

近赤外線宇宙背景放射のスペクトル(グラフ)とSFUに搭載されたIRTS  
 ●はIRTSによる結果。↓はCOBEの上限值。■、  
 □はCOBE衛星のデータを用いて求められたもの。  
 ■はHSTによる可視域での背景放射の観測結果を  
 表す。□◇はディープサーベイによる銀河を重  
 ね合わせた光を示す。実線は銀河進化を考慮した  
 背景放射の理論予想値。



宇宙科学最前線

夜空は明るい!?  
—宇宙最初の星の光を探る—

松本敏雄

赤外・サブミリ波天文学研究系教授

■ 夜空はなぜ暗い?

都会ではもう経験できないが、月のない晴れた夜、星の明かりを頼りに歩いた経験を皆さんお持ちだろうと思う。しかし、なぜ夜空は暗いのかと、まじめに考えた人がかっていた。宇宙が無限に広がっているなら視線方向のどこにも星の表面が見え、夜空は太陽の表面のように明るいはずではないか、と考えたのである。これは、その人の名前をとって「オルバースの背理」と呼ばれている。もちろん、今では宇宙は無限ではないことが知られているのでこの背理は解決しているが、宇宙論の歴史には忘れられない背理ではある。

夜空は確かに暗いが、本当に真っ暗ではない。天文学では、空一面に光っている放射は「背景放射」と呼ばれ、観測の一分野となっている。背景放射は

いろいろな波長帯に各種存在し、個々の天体に分解できないために背景放射として観測される場合もある。背景放射の最も有名なものはマイクロ波宇宙背景放射(Cosmic Microwave Background:CMBと略される)である。CMBは、高温のプラズマが宇宙膨張に伴って冷えて中性化した時代、宇宙が始まって約40万年後の世界を直接見ているとされ、ビッグバンの直接的な証拠となっている。

■ 宇宙史はどこまで解明されたか

ビッグバン以後宇宙がどのように進化し、銀河・星・惑星が形成されたか。いってみれば、「宇宙史」は人類の知的好奇心をかき立てるものであり、天文学の最も大きな課題である。天文観測の面白い点の一つとして、遠方を観測することによって昔の宇宙を知ることができることが挙げられる。光の速さが有

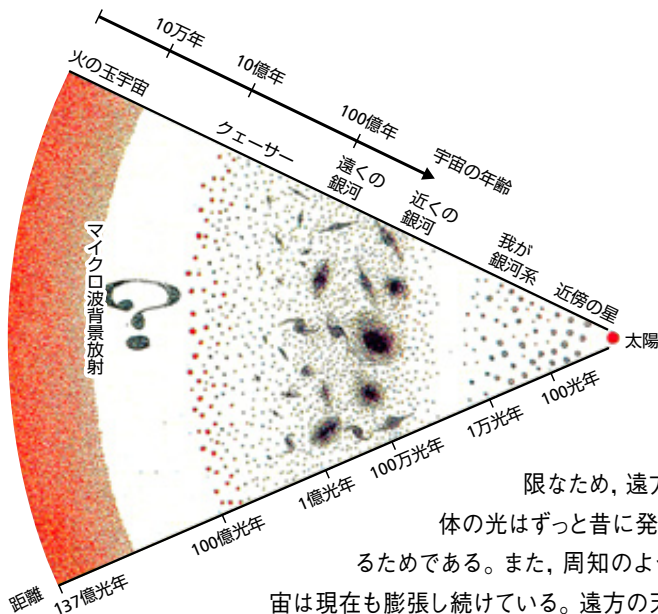


図1 宇宙進化の様子。遠方ほど昔が観測できること、マイクロ波背景放射(CMB)と観測されている遠方の銀河との間に未知の領域があることを示している。

限なため、遠方の天体の光はずっと昔に発しているためである。また、周知のように宇宙は現在も膨張し続けている。遠方の天体ほど高速で後退しているため、ドップラー効果で光の波長が延びる(赤方偏移:  $z$  = 波長の延びた割合)。CMBの光は百数十億年宇宙を旅し、波長が1000倍延びて( $z \approx 1000$ )我々に観測されていることになる。CMBの観測は発見以来精力的に行われているが、そのスペクトルは絶対温度2.7度の黒体放射に限りなく近く、極めて一様である。とはいえ、10万分の1程度の揺らぎが存在し、その解析から宇宙が平坦でこれからも膨張し続けること、宇宙の物質のほとんどは未知の暗黒物質であること、などがいわれている。

宇宙史の解明には、遠方の銀河の観測が不可欠である。「すばる」などの大望遠鏡の活躍によりこれまでになく遠方の銀河が観測されるようになったが、宇宙が始まって10億年後( $z \approx 6$ に対応)に銀河がすでに存在していることが分かってきた。図1に宇宙の進化の様子を示したが、CMBの時代から最も遠い銀河が観測されている時代まで、観測事実がまだないことが分かる。この時代は「宇宙史の暗黒時代」とも呼ばれるが、この間に最初の星・銀河が作られたはずであり、天文学的には極めて重要な時期である。

## ■ 赤外線背景放射で探る 宇宙史の暗黒時代

宇宙の暗黒時代を解明するためにさまざまな観測が試みられているが、我々は近赤外線領域(波長1~5ミクロン)の背景放射を観測することによって暗黒時代に迫ろうと考えた。遠方の銀河や宇宙最初の星は暗くて個々の天体としての観測は難しい。しかし、それらが発する紫外線や可視光は、赤方偏移のため近赤外線領域で背景放射として観測されるのではないかと考えたのである。

とはいえ、観測は簡単ではない。宇宙の彼方から来る光を求めるためには、手前にある光をしっかり除かなければならないからである。地球大気は高度100kmに強い夜光層があるため、地上からの背景放射光の観測はまず不可能である。また、太陽系内

は小さな塵がたくさんあり、これらが太陽光を散乱する黄道光がある。大気圏外に出ても空はかなり明るい。さらに、銀河系の中の暗い星の寄与も無視できない。

ともあれ、近赤外線領域で空がどんな明るさであるか、どのような成分から成るかを調べるため、我々は1980年代半ばからロケット観測を始めた。K-9M-77号機(1984年)やS-520-11号機(1990年)などで空の明るさの絶対測光とそのスペクトルの測定に成功したが、宇宙の彼方からの光を確定するには至らなかった。幸いその後「宇宙実験・観測フリーフライヤー(SFU)」(表紙写真)に搭載された我が国初の宇宙赤外線望遠鏡IRTSにロケット実験で開発した近赤外線分光器を搭載し、背景放射の本格的観測を実現することができた。SFUは1995年3月に打ち上げられ、その結果を用いて銀河系外からやってくると思われる背景放射を初めて検出した。

一方、NASAでも同様な観測が計画され、宇宙背景放射観測衛星COBEに、赤外線領域での背景放射の観測を目的とする測光器DIRBEが搭載された。COBEは1989年に打ち上げられ、公開されたデータによって多くの人が宇宙背景放射光の解析を試み、有意な結果を導いた。COBEは全天を観測した点で極めて有用であったが、測光データしかなく、また角分解能が悪いため暗い星を取り除くのが難しかった。一方、IRTSは角分解能が比較的高く、分光ができる点に特徴があったが、観測領域が狭いのが弱点であった。COBEとIRTSはそれぞれ特徴を持ち、独立な観測としての意味があったといえる。

さて、途中の議論を飛ばして、結果をお見せしよう。表紙グラフは黄道光、星の光を除いた銀河系外から来る赤外線背景放射の可視光から近赤外線にわたる観測をまとめたものである。赤丸はIRTSの結果であり、COBEと大変よく一致していることが分かる。スペクトルは短波長ほど明るく、1ミクロン付近で急に暗くなっているのが特徴的である。また、観測された近赤外線背景放射は予想よりかなり明るく、銀河を重ね合わせた光(実線)ではまったく説明できない。

背景放射の観測で重要なものとして、スペクトルとともに、その空間的な明るさの揺らぎがある。IRTSの観測では、1次元データではあるが背景放射の明るさの1/4に及ぶ揺らぎが検出され、その角度スケールは数度に及ぶことが見だされている(図2)。この結果はCOBEの観測とも矛盾がない。

## ■ 背景放射の起源: 新たな観測事実

近赤外線領域に既知の天体では説明ができない背景放射成分があることがIRTSとCOBEの観測で明らかになったが、その起源が何であるかを背景放射の観測だけから結論することは難しかった。しかし、最近の新しい観測によってその正体の解明が進み



つつある。

一つは高エネルギー(TeV領域)ガンマ線の観測である。ガンマ線を放射する銀河の存在は前から知られていたが、遠方のガンマ線天体のスペクトルが1 TeV付近で急激な吸収を受けていることが最近観測されている(図3)。これは、もともと単純なべき乗のスペクトル(図3上部の直線)であったガンマ線が、銀河間空間で背景放射の近赤外線光子と衝突し、電子・陽電子対発生を起こして吸収を受けたものと理解される。実際、表紙のスペクトルを仮定すると、観測されたガンマ線のスペクトルがよく再現できる。この結果は、近赤外線背景放射の起源が太陽系や銀河系ではなく、宇宙論的なものであることを強く支持するものである。

二つ目は、NASAが2001年に打ち上げたマイクロ波宇宙背景放射観測衛星WMAPである。WMAPはCMBの揺らぎを詳しく観測し宇宙論のパラメータを精度よく決定したが、CMBの偏光をも初めて検出した。CMBの偏光は銀河間プラズマ中の電子による散乱(トムソン散乱)によって起こされるため、CMB光子が我々に届くまでの途中の電離ガスの量が分かったのである。

宇宙は始まって40万年後にプラズマが中性化した。一方、現在の銀河間空間は高度に電離されたプラズマ状態である。いったいいつのようにして宇宙が再電離されたかは、これまで謎であった。WMAPによれば、宇宙の再電離はこれまで考えられていたよりはるかに昔であり、宇宙が始まって3億年( $z \approx 17$ )以前にさかのぼることが分かった。何が再電離を起こしたかについては諸説あるが、最も有力なのは宇宙最初の星(種族IIIの星とも呼ばれる)が発する紫外線である。宇宙が中性化した直後、物質は水素とヘリウムのみであった。現在の銀河系のようにガスを冷却する塵や重元素がないため、ガスが収縮することが難しく、太陽質量の数百倍にも達する大質量星が形成されると理論的に予想されている。このような星はその放射のほとんどを紫外線で放出するため、周囲のガスを高度に電離する。これが現在の宇宙を再電離した原因と考えられるのである。

それでは話を元に戻して、IRTSで観測された近赤外線背景放射は宇宙最初の星で本当に説明できるであろうか。イタリアのグループによれば、表紙グラフの近赤外線背景放射のスペクトルは種族IIIの星によって再現できるという。彼らによれば、星の紫外線は星間ガスと相互作用し、結局水素輝線(ライマン $\alpha$ 線, 1215Å)にそのほとんどのエネルギーが転化する。それが赤方偏移した光を重ね合わせれば表紙のスペクトルが説明できる。1ミクロン付近でのスペクトルのギャップは、種族IIIの星形成が宇宙が始まって6億年後( $z \approx 9$ )に終わったとすればよい。

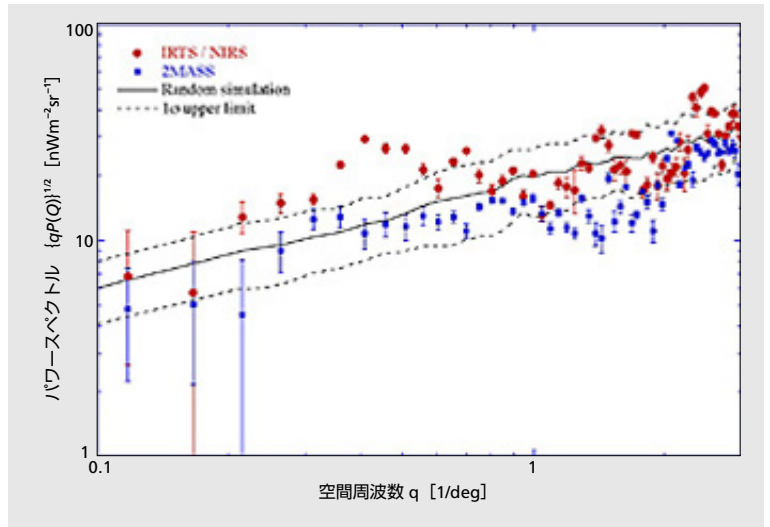


図2 空の揺らぎのパワースペクトル。角度の逆数に対して揺らぎの大きさを示したものの。●はIRTSのデータ、○は対応する空での星の揺らぎ。実線はランダムシミュレーションを行った際の分布の中心を、波線はその1 $\sigma$ の範囲を示す。

つまり、一番手前の種族IIIの星のライマン $\alpha$ 線が1ミクロン付近に赤方偏移して見えていると考えるのである。

### さらなる展開を

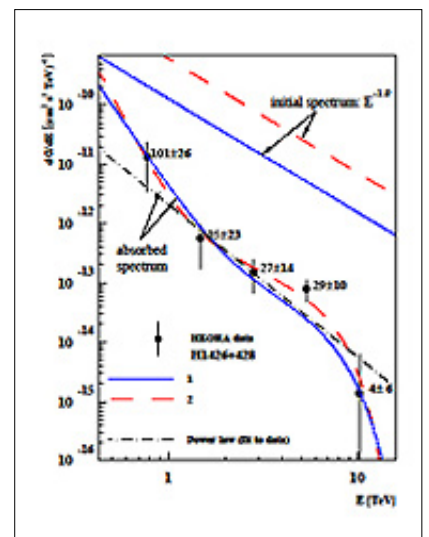
近赤外線領域の背景放射はどうやら宇宙最初の星の光ではないか、と思われるようになった。しかし、理論もまだまだ定性的であり、検討課題も多い。とりわけIRTSで検出された背景放射の大きな揺らぎは、理論的に説明することが難しい。より理解を深めるために、新しいより質の高いデータを出すことが我々観測屋に課せられた課題であると考え。幸い我が国はこの種の観測で世界をリードできる立場にある。1年後の打上げが期待されている我が国初の赤外線天文衛星ASTRO-Fでは、波長2ミクロンでの撮像により背景放射の細かな揺らぎの観測が可能である。我々は日・米・韓の国際協力でロケット実験(CIBER)を行い、1ミクロン付近でのスペクトルと大角度での揺らぎを観測することを計画している。さらに、ソーラーセイルミッションに観測装置を載せ、黄道光フリーな観測を行うことも提案している。近赤外線背景放射は我が国で始まった観測でもあり、今後も我が国が主導してこの分野の観測をリードしていければ、と思う。

### 最後に

今年3月で、SFU打上げ10年になる。10年前のデータとはいえ、天文学の最前線の仕事ができただことに感慨を覚える。栗木先生はじめSFUでお世話になった皆さま方、またIRTSの共同研究者の方々に、この場を借りてお礼を申し上げたい。

(まつもと・としお)

図3 赤方偏移0.129にあるBL Lac天体H 1426+428のガンマ線スペクトル(Aharonian et al.による)。パワースペクトル(上部の直線)が近赤外背景放射光子による吸収を受けていることが示されている。1と2は近赤外背景放射の推定値の幅を表している。



## 南極周回気球実験「BESS-Polar」の実施

日米共同気球実験BESS-Polarを、南極マクマード基地にて実施した。同実験はJAXA宇宙科学研究本部、高エネルギー加速器研究機構(KEK)、東京大学、神戸大学、NASA/GSFC、メリーランド大学を参加機関とし、反陽子や反物質などの宇宙線観測によって初期宇宙における素粒子現象の探索を目指している。超薄型超伝導ソレノイドコイルと粒子検出器群から成る新しく開発された気球搭載型超伝導スペクトロメータ(総重量約2トン)を南極周回気球に搭載し、長時間飛行することで、従来のカナダでの実験より1桁高い統計量の観測が可能となる。

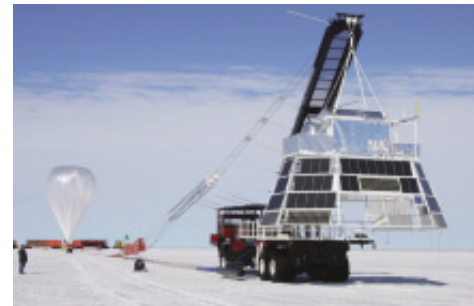
現地での1ヶ月半の準備期間の後、測定器は12月13日に体積110万m<sup>3</sup>の大気球により打ち上げられた。高度約38kmにおける8日半の南極周回飛行の間、9億の宇宙線事象を総計2テラバイトのデータとして記録した。ロス棚氷上にパラシュートにより緩降下した測定器は、航空機を用いてすべて回収した。今後詳

細なデータ解析が進められる。

現地への遠征には筆者を含め日米から計約10人が参加した。気球の打上げはNASA/NSBF(米国立科学研究施設)が担当し、マクマード基地での活動はNSF(米国立科学財団)が運営している。なお、NASAの南極周回気球プロジェクトも、西村純先生をはじめとする日本の提案に端を発していることを申し添える。

参照URL <http://balloon.isas.jaxa.jp/~fuke/antarctica2004/>

(福家英之)



打上げクレーン車につられたBESS-Polar測定器と、ヘリウムガスを注入中のNASAの大気球。

## 「第5回宇宙科学シンポジウム」開催

年明け早々(1月6日、7日)の2日間、宇宙科学研究本部で「第5回宇宙科学シンポジウム」が開催された。このシンポジウムは、将来の宇宙科学飛行体計画の選定を左右する最も重要なシンポジウムとして4年前に発足したもので、毎年、ミッション提案されたプロジェクトを中心に、活発かつ真剣な議論が行われている。今年、M-Vを中心とするミッションのほかに、新しく小型衛星計画も含め、熱心な議論が行われた。



その時々タイムリーな話題を取り上げるセッションとして、「JAXAの中での宇宙研」という新しい環境をどう積極的にとらえ、宇宙科学の発展につなげるかという観点から、2つのセッションが企画された。1日目のセッションは、「JAXA長期ビジョンと宇宙科学」と題し、現在作成中のJAXAの「長期ビジョン」の内容の報告を中心に議論が行われた。4人の講演者の迫力のある議論を聞

いて、将来の展望が具体的にわいてきた人も多かったのではないかと思う。2日目の企画セッションは、「宇宙科学を支えるテクノロジー」と題して行われた。JAXAの各本部がこれまでに培ってきたテクノロジーの集積をレビューし、統合のメリットを生かした発展方向を探ろうとするものであった。

参加者は、会場の研究・管理棟2階大会議場で数多くの立ち見が出た昨年をさらに上回り、瞬間最大風速で190人を超え、2日間の延べでは350人以上という大盛況であった。

また、副理事長を含め数人の理事に出席いただいたことは、非常に有意義であった。参加者の数の増大や、JAXA内外に広く開かれたシンポジウムにしていくことを考慮すると、今年是实现できなかった都心の開催を、来年は真剣に検討する必要があるだろう。

(前澤 冽)

## 宇宙学校・倉敷

1月30日、会場いっぱいの来館者を得て、「宇宙学校・倉敷」がスタート。校長先生は岡山県出身の水谷先生。1時限目の矢野先生と清水先生、2時限目の村上先生と黒谷先生、タウンミーティン

グを仕切る平林先生、そして総合司会に的川先生という豪華キャストに、会場は興奮気味。Q&Aでは、質問したくてたまらない子どもたちの熱気に包まれ、大人は手を挙げるのとはばかれるほどでした。

休憩に入っても各先生を取り囲み質問攻めにする子どもたちの姿を見て、開催までの苦労はすっ飛んでしまいました。3時限目に並行して行われた「宇宙工作教室」の効果もあり、参加者が延べ1200人を超える大盛況のうちに全日程を終了することができました。

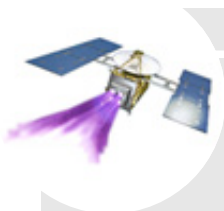
学校現場で子どもたちを指導して感じていたことですが、どんな分野にしろ、“本物”に触れさせることが何より効果的です。素晴らしい絵画でも建造物でも、また音楽でも、本物に接することで子どもたちの心は大きく動かされます。これは、人に対しても同じなのです。何かを極めた“本物の人”の言葉からは、我々の想像以上に多くのことを吸収し、そして自分の生活の中で実践していこうとします。その意味でも、日本を代表する宇宙科学の第一人者の先生方と直接言葉のキャッチボールをすることができた今回の体験は、かけがえのないものになったはず。理科嫌いが問題視されて久しい今日、子どもたちの科学に対する知的好奇心をくすぐり、我々の生活を支える科学技術の存在に目を向けさせる上で、「宇宙学校」のような試みがまさに求められているのだと思います。



平林先生に問われて、先生方が今の仕事に就ききっかけになった出来事を紹介される場面がありました。将来、「私が科学者を目指した原点は、子どものころに参加した宇宙学校です」と答える日本屈指の科学者がこの会場から生まれたとしたら、どんなにステキなことでしょう。

子どもたちに素晴らしい夢を与えてくださった先生方、開催に当たりご尽力いただいたスタッフの皆さまに、この場をお借りしてお礼申し上げます。ありがとうございました。

(倉敷科学センター 高木盛雄)



## はやぶさ近況

工学実験探査機「はやぶさ」は、電源系にも先進的な技術を取り込んでいます。

太陽電池には高効率のトリプル・ジャンクション・セルが使用され、電力制御にも太陽電池の最大能力まで引き出す手法が取り入れられています。さらに、バッテリーにはリチウムイオン二次電池が使用されています。宇宙用を意図して設計された最初の衛星搭載リチウムイオン電池です。また小惑星イトカワに着陸するローバ「ミネルバ」には電気二重層キャパシタが使用されており、宇宙機ばかりでなく地上用としても先駆的な技術が活用されています。

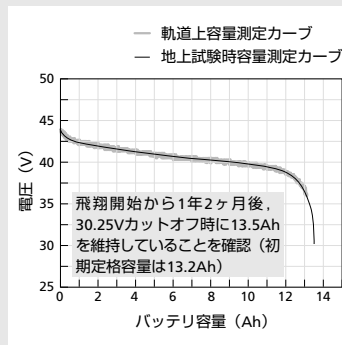
飛行中の「はやぶさ」において、軌道上でのバッテリー容量確認をしました。その結果、良好な容量が得られたばかりか、地上で行った軌道上の条件を模擬した試験でもまったく同じバ

## 電気がなければ始まらない

バッテリーの放電挙動が得られており、微小重力下でも電池内の電解液が偏在せずに性能を維持することが分かりました。

これらのデータをもとに、イトカワ到達時の「はやぶさ」の最大能力を引き出したいと考えています。

(曾根理嗣)



## 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	頭	ASTRO-EII 衛星保管, 冷凍機冷媒維持作業			末
	頭	ASTRO-F FM総合試験			末
	頭	SOLAR-B FM姿勢系試験	中旬		
	上旬	LUNAR-A 機能確認試験		中旬	
	頭	INDEX FM総合試験			末
内之浦	頭	9日	M-V-6号機 第1組立オペレーション		
			23日	M-V-6号機 第2組立オペレーション	23日
筑波	頭	SELENE FMインテグレーション			末

(FM : Flight Model)



# 浩三郎の 科学衛星秘話



「ひてん」



井上浩三郎

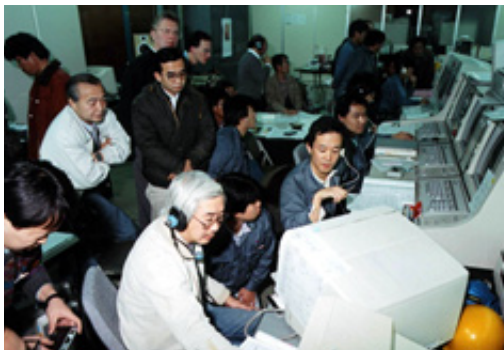
惑星探査においては、スウィングバイというテクニックがしばしば使われます。土星に行くためにまず木星のすぐそばを通り、その重力(と運動エネルギー)を利用して太陽中心軌道の速度ベクトルを大きく変えた「ボイジャー」の場合などがその好例です。日本の惑星探査にも、将来必ずその技術の必要な時代が来ることを見越して、上杉邦憲先生を中心として、スウィングバイおよびそれに関連した技術を修得するための工学実験衛星として、MUSES-Aが計画されました。MUSESはMu Space Engineering Satelliteの略で、「ミューゼス」と読みます。Aは、このタイプの最初の衛星という意味です。

さてMUSES-Aは、1990年1月24日20時46分、M-3SIIロケット5号機によって地球周回の長楕円待機軌道に投入され、「ひてん」(飛天, HITEN:天女の意)と命名されました。当初予定した1月23日の打上げが、ロケット第1段制御系の不具合で発射寸前にエマージェンシー・ストップがかかり、翌日の打上げになったものです。「ひてん」の初期軌道制御後の平均軌道は、近地点高度262km、遠地点高度28万6000km、軌道傾斜角30.6度、軌道周期は6.7日でした。

## どんな衛星か

「ひてん」の外観を上の写真に示します。直径1.4m、高さ0.79mの円筒型の本体(母機)の上に、対面寸法0.4mの26面体形状をした月オービター(LO)が搭載されています。月周回軌道投入のための減速用のキックモータ(KM-L)は、衛星上面にアルミ合金製の月オービター接手を介して取り付けられています。重量は、本体がヒドラジン燃料を含めて約182kg、月オービターはキックモータを含めて約11kgです。

太陽電池は衛星周囲のサブストレート上に5978枚が貼り付けられており、衛星本体で110W、月オービターは10Wの電力を発生します。衛星の姿勢制御はス



「ひてん」の状況を画面でチェックする衛星班の面々(中央手前は上杉先生)

ピン安定化方式(20rpm)で、ミッションの主要目的である二重月スウィングバイ軌道を達成するためには、極めて精密な軌道制御能力が要求されます。

姿勢センサとしては、太陽センサ、スタースカナー、地球センサおよび加速度計で、制御系のアクチュエータは、ガスジェット装置とニューテーションダンパです。通信系は今後予想される高速、超遠距離通信への要求に対応するため、これまでのUHF帯をやめ、従来からのSバンドに加えてダウンリンク回線にXバンドを使用し、この回線が成り立つようにS、Xバンド送信機ともに送信電力の切換え機能を持たせています。

## 肝を冷やした打上げ時のアンテナ追尾

軌道に乗った「ひてん」は正常で、内之浦の非可視中には衛星に組み込まれたプログラムによってスピンドウン制御と太陽捕捉制御が行われ、1月25日、内之浦の第1可視でその制御が正常に行われたことが確認されました。スピン数は25rpm、スピン軸の太陽方向に対する角度は89.0度でした。その後の準備的オペレーションはすべて順調で、3月19日の第1回月スウィングバイに向けて、1月25日から軌道修正が開始されました。

この打上げ時には、新設されて間もない直径20mのパラボラアンテナが使用されました。そのため事前の入念な打ち合わせを経て、打上げに臨みました。打上げ直後は正常に追尾しましたが、第2段点火と同時にその炎による電波減衰のためロックオフし、衛星を見失いました。オペレータの懸命の再捕捉オペレーションにもかかわらず捕捉できず、微弱な電波はキャッチしていましたが、衛星状態が確認できず消感してしまいました。

その後、NASAの受信局で衛星からの電波を受信し正常であることが確認され、安堵しました。追跡中に、衛星の状況やアンテナ追尾状況を管制室から指令電話を介して聞かれ、返答に戸惑いました。ロケット実験主任の松尾弘毅先生は「あの時は命が縮まったよ」とおっしゃっていましたが、私も肝を冷やしたことが思い出されます。この追尾失敗は新設20mアンテナの実衛星による追尾練習不足など原因はいろいろありますが、その後打ち上げられた衛星ではこの経験が生かされ、ほぼ完璧な追尾がなされるようになりました。

(いのうえ・こうざぶろう)

# 工学実験衛星「ひてん」その1

# 宇宙の果ての喧噪家

～クェーサー3C273～

東京工業大学大学院理工学研究科助手 片岡 淳

悠久不変、無限の静寂を感じさせる宇宙にも、スピーカーで騒ぎまくるような「ウルサイ奴」がいる。そうした騒音源の中でも、特ににぎやかなものが「クェーサー」と呼ばれる天体だ。この天体、望遠鏡で見ても点にしか見えず、天の川にある星と区別がつかない。特徴といっても明るさが時に大きく変わるくらいで、普通の星にもそんなものはたくさんいる。だから、見つかった当初は星と間違えられ、幸か不幸か「準星(クアジ・スター=クェーサー)」という称号を賜った。星に“準ずるもの”とは微妙な言い回しだが、これには深いワケがある。

普通の星は我々の目に見える光(可視光)をたくさん送ってくるが、波長の長い電波で見ると、とっても暗い。ところがクェーサーは、電波でも明るい変な奴なのだ。極め付けは、クェーサーの光をプリズムみたいに分光してみると、見たこともない位置(波長)に怪しい色の「輝線」がたくさん立っている。こういう「輝線」は元素に特有なもので、新しい色の「輝線」の発見、すなわち、すわ新しい元素の発見か?と色めき立った。いやいや待てよ。よくよく見たところ、よく知っている水素の輝線が、位置がえらくずれて見えていただけのようだぞ。冷静に調べると、からくりが分かってきた。救急車が我々の前を通り過ぎるとき、音が急に変わるのは誰でも経験したことがあるだろう。これを「ドップラー効果」という。これと同様に、運動している物体から出る光も、その波長を変化させる。調べてみると、最初に見つかった3C273というクェーサーは、光の20%もの速さで我々から遠ざかっていたのだ。筋金入りのスピード狂である。

宇宙が膨張していることを知っているだろうか? 3C273の運動が宇宙膨張のせいだと考えたらどうだろう? 膨張の速さ(我々から遠ざかるスピード)は、地球から離れば離れるほど大きく、光の20%に達するのは20億光年離れた場所である。するとこのクェーサーは、地球が生まれてまだ半分くらいの年齢のころから宇宙のはるか彼方で大騒ぎしていて、それを今見ていることになる。ちなみに我々の銀河系は、光

図1 光学望遠鏡で見たクェーサー3C273(矢印)。普通の星とクェーサー、見分けがつかないだろうか?



の速さで5万年も旅すれば端から中心まで行ってこられる。クェーサーは、これより4万倍も遠くにあるのに、天の川の星と同じくらい明るく見える。それって、実はものすごい! 仮にクェーサーを太陽と同じ位置に置いてみよう。太陽を1億個集め、そのまた1億倍に明るくしたのがクェーサーである。そんな世界では、地球は一瞬で蒸発してしまうだろう。

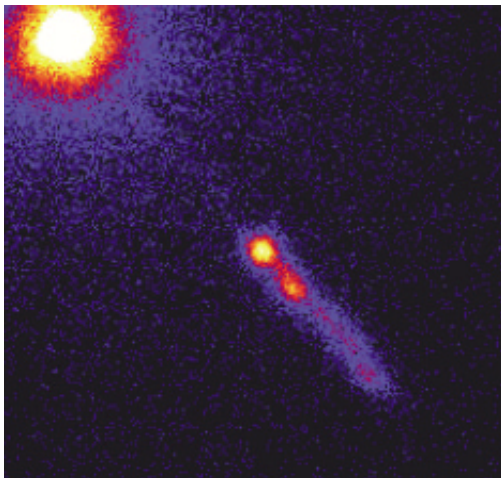
これだけ明るい天体は、とてつもない「体重」で自分を支えてやらないと、光の圧力そのもので、全体が吹き飛んでしまう。ざっと見積もると、太陽の1億倍の重さを持っていることになる。しかも、クェーサーは数時間で明るさを変える「騒々しい」天体だ。体のサイズが大きすぎると、光の速度の関係で、明るくなったり暗くなったりするのに時間がかかる。数時間という、太陽系のサイズよりも小さくないといけないことになる。太陽の1億倍にも達する重さで、太陽系のサイズよりも小さい……。そんなところに、そんなに質量を押し込んで大丈夫なのだろうか? いやいや、大丈夫じゃないです。クェーサーは宇宙に潜むモンスター、超巨大ブラックホールなのである。

では、光を飲み込むはずのブラックホールが、なんで光や電波を出すのだろうか? 実はこの天体、ブラックホールに飲み込まれるのと同じくらいのエネルギーを、ノズルのように細い「噴き出し(ジェット)」として宇宙空間にバラまいているのである。ジェットはほとんど光の速度で、1万年以上も旅をする。その間に光や電波をいっぱい出して、それが地球から見えるんだ。最近になって、実は電波だけでなくX線(レントゲン線)まで出していることが分かってきた。

うーん、クェーサーってのは、なんてうるさい奴なんだ。我々人類が、彼らの遠くに住んでいて本当によかった。近くにいたら、毎晩の夜空がディスクの中のようにガラガラになって、さぞ落ち着かないことであつたらう。

(かたおか・じゅん)

図2 X線で見た3C273の中心領域。右下に伸びているのがジェット。ジェットと、その根元の部分が明るく光っている。





## カリフォルニアで触れた

私が渡米したのは今から1年と4ヶ月ほど前のこと、2年半に及ぶ文部科学省での慣れない仕事を終えた直後のことだった。文科省の「宇宙開発関係在外研究員」の応募に際して私が設定したテーマは、「宇宙科学分野における企画立案部門の活動に関わる情報収集及び研究」といった大上段に構えたものであったが、実のところ心の内ではじかにアメリカという世界に触れることによって、米国での「宇宙」というもののとらえ方はどのようなものか、そしてそれを受けてどのような活動が行われているのかを知り、私がこれまで得た経験や持ち続けてきた考え方を膨らませることができれば、と考えていた。果たしてこの目標に1年間でどこまで迫り得たのか。冷静に振り返ってみても、やはり「1年間は短かった」という月並みな一言に尽きるのだが、そうかといってその1年のすべてを書き尽くすことはこの場では難しいので、そのほんの一端を厳選してご紹介したい。

## 「惑星協会」にて

米国滞在中の1年間、客員研究員という立場をいただいて席を置いたのが、米国において太陽系内惑星や地球外知的生命探査などの宇宙活動を推進している非営利・非政府団体「惑星協会(The Planetary Society)」であった。

パサディナ市のほぼ中央に位置しているオフィスは築後100年近く経っている民家を利用して、部屋の窓から木に登るリスたちも見える抜群の職場環境。常時働いている20人程度のスタッフの皆さんがとても気さくで、特に渡米直後はいろいろなことでお世話になりっぱなしだった。そのようなこともあって新しい環境に急速に溶け込めた私であるが、英語力の不足のため「もう少し突っ込んだ話ができれば」と思う瞬間は、結局最後の最後まで消えることはなかった。そのようにしてしばらく経ったある日、協会専務理事のフリードマン博士から「今日将来の有人宇宙計画について話し合いをするが、聞いてみるか?」と言われ、そのときは合会の意図は分からなかったが、アメリカ人同士の生の議論が聞けるせっかくの機会ということで参加させていただくことにした。宇宙分野のOBや現役の研究者が集まって行われた議論はとても白熱して、熱っぽく持論を展開する彼らに対し、私の力ではあらましを追うだけ

でも精いっぱい。ざっくりとまとめるなら、論点は「具体的に将来宇宙で何をするか」と「そのためにはどんな輸送系が必要か」の二つ。端々に出てくる“火星探査”“使い切りロケット”“軌道上での組み立て”などのキーワードだけが耳に残った。2時間程度のやりとりでその場はひとまず収まったが、議論の続きはメールを介して続けられ、さらに詳細なレポートが1週間程度でまとめ上げられた。

もしそこまでの話であれば、私の中では滞在中のイベントの一つとして記憶されただけだったかもしれないのだが、実際にはそこで終わることはなかった。なぜなら、明けて2004年の新年早々、ブッシュ大統領の新宇宙政策の発表がなされたからである。その中には、先だっで行われた議論の中で出てきたキーワードの影が、そこここに見え隠れしていた。

「彼らは20年来一緒に仕事をしている素晴らしい仲間なのです」と会合メンバーのことを私に紹介したフリードマン博士の誇らしげな笑顔が今でも印象に残っている。

## 「ヨセミテ」にて

カリフォルニアに行くからにはこの機会に訪れておこうと渡米する前から考えていたのが、ヨセミテ国立公園。「神々の遊ぶ庭」とも称され、一度訪れるとその美しさと迫力に多くの人が魅了されるというその場所は、私の生半可な想像をはるかに超えていた。氷河によって作られた谷の底にあっては両側にそびえ立つ巨大な岸壁と滝に圧倒され、上から谷の全景を見渡せるグレイシャーポイントに立てば、だんだんと夕焼けに染まっていくハーブドームに悠久の時の流れを感じさせられた。どこを切り取っても絵葉書かポスターのような風景に、例外なく私も魅了されてしまった。このときは日程の関係から短めのトレッキングコースを1本歩いたのみに終わってしまったので、もし次回があるならばぜひ長いコースに挑戦して、今度は自然の“厳しさ”の方を体験してみたい。しかし、今回トレイルで出会った“小熊”以上の自然の厳しさは、御免被りたいところではある。

油断をするとすぐにリタイアさせられるヨセミテの強大な自然の厳しさ。地球上とはいえ、ここは紛れもなく「宇宙」なのであろう。道を切り開いていった先駆者たちに思いをはせながら彼らの足跡を踏みしめつつ、新たなトレイルを切り開いて、今まで誰も見たことのない景色を見たいものである。

なんて、少し感傷的になったところで、ちょうどお時間のようなですね。

(ちょうき・あきなり)



マーセド川の岸辺から見たヨセミテバレー





## 近時雑感

林 友直

千葉工業大学教授

去る1月6、7日に相模原で催された「宇宙科学シンポジウム」に久しぶりに参加した。ポスターセッションで鯨生態観測衛星「観太くん」による海面漂流ブイ追跡状況について発表するためである。近ごろの宇宙の沈んだムードにもかかわらず、大会議場は大入りの盛況で、将来構想が次々と熱心に語られた。若い世代の宇宙への関心が衰えていないことを知ってうれしく思った次第である。

研究開発を目指す組織は、対象がソフトとハードにかかわらず、構想を現実のものにするという使命がある。良い企画を多く選び出してものにするには、対価格効率を上げて研究開発の生産性を高め、その中で技術の継承と人材の養成を図らなければならない。そのためには多くの人材が、十分に横の連絡をとって協力する体制を作り、各人の仕事を進めやすくする仕組みが必要である。

かつてかなり生産性が高かったと思われる宇宙科学研究所時代に身近に見聞きした事柄のいくつかを述べて、ご参考に供したいと思う。

駒場の宇宙航空研究所の所長室に高木昇先生をお訪ねして、宇宙の分野への参入を決めたのは昭和40年(1965)のことである。まずはラムダロケットによる人工衛星打上げを当面の目標として、斉藤成文、野村民也両先生のもとで、ロケット、衛星、地上系における電気関係の仕事に手を染めた。幸い大学卒業後、工学部電気の岡村総吾先生の研究室で学んだマイクロ波と、理化学研究所の江副博彦先生のもとで学んだ質量分析と真空装置についての体験のおかげで、宇宙分野で無理のないスタートを切ることができた。

そのころのある日、突然糸川英夫先生が訪ねてこられ、「宇宙はロケットと電気の専門家の協力で推進しなければならない。これまで、「糸川一高木」「玉木一斉藤」「森一野村」という二頭立てでやってきた。ついては今後は「秋葉一林」というコンビで進めてほしい。さらにシステムの鍵を握るタイマーを機械式から電子式にする必要があり、これにも手を貸してほしい」というお話であった。その後、森大吉郎先生から「機体計測の電子化について協力してほしい」とのご依頼もあり、これらのご意向を踏まえて既成の各グループと一緒に進めた仕事を進めた。

秋葉鎌二郎さんは私の旧制中学時代の同級生であった秋葉瑠一郎氏の弟さんに当たる方で、糸川先生の意を体して共同作業を着実に続けた。その最たるものは、ハレー彗星探査計画の一環として行った臼田の64mアンテナの建設であ

た。天体現象という待ったなしのテーマであるため緊張の連続する日々であったが、その間、献身的な働きをした市川満氏の貢献は特筆に値する。

こうした仕事を進める上で、メーカーの協力も欠かせない。しかし世の中の先端をきるシステムを作り上げるには、伝票を発注するだけで直ちにものが手に入るということはない。メーカーの技術者と一緒に考え、実験するつもりで取り組まなければならない。

工学は元来、世の中に役立つことを目指す科学の分野であって、サービス精神が基本である。中でもプロジェクト研究推進における工学の立場は、一種のサービス業である。工学の成果は世の人に分かりやすいため、ややとすれば低次元の科学と見るのがこのごろ学界にまで浸透した通念である。その根源を矯めようと正攻法で立ち向かえば、研究開発には手が回らない。

そこでこの弊害をかわすために、若い人たちに勧めた手法がある。それはサービスに努めつつ、望むらくはその中から将来役に立つはずのプロバな研究テーマを見だし、並行して進めるというものである。要するに2人分働くことになるが、さもないとプロジェクト研究機関の中で教育と研究の両立は難しい。周りの人たちに身体の鍛錬を勧めた理由でもある。

プロジェクト研究を推進する上で忘れてならないのは、教官層を支え続けてくれた多くの助手や技官層の活躍である。さらに研究所内に設けられたマシン・ショップ、エレクトロニクス・ショップ、記録チームの貢献も大きい。

かつて駒場の航空研究所時代に研究を支えたガラス細工や風洞実験用の木工の技術は、日本有数の技能者を輩出したという。プロジェクト研究を着実に進めるためには、実務を通じてこうした人材を養成し、やがてはメーカーでさらに活躍できるよう配慮すべきである。

良い仕組みのもとで良い成果を世に問うことができれば、おのずから優秀な人材が得られ、さらに良い成果が期待できる。宇宙開発はこうあってほしいものである。

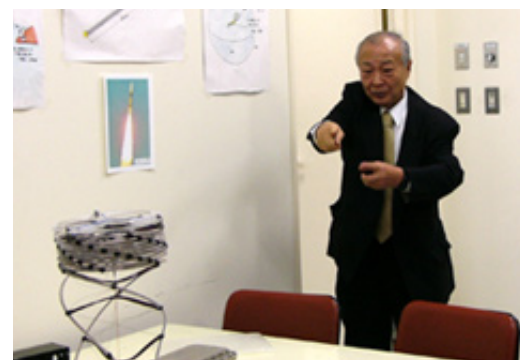
40年以上続けてきた宇宙開発活動の歩みは決して坦々としたものではなく、数多くの失敗を重ね、不具合報告書は山積みされている。失敗を生かし、これを繰り返さないための仕組みを作り上げておかないと、この分野でも災害は忘れたころにやってくる。

作業項目発進のたびに、過去のつまずきの事例を調べ上げ、留意すべき点を作業者に指示するためのデータベースを作り上げるべきである。それには不具合報告書という貴重な過去の記録を生かせばよい。このデータベースは使いやすく、分かりやすく、しかも新規事項が付け加えやすいものでなければならない。さもないと容易に実効のない形骸化したものとなる。過去の記憶が失われないうちに、良いデータベースの作成へ向けて、早急に取り組み方を検討すべきであろう。

宇宙研で25年を過ごし、退官後は丹羽登先生のおかげをもって千葉工大で小型衛星に取り組みさせていただき、10年以上になる。生起した数多くの事柄は、いまだにしばしば夢に見るほど鮮烈である。

周囲の多くの方々を支えられ、励まされてきたもので、思えば幸せな人生であった。これまでに、また今でも周りで辛抱強く付き合ってくださっている多くの皆さまに深く感謝している。

(はやし・ともなお)



研究室にて

# 物を宙に浮かせて新しい材料を作る

宇宙環境利用科学研究系助手  
長汐晃輔

——新しい材料を作る研究をしているそうですね。

長汐:これまで、いろいろな物質を混ぜることにより、新しい材料が作られてきました。しかし、混ぜられる物質には限りがあり、普通に混ぜただけでは、もう新しい材料は見つけにくい。そこで、従来とは違った観点から材料の作り方を研究する必要があります。私たちは宇宙環境の特徴を利用した材料作りを目指しています。

——宇宙環境の特徴とは?

長汐:“重力がないこと”と“物が宙に浮くこと”の2点です。私は、宙に浮かせる、つまり容器がない状態で材料を作る実験を行ってきました。例えば、水を冷やすと、容器に接している界面から氷ができます。容器があるとそこを足場にして原子が規則正しく並び結晶になりやすいのです。逆に容器がないと結晶ができにくくなります。普通、水は0°Cで氷になりますが、宙に浮かせた無容器の状態では-20°Cでも水のままという「過冷却」状態を作り出せます。このような普通にはない状態を利用して、新しい材料を作る研究をしているのです。

——地上でどうやって物を宙に浮かせるのですか。

長汐:下からガスを噴き出させて物を浮かせ、そこに超音波を当てて位置を保つ方法があります。私はこの方法で、高温超伝導酸化物を、従来の方法より約10万倍も速く作ることに成功しました。材料を作るには、いくつかの物質を高温で溶かして混ぜ、その液体を冷やします。容器がある状態では、まず超伝導にならない結晶構造の相ができます。さらに冷やすと超伝導になる結晶構造の相が少しずつ成長します。しかしその成長速度が1時間に1mm程度ととても遅く、これが実用化へのネックとなっています。ところが宙に浮かせる方法を使うと、超伝導になる結晶構造ができる温度まで、液体の状態のまま過冷却させることができます。液体から直接、超伝導になる結晶構造を素早く成長させることができるのです。

——今後、どのような新材料の開発を目指しますか。

長汐:特定の機能を持つ材料を目指すというよりも、材料を作るプロセス自体に興味を持って実験を行ってきました。新しいプロセスにより、未知の機能を持つ材料を作りたいのです。今後は、無容器と微小重力を併せ持つ、より宇宙に近い環境を利用する実験をしようと思えます。例えば微小重力の環境では対流が起きないので、ゆがみがなく、きれいな結晶構造を持つ優れた材料ができるはずですよ。



ながしお・こうすけ。1974年、岡山県生まれ。東京大学大学院工学系研究科材料学専攻博士課程修了。専門は材料プロセッシング。2002年、スタンフォード大学客員研究員。2003年、宇宙科学研究所助手。無容器凝固材料プロセスの研究を行っている。

——国際宇宙ステーションの日本の実験棟「きぼう」でも、実験する予定だそうですね。

長汐:私たちの研究室を率いる栗林一彦教授が進めているプロジェクトで、シリコンを宙に浮かせて固め、球状のきれいな単結晶を作る宇宙実験

です。球状は板状よりも表面積が大きいので、次世代の太陽電池として有望です。また従来のような切りかすが出ない無駄のない製造法なので、宇宙実験の成果を地上に還元できればコストダウンが期待できます。

私たちはその予備実験として、「パラボリック・フライト」を行いました。飛行機を自由落下させて無重力状態で実験するのです。まったく平気な人もいますが、私はジェットコースターすら苦手なので、気持ち悪くなって実験どころではなかったですね。

——子供のころから、宇宙に興味があったのですか。

長汐:いいえ、小学生のころからずっと野球ばかりしていました。京都大学でも野球部に入りました。巨人の二岡選手が大学時代、初めてホームランを打ったピッチャーが私です。私が二岡選手を育てたのです(笑)。

大学受験のときには学科を選ばなければいけません。ちょうどそのとき、毛利衛さんがスペースシャトルで宇宙実験をしている様子をニュースで見ました。1992年のことです。物が宙に浮いていて、面白いなと思いました。その後、実験の様子をまとめた『宇宙実験レポート from U.S.A.』(毛利衛 著、講談社)という本を読みました。それがこの分野に入るきっかけです。大学院の修士課程のとき、毛利さんに初めてお会いし、とても感激しました。毛利さんは実験を計画した研究者の代わりに宇宙で実験を行いました、「やはり計画をした研究者自身が宇宙に行って実験すべきだ」と最近コメントされていました。百聞は一見にしかずで、研究者自身がどンドン宇宙に行って実験を行い、新しい感覚や直観をつかむことができる時代が来るといいですね。

——先生ご自身も、宇宙で実験してみたいですか。

長汐:パラボリック・フライトも苦手なので、宇宙飛行士の訓練はちょっと……。 “どこでもドア”があればぜひ行きたいのですが(笑)。

ISASニュース No.287 2005.2 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** 最近、日本の宇宙開発の沈滞がささやかれています。将来に向けた現場の活力こそが次の発展につながると考えます。記事の中にもありますが、「宇宙科学シンポジウム」は将来に向かって宇宙科学を開拓する研究者の熱気が感じられる場です。3月号は「宇宙科学シンポジウム」特集。そんな熱気を少しでも感じていただきたいと考え、研究者の生の声をお届けする企画としました。ご期待ください。(紀伊恒男)

デザイン/株式会社デザインコンビピア 制作協力/有限会社フォトンクリエイト