、実験期間中、森田実験主任をはじめとする多くの関係者に大変な迷惑をかけてしまった。この誌面をお借りして、ご迷惑をかけた皆さまにはおわびを、お世話になった皆さまにはお礼を申し上げる。外国勢からも「西洋では、幸せになりたかったら足の骨を折れということわざがある。きょううまくいく」と励ましてもらった。「衛星名称には“骨折”がいい」との提案を寄せてくださったあなた。そのうちにきっとあなたを探し出し、たっぷりとお礼をさせていただきます。(衛星主任 小杉健郎)

サブペイロード2機打上げ HIT-SATとSSSAT

HIT-SATは、研究者、学生、エンジニアなど北海道内の約20名のボランティアが開発した超小型衛星です。主衛星分離後の6時50分に宇宙空間に放出され、7時42分(日本時間)にHIT-SATからのCW信号(モールス信号によるコールサイン)を受信したという第一報が、フロリダのアマチュア無線家から入りました。15時36分には北海道工業大学の地上局でも、HIT-SATからの強いCW信号を受信しました。HIT-SATからの電波は受信感度が良好で、一般家庭用のアマチュア無線アンテナでも受信できています。

わずか2.7kgの小さな衛星ですが、HIT-SATの成功は北海道新聞の1面のトップ記事に取り上げられ、道民に大きな夢と希望

を提供することができました。現在は、衛星の姿勢制御の基礎データを取得するために実施した実験データの解析中です。

(北海道工業大学 佐鳥 新)

SSSATは、ソーラー電力セイルの機能試験を目的とした超小型衛星です。主衛星分離後の日本時間6時52分30秒にM-Vロケット7号機の第3段から予定通り分離されたことが、サブペイロード撮影専用の搭載カメラ(GPU)により確認されました。

その後、送信系統の不調に見舞われ、テレメトリが取得できない状態に陥ってしまいました。展開動作が実施されたことはほぼ確実のようですが、現在少ない情報の中から、電力セイルとして機能したかどうか、データを解析中です。(津田雄一)

銀河の生い立ちに迫る 大マゼラン星雲の赤外線画像

今年2月に打ち上げられた赤外線天文衛星「あかり」は、全天を観測して宇宙の赤外線地図を作る作業を順調に続けています。「あかり」のデータは天文学の研究にとって重要であるばかりでなく、それから大変美しく印象的な天体の画像を作ることでもあります。これまでに2回、『ISASニュース』で「あかり」による天体の赤外線画像をご紹介してきました。今回はその3回目、「大マゼラン星雲」の赤外線画像です。

大マゼラン星雲は日本からは見えませんが、南半球に行くくと空にぼうっと広がって光っているのを見ることが出来ます。広がった天体は、星のように点にしか見えない天体と区別して、「星雲」と呼ばれます。その中には、私たちの天の川銀河の中にある星間ガスや塵の雲が光っているものもありますが、天の川銀河の外にある、天の川銀河と同じような恒星の集団、つまり「銀河」も含まれます。大マゼラン星雲は、銀河の一つです。天の川銀河のすぐ隣、太陽系から16万光年の距離にあります。天の川銀河よりはだいぶ小さく、10分の1程度の約100億個の恒星が集まってできています。

図1に示したのが「あかり」による大マゼラン星雲の遠赤外線画像です。図3の可視光の画像と見比べると、両者はまったく違っています。可視光の画像では大マゼラン星雲の中の恒星が写っており、恒星は画面下方に集団を作っています。それに対して赤外線画像では、画面全体にわたって明るく輝く領域が広がっています。赤外線画像は、星間ガスの中に含まれる宇宙塵（固体の微粒子）が、その星間ガスの雲の中で誕生しつつある恒星の光で暖められて出

す赤外線をとらえています。従ってこの赤外線画像は、現在恒星を生み出している星間ガスが、この銀河全域に広がっていることを示しています。しかも、恒星を作る活動は大変活発です。この銀河は、恒星を生み出す活動の真っ最中なのです。このような大規模な恒星の生成活動は、「スターバースト現象」と呼ばれます。スターバースト現象は、大マゼラン星雲だけでなく、多くの銀河の成長過程で起きたと考えられています。「あかり」の画像を使って大マゼラン星雲のスターバースト現象がどのように起きているかを調べることで、多くの銀河がどのように恒星を生み出してきたか、その過程に迫ることができるのです。

図2は、全天観測に加えて行われた、大マゼラン星雲の一部の精密観測の結果です（図3の可視光画像中に、観測した領域を示す）。この画像には、雲のように見える星間ガスだけでなく、大マゼラン星雲中の恒星が数多くの点として写っています。赤外線では検出される恒星の多くは、その生涯の末期にあり半径が太陽の100倍にも膨らんだ赤い星、すなわち赤色巨星です。太陽と同程度の質量の星は、この赤色巨星の時代にガスを大量に噴き出し、星間空間にガスを戻します。これらのガスは、やがて次の世代の恒星を作る原料となります。恒星から星間空間に戻されるガスには、恒星の中で核融合反応によって新しく作られた元素も混じっています。銀河の中で恒星の誕生と死が繰り返されることにより、最初はほとんど水素とヘリウムしかなかった銀河の中に、それ以外のもっと重い元素が次第に増えていきます。「あかり」のデータを使うと、銀河の成長にとまなうこのような過程も調べることができるのです。

（「あかり」プロジェクト 村上 浩）

図1 「あかり」による大マゼラン星雲の遠赤外線画像
（観測波長60 μm 、90 μm 、および140 μm の画像から疑似カラー合成）

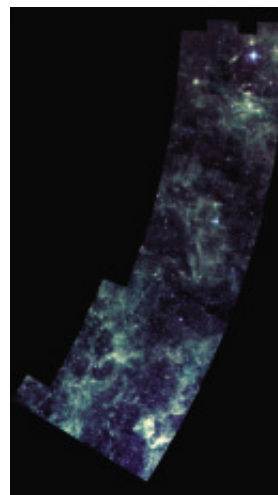
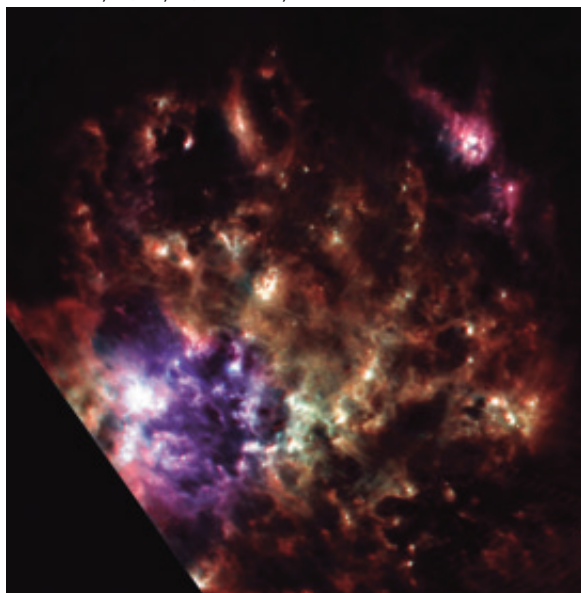


図2 「あかり」による大マゼラン星雲の一部の近・中間赤外線画像
（観測波長3 μm 、7 μm 、および11 μm の画像から疑似カラー合成）

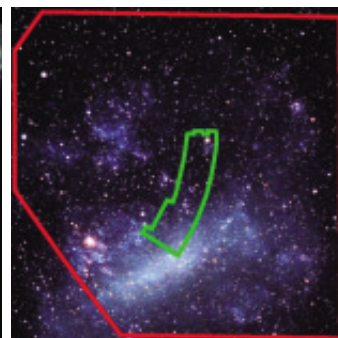


図3 大マゼラン星雲の可視光画像（撮影：神谷元則氏）
赤枠が遠赤外線画像（図1）の範囲、緑枠が近・中間赤外線画像（図2）の範囲を示す。

平成18年度第2次気球実験

平成18年度第2次気球実験は、8月17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。この期間にB200型2機、B100型、B15型、B5型、BVT60型をそれぞれ1機の計6機の気球を放球しました。

B200-7号機は、宇宙科学研究本部が推進しているソーラー電力セイルミッションに用いる薄膜宇宙構造物である、ソーラーセイルの展開試験を目的に放球されました。本実験で世界最大級の差し渡し20mの大型膜面を準静的に展開することに初めて成功しました(図1)。展開状況は搭載カメラに記録され、展開機構の動作状況のデータも取得することができました。本実験は、今後のソーラー電力セイルと宇宙機の実用化のための貴重な資料となり、今後の展開機構の改良や実機搭載のための機器開発を進める上での大きな成果を得ることができました。

B200-8号機は、情報通信研究機構が中心になって開発したヘテロダイン超伝導受信機システムを用いて、HO₂から放射されるサブミリ波を観測することを目的として放球されました。HO₂分子はオゾン破壊分子と考えられており、HO₂の日変化を観測することでオゾン破壊の解明と将来予測の研究に役立てることを目指した実験でした。HO₂やオゾンなどの電波スペクトルデータの取得に成功し、大気化学分野に有用な観測を行うことができました。

B100-16号機は、京都大学が中心になって開発したガンマ線の到来方向を1光子ごとに小さな円弧上に特定できる、ガンマ線カメラの小型プロトタイプの性能試験を目的に放球されました。開発したガンマ線カメラシステムはすべて正常に動作し、大気ガンマ線の観測に成功しました。今後はカメラの大型化を図り、超新星残骸、巨大ブラックホールや宇宙に広がるガンマ線の観測を行い、星の進化や宇宙初期の姿を明らかにしていくことが計画されています。

B15-88号機は、宇宙科学研究本部大気球観測センターが進めているスーパープレッシャー気球の開発の一環として、容積2100m³の試験用スーパープレッシャー気球の、低温である成層圏環境下における飛翔性能試験を目的に放球されました。実験は、105m³のヘリウムガスが封入された試験用スーパープレッシャー気球を、主気球に吊り下げるタンデム放球法で行いました。試験気球は-50℃の環境下において、外気圧との圧力差1230パスカルまでの耐圧性があることが実証されました(図2)。この圧力差は典型的なスーパープレッシャー気球の圧力差の6倍以上のもので、安全率6倍以上が確保できたことを意味し、スーパープレッシャー気球の設計および製作方法を確立することができました。本実験によりモデル気球による開発試験を終

了し、今後は実用化に向けた大型スーパープレッシャー気球の開発を進めていきます。

B5-134号機は、東北大学が中心になって、スプライトやエルブスと呼ばれる、高度100kmくらいの領域で発生する雷放電に伴う強い発光現象(TLE)を観測する目的で放球されました。飛翔時間中に400個以上の雷放電発光現象をビデオ撮像、VLF電波および2色分光計の同時観測に成功しました。気球によるスプライト観測はこれまでに米国などで試みられていますが、TLE現象のビデオ画像の取得は今回、世界で初めて成功したものです。この観測により、雲と地上間の放電と雲間放電の電流発達過程が解明され、スプライトやエルブスとの関係を明らかにできるものと期待されています。

BVT60-2号機は、宇宙科学研究本部大気球観測センターが開発した厚さが2.8μmという世界で最も薄い気球用フィルムを用いた、容積6万m³の気球の飛翔性能試験を目的として放球されました。本気球は高度15.6kmに達したところで突然降下を始め、世界最高高度53.0kmを更新する目標を達成することができませんでした。今回の不具合の原因解明に向け、今後詳細な解析を行い、次回に向けた対応を検討する予定です。(山上隆正)



図1 差し渡し20mの正方形のソーラーセイル膜展開の様子

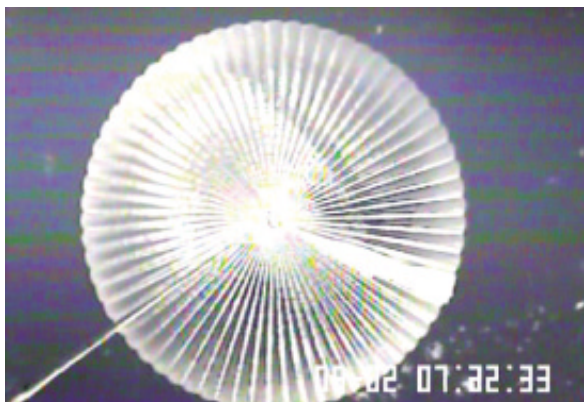


図2 圧力差1230パスカルまで膨張したスーパープレッシャー気球の様子

PLANET-Cの基本設計確認会および宇宙開発委員会評価

金星探査プロジェクトPLANET-Cは、2001年にミッション提案され、2004年にJAXAのプロジェクトとして正式にスタートしました。PLANET-Cは金星周回軌道上から、金星の大気層の上から下までをさまざまな波長の光を使って見透かして、大気の循環の仕組み、雲の生成消滅、雷放電、火山活動などを調べます。

惑星探査機の開発では、我々にはすでに火星探査機「のぞみ」や小惑星探査機「はやぶさ」の経験がありますが、PLANET-Cで初めて遭遇する課題もありました。例えば、金星軌道では太陽光により探査機が強く熱せられますが、赤外線カメラの動作のためには探査機内部を涼しく保つ必要があり、排熱の設計と探査機全体の省電力化に苦労しました。軽量化と熱対策のために、従来のパラボラアンテナに代わって平面薄型アンテナを採用しました。大量の画像データを送るために、探査機上での一次データ処理と画像圧縮の機能も工夫しました。

こうして構造系、通信系、推進系、電気系、観測機器など各サブシステムの基本設計を行い、さらに新規開発となる一部機器の試作を行いました。そして、これらの結果をFM(フライトモデル)に生

かすために2006年7月から内外の専門家を交えた点検を行い、8月29日に基本設計確認会を開催しました。その結果、十分な検討が行われており、FMに向けた開発を開始する段階にあることが確認されました。チームの2年間の努力が見事に結実したことを、プロジェクトマネージャーとして感謝しています。

8月31日には文部科学省・宇宙開発委員会推進部会において開発移行に向けた評価を受け、FM開発への移行が妥当であるとの評価が得られました。この評価プロセスは、文部科学省の皆さん、経営企画部の皆さん、また宇宙科学研究本部の科学推進部の献身的なバックアップがなければ、達成できなかったものです。ここに感謝の意を表します。

PLANET-Cは当初M-Vロケットで打ち上げられる予定でしたが、今夏H-II Aに変更されました。しかし、基本設計に変更はありません。一連の審査を経て、PLANET-Cはいよいよ2010年夏の打上げに向けて本格的に動き始めました。みんなの努力が実を結ぶ日を目指して、これからも心一つにして頑張りたいと思います。

(中村正人)

水星探査計画BepiColombo第3回サイエンスワーキングチーム会議報告

BepiColomboは、JAXA・ESA国際共同の水星探査計画である。打上げを6年後に控え、第3回サイエンスワーキングチーム(SWT)会議が9月26～28日にイタリア・パドヴァで開催された。

パドヴァは大学の町である。柱廊が続く町並みは、落ち着いた美しい。今回のSWTは、ヨーロッパの古い町であれば必ずある聖堂の前の広場、それに面する旧領主の館の大変美しい部屋で開催された。日本・欧州各国から総勢70名ほどが参加。大理石の胸像が取り囲み、イエスの壁画が見下ろす部屋にPCを持ち込み、13年後に開始される水星惑星圏と内部太陽圏を解明する探査計画が話し合われた。

会議は、全体の進捗状況、ESAが担当する水星表面探査機(MPO)とJAXAが担当する水星磁気圏探査機(MMO)二つの探査機の開発状況、各観測機器の開発状況と進ん

だ。「6年後の打上げを理由にのんびりせず、問題を早めに洗い出せ」という総責任者からの提起に応じるように、機器開発や予算獲得(ESA惑星探査計画では、機器開発費はESAではなく各国政府が支出する)は進む一方で、大きな問題の報告はなく、「順調」と総括されよう。

その後、サイエンスの話題紹介を挟みながら、取得データのごく一部しか地球へ送信できない逆境の中で、素晴らしいサイエンスを成し遂げる観測計画をいかに構築すべきか、という議論へと移った。この議論は今後2年かけるべきものであるが、いよいよ科学ミッションとしての構築が具体的に始まったという印象を強く与えた。

最後にNASAの水星探査計画Messengerとの共同研究という話題となったが、「到着はMessengerが先、観測機器の充実ぶりはBepiColombo」という事実から、極めて自然に2ステップ作戦であると科学者は納得し、かつ共同研究に対して積極的である。

パドヴァでは世界初の解剖学講義があり、近代科学の端緒が開かれた。水星を解剖し日欧共同惑星探査の端緒となるBepiColombo計画の本格始動を告げる会議がこの地で開催されたのは、欧州勢のウイットなのだろうか。

(藤本正樹)



講堂の雰囲気を楽しみながら水星探査の魅力について講演を行った。

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
筑波	SELENE システムPFM試験	

(PFM: Proto-Flight Model)



ロケットの電気屋さんの仕事 (その3)

M-Vロケット 電気系主任

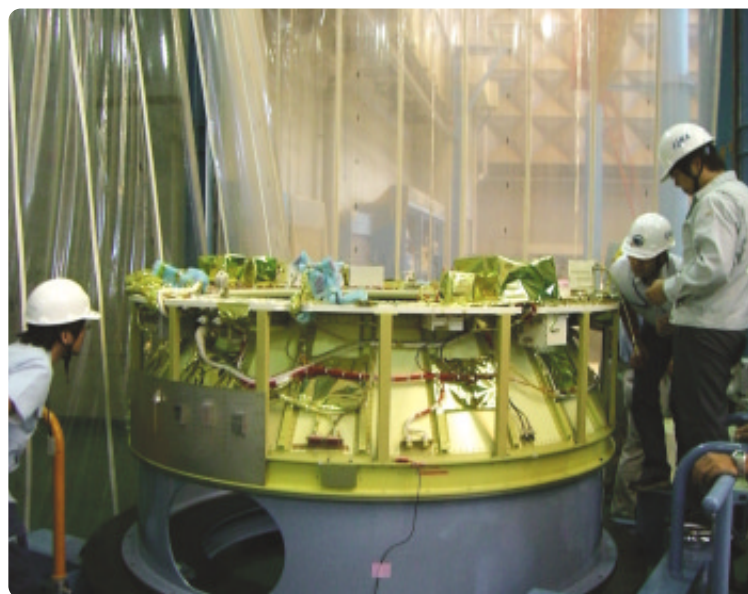
山本善一

ロケットは、打上げからある決められた時間がたつと第1段モータを切り離したり、第2段モータに点火したりといった具合に次々と予定が組まれており、これを火薬などを利用して実行する。ちょっとでもタイミングが狂えば、大変なことになる。いったい誰がそれを淡々とこなしているのか？ それは、ロケットに搭載されたタイマー装置である。このタイマー装置には実にたくさんのイベントが書き込まれており、打上げの少し前からスタートして、あとは時間通りに着々とロケット搭載機器や火薬に指令を送る。タイマーがちゃんと予定通りに仕事をこなせるか、飛ばす前に何度もチェックを行う。これを担当するのが**タイマー班**と呼ばれる電気屋さんたちだ。タイマーからの指令がきちんと届いているかどうかを入念にチェックする。

ロケットモータがきちんと予定通りに燃えているか、仕組んだ動作が予定通り実行されたか、各機器の動作状態は果たして正常か、温度が異常に高くなっているところはないか——いろいろ心配なところがたくさん出てくるので、ロケットが飛んでいる間にこれらできるだけ早く知りたい、という要求が出てくる。そのために、いろいろなセンサーを組み込み、それを電気信号に変える計測装置が必要だ。たくさんあるセンサーの一つ一つについて、その癖を調べて正しい測定値が出るようにしなければならないし、線もたくさん張り巡らさなければならないので、非常に根気の要る仕事だ。この仕事をする電気屋さんが**計測班**だ。

もう一つ、忘れてはならない大事な装置がある。いくらロケットの状態を一生懸命計測しても、その情報が地上にいる人たちに伝わらなければ意味がない。そこで各搭載機器からの情報をかき集め、それらを束ねて電波で地上に降ろす必要がある。この役目を担うのが**テレメータ送信機**と呼ばれる装置で、M-Vロケットの場合には1段目に1台、2段目に3台、3段目に1台の計5台ものテレメータ送信機が載っている。これらの電波を地上にあるたくさんのアンテナで追いかけて、電波を解読し、それぞれの情報を見たい人たち全員に配る。受信した信号は後で再生できるように記録もせせと取る。そういったサービス業のかがみみたいな電気屋さんたちがいる。**テレメータ班**と呼ばれる人たちだ。搭載されるテレメータ送信機だけでなく、地上の受信アンテナ、受信・復調器、データレコーダ、多数のコンピュータ等々、お守りをしなければいけない装置がたくさんあり、準備も含めるとかなり骨の折れる仕事である。

送信機や受信機を搭載しているからにはアンテナも



電気屋さんの目視検査を受けるM-Vロケット第3段計器部（宇宙空間での熱対策のため、搭載機器は金色の断熱材で覆われたり、白色塗装される）

必要だ。ロケットのアンテナはものすごい勢いで飛んでいく際に、空気の摩擦で高温にさらされる。また、だんだん高度が上がり空気が薄くなっていくと、途中で放電しやすくなる。高温でも溶けず、放電しにくいアンテナを作る、それがアンテナ屋さんと呼ばれる電気屋さんたちだ。M-Vロケットの場合、**レーダー班**の一部の人が兼務している。

最後に、これはあまり考えたくないことだが、ロケットが予定通りに飛ばなかった場合、万が一それが人のいる場所に落ちてきたら大変な惨事になる。ロケットがこれ以上姿勢を修正しても危険を回避することは不可能と判断される場合には、速やかにロケットに破壊コマンドやシークエンス停止のコマンドを打たなければならない。これを行うのが**RS（レンジ・セーフティ）班**と呼ばれる人たちだ。彼らはレーダー班、テレメータ班といった電気屋さんたちと密接なつながりを持つが、ロケットの仕組みに関する豊富な知識も兼ね備えていなければならない。ロケット屋さんと電気屋さんの両方の顔を持った人たちである。

3回にわたってロケットの電気屋さんたちを簡単に紹介した。誌面の都合で漏れてしまった人たちもいるが、ご容赦願いたい。次回からは、それぞれの専門家からもっと掘り下げた解説をしていただこうと思う。

(やまもと・ぜんいち)



月面衝突イベントに参加して

ESAのSMART-1

ヨーロッパ宇宙機関(ESA)初で、米ソ日に続く世界で4番目の探査国・機関による月探査機「SMART (Small Missions for Advanced Research in Technology)-1」は、2003年9月にアリアン5ロケットで、ほかの二つの衛星とともに打ち上げられた。技術実証衛星であり、70mNのイオンエンジン、Kaバンド通信、小型カメラなど小型軽量観測機器の実証が行われ、2年半の技術ミッションの後、9月3日に月面衝突をさせ役目を終えることとなった。この衛星に搭載されているD-CIXS(蛍光X線分光計)の共同研究者であることと、このミッションのプロジェクトサイエンティストのフォアン博士と旧来からILEWG (International Lunar Exploration Working Group)メンバーとして懇意であったことから、SMART-1の最期をドイツのダルムシュタットにあるESOC (European Space Operation Center)で一緒に迎えることになった。

9月2日の朝、ホテルから歩いてESOCに着き、守衛室で教えられた場所に行ってみて驚いた。SMART-1は搭載機器もデータ量も少ないため「こぢんまりとした部屋」で衛星運用をしている、と聞いて

いたが、教えられた部屋は大きな運用室であった。MCR (Main Control Room) だという。50台程度のワークステーションが並び、メディアコンファレンスを行うことができ、運用室を眺めることのできるガラス張りの部屋が隣接している、大きな部屋であった。今回イベントのため、ここに移ってきたということであった。周りには運用中のESAの衛星ごとに廊下を隔てて部屋が割り振られてあった。XMM, CLUSTER, MEXといった運用室も窓越しに見ることができる。

午後、サイエンス会議をやった後、広報係も交えて今後のメディア対応について、SMART-1チームメンバーにも周知が図られた。メディアコンファレンスを3回やるとのこと。まず9月2日の夜9時(現地時間、世界時プラス2時間)、衝突2周前、最後の晩餐としてサンドウィッチにワインを供し、SMART-1の業績説明とLanding Campaignの内容説明、近月点通過を味わってもらった。最後の近月点通過は9月3日の2時37分であったが、これにはメディアを入れることもなくチームメンバーのみがその瞬間を迎え、通信が途絶えることなく続

いたことにほっとして軌道力学担当の顔を眺めた。近月点高度は $2\text{km} \pm 1\text{km}$ と予測され、付近に500mくらいの高まりがあると聞いていたため、ひょっとしてあの長い太陽電池パドルが引っ掛かって落ちないかとチームメンバーは心配していたが、無事通過した。

2回目のメディアコンファレンスは衝突予定の30分前から始まり、メディアも運用室に入れ、衝突の瞬間を迎えるイベントであった。メディアはテレビ2社、プレス10社で、30人くらいが参加した。

近月点通過予測時間は9月3日、5時42分20秒(世界時)であったが、42分21.759秒生成時刻のパケットを最後に通信が途絶えた(図1)。5秒ぐらいたったころ、ハワイにあるCFHT (Canada France Hawaii Telescope) から衝突フラッシュのライブ映像(図2)が届き衝突が確認され、メディアから拍手が起こった。予測通り、 46.20°W , 34.4°S のLake of Excellenceに衝突角度1度、速度 2km/s で衝突したものと推測される。

3日は日曜日でもあったため広報もメディアも早々に解散し、我々もキャンペーン参加の機関と連絡を取り合った後、それぞれホテルに戻った。その夜はチームのパーティーが郊外の典型的なドイツ風ホテルレストランで行われ、フォアン博士はメンバーの努力に感謝するとともに、SELENEの前に実施できてよかったとも言った。

4日の11時から3度目のメディアコンファレンスがESAのサウスウッド科学局長も出席して開催された。1時間余のコンファレンスのためにわざわざパリから駆けつけた局長は、終了後関係者へのあいさつもそこそこに戻っていった。メディアからの「ESAの今後の月探査計画は?」という質問に対し、インドのチャンドラヤーンへのヨーロッパ機器の搭載やSELENEへの共同研究参加を示す「国際協力で進める予定」という答弁の後、「その後はヨーロッパが決めることだ」と言ったサウスウッド局長の言葉が印象に残った。(かとう・まなぶ)

図1 最後のテレメトリ記録

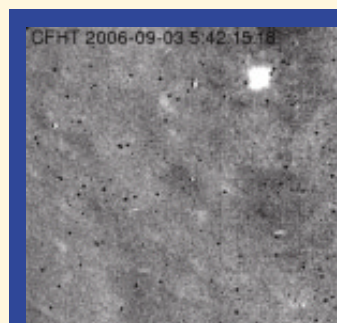


図2 ハワイのCFHTが観測したSMART-1の衝突発光

加藤 學
固体惑星科学研究系研究主幹



ドライブ旅行を満喫 休暇村，旬な食べ物，地酒?を求めて

篠原昭雄

株式会社アイ・エイチ・アイ・エアロスペース
特別顧問

10年くらい前から，休日(土日，あるいは3連休)を利用してドライブ旅行を楽しんでいます。最初の3～4年は走行距離にして100～300kmで，朝起きて天気予報を見て好天気が続くそうときには，大まかな目的地あるいは方面を決めて，宿泊の予約もせずに，ガイドブック1～2冊を持って出発するのが常でした。こうした旅行を続けることで，徐々にドライブ旅行の手軽さと，途中気に入った“景色”や“地場の食物”(主に日本蕎麦)に立ち寄ることができる気ままさの魅力に取り付かれていきました。ドライブ距離を徐々に延長しても，昼間の走行であれば疲れも身にこたえることはない，自信を持ってきました。

それ以降の2～3年は走行距離を伸ばし，一旅程2～3泊で1000km前後とし，自分の興味事項を加えて計画を立てるようになりました。山梨県北部のリゾートマンションを朝出発し，長野自動車道の松本ICで降り，安房トンネル経由で高山，白川郷方面へ，あるいは安房トンネルを経由して富山ICで北陸自動車道に乗り金沢，加賀温泉郷方面へも，何回か出掛けました。さらに遠くへと，ある年の夏季休暇，小説を読んで興味を持っていた戦国大名朝倉氏の栄華跡や浅井氏の居城の小谷城や多くの戦場を有し，地場の食べ物(海の幸)と地酒(下戸の小生には……)の豊富な越前，近江まで足を伸ばしましたが……。

冬の時期であれば旬の魚介を堪能できたはずでしたが，季節外れのため，食の楽しみは不満足でした。たまたま，豊

臣秀吉が最初に城を持ち大名になった長浜でタクシーに乗り合わせた際，冬には三国の休暇村で旬の越前蟹をリーズナブルな値段で賞味できることを知り，早速予約した次第です。以後，蟹のシーズンには毎年，福井の三国の休暇村を利用して楽しんでいます。

以降，ドライブ旅行では，宿泊施設として休暇村を優先的に利用することになっています。休暇村は日本全国に現在36ヶ所あり，高原，海，山，湖の眺望絶佳のロケーションにあります。読者の皆さんの中にも，すでに利用されている方も多く，皆さんは旅に何を求める

でしょうか。“日ごろの疲れ，緊張を癒す”“旬な地場の食べ物”“地場の銘酒”“秘湯”“自然の景観”などいろいろありますが，休暇村の宿ではそのすべてとはいいたませんが，80%以上の項目はリーズナブルな価格で楽しめると思います。

ここ2～3年は方向を大きく変えて，東北方面に出掛けています。昨年5月のゴールデンウィークは，東北自動車道の那須ICで降り，一般道を通って磐梯高原，米沢，山形，芭蕉の句で有名な山寺，将棋の駒の天童，蔵王と回り，食・観・湯と堪能してきました。4泊5日で，走行距離は1500kmくらいでした。今回の計画もほぼ完成しています。山形の月山，羽黒山，酒田を中心とし，新潟，群馬の一部の温泉地を加えて5泊の旅の予定です。3泊は休暇村を利用することになっています。今から実現を楽しみにしています。(しのはら・あきお)



旅行途中の会津，大内宿にて(平成17年5月)

「宇宙研」が好き！

対外協力室
周東三和子

——宇宙研に入るきっかけは？

周東：大学では数学を専攻していて、4年生のときアルバイトでコンピュータプログラムを作るお手伝いをしたのが宇宙研との出会いです。当時は東京大学の宇宙航空研究所でした。翌1969年4月に非常勤職員になり、ロケットの軌道計算などのプログラムを作る仕事に携わりました。そして私が入って1年もたたない1970年2月に、日本初の人工衛星「おおすみ」の打上げに成功しました。その前、打上げ失敗が続いていただけに、みんなの喜び方がすごかったですね。打上げ場がある鹿児島県内之浦では、地元の皆さんが旗行列でお祝いしてくださいました。大勢の人たちが力を合わせて何かを成し遂げる。それはとても素晴らしいことだと感じました。

——プログラムの仕事で、印象に残っているプロジェクトは何か。

周東：初めて探査機の軌道計算の仕事をした「ひてん」(1990年1月打上げ)は、その一つですね。月で何回もスイングバイした「ひてん」では、データを少しずつ変えて何ケースも軌道計算を行いました。実際の運用は夜中に軌道操作を行うことが多いので、子どもたちを寝かしつけて最終電車で来たり、始発が出るころに帰って子どもたちを学校に送り出したりしました。真夜中にみんなで仕事をするのが、何だかすごく楽しかったですね。たまたま、そのたびに雪が降ったんです。仕事が終わって、まだ誰も歩いた跡のない雪道を駅まで歩いて帰りました。その夜明け前の雪景色がとてもきれいでした。

——近年は、広報の仕事もされてきましたね。

周東：1998年に打ち上げた火星探査機「のぞみ」では、皆さんからの署名を募集して衛星に載せました。当時は電子メールもあまり普及していなかったもので、はがきの所定のスペースに名前を書いて送ってください、と呼び掛けました。署名スペースを切り抜いて、並べて縮小することにしましたが、予想をはるかに超える27万人もの応募あり、広報担当だけではとてもやり切れない作業量になりました。そこで、顔見知りの職員や学生たちに半ば強制的に手伝ってもらうことにしました。はがきには署名とともに、“病気の子どもたちの願いがかないますように”など、いろいろなメッセージが書かれていました。切り抜き作業をしながらそのメッセージを



しゅうとう・みわこ。1947年生まれ。1969年、東京女子大学数理学科卒業。同年東京大学宇宙航空研究所入所。ロケットの軌道計算、人工衛星の軌道寿命計算を担当。1993年からデータセンター/対外協力室で、記録映画・ビデオの企画・管理、ペンシルロケット時代からの所蔵フィルムの整理・保存、展示企画、ホームページ企画・作成などに携わる。

読んでいるうちに、もっと手伝わせてくださいと、みんなが積極的に協力してくれるようになりました。“当時、私は学生で宇宙研に来ていたのですが、手伝いましたよ”と、今でも話題になることがあります。

最近ではやはり、2005年11月の「はやぶさ」の小惑星イトカワへのタッチダウンが印象的です。私も夜中に運用があるごとに泊まり込んで、ホームページを通じて「はやぶさ」の様子を皆さんへ伝えたり、記録映像の指示をしたりしました。想定外のいろいろな出来事が起きて、それを「はやぶさ」チームが試行錯誤しながら力を合わせて切り抜けていく様子を目の当たりにしたのです。やはり自分たちの手ですべてを作り上げてきたプロジェクトだからこそ、それができるのだ、と実感しました。皆さんからの反響も本当にすごかったですね。自分たちがやっていることを伝えることがどれほど大切か、あらためてよく分かりました。

——来年3月で定年だそうですが、宇宙あるいは宇宙研の魅力は、どんなところですか。

周東：遠くを見ると過去が見えてくる。それが宇宙のすごく不思議なところですね。ビッグバンで宇宙が始まり、いろいろな星が生まれては死に、太陽系や地球ができ、生命が生まれ、人類がいる。私たちの体には宇宙の歴史の中で作られた元素が詰まっています。私たちは“宇宙の子”であり、一人ひとりがかけがえのない存在なんだということを、いろいろな機会を通じて伝えていきたいと思っています。

もう一つ伝えたいことは、みんなで力を合わせて何かを作り上げていくことの素晴らしさです。私は技術職員として働いてきましたが、宇宙研では、研究者、技術職員、事務職員など、それぞれが役割分担をして、対等な立場で言いたいことを言い合い、現場で同じ釜の飯を食って気心を通じ合いながら仕事を進めてきました。宇宙研でずっと仕事をしてきて何が楽しかったかというと、そういうところなんです。宇宙研がその魅力を失わず、宇宙にかける情熱を多くの皆さんに伝えていけるといいですね。

ISASニュース No.307 2006.10 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。

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

以前、「はやぶさ」打上げ成功のニュースをお伝えする号を担当しました。今回は、「ひので」の打上げ成功です。大気球の実験成功、他ミッションも順調に進んでいるなど朗報が続き、編集作業も楽しくさせていただきました。(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。

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