

2007年3月19日、太陽観測衛星「ひので」のX線望遠鏡（XRT）によって撮影された皆既日食。
地上では部分日食だったが、「ひので」の軌道上では皆既日食となった。

宇宙科学最前線

使いやすく将来性のある無毒液体推進系
～宇宙輸送の新時代を切り拓く～

徳留真一郎

宇宙輸送工学研究系 助手

きっかけ

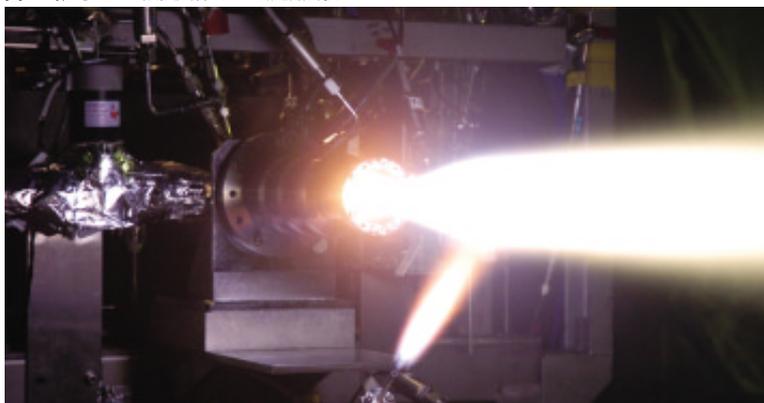
学生の教育に使える安全な液体推進系を考えてもらえないか。同門のよしみで、大先輩から相談を持ち掛けられたのは、ちょうど5年前の2002年。その4年前、1998年の春から始まった再使用ロケット実験（RVT）で液体ロケットを触り始めたばかりの私には、少し荷が重い気がしたが、「学生の教育に使える安全な液体ロケット」というのは新しい切り口で面白い。一丁やるか、と羽生宏人くんや研究室の学生さんに声を掛けて推進剤の選定から始めました。ところで、なぜ「安全な液体推進系」なのかというと、将来宇宙輸送技術による実践教育をモットーに、自在に軌道を作り出せる再使用型のロケット実験機や宇宙船の軌道制御エンジンをイメージしていたからです。

推進剤の選定

「推進剤」とは、推進力を得るために燃焼させる薬剤のこと。酸素をたくさん含んでいて「燃料」を燃やす働きをする薬剤が「酸化剤」です。飛行機や自動車は酸化剤として大気を利用するので、燃料だけを積んでいます。

学生教育に使えるほどの安全性となると、無毒であることが第一条件です。エンジンを実際に機体システムに組み込んで運用するところまでを教育プログラムにしようというのですから、実際に見て、においをかいで、触ることができるものがよい。すると、酸化剤について選択肢は限られます。燃料としては、一般に出回っている「燃料」がすべて使えそうです。いくつもの組み合わせが考えられるので、もう少し限定して、無毒

図1 推力700N級供試体による燃焼試験



の程度を「基本的に人体に取り込んでも安全なもの」とし、さらに扱いやすい物性として「常温貯蔵可能なもの」としました。するとその究極の組み合わせは、酸化剤が亜酸化窒素 (N_2O)、燃料がエタノール (C_2H_5OH) の一組に絞られました。

N_2O は医療用の麻酔薬やホイップクリームの泡立て剤などとして使われる安定な物質で、食品添加物としても認可されています。一方、燃料のエタノールは「酒精」とも呼ばれ、人様の重要な嗜好品にたくさん含まれています。両者とも体に取り込むのは基本的に問題ありませんが、甘いにおいで気持ちよくなったり、場合によっては乱れたりするので、「過ぎるのは禁物」です。

人に対する安全性ばかりでなく、ロケットエンジン用推進剤としての特性も実用に適するものでなければなりません。この N_2O /エタノール推進系は貯蔵性液体推進系の範疇に入るので、現行の四酸化二窒素： NTO (N_2O_4)/ヒドラジン (N_2H_4) 推進系との優劣を論ずる必要があるでしょう。まず、同じ流量の推進剤を消費しながら発生できる推進力は10%ほど小さく、さらに密度が20%以上小さくなるため、少しかさばります。それから NTO /ヒドラジン推進系は、酸化剤の NTO と燃料のヒドラジンを混ぜただけで直ちに着火する「自己着火性」という便利な性質がありますが、 N_2O /エタノール推進系は混ぜただけでは火が付かないので、点火装置を別に持つ必要があります。エンジンの仕組みが少し複雑になります。ただし、以上の短所は、実用を不可能にするほど決定的なものでは

ありません。一方、優れている点は、ほぼ無毒で取り扱いが楽なことのほか、かなりの低温環境でも使える可能性があること。 N_2O の凝固点は $-91^{\circ}C$ 、エタノールのそれは $-114^{\circ}C$ です。これらに対して NTO の凝固点は $-12^{\circ}C$ 、ヒドラジンは $1^{\circ}C$ ですから、宇宙探査機に搭載する場合、ヒーターが必要になります。例えば木星探査ミッションの場合、環境温度は $-50^{\circ}C$ とされているので、 N_2O とエタノールの組み合わせならヒーターなしでも運用できる可能性があります。以上のことから、 N_2O /エタノール推進系は、控えめな性能で低温環境適合性に優れた、ほぼ無毒の貯蔵性液体推進系とすることができます。

さらに踏み込んで、発展性や将来性について。エタノール燃料については近年、再生利用可能なバイオエタノールが地球温暖化防止の観点から、化石燃料の代替候補の一つとして注目されています。自動車の燃料としては確立された技術があるので、地上の輸送系との燃料共通化の観点で将来は明るいと考えられます。将来、宇宙においてスペースコロニーが実現したら、農作物と併せて生産することができるようになるでしょう。一方 N_2O は、地球温暖化で問題となっている CO_2 の300倍以上の影響を与える温室効果ガスとして、排出規制の対象となっています。しかしながら主な排出源は森林など自然界で、人為的に発生する量は相対的に少ないのです。もちろん、温室効果ガスの生成と分解のバランスが損なわれたのは、森林伐採や化石燃料の大量消費によって成り立っている人類の活動が原因であることは間違いなさそうですから、排出を抑える努力は必要です。適当な分解触媒を使うと、窒素 (N_2) と酸素 (O_2) に分解しながら熱を放出して理論上約 $1600^{\circ}C$ の混合ガスを発生します。この特性は、温室効果ガスとしての働きを抑制できることに加え、さまざまなエネルギー源、酸素供給源などとして使えそうです。発生した酸素ガスとエタノールで燃料電池によって小電力の発電ができますし、さらにその熱を使いエタノールを効率よく分解して水素ガスを取り出せば⁽¹⁾、もっと大きな電力を起こすことも可能になります。これらの考え方は、「 N_2O /エタノール・エネルギーマネジメントシステム構想」として宇宙で実現したいと考えています。有人の宇宙ステーションや宇宙船における推進系、エネルギー供給系、生命維持システムの統合化について、先駆的かつ独創的な提案ができることは間違いありません。

推進系の実証研究

推進系については、2003年度からJAXA宇宙科学研究本部の戦略的開発研究理工学実験分野「先進的推進系の研究」の中の1テーマ「 N_2O /エタノール推進系の研究」として取り組んでいます。まずは本格的なエンジンを設計するための基礎データを集めるた

図2 触媒分解式点火器の基礎実験



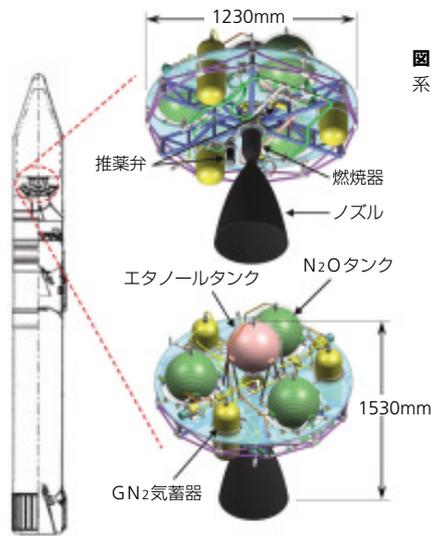


図3 N₂O/エタノール推進系技術実証モデルの概案図

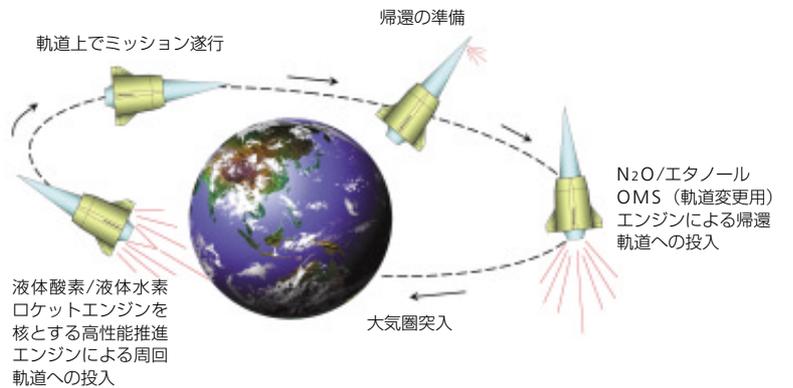


図4 再使用輸送系開発への応用（帰還軌道への投入など）

め、2004年9月と2006年3月に能代多目的実験場において、推力700N級の実験装置を使った燃焼実験を2シリーズ、計14回行いました⁽²⁾ (図1)。それらの実験では、エンジンで最も重要な噴射器(推進剤を燃焼室内に噴射する部分)および最も過酷な環境にさらされる燃焼器を設計するためのデータを積みながら、推進剤の充てんから燃焼までの運用にかかわる課題を整理しました。

N₂Oは、常温の20℃で約5MPaの蒸気圧があるため、タンクから噴射器までの配管の中で圧力が下がっていく間に沸騰することがあります。私たちの実験装置でエンジンの燃焼をスムーズに開始させるには、点火前に少し流して気化冷却で配管を冷やす必要があります。その密度は常温で約0.8g/cc、凝固点近くになると50%ほど高い約1.2g/ccまで上昇するため、密度を高めてタンクの容積を小さくしたい場合や燃焼室の圧力が低くてタンクの圧力も下げたい場合には、-90~-80℃程度の低温で扱う方が有利です。その温度条件下での燃焼性能と運用性も調べました。広範な燃焼条件で行った2シリーズの実験の結果、特殊な耐熱材を使わなくても噴射器を設計できること、軽量の耐熱複合材料を使った燃焼器を使える可能性があることが分かり、実証研究は本格的なエンジンの製作へ向けて大きく前進しました。

N₂Oを分解したときに発生する高温のガスを利用した点火器や姿勢制御用スラスターの研究も進めています。効率よく分解するため、ほかの用途で開発されたほぼ100%の分解効率を誇る触媒の可能性を試しています。N₂Oは極めて安定した物質なので素早く分解するのは難しいのですが、何とか実用化できそうな感触を得ています(図2)。

これらの実験を通して、N₂O/エタノール推進系の運用とエンジン設計について必要な情報が得られました。現在、次期固体ロケットシステムに搭載する液体キックステージをイメージしたシステム技術実証モデルの設計検討を行っています(図3)。この実証モデルの地上燃焼試験は、2003年度から始めた基礎実験の仕上げと位置付けていて、提案が認められれば2007年度中に実施したい考えです。

実用化へ向けて(実践教育/宇宙輸送)

ここまでの反省点を。「学生の教育に使える安全な液体推進系」の構築が第一の目的だったはずなのですが、いまだこの機会を学生教育に活用できていません。言い訳の一つは、まずは実用可能な推進系を構築できるかどうか実証することを急いだからです。JAXA宇宙科学研究本部において実践的な宇宙工学教育の教材とする以上、まずは実際に飛ばすことができ、宇宙輸送系の開発や実際の輸送に役立つものにした。とはいっても、本研究に参加している平均年齢30代前半の若手から中堅の職員(八木下剛くん、鈴木直洋くん、羽生宏人くん、私)にとっては、貯蔵性(一部低温)液体ロケットエンジンに対する理解を深める上で大変貴重な機会となっているので、すでに「プロの技術者のための実践的宇宙工学教育」に役立っているといえるでしょう。

この取り組みを始めてから5年が経過して、具体的なターゲットに幅が出てきました。究極の将来輸送系開発に役立つよというモチベーション⁽³⁾に加え、そのまま近い将来の宇宙輸送系に使うという機運が高まりつつあります。まず、上述のJAXA次期固体ロケットシステム。次にアメリカを中心に盛り上がりつつある有人宇宙探査機計画。有人システムの開発においては、推進剤の無毒化が優先順位の高い課題として取り上げられています。N₂O/エタノール推進系は、無毒化だけでなく貯蔵性、低温環境適合性、さらに発展性においても優れているので、役立つ可能性が十分にあると考えています。すでに、有人宇宙技術として発展させるための課題の抽出と方策についても考え始めているのです。さらに次世代の再使用輸送系開発においては、軌道制御のための貯蔵性液体推進システムOMSとして活用できるでしょう(図4)。

当面の目標は、5年間の基礎研究の成果を踏まえて、次の5年以内にフライトモデルを開発すること。その過程を利用して実践的な宇宙工学教育を実行すること。そして、無毒の貯蔵性液体推進系の飛翔実験を世界に先駆けて行いたい。皆さん、さっと応援してくださいね。(とくどめ・しんいちろう)

参考文献

- (1) Deluga, G. A., Salge, J. R., Schmidt, L. D., and Vergyios, X. E., "Renewable Hydrogen from Ethanol by Autothermal Reforming", SCIENCE, Vol. 303, pp.993-997(2004)
- (2) 八木下剛・徳留真一郎・羽生宏人・鈴木直洋・徳永好志・安田誠一・嶋田徹・大毛康弘「N₂O/エタノール推進系の試作試験：2F14」宇宙科学技術連合講演会(第50回)、日本航空宇宙学会(2006)
- (3) 徳留真一郎・羽生宏人・川口淳一郎・大塚浩仁・山本高行「空気吸込みエンジンFTBシステムの提案」宇宙科学シンポジウム(第5回)、JAXA宇宙科学研究本部、pp.400-403(2005)

「はやぶさ」の現状

「はやぶさ」は、2005年12月に生じた燃料漏れと姿勢の喪失により、7週間にわたって交信が途絶していましたが、2006年1月に通信が復旧し、以来、現在までに、探査機の機内昇温、太陽指向の姿勢制御（太陽光圧による新姿勢制御の実施）、スピン速度制御運用、イオンエンジンの試験運転、リチウムイオンバッテリーの微速充電などを実施してきました。

2006年11月には、燃料漏洩事故に関連すると思われるスラストヒータの故障が発生し、上面スラストに異常な温度低下を生じて、一部残存の燃料が凍結した可能性が認められました。不測のガス噴出を未然に防止するため、12月にスラストの昇温運用を実施しました。この昇温運用では、実際に残存燃料ガスの噴出に起因すると思われる微小なスピン変動が確認されましたが、無事、この運用を終了しました。

リチウムイオン電池は、2005年12月の姿勢喪失時に、過放電のため、セル11基のうち4基が短絡故障しました。リチウムイオンバッテリーの機能は帰還カプセルのふた閉め運用に必要で、その機能回復のために再充電しなければなりません。残る7セルの充電を、充電電流を最小限に保ちつつ慎重に実施して、2006年秋までに無事完了したところです。この運用の安全性評価のために、故障したものと同等の短絡セルを人工的に作り、それをを用いた地上試験を事前に実施しました。今年1月には、探査機内の試料採取容器を帰還カプセル内に搬送・収納し、カプセルのふた閉めと密封作業（ラッチとシール）を無事

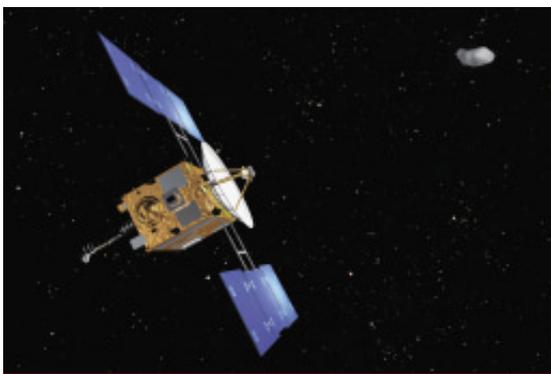
に実施できました。

「はやぶさ」は、これまでにリアクションホイール3基のうち2基に不具合が生じ、また化学エンジンの燃料がすべて喪失ないしは使用不能の状態となっています。そのため、今年2月からイオンエンジンの運転のための新たな姿勢制御方式を試験し、3月から徐々にイオンエンジンの運転を試みています。イオンエンジンの推力方向を維持する姿勢制御機能の確立に時間を要していますが、その方策にもめどが付けられる見込みで、4月中・下旬より地球への帰還に向けた本格的な巡航運転を開始する予定です。なお、イオンエンジン駆動のためのキセノン (Xe) 残量は30kg強あります。巡航運転に必要なXeガス量は20kg以下と計算されており、姿勢制御用のXeガス量を考慮しても、十分に帰還に足りると考えています。

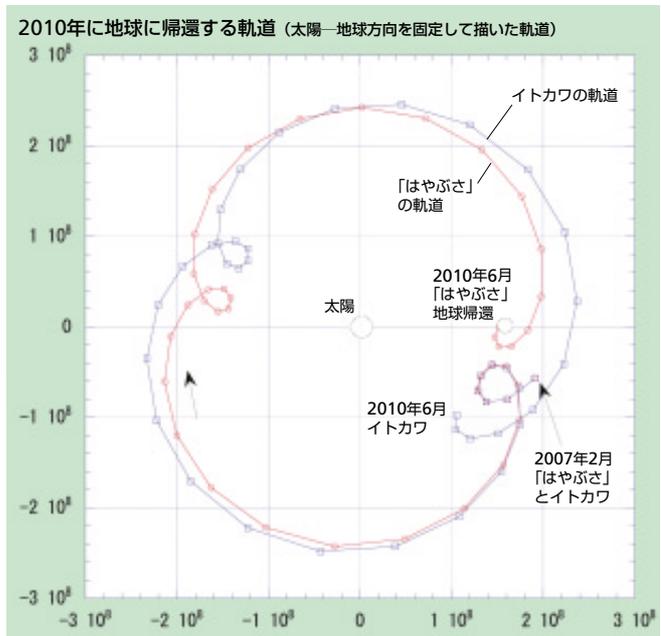
残る一つのホイールが故障する可能性も少なくありません。「はやぶさ」の運用は、依然、非常に厳しい状況ではありますが、機能が維持できている限り、2010年6月（予定）の地球帰還に向けて最大限の努力を重ねていきます。

「はやぶさ」の探査機技術について、4月に、日本航空宇宙学会から技術賞を頂きました。また、同じく4月、「はやぶさ」で得た科学成果と小惑星イトカワ近傍での運用について、文部科学大臣表彰科学技術賞を受賞致しました。皆さま、本当にご支援ありがとうございました。

(川口淳一郎)



「はやぶさ」と小惑星イトカワ（はやぶさイラスト：池下章裕）



重元素を追う

「すざく」が描く壮大なパノラマ

誕生から40万年後ごろまで、この宇宙には水素とヘリウム以外の元素はほとんどありませんでした。それより重い炭素、酸素、鉄などの重元素は、その後の星生成を経て、超新星爆発によって宇宙空間にばらまかれました。こうした超新星の残骸を観測することで、宇宙にどれくらいの重元素が存在するかについて手掛かりを得ることができます。

図1aは、ローサット衛星が観測した超新星残骸「はくちょう座ループ」のX線写真です。これは約2万年前に起きた超新星爆発の名残で、きれいなシェル状の構造が見取れます。四角で囲んだ部分を「すざく」で観測したところ、図1bに示すように、炭素、酸素、窒素をはじめとする重元素からの特性X線を検出することに成功しました。特に「すざく」の高いエネルギー分解能により、炭素と窒素からのX線が初めて分離され、それぞれの元素量が高い精度で決定できるようになったことは重要です。この結果、「はくちょう座ループ」が太陽の約20倍の質量を持つ、かなり重い星の超新星爆発によってできたことが初めて明らかになりました。

こうした重元素の一部は銀河にとどまり、再び新しい星に取り込まれます。太陽も、過去の超新星爆発で吹き飛ばされたガスを集めてできており、我々の体を構成する重元素も、すべて過去に起きた超新星爆発の生成物です。実際、「すざく」で我々の銀河面を観測すると、7000万度ほどの高温プラズマに満たされていることがわかります。これは、いわば超新星爆発の「余熱」といえるでしょう。

近年の観測により、このプラズマが銀河を越えて宇宙空間に流れ出しているケースが、観測されるようになりました。図2に、スターバースト銀河M82の「すざく」による画像を示します。約2000万年前に起きた1万個ほどの超新星爆発で生成されたプラズマが、今もM82本体から北の方向(画面左方向)に



図2 スターバースト銀河M82の画像。右側の銀河本体部分(チャンドラ、スピッツァー望遠鏡、ハッブル宇宙望遠鏡による合成画像)に、流れ出すプラズマをとらえた「すざく」の画像を合成したもの。(Tsuru et al. 2007)

秒速数百kmで流れ出している様子が見取れます。「すざく」の観測により、このガスにも酸素、鉄、ネオン、マグネシウム、ケイ素などの重元素が豊富に含まれていることが発見されました。

こうした重元素が最後に行き着く先は、銀河団です。銀河団は最大数千個の銀河が自己重力によって大きさ数百万光年の範囲に閉じ込められたもので、銀河から放出された重元素も、このポテンシャルの中に累積していきます。図3aはA1060銀河団のX線画像です。超新星爆発には、大きく分けて2種類あります。一つは太陽質量の8倍以上の星がその最期に爆発するもの(Ⅱ型)、もう一つは連星系の白色矮星に相手の星から質量降着が起こり、臨界質量を超えたときに爆発を起こすもの(Ⅰa型)です。主に、前者は軽い元素、後者は重い元素を宇宙空間に放出します。銀河団は宇宙で最大の構造なので、ここでの重元素組成を調べれば、宇宙で過去に、どちらの型の超新星爆発がどれほど起きたかを知ることができます。図3bに、いくつかの銀河団で元素の組成を調べた結果を示します。その結果、Ⅱ型とⅠa型の宇宙有史以来の爆発数の比が3:1であることがわかりました。これは、「すざく」

衛星の高いエネルギー分解能、低いエネルギーのX線に対する高い感度、低いバックグラウンドをもって初めて可能になった、重要な観測結果です。

(石田 學)

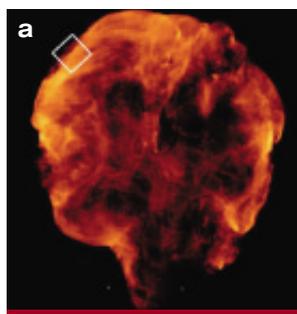


図1 a: ローサット衛星による超新星残骸「はくちょう座ループ」のX線画像
b: 図1aの四角で囲んだ部分の「すざく」によるX線スペクトル (Miyata et al. 2007)

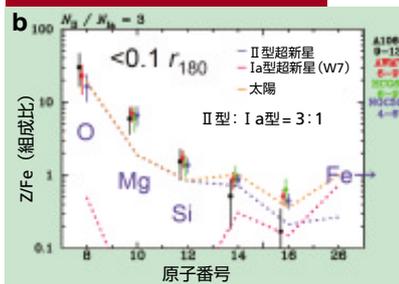
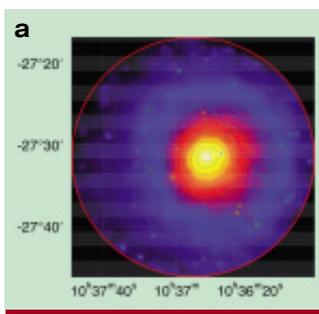
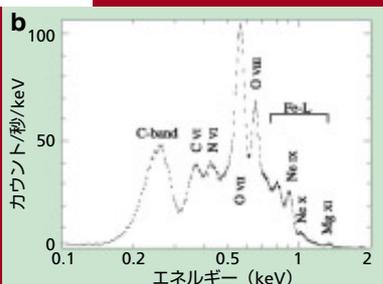


図3 a: XMMニュートン衛星による銀河団A1060のX線画像 (Hayakawa et al. 2006)
b: さまざまな重元素の鉄に対する組成比。データ点の色の違いは異なる銀河団、楕円銀河を示す。(Sato et al. 2007)

「あかり」の初期成果，日韓の天文学会で発表

赤外線天文衛星「あかり」が打ち上げられ，最初の画像が取得されてから1年になる。3月の日本天文学会および4月の韓国天文学会で，「あかり」の初期成果の発表が行われた。これに先駆け，3月26日に東京大学において，東京大学，名古屋大学，JAXAの共同で記者発表が行われた。今回は， $2\mu\text{m}$ から $26\mu\text{m}$ の観測を行った近・中間赤外線カメラ(IRC)の結果を中心に，5件の研究成果を選んで紹介した。多くの方の協力のもと，衛星の運用と並行して観測初期に得られたデータ解析を進めてきた成果である。

赤外線は，活発な星間物質の物理状態を描き出す。特に星形成・原始惑星円盤形成から始まり，質量放出あるいは超新星爆発へとつながる星間空間における物質循環の研究に，赤外線観測は欠かせない手段である。「あかり」は，こぎつね座のIC4954，IC4955と呼ばれる反射星雲領域に活発な星生成が起きていることを初めて赤外線ですら明らかにした。特に，1光年程度から100光年以上のスケールで，1000万年の間に星形成が3世代にわたり連鎖的に起きていることを初めて明らかにしたことは，広い領域の観測が得意な「あかり」ならではの成果である。

小マゼラン雲では， $3\mu\text{m}$ から $11\mu\text{m}$ の波長で初めて超新星残骸を検出した(図1)。これも，「あかり」の大きな視野と広い波長範囲をカバーした性能の成果である。近赤外線から中間赤外線までのデータから，この超新星残骸B0104-72.3では，周囲の分子雲と衝突し衝撃波が起きていることが示された。

さらに「あかり」は，47Tucと呼ばれる球状星団の中に，暗くてかつ赤い天体を検出した。これは，質量放出をしている初期段階の赤色巨星の初検出である。検出された天体は，星団の中心からかなり外れたところにあり，これまでの

観測では探査されていなかった領域に位置する。ここにも「あかり」の広い視野が有効に活かされている。

「あかり」は，銀河中心部の謎にも挑んだ。IRCによる広い波長域での分光観測により，UGC05101と呼ば

れる極めて強い赤外線を放つ銀河の中心部(ブラックホールがあると推測されている)が，数百℃程度に暖められたガス雲に取り囲まれ，さらにそのまわりを氷を含む冷たい雲が包んでいることを初めて明らかにした(図2)。

さらに「あかり」の $15\mu\text{m}$ での深宇宙探査では，この波長帯で，広い領域をこれまでで最も深く観測した画像を取得し(図3)，我々の宇宙が60億年以上前からしばらくの間，活発に星形成を行っていたことを明確にした。

以上は発表されたものの一部であり，また「あかり」観測の初期のほんの一部のデータである。これらの結果は，「あかり」の高い性能と，その観測が今後，多くの天文学の重要課題を明らかにし，新しい赤外線の宇宙像をもたらすことを期待させるものである。

「あかり」の開発・運用に携わった，東京大学，名古屋大学をはじめとする国内研究機関，欧州宇宙機関(ESA)，イギリス，オランダおよび韓国の研究機関のチームメンバーに深く感謝する。

(東京大学大学院理学系研究科 尾中 敬)

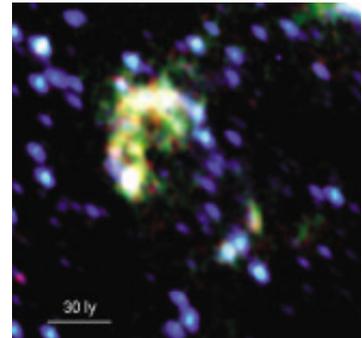


図1 「あかり」が初めて検出した，小マゼラン雲中の超新星残骸B0104-72.3。 $4\mu\text{m}$ (青)， $7\mu\text{m}$ (緑)， $11\mu\text{m}$ (赤)からの疑似カラー。

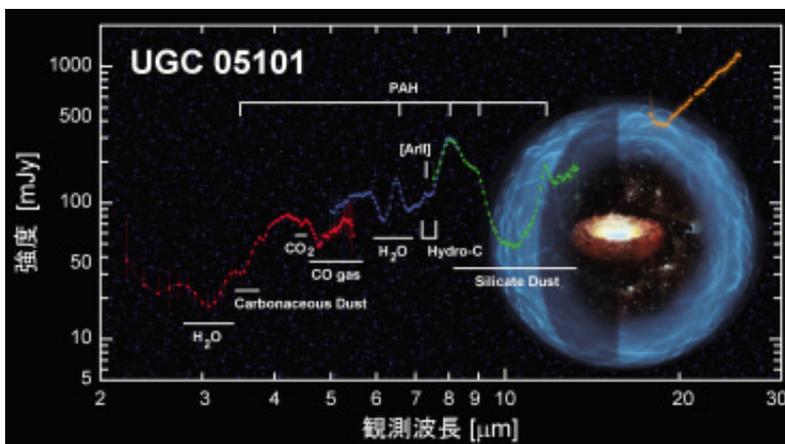


図2 「あかり」近・中間赤外線カメラ(IRC)によるUGC05101のスペクトル。COガスのスペクトルの解析から，暖かいガスの存在を明らかにした。

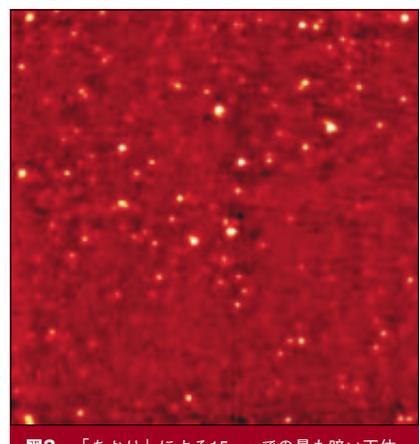


図3 「あかり」による $15\mu\text{m}$ での最も暗い天体まで観測した画像。見えているのは数十億光年遠方の銀河だと考えられている。

日本天文学会春季年会における「ひので」講演

3月28日から30日までの3日間、東海大学で日本天文学会の春季年会が開催されました。初日の午後から最終日まで続いた太陽セッション全65講演（ポスター含む）のうち、太陽観測衛星「ひので」関連の講演は44件、全体の約3分の2を数えました。過去2年ほどの各年会での太陽セッションの講演数が30前後ですから、今回、「ひので」だけでそれを上回ったこととなります。

昨年9月に打ち上げられた「ひので」にとって、この天文学会が衛星全般の初期科学成果を紹介する初めての本格的な機会となりました。そのためでしょうか、太陽セッションの会場は立ち見も出るほどの盛況ぶり。他分野の聴衆の方の姿も多く見受けられ、各講演で熱の入った議論が交わされました。「ひので」の観測機器を共に作ってきた海外研究機関の研究者もポスター発表を行い、また、日本語は分からないにもかかわらず熱心に講演に聞き入っていました。彼らにとっても、学会に出席することで日本側の研究の動向を知るといったメリットがあります。

「ひので」の講演では、3台の観測機器のうち可視光磁場望遠鏡（SOT）を用いたものが28件と、過半数を占めました。地上観測に付き物の天候を含む大気状態や夜に妨げられない、スペースからの可視光観測の威力は圧倒的で、これまでの観測では見たこともない見事なムービーを含む新しい結果が、当たり前のように次々と紹介されました。太陽表面（光球面）に1000ガウスを超える強い磁場が形成される物理メカニズムとして理論的に予想されていたことが観測で確認された可能性を示す講演や、我々が「フィラメント」と呼んでいる物体（100万度以上の高温コロナ中になぜか細長く浮かぶ1万度程度の低温のガスと、それを支える磁場構造）の中を走り回る低温ガスの振る舞いや、磁力線を伝える波（アルフヴェン波）を観測したと思われる現象の報告など、大きな注目を集める講演が続きました。

SOTに負けじと、X線望遠鏡（XRT）、極端紫外線



「ひので」関連講演の様子

撮像分光装置（EIS）からも、これまでにない新しい観測結果が次々と報告されました。昨年12月13日に発生した巨大フレアは3機器すべてで観測され、関連した講演も多数ありました。また、飛翔体観測機器のセッションでも、「ひので」の装置開発報告が5編、行われています。

SOTがもたらす光球面の高精度の3次元磁場情報は、太陽大気中のさまざまな活動現象を

定量的に理解する上での、強力なバックボーンとなることを予感させました。近年の計算機シミュレーションにおけるハードウェアとシミュレーション技法双方の飛躍的發展と相まって、「ひので」の光球面・コロナの観測データと計算機シミュレーションを結合することで、コロナ中のエネルギー解放現象の解明は、現実問題として手の届くところに来ているという印象を持ちます。

今回の講演は、長年、衛星の機器開発に携わってきたコアチーム、および打上げ前からの解析準備や打上げ後の望遠鏡運用にかかわっているメンバーのみによって行われましたが、5月末からは「ひので」の全データが世界中の研究者に公開されます。国内の幅広い研究者の参加により「ひので」の科学成果が一段と大きくなることを期待するとともに、国際競争も激しくなることが見込まれます。

なお、最終日のセッション終了に続き、「ひので」データ公開に向けたユーザーズミーティングが開催され、コアチームから会場の参加者に向けて、共同観測に向けた観測プロポーザル受付の流れや、各望遠鏡の運用の説明（および運用担当者の募集！）が行われました。これに対しても参加者から熱心な質問が寄せられ、「ひので」に対する期待の大きさを感じました。

最後になりましたが、学会期間中、運用担当として「ひので」を支えてくれたBさん、Sさん、どうもありがとうございました。

（坂尾太郎）

世界初！ 観測ロケットがSq電流中心の高温領域をとらえた

1月16日に内之浦宇宙空間観測所から打ち上げられた観測ロケットS-310-37号機が、所期の目的通りに電離圏下部のSq電流系中心付近に発生する高電子温度領域をとらえ、世界で初めてプラズマ測定器による直接総合観測に成功しました。本稿では、初期観測結果と実験の意義を報告しましょう。

電離圏下部(高度約70~150km)領域では大気の色度は高度とともに徐々に増し、高度100kmで約200~250K(絶対温度)といわれています。この領域には電離気体であるプラズマも存在しますが、圧倒的に量が少ないことと粒子間の衝突が頻繁に生じることから、その温度は中性大気の色度にほぼ等しいと考えられています。しかしながら、これまでに内之浦上空で行われてきた観測ロケット実験の結果、プラズマ中の電子の色度が局所的に数百Kから1000Kも上昇する場合がありますことが分かってきました。今回のロケット実験の目的は、この不思議な現象の発生メカニズムを解明することにあります。

この高温領域は中緯度電離圏下部に存在するSq電流系と深いつながりを持つことが分かっています。この電流系の位置は緯度30度付近、時間は正午前ですが、冬期に打ち上げたロケットが電流の渦の中心付近を通ったときに限って高い温度が観測されるのです。Sq電流系の渦は南北半球に各1個存在しますが、両半球は磁力線を介して結ばれているので電位差があればそれを解消するように電流が流れるはず、と予言した研究者がいました。我々は、この沿磁力線方向の電流や、それを作り出す沿磁力線電場が、電子温度上昇を引き起こす鍵を握っていると考えました。

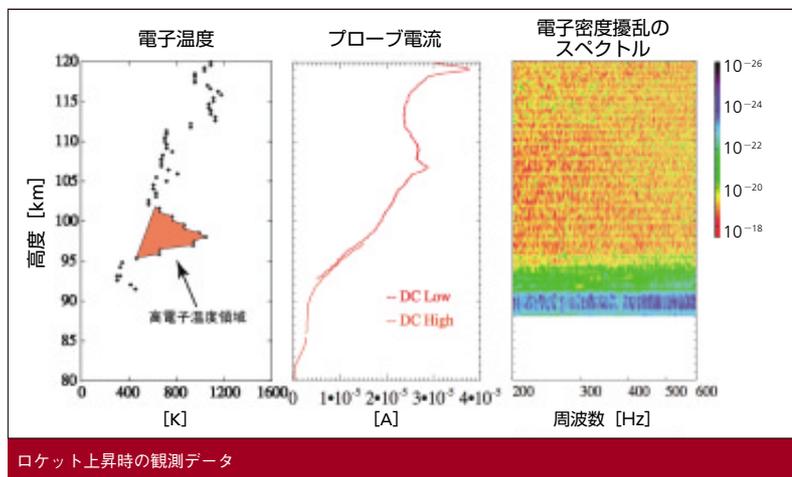
図は左から順に、今回の実験において観測された電子温度、プローブ電流(電子密度変化に比例)、電子密度擾乱のスペクトル(周波数200~600Hz、空間スケールが約1~4mに相当)の高度分布を示しています。左側の図に見られる高度97~101km付近の色度上昇が、狙っていた現象です。取得データの顕著な特徴の一つは、電子密度変動の高周波成分に予想以上の振幅が観測されたことにありますが、右側の図から振幅は温度が上昇を始めた高度97km付近から急激に増大していることが分かります。このような密度擾乱は、プラズマ不安定現象の存在を示唆していると考えています。高電子温度層の生成メカニズムについては当

初、南北半球間の電位差に起因する沿磁力線電場が電離圏中の電子を加速し、熱化された結果として電子温度が上昇するという、比較的単純なシナリオを考えていました。しかし今回の実験において明らかになった、高電子温度層が高度100km以下にも存在していた、同時に大きな電子密度擾乱が観測された、という二つの事実は、この仮説を見直す必要があることを提示しています。特に1kHzにも達する密度擾乱成分の存在は、電場加速で生じた電子ビームがプラズマ不安定を引き起こし、さらに波動現象を誘発する可能性を示唆しています。

今回のロケットには二つの新たな測定器が搭載されました。まず超熱的電子エネルギー分析器は、従来観測が難しいとされてきた超熱的エネルギー帯(約1~5eV)の観測を可能にしました。この結果からエネルギー励起された電子が熱化されていく過程を垣間見ることができ、高電子温度領域にその兆候を発見しています。もう一つの電場測定器は、3対のプローブをロケットから伸展することで3次元的な電場ベクトルをとらえようとするものです。従来の研究では磁力線方向の電場成分は小さく無視できるという仮定がなされてきましたが、Sq電流系中心という特殊な領域に存在する沿磁力線成分の検出を目指して挑戦したものです。初期解析の結果、高電子温度領域において磁力線方向の電場成分が卓越している可能性が示唆されています。いずれも今後詳しい報告が行われるでしょう。

電離圏下部は中性大気と電離大気が共存する特殊な領域で、それに起因してSq電流系などのユニークな現象が生起するのですが、衛星が飛翔できないこの領域の直接探査の手段は、現在のところ観測ロケット以外にはありません。電離圏下部領域はまだ謎に包まれています。

(阿部琢美)



相模原キャンパスにて「コズミックカレッジ」高校生コース開催

3月26日から28日まで、相模原の宇宙科学研究本部において、「コズミックカレッジ」の高校生コースが、以下のスケジュールで開催されました。

-
- 第1日**：開講式・オリエンテーション・JAXAガイダンス
講義1 太陽系探査「小惑星探査ミッション《はやぶさ》」(川口淳一郎)
講義2 宇宙論の誕生「インフレーションからビッグバン」(佐藤勝彦)
- 第2日**：講義3 宇宙輸送「H-IIAロケットについて」(渡辺篤太郎)
モデルロケットの製作と打上げ
相模原キャンパス施設見学
- 第3日**：Q&A (宇宙研究者の参加)
閉講式
-

三つの講義はいずれもレベルの高い魅力的なもので、高校生にはずいぶんと収穫を与えたようです。初日の夕方には参加者の懇親会が開かれ、交流と講師への質疑が遅くまで続けられました。モデルロケットも打上げ成功率が100%で、モデルロケット協会の山田会長のご指導が見事でした。最終日のQ&Aには、宇宙研の若い研究者が8人、急遽駆けつけてくれ、高校生と熱のこもった議論が展開されました。はた目にも双方が非常に楽しんでいることが分かるほど、充実した時間のようでした。

進路についての決断を間近に控えている高校生にとって、宇宙研究の現場の人たちと直接触れ合うチャンスというのは大きな刺激だったようで、もっともっと話したかったとの感想が聞かれました。なお、



佐藤勝彦教授による宇宙論の講義



懇親会で質問攻めに合う佐藤教授

全日程を通じて、高校生へのアドバイザーとして中学・高校の現役教師の皆さんに行き届いたお世話をいただきました。心からお礼を申し上げます。

(的川泰宣)

ビデオ『「はやぶさ」の大いなる挑戦！』 第48回科学技術映像祭で文部科学大臣賞受賞

第48回(平成19年度)科学技術映像祭で、宇宙科学研究本部制作のビデオ『「はやぶさ」の大いなる挑戦！～世界初の小惑星サンプルリターン～』が、科学技術部門で文部科学大臣賞を受賞しました。

科学技術映像祭は、日本科学技術振興財団、日本科学映像協会などの主催で、科学技術に関する優れた映像作品を選奨し、科学技術の普及と向上を図ることを目的として、昭和35年に始められ、今回で48回目とな

ります。今回は52機関から82作品が出品され、16作品が優秀科学映像に選定されました。昨年度は、「はるか」とVLBI観測の成果を紹介したビデオ『3万kmの瞳～宇宙電波望遠鏡で銀河ブラックホールに迫る～』が、科学教育部門で同じく文部科学大臣賞を受賞しています。

表彰式・入選作品発表会は、4月20日(金)に科学技術館サイエンスホールで行われました。

(周東三和子)

宇宙探査シンポジウムおよび国際宇宙探査戦略に関するワークショップ開催

月や惑星の探査はこれまで、1960年代の米ソの月探査競争を除き、もっぱら科学観測の対象でした。しかし2004年1月、米国が新宇宙政策を発表し、火星に人類を到達させることを目標とすること、そのためにまず2020年ごろまでに月面に有人基地を作り技術的な準備を行うこと、そして、それらを国際協働で実施することが提案されました。従来から大型の探査計画は国際協力で行われてきましたが、このように最初から国際協力の枠組みで実施しようという体制は国際宇宙ステーション以来のもので、世界各国は自国の探査計画と国際協力で行う部分についての検討を行うと同時に、国際協働をどのように行っていくかの議論を世界各地で開催してきました。

その一環として、3月7日～9日に京都の「みやこめっせ」において、世界13の国（イタリア、英国、フランス、中国、カナダ、オーストラリア、ドイツ、インド、日本、韓国、米国、ウクライナ、ロシア）の宇宙機関とESA（欧州宇宙機関）の代表が集まり、国際宇宙探査戦略に関するワークショップが開催されました。今回の主な目的は、人類は何のために月や惑星の探査を行うのか、その実現のためには国際協働が必要であるという、最も基本となる世界共通認識の確認であり、これを一つの文書にまとめることができました。今後は、具体的にどう国際協力体制を築いていくかについての議論に進むことになるでしょう。次回のワ



NASA・グリフィン長官の講演



星出宇宙飛行士も参加したパネルディスカッション「月探査への期待」

ークショップは、5月にイタリアで開催される予定です。

国際ワークショップには世界各国の宇宙機関を代表するメンバーが集まるため、この機会を利用して、3月6日～7日に一般公開である「宇宙探査シンポジウム」をホテルグランヴィア京都にて開催しました。シンポジウム初日には、JAXAが現在計画している月惑星探査計画の紹介に続いて、我が国として月惑星探査において何をやるべきか、国内の各分野の専門家に講演をお願いしました。2日目はNASA長官、ESA長官などの基調講演に続いて、国内外の専門家や星出彰彦宇宙飛行士を招いた月惑星探査に関するパネルディスカッションを行いました。世界各国の月惑星探査に関する現状の紹介があり、また専門家の方々からの応援、あるいは厳しいご意見、会場からの質問・意見なども多数寄せられ、大変に有意義であったと思います。シンポジウムへの参加者は1日目272名、2日目355名と大盛況で、参加者からのアンケート結果もおおむね好評でしたが、一般の方からは休日に開催してほしいとの希望もあり、次回以降の開催方法は、このような意見を参考に検討したいと思います。（橋本樹明）



国際宇宙探査戦略ワークショップに集まった13の国とESAの代表者

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
種子島	SELENE 射場作業および運用の訓練・リハーサル	
三陸		平成19年度第1次気球実験

月周回衛星SELENE この夏いよいよ打上げへ

2007年夏、いよいよ「SELENE」衛星が打ち上げられる。H-IIAロケットを使って、1トン余りの燃料込みで約3トン重量の人工衛星が打ち上げられる予定である。日本の月探査は、1990年に「ひてん」衛星で月軌道投入などの技術試験を行っており、2度目の月行きである。

アメリカが1994年に打ち上げたクレメンタイン衛星450kg、ルナープロスペクタ衛星300kg、昨年9月に月面衝突で使命を終わらせた欧州宇宙機関のスマート1は366kg、今年打上げ予定の中国のチャングェ2トン、来年春予定のインドのチャンドラヤーン1.1トン、来年秋予定のアメリカのルナリコネッサンスオービタの2トンに比べ、SELENEはかなり大きい。SELENE衛星の観測機器重量は約300kgでチャングェの2倍、チャンドラヤーンの5倍である。SELENE計画は月周回軌道から15種類の観測機器でグローバルマッピングを行うものであり、複数機器の同時観測によるデータ取得で、統合サイエンスとして月の起源と進化に迫る。

■2週間かけて月軌道へ

SELENE衛星は、地球まわりの静止軌道から、地球を2回半周回するフェージング軌道を経て月周回軌道に投入される。打上げ約2週間後の月軌道投入までに、太陽捕捉・太陽電池パドル展開、ハイゲインアンテナ展開、スターセンサ確立により衛星の電源と通信・姿勢の確立を行う。この間に、軌道投入誤差修正など数回のミッドコースマヌーバ、バス機器の動作チェックのほか、「遠ざかる地球」の撮像なども計画している。

月周回軌道ではまず、近月点高度100km・遠月点高度1万3000kmの長楕円で傾斜角90度の極軌道に、SELENE衛星が投入される。その後、遠月点を下げるマヌーバを行い、ノミナル観測高度の100km円軌道に約3週間投入される。その間に二つの子衛星（各約50kg）であるリレー衛星（Rstar）とVRAD衛星（Vstar）が、近月点高度100km・遠月点高度2400kmの楕円軌道と、近月点高度100km・遠月点高度800kmの楕円軌道に、それぞれ毎分10回転のスピンド安定させて放出される。

SELENE衛星が高度100kmの円軌道に到達した後、月軌道から地球のプラズマ圏を撮像観測するプラズマイメージャの立ち上げと、両端長が30mの2対のサウンダーアンテナ、および先端に磁力計を装着した長さ12mの伸展マストの展開を行う。それぞれ伸展に30～40分を要する。展開がすべて終了すると、高電圧印加を含め観測機器の電力立ち上げが行われる。約2ヶ月かけて観測機器動作チェックが終了すると、その後10ヶ月のノミナル観測期間に入る。ノミナル観測期間では、高度維持と月中心指向の姿勢制御を行う。

■15種類の観測機器を搭載

SELENE計画は、当時の宇宙開発事業団と文部省宇宙科学研究所の共同ミッションとして開始された。そのため、評価選定や審査を双方で行うこともあったが、バス機器

の開発担当は宇宙開発事業団、観測機器の開発は宇宙科学研究所が責任を持つという切り分けで開発がスタートした。SELENE衛星には、14種類の科学観測機器と、広報活動を目的としたハイビジョンカメラが搭載されている。科学観測機器は、平成7年度に全国の大学・研究機関の月研究者が提案したものから、宇宙科学研究所の宇宙理学委員会での評価を経て選定した。ハイビジョンカメラは平成11年に担当者を公募した後、これも宇宙理学委員会の評価を経て搭載が決定した。

次号から搭載機器の観測項目とその科学の特徴が紹介されるので、詳細はそれらを読んでいただきたい。図に、搭載機器の配置を記載した。月表面観測機器は月面指向で、月環境観測機器は反月面方向にも搭載されている。

SELENE衛星に搭載される観測機器は、ハイビジョンカメラを含め、宇宙での使用がこれまでなかった世界最高のエネルギー分解能、空間分解能、高精度のものであり、世界最初の実験となるものも含め個々の観測機器データのみで高い科学成果が得られるであろう。しかし複数の観測機器データを統合すると、もっと大きな科学成果を生み出せる。従来二つ、三つの探査機で実行していた項目を同時に実行するSELENE計画は、効率のよいミッションである。統合サイエンスの例を挙げると、月の形成最終期にはマグマオーシャンが存在したか？月の二分性の起源は？月のバルク組成は？月のプラズマ環境は？磁場はあるか？かつてあったのか？という、月の起源と進化の謎に答えるさまざまなテーマがある。搭載機器の解説の後に、それらについて述べることにする。

（かとう・まなぶ）



浩三郎の 科学衛星秘話



「のぞみ」



井上浩三郎

ついに火星周回を断念

涙ぐましい長期にわたるオペレーションにもかかわらず、2003年12月9日、共通系電源(CI-PSU)の回復が見込まれないことが確認されたため、ついに断腸の思いをもって火星周回軌道への投入を断念しました。とはいえ、万が一にも火星へ衝突することのないようにしなければなりません。その衝突確率を下げるために軌道変更のコマンドを打ち、その結果、12月14日、「のぞみ」は火星の表面から約1000kmのところを通過し、12月16日には火星の重力圏を脱出して、太陽を中心とする軌道を回る人工惑星になりました。

所内では直ちに不具合調査委員会が設立され、中谷一郎先生、早川基先生を中心に「のぞみ」チームは精力的に事故原因の究明を行いました。その結果を踏まえ、最終的に宇宙開発委員会の不具合調査部会において、「のぞみ」に生じた二つの不具合に関して、その原因究明および今後取るべき対策、科学衛星の設計思想へ反映すべき事項などが取りまとめられました。

「のぞみ」が残したもの

こうして日本初の火星探査機「のぞみ」は、目的とした火星周回軌道への投入ができず、開発に携わった多くの方々、特に火星の上層大気と太陽風との相互作用を研究する研究者にとっ



1998年7月4日の打上げを前に、最終整備を終えたPLANET-B (のぞみ)。

火星探査機「のぞみ」その5

て大変残念な結果になってしまいました。しかしながら、今後の惑星ミッションを行う上で、我々に多くの教訓と工学的成果を与えてくれました。「のぞみ」は日本で初めての本格的な惑星ミッションで、工学的には多くの開発要素があり、大変な難しい問題に幾度か直面しましたが、チーム一丸となって取り組み、知恵と頑張りで解決し、実りの多いミッションだったと思います。

紙面の関係で詳しく述べることはできませんが、報告によると、「ミッション解析、軌道の設計・運用技術、軌道を精密に決定する技術、自律化技術、超遠距離の通信を実現するための通信機器技術と運用技術、搭載機器を極度に軽量化する技術、地上支援のために必要なソフトウェアの大幅な人工知能化」など多くの工学的な成果がありました。

これらの中でも、自律化技術など運用にかかわるいくつかの技術は、すでに2003年5月に打ち上げられた小惑星ミッション「はやぶさ」に大いに活かされています。特にこのミッションで最大の課題であった「地獄のような重量削減要求」に対し、それを実現させた「軽量化に関する技術」について、真っ向からこれに取り組みされたNECシステム担当の安達昌紀さんは「軽量化達成のポイントは間違いなくシステムの“執念”です」と語っておられます。

おわりに

5年の間、「のぞみ」は日本初の惑星探査機として幾多の難関を乗り越えつつ、金属板に刻印された27万人の人々の名前とともに、太陽系空間を航行し火星を目指してきましたが、残念ながら期待に応えられず、いま一步のところまで及びませんでした。この経験をもとに、力不足だったところや反省すべきところを謙虚に受け止め、至らなかったところを見直し、対策を施し、それが今後の衛星設計に反映されれば、今回の失敗は次のミッション成功への道になると思います。特に大事なものは「のぞみ」で得た貴重な人的経験であり、そのノウハウを若い後輩に引き継ぐ努力が必要であると確信しています。(いのうえ・こうぞぶろう)



ロケットの状態監視

M-Vロケット・計測班
富澤利夫

今回は「ロケットの状態監視」として、計測班についてお話しします。

計測班の主目的は、ロケットの性能（モータの燃焼・構造強度など）、搭載機器および機体各部の環境（加速度・振動・音響・温度・外圧など）についての計測値を取得することです。また、ロケットが正常に飛んでいるかどうか計測値を監視し、異常があれば飛翔保安担当者に連絡をします。

これらの計測を行うセンサ（検出器）は、それほど特殊なものではなく、一般的に使用されているものです。いくつか例を挙げてみます。簡単に説明しますので正確さを欠くかもしれませんが、失礼します。

①抵抗線ひずみゲージ

ひずみ（力）が加わることによって、電気抵抗が変わるセンサです。機体構造の強度を確認するときに使用します。

②圧力センサ

金属性の円筒型圧力容器の内部に圧力を受けるための弾性金属板（ダイアフラム）があり、これに加わるひずみを検出するセンサです。ひずみを検出する方式には、前述の抵抗線ひずみゲージや、ピエゾ抵抗効果（半導体結晶にひずみ加わることによって内部のエネルギー構造が変化し、正孔または電子の移動量が変化して電気抵抗が変わる現象）を利用した半導体ゲージ（通常はシリコン）があります。最近では半導体をよく使用しています。

③加速度（振動）センサ

センサケース内が、重りをばね（板ばねなど）と減衰機構（ダンパ）で支えた構造になっていて、重りの動きを検出するセンサです。重りの動きの検出には、ひずみとして検出する抵抗線ひずみゲージや、半導体ゲージ、圧電効果（ひずみを受けることによって電圧が発生する現象）を利用した圧電素子を用いた方式などがあります。また、重りの変位として検出するサーボ型の方式もあります。最近では、加速度はサーボ型、振動は圧電素子を用いたセンサを使用しています。

④熱電対（温度）センサ

ゼーベック効果（二つの異なる金属の両端を結合し、両結合部に温度差を与えると電圧が発生する現象）を利用したセンサです。主に、K型（クロメルとアルメル金属）を使用しています。

以上が、主にロケットに使用しているセンサですが、このほかにもいろいろなセンサがあります。

これらのセンサを使用して計測する点数は、M-Vロケットで230から300点になります。また、計測場所（センサ位置）は1段、2段、3段の各モータ、衛星と、ロケット全体に及んでいます。センサからの信号を増幅してテレメータ（搭載機器の状態を電波で地上に知らせる装置）に送る計測機器の



M-Vロケット1段モータ頭部耐熱ゴム温度センサ取付け作業



M-Vロケット3段モータ伸張ノズル温度センサ取付け作業

搭載場所は、各段の頭部かノズル部と限られているので、センサまでの線が長くなり、最長20mほどになることもあります。そのため、外来ノイズなどの影響を受けやすくなり、その対策に苦勞しています。

センサの取付け作業は、ロケットの組み立て作業の手順に従って行いますが、計測点数が多く、3人程度で行うので、打上げ直前までかかってしまうことがあります。写真は、温度センサを取付けている作業風景です。

センサの取付け作業がすべて終了したら、あとはロケットの打上げを待つだけです。打上げの当日は、正常に計測できるか緊張しつつ、計測値の監視をしています。

以上が計測班の仕事ですが、各班の協力があってこそ順調に作業が進んでいると感謝しています。今後ともよろしくをお願いします。
(とみざわ・としお)



南アフリカの紹介

観測で延べ2年もいた

今から8年前、私は大学院の入試要項を読んでいた。「この先生のもとで研究がしたい!」そんな先生を探すためだ。どの先生もまじめに研究を紹介していたが、その中であってただ一人、研究内容の説明もそこそこに、「修士のときから南アフリカ天文台で観測し、毎晩のようにおいしいワインを飲んでワイン通になった者がいる」で締めくくる先生がいた。後に指導教官になっていただくことになる中田好一先生(東京大学天文学教育研究センター教授)である。「おお、なんやこの先生、おもしろいなあ」で、私の先生選びは即座に終わった。決してワインにひかれたわけではない。悲しいことに、私は下戸なのだ。しかも毎晩ワインを飲むってことは、晴れない=観測できないってことじゃないか、ダメダメだ。

さて、入試に無事合格した私は、その後何度となく南アに行くことになる。南アに行くまでは、原色の服を着て、やりを持ったり、頭に何かを載せたりして、果てしなく広がる草原を悠々と歩く人たちを想像し、「ああ、彼らと友達になって一緒に獲物を狩ってみたい!」なんて思っていた。ケープタウン(CPT)空港に降り立った瞬間、オバカだったことを悟る。大都会だ。そんな人はどこにもいない、もちろん獲物もない。

空港からCPT天文台までは約20km、移動にはタクシーを使う。途中、巨大な生ごみ処理施設があり、数km手前からひどいにおいがしてくる。ごみ処理施設のすぐ隣には貧民街があり、戦後のバラックといえは想像がつく人もいるだろう、石の重りが載ったトタン屋根の小屋が数百軒、雑然と並んでいる。貧しい黒人たちは、このような場所に集まって住まざるを得ないだろう。その中であっても、明るく遊び回るたくさんの子どもたちを見て、多少は心が軽くなる。

CPT天文台に着くと、神殿のような白い建物が目に入る。エントランスの壁には、1820年の南ア天文台創立以来増え続けている天文の専門書が所狭しと並んでおり、ほこりにまみれた古書を手に取って読むことができる。CPT天文台の敷地内にも望遠鏡があり、観測もできるが、ほぼすべての観測者は、

CPTから400kmほど内陸に入ったサザランド(SUTH)観測所で観測を行う。SUTH観測所へは、天文台の車を天文学者自身が運転して移動するのだが、日本から丸一日飛行機に乗り、寝不足でふらふらな私に車のキーを渡し、「はい、気を付けて行ってきてね、うふっ!」とウインクされたときには、相手がかわいい女性でなかったら愚痴の一つも言いたくなる。

方向音痴な私だが、南アフリカでは道に迷わない。市街地を抜けると、あとは地平線まで見渡す限り一本道なのだ。車も少なく、制限速度は120km/h。車窓には広大なアフリカの大地と抜けるような青空が広がり、狭苦しい日本との違いを感じながらのドライブは気持ちが良い。ただ、対向車もほとんどなく、まわりに人家も電話もないので、もしここでガス欠になったり車が故障したら、たぶん死ぬな……なんて不安になったりもする。

無事にSUTH観測所に着くと、そこは見渡す限り岩がごろごろ転がっている。火星探査機から送られてきた火星表面の写真を見たことがある人は、あれを想像するとよい。そんな荒れ地にもかかわらず、観測所敷地内にはスプリングボックというシカのような動物がたくさん生息している。さながら南ア版奈良公園だが、放し飼いと野生は違うのだろう、スプリングボックは日本から持っていったシカせんべいは食べなかった。冗談が分かる共同研究者とともに実験したのだ。スプリングボックの肉は食べるとおいしいそうだが、逃げ足が速いのと、かわいらしい見た目にやられて、狩る気は起こらない。

SUTH観測所には、コニシキがたくさんいる。天文学者たちに食事を作ってくれるおばちゃんたちだ(ごめんね、おばちゃん)。食事はほぼ毎日、羊の肉が出てきて、食後のデザートまである。普通は数日で飽きるらしいが、私は食べ過ぎて小さいコニシキになりそうだった、というか、なってしまった。おばちゃんたちも、うまいと言ってたくさん食べる私を気に入ってくれたようで、私だけホームパーティーに招いてくれたこともある。気分はすっかり、みのもんだである。

数週間の滞在後、帰国すると言うと、おばちゃんたちが抱きしめてくれた。抱き返したいが、おばちゃんが太過ぎて腕が体を一周しない。彼女たちの柔らかくて豊満な胸、じゃなくて腹に埋もれながら、横腹をベチベチする。抱かれながら、う〜む、巨木にしがみつく感じだ、屋久島の縄文杉とどちらが……と失礼なことを考えつつ、別れを惜しんで帰国の途に就いた。(いた・よしふさ)



サザランド観測所付近に生息するスプリングボック。辺りに捕食動物はいないため(いたら怖くて我々も観測なんてしてられない)、食べ物の少なさが個体数をリミットしているのだろう。ほかにもハリネズミ、ダッシーなどの小動物が生息している。

赤外・サブミリ波天文学研究系 研究員

板由房



私のイタリア紀行

西村敏充

宇宙科学研究所 名誉教授

1986年の秋、パドヴァ大学(ガリレオ・ガリレイが教えていたといわれる)で開催されたハレー彗星観測の国際会議に出席のため、宇宙研の各先生とともに北イタリアのパドヴァを訪れた。そこは古い大学の建物と新しい現代の建物とが混在している(イタリアではこんな形の遺跡が多い)古い街である。ハレー彗星が76年ぶりに回ってきたのを各国が競って観測し、その成果を報告する会議であった。

国際会議自体は新しい大学の会議場で開かれたが、晩餐会は古い街の宴会場で開かれた。案内の人に連れられて宿舎から歩いていったが、古い街の方は真っ暗で、古い建物が夜の闇の中に黒々とそびえていて、こんな廃墟みたいなどころに果たして宴会場があるのかと疑うほどだった。だが、たどり着いてみると、そこだけは明々と電燈がともし、立派な宴会場であった。

翌日、最後の会議場であるローマを目指して列車に乗ることとなった。林友直先生、松尾弘毅先生、的川泰宣先生と私の4人で1ボックスをほぼ占領して、まずフィレンツェへ向かった。途中ワインを飲みながら中部イタリアの美しい風景を眺め、車中楽しいひとときを過ごした。

途中に立ち寄ったフィレンツェは、街中が美術館といっぴよい美しい街であった。最初に有名なウフツィ美術館を訪ねたが、ここはポッティチェリの「ヴィーナスの誕生」をはじめ数々の名画をそそえた最高級の美術館である。しかし、筆者は当時大変なヘビースモーカーで、当時の国立天文台の森本雅樹先生が「西村先生

は美術館の壁にある絵をろくに見ないで、部屋の真ん中を真っすぐ通る」と評されているように、まったく見ないわけではないがそんなに詳しく見ないで(前にも訪れていたせいもあるが)真っすぐ出口に進み、出口の階段に腰を下ろしてプカブカとたばこをふかしながら、ほかの先生方が出てこられるのを待っていた。

そして、いよいよローマに着き、小田 稔先生、上杉邦憲先生と合流して、ローマ法王の謁見の場に臨んだ。会場は「法王謁見の間」といわれる法王庁で最も豪華な部屋で、入り口では確かスイスから来たという美しい服装に身を固めた衛兵が直立不動の姿勢で警護していた。聴衆は詳しくは知らないが、前列には赤い帽子をかぶった枢機卿が並んで座っておられた。

我々代表団は舞台の上で、法王の座を中心に向こう側は前列にヨーロッパ代表団、

その後ろにソ連の代表団が着席し、こちら側は前列に日本の代表団、後列に米国の代表団が着席した。米国勢が日本の後列にいたのは、ハレー彗星観測計画でヨーロッパはジオット1機、日本はMS-T5(さきがけ)とPLANET-A(すいせい)の2機、ソ連がやはり2機打ち上げたのに対して、米国は観測支援ということで探査機は上げなかったためである。

しばらくして中央の法王席に法王が着席され、代表者によるミッション成功の報告があり、その後、参加者が一人ずつ法王からお言葉を賜った。緊張のため何とおっしゃったか分からなかったが、横から専属のカメラマンが写真を撮って皆に渡してくださった。その写真は、今も我が家の壁に飾ってある。

翌日、上杉先生と一緒にナポリのそばの有名なポンペイの遺跡を訪ねた。途中、先生と別れ、一人で歩いて帰り道を探り、やっと小さな駅のホームにたどり着いた。列車を待っていると、外から男の人が声を掛けてきて、ここは支線だからめったに電車は来ない、表の方に回れと教えてくれた。そこで慌てて引き返して列車に乗り、ローマに着いて

飛行場に駆けつけると、夜7時ごろであったが、ほとんどのブースは閉まっている。これは大変だと慌てていたら、ただ一つエール・フランスのブースだけ電気がついていて、パリ行きの最終便に間に合ってパリ経由で帰国することができた。

青春とはいえないが、宇宙研時代の最も輝かしい、懐かしい思い出である。

(にしむら・としみつ)



ローマ法王パウロ二世にハレー探査の報告をする小田稔 所長(当時)

夢はスペースシャトルから始まった

宇宙航行システム研究系 助教授
澤井秀次郎

——宇宙にかかわる仕事に就こうと思ったきっかけは？

澤井：スペースシャトルが1981年に初めて打ち上げられたとき、その様子が日本でも生中継されました。しかし、家族は宇宙に興味がなく、夜中に私一人、みんなが寝静まった中でテレビを見つめていました。スペースシャトルの打上げを見て、多くの人は「スペースシャトルで宇宙に行きたい」と思ったでしょうが、私は「ああいうものを作りたい」と思ったのです。それがきっかけとなり、今、ここにいます。もし15歳のあの日、家族と一緒に寝ていたら、私は違う仕事をやっていたかもしれませんね。

——宇宙研ではどういう研究を？

澤井：科学衛星や探査機に搭載されるエンジンの開発や、制御の研究が中心ですが、まったく違うこともやっているんです。その一つが、気球を使って無重力実験ができないか、ということ。高度40kmくらいまで上げた気球からカプセルを落とすと、自由落下するカプセルの中が無重力環境となって、無重力実験ができるのです。

でも、私は制御屋なので、ただ落とすだけでは面白くない。高度40kmというと空気は非常に薄いですが、それでもカプセルは空気抵抗を受けて減速したり、風を受けて揺れたりするため、本当の自由落下にはなりません。そこで、ロケットのような機体にカプセルを入れ、その中で実験を行うシステムを開発しました。気球から落下させた後、機体に取り付けたアクチュエータという小型エンジンで姿勢を制御して、カプセルが機体の内壁にぶつからずに浮かんでいるようにします。カプセルは空気抵抗などを直接受けることがないので、本当の自由落下になります。無重力状態の継続は1分ほどで、航空機を使った場合と同じですが、きれいな無重力状態を作れる点が売りです。宇宙ステーションを使えば長期間の無重力実験ができますが、「手軽に」という点では私たちの方が優れているでしょう。

昨年5月に初めての実験を行い、システムとしてうまく機能することを確認しています。今年5月、改良を加えた機体を使った実験を行います。それが成功すれば、一応の完成と考えています。

——なぜ、気球を使った無重力実験システムを作ろうと考えたのですか。

澤井：一言で言うと、面白いから。やっぱり、自分が面白く感じることをやっていたいじゃないですか。しかも、このシステムは、その後の発展に期待が持てるから。30秒も自由落下すると、機体の下側



さわい・しゅうじろう。1966年、東京都生まれ。1994年、東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻博士課程修了。同年、宇宙科学研究所システム研究系助手。2003年、同助教授、総合技術研究本部主任研究員を経て、2004年より現職。科学衛星推進系やM-Vロケット第3段搭載のサイドジェット装置の開発を行う。現在は、月探査計画の提案グループとして活動するとともに、気球を利用した無重力実験機の機体開発を担当。

は超音速の状態になります。そこに注目したのです。JAXAでも超音速の飛行機を開発していますが、そのためには、エンジンや材料、制御を超音速の状態を試験する必要があります。

しかし、機体を地上から打ち上げて超音速状態にするのは、とても難しい。気球から落下させれば、手軽に超音速状態を作り出すことができるのです。

——スペースシャトルを作るという夢は実現しそうですか。

澤井：厳しい訓練をした宇宙飛行士にしか乗ることができないスペースシャトルよりも、今は、一般の人でも宇宙に行ける乗り心地の良い宇宙船を作りたいですね。私は、スペースプレーンがいいと考えています。スペースプレーン構想は以前からありますが、いまだ実現していない。何が難しいかというと、エンジンの開発なのです。エンジンや材料、制御を超音速状態で数多く実験できるようになれば、状況は変わりますよ。

——話が、気球を使った無重力実験システムにつながりましたね。

澤井：そうですね。ばらばらなことをやっているように思われてしまうのですが、自分の中では一定の法則があるのです。スペースプレーン用に開発中のジェットエンジンを気球から落下させ、超音速状態で燃焼試験をする計画も進んでいます。

——ほかにも“面白いこと”をいろいろ考えていそうですね。

澤井：月面にピンポイントで着陸する技術もそうですし、いくらでもありますよ。でも、子どものアイデアにはかないませんね。私たちの場合、プロのプライドと専門知識が邪魔をして、新しいことをやるにしても徐々にしか変えられない傾向があります。でも、子どもたちの発想は自由です。多くは荒唐無稽で終わってしまいますが、アイデアの中には、宇宙開発・研究を不連続に大きく変え、花開かせてくれる可能性があるかと期待しているんです。

子どもたちがいろいろなアイデアを出せる場や機会があるといいですね。宇宙教育センターでも取り組んでいます。私たち研究者・技術者一人ひとりが、こんな面白いことをやっているんだよ、と子どもたちに伝える努力をすることも重要ではないでしょうか。

ISASニュース No.313 2007.4 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

今号にも、衛星やロケットによる最先端の成果が続々と寄せられました。しかし、結果の核心を詳しく正確に紹介することと、易しく分かりやすく書くことの両立は、簡単なことではありません。寄稿して下さる方は皆さんご苦労されていますが、編集者にとっても頭の痛いところです。(松岡彩子)

*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