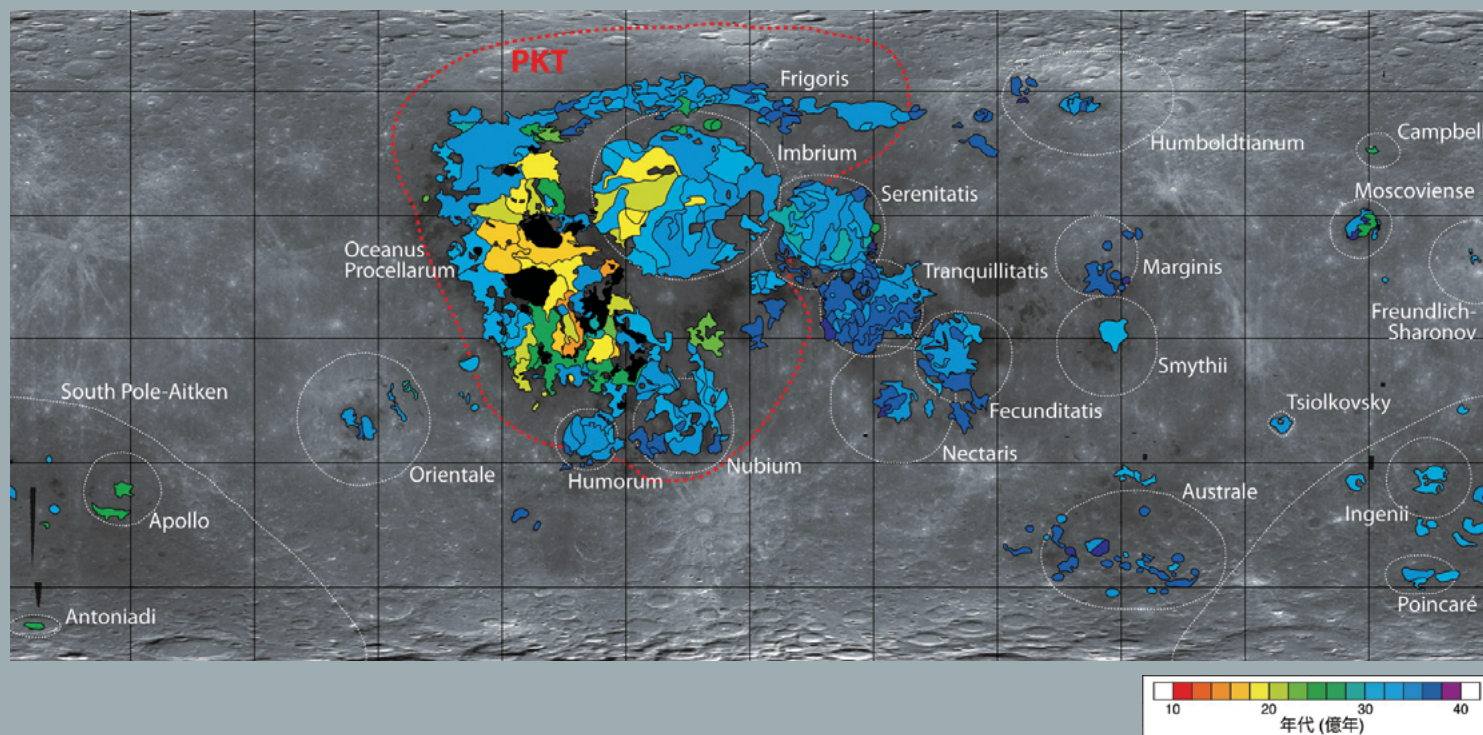




月周回衛星「かぐや」による月の海の年代マップ

宇宙科学最前線

宇宙用半導体集積回路の開発 宇宙・民生共使用戦略

廣瀬和之

宇宙探査工学研究系 准教授

齋藤宏文

宇宙情報・エネルギー工学研究系 教授

現在軌道上で活躍している科学衛星はエレクトロニクスの塊といってよいほど、半導体高集積回路 (LSI) の果たす役割がとて大きくなっています。ところが、高機能な宇宙用LSIのほとんどは海外から輸入しているのが現状です。我が国で1年に1機程度を打ち上げる科学衛星に必要なLSIの数は、パソコン用に必要な数と比べておよそ6桁も少ないことから、日本では宇宙用LSIを独自に開発・製造する体制を維持することはとても困難だからです。一方、高機能な民生用LSIは宇宙環境の厳しい放射線に対する耐性に不安があります。それをそのまま衛星に搭載することは運を天に任せて宇宙科学を進めるようなもので、高い信頼性が要求される高度なミッションでは適切ではありません。では、第3の戦略はないのでしょうか？

私たちは、宇宙用と民生用の共使用にその答えがあると考えました。宇宙用LSIの開発で最も厳しい課題は放射線耐性です。近年、民生用LSIの微細化が極限にまで進んできた結果、民生用LSIの開発でも同じ課題が顕在化してきたことから、共使用の可能性が出てきました。

1996年、微細化の進む民生用LSIで、パッケージ内部の不純物材料から発生する放射線問題に加え、地上に降り注ぐ宇宙線に起因する中性子線の問題が顕在化し、放射線による障害の中心的なものであるシングル・イベント・アップセットが危惧されることが、IBMより報告されました。シングル・イベント・アップセットが起きると、LSIに記憶したデータが書き換わってしまい、誤動作につながります。特に自動車、建設機械、航空機関係では、機

械環境や温度環境が厳しいばかりでなく、人命に関わる点から高信頼性、中でも高い放射線耐性が強く望まれています。このような分野と宇宙分野が協調してLSIを開発し製造ラインを維持していく共用戦略を、私たちは考え出しました。

宇宙用LSIの目標仕様

共用を目指したLSI開発のパートナーとして私たちが選んだのは、宇宙・自動車・建設機械のエレクトロニクスを幅広く開発する三菱重工(株)名古屋誘導推進システム製作所で、開発を開始したのは1999年でした。私たちは、まず宇宙科学コミュニティが要求する目標仕様を明確にすることから始めました。そしてLSIの目標仕様を達成するために最適な設計技術・回路技術・製造プロセス技術の一つ一つ選択していきました。

宇宙用のLSIを開発する上で最も重要なことは、目標仕様を決定するに当たって処理速度/消費電力/放射線耐性のトレードオフを考えることです。放射線耐性の強化は、耐性レベルに応じたチップ面積の増大だけでなく、処理速度の低下や消費電力の増加を招くことになり、民生用の半導体集積回路の開発では見られない難しさがあるのです。図1にLSIの中で最も高機能なマイクロプロセッサ(MPU)の処理速度の発展史を示します。このようなトレードオフのために、宇宙用MPUは民生用MPUと比べ、同時代には処理速度が遅いことが分かります。

トレードオフを考えるためには、まずミッション要求を把握しなければなりません。科学衛星・惑星探査機に搭載するLSIに要求されることは、3軸姿勢制御を含む自律的な衛星運用機能や、膨大な観測データを処理して可視時間に地上局に転送ができる処理速度、小型衛星で発生するわずかな電力で

賄える消費電力、低軌道を周回する宇宙ステーションに要求されるより高い放射線耐性などです。いたずらに処理速度の最大化や放射線耐性の最大化を目指すのではなく、この3者のトレードオフを考え、MPUの開発目標は処理速度100MIPS、消費電力1W以下、放射線耐性は世界標準となりました。

設計技術

LSIの設計方法は、セルベースASIC方式を採用しました。これは、あらかじめセル・ライブラリーとして用意されている標準的な回路ブロックである記憶用のセルと論理用のセルを組み合わせで配置設計するものです。放射線耐性強化策を各記憶セルに対して施せば、回路設計に当たって放射線の影響を考える必要がなくなり、宇宙用LSIの専門家でなくても自由に設計が可能となります。多様なミッションに必要とされる宇宙用のLSIを自在に設計するだけでなく、セル・ライブラリーを民生ユーザーに提供すれば、高信頼民生機器向けの放射線耐性を強化したLSIの設計にも利用でき、民生との協調路線を取りやすくなります。その結果、共用の効果が安価にLSIを入手できる可能性が生まれるわけです。

回路技術

放射線耐性強化方法として、フィードバック抵抗(R)・容量(C)をLSIに付加する方法を採用しました。シングル・イベント・アップセットによる誤りに対する一般的な訂正方法である三重冗長(多数決)手法ではチップ面積がおよそ3倍以上になるのに対して、RCフィルタによって過渡パルスの伝搬を阻止するフィードバック抵抗・容量付加法ではチップ面積の増加を抑えることができます。実際、次に紹介するシリコン・オン・インシュレータ(SOI)プロセスを採用したことで、面積増加は約1.3倍と比較的小さく抑えることができました。ただし動作速度が低下するので、それを最小限にするように3次元デバイス回路混在シミュレーションと放射線照射試験を行い、挿入するフィードバック抵抗や容量の値と位置を最適化する必要があります。検討した結果、動作速度の低下も30%に抑えることができました。

製造プロセス技術

民生の量産プロセスを利用することで、従来の宇宙用専用のプロセスを利用した場合より安価に製造できます。私たちは、LSIの高速化・低消費電力化が期待されている最先端の民生SOIプロセス(0.2 μ m完全空乏型SOIプロセス)を採用しました。SOI構造は、よく知られているように寄生サイリスタ構造がないため、永久故障につながる可能性

図1 宇宙用マイクロプロセッサ(MPU)と民生用MPUの処理速度の発展

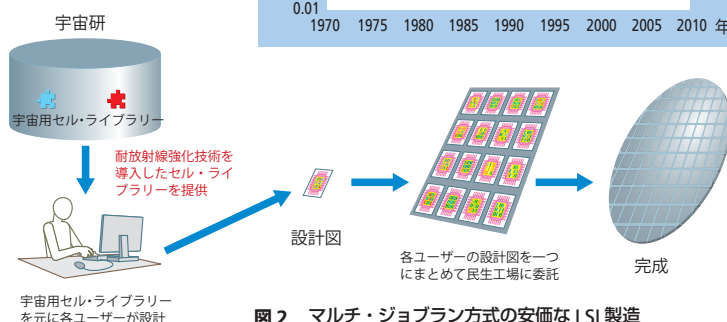
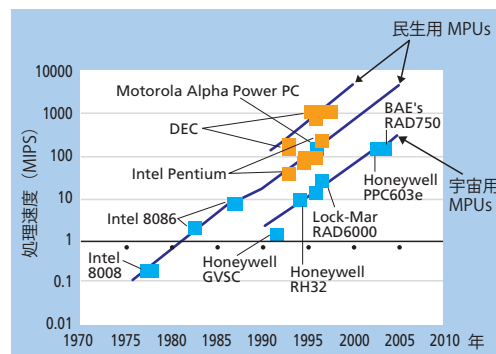


図2 マルチ・ジョプラン方式の安価なLSI製造

のあるシングル・イベント・ラッチアップが起きないという特長を持ちます。またシングル・イベント・アップセットの感受性については、放射線によってLSIの基板（シリコン）で発生する電子・正孔がチャンネル領域に流入することをSOI構造特有の埋め込みシリコン酸化膜が防ぐため、収集電荷が少なくなるという長所があります。一方、寄生容量が小さいため、わずかな収集電荷によりLSI内の電位が大きく変動するという短所があります。そこで、放射線耐性を強化するために、シミュレーションを用いた回路技術が不可欠となるのです。

マルチ・ジョブラン方式で宇宙用LSIを安価に開発

上述の三つの技術を用いて2002年から開発が本格化し、放射線耐性を予測するための3次元デバイス回路混在シミュレーションと放射線照射試験を精力的に行いました。そして、基本的なメモリーセルの設計・製作を行い、シングル・イベント・ラッチアップ・フリーであるばかりでなく、シングル・イベント・アップセットの発生頻度が静止軌道で270年に1回以下という世界一シングル・イベント・アップセットに強い民生技術を用いたSRAMというメモリーの開発に成功しました。その後、2003～2005年にはLSIの設計に必要なセル・ライブラリーを整備して、5mm×5mmの区画に300kゲート規模の宇宙用LSIを誰でも設計できるようになりました。2005年からは高機能LSIの設計に必要な高速通信コントローラーやプロセッサの検討などに着手しました。

また同じころ、この共使用戦略に加わっていなかった衛星メーカーと大学に本セル・ライブラリーを提供して、彼らが設計したLSIを私たちのLSIと共同で製造して製造費を折半するというマルチ・ジョブラン方式を試み、第三者でも宇宙用LSIを安価に開発できることを実証しました（図2）。

最先端の宇宙用LSI、システム・オン・チップ完成

そのような活動の中で、私たちが完成させたセル・ライブラリーとマルチ・ジョブラン方式を利用して、三菱重工は最先端の宇宙用LSIであるシステム・オン・チップ（SoC）を完成させました。そのプロトタイプを2007年に試作し、引き続き放射線試験や改良設計を実施して、今年その完成を迎えたのです。

現在海外から調達できる極めて高額な宇宙用MPUとして、図1に示すように処理速度が私たちの目標仕様を満たす100MIPSを越すものがあります。しかし、消費電力は数Wと、目標仕様を満

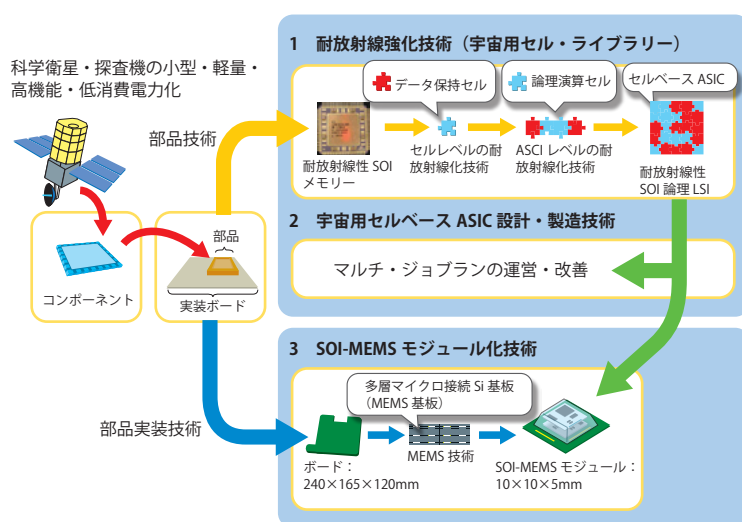


図3 宇宙研の宇宙用半導体集積回路の研究

たすものではありません。私たちが開発した世界標準の耐放射線性を有するSoCは、チップサイズが15mm×10mmと小さく、メモリーとスペース・ワイヤー・インターフェースを1チップに実装した100MIPS処理速度の32bit MPUと機能性能面でも優れているばかりでなく、消費電力が1W以下と低消費電力です。また民生市場においても競争可能な低価格化を実現させたものであり、世界トップレベルの共使用できるプロセッサの純国産化に成功したといえます。本SoCは、次期天文衛星への搭載が計画されていますが、さらに三菱重工が量産する民生機器にリプレースして使用されることが検討されています。

現在、私たちはここでご紹介した宇宙用LSIの研究開発に続いて、マイクロ・エレクトロ・メカニカル・システム（MEMS）という最先端の微細化技術を利用して、LSIを超小型実装する研究開発も開始しました（図3）。これが成功すれば、高機能な宇宙用LSIを製造して、超小型化して衛星に搭載することが可能になります。

本プロジェクトは、構想の立上げから11年目に結実しました。その間の研究開発の成果は、半導体の放射線照射効果の分野で世界最高峰のアメリカの学術雑誌（IEEE）に19件の論文として掲載されました。また、産業技術総合研究所で昨年度調査された、「我が国の産学連携研究開発の成功事例」のベスト10にランクされました。そして本年は、栄えあるJAXA業績賞を受賞いたしました。本プロジェクトの立上げ当時は、科学衛星に必要な宇宙用MPUが宇宙研で本当にできると信じる人がほとんどいない中で、私たちの研究の価値を認めてくださった宇宙研の先生方と、その後絶大なご支援を続けていただいた予算管理・契約・経理・広報をはじめとする宇宙研の事務方の皆さまに、心からお礼申し上げます。本当にありがとうございました。

（ひろせ・かずゆき／さいとう・ひろぶみ）

「かぐや」が明らかにした月のマグマ活動史

月周回衛星「かぐや」は、2009年6月の月面制御落下により観測運用が終了しました。しかし、「かぐや」によって得られた膨大な科学データの解析は今も精力的に進められており、月の進化に迫る興味深い成果が出始めています。このたび我々「かぐや」搭載月面撮像/分光機器(LISM)チームは、国際科学雑誌『Earth and Planetary Science Letters』に、これまでの月のマグマ噴出史を塗り替える研究成果を発表しました。以下に本研究の成果を簡単に紹介させていただきます。

月の海と呼ばれる暗い部分は、月の内部で形成されたマグマが噴出して表面を覆ってできた領域です。このマグマ噴出の歴史を知ることは、月の内部がどのように冷えていったか、さらには月が最初にどれだけ熱くつくられたか、を理解する上で鍵となる情報です。そこで我々は、LISMによって得られた月全球を覆う膨大な量の画像データを用いて、海の年代決定を進めてきました。

一般に、古い領域では宇宙空間に露出した時間が長いために多くのクレーターがあり、一方で若い領域ではクレーターは少ないと考えられます。このような単純な考えに基づいて、惑星表面のクレーターの数密度から年代を決定する方法を、クレーター年

代学と呼びます。この手法を用いることで、画像データから月表面の年代決定が可能になります。

LISMデータは過去の画像データに比べて空間分解能が約1桁高く、それにより小さいクレーターまで調べることができるために(つまりは統計量を稼ぐことができるために)、高い精度で年代推定ができます。我々は特に、これまでに高い空間分解能の画像データが得られていなかった月の裏側の海と、嵐の大洋・雨の海の領域(表紙写真中のPKT領域)を中心に解析を行いました。

解析の結果、月では全球的に25億年前まで、嵐の大洋・雨の海領域では15億年前まで、マグマ噴出が起こったことが明らかになりました。月隕石の年代決定から、43億年前にはすでにマグマ噴出活動が始まっていたことが知られています。つまり月の内部は全球的に20億年もの間、嵐の大洋・雨の海領域に至っては30億年もの長期にわたって、熱かったことを示しています。

なぜこれほどまで長い間、月が熱いままであったのかはよく分かっていません。現在は新たに生まれた謎の解明に向けて、さらなる解析を進めているところです。(諸田智克)

第59回JAXAタウンミーティング in 相模原

2月16日、「宇宙とつながる相模原」と題したJAXAタウンミーティングが宇宙研のお膝元にやって来ました。会場は、淵野辺駅前の桜美林大学・プラネット淵野辺キャンパスの劇場ホールです。平日の夜でしたが、約120名の方が来場しました。この会場の皆さんの声が、きちんと理事会議で報告され、議事録という形でJAXAのウェブページに載るところが、JAXAタウンミーティングの醍醐味です。

今回の話題提供者は、宇宙研の小野田淳次郎所長と宇宙環境利用センターの吉村善範センター長です。また、館和夫広報部長がJAXAの概要説明を行いました。登壇者からは15分の

話題提供があり、その後、35分の意見交換の時間が設けられます。この時間配分からも、会場との意見交換が重視されていることが分かります。直前の打ち合わせでは、質問への期待感がある反面、恐れのお気持ちも見え隠れしていたように思います。

小野田所長の「日本の宇宙科学」と題した話題提供では、小惑星探査機「はやぶさ」をはじめ、宇宙研のさまざまな活動が紹介されました。討議の時間では、「はやぶさ2」への期待、小型衛星を活用したオープンな宇宙利用などが話題になりました。また、「日本の宇宙関連予算が少ないのでは？」との意見に、小野田所長が「わが意を得たり」とばかりに同調する場面もありました。一方で、「週末に宇宙研生協を営業してほしい」との意見には、歯切れが悪くなる一幕もありました(宇宙研所長の裁量では決められないので、当然といえば当然です)。

吉村センター長からは、「国際宇宙ステーション・利用活動について」と題した話題提供がありました。宇宙ステーション補給機「こうのとり」2号機の打上げ直後とあって、国際宇宙ステーションへの関心は高かったです。個人的には、「こうのとり」を有人ミッション化するには「技術的には10年もあれば可能」と言い切る吉村センター長の自信に満ちた姿が印象的でした。「こうのとり」を通して「あの」NASAの信頼を勝ち取るという、ある意味大きなミッションを成し遂げた人の強さなのでしょう。

また、JAXAの広報活動についての応援・要望も多く寄せられました。JAXAiの閉館や宇宙教育の認知度の低さなどが指摘され、もっと頑張れ、とのエールを送っていただきました。

(高木俊暢)



日本の宇宙開発について活発に意見が交わされた

宇宙学校「しんじゅく」開催

JAXA宇宙研と「宇宙学校」の共催が決まったのは昨年4月でした。子どもから大人まで楽しめる「宇宙学校」をやろう！との思いで、できる限りの周知をしていきました。開催日の2月6日（日）、会場の新宿区立落合中学校体育館は、午後1時には360名を超える参加者でにぎわいました。講演は、1時間目の阪本成一校長の「みえない光でみる宇宙」と、2時間目の矢野創先生の「はやぶさの卵を孵す」の2題でした。

阪本校長の、赤外線撮った有名女優のCMを見せてNGシーンを暴くという話に、みんな大笑いしました。身近なところから宇宙の話へと発展させていく話術は、見事なものだと感心させられました。また、ブラックホールの食事(?)の映像にみんな驚きました。質問タイムには「宇宙の果て」や「ブラックホール」「宇宙プラズマ」などに関する興味深い質問が飛び交い、それらに阪本校長は優しく丁寧に答えてくださいました。

矢野先生は、小惑星探査機「はやぶさ」がなし得た偉業を詳しく説明して、小型ソーラー電力セイル実証機IKAROSや有人探査のことまで、丁寧に話してくださいました。小惑星イトカワの大きさを会場周辺の地図と比較して見せてもらって、イトカワ

が身近な存在に思えました。また、今回の帰還技術を使ってアメリカなどの国と共同で研究をしていくことを熱く語っていただき、日本の技術の素晴らしさをあらためて感じた時間でした。

質問は、イトカワと「はやぶさ」関係に絞ったのですが、「はやぶさの足の蛇腹構造」や「IKAROSの膜」に関する質問など、専門的な内容に会場は沸き返りました。「はやぶさ2」の成功に向けてぜひとも頑張してほしいと思います。

何よりうれしかったのは、当日ほかの公務を切り上げて新宿区中山区長があいさつに来てくださったことでした。関係していただいたすべての方々に感謝致します。最後に、私自身宇宙への夢を持ち続け、そしてこの「宇宙学校」が日本中に勇気と活気を取り戻す原動力であってほしいと望み続けております。

(新宿区落合中学校区地域スポーツ・文化協議会 石口孝治)



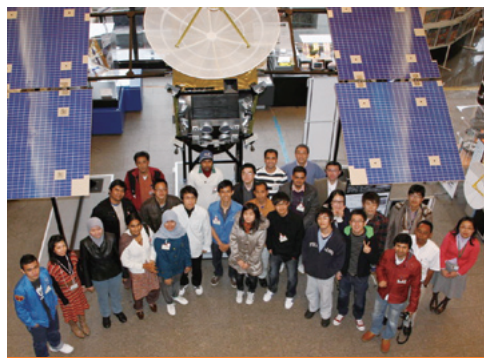
中学校の体育館は360名以上の参加者で埋まった

総研大「アジア冬の学校」開催

2月15～17日に、総合研究大学院大学（総研大）宇宙科学専攻が主催する「アジア冬の学校」が相模原キャンパスで開催されました。アジア地区の研究コミュニティに対して総研大およびホスト機関の活動を知ってもらい、優秀な学生を獲得すること、またアジア地区の研究者同士の交流を促進するきっかけをつくることを目的として、総研大物理科学研究科の各専攻で毎年開催されているものです。

アジア地区の研究者の熱意は大変なものです。たった2週間の募集期間、しかもプログラムも概要しか出していない（怠慢失礼!）というのに、120件もの申し込みがありました。中には観光目的?というものもありましたが、高い競争率に助けられ、意欲も能力も優れた参加者がそろいました。

3日間のスケジュールは、宇宙科学専攻教員による講義9コマが中心でした。世話人としてはゆとりを持ったプログラムをつくったつもりだったのですが、悲しいかな日本人（宇宙研人?）のプログラム。結果的には参加者を1日中講義室に拘束することに



「はやぶさ」モデルの前で参加者集合写真

なり、参加者同士や講師との自由な議論を行う時間が少なかったとの感想を頂戴してしまいました。次回の課題です。

2日目に、参加者自身による研究発表会を行いました。一方的に情報を与えるだけではなく、より主体的に参加してほしいからです。手前みそですが、これは面白かった。みんな熱心に発表をしてくれて、それぞれが自分たちの手を動か

して、さまざまな工夫をして研究・開発を進めていることがよく分かりました。参加者の間でも活発な議論が交わされていましたが、もっと多くの宇宙研の皆さんに聴いていただきたいかったです。

参加者の多くが初めての来日で、本人も運営側も大変だったと思います。参加者にとって、総研大にとって、宇宙研にとって、アジアの宇宙科学にとって良い影響を残してくれば幸いです。興味深い講義をしていただいた講師の皆さま、難しいリクエストに応えてくれたハーベスト関係者、サポートをしていただいた職員の皆さまにお礼申し上げます。

(山村一誠)

「あかり」が描き出す赤色巨星の塵の衣

赤外線天文衛星「あかり」は、宇宙に広がる冷たい塵（ちり、固体微粒子）を捉えることが得意です。国立天文台、東京大学、米国デンバー大学、宇宙研などの研究者からなるグループは、「あかり」による観測データの詳細な解析により、星のまわりに淡く広がる塵の衣（ダストシェル）を浮かび上がらせることに成功しました。

太陽のような比較的軽い星は、一生の終わりにその身を削って、ガスや塵として放出します。放出された物質は、はるか彼方の宇宙空間に拡散していきます。この過程は「質量放出」と呼ばれ、星の一生の最期の運命を決定するとともに、星が内部で合成した新しい元素を宇宙空間に供給することで、宇宙の進化においてもとても重要な役割を果たしています。質量放出は、いまだ多くの謎が残っている現象です。我々は、星から放出された塵の分布を正確に測定することで、過去数千年から数万年に質量放出がどのように起きたかを明らかにしようとしています。

図1は「うみへび座U」と呼ばれる星の波長 $90\mu\text{m}$ での画像です。中心の明るい点（星）のまわりに、ほぼ真ん丸に広がっているダストシェルが鮮明に捉えられています。このダストシェルは、その大きさに対してとても薄く、激しい質量放出が短期間に等方的に起きたことを示しています。この短期間の放出は、年老いた星の内部で周期的に起こる熱核融合反応の暴走に起因している可能性が高いと考えられます。また図2では「ポンプ座U」と呼ばれる星の周囲のダストシェルを、世界で初めて中間赤外線（波長 $15, 24\mu\text{m}$ ）で捉えたもの

です。同様に丸く美しい形が浮かび上がりました。このデータのおかげでこれまでにない精密な解析が可能となり、この星のダストシェルが、性質の異なる2層の構造からなっていることが明らかになりました。詳しくは「あかり」Webページ（<http://www.ir.isas.jaxa.jp/ASTRO-F/Outreach/results.html>）をご覧ください。

「あかり」によるダストシェルの観測データは、それ以前に観測された星の数に比べてほぼ1桁大きい、世界最大のデータセットです。研究グループは、今後さらに多くの星の解析を進め、質量放出の謎を解き明かしたいと考えています。

（山村一誠）

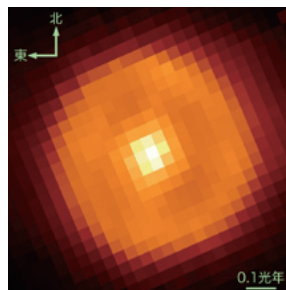


図1 波長 $90\mu\text{m}$ で観測した、うみへび座U星の周囲のダストシェル

中心に明るく輝く星から遠く離れたところまで、ほぼ真ん丸に広がっている。

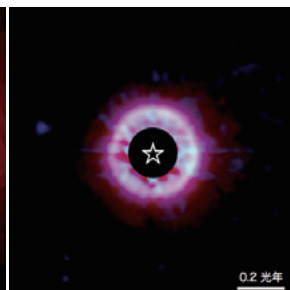


図2 世界で初めて中間赤外線で捉えたポンプ座U星のダストシェル

データ処理によって中心星からの赤外線を差し引くことで、ダストシェルの姿を浮かび上がらせた。波長 $15\mu\text{m}$ （青）と $24\mu\text{m}$ （赤）のデータから合成。



石原大助氏

第3回宇宙科学奨励賞 石原大助氏に授与

財団法人宇宙科学振興会では宇宙理学・宇宙工学の分野で優れた研究業績を挙げた若い研究者を表彰し、宇宙科学分野の発展に寄与することを目的とした宇宙科学奨励賞を平成20年度に創設しました。今年度、その第3回として各界に推薦依頼をしましたところ、関係学会から多数の推薦が寄せられました。財団では各分野の有識者で構成される選考委員会を設け、候補者の審査・選考を進めていただきました。

その推薦に基づき当財団理事長の決裁を得て、今年度は名古屋大学のGCOE研究員、石原大助氏が研究課題「『あかり』衛星による中間赤外線全天サーベイ」により受賞されることになりました。本賞は原則として毎年、理学関係1名、工学関係1名に授与することとなっております。今年度は、選考委員会より工学関係には該当者なしとの判断をいただきましたので、工学関係者への授賞を見送りました。

石原氏は1999年に東京大学大学院理学系研究科天文学専攻に進学されて以来、当時、宇宙研が開発中であった赤外線天文衛星

「あかり」の中間赤外観測グループに参加し、サーベイ用のカメラ（IRC）の機器開発に中心的役割を果たしました。また、衛星打上げ後の運用にも参加され、取得された膨大なデータの整約、解析にも中心的役割を果たし、自ら開発した解析ソフトを用い、およそ5年間を費やして波長 $9\mu\text{m}$ の全天マップの作成作業を完遂しました。こうして石原氏を中心とした「あかり」チームメンバーの努力により完成された中間赤外全天マップからは、点光源カタログとして、 $9\mu\text{m}$ 帯で85万個以上、 $18\mu\text{m}$ 帯で約20万個の天体が抽出されました。これは既存のIRASカタログを一新するもので、今後この「あかり」中間赤外線全天サーベイのデータベースを用いた未知の天体の発見や不思議な天文現象の解明が進むことが期待されます。

宇宙科学振興会は今回受賞された石原氏がいっそう精進され、今後とも日本の宇宙科学推進の中心としてご活躍されることを期待しております。また、この宇宙科学奨励賞は当財団の大切な事業として今後も継続・発展させていく所存ですので、関係者の皆さまの応援を心よりお願い申し上げます。

（財団法人宇宙科学振興会 事務局長 長瀬文昭）

金星探査機「あかつき」の挑戦 第11回



2μm赤外線カメラIR2で金星の夜面を見る

宇宙プラズマ研究系 教授
佐藤毅彦

キラキラと輝き、望遠鏡で観察すると満ち欠けする様子を見ることのできる金星。私たちは普通、その光る部分、昼面に注目しますが、「あかつき」の2μm赤外線カメラIR2の主な狙いはその反対、夜面です。今回は、何も見えないはずの金星夜面の科学と、それを撮影するIR2カメラの工夫について紹介します。

金星夜面の「光芒」

ご存知のように金星地面はとても高温(460℃)で、そこから多量の赤外線が放射されます。ところが金星大気はほとんどがCO₂(二酸化炭素、代表的な温室効果ガス)で、地表は90気圧にも達します。この多量のCO₂が地面からの赤外線をせき止めてしまう、そのため地面はますます高温になる、というのが金星の世界です。しかし、さすがのCO₂も「あらゆる赤外線をせき止める」わけではありません。ちょっとだけ赤外線が抜け出てくる「窓」波長があって、そこでは金星夜面がボーッと光って見えるのです。

図1はヴィーナスエクスプレス探査機に搭載されたVIRTIS装置が撮影した金星夜面の画像です(波長2.3μmの赤外線)。明暗の様子は金星の雲の濃淡に対応しています。明るい部分は雲が薄く、下から多くの赤外線が抜けてきています。暗い部分は逆に、厚い雲に覆われています。ちょうど雲を「影絵」として見ているようなものですね。

こうした雲の濃淡は、太陽光を反射する雲の最上部(高度約70km)より少し深く、高度約50km付近に存在するといわれています。ということは、この濃淡を詳細に観測すると、普通なら見ることのできない少し深い部分の大気の動きや雲の生成・消滅などの情報を得られるわけです。これが金星夜面の科学の面白いところで、IR2は波長1.74μm、2.26μm、2.32μmといった赤外線ですれを狙うカメラなのです。

IR2カメラの工夫

図2では、金星夜面の想像図にVIRTISの画像を合成しています。このように、VIRTISは256×256画素サイズの画面に金星夜面の一部しか捉えることができません。ところがIR2の画面サイズは1024×1024画素なので、図2に示す金星夜面の全体を一枚の画像として撮影することができます。アナログテレビがハイビジョンになったかのように鮮明な金星画像を得ることのできるカメラです。

いまや携帯電話のカメラでさえ数百万画素の時代、IR2が「わずか」100万画素で我慢できるのには理由があります。それは、宇宙用のCCDは携帯電話で使うものとまったく違う性能や耐久性が必要とされること、さらに赤外線を感度よく捉えるためマイナス210℃という極低温にまで冷やし

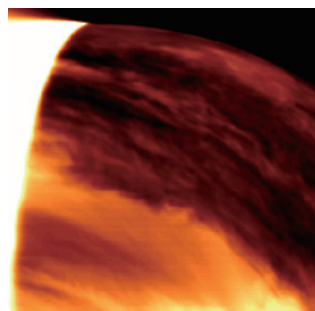


図1 ヴィーナスエクスプレス搭載VIRTISが撮影した金星の夜面
波長2.3μm。画面左端に少し「昼面」が見えている。

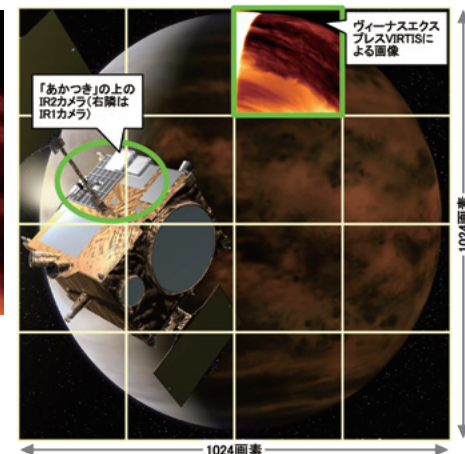
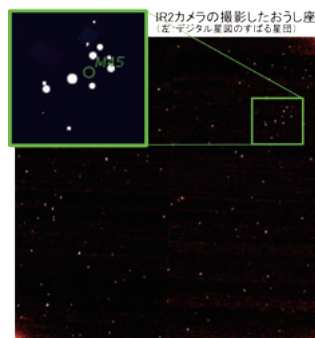


図2 IR2とVIRTISの画像サイズ比較

金星のイラストをIR2の画面に見立てて、VIRTIS画像(図1と同じもの)とそのサイズを比較。(イラスト：池下章裕)

図3 IR2が撮影したおうし座
2010年10月23日撮影(すばる星団を含む)

て使われることです。この温度まで冷やすのはとても大変です。まず、性能の良い冷凍機を使わなければなりません。そして冷やしても壊れないCCDやレンズ(低温で縮むときに大きな力が発生します)を工夫する必要があります。実際、IR2カメラ開発の途中ではいろいろな部品が壊れましたが、それを担当メンバー全員が知恵を出し合って解決してきたのです。

「冷」やすことで「温」かい相手を精密に観測できるカメラ。このことから、IR2(とIR1)には「LEON」(冷温)という愛称を付けているのです。

金星にはまだ着かないけれど

IR2カメラには、金星観測のほかにもう一つ重要な役割があります。それは太陽系を漂う塵、黄道光を波長1.65μmの赤外線で見ることができ、2010年10月下旬に観測を行いました(図3)が、そのときは探査機姿勢の制御やカメラの温度制御などに手こずり、性能を100%発揮した観測はできませんでした。金星軌道投入の失敗によって、「あかつき」はまたしばらく太陽系内の旅を続けます。LEONチームではこの機会を積極的に利用し、さらに素晴らしい黄道光データを得ようと計画を練っているところです。

(さとう・たけひこ)

バングラデシュ

活気と豊かさ

バングラデシュという国名を聞いて、あなたは何を思い浮かべるだろうか？ 最貧国とか、洪水などの自然災害のイメージだろうか。経済に詳しい方はグラミン銀行を思い浮かべるかもしれないが、まずは「どこだっけ？」と考え込んでしまうのではないか。ロケットなど宇宙機のエンジンを研究ネタにしている私も、その一人である。自前のロケットで衛星を打ち上げることができるのは、世界でたった9ヶ国しかない。それ故この業界にいと、それ以外の国の人と話をすること自体まれなことなのである。つまりは縁遠い、それに尽きる。

そんな私がバングラデシュを訪問したのは、教育という理由からである。APRSAF、アジア太平洋地域宇宙機関会議という舌をかみそうな名前の会合にて、バングラデシュの宇宙教育のお手伝いをしましょうということになった。首都ダッカでは教育関係者向け、バングラデシュ中央に位置するエナヤトプール村では子ども向けと、計2回のレクチャーでロケットの話をするために、5日間の旅に出た。教育関係者向けレクチャーは、教材を通じて2日間でスキルアップを図るという実践的なものであった。傘袋ロケット、パプロケット打上げで先生方が大はしゃぎとなったのはいうまでもない。後者のレクチャーは何と2000人以上の子どもたちが集まる宇宙教育史上特筆すべきものとなったのだが、それはまた別稿に譲るとして、ここではバングラデシュと皆さんの縁を結ぶべく、私が感じたイメージをお伝えすることにした。

バングラデシュは私にとって、まずは縁日の国であった。どこを歩いても屋台が目につく。ダッカの市街のみならず、エナヤトプールまでの道の至る所に屋台が並んでいるのである。野菜果物、ナンやパン、金物や家具だっている。NGOマイクロクレジットの融資先の4割がスモールビジネスだから、屋台は融資の結果なのかもしれない。夜は電球（蛍光灯タイプだった！）で照らされて、まさに縁日そのものとなる。屋台のまわりには人が群がり、リキシャと大八車（トラクター用タイヤ付き）が行き来するのであるから、お祭り好きの筆者にはこたえられない風景とな

る。しかし、こんな光景にも実は問題がある。サービス業ばかりでは国が成り立つはずがないからだ。生産は誰がどこで行うのか？ その答えは水田の中にあった。

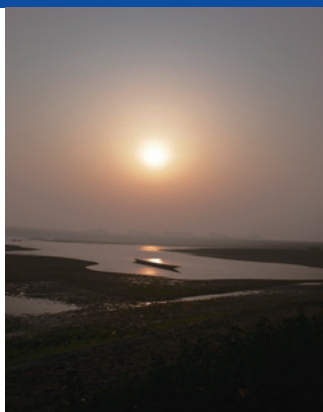
エナヤトプールまでの約140kmは、水田の中を行く道のりでもあった。日本の水郷地帯と見まがうばかりであるが、一つ大きな違いがある。高圧鉄塔ほどもある、煙を吐く煙突が水田の中に立ち並んでいることだ。それは煉瓦をつくるための煙だった。乾期なので煉瓦を並べて日干しし、釜で焼いていく。品質は良くないようで、砕けた煉瓦が小山となっている。その煙突脇を緩やかに流れる川面には夕日がかかり、船が行き交う。その船は川べりでつくられている。素の大地に直接置かれた鳥かごのような船体に、たくさんの人が取り付いているのが見える。宮崎駿が好みそうなこの風景は、かつてメソポタミアやインダス川のほとりでも見られたものであったに違いない。食物を煉瓦を船を生み出すという、いにしえから続く美しい人間の営みが、日常の風景として存在していた。

そんな美しい国にも、当然負の側面はある。その一例が宇宙教育の対象である子どもたちにうかがえた。レクチャーに来てくれた子どもたちは、皆きちんとした服を着て靴を履いていた。だが路上の子どもたちは皆サンダル履きで、掃き掃除をし、ナンを焼き、新聞を売って、働いていた。ダッカで新聞を売ってくれた10歳くらいの子は、たどたどしい英語で、学校には時々行くと言っていたが、どこまで本当やら。ごみの問題もやはり避けられない。ごみ収集を見掛けたが効率は悪く、適当に打ち捨てられた生ごみが街角ですごい臭いを発していたりする。臭いやごみ山風景もすぐに慣れてしまうから私個人としては取るに足らないことだが、環境上いいことではない。ダッカにて、水や空気などの環境問題を研究する大学教授と面会することが多かったのも、そのためであろう。

お気楽な性格故か、エクアドルだろうがインドだろうが、出掛けた国々でいつも幸せな気分になる。負の影があれど、バングラデシュもまた私を幸せにしてくれた。ただ眺めているだけで幸せになれた。滞在2日目の早朝、活気あふれる市場に行き交う人を眺めていたら、若い兄ちゃんが声を掛けてきた。首都でもそうそう見掛けられない東洋人が街角にぼつんと立ちほうけているのだから、心配してくれたのだ。「活気があっていいところだね」と言うと、「そうだろ、この国はとてもいいところなんだ」と胸を張って答えてくれた。私も心の底から同意する。（ひらいわ・てつお）



古式ゆかしき、型でつくられた焼成レンガ。1個1個が豊かな表情を見せる。



ジャムナ川の朝。大気汚染と乾期のほこりで太陽がにじむ。

平岩徹夫

宇宙輸送系推進技術開発センター



轟音に涙する町から感動を再び

永野和行

鹿児島県肝付町 町長

二つの町が合併し肝付町が誕生してから5年がたった。振り返ると平成大合併の嵐の中、財政基盤の脆弱な内之浦町と高山町もその渦中にあった。当初は4町合併に向けて協議が始まったが、役場本庁舎の位置で折り合いが付きず1町が抜け、そしてまた1町が抜け、最終的に内之浦と高山の2町が合併したのが、2005年(平成17年)7月のことだった。

当時の私は、合併協議会事務局長として調整に奔走し、新しい町づくり計画や合併後の総合振興計画の策定に携わる機会を得た。新しい町に夢を重ねながらつくったビジョンを現実のものにするために、今先頭に立って走っていることに何か運命を感じる。

国指定の古墳群、南朝の忠臣「肝付氏」の夢の跡、鎌倉時代から伝わる流鏑馬……。そんな“いにしへの歴史と文化が薫る”高山。国見連山の中腹を貫く長いトンネル(国見トンネル)を抜けると、そこは太平洋を眼下に大きなパラボラアンテナがそびえ立つ“はやぶさの故郷”、そして“宇宙に一番近い町”内之浦である。

1960年(昭和35年)、糸川英夫先生は陸の孤島と呼ばれた内之浦を訪れ、ロケット発射場建設を決断した。当時、この内之浦長坪地区には電気がなく、資材を運ぶための道路もない。山また山、その谷あいには棚田が連なり、人家が点在するところであった。漁業のほかこれといった産業もない小さな町に、唯一あったものといえば心温まる人情だった。

1962年に観測所が建設され、間もなく人工衛星の打上げが始まったものの悪戦苦闘。それこそ満身創痍で1970年、日本初の人工衛星「おおすみ」が誕生した。これまで393機のロケットが内之浦の空へ旅立ち、「はやぶさ」が小惑星イト

カワから奇跡の地球帰還を果たし日本中に勇気と感動を与えたのが2010年であった。観測所開設から半世紀の時が流れた現在、再び内之浦宇宙空間観測所は燦然と輝き始めた。

内之浦から打ち上げられるロケットの轟音は感動の涙を誘い、時に悲しみの涙に変わる。あまりにも感動的なドラマが、ここを舞台に繰り広げられてきた。中島みゆきの『地上の星』は、満天の星空のもと、いも焼酎を酌み交わしながら遙かなる宇宙に思いをはせた人たちと、どこか重なる。



ドラマはまだ続く。M-Vロケットの後継機である次期固体燃料ロケット「イプシロン」の射場が内之浦に決定した。関係者のご尽力と町民の熱い思いが伝わったものと感謝に堪えない。射場決定まで幾度となく上京した。「町長、射場が内之浦に決定するまでは町に帰ってこなくていいですよ」とは、町民からの熱い激励。そう背中を押され続けた時間はとても長く感じられた。今、町民すべてが喜びと感謝の気持ちでいっぱいであることは言うまでもない。

観測所が開設されて50周年を迎える2012年、半世紀に及ぶ感動の記憶を肝付町内之浦にしっかりと残しておきたい。宇宙へ旅立ったロケット、世界に誇る日本の研究者・技術者、そしてそれを支え続けた多くの人々を星に例えるならば、その星たちを“夢の跡”にお呼びしたい……そんな強い思いがある。

「はやぶさ」帰還に象徴される美しき大宇宙航海への扉と、観測所の足元に広がる棚田、里山、そして生きものが織り成す小宇宙への扉。この二つの扉は共鳴し合うもの、そう信じて共生していきたいと願う。

轟音に涙した町、内之浦に今、再び感動のドラマが戻ってくる——夢の続きの始まりです。

美しすぎる内之浦宇宙空間観測所へ、
美しすぎる人情の町、肝付町内之浦へ、
おじゃったもんせ!!

(おじゃったもんせ：
鹿児島弁で「お越してください」の意味)

(ながの・かずゆき)

2010年12月に行われた「はやぶさ」カプセル特別公開の開会式であいさつをする筆者

小型衛星の活躍の場を広げたい

宇宙探査工学研究系 准教授

福田盛介

—— 子どものころ、どんなことに興味がありましたか。

福田：個別のものよりも、“全体的なもの”が好きでした。子どもの目から“全体的”に見えたのが、航空機や人工衛星、ロケットでした。たくさんの要素が調和して全体として機能しているものに興味があったのです。

何をやるにしろ、自分の武器となる技術が必要です。大学では電子工学を専攻し、大学院では宇宙研の研究室でマイクロ波リモートセンシングやレーダについて学びました。人工衛星の開発に携わるようになったのは、宇宙研に助手として就職してからです。「れいめい」のプロジェクトに参加しました。

—— 2005年に打ち上げられた小型衛星ですね。

福田：「れいめい」は、宇宙研のスタッフや学生が中心となって小型衛星を開発することで、若手技術者・科学者を育成することが目的の一つでした。私は搭載計算機や地上管制系、システムの取りまとめなどを担当しました。通常の衛星開発と異なり、不具合やトラブルにもすべて自分たちで対応するしかありません。苦労しましたが、全体を知りたい私には、システム全般を見渡しやすい小型衛星が性に合っていたと思います。

現在は、SPRINTという小型衛星シリーズを開発しています。かつて宇宙研では、毎年のように衛星を打ち上げていました。しかし近年、衛星の規模が大きくなるとともに1機の開発期間が長くなり、打上げ頻度が低くなっています。ある研究者が宇宙で観測や実験をしたいと思っても、機会が少なく待ち時間が長い状況です。それでは人も技術も育ちにくい。また、頻度が低くコストが大きいと保守的になりがちで、新しいアイデアを試すことが難しくなっています。そこで、早く、安く、何度も打ち上げることのできる小型衛星シリーズを開発することになったのです。新しい人たちが挑戦することで、宇宙科学の裾野が広がると思います。

—— それをどのようにして実現するのですか。

福田：基本的な衛星機能を持つ標準バスを用意します。そして、観測や実験をしたい人たちが用意した独自の装置を標準バスに接続して、衛星をつくります。調整がうまくいけば、2年半で衛星を完成させることを目指しています。標準バスには柔軟性を持たせてセミオーダーメイドにします。車を買うとき、車体の色や装備をカタログから選びますよね。同じように、目的に合わせて太



ふくだ・せいすけ。1972年、京都府生まれ。博士（工学）。2000年、東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程修了。同年、宇宙科学研究所助手。2009年より現職。「れいめい」やSPRINTシリーズなど小型衛星のシステムを担当。専門はマイクロ波リモートセンシングやレーダ信号処理。

陽電池パネルの数などを選ぶようにするのです。SPRINTシリーズは2013年度から約5年間で3機程度を打ち上げる予定です。

—— どのような目的の衛星ですか。

福田：1号機SPRINT-Aは極端紫外線という波長で金星や火星、木星の大気を観測します。2号機は地球周辺の磁気圏・プラズマを探索する衛星になる予定です。3号機はこれから全国の大学から提案を募集します。私もある提案グループの一員として、月面へのピンポイント着陸技術を実証するSLIMという小型探査機を検討しています。専門の画像処理やレーダが主役を担うミッションですので、検討にも力が入ります。

—— 将来はどのようなプロジェクトを目指しますか。

福田：現在は中・大型衛星で可能な観測や実験を、小型衛星でも実現しようという段階です。将来は小型衛星にしかできないプロジェクトに挑戦したいですね。例えば、百機もの小型衛星を編隊飛行させて大きな干渉計をつくるようなアイデアがあります。どうやってたくさんの小型衛星を調和させるのか、技術的にもとても面白い研究テーマです。

—— 研究以外で興味を持っていることは？

福田：いろいろな人が集まって調和して機能している組織や社会にも興味があります。人間観察が好きで、家族を見ていても面白いですね。小学生と幼稚園の子どもがいますが、兄妹げんかを始めると家族の調和が崩れます。しかし、子どもたちも、この場でこういうことはやめようと、調和を乱さないように成長していきます。それを、どうやって学習していくのだろうと観察しています。

—— 宇宙研という組織はどう見えますか。

福田：とんがっている人が多くて、ずっと調和しない（笑）。だからうまく機能しているのかもしれませんが。SPRINTの開発チームも2013年度の打上げに向けて、チームを機能させていかなければいけません。システム担当として、気を引き締めて、ただど常に楽しく、頑張っていきたいと思います。

ISAS ニュース No.360 2011.3 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

〒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

東日本大震災の被災者の方々にお見舞い申し上げます。辛い相模原は大きな被害はありませんでしたが、大気球実験や宇宙学校でお世話になった方々、ご無事でしょうか。被災者の皆さまには、今を生きること、そして復興が待っています。私たちにお手伝いできることは何かを考え、取り組んでいきます。（周東三和子）

* 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

