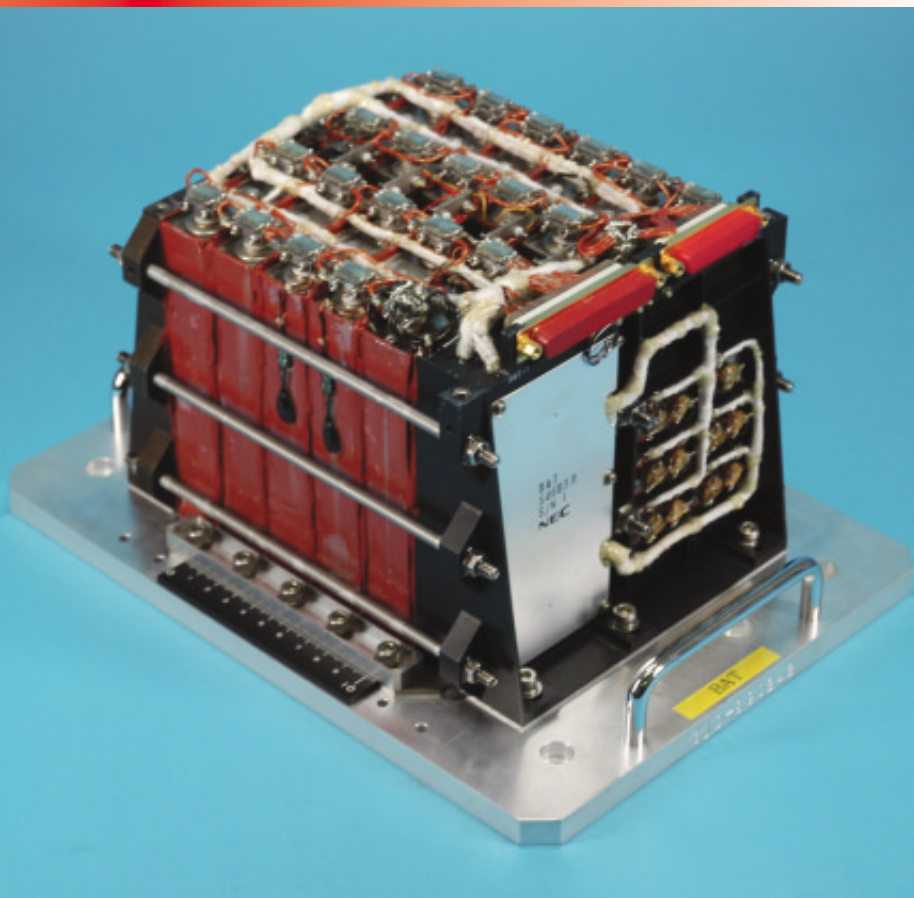
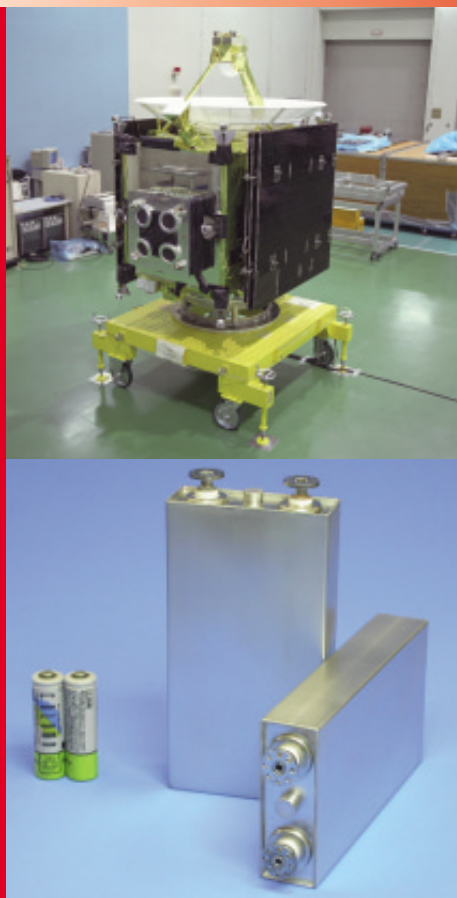




試験中の「はやぶさ」と、搭載されたりチウムイオン二次電池（左下）およびバッテリー（右）

宇宙科学最前線

多様化するミッションに向けた蓄電技術

曾根理嗣

宇宙探査工学研究系助教授

電池はなぜ必要か

人工衛星などの宇宙機の運用に欠かすことができない部品がバッテリーです。人工衛星は、太陽光が衛星に当たる日照期間は太陽電池により発電が可能です。太陽の光が当たらない日陰期間はバッテリーに蓄積した電力により運用します。バッテリーとは電池（化学電池）を組み上げたもので、1個の電池（通称セル）では電圧や容量が足りないの、直列（電圧が上がる）あるいは並列（容量が大きくなる）に接続してバッテリーとします。

4トン級の地球周回衛星に必要なエネルギーは3kWくらいです。この電力を発生／貯蔵するために、6～7kWくらいの太陽電池を使って発電し、その余剰電力をバッテリーに蓄電します。質量を軽減したい宇宙機にとって電池の軽量化は不可欠であり、宇

宙航空研究開発機構（JAXA）では活発な研究開発を進めています。この中では、通信機器やコンピュータ、自動車などのために開発された電池の技術導入も推し進められています。ただし衛星は大電力を必要とするため、コンピュータなどで使用される電池の10倍から100倍もの容量を必要としており、その上、衛星軌道上では交換が難しいことから、高い信頼性が要求されます。

ここでは電池が歩んできた歴史と関連付けながら、宇宙用電池についてご紹介します。

宇宙用電池の歩み

人間が宇宙を目指した当初から、電力確保は大きな課題でした。『アポロ13』という映画の中で電気系技術者が「Power is Everything! ——（電）力がすべてだ!」というシーンがあります。事故により電



図1 宇宙用ニッケルカドミウム電池（Ni-Cd）とニッケル水素電池（Ni-MH）

力確保ができなくなり、宇宙飛行士の生還が困難になったときに、紛糾する議論の中で電気系技術者が周囲を制して告げる言葉です。電気がなければ宇宙機を動かすことも、もちろん人間を生かすこともできません。

電池の歴史は古く、近代化学が発達した1700年代末にガルバニがその原理を発明し、1800年代に入ってボルタ電池をはじめとする種々の電池が考案されました。「異なる物質（初期は金属）を向かい合わせて電解液により隔てると起電力を生じる」という電池の概念は、このころに生まれたとされています。しかし実はもっと古く、イラクの古代遺跡（B.C.200年ころ～A.D.200年ころ）からも電池らしきものが発見されています。バグダッド電池と呼ばれ、粘土の壺の中に銅製の筒が入っており、中心に鉄心を入れ、電解液として酢かワインを入れて電池を構成したと考えられています。

このように古い歴史の中で、ある種の電池は何度も充電できることが分かります。充電可能な電池を二次電池、充電のできない電池を一次電池といいます。特に1899年にスウェーデンのユングナーにより発明されたニッケルカドミウム電池（通称ニッカド電池）は、比較的軽量の二次電池であったことから携帯機器用に発達し、炭鉱などでランプを頭に付けて作業をする際や、無線機を持ち運ぶときなどに使用されました。正極材料としてオキシ水酸化ニッケルを、負極材料に水酸化カドミウムを使用しており、電解液には高濃度の水酸化カリウム水溶液を使用しています。浅い充放電を繰り返すと見掛け上の容量が劣化する現象（メモリー効果）があるなど、上手に使いこなすには難しい点もありましたが、長い時間をかけて研究された電池です。長い歴史のおかげで使い方がよく分かっており、また密閉化ができる電池なので、人工衛星やロケットでは今でも電源の主軸です。

一方、軽量化の試みとして考案された電池が、ニッケル水素電池です。ニッカド電池の負極材料を水素吸蔵合金という物質に置き換えた電池で、ニッカド電池よりも軽くて小型になるため、初期のノートパソコンや携帯電話用に普及しました。日本の民生部品・コンポーネント実証衛星「つばさ」に搭載されたほか、光衛星間通信実験衛星OICETS、科学衛星LUNAR-AやASTRO-Fなどに使

用されます。比較のために、同じ容量の宇宙用のニッカド電池とニッケル水素電池を図1に紹介します。

ニッケル水素電池とは、負極の水素吸蔵合金の中を水素が出入りすることにより充放電が行われる電池ですが、水素ガスを直接圧力容器に封じた高圧型ニッケル水素電池も開発されました。ほかの電池は民生用でも市場を持っていますが、この電池は特に人工衛星や潜水艦などで使用される電池です。図2にバッテリーの外観を示しましたが、充放電を繰り返してもほとんど劣化せず、また過充電や過放電にも高耐性を有しています。日本では技術試験衛星「さく6号」に初めて搭載され、その後「かけはし」「こだま」などに搭載されました。

宇宙用電池の新たな試み

上述したニッカド電池などは長い歴史の中で研究されてきた大変優秀な電池です。電池が1kg当たりに蓄積可能なエネルギーを質量エネルギー密度（単位はWh/kg）といいます。前述の電池は40～60Wh/kg程度でした。その後、携帯電話やコンピュータなどの集積化が進む中でより高密度な電池が必要となり、リチウムイオン二次電池が開発されます。

この電池の最大の特徴は軽いことです。エネルギー密度は100Wh/kg以上であり（最近では160Wh/kgに達するものもある）、従来の二次電池の2倍以上です。1990年ころから開発が進み、モバイル機器には欠かせない技術となりました。

例えば、ニッカド電池を搭載する4トン級の地球観測衛星であれば、全質量の約7%程度の250kgから300kgがバッテリーの質量です。もしリチウムイオン二次電池が使えるれば、この質量が約半分の150kg以下になり、代わりにセンサーの搭載や打上げ費用の節約ができます。このため宇宙用リチウムイオン二次電池の開発が、世界各国で精力的に進められています。

日本では、世界に先駆けて衛星搭載用の大型リチウムイオン二次電池の開発を進めてきました。2003年5月に打ち上げられた「はやぶさ」には、世界で初めて大容量の宇宙用リチウムイオン二次電池（約13Ah）が搭載され、順調にフライトを続けています。表紙は、「はやぶさ」と、これに搭載されているリチウムイオン二次電池およびバッテリーです。

燃料電池への期待

これまで述べてきた二次電池とは別に、人類の宇宙進出を支えてきた技術が燃料電池です。燃料電池は、水素と酸素を反応させて、燃やさずに直接電力を取り出す発電システムですが、電気ととも

図2 技術試験衛星VIII型（ETS-VIII）用100Ah高圧型ニッケル水素電池の1ユニット。これを二段直列に接続し、1バッテリーを構成する。



に水を生成するため、有人宇宙活動を中心に進歩しました。

ほとんどの電池は地上用途で培われてから宇宙に進出しましたが、燃料電池は宇宙に端を発する電池です。宇宙で電気と水の両方を必要とした人類は、月を目指す時決めたときにまだ研究レベルだった燃料電池の実用化を決心します。1960年代のジェミニ計画で実用化された燃料電池は、その後のアポロ宇宙船やスペースシャトルにおいても使用され、今も有人宇宙活動を支えています。

今日、自動車や家庭用の電源として燃料電池に注目が集まっていますが、その基本技術は過去の宇宙開発から生まれたものともいえます。そこに最新の材料技術を導入し、安価で信頼性の高い技術として燃料電池を開発する機運が高まっています。同様の要求から、航空宇宙分野においても新しい燃料電池の開発を試みています。

図3はJAXAにより試作された燃料電池です。通常は大気環境下で使用することを想定する燃料電池を、宇宙という閉鎖環境下で運転が可能な設備として試作しました。スペースシャトルで要求される運転条件で運転試験を続けており、安定な発電性能を確認できています。いったんひな型ができると、いろいろな研究の方向性が見えてきました。

まず、この閉鎖型燃料電池を小型軽量化して、宇宙機に搭載できる状態にしたいと考えています。現在JAXAが開発中の宇宙ステーションの補給機は、総質量約16トン／ペイロード質量約6トンに対して、搭載するリチウム系電池は1トン程度となります。燃料電池が使用可能となれば電源質量を半減でき、類似のミッションの能力向上が図れると考えます。

また、JAXA宇宙科学研究本部には気球や垂直離着陸ロケットなどの技術があります。気球は成層圏領域を飛びながら観測や実験をしますが、その電源として使用すれば、北欧や南極の冬のような太陽の昇らない地域でも長期間の観測が可能になります。垂直離着陸ロケットは水素／酸素を燃料としており、この燃料の余剰分を活用すれば、数kgでロケットに必要な電力を賄える発電機として活躍することができます。

この延長として、深宇宙探査機や地球周回衛星などにおいても、画期的な技術革新をもたらすことが可能になります。人工衛星は軌道上での姿勢制御用に燃料と酸化剤を積んでおり、これを燃料電池と共有すれば衛星電源の質量軽減が可能になるからです。また、衛星の電力系に不具合が発生したときでも、残推薬を使用して発電を行うことができれば、衛星の不具合にかかわるデータを送信できるばかりか、軌道を変更してデブリ(宇宙のごみ)

化を防止することも可能となり、極めて有効な技術として進歩するものと期待しています。

今後の展開

地球から離れた場所で電気を必要とする宇宙機は、いろいろな電池を工夫して使用しながら歴史を刻んできました。当面は、リチウムイオン二次電池をいかに使いこなすかが、宇宙用電源技術としては大切な研究になると考えます。また、燃料電池技術を習熟させ、さらには宇宙機

の大型化に対しては、水の電気分解装置と組み合わせた再生型燃料電池が適用される時期がくると思います。

それでは、電池以外の蓄電システムはないのか。これも重要なテーマです。その一例が電気二重層キャパシタです。電極表面の電気二重層領域に電気を蓄える装置で、電池に比べると急速充電や急速放電が可能なか、二次電池の10倍から100倍以上の充放電回数に耐え得ると考えられています。これが将来の宇宙機を支える技術として成熟するかどうか、現在研究を開始しています。

ほかの技術同様、宇宙機に搭載する蓄電システムも万能というものはありません。時代とともに廃れる技術もあれば、新技術として期待されつつ実用化に問題を抱えることもあるでしょう。しかし、電気がなければ電子機器を動かすことができない以上、進歩し続けることを期待される分野の一つであると考えます。

(そね・よしつぐ)



図3 閉鎖運転を目指したJAXA試作燃料電池
スペースシャトル運用模擬を含む1000時間以上の運転試験を実施

追悼

宇宙航空研究開発機構総合技術研究本部エレクトロニクス技術グループ長 桑島三郎氏が、去る2004年9月15日に逝去されました。氏は生涯を宇宙用電池の研究開発に捧げ、宇宙機基盤技術としての電源系技術の発展に貢献されました。教えを受けた一人として、ここに哀悼の意を表するとともに、心からご冥福をお祈り申し上げます。

桑島さん、後のことは心配ですが、どうかお任せください。心安らかに、宇宙から見守ってください。

X線天文衛星ASTRO-EIIの現状

本年4月に始まったASTRO-EII衛星の総合試験は、胸突き八丁、マラソンでいえば35km地点を過ぎた所まで来ています。各搭載機器のインターフェース確認、衛星ベキキング、頭胴部仮組試験を経て、7月に初めてほぼ衛星全システムがインテグレーションされた状態となり、3日間の連続ランニング試験などを行いました。8月には熱真空試験を行い、9月には冷媒（固体ネオンと液体ヘリウム）を搭載したX線分光検出器の飛翔モデルが衛星に搭載され、6日間の連続ランニング試験を行いました。ランニング試験の結果は大変良好で、特にX線分光器については、ASTRO-Eのときに問題となったモーメントムホイールとの干渉も皆無で、6keVのX線に対して半値幅で6eVを切る高いエネルギー分解能が得られました。

一方、熱真空試験の際、電池充電動作時に硬X線検出器の雑音が増大することが分かりました。このため計装配線などに干渉軽減のための対策を施した上で、最終的に太陽電池パドルに疑似太陽光を照射して衛星電力を賄う照射試験を行い、干渉が十分に軽減したことを確認しました。これまでの試験で、ASTRO-EIIの最大の特徴である高分解能X線分光と広帯域X線分光について、必要な性能が衛星レベルで得られていることを確認することができました。

一方、JAXAの衛星総点検の一つとしてASTRO-EII衛星の総点検が5月から行われてきました。点検の結果、打上げに支障のあるような重大な問題点は指摘されませんでしたが、より信頼性を増すための要対策・要検討事項が31項目指摘され、その対策と検討を進めてきました。現在、全対策と検討事項について対応のめどがついた状態です。点検に当たっては、プ

ロジェクトチーム、特に宇宙研工学関係者と関係メーカーの方々には大きな負担をおかけしたと思いますが、要対策・検討事項はいずれも衛星の信頼性をより向上するために非常に有効なものであり、大きな労力を払っただけの価値は十分にあったものと思います。なお、総点検の方法と結果は、宇宙開発委員会調査部会のもとに作られた衛星総点検専門委員会に報告され、承認されました。

衛星の試験と並行して、打上げ後の観測に向けた準備も着々と進んでいます。ASTRO-EII衛星では、世界中の研究者からの観測提案を受け付けています。8月には、第1回国際公募観測の提案が締め切られましたが、今回の公募では、インド・韓国などアジアの国からの提案もありました。提案された全観測時間は、可能な観測時間の3倍以上となっており、現在、日米で審査が行われています。

総合試験は、いよいよ最後の難関である機械環境試験に向けて準備に入りました。機械環境試験後は、3日間の

連続ランニング試験による最終動作確認などを行い、12月半ばに総合試験を終了する予定です。これで、衛星は2005年の打上げオペレーションに向けて準備完了の状態になります。

これまで総合試験の途中でいくつか問題が発生しましたが、今のところ総合試験は、当初の予定通りに進んでいます。これは、問題が起こるたびにハードなスケジュールをこなして、一丸となって問題解決に力を尽くしてきたプロジェクトチームの努力の結果であると思います。特に、非常にタイトなスケジュールの中で、夜遅くまで、また休日をつぶしてご協力いただいた関係メーカーの方々に、まだ途中ではありますが、この場を借りて深く感謝したいと思います。

（満田和久）



ASTRO-EII衛星照射試験（2004年9月30日、ISAS衛星クリーンルーム）。この試験ではend-to-end試験の一環として、疑似太陽光（写真右下）を太陽電池パドル（写真中央右側）に照射し電力を確保した上で、地上系との有線の接続をすべて切り離し、軌道上動作に近い状態を模擬しました。また、硬X線検出器の感度を上げるため、衛星全体をビニールバッグに入れて（写真左側）温度を周辺よりも数度下げています。また、X線分光器の液体ヘリウムを超流動化するための排気も行いました（写真左下に排気用配管）。

赤外線天文衛星ASTRO-Fの現状

ASTRO-Fは、日本で初めての赤外線天体観測専用の人工衛星です。昨年のISASニュース7月号で、反射望遠鏡の支えの部分に不具合が発見され、打上げが延期

されたことをお伝えしました。今回、この望遠鏡不具合の改修が終わり、衛星の組立てが再開されたことをお伝えできることになりました。



改修を終えたASTRO-F望遠鏡

ASTRO-Fの望遠鏡は口径が約70cmの反射望遠鏡です。反射鏡は炭化ケイ素という望遠鏡としては新しい素材で作られており、望遠鏡自身が赤外線を放射し

て観測の邪魔をするのを防ぐため、極低温の液体ヘリウムを搭載して摂氏マイナス266度まで冷却されます。昨年見つかった不具合は、極低温での振動試験で炭化ケイ素の鏡に接着されていた支持金具がはがれてしまう、というものでした。その後、専門家による対策チームの検討に基づいて支持金具の材料が変更され、また形状も改良されました。新しく組み立て直された望遠鏡は、今年6月から7月にかけて行われた極低温振動試験に合格し、打上げ時の過酷な環境に耐えることが示されました。現在は、望遠鏡に赤外線センサーも取り付けられ、液体ヘリウムタンクを備えた冷却容器への組込み作業が行われています。

望遠鏡の不具合のために一時中断していた衛星全体の組立てと試験は、今年12月に再開される予定です。打上げの日時はまだ決定されていませんが、来年の夏にはいつでも打上げが可能なように準備を終えることを目標に、作業が進められています。

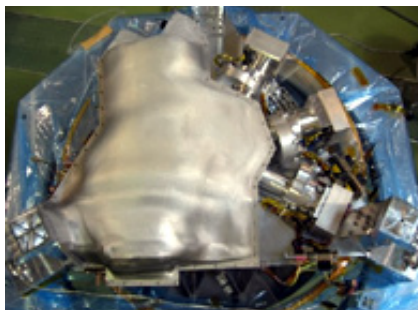
これと並行して、韓国やヨーロッパの研究機関と共同で、迅速なデータ処理

のためのソフトウェア開発、あるいはヨーロッパの受信局でASTRO-Fのデータを受信してもらうための準備も進めています。また、国内外の100名ほどの天文研究者の協力を得て、観測計画の議論も進んでいます。全天をスキャンして赤外線を放射している天体を探すだけでなく、特定の天域を何度も観測してさらに暗い天体まで検出したり、大マゼラン雲の全域を赤外線で調べ尽くす計画などが議論されています。ほかにも、私たちの太陽系の中にある天体から、百億光年を超える遠方の銀河まで、さまざまな観測計画が提案され、検討が詰めの段階に入っています。

軌道に打ち上げられた後もASTRO-Fが正常に動作し、きれいな天体画像などを皆さんに見ていただけるよう、打上げまでもうひと頑張りしたいと思います。

(村上 浩)

冷却容器に組み込まれる望遠鏡



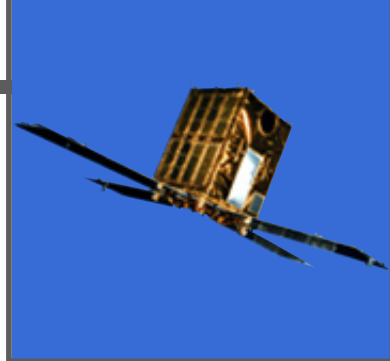
望遠鏡焦点面に取り付けられた赤外線観測装置

ロケット・衛星関係の作業スケジュール(10月・11月)

	10月			11月		
相模原	頭		ASTRO-EII FM総合試験			末
	頭		SOLAR-B FM一次啮合せ			末
	頭		INDEX FM総合試験			末
	9月30日	15日	S-310-35号機 啮合せ	S-310-35号機	フライトオペレーション 27日~12月7日 (アンドーヤロケットレンジ)	
内之浦		中旬		下旬	M-V-6号機 第1組立オペレーション	
				上旬	M-V-6号機 第2組立オペレーション	12月上旬
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



「ぎんが」



井上浩三郎

「はくちょう」、「てんま」に次ぐX線天文衛星ASTRO-Cは、1987年2月5日15時30分、M-3SIIロケット3号機によって打ち上げられ、近地点高度505.5km、遠地点高度673.5km、傾斜角31.1度、周期96.5分の軌道に投入され、「ぎんが」と命名されました。

衛星の概要

この衛星の総重量は420kgで、太陽電池の発電能力は最大500ワット。電源系、データ処理系、姿勢系および姿勢制御系、通信系、観測系の各機器で構成されています。

特に、大型化と観測の精密化に伴ってバブルメモリデータレコーダ(BDR)、CCDスターセンサー(STT)、CCD太陽センサー(NSAS)を初めて採用。科学衛星として初めての3軸姿勢制御で、Z軸回りの制御はモーメントホイールで、Z軸に垂直方向の制御は磁気トルカーの励磁で行いました。STTの星像による姿勢の決定精度は0.01度です。

ジャイロのドリフトはSTTから得た星の位置によって補正。初めて本格的なデータレコーダとして搭載した41.9メガビットのBDRは、140kbps以下の任意の速度で再生でき、従来と異なって可動部がないため姿勢の外乱がないという利点を持っています。

通信系では、コマンド送信波として従来のVHFに代わってSバンドを使用。観測器は、大面積比例計数管(LAC、英国と協力)、全天X線監視装置(ASM)、ガンマ線バースト検出器(GBD、米国と協力)の3種類です。

機器の動作状況

衛星を軌道投入後、第3段モータを分離し、続いてヨーヨーデスピナによりスピンを毎分約10回に低減させました。さらに、今回初めて採用した4枚の太陽電池パドルの同期展開も正常



写真1 大面積比例計数管(LAC)
8個搭載。この種の観測器として世界最高感度を持つ。

に動作し、その結果スピンは毎分3.5回となりました。各機器の動作は、すべて正常でした。

超新星からのX線をとらえた「ぎんが」その1

2月6日から3週間かけて姿勢制御の動作確認に入り、一連のチェックを行いました。いずれの動作も設計通りの性能を示しました。電源系と通信系についても同様でした。

打上げ後の姿勢制御の試験も終わりに近づき、2月24日に観測機器の高圧電源投入を行った直後、小田稔先生から「大マゼラン雲に超新星(SN1987A)出現」の報が入り、2月26日、急きょ観測機器は観測態勢に入りました。

私たちの銀河系のすぐ近くの銀河における超新星の出現は、1604年以来のことで、世界中の天文学者を興奮させ、「ぎんが」にとっては千載一遇のチャンス。打上げ直後の出現は幸運な出来事でした。小田先生は、「小型でも1年に1機のペースで粘り強く科学衛星を打ち上げ続けている宇宙研の戦略の勝利だ。アメリカの物理学者Freeman Dysonも議会で“Small but quick is beautiful.”と言って日本のやり方を絶賛している」と評価されました。

標準的X線源であるカニ星雲による較正と並行して観測が行われ始めたわけですが、較正試験の方は3月中に正常に終了。3月25日から稼働を始めたASMが2個のX線超新星を発見、GBDも最初のバーストを3月4日に観測して、順調な滑り出しを見せました。週に1度くらいの割合で大マゼラン雲の超新星の監視を続けるうちに、9月に入ってそれまでに取得したLACのデータを厳密に整理・検討した結果、超新星からと思われるX線を確認しました。同じころ、岐阜県の「カミオカンデ」がこの超新星からのニュートリノを検出したことが、小柴昌俊先生のノーベル賞受賞につながったことはすでに有名です。

(いのうえ・こうざぶろう)

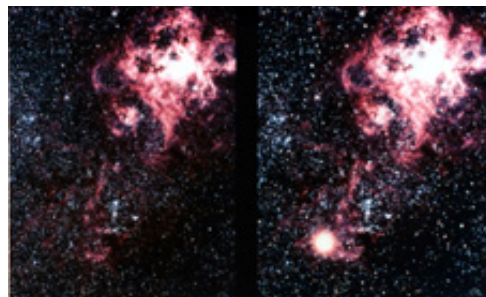


写真2 大マゼラン雲中の超新星1987A
以前に撮影されたもの(左)と、同じ視野にはっきりと見える超新星(1987年2月27日、オーストラリア・サイディングスプリング天文台撮影)。

宇宙の有名人とその配偶者

～「はくちょう座X-1」とHDE226868

東京大学大学院理学系研究科教授 牧島一夫

世の中を良くも悪くもあっと言わせた主人公に対し、その隣人たちは「まさかあの目立たない人が……！」と言うことが多い。

HDE226868というコードネームを持つ星も、まさに同様の例であろう。ちなみにHDはヘンリー・ドレーパーという天文学者の頭文字で、彼やその後継者たちは19世紀後半から20世紀前半にかけ、22万5000個もの星をスペクトルや等級で分類し、膨大なカタログを作った。HDの後にEがついているのは、その補遺を意味する。

HDE226868星は、1960年代の末までは全天で十数万個もある9等星の中の1つにすぎず、学術論文にも、映画のエキストラのような役回りで数回しか登場しなかった。それが1970年代の半ばには、一躍渦中の人となった。なぜかという、この平凡な星には、とてつもないトップスターの配偶者がいることが発覚したからである。そう、宇宙で最も確実にブラックホールであるといわれているX線星、「はくちょう座X-1」である。

このX線星は、宇宙X線が発見された1962年の直後から、業界ではちょっとは知られた存在だった。宇宙研の元所長である故・小田稔博士は1971年、その強度が1秒足らずで変動することを見抜き、これはただ者ではないと直観されたという。博士らは「すだれコリメータ」でそ

のX線の位置を正確に決め、電波や光の天文学者と協力して世界的な追跡を行った。その結果、このX線星はHDE226868星とカップルを組み、5.6日の周期で互いに相手の周囲を回っていることが、スクープされたのである。

カップルであることが発覚すると、互いの力関係やら体重やら、いろいろ計算できてしまう。HDE星は、太陽より30倍も重い巨漢なのだが、その光スペクトルのドップラー効果を用いると、相手にギリギリ振り回されていることが分かる。つまりX線星も、太陽の10倍は下らない大質量を持ち、しかも光は出さずX線を出す。どう考えても、これはブラックホール以外には考えられない。

太陽の30倍の巨星と、10倍のブラックホールが、ほとんど密着状態で互いの周囲を回るさまを、想像していただきたい。HDE星は盛んにガスを吹き出している。その一部は、ブラックホールの重力に捕獲され、強烈なX線を出しつつ、そこにのみ込まれてゆく。つまりHDE星は相手にどんどん貢いでいるわけだが、そのおかげなくしては、「はくちょう座X-1」はまばゆくX線で輝くことはできず、ひのき舞台に登ることはおろか、その存在さえ知られなかったろう。トップスターを陰で支える凡人の配偶者、なかなか渋い存在ではないか。

(まきしま・かずお)



図1 幾十万の仲間と比べても、何の変哲もなかったはずの9等星、HDE226868。図の中心に輝く2つの星のうち、下の明るい方。(NASA Skyview ページより)



図2 HDE226868星からブラックホール「はくちょう座X-1」へガスが流れ込む様子の想像図。(Illustration by Martin Kornmesser, ESA/ECF)

北京

計算工学国際会議WCCM

第6回計算工学国際会議（World Congress on Computational Mechanics；WCCM）で開かれるミニシンポジウムのセッションチェアをするため、9月初旬に北京に行ってきました。

WCCMへの参加は、今回が初めてです。3日間にわたるミニシンポジウムおよび一般セッションが、一人の発表時間20分という非常にタイトなスケジュールで、朝8時半から夜の6時まで、18の会場を使って組まれており、とても大きな会議であることに非常に驚かされました（2日間のPlenary lecturesも入れて合計5日間、会議は行われた）。講演者は、中国はもちろん、日本・北中南米・ヨーロッパ・オーストラリアなど世界中から集まり、計算工学に関する基礎から応用まで幅広い研究内容が発表されました。

やデジカメなどの電化製品は数万円、輸入物の衣類は数千円、スターバックスやマクドナルドは数百円と、日本とほとんど変わりがありませんでした。平均月収4万円程度だという北京の一般家庭から見るとこれらは非常に高価で、北京の中心街は中国の一部の富裕層、および外国人観光客のために再開発されているということなのでしょう。新しいお店は現在も次々作られており、新車は数カ月待ち、郊外にはディズニーランドも建設中だそうです。オリンピックも4年後に控え、中国経済はこれからますます発展していくのだろうと強く感じる一方で、中国では貧富の差の拡大がますます重要な社会問題になっていくのだろうと痛感しました。また、北京に限っては（大都市はどこもそうでしょうが）自動車の急激な増加による交通渋滞、貧しい地方からの流入者による犯罪の増加も大きな社会問題になりつつあるそうです。

進む近代化

中国に行くのは初めてだったので、事前にいろいろと中国に関する情報を集めました。トイレが個室になっていない、タクシー運転手に英語は通じない、衛生状態が悪いなどと聞いていたので、北京に着くまでは、初めての海外旅行のよう

北京を訪れるなら

ホテルが故宮に近接していたので、学会の合間を縫って故宮博物院を訪れてみました。初めて訪れた故宮博物院には圧倒させられました。1km×2kmくらいの広大な敷地の中に東大寺大仏殿のように大きな建物がいくつも連なり、その両脇には歴史を感じさせる建物が無数に並んでいました。スケジュールの関係で2時間程度しか見学することができませんでしたが、明・清時代の宮廷の壮大さに思いを馳せることができました。すべてを見るためには、おそらく丸2日はかかるのではないのでしょうか。

1989年に天安門事件があった天安門は、故宮の正門に当たります。50万人を収容できるという広場の広さに驚かされました。現在も制服を着た警官（軍隊？）が監視しており、中国の緊張した一面も垣間見ることができました。

これから北京に行かれる方に少しアドバイス。北京の冬は非常に寒く、春は風が強く黄砂が飛んでくるため非常にほこりっぽく、夏はまた非常に暑いそうです。ですから北京を訪れるなら9月、10月をお勧めします（時期を選べばの話ですが）。また、北京では歩行者優先という考え方はなく、横断歩道を渡っている歩行者たちに向かって車や自転車、バスですら突っ込んできますので、北京を歩く際は十分注意してください。それと北京料理はとてもおいしいのですが、日本人には脂っこいので、胃薬を持って行かれることをお勧めします。

（おおやま・あきら）



景山から見渡した故宮

に非常に心配でした。しかし幸運だったのか、タクシーの運転手には英語が通じましたし、ホテルは日本とまったく変わらず清潔でとても快適でした（ただし、今回泊まった北京飯店はとても良いホテルなので、安いホテルがどうかは分かりません。また、空港からホテルまでのタクシーで平均的な運賃の3倍の料金を請求された学会参加者もいましたので、やはり注意は必要です）。

学会の会場になった北京飯店がある北京中心部は、いくつものデパートやショッピングモールが立ち並び、行き交う人々は皆おしゃれな服装をしており、日本や米国・ヨーロッパと変わらないほど近代化されていました（建物がすべて新しい分、中国の方が近代的かも）。デパートやショッピングモールではさまざまな物が売られていたので、好奇心からいろいろ物価を調べて歩いたのですが、車は数百万円、携帯電話



太平洋の橋と端

的川泰宣

対外協力室室長・教授

「いも焼酎」の原稿依頼をしていたのだが、失念されたいらしい。責任をとって一文を。

これを書いている瞬間は、バンクーバーから成田への機上にいる。バンクーバーの学会は、こまごまとした会議がびっしりと詰まっていた。出発前から、観光らしい所は行けても1カ所だろうと思っていたら、その通りになった。

そこで選んだのは、新渡戸稲造記念公園である。ラッキーなことに見事な黄葉に囲まれて、しばしの散策を楽しんだ。頭の巡るままに自由な想いにふけていると、浮かんできたのはクラークのことであった。と言うと、ほとんどの方はArthur C. Clarkeのことだと思えだろうが、この場合はWilliam S. Clarkである。

クラーク博士といえば「ああ」という人も多だろう。1870年代、当時北海道開拓使長官だった黒田清隆がクラーク博士の招聘に着手したとき、クラーク博士はマサチューセッツ農科大学の学長さんだった。人格・知見ともに抜群で人気の高かったクラークが職半ばにして日本に渡ること、理事会は当然反対した。それを押し切って1年の日本滞在を実現したのは、主としてクラーク本人であったと伝えられている。

以下は『国際人 新渡戸稲造』（花井等著、広池学園出版部）からの引用である。《当時、日本の学校は細かな規則を設けて生徒の一举手一投足を縛ろうとする弊があった。他律の教育観である。……クラークはこうした教育観と真っ向から対立する。彼の信念は自律の教育観であった。彼は生徒たちの良心ある行動を信じた。他から命じられて何かをする。あるいは他から強制されて正しい行動をするようでは独立した人格たりえないとした。……彼は生徒たちが覚えきれないようなたくさんの校則をいっさい廃止し、ただ一言、“Be gentlemen”と述べただけだった。》

クラーク博士が“Boys, be ambitious.”の言葉を残して帰

米したのは、わずか1年後である。その次の年、新渡戸稲造が札幌農学校に入学したそうである。新渡戸稲造も徹底的に自律を説いた。その依拠すべき民族的伝統が「武士道」であった。

敷島の大和心を人間はば

朝日に匂ふ山桜花（本居宣長）
かくすればかくなるものと知りながら

やむにやまれぬ大和魂（吉田松陰）

これは新渡戸稲造の『武士道』に引用されている和歌の中でも、高校生時代の私の心を最も感動的に揺すぶった2首である。

私の母は桜が好きだった。ソメイヨシ

ノではなく山桜が好きだったらしい。この本居宣長の歌が山桜を表しているかどうかは不明だが、私が母に「どうして山桜の方がいいの?」と問うと、母はいつも黙って微笑みただけだった。大学3年の春、母倒るの報を長兄から電話で聞いて呉に駆けつけた。「もうじき桜だね」と病床の母に話し掛けると、母が少し目を開くようにして「山桜の方が好きな訳が分かった?」と聞いてきた。母が「腸穿孔」という病名で世を去ったのは、それから3日後のことだった。

父は能の師匠。愛読書は『風姿花伝』（世阿弥）と『日本外史』（頼山陽）だった。「初心忘るべからず」や「秘すれば花」や男時と女時の話など世阿弥の言葉とともに、平重盛の「忠ならんと欲すれば孝ならず、孝ならんと欲すれば忠ならず」（日本外史）などの話も、小学校時代の年端もいかないうちから、何百回聞かされたか分からない。

国を愛するという事を最も教えてくれた書は『武士道』だったように思う。新渡戸稲造が外国語を学ぶ意味を尋ねられて、「われ太平洋の橋とならん」と答えたくだりは有名だが、彼にあっても、日本という国がなければ「国際」はなかったことは明らかである。

バンクーバーで「アメリカ、ヨーロッパ、カナダ、インド、中国などいろんな国の宇宙機関の人たちの話を聞きました。今はグローバルゼーションだから、日本という狭い国にこだわっていないで、日本の若者全員が国際人として生きていけばいい時代なんですよ。JAXAはビ

ジョンを持っていないそうですが、私は悲観していません」と、にこやかに語りかける大学生を、私が「そんな考え方では、いつまでたっても太平洋の橋じゃあなくて太平洋の端だよ」と思いつつながら訝しうに見つめたのは、新渡戸稲造記念公園を散策した翌日のことであった。自律を教えてくれた新渡戸稲造は、バンクーバーで生涯を閉じた。

（まどがわ・やすのり）



新渡戸稲造記念公園

ニッチ分野を目指そう！

宇宙構造・材料工学研究系教授

小松敬治

——ご専門は構造工学ですね。

小松：主に、人工衛星の振動の研究をしています。事例を挙げると、地球軌道を回る通信衛星は、太陽電池パドルを太陽へ向けながら、アンテナは常に地球に向くように動かす必要があります。太陽電池パドルやアンテナは大型化していますが、そのような軽くて大きい構造物は柔軟性があるので、動かすと振動します。衛星に搭載されている液体燃料も振動しています。これらの振動が衛星本体を揺らして、正しい姿勢が保てなくなってしまうのです。

例えば、高度約3万6000kmの静止軌道を回る通信衛星の場合、角度にして100分の5度以下の精度で正しい方向へピタリと衛星本体の姿勢を常に制御する必要があります。振動により100分の1度ずれてしまうと、地上の数kmもずれた場所を向いてしまいます。太陽電池パドルやアンテナ、液体燃料などがどのように衛星本体を揺らすかを計算に入れて、姿勢を制御する必要があります。無重力状態での衛星の振動を、大気と重力のある地上の実験をもとに予測しなければならないのが、この研究の難しいところですね。

——予測は一致するのですか。

小松：打ち上げた後に衛星をわざと揺らして、振動の仕方を確かめる場合があります。すると予測値とは1割程度の誤差が出ることがある。その時点で誤差の原因を調べても遅いので、ある程度の誤差をカバーできるように、あらかじめ制御系を設計してもらいます。

液体燃料の動きを予測することは、燃料を再着火する際にも必要です。吸い込み口に液体燃料がないと再着火できませんが、無重力や低重力の状態では、どこに液体燃料があるか分からない。そこで再着火前に少し加速します。すると、どこかにあった液体燃料が、吸い込み口のある後方へ落ちてきます。加速したときにきちんと吸い込み口へ液体燃料が落ちて捕捉できるように工夫しなければなりません。

近年、コンピュータによる数値計算法が進歩し、無重力状態での液体の振る舞いを、流体力学を使って計算できるようになりました。その計算結果を設計で扱いやすいモデルに変換して、流体力学の研究と制御系や燃焼系の設計の橋渡しをする仕事も、構造を担当する私たちの役目です。

——なぜ振動の研究を？

小松：大学を卒業して、航空宇宙技術研究所に入りました。配属先の先輩たちは曲面構造の強度研究などを行っていましたが、先輩と同じことをやっても自分の芽は出ません。人とは違うことをやろうと、曲面構造の振動の研究を選びました。ただし、所外では振動の研究を行っている人が



こまつ・けいじ。1949年、広島県生まれ。東京大学工学部航空学科卒業。専門は構造工学。1972年、航空宇宙技術研究所研究員。衝撃研究室長、構造動力研究室長などを経て、2003年、宇宙科学研究本部教授。スペースクラフトの構造に関連する研究を行っている。

たくさんいる。そこで、日本ではほとんど誰もやっていない、曲面構造に入っている液体の振動を研究しようと思いました。

好き嫌いで研究テーマを選んだのではなく、人がやっていないテーマを探したのです。いかに人がやっていないテーマを見つけられるかで、研究者として成功

するかどうかの半分以上は決まると思います。テーマを選んだ後、研究を進めていくうちにそのテーマが面白くなり、好きになります。たぶんほとんどの研究者はそうだと思いますよ。

——振動の研究の面白いところは？

小松：応用数学として面白いですね。20代後半のころ、ロケットの構造研究をしていた私は、液体の入った球形殻の振動を「ルジャンドル陪関数」という特殊関数を使って数値解析し、きれいな振動パターンを導きました。その振動パターンとまったく同じものが実験でも見つかったときには、感激しましたね。大学で習った特殊関数が、こんなところに応用できるとは驚きでした。

そのころ数値解析では、「有限要素法」という手法がブームでした。人と同じ手法では面白くないと思い、液体の振動の解析に積分方程式を使う新しい手法を用いました。それが数年後に、「境界要素法」と呼ばれブームになった。境界要素法に関する英語の本を書かせてもらい、それが海外で認められ、日本語訳も出版されました。偶然、自分の研究がブームにのったのです。

その後、1980年代の初め、飛行機の振動試験の担当を命じられました。当時、自動車業界が振動・騒音対策に力を入れ始め、実験的モード解析という分野が活発になりました。このときも偶然、自分の研究がブームにのりました。

——ブームにのる秘訣は？

小松：運ですね(笑)。ただし、人のやっていない、ニッチ(niche)な分野を目指すこと、そしてチャンスは逃さないことが大事です。自分に白羽の矢が立ったときには、嫌だったり自信がなくても逃げないできちんと応えるべきです。逃げていたら運はやって来ません。

私にとって、昨年10月に宇宙研へ来たことも一つのチャンスです。早く宇宙研の仕事のやり方に慣れて、戦力になりたいと思っています。

ISASニュース No.283 2004.10 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: newseedit@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。

R100

古紙配合率100%再生紙を使用しています

編集後記

2003年10月、宇宙3機関の統合によりJAXA宇宙科学研究本部として歩み始めて1年「ISASニュース」も統合と同時にイメージも内容も一新、読まれる広報誌にしようと編集委員一同頑張っています。この1年間は、あっという間でもあり、ものすごく長い時間がたったようでもあり……。新しい状況に適応するのが難しいと感じるのは年齢の所為？「ISASメールマガジン」が9月7日から配信を始めました。研究現場からの「汗と涙と喜びに満ちた生の声」もお楽しみください。

http://www.isas.jaxa.jp/j/mailmaga/index.shtml

(周東三和子)

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otonクリエイト