



放球台にセットされた観測装置と、JAXA 格納庫内にヘリウムガスを充填された大気球。
2014年8月22日、大樹航空宇宙実験場にて。(4～5ページに関連記事)

宇宙科学最前線

超新星残骸のX線精密分光観測

XMM-Newtonによる先駆けと
ASTRO-Hへの展望

ASTRO-E II(すざく)プロジェクト研究員

勝田 哲

超新星残骸

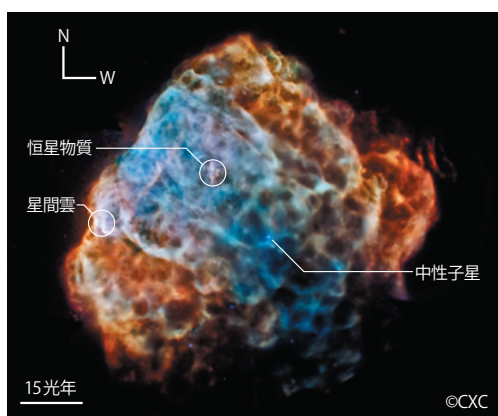
大質量の恒星は進化の最終段階に超新星爆発を起こし、ほぼすべての恒星物質を星間空間にまき散らします。その爆発エネルギーはすさまじく、爆発後10日ほどで迎える最大光度は一つの銀河全体にも匹敵し、はるか遠方で起こった超新星でさえ観測できます。飛び散る恒星物質は、光速の10%にも達する超音速(マッハ1000以上)で星間空間に広がります。その前面には強い衝撃波が生じ、そこに取り込まれた星間物質は極高温(100万度以上)に加熱され、電子と原子核が分かれたプラズマ状態になります。一方、掃き集められた星間物質の量が増えてくると、外側の恒星物質が減速されます。そこへ内側から自由膨張する恒星物質が超

音速で追突し、衝撃波加熱が起こります。こうして超新星爆発の跡には、星間物質と恒星物質が二層構造を成す、巨大な高温プラズマ雲が形成されます。これが超新星残骸(SuperNova Remnant: SNR)と呼ばれる天体です。我々の銀河系と近傍の銀河に総計400個ほど知られています。

SNRは派手で目を引きやすい天体というだけでなく、現代天文学において重要な役割を果たしています。例えば、水素とヘリウム以外の元素は宇宙開びやく時から存在したわけではなく、恒星内部や超新星爆発の際につくられ、SNRを介して徐々に宇宙に満ちていきました。そのため、SNRの元素組成比や存在量を調べることは、宇宙の化学進化史をひもとく鍵を握っています。また、宇宙空間を飛び交う謎の高エネルギー粒子「宇宙線」は、

図1 X線観測衛星のXMM-Newton(欧州)およびChandra(米国)で撮像したバビスA超新星残骸のX線画像

赤、緑、青は、それぞれ低、中、高エネルギーX線に対応する。線で示す「恒星物質」と「星間雲」に対するXMM-NewtonのRGSスペクトルを図2に示す。



主にSNRの衝撃波で加速されると考えられており、加速メカニズム解明に向けて精力的な研究が続けられています。地上の実験室で再現することが難しい、非平衡状態(過渡状態)の極高温プラズマを観察できる貴重な実験室という側面もあります。また、近い将来には、超新星爆発に伴う重力波(一般相対論が予言する時空のゆがみ)が直接検出される期待も高まっており、SNRや超新星研究の重要性はますます大きくなっています。

X線によるSNRの分光観測

SNRは電波からガンマ線までさまざまな波長で観測できますが、前述の通り高温プラズマ状態にあるため、一般にX線で最も効率よく放射します。X線放射は、高階電離した重元素イオンからの輝線(特性X線)を多数含みます。その解析からプラズマの元素組成比、存在量、温度、速度などの物理情報を引き出し、元素合成モデルを直接検証したり非平衡プラズマを診断したりできます。さらに、スペクトルを場所ごとに抽出・解析することで、爆発の構造を探ることも可能です。

このような輝線解析に立脚した研究は、分光観測(X線光子1個1個のエネルギーを高精度で測りエネルギースペクトルを得ること)が基本となります。日本は、X線CCDカメラを世界に先駆けて

1993年打上げのX線観測衛星「あすか」に搭載して以来、ここ20年間のSNRの分光観測をけん引してきました。X線CCDカメラは、エネルギー分解能($E/\Delta E \sim 10 @ \lambda = 22.1 \text{ \AA}^{*1}$)と空間分解能を併せ持つ優れた撮像分光装置です。異なる元素、異なる電離状態にあるイオンからの輝線を分離することに成功し、数多くの重要な成果を挙げてきました。ただし、X線CCDカメラでは輝線を分離し切れていないことが分かっており、主要な輝線を1本1本分離するには、さらに1桁ほど高い分光能力が必要でした。これを実現すべく、次世代のX線精密分光装置「マイクロカロリメータ」の開発が、世界的に推進されてきました。日本はそこでも先手を打つ準備を整えており、次期X線天文衛星ASTRO-Hにいち早くマイクロカロリメータ(Soft X-ray Spectrometer: SXS)を搭載する予定です。

XMM-NewtonのRGSによるSNRのX線精密分光観測

我々は、ASTRO-HのSXSによる観測検討を進めていく中で、欧州のX線観測衛星XMM-Newtonに搭載された分散分光器「Reflection Grating Spectrometer: RGS」が、SNRのX線精密分光観測に有用であることに気付きました。RGSはスリットを装備しないため、基本的に点源(恒星など点にしか見えない天体)用であり、SNRなどの拡散源には適しません。ところが実際には、RGSの分散角は大きいので天体の広がりによって鈍感で、局所的に明るい構造(輝点やフィラメント構造)や見掛けの小さいSNRに着目すれば、質の高いスペクトルが取得できるのです。定量的に見ると、天体の広がり(θ 角度 *2)とエネルギー分解能($E/\Delta E$)には、 $E/\Delta E = 160 (1/\theta)^{-1} @ \lambda = 22.1 \text{ \AA}$ という関係があります。つまり、観測対象のサイズが数分角程度であれば、X線CCDカメラを1桁ほど上回る、ASTRO-HのSXSと同等の分光性能が出せるのです。そう思えば、RGSの複雑なデータ解析も苦に

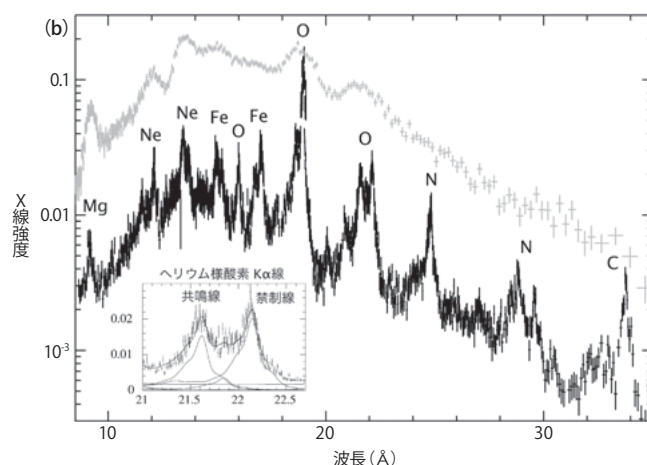
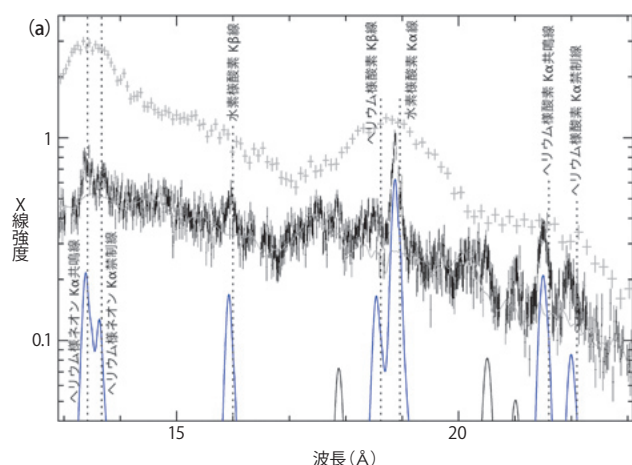
図2 バビスAから得られたXMM-NewtonのRGSスペクトル

(a) RGSスペクトルによる恒星物質の分散スペクトル(黒)

ターゲット(図1に示す恒星物質)からの放射を青実線で、バックグラウンドを灰色実線で示す。縦の点線は、各輝線の静止系の波長位置で、恒星物質からの輝線が短波長側に青方偏移していることが分かる。比較のため「すざく」のXISスペクトルを灰色十字で表示した。

(b) 星間雲のRGSスペクトル(黒)

灰色は「すざく」のXISスペクトル。埋め込みパネルはヘリウム様酸素K α 線の拡大図。禁制線が共鳴線より強いことが分かる。



なりません。

我々が初めに手掛けたのは、輝点やフィラメント構造を多数持つパピスA SNRでした。このSNRは、4500年ほど前に、7000光年の距離で起こった超新星爆発の痕跡です。X線強度分布(図1)には、星間・恒星物質の密度揺らぎに起因する激しいむらがあり、そのサイズが1~2分角なので、RGSの絶好の観測対象になります。

パピスAは、爆発後に中性子星(その名の通り中性子の塊の星)を残す重力崩壊型のSNRです。興味深いことに、爆発で飛び散った恒星物質はほとんど北東領域に集中する一方で、中性子星は反対に南西方向に高速で運動していることが分かっています。これは、恒星物質と中性子星が爆発時に反跳したことを示唆しています。パピスAほどはっきりしないものの、同様の反跳現象はほかのSNRでもほのめかされています。他方、最近の理論研究では、このような非対称性こそが超新星爆発の機構^{※3}を解く鍵と考えられています。従って、非対称爆発の貴重な実例であるパピスAの爆発構造を探ることは、近年の有力な理論モデルにフィードバックを掛ける絶好の機会となります。

その一環として、我々は恒星物質の一塊(図1)をXMM-NewtonのRGSで観測しました。得られたスペクトルを図2(a)に示します。所々に立つピークがターゲットからの輝線で(青実線でモデル化)、それ以外のほとんどの放射は周辺領域からの実質的なバックグラウンドです(灰色実線でモデル化)。灰色十字で示した「すざく」のXIS(過去最高のエネルギー分解能を誇るX線CCDカメラ)との違いは一目瞭然で、RGSが各輝線を1本1本見事に分離していることが分かります。

RGSスペクトルは、従来のX線CCDカメラでは得られなかった新しい知見を与えてくれました。その一つがドップラー速度です。図2(a)をよく見ると、恒星物質からの輝線が、縦点線で示した静止系の波長位置から系統的に短波長側にシフト(青方偏移)していることが分かります。解析の結果、ドップラー速度(地球に対する視線方向の相対速度)を 1500 ± 200 km/sと、非常に高い精度で測定することができました。このスピードで爆発から現在まで4500年の間飛行してきたと仮定すると、爆発点から視線方向に23光年ほど進んでいることになります。このようにして、飛散する恒星物質の視線方向の位置が推定できるのです。ほかの恒星物質についても同様にドップラー速度を測定すれば爆発構造の全貌を明らかにできますが、これはASTRO-HのSXSに引き継ぐことになりそうです。

東端に位置する、星間雲起源の輝点(図1)についても、RGSで高分散スペクトルを取得すること

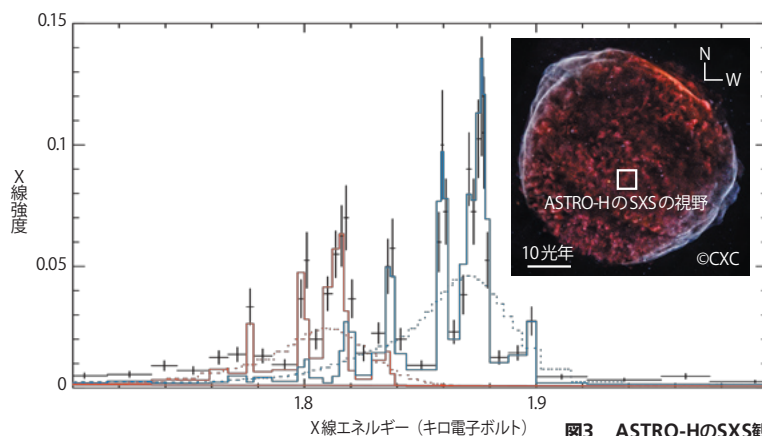


図3 ASTRO-HのSXS観測シミュレーション

ChandraによるSN 1006超新星残骸のX線画像にASTRO-HのSXSの視野(3分角×3分角)を白四角で示している。グラフは、この領域で期待されるASTRO-HのSXSスペクトル(シリコンK α 輝線に対するシミュレーション)である。膨張するシェルの手前側と奥側のドップラー偏移により、各輝線は青と赤の2成分に分かれることが予想される。点線のモデルは、プラズマの不規則な運動(熱運動や乱流運動)が大きい場合に期待されるSXSスペクトル。

に成功しました。図2(b)に示したRGSスペクトルは、実にたくさんの輝線を分離、検出しています。その中でとりわけ興味深かったのは、ヘリウム様酸素K α 線^{※4}でした。驚いたことに、禁制線が共鳴線より1.5倍ほど強いのです。このような強度比は、従来の衝突電離プラズマの放射モデルでは説明できません。さまざまな観点から考察した結果、SNRではほとんど効かないと考えられてきた「電荷交換反応由来のX線」が混入している可能性が浮上しました。もし本当なら、SNRを探る新しい手掛かりになりそうです。ASTRO-HのSXSによる徹底的な追究が、強く望まれます。

まとめとASTRO-Hへの期待

XMM-NewtonのRGSによるX線精密分光観測がSNRの研究に有効であり、その最前線を切り拓いている現状を紹介しました。誌面の都合上、パピスAの結果しか記載できませんでしたが、我々は世界に先駆けてほかのいくつかのSNRでも興味深い結果を得ています。

一方、2015年度に打上げが迫るASTRO-HのSXSの威力は、特にSNRなどの広がった天体には絶大です。RGSは局所的に明るい構造や見掛けの小さいSNRにしか有効ではありませんが、SXSはそのような制限がありません。そのため、観測対象が圧倒的に増加し、これまで観測にかからなかった微弱輝線を初検出したり、X線スペクトルの空間変化を詳しく調べたりできます。また、各輝線の幅を精度よく測ることでイオン温度や乱流速度が探れます。さらに、SXSは高エネルギーX線への感度も高いため、鉄族元素の精密な輝線診断を初めて可能にします。このほか、予想もしなかった大発見があるかもしれません。ASTRO-Hプロジェクトチームは現在、さまざまなアイデアに基づく観測計画を練り(図3はその一例)、打上げに備えています。ASTRO-Hがどんな新展開を見せてくれるのか、とても楽しみです。

(かつだ・さとる)

※1 λ は光の波長を表し、1Å(オングストローム)は100億分の1m。X線は0.1~100Å程度の波長を持つ光である。

※2 1分角=1/60度

※3 重力崩壊型の超新星爆発のメカニズムは、半世紀にわたって活発な研究が続けられている天文学上の大問題である。

※4 ヘリウム様酸素とは、電子が2つしかない、ヘリウムのような電子配置を持つ酸素イオンである。K α 線は、電子配置の遷移「主量子数(n)=2 $\rightarrow$ n=1」に伴う輝線。方位量子数(ℓ)なども考慮すればK α 線は一般に複数存在し、例えば、本文中の共鳴線は地上実験でも容易に検出できる輝線($\ell=1\rightarrow\ell=0$)に伴う、遷移タイムスケールの短い輝線。禁制線は地上実験では観測が困難な輝線($\ell=0\rightarrow\ell=0$)に伴う、遷移タイムスケールの長い輝線である。

平成26年度第一次気球実験

『ISASニュース』2014年8月号でお伝えしたように、平成26年度第一次気球実験では、5～6月の当初実験期間中に気象条件が飛翔可能な条件を満たさず、計画していた実験を一つも実施できなかったことから、急きょ8～9月に追加実施期間を設定してB14-01実験「大気球を利用した微小重力実験（燃焼実験）」の実施をもくろみました。

幸い関係各方面のご協力をいただき、8月21日から9月13日の追加実験期間を設定することができました。大気球実験班はお盆明けから北海道の大樹航空宇宙実験場での作業を開始し、粛々と準備を整えました。一方、7月末から8月にかけての気象はといえば、後に「平成26年8月豪雨」と命名される極めて不安定な天候に日本各地が見舞われており、8月20日には広島での大規模土砂災害が発生しました。ジェット気流は相変わらず大蛇行を続けており、B14-01の一実験だけを計画したとはいえ、苦戦を強いられることを覚悟せざるを得ないところでした。

ところが、我々が実験実施の可否判断に用いている2種類の高層風予測が、共に8月22日早朝に実施可能な風向風速データを示しました。地上天候も22日昼すぎからは雨に変わるとの予報ですが、海上回収作業を手際よく進めることができれば、実験を実施できそうです。そこで、21日深夜から実験準備を始め、22日午前4時27分に放球し、計画通りの飛翔運用を行うことができました。午前7時すぎに実験場東方約25 kmの太平洋上において微小重力実験部を高度38.6 kmで切り離し、引き続き気球飛翔を終了させました。微小重力実験の状況については別稿に譲りますが、着水後の微小重力実験部、ペイロード部、気球皮膜をすべて順調に回収して、無事に飛翔運用を完了することができました。

こうしてわずかなチャンスを捉えることができたのは、実験実施側の周到な準備はもちろんですが、実験をサポートしてくださる方々のご協力あってのことです。突然の実験期間の追加にも対応してくださった関係者各位のご協力に深く感謝致します。（吉田哲也）

大気球を利用した微小重力実験

前の記事でもお伝えした通り、日本各地で豪雨が降る異常気象の今夏、「大気球を利用した微小重力実験」が行われました。これは高度約40 kmから機体を自由落下させ、30秒程度の低重力環境を得るものです。ただ落下させたのでは、風などの外乱や落下に従って濃くなる空気の抵抗により、良い低重力環境は得られません。そこで採用しているのが、ドラッグフリーシステムといい、機体の内側に低重力実験装置を浮かせた状態で保持する仕組みです。2007年から3回実施した3軸のドラッグフリーシステム機体の落下実験では、地上の1万分の1程度の低重力環境が得られました。しかし、このシステムでは内部に搭載できる実験装置

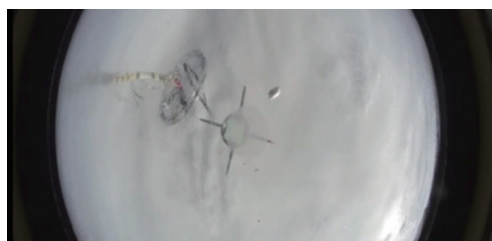


放球台に設置された落下機体（黄色）。
上のオレンジ色のはゴンドラ。

の大きさがボーリングの球程度でしかないため、本格的な微小重力実験が行えませんでした。今回のシステムは、鉛直軸方向だけ自由に動けるように機体と実験装置をリニアスライダーで結合した1軸のドラッグフリーシステムです。直径40 cm、高さ60 cmの実験装置が搭載可能で、この大きさはスウェーデンで行われている小型ロケット微小重力実験の装置と同等で、これだけあればかなりの実験が可能です。

機体は気球から切り離された後、35秒の落下（ドラッグフリー制御）の後、パラシュートを開いて北海道十勝沖に着水して、無事に回収されました。飛行後回収した加速度計のデータから、30秒弱の間、地

上の1000分の1程度の低重力環境が維持されていたことが確認できました。搭載した燃焼実験は残念ながら機体内の水分の結露のため、想定の実験結果とはなりませんでした。高速度カメラによる撮像および記録を含めてすべて正常に稼働



気球からの切り離し直後に
ゴンドラから撮影した、落下していく機体。

し、本格的な微小重力がこのシステムで実施可能であることが検証できました。実験の実施に際して吉田哲也室長をはじめとする大気球実験室の方々、回収船など十勝の方々に大変お世話になりました。

(石川毅彦)

「はやぶさ2」出荷

各種システム試験をくぐり抜けた小惑星探査機「はやぶさ2」は、宇宙システムとして9月冒頭に完成にこぎ着けた。そして9月17日に実施された開発完了審査にて厳正な評価を受け、開発の手順を正しく履行し要求を満たす機能・性能を有していると認められ、打上げ運用に向けた次の段階に進むことが了承された。「はやぶさ2」は、コンテナに収められて20日相模原を出発し、22日種子島宇宙センターに搬入され、射場作業が着手された。

2012年3月の詳細設計審査に始まった2年半にわたる開発では、筆舌に尽くし難い数々の難局に見舞われ、七転八倒の毎日であった。とても解決は望めず万事休すと諦めかけたことも、一度きりではない。しかし、宇宙技術を所掌する宇宙研のプロフェッショナルな先生方に、きめ細やかなご指導をいただき、その難局を一つ一つ突破することができた。特に常田佐久所長にあっては、現場の担当者を集め直々の采配という労までいただいた。50年に及ぶ宇宙技術の蓄積と執念を垣間見る思いであり、尊敬の念に

堪えない。もちろん、各難題に勇猛果敢に挑戦し、こぼれそうなアイテムを粘り強く拾って拾ってすくってすくって、この短納期の条件下で見事に目標を達して完成に至らしめた「はやぶさ2」プロジェクト班員および協力企業の面々は、私の誇りであり、完成した「はやぶさ2」は自信作だ。

この後は、電池・火薬類の取り付けや燃料・推進剤の充填といった射場作業を粛々と進めるとともに、JAXAの各部門から人的補強をもらい追跡管制隊を組織して、複数回のリハーサルにて技量を上げ、打上げ運用に臨む計画である。

我々の仕事場であったクリーンルームは、すでにきれいに清掃され、もぬけの殻状態となっていた。“つわものどもが夢の跡”と感慨ひとしおである。「はやぶさ2」は本来の仕事場“宇宙”を目指して巣立っていった。この後、眼前に立ちのぼる宇宙航海は、決して生易しいものではないが、我々の武運を信じ、突き進む所存である。引き続き、応援・支援を賜りたい。

(國中 均)

惑星分光観測衛星「ひさき」の初成果

お待たせ！ きょくたんの初成果！！

お待たせいたしました。ついに「ひさき」観測の初成果が『サイエンス』誌に掲載されました。初観測の報告からはや1年、夏の相模原キャンパス特別公開でも「あと少しお待ちください」と言うだけで皆さんからのご期待に応えられず、もどかしい思いをしていました。でも、でもですよ、ここに晴れてご報告させていただきます。「ひさき」のマスコット、きょくたんも喜んでおります。

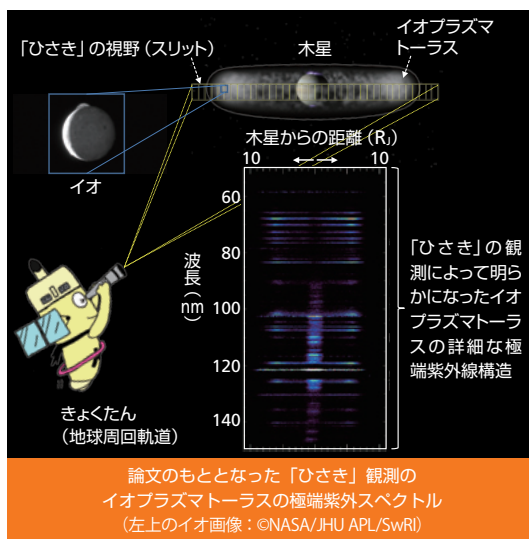
成果内容は、木星磁気圏のイオプラズマトーラスのスペクトル画像解析の結果です。しかも初観測を報告した直後の本格観測です。覚えていらっしゃるでしょうか、イオプラズマトーラス。木星の衛星イオから噴出する火山性ガスがプラズマ化して木星のまわりのイオ公転軌道

上に分布しているリングです。

イオプラズマトーラスでは、プラズマ化した火山性ガス（硫黄イオンや酸素イオン）が、周囲の電子と衝突して極端紫外光で光ります。核種固有の波長で複数の輝線として光りますが、衝突する電子の温度（エネルギー）によって、光りやすい波長があるのです。つまり、輝線ごとの明るさの違いから、電子の温度が推定できることになります。複数の輝線の明るさを同時に観測することで、発光している物質（イオン）と、発光を引き起こす物質（電子）の両方の物理量を導出できるのです。そして、さらに「ひさき」の観測では、その空間構造も分かります。イオプラズマトーラスの断面を水平方向に三分割す

るくらいですが、プラズマの移動方向を導出するには十分な分解能です。その結果、高温電子がイオプラズマトーラスの最内側まで侵入していることが明らかとなりました。これは、私たちが是が非でも確証を得たいと考えていた、磁気圏内での外側から内側への高温電子の移動を示す証拠であり、木星放射線帯が維持されるメカニズムの一つです。

残念ながらこの誌面では



説明し切れませんので、今後の『ISAS ニュース』で詳しく紹介する予定です。解説記事を宇宙研のウェブページにも掲載する予定なので、「ひさき」ページや太陽系科学研究系ページから探してご覧いただければ幸いです。これに続く、さらなる多くの成果報告が準備万端整ったところです。これからも、きょくたんの活躍にご注目ください。

(山崎 敦)

「のしろ銀河フェスティバル2014」開催

秋田県能代市といえば、秋田杉とバスケットボールで有名ですが、近年では宇宙と自然とクリーンエネルギーをうたい文句に、学生（小中高生含む）や社会人、つまりアマチュアによる国内最大規模のロケット打上げコンテストである「能代宇宙イベント」開催、日本海の安定した強風(?)を利用した陸上・洋上風力発電設備の設置、宇宙研と関連の深い4市2町で組織する銀河連邦共和国を通じての宇宙ロマンの発掘、などに力を入れています。その一環として、「のしろ銀河フェスティバル2014」が9月13日と14日に開催されました。JAXAも実行委員会の一員として企画・運営に携わり、「宇宙科学セミナー」と「宇宙学校スペシャル」の開催、能代ロケット実験場の特別公開という形で積極的に参画しました。

会場の一つである能代エナジウムパークでは開会式が行われ、能代市の齊藤滋宣市長と宇宙研の常田佐久所長のあいさつでフェスティバルがスタートしました。能代エナジウムパークでは2日間にわたって宇宙科学セミナーと宇宙学校スペシャルが開催され、研究開発本部の山中



山中浩二誘導・制御グループ長による宇宙科学セミナー（2日目）の様子



能代七夕の灯籠

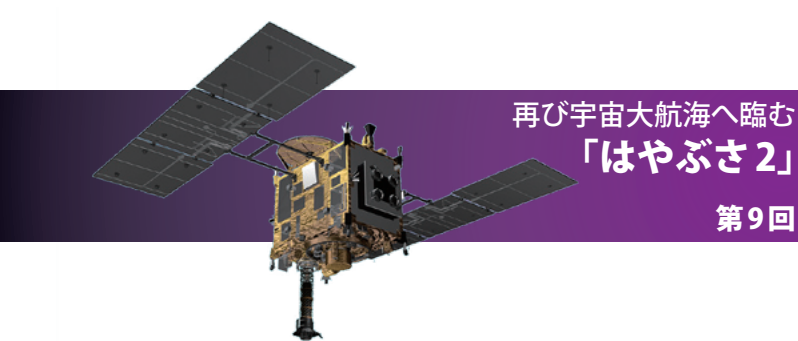
浩二誘導・制御グループ長による国際宇宙ステーションに関連した多彩で興味深い「講演」、阿部琢美先生と野中聡先生による観測ロケットと再使用ロケットに関する「授業」などが行われました。

能代市子ども館では、プラネタリウム上映、ロケットや衛星模型の展示に加え、「はやぶさ」が持ち帰った小惑星イトカワの微粒子の特別展示を開催し、多数の来場者が顕微鏡のレンズの向こうに鎮座する「ちっちゃいかけら」に感動していました。

今年の「銀河フェスティバル」は、「おなごりフェスティバルin能代2014」と同日開催となりました。「おなごりフェスティバル」には、過ぎ

去る夏を楽しむため、東北各地から有名な祭りが集まります。青森ねぶた、盛岡さんさ、秋田竿燈、酒田まつり、能代七夕などなど。情熱的なリズムで踊る浅草サンバカーニバルやディズニーのスペシャルパレードも参加しました。参加者は、昼は宇宙の勉強、夜は祭りざんまいと花火、時空を超えて能代の夏を満喫していました。

(石井信明)



小型ローバ MINERVA-II

吉光徹雄 「はやぶさ2」 プロジェクト MINERVA-II 担当

「はやぶさ2」は、MINERVA-II（ミネルバ2）と呼ばれる合計3台の日本製ローバを搭載しています。2台は宇宙研が、もう1台は東北大学を中心とする大学コンソーシアムが製作し、いずれも工学的な実験機として「はやぶさ2」の予算とは別枠で開発しました。

初代「はやぶさ」のときも筆者らが開発したローバ MINERVA を搭載しましたが、「はやぶさ2」に搭載したローバは、そのときの経験をもとに、完全に新規に設計・開発しました。「はやぶさ」と「はやぶさ2」では目指す天体が違うので、天体表面における重力や太陽エネルギー密度、熱的条件が異なります。まったく同じローバを製造すればいいわけではありません。

ローバはいずれも1 kg 級と非常に小型なため、地球と直接通信するのではなく、母船である「はやぶさ2」と通信を行います。このためローバだけでなく、探査機側の中継器（OME-E）、また中継器とローバとの通信に使用するアンテナ（OME-A）も開発しました。

中継器 OME-E とヘリカルアンテナ OME-A

OME-E が、探査機のネットワークバスとローバの間でコマンドやテレメトリといったデータの中継を行う装置です。OME-E は、ドイツから提供されて「はやぶさ2」に搭載した小型着陸機 MASCOT と通信を行います。

アンテナのビームパターンは、1 km 弱の小惑星を 10 km 遠方から見たとき、ローバが小惑星のどこにいても通信可能になるという条件で設計しました。また回線の成立性は、探査機と小惑星の距離を 20 km と仮定して確かめています。

OME-E とローバ間は無線による通信で、探査機の下面に搭載されたヘリカルアンテナ（OME-A）を使用します。地球からローバ宛てに送ったコマンドは一度 OME-E に蓄えられ、ローバに向けて送信されます。

一方、ローバから受信した観測データなどのテレメトリは、OME-E 内のメモリに保存し、探査機の運用モードに応じて、探査機のネットワークバスに送出します。

探査機のリモコンシステムとのインターフェースは PIM と呼ばれるネットワークバスですが、ローバが取得したデータを高速で探査機に渡すため、PIM 史上最速のデータレート（40 kbps）を使う運用モードを用意しました。この探査機を最後に引退するはずの PIM には、気の毒な負荷を掛けました。

ローバ分離機構

3 台のローバを格納する 2 つのコンテナを探査機の下面に搭載しています。1 つのコンテナに宇宙研が開発したほぼ双子のローバ（Rover-1A、1B）、もう 1 つのコンテナに 3 台目のローバ

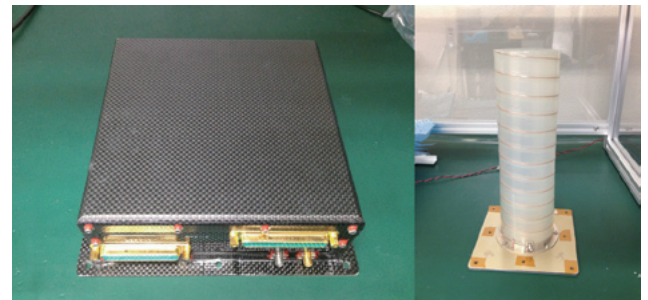


図1 中継器 OME-E（左）とヘリカルアンテナ OME-A（右）



図2 ローバ分離メカニズムの無重力実験の様子

図の右上の金属物体がダミーのローバで、コンテナから出ていく直前。

（Rover-2）が入っています。ローバを放出するチャンスは2回あることになります。

コンテナからローバを分離させるためのメカニズムは、ばねでカバーを押し出すというシンプルなものです。この分離メカニズムの開発で注力したことは、ローバとカバーを異なる方向に分離させる機構を1つの動作で実現することでした。カバーはドアが開くように開いた後、拘束がなくなった段階で斜め方向に飛んでいき、その中からローバが真っすぐ進んでいきます。

この新開発分離メカニズムは、ドイツのブレーメンにある落下塔を用いた微小重力実験で確認しました。落下塔では1回の落下で4.7秒の微小重力状態が得られます。そのほか、フランスのボルドーから飛行機に乗って、別の開発項目に関する微小重力実験も実施しました。飛行機実験では1フライトで最低33回、放物線軌道を描き、1回当たり20秒強の微小重力状態が継続します。3日間連続して搭乗しました。

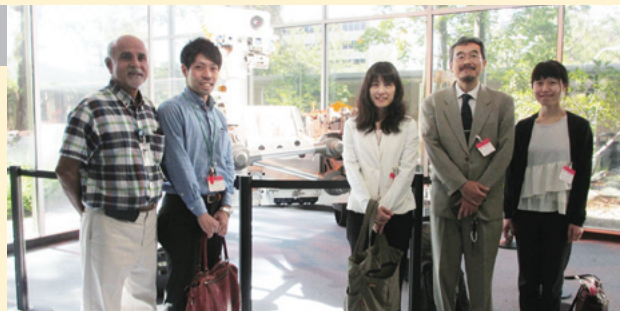
「はやぶさ」のころに日本にあった高さ100 m級の無重力落下塔は数年前に全滅しましたが、ドイツとの協力関係のおかげで何度もヨーロッパに出向いて微小重力実験ができたことは、開発の苦しい道のりの中で楽しかったことの1つです。

（よしみつ・てつお）

国際学会ICES参加と NASA JPL訪問

熱・流体グループ 開発員 岡崎 峻

熱・流体グループ 開発員 柴野靖子



JPLにてキュリオシティの前で記念の1枚。左からGajananaさん、岡崎、岩田直子開発員、小川准教授、柴野。

熱・流体グループの若手である岡崎 峻と柴野靖子が、探査機・衛星の熱技術や有人宇宙活動に関わる環境技術の国際学会ICES (International Conference on Environmental Systems) へ参加、その後NASA JPL (ジェット推進研究所)の推進・熱・材料グループを訪問し、海外の技術者・研究者と交流を深めてきました。今月号の「東奔西走」は少し趣向を変えて、対話形式でその様子をお届けします。今回はJAXAに入って初めての米国出張だった柴野は、初日から大変だったようです。(小川博之)

岡崎：7月13～17日にアリゾナ州のツーソンで行われたICESに参加してきました。ツーソンに到着したときは、砂漠の中の町らしく日差しが強く乾燥していました。ところが夕方、学会のウェルカムレセプションに参加しようと会場のホテルに向けて歩きだしたら、すごい雷雨に遭遇してしまいました。排水溝があまり整備されていないのか道路はたちまち川になり、靴も服もびしょびしょに。雨具も持っていなかったのも、途中で引き返して、夕飯も食べずに寝てしまいました。

柴野：私は頑張って行きましたよ。会場のホテル前に出現した川は巨大で、最後の難関でした。私にとって初めてのICESは、びしょぬれでの幕開けになってしまいました。

岡崎：レセプションに行くことと約束していたのに、雷雨ごときで諦めてすみませんでした。学会は、世界の研究機関の技術者・研究者と直接話ができて、とても有意義でした。論文にまとめられているとすべてきれいな設計に見えますが、担当者が苦労や工夫をして、場合によっては効率的でない力技で“何とかする”こともあるという興味深い話をいろいろと聴くことができ、学会参加ならではの良さをあらためて感じました。

柴野：衛星だけでなく、巨大な望遠鏡から小さなデバイスなど多岐にわたる熱設計の発表を聴くことができ、とても新鮮でした。サイズや用途に合わせて、設計の視点を変えたり、試験方法に工夫を凝らしていたり、とても勉強になりました。新しいコンセプトの熱制御材デバイスの発表もあり、今後も多様化するミッションを想定して熱制御系の開発を邁進させていかなければ、と痛感しました。

岡崎：いろいろな視点で問題を解決していて本当にすごいです

よね。学会の後に訪問したNASAのJPLでは、さらにその思いを強くしました。JPLは、子どものころに図鑑で見て、学生ときには論文で読んだボイジャーなどの探査機を開発した、憧れの研究所です。今でも火星ローバなど最先端探査機の研究・開発をしています。そのJPLを、熱グループを取りまとめているGajananaさんに案内していただきました。

柴野：Gajananaさん直々に案内してもらえるなんて、夢のようでした。クリーンルームや運用室など、すべて興味深かったです。一番はやはりあれですね？

岡崎：そうそう、一番インパクトが強かったのはキュリオシティ!! 実物大の地上試験モデルや、熱制御系を開発した実験室も見せていただきました。設計・製造をJPLで担当し、スタッフも多く、研究・開発環境の整備などの集中と選択をしているのがとても印象的でした。実験室でキュリオシティの紹介ビデオを見せていただいたのですが、着陸の瞬間は鳥肌が立つとともに、とてもわくわくしました。いつか日本でも!!

柴野：同感です！2012年にキュリオシティが火星に着陸したときには、みんなで喜び合っている映像がニュースで流れ印象に残っていましたが、その大喜びの理由が理解できました。デバイス単体レベルでの研究はもちろん、システムとして探査機などに搭載するまで一貫した研究ができるJPLの環境はうらやましいです。さらに、使いたい材料を自分たちで加工できる自由さも備えているなんて、素敵な開発環境ですね。

岡崎：一貫して研究をしている点は宇宙研に似ているかな？と感じましたが、実際に自分たちで加工した材料を衛星に搭載することはなかなかできないですね。JPLで何年も継続試験しているポンプを見て、設計の高い自由度は今までJPLが築いた探査機開発の経験によって支えられているのだと、しみじみ感じました。

柴野：日本の熱制御技術も次々と経験を積み重ねて、より自由な熱設計を実現させていきたいですね。今回のICESやJPLではたくさんの熱エンジニアと知り合うことができ、とても有意義な時間を過ごすことができました。憧れの火星に少し近づいた気がします。熱制御についてもっと深く議論できるように、自分の知識や経験を増やしていきたいと強く感じました。

(おかざき・しゅん、しばの・やすこ)

ISAS ニュース No.403 2014.10 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

発行責任者／ISASニュース編集委員会 委員長 山村一誠

〒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 「ひさき」の科学的成果、「はやぶさ2」のフライトオペ(種子島)、「BepiColombo」「ASTRO-H」「ERG」の開発・試験など、相模原キャンパスは活気にあふれています。次号も乞うご期待。(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

