



© JAXA/NHK

月周回衛星「かぐや」のハイビジョンカメラによるラストショット

宇宙科学最前線

「すざく」がとらえた 宇宙で一番熱いガス

太田直美

東京理科大学 理学部第一部 物理学科 助教

はじめに

銀河団とは、その名の通り多数の銀河が群れをなす、宇宙で最も大きな天体です。この銀河団を目で見える光で見ると、銀河が互いの重力で引き合って寄り集まっているように見えるだけですが、X線で観測すると数千万度から1億度近い高温のガスが全体をすっぽりと覆っている様子が浮かび上がります(図1)。このような温度の高いガスを一つの領域に閉じ込めておくためには、銀河団を構成する銀河の重力だけではとても足りず、いまだに正体の分からないダークマターという物質が大量に潜んでいるといわれています。とはいっても銀河団は珍しい天体ではなく、今ま

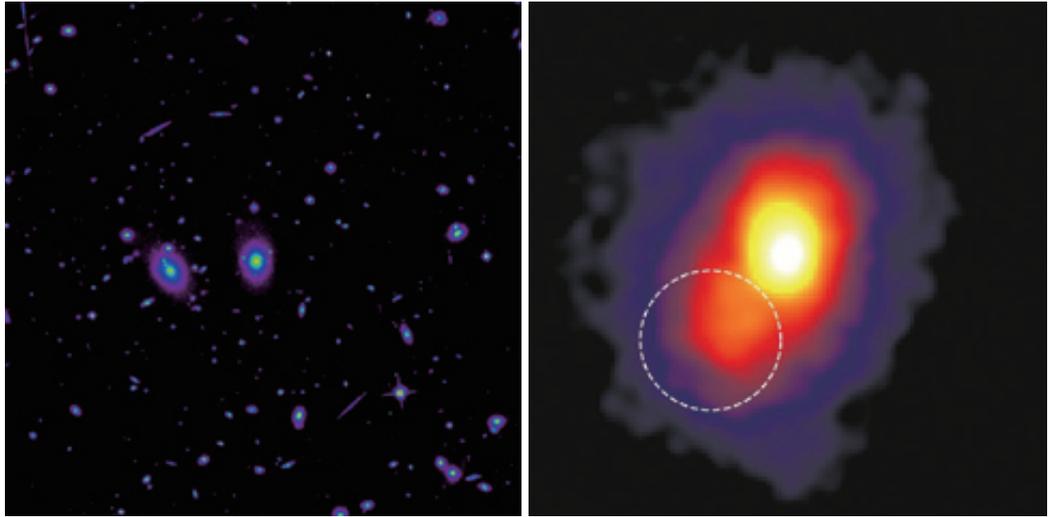
で見ついているだけでも1万個を超える銀河団があります。太陽系を含む天の川銀河も、おとめ座を中心とする銀河団の一部といわれていますから、私たちが紛れもなく銀河団の住人なのです。

さて、銀河団のような巨大な天体がいつ生まれ、どのように成長してきたのでしょうか？我々は遠い宇宙を観測することで、昔の宇宙の姿を知ることができます。ですから、遠い銀河団を詳しく観測することで、銀河団の進化の歴史に迫れないかと考えたのです。

銀河団の中に宇宙一熱いガスを確認

そこで我々は、RXJ1347銀河団という遠方の天体に注目しました。この銀河団は、地球

図1 RXJ1347 銀河団
 左：ハッブル宇宙望遠鏡による可視光画像（STScI 提供）
 右：チャンドラ衛星による X 線画像
 いずれも図の一边は 110 秒角で、約 200 万光年に対応する。



から約50億光年の距離にあります。全体としておよそ500万光年の広がりを持ち、特にX線の波長では全天で最も明るい銀河団の一つとしても知られます。遠方にありながら格段に明るいので、天体内部でどのようにガスやダークマターが分布しているかを探るのに適しています。

X線天文衛星「すざく」の打上げ以前には、ヨーロッパのローサット衛星、日本の「あすか」衛星、アメリカのチャンドラ衛星などを使って観測が行われてきました。1990年代後半には、この銀河団の中心に、周辺よりも冷えたガスが存在していることが報告されました。一般に、銀河団は中心に近づくほどガスの密度が高くなる傾向があります。そのような領域では放射冷却がより起こりやすく、時間がたてばたつほど温度が下がっていきます。その様子から、これまではどちらかというところ、RXJ1347銀河団は誕生から十分時間

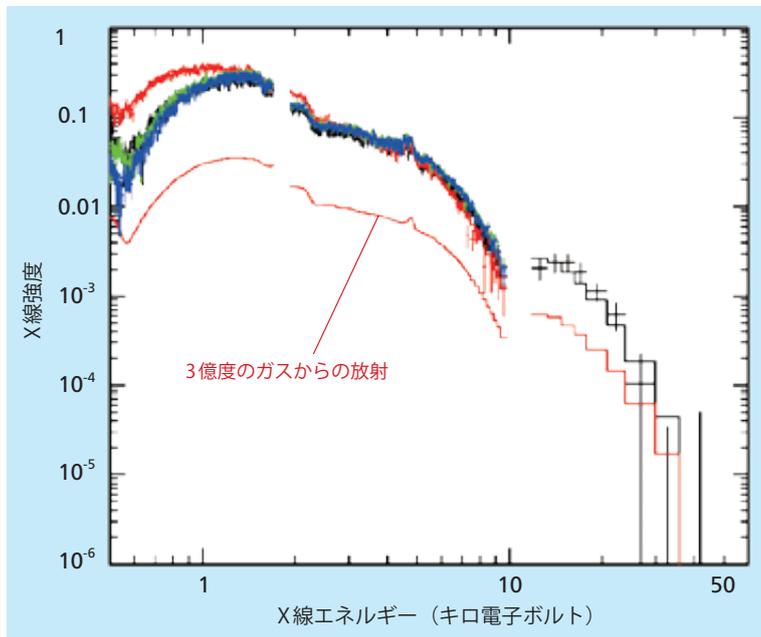
がたって進化の進んだおとなしい天体だと思われていました。ところが、さらにX線や電波で観測を進めていくうちに、次のような新事実が浮き彫りになったのです。

我々は2005年に打ち上げられた「すざく」を使って、2006年6月30日と7月15日の2回にわたり、RXJ1347銀河団をじっくりと観測しました。そして、その観測データを詳細に解析し、RXJ1347銀河団の中に、なんと3億度にも上る極めて高温のガスが存在しているという確かな証拠を得ることに成功しました。

図2に「すざく」のX線CCDカメラと硬X線検出器という2種類のセンサーを両方使って実際に取得したデータを示します。これは銀河団が出すX線のエネルギースペクトル(各エネルギーのX線がどれくらい出ているか)を表しています。ここでは、X線の最高エネルギーが温度を表すと思ってください。この銀河団のガスの平均的な温度は1億程度ですが、その中に赤線のように高いエネルギーまで伸びる3億度の成分があることを示しています。

今回見つけた3億度の高温ガスは、チャンドラ衛星のX線画像も合わせると、銀河団の中で差し渡し45万光年の限られた領域に集中し、スポット状に光っていることも分かります(図1右の点線で囲った部分)。たださえ銀河団のガスは温度が高いのに、3億度という温度はこれまでに知られている銀河団のガスの温度と比べても数倍も高い値です。これまではおとなしい(つまり力学的に落ち着いた)天体だと思われてきた銀河団の中に、超高温のガスが潜んでいたのですから驚きです。しかも、宇宙の中で我々の知る最も高温の物質の存在をとらえたこととなります。

図2 「すざく」によるRXJ1347銀河団の観測データ
 横軸はX線のエネルギーを、縦軸は各X線エネルギーに対する強度を表す。



3億度のガスの起源は？

では、この宇宙一熱いガスは、いったいどのようにしてつくられたのでしょうか。宇宙の中でガスを3億度まで熱するのは、そう簡単なことではありません。

一般に、ガスはダークマターの重力ポテンシャルに落ち込むことによって高い温度を獲得すると考えられています。その際、重力ポテンシャルが深いほど有利になります。ここで、重力ポテンシャルの深さは銀河団がどれだけダークマターを持っているかで決まり、RXJ1347銀河団の場合には太陽質量の約10の15乗倍になります。これだけの重力ポテンシャルがあっても、この考え方で説明できる温度はせいぜい1億度までなのです。今回見つかった高温ガスは、それより数倍以上も高い温度を示しています。なお、恒星の内部は核融合反応により高温であることが知られますが、例えば一番身近な太陽の中心温度は1500万度程度です。それからしても、やはり3億度はとてつもない温度です。

現在、3億度のガスの起源を説明する最も有力な説は、RXJ1347銀河団が最近激しい天体衝突を経験したというものです。2つの大きな銀河団同士が毎秒4000kmもの猛スピードで衝突し合体すると、ガスの一部が圧縮されて加熱が起きます(図3)。それによって、もともとは1億度程度だったガスの温度が3億度まで上昇し、極めて高温のX線放射として観測されたのではないかというわけです。

片方の銀河団から見るともう一方の銀河団があたかも弾丸のように飛んできてぶつかるわけですから恐ろしい気もしますが、宇宙ではこのような正面衝突事故(?)が時々起きているようです。この銀河団同士の衝突合体にかかわる運動エネルギーの大きさは、おおよそ10の58乗ジュール(約4ジュールが1カロリーに相当します)。ビッグバンの大爆発に始まったといわれるこの宇宙において、銀河団の衝突はビッグバン以来の一番エネルギーの大きい激しい天体現象ともいえます。

また、この説によると、3億度のガスが生まれて消えていくまでの寿命は5億年ほどです。宇宙の100億年を超える長い歴史からすれば、あっという間ともいえる出来事。今回の結果は、銀河団同士がお互いの重力で引き合いぶつかり合いながら巨大な天体へと進化していく、まさに成長の一場面をとらえたということができると考えています。

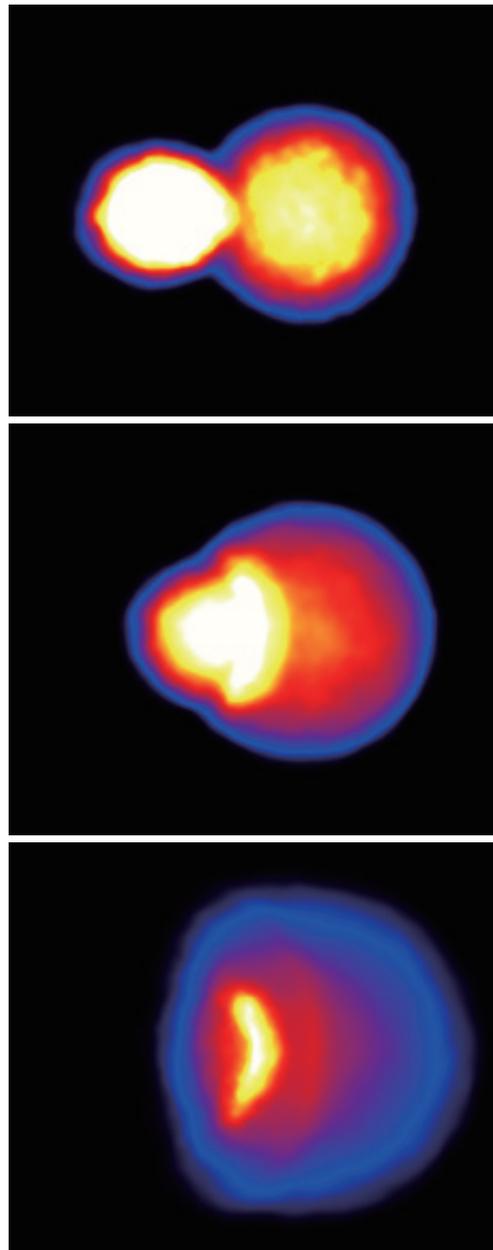


図3 銀河団衝突の計算機シミュレーション(韓国忠南大学自然科学研究所 赤堀卓也氏 提供)

上から下へ、2つの銀河団が衝突し、ガスが圧縮されて密度が変化していく様子が見られる。特に白や黄色が、周辺に比べて密度が高い領域に対応する。

おわりに

今回のように、銀河団に潜む超高温のガスが精度よく観測できたのは、世界でも初めてのことです。これは、「すざく」によって、従来に比べて高いエネルギーのX線まで感度よく測定ができるようになったことが決め手になったといえます。今後も引き続き「すざく」のパワーを活かして、銀河団の研究を進めていく計画です。それによってほかの銀河団にも同じぐらい温度の高い場所が見つかるかもしれません。また「すざく」の次に計画されているASTRO-H衛星では、銀河団衝突に伴って高温のガスが高速で運動している様子が精密に測定できる可能性があります。思いのほか激しい宇宙の進化が解き明かされていくと期待されます。(おた・なおみ)

「はやぶさ」方探システム機能確認試験

約1年後に迫った『「はやぶさ」カプセルの回収オペ』に向けてさまざまな試験が始まり、その中でも比較的規模の大きい「方探システム機能確認試験」が、6月9～14日にオーストラリアの砂漠にて行われました。2010年、小惑星探査機「はやぶさ」のカプセルは地球再突入における過酷な空力加熱環境を通過した後、高度10kmでパラシュートを開傘すると同時にビーコンを発信し、緩降下します。着地分散楕円のまわりに配置された複数の方探局はこのビーコン信号を受信し、三角測量の原理で着地点を決定し回収する予定です。

今回の試験では、この方探システムの機能を、広大かつ電波環境に優れた砂漠を利用して確認することが目的でした。自身の位置を記録するGPSとビーコン送信機を搭載した係留気球を上げ、緩降下中のカプセルへの各局からの仰角を模擬しつつビーコンを受信し、方向探索の精度、受信パターン特性、受信限界仰角などのデータを取得しました。取得された結果は、設計通りのものもあり、新たに獲得された知見もあり、

いずれも今後の装置仕様改善や操作方法の確立に反映されます。

さて、今回は砂漠の気象に泣かされました。空港から現地砂漠に向かう途中の高速道路ではスコールに見舞われ、いくら「年間降水量150mm、雨は非常にまれ」といわれようとも、本番に向けての雨対策の必要性を再認識しました。また、冬の砂漠は日中の最高気温が20度を超える一方、明け方は数度まで下がり、特に風速6m/sを超える夜間の作業は体感的に凍えるような寒さを感じられ、十分な防寒装備の必要性も痛感しました。本試験を行うに当たり、お世話になりました関係の方々にご場を借りて感謝申し上げます。

これから再突入本番に向けて、さらに試験が続きます。今年末に予定されている「方探システム機能確認試験@鹿児島」においては、実際に気球を飛行させ、本番同様、三角測量の原理で方探練習を行う計画です。今後ともよろしくお願い致します。
(山田哲哉)



方向探索アンテナ(左)と、カプセルの模擬ビーコンを発信する係留気球(右)。

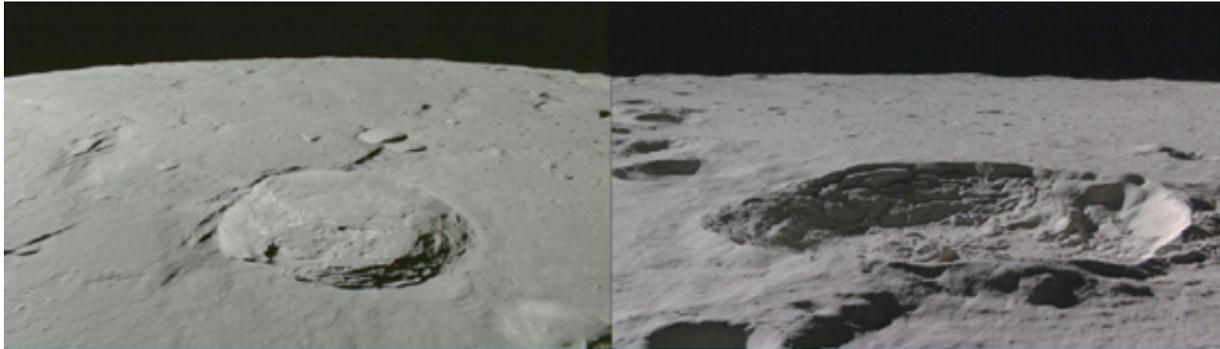
「かぐや」運用ミッション完了

2009年6月11日3時25分、月周回衛星「かぐや」の主衛星を、月の表側南東のGILLクレータ付近(南緯65.5度、東経80.4度)に制御落下させました。その後、残った子衛星「おうな」も、重力場導出の精度向上のために必要な較正データの取得を行った後、6月29日に運用を終了させました。これによって、「かぐや」の運用ミッションがすべて完了しました。

「かぐや」主衛星の制御落下が行われた6月11日から「おうな」の運用を終了した29日の間にも、「かぐや」にかかわる多くの出来事がありました。制御落下や「かぐや」のカメラがとらえた月面のラストショットに関する新聞・TVなどメディ

アによる報道、5月に低高度で撮影されたハイビジョンカメラ映像の公開(24日)、TV特番などです。図は新たに公開した、5月7日に撮影されたアナクサゴラス(Anaxagoras)のハイビジョン画像です。望遠カメラと広角カメラによって2時間差で撮影されたもので、望遠と広角での写り方の違いが比較できます。このアナクサゴラスは月の表側にある大きな衝突クレータであり、月の北極地域に位置しています。

制御落下の際は、月面に衝突する直前まで動画を撮影するように、「かぐや」には命令を入れておきました。普通はハイビジョンカメラは動画、地形カメラは立体視の静止画像を撮



アナクサゴラスクレータ付近のハイビジョンカメラ画像(左が広角カメラ, 右が望遠カメラで撮影) ©JAXA/NHK

影しますが、ラストショットはそれが逆転しました。ハイビジョンカメラは原理上、撮影したものをオンボードの記録装置に蓄積してから再生送信するという仕組みになっています。これでは、制御落下のとき記憶装置に蓄積した動画を地球に送る時間が取れず、ラストショットが地球に届かないおそれがありました。それを避けるために、撮ってためて送るという一連の動作にかかる時間が短くて済む静止画像の撮影となりました。表紙の画像が、まさに月の裏側で日なたから日陰に「かぐや」が飛行していくときに、ハイビジョンカメラで撮影した静止画像です。個人的には、6月19日にプレスリリースした連続静止画像の最後の画像がお気に入りです (http://www.jaxa.jp/press/2009/06/20090619_kaguya_hdtv_j.html)。この画像は月の南極の夜(日陰)の場所を撮影したものなのに、わずかですが光っているところがあります。光っているところは、「かぐや」の高度計による観測で見られた、1年のうちの8割以上が日なたになっているところではないかと考えられます。将来、ここに太陽電池を置いて発電すれば、1年の大半は電力を得ることができそうです。

一方、地形カメラの撮影にはそのような制約はなく、1ラインずつ地形カメラの2つのカメラで撮った画像から立体視画像をつくり、さらに見ている場所を変えていくことで動画をつくることができます。地形カメラ観測機器チームが作成したラストショットの立体視動画は、「かぐや」に乗って月面に落下していくような映像を擬似的に再現してくれました(この立体視動画は見る人の視点を高さ数kmから数百mに変化させ

たものであり、「かぐや」がこのような飛行し、この場所に落下したわけではありません)。また、地形カメラの実際のラストショットは、真っ暗な状態での(暗時)データとなりました。暗時データも良好かつ有益なものだったと、地形カメラのチームはコメントしています。

ちなみに、ハイビジョンは真下を撮影しているわけではないので、高度が下がっても、単純に距離が近づいた分だけ空間分解能(ものを識別できる細かさ)が向上するわけではありませんが、それでも空間分解能が数倍良くなっています。地形カメラは、衛星の進行方向の分解能は10mですが、衛星の進行と直角の方向は距離が近くなるとその分だけ分解能が向上します。そのため、10kmの高度では1mほどのものまで識別できるようになりました。もし、アポロの着陸地点の上空を高度10kmで飛んでいけば、着陸機が1点以上の明るく光る場所として見えたかもしれませんが、そのような機会は「かぐや」にはありませんでした。

このラストショットの公開時には、「満地球の出」の公開に迫るほどのアクセスが、「かぐや」の画像ギャラリーやYouTube JAXAチャンネルに殺到しました。「かぐや」への皆さまの関心の高さに、あらためて感謝の気持ちでいっぱいになりました。

最後になりましたが、「かぐや」の成功裏の開発・運用は、JAXA、観測機器チーム、企業からなるteam“SELENE”の一丸となった努力の成果です。この経験を活かして、同様の素晴らしいチームワークで「かぐや」後継機というプロジェクトが実現されることを期待してやみません。(祖父江真一)

ロケット・衛星関係の作業スケジュール(8月・9月)

	8月	9月
S-520-25号機	啮合せ試験(相模原)	フライトオペレーション(内之浦)
SMILES	射場作業(種子島)	
PLANET-C		総合試験(相模原)
IKAROS		総合試験(相模原・筑波)
大気球		平成21年度第二次気球実験(大樹町)

日本実験棟「きぼう」完成

2009年7月19日早朝に船外実験プラットフォームが、24日未明から早朝にかけて全天X線監視装置 (MAXI) と宇宙環境計測ミッション装置 (SEDA-AP) が、国際宇宙ステーション (ISS) の日本実験棟「きぼう」に取り付けられました。予算が認められた1987年を起点とすると、22年の歳月を経て実験棟のシステムが完成しました。

私が入社した1995年ごろは、1999年を目標に、遅くとも2002年には打ち上がると予定されていました。しかし、2003年のコロンビア号事故が重なって延期となり、いつごろ打ち上がるか不透明な状況が続いていました。さらに、2005年10月には、セントリフュージという「きぼう」に続く実験モジュールの開発中止が、NASAから突然言い渡されました。まだ「きぼう」のパーツが一つも上がっていない状態で、ISS計画に対しても風当たりが強い時期を迎えました。しかしその後、2008年3月の船内保管室、6月の船内実験室の打上げ、船内実験の成功もあり、ISS計画もようやく花開こうとしている感がありました。関係者の着実な歩みとその成功が、世論を動かしていると感じました。



日本実験棟「きぼう」の船外実験プラットフォームと船外パレットを搭載したスペースシャトル・エンデバー号の打上げ。日本時間7月16日午前7時3分。

今回の船外実験プラットフォームと船外パレットの打上げは、6月13日の予定から延々と伸び、再設定された7月11日も悪天候により延期となりました。船外活動の予備日を1日削るという異例の判断の結果、16日にやっと打ち上げられました。

組み立ては、マニピュレータが安全のために時々停止することはありましたが、おおむね順調に進みました。マニピュレータの担当者からは、時折の停止もシミュレーションで想定した通りであったとの頼もしい発言がありました。それぞれの担当が責務を果たしたことで、現在の状況があるのだとあらためて実感しています。

現在はMAXIもSEDA-APもサバイバルヒータで保温している状態であり、主電源は8月上旬から投入されます。技術的な課題のみならず、運用にかかわる人の労働環境向上、モチベーションの維持、次期有人プロジェクトへの継続など、努力していく課題は多いですが、まずは一つ一つ成功を積み上げていくことが、将来につながると信じています。

今は、やっとスタート地点に立てたことに対する感謝の気持ちでいっぱいです。
(渡辺英幸)

世界天文年 全国同時七夕講演会

7月7日は俗にいう七夕で、世界天文年である今年は、日本天文学会の呼び掛けで「世界天文年 全国同時七夕講演会」を実施することになりました。我々も、全国約80会場の中で神奈川県内唯一の会場として相模原市立総合学習センターを借用し、夜間の講演会を行いました。

講演のタイトルは「七夕の夜の宇宙のはなし」。主に市内から集まった100人ほどの聴講者に、星を見るには新暦の7月7日ではなく伝統的七夕 (今年は8月26日) が適していること、ガリレオは自作の望遠鏡で天の川が星の集団であることを見出したことなどから話し始め、ガリレオが見た宇宙と天文衛星などの「現代の目」で見た宇宙の最新像など



星や月と、国際宇宙ステーションの観望会の様子

についてお話ししました。また、会場では参加者に短冊に願いを書いていただき、伝統的七夕までの期間、相模原キャンパスの展示室に飾ることにしました。

講演会終了後は市民会館前広場に場所を移し、天体観望会実施ボランティア集団「星空公団」の協力を得て、星や月の観望会と、国

際宇宙ステーションの観望会を実施しました。梅雨の谷間の雲の切れ間から見える牽牛・織女やおぼろ月、そして何よりも、満月の夜に市街地の真ん中で、どの星よりも明るく輝いて見える国際宇宙ステーションに大人も子供も驚きの声を上げ、その中に滞在中の若田宇宙飛行士に思いをはせていました。
(阪本成一)

第11回 きぼうの科学

MAXI 全天X線監視装置 激動する宇宙が見えてくる

ISS科学プロジェクト室 主任開発員

上野史郎

日本時間2009年7月16日午前7時3分、全天X線監視装置(MAXI)がスペースシャトル・エンデバー号に乗って、ケネディ宇宙センターから国際宇宙ステーション(ISS)へ飛び立ちました。そして、たった今7月24日午前0時24分、ロボットアームに支えられ、MAXIがISS日本実験棟「きぼう」にドッキングしました。青い地球を背にして、その模様はNASA TVでインターネット生中継されました。MAXIへの実験電力の供給開始は8月3日の予定です。その後2ヶ月かけて、MAXI構成機器の健全性確認と初期較正を実施します。5年以上の運用が目標です。2009年12月にはウェブ(<http://www.riken.jp>)を通じて一部データの公開を始めます。MAXIおよび地上データ処理系の開発には、JAXA、理化学研究所、大阪大学、東京工業大学、青山学院大学、日本大学、京都大学が参加しています。

MAXIは全天からのX線を長期にわたって観測します。突発的なX線増光現象を逃さずとらえ、時々刻々と変化する「全天のX線画像」を作成します。MAXIで検出した増光天体の情報(位置と明るさ)は、インターネットで即座に公開します。世界各地の望遠鏡や天文衛星のチームから、追観測開始のためのトリガー(きっかけ)として期待されています。MAXIはX線ガスカメラ(GSC)とX線CCDカメラ(SSC)を搭載し、それぞれ2~30keVと0.5~12keVのX線光子エネルギー領域を撮像分光観測します。これまでの全天X線モニタの10

倍の感度を持ち、我々の銀河系内の天体はもとより、系外天体(活動銀河核など)からのX線放射の強度変化まで監視できます。

なぜ全天を監視する必要があるのでしょうか? 地上の実験室では調べる対象物(供試体)にいろいろな物理的・化学的刺激を与え、それに対する変化や応答を計測することにより、供試体の素性を明らかにします。ところが天体観測では、相手が遠すぎて、巨大すぎて、例外(テンペル1彗星や月への一撃)はありますが、人為的な刺激で供試体(天体)に変化を引き起こすことは不可能です。ただ観測するのみです。明るさが変化しない天体からでも、分光観測や高解像度撮像の手法により、多くの情報を引き出すことはできるのですが、X線天体の多くは自ら勝手に明るさや色を変化させて、さらに多くの情報を観測者に与えてくれます。例えば、単純に明るいときを狙って観測すれば、質の良いデータを取得できます。明るくなる天体を狙って観測すれば、めったに起こらない貴重なイベントの真っ最中を世界で初めて目撃できるかもしれません。高解像度撮像でも点にしかならない天体の大きさや、分光観測からだけでは得るのが難しいガス密度などの情報が、時間変化の観測から得られます。明るいときと暗いとき、違う状態の比較は天体の正体解明に役立ちます。X線天体には、いつ明るくなるかわからないもの(例:X線新星)や、明るさの変化がゆっくりのもの(例:超巨大ブラックホール)が多くあります。全天を長期にわたって常時監視すれば、これらの時間変化を逃さずとらえることができます。ここに、全天X線モニタ活躍の場があります。

次にX線反射望遠鏡衛星(例:「すざく」衛星)と、全天X線モニタ(例:MAXI)の役割を比較してみましょう。X線反射望遠鏡衛星は高解像撮像能力と高集光能力を持ち、個々の狙った天体から得られるデータの質と量で、完全にMAXIを圧倒します。しかし、視野の大きさ(立体角)は満月(直径0.5度角)程度に限られます。視野が比較的大きな軟X線反射望遠鏡衛星ROSATでさえ、直径2度角でした。全天の大きさは満月20万個分以上もあるため、普通のX線反射望遠鏡衛星で全天を常時監視するのは不可能です。一方MAXIは反射鏡を持たない一種のピンホールカメラです。短時間の間に個々の天体から集めることのできるX線は少量です。その代わり広い視野を実現します。MAXIは、たった90分間でほぼ全天を見渡し、その全天スキャン観測を5年以上にわたって続けます。MAXIは、突発増光天体の発見、個々の天体の長期にわたるX線強度変動の監視、非常に大きな立体角に広がったX線源の観測に有利です。このようにX線反射望遠鏡衛星と全天X線モニタには、それぞれ得意分野があり、助け合える関係にあります。

MAXIは間もなく始動します。初期運用状況やファーストライト画像(8月取得予定)は、次の機会に報告させていただきます。(うへの・しろ)

日本実験棟「きぼう」への取り付けを、シャトル用輸送パレット上で待つ全天X線監視装置(MAXI)。写真の左下隅の白い箱がMAXI。(2009年7月22日NASA撮影)



アメリカといえば米の国、というわけではないが、アメリカにはおにぎりがよく合う。うそのようだが、アメリカで外食でない食生活をする場合、主食はパンよりパスタより、コメが最も経済的である。これが、私がアメリカに1年間滞在して得た知見である。

私は今年3月までの1年間、妻と0歳の娘を連れてミシガンとコロラドに滞在したのだが、そういうわけで、この滞在中、妻がつくったおにぎりの数は1000個を下らない。

私の専門はアストロダイナミクス。ミシガン大学とコロラド大学ボルダー校の航空宇宙学科に、それぞれ4ヶ月と8ヶ月滞在する機会を得た。この滞在中、私は妻と子の行動力に驚かされ続けた。ゆっくりちょっとずつでもアメリカでのネットワークを広げていこうと思っていた私を尻目に、現地ですぐに邦人、ネイティブ問わずに知人を増やし、気付いたら知り合った友人と毎日メールのやりとりをし、毎週私より予定が詰まっている始末。物心ついていないはずの娘も、いろんな人種のちびっこと毎日のように仲良く遊んでいる。

ミシガン大はAnn Arborという街にある。人口10万ほどのこぢんまりとした街に学生数5万のマンモス校があるものだから、ここは正真正銘の大学街である。

立派な航空宇宙学科を擁している。ミシガンの冬は厳しいが、私たちがこの地に住み始めたのは緑まぶしい春。ネットワークづくりでは、妻子に後れを取っていたものの、研究はこのゆったりとした環境で比較的順調に進んだ。

8月にコロラド大のあるBoulderへ引っ越した。ここも人口は10万ほど。広々しさではAnn Arborに劣るものの、ロッキー山脈を望む風光明媚なこの街は、私自身にはより魅力的に映った。Boulder周辺には、宇宙関係の研究所やアメリカ屈指の航空宇宙産業が集中している。大学自体もアストロダイナミクスが非常に盛んであり、私にとってこんなにエキサイティングな土地はなかった。

しかし私は、ここでも妻に出し抜かれた。我が賢妻は引っ越して間もないこの地で、料理教室を開き、飾り寿司のつくり方で10人超の生徒を集めたのだ。アメリカで講座を持つなど思いだにしな

かった私は、目標立案の時点ですでに敗北していたことを思い知らされた。そして週末にBoulderの目抜き通りを家族で歩いていると、1ブロック歩くごとに妻に誰かが話し掛けてくる。もう私には何がどうなっているやら。娘は娘で本場仕込みのフレンドリーさを身に付け、誰にでも抱きついてヨシヨシと頭をなでることを覚えていた。

この2人の目覚ましい成果に白旗を揚げ続けていた私も、滞在後半には、ようやく知人も増えてきたし、研究もまとまってきた。研究の傍ら、近くの研究所や企業を訪れて、見学や研究会、セミナーをして過ごした。

Ann ArborもBoulderも、研究環境、生活環境は最高であった。研究機関としてのシステムとそれを取り囲む街のつくり、自由とシステムティックさがほど良く織り交ぜられたアメリカ特有の社会メカニズムを感じる。その裏にはシビリアンな競争社会の一面も垣間見えるのだが、まだ若い（と思い込んでいる）私には、それも含めて、意欲をそそられる場所だった。妻のおかげで、おにぎりははじめとした和食に困らなかった私は、日本の仕事環境とは対照的な規則正しい生活もあり、大変スリムにもなれた。

帰国途上、最後の武者修行とばかり、旧友を頼ってJPLを訪れた。アストロダイナミクスを専門とする私にとってはあこがれの場所だ。初めての訪問だったが、分刻みのアポを取り、セミナーもアレンジしていただいた。

GNC（航法誘導制御）の専門の方々が15人以上集まってくれたことが、まず大きな驚きであった。そして私の研究を種に、厳しい時間制限のある学会発表では考えられない多くの質問を受け、非常に濃い議論をさせていただいた。こういう懐の深さを、私はこの1年間、アメリカの各所で感じたのだが、JPLでのこの経験は私にとっては特に鮮烈だった。去り際に、「君はグリーンカードを持っていないのか」と意味深な問いを受ける。

帰国後、1歳になった娘はおにぎりを見ては「ニー」と言い、カメを指して「タートー」と言う。妻はアメリカの友人とまだ毎日のようにメールのやりとりをしている。

アメリカ滞在中、日本では得難いほど長い時を家族と過ごした。でも、三者三様、経験はそれぞれ。家族の新たな一面の発見という望外の収穫。そして、それぞれに何かを得たという実感。我が家にとって、膨大な数のおにぎり、発見と成長の1年であった。（つだ・ゆういち）



Boulder郊外の山からコロラド大を望む



宇宙科学の仕事は楽しいか？

「宇宙科学に関する仕事をしています」と言うと、一般には、「それは夢があっていいですね」とか、いかにも楽しい仕事という羨望の混じった評を受けることが多い。これには実際に仕事をしている現場の人間としては多少の違和感もあるが、とはいえ、やはり、宇宙科学の仕事は面白い。実際、打ち上げられた搭載機器がうまく動いたときの安堵感、そして予想外の新たな現象が見えたときの驚き、興奮の瞬間は、何物にも替え難い。もちろん、そんな山師みたいな観測提案では認められるわけがなく、表看板には従来の研究上の問題点の解決を目指すというようなことを掲げるのであるが、たいていの場合、それ以上に思わぬ副産物が出てきて、むしろ、それが主たる成果になったりする。こういう経験は楽しいというのとは違うが、面白い。自分がその当事者の場合はもちろんだが、その実験のサポートであっても、あるいはマネジメントの立場であっても、その成功を共有できたときに充実感、感慨が込み上げてくるのは、一発勝負をチームワークで勝ち取るに類する宇宙実験なればこそ、であろう。

しかし、いつもうまくいくわけではない。宇宙実験はまさに一発勝負の世界である。その瞬間にかけて、どれほどいろんなことを考えて思考実験を繰り返し、試験をし、必要な対策を講じてきたか。しばしば、“End-to-end test” とか “Test as fly” と言われるが、厳密にその通りにできることはほとんどなく、いくつかの試験を組み合わせることで論理的に説明していることが多い。その作業はそれなりに重要ではあるが、何をもって“fly”の状況を定義するか、それには経験や勘、格好よく言えば、物理的洞察力によるところが大きい。何よりも実際に機器の飛翔経験を繰り返すことが大切で、“Test as fly”が現実に近いしていく。

あまり年のことを言いたくはないが、私が東京大学宇宙航空研究所の助手に採用され

向井利典

宇宙航空研究開発機構 技術参与

たのは、まだ日本最初の人工衛星「おおすみ」が上がる前であった。日本もこれから宇宙観測のために衛星を使う時代が来るので、まずは地球周辺の宇宙空間の観測、具体的には低エネルギー電子の観測センサーの開発をやれ、というのが私に与えられたテーマであった。当時、日本ではその道の先生はいなかったで、私一人、最初からすべて自分で考え、実験室に基礎実験をするための装置をつくることから始めた。3年ほどの間は何一つまともな成果が出ず、明けても暮れても不具合対策と機器の修理ばかりしていたように思う。しかし、似たような物理実験に長けた先生方から示唆に富んだお話を伺い、問題解決のヒントを得ることもあり、徐々にではあるが技術は進歩していった。また、お手伝いのような仕事であったが、ロケット実験のたびに内之浦に派遣されたのは、その後のロケット搭載機器の開発にとって貴重な経験になった。当時の「いも焼酎」は今とは比べものにならないくらい



観測ロケットSS-520-2の搭載機器準備作業(筆者中央)

強烈な臭いのため、最初は口にすらできなかったが、そのうちにそれが何ともいえない匂いとなり、毎夜いも焼酎を飲みながら先輩・同輩・後輩とさまざまな会話をしたことも懐かしい思い出である。

3~4年を経てようやく開発したセンサーを観測ロケットに搭載してもらったが、最初のロケット(K-9M-36)は、10秒後に海に落ちてしまった。しかし、後で振り返れば当時の技術は未熟で、ロケットが正常であれば、私の機器は大失敗をしでかしたに違いない。その後、数多くの観測ロケットや科学衛星による観測にかかわることになったが、私自身の技術のレベルアップとミッションのスケールアップがうまくマッチングし、次々に新たな現象を見る機会に遭遇したのは幸運というほかない。また、それは周囲にいた多くの方々のサポートのおかげであり、自分一人の力だけではどうにもならないチームワークの勝利であった。プロジェクトの成功の秘訣は、良いチームをつくることにあると思う。

さて、技術が大きく進歩し、世界トップの成果を狙えるような本格的なミッションが並んでいる今の時代は、昔と違うというかもしれない。しかし、いきなり複雑な大ミッションをやるのは危険だし、宇宙の世界では経験を積むことが大切である。小さいミッションでも最初から最後までやれば一通りの経験になり、成功の感激、あるいは失敗の悲嘆を味わうことができる。この「一通りの経験」というのが重要で、計画からミッション終了までを3~5年程度でやれば大学院生の教育ともマッチする。小さくても良いミッションは、探せばあるはずと思う。手段としては、大気球や観測ロケットがあるが、さらには小型衛星も加えて、経験を積む機会が増え、そこで育った人たちが企業や大学で後輩を育てるというふうにサイクルがうまく回るようになれば、宇宙がますます楽しくなるだろうね……。 (むかい・としふみ)

国際協力で宇宙開発を推進したい

科学推進部 研究推進室 専門員

大野友史

—— 宇宙開発事業団 (NASDA) を志望した動機は？

大野：小さいころから宇宙に興味がありました。あこがれの宇宙を仕事として考えるようになったのは就職活動のときです。NASDAで事務系の募集をしていることを知り、OB訪問をしました。その先輩は入社2～3年目でしたが、国際宇宙ステーションの担当で、海外の宇宙機関との調整を任されていました。世界の人たちと協力して宇宙という人類のフロンティアを開発する仕事にとっても魅力を感じました。NASDAに入り、仕事でつらいときでも、宇宙開発に貢献しているという思いが心の支えでした。それは今でも変わりません。

—— つらかった思い出は？

大野：例えば、入社3年目に予算の部署で科学技術庁の対応窓口になりました。資料作成などの依頼が科学技術庁から来るのが、たいてい夜中の12時。それまで待機していなければなりません。拘束時間が長く、もっと効率的に仕事がしたいと思いました。

—— 国際協力も担当されたそうですね。

大野：海外勤務の希望を人事に出して、10年たってやっとパリ駐在員事務所に行くことができました。ヨーロッパ宇宙機関 (ESA) が進めている衛星の開発状況など、さまざまな情報を収集することが任務の一つです。相手の情報を得るには、こちら側の情報を提供する必要があります。しかし、ESAは日本の宇宙開発に、こちらが興味を持っているほどは興味がないんです。ギブ・アンド・テイクが成り立たない。相手が欲しがっていないこちら側の情報まで無理矢理に説明して相手の情報を得るなど、苦労しました。

—— ヨーロッパと日本で仕事の進め方に違いはありますか？

大野：ヨーロッパの人たちはプライベートをとっても大切にしています。業務時間内に効率的に仕事をしようという意識が高いですね。夜7時になるとオフィスには誰もいません。もちろん夜中まで待機なんてあり得えない！(笑)。パリでの仕事は、最初は苦労しましたが、だんだん楽しくなってきて、もっと長いかったですね。しかし3年で日本に戻され、JAXAとして統合された宇宙研へ異動になりました。



おおの・ともふみ。1970年、兵庫県生まれ。1993年、慶應義塾大学経済学部卒業。同年、宇宙開発事業団入社。契約・予算・法務・国際協力 (パリ駐在員) などの業務に携わり、2006年4月から現職。

—— 宇宙研の印象は？

大野：学問の自由の気風を感じます。立場に関係なく意見を出し合い、その意見が正しいと思われるれば、尊重してくれます。私は今、宇宙研のさまざまなプロジェクトの予算を取りまとめたり、予算獲得のための

資料をつくる仕事などを行っています。宇宙研がJAXAという大きな組織に統合されたことでメリットもあると思いますが、統合前に比べて宇宙研単独で物事を決められないことが多くなりました。また、大きな組織に統合されたことで失敗が許されにくいという風潮になり、難しいプロジェクトへのチャレンジがしにくくなっているようです。宇宙研の特色をもっと生かせる組織設計が必要です。

—— 今後、どのような仕事をしていきたいですか？

大野：海外の情報を集めて日本に紹介し、新しい国際プロジェクトの立ち上げを支援する仕事がしてみたいですね。研究者や技術者は個々の分野では国際的な人脈や情報網を持っていますが、宇宙分野全体を見渡せる人はあまりいません。事務の立場から新たな視点で国際プロジェクトを提案できると思います。JAXAでは現在、アジア諸国との連携に力を入れています。アジア諸国の宇宙機関を回って情報や要望を集め、新プロジェクトを提案できたら面白いですね。宇宙開発の先駆者であるロシアとも、もっとさまざまな協力ができる可能性があると思います。

—— 興味があるプロジェクトは？

大野：やはり有人探査ですね。しかし日本では「なぜ有人か？」とすぐに問われます。技術力向上や科学的発見、産業界への波及効果など理由付けはできます。しかし、特にアメリカが有人探査を進めている根底には、フロンティア精神があります。国民にフロンティア精神が根付いていて有人探査を支持しているのです。ヨーロッパにもアメリカほどではありませんが、その精神があります。しかし日本では欧米ほどにはフロンティア精神が根付いていないため、宇宙開発でも実益が重視されます。そこを乗り越え、多くの人たちの支持を得て有人探査を推進していけたらいいですね。

ISAS ニュース No.341 2009.8 ISSN 0285-2861

発行/独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部
〒229-8510 神奈川県相模原市由野台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

今年は梅雨明けが遅く、編集作業をしている今はまだ夏らしい天気にはなっていませんが、宇宙科学はこの夏もいろいろなアクティビティを予定しています。暑い夏の研究活動結果は、秋にご報告できると思います。どうぞご期待ください。(竹前俊昭)

*本誌は再生紙(古紙100%)、大豆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

PRINTED WITH SOYINK
Trademark of American Soybean Association