



2007年9月2日に行われた観測ロケットS-520-23打上げ（左）と
奄美大島より撮影したリチウムの雲（右）（4ページ参照）

宇宙科学最前線

謎のX線放射の起源は太陽風だった！ 「すざく」がとらえた地球近傍における 太陽風からの輝線放射

藤本龍一

金沢大学大学院自然科学研究科 准教授

時には思いがけない発見が……

「すざく」はX線天文衛星、つまりX線天体を観測するための軌道天文台です。X線天体といえば、ブラックホール、超新星残骸、活動銀河核、銀河団などを思い浮かべる方が多いでしょう。『ISASニュース』でも、そういった話題が多く取り上げられています。通常これらの観測は、〇〇を調べたい、という明確な目的を持って行われています。けれども、時には偶然とらえた現象が思いがけない発見につながることもあります。本記事で報告するのは、まさにそれです。太陽風を起源とする地球近傍でのX線放射という、X線天文学の世界でもあまり知られていない話ですが、「すざく」が偶然とらえた現象により、このX線放射が太陽風に含まれる電離したイオンと地球周辺の中性

水素との「電荷交換」により起きていることが確実になったのです。

「謎のX線増光」と「電荷交換反応」

1990年に打ち上げられたドイツのローサット衛星は軟X線での全天探査を行い、精密な全天地図を作成しました。その際、ローサット衛星の研究者たちは、軟X線背景放射の強度が1日程度の時間スケールで2倍以上増光する場合があることに気が付きました。X線背景放射とは、宇宙のあらゆる方向からやって来るX線のことです。軟X線領域では、半分以上が我々の銀河系の円盤やハローに存在する温度100万度程度の高温星間物質の寄与であると考えられています。けれども、これらの高温星間物質であれば、1日といった短い時間スケールで強度変動を

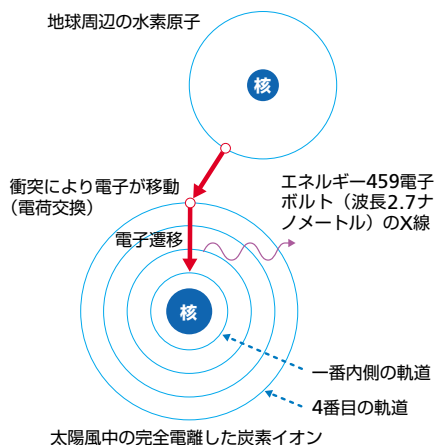


図1 電荷交換反応により中性原子からイオンに電子が移動し、決まったエネルギーの光（輝線）が放射される過程の模式図。この例では、電子が水素原子から完全電離した炭素イオンの4番目の軌道に移動し、一番内側の軌道に遷移する際にX線を放射している。

起こすことはあり得ません。この「謎のX線増光」は我々の近傍での現象によるものと考えられましたが、当時はその起源を突き止めることはできませんでした。

「謎のX線増光」の起源を解明する鍵は、まったく別のところからもたらされました。彗星からのX線放射の発見です。1996年、百武彗星が地球からわずかに0.1天文単位の距離にまで接近し、さまざま

な波長域で観測が行われました。X線は一般に温度が100万度以上の高温ガスから放射されるので、氷と塵の塊である彗星が自らX線を放射することは考えられません。しかしながら予想に反して、百武彗星からは強い軟X線放射が確認されたのです。百武彗星を契機に、彗星からのX線放射が次々と見つかり、軟X線放射は多くの彗星に共通に見られる現象であることがはっきりしました。それに伴って軟X線放射メカニズムに関する理論的、実験的な研究も進展し、ついには「彗星からの軟X線は太陽風に含まれるイオンと彗星の中性物質との電荷交換反応により放射されている」という描像が確立したのです。

電荷交換反応とは、二つの粒子（原子、分子、イオン）が衝突した際に、一方の電子が他方に移動する反応です。衝突する粒子は太陽風に含まれる高階電離したイオン（完全電離に近い炭素イオンや酸素イオンなど）、標的となる粒子は彗星や地球周辺の原子や分子です。移動した電子は衝突粒子（イオン）の外側の軌道に入り、特定の波長の光を放出して最終的に一番内側の軌道に落ち着きます（図1）。

彗星からのX線放射が電荷交換プロセスによって起こっていることが認識されるにつれ、軟X線背景放射の一部は太陽風と地球周辺や太陽圏の中性物質との電荷交換反応によるものではないか、と考えられるようになりました。また、ローサット衛星の全天探査中に見られた「謎のX線増光」は太陽風（陽子）のフラックスと相関があることが示され、その起源もまた太陽風と地球周辺の中性水素との電荷交換反

応ではないか、と考えられるようになりました。

先に述べたように、電荷交換反応が起きると高階電離したイオンから特定のエネルギーの光、つまり輝線が放射されます。ローサット衛星はスペクトル分解能が十分ではなく、これらの輝線を区別することはできませんでした。最近になって、チャンドラ衛星やニュートン衛星によって電荷交換反応によるものと考えられる輝線が報告されるようになってきましたが、これらの衛星でも軟X線に対するスペクトル分解能は十分とはいえず、さらに質の良いスペクトルデータが必要とされていました。

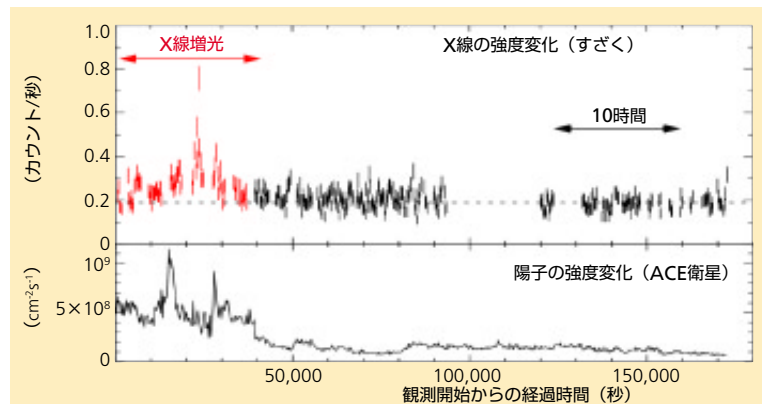
「すざく」による観測とその結果

「すざく」は2005年7月10日に打ち上げられた我が国5番目のX線天文衛星です。「すざく」にはX線CCDカメラXIS (X-ray Imaging Spectrometer) と硬X線検出器HXD (Hard X-ray Detector) の2種類の検出器が搭載されており、軟X線から硬X線に至る広いエネルギー帯域を高い感度で観測できるのが特徴です。XISは、チャンドラ衛星やニュートン衛星のX線CCDカメラと比較して、特に軟X線に対するスペクトル応答が優れています。有効面積の大きなX線望遠鏡と併せて、軟X線背景放射の研究に大きな威力を発揮します。

2005年9月2日から4日にかけて、我々「すざく」チームは、X線背景放射の観測のために「すざく」を黄道北極領域に向けていました。図2の上段に示したのは、観測期間中の軟X線の光度曲線です。これを見ると、観測前半の約10時間にわたってX線が増光していることが分かります。「すざく」が観測していた領域には明るいX線天体はなく、また対応する時間帯に増光したX線天体も存在しませんでした。増光はXISの視野全体にわたって起こっていました。図2の下段に示したのは、ACE衛星によって得られた太陽風（陽子）のフラックスの時間変化の様子で、これより「すざく」でX線の増光が観測された時期に陽子フラックスが増加していることが分かります。「すざく」による黄道北極領域の観測中に偶然、「謎のX線増光」が起きたのです。

「すざく」の特徴は、何といってもスペクトル分解能が優れていることです。我々は、増光に伴ってX線スペクトルがどのように変化したのかを詳しく調べました。図3に示したのは、X線増光が起きていないときのX線スペクトルです。横軸はエネルギー（波長）、縦軸はX線の強度で、十字で示したのが観測によって得られたスペクトルデータです。点線で示したのは、活動銀河核や系外銀河の寄与を表す成分と、銀河系内外の高温ガスからの熱放射成分（温度200万度相当）であり、これらの2成分で「すざく」のスペクトルがよく表されていることが分か

図2 「すざく」による黄道北極領域観測時の軟X線の光度曲線（上）と、ACE衛星による太陽風の陽子のフラックス（下）。赤色で示したように、観測初期の約10時間にわたってX線と太陽風の増加が見られる。



ります(図3中の緑線)。

図4は、増光時のスペクトルデータを、増光していないときのスペクトルモデルと、増光によって現れた輝線成分(単色のX線が入射した場合でもXISのエネルギー分解能の分だけ幅を持ってしまつたために、各輝線のモデル関数はエネルギー分解能の幅を持った形状になります)で表した結果です。解析の結果、増光時のX線スペクトルは、増光していないときのX線スペクトルに9本(図4ではこのうち8本が青線で示されています)の輝線を追加することで非常によく説明できることが分かりました。つまり、X線増光によって少なくとも9本の輝線が現れたのです。

各輝線のエネルギーが求まったので、それぞれがどのイオンのどの遷移に対応するかを調べることができます。その結果、増光によって現れた輝線は高階電離した炭素、酸素、ネオン、マグネシウム、鉄の輝線で説明できることが分かりました。この中で、エネルギー460電子ボルト(波長2.7ナノメートル)付近に見られる輝線(図4で赤い矢印で示した輝線)に注目してください。この輝線は、電子を1個だけ残した炭素イオンの「4番目の軌道」から最内殻軌道への遷移に対応した輝線です(図1参照)。この輝線は完全電離した炭素イオンが中性物質と衝突して電荷交換反応を起こしたときに特有の輝線であり、温度数百万度の高温ガスからこれほど強く放射されることはありません。つまり、「すざく」の観測結果は、「謎のX線」が電荷交換反応によるものであることをはっきりと示したことになります。今回の「すざく」ほど明確にこの輝線をとらえた例は、これまでにありません。

電荷交換反応はどこで起きたのか？

電荷交換反応はどこで起きたのでしょうか。図2に示した増光時のX線光度曲線の時間変化の様子と「すざく」の視線方向を詳しく調べた結果、視線方向が磁極の上空6000km程度にまで下がったときにX線が最も強くなる傾向があることが分かりました。このことから我々は、太陽風が高度6000km付近の低高度にまで入り込んで、そこで中性原子と電荷交換反応を起こしてX線を放射していると考えています(図5)。木星ではX線オーロラと呼ばれるX線放射現象が観測されていますが、「すざく」の観測結果は、それと似た現象が我々の地球でも起きていることを示唆しているのです。もちろん、このような結果が得られたのは初めてのことです。

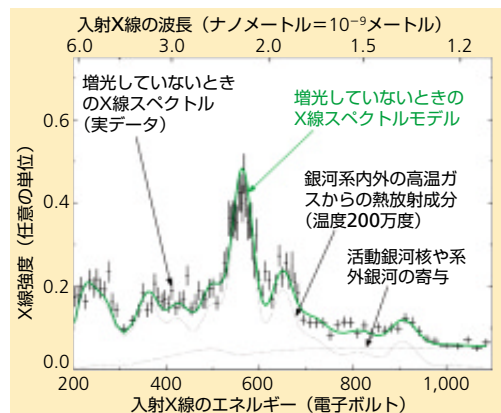


図3 増光していないときのX線スペクトル(黒の十字)とそのモデル(緑線)

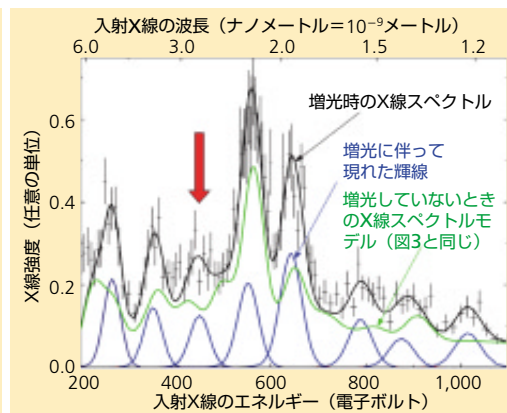


図4 増光したときのX線スペクトル(黒の十字が実データ、黒線がモデル)と増光していないときのX線スペクトルモデル(緑線)、増光に伴って現れた輝線(青線)

まとめ、そして「すざく」への期待

「すざく」による黄道北極領域のX線背景放射の観測中に、「謎のX線増光」が発生しました。我々は「すざく」の特徴を生かして良質のX線スペクトルを取得することに成功し、「謎のX線増光」が電離したイオンからの輝線放射だけで説明できることを明らかにしました。さらに、電荷交換反応に特有の輝線をこれまでになくはっきりととらえ、「謎のX線増光」の起源が太陽風イオンの電荷交換反応によるものであることを明確にしました。「すざく」の観測結果はさらに、太陽風が地上高度6000km付近にまで入り込んで電荷交換反応を起こしていることを示唆しています。

彗星の周辺部も、太陽風の電荷交換反応によって軟X線を放射しています。さらに、同様のメカニズムにより、太陽系全体もまた軟X線を放射している可能性が指摘されています。これらの放射は、地球周辺や惑星大気の外層、彗星周辺における低密度の中性物質や、太陽風のイオン組成などを観測的に調べるための重要な手掛かりとなります。その一方で、超新星残骸や銀河系内外の高温星間物質からの軟X線放射を観測する場合には、非常に厄介な存在です。高温星間物質からのX線放射と電荷交換反応によるX線放射は、空間的にもスペクトル的にも似通っており、両者を区別するのが容易ではないからです。「すざく」は軟X線に対してかつてない優れた性能を持っており、古くて新しいこの分野の研究に大きな進展をもたらすことでしょう。今後の「すざく」の活躍にご期待ください。(ふじもと・りゅういち)

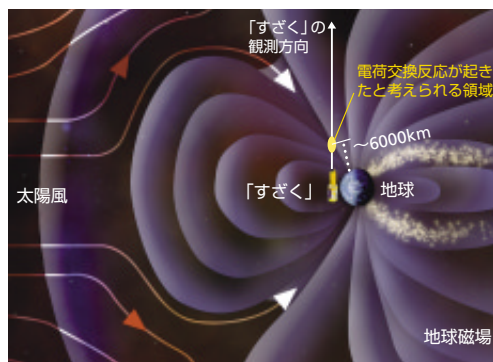


図5 地球磁場、太陽風の経路、「すざく」衛星の観測方向と、電荷交換反応が起きたと考えられる領域の模式図。背景の絵は <http://chandra.harvard.edu/photo/> による。©NASA/CXC/M.Weiss

観測ロケットS-520-23号機打上げ成功

9月、観測ロケットS-520としては約10年ぶりの23号機が、電離圏の観測のために打ち上げられました。

電離圏は観測ロケットのみが直接到達できる空間とはいっても、滞在できる時間が制限されるため、約50年の観測の歴史があるにもかかわらず、解明されていない現象がたくさん残されています。この空間の特徴は、大気が中性のガスと電離したプラズマという、異なる2種類の気体から構成されていることです。粒子は電気をもっていると電磁氣的な力を受けて運動するので、プラズマは通常、中性ガスとは異なる運動をします。電離圏に存在する2種類の異なる大気がどのような運動をし、両者の間でどのような運動量の交換（中性大気と電離大気の運動量輸送）が行われるか、さらにそれを原因として電離層に特徴的なような現象が起きているのかを調べることが、この実験の目的でした。

プラズマの動きはロケット搭載の機器で直接調べることができます。中性大気の動きを調べるために、我々はリチウムという金属を高温で気化しロケットから放出することを試みました。中性大気で流されたりリチウムは太陽光を散乱し、波長670nmで発光するので、地上から発光分布の観測が可能です。

9月2日に潮岬、宮崎、内之浦、奄美大島の4地点で観測可能な気象条件を満たし、午後7時20分にロケットは打ち上げられました（表紙写真参照）。今回の実験でのリチウム放出は地上からも観測可能で、新聞や雑誌でも多く取り上げられました。この「宇宙花火」が無事開花し、西日本の多くの観測者を満足させることができ、胸をなで下ろしています。実験を行うにあたり協力してくださった関係各位に、この場を借りてお礼を申し上げます。（中村正人）

8月の土日公開終了

今年から始めてみた8月の土日公開が終わりました。お金はないけれどもアイデアを持ち寄り、手間を少しだけかけて、より多くの方に宇宙科学に触れていただくのが狙いでした。

まず工夫をしたのは、敷居を低くすることです。そのために、学生さんなど協力いただける方を募って展示室に相談員として配置し、事前申し込みなしでも見学エリア内を自由に見学していただけるようにしました。その結果、向かいの相模原市立博物館に来られたお客さんが、帰りがけに宇宙研の展示室に立ち寄るというパターンが定着したようです。展示室は展示品の拡充のほか、あちこちにロケットや科学衛星やキャラクターのスタンプ（全46種類）を置き、小さなお子さんでも飽きずに楽しんでもらえるようにしました。また、ビデオ鑑賞ラウンジを設けて塗り絵やミウラ折りの用紙を置いたので、手先を動かしながらビデオもじっくりご覧いただけます。「ISAS文庫（仮称）」の運用も始めました。これは職員所蔵の宇宙関連の一般向け書籍を公開しているもので、夏休みの宿題の調べ物に来た生徒さんの姿も見られました。

8月中の土日公開を自分で決めた関係上、出張のない日には、私も平日のみならず土日返上で相談員席に座っていました。要するに執務室を展示室の一角に移していたわけで、衆目にさらされながらの仕事は必ずしも能率的ではありませんでしたが、見学者の方々の楽しみ方をモニ

ターでき、参考になりました。土曜日でも仕事で一般公開に来られなかったという方や、一般公開では2万人近い人出に圧倒されてしまったのもう一度ゆっくり見に来たという方、近所に住んでいながら宇宙研のことを知らなかったという方にもお越しいただけたようで、口コミで見学者数は次第に増え、8月最後の日曜日には150人が訪れるまでになりました。これが多いのか少ないのかは分かりませんが、ひとまずは成功だったのかなと思っています。子どもたちの姿があることで、職場の雰囲気も和んだように思います。予想外だったのは職員が週末に家族を連れてくるケースが多かったことで、普段忙しくしている職員が家族への説明責任を果たすのにも一役買ったのかなと、うれしく思いました。

9月以降も平日の公開は続きます。より多くの方に楽しんでいただける展示室を目指します。（阪本成一）



「あかり」の“熱い夏”

疾走するイトカワ、宇宙の彼方のベビーブーム……そして任務完了へ

今年の夏は記録的な猛暑でしたが、「あかり」プロジェクトにとっても忘れられない“熱い”夏になりました。

8月26日夕方。「あかり」は、主要任務である全天サーベイと、遠赤外線・中間赤外線での観測を終了しました。この日の17時33分、宇宙からの微弱な赤外線を観測するために、観測装置と望遠鏡を冷却していた液体ヘリウムをすべて使い切り、観測装置が暖まり始めたためです。打上げ以来550日。打上げ前の予想寿命ぴったりでした。この間、観測装置はすべて順調に動作し、遠赤外線によるサーベイは、全天の94%の領域を2回以上観測、また個別の天体を詳しく調べる指向観測は5000回を超えました。これは、打上げ前に立てた達成目標を優に超えるものです。

主要ミッション終了の報は、28日に公式に発表されましたが、それに前後して「あかり」によるホットな観測成果が、相次いで発表されました。

一つ目は、小惑星イトカワの観測に成功したという報告です。ご存じの通りイトカワは探査機「はやぶさ」が着陸し、また詳しい調査を行った、我々にとっては特別な天体です。「はやぶさ」がイトカワを離れて地球への帰途についてから約3ヶ月後の7月26日に、「あかり」は搭載された近・中間赤外線カメラ(IRC)によって観測を行いました。このとき、イトカワは地球の近くにいたので、10分強の観測中に星の間を縫ってぐんぐんと動いていくのが見えました(図1)。

すでに「はやぶさ」が詳しく調べたイトカワを、いまさら観測して何が分かるのか?と思われるかもしれませんが、「あかり」は「はやぶさ」がカバーしていない中間赤外線でのデータを取得しました。一言でいうと、イトカワの体温を測定したのです。小惑星は、自転しながら太陽にあぶられて暖められるわけですが、その結果、表面の温度がどれくらいになるかを予測する研究が行われています。イトカワのようによく調べられた小惑星のデータをもとに、予測精度を改善することで、逆に素性の知られていない小惑星、例えば将来地球に衝突する可能性のある小惑星が発見されたときに、その大きさを正確に知ることができるのです。

9月5日には、「あかり」に搭載されたもう一つの観測装置、遠赤外線サーベイヤ(FIS)の観測成果が名古屋大学から発表されました。その一つは、M101という渦巻き銀河の研究です。遠赤外線の観測では、銀河の中にある-200℃以下の冷たい塵の状態を知ることができます。一概に「冷たい」といっても、やはり場所によって温度が異なります。特に活発に星が生まれている場所では、星の光によって塵が暖められます。「あかり」の観測は、この温度差を明確にとらえて、銀河の中で星が活発に生まれている場所がどこかを教えてくれます(図2)。M101では、普通の銀河と異なり、渦巻きの腕の先でより活発なことが分かりました。おそらく、この銀河のお供をしている小さな銀河の影響ではない

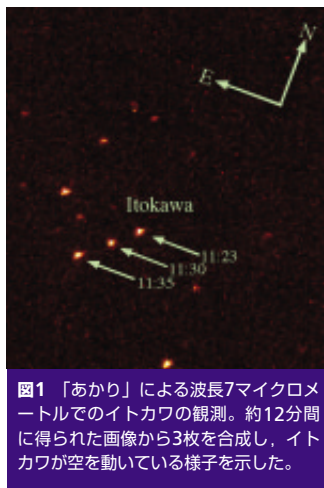


図1 「あかり」による波長7マイクロメートルでのイトカワの観測。約12分間に得られた画像から3枚を合成し、イトカワが空を動いている様子を示した。

図2 「あかり」による渦巻き銀河M101の遠赤外線データから、銀河の中の「暖かい」塵(赤)と「冷たい」塵(青)の分布を求め、可視光(緑色: The National Geographic Society)や紫外線(水色: GALEX/NASA)の分布と比べた。銀河の外側の渦巻きの腕に沿って、暖かい塵が分布していることが分かった。



か、と考えられています。

FISによるもう一つの成果は、宇宙の果ての観測です。先ほどと同様、遠赤外線による観測は、活発に星が生まれているところを教えてくれます。「あかり」は、空の南極に近い領域を、丁寧に観測しました。図3に見える白い粒々は、その一つ一つが数十億光年彼方(ということは、数十億年前)の、活発に星を生んでいる銀河なのです。今回得られたデータは、観測した空の広さ、感度ともに最大級のもです。この中に見えている銀河の数と明るさを詳しく調べたところ、宇宙の歴史、すなわち銀河の活動がどのように変化してきたのかについての我々の認識を改めなければならないかもしれない、新しい結果が見えてきました。

「あかり」は今後、機械式冷凍機による冷却と、その環境で性能を発揮すると考えられる近赤外線観測装置によって、観測を続けていきます。また、得られたデータの解析もますます活発に進められています。今後も「あかり」がもたらす新しい天文学の展開にご注目ください。(山村一誠)

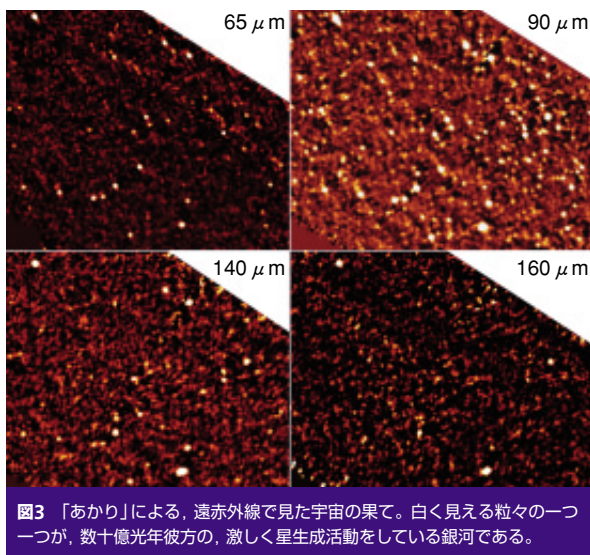


図3 「あかり」による、遠赤外線で見えた宇宙の果て。白く見える粒々の一つ一つが、数十億光年彼方の、激しく星生成活動をしている銀河である。

第6回「君が作る宇宙ミッション」

8月6日(月)、22名の高校生たちが相模原キャンパスに集まりました。今年で6回目になる「きみっしょん」。北海道から熊本まで、全国から集まった精鋭たちが、4つの班に分かれて、自分たちのミッションをつくり上げます。

「きみっしょん」は、高校生が自分たちで徹底的に考え、調べ、議論していくのが特徴です。大学院生中心のスタッフは、彼らの議論を見守り、適切で最小限のアドバイスを与えて導いていきます。初日は施設見学や、的川泰宣先生の講義で終わり、2日目から本番。

まず各自が自分のやりたいことを説明し、班としてのミッション案にまとめます。すんなり決まって、早速検討作業に入る班、やりたいことが多くて議論が発散し、なかなかまとまらない班、さまざまです。しかしどの班も、昨日会ったばかりのメンバー同士なのに、遠慮することなく議論が進んでいきます。これはすごい。

足かけ3日のミッション検討は、必ずしも順調なわけではありません。毎日夕方に行われる進捗報告会で出た質問をきっかけに、議論が振り出しに戻ってしまったり、検討事項がどんどん出てきて調査に追われたり。毎日見ていると、ミッション検討はもちろん、高校生の問題意識、取り組み方がぐんぐんと進化していくのが分かります。スタッフによれば、特に3日目の夕方ごろから高校生の顔つきがみるみる変わってきた、とのこと。

4日目の夕方、いよいよ最終発表会です。今年も、多くの職



最終日、一緒に熱く議論してきた仲間やスタッフと、記念の集合写真。

員・在勤の皆さんに見に来ていただきました。「プロ」の前での発表だというのに、みんな何と堂々としていること。質問やコメントにもしっかり受け答えしていました。発表題目は、「金星とエウロパの生命探査～セセセエイメイ～」[小デブリホイホイ～ケスラーシンドロームを食い止める!～]「宇宙旅館～光陽地(こうSUNじ)～」[火星発(初!?)の米“テツノダイチ”～移

住のための第一歩～](発表順)。いつになくユニークなミッションが出てきたと思います。

8月10日(金)、最終日。報告書をまとめ、修了証を受け取った高校生たちは、とても名残惜しそうに宇宙研を去っていきました。一人も体調を崩すことなく、最後まで過ごせたのはよかった。「中学生の時から、『きみっしょん』に来るのが夢だった」という子、「初めて、遠慮なく話を通じる友達に会えた」という子、家に帰った第一声が「帰ってきたくなかった(もっといたかった)」という子。みんなこの1週間で得難い体験をしたと思います。スタッフの皆さん、お疲れさまでした。そして、「きみっしょん」を暖かく支えていただいたハーベストの皆さん、宇宙研生協、宇宙科学振興財団、宇宙教育センター、PLAINセンターと富士通の皆さん、庶務課の皆さん、スタッフ講習会の講師をしていただいた先生方、そして各研究室の先生方に厚くお礼申し上げます。(山村一誠)

宇宙が上田に迫った

今年度の最初を飾る宇宙学校が長野県上田市の上田創造館で8月11日(土)に開かれました。

1時限目はQ and Aの時間で、嶋田徹さんの「宇宙ロケットと“流れ”のお話」、松岡彩子さんの「水星・金星・火星・木星を探検しよう」の話で始まりました。「プラズマが専門の松岡さん」という紹介に、ひとしきりプラズマの質問が集まりました。わけの分からないものを知りたいという気持ちの表れですね。

それから、国立天文台ハワイ観測所との交信の時間が1時間。ハワイ側からの布施哲治さんの説明の後で、たっぷり質問の時間が取られました。「近づくペルセウス座流星群はすばる望遠鏡でよく見えますか?」「まったく見えません……」。こういう意外性のある問答が面白いと思います。

2時限目はQ and Aの時間に戻って、阪本成一さんの「見え

ない光で見る宇宙」、山下雅道さんの「火星でのくらしー宇宙で農業ー」の話で始まりました。阪本さんは広い天文学の説明、山下さんは蚕のさなぎを含んだクッキーや、アイスプラントという植物を味わってもらいながらの具体的な話題。同じ時限の中で、質問を取り扱うのは難しいものでした。天文学からの宇宙と生きもの、という接点を取り入れるようにもしました。阪本さんは、宇宙のよくある基本的な難問を浴びせられ、「天文学者を殺す質問だなあ」と苦戦。

今回はどちらかというと原理的な話をした嶋田さんはじめ3人の講師に、具体的だった山下さん。具体的の方が質問は出やすいけれど、どちらも大切ですね。

3時限目は的川泰宣さんの講演「宇宙と子どもたち」でした。じっくりと正統的な熱弁は20分の超過をもって終わりました。

大人や高学年の子はじっくりと聞きほれ、小さな子は午後を安らかに眠るという、よき取り合わせでした。

最後に、映画「小惑星探査機『はやぶさ』」の上映。そして閉校式。

こうして、一日、宇宙が上田に迫ったのです。

上田は信州(長野県)の中でも、戦国時代の後半に歴史上名高い戦いが行われたところ。武田信玄を上田原の戦い、砥石城の戦いで2度までも大敗させた村上義清。天下分け目の関が原の合戦に向かう徳川主力部隊の秀忠軍を引き付けて上田城に戦った真田昌幸軍。

ポスターは「宇宙、上田にせまる!」と題して、宇宙をバックに騎馬軍団が迫ってきます。これは黒谷明美さんの傑作デザ



宇宙学校「天文476年 宇宙、上田にせまる!」のひとコマ

インですが、キャッチフレーズは不肖私の意見を入れていただいたものです。私は宇宙科学研究本部を離れましたが、村上義清のいた旧村上村の

出身で、また、上田高校卒業ということで、校長役にご指名頂いたというわけです。NHKの日曜大河ドラマ『風林火山』で、ちょうど前後に、「上田原の合戦」と「砥石崩れ」が放映されるというタイミングでした。

創造館の渡辺文雄館長はじめ地元側の皆さんのご熱心な準備もあって、今まででも最高級モデルの宇宙学校だったのではないのでしょうか。前日の準備後の落日のときを上田原古戦場に立ち、終了後は千曲川べりで「つけば」料理で反省会をした私たちでした。(平林 久)

宇宙環境利用科学実験用供試体の射場準備作業報告

国際宇宙ステーション(ISS)日本実験棟「きぼう」の打上げがいよいよ目前に迫ってきました。スペースシャトルと一緒に打ち上げられる流体物理実験用供試体の準備作業を、NASAケネディ宇宙センター(KSC)で、4月末から7月中旬まで延べ33日間行いました。作業は、供試体のセットアップ(輸送後点検、光学調整、試

料充填、ラベル貼付)、打上げ用梱包、宇宙飛行士による操作性や梱包状態の審査などです。実験用供試体の射場準備作業を完了し、シャトル1J/Aフライト便に載らないことには宇宙実験が始まらないので、気合を入れてKSCに乗り込みました。

前半の作業は、時間に追われながらも何とかスケジュールをキープして、順調にこなしました。いよいよ供試体セットアップ作業の最後の大詰め、緊張する作業の連続で疲れも見えてきたので無理せず確実にいきましょう、と朝会で確認した日に、目を覆いたくなるような事態が発生しました。あれは夜遅く午後10時ごろだったでしょうか。実験試料を入れるカセットの先端から、実験試料であるオイルが滴っているではありませんか。作業を即座に中断し、対策会議を行った結果、処置には試料カセットを日本に返送して修理する必要があることも判明し、誰もが肩を落とすつむいてしまいました。試料充填作業はそこで中断となりましたが、気持ちを切り替えて残りの作業に取り掛かりました。次なる難関は、宇宙飛行士による操作性審査です。この審査で重い課題を受けるわけにはいかない



宇宙飛行士による操作性審査後の集合写真

ので、我々は前日にリハーサルを行い万全を期し、指摘事項なしで審査を無事終了することができました。

その後一度帰国し、怒涛の勢いで試料カセットを改修し、7月上旬に再度KSCにて試料充填作業を行い、今回は漏れもなく作業を終了することができました。それにより、宇宙飛行士による梱包審査(ベンチ

レビュー)の最終期限に滑り込むことができました。ベンチレビューは、宇宙飛行士が梱包状態チェックをテンポよく進めます。このレビューも重い課題を背負ってしまうと打上げできなくなるので、クルーからの質問・疑問にはその場で素早く適切に回答し、審査をクリアしました。最終梱包をする段になって、この供試体も宇宙に旅立つのかと思ったら感慨もひとしおでした。

KSCではいろいろなトラブルもあったものの、一説では時速70kmで走るとされるフロリダワニに襲われることもなく、最終的には我々の実験用供試体を打上げ貨物に間に合わせることができました。実験用供試体はスモールペイロードであるにもかかわらず、射場作業は有人宇宙環境利用プログラムグループ、開発メーカ、NASAなど数百人を超える方々のチームプレーです。この場を借りて、射場チームの面々にお礼申し上げます。来年はいよいよ軌道上実験が行われます。もう一度気を引き締めて運用の準備を進めると同時に、夢と「きぼう」に向けて心弾む毎日です。(松本 聡)

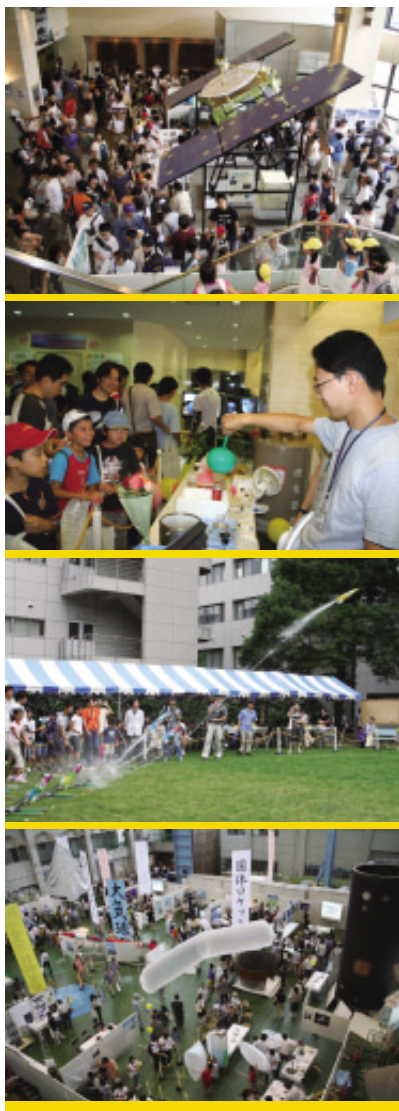
相模原キャンパス一般公開に1万6200人

さる7月21日(土)、相模原キャンパスの一般公開が行われました。開門は10時のはずだったのですが、例年のように9時半ごろには正門の前に長い列ができ、特にお向かいのフィルムセンターをお借りして始めていた水ロケットの整理券配布は長蛇の列になっていました。今年の大きな特徴として、小中学生の数が非常に多かったことが挙げられます。4月の「講演と映画の会」に高校生の姿がいつもよりたくさん見られたことを併せ考えると、我々にとってはうれしい現象でした。

今年は、新しく相模原キャンパスにできた月・惑星探査推進グループの展示もあり、また昨年同様、宇宙教育センターの参加もあって、宇宙科学研究本部単独ではない「相模原キャンパス」としての公開となりました。

話題の「はやぶさ」「かぐや」をテーマとするA棟(研究棟)1階のエントランスホールと、その連舞する天文衛星「すざく」「あかり」「ひので」の成果を展示したA棟2階は、とりわけ熱気がものすごく、進行中のミッションへの人々の期待がひしひしと伝わってきました。もちろん新A棟、D棟、飛翔体環境試験棟、構造機能試験棟をはじめとする各ブースでも、参加型の展示が工夫されていましたし、演示実験も多く行われ、あちこちに人だかりができていました。

準備の時間はそんなになかったに違いないのに、この相模原キャンパスの皆さんのバイタリティはすごいですね。あらためてそのことを感じました。準備中の議論で感



じたことは、相模原キャンパスの人たちは、自分たちのやっている仕事の中身を、原理にまでさかのぼって、一人でも多くの人に知ってほしいという意欲に満ちているということです。このあふれるような内発性がある限り、訪れた人たちの心には感動的な印象が刻み付けられるでしょう。一般公開当日における説明者と訪問者のやりとりを見ていて、そのことを実に頼もしく思いました。

思えば1990年、まだ研究所の正式な行事として認定されていなかった一般公開を、当時150人という部員を擁していたテニス部を中心として初めて実施したときは、3000人というお客さんでした。その数に所内の多くの人は驚きましたが、それでもまだ公式行事にはならず、翌年もテニス部主導で実施して5000人の集客。かくて、晴れて研究所の公式行事としての認定を受けたのでした。以来、コンスタントに1万人を超えています。

一般公開の初動を起こした人々は、次々に定年で相模原を去っていきます。宇宙科学への情熱を、年に1回くらいは一般の人々のために、胸襟を開いてさらしてみるのは、自

分自身の研究や開発の意味を社会的に問い直す立場から大切なことなのでしょう。

ともあれ、展示などの表舞台でご活躍いただいた皆さんはもちろん、目立たない陰の支えとして懸命に働いてくださった皆さんに、心から感謝致します。来年は「かぐや」のかっかくたる成果を加えて、さらに充実した一般公開にしましょう。
(的川泰宣)

ロケット・衛星関係の作業スケジュール(9月・10月)

	9月	10月
相模原	PLANET-C 構造モデル試験	
	PLANET-C プロトモデル総合機能試験	
種子島	SELENE 衛星の射場作業・フライトオペレーション	

月の地形と地下構造探査

月周回衛星「かぐや(SELENE)」に搭載される、地形カメラ(TC)、レーザ高度計(LALT)、月レーダサウンダー(LRS)により、これまでに得られていない月全球の詳細な地形と地下数kmまでの地質構造の情報が得られ、月の科学や将来の月での活動に役立てられます。

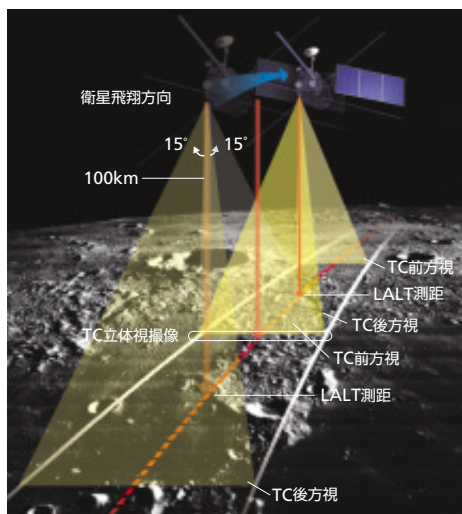
■月の地形と地下構造

月を調べることは、地球あるいは太陽系の起源や進化を知るためにも重要です。月の調査項目の中でも、表面の地形、あるいは地下の構造の調査は、最も重要なものの一つです。溶岩に覆われた大規模な「海」、「ドーム」と呼ばれる火山性の盛り上がった地形、「リル」と呼ばれる溶岩の流れた痕、奇妙な渦巻き模様構造、局所的に残る磁気異常、そして、月全体を覆う無数のクレータとそのまわりの「レイ」と呼ばれる飛散物のさまざまなパターン。月には多くの調べるべき地形、構造があります。これらの地形や構造はいつできたのか？ どうやってできたのか？ 地球との相違あるいは類似性は？

「かぐや」に搭載される地形カメラ(TC)、レーザ高度計(LALT)、月レーダサウンダー(LRS)は、これまでに得られていなかった月全球の高精度な地形や構造情報を取得し、これらの謎の解明に迫ります。また、極地域を含む月の全球にわたる地形や地下構造の詳細把握は、月での調査拠点、月からの地球や宇宙の観測、月自体やほかの天体の試料の解析といったことに用いられる月面基地建設のための貴重で重要な情報にもなります。

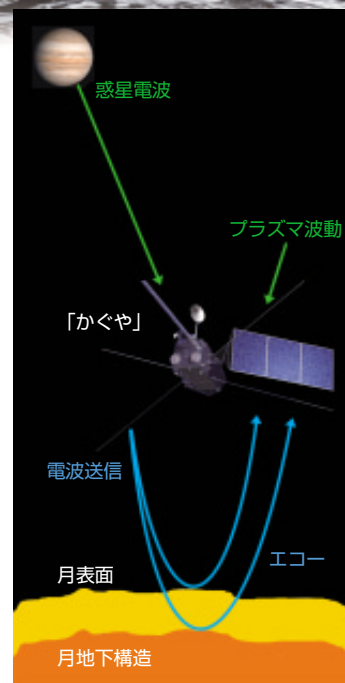
■地形カメラ(TC)

TCは、1次元CCDを搭載した2本の望遠鏡からなる、立体可能なデータを取得する機器です。TCは衛星高度100kmから空間分解能10mで月全球の均質な画像情報を収集します。また立体視撮像を行い、20m以下の高精度の月全球の数値地形モデル作成を目指します。これまでに、アポロ探査機データで10m以上の解像度の画像は一部得られているものの、それらは赤道付近の東側に限られ、



地形カメラ(TC)とレーザ高度計(LALT)による観測

ほとんどが100m程度の解像度の画像しか得られていません。解像度の高い画像が得られると、例えばクレータの把握率が高まり、クレータの分布密度を調べることで行われる年代推定精度の向上が期待されます。さらに、TCによる月面数値地形モデルは、マルチバンドイメージャやスペクトルプロファイラの地形補正にも重要な役割を果たします。



月レーダサウンダー (LRS) による観測

■レーザ高度計(LALT)

LALTは、波長約1 μm のレーザにより、5mの距離測定精度で1秒ごと(月面では約1.5kmごとに相当)の高度データを取得します。LALTにより得られる表面の起伏の詳細情報は、RSAT/VRADミッションから得られる重力場データと合わせて、月内部構造についての重要な情報にもなります。例えば、クレータなどが形成され表面物質が取り除かれると、その地下は長い年月を経て盛り上がりそうですが、地下の冷え固まりが早いと、地下の盛り上がり不完全になります。こうした状況を調べることで、月の内部の熱的な進化の解明が期待されます。また、LALTは、クレメンタイン衛星で得られていた従来の月の高度情報をはるかにしのぐ高精度かつ高頻度の月面高度データを提供するので、極域(緯度75度以上)を含む月面全体の高精度地形図作成が可能となります。

■月レーダサウンダー(LRS)

LRSは、それぞれ15mの長さの4本のダイポールアンテナを持ち、そのうち2本からHF帯(約5MHz)の電波を放射し、月表面や地下数kmからの反射波をとらえます。電波の往復時間と受信強度を解析することで、月表層下の地質構造が把握されます。これまで同種の探査はアポロ計画で一部なされただけであり、LRSにより把握される月全球の地下構造は、月の進化過程の解明に重要な情報となります。例えば、「海」の地下構造はどうなっているのか、厚い飛散物の下に過去の溶岩噴出の名残があるのか、磁気異常地域の地下には電波を反射するような岩体があるのかといったことが分かり、その詳細を研究することで月の進化に迫ります。(はるやま・じゅんいち、あらき・ひろし、おの・たかゆき、やまぐち・やすし)

ガーナ・インターネット天文台と
「黒い太陽」

8回トータル93日。私が2003年以来、これまでにガーナに滞在した日数です(最近では2007年6月下旬)。まさか自分が、これほど頻繁にアフリカの地を訪れることになるとは、夢にも思いませんでした。2002年夏の「御茶ノ水の夜」までは……。

「インターネット経由の天体観測を教育現場に提供しよう」。これは私と慶應義塾高等学校の教諭らとで1998年に始めたプロジェクトです。熊本大学教育学部の教官として、学部理科棟屋上にインターネット天文台3号機の設置を進めていた2002年夏のある夜のこと。

慶應の松本氏や信州大学教育学部の榊原氏らと酒を酌み交わしながら、いよいよ次は海外に天文台を設置したいと熱弁を振るう私でした。榊原氏が「佐藤さん、それならばガーナに設置しよう」と提案してくれたのです。氏はJICAの「途上国における理数科系教育支援」に国内委員(教員の来日研修サポート)としてかかわっており、ガーナ訪問の経験もあったのです。アフリカのことなど何も知らぬ私でしたが、いつものノリで「よし、みんなで来年、アフリカへ行くぞー!」などと杯を重ねていきました。

自宅へ戻り冷静に考えると、面白い話であり、そしてとても無謀な計画でもありました。システムの信頼度が増したとはいえ、無人運用のインターネット天文台をいきなり途上国へ置くとは……。電気もインターネットも「安心」のアメリカあたりが、無難なチョイスでしょう。「しかし……」と考えました。グリニッジ子午線上の国であるガーナは、日本と9時間、アメリカ西海岸とは8時間の時差があります。ガーナのインターネット天文台ならば、日本から昼間に星空を見ることができるだけでなく、アメリカにもそれを提供することができるのです。先進国アメリカに借りをつくる無難な計画より、苦労はあっても日

本人が途上国に設置する天文台でアメリカ人にも「昼間の星空」を届けようという無茶な冒険の方が、痛快なことに思えたのでした。

その秋に申請した科研費が翌年度付き、「御茶ノ水の夜」から1年、我々はガーナへと向かいました。初の訪ガ(2003年8月)では、現地におけるもろもろの交渉を行い、同年11月から12月にかけてテマ高等学校の屋上にインターネット天文台を設置しました。テマは、グリニッジ子午線が通り、ガーナの海の玄関として栄えている港町です。以来、天文台のメンテナンスや改良のため、同地を定期的に訪れるようになったのでした。

そして2006年3月29日、ガーナを皆既日食帯が通るという出来事が起きたのです! 地球上の一点にいて皆既日食に遭遇する頻度は、340年に1回といわれます。数年前までは縁もゆかりもなかったガーナ、そこにたまたま設置したインターネット天文台、その上を皆既日食帯が通るとは、何という偶然でしょう。もちろん「御茶ノ水の夜」には夢想だにできなかったことでした。無神論者の私ですが、このときばかりは「見えざる力に導かれた」という思いを抱きました。日食の当日は、ネガティブだった天気予報に反し、雲一つない快晴。テマ高校の先生方や生徒たちと、初めて体験する「黒い太陽」。年度をまたぐ旅行のため私費での渡航でしたが、本当に行ってよかったと思えるものでした。

最近では、訪ガの目的はむしろ「ガーナの友達に会うため」へとシフトしてきています(ちなみにガーナ、特に首都のアクラは都会で、ゾウやキリンが闊歩するアフリカのイメージはありません)。ガーナの人たちは、人なつこくホスピタリティに満ちあふれた人々です。行くたびに、何度となく酒をおごりおごられするわけですが、途上国の友人の財布へのインパクトは私が受けるそれよりもずっと大きな負担のはず。それでも笑顔を絶やさず、楽しい時間を過ごそうとするのです。そんな人々と接していると、「浮世の憂い」も忘れて、リフレッシュすることができました。ISASでかかわっている惑星科学研究に直接役立つことはほとんどないガーナですが、年に1回くらいはこれからも「命の洗濯」に訪れたいものです。

「よし、来年も、アフリカへ行くぞー!」

(さとう・たけひこ)



これまでのガーナ訪問から 上段:天文台設置時の苦勞を示す風景 中段:「黒い太陽」に感銘を受けるガーナの人々 下段:ガーナの友達と

宇宙プラズマ研究系教授
佐藤毅彦



SELENE Beckons

Lou Friedman

Executive Director, The Planetary Society

In Greek mythology Selene, the Moon goddess, chases Helios, the Sun, through the sky. This year the order is reversed: the Land of the Rising Sun will launch its own SELENE to chase the Moon – conducting the largest lunar mission since Apollo and giving birth to a new age of space exploration. With its launch, SELENE will both commemorate the past and inaugurate a new beginning in space exploration. Marking the 50th anniversary of the very first space mission, SELENE is also the very first mission in what we are calling an International Lunar Decade.

We, as Americans, as citizens of the Earth, and as The Planetary Society, representing nearly a million people around the world, congratulate our friends and colleagues in Japan for taking on this great venture. With its high-definition video images SELENE will virtually take us all to the Moon. It will be a remarkable experience for us to step outdoors and look up at the Moon at night, and then step inside and see the close-up orbital imagery from the SELENE spacecraft.

SELENE, now nicknamed Kaguya after a Moon princess in Japanese folk-literature, will carry with it 13 additional instruments. These will provide new details about the composition of the Moon, its interior structure, and the environment around it. Among the instruments will be two sub-satellites that SELENE will carry with it, and which will orbit the Moon separately from the main spacecraft. Between them the sub-satellites will make precise measurements that will help scientists accurately map the gravitational field and shape of the Moon – information that is necessary for calculating precise orbits and navigating a future lunar lander. This is the first time a mission has been tried with two sub-satellites working in concert with a main spacecraft around another world.

There have been many missions to the Moon, and 24 people have traveled there. But with the end of the Cold War and the space race between the United States and Soviet Union, interest in the Moon decreased and few lunar missions have

been launched in recent decades. But now a new era of lunar exploration begins, and Kaguya is the first of many missions planned for the next decade. Later this year, China plans to launch Chang'E-1, a lunar orbiter also named after a woman in folk-literature. India and the United States will launch lunar orbiters in 2008, and Russia, Germany and Italy are also developing orbiters scheduled to launch in the coming years. In addition, Japan, China, and India have announced plans to follow their lunar orbiters with landers, rovers and automated sample return missions within the next decade. The United States has begun a program to return humans to the Moon, and 14 space agencies from around the world have recently put together an initiative dubbed the Global Exploration Strategy to participate in human and robotic exploration of the Moon, and eventually, Mars.

Why this new interest? For one thing the Moon is a stepping stone into the solar system – the natural first step for any nation interested in space exploration beyond Earth orbit. For another, there remain many unanswered scientific questions about the Moon, relating to its origin and evolution. Answering these questions will also provide scientists with important clues to the origin and evolution of the solar system as a whole. The Earth-Moon system is unique in our solar system; it is nearly a double planet. How this came to be, and how such a situation might arise elsewhere is of great interest to scientists.

From the engineering point of view, there are those who believe that lunar resources can be found that will be of practical use in future space ventures. Speculation

about the presence of water on the Moon and the possible use of lunar soil to make fuel and power stations has interested both governments and private space companies. At present the existence of such resources on the Moon, not to mention their practical utility, is purely hypothetical. One of the main goals of SELENE is to gather scientific data that will help determine if such hypothetical scenarios can become reality.

As important as the scientific data gathered by SELENE will be, the greater significance of the mission is that it extends Japan's presence beyond Earth orbit. With SELENE leading the way Japan and the other nations preparing to launch lunar missions will join the United States and Russia in the exploration of deep space. The opportunities and benefits from space exploration are enormous – but we have learned that as missions become more ambitious and daring, they also become more complex, costly, and risky. No one nation can afford to do it all. The exploration of space will require the joint effort of many nations that will both cooperate and compete with each other, keeping sight of their national objectives while simultaneously advancing the human reach outward. Kaguya epitomizes the competitive – cooperative approach, embodying an ambitious Japanese space venture and launching world-wide International Lunar Decade of spacefaring nations exploring new worlds.

In my opinion, the most important benefit from the first 50 years of space exploration is humankind's new understanding and appreciation of its own planet, Earth. The view of Earth from the Moon and from the Apollo Moon missions profoundly changed cultural, political and environmental understanding of the Earth. This is now more important than ever

We do not know how Kaguya will change our understanding of the Moon, the Earth, or the Solar System. Exploration, as we have learned, always has its surprises. We anxiously await them.

(ルー・フリードマン／惑星協会 事務局長)

宇宙の通信屋さん

システム開発部 探査機システム開発グループ 開発員

長江 朋子

——JAXAに入って3年目ですね。今、どのような仕事をしているのですか。

長江：私は通信を専門として仕事をしています。現在は、臼田宇宙空間観測所に導入する新しい測距システムの開発・評価試験に携わっています。探査機の位置を知るために、地球と探査機の距離を測るシステムです。その測距データは探査機の軌道計算にも使われる重要なもので、短時間で精度のよい測距ができれば、軌道計算がより正確になり、探査機の運用も楽になります。

——測距の難しさは、どんなところですか。

長江：地球から電波で信号を送り、探査機で送り返されてくる信号を受信して遅延時間から距離を導き出します。しかし、はるか彼方の探査機から送り返されてくる信号は微弱で、しかも地球と探査機との長い道のりで大きな雑音が混ざり、精度が落ちたり、測距ができなくなってしまうのです。

探査機では地球から届いた信号を増幅して送り返すのですが、今までのシステムでは雑音が混ざったまま増幅するので、地球に届く信号には往復分の雑音が含まれます。新しいシステムでは、探査機で信号だけを取り出して増幅し、地球へ送り返します。ですから雑音が片道分になり、探査機がより遠くへ、例えば木星へ行っても精度よく測距を行うことができます。

この新システムは、2010年度に打上げ予定の金星気象衛星PLANET-Cから運用が開始されます。私はそのPLANET-Cプロジェクトにも携わっています。ですから、この新システムとPLANET-Cプロジェクトはとても親密なもので、責任感も感じていますし、私にとって大変想いが強いものです。

——子どものころから宇宙が好きだったのですか。

長江：プラネタリウムに行ったり、夜空を見上げて星座を見つけたりすることが好きでした。ただし、ものづくりにも関心があったので、大学では工学部へ進みました。学生時代も今も、人や何かに役立つものをつくることに興味があります。その中でも、無線通信はもっと人の役に立つはずだと思ったのです。例えば自動車でも、カーナビやETCなど無線通信を使った技術がどんどん発展していますよね。では、無線通信はこれからどんな分野で大きく発展するのか、自分はどの分野で無線通信を发展させていきたいのかと考えたときに、やはり子どものころから好きだ



ながえ・ともこ。1979年、北海道生まれ。2005年、北海道大学大学院工学研究科電子情報工学専攻修了。同年、システム開発部 探査機システム開発グループに配属。深宇宙探査対応の地上局システムの開発、PLANET-Cの通信担当、臼田局衛星運用スケジュールづくりなどを行う。

った宇宙にひかれました。大学で研究室に進むときには、宇宙分野の研究ができることを選びました。

——どのようなテーマを研究したのですか。

長江：通信分野の研究室で、宇宙以外のテーマもあったのですが、私は宇宙太陽発電システムに関する研究を行いました。宇宙で太陽光発電した電力をマイクロ波に変換して地球へ送信します。そのマイクロ波を受ける地上アンテナの研究です。宇宙太陽発電衛星にはまだたくさんの課題がありますが、実用化できれば環境問題やエネルギー問題の解決に役立つ、人のためになる研究です。研究していてとても面白かったです。だから、宇宙分野で通信の仕事がしたいと思い、JAXAを受けました。

——JAXAでの仕事はいかがですか。

長江：予想以上に地道な作業が多いですね(笑)。でも、自分で回路図を描いたりケーブルをつないだり、実際にものに触れながらの開発の仕事はとても楽しいです。

——最も印象的だったことは？

長江：たくさんあるのですが、一つ挙げるとすると2006年9月の太陽観測衛星「ひので」の打上げです。私は衛星地上班として参加し、「ひので」からの電波を受信するための仕事をしました。たくさんの人たちが一つの目標に向かって一生懸命で、努力を惜しまない。その中に自分も加われたことが、とてもうれしかったです。打上げに参加したのは「ひので」で3回目だったのですが、そのときには仕事が少し分かってきて、役に立てた、という充実感がありました。

——これからの夢を教えてください。

長江：いろいろな技術が発展しても、通信がどこまで可能かで、探査機がどれだけ遠くへ行けるかが決まってしまう。どんな要望にも応えられるように、将来を見据えて通信システムの開発を進めていきたいと思っています。測距システムも、探査機から届くさらに微弱な信号をとらえられる余地があると思います。とにかく今は与えられた仕事をしっかりとやって、もっと皆さんの役に立っていききたいですね。

ISASニュース No.318 2007.9 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ビニア 制作協力／有限会社フォトンクリエイト

編集後記

編集作業とはまったく関係ありませんが、編集期間中いつも気になって仕方ありませんでした。そう、今はこの一言に尽きます。「かぐや」の打上げが成功！素晴らしい！日本も念願の月科学探査の第一歩を踏み出す！ (田中 智)

*本誌は再生紙(古紙100%)、大豆インキを使用しています。

100
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