



小型科学衛星1号機 (SPRINT-A) の一次噛合せ試験

## 宇宙科学最前線

## 極端紫外線分光で分かる 惑星プラズマ環境と惑星大気流出

太陽系科学研究系 助教

山崎 敦

私たちのような生命体を育む地球周辺の宇宙環境の成立は、必然なのか、偶然なのか？ そんな根源的な疑問を抱いたことはないでしょうか。

太陽系の8個の惑星のうちで、生命体が存在していると確認されている惑星は、地球だけです。けれども、たくさんの系外惑星が発見されていますし、中には中心星からの距離・サイズが地球と類似した惑星も見つかっています。地球のような環境がほかにも存在しているかもしれません。

プラズマや大気は普通目には見えませんが、極端紫外線で観測すると、その組成や分布が見えてきます。この極端紫外線で惑星環境を観測すると、何が分かるのでしょうか？ 本稿では、2013年夏に新型固体燃料ロケットイプシロンで打ち上げる計画で小型科学衛星1号機 (SPRINT-A) として始

まったプロジェクトの極端紫外線分光による惑星観測 (EXCEED) ミッションについて紹介します。SPRINT-Aの総合試験と同時搭載の次世代電源系機器 (NESSIE) ミッションについては別掲 (6ページ) します。

### 極端紫外線とは

SPRINT-Aで分光観測する極端紫外線について説明します。波長境界が重複している影響もあり複数の定義がありますが、ここで取り扱う極端紫外線は、紫外線分光手法の立場からの定義を採用します。

可視光線は目に見える色の付いた光です。紫色から赤色まで、虹を構成する色々です。波長は約380~760nm (ナノメートル, 1nm=1mの10

億分の1)といわれています。可視光線以外の目に見えない光は、波長が短い光は紫色より外側の光ということで紫外線、長い光は赤色より外側の光ということで赤外線などと呼ばれています。

赤外線の波長はおよそ700nm～1mmで、そのエネルギーは物質を構成している分子の振動エネルギーや黒体放射のエネルギーと同程度です。したがって、物質から放射する赤外線や物質に吸収される赤外線スペクトルを調べると、その物質の化学組成や温度を推定することができます。

紫外線の波長はおよそ10～400nmで、強い化学作用を持っています。例えば、色あせや皮膚の日焼けやシミの原因であったり、殺菌・消毒目的に利用されたりしています。紫外線の中で波長が短くなるにつれて、だんだん大気を透過しにくくなります。315nmより波長が短い紫外線は、オゾンによって吸収されるようになります。波長が200nmより短くなると、大気中に存在する酸素分子・窒素分子により吸収され、大気中では伝搬できない光となります。

大気中を伝搬できない、波長およそ10～200nmの光を取り扱うには、大気を排除し真空にする必要があります。真空中でしか取り扱うことのできないこの紫外線のことを真空紫外線と呼びます。さらに波長105nmを境に真空紫外線を取り扱う技術に大きな違いがあります。波長が105nmより長い光を吸収せず透過する物質があるのに対して、波長が105nmより短い光を透過できる物質はありません。つまり、測定光学系にレンズなどの透過型光学部品を使用できるか、反射鏡などの反射型光学部品だけしか使用できないかという大きな差となります。

そこで、波長105nmを境にして光に異なる呼び方を与え、短い波長の光を極端紫外線と呼びます。これが本衛星で観測する光で、宇宙空間で

しか観測できない光です。多くの原子や分子が固有の波長の真空紫外線を吸収し発光していますので、分光観測の波長計測により原子・分子の同定が、発光強度測定により原子・分子の存在量測定が可能となります。

## 惑星プラズマ環境と惑星大気流出の科学

太陽系の惑星を議論するときに複数の観点がありますが、ここでは固有磁場の強弱に着目します。

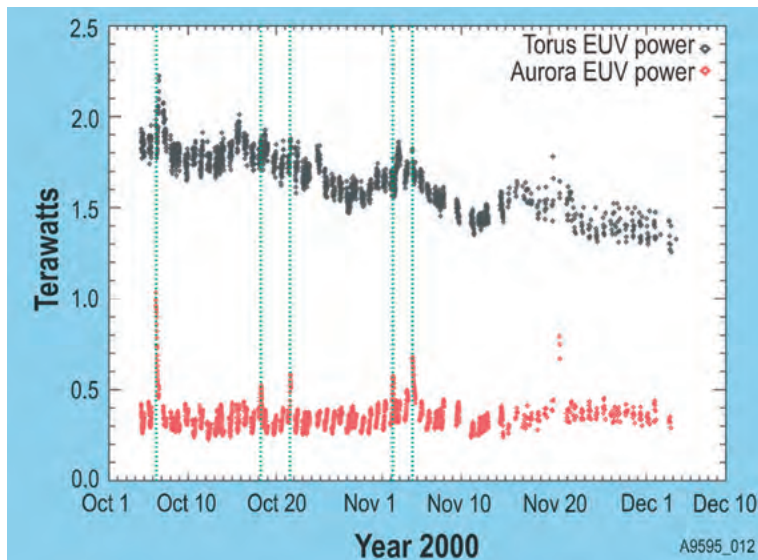
地球には固有磁場が存在し、その磁気圧が電磁場を伴う宇宙空間のプラズマの流れ（太陽風）の動圧とちょうどよいバランスを保ち、磁気圏が形成されています。そのバランスが崩れ、太陽風が強力になると爆発的なオーロラ発光現象や磁気圏嵐・電離圏嵐が発生するなど、ドラスティックな変化をします。

木星や土星には強大な固有磁場が存在し、惑星の自転速度も速いため、惑星近傍には太陽風の影響が及ばないと考えられています。磁気圏内のプラズマが惑星自転運動に近い角速度で惑星のまわりを回転する領域が、惑星本体近傍にあり、内部磁気圏と呼ばれています。この内部磁気圏プラズマとその外側の磁気圏プラズマの間の物質やエネルギーの移動には、数十日以上時間が掛かると考えられています。特に、木星の内部磁気圏に特徴的なことは、木星中心から木星半径の約6倍の位置に衛星イオが存在することです。イオには火山活動があり、硫黄やナトリウムを含む火山ガスが内部磁気圏に放出されています。この火山ガス起源のプラズマが木星と共回転し、イオの公転軌道に沿ってドーナツ状に分布していることが光学観測で明らかにされており、イオプラズマトーラスと呼ばれています。

しかし最近、このイオプラズマトーラスの発光現象の観測から、太陽風の影響が内部磁気圏には及ばないというこれまでの解釈の反証の一例が得られています。イオプラズマトーラス発光は内部磁気圏の状態を反映し、木星の極域オーロラ発光は外部磁気圏の活動度の指標となります。太陽風の影響が内部磁気圏には及ばないという考察が正しければ、それぞれの増光タイミングには関連性がないはずですが、非常に短い時間差でほぼ同時に増光していることが観測されているのです(図1)。発光はその領域にエネルギーが流入している証拠であるため、これまで理解されていないエネルギー輸送プロセスが存在することを示しています。イオプラズマトーラスと木星極域オーロラを同時に高時間分解能で連続観測することによ

図1 カッシーニ衛星搭載の紫外分光撮像装置によるイオプラズマトーラス(黒)と木星極域オーロラ(赤)の観測例

イオプラズマトーラスと木星極域オーロラがほぼ同時に増光する例がある。(出典: Steffl et al., 2004. Pryor et al., 2005)





り、内部・外部磁気圏間のエネルギー輸送プロセスが判明すると期待されています。

一方、固有磁場の弱い金星や火星では、太陽風が惑星近傍にまで押し寄せ、太陽風に直接作用された惑星大気が宇宙空間へ流出します。大気流出の規模が、惑星が大気を保有するかどうかを決定づける一因となります。地球は固有磁場の存在効果で大気流出の規模が弱く、生命が繁栄する惑星に進化を遂げました。しかし地球型惑星に分類されるものの金星と火星は、一方は暴走温室効果により高温高圧の灼熱地獄、一方は低温低圧の乾燥地帯であり、生命の繁栄には程遠い過酷な大気環境となりました。

太陽風動圧や紫外光放射量などに代表される太陽活動度は、太陽系誕生直後は非常に高かったと予測されています。したがって初期から現代までの大気流出の変遷を理解するには、広範囲の太陽活動条件下で大気流出量を定量的に調べることが必要です。全体量測定には、領域全体を見渡すことができる光学観測が適しています。また、太古の太陽の活動度には及びませんが、現在の太陽活動極大期は、大気の流出量測定のためには、またとない絶好の機会です。

## 科学目標を達成するために

上述した惑星プラズマ環境や大気流出の研究目標を達成するポイントは、惑星の視直径より細かな角度分解能で光学観測を実施することです。木星と金星の最大視直径はそれぞれ約50秒角と約60秒角で、本ミッションの角度分解能を±5秒角と設定しました。このときの木星と金星の極端紫外線分光観測画角を図2に示します。観測成功には、同じ精度で衛星姿勢を安定させることが必須となります。

ところで、小型科学衛星では、これまでの科学衛星とは異なる開発方法を採用しています。どのような衛星でも必要となる衛星システム（バス部）と、プロジェクト固有の性能を持たせた観測機器（ミッション部）とを個別に開発して、それぞれが完成したところで合体して一つの衛星とするという開発方法です。バス部とミッション部の間のインターフェース条件を厳格に定義することが必要となりますが、個別開発することにより開発規模を小型化することが可能になるとともに、開発の効率性と各部設計の柔軟性を確保することができます。

しかし、±5秒角という高精度の姿勢安定性を衛星システムへの要求とし、姿勢制御系を備えるバス部のみで達成する設計とした場合、超高精度な姿勢制御システムの開発が必要となります。そ

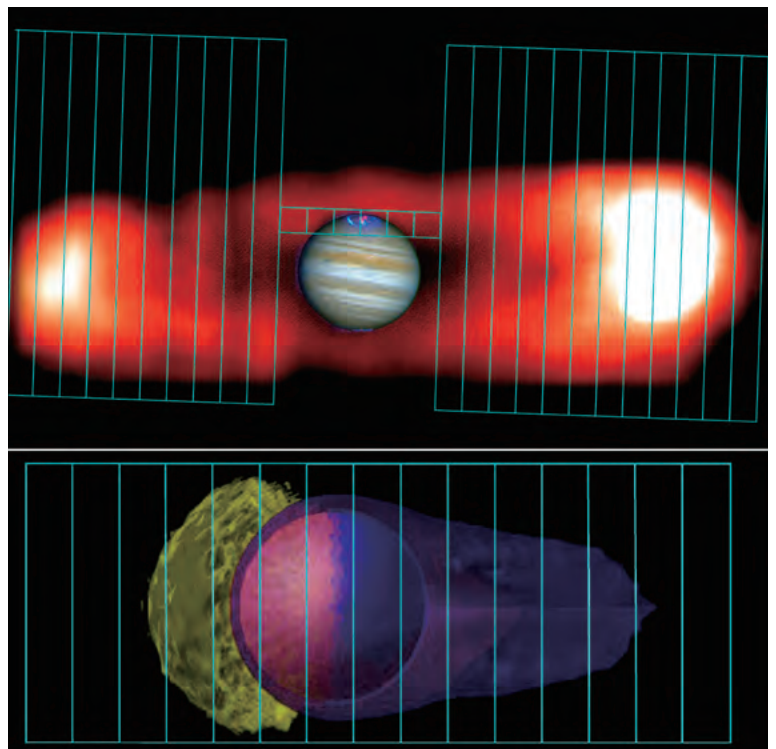


図2 木星(上)と金星(下)の観測例

上図の木星像は土星探査機カッシーニ衛星が観測したイオプラズマトーラスと、ハッブル宇宙望遠鏡およびX線天文衛星チャンドラが観測した木星極域オーロラの公開画像の合成。下図の金星像は計算機シミュレーション結果(Terada et al., 2009)。水色の枠はおよそ1ピクセルのサイズに相当する。

ここで、ミッション部から観測視野内の惑星位置そのものの情報をバス部の姿勢制御系に伝送する独自のバス—ミッション間インターフェースを追加することにしました。ミッション部には（惑星分光観測には不要の）視野ガイドカメラが搭載されることになり、バス部の姿勢制御系には惑星追尾機能が追加となりました。バス部とミッション部それぞれには開発部位が増えるのですが、衛星全体の開発には効率性を確保することが可能となりました。理工一体の開発体制を持つ宇宙研ならではの利点が、衛星全体の開発の最適化に生かされた結果です。

## さらなる課題に向けて

SPRINT-Aでは、木星磁気圏でのエネルギーの輸送過程についての未解決問題や、金星・火星周辺で生じている大気散逸量の測定に取り組みます。地球とは異なる環境下の磁気圏・大気圏の特性を理解することは、地球環境がいかにかけがえないものか、その再認識につながります。さらには、太陽系や系外惑星系の形成・誕生・進化の理解につながると期待しています。そして、生命を育む地球のような惑星環境の成立が必然なのか偶然なのか、人間という生命体として根源的な疑問について考えるきっかけになれば、うれしく思います。

謝辞：本プロジェクトを遂行するに当たり、プロジェクトメンバーにとどまらず、関係者の方々に多大なご協力・ご尽力をいただいています。この場を借りて感謝の意を表します。

参考文献：尾中，分光研究，1970。吉川ら，遊星人，2012。（やまざき・あつし）

## 樋口 JAXA 副理事長， IAF 会長へ

10月1日より5日までイタリア・ナポリで開かれた第63回国際宇宙会議（IAC）の期間中に、JAXAの樋口清司副理事長が国際宇宙連盟（IAF）の会長に選任された。

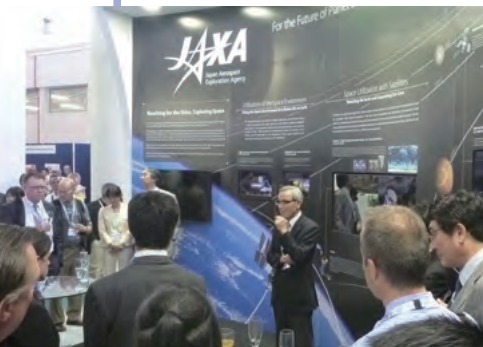
IACは国際宇宙航行アカデミー（IAA）と国際宇宙法学会（IISL）の共催で、会の運営は主としてIAFが仕切っている。参加人員は3000人に近く、学術セッションのほか各国間会合が開かれるなど、世界中の宇宙関係者が一堂に会する年に一度の機会である。IAFにとってこのIACが最大の行事であるが、ほかに宇宙コミュニティを代表して国連などの接触にも当たっている。IAFの構成単位は宇宙関連の各種組織/団体（例えば日本航空宇宙学会、日本ロケット協会、…重工）であり、年一度の開催地は投票によって決められる。プラハ、ケープタウンときて今回のナポリ、次回は北京が予定されて

いる。我が国では1980年に東京で、2005年に福岡で開催され、大いに好評であった。

カナダから現職の副会長も立候補して有力な対立候補となったが、総会での投票により樋口氏が選出された。IAF業務について氏にまったく経験のないことは大きな弱点であったが、JAXAの国際活動を通じての知名度（典型的にはアジア・太平洋地域宇宙機関会議 [APRSAF] によって培われた関係によるアジア諸国の支持）、本人の所信表明に対する共感などが相まっての結果であった。特筆すべきは国際部の活発かつ有効な支援活動であり、とりわけ総会における知久建美さんの支持演説は白眉との評価が高い。

JAXA副理事長として多忙の中にあっても、ぜひIAF会長として新風を吹き込んでいただきたい。（松尾弘毅）

## 第63回 国際宇宙会議（IAC2012）、ナポリで開催される



JAPAN DAYであいさつする樋口副理事長

南イタリアのナポリにて第63回 国際宇宙会議が10月1日から5日にかけて開催されました。この会議は、国際宇宙連盟（IAF）、国際宇宙航行アカデミー（IAA）、国際宇宙法学会（IISL）の3組織が主催して毎年開催される、宇宙関係では世界最大規模の学会です。

会議への参加登録者は約4000人に上り、JAXAからも理事長はじめ多くの職員が参加しました。会場は、ナポリ市街地から地下鉄で15分ほどの距離にある国際展示場です。展示場には、JAXAほか世界中の宇宙機関や民間企業の展示ブースが大小合わせて50もありました。研究発表は30に及ぶ分科会に分かれ、19の会場で並行

して開催されるという規模です。会期中の発表論文数は2200編とのことです。

JAXAの展示ブースは63m<sup>2</sup>あり、太陽系を描いた10m幅の湾曲した壁面に「しずく」「ひので」「きぼう」「このとり」、そして「はやぶさ」のカプセルとイオンエンジンの模型を埋め込みました。また、HII-A、HII-B、イプシロンロケットの25分の1模型が並び、人気の撮影スポットとなりました。SPICAについては、壁画やビデオを用いて紹介しました。その他、産業連携センターによる、日本の宇宙関連企業の紹介がありました。

2日目には、展示ブース内で“JAPAN DAY”と銘打ったイベントを開催し、世界各国の宇宙機関の方々をつなぐコミュニケーションの場を提供しました。特に樋口清司副理事長の音頭で行った三三七拍子は大変好評で、この甲斐あってか、樋口氏は会期中に行われた選挙でIAFの会長に選ばれました。JAXAブースには、会期を通じて約3000名の来場者がありました。

来年は北京で開催予定です。（高木俊暢）

## 「はやぶさ2」プロジェクトの体制を強化

今年9～10月、小惑星探査機「はやぶさ2」プロジェクトの体制を強化しました。この強化の狙いと内容についてご紹介します。

私は、昨年8月、月・惑星探査プログラムグループ（JSPEC）統括リーダーに着任して以来、「はやぶさ2」につ

いて、組織内外のさまざまな方との意見交換、各種委員会、審査会・設計会議などを通じて、状況を理解することに努めてきました。「はやぶさ2」に関してあらためて認識したことは、以下の3つの必要性です。①高い技術的ハードルへの対処を厳しい打上げスケジュールやリソース制約の中で行うこ



とが必要、②固体惑星科学コミュニティからの支持・協力を全面的に得ることが必要、③政策・社会との関わりの中で①と②を実現するためには、より上位の視点で広範な役割を担う多面的マネジメント体制の構築が必要。

「はやぶさ2」の成否は、宇宙研を含む相模原キャンパスのミッション全体と日本の固体惑星科学の将来に多大な影響を与えることになる、という複数有識者の危機意識は、私にも十分納得できるものでした。ミッション成功を至上の目的として、①～③をどういう姿で実現すればオール相模原での協力を強化しプロジェクトを成功に導けるかについて、宇宙研文化を熟知する理学・工学や科学コミュニティのキーパーソンとも意見交換を行ってきました。若手の登用・育成にも配慮しつつ短期間で①～③を実現するためには、よりシニアレベルによるマネジメントなど総力戦の体制を組んで進めることが必要という認識のもと、JAXA経営層の理解・決断と宇宙研所長・幹部との協調により、今回の体制強化が実現しました。

③については、JSPECプログラムディレクターの國中均教授がプロジェクトマネージャーに、また準天頂衛星プロジェクトのサブマネージャーを務めた経歴を持つ稲場典康次長が経営企画部推進課長からプロジェクトマネージャー代理に着任し、双壁でプロジェクトをまとめています。

②については、日本惑星科学会長であり名古屋大学教授の渡邊誠一郎先生（宇宙研客員教授）に誠心お願いして、プロジェクトサイエンティストの重責を引き受けていただきました。渡邊先生は、9月上旬から早速プロジェクトサイエンティストチームを結成して、より多くの一線のサイエンティストの参画を実現し精力的に陣頭指揮を執っておられます。

「はやぶさ2」の前プロジェクトマネージャー吉川真准教授は、新設のミッションマネージャーに着任しました。マネジメントの雑用が軽減され、探査でキーとなるミッション運用シナリオの構築、目標天体の分析、プロジェクトサイエンティストの主要メンバーとしての活動など、「はやぶさ」プロジェクト以来の実績・経験と専門性を活かせる役割を担っています。

①については、宇宙研工学とJSPECとの連携と、筑波宇宙センターの開発部門・研究部門の協力により、オールJAXA体制でサブシステム・コンポーネントの体制強化を段階的に進め、11月1日に体制強化が仕上がりました。

「はやぶさ2」は、2014年12月の打上げに向け現在フライト実機を製作中で、いよいよ来年1月には第1次の全体噛合せ試験を開始します。プロジェクトに対する関係各位のこれまでのご支援にお礼申し上げますとともに、よりいっそうのご理解・ご支持を賜りますようお願いいたします。（山浦雄一）

## 「きぼう」のユーザー運用エリア大にぎわい

現在、国際宇宙ステーションの「きぼう」日本実験棟では、今までになく多くの実験が同時進行で行われています。船外実験プラットフォームでは、継続的に全天X線観測を行っているMAXIを筆頭に、宇宙ステーション補給機「こうのとり」3号機（HTV3）で打ち上げたMCE（ポート共有実験装置）のチェックアウト、各ミッション機器の機能確認・実験などが行われています。

船内実験室では、日本の開発した実験ラックが3つ同時に稼働しています。1つは流体実験ラックで、2008年の打上げ以降、流体物理実験や結晶成長実験のために休みなく使用されています。現在、流体ラックでは、タンパク質結晶成長をリアルタイムで観察する実験（NanoStep）を実施中です。

流体ラックの隣に設置されている細胞ラックも2008年に打ち上げられ、すでに10以上の生物系の実験に使われてきました。10月から植物の抗重力反応機構を調べる実験（Resist Tubule）が始まりました。早くも第一弾のサンプルをドラゴン補給船運用1号機で地上に持ち帰りました。

3番目が、2011年に打ち上げられた多目的実験ラックです。その名の通り、多目的に使用できるさまざまなインターフェースを備えています。今回は水棲生物実験装置をセッ

トします。10月末にニューズ宇宙船でメダカが到着し、数ヶ月にわたる長期飼育を開始しました。

ラックは使いませんが、宇宙ステーション内の微生物の繁殖状況を調べる実験（Microbe）も実施しています。これはシリーズものの実験で、時間とともに細菌やカビの種類・量がどのように変化するかを追っています。

各実験の運用中には、実験チームが筑波宇宙センターの「ユーザー運用エリア（UOA）」に陣取り、リアルタイムで送られてくるデータや画像を確認します。多くの実験が行われているので、UOAはいまだかつてないほどの盛況ぶりです。筆者もNanoStep実験の運用中です。宇宙ステーションから撮影されている地球の画像を大画面で見ながら仕事ができるなんて、宇宙機関ならではの幸せです。（吉崎 泉）



NanoStep実験の準備作業を行う星出彰彦宇宙飛行士

## 小型科学衛星1号機 (SPRINT-A) の総合試験始まる



総合試験中の小型科学衛星  
1号機 (SPRINT-A)

小型科学衛星シリーズの1号機 (SPRINT-A) として開発を進めてきた惑星分光観測衛星の総合試験が、相模原キャンパスのC棟クリーンルームで行われています。この衛星は、極端紫外線により金星、火星や木星といった惑星を観測する計画で、2013年夏にイプシロンロケット初号機により内之浦から打ち上げられる予定です。総合試験は打上げに向けた開発の大きな難関ともいえるイベントで、実際に宇宙に行くフライト品のコンポーネントを順次組み立てながら試験を行っています。

から試験を行っています。

本衛星は、柔軟性高く、かつ効率的な衛星開発を目指したSPRINTバスシリーズの最初の衛星として開発をスタートしました。このSPRINTバスの考え方は、関係者一同の開発にかける意気込みもあって、一定の広がりを持ち始めています。小型科学衛星シリーズの2号機として選定されたジオスペース探査衛星では一時期、科学要求に対応するための追加経費が

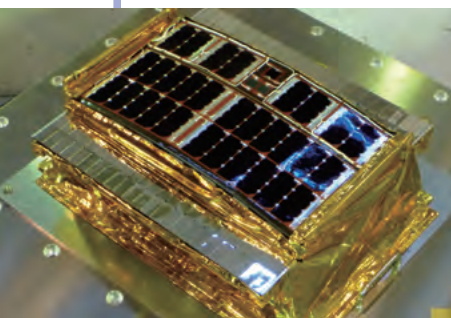
高いということで議論が巻き起こりましたが、現在はSPRINTバスを使用した単独プロジェクトとして開発が始まっています。また、経済産業省のASNARO衛星も、共同研究により同一のバス・アーキテクチャを採用する兄弟衛星で、開発が進められています。

SPRINTバスは、一般に「標準バス」と称されるものです。標準バスとは同じ設計が複数の衛星で共有されるもので、従来、標準バスは既製服のような存在でした。それに対して、SPRINTバスは、セミオーダーメイド的に柔軟にさまざまな要求に応えることができる衛星開発を可能にしています。具体的には、標準的なプラットフォーム部分に、追加でいろいろな機能を付加できるように最初から工夫が施されています。この衛星のケースでは、「ガイドカメラによるフィードバック制御」という機能を追加することにより、大型衛星を見渡してもトップレベルの5秒角という非常に高い姿勢精度を達成します。

私たちは、個々の衛星での科学観測とともに、将来のバス技術獲得に向けた布石も重要と考えています。そのため今回の衛星では、将来の高性能電源技術の獲得に向けたオプション実験として「NESSIE」も搭載する予定です。

総合試験の現場もこれから佳境に入ってきます。プロジェクトチームメンバーが一丸となって2013年夏の打上げに向けて開発を進めています。ぜひご期待ください。(澤井秀次郎)

## 次世代電源系機器 NESSIE の宇宙実証に向けて



次世代電源系機器NESSIE

NESSIEは、2013年夏に打上げが予定されている小型科学衛星1号機として開発が進められてきたSPRINT-Aに搭載される、次世代電源系機器の宇宙実証機です。

NESSIEという名称は、Next-generation Small Satellite Instrument for EPSを略して命名しました。う

まくこじつけて?覚えやすく、かつちょっぴりひねりのある名前を考えるのは、意外と大変なものです。幸い我々のチームにはそのようなセンスを持ち合わせた人がいて、彼からこれどう?との提案を受け、即座にこれでいきましょう!となりました。

NESSIEは、宇宙研の電子部品・デバイス・電源グループと筑波宇宙センターの電源グループとの共同ミッションです。筑波では、高効率薄膜多接合太陽電池、それを使ったフレキ

シブルなアレイシート (SSS)、およびSSSを使った軽量化パネル (KKM-PNL) を、これまで研究開発してきました。宇宙研では、リチウムイオンキャパシタ (LIC) の宇宙機適用性に関する研究開発が進められてきました。

薄膜多接合太陽電池は、近年宇宙機に使用されている3接合太陽電池に比べて非常に軽く、かつ曲げることができます。これらの特性を活かし、宇宙機の太陽電池パネルを大幅に軽量化することが可能です。LICは、エネルギー密度がバッテリーに比べると少ないものの、酸化物を持たないキャパシタ故に安全性が高く、長寿命で大電流の充放電が可能という特徴を持っています。

NESSIEは、これらSSS、KKM-PNLおよびLICの世界初の宇宙実証を目的としています。

電源系機器は衛星の生死に関わるため、新規要素を衛星に採用することは容易ではありません。だからこそ、宇宙環境でのトレンドデータを蓄積し搭載実績を得る機会は非常に貴重です。この貴重な機会を通して将来の宇宙機の軽量化や性能



向上へ貢献していきたいとチーム一同、願っております。

NESSIEは、それぞれのメーカーや衛星プロジェクトチーム、小型科学衛星専門委員会、各本部や宇宙実証研究共同セ

ンターなど、多くの方々のご協力のおかげで機会が与えられ、開発を進めることができました。この場を借りてお礼申し上げます。  
(久木田明夫)

## イプシロンロケット、伸展ノズル伸展試験

毎度おなじみの感が出てきたイプシロン開発試験です。今号では、9～10月に構造棟で行われた2段・3段モータ伸展ノズルの伸展試験を紹介します。

伸展ノズルの説明をする前に、まずノズルの性能について簡単に説明します。一般的にロケットのノズルは、根元から出口まで徐々に断面積が大きくなる形状をしています。この根元と出口の断面積の比率を「開口比」と呼びます。高度の高い(空気の薄い)ところで燃焼させる場合、この開口比が大きくなるほど燃焼ガスの噴射速度が大きくなってモータの燃費が良くなります(専門用語でいうと、比推力 $I_{sp}$ が向上します)。一方、開口比を大きくしたければ、ノズルを長くしなければならないので、使う前は効率よくロケットの中に収納し、使うときに伸ばす「伸展ノズル」のアイデアが登場します。イプシロンで使う伸展ノズルは、M-Vロケットの3段モータとキックモータで開発されたものを活用しています。ノズル本体は固定側、伸展側の2つに分かれており、使用する前は固定側の外側を囲むように伸展側が縮んだ状態になっています。ノズル内部には、十数本のGFRP製中空丸棒をらせん状に配した軽量ばね機構が仕込まれており、伸展側ノズルを固定しているベルト状の「マルマンバンド」の拘束を解除することで、ノズルが伸展する仕

組みです。

アイデアは昔から多数ありますが、フライトに成功した例は少なく、さらにFRPばねを用いた軽量機構で実現した例としては稀有であり、我が国の固体ロケットシステム技術の結晶の一つだと筆者は考えています。

試験形態は、ノズルを逆さまに設置し、天井クレーンからゴムで伸展側ノズルをつるして自重分をキャンセルさせ、飛翔時の無重力状態を模擬します。さらに、第3段はノズル伸展時にスピニングしているので、構造棟のスピニングテーブル上に設置し、1 Hzで回転させながら伸展させます。各段3回ずつ実施した試験は、すべて正常に伸展し、画像をはじめとした伸展中の各種データも無事取得して終了しました。写真は2段モータ伸展試験の様子です。これからも開発試験はまだまだ続きますので、引き続きご支援のほどよろしくお願い致します。(宇井恭一)



2段モータ伸展ノズル伸展試験の様子(左：伸展前、右：伸展後)

## 平成24年度第二次気球実験

平成24年度第二次気球実験は、7月30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。例年はお盆明けから実験を始めるのですが、近年高層風が不安定であり、飛翔機会が限られているため、実験期間を長く取って臨むこととしたのでした。

しかし、今夏の高層風、特にジェット気流(偏西風)の不安定さは我々の予想をはるかに超えるものでした。8月上旬はジェット気流の主流が北海道上空で大きく蛇行し、風速は速いものの風向が定まらず、8月下旬から9月はジェット気流がアジア大陸東岸に沿って北上し、主流が日本の北方を流れる状況でした。このため、ジェット気流南側の渦状の風の弱い領域に北海道が入り、ジェット気流の方向が大きく乱れることになりました。また、ジェット気流がやや南下すると、北東にジェット気流が吹くことになりました。

大樹航空宇宙実験場から放球される気球は、ジェット気流により実験場東方100～150kmの海上まで東進し、その後高度30km以上まで上昇してゆっくりと数時間かけて十勝沿岸まで戻ってくる、いわゆる「ブーメラン飛翔」を行います。ジェット気流によって東進している最中に南北に大きくブレしてしまうと、実験終了後に気球や搭載機器の回収が困難な地域を飛翔することとなり、安全な気球飛翔運用ができません。真西から真東に安定して吹くジェット気流は、日本での気球実験実施における要の一つなのです。

平成24年度第二次気球実験では、「気球搭載望遠鏡による惑星大気観測」「大気球を利用した微小重力実験(燃焼実験)」「成層圏オゾン・大気重力波・二酸化窒素の観測」そして「超薄膜高高度気球飛翔性能試験」の4実験が計画されていました。すべての実験準備は着々と整ったのですが、ジェット気流

の状態がどうにも放球を許してくれません。そうこうしているうちに、高度30km以上の風の季節変化によって大型気球の飛行実施が困難になり、9月3日に前者2実験の実施見送りを決定しました。そして9月14日には、9月22日までの実験期間内にジェット気流の状況が改善する見込みのないことから、残念ながらすべての実験の実施見送りを決定することとなりました。

来年度も5～6月と8～9月に大樹航空宇宙実験場で大気球実験を実施する予定です。来年はぜひ「普通の」ジェット気流になってほしいと、シーズンオフの今でも時々ジェット気流

の状態をチェックしているところです。

本稿を準備していた10月20日に、日本の大気球実験を長い間リードしてこられた山上隆正先生のご逝去の報に接することとなりました。山上先生は1971年に東京大学宇宙航空研究所気球工学部門にご着任以来、一貫して日本の気球システムの研究開発と、気球による科学実験の運営、プロモーションを続けてこられ、日本における気球工学の発展と気球による科学観測の進化に大きく貢献されてきました。北海道大樹町での大気球実験の開始に道を拓かれたのも山上先生のアイデアでした。山上先生のご冥福を心よりお祈り致します。(吉田哲也)

## 「宇宙学校・とよやま」開催



「先生、当てて!」。元気よく手を挙げる参加者。

10月20日、愛知県豊山町の町制施行40周年記念事業として、「宇宙学校・とよやま」が豊山町社会教育センターで開催されました。

当日は、小中学生を中心に約200人の参加がありました。中には県外からの参加者もあり、会場内は期待に目を輝かせた子どもたちの熱気であふれていました。

今回の授業は、1時限目が北川幸樹先生による「ロケットってなんだろう?」、2時限目が大山聖先生による「うちゅうでとばすひこうき」でした。北川先生にはロケットが宇宙へ飛び立つ仕組みや液体燃料と固形燃料を併用したハイブリッドロケットについて、大山先生には火星で飛ばそうと研究している飛行機について、映像と模型を使って分かりやすくお話しいただきました。

宇宙学校は、講師の先生からの説明をただ聴くだけでなく、質問コーナーに多くの時間を割り当て、参加者と一緒に授業を進めることが特徴です。分かりやすい説明ではありましたが、難解な専門用語もあり、果たして子どもたちから質問が出るのかという不安がありました。ところが阪本成一校長が「質問がある人は手を挙げて」と呼び掛けると、会場のあちこちで「はい!」と元気よく、次々と手が挙がりました。質問内容も「ハイブリッド燃料を使うメリットは何ですか?」「火星飛行機の素材は何ですか?」「空気が薄い火星で、飛行機の方向転換の方法は?」など、先生方がよく聞いてくれたとニヤリとする質問や、一瞬たじろぐような鋭い質問が飛び交いました。阪本校長が何度も「大人の皆さん、付いてこれてますか?」と会場に問い掛ける場面もあり、私の不安は杞憂に終わりました。

会場内を見渡すと、先生の説明を熱心にメモに取る子どもたちの姿があちこちで見られ、また、休憩時間や授業終了後に先生方のまわりに子どもたちが集まり、もっと話を聞こうとする姿を見ると、宇宙に対する関心の高さを本当に実感しました。宇宙学校に参加した子どもの中から一人でも多く、宇宙飛行士や航空宇宙分野で活躍する人材が誕生すればよいと思います。

阪本先生をはじめ、JAXAの皆さまには素晴らしい授業を開催していただき、本当にありがとうございました。

(豊山町役場町制施行40周年記念事業プロジェクトチーム/

中川 徹)

## ロケット・衛星・大気球関係の作業スケジュール(11月・12月)

|             | 11月        | 12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)      |
| はやぶさ2       |            | 機械環境サーベイ(構造機能)試験(相模原) |
| S-520-28号機  | 噛合せ試験(相模原) | フライトオペレーション(内之浦)      |



# イプシロンロケットが拓く 新しい世界

第11回

## 運用と施設設備

### ③射場整備作業と射場点検取扱設備

前原健次

イプシロンロケットプロジェクトチーム



#### はじめに—射場点検取扱設備とは—

イプシロンロケットは、第1段に基幹ロケット(H-IIA, H-IIB)のSRB-Aモータを使用し、第2段、第3段ではM-V型ロケットの改良型であるM-34cモータとKM-V2bモータを使用します(連載第5回参照)。このように、基幹ロケットの文化、宇宙研の文化を統合したロケットとなっており、使用する略称もM-Vとは異なります。

その一つとして射場点検取扱設備(AGE: Aerospace Ground Equipment)があります。AGEとは基幹ロケットにて使用されていた略称であり、ロケットを組立および点検する際に必要な設備です。AGEには機構系・電気系・電波系・液体推進系などがあり、効率的に機体の点検・組立を実施できるよう設計されています。

今回は、イプシロンロケットにおいて使用される機構系AGEの説明を通じ、イプシロンロケットの組立整備作業について説明します。

#### 射場整備作業とAGE整備方針

イプシロンロケットの射場整備作業はM-Vおよび基幹ロケットにおいて培われた組立手法を活用し、効率的に作業がなされるよう工夫されています。

#### ●第1段組立

第1段は、種子島で固体ロケットの燃料の注形・非破壊検査および一部の結合作業などを実施後、トランスポータ(図1)にて内之浦に搬入されます。その後、M組立室において固体モータサイドジェット(SMSJ)の結合などの組立を行い、第1段組立として完成します。

図1に第1段輸送形態、図2に分解図を示しています。AGEは、トランスポータ上のSRB-Aのまわりにある各種装置です。AGEは、組立に際してトランスポータの機動力を最大限活用し効率よく組立ができるよう、分割可能な構造などになっています。第1段の全体の作業流れを図3に示します。

#### ●第2段組立・第3段組立

第2段・第3段は、工場にて注形などを行った後、内之浦のM組立室に搬入され、ノズル結合および各種点検・組立を行います。各段の整備が終了すると第2段組立・第3段組立およびフェアリングなど上段の構成部品は、M組立室クリーンブース内にて結合され、頭胴部として完成します。

組立作業手順および機構系AGEは、M-V型ロケットにて確立した手法を継承していますが、新規コンポーネントの追加による機能付加も実施しています。

#### ●フェアリング

フェアリングは工場から内之浦M組立室に搬入された後、頭胴部組立に結合されます。フェアリングは、AGEも併せて新規開発です。

#### ●全段結合

M組立室において整備された第1段組立・頭胴部組立は、M型発射装置まで移動され全段結合されていきます。その際にはM-Vで確立した手法を継承して組み立てていきますが、第1段についてはSRB-Aを使用することから、発射装置のクレーンにて発射台までつり上げていきます。つり上げに際しては既存設備を使用するため、つり点を工夫し、干渉がないようにAGEを設計しています。(まえはら・けんじ)

図1 SRB輸送時形態

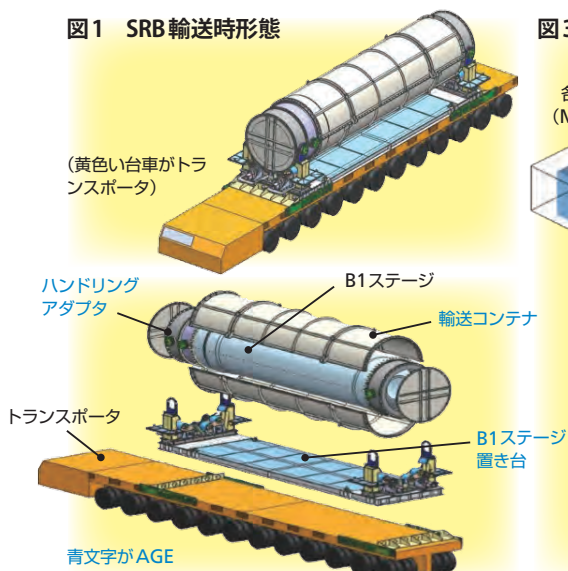
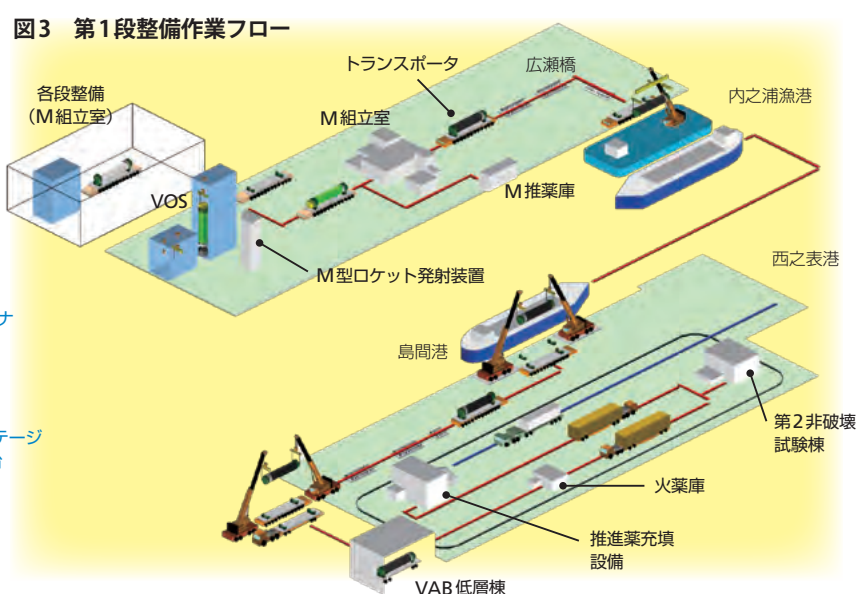


図2 SRB輸送時形態の分解図

図3 第1段整備作業フロー



# UN/Ecuadorワークショップ に参加して—なめたらいけない高山病—

太陽系科学研究系 教授 早川 基

10月8日から11日までエクアドルの首都キトで開催されたUN/Ecuadorワークショップに出席してきました。このワークショップはISWI (International Space Weather Initiative: 国際宇宙天気イニシアチブ)の活動の一環として、年1回開催されています。ISWIは国連の科学技術小委員会の下にあるサブコミッティーであり、宇宙天気に関する地上観測ネットワーク網を利用して機器受け入れ側の発展途上国に、装置の維持管理、データ解析、機器の勉強会などを通して技術者・科学者の育成を行うというものです。2010年から2012年までの3年間の活動期間であり、今年度は最終年度となります。

ワークショップは、これまでエジプト(カイロ)、ナイジェリア(アブジャ)とアフリカで開催されてきましたが、最終年度の今年は南アメリカへと舞台が移りました。宇宙研が国連の活動への支援という形でISWIワークショップの共同スポンサーとなっていることから、開会時のあいさつを国連、NASAと共にさせられています。

今回のワークショップは、私にとって見事にトラブル続きのものとなってしまいました。最初のトラブルはワークショップの参加登録のとき。Webから登録をし、Web上の参加者リストに名前があるのを確認したにもかかわらず、いつの間にかその参加者リストが消えてしまっていました。Agenda上はあいさつをすることになっているにもかかわらず、9月に回ってきた参加者リストには名前がありませんでした。さっそく取りまとめを行っている人にメールを送ったところ、記録が見つからないといわれ、新たに登録してもらうことになりました。

中南米を訪れるのは初めてだったので外務省のホームページを見ると、エクアドルでの犯罪の50%はキトともう一つの都市で起きており、移動は登録されたタクシー



UN/Ecuadorワークショップの開会式であいさつする筆者

を推奨すること。さすがに真夜中に空港に着くのは避けた方がよさそうなので米国で一泊し、翌日パナマ経由で夕方にキトに着くようにしました。キトに着くと、LOC (Local Organizing Committee: 現地運営委員会)の方がISWIと書いた紙を掲げていたのでそこに行きましたが、なんと当日の送迎者のリストには私の名前がありませんでした。同時時間帯に着く別の方がいたおかげでLOCの方が待っていたのですが、真夜中にキトに着くことにしていたらどうなっていたかと思うとぞっとしました。翌日はワークショップ初日ということで朝一番に受付に行くと、参加者リストには名前が載っているのにバッジがありません。……うーん。

開会時のあいさつをなんとか無事に終えほっとして気を抜いてしまったのが、その後の悲劇の始まり。お昼ご飯を食べ過ぎた上に、晩のエクアドル外務省でのパーティーで、普段ほとんど飲まないのにキトの標高(会場は2900m弱)も忘れ、ワインをグラスに4杯も飲んでしまいました。翌朝起きると食欲がまったくなく、軽い頭痛と吐き気が。「うーん、ワインを飲み過ぎて二日酔いかな?」と朝食を水分補給だけで済ませて会場となっているホテルへ行きましたが、時間の経過とともに頭痛がだんだんひどくなってきました。相当ひどい顔つきをしていたようで、九州大学の方から「部屋の鍵を貸すから休んでいたら」と言われる始末。「二日酔いっばい」と言う「高山病では?」と返事が。これまで4000m高度でも高山病の症状が出たことがなかったので無警戒だったのですが、調べてみると確かに症状としてはぴったり合います。しかも「飛行機が寒くて風邪気味」「食べ過ぎ」「飲酒」と、高山病予防としてやってはいけないと書かれていることを軒並みやってしまいました。また対処は「高度を下げる」とありますが、これはできないので、深呼吸をして酸素を取り込み体が高度順化するのを待つしかないようです。おかげで丸2日間「寒気がする→布団に入る→深呼吸すると大量の発汗→いつの間にか寝落ち→呼吸が浅くなり2~3時間後に強烈な頭痛で目が覚める」を繰り返し、食事もせずにホテルの部屋で過ごすことになってしまいました。

この間、何かよい対策がないかとWebをいろいろ調べたのですが、日本の外務省のページにアクセスしようとしたところ、ホテルが使用しているフィルタリングソフトによって「ポルノグラフィティ(日本)」としてブロックされたのには目が点になりました。

滞在最終日にやっと回復しましたが、翌日は早朝にはキトを離れる予定。LOCの方に何時に出発したらよいかとお聞きすると「午前3時に会場のホテルから車を出すので、その時間に来てくれ」とのこと。若干の不安を感じつつも3時前に会場のホテルに行きましたが、案の定、誰もいません。3時半まで待って、結局ホテル前に客待ちで待機していたタクシーを使って空港に行くことに。散々な1週間となってしまいました。(はやかわ・はじめ)





# 懐古主義と言われようとも

## 木内重基

(株) IHIエアロスペース 代表取締役社長

今年、糸川英夫先生の生誕100周年を迎えた。弊社は糸川先生の指導のもと、日本最初のペンシルロケットからロケットの開発に参画したことを会社の起源とし、かつ誇りとするものである。30余年前に私が就職先を決めるに当たって選定基準を、研究開発要素が多い事業で、将来成長する分野で、かつ資金力のある会社とした。その結果、当時の成長産業であった日産自動車の一事業部である宇宙航空事業部を選んだ。

入社したのは、ちょうどM-3SⅡロケットの開発が始まったところである。当時の課長であった村上卓司さんに同行して駒場の秋葉鏝二郎先生の研究室に伺った。村上さんから「計算ができる新人を入れました」と紹介されたときの秋葉先生の一言、「君はお金の計算をする人かね」は忘れられない。今はお金の計算ばかりさせられているので、先生の先見性に恐れ入る次第である。ロケットの開発は期待通り研究開発要素の宝箱で、一流の研究者の多い宇宙研の仕事は厳しくはあったが、日本の最高の知識人と会話や議論ができることは至上の喜びであった。80年代、90年代は開発と打上げが渾然一体となった活気のある時代で、濃密な時間を過ごすことができた。1998年には東京杉並区にあった工場を群馬県の富岡市に移転した。資金力があると思っていた会社は傾いたが、現在は資本金50億円、従業員1000名余りの独立会社となっている。現在は来年夏のイプシロンロケットの初号機打上げに向けて開発の佳境に入っている。弊社のロケット班、TVC班のメンバーは、かつての面影は

ないがM-Vロケットの開発にわずかに関わった若い世代とともに、固体ロケット技術の維持、発展に奮闘している。

こう書いてみるとかなり活力のある会社に見えるであろうが、現実には厳しいものである。一番の誤算は、30余年前にはロケット事業は将来産業化して航空産業のように成長すると予測したが、宇宙利用の市場の拡大に反して成長しなかったことである。この予測の何が間違っていたのだろうか。

その回答の一つは近年の政府の動きであろう。政府は宇宙開発の方向転換を図るべく2008年に宇宙基本法を制定し、今年には新しい推進体制が発足した。国の指針として安全保障を含む利用の拡大と産業振興が示されている。これはTPP(環太平洋戦略的経済連携協定)や武器輸出3原則緩和と足並みをそろえた方向転換であり、国家財政が逼迫した状況下では経済原理に基づい



内之浦実験場のM組立室にて桜井さんと

た当然の帰結であろう。これにより先進国並みの推進体制に近づくことは喜ばしいことである。しかし、この施策で成長路線に乗れると思えないのは、私だけではないだろう。先進国は宇宙への自律したアクセス手段を堅持するため、輸送系の市場を開放しないからである。

司馬遼太郎の『竜馬がゆく』によれば、徳川幕府が鎖国政策により経済的に弱体化するにつれて外様藩が力を増した時代に、航海術に優れた西欧諸国がアジアに利権を求めて日本にも接近してきた。この夷狄の脅威に対して国内は混乱するが、守るべきものを日本国という新たな概念に昇華させ、旧体制と新興勢力を一体化したことが明治維新の核心であるという。この構図は経済力が弱くなって鎖国政策を維持できず、海外との競争に迫られる現在の宇宙村に似たところが多いように思う。維新当時と比較して、価値観が多様化し、情報の即時性が高まった社会では、官・民の役割分担を含めて新たな価値観の創造が求められているように感じる。

糸川先生＝ペンシルロケットしか想像できない世代が大半となった今、糸川先生が1955年正月に毎日新聞に発表された20分で太平洋を横断するロケット旅客機の壮大な構想から、あの小さなペンシルロケットが始まったことを、今一度思い直す時期に来ているのではないだろうか。往年の名機M-3SⅡの前で、糸川先生のそばにおられた桜井文史との2ショットを、生誕100周年に当たって上呈するものとする。

(きない・しげき)

# 世界初に挑戦しなければ意味がない

宇宙飛翔工学研究系 教授  
安部隆士

## —— 空気力学がご専門ですね。

安部：極限状況の気体運動の挙動を研究して、衛星や探査機のための新しい技術を開発してきました。1990年に打ち上げた工学実験衛星「ひてん」では、世界初の実験を行いました。「ひてん」は、天体の重力を使って衛星の軌道や速度を変えるスイングバイの実験を行うことが主な目的でした。打上げの半年前、さらに実験を追加できないかと話し合っていて、たどり着いたのが、地球大気によるエアロブレーキ実験の提案です。それは大気をかすめることで減速する技術で、アイデア自体は1950年代ごろからありました。しかし失敗すれば高価な衛星が地球へ落ちてしまう危険性があり、世界で実行した例はありませんでした。予定通り、「ひてん」はスイングバイ実験の後、世界初のエアロブレーキの実験にも成功しました。



あべ・たかし。1949年、福岡県生まれ。工学博士。1978年、東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。東京工業大学総合理工学研究科助手を経て、1982年、宇宙科学研究所助教授。1993年より現職。

です。残念ながら予定軌道を外れましたが、カプセルを回収して、そこに埋め込んだ材料のデータを得ることができました。そのデータをもとに、「はやぶさ」の再突入カプセルが開発されたのです。

## —— よく提案が通りましたね。

安部：今までにないものや技術を開発して、誰も見たことのないものを観測する。それが宇宙研の存在意義です。だから世界初に挑戦しなければ意味がない。宇宙研の歴史は、チャレンジの歴史です。

世界初のエアロブレーキ実験は、日本ではあまり話題にならなかったのですが、NASAの研究者たちは驚いたようです。私も何度か呼ばれて話をしました。その後、NASAの金星探査機「マゼラン」は、金星大気によるエアロブレーキを実施して減速と軌道変更を行いました。

## —— 小惑星探査機「はやぶさ」の再突入カプセルの開発も担当されましたね。2010年に無事に回収されたときの感想は？

安部：とても不思議でした。あれほど、うまくいくとは思っていませんでしたので（笑）。大気への突入スピードは秒速12kmと史上最速レベル。周囲の空気は圧縮されることで加熱され、カプセル表面は約3000℃に達します。2003年の「はやぶさ」打上げの前年に、再突入カプセルの実証を行う高速再突入実験機（DASH）計画を進めましたが、ロケットからの分離に失敗して実験ができませんでした。「はやぶさ」の再突入カプセルは、ぶっつけ本番だったのです。

スペースシャトルと同じ秒速約8kmの再突入実験は、実施していました。1995年に打ち上げた回収型衛星「EXPRESS」

## —— 子どものころ、興味があったことは？

安部：ラジオ少年で、小学校3年生のころから組み立てていました。飛ぶものが好きで、中学・高校のころは航空関係の仕事に就きたいと思っていました。大学のときにアポロ11号の月面着陸があり、それで宇宙への関心が増しました。そして数学も好きだったので、数学を駆使する空気力学へ進みました。

## —— 宇宙に関心を持つ若い人にアドバイスをください。

安部：世界初にチャレンジしたいなら、宇宙はとても面白い分野です。それには人に先んずる必要があり、競争は避けられません。チャレンジすることが好きで、競争をいとわない人が、この分野に向いていると思います。

## —— 競争や開発で胃が痛むことはありませんか。

安部：私は何か問題を抱えている状態の方が楽しいですね。問題がないと、暇を持て余して、むしろ困ってしまいます。

## —— 現在、どのような技術の開発を進めているのですか。

安部：一つは、「シイタケ型」と呼ばれる大気圏突入機の開発です。打上げ後に膜を大きく広げてシイタケのような形の機体にして、それで大気圏へ再突入します。重量のわりに大きな機体はすぐに減速するので、それだけ空気加熱を受けなくて済みます。安全性を向上させ、機器の搭載スペースも大きくすることができます。その開発は国際競争になっていて、NASAが少し先行しています。

もう一つ、力を入れて開発しているのが、アニメ『機動戦士ガンダム』にも出てくるような磁気シールドの技術です。空気は加熱されると、電気を通すプラズマガスになります。そこに磁場をかけて、ガスを機体から遠ざけ、反作用で減速させることで、空気加熱の影響を避けて安全性を向上させることができます。これも国際競争になっていますが、磁気シールド技術に関しては世界で私が一番です！

ISAS ニュース No.380 2012.11 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** 来年度予定の打上げに向け、惑星極端紫外線分光観測を行う小型科学衛星1号機（SPRINT-A）の開発が進んでいます。さらに打上げ後の多波長同時観測に向けて、地上観測・地球軌道観測も検討されています。観測波長の広がりとともに楽しみも膨らみます。（笠原 慧）

\*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**