



「伝統的七夕ライトダウン」と夏祭りの様子

宇宙科学最前線

「ひので」衛星による 太陽研究の進展

太陽系科学研究系 准教授
坂尾太郎

はじめに

この原稿が出るころには、JAXAの新型ロケット「イプシロン」が打ち上げられていることと思います。イプシロンは7年ぶりに打ち上げられるJAXAの固体燃料ロケットですが、今から7年前の2006年に先代の固体燃料ロケットM-Vの最終号機で打ち上げられたのが、太陽観測衛星「ひので」です。「ひので」は可視光磁場望遠鏡（SOT）、X線望遠鏡（XRT）、極端紫外線撮像分光装置（EIS）という3台の望遠鏡を搭載し、打上げ以来7年間、私たちが目にしたことの無い太陽の新しい姿を見せて続けてくれています。

ここでは最近の話題から、その一端をご紹介しますと思います。

太陽の極域磁場分布の変遷

従来の地上からの観測では、太陽の極域には広がったごく弱い磁場しかないと思われてきました。この描像を一新したことは、「ひので」の大きな成果といえましょう。SOTは、0.2秒角の空間分解能を持つ可視光望遠鏡ですが、同時に、太陽表面の磁場の3次元情報（ベクトル磁場情報）を得ることができるという強力な特徴を持ちます。人の頭のとっぺんの様子がほかの人からはよく見えないのと同じように、太陽の極域は地球からは表面にほとんど平行な方向から見ることになるため、その様子はあまりよく分かっていませんでした。こんな悪条件をものともせず、SOTはその高い空間分解能を活かして、まるで真上から見下ろしたかのような太陽極域の精

密な磁場マップをつくることに成功しました(図1a)。これを見ると、驚くことに極域には、太陽黒点に迫る1000G(ガウス)もの強さを持つ単極性の磁場パッチが至る所に分布していることが分かりました。極域に分布するこれら「強磁場パッチ」からの磁力線は、太陽表面に垂直に近い方向に生えていますが、地上からの観測は、このような視線方向に垂直な磁場成分を精密に測定することは苦手です。高い空間分解能と、ベクトル磁場3成分を精密に計測できるSOTで、初めて極域の磁場分布の様子が明らかになったのです。

ところで、太陽の北極域・南極域の磁場の極性は、11年の太陽の活動周期のピークごとに入れ替わることが昔から知られています。例えば、それまで北極域が磁石のS極性を示していたとすると、N極性に反転するのです。今年2013年、太陽は活動周期のピークを迎えるといわれています。上述の単極性の強磁場パッチ(「ひので」打上げ直後は、北極域の磁場パッチの大半はS極性でした)がどのように振る舞って極域全体の極性が反転していくのか、「ひので」は毎月定期的に極域を観測することで、その過程を克明に観測し続けています。北極域では、N極性の磁場パッチが低緯度側から混じり始め、現在は極域全体にわたって両極性がほぼ均等に存在しています(図1a)。

図1bは、磁束(磁場の強さ)が 10^{18} Mx(マクスウェル、1 Mxは 10^{-8} Wb [ウェーバー])を超える磁場パッチを取り出して求めた、太陽極域の平均磁場強度の経年変化です。北極域では、2008年ごろにはS極性が優勢だったのに対し、その後、S極性の強磁場パッチの平均磁場が減少し続けており(強磁場パッチ

チの数が減ったことにより)、2014年ごろには北極域の極性は反転することが予想されます。ところが、南極域は「ひので」が観測を始めてからN極性の強磁場パッチによる平均磁場強度は若干減少してきていますが、引き続きN極性が優勢です。今の状態だと、南極域の極性が反転するのはあと何年もかかる見込みで、近い将来、太陽の北極・南極ともN極性を持ってしまうそうです。そうすると、太陽系全体にわたる太陽磁場の影響も大きく変わることになるかもしれません。

「ひので」が打ち上げられてから太陽は長らく活動が低調な期間が続き、前回(2009年まで)の活動周期は、通常の11年に対して、13年と長くなりました。この先、太陽の長期的な活動は低調になっていくのではないかとされています。極域の磁場は、次の太陽活動周期の「種」となる磁場だとも考えられており、これからの数年間、「ひので」による極域磁場の観測から目が離せません。

フレアを起こす磁気構造進化の解明

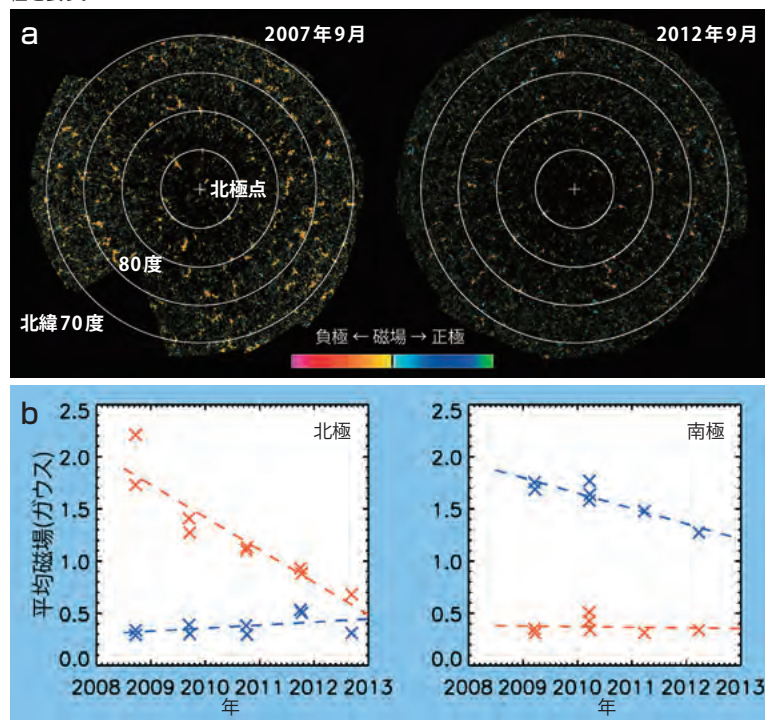
SOTによる太陽表面の精密なベクトル磁場計測は、太陽フレアがいつ、どのくらいの規模で発生するかといったトリガー過程の研究でも、大きな進展をもたらしています。フレアは太陽系最大の爆発現象で、電波からガンマ線までの電磁波や荷電粒子・中性子を太陽系にまき散らし、人工衛星を故障させることもあるなど、私たちの日常生活にまでも影響を及ぼします。しかしながら、フレアの発生と規模が何によって決まるのかを正しく理解しなければ、そのようなフレアの発生を予測することはできません。

トリガー過程の解明を目指して、スーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を使った大規模なシミュレーション計算が行われました。それにより、太陽の内部から表面へ浮上してくる磁場の方向と、上空に元からあった磁場の方向との関係に応じて、発生するフレアの規模が異なること、また、発生するフレアのタイプが2種類に分けられることが、分かりました。さらに、SOTが観測したフレアの浮上磁場・上空磁場の関係は、このシミュレーションの結果を支持していることが確認されました(図2)。これにより、フレア発生前の活動領域のベクトル磁場観測で何に注目するとその後に発生するフレアの有無や規模を知ることができるかといった、フレア発生予測への道が拓かれつつあります。

また、SOTのベクトル磁場データを境界条件として用いて、コロナ中の磁場の形状や時間発展を数値シミュレーションで求め、XRTが観測したフレアのプラズマ雲の放出や衝撃波の伝播、フレアループの形状を再現させるといった研究も進んでいます。「ひので」のもたらす高精度の観測データと数値シミュ

図1 「ひので」が捉える極域磁場の反転過程

a: 「ひので」SOTで観測した、太陽の北極点周辺の極性反転の様子。2007年は北緯70度以上の極域の全域にわたってS極性(オレンジ色: 図中では負極)の強磁場パッチが分布していたのに対し、2012年にはN極性(青: 図中では正極)の強磁場パッチが入り交じった分布となっていることが分かる。
b: 磁束が 10^{18} Mxを超える強磁場パッチを用いてつくった、極域の平均磁場強度の経年変化。青がN極性、オレンジがS極性を表す。



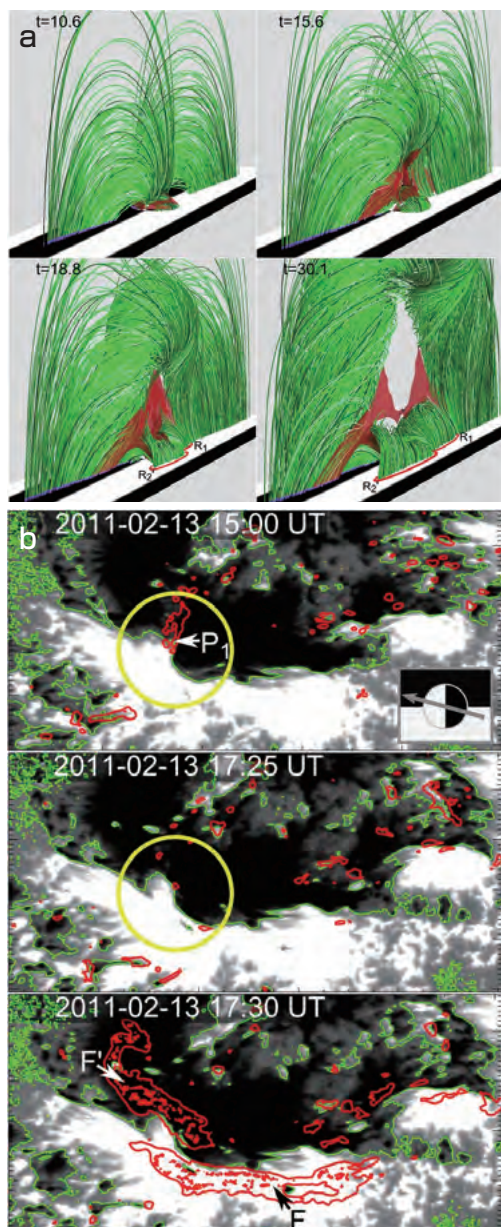


図2 「ひので」と数値シミュレーションで迫るフレアのトリガー過程

a: 計算機シミュレーションで再現された、太陽フレアでの磁力線（緑線）の時間変化の例。赤色の面は強い電流層を示す。
b: 「ひので」SOTで観測したフレア発生前の活動領域の磁場分布（最下段はフレア時）。グレースケールは太陽表面の視線方向の磁場分布。最下段の図中の赤線はフレアによる彩層の発光領域を表す。黄色で示した領域で、フレアをトリガーした磁気浮上が見られた。

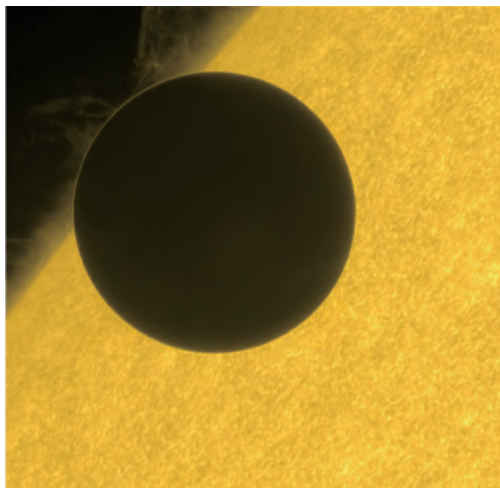


図3 日本時間2012年6月6日に発生した金星の太陽面通過の「ひので」SOT画像

レーションとを融合させた研究は、「ひので」による新しい研究の流れともいえます。太陽活動は2011年ごろから徐々に活発化してきていますが、今後3年くらいは引き続きフレアを頻発させるものと思われます。今までの観測結果を手掛かりとした、今後の「ひので」のフレア観測により、フレアのトリガー機構・発生機構の解明が進むことが期待されます。

むすび

「ひので」の打上げ以降、太陽活動は低調だったため、「ひので」からの成果は、太陽の静穏領域を対象にしたものなど、フレア以外が中心でした。しかし太陽活動が活発化しフレアの数も増えるにつれ、「ひので」によるフレアの観測例も増えてきました。どのような観測を行うと科学的に意味のある結果が得られるかといった、ノウハウの蓄積も進んでいます。フレアが引き続き活発に起きると期待される今後の3年間に、これまでのノウハウを活かした観測を行うことで、上述のトリガー機構をはじめ、フレアの理解が大きく進展することが期待されています。また、太陽極域の精密な磁場観測は、これまでにないまったく新しいデータをもたらすだけでなく、これを継続することで、極域の磁場反転がどのように進行するのかを捉えることができ、また将来、太陽の周期活動のメカニズムを理解するための貴重なデータとなることは間違いありません。

「ひので」は現在、2011年度から3年間の、1回目の運用延長期間にあります。来年度から3年間の運用延長をJAXA宇宙科学研究所の宇宙理学委員会に提案し、審査を受けています。今後数年間の観測によって、フレアや太陽の長期的な活動性をはじめ、まだまだ新しい発見が生まれるでしょう。これと並行して、「ひので」の成果をベースとした次期太陽観測衛星（SOLAR-C計画）の検討も進められています。

最後に一言。「ひので」は科学的成果だけでなく（査読論文は、ほぼ3日に1編のペースで出版され続けています）、広報普及の面でも、日食の可視光やX線での画像をはじめ数多くの画像・題材を社会に提供しています。昨年6月に日本から見ることできた金星の太陽面通過での、SOTの鮮明な画像（図3）を目にした人も多いかと思います。次回の金星太陽面通過は2117年だそうです。今から100年後、「前回の金星太陽面通過の画像」として紹介されるのは、この「ひので」の画像でしょう。そのとき、この画像はどんな感想を持たれるでしょうか？ できるだけ多くの「ひので」の成果が、100年後の研究界や社会に影響を与えていることを願いつつ、今後も「ひので」の観測運用を進めたいと考えています。

（さかお・たろう）

第12回「君が作る宇宙ミッション」(きみっしょん)開催

夏休みの恒例行事となった「君が作る宇宙ミッション」(通称: きみっしょん)が、今年も8月5～9日の5日間、相模原キャンパスを舞台に行われました。きみっしょんは、「自ら考え、自ら決断し、自ら作業する」という研究者の姿を、宇宙ミッション立案を通して高校生が身をもって学ぶ教育イベントです。今年も書類審査で選ばれた24名の高校生が全国から集いました。

きみっしょんでは、24名の参加者が4つの班に分かれて、それぞれミッション検討を行います。学

校も学年も異なる初対面の高校生たちを、議論がうまくかみ合う状態にするまでが、第一の関門です。そのため、スタッフはクイズや簡単なチーム競技を各種用意して、チームワークを固めます。最初はがちがちに緊張していた高校生たちも、その日が終わるころにはかなり打ち解けてきました。さっそくどのようなミッションにするのか、議論です。今年は、大学院生スタッフが、ブレインストーミングの手法を本格的に学んで、高校生の議論を誘導していきました。

2日目は、曽根理嗣准教授の特別講義で始まりました。先生の専門の化学電池のお話だけでなく、ご自分の学生時代の経験を熱く語っていただき、高校生は深く感じるものがあったようです。

2、3日目は所内見学など短時間のイベントを挟んで、朝から夜までみっちりミッション検討です。夕方に進捗報告会があるのですが、正直、3日目の時点では、ようやくテーマが決まったばかりでこれから何をしたらよいの???という状態の班もあり、少々心配していました。しかし、そこからのスパートがすごかった。24時間足らずの間に、各班どんどん検討を進め、かなり高度なところまでしっかりと具体的な結果を出していました。

4日目夕方に、最終発表会を行いました。宇宙研の先生方や、JAXAで実際のミッションを進めている職員などの前で、3日間の検討の成果を発表します。SELENE班は、現在追尾できていない1～10cmの小さなデブリ



高校生と大学院生スタッフでの記念撮影



ミッション検討も大詰めを迎え、高校生たちの議論も白熱。

を軌道上で発見、回収する衛星を提案しました。コストの検討が課題でしたね。MUSES班は、軌道上でシャボン玉を膨らませて巨大アンテナを製作するという提案。欲しいという声会場から上がりました。PLANET班は、一度に複数のローバーを着陸させて多地点、多種のサンプルを取得しようとする計画。ローバーへの強いこだわりを感じました。ASTRO班は、宇宙で出来たての料理を提供する調理システムのデザイン。無重量状態で炒め物をつくる調理器「ラリーシステム」は秀逸でした。発表

会では、高校生たちは前日とさえ見違えるような自信たっぷりの発表ぶり。さらに、質疑応答では他班の高校生から競うように手が挙がっていました。この模様は、ネットで生中継され、100人を超える人が見ていたようです。

高校生たちの多くは、今後も立案したミッションの検討をさらに続け、来年春の日本天文学会ジュニアセッションでの発表を目指しています。

高校生たちの成長は、大学院生スタッフの頑張りがあったからこそです。彼らにとっては、きみっしょんの運営自体が一つの大きなミッションなのです。本業の研究の傍ら、昨秋からミーティングを繰り返して指導の方針・方法を議論し、直前には自分たちでミッション立案のリハーサルまでして準備してきました。本番期間中は、高校生が帰った後も深夜まで反省会が開かれ、多くのスタッフが徹夜に近い状態で翌日の指導の準備をしていました。事務局を中心に、学年や立場を超えて、それぞれが良いと思ったことを積極的に提案・実行していく、素晴らしいプロジェクトチームでした。この経験が、大学院生の皆さんの将来にも大いに役立つことを信じています。

最後になりましたが、きみっしょんの実施に当たってご支援いただいた宇宙科学振興会、ミッション検討にアドバイスをいただいた先生方、またさまざまな形で協力いただいた職員の皆さま、生協・食堂・守衛の皆さまに厚くお礼申し上げます。(山村一誠)

「きぼう」における氷の結晶成長実験 Ice Crystal 2

8月4日未明、宇宙ステーション補給機「こうのとり」4号機が国際宇宙ステーション（ISS）に向けて打ち上げられました。「こうのとり」4号機には、日本実験棟「きぼう」で氷の結晶をつくるための実験機器が搭載されていました。実験名はIce Crystal 2といいます（代表研究者：北海道大学低温科学研究所 古川義純所長）。実は、「きぼう」が打ち上げられた2008年にも、古川先生が提案した氷結晶をつくる実験（Ice Crystal）を実



施しました。対流のない環境で繰り返し実験を行った結果、氷結晶の成長速度や、結晶先端の丸みなどが正確に分かり、多くの新しい発見がありました。Ice Crystal 2と銘打った今回の実験では、試料の水に「不凍タンパク質」を混ぜているのが特徴です。

極寒の海にいる魚が氷点下でも凍らない秘密、それが不凍タンパク質です。不凍タンパク質は、魚の体内でできた氷の核が、大きく成長しないよう阻害する働きを持つのです。こうしたことから、不凍タンパク質をアイスクリームに混ぜて舌触りを良くしたり、冷凍食品の品質保持に役立てたりといった応用利用がなされています。本実験で着目しているのは、不凍タンパク質を混ぜたときの氷結晶の

成長速度です。

実は、ただの水の場合、ある温度に設定すれば氷の成長速度は基本的には一定なのですが、不凍タンパク質を混ぜたときだけ、同じ温度設定なのに成長が速くなったり遅くなったりを繰り返すことが分かったのです。つまり、成長速度が振動しているようなのです。この振動成長は不凍タンパク質の水表面への取り込みが2段階で行われるためではないかと古川先生のチームでは考えていますが、成長

速度は環境条件に依存するため、対流により大きく左右されます。対流のない宇宙で、干渉顕微鏡や位相差顕微鏡を使って振動成長のデータを取得し、理論構築を行うことが、本実験の目的です。

さて、「こうのとり」は無事にISSに到着し、その後、実験機器が取り出されました。8月19日に、宇宙飛行士による機器のセットアップが行われました。この原稿を書いている8月22日には最初の機能チェックを実施。打上げ前にさまざまな試験を行い、確認をしたおかげか、何の問題もなく、ほっとしました。来週からいよいよ実験開始です。宇宙でも振動成長は観察されるでしょうか？

（吉崎 泉）

地元の夏祭り，JAXAブースも盛況

夏は天体望遠鏡で星空を案内するイベント出展依頼が集中する季節です。特に夏祭りは土・日に開催されることが多いのですが、広報・普及担当として地域連携を大事にしたいこともあり、可能な限りお受けしています。この8月は相模原市内のお祭りだけでも、大野北銀河まつり（3～4日）、中央地区ふるさとまつり（17日）、上鶴間地区ふるさとまつり（17日）、大野南ふるさとまつり（31日）の各会場に出掛けていき、JAXAブースを構えました。公園や学校の校庭にずらりと模擬店が並ぶ夏祭り。その一角にJAXAのコーナーを割り当てていただいているのです。

テントの中では子どもたちに人気の工作や、宇宙研の活動を紹介するパネル展示、見学案内のチラシなども置き、さまざまな情報を持ち帰っていただきます。そして

何より喜ばれるのは、天体望遠鏡を夜空へ向けて月や星を観る体験です。富士見小学校の校庭が会場となった中央地区ふるさとまつりでは盆踊りも行われ、炭坑節が流れる会場で夕空に出た明るい月に望遠鏡を向けるというシチュエーションでした。このときは地元アマチュアのグループ「星を観る会」の皆さんが天体望遠鏡を持ち寄って協力してくださり、和やかな雰囲気の中で星空を楽しむことができました。また、ほかのお祭りやイベントでは「星空公園」の協力により、多様な星空案内をしています。

夏は過ぎていきましたが、今後もさまざまな場所で星空を見上げ宇宙を身近に感じていただけるイベントが続きます。こうしたイベントはJAXA関係者と市民との貴重な接点となる場でもありますので、興味のある方はぜひご一緒に。（大川拓也）

「星の王子さまに会いにいきませんか ミリオンキャンペーン2」報告



2010年8月、JAXA i サマーウィーク「おかえり、はやぶさ～帰還カプセル展示」でメッセージが書き込まれた寄せ書きマットも画像データとしてメモリチップに記録され、「はやぶさ2」の再突入カプセルに搭載される。

2002年、MUSES-C(はやぶさ)プロジェクトで、「星の王子さまに会いにいきませんか ミリオンキャンペーン」を行いました。小惑星へのタッチダウンのときの目印になるターゲットマーカに搭載する名前を募集したのです。このときは、149ヶ国88万人分を超える名前が集まり、「はやぶさ」のターゲットマーカの1個に名前を刻んだシートを搭載

しました。

それから11年後の今年、「はやぶさ2」プロジェクトでは、「星の王子さまに会いにいきませんか ミリオンキャンペーン2」として、同様な募集を行いました。ただし今回は、ターゲットマーカに名前を搭載するだけでなく、地球に戻ってくるカプセルに名前・メッセージ・イラスト・写真などを記録したメモリチップを搭載します。つまり、まだ人は乗れませんが、名前だけでも小惑星まで行って地球に戻ってくる宇宙旅行をしようというわけです。

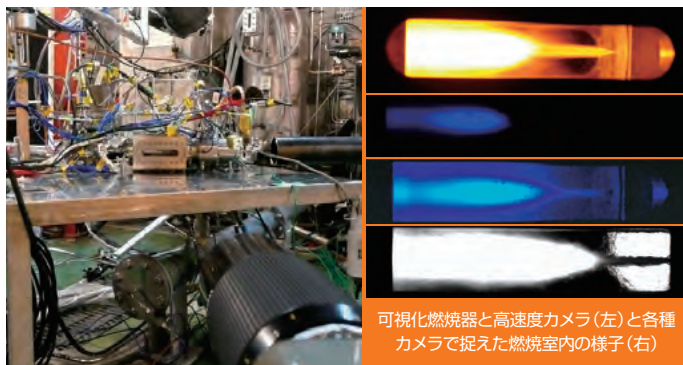
キャンペーンは、3月29日に公募予告を開始し、4月10日から8月9日までの約4ヶ月間にわたって受け付けをしました。個人の方だけでなく、学校のクラスや部活動、地域サークル、企業の部署など、さまざまなコミュニティー・団体の方から、メッセージや寄せ書きが届きました(中には、中高一貫校の全校生徒・教職員の皆さん約1000名分のメッセージがまとまって届いたりも!)。皆さんからのメッセージが届くたびに、そこに込められた熱い想いで目頭が熱くなるのを、事務局メンバーは感じていました。

皆さんに応募していただいた名前、メッセージなどをターゲットマーカやカプセルに搭載する作業は、現在、大詰めを迎えています。そして、それらを搭載してくれる「はやぶさ2」本体の作業もちろん、2014年度の打上げに向けてまさに佳境に入っています。

今回のキャンペーンでは、文部科学省をはじめとして多くの官公庁、全国の科学館・児童館、教育委員会、地方自治体、宇宙航空関連企業、各種メディア、海外の機関そして多くの個人の皆さんにご協力をいただきました。また、米国惑星協会にも「はやぶさ」のキャンペーンに引き続いて募集を手伝っていただきました。協力していただきました皆さまには、深く感謝したいと思います。また、応募してくださった多くの皆さんの暖かい応援にも感謝致します。(吉川 真)

あきる野実験施設の近況

ISASあきる野実験施設では、さまざまな推進系・輸送系の研究や開発が行われています。ここ数年は施設の利用者が急増し、現在では、固体ロケットをはじめ、ハイブリッドロケット、液体ロケット、一液スラスタ、ガススラスタなどの実験が入れ代わり立ち代わり実施されている状況です。また今年に入ってから、JAXA共通電話サービスとTV会議端末が導入され、これまで以上に業務がやりやすい(実験が中断しやすいともいえますが……)環境が整いました。さて、ここでは、4～8月に行った液体ロケットの実験を紹介します。



可視化燃焼器と高速カメラ(左)と各種カメラで捉えた燃焼室内の様子(右)

常温で長期間貯蔵が可能な低毒性の液体推進系の研究として、液化亜酸化窒素(一酸化二窒素)とエタノールを推進剤とするエンジンの噴射および燃焼に関する実験を行っています。その一環として、推進剤の噴

射や燃焼の様子を視覚的に把握して現象を理解するため、エンジン内部が観察できるよう石英ガラスが取り付けられた燃焼室を複数のカメラで撮影しました。液化亜酸化窒素は、常温では極めて安定な物質ですが(タンク貯蔵状態)、圧力を下げるとガス化しやすい傾向があるので(燃焼室内部への噴射時)、この性質を利用して効率の良いエンジン

を設計しようというのが、この研究における特徴の一つです。燃料／酸化剤の衝突パターンや噴射条件などを変え、推進剤の噴射の広がりや燃焼している領域の様子を高速カメラや光学フィルターを用いて観測しました。本推進系は、長期間の貯蔵が難しい極低温推進剤や有害性のヒドラジンと比べて、取り扱いが容易な点が特徴です。今後は、上記試験の成果を反映した、推力2kNクラスの噴射器と

耐熱性のSiC/SiC（炭化ケイ素複合材）燃焼器を組み合わせたエンジン実証試験を計画しています。

あきる野実験施設は自然に囲まれていて和やかな雰囲気ですが、実験では火薬、高圧ガス、危険物などを日常的に扱うので、気が緩むことがないよう安全に気を配って日々作業を行っています。

（八木下 剛）

幻の L-4S-6 号機

このところ内之浦宇宙空間観測所の開所50周年などの周年事業が続いている関係で、黎明期から初期にかけての日本の固体ロケットの調査を進めています。目先の業務も山積していますが、世代交代により失われつつある実物資料や証言を後世に遺すためにも、あまり後回しにもできません。ペンシルロケットについては昨年度の相模原市立博物館での企画展をきっかけに十数機の実機



L-4S-6機用の第4段モータケースとノズル。
ノズルの側面には小さく「L4S6」の刻印がある。

機を確認し、種類の同定を進めたところですが、これに加えてベビーやカップ、ラムダなどについての調査も進めています。最近特に進んだのは、幻のL-4Sロケット6号機の調査です。

L-4Sは、1970年2月に日本初の人工衛星「おおすみ」の打上げに成功した4段式の固体ロケットで、3段式のL-3Hに第4段を追加することで地球周回軌道への投入を目指したものです。軍事転用の懸念を払拭するために世界唯一の「無誘導方式」をとったほか、世界最小の人工衛星打上げロケットでもあります。1966年9月の1号機以来、途中漁業問題による1年半ほどの中

断もあり、4号機まではどれも軌道投入に至らず、さまざまな改良を加えられて5号機でようやく軌道投入にこぎ着きました。

6号機の準備も進められていたようですが、5号機の打上げ成功に伴ってキャンセルされ、フライト品が残りました。それらは開発を担当した各研究室などで個別に管理されてきましたが、その所在が明らかになりつつあります。特に

印象的だったのが、構造機能試験棟の一角で発見された第4段モータケース（燃焼試験済み）や、OBにより管理されていたノズル（同）、別の研究室で発見された精密加速度計など、幻の「おおすみ2号」の構成要素が発見されたことです。これらの資料の大部分については相模原キャンパス展示室で常時公開を行っています。予備的な調査結果については日本天文学会2013年秋季年会で報告を行いました。今後さらに聞き取り調査などを進め、より充実とした資料としたいと思っています。

（阪本成一）

ロケット・衛星・大気球関係の作業スケジュール（9月・10月）

	9月	10月
ASTRO-H		一次噴合せ試験（筑波）
BepiColombo		フライトモデル総合試験（相模原）
はやぶさ 2		フライトモデル総合試験（相模原）
イプシロンロケット試験機 / 惑星分光観測衛星	フライトオペレーション（内之浦）	
大気球	第二次気球実験（大樹町）	

宇宙学校「かのや」開催

7月14日(日)、鹿児島県鹿屋市のリナシティかのやにおいて「宇宙学校・かのや」が開催されました。ここ鹿屋市は、内之浦宇宙空間観測所から近く、イプシロンロケット打上げ予定が今夏ということで、宇宙への関心も高まっている中での開催となりました。

会場は90名の小中学生や保護者でいっぱいになりました。1時間目は阿部琢美先生による「青空の向こうの世界

～ロケットで身近な宇宙を調べる方法」。高度50～250kmの領域を調べるには小型の観測ロケットが適していることなどの説明がありました。ちょうど6日後の夜中に内之浦から打ち上げられる観測ロケットの実験概要も紹介、身近な場所でのことに参加者らの関心は高く、真剣に説明を聞いていました。

2時間目は竹前俊昭先生による「内之浦から宇宙へ～ロケット打上げの昔・今・未来」。ロケット打上げまでには失敗のないように振動や衝撃などさまざまなテストを重ねていること、2014年度打上げ予定の小惑星探査機「はやぶさ2」では目標とする天体にクレーターをつくり、地中の物質をサンプルとして持ち帰って生命の起源に迫る研究を行う計画であることの説明がありました。

質問の時間では、「ロケットが打ち上がる速度はどのくらいですか」「海に落ちたロケットは再利用しないのですか」など次から次へと質問があり、小学生とは思えないようなプラズマについての質問や先生たちにも説明が大変難しいものもありました。参加した高校生は「子どもたちがすぐ難しい質問をしているのに驚かされました」と話していました。終了後も先生に質問アタックをする参加者もいて、とても有意義な「宇宙学校・かのや」を開催することができました。

阪本成一校長先生をはじめとしてご尽力いただきましたJAXAの方々、素晴らしい時間をありがとうございました。

(株式会社まちづくり鹿屋 大浦健治)



イプシロンロケットについても紹介

広がりつつある伝統的七夕ライトダウン

今年の伝統的七夕(いわゆる旧暦の七夕)は8月13日(火)でした。相模原キャンパスの研究・管理棟のロビーにも2週間ほど大きな笹を飾ったところ、展示見学に訪れた方々がたくさんの短冊をつるしてくださり、途中で笹を何度追加しても、すぐにいっぱいになりました。健康や幸せの願い、将来の夢、宇宙への想いなどであふれていたのをご覧になりましたでしょうか。

伝統的七夕を楽しむ動きは、ここ数年で大きな広がりを見せています。無駄な灯りを消したりカーテンを閉めるなどして夜空に目を向ける恒例行事にすることを目指しているのが、JAXA共催の「伝統的七夕ライトダウン2013キャンペーン」です。今年も天文・宇宙・環境関連の団体などに所属する有志で推進委員会(委員長:阪本成一)を組織しました。はくちょう座にある美しい二重星アルビレオを各地のイベントで見上げる統一行動を呼び掛けたところ、個人・団体にも賛同の輪が広がり、さらにJリーグのアルビレックス新潟とも協力関係が実現するというまさかの展開。東京タワーをはじめとする全日本タワー協議会に加盟している各地のタワーも、この夜はライトダウンを実施してくださいました。今年新たにキャンペーンの呼び掛け人に加わった古川聡宇宙飛行士からもメッセー

ジがありました。

ここ相模原では、市民と大学の連携を推進している「ユニコムプラザさがみはら」が開催したイベントが話題となりました。相模大野駅近くのショッピングセンター「ポーノ相模大野」で親子向けの七夕セミナー(約200

名)を開いた後、屋上に立ち並ぶ飲食店の看板を20時に一斉に消灯。私たちが持ち込んだ天体望遠鏡を月や星へ向け、集まった数百人で夜空に想いをはせるひとときを過ごすことができました。

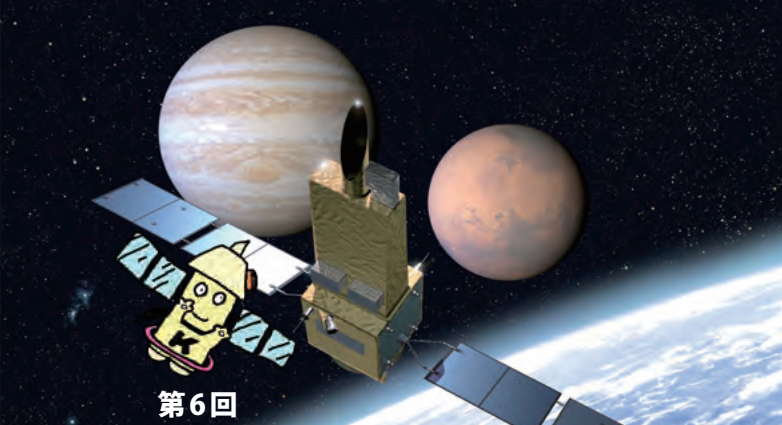
伝統的七夕は国立天文台を中心に呼び掛けが始まった取り組みですが、現在は全国的なキャンペーンに発展し、特にJAXAのアクティビティが期待されるようになっていきます。

伝統的七夕ライトダウン2013キャンペーン

<http://7min.darksky.jp/>

(大川拓也)





第6回

小さな衛星の大きな挑戦 惑星分光観測衛星の世界

衛星運用システム

永松弘行

科学衛星運用・データ利用センター 主任開発員

今回は、惑星分光観測衛星の運用システムについてお話しさせていただきます。

衛星運用とは、衛星に課されたさまざまなミッションを遂行するために、地上から衛星を監視・制御する活動全般を指します。運用のためには、以下の三つのシステムが必要になります。(1) 地上にあるアンテナ(図1) およびアンテナを介して衛星に送信する電波(コマンド)を変調する装置、衛星から受信する電波(テレメトリ)を復調する装置から成る地上局システム、(2) 衛星の軌道を決定・予測するための軌道力学システム、(3) 衛星の運用(観測)計画作成・検証、衛星へのコマンド送信・状態監視、テレメトリデータ受信・解析などを行うための運用システム、です。

衛星運用は、以下の三つのステップから成り立ちます。②が狭義の衛星運用といえますが、ここではその前後の作業を含めて衛星運用と捉えています。

①運用前の作業

- 軌道力学システムが衛星の軌道予測値を計算する。
- 運用システムは、どの地上局で運用するかを軌道予測に基づき決定する。また、衛星の目的に応じた運用(観測)計画を作成・検証する。
- 検証済みの計画に従い、②で送信するコマンド(ミッション機器の制御、姿勢制御用コマンドなどを含む)を作成する。

②運用中の作業

- 運用システムを用いて、①で作成したコマンドを衛星に送信する。
- 衛星状態をリアルタイムで監視し、衛星の健全性を確保する。
- 軌道決定に必要な測距データ(衛星と地上局との距離、方位角・仰角などの時系列データ)を取得する。

③運用後の作業

- ②で取得したテレメトリデータを解析し、異常がないか診断する。必要に応じて次回以降の運用計画に診断内容



図1 惑星分光観測衛星の主局・宮原 11m アンテナ

図2 運用性総合試験の様子



を反映する(①にフィードバック)。

- ②で取得した測距データに基づいて軌道力学システムが衛星軌道を決定・予測し、次回以降の運用に反映する。
- 運用報告書を作成し、関係者に通知する。

以上の作業を日々繰り返すことで、衛星の健全性が保たれ、また、ミッション継続、高品質の観測データ取得が可能となります。衛星打上げ後は、衛星とのインターフェースは事実上運用システムのみとなるため、運用システムの完成度が、衛星ミッションの成否に大きく関係する一要素だといってもよいかもしれません。

ISASの現行の衛星運用システムは、火星探査機「のぞみ」と併せて開発されたもので、同一のUNIXワークステーション上で複数衛星の運用をサポートするのが特長です。2010年打上げの金星探査機「あかつき」まで、衛星ごとに開発・改良され、大きなトラブルを起こすことなく維持・運用されています。

このシステムの長所を引き継ぎつつ、より効率的なシステム実現のため、汎用衛星試験運用ソフトウェア(Generic Spacecraft Test and Operations Software: GSTOS)の開発を数年前に開始しました。これは、ISASで今後打上げ・運用が予定されている科学衛星・探査機をターゲットとしており、ソフトウェアを機能ごとに開発し、そのソフトウェアの組み合わせ方をフェーズごと(単体試験、総合試験、運用など)および装置ごと(単体試験装置、衛星試験装置、衛星管制装置、QL装置など)に変えることによって、さまざまなフェーズで必要となるさまざまな装置を用いて体系的に運用システムを構築できることを目標としています。また、ワークステーションで稼働していたシステムを、より広く使われているPC上のLinuxで稼働するようにしたのも大きな特長です。

惑星分光観測衛星は、GSTOSのファーストユーザーです。惑星分光観測衛星向けのGSTOSは、衛星の試験フェーズから投入されています。そこで完成度を上げつつ、2012年10月より運用システムの構築を開始し、運用システムとしての試験を何度か行いました。最も大掛かりな試験が、2013年7月初めに行われた「運用性総合試験」です。この試験では、運用システム、地上局システム、衛星本体を接続し、本番の運用さながらの環境を構築して運用の成立性を確認することを目的としています(図2)。また、惑星分光観測衛星は、2013年3月に完成したばかりのイプシロン管制センター(Epsilon Control Center: ECC)にて初期運用を行います。初期運用フェーズが終了したら、徐々に相模原の衛星管制センターに運用をシフトし、定常運用に入ります。

衛星運用システムは、地上から静かに惑星分光観測衛星の活動を見守っていきます。(ながまつ・ひろゆき)

オーフスの会議と『コペンハーゲン』

宇宙物理学研究系 助教 市村 淳

6月にデンマークのオーフス大学で第11回ECAMP(原子・分子・光子に関するヨーロッパ会議)が開催された。分野の先端的な動向を広く知りたいと思い、この会議に参加した。ヨーロッパ物理学会(42の国別物理学会の連合体)が主催する会議であるが、日本やアメリカなどからも多数の参加者があった。

オーフスはユトランド半島の東岸に位置し、首都コペンハーゲンに次ぐデンマーク第二の都市である。コペンハーゲン空港でプロペラ機に乗り換え40分でオーフスに到着する。旧市街には10世紀に創建された大聖堂がそびえ、街並みはバルト海交易の拠点として栄えた歴史を感じさせる。木星の衛星イオの食のデータから光速速度を見積もったことで知られる17世紀の天文学者レーマーが生まれた町でもある。

会期中、運河沿いのホテルに投宿し歩いて大学に通った。キャンパスは広大で起伏に富み、小川が流れ木々が美しい。犬の散歩もよく見掛けた。会議は、池に面した講堂と解剖学科の教室を使って行われた。

会議では約80件の口頭講演と400件近いポスター発表があった。これらは、プログラム上、20のトピックスに分類されている。「原子分光学」や「電子衝突」といった“古典的”な分野も当然含まれるが、それに加え、「超高速力学とアト秒物理」「コヒーレント制御」「原子干渉計と原子時計」「縮退量子気体」「量子情報と空洞量子電磁力学」というような新しい流れを示すキーワードがずらっと並ぶ。

強い印象を受けたのは、このような研究動向の到達点を示すプレナリー・セッションの講演だった。2012年度ノーベル物理学賞を受賞したアローシュは、空洞中の光子の量子状態を破壊せずに観測し操る実験を紹介した。これは、量子力学の揺籃期に議論された思考実験(シュレーディンガーの猫)に関係している。また、ハーバード大学のハウは、量子凝縮体の中で光パルスを減速し止

め物質波に転換するという驚くべき実験を紹介した。

ところで、デンマークの物理学者といえば、何といってもニールス・ボーアの名声が高い。今年は、ボーアが量子論的な原子模型を提案してから100年になる。それを記念するさまざまな催しが各国で行われている。デンマークで開催されたこの原子物理の会議でも、ボーアに関係する行事が用意されていた。

初日の夕方、歓迎レセプションの後、市内のホールで会議参加者のために戯曲が上演された。マイケル・フレイン作の『コペンハーゲン』である。ロンドン、ニューヨーク、東京など世界各地で上演され評判になったものだが、筆者はうかつにも今回初めて知った。

この戯曲は、第二次世界大戦の最中、1941年9月にウェルナー・ハイゼンベルクがコペンハーゲンに赴きボーアに会ったという、実際に起こった事件を題材にしている。しかし、ハイゼンベルクが何を意図してボーアと会い、二人で何を話したのかは謎とされている。その解釈や後日談をめぐって多くの研究や評論が発表され、今も論争が続いているようだ。

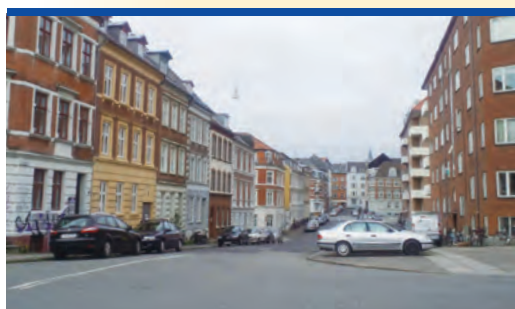
戯曲の登場人物はボーア、ボーア夫人(マルグレート)、ハイゼンベルクの三人。舞台装置はいす以外に何もなくて、すでに死者となっている彼らの会話だけで劇が進行する。時に現在形、時に過去形で語り、史実とフィクションが絡みながら物語は進む。あのとき何があったのか、それぞれの立場で記憶を呼び戻し再現しようと繰り返し試みるが、議論は擦れ違っていく。

いかんせん、英語力と予備知識の不足でせりふを十分に理解することはできなかったが、俳優の演技から臨場感が伝わり引きつけられた。『コペンハーゲン』は日本語に翻訳され出版されている(小田島恒志 訳、ハヤカワ演劇文庫)。帰国してから通読し興味が広がった。

この会談の時点で、デンマークはナチス・ドイツに占領されていた。戦争が勃発する直前に核分裂反応が発見され、ボーアはすぐに理論的解釈を与えている。一方、ドイツでは“ウランプロジェクト”と呼ばれた秘密組織がつくられ、ハイゼンベルクは研究開発の実質的なリーダーだった。二人の会談は、監視と盗聴の中で国家反逆罪に問われる危険を冒す極めてデリケートなものだった。

ハイゼンベルクはボーアの子弟子であり盟友だった。1920年代、二人は量子力学の建設に中心的な貢献をしている。その物理的解釈は、ハイゼンベルクの不確定性原理とボーアの相補性原理を軸として与えられ、“コペンハーゲン解釈”と呼ばれた。フレインは、「戯曲に出てくる“不確定性”の一形態として、人間の記憶の不確定さ、あるいは歴史的記録が確定的にはなり得ないということがある」と述べている。

ボーアは、晩年、複雑な関係の修復を図るべく何度かハイゼンベルクに手紙を書こうとしており、未投函の草稿が残されている。話し合いの機会は結局なかったとされている。(いちむら・あつし)



オーフス大学のそばの街並み。建物の高さがそろっている。わずかに傾斜のある道を登っていくと大学のキャンパスにたどり着く。



宇宙 × エンターテインメント

重定菜子

テレビ東京
制作局プロデューサー

まだ小学校に上がる前、地球が宇宙に浮かんでいると知って、しばらく不安でたまらなかった。疑問は何でも父親が解決してくれると信じていたのに、その父すら宇宙は果てがないなどと言うので、途方に暮れて、さめざめと泣いた。なぜみんな、自分たちがどこにいるのかも分からず、平静でいられるのだろうと。

しかし、しばらくするとそのことは忘れ、自分も平気で暮らしていた。

大人になりテレビ局に入社し、バラエティや音楽番組を制作し業界どっぷりだった私が宇宙に再び興味を持ったのは、2009年の暮れ。野口聡一宇宙飛行士が国際宇宙ステーション(ISS)長期滞在中に日本人として初めて宇宙で新年を迎えると聞き、ダメもとでJAXAへ年越し番組の宇宙からの出演を依頼したことに始まる。

出発直前の野口さんにお話を伺いにヒューストンへ。初めてお目にかかる宇宙飛行士は、想像以上の風格、知性、人間的魅力があり、その話の面白さに夢中になった。宇宙から見た地球の美しさについて、地球が一つの生き物のように感じられまるで対峙しているようだったと伺い、自分も宇宙から地球を見てみたいと強く思った。

年越し番組を無事オンエアし、ISSの野口さんへ番組企画書を送り、滞在中に地球と宇宙をつなぐ生放送の音楽番組「What a Wonderful World」をつくった。野口さんが宇宙からtwitterで送り出す地球の写真は、どれも驚くような美しいものばかりで、それを世界中の人たちが同時に見、毎日感動を共有していた。それをテレビで表現したくて、ニューヨークの坂本龍一さんとISSの野口さんをアマチュア無線でつないでみたり、地球の写真でつくったバーチャルセットでミュージシャンたちにセッションしてもらったり……。

その番組が偶然、毛利衛宇宙飛行士の

目に留まり、褒めていただいた。それまで宇宙関連番組は、NHKの科学班の方々がつくるもので、テレビ東京、まして私などが手を出していいものではないと思っていたが、とても勇気づけられた。毛利さんはこうもおっしゃった。少ない予算で知恵を絞ってこれまでにないことをやろうとするテレビ東京の番組づくりは、日本の宇宙開発に似ているよ、と。

調子に乗った私は、これまでなかった宇宙もののレギュラー番組をつくろうと画策した。けれど自信がなかったので、まずは5分枠で。それが2年半続いている「宇宙ニュース」。現在は野口さんにアンカーを務めていただいている。

番組の始まったころ、twitterのタイムラインに驚くべき写真が流れてきた。エストニアの全球型プラネタリウムでガラスのステージから地球を見下ろしている日本人の姿。野口さんの話していた“宇宙から地球を見る”ってこんな感じかとハッとした。

エストニアのタルトゥにあるその科学館



世界初の移動式全天球宇宙体感シアター「SPACE BALL」

へ行き、館長にお話を伺った。知性と母性あふれる女性、ティューさんは言った。これまで宇宙は地上から見上げるものだった。だからプラネタリウムは半球型でよかった。しかし、今や何百人もの飛行士たちが宇宙へ行く時代。先進的科学館で宇宙を表現するには全方向の視野、つまり全球型のプラネタリウムが必要だ、と。

彼女のこれまでにない発想を引き受けた奇才、大平貴之さんはとにかく興味深い人物で、日々驚かされ続けている。一緒に2年越しで、SPACE BALLという世界初の移動式全天球宇宙体感シアター、宇宙を旅する感覚を味わえる巨大シミュレーターをつくった。場所とお金の折り合いがつけば、どこでも開催できる優れもの。仮設であるのにその技術の詰め込み具合はものすごいことになっている(東京・豊洲のIHIビルで11月17日まで開催中。ご覧いただきご意見いただけると光栄です)。球体シアター SPACE BALL、宇宙を表現する一つの新しいデバイスとして浸透していくことを願っている。

カール・セーガン博士は『COSMOS』日本版の前書きで、「天然資源をほぼ持たない日本は、科学と技術に国民の未来をかけている。教育と知識と計画に力を入れ技術開発に貢献し、世界に認められた唯一の国である。」と記し、宇宙開発分野での今日の日本の活躍を、四半世紀前に予告していた。

この分野で仕事を始めて日々感じるのは、宇宙開発に関わる人たちの真摯さ、情熱、そして冷静さ。子どものころに感じた宇宙への畏怖。その先を知るべく一步步前に進み続けることで人は冷静さをもてるのだろうか。もっと、ずっと、先に進める世の中であってほしいと心から願う。そして宇宙×エンターテインメントという分野で、私もその一端を担うことができれば幸せです。

(しげさだ・なこ)

小さな信号も見逃さず準備を！

宇宙飛行工学研究系 教授

石井信明

—— 金星探査機「あかつき」の軌道計画を担当されています。

石井：「あかつき」は2010年5月に打ち上げられ、その年の12月に金星の周回軌道に入る予定でしたが、軌道投入に失敗してしまいました。現在は2015年に再び軌道投入に挑戦できる軌道を飛行中です。私たちは今、「あかつき」からのどんな小さな信号でも見逃さないように毎日、見守っています。あのときの黄信号に気が付いていれば対策を取れたのに……となったら、とても後悔するでしょう。そのようなことがないように、細心の注意を払う。今の私たちにできるのは、それだけです。

—— 軌道投入に失敗したとき、どのように感じましたか。

石井：このようなトラブルは宇宙研の探査機で今までもありましたし、「あかつき」で想定していなかったかという点、そんなことはありません。私たちは失敗を嘆いているのではなく、原因を明らかにし、どうすれば金星の周回軌道投入に再び挑戦することができるかを、すぐに考え始めました。私が担当している軌道計画は、一刻を争います。もっといい軌道があるのではないかと計算に時間をかけていて、「一番いい軌道修正のタイミングは1年前でした」では取り返しがつきません。1日でも1時間でも早く、いい軌道を見つけて決断し、軌道変更を行う必要があります。それが難しいところですね。「あかつき」は、2011年11月に3回に分けて軌道修正を実施しました。

「あかつき」は、打上げから軌道投入まで約200日の予定が、約2000日に延びてしまいました。惑星探査ミッションでは何かトラブルが起きると、すぐに3年、5年と延びてしまいます。それほど宇宙は広いのです。その点では、焦っても仕方ありません。

—— 「あかつき」以外ではどのような仕事をされているのですか。

石井：観測ロケットの打上げを年に2回くらい行っています。観測ロケットは、搭載した観測機器によって、短時間ですが、地上から宇宙空間まで縦方向に観測することができます。小型のため、提案から1～2年で実現できるので、最新の技術を使ってホットなテーマの実験を行うことができるという利点もあります。

観測ロケットの打上げは、実は自主的に集まってきた人たちで支えられています。私も含めてみんな、その中で得られるものがあり、また自分の知識や経験を若い人に伝えることができることから、与えられた業務としてではなく自主的に参加しているのです。

—— この道に進んだきっかけは？



いしい・のぶあき。1959年、東京生まれ。工学博士。東京大学大学院工学系研究科宇宙工学専攻博士課程修了。1989年、宇宙科学研究所助手。同助教授などを経て、2006年より現職。

石井：小学生高学年になると新聞をパラパラ見るようになったものの、どの記事もよく分からず、面白くありませんでした。ただ、アポロの月面着陸や、日本初の人工衛星「おおすみ」の打上げの記事は、楽しく読んだことを覚えています。機械に触ることも好きでした。触るといって、壊

すのが好きでした。ネジがあると、その中はどうなっているのだろうと、外してみたくなのです。そして元通りに戻せなくなる。その点は、今もあまり変わっていないかな。

—— JAXAや宇宙研で、現在どのような問題があると感じていますか。

石井：進行中の科学衛星・探査機のプロジェクトが少ないですね。昔は、1年目、2年目、3年目といろいろな段階のプロジェクトが3～4個同時に進んでいました。年の違う子どもがたくさんいる感じです。年長の子で学んだことを、次の子に引き継ぐことができたので、同じ失敗を繰り返さずに済みました。しかし、今はプリプロジェクトという赤ちゃんばかりで、前の子の経験をうまく活かすことができません。プロジェクトの提案や決定、進め方を、見直すべきでしょう。早急に対応しなければ、宇宙研生まれの科学衛星・探査機が途切れてしまう危険もあります。

もう一つ、地上の産業の方が進んでいて、その技術を宇宙分野が取り入れているという流れを変えたいですね。宇宙分野では火薬や液体水素など危険なものを安全に扱う技術を培ってきました。今後地上でも、水素自動車などの実現のために液体水素の取り扱いが必要になってくることでしょう。そこで宇宙分野で培った技術を活かすことができると考えています。その点でも観測ロケットは重要です。観測ロケットの実験には大学生や大学院生、若い研究者がたくさん参加します。彼らは全員が宇宙分野に進むわけではありません。むしろ、さまざまな業界に進むことで、宇宙の技術が広がるきっかけになると期待しています。

—— モットーはありますか。

石井：どんな小さな信号も見逃さず、事前に心配しておくこと。心配し、対策を取っておいたことは起こらないものです。約800日後に迫った「あかつき」の軌道再投入についても、起きる可能性があることはすべて考え、万全の準備を整えて臨みます。

ISAS ニュース No.390 2013.9 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

イプシロンロケットの打上げ予定日の8月27日は大いに盛り上がりました。皆さんの期待が大きいことを思い知りました。8月27日は残念でしたが、イプシロン打上げと惑星分光観測衛星のミッションの成功を祈っています！ (小川博之)

* 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

