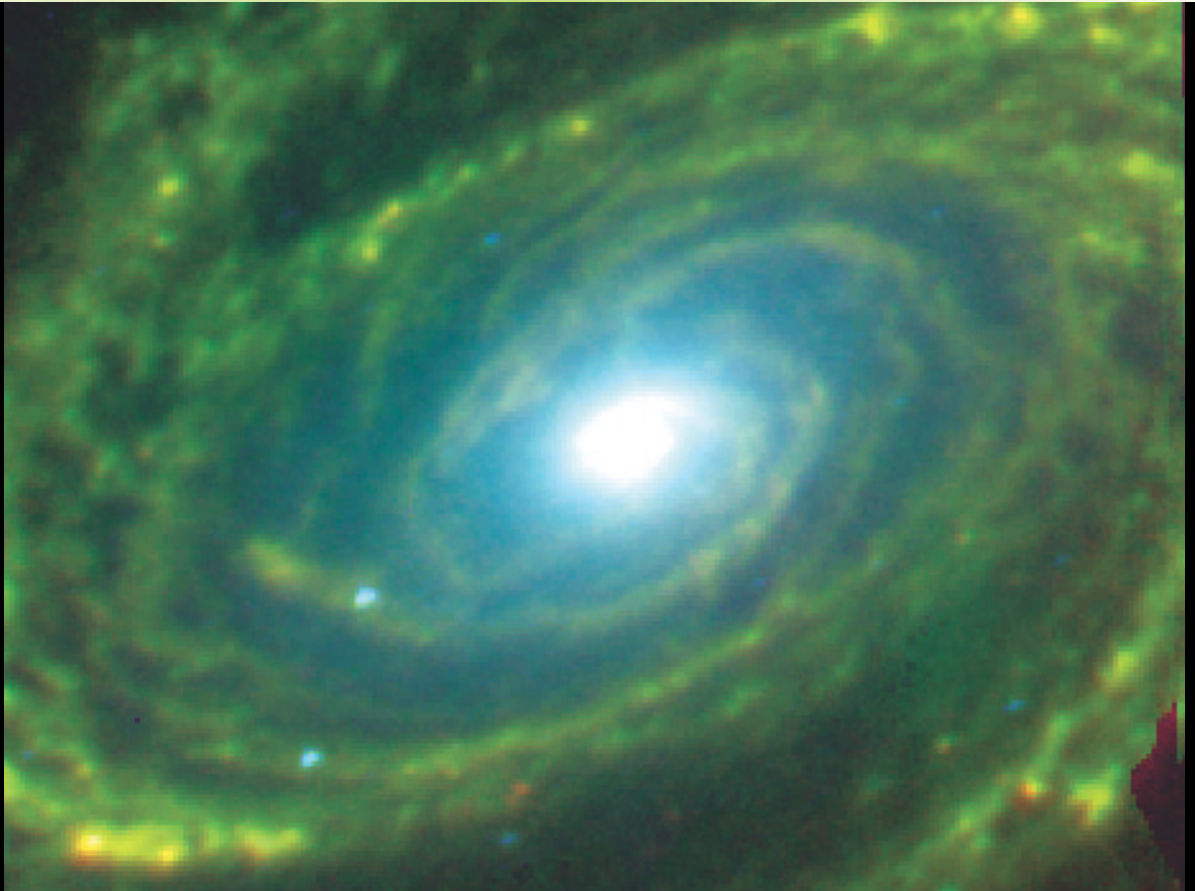




「あかり」衛星搭載の近・中間赤外線カメラによる渦巻銀河M81の赤外線画像

宇宙科学最前線

次世代の小天体表面探査ローバの実現に向けて

吉光徹雄

宇宙情報・エネルギー工学研究系 助教授

はじめに

小惑星探査機「はやぶさ」は、ご存知の通り、手のひらサイズの小惑星表面探査ローバ MINERVA を搭載していた。

MINERVA は、2005年11月12日の日本時間15時24分に「はやぶさ」から分離された。「はやぶさ」が小惑星イトカワにタッチダウンするための練習をしている最中である。予定では、小惑星からの高度70m、相対速度5cm/s以下で、MINERVA を分離するはずであった。実際には、MINERVA 分離時の「はやぶさ」の高度は200mであり、相対速度15cm/sでイトカワから遠ざかっていたため、MINERVA は小惑星表面に落ちることなく、太陽を周回する世界最小

の人工惑星になった。

MINERVA は分離後、18時間もの間「はやぶさ」との通信を持続し、その間にさまざまなデータを送った。しかし「はやぶさ」のアンテナの守備範囲外に出た後は、MINERVA がどうなったかは分からない。最後に送られたテレメトリデータを見る限り、MINERVA 自体に異状はなく、小惑星表面とは違って全日照で、あらゆる状態が安定していた。ひょっとすると現在も生きており、データを送信し続けているかもしれない。

MINERVA による探査は不完全燃焼のまま終わったが、MINERVA の開発や打上げ後の運用を通して得られた成果は数多くある。本稿では、MINERVA により得られた成果をまとめ、

今後の小天体表面探査ローバの構想について述べる。

MINERVAの運用は楽

一般的に、ローバの運用システムとしてはどのようなものを想像されるだろうか？

アメリカの火星ローバでは、地球からローバを直接操作することは定常的にはやっていない。地球とローバの通信時には、過去にローバが取得したデータをテレメトリとしてローバから地球に送り、未来にローバが実行するシーケンスをコマンドとして地球からローバに送る。これは、地球と火星との電波伝播遅延が大きいことと、運用そのものの負荷を小さくさせるためであり、ローバをある程度自律化させる必要がある。

MINERVAを分離した2005年11月時の地球とイトカワとの距離は約3億km

であり、往復で30分以上の電波伝播遅延が存在する。地球からMINERVAを遠隔操縦することは不可能に近いので、MINERVAは分離後、完全に自律動作するように作ってある。つまり、地球からのコマンドは本質的に不要であり、運用といっても地上でデータが来るのを待っていればよい。とは言いつつ、自律探査のためのパラメータを変更することは可能であり、より良い探査を行うために日々パラメータをチューニングする予定であった。

MINERVAが分離後に取得したデータを図2, 3に示す。画像は唯一、1枚だけ届いている。分離直後に「はやぶさ」本体を撮影したもので、太陽電池パドルが写っている。

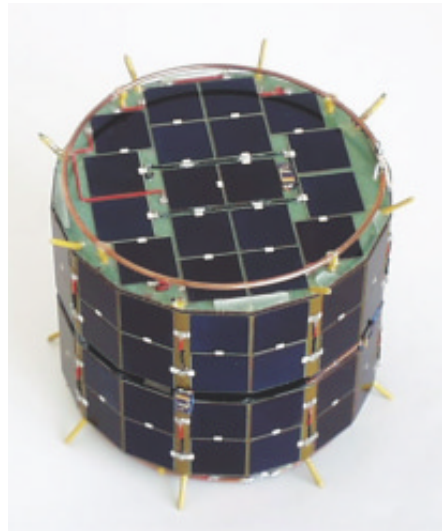


図1 MINERVA

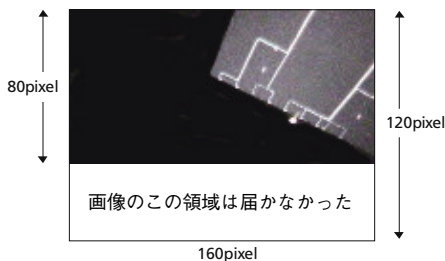
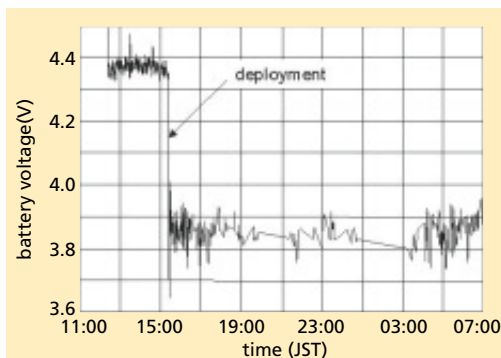


図2 MINERVAが取得した唯一の画像

図3 分離後のMINERVAのテレメトリ。(a) バス電圧と (b) 外部温度計の履歴。値が大きく変化する時刻が分離した瞬間である。温度は太陽からの放射、小惑星からの放射、自己発熱がバランスしており、小惑星からの熱放射に関する知見が得られるかもしれない。



(a) バス電圧

MINERVAの工学的成果

微小重力環境での移動メカニズム

MINERVAの目玉の一つが、ホッピングにより微小重力環境を移動する能力である。小惑星表面での実地検証はできなかったが、打上げ前に落下塔を利用した無重力実験を数多く実施しており、微小重力環境における移動メカニズムはある程度確立できた(図4)。

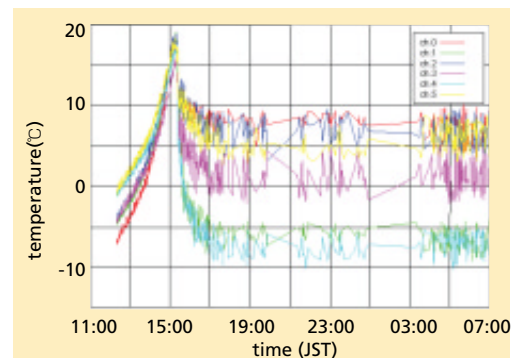
ホッピング移動メカニズムでは、ホップ後、再び表面に戻ってきたときに、なるべく早く位置・姿勢を安定させ、次のホップができる態勢にする必要がある。しかし、表面との再接触時に位置・姿勢を能動的に収束させるよい解は存在しないため、ダンピングにより運動エネルギーが消滅するのを待つしかない。

この点に関しては、ターゲットマーカや「はやぶさ」本体が比較的短時間で小惑星表面に静定していることから、MINERVAもホップ後、複数回のバウンド後、比較的すぐに小惑星表面に再静止すると考えられる。ただしこれは、ターゲットマーカと「はやぶさ」の着地点が、比較的重力が大きく、細かい砂れきがたくさん存在すると思われる地点であることが大きく影響しているだろう。

自律機能

MINERVAは、取得した画像を搭載CPU上で評価し、価値の高い画像のみを選別して優先的に送る機能を持っている。この機能が動作したことは、MINERVAが分離後に送信した画像からうかがい知ることができる。

MINERVAの自律探査手法では、小惑星表面からホップして弾道飛行をしている間に画像を適当な時間間隔で撮影する。弾道飛行中に姿勢制御は行わないので、1/2の確率で何も写っていない宇宙空間を撮影することになる。データ保存領域(2MbyteのFlash ROM)はそれほど大きくないので、撮影後に画像を評価し、画像中の何も写っていない領域は棄却し



(b) 外部温度

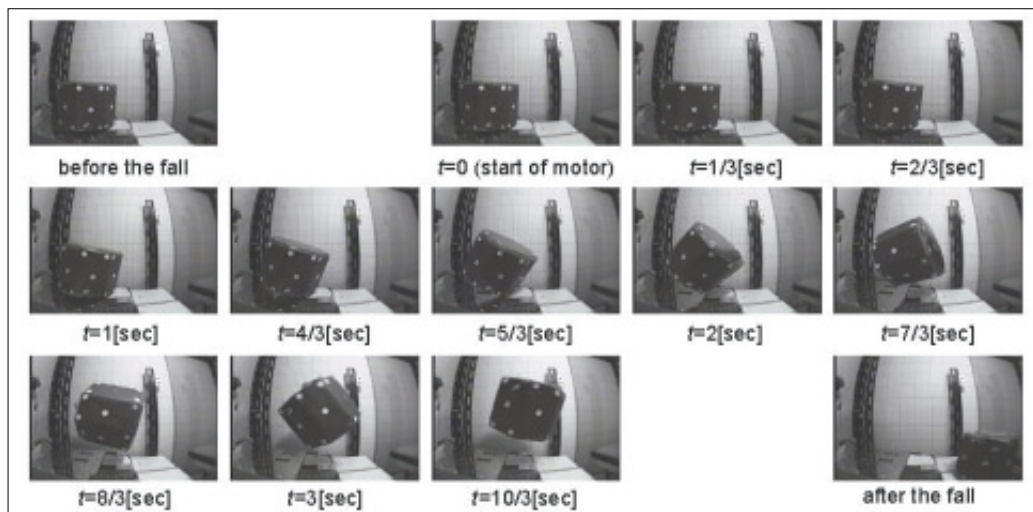


図4 落下塔を利用した無重力実験によるローバの運動。小惑星表面に降りたら、このような運動をしよう。

て保存しない。

通信速度は9600bpsとあまり大きくないので、情報量の大きな画像から優先的に送信ようになっている。データ保存領域にランダムアクセス型のファイルシステムが構築しており、画像をファイルとして保存する際、情報量に応じて優先度のラベルを付加する。データ送信タスクでは、この優先度を見て、どのファイルから送るかを決定する。

分離直後に撮影した「はやぶさ」の画像(図2)のサイズは160×80pixelである。本来であれば160×120pixelの画像を取得しているはずだが、下1/3の領域は宇宙空間を撮影しているため、地球に届いていない。また、分離後に定期的に撮影を行っているにもかかわらず、画像が1枚しか届かなかった。その理由は、宇宙空間のみを撮影したか、たとえ小惑星や「はやぶさ」が視野に入っている、とても小さかったため、何も写っていないと判定されたためであろう。

電気二重層コンデンサの搭載

MINERVAでは、二次電池として、電気二重層コンデンサを初めて搭載している(図5)。これは、既存の二次電池は低温での保存が難しいこと、小惑星表面では昼と夜とで200℃以上の温度差があること、小型化のため電源回路を簡単に作る必要があること、などから採用したものである。

MINERVAローバは、分離後の「はやぶさ」側の熱収支の変化が小さくなるよう「はやぶさ」探査機とは熱断熱して取り付けられている。このため、小惑星に到着するまでの惑星空間飛行時には、-65℃と非常に低温になる。

MINERVAのヘルスチェックは、小惑星に到着する前に何度か行った。いずれの場合も、

自己発熱により動作温度である-50℃以上になった後は、正常に動作した。また、分離後もローバの電源系は正常であった。このことから、電気二重層コンデンサに関しては、宇宙での使用実績を十分積むことができたといえる。

次の小天体探査ローバ

目標地点に移動できる能力が必要

「はやぶさ」がイトカワに行って分かったことの一つは、このような小さな天体でも表面の状態は様ではなかったということである。天体が一様であれば、どこに降りても同じであり、表面を移動する必要はない。しかし、イトカワのような小さな天体でもその世界は多様であり、その世界をよりよく知るためには、ローバによる表面移動探査は必須であることを再確認できた。

近年、世界中で計画されている小天体探査ミッションのいくつかでは、アメリカのDeep Impactのように、探査機を小天体に相対速度10km/s以上で衝突させ、人工的にクレータを作ることを考えているものがある。「はやぶさ」も、表面からサンプル採取時に、小さいながらも人工クレータを作る。このような人工クレータは、宇宙空間に長期間さらされていないフレッシュな面を露出させるため、科学的な価値が高い。

将来の小天体探査ローバでは、特定の地形や人工クレータなどの小天体表面上の目的地に行き、観測する能力が必要であると考えている。MINERVAは、小惑星表面をとにかく移動することが目的であり、このような目的地収束能力がない。次世

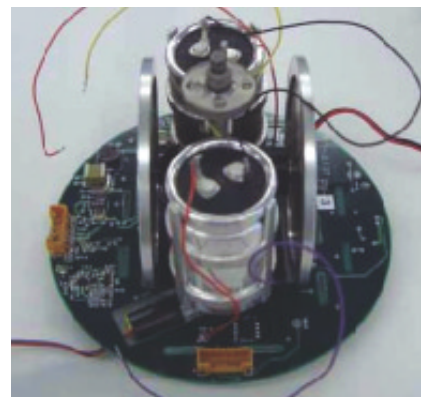
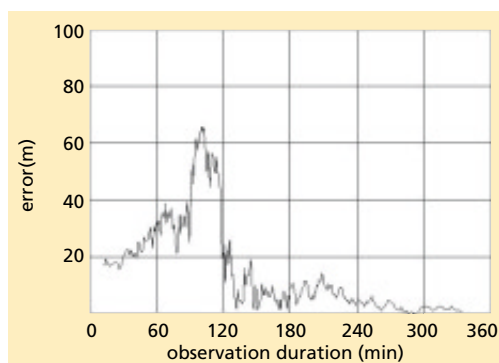


図5 搭載した電気二重層コンデンサ

図6 母船からローバまでの距離を測ることで、ローバの自己位置同定を行うシミュレーション結果の一例。小惑星イトカワのまわりを母船が楕円軌道で周回している場合を仮定している。横軸は測位時間で縦軸が位置精度を示す。



代の小天体探査ローバでは、小天体表面で自己位置を同定し、自己位置を目標位置に収束させるためのナビゲーション技術が必要である。

小天体表面での自己位置同定

自己位置同定に関しては、小天体固定座標系での経緯度を求める絶対自己位置同定と、基準となるものからの相対的な位置関係を求める相対自己位置同定がある。

我々が考えている将来の小天体探査ローバは、MINERVAと同じくそれほど大きくないものであり、小天体表面上にある場合のカメラの視野はごく近傍に限られる。ローバ搭載カメラにより目標物体をとらえることは、よほど目標地点が近くない限り不可能であり、経緯度などの座標により目標地点を与えることになる。よって、絶対位置同定手法が望ましい。

ローバの探査目標位置は、人間が指定するため、小天体を外部から見たときの座標、つまり地心経緯度となる。これに対して、小天体表面上のローバ単独で測位を行うと、小天体そのものへの基準方向が局所的な重力加速度となるため、求められる位置は測地経緯度にな

る。いびつな天体においては、地心経緯度と測地経緯度は大きく異なるため、外部から目標地点を与えても、ローバは異なる地点を目標地点として認識することになる。

現在は、小天体のまわりを飛行しているであろう母船からの電波支援によりローバの位置を同定する手法の検討を行っている。この手法だと、ローバの自己位置も地心経緯度で与えることができる(図6)。

ローバのシリーズ化とセンサの搭載

MINERVAシステムは、「はやぶさ」への搭載時もオプション機器だったため、母船となる探査機へのインパクトがなるべく小さくなるよう、いつでも着脱できるように作っている。このようなコンセプトの宇宙機のため、現在、MINERVA後継ローバを世界中の小天体探査ミッションに提案している。これが全部通ると、多くのローバを実際に作らなければならない。

MINERVAサイズの超小型ローバといえども一つの宇宙機に違いはなく、大型宇宙機と同じく、あらゆるサブシステムを持っている。このため、一つ一つミッションに応じてローバを設計することは費用や時間の点からも無理である。そこで、以下の設計方針で今後の小天体探査ローバシステムを作り、需要に応じて供給したいと考えている。

- 共通に使える超小型ローバ用のCPUシステムを開発する。
- 搭載センサのインタフェースは同一にする。
- 搭載センサはミッションに応じて変更する。
- 電源系や熱制御、ローバの大きさを対象天体によって毎回設計する。

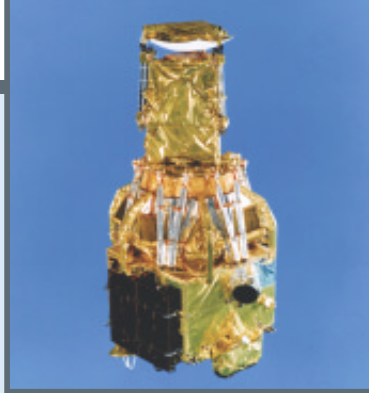
(よしみつ・てつお)

ロケット・衛星関係の作業スケジュール (6月・7月)

	6月			7月		
相模原		M-V-7号機 モーションテーブル試験				
			SOLAR-B FM総合試験			
筑波			SELENE システムPFM試験			
内之浦	M-V-7号機 第1組立オペレーション					
三陸		平成18年度第1次気球実験				

(FM : Flight Model PFM : Proto-Flight Model)

浩三郎の 科学衛星秘話



「はるか」



井上浩三郎

「はるか」を打ち上げたM-Vロケットは、1990年代以降の科学ミッションの進展に対応するため、1990年に開発が開始されたものです。直径を増大し、ファイア・イン・ザ・ホール分離／点火技術、各種新材料、高燃速高性能推進薬、新開頭機構、ファイバ・オプティカル・ジャイロなど、さまざまな新技術を導入して、宇宙科学研究所が長年培ってきた固体ロケット技術の集大成として全段を新規に開発しました。押しも押されもせぬ固体燃料ロケットの世界最高峰です。

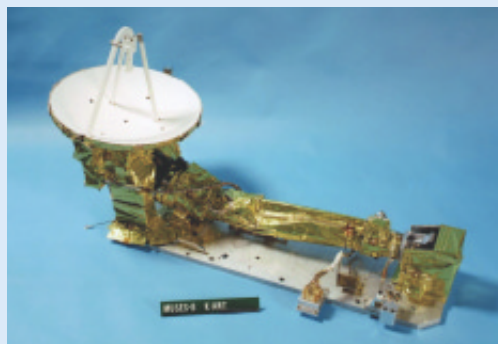
工学技術の開発と実証実験成果

「はるか」が工学実験衛星として掲げた技術開発項目には、軌道上で展開する直径10m級の大規模展開アンテナの実現や大型構造物を持つ衛星の精密な姿勢制御をはじめとして、実にたくさんものがあります。それらはすべて軌道上で実証実験を行い、成功裏に所期の目的が達成されました。その結果、スペースVLBIで宇宙を観測するための基本的なシステムが実現しました。

ロケットも衛星も初物ならではの難しさ

新規開発したM-Vロケットの1号機に搭載する衛星であり、しかもその衛星にも多くの新規開発機器が搭載されているわけですから、それには大変な困難が伴い、多くの関係者の苦労がありました。

特に衛星設計上苦労したのは、一つはロケ



直径45cmのKuバンドパラボラアンテナ。このアンテナは常にKuバンドリンク局を指向するように制御される。工学実験の主要な目的の一つである大容量データ伝送、位相基準信号の地上から衛星への伝送に用いられた。

スペースVLBI衛星「はるか」

その2

ット打上げの機械環境条件が確定しない中で開発という点であり、もう一つは衛星がちょうどバンアレン帯の中に潜り込み、放射線環境が非常に厳しい軌道を周回するため、搭載機器の部品を放射線環境から守らなければならないことでした。

衛星システム設計の苦勞

衛星システム設計を担当した日本電気の中川栄治さんは、次のように語っています。

——機械環境条件はM-3SⅡロケットの条件、M-Vロケット地上燃焼試験時の試験データをもとに決められ、それに基づいて構造解析を行い、STM（構造試験モデル）を製作し、STMをランダム試験に供し、衛星の各パネルの応答レベルをもとに各機器の試験レベルを決めました。また実際に遭遇する音響環境に対しても心配になり、STMを当時の宇宙開発事業団の筑波宇宙センターに持っていき、音響試験をしました。その結果を反映して各機器に対する振動レベルを決めたのですが、この振動レベルが過大にならないよう、衛星内の機器の搭載個所を13の部分に分けて、各場所での振動レベルを規定しました。

一方、放射線環境から部品を守るために、機器の筐体の肉厚を一般的なものより厚くしなければなりません。これをすべての機器に一律に適用してしまうと、衛星の重量が増加してしまい、思うように衛星設計ができなくなるおそれがありました。このような事態に陥らないように、機器の中の一つの部品に対する放射線のシールドをその機器のみの筐体だけでなく、衛星の構造材料を含めた周りのすべての機器がシールドとして作用するという考え方を採用しました。放射線シールドモデルを構築し、各機器の筐体の肉厚を変化させて放射線解析を行い、すべての対象となる部品の耐放射線要求を満たして、機器全体の重量が最小になるよう、各機器の筐体の肉厚を設定したのです。その結果、筐体の厚さが面ごとに異なる機器も出てきました。——

（いのうえ・こうざぶろう）

今年のミレニウムスター

「すざく」チーム

2006年5月1日で超新星残骸SN1006が爆発してからちょうど1000年になります。この記録は日本の古文書『明月記』に残されています。これは世界に誇っていいことでしょう。歴史上最も明るく輝いたとされるSN1006の1000歳の誕生日を記念して、X線天文衛星「すざく」で観測した、この超新星残骸の新たな姿を紹介しましょう。

藤原定家(1162-1241)は56年間にわたり、『明月記』にその時代のさまざまな出来事を書き留めました。旧暦の寛喜2年(1230年)10月末、客星(おそらく彗星)が現れました。客星の出現は吉凶の前兆です。数年前から洪水や飢饉など悪い事件が続きました。定家は客星出現と吉凶に関心を持ち、陰陽師の安倍泰俊(安倍晴明の6代目の孫)に過去の記録を調べさせました。その報告をもとに「客星古現例」を寛喜2年11月8日に記したのです(冷泉家時雨亭文庫特別展「国宝明月記」パンフレットより要約)。

その一節に「一條院 寛弘三年四月二日 葵酉 夜以降 騎官中 有大客星 如螢惑」とあります。「西暦1006年5月1日、騎官(現在のおおかみ座付近)の方向に明るい客星が現れ、螢惑(火星)のようだった」という意味です。現在この方向に若い超新星残骸、SN1006が発見されています。

「客星古現例」には、かに星雲や3C58などの超新星、そのほか新星、彗星など、さまざまな客星の記述がありますが、「大客星」という称号を獲得したのはSN1006だけです。中国(宋)の記録から判断して、人類が記録した最も明るい超新星だったようです。その大客星が「螢惑(火星)のごとし」ではいささか迫力に欠けますね。客星のかに星雲ですら、「歳星(木星)のごとし」ですから。

SN1006は南天にあり、京都では地平線から15度くらいしか上がりません。1000年前では若干良くなりますが、それでも5月1日には深夜に南中、高度は20度くらいです。だから日没後しばらくして、地平低くに現れたSN1006はかなり赤く見えたことでしょう。やや上空では、さそり座のアンタレスが赤く輝いていたはずですが、

さらに当時、近くには赤い惑星、火星もありました。赤い鳥(朱雀)は南の池沼にあつて都を護るといいます。それが眠りに入るころ、南天低くには三つの星が赤さを競っていたのです。SN1006を火星に比喩したのもうなずけます。

X線天文衛星「あすか」は、SN1006の衝撃波面から、高エネルギー電子が放射するシンクロtron X線を発見しました。米国の「チャンドラ」衛星は、異常に細いフィラメント内で極めて効率よく電子加速が行われていることを明らかにしました。SN1006は最も明るく輝いて誕生したのみでなく、宇宙線加速の研究でも主役を張る大スターに成長したのです。

本年(2006年)の5月1日は、この大スターの1000歳の誕生日に当たります。そこで「すざく」で“記念撮影”をしました(図1)。左図はヘリウム状に電離した酸素輝線のマップです。爆発以来、1000年にわたり超高速で膨張を続け、直径6光年もの巨大高温ガス球に成長した様子が鮮明に見られます。一方、連続X線(3~5キロ電子ボルト)で同じ撮像をすると、宇宙線電子からのシンクロtron放射の分布が分かります(右図)。左図の高温ガス球とは、まったく異なる姿を見せますね。これは、1000年間休みなく衝撃波が宇宙線を加速し続け、地上のいかなる加速器をも凌駕する超高エネルギー、約 10^{14} 電子ボルトを獲得した結果です。このように「すざく」の優れた撮像分光能力でもって、熱的プラズマと宇宙線加速現場の空間分布の違いを如実に示すことができたのです。さらに詳しい解析が進行中ですが、熱的プラズマの存在と宇宙線加速効率率は同じ衝撃波でもその位置によって劇的な変化を示すことが分かりました(図2)。宇宙線加速の機構にも肉薄しつつあることが実感できます。さすが大スター、我々の期待を裏切りません。

(京都大学教授 小山勝二, 理化学研究所基礎科学特別研究員 馬場 彩, 京都大学大学院 山口弘悦, 理化学研究所研究員 寺田幸功)

『天文月報』2006年7月号(第99巻7号) ASTRO NEWS記事をもとに作成

図1 SN1006の1000歳のX線記念写真。左は高電離酸素からのX線(0.57キロ電子ボルト)。右は3~5キロ電子ボルトのX線による。全体の大きさは直径約6光年である。

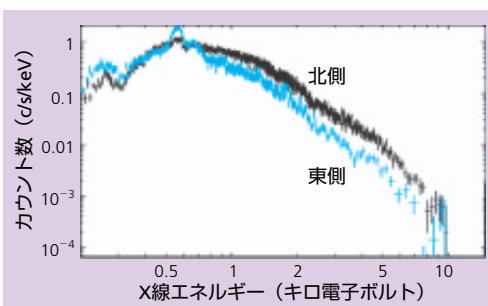
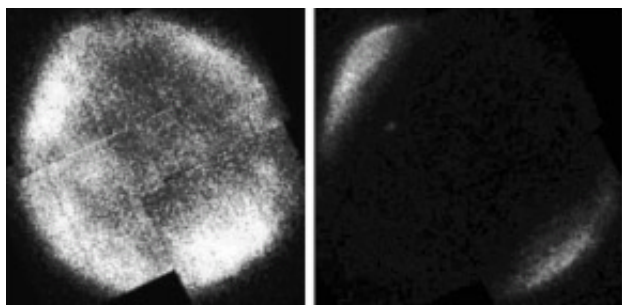
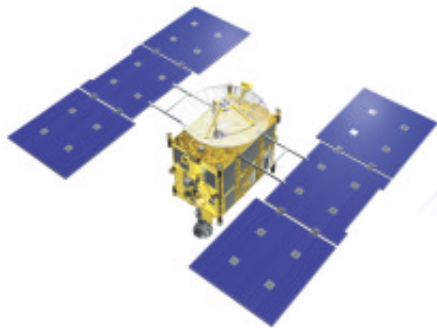


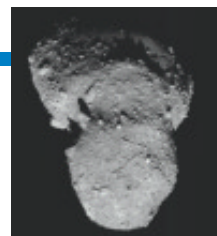
図2 図1右図の北東部分の縁2ヶ所から取得したX線スペクトル。黒は北側の縁、青は東側の縁からのもの。両者に際立った違いが見られる。



特集

「はやぶさ」の科学成果 第一報

ISASのホームページに既報のように、『Science』誌の6月2日号が「はやぶさ」によるイトカワ科学観測の特集号となりました。小惑星の形成過程を考える上で新しい知見をもたらした科学成果の要旨について、担当者が寄稿してくれました。引き続き解析が進められていますので、いずれ第二報、第三報をお届けしますが、とりえず第一報を掲載します。なお、来る7月12～14日には「第2回はやぶさシンポジウム」が東京大学で開催されます (http://kumano.u-aizu.ac.jp/hayabusa_symp2006/)。



イトカワはラブルパイル小惑星

「はやぶさ」のイトカワ到着前の2002年と2004年に国内および国際研究会を持ち、その時点でのあらゆる知識を集めて、イトカワがどんな天体なのか予測を行った。探査機のデータがもうすぐ出てくるという時点での議論は非常に緊張感があり、知的好奇心をかき立てるものであった。考慮すべき重要な要素は、衝突破壊の影響と低重力(脱出速度数十cm/s)である。こんな小さな小惑星は、衝突や破壊を経た破片に近いであろう。表面には、破壊で生じた破片の中で相対速度の小さい、大きな破片しか引き付けられないだろう……。結局そのときの予測では、この天体は隕石の巨大な塊で、内部はかなりひび割れており、表面にはレゴリス(砂れき様の堆積物)が少なく、あっても少しで、巨岩はあるだろう、というものだった。

このような予想を持っていた我々が、「はやぶさ」で見たイトカワはかなり異なっていた。岩がごろごろというイメージはある程度当たっていたかもしれないが、その多さと超巨大岩の存

在は予測できていなかった。また、サンプル採集地となった「ミューゼスの海」のような平坦な地域があることが不思議であった。近接写真によって、この地域はcm～mmの(やはり砂というには大きめの)比較的粒径のそろった粒子から構成されていることが明らかになった。表面のポテンシャル分布図と比較してみると、ポテンシャルの低いところに滑らかな地域の分布が一致していることから、これらの粒子は(例えば衝突によってイトカワが揺さぶられて)移動してきたものと考えられている。

最も驚くべきことは、イトカワの密度が 1.9g/cm^3 という低い値を持つことである。このことなどから、この小惑星はラブルパイル(がれきの積み重なり)構造を持つ空隙の多い天体と考えられている。このような構造は、衝突破壊後に破片が集積し合って取る構造として理論的に予測されていたものである。しかし、これまで撮像された小惑星はどれもその証拠を示すものではなく、なぜラブルパイルが見つ

からないのか、謎とされていた。それが、今回初めて見つかったのである。しかも、こんな小さな小惑星はラブルパイルではあり得ないとみんな思っていたのに。イトカワのラッコを思わせる形状(「イトカワの形と地形について」参照)も、頭と胴がラブルパイルとしてできて、それぞれが互いに集積したと考えられている。

惑星は、小天体が衝突破壊、集積を繰り返しながら出来上がってきたと考えられている。その過程は、これまでさまざまな研究手段によって推測されてきた。ここに至って、イトカワはこれらの過程の複雑さと、まだ解かれていない多くの謎をあらためて突き付けているようである。イトカワは地上観測データからは何の変哲もない、ありふれた小惑星である。小惑星は、小さいものほど数も多い。その意味で、太陽系内帯域に存在する最もありふれた小惑星の姿を、今回初めて見たと言える。

(藤原 顕)

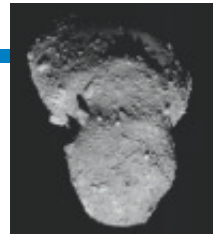
イトカワの基本パラメーター

軌道要素	$a=1.3238\text{AU}$ $e=0.2801$ $i=1.6223^\circ$ 近日点 $=0.953\text{AU}$ 遠日点 $=1.6947\text{AU}$
主軸サイズ (m)	$X=535, Y=294, Z=209 (\pm 1\text{m})$
取り囲む箱のサイズ (m)	$550 \times 298 \times 244 (\pm 1\text{m})$
自転周期	12.1324時間
自転軸の向き	慣性空間 $[128.5, -89.66]$ (黄道面にほぼ垂直) 小惑星 $[90.53, -66.30^\circ]$ (逆スピン)、 自転軸のふらつきは測定誤差内
質量*	$(3.510 \pm 0.105) \times 10^{10} \text{ kg}$
密度	$1.90 \pm 0.13 \text{ g/cm}^3$

青色文字は地上観測によってあらかじめ分かっていた値
*経度は「ラッコ」の頭にある黒い岩を起点にした東経値
#複数の測定者による平均値



詳細は、次に続く原稿も含めて『Science』(2006年6月2日号)「はやぶさ」特集号を参照いただきたい。



イトカワの形と地形について

読者の皆さんもご承知の通り、「はやぶさ」搭載のカメラは、この小さな小惑星のさまざまな姿を写しとってきた。ここでは、イトカワの形と地形について紹介する。

図1に、イトカワの全体像の画像を示す。とてもいびつな形だ。「はやぶさ」がイトカワに接近していくとき、私たちは「ピーナッツ」とか「枝豆」とか、いろいろ好き勝手なことを言っていた。でも、到着してこのような画像が得られるようになると、誰からともなく「まるでラッコみたい」と言うようになった。言われてみると、そう見え始めるから不思議なものだ。図2に、イトカワをラッコに見立てた様子を示す。私たちが観測しているときに「ラッコの頭のところ」とか「ラッコのおなかの辺り」などという表現でイトカワ上の場所を示すようになった。

「はやぶさ」がイトカワに到着して私たちがまず始めたのは、このラッコの形をきちんと測定することである。これは科学的興味だけではなく、着陸時に「はやぶさ」を安全に誘導するための情報としても必要なことだった。「はやぶさ」サイエンスチームに所属する会津大学のメンバーが中心となって、イトカワの形状を測定した。そのチームが作成したCGモデル画像を図3に示す。

次に、イトカワの地形についてお話しする。図1をもう一度よくご覧いただきたい。今までに見られてきた小惑星とは異なり、クレーターがほとんど見られないのだ。その代わりに、イトカワの表面には大きな岩の塊がごろごろしている。そして図1の中心付近には、そういった岩塊がほとんどない平らな面が見えている。このように岩

塊がごろごろしたところと平らなところに明瞭に区分されるのが、イトカワの地形の特徴である。なぜクレーターがほとんど見られないのか、私たちの間でもまだ議論の途上であるが、表面に岩塊がごろごろあるために、クレーターを作るような隕石が衝突しても岩塊が少々壊れるくらいで穴を掘るまでには至らないのではないかと、というのが一つの仮説である。

このようにイトカワという小惑星は、その複雑な形状もさることながら、今までにほかの探査機で見られた小惑星とはまた異なった地形的な特徴が見いだされた。イトカワの起源と結び付けた議論は、今まさにホットに進められているところである。今後も「はやぶさ」サイエンスチームの出す科学的成果に、ぜひご期待いただきたい。

(齋藤 潤, 会津大学 出村裕英)



図1 イトカワの全体像。イトカワには、「はやぶさ」ならびにISAS/JAXAにかかわる地名がいくつかつけられている。ミューゼスの海(MUSES-Cに由来)、内之浦、相模原、由野台、淵野辺、能代、角田、臼田、駒場、筑波、国分寺、ペンシル、M-V、などなど。

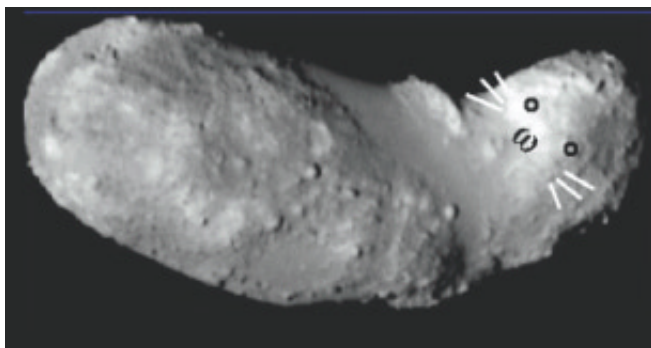


図2 ランデブー運用中に出回ったイトカワ「ラッコ」です！

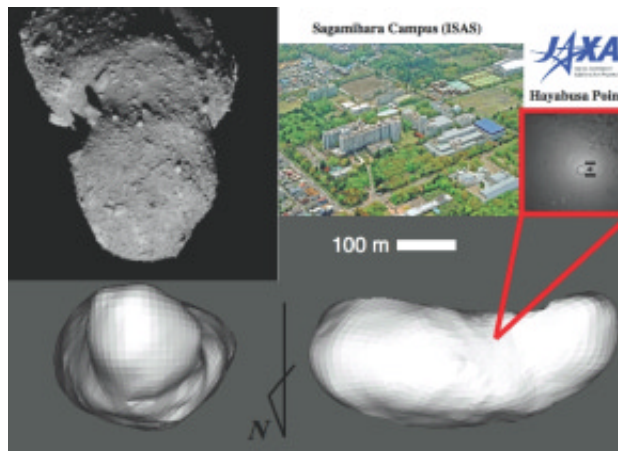


図3 「はやぶさ」サイエンスチームが計測したデータからCG化されたイトカワの形状モデル(宇宙科学研究本部の相模原キャンパスと大きさを比べてみてほしい)。モデルには着陸点(Hayabusa Point)も示されている。

“隕石の舗装道路”へ舞い降りた「はやぶさ」

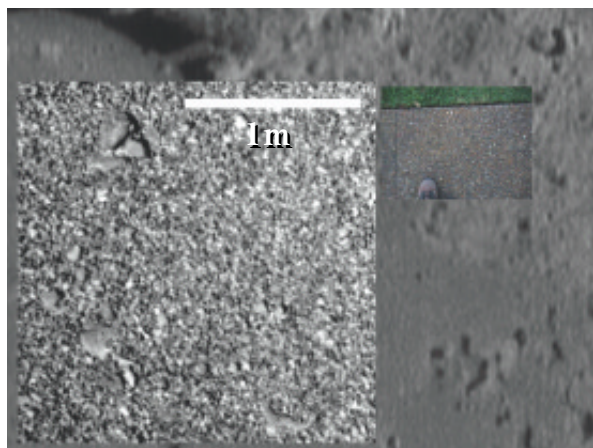
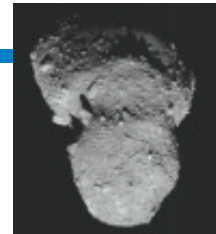


図1 小惑星エロス上の「ボンド」(背景)、イトカワ上の「ミューゼスの海」(左)、地球上の小石を敷き詰めた舗装道路(右)の同縮尺の比較
(画像提供: JAXA/ISAS, APL/JHU, NASA, 矢野創)

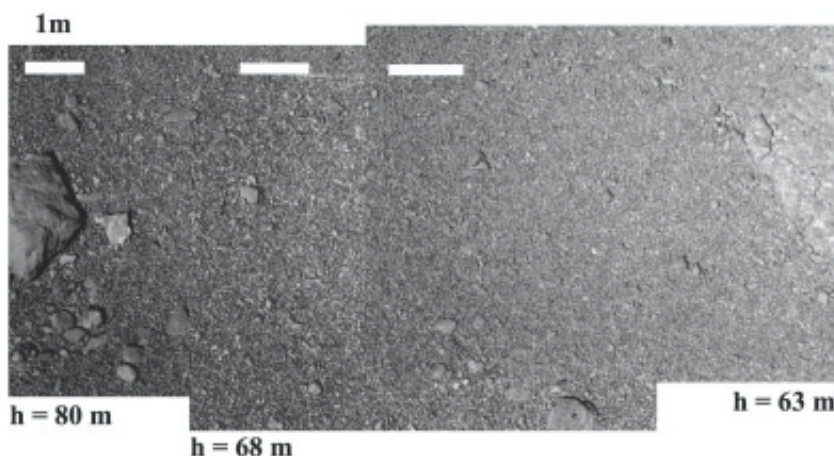


図2 「はやぶさ」が高度80~63m付近で撮った、小惑星イトカワ上「ミューゼスの海」の最接近画像
(H. Yano, et al., Science, Vol.312, No.5778, pp.1350 - 1353, (2006)より)

イトカワ滞在中の「はやぶさ」にとっての最大の挑戦は、言うまでもなく小惑星表面物質の試料採取だった。科学機器による全球観測の結果と探査機の安全性・運用性から、ラッコの頭と胴に挟まれた赤道付近で、東西方向の幅が50m程度の滑らかな表面を持つ「ミューゼスの海」が採取地点に選ばれた。地球上での岩石採取でも、産出した場所の特徴を知らないと、実験室での分析結果を地質活動の解読に生かすことができない。そこで、科学機器だけでなく探査機の工学情報も含めた、「はやぶさ」の持てる能力のすべてを使って試料採取地点を徹底的に調べることにした。

具体的には、3回のタッチダウンリハーサルと2回の本番の降下・上昇中

に航法カメラの焦点距離ぎりぎりまで接近して精密な画像を撮ったり、レーザ高度計から推定される自由落下速度やサンプラーホーンが接地したときの跳ね返りの強さを計算したり、蛍光X線分光計放熱板を輻射温度計代わりに使ったりした。特に最接近画像の空間分解能は、1画素当たり6~8mm。もはやリモートセンシングというより、岩石学調査と同レベルの詳しさだ。

それらの結果から、「ミューゼスの海」は一枚岩でもふかふかで厚い粉体層でもなく、数mmから数cm大にサイズがそろった小石が、まるで平坦な舗装道路のように敷き詰められた平原であることが分かった。同じS型小惑星でもサイズが数十倍大きなエロス表面を覆っていた粉体層に比べ

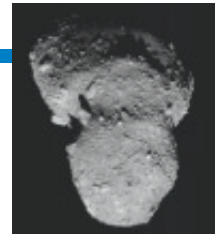
と、平均粒径ははるかに粗い。これは、地上からの赤外線観測による熱慣性の推定結果を裏付けるものだった。

さらに、平原ではしばしば、数十cm大の岩石が寄せ集まり、平面を下に向けて乗っていた。局所的な重力ポテンシャルの向きと小石が流れたような跡が一致している個所もある。おわん型クレーターは、ほとんど見つからない。こうした事実はすべて、この地域にはつい最近まで(あるいは今でも)、小石を移動させて表面の様子を変える地質活動が働いていたことを暗示している。もちろん、空気も水もマグマもない微小天体上の地質活動では、例えば隕石衝突や惑星の潮汐力など、地球上とはまったく異なる外力が主役を演じているはずだ。「微小重力地質学」という新しい研究分野を、「はやぶさ」は生み出したのだ。

肝心の試料採取の結果はどうだったのだろうか? 小惑星表面にホーンの先端が接地した瞬間を検出して、タンタル製、直径10mm、重さ5gの弾丸を300m/sで撃ち出す指令を送る仕組みだが、第1回タッチダウンでは障害物を検出して中止指令が出て、弾丸は命令通り撃たれなかった。第2回のタッチダウン運用は完ぺき、サンプラーによる接地検出と弾丸発射指令を出すまでは正常だったが、最終的な火薬への点火を確認するデータはその後のトラブルによって失われてしまい、真実ははやぶの中だ。もしも第2回も弾丸が発射されていなかった場合、試料採取の可能性が残るのは、むしろ弾丸は撃たなかったもののホーン先端で小石を引っ掛けながら30分間も小惑星表面に着陸していた第1回の方だ。

このようにして、史上初の小惑星試料採取の挑戦は終わった。この機会を通して人類は、「隕石のふるさと」を初めて見て、触れることができた。そして、2010年に地球に届くであろう試料は、この「ミューゼスの海」のかげらなのである。

(矢野 創)

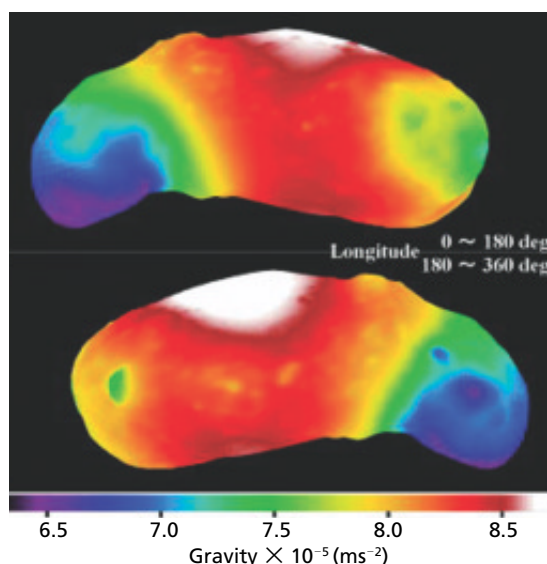


ライダーによる質量の決定と イトカワの素顔の内側

イトカワは長径が550mほどのジャガイモ型で(体積は東京ドームの15個分相当)、これまで探査が行われたことのない、前人未到の小さな小惑星だった。従来、探査機が目的の天体に達した場合、フライバイするときに観測するか、ブレーキをかけて天体の周りを回る軌道に入る。しかし「はやぶさ」の場合、搭載されたカメラやレーザ高度計のデータを探査機自身で判断しながらゆっくりと小惑星に近づき、小惑星の近くで静止してランデブーする非周回・並走型の探査方式が採られた。表面重力が地球の10万分の1ほどしかない、いびつで微小な天体の重力を、周回しない探査機の軌道からどうやって求めればいいのか？

当初は、“小惑星降下時にスラスタをすべて停止させて自由落下させればよい”と相談していた。もちろん、降下接近時のイトカワの重力場は、もはや質点近似では扱えないので、形状や降下地点の地形も考慮する必要はあったが、自由落下さえしてくれれば、基本的には高校で習う物理だけで重力加速度は求まる。しかし、現実はその甘くはなかった。3基あるリアクション・ホイールの1基目がイトカワ到着前に故障し、イトカワ探査中の10月2日には2基目が使用不能に陥った。

我々が重力測定に使った搭載装置ライダーは、探査機から赤外線のパルス・レーザを送信して、小惑星で反射したレーザを受信するまでの時間差から距離を測る高度計だ。レーザ・ビームの広がり角は、わずか0.1度足らず。それでも1km離れた小惑星表面に当たるレーザ・スポット径は1.7mで、成人男性の身長相当になる。測距の精度はシグナル強度(小惑星からの距離)に依存し、高度1kmでは1～数mであった。リアクション・ホイールの故障により、探査機の姿勢は安定を欠き、レーザ・スポットはイトカワ表面を暴れ回る。一方、降下中は姿勢を保つために常にスラスタを噴き続ける状況となった。このような困難な状況であったが、スラスタ(外乱)の影響を定式化できることに気付き、また、航



決定した質量から内部の密度を一定と仮定して計算した、イトカワ表面の重力分布

法カメラ画像との組み合わせで小惑星に対する探査機位置を測距精度程度で決定するソフトの開発により、重力を測定することに成功した。

ライダーの重力計測から得られた小惑星の質量(3.58 ± 0.18) $\times 10^{10}$ kgと、形状チームが求めた小惑星の体積から、イトカワの平均密度は1.95g/cm³と求まった。この値は、地球からのドップラーとレンジ計測で求めたほかのグループの値とも矛盾がない(吉川 真氏『ISASニュース』2006年5月号)。月、地球と火星の平均密度(それぞれ3.4g/cm³、5.5g/cm³、3.8g/cm³)と比較すると、非常に小さい。通常、平均密度は金属の含有量の違いを反映しているが、イトカワの密度の小ささは構成物質の金属含有量だけでは説明できない。近赤外線と蛍光X線の分光観測からは、普通コンドライトと呼ばれる石質隕石に分類される鉱物で平均的に覆われていることが分かった。従って、小惑星イトカワは普通コンドライトとほぼ同じ岩石で全体が構成されていると考えるのが妥当である。地球に落下して回収された普通コンドライトの平均的な密度は、約3.2g/cm³。つまり、普通コンドライトで構成されると仮定すると、イトカワの内部には体積にして約40%の空隙がないと、1.9g/cm³という低密度を説明することができないのだ。イトカワのような微小な

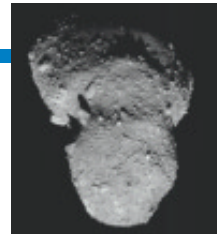
小惑星の空隙率が約40%もあるという結果は、驚くべき発見であった。

高空隙率と起伏に富んだ表面地形の特徴などを見ると、イトカワは、がれき同士が重力で緩くつながったラブルパイル小惑星であるということが結論付けられる。イトカワはS型小惑星に分類され、その中では密度が最も小さく、空隙率が最も大きい。そして、初めてラブルパイル構造が確認されたS型小惑星であった。この発見は、これまで衝突破壊実験や理論計算から提唱されてきたラブルパイル構造が、最もありふれた小惑星であるS型小惑星で確認されたことになり、小惑星の形成過程について明らかにする大きなヒントを得たことになる。

彗星や小惑星などの小天体の内部構造を調べることは、その天体の形成過程や太陽系形成の謎を解明する手掛かりになるだけでなく、将来、このような小天体が地球に衝突するのを回避する防御手段を講じる上での貴重な情報にもなり得る。実際イトカワは、将来地球に衝突する可能性があり、「はやぶさ」は衝突危険天体の初めての探査であったともいえる。しかし、実際に小天体の質量や密度、空隙率を調べることは難しく、「はやぶさ」のように探査機を小天体のごく近傍まで送り込むことで初めて、その素顔の内側まで明らかになったのだ。

(神戸大学 阿部新助)

イトカワの物質的な特徴



小惑星は太陽系創世期の状態を現在に伝えるロゼッタストーンであり、「始原」天体と呼ばれる。イトカワがどのような物質でできているかは、「はやぶさ」最大の科学テーマの一つであり、近赤外線とX線の2種類の波長域で分光観測を行い、その正体を調べた。

なぜ小惑星が始原天体と考えられているのかというと、大きさが小さいからだ。相対的に表面積が大きく熱が表面から逃げやすいために、内部が暖められず、熱的な進化を免れた。私たちの暮らす地球は、地震や火山活動が続く、現在も生きている惑星だ。地球の1/4の直径の月でも、かつて大規模な地殻形成があり、溶岩が月の海を満たすほどの活動があった。地球や月では見られなくなった原始の状態が、小惑星には残されている。

私たちは、宇宙物質をすでに手にしている。隕石や宇宙塵だ。これらの分析によって原始の太陽系、惑星、そして宇宙の歴史が数多く解明されてきた。しかし、これらには太陽系の場所の情報はなく、周辺の環境の様子を知るすべはない。小惑星探査が、その橋渡しとなる。

地上の望遠鏡を利用した小惑星の研究は盛んに行われてきた。代表的な方法の一つに、太陽光の反射を波長ごとに調べる分光観測がある。表面の物質や粗さが異なると反射スペクトルの傾き

や吸収帯の特徴の違いとして観測され、小惑星はE、S、C、M、Dなどさまざまな型に分類されている。イトカワはS型(より詳しくはS(IV)型)に属する。地上で発見された隕石の大部分は普通コンドライトであるが、それを実験室で分光してみると、小惑星の型とうまく一致しない「謎」があり、探査によって解明すべき課題である。なお、吸収帯の特徴のみで判断すると、イトカワは普通コンドライトの中ではLLカコンドライトに似ているという最近の研究もある。

「はやぶさ」より数年前にNASAの探査機ニア・シューメーカがS型小惑星エロスを探査し、普通コンドライトに近い物質であることが分かった。イトカワはS型小惑星の探査としては2例目であるが、エロスに比べて大きさが2桁小さいために、かなり接近して細部の地形・地質構造を分けて観測できた点が重要であった。

近赤外分光器(NIRS)は、0.8~2.1ミクロンの太陽光の反射をイトカワ全球にわたって場所ごとに詳しく調べた。特に鉄を含む鉱物(カンラン石、輝石など)の吸収帯が1ミクロン付近にあり、詳しく調べることで鉱物の存在度を推定することができる。結果として、イトカワ表面はカンラン石に富み、普通コンドライト(特にLL)に似ていることが分かった(図1)。また、イトカワの場所によって反射率の高

低が見られたが、それは鉱物の違いよりも、むしろ表面の粗さの違いや宇宙風化と呼ばれる現象で説明できると今は考えている。

蛍光X線スペクトロメータ(XRS)は、小惑星表面の主要な元素に固有なエネルギーを持つ蛍光X線の強度をイトカワ全球にわたって調べた。蛍光X線は、太陽X線が小惑星表面に照射することによって発生する。主要な元素であるマグネシウム、アルミニウム、シリコンの存在度や存在比から、イトカワが普通コンドライト(特にLL、またはL)と似た元素組成であることが分かった(図2)。一方で、コンドライトという始原的物質からやや熱的な進化過程を経た物質である可能性も残される。NIRSと同様に、場所による物質の大きな違いは見られない。

以上より、近赤外線と蛍光X線の分光観測で共通する結果は、S型小惑星イトカワが普通コンドライトに似ており、特にカンラン石に富むLLコンドライトに近いことが分かった。全球にわたってほぼ一様な物質から成り、少なくとも大規模な進化過程を経っていないと考えられる。しかし多少の熱的進化の過程を経た可能性までは否定できず、詳細については今後の研究課題である。

(岡田達明、安部正真)

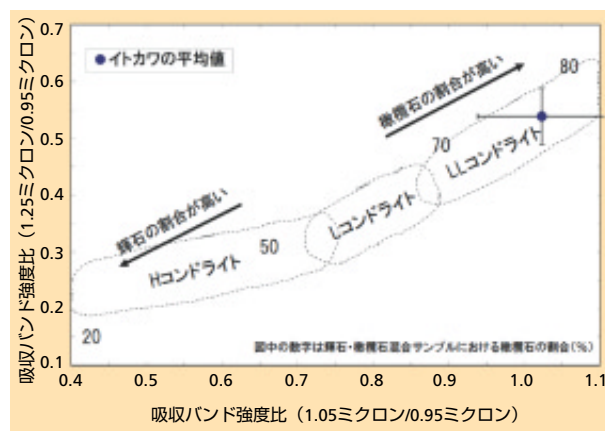


図1 近赤外線吸収バンドの強度比と普通コンドライトとの関係

- イトカワはS型小惑星としては、カンラン石の割合が大きい。
- 普通コンドライトの中ではLLコンドライトに近い。
- カンラン石の割合が高いS型小惑星は小惑星帯の内側に多く、イトカワは小惑星帯の比較的内側を起源としていると考えられる。

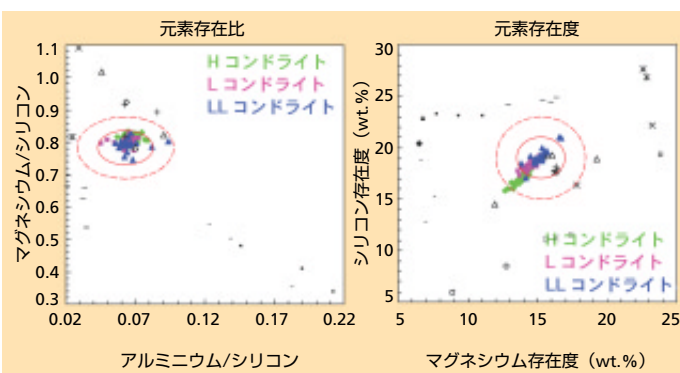
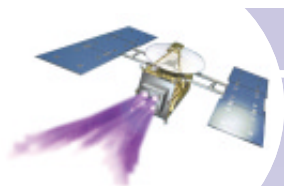


図2 蛍光X線による元素比、元素存在度と隕石との関係。普通コンドライト(H、L、LL)以外の点は、そのほかの隕石を示す。



はやぶさ近況

Space Pioneer Awardを受賞

5月6日にロサンゼルスにて行われたInternational Space Development Conference (ISDC 2006)で、米国のNational Space SocietyからSpace Pioneer Awardを授与いただきました。

最初、授与の連絡をJAXAワシントン駐在事務所にていただいたのですが、正直なところ、半信半疑でした。

同賞は、昨年はSpaceship-1のPaul Allen氏と、Mars Exploration Rover Team、それにCassini Huygens ProjectのBoris Smeds氏が受賞し、今年にはNASA長官Mike Griffin氏、民間ロケット機Space-Xの開発で有名なElon Musk氏と、Hayabusa Project Teamが受賞しています。

同societyのもう一つの賞である、SF作家Robert Heinlein氏のMemorial Awardは、本年は歴史的に

も著名な、実験機X-1で世界で初めて音速を超えたパイロットである(すでに退役していますが)Charles Yeager氏に授与されることになりました。受賞式典には、同氏の代理のYeager Foundationと、我々

Hayabusa Project (川口, 上杉)が招待されました。これ自体が、すでに大変な名誉だと思っています。

受賞に当たり「新しい技術によって地球接近小惑星イトカワを訪問し、科学知識を拡大した」という受賞理由と両名(川口, 上杉)の紹介をいただき、続いて、賞紙と月面を模した記念トロフィーの授与を受けました。と、その瞬間、受賞式典に参列していた約300名の参加者は総立ちとなり、会場は我々に繰り返し拍手を送る状況に急転しました。NASAの10分の1、そのまたごくわずかのリソースで試みた小さなミッションだったわけです。スタンディング・オベーションの荣誉に浴するなど、まったく予想だにできなかったことで、大いに戸惑いました。米国宇宙関係者の、挑戦に対する人種を超えた大いなる理解と、挑戦に寛大な文化に、大きく感動したところです。

賞紙は、「はやぶさ」運用室に飾りたいと考えています。トロフィーは、あつかましいかもしれませんが、本部長室に置かせていただければと思っております。

日本国内よりも米国で評価をいただいたのは、ある意味では皮肉なことではありますが、これを励みとして、「はやぶさ」の地球帰還に向け、なおいっそう運用に努力を傾注・継続してまいりたいと思います。

(川口淳一郎)

Space Pioneer Award 受賞式典(米国ロサンゼルスにて)。上杉邦憲先生がこちらを向いている写真を待っていたのですが、入手できませんでした。上杉先生、すみません。



探査機「はやぶさ」を導いたターゲットマーカ

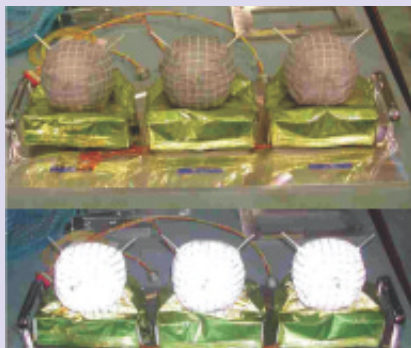
このように、Space Pioneer Awardを受賞した「はやぶさ」ですが、イトカワ表面のタッチダウンに見事に誘導したのは、88万人の署名の入ったターゲットマーカです。今回は、「はやぶさ」ミッションで新規開発した技術の一つ「ターゲットマーカ」について紹介します。

「ターゲットマーカ」は、小惑星表面に静止した後、探査機を誘導するための灯台の役割をします。自ら光を出しませんが、探査機に搭載されたフラッシュで輝きます(図参照)。探査機「はやぶさ」はカメラでターゲットマーカをとらえ

て、横方向速度をキャンセルしながら目標点付近に着地し、サンプル採取を行います。探査機から分離して小惑星表面に確実に静止するためには、ターゲットマーカが低反発(反発係数0.1以下)である必要があります。そこで考え出したのが、日本の伝統的な遊びの一つであるお手玉です。お手玉が、内部のビーズが互いに何度もぶつかってエネルギーを失う効果を持っていることに目を付けたわけです。実際の開発は、材料、材質、形状、加工方法、分離方法、フラッシュの宇宙仕様化など新規開発ばかりで大変苦労しましたが、2005年11月26日の降下時に、ターゲットマーカが小惑星表面上で光り輝いているのを確認できたときには、今までの努力が報われたと開発担当者一同、安堵しました。

(久保田 孝)

探査機「はやぶさ」に搭載したターゲットマーカ3個。上段がフラッシュオフ、下段がフラッシュオン写真



「あかり」観測開始

日本初の赤外線天文衛星「あかり」が、いよいよ観測を開始しました。

「あかり」には、液体ヘリウムと冷凍機を使って -267°C という極低温に冷やされた特殊な反射望遠鏡(口径約70cm)と、二つの観測機器(遠赤外線サーベイヤーおよび近・中間赤外線カメラ)が搭載されています。先月号でお伝えしたように、望遠鏡などが納められている冷却容器の蓋が4月13日に開放され、「あかり」の観測機器は宇宙からの赤外線をとらえ始めました。その後は試験的に取得した天体のデータを使って、望遠鏡や観測機器、あるいは姿勢制御装置の動作を調整する作業が続きました。5月に入ってこの作業もほぼ終了し、望遠鏡や観測機器は期待通りの性能を発揮し始めました。そして5月8日からは本格的な観測を始めることができました。

極低温冷却のために搭載されている液体ヘリウムは、少しずつ蒸発して減っていきます。現在の予想では、液体ヘリウムがすべてなくなるのは蓋開けから約1年後です。半年間で全天を1回観測することができるので、全天を2回観測するだけの期間が確保できていることになります。これからの1年間、「あかり」は休む暇なく観測を続けます。液体ヘリウムがなくなった後は、冷凍機だけによる冷却で、一部の観測が継続される予定です。

以下では、「あかり」の観測機器の高い性能の一端をご覧いただくために、試験観測のときに得られた画像の例をご紹介します。私たちが住む銀河系の中では、ガスと塵からできた雲から今でも恒星が作られています。図1と2は、こぎつね座にある反射星雲IC4954付近の赤外線画像です。この領域では数百万年前からいくつもの恒星が作られてきました。今も原料とな

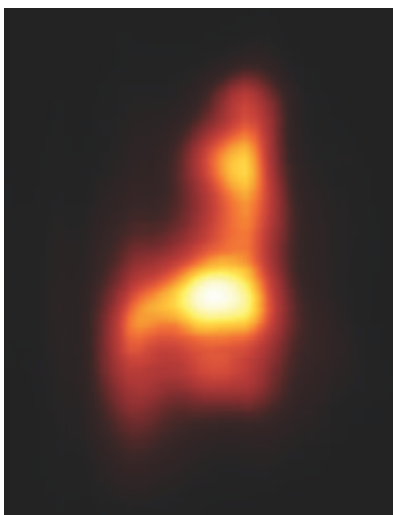


図1 遠赤外線サーベイヤーが波長90マイクロメートルで観測した反射星雲IC4954付近の画像

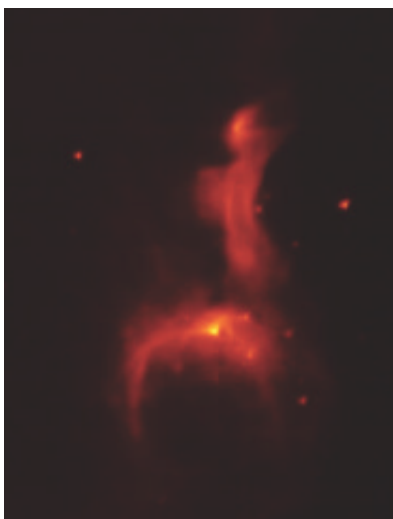


図2 近・中間赤外線カメラが波長9マイクロメートルで観測した反射星雲IC4954付近の画像

る水素ガス雲が残っていて、恒星が生まれています。赤外線画像では、水素ガス雲の中に漂う塵の赤外線放射によってガス雲の姿がきれいに映し出され、またその中でまさに生まれつつある恒星も見ることができます。この画像に写っている領域は差し渡し十数光年、波長の長い赤外線では鮮明な画像が撮られたのは初めてのことです。

また今月号の表紙は、「あかり」によって撮影された、おおぐま座にある有名な渦巻銀河M81 (M81)の画像です。ここでは、波長が異なる3種類の赤外線による画像を、それぞれ青、緑、赤で表して合成してあります。銀河の中心付近から青白く広がっているのが年輩の恒星からの赤外線、緑から黄、赤に見える部分は新しく生まれた恒星の光によって暖められた星間空間の塵が放射する赤外線を表しています。古い星たちは滑らかな分布をしているのに対して、若い星やガスと塵の雲は、渦巻きの腕に沿って分布しているのが分かります。

これまで全天の赤外線地図は、1983年にアメリカとオランダ、イギリスの共同で打ち上げられたIRAS衛星によって作られたものが使われてきました。今回お見せた「あかり」のデータは、IRAS衛星の画像よりも数倍～数十倍高い感度や解像度を持っています。「あかり」は、この

高い性能で宇宙の地図を作り直そうとしています。その結果は全世界の天文研究者に公開される予定です。「あかり」による新しいデータを使って、銀河がどのように作られて現在の姿になったのか、星、惑星系がどのような場所でどのように作られたのか、などが明らかにできると、プロジェクトのメンバーも張り切っています。(村上 浩)

不具合を克服し、SOLAR-B、夏期打上げへ

太陽観測衛星SOLAR-Bの総合試験は大詰め段階を迎えています。昨秋に動作不良を起こしたミッションデータプロセッサの改修も無事終わり、3月後半には、いよいよ総合試験

の最後の(と思いたい?)山場＝熱真空試験に突入しました。SOLAR-B衛星の三つの搭載機器はいずれもコンタミ(ほこりや化学物質による汚染)を極度に嫌う望遠鏡であるため、クリ

ーンルーム内でも普段はコンタミ防止のカバーをかけています。このカバーを付けたままでは、熱真空試験になりません。チェンバーの1階の衛星搬入部と2階のマンドア(作業員出入り口)の周辺に特製のクリーンブースを設け、人と物が出入りする際にコンタミ粒子が混入しないように気を配りました。

さて、チェンバー内に衛星を入れ、蓋を閉める前に熱真空試験前の動作確認です。衛星をオンにしてしばらくすると、あっ、バッテリー部の温度が上限近くまで上がっている。衛星がチェンバー容量ぎりぎりの大きさであるため、衛星から出た熱がうまく逃げてくれないのです。そんなこともあろうかとかねて用意の送風機を取り出したまではよかったのですが、コンタミ粒子をまき散らさないようにセットするのに一苦勞。何とかここを切り抜け、事前動作確認を終了させることができました。

いよいよ真空引き、これからが熱真空試験本番です。まずは高温条件下での熱平衡試験。ほぼ予期していた温度分布が実現しています。引き続き全機器の動作確認。幸い、OKが出ました。その後、日照・日陰を模擬した熱サイクル試験を進めたところ、微妙な異常が発生しました。日陰に同期して、チェンバー真空度がわずかながら劣化、同時にチェンバー内のヘリウム検出器がヘリウム分圧の増大を検出していました。この状態では、先に進めません。いったん試験の進行を止め、原因究明＝トラブルシューティングに入りました。何せ相手は



熱真空試験準備中のスナップ (2006年3月16日)

チェンバーの中、何が起こっているかを理解するまでは先に進めません。

限られた情報を精査し、ヘリウムの漏洩箇所が推進系のバルブ周辺であることを突き止めるまでに丸3日間かかりましたが、漏洩が起こる条件も分かり、漏洩を避けつつ熱真空試験を最後まで完遂することができたのは、今から思うと不幸中の幸いでした。

熱真空試験ではほかにも衛星システムと海外機器との間のインタフェースで齟齬(そご)が見つかりましたが、これらについては別に報告する機会があるでしょう。何といたっても最大の問題は、上記の推進系バルブ周辺からのガスの

漏洩です。熱真空試験後、ゴールデンウィークをすべてつぶしてのトラブルシューティングで、漏洩がバルブ本体からであること、原因はバルブ内にコンタミ粒子が混入したためであること、バルブを洗浄すると漏洩が止まることが分かりました。打上げ時期を遅らせることになるかもしれないという悲観的な気分になることがなかったわけではありませんが、関係者の連休を返上しての必死の取り組みで危機を克服できたと報告できることは、うれしい限りです。

なお、原因究明作業の途中では、結果的にはぬれぎぬであったわけですが、あらぬ疑いをかけられた機器もあります。これらの機器の担当者には、嫌な顔ひとつせず、原因究明に協力いただいたことを感謝します。5月末日現在、SOLAR-B総合試験はほぼ当初の予定通りのスケジュールに戻って、夏期打上げに向け順調に作業が進められています。(小杉健郎)

気球からの落下式無重力実験の動作試験に成功

平成18年5月27日6時4分に、平成18年度第一次気球実験の1号機として、無重力実験装置の動作試験を目的としたB200-6号機が放球されました(写真1)。同日9時20分に高度41.2kmから無重力実験装置を搭載した機体が切り離され、自由落下中の約20秒間で動作試験を行った後、パラシュートを開傘、緩降下して海上に着水、実験装置は無事回収されました。

無重力落下塔や航空機の無重力飛行では実現できない1分間程度の長時間の無重力実験を、観測ロケットや人工衛星



といった高価で準備に時間を要する打上げ手段を使わずに実現するため、大気球により高々度から実験装置を落下させるシステムの開発をしています。詳細は『ISASニュース』2005年9月号の「気球を使った微小重力実験システムの開発とその将来」を参照ください。今回の気球実験の目的は、約200kgの実験機体(ゴンドラ部と合わせると約300kg)を40km以上の高度まで上げる新開発の気球の飛翔試験、理想的な無重力環境を実現するために必要な二重カプセル構造(写真2)の

写真1 放球時の大気球と落下実験機体

制御動作の試験、実験装置を海上で回収する方法の実証などであり、これらすべてに成功しました。特に気球については、高々度まで飛翔させるために極薄のフィルムを使用する必要がありますが、重い実験機体をつり下げて飛翔させると破れてしまいます。そこで、力のかかる部分を多層構造にして補強する新方式を開発しました。また、実験機体が4mと細長いため、その放球方法にも工夫が必要で、放球装置の改良も行いました。多くの無重力実験では実験後の供試体を回収することが重要なのですが、気球追跡班、回収船、ヘリコ



写真2 自由落下中の無重力実験部。機体の内部で浮いており、外からの力を受けない二重カプセル構造になっている。



写真3 二つの液体間の気泡の移動

プターの連携により、問題なく実現できました。今後は、無重力継続時間を延ばすなどの改良を加え、実用的な無重力実験システムとして完成させたいと考えています。

なお、無重力実験の例として搭載した表面張力の異なる二つの液体の実験では、気泡が表面張力のより小さい液体側へ移動することが確認され(写真3)、無重力実験装置として十分に機能することも実証されました。

(橋本樹明)

熱気に包まれた「宇宙科学講演と映画の会」

去る4月15日(土)、東京の新宿明治安田生命ホールにおいて、恒例の「宇宙科学講演と映画の会」が開催されました。会場は350人くらいが定員なのですが、延べ450人くらいの人たちが来場しました。講演開始時にはすでに満席になっており、補助いすをどんどん出して、それでも収まらず、立ち見やロビーでのテレビ中継に見入る人が出るほどの大盛況でした。開場の2時間も前から待っている人もいました。

プログラムは、講演1「はるか」が見つめた宇宙—3万kmの瞳(平林 久教授)、講演2「はやぶさ」のイトカワ着陸—3億kmかなたに宇宙船をあやつる(川口淳一郎教授)、映画「50年目の再現 ペンシルロケット水平試射」、という3本立てでした。

知的興奮を求めてこれほどの人が来てくださることに、日本人の素晴らしさをあらためて確認する思いでした。「はやぶさ」が獲得した解像度の高い画像(未発表)には、感嘆のため息が聞こえてきました。

「はるか」のスペースVLBIと「はやぶさ」の小惑星探査のどちらでも実現した独創性あふれる技術は、日本が世界に胸を張って誇り得るものです。少し前に世界の6ヶ国(アメリカ、ブラジル、フランス、ドイツ、フィリピン、韓国)で実施された

「日本人の特質として最も優れているものは何か?」という質問に対し、韓国を除く5ヶ国で「独創性」がダントツ1位だったそうです。また、韓国の人たちの答えとしてトップだったのが「自主性」だそうですから、これらの答えは、私たちが私たち自身について持っている(と思われる)認識とはずいぶん隔たりがありますね。

両先生の講演は、熱い期待にたがわぬ素晴らしいもので、活発な質疑応答の後にも、大勢の人たちに囲まれてアフターケアに大変だったようです。関係者の皆さん、お疲れさまでした。

(的川泰宣)



宇宙科学研究本部 一般公開のお知らせ

日時：2006年7月29日(土) 10:00~16:30

場所：宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部 相模原キャンパス

詳しくはhttp://www.isas.jaxa.jp/j/new/event/2006/0729_open/index.shtmlをご覧ください。

西へ東へ、また西へ

「昔、ローマがまだ村だったころ、すでに中国には偉大な文明が栄えていました。ここ数十年、中国が世界の表舞台に出ていなかったとはいえ、4000年の中国の歴史の中で、まばたきにしかすぎないのであります」と演説したのはイタリア大使館の大使。4月19日から21日にかけて北京で行われた国際会議「Space Particle 03」の2日目、出席者全員がイタリア大使館に招待され、オペラ歌曲の鑑賞からスタートしたパーティーの席上でのことでした。

「Space Particle」は、宇宙を舞台とした素粒子物理学、基礎物理学、そして天文学の研究者が集まる国際会議です。各国の宇宙機関の代表者も招待され、それぞれの国が宇宙科学にどのように取り組んでいるかを国際的な科学コミュニティに向かってアピールすることが求められているのも特徴です。

一昨年のワシントンDCに続いて組織された会議の場所は北京。設定されたテーマは、「Space Science Mission in China」でした。黄砂の舞う中、「北京航空航天大学 (Beihang University)」を舞台に行われた会議は、中国代表の「我が国は打上げロケットのみならず、小型、中型、大型のどのクラスにおいても実証済みの共通衛星バスがあり、宇宙技術に対してはすでに高い水準にきている。世界の科学のコミュニティは、ぜひともこの機会を使ってください」と熱のこもった発表から始まりました。その後、アメリカ、ヨーロッパ、ロシア、イタリアそして日本と、それぞれ宇宙機関としての現状と長期ビジョンの発表が続ききました。

日本からは宇宙科学研究本部を代表する形で私が話をしました。日本が優れた技術をベースに、規模は小さくとも独自の方向性を持って、いかにして大きな成果をあげてきたか、そして長期ビジョンに記された「宇宙と物質、空間の起源」や「宇宙における生命の可能性」といった課題に、今後20年にわたってどのように取り組もうと

しているか話をしました。2004年の会議と比べ、英語で書かれた日本の長期ビジョンの文書を提示できたことは、国際社会に生きなければならない宇宙開発において格段の進歩なのかもしれません。

宇宙科学には国際協力が必須です。その際、限られたリソースの中で最大限の貢献を行い、強い存在感を世界に示すことが求められます。アメリカやヨーロッパはお互いを強く意識した大テーマを、ロシアは打上げロケットの実績を背景に宇宙科学への復活を目指した議論を展開していました。それに対して、会議の主催メンバーということもありましたが、イタリアはヨーロッパの中で独自の輝きを持つように動いていることを強く感じさせるように、会議を進めていました。国際政治と同じで、国際協力においても駆け引きがあり、うまくまとめ上げるには高い交渉能力が求められます。冒頭の話のように、大使までが宇宙科学の会議に登場し中国の力を高く評価して、自国との国際協力の推進を後押しするというのには驚きです。

我々がJAXAの長期ビジョンの中で示した「宇宙科学において世界のトップサイエンスセンターになる」というビジョンを達成するのは、容易なことではありません。日本が中心となって進めているミッションが成果をあげ続けられない限り、今後の将来計画において強力な国際協力のメンバーを引き込むことは不可能です。

「すざく」の打上げからは10ヶ月。順調だったこと、思わぬトラブルが起きたこと、それを乗り越えて示しつつある「すざく」のパワー。「あすか」以来、再び衛星を手にして、これからが正念場です。北京から戻ったその翌週4月26日には、アメリカが「すざく」に参加し続けるために必要な予算のヒアリングのため、ワシントンDCのNASA本部に急遽駆けつけることになりました。正式なアナウンスはこれからですが、幸いなことに、2010年までのサポートを得ることができました。「すざく」関連で、昨年9月から毎月のように、時には月に2回も3回も、海外に出掛ける状況が続いています。「起こったこと」の説明責任を果たすと同時に、広帯域観測というもう一つの「パワー」を示すために、皆で世界を駆けずり回る日々は、「すざく」論文がどんどんと出始めるまで続きそうです。(たかはし・ただゆき)



「Space Particle 03」が開催された北京航空航天大学



武蔵国・国分寺

我が街国分寺は、古き良き歴史を感じることができる一方、現代においては超高速鉄道・電子応用機器の最先端技術を世界に発信し続ける街、新幹線ひかり号を生み出した鉄道総合技術研究所のある街でもあります。この辺りはその昔、平兵衛新田と呼ばれていましたが、ひかり号誕生により町名が光町に変更されました。毎年10月には、地域と鉄道総研が中心となり「平兵衛まつり」が行われ、鉄道総研内を自由に見ることができます。

また武蔵国・国分寺跡は現在も遺跡調査が各所で行われていますが、このお寺には、ほかのお寺にはない七重の塔があったと伝えられています。その塔は昔から、宇宙とのつながりを意味しているといわれていました。

このたびJAXA宇宙科学研究本部にご協力をいただき、日本の宇宙開発発祥の地に記念碑建立ができましたこと

を、心よりお礼申し上げます。これからも宇宙科学のPRを有志の皆さんと続けていきたいと考えております。

今回の事業を顧みますと、いろいろ紆余曲折がありました。長年有志による努力はしてまいりましたが、いまひとつ盛り上がり欠けておりましたところ、一本の電話で状況が好転しました。相手は行政の役職の方で、個人的な集まりに参加した折、早稲田実業学校関係者から国分寺の有志と一緒に記念碑を作れないかと相談を持ち掛けられたとのこと。早々に2005年6月23日、国分寺市役所内において関係者が打ち合わせを行い、お互いの目的が一つであることが確認されました。7月14日に国分寺の諸団体・早稲田実業学校の関係者に参加していただき、それまでの経緯をお話しして協力を依頼。その後も

由井久夫

武蔵国分寺住人

の打ち合わせをし、現在の素晴らしい記念碑の完成を見ました。また、第1回顕彰会開催時よりJAXA宇宙科学研究本部の参加をいただき、問題解決にご協力をいただきました。今後は有志の皆さんと力を合わせ、タイムカプセルならびに歴史の継承のため、新たな会の設立に尽力してまいりたいと考えております。

ここで話を少し変えさせていただきますが、私が子供のころ、早稲田実業学校の

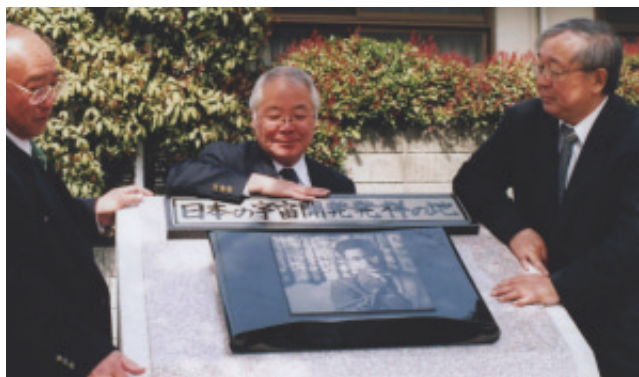
場所を「ナンブジウ」、東京経済大学の場所を「オオクラ」と呼んでいました。『東京経済大学の100年』によると、戦前はナンブジウもオオクラも大倉財閥系の工場で、中央工業の所有地と記載されております。東京経済大学の前身は大倉経済専門学校で、1946年6月に赤坂葵町から国分寺に移転し、1949年2月に東京経済大学に改名し現在に至っております。

今年から東京経済大学の「葵

祭」(11月3日～5日)に宇宙展の開催をすべく、JAXA宇宙科学研究本部対外協力室と打ち合わせを行っております。

国分寺で初めてペンシルロケット試射をした1955年は、私自身も新しくできた第二中学校に入学したとても思い出深い年です。そこから50年目に当たる昨年、その節目に立ち会えたことは、私にとって幸運でした。今後も歴史・産業を活かし、仲間の皆さんとともに街の活性化を推進していきたいと思っています。

今回の事業で国分寺の中にさわやかな風が起こり、関係機関と連携を取り、毎年4月吉日を「宇宙科学創造の日」として皆さんで集まり語らい、将来国分寺に宇宙関連施設ができるよう夢見つつ、まず来年の4月12日に向かって新たな計画を進めていきます。
(よいい・ひさお)



記念碑を囲んで(筆者は中央)

数回の準備委員会を経て、9月20日に第1回「日本の宇宙開発発祥の地」顕彰会を開催し、10回の会議ならびに募金活動を行ってきました。それと並行して、最良の記念碑を作るべく石材屋さんとも数十回

国分寺の見どころ

一度国分寺へ来てみませんか、ご案内致します。

- 1 「日本の宇宙開発発祥の地」記念碑
1955年ペンシルロケット水平試射
- 2 お鷹の道・真姿の池湧水群
全国名水百選
- 3 殿ヶ谷庭園
旧三菱財閥の岩崎氏の別邸
- 4 国分寺 境内に薬師堂、文化財保存館、
万葉植物園
- 5 武蔵国分僧寺跡・武蔵国分尼寺跡・
七重の塔跡
- 6 伝鎌倉街道・東山道武蔵路
- 7 新幹線資料館

宇宙研の中の生物学者

宇宙環境利用科学研究系 助教授

黒谷明美

——置物に、カレンダー……、研究
室はカエルだらけですね。

黒谷：1990年に宇宙ステーション
「ミール」でのカエルの実験に参加
して以来、増えたかな。でも、カエル
は子供のころから好きでした。カエル
は跳びし、木にも登るし、泳ぐし、
いろいろな動きのパターンがあって、
見ていると面白いから。

——専門は「宇宙生物学」ですね。

黒谷：もともとは、宇宙とは関係がな

い「生物学」です。私はカエルに限らず生き物がとても好きで、とにかく
生き物について知りたいのです。地球の生き物は、重力がある環
境の中でくらしています。生き物を地球の環境とは違うところ、例えば
宇宙に持っていけば、生き物が地球の環境によってどのような影響を
受けているのかが分かるのではないかと、そういう観点で研究をしてい
ます。宇宙は手段であって、目的はあくまでも地球の生き物を知ること
です。

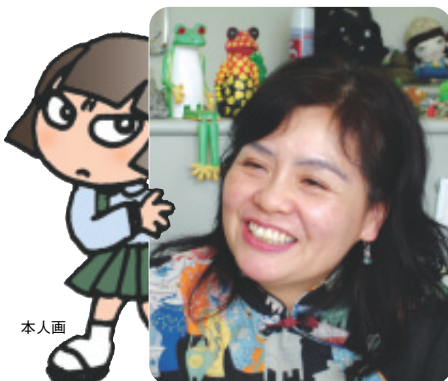
宇宙研で生物の研究をしているというのは、皆さんにとって意外な
ことらしいですね。宇宙研の見学に来た中高生は、ロケットや衛星、
天文の話聞いた後、最後にこの研究室に案内されることが多いの
ですが、カエルの置物やウニの水槽を見て驚きます。宇宙の話聞き
に来たのに、思いがけず生物の話聞いた。そのギャップが印象に
残るようです。宇宙研にいて「宇宙は面白い」というのは当たり前。宇
宙研にいて「生き物は面白い」という人がいてもいいでしょう。

——宇宙研の生物学者の仕事は？

黒谷：自分でも研究をしますが、以前は実験のコーディネートも重要な
仕事でした。面白そうな研究をしている人を見つけて宇宙実験を勧め
たりしました。生物屋さんと工学屋さんをつなぐのも、私たちの仕事。
ロケットや衛星の専門家は、打上げのときにどのくらい振動するかは
詳しく知っていますが、その振動で生き物がどうなるかまでは知りませ
ん。そこで、私たちの出番です。

——ご自身ではどういう実験をしているのですか。

黒谷：ウニを使って、卵から体の形ができてくる過程に重力がどう影響
しているかを調べています。宇宙での実験は簡単にはできませんから、
遠心機で重力を大きくしたり、いろいろな方向に回すことで疑似無重
力状態を作り出ししたりして、実験をしています。以前、イモリの産卵と
初期発生の宇宙実験に参加しましたが、その延長に当たる研究です。



本人画

くろたに・あけみ。1958年、東京都生まれ。理学修士。
工学博士。大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻生
物工学分野修了。放送大学を経て、1988年、宇宙科学研
究所宇宙基地利用研究センター助手。1996年、助教授。
専門は宇宙生物学、細胞生物学、発生生物学。1990年、
旧ソ連の宇宙ステーション「ミール」でのニホンアマガ
エルの行動学実験に参加。これは、日本における初めて
の本格的な宇宙生物実験。1994年にはアメリカのスペ
ースシャトル、1995年には日本の衛星SFUでのアカイモリ
の産卵と初期発生の実験に参加。

両生類の実験では、無重力状態の卵は発生の途
中で一時期異常になりますが、生まれてくるオタ
マジャクシは正常です。生き物ってたくましい。

少しぐらいの異常は修復してしまう。でもそれは、卵という特殊な環境
だからかもしれません。ウニを使えば、卵の外に取り出した細胞が骨
片をつくる過程を観察できます。この過程に重力がどのように関係し
ているのか調べているところです。まだ、すっきりした結果は出ていま
せん。生き物ってすごく複雑で、一筋縄では理解できない。それが面
白いのです。

——そもそも生き物が好きになったきっかけは？

黒谷：母が生き物好きだったことかな。アリの行列を見つけると、面
白いから来てごらんと私を呼んでくれて、一緒にながめていました。子
供が生き物に興味を持つかどうかは、親の影響が大きいですね。虫
などを見て嫌がったり汚がったりしていたら、子供は生き物を好きに
ならない。せつかくのきっかけを奪っているようで、もったいないなあ。

——黒谷先生が描いたイラストを使ったポスターは「宇宙学校」の
定番になっています。

黒谷：子供のころから絵を描くのは好きでしたが、人に見せるよう
になるとは思ってもいませんでした。一枚の絵の中にストーリーを作
りたいので、毎回、苦労しています。

最近、中学や高校で授業の支援をしたり、一般向けの講演をし
たり、教育・普及の仕事も増えています。宇宙教育センター長の川
泰宣先生はよく「子供の心に火をつけるのが大事」と言いますが、難
しいです。科学は芸術と同じだと思うんです。人を楽しませ、豊かに
する。もちろん、研究が進んで社会の役に立つことが出てくるかもし
れないけれども、すべての科学が最初からそれを目指しているわけ
ではありません。「何の役に立つのですか」と質問する子供がいますが、
その前に純粹に楽しんでほしい。子供たちに、すごいとか、きれい
とか、感動してもらうためにはどうしたらいいか、私たちがもっと勉強し
ていかなければなりません。

ISASニュース No.303 2006.6 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

先日、久しぶりに内之浦へ出張しました。打上げ準備作業
のない実験場は、とても静かでのどかでした。しかし、こ
こでSOLAR-Bの打上げ準備作業が始まるのも間近。また実験場もにぎ
やかになり、『ISASニュース』のネタもたくさん提供していただけるこ
とでしょう。(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