



2014.2 No. 395



宇宙科学最前線

ハッブル宇宙望遠鏡 (HST©NASA) とキットピーク WIYN 望遠鏡 (©NOAO, 地上望遠鏡の代表として)。

流れのシミュレーション科学

JAXA インターナショナルトップヤングフェロー 河合宗司

小学生のころ、両親がNECのPC-98シリーズを購 入したこともあり、私は初めてコンピュータで遊ぶ機会 を得ました。CPUの演算能力は8MHz程度、ハードディ スクの容量は20MB程度だったと思います。それから ほぼ10年後、大学の研究室に配属され購入したノー トパソコンは、CPUが266MHz、ハードディスクが 2GB(約2000MB)。それからさらに十数年たった現在、 愛用しているMacBook Airは、CPUがデュアルコアの 1.7 GHz (1700 MHz), ハードディスクが 512 GB。ま たスマートフォンでさえ、一昔前のコンピュータを上回 る性能を持っている! というように、コンピュータは目 覚ましい進歩を遂げています。

私が専門とする流体力学分野では、このように急速 な進歩を遂げる汎用コンピュータや、演算性能がおお よそ10年で500倍から1000倍というスピードで向

上し続けているスーパーコンピュータの進歩を背景に、 数値シミュレーションが理論・実験と並んで研究の第 三の柱となっています。ここでは私たちの行っている、 宇宙科学に関わる数値シミュレーションを用いた流体 力学研究について紹介したいと思います。

宇宙科学と深く関わる流体力学

流体力学現象は、目に見えないことが多いですが、 私たちが生活するさまざまな場面で登場し、かつ利用 されています。宇宙科学にとっても同様で、宇宙科学 と流体力学は切っても切れない関係にあります。

ゴルフボールの表面にはディンプルと呼ばれる凸凹 があります。これには流体力学現象(乱流現象)が深く 関係していて、ボールに加わる空気力を改善し、主に 飛距離を伸ばしたり軌道を安定させたりする効果があ ります。この空気力に関わる流体力学現象は、宇宙研で研究が進められている火星を探査するための火星飛行機の空力設計や、小惑星イトカワの表面の物質を地球に持ち帰った「はやぶさ」の再突入カプセルの空力安定性、そのどちらにも深く関わっています。また、風の強い日に電線の近くでヒューという音を聞いたことはありませんか?これも流体力学現象によるもので、空力音と呼ばれています。ロケットエンジンの排気ジェットから発生する強烈な空力音は、ロケットに搭載する人工衛星などのペイロードに影響を与えるため、重要な研究対象となっています。加えて、液体ロケットエンジン設計に関わる再生冷却や燃料の混合・燃焼、さらには宇宙空間に飛び出しても、太陽風と地球磁気圏との干渉や超新星爆発に至るまで、宇宙科学と流体力学は密接な関わりを持っています。

このように宇宙科学とも深い関わりを持つ流体力学 現象を詳しく理解することは、宇宙工学から宇宙理学 まで宇宙科学全般を進める上で重要な要素となって います。

数値シミュレーションとは

流体力学現象を詳しく理解するためのアプローチとして、理論・実験と並んで数値シミュレーションがあります。数値シミュレーションが持つ利点をいくつか挙げると、①時間的にも空間的にも高い分解能で流体現象を詳しく調べられること、②高マッハ数や高レイノルズ数、極低温や高温・高圧、宇宙空間での現象など、特に宇宙科学で多く見られる、実験そのものが困難もしくは実験費用が莫大になる条件であっても数値シミュレーションなら自由に設定できること、③実験と比べ経済的・時間的に有利なこと、などがあります。

幸か不幸か,流体現象を記述する方程式の多くは数学的に解くことができません。そこで数学的に解くことができない複雑な流体現象を,コンピュータの演算能力を利用して数値的に解く,というアプローチを取るのが数値シミュレーションです。速度や密度といっ

た流体現象を表す物理量をコンピュータの中で数値と して再現し、それらを流体現象を記述する方程式に従っ てコンピュータで四則演算を行い、時間発展させて追 跡します。

実験装置を使って流体現象を実験する代わりに、コンピュータを使って(数値)実験を行う。そのように考えると、用いる装置(手段)は異なりますが、実験系を設定し現象を再現させ、そこで起こる流体現象を調べるというアプローチは、実験も数値シミュレーションも同じだということが分かります。

宇宙科学と数値シミュレーション

ここまで述べた数値シミュレーションの利点は一見正しいのですが、高マッハ数や高レイノルズ数、極低温や高温・高圧など、厳しい条件における流体現象を扱うことが多い宇宙科学では、数値シミュレーションがそれらの利点を十分に発揮しているとは言い切れない面も数多く残っています。実験では高精度な新しい実験法や計測機器を開発し、これまで困難であった実験を可能にするのと同様に、数値シミュレーションの利点を十分に発揮するには、高精度な計算アルゴリズムと物理モデルの開発が不可欠になります。

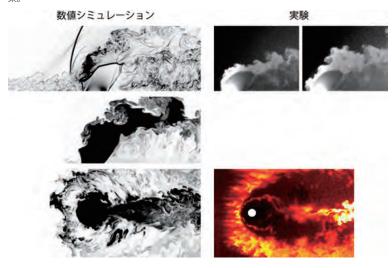
私たちは、物理的な考察を計算アルゴリズムに反映させることで、これまで数値シミュレーションを用いて流体現象の詳細を精度良く再現することが困難であった、衝撃波を伴う流体(乱流)現象や、液体ロケットエンジン設計に関わる極低温・高圧下の超臨界流体、また実験そのものが困難な宇宙空間でのプラズマ流体現象を、精度良く再現可能とするスペクトル的な空間解像度を持つ計算アルゴリズムを提案しています。衝撃波と乱流現象の干渉解析では、速度の発散($\nabla \cdot u$)にのみ選択的に数値的な拡散を加え、乱流現象である速度の回転現象($\nabla \times u$)を精度良く解像することで、複雑な衝撃波と乱流の相互干渉現象を精度良く再現することが可能になりました。

図1は、この計算アルゴリズムを用いた数値シミュレーションと実験で得られた、超音速エンジン内に噴射される不足膨張音速燃料ジェットの乱流混合の様子を示しています。精度の良い計算アルゴリズムの開発によって、これまで詳細な現象理解が困難であった、超音速エンジン内の衝撃波と乱流干渉現象や燃料の乱流混合現象を精度良く再現することに成功し、時間的にも空間的にも高い分解能で詳細な流体現象を調べることが可能になってきました。

またJAXA情報・計算工学センターでは、数値シミュレーションの特性や費用的・時間的な利点を活かし、イプシロンロケット打上げ時の空力音を低減する射点形状を調べ、実際の射点設計に活かしています(図2)。数値シミュレーションを設計に活用することで、従来の方法と比べ10分の1以下の費用で、空力音を以前

図1 超音速エンジン内 に噴射される不足膨張音 速燃料ジェットの乱流混 合の様子

左図は数値シミュレー ション結果(シュリーレ ン法を模擬した瞬間の密 度勾配分布と燃料ジェッ ト分布), 右図は実験に よる可視化画像(瞬間の PLIF画像 [Santiago & Dutton, J. Prop. Power, 1997] と瞬間のOH-PLIF 画像 [Heltsley, Stanford University 博士論文, 2010])。上図はジェット 中心断面を横から見た可 視化結果, 下図は壁面に 水平な上からの可視化結 果。



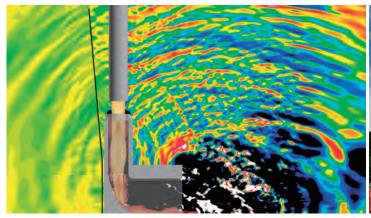




図2 イブシロンロケット打上 げ射点設計に活用された音響 シミュレーション結果(左)と 実際の射点(右)

ロケットエンジンの排気ジェットから発生する強烈な空力音(圧力波)を数値シミュレーションで再現し、実際の射点設計に活用。(左: JAXA情報・計算工学センターの堤誠司博士より提供、右: JAXAデジタルアーカイブスより)

のM-Vロケットの10分の1以下に軽減することに成功しています(詳細は、情報・計算工学センターホームページのトピックス「世界初、音響シミュレーション技術による射点の最適設計」http://stage.tksc.jaxa.jp/jedi/topics/20131010.htmlもご参照ください)。

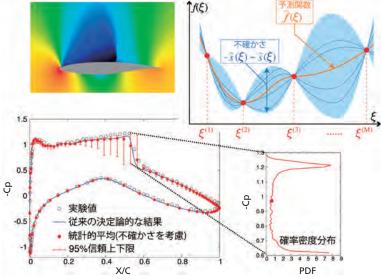
これらの研究成果は、流体力学・計算力学研究者による計算アルゴリズムや物理モデルの開発が、数値シミュレーションの持つ利点をフルに発揮する上で不可欠なキー要素になっていることを示しています。

数値シミュレーションを次のステージへ

では、これまでの計算アルゴリズムや物理モデルに関する研究以外で、数値シミュレーションの特性をさらに活かす別の展開はないでしょうか? 最後に、私たちが考える「数値シミュレーションを次のステージへ」に関する取り組みについて紹介します。

実際に起こる流体現象や流体機械などの性能は、流れ条件や壁面の状態、さらには製作誤差や変形による物体形状など、無数の偶発的な不確かさ要因に影響されています。加えて数値シミュレーションは、用いる物理モデル(乱流モデルや反応モデルなど)に起因する不確かさ要因にも影響されます。すなわち、これまでのある与えられた条件や物理モデルのもとに行う決定論的な数値シミュレーションから脱却し、本来至る所に存在するさまざまな不確かさ要因が結果に与える影響を定量的に評価できるよう数値シミュレーションを発展させることができれば、実際に起こり得る流体現象をよりよく理解し、さらには実際の性能評価や設計にいっそう役立てることができると私たちは考えています。

私たちは最近の研究で、注目する流体現象や性能がさまざまな不確かさ要因に対してどのような応答を示すのかを精度良く評価できる、不確かさの定量化法を提案しています。図3は、この不確かさの定量化法と数値シミュレーションを用いて、一様流速度の不確かさが遷音速翼まわりの圧力分布にどのような影響を与えるか評価したものです。これまでの決定論的な数値シミュレーション(図3左下図中の青線)とは異なり、不確かさを考慮することで、実際に起こり得る統計的な平均値とその信頼性上下限、さらには信頼性上下限



を構成する確率密度分布を定量的に評価することが可能になります。

これらの研究成果は、単にこれまでの決定論的な数値シミュレーションから脱却し、さまざまな不確かさ要因による影響を定量的に評価するのみにとどまらず、数値シミュレーションの次のステージを示唆するような可能性を持っていると私たちは考えています。すなわち、さまざまな不確かさ要因が及ぼす影響を解析することで、宇宙科学では特に重要となる信頼性の評価や、感度や重要度の示唆、またその感度や重要度をつかさどる流体現象の理解、ロバスト設計への貢献、さらには不確かさを有するより幅広い学術分野へも展開できるのではと考えており、現在研究を進めています。

おわりに

宇宙科学と流体力学の関わり、また流体力学の研究者が数値シミュレーションを用いて宇宙科学の発展にどう貢献しようとしているのか、その一端をかなり主観的だったとは思いますが紹介させていただきました。宇宙工学から宇宙理学まで宇宙科学全般を進める上で、流体力学や計算力学の発展は重要な要素の一つになっています。数値シミュレーションは複雑で美しい流体力学現象の詳細を理解し、さらに私たちのために活用する上で非常に強力なツールとなります。流体力学・計算力学の研究者として、さらなる学術の発展に貢献できればと思っています。 (かわい・そうし)

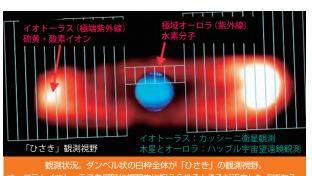
図3 一様流速度に存在し得る不確かさを考慮した(一様流速度に対して0.6%程度の分散を持つ正規分布として考慮) 遷音速翼まわりの数値シミュレーション

Kriging モデルに基づく不確かさの定量化手法を用いて一様流速度の不確かさが翼まわりの圧力分布に与える影響を評価。

ISAS 事情

惑星分光観測衛星「ひさき」の木星協調観測

2013年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 た惑星分光観測衛星「ひ さき」は、11月19日の ファーストライト取得以 降、主に木星観測を続け ています。今年の木星は 1月6日に衝を迎え、こ の前後数週間が絶好の観



測機会で、史上最大の木星協調観測が実施されました。 あの有名なハッブル宇宙望遠鏡も、この期間に木星を 観測しています。また,「すばる」望遠鏡を含めたハワ イ島の望遠鏡群をはじめとして20を超える世界各地の 地上望遠鏡も、この時期に木星にその視野を向けてい ます。私たち「ひさき」チームもこの好機を逃さない ように、元日からの約2週間は24時間の観測運用体制 を整えました。

特筆すべきは、今回の木星協調観測は「ひさき」プ ロジェクト主導の国際協力ではないということです。 「ひさき」をきっかけにして木星磁気圏の科学を考えた 「ひさき」を身近に感じているポスドクたちのリーダー シップにより行われた提案であり、彼らの心意気が世 界中の木星磁気圏研究者らに通じ、複数の衛星・地上 施設などが協調観測に応じた結果です。純粋に科学の 飛躍的進展という目的のためだけに世界中の研究仲間 が集まり、この計画が遂行されていることに、感慨深 い気持ちになりました。詳細解析はこれからで本誌面 での結果報告はできないのですが、史上最大の木星協 調観測の目的を記します。

今回の協調観測の目的は木星磁気圏研究です。磁気 圏の存在は、太陽系惑星では、固有磁場を持つ惑星(水 星,地球,木星,土星,天王星,海王星)で確認されて います。このうち最大・最強の磁気圏が、木星磁気圏 です。磁気圏は、惑星の固有磁場の磁力線が太陽風に よって風下に引き伸ばされた「吹き流し」のような形 状をしています。その大きさは惑星によりさまざまで、 惑星の固有磁場の磁気圧と太陽風の動圧の圧力バラン スによって決定されます。磁気圧は磁力線同士の反発 力、動圧は地上でいうと風の流れの圧力、と考えてく ださい。磁気圧が勝れば磁気圏は大きく・強固に、太 陽風動圧が勝れば磁気圏は小さく・変化に富むことに

実は、地球の「吹き流し」は絶妙なバランスが取れ

たサイズです。風になび くという表現がちょうど 当てはまり、通常の風で ゆらゆら揺れ、突然の風 速の変化に即応し激し くたなびきます。自然現 象としては,太陽フレア 発生時の爆発的に明るく なるオーロラのブレーク アップや、衛星放送の音

声・画像の乱れなどに現れます。地球磁気圏の特徴は、 ダイナミックに変動し得るということです。

他方, 木星の「吹き流し」の大きさは地球の約100 倍で、太陽風動圧で計算されるサイズより倍程度大き いのです。ここまで大きくなると、経験上の最大暴風 でもなびかないと考えられてきました。つまり、磁気圏 中央に位置する木星本体近傍では、太陽風の影響はほ とんど届かないのではないかと予測されます。このとき の磁気圏内のエネルギーは安定しているはずです。し かし、私たちは逆に、どんなに大きな「吹き流し」でも、 きっと暴風の影響は受けるはずだと考えています。暴 風が吹くとき、強固なはずの木星の「吹き流し」はど うたなびくのか。それが、この木星協調観測の研究テー マとなりました。

上述の通り、磁気圏研究には、太陽風の動圧と磁気 圏内のプラズマエネルギーを測定することが重要にな ります。木星磁気圏研究では、木星極域オーロラとイ オトーラスを同時観測することが有効な手段です。オー ロラは太陽風の動圧を知る一つの指標で、イオトーラ スは木星磁気圏内のプラズマエネルギーを示す指標と なるからです。木星オーロラは、紫外線や赤外線で発 光することが知られています。紫外線オーロラ観測に は、最高の空間分解能を有するハッブル宇宙望遠鏡が 最良の選択肢です。赤外線オーロラ観測には、地上望 遠鏡の観測が効果的です。ただし、地上は天候の影響 がありますから、複数地点での観測を計画しました。 一方、イオトーラスは、極端紫外光で分光観測するの が最良の観測方法です。イオトーラスを形成する主要 なプラズマのエネルギーが極端紫外光の持つエネル ギーとちょうど同じ程度で、極端紫外光で発光してい るからです。さらに、分光観測することで、温度や密 度が同時に推定できるからです。極端紫外分光観測に は、唯一無二の存在である「ひさき」が最大の威力を 発揮します。

このように多彩な衛星・地上施設の利点を総合して、 木星磁気圏環境の知識を再構築することが、今回の木 星協調観測の大きな目的です。紫外・赤外木星オーロ ラとイオトーラスの明るさの増減とそのタイミング、そ れらの空間構造と時間変化を観測することで、太陽風 と木星磁気圏間のエネルギーや物質の輸送プロセスを

導出し、木星磁気圏の独立性を考察したいと考えてい ます。そして、木星磁気圏を巨大な一つの「吹き流し」 として捉え、それ自体のたなびき方を知りたいと考えて います。木星研究者にとって長年待ちに待ったデータ であり、今年は解析三昧の日々となることでしょう。う れしい悲鳴が聞こえてきそうです。 (山﨑 敦)

第14回 宇宙科学シンポジウム開催

毎年恒例の宇宙科学シンポジ ウムが,1月9日(木)~10日(金) の2日間にわたって相模原キャ ンパスで開催されました。

宇宙科学のすべての分野の研 究者が一堂に集う宇宙研最大の シンポジウムであり、多数の研 究発表(口頭24件,ポスター 310件) や招待講演が行われ, 最新の科学成果や新規技術に ついて活発な議論と情報の共有



がなされました。参加者は、両日とも300名を超えまし た。実質435名で、そのおよそ3分の2がJAXA以外の、 大学や企業の研究者や技術者などでした。

このシンポジウムは、プロジェクトの成果や進捗状況 の報告の場のみならず、年始恒例の放談会として、また 新規ミッション立ち上げの登竜門として、重要な役割を 担っています。今年度は、イプシロンロケット試験機の 打上げが大成功を収めたことに加え、宇宙科学・探査の ロードマップが宇宙政策委員会宇宙科学・探査部会に 提出され承認されるという非常に大きなイベントがあり ました。そこで、新しく手に入れたイプシロンロケット という輸送手段をいかに活用しながら、これからの宇宙 科学・探査ロードマップの内容を充実させ実行していく かという観点で、シンポジウム初日に「宇宙科学・探査 のロードマップとイプシロンロケット」という企画セッ ションを設定しました。午前は、宇宙科学・探査のロー ドマップがどういうもので、その中で宇宙科学・探査を どう実現していくかについて、パネルディスカッション を中心にさまざまな分野の方々に議論していただきまし た。午後は、大成功を収めたイプシロンロケットと、試 験機によって打ち上げられた惑星分光観測衛星「ひさ き」、次に打上げが予定されているジオスペース探査衛 星ERGについての講演に続き、今後の宇宙科学・探査 にイプシロンロケットをどう活用していくか、グループ ディスカッションを交えながら招待講演と議論が行われ

ました。「宇宙研はロケットがけ ん引する」という発言にもあっ たように, イプシロンロケットと いう新しい輸送手段を手にした ことで、非常に活気のある議論 が行われました。この議論は, 夕方の懇親会にも引き継がれ, お酒も交えてさらに熱い議論と なりました。

昨年度の宇宙科学シンポジウ ムは、口頭発表の申し込みを制

限し、企画主体のシンポジウムでした。これについては 賛否両論あり、今年度は現在活躍中の宇宙科学ミッショ ンの最新成果. 開発中の宇宙科学ミッションの現状. ワーキンググループの活動状況、宇宙科学を支えるテク ノロジーの開発についての口頭発表を受け付けました。 企画主体と申し込み主体のスタイルを1年ごとに交互に 行うのがよいのかもしれません。ただ現状は、研究発表 の申し込みが相当な数に上っており、宇宙研の会場で は収まり切れなくなっています。1日の参加者数は完全 に大会議場の容量を超えていますし、ポスターも廊下の 壁を使わなければならない状況です。また一方で、宇宙 科学・探査プロジェクトの多くが国際協力で行われてお り、宇宙研にも多くの外国人研究者が滞在している状況 から、宇宙科学シンポジウムの国際化を検討しなければ いけないのではないかとの指摘があります。国際化、会 場問題(シンポジウムの規模)、さらには今回から大きく 変更しご迷惑をお掛けした参加申し込みシステムなど, 宇宙科学シンポジウムの開催方法について考え直す時 機なのかもしれません。ただし、最初に述べた宇宙科学 シンポジウムの趣旨は、変わらず引き継がれなければな らないでしょう。

最後に、本シンポジウム開催に尽力していただいた宇 宙理学・工学委員長と幹事の皆さん、そのほかお手伝 いしてくださった皆さんに、世話人一同、感謝致します。 (川田光伸)

ISAS 事情

「宇宙学校・ふくしま」開催報告

1月26日(日), 福島県福島市にある, 子どもの夢 を育む施設「こむこむ」において、「宇宙学校・ふく しま」が開催されました。

福島市では、東日本大震災、福島第一原発事故に よる不安と風評被害から、多くの子どもたちが今もっ て県外避難や転校をしています。福島市の子どもた ちは、頑張っているように見えますが、以前と比べて 元気で華やかな声が少なく感じます。このような中に あって、今回の宇宙学校の開催は、子どもたちに夢と 元気を与えるよい機会でした。地元の報道機関も宇 宙学校の開催を大きく報道してくれました。NHKテ レビではゴールデンアワーに「JAXA が特別授業」と 題し放映、また地元新聞社は「ロケットの疑問解消・ JAXA宇宙学校」と題して授業内容を紹介, JAXAの 教育貢献活動が大きく評価されました。当日は、宇宙 少年団員親子や福島市内の親子150人が集合, 聴講 しました。

授業1時間目は、嶋田徹教授の「ロケット研究の最 前線:ハイブリッドロケットって何かな?」。固体燃 料と液体酸化剤を利用し安全でコストが安いなど興味

深い話から入り、将来の宇宙旅行やスペースデブリの 回収など今後の開発が楽しみな内容。2時間目は、福 島市出身の春山純一助教の「月探査機SELENE(か ぐや)が見たもの」。月表面の元素分布、鉱物組成、地 形観測など、子どもたちにも分かりやすい説明があり ました。子どもたちからは、将来の月面基地の在り方 など鋭い質問がありました。

今回の開催は、日本宇宙少年団福島分団の要請に対 して、JAXAと会場のこむこむのご協力により実現し たもので、福島市での宇宙学校の開催は初めてのこと です。宇宙少年団福島分団は、福島市には科学館がな いことから、明日を担う子どもたちのために宇宙科学 を学ぶ機会をつくる目的で活動しており、宇宙学校の 開催は大きな成果となったものと考えます。最後に、 学校長を務められた阪本成一教授および講師とスタッ フの皆さまに感謝申し上げます。福島市の子どもたち のために、今後よりいっそうのご支援を賜りますよう お願い致します。

> (日本宇宙少年団 福島分団きぼう 副分団長・事務局長/齋藤秀男)



徐々にエンジンがかかり、「はい!」の声も会場に響き渡るように。



日本宇宙少年団 福島分団きぼうの団員たち

ロケット・衛星・大気球関係の作業スケジュール(2月・3月)

	2月		3月		
ASTRO-H		\nuc.41	-+F (***:-h)		
BepiColombo		一次噛合せ	江映 (巩 <i>)</i>		
		フライトモデル総	合試験(相模原)		
はやぶさ 2		コニフレエデル が			
		フライトモデル終	台試験(相模原)		



「はやぶさ2」を 全体俯瞰して

國中均 「はやぶさ2」プロジェクトマネージャー

約1年にわたり、現在開発中の「はやぶさ2」小惑星サンプルリターン・ミッションに関する解説記事をお送りします。

まず、「はやぶさ2」の三つの意義を説明します。「はやぶさ2」の目標小惑星1999 JU3は、「はやぶさ」が訪れたイトカワの石質とは異なる炭素質組成で、水や有機物を含む可能性があります。標本を直接分析して太陽系宇宙の生い立ちや生命の起源に肉薄できれば、"宇宙科学"を前進させることができるでしょう。それが一つ目です。二つ目は、「はやぶさ」ではたくさんの不具合が生じましたが、それらを克服してより完全な探査機を実現させ、宇宙を自在に往来する独自能力を発展させるという"宇宙工学"上の目標です。三つ目は、人類の活動領域を宇宙へ拡大させる"宇宙探査"(Space Exploration)の意味合いにおいて、日本独自の小惑星探査を推し進めることです。

私たちには、日本が先鞭をつけた、天文単位からオングストロームスケールに至る「小惑星サンプルリターン観測法」を維持・発展させる根拠と地の利があると主張します。「はやぶさ」の成功に刺激され、米欧においても複数の小惑星探査計画(OSIRIS-REx、MarcoPole-R、Asteroid Redirect Mission)が準備されつつあり、宇宙活動のこの分野において日本は初めて追われる立場になりました。米国は小惑星を有人宇宙活動の拠点とする考え方を示していますし、2013年にはチェリャビンスク隕石が地球に落下して大きな被害をもたらしました。「はやぶさ2」で得られた知識を小惑星有人探査や隕石衝突回避などに還元して世界協働宇宙活動に貢献できれば、日本の独自性や利益を保ちながら、世界から一目置かれる地位を得られるでしょう。

「はやぶさ2」ミッションは、約600 kgの探査機をH-II Aロケットにて2014年度冬に打ち上げて、イオンエンジン加速と地球スイングバイを組み合わせたΔ VEGA(Delta-V Earth Gravity Assist)航法にて目的天体に2018年ランデブーし、リモートセンシングの後、標本採取のための着陸運用を複数回行い、再度イオンエンジン動力航行にて2020年に地球に帰還する計画です。成功基準はかなり高く設定されていて、Minimum Successとして1999 JU3へのランデブー・遠隔観測とインパクタの衝突、Full Success は衝突により起こる現象の観測・分離ロボットの着地・サンプリングの実施と地球での回収・分析、さらにExtra Success は小惑星地下物質のサンプリングです。

本ミッションは国際的な広がりを持って実施されています。 DLR(ドイツ航空宇宙センター)からMASCOT分離ロボット (Mobile Asteroid Surface Scout)が提供されます。NASA(アメリカ航空宇宙局)からはDSN(Deep Space Network)による追跡と軌道決定支援を受けます。世界中の科学者を動員してHJST(Hayabusa 2 Joint Science Team)やHSAC(Hayabusa 2 Sample Allocation Committee)を組織し、太陽系科学を推進し



ます。帰還カプセルの回収は、再びオーストラリアにて実施予 定です。

さて、恒例となりました(?)ミッションパッチを公開させていただきます。直方体形状の主構造に2翼の太陽電池を擁する探査機全体像が中心に描画されています。下面(-Z面)に多くの観測装置・搭載機器を配し、右側面(-Y面)にMASCOT分離ロボット、正面(-X面)にスタートラッカー、帰還カプセル、赤外分光器(NIRS3)が見えます。背面(+X面)のイオンエンジンからプラズマジェットが噴射されています。下方にはまだ見ぬ小惑星表面を、上方には太陽系の外側から内側へ向かって火星・月・地球(国際宇宙探査協働グループ[ISECG: International Space Exploration Coordination Group]のロゴマークをオマージュ)を望みます。そして「はやぶさ2」の来し方行く末を示す黄色い矢印。パッチ全体形状は上面(+Z面)に搭載された2式の円形平板アンテナをモチーフにしています。

本連載第1回の最後に、「はやぶさ2」プロジェクトメンバーを紹介しましょう。昨年実施された一次噛合せ試験時に全貌を現した探査機を背景に写る彼らこそが、私が全幅の信頼を寄せる同僚たちです。集合写真には入っていなくともJAXA内や協力企業に、たくさんのメンバーがいます。いよいよ彼らと共に誰も見たことのない深い宇宙に、我々の宇宙船でこぎ出します。「はやぶさ2」ミッションに乞うご期待。

(くになか・ひとし)



図2 「はやぶさ2」探査機とプロジェクトメンバー



管制担当が体験した イプシロンロケットの初フライト

2013年9月14日14時00分、イプシロンロケット試験機が内之浦宇宙空間観測所から打ち上げられた。 高性能と低コストの両立、そして打上げシステムの革新を目指した新時代の固体ロケット、イプシロン。 その試験機の打上げは、どのように行われたのか。打上げの準備作業の流れをコントロールし、発射 の秒読みを行うのが、管制担当である。1968年から管制業務に携わってきた下村和隆さんと、1995年 から管制業務に携わり今回の打上げも担当した餅原義孝さんに、イプシロンロケット試験機打上げの舞 台裏を語っていただいた。司会進行は、イプシロンロケットの推進系担当であり、『ISASニュース』編 集委員の羽生宏人さんである。

ロケット打上げオペレーションの作法

羽生 の力之浦宇宙空間観測所における衛星の打上げは、 2006年のM-Vロケット7号機以来,7年ぶりでした。振り 返ってみて、いかがでしたか。

下村 ● 今回, 観測ロケット以外のロケットの打上げを初めて 外で見ました。感動したよ。今までは全部、管制室にいた からね。

餅原●打上げ成功の祝賀会で「初めての子どもは難産でし た | と言ったのですが、その一言に尽きますね。2003年、 宇宙3機関が統合して宇宙航空研究開発機構(JAXA)が誕 生しました。イプシロンロケットの開発は、統合後に始まっ た初めてのロケットプロジェクトです。統合から10年。よう やく、ここまでこぎ着けたと感じています。

下村●イプシロンの打上げのプロセスは、どちらかといえば 種子島で行われてきている大型液体燃料ロケットH-IIAに 近かったかな。内之浦で行われてきた固体燃料ロケットM-Vや観測ロケットの打上げとの違いを、とても感じました。 餅原が慣れるのにとても苦労していることが、はたから見て いても痛いほど分かりましたね。

餅原●体力や精神力はいろいろな場面で鍛えられてきたか ら、大丈夫ですよ。今回は、イプシロンに最適な新しいやり 方を見つけようと頑張りました。

下村 ● これまでの内之浦では、場内放送や指令電話を使っ て情報を流し、現在の状況やこれからの予定を全員が分か るような管制の仕方をしていました。今回、餅原が放送す ると、慣れていない人にとっては逆にうるさかったのかもし れない。

餅原 ● 場内放送による情報伝達がもう少しうまくできると次 につながるかなと思いました。

下村●ロケットの打上げでは、情報共有による関係者の一体 感が不可欠だと思いますね。

打上げは信頼関係に支えられている

羽生 ● 今回の打上げでは、これまでの固体ロケットではな かったような重厚な手順書が配布され、それに従って作業 が進められました。

下村 ● 一長一短はあると思いますが、手順書に頼り過ぎる と、物を考えなくなってしまうような気がします。マニュア ル通りにやれば凡ミスは減ると思いますが、進歩しなくなる でしょう。だから、常に自分の作業については考えるように すべきだと思います。

ロケットの打上げは、現場に出て体で感じながら作業を する泥臭いものです。「はやぶさ」の映画の撮影で渡辺謙 さんが内之浦を訪れたときに、「映画づくりとロケットの打 上げは似ていますね」と言ったら、「そう思います」とおっ しゃっていました。

餅原●手順書は、あくまでも確実に運用するための一手段で す。そこに書かれていなくても、何か感じたら誰かに伝える ことも、時には必要だと思います。最終的には、現場を熟 知している担当者との信頼関係をより深めていきたい。

下村 ● 現場の信頼関係といえば、これまでは、例えばTVC (推力方向制御装置) であれば、せいちゃん (安田誠一さ ん)が、SJ (サイドジェット)については、しーちゃん(志 田真樹さん)が、「問題ありません」と言ってくれると安心 できました。彼らが言うのだから間違いないと判断できた のです。

羽生 ■ 互いに離れた場所で情報をやりとりする現場作業で は、人と人との信頼関係が重要なのですね。今回のオペレー ションではどうでしたか。

餅原●新しいチームだったので仕方ないことかもしれません が、相手の顔が分からない中で管制をしなければいけない という難しさがありました。ただ,全体が見通しにくい中で, まわりとの連携不足が顕在化した場面 (シーケンス点検に おいて事前の申し合わせなしにX時刻を30分前倒ししたこ と)でも、一部の現場の担当者間では簡単な状況説明のみ で作業を進められたので、よりスマートな連携体制構築の 可能性を感じることもできました。そんなことを足掛かりに、 このチームをさらに良いチームに成長させていかなければと 思っています。

19秒前に緊急停止。そのとき管制は?

羽生 8月22日の打上げでは、19秒前に緊急停止した後もカ

ウントダウンが続けられました。

餅原 ● カウントダウンを続けたのは、ロケットが飛び出して しまう確率がゼロではないので、注意を促すためです。そ れは、ロケットの打上げでの不文律です。

下村 ● 緊急停止をしたという情報を外に出さないために、わ ざと何も言わなかったのかと思ったのですが、本当のところ はどうだったの。

餅原 ○ 不文律通りゼロまでいった後、「カウントダウンを終 了します。逆行手順に入ります」と放送しました。内部の人 は、これで状況を理解したと思います。

下村●19秒の前と後で、カウントの声が全然変わらなかっ た。餅原も度胸が据わったなと思いましたよ。

餅原●打上げの管制を20年近くやっていますが、カウントダ ウンをゼロまで進めて打上げをしなかったのは、今回が初 めてです。緊急停止自体は想定内ですが、どう伝えるかの 準備が足らなかったと反省しています。

内之浦の400回の伝統を活かした管制を

羽生 ● 打上げに合わせてイプシロン管制センター (ECC) が 新設されました。管制室も大きく変わりましたね。

餅原●はい。ほとんどの操作がタッチパネルになりました。 以前はボタンがたくさんありましたが、そちらの方が好きで すね。

羽生 2号機以降、どのような管制が必要だと考えていま

餅原 ● イプシロン試験機は、内之浦での400回目の打上げで した。400回のうち8割くらいは下村さんが担当しているの

私たちはそれだけの伝統を背負っているので、新しいこと をやるときには、その土台を活かして直すべきところを直す



下村和隆さん(右)と餅原義孝さん。写真は,イプシロンロケット試験機の打上げ。

というのが、基本的なやり方だと考えています。試験機で は新たな運用方法を模索しながら進めましたが、本当にイ プシロンでやりたい打上げシステムの革新を実現するため には、これまでに培ってきた良い部分、例えばやることの中 身をしっかり理解して臨機応変に考えながら対応すること, などが活きるような形にするのが近道だと思っています。

羽生のどのような人が管制に向いているのでしょうか。

下村 ● 声が大きいことと、声に少し色気があることが大事な んです。

餅原●管制に向いているのは、体力があって態度がでかいけ れども、デリケートで人に対してきめ細かに気を使える人で すね。それを言うと、「えっ!?」と、けげんな顔をされます

羽生 ● 最後に、イプシロンロケット2号機の打上げに向けて、 意気込みを聞かせてください。

餅原●次は、ぜひ安産にしたいですね。



ロケット班長のつぶやき

異分野を融合しイプシロン試験機を 成功に導いた徳留ロケット班長

餅原さんの口から出た「初産は難産」は言い得て妙 でしたね。別の見方をすると、日本の固体ロケットシ ステムは長らく研究者同伴の「実験機」でしたので, ようやく独り立ちして「実用機」の仲間入りをした、 とも表現できるのではないでしょうか。

独り立ちしたといっても、イプシロンの「E」に込め られた4つの志 (Evolution & Excellence:技術の革 新・発展,Exploration:宇宙の開拓,Education:技 術者の育成)を達成するためには、内発的に価値を高 めていかなければならないはず。高い志は共有できた ので、次の課題はヤル気を持続させること。すなわち、 考えたことを自由に試せる「自律性の確保」、そして常

に高みを目指す「熟達の奨励」ではないでしょうか。 きめ細かなマニュアルは、その流れの中で自然と形を 変えていくはずですし、必要な部分は価値を高め、い ろいろな人に引き継げばよい。

ところで今回の打上げでは、言葉も通じにくい異文 化の人同士が、複雑で高度な連携作業を行いました。 隙がなく高度に体系化された組織の運用手段が必要 だったのです。制約が多い中で不慣れな射場に赴き, きめ細かなプロセス管理のための基盤づくりをしてく れた宇宙輸送ミッション本部のプロジェクトメンバー には、本当に頭が下がる思いでした。試験機の成功が、 そんな裏方たちの頑張りに支えられていたことをご想 像いただければ、うれしく思います。

これを機に、ほかの班の方々にも話を伺い、随時掲 載していきます。 (徳留真一郎)

ベトナム国内移動で学んだ教訓

BepiColombo プロジェクト 前島弘則

2013年12月2~3日にベトナムの首都ハノイで開催された電子情報通信学会宇宙・航行エレクトロニクス研究会で、BepiColomboプログラムについて発表してきました。前後の仕事の都合で、12月1日の夜に現地に入り、3日の夜に現地を出て、4日の朝には日本に戻るという弾丸日程となりました。ハノイへの直行便は、ベトナム航空と日本航空が毎日運航しています。往路、ベトナム航空は現地時間14時30分着、日本航空は22時30分着です。明るいうちに到着できるベトナム航空を選択したかったのですが、出張スケジュール調整に手間取っている間に満席となり、日本航空便で行くことになりました。これが苦労の始まりでした。

12月1日,ほぼ定刻にハノイのノイバイ空港に着陸しました。小規模な空港で、入国審査から荷物受取所まではスムーズに流れました。ところが、いくら待っても荷物が一つも出てきません。ほかに到着便はなさそうなのに1時間近く待たされ、ようやく荷物をピックアップして空港の外へ向かいました。学会事務局からの事前情報によると、ダウンタウンに行くには、タクシーか乗り合いのマイクロバスがあ

ります。すでに23時30分,迷わずタクシー乗り場に行くと、 長蛇の列ができていました。一方、マイクロバス乗り場を見る と、バスはがらがらで案内係氏が暇そうにしていました。バスはかなり古く、3人掛けシートが3列。お客は4人しかいませんでした。これはゆったり座れると、小さく喜びつつ乗り込みました。

ところが、一向にドライバー 氏が来ず、発車する気配があり ません。そのうち、一人、また 一人と客が乗り込んできて、と うとう9人そろい、狭い車内は ぎゅうぎゅう詰めです。私を除 いて全員ベトナムの方のようで す。先ほど暇そうにしていた案 内係氏が仕事モードになり、ド アから車内へ半身をねじ込み、 運賃を集め始めました。3万2000ドン,日本円で200円ほどです。タクシーは35万ドンとのことなので、10分の1以下です。集金を終えると、ようやくドライバー氏が面倒そうに登場し、出発と相成りました。このときすでに0時を回っていました。

バスは一路ダウンタウンを目指し、深夜の高速 道路を疾走します。1時間ほど走り、唐突にバスは 暗い路地で止まりました。どうやら終点に到着した ようです。想像していたよりずっと街灯や住居の明 かりが少なく、現在地を識別できるものが見当たり ません。地図を広げて困惑していると、暗がりから 「Taxi!」「Bike!」と、不慣れな旅行客目掛けて 勧誘の言葉を発しながら人々が集まってきました。 地図によれば宿泊するMホテルは2ブロック先、そ れほど遠くないはずです。勧誘の声を振り切り、ホ テルの方向を目指して歩き始めました。ところが、2 ブロック歩いてもホテルは見当たりません。大きな ビルの守衛らしき人がいたので、「Mホテルはどこ?」 と聞いてみたところ、無表情無言のまま指差してく れました。丁重にお礼を述べ、その方向に歩くと大 通りに出ました。通りの名前から地図上で現在地が 確認できました。目的とするホテルは,後方4ブロッ クでした。疲労困憊の体でホテルに到着したとき, すでに2時近くでした。

往路での経験から、復路はタクシーを使うことを 固く決意しました。復路便の出発時刻は23時55分 です。同僚とホテル近くのレストランで最後の晩餐 をゆっくり楽しみ、タクシー代35万ドン+ α を残して、 すべての現金を使い切りました。22時すぎ、ホテル に戻ってタクシーを呼んでもらいました。ここまで は完全に計画通りです。タクシーを待っている間に ベルマン氏と何げない会話をしている中で「空港ま で35万ドンですよね?」と聞いたところ、「いえ、45 万ドンくらいです」。 えっ、 現金が足りない。 さらに 聞くと、タクシーにはメーター制と定額制の2種類が あって料金が異なり、メーター制のタクシーを呼ん だとの由。慌てて定額制のタクシーを呼び直しても らいました。計画より遅れてホテルを出発し、思い のほか渋滞している市街を疾走して、何とか空港に 到着しました。タクシーを降りて40万ドンを渡すと、 ドライバー氏はポケットから出した財布を広げなが ら「5000ドン札しかない。OK?」。飛行機の出発 時刻を気にしつつも、そこは毅然と「Not OK!!」。 ドライバー氏は近くに停車していた仲間のタクシー に近寄り、5万ドン紙幣を借りてお釣りをくれました。

学会の様子にまったく触れぬまま紙数が尽きてしまいました。初めての土地では、時間と現金に余裕を持って行動しましょう、という教訓でした。

(まえじま・ひろのり)



道路だけでなく、電線も大渋滞していました。



イプシロンを撮影した理由と 私の仕事

プロジェクトには、それぞれ目標があ ると思うが、私の活動の目標は「写真で 未来(日本)を変えること」だ。我なが ら大きく出てしまったなと感じるが、多 くの人に協力していただく必要があるこ とや情報を発信する立場にいる責任か らすると、必然的にこうなるのである。

事の発端は、今から10年ほど前に工 事現場を撮影したことだ。工事現場に は子どものころから興味があったのだ が、一般人は入ることすら許されない場 所なので、具体的に何が行われている のかまるで知らなかった。そのようなと きに、皇居も近い交差点の地下で、トン ネル(共同溝)を掘る現場を撮影する機 会を頂いた。そこでは、都会の雑踏から 扉一枚隔てただけで、SF映画でも見て いるのかと錯覚するほど大規模なインフ ラ整備が行われており、自分が何も知ら ないということに気付かされた。そして, 自分が撮影しなければいけないものは、 「立入禁止」の扉の向こう側にあるのだ と知った。

この工場現場を撮影して以来, 数多 くの工事現場, 工場, 研究施設などを 撮影してきたが、撮影に行けば行くほど 自分の無知を実感し、知らないままでい ることの怖さを実感する。未来をどうす るべきか考えるときに現状を把握する必 要があるのは当然のことだが、現状を知 らないまま未来を決めてしまったとした ら……。私のやるべきことは、現場に行 く機会のない一般の人に代わって写真 を撮影し伝えることであり、それが、こ の国の未来を変えてゆくことになるのだ と思っている。

さて, では, なぜイプシロンロケット かということになるが、大きく二つの点 でイプシロンは撮影しなければいけない 被写体だった。一つ目は、私は日本のア

西澤 永 写真家

イデンティティーは科学や工業の分野 であると思っているのだが、そこにドン ピシャの被写体だからだ。科学や工業 は外貨を稼ぐなりわいとして重要である とともに、日本は世界に対して資金を提 供することではなく科学や工業などの分 野で貢献してほしいと思っている。省エ ネの分野でもいいし、基礎研究などの 分野でもいいので, 平和的な国際貢献 をするのが日本らしいと思う。

二つ目の理由は、イプシロンに限らず ロケットはインフラだと思っているから だ。これを読んでくださっている方々に は今さらな感じではあるかと思うが、現 代社会ではGPSや通信などをつかさど る衛星がないという状態は考えられず. それを宇宙まで運ぶロケットはインフラ であり、絶対必要なものだ。世の中の 風潮としては「何でも安ければよい」と いう流れもあり、「ロケットも海外に頼 めばいいじゃないか」と考える人が出て きそうで心配なのだが、私は自国で必要



写真集の表紙に使われたリハーサル時の写真

なものは最大限自国で賄うべきだと思っ ている。依頼先がずっと頼みを聞いてく れる保証など、どこにもないからだ。「国 力」という言葉があるが、国力とは一条 の鎖のようなもので、一番弱いリンクで 全体の強度が決まってしまう。例えば、 電力供給が落ち込めば、工場の稼働率 も下がるし大型研究施設は実験ができ なくなるなど、連鎖的に低いところに合 わせる必要が生じてくる。ロケットが入 手できなければ、別の方面から同様なこ とが起こり得る。安易な考えで国力を下 げるような未来を選択することだけは避 けたい。

写真集の話に移ろう。なぜ撮影する のかということに関しては、いろいろ難 しいことも考えるが、実際の本ではその ようなことを前面に出すことはない。つ くりたい本の目的はロケットに詳しくな い人に興味を持ってもらうことであり、 そのためにはエンターテインメントでな ければいけないと思っているからだ。と ころで, 撮影する上で重要な工程は何 だとお考えだろうか? 私の場合は、事 前にどのような写真が必要なのかを把 握することだ。扉に使うイメージ写真が 必要なのか、解説に使うための分かりや すい写真なのか、縦横の比率はどうな のか等々。このイメージトレーニングは、 目まぐるしく動いていく現場において, その場で判断しなければいけない要素を 減らす意味もあるので欠かせない。また, 今回は、初めて無人でシャッターを切れ る機材を製作して撮影に臨んだが、こ れも、どこから撮影すればかっこいい写 真になるのか予想することで準備できた のだ。現場の取材で段取り八分という 言葉が出てきたが、段取り八分という点 では、ロケット製作も撮影も同じなのか (にしざわ・じょう) もしれない。

環境適応力は誰にも負けません

科学推進部 広報普及係

原田まり子

- JAXAに入って8年目ですね。

原田:最初は筑波宇宙センターの有人宇宙環 境利用ミッション本部で特殊法務を担当しま した。大学や研究機関、企業と共同研究を行 う際の契約締結や、国際宇宙ステーションの 「きぼう」日本実験棟の打上げに関するNASA との合意文書の調整などに、2年半携わりまし た。その後、東京事務所で役員秘書を3年半、 そして2012年に相模原キャンパスの広報普 及係に来ました。



はらだ・まりこ。1983年、神奈川県生まれ。慶應義塾大学 法学部卒業。2006年,宇宙航空研究開発機構(JAXA)有 人宇宙環境利用ミッション本部。役員秘書を経て、2012年 より現職。

解決するかを法律が決めています。紛争が起 きる前に法律をつくり、紛争を防ぐことはでき ないものかと。そこで、これから法律ができる 分野は何かと探していたとき, 宇宙法に出会っ たのです。

筑波や相模原には観測装置や衛星が置いてあり、宇宙開発の現 場にいるんだ!と感じます。東京事務所では人と書類が相手で、現 場感はありません。場所や職種で大きく違いますが、どの仕事も楽 しく、辞めたいと思ったことは一度もありません。飽き性なので、2 ~3年での異動が合っているのかもしれません。

— 役員秘書を希望していたのですか。

原田:いいえ。現場を1ヶ所しか知らないのに役員秘書なんてでき ないと、目の前が真っ暗になりました。でも、JAXA全体を見渡し 考えるという経験を積むことができました。

– 広報普及係に来てすぐ,特別公開を担当したそうですね。

原田: JAXAに内定し、会社説明会にも行っていないのだから特別 公開くらいはのぞいておこうと相模原キャンパスを訪れたのですが、 人が多かったことだけが記憶に残っていました。あの人数を相手に するのかと、がくぜんとしました。でも、役員秘書のときの"危険 な橋は渡らない"という感覚が身に付いていたので、準備がなかな か進まない。右往左往していたことしか覚えていません。でも来て くださった方々がみんな事故なく過ごしていただけたので、90点で す。自分に甘過ぎるかな。

---- 仕事上で心掛けていることはありますか。

原田:物事を自分の主観的な感情で判断しない、ということです。 それは、大学で法律を学ぶ過程で身に付けました。ほかの人から見 てどうなのか、総合的に判断するようにしています。

―― なぜ法学部に進んだのですか。

原田:中学生のころはバイオテクノロジーを学びたいと思っていま した。でも、飽き性でコツコツとやることが苦手だと気が付いて、 方向転換しました。社会を守り制しコントロールしているものは、 法律です。それを学ぼうと。そして、大学で勉強に明け暮れていた とき、ふと考えました。紛争が起きて裁判になり、その問題をどう • 言語、違う考え方、違う色使い、そんな土地が好きです。

—— JAXA の採用試験では何をアピールしたのですか。

原田:環境適応力、国際感覚は誰にも負けません、と言いました。 私は生後11ヶ月から、父の仕事の関係でアフリカのザンビアで暮 らしました。4歳で日本に戻ったのですが、英語しか話せずアフリカ 人やイギリス人といった異なる人種が暮らす社会の価値観で育った 私には、みんなが常に群れていることが不思議でした。でも、その 集団に入らなければ生きていけないと感じ、個性を捨てました。居 心地が悪かったですね。中学生のとき、父がアメリカに行くことに なり喜んで付いていきました。ところが、価値観の違いにぶつかり、 自分の存在が足元から崩れ落ちるという体験をしました。崩れ落ち た自分をもう一度積み上げ直す。その繰り返しです。私は、世界中 のどこにでも身一つで行って、生きていける自信があります。

—— 広報としてどのようなことをやりたいと考えていますか。

原田:宇宙科学には、日本人が初めて成し遂げたことがたくさんあ ります。日本人は奥ゆかしくて「たいしたことないですよ」とよく言 いますが、「日本はこんなにすごいんだよ」と言える自信を持ってほ しい。宇宙科学は明日のご飯をおいしくしてはくれないかもしれな い。でも、自分の国を誇りに思えるって素晴らしいことです。その ためにも, 難しいことをいかに分かりやすい言葉で伝え, 興味を持っ てもらうかが、重要です。私が理解できて面白いと思えたら、もっ とたくさんの人にも面白いと思ってもらえるはず。宇宙科学の応援 団を増やしたいですね。

---- そろそろ次の異動があるかもしれませんね。

原田: まだぼんやりとですが、宇宙というツールを使って難民支援 などの世界貢献ができないかと考えているところです。

— 休みの日はどうしていますか。

原田:仕事は忘れ、時間があれば旅行に行きます。違う文化、違う

ISAS = 1 - X No.395 2014.2 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ビア 制作協力/有限会社フォトンクリエイト

編集後記

宵空には木星、明け方の空では金星が、とても明るく輝いて いますね。「ひさき」も見ているのだなぁと想いつつ、勝手に 協調観測の心で眺めています。 (大川拓也)

*本誌は再生紙(古紙 100%), 植物油インキを使用してい



