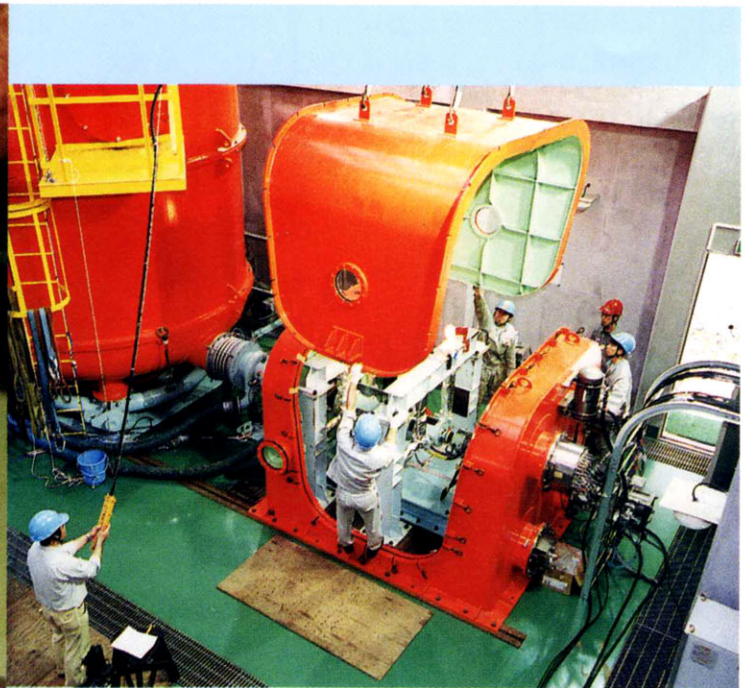




SAS ニューズ

宇宙科学研究所

1999.7 No.220

▲DASH-DOM真空スピン燃焼試験（本文記事参照）撮影：前山勝則

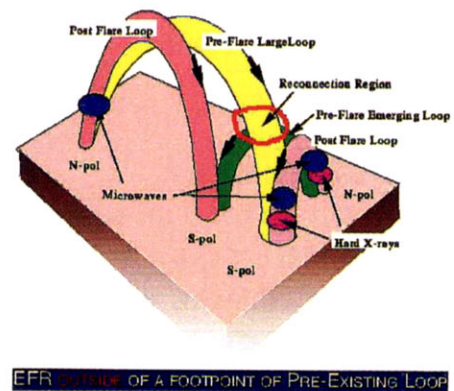
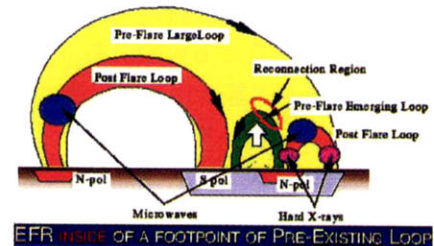
〈研究紹介〉

硬X線と電波でさぐる太陽フレア

鹿児島大学理学部 西尾 正 則

1. はじめに

硬X線で観測される太陽フレアの多くは、コロナ中で何らかの機構により加速された電子が彩層上部に降下し、背景となるプラズマ粒子と衝突して発生する放射、いわゆるThick-targetモデルにより記述される非熱的放射を捉えているものと考えられる。このようなフレアは太陽X線観測衛星「ようこう」に搭載された硬X線望遠鏡（HXT）により観測することができる。しかし、「ひのとり」、「SMM」、「ようこう」などによるこれまでの数多くの観測からは、上に述べたような放射以外に、超高温のプラズマからの熱的放射や磁気ミラー効果によりコロナ中に閉じ込められたプラズマからの非熱的放射（Thin-targetモデルにより記述される放射）なども捉えられており、その放射機構を正確に判断するには硬X線放射源の場所ごとのスペクトルデータや他のさまざまな観測装置から得られるデータを総合して調べる必要がある。一方、マイクロ



フレア前後の磁場構造の変化（想像図）

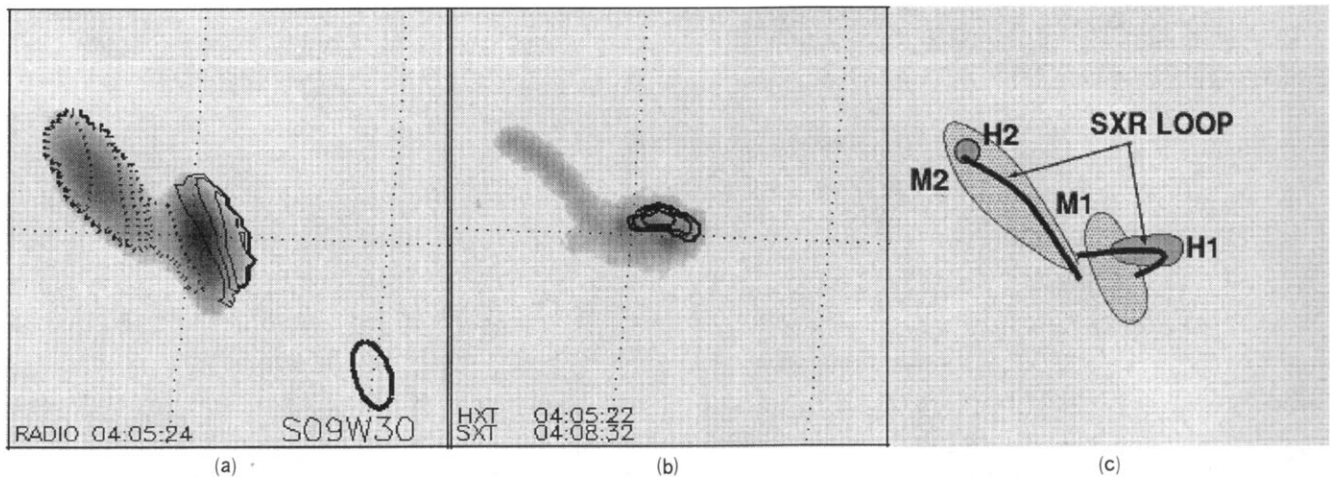


図1 マイクロ波およびX線で撮影した太陽インパルス・フレアー
(M1, M2はマイクロ波源, H1, H2は硬X線源, SXRは軟X線源を表す。)

波帯で観測されるフレアーは、高温のプラズマからの放射（熱的放射）と加速電子からの放射（非熱的放射）が混在して見えていることが多く、その割合はフレアーごとに大きく違っている。フレアーにおいて放射される強いマイクロ波は、コロナ磁場の強さや形状に強く依存しており、このことがマイクロ波帯でのフレアーの解析を難しくしている原因の一つである。しかし、逆に言うコロナ磁場の情報をふんだんに含んでいるということでもある。ひとつひとつのフレアーにおいて放射されるマイクロ波が熱的過程によるものか、あるいは非熱的過程によるものかは、多くの場合、強度の時間変化や観測されたマイクロ波源の円偏波率などを調べることにより判別できる。また、非熱的放射の場合、マイクロ波と硬X線で放射に寄与する電子の起源が同じだとすれば、両者の時間変動と相似性を調べて放射過程を推定することも可能である。以上のことからわかるように、硬X線とマイクロ波の望遠鏡により同時観測されたフレアーを比較、解析することにより、比熱的な放射の原因となる加速電子のエネルギーや寿命、放射領域の磁場強度や形状などの情報だけでなく、加速粒子の起源、すなわち、どのようなプロセスによって加速粒子が作られたのか、というところまで迫ることが期待できる。

2. 観測機器の性能が向上すると

太陽フレアーには1回あたり 10^{32} ergのエネルギー（これは現在人類が消費しているエネルギーの数万年分）を放出する大きな規模のものから 10^{27} ergぐらしか放射しない小さな規模のものまで様々である（軟X線での観測ではこれよりもはるかに小さな規模の現象も見つかっており、検出感度との競争ではあるが）。

大きなフレアーでは、マイクロ波からガンマ線までなんでも放射しており、放射源も大規模に広がっている。これに対し、小さなフレアーの中にはただ単に大きなフレアーをスケールダウンしたものではなく、フレアーの素過程の一部だけが突出して見えているものがある。観測機器の検出器の感度が向上することにより、こういった一部の特徴が強く現れる小規模フレアーの画像を数多く集めてフレアーの素過程を調べていくという研究方法が可能となる。このようなことから、「ようこう」HXTと国立天文台野辺山太陽電波観測所の電波ヘリオグラフで同時観測されたフレアーの中から硬X線、マイクロ波ともに非熱的電子による放射が卓越していると考えられるフレアーを選び出し、両者の画像を比較して共通する性質について調べた。非熱的電子による放射が卓越したフレアーの多くは一般的に時間変化が速く（時間変化が速いことからインパルス・フレアーと呼ばれる）、時間平均して検出感度を上げるという方法がとれない。この意味で検出器の感度向上が必須であった。また、地上の観測装置による画像と詳細に比較する上では衛星自体の姿勢安定性の向上、搭載望遠鏡の指向精度向上も極めて重要な要因であった。太陽活動の第22サイクル（太陽活動は約11年で増減し、活動の極小期の間を1サイクルとしている。「ようこう」はこの活動の極大期に打ち上げられた）の中で解析できたフレアーは24イベントで、これは第22サイクルで画像として同時撮影できた全フレアーの約半分である。

3. 形態的な分類とその先にあるもの

HXTと電波ヘリオグラフでほぼ同時に撮影されたフレアーの画像の例を図1に示す。このフレアーは

1994年1月6日04:05UTに撮影されたもので、硬X線およびマイクロ波でのフレアーの継続時間は約40秒、その間に継続時間10秒程度のスパイク状の変動が繰り返し見られた。図1 (a) はマイクロ波の強度を濃淡画像、円偏波率の程度を等高線で示したものであり、実線で描かれた等高線は右円偏波成分が卓越している領域、破線で描かれた等高線は左円偏波成分が卓越している領域を表している。図1 (b) は硬X線の強度を等高線で、またほぼ同じ時間に撮られた軟X線画像を濃度画像で示したものである。図 (a), (b) とともに視野は2.6分角×2.6分角で、画像間の位置合わせの精度は5秒角以内である（ちなみに、太陽の可視光での視直径は32分角である）。図1 (c) は硬X線源、軟X線源、マイクロ波源の位置関係と形状を模式的に示したものである。マイクロ波の偏波率の分布は、おおまかにいうと放射に関連した磁力線がどちらを向いているかを表している。図1 (a) および (b) からは、硬X線のループ状構造H1が双極磁場を結ぶように存在していること、この場所から北東側（図の左上側）にむかって伸びるマイクロ波のループ状構造M2が存在していること、さらにその北東側の足元には硬X線のパッチ状構造H2があることなどがわかる。

このフレアーを含めた24イベントについて硬X線とマイクロ波の画像を重ね合わせ、放射源の形状や時間的な進化、放射源相互の位置関係、マイクロ波における偏波率の変化（＝コロナ磁場の向きの変化）を形態的に調べてみると、その多くが (a) 位置が一致したふたつの硬X線源およびマイクロ波源、(b1) ふたつのマイクロ波源とその一方に見えるひとつの硬X線源、

(b2) ふたつのマイクロ波とその一方に見える二重硬X線源、(c1) 2重硬X線源とそこから伸びたマイクロ波源、(c2) 3つの硬X線源とそれらをむすぶ伸びた形状のマイクロ波源、の5つの形態のどれかに属することがわかった。図2は上に示した5つの形態を模式的に示したものである。この結果に、検出感度や空間分解能などの望遠鏡の性能限界に依存した放射源の見え方の違いを加味すると、5つに分類されたフレアー群に共通する基本構造が浮かび上がってくる。これは大雑把に言う、「フレアーに関連している磁気ループは1本だけではなく、複数同時に存在している」、「その複数のループは長さが大きく違う組合せになっている」ということである。なお、同様の結果は、筆者らの方法とは別の解析法（マイクロ波および硬X線、軟X線の画像上で3つ以上の放射源が捕えられたフレアーを集めてその特徴を調べるという方法）においても報告されている。望遠鏡群が、この結論を導き出すのに非常に適した性能まで向上していたというべきであろうか。

4. 磁気ループの姿を想像する

得られた結果は比較的単純なものであるが、得られた画像の上に更に光球面磁場の観測データを重ね合わせると、フレアーの前後におけるコロナ磁場構造の変化が想像できるようになる。p.1の図は、観測結果から想像をたくましくして描いたコロナ磁場構造である。フレアーにおけるエネルギーの供給源として、磁気再結合による磁場エネルギーの解放を考える研究者は多く、p.1の図はその立場に立って描いたもので

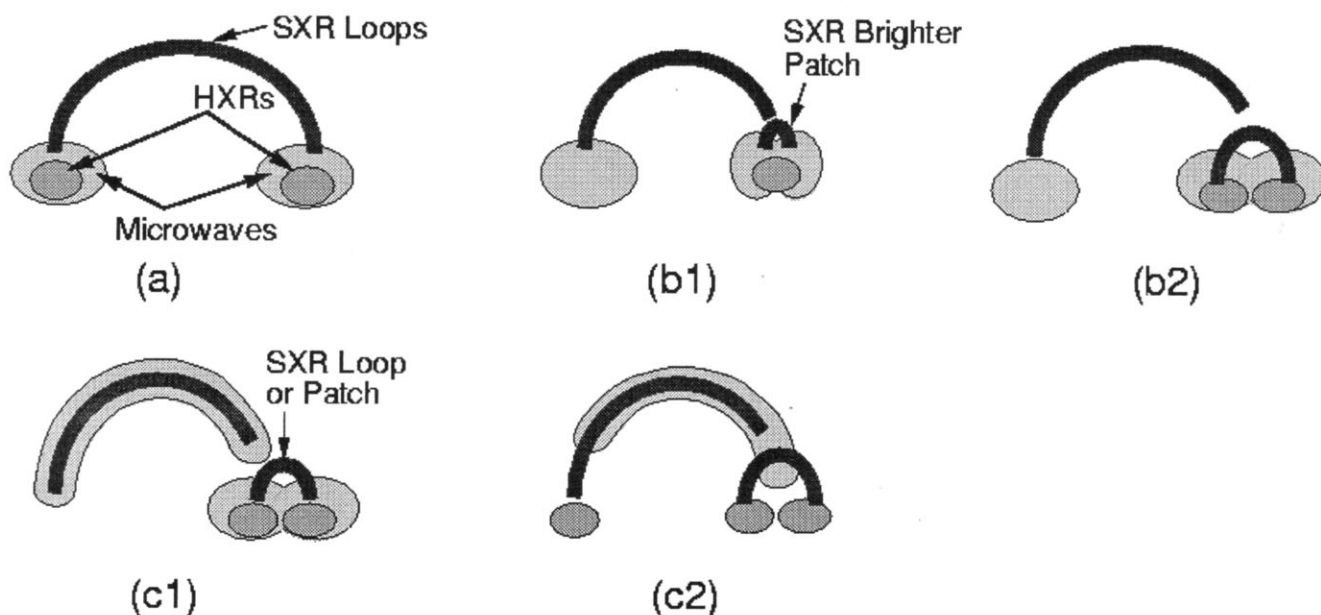


図2 インパルス・フレアーの5形態（HXR:硬X線源、SXR:軟X線源）

ある。コロナ磁気ループが不安定な形状(ポテンシャルの高い状態)から安定な形状(ポテンシャルの低い状態)に変化するときにフレアーへのエネルギー供給が起きるとし、フレアー前の磁場構造(プリフレアーループ)とフレアー後の磁場構造(ポストフレアーループ)が描き込んである。もちろん、観測されるのはポストフレアーループの方である。この図では、さらにフレアー前に磁気的なエネルギーを蓄えるための機構として、光球面下からの磁気浮上現象を想定して描いてある。この考え方は、Heybeartsらによって1977年にすでにフレアーの発生機構のモデルとして提案されているものであるが、「ようこう」HXTと電波ヘリオグラフによる観測はこのモデルと矛盾しない結果を与えているとともに、より具体的、詳細な解析を可能としてくれている。事実、「ようこう」HXTと電波ヘリオグラフで捉えられた多くのフレアーについて、コロナ磁場構造とその時間変化を理論的あるいは数値的に理解しようとする研究が進められている。

上記に示した磁場構造の報告より前に、「ようこう」のSXTおよびHXTでの観測から、カスプ状のコロナ磁場構造(SXTで最初に報告された事例はろうそくの炎のような形状をしていた)がフレアーの起源に強く関わっているということが発見されており、太陽物理学、とくに太陽フレアー物理学に強いインパクトを与えた。したがって、この観測結果と硬X線およびマイクロ波観測から得られた上記の結果がどのように関係づけられるのか、ということを経今後解明していかねばならない。うまくすれば、磁気再結合のバリエーショ

ンとして簡単に説明できてしまうかもしれない。また、カスプ状の磁場構造が観測されるフレアーが比較的大規模なフレアーであるのに対して上記のフレアーにおいて放射される総エネルギーが1桁~2桁、あるいはそれ以上小さいことなどから、p.1の図にあるような磁気ループ同士の相互作用による磁場のつながりかわりをカスプ状に見えるフレアー磁場構造の構成要素(ビルディングブロック)と捉えている人もいる。しかし、たとえば竜巻を大きくしたもの、あるいは複数組み合わせたものが台風であるとは言えないように、ここで示した硬X線とマイクロ波で顕著な放射を示すフレアーがカスプ状の磁場構造の構成要素とは考えにくい面もある。理論家でない筆者が語るのはおこがましいが、「何でもあり」のフレアーではなく、ある種の特徴が強調されたフレアーの一群を理論的に説明する方が比較的易しく、解明が早く進むのではないかと期待している。

5. さいごに

衛星搭載の望遠鏡および地上の電波望遠鏡の感度や空間分解能の飛躍的向上、衛星の姿勢安定性の飛躍的向上などにより、フレアーの素過程に迫るような、また多波長領域での厳密な画像の比較が可能となってきた。しかし、p.1の図に描かれた磁場構造には、望遠鏡の感度や解像力の限界により観測できていない多くのことがらが入れ込まれている。観測機器への要求は尽きない。

(にしお・まさのり)

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											
M-V-4 計器合せ (ISAS)												第1組立オペレーション (KSC)											
ASTRO-E 熱真空試験 (ISAS)												機械環境試験 (ISAS)											
MT-135-70,71 フライトオペレーション (KSC)												衛星分解・衛星最終組立 (ISAS)											
第2次大気球実験 (SBC)												S-310-29 計器合せ (ISAS)											
												KM-V 1 着火試験 (NTC)											

★人事異動（教官）

発令年月日	氏 名	異 動 事 項	現（旧）職等
		（採 用）	
11. 7. 1 "	まつ 浦 周 二 きた 北 蘭 幸 一	宇宙圏研究系助手 宇宙輸送研究系助手	
		（転 入）	
11. 7. 1	さか 坂 尾 太 郎	共通基礎研究系助教授	国立天文台野辺山太陽電波観測所助手
		（所内昇任）	
11. 7. 1 "	中 川 貴 雄 都 木 恭一郎	宇宙圏研究系教授 宇宙推進研究系教授	次世代探査機研究センター助教授 宇宙推進研究系助教授



★平成11年度第1次大気球実験終了

平成11年度第1次大気球実験は、平成11年5月10日から当初の予定より4日延びて6月3日まで三陸大気球観測所において実施されました。この期間にB3型気球1機、B150型気球1機、B100型気球1機の計3機を放球しました。

B3-1号機の実験は、6月号に記したとおり、将来の大型スーパー・プレッシャー気球開発の第1歩を踏み出すことができました。

B150-4号機は、5月24日に放球されました。実験の目的は、高エネルギー一次電子のスペクトルを測定することにより、宇宙線の銀河内伝播の情報および宇宙線の源を調べることでした。観測器は20時間の飛翔後、青森県深浦港西方40kmの海上に緩降下させました。観測器は7月8日に完全な形で無事回収されました。

B100-6号機は5月31日に放球されました。実験の目的は、クライオジェニックサンプル法による成層圏大気の採集でした。当日はジェット気流が弱く、太平洋側に気球が余り進行しないことが予測されたため、上昇速度を1.5m/s～2m/sにコントロールし、上昇中に大気の採集を行いました。大気の採集は、当初予定した高度14kmから35kmまでほぼ等間隔に11高度で行うことができました。観測器は海上に着水後30分で無事回収されました。採集された大気試料は、研究室に持ち帰り、さまざまな成分の濃度、同位体の測定を行うことにより、成層圏における大気循環や光化学反応過程の解明に大いに役立つと期待されております。

（山上隆正）

★MUSES-C無重力試験

衛星を回転しながら分離できるスプリングの無重力試験を北海道上砂川町の無重力実験塔で行いました。主衛星の横に小型衛星をちょこんと置いて、一緒に宇宙まで運んでもらう。回転しながら分離すればある程

度の姿勢安定は確保できるので、大層な姿勢制御装置はなくてよい、という発想から小型衛星用分離機構として開発しているもので、MUSES-Cカプセルの分離にも使います。今回の試作品は設定したスプリング力が弱く、重力下では衛星の重さに負け伸展できないために「無重力環境での分離試験」となりました。まず心配したことは「4月の北海道にオーバーコートは必要か」です。往きに立ち寄った大通公園の日射しは暖かく、半袖短パンの人々で賑わっていましたが、山沿いのあちこちに山積みの雪が残り、無事試験を終え帰る日は小雪が舞うホームで長いこと電車を待ちました。「甘く見てはいけない」というのが最大の教訓でしょうか。（石井信明）

ターゲットマーカの試験も行いました。ターゲットマーカとは、MUSES-Cに搭載される航法装置のひとつです。MUSES-Cでは探査機が小惑星表面に接地する30分くらい前に、ターゲットマーカを地表面に投下します。探査機は投下されたターゲットマーカを灯台代わりにして、安全に小惑星に接近・接地するのです。ところが、小惑星のようにほとんど重力が働かないところに物を投下しても、工夫をしなければ、大きくバウンドをしてしまい、灯台代わりとすることができません。今回の試験では、新たに工夫した低反発機構の有効性を確認することを目的に3回の落下実験を行い、貴重なデータを取得することができました。また小惑星表面での新しい移動メカニズムの検証も併せて行い、良好なデータを得ることができました。（澤井秀次郎）

★M-V-4号機モーションテーブル試験終了

去る5月18日から開始した、ASTRO-Eを打ち上げるM-V-4号機むけのモーションテーブル試験は、無事6月18日に終了しました。毎号機のこととはいえ、搭載される慣性センサ、航法・誘導計算機を用いる最終の

試験であるだけに、試験は慎重を期し、時には深更におよぶまで十分な時間を費やして行われました。今号機の飛翔シーケンスは、M-Vになっては初めての標準機構成です。M-Vロケットの第2段目は、5号機からは新型のモータに移行する予定で、制御系の要素としても、LITVC（2次流体噴射式の推力方向制御器）は可動ノズルに変更されることになっており、今回での試験が最後になります。第1、2段の制御には、格別の変更はありませんが、第3段での衛星分離では、これが標準ではありますが、姿勢を180度反転させる制御が導入されています。これは、衛星が最初の遠地点で行う近地点高度上昇のためのマヌーバを、円滑に行わせるために行われる、打上げロケット側からの支援です。姿勢は、第3段が燃え終わってほどなく、鹿児島から可視の間に、地表面方向を経由して正反対の方向へと移行します。ちょうど、鹿児島に望遠鏡の開口部が向くこととなります。衛星分離の際の追突防止のマヌーバも今回から初めて採用された方式で、第3段のロケット側の姿勢制御装置(SJ)を用いて、姿勢をほぼ進行方向から鉛直に近いむきにまで方向を変え、残留推力加速度と姿勢操作によって発生する自らの回避運動を併用して、衛星から退避するマヌーバです。今回は、衛星分離はクリスマス島からの可視時間帯の中で行われる予定です。最終日の6月18日には、所内関係者へのデモンストレーションも行われ、普段はなかなか関心を集めにくいこのモーションテーブル試験ではありますが、大勢の方々にご高覧いただくことができました。まずは、無事、姿勢制御系試験は終了ということで、ASTRO-E打上げに向けて1ステップ進めることができたことをご報告いたします。（川口淳一郎）

★DASHの開発進む（表紙写真参照）

来年2月の打上げを目指して、現在DASHの開発が進められています。DASHは、将来のサンプルリターンミッションに必要な大気圏再突入技術の確立を目指したいわば工学試験衛星ですが、静止トランスファー軌道に打ち上げた後、軌道離脱して大気圏に再突入し、最終的にパラシュートで緩降下させ回収しようというもので、大気圏に再突入するカプセル部と軌道上での姿勢制御、軌道離脱を行うオービター部からなっています。カプセル部が20キロ、全重量が約90キロという小型の衛星で、現在宇宙開発事業団で開発中のH-IIAロケットでピギーバックミッションとして打ち上げられることになっています。昨年から開発を進めていますが、詳細設計もやっと収束し、サブシステムの開発が進められています。表紙の写真は先日あきる野施設で行われたDOMの燃焼試験の様子です。DOMは軌道離脱用の固体モータで、その性能を正確に把握する

ことが試験の目的です。DASHはピギーバックミッションで、重量や大きさに制限があり、そのため、DOMの長さも出来るだけ切りつめる必要がありました。このため、写真からもお分かりのように、ノズルを極端にモータ燃焼室に押し込めた設計になっています。今後の予定として、8月中旬から噛合せ試験を行い、10月から総合試験を行う予定です。今年の冬期は、ASTRO-E衛星の打上げが予定されているため、試験等のスケジュール調整が難航していますが、関係の皆様のご理解を得ながら進めていくことになります。DASHは小規模のミッションながら、打ち上げに関しては、宇宙開発事業団、軌道決定に関してはチリ大学など、宇宙研内外のさまざまな協力を得ながら進めております。打上げまで1年を切り、あわただしく準備を進めておりますが、関係の皆様の更なるご協力をこの場を借りてお願いしたいと思います。（安部隆士）

★LUNAR-A打上げ延期

LUNAR-Aミッション（第17号科学衛星）は平成11年度夏期の打上げを目指して準備を進めてきたが、平成10年11月～12月に行われたペネトレータの貫入時における耐衝撃性に関する最終確認試験において、ペネトレータ内部に不具合が発見され、その対策に時間がかかるために打上げを延期することにした。

ペネトレータの耐衝撃性の最終確認試験は、米国エネルギー省サンディア国立研究所において行われたが、この試験においてペネトレータ内部に使われている計測機器固着用のポッティング材の内部に一部クラックが発生、伝播し、計測回路の電子基板の層間剥離、計測回路とDPU部間をつなぐフレキシブル基板の破損が起きていることが判明した。また月震計の要素である6本のバネ材のひとつにも破断が発見された。これらの不具合の対策方法とその確認方法などについて、現在詳細な検討が行われている。（水谷 仁）

★第6回アジア太平洋地域宇宙機関会議

さる5月24日から27日まで、宇宙開発事業団つくば宇宙センターにおいて、第6回アジア太平洋地域宇宙機関会議（APRSAF）が開催され、当該地域から20カ国2国際機関の代表108名が出席しました。今回の特徴は、恒例の地球観測、リモートセンシングなどの情報交換に加えて、宇宙教育のセッション、来る7月にウィーンで開かれる第3回国連宇宙会議（UNISPACE 3）への準備討議が行われたことでした。会議では、私が総合議長をつとめました。科学技術庁・宇宙科学研究所・宇宙開発事業団の共催でした。（的川泰宣）

宇宙のレントゲン写真を撮る ……スーパーミラー硬X線望遠鏡

名古屋大学理学部 田 原 譲

X線は物質中で強く吸収され、屈折率が1よりわずかに小さい、という特徴を持ちます。このことはX線の光学系を作る上で、屈折レンズが作れないこと、反射鏡は全反射のみが利用できることを意味します。しかも屈折率の1からのずれが非常に小さいため、全反射は鏡面すれすれの角度の光線に対してのみ有効です。例えば光子のエネルギーが1keV（キロ電子ボルト）のX線が金の鏡面で全反射するのは鏡面から2°以下のすれすれの角度に限られます。この許容角度はX線のエネルギーが高くなるほど小さくなってしまいます。このようなX線の性質があるため、X線望遠鏡はすれすれ角反射を利用した斜入射鏡と呼ばれる特殊な反射鏡を用いる必要がありますし、また、これまでのX線望遠鏡は低いエネルギーのX線に対する望遠鏡から順次開発されてきました。

1978年に打ち上げられたアインシュタイン衛星や、1990年のROSAT衛星では4keV以下のX線に対してのみ撮像が可能でした。これを鉄原子の特性X線が観測できる6-7keVのX線まで観測領域を広げたのが、「あすか」に搭載され、ASTRO-Eにも用いられるX線望遠鏡です。この望遠鏡の特徴は0.5°以下という小さな斜入射角で大面積の光学系を実現するため、厚さ0.15～0.20mmと極端に薄い鏡を直径35～40cmの望遠鏡の半径方向に120-170枚も入れ子状に設置してあります。この望遠鏡の『極端さ』は直径40cmのX線望遠鏡に必要な鏡の延べ面積が直径数メートルの鏡に対応することでもわかります。

より高いエネルギーのX線が観測できる望遠鏡は、同様の方法ではより以上の極端さが必要となり、実現が困難です。このため、大きな斜入射角でも高いエネルギーのX線が反射できる鏡が求められていました。そこで登場するのが多層膜と呼ばれる特殊なコーティングです。もともと、X線は結晶によって大きな角度に散乱されるブラッグ反射と呼ばれる現象が知られていました。結晶では原子がちょうどX線の波長と同じ程度の間隔で規則正しく並んでいるため、原子で散乱されたX線が干渉し、反射するのです。

多層膜は白金やモリブデンなどの重元素とベリリウムや炭素などの軽元素を交互に一層当たり数ナノメートルの厚さで数十層、人工的に鏡の表面に重ねたものです。いわば奥行き方向に周期性を持った一次元の人

工結晶です。多層膜はその周期長や層数、重・軽元素の組合せで、その性質をある程度自由に変わります。例えば、結晶では特定の角度で反射できるX線の波長（またはエネルギー）は非常に狭い範囲に限られますが、多層膜では反射可能な波長（エネルギー）の範囲を広げることができます。

実際に作成した白金1.4ナノメートル、炭素1.4ナノメートルの厚み、積層数60、界面粗さ0.3ナノメートルの多層膜では、8keVのX線に対して斜入射角1.6度で反射率は約50%にもなります。単一物質の鏡では反射率は0.1%以下に過ぎません。ただしこの多層膜では入射角1.6度の条件で反射できるX線エネルギーの範囲は8keVを中心として相対エネルギー範囲が6%位と小さなものです。それでも結晶に比べれば随分広いエネルギー幅ですが、汎用のX線望遠鏡としてはより十分広いエネルギー幅を持つことが重要な性能です。

多層膜の周期長を表面近くでは広く、奥に行くほど狭くといった具合に変化させると、表面近くの多層膜ではエネルギーの低いX線が反射され、透過力のあるエネルギーの高いX線は表面近くの層を透過し奥の多層膜で反射され、単純な多層膜に比べ有効に反射するX線のエネルギー幅を広くできます。これが多層膜スーパーミラーと呼ばれるもので、特にエネルギーの高いX線で有効です。実際の多層膜スーパーミラーではブラッグ反射の原理である干渉のプロセスが吸収と複雑にからみ合うため、その設計にはコンピュータが用いられ最適化が行われます。実際に実現した白金と炭素を周期長が6.2から8.8ナノメートル、全積層数70のスーパーミラーは、25から40keVものエネルギーの高いX線に対して平均20%の反射率が得られています。スーパーミラー製作上の課題は、現在理論上の反射率に届かない原因となっている界面粗さをいかに小さくするか、また斜入射光学系であるために必要な大量のスーパーミラーをいかに効率良く形成するか、にあります。

スーパーミラーを応用した硬X線望遠鏡による最初の天体観測は、名古屋大学とNASAにより気球を用いて来年の夏に予定されています。また将来のX線衛星への搭載も期待されています。硬X線による本格的な撮像観測はその高い検出感度を活かし、普通の銀河の中心に潜む巨大ブラックホール探査などに活躍することでしょう。（たわら・ゆずる）

ミラノの空港に着陸直前、窓から観ると、緑の中にヨーロッパ特有のレンガ色の屋根があちこちに点在していました...「これがイタリアだ!」。

「2nd ISAS-TEMPE Joint Workshop」に同行せよと高野教授から命令を受け、期待と不安を胸に成田を出発、シベリヤを横断しての約13時間の西走は、5月の末、コソボ紛争の真最中でした。

「TEMPE」とは「イタリア国立研究評議会材料及びエネルギープロセス技術研究所」という超長い名前の略称です。そして、宇宙研との共同研究の約定に伴う2年に1回のWorkshop（研究集会）の第2回目です。

会議場のある場所は、北部のミラノから南南西に車で約3時間ほどの、地中海の小さな入り江に面する「ボナッソーラ」という町です。海岸（海水浴場）から数メートル高い場所にある小さな元教会の建物（写真1）が会場で、中にはいると、外の強い日差しとは逆にひんやりと涼しく、小ニースと呼ばれるのも頷けます。

正面の祭壇中央にはOHP用のスクリーンが掛けられています。最上部には聖人と天使の彫刻がはめ込まれています。開会当日、ダークスーツに身を包んだ3人の神父様（実は会議の委員）が祭壇上の席に着いた途端、場内は静寂な雰囲気になりました。大題目「宇宙推進及びその材料」と銘打ったセッションは、場所柄とはいえ、厳粛なムードで始まりました。内容は、「ロケットの数学的設計方法」、「推進燃料の性能測定技術」、「ロケットやその火工品の安全管理」、「宇宙開発技術の商用化、低コスト化」等々多岐にわたり、長い間固体ロケットの仕事に携わってきた私にとっては興味深いものばかりでした。スペインの大学から参加した女性科学者エバ助教授は流暢な英語と手慣れた話術で聞き入る人達を魅了し、以前、高野教授の下に研究員として来られていた、ロシア科学アカデミーのボリス教授、

TEMPEのボルピ、ザノッティの両博士も熱弁を振るわれました。合間のディスカッションでは、会の創設者高野教授を中心に、司会者も段から下りて、熱のこもっ

た議論を交わしました（写真2）。

この宇宙へのひたむきな情熱を目の当たりにし、この集会が極めて意義の深いものであると痛感しました。

休憩時間に高野教授が「懺悔してきます」と祭壇左側のカーテンの中に入って行かれ、しばらくして、さっぱりとした表情で戻って来られました。

後でお聞きしたのですが、懺悔室はトイレに改造されたのだそうです。イタリアのトイレでは、水を流すレバーが簡単には見つかりません。縦20cm、横25cmほどの大きな長方形の板を押す場合が多いようです。

脱線ついでに、少しイタリアの感想を述べたいと思います。イタリア語は日本語と同様、母音で終わるため、ややこしい発音の違いを意識せず、会話ハンドブックを片手に単語を読めばどうにか事足ります。しかし、調子に乗って長いフレーズを読み上げた途端、その3倍くらいの言葉が返ってくるので要注意です。

イタリアの鉄道の駅には、その大小に拘わらず、改札口が無く直接ホームに行けます。そういえば、ミラノの地下鉄にも、フィレンツェのバスでも切符を回収する人も設備もありませんでした（但し、切符売り場はあります）。主な都市にはそれぞれ特徴のあるドゥオーモと呼ばれる14、5世紀頃建てられた巨大な教会があり、訪れる人を圧倒します。ある建物内の壁にそれとなく飾られた「ヴィーナスの誕生」を前に、「本物はどこにあるの?」と聞いて叱られました。

歴史上、複雑な変遷を経て、今なお祖先の莫大な文化と伝統を維持し続けるイタリアの底力と余裕を感じずには居られませんでした。

今回の出張では、イタリアの方々の親切さや人なつっこさに触れましたが、特に、Dr. ボルピー、不慣れな私達を精力的な気配りでお世話をしていただき本当にありがとうございました。

末筆ですが、この貴重な体験を得る機会を与えて下さった高野教授と優しい気遣いを頂いた同行の皆様から「グラッツィエ」を申し上げます。NATO軍の離陸許可待ちで約1時間遅れて、「アリベデルチ イタリア」となった次第です。（あらか・てつお）



〔写真2〕白熱した論議の様子



〔写真1〕ボナッソーラの海岸
（会場は、写真ほぼ中央の建物）

空力加熱から機体を守る

山田 哲哉

空力シリーズ第3回目、今回は再突入飛行中の空力加熱から機体を守りましょうという観点から、熱防御、耐熱材料の話をしてと思います。第2回では、宇宙から地球に帰還する再突入飛行体は過酷な空力加熱に曝され、空気の温度は1万度にもなるということが記されていました。機体の内部には、搭載機器の他、小惑星から持って帰ってきた砂があったり、無重力空間で精製した特別な薬品が入ってたりするわけなので、これらの温度が所定値より高くならないように空力加熱から保護すること、つまり熱防御が必要になります。熱防御には幾つか方法があり、それによって使われる耐熱材料も異なります。

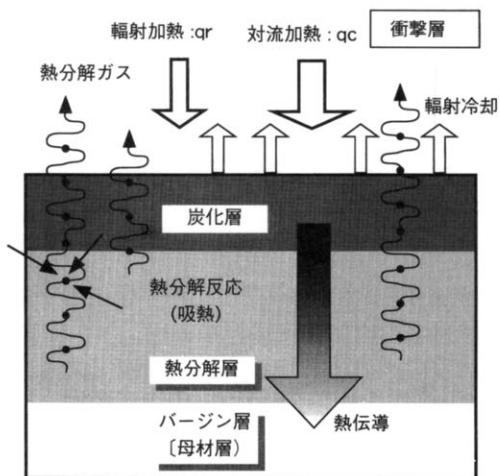
スペースシャトルの耐熱タイルなどにみられる輻射冷却法は、材料が加熱されて高温になると、自ら熱を外に向かって放射するようになることを利用します。輻射熱量は温度が高くなればなるほど（温度の4乗に比例して）多くなり、入って来る空力加熱量と、輻射放熱量が同じになったところで平衡温度になります。後はこの耐熱材自体からの熱伝導が内部に伝わるのですが、ホットストラクチャーと呼ばれる、熱を伝え難い構造を間に挟み込むことで、この内部侵入を防ぎます。この輻射冷却法ですと耐熱材料も再使用できてよいのですが、「平衡温度が材料の溶ける限界以下までの空力加熱までしか対応できない」ということになります。耐熱タイルによる輻射冷却熱防御も、スペースシャトルのように翼を使って再突入する、比較的軽度な空力加熱環境が限度のようです。

MUSES-C再突入カプセルなどの場合のように、シャトルの数十倍も厳しい空力加熱環境に耐えるにはアブレーション熱防御法があり、これにはアブレータと呼ばれる耐熱材料が使われます。例えば同カプセルの $15\text{MW}/\text{m}^2$ の空力加熱という、ざっと平衡温度4000K位まで耐えれば先の輻射冷却が成り立ちそうですが、そうなると内部への伝導熱も無視できず、実際そんな高温まで耐える材料はありません。むしろアブレータは全く逆の発想で、軟弱に焼けて溶けて「熱には耐えていない」のです。アブレータは、もともと炭素繊維、ガラス繊維などに樹脂を含浸させた繊維強化型プラスチックですから、 300°C を越えれば熱分解を始めます。熱分解する際に母材から反応熱を奪います。実は質量あたりの反応吸収熱は馬鹿にならないくらい

大きいのです。アブレータ最表面は熱分解し尽くして炭になっていますが、すこし内側の熱分解層から発生したガスは、アブレータ自体から吸熱しつつ進み、表面に噴出します。そして表面近傍に漂い、1万度にもなる空気と耐熱材料の間の「ふとん」のような役割をして、空力加熱を遮断するのです。さらに良いことに、アブレータは樹脂ですから、熱伝導率が金属やタイルに比べて非常に小さく、別段特別な構造を設けずとも表面の高温を内部に伝え難いという利点も持っています。かくして、アブレータは、溶けて無くなっていきます。まさに身を粉にして内部を守っているといえるのです。地上に降りるまで無くならなければ役目を十分果たしたことになります。「丸裸にならない」、「内部が火傷しない」ように、しっかり計算して予め十分な厚さのアブレータを機体にあてがってやるのが大切です。海外ではアポロ回収部や、ガリレオ木星探査プローブなどの実績がありますが、バスとして使うアブレータは、日本では2000年打上げのDASHミッションが初めてとなり、ここで今までの研究開発の真価が試されることになります。

宇宙研のD棟1階にあるアーク風洞では、実際に1万度くらい的高温空気を発生させて耐熱材料の高温空気下における振る舞いを研究もしています。アブレータの加熱試験をすることを専門用語(?)で我々は「アブる」と言っていますが、お時間のあるときはぜひ一度「アブって」いる所をごらんにいらして下さい。

(やまだ・てつや)



アブレーション熱防御の様子



敵は本能寺にあり？

宇宙開発事業団 技術研究本部 長 島 隆 一

少し前にISASの鶴田・中谷の両先生と、旧宇宙研前の「林檎の樹」で、芋焼酎でなく珈琲を飲みながら、雑談を交えた鼎談^{ていだん}をしたことがあります。

話の中心は、「最近のNASAは先端技術開発に非常に力を入れており、本当に驚くばかりだ。今、日本は従来の（技術的）財産を食い潰して何とかやっているが、このままだと益々差がついてしまう。NASAを始めとする外国は宇宙（科学）にとって協力者でも勿論あるが、競争相手でもある。もうISASだNASAだなんて云々している時ではないと思う。そのためには、NASAなどと比べ資金・マンパワーに限りがあるから、総花的でない重点主義的なシナリオを協力して作っていく必要がある」という主旨の危機感を含んだものでした。宇宙に携わる人の特性として「心意気は少年、行動は老練な政治家」が必要であるとの持論を持っていますが、少年のように真摯^{しんし}に日本の宇宙の行く末を憂う先生方との会話は涼風にも似たさわやかさを与えてくれました。

その時、普通なら苦笑を誘う話を旧海軍航空隊にいた親父から聞いたことを思い出しました。「海軍と陸軍とは仲が悪く、強力すぎる連合軍との負け戦の中でも、喧嘩しないように、軍事予算を半々にし、アルミなどの航空機資源も半々に分けるというお粗末なことをした。また、少なくとも同じ会社内ならば海軍機と陸軍機は部品や運用方式を規格化すべきなのに、別会社のような感があった。どっちが敵なのか判らないような縄張り争いの戦い方であり、敗戦直前に協力しようとしたが既に遅く、負けて当然だったと云える」この古い話を笑える人は我々の中で何人いるでしょう。

ところで、月探査のための周回衛星（SELENE）の開発をISAS/NASDA共同プロジェクトとして現在実施しています。正直言って、従来の両者の関係は必ずしもスムーズなものではなかったことは多くの人が知っ

ています。しかし、このプロジェクトが本格的に始まって約3年が過ぎましたが、手前味噌的ながらNASDA側のまとめ役である私から観て、お互い楽しくやっています。少なくとも不愉快な思いをしたことは一度もありません。これは、次の理由によると云えます。

- ①お互いが築き上げてきた文化（方法）を押し付けるのではなく尊重し、要は「形式的でない効率的・合理的なものの作り」を目指し、両者の文化の融合・発展を構築するように努めている。
- ②「金は天下の回りもの」と考え、お金の出し方で発言や権利などを制約せず、参加者は組織を極力意識せず、チームの一員として行動するように努力している。
- ③特に、科学ミッション機器については、従来の方法（PIをリーダとした実験物理屋的な方法）を基本とし、今までのモラルを維持するよう留意している。
- ④要はチームを構成する人が決め手である。ISASの鶴田・水谷・中谷・佐々木の諸先生方を始めとする皆さんの人柄と高い見識に負うところが多い。

ところが、「今は初期段階だから問題ないが、何時かは喧嘩をするに決まっている」とか「烏合^{うごう}の衆の集まりだからプロジェクトは失敗するだろう」、「相手のやり方に毒^{みさお}されてしまい、操^{みなぎ}を売ってしまっている」などの声をチーム以外の人達から聞くことがあります。彼等が心配してくれていることも解りますし、謙虚にその意見を聞きたいと思いますが、どうか温かい眼差しで見守って頂くこともお願いいたします。今後、省庁合併などの問題からもISAS/NASDAの関係は様々な議論されていくでしょうが、このSELENE計画の成否は、これからの両機関の付き合いの雛形^{ひながた}の一つになると信じており、チーム一同楽しく頑張りたいと思います。

（ながしま・りゅういち）

ISASニュース

No.220 1999.7

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 042-759-8009

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>）。