


 ニュース


宇宙科学研究所
1994.10 No. 163

〈研究紹介〉

無衝突衝撃波による高エネルギー・プラズマ粒子加速

宇宙科学研究所 星野真弘

1. 無衝突衝撃波とはなにか

数年前から、無衝突プラズマ中での衝撃波による粒子加速の問題に取り組んでいます。この研究紹介の欄では、無衝突衝撃波に関して、現在どのような問題があるのか、またどのような研究が行われているのか等を簡単に紹介したいと思います。

まず無衝突衝撃波の「無衝突」の意味ですが、これは「平均自由行程」が衝撃波面の厚さに比べて非常に長く粒子間の2体衝突がまれにしか起きないことで、高温低密度の宇宙空間では多くの場合この無衝突過程が実現されています。しかし、この無衝突という言葉と衝撃波という言葉が並ぶと何か変な気がしませんか。たとえば空気中のような分子間の衝突が頻々におきる気体での衝撃波の存在は理解できます。分子間の2体衝突が作る

粘性により衝撃波上流の超音速・低エントロピーの流れは、衝撃波面を通過する際に乱雑な分子運動になり熱化され、衝撃波下流での亜音速の状態に移行することが出来ます。では、粒子間の2体衝突過程が効かない無衝突プラズマ中では一体どのようにして乱雑なプラズマ運動を導くのでしょうか。惑星間空間に形成される無衝突衝撃波の幅は、平均自由行程に比べて何桁も小さく非常に薄い厚さになっていますが、粒子の運動を乱雑な運動に変えるものは、一体何なのでしょう。

過去の歴史を振り返ってみるとこの問題は1960年前後に盛んに議論され、ある人達は無衝突衝撃波は存在しないと考え、また別の人達は、運動学的ミクロなプラズマ不安定を通して励起される電磁場が実効的な粒子間の衝突を導くので、無衝突衝撃波は安定に存在できると考えました。急激に

電磁場が変化する衝撃波面領域では容易に局所的熱平衡から外れた複雑な速度分布関数が作られることが知られていますが、その分布関数が熱力学的安定な状態へと移行するときに電磁波を放射します。無衝突プラズマ中の粒子は、「プラズマ集団現象」としてのマイクロな波を介して散乱されると考えるのです。1963年に米国のIMP1衛星が、太陽風と相互作用する地球磁気圏の前面で衝撃波を発見し予想どおり無衝突衝撃波の存在が実証され、本格的な無衝突衝撃波の研究の幕開けとなりました。

2. 無衝突衝撃波でなにが問題か

さて無衝突衝撃波は、様々な天体現象で重要な役割を果たすことはよく知られています。太陽系プラズマ中での衝撃波だけではなく超新星爆発に伴う衝撃波など様々な応用があります。そして、その衝撃波の絡んだ天体現象に対してわれわれが答えなければならない問題はたくさんあります。例えば、衝撃波によって粒子がどのくらいまで加速されてどのようなエネルギー・スペクトルになっているのかなどです。

大局的には、「ランキン-ユゴニオ条件」としてよく知られている「衝撃波ジャンプ条件」によって、超音速流の衝撃波上流の物理量と熱化した衝撃波下流の物理量は一意的に結び付けられます。上流のマッハ数や密度などの情報から衝撃波下流での高温に圧縮されたプラズマ物理量を知ることができ、例えば、プラズマ全体の平均温度は予想することができます。しかし、この衝撃波ジャンプ条件は基本的に運動量やエネルギーといった保存則から導かれているので、イオンと電子の温度はそれぞれどうなるか等のプラズマ中でのイオンと電子間でのエネルギー分配に関連した問題については何も教えてくれません。もし、2体衝突が十分に効く系ならば、衝撃波下流の熱エネルギーは最終的には電子とイオンの温度が同じになるように配分されますが、一般に無衝突衝撃波ではイオンと電子の温度は異なります。イオンと電子間でのエネルギー分配を理解するためには、マイクロ

なプラズマ過程としての粒子間でのエネルギー交換プロセスを理解しなければなりません。熱的平衡状態から外れたプラズマの分布関数とか、プラズマ集団現象によって励起された局在化した大振幅波とかいった非平衡・非線形の物理過程を理解することが重要です。マクロ物理量としての粘性、電気抵抗、熱伝導などの散逸過程の振る舞いをマイクロ・プロセスの観点から理解することが大切になってきます。

また、無衝突衝撃波ではエネルギー・スペクトルは局所的熱平衡のマックスウェル分布ではなく非熱的な分布関数になることが多いわけですが、衝撃波でのエネルギー散逸過程の理解無くしてはどのような非熱的分布が形成されるのか、また、非熱的に加速される粒子はどこまで加速されるかなどの高エネルギー・天体プラズマ物理の基本的問題に的確に答えることは出来ないでしょう。

3. 衝撃波の観測－衛星観測と数値シミュレーション

無衝突衝撃波に内在するマイクロ・プロセスを理解するためには、実際の衝撃波を詳しく観察してみるのが一番です。現在の室内実験室プラズマでは残念ながら高温低密度の無衝突過程を再現することは困難です。しかし、最初に述べたように宇宙空間中での無衝突衝撃波を人工衛星で直接観測することは可能で、これまでかなりの数の衝撃波が観測されています。特に、1979年に打ち上げられたISEE衛星によりデータ量は飛躍的に増大し衝撃波の現象論的分類ができるようになり、マッハ数とか磁場が衝撃波面となす角度などによって衝撃波の構造や粒子加熱の様子がどのように変わるのかだんだん解ってきました。ここでは、その分類についてはお話しませんが、衝撃波は磁場が衝撃波面に対して平行な形状と垂直な形状では非常に異なった性質を持つことだけ申し上げておきます。それは、磁場の形状によりマイクロなプラズマ不安定性も大きく左右されるからです。現在活躍中のGEOTAIL衛星も衝撃波を何度か観測しており、また、時間分解のよい粒子速度分布関数や

電磁場の観測機器などを搭載しているので衝撃波の微細構造が見えてくるものと思われます。

また、別の衝撃波の「観察」手段として、スーパーコンピュータを用いた数値シミュレーションによる衝撃波の研究も1980年頃から活発になってきています。そのころからベクトル計算機が利用できるようになり本格的衝撃波の計算が可能になったからです。そして、確かにこの数値シミュレーションによる研究は衝撃波の理解に大きく貢献してきています。

無衝突プラズマ過程の数値計算の方法として粒子コードというものがよく使われますが、そこではローレンツ方程式に従って粒子の軌道を計算して時間発展を追いかけます。粒子の運動が作る電流はマックスウェル方程式に反映され電磁場の時間発展も同時に計算します。私がこの数年興味をもっているのがこの数値シミュレーションによる衝撃波の研究で、おもに相対論的流速に対して形成される無衝突衝撃波の構造や加速プロセスを研究しています。その研究で得られた結果の一例として、かに星雲でのシンクロトロン輻射を生む高エネルギー粒子の起源を衝撃波加速の観点から説明する目的で計算したものを図1に示します。ここでは、衝撃波近傍の粒子加速加熱過程に興味があるので衝撃波の構造を空間1次元の物理系で表

現できるとした一次元衝撃波のモデルを仮定し、そしてプラズマの組成は電子と陽電子のプラズマ中に少数の重イオンを混在させた3成分のプラズマを考えています。図1では、電子、陽電子、イオンの位相速度と磁場の強度が空間軸にたいしてプロットしてあります。数値シミュレーションによる標準的衝撃波の作り方として、シミュレーション箱の左端境界からは相対論的流速のプラズマを注入し、一方右端境界はすべてのプラズマが反射される壁を仮定しています。もしも、実効的な散逸がなければ、右端境界で反射されたプラズマは同じ温度で同じ運動エネルギーのものがそのまま跳ね返ってくるだけです。しかし、図1では衝撃波上流の左端境界から注入されたプラズマはシミュレーション・ボックスの中程で加熱され亜音速の衝撃波下流のプラズマになっていることがわかります。また、下流に行くに従って電子よりも陽電子が選択的に加熱されています。ここでは加速加熱過程の詳細には立ち入りませんが、無衝突プラズマ中でも確かに実効的なエネルギー散逸過程が存在していたことが解ります。かに星雲に対応させると、左側がパルサー風の衝撃波上流領域で右側が衝撃波下流のシンクロトロン星雲になります。

このような数値シミュレーションを用いること

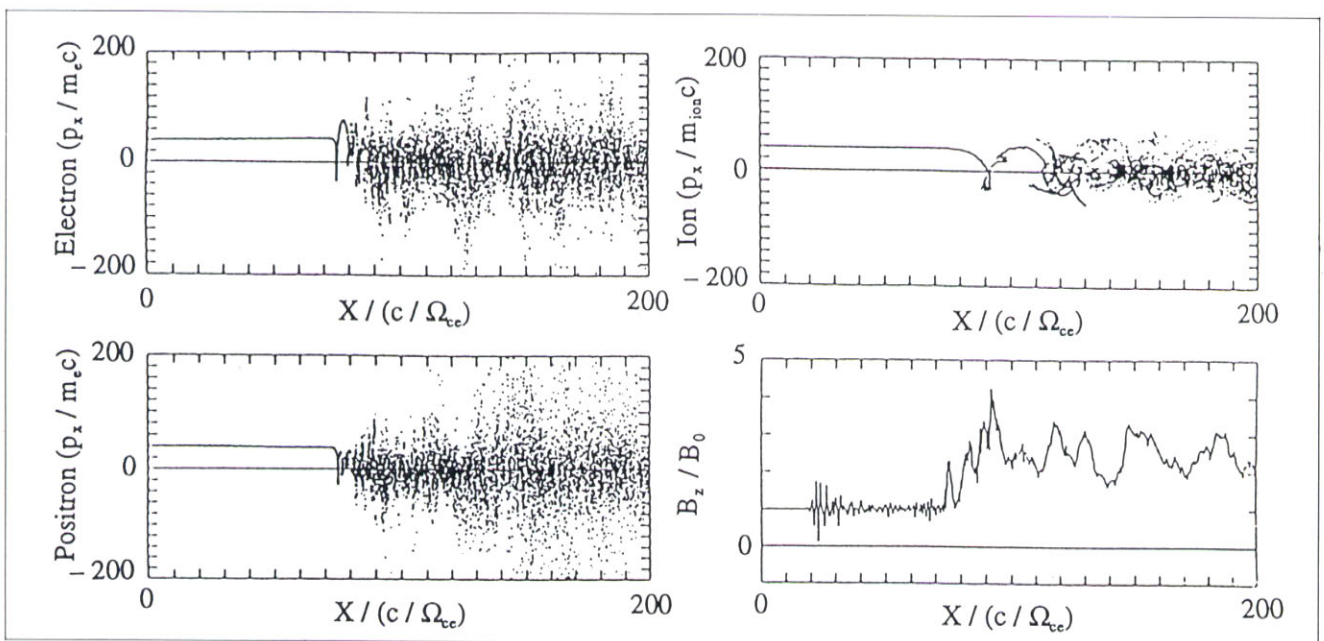


図1 数値シミュレーションで得られた相対論的衝撃波の構造

によって、衝撃波でのエントロピーを増加させるミクロなプラズマ不安定がどのような役割を果たすか、またプラズマ種の違いによるエネルギー Spektr の発展などの様子が理解できます。衝撃波を横切ってすべての物理量を一度に把握出来るのが数値シミュレーションの強味です。

4. 最後に

ここで簡単にお話ししてきたミクロな運動学的観点に立った衝撃波の物理は、プラズマ中の衝撃波について勉強された人も複雑でどうも解りにくいと思われるかもしれません。確かにそれは否定できないような気がします。つぎのような話が1960年代前半の無衝突衝撃波の幕開け時代にあったと聞いています。

ある衝撃波の研究会で、ノーベル賞を受賞したアルフベン先生が（受賞したのは1970年）、当時プラズマ物理構築の最前線にいた若手の研究者達の発表を聞いて、「どうして衝撃波の物理は複雑なのか、何故もっと簡単に本質を表現できないのか」と言われたそうです。衝撃波面でのエネルギー散逸過程やそのプラズマ加熱過程が、マッハ数、磁

場と衝撃波面のなす角度、上流での磁場とガス圧との比などによって大きく変わり、統一的に簡単に表現出来ていないことへの批判だと思います。

今そのころから30年近く過ぎていますが、やはり無衝突衝撃波の物理を的確には理解できてないのかもしれません。特にミクロなプラズマ不安定が何であるかと言う議論を始めると、本当に沢山のミクロ不安定があってそのミクロ過程を理解するだけで息が切れそうになります。ミクロ過程とマクロ過程を結び付ける非線形の取扱がうまく出来ない為、いつまでたってもアルフベン先生のような批判を乗り越えられないような気がしています。衝撃波の物理だけではなく他の科学でも同じ様なことがあり、現代科学の「壁」の「衝撃波」を乗り越えられていないのでしょうか。しかし、スーパーコンピュータの性能は着実によくなっている、近い将来空間3次元の現実的な系での計算が出来るようになれば、新しい展望が見えてくるのではないかと夢を抱きながら衝撃波の問題を考えています。（ほしの・まさひろ）

お知らせ

★研究会・シンポジウム

宇宙航行の力学シンポジウム

開催日 平成6年11月7日(月)～8日(火)
場 所 宇宙科学研究所本館1階入札室

磁気圏・電離圏シンポジウム

開催日 平成6年11月8日(火)～9日(水)
場 所 宇宙科学研究所本館2階会議場

宇宙利用シンポジウム

開催日 平成6年11月9日(水)～10日(木)
場 所 日本学術会議講堂（六本木）

太陽系科学シンポジウム

開催日 平成6年11月15日(火)～16日(水)
場 所 宇宙科学研究所本館2階会議場

問合せ先：宇宙科学研究所研究協力課共同利用係

★教官人事異動

発令年月日	氏 名	異 動 事 項	現(旧)職等
6. 10. 1	佐藤 英一	(所内昇任) 宇宙輸送研究系 助教授	宇宙輸送研究 系助手
6. 10. 1	山田 哲哉	(採 用) 宇宙推進研究系 助手	

宇宙構造・材料シンポジウム

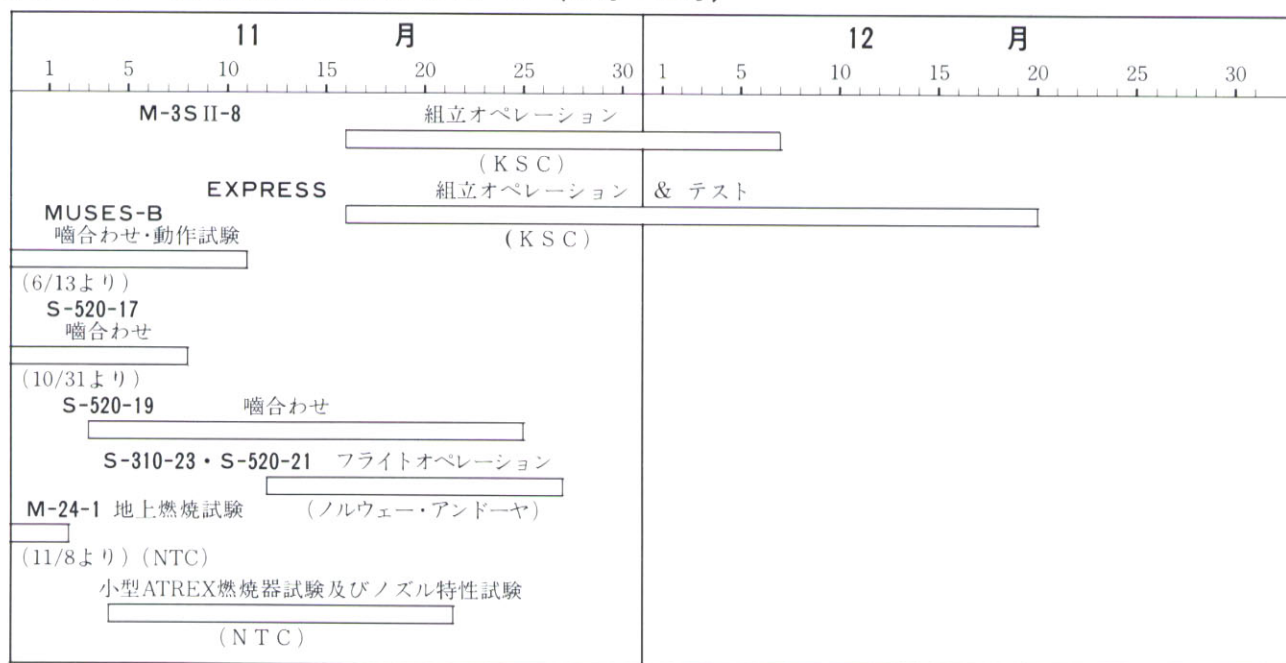
(旧名称 宇宙構造物シンポジウム)

開催日 平成6年11月17日(木)～18日(金)
場 所 宇宙科学研究所本館2階会議場

☎0427(51)3911（内線 2234, 2235）



★ロケット・衛星関係の作業スケジュール（11月・12月）



★平成6年度第2次大気球実験報告

平成6年度第2次大気球実験は、8月27日から9月3日まで三陸大気球実験所で下表のように実施した。

BT5-7気球は、2年前より継続的に実施している薄型高高度気球による40km以上の高度までのオゾン観測であり、観測は成功であった。同じ観測が本年7月に北極圏（ノルウェー、スピッツベルゲン）で行われ、両者を合わせて有益な観測となった。B80-1気球による成層圏のクライオサンプリングは、昭和60年以来定常的に実施してきたものであるが、ここ2年間は気球のトラブル等で成

功していなかった。今回は、大気採取および回収とも成功であり、これを契機に再度安定して実施できるよう努めたい。国立極地研究所では将来同種の実験を昭和基地で実施したいと計画しており、国立環境研究所も北欧のキルナでの実施を計画している。今回の成果をそれらの計画に反映させたいと考えている。B200-2、B100-3気球は、天文および宇宙線観測を目的とし、いずれも高い高度が要求されたため大型の気球が使われたが、放球・飛翔とも順調で、観測も成功であった。

（矢島信之）

平成6年度第2次大気球実験一覧

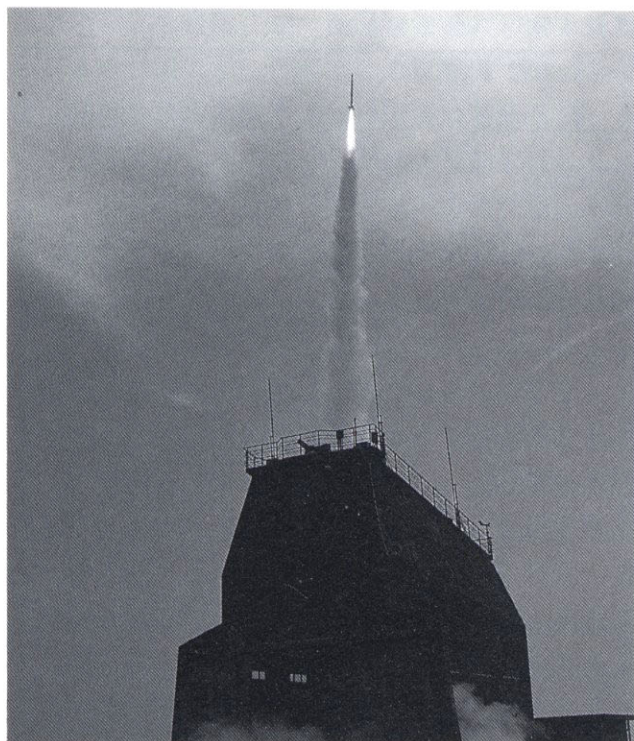
放球日	気球名	観 測 項 目	高度	観測時間	備考
8月27日	BT5-7	オゾンの観測	43km	2時間	
8月31日	B80-1	成層圏のクライオサンプリング	34km	8時間	回 収
9月3日	B200-2	銀河赤外線観測	35km	6時間	回 収
9月8日	B100-3	シンチファイバによる一次電子観測	35km	12時間	

★MT-135-60, 61号機によるオゾン観測

9月6日および7日、午前11時にMT-135-60号機及び61号機によるオゾン観測が行われた。平成2年52号機によってパラシュートの緩降下中に紫外線の強度を測る事によって、成層圏を中心とするオゾン密度の高度分布を算出する事に成功して以来、ちょうど9、10機目にあたる。

相模原での噛み合わせ時に脱頭モニター信号の

チャタリング、そしてこれに対する処置の確認のために再度行った噛み合わせでは、あらたに脱頭用タイマー電池の電圧が異常を示した。特に二番目の不具合は実験の成否に関わる深刻な問題であり鋭意検討した結果、人的ミスによるものと結論した。このような経緯を得て、実験に臨んだ事もある、1つ1つの動作を声をだして確認するなど気合いの入ったオペレーションとなった。



中国大陆より東に移動しつつあって、北東から南西にのびた寒冷前線の南端は次第にその速度を弱め、実験当日は九州北部に東西にのびて、九州南部は比較的に海上も穏やかであった。

打ち上げ後の記者会見には小さいロケットの実験には珍しく、多くの報道機関の記者諸氏が出席されたが、今年から内之浦に現れたという若い記者が多く、改めて時の流れの速さを痛感した実験でもあった。
(小山孝一郎)

★SFUの輸送

SFUの衛星本体が、9月19日から27日にかけて来年2月の打ち上げを前にして宇宙開発事業団筑波宇宙センタから同種子島宇宙センタへ向け輸送されました。およそ1年間の事前準備を行い輸送計画が立案されましたが、衛星の収缶されたコンテナが大きいので特殊車輛通行許可、制限外積載許可、通行禁止道路通行許可を事前に取得するなど今までの衛星輸送に無い規模で改めてその大きさを知る事になりました。建設省常陸工事事務所、茨城県警筑波中央警察署、同土浦警察署をはじめ多くの関連機関のご助力に対してこの場を借りてお礼を申し上げます。輸送前には例年にない渇水のため、霞ヶ浦の水路水深が浅く雨乞いをしましたが、輸送当日は逆に前日の台風24号のもたらした雨で、水門を流れる水量が多く危険なため2日

間水路内で退避しました。銚子漁港で貨物船本船に積み替え海上輸送を行いましたが、漁盛期にも関わらず岸壁をお借りできました。関係の皆様にお礼を申し上げます。本船は順調に航行し、予定通り9月26日種子島の島間港に入港し、水切りを行いました。27日早朝に島内陸送を行い種子島宇宙センタ第二衛星試験棟に到着し輸送を無事完了しました。28日には種子島が大型で非常に強い台風26号の勢力圏内に入り、海路・空路ともに欠航になる荒天におそわれ、まさに此しかないというタイミングの輸送でした。

また、ほかの話題としてNASAの最終安全審査会（フェーズ3デルタ3）がジョンソン・スペース・センタで9月15日に開催され、継続調査事項は有るものの概ね合意され署名するまでに至りました。これでシャトルの回収もいよいよ現実化してきました。
(清水幸夫)



宇宙開発事業団種子島宇宙センタ内を移送中のSFUフライトモデル

★GEOTAIL最後の遠尾部軌道アポジー通過

9月18日、GEOTAIL衛星は最後の遠尾部軌道のアポジーを通過した。想えば、2年前の9月9日未明に最初の月スウィングバイを経て遠尾部軌道に投入されて以来、月の軌道よりも遠方の磁気圏尾部を過去のどの衛星よりも広範に最新の観測装置でもって探査してきた。2年前の9月17日、すったもんだの末にようやく磁力計マストの完全伸展に成功し、翌9月18日、磁気圏尾部のダイナミックな変化を示すデータに興奮していたことを

昨日のように思い出す。また、昨年の9月1日には、月の日陰中に衛星電源を瞬断することによってプラズマ観測装置(LEP)のラッチアップを解消させるという離れ業に成功した。この衛星には日米双方が独立に2セットのプラズマ観測装置を搭載していたので、衛星全体としては必要なすべての種類の観測データが揃っていたとはいえ、日本側の研究者にとってはLEPの復活は大きかった。この2年間のGEOTAILの成果は多くの発見が相次ぎ、期待を上回るものであった。まだ、多くの人が首をひねりながら、その観測データの解釈を楽しんでいる最中であるので、磁気圏尾部の理解にはまだ時間を要するであろうが、単に国内のみならず米国の地球物理学会や関連の国際会議においてもその観測結果は多くの研究者の注目を集めてきた。

これから3週間かけて約160Re(Re:地球半径)

の磁気圏尾部を横切り、次のステップの近地球軌道に移行される。これが最後の遠尾部軌道かと思うと少し名残惜しい気もするが、軌道設計上の当初からの予定でやむをえない。9月19日には上杉教授、川口助教授ほか、いつものISAS/GOOD(Group Of Orbit Design)の面々が集まり、その軌道微調のための速度修正作業が行われた。スラスターを噴射するときのデータを見る目つきは鋭くやはり緊張しているものの、作業は予定通り淡々と進み、やはりもう手慣れたものである。この後、もう1回10月中旬に軌道微調を行った後、10月25日に最後の月スウィングバイを経て、近地球軌道への移行軌道に入る予定である。その移行軌道では、軌道面変更やアポジーを下げるための速度修正が行われ、11月中旬より近地球軌道(当面、アポジー50Re)となる。(向井利典)

M-V事情

★ST-735-2号機 フライトオペレーション

～表紙写真～ 撮影：前山勝則

残暑も厳しい猛暑のなか、9月5日からST-735-2号機のフライトオペレーションが始まりました。去年は大雨で、かつ台風の当たり年でしたが、今年も異常気象なら、これは台風はないなとひそかな期待を胸に鹿児島空港におりたちました。広島、福岡あたりでは深刻な水不足と報じられていましたが、鹿児島地方はまったく無縁。この内之浦の短い河川のどこに保水能力があるのでしょうか。これも、森林が豊富なせいなのでしょう。実際のところ、オペレーション期間を通じて、夜にわか雨はあったものの、ほとんど快晴の毎日で、こんな夏の鹿児島は経験したことがありませんでした。

ST-735型1号機では、10年半前の1984年に打ち上げられ、今日のM-3S II型機での補助ブースタ分離の飛しょう実験を行ったのですが、それも今では全く遠い過去の歴史となってしまいました。当時作業に加わっていた技術者も、宇宙研を除いてはほとんどおらず、確実に1年づつ年を重ねた

宇宙研のベテランが、メーカーさんの若手にいろいろアドバイスしている姿が随所でみられました。それでも、この1～2年の間に宇宙研に入所してきた若手の方々が積極的にオペレーションに参加していたことは、とてもたのしく思えました。いくつかの小さな問題はあったものの、ほとんどトラブルもなく打ち上げにこぎつけられたのも、こうした老若技術者間の深い信頼関係があつてのことと思います。

現在KSCは、M-V型機打ち上げにむけて大幅な改修工事が進行中です。このSTのオペレーションでは、はじめて新衛星整備棟と隣接する控え室が使用されました。新しい控え室だけに、勝手もちがい、いろいろな注文もよせられましたが、おおきな問題もなくオペを終了できてなによりでした。

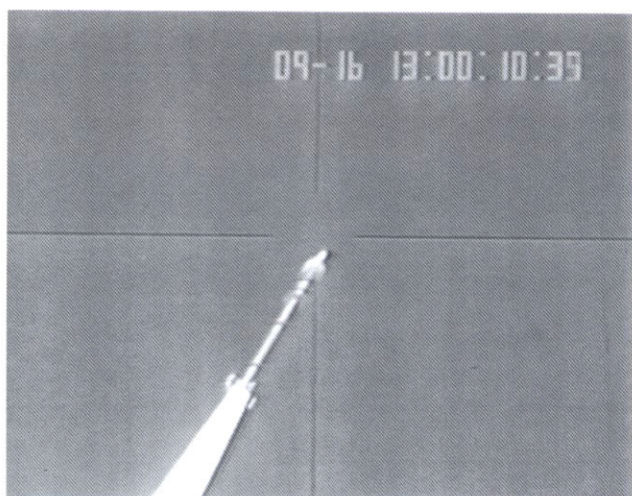
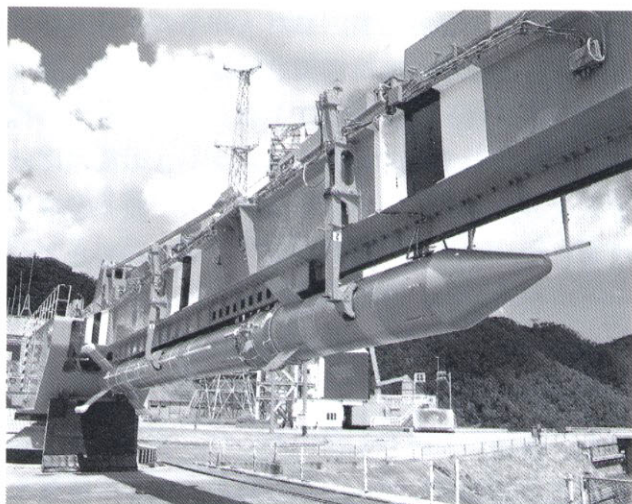
ST-735-2号機、別名M-V試験機は、M-V型機で初めて採用されるファイアインザホールという第1、2段間の分離方式の機能確認を主目的に計画されたものです。ファイアインザホールは、第1、2段の分離と同時に第2段の点火を行って第2段の姿勢制御を速やかに開始させ、これにより低高度での第2段点火を可能にして、段間のコー

スティングを排除させ、衛星輸送能力の向上につながる新技術です。併せてこの試験機では、M-V型で採用される新型タイマや改良型固体ロケットロール制御装置（SMRC）の動作確認も行われました。肝心のファイアインザホールの分離は1秒足らずのうちに終了することや、第2段の噴煙のなかではテレビカメラでは何も見えまいとの判断から、STでは高速のサンプリングによるテレメータデータを主な情報手段としていました。データは、第2段燃焼開始時のロックオフをさけるために、まず機上のメモリに記憶され、後に低速度で再生するという方法がとられ、データ取得を確実にしました。

試験機は白昼、衆人観視のもと、みじんの現象もみのがすまいという体制で行うべきとの大義名分のおかげで、打ち上げ時刻は午後1時に設定されていました。前日の好天をうわまわる絶好の気象条件のなか、タイムスケジュールは順調にすすみ、幸い打ち上げ方位には一片の雲もなく、光学観測の体制も十分に確保することができました。やや横風が強かったものの、事前の飛翔性能予測はほぼ完璧で、ほとんど計画された高度で分離は行われ、実験は大成功だったといってよいと思います。

ひとそれぞれ、慣れた持ち場というものはあるもので、今回初めて地下管制室でX時を迎えましたが、座りなれたコントロールセンタで受ける打ち上げ時のバリバリという迫力は、まったく感じられず非常に静かだったのが意外でした。いかにベテランでも、居場所が違うと、全く印象が異なるものらしく、宇宙研ではもっとも場数を踏んでいらっしやるかの重鎮も、久々に直視された後、「真上に上がっていくようで、（発射角を）まちがったのではないかと述べられたのも無理もないことでしょうか。エレベーションは76度でした。

（川口淳一郎）



★KM-V1-1 真空地上燃焼試験（速報）

今年度2回目の地上燃焼試験、KM-V1-1真空スピン燃焼試験は平成6年9月28日午前11時30分、点火により行われました。着火および燃焼は正常でほぼ予想通りの燃焼特性が得られ、60点におよぶ計測も良好なデータを取得することができました。

本モータは重量的には非常に軽いキックモータですが、その存在意義の重さから言うと、決して他のモータに比べてひけをとりません。M-V型ロケット推進系の開発は今回の試験の成功でまた大きな一歩をふみ出したと言えるでしょう。

（堀 恵一）

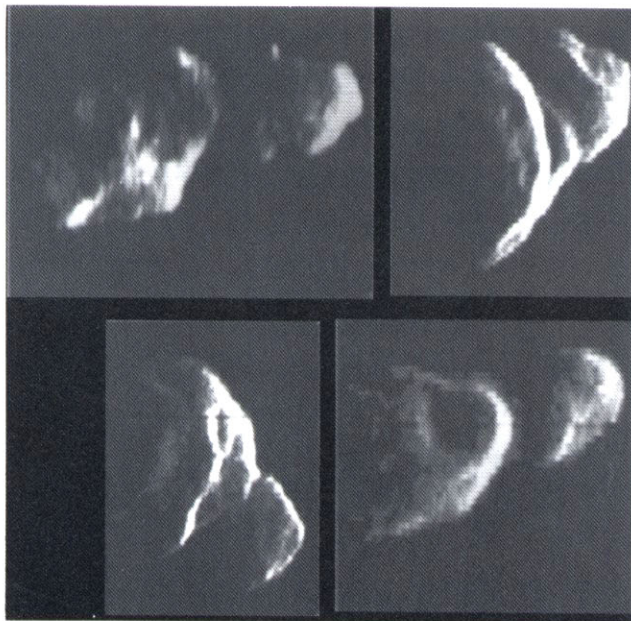


地球近傍小惑星

安部正真

地球に一番近い太陽系天体は何でしょうか。月は地球から38万kmの距離に常にいる一番身近な太陽系天体ですが、過去月より地球に近づいた天体がいくつか観測されています。例えば最近では1991年に1991BAという天体が17万km、1993年には1993KA2という天体が15万kmまで地球に近づいたことがわかっています。これらの天体の大きさは5~10mであると推測されています。ある見積もりによると月より近い位置には常に直径10~50mの物体が1つは存在していると言われています。これより小さいものはもっと多くあり、そのうちの幾つかは隕石として地球にふってきます。また毎晩1時間に1個か2個みられる流れ星もさらに小さな塵のようなものが地球の大気圏を通過する間に燃え尽きているのを見ているのです。

それでは、地球に大きな天体が衝突したことはあったのでしょうか。今年の7月に彗星が木星に衝突したような現象が地球でも起きたのでしょうか。1972年に直径10m程の物体が大気圏に突入し秒速15km程の速度でアメリカ西部からカナダにかけての上空を通過し再び宇宙へ戻って行ったのが観測されています。さらに1908年にはシベリアのツングースカの空に突然火の玉が出現し爆発とともに数百平方kmにもわたる範囲の森林をなぎ倒したことがあります。このとき衝突した天体の直径は60m程度だったであろうと推定されています。



1992年に地球に350万kmまで近づいたトータチスのレーダー観測画像

大きな天体ほど数が少ないので地球に飛び込んでくる可能性は低くなります。確率としては、直径10m以上の天体では100年に1回だと言われていますが、1km以上の天体になると100万年に1回になってしまいます。6500万年前に恐竜を絶滅させた原因は直径10kmの天体の衝突だと言う学説は現在多くの支持を集めています。

次にこのような天体の捜索はどれくらい行われているのでしょうか。現在、スペースウォッチ望遠鏡という名前のついた望遠鏡などで地球近傍にやってくる小惑星の発見が精力的に行われており、一年間で10個以上の新しい地球近傍小惑星が見つかっていて、発見数は年々増加しています。現在までで地球近傍小惑星（近日点が火星軌道より内側にある小惑星）は約400個発見されていて、そのほとんどが直径10km以下です。現在これらの小惑星の軌道が計算され、これから100年程度ではこれらの小惑星のうち地球に衝突してくるものはないことがわかっています。

軌道が計算されると、逆に地球から探査機を飛ばして探査してみようと言う計画も出てきます。宇宙研でも近い将来M-Vロケットを使ってそういった小惑星に探査機を飛ばす計画があがっています。今最も有力な探査候補天体はネレウスという天体です。ネレウスは直径1km程度の近地球小惑星の中では平均的な大きさの小惑星です。ネレウスは、NASAの探査機ガリレオが写真を撮ったガスプラやアイダなどの小惑星とは全く違ったタイプの小惑星であることがこれまでの地上観測からわかっており、探査に期待が持たれています。

最後に地球近傍小惑星はどこからくるのでしょうか。一つの考え方はその名の通り昔は火星と木星の間の小惑星帯におとなしくしていたというものの、もう一つは太陽系の果てからやってきた彗星が惑星の軌道を横切る間に軌道が曲げられて地球近傍に常にいるようになったという考えです。現在ではその両方が混ざっていると思われるのですが、詳しいところはまだよくわかりません。地球近傍小惑星は地球から到達しやすい軌道を持っていることから将来の宇宙基地あるいは衛星の寄港地になるかも知れませんし、その天体のものが貴重な資源として利用されるかも知れません。小さくて目立たない天体ですが、地球近傍小惑星は月と同じくらい身近な太陽系天体なのです。

(あべ・まさなお)

国際宇宙大学に参加して

中 谷 一 郎

6月下旬から9月上旬まで10週間、恒例の国際宇宙大学が開かれた。毎年、世界の都市を回っているそうだが今年の開催地はスペインのバルセロナ。筆者は、途中の一時帰国を除いて約7週間今年の同大学に講師として参加した。

学生は、世界29ヵ国から約130人。学生の受講料は120万円で個人参加は殆どない。世界の宇宙機関、企業から選ばれた人又は、特別の奨学金を得た大学院生などが主だ。講師も世界の宇宙機関や大学から長・短期の滞在を含めて多数。まさに異文化交流の見本のような所だ。前半は宇宙関連の講義・講演が中心で、試験もあり学生は遊べないようにできている。筆者の担当は、講義を3.5コマと、卒論に相当するデザイン・プロジェクトの指導であった。卒論は、筆者らの担当したテーマ「太陽系探査」に80人の学生が殺到し嬉しい悲鳴を上げた。学生たちが選んだのは、月・火星・小惑星の3ミッションで、他に候補となった外惑星や太陽に行く8ミッションを断念し、この3ミッションにグループが分かれて集中した。最終的には、600ページの報告書を80人で寄ってたかってタッチ上げ無事卒業となった。

学生達の選んだ月・火星・小惑星の3ミッションは、いずれも宇宙研のミッションと大変似ていた為、筆者の乏しい知識がことごとく役に立ち、筆者は学生達に常に追い回されるハメとなった。

80人の学生に対し当方は多勢に無勢、相手変われど主変わらずで夜は12時頃までつかまり、土・日曜も（密かに楽しみにしていた）観光も諦めて学生との討論に費やすことが多かった。しかし、様々な文化的背景を持つ優秀な若者達との付き合いは大変楽しく、名所旧蹟の観光も色褪せて見えるほどであった（と負け惜しみを言うことにする）。

講義中も次々に学生達の手が上がり、しばしば質問を打ち切らないと先に進めないありさまで、講義が終わると学生たちの輪が筆者の回りにでき

て残りの質問に答えることになる。日本の大学での講義中の学生の無反応と対照的で張り合いがあり講義も筆者にとっては楽しみの一つとなった。

学生たちとの無数の打ち合わせに参加したが、ある学生が言うには、「フランス人は打ち合わせの前から喧嘩腰で議論をし、イタリア人は打ち合わせが終わってもドナリ合い、日本人は打ち合わせが始まる前に静かに合意ができている」そうだ。確かに日本の参加者（7人）は、おとなしく殆ど議論には参加していなかったがこれは語学力の問題だけでは無いかも知れない。

また学生以外にも世界から集まってくる一流の講師達との交流も刺激的で、井の中に住む筆者などは大いに開眼したような気になってくる。冷戦後の世界で宇宙開発は、“Smaller, Faster, Cheaper and Better” と言うのが合い言葉でISASの評判が予想以上に高いのは、嬉しいような恐ろしいような複雑な気持ちであったが。

来年9月から国際宇宙大学に（夏期学校とは独立して）常設校も創られる予定で、フランスのストラスブールにて準備が進んでいる。NASAやESA等欧米中心で進みがちな同大学であるが、日本も経済力・技術力に応じた貢献及び、講師、スタッフ、学生等を送り出す支援が強く望まれている。

7週間を通して、学生達と同じ学生食堂でワンパターンの3食を共にし、エアコンのない猛烈に暑いアパートと一緒に寝泊まりし、終始顔を突き合わせて不毛の議論をしていると、学生との間に不思議な連帯感が生まれる。フランスなまり、ドイツなまり、フィンランドなまり、中国なまりと各種の英語のシャワーを7週間浴び続け、ようやく慣れた頃には学生達と別れ難い思いで再会を約束す時期となり、長いようで短かった今年の国際大学を終えた次第である。

（なかたに・いちろう）

— 宇宙構造物の話 その3 —

太陽電池パドル

小野田 淳次郎

衛星の電力は通常は太陽電池により賄われ、消費する電力を確保するために必要な面積の太陽電池に、太陽光を当てる必要がある。太陽電池を搭載する方法はボディマウント方式とパドル方式に分けられる。前者は衛星の外表面に太陽電池を貼るもので、後者は太陽電池を貼ったパドルを衛星打ち上げ後に展開するものである。前者はスピン軸が太陽方向と大きな角度を持つスピン衛星などに適し、後者は3軸制御衛星などに適している。また、ボディマウントの場合、面積に限りがあるので、大電力を得るにはパドル方式とする必要がある。

本シリーズの予定を見ると「宇宙構造物」と言うよりも「展開構造物」のシリーズのように思える。太陽電池パドルも言わば2次構造物で、宇宙構造物の代表とは言えなくとも、その成否が衛星全体の生死に直に関わる事と、多くの衛星に必須のものである点で、宇宙展開構造物の代表と言えよう。宇宙科学研究所が今までに打ち上げた22機の衛星のうち、8機に太陽電池パドルが搭載され、何れも成功裏に展開し、機能を果たしている。

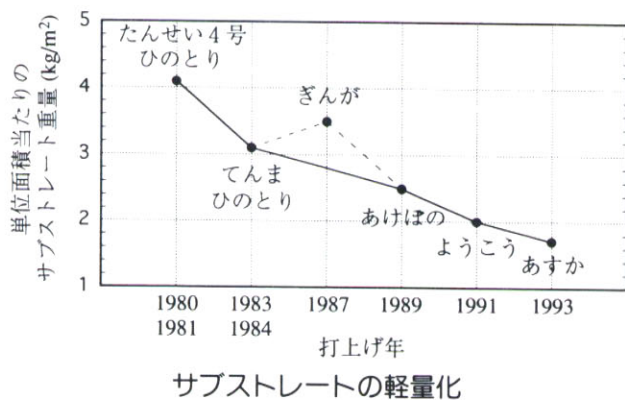
太陽電池パドルの構造様式は次回本欄で紹介がある様に、リジッド、セミリジッド、フレキシブルと分類する事もできる。宇宙科学研究所の科学衛星のように比較的小型の衛星には、現在のところリジッドタイプが最適であり、上記8機の太陽電池パドルは全てリジッドタイプに属する。

太陽電池パドルは、太陽電池、カバーガラス、配線の他、太陽電池を貼る板（サブストレート）、

保持・解放機構、展開機構等からなる。軽量・高剛性とする為に近年のサブストレートには炭素繊維強化複合材を表皮とするハニカムサンドウィッチ板が多用されている。保持機構は収納されたパドルを過酷な打ち上げ環境下でしっかりと保持するものであるが、軌道投入後には確実にこの保持を解放してパドルを展開する必要がある。宇宙科学研究所の太陽電池パドルの解放機構は全てワイヤーカッターと呼ばれる火工品により、少量の火薬の力でワイヤーを切ることでより作動する。2個のワイヤーカッターを一組として使い、そのどちらが作動しても解放機構が作動する冗長系として作動の信頼性を確保している。解放後は通常はバネの力で展開する。最近のやや複雑なパドルでは、望ましい展開を達成するために、一部のヒンジに展開のタイミングを調整する機構を設けた物もある。初期のパドルでは展開後ロックする仕組みとしていたが、最近のものは基本的には残留展開トルクだけで展開状態を保つ仕組みとなっている。

宇宙科学研究所の最初の太陽電池パドルは1980年に打ち上げた「たんせい4号」に搭載したものである。初のパドルで、手探りの色彩も強かったが、展開の信頼性確保に重点が置かれた。衛星本体側面に搭載した4枚のパドルをそれぞれパタリと90度開くだけだったが、地上での低温試験で開かず、熱変形を許容出来るヒンジ構成等とすることの重要性を思い知らされた。勿論打ち上げ後のパドルは正常に展開した。このパドル開発から我々は多くを学び、その後の宇宙科学研究所の衛星のパドル技術の基礎が確立された。

その後のパドル開発では軽量化につとめ、大型化、多様化要求に対応する努力が続けられた。付図はサブストレートの軽量化の様子を示している。「ぎんが」がやや重いのは、太陽電池パドルで大きな慣性能率を確保する必要があったためである。「ようこう」や「あすか」に搭載されたパドルは、一翼当たり3枚のサブストレートから成るもので、更に、M-V型ロケット一号機で打ち上げるMUSES-Bには太陽追尾の為に1軸回転可能なパドルが搭載される。（おのだ・じゅんじろう）





或る交渉の顛末

春 畑 文 夫

7月に行われた人事異動で宇宙研を離れてから、早や2ヵ月が過ぎた。

着任した頃茹るような暑さだった松山の町にも、何時の間にか初秋の風が吹き始めた。何十年ぶりかという水不足で若干の不自由はあるが、何とか新しい土地での生活も板に付きつつある。

然し、宇宙研時代を振返ろうとする時には、まだ半分しか燃え尽きていない埋み火を掻き回すかのように、余熱が蘇るのを感じる。僅か2年余りの期間ではあったが、本当に色々な経験を共有させて頂いた。中でも、幾つかの国際共同研究の交渉に際して、末端に参加させてもらったことは、強烈な印象として残っている。

欧州との共同研究で、契約事務上の問題が主因で交渉が難航しているものがあった。これについて相手機関から「事務担当者間で直接話し合って、打開を図ろう」との提案が投げかけられた。寝耳に水の申し出だった。「黒船が来る！」事務方に緊張が走った。日は流れて、8月の暑い盛り、相手方の交渉団が来日した。イギリス人、フランス人、オランダ人と多彩な顔触れである。

これは、我々事務官にとって、正に異文化との遭遇であった。語学能力を持たない悲しさ、意志を伝えようにも隔靴搔痒の感がある。さらに、双方が根拠とする慣習、法律も異なった。会議は大いに紛糾し、連日深夜迄議論が続いた。辛うじて、田中、奥田両先生の辛抱強い後押しが決裂を回避していた。結局、最終日未明にまで及んで、「これ以上続けると帰りの飛行機に乗れなくなる」という悲鳴で、第1回戦の幕が閉じられることになった。相手を見送り、朦朧とする中、家路についた。辺りは明るくなりつつあった。

数ヵ月経って10月、今度はこちらが相手の待ち受けるマドリッドへ赴いた。まとめ役の奥田先生と研協、主計、契約の3人の課長が一丸となって

いた。相手側には更にスペイン人が加わった。今回は、相手方が通訳を手配していたこともあり、早いテンポで会議が進行した。多くの宿題の持越しもあったが、一応、出張の目的は達成された。

休日にはマドリッド市内を見物することができた。プラド美術館や王宮、旧市街等の名所を皆で駆けずり回った。又、会議終了後は連夜、街に繰出して、パエーリャ等、当地の料理を楽しんだ。

しかし、良い事の後には大抵悪い事が起こる。脂っこい料理が続いたために、滞在が終りに近づく頃、私の胃はついにダウンした。脂ぎったものを見るだけで胃が硬直しそうな感じだ。あっさりした日本料理が恋しくなった。

ところが、同行の某課長達は相変らずの健啖ぶりで、あく迄、スペイン料理に凝っていた。ノビてしまった私を見捨てて、さっさと出かけて行った。結局、私はホテルで一人、日本から持参したカップラーメンをすする破目となった。しかも、熱湯が手に入らなかったため、生温く後味の悪いラーメンだった。満足気に舌鼓を打つ相棒達の顔が目につく。……「薄情者!」「イマイマしい連中め!」……。

年明けて2月、相模原に於いて第3回目の交渉が行われた。ここで相手は大幅な譲歩を行った。日本側に動かし難い法律上の制約があることを理解できた結果であった。ここに、漸く計画は次の段階へと進展することとなった。

宇宙研のプロジェクトは、どれも非常な困難さを伴っています。しかし、宇宙研の先生方や職員の方々の身上であるタフさと陽気さで、必ずや克服され、成就されることと確信しています。

御世話になりました宇宙研の皆様方に、心から御礼申し上げます。

(愛媛大学主計課長、はるはた・ふみお)

ISASニュース

No.163 1994.10.

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

◆ISASニュースに関するお問い合わせは、庶務課法規・出版係(内線2211)までお願いいたします。