

左上：微小重力空間で無容器浮遊する液滴 右上：静電浮遊炉外観  
左下：静電浮遊炉電極間で浮遊する高温試料 右下：試料の拡大画像(試料直径は約2mm)

宇宙科学最前線

## 無容器浮遊と過冷却の科学

石川毅彦

宇宙環境利用科学研究系助教授

スペースシャトルや国際宇宙ステーションの中は、重力が地球上に比べて非常に小さくなる「微小重力」の世界です。そこは、地上とは異なる現象が見られる不思議な空間です。密度の違いによる浮遊・沈降が起こらないので、地上では湯を沸かす鍋などで見られる「熱対流」が起こりません。ドレッシングの水と油の分離も起こりません。豆腐を積み上げていっても自分の重さでつぶれることもありません。こうした現象の中でも、コップなどの容器を用いることなく液体を保持できる「無容器浮遊」は、微小重力環境の最も分かりやすい特徴の一つではないでしょうか。

### 浮遊技術の開発

「微小」とはいえ、宇宙ステーションの中には重力などがあるため、何もしないと浮遊させた試料は

動いてしまいます。試料にレーザー光を当てて加熱したり、試料温度を精密に測定したりするには、試料に触ることなく空間にピタッと止める装置が必要です。

世界の宇宙機関は、率先して浮遊装置を開発してきました。1980年代後半から1990年代前半にかけて、NASAは音波を使って試料位置を制御する装置を、ドイツは電磁場を利用する装置を用いて、スペースシャトル内でそれぞれ実験を行いました。日本も音波浮遊装置を開発して、1992年の毛利衛さん初のスペースシャトル搭乗時に実験をしました。

残念ながら、これら初期の浮遊実験は試料を浮遊させるのが精いっぱい、無容器浮遊のメリットを存分に生かした実験で成果を挙げるまでには至りませんでした。微小重力でも試料をピタッと安定浮遊させて、溶かすのは簡単ではなかったのです。

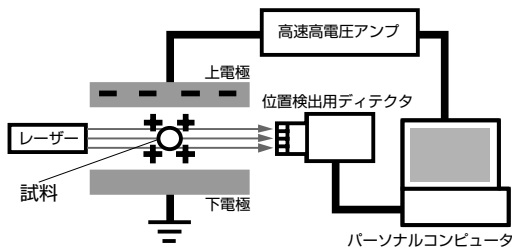


図1 静電気浮遊法の位置制御の仕組み

しかしその後、各宇宙機関は地上の浮遊装置の製作などを通じて研究開発を進め、浮遊技術を飛躍的に進歩させました。1997年にスペースシャトルに

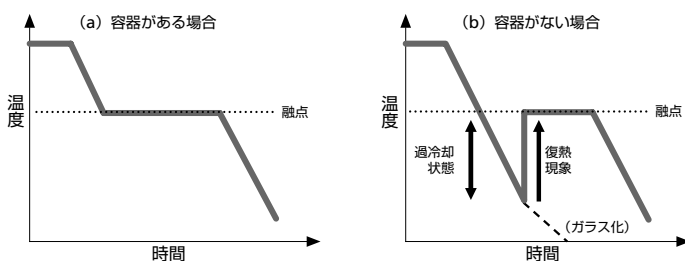
搭載されたドイツの電磁浮遊炉は安定して金属試料を浮遊溶解させ、数多くの貴重なデータを得ることに成功しました。

## 静電浮遊技術

JAXAは、国際宇宙ステーション用の浮遊実験装置として、静電浮遊法を採用して研究開発を進めてきています。この静電浮遊法は、帯電させた試料とその周囲に配置した電極との間に働くクーロン力（プラスとマイナスとの間に引力が働き、プラス同士またはマイナス同士では斥力が働く）を利用する浮遊方式です。この方法は、音波や電磁力を利用する方法と比べて試料に与える擾乱が小さい、帯電すればあらゆる試料を浮遊可能など優れた特徴を持ちますが、試料位置の調整に高速のフィードバック制御が必要となるなど技術的な課題から開発が遅れていました。JAXAでは、惑星探査で有名なNASAジェット推進研究所（JPL）で確立された静電浮遊法の基礎技術を継承して研究を進めてきています。

図1に静電浮遊法の位置制御の仕組みを示します。レーザー光により試料の影を位置センサーに映して試料の位置を測り、その位置と目標位置とのずれに応じてコンピュータが電極間の電位を調整して、安定した浮遊を達成します。この方式を用いて、1998年に小型ロケットでの6分間の無重力実験を行いました。この実験ではセラミックス試料を浮遊させ溶かすことに成功しましたが、熔融した際に試料の電荷が減少して位置の調整が困難になるという課題を残しました。これを受けて現在私たちは、地上において位置制御技術の向上を進めるとともに、浮遊技術を利用した研究分野の開拓を進めています。

図2 液体試料の冷却



表紙の写真は、JAXAで内作した地上研究用の静電浮遊炉です。この炉では10mm間隔の電極（直径25mm）の間に試料を浮遊させます。地上では重力に打ち勝つ力を発生させるため、電極間に1万5000V程度の電圧をかける必要があります。これにより直径2mm程度、重さは数十mgの試料を浮遊可能です。試料の加熱は炭酸ガスレーザーで行い、試料の温度を放射温度計で測定します。位置制御は現在、試料を50μm以下の位置変動で浮遊できるまでに向上しています。そして、試料を3500℃以上に加熱する性能を備えています。

## 無容器浮遊のメリット

無容器浮遊では、容器の方が先に溶けてしまうような高温の液体を取り扱うことが可能となります。次に、容器から不純物が溶け込んだりしないので、液体試料の純度を保つことができます。さらに、試料を容易に「過冷却状態」に保持することが可能になります。

図2は、液体を冷やしていったときの温度の時間変化を示したものです。容器がある場合、液体試料は融点に達すると容器壁から「核」が発生して、凝固を開始します。凝固が終了するまでは凝固潜熱により一定の温度に保たれ、固体になった後再び温度が下がっていきます。一方容器がない場合は、凝固の開始となる核がなかなかできないため、融点以下になっても液体状態（過冷却状態）のまま、温度が降下していきます。厳密にいうと、容器を用いた場合でも若干の過冷却状態は得られるのですが、その過冷却の度合いは非常に小さいものです。一方、無容器の場合は、融点以下100℃に達する過冷却が容易に達成されます。さて、過冷却液体の温度を下げ続けると、通常は核が発生して固体になります。この際、凝固潜熱の放出により試料の温度が急上昇する復熱現象が見られます。まれに過冷却液体がそのままガラス化してしまうこともありますが、いずれにしても大きな過冷却状態を長時間にわたって得られるのが、無容器浮遊の大きな特徴です。

## 静電浮遊法を用いた高融点金属の熱物性計測

物質が持つさまざまな性質を数値で表したものを物性値といいます。密度や比熱、熱伝導率などが代表的なものです。水の物性値は一般によく知られていて、水の密度が約1g/cm<sup>3</sup>であることや、比熱が1cal/gKであることなど、ご存じのことと思います。金属も固体状態の物性値はよく調べられていて、『理科年表』にまとめられています。しかし、液体状態の金属となると、様子が違ってきます。融点が1000℃を超える金属あたりから測定データの数は少なくな

り、また測定値のばらつきが大きくなってきます。これは、容器と液体金属試料が反応してしまうことが大きな原因です。鉄やニッケル(これらの融点は約1500℃)といった実用的な材料についてさえも、液体状態の物性値の精度は水に比較して1桁以上悪いのが現状です。実用的な金属・合金や半導体の液体状態の密度や比熱、粘性係数などの物性値は、半導体単結晶の引き上げや、鑄造・溶接といった製造プロセスの条件を決める上で重要な基礎データです。近年コンピュータシミュレーションを用いて鑄型の設計が可能となってきましたが、シミュレーションに用いられる数学モデルの進歩に比べて物性値の精度向上が追いついていません。さらに高温の2000℃以上や3000℃以上の融点を持つ金属については、こうした温度に耐える適切な容器がほとんどないので、測定例もほとんどありません。

無容器浮遊を用いれば容器の問題がないので、従来方法では測定が困難な高温液体の物性値を求めることが可能です。また、過冷却液体の物性値も得られます。静電浮遊法では浮遊に伴う試料の変形がなく、地上でも液体状態の試料は球形になるので、試料の画像解析から容易に体積を求めることができ、密度の算出ができます。また、試料液滴に振動を加え、その振動の周波数や減衰から試料の表面張力や粘性係数が求められます。図3にタングステンの測定結果を示します。タングステンは約3420℃という最も高い融点を持つ金属で、物性測定の際はほとんどありません。特に粘性係数は、これまでまったくデータがありませんでした。静電浮遊法による地上研究の結果、2000℃以上の融点を持つ金属元素の大半について、これらの物性値を測定することができました。

### 静電浮遊法による新機能材料の創製

鋼は、高温状態から急冷する「焼き入れ」により硬くなることが知られています。これは、急冷によって通常の凝固時とは異なる結晶ができるためです。このように材料の性質は、熱処理の仕方によって大きく変わります。無容器浮遊では、深い過冷却という普段は得られない温度条件が実現できます。こうした特異な温度条件で試料をプロセスし、特異な結晶組織を実現させることにより卓越した機能を発現させる。これが、浮遊法による新機能材料の創製研究です。

一例として、静電浮遊炉におけるセラミックス試料の研究について紹介します。研究の対象としている試料はチタン酸バリウム(BaTiO<sub>3</sub>)という酸化物で、電気回路に欠かせないコンデンサの材料として広く使われている物質です。この試料を地上の静電浮遊炉で溶融/凝固させた後、試料の比誘電率を

測定しました。その結果を図4に示します。比誘電率は、コンデンサ材料としての性能を示す数値の一つです。通常のチタン酸バリウムも3000程度と高い値を示すのですが、静電浮遊炉で処理したものは通常と比較して30倍程度大きな比誘電率を持つことが明らかになりました。また、温度を変えても高い誘電率を保持し続けるという優れた特性も兼ね備えています。

浮遊技術を用いた新機能材料の創製研究は始まったばかりですが、今後もこの例のような優れた材料創製が大いに期待されます。

### 宇宙ステーションに向けて

浮遊技術は近年急速な進歩を遂げ、地上においても安定して試料を浮遊溶融させてさまざまな研究が行われるようになってきました。また地上での研究を進めていく中で、微小重力環境の必要性(地上では難しいこと)も明らかになってきました。地上では浮遊できる試料の大きさが非常に小さいこと、地上では浮かせることが非常に難しい試料種があることなどです。さらに、地上では浮かせた試料に重力が働いていますから、水と油を混ぜたような試料では重力による分離が起こってしまい、均質に混ぜることは困難です。こうした問題に対しては、宇宙ステーションを利用した実験が有効です。地上と宇宙とを有効に使い分けて効率的に実験・研究を進めていくことが肝心です。

国際宇宙ステーション用の静電浮遊炉は、現在地上研究の成果をもとにして設計検討を進めている段階です。装置サイズなどの宇宙ステーションの制約を加味した設計、搭乗員の生命を確保する多重の安全設計などさまざまなハードルがありますが、搭載に向けて着実に研究開発を進めていきたいと思います。

(いしかわ・たけひこ)

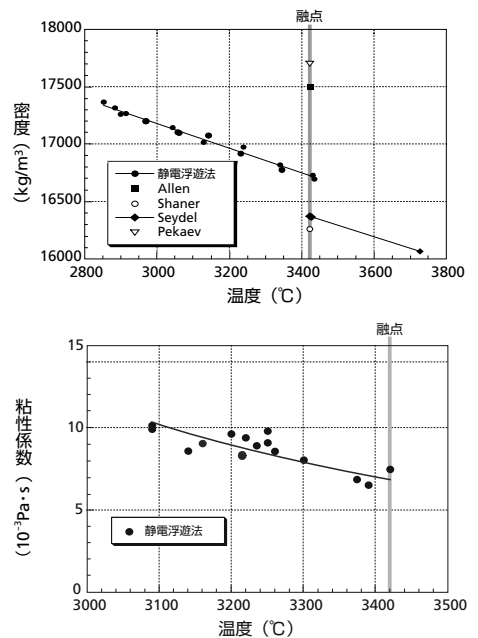
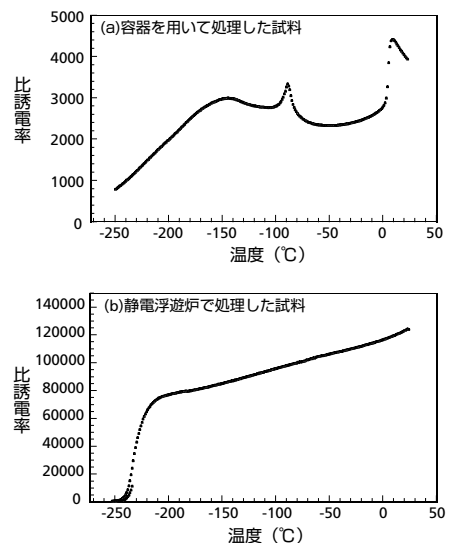


図3 静電浮遊法によるタングステンの密度と粘性係数の測定

図4 チタン酸バリウムの比誘電率の測定





## JAXA宇宙科学研究本部で学ぼう!

総研大 宇宙科学専攻5年一貫博士課程 平成18年度学生募集

JAXA宇宙科学研究本部が担う総合研究大学院大学物理科学研究科宇宙科学専攻は、平成18年度から5年一貫博士課程へ改組し、博士後期課程に加え、5年一貫の博士課程学生の募集を新たに行います。入試の概要は以下のとおりです。優れた学生の出願をお待ちしております。

### 5年一貫博士課程(学部卒相当者対象)

書類選考、筆記試験(英語、数学、物理)及び面接により選抜試験を実施します。

出願期間:平成17年7月29日~8月4日

選抜試験:平成17年8月25日~8月26日

総研大の詳細及び入試要項については  
ホームページをご覧ください。

<http://www.isas.jaxa.jp/sokendai/>

問合せ先: JAXA宇宙科学研究本部大学院係 Tel: 042-759-8012 E-mail: sokendai@isas.jaxa.jp

### 5年一貫博士課程3年次編入(修士卒相当者対象)

書類選考、筆記試験(英語)及び面接により選抜試験を実施します。

#### (第1回)

出願期間:平成17年7月29日~8月4日

選抜試験:平成17年8月25日

#### (第2回)

出願期間:平成17年12月12日~12月16日

選抜試験:平成18年1月23日~2月10日のうち1日

## 宇宙科学研究本部 一般公開のお知らせ

今年は7月23日(土)となりました

今年は、ペンシルロケット発射から50年です。基礎から実験を積み上げてきた宇宙研、そして日本の大事な節目の年です。また、将来構想「長期ビジョン」を打ち出した年です。歴史を見据えて先人が培った足腰を継ぎ、未来を求めて、今年のタイトルは「宙へ土50年」となりました。

また今年度は、宇宙研関係ではASTRO-E II, ASTRO-F, INDEXと、大小3機の衛星打上げの年ですし、全JAXAでは衛星に関連するプロジェクトが8件もあるという、いまだかつてない大きな活動の年です。さらに、「宇宙教育センター」が5月に設立されたばかりです。

こんなことが目白押しの今年。頑張らないわけにはいきません。

こんなことを意識してのプログラムも組まれますが、恒例の「水ロケット工作・打上げ」も「ミニミニ宇宙学校」も行います。ビデオでは、できたばかりの『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』も上映します。

毎年1万人を超える皆さんに来ていただける大事な大事なイベントです。実行委員長を仰せ付けられました。微力ではありますが、このような年ですから、皆さんと協力していいイベントになるよう頑張りたいと思っています。特別な今年、たくさんの方のおいでをお待ちしております。

宝塚の宙組を思わせる華麗でかわいいポスターが街に回ったら、スケジュールをお立てください。ところで、宝塚では、ラインダンスのことをロケットというんだそうですね。

(平林 久)

## ASTRO-E II の最新情報

相模原発、筑波経由、内之浦行き

X線天文衛星ASTRO-E IIは、保管のために取り外していたコンポーネントの再組付けと詳細な動作チェックを3月半ばから射場移動前最終試験として実施していましたが、5月13日に全項目を無事終了しました。また、打上げ日も関係各方面のご協力とご理解をいただき、打上げの特別期を利用した7月6日からと決定しました。

通常はここでM-Vロケットの待つ内之浦に衛星が輸送されるわけですが、ASTRO-E IIの場合は筑波宇宙センター経由で送られることになりました。というのは、衛星の重心位置や慣性性能率行列を測定する質量



筑波宇宙センター  
4.5トン質量特性  
測定装置に設置さ  
れたASTRO-E II  
衛星(2005年5月  
19日撮影)

特性測定が宇宙研の測定装置の故障によって実施できなかったため、急きょお願いして、再立ち上げをしていただいた筑波宇宙センターの4.5トン質量特性測定装置で測定を行うことになったためです。筑波での測定は初めてなので不安もありましたが、筑波の試験担当の方々のご協力、さらに我々の直前に同様に筑波で質量測定を行ったINDEXグループから

の情報提供もあり、大変精度の高い測定結果を予定通りの測定スケジュールで得ることができました。

この試験の後、衛星は5月23日に筑波から内之浦に発送され、25日より内之浦での衛星作業が開始されました。6月後半にはロケットの作業と合流します。いよいよ最終目的地、宇宙への旅立ち間近です。  
(満田和久)

## 「宇宙教育センター」が設立されました

さる5月1日、JAXAに宇宙教育センターが設立されました。事務所開きは5月19日に行われました。相模原キャンパスの新A棟2階です。丸の内では教材開発のための実験スペースすらないこと、また相模原は教育を考える雰囲気にあふれていることから、ここ相模原の地を選ばせていただきました。

数々の困難を乗り越えて設立にこぎ着けた皆さんの執念と情熱に、心から敬意と感謝をささげます。と同時に、これから待ち受ける大切だが大変な事業に、武者震いと不安を覚えています。

武者震いをさせているのは、私たちの活動を(潜在的に)待ち受けている全国の子供たちと多くの現場の先生方へのは

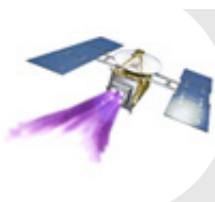
やる想いです。不安にさせているのは、私たちとその環境が重い任務を遂行するのに十分なものかどうかという危惧です。

その不安を消し去るのが、一步一步の実践の積み重ねであることを、私たちは知っています。子供たちの心に明々と燃え続ける自然と生き物と未来への希望をよりどころとし、教育現場の人たちの子供たちへの愛情を導きとして、宇宙教育センターは、宇宙と宇宙活動の有する魅力的な素材を十二分に活用しながら活動を展開していきます。

末永く、宇宙教育センターをよろしく願います。

宇宙教育センターホームページ <http://edu.jaxa.jp/>

(的川泰宣)



### はやぶさ近況

今年2月に太陽から最も遠い距離を無事通過し、発電電力は回復し始めた「はやぶさ」ですが、5月25日には地球から最も遠いところ(約2.5天文単位、3億8000万kmの距離)を通過しました。このような遠距離をさまざまな制約条件のもとで発信する場合、データの送信速度が大きく制限されます。イオンエンジンを使って航行しているときは、地上に8bpsの速度でしかデータを送れません。この速度は、PHSなどで使われている64kbpsの8000分の1、つまり1秒で受け取れるメールが2時間以上かかる計算になります。また、電波が地上と「はやぶさ」の間を往復するのに40分以上かかります。

### 柔軟なデータ処理機能

このような制約のもとで運用を効率的に行えるようにするため、地上と通信を行うとき「はやぶさ」は、重要なデータから順番に地上に送ってきます。例えば、「はやぶさ」は内部で異常が起きていないかを常に自動的に監視していて、異常が起きた場合は異常に関するデータを真っ先に地上に送ってきて運用者に知らせます。これ以外にも、必要なデータだけを必要な時点で柔軟に処理できるような機能をいろいろ搭載しました。これらのデータ処理機能のおかげで、「はやぶさ」は極めて低速な回線を使って、極めて効率的に運用されているのです。

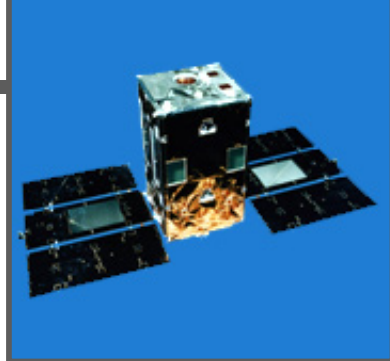
(山田隆弘)

### 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	頭		ASTRO-F	FM総合試験		未
	頭		SOLAR-B	FM総合試験		未
	頭	INDEX	FM総合試験		未	
			頭	INDEX	射場試験	8月中旬
筑波	頭		SELENE	システムPFM試験		未
内之浦	頭	ASTRO-E II / M-V-6	フライトオペレーション	6日	15日	22日 8月2日

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

# 浩三郎の 科学衛星秘話



「ようこう」



井上浩三郎

1990年代に人類の太陽像を革命的に変革したSOLAR-Aは、1991年8月30日11時30分にM-3SIIロケット6号機によって打ち上げられ、近地点高度517.1km、遠地点高度792.8km、軌道傾斜角31.3度、軌道周期97.9分の軌道に投入されました。

一般公募によって「ようこう（陽光）」という名前が付けられました。「ひのとり」に次ぐ2番目の太陽観測衛星です。「ようこう」は、太陽活動極大期に太陽フレアの高精度画像観測など、太陽表面の高エネルギー現象を総合的に観測し、太陽フレアを中心に太陽活動を解明しようとするものです。

## 観測装置

日米英協力のものなど、4つの観測装置が搭載されました。軟X線望遠鏡（SXT、日米協力）によるコロナ構造の観測、硬X線望遠鏡（HXT）による太陽の超高温エネルギー現象の観測、ブラッグ結晶分光計（BCS、日英米協力）による元素の線スペクトルの観測、広帯域X線・ガンマ線分光計（WBS）による太陽が放射する高エネルギー放射全般に起こるエネルギースペクトルの観測です。

## 機器の作動状況

衛星軌道投入後の一連のオペレーションの後、打上げ2日後の9月1日から順次観測機器の電気系の試験が始まりました。高圧電源を必要としないSXTは、9月2日に初期チェック後、9月3日に軟X線による太陽の撮像を開始しま

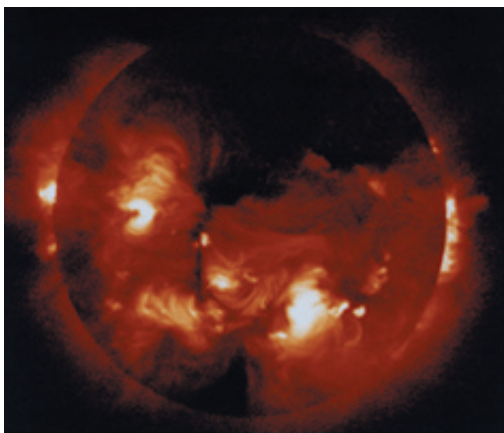


図1 軟X線望遠鏡（SXT）で撮影した太陽全面像

した。最初の撮影から驚くほどの鮮明な画像が得られ、光学系も含めた全系統の正常な動作が確認されました。その画像は、世界中の太陽物理学者に大きな胸のときめきを起こさせるものでした。

9月25日には、合計15個の高圧電源の投入が正常に完了し、初期運用と観測器の較正、試験調整を経て定常運用へ移行しました。

## 電源ノイズで苦勞した総合試験

「ようこう」の電源システムは、これまで宇宙研の衛星で採用してきた非安定バス方式から、安定バス方式に変更されました。これまでのシステムは日陰ではバッテリーの放電によって負荷に電源を供給していたのに対し、新規採用した安定バス方式はバスと負荷の間にブーストアップコンバータを挿入して、日陰でも日照と同じバス電圧を保持し、負荷に電源を供給できるというものでした。



図2 衛星整備センターの狭い入り口に、「ようこう」衛星が入ったコンテナを手押しで搬入する風景

これは大変魅力的なものでしたが、総合試験においては電源システムから出る高周波ノイズが予想より大きいことが判明し、電源システム自身のノイズ低減処置対策と同時に、各機器側の入力にノイズ除去フィルターを挿入したりして、大変な努力が払われました。

当時、工学システム担当の高野忠（宇宙研）、理学の常田佐久（国立天文台）両先生は工場まで足を運ばれ、ノイズ低減処置に対応された、と伺っています。最終的には、衛星主任の小川原嘉明先生の決断により、電源ラインにフェライトコアを挿入してノイズを規定のレベル以下に抑え込みました。その結果、10年以上にわたりまったく問題なく搭載機器に電源を供給し続けました。その対策が適切であったといえます。

（いのうえ・こうざぶろう）

# 太陽観測衛星「ようこう」その1

# 宇宙のヒットメーカー

## ～超新星残骸 かに星雲～

宮崎大学工学部材料物理工学科助教授 森 浩二

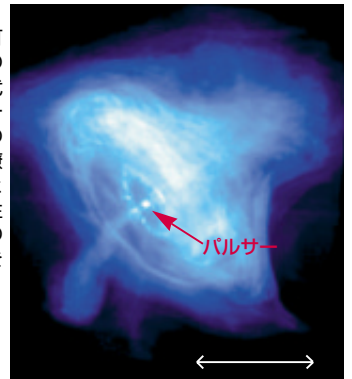
移り変わりの激しい音楽業界で長年トップの地位を維持し続けることは、はたから見ても大変そうである。しかも、ある一つの音楽ジャンルでその地位を保ち続けるならまだしも、さまざまなジャンルを横断してヒット連発などという例は、これまで皆無であろう。しかし、ここで紹介する「かに星雲」は、まさに、そんな宇宙のヒットメーカーなのである。

かに星雲のデビューは西暦1054年で、今から約950年前である。数十億歳という先輩がゴロゴロしているこの業界では、まさにデビューしたての新人といえるだろう。かに星雲のデビュー曲は「超新星爆発」。これは重い星が進化の果てに起こす爆発のことであり、平凡な星がこの業界で一発当てようと思えば必ず選曲する定番中の定番(?)である。これが、いきなり世界各地で大ヒットした。その様子は、中国の歴史書、アメリカ先住民の壁画、そして、我が国では『新古今和歌集』の撰者として知られる藤原定家の日記『明月記』(定家が実際に目撃したのではなく、陰陽師からの伝聞といわれている)に記録され、昼間でもその輝きが見えたとされる。ポツと出の新人にしては、これ以上ないスタートを切ったのである。

デビュー曲を当てた新人が、その後、泣かず飛ばずで苦戦する様を我々もよく目にするが、かに星雲もご多分に漏れず、しばらくは不遇の時代を過ごした。デビュー時の輝きを失い8等級にまで落ちたその姿を、肉眼で見えることはできなかったからである。しかし、人類が望遠鏡を手にしてから、事態は好転する。もちろん、デビュー当時の輝きを知るオールドファンはずでにいないのだが、その他凡百の星々とは異なるその奇抜な姿(図1)が、次第に新たなファンの注目を集め始めた。そして1771年には、天体版・歌手名鑑とも呼ぶべきメシエカタログ(メシエさんがまとめた目立つ天体のカタログ)の第1番目に記載されるまでになった。

実際は、当時のトップスターの彗星を探す際に邪魔な天体としてカタログ化されたわけだが、知名度が高かったことには違いない。そしていよいよ、自分自身で新たなジャンルを次々と開拓し、ヒットメーカーとして確固たる地位を築いていくのが第二次世界大戦後である。

図2 X線で見た、かに星雲の姿。可視光で見た星の外層が見えない代わりに、パルサーと高エネルギー電子の分布が明瞭に見える。図1との縮尺の違いに注意(両図の右下の矢印が同じ長さを表している)。



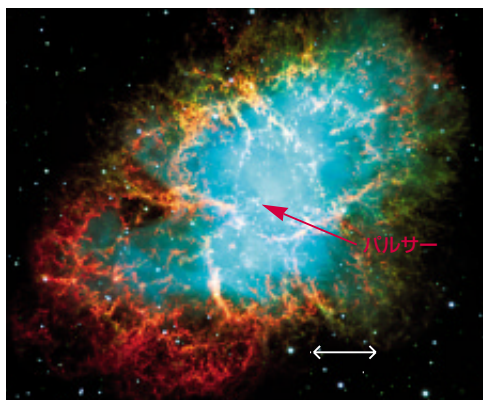
それまで天体からの光は、太陽がそうであるように、物が熱せられたときに放出されると考えられていた。熱せられた物質からの光は、その振動方向がバラバラである。ところが、かに星雲からの光をよくよく調べてみると、その振動方向が一つにそろっていた。これは、エネルギーの高い電子が磁場で曲げられたときに出すシンクロトロン放射の性質である。こうして、かに星雲はそれまでになかった「(太陽を除く)宇宙シンクロトロン放射」というジャンルを切り開き、業界で一躍脚光を浴びる存在となった。

そうこうしている間に、業界ではパルサーというニュースターが誕生する。パルサーとは周期的な光を発する天体の種類であり、当初は宇宙人からの信号かとも騒がれた。このタイミングを見計らっていたかのように、かに星雲もその奇抜な衣裳の下にこのパルサーを隠し持っていたことを公表した。かにパルサーは1秒間に30回という高速のリズムを刻んでいる。そこから、パルサーの正体が「高速で自転している、中性子星という超高密度の星」だと判明した。しかも、自身のデビュー曲である「超新星爆発」をここでリバイバルし、「中性子星は重い星の爆発の際に中心部が圧縮されてできる」というところまで一気に明らかになってしまった。こうして、かに星雲は今度は「中性子星物理学」というジャンルを確立したのである。

このように、かに星雲は新ジャンルを開拓しつつヒットを飛ばしてきたわけだが、それと同時に、従来の光の天文学以外の、電波・X線・ガンマ線天文学という新しいファン層の拡大にも努めてきた(図2)。とりわけ、その安定した強度とスペクトル故に、X線・ガンマ線の分野では観測器の評価に使う「基準光源」としても高い人気を誇っている。

次は、どんなジャンルで、どんな新曲を出すのだろうか。次回作のリリースが楽しみである。(もり・こうじ)

図1 可視光で見た、かに星雲の姿。爆発する前の星の外層(赤)と、パルサーから吹き出す高エネルギー電子(青)が複雑に絡み合っている。パルサーは図の中心にあるが、見た目にはほかの普通の星と区別できない。(ヨーロッパ南天天文台提供)



オーストリアで行われるEGU (European Geophysical Union) 学会に、水星探査衛星 (MMO) に搭載する高エネルギー粒子検出器の発表で参加することとなった。ポスター発表の代打ではあるが、初めて訪れる国なので、二つ返事でOKした。

### ログスケールの地図を片手に

オーストリアの空港に着いて、無事に入国。空港から列車と地下鉄を乗り継いで、宿泊先のホテルがある駅に到着。ホテルのホームページにあった“地図”を片手にホテルへ向かう。航空機での運動不足解消に散歩も兼ねて、とゆっくり歩いていった。人通りも少なく、ゆったりと市街地見物。古いヨーロッパ風建築物やドナウ運河を眺め、忙しい日本での生活を忘れ、ゆっくりとした時間の流れに包まれ、心休まるひとときを過ごすことができた。

が、ホテルは見当たらず。ウィーンの街に日暮れが訪れ、多少焦り始める。ホテルの住所を確認して、観光ガイドブックを開いてみる。ホームページにあった“地図”が、ホテルを中心とするログスケールで描かれていることに頭を抱えた。その後、どうにか無事、ホテルにチェックイン。

翌朝は、地下鉄を3駅ほどで、8時過ぎに学会会場へ到着。会場では、すでに多くの人々が受付のために長蛇の列を作っていた。その長蛇の列を乗り切って講演会場へ。最近の学会ではパラレルセッションが多く、興味のある講演が複数の部屋に分かれて行われることが多い。プログラムをチェックして、その日のスケジュールを組み、移動・移動・移動。移動時間と講演を聞いている時間の割合に疑問を覚えながらも、エキサイティングな講演を楽しく回った。

### 両面テープと呼び出しメモ

3日目、いよいよポスター発表。8時30分からの2時間がコアタイム。聴衆はこんなに朝早く本当

に来るのか? という心配を抱きながらポスター会場へ。移動時の利便性を考えてA4でポスターを作成したことを、会場で後悔することになった。ポスターパネルへの掲示が、ピンではなく両面テープ。それも、会場係が気を利かせて一生懸命、両面テープを3cmぐらいに切ってテーブルの端に並べている。会場ではA0ポスターが90%を超え、1人当たり4~6個のテープを持って行ってポスターを掲示している。私は、テープを切る人と会話を交わすほど仲良くなれた (1回にすべての指にテープを付けて、それを3回もやれば話題の中心。笑顔もこぼれる)。

9時を過ぎて聴衆も増えてきて、ポスター本番の雰囲気。コーヒーをもらいに席を外して戻ってくると、ポスター掲示の真ん中にメモの紙が貼ってある。熱心な聴衆が質問を置いていったと思ひ込み、ちょっとうれしく思いながらメモを眺める。“投稿料を払ってないから、このままだとはいがすよ。受付に来てね。”という内容。コーヒーの力を借りることなく、時差ぼけの頭はすっきり。慌てて受付へ向かう。向かう途中、今回の申込者である立教大のH助教授に心の中で嘆く。“払っておいてくれるか、払うように教えてくれー!”。

投稿料を無事に払い込み、ポスターをはがされる事態は避けられた。その後は、複数の人と議論ができて、充実感をもってポスター掲示を終了した。

### 生活の一部としての絵画

発表も終わり、学会の空き時間を使って美術館と街の散策に出掛ける。どの美術館もフレスコを中心とする宗教画が多く、美術館に作品を集めたというよりは、フレスコ画のある場所が美術館になったという雰囲気。日常生活の中に溶け込んだウィーン美術館と、収集した作品だけが展示されている日本の美術館との違いをあらためて感じた。生活の一部として絵画が存在していることが、うらやましく思える。

学会開催地のおいしい食べ物を味わえることも、国際学会に参加する楽しみである。ウィーンのザッハトルテを味わい、わずかな酸味とチョコレートの甘さに満足。学会に子育てのため参加できなかった奥さんへの感謝と罪滅ぼしに、ザッハトルテをお土産に買って観光は終了。学会も終了し、議論した内容のメモ整理や送付を頼まれたポスターのファイルを編集しながら、帰路に就いた。  
(たかしま・たけし)



EGUの会場となったウィーン  
市民会館の入り口





# 安全の限界

## 垣見恒男

昭和30年(1955)10月に打ち上げられたベビーRロケットは、ロケット頭胴部の分離技術の確立により、搭載した小型カメラ回収の可能性を実証する成果を挙げた。この分離技術を確認されたのは、東京大学工学部火薬学科教授だった山本祐徳先生である。

同じ年の4月に日本最初のロケットであるペンシルの水平発射試験を西国分寺の旧銃機テスト場で行ってから半年、ペンシルの実験を繰り返しながら一方ではベビーロケットの設計を推進していた私は、ベビーRロケット分離機構打ち合わせのために山本先生の研究室をたびたび訪問していた。

先生は無類の酒好きであり、またチェーンソーといわれた愛煙家である。偉大な教授にありがちの、見た目には乱雑極まる教室である。細長い部屋の机のあちこちに火薬らしき試料と一緒にお酒の瓶があり、その中で先生は悠然と煙草をふかしておられた。

その部屋で、いすを寄せ合って打ち合わせをしたのである。火薬に素人の私は、煙草の火が火薬に移るのではないかと、爆発するのではないかと気が気でない。落ち着いて打ち合わせをするどころではない。当時、相当なヘビースモーカーであった私でさえ、その部屋で煙草を吸う気持ちになれないのである。

ついに、たまりかねて先生に質問した。先生は日ごろ我々に、ロケットの近くでは禁煙だよ、火薬会社に行くときは煙草を持っていかない方がよい、などと指導しておられるのに、なぜこんな火薬のある部屋で煙草を吸うのですか、と。

先生はニコニコして答えられた。君はこの部屋では煙草を吸わない方がよい。しかし私は吸っても大丈夫なのだ。その理由は、私はどこまでが安全で、どこからが危険かと

いう限界を知っている。君たちは、その限界を知らない。限界を知らない人には規制が必要であり、限界を知っている人には規制は不必要である。自己制御できるからだ。しかし、一般の人たちが大勢いるところでは、たとえ専門家といえども規則に従わなくてはならない、と付け加えられた。

先生の部屋を辞去し、帰りの電車の中で先生の言葉をかみしめながら、安全の限界について経験も浅く、かつ十分に知らない私は、まだまだロケットの専門家ではないと反省するとともに、「限界管理」に対するヒントを頂いたと思った。

当時は、アメリカに早く追いつきたい、という今考えるとばかげた目標があり、そのためロケット開発は急速な大型化を志向するあまり、失敗に対する十分な原因解明がなされないまま、次の段階に進まざるを得なかったことも事実である。初号機の設計には細心の注意を払い、自信の

筆者近景



ないところには安全率を大きく取ったり、多少の重量オーバーや性能の低下には目をつぶって、とにかく無事に飛翔させることに重点を置く。いったん初号機の飛翔に成功すると、人間には欲が出てきて、性能向上という大義名分のもとに改良を図り、その結果2号機の失敗につながったのも事実である。いわゆる「2号機のジंकス」である。要は、どこまでが安全であるかを検証するデータや能力が不足のまま、「たぶん大丈夫だろう」と簡単に次の段階に進むことを決定してしまったのが、失敗の原因ではなかったのか。

その一方、ロケット開発の草創時代に糸川英夫先生は「無から有を生ずるロケット開発に必要な人材は、成績が良いといわれる優等生タイプではなく、とっぴなアイデアを出し、失敗を恐れずに積極的に挑戦し行動する、思考が柔らかく頭が良い人である」と言われたことを思い出す。そのような人たちによって発展した東大ロケットが、今日の宇宙開発の基礎を築いてきたと思う。

ロケットも輸送手段の一つであるが、最近、身の回りでは輸送機関のトラブルが多発している。JR西日本の電車転覆事故をはじめ、陸・海・空のそれぞれの輸送機関で重大事故につながりかねないトラブル発生者のニュースを耳にすると、安全の限界を経験し知り尽くした方々がそのノウハウを後継者に伝承する義務を果たしていないのではないか、また、山本先生や糸川先生のように一見識を持った方が少なくなったのではないか、と思うのは私だけであろうか。(かきみ・つねお)

### 訂正とお詫び

『ISASニュース』2005年4月号 No.289で垣見恒男さんのお名前を垣見恒夫さんと誤って記載致しました。大変ご迷惑をおかけ致しましたことをお詫び申し上げます。

(ISASニュース編集委員会)

# 10cmのキューブサットから50mのソーラー電力セイルへ

宇宙航行システム研究系助手

津田雄一

## —現在、どのようなプロジェクトを進めているのですか？

津田：誰もやっていない世界初の探査機システムをどんどん作っていき、というのが私たちの研究室です。今は主にソーラーセイルの開発を行っています。ソーラーセイルは、ヨットが帆に風を受けて進むように、大きな帆に太陽の光を受けて宇宙空間を進みます。燃料を必要としない夢の宇宙船ですが、まだ誰も実現していません。

NASAもソーラーセイルの開発に力を入れています。NASAのソーラーセイルは宇宙空間で枠のような骨組みを伸展させて膜を張りますが、私たちが考えているのは遠心力を使って膜を展開するタイプです。骨組みタイプでは、宇宙に持っていきける大きさに限界がありますし、伸展できる枠の大きさ自体にも限界があるので、膜の大きさも制限されます。一方、遠心力で展開するタイプは、理論上はどんなに大きな膜でも広げることが可能ですし、骨組みがないので軽い。さらに私たちは、イオンエンジンを搭載することで、より効率的に宇宙を航行できるソーラー電力セイルの検討を進めています。

## —世界初のソーラー電力セイルの行き先は？

津田：ソーラー電力セイルは直径50m。まず6年かけて木星に向かいます。木星に到着すると、木星の周回軌道にオービターを投入します。さらにオービターはカプセルを分離し、木星の大気に投下します。ソーラー電力セイル本体は、木星でスウィングバイをして太陽・木星系のラグランジュ点にあるトロヤ群の小惑星に向かいます。全部で650kgほどの小さな探査機ですが、“世界初の塊”といえるチャレンジングなミッションです。

2004年には観測ロケットS-310を使い、直径10mの膜の展開に成功しました。2006年には、赤外線天文衛星ASTRO-Fを打ち上げるM-Vロケットのサブペイロードを利用して展開実験を行う予定です。そして、早ければ2012年に実機を打ち上げたいと計画しています。

## —大学院では、学生の手作り衛星とも呼ばれる「キューブサット」のプロジェクトマネージャーをされたそうですね。

津田：キューブサットは一辺が10cmという小さな衛星ですが、設計からさまざまな試験、製作、打上げ、運用など一通りのプロセスを学生のうちに経験できたのは、とても幸運でした。

キューブサットのファーストシグナルを受けたときは、うれしかったですね。打上げの成功に歓喜した後は、地球を1周してくるキューブサットから最初の信号が届くのをひたすら待つ。スリル満点です。キューブサットは通信(ビーコン)にモース信号を使っています。雑音の中からツツツという音が聞こえます。



つだ・ゆういち。1975年、広島県生まれ。工学博士。2003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、宇宙科学研究所助手。専門は宇宙機システム、軌道、制御など。現在はソーラー電力セイルの開発、小惑星探査機「はやぶさ」の運用、磁気圏編隊飛行ミッション「SCOPE」の検討などを行っている。

最初は幻聴かと思うような小さな音です。そして、ツートンツートンという信号が入ってきた。「私はキューブサットです」と言っている。宇宙から聞こえてくる声にゾクゾクしました。今までに聞いたどんな声よりも美しく聞こえた。

キューブサットは、宇宙空間がどういふ場所なのかもまったく知らない状態からのスタートでした。専門家にとっては当たり前のことでも、一つ一つ実験で確認しながら、自分たちの納得がいふ方法で衛星を作り上げました。ずいぶん遠回りをしたのかもしれませんが、それが自信につながったのでしょうか。学生が自由に納得できるまでやれる、そういう環境を作ってくれた東大の中須賀真一先生にはとても感謝しています。本当の教育とは、そういうものではないでしょうか。大学では、自分がやりたいことをやって、自分の道を見つけるべきです。自発的に何かをやれる環境を整えることが、大学の本来の役目だと思います。キューブサットなどを通して、若いときに“宇宙を自分の手で触る”という経験をした仲間が増えることは、日本の宇宙開発にとってもプラスになるでしょう。

## —子供のころの夢は？

津田：乗り物が大好きで、電車の運転手になりたかった。高校生のころは、パイロットになりたいと本気で思っていました。職業としてのパイロットはあきらめました。学生のときにセスナの免許を取り、今でも時々空を飛んでいます。夢はあきらめたくないのです。

宇宙に興味を持ったのは、小学1年生のときにNASAのケネディ宇宙センターに連れていってもらったことが、一つのきっかけかもしれません。スペースシャトルは見られませんが、発射台は巨大で、たくさんの人が働いていた。あの光景は、よく覚えていますね。ハレー彗星の探査も印象に残っています。アメリカとヨーロッパはそれぞれ1機でしたが、日本はソ連と同じく2機の探査機(「さきがけ」と「すいせい」)を打ち上げた。日本ってすごいな、と思いました。私は当時、相模原市に住んでいたのですが、そのときに初めて宇宙研を知ったんですよ。まさか、そこで働くようになるとは思っていませんでした。

まだまだ宇宙は遠い。JAXAは日本で一番宇宙に近い場所のはずですが、衛星を一つ打ち上げるにも非常な苦勞があります。宇宙に行きたいと思った人が簡単に行くことができる、そんな世界を実現したい。これは、私の夢であり、人生の課題ですね。

**編集後記** 梅雨に入り、紫陽花が色を増してきました。間もなく、待ちに待ったM-V-6号機によるASTRO-E IIの打上げです。そして、一般公開、君ミッション。着々と準備が進んでいるのが伝わってきます。

(久保田 孝)

ISASニュース No.291 2005.6 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。

\*本誌は再生紙(古紙100%)を使用しています。 古紙配合率100%再生紙を使用しています



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