

祝 能代ロケット実験場開設50周年記念式典



能代ロケット実験場開設50周年記念事業の様子。小野田淳次郎 宇宙科学研究所長のあいさつ(上)、能代市との覚書締結(右上)、実験場特別公開の実験設備(左下)とハイブリッドロケットの燃焼試験(右下)の公開。

宇宙科学最前線

柔らかい大気圏突入機の実現に向けて ～シイタケ型実験機はいかにしてつくられたか～

東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授

鈴木宏二郎

宇宙科学研究所 宇宙飛翔工学研究系 助教

山田和彦

次世代の大気圏突入機はシイタケ型？

上空で傘のような空気ブレーキを広げてフワリと大気圏に突入する新しい飛行体の実験については、観測ロケットS-310-41号機報告として本誌2012年5月号と9月号で紹介させていただきました。本稿では、そこに至る研究のストーリーをお話したいと思います。

宇宙から人や物資を帰還させたり、火星などの大気のある惑星に探査機を着陸させたりする際、大気圏突入は避けて通れない関門です。その際に最も厳しいハードルが、空力加熱の問題です。これは、大気分子が高速で飛行する機体表面にぶつかって運動エネルギーを失い、熱に変わるために起こります。

大切な宇宙船が空力加熱にやられて燃えないようにするには、何らかの対策が必要です。これまでは、「いかにして上手に熱に耐えるか」の観点から研究開発が行われてきました。スペースシャトルのタイルがそのよい例です。私たちはこの方向性に疑問を持ち、空力加熱を避けることはできないだろうかと考えました。答えは簡単です。空力加熱の出所は機体にぶつかる大気分子ですから、その数を減らす、つまり高速での飛行は大気密度の低い高高度に限ればいわけです。これは、低い高度の“濃い”大気に到達する前に減速を済ませてしまえるよう、高高度で利きのよい空気ブレーキが必要となることを意味します。ところが、空気ブレーキに必要な空気抵抗の大きさは大気密度に比例するので、その分、

空気ブレーキを大きくする必要があります。でも、小惑星探査機「はやぶさ」のようなカプセルをそのまま大きくしたら重くなってしまい、第一、打上げ時に邪魔で仕方ありません。そこで、雨傘のように、空気ブレーキを布でつくって、あらかじめ畳んでおき、大気圏に突入する前に広げて使うことを考えます。これが「展開型柔軟膜構造エアロシェル」のアイデアです。

私たちは、これを飛行体として実現させようと考えました。新しい乗り物をつくる研究では、計算機シミュレーションや実験室実験だけでは駄目で、実際に飛ばしてみせないと人々に信用してもらえません。そこで、今から約10年前に、飛行実証を中心に据えた研究開発を開始しました。図1はこれまでに開発した実験機の歩みです。一番右がこの夏に観測ロケットで飛行実証を行った機体で、その色と形から、取材に来た記者の方より「シイタケ型」のニックネームを頂戴しました。

開発の大きな転機となった気球実験

展開型柔軟膜構造エアロシエルの実用化に向けた研究開発が本格的に開始されたのは、2002年の宇宙航行の力学シンポジウムで図1の左端にあるような構想を発表したことがきっかけでした。その当時は、超音速気流中の膜面の挙動といった基礎研究が中心の段階でしたが、フライトを目指す意気込みが伝わったのか、幸いなことに、まずは気球実験から始めたらよいというアドバイスをいただき、その“翌年”に飛行実験となりました。

研究室の学生に加え、宇宙研や他大学の学生も巻き込み、さらには宇宙研の大気球観測セン

ター（現在の大気球実験室）の協力を得て、飛行実験の立案から実験機の設計と製作、さまざまな確認試験まで、たった8ヶ月間で行い、実験期日までに実験機をつくり上げました。しかし、2003年の夏、三陸大気球観測所での実験では、残念ながら機体を気球ゴンドラから分離することができず、飛行実験は実現できませんでした。実験場でゴンドラとともに戻ってきた実験機を迎えた悔しさも、今では何事にも代え難い貴重な経験であったと思えます。翌年の再挑戦では、一度目の経験を活かして実験機を洗練して実験に臨み、柔軟エアロシェルが取り付けられた実験機を高度40kmから安定に降下させることに成功しました。この気球実験の成功が、柔軟エアロシエルの開発の大きな転機となり、研究開発が一気に加速することになりました。

開発における風洞の役割

さて、図1にあるように、我々が開発を進めている柔軟エアロシェルは、中央の金属製のカプセルのまわりに、空気ブレーキとなる円錐状の薄膜が取り付けられており、その膜に働く空気力をリング状の外枠で支える構造となっています。前述の気球実験において、このような形の柔軟エアロシェルが安定して飛行できるという基本的な部分は確認できました。しかし、本当に大気圏に突入するものをつくるとなると、越えなければいけないハードルは、まだ多くあります。例えば、大気圏突入時の空力加熱に耐えることができるのか、空気の力で壊れないのか、また、より高速でも安定に飛行できるのか、などの疑問に答えなければなりません。

これらの課題を解決するためにはなくてはならない強力なツールが、風洞です。大気圏突入機は、空気の力で減速しながら飛行するので、飛行中に受ける空気力を正確に理解することは非常に重要です。しかも、大気圏突入時の超高速飛行（秒速8km）から、着陸直前の低速降下（秒速7m）まで、とても広い範囲の速度で飛行するので、それらすべての速度領域について調べる必要があります。一つの風洞でつくり出すことができる速度の範囲は決まっているので、すべての速度域をカバーするために、さまざまな風洞を駆使して、その特性を理解し設計を進めていきます。

利用法はこれだけではありません。高温気流をつくることのできる風洞では、膜材料の空力加熱への耐性試験を行います。また、強度試験にも利用できます。出来上がったエアロシェルに実際に風を当てて、どの程度の空気力に耐えることができるのかについて調べるのです。現在

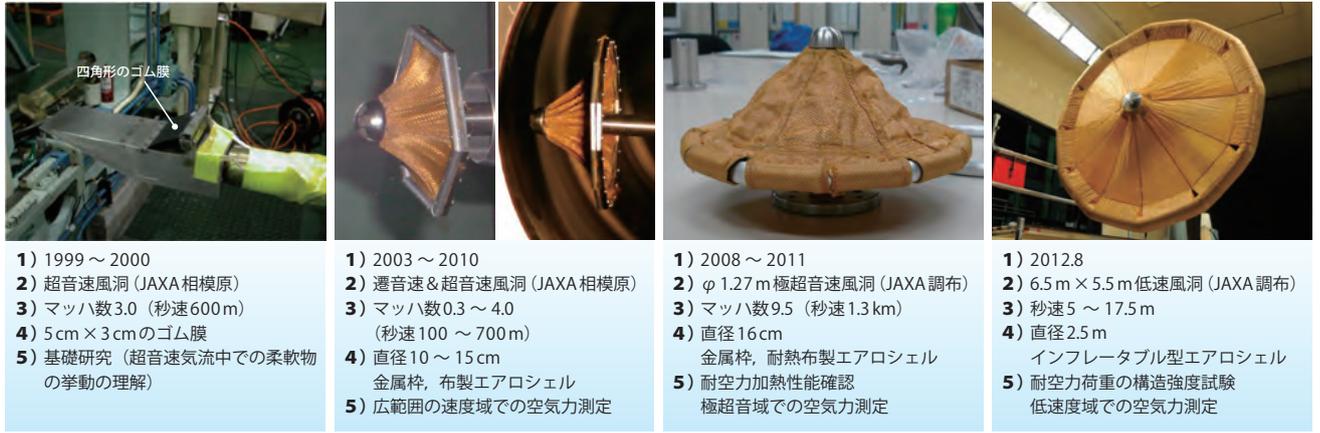
図1 展開型柔軟膜構造エアロシェル実験機開発の歩み



| 飛行実験日 | 2002.12.3 (学会発表) | 2003.9.1 | 2004.8.28 | 2009.8.25 | 2012.8.7 |
|------------------|------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| 打上げ | 観測ロケット (構想のみ) | 大気球 | 大気球 | 大気球 | 観測ロケット |
| 実験場 | — | 三陸 | 三陸 | 大樹町 | 内之浦 |
| 最高高度 | 200km | 40km | 39km | 25km | 150km |
| 全機重量 | 30kg程度 | 69kg | 106kg | 3.4kg | 15.6kg |
| エアロシェル直径 | 1m程度 | 1.35m | 1.45m | 1.26m | 1.2m |
| 半頂角 | 45度? | 45度 | 45度 | 60度 | 70度 |
| 展開方式 | 形状記憶合金? | ばね | ばね | インフレーター | インフレーター |
| 最大速度 | 1.9km/s | — | M=0.94 | 低速 | M=4.6 |
| 弾道係数 ($C_D=1$) | 40kg/m ² 程度 | 48kg/m ² | 64kg/m ² | 2.7kg/m ² | 14kg/m ² |

図2 これまでに風洞試験に用いてきた模型の一部

1)実施年 2)使用風洞 3)速度 4)模型サイズと形態 5)目的



- 1) 1999～2000
- 2) 超音速風洞 (JAXA相模原)
- 3) マッハ数3.0 (秒速600m)
- 4) 5cm×3cmのゴム膜
- 5) 基礎研究 (超音速気流中での柔軟物の挙動の理解)

- 1) 2003～2010
- 2) 遷音速&超音速風洞 (JAXA相模原)
- 3) マッハ数0.3～4.0 (秒速100～700m)
- 4) 直径10～15cm 金属枠, 布製エアロシェル
- 5) 広範囲の速度域での空気力測定

- 1) 2008～2011
- 2) φ1.27m極超音速風洞 (JAXA調布)
- 3) マッハ数9.5 (秒速1.3km)
- 4) 直径16cm 金属枠, 耐熱布製エアロシェル
- 5) 耐空力加熱性能確認 極超音域での空気力測定

- 1) 2012.8
- 2) 6.5m×5.5m低速風洞 (JAXA調布)
- 3) 秒速5～17.5m
- 4) 直径2.5m インフレーター型エアロシェル
- 5) 耐空力荷重の構造強度試験 低速度域での空気力測定

の設計では、軽量化のために外枠部分にインフレーター型を採用しています。インフレーター型とは、袋状の膜の中にガスを入れることによって形状を維持するものです。要するに外枠に浮き輪を用いていると思ってください。最近では、大型の風洞を使って、直径2.5mの浮き輪状の外枠を取り付けた模型の強度試験も行っています。

このように、風洞試験はこの飛行体の開発に欠かせないものです。図2には、これまでの風洞試験に用いてきた模型の一部を紹介しています。

観測ロケット実験は中間試験

さて、今年8月に観測ロケットS-310-41号機によって、柔軟エアロセルの大気圏突入実証試験が行われました。この試験は、これまでの研究開発の一つの集大成と位置付けており、将来、このシステムを実際に大気圏突入機に応用する際に必要な要素がほとんど含まれている非常に重要な試験です。例えば、エアロセルをコンパクトに収納する方法、無重量高真空下でエアロセルを確実に展開する手法、ロケットから実験機を分離する機構、大気圏突入飛行中に空気力で姿勢を安定させる設計、大気圏突入時の空力加熱に耐える膜面材料の選定、飛行中の空気力に対してつぶれない浮き輪の設計、衛星通信を使った着水位置の特定、などが挙げられます。観測ロケットでの飛行試験自体はあっという間なのですが(約25分間の飛翔でした)、これまで長年積み上げてきたものが正しかったかが一目で判断されてしまう、いわば、この技術開発における中間試験のようなものです。

図3は、この試験の最も重要な結果である実験機の再突入軌道を示したものです。横軸が速度で、縦軸が高度を示しています。プロットがフライトデータ、青線が事前に計算で予測した軌道です。フライトデータと予測軌道はよく一致しており、柔軟エアロセルは想定していた減速性能を発揮したことがわかります。また、図の中

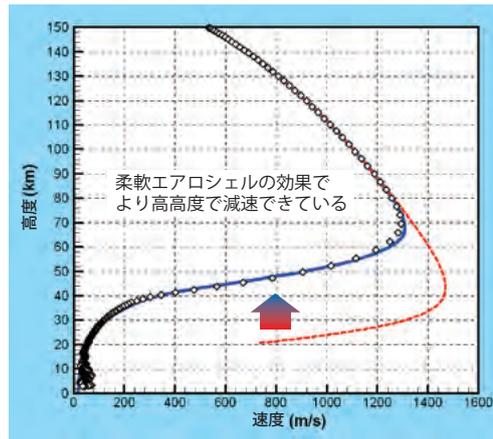


図3 観測ロケット実験における実験機の再突入軌道
プロット：フライトデータ
青線：実験機の予測軌道
赤線：エアロセルのない場合の予測軌道

には、柔軟エアロセルがない場合(従来型の大気圏突入機を想定)の予測軌道を赤線で示していますが、これと比べると柔軟エアロセルは期待通り、より高高度で減速できていることがわかります。その分、空力加熱も緩和できていると考えており、この新しい大気圏突入機的能力を示すことができました。このことから、ひとまず、この試験は合格だったといつてよいでしょう。

結び

私たちが夢見ていたものを形にすることができました。では、これを何に使ったらいいでしょうか。形が折り畳み傘のようなものですから、ペネトレータ(地面に高速でぶつかってそのまま潜り込む地中探査機)を芯にして火星探査機をつくったら面白いかもしれません。「大気圏突入機は頑丈で硬いもの」という常識を捨てると、さまざまなアイデアが出てきます。

これまで研究開発を進めるに当たり、2005年度以来のJAXA宇宙工学委員会戦略的研究費をはじめ、宇宙科学研究所大気球実験室や観測ロケット実験室など多くの方々から支援と励ましを頂いています。ここに感謝の意を述べるとともに、「大気圏突入はシイタケ型がいいねえ」と言ってもらえるよう、今後も全力を尽くして研究開発を進めていきたいと思ひます。

(すずき・こうじろう, やまだ・かずひこ)

イプシロンロケット2号機開発

イプシロンロケットのイメージは、安い、早い、便利。そのため、開発前に行われた利用調査の結果を踏まえて、機体を「基本形態」と「オプション形態」の2種類に絞り、標準化して生産効率を高める方針です。ところが、開発を始めてちょうど2年、初号機の設計が決定すると同時に、早くも2号機の仕様を変更せざるを得なくなりました。

イプシロン2号機で打ち上げられるERG衛星は、地球近傍のジオスペースと呼ばれる領域において、人工衛星の故障や宇宙飛行士の放射線被曝の原因ともなる放射線帯（ヴァン・アレン帯）の高エネルギー粒子の加速過程および宇宙嵐のダイナミクスを直接観測によって明らかにする小型科学衛星です。放射線帯の空間構造は、太陽活動とともに変化することが知られています。もともとの軌道計画では、当初打ち上げが予定されていた2014年に、ERG衛星が放射線帯の中心部を長期間観測できるはずでした。しかしながら、衛星計画の遅れによって打ち上げが2015年になることが決定したため、観測すべき領域が地球から遠ざかる見通しです。そのため、イプシロン2号機の打上げ能力を向上させて、より高い軌道に打ち上げなければなりません。

ということで、イプシロンロケットは2013年夏に

SPRINT-A衛星を打ち上げる1号機に向けて一通り開発を完了しますが、さらに2015年にERG衛星を打ち上げるため、第3段を軽量化して打上げ能力を向上する「2号機開発」が追加されることになったのです。

ところで現在、さらなるコストの低減と能力の向上を目指す次世代型イプシロンの実現に向けて先進的な要素技術の研究が進められています。それらの中で実用レベルに達しているものについては、2号機開発で先取りして飛行実証する方針です。この“チャンス”を有効に活用して前倒して先進技術の飛行実証ができれば、次世代型イプシロンの開発をより確実に進めることができるでしょう。ERG衛星とさらなるWin-Winの関係を築けるといわけです。

イプシロンロケットが21世紀の宇宙開発で活躍するためには、高い目標を掲げて自律的に技術とサービスの基礎を鍛え続け、常に世界のトップレベルを保ち続けることが重要です。いつも“うるさい顧客”として刺激と励みを与えてくれる小型科学衛星は、連携を通じて互いに切磋琢磨し合える仲間でもあります。今後とも手を携えて成果を挙げるための鍛錬を続けていきますので、皆さまにも叱咤激励とさらなる応援をお願い致します。（徳留真一郎）

能代ロケット実験場開設50周年を迎えて

能代ロケット実験場の開設50周年の節目を迎え、9月8、9日に記念事業が開催されました。

行事は、シンポジウム（8日）、記念式典（9日）、実験場特別公開（8、9日）を行いました。シンポジウム「宇宙につながるまち能代」は能代市主催で、能代市文化会館にて行われました。サイエンスパーク能代市子ども館と東北電力の能代エナジウムパークでも催しがあり、能代市全体で記念事業を盛り立てていただきました。8日のシンポジウムでは、宇宙研の秋葉鎌二郎名誉教授と川口淳一郎教授の講演、そして斎藤滋宣 能代市長、秋田大学の土岐仁教授、宇宙研の阪本成一教授、羽生宏人助教、安田によるパネルディスカッションが行われ、500名を超えるたくさんの方々

に視聴していただきました。能代市からは、好評でしたとのご報告を受けております。

8日の夜は、能代市恒例（毎年9月第2土曜日開催）の「おなごりフェスティバル」（東北の三大祭りほかが結集）への招待を受け、宇宙研関係者全員でお祭りを楽しませていただきました。このお祭りでは能代七夕、青森ねぶた、秋田竿燈などを一挙に見ることができましたが、若い人たちにとっては浅草サンバカーニバルの踊りが一番だったようです。とにかく夢中で、JAXAの帽子を振りながらの声援、写真撮影をする人たちも含めて（名前は書きませんが）、終了連絡の声もまったく届かなかったようです（そのときの写真をお見せできないのが残念です）。



「おなごりフェスティバル」のJAXA職員らによるパレード



能代ロケット実験場の特別公開

9日には、地元議員、能代市浅内地区の協力会、秋田県(火薬・高圧ガス関連)、文部科学省、企業、宇宙研OBの皆さんをお招きし、感謝の意をお伝えすることを目的として記念式典を執り行いました。式典では、能代市長、文部科学省の方よりお祝いの言葉を頂戴し、また秋葉名誉教授をはじめとして歴代場長などから実験場の歴史など大変貴重なお話を頂きました。併せて、JAXAと能代市による「宇宙科学の教育普及活動等に係る連携協力に関する覚書」の締結も行われました。続いて行われた祝賀会では50年の歴史を振り返り、皆さまの会話にも花が咲き、能代市のご支援によるお囃子の披露などもあって大変盛況でした。お

帰りに、感謝のお言葉を多数頂いております。

8日と9日に行った実験場特別公開では、実験設備、開発中のエンジンなどの公開や、秋田大学の協力のもとハイブリッドロケットの燃焼試験を実施し、来場者の方々には大変喜んでいただきました。

このようにして、能代ロケット実験場の50周年記念事業は無事、成功裏に終えることができました。この結果は、科学推進部、プログラムオフィス、能代実験隊のご協力があったこそなし得たものと考えております。今回ご協力くださった皆さまには、心よりお礼申し上げます。

(安田誠一)

雨にも風にも負けない「宇宙学校・たけお」

佐賀県立宇宙科学館では、7月14日から9月17日まで、夏の特別企画展「飛び出せ!宇宙へ!」を開催しました。この企画展は、糸川英夫博士生誕100年、フォン・ブラウン博士生誕100年、アポロ有人月探査終了から40年を記念して企画したもので、日本のロケット開発の歩みや月・惑星探査、宇宙利用やスピン・オフなどを紹介しました。その企画展の最終日に、「宇宙学校・たけお」を開催することができ、とても喜んでいました。

しかし、当日の9月17日は台風16号が九州に最接近しており、先生方や参加者が無事に来館できるかどうか気が気ではありませんでした。結局、悪天候にもかかわらず146名に参加いただきました。心配事はもう一つ……佐賀県の子供たちはとても恥ずかしがり屋で、質問の手が挙がるだろうということ。しかし、それも宇宙学校が始まると吹き飛びました。宇宙学校校長の阪本成一教授のリードで、子どもたちの手が挙がること、挙がること。質問が途切れることはありませんでした。

1限目は野中聡准教授による「これまでのロケットとこれ



宇宙学校を終え、夏の特別企画展「飛び出せ!宇宙へ!」で説明に聞き入る子どもたち。

からのロケット」、2限目は田村隆幸助教による「X線で探る宇宙の大規模構造—『すざく』から『ASTRO-H』へ—」というテーマで進められました。野中先生の授業では、再使用ロケットの話が子どもたちの興味を引いたようで、「宇宙から帰ってくる時大気圏で表面が燃えるけれど次も使えるの?」「地球環境に優しいロケットなの?」「再使用ロケットで有人飛

行の計画はあるの?」など質問が次々に寄せられ、近い未来の宇宙旅行に思いをはせていたようでした。田村先生の授業では、ブラックホールの質問が多く、「ブラックホールの中身は?」「ブラックホールの降着円盤の広がりはどうなっているの?」「ブラックホールはどんな物質でできているの?」など、子どもたちの興味は尽きませんが、ますます謎は深まるばかりのようでした。

最後に両先生に子どもたちへのメッセージを頂きました。「子どものうちはいろんなことに興味を持つこと」「やりたいことを決めたら一つずつやり遂げてほしい」という先生方の言葉に、子どもたちは目を輝かせてうなずいていました。私たちも頑張らなくては……。 (佐賀県立宇宙科学館/堤 紀子)

「SPICA 特別セッション」日本天文学会秋季年会にて開催

大分大学にて行われた日本天文学会秋季年会において、9月21日、「SPICA 特別セッション」が開催されました。

SPICAは、(1) 銀河誕生のドラマ、(2) 惑星系のレシピ、(3) 宇宙における物質の輪廻という現代天文学の重要課

題に挑む次世代赤外線天文衛星です。ハッブル宇宙望遠鏡をも超える口径3.2mの望遠鏡を搭載し、それをマイナス267℃(絶対温度で6K)まで冷却することにより、上記の重要課題の解明に欠かせない「中間・遠赤外線領域」において、圧倒的な高感度を誇ります。日本がリード

する国際共同ミッションで、欧州(ESAおよび個別の国から成るコンソーシアム)、韓国、台湾が参加し、米国も参加を検討中です。2022年の打上げを目指しています。

SPICAは、「プリプロジェクト」という段階にあり、最終的なプロジェクト承認まで、あと一歩というところまで来ています。プロジェクト承認に向けた衛星仕様決定のための活動の一環として、観測装置の国際レビューを進めており、来年の2月には焦点面観測装置の仕様が決まります。この重要な時期に当たり、SPICAの「目指す科学」と「そ



日本天文学会秋季年会「SPICA特別セッション」での議論の様子(大分大学)

の実現のために必要な観測装置の仕様」について、広くコミュニティに問うために、今回の特別セッションを開催しました。

特別セッションでは、ミッションの状況の説明に続いて、上記の3つの主要テーマと、その解明のために必要な観測装置について活発な議論が行われ、

参加者から実現に向けての強い期待が表明されました。この議論は大変に貴重なものであり、今後のSPICA計画の方針と観測装置仕様の決定とに反映していく予定です。

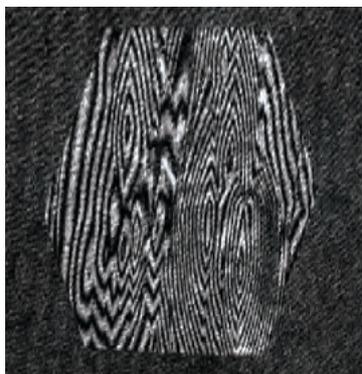
日本天文学会秋季年会期間中の最後の時間ということで、参加者が十分に集まるかという心配が開催前にはありました。しかし、ふたを開けてみると、立ち見も出るほどの大盛況で、心配は杞憂に終わりました。SPICAに対する天文学会会員の熱い期待をひしひしと感じました。

(中川貴雄, 松原英雄)

結晶成長の様子をリアルタイムで追う

現在、国際宇宙ステーションで実施中のNanoStep実験についてご紹介します。宇宙ステーション補給機「こうのとりのり」3号機(HTV3)で今年7月に打ち上げられた実験機器を星出彰彦宇宙飛行士に取り付けてもらい、その後は地上からの遠隔操作ですべての実験を行っています。

無重力では密度差・温度差による対流がないので、分子の拡散が成長の律速となり分子がゆっくりと結晶に取り込まれて品質の良い結晶ができる、とこれまで考えられていました。1990年代以降、多くのタンパク質結晶生成の宇宙実験が行われ、確かに実際に品質の良い結晶も得られてきています。結晶を持ち帰り、それをX線構造解析にかけることで、タンパク質分子の詳細な立体構造が判明し、例えば病気の原因となるタンパク質の阻害剤の開発を行うなどの応用につながるのです。しかし、これまでの実験はできた結晶を持ち帰り、構造解析を行うことが目的だったため、実際にタンパク質の結晶成長速度をきちんと計測した宇宙実験はありませんでした。代表研究者の東北大学・塚本勝男教授らが2007年に実施



タンパク質結晶表面の干渉像。
結晶の大きさは約500 μm。

したロシアの回収衛星を用いた実験では、予想に反して、無重力では成長速度が地上より速い場合もあるという結果が得られたのです。NanoStep実験は、この回収衛星実験の結果をより詳細に、リアルタイムで調べることを目的としています。

より詳細に結晶成長速度を調べる方法として、干渉計を使います。光の干渉を利用して、結晶表面に白黒のしまを出すように調整します。結晶の成長に伴い、光源から結晶表面までの光学距離が変わるため、しまが移動し、その移動距離から結晶成長速度を算出するのです。1つのしまが次のしまの位置まで移動すると、約200nm成長したことになります。実験中、簡易計測として大画面に映した結晶表面上のしまの移動距離を定規で測っていたことから、「定規でナノメートルを計測……」と塚本教授がつぶやいておられて、みんなで大笑いしました。

NanoStep実験は3つの溶液濃度で実験を行う予定で、現在2つ目の溶液での計測を開始するところです。面白い結果が得られそうで、楽しみです。(吉崎 泉)

イブシロンロケット用スピンモータ真空燃焼試験

8月22日から30日の間、あきる野実験施設の小型真空槽を使ってイブシロンロケット用のスピンモータ（SPM）真空燃焼試験が行われました。昨年度末にタンブルモータの真空燃焼試験やTM-250モータ真空燃焼試験を実施していたので、設備的な課題はありませんでした。

今回の試験に用いられたSPMは、M-Vロケット5号機で使用したSPMとほとんど同じ設計です。違いを挙げると、点火系に遠隔操作式セーフ・アーム機構（RSAD）が付いたこと、推進薬の原料の一部の仕様と調達先が変わったという点になります。推進薬はBP-250Jという呼称でしたが、まったく同じではないのでBP-250JAという改良型を意味する呼称に変更されています。このような微小変更ではありますが、重要な役割を担うモータですから当時の設計と違いがないことを確認する必要があり、今回の真空燃焼試験が行われたわけです。モータの大きさは、モータケース部分が両手のひらに収まるくらいです。SPMの特徴は、スカーフカットノズルと呼ばれる斜めに切り取られたノズル形状です。SPMは3段スピンアップのため外周部に配されることから、かわいそうなことに包絡域から

はみ出るノズルは切り取られてしまい、非対称な形状となっています。

私が新人のころ、ちょうどM-Vロケット5号機（MUSES-C/はやぶさ）の準備が進められている最中でした。当時川越にあった関係企業に伺って初めて立ち会った領収試験が、SPM真空燃焼試験でした。その企業におられる私の教育係（？）の1先輩から設計のポイントなどを教わったことが、鮮やかに思い出されます。

SPM真空燃焼試験は予定通り8月29日に実施され、所定のデータ取得を行いました。データ解析の結果、設計に問題がないことが確認されました。イブシロンロケットの準備は着実に進んでいます。（羽生宏人）



イブシロンロケット用のスピンモータ（SPM）真空地上燃焼試験の実験班員保安集合写真。写真中央はスタンドに固定されたSPM。

「宇宙の日」作文絵画コンテスト表彰式

毎年9月12日は「宇宙の日」です。これは1992年9月12日に毛利衛宇宙飛行士がスペースシャトルで宇宙へ飛び立った日であることから選ばれたものです。この「宇宙の日」の記念行事として、宇宙の研究開発の普及と好奇心・創造力を育成することを目的として、例年、全国の小・中学生作文絵画コンテストを実施しています。主催には文部科学省やJAXAをはじめ、国立天文台や日本科学未来館、リモート・センシング技術センター、日本宇宙フォーラム、日本宇宙少年団と、全国の科学館・博物館が名を連ねています。

作文と絵画を募集するに当たっては毎年異なったテーマ

が設定されます。例えば昨年度は「さあ出発だ！宇宙への冒険旅行」。その前も、「宇宙を利用した未来の〇〇」「宇宙大ハッケン!!」「宇宙でしたいあんなことこんなこと」「月に願いを!」「ようこそ私の星へ」など、魅力的なテーマが続きました。

オリンピックイヤーである2012年度のテーマは「宇宙オリンピック」。宇宙の仲間たちが集まる宇宙オリンピックの年に選手としてオリンピックに参加することになったと想定して、どこで、どんな仲間たちと、どんな競技を行っているのか想像してみてください、というもの。子どもたちの独創性

ロケット・衛星・大気球関係の作業スケジュール(10月・11月)

| | 10月 | 11月 |
|-------------|-----|------------------|
| ASTRO-H | | システム振動試験準備（筑波） |
| BepiColombo | | フライトモデル総合試験（相模原） |
| 小型科学衛星 | | フライトモデル総合試験（相模原） |

が発揮されるよいお題です。

全国各地の76の科学館・博物館で4月13日から7月31日まで作文・絵画を募集したところ、作文の部の小学生部門に914点、中学生部門に879点、絵画の部は小学生部門に1万6595点、中学生部門に1729点が寄せられました。この中から特に優れたものについて、各主催者の名を冠した賞を授与しています。

表彰式は年ごとに開催担当を変えて全国各地で行われており、今年度の担当はJAXAでした。相模原キャンパスでの開催を目指しましたが、参加予定人数を取

容できる会場がないことから、向かいにある相模原市立博物館をお借りして行うことにしました。9月16日(日)午前中に、主催者賞の受賞者と保護者・同伴者約100名に参加いただき、部門ごとに表彰状と副賞の授与が行われました。午後には、私のミニトークと所内見学をお楽しみいただきました。

受賞作品は今年も素晴らしいものばかりでした。今年度と過去の入選作品は「宇宙の日」のホームページ(<http://www.jsforum.or.jp/event/spaceday/kekka.html>)で見ることができます。この機会にぜひご覧になってください。(阪本成一)



表彰式での集合写真

IKAROS 復活

小型ソーラー電力セイル実証機IKAROSは2012年1月6日に冬眠モード(機器シャットダウン)に移行し、通信ができない状況が続いていましたが、9月6日に電波を捕捉することに成功しました。その後、ビーコン運用にて冬眠明けのIKAROSの状態を把握し、ほぼ正常であることを確認しました。

もともとIKAROSは2010年末までの運用を想定していましたが、さらなる成果を求め2011年以降もエキストラ運用を継続しています。IKAROSの姿勢やスピンドレートを大きく変更し、ソーラーセイルの膜面形状や運動がどのように変化するか理解するという追加ミッションも行い、2011年10月18日には逆スピンドレートに移行するという離れ業を見事やり遂げました。

その後、推進薬枯渇の兆候が見えたため、制御を行わずフリーに運動させてソーラーセイルの挙動を把握する、という方針に切り替えました。その結果、太陽角が次第に大きくなり、発電量が低下して冬眠モードに至りました。もちろんこれは想定内で、再びIKAROSが太陽の方を向けば復旧すると見込んでいました。ガス漏れがきっかけで姿勢が乱れて通信不能になった小惑星探査機「はやぶさ」が一定の期間を経て見つかった状況と少し似ています。

ところで、IKAROSは太陽の光を受けて姿勢や軌道が変化します。これがまさにソーラーセイルたるゆえんですが、いったん見失うと、姿勢・軌道がどのように変化するかを予測できなければIKAROSを見つけることができません。これまでの運用実績により、IKAROSの挙動をある程度は

予測することができますが、長期間の予測は未知の領域となります。さらに、臼田のアンテナで探せる範囲は非常に狭く(0.01度オーダー)、わずかな誤差でもIKAROSを捉えることができなくなります。それならば、アンテナを予測値周辺で振って探したいのですが、運用日数(運用費)が増えます。すでにフルサクセスを達成したIKAROSの予算は非常に少なく、2週間に1回程度の運用がやっとです。「はやぶさ」の探査では、軌道変化を考慮する必要はなく、ほぼ毎日運用できたので、それと比べてもとても厳しい条件であることが分かります。

探索中に得られるのは、この方向には電波が見当たらないという情報のみです。アンテナの向きをどのように修正すればよいかを知るすべもありません。何ヶ月にもわたって応答がないと、さすがに精神的にこたえます。もしかしたら、まだ冬眠中かも、あるいは故障してしまったのかも……。そんなときにIKAROSが見つかったのです。

IKAROSが見つかったということは、姿勢・軌道を長期的に精度よく予測できるようになったことを意味します。実は、探索運用自体が一つのミッションだったのです。IKAROSはそう遠くないうちに再び冬眠モードに入るかもしれません。しかし、次はもっと確実に見つけられるでしょう。今回の探索の成功により、技術的にはIKAROSをずっと運用できる見通しがついたといえます(きちんと意義を見つけて運用延長を認めてもらう必要がありますが……。)世界初の宇宙ヨットの冒険を果てしなく続けていきたいという願いを込めて、「Bon Voyage!(良い旅を!)」。(森 治)

イプシロンロケットが拓く 新しい世界

第10回

イプシロンロケットの 運用と施設設備 ②自動・自律点検システム

広瀬健一

イプシロンロケットプロジェクトチーム



自動・自律点検システムの開発

イプシロンロケットの開発において掲げた以下の要求を実現するため、機体の点検作業において自動・自律点検機能を有する発射管制設備(LCS)を開発しました。

- 1段射座据付けから打上げ翌日まで7日間で延べ150人

→自動・自律点検を実現する設備とすること

発射管制設備はモバイル化に対応可能なこと

開発に当たっては、地上設備のLCSと機体搭載機器である即応運用支援装置(ROSE)との適切な機能配分により、機体の健全性確認を行うこととしています。

自動・自律点検システムの目的

LCSで機体点検を自動・自律的に実施することで、以下の効果が期待できます。

- 点検時間の短縮・オペレータ人員の削減
- 人為ミス排除に伴う信頼性向上
- 専門技術支援者の削減

自動・自律点検システムの概要

自動・自律点検システムは以下の機能を有しています(図)。

- 自動点検
点検手順の実行、機体データの閾値判定、点検記録
- 自律点検
動的アナログデータのトレンド評価
故障部位の特定、対処の提案

自動点検機能

機体の点検作業は人工衛星のミッションに応じた機体形態により変更が必要となります。

これをソフトウェア化して変更管理を行い品質を維持していくことは、コンフィギュレーション変更管理・検証作業において手間を要します。そのため作業手順をソフトウェア・プログラムとはせずに、階層型データベースの構築によって体系的に管理することとしました。

機体情報(コマンド情報、モニタ情報など)と点検手順をデータベース化し、自動実行可能な作業手順書(プロシジャ)を構築することにより、プロシジャを順次読み込み/実行することで、点検を自動化することとしています。

自律点検機能

- 動的アナログデータのトレンド評価

専門技術者によるデータレビュー作業の簡素化を目的として、モニタデータのトレンド評価を行うシステムを構築しました。

これは良好な波形データを正常データと定めてデータベース化し、評価対象波形と正常データ(基準波形)をパターン認識技術(マハラノビス・タグチシステム)で照合します。

パターン認識の結果、評価対象波形が「正常である」か「何らか

の異常が発生している」かをLCSにおいて技術評価します。

- 故障部位の特定、対処方法の提案

ロケットシステム、サブシステム、コンポーネントごとに故障解析を展開し、起こり得る故障モードを選出し、それらの故障が発生した際にデータ異常となるモニタ項目を整理しデータベース化します。

機体点検作業でデータ異常を検知した場合、異常モニタ項目の発生状況をデータベースに照合し、異常モニタ発生パターンが機器に対してユニークな場合は、故障発生部位が機器レベルで特定可能となります。

異常モニタ発生パターンが機器に対してユニークでない場合は機器レベルでの故障分離はできませんが、故障部位を切り分けるためのトラブルシュート手順を事前に登録しておくことで、トラブルシュート候補を自動点検システムにより提案し、早期のトラブルシュートを可能とします。

打上げ作業体制

自動・自律点検機能により、少人数での機体点検を可能にしています。

また、従来射場において実施していた専門技術者による技術的判断を、LCSをネットワーク化しロケットシステムメーカーへ機体点検データなどを配信することで、専門技術者が射場にいることなく打上げ作業が可能となります。

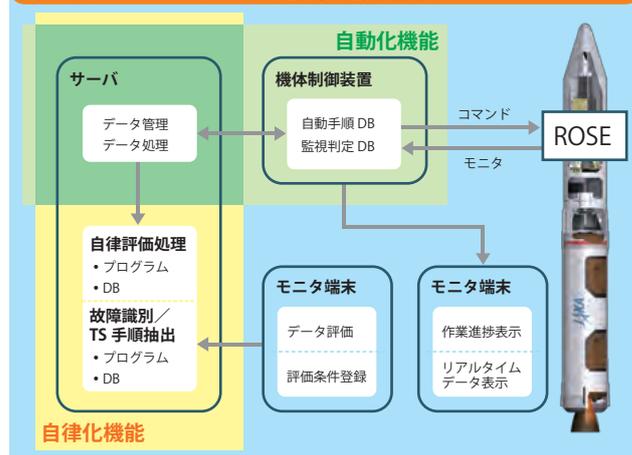
確実な打上げ成功を目指し

LCSの自動・自律点検システムの実力を十分に発揮するためには、効率的な作業手順の構築、正常データ(基準波形など)の蓄積が欠かせません。

これらのデータを得るためにも、イプシロンロケットの打上げ実績を重ねられるよう、確実な打上げ成功を目指します。

(ひろせ・けんいち)

図 イプシロンロケットの自動・自律点検システム



Curiosity Landing Event at JPLに参加して

月・惑星探査プログラムグループ
研究開発室 主任研究員

片山保宏

8月5日、迎りが暗くなり始めたころ、米国カリフォルニア州パサデナにあるNASAのジェット推進研究所(JPL)に到着しました。この日、昨年11月26日にケープカナベラルから打ち上げられたMSL(Mars Science Laboratory)ローバ(Curiosityと命名)が、8ヶ月に及ぶ地球―火星間の惑星間航行を終え、現地時間の午後10時31分に火星表面に着陸する予定になっていました。そのため着陸を見守るためのイベントがJPLで開催されており、ゲストとして参加するJAXAワシントン駐在員事務所の上森規光所長に同行したのです。

Curiosityは、全長3.0m、全幅2.7m、全高2.2m、重量899kg(そのうちサイエンスペイロードが75kgで10機器から成る)の移動実験室と形容される大型ローバで、火星生命の手掛かりなどについて2年間の調査を行います。逆噴射エンジンを搭載した降下ステージから長さ7.5mのテザーでローバを宙づり状態にする、スカイクレーンという新しい着陸方式にも注目が集まっています。

受け付けを済ませた我々は、人々に混雑する構内を横切り、コントロールルームの建屋と道路を挟んだ建屋にあるゲスト用の200名程度の会議室に案内されました。この部屋のホストであるMSL関係者が、我々を温かく出迎えてくれました。午後8時半から、ホストによりMSLの概要の説明がありました。この冒頭、JPLのCharles Elachi所長があいさつに駆け付けました。その後、正面のスクリーンに映し出されたNASA TVによるコントロールルームの中継を見守りました。



Curiosityの着陸成功で歓声に沸くコントロールルームの様子。手前のコンソールの上にGood Luck Peanutsの容器がある。提供：NASA/JPL

午後10時ころ、コントロールルームの面々が、何かを食べ始めました。上森所長の聞いたところによると、“Good Luck Peanuts”と呼ばれるミッション成功を祈るJPLの伝統行事でした。ピーナッツを食べ終わるころから、緊迫した空気が漂い始めました。MSLの突入・降下・着陸には7分かかりますが、火星―地球間の14分の通信遅れのため、この間の状況をリアルタイムで知ることができません。“The Seven Minutes of Terror”が始まろうとしていました。

時間が長く感じられましたが、いよいよ、着陸予定時刻となりました。全員が固唾をのんで、火星からの通信を待ちました。そして、十数分後、着陸成功の信号が届いた瞬間、歓声と拍手が湧き起こりました。続いて、Curiosityが撮影した最初の画像が映し出されたとき、誰もが着陸成功を確信しました。部屋は再び歓声に包まれ、互いに着陸成功を祝い合いました。

なお、着陸イベントはパサデナ中心部の3ヶ所、California Institute of Technology, Pasadena City College, Pasadena Civic Auditoriumでも開催されており、多くの人々が参加したとのことでした。

翌6日午前、我々はJPL施設見学に参加しました。実験室には、CuriosityのTest Modelが置かれており、早速、何かの作業がなされていました。また、コントロールルームにも立ち寄りしましたが、昨夜とは違いひっそりとした様子でした。

午後からは、Mobility and Robotic Systems Sectionを訪問しました。私は、2009年9月から1年間、JAXAの長期派遣研修でこのセクションのComputer Vision Groupに滞在し、MRO(Mars Reconnaissance Orbiter)のHiRISE画像による火星地形の自動分類に関する研究を行い、Ripple地形という特殊な波状地形の自動分類を実現しました。この研究成果は、共同研究者により、ローバの走破性評価に利用され、MSL着陸地点選定の一部として活用されています。Group SupervisorのLarryさん、共同研究者であるMSL・MER(Mars Exploration Rover)ローバドライバーのPaoloさん、Section ManagerのRichardさんやAnnaさんをはじめ、お世話になった皆さんと久しぶりに再会し、着陸成功を祝いました。

MSLに関われる機会を与えてくれたJAXAとJPLの皆さま、そして、今回のイベント参加に格別のご配慮をいただきましたことに、この場をお借りし心よりお礼申し上げます。研修中、オフィスを抜け出して組み立ての様子を見学していたCuriosityが火星に着陸する瞬間を、コントロールルームに(火星に?)一番近い場所から見守ることができたことは、人生で最大級の喜びです。Curiosityの活躍、そして、我々JAXAの月・惑星探査の発展を願い、この報告を結びたいと思います。(かたやま・やすひろ)



うれしい出会い 「はやぶさ」と「虎之児」

井手洋子

「虎之児」醸造元 井手酒造

「いも焼酎」(2005年10月号, No.295)に、ちんぷんかんぷんな問答の末に書いた「うれしい表紙」の駄文からはや7年。再び執筆の依頼が舞い込みました。年齢だけは重ねましたが文才もない私にはご期待に沿うような文章なんて書けませんから、と何度も辞退しましたが、とうとう広報車の口車(ごめんなさい)に乗せられて発車する羽目に。

「はやぶさ」と当酒造の清酒「虎之児」は9年前、ロケットの性能計算書の表紙で、的川泰宣先生を仲人にして出会いました。そして2010年6月13日、オーストラリアのウーメラ砂漠に光の尾を引いて、あの「はやぶさ」は大切なカプセルを持ち帰ってくれました。地球と、遠い小惑星イトカワの微粒子との出会いでした。テレビにくぎ付けになったあの日です。7年間の私の祈りが「お願いします」から「ありがとうございました」に変わった日です。

その年の9月には、佐賀県立宇宙科学館の講演会で川口淳一郎先生のお話も聴けましたし、お会いすることもできました。そして映画『はやぶさ 遙かなる帰還』で、あの渡辺謙さんとも「虎之児」は出会えました。スター謙さんが一人静かにお酒を飲んでいる横にぼんと置かれていたのが「虎之児」でした。映画デビューの瞬間です。そのおかげで、私はあの大スター渡辺謙さんともお会いすることができました。「はやぶさ」は、いろいろな出会いを「虎之児」を介して私につなげてくれました。先日は川口先生の弘前時代の同級生、東奥日報の松田さんが嬉野温泉を訪れてくださいました。これも「はやぶさ」つながりです。人と出会うことの嬉しさをつくづく感じます。

余談になりますが、私は50ウン年前に嫁に来て「虎之児」と出会いました。「虎

穴に入らずんば虎児を得ず」のことわざに目を付けて縁結びをしてくださった的川先生には、いまだお会いできていないのは残念ですが、その日の来るのを信じて楽しみに待つことに致します。ここまで書き進めていたとき、的川先生が7月に佐賀県で講演をされるという知らせがテレビニュースで流れてきました。またまた何か不思議な縁を感じながら、急いではがきを買ってきてもらい応募しました。前に川口先生とお会いできた佐賀県立宇宙科学館で願いがかなえられることを祈りながら……。 「はやぶさ」と「虎之児」をつなげてくださった、あの的川先生ですから。お忙しい日程でしょうが、嬉野温泉に泊まって「虎之児」を飲みながら日ごろのお疲れを癒していただけたら、なお嬉しく思います。

虎は我が子を思う愛情が深い。その虎のように愛情をかけて吟醸した酒を長く愛飲してもらいたい。そして千里を駆ける虎のように、その名が広く響き渡るようにと願



「はやぶさ」のプロジェクトマネージャー川口教授(中央)と。筆者は左から2番目。

い、名付けられたのが「虎之児」です。「此君名聲走千里」のラベルの文字は、「はやぶさ」の名声を世界に響き渡らせる応援歌になっていたのかもしれませんが。「夢にして夢にはあらず はやぶさは イトカワの微粒子 つかみて還る」。知人がその偉業に喜びを込めて贈ってくださった短歌です。

IT産業の広がり世界はより速いスピードでつながっていきます。便利さはありがたいが、豊満飽食の時代、そのスピードに規制が追い付かず、かえって不便さを感じることもしばしばです。もう少しゆっくり行こうよ。置き忘れたものに気付くくらいに。今、昔を求めている自分がいます。考え方が昭和だよ!と言われるかもしれませんが。美しい自然はあふれるほどの恵みを与えてくれます。そのありがたさを身をもって感じているのは、みんな同じだと思います。しかし、その自然気象は突然私たちに怒りを見せつけるのも事実です。その予測もつかない恐ろしさを体感させられます。こんなに科学、技術が進んできているのに、自然の威力の前にはなすすべもないなんて、残念です。これ以上、私たちを痛めつけないでくださいと、祈るばかりです。津波の後の復興にも苦渋の選択を迫られています。「絆」「思いやり」の言葉の広がりを放射能の数値が通せんぼをしています。あの恐ろしい原子爆弾で終戦を迎えた日本です。あのときの広島、長崎のがれきの処理を当時はどうしたのだろうと、今、私の頭をよぎります。

うれしい出会いと喜びをつなげてくれた「はやぶさ」に大きな拍手と「ありがとうございました」の感謝の言葉を贈ります。「虎之児」が私の「とらのこ」になりました。蔵人たちと仲良く古い酒蔵を守っていただらいいなと願いながら。(いで・ようこ)

面白くするかどうかは自分次第

学際科学研究系 教授
石岡憲昭

——ISS科学プロジェクト室も兼務され、国際宇宙ステーション (ISS) の「きぼう」で行う生物実験に携わっているそうですね。

石岡：私たち地球上の生物は、重力のある環境で暮らしています。宇宙に行き重力がなくなると、生物はどうなるのか。それを調べようとしています。2004年には私が代表を務め、線虫の国際共同実験を行いました。この実験で、線虫は宇宙に行くと、筋肉に関わる遺伝子の発現が減少することが明らかになりました。宇宙に行くと宇宙飛行士の筋肉が萎縮することは知られていましたが、無重力環境において筋肉に関わる遺伝子の発現の変化を捉えたのはこれが初めてです。線虫とヒトには似た遺伝子もあることから、ヒトでも筋肉に関わる遺伝子の発現が変化している可能性があります。

——宇宙実験のテーマは公募され、JAXA以外の大学や研究機関の研究者も参加します。そのコーディネートを行うのもISS科学プロジェクト室の仕事です。

石岡：生物実験といっても、試料は植物、線虫、メダカ、マウスなどさまざま、細胞も個体もあります。新しい試料を扱うのは大変ですが、それほど抵抗はありませんでした。私はここに来るまで神経細胞の研究を長くやってきましたが、見ていたのは遺伝子やタンパク質です。植物でもマウスでも地球上の生物はすべて、遺伝子とタンパク質で成り立っていますから、どの生物を扱っても基本は同じです。しかも、生物の普遍性や多様性を知るには、いろいろな試料を使った方がむしろよいのではないかと思います。

日本人宇宙飛行士がISSに滞在すると大きな話題になりますが、日本人が宇宙に行くことだけが注目されがちです。これは、私たちの広報の仕方にも問題があります。宇宙飛行士たちによってたくさんの生物実験が行われていることを、もっと皆さんに知ってもらう努力をしなければなりません。

私たちは、この分野を「宇宙生命科学」と呼んでいます。地球外生命の研究ではなく、宇宙での生命科学です。重力がない宇宙空間で生物にどのような変化が起きるのか。その変化を遺伝子、タンパク質、細胞、行動など、あらゆるレベルで明らかにすることによって、生物が重力を感知し応答する仕組みが明らかになるでしょう。それによって、重力から逃れることのできない地球の生命の本質が見えてくるかもしれません。また、骨量の減少や筋肉の萎縮のメカニズムを明らかにしてその対策を開発することで、人類の宇宙への



いしおか・のりあき。1953年、北海道生まれ。理学博士。東京都立大学大学院理学研究科博士課程修了。米国インディアナ大学博士研究員、東京慈恵会医科大学講師、宇宙開発事業団 (NASDA) 主任研究員を経て、2003年、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 宇宙科学研究本部教授。2012年より現職。ISS科学プロジェクト室兼務。

進出を補助できます。その成果は、寝たきりの方の健康維持など地上の医療にも貢献できるでしょう。生命科学系の研究者は医学も含めJAXA全体でせいぜい10人ほど。宇宙研の中

ではさらに少数派ですが、宇宙生命科学の重要性を示していきたいですね。

——今後やりたいことは？

石岡：人工冬眠の研究です。人類が恒星間飛行をしようとしたら、人工冬眠が必要になるかもしれません。冬眠中の動物は、代謝は落ちますが、骨量の減少や筋肉の萎縮は起きていません。病気になりくいことから、生体防御機能も上がっているようです。その仕組みを知りたい。それは、医療にも応用できるでしょう。

——子どものころから生物に興味があったのですか。

石岡：小学3年生のとき、作文に「医学の道に進みたい」と書きました。医学といっても医者になるのではなく、人や生物について研究したいと思っていました。でも、生物を飼うのは嫌い、理科の解剖も苦手でした。実は、今でも活けづくりの魚の目が怖い。なんか見られているような気がするんです。研究となると平気になってしまうんですけどね。

——趣味は？

石岡：高校時代、絵画部で油絵を描いていました。それ以来、絵を描き続けています。山歩きも好き。苦しい思いをして山頂にたどり着き、景色を見たときの解放感がたまらない。自分がいかに小さい存在であるかに気付かされます。その小さな存在が小さいことでよくよしても仕方ないと思い、元気になるのです。

——研究をする上でのモットーはありますか。

石岡：多くの研究者は一つのことを極めようと思うでしょう。私は少し違う。面白いことは、一つではない。私は浮気性で、いろいろなことをやってみたくになります。何事も面白くするかどうかは、自分次第です。今年の「君が作る宇宙ミッション」(きみっしょん)で高校生たちに、私自身そうありたいと思っている言葉「君たちの前に道はない。振り返ったときに、確固たる道ができていくのだ」を贈りました。研究とは、そういうものではないですかね。

ISAS ニュース No.379 2012.10 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

爽りの秋、食欲の秋。ようやく暑い夏が終わり、過ごしやすくなりました。能代ロケット実験場開設50年、歴史の重みを感じます。そして新しい宇宙機の種がまかれ、芽が出始めています。(久保田 孝)

*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

