



金星探査機「あかつき」(右)と小型ソーラー電力セイル実証機「IKAROS」(左)の2ショット。
H-IIA ロケット 17 号機によって5月に種子島宇宙センターから打上げ予定。

宇宙科学最前線

宇宙最果ての大爆発をとらえる フェルミ衛星で迫るガンマ線バーストの謎

大野雅功

高エネルギー天文学研究系
宇宙航空プロジェクト研究員

最も遠く、最も激しい爆発

現在、人類がとらえた最も宇宙の遠方にある天体は、「ガンマ線バースト」です。ガンマ線バーストは、可視光やX線よりエネルギーの高い電磁波であるガンマ線で数ミリ秒から数百秒程度だけ突然明るく輝く現象です。

近年の観測により、ガンマ線バーストの発生源は、宇宙論的遠方における大質量星の崩壊もしくは中性子星やブラックホール同士の融合時に生じた超相対論的な速度を持ったプラズマの流れ（ジェット）であり、その放射を真正面から見たものであることが分かってきました。ガンマ線バーストは現在人類が観測できる中で最も遠方の宇宙で明るく輝いているため、宇宙の初期の姿を照らし出すサーチライトとしても注目を集

めています。しかし、どのようにしてガンマ線で輝いているのか、超相対論的ジェットの発生機構は何か、などの肝心なところがまだ分かっていません。

本記事では、ガンマ線バーストに残された謎に迫る鍵である高エネルギーガンマ線観測について、2008年6月に打ち上がった日米欧国際協力ミッションであるフェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡（フェルミ衛星）によって得られた最新の成果を紹介します。

ガンマ線放射機構は何か？

ガンマ線バーストの放射機構はまだまだ大きな謎ですが、1000～1000万電子ボルト*のエネルギー（本記事では便宜的に、低エネルギーガンマ線と呼ぶことにします）では、ジェットで加速された電子が磁場中でらせん運動をすることにより生じるシンクロトロ

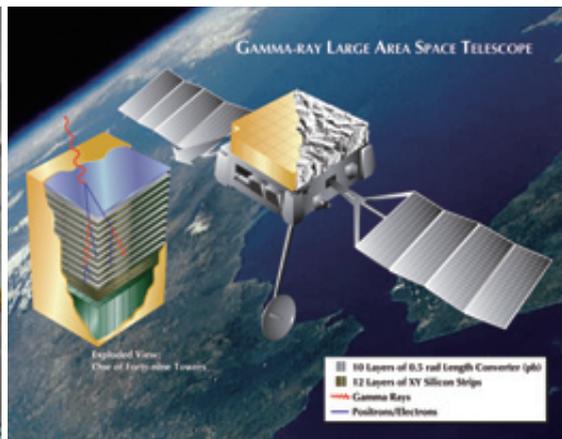
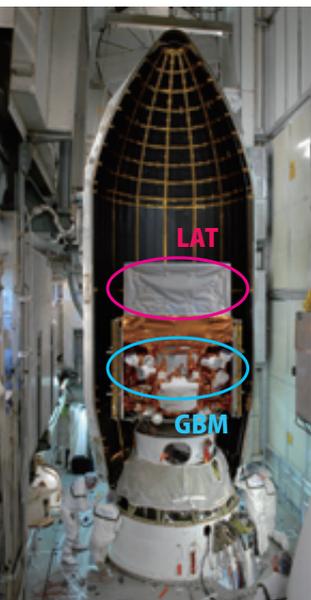


図1 フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡（フェルミ衛星）
左は、打上げ前、ロケットに格納されるフェルミ衛星。主検出器である Large Area Telescope (LAT) は入射ガンマ線（赤線）を電子・陽電子（青線）に変換し、その飛跡をシリコンストリップ検出器でとらえ、ガンマ線のエネルギーと到来方向を測定する。（左 ©NASA/Jim Grossmann, 右 ©NASA）。

ン放射により輝いているとする説が有力です。しかし、フェルミ衛星の先代に当たるコンプトン衛星のイグレット検出器によって検出された1億電子ボルト以上のガンマ線（高エネルギーガンマ線と呼ぶことにします）の振る舞いは、シンクロトロン放射では説明のつかないものがありました。高エネルギーガンマ線のスペクトルはシンクロトロン放射で見られる折れ曲がったベキ関数には従わず、異なる「別のベキ関数」で表されていました。また、低エネルギーガンマ線の継続時間が数十秒程度であるのに対して、高エネルギーガンマ線ではもっと長く輝いており、90分にもわたって観測されることもありました。

この高エネルギーガンマ線は、シンクロトロン放射で発生した光子が周辺の高エネルギー電子と相互作用して生じる逆コンプトン散乱であるとか、加速された陽子とガンマ線が反応して生じた電子による放射であるともいわれました。いずれにしても、スペクトル的にも時間的にもシンクロトロン放射とは異なる振る舞いを示す高エネルギーガンマ線は、ガンマ線バーストの放射機構を探る上で重要な鍵です。特に、加速された陽子からの放射

であるとすると、ガンマ線バーストから宇宙線の起源に大きく迫ることができる可能性が出てきます。

しかし、コンプトン衛星による観測では高エネルギーガンマ線はわずか数例しか検出されておらず、十分な議論が行えませんでした。そのような中、コンプトン衛星の後継機とし

て2008年6月、フェルミ衛星が打ち上げられました。

図1に示したように、フェルミ衛星の主検出器である Large Area Telescope (LAT) は、入射した高エネルギーガンマ線を電子・陽電子対生成反応で電子・陽電子に変換して、その飛跡をシリコンストリップという半導体検出器で追うことで、1000万～1000億電子ボルトという広帯域でガンマ線の到来方向やエネルギーを測定できます。ほかにも1万～1000万電子ボルトの低エネルギーガンマ線をとらえる Gamma-ray Burst Monitor (GBM) を搭載しており、7桁にも及ぶエネルギー範囲で、多くのガンマ線バーストからのガンマ線をとらえることができます。

フェルミ衛星の開発には、日本から広島大学を中心に JAXA 宇宙科学研究本部や東京工業大学などが貢献してきました。特に、心臓部ともいえるシリコンストリップ検出器は広島大と浜松ホトニクスとの協力で設計開発を行い、その性能品質が認められ、あとの約1万枚にも及ぶセンサーの製造管理を主導しました。さらに、気球実験や組み立て時の全数検査、打上げ後の運用・モニター、データ解析にも、日本グループは大きく貢献しています。

「目が離せない」ガンマ線バースト観測

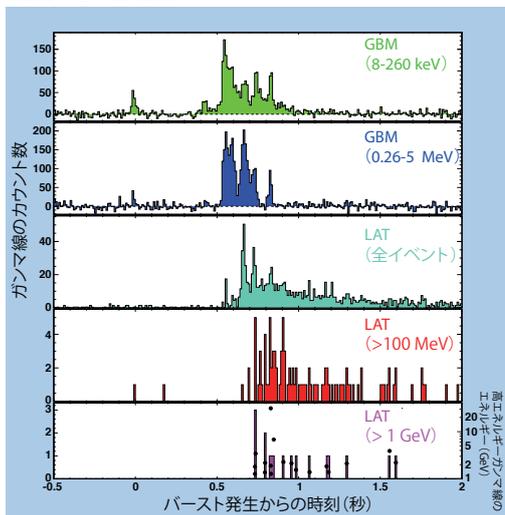
ガンマ線バーストにおいて、高エネルギーガンマ線と同じくらい重要な情報が、ガンマ線バーストの距離です。我々はガンマ線バーストの距離を決定するために「残光」というものを利用します。近年の観測により、ガンマ線バーストは、X線や可視光、電波などのガンマ線より低いエネルギーの光では1日以上輝いていることが明らかになりました。この「残光」を観測し、付随する銀河を明らかにすることで、その距離の測定が可能になります。残光をできるだけ明るいうちに観測すれば、距離を決定できる可能性も高まるので、ガンマ線バーストの検出情報をできるだけ早くほかのX線や可視光の望遠鏡に伝える必要があります。

そのために我々は、日米欧3局当番体制でフェルミ衛星のデータを常時監視しています。ガンマ線バーストが検出されデータを受信すると、すぐにデータ解析し、フェルミ衛星LATで決めた位置情報などを全世界の研究者に公開します。日本からは宇宙研、東工大、広島大が当番に参加しています。

フェルミ衛星は2010年1月現在、14のガンマ線バーストから1億電子ボルト以上の高エネルギーガンマ線を検出しました。そのうち4例は、日本人が筆頭解析者として結果を報告しました。フェルミ衛星LATの優れた位置決定精度と我々の迅速な解析が功を奏し、14例中7例で距離の決定に成功しました。この検出数はすでにコンプトン衛星イグレット検出器のそれを上回っており、『ネイチャー』誌や『サイエンス』誌などに9編の論文（査読中含む）を発表するなど、フェル

図2 フェルミ衛星でとらえた GRB 090510 の光度曲線

上から GBM (8～260 キロ電子ボルト, 0.26～5 メガ電子ボルト), LAT (全ガンマ線イベント, 100 メガ電子ボルト以上, 1 ギガ電子ボルト以上) のガンマ線を示してある。一番下の図の黒丸は検出されたガンマ線のエネルギー (ギガ電子ボルト) を示す。
※ キロ = 10 の3乗, メガ = 10 の6乗, ギガ = 10 の9乗



ミ衛星はわずか1年余りの観測で予想以上の成果を挙げています。

ここからはフェルミ衛星でとらえたガンマ線バーストの一つ、GRB 090510について少し詳しく紹介していきます。

フェルミ衛星で見たGRB 090510

2009年5月10日、日本時間午前9時23分、フェルミ衛星がガンマ線バーストGRB 090510を検出したとの速報が舞い込んできました。ちょうど当番についていた日本グループが迅速に解析して検出情報を世界に公開したこともあって、距離が決定でき、このガンマ線バーストは73億光年彼方で発生したことが明らかとなりました。図2は、GRB 090510の光度の時間変化をいくつかのエネルギー帯域で作成したものを、低いエネルギー順に上から表示したものです。これによりガンマ線バーストの高エネルギーガンマ線は、エネルギーが高くなるほどその立ち上がりが遅れる傾向にあることが分かりました。

このような傾向は、過去のコンプトン衛星の結果からは予想もしていなかったもので、フェルミ衛星の優れたガンマ線検出能力によって初めて明らかになったものです。また、今回は幸運にもスウィフト衛星により同時にX線残光の観測も行われ、X線残光と高エネルギーガンマ線は似たような減光の振る舞いを示すことが分かりました。

図3にはGRB 090510で得られたガンマ線スペクトルを示しました。ここから、低エネルギーガンマ線は折れ曲がりを持ったベキ関数で表されるのに対して、高エネルギーガンマ線は「別のベキ関数」が必要であることが明らかになりました。過去にコンプトン衛星でも見られた高エネルギーガンマ線の「別のベキ関数」の成分がフェルミ衛星ではっきり確認されたのは、このGRB 090510が初めてです。フェルミ衛星ではほかのいくつかのガンマ線バーストでも、この「別のベキ関数」が見えています。どうやらフェルミ衛星によって、高エネルギーガンマ線と低エネルギーガンマ線の振る舞いは、時間的にもスペクトル的にも異なることがはっきりしてきたようです。

この原因としては、高エネルギーガンマ線の放射起源が逆コンプトン散乱であることや加速された陽子起源であることに加えて、残光現象と深くかかわっているという可能性も出てきました。今後より多くの観測を行うことで、その放射起源や放射領域の状態などに迫ることができると期待されます。

GRB 090510では、ガンマ線放射起源だけでなく、超相対論的ジェットの運動学にも迫ることができました。検出された最高エネルギーガンマ線は、ガンマ線バーストとしては史上最高レベルともいえる、およそ310億電子ボルトにまで達していました。これほどの

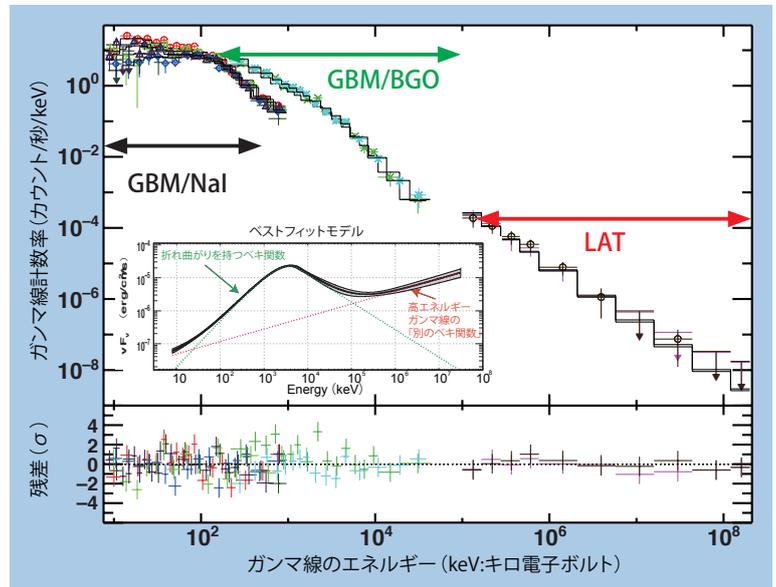


図3 フェルミ衛星で得られたGRB 090510のカウントレートスペクトル中のパネルには得られたバーストフィットモデルを示した。

エネルギーのガンマ線が放射領域から電子・陽電子対生成反応を起こさず脱出するためには、放射領域であるジェットが我々の視線方向に向かって、光速の99.9999%以上(ローレンツ因子にして1000以上)というとてつもない速度で運動をしている必要があることを示すことができました。すべてのガンマ線バーストがこれほどの規模のジェットを持っているのか、だとするとその生成メカニズムはどのようなになっているのか、などについては、今後さらに観測が進むことで明らかになることでしょう。

GRB 090510におけるフェルミ衛星の発見は、天文学の分野だけにとどまりません。310億電子ボルトの高エネルギーガンマ線は、低エネルギーガンマ線の発生からわずか0.83秒後に検出されました。一方、重力理論と量子力学を統合する「量子重力理論」の一部には、73億光年の長旅を経た場合、310億電子ボルトのガンマ線はもっと到達時間が遅れると予想するものがありました。今回の観測結果はこの予想と矛盾するもので、量子重力理論の枠組みに対して観測結果から直接厳しい制限を与えることに初めて成功したことになります。フェルミ衛星の成果は、基礎物理学の分野にも大きなインパクトをもたらしました。

ガンマ線バーストは非常に多彩な顔を持つ天体現象で、光度曲線やスペクトルなどはバーストによって大きく異なります。その中で、フェルミ衛星によっていくつか高エネルギーガンマ線に共通する性質も見え始めており、ガンマ線放射機構に迫る手掛かりになると考えられています。今後もフェルミ衛星によって多くのガンマ線バーストが検出できると期待されますが、今回紹介したGRB 090510のような「大物」を狙うだけでなく、さまざまなガンマ線バーストの性質を調べて比較することも重要です。そのため、今日も我々はいかなるガンマ線バーストも逃さぬよう、フェルミ衛星のデータの監視を続けています。

(おおの・まさのり)

※1電子ボルトは1個の電子が1ボルトの電位差で加速されたときに得るエネルギー

液柱マランゴニ対流実験供試体の修理に成功

野口聡一宇宙飛行士が昨年末から国際宇宙ステーション (ISS) に滞在してはや2ヶ月が経過しました。その間、「きぼう」の船内実験室および船外プラットフォームでは順調に実験が行われています。

船内では、液柱マランゴニ対流実験が再開されました。今回の実験は、昨年まで行われていた直径30mmの液柱より一回り大きい直径50mmのものを作製し、流れの直径依存性を明確にしようとするものです。そのため、従来使われていた実験供試体とは別の供試体に入れ替えて11月から実験を開始する予定でした。ところが、チェックアウトのため小さな液柱をつくってみたところ、液がみるみる減っていくことが確認されました。解析の結果、液柱を保持する両端のディスクのうち、冷却ディスクに挿入した温度センサー（熱

電対)の周囲から液漏れしていることが分かりました。その後1ヶ月、地上では修理方法を検討して手順書を作成するとともに、修理に必要な搭乗員作業時間を確保する努力を続けました。修理作業は1月に野口宇宙飛行士によって行われ、供試体をラックから引き抜いた後(図1)、接着剤を用いてディスク上の漏れ個所がふさがれました。その後、供試体は元に戻され、実験準備が整いました。

図2は修理後に形成された液柱です。液漏れは再発することなく、その後順調に実験を進めることができます。装置は故障しないに越したことはないのですが、修理に必要な「時間」と「人」がある宇宙ステーションの御利益を感じました。

(松本 聡)



図1 野口宇宙飛行士によりRYUTAIラックから取り外された実験供試体

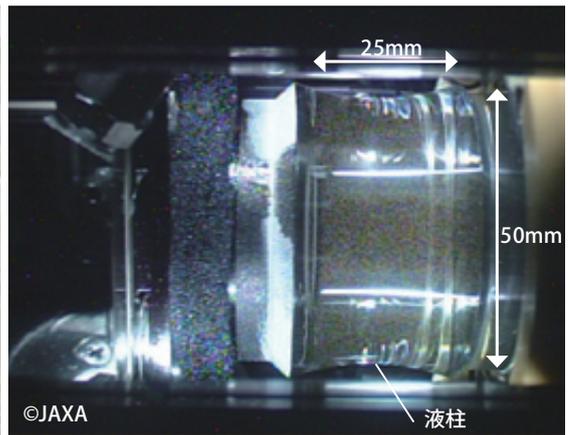


図2 修理後に形成された液柱

「おおすみ」40周年記念シンポジウム開催

L-4S型ロケット5号機による日本初の人工衛星「おおすみ」の打上げから、2010年2月11日で40周年となりました。そこで、これを一つの節目として、日本の宇宙科学の歴史を振り返り、将来について考えるために、「おおすみ」40周年記念シンポジウム「日本の宇宙科学の歴史・ペンシルからラムダ、ミュー、そして未来へ」を一般向けに開催しました。会場は、「おおすみ」を打ち上げたラムダランチャーの実機が



講師陣と参加者の意見交換も活発に行われた

展示されている上野の国立科学博物館。立地は抜群です。諸般の事情で参加者の募集開始が遅れに遅れましたが、なんと募集開始の翌日には定員に達し、相当数の方にはお申し込みいただいたにもかかわらずお断りしなければならなかったほどでした。

シンポジウム当日は天候にも恵まれ、午前中に実施した自由参加の記録映画上映会からほぼ満席。午後のシンポジウムも、2割ほど当日キャン

セルがあったものの、補助席を出すほどの盛況でした。また、シンポジウムにあわせて地球館2階の一角で2月末まで行ったミニ企画展では、巡回展「日本の宇宙科学の歴史」をベースに国立科学博物館の所蔵品の中から当時を物語るものをえりすぐって展示し、当時の貴重な映像も上映しました。

シンポジウム会場では、開演までの待ち時間に映画『L-4S-5 / おおすみ』を上映しました。早々に来場された方々には、40年前の開発現場の雰囲気もお楽しみいただけたようです。シンポジウムは、秋葉鎌二郎先生の「50

年後の『おおすみ』は?」、的川泰宣先生の「ミューが拓いた世界」、そして森田泰弘先生の「日本のロケットの将来像」の3つの基調講演を軸に、宇宙科学の将来について、特に輸送系に焦点を当てて考える場としました。「おおすみ」50周年記念事業（いわば日本版のX-Prize）の提案や、宇宙開発における大学や民間の役割についての議論など、個人的にはいろいろと考えさせられる機会となりました。

年内にまた別の形でシンポジウムを企画しようと思っています。こちらについても楽しみにお待ちください。

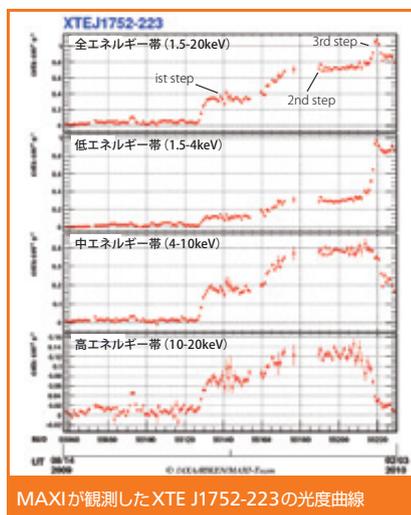
(阪本成一)

全天X線監視装置(MAXI)データ公開を開始

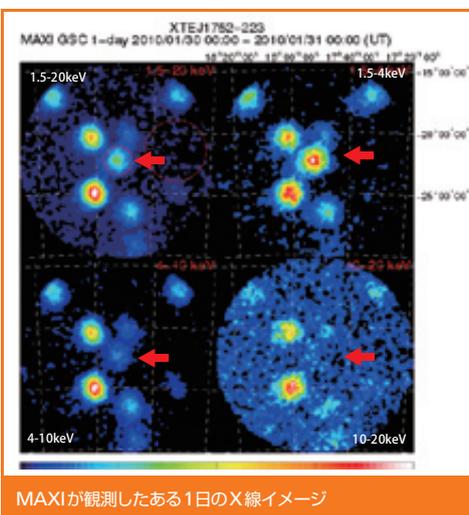
国際宇宙ステーションに搭載された全天X線監視装置(MAXI)は2009年8月より観測を開始し、すでに成果が出始めています(『ISASニュース』2009年11月号参照)。MAXIはX線で全天をモニターするのが主目的で、観測データは“即公開”を基本方針としています。データの公開は共同研究機関である理化学研究所で行い(<http://maxi.riken.jp>)、MAXIが最も得意とする光度曲線についての公開を2009年12月より開始しました。公開しているのは現在のところ比較的有名な100個程度の天体についてですが、天体の数は少しずつ増加しています。将来的には1000天体まで数を増やし、任意の天体についてのオンデマンドでのデータの作成や、スペクトル情報の公開も予定しています。また情報をいち早く世界に発信するために、電子メールを用いたシステムも準備中です。

ここで公開データの一例を紹介しましょう。図は、

XTE J1752-223という2009年10月23日に発見されたブラックホール候補星の光度曲線と、最新の1日のX線イメージです。それぞれエネルギー(波長)別に示しています。この天体は発見以降、まず2段階で明るくなり、第3段階ではさらに明るくなると同時に赤くなる(低エネルギー帯で明るく高エネルギー帯では暗くなる)というブラックホール特有の特徴を見せています。こういった情報はAstronomers Telegram(<http://www.astronomerstelegam.org>)などの国際的な天文速報機関にも発信しており、MAXIの速報をきっかけに世界中の望遠鏡がその天体の観測を開始する、といったことも始まっています。公開ページへのアクセス数も増加し、世界がMAXIに注目していることがよく分かります。我々MAXIチームはその期待に応えるべく、さらに充実したデータの公開と速報を行っていきます。(富田 洋)



MAXIが観測したXTE J1752-223の光度曲線



MAXIが観測したある1日のX線イメージ

第2回 SMILES 国際ワークショップ報告

2008年に京都で開催した第1回に続き、3月1～2日の2日間、相模原キャンパスにおいてSMILES（超伝導サブミリ波リム放射サウンダ）の第2回国際ワークショップを、情報通信研究機構（NICT）と共同で開催しました。参加者は約50名（うち海外からの参加者は約10名）と小規模なものではあ

りましたが、実際の観測データが取得されて初めての会合ということもあり、活発な議論が交わされました。

初日は、小野田淳次郎 宇宙科学研究本部長のあいさつに始まり、SMILES装置の共同開発機関であるNICTとJAXAから、ハードウェア開発と国際宇宙ステーション（ISS）での運用について報告がなされました。また、午後は、宇宙研のISS科学プロジェクト室が取り組んでいる高次データ処理（SMILESが実際に測定した電磁波のスペクトル強度から、オゾンや塩素化合物など地球大気微量成分の高度分布を求める計算）の結果を中心に、SMILESの地球大気化学としての成果につ



ワークショップ初日の記念撮影

いて報告や議論が行われました。

続く2日目は、地球大気化学をターゲットとした諸外国の衛星観測ミッションの紹介や、それらの観測データとSMILESのデータとの比較結果、そしてそれらから導き出される地球大気化学への貢献などについて、研究成果の報告がなされました。

宇宙研で処理した高次データの研究者向け公開は今年1月末に始まったばかりで、ワークショップに参加した研究者の大半は、まだそれらのデータの検証を行っている段階です。それでも、海外のほかの衛星観測ミッションに匹敵するかそれ以上の結果を、SMILESが出しつつあることを実証してくださいました。

同様なワークショップは、今年秋と来年春にも予定しており、その際には観測データもさらに多く蓄積されていることが期待されますので、より活発な研究成果のアピールがなされるものと期待しております。

（佐野琢己）

住所変更のお知らせ

JAXA宇宙科学研究本部は2010年4月1日より、JAXA宇宙科学研究所になります。また、相模原市が政令指定都市となるため、住居表示と郵便番号が変更されます。

変更後 〒252-5210
神奈川県相模原市中央区由野台3-1-1

ロケット・衛星関係の作業スケジュール(3月・4月)

	3月	4月
あかつき	総合試験（相模原）	射場作業（種子島）
IKAROS	総合試験（相模原）	射場作業（種子島）
TM-500-B0	大気燃焼試験（能代）	

最終回

きぼうの科学

緑の下の力持ち 画像取得処理装置

宇宙環境利用科学研究系 准教授

石川毅彦

2009年9月の宇宙ステーション補給機 (HTV) による曝露ペイロードの輸送により、「きぼう」日本実験棟への大物実験装置の輸送は一段落しました。これからしばらくは、軌道の上に運ばれた装置を利用した実験が行われていくこととなります。今回は、これまで行われた実験を陰で支えてきた「画像取得処理装置 (IPU : Image Processing Unit)」をご紹介します。

その名の通り、IPUは実験装置で撮影された動画の録画・処理を一手に受け持つ装置です。液柱マランゴニ対流実験、氷の樹枝状結晶やザロールのファセット結晶の成長実験などでは、画像が非常に重要なデータです。スペースシャトルが退役して国際宇宙ステーション (ISS) から地上への回収重量の低下が予想される今後は、ますます画像データの重要性が増すと予想されます。そのような重要なポジションにあるIPUですが、直接実験にかかわる装置でないことから、かわいそうに、これまでこのコラムで取り上げられることはありませんでした。

IPUは図1の通り、流体物理実験装置、溶液結晶成長観察実験装置とともにRYUTAIラックに搭載されています。IPUは、実験装置から同時に5チャンネルのビデオ信号を取り込むことが可能です。また、5台のハードディスクに動画を録画します。図



図1 「きぼう」に搭載された画像取得処理装置 (IPU)

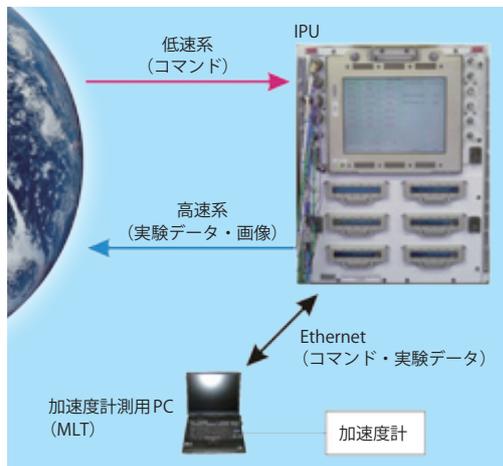


図2 IPUと加速度計測装置との通信系統

1に見える6個の細長い長方形の部分ハードディスクの差し込み口で、搭乗員によってディスクを交換できるようになっています。さらにIPUは、5チャンネルの画像を圧縮・多重化 (多数のチャンネルデータを一つにまとめること) して、「きぼう」の高速系の伝送ラインを経由して地上に送信する機能を有しています。動画は非常に情報量が多いので、圧縮なしに伝送することは困難です。

IPUの開発は今から15年ほど前に始まりました。民間の映像技術・規格は、デジタル技術の進展と相まって日進月歩、非常に移り変わりが早いものです。そんな中で、IPUの仕様・規格が時代遅れとならないかが大きな懸念でした。録画機能の仕様 (最初はDVテープ) は、その後の民生品の進歩を反映して、ハードディスクに変更されましたが、圧縮機能 (MPEG-2) は幸いなことに今でも現役の規格なのでほっとしています。

IPUのさらなる機能は、Ethernetのインタフェースを有し、軌道上のノートパソコンとLANケーブルを通じてデータの送受信ができることです。この機能は、加速度計測装置など「きぼう」システムと直接通信インタフェースを持たない (比較的小型の) 実験装置と地上との関係に重要な役割を果たします。図2の通り、実験装置は「きぼう」システムと低速系と高速系の通信インタフェースを持ちます。実験装置は、低速系を通じて地上からの遠隔操作コマンドを受け取ります。また、高速系を通じて実験装置のデータや画像を地上に送信します。ところが、加速度計を制御するノートパソコン (MLT[※]) などはこれらの通信系と接続されていないため、そのままでは地上から遠隔操作ができません。そこで、IPUが有するEthernetを利用し、IPUを経由してコマンドを送信します。IPUには低速系を通じて受け取ったコマンドを解釈し、Ethernetを通じてつながれている機器に転送する機能があります。また、MLTなどに蓄えられたデータも、Ethernetを通じていったんIPUに送り、IPUから高速系を通じて地上に伝送することができます。このように、画像ばかりでなく多様なデジタルデータを取り扱えるIPUは、ISSでの柔軟な実験運用に多大な貢献をしています。



「きぼう」の科学」をご愛読いただきありがとうございました。17回にわたり「きぼう」で行われる科学実験や実験装置・実験供試体について紹介してきましたが、いったん区切りを付けたいと思います。2011年には温度勾配炉など新たな装置がISSで運用を開始する予定です。今後も『ISASニュース』を通じてこれらの新しい装置やそれを用いて行われるサイエンスについて紹介していきたいと思えます。

(いしかわ・たけひこ)

※Microgravity Measurement Apparatus Laptop Terminal

宇宙科学研究本部 2009年度の



2009年度は、日本初の人工衛星「おおすみ」打上げから40年、日本の宇宙開発の枠組みが変わり始めた年でもありました。ここでは小野田淳次郎本部長と井上一前本部長の知恵を拝借して、2009年度の宇宙科学研究本部にとっての大きなニュースを振り返ってみます。以下は仮想の座談会です。

(ISASニュース編集委員長 村上 浩)

■ 本部長交代

村上：まずは10月に本部長の交代という大きなイベントがありました。井上前本部長、長い間本当にお疲れさまでした。小野田本部長は、今後新しい流れの中での本部のかじ取り、大変だと思いますが、よろしくお願い致します。お二人とも神経をすり減らすお仕事をさせていただいておりますので、仮想座談会では、猫と一緒にこたつでミカン、という癒し空間を設定してあります。しばらくお付き合いください。

■ 宇宙基本計画の策定

■ 宇宙科学研究推進検討委員会の提言

村上：2009年度初めの6月に宇宙開発戦略本部の宇宙基本計画が出て、安全保障分野を含めた宇宙利用重視の方向に踏み出しましたね。

井上：はい、政治主導で宇宙開発利用の戦略を決める、という動きの第一歩といえますか。でも科学研究が軽視されているとかそういうことは、まったくないのですよ。宇宙科学は宇宙開発の柱の一つとして、先端的な研究開発の推進という中に位置

付けてもらいましたし、施策としても世界をリードする科学的成果を創出しなさい、ということになっています。我々も大学の研究者の方々と一緒になって大きな成果を挙げ続けられるように頑張らないと。

村上：月探査については、有人探査が視野に入ってきたり、少し唐突に2足歩行ロボットによる探査が盛り込まれたりして、報道を含めてさまざまな議論が起きていますね。

井上：月に限らず無人の探査については科学目的、これは工学目的を含めてですが、それを前面に出して、いきなり2足歩行などと言わないので何が一番良いのかを考えればいいのですから、比較的明快だと思います。しかし、日本の有人探査をどう進めるのかという、ちょっと視点の違う課題を抱えた月探査については、今後広範な議論が必要ですね。

宇宙科学については、これは政府ではなくJAXA理事長の諮問委員会ですが、宇宙科学研究推進検討委員会の提言が年度の終わり近くになって出されました。ここでは研究者がより研究に専念できる環境整備や、自律性の向上が打ち出されていて、これも宇宙

研にとっては重要な動きでした。

小野田：宇宙研の研究体制をどう変革していくのかは、まだこれからの議論ですが、検討委員会の提言を受けた環境整備の第一歩として、「宇宙科学研究本部」が4月からより自律的な研究組織というニュアンスの「宇宙科学研究所」となって、一部の組織も変わるようになりました。研究者の元気が出る組織にできるよう、今後も考えていきたいと思っています。

村上：偶然ですが、宇宙研のある相模原市も4月から政令指定都市になって、住所も相模原市「中央区」由野台3-1-1になりますし、郵便番号も変わります(6ページ参照)。5月からは宇宙研の電話システムも変わって電話番号も変更になりますし、混乱がちょっと心配です。

小野田：そうですね、いろいろなことがあります。混乱のないようにやりたいですね。

■ トップヤングフェローの開始

村上：これも研究体制の整備とかかわりますが、世界から優れた若手研究者を良い待遇で宇宙研に招聘する、インターナショナルトップヤング

10大ニュース

フェロー制度も今年度にスタートしました。

井上: 2009年度は、まず4名のトップレベルの若手研究者を招聘することができました。宇宙研を拠点に世界レベルの成果を挙げてもらうことで、日本の科学コミュニティに刺激を与えてもらって、世界の若手が集まる魅力的な研究所になるとよいですね。

- 「はやぶさ」の復活
- 「かぐや」ミッション終了
- 天文衛星の成果も続々

村上: いろいろなミッションの成果にも触れておきたいのですが、小惑星探査ミッションの「はやぶさ」は、相変わらずの不死鳥ぶりを見せています。

小野田: 11月に、もう駄目かと思われたイオンエンジンの中和器の故障も乗り越えて、地球に向かっています。まだまだ楽観できる状態ではないと思いますが、本当に小惑星サンプルを持ち帰ってくれたら人類全体の宝になるので、無事に帰ってきてくれるのを願っています。

村上: 「かぐや」も地形カメラの画像やハイビジョン映像など、非常に印象的な結果を残して、6月に計画通りに月面に落下してミッションを終えました。

小野田: ミッション最後の画像も多くの方に注目していただいたようですね。「かぐや」は今後の月探査にとって本当に大きな一歩でしたね。

井上: 「すざく」「あかり」「ひので」の天文ミッションが多く成果を出していることも言っておかないと。

村上: あ、そうです。『ISASニュース』の記事になった例だけで言っても、例えば「すざく」では3億度という超高温のプラズマを発見して、銀河の集団同士の衝突というわくわくする出来事を垣間見せてくれました。「あかり」

はもうすぐ、100万個に近い天体を含む赤外線天体のデータベースを発表しようとしていますし、1月号では太陽系の誕生時に思いをはせる彗星の観測結果が紹介されています。「ひので」も、太陽が生きていること、その鼓動ともいえる太陽活動を見せてくれて、長年の謎であるコロナ加熱のメカニズムにも迫っています。

■ 新しいミッションたち

小野田: 今年度は残念ながら新しい科学衛星の打上げはなかったのですが、金星ミッションの「あかつき」、一緒に打ち上げられる小型ソーラー電力セイル実証機の「IKAROS」は、総合試験が終わって、もうすぐ種子島へ運ばれます。小型科学衛星や水星ミッション、次のX線天文衛星の開発も始まっています。確実に開発を進めていただきたいですね。

■ 国際宇宙ステーション (ISS) の成功

村上: 今年度は新しいロケットH-II Bや宇宙ステーションへの補給機HTVの成功、若田光一さんのISS長期滞在というニュースもありましたが、日本の実験棟「きぼう」での各種宇宙実験も順調に科学的な成果を出しています。長く待たされたおかげで準備は万全、ということもあるのかもしれませんが、どの実験も、とにかくうまくいっているのが印象的です。

小野田: ISSには大きな税金を使っているので、うまくいってほしいと思っていました。船内で行われている無重力での結晶成長や生物実験も成果を出していますし、曝露部に設置されX線で全天をモニターしているMAXI、それにオゾン層の問題にもかかわる地球大気微量成分を観測するSMILESも、順調に観測を始めたようで良かったですね。

■ 大樹町で科学観測が始まった 大気球実験

村上: 大気球実験場は、長くお世話になった岩手県三陸町（現・大船渡市）から北海道の大樹町に移転し、2009年度には移転後初めての科学観測にも成功しました。

小野田: ちょっと失敗もあって、予定より遅れはしたものの、新しい設備、新しい環境で、気球チームには本当に頑張っていたいただきました。5月、6月には無重力実験や金星大気観測のフライトを行うことができました。8月には新しい大気再突入システムの開発を目指した膜の展開実験や、高エネルギーの電子やガンマ線の観測にも成功しました。今後もユニークな宇宙実験手段として、大気球には活躍してほしいですね。

村上: 来年度はどんな年になるでしょう。

小野田: 年度が改まって間もなく「あかつき」と「IKAROS」が打ち上げられますし、「はやぶさ」の帰還という大注目のイベントもありますよね。国レベルでの宇宙開発利用の議論に合わせて、宇宙研の研究体制の見直しもしていくことになりますから、来年度は10大ニュース選別に事欠かない年かもしれません。

村上: 来年度も本部長、いや研究所長としては気の抜けない年ということですね。時々井上先生も一緒に『ISASニュース』に息抜きに来てください。こたつとミカン以外にも、どんな設定でも用意してお待ちします。

(以上、現/前 宇宙科学研究本部長に10大ニュースの項目を挙げていただきましたが、文責は村上にあります。)

オスロを訪ねて

厳冬のオスロを訪ねた。言わずと知れたノルウェー王国の首都は、北緯59.9度というのに、沖を流れる暖流のためにそれほど寒くはなかった。少し強がりと言わせてもらえば、北国育ちの私にはマイナス10℃なんて平気の平左である。本土の北半分は北極圏であるが、オタマジャクシが逆立ちしたような形の南北に1700km以上もある細長い国土を最南端（北緯57度）で折り返すと、北端がイタリアのローマに届くというから、その長さに驚いてしまう。

ユーラシア大陸の極東に位置する日本と北西端にあるノルウェーの間には、いくつか共通点がある。どちらも捕鯨国、長寿国、そして国土面積がほぼ同じ（約38万平方km）。また、天皇家とノルウェー国王家は良好な関係を保っているようだ。この国では鯨肉の話をする、そうさそうだと盛り上がる。それから連想されるものはバイキング。お土産店にはバイキングの帽子が売られているし、オスロ市内にはバイキング船博物館がある。王国のせいか、オスロの街のあちこちに典雅さが感じられる。

今回の出張目的は、2010～2011年の冬にICI-3キャンペーンとしてノルウェーのスパールバル諸島から打ち上げる観測ロケットの機体設計確認会への出席である。宇宙プラズマ研究系の斎藤義文さんが低エネルギー電子計測器を、私が電子密度擾乱測定器をロケットに搭載することになっている。ICIはInvestigation of Cusp Irregularityのアクロニム

で、すなわち高緯度電離圏のカスプと呼ばれる領域に発生するプラズマ・イレギュラリティ（不規則構造）発生過程の解明を目指すものである。カスプ領域は磁力線を介して磁気圏や太陽風とつながっているため、粒子や電磁エネルギーが容易に注入される。このため、プラズマの不安定現象や波動粒子相互作用が生起し、それらが密度のイレギュラリティを引き起こしているのだろうと考えられている。2008年12月にICI-2として前号機が打ち上げられ、首尾よくプラズマに関するデータが取得されたため、その知見をもとにさらなる解明を目指す第3弾としてICI-3が計画されたのである。確認会は、プロジェクトのPrincipal Investigatorであるオスロ大学のMoen教授の主宰で同大学物理学科のとある会議室にて、日本、ノルウェー、フランスの関係者が出席して行われた。

会議のアジェンダは機体構成、テレメータ配分、スケジュールなどで、ホスト側が準備周到に進めた

ためか、特に大きな問題点もなく終了した。ICI-2でほとんどが顔なじみだったせいか、スムーズに議論が進められた。印象的だったのは、その会議室に故ビルケランド教授の胸像が置かれていたことである。ノルウェーにはオーロラ研究で顕著な功績を残した人物が多いが、ビルケランド教授は特に著名な研究者の一人であろう。彼は宇宙空間に生起するさまざまな現象を再現する室内実験装置（テレラ）をつくり、オーロラ、太陽コロナ、土星の環などを地上でつくることに成功した科学者であり、その肖像はノルウェーの200クローネ紙幣にも使用されている。私は宇宙研の一般公開では人工オーロラを担当しており、来場者に少しでも見栄えのするオーロラを見せることにいつも苦勞しているのだが、人工オーロラの大先達に遭遇し教えを請いたい気持ちになった。彼はクリスチャニア大学（現オスロ大学）で研究を行っていたが、研究旅行の途中で日本に立ち寄り東京帝国大学で寺田寅彦らと会った。その後数奇な運命をたどり、日本で客死したことは、寺田寅彦の随筆集に書かれている有名な話である。日本に縁の深い彼に関するさまざまな思いが頭をよぎり複雑な心境になった。

最終日の打ち合わせが予定より早めに終わり、少し時間的余裕ができたので、街外れにあるムンク美術館に出掛けた。ムンクの有名な代表作「叫び」や「マドンナ」のある国立美術館は街の中心にあってホテルから近いために、すでに何度も通ったが、今回はそれ以外の作品を見るためここまで足を延ばすことにしたのだった。ムンクの絵には孤独や不安を題材にした作品が多い。そのほかの作品や背景を知りたいと感じたことが足を延ばした動機の一つだったが、そうした作品を鑑賞できた。日本で一時「叫び人形」がはやったことがあったが、本国の美術館内の売店でも叫びを描いたTシャツやマグカップ、カフェテリアでは「叫びケーキ」まで販売していることには驚き、理解に苦しんだ。ムンクを理解するためには、もっとノルウェーを知る必要がありそうだ。

日本とノルウェーの観測ロケット分野における協力はもう20年近く続いている。昨年10月には都内のノルウェー大使館において、宇宙と大気研究に関する日本・ノルウェー国際ワークショップが開催された。ここでは今後の両国間の宇宙科学分野における緊密な協力について議論が行われ、将来の研究の対象となる具体的なテーマが提案された。日本とノルウェーの観測ロケット分野における協力は今後も継続され、貴重な研究成果が得られるだろうと期待している。遠い国ノルウェーとのお付き合いが今後も続きそうである。（あべ・たくみ）



ビルケランド教授の胸像

阿部琢美
宇宙プラズマ研究系 准教授



宇宙寺子屋のひととき

藤井裕矩

神奈川工科大学 / 日本大学 教授
首都大学東京 / 東京都立科学技術大学 名誉教授

「やあ、五郎君。いらっしゃい」
「先生、今日もお教を頂きに来ました」
「では早速本読みに入りましょうかね」
「あれ、詰め将棋ですか？」
「いやいや、9手詰めが5手で詰んでしまっただね。よく見たら歩越角でしたよ、あはは」
「こんなことで大丈夫ですかね」
「何か言いましたか？」
「いえ、あの宇宙工学のことです。先生は若いころから、宇宙工学が学問として成立するかどうか悩んでおられたとか。大丈夫ですかね」
「いやいや、学問的な成果に意義があるというのは、新しい分析、総合、抽象化、そして発明と発見の5つの要素のいずれかを含んでいること、などといわれていますが、宇宙工学は一生を捧げる学問としてどうなのかが心配だったのですよ」
「それで、柔軟宇宙構造物の制御研究会の世話をやってこられたのですか。たくさんの大学や研究所そして企業の方々が参加されていたとか」
「そうです。あれは多くの方々のお世話を頂いて、20年間ほど続きました。非常に面白い経験でしたね」
「ちょうど大型宇宙構造物が技術的に可能になって、国際宇宙ステーションが計画され始めたころですね」
「宇宙ステーションなど小さい、小さい。やはり何kmにも及ぶ太陽発電衛星のようなものの制御が我々の目標だ、などと言っていましたね。最近、その時期がやっとやって来たようですね。」
「情報を隠し合っていた分野が多い中、互いに情報を広く交換しながら大きく発展した造船業界の歴史を踏まえてね。いろいろな分野の人たちが議論しながら発展させる“宇宙工学”を期待した企画だったのですよ。そのころにお世話になった方々は、今は皆さん偉くなって活躍しておられますよ。私だけ変わりませんがね。ははは」

「大型宇宙構造物の制御は、分布定数系を離散系で制御するような非常に高次元のモデル

で、その制御系の設計はブラックアートである、などと言われておりましたね。しかしおかげさまで、制御理論がSISO（1入力・1出力）からMIMO（多入力・多出力）へと大きく発展する時期と一致していて、いい勉強になりました。そのときは外国でも数学に強い人々がどっと入ってきて、あとはペンペン草が……。あつと、これは失言。おかげで、今では理論をうんうんうんうんって勉強しないでも、MATLABを使って制御系を容易に設計できるようになりましたね。まあ、問題もありますが」
「宇宙工学では簡単なPDI制御でいいのだ、という意見が強かったそうですね」
「残念ながら、当たっている部分も多いですね。私も、もともとパッシブな制御ができればそれがベターで、どうしようもないところで制御を使うべきだと思っています。しかし、制御系もハード面・ソフト面で進化し、信頼度も上がっていますから、これからも制御がいろいろな分野で成果を挙げてくれるでしょうね」
「先生のような大学人が貢献できる宇宙工学の一面ですか」
「世界的に優秀な大学では、自分の見つけた問題を学生に解かせて、優秀な学生の解答を使って理論を打ち立てた先生がいますよ。実は、学生が努力したレポートなどが積み上げら

れて消え去ってゆくのを、いつももったいないなど思っているのですよ」
「そんなことを言って、学生の解答を使って模範解答をつくっているのではないのですか」
「あはは、ばれておりましたか。なかなか良い模範解答ができますよ。」

ところで、大学の持つ潜在的な力を何とか宇宙工学に、ひいては宇宙開発に使えないものかと思っているのですよ。本当に宇宙工学に役立つ地味なところで、優れた能力を修練しながらですね」
「そういえば、先生は大学の新生入生に『どうだ、難しいだろう。もしも今分かるのなら修士課程にすぐに入れるよ』とおっしゃっていましたね。彼らはわりとうれしそうでしたが」
「積算している難問をどんどん大学にぶつければよいのでは、と思います。やり方はいろいろありますがね」

「ところで五郎君、本読みは？」
「あれ、先生もう時間ですよ。誠に心から残念に思いますが、本読みはまた次の機会にお願います。テザーのお話も聞きたいし」
「そうですか、ではまたですかね」
「先生、宇宙研に何か一言、とありますけれど」
「駒場のころから長くお世話になっています。帰りの下北沢駅の立ち食いそばがいつも楽しみでした。ISAS/JAXAの仕事は非常に高く評価されています。国際交流にしても大学に比べればいろいろ制約があったり、また、環境にしてもどんどん変わりつつありますが、伸び伸び良い仕事をするという本来の良さを生かして頑張ってくださいませ」
「今日はどうぞご苦労さまでした」

(ふじい・ひろのり)



宇宙テザーの仲間たち

無理難題にも応えます

宇宙構造・材料工学研究系 准教授
内之浦宇宙空間観測所 所長

峯杉賢治



みねすぎ・けんじ。1962年、山口県生まれ。工学博士。東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻博士課程修了。1991年、宇宙科学研究所入所。専門は構造工学。

—— 構造工学がご専門ですが、どのような仕事をされているのですか。

峯杉：ロケットや人工衛星の構造と機構の研究開発をしています。科学衛星プロジェクトに参加し、理学研究者からの要望を形あるものにして打ち上げることが、私たち“構造屋”の仕事です。理学研究者からの要望は、常に無理難題です。しかも、“世界最高”とか“極限を目指す”とか、数値で表せるものではないことが多いから困るんです(笑)。私たちは、「どこまで我慢できるか、どこは譲れないか」と理学研究者に聞きながら、限られた時間と予算で何ができるかを一緒に見極めます。理学研究者との激しいせめぎ合いです。

—— 「はるか」「のぞみ」「すざく」「ひので」のプロジェクトに参加されていますが、観測対象も衛星の形もすべて違います。

峯杉：だからこそ面白いのです。科学衛星は世界最高の観測をしなければ意味がありません。そのためには、毎回新しいチャレンジが必要です。無理難題を言ってもらい、それを解決していくことこそ、ISASの工学の存在意義があるのだと思います。

—— 例えば、水星磁気圏探査衛星MMOの難しさは？

峯杉：水星を周回するMMOは、地球の11倍も強い太陽の光にさらされます。対策をしないと衛星は500℃にもなり、電子機器が壊れてしまいます。そこで、太陽光が当たる面積を小さくするために、直径180cm、高さ90cmと、背の低い八角柱にしました。表面は200℃、内部は60℃を超えないようにするため、細部の構造や材料について“熱屋さん”と知恵を絞っているところです。

—— 熱屋とは、熱設計の担当者ですね。

峯杉：はい。構造屋だけでは、衛星もロケットもできません。熱屋、材料屋、電気屋、制御屋など、いろいろな分野の人と分担・協力する必要があります。ISASの技術者はみんな自分の専門分野について深い知識を持っていますが、衛星やロケットをつくるためには、ほかの分野の知識も必要です。縦棒を自分の専門分野の知識、横棒をほかの分野の知識としてアルファベットのTで表すと、ISASの技術者は縦棒がとても太いTになります。横棒も太くしたいのですが、机の上の勉強だけではどうにもなりません。プロジェクトの参加者はみんな、「これは自分の衛星だ」と思って開発します。そこに、責任感やモチベーションが生まれてくる。すると、自分の担当だけでなく、あそこも見ておこう、ここはどうなっているのか聞いて

てみよう、視野が広がっていきます。プロジェクトで経験を積むことによって、Tの横棒が自然と太くなっていくのです。

—— 子どものころの話を聞かせてください。

峯杉：7歳のときにアポロの月面着陸があり、テレビにかじり付いて見ていました。あのころ、私も含めて多くの子どもたちが宇宙飛行士に

なりたかったと思います。いつごろからか覚えていませんが、星も好きでした。遊びに夢中になり約束の帰宅時間を過ぎると、家に入れてもらえないことがありました。閉め出されてどこかに行ってしまった私を親が心配して探すと、アパートの屋上であおむけになって星を見ていたそうです。小学校高学年のときには、親にねだって屈折望遠鏡を買ってもらいました。最初に見た土星の環は、今でも覚えています。図鑑で見ていた土星とはずいぶん印象が違いました。が……。それでも、いろいろな天体に望遠鏡を向けるのは楽しかったですね。

—— 天文学ではなく、なぜ工学の道に進んだのですか。

峯杉：大学進学を前に、自分は机に座って考えるより、ものづくりの方が向いていると考え直したのです。小学6年生のときに見たアニメ『宇宙戦艦ヤマト』の影響も大きかったですね。大好きで、テレビの前にテープレコーダーを置き、26話すべてを録音しました。それを何度も聞いて、せりふをすべて覚えました。

—— 内之浦宇宙空間観測所の所長を兼務されています。

峯杉：所長の重要な仕事の一つが啓発活動です。子どもたちにロケットの打上げを見せたり、ロケットや人工衛星の話をしています。私たちの仕事を知ってもらい、将来宇宙開発を担う人が出てくれればと思っています。ロケットを打ち上げるには、打上げ場がある肝付町をはじめとした多くの人たちの理解と協力が不可欠です。地元の人たちへの説明や交流も私の仕事です。

—— 峯杉 准教授にとって、内之浦はどういう場所ですか。

峯杉：大学院を出てすぐの、何も分からない私を鍛えてくれた場所。第二の故郷です。打上げ直前には、みんなピリピリしています。トラブルが起きれば、修羅場です。そういう状況に置かれている私たちを、内之浦の人たちはとても温かく迎えてくれます。定宿に帰ったときの「おかえり」の一言に、ほっとします。

ISAS ニュース No.348 2010.3 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

春が来た。「良い季節が来た」とか言うのだろうか、花粉症の方には辛かろう。永く宇宙研にいるせいか、頼りにしていた方々の退職を見送るのも辛い。巣立って行く学生やポストコム。新しい出会いもあるだろうが。

(紀伊恒男)

*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