



南極で気球を揚げる 「ISAS事情 南極気球実験」参照

宇宙科学最前線

いま明かされる
X線背景放射の起源
～巨大ブラックホール成長史～

上田佳宏

高エネルギー天文学研究系助手

最近の観測で、近傍に存在する銀河中心のほとんどに、太陽の100万から10億倍もの質量を持つ巨大ブラックホールが潜んでいることが分かってきた。例えば、われわれの天の川銀河にも、太陽の約400万倍の質量を持つブラックホールが存在する。これら巨大ブラックホール——まさに宇宙のモンスターと呼べるだろう——は一体どのようにして作られてきたのだろうか？これは、宇宙の銀河全体の進化を理解するために不可欠な、現代天文学に課せられた最も重要な課題の一つである。本記事では、この問題を直接的に制限した、X線背景放射の起源に関するわれわれの最新成果について解説する。さらに、これから示唆される巨大ブラックホール成長史の一部を紹介する。

巨大ブラックホールにガスが落ち込むと、その

重力エネルギーが高い効率で放射に変換され中心が明るく輝く。これが活動銀河核(Active Galactic Nucleus: AGN)の正体である。放射されるエネルギーは莫大なもので、太陽光度の1000兆倍に至ることもある。ブラックホールはガスを吸い込むと、吸い込んだ分だけ質量が増える。モンスターは、いわば餌を食べることで太っていく。一度太ってしまったが最後、もうやせることはできない。餌を食べている最中のモンスターは、食べられる餌の発する悲鳴(=放射)によって明るく輝き、AGNとして観測される。モンスターは、食べる餌がなくなると、もはやAGNではなくなり、一見おとなしくなる(しかし成長したモンスターは、決していなくなるわけではなく、銀河の中心に息を潜めている)。つまりAGNとは、降着による巨大ブラックホール成長のプロ

X線背景放射——40年来の謎——

X線背景放射は、X線天文学の始まりと同時にリカルド・ジャッコニ博士らにより発見された、全天からほぼ一様に観測される強い放射である。その宇宙論的重要性は当初から明らかであり、その起源の研究は40年間にわたり常にX線天文学の第一の課題であった。そのスペクトルは30keVに強度ピークを持ち、2keV以上の硬X線バンドにおける放射(硬X線背景放射)がそのエネルギーの大部分を占めている。「あすか」以前に行われた軟X線バンドでのサーベイでは、主に吸収を受けていないAGN(いわゆる1型AGN)が見つかった。ところが、それらのスペクトルはX線背景放射よりずっと軟らかく、同じ種族の足し合わせで起源を説明することはできない。この矛盾は「スペクトル・パラドックス」と呼ばれ、X線背景放射の起源を考える上で最大の問題であった。

われわれは、当時最高の感度を有した「あすか」を用い、1993年から1995年の複数の時期にかけて、かみのけ座方向にある7平方度にあたる連続領域のサーベイ観測を行い、2-10keVの硬X線背景放射のおよそ30%を直接、点源に分解した(ASCA Large Sky Survey: ALSS)。ここで大事なことは、X線背景放射の主要な構成要素と考えられる硬いX線スペクトルを持つまとまった種族を発見し、それらが強い吸収を受けていること、その結果、微弱なX線源の平均スペクトルが1型AGNのそれよりも有意に硬くなっている証拠を見つけたことである。さらに、われわれは光学追求観測を行い、2keV以上で検出された33個すべてのX線源の同定に成功した。この結果、吸収を受けたX線源はすべて赤方偏移0.5以下の近傍宇宙に存在することなど、いくつかの興味深い事実を発見した。

ALSSプロジェクトのころから、秋山正幸氏(現・国立天文台)、太田耕司氏(京大理)、山田亨氏(現・国立天文台)らを中心とする光学天文学者との、密接かつ強力な共同研究が始まった。それは現在も続いている。図1の真ん中の銀河は、ALSSで発見されたAGNを、「すばる」望遠鏡で撮像した可視画像である。X線源のエラーサークルが左上の小画像(ハワイ大学88インチ望遠鏡による)に記されている。想像できるように、光学同定は決してスムーズなものではなく、「あすか」の位置精度(最終的な較正により、絶対位置精度は20秒まで向上した)との戦いでもあり、限られた望遠鏡の観測時間の中でリアルタイムに判断し、あらゆる情報を用いて最大限

セスである。よって、AGNの宇宙論的進化を知ることが、ブラックホール成長の様子を明かすことに直結する。

硬X線観測の意義

AGNを見つけるための最も完全かつ効率の良い方法は、透過力の強いエネルギーの高いX線(硬X線)で探すことである。AGNは強い硬X線を出すので、普通の銀河とは比較的簡単に区別できる。可視光では、星からの光が邪魔になるため、暗いAGNを見つけることは難しい。可視光やエネルギーの低いX線(軟X線)を使う最大の問題は、塵やガスに深く埋もれた「隠された」AGN——AGN

全体から見て最も多い種族——に対して、ほとんど無力になってしまうことである。

以下に述べるように、宇宙全体に存在するAGNからのX線放射の重ね合わせは、「X線背景放射」として見えている。つまり、X線背景放射の起源を定量的に解明する

ことは、AGNの宇宙論的進化を解明することである。AGNの統計的性質を記述する最も基本的な観測量が、AGNの空間数密度を光度の関数として表したもので、つまり「光度関数」である。赤方偏移パラメータごとに光度関数を知るためには、X線背景放射を個々のAGNに分解した上で、それを光学同定し、赤方偏移を一つずつ決めていくという大変なプロセスが必要となる。硬X線バンドでより感度の高い観測を行うことは、HEAO-1、「ざんが」、「あすか」、Chandra、XMM-

Newton、そして宇宙研が計画中的NeXTへと続く、X線天文学の発展の歴史そのものでもあった。AGN硬X線光度関数の宇宙論的進化の決定は、X線サーベイ天文学の目指してきたゴールの一つである。

図1 「あすか」硬X線サーベイで見つかったAGNの可視光像の例(真ん中の銀河が対応天体)。「すばる」望遠鏡Suprime-Camで撮像。囲みの画像はハワイ大学88インチ望遠鏡で撮像したファイニング・チャート。

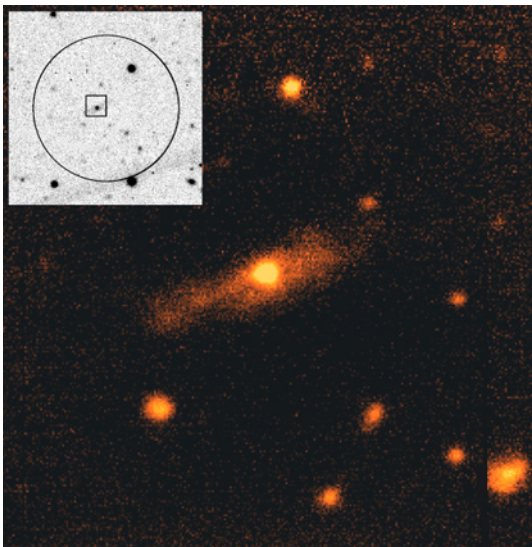
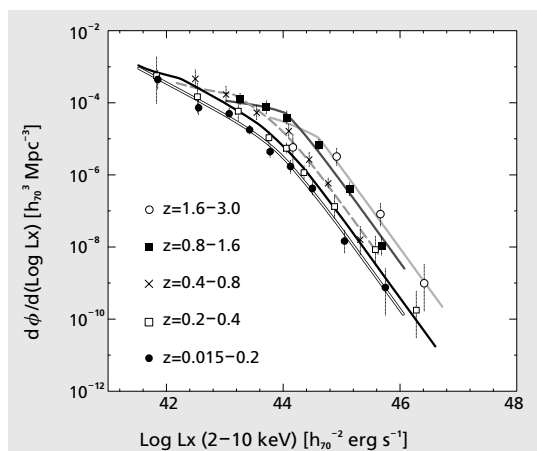


図2 AGNの硬X線光度関数(共動座標での空間数密度を、硬X線光度の関数として示したもの)。赤方偏移パラメータの範囲ごとに異なる形で示してある。



の効率でX線源の追求を行う観測は、まさに匠たくみの世界である。われわれゲリラ部隊は、世界中の天文台を渡り歩いた。

われわれの研究は、より定量的な評価を目指し、さらに大規模なサーベイ(ASCA Medium Sensitivity Survey: AMSS)へと進んだ。AMSSは全アーカイブデータを利用して、「あすか」GIS検出器の視野に偶然入るX線源を系統的に検出するもので、膨大なデータ量の解析を必要とした。一時期はX線グループのほとんどの計算機を占領して迷惑をかけながらも、これをX線カタログとしてまとめ、硬X線バンドで選択されたフラックス限界サンプルを定義し、その系統的な光学同定計画に乗り出した。これは数年がかりのプロジェクトとなったが、最近その仕事を完了し、100個余りのX線源をほぼ完全に同定することに成功した。AMSSのカバーした面積の広さは現在でも世界最大で、極めてユニークなサンプルとなっている。

明かされるAGNの進化の全貌ぜんぼう

研究はいよいよゴール、いや大きな中間ステップへと至る。われわれは、ALSS, AMSSに「あすか」SIS検出器によるディープサーベイの結果を加え、さらに、より明るいフラックス側のHEAO-1衛星によるAGNサンプルと、より暗い側のChandra衛星によるサンプルを合わせ、極めて同定完全性の高い硬X線選択サンプルを構築した。あとは光度関数を計算するのみ！しかし、事はそう簡単ではない。過去の研究でほとんど無視されてきた、選択バイアスを完全に排除した解析方法を確立するには、半年がかりの試行錯誤が必要だった。

しかしついに、われわれは世界で初めて「隠された」種族を含めたAGNの光度関数の宇宙論的進化を解明することに成功した。この結果は同時に、X線背景放射の起源の大部分を初めて定量的に解決したものである。ここに至るまで、個人的には10年、人類として40年の歳月がかかったのだが、図にしてしまえば一瞬である。図2は光度関数そのもの、図3はAGNの空間数密度を赤方偏移パラメータ z に対してプロットしたものである。クエーサー(高光度のAGN)は $z \sim 2$ にピークがあるが、セイファート銀河(より低光度のAGN)は $z \sim 0.7$ あたりにピークがあり、もっと最近になって形成されてきたことが分かる。「大きなものほど後でできる」宇宙の構造形成論から見て、一見、矛盾する結果であるのが面白い。われわれは、これを母銀河の星生成活動との関連で説明できるのではないかと考えている。世界

的な研究の流れは、AGNの進化から、AGNと母銀河の形成過程との関連の究明へと移りつつある。

初めに述べたように、われわれの解明したAGNの進化は、巨大ブラックホール生成史を直接、制限する。適当な放射効率を仮定することで、光度から質量降着率、つまり単位時間あたりに食べられている餌の量を知ることができる。その結果、宇宙の単位体積あたりのブラックホールの総質量(=食べられた餌の総量)が、時間とともにどのように増加してきたかが分かる。図4はそのようにして得られた「ブラックホール成長曲線」である。この方法で計算された現在の宇宙のブラックホールの総質量は、近傍の銀河から別の方法で調べられたブラックホールの総質量とほぼ一致する。最近のより詳しい計算によると、ブラックホール質量分布の形までもよく説明できることが分かってきた。では、より遠方の宇宙ではこの関係はどうなっているのだろうか？ AGNができたときに、星生成はすでに終了しているのだろうか？ 世界のライバルからの心地良い刺激のもと、われわれの挑戦はまだ続く。

最後に

これらの結果は、世界の僻地へきちにいるわれわれが、努力とチームワークを武器に、常に世界の科学フロンティアを切り開ける可能性を示すとともに、最高のタイミングで打ち上げられた「あすか」衛星の偉大さと、他波長との連携研究の重要性を証明することとなった。「あすか」サーベイにかかわった共同研究者の方々はもちろん、衛星計画にかかわった方々に深く感謝したい。

(うえだ・よしひろ)

図4 巨大ブラックホール成長曲線。上は、コンプトン散乱に対して光学的に厚い吸収を受けたAGNの寄与も含めた場合。点線は外挿部分。

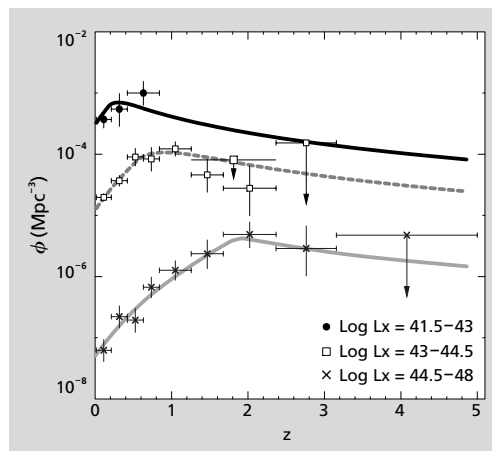
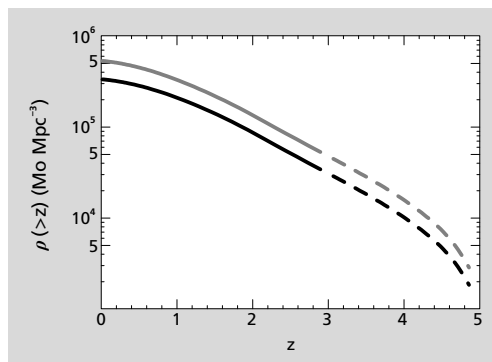


図3 AGNの空間数密度の赤方偏移パラメータ依存性。上：低光度AGN, 中：中光度AGN, 下：大光度AGN。



火星探査機「のぞみ」について

日本初の惑星探査機である「のぞみ」のてん末については、すでに皆さんご存知とは思いますが、ごく簡単に述べてみたいと思います。

写真を見ていただくと分かるように、「のぞみ」は八角柱の形状をした探査機です。直径1.6mの高利得アンテナが探査機の上面に固定されています。これを常に地球の方向に向ける(探査機の姿勢を変える)ことで、地球との通信を取るようになっていきます。

「のぞみ」の主目的は「火星の上層大気と太陽風との間の相互作用の研究」であり、最近盛んに行われて話題となっている「生命探査」とは少し異なったものでした。簡単に言ってしまうと「火星からどうやって、どのくらいの大気が逃げ出しているのか?」を、その場観測を行って調べようというものです。このために「のぞみ」には磁場・粒子・波動などのプラズマを測定するための観測器を中心に14(電波掩蔽観測のために用いる超安定発振機を科学観測器に含めると15)の観測器を搭載しておりました。

「のぞみ」は、内之浦宇宙空間観測所からM-Vロケット3号機にて、日本時間1998年7月4日早朝に打ち上げられました。当初の予定では、この年の12月に地球から離脱して、翌年10月に火星周回軌道へと投入する予定でした。しかし、地球離脱時にバルブの一つが完全には開き切らないという動作不良を起こした結果、燃料不足に陥り、当初の計画を遂行できなくなりました。しかし、軌道計画グループの年末・年始を返上した驚異的な粘りと努力により、火星への到着が4年少々遅れるもののミッションの遂行が可能となる新しい軌道が2週間ほどで見つかり、これを採用することとなりました。

その後は、太陽風や銀河系間空間から太陽系へと流入してきている水素・ヘリウムガスの観測を続け、2003年末の火星周回軌道投入を待っていました。しかし、2002年4月26日、探査機からの電波に何も情報が載っていない状態となってしまいました。探査機からの情報が何も取れないので、この時点では何が起きたのかまったく分かりませんでした。その後、地上からの問い合わせ

に対して、その答えが“はい”であれば探査機からの電波の送信を止める、“いいえ”であればそのままにしておく、という手段を用いて探査機の内部状態を知ることができるようになりました。この方法を用いることで、1つの答えを得るのに10分程度の時間はかかりますが、大変微弱な電波状態でも探査機から情報を引き出せるようになり、探査機のアンテナが地球の方向に向いていなくても通信ができるようになりました。どのくらい弱い電波でも大丈夫かという点、大ざっぱに言って2億km程度離れた所の携帯電話(送信電力を1Wと仮定)からの電波でもよい、というほどです。

通信の結果、ある電源にぶら下がっている機器のどこかで短絡故障が起こり、そのために過電流保護回路が働いてしまい、その電源をオンにできなくなっていることが分かりました。また同時に、燃料が凍っていることも分かりました。搭載の科学観測器をすべてオンにすれば、8月末に燃料が解凍することが熱モデルを用いた計算から判明し、9月以降は姿勢を適切に維持することで、燃料の再凍結を防ぎました。燃料が解凍したことで、姿勢制御と小規模な軌道制御能力が復帰し、2度の地球とのスイングバイを経て2003年6月に「のぞみ」は火星へ向かう軌道へと乗りました。

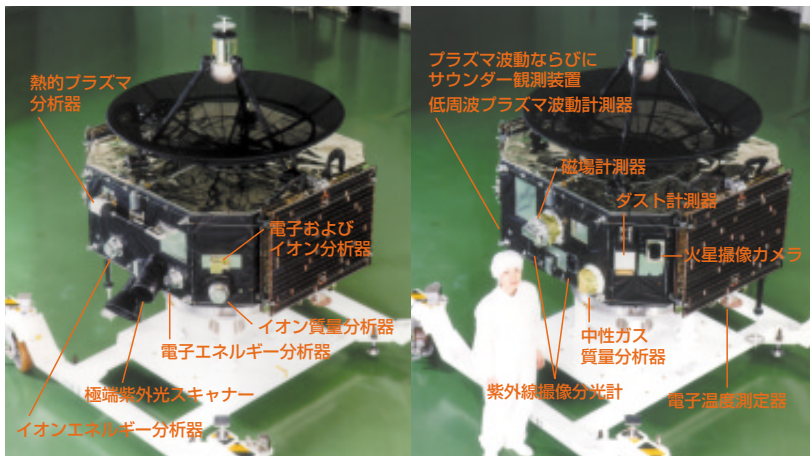
次に、「のぞみ」を火星周回軌道に入れるためには、不具合を解消し、メインエンジンを噴射できるようにする必要があります。火星遷移軌道への投入が確認できた後の7月から、不具合箇所を焼き切りにより分離する復旧作業を開始しました。しかし、残念ながらこの作業は成功せず、2003年12月9日に火星周回軌道への投入を断念。14日未明に火星をフライバイし、「のぞみ」は火星の軌道に近い軌道を持つ人工惑星となりました。

「のぞみ」は、火星での観測はまったくできませんでした。また、搭載の科学観測器のうちのほぼ半数は、まったくデータを取得できませんでした。地球周辺にいたときと、惑星間空間を航行していたときにいくばくかの科学的成果を得ることはできましたが、科学観測の立場からいうと不満足な結果となってしまいました。

しかし、冒頭にも記したように「のぞみ」は日本初の惑星探査機

であり、科学観測だけではなく工学技術の習得という側面も担っていました。こちらの観点からは、得るものが多かったと思います。惑星探査を行う上で重要な軌道設計・制御・決定、超遠距離通信など、さまざまな技術についての経験を深め、自信を持つことができました。今後は、今回習得した技術とともに、われわれは何を間違えて、なぜ失敗したのかを追求し、その結果をほかのミッションへと展開していくことが責務であると思っております。

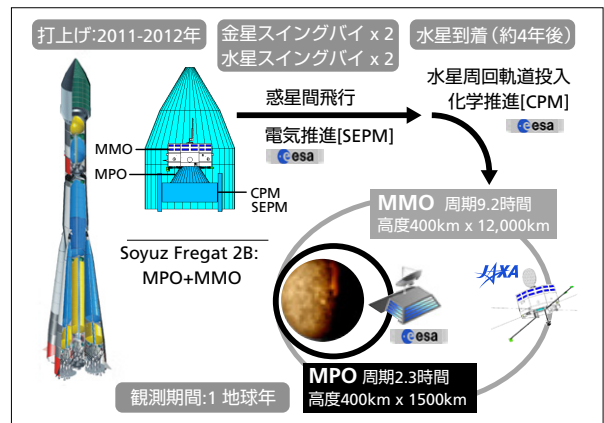
最後になりましたが、「のぞみ」を応援してくださった皆さまに心からの感謝を表して筆を置きます。(早川 基)



火星探査機「のぞみ」に搭載された科学観測器

ESA宇宙科学計画の全面見直し“New Cosmic Vision” ベピ・コロombo (BepiColombo) 日欧共同水星探査計画, 次のステップへ

2003年11月, ヨーロッパ宇宙機関 (ESA) の科学プログラム委員会 (Science Programme Committee: SPC) は宇宙科学計画の全般的な見直しを行い, “New Cosmic Vision”と銘打って再出発することになりました。その結果, 大型の国際水星探査計画「ベピ・コロombo」に関しては, かねてより技術的・経費的リスクが懸念されていた着陸機を本ミッションから切り離し, 日欧協力の中心である2機の探査機 (MMOとMPO: 1月号のベピ・コロomboの項参照) を一体で, ソユーズ・フレガート2Bロケットによって確実に2011—2012年のWindowに打ち上げるようになりました。SPCの結論を踏まえ, ESAではMPOに搭載される観測装置を公式選定するための作業が1月から始まりました。JAXAもMMOの観測装置について同様な作業を開始します。紳士協定で行ってきたJAXA・ESA間の協力も文書



日欧共同水星探査計画「ベピ・コロombo」

化する必要があり, LOA (Letter of Agreement) の準備を進めているところです。 (向井利典)

南極気球実験

ここ南極の昭和基地における今年度の大気球観測は, テストフライトを12月23日に放球, 次いで回収実験を12月26日, 1月5日の両日に行い, また, 昨年放球されなかった宇宙線観測器を1月4日に地上風速4m/secの中で放球した。さらに12月27日, 1月6日, 9日と, オン観測を目的とした3回の高々度気球の放球を行った。回収実験では, 2回とも大気サンプル採取に成功し, 2回目では「しらせ」に搭載してあるヘリコプターによるスリング回収が行われた。高々度気球も3回とも新方式である「パッキング放球法」により放球し, 指令電波によりすべての動作が正常に行われ, 放球作業を5, 6人で行うことが可能となった。今回の南極における気球実験は, 国内の研究者たちの協力で準備もよく, 昭和基地での調整作業を簡単に行うことができた。南極周回気球の宇宙線観測器はおよそ13日間, 1万kmを飛翔したことになる。支援していただいた多くの皆さまに感謝します。 (並木道義)

南極における大気球放球準備

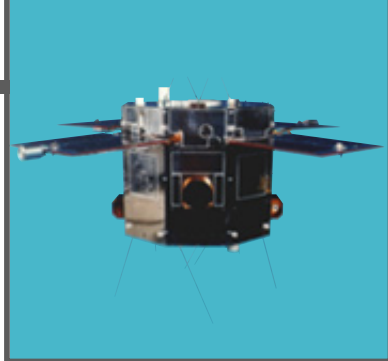


ロケット・衛星関係の作業スケジュール (2月・3月)

	2月		3月			
相模原	始	LUNAR-A FM総合試験			終	
	上旬	ASTRO-EII FM姿勢系評価試験				
	上旬	ASTRO-F FM姿勢系評価試験			中旬	
		中旬	SOLAR-B FM姿勢系評価試験			未
			INDEX FMベーキング			下旬
筑波		下旬	M-V-6号機モーションテーブル試験		下旬	
	始	SELENE FM噛合せ試験および単体環境試験			未	

(FM : Flight Model)

浩三郎の 科学衛星秘話



「たんせい4号」



井上浩三郎

1980年2月17日9時40分、M-3Sロケット1号機によって打ち上げられた試験衛星「MS-T4」は、近地点高度521.7km、遠地点高度605.6km、軌道傾斜角38.7度の軌道に投入され、「たんせい4号」と命名されました。

M-3Sロケットは、M-3Hの第1段にTVC(推力方向制御)装置を取り付け、日本で初めて全段にわたって飛行制御のできるロケットとして設計・開発されたものです。この衛星は、打上げ性能の確認と、それ以降このロケットで打ち上げられる予定の科学衛星に必要な数々の工学技術や搭載機器の試験が目的でした。

実験および試験状況

軌道投入後、衛星は正常で、第1周でヨーヨーデスピナを起動しスピン数を毎秒2.1回から毎分18回に落とした後、初めて搭載された太陽電池パドルを正常に展開しました。その後、磁気姿勢制御、ホイール姿勢制御、レーザ反射器による追尾、レーダトランスポンダによる追尾、MPDアークジェットによるスピンアップおよび磁気バブルデータレコーダの記録・再生などの各種工学実験や、太陽ブラッグX線分光器による太陽フレアの観測などを行い、良好な結果を得ました。

その他、初めて搭載したスターマッパーやSバンドテレメータの飛行試験、新しい形式の太陽電池の性能評価、熱制御用材料の性能評価、電源系管理用AH積算計の飛行試験は、機器の動作も正常で、得られた成果はその後のミッションに有効に活かされました。

宇宙研独自の動釣合試験方法の考案

「たんせい4号」は、宇宙研で初めての太陽電池パドル付きスピン衛星であるため、真空での動釣合をどのように推定するかが重要な課題でした。種々検討した結果、異なった密度の気体の中で衛星を動釣合試験機に載せて回転させ、さまざまな気体密度で衛星の動不釣合ベクトルを測定することによって、真空中のベクトルを求



ブースの中にヘリウムガスを入れての動釣合試験

ドームの中の磁気試験設備(当時の宇宙開発事業団筑波宇宙センター)



めました。当時試験を担当した大西晃さんが、衛星を入れたブースの中をヘリウムガスで置換し、ヘリウムやヘリウムと空気の混合気体を用いる測定を苦勞しながら行っていたのが思い出されます。

筑波宇宙センターでの磁気試験

打上げ前は、筑波宇宙センターの磁気試験設備を借用し磁気試験を実施しました。外乱を防ぐため、主コイルから半径300mまでが立ち入り禁止ゾーンになっていました。宇宙研の衛星を筑波まで運んで試験をした初めてのケースでしたので、いろいろな苦勞がありました。視察・調査を1次噛み合わせと総合試験の間で行い、試験は1979年12月に実施しました。

試験は無事終了しましたが、当時試験を担当されたNECの西さんは、「真夏の暑いときの調査では、短時間で長い回線のロスを測ったり、本試験では鉄分厳禁でズボンのベルトを外して実施しました」と、大変苦勞した様子を語っています。

「たんせい4号」は、数多くの新しい実験を精力的に実行し、期待通りの成果を挙げ、その後の「ひのとり」「てんま」「おおぞら」などへの明るい見通しを立てました。宇宙研の衛星を大きく飛躍させるきっかけとなる試験衛星だったといえるでしょう。(いのうえ・こうざぶろう)

試験衛星「たんせい4号」

金星をめぐる不思議な風

古くから明けの明星・宵の明星として親しまれてきた金星は、太陽系の中で唯一、地球に匹敵する大きさを持つ地球型惑星である。しかしこれまでの観測によれば、金星の環境はさまざまな面で地球とは大きく違っている。濃密な大気のほとんどが二酸化炭素であることや、その温室効果のために摂氏460度という灼熱地獄が生じていることなどが挙げられるが、ここでは惑星スケールの風（大気大循環）に注目する。

地球をめぐる風

まず、地球の大気大循環の特徴を見ておこう（図1）。風を引き起こすものは、太陽光による加熱の場所ごとの違いである。加熱分布は地球の自転によって東西方向にならされるため、風は東西方向にはあまり変化しない。大気は大ざっぱには地球の自転に引きずられて回転しているが、よく見ると中緯度の大気は地面より少し速く回転していて、地面に対して西風（偏西風）が吹いていることが分かる。熱帯地方の地表付近では逆に東風が吹いている。さらに注意深く風を調べて東西方向に平均し、南北—高度断面での風を求めると、南北半球それぞれに3つの閉じた弱い循環が存在することが分かる。地球の東西風は、このような3細胞循環と関連して、自転の効果によって作られている。

金星大気の「超回転」

それでは、金星の大気大循環はどうなっているのだろうか。金星は地球とは逆方向（西向き）に周期243地球日でゆっくりと自転しており、そのため1昼夜は117地球日と非常に長い。従って、太陽光による加熱は東西方向にならされにくく、昼側で空気が暖められて上昇し、夜側へ流れてから下降するような循環（夜昼間対流）が生ずると予想される。もしそうならば、緯度ごとに決まった

方向の東西風が卓越する地球とはかなり異なることになる。しかしいくつかの探査機が調べたところでは、予想に反して、金星で卓越している風はどこでも自転と同じ方向であった（図2）。しかも

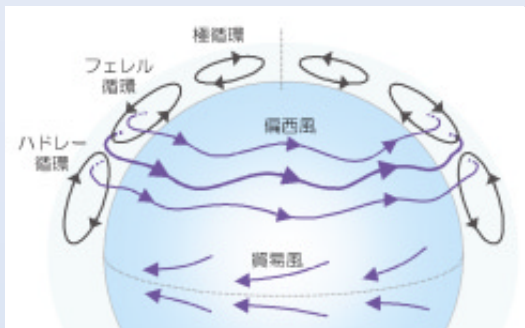


図1 地球の大気大循環のイメージ

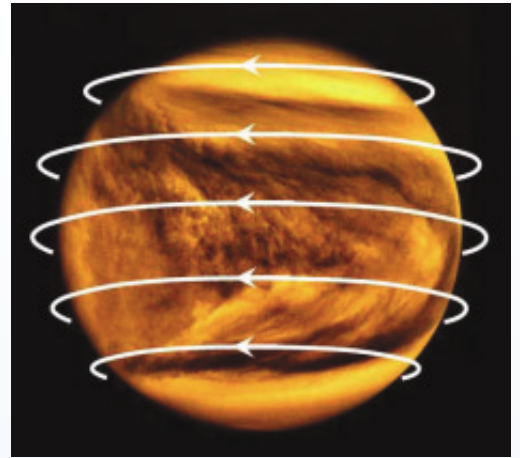


図2 米国の探査機Pioneer Venusによる金星の紫外線画像と東西風のパターン

風速は高度70km付近まで高さとともに増大し、最大で100m/sにもなる。金星の自転は遅く、赤道で1.6m/sなので、東西風速は実にその60倍である。これが金星大気の「超回転」と呼ばれる現象である。地球の自転速度は赤道で460m/sであり、平均30m/sの偏西風の速度はこの1割にも満たないことを考えると、金星の風の異様さが分かるだろう。

大気中には何らかの粘性があり、大気と地面の間には摩擦が働くので、特別なメカニズムが働かないかぎり超回転は徐々に弱まり、最終的には自転速度と大差ない風速に落ち着くはずである。従って超回転の問題は、まず第一に、高速の風を維持するメカニズムは何かということである。当初の予想の観点からは、なぜ夜昼間対流が生じないのか、という問い方もできる。

謎の解明に向けて

超回転が約40年前に発見されて以来、そのメカニズムを解明すべく多くの努力がなされてきた。その結果、南北—高度断面での循環や惑星規模の波が何らかの形で自転のエネルギーを大気に運び上げていると思われるようになったが、まだ理論的に多くの困難を抱えており、一貫したシナリオを描くには至っていない。その理由としては、現在の気象学が広く惑星大気に適用できるほどの普遍性を獲得していないことに加え、鍵となる気象プロセスが観測されてこなかったことが挙げられる。金星には高度45~70kmに厚い硫酸の雲があり、そのため低高度におけるグローバルな気象データが得られなかったのである。

いまJAXAが進められている金星周回衛星計画（PLANET-C）は、このように謎に包まれた金星の大気大循環を、雲の下まで見通せる新しい赤外線観測手法によって明らかにしようとするものである。金星と地球の比較によって、惑星の大気大循環を統一的に説明する糸口が得られ、ひいては地球大気をより深く理解できるようになると期待される。（いまむら・たけし）

インドから見た日本

日本食は変だよ

日本では食事に苦勞する

「日本食は変だよ」

「どうして？」

「だって、味が変わだよ。インパクトがないじゃない。食事って、マサラ（香辛料）を楽しむものだよ。いろいろなマサラが入っていて、インパクトがあって、ホット（辛い）だからこそ、食事はおいしいんだよ。それなのに、日本食は味がほんやりしていて、まったくホットじゃないじゃない」

「いや、辛けりゃいいってもんじゃないと思うけど」

インドとの共同研究が始まってからすでに数年がたちました。その間、ほぼ毎年のようにインドを訪問しています。そのため、インドチームともお互いに気心が知れてきました。特にインドチームのS君は、私たち日本チームが持ち込んだ検出器の準備に、日本チームと一緒にあって取り組んで

いてくれるせいもあり、ずいぶん

と親しくなりました。そのため、

お互いに言いたいことを言い合うようになっています。

「その上にさ、日本では調理の仕方が変じゃない。魚を料理しないでそのまま食べたり、豆をわざわざ腐らせて食べたり、信じられないね。よくおなかを壊さないね」

「日本料理を食べたって、おなかなんか壊さないよ」

「本当かなあ。その上にね、Vegetarian（菜食主義者）と

Non-vege（非菜食主義者、すなわち肉も食べる人たち）の区別が日本にはないじゃない。インドじゃ、ほら、レストランでもメニューでも、ちゃんとその区別が明記してあるでしょ。だから便利じゃない。食事の注文がやりやすい。ところが、日本じゃVegetarianとNon-vegeの区別がされていないから、食事の注文のしようがないじゃない。注文しても、本当に食べられるものが出てくるかどうか、現物が出てくるまで戦々恐々なんだよ」

「いや、まあ、そうだろうねえ」

「だから、われわれインド人が日本に行くのは大変なんだ。まず、食事で苦勞するからね」

インドの人たちは無類の議論好きです。私たちの胃がインド料理の連日のマサラ攻撃に悲鳴を上げているというのに、S君はインド料理の優位さを、とうとうと語ってくれます。

日本では物価が高い

「日本では、何もかも物価が高いのにも閉口するね」とS君。

「まあ、そうだねえ」

「例えば、日本ではタクシーに乗ると恐ろしく高価だし、それにタクシーしかないじゃない。インドを見てごらんよ。もちろんタクシーもあって、タクシーに乗るのはそれなりにお金がかかるけれど、それ以外にも、サイクル・リキシャーやオート・リキシャーがあって、もっと安く手軽に移動することができるじゃない」

リキシャーというのは、インドの安くて簡便なタクシーのようなものです。日本語の人力車（じんりきしゃ）が語源です。しかし、人力車そのものは目にしたことはありません。人の代わりに自転車が車を引っ張ってれば「サイクル・リキシャー」ですし、エンジンが付いた小型の三輪車になると「オート・リキシャー」というわけです。

リキシャーは町中、どこでも見掛けますし、道を歩いているとオート・リキシャー屋さんから頻繁に声を掛けられます。確かに、「便利」で「安い」乗り物です。もっとも、乗り心地は値段相応ですが。

日本にも良いところはある

「ただしね。あの鉄道の運転の規則正しさには舌を巻いたね」とまたS君。

「東京で電車を待っていたら、数分置きに電車がやってきて、それがほとんど30秒もずれないで運転されているじゃない。驚いたね」

「まあ、5分も電車が遅れたら、みんな文句を言い始めるからね」

「はは。せちがらいね。それじゃ、インドでは鉄道には乗れないよ」

確かに、その通りです。鉄道に限らずインドで「時間通り」に物事を進めようとする、いろいろところで衝突をして、余計な神経をすり減らします。インドにはインドの、日本には日本の、それぞれ個々の時間の流れ方があるようです。

「このせちがらさが、日本の経済を支えているのかなあ」

S君も日本の良いところ？に気が付いてくれたようです。

「でも、あの日本の料理だけは、なんとかしてくれないかなあ。マサラを入れるのもっとおいしくなるのに」

この点だけは、いつまでも合意には至れませんでした。（なかがわ・たかお）



タタ基礎科学研究所・大気球実験場。草を食みながら、牛たちが放球場を通りすぎていく。

赤外・サブミリ波天文学研究系教授

中川貴雄



最近、国内外の大学や研究機関の若い人たちと話をすることがある。さまざまなジャンルの人たちを対象とするような場合には、聞き手の注意をそらさないように「誰でも3年でなれる世界のトップレベルの研究者」というようなタイトルで研究能力活性化のノウハウの話をする。しかし、月並みのことを言っても面白くないし、奇をてらって誤った幻想を抱かせるのも本意ではない。

「何を言うか、この男は!」といわんばかりに話を聞いてくれ、話の後の質疑も白熱する。このような状況は、まさに話し手のもくろみどおりである。

以下の10カ条は、自らの体験も含めた話の概要である。

その1 35歳までに何かをつかめ

アインシュタインもライト兄弟もみんな若いうちに大変な苦勞をして何かをつかみ、生涯を通じた業績の根っこはすべてそこに帰拠しているといえる。50歳を過ぎて新たなことに挑戦し、至高の業績を挙げたのは伊能忠敬ぐらいのものか。35歳研究職定年制(某企業)は根拠のあることである。若い時代を無為に過ごし、収入は高いが凡庸な研究者に成り下がっている人たちのなんと多いこと。

その2 本や論文は読むな

正確には「読み過ぎるな」である。新たな問題に挑戦しようとするとき、書をひも解くのは当たり前のこと。しかしほどほどにしておかないと、すべて重要なことが先人たちによって解決されていて残っているのは落ち穂だけのように気後れがするのみならず、アプローチの方法も先人の手法に引きずられることにもなる。それでは二番せんじということになる。要は、まず自らの頭で考えよ。その上で推論を積み上げ、理論を展開し、結果を世に問う段階で先人の論文を読むようにすれば、どこかに必ず自らのオリジナリティが存在するはずである。独自の境地はそこから展開される。

その3 世界に通ずる研究の種は足元にいくらでも転がっている

その4 右脳が得意な者は右脳で、左脳が得意な者は左脳で勝負せよ

研究のやり方には大別して2種類ある。その一つは他者によって発見された原

はつらつとして 研究生活を 楽しむために

寺田博之

元 航空宇宙技術研究所 (NAL) 業務部長

理・法則やモデルを緻密な計算や工夫によって実学や製品に仕上げていくタイプ(日本人に多い左脳派)、他の一つは事象の観察と自由な発想によって新たな法則や仮説を考え出すやり方(欧米に多い右脳派)である。物理・数学がそれほど強くないからといってあきらめることはない。この二つは科学技術の発展にとっては車の両輪のようなもので、いずれも大切であるが、私には右脳派の業績の方が息長く多くの人たちに利用されるものが多いように思える。

その5 教師の言うことは疑ってかかれ

子供のころ、先生は何でも知っていて何でも正しいと信じて疑わなかった。しかし本当は、人類が自然界の森羅万象のうち知り得たのは、「葦のズイから天をのぞく」がごとく、ほんのわずかにすぎない。「昔の常識は今の非常識」ということも少なくない。まず疑うことから新しい発見が始まる。

その6 孫子の兵法は誤りなり

「敵を知り己を知らば百戦危うからず」(彼我の勢力に大差があれば無駄な戦い

は避けよ、の意と解釈)。しかし、研究は命のやりとりの駆け引きではないから、「我が駆け出し」、「彼が偉大な研究者」と彼我の差が大きいほど、千載一遇のチャンスとばかりファイトをかき立て、1日も早く対等な議論ができるよう自分を磨けと説く。

その7 優れた先達を見つけ、その手法を盗め

その8 物事には予測をもって臨め、そしてそこから外れた事象を無視するな

実証実験に臨んでは、所定の手続きで漫然と行うのではなく、理論的予測をもって臨むこと。そして予測から外れた結果だからといって「切り捨て」の理由を探し回るのはよくない。十中八九、それは実験や仮定の不備によることが多いが、残りの中にとんでもない宝の発見がある場合もある。偉大な発見のきっかけはこのような注意深さによることが多い。

その9 研究作業と研究を混同するな

近年、プログラミングと格闘したり、電子顕微鏡や望遠鏡をのぞいている毎日が充実した研究生活と思っている若者たちをよく見掛ける。それらは研究上欠くことのできない時間と手間の掛かるプロセスであるが、あくまで研究作業であって研究そのものではない。作業の段階へ持っていくことができれば、研究は半ばを過ぎたようなものである。命題を考え、条件を考慮し、解決の方策を見いだすまでの集中・呻吟の過程こそが研究の真髄である。その状況は、他人には、所在無くおりの中を右往左往する熊のようにも映るかもしれない。しかし、このように集中した時間を1日に5分でも持つことができれば、研究者として充実した日々といえる。

その10 天邪鬼たれ

人格的な天邪鬼はいただけないが、研究の発想においては他者の言うことを鵜呑みにせず、常に天邪鬼を心掛けると発想が豊かになる。

と、こんなふうである。

えっ! 「これじゃまるで楽しんで過ごしてきた筆者の自己弁護が見え見えじゃないか。せっかくの焼酎がまずくなった」ですと? 恐れ入りました。「ISASニュース」の他の欄に目を通して飲み直していただければよろしいかと。(てらだ・ひろゆき)



北京航空航天大学の教授たちと。
向かって右から2番目が筆者。

行ったことがない所へ，見たことがないものを

宇宙探査工学研究系助教授
久保田 孝

—現在、火星ではNASAのローバ2機が活躍しています。宇宙探査ロボットの研究者として、どのような思いで見えていますか。

久保田：1997年、マーズ・パスファインダーのローバ「ソジャーナ」が火星を探査したとき、私はNASAのJPLに客員科学者として滞在していました。ソジャーナが最初に送ってきた画像を見たときは、感動しましたね。今回のローバは、ソジャーナよりも広い範囲を探査するので、どんな画像を送ってくるのかと興味津々で見えています。

一方で、日本もやればできるのになあ、という悔しさもあります。技術的には、日本はNASAに引けを取らないと思います。でも、実績がない。日本は、やっと惑星探査機を送り出せるようになった段階ですからね。

—宇宙研では、どのような宇宙探査ロボットを研究・開発しているのですか。

久保田：今、小惑星ITOKAWAに向かっている「はやぶさ」には、私たちが開発した、日本初の宇宙探査ロボット「ミネルバ」が搭載されています。ロボットというと、2本の足や車輪で動くというイメージがありますが、ミネルバは飛び跳ねながら移動します。これは、大学院生から出てきたアイデアです。学生は、自由な発想をしますね。小惑星は重力が小さいので車輪だと浮いてしまって駄目なんだと言うと、じゃあ飛ばせばいいじゃないかと。突拍子もないものも多いのですが(笑)、本質を突いていることもあります。

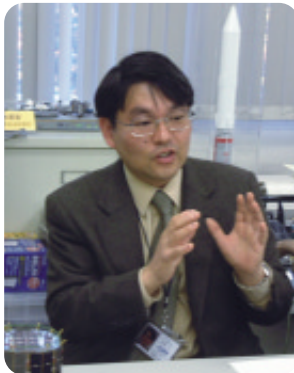
最近では、理学系の研究者から惑星の表面で穴を掘りたいと言われ、学生と一緒にモグラロボットを開発しています。掘った土を持ち上げて、その反動で掘り進みます。

—モグラからヒントを得たりするのですか？

久保田：モグラがどうやって穴を掘るのか、しっかりと観察することは重要ですね。生物から学ぶことは、たくさんあります。例えば、人間はいろいろな物を持つことができますが、これをロボットにやらせようとしたら大変です。自分はどうして物が持てるのだろう、関節はどうなっているのだろう、どうやって学習しているのだろうと、いろいろ考え、そこから学んでロボットにやらせてみる。ロボットを研究することは、人間の研究にもつながります。

—なぜ宇宙探査ロボットを作るのでしょうか。

久保田：行ったことがない所に行きたい。見たことがないものを見たい。好奇心や探究心が宇宙探査ロボットを作る原動力です。



くぼた・たかし。1960年、埼玉県生まれ。工学博士。東京大学大学院工学系研究科電気工学専攻博士課程修了。専門はロボティクス。1993年、宇宙科学研究所入所。宇宙探査ロボティクス、画像認識・自律システムの研究を行っている。

そういう好奇心は、地球上でも同じです。学生時代はテニスばかりしていましたが、今はスキューバダイビングもしています。スカイダイビングもやってみたい。海の中や空からの景色。やっぱり行ったことがない所に行き、見たことがないものを見たいんですね。でも宇宙にはな

かなか行けませんから、ロボットに行ってもらい画像を送ってもらおう。ロボットは自分の分身です。

—究極の宇宙探査ロボットとは？

久保田：「あの岩を調べて」と夕方に命令すると、私たちが寝ている間に調べて、朝にはデータを送ってくれていたらいいですね。完全に自律である必要はありません。人間と会話しながら、われわれの意図を察してうまくやってくれるのが、究極のロボットです。「ここを調べたらどうですか」なんてロボットから提案してくれたら、最高ですよ。

—これからの夢は？

久保田：人の役に立つものを作っていきたい。宇宙にこだわってはいません。例えば、災害時に救助を行うレスキューロボットは、宇宙探査ロボットと共通点があります。宇宙の技術を地上へ生かすことも、やりたいですね。

抽象的な言葉で言えば、いつもワクワク、感動していきたいですね。ロボットを作っているときは、いつもワクワクしています。思った通りに動いたときは、もう感動です。でも、なかなかうまくいかない。あれこれやっている、時間がたつのを忘れ、終電車を何度逃したことがか。

—「ISASニュース」の編集委員や広報委員をされていますが、広報についてどのように考えていますか。

久保田：広報は非常に重要です。アメリカにはNASA TVがありますが、宇宙研でテレビ番組を作れたらいいですね。しかも参加型のものもいい。講演会などで「宇宙が大好きなんです。話が面白かった」と子供たちから言われると、うれしいものです。宇宙のことを正しく、分かりやすく伝える機会をもっと増やさなければと思っています。

ISASニュース No.275 2004.2 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 統合してますます忙しくなったという声をよく聞きます。会議も多いよね。でも、こういう時こそ、じっくり物を考える時間を持ちたいものです。ISASニュースを読んで、宇宙科学の素晴らしさを味わっていただければ幸いです。

(宇宙探査工学研究系 久保田 孝)

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