

## 〈天体列伝(32)〉

## Cyg X-1

Cyg X-1 はブラックホール候補天体として有名である。その質量が中性子星の最大質量を超えることから、間接的ではあるが、中心天体がブラックホールであることはほぼ間違いない。多くの天体が、X線における性質がCyg X-1とよく似ていることから、ブラックホール候補と呼ばれてきた。しかし、ブラックホールの存在を直接示す、決定的なX線観測事実はまだみつかっていない。

正確な調査をおこなったことはないが、Cyg X-1 (白鳥座 X-1) はもっとも有名なX線天体ではないだろうか? 高校で天文学を教えていた経験から言うと、「ブラックホール」という単語は実に広く一般に知れわたっている。そして、Cyg X-1が「ブラックホール候補天体」であるということも、天文学にそれほど関心がない人も含めてかなり多くの人が知っているようだ。白鳥座で最初にX線源が見つかったのは1964年、アメリカ海軍研究所

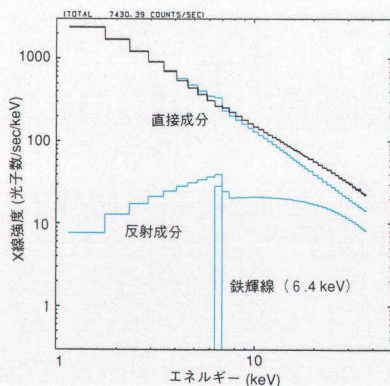


図1 ぎんが衛星が観測したCyg X-1のエネルギースペクトル。ブラックホールのまわりからやってくるべき関数成分、それが降着円盤にあたって反射された成分、中性の鉄輝線からなっている(参考文献3より)。

のグループによるロケット観測によってであった<sup>1)</sup>。これらのX線天体は、そのX線強度の順に、Cyg X-1, X-2, X-3と名付けられ、その中でもCyg X-1は、後に述べるようなその特異な性質から最も注目を集め、その後現在に至るまで、実に多くのX線、その他の波長による観測が行われてきた。天文学に関する文献を網羅しているSIMBADデータベースにアクセスして、Cyg X-1に関する文献がどのくらい出版されているのか調べてみた。それによると、現在までに、実に866本の論文がCyg X-1についてなんらかの言及をしている。Cyg X-2, Cyg X-3 (どちらも中性子星と通常の星からなる連星系)もそれぞれX線天文学者にとっては非常に興味深い天体だが、SIMBADデータベースにはそれぞれ287回, 547回しかでてきていない。天文学者にとってブラックホールというものはまだまだ未知で魅力的な研究対象であり、Cyg X-1はブラックホールの存在を検証し、その性質を調べるのに最も適した実験室なのだ。

発見当初からすでに、Cyg X-1からのX線は激しい、非周期的な短時間変動を示すことが知られていた。その様相は、その当時知られていたカニパルサー(回転している単独の中性子星)、Sco X-1(さそり座X-1; 中性子星を含む連星系)などのX線源と比べて特に際だっていたため、それだけの理由からCyg X-1はブラックホールではないかという推測がなされた。ブラックホールの周りでは、シュヴァルツシルト半径の3倍(10太陽質量のブラックホールの場合、90km)より内側では安定な公転軌道が存在しない。その半径のあたりでは、数ミリ秒の時間スケールで力学的不安定性が起こり、それによって降着物質がばらばらになってブラックホールに落ちこんでいく。これが激しい時間変動の原因ではないか、というわけだ。その後現在に至るまで、Cyg X-1およびその他のブラックホール候補X線天体の時間変動について、実に様々な手法を駆使した研究がなされてき

た。しかし、その一方で、Cir X-1, X 1608-508 など、中性子星を中心天体に持つ X 線源も Cyg X-1 と非常によく似た短時間変動を示すことがわかってきた。そして現在では、激しい短時間 X 線変動は、中心天体よりもそのまわりの降着円盤の物理状態に起因する性質であり、これはブラックホール候補天体のひとつの特徴ではあるが、ブラックホールの存在の確実な証拠とはいえない、と考えられている。

Cyg X-1 が確実なブラックホール候補だと考えられるようになったのは、その中心天体の質量の測定からである。可視光による観測から、Cyg X-1 は HDE 226868 という青色巨星と同定され、さらに HDE 226868 のスペクトル線がドップラー偏移を示すことから、Cyg X-1 は連星系であることがわかった。他の明るい X 線源と同様、Cyg X-1 は、伴星からコンパクトな中心星に物質が降着する際の重力エネルギーを解放することによって、X 線を放出しているのである。スペクトル線のドップラー偏移を用いた連星運動の解析から、中心天体の質量に制限をつけることができる。そして、十分厳しい仮定の基で、中心天体の質量は最低でも 9.5 太陽質量であることがわかった。X 線を放出するほど十分大きな重力ポテンシャルを持つコンパクト星は、白色わい星、中性子星、あるいはブラックホールしかありえない。そして、白色わい星、中性子星がそれぞれ電子、中性子の縮退圧で自分自身を支えることができる最大質量は、1.4 太陽質量、3 太陽質量であることが理論的にわかっている。よって、間接的ではあるが、消去法によって、Cyg X-1 の中心天体はブラックホールでしかありえない、と結論づけられる。

それでは、直接 Cyg X-1 をブラックホールと断定しうる、なにか、決定的な証拠が X 線観測からみつからないであろうか？ 一時、そのような観測結果が報告されたことがある。1986 年、ヨーロッパの EXOSAT 衛星が Cyg X-1 から 6.2 keV に幅の広い輝線を発見した、と報告した<sup>2)</sup>。これに

対応するエネルギー順位を持つ元素は存在せず、これは 6.4 keV の鉄の蛍光 K 線がブラックホールの周りの強い重力場の影響を受けて重力赤方偏移したものではないかと考えられた。輝線の幅が広いことも、ブラックホールの周りの降着円盤の回転によるドップラー効果（赤方偏移と青方偏移の重ね合せ）で説明できる。しかし、その後のぎんが衛星による、より高精度の観測によって、この可能性は否定された。ぎんがの観測によると、Cyg X-1 の X 線エネルギースペクトルは、ブラックホールの周りから直接やってくる、べき関数成分、それが降着円盤に当たって反射された反射成分、さらに 6.4 keV の細い鉄輝線から成っている<sup>3)</sup>(図 1)。EXOSAT 衛星は 10 keV 以上でぎんが衛星ほど感度が高くないため、そのエネルギー範囲では顕著に現われる反射成分の存在を見つけることができなかつたのである。そして、反射成分をいれずに 10 keV 以下のエネルギースペクトルをべき関数でフィットしてみると、ぎんがでも EXOSAT でも、見かけ上その残差が 6.2 keV の幅の広い輝線のように見えるのである。重力赤方偏移した鉄輝線の発見は幻に終わり、Cyg X-1 の中心天体がブラックホールであることを直接示す X 線観測結果は、残念ながらもまだ見つかっていない。

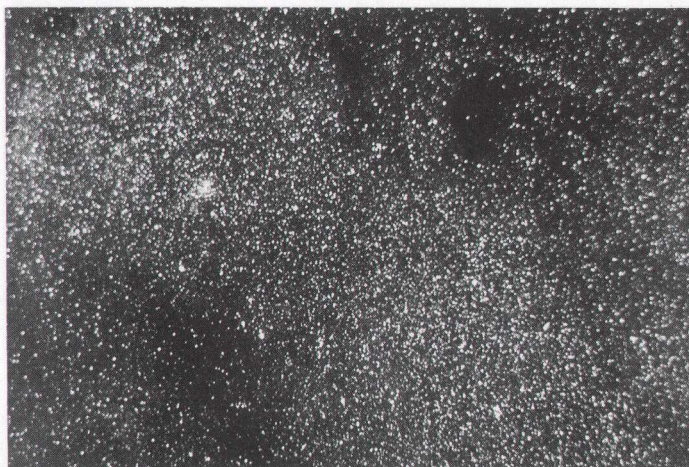
多くの X 線天体が、その性質が Cyg X-1 とよく似ていることを根拠に、ブラックホール候補と呼ばれてきた。その性質を以下のようにまとめることができるだろう：(1) まったく性質がことなる二つの状態(高光度状態、低光度状態)を持つ；(2) 低光度状態では、エネルギースペクトルがべき関数で表わされ、激しい短時間変動を示す；(3) 高光度状態では、中性子星 X 線源に比べて低温(1 keV 以下)の熱的スペクトルを示し、時間変動はほとんど見られなくなる。これらの性質を示すことからブラックホールの候補に挙げられ、その後、中心天体の質量が測定されて、確実なブラックホール天体であることが明らかになったものがあ

る。LMC X-3, LMC X-1, A 0620-00, それから、  
ぎんが衛星が発見した, GS 2023+38, GS 1124-68  
などがそれである。これらの X 線における性質  
と, 中心天体がブラックホールであることとの因  
果関係を探究することは, 現代の X 線天文学の中  
心課題のひとつである。それにしても, ブラック  
ホールの存在を直接証明する, なにか決定的な X  
線観測事実はみつからないだろうか?

参考文献

- 1) Bowyer S., et al., 1965, Sci 147, 394
- 2) Barr P., White N. E., Page C. G., 1985, MNRAS 216, 65p
- 3) Tanaka Y., 1990, Iron Line Diagnostics in X-ray Sources, eds Treves A., Perola G. C., Stella L. Lecture Note in Physics vol 385, (Springer-Verlag, Berlin, 98

海老沢 研 (NASA)



◀ M 24 (いて座散開星団) 夏  
「遙かなる宇宙へ」より (日本天文学会©)

M 8 周辺 ▶  
「遙かなる宇宙へ」より (日本天文学会©)

