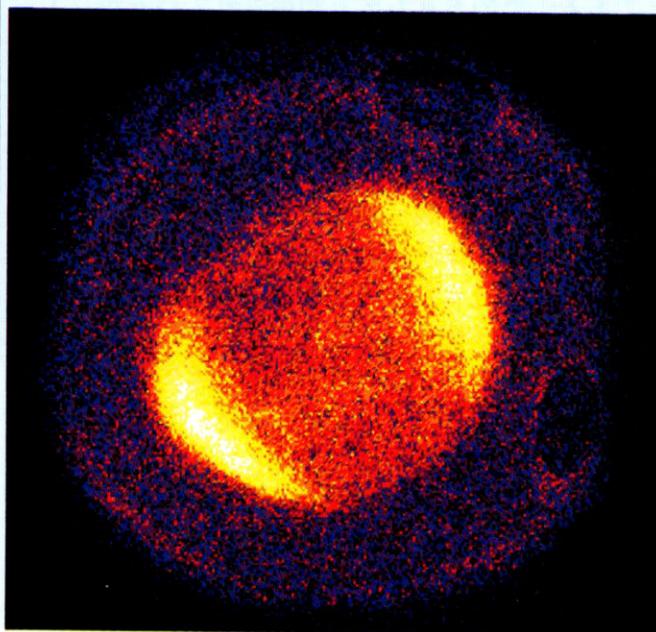


ASニュース



宇宙科学研究所
1993.11 No. 152

〈研究紹介〉

究極のすだれコリメータ

宇宙科学研究所 小川原 嘉明

研究紹介の原稿提出を、忙しさにまかせ、いつもの調子で締め切り過ぎまで引き伸ばしていたところ、元所長・小田稔先生の文化勲章受賞のニュースが発表された。そこで、既に用意した原稿はまた別の機会に譲ることにし、今回は急遽小田先生の考案された「すだれコリメータ」(別名「小田コリメータ」)に関する研究を紹介する。

光は鏡で反射したり、レンズで屈折したりするので、この性質を利用して、反射望遠鏡や屈折望遠鏡などが作られる。また電波も金属面で反射されるので、臼田の深宇宙探査アンテナ(電波望遠鏡)をはじめ、家庭の衛星テレビ受信アンテナなどの反射鏡ができる。このように光や電波では望遠鏡で天体の二次元像が得られる。しかし、天体は光や電波だけではなく、X線をはじめもっとも広い波長域にわたるさまざまな電磁波を放射している。だが、光や電波以外の大半の電磁波は、

地球を取り囲む大気層で吸収され、地上に届かない。

飛翔体の開発により大気圏外から天体観測が可能になり、X線天文学をはじめとした新しい天文学が誕生した。従来うかがい知ることができなかったこれらの波長帯での観測が、天体の全く新しい姿を明らかにし、天文学全体に与えた影響は計り知れないものがある。

X線は、我々にはもっぱらレントゲン写真等医療の手段としてお馴染みのものであるが、光や電波と同じ電磁波の一種で、波長が極端に短い(可視光の1000分の1以下程度)。天体では、X線は数百万度を超す超高温プラズマとか、強磁場を伴う極限状態の物質から放射されており、天体における高エネルギー現象の解明には、X線観測が最も有効な手段である。一方X線は、レントゲンで分るように、極めて透過力が強いが骨や金属などには

吸収され（影ができ）てしまい、反射や屈折はしない。そのため光や電波のように結像させて二次元像をつくることができない。

X線天体を観測する最も簡単な方法は、細長い金属のパイプを束ねたようなものを通して、目的の天体を含む限られた範囲だけを一様に眺めることである。この方式も広く利用されているが、X線天体の正確な位置や形状を精度良く求めることはできない。そこで工夫されたのが、小田先生の「すだれコリメータ」である。その名のように、2枚の金属製の「すだれ」を、間隔をおいて平行に配置し、それを通して遠方をみると、縞状に透けてみえる。天体からのX線はこの縞模様にしたがって見え隠れするので、その変化の様子から逆に天体の位置がわかる。このアイデアが、たまたま先生が二十日鼠のかごに入っている円筒形の回転はしごを通して向こうを見たことから生れたというのは、いまでは有名な話になっている。

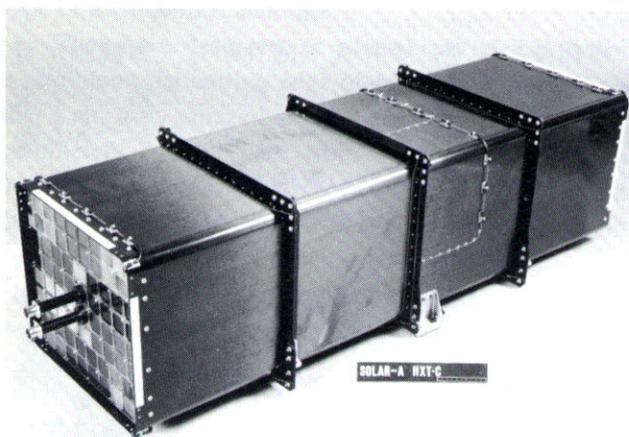
原理は極めて明解で、一見コロンブスの卵的な発想のようにみえるが、当時MITにおられた小田先生は、1965年に初めてこのアイデアを提案された時に、既に多数の「すだれ」を一定の規則にしたがって不等間隔に配置した非点源用の装置、もっと微妙な「すだれ」の組み合わせによる拡大機能まである本当の「X線結像系」まで、卓抜した着想で将来の応用を見越した構想を示し、見事に実験室での実証試験をされている。細かい点は、この稿の範囲を超えるので省略するが、「すだれコ

リメータ」は、まずMITでの「さそり座のX線源」や「かに星雲のX線源」の観測で決定的な成果を上げ、X線天文学の発展の端緒を開いた。

小田先生が日本に戻られてからは、「すだれコリメータ」はいわば日本のお家芸として定着し、日本の優れた精密加工技術とあいまって更に一段と発展した。原の町での大気球実験で、世界で初めて「太陽硬X線源」の位置と大きさを決定、同じく大気球で「白鳥座のX線源」の位置の精密決定がなされ、この天体がブラックホール候補であることの発見へとつながった。この方式はさらに発展して、全長約2m近い大型硬X線望遠鏡になり、日米協力で米国テキサス州の気球実験場から飛揚され「かに星雲」の硬X線分布の研究に使われた。

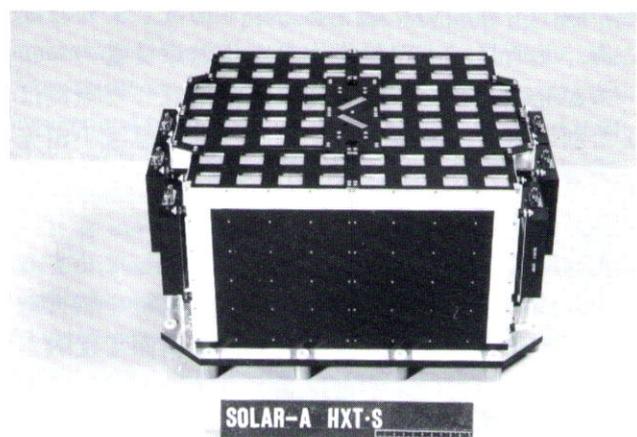
「すだれコリメータ」の特長は、デザインのしかたで、広視野低分解能のものから狭視野高分解能のものまで目的に応じていろいろな特長をもつ望遠鏡がつけられることである。「ひのとり」衛星の高分解能硬X線望遠鏡は、はじめて太陽硬X線源の系統的な精密観測をおこない、「はくちょう」衛星の広視野望遠鏡は、広い天空上でランダムに発生するX線バーストの研究で決定的な役割を演じた。さらに、「てんま」衛星では、汎用の望遠鏡として、多くのX線源の分離と位置決めに活躍した。

以上の各衛星に搭載した「すだれコリメータ」は、衛星の自転を利用してコリメータを回転させながら観測をおこなう方式である。このように回転させながら観測すると一個のコリメータで位置



〔写真1〕「ようこう」衛星に搭載した「究極のすだれコリメータ」の本体。

外形は 約40cm×45cm×140cm で合計64個の小さい「すだれコリメータ」を使っている。細長い方向が太陽の方向を向く。



〔写真2〕「ようこう」衛星に搭載した「すだれコリメータ」(写真1)の後に付ける硬X線検出器。64個の独立な検出器の集合である。コリメータとあわせて硬X線望遠鏡の本体になる。この他に信号処理回路がある。

を正確に決めることができる。しかし、衛星が大型化し、多機能化すると衛星を常に回転させるわけにはいかなくなってくる。そこで登場するのが、多数の独立の「すだれコリメータ」を使ったフーリエ合成型の硬X線望遠鏡である。この考えは、すでに1978年に小田グループの牧島さん（現在東大理）を中心に提案されている。まず機上で多数の「すだれコリメータ」を使ってX線源の一次元に投影した空間的なフーリエ成分を、必要な数だけ各方向について求める。それを地上に伝送して、地上の計算機で二次元像に再合成しようという考えである。

理屈の上では確かに二次元の像が合成できるはずである。しかし、実際に製作すると、限られた寸法・重量の制限のもとでのデザインの最適化、工作精度、データ処理回路の信頼性、像再合成のためのソフトの開発など多くの点で大変な困難が予想され、なかなか実現を計る機会がなかった。その意味で、我々仲間内ではこれを「究極のすだれコリメータ」と称して、何時かは実現してみたいと願っていた。

ところが、遂にそれが日の目を見る時が来たのである。今回の太陽活動極大期にあわせて計画された「ようこう」衛星には、主要観測器としてこれまでにない高分解能の硬X線望遠鏡が必要であった。しかし、他の観測器の都合で衛星を連続的に回転させることはできない。そこで、衛星研究班はこの「究極のすだれコリメータ」の製作を決定した。実際の設計・製作・調整には甲斐さん（故人・天文台）、東大の牧島さん、天文台の小杉さん、坂尾さん、沢さん、宇宙研の村上（敏夫）さん、堂谷さんをはじめ数多くの人々が参加し、大変な苦勞の末にとにかく64個の「すだれコリメータ」を

組合せた装置は完成した。

しかし、この装置がはたして打ち上げに耐え、宇宙空間の厳しい環境で予定通りに機能するかについては、直接の担当者たちも内心はかなりはらはらしていた。したがって、実際に観測データが送られて来て、それをもとに苦心惨憺の結果各種パラメータを最適化し、ようやく太陽フレアの見事な像が計算機からプリントされて出て来た時には「遂にやった！」と言う気分であった。また、この間終始ご支援、ご指導下さった小田先生にも、ことのほかお喜びいただいた。以来「ようこう」は、880個以上の太陽フレアを観測し、順調に硬X線像をつくり続けている（ISASニュース134号表紙および同誌6頁の解説参照）。

現在のところ、エネルギーの高い硬X線で高分解能の像を得るには「すだれコリメータ」が殆ど唯一の方法である。「ようこう」衛星に到る一連の「すだれコリメータ」の成果に触発されて、これまでも、そして将来も各国でいろいろな「すだれコリメータ」を利用する計画がある。やがては「究極のすだれコリメータ」を凌ぐものが現われることを期待している。

〔追補〕エネルギーの低い軟X線は、極端に滑らかに磨き上げられた金属面に極めて浅い角度で入射した時に限り全反射する。したがって限られたエネルギー範囲ではあるが、この性質を利用して軟X線の反射結像系を作ることができる。既に随所でお馴染みの「ようこう」衛星による軟X線の太陽像（ISASニュース127号表紙の写真等）や、最近の「あすか」衛星による超新星の軟X線像（ISASニュース146号表紙の写真）などは、こうして得られた像である。（おがわら・よしあき）

お知らせ



★シンポジウム

大気球シンポジウム

日時 平成5年12月9日(木)～10日(金)
場所 宇宙科学研究所本館2階会議場

宇宙構造物シンポジウム

日時 平成5年12月13日(月)～14日(火)
場所 宇宙科学研究所本館1階会議室兼入札室(13日)
宇宙科学研究所本館2階会議場(14日)

宇宙輸送シンポジウム

日時 平成5年12月20日(月)～21日(火)
場所 宇宙科学研究所本館2階会議場

システム計画研究会

日時 平成5年12月22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 ☎0427(51)3911（内線 2234, 2235）



★「あすか」が見た超新星残骸

「あすか」は現在までその高性能ぶりをいかに発揮しており、関係者はほっと胸をなで下ろすとともに、その精度の高いデータを使った新しい領域の開拓に意欲的な研究を押し進めている。

表紙写真は、「あすか」のX線望遠鏡が試験観測中に捉えた超新星残骸のX線像である。超新星残骸とは、質量の重い恒星の一生の終末に訪れる巨大爆発、超新星、の跡である。超新星爆発は、星のほとんど全てを吹き飛ばす。吹き飛ばされた星の残骸は銀河系空間のガスとぶつかり、数百万度～数千万度まで加熱し、X線を発生する。「あすか」が観測した超新星残骸は我々の銀河系で起きた遠い昔の超新星爆発の名残なのだ。

超新星爆発は、銀河系や宇宙の進化に重要な影響を与える。特に、宇宙の始まりにはほとんどなかった炭素、酸素、シリコン、鉄など我々の体や惑星をつくる重元素は、恒星内部の核融合で生成されたものが超新星爆発によって銀河空間に放出されることが大きな起源であると考えられている。

「あすか」の大きな使命の一つは、超新星残骸を精密に観測し、その現場を定量的に捉えることだ。

「あすか」はX線の分析能力に優れ、特に重元素から放射される特性X線を効率良く精密に分析する能力はこれまでの衛星をはるかに凌ぐ。この能力を発揮して、多くの超新星残骸から、遠い昔の超新星爆発で放出された重元素の特性X線がこれまで以上に精密に検出されている。宇宙の物質や銀河系高温ガスの進化の重要な証拠を「あすか」は明らかにしつつある。

表紙写真の右側はSN1006と呼ばれるおおかみ座にある超新星残骸のX線像で、その名の通り、中国をはじめとする世界各国の史書に記録の残る、1006年に発生した超新星の跡である。一方、左側はとも座Aと呼ばれる超新星残骸で、人類の歴史の遙か前に爆発した超新星の跡で、「あすか」の視野の広さより広がっており、何ヵ所かの観測を行い全体のX線像を作ったものである。

(紀伊恒男、表紙写真協力：青木貴史)

★第13回IACG会議報告

第13回のIACG会議は、1993年10月6、7の両日、ロシアのSt. Petersburgで開催された。首席代表はA. Galeev (IKI, Chairperson), R. Bonnet (ESA), W. Huntress (NASA)と秋葉所長で、宇宙科学研究所からの出席者は所長の他松尾、上杉、

水谷、的川、西田教授であった。

今回のIACGのRecommendationはつぎの通りである。

(1) 共同観測キャンペーン実施において重要な役割をもつGEOTAIL、「ようこう」およびIMP-8の運用期間延長。(注：宇宙科学研究所では寿命の続く限り衛星を運用するのが通例であるが、NASAでは打ち上げ後何年かでミッションは一応終了したことにするため、運用が中止されることのないように手を打っておく必要がある。)

(2) EQUATOR-S衛星の科学的意義を支持。

(注：地球半径の数倍の距離で赤道域の磁気圏観測を行う衛星は、当初は太陽地球系観測計画の衛星群の一つとして企画されていたが、NASAの予算的制約のために脱落した。その後、ドイツを中心に復活の努力が進められてきたが、再び難関に直面している。)

(3) 第一ワーキング・グループにおける太陽・太陽圏研究者メンバーの強化。(注：94年6月のUlysses衛星太陽極域通過の際、コロナと太陽圏の総合的な研究を推進するため。)

昨年7月のGEOTAIL衛星の打ち上げによってIACGによる太陽地球系科学研究の推進が本格化し、共同観測キャンペーンの企画が進行している。92年5月に開催された第一次キャンペーン「磁気圏尾部のダイナミクスと非線形物理」企画のためのワークショップに続いて、93年4月には第二次キャンペーン「無衝突プラズマ中の境界」についての企画ワークショップが開催された。また、第三次キャンペーン「太陽面現象と、惑星間空間および地球周辺空間に及ぼすその影響」の企画ワークショップは、94年5月30日の週に宇宙科学研究所で開催する方向で関係者間の協議が行われている。(西田篤弘)

★第44回IAF大会

標記大会は10月16日～22日、オーストリアのグラーツ市において開催された。参加人数は62ヵ国から1995名と昨年の世界宇宙会議を除けば最高ではないかと思われ、会場がやや狭いことと連日の雨のために逃げ場を失った(?)人々で各シンポジウム共に大盛況であった。日本からの参加は約60名、内宇宙研からは所長初め12名であった。

今大会のテーマ「Challenges of Space for a Better World」を反映した格調高く且つユーモアをまじえたケンブリッジ大学ボンディ教授の基調講演に始まり、8つのplenary sessionと26のシ

ンポジウムが開催されたが、全般的(且つ個人的)印象としては、宇宙においても競争(Competition)から協力(Cooperation)へとどのように切り換えていくか、各国が悩んでいるように見受けられた。また本大会直前に同地で主として開発途上国(33カ国)を集めて開催された「宇宙へのオリエンテーション」ともいえる国連のワークショップに見られるように、今後これらの国々が「宇宙」に関心を持ってくるのに対し、アメリカ、ロシアを初めとするこれまでの「宇宙大国」の現状を見るにつけ、地球上のみならず宇宙においても変動期を迎えつつある感を抱かされた。その意味でも次回IAF大会の開催地を、長年にわたり提案されながらも拒否され続けられたエルサレム(イスラエル)に正式決定して今大会が終了したのは象徴的であった。(上杉邦憲)

★国際火星探査ワーキンググループ

標記WGの第1回目の会合が、オーストリアのグラーツで、10月18、19日に開かれた。同時期にグラーツで開催されたジャンボ級の国際学会IAFに便乗して設定したもの。英文名は、IMEWG(International Mars Exploration Working Group)といかめしい。参加は、ISAS、NASA(米)、ESA(欧)、IKI(露)、DARA(独)、CNES(仏)、ASI(伊)、CSA(加)にホスト国オーストリアを加えて網羅的。

このWGの目的は、将来の火星探査科学ミッションを世界中で調整しながら進める事にある。しかし、単なる調整に留まらず火星探査の新しいシナリオを提案し、各国がどのような形で探査に参加して行くかを議論する役割を担っている。

議論は活発で火星ペネトレータ、ランダ、ローバ、気球、オービタを含む広範囲なミッションを今世紀から次世紀初頭にかけて各国で分担して進めたいという熱気に満ちていた。

米国の提案したシナリオは、マース'94、96(いずれも露)、96年のMESURバスファインダ(米)、98年のPLANET-B(日)、と並行したミッションおよび2001、2003と各ウィンド毎に各国が協力して火星ミッションを続け、マースネットを構築するというもの。これとは別に各国から様々なシナリオが提案され賑やかな議論が始まった。当面の目標として来年7月のCOSPAR'94までに具体的なシナリオ案を作り上げる事となった。

(中谷一郎)

★小田元所長「文化勲章」受賞

元所長で本研究所名誉教授、前理化学研究所理事長の小田稔先生が今年度の文化勲章を受賞されました。小田先生の「すだれコリメータ」の考案をはじめとする長年にわたるX線天文学への顕著な貢献に対するものです。先生の優れた業績は既に内外の多数の賞等によって広く知られているところではありますが、今回の受賞は宇宙科学研究所全職員にとってもひととき喜ばしいことでもあります。(小川原嘉明)

★TUBSと研究交流協定締結

10月14日午前、ドイツ北部にあるブラウンシュバイク工科大学(TUBS)学長室において、TUBSと宇宙研との研究交流協定にRebe学長と秋葉所長が署名され、同協定が発効した(写真参照)。署名にはTUBSのOertel教授、DLRのThomas教授、宇宙研の安部教授、川口助教授と雛田が立ち会った。本協定では、当面再突入空気力学とその関連分野における研究交流を目指し期間は5年間となっている。

TUBSとの縁はEXPRESS計画(本号の別稿「EXPRESS計画」を参照)のスタート時に遡る。当初Oertel教授が同計画のドイツ側実験ペイロードの取りまとめ責任者であり、EXPRESSカプセルの淀み点密度計測実験の担当者であったこともあってTUBSとの交流が始まった。Oertel教授の実験はその後カプセル側の技術的制約からキャンセルされ、これに伴って同教授は取りまとめ責任者を辞退されたため、EXPRESS計画とTUBSの関係は無くなったが、同教授のグループは今後も精力的に再突入空気力学に関連した基礎実験と解析を続ける予定であるため、TUBSとの研究交流は宇宙研にとっても非常に有意義であると考え、今回協定締結のはこびとなった次第である。

(雛田元紀)



EXPRESSカプセル計画は日本とドイツが行う微小重量環境利用と再突入飛行技術の習得のための国際共同ミッションで1994年8月にM-3S IIロケット8号機で内之浦から打ち上げられ5日間の飛行の後オーストラリアのウーメラ実験場で回収されます。この計画には日本側からは宇宙研を含め、通産省、NEDO(新エネルギー開発機構)、USEF(無人宇宙実験システム開発機構)、RIMCOF(次世代金属複合材研究協会)が参画し、ドイツ側はDARA(ドイツ宇宙機関)が計画の取りまとめを行い、DLR(ドイツ航空宇宙研究所)、シュツットガルト大学宇宙システム学科などが実験ペイロードを担当します。ドイツ側の実験PIは再突入飛行環境計測と耐熱材料の実飛行環境での性能評価実験ですが、日本側はこれらの再突入関連実験に加えて無重量環境での石油精製触媒創製実験を行います。

宇宙研はこの計画の内、打ち上げシステム全般とロケットの新規開発部分の製作を担当するとともに、カプセル自身はドイツが製作を担当しますが、再突入カプセルに関連して主に空力関係の技術習得のための研究を実施しカプセル設計に反映させます。またこれらに加えて再突入飛行時の環境計測および耐熱材料の評価実験の独自のペイロードを開発し、カプセルに搭載します。この再突入関連技術の習得はM-Vロケットで実現を目指す惑星大気突入プローブや将来宇宙輸送システムなど今後の宇宙研の活動に有意義であり、軌道再突入飛行の機会を得ることは工学関係者にとって貴重な経験を得る数少ないチャンスであるとの判断が計画推進の動機となりました。

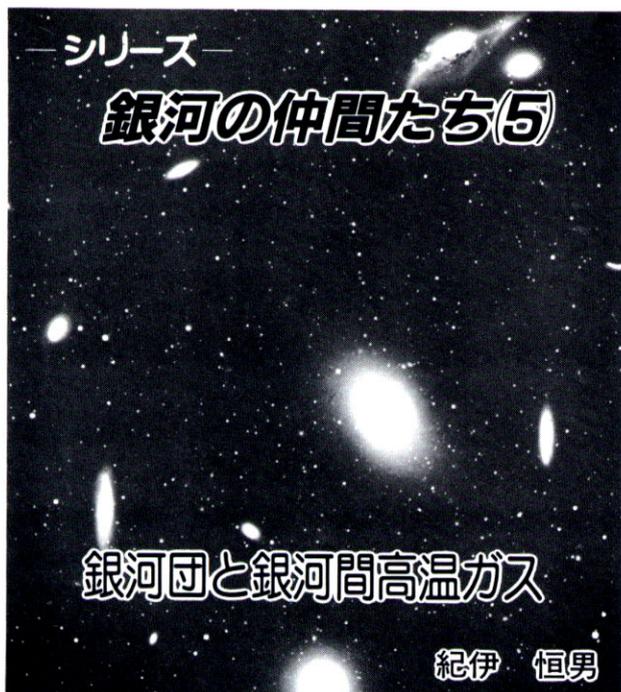
日独間でのこの計画の正式なMOU(了解覚え書)調印は1992年12月に行われましたが、この調印に至るまでにはいろいろの曲折がありました。ベルリンの壁が開いた1989年の時点ではこの計画はまだ産声を上げる前の状態でしたがほぼ計画の概略は関係者の間で煮詰められつつある状態でした。この後しばらくの間は予備設計(phase A, B)に相当するスタディが日独双方で進められ、両者に

よる何回かのミーティングを通じて日独間の役割分担やカプセルのシステム構成についての検討、実験ペイロードの選定などの作業が行われました。その後東西ドイツの正式な統一がなされ、さて物事が順調に運ぶかと思った矢先にドイツ側では統一コストの予想外の負担増に起因する資金的な困難さに直前し、計画の見直しを余儀なくされるという事態に至りました。日本側を含む関係者の努力も仲々功を奏さず計画存続の危機に陥ったのです。

旧ソ連が崩壊を始めたのは丁度この時期でした。ドイツは旧ソ連あるいはロシア支援に積極的で、ドイツ側で計画存続に努力する人のなかにこれらをうまくリンクさせることを思いついた人がいたことは容易に想像できます。当初カプセルはドイツ自身で製作する予定でしたが、ドイツ側は対ロシア支援の名目で資金確保に成功し、カプセル製作のかなりの部分をロシアの宇宙技術をDBS(サリュート設計局)から導入することで乗り切ったのです。かくして日独共同研究の枠組はそのまましてロシアがドイツ側を技術的に支援する形でEXPRESSは再び起き上がり上記の調印の運びとなった訳です。この間に起きた出来事や登場する人物はとてここでは紹介しきれませんから、稿を改めて書かざるを得ません。

ロシアの宇宙技術について西側各国はさまざまな手段で触手を伸ばしていますが、我々は図らずもその現場に飛び込むこととなりました。初めて触れるロシアのハードウェアや設計の考え方などいろいろと目新しいことばかりで大いに勉強にはなります。ともあれ激変する世界情勢にもまれながらも参加各国、各機関のさまざまな思惑をのせてEXPRESSは打ち上げられます。実験ペイロードの開発、ロケットや実験ペイロードとカプセルの対独、対露インタフェイス調整、内之浦でのドイツ、ロシア技術者との作業調整などをはじめ宇宙研にとって新しいことの連続です。無事にウーメラで回収されることを目指して関係者の努力は続きます。

(いなたに・よしふみ)



これまでに紹介した「銀河の仲間たち」は、広い宇宙空間をてんでバラバラにいるのではなく、銀河のコロニーとでもいう「銀河団」と呼ばれる銀河系の集団に多くが属しています。我々の銀河系にもっとも近い銀河団の一つは春の星座、おとめ座にあるおとめ座銀河団と呼ばれる銀河団で、ちょっとした望遠鏡をその空に向けると銀河の散歩が楽しめます。宇宙にはこのような銀河団が数限りなくあります。

銀河団は、X線では大変明るい天体です。このX線は銀河団を構成している銀河が放射しているものではなく、銀河団全体を覆う数千万度の高温ガスが放射しているのです。銀河団といっても銀河と銀河の間の距離は大変離れていて、その間にはほとんど物質が存在しないと思っていたのですが、実はその銀河の間にX線で光る高温ガスが存在しているのです。驚くことに、X線を出している高温ガス全体の質量は、銀河団を構成する銀河全体の質量に匹敵する、またはそれ以上であることが分かっています。

X線で光るような高温ガスは運動エネルギーが高いので、すぐに広がってしまおうとします。それでは、どうして銀河団に集中してそんな大量の高温ガスがいるのでしょうか。銀河団は銀河がただ集まっているのではなく、銀河団を構成する物質の重力でしっかり手をつないでいます。その銀河団の重力が、地球大気を地球の重力で閉じ込め

ているように、高温のガスを銀河団に閉じ込めているのです。しかし、実は銀河団の中の銀河や高温ガスの質量を全て足し合わせても、高温ガスを銀河団に封じ込めるのに十分な重力ではなく、どうしてもこれらの物質の10倍以上の質量がないと高温ガスを封じ込めることができません。精密な可視光の観測で銀河の運動を測ってやると同様に、観測されていない多量の物質がないと重力でしっかり銀河の手をつないで銀河団を形作ることができないことが分かっています。

この観測されていない重力のもととなる物質のことは「見えない物質」と呼ばれ、その原因は宇宙の成り立ちを考える宇宙論の大問題です。現在も「見えない物質」が何に困っているのかは分かっていません。

銀河団は大変大きな天体ですから、人間の一生の時間では何の変化もしませんが、人間の一生より遥かに長い時間で見ると激しく進化しています。例えば、銀河団の中には、その中心部に我々の銀河系の10~100倍も大きな銀河があることが多いのですが、これはいくつもの銀河が衝突し、合体して出来上がったようです。そう見ますと、銀河団の中には、教科書にあるような整った形の銀河ばかりではなく、銀河同士の衝突によって歪んでしまったと考えられる銀河が多く、このような交通事故は、銀河団の中で結構頻繁に起きているようです。

また、銀河団のX線を分析すると、高温ガスにはシリコン、鉄などの重元素が含まれていることが分かります。これらの重元素は、宇宙の始まりにはないもので、銀河の中の恒星内部で核融合して生成されたものが超新星爆発などではじめて宇宙空間に放出されるものです。つまり、銀河から随分多量の高温ガスが、銀河団の高温ガスに供給されているのです。この他にも、銀河団の高温ガスが動的に進化している証拠が見つかっています。つまり、銀河団は静的なものではなく、動的にその姿を変えていっており、今、進化過程の一端を我々に見せているのです。このように、銀河団は、宇宙が現在の姿になっていった成り立ちの多くの痕跡を持っています。銀河団はX線天文衛星「あすか」の重要な観測対象ですから、次の機会には「あすか」の発見も紹介できるでしょう。

(きい・つねお)

良い旅・良い味・良いドイツ ——初めての国際会議に出席して——

服部 雄 幸

平成6年度予算概算要求の折衝が山を迎えていた9月のある日、突然ドイツへの出張を命ぜられた。EXPRESS計画の計画調整会議(CDR)に出席せよとのことである。事務方の担当者として、また最近のロシア情勢(カプセルはロシアが製作)のこともあって、進捗状況を把握しなければならないと思い、二つ返事で出席することにした。

ところが、考えてみると私は海外は初めてである。しかも、ドイツといえば池袋のピアホール「ミュンヘン」に行ったことがある程度だ。

相方はというと、これがまた海外は初めてということである。そのうえ二人とも成田空港へのアクセスさえも知らない情なさである。さてさて、これではまるで落語の「熊さん八つあんな珍道中」ではないか。

出発前はこのような状況であったが、ルフトハンザ航空機がフランクフルト空港へ無事タッチダウンすると、心配していた入国審査や国内線への乗り換えもスムーズに進み、思わず「人類にとっては小さな一歩であるが、私にとっては偉大な一歩である」とかなんとか口ずさむ。ついでにスタンドバーでビールで祝杯をあげる余裕さえできた。いっばしの外交官気取りである。

エルノ社でのミーティングでは、EXPRESS計画進捗状況と今後のスケジュールの確認、日本側搭載機器とカプセルシステムとのインターフェース最終調整をテーマに行われたが、意外にもぎすぎすしたものになってしまい、ドイツ人の合理主義というものを実感させられた。ミーティングの合間に、EXPRESS計画室、アリアンV計画室、アリアンIV組立工場等を視察する機会が得られた。アリアンIV組立工場では第2段ロケットが4機同時に組立られており、なかなかの迫力であった。

ブレーメンからミュンヘンへの移動日には足をのばしてフュッセンのノイシュバンシュタイン城に寄った。ガイドブックには必ず出ている白亜の古城である。麓から馬車にゆられてちょっとした王侯気分に入ったのもつかの間、城に着くと観光客が長蛇の列である。中に入るまで1時間も並ん

でしまった。名所というのはいずこも同じものだというのを改めて認識させられた。しかし、城の壁画や調度品はすばらしいものであり、バイエルンの若き王ルードヴィヒ2世の栄華がしのばれた。

GSOC(ドイツ衛星運用センター)でのミーティングは、EXPRESSの軌道運用について行われ、これはすんなりと収った。終了後ミッションコントロールセンターを視察した。ここはドイツと米国との共同のX線天文衛星や、スペースラブD-2計画の運用を行うための施設だそうだが、その規模たるや相模原管制室の数倍はあり、また機能も充実しておりすばらしいものであった。EXPRESS計画の運用もここで行われるらしい。

ミュンヘンは、歴史的な建造物や豪華な宮殿が数多く見られ、それらとうまく調和して一般建築物が市街を構成している。また、ドイツ人の生活は意外に質素であり、これがまた周囲の建物とうまくマッチしているように感じられた。

ミュンヘンといえば、ビール片手にソーセージとジャガイモのつまみのイメージどおり、駅構内、街角のスタンドバー、歩行者天国の模擬店など街中いたる所でビールを飲んでいる。週末ともなると早朝から夜中まで飲んでいるようだ。あの巨大ビアホールのホーフプロイハウスでもリリー・マルレーを口ずさみながらドンチャン騒ぎである。

我々も負けじと頑張ってはみたものの、巨大ジョッキはいくら飲んでも空にならない。イヤハヤ、マイッタ。どうもドイツ人のバイタリティーと、あの体形の原因はビールとジャガイモにあるらしい。

今回の出張では、EXPRESS計画は多少遅れながらもほぼ順調に進んでいることを確認し、また、ドイツの国・人に直接触れることができ、さらに、ドイツのビールとソーセージを堪能したことで非常に有意義であり、かつ勉強になった。これは多忙にもかかわらず気を使っていたいただいた先生方のおかげであり、感謝いたします。ありがとうございました。(はっとり・ゆうこう)

人工衛星の姿勢制御の話

第一回 姿勢と姿勢制御

二宮敬虔

軌道上の人工衛星が宇宙空間でどちらを向いているかを人工衛星の「姿勢」という。人工衛星がその機能を果たすためには、特定の姿勢が要求されることが多い。例えば、搭載された観測機器を目標の方向に向け、その方向を維持することが必要だし、地上局との通信を能率良く行うためには高指向性のアンテナが地上局の方向に向けられなければならない。太陽電池からの効率の良い発電、衛星の適切な温度の維持（熱制御）のためにも姿勢についての条件が加わる。軌道の修正や変更をする場合には、それに必要な姿勢がある。

いわゆる実用衛星ではほとんどの場合、地球指向姿勢が選ばれる。図1はその場合の姿勢の表し方の一例を示すもので、目標姿勢と実際の衛星の姿勢との間の回転角 ϕ , θ , ψ (それぞれロール、ピッチ、ヨー角と呼ばれる) を用いて表現している。(原点は衛星の質量中心)。この場合、姿勢制御の目的はこれらの角(姿勢誤差角)をいつもゼロに保つことにある。

「あすか」のような天文観測衛星では、基準座標系として恒星の空間に対して方向が固定されたいわゆる天球座標系が選ばれる。また、「ようこう」では太陽観測に都合の良いように、図2のように

Z軸を太陽の中心方向、Y軸をZ軸に垂直な面に太陽の自転軸を投影した方向になるように選んだ。

軌道上では姿勢を乱す様々な擾乱が存在する。衛星外部から作用する力としては、衛星各部に作用する重力の微小な違いに起因するもの(重力傾斜トルク)、太陽光の圧力によるもの(太陽輻射トルク)、衛星に残っている磁気が地球磁場と作用して発生するもの(磁気トルク)、僅かながら残っている大気抵抗によるものなどが主である。また、衛星内部に可動部分がある場合、液体燃料等の流体が載っている場合、大型アンテナや太陽電池パネルなどの柔軟構造物が付いている場合なども、姿勢制御に対する擾乱となる。これらの影響を考慮しながら、姿勢を目標の方向へと変更し(マヌーバ)、その姿勢を維持する(ポインティング)のが姿勢制御系の役割である。

姿勢制御を行うためには、姿勢を計測する姿勢センサ、制御力を発生するアクチュエータ、そして姿勢センサデータを処理してアクチュエータに必要な司令を出す姿勢制御用電子装置が通常必要である。詳しくは次回以降に解説する。

(にのみや・けいけん)

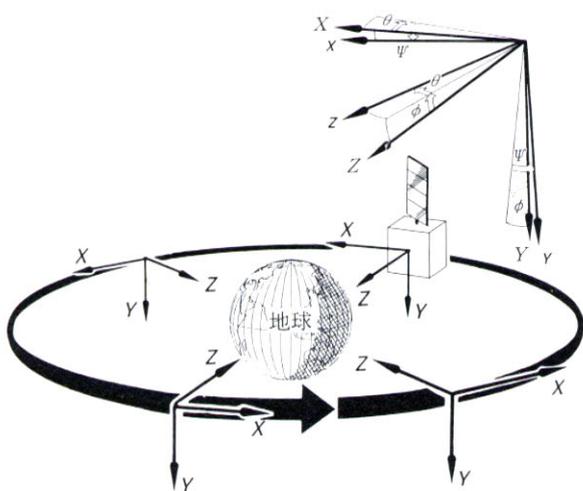


図1 地球指向衛星の姿勢の表し方

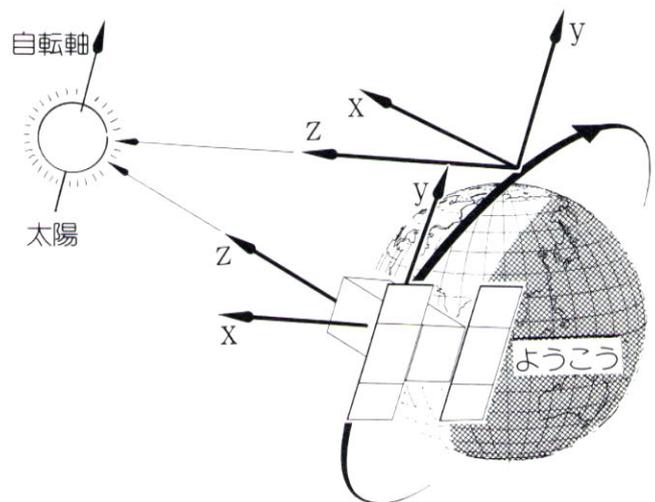


図2 太陽指向衛星の姿勢の表し方



ASCA - An American Perspective

Richard Mushotzky

I have had the great opportunity to visit ISAS during the extremely exciting initial phase of the ASCA operations. In my opinion ASCA is one of the great steps in astronomical research, opening up imaging X-ray spectroscopy, a completely new window on astrophysics. ASCA has obtained fundamentally new results on virtually every type of astrophysical object. Its new data, of unprecedented quality, will change many of our fundamental ideas about the nature of high energy emission and its relationship to other fields of astrophysics. In many ways ASCA represents the first in a new generation of high energy missions, those with broad band pass, good spectral resolution, high sensitivity and acceptable angular resolution. It is sometimes difficult to believe that all this has been accomplished in a small satellite whose total gestation period is only 5 years.

It seems like only yesterday when, 5 years ago, Prof. Y. Tanaka first invited me to join the ASCA team. Little did I know how exciting and fulfilling working with his team would be. As a member of the AXAF Science Working Group, I had hoped to be involved with the first imaging X-ray spectroscopic mission. But AXAF has been subject to long delays, little progress towards launch and a large amount of bureaucratic inertia. With ASCA, the ISAS X-ray astronomy group, along with other Japanese research groups, and their American collaborators, Goddard Space Flight Center and M.I.T. have been first in launching this new type of astronomical satellite.

They have designed, developed, tested and flown a satellite at the cutting edge of research. I must admit that I am truly amazed at what seems to be an almost completely smooth path from conception to launch and flight operations. I have been impressed at the almost textbook way that ASCA has been turned on and operated. The mission has had a very high operating efficiency and the usual confusion and complications with operating a new technology satellite have been virtually absent.

During my stay here I have had complete freedom to look at any data that I wanted to and have involved

myself in a large number of research projects. I have had the opportunity to examine the data from an enormous range of objects ranging from stars to quasars and everything in between. The only problem has been that there are only 24 hours in the day to work on the data. There have been large number of foreign visitors, particularly from the U.S. and the U.K. during this period and a large number of scientific interactions.

I have had numerous and fruitful discussions not only with ISAS scientists and graduate students but also other members of the Japanese community particularly researchers from the University of Tokyo and other universities.

While the overall experience has been extremely positive there are a few areas in which I believe ISAS could be improved. First of all the workload involved in operating and calibrating the satellite, as well as developing and debugging scientific software has been so immense that many of the research staff could not fully participate in the scientific work. This is a major loss, since these people are at the stage of their career in which they are nature scientists but with the vigor of relative youth and thus able to contribute mightily to the advance of science. In addition the workload has been so heavy that it has been difficult for them to provide detailed guidance to beginning graduate students during this past year. This makes it difficult for new students to learn from those people who are actually doing the science. Secondly the vast amount of new data that ASCA has produced has required the use of numerous computer workstations. Unfortunately, the X-ray astronomy group was not able to hire a system manager and had to rely on its already overworked staff to take on still another duty. This has resulted in a less than optimum computer environment.

It is very common to find people working here until 1 or 2 in the morning. As a visiting scientist this is a very stimulating atmosphere. However, even the most dedicated person cannot work this way indefinitely. If this situation continues the scientific productivity of the ISAS scientists will have to suffer. There must be some way to relieve the workload.

(リチャード・ムショットキー, NASAゴダード宇宙飛行センター, 平成5年6月~10月宇宙研客員助教授)