



X 線天文衛星「あすか」の 8 年間の運用と観測の足跡

長瀬文昭

〈文部科学省／宇宙科学研究所宇宙科学企画情報解析センター 〒229-8510 神奈川県相模原市由野台 3-1-1〉
e-mail: nagase@astro.isas.ac.jp

宇宙科学研究所が1993年2月に打ち上げた日本のX線天文衛星「あすか」は、その後約8年間順調に観測運用が行われてきたが、最近の太陽活動の活発化に伴い徐々にその軌道高度を下げ、去る3月2日にはついに大気圏に再突入し、同日14時20分頃東経163度、南緯8度の海域上空で燃え尽きた。折しもその前日、3月1日には、日本のX線天文学の創始者である小田 稔先生がお亡くなりになったところであり、「あすか」はまさに小田先生を追うようにして燃え尽きた。実は「あすか」はその約半年前の2000年7月14日に発生した巨大太陽フレアに起因する姿勢擾乱と、その後の緊急運用中に起こった蓄電池の電力枯渇のため7月15日以降は正常な姿勢制御が行えず、観測を中止していた。打ち上げ後試験観測を開始したのが、1993年4月であるから、「あすか」による正味の科学観測は7年と3ヵ月であった。これは歴代の日本のX線天文衛星の中でも最も長期間に渡るものであり、我々の期待をはるかに越える長期に渡り活躍してくれた。本稿ではこの「あすか」の活躍の足跡を辿ってみたい。

1. 「あすか」衛星

「あすか」衛星は宇宙科学研究所が米国 NASA の協力を得て製作した X 線天文衛星である。これは 1979 年 2 月打ち上げの「はくちょう」衛星、1983 年 2 月打ち上げの「てんま」衛星、1987 年 2 月打ち上げの「ぎんが」衛星に続く、日本では第 4 番目の X 線天文衛星であった。この衛星は当時としては開発の最前線にあった X 線望遠鏡システムと焦点面検出器を組み合わせた斬新な設計思想で開発が進められた。そしてこの衛星は宇宙物理学、天文学の最前線を切り拓く国際 X 線天文台として、世界の天体物理学研究者の利用に供されるものとの期待の下で、製作され打ち上げられた。この衛星の開発・製作は、宇宙科学研究所、理化学研究所、東京大学、東京都立大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、NASA ゴダード宇宙飛行センター、マサチューセッツ工科大学、ペンシルバニア

州立大学の参加の下で、個々のサブシステムの開発・製作から衛星の組み立て・試験に渡って広汎な国際協力の下で推進された。

「あすか」は 1993 年 2 月 20 日に高度約 550 km の略円軌道に投入された。「あすか」には 4 台の X 線反射望遠鏡が搭載されており、国際的には Einstein、ROSAT 衛星に続く本格的な集光結像型の X 線天文台であった。結像性能では Einstein、ROSAT 衛星にやや劣るものの、大面積であること、10 keV の高エネルギーまで感度があること (Einstein は 4 keV まで、ROSAT は 2 keV まで) が特徴であった。その集光面には 2 台の撮像型蛍光比例計数管と 2 台の X 線 CCD カメラが搭載された。どちらも衛星搭載用としては世界で始めて開発された検出器であり、高い位置分解能を持ちながら良いエネルギー分解能をあわせて得ることが出来る。ことに、本格的に衛星搭載用 X 線 CCD カメラを開発、実用化し、これを軌道上で長期に渡り運用した事

表 1. 「あすか」製作・観測運用の経緯

1988年 4月 — 1990年 3月	プロトモデル製作, 試験
1990年 4月 — 1992年 3月	フライトモデル製作
1992年 4月 — 1992年 12月	総合試験
1993年 1月 — 2月	フライトオペレーション
1993年 2月 20日	打ち上げ
1993年 2月 — 3月	衛星機器立ち上げ/性能試験
1993年 4月 — 10月	試験観測
1993年 10月 — 1994年 5月	第1期公募観測
1994年 5月 — 1994年 11月	第2期公募観測
1994年 11月 — 1995年 11月	第3期公募観測
1995年 11月 — 1996年 11月	第4期公募観測
1996年 11月 — 1997年 12月	第5期公募観測
1997年 12月 — 1998年 12月	第6期公募観測
1999年 1月 — 2000年 2月	第7期公募観測
2000年 2月 — 2000年 7月	第8期公募観測 (長時間観測)
2001年 3月 2日	大気圏突入, 消滅

は、米国のチャンドラ衛星、ヨーロッパの XMM-ニュートン衛星等、以後の衛星の主力検出器の開発に大きな指針を与えた。これらにより、「あすか」は従来の X 線天文衛星にはなかった優れた特徴を持つ国際 X 線天文台として、ドイツ、マックスプランク研究所が打ち上げた ROSAT 衛星と共に、1990年代の世界の X 線天文学をリードする事となった。

2. 衛星製作, 運用と観測の経緯

「あすか」衛星は 1988年度より製作を開始し、その後約 5年間かけて製作、試験を行った後、1993年 2月 20日に打ち上げられた。その後約 2ヶ月間の初期運用、約 6ヶ月間の試験観測を経て、1993年 10月より国際的に公開された公募観測が続けられた。「あすか」製作及び観測運用の経緯を表 1 にまとめる。なお、「あすか」の観測時間は当初日米合意により全観測可能時間の内、メンテナ

ンスのための観測所時間 5% を除き、残りを日本時間 60%、米国時間 15%、日米共同観測時間 25% と取り決めた。その後第 2 期公募観測よりは、日本時間から 10% を割いて ESA 傘下のヨーロッパ各国に割り当てることとした。

上記の日米合意に基づいて、観測の公募を各観測開始 6ヶ月前に行い、3ヶ月前に応募を締め切る。そして、観測の申し込みを締め切った後、観測開始までの 3ヶ月の間に観測応募の審査・選考を行う。審査・選考はまず日本・宇宙科学研究所、米国・NASA、欧州・ESA に於いてそれぞれ独自に行われ、選考結果の日欧間の調整を行った上、最終的には日米観測調整委員会で観測時間や重複ターゲットの調整を行い、各観測時期の採択プロポーザル及びターゲットを決定する。この結果は直ちに提案者 (PI) に通知されると共に、ネットワークを通じて全世界に公表され

表 2. 観測 X 線一覧

カテゴリー	較正天体	星	激変星	X 線連星	超新星残骸	銀河	活動銀河核	銀河団	CXBその他	合計
試験観測	14	21	3	24	31	31	26	40	22	212
第 1 期	0	28	5	17	22	21	47	31	5	176
第 2 期	1	24	12	18	22	12	38	47	7	181
第 3 期	2	42	9	28	38	25	72	61	12	289
第 4 期	13	33	11	20	31	17	73	55	6	259
第 5 期	4	35	9	24	52	15	73	66	8	286
第 6 期	3	45	7	22	61	22	73	74	7	314
第 7 期	3	36	9	19	75	39	102	102	10	395
合計	40	264	65	172	332	182	504	476	77	2112

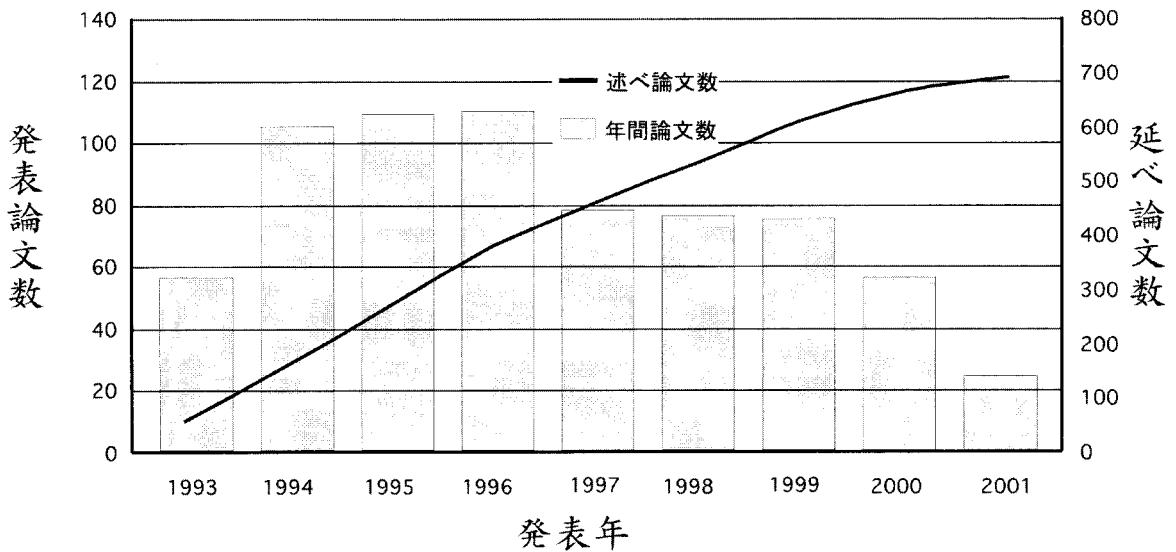
る。同時に採択された全ターゲットに固有の ID 番号 (Sequence Number) が割り当てられ、その Proposal に要求されている観測条件は Proposal database から Observation database に on-line で転送され、1 週間後には、その公募の観測期間中 (半年または 1 年間) の全ターゲットの観測計画マスター・プラン (Long-term timeline と称する) が作成され、公開される。採択されたターゲットを持つ観測者はこれを元にして、他波長との同時観測の提案や調整を開始する事ができる。宇宙研を中心とした衛星運用チームは、このマスター・プランを元にして各観測者と連絡をとりつつ 10 日～2 週間単位で詳細な観測計画を立て (Short-term timeline と称する)、これに沿って日々のコマンド・プランを作成し、衛星の観測運用を続ける。この 8 年間に渡る「あすか」衛星の日々の運用は、日本の X 線グループと称す約 20 の大学、研究機関の 100 名を超える研究者、大学院生によって支えられた。

受信された生のテレメトリー・データは宇宙研において各種データ処理を行った 1 次処理ファイルに変換され、これを NASA /ゴダード宇宙飛行センターにおいて標準の Fits フォーマットに変換された上で、各観測者に配られた。各観測者はデー

タを受け取ってから 1 年間はこれを占有することができる。そして 1 年を経過したデータはアーカイブ・データとして世界中の一般研究者に公開されることになる。このようにして 8 年間に渡って「あすか」によって観測された天体の種類は実に多岐に渡る。X 線天文学の初期にはブラックホールや中性子星を含む近接連星や近い超新星残骸からの強い X 線放射の観測が主であった。X 線検出感度の向上した「あすか」では、銀河系内の通常の星や星生成領域、また系外の銀河、活動銀河核、銀河団など遠方の天体からの X 線放射も観測できるようになった。また、その起源が謎とされていた宇宙 X 線背景放射の研究も進んだ。これまで、全観測期間に上記の全分野に渡って延べ約 2100 個の天体 (または天空領域) の観測を行った。第 2 表には試験観測から第 7 期観測までの間に観測を行った天体の数を、その天体の種類毎に分類して示す。

「あすか」に搭載された計器は、半導体 X 線撮像素子 (CCD カメラ) のエネルギー分解能に当初より予想されていた程度の経年劣化があった事を除いて、全ての計器が打ち上げ後観測の終了まで正常に動作し、上記に示した採択ターゲットの観測を順調に遂行してきた。第 8 期に入ってから、

図1 日本天文学会発表論文数



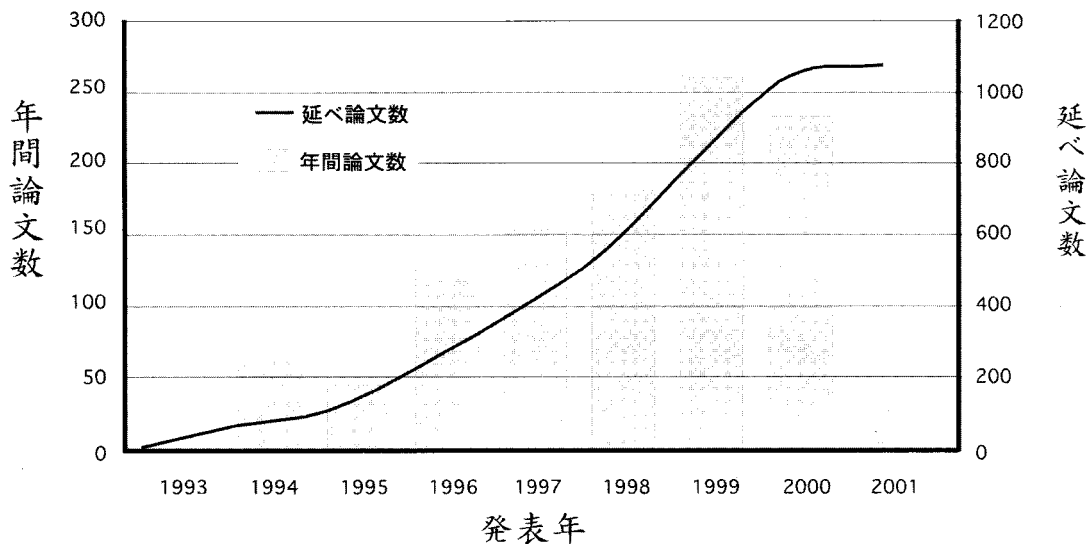
特に重要な天体の長期的（2週間～1ヵ月）な観測を行う事にした。これは、Astro-Eは残念ながら軌道投入に失敗したが、米国のチャンドラ衛星、欧州のXMM-ニュートン衛星という、両大型X線天文衛星が1999年7月、12月にそれぞれ打ち上げられたことに対応して、「あすか」による観測の特徴を発揮するためである。当初関係者は、この重点天体長時間観測計画を「あすか」の大気圏突入、消滅が予想された2001年春頃まで少なくとも1年間は続けたいと願っていたが、残念ながら、最初に述べたアクシデントでこの最後の重点天体長時間観測計画は遂行半ばで頓挫した。

3. 観測成果

前章でも述べたように、「あすか」は汎用のX線天文台として、我々の銀河系内の通常の星から、宇宙論的な遠方の銀河団や宇宙X線背景放射まで、あらゆる階層の天体の観測を行ってきた。これまでに天文学会での発表は700編を越え、査読付き学術誌に発表された論文も1000編を越えた（2001年4月現在）。他に私が把握している範囲で、

国際学会・研究会で発表された集録論文が同程度ある。天文学会では図1に示すように「あすか」打ち上げ後1～3年目に当たる1994～1996年には春季年会と秋季年会を合わせて毎年100編を越える発表が行われたが、その後は漸減している（2001年は春季年会発表のみ計上）。これとは対照的に、査読付き学術誌への発表は、図2に示すように年々増加し、1999年にピークを迎えた。日本人をふくめて最前線のX線天文研究者の注目が既にチャンドラ衛星やXMM-ニュートン衛星に移っており、2000年以降は「あすか」の論文は次第に減少するであろう。しかし、「あすか」アーカイブデータの価値は依然として高く、また、未発表データも残っているので、今後も「あすか」データを用いた論文は一定量発表され続けるであろう。なお、論文著者の内訳を見ると、約3分の1が日本人主著者の論文、約3分の1が日本人と外国人の共著によるもの（最近これの割合が減少しつつある）、約3分の1が外国人のみによる論文である。成果の発表においても、日本の主導権と、国際協力、国際貢献が良いバランスで達成されていると

図2 査読付論文数



見る事ができる。

また、「あすか」の観測データは理学博士の輩出にも大いに貢献した。平成12年度現在「あすか」データの解析で博士の学位を取得した者は、内外含めて80名を越えるに至った。このうち国内の学位取得者は62名で、「あすか」打ち上げ後これまでに年平均10名の博士を輩出した事になる。また、外国の研究者で「あすか」データを用いて学位を取得したものは、ADS (Astrophysics Data System : <http://ads.nao.ac.jp/>) で検索した限りでも現在までに20名いる。実際は私の知る範囲でも、「あすか」データを用いて学位を取得したがこのADSに登録していない研究者がおり、この数はもう少し多いであろう。

「あすか」は論文の数のみで無く、その成果の質においても、天体物理学における今後の研究の発展に重要な寄与をするインパクトの高いものを多数輩出していると考えられる。この事は、昨年10月に田中靖郎、井上一両先生が、1981～1998年の18年間に多くのハイ・インパクト論文を発表した日本の科学者上位30名に入りサイテーション・ロ

ーリエット顕彰を受けた事、その根拠となった論文の半数以上が「あすか」による論文であった事からも窺える。「あすか」では6.4-6.9 keVの鉄輝線を含む10 keVまで感度のあるX線望遠鏡と、従来の比例計数管等に比べ約10倍エネルギー分解能が良く、且つ高分解能画像が得られるCCD検出器とを開発・搭載した事で、高精度のプラズマ診断、金属元素化学組成測定等により、X線天文学研究において従来は出来なかった新しい研究手法を提供した。これにより、星、激変星、X線連星、超新星残骸、銀河、活動銀河核、銀河団等、各階層の天体において、新しい切り口による斬新な研究成果がもたらされた。

以下には、あまた多くの「あすか」論文成果の中から、特に重要な結果、インパクトの大きい仕事を数例箇条書きで紹介する。もちろんその価値判断は個人の主観によるし、個々の論文の引用回数を綿密に調べて客観的に評価する時間的ゆとりもない。そこで、以下に箇条書きで列挙する「あすか」による重要な成果は、あくまでも私の主観で並べたものである。

- (1) 非対称に広がった鉄輝線の観測に基づく、活動銀河核中の巨大ブラックホールの存在の検証、
- (2) 超新星残骸や銀河団の重元素組成の測定に基づく、宇宙の化学進化の研究、
- (3) 超新星残骸からの非熱的 X 線放射の発見が導く、宇宙での粒子加速の現場の確認、
- (4) 銀河系中心付近からの蛍光鉄輝線の発見と、その起源の究明、
- (5) 銀河面中の暗い X 線天体の分布、及び銀河面に沿って広がった高温ガスの分布と、それらの起源の探査、
- (6) 銀河・銀河団に附随する重元素の分布や暗黒物質の分布に基づく、銀河・銀河団の進化の研究、
- (7) 近傍銀河における高光度 X 線源の観測による中質量ブラックホール連星存在の検証、
- (8) 2-10 keV 領域での宇宙背景 X 線放射の起源の究明、
- (9) 星形成領域、分子雲中の原始星からの X 線放射の検出、
- (10) 軟ガンマ線バーストリピーターの位置の同定と、これからの X 線パルス放射の発見、
- (11) 小マゼラン星雲における多数の X 線パルサーの発見と、星形成の歴史の研究、
- (12) ジェット天体における X 線放射の研究。

これらは思い付く順に並べたもので、必ずしも重要度の順を表してはいない。また、他にも書き漏らした重要な成果があるに違いない。最初の広がった鉄輝線に関する観測事実とその解釈が真実であるかどうか、さらに究明すべき問題点も残っているが、その観測結果は以降の天体物理研究に非常に強い影響を及ぼしている。上に挙げた個々のトピックスについて、多くは既に本誌において紹介されている。他の未解説のトピックスの詳しい紹介は別の機会に譲りたい。いずれにしても、「あすか」は以上に見るように、得られた科学的成果の質・

量の両面において、宇宙科学研究所がこれまでに打ち上げた科学観測衛星の中でも最も成果を挙げたものと云っても過言ではあるまい。こうして「あすか」は今年3月2日に大気圏に再突入し、燃え尽きてその使命を終えた。しかし、現在データ解析が進行しているターゲットも多く、また、一般公開されているアーカイブデータの再解析からも新しい成果が出るものと期待している。そして、このような成果が出続けるかぎり、「あすか」は私達の心の中に生き続けると思う。

「あすか」よ、ありがとう。