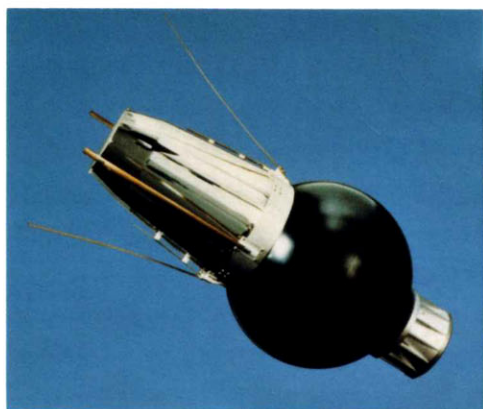




AS ニュース

宇宙科学研究所

1996.4 No. 181



▲内之浦のシュミットカメラが捉えた日本最初の衛星「おおすみ」
(1995年12月25日09:33:04から16秒間。榮樂正光氏撮影)

＜研究紹介＞

褐色矮星の発見がもたらすもの

東京大学理学部 辻 隆

◆何故褐色矮星か？

星雲から原始星が生まれ、重力収縮によりその中心温度が高くなると、水素の核融合に火がつき主系列星の誕生となる。しかし、原始星の質量が太陽質量の8% ($0.08M_{\odot}$) 以下であると、このように自らの核エネルギーで光り輝く星にはならず、重力エネルギーを使い果たして、やがて暗黒天体になってしまうと考えられている。このような天体の存在はすでに30年以上前から予測されていたが、これに褐色矮星というやや奇妙な名前がつけられて、熱心にその探査が始まったのは比較的最近のことである。その理由は、まずこれらの褐色矮星がダークマターの有力候補の一つと考えられるからである。例えば理科年表で「近距離の恒星」と云う頁をみると大部分は太陽よりも質量の小さい赤色矮星である。即ち、我々の銀河系で単位体積あたりで最も多く、銀河系の光っている質量の大部分を担っているのはこれら赤色矮星なのである。このことを外挿すると、赤色矮星よりも質量の小さな褐色矮星がさ

らに多く存在し、銀河系の見えない質量を担っていると考えるのはあながち不自然なことではないようだ。しかし、褐色矮星は実際に存在するのだろうか？

また、原始星のまわりにできると考えられている原始惑星系円盤の温度が下がってくると分子のみならず種々のダスト（塵）ができ、やがて大きく成長したダストが集積して惑星が誕生すると考えられている。一般に、惑星はこのようにダストから生まれると考えられているが、褐色矮星を含めて星はガスから直接生まれるとされている。これはどこまで本当であろうか？ また、木星の質量は太陽質量の0.1% ($0.001M_{\odot}$) であるが、このような巨大惑星と褐色矮星との境はどこにあり、実際に何が違うのであろうか？ そもそも我が銀河系に星は無数に存在するが、褐色矮星や惑星系は銀河系にどの程度存在するのであろうか？ これらのことが観測から明らかになれば、様々な質量の恒星、褐色矮星、惑星などの天体がどのようにしてどれだけ生まれるのかと云う現代天文学の根本的問題の解決に一步

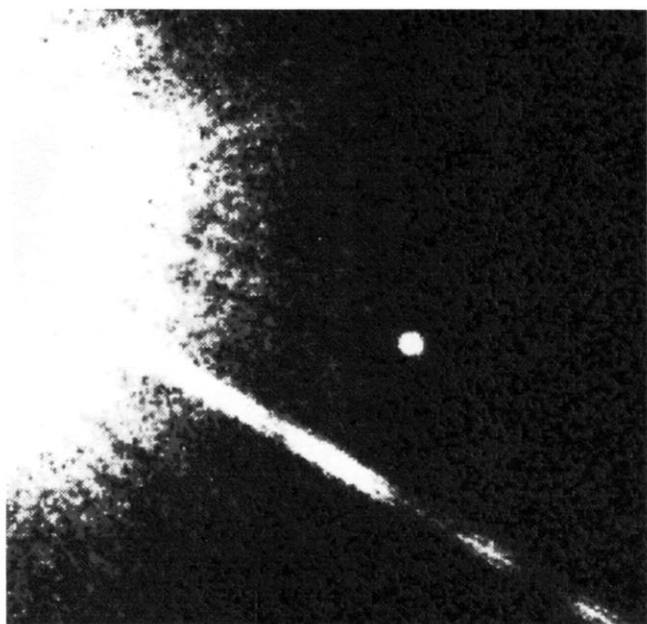


写真1 褐色矮星Gliese 229B (中央の小さい点)。
左の明るい部分は主星。(NASA提供)

近づることができるであろう。

◆褐色矮星の探査

以上のようなわけで、褐色矮星とか太陽系外の惑星系の探査が様々な方法で行われ、最近の新聞などでも「褐色矮星が見つかった!」と云う記事をたびたび見かける。これらがすべて本当であれば、現在既に多数の褐色矮星が存在していることになる。褐色矮星を“発見”したと云うには基本的にはその天体の質量が $0.08 M_{\odot}$ より小さいことを示せばよい。天体の質量を直接知ることは連星の場合に可能である。例えば、太陽を木星との連星系と考えると太陽はその共通重心の周りを13m/secの速度で公転している。従って、太陽系外の知的生物が太陽の視線速度を精密に観測したとすれば、太陽に惑星が存在することを推定できるはずである。この方法を近傍の太陽型の恒星に適用した結果、実際に2、3の星で視線速度が周期的に変化していることが見つかり、その伴星の質量は木星とそれほど違わないと推定されている。しかし、その惑星ないしは褐色矮星かもしれない天体は暗過ぎて直接見ることはまだできない。また、若い星団などで生まれて間もない天体のなかには、質量が $0.08 M_{\odot}$ よりも小さく将来冷却して暗黒天体となる運命にある天体—褐色矮星—が見つかったという報告もかなりある。この場合、質量の推定はこれらの天体の光度や表面(有効)温度を進化モデルによる予測と較べて行うので、かなり不確定要素が大きい。このようにして、既に、かなりの数の褐色矮星候補が提唱されたが、確実に褐色矮星と言えるものはなかなか見つからなかった。

◆ようやく見つかった褐色矮星

確実に褐色矮星を見つけたと云うには、冷却が進んで主系列星の限界光度($6 \times 10^{-5} L_{\odot}$)以下となってしまった天体の存在を確認することが最も確実である。1995年末になってようやくこのような天体Gliese 229Bが中島紀氏らパロマー天文台のグループにより発見された。これは、質量の最も小さい赤色矮星の周りに、さらに暗い従って質量の小さな天体—褐色矮星—が存在する可能性を考えて、コロナグラフの原理を応用して赤色矮星の付近で暗い天体を捜した結果発見されたものである。この星は距離の分かった赤色矮星の伴星なので、光度は $6 \times 10^{-6} L_{\odot}$ であることが分かるが、これは確実に主系列星の限界光度よりも暗い。さらに、この星のスペクトルにはメタンのバンドがはっきりと確認された。メタンは有効温度が1,000K以下の高密度の星でのみ存在できるので、この天体の有効温度は1,000K前後であると推定された。これらのことから、この天体が正真正銘の褐色矮星であることはほとんど疑いない。

◆褐色矮星を如何にして調べるか?

このようによりやく恒星と惑星の間をつなぐ天体が存在することが明らかとなった。それでは、このような新種の天体をどのような方法で調べてゆけばよいであろうか?例えば、我が太陽系の惑星は既にパイオニア、ボイジャー、ガリレオなどの探索機によって直接調べられている。しかし、太陽系外の天体には直接探索機の手は届かない。これら実験のできない天体には一般にモデル解析の方法がよく使われる。これは対象となる天体の物理構造モデルを現在知られている物理法則に従って構築し、それから予測される結果を観測と比較する。予測値と観測値がよく一致するまでモデルを逐次改良し、その天体の本質に迫ろうという方法である。また、この方法ではある程度観測を予測することも可能である。

さて、褐色矮星のような低温高压の大気では、H、C、N、Oなどからなる揮発性の物質はメタン、水、アンモニアなどの分子ガスの形で存在するが、Fe、Si、Mg、Alなどからなる難溶性の物質は大部分コランダム(Al_2O_3)、鉄(Fe)、シリケート($MgSiO_3$)などのダストになっていると考えられる。ここで、ダストはガスと均一によく混合した状態で形成されると仮定する。このような大気が熱的及び力学的に平衡状態にあるとする理論モデルを作ってみると、熱力学的平衡のもとでは晩期M型矮星ですでにダストができ、褐色矮星になるとダストはますます重要となってくることが分かる。

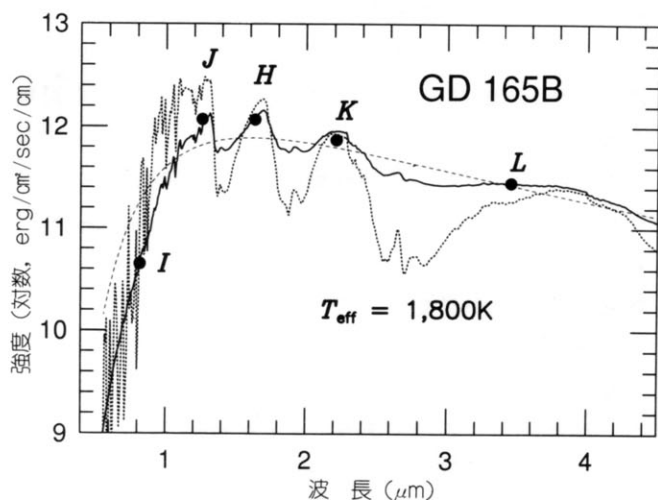


図1 褐色矮星候補GD165Bの観測データ（黒丸）と $T_{\text{eff}}=1,800\text{K}$ のダストありモデル（実線）及びダストなしモデル（点線）による輻射エネルギー分布予測値の比較。黒体放射を斜線で示す。

◆ダストのもやに覆われた褐色矮星候補、GD165B

さて、正真正銘の褐色矮星が発見される数年前に、褐色矮星の候補としてGD165Bと言う天体が知られていた。これはやはり暗い白色矮星の付近にあるさらに暗い天体を赤外線カメラで捜した結果発見されたものである。まず、手始めに図1に、この天体の測光データ（黒丸）と有効温度1,800Kのモデルから予測される輻射エネルギー分布（SED）の予測値との比較を示す。ここで実線はダストありのモデル、点線は比較のためにダストなしのモデル（これは過飽和状態に対応する）を示したものである。明らかに実線、即ちダストありのモデルの予測と観測は非常によく一致するが、ダストなしのモデルでは全然観測と合わない。このことから、褐色矮星候補GD165Bにはダストが存在することはほぼ確実と云ってよいであろう。図1に示すように観測されるSEDがダストによる強い散乱、吸収の効果を示すことから、褐色矮星候補GD165Bはダストのもやにすっぽりと覆われていると考えなければならない。

◆ダストの雲が漂う褐色矮星、GI229B

次に中島紀氏らにより発見された褐色矮星GI229Bの観測データ（黒丸）と有効温度800KのモデルによるSEDの予測値との比較を図2に示す。ここで図1と同じく実線はダストあり、点線はダストなしのモデルによる。今度は逆に実線即ちダストありのモデルの予測と観測は全く一致せず、点線即ちダストなしのモデルの予測と観測は良く合っている。ここでダストなしのモデルでは、メタン、水蒸気のみならず、水素分子の衝突誘導二重極遷移により、赤外領域は極めて不透明となっている。そのため赤外輻射は相対的に弱く、大部

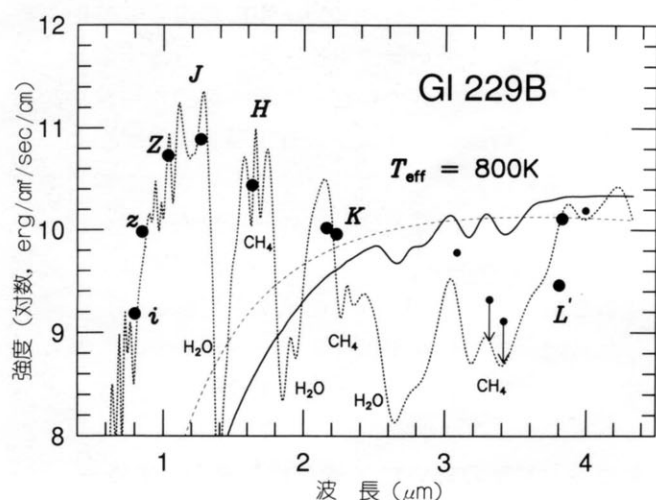


図2 褐色矮星GI229Bの観測データ（黒丸）と $T_{\text{eff}}=800\text{K}$ のダストありモデル（実線）及びダストなしモデル（点線）による輻射エネルギー分布予測値の比較。

分の輻射は1ミクロン領域に集中し、黒体輻射（斜線）から著しくずれている。一方、ダストありのモデルではダストの強い吸収・散乱が支配的となり黒体輻射に近いSEDとなるが、これは全く観測と合わない。

このように、温度が比較的高いと考えられるGD165Bにはダストが存在するのに、温度が低いと考えられるGI229Bには見かけ上ダストは存在せずメタンなどの揮発性ガスが多量に存在することが明らかになった。このように、より低温のGI229Bにダストが存在しないとすれば、これは熱力学に反することになる。しかしこのことは、次のように解釈すればよいであろう。即ち、2,000K前後でダストができる場合は気相・固相は分離せず一様に混合した状態にあり、このようなダストとガスが大気全体を一様に覆い、そのためダストの強い吸収、散乱が支配的となる。これは正に褐色矮星候補

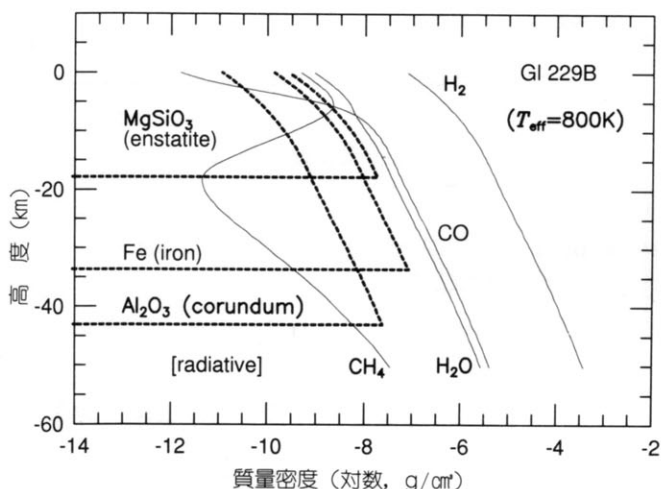


図3 褐色矮星GI229Bのモデル ($T_{\text{eff}}=800\text{K}$) におけるダストの雲及び分子ガスの高度分布。

GD165Bの場合である。しかし、やや低温となるとおそらくダストの成長が進み気相・固相が分離する。この場合ダストは雲の形で存在し、その間隙から流出したメタンなどの揮発性ガスが大気上層を満たすため、ダストの効果は観測されないだけであろう。このモデルに於けるダストの雲及び分子の高度分布を図3に示す。このように、正真正銘の褐色矮星G1229Bではメタンガスのなかに鉄やシリケートのダスト雲が漂い、もしかしたら雨—ただし水ではない！—も降るかもしれない。即ち、褐色矮星G1229Bはすでに気象学の支配する世界である。

◆恒星と惑星のあいだ—褐色矮星学のすすめ—

現在知られている褐色矮星はその候補を含めても上で見たG1229BとGD165Bの2つしかないが、すでにこれらから褐色矮星について貴重な情報が得られた。我が太陽系の9個の惑星はそれぞれ個性に富んだ多様な姿を見せているが、これら2つの天体も非常に異なる特性を示している。褐色矮星や惑星の大気では気相・液相・固相間の相転移が起きるため、気象学的現象から生命誕生までを含む極めて多様な現象が起り得ると考えられ、気相だけを考えればよかった恒星大気に

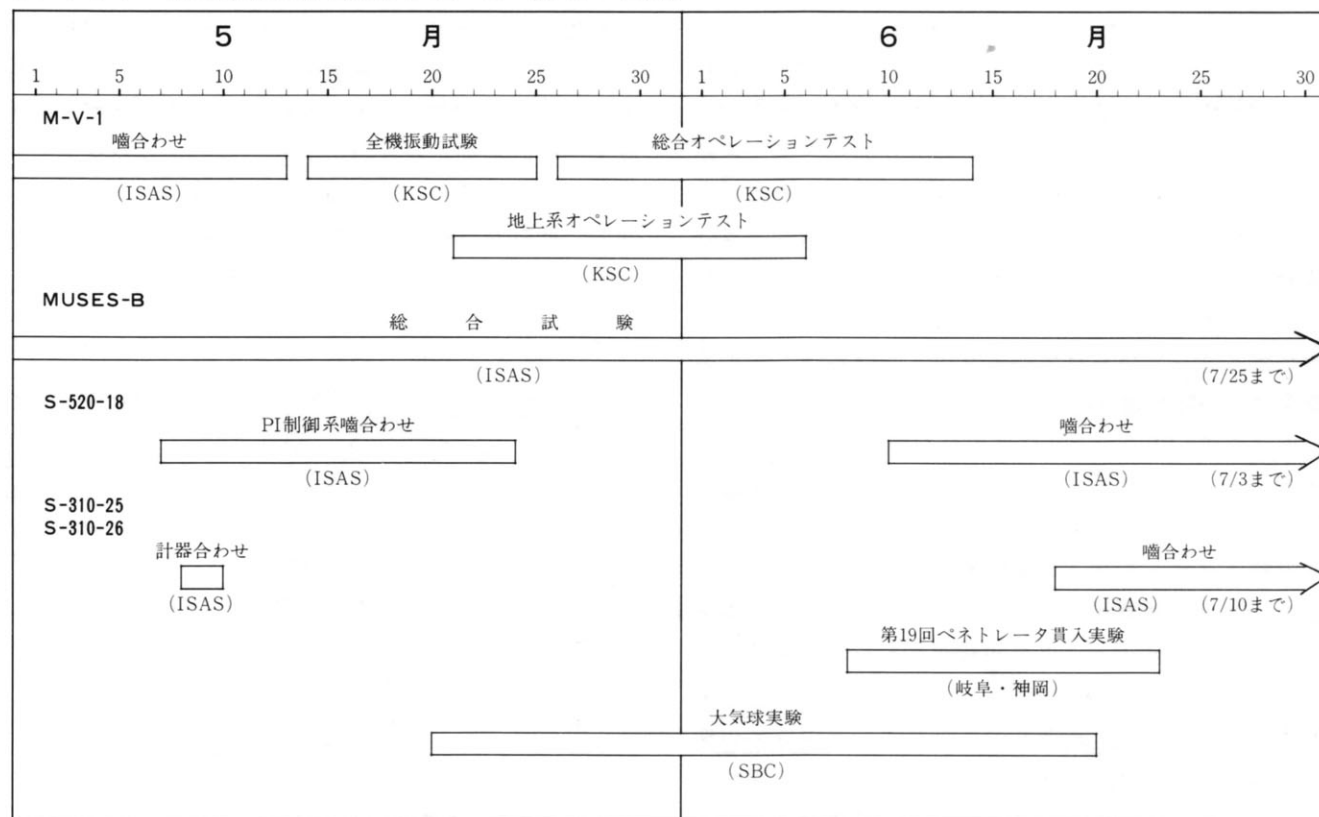
較べると未解決の問題も多い。いずれにしても、木星質量 $10^{-3}M_{\odot}$ から主系列星の下限 $0.08M_{\odot}$ の間の質量にして2桁の範囲にわたる天体が新たに経験科学の対象となった意義は大きい。これらの天体の特性を解明するためには、すでに長い歴史を持つ恒星物理学と惑星科学の成果をさらに発展させてsubstellar astronomy（又は褐色矮星学）とでも呼ぶべき新しい学問分野を開拓することが必要であろう。

今後このような研究を発展させるには、褐色矮星や太陽系以外における惑星系がさらに多数見いだされることが是非とも必要であり、このためには特にISASが21世紀初頭に打ち上げを予定しているIRISに期待するところが大きい。IRISは、中間及び遠赤外域で従来にはない高い感度を持ち、さらに広域無差別の大規模探査を行う高い性能をもっており、褐色矮星探査を最も有効に行うことができると期待される。また、これと相前後して完成するSUBARUなどと併せて、褐色矮星などの微光天体の解明が進み、小質量星を含む星の誕生、惑星系の形成からダークマターの正体に至る天文学の基本的な問題に新しい光があてられることを期待したい。（つじ・たかし）

お知らせ



★ロケット・衛星関係の作業スケジュール（5月・6月）



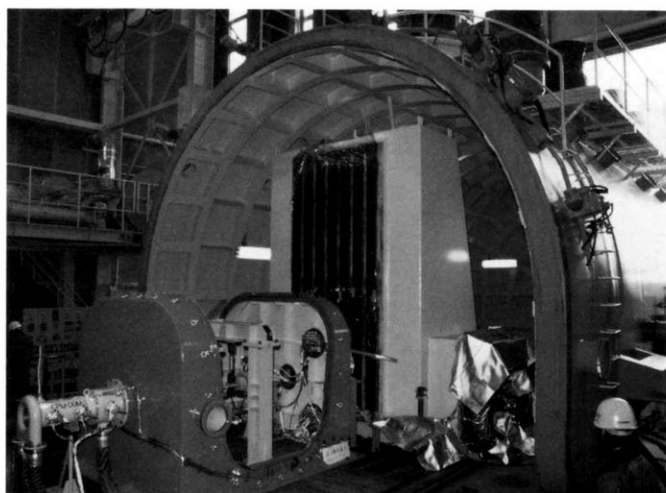


★MUSES-B 総合試験

MUSES-B総合試験が、昨年1995年の11月2日より始まっています。1994年11月に一次噛み合わせ試験が終わり、従来の衛星に比べて余裕のある単体環境試験の日程で各サブシステムとも満を持しての総合試験です。もっとも衛星の科学観測を行うVLBI観測信号系や世界でもっとも注目を浴びている直径8mの大型観測アンテナ系は、余裕のある日程にも関わらず息つく暇もない改修・調整・試験を行いやと間に合わせています。もし打ち上げが延びていなかったらどうなっていたのかと冷や汗ですが、“もし”と“れば”は言っても仕方ありません。一噛みの時には毎日のように出ていた不具合が、小さなものが週に数個（しかも1に近い）に減っています。しかしもう改修のできない土壇場に立ち緊張の日々で、各サブシステム担当者・メーカ・システム担当者ともに信頼性のある衛星作りに日々奮闘しています。温度試験では、チャンバ室の空調をまともに地上系機器にあててしまいKu帯（15GHz帯）の地上リンク系機器は、臼田からの長旅のせいもあり早速音をあげてしまいました。衛星に先立ち地上系の温度試験を行ってしまったことになり、これも地上系機器の信頼性を向上させる上で決して無駄ではなかったと思っています。大型アンテナは3月6日に搬入されて、振動試験を行ったのち再び三菱電機鎌倉製作所に戻りいよいよ最終鏡面調整に入ります。0.5mm rms目指して最後のがんばりです。（小林秀行）

★ペネトレータDOM-1地上燃焼試験、無事に終わる

DOM(DeOrbit Motor)はペネトレータを月面に貫入させるために使われる減速用固体ロケットで、ペネトレータは母船から分離後、DOMを点火して月周回速度を打ち消し、自由落下状態になります。DOM-1は実機DOM性能確認のための試作1号機で、全長590mm、全重量21kg、うち推進薬重量は17.2kgです。より正確に推進性能が把握できるよう極めて飛翔型に近い設計となっており、ノズル開口比も実機と同じ64になっています。このため、従来の大気開放拡散筒による真空試験方法ではノズル内部で流れが剥離してしまうために、2重真空槽方式という真空試験方法を考案しました。つまり、大型真空槽の中に小型真空槽を入れ、大型真空槽を閉じた状態で燃焼試験を行うわけです。さらに、姿勢安定化スピンを模擬するための強制スピンも与え、低圧・スピン環境下での試験を行いました。今回、初めて実験主任という大役で参加させてもらいましたが、本部の机に座っているというのはかなり苦痛で、気が



つくとスタンド点で作業の邪魔をしていました。新品の小型真空槽と清掃してピカピカだった大型真空槽が燃焼ガスによって真っ黒になってしまったのには悲しいものがありましたが、実験が大成功に終わり、感慨ひとしおでした。（石井信明）

★SFU、日本へ向け輸送される

スペース・シャトル「エンデバー号」により軌道上で捕獲されたSFUが平成8年1月29日、ケネディ・スペース・センターに於てNASA側から日本側に引き渡されました。受領されたSFUはただちにケネディ・スペース・センターから場所を移動し、アストロテック・スペース・オペレーションズ社（ASO）においてSFUに搭載されている非常時切り離しのための火工品の取り外し作業や、残燃料の排出作業、およびサンプル品の取り外し作業などをおよそ3週間で完了しました。

SFUを日本へ輸出するためASO社のあるフロリダ州タイタスビル市から輸出港であるジョージア州サヴァンナ市までの2州にまたがり、およそ500kmにもおよぶ陸上輸送が行われました。SFUは、輸送用コンテナに入れるとアメリカでも大型物の輸送範疇に入ります。輸送は日照のある昼間に限られ（フロリダ州だけの輸送であれば深夜輸送するのが規則であるが）、両州のパトロール車による先導を受けたものの大型物かつフライト衛星の輸送としては驚異的な時速90kmの速度で走行しました。目的地のサヴァンナはジョージア州の大西洋岸にある港町で、1782年イギリス総督を英本国に追いつた後ジョージア州都となり、綿花の集積港として繁栄・衰退した後現在もコンテナ船の重要港として活躍しています。

さて、輸出通関検査を終えたSFUは、3月4日に地上支援装置とともに4万2千強総トン数の定期航路貨物船「カリフォルニア・サターン」号に積み込まれました。翌3月5日午前8時35分同船は、サヴァンナを後に



し、パナマ、ロサンジェルスを経由したのち3月28日に横浜港へ入港しました。出港の様子を記録しようとホテルのベランダから撮影していた我々を見つけ、船の艦橋から船長さんが手を振っていた光景が印象に残りました。写真はASO社を出発しサヴァンナへ向かうSFUを積載したトラックです。(清水幸夫)

★「あすか」国際会議

「あすか」衛星の打上げ3周年を記念して、「X線像と分光による宇宙高温プラズマの研究」と題するX線天文学の国際会議が、3月11～14日早稲田大学の国際会議場で開かれた。昨年9月のドイツでのX線発見100周年記念の会議からあまり日数が経っていないので、参加が危ぶまれたが、予想に反して、1994年の東京都立大学での会議を上回る人数が参加した。一時は申し込みが300名を越え、参加を制限した程であった。最終的には、海外13ヵ国から、120名、国内から130名の250名に落ち着いた。

会議は、4日間で70の口頭発表と、180のポスター発表を行うという過密スケジュールであった。朝9時から、夕方6時過ぎまで、熱心な討論が続いた。「あすか」の成果の他、ドイツのローサット衛星、米国のガンマ線衛星、最近打ち上げられたばかりのXTE衛星、ロシアのグラナット衛星、「ようこう」衛星の結果も報告された。しかし、「あすか」の結果は、質量共に他を圧倒するものであった。X線像と分光が同時に観測でき、しかも10keVまで高い感度を持つ「あすか」の特徴がよく発揮されたものといえる。会期中に重要な発表についての記者発表が行われ、星生成域および超新星からのX線放射、宇宙背景X線放射の原因となるX線天体、宇宙における鉄原子の生成に関する重要問題について説明が行われた。

13日の夕方、大学の構内にあるホテルで、「あすか」3周年のささやかな祝賀を兼ねたパーティが開かれた。

所長の歓迎の挨拶に続き、来賓、外国からの参加者からの祝辞が述べられた。はからずも、筆者は余興代わりに赤い袖なしと帽子を被らせるはめになり、国際的に年齢を暴露する結果となった。

14日の終了まで、出席者はあまり減ることはなく、熱心に最近の成果に聞き入っていた。多くの参加者から会の成功とパーティが楽しかったことを告げられた。お世辞半分にしてもうれしく感じた。今回の会議は連絡はすべて電子メールだけであった。開会の直前まで、出席者の確認とプログラムの調整ができた。特にロシアとの連絡に威力であった。

この会の機会に日独の国際協力が話し合われた。ローサットの高い空間分解能と「あすか」の波長分解能を組み合わせると、最高の性能の観測手段となり、新たな成果が期待される。会議のよい副産物となった。

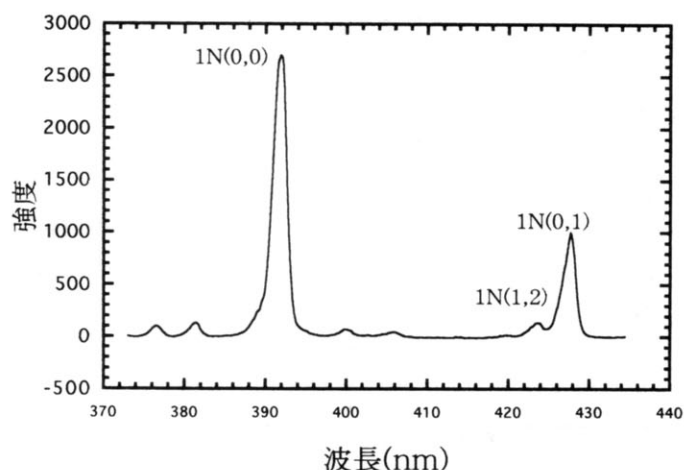
(槇野文命)

★世界初の窒素振動温度測定

平成8年2月11日20時00分、S-310-24号機による観測は完璧に成功した。本実験の目的は窒素振動温度の観測を行うことであった。「振動温度」という極めて耳馴れない言葉をまず説明しておく必要がある。窒素分子は二つの原子がくっついて空間を飛び回っているが、同時に二つの原子の間隔を変え(振動させる)ながら飛んでいる。個々の分子の飛び回る速度は不思議な美しい自然の摂理に従って分布している(マクスウェル分布という)。マクスウェル分布則に従って飛び回っている粒子の平均エネルギーにある定数を掛けて言い直したものが、いわゆる大気温度(気温)であり、振動もまたマクスウェル状態にあるであろう。これが今回測定した振動温度である。

窒素分子は約3eV以上のエネルギーを持つ電子によって振動状態に励起される一方で、それよりエネルギーの小さい電子には振動エネルギーを与えるという面白い振舞いを示す。振動エネルギーが高くなると酸素





イオンと急激にくっつき易くなり、これが電離圏のプラズマ密度をコントロールする一因となる。このような訳で、電離圏に起きているいくつかの現象、あるいは熱圏下部（約100km付近）の酸化窒素の振舞いを解明するために窒素の振動エネルギーを測ることが必要とされてきた。窒素分子の振動状態そのものを測る手ではないので、まず元の振動状態を保つようにイオン化し、これから出る光のスペクトルから振動温度を求める。従って測定システムは窒素分子を電離する電子銃と窒素分子イオンから出る光を検出する分光計より成る。

写真はスペースチェンバーでの電子ビーム放出実験で青い光に我々の知りたい秘密が隠されている。

図は実際に高度約100kmで得られた窒素イオンからの主な三つの光を含むスペクトルである。今回の実験によって約150kmまでの測定がなされ、ロケット搭載用としての測定器の基本は確立したと考えているが、今後、

感度を高めて測定レンジを全高度に広げること、小型にすることなど、いくつかの課題が残されている。

最後にこの測定器は、メーカーを含む所内外の多くの方々の好意によって完成したものであり、紙面を借りて心から謝意を表する。（小山孝一郎）

★文部省の早田研究機関課長がKSC訪問

早田課長がさる3月18日(月)に鹿児島宇宙空間観測所(KSC)を訪問し、新装なったミュー・センターその他の施設を熱心に視察した。まず管理センターの前で降り立った時の第一声は「これが管理棟？ かなりひどいね」だった。しかし管理棟はまだまだ新しい部類に属する建築物である。つづいて衛星テレメータ・センターの仮眠室などを見るに及んで「これは何とかしなくては」の声も聞かれるようになった。

KSCは、総合ビルを建設する計画も進んでおり、今回の早田課長の訪問によってKSCの再開発も加速されることが望まれる。（的川泰宣）



★ISASニュースのWWWサービス開始

WWWの登場により、手軽に世界中から情報を得ることができ、逆に世界中に情報を発信することもできるようになってきました。インターネットの普及に伴い、WWWの需要も増加の一途を辿っており、昨年スタートした宇宙研ホームページも、3月中旬には立ち上げ当初の数倍のアクセス頻度を数えるに至りました。

以前からISASニュースもWWWで公開して欲しいという要望があり、有志の方によるネットワーク版ISASニュースの評価ページも作成されました。このページは常に高い人気を維持しており、毎日所外から数十件、日によっては100件以上ものアクセスがあります。これが毎月更新されるようになれば、アクセス件数は尚一

層増加するものと考えられます。

このような需要と期待に応えるべく、編集委員会においてもWWWによる毎月のISASニュースの公開にGOサインが出されました。インターネット版のISASニュースは、試行的に4月号より掲載することとなりました。（もしかしたら、既にこの記事がインターネット上で御覧になっている方もいらっしゃるのではないのでしょうか？）

これまで通りのISASニュースの発行と並行してネットワーク上でもISASニュースを御披露できる時代になります。宇宙研外からのアクセス番付としては横綱級のページがひとつ、新たに加わることになるでしょう。アドレスは、<http://WWW.isas.ac.jp>です。（三浦 昭）

SFU搭載赤外線望遠鏡IRTSの成果

今年1月、SFU衛星がスペースシャトル・エンデバーで回収されたのは、まだ記憶に新しい。この衛星には、液体ヘリウムで -271°C 以下に冷却された、赤外線観測用の特殊な天体望遠鏡が搭載されていた。

この望遠鏡(IRTSと呼ばれる)は、SFUが打ち上げられて11日後の3月29日から、約90リットル積みまわっていた液体ヘリウムがすべて消費された4月24日まで、26日間の天体観測に成功した。打上げから約5週間、望遠鏡は極低温に冷却されていたことになる。この冷却寿命はほぼ設計通りで、宇宙での冷却技術を確認するのにすることができたことも、IRTSの成果の一つである。

天文観測は、特定の天体を観測するのではなく、太陽と地球を避けてSFUを回転させることにより、天球を無作為にスキャンする方法で行われた。

観測データは電波で地上に降ろされ、観測終了後に解析が開始された。まず、一部分ずつ地上に降ろされたデータを時刻順に並べ、SFUの姿勢制御系のデータとの間で、時間的な対応関係を確定する作業が行われた。その後、ジャイロのデータや、IRTS自身が持っていた星姿勢計のデータを使って、各時刻の望遠鏡指向方向を決定する作業が開始された。現在までに、全観測時間の3分の2について、この作業がほぼ終了している。幸いなことに、SFUの姿勢制御は大変安定しており、観測時間のかなりの部分で、 $1/50$ 度程度の精度で、望遠鏡指向方向が決定できそうである。

天文学的な解析は、これまでに全観測天域の約4分の1について、第1段階の処理が終わっている。図に示したのは、銀経 50° 付近の銀河面についての、各種波長での強度分布である。図1、図2は、星間空間にある大きな有機物分子が放射していると言われる特徴的な赤外線だけを抜き出して描いた地図である。これ程きれいな図が描けたのは初めてで、鉱物質の星間塵が出す赤外放射(図3)の分布と驚くほどよく似ていることがわかってきた。どうも有機物分子は、普通の星間塵と大変よく混ざりあって存在しているようである。図4は、星間空間の炭素イオンの放射強度分布で、やはりこれまでになく高精度で、しかも銀河面から離れた場所でも検出できており、星間物質の理解は大きく進むと期待できる。

IRTSでは星間塵の熱放射がサブミリ波領域

まで延長し観測された。これにより、現在議論になっている、絶対温度 10°K 以下の大変冷たい星間塵の存在についても、重要な結果が出せそうである。

IRTSは、冷却されたシャッターを備えていて、空の明るさの絶対測光ができる。この機能を使って、波長数ミクロンでの空の明るさに、銀河系外からの赤外線がどれくらい寄与しているかが、測れるのではないかと期待されていた。これがわかれば、銀河の進化のモデルに重要な制限を課すことになる。これまでの解析では、もしかしたら有意な値が、悪くてもモデルに重要な制限をつける上限値が得られそうである。

SFUが無事回収され、IRTSももうすぐ私たちの手元に戻ってくる。データは観測中に地上に送られてしまっているので、IRTSにとって回収は本質的な重要事ではないが、装置の特性を測り直してデータの信頼性を上げることができ、また、1年近く宇宙に出ていたことが、この種の望遠鏡のハードウェアにどんな影響を与えるかを調べることができる。データだけでなく、ハードウェアとの付き合いも、もう少し続きそうである。

(村上 浩)

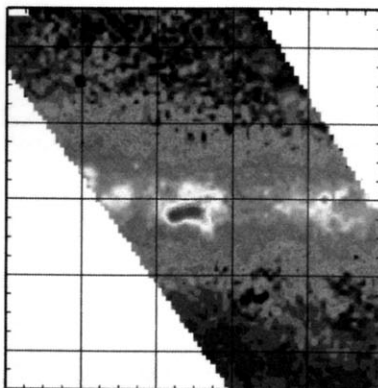


図1 有機分子放射の強度分布1

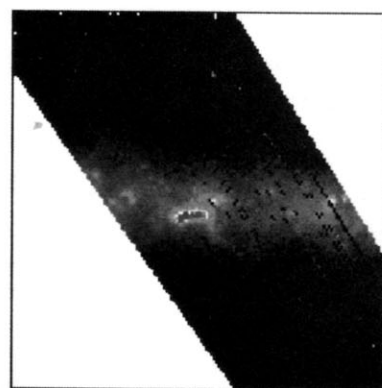


図2 有機分子放射の強度分布2

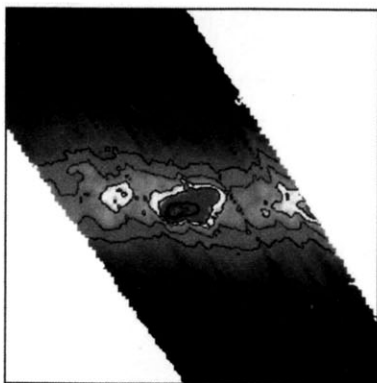


図3 星間塵の熱放射分布

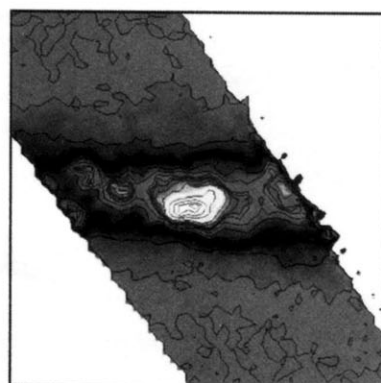


図4 炭素イオン輝線の強度分布



地球のはじまり

東京大学理学部 阿部 豊

「地球のはじまり」というのは、そもそもいつのことなのだろうか。一番単純なのは「地球のはじまり」を地球が現在の質量とほぼ同じになったときであると考えよう。最近の惑星形成論では地球は微惑星と呼ばれる小天体の衝突合体によって形成されたと考えられている。それによると地球が現在の質量とほぼ同じになるまでには、微惑星形成から数百万年から一億年程度かかったとされる。隕石などの年代から太陽系ができたのは遅くとも $45.66 \pm 0.02 / -0.01$ 億年前であるとされているから、地球の「はじまり」は45.7億年前から44.7億年前のことと推測されることになる。これは理論的な推定だが、過去に鉛同位体比などから得られた「地球の年齢」と矛盾はしていない。

では、「はじまり」のときの地球は一体どんなものであったのだろうか。とりわけコア・マントル、そして地表はどのような状態であったのだろうか。

地球上で最も古い岩体としては今のところ約40億年前のものまでしか知られていない。したがって地質学的方法を直接適用して「はじまり」の時の地球の状態を明らかにすることはできない。ここでは惑星形成の理論に基づいて想像をしてみる。

地球は金属鉄と岩石の混合物として形成されたと考えよう。金属鉄と岩石の分離がコアの形成であるが、これは地球形成と同時進行というのが考えやすい。その理由は、地球が火星サイズ（地球質量の約1/10）以上に大きくなると、微惑星の衝突速度が十分に大きくなって、衝突による衝撃加熱で微惑星と原始地球の双方の融解が起こると考えられるからである。このために微惑星の衝突地点にマグマの池ができることになる。微惑星の中に含まれている金属鉄はこのマグマの池の中で分離して沈み、マグマの池の底に金属鉄がたまると金属鉄の大きな塊となって、雫状に地球の中心に落ちていくと考えられるのである。このプロセスは地球が火星サイズ以上になるとずっと続くから、コア形成が地球形成と同時進行ということになる。したがって「はじまり」の時点でコアはほぼ現在の大きさになっていたことになる。

「はじまり」の時点でのマントルは現在よりも温度が高く、少なくとも部分的には融解していたであろう。微惑星の衝突によってマグマの池ができることは既に述べたが、地球の形成過程では頻繁な衝突や原始大気

の保温効果によってこれらの池がつながり、マグマの海ができていた可能性がある。マグマの海は一度できると固まるまで少なくとも1～2億年くらいはかかりそうだから、「はじまり」の時点ではまだ固まっていなかった可能性が高い。

地球がほぼ現在と同じ大きさまで成長した後でも、数億年間にわたって微惑星の衝突頻度は著しく高かったはずである。これは月や火星の古い地殻に存在するクレーターの数からの推定である。既に述べた衝突による融解はこの時点でも重要な要素である。しかし、融解したことで岩石の化学的な分化が進行し、地殻の岩石が抽出されたのか、それとも混合の効果が卓越したのか、どのような効果を持っていたのかははっきりしない。

地球形成過程で何らかの大気は既に形成されていたはずである。十分な量の H_2O が地表にでていれば、海もあったはずである。ただし大気の組成や量は現在のものとは違っていただであろう。これは単に生物がない間は O_2 が大気中に存在しないと言うだけではなく、地球形成過程で金属鉄と反応したり、原始太陽系星雲のガスと反応したりしたために、もっと還元的であった可能性があるからである。一酸化炭素や、場合によってはメタンもかなり大量にあったかもしれない。還元的な大気は基本的には水素が失われることで酸化的なものに変化していったはずである。

以上、定性的に「はじまり」の時の地球像を想像してみた。基本的な地球の層構造：コア・マントル・海・大気は「はじまり」の時点で既に存在していたと考えて良さそうである。しかし、その状態は今とは少し違って、微惑星の衝突で頻繁に地表が掘り返されていたり、大気の組成は還元的であったり、ということがありそうなのである。

地球の「はじまり」を考える上で問題なのは、なんといっても観測事実が少ないことである。しかし最近では、岩石が直接残っていない時代のマントルの状態を反映しているような同位体比のデータが徐々にでてきている。例えば古い岩石のNdの同位体比などは、その岩石より古い時代のマントルの岩石の融解による化学的な分化を反映している。地球の「はじまり」の今後の課題はそのような地球化学的な情報と、理論的な推定をいかに結びつけるかに集約されるだろう。

(あべ・ゆたか)

年を越したペンシル40周年

長 友 信 人

年度末が近くなると心残りのことが凝縮されてくる。ペンシル40周年、おおすみ25周年ということで、糸川英夫先生をお招きして記念講演会が開かれたのはもう1年近く前、昨年(1995)の4月22日のことであつた。私も久しぶりに糸川先生にお会い出来て良かったと、これを企画された秋葉所長に大いに感謝した。

その時糸川先生に記念の時計を贈呈するはずのところ、記念の銘を入れるのに時間がかかって間に合わなかったとのこと。秋葉先生より、ご苦労だが糸川先生に時計を届けてくれ、旅費も何とかする、と仰せがあつて、私の関連行事はこの時に始まった。

糸川先生はその少し前からお住まいが長野になっていたもので、帰りがけにちょっと寄るわけにはいかないが、届けるだけなら1日ですむ仕事であつた。しかし、先生ご自身に手渡すとなると話は別である。ご都合を聞くと、「明日ならいいが、その後はしばらく出かけている。ここに落ち着くのは来月だ」という秘書の話。さらに、その日が近くなった頃に、都合が悪くなったので変更したい。という調子で相変わらずお忙しく、実現したのは夏も盛りに近い7月20日であつた。

上田に着くと晴れていた。タクシーの運転手が女性なので話がはずむ。こんな天気は1ヵ月ぶりだそうである。糸川先生はテレビや雑誌に出てくる古い田舎の屋敷をリニューアルした家に私を迎えてくださった。中は花がいっぱいでまるで天国のようである。「今日は私の誕生日ですよ」と、さりげなく私をびっくりさせる。離れが組織工学研究所のオフィスとなっている。私はそこで時計の包みを手渡した。先生は包みをあけてうれしそうであつた。ついでに私は長い間隠し持っていた糸川先生の戦時中の著書をお返ししたが、これも喜ばれた。全て順調であつた。もう後は写真を撮るだけである。私は娘に借りた新式のカメラのスイッチを入れて、ピッピ、ヒューと音を立てるカメラを信頼し切つて何枚も先生のうれしそうな姿をカメラに収めたのであつた。大事な写真に間違いがないように、記録係の前山さんに撮り終わったフィルムの現像と焼付けをお願いした。ここまでは順調な前半である。

後半は前山さんからの電話ではじまった。「長友さん。あれ何も写ってないよ?」。ぎゃふんである。まさかと見たが、フィルムは抜け殻のように何も写っていない。「記録班を連れて行くべきだったなあ。それにしても、しょうがないカメラだ。故障していれば動かなければいいのに」と呪いつつ、それでも何か痕跡かと思つてフィルムをよくよく見ると、日付だけが入っていた。糸川先生の姿がなくて、糸川先生の83才の誕生日の日付、1995.7.20だけが写っているフィルムのコマが延々とほぼ1本続いている。

これはまずい。私は縁起を担ぐほうだ。なるべく早く撮り直しに行こうとしたが、8月は旅行に出ておられたり、ほとんどチャンスがなかった。私は「早くしないとイケま



糸川英夫先生近影(1996年1月31日、秋葉鏡二郎撮影)

せんよ」と一人で勝手に気にしていたが、あつと言う間に秋になり、森先生の13回忌のロケットOB会で「糸川先生が入院した」と聞いて、「えっ! やっぱり」と口に出かかるが、それはこっちの話。とにかく、秋葉先生と相談をして、まずは、私がお見舞いに行くことになった。もちろん、この時はカメラも持てないほど気が重かつた。

幸い、糸川先生の病気は快方に向かい、年明けて1月末、秋葉先生の退官後の挨拶廻りなどが一段落した頃、それを待っていたかのように退院された。私は、秋葉先生を案内して7月と同じ場所で糸川先生にお会いすることになり、名誉挽回のチャンスに恵まれた。

糸川先生はお元気であつた。「ビッグバンで宇宙が始まったというでしょう。始まったのを研究する人は多いけど、宇宙がどう終わるかを考えている人はいない。私はそれを考えているんですよ。そんな人間がいてもいいでしょう?」と、相変わらず、相槌を打つのに困るような話を次々とされる。私は、曖昧ににこにこするだけである。秋葉先生はと見ると、やっぱり同じような顔付で、いつもの偉そうな顔ではない。「糸川の前に平等」だった昔をちらっと思い出した。

しかし、「それじゃ先生の写真を撮らせてください」と秋葉先生が立派なカメラを取り出してガシャリ・ガシャリと撮り始めると、昔、「写真はこうやって撮るんだよ」といつて道川で手本を見せてくれた通りになり、たちまち「平等」ではなくなった。私は「もう僕のはどうでもいいや」という気になり、修理してきたカメラでおそろおそろ何枚か撮ったが、今もってフィルムはカメラの中にある。ここにある写真は秋葉先生の撮られたものである。やっぱり兄貴は偉い! お蔭でやっと私の肩の荷が下りた。

現在、糸川先生はリハビリ中とのことである。元気になったらまた外国に行くのだと言っておられたが、一日も早く実現出来るようお祈りしたい。(ながとも・まこと)

(編集人より：秋葉先生と長友さんはともに糸川先生の弟子である。もちろん長友さんの方が弟弟子であるが、記録によると下は私までが弟子だそうである。)

通信方式 山田 隆 弘

今回は、テレメトリとコマンドの伝送に使われる通信方式の話をします。ディジタルデータを伝送するための通信システムの基本的な構成を示すと下図のようになります。この図では、左側が送信側を、右側が受信側を表します。これから、この図に従ってテレメトリとコマンドに使用される方式の説明をしていきます。

最近の衛星では、テレメトリで伝送すべきデータ量が非常に多くなっていますので、衛星で発生されたデータは、必要に応じて適当なアルゴリズムによって圧縮されます。データの圧縮は、データの中に含まれる冗長度を取り除くことによってなされます。圧縮の方式には、ロスレスとロッシーの二種類があります。ロスレス方式では、圧縮されたデータを復元したときに元のデータが完全に復元されますが、圧縮率はあまり大きくありません。ロッシー方式だと、復元されたデータは元のデータと全く同じになるとは限りませんが、大きな圧縮率が得られます。どちらの方式を採用するかは難しい問題ですが、ロスレスを採用した衛星もあれば、ロッシーを採用した衛星もあります。ところで、コマンドデータの場合は、圧縮しないのが普通です。

圧縮されたデータは、伝送中のビット化けによって大きなダメージを受けますので、伝送中のビット誤り率が低くなるように通信システムを設計しなければなりません。ビット誤り率を低くするためには、アンテナ

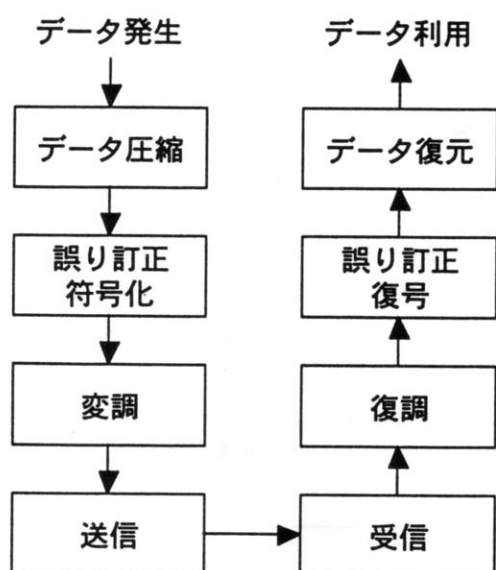
ナを大きくする、送信電力を大きくする、伝送速度を遅くする、などの方法がありますが、現在の通信方式で重要な役割を演じているのが誤り訂正符号です。誤り訂正符号は、伝送中に発生したビットの誤りを数学的な処理によって訂正するものですが、これを使えば誤りの多い回線でも誤りの少ない通信ができることになり、送信電力を大きくするのと同等の効果を得ることができます。現在、衛星のテレメトリで最もよく使われている誤り訂正符号は、畳み込み符号とリード・ソロモン符号という二つの符号を組み合わせる方式ですが、この符号を使うと、同じビット誤り率を達成するのに送信電力を6倍にするのと同じ効果が得られます。

コマンドについては、BCH符号という符号が最もよく使われています。ただし、コマンドの場合は、受信したコマンドに含まれている誤りを衛星上で訂正する場合もありますが、間違っ訂正してしまうと衛星の生死に関わることもありますので、受信したコマンドに誤りが含まれているかどうかの判定のみを衛星上でを行い、誤りが含まれていたコマンドは地上に再送を要求するという方式が一般的です。

誤り訂正符号化の次のステップは変調です。変調とは、調子が変わることではなく、無線周波数の信号にデータを乗せるための処理のことです。まず、送るべきデータが0であるか1であるかによって副搬送波と呼ばれる一定周波数の信号の位相を0度あるいは180度に変化させます。このような変調方式をPSKといいます。そして、その結果得られた信号によって搬送波と呼ばれる信号の位相をある範囲で変化させます。この変調方式をPMといいます。ただし、高速のテレメトリの場合には、副搬送波は使わずに搬送波の位相を直接データで変化させます。

このようにして変調された信号をSバンド(2GHz)やXバンド(8GHz)やKバンド(10~30GHz)の無線信号によって送信します。

受信側では、いま説明したのと逆の順序で元の信号を復元します。データの中に0や1が連続している部分があると、元の信号の復元が難しくなる場合がありますので、送信側でデータにランダムなデータを足し合わせ、受信側でそれを取り除くというような事も最近の衛星では行われています。(やまだ・たかひろ)



ディジタル通信システムの基本構成



霞が関から

村松 君雄

一昨年の「きく6号」、昨年の「EXPRESS」と「SFU」の打ち上げ、そしてその回収と、ここ1～2年、我が国の宇宙関係者にとっては身を削るような苦労の日々が続いたと思うが、こちらも国会やら財政当局への説明やらで、多分に「胃の痛くなる」時期を過ごした。新年度からは何事も順調にと願わずにいられない。

私は宇宙研で働いた経験もないので、そう詳しいことも専門的なことも書く資格はない。しかし、打ち上げの瞬間はテレビで見えても、あのカウントダウンに誰しも魅了され、現場で実際に目の当たりにしてみると、私のような素人でもたちまち宇宙ファンになってしまう不思議な力を持っている。

文部省でも宇宙愛好家はけっこう多いと思うが、宇宙研を所管している研究機関課では、宇宙研のほかに研究所や大学の附属研究施設など300近い機関を抱えているから、宇宙のことだけを考えていたら他の分野の先生方に申し訳ない。この話をしたら、「宇宙研のことは、年に1日ぐらいしか考える暇はないのですね」とやや不満そうに（心細そうに）宇宙研の先生から言われたことがある。

研究施設といっても、規模に大小あり、新設・整備中のものありで、均等に勤務時間を割り振って仕事をしている訳でもないのだが、おそらく科学技術庁などと比べてそのように感じられたのであろう。同庁では宇宙関係だけで3課もあり、通産省などでも宇宙と名のつく課がある。文部省では、宇宙担当は1人とか2人とかであるわけだから、比較にならない。

そもそも、文部省では、個々の機関や分野というよりも、広く我が国の学術研究・基礎研究全体を振興させるという使命があり、バランスのとれた発展こそ個々の分野のアカデミックな発展にもつながるものであるという考えが根底にあるように思う。さらに言えば、各機関には「大学の自治」や「学問の自由」があり、そうであれば、こと細かにチェックすることは、必ずしも好ましいことではない、ということになる。

言い訳がましくなったので、話題を換える。

本年1月に初めてエンデバーの打ち上げを見た。その後、ヒューストンのジョンソン・スペースセンターを見学し、帰国便では「アポロXIII」が上映されていた。



多少出来過ぎの感があるが、又一段と宇宙に対する思い入れが深くなったような気がする。

SFU回収の画面に映し出された地球の透明な青さは、確かに地球に対する認識を変えるのに十分である。ニュートンはリンゴが落ちるのを見て万有引力を発見したが、今では、この力学を知らないで生活している人はいない。宇宙科学における新たな発見も、たとえば今は気にとめられないものであっても、何十年かして、その理論や定理が生活を律するような、生活を豊かにするようなものであることが学術研究の面目であり、目先の利便を追い求めることだけが社会へのアカウンタビリティではない。これらは文部省の会議での先生方の意見だが、勝手に引用させてもらった。私自身も全く同感だからだ。

最近、宇宙研主催の「宇宙学校」に子供を連れて出かけた。大変な盛況で関心の高さを示している。実験だから時には失敗も起ころうが、これら子供たちには夢を与え続けてほしいと願っている。そのためにも絶えず新しいものにチャレンジし、若い血と力をどんどん入れていって欲しいと思う。

さて、文部省に來られた方は気がついておられる方もあると思うが、学術国際局長室の入り口に今年夏期に打ち上げられるM-V初号機の絵が飾ってある。用事で入る度に無事な打ち上げを願って「かしわ手」を打っている。担当官には、まだ胃の痛む時期が続くようだ。（むらまつ・きみお、日本学術振興会事業部事業課、前文部省学術国際局研究機関課）

ISASニュース

No.181

1996.4.

ISSN 0285-2861

発行：宇宙科学研究所（文部省）〒229 神奈川県相模原市由野台3-1-1 TEL 0427-51-3911

The Institute of Space and Astronautical Science

◆本ニュースに関するお問合わせは、庶務課法規・出版係（内線2211）までお願いいたします。（無断転載不可）