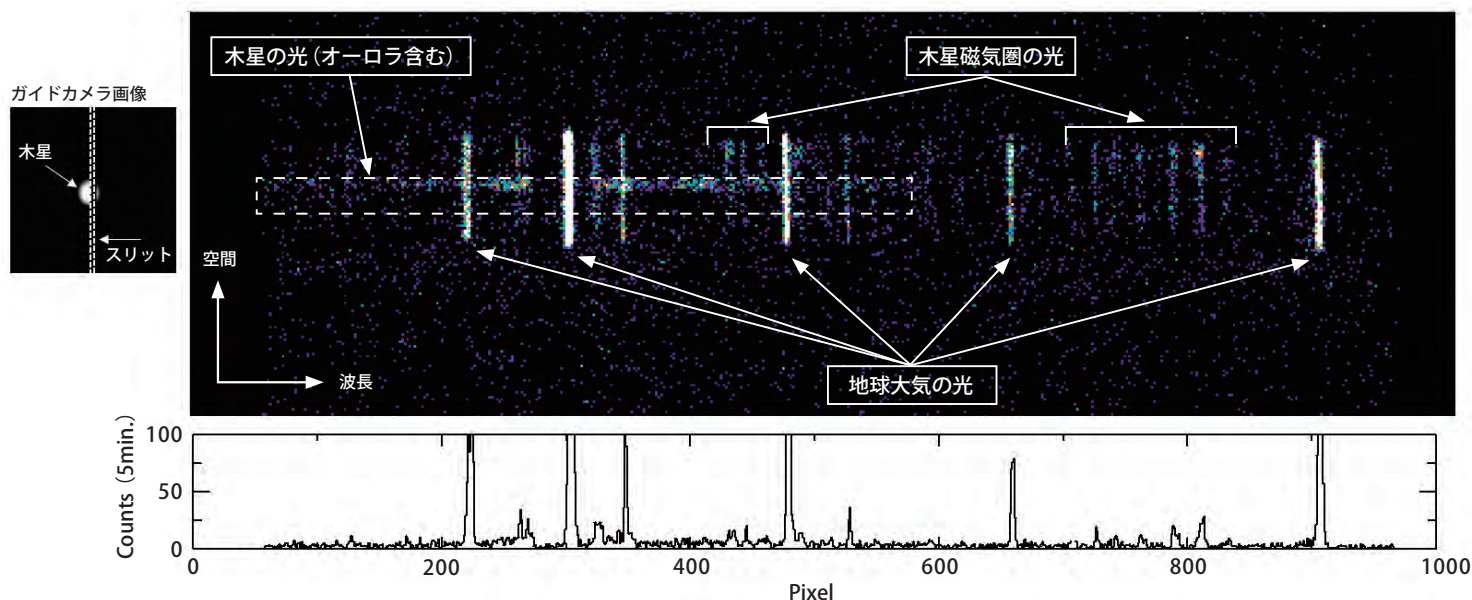




惑星分光観測衛星「ひさき」が撮像した木星のスペクトル

宇宙科学最前線

ジオスペース探査衛星 ERG プロジェクト

宇宙科学研究所 太陽系科学研究系 准教授

高島 健

名古屋大学 太陽地球環境研究所 准教授

三好由純

ジオスペースとは

地球のまわりの宇宙空間、ジオスペース (geospace)。ここは太陽から噴き出しているプラズマ流 (太陽風) と地球の磁場、超高層大気がダイナミックに相互作用している世界です。地球表面から宇宙空間に向かうにつれて、熱圏、電離圏、そして磁気圏と呼ばれる中性大気から電離気体であるプラズマが支配的な領域へと変化していきます。図1に、ジオスペースの概念図を示します。例えば、皆さんがよくご存じのオーロラは、このジオスペースで起きている最も魅力的な現象の一つで、宇宙空間にある電子やイオンが地球の超高層大気に降り込むことによって発光します。

ジオスペースは、私たちの生活に関わるたくさ

んの人工衛星が運用されている領域でもあります。例えば、気象衛星「ひまわり」や多くの通信衛星は、静止軌道と呼ばれる高度約3万6000kmを飛翔しています。一方、日本人宇宙飛行士も活躍している国際宇宙ステーションは、地球に近い高度数百kmの電離圏上部を飛翔しています。このように、ジオスペースは人類が利用し、そしてこれから本格的に進出する最も身近な宇宙なのです。

ジオスペースには、さまざまなエネルギーを持ったプラズマや粒子が存在しています。1電子ボルト (温度が約1万度) 以下の“冷たい”プラズマである「プラズマ圏」、数〜数十キロ電子ボルトのエネルギーを持ちジオスペースに強い電流を流したりオーロラを光らせたりする「プラズマシート・環電流」、そしてメガ電子ボルト以上のジオスペース最

高のエネルギーを持つ「放射線帯」と、6桁以上異なるエネルギー帯のプラズマや粒子から構成されています。

ジオスペースと宇宙天気予報

ジオスペースは、決して静かな場所ではありません。太陽での爆発現象などに伴う擾乱によって、激しい太陽風がジオスペースに到来すると、宇宙嵐 (geospace storm) と呼ばれる大変動現象が発生します。このとき、ジオスペースにはとても強い電流が流れ、また北極や南極では激しいオーロラ活動が発生します。

このとき、放射線帯の粒子はとても不思議な振る舞いをします。宇宙嵐が起これば、それまで放射線帯に存在していた電子は一度消えてなくなります。そして、宇宙嵐が収まっていくにつれて再び出現し、そして宇宙嵐が起これる前よりも数が増えることもしばしば起こります。

では、どうして宇宙嵐が起こればエネルギーが高い電子の数が増えていくのでしょうか？ その仕組みについてさまざまな可能性が提案されていますが、まだよく分かっていません (『ISAS ニュース』2006年5月号参照)。アイデアの一つは、「外部供給」と呼ばれる考え方です。図1のプラズマシートと呼ばれる場所から放射線帯の中に、電子が供給されるというものです。一方、最近注目されているのは、「内部加速」と呼ばれる、放射線帯の中でプラズマの波と電子がエネルギーを交換して放射線帯のエネルギーが高い電子が増えていくというものです。この内部加速では、環電流・プラズマシート、プラズマ圏といった異なるエネルギー階層のプラズマ・粒子群すべてが、プラズマの波を介して動的に結合し、放射線帯の電子を増やすのに関わっていきます (このことを「エネルギー階層間結合」と呼びます)。

宇宙嵐のようなジオスペースの変動現象は、人間の宇宙活動を脅かす危険な存在でもあります。高緯度地方では、宇宙嵐のときに流れる強い電流

によって電力施設が影響を受け、広範囲に停電が起これることがあります。また、電離圏の状態が乱れることによって、衛星を利用した通信や放送、GPS信号に影響が出ることもあります。さらに、放射線帯のエネルギーが高い粒子は、人工衛星の異常や故障を引き起こしたり、宇宙飛行士の健康に影響を及ぼしたりします。

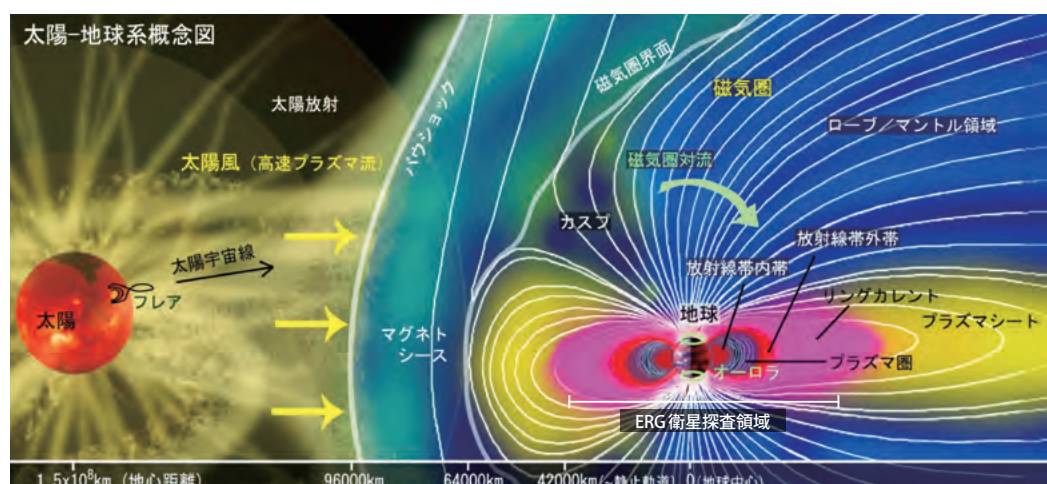
このような私たちの生活に密接に関わる宇宙空間の現象のことを、宇宙天気 (space weather) と呼び、その変動の予測のことを天気予報になぞらえて宇宙天気予報 (space weather forecast) と呼びます。ジオスペース環境の把握とその変動の予測は、私たちが宇宙を利用していく上で必要不可欠なものになっています。そして、放射線帯粒子の変動の理解と予測は、宇宙天気研究の中でも最重要課題として位置付けられています。

放射線帯と宇宙嵐の謎に挑む ジオスペース探査プロジェクト

この放射線帯の粒子変動と宇宙嵐のダイナミクスを解明するために、2015年度の打上げを目指して、ジオスペース探査衛星計画 (ERG) が進められています。ERG衛星の軌道は、放射線帯の中心部分を直接観測できる楕円軌道に設計されており、約8時間で地球のまわりを一周します。図2にERG衛星の外観を示します。ERG衛星は、惑星分光観測衛星「ひさき」と同じくイプシロンロケットで打ち上げられる科学衛星で、合計9台の科学計測器が搭載されています。

すでに述べたようにジオスペースには、6桁以上の広いエネルギー帯にわたるプラズマや粒子が存在しています。エネルギー階層間結合を理解するためには、広いエネルギー帯を計測することが必要不可欠です。ERG衛星は、12電子ボルトから20メガ電子ボルトにわたる広いエネルギー帯の電子の計測と、10電子ボルトから180キロ電子ボルトまでのイオンについて水素や酸素といったイオンの種

図1 太陽-地球系概念図
太陽から噴き出す超音速のプラズマ流 (太陽風) によって地球磁気圏が形成される。ERG衛星が探査するのは、放射線帯と呼ばれる領域である。(courtesy of K. Seki, Nagoya University)



類ごとの計測をします。これほど広いエネルギー帯を一つの人工衛星で計測するのは、世界的にもほとんど例がなく、日本ではERG衛星で初めて実現されます。

これらのプラズマ・粒子計測器のうち、数十キロ電子ボルトのエネルギー帯の電子やイオン計測器は、日本で初めて開発され、人工衛星に搭載される技術です。さらに、ERG衛星が飛翔する放射線帯は、エネルギーが高い粒子が飛び交う過酷な放射線環境のため、人工衛星の運用や精密な科学計測にとってはとても厳しい環境です。ERG衛星では、このような強い放射線環境の中で、高精度の科学計測を実現するためのさまざまな技術が盛り込まれています。それらの新しい技術は、ERG衛星で実証され、将来の木星などのより放射線環境が厳しい場所での観測に活かされていくのです。

また、ジオスペースに存在するさまざまなプラズマの波や電磁場を計測するための装置を紹介します。放射線帯の変動に関わる電場や磁場の変動は、広い時間スケール（周波数帯）に広がっています。ERG衛星では、直流から10メガヘルツまでの電場と、100キロヘルツまでの磁場の計測を実現します。

これらのプラズマ・粒子、電場や磁場の観測器に加えて、ERG衛星には、世界で初めてとなる新しい装置、波動粒子相互作用解析装置が搭載されます。「内部加速」で重要となる、プラズマの波と電子とのエネルギー交換過程は、宇宙空間ではほぼ普遍的に起きていると考えられているにもかかわらず、エネルギーをやりとりしている時間が極めて短いために、誰もその現場を見たことがありません。ERG衛星では、日本独自のアイデアと技術によって、10マイクロ秒で電子を計測する技術を確立しました。この技術を用いて、世界で初めてプラズマの波と電子がエネルギーを交換する様子を直接計測し、エネルギーが高い電子が生まれてくる現場を見ようとしています。

ERGプロジェクトチーム： 衛星—地上—シミュレーション

さて、人工衛星による「その場」観測は、地上からでは得ることができない詳細な情報をもたらしますが、それは広大なジオスペース空間の中のわずか一点です。ジオスペースのほかの場所で何が起きているかを知らなくては、放射線帯の変動や宇宙嵐の様子を理解することができません。そのためERGプロジェクトは、図3に示すように、太陽地球系科学コミュニティのさまざまな観測・研究手法を結集した多彩なチームから構成されています。

その一つが、ネットワーク地上観測です。近年、太陽地球系科学では、世界中にオーロラ観測カメ

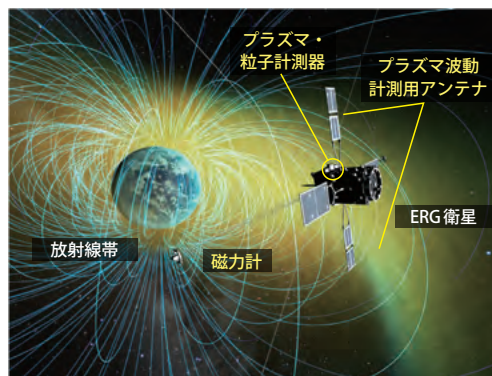


図2 放射線帯の中を観測するERG衛星（想像図）
ERG衛星には合計9台の科学観測装置が搭載される。

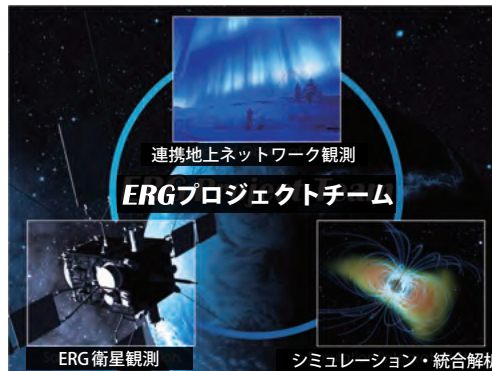


図3 ERGプロジェクトチーム
ERGプロジェクトは、ジオスペース探査衛星、連携地上ネットワーク観測、シミュレーション・統合解析の三つのチームから構成されている。

ラを展開したり、レーダーを建設し電離圏のプラズマ流を計測したりといったことが、国際協力のもとで推進されています。さらに、このような多様なデータを解釈していくためには、さまざまな観測データをシミュレーションと組み合わせしていく統合解析的なアプローチが欠かせません。ERGプロジェクトには、シミュレーショングループも参加し、観測データと直接比較可能なシミュレーションの開発を急ピッチで進めています。

このような衛星、ネットワーク地上観測、シミュレーションの統合解析研究を効果的に進めていくために、宇宙科学研究所と名古屋大学太陽地球環境研究所の連携拠点計画として、ERGサイエンスセンターが設置されています。サイエンスセンターでは、ERGプロジェクトの多様なデータを、宇宙科学における標準的なデータフォーマットに基づいて整形・アーカイブし、世界に向けて公開していきます。さらに、これらのデータをインターネットを通して取得し解析できるようなさまざまなソフトウェアやツールの開発も行っています（ERGサイエンスセンターホームページ <http://ergsc.stelab.nagoya-u.ac.jp/>）。

ERG衛星の打上げまで、あと2年。現在、全国の大学や研究機関の研究者、研究開発本部、国際パートナーの台湾のグループによって、衛星の開発が急ピッチで進んでいます。宇宙嵐の謎と放射線帯の高エネルギー電子が生まれる様子を解明するために、プロジェクトグループ全員が一丸となって頑張っています。

（たかしま・たけし、みよし・よしずみ）

「ひさき」のファーストライト取得

惑星分光観測衛星「ひさき」は、9月14日にイプシロンロケット試験機によって打ち上げられて以来、初期運用を続けてきましたが、11月19日とうとうファーストライト、すなわち最初の観測データを得ることができました。ここに至るまで紆余曲折がありましたが、プロジェクト関係者一同の思いが報われた感があります。

そもそも「ひさき」には三つの目的があります。主たる目的は科学観測によって惑星の環境に関する知見を深めることで、そのために望遠鏡(正確には分光装置)が搭載されています。二つ目の目的は、新しい衛星開発手法を試すというものです。セミオーダーメイド的のいろいろな衛星をつくることのできる枠組みを構築しつつ、実際にその枠組みで「ひさき」という衛星そのものの開発を行いました。三つ目は、オブション機器の搭載です。将来の衛星に向けた先端技術を、宇宙空間で実運用に近い環境で実証するというものです。今回のファーストライトは、それらのうち主たる目的である科学観測を始めることができるようになった、というものです。

思えば、「ひさき」は打上げ前からいろいろなことがありました。例えば、国際的に誇れる観測成果を挙げて惑星科学の世界に貢献することを目指すという考えのもと、途中でいくつか大きな変更を加えています。例を挙げれば切りがないですが、打ち上げられる軌道も大きく変わっていますし、求められる姿勢制御の精度も当初の10倍以上の高精度になっています。さらに、搭載機器のいくつかは当初予定から変更され、中型・大型衛星並みの高級品に換装されています。こういった変更は昔の科学衛星でも比較的柔軟に行われていたこともあるようですが、とはいえ、それらの大きな変更を吸収してプロジェクト管理上のインパクトをほぼ与えずに乗り切ることができたのは、関係者一同、所属組織や立場を超えて、気合と根性で一致団結した結果だったろうと思います。

また、開発そのものでも、従来衛星から技術継承するものが少なく、ほぼ全面的に新規開発となりました。これは、新しい衛星開発手法を確立しようという「ひさき」の目的から来るものなので、受け入れざるを得ないものです。むしろ、口の悪い言い方をすれば、「好きこのんで、



愛称の由来となった火崎(ひさき)にて。左から2人目が筆者。

わざわざ新しいものに手を出している」ような開発をしてきたわけです。衛星システムそのもののみならず、新しい概念に基づく地上運用系を含めて、手探り状態からのスタートでした。

さらには、ある嵐の日、衛星の試験を行っていたら、貴重な衛星試験設備のすぐ近くまで雨水が入ってくるというアクシデントもありまし

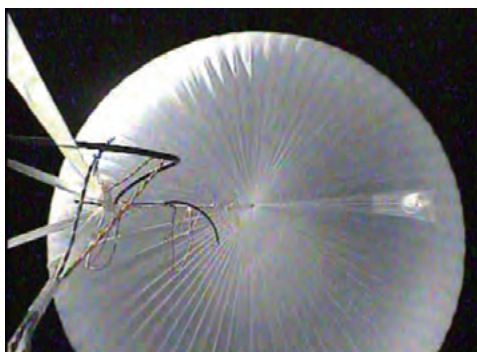
た。思い起こせば、本当にいろいろなことがありました。そういった開発に身を投じてきたおかげで、私事ですが、ちょっとやそっとのことでは驚かない人間に成長できました。

こういった経緯を経て、また打上げ直前の延期を乗り越えて宇宙へと飛び立った「ひさき」が、11月19日ようやく観測データを送ってきました(表紙)。木星と金星に望遠鏡を向けて、それらの惑星から放射されている極端紫外線のスペクトル観測に成功したのです。これらのデータは、それぞれ5分間、8分間という比較的長い間、ずっと高精度に望遠鏡を目標とする天体に向け続け、入ってくる紫外線を観測した結果です。この成果を得るには、衛星のすべての機能が正常であることが必要です。ですので、ファーストライトが無事に得られたというのは「ひさき」にとっては記念すべき瞬間で、曲がりなりにも宇宙空間できちんと役に立つことが証明されたことになります。ただ、あえて不満を言えば、その「瞬間」というのは地味で、数分間にわたって運用室にある専用計算機の画面上でデータ点がポツン、ポツンと少しずつ増えていくのを眺めているというのが、その実態です。ロケットの打上げの「瞬間」とは比べものになりません。

今回、ファーストライトを得たわけですが、これはJAXA発足後にスタートした科学衛星プロジェクトとしては、初の打上げ、初の軌道上成果であり、その意味でも「ひさき」は新しい時代に向けた新しい試みだったと思います。開発中や初期運用中に得られた多くの知見は、今回切り拓いた衛星開発手法を採用するか否かにかかわらず、将来の衛星開発に役立つものだろうと思います。これらの知見を将来の衛星に託しつつ、「ひさき」はこれから初期運用を終えて、観測運用に入っていくことになります。(澤井秀次郎)

気球到達最高高度記録を更新，高度53.7kmを浮遊

9月20日、厚さ2.8 μ m (1000分の2.8mm)のポリエチレンフィルムでつくられた体積8万立方メートルの超薄膜高高度気球の飛行性能試験を行いました。2002年に世界最高高度記録を樹立してから11年。5回目の記録更新挑戦です。今回の気球では、頭部のフィルムを二重化したり、保護テープを厚くしたりして、構造を強化しています。また、水平浮遊できるよう排気口を取り付けたり、気球破壊時に大きな穴が開くよう破壊装置を改良したりもしています。さらに、風の条件に左右されず、より確実に放球できるよう、スライダー放球装置とカラー（襟のこと。気球の下の方でガスが入っていない部分が広がらないように巻き付けておき、放球直前に取り外す）を使う新しい放球方法を編み出し、事前の試験でうまく放球できることを確認してきました。気球や搭載機器は去年から用意してあったのですが、気象条件が合わず、1年間この日を待っていたのです。当日の天気は、薄曇り。幸いにして霧もなく、風もなく、



高度53.7 kmで水平浮遊に入った超薄膜高高度気球

絶好の放球日和でした。作業は順調に進み、気球は風切り音とともに優雅に舞い上がり、静かに雲の中へと消えていきました。

気球は順調に上昇し、搭載カメラ映像の気球も、次第、次第に大きくなっていきます。高度40km。高度50km。切りの良い高さを越えるたび、つい手に力がこもります。高度52.9km, 53.0km, 53.1km。

よし、記録更新。安堵とともに、ささやかな拍手が響きました。気球はさらに上昇を続け、高度53.7kmで水平浮遊に入りました。中間圏でその場観測ができる飛行体の誕生です。写真はそのときのものです。気球がきれいに展開していることが分かります。右の方の構造が排気口で、ここから余分なガスを放出することで気球は破裂することなく、最高高度にとどまりました。今回の水平浮遊時間はたったの12分。惜しまれながら気球破壊コマンドを送信すると、見事な穴が気球に開き、緩やかに海上に降下して実験終了となりました。（斎藤芳隆）

第7回「ひので科学会議」(Hinode-7) in 高山

11月12～15日、第7回「ひので科学会議」(Hinode-7)が紅葉に映える飛騨高山の飛騨・世界生活文化センターにて開催されました。世界各国から太陽研究者が集うひので科学会議は、2006年に太陽観測衛星「ひので」が打ち上げられた翌年から、アメリカ、ヨーロッパ、日本の各国の持ち回りで毎年開催されており、日本での開催は2009年に東京で行われた第3回会議以来となります。

「ひので」はこれまでに700編近い査読論文を生み出してきましたが、2008～10年に異常ともいえる太陽活動の低迷期があり、静穏領域の観測に多くの時間を充ててきました。現在、太陽は第24活動極大期を迎え、今回の会議は「ひので」が新たに生み出しつつある活動現象の研究成果にも焦点を当てたものとなりました。また、その間Solar



500名収容のゆったりとしたホールで行われた講演

Dynamics Observatory, IRIS衛星, SUNRISE気球望遠鏡、地上ではビッグベア太陽観測所の1.6m望遠鏡など新しい観測装置が稼働を開始し、「ひので」と相補的なデータが得られるようになりました。それらのデータと「ひので」による観測を組み合わせる新たな成果を創出することも、大きなテーマでした。

アクセスが決して良くない開催地にもかかわらず、海外から16ヶ国延べ142人、日本人を加えて242人が参加し、口頭発表とポスター発表の数はそれぞれ60件と170件に上りました。また11月11日には国際協力で検討を進めている次期太陽観測衛星SOLAR-Cの科学会議を開催し、「ひので」の先を見据えてSOLAR-Cが目指すサイエンスについて熱い討議が行われました。会議の最終日には、京都大学飛騨天文台と東京大学宇宙線研究

所のスーパーカミオカンデへのエキスカージョン（見学会）に120人を超える方々が参加しました。1週間にわたって大変密な研究会となりましたが、参加者全員にとって今後の大きな糧になったのではないかと思います。

なお、今回ひので会議の開催に当たっては、国立天文台、

宇宙科学研究所、日本学術振興会、高山市、岐阜県から多大な援助を頂きました。ここにあらためてお礼申し上げます。会議情報は以下URLでご覧になることができます。

<http://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/hinode-7/>

（京都大学理学研究科附属天文台 一本 潔）

イプシロンロケットがグッドデザイン金賞を受賞！

「イプシロンがグッドデザイン賞一次審査通過！」。そのニュースの後しばらくして、私はグッドデザイン賞（以下、G賞）の応募作業を引き継いだ。よく事情が分からない中、二次審査の準備を急ぎ進めることとなった。責任重大だと思った。

二次審査は8月23日で、現物審査と対面審査。現物審査は、審査員が現物を触って「グッドデザインかどうか」を判断する。イプシロンは現物を審査会場に持ち込めないで、1/20模型と動画を置いた。続いて3分間の対面審査。打上げ直前でありプロジェクトメンバーには支援を頼めないし、たった3分でイプシロンの素晴らしさをアピールしないといけな。かなり準備して臨んだ。対面審査の最後に、「もうすぐ打上げ？ じゃ、G賞もその結果次第だね」と言われた（当時の打上げ予定日は8月27日）。審査員たちが去っていった後、「大丈夫、大丈夫」とイプシロンをなでて、退室した。そして二次審査の結果を待つ中、イプシロン打上げが延期となった。

ところが、9月10日に二次審査通過の連絡。しかもベス



グッドデザイン・ベスト100デザイナーズ
プレゼンテーションに登壇する森田プロマネ

ト100に入ったという。打上げが延期になり、たくさん報道されてイプシロンの知名度が一気に上がったことが、逆にG賞審査に良い影響を与えたのか？ などと思った。そして、とうとう9月14日にイプシロン打上げ成功。G賞審査員も「（もうベスト100に選出しちゃったんだから）頼むよ〜！」という気持ちで打上げを見ていたという。

さあ、次に狙うは特別賞。大きな賞を取りたいところだ。その審査のために再度、展示。模型を置き、一般客も来場するので打上げの動画も流した。お客さんたちが打上げシーンに見入っていた。続いて11月2日に森田泰弘プロジェクトマネージャーのプレゼンテーション。居並ぶ強豪のさまざまなプレゼンの中、森田プロマネはピカイチだったと思う。理系の若者が聞いていたら、こんなプロマネのもとでロケット開発に携わりたい、そう思ったに違いない。そして審査員の心をも動かしたに違いない、イプシロンは見事、グッドデザイン金賞を受賞した。

（小澤佐織）

「宇宙学校・東京」開催

11月3日（日）の文化の日に、「宇宙学校・東京」が、東京大学駒場キャンパスにて開催されました。会場は小中学生を中心に540人の参加者でいっぱいになりました。

1時間目は「宇宙を探る」というテーマで、松浦周二先生の「赤外線宇宙のはてをみる」と、私の「小惑星のかげらを持って帰ろう（はやぶさ2、ソーラーセイル）」という2つの授業がありました。松浦先生の授業は、赤外線を用いて遠くの宇宙を観測することで宇宙の起源に迫るという内容で、とてもワクワクするようなお話でした。子どもたちも、

宇宙はどうやってできたのかということには興味があるようで、難しい質問がたくさん出ました。私の授業はサンプルリターン・ミッションについてで、現在開発が進められている小惑星探査機「はやぶさ2」と将来計画を紹介しました。

2時間目のテーマは「宇宙に飛び出し、宇宙で調べる」で、後藤健先生の「ロケットや衛星を軽く丈夫に作る」と、吉崎泉先生の「宇宙ステーションと宇宙実験」という2つの授業が行われました。後藤先生の授業では、宇宙で使用されている材料の紹介と、複合材料に関する研究の紹介がありま

した。子どもたちも、宇宙船は軽くつくることがとても大事で、それは簡単なことではないということがよく分かったようでした。吉崎先生の授業は、国際宇宙ステーションと宇宙飛行士の仕事に関するもので、私自身も普段知ることのできない宇宙ステーションでの宇宙飛行士の生活について大変面白く聴かせていただきました。

私は宇宙学校の参加が初めて



元気に「はい!」。質問の質の高さにもびっくりです。

だったのですが、子どもたちからの質問の多さと質に驚きました。阪本成一校長先生が困るくらい多くの子どもたちが手を挙げ、先生たちが答えに困る高度な内容の質問も数多くありました。宇宙に興味がある子どもたちがたくさんいることを知ることができ、我々も大変やる気が出てきました。とても貴重な機会をいただき感謝しております。
(佐伯孝尚)

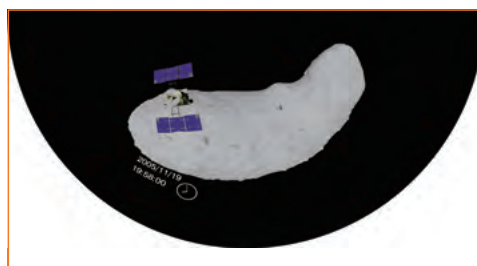
いまだ見ぬ「はやぶさ」

今年是小惑星探査機「はやぶさ」打上げ10周年の年であり、また「はやぶさ」プロジェクト終了の年でもありました。その節目に、「はやぶさ」が小惑星イトカワ周辺で実際にたどった様子を『はやぶさの軌跡』として映像化しました。映像制作の過程は、「ISASメールマガジン」477号

(2013年11月12日発行)にも書きましたので、そちらのバックナンバーもご覧いただければ幸いです (<http://www.isas.jaxa.jp/j/mailmaga/>)。

この作品では残された科学データに忠実に「はやぶさ」やイトカワの動きをCG化したので、実はつくっている本人にも、どのような映像になるのか、なかなか予測しづらいものがありました。描き上がった映像を再生してみると、「はやぶさ」が激しく揺らいでいて、こんな映像を公開してよいのか?と議論したこともありました。でもこれが、本当に「はやぶさ」がたどってきた道だったのです。

出来上がった映像は、10周年記念イベントなどで披露するとともに、全天周映像版を国際科学映像祭ドームフェス



イトカワに降下中の「はやぶさ」(全天周映像版より)

タにも出品しました。クレジットでは吉川真、山本幸生、三浦の名前のみとなっていますが、映像制作に当たっては「はやぶさ」関係者の方々からさまざまな助言やデータなどを頂き、そのおかげあつての作品となりました。幸いにもドームフェスタにおいてご高評をいただくことができ、また映

像をご覧になった方の中にはTwitterなどで感想を書いてくださった方もいらっしゃって、これもまた恐縮の至りです。制作にご協力いただいた皆さま、ご覧いただいた皆さま、本当にありがとうございます。

ところで、この作品をご覧になって、「ここまでなの?」と思われた方は多いと思います。そうです。タッチダウンの寸前までしか映像がないのです。イトカワへのタッチダウンの瞬間は、もともなったデータを簡単には補正することができず、映像化には至りませんでした。

でも私も見たいです、「はやぶさ」のタッチダウン。

だから、映像の最後は「To be continued...」なのです。

(三浦 昭)

ロケット・衛星・大気球関係の作業スケジュール(12月・1月)

	12月	1月
ASTRO-H		一次噛合せ試験(筑波)
BepiColombo		フライトモデル総合試験(相模原)
はやぶさ2		フライトモデル総合試験(相模原)
N ₂ O/エタノール推進系システム	地上燃焼試験(NEPT-7)(能代)	



イプシロン打上げを振り返って

イプシロン 打上げ前の現場にて

8月27日にイプシロンロケット試験機の打上げが中止となりました。あの日、あの時、現場はどのような様子だったのか。そして、再リハーサルを経て打上げが成功した裏側では、どのようなことが行われていたのか。ここでは、私がいた現場の一部をお伝えしたいと思います。

イプシロンの打上げオペレーションでは、関わる人を打上げ隊員として特別に編成します。私は固体ロケットモータに関わる技術的な担当者としてロケット班に所属し、また打上げの安全管理をつかさどる射場安全班の副班長として現場に入っていました。打上げ当日は時間帯によって役割を切り替えながら作業に当たる必要があるのですが、ある程度現場仕事に慣れていないと対応が難しいかもしれません。M-Vロケットの打上げや地上燃焼試験の経験が生かされる場面だと思います。

さっそく8月27日を振り返ってみますと……

当日は、射場安全班として午前3時にM台地に入りました。衛星の準備作業から開始です。打上げ当日に気になるのはやはり天気なのですが、この日は夜明け前から天候が安定していて、日が昇り始めるころの地上風は心地よいぐらいでした。この風なら大丈夫そうだと思っていましたし、雲一つない晴天でしたので、この日を逃すわけにはいかないと思いながら現場作業に当たっていました。おそらく隊員の多くがそう思っていたに違いありません。

衛星、ロケットそれぞれの準備作業は極めて順調に進んでいました。午前10時45分、M台地の立ち入りが規制される時刻となり、午前11時のランチャ出しの作業に向けて関係者の退避が始まりました。程なくあの独特の警報音が鳴り、整備塔の大扉が開き始めます。およそ20分でランチャ出しが終わります。ロケット系のほとんどの人は、ランチャ出しが正常に完了するのを見届けて、一斉にM台地から宮原エリアに移動していきました。M台地に純白の機体が姿を現しました。雲一つない青い空、背後に見える山の緑、そこに浮き上がる白い機体、真紅の直線、そしてEPSILONのロゴは、まさに機体マーキングデザインをしていたときに何度も何度も頭の中に思い描いた光景となっていて、空想と現実が合致した瞬間でもありました。

射場安全班としては関係者のM台地からの総員退避の確認までが担当の仕事となっていたので、その後は管制室のあるECC（イプシロン管制センター）に移動してロケット系の仕事に切り替えます。M台地を出ていく前に、これで見納めと振り返ってもう一度機体を眺めました。よもや再会するとは思いませんでしたが……。

ECCに移動すると、そこでは上空風の確認や海上警戒監視、地上警戒区域内の退避完了確認など発射直前の作業が急ピッチで進んでいました。打上げ直前の上空風の観測結果は、打上げ条件としては厳しい方で、打上げ可否判断はかなり難しい状況でした。ECCの2階に控えているサブマネージャーの井元隆行さんは、「厳しいなあ」と頭を抱えていました。しかし、打上げ15分前の最終判断では状況が好転してGOとなりました。

打上げ前の必要なデータはそろったし、打上げ実行上の安全確



熱電池の交換作業に立ち会う徳留真一郎准教授

保に問題はない。ここまでくると、残された作業は打上げ成功を祈るだけです。現場は皆、腹をくくりました。そのとき、誰だったか覚えていませんが、「行くよ!」との声が発せられ、私のいたECCの2階は一気に緊張感が高まりました。そしていよいよ発射70秒前。カウントダウンが淡々と進みます。私もモニタを見ながら自らカウントをつぶやきます。……21, 20, 19……

「!!!」

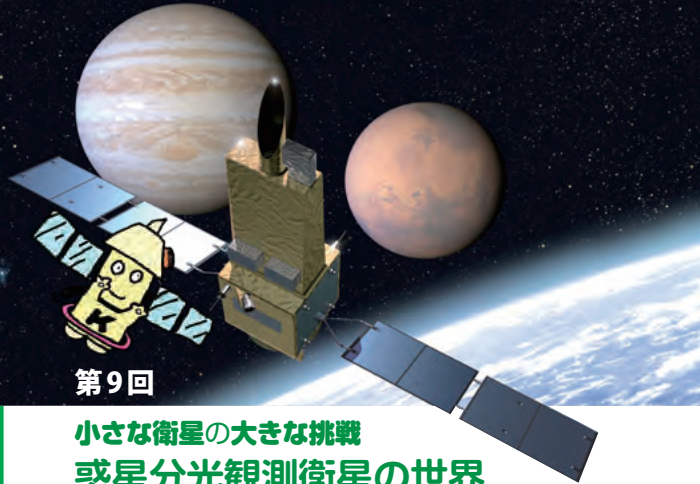
その瞬間は言葉が発せられなかったのを覚えています。モニタ用のPCの画面には緊急停止の文字が現れ、カウントマイナス10秒でSMSJ（固体モータサイドジェット）は点火しない。しかもカウントは進みゼロまでいくも発射しない。周辺の人たちがこの事態を現実と認識するのに、多少の時間遅れがあったように感じました。「早く現状確認しろ!」「安全化処置が先だ!」

指令が飛び交う中、私は瞬時に射場安全班の立場に頭を切り替え、待機していた部屋を飛び出しました。隣の総合防災室に駆け込み、すぐさま次の段取りの確認をしました。まず早急に機体を整備塔に戻さなければなりません。階下に駆け下り移動用の車に飛び乗って作業関係者の車列をつくり、列の先頭になってM台地に急行しました。

その後のことはすでに公開された情報がありますのでここでは割愛しますが、JAXA総出で点検作業が行われました。再リハーサルはできる範囲ですべての点検を行うこととなり、第1段TVC（推力方向制御装置）の熱電池起動まで行うことが決定しました。熱電池は再使用できない消耗品であるため、リハーサル後は部品を交換しなければなりません。後部筒に取り付けてあるため、第1段の狭いノズル側から入って交換することになります。写真は、熱電池の交換作業に立ち会う徳留真一郎准教授の姿です。狭い作業現場でしたので、作業者はロケットの下に足場を組んで入り、徳留先生は床にあおむけになって煙道設備の隙間から現場作業の確認をやっていたわけです。ロケットの打上げ成功の裏にはこのような難しい現場作業の積み重ねがあります。

再リハーサルを経て臨んだ9月14日は、作業自体は基本的に同じです。しかし、8月27日のときよりも現場の動きはいたって落ち着いていたように思います。私の気持ちはもはやイプシロン2号機を打ち上げるような感覚で、初回よりもずいぶん冷静になっていたように思います。

（羽生宏人）



第9回

小さな衛星の大きな挑戦 惑星分光観測衛星の世界

衛星アーキテクチャの話

福田盛介

宇宙機応用工学研究系 准教授

本連載も終わりが見えてきましたので、今回は少し衛星開発の全般的なところを振り返りたいと思います。話があちこちに飛び、ぐだぐだになりそうですが、ご容赦ください。

惑星分光観測衛星「ひさき」で使用した小型科学衛星標準バス（SPRINTバス）の開発に当たっては、久しぶりの科学衛星用バスの刷新ということもあり、宇宙研とメーカーが一丸となり技術や知恵を出し合いました。このバスには、「短期開発」や「多様なミッションへの柔軟な対応」という要件が強く求められていたので、それらに資する技術を投入していきました。中でも、データI/F（インターフェース）にSpaceWire（スペースワイヤ）を導入したのが目玉です。

SpaceWireはESA（ヨーロッパ宇宙機関）が管理する国際標準規格ですが、SPRINTバスの開発前から、日本の大学・メーカー・JAXAから成るコミュニティ（日本SpaceWireユーザー会）のメンバーが、規格の技術的詳細を議論する国際委員会に深く参画するなど、技術の蓄積を図っていました。SpaceWireは高速データ通信の魅力はもちろんですが、我々はむしろ、標準化やモジュール化が設計・試験にもたらす大きなメリットに着目していました。実際、「ひさき」は、姿勢制御系を含む衛星のデータI/Fに、全面的にSpaceWireを導入した世界初の衛星になりました。これにより号機間の機器換装は飛躍的に楽になり、次号機のジオスペース探査衛星（ERG）では、同一のSPRINTバスを用いて、三軸衛星の「ひ

さき」とはまったく異なるスピン姿勢制御が実現されます。また、SpaceWireネットワークはスケラブルに拡張できるので、次期X線天文衛星ASTRO-Hなどのより大型の衛星では、さらに規模を拡大して展開されます。

SPRINTバスにおけるSpaceWireのように、衛星の基本的な成り立ち（アーキテクチャ）を根っこから変革するシステム・サブシステム技術を次世代に備えて獲得しておくため、「ひさき」の開発着手と同時期の2008年度から、宇宙工学委員会のもとに「次世代小型標準バス技術ワーキンググループ」を立ち上げ、研究活動を行ってきました。そこでは、熱設計の在り方を根本的に変えて（なくして?）しまう自励振動ヒートパイプによる「熱設計フリーシステム」や、推進系周辺の作業や試験の敷居を画期的に下げるHAN（硝酸ヒドロキシルアンモニウム）系の低毒性推進系技術など、さまざまな新しい技術の芽を現場投入手前のレベルまで育ててきています。このワーキンググループでは、SPRINTバスと同様に「短期開発」や「柔軟性」に研究の軸足を置いてきましたが、昨今の「イブシロンロケットによる探査」を追求するトレンドから、今後は「小型化」の要求が強く加わってくると思われます。SPRINTバスでは、重量の余裕を標準化や柔軟性の確保に振り向けてきた背景があるため、「小型化」に当たっては、もう一段二段の発想の展開や技術の革新が必要と感じるところです。

さて、「ひさき」ではSpaceWireの導入などモジュール化を推し進めました。しかし、こと小ぶりの衛星を早くつくるということに対しては、モジュール化技術のある種の肝ともいえる、系ごとの内部隠蔽が進み過ぎることや、システムエンジニアリングによる作業の匿名化を必要以上に求めることには、デメリットもあります。それは、特に開発体制や設計確認など、人間に関わる部分で顕著です。少品種を短期に、かつ性能を担保して開発するには、動機づけの高いスモールチームや、匿名でないバイ・ネームの個人の頑張りや、「これは俺の仕事／あれはおまへの仕事」的なきれいにI/Fが切られた世界とは一線を画す、泥くさい開発体制が必要な局面も多々あります。SPRINT-Aの開発・試験現場でも、このような意識は打上げが近づくにつれて高まっていき、内之浦の射場作業では、JAXA・メーカーのチーム員が老若男女入り混じり、もともと各々が担当していた分野を越えて、ただ「成功」のためにできることは皆ですべてやるという意識で一丸になりました。これには非常に大きな感慨を覚えましたし、本来、小型科学衛星が目指すべき方向性のヒントがそこにあるようにも思えました。

予想通り、最後はややぐだぐだになりましたが、最終回はチームの大黒柱の中谷幸司さんが（開発現場でいつもそうだったように）びしっと締めてくれます。（ふくだ・せいすけ）

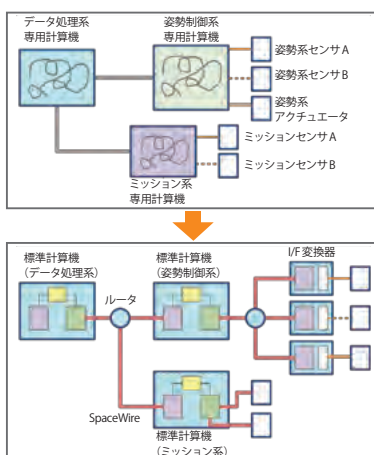


図1 SpaceWireによるネットワーク・アーキテクチャ
機器間のデータI/FがSpaceWireに統一されるとともに、計算機は異なるサブシステム間で標準化されている。標準計算機は、衛星ごとに使用するセンサなどが変更になっても、再利用が可能となっている。



図2 長い射場生活で苦楽を共にした「ひさき」チーム
（ECC正面・8月23日撮影）

Studying Black Holes at the Foot of the Himalayas

インターナショナルヤングトップフェロー **Stawarz Lukasz**

International astronomical meetings are being held in Kathmandu, Nepal, quite regularly every two years since 2002. That year, a group of astrophysicists from Europe led by Prof. A. Zdziarski (N. Copernicus Astronomical Center, Poland), organized there the first workshop devoted to the physics of active black holes in astrophysical systems such as X-ray binaries, gamma-ray bursts, and active galactic nuclei. Exceptional location (chosen deliberately since most of the organizers were enthusiastic hikers) and very moderate or even low cost of organizing and attending the meeting, attracted excellent participants and assured a very successful and fruitful gathering. This year edition, “Black Holes, Jets, and Outflows”, was already the sixth of the series. The conference was organized by Istituto Nazionale di Astrofisica (Italy), N. Copernicus Astronomical Center (Poland), and the Tribhuvan University (Nepal).

Each meeting of the series is taking place at the Hotel Radisson, located within the walking distance to the Royal Palace and the historical center of Kathmandu. The city is safe for tourists, and obviously offers many beautiful and historically interesting sights, including a number of Hindu or Buddhist temples. Two sightseeing tours in the afternoons during the

conference week are always included in the program of the meeting. In addition, if only you can and are willing to stay longer in Nepal after the conference, you may decide to join the other participants for a longer sightseeing trip outside of Kathmandu, or even for a trekking. Nepal is a very unique country with the greatest altitude range on Earth, between Terai (including, e.g., the Royal Chitwan National Park) around 100m above sea level, and Mt. Everest, about 8850m. From Kathmandu, one can take a flight to Lukla (2800m above sea level), and about 10 days of relaxed walking gets you to Kala Pattar at 5545m, just next to Mt. Everest. In Kathmandu there are a lot of trekking agencies, which can help you in organizing a trip.

One of the objectives of an international astronomical conference in Kathmandu is to provide a support for the growing astronomical and astrophysical community in Nepal, which is led by Prof. Binil Aryal from the Central Department of Physics, Tribhuvan University in Kirtipur. This community is relatively young, since only in 2007 the Tribhuvan University has organized the astrophysics course at the M.Sc. level, and even later a multidisciplinary course (Astronomy & Space Science) for undergraduate students. Till date, 72 students have completed their master thesis in Astronomy & Astrophysics, three Ph.D. projects are running, and 16 graduates are working on their dissertations. The research topics include galaxy dynamics, physics of clusters of galaxies, and cosmology. In addition, several Tribhuvan alumni are now post-doctoral researchers in USA or in Europe (including Sweden, Germany, Poland, and France).

Clearly, a series of regular astronomical meetings held in Kathmandu offers the students from the Tribhuvan University a great opportunity to interact with the researchers from abroad, to establish their first international contacts and scientific collaborations, etc. On the other hand, the attendees of the Kathmandu conferences have a unique chance to visit this fascinating country Nepal, and to experience even for a short while its unique culture. As mentioned above, the unusual location attracts top researchers in the field, and hence the scientific motivation to attend the meeting is always there as well. For this reason many of the participants decide to come back to Kathmandu every several years, which is also a good time span to hear about the progress made in understanding astrophysical black hole systems.



Buddhist stupa in Kathmandu

(ルカシュ・スタワージュ)



縁 尋 機 妙

北出賢二

日本電気株式会社

9月14日(大安) 14:00:00(日本標準時)、イプシロンロケット試験機は見事に打ち上がった。あいにくの台風の影響で真っ青とはいえないが境目のない海空を背景に、真紅のランチャーから離れる真っ白な機体。モニタ画面を通して見えていた。34mアンテナ受信局で臨んだM-Vロケット打上げ時代とは比較にならないが、イプシロン管制センターの建屋内(宮原)でも期待以上に打上げ時の音と振動による確かな臨場感を味わうことができた。心なしかM-Vよりゆっくりと惜しむように上昇するイプシロンの姿を、本当に「美しい」と思ったのは、私だけではないだろう。3度目の正直で臨んだ打上げただけでなく、7年ぶりの待ちに待ったこの日だったからかもしれない。

今回、私は諸般の事情でNEC(日本電気)実験班の一員として急きょ参加することとなったが、2006年以来の7年ぶりとなる内之浦には、いささか「敷居の高さ」を感じていた。現場から久しく離れていたことや実験体制が大きく変化したことばかりではなく、久々の打上げということで「内之浦」が受け入れてくれるのだろうかと思っていたからだ。しかし、この不安は打上げ前に地元の方々主催のバーベキュー大会に参加してみて払拭された。それぞれに深い想いはあるのだろうが、打上げ再開の歓喜と成功に向けた期待は大変大きいものだった。一方、7年ぶりとなる宿泊先にも高い敷居を感じていた。もちろん定宿のおばちゃんには事前に快諾していただいていたのだが、長らく不義理をしているにもかかわらず急なお願いをしてしまった。宿に着いたのは、いつものように夕方だった。小壺?を抱えた、くだんのおばちゃんと玄関先でばったり出くわす。「すわ、塩を

かけられるか!と思ったよ」と皆で大笑い。一挙に7年の敷居が低くなる。

私の内之浦との「ご縁」はたかだか20年程度であるが、宿のおばちゃんにはその2倍以上の長きにわたりNECの先達、実験班の先達の方々と共に培った歴史がある。射場の作業はトラブルや天候の影響で、必ずしも計画通りの日程で進まないことも多い。また打上げ直前や打上げ後の衛星の初期運用では不規則な時間帯で作業することになり、おばちゃん方にも大変なご無理をお願いすることになる。長丁場になると体調を崩す者もあり病院の手配やら、はたまた飲んだくれの世話(私ではありません)まで、さまざまな形でお世話になってきた。山(射場)と町(宿)は職場と家庭の相似形。よき家庭が仕事を支えてくれる。今回も毎夜、時には笑い、時には涙して、しか

も驚くべき記憶力をもってして語るおばちゃんの話に傾聴し、それは打上げという「縁」を重ねた内之浦の歴史そのものだった。

昨年は内之浦宇宙空間観測所の開設50周年ということで盛大な式典もあったと聞く。このような地元の方々と共に培った歴史の上に、ロケットの打上げそして科学衛星があると、あらためて思った次第。同様な想いを「ひさき」と命名された先生方も抱いておられたのだろう。振り返ればまさに「縁尋機妙」。そしてこの先は分からぬが、この町がさらに盛り上がり続けていくためにも、イプシロンの打上げを継続していったほしいものだ。そうすればこの縁がさらに良い縁につながり、イプシロンと共に大いに発展していくのではないかな。一方、そんな中で我々ができることは、情熱を持って愚直にもものづくりに取り組むことに尽きるのではないかな。小型衛星とイプシロンは両輪。射場の内之浦を加えて三位一体。そんなことを考えながら、いつの間にかトンボが舞い始めた内之浦の浜辺を歩いた。

今回の打上げでは都合20日余り、おばちゃん、そして応援に駆け付けていただいた娘さんにまで皆でお世話になった。帰るころにはすっかり玄関先のたぬき3号?になっていた。こんなに清々しい気持ちで帰京できたのも、イプシロンと「ひさき」の打上げ成功、そして関係者の絆を現場で味わうことができたおかげであり、おばちゃんのご縁に感謝する次第。今度機会があれば記念の桜並木を歩いてみたい。こよなく「焼酎を愛する」「好々爺」。私が勝手に描いていた本欄の執筆者イメージに自分は両方とも不相応と思っていたが、こんな爺くさいことを書くなら、わずかにその資格があるのかも。(きたで・けんじ)



お世話になった定宿のおばちゃんと

宇宙プラズマのすべてが明らかになる日

学際科学研究系 准教授

篠原 育

—— 学際科学研究系の所属ですが、どのような研究や業務をされているのですか。

篠原：私は衛星やロケットなどの“ものづくり”に直接は関わっていないという、宇宙研の中では数少ない部類の研究者ではないでしょうか。計算機を道具として主に三つの仕事をしています。一つは、科学衛星が取得したデータのアーカイブを開発・運用し、世界中の研究者にデータを提供することです。専門が宇宙プラズマ物理なので、磁気圏観測衛星「あけぼの」や磁気圏尾部観測衛星GEOTAILなど太陽地球系科学分野のデータを主に担当しています。新たに取得したデータだけでなく、古いデータの公開も進めています。

太陽の活動は11年周期で変動し、地球磁気圏も影響を受けます。太陽活動の2周期以上にわたって観測を続けている「あけぼの」やGEOTAILの観測データは、太陽活動と地球磁気圏の変動の関連を理解する上で、とても貴重です。データにはまだ公開されていないものもあります。それらを公開していくことで、当時にはなかった新しい視点で解析する研究者が現れ、磁気圏の理解が進む。それを期待しています。

—— GEOTAIL のプロジェクトマネージャーを務めていますか。

篠原：それが二つ目の仕事です。GEOTAILは打上げ後20年以上も観測を続けている古い衛星ですが、各方面からのご協力のおかげで大きなトラブルもなく、日々淡々と観測を行っています。そのデータを粛々と処理・公開し、さらなる研究の発展に貢献することが、私の役割です。

—— 三つ目は？

篠原：数値シミュレーションを使って宇宙プラズマの研究をしています。衛星が観測できるのは、広い宇宙の中のとても狭い1点だけです。その観測データだけから全体像を理解することはできません。観測データと数値シミュレーションを組み合わせることで、初めて分かることもたくさんあります。また、地球磁気圏は衛星がそこに行って観測できるので、数値シミュレーションの結果が正しいかどうかを確認することが可能です。それが、この研究の面白さですね。しかし、数値シミュレーションではまったく予想のできない観測データが出た方が面白い、とも期待しています。正しければうれしいし、違っていたら今度はこういう計算をやってみようというワクワクします。

—— 現在、どのようなテーマに取り組んでいるのですか。

篠原：宇宙プラズマ分野での大きな興味の一つは、磁気リコネクションです。磁力線がつなぎ替わる現象で、プラズマの爆発を誘導します。



しのはら・いく。1968年、東京都生まれ。博士（理学）。東京大学大学院理学系研究科地球惑星物理専攻博士課程修了。1997年、宇宙科学研究所助手。2002年より現職。2008年よりGEOTAILプロジェクトマネージャー。科学衛星運用・データ利用センターにて科学衛星データアーカイブの開発・運用業務も担当。専門は宇宙プラズマ物理。

GEOTAILの観測によって宇宙における磁気リコネクションの存在は確かめられましたが、なぜ、どのように起きるのかといった詳しいことは分かっていません。それを数値シミュレーションから探ろうとしているのですが、とても難しい。プ

ラズマを構成する電子とイオンの粒子1個1個の運動を計算しなければいけないので、非常に高速の計算機が必要です。観測データも足りません。2014年にアメリカが4機の衛星から成るMMSを打ち上げるので、そのデータが待ち遠しいです。GEOTAILにも、まだまだ頑張ってもらわないと。

—— 日本の磁気圏探査衛星の計画は？

篠原：MMSにも、イオン分析装置の開発をはじめ日本の研究者が深く関わっています。また、2015年にジオスペース探査衛星（ERG）が打ち上げられる予定です。もう一つ、国際協力で5機以上の衛星から成るSCOPEという編隊衛星計画の検討を進めています。実現への道のりはまだまだ遠いです。SCOPEは、磁気リコネクションをはじめとする宇宙プラズマの謎の多くを明らかにできるであろう画期的な計画です。何とかSCOPEを実現したいですね。それが、今の私の夢です。

—— 子ども時代から宇宙に興味があり、この道に進んだのですか。

篠原：いいえ。私はボヘットとした子どもだったようで、将来何になリたとか、考えていた記憶もありません。大学2年生のときに講義で初めて宇宙空間物理という研究分野があることを知りました。西田篤弘先生の『宇宙空間への招待』（岩波新書）などを見つけて読み面白そうな分野だと思っていましたが、大学院では海洋物理の研究室に進むつもりでした。ところが大学院入試の前にたまたま太陽地球系科学分野の研究室を見学したとき、国際協力でたくさんの衛星を打ち上げて地球磁気圏を調べる計画があり、日本もGEOTAILを打ち上げ、その研究室ではGEOTAILの磁力計を開発していると聞きました。その話に一瞬で魅せられ、突然進路を変えて今に至ります。

—— 趣味は？

篠原：たまにパンを焼きます。発酵中にパン種が育っていく様子を見ると、とても楽しいです。でも、人に食べてもらえるほどの腕ではないので、「つくって」とは言わないでくださいな。

ISAS ニュース No.393 2013.12 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 森田泰弘

〒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

この時期になると、「今年もあっという間でしたな」と毎年言っている気がします。皆さんはどんな一年でしたか。記録に残ることが多かったこの一年を振り返りつつ、新しい年を迎えたいと思います。（竹前俊昭）

* 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