



©JAXA/NHK

月周回衛星「かぐや」がハイビジョンカメラ（HDTV）によって撮影した「満地球の出」

## 宇宙科学最前線

# そら 宇宙に航路を拓く

川勝康弘

宇宙航行システム研究系 准教授

### 軌道を描く、ミッションを創る

月周回衛星「かぐや」や小惑星探査機「はやぶさ」のように、地球から遠く離れた天体に到達し、さまざまな新発見を我々のもとへ送り届けてくる深宇宙探査機は、宇宙科学の花形です。目的地まで打上げロケットに送り届けてもらえる地球周囲の衛星とは違って、深宇宙探査機は目標天体まで自分の力でたどり着く必要があります。地球を出発してから目標天体に到着するまでに（場合によっては再び地球に帰還するまでに）探査機が航行する経路を決めることは、その探査計画の第一歩になります。探査機が航行する経路のことを「軌道」と呼び、それを設定する作業を「軌道設計」と呼んでいます。その軌道設計が、私の仕事です。

軌道を設計すると、打上げ時期や、目標天体への到着時期、つまり探査計画の主要スケジュールが決まります。これは探査の実施を決定するに当たっての重要な情報になります。また、軌道を設計すると、打上げロケットに要求される打上げエネルギーや、目標天体に到着するまでに必要な推進薬量が決まります。これらは探査機の規模を決める重要な設計要素になります。また、軌道を設計すると、航行中の探査機と太陽・地球との距離、探査機から見た太陽・地球・目標天体との位置関係が決まります。これらは探査機の電力、熱、通信、機器配置について重要な設計条件を与えます。つまり、軌道設計とは、単に宇宙に線を描くというだけの作業ではなく、さまざまなことを考慮に入れて、探査計画・ミッションを創り

上げていく重要な作業なのです。このことから、軌道設計の作業は、しばしば「ミッション設計」とも呼ばれます。

## 軌道設計の限界, そして スイングバイ

何もない宇宙に探査機の軌道を描くのは、白いキャンバスに絵を描くように自由なこと、と思われるかもしれませんが、実はあまり自由度はないのです。

17世紀にケプラーが発見したように、太陽系を運動するほとんどの物体の軌道は、太陽を焦点の一つとする楕円を描きます。探査機も例外ではありません。人工の探査機が自然の天体と異なるのは、その速度を意図的に変えることで軌道を変更できる、という点です。例えば打上げ時、探査機は打上げロケットによって大きな速度を与えられます。これにより探査機は地球の公転軌道を離れ、目標天体に向かう軌道に投入されることになるわけです。もちろん、探査機に搭載した推進系を用いれば、好きなときに探査機の速度を変えて軌道を変更することができます。「はやぶさ」で使用されたイオンエンジンや、計画中のソーラーセイルなど、連続的に推進力を発生する探査機の場合もこれに当たります。

ところが、これらの方法により実現できる軌道変更は、とても限定的なのです。例えば、地球の公転速度は秒速約30 kmですが、これらの方法により実現できる速度の変更量(増速量と呼びます)は特別な場合を除けば、たかだか秒速数km程度なのです。つまり、例えていえば、太陽の重力場という強力な渦潮の中で、小さなオールしか持たない小舟を操るようなものなのです。先に「軌道設計にはあまり自由度がない」と書いたのは、そういう意味です。

ところが、実は、ここまででまだ触れていない軌道変更の方法があります。それが「スイングバイ」です。スイングバイとは、探査機が惑星(あるいは月)のそばを通るときに、惑星の重力により探査機の速度が変化することを利用して、軌道変更を行う手法です。スイングバイを用いることの最大の利点は、推進薬をほとんど消費することなしに、探査機の速度を大きく変更できることです。さらに、スイングバイ後に再度、同じあるいはほかの惑星に接近するような軌道を設定できれば、何回でもスイングバイを用いることができます。スイングバイを用いることにより、軌道設計の自由度は大きく広がります。一方、スイングバイを用いることの難点の一つは、スイングバイのために回り道をすることで、目標天体に到達するまでに要する時間

が延びる場合があるということです。もう一つ忘れてはならないのは、スイングバイを用いる軌道設計は難しい、という点です。目的に合わせてスイングバイの時期や条件を設定したり、必要に応じてほかの軌道変更方法と組み合わせることまで考慮に入れなければならないからです。日本では、1987年に「さきがけ」探査機が初めての地球スイングバイに成功しました。その後「ひてん」「GEOTAIL」「のぞみ」「はやぶさ」の探査機ミッションで、月・地球によるスイングバイに成功しました。実は、スイングバイについてこれだけの実績を持つ国は、日本を除けば米国しかありません。旧ソ連、ヨーロッパでもスイングバイを用いた実績はあまりないのです。スイングバイは、日本のお家芸といってもよい技術なのです。

## スイングバイいろいろ

スイングバイを用いたミッションとしては、米国のボイジャー計画が有名です。外惑星で次々にスイングバイを行い、最後には太陽系を脱出したボイジャー計画からは、「スイングバイは加速のために用いるもの」「スイングバイは惑星が特別な並び方をしている場合にしか使えないもの」という印象が強いかもしれません。しかし実際の軌道設計では、もっといろいろな目的で、もっといろいろな場面でスイングバイを使います。ここでは私の研究の中から、スイングバイを用いた軌道を3例ほど紹介したいと思います。

2007年9月に打ち上げられた「かぐや」は、その約3週間後、当初の計画通り月周回軌道に無事投入されました。その一方で、万が一の事態に備え、事前に入念な準備がなされていました。その一つが「メインエンジンを使用できなくなった場合の軌道」です。もしも何らかの理由でメインエンジンを使用できなくなった場合には、その代替として小型スラスタを使用する計画でしたが、その性能の違いから、小型スラスタの使用に合わせた大幅な軌道の変更が必要だったのです。図1が、このときに準備した軌道です(月到達前の周回軌道は省略しています)。この軌道のポイントは、小型スラスタで「かぐや」を月周回軌道に投入するために、「かぐや」が月に接近する速度をできるだけ小さくすることにあります。そのため、最初の月接近時には月をいったんやり過ごし、月スイングバイを用いて遠地点高度約100万kmに達する大きな軌道に「かぐや」を投入します。そして、太陽重力による摂動を上手に利用し、2回目の月接近時の接近速度を十分小さくしています。この太陽重力による摂動を利用する方法は「ひてん」や「のぞみ」の軌道でも用いられました。

太陽系の天体の多くは、地球の公転面(黄道面)とほぼ同じ面内を運動しています。したがって、これまでの深宇宙探査も、ごく一部の例外を除けば、ほぼ黄道面内に限られてきました。黄道面の外の環境や、そこから見る太陽系の姿は、我々にとって未知の領域です。そこで、黄道面から大きく傾いた軌道に探査機を送り込む軌道を考えました。そのような軌道に探査機を送り込むのは大変なことで、必要な増速量は秒速20kmを超えます。これを実現するために、打上げロケットの能力と、イオンエンジンによる増速を最大限に利用した軌道を創りました。図2は、だんだん傾斜角が大きくなっていく軌道を、ちょうど真横から見たものです。この軌道のポイントはイオンエンジンの増速能力を最大限に引き出すことにあり、その観点から各周回中の増速方向を設定しています。しかし、そのままでは獲得された速度が傾斜角の増加に寄与しないので、1年おきの地球スイングバイを用いて探査機の速度を適切な方向に変更しています。イオンエンジンにより効率よく獲得された速度を、スイングバイを用いて望みの方向に向けるという方法は、「はやぶさ」の軌道でも用いられました。

深宇宙探査においては、1回の打上げで複数の探査機を別々の目標天体に送るのは、容易ではありません。目標天体が異なれば、探査機の打上げ時期も、探査機を投入する軌道も異なるからです。昨今、当たり前のように「相乗り打上げ」が行われる地球周回の衛星と比べれば、これは深宇宙探査機に課された大きな制約といえます。図3は、この制約を緩和するために考えた軌道です。4機の探査機は同時に打ち上げられ、いったん、同一の軌道に投入されます。そして1年後に地球に接近するときのスイングバイ条件を個別に設定することで、スイングバイ後に4機の探査機を別々の軌道に投入します。4機の探査機は、1年のうちに別々の小惑星に次々とフライバイします。この軌道のポイントは、最初は同じ軌道にいる複数の探査機を別々の軌道に投入することにあります。地球スイングバイを用いることで、推進薬をほとんど消費することなしに、これを実現しています。もちろん、1回の地球スイングバイで探査機をばらまける範囲にも限界はありますから、目標天体を自由に選べるわけではありませんが、打上げ時に探査機を別々の軌道に投入するのと比べれば、選択肢はずっと広がります。

さて、「スイングバイ」という切り口で、いろいろな軌道を紹介してきました。限られた誌面の中で、宇宙科学の最前線を正確に、分かりやすく伝えるのは難しいことですが、「自由がない」と言いながら、結構楽しんでいる様子が伝わればと思い

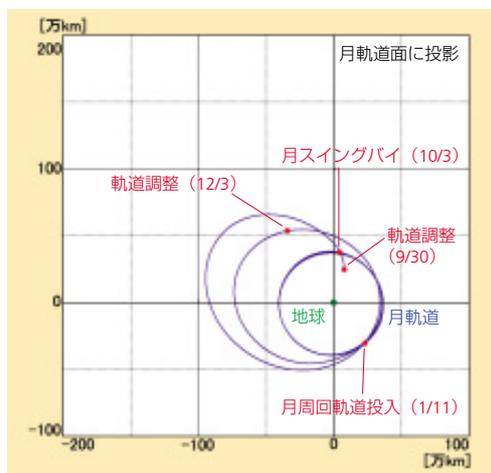


図1 メインエンジンを使用できない事態に備えて準備していた「かぐや」の軌道

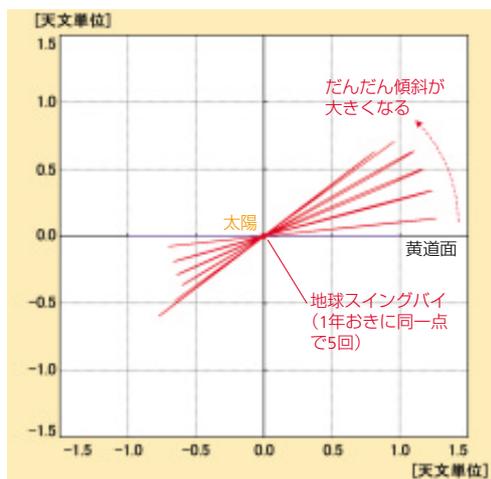


図2 黄道面から大きく傾いた軌道に探査機を送り込む軌道

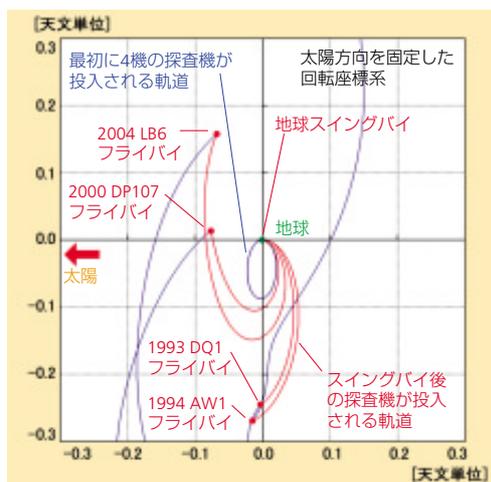


図3 1回の打上げで4機の探査機を別々の小惑星に送り込む軌道

ます。また、「描く」「創る」という言葉を用いてはいますが、軌道設計がひらめきに基づいた芸術ではなく、緻密な論理と物理に基づいた「技術」であることが伝わればと思います。

## おわりに

人類はこれまでたくさんの深宇宙探査機を打ち上げてきました。どのミッションでも、軌道設計・ミッション設計は重要な役割を果たしてきました。遠くない将来、もっともっとたくさんの探査機が、あるいは人を乗せた宇宙船が、宇宙を往来することになるでしょう。その時代、宇宙船が航行する軌道は「航路」と呼ばれるようになるでしょう。宇宙に航路を拓く、それが私の仕事です。

(かわかつ・やすひろ)

## 「かぐや」がとらえた新しい月の表情

月周回衛星「かぐや」は昨年(2007年)の12月の定常運用開始以降、順調に飛行を続けています。定常運用開始後の重要なイベントであった今年2月の月食運用も、NASA DSN(Deep Space Network: 深宇宙地上局ネットワーク)の支援を受けつつクリアしました。観測機器においては、一部で不具合調査を実施しているものの、すでに定常運用開始から4ヶ月余りがたち、月の3回以上の自転周期分に相当する観測データの収集・解析が進み、学会などでの初期成果の発表も始まっています。

定常運用開始後はほかの観測機器の運用との兼ね合いで機会が限定されているものの、ハイビジョンカメラ(HDTV)の撮像も実施しており、4月6日には満地球の出と入りを撮影、公開することができました(表紙参照)。今回は、太陽、地球、月および「かぐや」の軌道の兼ね合いで、「かぐや」から見る地球の出は、月の南極から、地球の南極が最初に出てくるものでした。また、真っ青な太平洋が真ん丸い地球に大きく広がっていたのをご覧いただけたと思います。9月には、月の北極から地球の北極が先に出てくる満地球が撮影できる機会が巡ってくるものと期待しています。

科学観測機器の広報画像の公開についても、観測機器チームの尽力により、データ解析研究作業の合間を縫って実施されています。「モスクワの海」の近くにある長岡半太郎博士の名前にちなんだナガオカクレータの地形カメラによる立体画像や、マルチバンドイメージャによるアポロ11号の着陸地点付近の画像などを、画像ギャラリーで公開させていただきました。加えて、4月になって、国立天文台、国土地理院が主体となって作成されたレーザ高度計データを用いた全球の月の地形図や、九州大学、国立天文台が主体となって解析さ

れたリレー衛星(おきな)を用いた重力異常のデータも公開させていただくことができました。

このような活動を続ける中で、SELENEプロジェクトチームとNHKハイビジョンチームは、2月20日に通信協会の第53回「前島賞」を受賞しました。また3月5日には、「かぐや」が日刊工業新聞社主催の第18回「読者が選ぶネーミング大賞」ビジネス部門の第2位に選ばれました。海外では、米国のAviation Week Laureate Award for Spaceを日本の宇宙プロジェクトとして初めて受賞しました。

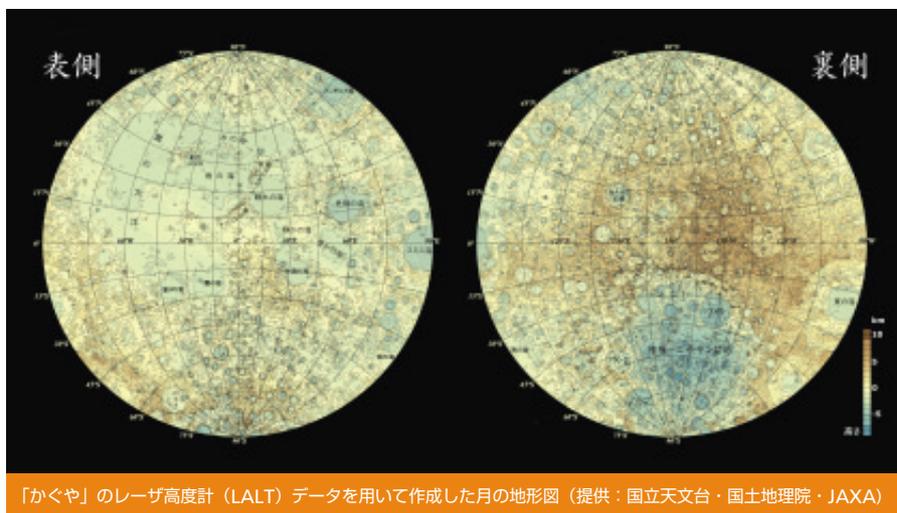
さらに、4月19日には、筑波宇宙センターでの平成20年度科学技術週間特別公開が実施され、「かぐや」コーナーでは、観測成果のパネルを解析研究の第一線で活躍している若手研究者が説明したり、「かぐや」が撮影した月の画像を使った記念撮影、月の模擬砂(レゴリス・シミュラント)を使用した陶芸家の作品展示などを行い、大盛況でした。調布キャンパスの特別公開においても、「かぐや」の上映を行い、黒山の人ばかりでした。「かぐや」に対する皆さまの関心の高さや責任の重さを、プロジェクトチームの一員としてあらためて感じたところです。

4月21日には、打上げから定常運用移行までの相模原キャンパスの運用室の撮影記録をドキュメンタリーとして編集した『遙かなる月へ 月周回衛星「かぐや」の軌跡』のホームページでの公開および教育機関、科学館などへのDVDやブルーレイディスクでの無償貸与開始を発表しました。5月には、皆さまの関心の高そうなハイビジョンの20動画に解説を付けたDVDやブルーレイについても、同様に教育機関、科学館などへ無償貸与をさせていただく予定です。これらについては、広く利用していただき、国民の皆さまに見ただけのように努力する

とともに、音楽を担当して下さった方々との協力イベントなども検討しているところです。

今後も定常運用、解析研究を続けるとともに、「かぐや」関係者による広報・普及活動やホームページを通じた最新情報の提供などを行っていく予定です。今後も引き続き「かぐや」への応援をお願い致します。

(祖父江真一)



## 第27回「宇宙科学講演と映画の会」開催報告

「発明の日」(4月18日)を含む1週間は「科学技術週間」です。今年は4月14日から20日までで、19日と20日には筑波キャンパスと調布キャンパスでそれぞれ一般公開が行われました。宇宙科学研究本部では、それに先立って4月12日に新宿明治安田生命ホールで「宇宙科学講演と映画の会」を開催しました。この催しは、講演と記録映像の上映を通じて第一線の研究者が宇宙科学研究の最新の成果を直接ご紹介し、参加者の皆さまからの質問にお答えしているもので、今年で27回を数えました。一般の講演会とはやや趣が違い、この日のために遠方からわざわざお越し下さる常連の方が少なくないようです。

4月12日は、日本では国分寺でのペンシルロケットの試射(1955年)、旧ソ連ではガガーリン宇宙飛行士による人類初の宇宙飛行(1961年)、そしてアメリカではスペースシャトルの初飛行(1981年)がなされた日に当たります。前日の4月11日は「ひてん」の月面衝突、つまり、旧ソ連とアメリカに次いで日本が世界で3番目に月に人工物を送った日で、今年は15周年という節目でもありました。「ひてん」を月に送り込んだ全段固体ロケットの名機M-3S は、その後M- で一つの完成を見、いまや次期固体ロケットへと進化しようとしています。また、「ひてん」で習得したスイングバイ技術は「はやぶさ」に活き、月周回軌道への投入技術は「かぐや」を成功へと導きました。こういった歴史を振り返るにつけ、一つの投資を理工学の共進化のためにバランスよく振り分けてきた先駆者たちの先見性を、若輩は思い知るのでした。

井上 一 宇宙科学研究本部長のあいさつの後、第一部では森田泰弘教授から、「固体ロケットの研究」に関する講演がありました。子どもたちに語り掛けるようなゆっくりとしたリズムで、しかし内容は熱く濃く、M-ロケット搭載カメラの映像を使った宇宙旅行体験や、能代での地上燃焼試験のド迫力映像を交えつつ、飛行機が飛び立つようにロケットが日常的に宇宙に飛び立つ時代を実現するための取り組みについて紹介されました。

休憩を挟んだ第二部では、「月の謎にせまる“かぐや”」と題して加藤學教授が講演を行いました。「かぐや」がとらえた月のハイビジョン映像の生解説は印象深いも



「宇宙科学講演と映画の会」質疑応答の様子

のでしたし、レーザ高度計による月面地形図など、科学ミッションのホットな初期成果も紹介されました。

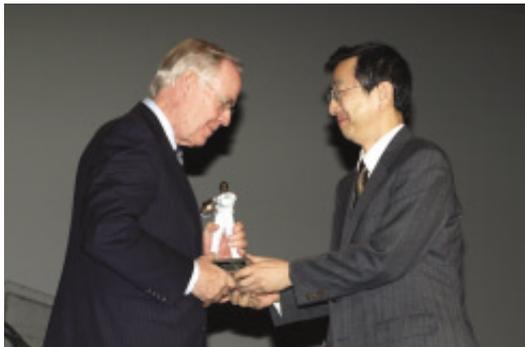
質問コーナーの内容は多岐にわたり、井上本部長に対応いただくこともしばしば。想定していなかったのは、『ISASニュース』の発行時期とペーパークラフトの次回作に関する質問でした。『ISASニュース』はそれほど遅れずに発行しているつもりですが、お手元に届くまでの経路についてもチェックしてみようと思います。ペーパークラフトも年1~2機のペースで準備していきたいと思います。

最後には『祈り~小惑星探査機「はやぶさ」の物語』の上映が30分。運用に携わっている人たちやそれを見守る人たちの願いがよく表現された、よい映画でした。CGや音楽も素晴らしかったと思います。暗かったこともあって会場の様子はにじんでよく見えませんでした。心なしか鼻をすすっている人の数も多かったようです。DVDの頒布もあるとのことなので、今回見逃した方や、何度も見たい、あるいは知り合いにも見せてあげたいという方には朗報かもしれません。

「はやぶさ」人気もあってか、ここどころ大勢の参加をいただいている「宇宙科学講演と映画の会」ですが、今年も部分参加を含めて425名の方にお越しいただきました。ロビーにあるモニターの前に補助席をかなりたくさん設けたのですが、そちらも満席となってしまい、ご不便をお掛けしましたことをお詫びします。実は来年も同じ会場を予定しているのですが、また満員になるようであればもう少し大きな会場を探します。来年は4月11日を予定しています。新宿明治安田生命ホールでまたお目にかかりましょう。(阪本成一)

## JAXAが米国宇宙財団より「ジャック・スワイガート賞」を受賞

4月7日、米国コロラド州コロラドスプリングスで開かれた宇宙財団(Space Foundation)主催の米国スペースシンポジウム(National Space Symposium)において、JAXAが、2008年の宇宙探査に対する「ジャック・スワイガート賞」(The 2008 Jack Swigert Award for Space Exploration)を受賞したので報告する。この賞は、アポロ13号のジャック・スワイガート宇宙飛行士を記念して、宇宙探査の分野で最も優れた業績を挙げた個人もしくは機関に授与されるもので、今回の受賞は、JAXAの先駆的宇宙探査機艦隊(JAXA's pioneering fleet of space exploration spacecraft)「すざく」「あかり」「ひので」「はやぶさ」「かぐや」の企画立案・開発・打上げ・運用を通じて探査の限界を押し広げた功績に対して贈られたものであった。今回、私がJAXAを代表して受賞の栄を賜らせていただいたが、JAXAの一員としても日本の宇宙科学コミュニティの一員としても、大変うれしいことであった。過去の受賞者には



JAXAを代表して「ジャック・スワイガート賞」を受ける井上本部長

NASAの火星探査チーム、ジョージ W.ブッシュ大統領、ジェット推進研究所、カリフォルニア工科大学天文観測プログラムが含まれ、今回、JAXAはアメリカ国外初の受賞者となった。この点でも、今回の受賞は、大変名誉なものであった。

宇宙財団は、1983年に設立された非営利団体(NPO)であるが、商活動、市民活動、政府

活動、防衛・国家安全活動といったさまざまな宇宙空間利用活動の情報を集約し、それらを宇宙活動の専門家から一般市民まで広く提供していく役割を担っている。今回のスペースシンポジウムには8000名もの参加者があり、また、展示には100を超える団体の参加があると聞いた。実際、企業からの参加や、教育などにかかわる民間の方や、政府関係や軍関係の人など、さまざまな種類・階層の人が一堂に会し、また、広い展示場でのさまざまな広報・宣伝・情報交換活動を見て、アメリカの宇宙開発活動の幅の広さ、層の厚さに強く印象付けられた。(井上一)

## SMILES国際ワークショップ開催報告

国際宇宙ステーション(ISS)の「きぼう」日本実験棟の船外実験プラットフォームに搭載される、超伝導サブミリ波リム放射サウンド(以下、SMILES)は、2009年夏期の宇宙ステーション補給機による打上げに向けて、現在、フライトコンポーネント開発をほぼ終了し、システムインテ



SMILES国際ワークショップ参加者の集合写真  
(3月18日、昼休みに会場ロビーにて)

グレーション・試験および地上データ処理系開発の最中である。一方で、内外の研究者との連携のもと、アルゴリズム研究・検証実験計画立案などを精力的に進めている。

2008年3月17~19日、京大会館(京都市左京区)において、SMILESによる、より高度な科学的成果の獲得を目指して、国際ワークショップを開催した。海外からの参加者8名を含む、54名の大気科学研究者の参加を得て、SMILES

の科学推進に関する意見交換・議論を行った。また、同時期に「きぼう」船外実験プラットフォームに搭載される米国の地球観測ミッションの日米研究チームや、次期搭載計画を推進する研究者グループの参加を得て、ISS利用の地球科学ミッションとしての共通の課題について、

情報共有を図り、議論を行った。

JAXAサイエンスチームからの現在の開発状況および成果に関する報告に引き続き、データ処理アルゴリズムの高度化、SMILESに期待される地球大気科学研究への貢献、データ利用の研究計画提案に関する議論を行った。また、Aura/MLS(米)、Odin(欧)、ILAS(日/国立環境研究所)など、先行する大気観測衛星や気球、地上からの大気観測

による成果、および共同検証実験をはじめとしたSMILESとの連携の可能性についての情報交換・調整を行った。

3月11日の「きぼう」船内保管室の打上げ(1J/A)の翌週の開催であったこともあり、長期間遅延してきた計画がい

よいよ1年余の後に迫っていること、そして、今も色あせないSMILES計画の科学的価値がコミュニティ研究者にあらためて認識されたことも、大きな意義の一つであった。

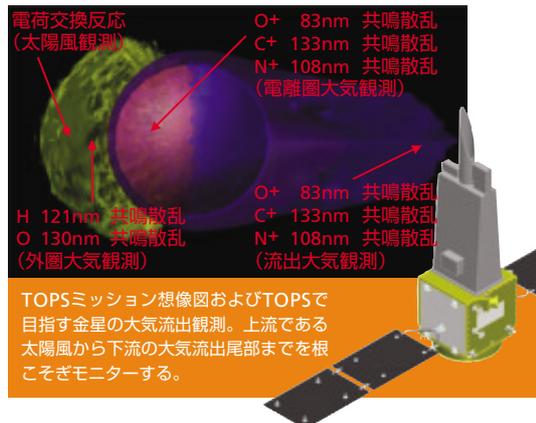
(高柳昌弘)

## 小型科学衛星シリーズ、およびその初号機計画「TOPS」

今年度から、小型科学衛星シリーズおよびその初号機「TOPSミッション」が本格的な開発に入るよう準備をしています。

小型科学衛星シリーズは挑戦的な取り組みであり、「小型」といっても、「れいめい」や大学衛星のような大型衛星の相乗りで打ち上げるマイクロ衛星ではありません。1990年代前半までの宇宙研を支えてきたM-3S ロケットクラスの衛星、すなわち“おまけで打たせてもらう”衛星ではなく、つい先年まで活躍した「ようこう」や「あすか」、今も現役の「あけぼの」クラスです。これを先進的な標準バスを用いて、大型化しつつある今の標準的な科学衛星の数分の1の予算でより迅速・柔軟に実現することが、本シリーズの目標です。別途、JAXA内で検討が進められている次期固体ロケットによる単独打上げを考えているため、打上げ時期や軌道は相乗り相手に左右されることがありません。小型科学衛星のおおののサイエンス目的に適した条件に設定できます。

標準バスに乗せるミッション部の開発を、JAXA以外が担うことも視野に入っています。このため、衛星開発時の試験・評価体制、ミッションプロジェクト管理などの点で、従来の枠を超えたマネジメントシステムの構築も必要となります。



標準バスは、国内各チームから提案された16の候補計画をすべて包含可能とすべく検討が進められてきました。昨年度にシステム設計をほぼ確定し、現在、正式なプロジェクト発足に向け、いわば最終段階まで来ています。

初号機のミッション部は惑星望遠鏡「TOPS」が選定されていますが、それは標準バスの

テストベンチの役割も担っています。「TOPS」は、軌道上からの画期的な惑星観測を目指し、限られたリソース範囲で最大成果を得るべく検討されてきました。その結果、東京大学や東北大学などが中心となり、宇宙空間との境界域として重要な惑星上層の希薄大気圏・プラズマ圏の解明を目指す計画となります。すなわち、地上望遠鏡やハッブル宇宙望遠鏡などでは不可能な極端紫外線で観測し、太陽系最大の高エネルギー天体である木星のエネルギー供給や、金星など地球型惑星の大気進化・喪失史にメスを入れる観測を行うことを目標に掲げます。現在準備が急速に進む金星周回機 PLANET-Cなど、将来の惑星探査機との連携に先鞭をつけることを期待するものです。

(JAXA 澤井秀次郎・東京大学 上野宗孝)

### 第7回「君が作る宇宙ミッション」参加者募集！

**実施期間：**2008年7月28日(月)～8月1日(金)

**会場：**宇宙航空研究開発機構

宇宙科学研究本部 相模原キャンパス

高校生(および相当年齢の方)を対象とした体験学習プログラム「君が作る宇宙ミッション」の参加者を募集します。

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
相模原		ASTRO-G 設計確認会その1 S-520-24号機 噛合せ試験
大樹町	第1次気球実験	

中国の「海亀」と

以前の冷え切った日中関係はここ数年で改善し、それに伴って日本と中国との科学研究における実務的な協力が深化・拡大してきています。微小重力環境を利用した研究分野における日中の交流は、1992年に開催された第1回日中微小重力ワークショップ以来、20年近く情報交換が行われてきましたが、お互いに協力した微小重力実験は残念ながらまだ行われていません。今年2月にJAXAを訪問した中国航天局からは、中国の回収衛星およびロケットを利用した日中共同実験の意向が伝えられました。この国際協力について具体的に協議するため、ISS科学プロジェクト室依田眞一室長とともに、私の故国の首都北京にある中国科学院を訪問しました。

日中は地理的に非常に近く、成田空港を朝9時ごろに出発して、昼には北京首都国際空港に着きました。そこは、北京オリンピックに向けて、新しいターミナルが開業されたばかりでした。新ターミナルの総建築面積は既存の第1・第2ターミナルの総面積より大きく、世界最大の空港ビルといわれています。

空港からホテルまではタクシーで約45分の道のりです。タクシーの窓から、オリンピックメイン会場、「鳥の巣」の愛称を持つ北京国家体育場の姿を初めて目にしました。その巨大な会場は東京ドームの5.5倍の広さで、9万1000人の観客を収容できます。

8月のオリンピック開催時には、ホテル料金は数倍も上がると予想されています。これを避けるため、国外の観光客やビジネスマンは、例年より早く北京に集まっているようです。そのためか、予約したはずの4つ星高級ホテルのシングルルームは、チェックイン時に満室でした。ここはネイティブの強みで交渉し、料金を変更せずビジネススイートに泊まることができました。

翌朝、北京航空航天大学(北航)の材料科学工程学院を訪問しました。私は1984年に材料専攻講師として1年間ここで研修していました。24年ぶりに訪れた北航は建物がすっかり改築され、運動場以外、昔の面影を残すものはありませんでした。キャンパスの

正門近くにある22.6万m<sup>2</sup>の瀟洒な校舎を見ると、ボストンのMITの広大な校舎のような感じがしました。この院長は日本留学から帰った方ですが、彼の話によると北航の研究経費はここ数年毎年20%ずつ増加し、2007年は150億円を突破、1人当たりの研究経費は、中国の全大学の上位5位に入っているとのこと。院長の悩みは、「いかに新しい研究の方向を見つけて研究経費を有効に使うか」ということだと話されていました。

午後は中国科学院物理研究所を訪問し、中国微小重力科学応用委員会の新旧委員長お二人と会談しました。新委員長はフランスに7年の留学後中国に戻られた方で、中国の回収衛星にフランスの装置を搭載する国際協力研究グループの責任者でした。会談では、今年10月に中国杭州で開かれる第7回日中微小重力ワークショップを利用して、日本および中国の研究者による研究グループの形成を促進することが合意されました。

その次の日は、中国科学院空間技術科学応用研究センターを訪れました。この研究センターは、これまで主に衛星・ロケット・気球を利用した環境測定、気象測定、天文観測などを行ってきましたが、2010年ごろに発射予定の微小重力環境利用研究回収衛星「実験10号」プロジェクトを支援するため、2年前に微小重力および宇宙生命科学実験室を設立して、微小重力環境利用の研究も始めています。「実験10号」搭載の実験装置の半分は、この研究センターが開発しています。会談の結果、日本の実験装置を「実験10号」に搭載させることは時間的に間に合わないものの、日本の研究者が「実験10号」での実験に参加することを前向きに検討すること、および中国が保有する「TF-1」ロケットを使用した宇宙環境利用実験において日中の科学研究機関の協力を進めることが合意されました。

その夜、「湘臨天下」というレストランで、中国科学院微小重力国家実験室の元室長の胡文瑞科学院院士および現室長の龍勉教授と歓談しました。龍教授もアメリカ留学を経験した研究者です。中国の発音では「海亀」と「海亀」は同じなので、海外から帰ってきた留学生や研究者は「海亀」と呼ばれています。現在、中国の研究機関の重要なポストは「海亀」が半数以上を占めています。彼らは、科学研究には国境がないと考えていて、積極的に世界最先端の研究チームと連携して国際協力をベースとした研究をしたいと思っています。(よの・けんてい)



「湘臨天下」の中華料理。すべて食材で描かれている。

ISS科学プロジェクト室 主幹 研究員

余野建定



# ガウトクラブ

15年ぐらい前、米国サンフランシスコのカリフォルニア大学バークレイ校で研究会があり、少し長めの研究発表の時間を与えられた。次の日は発表という日の夜、研究会の夕食会で、中華街の美味な中華料理をたらふくごちそうになった。お酒も飲み、その後、大学の宿舍のベッドについた。たぶん朝の4時ごろであったと思うが、激しい悪寒に襲われて、体がぶるぶる震えだした。今まで経験ない症状であった。理由は分からないが、これでおしまいと思ったほどである。そして、右足の関節が激痛に見舞われた。とにかく痛い。七転八倒、どんな姿勢を取っても痛い。後で分かるのであるが、風が吹いても痛いほどである。これが、天文台のガウトクラブ(別名・痛風クラブ)に入会した経緯であった。

バークレイ校の有名教授(以後、頭が上がりません)に肩を借りて、大学の診療所に連れて行ってもらった。ただし、痛風という変な病気の英語名などはどうも知らなかったので困った。親切な医師は、知り合いの日本人に電話をかけて説明させようとしたが、その人は痛風そのものを知らないで、どうにも通じない。そのうち、父もこの病気にかかったことがあるので、何とか「ガウト」というのが痛風であることが予想できた。松葉づえを貸してもらい、研究会へ戻った。そのころには参加者全員に知られていて、恥ずかしい次第であった。

日本に帰って医者に聞くと、国際会議の前夜の発症はよくあることらしかった。最初の悪寒は、この病気による高熱が出たためだと言われた。

この病気の不思議なところは、1日程度経過すると、嘘のように痛みが消えることである。まったく何ともなくなるのである。それで次の日は、フィッシャーマンズワーフでビールを飲む始末である。

さて、国立天文台には、野球クラブやワインクラブなどさまざまなクラブとともに、会合や会則もないし会長もいないけれど、ガウト

## 観山正見

国立天文台 台長

クラブがある。「今度、あの人が入会した」「え!!あの人も会員だったの」というひそひそ話が飛び交っている。痛風になった人だけがこの会に入会できるのである。実に不名誉なクラブ会員である。

しかし、最近はずいぶん若い人も入会してくる。以前、痛風は帝王病とかぜいたく病(ガウトはグルメに関係する言葉らしい)などと呼ばれ、美食家がかかるものといわれていた。実際、血液中の尿酸値が持続的に高いと、足や手の関節で尿酸が結晶化して極めて厳しい(想像を絶する)痛みに見舞われる病気である。ほうっておくと、関節が曲がるとか、腎臓疾患、高血圧や動脈硬化などという怖い病気に発展する。素人調べだが、プリン体を多く含む食物(イクラなどの魚卵類、イカやタコ、特に中華料理はこれらの食材が多い、そしてビール)を多く食べると、プリン



チリに設置した我が国のALMA望遠鏡の前で

体が肝臓で分解されて尿酸となるらしい。

最近では、30代で発症する人が多く、一概にぜいたく病というわけでもなく、ストレス性で発症する人が多いようである。尿酸値を抑えるか、排出を促進する薬を飲まなくてはならない。一見、ロマンにあふれた仕事をしていると思われる天文台の職員に、このクラブ会員は意外に多い。圧倒的に男性である。天文学者には、美食家が多いかというところでもない。たぶん、観測時間をもらっても、天候の具合で望み通りの観測ができないとか、研究発表の緊張とか、国際交渉とか、ストレスのたまる仕事が意外に多いのかもしれない。それと、一番の原因は、運動不足である。

私は、この痛風を発症したのは今までに2回しかないが、とにかく最初の劇的な記憶は忘れ難い。

この年になると、さまざまな病気とうまく付き合わなくてはならない。最近では、メタボリック症候群とかいって、ウエストが85cm以上では病気だそうである。お医者さんの陰謀ではないかと思うのだが、将来の生活習慣病による医療費の増加を何とか食い止めたいための方策だそうである。統計によれば、やせ形の人より、少し小太りの人の方が長生きするといわれているのだが。

その後も緊張する発表や、難解な交渉ごとのための国際会議への出席は続いているが、ここ数十年、発症していない。神経が図太くなったわけではないであろうが、幸いなことである。ただ、正式のクラブ会員であることには間違いない。

ガウトクラブは決して勧誘しない。でも、残念ながらクラブ員は増える傾向にある。もし入ってくれば、先輩は優しい。いろいろな辛苦を慰め合うのである。とにかく、少し太り気味の皆さん、国際会議などでの発表の前日は、中華料理やビールは控えた方がよいと思いますよ。ご忠告です。

(みやま・しょうけん)

# 「なるほど！」と言いつけたい

宇宙プラズマ研究系 教授  
藤本正樹

—— 明日から海外出張と伺いました。

藤本：今回はフランスとオランダです。水星の磁場を調べに行くBepiColombo計画の打ち合わせなどで海外出張が多く、昨年と一昨年は20回近くありました。それだけ行っていると、パーゲンシーズンにも当たるでしょう。服の衝動買いが止まりませんよ。

—— 本誌2006年7月号に「オペラ座の怪物くん」という文章を書かれています。オペラが好きなのですか。

藤本：オペラはつまらなそうだと敬遠していたのですが、奥さんが音大で歌を学び始めてから興味を持つようになりました。今では、海外出張先で時間があれば、見に行くようにしています。

みんなでぎゃあぎゃあ議論した後、オペラが流れる研究室で一人静かにアイデアを練る時間も好きです。いいアイデアを一番に出せるかは、絶対に負けれない勝負。オペラを聴きながら、頭の中がかゆくなるほど必死に、プラズマ粒子の気持ちになって考えます。

—— 専門は宇宙プラズマ物理学ですね。

藤本：宇宙空間は電離したガス、プラズマに満ちています。地球のまわりの磁気圏でも、オーロラなどプラズマに起因するダイナミックな現象が起きています。プラズマをきちんと理解するためには、その場所に衛星を飛ばして精密なデータを取ることが必要です。日本のプラズマ物理学は、1992年に打ち上げられた「GEOTAIL」によって世界の最先端に躍り出ました。大学院時代はシミュレーションをやっていましたが、「GEOTAIL」が打ち上がり、このデータなら使えると思ってデータ解析を始めたのです。

「GEOTAIL」は少し古くなりましたが、まだ現役。性能は高く、欧米が最近打ち上げた衛星と組み合わせた国際共同研究が盛んです。その実績があり、信頼関係ができたからこそ、ヨーロッパと水星磁気圏探査計画が進んでいるのです。

—— 水星磁気圏探査に何を期待していますか。

藤本：小さい惑星はすぐに冷えて固まってしまうので、磁場はつくれないはず。水星に磁場があること自体、不思議なのです。しかも、大気がない水星では、磁場が地表に接していて、プラズマが地表に直接当たります。そこでは、地球周辺よりはるかにダイナミックな現象が起きているでしょう。いろいろ予想されていますが、本当は何が起きているのかを知りたい。プラズマは人間の常識がまったく通用しません。絶対に裏切られる。どう裏切られるのか、それ



ふじもと・まさき。理学博士。1964年、大阪府生まれ。専門は宇宙プラズマ物理学、惑星系形成論。1992年東京大学大学院理学系研究科地球物理学専攻修了、名古屋大学理学部助手、1996年東京工業大学大学院理工学研究科地球惑星科学専攻助教授、2006年より現職。現在は、水星探査計画BepiColombo、地球磁気圏探査計画Cross-Scale、木星探査計画などを進めている。

が楽しみです。

—— 地球磁気圏探査の将来計画は？

藤本：最近、欧米は4機編隊からなる衛星を打ち上げています。磁気圏では、さまざまなスケールの現象が密接に絡み合っています。衝撃波、境界層での乱流、磁気リコネクションといったプラズマ物理における問題を理解するには、異なるスケールを同時に観測しなければなりません。そのために、複数の衛星による編隊観測は必須です。私たちはヨーロッパと共同で、2017年の打上げを目指し、12機編隊のCross-Scale計画を進めています。その次は、木星に行きます。

—— なぜこの道に？

藤本：高校3年生のときに見た、探査機「ボイジャー」のテレビ番組をよく覚えています。木星のフライバイの解説を生放送で延々3時間。今ではあり得ないでしょう。でも、よく覚えているということは、気付かないうちにその番組に影響を受けていたのかもしれない。

大学では宇宙工学に興味を持っていたものの、図学の単位を落としてあきらめました。その後、興味は地震へ、しばらくすると電磁気学が面白い、となって。フィールドはいろいろ変わりましたが、貫いていることが一つあるとすれば、普通ではないことをしたい、ということですね。

—— これからの夢を聞かせてください。

藤本：観測の研究者は、誰も見たことがない現象を発見したいと思うでしょう。でも私は、物事の仕組みが分かることに興味があります。「なるほど！」と言いたいです。

私は、幼稚園をロンドンで、中学をニューヨークで過ごしました。小学2年生で日本に戻ってきたとき、九九の問題をみんながすらすら解けることがとても不思議でした。そのころから、“普通であること”を疑う精神が身に付いたようです。何が当たり前か分からないので、仕組みをきちんと理解しておきたいと思うようになりました。

でも、「そうだったんだ」では終わりたくはない。「なるほど！でも、こうかもしれない」というのを繰り返していきたいと思います。

ISASニュース No.326 2008.5 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

まさに今「かぐや」で探査されている月は、科学的に興味の尽きない星であると同時に、スイングバイによって人類が宇宙への路を拓いてきた、宇宙工学的に重要な星です。このことが凝縮された今号でした。(松岡彩子)

\*本誌は再生紙(古紙100%)、大豆インキを使用しています。

