

# X線でさぐる銀河系の構造

小山 勝二\*・満田 和久\*\*

## 1. はじめに

我が銀河は半径約 15 キロパーセクの円盤状の形をしておりその中に 1000 億個をこえる恒星やガス雲が分布している。太陽は中心から 8.5 キロパーセク離れたところに存在し中心は天の川の中、いて座の方向にある。ところが銀河内に存在する塵のため可視光では銀河全体を見渡すことは出来ず、比較的太陽系近傍のみが観測されていた。とりわけ、まばゆいばかりの銀河中心は厚いベールにかくされてきた。このベールを最初にとりはらったのは赤外線や電波である。これらの波長を通じて銀河系全貌の様子がとらえられてきた。

銀河系内X線天文学の対象は従来から、中性子星やブラックホールの連星系に主点がおかれてきた。これらはその特異性、極限性に魅力があるもの、銀河の構造、進化の研究という観点から捕らえられることはなかった。唯一の例外はX線バースターの分布と明るさから、銀河中心までの距離を縮めた、「はくちょう」や「てんま」の成果であろう。

アインシュタイン衛星は殆どすべての種類の天体からのX線放射を発見した。しかし、X線感度が低エネルギーに限られていたため、銀河系全体を見渡すことは不可能であった。X線による銀河構造の研究は「ぎんが」衛星に至り、初めて可能になったといつてよい。ここではその一端を紹介しよう。

## 2. 銀河系を満たす高温プラズマ

連続X線をもちいて銀河面を探索すると、明るいX線

星(主に中性子星等と通常の星からなる近接連星系)がすべてを圧倒してしまう。これをさけるため我々はX線天文史上初めて高電離した鉄の特性X線(6.7キロ電子ボルト)の探査観測を行った。6.7キロ電子ボルトの特性X線は数1000万度~1億度の超高温プラズマを選択的に観測するのである。図1に鉄輝線の強度分布をしめす。銀河中心についてはあとで述べるとして、銀経 $\pm 60^\circ$ 程度にわたって高温プラズマの銀河の峰(Galactic Ridge<sup>註</sup>)がみられる。この銀河の峰の存在はHEAO-1(Worall *et al.* 1982, *Ap. J.*, **225**, 111)やEXSOSAT(Warwick *et al.* 1985, *Nature*, **317**, 218)で指摘され、「てんま」で光学的に薄い高温プラズマに起因することが証明された(Koyama *et al.* 1986, *PASJ*, **38**, 121)。「ぎんが」衛星は鉄輝線を用い明るいX線源に邪魔されずに銀河の峰の銀河中心に近いところまでの構造を初めて浮かびあがらせることに成功した。その強度分布は銀経 $\pm 30^\circ$ 付近で強度に段差があることは注目に値する。

## 3. 銀河中心の高温プラズマ

電波、赤外で観測した銀河中心はきわめて明るくまた活動性に富み、我が銀河系の中心というにふさわしい。連続X線で観測する限り銀河中心は他の明るいX線星に比べればほとんど無視出来る程の明るさしかない(例えばKawai *et al.* 1988, *Ap. J.*, **330**, 130)。ところが6.7キロ電子ボルトのX線でみると銀河中心方向が他に比して約10倍も強いことが明らかになった。このことは数1000万度~1億度の超高温プラズマが銀河中心に強く集中していることを意味する。X線領域で銀河中心

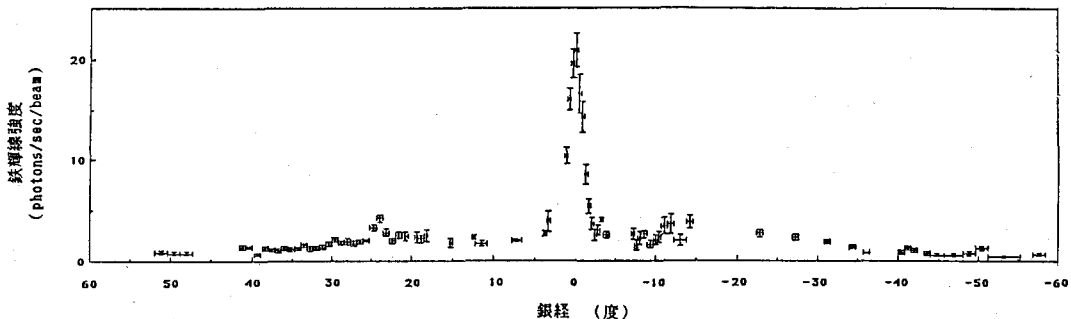


図1 6.7キロ電子ボルトの特性X線の強度分布、銀河中心できわめて強くなっている。

\* 名大理 Katsuji Koyama, \*\* 宇宙研 Kazuhisa Mitsuda: The Structure of the Galaxy Probed by X-rays

注) この放射は銀河面に垂直方向には $\pm 1^\circ$ 程度広がり、X線強度が銀河面に沿って峰のようにもり上がっているためこのように呼ばれる。

の高い活動性が発見されたのである (Koyama *et al.* 1989, *Nature*, 339, 603).

上の発見に勇気づけられ、山内らは銀河中心近くの 6.7 キロ電子ボルトの輝線のより詳しい観測を続けた。その結果超高温ガスの分布は長軸半径 180 パーセク、短軸半径 100 パーセク (いずれも半値幅) の楕円形に大きく広がっており、かつその長軸が銀河面より約 20 度傾いていることが解明できた。これらの分布を図 2 にしめす。銀河中心付近をすっぽりと包む巨大な超高温ガス (温度は 1 億度) である。鉄輝線の光度は  $10^{36}$  エルグ/秒、全体の光度は約  $10^{37}$  エルグ/秒であった。

さらに竹島、満田らは月の掩蔽を利用して銀河中心ごく近傍から約 10 パーセクの超高温ガスの塊を発見した (図 2 の斜線部分)。その温度はやはり 1 億度、全体の光度は  $10^{30}$  エルグ/秒である。

#### 4. 高温プラズマの起源

「ぎんが」が観測した超高温プラズマはどのようにして作られたのだろうか? 銀河内には弱いものもあれば様々な種類の天体から X 線が放出されている。ところがそれらの X 線源からの 6.7 キロ電子ボルトの輝線は弱い。殆ど唯一の例外は超新星残骸である。超新星爆発の衝撃波により星間ガスが超高温に熱せられて X 線を放射する。我々の超高温プラズマも、もとの爆発が何かはさておき衝撃波による加熱と考えるのが自然であろう。もし銀河中心で大爆発があったならば、観測された X 線の温度、明るさ、空間の大きさからこの爆発の規模は  $10^{54}$  エルグ、周りのガス密度は 0.1 個/CC、そして爆発はいまから 1~10 万年前だったという結果になる。 $10^{54}$  エルグは典型的な超新星爆発 1000 個ぶんにあたる。従って

一度に大爆発を起こさずに 1000 個の超新星爆発が次々と中心近くで起こったと考えても良い。銀河中心の 10 パーセク程度の高温度プラズマはそれら最近できた超新星残骸のひとつといえないだろうか?

放射性同位元素  $Al^{26}$  からの  $\gamma$  線の観測も、少なくとも 100 万年より最近に大量の  $Al^{26}$  を作るような爆発現象があった事をものがたる。銀河中心は時々大爆発をおこしてきたのではないかということは、膨張しつつある多くの分子雲の存在からも示唆されてきた。6.7 キロ電子ボルトの X 線はもっとも最近とも言える大爆発の存在を主張している。しかし何故高温プラズマが傾いた楕円分布をしているのだろうか? 電波、赤外線等との比較検討が今後の課題であろう。

銀河の峰からの X 線放射についても同様な議論が成り立つ。小山らは、以前に「てんま」衛星の結果から銀河の峰の起源として約 1000 個の超新星残骸が銀河面上に分布していると推定した。このため平均 10 年に 1 個の超新星爆発が銀河の峰にそってほぼ一様な頻度でおこっ

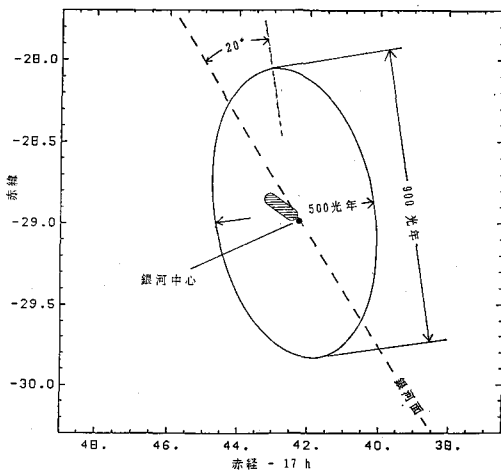


図 2 超高温ガスの空間分布、楕円形のは大きく広がった成分、斜線は小さい成分。

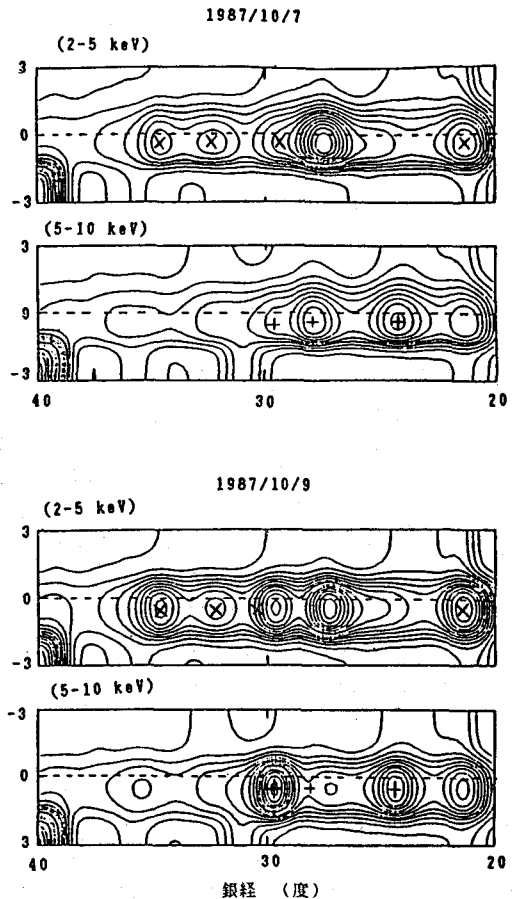


図 3 銀経 30 度付近の X 線表面輝度分布。3 日間隔でそれぞれ軟 X 線、硬 X 線の 2 バンドで表示してある。

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