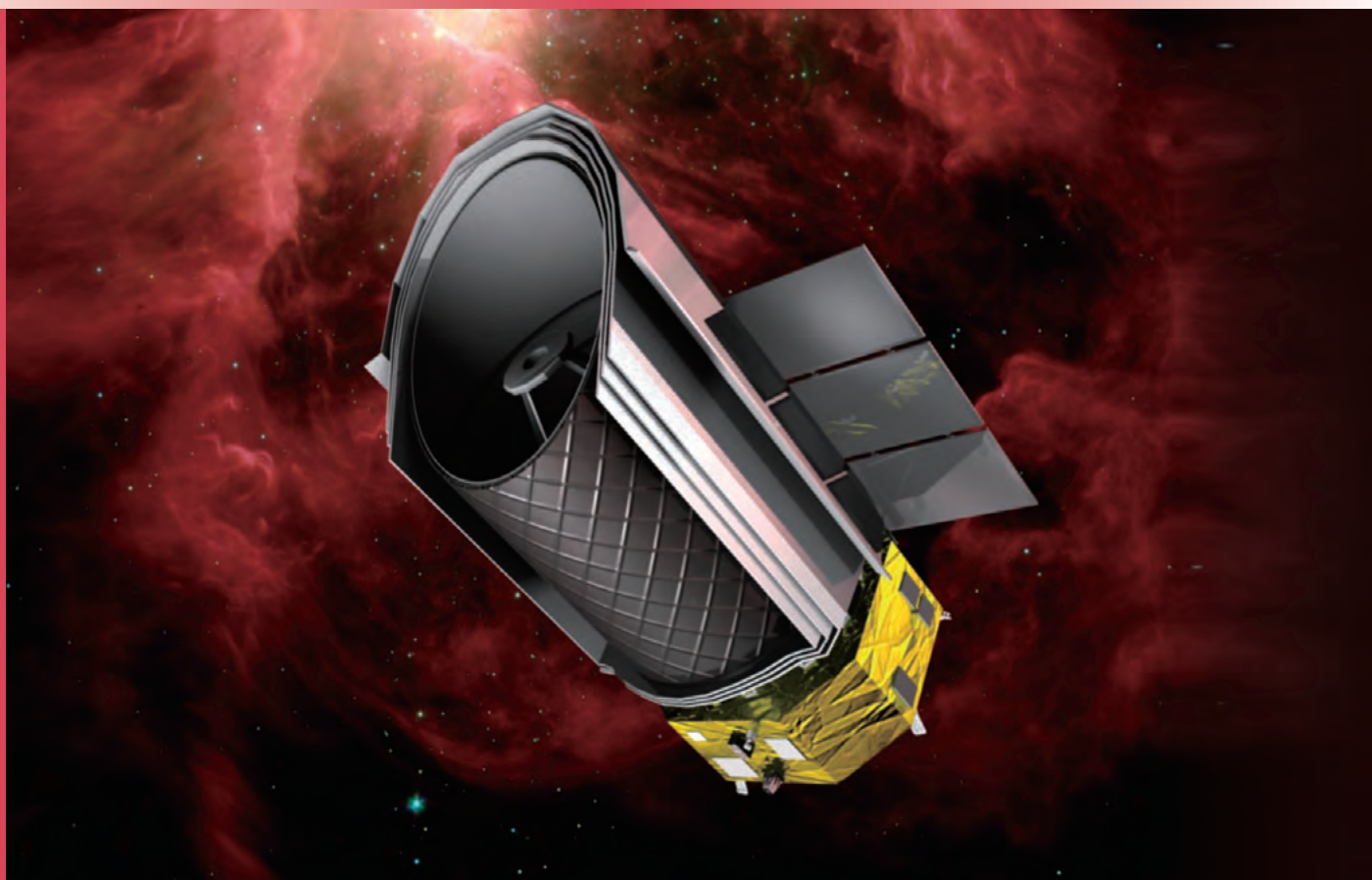




軌道上の次世代赤外線天文衛星 SPICA (想像図)

宇宙科学最前線

次世代赤外線天文衛星 SPICA が目指すもの

宇宙物理学研究系 教授
中川貴雄

SPICA (スピカ, Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics, 表紙) は、ビッグバンから生命の発生に至るまでの「宇宙史」の解明を目指して、世界の研究者が協力して推進している国際宇宙天文台計画です。口径 3.2m の大型望遠鏡を打ち上げ、それをマイナス 267℃ という極低温にまで冷却することにより、今までにない圧倒的な高感度観測を実現しようとしています。それにより、太陽系研究から宇宙論まで幅広い分野に大きなインパクトを与えると期待されています。2022 年度の打上げを目指して研究開発を進めています。

赤外線観測で宇宙の進化を探る

宇宙の進化を探るためには、赤外線による観

測を欠かすことができません。

赤外線観測の第一の役割は、星や銀河の誕生を探ることです。生まれたての星(原始星)は、主に赤外線で輝いていると考えられています。図1は、可視光線で見たオリオン座と、「あかり」が赤外線で見えたオリオン座との比較です。赤外線では、可視光線とはまったく異なる場所が明るく輝いていることが分かります。赤外線で明るい場所こそが、星が生まれているところであると考えられています。

赤外線観測のもう一つの役割は、若いころの宇宙を探ることです。我々の宇宙は約 137 億年前にビッグバンで始まり、その後、膨張してきました。この膨張の影響を受け、遠方の天体(= 若い宇宙に存在した天体)を私たちが観測する

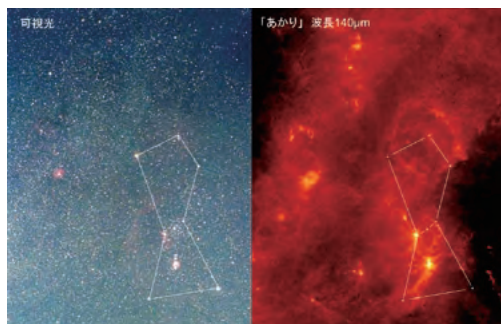


図1 可視光線で見えたオリオン座(左)と赤外線(あかり)で見えたオリオン座(右)
赤外線では明るく輝いている場所では、若い星が活発に生まれていると考えられている。(左写真提供: 国立天文台)

と、その波長は本来の波長より長くなります。そのため、若い宇宙に存在している銀河は、もともとは可視光線で光っていたとしても、観測されるエネルギーの大半が赤外線領域に移動してきます。したがって、若い宇宙を探るためには、赤外線での観測が最も有効な手段となるのです。

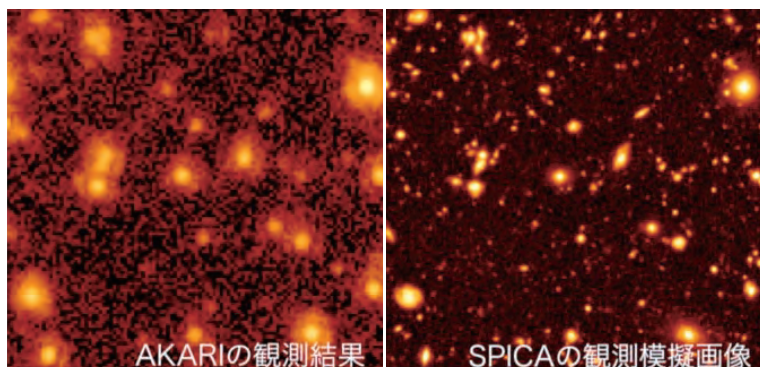
「あかり」からSPICAへ

赤外線による宇宙観測では、2006年に打ち上げられた「あかり」がとても重要な役割を果たしました。波長9～160マイクロメートルという広い範囲にわたる6つの波長で全天をサーベイ観測したことが、「あかり」の重要な成果の一つです。その結果、130万個もの天体を含む赤外線カタログが作成されました。実は、このカタログに記載された天体の過半数は、いまだに正体の分からない謎の天体です。いわば今後の研究のための「宝の山」です。

ただし、個別の天体の性質を調べるということになると、「あかり」の能力には限界があります。それは、搭載された望遠鏡の口径が70cmと、それほど大きくはないからです。

「あかり」の成果をもとに宇宙進化の理解をさらに発展させることが、SPICAの重要な使命です。SPICAには、「あかり」を超える「高い空間分解能」と「優れた感度」とが要求されます。そこで私たちは、口径3.2 mという大口径望遠鏡をSPICAに搭載することを考えました。「あかり」望遠鏡の口径の約5倍です。それにより図2に示すように、大幅な性能向上が期待されます。私たちは、「あかり」がつくってくれた地図を片手に、SPICAで「宝さがし」の旅に出掛けたいと考えているのです。

図2 銀河観測における解像度の向上
波長24マイクロメートルにおける「あかり」(左、観測結果)からSPICA(右、シミュレーション画像)への解像度向上



銀河の誕生のドラマ

SPICAが挑む最大の謎は、私たちの宇宙において、どのように銀河が生まれ進化してきたかを解明することです。

「あかり」による研究から、宇宙における星形成史が現在から約90億年前までさかのぼって明らかになりました(図3)。その結果、驚くべきことに、約90億年前の宇宙では現在の20倍以上も星形成活動が活発であったことが分かりました。逆に言うと、約90億年前から現在までは、銀河・星の形成活動の活発度の「衰退期」にあることが分かったのです。

「あかり」は、さらに銀河の種類も時間とともに変化しており、「超大光度赤外線銀河」と呼ばれる赤外線では非常に明るい銀河が90億年前には重要な役割を担っていることを示しました。超大光度赤外線銀河は赤外線で主に輝いているのですから、星形成の活発度の観測には赤外線の観測が必須です。すなわち、赤外線の観測なくしては、宇宙における真の星形成活動の歴史を知ることはできないのです。

「あかり」は約90億年前から現在までは銀河・星の形成活動の衰退期にあることを明らかにしましたが、そのままの傾向が宇宙の始まりまで続くことは考えられません。宇宙の始まりには、星も銀河もありませんでした。したがって、宇宙が誕生した137億年前から、「あかり」の観測が到達している90億年前までの間のどこかの時期で、銀河・星の形成活動が始まり、時とともに活発になっていった「勃興期」があるはずです。この勃興期にこそ、現在の宇宙の姿が形づくられた重要な時期です。

SPICAの第一の目的は、この銀河・星形成活動の勃興期が本当に存在したかどうかを明らかにすることにあります。SPICAは、「あかり」の観測をより初期の宇宙にまで発展させ、120億年前までの昔の宇宙における銀河・星形成活動を直接測定します。それにより、現在の宇宙の姿を形づくった勃興期に何が起きたかを明らかにします。

惑星系のレシピ

SPICAのもう一つの大きな課題は、我々の住む惑星系がどのように生まれてきたかを明らかにすることです。特に、我々の太陽系にとどまらず、太陽系以外の惑星系、特に惑星を今まさにつくっているような「過去の太陽系」に相当する惑星系を調べることで、惑星系の形成の現場を直接に明らかにしようとするものです。

「あかり」の中間赤外線全天サーベイデータにより、塵円盤を持つ恒星が複数発見されました。この塵円盤は、惑星に成長しつつある天体同士の衝突により生じたと考えられています。ただし、「あかり」以前に発見されていた塵円盤のほとんどは、中心の恒星からの距離が遠いため、惑星形成との関係は明確ではありませんでした。一方、「あかり」の観測では、まさに地球に近い環境に位置する塵円盤の存在が確認されました。これは地球に似た惑星の存在と強く関連するものと考えられます。これらの塵円盤を持つ恒星の観測は、まさに過去の太陽系の姿を見ていることに相当すると考えられます。

ただし、「あかり」の観測では、塵円盤の存在は分かりましたが、その構造までは分かりません。さらに、その中で生まれている可能性のある惑星の姿そのものを捉えることもできていません。

そこで「あかり」が発見した塵円盤の構造を、SPICAで明らかにします。

現在の太陽系には、木星のような「ガス惑星」と地球のような「固体惑星」という異なる種類の惑星が存在します。その違いを生んだことを説明する惑星形成の現在の標準的なモデルは、「コア集積モデル」です。コア集積モデルでは、ガスと固体とが、それぞれ別の進化の過程をたどって惑星をつくったと考えられています。SPICAでは、高感度の赤外線観測により、固体物質とガスの両者の進化を同時に追求することができます。これにより、コア集積モデルの直接的な検証を行いたいと考えています。

さらに、SPICAの挑戦的な観測の一つに、私たちの太陽系以外の惑星系の、惑星そのものの直接観測があります。特にSPICAで重要な点は、分光観測により惑星の大気組成を調べることができる点と期待されていることです。生命と結び付きの深い「水」「酸素」「二酸化炭素」の存在を探ることができる可能性もあります。もし、地球以外の惑星の大気でこれらの分子が検出されれば、惑星における生命の発生に関して貴重な情報を得ることができるでしょう。

宇宙における物質循環

現在の宇宙を構成している元素の大半は、水素とヘリウムです。一方、宇宙の多様性を生んでいるのは、それ以外のいわゆる「重元素」です。これらの重元素は、「あかり」の観測などにより、原子ガス・分子ガス・固体微粒子などの多様な物質形態に姿を変えながら、現在の宇宙の姿を形づくってきたことが分かっています。

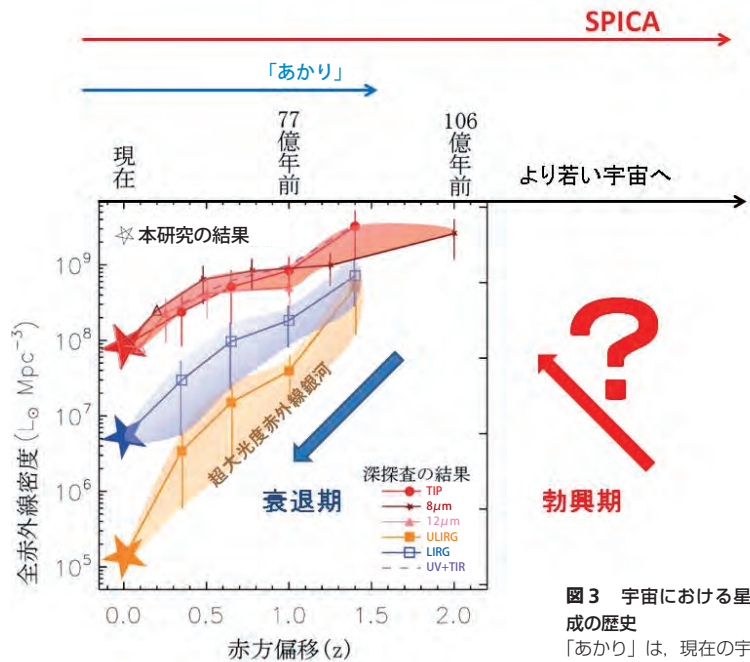


図3 宇宙における星形成の歴史

「あかり」は、現在の宇宙が銀河・星形成の「衰退期」にあることを明らかにした。SPICAは、その前のどの時期に「勃興期」が存在したかを明らかにする。(後藤らの結果に加筆)

ただし、「あかり」では、個別の天体を詳しく調べ、宇宙における物質循環の個別プロセスまで明らかにすることは困難でした。一方、SPICAでは、その高い空間分解能を活かして、個々の天体構造を明らかにできます。具体的には、近傍銀河を構成するさまざまな進化段階の星々や分子雲の構造、超新星爆発などに伴う星間衝撃波領域などを分解し、多様な宇宙環境でのガス、ダストの物質状態を測定分析し、物質循環の描像を得ることができると期待されています。これらの物質が、銀河、星、惑星の材料となり、宇宙の多様性を生んだと考えられているのです。

国際天文台 SPICA

上記のように、SPICAは現代天文学が抱える大きな課題に挑戦するミッションであり、世界中の天文学者がその実現を待望しているものです。その実現には、冷却技術など日本の技術が欠かせません。そのため、SPICAは日本を中心とする国際天文台として提案されています。欧州は重要なパートナーであり、欧州の宇宙科学の長期計画 (ESA Cosmic Vision) の中でSPICAへの参加のための研究が行われています。米国においても、天文学・宇宙物理学の長期計画 (ASTRO2010) の中で、米国のSPICAへの参加が強く推薦されました。さらに、韓国、台湾というアジアの国・地域との協力が含まれることもSPICAの特徴です。

世界中の天文学者の期待に応えるべく、SPICAの研究開発を鋭意進めています。今後とも皆さまのご支援をよろしくお願い致します。

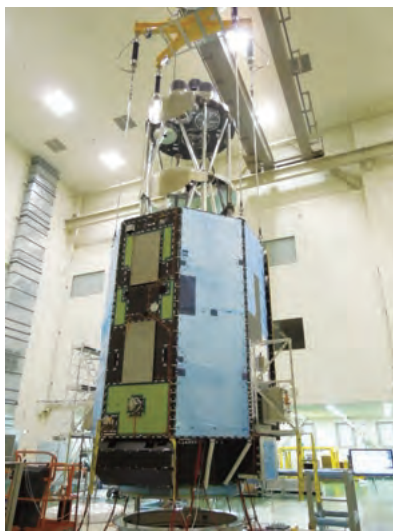
(なかがわ・たかお)

X線天文衛星 ASTRO-H の微小擾乱試験

X線天文衛星ASTRO-Hのシステム試験については、本誌2013年2月号に引き続き、2度目のご報告となります。2013年3月のほぼ1ヶ月をかけて、筑波宇宙センター総合環境試験棟の特性試験室にて微小擾乱試験を行いました。

ASTRO-Hには、センサ冷却用の冷凍機や姿勢制御用のジャイロ、リアクションホイールなど機械的な微小振動を引き起こす装置が搭載されます。これらの装置が発生させる微小な振動によって、望遠鏡が捉えた天体のX線像がぶれたり、観測センサの性能に影響を与えたりしないかを調べるため、擾乱源となる装置の実機や模擬擾乱源を実際に動作させ、衛星の各点（望遠鏡や観測用センサなど90点程度）に発生する加速度などを測定しました。

微小擾乱の影響を正確に評価するためには、フライトモデル相当の機械特性を持つ供試体が必要です。熱モデル試験と同様、主要な構造体はフライトモデルそのものを用い、一部の観測装置や搭載機器は実機と等価な質量と重心位置を持ったダミー機器やエンジニアリングモデル機器



微小擾乱試験の様子。衛星を4本のばねでつり、地面からの振動を遮断している。

を搭載します。供試体の集結、衛星各部の組み上げから初期アライメント計測を経て試験が開始できるようになるまで、2ヶ月以上を要しました。

ASTRO-Hは指向精度要求が厳しいため、微小擾乱試験では重力加速度の1000分の1程度の加速度を測定する必要があります。ほんのわずかな振動も測定に影響を及ぼすため、試験中は衛星を天井からつり、空調を停止し、人払いをして必要最低限の人員のみが計測に参加するようにしました。特に慎重な測定が必要なケースでは夜間に測定を行い、同じ建屋で行われているほかの衛星の試験の影響を受けないよう、細心の注意を払って試験を進めました。

の注意を払って試験を進めました。

1ヶ月間の試験を通じて、質・量ともに評価に必要なデータを得ることができました。現在、試験結果の詳細解析を行っています。

微小擾乱試験に引き続き、5月からは機械環境試験を行っています。原稿執筆時点で衛星分離衝撃試験、音響試験を終え、正弦波振動試験の準備を行っているところです。

(夏莉 権)

BepiColombo MMOの総合試験

ESA（欧州宇宙機関）との共同で水星探査を行うBepiColombo計画において、JAXA側が製作する水星磁気圏探査機（MMO：Mercury Magnetospheric Orbiter）の、日本における最後の試験であるフライトモデル総合試験が、昨年10月から相模原の環境試験棟クリーンルームで行われています。衛星の上部デッキと下部デッキをばらした状態で順次機器を取り付けて電気試験を行い、全部の機器の取り付けを終えました。4月の半ばに上部デッキと下部デッキを結合し、結合後の各機器の動作確認をしたところです。

写真の状態から高利得アンテナおよび駆動機構を衛星



上部デッキと下部デッキを結合したBepiColombo MMO

上面に取り付け、側面や衛星上部を多層断熱材（MLI）で覆い、太陽電池が貼り付けてある側面パネル8枚を取り付けると、ほぼ打上げ時の形状となります。側面パネルは1mほどの長さがあるので、組み上がった状態ではそれなりに高さがあります。しかし、写真を見て分かるように、MMOは熱設計などいくつかの理由から従来の衛星に比べてとても平べったい形状になっており、上下部デッキ間の約30cmの空間にはほぼすべての機器が搭載されています。形状が似てい

る火星探査機「のぞみ」では約61cm、磁気圏尾部観測衛星GEOTAILでは1m強、磁気圏観測衛星「あけぼの」では

1m弱の空間に機器を取り付けています。それらと比べると、MMOがいかに狭いところに機器を押し込んでいるかが分かります。

これから夏場にかけて、スピン試験、電磁適合性(EMC)試験、運用模擬試験、振動・衝撃試験を行います。そして観測機器の健全性を確認するためのセンサ単体での真空試験を経た後、2013年度末に熱バランス試験を行い、来年6月末ごろにMMO単体での総合試験を終了します。これをもってMMO単体では完成となります。

その後、MMOをオランダのESA/ESTEC（欧州宇宙研究技術センター）に輸送。そして、ESA側が製作・試験をしている水星表面探査機（MPO：Mercury Planetary Orbiter）、巡行軌道中の電気推進モジュール（MTM：Mercury Transfer Module）、MMO用のサンシールドと組み合わせた母船総合試験を、来年末ごろより実施します。全体確認を行った後、射場である仏領ギアナのクールーへ輸送。射場試験を経てアリアン5ロケットによって打ち上げられることになっています。（早川 基）

観測ロケットS-520-27号機・S-310-42号機噛合せ

大気中にはさまざまな擾乱^{じょうらん}があります。ここでいう擾乱とは定常状態からの乱れのこと、大きなスケールでは台風、小さなスケールではつむじ風も擾乱の一種といえるでしょう。そのような擾乱が電離圏と呼ばれる高度100～300kmの領域にも存在することが知られています。ただし、この領域は大気とともに電離大気（プラズマ）が存在する空間なので、地上に近いところの気象現象とは異なる仕組みで擾乱が発生します。

電離圏E領域（高度約90～150km）にはQP（準周期的）エコー、F領域（150～500km）にはMS-TID（中規模伝搬性電離圏擾乱）と呼ばれる擾乱現象が発生することが報告されていましたが（詳細については別稿に譲ります）、2つの擾乱現象は高度や空間スケールが異なることなどの理由から、独立した現象と考えられていました。ところが、最近の研究により興味深い類似点が明らかになり、両者の電磁気的な結合という観点から注目を集め、多くの研究者によって解明が試みられています。

我々は高度約300kmまで到達可能なS-520型ロケットにより電離圏F領域を、高度約150kmまでをカバーするS-310型ロケットによりE領域を観測し、2つの現象間の電磁気的なつながりを探るといふ観測ロケット実験を、今年夏に行う予定です。S-310型とS-520型の2機のロケットを短時間に連続して打ち上げる実験は日本初、異なる高度の擾乱現象を一つの実験で捉え電磁気的なつながりの解明を目指す実験は世界初です。

これら2機のロケットの噛合せ試験が4月と5月に行われました。まず、4月12日からS-520-27号機の噛合せ試験が実施されました。このロケットには電場計測器、リチウム放出器、電子密度測定器、磁力計など計8個の測定器が搭載されます。試験では、機器間の電磁気的な干渉が発生し、電場や温度の測定に影響を与えることが問題になりました。E領域とF領域の電磁気的な結合は科学的に大変興味を持たれる現象なのですが、搭載機器間の予



スピンタイマー試験終了直後のS-520-27号機頭胸部(左)と振動試験台にセットされたS-310-42号機頭胸部(右)

想外の電磁気的な結合はお断りです。電磁気的なノイズの原因究明を行い、計装にシールド処理を施したり高周波数成分をカットするための回路を入れてみたりと、干渉の程度を下げるようさまざまな対策を施しましたが、最終的には機器の運用に工夫を凝らすことで切り抜けることにしました。テレメータやタイマーなどの共通計器を統合した新アビオニクスも今回で5台目ということで、組み立てや機装の作業性も向上したことが感じられました。

5月14日からはS-310-42号機の噛合せ試験が始まりました。このロケットには、中性大気風測定を目的とするトリメチルアルミニウムを放出するための米国製のTMAという装置が、共通計器部の下部に搭載されます。開頭部には機体の振動計測装置のみで観測装置がない、という珍しい構成になっています。TMAは取り扱いに注意を要する機器ですが、米国クレムソン大学の担当者も日本のロケットへの搭載は4回目ということで、要領よく進められました。両機とも小さな問題はあったものの、スケジュール遅延に結び付くような大きな不具合は発生せず、実験班員もホッと一息。

7月には内之浦のKSドームを挟んで左右に据え付けられたランチャーから2機のロケットが打ち上げられることとなります。実験結果についての報告をご期待ください。（阿部琢美）

再使用観測ロケット技術実証 液体酸素ターボポンプ単体試験

再使用観測ロケットは、打ち上げたものが打ち上げた場所に戻ってくる（観測機器を失うことがない）という、従来とはまったく異なる実験環境をユーザーに提供しようとするものである。最短で1日2回の打上げが可能で、現有の観測ロケットS-310型の10分の1の運用コストと、100回再使用が可能なシステムを目指している。

現在、本格的な開発に先立ち、リスクの高いシステムレベルの技術課題について解決することを目的とした技術実証プロジェクトを、宇宙研の事業として行っている。

すでに機体システムに関する技術実証はいくつか実施し、その成果は海外の学会からも高い評価を受けているが、エンジンに関する本格的な試験は初めてである。今回試験したのは液体酸素ターボポンプで、宇宙輸送ミッション本部の協力を得て角田宇宙センターに設置した「再使用観測ロケットエンジン試験設備」を用いて、5月15日に第1回目の試験（起動試験）を実施。その後は飛行中に想定される作動領域を網羅する形で試験を繰り返している。供試体の状況は極めて良好で、今日までの総運転時間はフライト



試験後の液体酸素ターボポンプを点検する技術実証チーム員

12回分に相当する1530秒に達した。新規設計のターボポンプがこれほどまでに長い時間、分解点検をせずに運転できることは珍しく、私が知る限り我が国では初めてのことである。エンジン技術実証チームは角田と宇宙研のメンバーから構成されているが、それぞれが持てる知識と経験、ノウハウを設計段階から遺憾なく注ぎ込んだ結果であり、本部横断的に実施している本技術実証の一つの成果といえる。

本技術実証は、未来の輸送需要に応えるにはコストを2桁以上低減できる輸送系が必要との検討結果に基づき、そのような世界の実現に必要な技術開発を見据えて取り組んでいるもので、サブオービタル飛行（地球周回軌道に至らない放物軌道）による宇宙旅行や無重量実験サービスを最終目標としている海外ベンチャーの活動とは一線を画すものである。今後は6月末まで引き続き液体酸素ターボポンプ単体試験を行い、夏場に液体水素ターボポンプ単体試験を実施、予算を確保できれば、今年度中にエンジン燃焼試験を開始する予定である。

（成尾芳博）

「きぼう」における結晶成長実験「Hicari」開始

国際宇宙ステーションの「きぼう」日本実験棟に搭載された温度勾配炉（GHF）を使用した結晶成長実験「Hicari」が始まりました。

Hicariは対流が抑制される微小重力環境において、JAXAが開発した新しい混晶系結晶成長方法TLZ法（Traveling Liquidus Zone Method）の原理を検証するとともに、組成が均一な大型結晶作製の基礎データを取得することを目的としています。

温度勾配炉のヒータや真空ポンプの不具合のため実験開始が遅れていましたが、2月末から3月初めにかけて、装置の温度調整を兼ねた1回目のSiGe（シリコン・ゲルマニウム）結晶成長実験を実施しました。写真は、温度勾配炉の試料交換装置に取り付けられた実験後のカートリッジです。このカートリッジは、宇宙飛行士によって温度勾配炉から取り外され、地球に帰還するドラゴン補給船運用2号機に搭載されました。ドラゴン補給船は3



温度勾配炉の試料交換装置に取り付けられた実験後のカートリッジ（矢印）

月末に無事太平洋に着水し、カートリッジは5月1日に筑波宇宙センターに到着しました。

現在、SiGe試料をカートリッジから取り出して、組成分析を行っているところです。作業は順調に進んでおり、分析結果が待ち遠しくてワクワクしています。Hicariでは4回の結晶成長実験を予定しており、今回の実験結果を次回以降の実験条件に

反映させて、より高い均一組成結晶の育成、さらに高精度な原理検証を目指します。

Hicariではシリコンとゲルマニウムが1対1に混ざった均一組成のSiGe結晶の製造を目指していますが、宇宙実験は一里塚として、得られた成果を地上での均一組成結晶製造に役立てていきます。SiGeは高速・低消費電力トランジスタ用基板として有望な素材ですが、ほかにも半導体レーザ用基板として有望なInGaAs（インジウム・ガリウム・ヒ素）の製造技術への応用などが考えられま

す。宇宙実験の成果をもとに、電子素子や半導体レーザーの高性能化、低電力化などが可能となり、産業界や社会

利用のみならず地球環境保全へも大きく貢献することができれば意義深いことです。(木下恭一)

「きぼう」におけるES細胞の長期被曝実験「Stem Cells」開始

宇宙に長時間滞在し活動することは、今では宇宙飛行士の通常のミッションとなりました。宇宙は微小重力状態であると同時に宇宙放射線が飛び交う空間です。宇宙放射線には、重粒子線と呼ばれる細胞への影響が強いものが含まれています。宇宙放射線が人体にどのような影響を及ぼすのか、どのような防護の方法があるのか、さらに人類が宇宙空間で子孫を残すことは

可能かを明らかにすることは、将来人類が宇宙空間でより幅広く活動するために非常に重要な課題です。そこで、万能細胞の一種であるマウスのES細胞(胚性幹細胞)を用いて放射線の細胞への影響を調べる実験が提案されました。この宇宙実験は「Stem Cells」と呼ばれています。

2013年3月、米国の民間宇宙船ドラゴン補給船運用2号機にサンプルが搭載され、国際宇宙ステーションの「きぼう」日本実験棟の船内実験室にある冷凍庫に届けられました。ES細胞が入ったチューブは100本で1セットになっていて、合計5セットあります。今後3年間の経時的な変化を調べるため、1セットずつ5回に分けて回収します。回収した細胞について生存率、DNAの二重鎖切断、染色体異常を調べ、さらに細胞を受精卵に導入して個体を発生させ、宇宙放射線の



大阪市立大学大学院医学研究科
遺伝子制御学研究室での細胞試料パッケージ作業

影響を総合的に解析します。

宇宙ではサンプルを冷凍保存しておくだけで、温度上昇は絶対に防がなくてはなりません。温度上昇の影響で細胞がダメージを受けるようなことがあってはならないからです。地上でのサンプル準備にも苦労がありました。打上げ予備群を含め1500本もの細胞入りチューブを、1日で打上げ形態にパッケージしなければなりません。

液体窒素を準備し、熱電対でケースの温度を測り、極低温を保ちながら素早くパッケージするという手順を、リハーサルを繰り返して確立しました。そして、つくり上げたサンプルを細心の注意を払って米国NASAケネディ宇宙センターに輸送し、担当者に渡しました。

現在のところ冷凍庫の温度上昇もなく、世界で初めてのES細胞の長期被曝実験は順調に進んでいます。Stem Cellsの研究結果は、宇宙放射線が発生や次世代へ及ぼす影響の推定に有効な情報になります。さらに、宇宙実験のような貴重な機会を成功に導く信頼性の高い管理技術、作業を迅速に行うための器具の工夫、文書作成や人員配置は、宇宙分野に限らず、細胞サンプルの輸送保管技術にも役立ちます。

(矢野幸子)

お知らせ

特別公開のお知らせ

日時：2013年7月26日(金)・27日(土)

両日ともに10:00～16:30

会場：宇宙航空研究開発機構
相模原キャンパス

節電のため建物内が非常に暑くなる可能性もございます。飲み物の持参など、十分な暑さ対策を各自をお願い致します。当日の電力状況により、開催時間と開催内容について変更または中止することがあります。

詳細は宇宙科学研究所ホームページ <http://www.isas.jaxa.jp/> でご確認ください。

ロケット・衛星・大気球関係の作業スケジュール(6月・7月)

	6月	7月
ASTRO-H	システム振動試験(筑波)	噛合せ試験(筑波)
BepiColombo	フライトモデル総合試験(相模原)	
惑星分光観測衛星	フライトモデル総合試験(相模原)	射場試験(内之浦)
はやぶさ2	一次噛合せ試験(相模原)	
観測ロケット	S-310-42号機 噛合せ試験(相模原)	S-520-27・S-310-42号機 フライトオペレーション(内之浦)
大気球	平成25年度第一次気球実験(大樹町)	



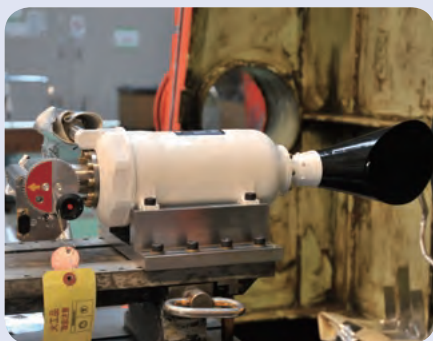
イプシロンロケット 打上げへの カウントダウン④

補助固体推進系の領収試験が終了

イプシロンロケット初号機の打上げまで残すところ約3ヶ月。固体推進系について、打上げ前最後の燃焼試験が行われました。

今回の試験は2種類のモータの領収試験です。領収試験では、イプシロンロケットに用いるフライト品と同時につくった同じ仕様、材料で製造されたもう1基のモータを燃焼させて、製品の出来上りの機能と性能を確認します。

まず、固体推進系で唯一新規に開発された、固体モータサイドジェット（SMSJ）の試験が、5月14日にIHIエアロスペースの富岡事業所で行われました。SMSJは、1段モータ



テストスタンドにセットされたイプシロンロケット用スピンモータ（SPM）

タ燃焼中の機体軸まわりの回転（ロール）および1段モータ燃焼終了後切り離しまでの機体の飛行姿勢を制御するための小型の固体モータです。1段モータ後部の外壁上の対称位置に2基装備され、発射10秒前に点火された後、1段分離まで約3分間燃焼し続けます。

続いて翌5月15日には、宇宙研のあきる野実験施設でスピンモータ（SPM）の領収試験を行いました。SPMは第2段の機器搭載部に2基搭載され、2段モータ燃焼終了後にネズミ花火のように燃焼して、分離前の第3段をスピンさせます。このスピンにより、3段モータ燃焼中の第3段は、推力方向や重心位置のわずかな誤差のためらせん状の飛跡を描きながら目標軌道に向かうのです。

SPMは宇宙空間で点火されるので、1/30気圧以下の低圧環境をつくり出せる特殊な高空性能試験設備を用いて燃焼させました。初号機打上げ前の最後の地上燃焼試験となり、プレッシャーも格別でしたが、イプシロンを紹介するテレビ取材が入ったことにより良い意味での緊張感が高まりました。試験メンバーの動作がいつも以上にキビキビしているように感じられたのは私だけでしょうか？

2つのモータの領収試験が成功裏に終了して、イプシロン固体推進系の準備はすべて整いました。すでに5月20日から種子島で1段モータの組立てが始まっています。これから続々と内之浦に機体部品が搬入されて、本稿が出るころには内之浦での各段組立ての作業がスタートしているでしょう。8月22日のカウントダウンに向けて着実に打上げ準備が進んでいるところです。（徳留真一郎）

イプシロンロケットへの応援メッセージ

JAXAは4月10日から5月7日まで、新型固体ロケット「イプシロン」への応援メッセージを募集しました。応募総数は5812件で、英語のメッセージが452件ありました。応募いただいたメッセージは機体のマーキングデザインの中に書き込まれます。5月21日に正式発表されたイプシロンロケットの機体のマーキングデザインには、宇宙研の固体ロケット伝統の赤帯があしらわれています。文字はこの赤帯の部分に数mmサイズの白文字で記載する計画です。機体の近くに寄るとその文字は読み取れますが、遠くから見るとデザインと一体化して赤帯の中に溶け込む仕掛けです。

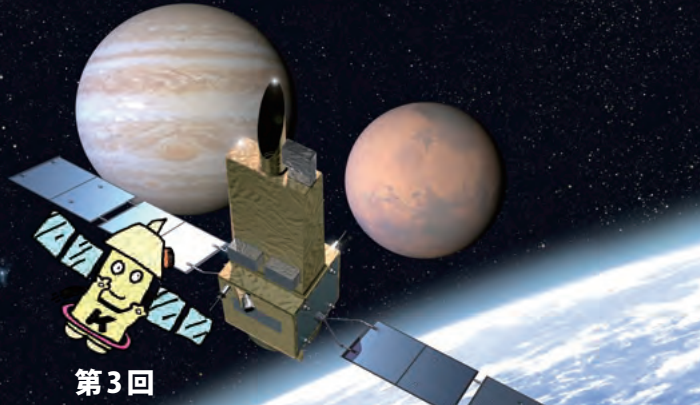
機体のマーキングはイプシロンの第1段ロケットにだけ施されます。その第1段ロケットは、間もなく内之浦宇宙空間観測所のM台地に搬入される予定です。おそらく過去搬入されたロケットモータの中でも今回のものは最大級ではないかと思います。M-Vロケットの場合は、第1段ロケットが2つのセグメントで構成されていたので、40トンクラスのロケットモータの「部品」が港から山の上の射場に搬

入されていました。一方、イプシロンの場合は第1段が一塊となっていて、しかも充填量量が65トンと大きいので、搬入作業はかなり手間がかかるかもしれません。ロケットモータをM台地に搬入後、整備作業中か、それを終えたところでマーキング施工作業に入る見込みです。

皆さまのメッセージがきちんと機体に搭載されるように、現地での作業を見守りたいと思います。最初の報道公開の際には、ぜひとも念入りにご確認ください。（羽生宏人）

マーキングデザインが施されたイプシロンロケット





第3回

小さな衛星の大きな挑戦 惑星分光観測衛星の世界

NESSIE 宇宙の旅

久木田明夫

SPRINT-A プロジェクトチーム

NESSIE (Next-generation Small Satellite Instrument for EPS) は、惑星分光観測衛星 SPRINT-A に搭載されるオプション実験機で、次世代電源系機器の宇宙実証を目的としています。

我々が NESSIE 開発を本格的に開始したのが、2011 年の初めのことでした。それから 2 年以上がたち、ようやく仕上げを迎えようとしています。もちろん上がってからが本番なのですが、感慨深いものがあります。

ネス湖のネッシー (nessie) が初めて目撃されたのがいつかは不明ですが、1933 年から多く目撃されるようになったようです。近ごろはイッシーやクッシーも含め、どれもまったく話を聞かなくなりましたが、ネッシー世代なのでその名前はしっかりと頭に刷り込まれています。

そんな我々が実験機を NESSIE と命名することになったのが 2011 年の 2 月。開発ネームを付けることができるのは、開発チームの特権です。名付けた分、愛着が湧くというものです。近ごろはアクセサリ売り場に行っても、おもちゃ売り場に行っても、ぬいぐるみを見に行っても、ネッシーはないかな? と探してしまいます。

近ごろテレビ CM でよく使われる「詳しくは web で!」に倣って、Google でも Yahoo! でも検索してしまいます。しかし、我々の NESSIE は残念ながらヒットしません。「きょくたん」(詳しくは web で!) ばりのマスコットをつくり、ヒットするようにしたいところです。そのためには十分な成果を挙げなければなりません。

ところで NESSIE は、竜の姿をしているわけではなく、カマボコのような形をしています。このカマボコ形というのが重要なのです。

NESSIE の目的の一つは、薄膜太陽電池の宇宙実証です。太陽電池が世界で初めて実用化されたのは 1958 年のアメリカの

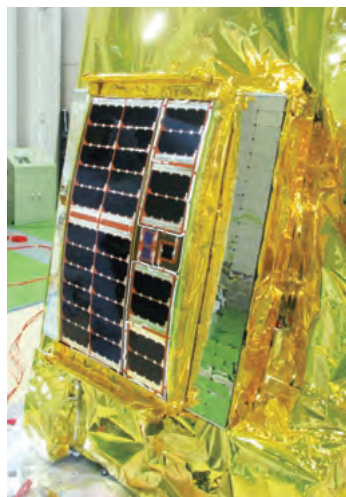


図 NESSIE の外観

人工衛星 ^{バンガード} Vanguard1 で、地上においてより前のことです。これにはシリコンの単結晶太陽電池が搭載されました。日本の人工衛星も過去にはシリコンの単結晶太陽電池が使われていましたが、現在は化合物半導体系の 3 接合太陽電池が使われています。

3 接合太陽電池の光エネルギーから電気エネルギーへの変換効率は約 30% ですが、硬く、曲げることはできません。厚さは 150 マイクロメートル程度あります。一方、NESSIE に搭載される薄膜 3 接合太陽電池は、名前のごとく約 20 マイクロメートルという薄さで、柔軟で曲げることができます。変換効率も 30% 以上あります。太陽電池セルだけで性能を比較すると、従来の 3 接合太陽電池の出力密度が 1g 当たり 0.4 ワットであるのに対し、薄膜型は 6~7 ワットと 1 桁違います。軽くて柔軟で高性能、これまでのように硬い平面パネルにセルを並べる必要はありません。

そこでカマボコ形です。せっかくの軽い・薄い・柔軟といった特徴を活かすため、薄い炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の板に薄膜太陽電池セルを並べたアレイシートを貼り、剛性を確保するためにカマボコ形にしたのです。残念ながら実際に持ち上げていただくことはできませんが、見た目からは考えられないくらい軽いです。

このカマボコを開けると、中にはアルミラミネート型のリチウムイオンキャパシタ (LIC) が搭載されています。電池じゃありませんよ! LIC の宇宙実証が、NESSIE のもう一つの目的です。



NESSIE 星になる。

近年、パソコンも携帯電話も人工衛星も、そのエネルギー密度 (1kg 当たりの蓄電できる電気エネルギー) の高さから、リチウムイオン二次電池 (LIB) が使用されています。しかし、安全性を確保するために制御回路を設けたり、劣化を抑えるために容量の一部分しか使わないようにしたり、温度制御をしたり、充放電電流を制限したりと、いろいろな工夫を施して使っています。

NESSIE はバッテリーの代わりに LIC を使い、日陰時の電力源としています。LIC は、エネルギー密度では LIB の数分の 1 と少ないのですが、魅力的な特徴がたくさんあります。まず、内部に酸化物を持たないので原理的に熱暴走しないため、高い安全性を持っています。また、深い放電深度で充放電を繰り返してもサイクル劣化は少なく、逆に開放状態で長期間保存していても高い容量維持率を誇ります。さらに、大電流の充放電も得意、かつ動作温度範囲も広いので、長期間運用する人工衛星や有人ミッションに有用だと考えています。これでエネルギー密度が高ければ申し分ないんだけどなあ……。欲張り過ぎてはいけませんね。

NESSIE で宇宙実証予定の薄膜太陽電池アレイシートもカマボコ形もリチウムイオンキャパシタも、宇宙に行ったことがありません。電源機器は、優れた新しい技術をすぐに人工衛星に使えません。もし壊れたら、衛星の機能をすべてなくしてしまうからです。だからこそ、宇宙環境で正しく動作することを実証機で確認し、宇宙環境下でのデータを取得することは将来の宇宙機のためにも非常に大切なことです。

NESSIE は、SPRINT-A にオプション実験として搭載され、この夏に打上げ予定です。とんがり帽子 (=フードつき望遠鏡) の SPRINT-A と共に応援よろしくお願いします。(くきた・あきお)

再びマドリードへ

宇宙物理学研究系 准教授 山村一誠

マドリードを訪れるのは5年ぶりである。

スペイン・マドリードの郊外に、ESA（欧州宇宙機関）の天文学と太陽系探査の科学運用（観測計画やユーザーサポート、データアーカイブなど）を行うESAC（欧州宇宙天文学センター）という機関がある。赤外線天文衛星「あかり」の国際協力で、観測運用のパートナーがここESACだったのである。当時は年に1〜2回通っていたから、ずいぶんのご無沙汰である。

ESACは、マドリードの中心から車で30〜40分の場所にある。もともと受信局としてつくられた施設なので、何も無いところにぽつんとあり、基本的には車でしかアクセスできない。それでも、高速バスと3kmの徒歩とか、自転車とかで通う強者もいると聞く。今でも構内にはいくつものアンテナがあり、その一部は衛星運用に使われている。傍らには古い城跡があり、ESACのシンボルにもなっている。スペイン内戦以来放置されて朽ちかけているのだが、今回も（ほぼ）変わらぬ姿で出迎えてくれた。

今回は、ESAの遠赤外線〜サブミリ波観測衛星ハーシェル宇宙天文台（Herschel Space Observatory）のデータ較正に関する会議で、「あかり」の状況を報告するという事で招待された。この会議はシリーズになっていて2004年と2008年にも参加しているが、いずれもハーシェル打上げ前のことであった。今回は、ハーシェルの観測が終わりに近づき、データ解析や較正の技術も進んだところでの会議である。参加者を見ると、コアメンバーこそ変わらないものの、若手が増え、人がかなり入れ替わっている。やはりミッションは人を育てるのである。彼らが、次世代赤外線天文衛星計画SPICA

を（ヨーロッパ側で）支えることになるのだろう。

実は今回の会議、ハーシェルの液体ヘリウムがなくなって観測が終了する予想時期と重なっていた。毎日午後に衛星との通信があって、そこで分かるのだという。もし観測終了となったら、その日は大パーティーになるはずだったらしいが、幸か不幸かその瞬間には立ち会えず、お相伴にはあずかれなかった（結局予想より1ヶ月長く持つて、観測終了は4月29日であった。チーム内では終了日をめぐって賭けが行われていたようだが、誰か当たったのだろうか？）。

5年前に訪れたとき、ESACへ向かう道すがらの荒野としかいえないような土地に、大規模な宅地開発が行われている場所があった。当時スペインは景気の絶頂期であった。しかしご存じの通りバブルははじけ、経済状況は悪化している。街の中心で大規模なデモが行われている、などというニュースを耳にしていた、実のところはどうか興味があった。今回、同じ場所を通り掛かったのだが……、何も変わっていない。つまり、開発したが売り手が付かず、広大な分譲地に水道や電気の取り込み口であろう1mほどの高さの平たい箱が、区画ごとに整然と並んでいる。あたかもバブルの夢の墓標のようなのである。合掌。とはいえ、筆者が見た限りでは、繁華街の雰囲気は変わらずにぎやかに見える。通りも小ざれいで、デモにも出会わなかった。それはあくまで観光客が目にする一面なのかもしれない。

会議最終日、いつにも増してヨーロッパ勢がそくさと素早く帰っていくと思ったら、翌日からイースター休暇だとのこと。夕方、中心街をうろついていると、いきなりたくさんの人ばかりで通りが完全にブロックされている。何だか奥の方で音楽が鳴っている。どうもイースターに関連したパレードのようである。人混みをかき分けて背伸びして見ようにも、まったく視線は届かない。諦めて迂回して夕食へ。1時間半ほどたってから戻ると、ようやく広場に出てきた行列に出会えた（写真）。出張先で、たまたまこういう行事に巡り会えると、ラッキーな気分になる。

翌朝、いつも通り食堂の開く7時に行ってみると「今日は8時からだ」と。え、あ、イースターで休日なのか……。8時にホテルを出るつもりだったのに。たぶん地下鉄も休日時刻だろうな、と開き直って朝食を食べる。結局タクシーを呼んでもらって、ほとんど車の走っていない高速道路を飛ばす飛ばす！ あっという間に空港に到着。無事、帰路に就く。帰国日は生協のベテランパートさんお二人の最終勤務日。空港から宇宙研に直行してごあいさつに間に合った。ミッション終了。どうもお疲れさまでした。

（やまむら・いっせい）



イースター前後の「セマナ・サンタ」（聖週間）の行事の一つだという、パレード。マリア様らしき像を載せた山車がゆっくりと行進している。人だかり（観光客が多いが）が分かるだろうか。



二杯目の“いも焼酎”は 太陽系を見ながら

小原隆博

東北大学
大学院理学研究科 教授
惑星プラズマ・大気研究センター
センター長

私が「いも焼酎」に初めて文章を書かせていただいたのは、桜の花のきれいな春のころ、今から15年くらい前である。宇宙研では「あけぼの」衛星によるオーロラと磁気嵐の研究を行っていた。そのころ、オーロラや放射線粒子の影響によって地球周辺を飛翔する人工衛星が帯電し、しばしば故障する事態が発生していた。宇宙環境の悪影響から逃れるためには宇宙放射線予報が必要で、サイエンスを応用することにより宇宙での活動の安心と安全を担保することができるのではないかと考えた。そして、宇宙天気予報の実施機関である通信総合研究所宇宙環境センターに室長として異動し、宇宙放射線予報の精度向上に努めた。「いも焼酎」の一杯目は、以上の経緯について書いた。

その後、宇宙開発事業団（現 JAXA）の招聘研究員として宇宙環境計測に参加し、宇宙機の安全確保に努めた。後に、正式に JAXA に異動し、宇宙環境計測の指揮を執らせていただいた。数年前、国連宇宙空間平和利用委員会（UNCOPUOS）をきっかけに、宇宙活動の持続可能性について深く考え始めた。そして、私は国連宇宙天気専門家会合の共同議長に選ばれ、宇宙活動の長期的持続のためのガイドライン策定を行うことになった。現在策定中の宇宙天気予報ガイドラインは、宇宙環境の状態をリアルタイムで捉え悪化を予報することで未然に危険を避けるという処方箋の内容であり、来年度には世界の宇宙機関に供されることになっている。15年前、漠然とした予感ではあったが、それに耳を傾けたことは意味があったと感じている。

現在、私は母校の東北大学にて太陽惑星空間系領域の研究と教育に当たっている。ここでは、太陽と地球・惑星環境

を有機的に結ぶことで、太陽系惑星の環境変動を新しく捉え直す研究が、続けられている。大学での研究は高いレベルでの教育に資するためのものであるという、東北大学の「研究第一主義」が、私は学生のころから好きだった。東北大学は、大家 寛教授の赴任を起点に現在まで40年にわたって主軸の大学として宇宙研にコミットし、幾多の科学衛星プロジェクトを牽引することで先端的研究を持続している。私もこれまでの経緯で、JAXA の衛星や国際宇宙ステーション（ISS）による宇宙環境計測プロジェクトを継続しているが、宇宙研が進めているジオスペース探査衛星 ERG にも貢献している。ERG は、人工衛星の内部帯電の原因である放射線帯の電子に焦点を当てて、これまで謎とされていた電子の加速機構を探るユニークな衛星である。

私が所属する東北大学の惑星プラズマ・大気研究センターは、上記の衛星



マウイ島ハレアカラ山頂の PLANETS 望遠鏡建設予定地

や ISS 計画に参加する一方、地上からの宇宙惑星観測を行っており、センターの視野は今、世界へと向かっている。その一つとして、ハワイ大学などと協力してハワイ・マウイ島に中型惑星専用望遠鏡「PLANETS」を建設している。完成は2015年度で、PLANETSによって太陽系の惑星の多くを観測できる。詳細は別の機会に譲るが、金星・火星の大気ダイナミクス、木星・土星のオーロラを鮮明にしかも連続的に観測可能で、これまでハワイ島の大型望遠鏡によるスナップショット観測では難しかった長時間にわたる連続観測が実現できる。また、世界がそして宇宙研がこれから送り込む水星や木星をはじめとした惑星探査機との協同観測も、自前の観測装置を持つことで可能になる。望遠鏡観測には学生諸氏も参加し、よい教育の機会になると確信している。

次なるアプローチは、宇宙物理分野との学際的連携である。地球物理出身の私にとって宇宙物理は新しい領域であるが、国内外の研究機関と連携し、太陽系をカバーする惑星観測ネットワークを築きたいと祈念している。観測精度が非常に向上した現在、新しいテクノロジーに支えられて、太陽系物理学は新しい時代に入る。この分野を切り開き、世界をリードしようとしているのが、東北大学である。「研究は研究でしか売れない」とは、私が宇宙研で仕えた大林辰蔵先生のお言葉であったが、大林先生からは二つのテーマを追いつけなさいとも言われた。これまでは宇宙天気が私の研究の大半であったが、人生後半戦の仕事場は太陽系空間と惑星たちである。競争も厳しいが、やりがいもある。東北大学の同僚と共に、しっかりと頑張っていきたい。

（おばら・たかひろ）

わくわくしながら働きたい

契約部 相模原契約課

高橋 茜

—— 語学科の出身ですね。言葉に興味を持つようになったきっかけは。

高橋：小学生のとき、日本語・英語・フランス語の3ヶ国語を話せる友人がいました。頭の中で3ヶ国語をどうやって切り替えているのだろうと不思議に思い、言葉に興味を持ちました。祖父の家で読んだ本も印象に残っています。アメリカ大陸先住の小さな民族の最後の1人が亡くなり、その民族の言葉話す人がいなくなってしまった、という話です。一つの言語がなくなってしまうことがあるのだと衝撃を受けました。

—— 大学ではどのようなテーマに取り組んだのですか。

高橋：2008年から1年間、カナダのアルバータ大学に留学しました。カナダの英語は米国の英語に似ていますが、独特の使い方があります。例えば、同じ単語で米国と英国でスペルが違うものがあり、カナダではある単語は米国式、別の単語は英国式と混在しています。どのように使い分けているのかを卒業論文の研究テーマにしましたが、納得のいく結論には達しませんでした。

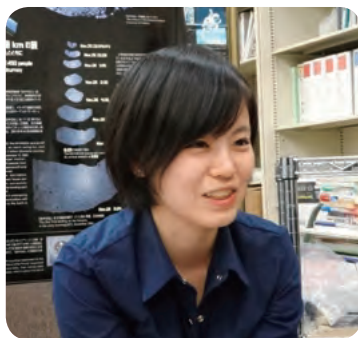
そもそも人はどうやって言葉を覚えるのか、とても不思議ですよ。言葉は人間を人間たらしめている重要な要素。今でも言葉には興味があります。

—— 就職活動はどのように進めたのですか。

高橋：リーマン・ショック後の就職氷河期が続いていました。いろいろな企業を受けましたが、なかなかうまくいかずに悩む中で、「本当に自分がやりたいことは何だろう」と考えました。自分自身と腹を割って話した結果、私は誰かにものを売る仕事は得意ではないし好きでもない。では、ものを売らない仕事には何があるのだろうと、大学の就職課で求人票を見直しました。メーカーや商社、金融など業種ごとにファイル分けされている中で、「その他」にあったJAXAに目が留まりました。実は小学生のころ、星座や宇宙の謎について書かれた本を読むのが好きでした。宇宙研究・宇宙開発の最前線にいる研究者や技術者を支援する仕事がしてみたい、とJAXAを受けました。なぜ採用されたのかは、いまだに謎です(笑)。

—— 仕事は順調ですか。

高橋：JAXAで働き始めてすぐに宇宙研の相模原契約課に配属されました。契約について何も知識がなかったので大変です。



たかはし・あかね。1987年、東京都生まれ。国際基督教大学教養学部語学科卒業。2011年、JAXA採用。契約部相模原契約課配属(取材時)。2013年6月より広報部(筑波宇宙センター)へ異動。

特に、外国との契約担当は私1人。英語による契約交渉は、相談できる人が限られていて、孤独を感じるときがあります。昨年、米国の民間企業と前例のない内容の契約を進めたときは、とてもつらかったですね。

相手がどんな企業がよく分からず、参考になる契約資料もほとんどありません。パニックになって、夜中に泣きながら書類をつくったことがありました。

—— 仕事の面白さを感じることは。

高橋：1年目のころは、海外の大学との契約を担当することで、こんな共同研究が始まるんだ、とわくわくしました。でも、いつしか目の前の仕事に忙殺されて、そのような感動がなくなってしまいました。とても、もったいないことだと思います。

研究者や技術者から契約内容の背景となる情報を含めてじっくりと話を聞くことで、わくわく感を味わうとともに、より良い形で契約を結ぶことができるはず。しかし、時間と心に余裕がまったくありません。

—— なぜ、それほど忙しいのですか。

高橋：仕事の手際が悪いこともありますが、入社3年目の私が、多忙な大先輩の先生方に「この書類を書き直して!」とは、なかなか言えません(笑)。英語が関係するという理由で、業務外の仕事が回ってくることもありますね。

—— どうすれば余裕を生み出せますか。

高橋：業務の中には不要だと思われる手続きや分かりづらいシステムもあり、改善の余地があると思います。研究者・技術者と事務系職員が、互いの仕事内容や業務の範囲、スケジュールを理解し合うことも重要だと思います。宇宙研の良いところは、他部署で年齢が上の方とも話をしやすい雰囲気があることです。交流を深めることで相互理解が進み、業務の効率も向上して余裕が生まれるはず。私は他部署の人によく話し掛けます。そうして知り合った方が、ある契約で困っているとき、その分野の情報を教えて助けてくださったことがあります。

宇宙研で進めている研究は世界最先端のものです。せっかく、こんなに面白い組織にいるのですから、もっと楽しく快適な職場にして、日々、わくわくしながら働きたいですね。

ISAS ニュース No.387 2013.6 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ニア 制作協力/有限会社フォトンクリエイト

編集後記

今月号の「宇宙科学最前線」はSPICAについてですが、6月18～21日には世界中から150人以上が参加する国際研究会が、また21日夜には一般向けの講演会が開催され、この文を書いている今日も準備が大わらわです。まさにSPICA月間となりました。(山村一誠)

*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