



国際宇宙ステーションでの野口聡一宇宙飛行士と山崎直子宇宙飛行士

## 宇宙科学最前線

## 46億年の太陽史

常田佐久

国立天文台 教授  
宇宙科学研究所 客員教授

太陽の話といえば、最新の太陽観測衛星「ひので」の観測成果の紹介となるが、『ISASニュース』でもすでに何回か取り上げられていることから、ここでは趣を変えて、少し長い時間スケールで太陽と地球環境との関係について考えてみたい。

## 太陽は異常な状態なのか？

最近、「太陽に異変発生？」という新聞記事をよく見掛ける。NOAA（米国海洋大気庁）は当初、次の太陽活動のピークを2011年10月ごろと予測したが、現状を追認するかのように2013年5月に変更されている。通常11年程度である太陽周期が13年近くになっているのである。

実際、「ひので」観測データを毎日眺めていると、太陽活動は従来になく低調であると感じる。ここ

で異常と思われる現象をまとめると、極小期の累積無黒点日数で見ると約100年前の極小期に近づく黒点数の少ない状況であること、太陽全体から来る総エネルギー量が過去2回の極小期に比べてわずかに減少していること、太陽の極域の磁場の強度が約半分程度しかなく太陽風構造が従来の極小期とは大幅に異なっていること、また宇宙空間から地球に降り注ぐ宇宙線量が45年の観測史上最も多いこと、などが挙げられる。地球は太陽の磁場の衣に守られているので、惑星間空間に伸びる太陽の極域からの磁場が弱くなると宇宙線の量が多くなる。

さて、太陽は本当に異常な状態なのだろうか？ そんなに遠くない昔の1645年から約70年間、太陽に黒点がほとんどない時期があり、そのころに

地球は小氷河期であったことから、いろいろ想像をかき立てられる(図1)。実は、黒点やフレア爆発といった太陽の活動現象の源である磁場の生成機構(ダイナモと呼ばれる)が停止したように見える現象は、過去6000年に何度も発生している(図2)。さらに、そのような時期には、地球は少し寒かったらしい。驚くべきことに、黒点の消失が起きる少し前から太陽活動周期が延びており、13~14年の周期になっていることが分かってきている。現在11年の太陽周期が延びており、太陽の活動が停滞期に入った(あるいは今までハイの状態だったのがノーマルに戻った)といわれる所以である。しかし、たとえ黒点が長期に見えなくなっても、天文学的には太陽が異常ということはまったくない。このような現象の電磁流体力学の原因は皆目分かっていないし、地球環境への影響も大に関心事ではあるが、幸か不幸か、最新の「ひので」の観測によると太陽活動は少しずつ向上してきており、少なくとも次の太陽極大期が来ないということはない。

ここで太陽の黒点をつくるダイナモ機構について説明しておく必要がある(図3)。太陽の自転は、赤道付近で最も速く約25日で1回転し、北極・南極付近では約30日で1回転している。北極と南極をつなぐように子午線に沿った磁力線があると、赤道付近で磁力線が引き伸ばされ磁場が増幅される。増幅された磁場が太陽表面に浮き出てきて黒点になる、というわけである。この黒点の種になる磁場が、表面で観測できる場所がある。太陽の極域である。「ひので」は、太陽の極域の磁場を史上初めて精度よく観測し(図4)、いろいろ新しいこ

とが分かってきている。極の磁場は、黒点の種であるので、極を観測すれば先の太陽活動が予測できるかもしれない。極域の磁場を精度よく観測できるのは世界で「ひので」のみであり、どのような異変も見逃さないように極域磁場の集中的な観測を定期的に行っている。

## 太陽活動と生命誕生が結び付く

さて話は飛ぶが、今から約35億年前、地球上に生命が誕生したとき、地球の温度は現在よりやや高かったといわれている。太陽は現在46億歳。標準太陽モデルによると、太陽はゼロ歳から年とともに明るくなっている。35億年前の太陽の明るさは現在の75%程度しかなかった。それが正しいとすると、当時地球は厚い水で覆われた全球凍結状態にあったことになる。これが、Faint Young Sun paradox(暗い若い太陽のパラドックス)と呼ばれる問題である。そのような環境での生命誕生を説明するために、凍り付いていても生命は誕生するという説、古大気に多量の温室効果ガスがあって実はそんなに寒くなかったという説、地熱でそれほど寒くなかったというありそうもない説など、多くの研究がされている。

しかし、標準太陽モデルは隅々まで検証されたモデルであり、Faint Young Sun paradoxの原因を太陽に求めることは、ほとんどされてこなかった。地球システムにとっては、太陽は46億年の間、ゆっくりと光度を変えてきた環境条件にすぎないのである。太陽の研究者としては、「once upon a time, 太陽は明るかった」という太陽起源説を検討してみたい。太陽を明るくさせるには、ゼロ歳のときの体重を大きくすればよい。重くすると太陽はそれだけ明るくなり、地球に降り注ぐエネルギーは、太陽と地球の距離が近づくのでさらに大きくなる。結局、地球の受ける熱量は太陽の質量のほぼ6乗に比例し、今より太陽質量が5%大きければ、ほかに原因を求めなくても地球上に生命が誕生するだろう。

より正確に問題を設定すると、「太陽が生まれたときから約10億年間、質量は今より5%程度大きく、地球に降り注ぐエネルギーは現在よりやや多かった。その後、余分な質量を急速に失い、現在の状態に達した。これは可能であろうか?」となる。実は、太陽の磁場の働きにその答えがある。「ひのとり」「ようこう」「ひので」と発展してきた宇宙科学研究所の太陽観測衛星シリーズは、「磁場の働きによりどうして太陽の活動現象が生じるか?」「そもそも磁場の起源は何なのか?」を追求し続けてきた。ダイナモ、コロナや彩層の加熱、フレア爆発といった太陽の電磁流体現象の研究は、まったく思いもしなかったところ、すなわち、地球にお

図1 過去400年の黒点数の推移  
太線は平均した黒点数の変化。ウィキペディアより改変。

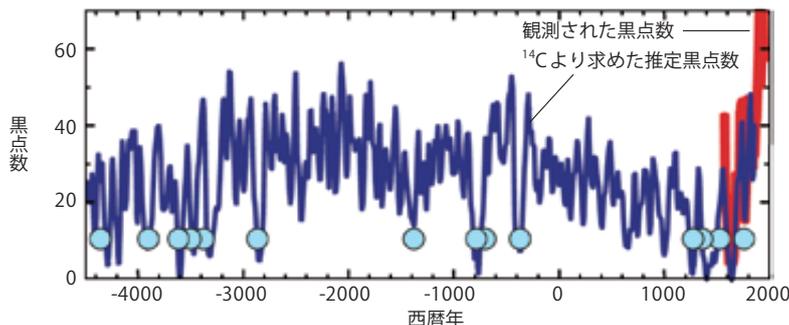
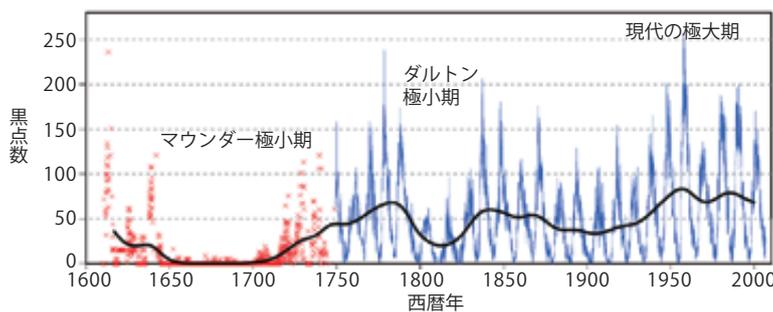


図2 過去6000年の黒点数の変化と地球が寒冷だった時期(○印)  
Usoskin, I.G., G.A. Kovaltsov, Cosmic rays and climate of Earth: Possible connection, Compt. Rend. Geosci., 340, 441-450, 2008より改変

ける生命の誕生と深く結び付いている可能性を指摘したいのである。

## 太陽はいかにシェイプアップしたか

太陽からは太陽風と呼ばれるプラズマの風が吹いている。現在の太陽風の持ち去る質量は、上記の減量に必要な量の300分の1～1000分の1程度であり、質量損失をとうてい説明できない。太陽は、どうやってシェイプアップに成功したのだろうか？ 残念ながら46億～35億年前の太陽は簡単に観測できないので、代わりに太陽に似たタイプの若い星を観測して答えを探ることになる。

宇宙には、それこそ星の数ほど星がある。太陽とスペクトルタイプが同じ若い星なら、太陽も若いときにその星と同じ振る舞いをしたに違いない。そのような若い星は、しばしば非常に速く自転している。太陽は約1ヶ月で1回転するが、幼年期の太陽は、数日で1回転していたと思われる。若い太陽は、X線や紫外線で現在よりはるかに明るく、まばゆいばかりに輝いていたに違いない。ハッブル宇宙望遠鏡による若い太陽型星の水素輝線（ライマンα線）の観測から、これらの星の質量損失が求められ、最大で現在の太陽の100倍程度の質量損失をしていることが分かっている。どうやら、Faint Young Sun paradoxの原因を太陽に求めることは、あながち荒唐無稽というわけでもないらしい。

これらの観測から浮かび上がってくる幼年期の太陽の姿はどのようなものであろうか？ 自転が速いとダイナモも活発で磁場を大量につくり出し、その結果、大フレア爆発やCME（磁場の不安定性によりコロナからバブルのように大量の質量と磁場が放出される現象）が、ほとんど常時(数分に1回)発生する状態となる。コロナの温度も今よりずっと高いし、太陽風も今よりずっと強力である。太陽が質量を失うと角運動量も同時に失うので、太陽の回転は急ブレーキをかけるように減速していく。減速により太陽のダイナモ活動は衰え、ゆっくりと現在の状態に落ち着いていく。太陽は活発な運動によって減量に成功し、壮年期を迎えているということができる。このような強力な太陽風やCMEにより、高速高温のプラズマが惑星表面に吹き付けることになる。また、惑星は、今よりはるかに強力な紫外線で照らされる。例えば、磁気圏がなく大気のない惑星の表面で、暴れる若い太陽の痕跡を見つけることはできないだろうか？

さらに自転を速くしていくと、星が失う質量は逆に減少して、現在の太陽の10倍程度に制約されているらしいことも分かってきた。これを説明するために、太陽の回転が速すぎると、ダイナモエンジンが超活発になり、太陽の北極と南極を覆うよう

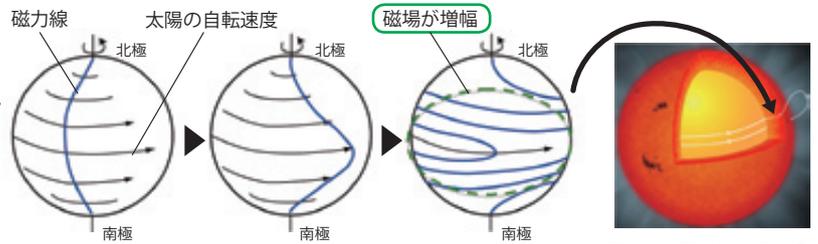


図3 太陽磁場と黒点の形成

磁力線はゴムひものように振る舞い、南北方向の磁場を引き伸ばして強くする。引き伸ばされた磁力線が浮かび上がって黒点になる。このため、極域は次のサイクルの黒点の種になる磁場が観測できる領域である。

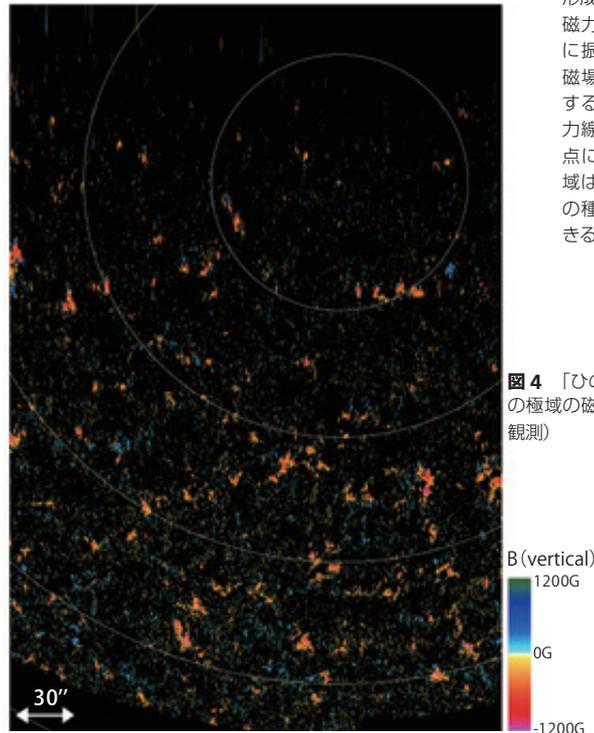


図4 「ひので」が観測した太陽の極域の磁場（2007年9月25日観測）

な大黒点が発生する可能性が考えられている。北極と南極を結ぶ強い磁力線がふたの役割をして、かえって質量損失を抑えるのである。極に大黒点がある太陽の姿は、「ひので」の観測する今日の太陽とは似ても似つかないものであり、想像するだけでも楽しくなる。

## 太陽史から地球史を読み解く

「ひので」の磁場に関する発見は、キーワードを並べても、極域の強磁場、短寿命水平磁場、磁気流体波動、対流崩壊、乱流、ユビキタな磁気リコネクション……など多種多様であり、世界の研究者は毎週のように学術雑誌に現れる「ひので」の最新の成果に興奮する状態が続いている。若い太陽では、これらの素過程がより激しく大規模な形で起きていたに違いない。

「ひので」とその後継衛星は、ダイナモ機構やコロナや彩層の活動の機構を解明することを主目的としている。一方、これら磁場の絡む現象の基礎的過程の理解が進めば、太陽活動の短期的・長期的予測が可能となり、地球環境問題、人々の安心と安全の確保にも貢献することができる。太陽のダイナモと磁場の起源に関する研究は、46億年の太陽史が生命の起源を含む地球で起きたさまざまな現象とどうかわっているのかを解明していくに違いない。（つねだ・さく）

## 第29回「宇宙科学講演と映画の会」開催

4月10日に新宿の明治安田生命ホールで、第29回「宇宙科学講演と映画の会」が、宇宙科学研究所の主催行事として開催されました。宇宙科学研究所は4月1日に宇宙科学研究所になりましたが、その改称直後に主催した記念すべき行事となりました。その「ご祝儀」でしょうか。当日は約420名という非常に多くの方にお越しいただき、とてもにぎやかな行事になりました。関係者一同大変うれしく、感謝する次第です。

講演会は、小野田淳次郎所長のあいさつで始まりました。宇宙科学研究所を宇宙科学研究所と名称変更し、一部の組織を改正するのを機会に、宇宙科学の研究を人類の知の増大に対する貢献ととらえて引き続き推進していくとの所長の決意表明があり、所員の一人としてあらためて身が引き締まる思いがしました。

その後、石田學教授と澤井による講演と、それに対する質疑応答がありました。石田教授によるX線天文学の最新



熱心な聴衆に後押しされ、講演は進む。

成果の講演では、快活な話しぶりで、難しい話も丁寧に解説されていました。それに続く澤井による小型科学衛星シリーズの講演では、がらっと趣を変えて、セミオーダーメイド型の衛星開発という試みを解説しました。

司会の阪本成一教授の人柄のせいか、アットホームな雰囲気の中、どちらの講演に対しても会場から

多くの質疑がありました。特に驚いたのは、専門的な質問が多く、持っている知識をフル動員しないと回答できないような内容が次から次に出されていた点です。来場された皆さんは常日ごろから宇宙科学に多大な関心を持っていたと心強く感じました。

今回の来場者のように宇宙に関心を抱いている多くの方々の叱咤激励をこれからも励みにするのはもちろんのこと、現在、宇宙にあまり興味がない方々にも、「宇宙ってこんなに面白い」という我々の思いが伝わるよう、努力を続けたいと感じました。  
(澤井秀次郎)

## 「れいめい」衛星，日本航空宇宙学会技術賞を受賞

このたび、オーロラ観測をする小型科学衛星「れいめい」が、日本航空宇宙学会の平成21年度技術賞（プロジェクト部門）を頂くことになりました。共に苦労を重ねてきたプロジェクトメンバーとともに、大変喜んでるところです。

「れいめい」は1990年代末ごろ、INDEXという名称でスタートした70kgの小型衛星です。高機能で低価格な3軸姿勢制御の小型衛星技術を日本で確立する目的で立案され、若手のスタッフの技術力を向上させることを強く意識して、メーカーができないような小型衛星を宇宙研スタッフとベンチャー企業で開発してきました。衛星づくりの新しい経験の中で、斬新な試みをどんどん投入していったことは懐かしい思い出です。

2005年8月にドニエプルロケットで打ち上げられ、5年弱経過した現在でも健全に動作し、毎日、研究管理棟屋上に設置されている3mアンテナにオーロラの科学観測データを



2005年、バイコヌールへ輸送される日に撮影した集合写真。

伝送してきています。

「れいめい」は小型ながらも精度0.05度という高い3軸姿勢制御機能を持ち、この重量クラスの衛星としては世界トップクラスの高機能衛星である点が、今回、日本航空宇宙学会に評価されたものと想像します。この受賞は、「れいめい」の考え方や技術蓄積を日本に定着させることが次のミッション（使命）なの

ですよ、という趣旨のようにも思っています。

「れいめい」の開発には、宇宙研の若手スタッフ、学生、非常勤職員、ボランティアで参加して下さったメーカーOBの方、中小ベンチャー企業の方など、さまざまな方々が参加されました。バイコヌール発射基地へ衛星を輸送する日に撮影した集合写真には、赤ちゃんまで含めてさまざまな人々が写っています。この場を借りて参加された方々に感謝の意を表したいと思います。  
(齋藤宏文)

## 「あかつき」「IKAROS」のフライトオペは順調

3月19日、種子島宇宙センターのSTA2（第2衛星組立棟）に到着した金星探査機「あかつき」は、同じくH-II Aロケット17号機で打ち上げられる小型ソーラー電力セイル実証機「IKAROS」や小型副衛星とともにフライトオペレーション（射場準備作業）を実施しています。いよいよ打上げが迫ってきたと実感しています。

「あかつき」は、STA2で電気試験をはじめとする機能確認試験を終えた後、再度コンテナに収納されて、隣にあるSFA（衛星フェアリング組立棟）に来ています。ここでは「あかつき」への推薬充填を行い、「IKAROS」や小型副衛星とともにフェアリング収納までの作業を行います。

「あかつき」には主に金星軌道投入時に使用する2液式のOME（軌道変換エンジン）と、自身の姿勢を制御する1液式のRCS（姿勢制御エンジン）が搭載されています。「あかつき」には燃料としてヒドラジンを、酸化剤としてMON-3（四酸化二窒素）を、加圧ガスとしてヘリウムを搭載しています。特にヒドラジンやMON-3は人体に害を与えるおそれがあり、推薬



「あかつき」への推薬充填風景。防護服を着用して動きが制約される中、細心の注意を払って作業が実施された。

充填時には漏洩ガスの環境モニタをするとともに、防護服であるスケープスーツを着用します。

4月20日、そのヒドラジンの充填作業が実施されました(写真)。このときは、安全のためにSFA周辺230mの立ち入り規制が敷かれ、物々しい雰囲気にも包まれます。

推薬充填の際には、スケープスーツに外部からホースできれいな空気を送り込むことで、万が一、推薬が漏

洩しても安全が確保されるようになっています。一方で常に空気が送り込まれているので、スーツがパンパンに膨れて動きが制約され、さらに視界が狭い中での作業であるため、かなりの疲労を伴うものになります。このような極めて困難な環境の中で、プロの繊細な技により安全かつ迅速に充填作業が実施され、無事に完了しました。

ここまで来ると、あとは打上げを待つのみです。手塩にかけて育ててきた「あかつき」も、いよいよ巣立ちです。半年後には、きっと金星から価値あるデータを送り届けてくれることを祈りつつ、最後まで万全の準備を心掛けます。（中塚潤一）

## 山崎直子宇宙飛行士のISS滞在

4月5日、山崎直子宇宙飛行士を乗せたスペースシャトル「ディスカバリー号」が、国際宇宙ステーション（ISS）に向けて打ち上げられました。山崎宇宙飛行士の活躍は報道されている通りですが、日本人宇宙飛行士が2人も同時に軌道に滞在する時代になったことについては、隔世の感があります。

シャトルのドッキング中、補給品や回収品の入れ替えが行われるため、良い微小重力環境を必要とする流体科学の実験は一休みで、代わりに山崎宇宙飛行士とともにISSに運ばれた生物試料を用いたライフサイエンス系の実験が行われました。ヒト神経細胞に対する放射線と微小重力の影響を調べる実験「Neuro Rad」（代表研究者：馬嶋秀行教授）も、そうした実験の一つです。

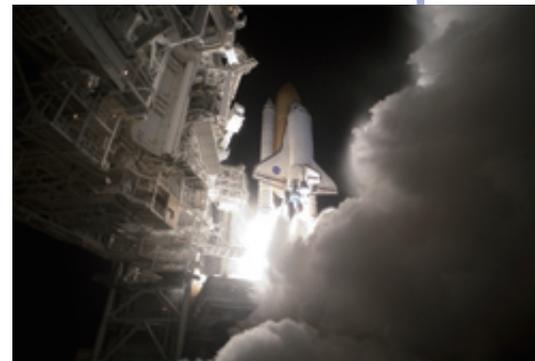
ISSでは現在さまざまな科学実験が行われていますが、Neuro Radは中でも最も早く選定された実験です。実は、1992年に第1回「きぼう」日本実験棟船内実験室利用実験の公募が行われ、選定された50の実験テーマ候補の準備作業が翌年から開始されました。その後のISS計画の遅れに対応して、一部の実験についてはスペースシャトルミッションな

どの機会を利用して、早期に科学的成果を創出しました。また、実験実施が当初計画から10年遅れる間に、研究チームの体制や研究内容の変更などもあり、第1回公募で選定された実験

テーマのうち実際にISSで実験を実施することになったのは7つでした。Neuro Radはその7つ目の実験であり、この実験の実施は、最初の実験公募に伴う一連のプロジェクトにとって大きな区切りとなりました。17年もの間、科学的意義を常にアップデートしながら、モチベーションも維持してくださった研究チームの皆さまに感謝する次第です。

ディスカバリー号は4月20日に無事ケネディ宇宙センターに着陸しました。スペースシャトルの打上げもあと3回を残すのみとなりましたが、ISSでの実験はまだ続きます。

（吉崎 泉）



山崎宇宙飛行士を乗せたスペースシャトルの打上げ

## 「相模原市民桜まつり」に出展

宇宙研の地元、相模原市では、例年4月に市役所さくら通り周辺で「相模原市民桜まつり」を行っており、37回目となる今年は4月3日と4日に開催されました。地域連携の強化と知名度の向上のために私たちも昨年から参加を希望していたのですが、すでに企画が固まっていたため参加できず、今回が満を持しての初登場となりました。

今回参加させていただいたのは、4月からの政令指定都市への移行を記念して相模原市立産業会館で行われた「さがみはら・子ども・未来展」。市内の製造業の企業約20社に交じって、

「子ども・宇宙・未来の会」と並んでの出展です。JAXAブースでは、市内だけでも1万余名の参加があった「あかつき」メッセージキャンペーンのアルミプレートのフライトモデル同等品などを展示しました。また、真空装

置を製造している市内の企業に協力いただき、真空の宇宙で何が起きるかについての実験コーナーも設けました。真空容器にマシュマロやぬるま湯を入れる定番の実験のほかに、今回こちらから特別にお願いしたのが、「とにかく何でも入れてみよう」。スーパーで買ったものを手当たり次第に入れてみます。真空容器にソーセージを入れて、「宇宙服を着ないで宇宙空間に出ると血が沸騰する」という話が本当かどうかを検証。野菜もためらわずに投入しました。真空容器中のピーマンがいったいどうなるのか知りたい方は、ご自分で実験してみてください。

さくら通りの路上では、宇宙研にゆかりのある自治体が1987年に組織した「銀河連邦」も、恒例の特産物の即売会を実施。こちらにも宇宙研職員がボランティアでお手伝いとして参加しました。サガミハラ共和国(相模原市)、ノシロ共和国(秋田県能代市)、サンリクオオフナト共和国(岩手県大船渡市)、サク共和国(長野県佐久市)、ウチノウラキモツキ共和国(鹿児島県肝属郡肝付町)の5共和国に加え、新たにタイキ共和国(北海道大樹町)が加盟したこともあり、例年に増して活況を呈していました。

(阪本成一)



多くの人が「はやぶさ」のパネルに見入っていた

## 「はやぶさ」カプセル回収用電波方探装置組み立て練習

4月6日～9日の4日間のスケジュールで、相模原キャンパス西門前の相模原市多目的スペース(宇宙研一般公開の際、来場者用駐車場として開放している場所)において、「はやぶさ」カプセル回収用電波方探装置(Direction Finding System: DFS)の組み立て練習を行いました。今回の練習の目的は、実際にDFSを組み立てることで必要機材に漏れがないことを確認する、現地でのキャリブレーションと情報連絡の手順を確認する、という2点でした。ここでは、地上電波方探局(以下、方探局)を構成する実験班員にまつわる話を紹介したいと思います。

方探局は、アンテナ操作者、情報連絡係(方探局側)、情報連絡係(本部側)、そして全体を取り仕切るキャプテンの4名で構成されます。このうち1名は本部側に控えているため、実質的には3名ですべての現地作業(移動、方探局の設置と解体、キャリブレーションそして追跡オペレーション)を行う必要があります。数百kmにも及ぶ広大な砂漠の中での方向探査であるため、方探局が設置される場所のインフラが整っているわけもなく、インターネットはもちろんのこと、携帯電話もつながらない状況です。



組み立てを完了した「はやぶさ」カプセル回収用電波方探装置(DFS)

このような一種の隔離された空間において、同じメンバーで同じ作業を1週間以上も繰り返す必要があります。このとき、最も重要となってくるのが「チームワーク」です。

実は、方探局のメンバー決めには、とても気を使いました。3人とも行けけどんどの人たちでは困るし、逆に慎重すぎるメンバーでも困ります。そのため、バランスを意識した上でなるべく早い時期

にメンバーを固定させることで、お互いを理解してもらう必要がありました。2009年12月に行われた鹿児島実験の表向き目的はDFSの性能評価ですが、もう一つの大きな目的として、結束力の向上がありました。1週間程度の短い期間でしたが、同じ宿に泊まり、同じ食事をし、同じお酒を飲むことで、強いチームワークを構築することができたと思います。

理論派、堅実派、天然キャラ、大酒飲み……と大変個性の強いメンバーですが、「カプセルを必ず見つけてやる」という強い思いだけは同じです。これまで培ってきた強いチームワークと強い思いで、必ずカプセルを回収してきたいと思っています。それでは、行ってきます!

(川原康介)

## 野口宇宙飛行士との交信イベント無事終了！

4月22日夜、野口聡一宇宙飛行士との交信イベントが、国際宇宙ステーション (ISS) と神奈川県相模原市 (宇宙研)、北海道大樹町 (大樹航空宇宙実験場)、秋田県能代市 (能代多目的実験場)、岩手県大船渡市 (大船渡市民文化会館リアスホール)、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) を結んで開催されました。

JAXAの研究施設がある(あった)市町で組織している「銀河連邦」に、この4月に北海道大樹町が加盟したのを機に、6市町の友好の輪を広げるとともに、子どもたちがリアルタイムで宇宙飛行士と交信できるイベントを開催することで、宇宙への理解や興味・関心を深め、宇宙を身近に感じる機会にしようというものです。6地点を同時に結んでのISSとの交信イベントは、日本では初の試みでした。

相模原は当日、あいにくの空模様だったにもかかわらず、



相模原会場(宇宙研)の様子

100人を超える児童・生徒が来場し、ほかの会場もみな熱気に包まれていました。6会場合わせておよそ200人がこのイベントに参加しました。

イベント開始に先立ち、阪本成一教授による宇宙学校が開催され、子どもたちはISSと宇宙飛行士についての講義を目を輝かせながら聴いていました。

交信中には、12人の質問者から興味深い質問が寄せられ、すべての質問に野口宇宙飛行士が懇切丁寧に答えてくれ、およそ20分にわたる交信イベントは無事終了しました。

宇宙飛行士と直接話げできた時間は20分と、そんなに長くないかもしれませんが、参加した子どもたちにとっては貴重な20分だったことでしょう。これを機にさらに宇宙に関心を深め、将来の宇宙飛行士候補が現れることを願ってやみません。

(吉岡 努)

## 「月探査ナショナルミーティング」開催

4月3日(土)に有楽町朝日ホールにて、内閣官房、文部科学省、JAXAの共同主催で、「月探査ナショナルミーティング」が開催されました。月探査に関しては現在、宇宙開発担当大臣の諮問委員会として、「月探査に関する懇談会」(<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/utyuu/kaisai.html>参照。以下、懇談会と略す)が開催されているところですが、広く国民の方々に議論に加わっていただ

いて意見を吸い上げようというのが開催の目的です。月探査の研究をしている私も一般参加してきました。会場には約480名が集まり、インターネットでも放映されました。3部構成で、第1部はJAXAの加藤學教授、NASA駐日代表のJustin Tilman氏、懇談会会長の白井克彦氏(早稲田大学総長)による講演が行われました。

続いて第2部は「日本らしい月探査への夢と希望を皆で語ろう」と題する、懇談会の委員5名、学生5名、若田光一宇宙飛行士、前原誠司宇宙開発担当大臣によるパネル討論でした。学



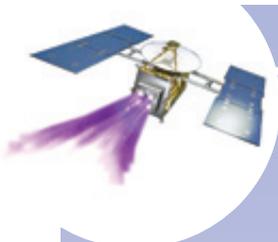
第2部のパネル討論の様子

生パネラーからは「自分も宇宙飛行士になって月に行きたいが、その前にロボットで十分な探査をすべきだ」「有人探査は安全性、信頼性などに難しさがあるが、それを乗り越えることで日本の技術力を内外にアピールできる」「『はやぶさ』や地震計の技術を用いて日本らしさを出すべきだ」など、いろいろな意見が出されました。前原大臣からの「蓮舫議員に仕分けられたら、あなたならどう反論しますか?」との質問に対して、「私は将来的には人間は宇宙に住むと

思っているの、月に行かないでどこに行くんだ、と言います」など、力強い回答がありました。学生の皆さんは、月探査の現状をよく勉強していて、「懇談会委員より立派な意見を言う」というコメントも出されました。

第3部は、山根一眞氏、若田宇宙飛行士、海部宣男前国立天文台長による「月探査への期待」と題する対談でした。今後もこのような企画が行われることを期待したいと思います。

(橋本樹明)



# はやぶさ近況

## 地球をとらえた

川口淳一郎 「はやぶさ」プロジェクトマネージャ

「はやぶさ」は、昨年11月に全イオンエンジンが寿命に達しましたが、新たな運転形態での運転に成功し、今年3月初めの軌道決定を挟み、3月27日に当面の目標点である地球から3万km離れた地点を通る軌道に到達しました。4月4日から6日にかけて、最初の軌道修正であるTCM-0を完了し、接近距離を1万km縮め、この『ISASニュース』5月号が出るころまでにはTCM-1も完了し、TCM-2を目前にしていることと思います。今のところ、何とか目標点をとらえて軌道修正が実施できています。

金星探査機「あかつき」と小型ソーラー電力セイル実証機「IKAROS」の打上げ時期と重なるので、とても多忙ではありますが、このTCM-2は、地球の縁（リム）を狙う上で非常に重要な軌道修正です。いろいろスタッフをやりくりしながら、切り抜きたいと考えています。

再突入はやり直しが利かない、一発勝負です。この点で、2005年の小惑星イトカワへの着陸、あるいはロケットでの衛星打上げよりずっと厳しいといえます。再突入は、雨が降っても槍が降っても、その日に行わなくてはならないわけです。

それに対して、探査機は“順調に”不調な状態が続いています。今やすっかり慣れてきたものの、太陽輻射圧とイオンエンジンの

旋回トルクとの微妙なバランスを取りつつ、姿勢制御と軌道制御を巧みに実施している状態です。運用している白川さんは、かじの壊れた舟を操る要領で、実に見事に指定された方向へ加速をさせています。

4月15日には、「はやぶさ」の帰還とカプセル回収のための臨時組織である隊（と称していますが、宇宙研流に言えば班）の結団式がありました。JAXA全体でこのイベントを支援していただき、大変ありがたく思っております。

今にして思えば、2005年暮れからの行方不明を克服し、昨年11月のイオンエンジン寿命も切り抜けたことは夢のようです。こうして最終段階にこぎ着けられたのも、宇宙研という稀有な環境が育んだ文化の開花であり、私を含めたプロジェクトの面々は、その上にたまたま乗り合わせただけにすぎず、自律的で独自の宇宙開発を築き、発展させてこられた諸先輩方の成果の賜物であるといえます。

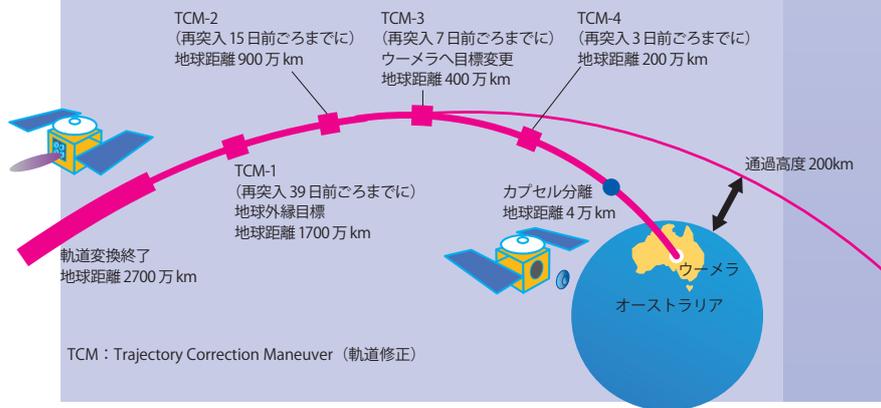
この「はやぶさ」プロジェクトが残すものもまた、次の世代が独創性に満ちた技術開発とそれによる日本という国の興隆を育むインセンティブとなるべく、しっかりと次世代にミッション機会を確保すべきこと、これを旨にしなくてははいけません。

「はやぶさ」が今日あるのも、運用に携わる精鋭があつてこそ。世界トップレベルの技量を持ったこのプロジェクトチームを

誇りたいと思います。また同時に自身がそういうチームの一員であることも誇りに思うところです。しっかりと次の世代へ受け継がれるべく、最後まで全力を尽くしたいと考えています。

「はやぶさ」は、けなげにも、6月の再突入に向けて指令に応じてくれています。どうしてそれほどまでに、と思わずつぶやいてしまいましたが、我々プロジェクトチームも、それに報いるべく全力を尽くしたいと思います。

(かわぐち・じゅんいちろう)



### 第9回 お知らせ 「君が作る宇宙ミッション」 開催

開催期間：2010年7月26日(月)～7月30日(金)  
詳しくは <http://www.isas.jaxa.jp/kimission/> をご覧ください。

### ロケット・衛星関係の作業スケジュール(5月・6月)

	5月		6月	
あかつき	射場作業 (種子島)	▲ 打上げ		
IKAROS	射場作業 (種子島)	▲ 打上げ		
はやぶさ				● 帰還, カプセル再突入・回収

# 金星探査機「あかつき」の挑戦 第2回



## 金星の風に訊け

宇宙科学共通基礎研究系 准教授  
今村 剛

薄明の空に息づく金星の清澄な美しさは、全天一だろう。この輝きの中にどれほど過酷な世界が広がっているか、想像することは難しい。

高度60kmに白く輝く硫酸の雲。その下には90気圧(水深900mに相当)の濃い二酸化炭素の大気。薄暗い地表は、温室効果のために460℃という灼熱の世界となっている。かつて地球と同じように海を擁したかもしれないが、今は乾燥した火山地形が広がる。

「あかつき」は何を求めて、こんな世界に行くのだろうか。生命体はいそうにない。人類が降り立つことも考えられない。「あかつき」が掲げるのは惑星気象学である。

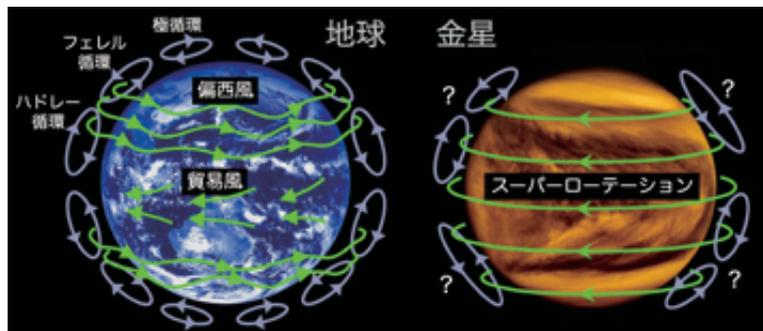
金星は、地球の気象を見慣れた我々を当惑させる。その最たるものは金星全体を取り巻く暴風、スーパーローテーションである。金星の自転は地球とは逆方向、つまり東から西で、その速度が赤道で時速6kmであるのに対して、雲は時速360kmで東から西へと流れる。地球気象学の常識では、偏西風や貿易風といった大規模な風には惑星の自転がかかわっており、これを超える風が広範囲で吹くことは考えにくい。実際、地球の偏西風の速さは自転速度のせいぜい1割である。

スーパーローテーションの仕組みは分かっていない。長年有力視されてきた(しかし懐疑論もある)アイデアとして、まず中緯度に偏西風がつくられて、そこからある種の波が生じて赤道域の大気に力を伝え、赤道域も含めた大気全体の高速循環に至るというものがある。確かに、ある理想的な条件ではそのような流体現象が生じ得ることが分かっている。しかし、それが現実の大気で確かめられたことはない。地球では、偏西風から生じる波は上の期待とは逆方向に力を伝え、中緯度にジェット気流をつくるとともに赤道域の大気を減速させる。

金星の赤道域を東から西へと巡回する1万kmスケールの雲の暗部も不思議である。これはおそらく、東西1周にまたがる巨大な波である。このような巨大な波を引き起こす源は、やはり巨大であろう——例えば地球では、熱帯地方の数kmスケールの積雲対流群の盛衰が、このような赤道域の波をつくり出すと考えられている。しかし金星でそのようなものは知られていない。

金星の硫酸の雲の中でも雷が起こっているらしいという報告がある。地球の気象学では、積乱雲の中でひょうやあられがつかわれて重力落下することが、雷発生のために必要ということになっている。しかしそのようなことは、暖かく乾燥した金星大気ではおよそ起こりそうにない。

硫酸の雲の下の気温の、高度による変化率は、地表で暖



ずらりと並んだ気象観測カメラ

地球と金星の大気循環のイメージ

められた空気が浮力で上昇するときを生じる値に極めて近い。これを見て、浮力による上下流、つまり対流によって空気がかき混ぜられていると考えるのは定石である。しかしよく見ると、大気はほんのわずかに安定、すなわち上に軽い空気、下に重い空気があり、対流説は棄却される。金星の基本的な温度分布を、私たちはまだうまく説明できない。

惑星の環境がなぜかくも多様なのか、地球環境がどのようにつくられたのかを理解するために、私たちは惑星気象学という、あらゆる大気現象を説明できる普遍的な視点を獲得する必要がある。そのためのたくさんのヒントを、金星の風は与えてくれているように思える。

「あかつき」は金星のまわりを回る、世界初の金星版の気象衛星である。雲の下までを見通す赤外線カメラなど5台の気象観測カメラと電波を使って、大気の3次元運動を描き出す。雲の動画から未知の気象現象を拾い出し、風速の分布や微量ガスの時々刻々の変化を分析する。これらのデータから、スーパーローテーションなどの大規模な風がなぜ生じるのか、雲はどのようにつくられるのか、雷は本当にあるのかといった問題に挑む。

「あかつき」にはまた、打上げから金星到着までの間に行う惑星間塵の観測や、赤外線による金星地表面の調査といった任務もある。

ミッション提案以来、世界を10年待たせた。いよいよ大興奮の日々が始まる。(いまむら・たけし)

## Next-Generation Suborbital Researchers Conference に参加して

民間宇宙旅行機の利用に関する標記の会議が2月18日から20日の間、米国コロラド州ボルダー市において開催された。この会合は第1回の開催ではあるが、今後の発展が非常に期待されるものであると考え、その動向をお伝えする。

最近、Virgin Galactic社のスペースシップ2など、民間ベースで宇宙航行を可能とする動きが出ており、これを追うように、Blue Origin社、Space-X社、XCOR社、Masten社など、続々と宇宙航行ビジネスの展開が行われようとしている。さらに最近

表明された米国政府の支援などもあり、地球近傍の宇宙活動におけるコマーシャルベースの輸送系が重要性を増してくる状況にある。スペースシップ2などは、宇宙旅行としての宣伝が行き渡っているが、これらの民間で開発される宇宙機を利用して、さまざまな実験、教育活動に使うとする動きもあり、これらの動きを加速・牽引する場として、この会議が企画されたものである。

会合の参加者は、おおむね3グループに分かれる。一つは民間の宇宙機開発メーカー、次に宇宙機を使っての実験を期待する研究者たち、最後はこれらの研究者たちに研究資金を提供する機関である。民間の宇宙機開発メーカーは上記の各社が勢ぞろいであり、研究資金を提供する機関としては、NASAエイムズ研究所のグループが出席していた。研究に関するセッションは、観測に関するもの、微小重力環境を利用するもの、工学にかかわるもの、教育に利用しようとするものなどがあつた。筆者は工学にかかわる研究をしており、工学にかかわるセッションの世話人から依頼を受けて講演をした。

この会議の特徴は、全員が集まったのパネルディスカッションであり、活発な意見交換が行われていた。宇宙機開発メーカーがパネリストとなった場合には、いろいろな質問が研究者側から出るわけだが、こと経費に関して「“Negotiable”（ご相談）です」との答えは、さすがに民間ベースなのだと思感させられた。もっとも、言い値では、スペースシップ2の1人の運賃が約2000万円、XCOR社では1000万円

を切ろうという値段設定になっているので、10～20kg程度の装置を搭載すれば実験になる研究者にとっては、従来の観測ロケットを用いた場合と比較して格段に安い料金設定になるものと予想される。さらに、現在開発されている機体は、スペースシップ2のような水平離陸・水平着陸機や、Blue Origin社のような垂直離陸・垂直着陸機などもあり、実験者にとってはさまざまな実験環境が提供されることが期待される。また、搭載する手続きや打上げ環境についても大幅に簡略化されるようであり、これらを利用する研究者にとって時代は確実に変わることを実感させられた。

研究資金を提供するNASAエイムズの担当者がパネリストとなったパネルディスカッションも、大変活発な意見交換が行われた。研究者側からの多々の注文があつたものの、この研究資金が、今後の米国における研究を強力に推進することは間違いないであろう。

研究にかかわるセッションは、多くがパラレルセッションであり、網羅して聴くわけにはいかなかったが、通常の学術セッションと違い多方面の参加者があつた。さまざまな角度からの質問が飛び交つたように思え、関心の高さがうかがえた。工学に関するセッションでは、宇宙機からペイロードを放出して自由飛行状態を使っての実験の提案や、宇宙機自体のまわりの気流の計測をする提案など、さまざまであつた。このような研究は、従来は観測ロケットを使つたり、スペースシャトルの飛行を用いたりして実行することは可能であつたし、実際に行われていた。しかし、何といてもそのために必要な経費が莫大であり、それを行う機会が潤沢であつたとはいえず、むしろ高嶺の花であつたというのが正直なところであろう。それに対し、民間ベースの宇宙機を用いることで、かなり敷居が下がることが期待される。これら民間ベースの宇宙機を用いた実験の機会は、早ければ2011年早々にも実現する予定である。ただ、日本の研究者が利用するには、それらの宇宙機が米国のものであるため、いろいろな障壁があることは懸念されるところである。我が国において、民間ベースの宇宙機について同様の状況が出現するのはいつのことであろうか。

(あべ・たかし)



さまざまな民間宇宙旅行機

安部隆士

宇宙輸送工学研究系教授



# 宇宙科学研究に思う

立川敬二

宇宙航空研究開発機構 理事長

日本の宇宙科学研究は50年以上の歴史があり、これまでに世界の先端的な研究において成果を挙げ、宇宙科学における先進国として認められるレベルを維持できていることに敬意を表したいと思う。

ここまで発展してきた理由として私が理解するのは、第一に、ロケットの開発に着手し、その利用先として宇宙科学を始めたこと。打上げ能力に応じた衛星しかできないという問題はあったけれど、工学と理学が切磋琢磨してロケットを進展させ、衛星もどんどん進化させてきた。自分のロケットで自分の衛星を打ち上げられる体制を確立したことは、大変な強みであったといえよう。

第二は、観測で比較的ニッチな分野を選択して進めてきたこと。天文学における王道の可視光でなく、X線や電波に集中して進めてきた結果、その分野で世界が一番手になった。宇宙でしかできない分野を選択し、少ない資金力で対応できたのがよかったといえよう。

第三は、日本中の科学コミュニティの力を結集して「こと」に当たってきたこと。コンセンサスづくりには苦労があったであろうが、幅広い知恵や能力を活用できたといえよう。

これらの先駆者の先見の明により、現在の宇宙科学研究所があると言っても過言ではない。そこで次の課題は、「今後どうしたらいいのか」ということになる。

今回、宇宙科学研究所に名称変更し、新たな気持ちで研究に専心していただきたいと思う。その精神は、多くの謎に包まれた宇宙の解明に自由な発想で取り組み、人類の英知を深めてもらいたいとの願いである。宇宙の構造や次元を知るこ

と、宇宙の発生・変遷・進化を知ること、統一理論を完成すること、生命の発生を知ること、ブラックホール、ダークマター、ダークエネルギーを解明することなど、課題は目白押しにある。

宇宙科学を推進する方策としては、いろいろな面があるが、まずは研究対象範囲を従来より拡大することが重要と思われる。宇宙科学は総合科学にならなければならない。天文学、地球物理学、惑星科学などにとどまらず、素粒子論、生命科学、医学、体育学、哲学の領域まで拡大すべきと思う。ただし、これらをすべて宇宙科学研究所で行うという意味ではない。大学やほかの研究機関との連携により進めようということである。そのため大学間共同利用システムや最近始めた大学連携協力協定を活用することである。宇宙航空分野に限定することなく幅広い協力関係の構築が肝要である。

別の動きとしては、宇宙観測から宇宙探査への拡大である。宇宙望遠鏡による観測から、天体に近づき、あるいは着陸

して探査することが求められている。手近な月や火星を探査することで、新しい知見が得られよう。将来的には、太陽系のみならず、太陽系外の深宇宙へも探査の範囲を広げるべきであろう。宇宙探査におけるもう一つの将来課題は、有人探査である。当面人類が行けそうな天体は月と火星くらいしか想定できないが、これらに人類が行って科学的な意味がないのか(米国のように国家威信の高揚目的ではなく)、検討に値するであろう。もちろん探査だけでなく宇宙観測自体も進展させるべきである。より遠くまで観測できる大型望遠鏡の開発、ラグランジュ点への望遠鏡の設置、新しい観測を可能にするセンサー類の開発などが期待される。

宇宙科学を推進する上でもう一つ重要なことは、国際協調ではなからうか。研究は個人個人で行われるのが基本であるが、規模や範囲が拡大するにつれ、個人だけで全部はできなくなる。チームや研究所単位でも、さらに国単独でも不可能になりつつある。こうした状態では、国際協調しかない。人類の英知と力をもって対処すべきであろう。宇宙科学は、国際協調の先端を走っている。これからも国際協調の模範になってもらいたいと切望する。  
(たちかわ・けいじ)



2010年3月、東京で開催された宇宙機関長会議。  
宇宙機関長会議は宇宙における国際協調のシンボリック的存在である。

# 宇宙の謎解きは面白い！

高エネルギー天文学研究系 助教

竹井 洋

## —— 子どものころから科学に興味があったのですか。

竹井：小学校低学年のころ、雲と天気の本を見ながら、母と明日の天気の予想をしていました。家には科学の本がたくさんあり、母は私の質問に丁寧に答えてくれました。そういったことが科学への興味につながっています。また、謎解きが大好きでした。数字のパズルに熱中し、算数や数学の問題をじっくり考え抜くことも好きでした。大学で物理学科を選んだのは、一番面白い謎解きができるのは物理だと考えたからです。

## —— 宇宙科学に進んだきっかけは？

竹井：宇宙の大きさが魅力でした。子どものころから夜空を見上げることが好きでしたが、大学のサークル活動で初めて満天の夜空を見たときに、壮大な宇宙の姿に大きな衝撃を受けました。宇宙はどうやって今の姿になったのか、その大きな謎解きに挑んでみたいくなりました。

## —— 現在、どのような研究をしているのですか。

竹井：宇宙の96%は、ダークマターやダークエネルギーと呼ばれる正体不明の物質やエネルギーで構成されていることが分かってきました。残りの4%は陽子や中性子などの「バリオン」です。私たちが観測している星や銀河はすべてバリオンからできています。しかし、人類が近くの宇宙で観測できているバリオンの量は4%のうちの約半分。残りの半分はどこに存在しているのか分かっていません。それは「ダークバリオン」と呼ばれています。私たちは今、そのダークバリオンの観測を目指しています。

## —— どのような方法で観測するのですか。

竹井：現在の宇宙モデルは、ダークバリオンは銀河と銀河の間に100万度程度の熱いガスとして分布していると予想しています。熱いガスの中の電離した酸素はX線で光っているはずですが。私たちは2010年代後半にDIOSという小型衛星を打ち上げ、その電離酸素からのX線を観測して、ダークバリオンの分布を初めて明らかにすることを目指しています。それは宇宙の構造を知り、現在の宇宙モデルが正しいのかどうか検証することにもつながります。もちろん観測結果が予想通りになるとは限りません。しかし、予測と異なる観測デー



たけい・よう。1979年、東京都生まれ。博士（理学）。東京大学大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了。オランダ宇宙研究機関（SRON）研究員を経て、2008年4月より現職。X線観測を用いた宇宙の構造の研究と、極低温で用いるX線分光器の開発を行っている。

タこそ宇宙の理解を深める重要な手掛かりとなるので、早く観測で確認したいと考えています。

その観測には従来よりも1桁以上感度の高いX線検出器が必要です。そのために、絶対温度0.05K（-273.1℃）という極低

● 温で用いる検出器を開発しています。極低温の実験、開発には苦労も多いのですが、宇宙の大きな謎に迫ることができる、という期待があるので、ぜひ実現したいです。

## —— 研究は楽しいですか。

● 竹井：ええ、とても楽しいですよ！特に未知の現象に出会い、その謎を考え抜いて解釈が得られたときの爽快感、それが研究の醍醐味です。ほかの研究者と話して、“この人は本当に楽しんで研究をしているな”と感じることも多いです。

## —— 自分のお子さんにも研究者になってほしいですか。

● 竹井：子どもたちには、自分が一番楽しいと思える職業に就いてほしいと思います。それが研究であるならば、研究者になるのは大歓迎です。また、楽しめることを仕事にするためには、苦労や努力も大事だと伝えたいですね。努力や苦労の分だけ身に付きますし、楽をすればよいわけではないので。

● また、世界に羽ばたいて視野を広げてほしい。私はオランダの研究所で、1年余り研究を行いました。赴任したのは1月で、朝9時まで日が昇りません。そして夏は夜10時まで日が沈みません。当たり前のことですが、日本の四季との違いを実感しました。その研究所は国際色豊かで、ティータイムには政治や経済など幅広い話題について活発に議論しました。いろいろな価値観を知り、とても面白い経験をしました。子どもたちにもさまざまな国や文化を感じてもらいたいですね。

## —— これからの夢は？

● 竹井：私は小さな謎解きでも楽しんでしまう性格ですが、自分や研究者に対してだけでなく、一般の人にも科学や宇宙の面白さを伝えていきたいです。宇宙の構造や進化など壮大なテーマに挑んでいるのですから、多くの人をわくわくさせることができるはず。そういういい成果を出していきたいですね。

ISAS ニュース No.350 2010.5 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

編集委員の特権は、頂いた原稿をいち早く読めることです。今月号の記事は読み応えのあるものが多く、いつにも増して楽しく作業させていただきました。寄稿いただいた皆さまにあらためて感謝です。（山村一誠）

\*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