

太陽観測衛星「ひので」から見た太陽面を通過する金星。カルシウム（彩層）画像。

宇宙科学最前線

「超広角コンプトンカメラ」による 放射性物質の可視化に向けた実証試験

宇宙物理学研究系 教授 高橋忠幸

助教 渡辺 伸

ミッション機器系グループ 武田伸一郎

1通のメール

2011年3月11日に発生した東日本大震災は、我が国に大きな傷跡を残しました。大地震に伴う事故によって東京電力福島第一原子力発電所から放出された放射性物質が、国民生活に大きな影響を与えています。この放射性物質を、いかにして除去するかが、我が国にとって重要な課題となっています。

2011年4月初め、宇宙科学研究所に1通のメールが届きました。それは東京電力からでした。「宇宙でX線を観測する技術で、放射線の強いところ弱いところがどこか、広範囲にわたって一度に見分けることができないでしょうか」という内容でした。実は、私たちのグループは、X線天文学をさ

らに発展させ、硬X線やガンマ線と呼ばれる領域で新しい天文学を切り開くことを目指し、20年前から大気球実験や、X線天文衛星「すざく」、そして次のX線天文衛星ASTRO-Hを舞台にして、高感度ガンマ線センサーの開発を行っていたのです。震災が起こり、セシウムからの放射線が多くの人々の生活に影響を与えている現実を知るにつけ、私たちが開発してきたセンサーで何とか役に立てないかと思っていた矢先のメールでした。

高感度ガンマ線センサーで ガンマ線の飛来方向を知る

原子力発電所の事故により、ヨウ素131やセシウム134、セシウム137などの放射性物質を含んだ塵が広範囲に飛来しました。放射性物質とは不

図1 超広角コンプトンカメラの試作機



安定な原子核を含む物質のことを指します。そして、放射性物質中の原子核が崩壊して安定な原子核になる過程で、ガンマ線が放出されます。しかし、このガンマ線の強度が高いと体や環境に悪い影響を及ぼすのです。そのため、早急に放射性物質を含んだ塵を取り除くこと、つまり除染が必要です。それには、放射性物質がどこにあるかを知る必要があります。線量計を持って地面をくまなく探してもよいのですが、それでは時間がかかってしまいます。もし、セシウム137などから直接放射されるガンマ線を見ることができれば、その源となっているセシウム137の場所も知ることができます。ところがそれは簡単な話ではありません。ガンマ線は可視光と異なり、飛んできた方向を知ることが難しいのです。

現在開発中のASTRO-Hに搭載されるガンマ線センサーは、コンプトンカメラと呼ばれる技術を使っています。このカメラはコンプトン博士が発見したコンプトン散乱の効果（1927年ノーベル物理学賞）を用いたもので、エネルギーの高い光（ガンマ線）が示す粒子の性質を積極的に使うものです。コンプトン散乱では、ガンマ線が電子にぶつかって、その電子に渡したエネルギーと、ぶつかって散乱されたガンマ線に残ったエネルギーとを、反応場所の情報とともに測ることで、入ってきたガンマ線がどちらの方向から来たかを知ることができます。それは例えば、ビリヤードにおいて、はじかれた球がどのように散らばったかが完全に分かれば、たとえ突いた球が目に見えなくても、それがどこからどのようなスピードで飛んできたかが分

かるようなものです。ここで重要なのは、最初の反応を測定する検出器と2番目の反応を測定する検出器で検出したエネルギーの和が、放射性物質から直接飛び出るガンマ線のエネルギー（例えば、セシウム137から放出される662キロ電子ボルト）と等しくなっていることです。それによって、放射性物質からのガンマ線が地面や建物で散乱することなく、直接検出器に飛んできたことが保証されるからです。

現地視察、試作機製作、 現地での撮像試験

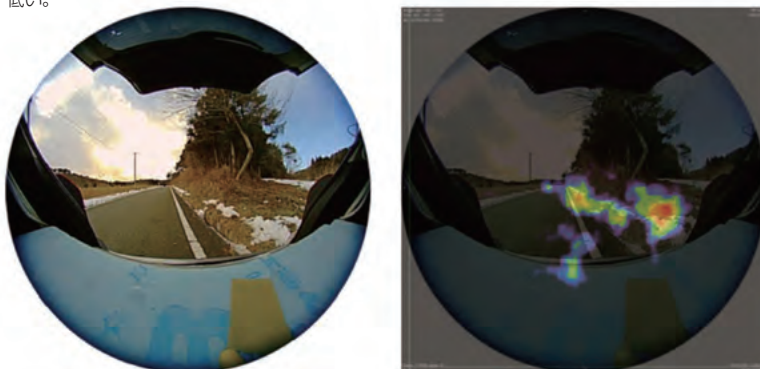
東京電力から話があった後、どのようにアプローチしたらよいか模索しました。銀河の中心の超巨大ブラックホールからのガンマ線検出の感度を検討できても、地面に広がっているホットスポットがどのように観測されるのか見当もつきません。そして、現場はどのような空間線量なのか、実際にどのようなエネルギーのガンマ線が飛んでいるのかというような、検出器の性能を評価するのに必要な情報がありません。私たち自身が福島での状況を知らないため、そもそも私たちが開発しているコンプトンカメラが機能するのかどうか判断できなかったのです。そこで、関係諸機関の許可を得、ASTRO-H開発の合間を縫い、週末に、線量計や簡単なガンマ線検出器を持って現地に出掛けました。

その結果、公開されているような強度の空間線量の場所があること、またそこでは、地上5cmで空間線量の10倍程度の線量を示すホットスポットが確かに存在することが分かりました。また、セシウム134やセシウム137から直接放出されるエネルギーの決まったガンマ線のほか、それらのガンマ線が周囲の地面や建物で散乱して低いエネルギーに変わって出てきたガンマ線が多くを占めることも観測されました。そして、私たちのコンプトンカメラであれば、放射性物質の源を見つけることが十分可能で、役に立てそうであることも分かったのです。

ところが、残念ながら現地を持ち込んで実際に測定に供するだけの能力を持ったカメラそのものが存在しません。ASTRO-Hは、ちょうど詳細設計の段階に入っていて、そこで使われるコンプトンカメラの設計図はできていました。そして、部分的な試作も始まっていました。しかし、そのまま福島に持っていくのは技術的に難しかったので、福島での測定のために新たに専用機をつくる必要がありました。そこで、JAXAでは、宇宙に出て行かう天文学の将来に向けた研究の加速と位置付け、その結果として宇宙開発の技術が国難に貢献するとの観

図2 福島県飯館村での撮像試験

左は魚眼レンズを付けたカメラ、右は超広角コンプトンカメラで撮影した画像。セシウム134、137から直接放出される605、662、796、802キロ電子ボルトのガンマ線の強度（フラックス）分布。赤が強度が高く、青が強度が低い。



点から研究費を用意し、試作機を製作することになりました。そして試作機ができ次第、現地撮像を行う方向で準備することとしました。大急ぎでチームを立ち上げ、昨年10月から組み上げに入り、今年の1月に試作機を完成させました(図1)。そして2月には、日本原子力研究開発機構(JAEA)と東京電力と共同で、福島県飯舘村での撮像試験を行うことができました(図2)。

超広角コンプトンカメラの原理

コンプトン散乱の効果を使ったコンプトンカメラは、1970年代に提唱されました。いち早く宇宙環境で使用されたのが、NASA CGRO衛星コンプトン(COMPTEL)ガンマ線望遠鏡(1991~2000年)です。当時、コンプトンはメガ電子ボルトのガンマ線帯域において優れた感度で宇宙天体観測を行いました。しかしながら、コンプトンはサイズ2m、総重量1.5トンの巨大なシステムで、地上用途へと展開するのは不可能でした。その後、半導体検出器やガス検出器の著しい発展を背景として、いくつかの次世代コンプトンカメラが提案されました。その中で、私たちのグループは、15年ほど前からシリコン(Si)とテルル化カドミウム(CdTe:カドテルと呼ばれる)の半導体イメージング素子を組み合わせたSi/CdTeコンプトンカメラを提案、開発を進めてきました。優れた位置分解能と高いエネルギー分解能、高い時間分解能を併せ持つようなSiとCdTeの半導体イメージング素子をつくることできれば、それらを組み合わせることで、非常にコンパクトで角度分解能(画像の細かさ)の優れたカメラが実現するからです。ASTRO-Hの硬X線撮像検出器(HXI)と軟ガンマ線検出器(SGD)は、こうして開発してきた2種類の半導体イメージング素子を組み合わせたものです。100キロ電子ボルトから下のエネルギーがHXIで、上のエネルギーはSGDによってカバーされます。

東京電力の要請を受け、さらに現地に出掛けて状況をよく見た上で、大急ぎでつくることにしたのは、ASTRO-HのHXIの構造(5層のセンサー)をそのまま使い、SiとCdTeそれぞれ2枚と3枚(HXIは4枚と1枚)に変更、さらに読み出しのアナログLSIをSGD用の広帯域タイプに変更したハイブリッド型でした(図3)。このカメラは、ほぼ180度の広い視野を持ちます。そこで、私たちはこれを「超広角コンプトンカメラ」と名付けました。私たちが開発してきたSi/CdTeコンプトンカメラは、500から800キロ電子ボルト程度のエネルギー範囲で数度の角度分解能を持ちます。これは、その技術を用いた超広角コンプトンカメラで10m先で数十cmの大きさにホットスポットを絞り込めることに

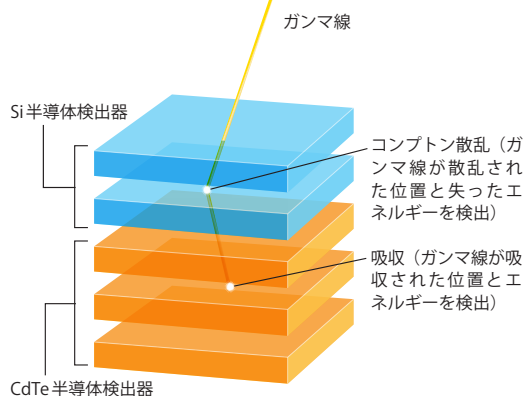


図3 超広角コンプトンカメラの原理

ガンマ線をシリコン(Si)半導体検出器で散乱させ、テルル化カドミウム(CdTe)半導体検出器で吸収する。半導体検出器が検出した値から、ガンマ線が飛んできた方向を逆算できる。ガンマ線が、散乱や吸収をされずに半導体検出器を透過する場合もある。

対応します。

今後の除染作業において、本カメラのコンセプトを最大限に生かすためには、感度を数倍から10倍程度向上させて数分の測定で画像化すること、除染作業者による操作を容易にすることが課題です。実は、ASTRO-HのSGDは天体からやって来る微弱なガンマ線信号を検知するために、32層のSi検出器と8層のCdTe検出器を積層しています。したがって、これをそのまま福島でのガンマ線可視化装置に使うことができれば、さらに約30倍も高い感度が得られます。試作機が20~30分程度で得ていた「ガンマ線によるイメージ」が、新しい装置では、格段に短い時間で取得可能になると期待されるのです。これを福島における放射性物質の分布の可視化に応用するために、私たちは、新たに科学技術振興機構の支援のもとに、ASTRO-HのSGDのデザインを踏襲したカメラをつくる計画を進めています。

最先端宇宙観測技術で除染に貢献

今回試作した「超広角コンプトンカメラ」は、エネルギー分解能の優れたCdTe半導体を用いた検出器技術と極めて高度な実装技術が鍵となって実現しました。これは、15年にも及ぶアクロラド社と三菱重工業名古屋誘導システム製作所との共同開発によるものです。また、同じくシリコン検出器や読み出し用のアナログLSIは名古屋大学の田島教授との、またスペースワイヤに基づくデータ収集装置は大阪大学の能町教授との共同研究の成果が込められています。そして、ASTRO-HのHXIやSGDは、JAXA宇宙科学研究所のほか東京大学、名古屋大学、広島大学、早稲田大学など、「すざく」から世界で最高水準の硬X線、ガンマ線観測装置をつくってきたチームが力を合わせ、2014年の打上げを目指して日夜開発を続けています。宇宙科学の観測は、最先端の技術を要求します。そこで得られた、我が国独自の最先端宇宙観測技術を用い、現時点での、そして将来にわたっての除染に貢献することができれば、ASTRO-Hの役割も、地上から宇宙まで大きく広がることになるはずです。

(たかはし・ただゆき、わたなべ・しん、
たけだ・しんいちろう)

「ひので」が金星の太陽面通過を観測

5月の金環日食に引き続き、6月6日の朝から昼過ぎにかけて、金星が太陽表面を通過する「金星太陽面通過」を全国で見ることができた。この機会を逃すと今後約105年見ることにはできないこのイベントを、太陽観測衛星「ひので」も集中的に観測した。とりわけ「ひので」に搭載された可視光・磁場望遠鏡(SOT)は、地上の太陽望遠鏡とは違い地球大気の乱れに邪魔されず、また宇宙にある太陽望遠鏡としては最大の口径(50cm)を持つため、ほかでは撮れない最高解像度の画像を撮影することが期待された。国内や世界の金星研究者から「ひので」で太陽面を通過する金星を観測してほしいという観測提案がいくつか寄せられており、科学的に有意義な観測を行えるように、計画を半年以上前から練った。

最も期待したのが、金星が太陽の縁から太陽面に入り込む直前に、金星の縁が輪のように光る現象である。太陽光が金星大気で屈折して透過してきて、その結果光って見えるのであるが、図1のように鮮明に捉えることができた。異なる波長でのデータやその時間変化を調べることで、金星大気の密度構造やその緯度分布に関して調べられると期待される。さらに、金星大気での散乱によって生じるかもしれない偏光の信号を捉えるために、精密な偏光計測データも取得した。また、太陽の縁と金星の縁が接触する「内蝕」にて、黒い滴のように見える「ブラックドラッグ効果」が知られている。図2から、それは接触する瞬間付近でも見られないことが分かり、地球の大気ゆらぎや望遠鏡の解像度によって起きる現象であることが明らかである。

さらには、軟X線やEUV輝線の観測によって、黒い円形



図1 光の輪として見える金星大気。388nm (CNバンド)。

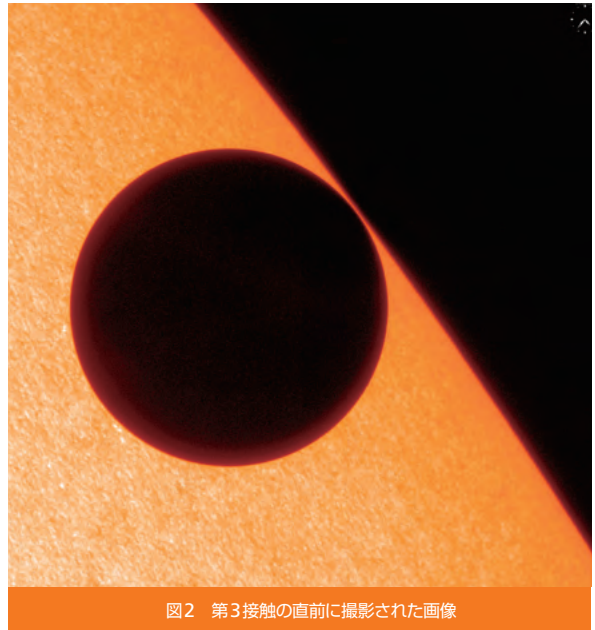


図2 第3接触の直前に撮影された画像

のシルエットに見える金星が、太陽コロナを背景に移動していく様子が捉えられた(図3)。このデータを用いて、高層の大気いわゆる金星コロナを起源とした微弱な信号を調べる解析がされる予定だ。太陽から見て金星の裏側(夜側)を見ることができるまたとない機会であり、太陽風と金星高層大気との相互作用によって生ずる信号が解析によって見えてくるかもしれない。

さて、この機会は、宇宙科学の普及活動にとって絶好の機会でもあった。「ひので」観測運用チームは、「ひので」が撮影した金星の太陽面通過の画像・動画を観測当日午後から順次公開した。最初に公開した画像・動画は、「ひので」が午前7時30分ごろ(日本時間)に、金星が太陽の内側に入って見える「第2接触(内蝕)」の前後に撮影したものだ(表紙写真)。搭載するデータレコーダをほぼ空にしてから観測を開始することで、第2接触付近のデータはお昼過ぎには相模原に届くようにした。一方で、太陽面通過中に撮像した全データの量は膨大となり、第3接触を含めたすべてのデータを地上に下ろすのに約1日半もかかった。

これらの画像は何もしなくても十分見栄えのするものだったが、どこに嫁がせてもよいように、画像の鮮明化、動画にする際のわずかな位置ずれや明るさ調整などの画像処理を施した。処理が終わったものから順に公開したので、翌日には多くの全国紙朝刊に掲載された。オンラインニュースやFacebookなどでの反応を追って見たところ、国内・海外ともにすこぶる好評だった。半月前の金環日食の際に広く宣伝されていたことも影響しているだろうが、肉眼、あるいはどんな望遠鏡でも小さな黒丸にしか見えなかった金

星が「巨大」に映し出されたことは衝撃だったようだ。さらに、太陽研究者にとっては普通の活動現象が金星の背後にあったのも、一般市民のみならず他分野の天文学者たちにも非常に受けが良かった理由らしい。ネット上の反応には「これはすごい」「かっこいい」「Cool!」といったものから、「この画像見たからもう自分の目で見なくていいや」という体たらく(?)や、「天文学史に残る画像だ」という興奮を伝えた海外サイトも見受けられた。そのような反応を我々も楽しむと同時に、太陽のささいな活動現象であっても、見せてみれば喜んでもらえるという手応えを感じたイベントだったといえる。

(岡本文典, 清水敏文)

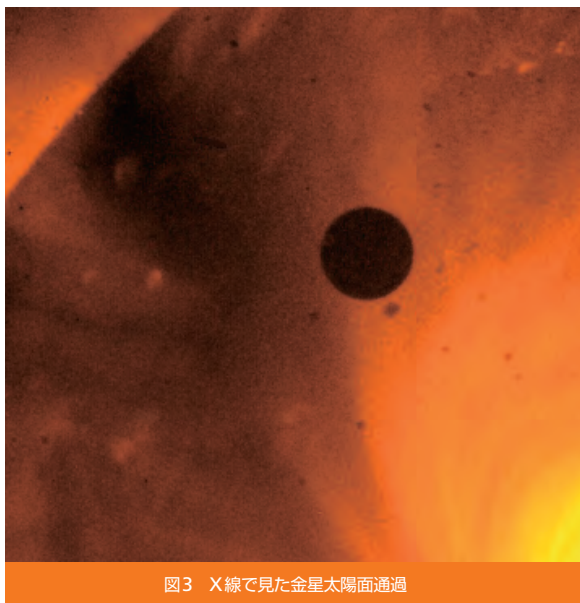


図3 X線で見た金星太陽面通過

平成24年度第一次気球実験

平成24年度第一次気球実験は、5月28日から連携協力拠点大樹航空宇宙実験場において実施されました。例年より10日ほど遅い実験開始だったのですが、今年の道東地方は連日最高気温が10℃程度で、地元の皆さんとのあいさつが「今年は寒いね」から始まる毎日となりました。

6月3日には、宇宙線反粒子の高感度探索によってその起源に迫り、超対称性粒子などの宇宙を満たす暗黒物質の候補の対消滅の兆候を探ることを目指した、日米国際共同実験GAPSのプロトタイプ測定器の性能評価試験を実施しました。気球の飛翔環境における測定器の基本性能の評価のためのデータの収集を行い、半導体検出器のエネルギー分解能などの性能評価、半導体検出器の冷却機構などの熱設計の評価、宇宙線バックグラウンドなどの環境評価などに資するデータを取得することに成功しました。今後は、得られたデータの解析を進め、本格観測に向けた測定器の開発や詳細設計に反映することになります。

続いて6月9日には、網を掛けるという新しい手法により軽量で高耐圧性能を実現しようとする体積3000m³のスーパープレッシャー気球 (SPB) と体積1万5000m³のゼロプレッシャー気球 (ZPB) から成る、タンデム気球システムの飛翔性能試験を実施しました。SPBの内外圧差が使用耐圧(大気圧の0.7%)の8割に達した時点でSPBからヘリウムガスの漏れ始めたため、耐圧性能の確認には至りませんでした。SPBに内圧がかかった状態で日没を模擬してZPBの浮力を減じた際のシステム全体の挙動など、タンデム気球システムの開発に必要なデータを取得することができました。また、タンデム気球システムに特有の放球方法や飛翔運用に関する今後の課題も明らかになりました。

予定した2実験を実施して第一次気球実験を終了しました。ご協力いただいた関係者の皆さまに深く感謝致します。なお、引き続き第二次気球実験を8月初旬から予定していますのでご期待ください。

(吉田哲也)



スライダー放球装置により屋外に移動された放球直前のタンデム気球

「はやぶさ」サンプル分析・第1回国際AOを終えて

「はやぶさ」は2010年6月、小惑星イトカワから微粒子を持ち帰った。サンプルは事前に選定されていたチームによる初期分析にかけられた。小惑星表面で宇宙空間にさらされていた微粒子らの物語が速報された2011年夏ごろ、筆者は国際AO委員会を担当することになった。国際AOとは、全世界の研究者に研究提案を公募し、選定されたものには研究機会を提供するというものだ。海外勢と議論しながら物事を決めていく過程は嫌いではないので、引き受けた。

AO発行の日付を決め、国際AO準備会でシニアクラスのご意見を伺って大方針を決める。「はやぶさ」微粒子は、そのサイズが技術的ハードルを高くするので応募できる研究者数が限られる、という議論にもなった。結局、30～50の提案はあるだろうから大丈夫でしょうと、やや突き放された雰囲気でも国際AO委員会がスタートする。

委員会メンバーも決め、2011年3月のLPSC（宇宙惑星物質分析分野では最も多くの人が集まる会議である）の日程をポイントにしてAO進行の全体日程も決める。提案書を受



ビートルズのベスト盤・レコジャクみたいだな。確かに、キュレータは“The fool on the hill”で、キュレーション活動は“The long and winding road”である。

け付け、それをレフェリーに提示し、レフェリーからのレポートと合流させ、それらを委員会メンバーへと提示するページの設計・実装・運用試験を済ませ、2012年1月のAO発行を迎える。3月上旬、提案締め切り。3月下旬、LPSCでの委員会会合で、レフェリーを決定する。

そして、GW明けの4日間、相模原キャンパス新

A棟会議室にこもっての最終会議である。自由に意見を言い合う雰囲気の会合では、座長は議論の進展を正確に追跡しつつ着地点を予想しながら議論をナビゲートしなければならない。また、そこでの議論だけでなく、各種情報のやや複雑な整理も同時進行で行う必要があり、サポートスタッフには洗練された即興的な動きが要求された。

無事に委員会をクローズし、記者発表が6月13日。帰還からちょうど2年だった。第1回国際AOまでは、「はやぶさ」プロジェクトの活動だった。「はやぶさ」プロジェクト解散後は、キュレーション活動へ長期的視野に立った方向性を与える親委員会が必須である。

（藤本正樹）

あきる野実験施設近況

宇宙科学研究所あきる野実験施設は、旧敷地の駒場キャンパスに設置されていた耐爆実験室の代替施設として1998年に設置されました。東京都あきる野市の住宅地から離れた山あいにあります。設置当初は、M-Vロケットの高度化に向けた固体ロケット推進技術に関する基礎研究が数多く進められ、成果を獲得してきました。JAXA統合後は、固体ロケットに限らず、液体・ハイブリッドロケット推進に関わる研究も実施されるようになり、主として宇宙輸送系に関する研究開発を行う



あきる野実験施設大実験室内の様子

ための実験施設として運営されてきました。

施設は2階建てです。1階には耐爆機能を有する大実験室があり、建屋の半分を占めます。ロケットの燃焼試験などを行うため、燃焼ガスを排気する煙道が3ヶ所設けられ、煙道ごとに設置されるスタンドは実験の種類によって使い分けられています。大実験室で特徴的なのは小型真空槽で、宇宙環境を模擬し

た真空でのロケット燃焼試験を行うことができます。そのほか、クレーンや簡易な工作機械が設置されています。そ

して、大実験室での作業を支えるのが1階にある2つの実験室です。主として実験の準備を行う部屋で、計測機器を設置して実験データを取得します。2階には化学系の実験室があり、ロケット推進薬の少量試作や化学分析を行うことができます。

2010年に「運用等規則」が制定され、所内での位置付けが明確化されました。さらには2011年に発足した大学

共同利用委員会のもとで、JAXA職員だけでなく大学の研究者にも門戸を開く新しい形態を取ることになりました。今年度から大学共同利用委員会のもと「あきる野委員会」が発足し、新しい一歩を踏み出します。相模原キャンパスから車で1時間強かかる不便さはありますが、静かな自然の中で落ち着いて実験研究が行えます。興味のある方はぜひ一度、足を運ばれて当施設をご覧ください。（堀 恵一）

イプシロンロケット 構造系開発試験近況報告

●イプシロンロケット構造系開発試験最盛期

私ごとですが、3ヶ月連続でイプシロンロケット構造系に関する記事を『ISASニュース』に執筆しています（5月号ISAS事情「SMAP-3報告」、6月号連載「イプシロンロケットの構造系」、そして、この記事）。執筆は確かに大変なのですが、こうして皆さまに紹介できる試験が続出するほどイプシロンロケットの開発が最盛期を迎えていることを実感し、ここまでの道のりを考えると感慨深く、うれしく思います。もちろん、本当の喜びは最後にとっておくべきで、気を引き締めて、試験に臨んでいる毎日です。

さて今月号は、5月から6月にかけて相模原キャンパスで実施した構造系開発試験について報告します。構造コンポーネントの名前については、6月号の記事を参考にしてください。

●第3段機器搭載構造II型(B3PL II型)正弦波振動試験

イプシロンロケットでは1段燃焼中に45～55Hzくらいの帯域で正弦波振動が発生することが分かっています。搭載機器にどのくらいの振動が負荷されるか解析によって予測してはいますが、正確に確認することは機器設計にとってとても重要です。そこで、機械環境試験室の大型振動試験機を使って、ダミーの搭載機器を載せたB3PL II型コンポーネントに振動をかけ、各部の応答を計測しました。

加振機に載ったB3PL II型とダミー機器の様子を図1に示します。5～100Hzをゆっくり往復させて加振するのですが、構造各部が共振するたびに大きな音が発生し、また見た目にも大きく振幅する構造もあり、開発メンバーを冷や冷やさせました。無事にきちんとデータが取得できて、今は各搭載機器の振動レベルを評価している最中です。

●衛星分離部(PAF)分離試験

場所を構造試験棟に移し、次はロケットから衛星がきちんと分離できるか、また分離時に発生する衝撃が衛星（お客さま）やロケット搭載機器に対して想定しているレベルに収まっているかを確認する試験です。

試験の様子を図2に示します。イプシロンロケットでは、回転しながら衛星を分離するミッションも想定しているので、構造試験棟にあるスピントーブルに載せて、1Hzくらいで回転させながら分離します。実際の衛星を載せるのは大変なので、ロケットと結合するリングだけ模擬し、また宇宙空間は重力がないので、ゴムで上に引っ張って衛星側リングの重力をキャンセルして分離させます。図2に見えるたくさんの照明は分離の挙動を細かに確認するために用いる高速度カメラの撮影に必要なものです。分離試験はいろいろな条件で3回実施しましたが、すべて良好な分離が確認できました。

●3段モーターケース強度剛性試験

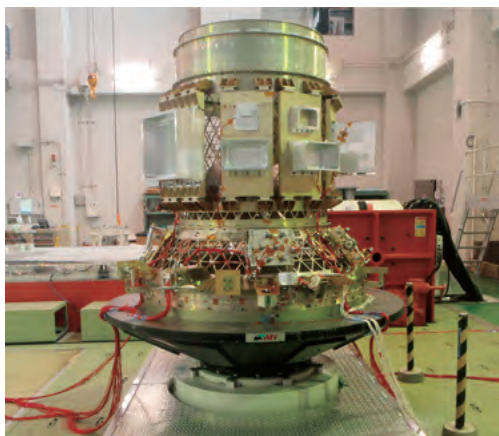


図1 第3段機器搭載構造II型(B3PL II型)正弦波振動試験

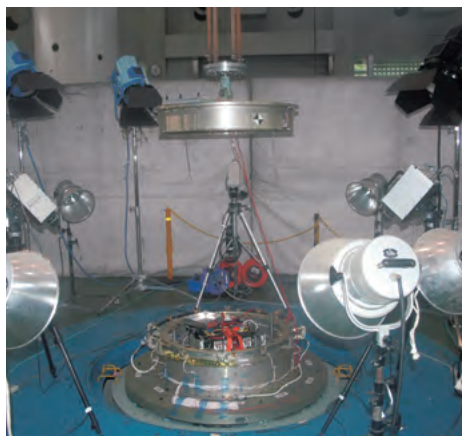


図2 衛星分離部(PAF)分離試験



図3 3段モーターケース強度剛性試験

次は構造試験棟の定盤（垂直にそびえ立つ大きな板をご覧になった方もいるかと思いますが）に場所を移し、3段モータの強度と剛性を確認する試験です。6月号でも紹介したモータケースの最も重要な機能は、燃焼中の高い内部圧力に耐えることです。しかし、モータケースは前と後ろに構造体が付くため、ケース自身も構造体としての役割を果たす必要があります。つまり、ケース自身もつぶされたり引っ張られたり曲げられたりするの、それに耐える強度や硬さ（剛性）を有しているかどうか、確認する必要があります。

図3に示すような供試体を準備します。下側の黒い部分がモータケースで、上側の緑の大きな構造は必要な力をかけ

るための治工具です。見た目は仰々しいですが、試験中は音もせず、見た目に分かるような大きな変形もないので、淡々と大切なデータを取得して、無事に試験が終了しました。

●まだまだ続く開発試験

ここで紹介できなかった試験（PBS/3段分離試験）もありますし、7月以降本格化する2段・3段モータ伸展ノズルの振動試験および伸展試験、そのほか分離試験や強度剛性試験が11月ごろまで続きます。そして、すべての確認を終えた構造コンポーネントたちは、年末までにメーカー工場に集結し、仮組立試験に入ります。引き続き、皆さまの応援とご協力よろしくお願い致します。（宇井恭一）

「はやぶさの日」制定

2010年6月13日に小惑星探査機「はやぶさ」が7年がかりで小惑星往還を果たして地球に帰還してから、はや2年がたちます。また、宇宙科学研究所の関連施設の地元であることを通じて交流を始めた北海道広尾郡大樹町、秋田県能代市、岩手県大船渡市、長野県佐久市、神奈川県相模原市、鹿児島県肝属郡肝付町の4市2町から成る仮想国家の「銀河連邦」は、今年11月8日で建国25周年を迎えます。これを記念するために、銀河連邦が日本記念日協会に6月13日を「はやぶさの日」とするよう働きかけ、このたびこれが制定されました。「はやぶさ」にとっては誕生（打上げ）日である5月9日などいろいろ思い出深い日がありますが、三回忌の日に命日が記念日として選ばれたわけです。

これを記念して、JAXA相模原キャンパスの向かいにある東京国立近代美術館フィルムセンター相模原分館での東映映画『はやぶさ 遥かなる帰還』の特別上映や、相模原キャンパスの見学ツアー、「はやぶさ2」の吉川プロジェクトマ



「はやぶさの日」登録証の授与式

ネージャのミニ講演などから成る「6.13『はやぶさ』帰還記念日イベント」が企画されました。180組360名の募集に対して、6倍を超える応募があったそうです。

こちらとしても引率スタッフを含め200人規模の団体を平日に1日2回案内するのは未経験のことで、しかも、この人数の昼食・トイレ休憩を30分で終わらせるなどかなりタイトなスケジュールでした。午前と午後それぞれ4班に分かれていただき、「はやぶさ」関係者による生解説や、構造機能試験棟で行われるイプシロンロケットの試験の準備作業の見学、「はやぶさの日」登録証の授与式などに参加いただくことができました。

授与式では、申請者の銀河連邦を代表してサガミハラ共和国大統領の加山俊夫相模原市長が、日本記念日協会の加瀬代表から登録証を受け取りました。この記念日の制定が、「はやぶさ」のように未踏の領域に大胆に挑戦することの大切さを語り継ぐ一つのきっかけとなることを願っています。

（阪本成一）

ロケット・衛星・大気球関係の作業スケジュール(7月・8月)

	7月	8月
ASTRO-H		システム熱真空試験（筑波）
BepiColombo		フライトモデル単体環境試験（相模原）
小型衛星		フライトモデル単体環境試験（相模原）
大気球	平成24年度第二次気球実験（大樹町）	

イプシロンロケットが拓く 新しい世界

第7回

イプシロンロケットの アビオニクス

井上知也

イプシロンプロジェクトチーム



イプシロンロケットのアビオニクス (搭載電子機器)

イプシロンロケットでは、短期間、低コストでの開発を目指しており、搭載されるアビオニクスシステムは基本的にH-II A/B機器、およびM-V技術を最大限活用することを前提としています(図1)。このような制約条件にあっても、イプシロンロケットとしての運用性向上、および将来の輸送系システムへつながる技術要素として、いくつか特徴あるシステムの構築を目指しています。

ここでは、それらの特徴のいくつかをご紹介します。

点検機能の機体搭載化

イプシロンロケットが目指す運用性向上のための目玉の一つが、この点検機能の機体搭載化です(図2)。

実際には、機体点検機能は地上側の発射管制設備(LCS)と適切な機能配分を行っており、その中でも火工品回路点検機能を機体側で、またカウントダウン中の機体健全性確認機能を機体側と地上側双方で行います。前者は小型火工品回路点検装置(MOC)と呼ばれる機器で点検を行い、フライト前に取り外すことで繰り返し使用を可能としています。後者は即応運用支援装置(ROSE)と呼ばれる機器で、カウントダウン開始からリフトオフ直前まで機体の健全性確認を行います。

現在、各機器を組み合わせた検証をシステムメーカー(IHIエアロスペース)で実施しており、所定の機能が期待通りであることを確認するとともに、運用性向上の観点からさらなる改善への取り組みを行っています。

搭載コンピュータによる安全制御技術

H-II Aのような機体システムでは、常に地上側から安全処置を施すことが可能ですが、イプシロンでは機体側での安全制御が必要なフェーズが存在します。その際、機体側で制御するためには一つの搭載コンピュータで独立した制御を行わなければならない。

そのため、我が国のロケットとしては初めてCBCS(コンピュータによる制御システム)設計という手法を採用しました。これは国際宇宙ステーションなどの有人システムで採用されている設計手法で、採用に当たっては8回に及ぶ有識者会議を行い、設計の考え方や手法に問題がないことを確認しました。この技術は、将来飛行安全システムの自律化を目指す上でも有効な設計手法になるものと考えています。

モジュラー型アビオニクス思想

イプシロンロケットに搭載されるコンピュータ(OBC)はH-II A搭載機器の流用品になりますが、この機器を開発する際、イプシロンロケットの将来性を見込んでモジュラー型アビオニクス思想を取り込んでいます。

具体的には、一般産業分野での汎用的なサイズ(3U)とインタフェース(cPCI)を採用したMPUボードを新規開発しました。これにより、将来的に搭載コンピュータを小型化、低コスト化する際、汎用のインタフェースで自由度の高い機器設計が可能となっています。

その先へ

初号機向けのアビオニクスは、その多くがH-II A機器をそのまま、あるいは一部改修して流用しています。将来的にはシステム全体の商品価値を高めるべく、アビオニクスシステムとしても小型・軽量化、低コスト化に取り組んでいます。そのため新たな部品の適用などによる機器の新規設計のみならず、機器の開発/保証の在り方も含めた抜本的な取り組みを行い、小型ロケットに適したシステム構築を目指しています。

(いのうえ・ともや)

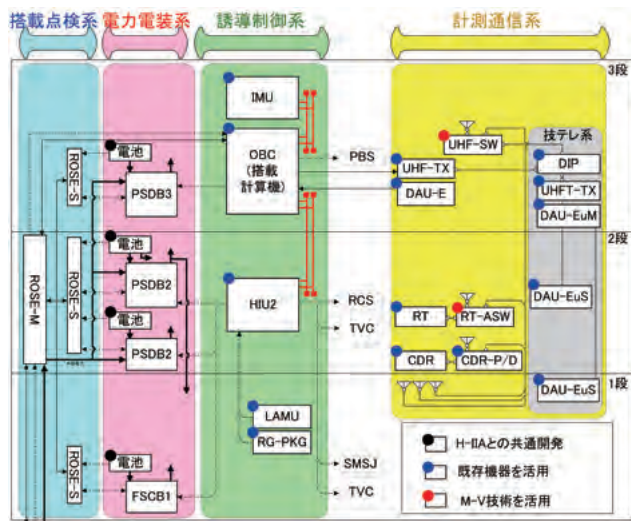


図1 イプシロンロケットのアビオニクスシステム構成概要

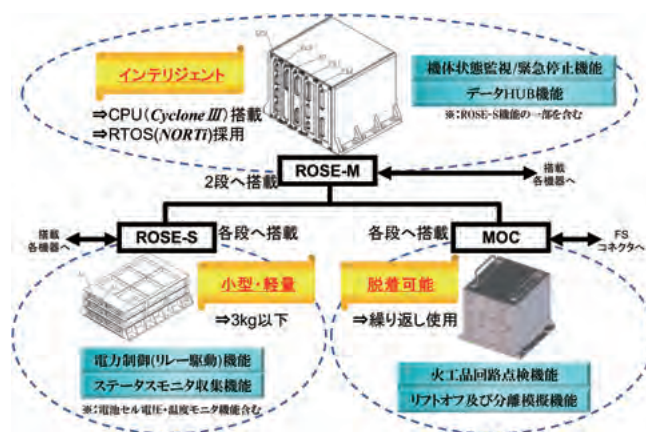


図2 点検機能の機体搭載化

Up in the Air (上空で、有頂天になって、未解決のまま)

宇宙飛行工学研究系 教授
月・惑星探査プログラムグループ
プログラムディレクター

國中均



タキシード似合ってるでしょ！



AIAA Fellow 晩餐会

4月から5月にかけて1ヶ月半のうちに、米国ワシントンDC詣でを3回こなした。毎回、深夜羽田発・ロサンゼルス経由・同日早朝ワシントンDC着、すぐ仕事、という弾丸出張である。体には良くないが、Working Timeのロスが少なく、時差ボケ知らずで、効率が良い。

4月中旬にNASA本部にて、月・惑星探査プログラムグループ (JSPEC) とNASAの今後の協力関係について科学局部長Dr. Jim Greenと面会し、成功裏に話を進めることができた。翌日、コロラドスプリングスへ移動し、National Science Symposiumに参加した。とても大規模な企画に驚いた。国内外の協力者の尽力にて、海外研究所との協働を模索する会合を持った。本案件もぜひとも成就させたい。

黄金週間後、再びワシントンDCを訪れた。日米欧の研究者から推挙されて米国航空宇宙学会 (AIAA) のFellow会員に選出されたので、その晩餐会 (AIAA Aerospace Spotlight Awards Gala) に参加するためである。航空宇宙分野では大変名誉なことであり、日本人ではこれまでに10

名程度しか本榮譽に輝いていない。前日に授与式が執り行われた。歓談の際には、ご推挙いただいた元NASA Lewis電気推進部長Mr. Dave Byersや旧友MITのProf. Dan Hastingsらと会話を楽しんだ。AIAA会長Dr. Mike Griffin(前NASA長官)から認定状を頂いた。翌日には、首都中心部のロナルド・レーガン貿易センタービルにて盛大な晩餐会(下写真)が開かれた。ここへの出席はドレスコードがあり、着慣れぬタキシード(上写真)にて参上した(カマーベルトの上下が分からず四苦八苦)。壇上で名前を紹介され、何か照れくさいやら晴れがましいやらであった。会食のテーブルでも終始温かく迎えられ、大統領府科学技術政策局 (OSTP) のDr. John Olsonと話をする機会もあった。翌日には、知己Dr. Andy Hopkinsの案内でスミソニアン航空宇宙博物館の特別見学をさせて

もらい、大いに感激した。

帰国後1週間隔を置いて、三たびワシントンDCへ。今回は国際宇宙航行連盟 (IAF) とAIAA合同開催のGlobal Exploration Conference (GLEXP) の共同議長として、主催者側として赴いた。参加者600名を超え大盛況であり、宇宙探査への胎動を感じる事ができた。本成功は、NASAのMs. Kathy Lauriniの尽力による。シンポジウムの前後にInternational Space Exploration Coordination Group (ISECG) の会合も予定されていて、ここには議長の立場での参加である。最終日にはInternational Space Development Symposiumでも講演を急きょ頼まれてしまって、飛行機の出発時間を気にしながらギリギリまで会場にとどまった。ここでは軌道設計の権威Dr. Bob Farquharと交流できた。わがままで多忙な宇宙研の先生らの都合に合わせて、米国時間午前3時に電話会議をさせられたのにはまったく閉口しつつ、主催者・司会・パネリスト・講演・スピーチ・会議と目が回る1週間であった。

私は、社交的な性格でなく友達が多い方ではないし、日本語のおしゃべりですら嫌いなのに、ましてや英会話は最も遠慮したいところである。にもかかわらず、AIAA Fellow選出に際しては世界の大勢の方々から推薦を頂けたし、ほうほう出掛けていって下手な英語でも話を聞いてもらえて、大変ありがたい限りだ。国籍・文化・習慣・言語を異にしている、共通する宇宙技術の話題で世界の人々と交流できることを、大変幸せに思う。若いころに、マイクロ波放電式イオンエンジンという小さなアイデアに巡り合い、20年にわたり地道に研究開発を続けて、開花させることができた。機を見定めて新領域に進出する気概を示したかったのだ。未熟で実現に至らなかったのならば致し方ないが、研究者/宇宙工学者として技術挑戦に対する敵前逃亡は重罪と思う。恩師、栗木恭一先生と谷一郎先生の教えに従い、狭い領域のスペシャリストを目指してきたからこそ、復路機中、エコノミークラスにてうつらうつらしながら感慨にふけた。でも、早朝羽田空港に着いたら、そのまま出勤して未解決案件の会議なので、早く寝なくっちゃ。

(くになか・ひとし)

Up in the Air :
ジョージ・クルーニー主演
映画 (2009年, 米国)。邦
題『マイレージ、マイライフ』



糸川英夫先生の思い出

糸川英夫先生(1912年7月20日～1999年2月21日)の生誕100年を記念して、前号の金澤磐夫さんに引き続き、今月も糸川研究室OBの中村巖さんに糸川先生の思い出をご執筆いただきました。

中村 巖

今年は糸川英夫先生の生誕100年になるので、糸川先生の思い出をつづってほしいとの連絡が、JAXAの川泰宣先生からあり、古い記憶をたどって糸川研究室での思い出を書いてみることにした。

糸川研究室がペンシルロケットによる研究を開始したのは昭和28年(1953年)。ちょうど南北朝鮮の動乱が終結した年のことであった。私が糸川研究室にお世話になったのは、それから2年後、昭和30年である。そのころ糸川研究室には、助手の吉山巖技官、秘書の尾崎さん、台湾出身の銭福星さん、大学院の学生として活躍されていた秋葉鏝二郎先生と技術研究生の身分の私が出た。さらに2～3年後、長友信人先生、松尾弘毅先生が加わり、いっそう広範な研究が進められるようになった。

そのころの糸川研究室は、西千葉にあった東京大学生産技術研究所の北側の隅にあり、当時糸川先生は、週に2～3回研究室にお見えになっていた。

自転車の荷台に先生を乗せて

糸川先生が研究室にお見えになったときは、研究所の西門から「中村君、自転車を持ってきてほしい」と電話があり、大喜びで迎えに行った。先生から直接名前を呼んでいただけることなどほとんどなかった私は、電話がかかってくるのを心待ちにしていた。

最初のうちは荷台に先生を乗せてでこぼこの砂利道を研究室まで送っていたが、先生のおしりが痛いのではないかと、片手で先生用の自転車を引いて迎えに行くようにしたところ、とても喜ん

でいただいたことが、忘れられない思い出の一つである。

もう一つの思い出

もう一つ忘れられない思い出は、文部省の技官が発射試験を見学に来たことである。2～3日前から吉山技官とともに実験準備を進めていたが、直前になって吉山技官が高熱で倒れてしまったため、急ぎよ私が音頭を取り実験を行うことになった。

高速度カメラ班や計測班などに協力してもらい、実験は何とか無事終了した。



昭和32年(1957年)の糸川研究室。前列左から糸川英夫先生、吉山巖氏、後列左から筆者、山口文二氏、廣澤暉夫氏、纈綱直重氏。

吉山技官不在にもかかわらず、順調に実験を進め無事終了したことに対し、後日先生から褒めていただいたことが、とてもうれしかった。

道川から内之浦へ

ペンシルロケットによる秋田県道川での実験はほどなく終了し、実験の本拠地が鹿児島県内之浦町の山の上に移ることになった。

実験場の起工式で小型ロケットの打上げを行うことになり、私もこれに参加した。

内之浦実験場から打ち上げられるロケットは年々大型化し、それに伴い実験場の大規模化も進み、ラムダロケット、ミューロケットによる人工衛星の打上げも行われるようになってきた。秋田道川海岸から内之浦に実験場を移したときから打上げロケットの進化はすでに糸川先生の胸中にはあったのだと思われ、先生の優れた先見性がうかがわれる。

偉大なる糸川先生

前述したように、ロケットの開発は急速に進められ、その過程で失敗も多かった。これらの失敗にも、先生は関係者を責めることは決してなさなかった。

さらに、糸川先生にしかできないことはきちんとやられ、細かなことには口出しなさなかった。こんな糸川先生の姿勢が、後に宇宙科学研究所を背負う若い先生方を育て、併せて関係メーカーの技術者の育成に波及していったものと思っている。

偉大な糸川先生に心から敬意を表し、思い出の文としたい。(なかむら・いわお)

「アポロ13号」の管制室に憧れて

航法・誘導・制御グループ 開発員

廣瀬史子

— 現在の仕事は？

廣瀬：金星探査機「あかつき」の軌道設計を担当しています。「あかつき」が2010年12月に金星周回軌道への投入に失敗した後、あらためて金星の周回軌道に入るためにはどうしたらよいか、その軌道設計を行いました。2011年11月に計画通りの軌道修正に成功し、現在は2015年に金星の周回軌道投入に再びチャレンジできる軌道を飛行中です。軌道修正を行ったときは、私も運用室で探査機の速度変化を示すモニターを見つめていました。計測値が計画通り変化して軌道修正が成功した瞬間、ほっとしました。軌道投入失敗からの1年間、「あかつき」の軌道のことばかりを考えていたので。

— 「あかつき」には打上げ前から携わっていたのですか。

廣瀬：いいえ。JAXAに入社して最初に配属されたのは、筑波宇宙センターの統合追跡ネットワーク技術部です。スペースデブリ(宇宙ごみ)を観測して軌道を計算し、人工衛星との衝突確率を求め、人工衛星の軌道制御の計画を立てる、という仕事を6年半していました。宇宙研に異動してきたのは、「あかつき」打上げの3ヶ月後の2010年8月です。

筑波宇宙センターでは、配属の際に担当すべき仕事が指示されます。宇宙研では指定されず、やるべき仕事を自分で探します。私は惑星探査機に興味があり、毎日「あかつき」の運用室に顔を出していました。そうしているうちに、「あかつき」の軌道設計をやってみようと思うようになりました。

— 軌道を設計しているとき、宇宙空間を飛行する探査機を想像したりするのですか。

廣瀬：私は、地球周回衛星の軌道を考えているときは、衛星の視点に立っています。一方、惑星探査機の軌道を考えているときは、自分は探査機の視点ではなく、太陽や惑星、探査機を遠く北側から俯瞰しています。不思議ですね。

— 宇宙研への異動は希望したのですか。

廣瀬：人事部には、異動するなら意外なところに行きたい、と伝えていました。意外なところほど、自分の違う面を発見できると思ったのです。それでも筑波宇宙センター内の異動だろうと思い込んでいたので、宇宙研とは意外過ぎて驚きました。

— 子どものころから宇宙に興味があったのですか。

廣瀬：小学1年生のときに先生から「月に行った人がいる」と聞いて、



ひろせ・ちかこ。1980年、大阪府生まれ。お茶の水女子大学理学部物理学科卒業。同大学大学院人間文化研究科理学専攻物理科学コース修士課程修了。2004年、宇宙航空研究開発機構(JAXA)統合追跡ネットワーク技術部開発員。2010年より現職。

すごいなあと思い、宇宙に興味を持ちました。そして、奇跡の生還を果たした「アポロ13号」の本を読んで感動。探査機の軌道を制御したりする仕事や、管制室で働きたいと思い始めました。

● 高校1年生の夏、なりた職業について調べる宿題が出ました。
● NASAの各センターに何通も手紙を出し、管制室での仕事や、必要な勉強について聞きました。すると1通だけ返事が届いたのです。
● 達筆の筆記体で読めないところもたくさんありましたが、「物理学はすべての基本になるよ」と書いてあるのは分かりました。その手紙は今でも私の宝物です。

— 大学は、理学部物理学科に進みました。

● 廣瀬：高校が女子校でとても楽しかった分、女子が少ない航空宇宙学科へ進むものに抵抗がありました。NASAからの手紙の後押しもあり、物理は苦手だったのですが宇宙物理学を学べる大学を探しました。宇宙開発とは直接関係のない勉強に、正直不安もありました。そんなとき、JAXAの国際宇宙会議(IAC)学生派遣プログラムに参加しました。宇宙開発に携わりたいと思っている世界中の学生と交流したことで、世界が広がりました。あの経験がなければ、私は今、ここにいないかもしれません。

— これからやっていきたいことは？

● 廣瀬：今までソフト中心だったので、衛星や探査機などハードについてもっと知りたい。そう思い始めたころ、小型衛星「DESTINY」のワーキンググループに参加しないかと声を掛けていただき、システム設計を担当することになりました。軌道を少しずつ上げていき、月でスイングバイをして、ラグランジュ点のまわりを周回するハロー軌道に投入しようという深宇宙探査の工学実証機です。

— 「あかつき」については？

● 廣瀬：今はゆっくりできるでしょう、とよく言われるのですが、安全に金星周回軌道に投入するために軌道の誤差感度を解析したりと、結構忙しいです。金星周回軌道投入の1年前からは、軌道修正したり、またプレッシャーのかかる日々が始まります。でも、今から楽しみです。

ISAS ニュース No.376 2012.7 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ピビア 制作協力/有限会社フォトンクリエイト

編集後記

金環日食に続き、金星の太陽面通過で大興奮でした。両日とも曇りがちでしたが、ちょっとだけ晴れてくれました。わずかの時間ですが、世紀のイベントに出会えて、この世に生を受けた幸運に感謝です。今もワクワクする記事ばかりです。(前田良知)

*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