

「かぐや」スペクトルプロファイラによって観測された可視・近赤外光で見た擬似カラーの月面。  
 左は表側、右は裏側。対応する白黒画像（ $0.75\mu\text{m}$ ）を左下部に載せている。

## 宇宙科学最前線

# 観測角度による月の 明るさと色の変化

国立環境研究所 環境計測研究センター  
 環境情報解析研究室

横田康弘 特別研究員

松永恒雄 室長

可視・近赤外光による月の光学観測は、月表面の鉱物組成を調べる上で非常に有用です。ただし、その詳細解析には「測光補正」が必要とされます。本稿では、月周回衛星「かぐや」搭載スペクトルプロファイラ（以下、SP）における測光補正法の研究について紹介します。

### 可視・近赤外データの測光補正

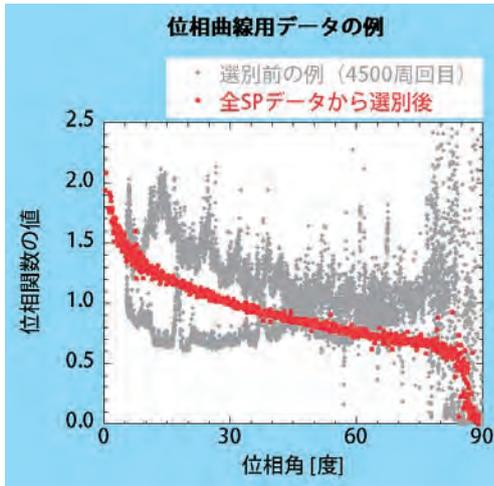
我々が自分の目で見ている光（可視光）の波長は $0.4 \sim 0.75\mu\text{m}$ （ $1\mu\text{m} = 1000$ 分の $1\text{mm}$ ）ですが、それより長い波長の光は赤外線と呼ばれます。中でも可視光より少しだけ長い波長（ $3\mu\text{m}$ 程度まで）は近赤外線と呼ばれ、月表面にある主要な鉱物は、それぞれこの波長帯で特有の反射スペクトル（広い意味での「色」）を持っ

ています。ですから、月面で反射された太陽光の「色」を詳しく調べることで、表面の物質が分かるのです。観測される反射光の明るさ（光の強度）は、光源（太陽）・月面・観測者の三者がなす角度条件によって変わります。どの波長でも均等に明るさが変化するわけではなく、色の傾向も変わります。異なる角度で観測した複数のデータを相互に比較するためには、角度条件の効果を補正する必要が出てきます。この手順を英語ではphotometric correctionやphotometric normalizationと呼ぶので、本稿では「測光補正」と呼びましょう。測光補正の目的は、観測データから角度条件の影響を除き、鉱物組成などの情報を残すことです。

反射光強度と観測角度条件の関係を示すモ

図1 「かぐや」のスペクトルプロファイラ (SP) によって得られた位相曲線

波長は  $0.75\ \mu\text{m}$ 。縦軸は位相角  $30$  度での平均を  $1$  に合わせている。灰色のデータは  $4500$  周回目の観測データを位相角順に並べたもの。月面にさまざまな反射率の物質があるため、位相曲線がはっきりしない。全 SP データから新開発の方法で選別することで、赤いデータのように正しい位相曲線 (高地用) が求められた。



デル式を、測光関数と呼びます。測光関数の中でも特に、位相角依存性を示す部分を位相関数あるいは位相曲線と呼びます。位相角は、太陽一月面一観測者のなす角度です。位相曲線は表面粒子の光散乱特性や詰まり具合などに影響されます。また、観測波長によっても変わります。位相関数に含まれるいくつかの係数を観測から決めるには、理想的には、月面上の同じ場所に対して何回もの違う角度での観測が必要になります。何らかの仮定なしに各係数を求めるには、少なくとも係数の個数以上の観測が必要です。例えば、この分野でよく知られた Hapke モデルには  $6$  つの係数があるので、 $6$  回以上の観測が必要となります。しかし、いろいろな制約のある探査機にとっては、全月面を何回も希望通りの条件で観測することは困難です。そこで現実には、幅広い種類の月面に共通して適用できる平均的位相曲線が利用されています。

月面には大別して、黒っぽい「海」と呼ばれる場所と、白っぽい「高地」があります。海と高地で位相曲線の形が違っていることは、以前から指摘されていました。ですから、少なくとも海と高地の2種類以上には位相曲線も分けて調べる必要があります。

### 「かぐや」SP 観測データの解析

「かぐや」の SP は、高度  $100\ \text{km}$  の軌道から月面を、瞬時視野約  $500\ \text{m}$ 、約  $0.5\ \mu\text{m} \sim 2.6\ \mu\text{m}$  の波長範囲を数  $\text{nm}$  ( $1\ \text{nm} = 1000$  分の  $1\ \mu\text{m}$ ) おきに観測しました。「かぐや」が月を約  $20$  ヶ月で約  $7000$  周回する間に、SP は約  $7000$  万地点の分光観測データ (各波長での反射光強度) を取得しました。しかし今までの実用的補正法は  $1\ \mu\text{m}$  より短い波長で、しかもとびとびの数バンド用のもののみでした。我々にとっては、それぞれの SP 観測波長で利用できる位相曲線

が必要なので、SP 観測データ自身から位相曲線を求めることにしました。測光補正の位相曲線は、位相角と月面の明るさの関係を表す曲線です。基本的には、位相角の順に観測した反射光強度を並べてやれば、その経験的な曲線形が得られます。しかし、反射光強度は月面の反射率分布にも左右されるので、反射光強度という1種類のデータから位相曲線だけを取り出す工夫が要ります。

さらに、低太陽高度のデータへの補正法も問題です。従来、月の反射スペクトル研究の分野では、 $1994$  年に月を観測した米国のクレメンタイン探査機のマルチバンド画像が広く役立てられてきました。しかし、月高緯度地域 (常に低太陽高度の場所) のクレメンタインデータの解析は測光補正の問題に邪魔されてきました。例えば、 $60$  度よりも高緯度では、予想される反射率より約  $20\%$  も高くなっており、信頼性に疑問があるという報告がありました。また、月の南極については、補正ミスで変な色に見えるのではないかと、この可能性が指摘されていました。

本研究も、反射率分布の地域偏りと低太陽高度データの問題に突き当たりました。我々は当初、月の裏側で赤道から北極まで観測したある周回の SP データを位相角順に並べて、位相曲線を得ようとしていました。しかし、得られた位相曲線は、 $70$  度以上の大きい位相角で期待より高い値になる奇妙な曲線でした (図1)。これは高緯度地域から取得されたデータなのですが、そもそも SP は高緯度を大きい位相角以外では観測できないため、これが正しい位相曲線なのか、月面の反射率分布のせいなのか、判別できませんでした。

そこで、我々はやり方を改めました。解析対象の月面の範囲を、基準の位相角 ( $30$  度) 付近での観測データがある領域に限りしました。その上で、基準位相角の観測を手掛かりに、前もって同程度の反射率のそろった地域だけを選び出すという意図です。そうすると、対象領域は緯度約  $40$  度より赤道側に絞られます。この範囲の月面を、 $0.75\ \mu\text{m}$  波長での観測データを使って、反射率に応じて約  $50$  段階に細かく分けました。反射率でグループ分けしたのは、反射率分布の影響を除く目的のほかに、位相曲線の形に反射率依存性があるからという理由もあります。曲線の形の違いは、位相角が小さくなると月面が急に明るくなる現象「衝効果」の現れる  $20$  度あたりで顕著になります。そして最終的には3種類の反射率グループに位相曲線データを

まとめ直しました(図1)。この3グループは、「高地・海・その中間」に対応します。このようなデータをほかの波長でも得ることにより、月の衝効果には実際に反射率依存性があることを詳しく示すこともできました。特に波長 $1\mu\text{m}$ 付近では、鉱物の反射スペクトル吸収帯に相当する衝効果があることも発見しました。

この位相曲線を用いた測光補正の正しさは、同じ月面を2回以上観測したSPデータを選び出して確かめました。観測時期・観測角度が違っていても、補正後の観測は2%以下の差で一致しました。ただし、「海」の大きい位相角での観測だけは差が2%を超えており、今後の課題です。

## 研究成果の利用

月の測光補正を高い精度でできるようになったことは、まず何といても今後のSPデータを使った科学解析に役立ちます。しかし、それだけでなく、波長範囲が重なるほかの観測にも役立ちます。すでに「かぐや」搭載のマルチバンドイメージャの画像を測光補正するために、SPで得た係数が使われています。ほかの月探査機のデータの測光補正に使うことも期待できます。さらに、SPによる月の反射率データや測光補正式と合わせることで、ほかの惑星探査機や地球観測衛星にも利用できます。惑星探査機は、地球や月でスイングバイするときに、月を使って搭載光学観測機器の性能チェックをすることがあります。地球を周回する地球観測衛星でも、時折、性能の経年変化チェックのため姿勢を反転させて月の観測も行われます。これまでは、月の明るさを任意の月面・位相角・波長で予測するには限界がありましたが、SPデータで状況は改善され、今後の幅広い宇宙機の観測に陰から貢献できるでしょう。

## 全球地図

最後に、本研究の副産物を紹介します。我々は、補正法の適用性確認の一環として、緯経度1度や0.5度メッシュ(マス目)の全球月反射率地図をバンドごとに作成しました。緯経度の幅が1度というのは、月の赤道では約30kmに相当します。SPはカメラではありませんが、このように各マス目内を観測したデータを集めることで、全球地図画像をつくることができました。作成した波長範囲は $0.51\sim 1.65\mu\text{m}$ で、160バンドが含まれています。表紙の画像(0.5度メッシュ)は、4つのバンド( $0.51, 0.75, 0.95, 1.55\mu\text{m}$ )の組み合わせで月の可視・近赤外光

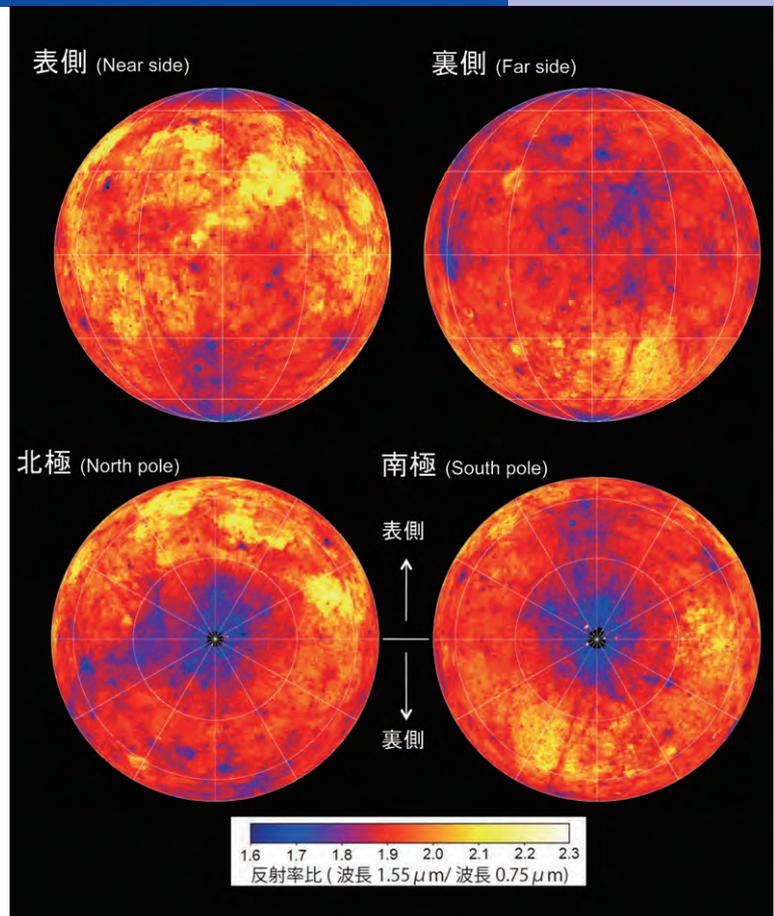


図2 反射スペクトル全体の大きな傾きを示した図

ティコクレータのまわりの衝突放出物による線状の地形(光条)などは、宇宙風化を受けていないため「青く」なっている。しかし、それ以外にも高緯度地域が青くなっていることが分かった。

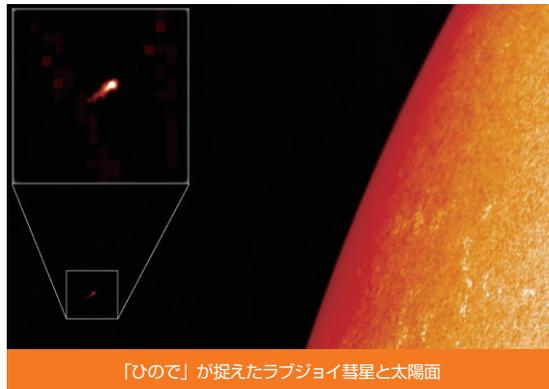
で見た「色」を強調したものです。「かぐや」レーザー高度計による地形データの陰影を重ねてあります。月面は、実はさまざまな色変化があることがお分かりいただけると思います。

ところで、出来上がった地図を見ると、驚いたことに、月の南北約75度以上の高緯度では反射スペクトルの傾きが通常平均に比べて緩い(つまり、比較的「青い」)領域が集まっていることが分かりました(図2)。過去の研究で「補正ミスではないか」とみんなが考えていたものは、実は本当に月面の特徴なのではないか、というのが我々の主張です。「青い」ということは、宇宙風化(太陽風や微小隕石の衝突にさらされて、分光特徴が変化する現象)を受けた度合いが少ないことを示します。なぜこんなことが起きるのか? 高緯度地域だけが隕石により選択的にたくさん掘り返されて、新しく現れた表面でできているということはなさそうです。考えられるのは、高緯度地域では宇宙風化の進行速度がほかより遅くなっているということです。宇宙風化のプロセスには、太陽風でもたらされるプロトン(陽子)が関わっていると考えられています。高緯度地域は太陽に対して大きく傾いていますから、プロトンの供給密度がほかの地域より少なくなっても不思議ではありません。今後はこうした青い地域の分布をより細かく調べ、宇宙風化との関連を調べていこうと考えています。

(よこた・やすひろ/まつなが・つねお)

## 「ひので」が太陽面に大接近したラブジョイ彗星を捉えた

世界時間でちょうど2011年12月16日になったばかりのころ、軌道上で運用中のあらゆる太陽観測衛星は、普段観測している太陽現象でないものに注目し、望遠鏡を向けていた。「ひので」も北東側の太陽縁、そして北西側の太陽縁と視野を変えつつ撮像を行っていた。11月末にアマチュア天文家により発見された「ラブジョイ彗星」が、太陽面からわずか約14万km (0.2太陽半径) を通過すると予想されていたからだ。観測前は「本当に見えるかしら」と懐疑的な見方が大方だったが、「まさか捉えられたとは」と驚きが変わった。「ひので」の可視光磁場望遠鏡は、非常に明るい可視光太陽面と同



「ひので」が捉えたラブジョイ彗星と太陽面

時に、彗星の核と思われる小さく尾を引いた像を捉えていた(写真)。彗星は非常に明るい太陽面に比べ200倍程度面輝度が違うので、写真では彗星の明るさを強調してあるが、散乱光を抑えた設計のおかげで太陽面の至近距離でも彗星が捉えられた。X線望遠鏡は、接近後移動する彗星を、非常に淡いながらも軟X線で捉えている。

太陽接近時に熱で溶けて消滅すると思われていたが、接近後も彗星は生き残った。国際宇宙ステーションや南半球から、見事な長い尾を引いた彗星の美しい姿が撮影されている。

(清水敏文)

## 第4回宇宙科学奨励賞 勝田哲氏、小林大輔氏に授与

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2008年度から始めました。今年度、その第4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。

この推薦に基づき当財団理事長の決裁を得て、今年度は宇宙理学関係で理化学研究所基礎科学特別研究員の勝田哲氏が研究課題「X線による超新星残骸の観測的研究」により、また宇宙工学関係で宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所助教の小林大輔氏が「宇宙機用LSIの動作を阻害する放射線パルスノイズの解明とモデル化」により、それぞれ受賞されることになりました。

勝田氏は米国の「チャンドラ」、ヨーロッパの「XMM-ニュートン」、日本の「すざく」の3つのX線天文衛星の観測データを駆使し、超新星残骸(SNR)の研究において大きな成果を挙げました。同氏の成果は①「チャンドラ」「XMM-ニュートン」両衛星の高い空間分解能を活かし、近傍のSNRの膨張率を世界に先駆けて測定し、SNRのダイナミクスを明らかにした、②SNRにおける爆発破片(エジェクタ)の詳細な分布を測定し、それら



勝田 哲氏

小林大輔氏

が非対称に飛散していることを観測的に発見した、③SNRから電荷交換反応(CX)によるX線が放射されていることを世界で初めて見つけた、といった多岐にわたる観測的研究から超新星残骸の進化を理解する上で鍵となる優れた成果を短期間に挙げました。

小林氏は、近年高度化してきた宇宙機において重要になってきた、情報処理を担う半導体集積回路LSIの新しい放射線障害であるSET (Single Event Transient) と呼ばれるパルスノイズに関して、その解明とモデル化の研究に取り組み大きな業績を挙げました。同氏は宇宙機用高性能LSIの試験開発を行うとともに、SETパルスノイズの物理的機構の理論的解明にも取り組みました。このように小林氏は、宇宙機用LSIにおいて新たな課題として登場した放射線パルスノイズに関して独創的で優れた研究を行い、現在では国内・海外で高く評価される成果を多数挙げ、すでにこの分野の先導的研究者として国際的にも広く知られています。

宇宙科学振興会は今回受賞された両氏がいっそう精進され、今後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して発展させていく所存であります。本財団の当事業に対して皆さまのご支援を心よりお願い申し上げます。

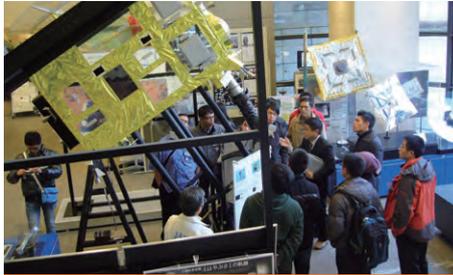
(財団法人宇宙科学振興会 事務局長/長瀬文昭)

# 総研大「アジア冬の学校2011」開催

2月15日から17日までの3日間、総研大「アジア冬の学校2011」が開催されました。

JAXA宇宙科学研究所は総合研究大学院大学(総研大)に参画しており、宇宙研の多くの教員が総研大物理科学研究科宇宙科学専攻を兼務しています。本行事は物理科学研究科の5専攻(核融合科学・機能分子科学・構造分子科学・天文科学・宇宙科学)が連携し、総研大の高いレベルの研究・教育内容を、総研大以外のアジアの国々の若手研究者の教育に活用することを目的に開催されています。今年は5専攻共通のテーマに「世界を眺める新しい目」を設定し、さらに宇宙科学専攻の個別テーマとして「Eyes to explore the space horizon(宇宙の果てを探求する目)」を設定しました。

応募資料をもとに厳選し、国外15名、国内1名の参加を受けました。宇宙科学専攻を中心に7人の講師を選抜して宇宙科学の最先端講義を行い、相模原キャンパスと筑波宇宙センターの施設見学を実施しました。



相模原キャンパス施設見学の様子

学生のプレゼンテーションも受けました。各人が関わるカンサットやナノサット、電波天文観測を活用した研究などが紹介され、同じ分野の者同士、その場から連携の声も上がり、国境を意識しない若い研究者の前向きな指向性が感じられました。

今年、宇宙科学専攻の事務局に加わった私は、学生たちに伝えたかっ

たことがありました。

ほんの50数年前、日本はペンシルロケットから宇宙探査へ歩みを進めました。たったの50有余年で世界最先端の衛星天文科学を切り開き、多くの工学技術を開拓/発展させ、今や先端宇宙科学を実践していること。そういう技術は、「あけぼの」や「GEOTAIL」のように20年を超えるような運用を積み重ね、データを大切に現場から生まれること。

自分のカンサットが「自身の研究者人生を形づくる中で最先端科学に結び付く可能性を秘めている」と、そんな気持ちを持って母国に帰っていてくれたらと祈念してやみません。(曾根理嗣)

## 第2回「あかり」国際会議

2月27日から3日間、赤外線天文衛星「あかり」の観測成果に関する国際会議が韓国・済州島で行われました。「あかり」は昨年11月にそのミッションを成功裏に終えましたが、のこされた膨大なデータの解析は現在も続けられ、研究が行われています。第2回となる今回の「あかり」国際会議は、名古屋大学(グローバルCOEプログラム「宇宙基礎原理の探求」とソウル大学の共催で行われました。

参加者は日韓を中心に7ヶ国から121名に上り、観測天体の種類が幅広い「あかり」の研究会とあって、13のセッションが持たれました。

印象的だったことの1つは、米国の赤外線宇宙望遠鏡にはない波長5マイクロメートル以下の赤外線の分光観測による成果です。彗星に含まれる水や二酸化炭素などの分子、誕生したばかりの恒星のまわりの氷、核融合を起こせない小さな星である褐色矮星の大気に含まれるメタンや一酸化炭素などの分子、果ては100億光年以上離れたクェーサーの水素ガスまで、分光観



「あかり」国際会議のひとつ

測で得られた多くの成果が報告されました。ほかには、星間空間にある有機物、多環式芳香族炭化水素が出す特徴的な赤外線の観測結果も印象的でした。この有機物自身の性質を調べる研究だけでなく、特徴的な赤外線放射をプローブとして星間空間の物理状態を探ったり、また遠くの銀河で起きている星形成活動を測る指標に使われたりと、この有機物が出す赤外線はさまざまな研究で活躍し

ています。

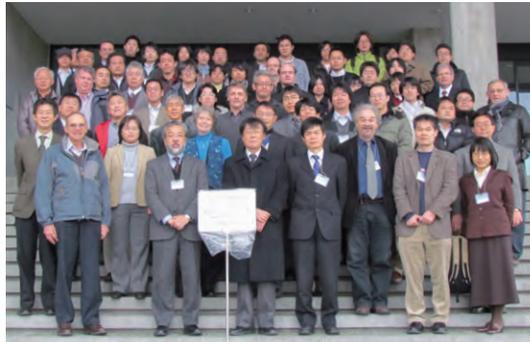
今回の国際会議が行われた済州島は、観光と漁業の島です。店先の水槽にはアワビやサザエ、イシダイをはじめとする見慣れた魚貝たち、それに小さなネコザメらしき魚までがひしめき、市場では銀色に輝くタチウオやエイも売られています。済州島女性のシンボリック的存在である海女の人たちが、毎朝おしゃべりしながら海に出ていく姿も見られました。寒さが厳しかった今年の冬。韓国最南端の済州島といえどもまだまだ寒く、その分、海鮮たっぷりのチゲがうれしいごちそうでした。(村上 浩)

## 第6回「SELENE 拡大サイエンス会議」

月周回衛星計画「SELENE（セレーネ）」の3機の探査機「かぐや」「おきな」「おうな」が運用を終了してから間もなく3年。人類初の月グローバルマッピングを達成したSELENEのデータは、着実に月の謎を解き明かして世界の注目を集めています。こうした背景のもとに、第6回の「SELENE 拡大サイエンス会議」が、1月10日～12日に名古屋大学で開催されました。

この会議はSELENEの15の観測機器の研究者を中心に2007年から毎年開催されており、6回目となる今回、初めて首都圏を離れて名古屋大学での開催となりました。出席者90名のうち18名は海外からの参加者で、米国、中国、フランス、韓国、ドイツ、スイス、英国と、多様な国々から月の研究者が集まりました。

今年にはSELENEのデータ校正・初期解析の最終年に当たることから、データ校正と解析に関する最新の成果を共有し、SELENEが目指す「月の起源と進化の解明」に向けた次の段階の研究や、将来の月探査における科学ミッションの方向性を議論することが、今回の会議の目的でした。



国内外の月の研究者が集結

この中で、月の元素分布、鉱物分布、表層構造、環境、重力分布について、それぞれ精度の高いデータが生成され、各分野で新たな発見が相次いでいることが報告されました。その一方で、SELENEが目指す「月の起源と進化の解明」に向けた次の段階では、さまざまなデータを総合的に解析する「統合サイエンス」を進

めていくことが提案されました。もう一つの会議の目玉は、SELENEに続く月探査計画であるSELENE-2をはじめ、将来の月探査における科学ミッションについて、活発な議論が行われたことでした。このことは、SELENE-2の実現が世界各国から期待されていることを強く印象づけるものでした。

7回目となる次回は、装いを新たに「SELENEシンポジウム」として、SELENE関係者に限らない国内外の多くの惑星科学者が集う国際会議にすることを計画しています。今世界が注目している「月」に関し、多くの成果や新たな提案について熱く議論されることを期待してやみません。

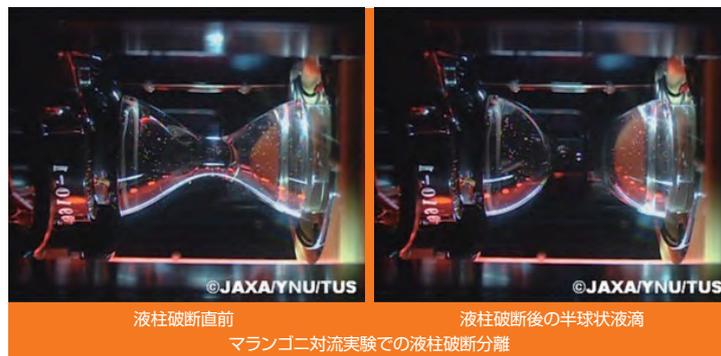
(岩田隆浩)

## 「きぼう」マランゴニ対流観測実験の今

「きぼう」日本実験棟初の本格的科学実験としてマランゴニ対流の観察実験が始まったのが2008年8月22日ですから、それから3年半が経過しました。その間、5つのシリーズの実験が実施されました。全体では12シリーズの実験が計画されているので、4割ほどまで進捗したことになります。

2012年2月8日には、第1テーマ第4シリーズの実験観測が完了しました。この実験の最後には大変興味深いデータ取得ができました。

マランゴニ対流実験では、2つの円形ディスクの間に実



液柱破断直前

液柱破断後の半球状液滴

マランゴニ対流実験での液柱破断分離

験流体（シリコンオイル）を挟み込み液柱を形成します。液柱は外部の振動に対して敏感に応答し、実験中ときどき揺れます。この振動を誘起する要因の1つとして宇宙飛行士（クルー）の動きがあります。

そのため、これまで実験はクルーの就寝時間(21:30～6:00)に行ってきました。我々もそうですが、クルーも就寝時間に入ってもすぐには寝ずにプライベートな時間を楽しんでいるようで、23:00を過ぎるまでは振動がときどき発生しています。液柱が揺れることは実験上望ましくないのに、特に長い液柱の実験を行うときは「今夜は長液柱の実験を行う

ので協力お願いします」と就寝前の交信で伝えるようにしています。このような依頼を続けてきたためか、宇宙飛行士もすぐ気を使ってきています。夜中トイレに行くときも忍び足(?)で動いている、と帰還したクルーに聞きました。最終実験ではこうしたクルーの負担軽減のため、どのような動作が液柱に問題かを調べようと、昼間に実験をしました。その結果、昼間は液柱は常に小さく揺れ続けること、特にクルーがハンドレールをつかんだときに大きく揺れることが分かりました。こうした結果は今後、実験環境を良好

に保つための貴重なデータとなります。

また、今回は意図的に液柱を分離し、それぞれのディスク上に半球状液滴を残し、そこに発生するマランゴニ対流や液滴同士の合体条件の観測を行いました(写真)。これにより、液柱の破断条件の理論検証や、マランゴニ対流が存在しているときの破断挙動の特異性のデータが取得できました。今後も、マランゴニ実験は継続的に行われ、多くのデータ取得から科学的成果が創出され、それらを世界に向けて発信していくことでしょう。(松本 聡)

## 宇宙学校・あさくち開催

キラキラと瞳を輝かせて、子どもたちと、少し昔に少年少女だった方々が入学!! しかも、浅口市の宇宙・天文ファンはベテランぞろい!? そうなのです。日本一の晴れの国、浅口市に岡山天文博物館ができたのが、今から50年前のこと。標高372mの竹林寺山頂に銀色に輝くウルトラマンの頭……いえ



“生徒”と“先生の”記念撮影

いえ、国立天文台のドーム、浅口市の“美しい星空の象徴”が誕生しました。大人も子どももみんな天文台を一目見ようと、山頂へと続く道には長いなが〜い行列ができました。その思い出が、大人になった今でも鮮やかに心に残っているからなのです。岡山天文博物館も50歳……。その記念の年に、あのJAXAの「宇宙学校」が来る!? ホントに〜!?

1月28日(土)に「宇宙学校・あさくち」が浅口市健康福祉センターで開催されました。授業の中身は、不思議と探究の種がいっぱいでした。「物質はエネルギーのかたまり」で、エネルギーができると質量が減る」「それって燃やすダイエットの原理ですか?」「宇宙には酸素、空気がないのになぜ燃えているの?」「それは、水素がぎゅーって縮

こまってバーン!!とはじけるから」「え?」「その水素はどこからくるの? なくなるの?」「なんで?」「なんで?」次々に疑問があふれてきます。会場は、まさに宇宙に夢中!状態です。

先生の説明は、とても分かりやすく、分かれば分かるほど、頭の中がこんがらかってくるけ

れど、それが面白い! 生徒の皆さんも先生の話とスクリーンの映像に身を乗り出して、もう興味津々! もっと、見たい! 知りたい!! JAXAの先生方も、面白いから続けられるのだと教えてくださいました。

授業の後、先生方との記念撮影で、JAXAに入りたいというシャイな男の子は、今日一番の笑顔を見せてくれました(その夢、きっとかなえてね)。会場を出た皆さまからいただいた「ありがとう」という言葉に、このたびの宇宙学校のすべてが表されていると思います。

JAXAの皆さま、会場に来られた皆さま、素敵な出会いに心から感謝致します。

(浅口市教育委員会・岡山天文博物館/大橋久美)

## お知らせ

### 第31回 宇宙科学講演と映画の会

日時: 2012年4月14日(土) 13:30~17:10 (開場13:00)

場所: 四谷区民ホール(四谷区民センター9階)

※昨年までと会場が異なりますのでご注意ください。

定員: 440名(中学生以上、先着順)・入場無料

詳しくは、宇宙科学研究所ホームページをご覧ください。

<http://www.isas.jaxa.jp/>

## 宇宙学校・ひめじ開催

1月29日(日)に「宇宙学校・ひめじ」が姫路科学館で開催されました。定員を大きく上回る応募があり、反響の大きさと応募者の熱い思いを配慮して応募者全員の座席を用意し、200人近くを受け入れました。

講座は阪本成一校長の軽妙な司会により進められました。1時間目の北川幸樹先生による「ロケットってなんだろう?」では、ロケットの原理、いろいろなロケット、そして先生自身が研究中のロケットなどについて話をいただきました。6歳ほどの子どもから「スペースシャトル固体ロケットブースターは再利用するのに、外部燃料タンクは再利用しないのはどうしてですか」という質問が出て、参加者のロケットに関する知識に驚かされました。ほかにも、人工衛星の数やロケットの値段など多くの質問が絶えず、休み時間が終わるまで質問の列が続きました。

2時間目は、津村耕司先生の「宇宙誕生の様子をさぐれ!」と土谷光弘先生の「水惑星の『地球人』として君たちはどう生きるか」でした。最初に津村先生が行っている研究、赤外線衛星



定員を上回る応募に座席を増やして対応

や次期赤外線天文衛星などの紹介がありました。そして、地球の大きさや月までの距離の測定の歴史、ハッブルの法則、ビッグバンなど、宇宙観の変遷についての話がありました。「ビッグバンはどうして起こったのですか」といった答えにくい質問にも、丁寧に回答していただきました。土谷先生のお話は、小惑星探査機「はやぶさ」の技術とその成果、地球の

外から地球の環境を観測する技術についてで、その成果を踏まえて私たちはこれからどう生きるべきか問い掛けがありました。

最後に先生方から、「自分の好きなこと、やりたいことを見つけてチャレンジしよう」「これだけは人に負けないということを見つけて挑戦しよう」と、子どもたちに激励の言葉が贈られました。研究現場の先生方から直接話を聞くことができ、子どもたちは大いに刺激を受けたようでした。また、「宇宙学校」の開催に合わせてJAXAから試着できる宇宙服の模型などを借りることができ、宇宙学校終了後、希望者に宇宙服を試着してもらい好評でした。

(姫路科学館/小関高明)

## 「はやぶさグルメ」試食会

宇宙研の地元である神奈川県相模原市では、政令指定都市への移行を機に、シティーセールスの一環として宇宙を使った街づくりを始めています。これまでも淵野辺駅前通りを“こと座通り”“いて座通り”などと名付けるなど、宇宙をイ

メージさせる街づくりが進められてきました。そんな折、淵野辺駅北口の“にこにこ星ふちのべ商店街”が、小惑星探査機「はやぶさ」と宇宙にちなんだグルメやグッズを開発しました。この商店街は、これまでも毎夏“ふちのべ銀河祭り”を開催するなど、宇宙を使った街おこしの発信元となってきましたが、「はやぶさ」の社会現象化を機にさらに畳み掛けようという戦略のようです。

2月3日の夕方に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で、新メニューのお披露目と「はやぶさ2」の応援を兼ねた試食会が催され、相模原市長や東映・松竹の映画関係者に加え、JAXAからも元「はやぶさ」プロジェクトマネージャーの川口淳一郎教授や「はやぶさ2」プロジェクトマネージャー



“ギャラクシーサワー”で乾杯

の吉川真准教授など9名が招かれました。自家製ジンジャーエールをベースにした“ギャラクシーサワー”での乾杯の後、それぞれの目の前に置かれたメニューを平らげて感想を言うという趣向。うなぎの“はやぶさ重”や豆乳鍋の“ちゃんこミル

キーウェイ”など、どれも店の個性が光る品々です。私も目の前の“はやぶさトマト”を平らげてからほかのメニューに取り掛かりましたが、どれもおいしく“ギャラクシーサワー”がどんどん進みます。この様子をメディアがこぞって取り上げたほか、火付け役となった“いとかわカレー”についてはサークルKサンクスの神奈川県内約400店舗で販売されるとのこと。大きな展開となっています。

グルメ以外にもグッズやガールズユニットまで誕生。中には“はやぶさトリートメント”なる育毛トリートメントも。7年がかりで髪が帰ってくるということでしょうか!? 宇宙研にお越しの際には駅前商店街にもぜひお立ち寄りください。(阪本成一)

# イプシロンロケットが拓く 新しい世界

第3回

## すべては衛星ミッションのために

清水文男

イプシロンロケットプロジェクトチーム



イプシロンロケットの開発には「7日間」と「3時間」という重要なキーワードがあります。今回はこれらについてご紹介します。

### 7日間：ロケットの起立から打上げ翌日まで

衛星をロケットに搭載すると、作業エリアや作業時間の制約が衛星の作業に対して生じます。そのため、衛星をロケットに搭載した後は極力早く打ち上げることが望まれます。

そこで、イプシロンロケットでは衛星を搭載した後の作業期間を大幅に短縮し、1段ロケットを発射台上に立ててから打上げ翌日の後処置作業が完了するまでを7日間にするのを開発目標としています。

ロケットを発射台の上に組み立てた後は電気系の点検を行います。従来は、その点検に多くの時間を割いていました。イプシロンロケットでは、ROSEという愛称で呼んでいる即応型運用支援装置をロケットに搭載します。このROSEが発射管制設備と連携してイプシロンロケットの点検を行い、点検完了と同時にその評価を技術者へ示します。単に要求値に入っているかどうかを判定するだけでなく、例えば、この電流値は時間が経過するに従って上昇傾向にあるなど、過去に蓄積したデータをもとにしてトレンド評価なども行う機能を有します。ROSEをロケットに搭載することで点検の評価時間を短縮するだけでなく、点検用の電気ケーブルの取り付けや取り外しなど、点検の準備や後処置に要する時間も短縮することが可能になります。

また、ロケットの姿勢制御装置には推進燃料のヒドラジンを使用します。従来は射場で燃料の充填作業を行っていましたが、イプシロンロケットでは工場で充填した上で射場に搬入し、射場作業期間の短縮を図っています。

これらの試みにより、1段ロケットを発射台上に立ててから打上げ翌日の後処置作業までを7日間で実施することは実現できるめどを得ています。

### 3時間：衛星の最終アクセスから打上げまで

衛星はロケットに搭載した後も打上げに向けた最終準備作業（衛星に搭載した液体ヘリウムなどの冷媒の搭載や高真空度を維持するために真空引きの実施など）や点検作業を、ぎりぎりまで行いたいという要望があります。

そこでイプシロンロケットでは、打上げ時刻の3時間前まで衛星の作業が可能となるように、打上げ当日の作業計画を検討しています。

衛星の最終アクセスが完了した後、イプシロンロケットを整

備塔から出して射座へ移動させ、搭載機器の機能点検やイプシロンロケットが飛行中に追尾を行う射場系設備との電波リンク点検などの作業を間髪入れずに実施する必要があります。打上げまでの3時間という限られた期間内に必要な打上げ準備作業がすべて設定できるように、機体と設備の開発を担当する技術者が、あらゆる観点から打上げ当日の作業計画を検討し、さまざまなアイデアを出し合って議論を進めています。

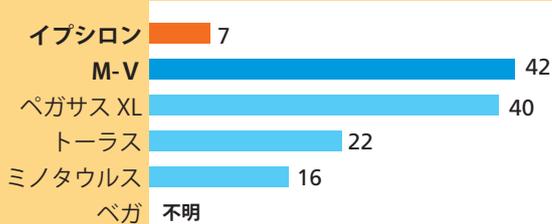
### さらなる進化に向けて

下図に示す通り、イプシロンロケットがこの7日間と3時間を実現すると、どのロケットと比較しても世界一のレベルを達成できることとなります。この世界一の運用性を実現したイプシロンロケットは平成25年夏に打ち上げる予定です。

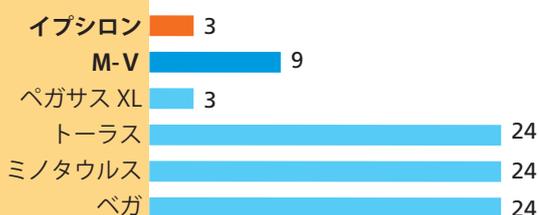
これと並行して、我々はアビオニクスや構造系のコンポーネントに対し先進的な技術を取り込み、今よりさらに低コストを実現したイプシロンロケットを平成29年度に打ち上げることを目標として研究を進めています。この低コスト化したイプシロンロケットには、単にコストを下げるだけではなく、平成25年以降の打上げの実績も踏まえて、衛星がより使いやすくなるような改良を行っていく必要があります。次の衛星を打ち上げるときに、またイプシロンロケットを使ってみようと思ってもらえるようなロケットに成熟させるため、そして、すべての衛星ミッションを成功させるため、運用性をさらに向上させ、進化させていかなければならないと考えています。

(しみず・ふみお)

1段射座据え付けから打上げ翌日まで（日）



衛星最終アクセスから打上げまで（時間）



イスラエル

正月気分がまだ覚めやらぬ時期、私はイスラエルにある Acktar という会社を訪問した。水星探査計画 BepiColombo の水星磁気圏探査機 MMO に搭載する「武蔵」(MSASI: Mercury Sodium Atmospheric Spectral Imager) のフライトモデルの一部に黒メッキをしてもらうためである。

“なぜ、イスラエル?” 宇宙研の探査機に搭載されたフードの内面が黒いことを考えれば、国内で調達できそうな話だ。私も、製造の最終段階まではそのように想定してきたし、メーカー担当者もそのように理解をしていたはずである。しかし、武蔵の仕様になうメッキを国内の意中のメーカーには依頼できない「低くて高いハードル」が現れ、武蔵の完成が危うくなった。

そんなとき、大学院生の酒井恒一君が「インターネット検索でこんな黒色メッキ見つけたんですけど」と私にホームページのアドレスを送ってきた。「研究をネットでする気か」と最初は怒りながら対応したが、彼は懲りることなく Acktar の日本支社からサンプルをもらい、宇宙で使えることを明らかにしたのである(彼の一報がなかったら、今ごろどうなっていたらだろうか? 私の判断ミスを彼は帳消しにしてくれたのである。やはり、研究はチームでするものだ!)

このような経緯もあり、酒井君と Acktar Japan の森さんにも、最終納品に同行してもらうこととなった。森さんに同行してもらうことが重要であったことを、そのときはまだ知らなかった。

パリ経由でテルアビブに到着。イスラエル入国に関して事前に調べてみると、中東アジアに入国した履歴がある場合は入国を拒否されることがある、とあった。私は中東には行ったことはないし、今回の出張でイスラエルのスタンプがパスポートに押されても、イスラエル以外の中東アジアに今後行くことはないと思ひ、気楽な態度で入国審査に望んだ。それが間違いだった。

You visited Malaysia last year. What purpose?

マレーシアって聞こえるけど、聞き間違いかな? いや、マレーシアに行ったことがある場合でも問題になるのか? そうか、マレーシアは盲点だった。イスラム教国を警戒しているのか。そう考えている間、私は女性の検査官に“パスワードでロックされている近代的な

特別室”に連れていかれ、質問を受けた。しかも、私がマレーシアの入国履歴を5年前の家族旅行と勘違いをして答えたため、相当怪しい人物に映ってしまったようだ。そのとき、森さんが入国審査場を逆流し、私を助けに来てくれた。ヘブライ語で会話をすれば話が楽になる、と。確かにそうだった。ヘブライ語万歳! 森さん、ありがとう。

テルアビブから電車で1時間ほど離れたキリヤットガットに、Acktar はある。まわりには世界の有名なメーカーの工場が多く、今春に酒井くんが就職する M 自動車の現地工場もあった。小さなビルの3、4階が Acktar 本所で、黒色の真空蒸着装置もある。社内見学、武蔵への黒色メッキの仕上がり具合の検査、書類の確認をし、将来ミッションの説明もしてきた。最後に、私を悩ませてきた黒色メッキの失敗歴(過去の衛星も含む)を紹介した。

外国人との仕事が想定通りの時刻に終わることはこれまでなかったが、Acktar は輸送用のコンテナも含め、すべてを整えて待っていた。東京と物価が変わらないイスラエルで、ウン十万円(下の方です)でこんなにしてくれた(正直、私の出張費用の方が高かった)。

出国時の預け荷物の検査でも事件があった。私は、前日に買い込んだ土産用のワインを預け荷物に仕込んでいた。荷物の X 線検査の後、荷物にバーコードを貼り、テーブルの上で荷物の中を検査官が調べる。これをすべての乗客に義務付けている。一時期の米国に似ている。超ハイテク近代国家イスラエルのすごさはここからだ。バーコードを機械が読むと、荷物の中の様子が CT スキャンのように階層ごとに断面として、32型テレビ程度の2台の大きな画面に映し出される。画像の操作を、iPhone を扱うように検査官がタッチパネルで操っていた。ワインは没収されるのか? も心配だったが、それよりも、この近代的なナウい装置に僕は見とれていた。

検査官に「あなたはワインを X 本持っていますね? 保安上の理由で、このスーツケースの中には Y 本だけを保管してください。残りはスーツケースから出します」と言われ、没収されるのを覚悟した。しかし、スーツケースから出した (X - Y) 本のワインを1本ずつ、輸送中に割れないよう丁寧に梱包し始めた。そして、(X - Y) 本の重いワインケースは、検査官の補助員がチェックインカウンターまで持ってきてくれるという対応。とても親切なお国柄なのか? しかし、入国審査の出来事が頭をよぎる。テロ対策だというのはよく分かるが、これから飛行機に乗ることを考えると、複雑な気分だった。

(よしかわ・いちろう)



嘆きの壁の前で、武蔵の窮地を救ってくれた酒井君(右)と記念撮影。

吉川一朗

東京大学大学院理学系研究科准教授



# 被災地より感謝を込めて

戸田公明

岩手県大船渡市長

2011年3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震は、国内観測史上最大のマグニチュード9.0を記録し、この地震により大津波が襲来、死者・行方不明者は約2万人に上り、東日本太平洋沿岸一帯はすべからず流失、壊滅的な被害を受けました。

岩手県南部、三陸海岸に位置する大船渡市もまた、多くの市民の尊い生命と財産が奪われたところであり、震災から1年を経過しましたが、今なお哀しみは癒えません。

このような中、大震災発生から今日まで、全国各地、そして世界のさまざまな国々から多くの温かい励ましの言葉やご支援、大勢のボランティアスタッフの方々のご協力をいただいております。誌上をお借りして、衷心より厚くお礼申し上げます。

JAXAの皆さまにも大きなご支援を賜りました。水道・電気・交通などあらゆるライフラインが寸断され混乱が続く中、震災後、間もなく当地にお入りいただき、人工衛星を使用したブロードバンド環境の整備を手掛けていただきました。高度に情報化された日常が震災を境に一変し、自由に情報を得られないばかりか通信手段もままならなかったところ、3月下旬には、岩手県沿岸広域振興局に設置されたパソコンが超高速インターネット衛星「きずな」回線によってインターネットに接続されました。それにより、多くの市民が、避難者や仮設住宅、スーパーマーケットやガソリンスタンドについてなど、さまざまな情報を得ることができるようになりました。

JAXAの研究施設が結んだ銀河連邦友好都市からもまた、絶大なご支援を賜りました。銀河連邦は、JAXA施設がある神奈川県相模原市（相模原キャンパス）、秋田県能代市（能代多目的実験場）、長野県佐久市（臼田宇宙空間観測所）、鹿児島県肝付町（内之浦宇宙空間観測所）、北海道大樹町（大樹航空

宇宙実験場）と当市（三陸大気球観測所）が、宇宙平和の一翼を担い笑顔あふれるユートピアの創造を目指して1987年に建国したもので、以来約25年にわたり、子ども交流や経済交流などを通じて友好を深めてきました。震災発生時には、この銀河連邦各共和国から、「サンクオオフナト共和国を救え!」を合言葉に、多くの「銀河の勇士」が駆け付けてくださいました。時には、鹿児島県大隅半島や秋田県山本地区など、周辺自治体の「援軍」を率いて、その数は優に1000名を超えます。衣食住全般にわたる大量の生活物資のご提供のほか、救援物資の配送・給水活動・医療活動など、あらゆる分野で大変あつご支援を賜りました。JAXAが結び育んできた友情が、絶望のふちに立った我々に、生きる力と再び立ち上がる勇気を与えてくれたのです。

1月19日から23日の5日間、当市において「はやぶさ」帰還カプセルの展示が行わ



2012年1月19日「はやぶさ」帰還カプセル展示開催式であいさつする筆者と会場に浮遊する大気球レプリカ



れました。2010年6月の帰還時から熱望していましたが、震災の影響もあり開催が懸念されていたところ、JAXAの特段のご配慮により、開催することができました。

未来に向けて、子どもたちに大きな夢と希望を与え、震災からの早期の復興を目指して、「諦めない心と勇気」を与える機会として、帰還カプセルの展示のみならず、的川泰宣先生による講演、吉田哲也先生、稲谷芳文先生、森治先生による宇宙教室、阪本成一先生ほかJAXAの先生方による展示品の解説など、素晴らしい企画が盛り込まれました。特に、展示会場の一角に特設された「三陸大気球観測所」のコーナーでは、大気球のレプリカが浮遊し、同観測所で「はやぶさ」の帰還カプセルを地上に降ろしたパラシュートの開傘試験が行われたことを、連日丁寧に解説していただきました。このたびの「はやぶさ」の偉業において当地にあった実験場が一翼を担っていたというお話に、子どもたちは目を輝かせ、約6000人の来場者は自信と誇り、そして復興への強い気持ちを抱いたに違いありません。

当市では現在、昨年10月末に策定した「大船渡市復興計画」に記載された、住宅の高台移転や災害公営住宅の建設、産業振興および雇用の拡大など各種施策を積極的に推進すべく、市内各所で市民との懇談を重ねています。今回の大震災による被害は、想像を絶するほど甚大なものですが、皆さまのご支援を励みに、命を守り、夢と希望あふれる新しいまちづくりに邁進していく決意でありますので、今後とも変わらぬご支援を何とぞよろしくお願い申し上げます。

結びに、JAXAのさらなるご発展と各位のご活躍をお祈り申し上げますとともに、重ねて心から敬意を表し、深く感謝申し上げます。

（とだ・きみあき）

# 種子島に恩返しをしたい

宇宙教育センター 主査

小野瀬正道

—— 昨年10月から宇宙教育センターで仕事をされているそうですね。

小野瀬：小学～高校生を対象に、学校の先生と協力して、宇宙を取り入れた授業の支援を行っています。理科の授業の一環として行うことが多いのですが、ほかの教科の宇宙授業支援も行っていきます。先日は家庭科の授業として、宇宙農業の研究者が、カイコのサナギを混ぜた「火星クッキーづくり」を指導しました。火星環境で自給自足するためにカイコを育て、サナギは貴重な動物性タンパク質として食料に、繭は絹糸を紡いで洋服にするというアイデアです。宇宙飛行士の訓練を取り入れて心身を鍛える「ミッションX」という保健・体育に関するプログラムも進めています。理科が苦手な子どもたちにも、宇宙を身近に感じてほしいですね。

—— 宇宙授業の評判はいかがですか。

小野瀬：子どもたちはみんな目を輝かせながら授業に参加してくれます。先日、学校の先生から「普段は落ち着きのない子どもたちが、宇宙授業には集中していた」と感謝され、宇宙の魅力はすごい、とあらためて実感しました。子どもたちからは、予想外の質問が飛び出していきます。しっかり答えられるように、勉強し直しているところです。

—— ご自身も、子どものころから宇宙に興味があったのですか。

小野瀬：特に宇宙が好きだったわけではありません。父の影響でラグビーに熱中していました。小学校のときからクラブチームに入り、高校まで続けました。しかし足を痛めてしまい、憧れだった大東文化大学のラグビー部には、マネージャーとして入りました。

—— どのような仕事ですか。

小野瀬：100名以上の選手たちと寮生活を共にし、選手の生活管理から食事の献立づくり、会計、試合日程の調整やマスコミ対応まで、チームに関わるあらゆる仕事を担当しました。トンガ出身の留学生もいて、とても自由な雰囲気のチームでした。みんなやんちゃで、ここでは話せないことも……（笑）。

—— チームをまとめるコツは？

小野瀬：先輩や後輩に対しても、丁寧に話をよく聞くことを心掛けました。就職のとき、NASDAに採用されたのは、個性の強



おのせ・まさみち。1977年、東京都生まれ。大東文化大学法学部政治学科卒業。2000年、宇宙開発事業団(NASDA)入社。種子島宇宙センター会計課、筑波宇宙センター契約2課、同センター研究開発本部プロジェクト研究協力室を経て、2011年10月より現職。

い選手たちの面倒を見た経験が評価されたのかもしれませんが。

—— 最初の赴任地はどこでしたか。

小野瀬：ロケットの打上げを行う種子島宇宙センターです。普段は契約の仕事で、地元の業者の人たちとやりとりをしました。打上げのときには、職員が総出で対応します。船を出して警備に当たっていたとき、海の上から見た打上げがとても印象に残っています。

今も続けているサーフィンやダイビングを覚え、海が大好きになったのも、種子島にいたときです。宇宙センターの目の前が海で、そこはサーフィンの絶好のポイントなんです。大失敗もありました。あるとき、先輩たちと3人で朝からヨットで海に出たら、風がなくなって、半日間、漂流してしまいました。午後から仕事だった先輩もいて、戻ってこない、と陸では警察も動く大騒ぎに。やがて漁船に発見され、陸まで曳航され、そのまま宇宙センターに連れていかれました。普段、とても温厚な上司も激怒して、水着姿のまま3人並んで叱られました。そのときの上司の一人が、宇宙教育センターの現在のセンター長です。

—— 今後、どのようなことを目指していきますか。

小野瀬：宇宙授業では、宇宙の話が中心ですが、海や種子島のこと、ラグビーでの経験、旅行で訪れた外国の様子など、私がこれまで経験してきたことも子どもたちに話していきたいと思えます。好奇心の対象は宇宙に限る必要はありません。宇宙をきっかけに、子どもたちに、いろいろなことに興味を持ってほしいのです。

そしていずれは種子島に戻って働きたいと思っています。JAXAは敷居が高く、とっつきにくい、と思っている地元の方もいます。もっと島の人たちとJAXAとの交流が進むような活動をしてみたいと考えています。島の人たちは、今も家族のように接してくれます。そして大好きな海を教えてくれた種子島に、私はとても感謝しています。その第二の故郷に恩返しをしたいのです。

ISAS ニュース No.372 2012.3 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ピビア 制作協力/有限会社フォトンクリエイト

編集後記

本誌が発行されるころには「はやぶさ」映画の3作目も公開されているでしょう。皆さま、ご覧になりましたか。実は、私もそのうち2作に出演しています。数秒だけです。（橋本樹明）

\*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

