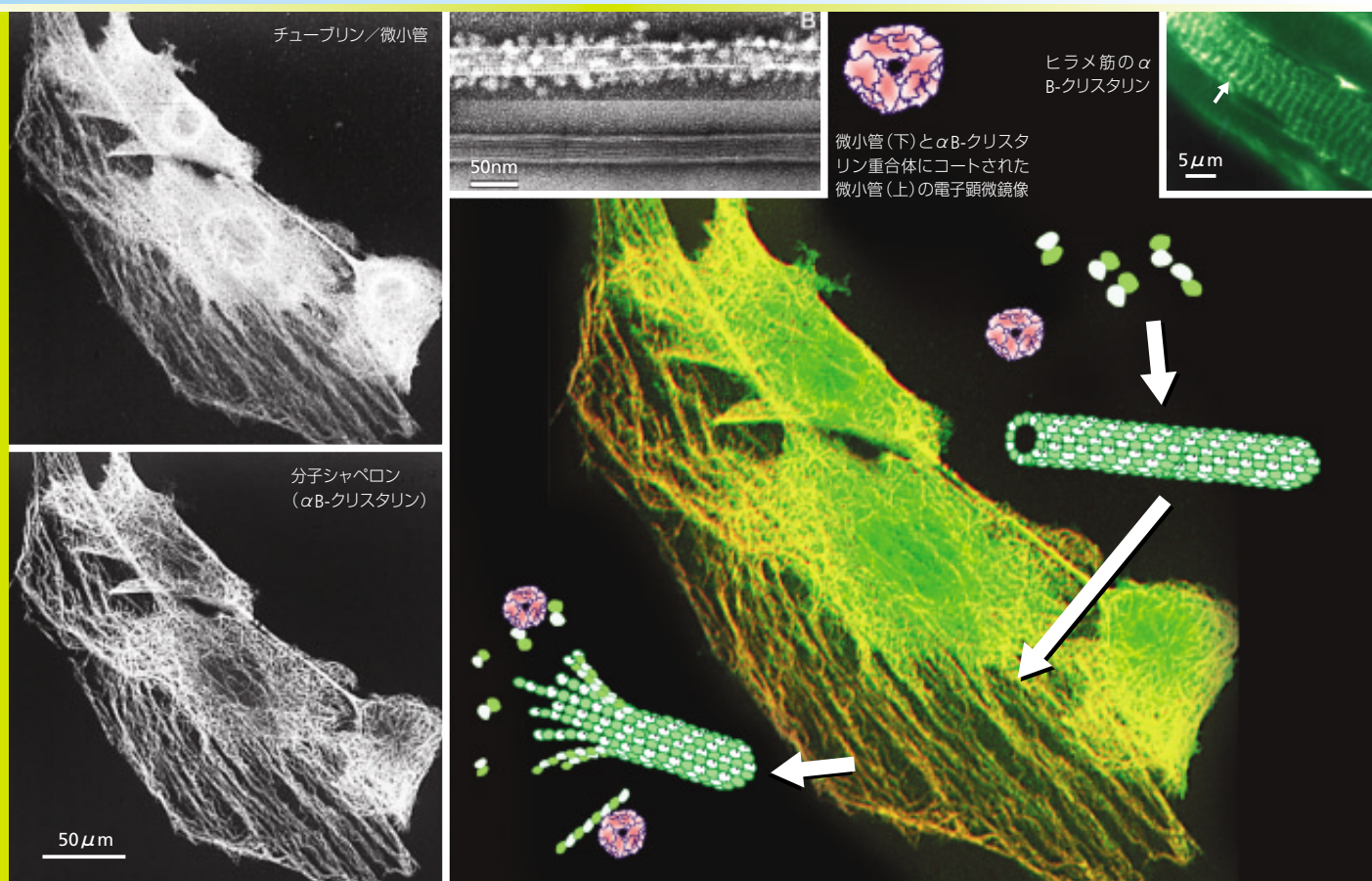




宇宙科学最前線

地球生物重力適応システム

～場の形成と張力維持に必要な細胞骨格とその分子シャペロン～

跡見順子

東京大学大学院総合文化研究科教授
宇宙科学研究本部客員教授

宇宙科学研究のうち生命科学分野においては、その重要なテーマに地球自身が生み出した生命システムの構築原理と、38億年にわたる進化・適応機構がある。ストレスに抗してシステム維持を追求する生命の戦略は、ストレスに対処する方法や科学技術を編み出した人間自身の存在の在り方にも示唆を与えてくれるはずである。中でもシステム原理として構成されていると考えられる“かたち”のある生物——特に人間を含む哺乳動物——の重力適応の鍵分子として機能解析してきた構造対応システム・細胞骨格タンパク質、およびその時間適応に必要な分子シャペロン(タンパク質のお世話役のタンパク質)について紹介したい。からだがもっているストレス応答システムをうまく引き出すことで、適応が獲得されることが分かる。適応を生むストレス因子の中核は、重力・機械的刺激である。

生物のかたちをつくる 機械的・力学的システム

“地上”で家を建てる場合に基礎と柱が必要なように、かたちのある細胞も、かたちをつくるための力学的基盤としてタンパク質から成る細胞外マトリクスを、そして、かたちをつくる素材として細胞骨格をもつ。細胞骨格が発揮する強度(張力)は細胞により異なるが、細胞骨格を壊したり、細胞骨格のダイナミクスを止める物質を加えると細胞は死ぬ。また、基盤である細胞外マトリクスからはがしても細胞死が起こる。生態情報はゲノムに書き込まれているが、ゲノムがかたちをつくるわけではない。ゲノムを読み出す場合は機械的に強度を必要とし、生物はそのため、細胞内外にタンパク質や糖などで、力学的に釣り合った強度に耐える構造をつくる。

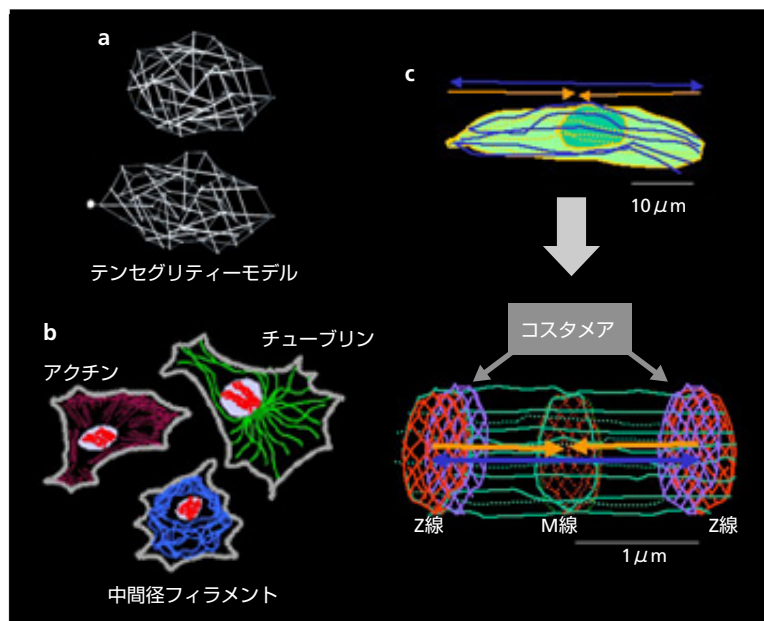


図1 細胞の骨格構造
a: テンセグリティーモデル (Ingber, 1997)
b: 3つの細胞骨格
c: 筋芽細胞から筋線維への細胞骨格のリモデリング (サルコメアをつくる細胞骨格構造)

細胞骨格は伸縮を生み、かつ伸縮に抗するファイバー構造体である。培養細胞のアクチンフィラメントは筋のサルコメア構造に類似した収縮構造をもつストレスファイバーをつくる。ハーバード大学のD. Ingberは、テントや福岡ドームのような張力によって制御するこの力学構造をテンセグリティーモデル(図1-a)と名付け、細胞に適用した。いずれの細胞も3種の共通のタンパク質ファイバー・細胞骨格(アクチン、チューブリン、中間径フィラメント)をもつ(図1-b)。これらは「テンセグリティー」や「骨格」という名に似ず、ダイナミックにつくり替えられており、特にチューブリンがつくる中空のナノファイバー・微小管は、「動的不安定性dynamic instability」という性質を示す。名称通り、GTPを結合して重合し微小管を伸張するが、やがてGTPをGDPに分解すると不安定となり、脱重合を始めて短縮する。結果、重合していないフリーフォームが増加するとまた伸張するというような化学平衡関係の維持が、この動的不安定性の背景にある。さらに、増加したフリーフォームがチューブリンのmRNAに結合するとmRNAが不安定になって壊されチューブリンがつくられないというように、自らの制御を遺伝子レベルで行わず、現場でのタンパク質の重合・脱重合状態で細胞の動的な状態を調整している感がある。

微小管は、細胞分裂の際に染色体を二分割することで知られているが、骨格筋細胞では筋芽細胞から筋線維への融合時の極性の維持に必須であること、また最近では、アクチンフィラメントとの相互作用で細胞骨格自体のダイナミクスを維持していることが明らかにされている。特に筋細胞では、アクチンフィラメントはミオシンと相互作用して細胞に収縮力を、微小管は拮抗して伸張力を与え(図1-c)、両者の方向性の異なる力学環境により、細胞は移動せずに張力発揮環境を持続していると考えられる。サ

ルコメアでは、これを高度に構造化する(図1-c下)。

タンパク質システムをお世話する分子シャペロン

生命システムは、機能を生み出す構造を維持しつつ、さまざまな階層で方向性の異なる二局面を循環させながら機能している。両極間でのゆれが、ダイナミクス持続因子＝細胞へのストレス因子となり、適応を促進させる。タンパク質自体の合成と分解、細胞骨格タンパク質の重合と脱重合による動的な形態維持、エネルギー消費と産生、かたちの維持と張力発揮、収縮と弛緩(伸張)、運動と構造維持、安定化と不安定化などである。このために、細胞は一世代の生存時間内においてもセントラルドグマにより再生産系を恒常的に機能させており、この系自体の正常なタンパク質の機能保持を、タンパク質の一生をケアする分子シャペロン(ストレスタンパク質)に託している。この循環系から外れたかたちでタンパク質が変性すると、さまざまな病態に移行する(アルツハイマー病、プリオン病など)。細胞の新生タンパク質のうち30%は異常であり、合成と同時に分解されていることが示されている。細胞システムは動的に動かし続けることが必須であるたえである。さまざまなストレスタンパク質が存在するが、上記長寿適応戦略モデルとしての心筋や遅筋細胞では中でも低分子量ストレスタンパク質(sHSPs)の発現が高く、エネルギー依存性の機能—構造連関システムの要で機能している。

sHSPsの一つである α B-クリスタリンは、無重力筋萎縮モデルのラット後肢懸垂モデルで特異的に減少する。宇宙環境では重力下で獲得してきた細胞の適応獲得分子であるストレスタンパク質の発現が低下すると、無重力下におけるヒトを含む生物の適応システムをどのように刺激し続けるかは大きな問題であろう。 α B-クリスタリンのノックアウトマウスは、すぐに死ぬわけではないが、自発運動量を測ると顕著に低い。ストレスタンパク質の転写制御因子である熱ショック因子をC. エレガンスに強制発現すると寿命が約2倍に増加することから、IGF-1とともにストレスタンパク質は長寿因子であることが報告された。このモデルでは、変性タンパク質の凝集の抑制に効果のあったストレスタンパク質は、 α B-クリスタリンが属するsHSPsの仲間であった。

細胞の内外への力学応答と分子シャペロン α B-クリスタリンとHSP47

重力は、地上では構成的な因子である。分子シャペロンから細胞の持続的な力学対応システムを考察した(図2)。細胞内で細胞の張力発揮と収縮機構を生み出す細胞骨格タンパク質に対する α B-

クリスタリンの分子機構、細胞外での支点形成に必須な細胞外マトリクスの主要タンパク質コラーゲンに対するシャペロンHSP47の重力負荷、解除への応答(ラットのモデル)を検討した。HSP47は小胞体内のHSFにより発現制御される唯一の分子シャペロンであり、コラーゲタンパク質の3本らせん重合あるいは水酸基の付加、細胞外への分泌のためのプロセッシングなどに必須であることが明らかにされている。

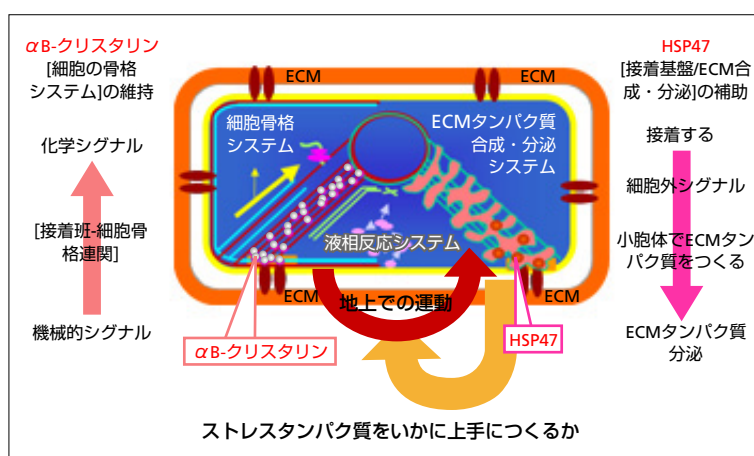
HSP47の発現量について、タンパク質およびmRNAの後肢懸垂および遠心による過重力に対する応答を見ると、その基質であるコラーゲンのmRNAよりもかなり早い時期に応答を示した。また、コラーゲンは線維芽細胞で合成されていると考えられているが、筋細胞は基底膜構造を有しており、細胞培養系で検討したところ、筋細胞内で合成されていることが明らかにされた。

αB-クリスタリンの構造依存的ダイナミクスと機能

αB-クリスタリンの発現の多い筋芽細胞では、細胞骨格の一つであるチューブリン/微小管と局在が見事に一致する(表紙)。αB-クリスタリンの発現の高い遅筋の抽出液のチューブリンとアクチンが、主要な基質として結合してくる。αB-クリスタリンは、チューブリンの熱変性による凝集沈殿を抑制する効果的な分子シャペロンとして機能する。その機能部位を調べると、sHSPsが共通にもつ“α-クリスタリンドメイン”のあるC末端側であった。また微小管の重合体の安定化を行うMAPsに結合し、微小管の安定化に貢献している。タイムラプス映像によりαB-クリスタリンの発現を増加した細胞はダイナミックであるが移動せず接着しているが、細胞に抗αB-クリスタリン抗体をインジェクションすると安定性が減少し、不安定な移動傾向が生まれる。

これらのことから、拍動している心筋細胞にGFP-αB-クリスタリンを発現させ、その局在とダイナミクスを観察すると、拍動している状態でも横紋状に局在する。レーザーによる蛍光褪色後の回復を見ると(FRAP; fluorescence recovery after photo bleaching), 1分以内に横紋が回復した(図3)。比較のために熱ショックを1時間かけるとより明確な横紋状を示したが、拍動は停止し、数時間たっても消えた蛍光は回復しなかった。これらの実験から、細胞骨格の分子シャペロンαB-クリスタリンは、筋の収縮に依存してダイナミックに細胞骨格をケアしていると考えられる。

形態構築・張力発揮・収縮/伸張運動、さらにエネルギー供給系との連携など、非生物システムでは同時に実現の不可能なシステムを、細胞では分



子複合体のシンクロナイゼーションにより動的に構築していることが示唆される。永久機関の適応性の高い張力発揮システムには細胞骨格ダイナミクスの維持が必須で、分子シャペロンαB-クリスタリンがシステムの適応分子として必須であること、活動依存性に発現が亢進するストレスタンパク質の発現を誘導する環境刺激が重要であることが示唆される。

動物の重力応答機構

生物は重力に抗して仕事をするが、主要な方法は脱重合できるタンパク質ポリマーで構成したタンパク質ナノファイバーの抗伸張力あるいは収縮による細胞間、組織間、個体と仕事の間である地球に対する張力発揮である。張力発揮ができないような状態では、細胞はシステムを維持できず死に至る。

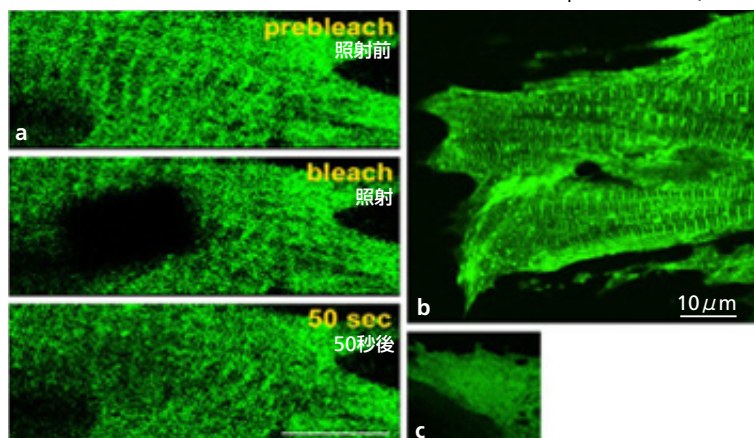
ゲノムが明らかになり網羅的な解析が進んでいるが、細胞骨格の遺伝子は比較対照のコントロールとして使われているように、遺伝子レベルでは大きな変化がしないように仕組みられているらしい。宇宙関連の生命科学研究や、重力応答研究を含め、生命システムのあまりに必然的かつ構成的な視点が見えなくなっている。宇宙研究ぐらい、広く宇宙や地球の生成から宇宙空間、地球という天体自身など、非生物対象の研究のみならず、そこに生きている我々人類の存在の本質を探る眼をもってほしいものである。(あとも・よりこ)

図2 細胞内外のファイバー構造と力学ダイナミクスを維持する分子シャペロン
重力場での活動により細胞は、内に細胞骨格、外に細胞外マトリクスタンパク質を構成し、内外で釣り合った力学構造をつくり、構造依存性に活動できるようにする。分子シャペロンは、これを重力下でダイナミックにつくり替えるお世話をしている。

図3 心筋細胞に発現させたGFP-αB-クリスタリン

a : 拍動している心筋細胞ではGFP-αB-クリスタリンは横紋状に見える。レーザー照射(FRAP)で長方形に褪色するが(中央写真), 1分以内に横紋が戻る。
b : 熱ショックをかけた後ではGFP-αB-クリスタリンの局在はZ線, I帯, M線に強く共局在し, FRAP後, 数時間しても回復しない(図なし)。

c : GFPのみ
(Ohto E., Yamaguchi T., Fujita Y., & Atomi Y., unpublished data)



観測ロケットS-310-34号機打上げ後記

蝉時雨のただ中に轟音を残して、観測ロケットS-310-34号機は夏の夕空に吸い込まれていきました。刻、2004年8月9日午後5時15分。観測ロケットとしては久しぶりの工学実験です。

ソーラーセイルの実用化を目指した基礎実験として、観測ロケット飛翔時の高真空・無重量を利用した大型薄膜の展開実験の計画がスタートしたのは、まだ宇宙科学研究所時代でした。そこから数々の工学的課題を解決し、あの悪夢のような噛合せも乗り越えて打上げにたどり着けたのも、プロフェッショナルたる各班の方々の連携と努力、そして心意気の賜物と感謝しています。また、セイル



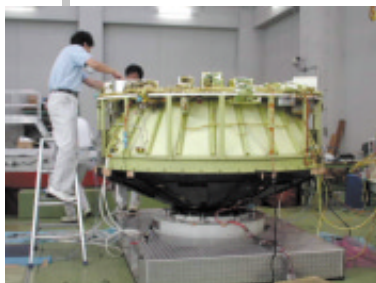
ロケットの尾翼のそばに装着されたカメラがとらえた展開後のクローバー型薄膜

は若手の技術系職員、助手、学生が、製作方法も含めてまったく無の状態から手作りで完成させたことも、賞賛に値すると思います。

本実験では、支柱や外枠などで保持されていない薄膜の宇宙空間における展開としては、世界初の実験に成功し、セイル展開に関する貴重なデータを取得することができました。実験後、国内

外から数多くの問い合わせがあったことは、驚くともうれしくもありました。関係各方面のご協力に深く感謝致します。詳しくはISASホームページ(<http://www.isas.jaxa.jp/>)の宇宙ニュースをご覧ください。(峯杉賢治)

M-Vロケット6号機噛合せ試験



振動試験装置にセットされる第3段計器搭載部

7月6日から8月9日まで、M-Vロケット6号機の噛合せ試験を構造機能試験棟および環境試験棟にて実施しました。

この試験は、各メーカーで製造された搭載機器を持ち込んで搭載部に組み込み、コネクタを接続して電氣的インターフェースの確認を行います。そして電源を入れて作動させ、

その機能を確認するというものです。

また、6号機に搭載するX線天文衛星ASTRO-EIIとの確認試験も実施し、ロケットの頭からしっぽまで、電氣的

な確認作業が終了しました。

試験はおおむね順調に進みましたが、8月に入ってから観測ロケットS-310-34号機のフライトオペレーションやM-Vロケット総点検と重なり、人のやりくりがとても大変な状態でした。内之浦と相模原に人を分けなければならず、若い職員が主導権を取って試験を進める場面が多く、新旧交代というか、無理やり巢立ちさせられたというか、緊張感の中に新鮮さを感じる試験になりました。

噛合せ試験の終了をもって、相模原での作業は終了しました。あとは、内之浦の打上げ場に運び込んでの組立て作業になります。年明けの打上げに向けて、そして2000年2月の打上げに失敗したASTRO-E衛星の復活に向けて、着実に準備は進んでいます。(竹前俊昭)

高校生体験プログラム「君が作る宇宙ミッション」を開催

高校生体験プログラム「君が作る宇宙ミッション」を大成功のうちに終えました。このプログラムによって高校生には、第一線で働く研究者の卵および研究者と一緒にあって自ら探査計画を議論し作り上げる中で、研究の進め方を学ぶこと、進路選択の参考にしてもらうことを期待しています。このプログラムはまた、直接宇宙とかわっている私たちにとっては、広い分野にわたる将来の人材育成

と広報の役割も果たしています。

北は北海道、南は九州から集まった23名の高校生は、まず8月16日午後2人の研究者の講義を受けた後、2日目から5組に分けられて35名の大学院生の助言のもと、熱心楽しくミッションの議論を始めました。2回の中間発表でさらに検討を深め、出来上がったミッションの研究発表会を4日目の8月19日に行いました。そして8月20日午後、



研究発表も終えて全員でパチリ！

高校生は全員元気に、名残惜しそうに宇宙科学研究本部を去っていきました。

大学院生はTeaching Assistants (TA)として、チームワークの作り方、指導や議論、広報の仕方、外部との折衝など、通常経験できない多くのことを学んだと思います。理学と工学の学生が初めて同じ目的を持って集まり、さらに過去に参加して今大学在学中の4名も加わり、交流の輪が作られ始めたことは、本プログラムの主目的以上の成果かもしれません。

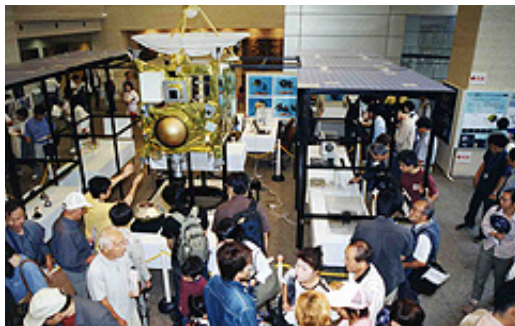
本年はこれまでの経験と反省を踏まえ、TAのオリエンテーションを行うとともに、早い時期に、かつ広範囲に広報活動を展開しました。1回目、2回目と進め方に試行錯誤を繰り返してきた本プログラムは、3回目ようやく固まったと考えます。次回はより多くの関連機関と連携するとともに、一部学生に偏った負担の分散・軽減などに努め、さらに質の高いプログラムの円滑な運営ができるように努めたいと考えます。

本プログラムは、科学関連雑誌社など多くの報道機関、総合研究大学院大学、(財)宇宙科学振興会、宇宙科学研究本部生活協同組合および(株)新興出版社啓林館、そして本部内の多数の教職員による全面的な協力に支えられて遂行されました。ここに記して謝意を表します。

(小山孝一郎)

宇宙科学研究本部一般公開を開催

夏もそろそろ終わりの8月28日(土)、JAXA統合後初の宇宙科学研究本部一般公開が相模原キャンパスにて行われました。小雨のぱらつく天気であったことや、夏休みも終盤(宿題は?)であることから来場者数が心配されましたが、結果的には1万1400人を数え、まずまずのにぎわいでした。どのブースでも趣向を凝らした展示が見られましたが、特に実験やクイズなど体験型の展示が例年より増えたようでよかったと思います。水ロケットは、今回も大人気でした。2005年初めに打上げが予定されているX線天文衛星ASTRO-EIIのフライトモデルを見てもらうこともできまし



本館ロビーの「はやぶさ」展示ブースにて

た。本館ロビーにお目見えした小惑星探査機「はやぶさ」実物大模型も注目を集めていたようです。野口宇宙飛行士に駆けつけてもらえたことは、これまでと違う目玉となりました。

統合後初ということもあり、宇宙科学研究本部の特色をアピールするために、実行委員会では標語(「あつまれ!地球人」)やポスターなどにも力を入れました。その効果のほどは分かりませんが、来場された皆さんが“地球人”として宇宙の夢を見られた一日であったなら、と思います。

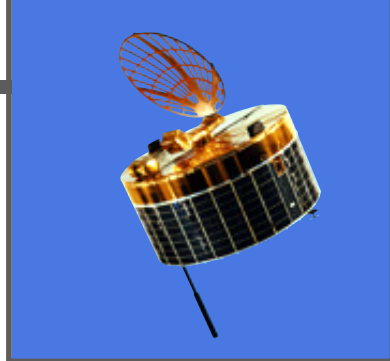
(今村 剛)

ロケット・衛星関係の作業スケジュール (9月・10月)

	9月		10月	
相模原	頭	ASTRO-EII FM総合試験		末
	頭	SOLAR-B FM一次啗合せ		末
	頭	INDEX FM総合試験		末
		30日	S-310-35号機 啗合せ	15日
	1日	M-V-8号機 第1段仮組立	22日 (IA富岡)	
三 陸	頭	大気球 第2次気球実験	13日	
内之浦		M-V-6号機 第1組立オペレーション	中旬	下旬
筑 波	頭	SELENE FM単体環境試験		末

(FM : Flight Model)

浩三郎の 科学衛星秘話



「すいせい」



井上浩三郎

真空紫外撮像装置 (UVI) が初めてハレーの像をとらえたのは1985年11月14日でした。ライマンアルファ像の明暗の繰り返しを系統的に観察して、核の自転周期が 2.2 ± 0.1 日という値を導き、結果がNature誌に投稿されました。1986年3月8日～9日のハレー彗星への最接近(約15万km)に際しては、太陽風観測装置 (ESP) もハレー彗星と太陽風の相互作用に関して大変貴重なデータを取得しました。

ハラハラする場面にも遭遇しました。印象に残っているものを少し挙げてみます。

きわどかった アンテナデスパンモータの不具合

まずは、1985年8月打上げに向けて最後の仕上げに入った総合試験でのこと。7月1日の射場輸送前の最終チェックを終了後、翌日のバッテリー特性試験の負荷設定で、

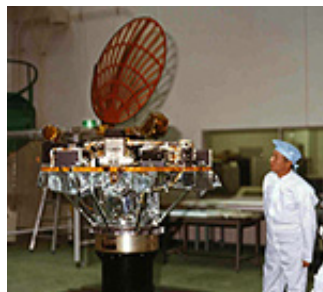


図1 探査機組立て作業を点検される衛星主任の伊藤富造先生(定年された平尾先生から引き継がれた)

デスパンモータを回転させようとしたらモータがびくともしないという事態が発生しました。このモータは地球との通信やハレー撮像時に使用するもので、動作しなければミッ

ションができなくなるほどの重要なところ。当然、関係者は懸命にその原因究明に当たりました。

1回転360度を少しずつ動かしながら、7月11日までチェックを繰り返し行いました。その結果、不具合の原因が、アンテナと衛星との相対速度を検出するタコバルスと、衛星との相対位置を検出するための位置パルス処理する回路が、非常に狭い動作範囲において初期起動用トルクを発生しないことにあるということが判明しました。

原因究明を担当したNECの川口氏の執念が実り、奇跡的に原因を突き止められました。検討の結果、運用上は問題ないとの結論に達し打上げに臨みましたが、ミッション中はまったく問題なく動作しました。もしこの原因が不明だったり、修復に時間がかかってしまえば打上げに間に合わなかったら、と思うと肝を冷やす出来事でした。

失敗できない最接近時の観測データ取得

「すいせい」は2個の観測装置を載せて最接近時のデ

ータを取得したわけですが、失敗するとあと76年待たなければなりません。「すいせい」のシステムを担当された元NECの上村さんは、「この探査機の運用で一番緊張したのは、打上げでも軌道修正でもなく、最接近時のESPの運用コマンドプログラムの作成でした。最接近時のハレー彗星の方向と時刻情報からESPを制御しつつ観測し、取得したデータを確実にデータレコーダに記録しなければなりません。ESPとデータレコーダの動作を図に描いたり、何度もシミュレーションしました。何年もかけての成果がこの瞬間に懸かっていると思うと、絶対にミスはできないという最高の緊張状態で作業しました。予定どおりの観測データが得られた時は、正直「ホッ」としました」と、当時の思い出を語っておられます。

名物教授のタバコと 「世界一小さい深宇宙運用管制室」

駒場キャンパスのクリーンルームに造られた管制室には、探査機の軌道を担当された西村敏充先生がよくおみえになり、軌道運用に当たられました。先生はヘビースモーカーとして有名でしたが、初めての深宇宙ミッションにおける軌道決定を心配されてか、そのタバコの本数はますます増えて、軌道を担当した富士通の西郡さんは「灰皿を持って先生の後をよくついて回りましたよ」とエピソードを語っておられました。

西郡さんの話によりますと、実際に少人数で行った軌道決定作業は大変タイトなスケジュールで、打上げ時には布団を持ち込んで徹夜で軌道ソフトを作ったりもしたそうです。まさに自転車操業で、計算機を導入し、初めての臼田局との高速回線を導入したり、大変な地上システムの構築でした。また、運用を担当された上杉先生が外国からのVIPをこの管制室に案内され、「世界一小さい深宇宙管制室です」と説明されていたことも思い出されます。

(いのうえ・こうざぶろう)

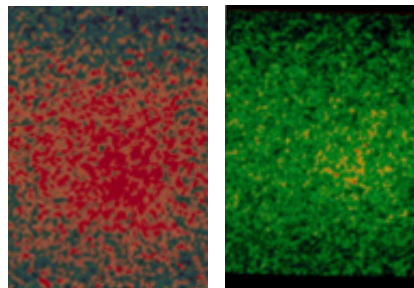


図2 真空紫外撮像装置 (UVI) によるハレー彗星の水素コマ像

左：1986年2月27日に撮った暗い位相のもの
右：1986年3月1日に撮った明るい位相のもの

ハレー彗星探査機「すいせい」その2

金星の溶岩が刻んだ6800kmの溝地形

金星の地質年代と大規模一斉更新説

クレーター分布から見積もられた金星の地表年代はおおよそ3億～5億年であり、ほかの地球型惑星より新しい。地球の地表年代は0～40億年と幅広いが、プレートテクトニクス(プレートの水平移動)によって常にリサイクルされている海洋地殻の年代は2億年以内である。しかし金星には、プレートテクトニクスによって形成される特徴的な地形(海嶺、海溝など)は見られない。マゼラン探査機のデータは、金星と地球では惑星進化の過程が大きく異なることを示している。

金星のほとんどの地表面の年代が3億～5億年より若いことは、「大規模一斉更新説」によって説明される。およそ3億～5億年前にグローバルな火成活動、構造運動が起こり、地表が更新されたという説で、その要因には最大約70kmという金星の厚い1枚板のリソスフェア(硬いプレート)が密接に関連していると思われる。安定した厚いリソスフェアが惑星内部の温度を上昇させる、あるいはリソスフェアが定期的に沈み込まないために厚くなり続けてあるとき、一挙にマントル(プレート以深の岩盤)中に沈み込むことで、激しいマントル対流を生むのではないかと考えられている。

太陽系最大のチャンネル地形 バルティス・パリス

金星にはコロナやテッセラなど特有の地形も存在するが(第8回記事参照)、月やほかの地球型惑星に共通する火成地形、構造地形も数多く存在する。その一つがチャンネル地形である。地球では河川のほか、溶岩の流れた跡である溶岩チャンネルも見られ、その多くは溶岩堤防が発達している。これに対し、月の蛇行リルと呼ばれる溶岩チャンネルは堤防を伴わず、熱侵食起源であるとされている。火星は地球以外で唯一河川地形が見つかっている惑星である。アウトフローチャンネルと

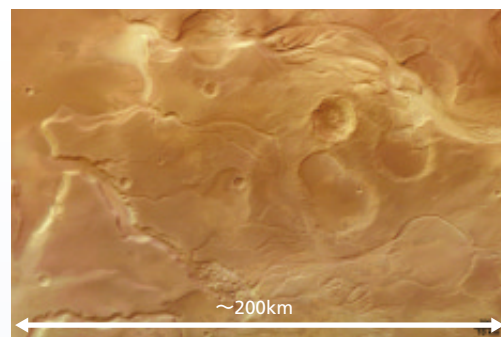


図1 火星のアウトフローチャンネル

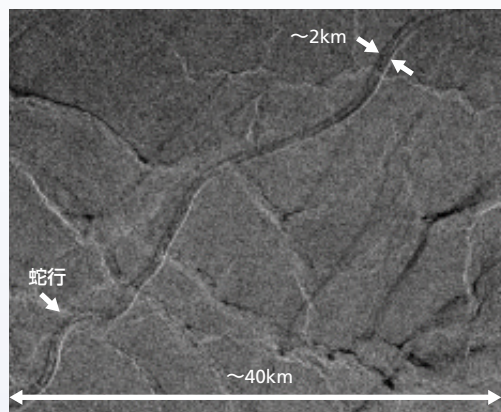


図2 バルティス・パリス (50°N, 167°E付近)

呼ばれる地形は全長1000km以上、幅数十～数百kmにも及ぶ河川系であり、地下に貯蔵されていた水の巨大洪水によって形成されたと考えられている(図1)。

金星では、マゼラン探査機のレーダー画像から200以上のチャンネルが確認されており、その一つに全長約6800km(ナイル川より100km長い)という太陽系最長のチャンネル、バルティス・パリスと呼ばれる谷がある(図2)。バルティス・パリスをはじめとする“河川タイプ”のチャンネルは、層序学的な観点から大規模一斉更新の終息期に形成されたと考えられており、その分布の特徴も大規模一斉更新との強い関連性を示している。また、河川タイプのチャンネルは、所々で蛇行や三日月湖など、地球河川に大変よく似た構造が見つかる。しかし、金星の表面では液体の水は安定に存在できない。果たしてバルティス・パリスは、金星の地表環境下で水のように振る舞うことのできる、特殊な溶岩によって形成されたのだろうか？

我々は、マゼラン探査機の画像データからバルティス・パリスの横断面の微地形を復元した(図3)。その地形的な特徴から、バルティス・パリスが地球の一般的な溶岩チャンネルとは異なり、河川と同様のメカニズム(地表面の力学的な侵食)によって形成されたことが明らかとなった。

現在我々は、太陽系最長のチャンネル、バルティス・パリスのより詳細な微地形解析を進めている。この研究を通して、金星の大規模一斉更新をもたらした火成活動、さらには惑星進化をひもとく重要な情報が得られることを期待している。

(おしがみ・しょうこ、なみき・のりゆき)

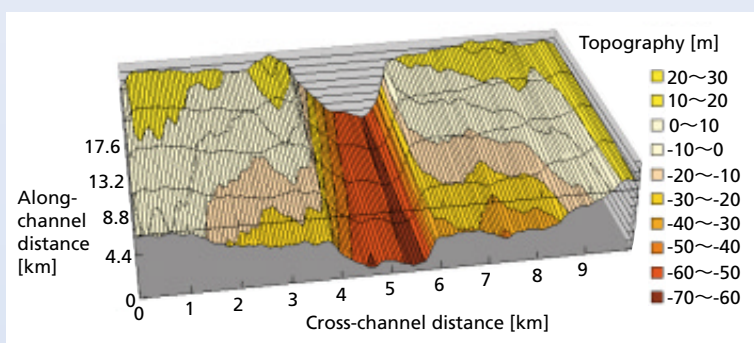


図3 バルティス・パリスの地形復元図 (51°N, 166°E付近)

AOGS (Asia Oceania Geosciences Society) という新しい学会の年会が、7月5日から9日までの日程でシンガポールにおいて開催された。51の国と地域から1100人の地球惑星科学研究者が出席し、7つのセッション (Nonlinear Geophysics, Natural Hazards, Biogeoscience, Interdisciplinary Working Group, Planetary Science, Solid Earth, Ocean & Atmospheres) で約1100の講演があった。

主催者のデータによると、研究者の構成は70%がアジア・オセアニアからで、ヨーロッパから13%、アメリカ合衆国・カナダから16%であった。もちろんこれは全体での割合であって、セッションによっては大きく構成が異なっていた。筆者の出席した Planetary Science の探査を中心としたセッションでは、ヨーロッパと日本が半々で、ほかの地域はパ

ラバラという状態であった。月探査では中国とインドが間もなく新規参入を果たしそのような勢いであり、今回の会議での講演が期待されたが、両国とも見送りであった。計画担当者としては中国からの1人の参加があったのみで、インドからの参加はなかった。

数ある 国際会議の中で

2週間後パリで開かれた COSPAR (Committee on Space Research) では、インドの月探査計画の詳細が公表され、ヨーロッパの研究者による複数の観測機器の搭載も検討されていた。

今年の11月にインドで開催される ILC-6 (6th International Lunar Conference) を前に、公表に踏み切るサプライズの場所として COSPAR を優先させたのであろう。国際社会への参加により秘密は保てなくなる。中国の月探査の詳細の公表はまだであるが、インドを強く意識しているので公表に踏み切る日は近いであろう。研究者間の議論や研究協力が早くさらされることを期待したい。

AOGS は、来年6月に今回と同じ会場で第2回年会の開催が予定されている。また、EGU (European Geoscience Union) 年会が4月にウィーンで開催される。参加者の構成は異なっているものの、セッション構成は同じである。新規の AOGS は EGU の規模を小さくしただけのようにも見える。同様の会議に WPGM (Western Pacific

Geophysical Meeting) という AGU (American Geophysical Union) の分科会がある。今年も8月にホノルルで開かれ、約1000件の講演があった。8月16日から20日という時期の悪さもあるが、筆者の周りで出席者はない。

研究の動向は時間的に変化し、興味やメリットも変化していくので会議への対応も変わっていくのは当然であるが、意識と覚悟を持って会議に参加していくことが必要であろう。この点で、ヨーロッパの研究者のしたたかさは目をみはるものがある。覚悟のほどは分からないが、意識ははっきりしている。

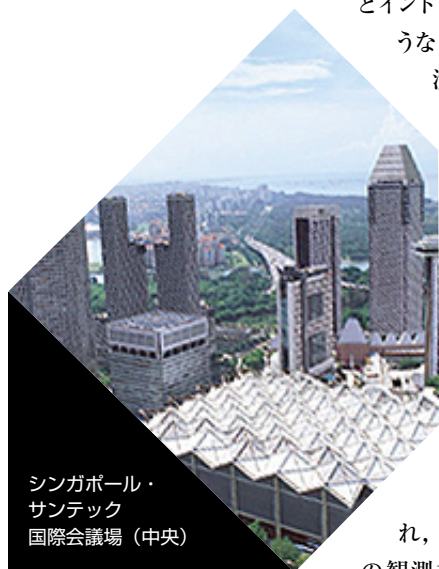
冷房の国シンガポール

北緯1度という赤道直下のシンガポールは太陽が真上にあり、やはり暑い。日本も暑かったが、もっと蒸し暑い。ホテルの部屋のクーラーは動きっ放しである。ホテルから会場のサンテック国際会議場へは徒歩で20分。会議場がある高層ビル群が間近に見えるので歩き始めた。すぐに後悔することに。汗だくである。一步会場のビルに入るとひんやり、冷房が極めてよく効いており、軽装では寒いくらいになる。ガイドブックにある「冷房注意」は、うそではない。温度設定が22度になっていて正(盛)装でも過ごせる。この会場はピカピカのビル群から成る巨大モールの中にある(写真の中央が会議場)。

会議終了後、地下鉄の駅まで外に出ることなく、junction mall と呼ばれる地下街を通って歩く。駅も空調されていて、とても涼しい。日本でも新しい地下鉄に採用されている列車到着までホームを閉じておく空調が、全駅に施されている。にもかかわらず、地下鉄の運賃は安く初乗り80セント、約55円である。切符がICカードであるため1ドルのデポジットを取られるが、食費と比較して地下鉄運賃は安い。

建物内の冷房をよく効かせていることとも併せて想像するに、生活基盤である電気の料金が安いのではないかな。この地区だけでなくラッフルズなんか、オーチャードなんかにも巨大ビル群が並んでおり、冷房に使用する電気量は莫大であろう。東京23区程度の面積しかない国全体を空調して生活を快適にし、仕事の能率を上げようとしているのではないかな。この国ではヒートアイランド現象もなんのその、よりいっそう冷房しようとしている。国民のコンセンサスがあるのだろう。などと思いながら少しは暑さに慣れたシンガポールを離陸した。

(かとう・まなぶ)



シンガポール・サンテック国際会議場 (中央)



「スペースシャトルとは何だったのか」を考え続けている。

数字で語っていこう。NASAはスペースシャトルの飛行で、搭乗員の命を脅かす深刻な事態が発生する確率を、チャレンジャー事故の時点で、400ないし500回に1回程度であると見積もっていたが、実際には113回の飛行で2回の致命的事故を起こし、成功率は98.2%だった。当初1回の運行コストは30億円とされていたが、実際には500億円を超え、コロンビア事故からの復帰以降は800億円を超えるものと見られている。当初の運行回数は年間50回を考えていたが、実際には最大でも年9回だった。当初目標と達成した実績を比べれば、スペースシャトルは明らかに大失敗作だ。

設計を見ていくならば、スペースシャトルは失敗すべく設計されていたことが分かる。再突入時の最後の15分にしか役立たない巨大な主翼を軌道上まで持ち上げる矛盾。200気圧もの高圧燃焼を行う主エンジンを再利用することの無理。人間と貨物を同時に打ち上げる無茶。打上げ初期の固体ロケットブースター燃焼時には脱出が不可能という人命軽視。再突入時に高温となる機体下面に前脚、主脚、液体酸素・液体水素配管の接続口——と、5カ所もの穴を開ける愚劣。機体とエンジンは再利用、タンクは使い捨て、固体ロケットブースターは海上回収という無駄に複雑なシステム。どこを取っても成功する要素がない。

だが、アメリカはそのスペースシャトルを、「新たな宇宙時代を拓く輸送システム」として世界中に宣伝した。世界はアメリカの宣伝にだまされた。アメリカ自身も自らをだました。今もだまし続けている。NASAのホームページにはどこにも「シャトルは失敗作だった」とは書いていない。

だまされた結果が、宇宙開発の現状だ。1984年から計画検討が始まった国際宇宙ステーション (ISS) は、20年後の今も完成していない。シャトルによる輸送を前提とした日本モジュールは、打上げ時期が未定のままアメリカに出荷された。現在、未完成のISSを支えているのは、ロシアの「ソユーズ」有人宇宙船と「プログレ

スペース シャトルの 罪科

松浦晋也

ノンフィクション・ライター

ス」貨物輸送船、そしてそれらを打ち上げる「ソユーズ」ロケットだ。冷戦時代の敵が、ISSの命をつないでいる。

今考えるべきは、以下の5つだ。
「なぜアメリカはスペースシャトルのようなシステムの開発に乗り出してしまったのか」
「なぜそれを新時代を拓く画期的システ



1994年7月、STS-65の打上げでオービター「コロンビア」を目の当たりにした。2003年2月、この機体があのような最後を遂げるとは。言葉もない。

ムと宣伝し、チャレンジャー事故以降も態度を変えなかったのか」

「なぜ、世界中はアメリカの宣伝にだまされたのか。真実を見抜くにあたって我々には何が足りなかったのか」

「無批判にスペースシャトルを信じた結果、我々は何を間違い、何を失ったのか」

そして——

「スペースシャトルが大失敗作と誰の目にも明らかになった今、我々はどうのようにして未来への計画を取り戻し、宇宙を目指す動きを立て直すべきか」

だまされた当時の関係者の責任を問うことも、アメリカに過度の配慮をすることも、シャトル関連で獲得した予算枠を失う事態を恐れることも、すべて無用である。人類史的視点に基づく正しいヴィジョンを、正しい技術的洞察と正しい計画管理によって現実としていくこと——納税者たる国民に対して義務を果たすとは、つまりそういうことだろう。

2004年8月現在、内閣府の総合科学技術会議・宇宙開発利用専門調査会で、日本の宇宙政策の骨格を議論している。その中に「我が国としては、当面独自の有人宇宙計画は持たない」(「松浦補記：20年～30年後に向けて」)宇宙の多目的利活用に資する独自の有人宇宙活動を可能とするための必要な準備を進める」とある(我が国における宇宙開発利用の基本戦略[案]8月19日版)。有人分野のみではあるが「今後10年はやらないが20～30年後はやるかも」ということだ。

現役でこの策定に参加する何人が、30年後に現役だろうか。子供の世代に責任をかぶせるような無責任はいけない。たかだか有人活動への第一歩程度のことは5年、長くても8年でやるべきことだ。

私はスペースシャトルが日本にもたらした最大の弊害は、「アメリカがああ程度なんだから日本はこの程度でいい」という貧しい発想ではないかと思う。過去、著書でも書いたが、何度でも主張したい。「自分の頭で考えよう」と。

(まつうら・しんや)

「はやぶさ」と阪神タイガース

固体惑星科学研究系助手

安部正真

——発見した小惑星に「阪神タイガース」と名付けたそうですね。

安部：この小惑星は、私たちの観測グループが木曽観測所で1994年に発見したものです。小惑星の発見者には命名権があり、国際天文学連合（IAU）に申請することができます。このときに発見した小惑星は3個。観測グループの1人が巨人ファンだったこともあって、最初の1個を「東京ジャイアンツ」と命名しました。私は阪神ファンなので、残りの1個は「阪神タイガース」しかないだろうと。でも観測グループの仲間が、なかなか認めてくれないんですよ（笑）。2003年に阪神が優勝したこともあり、まあいいだろうとなってようやく申請してもらえたのです。今年の5月、IAUに承認されました。

実はこの小惑星は、小惑星探査機「はやぶさ」ミッションの準備として行われていた探査候補天体の地上観測中に発見されたものです。「はやぶさ」には立ち上げからかわり、小惑星の表面がどのような物質からできているのかを調べる近赤外線分光器の開発、小惑星の試料を採取するサンプラーという装置の開発、そして探査天体の地上観測を主に担当しています。

——「はやぶさ」は2005年夏に小惑星イトカワに到着し、いよいよサンプルの採取ですね。サンプラーの開発で難しかった点は？

安部：小惑星表面からの試料採取は、まだ誰もやったことがありません。まったく新しい装置を開発するときは、試行錯誤の連続です。まずは身の周りに使えそうな物がないか探し、アイデアを考えます。見るもの触るものすべて「これを使えないかな」と考えてしまう生活が1年くらい続きました。

サンプラーのヒントとなったのは漏斗です。「はやぶさ」は、弾丸を小惑星の表面に打ち込んで、飛び散った試料を採取します。小惑星表面の重力は地球の10万分の1と小さいので、飛び散った試料は落下しません。漏斗状の装置ならば、飛び散った試料を上で待ち構えていて集め、小さな収納箱にまで簡単に導くことができると考えたのです。弾丸を打ち込む前に落とすターゲットマーカーという目印は、小さな重力でも跳ね返らないようにするのが大変でした。いろいろな素材のボールを買ってきて試しましたが、結果的にはお手玉がよかった。中に粒々がたくさんあると、跳ね返らないのです。

みんなでアイデアを出し合って、議論や実験を繰り返し、ようやく装置が完成します。日ごろから広い視野を持って、いろいろな経験をすること。それが、いいアイデアを出す近道ですね。

——2007年夏に「はやぶさ」が持ち帰るサンプルはどのくらいですか？

安部：1～5gくらいの試料を持ち帰ることができればと思っています。少ない



あべ・まさなお。1967年、神奈川県生まれ。1990年、東京大学理学部地球物理学科卒業。1994年、東京大学大学院理学系研究科地球物理学専攻博士課程中退、宇宙科学研究所惑星研究系助手。小惑星探査機に搭載する表面物質採取システム・近赤外線分光器の開発、小惑星表面物理モデルの研究、次期小天体探査の検討などを行っている。

ようですが、それだけあれば数百人の研究者が解析できます。これまで人類が持ち帰った固体惑星の試料は月だけです。「はやぶさ」が持ち帰る小惑星の試料からは、予想もしなかった発見があるのではないかと期待しています。

探査機がその場で観測する場合、探査機が打ち上げられる以前に開発された装置しか使えません。しかし、サンプルリターンであれば、試料の一部を保存しておいて将来開発される優れた装置で解析することもできます。サンプルリターンが、惑星物質科学を発展させる鍵を握っているといえるでしょう。

——次のミッションは？

安部：小惑星にはいくつかのタイプがあります。イトカワとは別のタイプの小惑星からのサンプルリターンを考えています。できれば、1機の探査機で複数の小惑星を巡りたい。ローバを小惑星表面に降ろして観測することも計画しています。

太陽系の外には、まだよく分からない天体がたくさんあります。太陽系の外縁部にあるカイパーベルト天体もぜひ探査してみたい。ローバを使って有機物や水を詳しく観測できれば、太陽系の起源、さらには生命の起源にまで迫れるでしょう。

——これだけはやりたい、という夢はありますか？

安部：一生のうちで絶対見てみたいと思っていたものが3つあります。大流星雨と日食とオーロラです。大流星雨とまではいきませんでしたが、数年前にしし座流星群を見ることができました。日食は、大学生のときに沖縄まで金環食を見に行きましたが、皆既日食はまだ。日本でも皆既日食が見られる2009年を狙っています。あとはオーロラですね。本やテレビで得られる知識や感動もありますが、実体験によってしか得られないものもたくさんあります。いろいろなことを体験し、いろいろなものに触れたい。いつもそう思っています。

——宇宙に興味を持ったきっかけは？

安部：カール・セーガンの『コスモス』の影響が大きかったですね。探査機「ボイジャー」が太陽系の惑星を次々と巡っていたときは、新聞の写真を切り抜いて部屋の壁にはったりしていました。自分が「ボイジャー」の写真を見て感動したように、自分がかかった探査機が子供たちに感動や夢を与えることができた方がいいですね。そのためにも「はやぶさ」を、ぜひ成功させたいと思っています。

ISASニュース No.282 2004.9 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

本ニュースに関するお問い合わせは、下記のメールアドレスまでお願いいたします。
E-Mail: newsedit@adm.isas.jaxa.jp

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。

*本誌は再生紙（古紙100%）を使用しています。

編集後記 間もなくJAXA発足1年になり、日本の宇宙開発はどうあるべきかの議論も盛んに行われています。内外の識者の意見を聞く場は増えましたが、松浦氏の記事にもあるように、自分の頭で考えることが一番大事だと思います。（橋本樹明）

デザイン／株式会社デザインコンビピア 制作協力／有限会社フォトンクリエイト