



観測ロケット S-520-25 号機 (2010 年 8 月 31 日 05 時 00 分 打上げ) による宇宙テザー実験

宇宙科学最前線

「れいめい」がとらえた オーロラの新しいカタチ

海老原祐輔

名古屋大学 高等研究院 特任講師

小型高機能科学衛星「れいめい」に搭載されたカメラと粒子分析器によって、これまで知られていなかったものとは性質の異なる奇妙な形を持つオーロラが見つかりました。ここでは、この発見について解説します。

オーロラの仕組み

新しく見つかったオーロラを紹介する前に、オーロラが発生する仕組みについて概説します。オーロラは、宇宙空間から地球に向かって入射する高エネルギー粒子が地上 90～300km で大気と衝突し、大気が発光する現象です。オーロラの形は大気に入射する粒子の分布で決まり、オーロラが揺らいで見えるのは入射粒子の分布が移動するためです。もし、入射粒子の分布が一樣ならば、そ

の結果生じるオーロラは夜空が一様に明るくなるだけであり、人々の関心をさほど引き付けなかったでしょう。

なぜオーロラが発生するのか、という問いは、なぜ高エネルギー粒子が入射するのか、という問いに置き換えることができます。この問いに答えるためのヒントは、オーロラとその原因となる入射粒子を同時に観測することによって得られます。地上観測拠点と人工衛星を用いてオーロラと粒子の同時観測を達成するためには、観測拠点の頭上にオーロラが現れ、オーロラの光を遮る雲がなく、かつ拠点の上空を人工衛星が通過するという、三つの大変厳しい条件を満足させなければなりません。まさに運任せです。そのため、同時観測を達成したという事例はそう多くありません。

この困難を根本的に解決したのが、2005年8月に打ち上げられた「れいめい」です。約630kmの高さでオーロラの原因となる入射粒子を観測するとともに、衛星に搭載された高感度のCCDカメラによってオーロラの細かい構造を雲に遮られることなく上から撮像することができます。

オーロラと粒子の同時観測

「れいめい」によって達成されたオーロラと粒子の同時観測の例を図1に示します。Aは典型的なアーク状のオーロラです。下段に示された入射電子束のエネルギー分布を見ると、1000電子ボルトより低いエネルギーでは右肩下がりですが、それより高いエネルギーではコブがあります。このコブは電子が磁力線方向に加速されたことを示すものです。緑色のオーロラは酸素原子が発光したもので、光らせるためには約1000電子ボルト以上のエネルギーを持つ入射電子が必要と考えられています。従って、このオーロラは下向きに加速された電子によってつくられたと理解されます。コブのピークエネルギーから、数千ボルトの電位差によって電子は下向きに加速されたことも分かります。

Bは激しく舞うオーロラです。オーロラの一部がマゼンタ色に見えるのは、窒素分子による赤色と青色の発光が卓越しているためです。これまで、マゼンタ色のオーロラはエネルギーの高い電子が入射することで発生すると考えられてきましたが、必ずしもそうではないことが「れいめい」によって分かりました。入射粒子の分布が水平方向に移動すると、発光までにかかる時間が短いマゼンタ色のオーロラが先端部分に現れ、遅れて緑色の

オーロラが現れるとすれば合理的に説明できます。

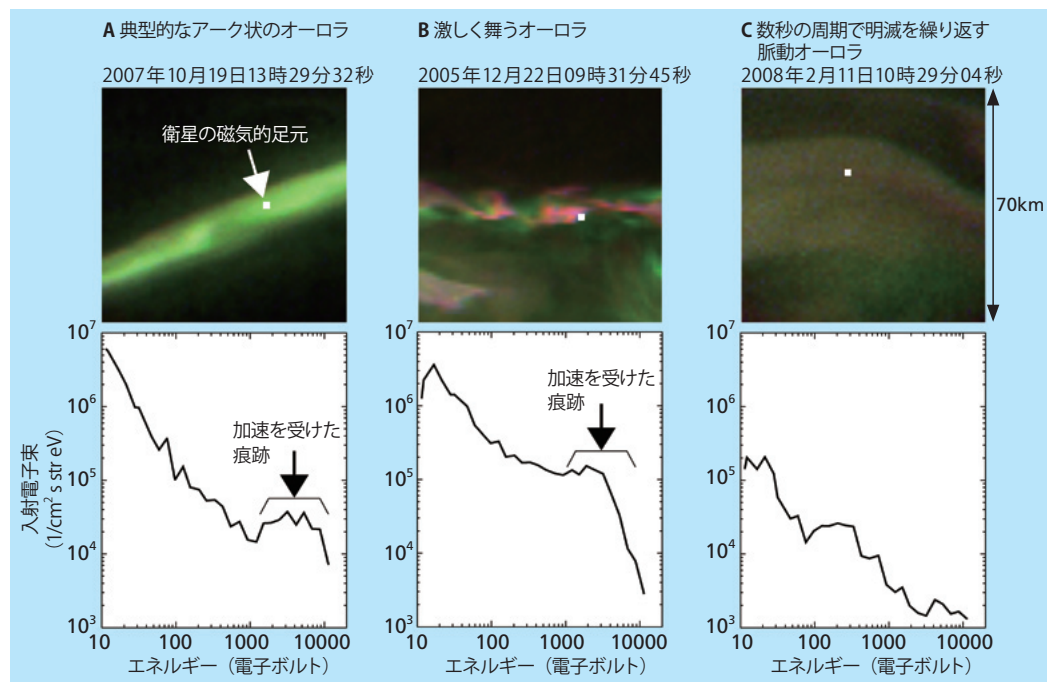
AとBのオーロラは下向きに加速された電子によってつくられました。以降、この種のオーロラを「加速型オーロラ」と呼びます。加速型オーロラの形は加速域の形をそのまま反映しています。加速型オーロラの生成メカニズムを検証する上で指標となるのが、オーロラの水平方向の厚みです。過去の研究によると、加速型オーロラはとても薄く、厚さ約70mまで薄くなる場合があるという報告もあります。Borovskyはこれまで提案されてきた21の加速メカニズムを考察しましたが、そのいずれも100m以下のオーロラの薄さを説明できないと結論づけています。

Cは数秒の周期で明滅を繰り返すオーロラで、脈動オーロラと呼ばれています。入射電子束のエネルギー分布には目立ったコブがありません。下向きに電子が加速されたためではなく、宇宙空間で強い散乱を受けた電子が入射したためと考えることができます。以降、この種のオーロラを「散乱型オーロラ」と呼びます。散乱型オーロラは一般に形がはっきりしないか、形があったとしても脈動オーロラのように準周期的に明滅を繰り返すものとして知られてきました。ところが近年、散乱型オーロラでありながら明滅をしないオーロラが報告されるようになりました。それらの散乱型オーロラの空間スケールは5～30km程度と報告されています。「れいめい」は、さらに微細な散乱型オーロラを観測しました。

奇妙な形の微細な散乱型オーロラ

「れいめい」が見つけた微細な散乱型オーロラのもザイク画像を図2の左側に示します。幾何学

図1 「れいめい」が撮像したオーロラ（上段）と入射電子束のエネルギー分布（下段）
オーロラの代表的な光の波長である緑色、赤色、青色の画像を擬似的にカラー合成した。白い点は衛星の磁気的な足元、つまり衛星を通過した磁力線がオーロラの発光層高度と交わる点を示す。磁力線に沿って荷電粒子は動きやすいという性質から、「れいめい」が観測した入射電子が白い点上のオーロラを発生させたと考えられることができる。



的な模様を組み合わせたような奇妙な形が特徴です。南米ペルーの遺跡・ナスカの地上絵に形が似ていることから、この画像を初めて見たとき地上の何らかの構造物を反映したものかと考えましたが、入射電子の観測データを調べたところ、すぐにオーロラであるとの確証を得ました。図2の右側に、磁氣的足元に沿って得られたオーロラの明るさと入射電子のエネルギー束を示します。A点からF点までの6ヶ所でオーロラの明るさが急激に増しているのが分かります。これは、左側に示されているように形のある発光域を衛星が通過したためです。同時に入射電子のエネルギー束も増えています。発光強度と入射電子がほぼ同時に増加していることは、この奇妙な形はオーロラであるということの証拠です。このオーロラは明滅をせず、入射電子のエネルギー分布から散乱型であることが分かりました。さらに興味深いのは、最も薄いところで約0.6kmと、これまで報告されてきたどの散乱型オーロラよりも薄いことです。

散乱型オーロラの形は、電子が散乱を受ける領域で決まります。散乱を受けた粒子の一部は地球に向かって降下し、オーロラを光らせます。電子を散乱させるメカニズムとして最も有力なのが、プラズマ波動です。プラズマ波動の成長率は背景となる冷たいプラズマの密度に強く依存するので、散乱型オーロラの形は宇宙空間の冷たいプラズマの空間分布を反映していると考えられます。そこで、形に関して二つの問題点に突き当たります。

最初の問題はその複雑性です。複雑な形をつくる有力な候補として、交換型不安定性が挙げられます。これはプラズマの圧力と磁場の圧力のバランスが崩れることによって生じるもので、過去の理論研究によれば、地球から遠ざかるにつれてプラズマの圧力が急激に低下すると起こりやすいとされています。サブストームと呼ばれる大規模な擾乱に伴って熱いプラズマが地球近傍の宇宙空間に局所的に注入されたとしたら、交換型不安定性が成長する条件が整うかもしれません(図3)。

次の問題はその微細性です。荷電粒子は磁力線のまわりを常に巻き付きながら旋回しているので、旋回半径以下の形をつくることはできません。地球近傍の宇宙空間では高エネルギーのイオンがプラズマの圧力を支え、プラズマ分布の形を決めるとされてきました。典型的なエネルギーを持つイオンの旋回半径は磁気赤道面で約100kmです。それに対して、0.6kmというオーロラの厚みを磁気赤道面に投影すると、わずか9kmしかありません。つまり、イオンがプラズマの圧力を支えているという従来の考え方では、プラズマ分布の微細

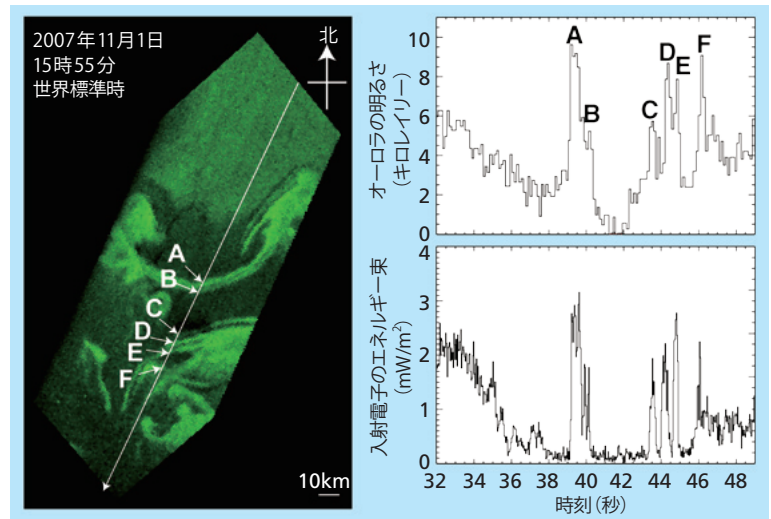


図2 「れいめい」が見つけた奇妙な形を持つ微細なオーロラ

左:「れいめい」が撮像したオーロラ。正方形の視野を重ね合わせたもの。白い線は「れいめい」の磁氣的な足元の軌跡。右上:衛星の磁氣的足元に沿ったオーロラの明るさ。右下:衛星で観測した入射電子のエネルギー束。「れいめい」は右上(北東)から左下(南西)へ移動し、複雑な形を持つオーロラをA点～F点で横切った。

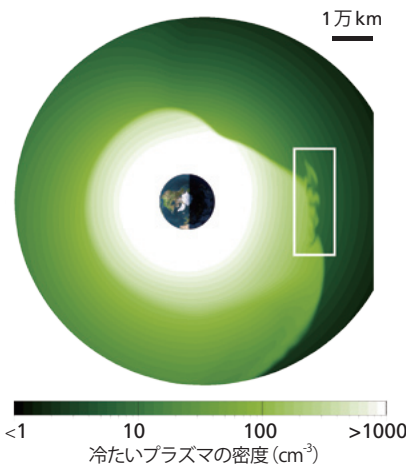


図3 シミュレーションによる地球周囲の冷たいプラズマの分布

熱いプラズマを注入すると交換型不安定性が成長し、冷たいプラズマが乱される。数千kmスケールの複雑な形が白線内に示されているが、実際には10kmスケールの微細な形がつくられている可能性がある。

性を説明できないのです。もし、イオンより旋回半径の小さい電子もプラズマの圧力を支えていたとしたら、観測されたような微細な構造をつくることのできるかもしれません。このとき静止軌道衛星 LANL-97A は、熱いイオンはほとんど変わらずに熱い電子のみが増加するという偏ったプラズマ注入現象を観測しました。これは、上の考えを支持する弱い傍証になると考えています。

むすび

地球近傍の宇宙空間では比較的滑らかにプラズマが分布していると考えられてきましたが、「れいめい」によってその考えが覆される可能性が出てきました。そして、プラズマの分布はどこまで細かいのか、という問題点が提起されました。小型科学衛星2号機候補として計画が進められている SPRINT-B/ERG 衛星は、これらの不安定性が起こると考えられるその現場で、粒子、磁場、電場、波動の総合観測を行います。そこは放射線帯として知られる相対論的な速度を持つ電子が生成される現場と考えられており、SPRINT-B/ERG 衛星は多様性に富む地球近傍の宇宙空間の真の姿を明らかにしてくれるものと、大いに期待されます。

(えびはら・ゆうすけ)

観測ロケットS-520-25号機 雑記

皆さんは“テザー”をご存じでしょうか。なじみのない言葉だと思いますが、ひもや鎖を意味します。辞書の用例では、犬の首輪につなぐひもがよく掲載されていますが、あちこち跳ね回ろうとする小犬の首輪のひもに、そっちは駄目よと張力をかけて楽しい散歩になります。登山家の命綱やつり橋のワイヤも、日常見掛けるテザーの応用です。

では、電線をテザーとして用いると、どんなことができるでしょう。磁場の中を電線が移動するとき、電線の両端に電位差が発生します。逆に電線に電流を流すと、電線は力を受けます。いわゆるフレミングの法則です。ご存じのように、地球は大きな磁石です。また、地球のまわりの大気には、電離層という電子とイオンが存在する領域があります。そこを長い電線が飛翔すると、電線の両端には電位差が生じ、電位の高いところは電子を集め、電位の低いところに電子を放出する装置を付けると電線には電流が流れます。磁場中の電線に電流が流れると力が働きます。つまり、人工衛星に導



搭載機器の最終確認の様子(内之浦にて)

電性のテザーをつなぐことで、化学燃料を使わずに推進力を得ることができるようになります。

観測ロケットS-520-25号機では、二つのテザー実験を行いました。テザーの張力でロボットの姿勢を制御する実験と、導電性テザーを伸ばして電離層中の電子・イオンを収集する実験です。ロボットの姿勢制御実験では、アームに

釣り糸(テザー)をつないだロボットを放出し、アームの動きとテザーの張力を制御しロボットの姿勢を安定させる実験に成功しました。もう一つの実験では、PETフィルムに金属箔を貼り付けたテープ状のテザーを100m以上展開し、電位および電流計測を試みるとともに、電子放出を行うホローカソードや電子やイオンを集めるブームの展開にも成功しました。

今回の実験には、首都大学東京、香川大学、静岡大学などが参加し、搭載された機器は各大学の学生の創意と工夫、多大な努力により開発されました。打上げを目前に逝かれた静岡大学の三輪周平君のご冥福をお祈り致します。

(田中孝治)

ペネトレーターのサンディア貫入実験

8月18～27日、米国ニューメキシコ州ソコーロにあるサンディア実験場で、一連のペネレーター開発の最終試験となるLGQT-1と2、2機の貫入実験を行ってきました。どこもセキュリティの管理が厳しくなっているようで、実験場を訪れた初日に受付で手続きをした後、別室に案内されてセキュリ

ティーオフィサーから説明を受け、書類にサインをさせられました。今までこのような手続きはしたことがなかったので驚きました。

今回の試験は、前回の貫入実験で不具合が発生した部分(ポッティング材中の“有害”なクラックおよび地震計のはんだ付け不良)に対する改善策の効果を確認するためのものです。この試験で対策の妥当性を検証できれば、



実験場全景

Lunar-A型のペネレーターの開発は完了となります。そのため同一設計の2機の貫入機体を用いて実験を行いました。写真は受付の建屋の前の駐車場から実験場を望んだもので、正面に見える山、丸ターツが実験場の敷地となります。我々の実験は駐車場から車で20～30分ほど行ったところ、

写真では建屋のすぐ右手に見える尾根の裏側付近で行われました。いわゆる西部劇によく出てくるような低木とサボテンが乾いた地面に点在している場所で、今回は実験中にガラガラヘビが1匹捕獲されていました。実験場内へのカメラの持ち込みは禁止されているために、残念ながらそれらの写真を撮ることはできませんでした。

貫入機体は、すでに日本に持ち帰っています。X線CT

検査、マイナス30℃の低温試験、再度のX線CT検査を経た後に切断され、ポッティング材中に搭載機器を壊す可能性のあるクラックの有無を確認するために、目視および

顕微鏡による検査を受けることになっています。低温試験後のX線CT検査を9月の最終週に行い、最終的な結果は10月末ごろに判明する予定です。(早川 基)

イプシロンロケットの開発

M-Vロケットの後継機として次期固体ロケットの研究がスタートして早くも4年がたちましたが、ようやく今夏その名を「イプシロン」と改め、宇宙開発委員会（SAC）で正式に開発への移行が承認されました。ずいぶんと待たされましたが、苦難の末に地球に帰還した「はやぶさ」からまるでバトンを渡されたかのようなこの見事なタイ

ミング。きっと何か大きな力が働いているのかもしれないね。初号機のペイロードは小型惑星望遠鏡SPRINT-A、打上げは2013年度の予定です。これからの宇宙開発は、小型で小回りよく効率的に衛星を上げていかなければ駄目。その要請にばっちり応えるのがイプシロンです。

そんなイプシロンが胸を張れるのは、何といても自律点検やモバイル管制など、未来につながる革新コンセプトです。外見は普通の固体ロケットに見えるかもしれませんが、中身はまったく違います。いうなれば、世界最高性能のブラウン管テレビをもとにプラズマテレビをつくってしまった



モバイル管制のデモンストレーション風景

ようなもの。我々は世界一の固体ロケット技術にさらに磨きをかけ、世界断トツを目指していくというわけですね。イプシロンロケットによって確立するこのような次世代技術は、H-IIAなど基幹ロケットや世界のロケットにも順次適用されていくことでしょう。また、将来の再使用ロケットの実現に必須の技術でもあります。イプシロンで目指す

のは、新しい価値の創造とその普及。まさにロケット業界のイノベーションといえるでしょう。

さて、そんなばかなことはやめろ、そんなことできるはずはない、と言われ続けてきたモバイル管制ですが、ついに形になって見えてきました。プロトタイプモデルの完成です(写真)。こうした革新技術によってロケットの打上げの手間を減らそうとしている私だからこそ言っておきますが、ロケットに命を吹き込むことができるのは開発に取り組む一人ひとりの熱意と情熱です。みんなの目の輝きがまぶしいロケット開発が本格的に始まります。(森田泰弘)

宇宙学校～みやざき・いしかわ～

宮崎科学技術館ではこれまで、「宇宙教室」という名称で、大学関係者などから講師を招聘していた。本年度の計画を立てようと思案している中、宇宙学校の開催決定の知らせの文書が5月末に届いた。その知らせに、私たちは喜んだ。そして具体的な計画を立てようとした矢先、口蹄疫が発生した。口蹄疫が急速に広がり、宮崎科学技術館も約2ヶ月間の閉館になってしまった。「宇宙学校」をはじめ、多くの予定が宙に浮いた状況になった。7月になり、口蹄疫も終息の気配を見せた。そのころ宇宙研広報の方から連絡が入り、開催までの丁寧なアドバイスを頂いた。

開催当日の9月11日、阪本成一先生をはじめスタッフの方に集まっていたが、準備を始めたころに、吉川真先生から「飛行機のトラブルで宮崎へ行くことが難しい」という連絡が入った。しかし数分後には、「何とかします」とい



「宇宙学校・みやざき」の授業風景。嶋田教授(左)と吉川准教授。

う力強いメッセージを頂いた。スタッフの方々は、動じることもなく代替案を即座に話し合われ、準備を進めておられた。

阪本先生の「宇宙学校」開校のあいさつの後、嶋田徹先生の「宇宙ロケットを語ろう」と題した授業が始まった。ここで驚いたのは、素朴な質問や奇想天外な意見にも懇切丁寧に対応され、一つの質問にいくつもの答えを返され、さらに話題が膨らんでいったことであった。専門であることに加え、実際に研究および開発に携わっているからこそ対応であると感じた。嶋田先生の授業が終わる寸前に、会場後方のドアが開き、荷物を抱えた吉川先生が入ってこられた。同時に会場はどよめいた。吉川先生の「はやぶさ」

の授業でも、大人から子どもまでが分かる言葉で、丁寧に対応していただいた。

口蹄疫を乗り越えた「宇宙学校」の開催と当日のスタッフの方々のあきらめない姿は、「はやぶさ」の7年間の軌跡と重なり、感動的で、私たちも多くのことを学んだ。今回の「宇宙学校」では、宇宙への興味を抱かせる啓発活動の大切さと宇宙研の熱意を感じることができ、宮崎科学技術館の歴史に残るイベントとなった。

(宮崎科学技術館・隈元修一)

残暑も厳しかった9月20日、石川県金沢市のいしかわ子ども交流センターを会場に「宇宙学校・いしかわ」を開催させていただきました。

1限目「見えないひかりでみる宇宙」阪本成一教授、2限目「宇宙に生命をさがす」山下雅道教授、3限目「小惑星探査機『はやぶさ』—その7年間の物語—」吉川真准教授、という大変中身の濃い内容に、石川県内はもとより富山県、大阪府、奈良県という遠方からも参加者が集まり、約70名の親子が熱心に先生方の話に聞き入りました。

トータルで3時間あり、子どもたちにとってはかなり長時間で大変な……と心配していましたが、うれしいことにそんな心配は無用でした。先生方の話にうなづく姿も多く見られ、難しい専門用語や高度な内容があったにもかかわらず、巧みな話術や面白い例え話、ときには笑も取るなど、時間が短く感じられました。宇宙について、これほど分かりやすく楽しく話を聞ける機会はめったにないな、と感じました。

お話の後30分ほどの質問時間がありました。石川県人は大人も子どももおとなしく控えめなのですが、好奇心にあふれた子どもたちは次から次へと質問を続け、大人の出席はほとんどないほど。質問も、たった今先生方の話したことに関連する内容もたくさんあり、「みんなちゃんと聞いていたなあ」と感心させられました。1限目には、「ブラックホール」について多くの質問がありました。「ブラックホールは物質を吸い込むが、限界はあるのか?」「ブラックホールに地球がのみ込まれることはあるのか?」など、大人顔負けの内容でした。2限目には、宇宙で生活するときのタンパク源として「カイコ」を食べることにより抵抗感があって、「どんな味なの?」「サナギになる前の幼虫のときでは駄目なの?」など、自分が食べるときのこと



「IKAROS」のフィルムを光に透かして、その薄さに驚いている参加者たち。

を想像していた様子の質問もありました。3限目は、最近話題の「はやぶさ」について知りたかったことが最初からあったようで、「どうして『はやぶさ』という名前なの?」「なぜ、たくさんある小惑星の中からイトカワを選んだの?」などたくさんの質問が出てきました。

休憩時間中にも、先生方のまわりにはたくさんの子どもたちが集まりました。質問し切れなかったことを聞く子や、恥ずかしくて人前では聞けなかった子たちで、わっと人だかりができました。中には大人も数名混じっていましたが、特に皆さんの興味を引いたのは小型ソーラー電力セイル実証機「IKAROS」の帆の素材で、実物!という言葉に、代わる代わるフィルムを触り、その薄さに驚いていました。そのほかにも観測用の気球の素材や小惑星イトカワの模型など、普段は触れることのできないものに目を輝かせている様子でした。

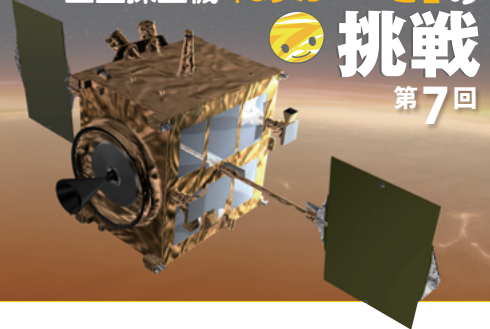
これからも、子どもたちはもちろん大人も楽しめる科学事業を、ぜひ日本各地で展開してほしいなと実感しました。

(いしかわ子ども交流センター・日光豊錦)

ロケット・衛星関係の作業スケジュール(10月・11月)

	10月	11月
大気球		日本・ブラジル共同気球実験(ブラジル)

金星探査機「あかつき」の挑戦 第7回



金星遷移軌道上での姿勢制御系確認

月・惑星探査プログラムグループ研究開発室
成田伸一郎

「あかつき」には金星大気の観測を目的として5台のカメラが搭載されています。カメラの希望する方向に探査機を向けることが姿勢制御系の主な役割ですが、金星に到着する前にもさまざまな確認を行います。

打上げから臼田第一可視まで

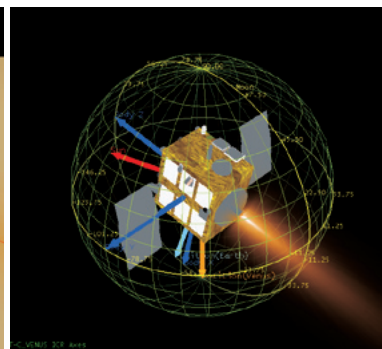
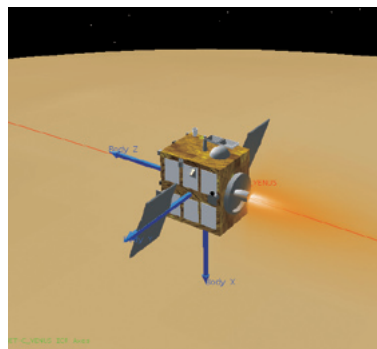
「あかつき」は打上げ後間もなくH-II Aロケットの2段目エンジンの再着火によって、金星に向かう惑星間軌道へ投入されました。分離後すぐは地上局との通信を行うことができないため、事前に自動で動作する機能を備えています。これを自律機能といいます。分離から順を追って記述すると、分離時の衝撃による姿勢の乱れを抑制する、太陽電池パドルを展開して太陽の方向に向け電力を確保する、観測カメラは太陽光を嫌うのでカメラに太陽光が入らないように姿勢を変える、といった機能があります。地上局からの通信が確保された後は、星センサによる高精度な三軸方向の姿勢決定、ホイールによる三軸方向の姿勢制御と、引き続き機器の立ち上げや機能確認が行われます。こうした機能確認を経て、「あかつき」は初めて金星へと安定した航路を取れるのです。

太陽光圧の計測期間

「あかつき」は金星に到着するまでの間、太陽光による力を受けます。これを太陽光圧といい、とても小さい力なのですが、長期間受けているとその力は徐々に蓄積され、姿勢の乱れを引き起こします。こうした力を外乱といい、金星に到着した後は太陽光圧以外に、金星からの重力や金星大気による摩擦といった外乱も考えられ、これらをすべて打ち消す必要があります。そのため、太陽光圧の影響が大きい金星に向かう遷移軌道上で、その影響を調べておく必要があります。

太陽光圧は、太陽に向かう面積と、光圧中心と「あかつき」の重心からの距離の積で決まります。「あかつき」は本体の姿勢を三軸の回転方向に、また2枚ある太陽電池パドルの回転角度をそれぞれ個別に設定することができます。これを組み合わせた合計12パターンで、太陽光圧が「あかつき」の姿勢にどれくらい影響を与えるのかを測定しました。

蓄積された外乱はホイールの反力で打ち消します。ホイールは「あかつき」の太陽電池パドル方向に最大角運動量を持つように回転数を保っています。そのため、外乱の「あかつき」の姿勢に対する方向から、ホイールの回転数は徐々に上昇、または減少していきます。ホイールはその回転軸受けを摩擦力で支えているため、なるべく一定回転速度に保っておきたいという要望があります。そのため、



姿勢系支援ツールを用いた「あかつき」金星周回軌道投入に際しての軌道投入エンジン(OME)噴射時のシミュレーション画像

外乱が蓄積し過ぎるとホイールの性能として打ち消すことができなくなるため、スラスタを使って角運動量を放出し、ホイールの回転数を定期的に調節する必要があります。これをアンローディングといいます。スラスタ噴射により金星に向かう軌道が少しずつずれてしまう可能性があります。そのためにも遷移軌道上で太陽光圧の影響が小さい姿勢を探しておくことは重要です。

修正ΔV(OME試し噴き)

6月末には、500N軌道投入エンジン(OME)を約13秒噴射して軌道修正を行いました。金星への到着は12月の初頭を予定していますが、非常に速い速度で飛行しているため、そのままでは金星を通り過ぎてしまいます。そこで、今度はOMEを噴射して減速する必要があります。自分の半分以上の重さの燃料を最大で1000秒近くかけて噴射します。この大幅な減速により、ようやく「あかつき」は金星を安定して周回、観測することが可能になるのです。

6月末に行われた軌道修正は、OMEの推力方向と重心位置のずれを推定することも兼ねています。このずれは地上で計測を行っていますが、打上げ時の衝撃や微小重力下で変化することもあり、軌道上で変化がないか再度調べる必要があります。OMEの推力方向は重心点の近くを通るように設計されています。重心位置がOME推力方向とずれていると、噴射したときに姿勢を回転させる方向に力が働いてしまいます。このように姿勢制御系は外乱だけでなく、「あかつき」の内部に原因がある力も抑制する必要があります。OME噴射の最中も姿勢が傾いた場合は、スラスタを用いてそれを戻すように制御を行います。しかし、ずれが大きい場合は噴射した瞬間に大きく姿勢が傾いてしまうため、希望とする方向に推力を出すことができません。このずれは10mm以下とするように設計していましたが、OME噴射後の慣性センサの値から、重心位置のずれは約1.6~1.7mmと小さい値であることが推定できました。

(なりた・しんいちろう)

火星生命探査に向けて

ロシア出張記

2010年9月6日から8日にかけてロシアで行われた、European Astrobiology Network Association (EANA) の第10回ワークショップに参加しました。EANAは、ヨーロッパ各国にあるアストロバイオリジーグループのネットワークで、現在17ヶ国が加盟しています。ヨーロッパ以外の国としては、日本、中国、アメリカがassociate memberとして参加しています。本ワークショップは毎年1回開かれるもので、今年はモスクワ近郊のPushchinoで行われました。

今回私は、日本の火星探査計画MELOS (Mars Exploration with Lander-Orbiter Synergy) の中で検討している生命探査プロジェクト (代表：東京薬科大学 山岸明彦教授) の概要を、国際会議の舞台で初めて披露するという大役を

仰せ付けられました。私では力不足だろうと思ったのですが、皆さまお忙しく、日本からは私一人が参加することになりました。ロシアと聞くと、寒い、軍事大国、男性の平均寿命60歳以下……、このような暗いイメージがわく方もいるかもしれませんが、私は10年前に初めてモスクワを訪れて、サーカスやオペラ、地下鉄構内の芸術的装飾など、ロシア文化の奥深さに触れて以来、ロシア好きになりました。今回は4回目の訪問になりました。

モスクワのシェレメチエボ国際空港は、昨年末に新しいターミナルが完成してきれいになりました。前回モスクワを訪れたときは、薄暗いターミナルの中、入国審査を通過するのに2時間もかかるというひどい目に遭ったので、今回は飛行機を降りてから駆け足で入国審査に向かいました。そのかいあってなのか、新しいターミナルになってシステムが変わったからなのかは分かりませんが、幸い今回はすんなりと通過できました。今年のモスクワは記録的猛暑とスモッグで、日本でもたびたびニュースになりましたが、訪れたときはスモッグもなく、朝晩は寒いくらいの気温でした。

ワークショップが行われたPushchinoは、英語風に見ると「プーシチノ」ですが、ロシアでは「プシュナ」と呼ばれています。モスクワの南120kmにある、人

口2万人くらいの小さな街です。生物系の研究所や電波望遠鏡の観測所 (Pushchino Radio Astronomy Observatory)などで構成されるPushchino Scientific Centerがあり、学術都市という雰囲気です。少し離れたところには、自然博物館やバイソン (ヤギウの仲間) の飼育センターがあるなど、森に囲まれた自然豊かな地域です。

ワークショップの会場は、永久凍土などを研究している土壌科学系の研究所で、オープニングセレモニーでは中学生ぐらいの少年グループによるジャズ演奏がありました。ロシアとジャズというのは意外な組み合わせに思えるのですが、ロシア人に聞くと、ロシアではジャズはとても人気があるそうです。

今回の参加者は100名程度で、発表はオーラルとポスターのセッションがありました。オーラルは、地球初期の生物圏形成、化学進化、極限環境生物、火星、月などのセッションがあり、南極氷床下に存在するボストーク湖をモデルとしたエウロパでの生命探査、永久凍土中の微生物とバイオテクノロジーへの応用など、興味深い発表が多くありました。

私は、火星生命探査に関するオーラル発表と、蛍光顕微鏡による極限環境微生物の検出法についてのポスター発表を行いました。これまでの生命探査は、過去に水が存在した場所から生物の痕跡を探すことを中心に進められてきましたが、私たちのプロジェクトでは近年火星で見つかったメタンに着目し、メタンと火星表面付近にある硫酸塩や酸化鉄などの酸化物を餌として利用する微生物 (メタン酸化菌) を、蛍光顕微鏡などで検出する方法を検討しています。この方法では、メタンが発生している場所を探し出し、その表面付近を探査すればよいと、地中深く掘削する必要がないという利点があります。私の発表は、幸い両方とも好評で、多くの参加者と有意義なディスカッションをすることができました。特に火星に関する発表は、日本が火星探査を検討していることを知らない研究者が多く、今回の発表が多少なりとも宣伝になったのではないかと思います。火星については、ESA/NASAのExoMarsやロシアのPhobos-Gruntについての発表もあるなど、EANAでも大変関心が高く、また競争の激しい分野です。私たちはまだスタートラインに就いたばかりであり、今後、国際社会の中で存在感を示せるような提案を目指して研究を進めていかなければと、あらためて気を引き締めることになったロシア出張でした。

(よしむら・よしとか)



ワークショップの合間に訪れた電波望遠鏡の観測所。参加者の一人のロシア人生物学者は、「この電波望遠鏡は教科書などではよく見ていたが、まさかここにあるとは思わなかった」と言っていました。ロシアでは歴史のある望遠鏡だそうです。

吉村義隆

宇宙科学研究所客員教授
玉川大学農学部生命化学科教授



「ようこう」「ひので」への英国の参加

Len Culhane

ロンドン大学・マラード宇宙科学研究所

英国は大成功を収めたX線天文衛星「ぎんが」の開発にすでに参加していたが、英国の太陽物理学のコミュニティにとっては「ようこう」が日本の太陽物理学ミッションへの初めての参加であった。ブラッグ結晶分光器(Bragg Crystal Spectrometer: BCS)の英国側の主任研究者として、私は米国のNRLハルバート・センター、英国のラザフォード・アップルトン研究所、ならびに英国のマラード宇宙科学研究所および日本の国立天文台(NAOJ)の研究者で構成されたチームのリーダーを務めた。宇宙科学研究所(ISAS)はスケジュールを厳密に守るという点で非常に高い評価を得ており、それは日本の宇宙科学プログラムの傑出した特性として、ヨーロッパ人の羨望的となっている。初めての打ち合わせでプロジェクトリーダーだった田中靖郎先生が私に鋭い視線を向けて「もしBCSの納期が遅れたらあなたの責任を追及しますよ」と言ったときも、私は驚かなかった。幸いにも我々はスケジュールを守ることができた。確かにほらほらする場面もあった(写真)。「ようこう」は打上げ後、最初の周回で2つ目の太陽電池パドルの展開確認信号が届かなかった。しかし、次の受信時のデータから、両パドルがフルパワーで発電していることがはっきりした。

「ようこう」は素晴らしい成果を収めた。1991年8月30日に打ち上げられ、2001年12月14日までの10年間以上、すなわち太陽活動周期のほぼ1周期を観測し続けた。主として太陽フレアの研究を目的として観測装置が設計され、その結果、我々の太陽フレアに関する理解が大きく進展した。ISASで開発された独創的な硬X線望遠鏡(HXT)とBCSは、軟X線望遠鏡(SXT)とともに、日本で理論的研究が特に進んでいる分野であるフレアの磁気再結合モデルの実証を含むいくつかの主要な発見をもたらした。さらには、日米協力で実現したSXTは、より広範囲の物理現象の撮像観測を可能にした。コロナ減光領域、すなわち、

コロナ質量放出(CME)に続いて現れるプラズマの大きな流出領域の発見、ならびにS字型磁場構造、すなわちシグモイドのCME噴出を発生させる可能性が最も高い構造としての同定など、傑出した成果が得られた。「ようこう」の成果により、日本のプログラムは世界の太陽物理学の先端に躍り出た。

「ようこう」の成功に続き、ISASとNAOJはさらに高度のミッションに挑んだ。Solar-Bは、JAXA(ISASも統合)により2006年9月22日(世界時)にM-Vロケットで打ち上げられ、「ひので」と命名された。主要観測機器として日米協力で製作された口径0.5mの太陽可視光望遠鏡(SOT)は、宇宙に打ち上げられた最大の太陽観測望遠鏡である。英国は米国・日本と3国のコンソーシアムを組みEUV撮像分光器(EIS)を開発し、X線望遠鏡(XRT)は日米協力で製作された。私はここでもEISチームのリーダーを務める榮譽を得た。EISの設計コンセプトをまとめた最初の重要な討議は、1997年に私が「ようこう」のデータ解析でISASに3ヶ月間滞在したときに行われた。

「ひので」は打上げ以来現在まで約4年運用され、太陽に関する人類の理解に革命的な変化をもたらしている。SOTは極地方で強力な(約1キロガウス)垂直磁場の存在を発見した。この磁場は、太陽の両極から高速に流れ出る太陽風の加速と深く関連していると考えられている。太陽表面上の200kmを空間分解できる能力により、スピキュールとプロミネンスの構造においてアルヴェン波の存在を初めて検知できた。プロミネンスでは磁場上を約20km/sの速度で上下に流れるスレッドが発見されたが、磁氣的に閉じ込められた巨大な低温プラズマ構造での予想外の現象であった。XRTとEISは、活動領域からの継続的なプラズマ流を初めてとらえた。これは地球付近で観測される低速の太陽風の形成に大きく寄与している可能性がある。「ようこう」により初めて発見されたコロナジェットに関しては、初速度がアルヴェン速度に近い約800km/sもあることを、XRTがとらえている。

「ひので」はこれ以外にもさまざまな傑出した結果をもたらしており、また新しい太陽周期での太陽活動が始まるとともに、より速いペースで成果を得ようとしている。ISASの努力の結果、NAOJ、京都大学およびその他の大学の日本人太陽研究者は、この分野における世界のリーダーとなっている。米国とヨーロッパの同僚たちは、次の日本の太陽物理学ミッションに協力することを、強く希望している。

(レン・カルヘン)

原文はISASホームページに掲載されています。



「ようこう」打上げ直後の内之浦テレメータセンターの様子。ディスプレイを見つめる関係者の顔に不安の色が浮かんでいた。

物質の輪廻を追い掛けたい

赤外・サブミリ波天文学研究系 教授

松原英雄

—— 今日、特別にお持ちくださったものがあるそうですね。

松原：自宅の本棚から本を1冊持ってきました。藤井旭さんの『星の一生』（あかね書房・科学のアルバム）です。小学生のときに親にせがんで買ってもらい、毎日のように見ていました。私のバイブルであり、私の人生の中でとても重要な意味を持っている本です。

私がこの本に興味を持ったのは、美しい天体写真ではなく、星間ガスから星が生まれ、一生を終えるとガスに戻っていくという、物質の輪廻を説明したイラストでした。そうした星の一生のサイクルが宇宙の歴史の中で何度も繰り返されていると知り、とてもワクワクしました。

—— 宇宙に興味を持った最初のきっかけは？

松原：両親と見た映画、『2001年宇宙の旅』です。宇宙に人が出ていく時代が来るというのは衝撃的でした。自分が宇宙に行くのは無理だろうと子ども心にも思い、せめて宇宙について研究する仕事ができればいいな、と考え始めました。私は子どものころから一つのことを熱中するところがあり、例えば準星という謎の天体があると聞けば、とことん調べなければ気が済まない。やがて物理学者になりたいと思うようになり、湯川秀樹先生がいた京都大学へ。

—— 赤外線天文学を専門に選んだ理由は？

松原：京大には天才肌の人がたくさんいました。その人たちと競うのは私には無理だと思い始めたころ、京大の長谷川博一先生たちが書かれた『暗黒星雲を探る』（講談社・ブルーバックス）を読み、赤外線天文学という新しい分野があると知りました。未開拓の分野なら自分にもできるかなと……。

—— 赤外線を使うと何が見えるのですか。

松原：宇宙にはちりやガスがたくさんあり、可視光線を遮っています。赤外線を使うと、ちりやガスを突き抜けて、その奥を見ることができるようになります。また、宇宙は遠くを見るほど過去を見ることになります。タイムマシンみたい。それが天文学の面白いところです。宇宙は膨張しているので、遠くの天体から出た可視光はドップラー効果によって波長が伸び、赤外線として私たちのところに届きます。赤外線を使うと、昔の宇宙を見ることが出来ます。

—— 2006年に打ち上げられた赤外線天文衛星「あかり」には開発段階から携わりました。

松原：赤外線観測の多くは気球や観測ロケットを使って行われて



まつはら・ひでお。1961年、名古屋市生まれ。理学博士。京都大学大学院理学研究科物理学第二専攻で博士号取得後、名古屋大学助手を経て、1998年、宇宙研助教授。2005年より現職。総合研究大学院大学教授、東京工業大学大学院連携教授を併任。専門は赤外線天文学。

いました。観測時間は10分ほど。1995年には宇宙赤外線望遠鏡IRTSを多目的実験衛星SFUに搭載して観測していますが、観測は40日間だけ。それではできることに限界があり、世界が認める成果を出すことはできません。

そこで、「あかり」を開発し、打ち上げました。「あかり」は20年ぶりに全天の赤外線地図を書き換えるという大仕事をしました。また、空の一部を重点的に観測し、約2万個の遠方の赤外線銀河を発見しています。

—— 「あかり」の次の計画は？

松原：2018年度の打上げを目指し、SPICAプロジェクトを進めています。「あかり」の赤外線望遠鏡は口径68.5cmですが、SPICAは3mクラスになります。SPICAは、ESAなどが参加する国際ミッションで、中心となっているのは日本です。

—— 日本が中心となった理由は？

松原：日本は世界トップの冷却技術を持っているからです。温度が高い物体ほど強い赤外線を出します。望遠鏡が温かいとそこから出る赤外線がノイズとなり、精密な観測はできません。「あかり」は、液体ヘリウムを搭載し、望遠鏡を絶対温度6K（マイナス267℃）まで冷却していました。しかし2008年には液体ヘリウムがなくなり、その後は機械式冷凍機で冷却していました。SPICAは、液体ヘリウムを持っていきません。私たちが開発した新宇宙用冷却システムを使い、望遠鏡全体を絶対温度6K以下にまで冷却します。液体ヘリウムの量に左右されずに、観測を続けることができます。

—— SPICAにどのような成果を期待していますか。

松原：私が知りたいのは、宇宙が誕生してから現在までにどのようなことが起きたのか、という宇宙の歴史です。誕生したばかりの宇宙には、水素とヘリウムだけしかありませんでした。そこから星が生まれ、銀河が生まれた。星の中で新しい元素がつくられ、それらを材料に次の世代の星や銀河が生まれ、進化してきました。100億年前の銀河は現在の銀河とどう違うのだろうか。物質はどのように輪廻してきたのだろうか。私たちはどこから来たのだろうか……。小学生のとき『星の一生』を見て思ったことを、今も追い掛けています。

ISAS ニュース No.355 2010.10 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

〒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

記録的な猛暑が長く続いたと思ったら、いきなり秋が来ましたね。今年度前半は「あかつき」「IKAROS」「はやぶさ」を筆頭に、ISASも熱かったですよ。1年で一番良い季節を楽しみつつ、後半も充実した活動を進めていきたいと思います。（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