

X線天文衛星「すざく」CCDによる銀河団A2256のX線画像

宇宙科学最前線

「すざく」で探る 銀河団プラズマの運動

田村隆幸

学際科学研究系 助教

はじめに：天体の運動を測る

ハッブルは1929年に、遠くの銀河ほどより高速で我々から遠ざかっていることを発見しました。これは、宇宙が「ビッグバン」で始まり膨張している証拠になっています。1960年代には、我々の銀河系のガスの回転速度が、星が存在しないようずっと外側に行っても落ちていかないことが、ルービンらによって発見されました。これは、銀河系の質量の大部分が星やガスではない未知の物質で占められていること、すなわち「暗黒物質」の発見です。また、1995年にメイヤーらは、ペガスス座51番星の運動を精密に測り、星のまわりを何か回っていること、すなわち「太陽系外の惑星」を発見しました。

これらの3つの発見に共通していることがあります。それは、ドップラー効果を用いて、それまで困難と思われていた精度で天体の運動を測ったことです。

ドップラー効果とは、ある速度で動いている物体からの光が、元の波長と異なる波長で観測される現象です。救急車が向かってくるときと行き過ぎるときに音の高さが変化することと同じ原理です。放射や吸収線の波長の変化から、その速度を測ることができます。いずれも発見の当初は誤差が大きく、結果を疑う人も多かったといわれています。しかし振り返ると、先見性のある歴史的な発見です。このように、ドップラー効果による天体の運動の測定は、天文学の基礎となります。

表紙：「すざく」CCDによる銀河団A2256のX線画像

左はヘリウム状(電子が2個)の鉄イオンからのX線、右は水素状(電子が1個、より高温)の鉄イオンからのX線エネルギーでの画像。大きな黄色の丸と小さい白の丸は、それぞれ銀河団の中の大構造と小構造のおおよその場所を示す。2つの図では、明るい部分の構造が異なる。これは、大小の構造でプラズマの温度が異なること、すなわち、2つの構造はもともと別の集団であったことを示している。

同じ原理を用いて私たちは、銀河団の中のプラズマの運動を調べました。もしかしたら、このような測定から新しい何か(暗黒エネルギー?)が発見できる日が来るかもしれません。私たちの「発見」について紹介します。

銀河団プラズマの衝突

宇宙の中で、星は銀河として集まり、銀河はまた銀河団という集団をつくっています。この宇宙で最大の構造である銀河団からX線放射が見つかり、そこには目に見える星だけでなく高温のプラズマが存在することが発見されました(1960年代)。

プラズマとは、原子が電子とイオンに分かれた電離状態のことです。地球上では、高い温度の特殊な場所では存在しません。宇宙では、普通の物質の大部分がプラズマとなっています。例えば、太陽の内部、銀河内の電離ガス、あるいはブラックホールのまわりの円盤などは、すべてプラズマです。

銀河団のX線観測によって、プラズマの質量は星の総量を超えており、プラズマこそが宇宙にある(暗黒物質でない)普通の物質の最も主要な成分であることが分かりました。このプラズマは、1000万度から1億度という、とても高い温度になっています。星よりも多くの質量を持つ銀河間物質をここまで高温に加熱することは容易ではなく、このプラズマがどのようにして加熱されたかを知ることは、宇宙の構造形成を探る上で鍵となります。多くの天文学者は、小さな構造同士が衝突・合体を繰り返し、より大きな

構造へと成長する過程でプラズマが加熱されたと考えています。言い換えると、銀河団のスケールでは、大部分の質量を占める暗黒物質が持っている重力エネルギーが、プラズマの運動エネルギーを経由して、その熱エネルギーに変換されたこととなります。これまでの観測では、プラズマの温度の分布はよく調べられてきました。しかし、そのもとになったと考えられる銀河団プラズマの運動については、X線画像の解析によって、衝撃波などによるプラズマの形状の微妙な変化から推定することしかできませんでした。

「すざく」による発見

2006年1月に大阪大学の林田清 准教授らは、日本のX線天文衛星「すざく」を用いて、こぐま座にあるA2256という銀河団を長時間観測することを提案しました。このA2256は大小2つのプラズマ構造を持ち、それらが合体する途中にあるように見える「衝突銀河団」の代表です(表紙)。「すざく」に搭載されているX線CCDを用いて、銀河団プラズマからのX線輝線のドップラー効果を測ることを目指しました。それによって、この2つのプラズマ構造の(地球と銀河団を結ぶ視線方向の)速度を測定します。このような測定は、「すざく」以前にも試みられています。しかし、過去の測定では精度が不十分でした。私たちは、「すざく」の検出器の性能を十分に評価した上で、このような難しい測定に挑みました。

2006年11月の観測後、大阪大学の大学院生であった長井雅章氏がデータ解析を行い、 $1600 \pm 700 \text{ km/s}$ という2つのプラズマ構造の速度差を見つけました。その後、しばらく時間が空きますが、その間に検出器のエネルギー較正の解析が進み、十分な精度が得られる自信が芽生えてきました。そこで2010年8月に、田村は林田氏らと相談し、大阪大学の大学院生の上田周太郎氏と共同でデータの再解析を試みました。測定に間違いがないよう注意深く誤差を検討しました。その結果、誤差をさらに小さくすることに成功し、銀河団の大小の2つの構造の速度差は、およそ $1500 \pm 300 \text{ km/s}$ と測定できました(図1)。これらの構造は、高速で衝突しつつあり、数億年後には合体すると予想されます(図2)。

ドップラー効果を用いて銀河団プラズマの速度差を測定したのは今回が世界で初めてです。これは、「すざく」のCCDの感度とエネルギー決定の精度が、世界で最高レベルであることで可能になりました。衛星や検出器の開発や較正に関わってきた多くの研究者の地道な作業のおかげです。

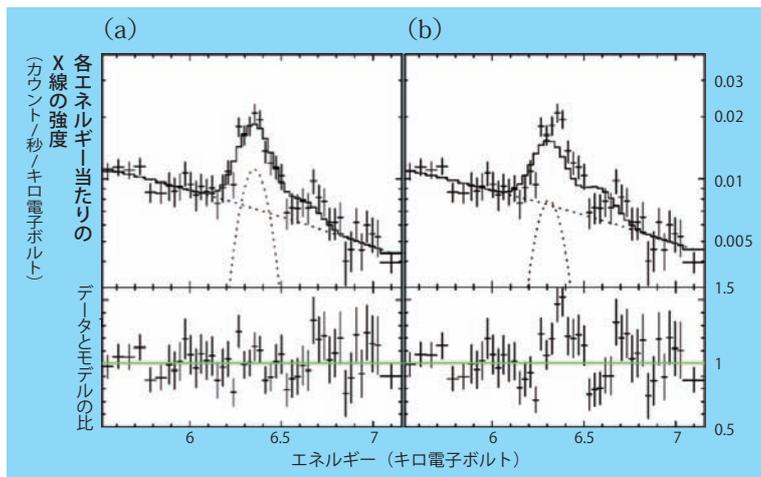


図1 銀河団A2256の「小構造」の鉄ラインを含むX線スペクトル

このデータによって、「小構造」の後退速度(赤方偏移)を精密に測定した。(a)と(b)は、どちらも同じデータを誤差棒付きの十字で示す。(a)と(b)では、データを再現するためのモデル(階段状の実線)が異なる。(a)の場合は、データを最も正しく再現するモデル。この場合、「小構造」は「大構造」より小さな後退速度を持つ。(b)の場合は、「小構造」が「大構造」と同じ速度、すなわち互いに動いていないと仮定した場合のモデル。それぞれの図の下のグラフは、データとモデルの比を示す。(a)の場合はデータとモデルがよく合っているが、(b)の場合はデータとモデルにずれが見える。このようなデータ解析を通じて、「小構造」が「大構造」に対しておよそ 1500 km/s で運動していることを測定した。

宇宙の進化と暗黒物質の謎に挑む

銀河団プラズマの速度を測定することには、少なくとも2つの意義があります。

第一に、衝突・合体の証拠をつかみ、宇宙の構造形成の現場を直接的に調べることができます。私たちは、コンピュータの中で宇宙の構造形成を再現し、その進化を見ることができるようになりました（実際の成長には文字通り宇宙スケールの長い時間がかかります）。一方、私たちが観測できるのは、それぞれの天体の「静止画」にすぎません。この静止画に、天体の運動、すなわち「動画」を加えることができれば、進化の様子をより精密に理解できます。先に述べたように、銀河団の中では、星の集団の銀河とX線を放射するプラズマが、大小の集団をつくりながら成長していきます。これまでは、一つ一つの銀河の運動についてはドップラー効果を使って測定されてきました。ただし、銀河の数はせいぜい100個程度であり、それぞれの銀河がどの集団に属しているかを判別することは簡単ではありません。加えて、銀河の集団とプラズマの集団が一緒になって動いているかどうかは、必ずしも自明ではありません。したがって、プラズマの運動を測り、すべての役者（銀河とプラズマ）を含む銀河団全体の3次元的な「動画」を捉えることが重要です。

第二に、プラズマの運動を測ることで、その運動を支配している暗黒物質の総量や分布に迫ることができます。地球とほかの惑星は、太陽のまわりをそれぞれ異なる速度で回っています。これは、惑星の遠心力と太陽の重力が釣り合っているからです。同じように、銀河団の中でも、いろいろな力と暗黒物質のつくる重力が釣り合っているはずですが、これまでは、プラズマの運動を無視し、プラズマの熱的な圧力が重力と釣り合っている（熱的な圧力＝重力）と仮定して暗黒物質の総量が推定されてきました。しかし、もしプラズマが大きな速度を持って動いていると、この仮定は成り立ちません。例えば、プラズマが回転している場合には「熱的な圧力＋遠心力＝重力」となり、これまで考えていた以上の暗黒物質が必要になります。今回の測定は、「衝突銀河団」という特別な状態にある天体の結果です。したがって、これまでも一部の研究者の間では、そのような状態においては「熱的な圧力＝重力」の仮定が成り立たない可能性が検討されていました。では、私たちが見つけたようなプラズマの運動が「普通の銀河団」でも存在するのでしょうか？これが私たちの次の課

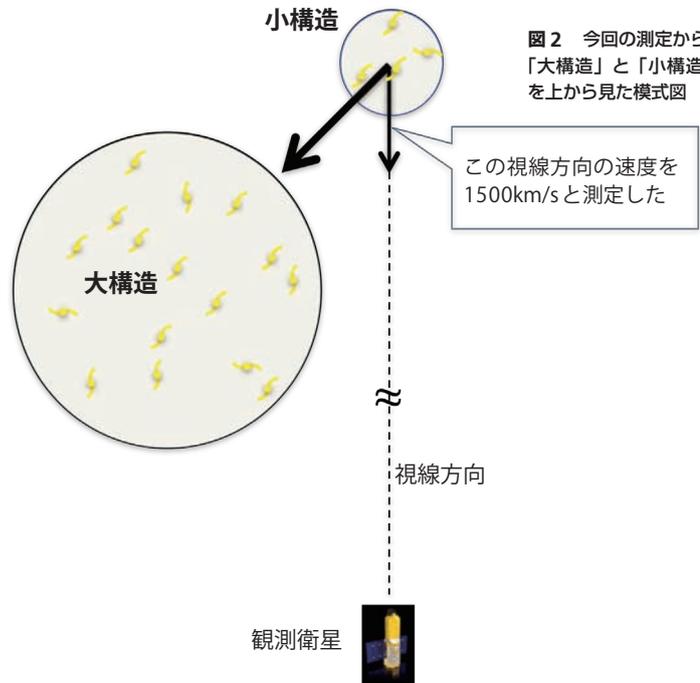


図2 今回の測定から得られた「大構造」と「小構造」の衝突を上から見た模式図

題であり、暗黒物質の分布を正確に知るためには、その解明がどうしても必要です。

ASTRO-Hで宇宙の「暗黒」に挑む

宇宙には見つかっただけでも1万を超える銀河団があり、その中にはいろいろな成長段階、すなわち運動状態を持つものがあるはずですが、「すざく」に続く日本の6番目のX線衛星として、ASTRO-Hが日米欧の国際プロジェクトによって開発・製作されています。この衛星には、「すざく」のX線検出器に比べて20倍も高いエネルギー分解能を持つ新しいタイプのX線検出器（X線カロリメータ）が搭載されます。この最先端技術を用いた新しい装置で、多くの銀河団について、これまでは見えなかったプラズマの運動の様子を詳しく観測します。それによって、宇宙の大規模構造の成長の様子を捉え、それを支配している暗黒物質の謎に挑みます。

近い将来、暗黒物質は直接的に検出され、その正体が明らかになっている可能性もあります。そうになっていたとしても、さらに検出が難しい「暗黒エネルギー」は、しばらくは謎として残っていると予想されます。「暗黒エネルギー」は、宇宙全体を支配する物理法則ですが、その正体はまったく分かっていません。この正体を明らかにするには、宇宙の大きなスケールでの暗黒物質の分布と進化を精度よく測ることが最初のステップとなります。そのためにも、ここで紹介したような銀河団プラズマの運動は、不可欠の測定対象です。さらに、銀河団が予想していないような運動をしているかもしれません。読者の皆さん、一緒に新しい観測装置をつくり、「宇宙の暗黒」の正体を探りませんか？（たむら・たかゆき）

参考：
・長井雅章，大阪大学大学院修士論文，2008
・Tamura et al., 2011, PASJ, 63, 1009
・Ustream 宇宙研速報，2011/11/24，「銀河団の衝突」

宇宙科学研究所における研究系の再編

宇宙科学研究所の教育職員は、その研究分野ごとに13の研究系に分かれて所属していましたが、2012年2月1日をもって、5つの研究系に再編されました。

研究系の再編検討が始まったのは2年前の初春です。宇宙研外部の有識者によって組織された宇宙科学推進検討委員会において、今後の宇宙科学をどのように進めるべきかの議論がなされ、提言の1つとして「新分野を取り込み、視野の広い運営を行う」必要性が指摘されました。そのためには「研究系再編」の検討が必要ではないかと考えられたため、小野田淳次郎所長から中村に検討チームを組織するように指示が下り、各研究分野から8名のメンバーが集まって検討を開始しました。

宇宙研は、全国の大学が共同で利用する「大学共同利用機関」として1981年に誕生しました。2003年に宇宙航空研究開発機構（JAXA）として統合した後も、大学共同利用の機能を持たせることが、宇宙航空研究開発機構法に規定されています。宇宙研の運営方針は、大学などの研究者によって構成される学術コミュニティの代表（評議会、運営協議会）によって決定されますが、コミュニティの意思や要請は時代とともに変化するものです。例えば、

宇宙天文学分野において、観測手段はいろいろ変わってきます。X線天文学研究系、赤外線天文学研究系と細分化されていると、研究者の流動性に欠け、また重力波天文学など新しい分野への対応が難しくなります。そこで、現在より大きな研究系に再編することにしました。

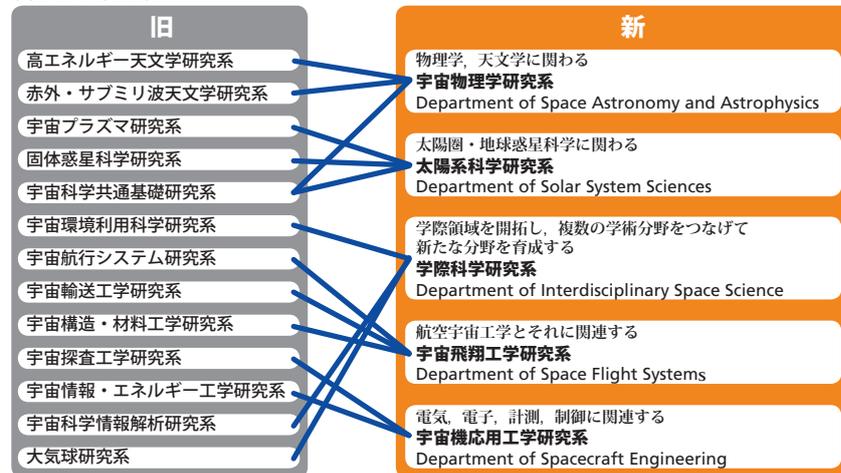
一方で、研究分野によって対応する学術コミュニティも、研究の進め方も異なります。そこで、「コミュニティとの親和性」が不可欠であると考え、対応する学会や大学の学科などを念頭に置き、2つの理学系の研究系、2つの工学系の研究系、1つの学際的研究系の5つに再編することにしました。各研究系の守備範囲が広がったことにより、隣接新分野の取り込みが容易となります。また、まったく新規の分野については学際科学研究系で立ち上げることを期待しています。さらに、それぞれの分野において蓄積された経験を共有して、より挑戦的、あるいは機動的なミッションを立ち上げる体制が整備されると思っています。

もちろん研究系の形を整えただけでよいわけではなく、本質的には宇宙研に所属する教育職員の資質および意識の向上が求められます。大研究系に所属することで、研究者に広い視野が培われ、各研究系の在り方に対する深い洞察が生まれることを期待しています。同時に、コミュニティあつての宇宙研ですので、今後ご意見を反映しながら改善に努めたいと思います。

今回の再編をきっかけに宇宙研の活動がより活発になることを期待しています。宇宙研を見守ってられる方々にも、ご理解いただきたいと思っています。

（研究系再編検討チーム長・研究総主幹 中村正人）

新旧の研究系



帰還カプセル特別展示 in おおふなと

小惑星探査機「はやぶさ」の「帰還カプセル特別展示 in おおふなと」が岩手県の大船渡市民文化会館・リアスホールで1月19日から23日まで5日間の日程で行われました。大船渡市の吉浜地区には1971年から2007年まで三陸大気球観測所が放球基地として設置され、大気

球実験が行われていました。

吉浜地区に隣接する越喜来地区は、昨年3月に発生した地震による津波で大きな被害が出ました。宿舎として利用していた泊荘は、高台にあるにもかかわらず、1階の天井まで津波が到達したそうです。急きょ修繕をして、

2ヶ月後に営業を再開されました。

三陸大気球観測所は、「はやぶさ」カプセルに採用されたパラシュートの高高度からの投下や、小型ソーラー電力セイル実証機「IKAROS」の展開などが、大気球実験により行われた場所です。今回の大船渡市での特別展示は、実験をした場所への凱旋ともいえます。

メイン会場となったリアスホールは地下1階地上4階の大きな建物で、1100人を収容する大ホールを備えています。大ホールでは、1月22日（日）の午後15時、川泰宣名誉教授の記念講演が行われ、この日以外は「映画無償上映会」として『HAYABUSA—BACK TO THE EARTH—帰還バージョン』が1日5回上映されていました。およそ250m²あるマルチスペースでは、盛岡市の岩手中・高等学校製作の「はやぶさ」原寸大模型が正面に



奥の「はやぶさ」原寸大模型は岩手中・高等学校製作

展示され、両側には帰還カプセルなどが整然と展示されていました。また、展示ギャラリー（およそ10m×5m）には「三陸・大船渡市とJAXAとのつながり」と題して中央に直径3mのヘリウム気球を浮遊させ、周囲には当時の三陸大気球観測所関連の写真などを展示しました。1月21日（土）に開催されたミニ宇宙教室では、「『はやぶ

さ』と三陸・大船渡」「三陸実験場とJAXA」「IKAROSと三陸・大船渡」の3つの講演が行われ、用意した50席がほぼ埋まっていました。

初日にはエントランスロビーにて大船渡市長、市議会議長、教育長、吉浜小学校6年生代表、阪本成一教授によるテープカットセレモニーが行われました。大船渡市の人口は約4万人ですが、この特別展示にはおよそ6000名に会場いただきました。（並木道義）

古川宇宙飛行士とのデブリーフィング

筑波宇宙センターでは、国際宇宙ステーション（ISS）の運用が継続して行われています。昨年は宇宙ステーション補給機「こうのとり」2号機の打上げで慌ただしかった1月でしたが、今年は比較的静かです。そんな中、昨年11月に地球に帰還した古川聡宇宙飛行士をはじめとするISS長期滞在クルーとのデブリーフィングが1月18日に行われました。

デブリーフィングとは、宇宙飛行士と地上の運用管制要員との間で行われる反省会です。丸1日かけて、宇宙飛行士と、「さぼろ」日本実験棟の電気通信系や熱流体系のシステム管理担当、実験装置の担当など、さまざまなポジション要員が、滞在中の「さぼろ」システムおよび実験の運用について意見交換を行います。ここで挙げられた気付き事項は、今後の実験装置や器具の開発、搭乗員訓練、軌道上の運用計画（タイムラインと呼ばれる



緊張感漂うデブリーフィング。古川宇宙飛行士は左奥。

時間割や手順書）に反映されるため、宇宙飛行士も地上要員も真剣に議論を交わします。互いの労をねぎらいながらも、ほかの帰国報告会にはない緊迫感が、そこにはあります。5ヶ月半にわたる長期間ISSに滞在し、実験や機器のメンテナンスなど多くの活動を行った古川飛行士には話題が満

載で、時間いっぱい議論が続けられました。マイケル・フォッサム、セルゲイ・ヴォルコフ宇宙飛行士からも含蓄のあるコメントが出され、有意義なディスカッションが行われました。

古川宇宙飛行士は、今後帰国報告会が予定されており、まだまだ忙しい日が続きそうです。古川宇宙飛行士のISS滞在中の活動はホームページにもまとめられていますので、どうぞご覧ください（http://iss.jaxa.jp/iss/jaxa_exp/furukawa/result/）。

（石川毅彦）

観測ロケットS-520-26号機の打上げ終了

高度100～300kmの熱圏領域での中性大気とプラズマ(電離大気)の結合過程(エネルギーのやりとり)の解明を目的とした、観測ロケットS-520-26号機実験が1月に行われました。打上げに至るまでの状況について、簡単にご紹介します。

今回の実験の特色は、何といってもロケットから放出するリチウム蒸気を地上に

設置したカメラで連続撮影することにあります。リチウム蒸気は太陽光を受けると赤色の散乱光を発生し、また、ロケットから放出されたリチウムは高度100km付近では周辺の風になじみ同じ速度で動くのです。だから、このリチウムの発光領域の動く速さと方向を観測すれば、この領域に吹いている風の速度を知ることができます。一方では、ロケットに搭載した測定器によってプラズマの運動速度を測って、データの比較から大気とプラズマの結合過程についての議論をしようというものです。本実験の第1弾と位置付けられる2007年9月に打ち上げられたS-520-23号機実験では、リチウム発光が西日本の広い範囲で見え、「宇宙花火」として大きな反響を呼びました。

地上からカメラでリチウム発光を撮影するため、当然のことながら空に雲があってははいけません。それも3次元的な風速を正確に求めるために内之浦、奄美大島、高知県宿毛市の3地点から撮影を行うことにしたので、打上げ条件に「3つの地上観測点が晴れ」という厳しい項目が加わりました。12月下旬の打上げウインドウに入って、内之浦、宿毛の2



内之浦観測点において1月12日6時16分に撮影されたリチウム発光画像

地点では晴天が見られていたのですが、奄美大島は曇天続き。結局打上げのタイムスケジュールに入った12月27日も天候条件が成立せず、打上げは延期。新年に持ち越しとなってしまったのでした。

年が明けて、実験班は1月4日から作業を再開し着々と準備を進めていきました。

しかし、奄美大島の天候は

依然として回復せず、地上観測班はこの地での観測続行を諦め、より晴天率の高い高知県室戸への移動を7日に決断したのでした。次の打上げチャンスである11日早朝までに、撤収から新観測地手配、移動、測定器運搬、準備までを3日間で完遂した地上観測班の機動力には大いに目を見張るものがありました。これは、北海道大学の渡部重十先生、高知工科大学の山本真行先生の強いリーダーシップのためです。

観測地点の移動が功を奏し、天候条件が整った12日早朝、S-520-26号機は暁の空へと飛び立ちました。リチウム放出時刻が予定よりも少し遅れ、発光領域が低めであったために肉眼ではほぼ見えず、「宇宙花火」を期待してカメラを構えていた方々には残念な結果となりましたが、地上観測班は幅2nmのバンドパスフィルタを用いて連続画像を取得することができました。

最後となりましたが、実験の実施に当たりご協力いただいた関係各位にこの場を借りて心よりお礼を申し上げます。

(阿部琢美)

宇宙学校・せたがや 開催

1月15日に「宇宙学校・せたがや」が開催され、無事終了しました。今回、『ISASニュース』に執筆のお声掛けをいただきましたので、宇宙学校に応募した側の開催までの道程を紹介させていただきます。

事の起こりは、昨年に東京・新宿の中学校で開催された宇宙学校と、ISASメールマガジンで読んだ宇宙学校共催団体募集のお知らせでした。まず、世田谷区の小・中学校PTAのおやじの会で話をし、各校のPTA会長・校長先生に話を通していただきました。結果的に、季節ご

とと一緒にイベントをやっている近隣の小・中学校のおやじの会が合同で申し込みました。

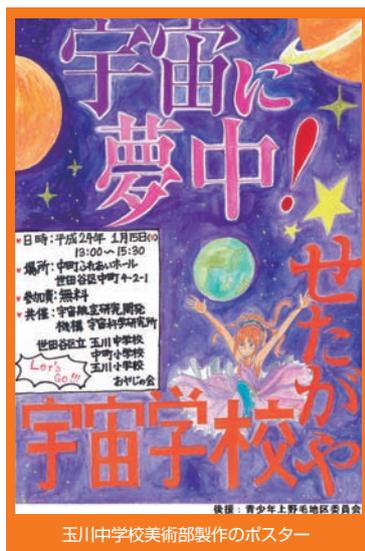
共催団体に決定後、日程と内容を詰め、会場として玉川中学校内にある中町ふれあいホールを予約。地域イベントや学校行事の合間を縫って準備を進め、宇宙学校は子ども対象の行事ということで地域の青少年委員会に申請して後援もいただきました。

小学生などは宇宙関係のイベントがあっても親の同行がないと参加できない場合があるため、宇宙学校が来て

もらえる以上、宣伝は会場の周辺に集中して行うことにしました。ポスターをPTA会長から近所の小学校に配っていただき、区の掲示板や児童館などに貼ってもらいました。ポスター作製は、玉川中学校の美術部をお願いしたところ、部員全員が描いてコンペをしてくれました。そこで選ばれたものを印刷しました。

前日の会場準備では、備品確認や、入学式などに使っている看板に宇宙学校の特大ポスターを貼るなど、おやじたちは学園祭前日のような盛り上がりでした。

当日の参加者は、ほぼ満席の210人でした。7割が歩きやバスで来られる範囲の方、遠方の方が3割という感じでした。当日、会場のある中学校



の校長先生が代表してあいさつし、進行はJAXAの阪本成一先生が行いました。会場の様子のweb配信などもあり、子どもたちの質問もたくさん出て、盛況のうちに無事終わりました。

初めは「私たちが申し込んでよいのかな?」と思った宇宙学校でしたが、参加してくれた子どもたちは未知の世界を見たようで、後日、開催に関するお礼を開催学校の保護者の方からいただきました。子どもたちに何かしらのものを残せたのかなと思います。開催にご協力いただきました学校や区役所、および来ていただいたJAXAの皆さま、あ

りがとうございました。

(玉川中学校おやじの会・辰巳雄一)

小型科学衛星1号機 (SPRINT-A) の一次噛合せ試験

小型科学衛星1号機 (SPRINT-A) は、極端紫外線により地球周回軌道から金星や火星、木星などを観測する世界で最初の惑星観測用の宇宙望遠鏡衛星です。2013年にイプシロンロケットの初号機にて、内之浦宇宙空間観測所より打ち上げられます。また、SPRINT-Aは小型科学衛星シリーズの初号機であり、開発中の小型科学衛星標準バスを用いた最初の科学衛星となります。初物づくめの打上げになるため、関係者一同気を引き締めて開発に当たっています。

SPRINT-Aのフライトモデル (FM) を用いた一次噛合せ試験が、1月より飛翔体環境試験棟のクリーンルーム内で開始されました。試験の目的は、電気的および機械的インターフェースの確認です。これに先立ち昨年12月末までに、従来の地上試験系が小型科学衛星シリーズで採用するSバンド高速通信に対応した新しい地上試験系に換装されています。

SPRINT-Aは標準バス部とミッション部から構成されますが、現在は標準バス部の電気試験を、衛星の形に組み上げる前の状態で行っています。この標準バスは小型科学衛星シリーズを通じて共通的に使用されるため、実施中の試験はSPRINT-Aのみならずシリーズ衛星にとって非常に重要な位置付けとなります。

バス部電気試験と並行して、2月中旬からはミッション部電気試験が始まります。その後、バス部とミッション部が電気的に接続され衛星全体の電気試験が行われます。



SPRINT-Aの一次噛合せ試験の様子

小型科学衛星シリーズの特徴として、バス部とミッション部は主として電源ラインと「SpaceWire (スペースワイヤー)」というデータラインのみで接続されます。分かりやすく例えるなら、PC (衛星バス部)、とwebカメラ (ミッション部) をUSBケーブル1本で接続するようなイメージです。接続が単純であるため、組み立て直前までバス部、ミッション部それぞれ単独での試験が可能になるというメリットがあります。

電気試験が終了すると、3月ごろに機械噛合せとして、いよいよSPRINT-Aの姿に組み上げられます。この状態で再び電気試験を実施し、問題がなければ衛星を分解し一次噛合せ試験が終了します。各搭載機器は、単体での環境試験と性能試験を行い、夏ごろに再集結してFM総合試験を開始することになります。(中谷幸司)

第12回 宇宙科学シンポジウム開催される

宇宙科学シンポジウムを1月5、6日の2日間、相模原キャンパスで行いました。今回が12回目の開催に当たり、毎年、理学・工学両分野の研究者が集まり、宇宙科学について広く議論しています。このシンポジウムに参加すれば、日本の宇宙科学コミュニティの活動内容の全体像を知ることができるということで、新年早々に開催しているにもかかわらず、多くの方に参加していただいています。

今回の発表件数は325件（口頭42件、ポスター283件）で、2日間の延べ参加人数が676名でした。今年は、まだ年始休暇中の方が多くいるなど日程的な条件が悪く、また3日間の開催だった昨年度より規模は小さかったものの、盛大なシンポジウムになりました。年始早々からこれだけの人が集まり、宇宙科学について議論する。これも年始の年中行事のように定着してきたと思います。

今回の企画プログラムは盛りだくさんでした。初日午前の企画その1が、『はやぶさ』から『はやぶさ2』へです。2010年、国民を沸かせた「はやぶさ」で得られた理学的成果を冷静に総括した後、次の小惑星探査機として計画されている「はやぶさ2」への展開を議論しました。初日の午後には、もう1つの企画として「今後の宇宙科学プログラムの実行のあり方」というセッションを組みました。宇宙科学の各コミュニティにおける将来展望を3名の有識者に語ってもらった後、パネルディスカッションを行いました。右肩下がりの世の中、ミッションコストの増大にもかかわらずミッション提案母体となるワーキンググループ数が増大しているなど、宇宙科学ミッションを取り巻く状況が変化している中、今後も各分野の科学コミュニティを維持しながら宇宙飛翔体による実験・観測機会を得るためにはどうあるべきかという点に関して、活発な議論が行われました。

今回は、初めての試みとして、NASAからの招待講演も行われました。当初は初日に予定していましたが、航空会社の都合で講演者の来日が1日遅れたため、シンポジウム前日にプログラムを再構成し、2日目の午前実施しました。アメリカにおいても、日本と同様の提案型の宇宙科学ミッション選定の枠組みを有してお



初日のパネルディスカッションの様子

り、NASAのMarc S. Allenに、このプロセスの本質をじっくりと説明してもらいました。また、それに対応する形で、宇宙研の中川貴雄先生に日本側のやり方を小型科学衛星に関して英語で説明していただき、日米双方で熱い質疑応答が交わされました。

今回は、開催前日のプログラム変更など、主催者受難の年でした。そのほかにも、遠

方からお越しの講演者が悪天候により講演10分前にやっと相模原キャンパスに到着されるなど、冷や冷やさせられました。

私が世話人になった2年前からの状況を振り返ってみると、この3年間は、そのフォーマットに関して試行錯誤の連続だったように思えます。

2年前には、ポスター発表数が291件にまで増加し、2会場ではすべてのポスターを貼ることができないという事態になりました。そのため、初日と2日目でポスターを入れ替えるという策に出ました。昨年度からは、ポスターの第3会場として1階のロビーも追加し、ポスター件数はほぼ同一ながらも、ポスターを貼り替える必要はなくなりました。ただし、ロビーの展示物の一部を移動させなければならないため、設営と片付けの手間は増えました。移動させなければならない展示物には、頑丈な台車に乗った衛星模型があり、玄関の段差を乗り越えるのに苦労させられました。

昨年度は、口頭発表件数の増加にも頭を悩ませ、結果として3日間で開催しました。今年度は、さすがに3日間は長過ぎたという反省から、2日間に戻しました。しかし、多くの口頭発表をこなすためには、1件の講演時間の割り当てを15分にせざるを得ませんでした。そのような主催者側からの無謀な要求にもかかわらず、講演者の方々には、短時間ながらも要点を押さえた分かりやすい発表をしていただいたことを感謝致します。

結果としては、このシンポジウムに参加することで、日本の宇宙科学の現状と将来展望が把握できる濃厚なプログラムを提供できたと自負しております。これも、宇宙科学への関心が非常に高いことの表れで、主催者側の悩みは尽きませんが、非常に喜ばしい事態です。

（宇宙科学シンポジウム世話人代表 吉光徹雄、
世話人：岡田達明、徳留真一郎、川田光伸）

イプシロンロケットが拓く 新しい世界

第2回

イプシロンが目指すもの

井元隆行

イプシロンロケットプロジェクトチーム



我が国の固体ロケットは50年余りにわたって独自技術として進化し続けてきましたが、2006年にM-Vロケットが運用終了してから、衛星打上げという表舞台から遠ざかっています。しかし、我が国独自に蓄積されてきた固体ロケットシステム技術を維持することが必要不可欠であるという国家方針のもと、これまでの固体ロケットの伝統を受け継ぎ、活発化してきた小型衛星計画に対応することを目的として、イプシロンロケットの開発を着々と進めています。

イプシロンロケット開発での我々の狙いは、シンプルな固体ロケットとコンパクトな射場の組み合わせで宇宙開発の未来を拓こうというものです。その中でも、打上げ前の準備作業が少ないため射場における運用性が良いという固体ロケットの強みに着目し、この強みを最大限に活用して世界一の運用性を目標としてイプシロンロケットの目標にしています。具体的には、第1段ロケットを発射台上に立ててから打上げ後の片付けまで7日間、衛星に最終アクセスしてから打上げまで3時間という目標を掲げており、これが実現できれば世界一になります。

この高い目標を達成するための重要な技術は、自動化・自律化技術です。イプシロンロケットでは、これまで人が実施していた電気系点検作業や結果評価を、機体と地上設備のコンピュータが瞬時に実施することを計画しています。そのために、従来は地上設備が受け持っていた点検支援機能の一部を機体搭載化して機体をインテリジェント化する即応型運用支援装置(ROSE)と、コンパクトな発射管制システムを、新たに開発しています。例えば、ロケットの火工品回路を点検する際には、これまでは準備・点検・後処置に相当な手間と時間を要していました。イプシロンでは、点検のための特殊セットアップや後処置が不要となると同時に、点検と結果評価が瞬時に実行できるようになります。このような自動化・自律化を実現するためには、技術者に蓄積されてきたノウハウなどをソフトウェアに落とし込む必要があり、難度の高い技術開発です。

さらに、イプシロンロケットには、輸送系共通基盤技術の先行的実証という役割もあります。点検の自動化・自律化や機動性の高い運用システムは、ロケットに依存しない共通基盤的な技術です。そのほかにも、例えば音響解析精度向上のための研究開発を実施しています。固体モータ燃焼試験の機会を利用して解析ツールの検証を行い、その解析ツールを使用してロケッ

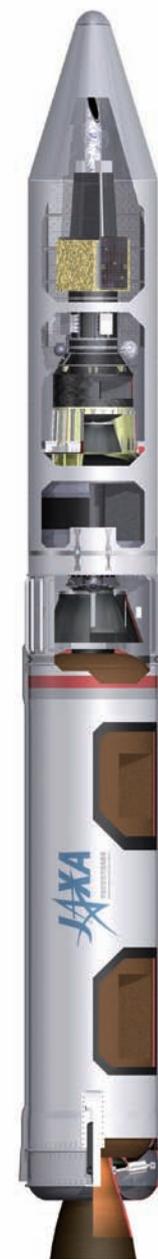
ト打上げ時の音響を低減するための設備設計に反映しています。また、運用性向上を目的としたフェアリングの水没化技術の開発も実施しています。これらの技術をイプシロンロケットに先行適用して飛行実証する計画で、イプシロンロケットは将来の輸送システムを切り拓く役割を担っています。

以上述べた、固体ロケット技術の継承と小型衛星計画への対応という目的、世界一の運用性を実現する目標、そして基盤技術先行実証の役割を担って、2つの形態のイプシロンロケットの開発を進めています。低軌道1.2トン級の打上げ能力を有する全段固体の3段式ロケットの基本形態と、その基本形態の最上段に小型液体ステージを搭載したオプション形態の2つです。基本形態ではコストパフォーマンスが倍増し、オプション形態では飛行中の増速量を自在に制御することが困難であるという固体ロケットの弱点を液体ステージにより補うことができるため人工衛星の軌道投入精度を向上させることが可能となり、ユーザー・フレンドリネスが抜本的に向上します。

イプシロンロケットでは、段階的な開発を実施する計画です。まずは、M-Vロケットで培った技術などを最大限に活用し、世界一の運用性を実現したイプシロンロケットを2013年度に打ち上げます。その開発と並行してアビオニクスや構造などのより先進的な研究に着手しています。これらの研究成果を反映して、さらに低コスト化を実現するイプシロンロケットを2017年度に打ち上げることを目標にしています。

つまり、イプシロンロケットはこれまでに培ってきた成果を踏まえつつ、その延長線上にとどまることなく固体ロケットを革新的に進化させます。また、世界一の運用性の実現やサブシステムレベルの洗練化・先進的な共通技術の先行適用などの取り組みは、固体ロケットの大いなる飛躍の第一歩であると同時に、我が国の宇宙輸送システムの将来を開拓するロケットでもあります。

素晴らしいロケットを開発するためには優秀な技術者の育成が必要不可欠です。イプシロンロケットを開発することが、実践を伴った技術継承や人材育成に直接的につながります。この開発に携わり成長した技術者は、将来の宇宙開発をけん引していく人材になるでしょう。このように、イプシロンロケットの開発は、将来の宇宙輸送システムの発展に重要な役割を果たしているのです。
(いもと・たかゆき)



イプシロンロケットの概略図

AGU Fall meeting 2011

に参加して

2011年12月4日から9日まで American Geophysical Union (AGU) の Fall meeting に出席してきました。AGUの秋の講演会は、私の記憶する限りずっとサンフランシスコで開催されてきました。会場はMoscone Centerという、1978年11月に暗殺されたGeorge Moscone (モスコーネ) 市長の名が付いた会議場です。ちなみに春の講演会は東部で開催され、1986年のメリーランド州ボルチモアでの講演会に私は初めて参加しました。昨今は、カナダ、メキシコ、南米諸国の地球科学関連学会講演会として、合同で毎年場所を変えて開催されています。

AGUは地球惑星物理学関連の広い分野の連合組織であり、今年で117年目を迎えます。Fall meetingは参加者が年々増加しています。今回は2万1000人超の参加がありました。セッションも25を数え、この分野最大の大会となっています。

2006年のFall meetingが1万4000人の参加であったので、5年間で7000人も増えたこととなります。ちなみにEuropean Geoscience Union (EGU) は1万1000人程度の参加があります。17年前に、それまで別々で開催していた学会が年一度、合同して開催することになった日本の場合、Japan Geoscience Union (JpGU, 日本地球惑星連合) meetingでは2011年に約6000人の参加がありました。また、Asia Oceania Geoscience Society (AOGS) meetingは2011年に第9回目の開催となって約1000人の参加がありました。

2万人を超す参加者の宿泊のため、38ものサンフランシスコ市中のホテルがAGUによって確保されています。2ヶ月前にもなると、会期通しで予約することや、格安なホテル、会場か

ら近いホテルの予約が困難になります。

25のセッションが並行して進むので参加できるのは5~6のセッションにすぎませんが、関連分野で今何が旬であるかがよく分かります。また昔の私の研究分野がどうなっているか、誰がまだそこで頑張っているかも分かって懐かしい。今回もポスター会場で後ろから「かとうサーン」という声があるので振り向いたら、私が1985年秋から1年過ごしたニューヨーク州立大学のリーバーマン教授でした。彼はMineral Physicsの研究者で月惑星探査の分野との関わりはまったくないので、AGUの会場でしか会うことがありません。

月惑星探査の分野では、小惑星Vesta探査のDawnミッションが今回の注目の中心でした。Vestaは直径520kmの、メインベルトにある3番目に大きな小惑星です。探査機が2007年9月の打上げから4年を経て2011年6月に到達し、観測を開始したので、最新の成果が楽しめました。また、MESSENGERのサイエンスマネージャであるSolomon博士の特別講演も、水星の素顔に迫る興味深いものでした。月と火星も相変わらず多くの研究者が会場に詰め掛けていましたが、新たに観測を開始してワクワクするようなデータが出る時期ではないこともよく分かりました。月探査では重力を精密に測るGRAIL衛星が間もなく観測を開始し、火星探査ではMars Science Laboratory 着陸探査機が2011年11月26日に打ち上げられ、あと250日程度で火星に着陸するのを待っている、といった時期であり、DawnやMESSENGERとは違ったセッションの雰囲気でした。

私の分野外では、やはり東日本大震災関連の研究報告がThe Great 11 March 2011 Tohoku Earthquakeというタイトルのサブセッションで続いていました。

写真は、過去10年間のAGU Fall meetingのロゴです。AGUのPresidentの交代と併せてロゴも変わるようです。2010年までずっとGolden Gate Bridgeをモチーフにしたロゴが続きましたが、今回それが消えました。新しいPresidentが何らかの変革を求めているのか、など思いながら帰国の途に就きました。(かとう・まなぶ)



10年間のAGU Fall meetingのロゴ

加藤 學
太陽系科学研究系教授



内之浦50周年に寄せる

橋本雅子

元・内之浦婦人会長

昭和35年(1960年), ロケット実験場をつくる場所を探していた糸川英夫先生に「ここだ!」と決めていただいたのが、内之浦。いろいろと不足な点多かろうと思いますが、東には太平洋が広がり、ずっとハワイまで何もない内之浦。当時の町長・久木元峻氏と、婦人会長・田中キミ氏が立ち上がったのです。地元との折衝、民宿の手配、道路づくりの奉仕作業、起工式では200人分の弁当づくりから接待など、婦人会の結束は素晴らしいものでした。民宿の手配とともに調理師の免許が必要となり、鹿屋保健所に依頼して内之浦で講習会を実施してもらい、受講者全員が免許を取得できました。

昭和41年, 4S型ロケット1号機からの連続失敗で国会や新聞などでさんざんたたかれていたとき、私たちは成功を信じて千羽鶴を届けたり、お宮参りをして心から祈ったものでした。神社へ行くと、東京大学の先生方や多くの町民も成功祈願に来ていました。町民一体となって成功を祈りました。

昭和45年2月11日, 4S型ロケット5号機の発射。そして成功! 初の国産衛星誕生に、町民が喜びに沸き立ちました。婦人会では、「祝成功」の旗や日の丸を持ち、実験場へ駆け付けました。記者会見の場で、今は亡き玉木章夫先生の「この衛星は『おおすみ』と命名します」との発表に、田中会長が「ありがとうございます。バンザーイ」と叫ばれたのを、昨日のことにように思い出します。その夜は、町のあちこちで祝賀会。私の家でも、秋葉鏝二郎先生率いるロケット班の皆さん方とささやかな祝賀会を開きました。

その後、半農半漁の内之浦は大きく変わっていき、ウマやウシが歩いていたでこぼこ道も広く舗装され、「東京大学」と書かれた車が往来するようになりました。「陸の孤島」といわれた内之浦はロケットの町となり、「世界の内之浦」といわれるほどになりました。婦人会では、科学の町にふさわしい人づくり心豊かな地域づくりを目指して女性の英知と感性を生かし、など大きな目標を掲げ、みんなで手を取り合って頑

張ってきました。

毎月の定例会の場にも、東大の先生方に来ていただき、宇宙やロケットの話をしていただきました。何も分からない私たちにも優しく接してくださる先生方でした。

実験場が始まったころ、婦人会の役員は私より年上の方々がばかりでした。運転免許を持った人がほかにいませんでしたので、何も分からない私が便宜上、役員に誘われたのではないかなあとと思いますが、その後、書記、副会長を経て、会長19年(うち群会長10年)と、合わせて28年間も婦人会の執行部に関わってまいりました。未熟な私を教え、導いてくださった偉大な先輩方、そして会員の皆さま、行政の方々、そして家族の支えがあったからこそ!と心から感謝しています。

以前、東大の茅誠司総長がお見えになったとき、内之浦の子どもたちの目は輝いていると言われました。あのころの町民は、老いも若きも、きらきらと輝いていました。

昭和37年4月21日, RKB毎日放送福岡の「土曜パトロール」で、「宇宙へ行こう」の回に「宇宙ブームに沸く内之浦のムード」を久木町長、田中婦人会長の2人で放送。ロケット町長、ロ

ケットおばさんで有名になりました。

平成11年2月, 糸川先生が亡くなられました。内之浦に光を当ててくださった糸川先生をしのぶ会を、2月16日に増當可也町長を中心に行い、思い出を語り、ご冥福をお祈りしました。

平成22年には、内之浦から打ち上げられた「はやぶさ」の奇跡の帰還、さらに持ち帰った物質が小惑星イトカワ由来のものであることが確認され、世界初の快挙の連続。そして、その年の12月には、「おおすみ」40周年記念式典と「はやぶさ」のカプセル公開。平成23年1月には、願っていたイプシロンロケットの打上げ場も内之浦に決定。感動の連続です。

今年は、内之浦宇宙空間観測所50周年と糸川先生の生誕100年。この50年のさまざまな思い出が懐かしく走馬燈のように頭を駆け巡ります。「ロケットを支えた婦人会」などと言っているけれども、激動の時代、幾多の苦労を重ねてこられた宇宙研の皆さま方の支えになってくれたのだろうか……とも思います。地域の人たちとこれほど親密なつながりのある実験場は世界中どこにもない、と口をそろえて言ってくださる先生方の言葉がありたく、心から感謝の念でいっぱいです。

昭和62年, 宇宙研に関係のある相模原市、能代市、三陸町、臼田町、内之浦町の2市3町で銀河連邦共和国が建国されました。建国5周年に当たる平成4年, 女性サミットが実施され、私も参加しました。婦人会、そしてロケットのおかげで、県内外のたくさんの方々との素晴らしい出会いや交流の場をいただき、幸福な人生だったと、すべての人に心から感謝しています。あのころにもう一度返りたい!

多くの人々の夢と希望の詰まったJAXAのますますの発展を心よりお祈りします。

(はしもと・まさこ)



林友直先生(右から4人目)、松尾弘毅先生、上杉邦憲先生に成功祈願の千羽鶴をお渡しした内之浦婦人会の面々。後ろに飾られている千羽鶴もほとんど婦人会でお贈りしたものだ。

“人類初”を見つきたい

月・惑星探査プログラムグループ 研究開発室 開発員

矢田 達

—— 小惑星探査機「はやぶさ」がイトカワから持ち帰った試料のキュレーション作業を担当されているそうですね。まず、キュレーションとは？

矢田：イトカワの試料は宇宙空間で試料捕獲容器ごと試料コンテナに密封されて地球に届きました。私たちはまず、それを開封して試料を回収します。次に、初期記載と、試料の大きさや元素組成の測定、写真撮影などを行い、試料の特徴を記載し、カタログ化します。そして、試料を保管するとともに、分析をする研究者に配布します。その一連の作業をキュレーションと呼んでいます。

—— キュレーション作業の難しさは？

矢田：一番大変なのは、試料が地球環境で汚染されないようにすること。大気、ほこり、人の汗……、あらゆるものが汚染源です。すべての作業は外気から遮断され高純度な窒素で満たされたチャンパーの中で、マニピュレータを介して行わなければなりません。チャンパーの中に入れる物はすべて元素組成が明らかになっています。万一試料に混入しても判別できるようになっています。

試料が0.01～0.1mmと小さいことが、作業をさらに難しくしています。マニピュレータの先は細い針になっていて、静電気を使って小さな試料をそっと持ち上げます。もちろん肉眼では見えませんから、顕微鏡のモニター画像を見ながらの作業になります。とても繊細で神経を使う作業です。1日に数個取り出すのがやっとで、1個も取り出せないこともあります。これまでに250個以上の試料を取り出しましたが、まだ終わっていません。これからも毎日コツコツと数を積み上げていきます。

—— 帰還前には、試料が採取できていない可能性もあったといわれていました。

矢田：試料捕獲容器を開封して肉眼で見たとき最初に思ったのは、とてもきれいだ、ということ。正直に言うと、何も入っていないのではないか、と一瞬だけ思いました。しかし、光学顕微鏡で観察すると、透明な微粒子らしきものが、かすかに見えたのです。ある！そう確信して、テフロン製のへらをつくり表面をこすると、微粒子が多数付着しました。それを走査型電子顕微鏡で観察・分析した結果、小惑星イトカワのものであると分かったのです。その瞬間、みんなで握手をして喜び合いました。うれしいというよりも、ほっ



やだ・とおる。理学博士。1971年、福岡県生まれ。九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻博士課程修了。学術振興会特別研究員（PD）として、東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、アメリカ・ワシントン大学（セントルイス）に在籍後、台湾・中央研究院PD研究員を経て、2006年より現職。専門は、始源惑星物質科学、同位体宇宙化学。

としましたね。

イトカワの試料を見たのは、人類で私たちが初めてです。まだ誰も見たことのない物や誰も知らなかったことを最初に見つけ

ること。それが一番面白く、わくわくします。科学者は、その瞬間のために研究をやっているのです。

—— 今までで一番わくわくした瞬間は？

矢田：今回のイトカワの試料も捨て難いですが、一番は、南極で採取してきた宇宙塵の中に、「プレソーラーグレイン」と呼ばれる太陽系より前にできた粒子を発見したときかな。プレソーラーグレインは、隕石からは見つかっていましたが、南極宇宙塵からは世界初でした。酸素の同位体比が太陽系の物質とは明らかに異なる値を示したときの興奮は忘れられません。

—— 子どものころは、何に興味がありましたか？

矢田：一つは宇宙。宇宙を舞台にしたアニメを見て、宇宙に行きたいと思っていました。小学校高学年のころ天体望遠鏡を買ってもらい、土星の環を見て感動したことを覚えています。

ほかには、城が好きでした。小学生のころ友達の家で、城のプラモデルを見てからです。あの美しさがミニチュアで手に入るのがうれしくて、お小遣いを城のプラモデルにつぎ込みました。親は、意匠建築の道に進むものと思っていたそうです。今でも、城は好きです。私にとっての一番は松本城。北アルプスを背景に、天守が堀の水面に映っている景色は、とても美しいものです。

—— 今後はどのようなことをしたいとお考えですか？

矢田：イトカワの試料は、2011年12月にNASAへ配布され、1月には国際研究公募が始まりました。私たちのキュレーション技術が、世界に問われることとなります。微粒子を扱う繊細な作業は、日本人に向いています。このJAXAキュレーション施設を、惑星物質試料の分析研究の世界的な拠点に発展させたいですね。そして、キュレーション技術をより向上させ、「はやぶさ2」の帰還を待ちたいと思います。回収、初期記載が一段落したら、私自身もイトカワの試料をぜひ分析したいと、アイデアを温めているところです。

ISAS ニュース No.371 2012.2 ISSN 0285-2861

発行／独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 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ビニア 制作協力／有限会社フォトンクリエイト

編集後記

本号のISAS事情欄にもありましたように、2月から宇宙研の組織が大きく変わりました。古い体制での記載が残っているかもしれませんがご容赦ください。『ISASニュース』もこれから大きく様変わりしていくことになるでしょうか？ (田中 智)

*本誌は再生紙(古紙100%)、植物油インキを使用しています。

R100
古紙配合率100%再生紙を使用しています

