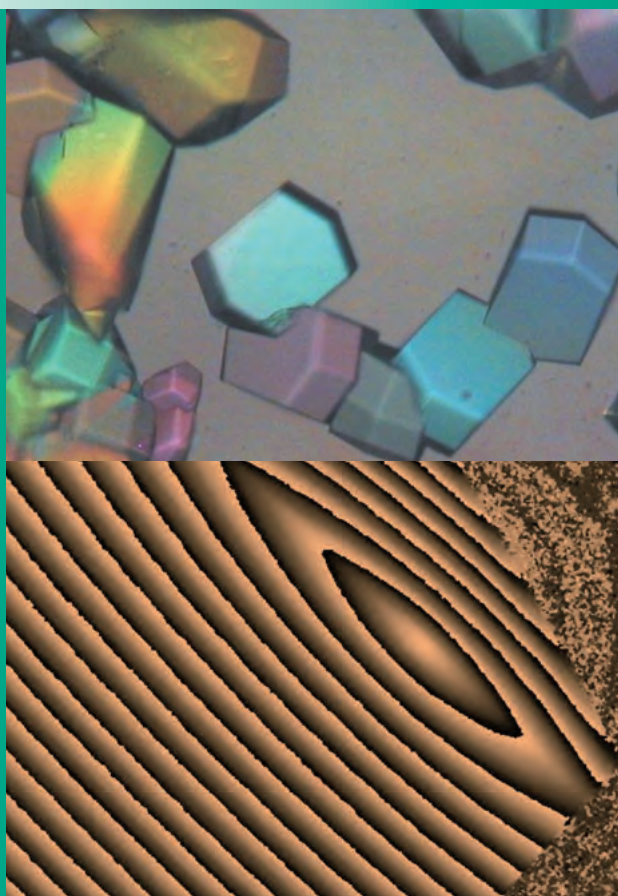




宇宙で成長しているタンパク質結晶 (Nano Step 実験)

宇宙科学最前線

宇宙での結晶成長実験

学際科学研究系 准教授
稲富裕光

宇宙環境の主な特徴として、さまざまな重力、雰囲気、宇宙線、広大な空間が挙げられます。そして“宇宙環境利用科学”とは、これらの特徴に注目して、①無対流や浮遊など宇宙環境の特徴を地上で利用する、②宇宙環境そのものを利用する、③宇宙環境で利用する、ことにより推進する、科学研究の総称です。

本稿では、物質科学の一つの領域である結晶成長に関する日本での宇宙実験の経緯と今後の研究テーマ例について述べます。

「きぼう」以前の結晶成長実験

結晶成長に伴い、その周囲の環境相では温度、濃度分布が多少なりとも不均一になり、重力環境下ではこれらの不均一が浮力対流の駆

動力となります。結晶成長において対流は、①成長している結晶の形の対称性を崩す、②得られる結晶中の成分の不均一をもたらす、③成長界面で起こっている現象の解明を妨げる、などさまざまな影響があります。したがって、浮力対流や沈降など重力に起因する影響を極力抑制するという観点から、微小重力環境の有用性が注目されました。その結果、1992年の「ふわた'92」第1次材料実験ミッション (FMPT)、1994年の第2次国際微小重力実験室 (IML-2)、1996年の宇宙実験・観測フリーフライヤ (SFU)、1997年の第1次微小重力科学実験室 (MSL-1)、2003年の次世代型無人宇宙実験システム (USERS) などで結晶成長実験が実施されました。

表紙

宇宙で成長しているタンパク質結晶 (Nano Step 実験)

左上：偏光顕微鏡で見ると、結晶の均質性が分かる (地上での観察例)。

左下：結晶表面を干渉計で見ると、等高線のように干渉縞が見える。これはらせん成長を示す。この縞の広がり速度から結晶の成長速度が精密に分かる。画像の横幅は約0.4mm相当。

右：宇宙で成長している結晶 (中央部の小さな四角) と周囲の水溶液 (右半分)。干渉計で見ると、結晶周辺で干渉縞が曲がる。これから濃度分布が分かる。画像の横幅は約2mm相当。

この間、日本の研究者および技術者は、TR-1Aなどの小型ロケット、航空機、落下施設などを利用して、将来の宇宙実験に向けた技術開発や予備実験を進めてきました。日本が世界に誇る測定技術の一つとして、その場観察を紹介しましょう (図1)。宇宙実験の初期では、試料の分析はそのほとんどが試料回収後に行われてきました。しかし、宇宙実験での限られた装置重量・寸法、電力および実験回数を有効に利用するという観点では、現象を“その場”で観察・計測することは有望な方法です。結晶成長時の結晶またはその周囲の環境相が観察光に対して透明であれば、環境相中の溶質濃度・温度分布、また結晶の形の変化を画像として捉えることが可能です。

その後、微小重力環境を利用した長時間の本格的な実験は、2008年に国際宇宙ステーション (ISS) の「きぼう」日本実験棟の利用が開始されるまで行われませんでした。しかしその間に、日本ではその場観察のほかに、流れの計測・制御、試料の浮遊などについてさまざまな世界最先端の研究手法が生み出されており、それらは今も地上での物質科学研究に生かされています。

「きぼう」での結晶成長実験

ISS計画はアメリカ、ロシア、ヨーロッパ、カナダ、日本などの15ヶ国が参加しており、各国が最新技術を結集しています。日本初の有人実験施設である「きぼう」は、ISSの中で最大の実験モジュールです。

「きぼう」での結晶成長実験は、現在まで次の2段階により進められています。「きぼう」の利用が開始された2008年から2010年中ごろまでの“第1期利用”では、成長界面の形態や

温度濃度をリアルタイム観察し、結晶成長面が荒れる限界の特定やその後の組織形成を解き明かすことを目的としました。2010年中ごろから2012年中ごろまでの“第2期利用”では、第1期での成果を踏まえ、界面での微視的な原子・分子の振る舞いに基づく結晶成長現象の解明および高品質結晶育成技術に関する知見を得ることを目指しています。

「きぼう」に搭載済みの日本の結晶成長実験装置は、溶液結晶化観察装置、タンパク質結晶生成装置、温度勾配炉の計3台です (図2)。溶液結晶化観察装置は、結晶の形、環境相中の温度、濃度を同時に計測することを可能にする顕微鏡システムです。タンパク質結晶生成装置は、名称の通りタンパク質の結晶化を複数同時に実施するためのものです。温度勾配炉は、大型の真空容器の中でヒーターからの輻射により試料を自動で高温加熱できます。

実施済みの「きぼう」実験の例としては、溶液結晶化観察装置を使った氷、ファセット結晶、タンパク質結晶に関する実験 (それぞれの略称はIce Crystal, Facet, Nano Step)、そして温度勾配炉を用いた半導体結晶に関する実験 (Hicari, Alloy Semiconductor) があります。これらの実験の詳細な紹介はJAXAのwebサイト、『ISASニュース』をご覧ください (参考)。

宇宙環境を利用した今後の結晶成長研究

宇宙環境を利用するための方法として、ISSに加え、観測ロケット、大気球、航空機、落下塔などによる短時間微小重力利用があります。また、将来は国際協力による新たな飛翔機会の利用による研究が展開されることでしょう。

そこで、ここでは著者が考える今後の研究テーマ例をいくつか述べます。

①高品質結晶の育成・新素材の探索

応用利用を強く意識した研究テーマとして、かつてメートル原器が長さの基準となったように、基準となる理想的な特性を持つ結晶の育成が考えられます。地上で高品質の結晶を育成するためには、そのような理想的な結晶を得るだけでなく、環境相の熱物性 (表面張力、比熱、密度、熱伝導率など) を正確に求めることも必要不可欠です。そこで、宇宙での結晶成長、熱物性計測、そして流体科学実験で得られた知見と数値シミュレーションとの連携により、従来のトライアル&エラーで行われてきた地上での結晶成長過程の効率化への貢献が期待されます。

ほかの関連テーマとしては、浮遊法による準

図1 結晶成長のその場観察装置の例

1985年ごろに東北大学を中心とする研究者が開発した。

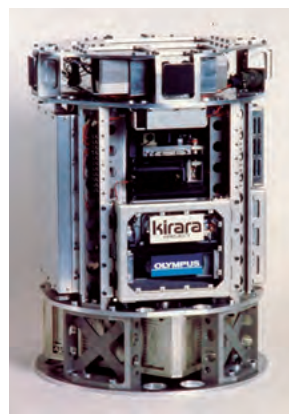
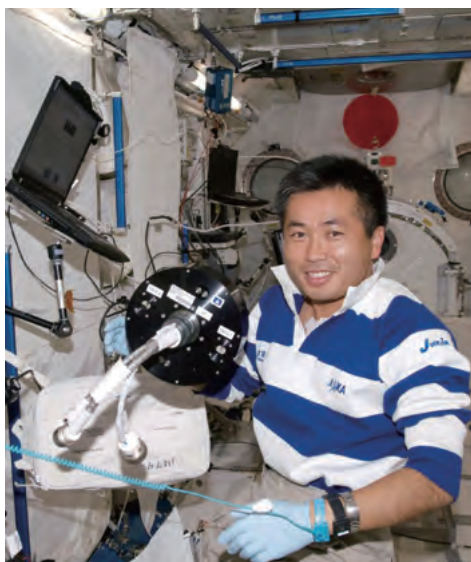


図2 結晶成長実験装置を手にする若田光一宇宙飛行士
ファセット的セル状結晶成長機構の研究 (Facet 実験) で用いられた。



安定相の探索があります。電磁力、静電気、ガスジェットなどの利用による浮遊法では、試料保持のための容器を必要としないため、これまで容器の中で原料を溶融する方法では困難とされた準安定相の創製が期待されています。

②結晶化メカニズムの解明

液体や気体から結晶が現れるプロセスは、結晶化の最初の段階である環境相からの“核生成”，そしてその核が大きくなっていく“結晶成長”に分けることができます。従来は結晶成長に注目が集まってきましたが、核生成の現象は計測自体が難しいため、物質科学における重要な研究課題の一つなのです。そこで最近、核生成に関する微小重力実験がISASの観測ロケットを利用して実施されました(図3)。この実験は宇宙ダストと炭酸塩結晶の生成を明らかにしようとするものです。観測ロケットの弾道飛行で得られる数分間の微小重力環境を利用して、核形成の様子を観察・計測し、その物理を理解するとともに、「きぼう」などにおける長時間での繰り返し実験のための基礎データを得ました。

また、今までの宇宙実験で扱ってこなかった複雑な結晶成長過程の解明も、新しいテーマとなり得るでしょう。自然界での物質生成プロセス、例えば鉱物生成においては温度、圧力だけでなく化学反応に関わった複雑なものが数多く見られ、生体内の結晶化においては分子量の大きく異なる複数の成分が関与することは珍しいことではありません。具体的な研究対象としては、複雑な化学反応を伴う鉱物生成の再現、バイオミネラロジーが考えられます。

③宇宙空間での結晶化の再現

太陽系の起源と進化について、従来は観測結果、そして飛来した隕石の分析に基づいて議論されてきました。多くの隕石に見られる球状の粒子であるコンドリュールについては、太陽系形成時の情報を多く有していると考えられることから、さまざまな研究が行われています。従来、コンドリュール形成は数千年あるいは数万年かかると考えられていましたが、一方で衝撃波による宇宙ダストの加熱・溶融とそれに続く過冷凝固によって、秒ないしそれ以下の時間スケールでダストからコンドリュールが形成されたとする主張もあります。

近年、「はやぶさ」に代表される小惑星探査によるサンプルリターンミッションなど、宇宙理学、宇宙工学分野の展開があります。それとともに、宇宙環境利用科学および衝撃エネルギー工学など多岐にわたる分野が協調することで、宇宙ダスト生成およびコンドリュール形成の再現と、

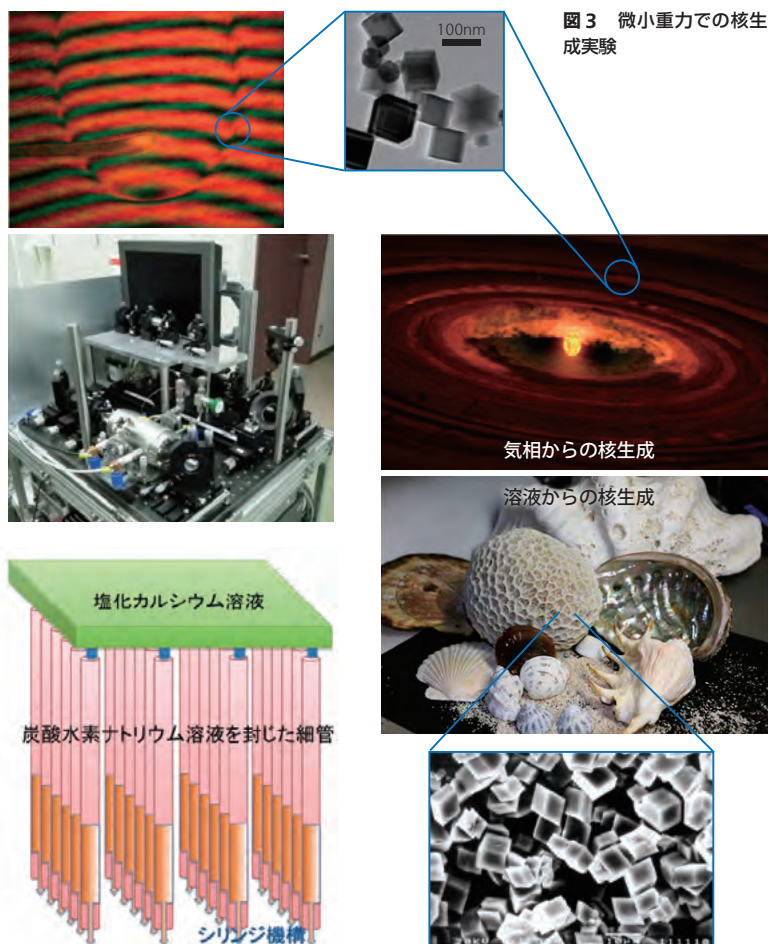


図3 微小重力での核生成実験

探査で得られたサンプルの分析、理論計算の結果との比較、という一連の研究が可能となるでしょう。

そこで、宇宙実験テーマとして、浮遊と過冷凝固、その場観察の組み合わせによる“再現実験”が考えられます。もしかしたら、ISS船外の広大な宇宙空間を利用した宇宙ダストの再現実験も可能となるかもしれません。

おわりに

宇宙機関を中心とした宇宙実験へのいざないやテーマの芽出しを経て、今や研究者、技術者が主体となって宇宙実験を遂行する段階となりました。そして、今後の継続的な研究とその成果の蓄積が必要であることは言うまでもありません。軌道上で行われている宇宙実験の成果が我々の生活に直接役に立つことを期待されている方々もおられることでしょう。これは長い目で見れば現実になるかもしれませんが、あまり性急に求めると大きな失望に終わる可能性があります。むしろ、宇宙環境が持つ特別な性質を用いた新しい学問の開拓を地道に行うことが何よりも大切であり、広く学術分野、産業界への貢献に通ずる近道でしょう。このような科学としての宇宙環境利用の研究こそが、我々人類に新たな可能性をもたらすものではないでしょうか？

(いなとみ・ゆうこう)

参考
● ISS 実験を紹介するホームページ
<http://www.isas.jaxa.jp/home/iss/index.htm>
<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/others/iss/>
● 「ISAS ニュース」
2008 年 12 月号
2009 年 5 月号
2011 年 12 月号
2012 年 10 月号

「第32回宇宙科学講演と映画の会」開催



ぼくの名は「きょくたん」^{*}。
 的川泰宣先生よりもちょっと
 だけ重い体重340kgの小型
 科学衛星だ。もうすぐ待望の
 イプシロンロケットの1号機に
 乗って宇宙への旅に出る。旅
 の目的は壮大だ。極端紫外線という波長を用いて太陽系
 の過去や未来の姿を解き明かす。これは世界でも初めての
 の挑戦だよ。こうして小さくてもいろんなことができるし、
 夢は大きく膨らむんだ。(きょくたん)

4月13日(土)に「第32回宇宙科学講演と映画の会」を開催致しました。これは、皆さまご存知の通り、近年では筑波宇宙センター、調布航空宇宙センターの特別公開に合わせて科学技術週間に行われている宇宙科学研究所主催の催しです。昨年同様、四谷区民ホールにて398名もの来場者をお迎えし、にぎやかに開催することができました。

冒頭の稲谷芳文副所長による開会のあいさつに引き続き、一つ目の講演は「未来を拓くイプシロンロケットの挑戦」と題し、プロジェクトマネージャーを務める私が、この夏に打上げが迫ったイプシロンロケットの魅力や開発現場の熱気について、映像を交えて詳しく紹介しました。二つ目の講演は「波長100ナノメートルの光で観測する惑星環境—惑星分光観測衛星の挑戦—」というテーマで、



大いに盛り上がった質疑応答の様子

ミッションマネージャーの山崎敦助教が、イプシロンロケットで打ち上げる惑星分光観測衛星の意義や開発の面白さを、大変分かりやすく説明しました。その後の質疑応答の時間では、故長友信人先生にまつわる鋭い質問に稲谷副所長がたじたじになるという痛切な場面もあり、会場全体が大いに盛り上がりしました。

最後に上映した「観測ロケット」というドキュメンタリー映画は、ロケット自体はもちろん運用する人にもスポットを当てており、この夏打ち上げる観測ロケットに向けた宇宙研職員の意気込みも十分にお伝えできたと思います。(森田泰弘)

^{*}「きょくたん」：惑星分光観測衛星のマスコットキャラクター。太字にアクセントを付けて発音する(例えば「ロボたん」「ノンたん」「しょこたん」のようなイメージ)。

「ひてん」月到達20周年を祝って

「ひてん」(MUSES-A)が1993年4月11日に月面に到達して20年になることを祝い、4月14日(日)に記念講演会と懇親会が開催された。

「ひてん」は、1990年1月24日にM-3S IIロケット5号機で打ち上げられた工学実験衛星である。1992年に打ち上げられた日米共同の磁気圏尾部観測衛星「GEOTAIL」に採用された二重月スウィングバイ軌道に関わる航法と誘導技術の実証を目的とし、電波天文衛星「はるか」(MUSES-B)、小惑星探査機「はやぶさ」(MUSES-C)へとつながる、世界を切り拓く工学技術を培い発信する先駆けとなった。期せずして、この3機の名前は「は」行から始まる。「ひてん」は、



記念講演会の様子

子衛星「はごろも」を月を回る軌道に乗せた後、自身も月周回軌道に乗った。1990年代前半にして、我が国、宇宙研は2機の月周回機を実現させることとなった記念碑的な存在である。

記念講演会では、上杉邦憲先生と私が、思い出をつづりつつ、その挑戦の意義と継承した後続

のミッションについて紹介し、懐かしい方々が勢揃いした楽しい懇親会へと続いた。おそらくは当時もよく知られていなかった打上げ時のエマスト(緊急停止)騒ぎ、新設20mアンテナでのロックオフ、打上げ直後の突貫での代替計画の策定にまつわる話、打上げわずか数ヶ月前に採用された世界初のエアロブレーキ実験に臨んだ経緯、当時の世界が

ら見た反響など、思い出でありながらも、いまさらと感じさせるような話題が連なる、有意義な会であった。「ひてん」のエアロブレーキ実験に続いて、NASAは金星周回機のマジェランでエアロブレーキ運用を行い、それらは数々の火星探査機でも採用されていくことにつながっている。

この会は、「ひてん」から「GEOTAIL」,「のぞみ」,そして

「はやぶさ」へとつながる軌道設計チームにとってかけがえのない存在だった、木村雅文さんをしのぶ会ともなり、はるばる福山よりご両親も参加された。宇宙研が、1985年のハレー彗星探査から始まり、月惑星探査へと歩み出したころに思いをはせることができた。

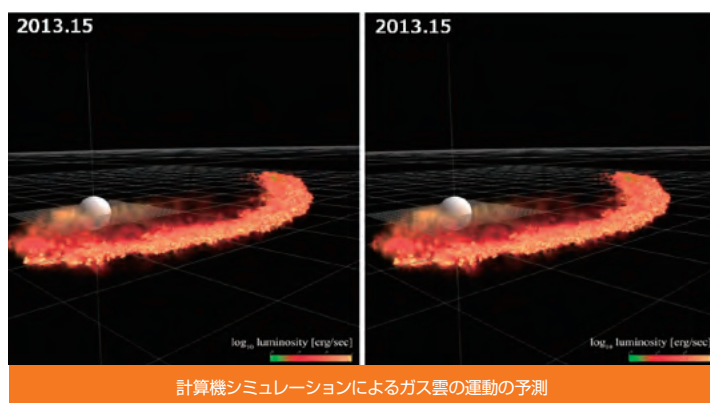
「かのひてん、機転がきいて、秘伝たる」(川口淳一郎)

銀河系中心の爆発現象を捉える

今、天の川銀河の中心(銀河系中心)の超巨大ブラックホールに地球質量の3倍程度のガス雲が近づいており、数ヶ月後にはブラックホールに最接近します。少なからぬ研究者がガス雲の運命を予測しており、その大まかな共通点は「ブラックホール周辺の環境

によってガス雲からの電磁波の放射が強くなる」「ガス雲はブラックホールの引力によって引き延ばされ、その一部がブラックホールに落ち込む」というものです。一方、ブラックホールに落ち込んだガスはどうなるのか、ブラックホール周囲の降着円盤は安定でいられるのか、などブラックホールごく近傍で起こる現象の予測はあまり出ていません。X線天文衛星の観測から、銀河系中心は300年ほど前は爆発的に明るかったという報告もあり、もしかしたら数百年に一度の大イベントを観測できるかもしれません。

私たちは、電波望遠鏡を運用する研究機関と宇宙研をつないだ大学連携VLBIネットワークによる銀河系中心のモニタ観測を2月に開始しました。主要な参加機関は茨城大学(国立天文台32m望遠鏡)、岐阜大学(11m望遠鏡)、



白は銀河系中心ブラックホール、オレンジはガス雲を表し、交差法(右目で左の画像を、左目で右の画像を見る)で立体視できる。(シミュレーション: 斎藤貴之/東京工業大学、可視化: 武田隆顕/ヴェイサエンターテインメント株式会社)

筑波大学(国土地理院32m望遠鏡)、国立天文台水沢(10m望遠鏡)、情報通信研究機構(11m望遠鏡)、そして宇宙研です。相模原キャンパスにはパソコンによるVLBI自動解析処理システムを構築し、各望遠鏡からインターネット経由で送られてくる膨大な

データを準実時間解析し、その電波強度を監視しています。

今のところ兆候は捉えられていませんが、そのことをアストロノマーズ・テレグラムに流したところ、海外の研究者から「ガス雲のブラックホール最接近時期が遅れるという予想が出たぞ、それまで頑張って続けるんだ!」と情報提供が。世界中の天文学者がこの現象に注目していることをうかがわせるエピソードです。

銀河系中心は、銀河の中心に潜む巨大ブラックホールの中で、その見かけの大きさ(ブラックホール事象の地平線)が最も大きく見える天体です。将来、非常に高い解像度でブラックホールや降着円盤の直接撮像を行う電波干渉計観測計画へと発展できれば面白かろうと、捕らぬたぬきの皮算用よろしく、今からわくわくしています。(朝木義晴)

鹿児島市天文館に「宇宙情報館」オープン

内之浦宇宙空間観測所と種子島宇宙センターという日本に二つしかないロケット打上げ場を共に擁する鹿児島県。その中心部にある南九州随一の繁華街である天文館に4月12日、宇宙情報館がオープンしました。この日はペンシルロケットの公開試射(1955年)が行われた日でも

あります。

そもそも天文館という地名は、島津重豪公が暦の編さんのために設置した天文観測所「明時館」に由来しています。鹿児島県内では現在、ロケットの打上げのほか、鹿児島大学が国内有数の天文・宇宙の研究拠点として機能し

ており、鹿児島人工衛星開発協議会や県内の企業による超小型衛星の開発も進められています。

このような宇宙に縁の深い場所から宇宙の研究開発に関する情報発信や、それを通じた地域振興を進めようと、今回民間の出資で展示エリアが整備され、JAXA、国立天文台、鹿児島大学、鹿児島人工衛星開発協議会の4者に無償提供されました。入場料も無料です。

博物館・科学館と違い、この宇宙情報館は各機関のアンテナショップとして機能します。JAXAからは事業紹介



宇宙情報館の館内。売店や休憩エリア込みで約90 m²という狭いスペースをどのように共同で利用するか、それぞれの出展者が知恵を絞っている。

の映像やH-IIAロケットなどの模型、パネル展示に加え、最大110デシベルまで出せるロケット打上げ音響体験システムを初めてJAXA施設外に常設しました。館内には宇宙関連グッズの売店や、飲料の自販機、休憩コーナーもあり、いわゆる宇宙好きではない方々にも時間つぶしに活用いただけます。連休中に毎日訪れた子どももいるようです。狭いスペース

ではありますが、ここを一つの拠点に、より多くの方々と宇宙の研究開発の感動を分かち合いたいと思います。

(阪本成一)

第5回宇宙科学奨励賞，内山泰伸氏と津田雄一氏に授与

公益財団法人宇宙科学振興会の宇宙科学奨励賞は平成24年度で第5回を迎えました。各分野の有識者で構成される選考委員会の審査・選考に基づき理事長の決裁を得て、宇宙理学関係では「科学衛星を用いたX線、ガンマ線観測による宇宙線加速の研究」によって

米国SLAC国立加速器研究所、スタンフォード大学滞在中でパノフスキーフェローの内山泰伸氏に、また宇宙工学関係では「ソーラーセイルによる深宇宙探査・航行技術の実証的研究」によって宇宙航空研究開発機構（JAXA）宇宙科学研究所助教の津田雄一氏に、それぞれ第5回宇宙科学奨励賞を授与することになりました。表彰式は3月12日に霞が関ビル内東海大学校友会館で開催されました。

内山泰伸氏は、宇宙線の発見以来100年になる現在、いまだに明らかになっていない宇宙線の起源と加速機構を解明する重要な知見をもたらす先駆的研究を進めました。同氏は、「あすか」「すざく」「チャンドラ」「XMMニュートン」衛星によるX線観測、「フェルミ」衛星によるガンマ線観測、さらには「スピッツァー」衛星による赤外線観測など多波長で超新星残骸を観測し、データ解



両受賞者を囲んで。写真左より戸谷一夫 文部科学省研究開発局局長、松尾弘毅 代表理事、内山泰伸氏、津田雄一氏、上杉邦憲 宇宙科学奨励賞選考委員長、藤井孝蔵 宇宙科学研究所副所長。

析を行いました。そして、そこから放射される非熱的放射成分の時間変動や、超新星残骸を囲む宇宙線ハローの存在などを発見し、宇宙線の生成領域と加速機構の解明の鍵となる顕著な業績を得ました。

津田雄一氏は、小型ソーラー電力セイル実証機IKAROSの開発および運用において主導的な役割を果たし、その成功

に重要な貢献を果たしました。IKAROSはJAXAの宇宙研および月・惑星探査プログラムグループが開発し、2010年5月に打ち上げた小型実証機であり、世界で初めてソーラーセイルによる深宇宙航行を実現しました。津田氏はこの実証機の製作に当たり、ソーラーセイルの遠心力展開方式や姿勢制御システム、誘導航法の開発など、ソーラーセイル航法の根幹となる技術の開発において先鞭をつける研究を進めました。

当振興会は今回受賞されたお二人に心からお祝い申し上げますとともに、両氏がいっそう精進され、今後日本の宇宙科学推進の中心としてご活躍されることを期待しております。

(公益財団法人 宇宙科学振興会 事務局長 長瀬文昭)

JAXA 事業にお寄せいただいた募集特定寄附金の使途について

JAXA では2012年4月からJAXA 事業への募集特定寄附金をお受け致しておりますが、これまで皆さまから多くのお気持ちを寄せいただきました。心よりお礼申し上げます。

皆さまから頂いた寄附金は2013年2月末現在で3663万2582円に達しました。このうち2012年4月から6月までにお寄せいただきました2246万1000円をJAXA 事業に使用

させていただきました。ここでは、相模原キャンパス関連事業について、ご報告致します。

今後ともJAXA 事業へいっそうのご支援を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。寄附金について、詳しくはホームページをご覧ください。

http://www.jaxa.jp/about/donations/index_j.html

「はやぶさ2」

・寄附総額 1921万6482円 ・使用実績 1176万2700円

「はやぶさ2」ミッションのより確実な実施のために追加搭載する小型モニタカメラ製作費として使用

多くの皆さまより「はやぶさ2」に頂きました多額のご寄附と、そこに込められた皆さまの想いに対しまして、深く感謝し心からお礼申し上げます。頂きましたご寄附は、探査機に1台追加する小型モニタカメラの製作・搭載の費用に充てさせていただきました。このカメラは、小惑星の岩石を採取する筒(サンブラホーン)の伸展を確認するための画像撮影に必要な装置です。引き続き気を引き締めて「はやぶさ2」の成功に向けて取り組んでまいります所存です。

(はやぶさ2プロジェクトマネージャー 國中 均)

宇宙科学研究

・寄附総額 488万1900円 ・使用実績 129万2700円

再使用観測ロケット用技術実証エンジンの開発費用の一部として使用

再使用観測ロケット技術実証チーム一同心から感謝します。再使用観測ロケットを早期に開発・運用し、将来宇宙輸送システムの日も早い実現に貢献したいと思います。

(宇宙飛翔工学研究系 准教授 小川博之)

イプシロンロケット

・寄附総額 273万6900円 ・使用実績 194万8700円

イプシロンロケットのシステム試験費の一部として使用

皆さまからのご寄附のおかげで、2013年夏のイプシロンロケットの試験機打上げに向けて、出来上がった機体の工場内最終確認となるシステム試験を着実に進めることができました。イプシロンロケット打上げ成功に向けて全員一丸となって頑張っています。

(イプシロンプロジェクトチーム一同)

宇宙教育(宇宙教育センター) ・寄附総額 109万3900円 ・使用実績 78万3700円

宇宙教育活動で使用するテキスト教材の制作費用として使用

全国の子どもたちが宇宙に接することでいろいろなものに興味を持ち、積極的に取り組むようになるものとして、JAXA 開発の宇宙教育教材に触れる機会を増やすことがベストと考え、教材の増刷に使わせていただきました。ご支援ありがとうございました。

(宇宙教育センター長 広浜栄次郎)

ロケット・衛星・大気球関係の作業スケジュール(5月・6月)

	5月	6月
ASTRO-H	システム振動試験(筑波)	
BepiColombo	フライトモデル総合試験(相模原)	
惑星分光観測衛星	フライトモデル総合試験(相模原)	射場試験(内之浦)
はやぶさ2	一次啮合せ試験(相模原)	
S-310-42号機	啮合せ試験(相模原)	
大気球	平成25年度第一次気球実験(大樹町)	



イプシロンロケット 打上げへのカウントダウン③

フェアリング分離放てき試験

ほぼ連載のようになっていたイプシロンロケット構造系開発試験の紹介ですが、おそらく、これが最後になると思います。今回は最後を飾るにふさわしい、派手な試験を紹介しします。

3月末から4月上旬にかけて、兵庫県播磨にあるフェアリング開発メーカーの工場にて実施したフェアリングPM（試験モデル）分離放てき試験です。フェアリングの役割は、本誌3月号で紹介したので省略しますが、フェアリングの重要な機能として、役割を終えたらロケット本体から分離される必要があります。その際、ロケットや内部に搭載された衛星に迷惑を掛けないように、フェアリングは半分は

割れて外側に倒れます。その姿が貝殻（クラムシェル）に似ているので、クラムシェル開頭方式と呼びます。

今回の試験は、フェアリングがクラムシェルのようにきれいに分離されることと、分離時に発生する衝撃レベルの確認を主目的として実施したものです。同行したカメラマンが珍しいアングルから試験の様子を撮影してくれたので、その連続写真を掲載します。試験の結果、非常にきれいに開頭し、衝撃レベルも想定内に収まっていることが確認され、大成功に終わりました。

試験に使った試験モデルは射場でのロケット組立て練習に使うため、内之浦へ輸送しました。そして、実際に打ち上げる試験機用フェアリングは組立ての最終段階で、5月中旬の出荷を待っています。5月で構造系の大きな開発試験はほとんど終わり、6月から舞台はいよいよ内之浦に移ります。皆さま、これからも応援よろしくお願い致します。

（宇井恭一）



フェアリング分離放てき試験の様子

イプシロンロケットのマーキングデザイン

2012年の11月ごろ、イプシロンロケットプロジェクトの井元隆行氏より次のような依頼がありました。「機体のマーキングのデザインを考えてもらえませんか」と。一瞬「ん??」でしたが、そのときは「分かりました。やってみます」とあまり深く考えずに返事をしてしまいました。

引き受けたのはよいものの、さて何から始めたものやら……。これは重たい仕事を引き受けてしまったと後悔しつつも、まずは前向きにイメージを膨らませようということで、記憶をたどることにしました。幸いM-Vロケットの組立てやフライトオペレーションに加わっていた経験があるので、現場の様子や機体を整備塔から出すとき（ランチャ出し）の光景が記憶に残っています。そこで、まずはしっかりと思い出し、それらを下敷きに不鮮明ながらも湧いてきた機体イメージを重ねるような作業（といっても常に空想）をししばらく続けることにしました。そしてようやく出てきたのが、図のようなデザインです。

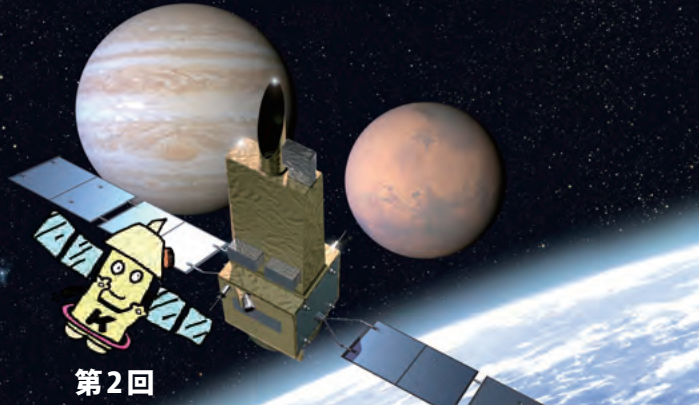
デザインの解説をします。まず下部の赤とグレー帯はお約束です。機体全長がM-Vより少し短くなるので、公開されている初期イメージより下側に帯を配置して機体全長が短くなった感じを抑えました。ノズル側から機軸方向に延びる太い赤線は、M-Vまで続いてきた固体ロケットシリーズの重厚な歴史を表し、これがイプシロン（EPSILON）に継承されていることを意味します。EPSILONの文字から頭胴部に延びる線は、この歴史から技術的なシフトがある（一段上がる）ことを意味して上側に配置しており、線が少し細くなっているのは、新型ロケットとしてスリム化（低コスト化）したことを表しています。細い線の方が長く

なっているのは、機体全体が機軸方向に伸びやかな印象となる効果を考えてのことですが、今後も末永くこの活動が続くことへの願いが込められています。星印は、このロケットが将来、惑星探査ミッションの打上げを狙っている意志表示です。アルファベットのIのところにすることで宇宙研（ISAS）との関係も意識しました。EPSILONの字体については遠くからも見やすいゴシック体を使うべきとのベテランの方の意見もいただきましたが、私は全体にシャープなデザインにしたかったので、あえて異なるものを選びました（グッズ販売も意識して?）。

気持ちを込めてロケットのデザインをしてみました。皆さん、いかがでしょうか？

（羽生宏人）





第2回

小さな衛星の大きな挑戦 惑星分光観測衛星の世界

極端紫外線で惑星観測を

山崎 敦

太陽系科学研究系 助教
SPRINT-A ミッションマネージャー

好きな色は何色ですか? 「極端紫外色」が好きな方はいませんか? 惑星の生い立ちが垣間見えるのですよ!! といっても人間の目では見えないのですが……。

極端紫外線と呼ばれる波長100 nm付近の紫外線で惑星圏をリモートセンシング観測するミッションが、「惑星分光観測衛星」(SPRINT-A: Spectroscopic Planet Observatory for Recognition of Interaction of Atmosphere) 搭載の「極端紫外線望遠鏡」(EXCEED: Extreme Ultraviolet Spectroscope for Exospheric Dynamics) です。今夏、イプシロンロケット試験機によって内之浦宇宙空間観測所から打ち上げられる予定で、高度約1000 kmの地球周回軌道から惑星を観測する計画です。この波長帯での観測は、惑星探査機での観測も数例しかなく、まだまだ新しい成果が期待される観測分野です。

太陽系の8つの惑星には、それぞれ特徴的な惑星圏(惑星本体と大気圏や磁気圏など惑星が支配する範囲)が形成されています。そのうち私たちの地球だけが、水と大気と温度に恵まれ、多種多様な生命体が育まれている惑星です。恵まれた惑星圏の成立条件を考究するときEXCEEDが本領を発揮します。そのためには現在の惑星圏環境の多様性を知

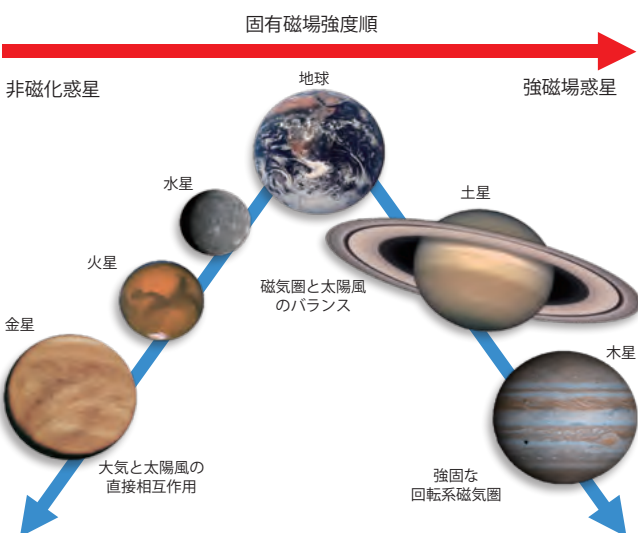


図 惑星の固有磁場強度順

惑星のサイズは、土星と木星は約1/10の縮尺、そのほかは同じ。

ることが重要です。惑星圏の外側の宇宙空間は、太陽風と呼ばれる超音速のプラズマ流に満たされています。惑星圏と太陽風のバランスが重要要素で、太陽表面での爆発現象に起因する突発的に強くなる太陽風に対する惑星圏の応答が鍵となる現象です。

惑星を固有磁場の強度順に並べてみます(図)。両端に位置する金星と木星の惑星圏環境が最も差があると考えられるため、多様性の探究には必要な観測対象となります。地球は中程度の強度の磁場を有し、太陽風と絶妙なバランスで地球圏を形成しています。少し太陽風が強くなると磁気圏が破られ、太陽風プラズマが侵入し、オーロラや磁気嵐などの現象が活発になります。金星の固有磁場はほとんどゼロで、形成される金星圏は小さく、大気圏・電離圏が太陽風プラズマと直接相互作用しています。太陽風の強弱と金星の大気散逸量の増減の関係が、金星圏を理解する鍵となります。木星の固有磁場は太陽系最大で、木星圏は太陽半径の10倍の大きさを持つ強固な磁気圏です。その最内部の衛星イオ軌道に位置するイオ・トーラスへの太陽風の影響度合いから木星圏が垣間見えます。

SPRINT-Aの開発の課題は、時短でした。2009年から本格的な開発を始め、4年間で衛星を完成、速やかに観測運用に入り科学的成果を挙げることを至上命題として進めてきました。中型科学衛星では10年程度かかることを半分の5年で達成することになります。開発スケジュール的には厳しくなりますが、これこそが小型科学衛星の真骨頂です。科学研究の世界動向を踏まえた課題をタイムリーに解き明かすことで、真っ先に科学に貢献することが可能となります。EXCEEDも開発当初から、高い太陽活動期間中に地球軌道から惑星観測が可能な時期をピンポイントで狙っています。衛星打ち上げが半年早くても半年遅くても、満足する科学成果を挙げることはできません。

一方、小型と銘打っているものの譲れない箇所もあります。実は、SPRINT-Aは小型科学衛星ながら背が高い衛星です。地球軌道から惑星観測をするための5秒角という高い角度分解能の観測要求が理由で、必要な主鏡の直径と焦点距離で決断されました。こればかりは短縮することはできませんでした。ミッション部の開発は独自に、というインターフェースを持ったSPRINTバスの利点の一つだと感じています。

次の年末年始は木星の観測好機、衝の期間です。EXCEEDサイエンスチームが提案したハッブル宇宙望遠鏡とX線天文衛星「すざく」との協調観測が決定しています。さらにハワイなどにある複数の地上望遠鏡施設にも協調観測を提案中です。すべてが採用されると、SPRINT-Aを中心に5つの人工衛星と6つの地上望遠鏡で、X線から赤外線にわたる広範囲の波長域での木星観測包囲網が張られることになります。地上からもマイナス3等星に輝く木星が夜間中ずっと見えるので、皆さんも夜空を見上げてこの観測網の一員に加わっていただければ幸いです。夏生まれのはずなのに風になびくマフラー(=大気散逸)と、最先端技術を駆使しているのに20世紀生まれのフラフープ(=イオ・トーラス)を身にまとった、とんがり帽子(=フード付き望遠鏡)の「きょくたん」をマスコットキャラクターに持つSPRINT-Aをごひいきにお願いします。(やまざき・あつし)

ヒューストンで水ロケット

宇宙飛翔工学研究系 助教 竹前俊昭

宇宙教育センターは、米国ヒューストンにて開催されるSEEC(宇宙を教育に利用するためのワークショップ)に毎年参加している。SEEC開催中の2月8日、突然メールが来て、1ヶ月後にここヒューストンで水ロケットを教えてくださいという依頼を受けた。年度末で何か予定が入っているだろうと思ったら、その期間は幸か不幸(?)か予定の谷間に当たっていた。ということで、3月9日に日本語補習校で中学生と水ロケットを飛ばすことになった。

普段はヒューストンの各学校に通っている日本人の子どもたちだが、土曜日は補習校に通い、帰国したときのギャップを埋めるべく勉強している。JAXAヒューストン駐在事務所職員のお子さんたちも、この補習校に通っている。職員の方々は、JAXAとしてまた保護者としてロケットや宇宙をテーマにした支援ができないか、常々考えておられたそう。そして理科実験の授業で水ロケットを取り上げることになり、学校の先生から専門家による解説と打上げ支援をしてほしいという依頼がSEECで現地に行っていた宇宙教育センター職員に入り、授業支援が決まったのだ。

当日はまず、中学1、2年生のクラスでロケットの基礎知識の授業や飛ぶ原理の実験をした。1、2年生は2013年度の理科の授業で実際に水ロケットをつくって飛ばすことになっており、それにつながる予習的な授業という位置付けだ。フィルムケースと発泡入浴剤を使ったロケットが飛ぶ原理の実験は、どこで誰に対して行っても間違いなく受ける。生徒たちは、いつ飛ぶか分からないドキドキ感と、予想以上の高さまで飛ぶことにびっくりしていた。

そして中学3年生による水ロケットの打上げ実験が行われた。水ロケットは事前につくって飛ばすだけの状態になっていたのだが、ペットボトルは2リットルの太いもの、ノーズコーンも短く、尾翼も小さいの、

ずんぐりしたロケットだった。これは飛行不安定でありよく飛ばないだろうと感じたが、とにかく今回は自由にやってみて来年度で改善していく計画だと伺っていたので、そのまま飛ばすことにした。飛行結果は思った通り良くなかったが、つくった本人たちは結構楽しんで満足した様子だった。ギャラリーも多く、小学校低学年から中学生まで、ほぼ全校生徒が見学に来るというすごい状態になった。特に低学年の子どもたちは歓声を上げて驚き、自分たちもやってみたいと、さっそく先生にせがんでいた。2013年度からは基礎知識を学習した後につくって飛ばすので、もっとよく飛ぶだろう。毎年そうやって発展していったものである。

放課後は小学校の先生方に対してレクチャーを行った。見学した子どもたちから出る疑問や要望に応える準備をしておこうというのである。ロケットが飛ぶ原理や水ロケットの安全管理の話をした。フィルムケースの入手が年々困難になっているのは日米共通の悩みだが、アメリカではそもそも発泡入浴剤が売られていない。錠剤タイプのとあるキャンデーに炭酸飲料を垂らすと発泡するらしいので、それを利用するのがよさそう。今回は日本のやり方を紹介してきたが、海外でもその土地でやりやすい形にアレンジして、宇宙を使った教育活動が広がってほしいと思う。

翌日の日曜日は、駐在事務所の方に勧められたHouston Livestock Show & Rodeoへ、ヒューストンに住む古くからの友人一家と見学に行った。このイベントは75年以上の歴史があり、規模も世界一というだけあって広大で内容も多彩だった。教育的な内容も豊富で、特に驚いたのは出産間近の家畜をそのまま展示していることだった。運が良ければ出産の瞬間を見学できるし、生まれたばかりのウシやブタ、ヒツジ、ヒヨコなどに触れられるのである。さすが酪農が盛んな土地柄だと感心した。笑ってしまったのは七面鳥のブースで、ここだけは説明パネルや写真のほとんどが料理(丸焼・ロースト)という、七面鳥本人にとっては何ともいたたまれない展示になっていた。そこにいた七面鳥が元氣なく見えたのも、気のせいではないだろう。夕食は地元で人気の大衆食堂っぽいところへ連れて行ってもらった。ちょうどザリガニ(Crawfish)のシーズンで、食べてみたのだが、スパイスを効かせてゆでたそれは意外と美味。ただ量は半端なく、バケツ一杯に入って出てきた。でもビールによく合い、気が付いたら40匹ぐらい食べてしまっていた(笑)。

自分にとってヒューストンというと一大宇宙センターのイメージしかなかったが、大地に根差した豊かな土地なのだと認識を新たにできた貴重な機会だった。

(たけまえ・としあき)



水ロケット打上げの様子



健在！「はやぶさ」がつないだ 日本映画界の絆

菊池淳夫

東映株式会社
『はやぶさ 遙かなる帰還』
プロデューサー

東映版『はやぶさ』のクランクイン前、2011年4月中ごろのことだったと思う。東日本大震災から、まだ1ヶ月。的川泰宣先生と、相模原キャンパスの管理棟2階で打ち合わせをしているときだった。大きな余震があった。どうして「はやぶさ」は地球に戻ってきたのだろう、ということをも的川先生に伺っているところだった。

もちろん、探査機として地球に帰還することが当初からのミッションであった。だが、幾多の予期せぬ事態の発生。それに対するプロジェクトチームの努力によって、帰還は「奇蹟」と呼ばれた。実際、「はやぶさ」帰還後の検証で、どう考えても「奇蹟」としか呼べないことが探査機の中であつたと伺った。

川口淳一郎先生の言葉をお借りすれば「そうまでして、君は」戻ってきてくれたのだろうか？「もしかしたら、『はやぶさ』は、震災を予想して、被災者たちに希望を与えるために、帰ってきたのではないでしようか」。的川先生がおっしゃった。

そのころ、JAXAのある先生から相談を受けた。「はやぶさ」に関する講演会を頼まれているのだが、この時期に行ってもいいものだろうか……。同じころ、東映でも『仮面ライダー』の撮影を続けるかどうか議論が交わされていた。今、テレビの口ケなど行っているのか？だが、被災地の子どもからの1本の電話で製作は続行された。

「ライダーは、津波に負けないんですね」

その先生は、被災地に近い場所で予定通り講演会を行い、地元の方々に感謝されたとのことだった。

もはや「はやぶさ」は、科学的成果という枠を飛び越え、日本人の心の支え、「希望」の象徴となっていた。そこに東映

をはじめ、多くの映画会社が飛び付いたのである。

「はやぶさ」の偉業を描きたい。プロジェクトチームの努力を讃える映画にしたい。どんなきれいごとを言っても、映画はショービジネスである。感動の事実を映画にすれば必ずもうかるに違いない。根っこにそんな不純な思いを持った日本中のテレビ・映画会社10社がJAXAに映画化を提案した。最終的には20世紀フォックスと共同企画のアグンinc、松竹、そして弊社の3社が製作を決定した。

同じ内容を何度も取材。撮影時期もまちまち。本当にご迷惑を掛けたと思う。それでも「はやぶさ」を一人でも多くの人に知ってもらいたい、という思いで協力していただいた、宇宙研広報をはじめJAXAの関係者の皆さまには、ただただ感謝するしかない。

映画製作終了後、3社のプロデューサー



3社の映画タイトルがプリントされた関係者限定のTシャツ。我々の絆の象徴でもある。

が顔を合わせるようになった。映画業界は縦割り社会で、相互に交流することがないのだが、宇宙研広報関係者の音頭取りで「打上げ」をすることになった。各社、予算や興行成績などシビアなしのぎ合いをする間柄である。いわば敵同士、こんな機会はめったにない。酔いが回ったらのしり合いか、殴り合いか。そんな覚悟で町田の飲み屋に赴いたのだが、「はやぶさ」とJAXAの皆さんへの思いを呉越同舟のプロデューサー同士が語る同窓会のような場となった。

以下は、ここだけの話にしていきたい。

現在、松竹と弊社での共同企画が進行中である。またアグンと東映でも、共同で映画をつくるべく、準備中である。過去、会社の枠を超えて企画を行うことはほとんどなかった。気が付けば、これも「はやぶさ」がもたらしてくれたものである。「はやぶさ」は日本映画界も変えてくれたのだ。「はやぶさ」は、科学の枠を超え、人間の想像もつかないところに、間違いなくいくつもの「贈り物」を届けている。

弊社の『はやぶさ 遙かなる帰還』は、日本クリエイション大賞という、優れた文化事業を賞する催しで、映画部門3位に入賞した。日本映画部門では1位という快挙である。文化事業部門では、被災地に桜を植える運動をしているNPO法人が受賞をされた。津波到達地点に桜を植樹することで、被災者を慰めると同時に、未来に震災を語り継ぐ。そのような志を持つ事業と共に賞を頂けたことを、誇りに思う。

そしてあらためて、三つの映画にご協力いただいたJAXAの皆さまに感謝致します。（きくち・あつお）

「こんなことができたらいいな」を形にしていきたい

基盤技術グループ 開発員

伊藤文成

—— 基盤技術グループでは、どのような仕事をしているのですか。

伊藤：人工衛星やロケットの機械環境試験に関わる試験方法・解析手法の開発を担当し、実際に試験も行います。今日は、小惑星探査機「はやぶさ2」の搭載機器の振動試験を行っています。宇宙研で初めて携った科学衛星が「はやぶさ」だったので、とても感慨深いです。

—— 機械環境試験とは？

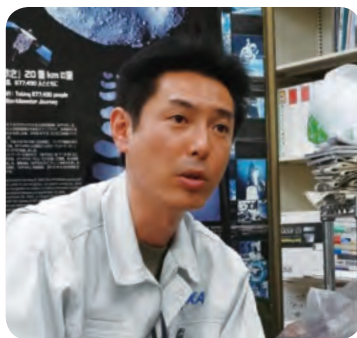
伊藤：人工衛星やロケットは、打上げ時に激しい振動や衝撃を受けます。その振動で壊れてしまったりは困ります。そこで、それらがどのような揺れ方をするのかの振動特性を調べ、また打上げを模擬した振動や衝撃をかけてそれに十分に耐えられるかの耐振動性を確認します。そうした振動・衝撃試験や、人工衛星やロケットの姿勢を正しく制御するための質量特性試験を、機械環境試験と呼びます。この試験に合格しなければ、打ち上げることはできません。

搭載機器の単体試験、すべての機器を組み上げた状態でのシステム試験など、1機の衛星だけでも試験の回数は膨大です。今は、今年夏に打上げ予定のイプシロンロケットと惑星分光観測衛星、さらに水星磁気圏探査機、X線天文衛星ASTRO-H、ジオスペース探査衛星、観測ロケットなどの試験も動いているので、スケジュールがびっしり詰まっています。

—— 機械環境振動試験の難しさは？

伊藤：試験装置には、周波数や加速度などさまざまな物理量を変換したり換算したりした数値を手動で設定しなければいけない箇所がたくさんあります。設定を間違えたら、機器に想定以上の過剰な振動や衝撃がかかってしまい、壊れてしまう可能性があります。また、正確に計測できないと不具合を見逃してしまうことになります。そのようなことが起きないように、数百チャンネルすべてについて一つ一つ丁寧に、しかも一日に何度も設定を確認していく必要があります。

スケジュールが詰まっているので、早く次に進みたいと思ってしまったりもします。しかし、焦りは禁物。どんな状況でも平常心で、準備と自信が完全に整うまで確認を重ねることが大切です。それでも現場は日々トラブルの連続です。今朝も、試験装置の電源を入れたのに立ち上がらず、焦りました。午後からは復旧作業です。その日のうちに解決しなければ、どんどん予定がずれてしまいますから。



いとう・ふみなり。1972年、横浜市生まれ。東海大学工学部工業化学科卒業。総合研究大学院大学物理科学研究科宇宙科学専攻博士後期課程単位取得退学。機械設計技術者として企業勤務を経て、2001年に宇宙科学研究所入所。2008年より現職。

知恵を出して24時間以内に何とかする。宇宙研の伝統です（笑）。打上げ前の衛星フライトモデルシステム試験を無事終えたときは、ほっとしますね。

—— 子どものころから機械が好きだったのですか。

伊藤：ミニカーが大好きで、いつもいじっていましたね。図鑑も好きでした。特に好きだった『ドラえもん全百科』（1979年、小学館）を今日持ってきました。雲の中にプールをつくってしまう浮き水ガス、重力ペンキ、時間貯金箱……。こんなことができたらいいな、あんなものがあつたらいいな、と思いながら見ていました。私が7歳のときに買ってもらった本ですが、今は私の8歳と2歳の娘が楽しんで読んでいます。

—— 宇宙研への転職を決めた理由は？

伊藤：実は、募集を見るまで宇宙研という存在を知りませんでした。でも説明会で話を聞き、こんなことができたらいいな、あんなものがあつたらいいな、をたくさん実現できる場所だと思いました。入ってみると、想像以上に刺激的な職場でしたね。

—— 機械環境試験で、こんなことができたらいいな、ということはありませんか。

伊藤：振動試験では振動台の上に機器を載せて水平や垂直に振動させます。機器に想定を超える大きな力がかかったりシステムが緊急停止したりしないように、機器に取り付けたセンサーのデータを瞬時に計測・解析して振動を高精度に制御する必要があります。しかし、振動台に何も載っていない状態ではうまく制御できても、さまざまな特性を持った機器を載せ、さまざまな加振レベルで高精度に振動制御することはとても難しいのです。高精度な振動制御は、基盤技術グループ全体で取り組んでいる大きな課題です。それができれば、宇宙機の研究開発期間の短縮にも大きく貢献できます。

—— 今後やりたいことは？

伊藤：宇宙開発の中で、こんなことができたらいいな、あんなものがあつたらいいな、を形にしていきたいと思っています。今はワクワクしながらアイデアを温めています。

訂正：2013年3月号「東奔西走」で紹介しているスポイトロケットは、吉田武氏（京都大学工学博士）の創案をもとに筆者の菅雅人氏が発展させたものです。

ISAS ニュース No.386 2013.5 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 いよいよイプシロンロケットの打上げが近づいてまいりました。関連記事からも現場の様子が伝わってきませんか？『ISAS ニュース』を通じて開発現場の緊張感をお伝えできるよう、ネタ集めを続けたいと思います。（羽生宏人）

* 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

VEGETABLE
OIL INK