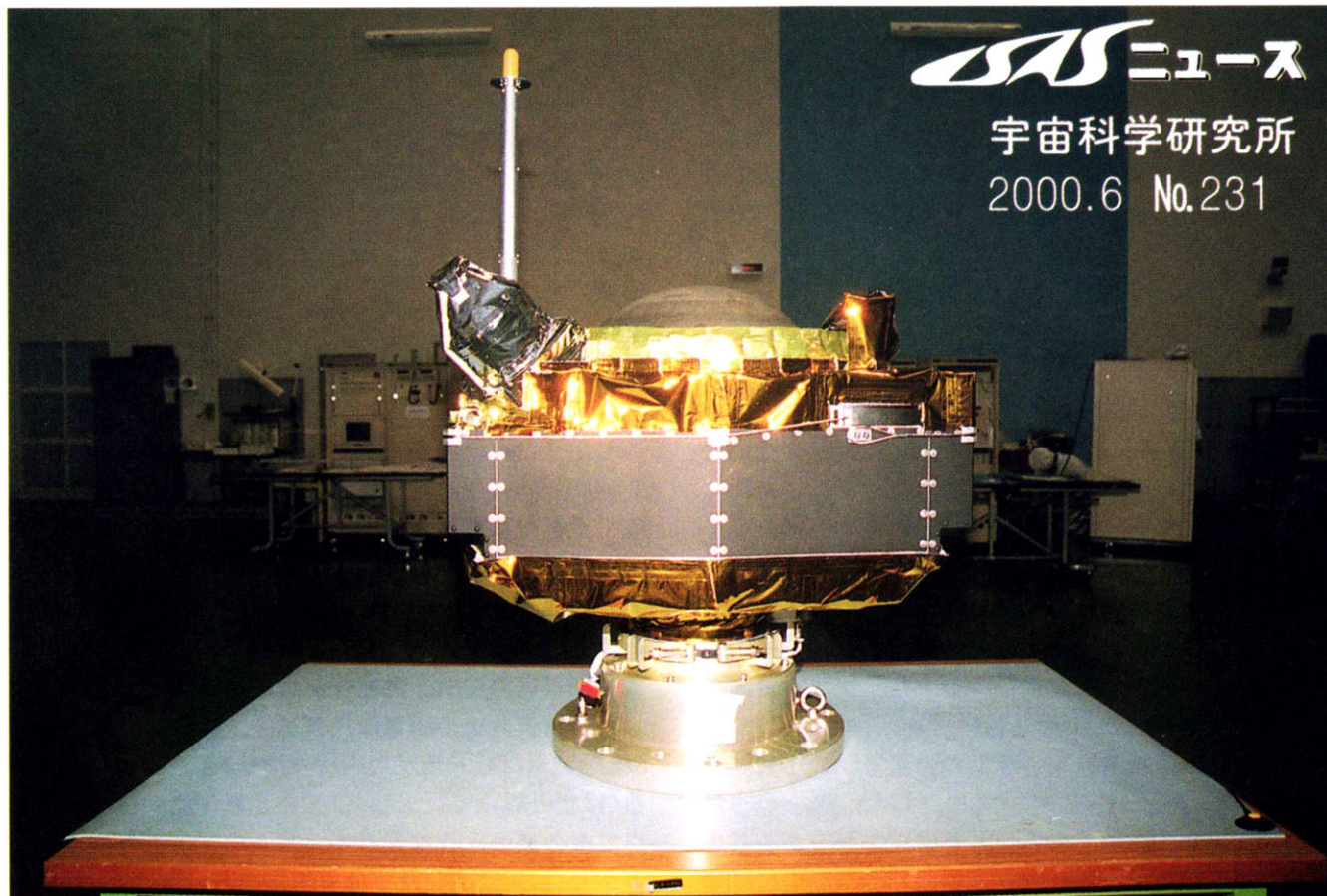


SAS ニューズ

宇宙科学研究所

2000.6 No.231



▲DASH Flight Model (本文記事参照) (撮影：佐瀬育男)

〈研究紹介〉

「ようこう」と太陽物理学の急展開

国立天文台 常田 佐久

「ようこう」は、「太陽フレアはなぜ起きるか？」という太陽物理学最大の課題の一つをほぼ解決したのみならず、マイクロフレア(小型フレアのことですがコロナの加熱に重要な意味があります)や秒速数百kmに達するX線ジェット、数億度に達する超高温の火の玉、などの新現象を次々と発見しました。今でこそ、「ようこう」の成果により、磁気リコネクション(=磁場の繋ぎ替え)とか磁力線消滅とか呼ばれる「宇宙エンジン」がこれらの現象を引き起こしていることは広く受け入れられていますが、「ようこう」以前の学会の雰囲気や教科書の記述は、かなり違っていました。ここでは、我々が、「ようこう」の観測データから一步一步どのようにして、この結論にたどり着いていったのかを、書いてみたいと思います。

91年の9月中旬に「ようこう」衛星の定常運用が始まると、我々のまずしたことは、普及し始めたばかりのワークステーションの前に座ってX線画像のムービーをひたすら眺めることでした。打ち上げ後最初の数年

間は、(運用に忙殺される中)フレアの画像を、上から横から斜めから(フレアはいろいろな場所にかかるので実際にこれが可能です)、ひたすら見ることに費さ

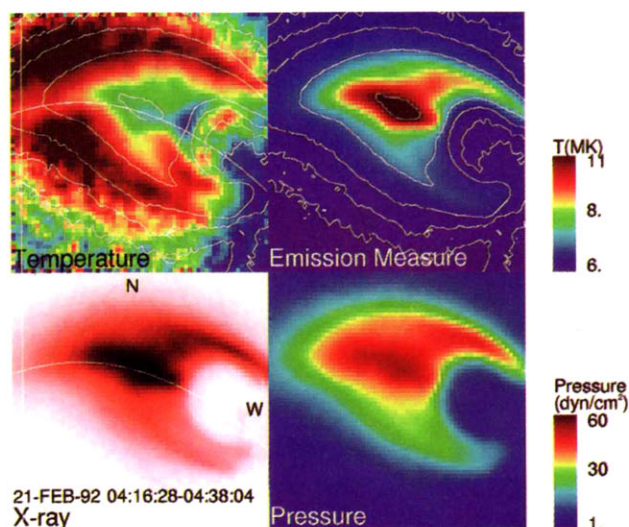


図1 太陽の淵で発生した巨大なフレア

れたといっても過言ではありません。モルフォロジー（観測対象の形態学）は、天文学では重要で、すべての基本です。「太陽は磁場のエネルギーによりたまに大爆発が起きる以外は静かな世界」と漠然と思っていたのですが、まずびっくりしたのは、あちこちでピカピカと小さいX線の増光（＝爆発）現象が起きており、大変綺麗であったことです。X線像を子細に調べていくと、単独の磁気ループが光っている例はほとんどなく、融合中の染色体のような複数のループが絡み合った例がたくさん得られました。N極とS極が複雑に分布する所で小型爆発が頻発しているらしい——これらの爆発現象は、磁気のエネルギーを使っているに違いないので、磁場の強い黒点の真中（暗部という）ではさぞかし活発な爆発があるに違いないと思い観測すると、そこは常にX線で真っ暗でした。数千ガウスの強い磁場があっても整った単極の磁場だけでは、爆発しない——磁場が強いだけではダメで、N極とS極が接していることが重要に違いない。このころから、磁気リコネクションという言葉が聞かれるようになってきました。

ここで磁気リコネクションについて少し説明します。（磁気リコネクションについては、ISASニュース3月号の研究紹介に前澤先生の分かりやすい解説がありますので、御参照下さい）図2に示したような反平行磁場が向き合いながらプラズマが流れ込む状況を考えます。（反平行磁場が向き合う面を磁気中性面といいます）磁場はプラズマといっしょに動くゴム紐のようなものだと考えることができます。引っ張られたゴム紐はエネルギーを蓄えているので、強い磁場は目には見えなくても巨大なエネルギーを持っているし、プラズマに対して力を及ぼすことができます。反平行磁場を両側から押してやっても、反対方向の磁場は消滅できませんが、磁気中性面で電気抵抗が極端に増大すると、磁力線は図2のようにつなぎ変わることができます。つ

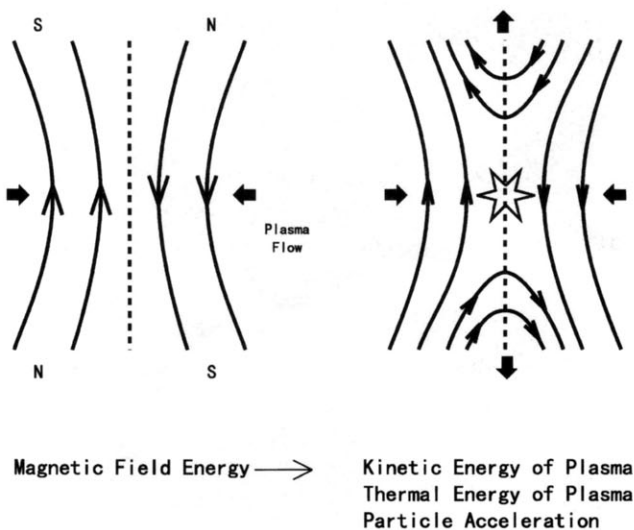


図2 磁力線つなぎかえ

21-FEB-1992 Flare SXT Image Filter : Al.1

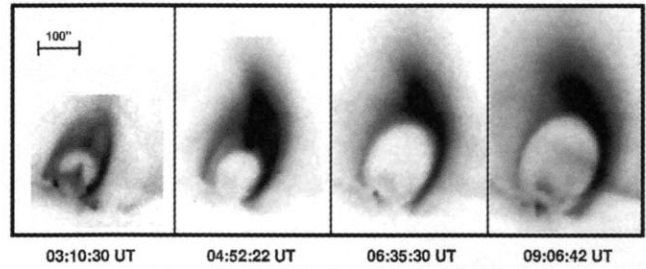


図3 太陽の淵で発生した巨大なフレア

なぎ変わった磁力線は、つなぎ変わる前に比べて押し曲げられているため、ゴム紐の張力によりプラズマは押し出され高速に加速されます。これが磁気リコネクションと呼ばれる現象です。問題は、「磁気中性面で電気抵抗が極端に増大すれば——」という仮定が正しいか？にあり、観測で実証する以外に検証の手立てはありません。実際、反平行磁場を消滅させるには長い時間（～数万年）がかかるため、10分間のフレアにはとても間に合わない、と思われていました。

さて、コロナの磁気ループは、太陽の表面のN極とS極を結ぶため、当然半円状の形状（ループ）をしている（はずと思っていました）。ところが良く見ると、ロウソクの炎のような先の尖ったループがあちこちに見つかりました。図3は、太陽の縁で発生した巨大フレアを「ようこう」の軟X線望遠鏡がとらえた画像です。フレアループと呼ばれるX線で明るく輝くループ型構造は太陽表面のN極とS極に繋がる磁力線の形状を反映しています。ループ上部の尖った部分は、フレアループの上方に磁気中性面が存在することを示唆しています。さらに、図に示したようなループの高さや足元の間隔が時間と共に次第に増加する様子が観測されました。これは、まさに磁気リコネクションの結果、時間と共に外側の磁力線が磁気中性面に運びこまれ再結合する結果として説明することができます。しかし、つなぎ変わるだけではだめで、これが探し求めている巨大なエネルギーを生み出す「宇宙エンジン」なのだろうか？

ところで、プラズマの温度を求めることは大変重要です。なぜ重要かという、熱は例外なく温度の高い方から低い方に流れるので、温度の一番高い場所を探せば、そこに探し求めている未知のエネルギー源があるからです。ある1点のみ温度が高ければ、その1点で何か特別なことが起きている証拠となるし、温度勾配からどれだけエネルギーが出ているかも計算できます。「ようこう」の望遠鏡にもそのような事が出来る仕掛けがしてあります。図1の左下に図3と同じX線画像、左上にX線観測から求めたコロナプラズマ（電子）温度を、図4には磁気中性面を横切る（図1左上図中の縦の白線に沿った）温度と密度の分布を示します。驚く

べき結果は、最も温度の高い部分がX線で明るく見えるフレアループではなく、ループのはるか上方に存在する点です。この部分のX線強度はフレアループの1%にすぎず、これまでの観測では注目されることがなかった部分です。明るいフレアループのはるか上空の暗いコロナに巨大な熱源が線状に分布していることを見付けた時は、感動しました。この画像は、フレアループ上方に磁気中性面が存在し、そこでの磁気リコネクションが加熱メカニズムであることを示しています。フレアループは、実は磁力線がつながり変わった後の冷却しつつあるプラズマであり、温度は低いが密度が高いため明るく見えているにすぎないのです。

第3の証拠は衝撃波(ショック)の存在です。図4の分布図から分かるように、中心部に密度の高い構造があり、その外側で密度が急に減少する部分の温度が最も高く、これは磁気リコネクションにおける電磁流体ショックの構造(図5)に一致します。これは、エネルギー源として重要な「遅い磁気流体衝撃波」の天文学における初めての観測的確認でした、あるいはひかえめに言って、そう考えて矛盾しません。

磁気リコネクション現象の帰結の一つとして、つながり変わった磁力線の「張力」による「パチンコ効果」により、秒速数千kmの高速のプラズマ流が発生することが予想されました。しかし、「ようこう」の観測装置は速度を検出する機能を持たないので、これを検証できません——高速流は本当にあるのだろうか？そうこうするうちに、硬X線望遠鏡のグループが、フレアの上空に温度数億度(あるいはそれ以上)の火の玉がふわふわ浮いているという大発見をしました。その場所を上記のデータに書き込んで見ると、ちょうど高速のプラズマ流がある場所にあることが分かりました。これは高速流により第2の衝撃波が形成されて、粒子の加速が起きているとしか説明できません(図5)。

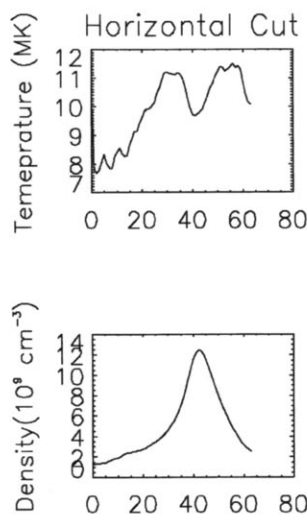


図4 磁気流体ショックの構造を示すデータ

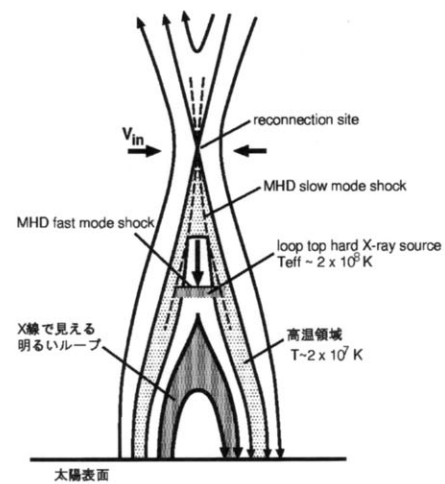


図5 太陽フレアの磁場構造

「ようこう」の打ち上げ後6~7年目にして(データ解析には時間がかかります), パズルには依然として未完の部分はあるものの、多くの人が基本部分は解けつつあると感じはじめていました。1964年にペチェックは、「磁場の消滅」と題する磁気流体力学で最も重要な論文の一つを無名の研究会集録に出版し、その後忽然と姿を消しました。この中で、ペチェックは、10万年かかる磁場の消滅を10秒に縮める機構を、点状の消滅領域と遅い磁気流体衝撃波の導入により、見事に説明していました。「ようこう」の観測結果は、大筋においてペチェックが正しいことを示しています。

磁気リコネクションは、高い効率で磁場のエネルギーをプラズマ加熱と非熱的粒子の加速に転換することができます。磁気リコネクションは、天文学的にはほとんど点であるミクロな現象ですが、その結果としてマクロなサイズの衝撃波が形成され大規模なエネルギー変換が生じるという、非常に面白い物理現象です。これは磁気エネルギーを駆動源とするエンジンであるとも言えます。天文学では、ある物理過程がどれだけ大きなエネルギー源となり得るかが重要です。「ようこう」は太陽フレアの観測を通して、磁気リコネクションと衝撃波が「宇宙エンジン」として働くことを、観測的に初めて証明したと言えます。

「ようこう」の観測により、フレアの強度は一定範囲にあるのではなく、最大フレアの強度6桁下の「マイクロ」フレアまで連続的に分布していることが分かりました。小さいフレアほど発生頻度が高く、「ようこう」の観測感度限界までいっても発生頻度は増大し続けます。これらの結果を外挿し、定常的なコロナの加熱が、非常に多数の超小型フレア(「ナノ」フレア)の集合によるという可能性が新たに浮上しており、現在活発な研究が行われています。フレアーマイクロフレア-ナノフレアは、リコネクションによる磁気プラズマの時間的空間的に間欠的な散逸現象として統一的

に把握すべきであり、この知見は、太陽コロナのみに限らず天体プラズマに普遍的な概念の提出を含んでいると思います。今年3月に東京大学で磁気リコネクションに関する国際会議が開かれました。特筆すべきは、磁気リコネクションの理論の創始者の二人パーカーとペチェックがそろって、出席したことでした。ペチェック教授は、「ようこう」の観測結果に満足していましたが、パーカー教授は、「ようこうの結果は素晴らしいが、ある意味で当然とも言える。なぜなら、私自身の理論は不適切であったが、磁場がペチェックのあみだした機構で散逸するに違いないことを、ずっと以前から理論的に深く信じていたからだ。」と述べたのでした。

これまで述べてきたように、「ようこう」衛星により広い意味でのフレア現象をかなり解明することができました。しかし、定常コロナの加熱機構やダイナモ問題は、依然として未解決のままとなっています。2004年夏に打ち上げ予定のSOLAR-B衛星(図6)は、可視光望遠鏡、X線望遠鏡、EUV撮像分光装置の3つの観測機器を搭載し、これらの基本問題を解決することを主目的としています。可視光望遠鏡は、偏光観測により太陽表面のベクトル磁場マップを0.2～0.3秒角とこれまでの地上観測をはるかにしのぐ分解能で観測しますし、X線望遠鏡は、「ようこう」に比べて分解能

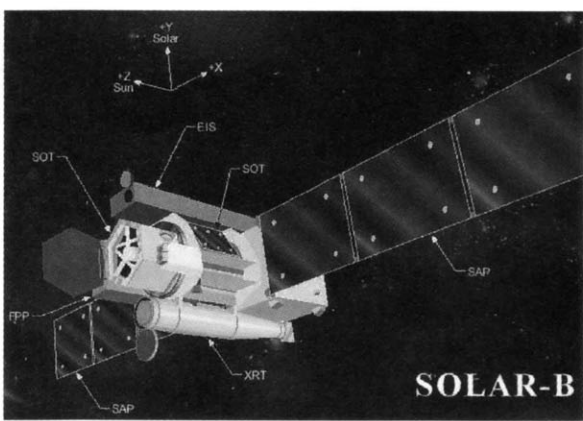


図6 SOLAR-B衛星

が約3倍向上し(1秒角)、また観測できる温度範囲も格段に広がります。EUV撮像分光装置は、輝線の分光観測により磁気リコネクションに伴うプラズマの流れなど、高温コロナのダイナミクスの情報を直接得ることができます。これにより、エネルギー源である磁場と磁場の散逸の結果である高温プラズマやその流れの観測を同時に行うことができ、磁気リコネクション現象の全貌を解明することができると考えています。さらに、太陽の奥深くで生成され浮上してくる磁場の観測により、太陽内部の生成のエンジン(ダイナモ)のメカニズムにも迫れることを期待しています。

(つねた・さく)

お知らせ

★人事異動 (教官)

発令年月日	氏 名	異 動 事 項	現 (旧) 職等
		(所 内 昇 任)	
12. 6. 1	満 田 和 久	宇宙圏研究系教授	宇宙圏研究系助教授

★ロケット・衛星関係の作業スケジュール (7月・8月)

	7 月	8 月	
相 模 原	SS-520-2計器合せ 27 28	SS-520-2噛合せ 28 MT-135-72,73噛合せ 21 24	9/14 まで
能 代	M-25-1 TVC 地上燃焼試験 10 28 M-V-5 1/2段接手分離試験 26	S-310 地上燃焼試験 (武豊) 23 29 ATREXプリクーラ試験 22	9/1 まで
三 陸		第2次大気球実験 14	9/5 まで

* 地上燃焼試験及び接手分離試験の日程は暫定案

★宇宙科学研究所一般公開

日 時：平成12年8月26日（土） 午前10時～午後4時30分

場 所：宇宙科学研究所相模原キャンパス [神奈川県相模原市由野台3-1-1]
相模原市立共和小学校校庭（水ロケット会場）[神奈川県相模原市高根1-16-13]

公 開：衛星模型展示・各研究プロジェクト紹介・ミニミニ宇宙学校
映画上映・水ロケット工作・仕上げ、他

問合せ先：宇宙科学研究所庶務課企画・広報係 TEL：042-759-8008（ダイヤルイン）

★シンポジウム

アストロダイナミクスシンポジウム

開 催 日：7月24日（月）～25日（火）

場 所：宇宙科学研究所本館2階会議場・会議室

問合せ先：宇宙科学研究所研究協力課共同利用担当 TEL：042-759-8019（ダイヤルイン）

★ISASニューススペシャル版

ISASニュースのスペシャル版として最新版（No.8～No.11）が発行されました。「はるか」の観測成果から「M87のジェット」の正体」「クエーサーPKS0637-752の電波とX線のジェット」の「のぞみ」の観測成果から「極端紫外遠望鏡でとられた地球周辺のヘリウムイオンの様子」の「惑星間空間水素ライマンα光強度分布」です。法規・出版係にありますのでご活用ください。



★DASH実験（表紙写真）

DASH実験は、高速で地球大気に再突入し、十分な減速の後地上で回収することを目指した機体の総合実証実験であり、将来の惑星探査に必要な工学技術の習得を目指したものである。打ち上げは宇宙開発事業団が開発中のH-II Aロケットによりピギーバックミッションとして行われる。当初2000年冬期の打ち上げを目指して開発を進めてきたものであるが、ロケットの打ち上げ延期にともない、現在のところ2001年の冬期の打ち上げとなる見通しである。打ち上げが延期になったため、スケジュールは多少のゆとりをもって進められている。写真（表紙参照）は総合試験の際のものである。姿勢等の制御を行う本体部とその上部に取り付けられる再突入機体からなる。本体部は、通信機器、ガスジェット、軌道離脱用モータ、再突入機体切り離し機構、制御部などからなる。この機体は、静止遷移軌道に打ち上げられ、4日程度の軌道周回中に必要な操作をした後、軌道離脱モータにより、地球大気に突入する軌道へと投入され、切り離された再突入機体が高速（毎秒約10km）で地球大気に突入することになる。回収は西アフリカの砂漠地帯で行われる予定である。（安部隆士）

★日経2000年プロジェクト「21世紀夢の技術展」

本年7月21日（金）～8月6日（日）の17日間にわたって、日本経済新聞社主催で「技術が開く明るい21世紀」をテーマに「21世紀夢の技術展」が東京国際展示場（東京ビッグサイト）で開催されますが、宇宙科学研究所も「宇宙の歴史・未来と宇宙科学」をテーマに約300m²の展示スペースを使って参加し、メインテーマの宇宙の歴史・未来と宇宙科学の展示をはじめ、歴史日本と宇宙遭遇、ロケット・惑星技術、未来・展望、国際展開・交流といったサブテーマの展示・イベントを行う予定です。是非ご来場いただきたいと思います。

★宇宙研ビデオ「“のぞみ”と惑星探査」がTEPIA奨励賞受賞！

宇宙科学研究所及び（財）宇宙科学振興会によるビデオシリーズ第8巻の「“のぞみ”と惑星探査」が、（財）機械産業記念事業財団が主催し、通商産業省・（社）経済団体連合会・（社）映像文化製作者連盟が後援する第10回TEPIAハイテク・ビデオコンクールにおいて奨励賞を受賞しました。火星探査機「のぞみ」を例に、惑星探査の歴史、軌道計画、探査機の構成について、実写フィルムやCGなどを使って分かりやすく紹介したビデオで、ハイテク映像の質的向上を目的としたコンクールにおいて、165作品の中から選ばれたことは宇宙研にとって大変喜ばしいことです。4月14日に行われた表彰式では、1つの作品を完成させるために、いかに多くの方の力が必要かということを感じました。制作にあたられた日本テレビビデオと制作委員の方々に感謝致します。

（山川 宏・周東三和子）

★ペネトレータ貫入試験

LUNAR-A搭載ペネトレータのクラック対策確認のための貫入試験が、5月5日から18日迄の間、アメリカニューメキシコ州のサンディア国立研究所（SNL）の施設を借用して実施された。1998年12月に同施設で実施された認定試験で発見されたポッティング材料中のクラック問題に関しては、所内にポッティング検討委員会が設置され、所外の専門家に出席していただき約1年の間、多方面から検討し各種基礎実験を経て今回の貫入実験に至ったものである。試験は、試験条件出しのためのダミープローブを使用した貫入試験を含め、計5回実施された。現地での簡易チェックで判断する限り、ポッティング材に対する改善策は有効であったと考えているが、供試体を日本に輸送後分解して詳細に検討を加える予定である。試験期間中、ニューメキシコ州は連日35度近い猛暑が続き、北部のロスアラモス近郊他数箇所では山火事が発生して連日テレビで中継されていた。湿度は10%程度のため、日陰に入ると少しは楽であるが、日本からの出張者は、貫入試験後、砂というよりは灰まみれになりながら、アメリカ側の技術者といっしょに供試体の掘り出し作業を行った。今後、分解後の詳細な検討を経て次のステップへ進むが、関係各位の更なる御協力を御願ひする次第である。（中島 俊）

★IPCコンファレンスに出席して

5月15日から17日にかけての3日間、ワシントンでIPC(International Partnership Conference; NASAが宇宙科学関連機関から2~3名の代表を招いて行った会議)があった。出席したのはブラジルやデンマークを含む18カ国の宇宙科学関連機関の代表とNASA、ESAである。これまで宇宙科学の実施機関の国際組織としては、NASA、ESA、IKIとISASで構成されるIACGが中心的なものであったが、NASAのリーダーシップのもとに宇宙科学実施機関の再編ともとられかねない会合であり、どのような進展になるかやや気にしながら出席した。冒頭と最終日にNASAが米国の国際協力のポリシーについて説明し、各国がそれぞれの国の状況を説明して会議は終わった。会議としての結論めいたものは何も無かったが、NASAとの2国間協力はこの後一層進むだろうとの予感を持った。20近い国の代表が示すOHPはそれぞれに特徴のある色使いが見られる。イタリアの抜けるような明るさ、ハンガリーのくすんだ深い色使いと妙なところに感心しながら各国の事情を聞いていた。宇宙科学に対する各国の取り組みや問題意識もOHPに現れる色使いと同じように各国の歴

史を背負った微妙な差があるのだろう。来るべき新しい世紀の宇宙科学がそれぞれの国や地域の色合いを保ちながら協力して大きく発展していくにはどのような国際的な枠組みが必要なのだろうか。いささか考え込まれる会合であった。（鶴田浩一郎）

★宇宙インフラ研究会ワークショップ開催

標記ワークショップが、5月18、19日に、つくば国際会議場で、延べ560人の参加者を得て開かれました。「宇宙インフラ研究会」というのは、初耳の方も多いかも知れません。去年の5月に、宇宙関連の4機関（宇宙科学研究所、宇宙開発事業団、航空宇宙技術研究所、通信総合研究所）の有志が中心になり、全国の大学、研究所、企業の方々も参加して構成した研究会です。目的は、日本の宇宙開発の方向とそれを支える技術開発戦略を議論することにあります。技術分野別に、12のワーキンググループ、および5つの宇宙開発ビジョングループが構成され、300人余りの人達が、活発な活動を行ってきました。この会の特徴は、メンバーがある特定の組織の代表としてではなく、有志として参加するため、個人的に自由な発言が可能なことです。

昨年の12月に中間報告会を行い、今回はその後の活動を中心に、「宇宙物語」というメインテーマのもとに、報告と討論が行われました。初日は、宇宙研の松尾所長の挨拶に始まり、招待講演として、ESA（ヨーロッパ宇宙機関）の戦略・技術評価局長Jean-Jacques Dordain氏によるヨーロッパの宇宙開発戦略の紹介および、特別講演として、ノンフィクション作家の中野不二男氏による、巧みな民族学的比喩を用いた日本の宇宙開発への提言が、聴衆を魅了しました。

その後、5つのビジョングループによる異なる視点からの日本の宇宙開発シナリオの提言、有識者によるパネル討論、翌日は、12のワーキンググループの各宇宙技術の発表、「あなたと創る宇宙物語」と題してフロアを含めたフリーディスカッションと続けました。全体を通して、聴衆の発言も活発で、宇宙開発の将来につき白熱した議論が続き、参加者を飽きさせない2日間となりました。（中谷一郎）

★日本語ホームページ新

宇宙科学研究所のホームページが、英語版に続いて日本語版もリニューアルされています。全面改訂なので、まだ工事中のところもあり、しばらくの間ご迷惑をかけると思います。ご要望、ご提案がありましたら、ホームページの窓口(webmaster@www.isas.ac.jp)までお寄せください。これからもどんどんよくなります。ご期待ください。

X線や荷電粒子などを検出するのが放射線検出器である。その大多数は放射線によるイオン化作用によって検出器内に生じた電荷を集め電気信号とする。ところが、X線マイクロカロリメータ(=マイクロボロメータ)はこれとは全く異なる原理に基づく。図1はカロリメータの構造を模式的に示したものである。X線光子が1つ吸収されると、そのエネルギーは最終的には熱に変換されるので、その光子エネルギーに応じた温度上昇が素子に生じる。その温度変化を温度計で検出するのである。小さなX線光子のエネルギーを検出するためには、動作温度を絶対0度に近い極限温度まで下げる必要がある。これによって熱揺らぎを押さえ、エネルギー分解能(入射したX線光子のエネルギーを正確に測定する能力、波長分解能と同義と考えてよい)を極限まで高めることができる。例えば、ASTRO-E衛星に搭載されたX線マイクロカロリメータ、XRS(X-Ray Spectrometer)は、絶対温度60ミリKで動作し、半値幅で10eVという高い分解能が得られている。これは、「あすか」衛星に搭載されたX線CCDに比べて約10倍高い分解能である。またX線マイクロカロリメータは、高いエネルギー分解能と同時に広いX線エネルギー範囲で100%に近い検出効率を確保することができ、微弱なX線を検出する宇宙観測では大変有用な検出器である。

ASTRO-E衛星には32画素からなるマイクロカロリメータのアレイをX線望遠鏡の焦点面検出器として搭載し、高エネルギー分解能X線観測を目指した。XRSはその性能によって宇宙の高温・高エネルギー現象の研究に新しい局面を切り開くと期待された。その例を、図2に示そう。銀河団は、暗黒物質の巨大な重力ポテンシャルの中に、数百個程度の銀河とその10倍程度の質量の高温ガスが閉じ込められた天体である。銀河団は、お互いに衝突・合体することによって現在の姿になったと考えられている。高温ガスからは様々なイオンから輝線スペクトルが放出されており、これは直接見ることのできない暗黒物質を探る重要な手がかりである。XRSは、図2に示されるようにこれまでは1本の輝線にしかみえなかったK輝線を、微細構造線に分解して見せてくれる。微細構造が分解されると輝線の中心エネルギーや輝線の広がりやを数eV程度の誤差で決定できるようになる。鉄のK輝線であれば、これは数百km/secの速度のガスの運動に対応する。まさに衝突しようとしている銀河団内の高温ガスの様子を初めて直接測定できるものと期待された。

このように優れた性能をもつX線マイクロカロリメー

タであるが、応答速度が遅く高い計数率では使用できないことから、応用は宇宙観測に限られると思われてきた。この状況を変えようとしているのが超伝導薄膜の常伝導から超伝導への相転移に伴う急激な抵抗変化を温度計として利用するTES(Transition Edge Sensor)カロリメータである。これまでの半導体に不純物を注入した半導体サーミスタに比べて、温度計の感度が飛躍的に向上し、エネルギー分解能と応答速度を一桁程度、高めることが可能である。TESカロリメータはX線分析装置用の検出器として、米国のNIST(National Institute of Standard)のグループにより強力に開発が推進され、単一の素子で5.9keVのX線に対し4eVを切る分解能が実現している。一方、TESカロリメータによって、画素数を増やし本格的な撮像型の素子を実現できる可能性もある。現在、我々のグループを含めて、数カ所でこの方向の研究が行われており、今後の発展が期待される。(みつだ・かずひさ)

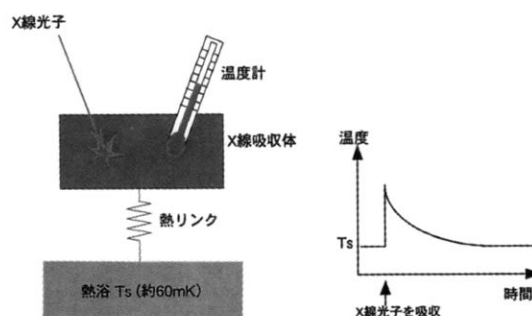


図1 X線マイクロカロリメータの模式的な構造図。X線光子を吸収して生じる温度変化を正確な温度計で検知する。

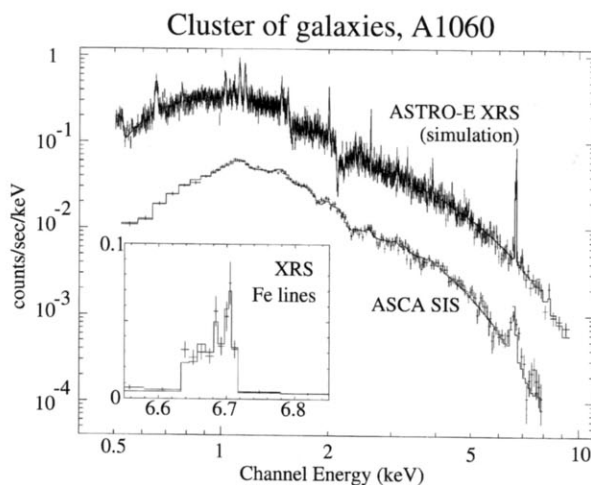


図2 銀河団A1060のASTRO-E衛星のカロリメータによる10万秒の観測のシミュレーションスペクトルとASCA衛星の観測データ。ASCA衛星のCCDカメラ(SIS)では1本の輝線であった鉄のK輝線が、XRSでは微細構造に分解されることがわかる。

個人と集団

山田 隆弘

昨年の9月の初めから今年の3月の初めまで6ヵ月間、NASAの招きによりジェット推進研究所(JPL)にて仕事をすることができた。私の滞在中にJPLが担当した火星探査機が2つ立て続けに失敗するというショッキングな事件があった。私はこれらのプロジェクトに直接関わっていたわけではないので、この事件について論評することはできないが、JPL内部では新たな火星探査の方針について盛んに議論されているという話である。あのダイナミックなNASAのことであるから、「Faster, Better, Cheaper」に変わる新たなパラダイムも近い将来登場することであろう。

さて、日本に戻り宇宙研で再び仕事をすることになってから3ヵ月ほどが経つが、最近になってアメリカと日本では仕事の進め方にいろいろな違いがあることに改めて気づかされ、「うーむ」と唸ってしまうことがしばしばある。アメリカ人も日本人も、おかしいときには笑い、悲しいときには泣くという点では、そんなに違いはない。しかし、物の考え方の基本的なところで、決定的な違いがあるように思うのである。

その違いの基本的な部分は、たぶん次のように言い表せるのではないかと思う。それは、個人と集団を対比させたときに、アメリカでは集団よりも個人が重んじられ、日本では個人よりも集団が重んじられるということである。

私は、JPLにおいては、あるグループに所属し、そのグループのマネジメントのもとで仕事をした。しかし、グループといっても全員で集団として行動するのではなく、グループのメンバーそれぞれに個別のテーマがあり、各々のメンバーは自分のテーマに関しては自分の責任のもとで自分の流儀で仕事をするのである。私の仕事の進め方についても、マネージャーや同僚から指導めいたことを受けるということは全くなく、完全に自分の考えに従って仕事をすることができた。ただし、仕事の成果については、グループの人々からも評価を受ける。例えば、私の書いた文書について同僚から「この部分はわかりにくいから、書き直した方がよい」というような助言を受けることはあった。しかし、仕事の実行の単位はあくまでも個人であった。

それから、アメリカでは、人の所属や身分にこだわることはあまりない。実際に、私がJPLで担当したテーマは、私の日本における所属や身分を考慮して決まっ

たわけではない。また、JPL滞在中に、私の日本における所属や身分がJPLの人たちの間で話題になったこともほとんどない。あちらでは、新しい仕事を誰かに割り当てるときも、所属や身分や勤続年数等とは無関係に、その仕事に最も適した人を選んで担当させている。これも、個人を評価するときは、集団の中の位置で評価するのではなく、個人そのものを評価するという考えに基づいているからであろう。

個人が基本であるということは、委員会などの組織の運営においても当てはまる。日本の各種委員会では、委員会全体で集団としてことをなすことに意義があるのであり、委員長といえども自分の個性を発揮する余地はあまりない。しかし、アメリカでは、委員会において委員長の果たす役割は大きく、委員長が変わると委員会の雰囲気がからっと変わってしまうということもある。委員会の前に会議の内容や構成を考える、あるいは委員会の後に議事録を書くという仕事は、委員長が自分で行うことが多い。これは、委員会の舵取りは、委員長個人に与えられたテーマであるという考え方に基づいているからだろう。

川口助教授は、ISASニュースの4月号の記事で、アメリカでは20年以上も前にViking等の探査機において先端的な技術を使用していたことを紹介している。宇宙開発においては、アメリカでは20年以上も前に完成しているのに日本では未だに発展途上であるという技術分野が数多く存在するのは事実である。これは、単に予算が多いの少ないの問題だけでなく、仕事の仕方の根本的なところの違いとも関係があるように思う。「仕事の単位は個人である」という考え方は、独創性が要求される分野においては、なかなか適しているような気がする。

もちろん、なんでもかんでもアメリカのまねをすればよいというものでもない。また、宇宙研のプロジェクトの進め方も、長年の経験に基づいているわけであり、それなりに良い点がいろいろあると思う。しかし、どのような仕事の仕方が「宇宙科学」という分野に合っているのか、あるいは「研究所」という組織に合っているのかということを我々はもう少しオープンに議論してもよいのではないかと思う今日この頃である。

(やまだ・たかひろ)



惑星探査と探査機の形

齋藤 宏文

(1) 惑星探査のタイプ

探査を行う対象の惑星や、科学目的に応じてさまざまなタイプの惑星探査が行われています(図1参照)。

惑星のそばを1回だけ飛行するのがフライバイミッションです。観測チャンスも短く、惑星探査の初期の頃に行われて、現在ではあまり行われていません。もっと詳しく惑星を観測するには、探査機のエンジンを噴射させ、惑星の周回軌道に入れるオービタミッションが適しています。宇宙研の火星探査機「のぞみ」もこのタイプです。惑星の上空から広域画像を撮って惑星全体を理解したり、周辺の磁場や粒子観測をします。

しかし、オービタでは惑星の内部や表面の詳しい観測はできません。惑星の内部の様子を知るには、ペネトレータと呼ばれる地表に向かって落下させて突きささる貫入型の観測器が適しています。これを惑星全体に数本打込んでネットワークにして、地震波の伝わり方を測定して、惑星の内部構造を調べます。ぐさっとささる時に壊れない堅固な構造と地中から通信する技術が重要です。宇宙研ではLUNAR-Aが月にペネトレータを打込みます。

惑星表面を調査するには、エンジンを逆噴射させながら、ふわっと着陸するランダが適しています。アポロ月着陸船は有人のランダでしたが、日本のSELENEミッションでは無人ランダが計画されています。最近では火星ランダも各国で注目されています。惑星の石や土壌のサンプルを採取して地球に帰還させることができれば、もっと詳しい分析が地球で行えます。これがサンプルリターンミッションです。宇宙研のMUSES-Cミッションでは小惑星のサンプル採取を狙っています。

(2) 探査機の形

(1)では惑星探査にどのようなタイプのものがあるかを説明してきました。ではその惑星探査を行う探査機の形はどのように決まっているのでしょうか。図2には宇宙研の惑星探査機として、「さきがけ」(ハレー

彗星)とMUSES-Cの外観を示します。惑星探査機の外観を主に決めるのは、i) 姿勢制御(スピン安定か三軸安定か)、ii) 地球との通信用パラボラアンテナの配置、iii) 電力を得る太陽パドルの太陽指向方法、iv) 軌道変更を行う探査機エンジンの配置、といった点です。これらを総合的に配慮することが必要です。

「さきがけ」はスピン安定の探査機で、探査機自身がコマのようにゆっくり回ることによって、その姿勢を保ちます。スピン安定方式では搭載機器が比較的小型です。プラズマ粒子や電波観測に適している利点があります。「さきがけ」ではスピン軸を黄道面(地球の公転軌道を含む平面)に垂直にして、地球方向にパラボラアンテナを向け、円柱形胴体に貼った太陽電池によって発電をしました。一方、MUSES-Cでは小惑星に接近して、姿勢と速度を小惑星表面に微調させてサンプルを採取します。また大電力を発生してこれを推力に変換するイオンエンジンをういて小惑星へ向うため、大型パドルを太陽方向へ、イオンエンジンを決められた方向へ、常に指向させて飛び続けることが必要です。このためMUSES-Cでは三軸姿勢安定方式をとっています。直方体の各面に、サンブラ、イオンエンジン、パラボラアンテナ等を配置して、面の方向性を最大限に利用しています。

(さいとう・ひろぶみ)



ハレーすい星探査機
「さきがけ」
円柱スピン型(スピン
軸は黄道面に垂直)

小惑星探査機「MUSES-C」
三軸安定(直方体各面をパドル、アンテナ、イオンエンジン、
サンブラーにあてている)

図2 探査機の形



図1 惑星探査のタイプ



気の長い宇宙開発

中谷 一郎

印刷屋さん泣かせの標題を付けてしまいました。小生のパソコンのプリンタは、不調なときに、こんな文字を打ち出しますが、この標題は、輪転機の故障ではありません。閑話休題。

往年の名画「カサブランカ」に、こんなやりとりがでています。

女：きのうの夜は、どこで遊んでたの？

男：そんな昔のことは覚えてないね。

女：今晚、私と際き合わない？

男：そんな先の約束はできないね。

画に描いたような刹那主義。この男のセリフに、小生、すっかりシビレました。それ以来、一生に一度くらい、こんなキザなセリフを吐いてみたいものだ（密かに）機会を狙ってきたのです。

しかし、残念ながら、ハンフリー・ボガードならぬ、くたびれた一研究者の小生は、そんな機会にまだ恵まれませんし、当分恵まれそうにありません。

一方、宇宙開発は、刹那主義の正反対、ひどく時間がかかるものとされています。とくに、打上げのたびに、一品生産をするのに近い科学衛星の場合、この傾向が顕著で、宇宙研の衛星は、通常、予算が認められてから打上げまでに5～6年を要します。さらに、それに先立つ計画・立案の検討フェーズも含めると、10年程度は十分にかかっています。冒頭の男女の会話を科学衛星に裏返してあてはめると、こんなふうになるかも知れません。

教授：去年打上げた衛星の観測データの結果は？

助手：そんな新しいデータは、まだ処理ができていませんよ。

教授：3年後に打上げる衛星の、この回路定数を少し変えてみないか？

助手：そんなに打上げが迫った衛星の設計変更は、ちょっと今からでは困難でしょう。

米国のNASAでは、“Cheaper, Faster, Better（より安く、より速く、よりよく）”というスローガンのもとに、従来の大艦巨砲主義を改めて、効率のよい宇宙

開発をめざしました。しかし、これを可能にするのは、大前提として強力な研究開発投資による先行的な技術開発が十分に進んでいる必要があります。つまり、実際の衛星の計画が立上って初めて技術開発に着手したのでは、CheaperもFasterもあり得ません。NASAが、猛烈な勢いで新規技術開発に力を入れ始めたのは、そのためです。“Cheaper, Faster, Better”は、海面上に少し現れた氷山の一角で、海面下には、膨大な研究開発投資が隠れているのです。私達は、海面下の研究投資という大きな氷塊をウッカリ見過ごしがちですが、それではタイタニック号になってしまう心配があります。比較的小さな科学衛星を着実に打上げて、世界一流の成果をあげるという宇宙研の実績を保つためにも、この海面下を強化したいものです。

ところで、宇宙研で働く人達を見ていると、小生自身も含めて、せっかちで気の短い人が多いように思います。統計をとった訳ではないので、根拠のある話ではありませんが、一般の研究所と比較して、誰もが、いつも駆け足をしているような印象です。小生も、誰かをつかまえて、ちょっと深い議論を吹きかけると、時計をチラチラと眺め始める超多忙な相手に気を遣って、早々に打切ることを考えます。

宇宙は広大で、1秒間に30万km進む光が、百数十億年もかかるような広がりを持っています。このスケールを相手にする宇宙科学者が、実はせっかちで、一方、彼らが計画する科学衛星の開発は、長時間を必要とする大変気の長い仕事です。これは、永遠に解けないパラドクス、あるいは、ジレンマというべきでしょうか。（なかたに・いちろう）



梅雨の季節がやってきました。食べ物やカビに注意しなければなりません。そして冷房やドライのお世話になります。折りしも、エアコンの工事で部屋は暖房状態。うちわで扇ぎながらの仕事も風情あり。（久保田）

ISASニュース

No.231 2000.6

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>）。