

太陽観測衛星「ひので」による水星の太陽面通過(可視光・左)と太陽コロナ(X線・右)の観測

宇宙科学最前線

## 宇宙インフレーターブル構造物

樋口 健

宇宙科学研究本部  
宇宙構造・材料工学研究系 助教授

### インフレーターブル構造物とは

インフレーターブルとは「膨張できる」という意味です。膜面を内圧ガスで膨らませた空気膜構造物としてのインフレーターブル構造物は、地上建築物としてすでに長い歴史を持っています。1970年の「大阪万国博覧会」では多数の空気膜構造物パビリオンが出現しました。また、最近では東京ドームがよく知られています。空気膜構造物の特徴は、大空間が作れる、建造工期が短い、低コスト、地震に強いなどですが、これらの特徴は宇宙構造物にも適していると考えられます。1960年代にはアメリカが空気膜構造物を衛星構造に適用し、ECHO衛星シリーズを打ち上げました(図1)。これは地球からの電波を球形表面で反射して通信

する、受動的通信衛星を狙ったものでした。しかし、その後はトランスポンダを搭載する能動的通信衛星が主流になったため、宇宙インフレーターブル構造物はしばらく途絶えていました。

近年になって、大型宇宙構造物への関心や要望が高まり、軽量、高収納率、機構部品の小ささなど、宇宙で大規模構造物を構成することに適している特徴が見直され、宇宙インフレーターブル構造物の研究が再び盛んになってきました。

### インフレーターブルの特徴

宇宙インフレーターブル構造物は、展開、膨張、硬化の3過程からなります。それぞれの過程の特徴と、どんな研究・開発が望まれているのかを以下に述べながら、一緒にアイデアを考え出すこと



図1 空気膜構造物の例  
ECHO衛星 ©NASA

に参加していただきたいと思います。

膜構造物を折り畳んだ収納状態から展開させる技術は、宇宙インフレータブル構造物に限らず、ソーラーセイルを含む大型膜面構造物全般に必要とされる技術です。大型膜面構造物では、いったん全体を製造してから折り畳むという作業が困難なので、製造しながら折り畳んで収納状態しておく方法が用いられることになるでしょう。ただし、この製法の場合には、地上で十分に展開試験したものを打ち上げるというこれまでの信頼性の考え方に沿うことができなくなります。仮に地上で展開試験ができたとしても、極めて柔軟かつ軽量なものであるため、展開試験中に空気や重力の影響を十分に排除することができないため宇宙空間を模擬した試験とすることは困難で、また、展開したものの収納作業における再現性を保証することも難しいと考えられます。超大型膜面構造物の地上試験検証方法の確立には、発想の転換が必要とされています。

膜面の折り畳みの幾何学には数々の興味深い研究があります。しかし、現在考案されている折り畳みの幾何学は展開後の形状に強く依存したものであるため、折り畳み方法は汎用性に欠け、また設計変更に対する見通しも悪いのが現状です。高収率率と確実に安定な展開とを保証する汎用性のある折り畳み方法の開発は、宇宙インフレータブル構造物の研究・開発・利用をさらに活発化するものです。

膨張過程は、ガスなどの膨張用流体が流れることによって形状が変化する流路をさらに流体が流れるという、複雑なダイナミクスを含みます。仮に、ダイナミクスが無視できて準静的に膨張したとしても、実際には流路の折り畳み箇所が折れ曲がったままになっていたりねじれたりして流路が開かず、それ以上膨張過程を継続できなくなる可能性があります。また、構造物全体に均様に圧力を上げることができなかつたり、折れ曲がっていたところで急に流路が開いたりした場合、構造物全体が予測不可能な暴れ方をすることにもなります。もし、膨張・展開試験のたびに現象が異なってしまうと、本番の挙動を予想できません。この問題は折り畳み方にも依存しますが、膨張過程を設

計通りにいかせるには工夫が必要とされています。

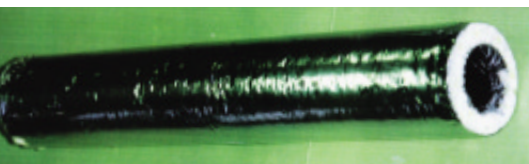
宇宙インフレータブル構造物は、デブリやマイクロメテオロイドが衝突して不意に穴が開くと内圧ガスが抜けて形状を維持できなくなるので、建造初期に膜を硬化させることになります。ヒータで加熱硬化させる方法や、宇宙空間に自然に満ちている太陽光や紫外線をうまく利用して化学的に硬化させる方法がまず考えられました。地上では、樹脂系複合材の硬化(キュア)は、材料を所望の形状に保持した状態で温度や圧力を制御しながら行っています。しかし、温度や圧力の条件を必ずしも制御しきれない宇宙空間においては、ある時間にわたって所望の形状を保持しながら化学反応を用いて一様な材料特性が得られるように硬化反応を進めることは容易ではなく、地上製造方法の延長線上にあるような宇宙硬化方法はまだ実用化されていません。宇宙空間において、どのような材料を用いてどのような工程で硬化させるかという技術開発とアイデアが、宇宙インフレータブル構造物を本格的に多用するための突破口になるでしょう。

空気膜をガスの圧力で膨らませてから樹脂を化学的に硬化させるというこれまでのアイデアだけでなく、硬化にはいろいろな派生形態が考えられます。すなわち、膨張過程に金属フィルムの塑性変形を利用する硬化方法、発泡剤によって膨張と硬化を一緒に行う方法(図2a)などにより、デブリやマイクロメテオロイドの衝突に対処する考え方もあり得ます。形状記憶合金や形状記憶樹脂を併用することにより、宇宙で形状回復させ、安定に形状維持する考え方もあります。また、穴が開いてつぶれても構わない程度に多数の空気膜セルで大型構造物を構成することにより、硬化させないという考え方もあり、これは撤収や交換修理がしやすいという特徴があります。

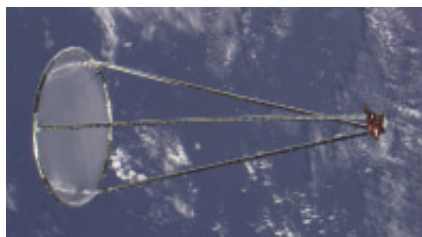
## 宇宙インフレータブル構造物の今後の発展

インフレータブル構造物は、高い構造精度が得られないという印象を持たれています。しかし、すでにインフレータブル方式による太陽電池面やレーダー面が提案され、地上では試作もされています。また、硬化過程は含まれませんでした。軌道上におけるアンテナ膨張展開試験は10年も前に実施されました(図2b)。宇宙インフレータブル方式により、まずは高い構造精度が要求されない構造物を宇宙空間で簡易に構成することは、実用化できる段階に来ていると思います。軌道上望遠鏡の日よけや月面テントに適用することで経験を積み、太陽電池アレイ面構成など中程度の構造精

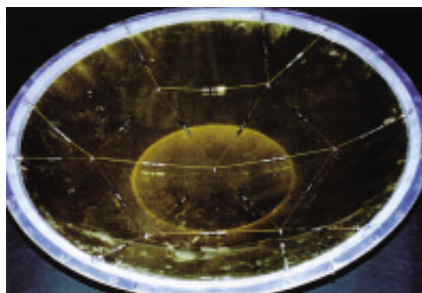
図2 インフレータブル構造物構成の例



a 発泡方式による膨張硬化パイプ



b 宇宙インフレータブル反射鏡構成実験IAE ©NASA



c 繊維強化プラスチックの硬化とケーブルネットワークの展張との併用による構造モデル

度のもので実績を積んでから、アンテナ鏡面や集光反射鏡面など構造精度が要求される用途に移行する方針がよいと考えています。構造精度の保証のためには、単にガス内圧に頼るのみではなく、ケーブルネットワークと膜面を併用したり(図2c)、形状記憶合金や形状記憶樹脂で形状再現性を補完したり、能動的に制御するなどの方法が検討されています。

地上での空気膜構造物はスタジアムやパビリオンのような大型建造物の例が多いので、宇宙インフレーター構造も大型宇宙構造物建造のための技術であると考えられがちです。確かに大型宇宙構造物に適していますが、そればかりではなく、高収納率・機構部品の少なさという特徴を活かせば、小型衛星に中型衛星並みの性能を与える手段としても利用できます。インフレーター太陽電池パネル、インフレーター伸展アンテナ、インフレーターラジエータ、インフレータードラッグシュートなどを搭載することにより、重く複雑で不具合要因にもなりがちな機構部品にあまり依存することなく、簡易に小型衛星の性能向上を図ることができる技術であると考えています。

このように見てくると、宇宙インフレーター構造物とは、宇宙で展開・膨張する風船のような構造物を作るばかりではなく、風船を内圧利用のアクチュエータであることとらえることもできることに気付きます。そこで、形状精度を得るには構造硬化模擬方式を利用し、展開力としてはインフレーター構造要素をアクチュエータとして利用することにより、形状精度の高い構造物を構成することができるようになります。構造硬化模擬とは、材料自体を硬化させるのではなく、所望の形状に癖を付けた構造要素をあらかじめ作っておき、それをリールに巻き取るなどの方法で収納し、収納の拘束を開放することにより自発的に癖の形状を発現させる方法です。巻き尺が真っすぐな形状で使えるのは、これの日常的な例です。構造硬化模擬方式では、インフレーター構造要素部分を硬化させる必要がないので、繰り返し使用できるようになります。図3aにインフレーター構造要素を伸展アクチュエータとして利用した構造硬化模擬方式の伸展アンテナ SPINAR (SPace INflatable Actuated Rod)を示します。伸展用モータが不要であるため、モータに付随する減速ギア、モータ駆動用電子回路、そのためのヒータなども不要になり、伸展機構の軽量化と省機構部品化が実現できます。図3bにはSPINARの航空機放物飛行による微小重力下でのスピン伸展実験を、図3cにはSPINARの真空槽中での伸展実験を示します。超軽量・高剛性・高収納率、簡便な伸展機

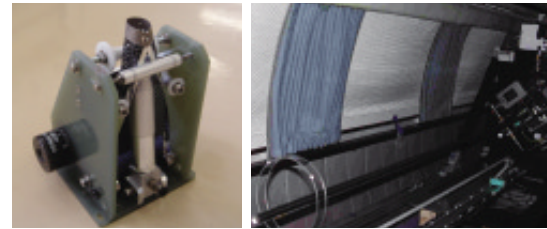
構・少ない機構部品などのインフレーター構造物の特徴を兼ね備えているだけでなく、繰り返し使用可能であるために地上試験を繰り返し実施できることも利点です。

構造硬化模擬方法とインフレーターアクチュエータとを組み合わせた構造物は、上述のようなアンテナのみならず、建造物としての利用へも発展できると考えています。図4は月面の極域にそびえる伸展式の月面タワーの概念図であり、定常的に太陽光線が利用できる高さまで太陽電池を持ち上げることで昼夜発電が可能になるので月面で夜を越せるようになり、また電波塔として通信の中継にも利用できるでしょう。インフレーター方式を採用することにより、月着陸機の上に機器の一つとして搭載できる程度の重量配分で、月着陸面から全高15~20m程度の塔を簡便に建造することができると考えています。

## まとめ

ここで述べたように、宇宙インフレーター構造物は数々の利点と特徴を持った構造様式です。いろいろなアイデアによりさらに発展していくと考えられますが、これは将来の技術ではなく、すでに目の利用に供せられる技術であると考えています。しかし、これまで宇宙実証の機会が少なかったために知名度が低いと思われるので、私たちは宇宙実証の機会の獲得と実績の蓄積に努力しているところです。また、宇宙インフレーター構造物をさらに広い用途に利用する発展の過程は、新たな技術と発想の実験場であると考えています。多くの人に宇宙インフレーター構造物に興味を抱いていただき、宇宙インフレーター構造物によって夢と希望も宇宙に広げられることを願っています。宇宙インフレーター構造物は工学用語であって、宇宙の構造のでき方に関する宇宙インフレーション理論という物理学とは関係ありませんが、宇宙と構造というキーワードが、意味は違って共通であるところが面白いと思います。宇宙構造にはインフレーション(膨張)が似合うのでしょうか。(ひぐち・けん)

図3 SPINAR



a SPINAR (収納状態)

b 微小重力スピン伸展実験



c SPINARの真空伸展実験

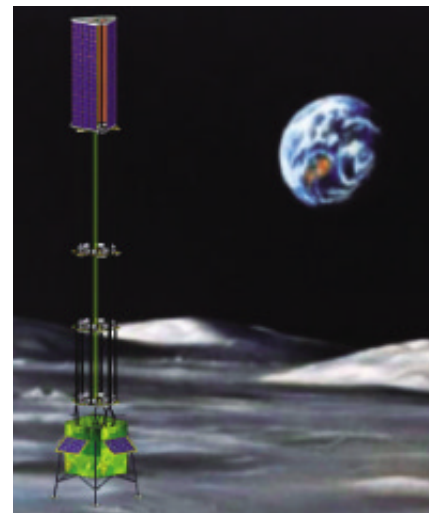


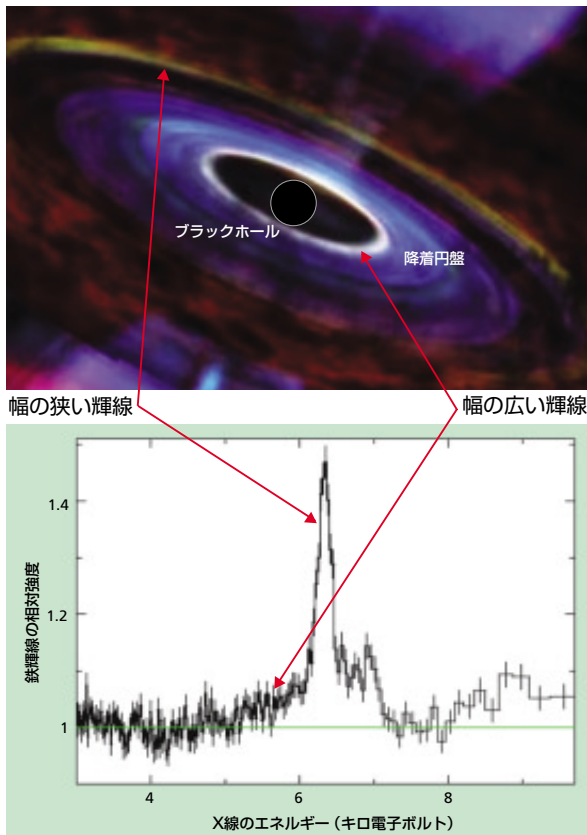
図4 月面タワーの提案構造概念図(伸展状態)

## 「すざく」、ブラックホールに迫る

X線天文衛星「すざく」は、その優れた感度(暗いものでも見える力)と観測帯域の広さ(3桁以上も温度の異なる物質を一度に見る力)が特徴です。今回この力を活かして、「幅の広い鉄輝線」と呼ばれる放射を中心に、これまでにない精度でブラックホールのまわりの時空のゆがみを示すと考えられるデータを得ました。

巨大ブラックホールは、太陽の100万倍から10億倍もの質量が太陽系ほどの大きさに詰め込まれたもので、ほとんどの銀河の中心にあります。「すざく」にとって最も重要な観測対象の一つです。鉄はX線分光装置のデータを6.4キロ電子ボルト(keV:エネルギーの単位の一つ)のところに強い信号を出します(「鉄輝線」という)。ブラックホールに吸い込まれる物質にも多くの鉄が含まれているのですが、光に近い速さで渦を巻くため、「鉄輝線」も6.4キロ電子ボルトのまわりに広がり(ドップラー効果)を見せ、二つの山が重なったような形になります(図1)。ブラックホールの重力は光をも引きずり込もうとします。そのため、波長がさらに引き伸ばされ、スペクトルは低いエネルギー側にすそを引きます。この「幅の広い鉄輝線」は1995年に日本の「あすか」衛星により初めて観測され、その後、ヨーロッパのX線天文衛星「ニュートン」などでも報告されています。しかし、実はある制約から、これまでの衛星では決定的

図1 鉄輝線。通常は幅の広いものと狭いものが混ざって観測される。MCG-5-23-16の例。



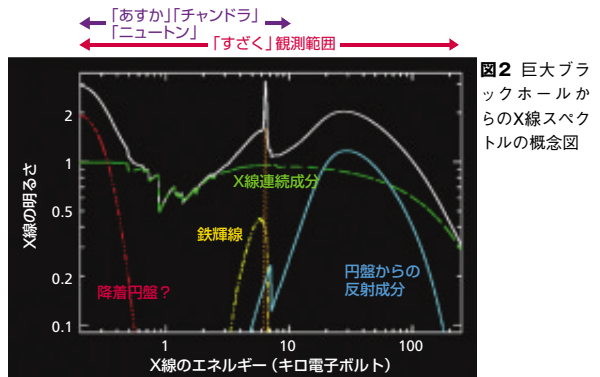
な証拠を得ることが難しかったのです。

巨大ブラックホールに吸い込まれる物質は、数時間から数日をかけて、そのまわりを1周します。このとき、強い重力に引きずられて強烈な摩擦熱が発生し、数百万度の円盤状のガスや、数億度にも相当する高エネルギー電子雲などを形成します。現在最も有力な説では、この高エネルギー電子雲からの強烈な放射が数百万度のガスを照り付けるとき、強い「鉄輝線」が出ると考えられています。つまり、鉄輝線だけでなく、数百万度から数億度まで、さまざまな物質の放射を、完全同時に、精度よく、しかも数時間(〜数日)の時間変動を追跡しながら観測することが、その正体解明の鍵を握るのです。

「すざく」は2種類の検出器を組み合わせ、3桁にわたる波長の異なるX線を同時に観測できます。鉄輝線のエネルギー付近ではかのX線望遠鏡よりも高い感度を持つとともに、鉄輝線よりもさらに高いエネルギーの硬X線までを感度よく測定できるのです。「すざく」は、こうしたブラックホールからの特徴的なX線(図2)をとらえるために必要な性能を備えた唯一のX線天文衛星であり、ブラックホールのまわりで起こっている激しい現象を統一的にとらえることを、初めて可能にしました。

広がった鉄輝線を含むX線データを日米の共同研究グループで詳細に解析したところ、MCG-6-30-15と呼ばれる銀河の中心にあるブラックホールからは、まわりの時空を引きずりながら高速で回転している証拠と考えられるX線の時間変化が確認されました。また、MCG-5-23-16と呼ばれる銀河では、ブラックホールへ物質を落とし込んでいる円盤(降着円盤と呼ばれる)が、私たちから見て45度の角度を向いていることが明らかになりました。このような精密な観測は、これまでは不可能でした(学術的な詳細は、日本天文学会欧文研究報告(PASJ)の「すざく特集号」(2006年)を参照ください)。

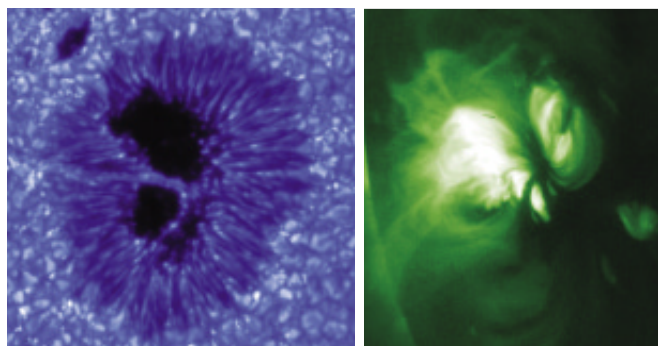
将来のX線天文衛星では、幅の広い鉄輝線を使ってブラックホールの「画像」をとらえることができるようになるでしょう。ブラックホールの画像を得ることは、今後の宇宙探査の重要なテーマの一つです。(「すざく」チーム)



## 「ひので」衛星，太陽画像の取得を開始

打上げからちょうど1ヶ月、観測開始を目前にして、管制室にも「ひので」運用室にも、緊張感がみなぎっている。

10月23日、X線望遠鏡の初画像がモニター画面に表示され、運用室に歓声が上がった。「ようこう」軟X線望遠鏡よりはるか



太陽黒点の可視光(Gバンド)画像(左)、および黒点域上空のX線コロナ(右)

に鮮明な太陽コロナ像が得られたのだ。太陽活動の極小期なのに東西の太陽リム近くに小さな黒点群があり、その上空が明るい。X線輝点と呼ばれる小さな明るい斑点がたくさん見えることにも驚いた(表紙写真参照)。

続いて25日、可視光望遠鏡のドア開け、初画像の取得に挑戦。万が一、この大きなドアが高速で開いたら衛星の姿勢が崩れてしまうので、緊張する。コマンドが打たれ、アクチュエータの温度が上昇し、突如、衛星の姿勢センサがわずかな揺れをキャッチ、ドア

が静かに開き始めた。一安心。そして、初画像受信を待ち構える運用室の面々に、静かに感嘆の声が広がった。モニター画面に、太陽表面の最も細かな模様である「粒状斑(グラニュール)」と、その境界線上に現れる「磁気要素」とが見事に映し出されていた。

最後は極端紫外線撮像分光装置。28日、最後のドアを開くコマンドが打たれ、分光撮像データが受信され、自慢の高感度、高スペクトル分解能が直ちに確認された。

かくして、「ひので」は衛星システムのクリティカルフェーズを終了、観測機器の調整・較正・初期観測を課題とする初期運用の第2段階に入った。11月9日早朝には水星の太陽面通過を観測し(表紙写真参照)、機器較正・初期観測も着々と進んでいる。(小杉健郎)

## 内之浦宇宙空間観測所 一般公開

10月14日(土)、秋晴れというにはやや暑い好天の中、内之浦宇宙空間観測所の一般公開が実施されました。内之浦としては久しぶりの一般公開ということで、どうなるのか関係者も予想がつきにくかった中、約660人の参加者を得て、成功裏に開催することができました。来場者は、最後のM-Vロケットを打ち上げてから1ヶ月もたっていない



「おおすみ」を打ち上げたKS台地で、モデルロケットを手に打ち上げの順番を待つ子供たち。

ホットな状態のロケット打上げ設備を、シャトルバスを使って見学して回っていました。焦げ跡もまだそのままの射場は、打ち上げ時のロケットの力強さを感じさせるもので、人気を集めていました。また、相模原の一般公開から「出前」してきたブースや、宇宙学校の開催もあり、多くの来場者が日ごろ感じている宇宙に関する疑問を熱心にスタッフにぶつけている姿が印象的でした。

そんな中、子供たちの歓声がひととき大きかったのが、モデルロケットの会場でした。特筆すべきは、その打上げ場所です。子供たちが作ったモデルロケットは、KS台地で打ち上げられました。この場所は、日本で初めての衛星を打ち上げた場所

であるのみならず、今なお観測ロケットの射点として現役。日本のロケット打上げの歴史を飾るエポック的な場所、しかも現在でもまだ実際にロケット打上げに使われ続けている場所で自分が作ったロケットを飛ばした、という貴重な経験は、参加した子供たちにとってきっとよい記念になったことと思います(これで、管制班がカウントダウンすれ

ばさらに盛り上がったかもしれませんが、それは来年以降のお楽しみ、ということ)。

今回の一般公開が無事、成功裏に実施できたのは、内之浦の職員のほか、種子島や相模原からも応援があり、また、地元の方々ボランティア的にかけてくれたおかげだと思います。今まで、内之浦宇宙空間観測所の一般公開は不定期でしたが、これからは毎年実施するようになると思います。来年以降は、毎年開催ということによるロコミ効果も期待できますし、地元や関係各所との連携をさらに強化することで、交通の便が悪いというハンディを乗り越えて、ますます盛り上がってほしいところです。(澤井秀次郎)

## SELENEプロトフライトモデルをプレス公開

平成18年10月13日、筑波宇宙センターにおいて、月周回衛星SELENE（セレーネ：SELenological ENgineering Explorer）プロトフライトモデルのプレス公開が行われました。SELENEは、月の全域にわたって表面の元素・鉱物分布、地形・表層構造、磁場、重力場を詳細に観測するとともに、月周辺の高エネルギー粒子やプラズマなどの環境を高精度に計測する探査機です。高度100kmの円軌道を周回する全備重量約3トンの主衛星と、より高い遠月点をもつ楕円軌道を飛行する質量約50kgの子衛星2機から構成されています。現在、来年夏の打上げを目指し、筑波宇宙センターの総合環境試験棟において、衛星の機能性能を確認するためのシステム試験を進めています。これまでに、打上げ時にロケットから受ける機械環境（音響、振動）への耐性確認を行っており、SELENEが打上げ時の外観形状になっていることから、この時期を選んで公開することとしました。

初めに、SELENEの概要について説明を行いました。筑波宇宙センター記者会見室に集まった報道関係者は27社44名と多く、月探査への関心が高いことを感じました。まずは私から、プロジェクトの目的、主要諸元、観測項目、そして月までの飛行シーケンスについて説明を行いました。次に、プロジェクトサイエンティストである佐々木進教授から、SELENEの目指す科学とSELENEに搭載される観測機器について説明が行われました。

その後は、SELENEプロトフライトモデルの公開に移りました。場所は総合環境試験棟特性試験室でした。この部屋の中央に、SELENEプロトフライトモデルが置かれました。クリーンルーム内の清浄度を維持するため、報道関係者には三つのグループに分かれていただきました。また、月面の微弱な磁気を観測する磁力計への悪

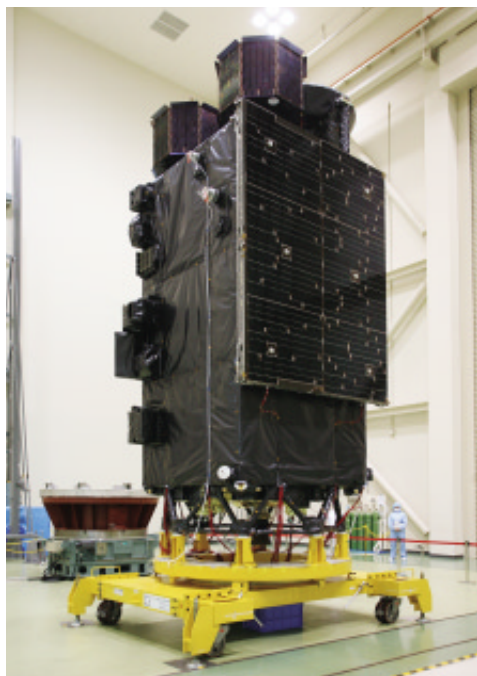


図1 SELENEプロトフライトモデル  
主衛星は、幅2.1m、高さ4.8m。上部に2機の子衛星とハイゲインアンテナ、向かって右側に太陽電池パドルが保持されており、これらは軌道上で順次展開・分離される。向かって左側が月面を向く面であり、表面に観測機器のセンサが取り付けられている。



図2 記者会見室の様子  
SELENEの目指す科学について説明する佐々木教授。その左に私（滝澤）と加藤教授が着席。

影響を防止するため、強い磁気を帯びている金属類を外してもらいました。そして、カメラや三脚などの持ち込み器材の磁気測定後、順番にクリーンルームに入室してもらいました。私、佐々木教授、そしてSELENEサイエンスマネージャの加藤学教授がプロトフライトモデルの前で出迎え、SELENEの周囲を報道関係者と回りながら案内し、その間、質疑応答と撮影が行われました。

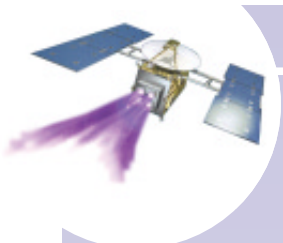
撮影の後は、記者会見室に戻って質疑応答が行われました。総合環境試験棟で受けていた「2機の子衛星と主衛星による重力場観測の方法」や「重力以外に世界に誇れるミッションは何か?」という質問に対し、佐々木教授が「すべての観測機器が世界最先端の機器である」と事例を挙げて回答しました。これに、加藤教授が自ら主研究者を務める蛍光X線分光計の特徴や、多くの搭載機器による同時観測のメリットを補足説明しました。

「これまでは月のデータといえばアポロのものであったが、今後は月のデータといえばSELENEと言われるように

なると思う」「これまで幾多の荒波を乗り越えてきた。もうひと踏ん張り。世界に誇れるようなミッションにしたい」。報道関係者から抱負を尋ねられ、佐々木教授と加藤教授はこのように回答しました。

今後、熱真空試験、最終電気性能試験などを行い、来年3月ごろ、種子島宇宙センターへ輸送する予定です。SELENEの開発は、国内メーカーや大学・研究機関の方々と連携してここまで到達することができたと感じています。SELENEは月の起源と進化の解明を目指す月周回衛星としては最も優れた衛星計画であり、世界の研究者からの期待にも応えられるよう、打上げに向かって頑張っていきます。今後とも、関係の皆さまからのご支援・ご協力、よろしく申し上げます。

(SELENEプロジェクトマネージャ 滝澤悦貞)



# はやぶさ近況

## 果報は寝て待て……再突入カプセル

### ●タイムマシンの近況報告

2010年6月の真夜中、豪州の砂漠に、焼け焦げた「はやぶさ」の再突入カプセルが、待ち受けた人々の歓声の中を緩降下してくる。中には小惑星イトカワのサンプルが搭載されているはずである。カプセルはゆっくりと砂上に着地し、その上に白いパラシュートがふわりと覆いかぶさる。長い間待ち望んだ「はやぶさ」ミッション無事完了の瞬間である。

この黒い中華鍋のような再突入カプセルは、ほんの20分前には過酷な空力加熱環境を通過してきたはずである。その証拠がこの焼け焦げた表面のヒートシールドであり、熱分解したカーボンフェノリックの香りである。秒速12kmの高速再突入飛行を無事達成したカプセルの熱防御系、減速・緩降下系など、すべてのサブシステムの設計の妥当性、開発の正しさが実証されたのだ。

空港までの高速道路でカンガルーとの接触事故にさえ気を付ければ、S型小惑星イトカワのサンプルは日本に持ち帰られ、多くの研究成果が得られることであろう。

### ●全員集合! あれ、シムラはどうした～?

「はやぶさ」は、打上げ2003年5月、そして地球帰還は2010年6月と、結局7年にわたる長期ミッションとなっています。カプセルは当然ながら再突入日まで出番がありません。充電電池搭載ではなく、外部電源によって無理に目覚めさせる特段の必要性もなく、現在までずっと眠ったままになっていま

す。打上げ後2年目。カプセルが保障外の低温にさらされたとのことで、対策会議として当時の設計メンバーを招集しようとしたところ、「現在その番号は使われていません」「Unknown Mail address」「異動になりました……」の応酬でした。当時はほぼ毎日連絡を取り合う仲のチームだったのに、「ごぶさたしております」で始まるあいさつには悲しいものを感じました。

長期宇宙ミッションで一番難しい点は何か? 今からさかのぼ

ること十数年、宇宙科学研究所名誉教授 長友信人先生の授業でのひとこま。問題提起された優等生たちは「機器の信頼性、耐環境性」と答えますが、(例の口調で)師いわく、「違うんだよな～。機械とかは頑張れば何とでもなるんだよ。地上の支援体制・ヒトの維持が一番難しいんだよ」。本当に機械が何とかなるかは分かりませんが、ヒトについては、このお言葉の意味をひしひしと感じる今日このごろです。

### ●豪州～カンガルーとエミューの地にて

さて、本当に寝て待っているわけではありません。カプセルの回収準備もわずかながらですが着々と進められており、主に再突入の安全にかかわる議題で豪州と調整打ち合わせが数度行われています。一口に豪州と言っても、主に2団体が関係しています。豪州が関係する宇宙活動全般に対して国土の利用を許可する立場にある宇宙許可局(SLASO Space Licensing and Safety Office)と、もう一方は、「はやぶさ」の回収予定地である南オーストラリア・ウーメラを管理する連邦空軍(RAAF)下の宇宙運用支援グループ(AOSG)です。

パラシュート開傘から着地までの間、ビーコンを発信し続けながら緩降下するカプセルは、落下予想中心のまわりに配置された地上アンテナにて三角測量の原理で方向探索されます。「はやぶさ」の帰還1年前の同じ季節に回収リハーサルを行うことになっていたため、当初計画の2年前に当たる昨年は、回収の詳細計画立案のため、アンテナ設置候補点の調査を行いました。ウーメラ砂漠は、どこまでもひたすら平坦で見晴らしよく、電波干渉もなく(携帯電話も通じず)、カンガルーやエミューが散歩するほのぼのとした場所でしたが、一方でミサイルの誘導実験で破壊されたターゲットの破片が飛散する生々しい場所もありました。私たちの「着地予想中心」を「グラウンド・ゼロ」、つまり「爆心点」と表現するには、彼らが軍人であることを意識せざるを得ません。

この冬、サンブラのカプセル移送という待ちに待ったイベントが計画中です。チームの再集合、カプセルの灯入れによる健全性の確認も検討中です。「はやぶさ近況」シリーズ最終一つ前ということで、カプセルの近況について記述しました。冒頭の「タイムマシンの近況」の通り、有終の美を飾ることを願ってやみません。(山田哲哉)

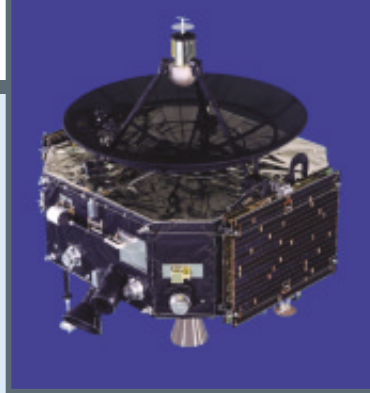


## ロケット・衛星関係の作業スケジュール(11月・12月)

	11月	12月
筑波		SELENE システムPFM試験
ブラジル	平成18年度日伯共同気球実験	

(PFM : Proto-Flight Model)

# 浩三郎の 科学衛星秘話



「のぞみ」



井上浩三郎

## 運命を決める大事件発生

前回も触れましたが、1998年12月20日に行った地球脱出のための地球パワー・スウィングバイで「のぞみ」の運命を決める大事件が発生しました。それは、12月18日16時34分(日本時間)に月面2800kmに最接近し、第2回月スウィングバイを成功裏に完了した2日後でした。

火星遷移軌道投入(TMI: Trans-Mars Orbit Insertion)のための手順として、まず19日の9時から14時45分の日本での可視時間帯に、スウィングバイ時に行く姿勢、スピン、軌道制御など、一連のコマンドをあらかじめアップリンクし、探査機に書き込む作業から開始しました。これは、万一、20日の可視でアップリンクが不調でコマンドによる書き込みができなくても、予定時刻にTMIが実行されるようにするためのものです。

20日、スウィングバイの当日は、「のぞみ」が地球を離れ火星遷移軌道に投入される非常に大事な瞬間で、相模原管制室にはスタッフ全員が集合していました。可視期間(8時50分~14時10分)には予定通りTMIのコマンドの書き込みを完了しました。あいにく、地球スウィングバイする時刻にはすべて日本から非可視でしたが、スウィングバイ時に行う2液エンジン(OME)噴射の直後には米国ゴールドストーン局(DSN局)が可視になるため、管制室とJPLを音声ホットラインでつなぎ、「のぞみ」の状況把握を聞く体制をとっていました。

## 思いもよらなかった2液エンジン(ラッチングバルブ)の不具合

そこに飛び込んできたのは、DSN局で受信したドップラー計測からOMEの $\Delta V$ 量がノミナル値の437m/秒より約100m/秒少ない、との音声連絡で

した。皆「えーッ!?!」と一瞬耳を疑い、何が起こったのか分からず、ぼうぜんとしたことを覚えています。

その後21日午前2時から始まった日本の可視のテレメトリデータから、「のぞみ」はすべて正常で、姿勢のリオリエンテーション、スピニアップ、スピンドアウンも正常に行われたことが確認されました。

$\Delta V$ が100m/秒少ない結果を踏まえ、この可視で、もともと補正 $\Delta V$ として予定していたOME噴射を予定より多く実施しました。この $\Delta V$ は8:01と8:39の2回に分けて実施しました。その結果TMIに成功、巡航フェーズに入りましたが、総計 $\Delta V=430\text{m/秒}$ となり、ノミナルに対し予定を大幅に超える推進剤を使ってしまいました。

このままでも火星到着は予定通り行われますが、そのときに残っている推進剤では、火星に到着しても科学観測を目的通り行うことができないことが判明しました。このため軌道計画グループは、川口淳一郎先生を中心に懸命に軌道計画の見直しを行いました。

その結果、いろいろ行ったケーススタディの中から、今後地球スウィングバイを2回行い火星到着を4年あまり遅らせれば、推進剤の消費量も少なく火星での科学観測を確実に遂行できる、という結果を見いだしました。

短い時間で行った大変な作業だったと推測します。地球パワー・スウィングバイで発生した推力不足は、燃料供給系の不具合で酸化剤ガス系バルブが完全に開き切らなかったために、酸化剤タンクへの押し圧供給能力が低下したことによるものと推定されました。このラッチングバルブ不具合の原因究明を行った結果、そこで使われている材料不適合によって、しゅう動部の動抵抗が増加し、作動不良に至ったと考えられました。このバルブは、皮肉にも米国の火星探査機マーズオブザーバ

の失敗を受けて、燃料、酸化剤が上流に逆流しないように、逆流防止弁の上流に安全のために追加したものでした。(つづく)

(いのうえ・こうざぶろう)

# 火星探査機「のぞみ」その2

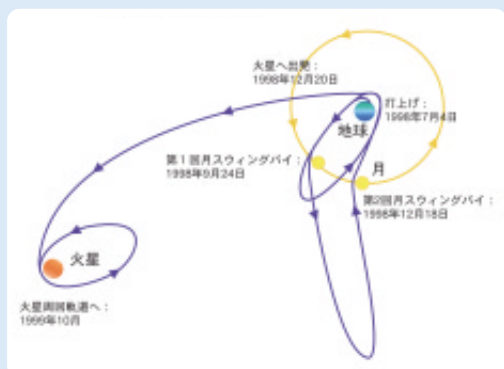


図1 打上げ当初の「のぞみ」の軌道

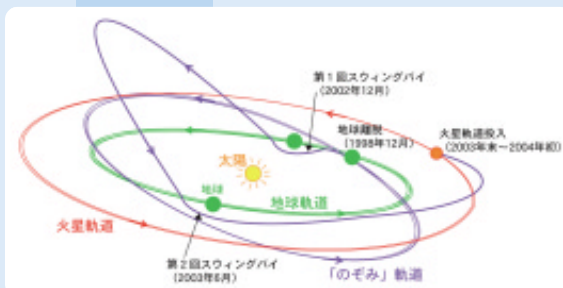


図2 「のぞみ」の新軌道





# 融通の利かない頑固者

タイマ班/点火管制班  
 中部博雄

X-60秒：タイマ点火管制装置起動，X-50秒：タイマスタート，  
 X-30秒：タイマ正常確認，X-15秒：SMRC（ロール制御用固体モータ）点火，X=0秒：ロケット点火……

ロケットに搭載されたタイマは、すべての点火系を実行します。今回は、そのタイマ点火系について、眠くならない程度に説明しましょう。

## タイマ点火系

### ● タイマ機器

タイマ系は、タイマ、点火電源、点火電源スイッチ、タイマ信号を受けて火工品に信号を送るリレーボックスからなっています。M-V ロケットの場合は、2段目と3段目の計器部に搭載されています。タイマはX-50秒に自動的にスタートし、1段目ロケット点火から、あらかじめ設定された時間に火工品に信号を送るので、安全性と信頼性が問われます。そのため、タイマ部は3系統にするなど、暴走防止の対策が取られています。

### ● 点火系

M-V ロケットの点火系は、火工品と呼ばれる火薬で作動する製品が使われています。M-V ロケットの主な点火項目は、ロケットの点火、各段ロケットや衛星の分離、そしてロケット先端部のノーズフェアリングと呼ばれる衛星を保護しているカバーを開けるのも火工品です。また、ロケット飛翔時に何らかの理由で異常が発生し、ロケットが予定以外の所に落下するおそれがある場合に、地上からのコマンド送信によりロケットを破壊する火工品もあります。これら点火系は、いずれも冗長(2系統)回路として信頼性を確保しています。

### ● 点火玉

火工品には点火玉が使われます。点火玉は直径約5mmのロダン鉛系火薬で、その中に白金線が入っており、それに電気を通すと白金が発熱して発火します。そして、点火玉を包んでいる火薬に引火して、火工品が作動します。

点火玉には鋭感型と鈍感型がありますが、宇宙研では470機以上のロケットに鋭感型点火玉を使用しています。その主な理由は、ロケットの分離など同時に多くの火工品を点火する場合は、斉発性(同時発火性)に優れている鋭感型点火玉を直列に接続することにより、点火玉1個の場合と同じ電流で全数発火させることができるからです。その結果、点火電源容量は小さく、点火系の計装配線が容易で、安価となります。これは日本独自の方法です。

## 打上げ直前のRS練習

これは、打上げと同じ体制で行う、X-60秒から打上げまでの緊急停止(エマスト)練習のことで、タイマを止めて打上げを中止します。RS班が心を鬼にして、いじわるな際どい不具合の問題を出し、それに対して各担当者がエマストの判断をするも



点火タイマ管制装置

ので、実験班の冷静で敏速な判断が問われます。本番以上に神経を使うきつい練習が数日行われます。

## 点火系導通チェック時の安全確保

点火系導通チェック時には、まず射場(M台地)を立ち入り禁止として、タイマ班と点火管制班は、M-V ロケットの点火電源スイッチ、安全スイッチ、点火系安全コネクタ、SAD(Safe and Arm Device: 点火系安全装置)の安全を確認します。その中で、点火系安全コネクタとSADの接続はロケット班が担当しています。

次に、点火系の操作ラインをON/OFFする中間スイッチキーを安全側に切り替えて、現場作業者が持参しています。現場作業員から見れば、唯一自分で安全を確保できる手段ということになります。このように、同じ作業をタイマ班、ロケット班、点火管制班の立場から協力して行い、安全を確保しています。

点火系作業終了後、点火系導通チェックに入ります。問題なければ角度セット、タイマ電源ON、搭載機器動作チェック、点火系発射側切り替え、そして打上げとなります。

## 融通の利かない頑固者

人為的なミスや機器の故障が複数発生しても大丈夫のように何重にも安全策が取られていますが、油断は禁物です。最終的に安全を守るのは人間です。事故はいつでも起こる可能性があることを肝に命じて、点火系担当者は慎重に確実に作業を行います。

点火系作業は、一般的な作業と比べて制約が多く、そこまでやるの?と思うかもしれませんが、それでも融通の利かない頑固者になって、基本的には安全対策や作業手順を先代から引き継いできました。それは過去50年間無事故でやってきた成果であり、タイマ点火系作業者の誇りとなっています。(なかべ・ひろお)



**ゼウス** (以下**ゼ**): 皆さん、こんにちは。ワンポイント・ギリシャ語講座の時間です。講師のゼウスと――

**アポロン** (以下**ア**): 助手のアポロンです。アテナお姉さんは、今日はお休みです。ごめんね!

**ゼ**: 今日のスキットは先週に引き続き、ギリシャにやってきた日本人研究者のお話です。彼は10月26日から30日までギリシャに出張で来ています。RADECS (RADiation Effects on Components and Systems) という国際研究会で発表するためにやってきました。

**ア**: この研究会は半導体素子や集積回路に対する放射線の影響を議論する場で、世界中から多くの研究者がやってくるんですね! 朝から晩までセッションがぎゅっしり詰まっているとか!

**ゼ**: そうですね。RADECSはヨーロッパで年に1回開催される国際会議で、今年はアテネのグリファダで行われています。エーゲ海に面した、とてもすてきな場所ですね。さて、前回のスキットでは、延々17時間のフライトも何のその、ぐっすり眠り続けたおかげで時差ボケする暇がなかった、ということまでを勉強しました。

**ア**: 眠っていただけなのでギリシャ語は一言も出てきませんでしたね!

**ゼ**: 今日のスキットは、会議前日の夕方に到着したのをこれ幸いと、アテネ市内まで足を伸ばしたところから始まります。今日の内容を覚えればギリシャの生活はバッチリですから、頑張ってくださいね!

#### ヤーサス!

**ア**: ゼウス神殿に来たようですが、なんだか困っていませんか?

**ゼ**: チケットを売っている人に何と話し掛けていいかわからないようです。こんなときは「ヤーサス!」と元気よく声を掛けてみましょう。

**ア**: ヤーサス!

**ゼ**: これは「こんにちは」という意味です。ギリシャの人に聞いたところ、時間帯によらず使える自由度の高い便利な言葉なようです。「じゃあね!」とお別れするときにも使えるそうですよ。

**ア**: 便利ですね! あ、倒れた柱を見て「ちくわぶの刺し身?」とか言ってますよ!

**ゼ**: この神殿はパルテノン神殿を上回る壮大なものだったのですが、ヤツはその偉大さをまったく分かっていませんね。

**ア**: 自分の家を「ちくわぶ」と言われた気持ちも分かりますが、ここは落ち着いてくださいね!

#### ミスス、バラカロー!

**ゼ**: パルテノン神殿も見終わって、アクロポリスの丘を下りてきました。

**ア**: のどが渴いたのでお店に立ち寄って何か飲もうとしますよ!

**ゼ**: そんなときは「ミスス、バラカロー」と言ってみましょう。

**ア**: ミスス、バラカロー!

**ゼ**: 「ミスス」はギリシャの地ビールで、その名も「神話」と直球勝負です。すっきりとした軽快な味わいが特徴ですよ。「バラカロー」が英語のプリーズに当たります。

**ア**: バラカローには「どういたしまして」のような意味もあるんですね?

**ゼ**: そうです。便利な言葉です。ちなみに「ミスス」を「ウヅ」に替えればギリシャの強烈なウオッカを注文できますよ。アニスという薬草の独特の香りが爽快です。こちらも覚えておきましょう。

#### エフハリスト!

**ア**: ビールが出てきたようですよ!

**ゼ**: そんなときは「エフハリスト」と言いましょう。「ありがとう」という意味です。

**ア**: エフハリストー!

**ゼ**: オヒ! いいえ、アクセントが違います。最後の「ト」にストレスを置いて、あまり伸ばさないように。

**ア**: エフハリスト! あ、「アクロポリスって、お子さまランチのライスみたいに、こんもりした丘だなあ」とか言ってますよ!

**ゼ**: 丘にはちゃんとギリシャの国旗も立っていますから、びったりですね。

#### トン ログリアズモ、バラカロー!

**ア**: ウヅまで飲んで、すっかりいい気分ようですね!

**ゼ**: そろそろホテルに帰しないと、明日からの会議で使いものになりませんね。お店を出る前に「トン ログリアズモ、バラカロー」と言いましょう。

**ア**: トン ログリアズモ、バラカロー!

**ゼ**: 「お勘定お願いします」という意味です。これを言わずに出ると大変なことになってしまいます。バラカローはさっき出てきましたね。それ以外は誌面の都合上省略します。

**ア**: 分からないんですね!

#### アディオ!

**ゼ**: さあ帰りましょう。「さようなら」のあいさつは?

**ア**: 「ヤーサス!」ですか?

**ゼ**: それでもいいのですが、ここはかっこよく、この一言で決めましょう。アディオ!

**ア**: アディオ! でも先生、ギリシャは英語通じますよ!

(こばやし・だいすけ)



ちくわぶの刺し身?



# 「ひので」の打上げに「ボイジャー」を想う 宇宙に旅立ったバッハのプレリュード

「3, 2, 1, 0」,そして静寂。白煙とまばゆいばかりの炎が上がり、やがて、大津波が襲ってくるかのような轟音。何度体験しても、魂の奥底から揺さぶられるような感動があります。2006年9月23日早朝、6時37分、当初予定きっかりに、太陽観測衛星 SOLAR-B「ひので」を搭載したM-Vロケットが内之浦から打ち上げられました。

思い起こせば今から51年前の1955年、東京都下、国分寺の実験場で、東大の糸川英夫博士率いる研究グループがペンシルロケットの発射に成功して以来、数々の成果を挙げてきたシリーズのロケットでしたが、この打上げが最後だということで、鹿児島入りしたのです。そして、打上げ後、発射台に高熱で焼き付けられた炎の跡を間近に眺めながら、今から29年前の1977年、ちょうど今ごろのことを思い出していました。太陽系・外惑星探査を目的として打ち上げられたNASAのボイジャーのことです。

皆さんもご存知のように、ボイジャーには、世界50数ヶ国の言葉で「こんにちは、ごきげんいかがですか」というあいさつをはじめとして、地球の音情報を収めた1枚の録音板が搭載されています。その中に、E.T.との遭遇を想定して、J.S.バッハの「平均律クラヴィア曲集」第1巻から、第1番ハ長調プレリュードが入っています。いったいなぜ、この曲目が選ばれたのでしょうか？

私たちヒト科哺乳類の胎内での脳の生育過程を調べてみると、聴覚は、ほかの視覚、味覚などに比べて2倍以上の時間をかけて、ていねいに形成されることが分かっています。この事実、今から数千万年前に地上を制覇していた恐竜の化石の研究から明らかになったことなのですが、恐竜の聴覚がおそまつだったことと関係があるようです。つまり、耳の機能が劣っていた恐竜は夜間は活動できず、その合間に、私

## 佐治晴夫

鈴鹿短期大学学長

たち哺乳類の祖先は、暗闇に強い聴覚を発達させながら細々と生きていたということです。言い換えれば、耳の発達、脳の形成にも重要な役割を演じていたということです。その証しとして、現代でも、人生の終焉のときまで活きている感覚は聴覚であり、音楽が心のケアなどと大きくかかわっていることは周知の通りです。

ところで、宇宙の共通言語は、と問われれば、それは数学の論理でしょう。もし  $A > B$  で  $B > C$  ならば  $A > C$  である、といった論理性は、宇宙の普遍的な真理です。実は、1970年代に、私は「ゆらぎ」の研究に携わっていたのですが、そのころ、このバッハの曲の音の配列と全体構成の中には、特別な数学的性質が含まれていることに気がきました。そこで、宇宙の普遍的言語としての数学と、脳の一番深いところにあ



時間をやりくりして、つかの間の音楽浴。お気に入りのコンサート用パイプオルガンでバッハを弾きながら、はるかなる天空に想いをはせる。(静岡AOIホールにて)

る聴覚とかかわる音楽を合体させ、この曲の搭載を提案したのでした。演奏者は、カナダ生まれの世界的天才ピアニスト、グレン・グールドさん。惑星科学の権威、カール・セーガン博士が傾倒していた、今では伝説のピアニストです。

そのときから、この曲は、私の人生にとってかけがえのないものになりました。例えば、朝起きて、まずピアノでこの曲を弾くと、その日の自分の体と心のコンディションが分かるのです。

さて、「音楽は魂の最も深いところに触れる芸術である」と喝破したのは確かロマン・ロランだったと思いますが、糸川先生は音楽をこよなく愛され、ヴァイオリン製作やチェロの音質をよくする方法などについて考えておられるという評判を耳にしたことがあります。糸川先生がかかわっておられた東大の生産技術研究所と同じ敷地内の物性研究所に、駆け出しの研究者として私もいたこと。そして晩年には、遂にクラシックバレエに挑戦されたことも大きな話題になりました。

実は、その私も恥ずかしながら、信じられないような偶然のいたずらから、1999年にチャイコフスキーの「眠りの森の美女」第2幕で王子の後見人役で、さらにその4年後の2003年には、観世流能「菊慈童」の初舞台を国立能楽堂で踏む羽目になりました。それぞれ64歳と68歳のときです。私は、糸川先生の教えを直接仰いだ弟子ではありませんでしたが、私の人生に色濃く影響を及ぼしていかれたのも、糸川先生でした。

先生の流れをくむ最後のロケットの打上げの余韻が冷めやらぬまま、パイプオルガンに向かってみましたが、そのバッハの残響が、M-Vロケットへの挽歌のように響いたのは、秋というこの季節のせいだったということなのでしょうか。(さじ・はるお)

