空へ挑み、宇宙を拓く
JAXA 宇宙科学研究所
ISSN 0285-2861
ISAS ニュース
2013.4
No. 385

小野田淳次郎 前所長（左）から常田佐久 新所長（右）へバトンタッチ

所長就任に当たって

常田佐久
宇宙科学研究所長

このたび，小野田淳次郎先生の後を引き継ぐことになりました。少し長くなりますが，所長就任に当たっての所信を記します。

宇宙科学研究所（宇宙研）は，これまで日本と世界の宇宙科学をけん引する顕著な成果を挙げ，国際的に卓越した研究所として国内外から高い評価を受けてきました。これらの成果を引き継ぎ，さらに発展させていくには，まず開発中の水星磁気圏探査機 BepiColombo MMO と次期 X 線天文衛星 ASTRO-H の完璧な仕上げ，2 機の小型科学衛星と宇宙輸送ミッション本部と共同で取り組んでいるイプシロンロケットの開発と打上げに，万全を期す必要があります。さらに，月・惑星探査プログラムグループの小惑星探査機「はやぶさ 2」計画に宇宙研の総力を挙げて協力し，この挑戦的な探査機を成功に導くことが，日本の宇宙科学全体にとって最重要の課題です。

これら開発中の衛星・探査機の着実な進展を基礎として，検討・提案中の優れたプロジェクトの実現を図らなければなりません。世界の天文学研究者の悲願である次世代赤外線天文衛星 SPICA の実現に向けた現実的な対応，ESA（ヨーロッパ宇宙機関）が主導する木星探査ミッション JUICE への協力体制の構築が，早急の課題です。また，新規衛星計画を公募していない状態が続いており，小型科学衛星と中型科学衛星の公募を行い，それらの立ち上げを行う必要もあります。宇宙理学・工学委員会を中心としたワーキンググループの活発な活動あってこそ，優れた衛星計画を競争的過程により選定することができ，計画の立ち上げを支援する宇宙科学プログラム SE 室の強化も大切です。

我が国の厳しい財政状況など宇宙科学を取り巻く困

難な状況に打ち勝つには，これら開発中の衛星・ロケットをすべて成功させ，魅力的な衛星計画の提案を全力で行う以外に道はありません。それには，5つの研究系を中心とした所内の研究の活性化と，研究系間の連携を基盤とした新たな理工共同ミッションの創成を期待します。宇宙研の特質を余すところなく発揮した「はやぶさ」のような偉大なミッションに続く，斬新なアイデアによるミッションを提案し，それを宇宙航空研究開発機構（JAXA）全体で推進するようにしたいものです。

一方，これらの新規の衛星計画の実現には，NASA（アメリカ航空宇宙局），ESAなど海外の宇宙機関との国際協力が欠かせません。中型衛星といえども，もはや一つの宇宙機関に閉じて開発することはできないと言っても過言ではないでしょう。そのためには，宇宙理学・工学委員会と協力して，日本の宇宙科学の優れたシナリオを長期的視野のもとで策定し，それを計画的に進展させていくことが大事です。私は，厳しい国際競争の中で，宇宙研が重要なパートナーとして参加する国際協力がこれまで以上に発展するよう，海外の宇宙機関のリーダーとの対話と情報交換を積極的に行うつもりです。

これからの宇宙研の在り方を考える上で，開発や運用段階における重大な不具合の発生，複数の衛星プロジェクトでの大幅なコスト増加といった我々自身の問題点を，正面から見据える必要があります。宇宙科学プログラム・オフィスの機能を拡充し，個々のプロジェクトについて問題の事前察知能力の強化と共有化，課題に対する迅速な対応体制を確立し，プロジェクト横断的な視点に基づく活動を強化する必要があります。

宇宙研は，大学共同利用システムにより運営されています。今後ますます大型化・複雑化する科学衛星計画を実現していくには，大学や国立天文台，高エネルギー加速器研究機構など外部の研究機関がリードする観測機器の開発を支援し，それらと一体となったミッションを実現し，また宇宙研の外に衛星のデータセンターやサイエンスセンターを構築することにより，宇宙科学の裾野を一段と広げ日本全体の宇宙科学力を高める必要があります。

検討中の衛星計画だけでなく，すでに運用を終了した衛星の成果についてもきめ細かく対応していく必要があります。赤外線天文衛星「あかり」の優れたデータが広く国際コミュニティーに使われるようにするためのアーカイブを充実させること，また月・惑星探査プログラムグループから「はやぶさ」サンプルのキュレーションとアーカイブの移管を受け，その充実を図るとともに今後広く国際コミュニティーに供していくことも大事です。これらには，宇宙理学・工学委員会のオーバーサイト機能が重要です。

今日，科学衛星計画は，政治・経済・外交にまで関わる巨大な国家的事業となっています。宇宙基本計画で表明された宇宙科学の在り方は，この状況を反映しており，我々はそれを真摯に受け止める必要があります。JAXAの経営層，文部科学省，内閣府宇宙戦略室／宇宙政策委員会との交流と対話を促進し，宇宙科学ミッションが宇宙利用を含む我が国の宇宙開発全体の発展にとって重要であること，宇宙研がJAXAの宇宙開発の先陣を担うことについて粘り強く訴えていくつもりです。

言うまでもなく，宇宙研はJAXAの不可欠の一員であり，科学の立場からJAXAのミッションに貢献していきます。月・惑星探査プログラムグループのミッションや国際宇宙ステーションにおける科学実験など，宇宙研外の組織が主体となって実施され大きな科学的成果の期待されるミッションへの協力も，宇宙研で実施するミッションと同様に大事な活動です。また宇宙研は，JAXAの広範な課題に対して科学と学術の立場から回答することができる唯一の組織であり，シンクタンクとしてもJAXAの内外からの期待と信頼に応えていく必要があります。

個人的所感になりますが，私の過去30年の研究キャリアは宇宙研なしにはあり得ませんでした。幸運なことに，これまで「ひのとり」「ようこう」「ひので」と3機の太陽観測衛星の実現に関わってきましたが，これらのミッションは宇宙研の工学の先生方との協力の結果，実現したものです。これまでの宇宙研の成果は本当に素晴らしく，その構成員は優秀です。私は，これらの長年にわたって蓄積されたリソースをもってすれば，宇宙研と日本の宇宙科学研究の新たな飛躍が可能であると考えます。（つねた・さく）

常田佐久（つねた さく）

1954年生まれ。理学博士。東京大学理学部天文学科卒業。東京大学大学院理学系研究科天文学専門課程博士課程修了。日本学術振興会研究員（宇宙科学研究所），東京大学東京天文台助手，東京大学理学部天文学教育研究センター助手・助教授を経て，1995年より国立天文台教授。SOLAR-B推進室長，ひので科学プロジェクト長，先端技術センター長，宇宙理学委員長を務める。2013年4月よりJAXA宇宙科学研究所長。

太陽系プラズマ科学と天体物理学を橋渡しする土星探査機カッシーニでの成功例

Adam Masters
JAXA インターナショナル
トップヤングフェロー

宇宙空間における観測が始まる以前，惑星間空間がどのようなものであるのかということについて，多くの議論がありました。探査機による「その場」観測により，今では惑星間空間が太陽から噴き出す荷電粒子（プラズマ）の風（太陽風）によって満たされていることが分かっています。その密度は大変低く，また人間の目には見えないものではあるけれども，太陽風は惑星の宇宙環境を変動させるエネルギー源となっています。地球のように固有磁場を持つ惑星は，「磁気圏」というバリアをつくることで，太陽風に惑星本体が直接さらされることがないようになっています。水星，木星，土星，天王星，海王星も磁場を持つ惑星であり，磁気圏を持つところまでは共通しますが，それら磁気圏の様相は惑星ごとに異なっています。

太陽系におけるプラズマ・ガスの振る舞いを理解しようとするとき，太陽風が惑星磁気圏と相互作用する様相は，一つの大きな研究課題です。地球極域のオーロラ発生や，人工衛星の故障や宇宙飛行士の避難を余儀なくされる宇宙嵐の発生は，この太陽風と地球磁気圏の相互作用の結果です。複雑な振る舞いを示す「宇宙天気」を理解するために，地球周辺の宇宙空間では磁気圏観測衛星が常時観測を続けていますが，宇宙天気の予報は始まったばかりです。一方，今では地球以外の磁気圏の探査も行われるようになってきました。そこから明らかになってきたことは，太陽系におけるプラズマの振る舞いの理解を進め，そして我々が地球周辺の宇宙天気をどこまで理解しているのかを知るためにも，これら惑星磁気圏の観測データの解析を遂行するべきであるということです。

さて，この記事では，太陽系における宇宙プラズマ研究のもう一つの側面について触れたいと思います。それは，はるか遠方にある，我々が生きているうちに探査機が訪れて「その場」観測するなんてことはありそうにない天体におけるプラズマ現象の理解にも役立つ，ということです。天体物理において重要とされる天体には，低密度の電離ガスで満たされているものがあり，その状態は太陽風で満たされる太陽系空間と類似しています。このことは，太陽系プラズマ科学と天体物理学を横断する研究が挑戦するに値するものであることを示します。その成功例だと自負する成果を二つ，ここで紹介したいと思います。いずれも，土星探査機カッシーニのデータ解析結果からのものです。

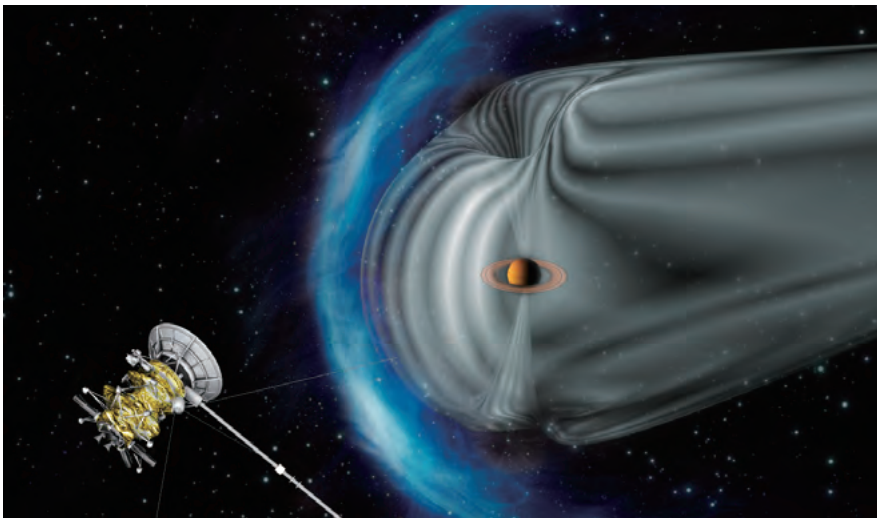


図1　土星探査機カッシーニが土星周辺宇宙空間での「その場」観測をする様子
灰色の領域が磁気圏を示す。その前面に，超音速流の太陽風が磁気圏と衝突することで形成される衝撃波が描かれている。土星においては，衝撃波のマッハ数が地球での値よりも大きくなることが，今回の発見に関わる大きなポイントである。
（提供：ESA - C. Carreau）

土星探査機カッシーニは，2004年7月に土星周回を開始，2017年9月までの運用継続が決まっています。搭載観測機器のいくつかは，土星周辺宇宙空間「その場」で磁場やプラズマ粒子の観測をするものです（図1）。土星と太陽との距離は，地球と太陽との距離の10倍であり，カッシーニはこれまでで最も外側の惑星を周回する探査機です。はるばる土星の位置まで到達した太陽風の状態は地球でのものとは大きく異なり，地球周辺ではまず観測されることのない現象に「その場」で出くわすこと，そして宇宙プラズマに関する重要な観測的新発見がなされることへの期待が高まります。

一つ目の成功例は，カッシーニが土星磁気圏の前面にできる衝撃波（ショック）を横切った際のデータを解析することで得られました。地球の大気においてショックが超音速機の前面にできることはよく知られていますが，実は，超音速の太陽風が惑星の磁気圏にぶつかるときにも，ショックが磁気圏の前面にできることが知られています（訳注：ちなみに，地球磁気圏前面での「その場」観測で実証されるまでは，宇宙プラズマ・ガスにおけるショックの存否は大きな議論の的でした）。

土星磁気圏前面でのショックの同定そのものは，新しい発見ではありません（図1）。新しいことは，土星での太陽風の状態が土星磁気圏前面のショックを強くする傾向にあること，言い換えれば，地球での観測例よりもはるかに大きなマッハ数を期待させることから生まれます。マッハ数が大きなショックではより大きなエネルギー変換が起きるので，その一部が超高エネルギーの粒子をつくり出すこと（粒子加速）に活用されることが期待できます。この意味で，土星前面の衝撃波はショックにおける高エネルギー粒子加速現象を理解するための素晴らしい天然の実験室である，ということができるのです。

「ショックにおける粒子加速」は，天体物理学における大きなテーマです。というのも，我々の銀河系空間は「宇宙線」と呼ばれる高エネルギー粒子で満たされているのですが，それらは強いショックにおいてつくり出されたのだと考えられるからです。超新星爆発が起きると強い爆風が発生しますが，それに伴うショックにおいて電子は超相対論的エネルギーまで加速されていると考えられ，その物理機構を追求すべく理論・シミュレーション研究が熱心に行われています。また，観測的にはX線などによるリモート観測が実施されています。しかし，昔からの謎である宇宙線の起源の問題は決着していません。

地球はおろか，土星においてすらめったにないことですが，土星前面のショックが超新星残骸のショックと同程度の大きなマッハ数を持つことは，あり得ます。もし，カッシーニがそのようなショックを「その場」観測すれば，そこからは（我々が生きているうちにはあり得ない）超新星残骸での「その場」観測に匹敵するデータが得られるはずです。

2007年2月3日，カッシーニは強まった太陽風が押しつぶした磁気圏の前面でショックを通過し，そのマッハ数が通常値よりも高いものであり，超新星残骸で期待される値に近いものであることを確認しました。また，このとき，ショック上流（太陽側）の磁力線は，ショック面に突き刺さるような形状（ショック面法線方向に平行なので，「準平行形状」と呼ばれます）でした（図2）。

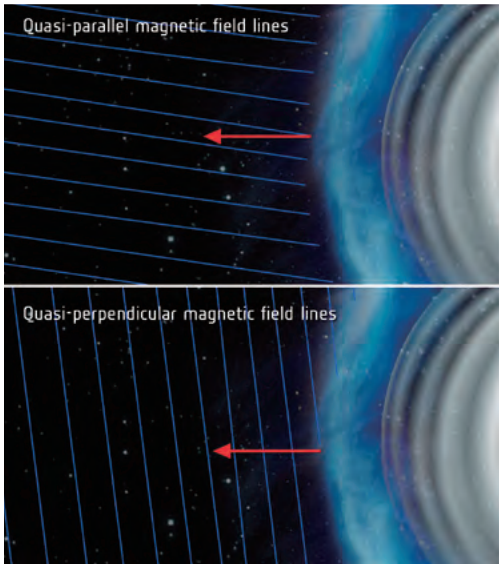


図2　ショック上流の磁場の状態
青線が磁力線であり，赤矢印がショック面法線方向を示す。上段が準平行状態，下段が準垂直状態。高マッハ数の準平行ショックで相対論的電子の加速が検出されたことが，今回の大きな発見である。
（提供：ESA - C. Carreau）

太陽系において通常に観測されるマッハ数のショックにおいては，電子加速は準相対論的エネルギー範囲に限られます。また，それは「準垂直形状」（上流の磁力線がショック面法線方向に対して垂直）のショックにおいては見られるものの，準平行における観測例は皆無でした。それに対して，この2007年2月3日の準平行の例において初めて，カッシーニは電子が相対論的エネルギーまで加速されていることを見いだしたのです。どうして，このような対照的な結果が得られたのでしょうか。それは，今回のショックのマッハ数が，太陽系における先行観測例が皆無であるほどに，異常に高いものであったことが理由だと考えられます。

マッハ数が超新星残骸での値に近い太陽系内のショック観測事例において，相対論的電子が「その場」観測で見いだされたことは，超新星残骸でも準平行ショックにおいて電子加速が効率的に起こることを意味します。これは，従来の太陽系内での観測例から外挿して得られる結論ではないことに注意が必要です。また，はるか遠方にある超新星残骸での磁場形状を知ることは極めて困難です。今回の結果は，今後の粒子加速の研究に大きなインパクトを与えるものだと考えられます。

第二の成功例は，土星磁気圏の境界における観測から得られました。磁気圏境界とは，惑星固有の双極子磁場が卓越する領域（磁気圏）とその外側の世界との境界であり，どの惑星磁気圏においても見られる境界です。太陽風は衝撃波で減速された後に，この境界面の周囲を回るようにして流れ去ります。基本的に磁気圏境界はその内側を太陽風から守る役割をしているのですが，境界面上で，この遮蔽効果を破るようなプラズマ物理過程が起動することがあります。そのプロセスを理解することは，どのようにして磁化惑星システムに太陽からエネルギーが流れ込むのかを理解する上で，最も重要です。

その有力プロセスの一つが磁気リコネクションです。磁場エネルギー解放過程としての磁気リコネクションは粒子を加速しますが，同時に磁力線トポロジーの変換過程でもあるので，境界面の遮蔽を破って磁気圏内の磁力線と太陽風磁場をつなぎ合わせ磁気圏内のプラズマ対流を駆動し，太陽プラズマを磁気圏内へと流入させます。実際，地球磁気圏では，磁気圏境界での磁気リコネクションが磁気圏・太陽風相互作用の主要駆動源であることが知られています。では，ほかの惑星の磁気圏境界ではどうなのでしょうか？

磁気圏境界の外側には，ショックで減速・加熱された太陽風プラズマがあります。土星の場合，地球と比較してショックが強いことはすでに述べましたが，そのためにプラズマのエネルギー密度が磁場のエネルギー密度に比較して大きい値になります。このとき，磁気リコネクションを継続させるような空間構造を掃き流すような流れがつくり出され，磁気リコネクションの効果は弱まります（図3）。

これは重要な結論です。というのは，磁化惑星であれば，地球でそうであるように，磁気リコネクションが起こって磁気圏・太陽風相互作用が起きているのだろうという安易な類推が許されないことを示すからです。特に太陽系内では，太陽から遠い惑星ほどショックが強くなるので，磁気圏境界では磁気リコネクションにより不利な条件が課されることに注意しなければいけません。外惑星の磁気圏境界においては，磁気リコネクションは磁力線形状が最も適した箇所だけで起こるということを考える必要があるということです。これは，観測からよく知られている，地球での様相と大きく異なります。

また，この発見は，系外惑星の宇宙環境を考える際にも考慮に入れなければならないでしょう。太陽以外の星の周囲に多くの系外惑星が見つかってきていますが，これらは磁化しており，かつ，中心星からの星風（太陽風と同様なもの）を受けていると考えられます。そのような，やはりはるか遠方にあって「その場」観測が不可能な惑星システムへのエネルギー流入を考えるときには，磁気圏境界での磁気リコネクションの性質は考えるべき重要な要素でしょう。そして，このことはその惑星が大気を保持して生命生存可能性を持つか否かに関連してくるかもしれません。

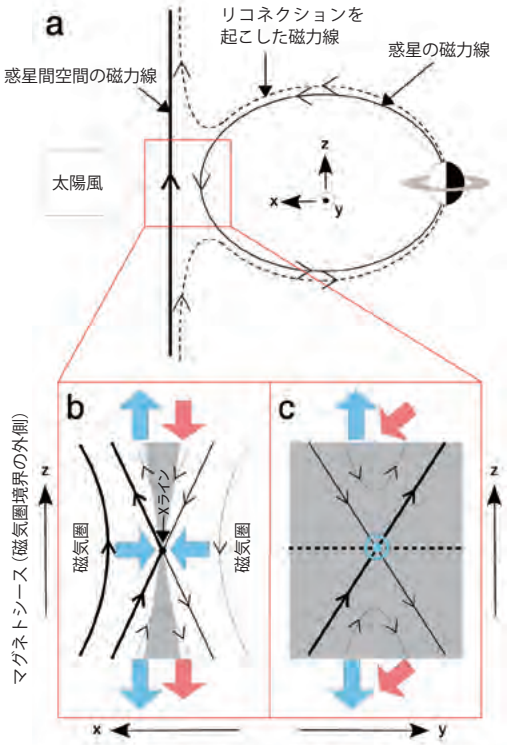


図3　土星磁気圏境界での磁気リコネクションの様子
土星では，境界の外側（マグネトシースと呼ばれる側）でのプラズマ圧力が高くなり，それは赤矢印で示される，磁気リコネクション領域を掃き流す動きを誘導する。そのため，磁気リコネクションの効果は弱まる。

太陽系を舞台にした宇宙プラズマ研究は発展しており，土星システムで詳細な観測を実施するカッシーニは，我々の宇宙プラズマ物理体系の基盤を再整備するような，大きな発見を可能にしてくれています。これらの知見は，太陽系の宇宙環境（宇宙天気）の理解を促進するだけでなく，科学的に大きな魅力を持ちながらも遠方にあって「その場」観測によるデータが入手できない天体に関する研究を進めることにも役立つのです。　（アダム・マスターズ／日本語訳：藤本正樹 太陽系科学研究系 教授）

お知らせ

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

2014年に打上げ予定の小惑星探査機「はやぶさ2」のターゲットマーカーと再突入カプセルに記録・搭載する，名前，メッセージ，寄せ書き・イラストを募集します。

応募締切：2013年7月16日（火）

応募方法など詳しくは　**http://www.jspec.jaxa.jp/hottopics/20130329.html**　をご覧ください。

第12回「君が作る宇宙ミッション」参加者募集

「君が作る宇宙ミッション」（きみっしょん）は，高校生を対象にした研究体験型の教育プログラムです。高校生は，数名のチームを組んで，仲間と共に一つのミッションをつくり上げます。

実施期間：2013年8月5日（月）～8月9日（金）
会場：JAXA相模原キャンパス
対象：高校生あるいは相当年齢の方（高専は3年次まで）
応募締切：2013年6月3日（月）必着

詳しくは　**http://www.isas.jaxa.jp/kimission/**　をご覧ください。

次世代赤外線天文衛星SPICA講演会

日時：6月21日（金）18：00～20：00
対象：中学生以上の方
会場：イイノホール

詳しくは　**http://www.isas.jaxa.jp/**　をご覧ください。

「はやぶさ」プロジェクト終了および解散

1996年よりMUSES-C計画として開始された，「はやぶさ」プロジェクトは，2010年6月のカプセル帰還作業後，たくさんの報告会・審査会・報告書の取りまとめを行ってきた。その一端を紹介すると，2010年8月回収運用結果確認会，10月豪州政府・ウーメラ村への成果報告会，12月NASA本部・JPLへの成果報告会，探査報告書編さん，慰労会，2012年総括合同評価，などなどである。それぞれの企画は目的を異にしており，回収技術や宇宙技術の記録や評価，プロジェクト自体や協力いただいた各機関への表敬などを目的としていた。従来より「はやぶさ」プロジェクトがその責務範囲として定義していた国際研究公募による小惑星サンプルの第1回分析がほぼ完了し，今年1月には第2回国際研究公募に着手したところである。

この機に，もう一つ別の観点として「経営学」に準拠した，そして最後の審査会である「プロジェクト終了審査」に，ようやくたどり着いた。①プロジェクト開始時に掲げた目標に照らして，そのそれぞれを達成したか否か，②投入した資源（経費，時間，人員）に対して，それに見合う成果であったかどうか，③事業を正しく引き継いだか，④取得した資産・知見・教訓や育成された人材を次のプロジェクトに還元したのか，という4項目に関しての審査・評価を，月・惑星探査プログラムグループの主宰で実施した。そして「『はやぶさ』プロジェクトは，目標としたすべてのミッションを遂行し所定の目的を達成するとともに，技術的な成果にとどまらず，科学的，社会的，政策的，国際的にも大きな成果を挙げた」と結論づけられた。これをもって2013年3月，「はやぶさ」プロジェクトは解散となる。

ご尽力いただいた各方面関係者，応援いただいた世界中の方々に報告するとともに，お礼を申し上げたい。ここまでの成果は後続の宇宙事業に必ずや貢献するであろう。なお，小惑星サンプルおよびそれを維持管理するキュレーション業務は宇宙研へ移管されて，今後の科学研究に供される。

（國中 均）

ASTRO-Fプロジェクト終了，「あかり」の活動はまだまだ続く

赤外線天文衛星「あかり」（ASTRO-F）の開発・運用を行ったASTRO-Fプロジェクトが，3月31日付けで終了しました。「あかり」の取得した膨大なデータの処理・解析とアーカイブ化，天文研究者への配布は，新しく発足した後継組織「あかりデータ処理・解析チーム」が引き続いて発展させていきます。

2月22日に行われたプロジェクト終了報告会に集まった開発・運用関係者。どうもお疲れさまでした。

「あかり」は，1998年4月に開発がスタートし，2006年2月にM-Vロケット8号機によって打ち上げられました。2007年8月までの液体ヘリウム冷却期間中に，全天サーベイや数千の天体の指向観測を行い，その後も機械式冷凍機により一部の観測装置で2010年2月まで，1万を超える天体の観測を続けてきました。冷凍機の性能劣化や2011年5月に発生した電源系の障害により，科学的運用を終了。その後半年の運用チームの努力により，日本の衛星として初めてデブリ化防止のための軌道降下運用を実施し，同年11月24日に停波して運用を終了しました。

「あかり」の行った全天サーベイや指向観測データから，赤外線天体カタログなどの天文学研究の基礎データがつくられ，宇宙の新しい姿を明らかにした研究成果が得られていることは，本誌でもたびたび紹介している通りです。しかし，これまでに解析が進んだのは，まだまだ氷山の一角です。「あかり」の使命は，データを世界中の研究者に利用してもらうことです。

そこで我々は宇宙研の科学衛星としては初めて，衛星プロジェクトを終了した後にも，データ処理・解析の活動を組織的に継続することを提案しました。この提案は所内での議論を経て，4月1日にスタートした「あかりデータ処理・解析チーム」に結実しました。新チームはこれまでの「あかり」プロジェクトの活動を継続・発展させ，今後5年間で「あかり」のデータを研究者が使いやすい形に処理し，提供していきます。今後も「あかり」チームの活動にご注目，ご支援のほど，よろしくお願いします。

（山村一誠）

高頻度再使用ロケット実験機，第３次地上燃焼試験（FRV-3）

FRV-3地上燃焼試験とエンジン整備をする柴野靖子さん

将来，高頻度に宇宙へアクセスし，大量に物や人を運ぶためのロケットに必要な技術・運用方法の研究として，３月４日から20日まで能代ロケット実験場にて高頻度再使用ロケット実験機の地上燃焼試験を行いました。

３シリーズ目となる今回の実験では，エンジンの異常を判断して安全に燃焼を停止する役割を担うヘルスマネジメントコンピュータ（HMC）を機体に載せ，バルブやセンサの故障を模擬した燃焼試験を行って，HMCによる異常の判断を試みました。また，水素を使うロケットを安全かつ効率的に運用するため，液体水素などの推進剤の充填やバルブの動作チェックを搭載計算機で自動的に行うなど，時間短縮や人員削減を目指したオペレーションを実践しました。

計３回の燃焼試験を行い，エンジンの故障を適切に判断するために必要なデータが取得され，HMCで異常判断するための課題も明らかになりました。また運用を自動化して行うためにバルブや調圧弁を増やした結果，地上システムが複雑となり，さらなる効率化のためには操作の工夫や人員の配置に改善が必要であることが分かりました。

ここ数年，３月に能代で実験することが多いのですが，今年は気温が低いためか雪が多く残っており，寒いスタンド点で実験班の皆さんは頑張っていました。特に，今回この実験に初めて参加した柴野靖子さんが，エンジン班の一員として現場で活躍してくれました。指令電話の向こう側から「さむい……」というか細い声が聞こえてきて，暖かい本部でちょっとだけ心配していましたが，大先輩のオジサンたちの指導のもと，燃焼器を点検したり，ターボポンプの温度を管理したり，試験中には軸受の温度をドキドキしながら見張ったりと，男女の差などもちろんなく実験のループ中で任された仕事をしっかりとこなしていました。厳しい現場で毎日大変だったと思いますが，反省会で「楽しかったです。次回もまた能代に来たいです！」との彼女の明るい言葉に，私も含め大先輩のオジサンたちも，また一緒に仕事がしたい，と思ったに違いありません。

（野中 聡）

第５回小型予冷ターボジェット総合燃焼実験

立川敬二JAXA理事長視察時の保安集合写真

能代ロケット実験場には，「極低温推進剤試験棟」という実験設備があります。この設備は，H-Ⅰロケット開発をバックアップするための液体水素（液水）／液体酸素（液酸）ロケットエンジン試験設備として，1978年12月に完成しました。約30年間，液水／液酸エンジン専用の実験設備として利用された後，老朽化が進んだことから，2008年５月に汎用性を備えた試験設備として再整備されました。その後，LNGエンジン用ガス発生器燃焼試験，液体水素を冷媒とする超伝導機器の実験，液体水素タンク内液面可視化や管内二相流可視化など，極低温推進剤を用いた基礎実験の場として幅広く活用されています。

この能代ロケット実験場で２月19日から３月６日にかけて，JAXA研究開発本部ジェットエンジン技術研究センターによって，第５回小型予冷ターボジェット総合燃焼実験（PCTJ-5）が実施されました。このエンジンは，液体水素を燃料とする極超音速機用のターボジェットエンジンで，極超音速飛行時に流入する高温空気（マッハ４では600℃以上，マッハ５では900℃以上）を冷却する熱交換システムを装備することにより，最大マッハ５まで作動可能な設計となっています。2010年までに推力100 kg級の技術実証エンジンを開発し，地上燃焼実験（PCTJ-1～4），およびマッハ２飛行実験（BOV-3）が実

施されました。

今回の実験では，極低温推進剤試験棟の高圧ガス設備と高温空気供給設備を使用し，世界最高速となるマッハ4条件でターボジェットエンジンが正常に作動することが実証されました。実験期間中の3月4日には，立川敬二JAXA理事長が実験場に初めて来場し，燃焼実験の様子や実験場設備を視察されました。

今回は2月という極めて寒い時期の実験となり，近年まれに見る大雪で実験継続が危ぶまれる日もありましたが，地元の皆さまをはじめとする多くの方々の多大なご支援のおかげで，実験目的を完全に達成することができました。この場を借りてお礼申し上げます。（小林弘明）

イプシロンロケット

打上げへのカウントダウン②

内之浦宇宙空間観測所（USC）では，新たな50年の第一歩となる2013年夏のイプシロンロケット打上げへ向けて，現在さまざまな工事が行われています。本連載の第1回目で小野哲也さんが紹介をしていたM型ロケット発射装置の改修をはじめ，射場内の各種回線の整備や台車の改修などを実施しており，これらに災害復旧のようなイプシロン関連以外の工事も含めると，3月中旬時点で30近い工事が同時進行しています。

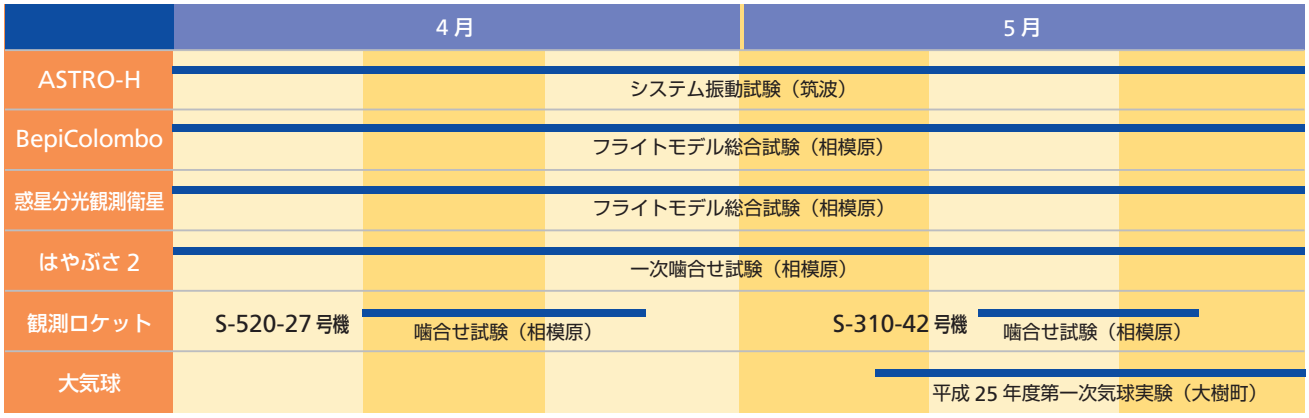
USCでは，これらの工事を円滑に進めるために，昨年10月から毎週金曜日に工事関係者を集めた「週礼」を実施しています。各種工事の工程表など週礼に使用する資料は，当初15枚程度であったものが，年が明けてから一気に工事件数が増え40枚を超える週も出てきました。週礼は，各社の進捗状況や工事間の干渉の有無などを確認し調整をする場になっています。作業に絡んだ立ち入り規制やら，衛星運用期間の作業回避やらで，当初のスケジュールで工事を進められない業者さんもあるなど，いろいろな課題は出てくるものですが，各社さんのご協力もあり，大きな問題はなくここまでの作業を進めています。

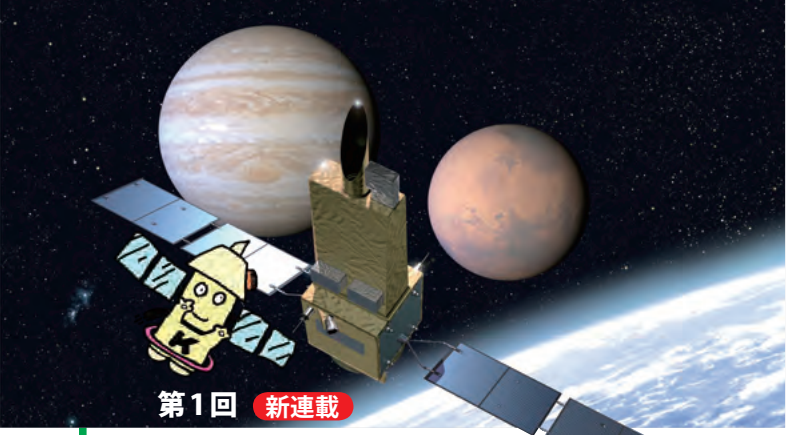
これらの工事も2013年度末で多くのものが終了し，製作・整備・改修といった段階から，他設備とのインターフェースを含めた機能確認を実施していく段階に入ります。これらの確認を実施し，設備の状況が整えば，いよいよロケット・衛星をUSCに迎えての作業です。

改修も大詰めを迎えたM型ロケット発射装置

M-Vロケット7号機以来，およそ7年ぶりのM台地でのロケット関連作業となります。7年という長いロケット不在期間のためか，私はこれまで，数ヶ月後に迫った機体の搬入／射場作業というものをあまり実感することができていませんでした。しかしながら，各種の工事によりM台地には活気があふれ，その進捗とともに「さぁ，イプシロンが来るぞ」という雰囲気が出来上がりつつあります。私自身も「もうすぐなんだな」と，なんだかソワソワしてきました。（荒川 聡）

ロケット・衛星・大気球関係の作業スケジュール（4月・5月）





第1回 新連載

小さな衛星の大きな挑戦

惑星分光観測衛星の世界

惑星分光観測衛星とは

澤井秀次郎

宇宙飛翔工学研究系 准教授

SPRINT-Aプロジェクトマネージャー

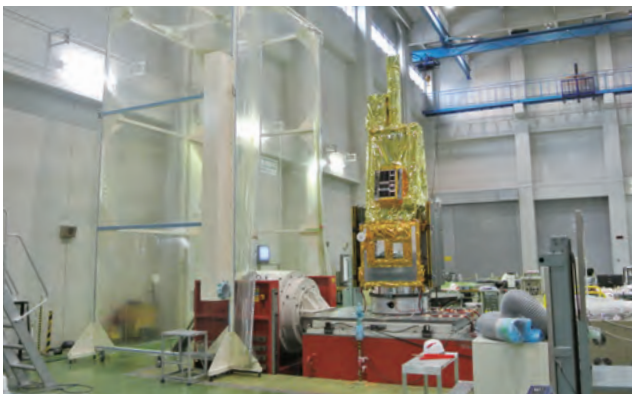
惑星分光観測衛星（開発コード名：SPRINT-A）は，今年，イプシロンロケット試験機によって，内之浦宇宙空間観測所から打ち上げられる予定の小型科学衛星です（図1）。この衛星には，主ミッションである「極端紫外線望遠鏡」（EXCEED：Extreme Ultraviolet Spectroscope for Exospheric Dynamics）と共に，オプション実験として「次世代小型衛星電源系要素技術実証システム」（NESSIE：Next-generation Small Satellite Instrument for Electric Power System）を搭載する計画で，2009年1月から本格的に開発をしてきました。

この衛星は，イプシロンロケットによって打ち上げられた後，地球表面から1000 kmくらいの高さの宇宙空間を飛翔し，約1年間，観測・実験を行うことを計画しています。

本衛星の主ミッションであるEXCEEDは，金星，火星，木星といった惑星の観測を行うための望遠鏡（正確には分光器）です。EXCEEDは，極端紫外線という波長に特化した観測を行うことが特徴で，それによって太陽風と関係する2つの科学研究を世界で初めて実施する予定です。

EXCEEDが行う1つ目の科学は，「惑星大気の流出メカニズムの研究」です。火星・地球・金星にはそれぞれ大気が存在しますが，火星の大気は薄いのに対して，私たちの地球の大気は厚く，水の惑星と呼ばれています。また，太陽に近い金星にも厚い大気があります。現在，私たちは，惑星大気のこうした違いを説明できないでいます。この違いが生じる理由を解明するには，太陽風によって惑星の上層大気が剥ぎ取られる現象を観察し，定量的に評価することが必要です。EXCEEDでは，地球大気の影響を受けない宇宙空間から金星と火星を観測して，それぞれの惑星の上層大気の様子をマクロに観察する予定です。

図1　惑星分光観測衛星（フライトモデル）



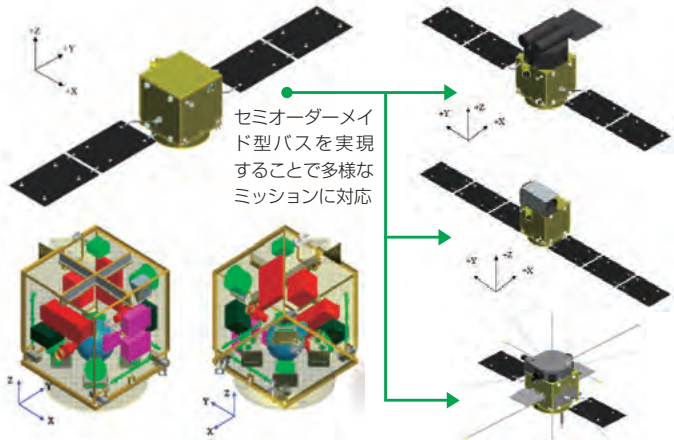


図2　設計柔軟性を有するSPRINTバス

2つ目の科学は，「磁気圏内部と太陽風の相互作用の研究」です。従来，木星の強力な磁気圏内部には太陽風が影響を与えていないと考えられてきましたが，それに対して現在，いくつかの反証が出てきていると指摘されています。この疑問に答えるため，木星の観測を実施する予定です。この観測を通じて，木星や地球などの惑星環境が磁気圏によって太陽風から守られている仕組みを，より深く理解できるようになると考えています。

惑星分光観測衛星は，このような観測を行うほか，セミオーダーメイド型の柔軟な標準バスである「SPRINTバス」を使用した初号機である，という特徴があります。SPRINTバスは図2に示すように，さまざまなミッションに対応できる設計柔軟性を有するものとして開発が進められています。「バス」とは，衛星で共通の機能を実現する基本部分です。衛星全体への電力供給や地球との通信，衛星の姿勢制御，また衛星の温度を一定の範囲に保つ，などの機能を担います。SPRINTバスでは，これらの機能を実現する標準的なモジュール群をあらかじめ用意しておき，それら組み替え可能なモジュールの組み合わせによって所望の機能を有する衛星を実現しようと考えています。共同研究として協力している宇宙システム開発利用推進機構の地球観測衛星ASNAROは，この枠組みを共有するいわば兄弟衛星です。

また，衛星内だけではなく地上管制用ソフトウェアもモジュール化し，衛星打上げ前の試験から打上げ後の運用までを統一的に扱う新しい管制システムである「GSTOS」にも，この衛星から対応する予定です。

ここで紹介した衛星開発の新しい枠組みは，本衛星以降，次期X線天文衛星ASTRO-Hを含む多くの科学衛星で本格的に活用されていくと期待しています。小型科学衛星である惑星分光観測衛星は，いわばプリカーサ（先駆者）として，この部分の技術実証をする使命も負っています。

本衛星は比較的小規模なものではありますが，極端紫外線による惑星の本格観測という新たな観測分野を開拓するものであり，かつ新しい衛星開発アーキテクチャに挑戦する取り組みでもあると自負しています。この挑戦を成功裏に開発・運用することを通じて，小規模衛星が果たす役割を実証し，宇宙科学の発展に寄与したいと考えています。

これから，この連載の中で，この惑星分光観測衛星のさまざまな側面を紹介していきたいと思います。ぜひご期待ください。（さわい・しゅうじろう）

バルセロナ雑感

宇宙物理学研究系 助教 尾﨑正伸

3月初旬に1週間ほどスペイン・バルセロナへ行ってきた。Geant4というソフトウェアの宇宙利用に関するワークショップへの出席が目的である。前回のワークショップはJAXAがホストとなってつくば国際会議場で行い，今回は欧州の番というわけである。このソフトは国内の宇宙業界でもJAXAを含め多くの利用者がいるはずなのだが，どういうわけか日本から手を挙げる人が毎回ちっともおらず，自分が日本のアクティビティを偏りがありながらも報告している。今回も研究開発本部や宇宙研，大学から情報提供をいただき，発表はおおむね好評だったと思う。情報提供いただいた皆さまに，まずはこの場をお借りしてお礼申し上げたい。

スペイン訪問は2度目（前回もこのワークショップで，場所はマドリード）だが，前回も短期滞在だったため国の雰囲気もよく分からず，事前の情報収集は書籍の観光ガイドに頼ることになった。しかし情報の大半はサグラダファミリアをはじめとするガウディの建築群についてで，芸術関連の情報が少々（とはいえピカソやミロといった大御所ぞろいなのだが），あとは食べ歩きが少しで，歴史的・社会的背景はよく分からないままだった。それでもマドリードとは少し違う言葉を話し，交易地として昔から栄えていたらしいことは把握していった。もちろん，しばらく前のオリンピックのことはぼんやりと憶えているし，何しろ言葉が世界中で使われているくらいにかつて強大な国力を誇っていたことも知っている。一方で，最近聞こえてくるのは，国家財政が失業率がといった不景気な話ばかりだ。まわりの話だと昔からスリ・置き引きの類いに要注意らしい。前々から名前は知っている土地なのに実像が見えてこない情報ばかりで，なんだか落とし穴に突っ込んでいくような感じを持ちつつ当地へ赴いた。

会場のホテル（左）と闘牛場を改装したショッピングセンター（右）。ショッピングセンター脇には屋上に直接上ることができるエレベーターが増設されており，「市内が一望でき研究会を抜け出して上ってみるのもお勧め」とガイドツアー添乗員は言い放った。中の液晶看板にはドラえもんとのび太がでかでかと写っていた。日本のアニメはここでも健在のようだ。

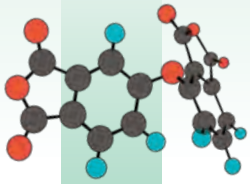
バルセロナに限らずスペインの各都市へは日本からの直行便がなく，乗り換えを含めて片道15時間ほどかかる。へとへとになってたどり着くと，事務局からの事前情報に従って市街地への急行バスに乗る。乗り場は分かりやすく，妙なタクシーの客引きもおらず，切符も安く買いやすくで，なかなか幸先よい感じだ。後で知ったのだが，この都市ではタクシーも相当に安いようで，車両も同じカラーで統一されており，びくびくする必要はまったくない。空港から市内への道は広く平坦で，市街地に入ってからも交差点やインターチェンジが上手に設計されており，乗客としても気持ちが良い。バスの中の広告はスペイン語・英語に，カタロニア語が併記されていた。このスペイン語・カタロニア語併記は至る所で見られた。両方の言語が公用語として扱われているらしい。それにしても，東京弁と薩摩弁が併記されているような不思議な感じだった。今回の会場であり投宿先でもあるホテルは，最初の停留所の目の前にあった。隣には夜目にも立派な建造物があったのだが，廃止された闘牛場を改装したショッピングセンターだと知ったのは数日たってからである。

バルセロナの人々は概して明るくはきはきしており親切だった。地中海の気候のたまものかもしれないし，食品が安く道路をはじめとする社会インフラが安定していて生きていくことの不安が少ないからかもしれない。特に畜産物とビールは，とんでもなく安い。夕食に一人でふらりと入ったバルも安く明るく明朗会計だった。しかしワークショップ最終日に出席者の一人がホテルのロビーでノートパソコンの置き引きの被害に遭ったので，私の場合，単に運が良かっただけなのかもしれない。それにしても人々の明るさというか余裕は伝え聞く財政状況や失業率とどうしても結び付かず，それがずっと頭を離れなかった。これが日本や米国・フランス・ドイツ・イギリスなどだったら，人々はもっと暗い影を引きずっているように思う。似たような感想を持ったのはイタリアに対してで，もしかすると個々人のみならず社会として安定した期間が長く（実際どうだったのかは知らないが），飢えと貧困に対する恐怖感が小さいのかもしれないなどと考えた。

あらためてバルセロナの歴史を調べてみると，紀元前から続くとんでもなく歴史の長い都市で，それだけで観光資源になりそうなものだが，現地の広告はガウディ一色だった。それでは，と空き時間を使ってサグラダファミリア見学を企てたが，待ち行列が長くて諦めた。ガウディもいいが，これからバルセロナに行かれる方には，歴史を調べてそれをたどる観光をしてみるのもお勧めである。（おざき・まさのぶ）

実験室（ものづくり工房），IKAROSポリイミド膜をつくる

横田力男
元・宇宙科学研究所 助教授



本欄で有機材料を話題にするのは酔いを覚ますようで恐縮ですが，焼酎もその仲間ということでお許しいただければと思います。

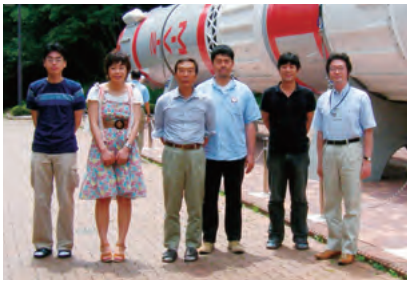
本誌の読者の皆さんはご存知かと思いますが，ポリイミドとは，人工衛星の表面を覆う金色の膜（MLI）として頻繁に登場するプラスチックの一種，膜材です。なぜポリイミドがMLIに用いられるのでしょうか。ポリエチレンのような汎用のプラスチックは，使用温度が高くない上に，宇宙環境では容易に結合が切れて（劣化して）性質を失ってしまいます。それに対してポリイミドは，六角形をしたベンゼン環（通称，亀の甲）と五角形のイミド環が二段はしごのように複合し，それが長く連なった分子の形・化学構造をしているため，仮に過酷な環境下で片方が切断しても，もう一方の結合で持ちこたえることができます。この究極は，亀の甲が連続した炭素繊維です。それゆえ，ポリイミドは300℃のはんだ浴に浸けても少しも変形しないので，フレキシブルプリント板をはじめ，電気・電子材料には必須の膜材となっています。

ただし，あまりにも優れた耐熱特性のために，普通のプラスチックのように高温で軟化させてポリバケツのようなものに成形することができないのが難点です。もちろん，はしごの一部をポリエチレンのような柔軟な化学構造に置き換えれば，バケツを成形することはできますが，宇宙での使用にはとても耐えられません。というわけで，ポリイミドの薄膜を貼り合わせてソーラーセイルをつくることは，長い間かなわぬ夢でした。

さて，私たちは宇宙研の駒場時代から，その片隅で，ポリイミドの化学構造と性質の解明，難題である成形性付与に取り組んできました。しかし，ポリイミドの研究は亀の甲とイミド環を姿の良いはしご状につなげることへの先入観が強く，私たちも無意識にそれを前提に物事を考えていたことに，あるとき突然，気が付きました。つまり，通常ポリイミドをつくるとき，二段はしごが平たいはしご状に伸びるように，原料もなるべく平面性に優れた対称性のよい化学構造のものを選択していました。その結果，平たいはしごが連なった形の1本のポリイミド鎖が集合したポリイミドも行儀よく重なるため，高温にしても軟化せず，加熱融着や成形加工が難しくなります。

そこで私たちの実験室・ものづくり工房では，二段はしごはそのままに，次のはしごとの結合の位置だけを変え，二段はしごが互いにねじれて平面にならないように（これを立体構造制御という）原料分子の形を崩し（非対称構造）ました。これが，小型ソーラー電力セイル実証機IKAROSのポリイミド膜づくりの始まりでした。

本当の目標は高耐熱のポリバケツ，成形体をつくることでしたが，同時に，ポリエチレンのように加熱融着できて高耐熱で，宇宙環境にも従来のポリイミドと同等に耐える材料の開発を始めました。基本となる二段はしごは，亀の甲の間を酸素でつなげた非対称構造の原料にすれば，宇宙環境耐久性と熱融着性の両立が可能，との予測が始まりです。ただし，それは机上で化学構造を描いただけなので，原料を少量試作していただき，約10gの新規ポリイミドをつくりました。こういうことは工房では簡単に試すことができます。驚いたことに，このポリイミドは有機溶剤によく溶け，つくったフィルムの耐熱性も高く，340℃で簡単に貼り合わせ可能なことが確認されました。当然，宇宙環境性も確かめられ，私たちの予想は的中しました。


ものづくり工房の職人たち。上はISAS-TPIの構造式。

NASA開発のLarc-TPI（Thermoplastic Polyimide）に倣って，このポリイミドをISAS-TPIと名付けました。ISAS-TPIの化学組成は従来のポリイミドと同じにもかかわらず，非対称構造ゆえに1本のポリイミド鎖は立体障害からねじれて非平面となるため，行儀のよい集合を取れず無定形となり，熱融着性が付与されたのです。長年の夢，ソーラーセイルを実現する一歩が拓かれました。このとき，2008年初春でした。

しかし，IKAROSにISAS-TPIを使うには，原料の大量合成や薄膜製造法の見極め，熱融着条件の最適化，失敗のないアルミ蒸着技術など，山のような課題を短期間でクリアしなければなりません。約1年半，個々のテーマはそっちのけで進められました。中でも最大の問題は，試作のための十分な原料供給が難しいことでした。ラボデータは素晴らしいのですが，限られた原料ゆえ依頼合成する余裕もなく，あろうことか，自分たちでISAS-TPIを合成することになりました。

通常ではあり得ないことができたのは，ISAS-TPIの優れた特性を次期の本格的ソーラーセイルに必要なものと捉え，一部でもIKAROSに使うよう背中を押してくれたシステムグループや構造グループのおかげです。そして何より，一つのテーマの研究を長期に継続することが許される宇宙研の環境があったからこそです。　（よこた・りきお）

宇・宙・夢・人

“宇宙×大学・研究機関”連携の花を咲かそう

大学・研究機関連携室 主任
藤島 徹

ふじしま・とおる。1967年，神奈川県生まれ。日本大学理工学部航空宇宙工学科卒業。日本宇宙少年団，学習塾講師などを経て，日本宇宙フォーラム。2011年4月よりJAXA 大学・研究機関連携室へ出向。

── 大学・研究機関連携室とは？

藤島：日本の宇宙航空分野の研究活動をさらに推進するために，JAXAと大学・研究機関との連携を強めていこうというのが，大学・研究機関連携室の目的です。宇宙航空や宇宙科学の分野では，JAXAはこれまでも大学や研究機関と連携して研究開発を行ってきました。それらの連携を強化するとともに，これまであまり関わりがなかった人文社会科学分野との連携にも力を入れています。

── どのように新しい連携を築いていくのですか。

藤島：JAXAでは，さまざまな分野のシンポジウムや研究報告会などを開催しています。参加した人文社会科学の研究者から，もっと詳しい話を聞きたい，自分も宇宙に関わりたい，という問い合わせをいただくことがあります。まず，興味を持ってくださった研究者のところに出掛けていき，話を聞くことから始まります。研究内容などいろいろな話をしていく中で，どういう関わり方ができるかを模索していくのです。「子どものころから宇宙が好きだったんですよ」という研究者も多く，話がついつい弾み，いつも予定の時間をオーバーしてしまいます。

── なぜ人文社会科学との連携が必要なのでしょうか。

藤島：例えば日本が有人宇宙飛行をしようとしたとき，技術だけあれば実現できるわけではありません。日本の宇宙開発は税金を使っていますから，国民の皆さんの理解・支援が不可欠です。そのためには，人文社会科学の視点からも人類が宇宙に出ていく意味や宇宙開発の意義を議論することが必要だと考えています。

2011年には神戸大学大学院国際文化学研究科と研究協力協定を締結し，京都大学宇宙総合学研究ユニットとの共同研究も進んでいます。人文社会科学の研究者とつながりができ始めましたが，まだ種をまいた段階です。大きく育て，早く花を咲かせたいですね。

── これからどのように連携を進めていこうとお考えですか。

藤島：JAXAは，理工系の連携を中心に，10を超える大学・研究機関と包括連携協力協定を締結しています。しかし，協定はJAXAと大学・研究機関の1対1の関係です。JAXAと協定を結んでいる大学・研究機関同士で横のつながりをつくりたいと思っています。すでに航空や地球観測をテーマに実施し，現在は新たなテーマでその準備を進めているところです。

── 子どものころ，どういうことに興味がありましたか。

藤島：乗り物が大好きでした。自転車から車，電車，飛行機，そしてロケットまで，あらゆる乗り物の動く仕組みに興味がありましたね。なりたい職業はずっと飛行機の整備士。大学は迷わず航空宇宙学科に進みました。

── 大学卒業後，日本宇宙少年団（YAC）に就職されました。

藤島：飛行機の整備士は狭き門で，断念せざるを得ませんでした。もう一つのやりたいことが，教育でした。実はそれまでYACの存在を知らなかったのですが，子どもたちの空や宇宙への夢を一緒に育てていくところだと聞き，やりたかったことが両方できると思って門をたたきました。

充実した日々を過ごしていましたが，教壇に立ちたいという思いを捨て切れず，学習塾に転職しました。毎週行っていた理科実験のイベントでは，指導する私自身が多くのことを学びました。子どもの理科離れが進んでいるといわれますが，実際はそんなことありません。興味をうまく引き出していけば，子どもたちの目はきらきらしてきます。実は，大学・研究機関との連携も同じ。研究者の興味をいかに引き出すかが重要です。

その後，もっと宇宙に関わりたくなり日本宇宙フォーラムに転職し，「きぼう」日本実験棟での実験を目指した研究のマネージメント業務や，相乗り小型副衛星の事務局支援などを担当してきました。全国の大学の研究者とつながりができ，今の仕事にとても役立っています。

── 休みの日は何をしていますか。

藤島：YAC横浜分団のリーダーとして，毎月，実験・工作などの体験プログラムを行っています。依頼があれば出張授業もします。アシスタントは5歳の娘です。準備もあるので休日がほとんどつぶれてしまいますが，子どもたちの「楽しかった」という言葉を聞くと，とてもうれしいですね。実際に物事に見て・触る「本物体験」は大切です。体験の中から興味のあるものを見つけ，自分で調べて考え，将来を設計してくれたらいいなと思います。

── 仕事をする上でのモットーはありますか。

藤島：宇宙開発を進めることは，必ず豊かで安全な社会につながります。私は，そういった社会をつくるべく，日本の未来のために仕事をしていると考えています。

ISAS ニュース No.385 2013.4 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ビア 制作協力／有限会社フォトンクリエイト

編集後記 JAXAはこの4月から，奥村直樹理事長を迎え，新しい中期5年計画に入ります。宇宙研も常田佐久所長に交代しました。『ISASニュース』も，改革の第一弾として「編集後記」を廃止しようという話もあったのですが……（橋本樹明）

＊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