

50年の時を隔てたペンシルロケット水平発射

宇宙科学最前線

気球を使った微小重力実験
システムの開発とその将来

澤井秀次郎

宇宙航行システム研究系助教授

現在、気球を使って微小重力の実験をするシステムの開発が行われています。微小重力とは文字通り、ほとんど重力がない世界です。そこでは「上」も「下」もないので、物は落ちないでフワフワと浮かんでいますし、混じり合った水と油は分かれることなく、「水と油の関係」とはなりません。例えば、最近テレビなどで、宇宙でのスペースシャトル内部の様子として宇宙飛行士が宙に浮かんでいる姿などが流れていましたが、これも微小重力のなせるワザです。微小重力の環境を利用することで、材料や生命科学、燃焼など、さまざまな研究分野で新たな成果が得られると期待されています。私たちは、この微小重力の実験を手軽に、かつ高品質にて行う手段として、気球を利用すること

を考えています。

本稿では、この微小重力の実験システムの概要と、それを開発することで得られる二次的な効果について、述べることにします。

■今までに行われている微小重力実験の方法

さて、微小重力の環境を手に入れたと考えた場合、どうしたらよいでしょうか。最も簡単な方法の一つとして、「上から物を落とす(自由落下させる)」という方法があります。微小重力にしたいものを容器の中に入れて、それを上からポトンと落とせば、その容器の中の世界では重力を感じません。実際、この性質を利用した微小重力の実験装置はいくつかあります。例えば、深い穴の上から微小重力にしたいも



図1 1/2段分離直前のM-Vロケット6号機。このときの高度は約40kmで、気球到達高度とほぼ同じ。

のを納めた容器を落とす「落下試験装置」などと呼ばれる装置が、日本国内を含めていくつかあります。この方法ですと、確かにきれいな微小重力環境が得られます。ただ、この

方法の弱点は、数秒程度しか微小重力環境は続かない、ということです。それを超す時間の試験をしようとする、非現実的とも思える深い穴（もしくは高い塔）が必要になってきます。例えば、20秒間の微小重力を得るのに、深さ2kmもの穴が必要になるのです。

ほかの方法として、「飛行機を利用して弾道飛行させる」という方法も行われています。この方法ですと、数十秒の間、微小重力環境を続けることができます。ただ、細かい話をすると、飛行機を用いるとどうしても多少の重力が残ってしまうため、材料を均一に混ぜ合わせたい場合など、研究テーマによってはこの方法では不向きなこともあります。

一方で、スペースシャトルなどの宇宙機を利用すれば、良好な微小重力の環境が数日以上持続することになります。技術的には、宇宙機を使うのは大変魅力的な方法です。ただ、時間とコストがどうしてもかかってしまいます。

そこで私たちは、手軽に、良好な微小重力の環境を数十秒以上持続できる方法を求めた結果、気球を利用することを考え付き、宇宙科学研究本部の橋本樹明教授を研究代表者として、その実験装置システムの開発を進めています。試作1号機となる機体は完成し、気球による打上げを待つ段階にあります。

気球を利用した落下機体について

私たちが考えた微小重力実験の方法も、「上から物を落とす」という点で、ほかの多くの方法と同じです。スペースシャトルも、見方を変えれば「軌道上でひたすら落下し続けている」と考えることもできるので、ほとんどの微小重力実験手段で「落下」は本質的なものです。その中で、私たちの方法の特徴は、「気球を使う」という点にあります。気球といっても、イベント会場などで配られているような普通の風船とはだいぶ違い、試作1号機の予定高度は40kmまで到達するようなものです。高度40kmというのは、例えばM-Vロケットで1段と

2段が分離するくらいの高度です。高度が高くなると、空気は薄くなっていきます。高度40kmだと、地上の300分の1くらいの薄さになります。そのため、この高度まで上がる気球は、非常に特殊です。図1はM-Vロケット搭載カメラが高度40km付近で撮った画像ですが、下に写っている雲の様子から、地球の丸みを感じ取ることができるほどの高度である、ということが分かります。

では、なぜそこまで高い高度にこだわるのかということ、それには次のような理由があります。空気が濃いところで物を落下させれば、それだけ大きく空気の抵抗を受けることになります。長い時間の微小重力が欲しくなれば、その分、落下速度は速くなっていき、空気の抵抗は増えていきます。空気の抵抗があれば、中の物はなにがしかの加速度を感じてしまいます。この加速度が大きいと、良好な微小重力環境とは言い難くなります。そのため、空気が薄い高い高度での試験が必要なのです。

しかし、高度が高いとはいえ、それなりに空気が残っているわけですから、それだけでは微小重力としてはあまりきれいな環境とはいえません。そのため私たちは、機体の中に球状の容器を浮かべておき、機体と容器が接触しないように機体を制御することを考えました。こうすることで、この容器にはほぼ加速度は加わらず、良好な微小重力の環境が得られることになります。機体本体をいわば風よけとして利用することで、中の球状容器はきれいに自由落下するようになります。より空気抵抗の低い高々度にて実験を行い、かつ、容器を機体の中に浮かべることで、良質な微小重力の環境を数十秒という長い時間保持できるようになるのです。

このような考えに基づき試作したのが、図2にあるような機体です。写真では分かりづらいのですが、この機体には16台のガスジェットスラスタが付いていて、落下中の機体をいろいろな方向に動かせるようになっています。黄色い円筒形状の機体内部にある浮遊容器の位置を検知して、この容器が機体の内壁にぶつからないよう、これらのガスジェットスラスタを自動的に噴射するようなシステムになっています。

この機体は、空気の抵抗を減らすため先端は滑らかな形状になっているので、一見するとロケットのようにも見える代物です。ただ、ロケットと違い、気球の力を借りることなく自力で地上から飛び上がれるような燃料は積んで

いません。実際、この機体では圧縮空気を2kg程度搭載しているだけです。これだと落下中の位置の細かい補正は掛けられませんが、とうてい自力で飛び上がることはできません。また、ロケットとのもう一つの違いとして、気球実験終了後に回収ができれば再利用が可能な点も挙げられます。そのことによって、安全かつ低コストで微小重力の実験を行うことが可能となります。

微小重力実験の先にあるもの

この機体は、微小重力実験を行うために開発されているものです。そして、そのためにどのような機能が必要かを考えて設計が行われています。しかし、よくよく考えてみると、例えばこの機体で40秒間の微小重力実験を行おうとすると、機体の速度は超音速になります。1分間程度の微小重力実験を行う場合には、機体は音速の2倍程度まで加速されます。つまり、私たちは、手軽に長時間、微小重力の実験を行うことができるシステムを開発した結果、比較的簡単に超音速飛行を実現する機体をも手にしたことになります。

そうなってくると、この機体の用途は微小重力以外にも広がってきます。例えば、スペースプレーン用のジェットエンジンの開発手段となり得ると考えられています。

将来の宇宙輸送系の姿はいまだにいくつもの案が乱立している状態ですが、特殊な訓練を受けない一般人の利用まで考えると、ジェットエンジンのようなもので緩やかに加速するスペースプレーンが有力な候補となります。スペースプレーン案は遠い将来まで見通すと魅力的ではありますが、現在の技術状況に目を戻すと、これを飛ばすためのジェットエンジンのめどが立っていない、という大きな問題も抱えています。これについてJAXAでは、統合前から「ATREXエンジン」などの研究を行い(図3)、エンジン開発を精力的に進めてきてはいますが、残念ながら音速を大幅に超えるような速度でジェットエンジンがきちんと動作することを実証できていません。私たちが開発している微小重力実験の機体を利用することで、これらのジェットエンジンの実証試験を行うことは技術的に可能であり、ぜひ挑戦してみたいと考えています。

また、ジェットエンジンを搭載することで、将来的には空気抵抗を打ち消すべく下向きに加速して微小重力実験時間のさらなる延長を実現したり、実験終了後に回収点付近まで飛行



図2 三陸大気球観測所にて打上げ整備状態の機体を前に(右奥が筆者)

できるようにになると期待しています。特に、ジェットエンジンの推力は入ってくる空気の濃度が濃くなると大きくなる傾向にあり、また空気抵抗も同じ傾向があります。そのため、空気抵抗を打ち消す推進エンジンとして、ジェットエンジンには一定の魅力があります。将来のスペースプレーンを見据えるとともに、将来の微小重力実験を考えても、ジェットエンジンの利用の可能性を探るのは有意義なことです。

スペースプレーン開発との関係でいえば、エンジン開発のみならず、将来のスペースプレーンを考える上で未解決となっている諸問題を解決するための手段として、私たちの機体が有効に活用できるようになればよいと考えています。この分野には、地上での試験や解析だけでは研究が完了しない項目が、エンジン開発以外にもいくつもあるといわれています。それらの研究にこの機体が有効に活用され、願わくは、それが微小重力の実験システムを改良するのに役立てばよいと考えています。

今後について

私たちは、これまでに機体1号機を試作し、気球実験を試みましたが、残念ながら上層風の風向きが悪く打ち上げられませんでした。試作機体にさらなる改良を加えつつ、次の気球実験の機会には必ず成功裏に打ち上げたいと考えているところです。

(さわい・しゅうじろう)

図3 地上静止状態での燃焼試験中のATREXエンジン



宇宙に羽ばたいたX線天文衛星「すざく」

我が国5番目のX線天文衛星「すざく」は、2005年7月10日12時30分（日本時間）、M-V-6号機により、JAXA内之浦宇宙空間観測所より打ち上げられた（『ISASニュース』7月号掲載の森田実験主任による打上げ成功の記事参照）。「すざく」は当初、近地点約250km、遠地点約560kmの楕円軌道に投入されたが、その後、衛星搭載二次推進系により近地点高度を徐々に上げ、7月21日には高度約570kmの円軌道が達成された。その間、太陽電池パドルの展開、X線望遠鏡光学ベンチの伸展も無事行われた。そして、衛星の姿勢制御系の立ち上げ・調整や、観測各装置の立ち上げが順次進められた。

「すざく」には、X線反射望遠鏡（XRT）が5台搭載され、それらのうち4台の焦点面にはX線CCDカメラ（XIS）が、1台の焦点面にはX線マイクロカロリメータ（XRS）が置かれている。XRSは、X線入射に伴う素子の微弱的な温度上昇により入射X線のエネルギーを精度よく測定するため新しく開発された装置で、画期的に優れたX線分光能力を持つ。これらの観測装置は、およそ0.3keVから10keVのエネルギー領域のX線を観測する。また、これらと同時に、各X線源からの硬X線（およそ10keVから700keVのエネルギー領域）をこれまでにない感度で観測する、硬X線検出器（HXD）が搭載されている。

XRS装置は、絶対温度60ミリ度（摂氏マイナス273.09度）で動作させる検出器を断熱消磁型冷凍機で冷却し、その外側を絶対温度約1.3度の液体ヘリウムのタンクが取り巻き、そのさらに外側を絶対温度約17度の固体ネオンが取り巻き構造になっている。打上げ以来、冷却装置の立ち上げは順調に行われ、7月27日には、検出器を絶対温度60ミリ度に冷却することに成功した。これは、宇宙空間で人工的に作り出した世界で最も低い温度であった。そしてその後、XRS装置に装着されたX線源により、XRSが予期した通りのX線分光性能を示していることが確認された。しかし、X線天体を観測するための準備に取り掛かっていた8月8日、XRSのヘリウムタンクの温度が上昇し、液体ヘリウムが一気に気化してすべて失われる事態が生じた。この時点で、残念ながらXRSによる観測は不可能となった。この不具合の原因は調査中であり、最終的にはJAXAとして設置されたXRS不具合原因究明チームによる結論を待つことになる。

「すざく」は、XRSの観測能力を失ったが、その後、8

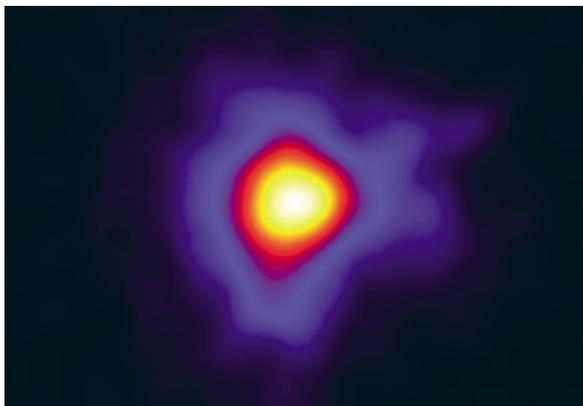
月12日から13日にかけての運用で、二つ目の観測機器である4台のX線CCDカメラ（XIS）のX線入射部のカバーを開いた。その結果、小マゼラン星雲にある超新星残骸（星の爆発のあと）の観測に成功した（図参照）。この観測の結果には、これまで見えにくかった酸素の出す特定の波長のX線がはっきり示されており、XISが世界最高の性能を持っていることが示された。

「すざく」は、さらに、三つ目の観測機器である硬X線検出器（HXD）の立ち上げを行い、8月19日には、距離1500万光年にある楕円銀河「ケンタウルス座A」から信号を検出することに成功した。ケンタウルス座Aの中心には、太陽の数千万倍の質量を持つ巨大ブラックホールが潜んでいると考えられ、そこにブラックホール周辺のガスが吸い込まれる際に、光、X線、ガンマ線などが強く放射されると考えられている。HXDは、それらの硬X線やガンマ線を精度よく検知しており、この領域での感度が世界最高レベルであることを示した。

XIS、HXDが予定通りの性能を示したことにより、「すざく」は、低エネルギー域を受け持つシステム（XRT+XIS）と、高エネルギー域を受け持つHXDという2組の装置を擁し、非常に広いエネルギー範囲で観測を行える世界で唯一の高エネルギー天文衛星として姿を整えた。今後は全世界の研究者の利用により、大きな科学的成果を挙げる事が期待される。

最後に、「すざく」がここまで来られたことに対し、ASTRO-E II計画の立ち上げや、ASTRO-E、ASTRO-E II計画の遂行、M-V-6号機の打上げ（4号機のご苦労も含め）、「すざく」の初期運用などでお世話になった多くの方々に、この場を借りて、厚くお礼を申し上げます。

（井上 一）



「すざく」搭載X線CCDカメラ（XIS）がファーストライトで得た、小マゼラン星雲中の超新星残骸からのX線像。

INDEX (れいめい) 打上げ成功

INDEX衛星は、オーロラの微細構造の理学観測と、先進的な衛星技術を軌道上で実証するミッションを持った、重量70kgの小型衛星です。ロシアのドニエプルロケットにより、カザフスタン共和国バイコヌール基地の地下サイロから、日本時間8月24日6時10分に打ち上げられました。

バイコヌールまでの衛星の輸送、射場での衛星の点検作業には、特殊な環境での苦勞が数多くありました。モスクワまで1日、そこからバイコヌールまでさらに1日。そこは、7月には気温45℃にもなる砂漠地帯です。大学院学生や宇宙研の若手スタッフが、昼は試験室で衛星試験をし、夜は単語帳のロシア語によるシシカバブとビールで頑張りました。

打上げ約1.5時間後には、ノルウェーのスパルバード局でテレメトリー信号が受信された旨の電話が入り、内之浦20m・34mアンテナ一同、どよめきました。web上でテレメトリーファイルを取得し、すぐさま初期太陽姿勢捕捉の自動シーケンス過程が見られます。

打上げ6時間後の12時10分、内之浦20m・34mアンテナ局で、予想されていた時刻・方向からINDEXからの電波が捕捉され、コマンド送信の後、モニター画面上にINDEX衛星のテレメトリー情報が表示されました。太陽パドルは入感直前に展開しており、電力的にも安全な状態に入っていました。一同、ほっとする間もなく、昼に2パスの運用、深夜に2パスの運用があり、スピン状態での衛星機能の確認作業を継続し、1日に2回起きたり寝たりの生活を強いられました。

現在までのところすべての機器に異常はなく、8月28日には超小型GPS受信器に電源を入れてからわずか7分でコールドスタート測位を完了し、時々刻々と衛星位置をテレメトリー

ーで表示してきてくれます。そして、8月29日にはバイアスモーメントの3軸姿勢安定状態に入りました。8月31日未明にはオーロラ観測のカメラも電源投入試験を行い、ファーストライトとして九州地方の夜間の市街地の光が8Hzの動画で撮像されました。

今後は、姿勢制御系の本格運用とオーロラカメラの理学観測、そして粒子センサーの動作試験を行い、カメラと粒子センサーの同時観測によるオーロラ観測を行っていきます。

新設の相模原新A棟屋上に設置した3mアンテナも順調に稼働し、131kbpsでのテレメトリー受信にも成功しています。

INDEXの打上げと初期運用の成功により、小型科学衛星による機動性と先進性のある宇宙科学・工学の時代を迎えることを願い、「れいめい」という愛称が選ばれています。

(齋藤宏文)



INDEX衛星のバイコヌールからの打上げをスクリーンで見守る内之浦20m局の運用チーム

平成17年度第2次気球実験

平成17年度第2次気球実験は、8月15日から9月3日まで、三陸大気球観測所で4機の気球実験が予定されていました。16日には震度5の地震に見舞われましたが、幸い大きな被害を受けずに実験を継続することができました。今年度はジェット気流が北海道の北にまで上がり、気球を太平洋上に出すことができないため、なかなか放球するチャンスがありませんでした。

8月22日にやっと第1号であるB100-13号機の放球準備作業に入りましたが、作業中に不具合が発生し、気球のみ放球するというアクシデントが起きました。この実験の目的は、高エネルギー電子および大気ガンマ線の観測でした。観測器は無傷で完全な形のまま地上に残されたため、来年度以降、再挑戦することとしました。

その後、再び上層風の条件が悪くなり待機状態が続き、その上台風



BU60-2号機のガス注入の様子

ISAS 事情

11号の到来などでスケジュールが大幅に遅れましたが、8月28日7時40分にBU60-2号機を放球することができました。実験の目的は大気重力波および成層圏オゾンの観測であり、地上から中間圏下部に当たる高度51.5kmまでのオゾンおよび風向、風速、温度データを、高度分解能5mで取得することに成功しました。この気球は到達最高高度の世界記録を達成した同型気球の2号機であり、50kmを超える高度での観測は、今回が日本で初めてとなりました。

8月29日18時8分にB30-71号機の放球を行い、気球は高度

33.8kmで水平浮遊状態に入りました。実験の目的は、夜光および雷放電に伴うVLF電波の観測でした。観測装置はすべて正常に動作し、所期の目的を果たすことができました。今後、詳細な解析を行い、高々度発光現象および発光メカニズムの解明を進める予定です。

B200-6号機は、無重力実験装置の2重殻構造の実験部およびシステムの動作実証試験を目的として実施する予定でしたが、上層風の条件が本実験には適さないため、来年度以降に延期としました。(山上隆正)

高校生体験学習「君が作る宇宙ミッション」を開催



4回目を迎えた「きみっしょん」には全国から28名が参加

8月1日より5日まで、第4回「君が作る宇宙ミッション」(通称:きみっしょん)を開催しました。北海道から沖縄まで28名の高校生・高専生が宇宙研に集結、成功のうちに幕を閉じました。40人を超える宇宙研の大学院生が運営に参加し、プログラム運営や高校生の指導という普段の研究ではできない経験をし、多くの友人もできて、実りの多いプログラムとなったようです。このプログラムは総合研究大学院大学物理科学研究科の4研究機関(核融合科学研究所、分子科学研究所、国立天文台、宇宙科学研究本部)が、それぞれ提携しつつ行いました。最後になりましたが、本プログラムの遂行に当たり、多くの方のご支援、ご協力をいただきました。この場を借りて謝意を表したいと思います。(小山孝一郎)

「ペンシルロケットフェスティバル」に4000人

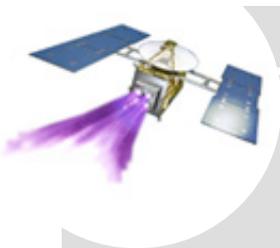
今年は、1955年にペンシルロケットが水平に発射されてからちょうど50年目に当たります。その節目の年を記念して、JAXAは去る8月19日(金)、幕張メッセにおいて、「ペンシルロケットフェスティバル」を開催しました。今回のフェスティバルでは、50年前にペンシルロケットを東京大学とともに開発した富士精密工業のロケットグループの流

れをくむIHIエアロスペースの協力を得て、宇宙科学研究本部の若手が3ヶ月間の努力の末、50年前の水平発射実験を再現してくれました(表紙参照)。「50年後の宇宙ロケット」コンテストの応募作品を詰め込むタイムカプセルも披露されるなど会場は大いに盛り上がり、4000名を超す来場者の皆さんが夏の1日を楽しみました。(的川泰宣)

ロケット・衛星関係の作業スケジュール(9月・10月)

	9月	10月
相模原	8月下旬	M-V-8号機 啗合せ試験
		M-V-8号機 モーションテーブル試験
		ASTRO-F FM総合試験
		M-V-7号機 B1仮組 (IA富岡)
		M-V-7号機 B2仮組 (IA富岡)
筑波		SOLAR-B FM総合試験
		S-310-36号機 啗合せ試験
内之浦		SELENE システムPFM試験
		M-V-8号機 第1組立オペレーション

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



はやぶさ近況

目的地イトカワへ到着

本誌が発行されるころには、「はやぶさ」は小惑星イトカワの周辺20kmの地点に滞在するランデブーフェーズに入っていると思いますが、8月28日には軌道設計上の「到着」をしています。2年4ヶ月に及ぶイオンエンジンの往路運転が終了し、イトカワからの距離4800kmにまで近づきました。この時点でのイトカワとの相対速度は約9m/s(時速32km)でした。ここからは、2液式化学推進のエンジンを使って徐々に速度を落としながら、さらにイトカワに接近するのですが、地球からイトカワまでの惑星間軌道の観点からは、すでに「到着」していることになるのです。

7月の合(地球から見て探査機が太陽の裏側に位置し、地上との通信が難しくなる状態、『ISASニュース』8月号参照)の期間を終えた「はやぶさ」は、停止させていたイオンエンジンの運転を再開し、イトカワへのラストスパートに入りました。スパートといっても、加速ではなく減速するのですが。この間、7月29日から30日、8月8日から9日、および12日に、搭載している星姿勢計(スタートラッカ)でイトカワを撮影しました。これらの画像からイトカワの見える方向を求め、地上からの電波による計測と複合させて、「はやぶさ」探査機の精密な軌道決定が行われました。図1は、背景のとも座が重なるように3枚の画像を合成したもので、イトカワの見える方向が日々変化していることが分かります。

図1 星姿勢計で撮影したイトカワ。3枚の画像を合成。

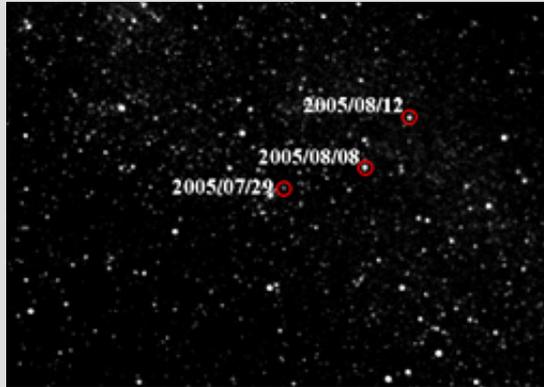


図2 光学航法カメラで撮影したイトカワ。5枚の画像を合成。背景の暗い星を同時に写すために露光時間を長くしており、イトカワは像が広がって見えている。

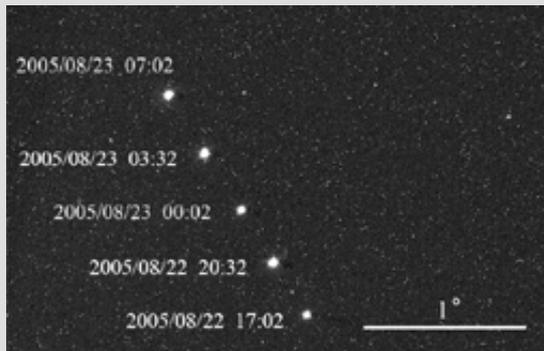
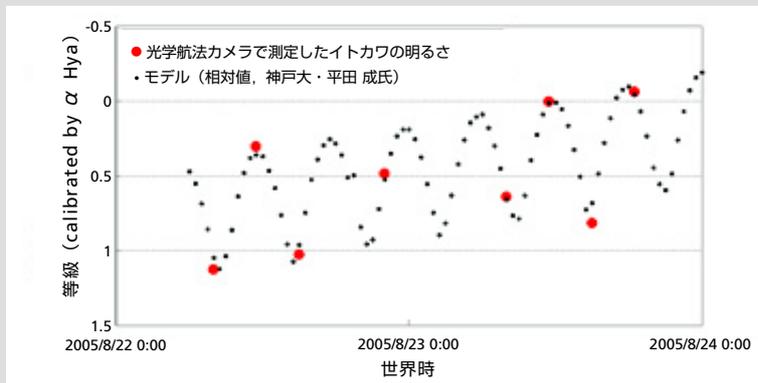


図3 イトカワの明るさの変化。予測されたモデルと光学航法カメラでの観測値の比較。



うに3枚の画像を合成したもので、イトカワの見える方向が日々変化していることが分かります。

8月23日、24日(世界時では22日、23日)には、狭視野の光学航法カメラでもイトカワを撮影しました(図2)。光学航法カメラは0.006度の精度で星の方向を検出することが可能ですが、視野方向の制約から、8月下旬までイトカワの方向を向けて撮影することができませんでした。この観測により、電波計測のみでは100km程度の軌道決定精度が、10km程度まで改善されました。図3は、光学航法カメラで検出されたイトカワの明るさを、予測値と比較したものです。予測値は、以前イトカワが地球に接近した際に地上から観測されたデータをもとに計算したものです。イトカワは約12時間で1回転していて、その明るさは6時間周期で変化しています。その明るさの変化幅も明るくなる時刻もよく一致しており、この天体はイトカワに間違いがないことが分かります。

9月上旬は毎日軌道制御を行い、微調整を続けます。イトカワも、点像から次第にその形が見えるようになってきました。厳しい運用が続きますが、あと少しで本当の「到着」です。

(橋本樹明)

浩三郎の 科学衛星秘話



「あすか」



井上浩三郎

第15号科学衛星ASTRO-Dは、「はくちょう」、「てんま」、「ぎんが」に続く我が国4番目のX線天文衛星です。宇宙最深部の新たな探査と、多種多様なX線天体の精密観測を日米協力によって行うことを目的として、1993年2月20日11時00分、M-3SⅡロケット7号機によって内之浦から打ち上げられました。近地点高度525km、遠地点高度622km、軌道傾斜角31.1度、軌道周期96分の軌道に投入されたASTRO-Dは、「あすか」(飛鳥, ASCA; Advanced Satellite for Cosmology and Astrophysics)と命名されました。

衛星の外観

上の写真に示すように、「あすか」は構体本体と太陽電池パネルにより構成されており、構体本体は衛星の中央部に伸展型トラス構造のX線望遠鏡を配置しています。重量はおよそ420kgです。3.5mの焦点距離を持ったX線望遠鏡は、そのままではロケットの先端の衛星格納スペースに入り切らないため、打上げ時には畳んでおいて、衛星が軌道に投入されてから望遠鏡を伸展する仕組み(伸展式光学ベンチ)になっています。

姿勢制御はバイアスモーメント方式の3軸制御で、太陽方向による制限の範囲内の任意の方向に、1分角より高い精度でX線望遠鏡を向けることができます。

一連の準備作業後、衛星の基本動作確認、姿

勢制御系の性能評価、観測機器の基本的な性能評価を終え、4月20日から試験観測に入りました。

初めての衛星横転輸送と 旧衛星整備センターでのハンドリング

「あすか」は、焦点距離が長い望遠鏡を搭載した構成で、従来にない縦長の衛星でした。そのため専用の横型のコンテナを製作し、衛星を横にして輸送しました。衛星試験のたびに衛星を横にしたり、立てたり、危険を伴う神経を使う作業が続きました。特に、横転台車がある今では考えられないことですが、内之浦の旧衛星整備センターを使用する最後の衛星になった「あすか」は、1軸しかないクレーンとチェーンブロックを駆使してハンドリング作業を行いました。当時作業をされたNECの安田さんと西根さんは、「衛星を横に倒す作業は神経を使いました」と、感想を述べています。

ハラハラした軌道上での伸展式 光学ベンチの伸展

3月2日に衛星内に収納されているX線望遠鏡の光学ベンチの伸展が行われました。

この伸展が失敗するとミッションが駄目になる非常に大事な作業でした。伸展は収納状態のクランプの解除から始まり、サンシェードの展開、最終状態のラッチとすべて順調に行われ、X線望遠鏡は所定の焦点距離3.5mの位置に固定されました。パドルの展開と光学ベンチの伸展により、「あすか」の軌道上での最終的な形態が完成されました。この伸展式光学ベンチを採用するまでは、いろいろと議論があったと伺っています。

プロジェクトマネージャーの田中靖郎先生は『あすかの思い出』の中で次のように述べておられます。「まず難関は、長い焦点距離の鏡筒をどうするか? そのままではノーズフェアリングに納まらない。あれこれ考えたが、軌道上で首を伸ばすしか方法はない。しかし失敗すればミッション全体がおしゃかになるとの難色も出た。小野田先生に相談に行ったところ、“やれるかもしれませんがね、試してみましようよ”とおっしゃった。先生の1年かけての試験の後、GOが出た。あの伸展ベンチは先生のおかげにほかならず、誌面を借りて厚くお礼申し上げたい」と。(いのうえ・こうざぶろう)

X線天文衛星「あすか」その1



伸展前

伸展後

伸展式光学ベンチの試験風景

宇宙の異邦人

さそり座X-1

高エネルギー天文学研究系助手 中澤知洋

ある出会いがあなたの世界観を変えてしまったこと、ありませんか？ しかもその新しい世界観があまりにも当たり前になり、昔は違った世界観を持っていたことすら思い出せないような、そんな出会いはありませんか？ 今日、そんな出来事を引き起こした、ある星と人類との出会いの物語をお聞かせしましょう。

さそり座といえば、夏の星座。「心臓」といわれる真っ赤な1等星アンタレスが有名ですが、今日のお話の主人公は、そのサソリの左ひじ付近にある星です。1962年、アメリカが打ち上げたちっぽけな観測ロケットに、とてもシンプルなX線検出器が搭載されていました。「何か見えるだろう」という、一見はなほだ適当な目的のもと、しかし「見えるはずだ」という物理的直感を信じて相当の苦勞を乗り越えて打ち上げたに違いないその検出器は、なんと想像以上に明るいX線星が宇宙にあることを示したのです。「さそり座X-1」の発見です。

「宇宙がX線で輝いている?」、「そんなバカな」という言葉が後に付くほど、当時は宇宙といえば、無限に広がる大空間に太陽とよく似た無数の星々が悠久の輝きを放つ、静かな世界でした。可視光で輝く太陽の表面温度は約6000度ですが、X線を放射するにはなんと1000万度の物質が必要です。何千光年もの彼方から人類のちっぽけな検出器でとらえられるほどのX線を放射する、強力な数千万度の火の玉なんて存在しないだろう、と考えるのも無理はありません。

ところが見てしまったのです。人類の勝手な思い込みなど、「事実」の前ではまったく無力です。しかし人類は、大変したたかで、柔軟な種族です。たかだか数年のうちに、そのX線星の正体を見破ってしまいました。今では、「宇宙からX線? あって当たり前ですよ」と、平然とのたまっております。悠久の静かな宇宙観から、ダイナミックで激動する宇宙観へ。宇宙に対する認識が、この星の発見を機に大きく変わったのです。

さて、このさそり座X-1は、どのような星なのでしょう？ 考えてみましょう。もし、直径1万kmの地球が、直径10kmにまで圧縮されたとしたら？ あなたの足元の地面が、すぱっとなくなるわけです。いつまでも落下できますから、すごい速度まで加速できます。地面にたたき付けられる前に、秒速200km、マッハ500にも達するでしょう。では、地球より30万倍重い太陽が直径10kmにまで圧縮されたとしたら？ なんと、その地面にたたき付けられるころには、光の速さの半分まで加速できるのです。200gのお豆腐を落下させれば、それが「地表」にぶつかるときに発するエネルギーは、TNT換算で1メガトンと水素爆弾クラス。「豆腐の кадに頭ぶつけて死ぬ」どころではありません。

さそり座X-1の「灼熱の炎の源」は、まさにこれでした。

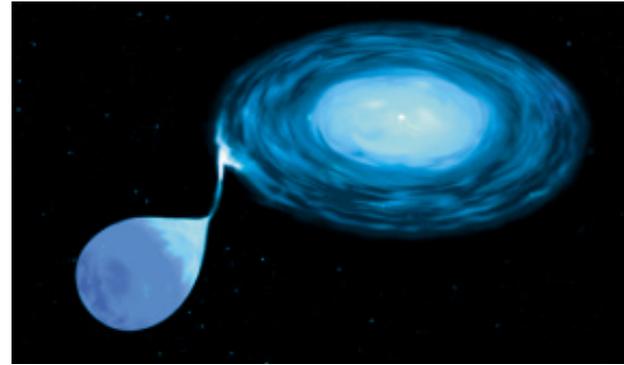


図2 中性子星と普通の星から成る連星の想像図 ©NASA

この星は、平凡な赤い星と、とても小さくて重い星が、0.75日周期でぐるぐる回っている連星です。小さい方の星は中性子星と呼ばれ、かつて輝いていた大きな星がその最後に大爆発をしたときに残るしんだと考えられています。角砂糖1個分で十億トンにもなる非常に密度の高い物質でできたこの星は、直径10kmで太陽と同じ重さがあるのです。そこへ、お隣の平凡な星からガスが流れ込んできます。その量、なんと毎秒1兆トン。豆腐どころではありません。大爆撃です。かくして、たかだか山手線の内側くらいの空間に、すさまじいエネルギーが発生します。1000万度で済めば御の字というものです。

さそり座X-1とその可視光での対応天体の同定は、故小田稔先生をはじめ日本の研究者も活躍した、非常にエキサイティングな研究のたまものでした^{*1}。2002年のノーベル賞の対象にもなった実験であり、多くの記事^{*2}があります。可視光ではちょっと紫外線が強いだけのこの星は、しかしX線で見る宇宙ではダントツのナンバーワンです。なんと宇宙全体から太陽系に届くX線の3分の1は、この星からのものなのです。

その後、人類がますます賢くなって、X線天文学が発達した今、実はこの星はあまり人気がありません。何しろ明る過ぎて検出器の目がくらんでしまう上に、つまるところ、この星はごくありきたりの中性子星連星で、ただ単に地球にちょっと近かっただけだと分かってきたからです^{*3}。宇宙には同じようなX線星が、星の数ほど輝いています。人類の興味は今、もっと過激な天体、巨大ブラックホールであるとか、銀河の大集団といった、新しいターゲットに多く向けられています。

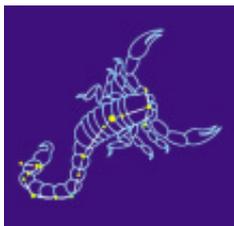
でも、忘れてはいけません。今の「ホットで過激な大宇宙」という世界を人類に教えてくれた最初の「異邦人」は、極めて明るい、でも平凡な、この「さそり座X-1」であったことを。(なかざわ・かずひろ)

*1 <http://www.isas.jaxa.jp/ISASnews/No.242/ISASnews242.html> など

*2 http://www.jaxa.jp/news_topics/interview/vol8/ など

*3 さそり座X-1までの距離は2000~9000光年ほどといわれています。ちなみに、我々の銀河は直径10万光年ほどです。

図1 さそり座



旅行目的

7月10日にM-V-6号機により打ち上げられたX線天文衛星「すざく」は発射後1307秒(21分47秒)に、日本からはるか彼方の赤道直下の小島、クリスマス島上空でロケットから分離された。この衛星分離時の詳細データと、M-Vロケットでは初の試みである二つのサブペイロード実験装置からのデータ受信のために、JAXAクリスマスダウンレンジ局を訪れた。

メンバーは、JAXAからは北村哲夫氏と私の2名、三菱商事から2名、現地システムの維持管理・運用を担当しているVCI(Vertical Circuits Inc.)から6名で、私以外はクリスマス局について熟知しており、30年間のトラッキングのベテラン経験者など頼もしい面々であった。各自が自分の責任分野に対して明確なプロ意識を持つ素晴らしいチームで、追跡対象のM-V-6号機の特徴を理解していただいた後は、実に的確に受信の準備が進行した。

量計測では全員制限重量をはるかに超過してしまっただが、どういう訳か何のおとがめもなかった。ホノルルからクリスマスまでは19人乗りのプロペラ機で、おおよそ5時間を要した。この飛行機は今年の8月末ごろからはぐっと大きくなる予定で、所要時間も3時間ぐらいに短縮され、快適コースに変わるとのこと。

南国クリスマス島での生活

クリスマス島に到着後最初になすべきことは、調達物資を受信局の冷蔵庫に収め、これからのサバイバル生活の基盤を作ることである。

それでは、実際の生活はどうであろうか？これは予想に反して毎日のごちそうで、同じメニューはまず出ない。クリスマス局の先輩たちが、プロ顔負けの料理人に変身、日本料理が恋しいなどと思うことはまったくなかった。しかし、打上げ延期に備えて食料調達訓練も欠かせない。透き通るようなサンゴ礁の海岸に出て、タコ捕りなどの任務もせっせと果たした。

サバイバル生活への出発

キリバス共和国クリスマス島は、ハワイの南約2000km、北緯2°に位置する、大きさが東京都の区内面積ほどのサンゴ礁でできた小島である。この島での生活を始めるに当たっての最初の課題は、食料調達である。島の人口は5000人を超えて

温かな島の雰囲気

クリスマス島民は、とってもフレンドリーである。お互いに「Mauri^{マウリ}」と言い合い、親しげに首をチョコツと上げてあいさつを交わす。ある日、同行の北村氏から、本日15時にキリバス共和国のクリスマス島区域開発担当大臣Honourable Tawita Temoku氏への表敬訪問の予約が取れたので一緒に行くように、との指示が出た。半ズボン姿であったので、いくら何でもと思い、ホテルに戻り長ズボンにはき替えて(大して変わらず)訪問。今回の仕事の概要などを説明。大臣はとってもこやかに、島の人々と同様、親しげに温かく歓迎してくださった。

無事任務を達成して

初めに述べたように、クリスマス局受信チームはベテランぞろいで、それ故に本番前から今回の受信の難しさを全員が認識していた。このため、無事受信ができたときにはクリスマス局ダウンレンジ班一同、胸をなで下ろした。写真からも、無事任務を達成できたという関係者全員のうれしそうな表情が読み取れる。

島中に散らばるヤシの木、真っ青な空と海、そして受信局からホテルへの帰り道に思わず車を止めて見上げてしまう、ため息の出るような満天の南国の星空が、帰国後の今も脳裏に浮かぶ。

(はしもと・まさし)



打上げ後、受信室に全員集合。これで我々も有名人！

ているとのこと、ホテルでの食事も可能なのだが、それになじむには少々努力を要するとのこと。そんな訳で、経由地ホノルルのスーパーマーケットで2時間もかけて、山のような買い物を実施した。料理がまったくダメな私の仕事は、もっぱらどこでかいカートを転がし付いて回ることだけで、調達物資の選択は同行のクリスマス島ベテラン諸氏にお任せした。

ホノルル空港からの出発は、広い空港の端の方にある普通は行くことのない小さな小屋のようなどころからで、ピザの確認などの出発手続きもここで行われた。調達した大量のサバイバル物資を各自のバッグに詰め込んだ結果、荷物の重

宇宙科学情報解析センター助教 橋本正之



思い出と願い

8月初めのある日、『ISASニュース』の「いも焼酎」欄に書いてほしいとの依頼が舞い込んだ。毎号の『ISASニュース』を隅から隅まで読んでいたので、いろいろな人の顔が浮かんでくる。特に最近垣見さんや折井さんが書かれており、昔のことを思い出させてもらっている。

ところで、今年は不思議に「何十年」ということが多い。あの思い出すのも嫌な原爆60年、一緒に書いては申し訳ないが「ペンシルロケット50周年」、私が東大宇宙航空研究所に移って40年、『ISASニュース』も間もなく25周年である。そして、私にとっては宇宙研退官20年なのである。こんな年に「いも焼酎」への投稿を頼まれたのも、何かの縁かもしれない。私もすでに83歳という年になってしまった。

私のロケットとのかかわりは、K(カップ)-8型からである。実験場は秋田県道川で、ロケットは馬車で運ばれてきたし、実験場内の移動はほとんど人力に頼っていた。ロケット台車は実験班の人が押していた。K-8型は初めて電離層に達するロケットであったが、その後行われたワロップス実験場での初の日米共同実験で使われたロケットに比べても、性能的には劣ることはなかった。このK-8型ロケット実験では、当時の電電公社電気通信研究所と郵政省電波研究所が共同開発し横河電機製作所によって作られた正イオンプローブ、後に電子密度と電子温度を同時に測れるプローブを搭載して、世界でも最も信用できるデータを得ていた。K-8型1号機ではいわゆる開頭がうまくいかなかったので、2号機するとき、秋田道川実験場の砂浜で開頭テストを日産の板橋技師と一緒にやったことを今でも思い出す。このことは、後にインドで行ったロケット実験でも大いに役に立った。

平尾邦雄

宇宙科学研究所名誉教授

このK-8型実験のデータが発表されると早速NASAゴダード研究所のサブ博士が秋田に見学に来て、間もなく日米共同の研究観測の話がまとまり、私たちが足かけ3年にわたりワロップス島にあるロケット実験場においてナイキージュン3機、アエロビー1機、ジャベリン1機を使って行ったのである。おそらくこれは、我が国における初の本格的な国際共同実験だったろう。そのとき一緒だった横河電機製作所の村岡技師も、若くして亡くなられた。大変残念なことである(写真参照)。

今からちょうど40年前に、私は電波研究所から東大の宇宙航空研究所に移った。それからまったくロケットや科学衛星事業に没頭する羽目となった。それまではいわば外野席から応援していたのが、以後はその一員として、明けても暮れても宇宙観測事業のことばかりを考えるようになった。小田、大林両君らと一緒に工学のメンバーと絶えず話をしながら、どのようにして我が国の宇宙科学を支えていくかが、私たちに与えられた命題だった。このような理工協力の態勢が、今の宇宙研の基礎となったと思っている。

先日、「ペンシルロケット50周年記念」の集まりがあった。会する者300人程度だったろうが、日ごろお会いすることの

できないような方々と短いながらお話しする機会があったのは、大変うれしいことだった。その中で、ちょうど臼田のアンテナを計画したときの文部省の担当官だった重藤さんと、それこそ20年ぶりにお会いし、当時の論争を思い出した。もちろん担当の電気の先生方もお話しをされていたが、理学の私たちがかなり強引に必要性を迫ったことを思い出したし、それを受け入れていただいた重藤さんたちにとっても大きな思い出になったのではないだろうか。最近新しい体制になった宇宙研でも、ぜひ理工一緒になって与えられた「宇宙科学研究」という天職を計画・実行していただきたい。

私の退官20年に当たる今、特に思い出の多い『ISASニュース』に投稿できるようにして下さったことに誠に感謝しながら、このとりとめのない一文を書かせていただいた。ありがとうございました。(ひらお・くにお)



ナイキージュンペイロード。左から村岡技師、サブ博士、筆者。

“最初の一撃”を求めて

宇宙探査工学研究系助手
福島洋介

—8月24日、小型科学衛星「れいめい」(INDEX)が打ち上げられましたね。

福島：私は「れいめい」の姿勢制御系プログラム(姿勢決定機能)の開発を担当しました。現在は、その運用に携わっています。星の位置や太陽の方向、さらには地球の磁力線の方向から、衛星がどちらの方向を向いているのかを精度よく知るためのプログラムです。自分の姿勢を知った後、観測目標であるオーロラへ向きを変えていきます。

—もともと、宇宙ロボットを遠隔操作する支援技術の開発をしていたそうですね。

福島：大学院生のとき、国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」の開発の一環として、ロボットアームをスペースシャトルに搭載して地上から遠隔操作するMFDという実証試験に参加しました。そのとき私が開発したのが、シャトルの固定カメラでとらえた実写映像とCGを組み合わせて自由に視点を得られる、遠隔操作を支援するプログラムです。例えば目印へロボットアームを移動させる場合、目印の真横や真上からの画像があれば、遠隔操作しやすいですね。

その後、宇宙開発事業団に入り、技術試験衛星「おりひめ・ひこぼし」のロボットアームを地上から遠隔操作する実験に携わりました。宇宙飛行士の若田光一さんに遠隔操作を試してもらい、スペースシャトルで間近のロボットアームを操作する場合と、地上から遠隔操作する場合の操作性の違いなどを聞きました。そのとき、若田さんが行ったのと同じ操作を私もやってみましたが、まったくかきませんでした。私は1年間くらいその装置を使っていたのですが、若田さんは、やはりさすがです。

—軌道上のロボットを遠隔操作する難しさは？

福島：例えば、データのやりとり時間に時間がかかることです。地上である指令を出しても、実際にロボットアームが動くのは約1秒後。ロボットアームが物に触れても、地上でそれを知るのは約2秒後です。そのタイムラグを予測して、あたかもリアルタイムで行っているように操作できる支援プログラムの開発を私たちは目指したのです。

—今後、どのような技術を開発してみたいですか。

福島：宇宙開発や探査では、人が操作したり、修理したりできない状況がたくさんあります。宇宙ロボットは、自分で状況判断をして意思決定できるなど、もっと賢くならなければいけません。おそらく数十年後には、人工知能や自律化、自動化などと現在呼ば



ふくしま・ようすけ。1968年、東京都生まれ。1997年、東京工業大学大学院理工学研究科博士課程修了。同年、宇宙開発事業団開発部員。2003年、JAXA経営企画部企画課開発部員。2004年、宇宙科学研究本部助手。専門は宇宙ロボットの遠隔操作支援システム。小型科学衛星「れいめい」(INDEX)の姿勢制御系プログラムの開発に参加し、現在、運用に携わっている。

れている技術を超える発展したシステムができて、あらゆる分野で爆発的に使われていることでしょう。発展したシステムを築くための鍵となる技術の芽は、今、開発されつつあると思うんです。その技術が“最初の一撃”となり、数十年後に大発展する。未来から振り返ると、あの技術が重要だったんだと思うはず

です。でも今の私たちには、その技術が何なのかは分かりません。それを、ぜひ私は知りたい。チャンスがあれば、その開発に参加したいと思っています。“最初の一撃”が開発されつつある分野は、多くの優秀な研究者がしのぎを削っている携帯電話のような自律型装置の分野かもしれませんが、高い自律化が求められる宇宙ロボットの分野である可能性も高いと思います。

—なぜ“最初の一撃”が知りたいのですか。

福島：人類の進化において、少なくとも4万年前までには、現代人と変わらない脳が完成したといわれています。そのとき、人類は何らかの能力を獲得できたからこそ、今日の繁栄を築くことができたのです。その能力、“最初の一撃”を知りたい。あるいは、約5000年前にエジプトなどで文明が生まれ、人類は大発展しました。そのときにも何らかの“最初の一撃”があったはず。それらの“最初の一撃”とは何だったのか。複雑な言語を操る能力や文字の発明など諸説ありますが、今となっては分かりませんよね。ただし、その人類史上の“最初の一撃”に匹敵することが、今まさにロボットの世界でなされようとしています。その“最初の一撃”が分かれば、かつて人類が大発展をもたらした“最初の一撃”も分かると思うのです。

—ロボットの世界の“最初の一撃”とは何だと思えますか。

福島：例えば、“赤い色”って自分がどう感じているのか、他人へは言葉で説明し切れませんか。そのような“感じ”を脳科学や認知科学では「クオリア」と呼びます。クオリアをコンピュータ上で表現する技術が“最初の一撃”となり、「ちょっとおかしい」とか、「こっちがいいはずだ」などの“感じ”を持ち、状況判断や意思決定ができるロボットが誕生すると私は予想しています。

ISASニュース No.294 2005.9 ISSN 0285-2861

発行/独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部
〒229-8510 神奈川県相模原市野野台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



編集後記 この夏は宇宙科学の活発なアクティビティがいくつもあり、ISAS事情欄でご紹介できてうれしい限りです。しかし、ここに至ることができたのは、長くて地味な準備作業があったからこそです。注目を集める活動も、「ISASニュース」を振り返るとその道のりが追える、そんな情報をこれからもお届けしていきたいですね。
(竹前俊昭)

デザイン/株式会社デザインコンビピア 制作協力/有限会社フォトンクリエイト