

8 269
Sニュース

宇宙科学研究所

2003.7 No.268



▲小惑星探査機「はやぶさ」の着陸想像図（本文記事参照）

〈宇宙科学最前線〉

小惑星探査機「はやぶさ」の研究計画

宇宙科学研究所システム研究系 川口 淳一郎

第20号科学衛星MUSES-Cは、2003年5月9日の打ち上げ後「はやぶさ」と改名され、現在2004年5月の地球スウィングバイに向けてイオンエンジンを稼働中です。「はやぶさ」プロジェクトは工学実験の衛星計画であり、種々の多様な新規技術の開発と実証を目的としていて、それらは総合工学の研究計画として位置づけられています。一方、理学面においては、太陽系探査の視点を始原天体へと展開し、サンプルリターンという新たな探査方式の実証を行うことが、「はやぶさ」プロジェクトの目的の根幹です。しかし、ここでは工学面を紹介することに限定したいと思います。

小惑星サンプルリターン計画の宇宙科学研究所における検討は、実はかなり古くに始まっています。初の惑星間探査機「さきがけ」が成功裏に打ち上げられ、

「すいせい」の打ち上げを間近に控えた1986年6月に、現所長の鶴田浩一郎先生の主催で行われました。その翌年には、Anterosを対象として、90年代に想定するミッション例として化学推進機関によるサンプルリターンの構想をまとめたのですが（図1）、時期尚早でプロジェクトとして提案されることはありませんでした。ただ、このときの原案の図を見て驚くのは、偶然とはいえ1998SF36を想定した「はやぶさ」の軌道ととてもよく似ていることです。また、この段階で早くも惑星間軌道からの直接リエントリが必須技術であることが報告・提案されていたことは特筆すべきことでしょう。

「はやぶさ」で開発・実証を目的としている4つの新技術要素は、イオンエンジンを主推進機関とした惑星間航行、光学観測による自律的な航法と誘導方法、惑

星表面の標本採取技術、惑星間軌道からの直接大気再突入と回収です。あまり強調されてはいませんが、このほかにも2液小推力化学推進機関、総電力固定のデュエティ制御型熱制御、イオンエンジンを閉ループに組み込むホイールアンローディング、PN-code超遠距離測距(PN-codeは送信電波に乗せる疑似雑音符号で、この符号の往復伝搬時間を測定することにより距離を求めます。)、リチウムイオン2次電池の採用など、各種の新たな衛星・探査機技術が導入されています。「はやぶさ」は、まさにハイテク・ロボット宇宙船でもあります(図2)。これらの技術要素の研究については専門性も高く、ご担当の方々から紹介いただくのが適当なので、今回は列举するにとどめさせていただき、私の紹介できる範囲で、飛行計画と今後の応用について研究計画とからめて紹介させていただきたいと思います。

私の所属するシステム研究系は、アストロダイナミクスという軌道運動や姿勢運動、自動制御理論を背景として、航法・誘導・制御工学を用いて、探査機や飛翔体の飛行解析や計画立案を担当する部門です。振り返ってみれば、現在の私の研究動向を支配したきっかけは、大学時代の1975、76年に行われた、NASAの火星探査機Viking-1、2号の成果によるところが大了。以来、「自動制御」と、現在では一般用語になっていますが「軌道修正」を行うことの2語が自身の研究の方向を左右してきたといえます。以下では、これに関連するアストロダイナミクス研究面での「はやぶさ」プロジェクトへのごく簡単な適用例を2つ取り上げてみたいと思います。

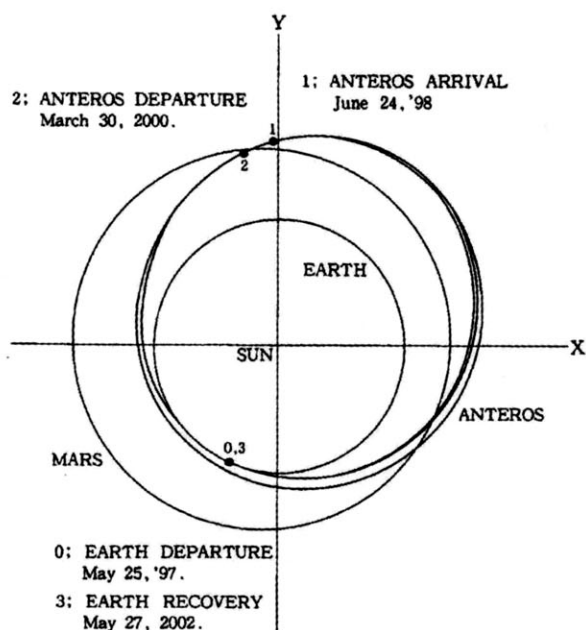


図1 1987年のAnterosサンプルリターン計画案

最初の例は、軌道最適化の応用です。「はやぶさ」の飛行計画でよく受ける質問に、どうして地球スウィングバイを使うのか、というのがあります(図3)。「はやぶさ」の打ち上げはM-Vロケットの不具合から延期になり、探査対象とする小惑星の変更も余儀なくされました。しかし探査機自体は燃料タンクを含めて設計、製作済みであったことや、また、もともと打ち上げるM-V型ロケットの能力をいっばいに引き出して計画されていたため、多くの代替対象小惑星への飛行には打ち上げロケットの能力不足ないしは探査機の重量超過となってしまいました。ただ幸いにイオンエンジン推進剤タンクにはわずかに余裕があり、イオンエンジンを使って、輸送能力の改善を図る方策が残されていたわけです。イオンエンジンは、非常に高速でガスを排出してその反力で推力を得る推進機関で、非常に燃費の高いことが特徴です。反面推力は非常に小さく、短時間で大きな加速を必要とする打ち上げ段階には使用が困難です。しかし、いったん惑星間に探査機を打ち出してしまうと、もはや「落っこちる」心配はなく、推力方向も1日に1度程度といった緩やかな操舵で十分な加速を行うことができることになります。「はやぶさ」で実際に地球から小惑星に出発する時期は2004年5月です。それまでの1年間に、この惑星間での加速を行わせることで、打ち上げ能力不足を補っているわけです。直感的には理解が難しいかもしれませんが、惑星間で加速する効率的な方法は、このイオンエンジンでの加速を地

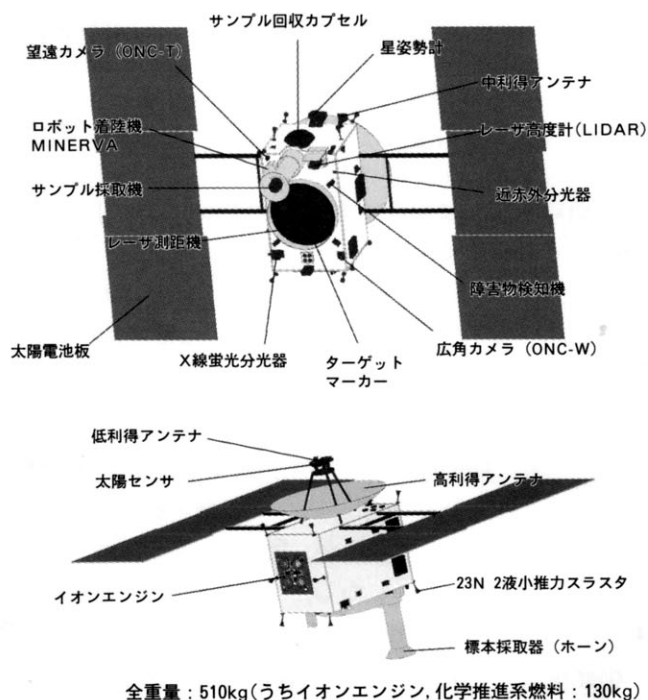


図2 「はやぶさ」の搭載機器

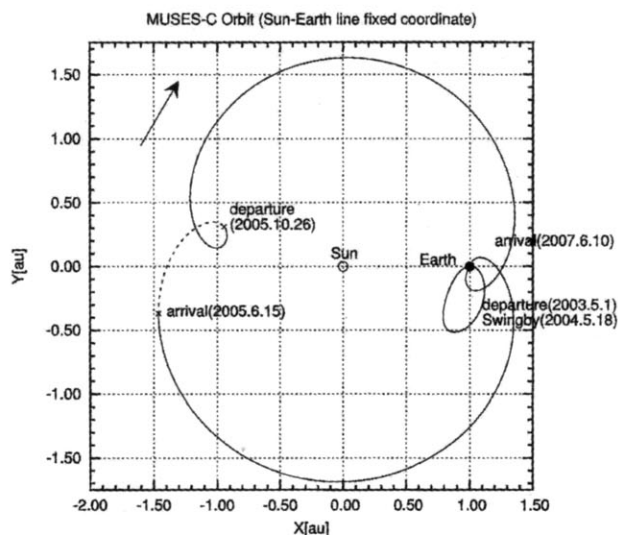


図3 現在の「はやぶさ」の飛行計画図（太陽－地球固定系）

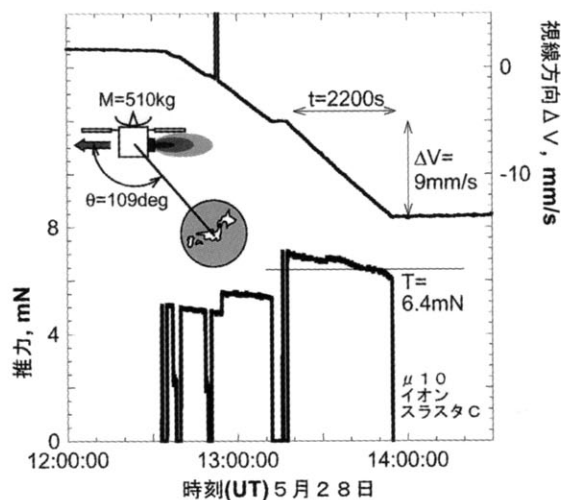


図4 イオンエンジン駆動によるdoppler O-C変化図

球スウィングバイと組み合わせることです。理想的には、惑星間にてイオンエンジンで加速した量の2倍の増速量を、スウィングバイを併用することで得られる計算です。「はやぶさ」の場合には、推力が小さいことなどにより、この効率は1.3倍とやや小さくなっていますが、それでも探査機重量に換算すると25～30kg、探査機全体重量の5～6%の化学燃料相当の節約を図ることができています。軌道運動は非線形ダイナミクスの最も簡単な例であって、打ち上げ時の速度に惑星間のイオンエンジンでの増速量を加えた結果が、足し算ではなくて、おまけが追加されることになります。この方策は非常に効率的で、小型の打ち上げロケットの等価的な能力を飛躍的に増加させる秘策で、将来の高打ち上げエネルギーのミッション、外惑星や彗星など遭遇点が遠方である惑星探査にも幅広く応用可能だと考えています。

次の例は光学航法です。文字通り、探査機上のカメラで目標の小惑星を撮影して、その方向の情報から探査機と小惑星の相対的な位置・速度を推定する方法です。考えてみれば、われわれは普段から人混みをさける行動の中で常にこれを行っているので一見当たり前のように思えるかもしれませんが。ある平原の線路を走る列車から、遠方の灯台を見たときとします。例えば線路から灯台方向のなす角度を計測するわけです。2点で観測すると三角測量で灯台までの距離が推算できるように思えるかもしれませんが、実はこれは正しくありません。列車の速度が分かっていたらその通りなのですが、これが未知だと灯台までの距離を知ることができないのです。しかし列車の速度を既知の決まった量だけ変更できれば、最初の列車の速度は不明でも、灯台までの距離は推定できるようになります。野球の外野手がフライを

捕球する際にも、これと同じ動作を行っています。真正面に飛んできたボールを捕球するためには、外野手は左右に動いてボールの落下点を見定めています。これも同種の方法です。光学的な情報は、2次元の角度の情報ですから情報量が不完全で、観測性が整っていないため、意図的に運動を入力することで、観測性を確保しているということになります。「はやぶさ」では、イオンエンジンで加速しながら観測を行うことで、光学的に小惑星に接近しランデブーを行えるわけです。「はやぶさ」が小惑星に到着する時に地球からの距離は約3億kmにもなり、電波による探査機の位置推定では、300kmもの誤差を生じてしまい、大きさが500mほどの天体にランデブーさせることは困難です。「はやぶさ」は、このように画像情報に基づいて小惑星を観測することにより、小惑星に到着するわけです。

「はやぶさ」は工学実験探査機ですが、サンプルリターンという新たな理学観測目的をかなえることと、新しい工学技術の開発とをうまくブレンドできた例といえます。理工が共同で戦略的に深宇宙探査を推進していくことが相補的に作用しています。「はやぶさ」で再認識されたことは、宇宙研の置かれたうまくバランスのとれた環境が背景にあったということです。宇宙開発の目的については相当の議論があるところですが、「はやぶさ」の打ち上げを通じて、社会文化的な観点から期待されていることが何であるか一端を感じることができました。まことに光栄なことにジャズの組曲まで作っていただくなど、理工学が多方面に接点を持つ文化活動の一つであることを再認識できたことも収穫です。「はやぶさ」での研究テーマとしては、われわれの活動を、このように自然科学のみならず人文社会科学という大き

な文化活動の中で位置づけることも挙げることができるのではないのでしょうか。

幸い5月28日には、前日に引き続き、最初のイオンエンジンに高圧電源を投入しての加速試験を行いました。1基だけ、それも80%レベルの出力でしたが、想定され

た加速量が、ドプラー計測で直読でき、大きな1歩を踏み出しました(図4)。小惑星到着、着陸はまだまだ遠路はるばるで、帰還までには20億kmもの飛行をしなくてはなりません(表紙)。どうぞ今後もご支援をお願いします。(かわぐち・じゅんいちろう)

お知らせ



★ロケット・衛星関係の作業スケジュール(8月・9月)

	8 月	9 月
相	DOM-4 真空燃焼試験 (あきる野) 7	M-V-6 噛合せ試験
模	ASTRO-F 総合試験	上旬
原	LUNAR-A 母船-ベネトレータ噛合せ試験	末
	ASTRO-E II 一次噛合せ試験	
能	ATREXエンジンシステム燃焼試験	
代	8	
三	第1次大気球実験	第2次大気球実験
陸	18	11 22



★ASTRO-EII計画

ASTRO-EII計画は、2000年2月10日に軌道投入に失敗したASTRO-E計画の再挑戦計画である。2005年1~2月の打ち上げを目指し、衛星の製作が進められている。

ASTRO-EII衛星には、X線天文衛星「あすか」の性能をさらに向上させたX線反射望遠鏡(XRT)が5台搭載され、それらのうち4台の焦点面にはX線CCDカメラ(XIS)が、1台の焦点面には高精度X線分光装置(XRS)が置かれる。これらの観測装置は、およそ0.5~10keVのエネルギー領域のX線を観測する。また、これらと同時に各X線源からの硬X線(およそ10~700keVのエネルギー領域)をこれまでにない感度で観測する硬X線検出器(HXD)が搭載される。これらの観測装置によりASTRO-EII衛星は広い波長帯にわたって優れた分光性能を持つ大型高性能X線天文台となる。中でもXRSは、画期的に優れたX線分光能力を持ち、宇宙の各種天体に存在する高温プラズマ中の、鉄などの重元素が放射する輝線の微細構造が、初めて観測されることとなる。その結果、ブラックホールのまわりの物質の運動や、銀河団の形成・進化といっ

た問題に、新しい光を当てることができるようになるだろう。これと平行して、XISとHXDを用い、広い波長域にわたった精度の高い連続スペクトルを得ることができ、宇宙での粒子加速の現場をとらえたり、遠方の銀河の中心に隠れたブラックホールを見いだしたりすることも期待される。

これらの観測装置の開発は、日米の多くの大学・研究機関の研究者によって行われている。また、その科学的成果を最大限に引き出すための日米欧の研究者による科学作業グループの活動も進められている。無事軌道に投入された暁には、世界の研究者に開かれた国際軌道X線天文台として一般公募観測を順次行っていく予定である。(井上 一)

★「のぞみ」スウィングバイとその基本原理

火星探査機「のぞみ」は、2003年6月19日に11,000 kmの距離まで地球に接近し、地球スウィングバイを行った。「のぞみ」の新軌道(図1)の「第2回スウィングバイ」までが達成されたこととなる。この結果、2003年12月半ばに火星に到着する軌道に「のぞみ」をのせることに成功した。

ボイジャーやガリレオなど、太陽系を探査する人工

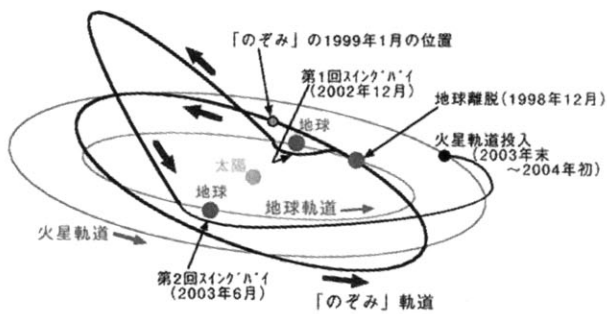


図1 「のぞみ」の新軌道計画

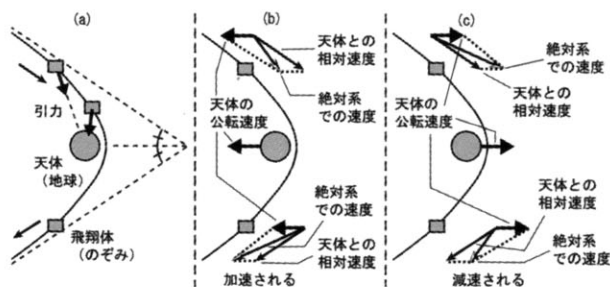


図2 スウィングバイの基本原則

衛星で頻繁に使われるこのスウィングバイという技術、「一体何？」と思われる読者向けに解説することが本稿の目的である。私自身が軌道設計については素人であるが、それを逆手にとって、なるべく分かり易い解説を試みたい。

普通、探査機の進行方向や速さを変えるためには、探査機に搭載している多くの推進剤を必要とする。スウィングバイとは、地球などの天体の引力を利用することにより、推進剤を消費することなく、軌道を大きく変更する技術である。天体から受ける引力は、その天体の質量に比例し、距離の二乗に反比例する。太陽系内の惑星間空間を航行する飛翔体は、太陽系の中で一番、しかも桁外れに大きい天体である太陽の引力影響下にある。しかし惑星や衛星のごく近傍へ近寄ると、その天体の引力が支配的となる。飛翔体が天体の近くを真っ直ぐに通るつもりでも、天体の方に引き寄せられる力が働くために軌道が曲がるのである。このとき、引力が働く領域の中で飛翔体が描く軌道は、天体を中心とする双曲線となる（図2a）。また、天体に対する相対的な速さは、引力圏に進入する時と脱出する時で等しいが、天体が太陽の周りを公転しているために、絶対的な座標系で見た飛翔体の速さは変化する。天体の公転方向に対して飛翔体が後方を通過した場合には加速（図2b）、前方を通過した場合には減速（図2c）が起こる。スウィングバイを行う際には、事前に精密な軌道制御を必要とする。

今回の「のぞみ」のスウィングバイに際しても、そ

の前にレンジングやVLBIを優先した運用を行って衛星の位置を精密に決め、軌道の修正を行っている。スウィングバイ後、約1週間かけて実施した軌道決定作業の結果、予定通りの軌道に正確にのったことが確認された。（松岡彩子）

★カナダ宇宙庁Kendall氏らの来訪

7月15日に、カナダ宇宙庁の宇宙科学プログラム部長David J. W. Kendall氏が、同部のW. William Liu氏、カルガリー大学のAndrew W. Yau教授、カナダ大使館参事官のT. Philip Hicks氏らとともに宇宙科学研究所を来訪されました。「あけぼの」の協力協定がカナダとの間に結ばれたのは1983年で、大成功だったこの協力の20周年を記念しての来訪です。カナダと宇宙研の協力の歴史は古く、1978年には、「きょっこう」（EXOS-A）の追尾をカナダのチャーチル局で行っています。また、プリンスアルバートにある衛星追跡局では「あけぼの」のデータ受信を実施してきました。最近では火星探査機「のぞみ」にもカナダの観測器を搭載しています。

鶴田浩一郎所長自身が（若かりしころ！）深く関与したカナダとの協力の話に花が咲くとともに、10月に迫った宇宙3機関統合のことが話題になりました。その後、宇宙研の担当者と、あけぼの、のぞみ、はるか、Planet-C、e-POPなどのミッションの協力の現状と将来展望につき詳細な情報交換を行い、環境試験棟では、ASTRO-EIIとLUNAR-Aの試験状況を視察しました。

Kendall氏から、宇宙研との長年の協力関係に感謝して、鶴田所長に記念品の贈呈がありました（写真）。これはイヌイットの手作り品で、彼らの言葉で“inuk shuk（「人の形をしたもの」の意）”をかたどった置物です。実物は、古くはカリブーの狩りに人を模したおとりとして用いられ、現在は道しるべとして役にたっているとのこと。（中谷一郎）



カナダ宇宙庁David J. W. Kendall氏（右）と鶴田所長。



法人化と基礎科学の振興

名古屋大学大学院理学研究科教授 山下 廣 順

宇宙3機関統合による宇宙科学研究所の独立行政法人化、それに続く国立大学の法人化と、行政改革に端を発した組織改革が急速に進められている。それは組織の長に強い権限を与え、組織運営の効率化を図ることが眼目とされている。その際、重要なことは歴史に学び、現状分析をいかに綿密に行うかであり、時間に追われた性急な改革は改悪にしかない。

特に、大学の法人化の主眼は、大学の主体性を尊重し、学長の裁量権を大幅に拡大し、自主的・自律的運営により個性化を図ることであると言われる。そのキャッチフレーズは「教育の充実、研究の活性化、組織の簡素化、管理運営の効率化」と、とらえている。

しかしながら、国会で審議中の「国立大学法人法案」を見ると、これまで以上に大学の官僚統制が強くなるように感じられる。6年の中期目標・中期計画と評価により大学を縛り上げ、教官に過重な負担を強いるのみであり、大学本来の使命である教育と研究がますます阻害されることが懸念される。

法人化の推進に当たっては、社会からは実態も理解せずに大学はゆるんでいると言われ、学内では教授会自治が強く、大学運営が難しいと言われる。しかし、「組織は人なり」と言われるごとく、システムを変えたところで活性化できるわけではない。組織の長の管理・運営能力と、構成員の意識改革が問われているのである。

大学の法人化は、大学に経営感覚を導入し、研究成果の創出による社会貢献が強く求められている。しかし、大学の最大の使命は、教育研究による人材の育成である。特に、基礎科学の振興には、真理の探究、文化の高揚、泰然自若の精神を貫かねばならない。また、自然科学の深奥を究めることは、その副産物として技術革新を伴っていることを十分に認識すべきである。

「科学技術創造立国」を目指して、重点分野（ライフサイエンス、情報・通信、ナノテク・材料、環境）に巨額の予算が投入されているが、目先の成果ではなく、20年、30年という長期的な展望に立った教育研究の推進が求められる。コンピュータは世の中を便利にし、情報化社会の中核を担うものであるが、その一方で人間の思考力を徐々に奪うという公害をまき散らしている。このような社会環境の中で基礎科学を礎に、人材育成と世界水準の研究を創出することが、大学人に課せられた大きな責務である。

宇宙科学はその象徴として、巨大科学であるがゆえに強い風当たりを受けることになるが、基礎科学の一翼を担うものとして強力に推進すべきである。科学衛星による宇宙の探究は、極限技術への挑戦でもあり、基礎科学と先端技術を先導するものと位置づけるべきであろう。そのためには、真理を探究する「科学目的」と、それを達成するための「技術目的」を明確にし、緻密な実行計画と将来構想が求められる。

研究所はプロジェクトを遂行することが最大の使命であり、大学はそれに協力するとともに基礎研究から次なるプロジェクトの芽を創出することが望まれる。相互理解と人事交流により、研究所と大学は対等な立場でスクラムを組み、この難局に対処することが必要である。

私は法人化を前に現役を去ることになりますが、法人化によって、宇宙研は新機関の中で存在感を高めて宇宙科学の推進役として、大学は主体性を堅持して高等教育と学術研究の府として、基礎科学の振興に精励していただきたい。

研究科長としての経験と学内外の現状を見ながら書き連ねました。酒の飲めない人間のいも焼酎とご理解下さい。最後に私のモットーを付記します。

——宇宙の探究は、人類に夢を与え、知的好奇心を呼び起こすとともに、
世のため人のためになる先端技術を創出する研究である——

(やました・こうじゅん)

ESA小型ロケット・気球シンポジウム

惑星研究系 小 山 孝一郎

6月2～5日にスイス、サンガレン（ザンクト・ガレン）で開かれたESA小型ロケットおよび気球シンポジウムに出席してきました。この会議は文字通り、小型ロケット、気球を用いて研究する理学の研究者、メーカーの技術者が情報を交換する機会を提供することにあるようで、2年に1回、ヨーロッパで場所を変えて開かれています。参加者数は200名弱の小規模のシンポジウムです。したがって、多くの人と話せる家庭的なシンポジウムであるとの印象を持ちました。

サンガレンはチューリヒから東へ約55kmに位置します。この町には、内装の美しさ、まれでユニークな書籍のコレクションによって、1983年、ユネスコの世界遺産に選ばれたザンクト・ガレン修道院があります。もっともこのことを知ったのは到着してから3日目で、見学の機会を失ってしまったのは悔しい限りです。加えて、リヒテンシュタイン公国がサンガレンの南約50kmにあることを、帰国してから知りました。今後もう少し旅の支度を用意周到にすべきと自戒しています。

6月1日の早朝に自宅を出て、コペンハーゲンでチューリヒ行きの飛行機に乗り換えたところで、ノルウェーのBrix博士に声をかけられました。“Small world（小さな世界）”を実感します。博士の後についてその日の夕方、サンガレン駅につきました。日本を出る直前に予約したホテルは幸いすぐ駅前にありました。部屋も極めて快適でした。翌朝、シンポジウム会場への途中、道を尋ねた外国人は日本の気球グループとなじみが深い米国Raven気球製造会社のSmith氏でした。“小さな世界”を感じた2回目です。ここでも彼の後について会場のホテルに入りました。

シンポジウムは天文物理、惑星、大気科学、計測器と技術、衛星データの検証、そして教育の6セッションからなります。初日のNational programの紹介、および2日目午前の計測器と技術のセッションを除いて、2つの部屋でのパラレルセッションです。

稲谷芳文教授が初日のNational programのセッションで日本の観測ロケットプログラムを紹介しました。再使用型ロケットは特に大きな関心を呼び、講演が終わると大きな拍手が起こりました。世界の多くの研究者がこのようなロケットの実現を夢見ています。何とか実現して欲しいものです。私は3日目の大気科学のセッションで、日本の最近の観測ロケットの成果を紹

介しました。

教育セッションでの2つの講演で感じたことについて述べてみたいと思います。1つはEducation CenterのDirectorの講演です。ESAは将来の人材の養成、遠い将来を見据えた予算獲得を目指す広報活動という観点から、教育への取り組みを強化しようとしているようです（ここでいう教育とは大学生以下）。スウェーデンのエスレンジ発射場とノルウェーのアンダーヤロケット発射場を宇宙科学教育の実践の場として整備しつつあります。各発射場が、宇宙科学、工学の授業やロケット発射を含む教育プログラムを遂行しています。

もう1つはオスロ大学Egeland教授の“Why is space education so important?”と題した講演です。教授は日本にも知己の多い老学者ですが、宇宙科学を教育に使うことの重要性を述べたあと、自らの講義の一部を紹介しました。日本でも新機構発足に当たり、教育目的の内之浦からのロケット発射、三陸からの気球実験や、退官されてもまだ教育への情熱を持っておられる方々の授業など、これらを継続的に組織的に遂行出来るような教育センターを立ち上げるべきではないかとの思いをさらに強くした次第です。

今回の旅はこれまで出席した国際会議の中で最もリラックスした楽しい旅であり、したがって「東奔西走」に最もふさわしくない記事であることを告白してこの稿を閉じることにします。これには2つの理由があります。1つには依頼された講演と、2日目夕方のアンダーヤロケット諸氏との2年後に予定されているロケット実験に関する打ち合わせ以外に、business meetingなし、セッションの座長の役なしの、純粋に皆さんの講演を楽しみ、かつNASAワロップロケット発射場のSchmidlin博士、ドイツのLubkin博士、オーストリアのFriedrich博士など、多くの研究者と旧交を温めることができたことです。2つ目は、ドイツ語の堪能な稲谷教授が私のtour guideをかって出てくださいましたことです。Bodensee湖畔の散歩、「山も湖も同時に見たい」という私の無理難題をホテルのfront嬢と共同で解決してAppenzellでの2時間の山歩き（実際、1時間かけて登った山の頂上に湖があった）の楽しさです。かといって工学の諸氏は稲谷先生が遊んでいたと誤解して、これを口実に稲谷先生を酷使されぬよう……。

（おやま・こういちろう）

第1回



惑星探訪

金星にカコウ岩を探す

東京大学気候システム研究センター はしもと じょーじ

カコウ岩というのは熔けた岩石が固まってできる火成岩の分類のひとつである。火成岩は太陽系内のさまざまな天体に存在することが知られているが、そのほとんどは玄武岩と呼ばれる種類のもので、現在までのところカコウ岩の存在が確認されている天体は地球だけとなっている。すなわちカコウ岩の存在は、地球という惑星を特徴づける性質のひとつと言えるだろう。

カコウ岩の成因については、まだよく分かっていないところもあるが、水を含んだ玄武岩が再溶融することによって生成すると一般に考えられている。地球においては、水を含んだ海洋底地殻（玄武岩からなる）がプレートの沈み込みに伴って高温の地球内部に運ばれることで再溶融し生成すると考えられている。すなわち、地球に海洋が存在し、かつプレート・テクトニクスのあることが、地球においてカコウ岩を生成する要因となっている。地球以外の天体にカコウ岩が発見されていないことは、地球以外の天体に海洋やプレート・テクトニクスがないことと整合的であると言える。

しかし過去にさかのぼるとどうであろうか？ 地球の両隣りの惑星である火星と金星には、いくつかの証拠から過去のある時期に海洋が存在していた可能性のあることが示唆されている。もし仮に、過去のある時点において海洋が存在し、プレート・テクトニクスが働いていたとしたならば、そこでは地球と同様にカコウ岩が生成されていたと考えられる。したがって今は海洋が存在しない火星や金星でカコウ岩を見つけることができたなら、それは過去にその天体で地球と同様に海洋が存在しプレート・テクトニクスが働いていた証拠と考えることができるのである。また、海洋の存在は、液体の水が生物活動に必須と考えられていることもあって、生命と関連づけられて語られることが多い。そしてプレート・テクトニクスは、大気中の二酸化炭素量のコントロールに関与し、温暖な気候を安定に維持する上で重要な働きをしているとする説がある。だとすると、カコウ岩の存在は海洋とプレート・テクトニクスにとどまらず、生命が発生・進化するために必要な環境が存在したことをも示唆すると言ったことができるのかもしれない。

では、どのようにしてカコウ岩を探せばよいのだろうか？ いちばん確実なのは、現場へ行って岩石を見

ることである。しかし、地表に探査機を降ろしての観測は、広大な惑星表面を点で観測することであり、広くカコウ岩を探索するという目的には適さない。そこで惑星表面を面的に観測する方法、例えば惑星の周回軌道上や地上からのリモートセンシング観測によって、カコウ岩を探索する手法の開発が必要となる。特に金星の場合は、地表温度が735Kにも達する高温の世界で、地表での活動が大きく制限されることから、その必要性が高い（過去にソ連が送り込んだ探査機[着陸船]の地表での寿命は最長でも約2時間）。最終的には着陸してその場観測によってカコウ岩の存在を確認することが必要であると考えるが、まず着陸点を決めるための全球的なサーベイ観測を行うことが先決である。

しかし、金星の地表を大気の外から観測することは、地表に降りることと同じくらい難しい。金星の地表は、地球の約100倍もある分厚い大気と惑星全面を切れ間なく覆う硫酸の雲によって隠されており、光を使っても地表を観測することがほとんどできない。1990年代の初めまでは、波長10cm以上の電波以外では地表を見ることはできないと考えられ、大気の外からの観測で金星地表にカコウ岩を探すことは不可能と考えられていた。しかしその後、近赤外域に大気と雲を透過して地表を観測できる波長のあることが発見された。

近赤外線地表が観測できる理屈は次のようになっている。近赤外域にある特定の波長の光は、他の波長と違って大気や雲に吸収されることがなく、大気と雲を透過することができる。また金星地表は高温なので、近赤外域の波長においても熱放射を射出することができる。そのため地表から射出された熱放射が大気の外まで漏れ出てきて観測されるのである。地表から射出される熱放射の強度は温度と放射率によって決まり、放射率は物質によって変わることから、放射率を使って地表物質を制約することができる。ただし、大気の外へ漏れ出てくる光は雲による散乱の影響を受けており、地表放射率を推定しカコウ岩を発見するためには高精度の観測が必要とされる。

今後、「すばる」望遠鏡を始めとする巨大望遠鏡による観測やVenus Climate Orbiter (PLANET-C) 計画に、金星カコウ岩発見の期待がかかるものである。



第5号科学衛星「きょっこう」

井上 浩三郎

この衛星は、打ち上げ前の名前がEXOS-Aで、いわゆるEXOS系（大気プラズマ）、ASTRO系（天体物理）シリーズと分類し始めた最初のものです。1978年2月4日16時00分、M-3Hロケット2号機によって、軌道傾斜角65.3度、遠地点高度3,978km、近地点高度641kmの準極軌道に投入され、「きょっこう（極光）」と命名されました。主な観測目的はオーロラの観測で、それを柱として磁気圏、プラズマ圏、電離圏の相互作用の研究を目的としました。また、ちょうどそのころ進行中だった国際磁気圏観測計画（IMS）に、半年後に打ち上げた「じきけん」衛星とともに参加した衛星でもあります。

科学衛星「きょっこう」の概要

衛星の重量は126kgで、直径95cm、高さ80cmの円筒形です。搭載基本機器は「たんせい3」とほぼ同じですが、観測機器として、紫外線によるオーロラ撮像装置（ATV）をはじめとする7つが搭載されました。

軌道投入

地球を半周したところでタイマにより点火したキックモータによって、最終軌道に打ち出され、ほぼ予定に近い軌道が達成されました。M-3Hロケット1号機においてパーキング軌道上で認められた首振り運動は、今回はほとんどありませんでした。首振りの主な原因は、ヒートパイプ中の液体運動に起因したと考えられ、今回はヒートパイプの搭載を見合わせましたが、この措置が適切であったことが実証されました。

衛星の動作状況と運用

搭載機器の動作はすべて良好で、数多くの貴重なデータを得ることが出来ました。「きょっこう」の観測運用モードは北極での高いビットレート観測を行うNPモードと、全地球的な観測を行うGLモードの2つに分けられていました。NPモードは、ほとんどオーロラ撮像データに割り当てられました。これらの観測モードの制御には、初めて採用されたプログラマブルタイマとデータレコーダの組み合わせで行われましたが、「これによって内之浦における観測範囲を非常にひろげることができ、汎世界的なデータ取得には極めて有用である」と、この衛星のプロジェクト・マネージャーの平尾邦雄先生は述べておられます。

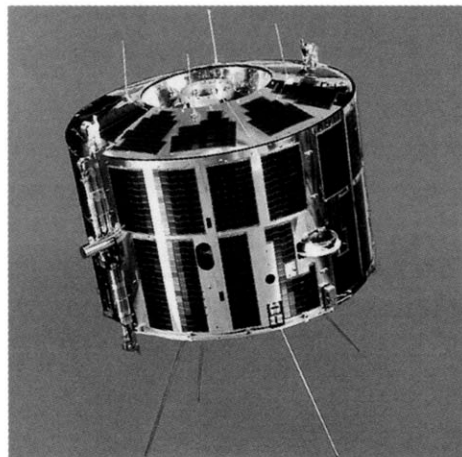
世界初のオーロラの全体像

観測機器はすべて正常に動作し、2月24日より開始された観測では、オーロラ撮像装置（ATV）による紫外線領域（1300Å）で見た初めてのオーロラ像データが地上に送られてきました。観測成果として特筆すべきことは、世界で初めて紫外線によるオーロラ撮像が行われ、オーロラの発達過程が2分8秒毎にグローバルに描き出されたことです。それまでも衛星からのオーロラ撮像は行われていましたが、すべて可視光領域であり、かつ部分的撮像でした。「きょっこう」は世界で初めてその全体像を同時にとらえました。

海外での受信

「きょっこう」では、極域現象に1つの重点があるため、今までの内之浦の鹿児島宇宙空間観測所（KSC）のみでの観測データ取得では取得率が悪いと、KSC局以外に南極昭和基地およびカナダ・チャーチル研究基地に、それぞれテレメータ受信局を設けてデータを受信しました。

カナダ・チャーチル基地では、日本から可搬型のコマンド送信機とテレメータデータ集録装置を持ち込みました。皮肉にも特に取得したいオーロラ出現時のデータは、オーロラの影響のため電波レベルは大きく減衰し、激しい時は30dB以上のレベル低下が見られ、「消感近くでコマンドが利かなくて衛星の機器をOFFできない場合があり、急いで内之浦へ国際電話をかけKSCから機器をOFFしてもらったこともありました（向井利典）。（いのうえ・こうざぶろう）」



〈宇宙・夢・人〉

“研究所の心”を忘れずに 本職の研究者であれ

鶴田 浩一郎

——5月に所長に就任されるまでの経緯は、かなり急だったと伺いました。

鶴田：宇宙科学研究所を退官して2年になりますが、カナダのカルガリーを拠点にオーロラの観測をしていました。退官したら絶対にやりたいと思っていたのです。「GEOTAIL」や「あけぼの」といった観測衛星で宇宙から見ていたオーロラと、地上で見るオーロラは別物ですね。眺めているだけでも楽しいです。感度をよくするために試行錯誤しながらビデオを改造するのも、また楽しいものです。うまく撮れると、人に見せびらかしていました。一度帰国して、3月にカナダに戻る準備をしているときに、所長のお話をいただきました。正直、迷いましたね。最終的には、少しでもお役にたてればと思い、お引き受けしました。しかし、いままカナダには未練があります（笑）。

——宇宙研と航空宇宙技術研究所、宇宙開発事業団の3機関が統合し、10月1日から宇宙航空研究開発機構となります。新機関における宇宙科学研究は、どのような位置付けになるのでしょうか。

鶴田：新機関の大きな目標の1つが、宇宙科学の推進です。宇宙研は宇宙科学本部（仮称）として、天体観測、太陽系探査、そしてそれを支える工学技術の開発という3本柱で取り組んでいきます。

——3機関統合は、どのような利点が期待できますか。

鶴田：組織が大きくなりますから、これまで宇宙研だけではできなかった大きな計画も実現できるようになります。例えば現在、宇宙研と宇宙開発事業団との共同ミッションとして月探査計画「セレーネ」（2005年打上げ予定）が進んでいます。これはアポロ計画以降の月探査としては最大規模の計画です。このような大きな計画を実現できる機会が増えることでしょう。

——宇宙研は、特にX線天文学や太陽物理学で世界をリードし、数多くの成果を上げています。それを支えてきた特有の研究体制は、引き継がれるのでしょうか。

鶴田：宇宙研の大きな特徴は、大学共同利用機関だということです。宇宙研の衛星計画に賛同した研究者が大学や国立研究機関などから集まり、宇宙研の研究者と共同で計画を実現していきます。計画が終了すれば



つるだ・こういちろう。宇宙科学研究所所長。1937年、佐賀県生まれ。東京大学大学院理学研究科地球物理学専攻博士課程修了。専門は磁気圏地球物理学。1968年、前身の東京大学宇宙航空研究所に入所。オーロラ観測衛星「あけぼの」（1988年）、火星探査機「のぞみ」（1998年）の科学責任者を務める。2003年5月より現職。

散っていき、次の計画が始まると集まってくる。その繰り返しです。300人ほどの小さな研究所で多くの衛星計画を運用できるのは、非常に優れたこのシステムのおかげです。このシステムは新機関でも不可欠です。

宇宙研の衛星計画は、研究者が自らテーマを決め、研究者同士が議論をして決定されます。そして研究者が衛星を打ち上げ、観測をして、成果を共有します。すべて研究者の腕にかかっているのです。この考え方も踏襲しなければなりません。名称は宇宙科学“本部”となるかもしれませんが、“研究所の心”を忘れないで、本職の研究者であって欲しいですね。

——なぜ地球物理の科学者になられたのでしょうか。

鶴田：理科好き少年でした。小学生のころには、ヨードが高く売れるというので、理科の先生と一緒に海藻を取ってきて、学校で煮てヨードを抽出したこともあります。実際に売ったかどうかは覚えていないのですが、そういうことが大好きでした。

物理学では、天文学という選択肢もありました。40年ほど前は、ちょうどキューサーが見つかって、天文学が注目を集め始めたころです。でも私は、キューサーが宇宙の果てにあるといっても昔の光を見ているだけではないか、それで何が面白いのか、と思ってしまったのです。ところが、じつはものすごく面白かった。先見の明がありませんでした（笑）。

——理科好き少年・少女が減っていると言われますが。

鶴田：科学の絵や写真がきれいになりすぎて、それを見ると全部分かった気になってしまいます。しかし実際は、まだ分からないことばかりです。全部きれいな絵や写真にしてしまうのではなく、“未知への扉”を残しておくことも大切ではないでしょうか。そうすれば、多くの人が科学に興味を持ってくれると思います。私も理科好き少年のころに、別な“未知への扉”に出会っていたら違った道を歩んでいたかもしれませんね。



肝心なときに不在だったために、たった数行のこの編集後記の筆も遅々として進みません。反省。
(山川)

ISASニュース

No.269 2003.8

ISSN 0285-2860 2

発行：宇宙科学研究所（文部科学省） ☎229-8510 神奈川県相模原市由野台3-1-1 TEL 042-759-8008

The Institute of Space and Astronautical Science

◆本ニュースに関するお問い合わせは、上記の電話（庶務課企画・広報係）までお願いいたします。（無断転載不可）

*なお、本ニュースは、インターネットでもご覧になれます（<http://www.isas.ac.jp>）。