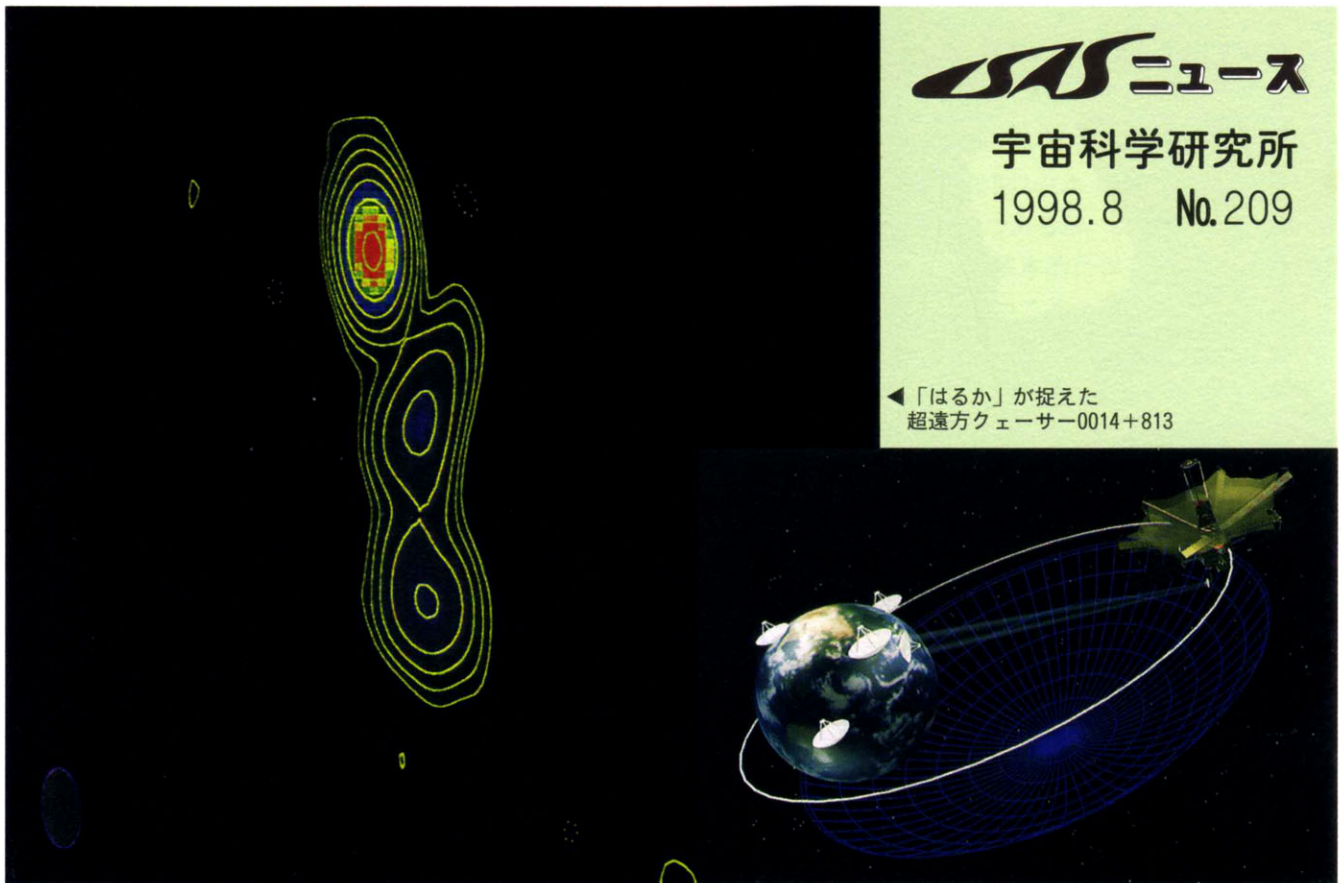


JASニュース

宇宙科学研究所

1998.8 No.209

◀「はるか」が捉えた
超遠方クェーサー0014+813

〈研究紹介〉

宇宙機とハイパーソニック流体力学

東京大学大学院工学系研究科 鈴木 宏二郎

◆宇宙機と空気力学

このところ火星着陸やサンプルリターンなど空気力学がキーテクノロジーのひとつになっているミッションの話題に事欠かない。宇宙科学探査や宇宙環境利用が多様化・高度化するに従い「空力屋」にも出番が回ってくるようになったと言うわけである。空気力学を専門にし、なおかつ宇宙工学にも強い魅力を感じている筆者のような研究者にとっては誠に幸せな時代がやって来たと言えよう。

宇宙機の空気力学の特徴は、速度のレンジが非常に広いと言う事である。宇宙機の大気突入速度は地球周回軌道で約8km/s、サンプルリターンのように惑星間軌道から直接地球大気に突入するものは10km/sを超える。これらはマッハ数（流速と音速の比）にして20以上となる。一方、その宇宙機が着陸を目指しているのであれば、最終的に速度は0である。従って、宇宙機の空気力学では広範囲の速度域を包括して取り扱わなければならない。選り好みはできないのである。

とは言うものの、クールな話題は存在し、上記の関連では非常に速い流れ、いわゆる「ハイパーソニック」の空気力学があげられる。日本語では「極（ごく）超音速空気力学」と固い名前になっているが、要するに「スーパー」を超えた超高速流の事で、マッハ数では5くらいから上を言う。筆者はこの何年か再突入宇宙機の超高速流れ解析に取り組んできたが、以下ではその世界的一端を紹介したい。

◆ハイパーソニックと空力加熱

ハイパーソニック飛行での問題としては「空力加熱とその防御」が第一であろう。加熱から衛星を守るためには鎧を着せなければならないが、過度の鎧は厳しい重量制限のある宇宙機にとっては禁物である。従って、空力加熱量を精度よく見積もるのが空力屋の重要な使命であろう。大雑把に言うと、機体頭部が受ける空力加熱（光輻射による加熱と区別して対流加熱と呼ばれる）は単位時間単位面積あたり機体にぶつかる流体のエネルギーつまり（空気密度）×（機速の3乗）

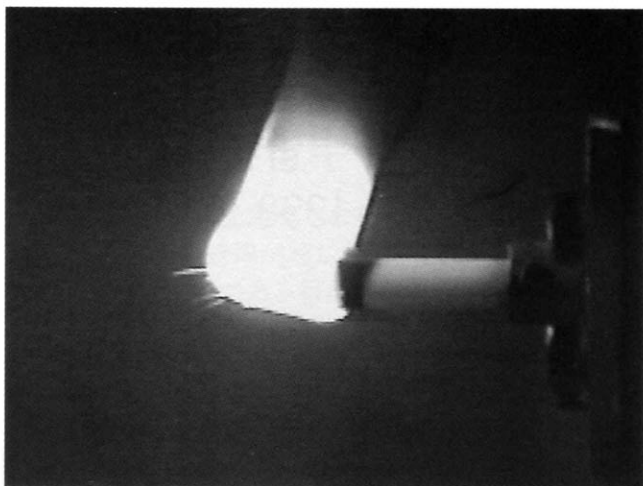


図1 レーザーを用いたアブレタ加熱模擬実験

に比例し、機体頭部半径に反比例する。直径数十cmのカプセルだと地球周回軌道からの再突入で最大 $3\text{MW}/\text{m}^2$ くらいとなり、サンプルリターンカプセルではその約3倍にも上がるのは速度の3乗で効いていることから明らかであろう。 MW （メガワット）と言われてもピンと来ないかも知れないがヘアドライヤーでふつつう $0.01\text{MW}/\text{m}^2$ くらいと言うことで想像して頂きたい。この空力加熱の予測式はけっこう本質的で、複雑な流体力学の方程式をスーパーコンピュータで解いてもほぼ似たような結果となる。

◆空力加熱から身を守る鎧

宇宙機が実際にハイパーソニックで飛ぶと何が起こるか？昨年、この非日常的な質問の答えを目のあたりにする機会があった。M-3SII-8号機、回収カプセル衛星EXPRESS（アフリカに不時着、発見されるまでの顔末は別として）の表面に取り付けられていたセンサーとともにカプセルの「鎧」の一部を手にとって見ることができたのである。この鎧は炭素繊維を樹脂で固めたものであり、「アブレタ」と呼ばれ大気突入時の加熱から衛星内部を守る典型的な熱防御材料である。表面は黒焦げの炭になっており、内側に炭になりかけの層が続くがその下はダメージを受けておらず新品同様である。つまりこの鎧は(1)表面近傍の高温部分で樹脂が気化しその潜熱によって冷却効果があること、(2)樹脂そのものの熱伝導性が悪いこと、(3)発生したガスは表面を覆い機体まわりの高温流れからの加熱をブロックすること、の3つの効果で内部を守っていたわけである。タイルと違い自身の一部が燃えて失われてしまうので何度も使えないのが欠点だが、厳しい空力加熱に対抗するタフな鎧として誠に頼もしい。このような状況は実験室でもある程度再現することができる。図1は大学の研究室にある 100W 炭酸ガスレーザー

を使って行ったアブレタの加熱模擬実験である。加熱率は約 $1\text{MW}/\text{m}^2$ である。写真からもわかるように表面では気化したガスが噴き出しているだけでなく、そこで酸化（つまり燃焼）反応が起こっている。さらに加熱を強くして表面が 3000 度以上の高温となれば炭素の昇華が起こるであろう。なお、図では高温になった材料の一部がちぎれて前に飛び出している現象（スポレションと呼ぶ）が見られるが、これは予測が難しいやっかいな問題である。

◆ハイパーソニックの流体力学モデル

このような空力加熱を作り出す流れはどのようなになっているのかを明らかにするのが流体力学の仕事である。まず実験室で実験といきたいところであるが、機体を数 km/s で飛ばす代わりに機体模型まわりに数 km/s の流れを作り出す装置（風洞）は最新の技術をもってしても簡単ではない。加熱率など条件の一部だけを再現する装置（アークヒータ等）はあるが全くの再現となるとさらなる開発努力を続けるとともに実フライト実験の機会を狙うしかない。しかし、待ってばかりもいられないため正当な物理モデルに基づく衛星周りの高速流れのコンピューターシミュレーション（数値流体力学＝Computational Fluid Dynamics略してCFD）が重要となってくる。図2は衛星まわりの超高速流れを解析するに当たって考慮しなければならない点をあげたものである。回収カプセルのように頭部が丸くなっている（これは空力加熱を軽減するためである）場合、前方に衝撃波が発生する。衝撃波の強さは先に述べたマッハ数で決まるから、衝撃波背後の温度は周回軌道からの再突入で 3 万度、サンプルリターンカプセルでは実に数万度にも達する。この熱いガスが衛星を取り囲むことにより空力加熱が生じたのである。一方、機体の表面温度は材料の性質から言って高々 3000 度くらいである。衝撃波と機体との距離は頭部半径の $5\sim 10\%$ 程度だから、直径 40cm のカプセルではわずか 1cm 程度の距離で数万度から 3000 度へと気体の温度が変化しているわけである。このような高温では気体が様々な熱化学反応を起こす。衝撃波背後での化学反応と生成される化学種のバラエティーは飛行速度（その2乗が流れのエネルギーつまり温度に相当）に依存する。 $2\text{km}/\text{s}$ くらいから空気の分子は原子に解離し始め $5\text{km}/\text{s}$ を超すと電離反応が起きて衛星はプラズマに包まれることになる。これが有名な再突入時の通信の「ブラックアウト」の正体である。これらの化学反応は気体分子同士の衝突で起こるものであるから、衛星が地球大気で 40km かそれ以上といった高高度を飛行している

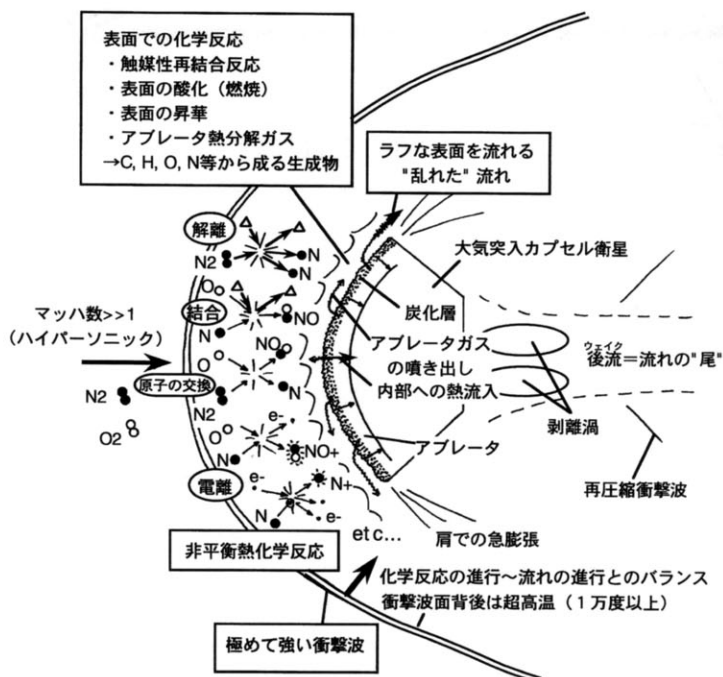


図2 大気突入衛星まわりの超高速流れモデル

場合、大気密度が低く分子衝突が不十分なためその反応速度が遅くなる。衝撃波の後ろと言っても流れは速いから反応は平衡に落ち着くことなく「流されながら反応する」ことになり、いわゆる「熱化学非平衡流」となる。流体力学の基礎方程式はナビエストークス方程式で知られるように質量、運動量、エネルギーの保存式で記述される。得られる式は多次元非線形の連立偏微分方程式でありそれを計算機で解くこと自体やっかいな問題である。加えて「非平衡流れ」では図2のような化学反応を流体の式と連立させて解くことが要求される。また、比熱や粘性係数など気体の物性値も高温まで使えるモデルを作らなければならないのは言うまでもない。壁付近でも特有な化学反応が起こる。図1にも見られた表面の酸化反応（燃焼反応）や昇華の他に壁の持つ触媒性によって起こる原子の再結合反応がある。再結合反応によって大量のエネルギーが壁近くで解放されるため空力加熱が倍増してしまうこともある。これら表面反応は気体の反応というよりは固体との干渉反応であり、気体力学だけでは解けないやっかいな問題である。固体物理や材料科学と言った分野との学際的な研究が今後ますます必要になるだろう。宇宙機まわりのハイパーソニック流れのコンピュータシミュレーションはこれらの効果（理想からかけ離れたゴチャゴチャした気体という意味で実在気体効果と呼ぶ）を全て含んだものとなる。現在、気体モデルが整備され図2のような流れの計算結果を得ることは決して不可能ではなくなったが、比較するデータが限ら

れているため「見てきたような…」と言われかねない。今後、フライトも含め良質な実験データを得る努力が一層求められるだろう。

◆連成力学シミュレーションへ

近年の流体力学は図2のような複雑な流れの解明にも成果をあげつつあるが、決定的な弱点を持っている。流体力学は基本的に保存則であり境界条件そのものを決めてやる能力に欠けるのである。最も基本的な壁温度ですら壁内部の熱解析の助けなしには決めることができない。反対に壁内部の熱解析では壁表面から入ってくる空力加熱量が必要である。壁温度と空力加熱の情報をやりとりしながら大気突入軌道に沿って壁内部も機体周りの流れ場も決めていく—このような「自己完結的」なコンピュータシミュレーションも今後進むべき道のひとつではないかと思う。

◆難敵「乱流」

これで問題は全て出尽くしたかに見えるが、もうひとつ難敵がいる。「乱流」である。厳しい空力加熱を受けた衛星表面がボロボロになっているのは想像に難くなく、そこを通る気体の流れもある程度「乱れ」ていることが予想される。この乱れは流れをかきまぜ壁から離れた所にあった熱いガスを表面まで持って来てしまう。結果として空力加熱は何倍というオーダーで増加することになる。仮にそうになったら、せっかく複雑な熱化学反応流れを解いた結果がぶち壊しになってしまう。この乱れはどのくらいの大きさなのか、増幅するのか、減衰するのか？しかし、高温高速の乱れた流れは理論も立てにくく実験データに至っては極めて少ない。幸い、高高度、高マッハ数では乱流の影響は出にくいと言われているが気になるところである。先に紹介した高温気体の熱化学反応も難しいが物理化学の法則に則れば式に書けるところに救いがある。人間でもそうだが、厳格な人より何を考えているのかわからない人の方がはるかに付き合いにくい。

◆空から地面まで串刺しに

ここでは省略したがハイパーソニックより遅い流れについても様々な流体力学の問題は存在する。それらを解決して地面に到達したあと、このまま地面に潜って行けばそれは「ペネトレーター」である。その力学は「土砂の流れ学」と考えられ、Lunar-Aプロジェクトのお手伝いを通して大変いい勉強をさせてもらっている。以上を全て繋げれば、いずれ流体力学という観点から空から地面まで一気に串刺しにできるのではないかと夢想してる次第である。（すずき・こうじろう）

お知らせ



★ロケット・衛星関係の作業スケジュール（9月・10月）

9 月												10 月											
1	5	10	15	20	25	30	1	5	10	15	20	25	30										
MT-135-68, 69 フライトオペレーション (NSC)												S-310-28 計器合せ (ISAS)											
アプリクーラー及び再生冷却燃焼器付ATREXエンジン試験 (NTC)																							
第2次大気球実験 (SBC) (8/17より)																							

★ASTRO-E一次囃合せ



ASTRO-E衛星は2000年の1-2月期の打上げを目指して準備が進められています。昨年から衛星本体の設計製作にはいり、フライト品の製作に伴い、今年の7月1日からは一次囃合せが始まりました。

ASTRO-Eは、現在計画されているM-Vによる衛星としては最も大きく重い衛星で、打上げ時の総重量は1600kgを超え、M-Vのフェアリングの中をほぼ一杯に占有します。この状態では直径約2m、高さ約5mの八角柱の形に身を縮めて収まっていますが、軌道上では約5.4m×2.5mの太陽電池パネルを拡げ、さらに、全長も約1.5m伸ばして6.5mになり、搭載したX線望遠鏡は所定の焦点距離を確保することになります。

この手法は、基本的には現在活躍中の「あすか」衛

星と同じですが、一回り大きくなっており、更にその構造、機構は大幅に改修され、性能も向上しました。そのため、クリーンルーム内での組立や、試験には作業用の巨大な足場が必要になり、建築現場を思わせるような高さ8mを超えるパイプで組み立てた足場が衛星を取り囲みます。足場の最高部は殆ど3階建てのビルの屋上くらいの高さになり、かなり危険な作業になります。

現在、側面パネルを水平に展開して、各搭載機器の組付け等を行っていますが、9月にはほぼ全体がまとまった形で目見えする予定です。作業は10月末まで続きますので、是非一度C棟1階のクリーンルームにお立ち寄りください。（小川原嘉明）

★M-25SIM-2大気燃焼試験

現在、M-V型ロケットの性能向上および低価格化を進めるために、第2段M-24モータに代わるM-25モータの開発が行われています。M-25SIM-2は、M-25モータに導入される新技術を実証し、設計に必要な基礎データを取得するための、実機3分の1サイズのシミュレーションモータです。

今回の試験の主な目的は、(1) サークリップ方式によるノズル結合法の技術実証、(2) 新しい着火内圧上昇率抑制手法の効果確認、の二点です。サークリップ方式と呼ばれるモータケースとノズルの結合法は、宇宙研では初めて導入する技術で、従来ボルト結合であったところを、薄いリング状のサークリップで押さえて留めるというものです。単純なこの手法により、低価



格化と作業の簡素化が図られるはずです。また、新しい着火内圧上昇率抑制手法は、推進薬燃焼面の一部を薄いゴム材で覆って着火時の内圧上昇速度を抑え、上段側へ伝わる衝撃を緩和する技術です。今回は、実験室レベルでの技術実証後、初めて規模の大きいモータに適用して効果を確認することになります。

燃焼試験は、能代ロケット実験場真空燃焼試験棟において、7月29日10時30分点火で行われます。この試験を以て新技術に関する基礎データの取得を終え、M-25モータ試作1号機の設計が確定する運びとなっています。(徳留真一郎)

★「のぞみ」の近況

7月4日の打上げから、(この原稿執筆時点で約)1カ月経過した火星探査機「のぞみ」は、順調にパーキング軌道を回っている。この間に、7月4日、11日、19日、8月1日の4回の軌道制御を行い、9月24日に予定されている月スイングバイに向けて、準備を進めている。

「のぞみ」の軌道は、長楕円で、遠地点では、月軌道を越え、静止衛星の10倍以上遠くまで達する。軌道を1周するのに2週間あまりを要し、打上げ以来、この楕円軌道を2周したところである。

搭載機器の初期チェックが、打上げ直後より行われ、現在も進行中である。共通機器および観測機器ともに正常で、8月中旬には、観測機器の高電圧部分のチェックを最後に、初期チェックを終える予定である。すでにダストカウンタなど一部の観測機器は、観測を開始した。「のぞみ」搭載カメラの試験の過程で、地球や月の写真を撮影している。左の写真は、7月18日に、搭載カメラが撮った地球表面のクローズアップで、オーストラリアの北東部分が見られる。

「のぞみ」は今後、9月24日および12月18日に月スィ

ングバイを行って増速し、12月20日に地球の引力圏を脱して、火星に向けて長い旅路につくことになる。

(中谷一郎)

★命名「のぞみ」

宇宙科学研究所の衛星は、計画段階から打上げまでの間はASTRO-D(天文系の4番目の衛星)、PLANET-B(ハレー彗星探査に続く2番目の惑星ミッション)のように英文名が用いられ、打上げ成功後和文の愛称がつけられます。まずは、宇宙研、各大学、メーカー等の実験関係者から投票で名称を募ります(“ようこう”の場合は例外的に一般公募)。ついで実験主任を含む長老グループが候補を絞り、その中からこのグループの合議によって最終決定されます。必ずしも最大得票名になるわけではありません。

今回「のぞみ」と決まったことはご承知の通りで、投票者は、丸山進、吉山京子(以上宇宙研)、平野寛幸(日産自動車)、谷川数美(三菱電工)の皆さんでした。他に有力なものとして“みらい”“あかね”がありましたが、私が好きだったのは“一機加星”でした。投票者は上杉教授でまことに長老らしからぬ真面目な態度といえましょう。(松尾弘毅)

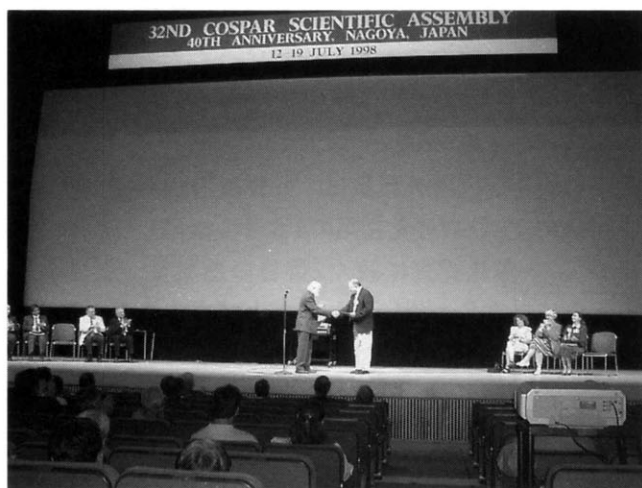
★32回COSPAR総会名古屋にて開催

第32回宇宙空間科学COSPAR総会は、日本学術会議他19学・協会の共催で去る7月12日-19日に名古屋国際会議場にて開催された。これはCOSPAR(Committee on Space Research)が隔年に開催する総会と講演会である。このCOSPARは人工衛星・宇宙探査機の開発、飛翔体を用いた科学観測の国際共同プログラムを推進するために国際学術連合(ICSU)により1958年に設立され、今年が創立40周年に当たる。この会議は飛翔体を用いた宇宙空間科学研究全般を網羅しており、今回は世界40カ国以上から約1750名(内日本の参加者約600名)の研究者が参加した。

この総会では、地球表面・気象、月-惑星、超高層大気、磁気圏プラズマ、天体物理、生命科学、材料科学、基礎物理の8科学委員会、衛星ダイナミックス、大気球、宇宙空間環境汚染、開発途上国宇宙空間科学の4パネルで企画された合計79のシンポジウムが分科会方式で開催された。各シンポジウムは1-3日間に渡って行われ、従って期間中毎日15-20のシンポジウムが並行して開催された。さらに期間中に特定の研究に関するワークショップなど20以上のside meetingsが持たれた。

今回は宇宙研の惑星探査機PLANET-B(「のぞみ」)が成功裏に打ち上げられた直後であっただけに国内関





係者は大いに氣勢があがった。また今回は15のシンポジウムで日本の研究者がシンポジウム組織委員長を勤め、12のシンポジウムで同副委員長を勤めた。シンポジウムの企画を主導する上でも日本の研究者が大いに活躍したといえる。

さらに今回はこれら一般の学術講演会に加え、学際科学的特別講演、国際宇宙航行連盟（IAF）との合同シンポジウム、生命の起源をテーマとした市民公開の一般講演、科学分科会委員長による総括講演の4企画を新たにプログラムに加えたがいずれも大変盛況であった。また地元名古屋の協力を得て、COSPARの40周年記念行事として行った市民向け一般展示も大変好評であった。

COSPARでは総会毎に各分野で活躍した科学者を表彰する習慣があるが、今年は平原聖文（立教大理）、坂尾太郎（国立天文台）、稲富裕光（宇宙研）の3氏が、顕著な成果を挙げた若手研究者に与えられるゼルドビッチ賞を受賞された。誠に嬉しいことである。

名古屋国際会議場は新しくて広々としており、期間中天候にも恵まれ予想外に涼しく、宇宙研と名古屋大学を中心とした関係者の努力で会議の準備、運営も大変円滑に行われた。おかげで、参加者にもCOSPAR本部関係者にも大変喜んで頂き、このCOSPAR名古屋総会は大成功の内に幕を閉じることが出来た。最後に御支援、御援助頂いた関係各方面には、この紙面上で心からお礼申し上げます。（長瀬文昭）

★超遠方のクェーサー0014+813（表紙写真参照）

「はるか」を使ったスペースVLBI観測（VSOP）では、さまざまな結果が出はじめているますが、ここではVSOPで観測したもっとも遠方のクェーサーの例を示しましょう。これはケフェウス座にあって、136億光年の距離（赤方偏移 $z=3.366$ ）にあります。宇宙が始

まってから現在までの時間の1割しか経過していない頃のクェーサーの姿をとらえています。

南北の広がり、135光年に対応します。観測波長は18cmですが、このような遠方にあるので、天体から出たときは4cmの波長にあたります。

今後の波長6cm（天体自身にとっては波長1.3cm）でのVSOP観測ができると、3倍の解像度の（この1ピクセルを更に9ピクセルに分解する）画像が得られ、南北3つの成分のスペクトルの違いから、電波を出す高速電子のエネルギーも見積もれます。

このような遠方（遠い過去の）天体の観測の、このような解像度の観測では、VSOPは他のいかなる観測装置にたいしても圧倒的な力量を示します。

（平林 久）

★LUNAR-Aの打上げ延期

月面にペネトレータを貫入させ、搭載した地震計及び熱流計を用いて月の内部構造を探ることを主目的とする第17号科学衛星LUNAR-Aは、平成9年5月に、ペネトレータの母船からの分離機構部の改修のため打上げ時期を平成10年度に変更することとされた。

分離機構部及び火工品に関しては予定通り改修を終了し問題は解決されたが、同時期実施のペネトレータ貫入実験で発生した搭載電池の液漏れに関しては、その対策に予想外の時間を要した。

電池液漏れ対策とその確認、さらにペネトレータシステム全体の貫入試験に要する時間を検討した結果、現時点では、平成11年度に打ち上げることを目標に進めていくこととなった。（松尾弘毅）

★ビデオシリーズ第7巻『ロケット』完成

＜宇宙へ飛び出せ＞シリーズの第7巻『ロケットー宇宙へのかけ橋ー』が完成いたしました。今では当たり前のようになっているロケットの打上げですが、ロケットには、どのような種類があり、宇宙へ飛び出すためにどのような仕組みや機能が備えられているのか、地上での試験のようす、苦労していかに高い技術開発をしていくか、ロケットの機体構成、推進原理、姿勢制御の方法など、あまり知る機会のないロケット技術を理解することができます。また、ロケットの飛翔とそれを見守るスタッフの情景を織りまぜることで感動的な打上げ場面が展開されます。最新技術をCGを用いてわかりやすく説明しています。ご希望の方は下記へお申し込みください。

（財）宇宙科学振興会、直通0427-51-1126

（渡邊遊喜枝）



惑星電離層の上方からのプラズマ

第7回 「のぞみ」で挑戦する プラズマサウンダー観測

小野 高 幸

サウンダー観測。そんな長年の夢がやっとかなえられようとしている。火星探査機「のぞみ」は火星到着後25mのワイヤーアンテナを4本伸展するが、これらが無事完了すればいよいよプラズマ波動観測装置の出番である。これまでの米国やロシアは数トントラスの重量級の探査機を送っているが、対する「のぞみ」はわずか540kgの超軽量級。それにも関わらず、これまでの探査機では想像もつかなかった、先端長が52mにもなるアンテナを火星で伸展しようとする試みは、それだけでも大変エキサイティングである。「のぞみ」にはこのアンテナを用いたLFA観測装置とPWS観測装置からなるプラズマ波動観測器が搭載されている。20kHzから10MHzにいたる高周波部を担当するのがPWS観測装置で、自然プラズマ波動や惑星電波の観測を行うとともに、これまでの地球電離圏、プラズマ圏、磁気圏の観測で大きな成果をあげてきた、インピーダンスプローブ及びプラズマサウンダーによるプラズマ計測の機能を有している。

プラズマサウンダーは電離層の上方よりプラズマ波動を放射し、電離層から反射して帰ってくるプラズマ波動（エコー）を観測する。観測周波数に依存したエコーの特徴を調べることで電離層プラズマ密度の鉛直構造を知ることができるためプラズマ密度分布の遠隔探査としてきわめて有用な手法である。我が国における歴史は、1972年のK-9M-40ロケットを皮切りに多くのロケット実験を通じて開発され、確立された独自の歩みを持っている。1978年に打ち上げられたEXOS-B「じきけん」衛星において確立されたプラズマサウンダーは、信頼性の高いプラズマ観測を通じてプラズマ圏・磁気圏の理解に大きく貢献することができた。EXOS-B衛星では全長60mのステムアンテナ4本が用いられている。EXOS-B衛星の成功を皮切りに、1984年打ち上げのEXOS-C「おおぞら」衛星、及び1989年打ち上げのEXOS-D「あけぼの」衛星にも搭載され、電離圏電子密度分布の計測を広範に実施して電離圏プラズマのダイナミックな変動を捉える観測がおこなわれている。なおEXOS-D衛星では軽量化のため30mの

ワイヤーアンテナ4本が使用された。このようにEXOSシリーズの科学衛星への搭載経験を積んだプラズマサウンダーは、将来の惑星探査におけるプラズマ波動観測を担当することも念頭に開発が進められたため、その性能のみならず必然的に軽量化・小型化においても大きな発展を遂げていることが特徴となった。

これらの実績を背景に、「のぞみ」搭載のプラズマサウンダー観測装置は火星電離圏の垂直構造を観測する装置として大きな使命を担うこととなった。地球のような強い固有磁場を有する惑星では、惑星起源の磁場が太陽風を電離圏から遮蔽している。これとは対照的に固有磁場をほとんど持たない火星の電離圏大気・プラズマは、太陽風と直接衝突して相互作用をする特徴を持っており、その詳細な観測が待ち望まれてきた。さらに電離圏構造の観測には、果たして火星に固有磁場が存在するのかという基本的な問題に対する答えを得ることの期待も寄せられている。これまでの火星探査機による電離層観測はテレメータ電波の掩蔽効果を利用した観測やViking着陸機におけるファラデーカップによる観測のような例はあるが精度や分解能の面で疑問が残されている。Mars96による観測計画が不可能となった事情もあり、「のぞみ」での観測は世界初の火星電離層観測という期待も込められている。

さらに「のぞみ」では、プラズマサウンダー観測の応用として、回路構成のわずかな変更と観測周波数の調整によって火星表面からのエコーを測定する高度計観測が試みられる。これは衛星と火星表面との距離を精確に測定する観測であるが、衛星高度を知ると言うことは逆に火星表面の凹凸を知ることである。このことを応用しての火星表面地形さらには表面付近の物質に関する新しい情報が得られることも期待されている。

衛星打上げも無事終了して「のぞみ」の健康状態はきわめて良好である。また初期動作試験を無事に済ませたプラズマ波動観測装置はコンディションも上々、後は1年3ヵ月後の火星軌道への投入とアンテナ展開を待つだけとなった。それまで「のぞみ」の長い旅の無事を祈るのみである。

（東北大学理学部 おの・たかゆき）

<火星到着まで1年3ヶ月>

クリスマス島の紹介

藁 品 正 敏

キリバス共和国のクリスマス島にある宇宙開発事業団(NASDA)移動追跡局で、M-V-3 (PLANET-B) ロケットの追跡がNASDAの協力を得て行われました。私は、平成10年6月22日から7月9日まで出張してまいりましたので、その見聞録をお話します。

ハワイのホノルル空港から南へジェット便で約3時間、赤道直下のクリスマス島のCassidy空港に到着します。クリスマス島への便は、週1回、1往復、ホノルル時間で火曜の早朝7時にホノルルを離陸します。他に、物資輸送便として毎月2回の便があります。クリスマス島は珊瑚礁の島です。海岸の砂浜は、珊瑚の風化した白い砂からなり、島は椰子の木でおおわれ、無数の礁湖(lagoon)が点在し、土地面積は東京都の23区程度です。人口は約3300人、島民は年間を通して家の内外を問わず裸足で生活し、男はTシャツと短パン、女はワンピースあるいは、ブラウスとスカートといった服装です。私も男スタイルにビーチサンダル履きです。発展途上国に共通する子供人口の増加が見られます。島民は漁業やココナツの実、椰子の実を出荷して生計をたてるか、あるいは、政府、公共機関に従事するかして生活しています。クリスマス島には病院がないので病人が発生すると船を借り、食料、ガソリンを積み込んで約1週間~10日かけて首都のタラワ島まで行きます。クリスマス島には、いくつかの集落が点在し、集落ごとにカソリック教会、集会所があります。島には、小・中学校がありますが集落ごとに学校があるわけではなく、高等学校はタラワ島に、大学は、さらに遠いフィジー島に行きます。

かつて、米国が原爆実験を行うために機材搬入用のイーオン空港(Aeon Field)が1958年に建設されましたが、現在は全く使用されず野ざらしになっています。イーオン空港は、島(軍艦島)の楽園と化し、この時期、産卵の季節を迎え、何万羽と乱舞し、さながらヒッチコック監督の映画「鳥」を想起させるような恐怖感を覚えます。この空港は、日本版スペースシャトルHOPE-Xの着陸に使用される可能性があり、その計画がNASDAによって検討されています。

クリスマス島のホテルは、島で1軒、空港から約7kmの所にあります。ホテルの寝室にはダブルベッド、冷房、冷蔵庫(日本のサンヨー製)、洗面所、バスルーム、水洗トイレが完備されています。ただし、バスルームにはバスタブはなく、塩分をいくらか含んだ冷水のシャワーがあります。水道水も塩分があり、飲料には適しませんので塩分を浄化した水が用意されています。ホテルの朝食は、パン、卵、ベーコン、コーヒー、昼はサンドイッ

チ、夕食は洋食(サラダ、ロブスター、肉、ご飯など)です。赤道直下でも、夜となると涼しく冷房は不要となり、外では、地中から無数の椰子蟹が現れて歩き回っています。このホテルから約11kmいった所にNASDA追跡局があります。島の交通手段はレンタカー(1日70ドル)だけです。車は左側通行、トラック型の中古車が多く、日本製の車もあります。日本の関西方面から中古車が2~3ヵ月に1回程度の船便でキリバス共和国の首都(タラワ島)に荷揚げされ、再び、クリスマス島に運搬されます。道路には電柱、信号機といったものは、まったくありません。日本のようなスーパーマーケットもありますが、2~3軒の小間物店があり、支払いはオーストラリア・ドルのキャッシュで行い、クレジットカードを使うことはできません。ホテルの支払いも同様です。クリスマス島の銀行での換金率は、USドルのキャッシュよりも旅行小切手の方が良いようです。銀行はロンドンという港の一軒長屋の一隅にあるのみ、郵便局もその長屋にあります。

クリスマス島の海岸に面した北端にNASDA追跡局があります。ロケット追跡に大変、お世話になったことをこの紙面を借りて厚くお礼申し上げます。これから追跡局についてお話します。この島は、ロケットの打ち上げ経路にとって好都合の位置にあり、しかも、最小限、物資の輸送が可能、飛行場、港があるということから、追跡局が昭和51年に設立されました。当時、コマンド、レーダー、テレメトリーによるロケットの飛行安全が任務でしたが、現在、ロケット・テレメトリーのVHF、UHF受信だけとなっています。他に、局の設備として、連続稼働可能な自家発電(250kVAのディーゼルが3台)、インマルサットの通信設備、コリメーション設備があります。1回の打ち上げで約2週間の作業が行われます。追跡局で日本と同じ食事をするとすると食料の確保が大変です。NASDA局では地下水を汲み上げているので塩分もなく水は飲料に適していますが、全ての浄化した飲料水、食料をホノルルから調達します。ラジオ、テレビ放送がないので、出張者は各自ビデオテープを三巻、持参することになっています。NASDAから私にお願いされたことがありました。それは、NASDAにデータ取得を依頼される時、技術的には可能ですが、少なくとも半年以上前に依頼していただかないと事務上の契約が困難となる恐れがありますとのことでした。ロケット追跡時の様子については別の機会にお話します。

(わらしな・まさとし)

材 料 の 進 歩

八 田 博 志

将来の輸送システムでは、例えば機体の大部分をコンポジット材で構成できれば大幅な性能向上が実現でき、捨てるところのないロケットができると言われ、材料技術に対する期待は大きい。航空機でも複合材化は進められているが、低速のグライダーなどを除けばオールコンポジットの機体はまだ実現していない。まして宇宙を往復する飛翔体では飛行の環境はさらに過酷で材料技術に対する多くの研究課題がある。一般に材料開発は足が長いこと即座にプロジェクトに対応するのは難しく、筆者らの研究室でも宇宙研のプロジェクトに貢献するところが少ないことが悩みの種である。それでも材料技術が宇宙開発の重要な基盤技術の一つであることはいうまでもなく、複合材料をキーワードにした研究開発に取り組んでいるところである。

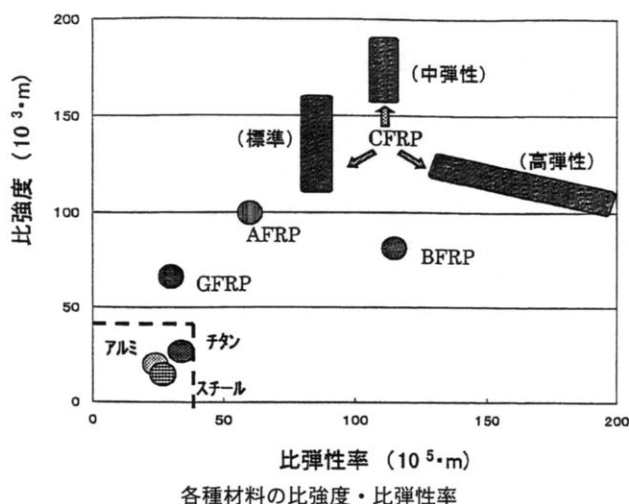
宇宙用の複合材料技術で、最近注目を集めているのは、再使用型ロケットの水素燃料あるいは液体酸素タンク用の極低温CFRP（炭素繊維強化プラスチック）である。CFRPは、図に示すように、比重が1.5程度と軽く強度・弾性率が極めて高い材料として知られており、これまでも航空機用あるいはテニスラケットや釣り竿等のスポーツ用の軽量高強度構造材料として用いられてきた。宇宙用としても人工衛星用の構造体やアンテナ用等に欠かせない材料になっている。しかしながら、CFRPを宇宙推進機に使用しようとする機運はなかなか生まれてこなかった。宇宙研のロケットを見ても、M-Vになって初めて、CFRP製のノーズ・フェアリングが採用され、3段目のモータケースもCFRP化された。比強度の高さは分かっているが宇宙輸送機用の材料としてCFRPがあまり用いられなかった主

要な理由は、強度のばらつきが大きく信頼性が低いことにあるが、この欠点も最近では大幅な改良の方向にある。再使用型ロケットの開発でCFRPが特に注目を集めるようになった理由は、単段ロケットであるため全ての部材に極限的な軽量性が要求される点にある。これまで、液体水素温度でのCFRPの使用実績は極めて少なく、耐熱衝撃・耐熱応力性を確認するための研究が世界各国で行われている。航空機用のCFRPの開発時には、靱性あるいは破断伸びの向上が要求されたが、再使用型ロケットでは低温環境における耐クラック性の改善が求められている。

材料技術で最近話題を集めたものの一つに耐熱複合材料の開発がある。通産省でもスペース・プレーン用の耐熱材料の開発を目標に、昨年まで8年かけて2000℃で長時間使用可能な材料の開発を行ってきた。最終目標の達成はできなかったものの、このプロジェクトで耐熱温度の向上と高強度化を実現した。またスペース・プレーン用エンジンとして開発が進められているAir-Turbo-Ram-Jetエンジンのタービンおよびその取り付けディスク部の開発が進められている。後者の部材は1700℃での使用が予定されており、高温・高強度・耐酸化性が本格的に要求される（スペースシャトルのノーズ・コーン等の既存の使用例では強度に対する要求は高くない）初めての耐熱構造部材といえる。

このように複合材料は従来の金属材料に比べて多くの性能向上に寄与するポテンシャルを持っている。但し航空機に使用される場合に比べて再使用型ロケットなどの宇宙輸送システムでは遭遇する機械的、熱的環境は厳しく、その実力を十分に引き出し実用に耐えるものに完成させるためには実際の飛行運用の機会を含めた新しい検証計画が不可欠である。また例えば実用型のSSTOなどではその規模のメリットを生かすため直径10mの複合材タンクなどといった大型の構造物に仕立てることも要求され、材料の性能のみならず大型構造物に構成するための技術や、製造設備の規模を越えたサイズも要求される。材料そのものの開発研究に加えて構造物を構成するための接合や補強、修理方法などといった実用的な観点での開発も重要な課題である。これまでの宇宙輸送の方法を変えるための耐熱や軽量化の目的で宇宙飛翔体に採用される材料開発の動機はとても大きい。一層の研究の活性化が望まれる。

(はった・ひろし)





淵野辺の駅舎を思い出しながら

松本保之

宇宙研への転任を命ぜられたのは、丁度2年前の7月1日でした。前勤務地が同じ共同利用研でビッグサイエンスの研究機関である核融合研だったこともあり、本心を言えば今度は、分野の違う大学なり研究所を想定してただけに大いに緊張したものでした。それは、核融合研と同様に宇宙研が多額の予算を使う研究のため、世間の注目度も高く、その実験結果は直ちに明らかになることから、研究目的が未知への挑戦であり、失敗はつきものとはいえ、失敗した場合の風当たりは内外ともに厳しいものがあるからでした。

まず、直面したのが専門用語やカタカナ語の意味を理解することでした。これは、諸先輩や各課の担当者 노력によって豊富な資料が揃っていて、労を惜しまなければクリアーできるだけの材料は用意されていましたが、充分勉強したかと言われれば恥じるばかりです。

7月に着任早々、会計検査院の实地検査が相模原キャンパスとKSCで実施され、KSCで講評を受けるため出かける直前に、台風6号の接近により空路が全面ストップし、やむなく検査官一行を羽田空港まで出迎えたことも思い出の一つになりました。

会計検査が無事終了すると、9月には、総務庁行政監察局の、宇宙開発体制の行政監察の事前ヒアリングが開始され、この行政監察への対応は、平成10年5月に勧告書が出されるまで足かけ3年間に亘りました。この間、先方の認識不足や見解の違い等により、宇宙研の真の姿や内外の斯界からの評価、期待度などを理解していただくのに大変な努力を要したのですが、所長の陣頭指揮のもと、教官や技官の全面的な協力を得、全所員の努力の結果報告書では宇宙研については、主要な論点について概ね主張が通ったものになったのではないかと考えています。

平成9年の年が明けると、いよいよM-V初号機の打上げを目前に控え、所内はピリピリとした張りつめた空気となり、当初2月7日の予定が2月11日に延期され、当日強風のため、更に2月12日午後1時50分に打ち上げられ見事成功したのですが、当日、新宮原台地で文部省の関係官等と見た初号機の勇姿は、一生の思い出と

なりました。

宇宙研の管理部の所掌事務は極めて多岐にわたり、大学や他の共同利用研では経験出来ないことがらが沢山あり、振り返ってみると大変勉強になったと思います。

例えば、科学技術庁を始めとする他省庁との折衝、県や町単位の協力会の人達との交流、漁業関係団体との接触、実験場が所在する地方公共団体との交渉、新聞、テレビ等のマスコミへの対応など、極めて重要なことです。また、外国とりわけ米国のNASAとの協定に関する交渉など国際的な繋がりの方々も他の機関ではあまり例のないことです。

大学院教育にも参画している宇宙研の研究・教育活動への支援組織である管理部は、行財政改革の嵐の中で定員削減の進行と共に、職員数は減少の一途を辿っております。これは宇宙研だけの問題ではなく、常に対策を考えなければならないのですが、職員一人一人の意識と資質の向上が必要なのは言うまでもありません。このような認識を持ち、絶えず努力を傾けることが、今後の課題だと思います。

若い頃（今でも気分は若いと自負していますが）仕事上、日本の古典芸能を鑑賞する機会が多くありました。日本を代表する歌舞伎、文楽、能、いずれも最初は何のことやら分からず閉口したのですが、だんだん慣れるにしたがって理解も深まり、とりわけ文楽の奥の深さには感心させられたものでした。知られているように、文楽は、人形、三味線、義太夫の三者が一体となって成り立つ芸能であり、その調和の見事さが芸の水準を高めているのです。宇宙研のような研究所においても、研究者、技官、事務官の三者が調和することによって、高い研究成果や水準が継続されるのではないかと考えております。まとまりのないことを書きましたが私の在勤中の2年間、宇宙研は厳しいところでありましたが、やさしい温もりのある組織でした。7月4日のプラネットBの打上げ成功を真近に拝見させていただき、宇宙研の充実発展を確信して早朝の内之浦町を後にしました。（滋賀大学事務局長、前宇宙研管理部長 まつもと・やすゆき）

ISASニュース

No.209 1998.8

ISSN 0285-2861

発行：宇宙科学研究所(文部省) ☎229-8510 神奈川県相模原市由野台3-1-1 TEL 0427-59-8009

The Institute of Space and Astronautical Science

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

*なお、本ニュースは、インターネットでもご覧になれます (<http://www.isas.ac.jp>)。