

たのではなからうか (Koyama *et al.* 1986, *PASJ*, **38**, 503).

### 5. 超新星残骸と新X線パルサーの分布

図1をみると銀経30度あたりで銀河の峰に肩があることがわかる。ここには個々に分離されて超新星残骸が多く検出されている。図3に「ぎんが」による銀河面の2次元強度分布を示す。上段、下段は3日間的前後に観測した結果をそれぞれ2~5キロ電子ボルト(軟X線)、5~10キロ電子ボルト(硬X線)のバンドでしめす。まず軟X線で時間変化のないもの(Xでしめす)は殆ど超新星残骸である。一方硬X線で顕著に変動するX線源(+で示す)が3つ程発見されている。これらはBe星を相手にもつ新X線パルサーと考えられる。「ぎんが」の数回の観測により7個の新X線源(内4個からはパルサーセッションが検出)がここに集中していることが発見された(Koyama *et al.* 1990, *Nature*, **343**, 148)。超新星

残骸、X線パルサーの集中からこの領域は星が次々と形成され超新星爆発をおこしていると考えられる。さらに無数の超新星残骸の集まりとして銀河の峰にある30度付近の肩が観測されていると推定される。この領域は5キロパーセクのリングといわれ、銀河の渦状腕を構成するものだろう。

この様に超新星残骸や新X線パルサーの分布は銀河の渦状腕の構造をさぐる新しい手殺になるかもしれない。現状では、他の明るいX線源の妨げや、観測時間の制約等から、5キロパーセクリング以外の有意な構造を示唆することは困難である。しかし、超新星残骸や新X線パルサーはそれぞれ1000個以上存在すると推定できるので、将来より空間分解能の高い観測でそれらのきれいな分布図がえられるであろう。さらに銀河面の系統的観測は、銀河の峰、銀河中心の高温プラズマの起源の解明に決定的な役割をはたすだろう。

## クェーサーとX線背景放射

紀伊恒男\*・林田清\*・榎野文命\*・大橋隆哉\*\*

### 1. クェーサー

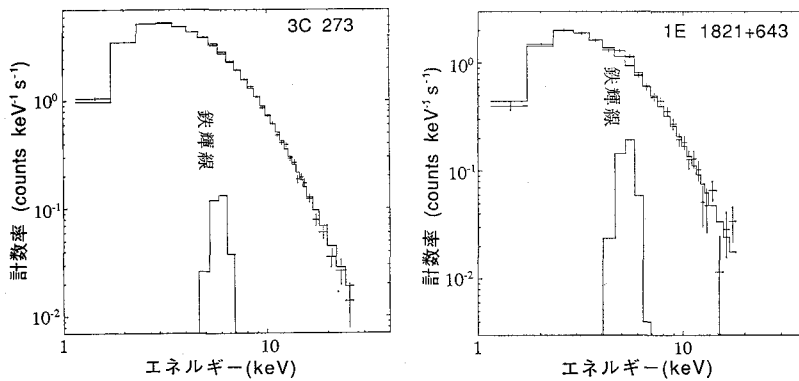
活動銀河核(Seyfert銀河, BL Lac天体, クェーサーなど)は宇宙で最も激しい活動であり、銀河中心部の $10^{18} \sim 10^{19}$  cmの極めて狭い領域から $10^{42} \sim 10^{47}$  erg s<sup>-1</sup>もの強い電波からγ線の放射をしている。この膨大なエネルギー源は、その中心部にある巨大ブラックホールに落ち込む物質の重力エネルギーであるとの考えが有力である。しかし、重力エネルギーから放射エネルギーへの転換機構は不明である。X線は最も速い時間変動をするため、その中心部から放射されていると考えられる。活動銀河核のX線放射は、非熱的なベキ型のエネルギースペクトルであるので、数keV以上の硬X線の観測が重要である。この点で「ぎんが」は本格的な活動銀河核の観測を行った最初の衛星と言えよう。ここでは、二つのクェーサーの観測結果を紹介しよう。

「ぎんが」はクェーサー3C 273と1E 1821+643から鉄の特性X線輝線を検出した。図1にこの二つのクェーサーのX線スペクトルを示した。鉄の輝線は可視光で決定されたのと同じ赤方偏位を示しており、これを補正したエネルギーから低温ガスの蛍光X線と考えられる。そ

の強度は等価幅にして100~250 eVと大きい。これは、中心核から放射される強い連続放射に照射されたガスからの放射で、近傍に厚いガスが広い範囲に存在していることを示している。これは、Seyfert銀河に一般にみられる現象であるが、より光度の大きいクェーサーも同じ様な構造になっているといえる。この物質は、多分、降着物質と考えられ、先に述べた降着流の証拠となると考えることができる。このクェーサーからの鉄輝線の発見の意義はこれからのX線天文学にとって重要な意味がある。今後、鉄輝線の強度変動を測定できれば、物質分布を正確に求めることができる。また、鉄輝線はクェーサーをX線だけで探索できる。何れも次期X線天文衛星ASTRO-Dの重要なテーマとなるはずである。

OVVクェーサー3C 279は、1988年はじめから、電波から可視光に至る広い波長域で増光し、最近20年間で最大の強度に達した。「ぎんが」は1988年7月に観測したが、1987年6月に比べ6倍程度X線強度が増加していた。この観測では、同時に電波から紫外線の同時観測を要請し、広帯域のスペクトルを得ることができた(図2)。1987年の観測は同時ではないが、定性的には、スペクトルの形の変化は強度の増加の前後で顕著でない。強度はサブミリ波より短い全ての波長帯でほぼ同じ割合で増加している。もう一つ重要な点はX線のスペクトルの傾きが、サブミリ波-紫外線のスペクトルの傾き

\* 宇宙研 Tsuneo Kii, Kiyoshi Hayashida, Fumiyoshi Makino, \*\* 東大理 Takaya Ohashi: Quasars and the X-ray Background Radiation



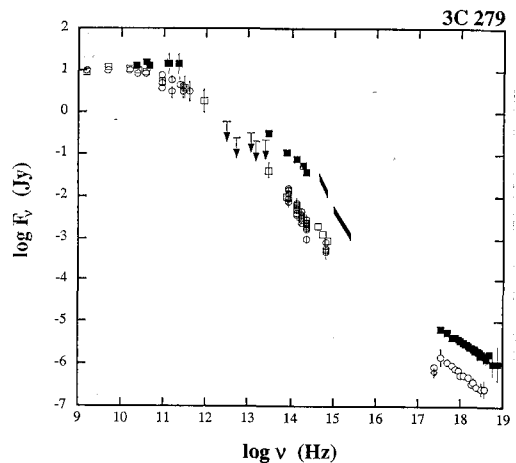
▲  
図 1 「ぎんが」が観測した  
3C 273 と 1E 1821+643  
の X 線スペクトル。

図 2 3C 279 の広帯域スペク  
トル。白抜きが増光以前、  
中塗りしたものが増光後  
のスペクトルである。

に比べ、緩やかになっていることである。この事実は、  
キューサーの X 線放射は他の波長域の放射と強く結び付  
いているが、発生機構が異なることを強く示している。  
また、この観測では、X 線の強度が 40 分間に 20% と  
いう速い変化を示した。一般に、放射体の大きさ  $l$  と時  
間変動のスケール  $\Delta t$  との間で  $\Delta t \geq l/c$  との関係がある。  
また、放射体中での散乱によって、速い変動が抑制され  
るので、光度  $L$  の時間変動率に  $\Delta L/\Delta t \geq 2.1 \times 10^{42} \eta \text{ erg}$   
 $\text{s}^{-2}$  という関係が与えられる。ここで、 $\eta (< 1)$  は物質の  
静止質量エネルギーに対する放射エネルギーの比で、変  
換効率と呼ばれている。3C 279 は 2~20 keV の光度が  
 $3.3 \times 10^{46} \text{ erg s}^{-1}$  であり、上の変動率を用いると、 $\eta > 1$   
となる。このことは X 線源が光速に近い速度で近づいて  
いると考えることによって解決できる。これはビーミン  
グと呼ばれ、既に電波の超光速運動として直接観測され  
ている現象である。これらの事実から、X 線源も電波と  
同様に光速に近い運動をしており、今回の増光は新たな  
ジェットが放出されたためと考えられる。この事は、将  
来の電波の観測で確かめられるはずである。X 線の発生  
機構は、電波から可視光の波長の長い光の逆コンプトン  
散乱が有力であるが、もし光と X 線の変動の相関が詳し  
く観測されれば、明確に証拠が得られるだろう。

## 2. X 線背景放射と遠方の天体の寄与

X 線背景放射は、天空の様な 2~100 keV の強い X  
線放射で、3 K 背景放射とともに、宇宙論的な世界を覗  
く窓と考えられている。しかし、X 天線文学の創世期に  
既にその存在が知られていたにも拘らず、いまだにその  
正体は謎である。これまでの多くの観測から、そのスペ  
クトルに似ていることが分かっている。しかし、このこと  
から、X 線背景放射が宇宙に広がる高温ガスからの放射  
であるとは、必ずしも言えない。これまでに、X 線背景  
放射を観測してきた観測機器は、視野が広く、暗い X 線



天体を分離できず、暗い天体からの X 線放射を含むスペ  
クトルとなっていた。一方、既知の天体のスペクトルは  
背景放射に比べると急な傾きを持つものが多く、単なる  
暗い天体の重ね合わせだけでは X 線背景放射のスペク  
トルは説明できない。現在、X 線背景放射に対する暗い X  
線天体——主に我々の銀河系外の天体——の寄与がどれ  
ほどあるのか、また、暗い X 線天体の成分を除いた「真  
の」X 線背景放射は、どのようなスペクトルをしていて、  
その起源は何なのか、問われている。

これまでも *Einstein* 衛星が 3 keV 以下のエネルギ  
ー範囲で約  $10^{15} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  までの暗い天体の数の密度  
を観測し、2 keV において X 線背景放射の少なくとも  
20% は暗い X 線天体が寄与していることを示した。し  
かし、*Einstein* は低エネルギーしか観測できないので、  
実際に背景放射が観測されているエネルギー領域で暗い  
X 線天体の寄与がどれほどあるかは、推定の域を出ない。  
「ぎんが」は、残念ながら、*Einstein* ほど暗い遠方  
の X 線天体まで十分分離して観測することはできない。  
しかし、明るい X 線天体のない空を観測することで、  
2~20 keV の領域での寄与がどの程度あるのか推定する

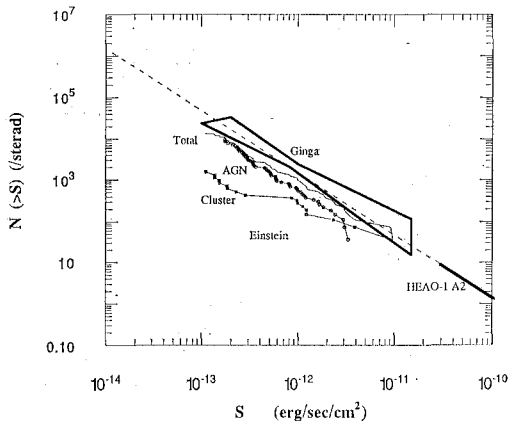


図3. 「ぎんが」のX線背景放射の揺らぎから求めたX線源の強度  $S$  と数密度  $N(>S)$  の関係. *Einstein*, *HEAO-1* の観測結果も示した.

ことができた.

「ぎんが」のLACの視野 ( $1^\circ \times 2^\circ$ ) の中には分離できない暗い天体が数多く入っているが、視野の中にはいるX線天体の数は統計的に揺らぐはずである。これに伴ったX線強度の揺らぎを観測してやれば、天空の暗いX線天体がどのくらいの数の密度があるか見積ることができる。「ぎんが」は、この方法で、 $10^{13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (2~10 keV) までの強度のX線源の数密度を見積ることができた。図3はこの様にして「ぎんが」で得られたX線強度とX線天体の数密度の関係を示した図で、これまでの他の衛星の結果も合わせて示してある。*Einstein* は、エネルギー帯が異なるので、「ぎんが」で得られた結果で変換を行ってある。通常のユークリッド空間に一樣に進化しない天体が存在した場合には、このグラフは  $N(>S) \propto S^{-1.5}$  ( $S$ : 天体の強度,  $N(>S)$ : 単位立体角当たりの  $S$  以上の天体の数) という関係を示すが、我々の得た結果はこの関係をほぼ満足する。「ぎんが」で得た結果は、*Einstein* で得た結果に比べ、X線天体の数密度が多いことを示しており、意外にX線背景放射に対する暗いX線天体の寄与は多い。この結果から、2~10 keVの範囲でX線背景放射の10~30%以上はこれらの暗いX線天体で説明できることが分かる。

また、この観測結果ではX線強度の揺らぎ成分のX線スペクトルを出すことができた。2~10 keVの範囲の揺らぎの成分のスペクトルは、上で述べたような活動銀河核のスペクトルと似ている。これは「ぎんが」の揺らぎの観測に寄与するような強度のX線天体は活動銀河核が多いという *Einstein* などの結果と良く合致している。一方、既知の活動銀河核のX線スペクトルは、X線背景放射のもの比べると急なスペクトルになっている。つまり、「ぎんが」で観測した揺らぎの成分に寄与するよ

うな活動銀河核の足し合わせでは、まだ、X線背景放射のスペクトルを説明できない。この問題は、いまだに未解決である。但し、「ぎんが」で観測したX線背景放射の揺らぎに寄与をしている活動銀河核は、赤方偏位が0.5以下のものが多い。例えば、我々の観測しているエネルギー帯よりも高いエネルギー帯で活動銀河核のスペクトルが平坦になっていたとすると、遠方の赤方偏位の大きな天体は、「ぎんが」で観測したエネルギー帯で平坦なスペクトルを示すはずである。「ぎんが」は明るいSeyfert銀河の観測などから、10 keV以上のエネルギー帯で平坦なX線スペクトルを持つものをいくつか観測している。もし、この傾向が多くの活動銀河核に共通の事例であれば、X線背景放射が、単純な微弱な活動銀河核の足し合わせだけで説明できる可能性がある。

X線背景放射の正体を解き明かす役目はASTRO-Dなどの次世代のX線天文衛星に負わされている。より暗いX線源の探査、背景放射のもっと暗いレベルの揺らぎ、そして、遠方の活動銀河核の性質を調べて行くことで、次第にその理解を深めることができると期待している。

# 天体物理学基礎理論

加藤正二

宇宙物理学講座 第1巻

A5判・上製函入 定価五一五〇円(正価五〇〇〇円)

近年、観測のいちじるしい進歩によって、宇宙で営まれている現象は予想以上に動的で、ドラマチックなものであることが分かってきた。本書は、プラズマ物理学、電磁流体力学、相対性理論、その他の駆使によって、恒星や銀河におけるこれら動的現象を理解するのに必要な基礎理論を俯瞰的に叙述するものである。学生諸氏には参考書としての、また専門の研究者諸氏には既得知識の整理・補完のための、活用を期待する。なお予備知識としては流体力学、電磁気学、熱力学、相対性理論、等の初歩的基礎を要求しているが、式の追跡には特別の知識を必要としないよう配慮されている。(二四六頁)

国内送料はすべて当社負担 当社は取次店を経由しません  
小売書店卸価格は定価の70% 直接小売分消費税は当社負担

〒160 東京都新宿区新宿1-7-10-804 **ごとう書房** ☎ 03-354-8391 振替東京0-77869