

# 「あすか」による宇宙 X 線背景放射の研究

小賀坂 康志\* , 上田 佳宏\*\* , 石崎 欣尚\*\*\*

\* <学振海外特別研究員, code 662, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD 20771, USA>  
Yasushi. Ogasaka.1@gssc.nasa.gov

\*\* <宇宙科学研究所 〒229 相模原市由野台 3-1-1>  
ueda@astro.isas.ac.jp

\*\*\* <東京都立大学理学部 〒192-03 八王子市南大沢 1-1>  
ishisaki@phys.metro-u.ac.jp

宇宙 X 線背景放射 (CXB) の発見は X 線天文学の黎明期に遡る。今日に至ってもなお、その起源は謎に包まれている。硬 X 線領域ではじめて撮像観測を実現した「あすか」は、CXB の研究においても威力を発揮した。我々は「あすか」による大規模なサーベイ観測を行ない、CXB の起源についての重要な知見を得ることができた。本稿では、その研究成果について紹介する。

## 1. 背景

### 1.1 宇宙 X 線背景放射 (CXB)

いかなる波長領域においても、程度の差こそあれ、天体の存在が確認されない方向からの放射が認められる。これが広い意味での「背景放射」である。X 線波長領域においても、背景放射 (宇宙 X 線背景放射; Cosmic X-ray Background, 以下 CXB) が観測される。CXB とは通常、0.1–100 キロ電子ボルト (以下 keV) 程度の波長領域で観測される背景放射を指す。

CXB 強度は、硬 X 線領域 (2 keV 以上) では銀緯 20° 以上において全天にほぼ一様に分布する。この観測事実は、CXB が銀河系外に起源をもつことを強く示唆する。一方、軟 X 線領域 (2 keV 以下) では、銀河系内物質による吸収減光や銀河系内の高温プラズマからの放射の混入を受けるため、銀河系の構造を反映した分布を示す。

全ての背景放射現象は、未知の天体現象の情報を含む可能性があるという意味で、研究対象とし

て興味深い。CXB の場合、その起源自体が未解決の問題であることはもちろん、後述するように、大部分が個々の X 線天体で構成されていると考えられているので、CXB の構成天体をプローブとして、銀河/銀河団の形成/進化、さらには大規模構造の形成に至るプロセスを解明する貴重な情報を含んでいる。

### 1.2 CXB の起源をめぐる謎

#### ～「あすか」以前

この節では、「あすか」による観測が実現する以前の CXB についての理解を概観しておく。

#### 1.2.1 CXB のエネルギースペクトル

3–50 keV 領域の CXB のエネルギースペクトルは、 $kT \sim 40$  keV の熱制動放射モデルでよく記述することができる<sup>1)</sup>。このことから、CXB の起源を宇宙に一樣に広がる高温プラズマに求める議論がなされたことがあった。しかし、COBE 衛星によるマイクロ波背景放射 (CMB) のエネルギースペクト

ルの精密な観測から、そのような高温プラズマの存在量について非常に厳しい制限が加えられた<sup>2)</sup>。現在では、CXBの起源は未だに空間的に分解されていない微弱な銀河系外天体からの放射の重ね合わせであるとの説が有力となっている。

2 keV以上のエネルギー領域を詳細に調べると、まず「あすか」がカバーする10 keV以下のエネルギー領域では、光子指数(以下 $\Gamma$ ) $\sim 1.4$ のベキ関数でCXBスペクトルを良く説明することができる。またガンマ線領域では、 $\Gamma \sim 2.75$ 程度の傾きで少なくとも100 MeV程度まで単一のベキ関数で説明することができる<sup>3)</sup>。

一方、2 keV以下の軟X線領域では、スペクトルに何成分があることが知られている。まず、 $kT \sim 0.2\text{--}0.3$  keV程度のプラズマ放射成分がある。これは、観測方向によって強度や温度がばらつくことから、我々の銀河系に付随するホットガスからの寄与が大きいものと考えられる。(低温の銀河団や楕円銀河からの寄与が多少あるものと見込まれる。) また、より低エネルギー側には、 $kT \sim 80$  eV程度のプラズマ成分があり、太陽系近傍のLocal Bubble<sup>4)</sup>の輻射を見ているものと考えられている。これらはいずれも銀河系内成分であり、最後に残るベキ関数成分が、銀河系外CXBと目されている。そのベキは $\Gamma \sim 2.0$ 程度であると言われており、2 keV以上の $\Gamma \sim 1.4$ に比べ有意に急である。ただし、その成分の決定は、銀河系内成分の混入や検出器の不十分なエネルギー分解能のために大きな不定性を持っている。例えばベキ関数成分の絶対強度は観測により10-20%の不定性があり、ベキの変化がどのエネルギーで起こっているかもはっきりとは分かっていない。

CXBのエネルギースペクトルが特徴的な形を持つということは、そのエネルギー領域で構成天体のスペクトルに何か特徴があるか、あるいは構成天体の種族の境界を見ていると考えられ、起源解明のための貴重な手がかりとなる。従来の観測機器にとっては $\sim 2$  keVは検出感度が急激に落ち込む領

域であり、精密観測は叶わなかった。この構造解明は、「あすか」に課せられた観測目的の一つであった。

### 1.2.2 CXBの空間構造

過去の観測に基づいて予測すると、CXBは主に $z \sim 1\text{--}3$ の天体、特にAGNからの放射で構成されていると考えられる。こうした天体の持つ空間構造、及びその進化の様子は、CXBの空間構造に直接反映され、観測されるはずである。 $z \sim 1\text{--}3$ の時期は、銀河団や超銀河団、さらには大規模構造が作られていったと考えられる時期であり、CXBの研究はそれらの構造がいつどのように形成されたのかという問題を解く手がかりを与える。

HEAO-1は $3^\circ \times 6^\circ$ 、「ぎんが」は $1^\circ \times 2^\circ$ のスケールでCXBが非常に様な強度分布を持っていることを明らかにしている(図6. HEAO-1で3%、「ぎんが」で5%)。これは、検出限界以下のフラックスの天体の数密度揺らぎからの予想とほぼ等しく、この角度スケールでは $z \sim 1\text{--}3$ 程度まで宇宙が非常に同様であることを示唆している。

撮像能力を持つ「あすか」は、CXBの空間構造について $1^\circ \times 1^\circ$ 以下の小さな角度スケールでより強い制限をつけることができる。 $z \sim 3$ において $1^\circ$ の角度スケールは100 Mpc程度に相当する。100 Mpcというのは近傍宇宙で見られる大規模構造のスケールにほぼ対応し、このスケールのCXBの一様性の観測は特に興味深い。

### 1.2.3 銀河系外X線天体の特性

点源を分解していくことによりCXBの起源天体を探る試みは、あらゆるX線観測衛星により行われてきた。Einstein衛星やROSAT衛星は $\sim 2$  keV以下に感度を持つX線望遠鏡を搭載し、軟X線領域における微弱なX線天体の検出能力を飛躍的に向上させた。現在までに $\sim 10^{15}$  ergs  $s^{-1} cm^{-2}$  (0.5-2 keV)までの明るさの天体が系統的に調べられており、これ以上の明るさの天体によりCXB強度の60-80%が構成されることがわかっている。検出された天体の多くは、自己吸収を持たないセイファ

ート銀河およびクェーサー、いわゆる1型活動銀河核 (AGN) であった。そのエネルギースペクトルの平均は、 $\Gamma \sim 2.0-2.2$  程度であり、CXB のスペクトルと良い一致を示すとされている。

一方、硬X線領域 (2–10 keV) においては、HEAO-1 や「ぎんが」に搭載された非撮像型の観測機器により、点源の直接検出により CXB 強度の3%程度までが (感度限界  $\sim 10^{11} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ )、また検出感度以下の天体の空間密度揺らぎを調べる方法 (揺らぎ解析) によりおよそ30%までが (感度限界  $\sim 10^{13} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ) 点源の寄与で説明できることが示された。HEAO-1 によると、 $\sim 10^{11} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  レベルの天体の多くは1型AGNもしくは銀河団であった<sup>10)</sup>。

#### 1.2.4 スペクトルパラドックス

前節で述べたように、軟X線領域でのCXBは、ほぼ1型AGNを始めとする点源により、説明されようとしている。次の疑問は、果たしてこれらの天体により、硬X線領域のCXBが説明できるかどうかである。結論から言えば、不可能である。

1型AGNの2–10 keVのスペクトルは $\Gamma \sim 1.7$ と、CXBのベキ $\Gamma \sim 1.4$ にくらべ有意に急である。このようなベキを持つ天体をさらに積み重ねたとこ

ろで、CXBのスペクトルは説明できない。これがいわゆる「スペクトルパラドックス」である。

一方、EXOSATや「ぎんが」により、セイファート2型銀河など硬X線領域で主な放射強度を持つ天体が知られるようになった。栗木ら<sup>9)</sup>はAGNの統一モデルの予想から、硬X線で強い放射を持つセイファート2型銀河が大量に寄与することにより、CXBのエネルギースペクトルが説明できることを示唆している。また、吸収を受けた大光度のAGN、いわゆる「2型クェーサー」のCXBへの寄与の可能性も指摘されてきた。硬X線観測によるこうした硬いスペクトルを持つX線天体の探索は、「あすか」が掲げる目標の一つであった。

## 2. 「あすか」によるCXBの観測研究

以上の背景を受け、我々は「あすか」により、(1) 2–10 keV 領域における無バイアスサーベイによるCXBの点源分離、(2) 0.5–10 keV 領域におけるCXBスペクトルの精密測定、などを目的とし、観測研究を行った。

「あすか」による観測として、 $\sim 10^{12} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  から、感度限界である $\sim 10^{14} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  (2–10 keV) にわたる広いフラックス領域で点源の探査を行う

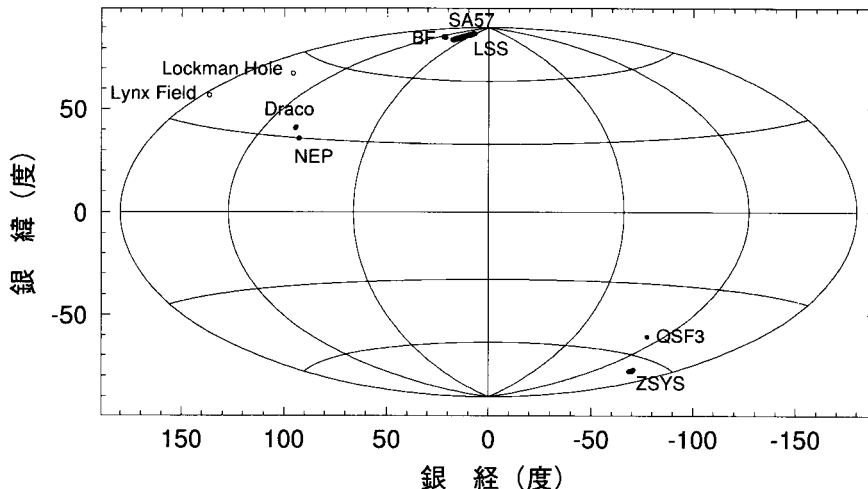


図1: 「あすか」によるサーベイ観測の領域を銀河系座標で示した。

べく、Large Sky Survey (LSS) および Deep Sky Survey (DSS) が計画された。LSS では広い連続した空域を一様な検出感度でサーベイした。この観測データは同時に、CXB のエネルギースペクトル及び空間構造を研究する目的でも使用された。一方 DSS は、LSS の感度限界以下を担当し、検出感度を上げることを目的として同一の視野を長時間観測した。この章では、これら観測結果について紹介する。図 1 に、本研究の対象となった観測領域を示す。

## 2.1. 銀河系外 X 線天体の特性 ～点源探査

### 2.1.1 Large Sky Survey の結果

LSS では、1993 年から 1995 年にかけて  $6.5 \text{ deg}^2$  にわたる連続した空域を「あすか」により系統的に観測した<sup>6)</sup>。観測領域は、銀河系内の吸収の影響

の少ない、高銀緯（赤経  $198^\circ.6$ ，赤緯  $31^\circ.5$ ）の場所を選択した。この領域は、「あすか」による最も深いサーベイの行なわれた Selected Area 57 (SA57) 領域の隣に位置する。LSS プロジェクトの総ポインティング数は 76，合計観測時間は約 800 ksec におよび、観測は SIS (X 線 CCD カメラ) の視野で領域を完全にマッピングする形で行なわれた。一点あたりの平均観測時間は GIS (ガス蛍光比例係数管) に対して 27 ksec，検出限界は、2–10 keV バンドのサーベイで  $1.2 \times 10^{-13} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  に達する。 $6.5 \text{ deg}^2$  以上にわたる広い観測領域は、「あすか」のサーベイの中でも類を見ない規模である。この結果、検出される微弱 X 線源の数は飛躍的に増加し、その性質の統計的な議論を可能にした。なお、「あすか」による X 線観測と並行して、光学観測チームによる光学フォローアップ観測が、現在も精力的に進められている。

点源探査は、GIS / SIS 両センサーのデータを用

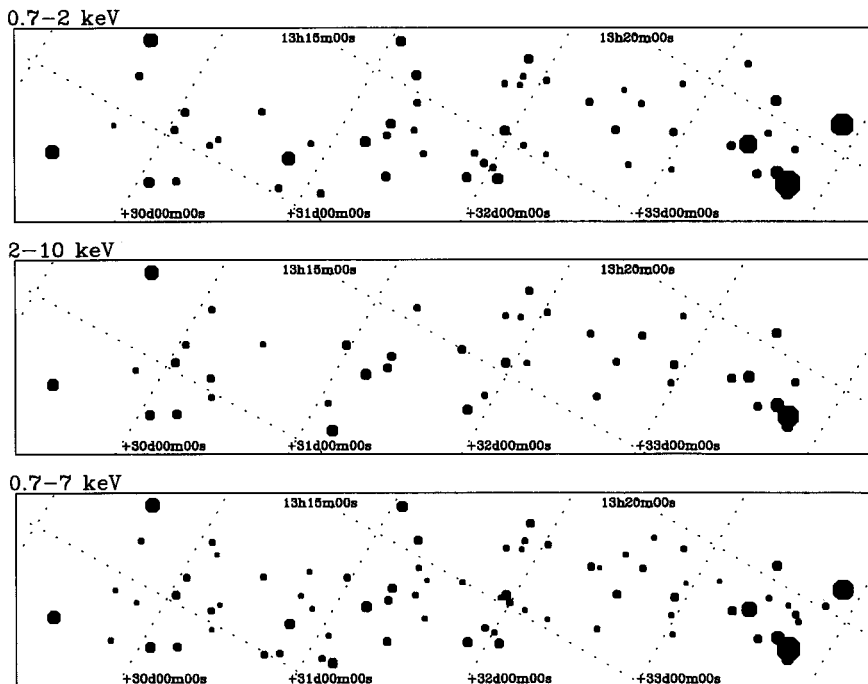


図 2 : LSS フィールドで検出されたソース (GIS)。上 : 0.7-2 keV，中 : 2-10 keV，下 : 0.7-7 keV バンドでのサーベイの結果。各点の面積が、フラックスに比例する。

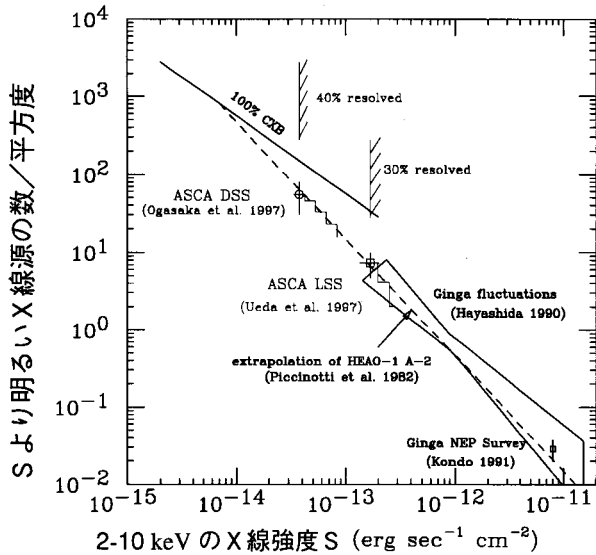


図3：2-10 keV 領域の Log N-Log S 関係。横軸は天体のフラックス，縦軸はあるフラックス以上の天体の単位立体角あたりの数を示す。「あすか」DSS, LSS の結果を，過去の観測結果「ぎんが」点源探査，「ぎんが」揺らぎ解析，HEAO-1 A2 点源探査と共に示す。

い、LSS の全領域に対し硬X線 (2-10 keV)，軟X線 (0.7-2 keV)，全バンド (0.7-7 keV) の3つのエネルギーバンドで独立に行なわれた。その結果、それぞれ50-70、和サンプルとして合計~120個のX線源を検出することに成功した(図2)。強度範囲は  $2 \times 10^{-12}$ - $8.0 \times 10^{-14}$  erg s<sup>-1</sup>cm<sup>-2</sup> (2-10 keV) に及ぶ。また、LSSにより得られた2-10 keVバンドのX線源の強度と個数の関係(Log N-Log S 関係)を図3に示す。これは、「ぎんが」衛星で得られた結果のほぼ延長上に位置し、傾き-1.5(一様空間分布)のままX線源の数密度が増加していることを意味する。また、LSSで検出した最も暗い点源までの積分強度は、全CXB強度の~30%に達する。

我々はさらに細かくエネルギーバンドを分けた画像を解析することで、2 keV以上でのサーベイにより発見された個々の点源の2-10 keVのスペクトルを精度良く決定した。そして、フラックスが  $(1-4) \times 10^{-13}$  erg s<sup>-1</sup>cm<sup>-2</sup> (2-10 keV) の範囲の微弱X線源のスペクトルを足し合わせて平均のスペクトル

を求めたところ、そのべきは  $1.5 \pm 0.2$  を示すことが分かった。

### 2.1.2 Deep Sky Survey の結果

一方DSSの主眼は、主にSA57領域の合計約500 ksecにわたる長時間観測により、「あすか」の性能限界までの深い点源探査を行うことにあった<sup>7)</sup>。SA57は、光学観測によるクエーサーサーベイ<sup>8)</sup>が非常に深く行われている領域である事も、選択理由の一つである。SA57にLynx Field, Lockman Holeの観測(それぞれ80 ksec, 60 ksec)を加え、合計0.29 deg<sup>2</sup>の領域について、LSSと同様に点源探査を行った。なおDSSでは視野あたりの検出天体の数が多いため、より位置分解能の高いSISのデータのみを用いて点源探査を行っている。検出感度は、硬X線バンドにおいて  $3.8 \times 10^{-14}$  erg s<sup>-1</sup>cm<sup>-2</sup> (2-10 keV) に達し、「あすか」以前の検出限界に比べ、

2桁以上の向上を見た。

検出されたX線源の数は、和サンプルで38個であった。硬X線サーベイから得られた天体の数密度からLog N-Log S関係を導くと、感度限界  $S=3.8 \times 10^{-14}$  erg s<sup>-1</sup>cm<sup>-2</sup> (2-10 keV) で  $N(>S) = 55 \pm 25$  deg<sup>-2</sup>と、依然として「ぎんが」、LSSから傾き-1.5を仮定した延長と矛盾しない。得られた点源の平均的なスペクトルは、 $4 \times 10^{-14}$ - $1.3 \times 10^{-13}$  erg s<sup>-1</sup>cm<sup>-2</sup> (2-10 keV) のフラックス領域で、 $\Gamma = 1.3 \pm 0.4$ であった。LSSと同様に、検出された天体の光学同定観測が進められており、成果が挙がっている<sup>15)</sup>。

### 2.1.3 検出されたX線天体のエネルギースペクトルと種族

LSS/DSSによる点源探査の結果の注目すべき点は、2-10 keVのCXBの多くの割合を点源に分離したこととともに、CXBの起源に関して長年の問題となっていた「スペクトルパラドックス」が解決の兆しを見せ始めたことである。

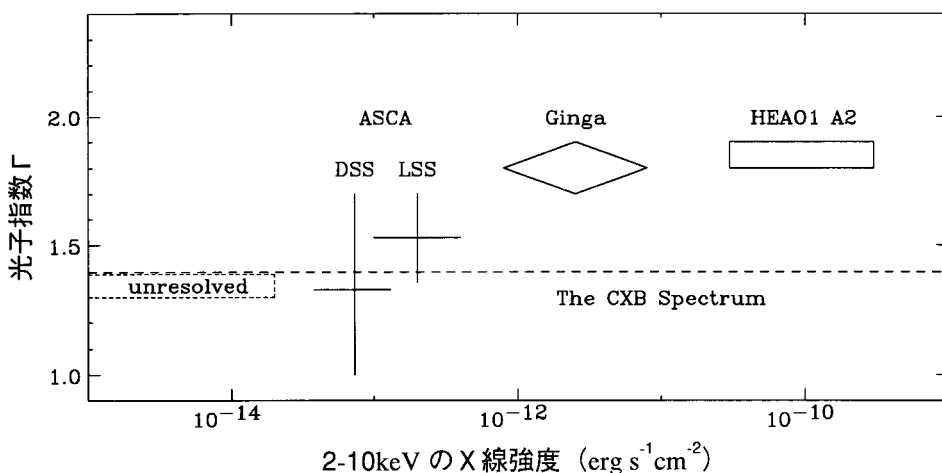


図4：系外X線源に対する、2-10 keVバンドでのフラックスと平均光子指数の関係。左の十字が、「あすか」DSS/LSSによる結果。真中の菱形は「ぎんが」によるゆらぎ解析の結果、右の四角はHEAO-1 A2の無バイアスサンプル<sup>11)</sup>に対する結果を示す。HEAO-1 A2サンプルには銀河団が半数含まれる。

図4に、過去の観測結果と合わせ、さまざまなフラックスレベルにおける系外X線源の平均の光子指数を示す。まず、HEAO-1 A2による $\sim 3 \times 10^{11} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  (2-10 keV) レベルのX線源の平均光子指数 ( $1.9 \pm 0.1$ )、および「ぎんが」によるCXBのゆらぎ成分の解析から得られた  $10^{11} \sim 10^{12} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  (2-10 keV) の平均光子指数 ( $1.8 \pm 0.1$ ) は、おおむね1型AGNのベキ ( $\Gamma \sim 1.7$ ) に近い、むしろ急であると言える。これは、このフラックス領域における銀河団の寄与を考えると理解できる。いっぽうLSSの結果は、より明るいフラックス領域に比べてベキが平らになり、徐々にCXBのベキに近付きつつあることを示している。これは、このフラックス領域において、CXBの主要な構成要素となる硬いスペクトルを持つ天体の寄与が現れ始めていることを示唆している。さらにDSSの結果から、より暗い天体はCXBのベキに非常に近い値を示すことがわかる。LSS/DSSで検出した天体のスペクトルを積分することにより、未だ分解されていない全CXB強度の60%を担う天体の平均のベキを予想すると、 $\Gamma \sim 1.3-1.4$ となる。

Einstein や ROSAT による軟X線領域での観測結

果から、フラックスが  $10^{13} \sim 10^{14} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  レベルのX線源の多くはAGNであることが示唆されており、従ってLSS/DSSで観測された点源の多くもこれらの天体であると推定できる。しかし、我々が2-10 keVバンドで検出したX線源の平均スペクトルは、従来知られている明るいAGNのスペクトルが  $\Gamma \sim 1.7$  のベキ関数で表されるのに対して有意に硬い。このような硬いX線源の候補としては、前に述べた2型AGNが考えられる<sup>12)</sup>。これは、1型AGNと異なり、中心核からの放射が物質によって遮られているために、吸収あるいは散乱を受けた硬いX線スペクトルを示す天体である。

我々の観測したフラックス領域において2型AGNの寄与が大きくなる理由は、以下の2つの効果により説明できる。第一に、より遠方の2型AGNを観測するにつれ、いわゆるK補正のために観測エネルギー領域が実質的に高エネルギー側へずれ、吸収を受けていない高エネルギー側の放射が観測されるようになる。そのため、見かけ上2型AGNが観測にかかり易くなるのである。もう一つは、両者の見かけのフラックスの違いによる効果である。同じ光度の中心核を持つAGNであれば、2

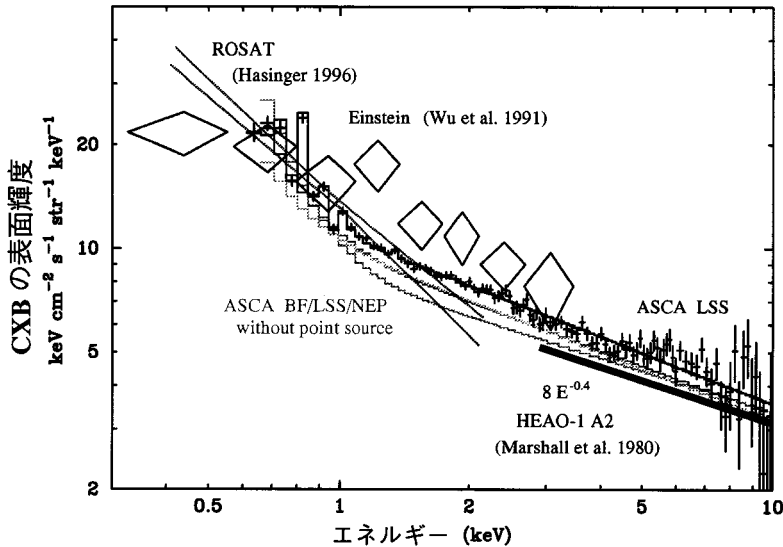


図5：CXB スペクトルの比較（本文参照）。

型 AGN のフラックスは 1 型に比べ低く観測される。従って、両者が同程度の距離にあれば、1 型 AGN に比べて 2 型 AGN はより暗いフラックス領域で CXB に寄与することになる。ROSAT の軟 X 線観測によって得られた 1 型 AGN の光度関数<sup>13)</sup>を用いれば、およそ  $(3-7) \times 10^{14} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  (2-10 keV) のフラックス領域で 1 型 AGN の数密度が頭打ちになり始めることが予想されるが、2 型 AGN の数密度はさらに暗いフラックス領域まで増え続けることになる。今回の「あすか」の観測は、このように 2 型 AGN の割合が急速に増加する様子をとらえたものであると解釈できる。

実際、LSS で検出された X 線源のうち最も硬いスペクトルをもつ天体は、光学フォローアップ観測により、セイファート 2 型銀河と同定された<sup>14)</sup>。またより暗い領域では、DSS で検出された硬いスペクトルを持つ天体が狭輝線のキューサーとして同定された<sup>15)</sup>。このいわゆる「2 型キューサー」の同定は、AGN の統一モデルの予言するところの「大光度セイファート 2 型銀河」の存在を示すものであり、AGN 研究においても興味深い。

このように、1 型 / 2 型 AGN のスペクトル、数

密度分布を赤方偏移の効果も含めて考慮し、CXB の強度、スペクトルを説明しようとする理論的試みが、これまでにいくつかなされている<sup>17)</sup>。

## 2.2 CXB のエネルギースペクトル及び空間構造

次に 0.7-10 keV における CXB の平均スペクトルの精密測定、および、異なるサーベイ領域での CXB スペクトルのパラメータの比較による CXB の一様性の検証について述べる<sup>16)</sup>。解析には、LSS, SA57, Braccetti Field (BF), North Ecliptic Pole (NEP), Draco Field, QSF3, multi z-system (ZSYS) の各領域の GIS データを使用した (図 1)。

図 5 に、LSS の全領域で得られた CXB スペクトル (十字) とベストフィットモデル (ヒストグラム) を示す。モデルは、ベキ関数 + 高温プラズマモデルで合わせることができた。なおスペクトルには、視野内で有意に検出された点源も含まれている。スペクトルは、 $\sim 1 \text{ keV}$  より上では単一のベキ関数でフィットされ、ベキは  $\Gamma = 1.49 \pm 0.02 \pm 0.05$  (誤差はそれぞれ統計誤差と系統誤差) であった。

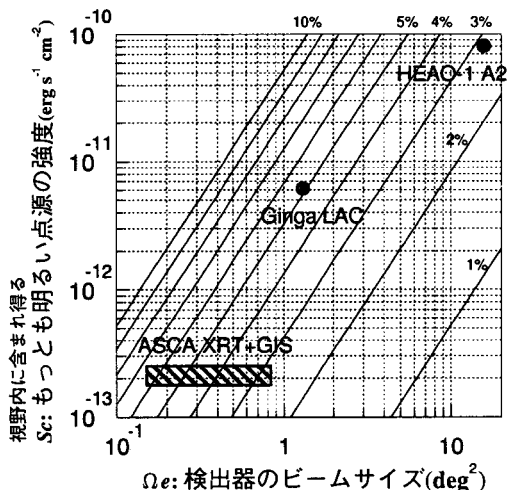


図6：2-10 keV の CXB 強度の一様性に関して HEAO-1 A2, 「ぎんが」, 「あすか」(本研究) が調べた領域を  $\Omega_e$ - $Sc$  平面上でプロットしたもの。平坦な宇宙を仮定した時に期待される視野ごとの CXB 強度のばらつきを合わせて示した (1%, 2%, …… の線)。検出器のビームサイズは視野の大きさに相当。Log N-Log S 関係  $S^{-1.5}$  がどの視野方向でも実現されていると仮定すれば、視野内に入るソース強度の総和のばらつきは、 $\Omega^{-1.2} \cdot Sc^{1/4}$  に比例すると考えられる。

CXB 強度は、HEAO-1 A2 よりも 10–20% 高い値を示すが、「あすか」の CXB 絶対強度に関しては ~15% の系統誤差があり得ることがわかっており、これらは相互のキャリブレーションの問題である可能性が大きい。~1 keV より下では明らかにフォトンの超過が見られ、 $kT \sim 0.3$  keV の高温プラズマモデル、あるいは  $\Gamma \sim 6$  の急なベキ関数でフィットすることができた。注目すべきは、HEAO-1 A2 で見えていた 3 keV 以上のベキ関数が 1 keV 近くまでほぼ真つすぐ続いていることである。従来、ROSAT や Einstein の軟 X 線領域の観測結果と HEAO-1 A2 による硬 X 線領域の観測結果をつなげることで、CXB のベキの折れ曲がり方が 2–3 keV にあるとする見方が一般的であったが、1.2.1 節で述べたように、これは各々の検出器固有の問題による誤りであった可能性が高い。

また、図 5 中の色付けした 3 つのヒストグラムは、BF, LSS, NEP の 3 つの領域において  $\sim 2 \times 10^{-13}$  erg s $^{-1}$  cm $^{-2}$  よりも明るい点源を除いたスペクトルを、 $\Gamma \sim 1.4$  の硬ベキ関数 プラス  $\Gamma \sim 6$  の軟ベキ関数のモデルでフィットした時のベストフィットである。LSS では明るいソースを抜いたことにより、フラックスが 7.5% 減少したが、硬ベキ関数のベキはほとんど変わらなかった。なお、この減少分は

Log N-Log S 関係から予測される点源の寄与でうまく説明することができる。

次に、観測領域による CXB 強度及びスペクトルの違いについて調べるために、観測領域を 10 にわけ、同様に明るいポイントソースを除いて、それぞれスペクトル解析を行った。その結果、硬ベキ関数のベキは  $\Gamma = 1.43 \pm 0.05$ 、2–10 keV のフラックスは  $(5.70 \pm 0.19) \times 10^{-8}$  erg s $^{-1}$  cm $^{-2}$  str $^{-1}$  と、ばらつきの程度は小さい。特にフラックスは 3% レベル (90% の信頼性で 9.2% 以下) で非常に良い一致を示している。調べられた空間スケールは  $\Omega_e = 0.17$ – $0.77$  deg $^2$  であり、このスケールにおいても CXB 強度が一樣と考えて問題ないということを表している。図 6 は、本研究の結果を HEAO-1 A2<sup>18)</sup> や「ぎんが」LAC<sup>10)</sup> での結果と比べたものである。いっぽう、軟ベキ関数のフラックス (0.5–2 keV) は視野ごとに 1 桁近くの大きなばらつきを示しており、我々の銀河系に付随する成分の影響が大きいことを物語っている。

## まとめと今後

以上、「あすか」による CXB の研究の代表的な結果についてまとめた。点源探査、スペクトルの決定などいずれも過去の観測研究から著しい進歩



を見た。しかし、CXBの起源となる天体の種族について、最終的な結論が出たわけではない。2型AGNの寄与の証拠を得たものの、これを含む既知の天体のみでCXBを説明できるかどうか、定かではない。未知の天体の寄与の可能性、あるいは1型AGNの進化という可能性も論じられており、今回「あすか」で検出した天体がなんであるか、光学同定観測を待たなければならない。

我々はさらに、揺らぎ解析による検出感度以下のLog N-Log S関係の決定を試みている。これにより、さらに暗いフラックス領域でのCXB構成天体の振舞いが明らかになるであろう。またROSATとの共同観測を行い、広いエネルギーバンドでの統一的なCXBの描像を得ようという研究も進んでいる。

将来に目を向けると、今後AXAF(アメリカ)、XMM(ヨーロッパ)、ASTRO-E(日本)と、硬X線領域でさらに高い感度を持つ観測衛星が続々と打ち上げられる。いずれも $(0.5-1) \times 10^{-14} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  (2-10 keV)の感度を達成できる見込みであり、微弱な天体の特性についての我々の知識を大幅に進歩させてくれることは間違いない。「あすか」による今後の観測研究はもちろんのこと、こうした次世代の衛星の活躍により、CXBをめぐる謎が最終的に解決されることを期待したい。

## 謝 辞

本研究は、「あすか」の持てる性能を最大限に生かすことで初めて可能となった。「あすか」の開発、運用、較正に多大な尽力を頂いた「あすか」チームの皆さんに感謝する。

また貴重な御意見、御指導を頂いた井上一氏(宇宙研)、高橋忠幸氏(宇宙研)、紀伊恒男氏(宇宙研)、牧島一夫氏(東大)に感謝する。

太田耕司氏(京大)、山田亨氏(東北大)、秋山正幸氏(京大)、中西康一郎氏(京大)をはじめとする光学フォローアップチームの皆さんには、継続的に観測を行って頂いている。この場を借りて、御礼申し上げたい。

## 参 考 文 献

- 1) Marshall, F. et al. 1980, *Astrophys. J.*, 235, 4.
- 2) Mather, J.C. et al. 1994, *Astrophys. J.*, 420, 439.
- 3) Kinzer et al., 1997, *Astrophys. J.*, 475, 361.
- 4) Inoue et al., 1979, *Astrophys. J. (Letters)*, 227, L85.
- 5) Awaki, H. et al. 1993, *Adv. Space Res.*, 13, 221.
- 6) Ueda, Y. 1996, Ph. D dissertation of Univ. of Tokyo
- 7) Ogasaka, Y. 1996, Ph. D dissertation of Gakushuin Univ.
- 8) Koo, D. C., Kron, R. G. and Cudworth, K. M. 1986, *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 98, 285.
- 9) Kondo, H. 1991, Ph. D dissertation of Univ. of Tokyo
- 10) Hayashida, K. 1989, Ph. D dissertation of Univ. of Tokyo
- 11) Piccinotti, G. et al 1982, *Astrophys. J.*, 253, 485.
- 12) Antonucci, R. R. J. and Miller, J. S. 1985, *Astrophys. J.*, 297, 621.
- 13) Boyle, B.J. et al. 1994, *Mon. Not. Royal Astron. Soc.*, 271, 639.
- 14) Akiyama, M. et al. 1997, in preparation.
- 15) Ohta, K. et al. 1996, *Astrophys. J. (Letters)*, 458, L57.
- 16) Ishisaki, Y. 1996, Ph. D dissertation of Univ. of Tokyo
- 17) Comastri, A. et al. 1995, *Astron. & Astrophys* 296, 1.
- 18) Shafer, R. A. 1983, Ph. D dissertation of Univ. of Maryland, NASA TM 85029.

## Studies of the Cosmic X-ray Background with ASCA

Yasushi OGASAKA

NASA/Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD 20771, USA

Yoshihiro UEDA

Institute of Space and Astronautical Science, Yoshinodai, Sagamihara, Kanagawa 229, Japan

Yoshitaka ISHISAKI

Department of Physics, Tokyo Metropolitan University, Hachioji, Tokyo 192-03, Japan

Since the discovery of the Cosmic X-ray Background (CXB) more than 30 years ago, its origin has been a long standing puzzle in the X-ray astronomy. To study the composition of the CXB and its large-scale spatial structure, we have carried out systematic surveys with the ASCA satellite. The excellent sensitivity of ASCA, higher than any previous missions by two orders of magnitudes in the 2-10 keV band, has enabled us to investigate properties of faint X-ray sources at a flux level down to several  $\times 10^{-14} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  (2-10 keV). We summarize results of the ASCA observations and discuss the origin of the CXB.