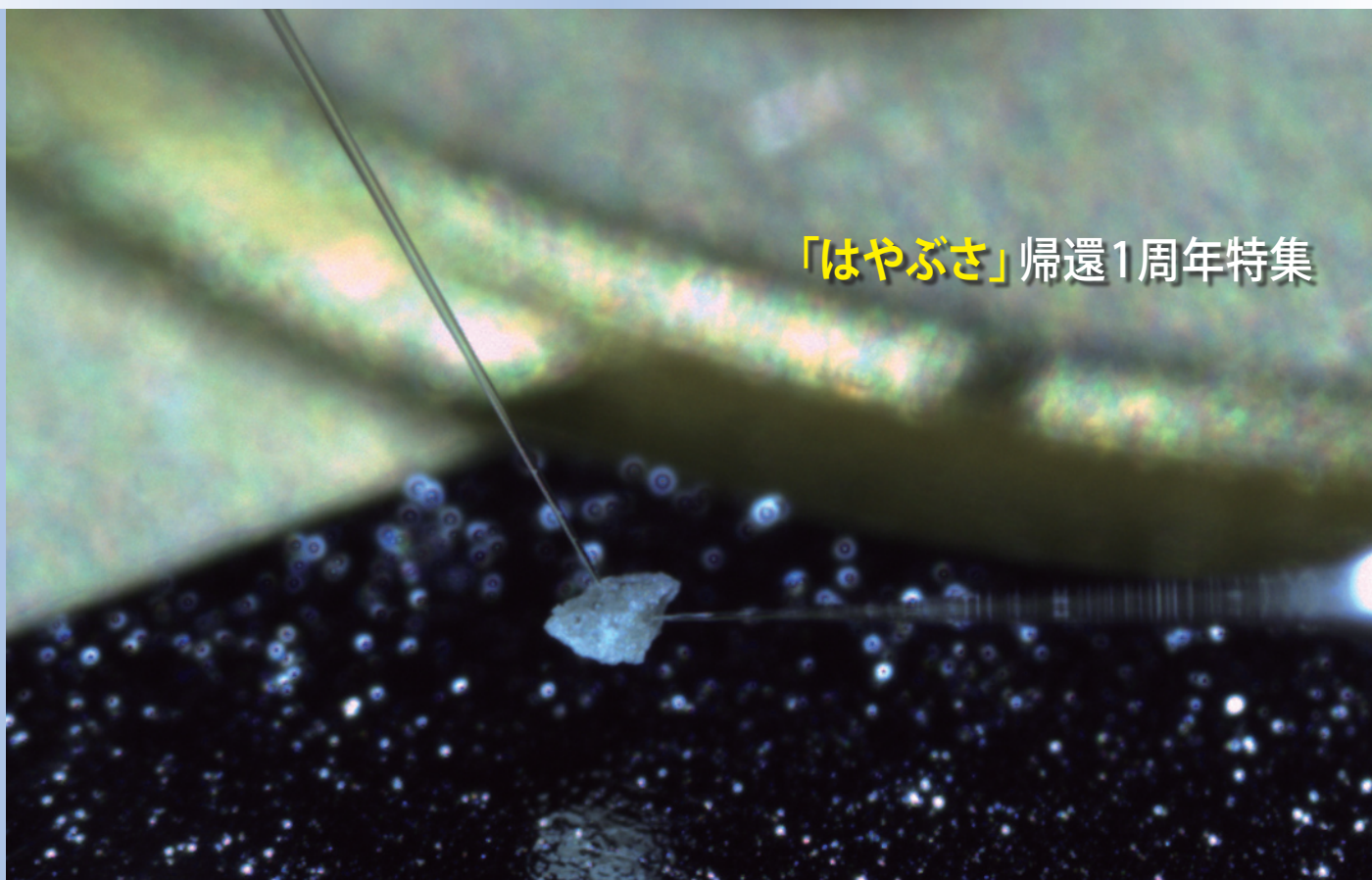




「はやぶさ」帰還1周年特集

宇宙科学最前線

イトカワの砂

小惑星探査機「はやぶさ」のサンプルキャッチャーに入っていた多結晶の比較的大きな粒子（300 μ m）を左右2本のプローブ（別々の極性と電圧）で持ち上げて移動している様子

藤村彰夫

月・惑星探査プログラムグループ 開発室 参与
宇宙科学研究所 基盤技術グループ 参与

はじめに

2010年6月に小惑星探査機「はやぶさ」が帰還しました。11月になって持ち帰った岩石質の微粒子が小惑星イトカワ由来と分かり、大変に注目され、また意気も上がりました。これはサンプルキャッチャーと呼ばれる帰還したサンプル容器の内側を特殊なヘラで触って集めた約3300個のうち、人工物（主としてアルミ片）を除いた約1500個の岩石質極微小粒子（大部分が10 μ m [マイクロメートル, 1 μ m=1mmの1000分の1] 以下) の組成を調べて分かったことです(図1におおよその鉱物組成比を示す)。ヘラで集めたものは、1粒が1ng (ナノグラム, 1ng=1gの10億分の1) 以下と非常に小さな粒子なの

で、統計的な特徴を調べるには適していても、それぞれについて詳細に調べるには小さ過ぎるくらいがあります。そのため、マニピュレータという特殊な装置を使ってもう少し大きな粒子(数十 μ m)をサンプルキャッチャーから回収し、それらを使った初期分析が始まりました。

初期分析は「はやぶさ」サンプルの特徴の記載を目的とするので、その内容は打上げ前から議論され、担当の研究者や機関は複数回の国際的な事前評価を経て日本国内から選定されています。国内で実施される初期分析には外国の研究者も参加しています。初期分析用サンプルの配布は2011年1月下旬から開始され、分析結果の一部は3月の月惑星科学会議(アメリカ・ヒューストン)と5月の日本地球惑星科学連合

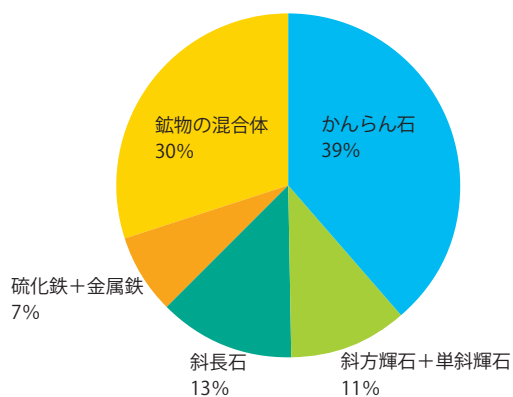


図1 サンプルキャッチャーから採取された岩石質極微小粒子の鉱物組成比

大会(幕張)で報告されました。分析は、現在も実施中です。

現在までに、粒子の表面や内部の詳細構造情報、元素組成や鉱物組成からの情報、希ガスや酸素などの同位体組成からの情報、さらに宇宙風化など地球外物質特有の特徴などから、サンプルが地球外物質であることのさらなる確証が得られ、S型小惑星イトカワ表面で起きている現象、また普通コンドライト隕石との関係などが明らかになりつつあります。まだ時期は未定ですが、NASAへのサンプルの配分や国際的に公募研究を募集するなど、さらなる分析へ向け、準備をしています。

以下に、これらの分析に供せられる固体微粒子の回収と、それに伴う状況について述べます。

サンプル微粒子の回収

サンプルの状況は当初予想していたより量が少なく、またサイズは極めて微細なものでした。サンプルキャッチャーの蓋を開け、代わりに透明な合成石英製蓋を取り付け、それを透過して見た内部の様子を、図2に示します。これはキャッチャー内に2部屋あるうちA室と呼ばれる側で、下側にB室があります。A室にもB室にも肉眼ではサンプルらしきものは認められませんでした。このサンプルキャッチャーの内部を顕微鏡で観察しつつ、クリーンチャンバーのグローブを介しての回収作業が行われます。

肉眼で識別できる粒子がほとんどない状況であるため、ピンセットでサンプルをつまむなど

のすぐ思い付く方法は使えません。また微量の微細粒子であるため、キャッチャー容器に静電気で貼り付いて簡単には取り出せません。サンプル粒子に接触することによる汚染を減らし、力学的に破損することなく、また、紛失することが極力ないように扱う必要があります。サンプル粒子は地球大気などによる汚染を防止するため、清浄な窒素で満たされたクリーンチャンバー内で回収されます。

それらを意識してサンプル粒子の回収で最初に試行したことは、帰還したサンプルキャッチャー内部の壁面に付着した粒子を静電制御したマニピュレータプローブで直接取り出すことでした。図3にその様子を示します。サンプルキャッチャー室内で人工物とは違う岩石質らしい粒子を複数個見つけたときの様子が、図3左です。A室とB室を隔てている仕切り板の隙間に、比較的大きな複数の粒子が静電気で貼り付いています。このような粒子の発見により、サンプルキャッチャー内に天然の多数の粒子が存在すると信念を持って探索に当たることができるようになり、精神的には楽になりましたが、それが分かるまでに帰還後2ヶ月強を要しました。

図3右では丸で囲んだところに大きな粒子があり、電圧をかけたプローブでそれをピックアップしている状況を示しています。図でも分かるように、視認性の悪さがこのサンプルキャッチャーからの直接回収法のネックです(針のように見えるのは影で、実際の針はその左下側にうっすらと見える)。これは、サンプルキャッチャーの表面の粗さと粒子サイズの関係、照明光の方向がキャッチャーの奥深くでは制限されていることと、2方向からの顕微鏡視野が確保できずに3次元的情報が限られているためです。影を見て高さを推察したり、高い電圧をかけた

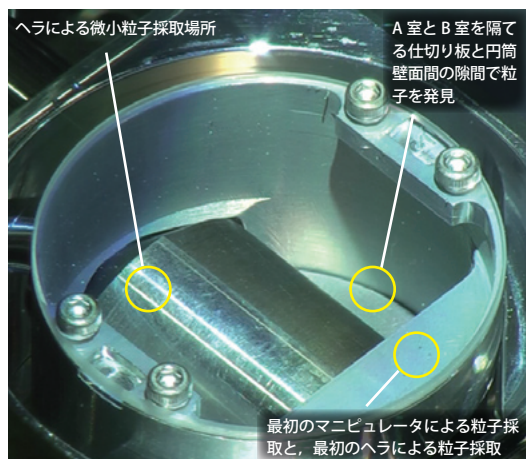


図2 サンプルキャッチャーA室内の状況

裸眼レベルで見えるものは、ほぼない。B室も同様。微小粒子ハンドリング用の静電制御マニピュレータによる直接回収とテフロン製ヘラによる間接採取を実施。開口部直径48mm。

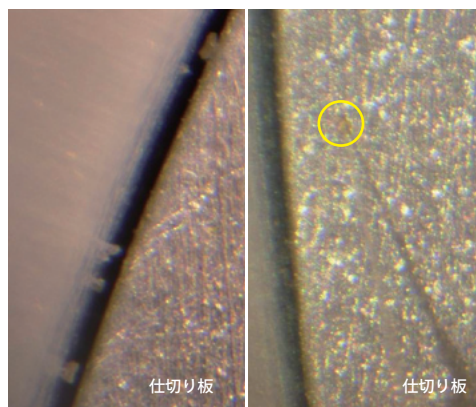


図3 サンプルキャッチャーA室からの粒子回収

左:A室側から見たB室との境界(隙間)に粒子が認められる。右:石英ガラス製プローブ(先端径 $0.1\mu\text{m}$ 以下)で粒子(丸印)をピックアップしている様子。内部電極へ電圧印加し、粒子を静電的にハンドリングする。仕切り板上での粒子発見には熟練を要するが、発見できればピックアップは可能。

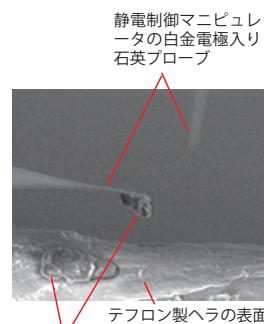


図4 走査電子顕微鏡(SEM)内静電制御マニピュレータによる粒子ピックアップ

静電制御マニピュレータの白金電極入り石英プローブ
テフロン製ヘラの表面

プローブをキャッチャー表面ぎりぎりでスキャンして表面で動く粒子を見つけたりするなど特殊な技も編み出しましたが、効率が悪いので、今では別の回収方法を採用しています。

大きな粒子があるからには、小さな粒子はより多数存在します。この極微小粒子の採取をテフロン製ヘラで行いました。別形状のヘラは事前に準備してあったのですが、それはサンプルキャッチャー壁面にべったりと付着したサンプルをかき出すのに適した形状のものであり、そのままでは走査電子顕微鏡（SEM）観察に供することができませんでした。そこで新規に複数のヘラ、SEM試料台、それらの保管容器などを製作し、このヘラでサンプルを採取し、SEM観察・分析を行ってイトカワ由来であるとの結果を出すことができました※。このヘラに付着した極微小粒子のサイズは大部分が10 μm以下であり、クリーンチャンバーに設置してある光学顕微鏡での識別は困難なので、光学顕微鏡像を見ながら操作するマニピュレータではヘラ上のサンプル回収ができません。そのため、SEM内部に新たに開発したマニピュレータを取り付け、これら極微小粒子を回収できるようにしました。図4に、SEMに組み込んだマニピュレータでテスト用粒子をピックアップしている様子を示します。この方法によりヘラなどで採取した極微小粒子も回収できるようになりましたが、SEM内部での粒子の回収にはかなりの時間を要します。それはSEM内でマニピュレータが3次元的に動作するのに、SEM観察像が1方向からのものしか得られないために操作を慎重に行う必要があるためです。

今は、サンプルキャッチャーをひっくり返し、振動を与えてキャッチャーから落下した粒子を石英蓋に受け、その石英蓋からマニピュレータでピックアップする方法で粒子の回収を実施しています。この方法でA室とB室から落下した粒子は、人工物も含めてそれぞれ数百粒程度です。フラットな石英蓋上では粒子の認識が容易であり、2方向から顕微鏡を使うことで3次元的な情報を得ながらマニピュレータの操作ができ、照明の状況も良好なため、より安全で効率的な回収ができます。また、必要な場合には紫外線ランプやPo-210アルファ線源による除電も可能です。

最近の回収処理は、石英蓋から粒子をピックアップしてSEM試料台に移動し、観察と分析を行って人工物の除外や簡単なカテゴリー分けを実施した後、マニピュレータで保管用の石英板に移動して保管するという手順を踏んでい

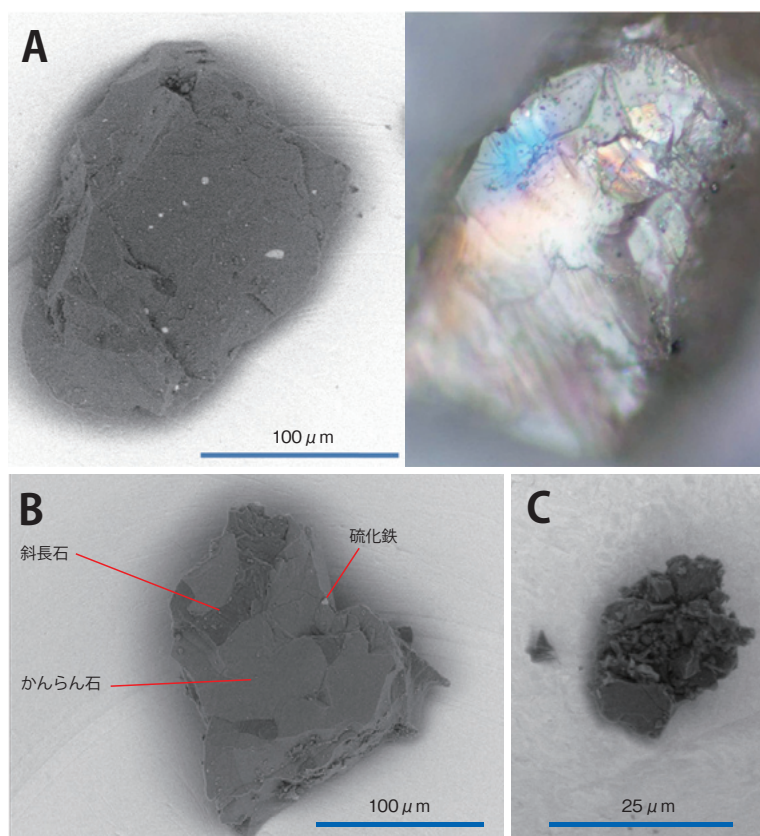


図5 岩石質粒子の例

A：左は、10keV、60Pa窒素雰囲気低真空モード（無蒸着）での走査電子顕微鏡（SEM）の反射電子像。右は、同じ試料の光学顕微鏡写真（姿勢は異なる）。B：表面に多数の微細粒子が付着している。C：多数の粒子が隙間を持って合体しているように見える。

ます。地球環境での汚染を防止するため、すべての操作は高純度窒素雰囲気クリーンチャンバー内で行い、SEMとの行き来に使う試料台容器は雰囲気遮断され内部は高純度窒素雰囲気です。サンプルの汚染を防止するためSEM観察も無蒸着で行われ、高純度窒素による低真空モードでの観察・分析を行っています。

サンプル粒子の形態

光学顕微鏡像でピックアップした粒子のサイズは、10 μm弱から約300 μmまでで、下限は設置した光学顕微鏡分解能（数μm）で決まっています。小さな粒子サンプルの場合は、マニピュレータプローブに印加する電圧を変えることでプローブに静電気力でくっつけたり放したりを制御して比較的容易にハンドリングできますが、粒子が大きくなると重力の影響が出てきます。現在までに持ち上げ移動した大粒子は約300 μmで、通常1本の静電制御プローブで操作するのに対して、2本の静電制御プローブを使う場面もありました（表紙）。石英蓋からピックアップするときに光学顕微鏡による観察は実施していますが、大きな粒子を除くと、分解能との兼ね合いから粒子の構造の詳細は識別できません。

分析に供する前の個々の粒子サンプルの形態情報はキュレーション設備のSEM観察結果から得られます。SEM観察の結果、粒子は滑らか

※マニピュレータによる固体粒子試料回収の試行やヘラによるサンプル採取と観察・分析などは、中村智樹准教授（東北大学）、野口高明教授（茨城大学）、岡崎隆司助教（九州大学）とキュレーションスタッフで行いました。

な表面を持つものや、単結晶の破片と思われるもの、多結晶粒子(図5A, B)、多数の粒子が隙間を持って合体したような形態のもの(図5C)、極微小粒子の集合体、また周囲に微細な粒子をまとった粗粒のものなど、多様な形態があります。図5Aの例では、SEMの反射電子像ではのっぺりしていますが、光学顕微鏡で見ると多数の粒子の集合体であることが明確です。図5Bの例では、SEMの反射電子像で異なる組成の鉱物の集合体であることが明らかです。大きなひびのあるものや複雑な形のため非常に壊れやすいものも多数ありますし、マニピュレータの静電気プローブで持ち上げを試みただけで複数の粒子に分裂する場合があります。またSEM観察中に帯電により分裂することもあります。

地球の泥岩、砂岩、れき岩などの堆積岩は、もともと泥や砂やれきだったものが押し固まってできています。これとは別に火成岩は火山な

どの火成作用が関係してできています。さらにそれらが地下の温度や圧力で変成岩へと変化します。これらの堆積岩、火成岩、変成岩も再び砕ければ、泥や砂やれきになります。さて、“イトカワの砂”という表現は言い得て妙だと思いますが、私たちがSEM観察で見ているイトカワサンプル粒子は、どの段階のサンプルなのでしょう。今後、地球の堆積岩のように凝結・固結して隕石に固まる過程があるのでしょうか、それとも、今回の微粒子は隕石のようにいったん固まった岩石の破片なのでしょう。

非常に小さな微粒子ですが、イトカワサンプルはこの例のような問題も含めたたくさんの問いに答えるべく、非常に豊富な情報を携えています。このような材料が入手できた今、これらをどう読み解くかが、我々人類の今後の楽しい課題です。

(ふじむら・あきお)

ISAS 事情

「はやぶさ」が映画に

近ごろ相模原キャンパスでは、「本番!」「カット!」と、気合のこもった声が響きます。すでにご存知の方もいらっしゃると思いますが、「はやぶさ」が20世紀フォックス、東映、松竹の3社によってそれぞれ映画化されることになりました。主に週末、俳優さんを含む大規模な撮影隊が相模原キャンパスに来ています。4月初旬には、世界に1本しかない宇宙研の桜の満開を狙って、三つどもえの撮影合戦となりました。現在の各作品の状況は下記の通りです。

- ・20世紀フォックス『はやぶさ／HAYABUSA』:
すでに撮影終了。今年10月1日公開
- ・東映『はやぶさ—遥かなる帰還—』(仮):
撮影は佳境。来年公開
- ・松竹『おかえり、はやぶさ』(仮):
撮影は6月開始予定。来年3月公開

それぞれの映画の特徴を簡潔に紹介すると、プロジェクトメンバーや資料映像の忠実な再現にこだわりスーパーリアリティを目指す20世紀フォックス、プロジェクトの偉業を芸術的に表現するこだわりの東映、3D映像と想像力豊かなキャラクター設定で新たな「はやぶさ」ストーリーを創出する松竹、となるでしょうか。

20世紀フォックスは、撮影終了を間近に控えた5月23

日、相模原キャンパスで『はやぶさ／HAYABUSA』製作報告記者会見を行いました。会場には80名以上の報道陣が集まり、注目度の高さをあらためて感じました。記者会見には出演者、製作サイドの方々と肩を並べ、「はやぶさ」イオンエンジン開発責任者の國中均教授が出席し、記者からの熱い質問に答えました。

一方、東宝は人気漫画の『宇宙兄弟』の実写映画化を発表しています。邦画メジャー3社とハリウッドが日本の宇宙映画を製作中という、すごい事態になっています。

まだまだ撮影は続きます。キャンパス内の皆さまにはご不便をおかけしますが、異例中の異例の事態です。温かく見守ってくださいますようお願い申し上げます。「はやぶさ」映画の興行成績いかんでは、この騒ぎはまだ続くかも? (高木俊暢)



初公開

「はやぶさ」にまつわる裏話

小惑星探査機「はやぶさ」が地球に帰還して、はや1年になります。開発に7年、惑星間飛行で7年の歳月をかけて、見事、小惑星のサンプルを回収した「はやぶさ」。その栄誉を祝して、スタッフから寄せられたエピソードや『ISASニュース』編集委員会独自の取材による裏話など、「はやぶさ」にまつわる話をお届けします。初めて披露するエピソードに、「はやぶさ」への思いをはせていただければと思います。

開発中



1本のピン

サンプルを採取する装置(サンプラー)は、多数の可動部からなるメカニズムの塊です。可動部の多くは、ばね力によって動作させます。したがって、やり直しが利きません。しかも、カプセル分離まで含めると、可動部を8段階にわたって順次確実に作動させる必要があります。

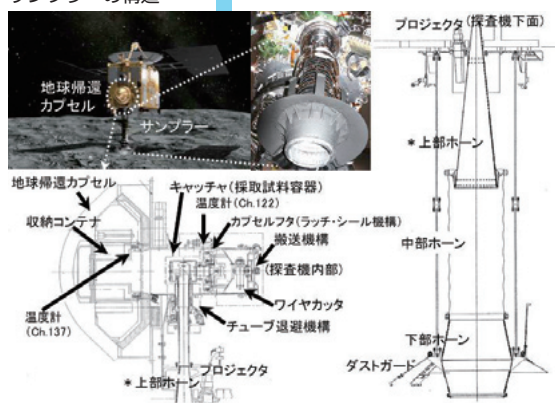
可動部のどれかが正常に機能しなかった場合には、次の動作に進むことができず、カプセル分離までの信頼性は等比数列的に低下します。そこで、万一どこ

かの動作が正常に機能しなかったとしても、できるだけ次の動作に進めるように考慮しました。

その一つが、キャッチャーと呼ばれるサンプル収納部の機構に使っている引き込みピンです。実は、メーカーとの打ち合わせ時に、重大なことに気が付きました。ピンが1本引き込まれないだけで、キャッチャーが搬送されず、回収カプセルの蓋が閉まらず、カプセルの大気圏突入時の熱防御ができなくなることに。そこで、ピンの作動にかかわらずカプセルの蓋閉めまで可能となるように工夫をしました。小さな機構部ですが、この機構を設計変更するためにメーカーとの打ち合わせは深夜に及びました。

たかがピン1本ですが、「はやぶさ」のサンプラーではリスク最小化を念頭に置き、結果的には、すべての機構動作が首尾よく動いてくれました。設計から製造、運用に至るまでの全関係者の熱意の賜物であったことはいまでもありません。(樋口 健)

サンプラーの構造



ターゲットマーカに搭載された写真

88万人の名前を載せたターゲットマーカ(TM)が、先に小惑星イトカワに着地し、「はやぶさ」を導く灯台の役割をしたことは、皆さんご存知でしょう。TMは、「はやぶさ」がタッチダウンを行う際、小惑星の自転による横速度をキャンセルするために開発されました。構想の初めの段階では電波源を考えていまし

たが、模様が入ったゴム円盤、布でつくったお手玉と変遷を経て、最終的にアルミ球になりました。アルミの球に「つ」が4本付いていることは、ご存知ですか? 1本は探査機に保持するためですが、そのほかはTMが小惑星表面を転がっていくのを防ぐためのものです。

TMは全部で3個搭載し、最大3回のサンプル採取を行う計画でした。その1個に88万人の名前を刻んだフィルムを搭載しましたが、



別の1個にはスタッフの写真を載せました。2002年7月、探査機の総合試験の真っ最中に、朝夕の打ち合わせを行う会議室で撮影したものです。皆さん若いですね。チームの思いを乗せたTMは、リハーサルで投下し、TMの分離および視認性の確認という大役を見事果たしました。今は、イトカワと一緒に太陽のまわりを回っています。(編集委員取材)

内之浦に半径150mのドーム？

2001年3月、レーザ高度計(LIDAR)が長距離の測定ができることを確認するために、ロケット発射場のある鹿児島県内之浦にて、試作モデルを用いて試験を行いました。LIDARは新精測レーダのある建屋に設置して、KSドーム(観測ロケットの発射場)や20mアンテナを計測ターゲットにしました。まずは建物の周辺で測定してみると、表示は150m。「そんなものかな」と別の場所を狙ってみると、やはり150m。「何かおかしい」と空に向かって発射してみると、150m。「う～む……」。

検出器直後のアンプの波形を直接見てみると、確かに150mのところに信号が……。まるで、半径150mの見えないドームに囲まれた気分でした。



ビデオカメラで受信したLIDARの光

原因はエアロゾル。送信光の視野と受信光の視野が重なる150m付近にある空気中の微粒子の散乱を拾ってしまったために起こった現象でした。このときは数百mまでをマスクするようにロジックを変更して、無事20mアンテナまでの距離を測ることができましたが、大気中での実験の難しさを実感した一幕でした。

ところで、LIDARの光は波長1064nmの遠赤外光のため私たちの目には見えないので、何か問題が起きると「本当に光が来ているのか？」と疑いたくなります。そこで、橋本樹明先生にKSドームの前で赤外線モードにしたビデオを構えてもらい(もちろんレーザ防御ゴーグルを付けています)、そこを的にレーザを照射して発光を確認することにしました。写真は、橋本先生が航法誘導のまとめ役として体を張って得た証拠、LIDARからの光です。その後、LIDARは熱真空動作に不具合を抱えましたが、担当メーカーの粘り強い努力と多くの方々のご協力により、無事イトカワとの距離測定の大役を果たすことができました。(水野貴秀)

報われたアライメントの苦勞

レーザ高度計(LIDAR)のビーム幅と赤外分光計(NIRS)の視野は、それぞれ0.1度程度しかないで、レーザ光のイトカワ表面からの反射光をNIRSで測定して波長校正をするためには、両装置の取り付け方向(アライメント)を精密に合わせる必要がありました。しかしLIDARの開発が遅れていたため、相模原から探査機を搬出する前にアライメントを合わせるチャンスがなく、内之浦の射場に到着してからのおぼつかない本番になってしまいました。

当然ながら一度で合うはずもなく、現地ですれを測定した後に、突貫でスペーサーを製作して合わせ込む必要がありました。何度も調整しましたがなかなか合わず、打上げの直前に、これでアライメントが合わなくても出来高のアライ

メントを享受して打ち上げるのか、それとも打上げを延ばすのかという選択を迫られました。といっても、打上げ延期の選択は許されないことだったと思います。

奇跡と申しましょうか、ロケット搭載直前のラストチャンスのアライメント測定で目標値内に収まっていることが分かったときは、本当に感激でした。打上げまでの限られた時間の中でも最後まで諦めない関係者の気持ちがかない、何日も居残りで作業をしてもらった皆さんとともに大いに喜びました。

そのおかげで予定通りの波長校正ができたのですが、もう一つの副産物がありました。リアクションホイールが2台故障したため小惑星指向中の姿勢がふらつき、NIRSのマッピング観測用のデータの多くはイトカワ方向を向いていないものでした。これでは、貴重な通信回線を無駄に

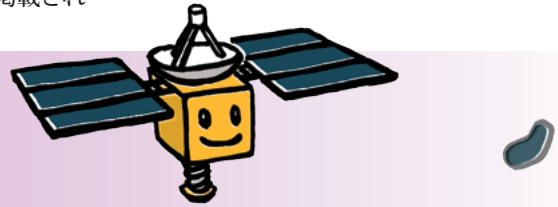
使ってしまいます。LIDARの測距有効・無効フラグを使うことで、LIDARがイトカワの方向を向いている時刻のデータだけを選んでダウンリンクすることができました。きちんと同じ方向に合わせておいたおかげです。

NIRSの観測結果は、『Science』誌に掲載され

るなどの大きな科学成果を挙げるとともに、回収された微粒子がイトカワの物質であることの決め手にもなりました。このように「はやぶさ」では神懸かり的なことがたくさん起こっています。

(安部正真)

運用中



ホワイトボード導入の理由？

「はやぶさ」の運用では、管制室に置かれたホワイトボードに運用予定や実績を記載していく方式を取っていましたが、実はこの方式、ある事件をきっかけに採用されたのです。それまでは、ほかの衛星運用と同様に、あらかじめつくった手順書を関係者に配り、運用に変更があった場合はその都度手順書を変更し、運用終了時にスーパバイザが運用結果を日報にまとめる、ということをしていました。

ところが、2004年10月、イオンエンジンの運転中に緊

急のエンジン調整運用が入った際、姿勢制御の順番に混乱があり、結果的に正しくない方向へエンジンの加速をしてしまうというミスがありました。幸い、早期に気が付いたので大事には至らなかったのですが。再発防止策を検討しました。「手順を変更する際にはミーティングを開いて……」というのが正論ですが、緊急時には間に合わない。そこで、今日はどういう運用予定で、どこをどう変更したかが一目で分かるように、管制卓横のホワイトボードに書いていくことにしたのです。電子的に記録できるボードを導入し、運用記録としても残す。単純な方法ですが、このボード、運用最後の日である2010年6月13日まで活躍したそうな。案外、確実なのはローテクなのですね。

(編集委員取材)



運用風景

「Uさんに代わってくれ」

2005年11月8日、第2回目のイトカワへの降下練習を翌日に控え、その日は準備運用をしていました。ちょうど着陸降下を開始する時刻は日本の臼田局から「はやぶさ」は見えないので、NASAのDSN(深宇宙ネットワーク)局を使っていたのですが、通信ネットワーク障害で、探査機からのデータが相模原まで送られてきませんでした。ようやく回線がつながって探査機の状態を確認すると、降下速度が予定よりも速く、このままでは危険であったので、運用を任されていた私は「降下中止」を指示しました。急ぎ

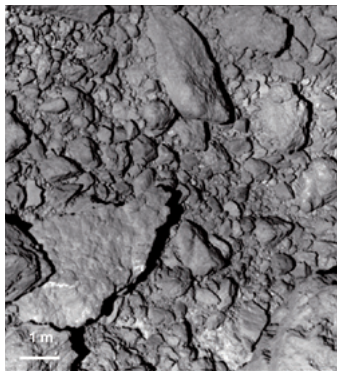
川口プロマネに電話連絡したところ、「状況は分かるが、明日降下練習をしないと、もうタイムリミットの11月末まで日がない。何としても再開せよ」とのこと。「しかし、速度誤差が大きいのでは」と譲らない私に対して、「Uさんに電話を代わってくれ」とのご指示。電話で会談が行われている間に、ちょうど位置・速度が計画値に近くなりました。ということで、降下再開。翌日の低高度運用で貴重なデータが得られ、その後の本番2回のタッチダウンが実施できた次第です。プロマネの諦めない熱意と「はやぶさ」の強運を物語るエピソードの一つです。

(橋本樹明)

けがの功名！

2005年11月19日、1回目のタッチダウン時に、「はやぶさ」は高度を徐々に下げて、サンプル採

取地点に向かっていました。降下中に小惑星表面の詳細な画像を取得するために、「はやぶさ」に撮像時刻をあらかじめ教えていました。探査機に搭載した望遠カメラは、高度50mくらいで



小惑星イトカワ表面の
最接近詳細画像

ピンぼけになるので、余裕を持って100mくらいで最接近の画像を撮像するように時刻を設定していました。ところが、「はやぶさ」は、私の計算より速く降下していたのです。撮影設定時刻よりだいぶ前に高度100mを通過したため、私は冷や汗をかきながら見守っていました。「はやぶさ」からのデータが刻々と届くたびに、「時間よ、もっと速く進め」と祈っていたわけです。実際の撮影時刻の高度は約60m。幸いにもピン

ぼけにならず、予定より倍の鮮明な画像を取得でき、科学的に価値のある1枚を取得できました。当時、科学者には、「ぎりぎりを狙って最高の画像が撮れました」と自慢した記憶がありますが、真相は上記の通りです。実はさらに、2回目のタッチダウン時に高度15mにて広角カメラでイトカワ表面の撮像に成功。画像をデータレコーダに記録したのですが、探査機の電源がオフになったため幻の1枚となってしまいました。皆さまにお披露目できず、とても残念です。

(久保田 孝)

「はやぶさ」が小惑星に激突!

イトカワは、想定していたサイズより小さく、いびつな形状であったため、ピンポイント着陸手法の練習をする必要がありました。そのため、2005年11月8日から9日にかけて、航法誘導試験を実施しました。その試験の最中の出来事。

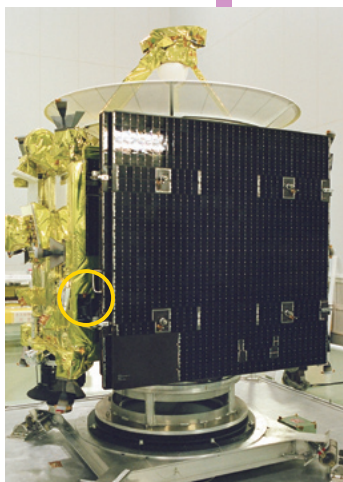
「はやぶさ」からのデータ受信が一時中断され、復活したデータを見て、びっくり。小惑星までの距離が計画より小さかったのです。小惑星は、小さいといえども近づくとそれなりに重力があり、接近速度が予定より大きくなっていました。そのままでは小惑星にぶつかるので、急いで離脱コマンドを用意しました。そのとき、シス

テム担当者が青い顔で、「今から離脱コマンドを送信しても、『はやぶさ』に届くのに16分かかり、間に合わない」と発言。その場にいたスタッフはみな言葉が出なかったそうです。翌日の朝刊の一面に載った『「はやぶさ」小惑星に激突!』という大見出しが脳裏にちらついた人もいたとか。

ところが突然、「はやぶさ」がジェットを噴いて上昇。実は、何らかの原因で通信できなくなる場合を想定して、「はやぶさ」に低高度になったらジェットを噴射して戻ってきなさいと教えてあったのです。そのことをみんな忘れていたのですね。忘れなかった「はやぶさ」に感謝。自律機能の大切さを再認識した一幕でした。

(編集委員取材)

横っちょを向いたカメラ



「はやぶさ」には2台の広角カメラ(ONC-W)が搭載されています。ONC-W1は下面に取り付けられ、イトカワへの接近・着陸に活躍しました。一方、ONC-W2は横を向いています。その役目は、イトカワの横に回り込み昼夜の境界領域を観測するために使用すること(リアクションホイールが故障したことにより、この観測は中止)と、スタートラッカ(星

「はやぶさ」に取り付けられた広角カメラ(ONC-W2) (丸印)

姿勢計)が故障したときのバックアップ(スタートラッカは地球帰還まで故障しなかった)でしたが、どちらも出番はありませんでした。しかし、想定外の二つの目的に使われました。

一つは有名な地球帰還時の「最後の地球撮像」、もう一つは第1回タッチダウンからの復帰です。「はやぶさ」はイトカワから斜め方向に緊急離脱したため、ONC-W1の視野から外れてしまい、イトカワがどちらの方向にあるのか分からなくなってしまいました。そのとき、ONC-W2の視野にイトカワが映ったのです。おかげで、数日後には第2回のタッチダウンに挑戦することができました。正面は向いていないけれど、予定外の運用になくはならないカメラでした。

(編集委員取材)

運用英会話レッスン

「はやぶさ」では、24時間体制の運用が必要になることがありました。そんなときは、NASA

のDSN(深宇宙ネットワーク)と呼ばれる追跡局を使って運用するのですが、当然ながらNASA側との会話は英語になります。しかもその英語、通常会話では使われない単語があったり、会

話を始めるときの順番など、ルールがたくさんあります。それまでの衛星では、DSN局を使う必要がある重要イベント時には専門家の山田隆弘先生にこの役をすべてお願いしていたのですが、イトカワ周辺の運用など、長期にわたる場合は毎日お願いするわけにもいかないので、運用スーパーバイザが兼任することになりました。その結果、NASA担当者から「会話の順番が違うぞ」と怒られたり、トラブルがあって緊急対応が必要になると意思の疎通がなかなかうまくいかなかったりということが起こり、山田先生に運用英会話レッスンをお願いすることにしました。以下に、運用特殊単語の例を記します。

DSS63, ISAS : ISAS (宇宙研) から DSS63 (マ

ドリッド追跡局) へ

Five Five : 通信良好 (音量も5, 品質も5で良好であるという意味)

Copy that : 了解しました

Affirmative : そうです

Negative : 違います

Green signal : 追跡局の準備完了 (相模原からコマンドを送信してよい)

しかし、なかなか使いこなせないスーパーバイザに見かねた山田先生は、「大事なときは私がやります」と言ってくださり、2010年の地球帰還前の軌道微調整時には1週間家に帰らず、運用室で寝起きされることになりました!

(編集委員取材)

運命の電話番号との出会い

帰路の運用に大きな不安を抱えつつ、帰還に向けてイオンエンジンの運転再開を間近に控えていた2007年の4月、私は新たなJAXA携帯電話を支給されました。新しい電話番号を覚えるのは大変難しいことです。中でも、自分自身の番号は連絡先に自ら記入する以外に使用することはめったにない番号ですし、特に50歳を超えた私にとっては、とりわけ厄介なものでした。電話番号を記憶するために、語呂合わせをする方は多いことでしょう。私もそうです。どうせ付けるなら、せめて自分自身に前向きというか、ポジティブな語呂を探そうとしていました。かくして、私が付けたその電話番号への語呂は、

あつぱ 天晴れ、2010年に、万歳

でした (この電話番号は現在使われていませんので、念のため)。2010年とは、いうまでもなく「はやぶさ」の帰還予定の年。そこで万歳をしよう。一つの電話番号への出会いではありましたが、その後の3年間、私自身の小さな心の

支えの一つになりました。

去年、2010年の4月、JAXAの電話はIP電話に切り替わり、職員個人に新しい電話番号が割り振られることになりました。このときもまた、別な電話番号を覚えることになって厄介だなと思いました。同じように、自身にプラスになる語呂を考え始めると、運命とでもいうのでしょうか、不思議といましようか、次のような語呂に出会ったのです。

おう、これだ。

未知のサンプルに、良い見込み

(この電話番号も現在は使われておりませんので、念のため)。まだ帰還前とはいえ、帰還させればイトカワ起源のサンプルに出会えるはず。帰還に向けてのラストスパート、そして何としても帰そうと、自らを励ます、運命の電話番号に出会えたと思います。

たかが電話番号ですが、自らの努力、ふんばりをもたらす内面の力は、自身を奮い立たせる暗示から始まるのかもしれませんが。陰での小さな出会いに感謝しています。(川口淳一郎)

帰還



地球帰還日： ウェブカメラに映らなかった裏側

2010年6月13日、帰還日。緊迫したカプセル分離運用の裏で、運用完了を祝うサプライズの計画が進行していました。秘書さんや非番の

スーパーバイザの皆さんが、「はやぶさ」をかたどったケーキを準備していました。運ぶにはイトカワを印刷したプレートが大き過ぎたことに気づき、急いでサイズを変更。何とか運用終了直後にケーキを出すことができました。

このような裏番組が進行していたとは知らず、



運用終了直後から広報対応に走り回っていたH氏は、午前2時過ぎにやっと一段

運用完了を祝った「はやぶさ」ケーキ

落して運用室に戻り、ロールケーキの切れ端を発見。ミッション成功祝いがロールケーキとは珍しいな、と思いつつ食べたそうです。それがイオンエンジンの一つだったとは、この『ISASニュース』で初めて知ることでしょう。

(編集委員取材)

研究者が苦手なこと

宇宙運用中にあっては、イオンエンジン関連だけでもたくさんの問題や課題に直面した。それぞれの局面はどれも困難であったけれど、決して心が折れたり、行動力が減退したりすることなどなく、いつも前向きに事に当たっていた。イオンエンジンなど宇宙技術のことなら、太陽系の彼方であっても必ず直せるという自信が心のどこかにあったからだと思う。

しかし、夜中に目が覚めてしまい、ガタガタと震えるくらい、精神的に圧迫されたことがあった。担当者の楽観的な見積もり積算をうのみにして、精査することなくそのまま予算請求していたものだから、いざ実施となって蓋を開けると甚だしい予算不足に陥っていたの

だ。このままでは、カプセル回収の準備がまったく滞ってしまう。出費を圧縮する技術的な対策だけでは、まったくちがいがわからない。ここは予算増を求めるしか方法はないのであるが、私はその手法や手練手管をまったく知らず、ただただ狼狽するだけであった。それを解決したのは月・惑星探査プログラムグループ(JSPEC)事業推進室だった。当初は甘い予算請求の瑕疵を厳しく詰問されたけれど、結局は手ごわいJAXA経営企画部を相手に粘り強く交渉し、これを解決してくれた。

宇宙開発は、科学や技術だけで成り立っているわけではなく、組織のルールと整合させる活動も重要であることを深く勉強させてもらった。

(國中 均)

方探班と回収本部との連絡

「はやぶさ」カプセルのビーコン電波による方向探査において、砂漠の4ヶ所に展開している方探局とその情報を取りまとめる回収本部との連絡は、衛星電話を介して行っていました。この連携は回収運用の中でも肝で、相模原でも、オーストラリアに行った後でも、何度も練習をしました。

練習では、各方探局にシナリオ(方位の情報とイベントのタイムテーブル)を配って、それに従って方探局の連絡担当が本部に情報を伝達し、本部ではそれを取りまとめてカプセル位置を時々刻々推定するというやり方を取りました。

イベントの中には、衛星電話が途切れるのを模擬してわざと電話を切るという項目も入れてあり、突然切れる電話と途絶える情報に対して、本部がどのように対応するのかをテストするの

が狙いでした。しかし、いざ、実際に衛星電話を使って練習をしてみると、シナリオに書いていないタイミングで電話が途絶えることが頻発。本部では、必要な情報が足りず、位置も特定できなくなり混乱してしまうこともありました。練習問題をつくった私は、「これは方探局がアドリブで本部を試しているに違いない」と思ったのですが、後で確認してみると、アドリブではなく衛星電話はよく切れることが分かりました。練習としては適切だったのですが、さすがに本番でたびたび回線が通じないと困ります。結局、方探の現場の連絡担当は2種類の衛星電話を同時にかけ続けるという、やり手のビジネスマンも驚きの状態で連絡を続け、常に本部に正確な情報を送ってくれました。ちなみに、本部連絡担当の一人の感想は、「本番が一番簡単だったね。これだったらもう1回やってもいいよ」とのこと。何事も練習が大事ということです。(山田和彦)

みんなでつくったパブリックビューイング

とうとう、その日はやって来しました。「はやぶさ」の帰還と一緒に迎えようと相模原キャ

ンパスに続々押し寄せる「はやぶさ」ファンの皆さん。「はやぶさ」実物大模型が展示されたロビーは人であふれ返っています。パブリックビューイングの会場は、ロビーの宇宙

教育テレビの特設スタジオと入札室、さらに急きょ、会議室を一つ使って開設。会場では、管制室の様子を固定カメラでライブ中継し、音声のない分、ブログやツイッターを駆使して状況を知らせます。宇宙教育テレビの実況番組には関係者の解説も入り、刻々とそのときを迎える準備を進めています。

私は、ライブ中継を会場につなごうと必死。

また、宇宙教育テレビを入札室でも見られるようにしようとしたのですが、長いケーブルがないことが判明。近くの電器店に走り手に入れるも、結局数m足りず



パブリックビューイングの会場の様子

断念。業務外なのに心配して駆け付けてくれたネット関係者やスタッフの手を借りつつ、接続に焦りまくっているうちに、皆さんがぞろぞろ会場へ。なんと、手いっぱいスタッフの代わりに、「そろそろ並んだ方がいいのではないですか？」と自主的に並び、整然と入場してくださったのです。

中継が始まってからも、不手際で文句を言う方もなく、装置の不具合にはアドバイスをくださり、会場は不思議な一体感に包まれていました。カプセル切り離し、成功！最後の通信完了！アクセス数が多くて更新できなくなったツイッターの代わりに、広報スタッフが会場に赴き直接解説。そして、オーストラリアからのライブ中継……。感動の渦が静まった後、なんと黙々といすを片付けてくれたのも来場された方々でした。

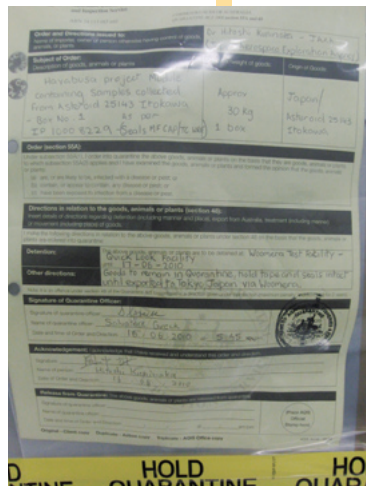
こんな熱い仲間をつくってくれた「はやぶさ」、ありがとう。
(周東三和子)

宇宙検疫証明書！

オーストラリアに着陸したカプセルをどうやって日本に持ち帰るか、これも難しい課題でした。担当者は、いざとなれば、旅行かばんにカプセルを押し込んで携行品で帰国する

くらいの意気込みだったそうですが、もちろん、それでは法律にそぐいません。カプセルのオーストラリアへの着陸は日本発宇宙経由の輸出で、カプセルの日本への持ち込みはオーストラリアからの輸入となります。前例のない誰もが尻込みするような難しい調整を、月・惑星探査プログラムグループ(JSPEC)事業推進室が中心となって、関係所轄官庁に足しげく通い、地道に説明し理解を求め、解決したと

オーストラリア政府が発行した、カプセルとイトカワ試料の検疫証明書！



のことです。関連して下記の情報も入手しました。

輸入手続きでの大きな問題の一つは、オーストラリアと日本両国の税関や検疫を通過しなくてはならないことです。検疫審査が厳しいことで有名なオーストラリア政府は今回、ウーメラ基地に検疫官を派遣し、回収から科学計測、輸送準備作業のすべてに立ち会いました。最後に発行された検疫証明書には、物品名は「小惑星25143イトカワから採取された試料を収納したはやぶさプロジェクト用モジュール」(この時点で小惑星物質の存在は未確認でしたが)、原産国名は「日本／小惑星イトカワ」と書かれています！「2010年6月16日」の日付とともに、検疫官と日本代表の國中均教授が署名しています。『アンドロメダ病原体』のようなSF小説ではない本当の話。史上類いまれな公文書として、将来どこかの博物館で展示されるかも。
(編集委員取材)

カプセル回収・輸送で使われなかった道具たち

当初の予定を3年超えて稼働させた地球帰還カプセル。実際は、火工品が無事働き、パラシュートも開いて安全に着地し、想定した最短時間かつ理想的な状態で回収できました。しかし、回収隊の科学・輸送班が持参した大量の道

具、現地に設置した初期観察作業室(QLF)内の機能、事前の作業リハーサルのほとんどは、実はカプセルが壊れたときのあらゆるケースを想定して準備されていました。例えば、写真の左上から右下へ向かって、QLF用航空コンテナ群、理想状態時のカプセル回収用道具一式、非常時のカプセル固定治具、土壌試料の採取、飛散した破片位置測定の実習、ウーメラ基地安全



カプセル回収の非常事態用の道具や現地リハーサルの様子

管理官から手ほどきを受けた滅菌スプレーなど……。幸い使わずに済んだ道具や練習も、次回

のサンプルリターン計画への貴重な教訓となったことでしょう。
(矢野 創)

カプセルの番人

昨年7月、JAXA相模原キャンパスから公開が始まった「はやぶさカプセル」を、もうご覧いただけたでしょうか。カプセルくんたちは、皆さんにその勇姿を見てもらうため展示ケースに収まっていますが、その固定方法は実に繊細なことをご存知ですか？



カプセル展示の様子

帰還したカプセルくんは、新しくねじ穴を開けることなく、「はやぶさ」に搭載されたときと同じ状態で展示台に固定されています。固定に使われている一番細いねじ穴は約2mm。この細いねじ穴を通し

てカプセルくんは展示台とつながり、日本各地を巡る輸送に耐え頑張っています。

展示を終えるとカプセルくんは輸送車両に載せられ、振動は厳禁のため、牛車に揺られる平安時代のお姫様さながらにゆっくり、次の展示会場へ向かいます。目的地へたどり着いたカプセルくんは、細心の注意をもって会場内へ搬入されます。運んでくれているのは、かつて打上げ前の「はやぶさ」を内之浦まで運んでくださった輸送のベテランさんたちです。会場に着くと、今度は主催者の方々が昼夜問わずカプセルくんの温度や湿度をチェックしてくれます。

たくさんの人の手が加わり、このカプセル巡回展示が成り立っています。多くの皆さんに安全にご覧いただけるように。そんなことも心に留めて宇宙から帰還したカプセルくんたちの姿をぜひご覧いただければと思います。

(小甲由美)

天頂に達した「はやぶさ」、天聴に達す

大気圏に再突入した「はやぶさ」



「はやぶさ」の大気圏再突入を間近で見ていると、上から降りてくるというより、ぐんぐん登って天頂に達するかのように見えたのは、論理的には当然のことながら感覚的には不思議な経験でした。そして、このときの様子は天聴にも達することになりました。

昨年12月23日、天皇誕生日の記者会

見で陛下は「さかなクン」だけでなく「はやぶさくん」についても触れ、「まことに喜ばしい今年の快挙で、帰還を果たしたことに深い感動を覚えました」と述べられました。また皇后陛下は、次のように詠まれました。

その帰路に己れを焼きし「はやぶさ」の
光輝かに明かるかりしと

一方、不肖上杉、今年正月に宮中へ和歌（お題は「葉」）を詠進することとなり、恥ずかしながら、

満天の星空貫きて葉叢越え
赤き大地に隼舞い降りぬ

と詠みました。下手な歌ですが、「満天」と「満点」、「隼」と「淳」が掛詞になっていることに気付いていただければ幸いです。（上杉邦憲）

探索記

ウーメラ

「はやぶさ」帰還。あれからもう1年もたつのですね。カプセル回収には、いろいろな思い出があります。高校からラグビーを始め、夏合宿でコーチにしがれるたびに「これは乗り切れん」と思いましたが、合宿を終えると「やればできるもんだ」と感じていました。似たような感覚に、登った山は振り返ると低く感じることもあるかと思います。今から思えば、カプセル回収についても同じ感覚を抱いています。

「はやぶさ」は“研究”として誕生しましたが、最後は“研究”を飛び越して、いろいろな意味で日本最大規模の“プロジェクト”として、帰還のときを迎えました。技術的に世界初めては当然ですが、技術以外のプロジェクト支援業務も初めてのこと

ばかりでした。思い出深い作業としては、ウーメラの土壌輸入対応があります。

「はやぶさ」のカプセルが、パラシュートが開いて着陸できた場合は問題ありませんが、パラシュートが開かずカプセルが地面へ激突して破損してしまうケースを想定しておく必要がありました。その場合、サンプルは地球の大気やウーメラの土壌に汚染される

可能性があります。小惑星のサンプル回収は千載一遇のチャンスなので、そのような場合でも壊れたカプセルからイトカワのサンプルを取り出し、分析するための方法や手順を検討していました。その一環として、イトカワのサンプルとウーメラの土壌を識別するために、ウーメラの土壌を日本へ輸入する必要があります。当初、プロジェクト側から聞いていた話では「ウーメラはれき砂漠で、日本へはれきしか持ち込まないので大丈夫（れきは輸入可能です）」とのことでしたが、ウーメラへ行ってみて、びっくりしました。れき砂漠のはずが、木や草が生えているのです。明らかに土壌でした。その出張帰りに「どうしよう」と悩んでいると、成田空港で検疫の看板が目に入りました。アポなしで飛び込み、「土壌を輸入したいのですが」と相談したところ、検疫官の目の色が変わり、「今持っているのか」と

詰問されてしまいました。将来輸入したいことを説明して、農林水産大臣の事前許可を得れば輸入できることが分かりましたので、そのように対応しました。

仕事から外れますが、ウーメラでの生活を少し紹介します。ウーメラは南オーストラリア州の州都アデレードから北へ600kmくらいのところにある、村民200人くらいの小さな村です。南オーストラリアはいろいろな面で独自の文化が発達しています。例えば、オーストラリアではラグビーが盛んですが、南オーストラリアでは日本のラグビーとは異なり、“オージーボール”と呼ばれる独自のスポーツとして進化しています。屈強な男たちがピチピチのタンクトップ姿でぶつかり合っているだけなので、見ていて気持ちの良いものではないですし、正直何が面白いのか分かりませんでした。

毎日、ウーメラのELDOホテルからレンジ・コントロール・センター（RCC）まで50kmくらいの道のりを車で通勤していたのですが、道の両側に水たまりがあり、野生のエミューがよく集まっていました。我々の車が来ると驚き、突然方向を変えて道を横切るので、運転には細心の注意が必要でした。

カプセルを無事に回収した後、ウーメラ村にある天体望遠鏡ドームで村民の皆さんと星を見る機会がありました。ウーメラの星空はすごく澄んでいて、天の川が手に届くようで、地球から星空へ落ちていってしまうような不思議な感じに襲われました。そのときふと、大宇宙から見れば、「はやぶさ」は近所のタバコ屋の角を曲がって帰ってきたくらいなのかもしれないな……、と思いました。人類は大航海時代を経て、航空機を手に入れ、地球上で行きたいところへ行けるようになりました。その挑戦へ駆り立てたのは、「より遠くへ行きたい」「もっと見てみたい」という純粋な欲求だったと思います。そういう意味で、人類が宇宙探査を行うことは必然なのかもしれません。今、日本は閉塞の時代にあって、日本中がもがいているように感じますが、そういうときこそ、気持ちを強く持ち、宇宙機関としての職務に邁進すべきなのではないでしょうか。

追伸：ウーメラ村に入ったとき、村唯一のスーパーに100本単位のワインがあったのですが、村を出るときには10本以下になっていました。どこに行ったのでしょうか？ きっと、多くのワインが日本（回収隊員の胃の中）へ輸出されたのでしょう。

（やまざき・ひでと）



カプセル回収を終えて。
どの顔にも安堵の表情が見える。

山崎秀人

月・惑星探査プログラムグループ 事業推進室

イプシロンロケット模擬射点音響環境計測試験

イプシロンロケットの開発試験もいよいよ本格化してきました。今回ご報告するイプシロンロケット模擬射点音響環境計測試験 (Scaled-model Measurement for Acoustic Prediction : SMAP) は、その先鞭となるものです。イプシロンロケットの射場は内之浦に決定しましたが、発射時の音響環境を従来に

比べて緩やかにするため、発射台 (射座・煙道) 形状は見直しをする計画です。そのため、M-Vロケットでの音響予測の知見を持つ宇宙研、数値流体力学 (CFD) 技術を駆使してH-IIA・H-IIBロケットなどの音響を予測してきた情報計算工学センター (JEDI) と協力し、低騒音発射台の設計と音響予測を実施してきました。

SMAPは、これまでの取り組みを踏まえた音響低減効果の確認とロケット設計に用いる音響条件の設定を目的として、1/42サイズのミニチュア発射台を製作し、同比率の小型モータを燃焼させて音響環境を計測する試験です。イプシロンロケットプロジェクトチームからの要請により固体モータ燃焼試験の経験豊富な宇宙研



ミニチュア発射台における
小型モータの燃焼試験の様子 (左上) と集合写真

を主体とし、加えて高度な音響計測技術を有する航空プログラムグループ (APG) にも協力いただき、まさに ALL-JAXA の実施体制となりました。ゆえに、筑波 (イプシロン)、相模原 (宇宙研, JEDI)、調布 (APG)、能代に散らばる職員間の情報共有、さらには震災の影響もあって準備が滞り、現地 (能代) 調整事項が多々

ありましたが、どんな困難な状況でも嫌な顔一つせず (むしろ楽しんで?) 柔軟に対応していただいた実験班の方々を頼もしく感じました。今回の SMAP 第1ステージ (SMAP-1) では、ミニチュアサイズであるこの試験が音響学的に適切に実施できていることを確認し、より確実に高精度な音響計測を実施するための課題が抽出され、大成功でした。現在、SMAP-2 (6月下旬から7月上旬に実施予定) に向けた準備を進めています。

最後にこの場をお借りして、宇宙研をはじめとした実験関係者各位に感謝するとともに、今後ともご支援のほどよろしくお願い致します。

(宇井恭一)

「はやぶさ2」、プロジェクトとして新たな挑戦へ

小惑星探査機「はやぶさ」後継機の「はやぶさ2」は、2011年5月1日より“プロジェクト”となりました。それまでは“プリプロジェクト”と呼ばれるプロジェクト準備段階でしたが、正式にJAXAのプロジェクトとなったわけです。これは、「はやぶさ2」に関わってきたメンバーにとっては非常にうれしいことであると同時に、一つの区切りともいえます。気持ちを引き締めて、作業を進めていきたいと思います。

プロジェクト化するに当たっては、メンバーの拡充を図っています。最近は何のプロジェクトも人手不足で十分なマンパワーの確保は難しく、「はやぶさ2」も例外ではありません。ですが、なるべく多くの人に関わってもらいたいという思いは強く、「はやぶさ」の経験者はもちろんのこと、若手もかなり登用したチーム編成となりました。これで、技術の継承もできるものと考えてい

ます。

今後はしばらく、設計の作業が続きます。設計というと、「はやぶさ2」の場合には「はやぶさ」と同じなのであまりやることがないのではないかと、と思われる方がいるかもしれません。確かに、設計の基本的な考え方は「はやぶさ」を踏襲するわけですが、実際には「はやぶさ」での不具合を直したり、すでに部品が存在しないものについて代替品を探したり、さらには新規の装置もあり、すべてが「はやぶさ」で経験済みということではありません。つまり、新規の探査機ほどではないにしても、かなりの作業が発生します。まさにその作業を、現在行っているところです。設計の作業が一通り終わると、それを審査する会合が持たれて、無事通過すればいよいよ製作が始まる、という段取りになります。

さて、これまでもずっと「はやぶさ2」と呼んできま

したが、プロジェクト名が正式に「はやぶさ2」となりました。プロジェクトは普通、コードネームとして、例えば「はやぶさ」ならMUSES-Cという名前が付けられていましたが、今回はコードネームに対応するものが「はやぶさ2」になります。これは、すでに多くの方

になじみの名前であるためです。つまり、「はやぶさ2」という名前はコードネーム相当ですから、打上げ前後に新たな名前が付く可能性はあります。地球帰還まで今から約10年。頑張っていきたいと思います。

(吉川 真)

国際宇宙ステーション「きぼう」における結晶成長実験 Hicari

「微小重力下におけるTLZ法による均一組成SiGe結晶育成の研究」(Hicari)が、国際宇宙ステーション(ISS)の日本実験棟「きぼう」搭載の温度勾配炉(GHF)を使用し開始される予定です。

Hicariは、対流の抑制される微小重力環境において、TLZ法(Traveling Liquidus Zone Method)による結晶成長の原理を検証する実験です。TLZはJAXAが開発した新しい方法で、今までは実現できていない、組成が均一な大型結晶作製への応用が可能だと考えられています。

写真は、実際に結晶実験で使用するカートリッジです。GHFに挿入し、最高温度約1200℃、温度勾配約10℃/cmに加熱します。カートリッジに仕込んだ出発原料は断面図に示すように、シリコン(Si)種結晶とSi原料の間にゲルマニウム(Ge)を挟んだ構成となっています。加熱していくと融点の低いGeが融けて熔融帯が形成されます。続いて、隣接するSi

が溶け込み、やがて飽和濃度に達します。カートリッジ内の温度分布でSiの濃度分布を制御します。これによりSi/Geの組成比を制御し、結晶成長が進む長軸方向に長い均一組成を実現するのがTLZ法です。今回は合計4本の実験を予定しており、1回目の結果を2～4回目に反映させてより高い均一な組成の結晶を作製し、TLZ原理の高精度の検証を目指します。

得られたデータは、地上で種々の大型結晶の育成に役立てる基礎となります。シリコンゲルマニウム(SiGe)は高速・低消費電力トランジスタ用基板材料として有望ですし、ほかにも出力の温度安定性に優れた半導体レーザ用と

して有望なインジウムガリウムヒ素(InGaAs)結晶への適用が考えられます。産業機器や光通信機器の高性能化、低電力化などが可能となり、産業界や社会のみならず、地球環境へも大きく貢献することが期待されます。

(木下恭一)



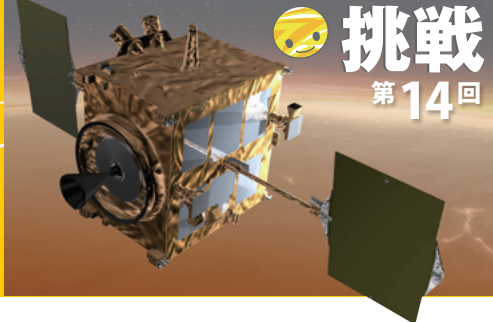
特別公開のお知らせ

日時：2011年7月29日(金)～30日(土)
両日ともに10:00～16:30
会場：宇宙航空研究開発機構
相模原キャンパス

節電のため建物内が非常に暑くなる可能性もございます。飲み物の持参など、十分な暑さ対策を各自でお願い致します。当日の電力事情により、開催時間と開催内容について変更または中止することがあります。詳細は宇宙科学研究所ホームページでご確認下さい。http://www.isas.jaxa.jp/

ロケット・衛星関係の作業スケジュール(6月・7月)

	6月	7月
S-520-26号機	噴合せ試験(相模原)	
大気球	平成23年度第1次気球実験(大樹町)	



雷・大気光カメラ (LAC) で金星雷の有無に決着をつける

北海道大学 大学院理学院 宇宙理学専攻 教授
高橋幸弘

雷放電研究は、地球の大気科学研究においても、決してメジャーとはいえない分野です。積乱雲は近年“ゲリラ豪雨”というセンセーショナルな命名も手伝ってか、多くの人の興味の対象となりつつありますが、その中で起こる雷放電や大気電流に関しては、必ずしも研究の重要性が広く認識されているわけではありません。それにもかかわらず、金星の気象観測衛星とも呼べる「あかつき」には、雷放電発光を観測することを目的の一つとしたセンサー、雷・大気光カメラ (Lightning and Airglow Camera: LAC) が搭載されているのはなぜでしょうか？

30年にも及ぶ金星雷論争

金星に雷放電があるかないかについては、実は30年にも及ぶ大論争が繰り広げられています。雷があるかないかなんて、もし人がその場において発光を見たり音を聞いたりすることができたら簡単に分かりそうですね。ところが、探査機に積んだ観測機器のデータから判断するのは、意外に難問なのです。

例えば、カメラや測光機などの光学観測器が短時間のパルス状発光を記録したとします。しかし、それを直ちに雷放光と断定することはできないのです。観測機器には、近傍の環境で発生した放電や、放射線、電気回路内で発生した何らかの電氣的なノイズが入り込む可能性がゼロではなく、たとえデータにパルスが見られても、それが雷から来たモノである確証は得にくいのです。

また、雷放電観測には電波もよく用いられます。雷雲が近づいたとき、カーラジオを付けているとパチパチとかザザーといったノイズが混ざることがあります。あれは雷から放射された電波を拾っているのです。金星でも雷放電に起因する電波を捉えたという報告があります。しかし、雷の否定派は、それらは宇宙空間のプラズマの不安定性が原因で生じたもので、雷放電とは無関係だと主張しています。同じデータを見てもまったく逆の結論に至ることがあるのです。そうかと思えば、著名な一人の研究者が、違う探査機のデータに基づき、雷がありそうだという論文と否定的な論文を、『Science』と『Nature』に別々に書いていたりします。本人に確かめたことがありますが、正直分からないということでした。彼にとっても謎の解明はライフワークなのです。

図1にアリゾナ大学が地上望遠鏡で捉えたとする金星の雷放電発光データを示します。比較的しっかりした観測だと思いますが、いかに地上からの観測なので、地球の雷放電の平均の100倍という、ものすごく大きな放電しか検出できないのが弱点です。そのためか発生

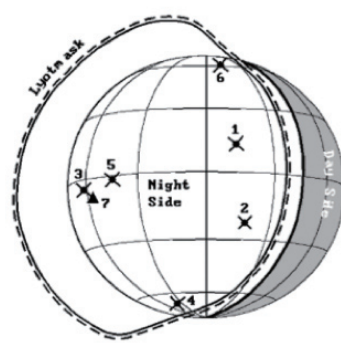
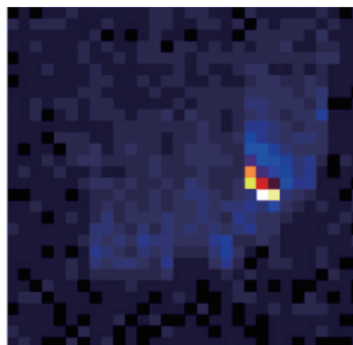


図1 アリゾナ大学の1.5m地上望遠鏡で捉えられた金星の雷放電発光とされる画像(左)と、4時間弱の間に発光が検出された場所の分布(右)。Hansell et al. (1995)より。

頻度が極端に低く、その後の検証にも成功していません。

さらに理論的な面でも、金星に雷放電をつくるのは簡単ではなさそうです。地球の雷放電のメカニズムも完全に理解されたわけではありませんが、“地球人的”常識では、固相の水(氷晶、あられ)と激しい上昇気流の存在が必要条件と考えられており、金星ではその両方が未確認です。しかし、地球とはまったく異なるメカニズムで電気が発生しているという説も提案されています。この長年のミステリーを解いてみたいというのが、私たちが「あかつき」にLACを搭載した大きな動機の一つです。

「あかつき」の作戦

では、どのようにすれば雷放電が起きている証拠をつかむことができるのでしょうか。決め手は、放電発光を高速で計測することだと考えました。地球の例を見ても、1回の放電(ストローク)は1ミリ秒以下という短時間ですが、その間にも電流は鋭く上昇し、ややゆっくり減少していきます。その様子は、明らかにノイズのパルスとは異なります。LACはカメラという名前が付いていますが、検出器は8×8画素しかなく、空間解像度はとても低いものです。しかし、データサンプル速度は各画素1秒間に3万回に達し、短時間の雷放電発光でも、その明るさの変化を捉えることが可能になっています。しかし、これほど高速で記録し続けるとデータ量は膨大になってしまいます。そこでLACは、自動で発光を検出し、発光している時間のデータだけを記録します。相手は未知の発光現象なのでどんな時間変動をするか予測できませんが、地球での観測経験をもとにあらゆるケースを想定したロジックが搭載されています。

こうした高度な瞬間発光の検出機能を持ち、惑星の夜面を一度に観測する衛星は、金星のみならず、地球を周回するものにも例がありません。「あかつき」は、惑星夜面全体の雷放電発光を監視する、太陽系で初めての衛星なのです。

(たかはし・ゆきひろ)



デブリ小史考察

八坂哲雄

九州大学 名誉教授
有限会社QPS研究所 取締役・研究所長

スペース・デブリは、今や子どもを含めて誰でもよく知っているものとなってきました。たしかに人工衛星とロケット上段、さらにはそれらの破片をプロットした図を見ると心配になるし、年とともに数が増えていると聞けば、古い衛星などはどう処理するの？と聞きたくもなります。

今から54年前に人工衛星が実現し、米ソが打上げを競っていた時代には、広い宇宙での衝突事故を心配する人はいませんでした。宇宙での衝突の危険性を初めて指摘したのは、宇宙研の長友信人先生でした。1971年の第9回宇宙技術および科学の国際シンポジウム (ISTS) で、松尾弘毅先生、上杉邦憲先生という豪華な共著者とともに発表した論文は、“Some Considerations on Utilization Control of the Near Earth Space in Future”と題したもので、当時2000個あった人工衛星同士の衝突確率の計算例を示し、将来的には人工衛星の数が増えるとともに宇宙ステーションなどの大型施設が出現することを見越して、スペース・トラフィック・コントロールの導入が必要であることを説いています。さらに、危険な物体を掃除すること、そして掃除のための回収船の能力仕様までを、この中で実にさりと述べています。学会や社会がこの問題にあまり興味を示さなかったことは残念ですが、そのころNASAでは宇宙ステーションとほかの物体との衝突の可能性を真剣に論議していたことが内部資料からうかがい知れます。

1981年には、米国航空宇宙学会 (AIAA) がデブリの問題を初めて公式に論じました。「デブリ」という言葉が公式文書に現れた最初ではないでしょうか。それ以来、NASA、ESAでは組織的な研究が始まり、国際宇宙会議 (IAC) などの国際会議にはデブリのセッションがつくられました。その中で、ロケット上段の軌道上爆発と軍事的な衛星破壊実験 (ASAT) がデブリを増やす二大要因であることが認識されました。

日本での組織的研究は1990年に航空宇宙

学会にデブリ研究会ができたときに始まり、関連機関、大学、企業の研究をまとめた報告書が発表されたのは1993年。この時期は宇宙機関間の調整を趣旨とする国際機関間スペースデブリ調整委員会 (IADC) が設立され、国際宇宙航行アカデミー (IAA) がデブリの方針書をまとめたころです。90年代は、デブリに対する意識が各国・各機関で共有され、デブリ増大に歯止めをかける技術方策が次々に実現した時期でした。また、喜ばしいことには、米ソ (露) の自主的な判断でASATが実施されなくなりました。

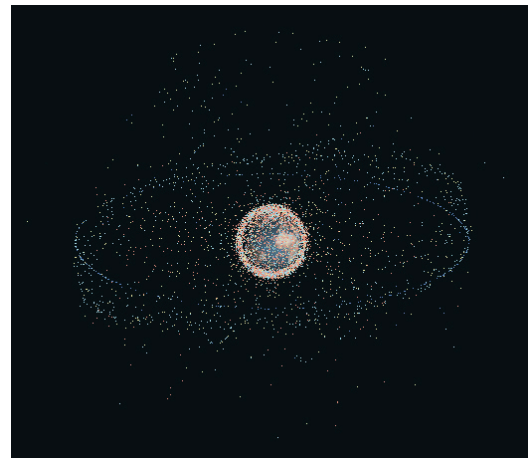
ところが、2007年に中国が突然ASATを行い、2500個ものデブリを一挙につくり出しています。続いて2009年には大型衛星同士が衝突し、1500個のデブリを放出しました。このように、21世紀の最初の10年間はデブリの大量発生に社会の注目が集まった時期といえます。

以上のように、10年ごとにデブリ問題を取り巻く環境が変化しています。実は、長友先生たちの先駆的な発表のちょうど10年前には、アメリカのエイブルスターロケットが衛星を切り離した直後に爆発しています。300個の新たなデブリをつくり出し、一瞬のうちに宇宙人工物体の数を3倍に増やしました。

有限会社QPS研究所：QPSはQ-shu Pioneers of Spaceを意味する。「九州発の小型人工衛星をつくらう」を合言葉に任意団体として活動してきたQPS (Q-shu Piggyback Satellite) 研究会の中から、九州大学の学生衛星プロジェクトQSATが本格化するのに対応して、活動の中核となる組織として2005年に設立。将来は小型衛星開発を企業化することを目指して、協力企業とともにQSATプロジェクトを支援している。

冷戦下にあったアメリカは当時公表しませんが、これが真のデブリ問題の始まりでした。では、長友論文からちょうど40年たった今、課題は何でしょうか。

この40年の間にデブリ生成のメカニズムは十分に解明され、防止の技術もほぼ出そろい、コスト的に可能な対策は実行されるようになりました。残されたいくつかの研究課題は継続しながらも、そろそろこの問題を終結に導く舞台がそろってきたと考えます。すなわち、軌道上爆発は抑制されてきたので、ASATが今後ないとすれば、今までのデブリのほとんどをつくり出してきた生成原因は消滅しました。今後は衝突によるデブリ生成が主流になります。まず、衛星のオペレーター間で技術情報を適切に融通する仕組みをつくれれば、稼働衛星同士の衝突は避けられます。稼働衛星と稼働していないものとの衝突は、相手の軌道が観測されている場合には回避できます。結局は、小さくて観測できないデブリが稼働衛星に衝突することと、デブリ同士が衝突することが残されたリスクとなります。最後のリスクを軽減するため、最もホットなテーマは大型デブリの除去です。デブリによるリスクを科学的に評価することを通し、そのリスク軽減のための投資として、大型デブリの除去が正当化されていくでしょう。今、40年前の長友論文の精神に立ち返るときとなりました。(やさか・てつお)



地球周辺の人工物体分布スナップショット
(作成：九州大学)

You can do it!

宇宙科学プログラム・オフィス 主任開発員

吉原圭介

—— 宇宙開発の仕事に就きたいと思ったのはいつごろですか。

吉原：小学生のころは宇宙飛行士に憧れていましたが、中学生になると、宇宙は遠い世界に感じるようになりました。文明論や歴史学に興味に移り、高校では文系クラスに進みました。ところが3年生の5月、日本史の授業を受けているときに、「やはり、宇宙に関わる仕事に就きたい」との思いが強く湧き上がり、その日のうちに「理系に替わります」と先生に言いました。

そして東京工業大学へ進学し、衛星設計コンテストに参加しました。それはとても興味深く、知的な刺激も多い活動でしたが、机上での設計にとどまるもので、ものづくりの面白さはありませんでした。私は、官庁か商社に就職して、社会のシステムやインフラを築くといった形で新しいものをつくり出す仕事に携わりたいと思うようになりました。

—— 再び宇宙を志したきっかけは何ですか。

吉原：修士課程1年生だった1998年、日米の学生が参加して共同の衛星プロジェクトを検討するシンポジウムがハワイで開かれました。その席上で突然、スタンフォード大学のボブ・トィグス教授がジュース缶を手にとって、「これを衛星にして打ち上げる」と言いました。設計しかやったことのない学生が、いきなり衛星などつくれるわけがない、と思ったのですが、トィグス教授は「You can do it!」と叫ぶんです。私たちはそれを「魔法の言葉」と呼んでいました。それでみんなの心に火が付いたのですが、やり始めてみたら「地獄」を見ることになりました(笑)。

—— どのような生活だったのですか。

吉原：寝袋を大学に持ち込んで、家に帰るのは週にせいぜい2日という状況が半年間続きました。時々遊びたくなくて遠出すると、チームの怖い後輩から、ものすごい回数のコールがありました。新幹線でコンピュータの回路図を描き起こし、駅に着くやFAXで大学に送るといったことも幾度となくありました。過酷な日々でしたが、みんな衛星づくりの面白さに取りつかれてしまったのでしょう。ふと気付くと、人生の充実した時間を共有した仲間の多くが、宇宙研に再び集まってきています。

—— 衛星づくりの魅力とは？

吉原：自分たちが長い時間をかけて苦労してつくったものが打ち上



よしはら・けいすけ。1975年、兵庫県生まれ。東京工業大学大学院理工学研究科機械物理工学専攻修士課程修了。2000年、宇宙開発事業団技術研究本部マイクロスペースシステム研究室。JAXA 研究開発本部宇宙実証研究共同センター、宇宙研ASTRO-Gプロジェクト、宇宙科学プログラム・システムズエンジニアリング室を経て、2011年4月より現職。

げられる瞬間、言葉にできない感覚を味わいます。その後、衛星が宇宙という厳しい環境でミッションを遂行できたときには、大きな達成感が得られます。私は卒業後、宇宙開発事

業団に就職し、自分たちで小型衛星を開発する部署に配属されました。2002年に打ち上げられた小型実証衛星「マイクロラブサット1号機」では、搭載コンピュータや姿勢制御系の設計と、衛星に組み込むソフトウェアを書きました。それは衛星の成否を握るものです。それまでは机上のシミュレーションでしか経験のなかった宇宙での姿勢制御が実際にうまくいった瞬間の感動は、今でも鮮やかに覚えています。一緒に担当した後輩と固い握手を交わしました。

—— 現在所属している宇宙科学プログラム・オフィスは、どのような役割を担う部署ですか。

吉原：宇宙研のプロジェクト全体を横断的に支援するために、今年4月にできた新しい部署です。各プロジェクトが成功に向けて集中できる環境を築くために、どのような支援が有効か、具体策を模索しているところです。いずれ、宇宙研のプロジェクトそのものにも最初から最後まで携わってみたいですね。宇宙研は自由なところで、びっくりするようなミッションのアイデアがたくさんあります。「正気なの？」と思うアイデアを出す人もいます(笑)。

—— そんな人から、「You can do it!」と言われたら？

吉原：やるしかないですね。自分でも新しいアイデアを温めていて、野心的な人たちと検討を進めています。

私たちが学生時代に始めた取り組みは「カンサット」と呼ばれ、打上げ高度は約4kmで宇宙までは行きません。その後、本当に宇宙まで打ち上げる一辺10cmの立方体の衛星「キューブサット」をつくる活動も始まりました。現在では、さまざまな大学や高専・高校の学生が「カンサット」や「キューブサット」に取り組んでいます。宇宙への数居は低くなり、かなり身近な世界になりました。「自分たちも宇宙へ挑戦したい」と若い人たちに刺激を与え、多くの人たちを元気づける。そんな皆さんを興奮に巻き込むプロジェクトを、ぜひ宇宙研で実現したいと思います。

ISAS ニュース No.363 2011.6 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

「はやぶさ」の関係者がノリノリで書いてくださった記事が特集になりました。帰還時にはどのテレビ局も実況生中継しなかったのに、いまや映画が何本もできるほど評価が一変しています。歴史は正直だなあ。(前田良知)

* 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

