

宇宙 X 線背景放射とジャッコーニ博士

井 上 一

〈宇宙科学研究所 〒229-8510 神奈川県相模原市由野台 3-1-1〉

e-mail: inoue@astro.isas.ac.jp

1962年、ジャッコーニ博士らによって行われたロケット実験は、太陽以外のX線で明るい天体を史上初めて発見した画期的なものとなったが、同時に、X線で見ると空全体が一様に光っていることを見出した¹⁾。この宇宙のあらゆる方向からやってくるX線は、宇宙X線背景放射 (Cosmic X-ray Background: 以後CXBと略す。) と呼ばれ、発見以後40年もの間、その起源を求める研究が続けられてきている。

このCXBのX線スペクトルが、2-60 keV領域では、ほぼ温度40 keVの熱制動放射のスペクトルによく合うことから、当初は宇宙を満たす高温ガスの存在の可能性も指摘され、宇宙論的に大きな興味もたれた。しかし、1989年に打上げられたCOBE衛星によるマイクロ波背景放射の精密観測の結果、そのスペクトル中にコンプトン散乱による成分が誤差以上には見られないことから、宇宙を一様に満たす高温ガスによる説明の可能性はなくなった²⁾。今や、そのほとんどは、観測装置の能力が不十分であるために点源に分解することのできなかった暗いX線源の集まりであると考えられており、事実、X線観測装置の感度があがるたびに、CXBが暗いX線源に分解される割合があがってきた。そして、ついには、1999年に打上げられた米国のChandra衛星が、その秒角を切る撮像性能を用い、10 keVに至るエネルギーまで深いX線撮像観測を行い、CXBの少なくとも80-90%が微弱なX線源に分解されるところまで来た³⁾。このChandra衛星を最初に提案したのは、他ならぬジャッコーニ博士であり、さらには、自ら先頭に立ってChandra衛星を使い100万秒にもおよぶ長

時間観測を組織して、CXBの起源解明に挑んできた。CXBは、ジャッコーニ博士によって見出され、ジャッコーニ博士によってそのほとんどが点源に分解されたと言っても過言ではない。ここでは、ジャッコーニ博士のライフワークとも言えるCXBにつき、その起源解明の歴史と、いまだに残されている問題点を簡単に紹介したい。

CXBを点源に分解する試みは、当初、大きく分けて2つの流れで行われてきた。一つは、解像度のよいX線反射鏡を開発し、暗いX線源一つ一つの位置を丹念に決め、その光学的同定を進めることで、CXBの起源に迫ろうとするものである。これは、まさにジャッコーニ博士が主導してきた道で、いわば正攻法である。しかし、当初は、X線反射鏡で観測できるX線のエネルギーは3-4 keVまでに限られており、CXBのもっとも強いパワーが放射されている数から数10 keVにおける起源についての議論をするには、そのX線源のスペクトルを仮定することが必要であった。そうは言っても、X線反射鏡の導入により、暗いX線源を識別する感度は飛躍的にあがり、ジャッコーニ博士の偉大な構想力により実現されたEinstein衛星は、1-3 keV CXBのほぼ30%程度を点源に分解することに成功した⁴⁾。この流れは、ドイツのX線天文衛星ROSATに引き継がれ、そのエネルギー範囲は2 keV以下に限られたが、すぐれた解像度により暗いX線天体の光学的同定が進み、CXBの起源についての議論が大きく深まった⁵⁾。

もう一つのアプローチは、解像度はよくないが、2-30 keVといったCXBのおもな放射が見られるエネルギー領域で、各種X線源のスペクトルを精

度よく測り、CXBの起源を探っていこうとするものであった。この流れに沿って、どれくらいのX線強度の天体が全天にいくつ存在するかをくわしく調べ、2-10 keV領域で、X線源のいわゆる $\log N - \log S$ 関係を初めて系統的に求めたのはアメリカのX線天文衛星 HEAO-1であった⁶⁾。種々の考察から、CXBに一番大きく寄与する天体は活動銀河 (AGN) と考えられていたが、HEAO-1の観測等から求められた明るいAGNの平均的なスペクトルは、CXBのスペクトルに対し、明らかに低いエネルギーのX線がより卓越する(軟らかい)ものであった。CXBの起源の有力な候補であるAGNの平均スペクトルがCXBのそれと違っていることは、ふしぎなことであり、CXBスペクトルのパラドックスと呼ばれた。

この流れのCXBの起源の研究をさらに推し進めた衛星は、日本の3番目のX線天文衛星「ぎんが」であった。「ぎんが」は高感度の大面積X線検出器を搭載し、HEAO-1の点源検出感度を数倍上回るとともに、空から空へのX線背景放射の強度のゆらぎを調べ、点源としての検出限界を1桁近く下回る暗いX線源の $\log N - \log S$ 関係に対しても有意な制限をつけた。同時に、そのような強度のX線源の平均的なスペクトルは依然として、明るいAGNの平均スペクトルと同じであることを明らかにした⁷⁾。

上に述べられた、1990年代初頭までの、観測的CXB研究の2つの流れは、日本の4番目のX線天文衛星「あすか」により、一つの流れにまとめられた。「あすか」は、Einstein衛星がスペクトル観測に対し有していたおよそ1分角の解像度を持ち、同時に、その解像能力は10 keVのX線にまで広げられた。この2-3 keVから10 keV領域での初めての撮像能力の導入により、「あすか」は2-10 keVのエネルギー領域で、「ぎんが」にくらべて100倍以上の感度を持ち、CXBの30-40%を暗いX線源に分解した。

「あすか」は、約7平方度の広い空の長時間観測(広域X線源探査(LSS)と呼ばれた)を行った。その結果、この探査の感度ぎりぎり「あすか」が分解した暗いX線源は、平均的に、それまで観測されてきた明るいX線源にくらべて明らかにスペクトルが硬くなってきていることがわかった⁸⁾。CXBスペクトルパラドックスがようやく解け始めたのである。ASCAの感度で、すでに、CXBの起源であろう新しいX線源が見え始めたことは、CXBの起源を知る上でたいへん大きなステップであった。

さらに、LSSで検出されたX線源を中心に、それらのX線源の光学的同定を行い、それらがどのような天体であるかの調査も精力的に行われてきている。特に、LSSにおいて、SIS(X線CCDカメラ)で2-7 keVで検出されたX線源の光学的同定では、1個を除いて同定に成功し、ほとんどがAGNであることが明らかになった⁹⁾。特筆すべきことは、LSSで非常に硬いスペクトルを持つことが見つめられたX線源はすべて、可視光では、narrow-line AGN又は、weak broad-line AGNに同定されたことである。このことは、それらのAGNがCXBの主要な起源となっており、それらの、吸収を強く受けたX線スペクトルにより、CXBのスペクトルが、通常のbroad-line AGNのX線スペクトルよりも硬く見えている、と言うことを強く示唆するものである。さらに、これらのASCA-LSS検出天体の光学的同定から明らかになってきたことは、上に述べたような吸収を受けたX線スペクトルを示すAGNは皆、比較的近傍のAGNであり、さらに遠方のluminosityの大きなAGN(QSO)には、相対的に、吸収の大きいX線スペクトルを示すAGN(2型QSO)の割合が少ないことであった。これも、たいへん興味深い観測事実であった。

そして、これらの「あすか」・ROSATの成果の上に、再びジャッコーニ博士が、Chandra衛星を

引っさげて登場してくる。そして、冒頭に述べたように、CXBの少なくとも80-90%が弱いX線源に分解された。しかし、自然は、そう簡単にはその正体を明かさない。Chandraの結果から見ると、わずかに残ったCXBには、たいへん硬いスペクトルをもった、まだ未知のX線源が潜んでいるらしいのである¹⁰⁾。もともと、CXBの一番大きいパワーは20-30 keV付近にある。CXBのその特徴を解明するには、最後は20-30 keVを感度よく観測することが不可欠のはずであった。そして、事実、そうしないと真の解明には至らないことになりつつある。日本の第5番目のX線天文衛星Astro-E2（軌道投入に失敗したAstro-E衛星の再挑戦）には、10 keV以上のエネルギー領域で、史上最高の感度を持つ硬X線検出器が搭載される。さらに、その次のX線天文衛星計画NeXT（New X-ray Telescope）

計画には、多層膜コーティングという新しい技術を導入した、10-80 keV領域で撮像能力を持った反射望遠鏡が導入される。CXBの最後のなぞを秘める、未知の硬X線源が何者であるか？ジャッコーニ博士がリードしてきたCXBの研究の最後は、日本の衛星群で締めくくりたいものである。

参考文献

- 1) Giacconi R., et al., 1962, Phys. Rev. Letters, 9, 439
- 2) Mather J. C., et al., 1994 ApJ 420, 439
- 3) Giacconi R., et al., 2001, ApJ 551, 624
- 4) Giacconi R., et al., 1979, ApJ 234, L1
- 5) Schmidt M., et al., 1998 A&A 329, 495
- 6) Piccinotti G., et al., 1982, ApJ 253, 485
- 7) Hayashida K., 1990, PhD Thesis, Univ. of Tokyo
- 8) Ueda Y., et al., 1998, Nature, 391, 866-868
- 9) Akiyama M., et al., 2000, ApJ., 532, 700
- 10) Rosati P., et al., 2002, ApJ 566, 667