

## 〈天体列伝 (6)〉

## X線連星パルサー；ヘルクレス座 X-1

最初のX線天体，さそり座 X-1 の発見から今年ちょうど 30 周年に当る。現在ではインシュタイン衛星などによって 6000 個以上の X 線源が知られるようになった。これら数多くの X 線源の中でヘルクレス座 (Hercules) X-1 (以後 Her X-1 と略す) は、白鳥座 X-1、カニ星雲パルサーなどと並んで〈天体列伝〉に登場するのにふさわしい怪物である。本稿ではこの X 線源一星食型 X 線連星パルサー；Her X-1 の発見、観測の歴史をたどり、その百面相にも似た妖怪ぶりを紹介する。

Her X-1 は、1970 年末に打ち上げられた世界初の X 線天文衛星ウフルによって発見された<sup>1)</sup>。その位置は赤経 16 時 56 分 2 秒，赤緯 35 度 25 分 (1950 年分点) で，ちょうどヘルクレスの脇腹 (図 1) に相当する。光学観測から，不規則で早い変動を示す変光星 HZ Herculis に同定された。そしてこの Her X-1 の X 線強度が 1.24 秒の周期で規則正しく脈動していることがわかった。ウフルによる X 線パルサーの発見である (図 2 には X 線天文衛星“ぎんが”で観測された Her X-1 のパルスを示す)。この X 線パルサーの発見の少し前 (1967 年) にはヘビィシュ、ベルらによって電波パルサーが発見されていた。そしてこれらのパルサーは強い磁場を伴って高速で回転する中性子星であることが明らかになった。つまり，そのパルス周期は中性子星の自転周期というわけである。

さらにウフルのデータを解析すると，Her X-1 からの X 線が 1.7 日毎に約 2.8 時間消滅する (X 線星食) ことがわかった。また光学観測からその相手の星 HZ Her の光度がやはり 1.7 日周期の



図 1 ヘルクレス座および Hercules X-1

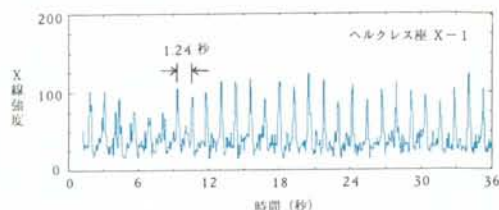


図 2 “ぎんが”で観測された Her X-1 の X 線パルス

変動を示すことも確かめられた。こうしてこの X 線星 Her X-1 は中性子星を含む近接連星であることがわかった。

中性子星は，太陽と同程度の質量ながら半径が 10 km 程しかないきわめて高密度の星である。近接連星系をなしている場合，その強い重力場に引かれて相手の星から物質が落ち込み，中性子星の回りに降着円盤を形成する。この降着円盤中を物質は徐々に落ちていき，最終的に中性子星表面できわめて高温になって X 線を放出するようになる。水素が核融合を起こす際に出すエネルギーが，静止質量の 1% 弱なのに対し，中性子星に落ち込む物質が解放するエネルギーは，静止質量の約 10% にもおよぶ。このことから，いかに強力な X 線が放出されるか，想像がつくであろう。

Her X-1 では，パルス周期の連星運動に伴うドップラー変移の測定や光学観測から，連星系の諸

元が求まっている。それによると、中性子星の質量は太陽と同程度、相手 (HZ Her) の星の質量は太陽の約2倍である。同様にして他の X 線パルサーから求められた中性子星の質量も太陽質量の1-2倍の範囲にあり、中性子星の標準的な理論モデルと良く合っている。

さて、以下にはこれまでの観測から得られた Her X-1/HZ Her 連星パルサーの諸特性や、その多様な振るまいについて述べることにする<sup>2)</sup>。

1. Her X-1 は1.24 秒の自転周期、1.7 日の公転周期のほかに、35 日周期で X 線強度が非常に明るい時期、暗い時期、やや明るい時期、暗い時期の順に変化する。これは中性子星を取り巻く降着円盤が歳差運動をしており、中性子星からの X 線を周期的にさえぎるためと考えられている。

2. その1.24 秒のパルス周期は、毎年約20マイクロ秒ずつ減少している。つまり中性子星の自転が加速されている。これは相手の星から流れ出て降着円盤を形成し、中性子星の磁気境界面まで渦巻きながら落ち込んだ降着物質が、その角運動量を中性子星に与えるためと考えられる。

3. Her X-1 から光でも1.24 秒のパルスが観測される (ただし、パルス成分は全体の0.3%程度)。しかもそのパルスは1.7 日の公転周期および35 日周期の特定の位相でのみ観測される。これは、X 線ビームが降着円盤および相手の星 (HZ Her) の表面に当たって吸収され、可視光を再放出するためと考えられる。

4. X 線ビームがパルス状に観測されるためには、中性子星の自転軸に対して傾いた強い双極子磁場が必要となる。Her X-1 では、そのエネルギースペクトル中に見られるサイクロトロン共鳴構造から、中性子星表面磁場は約3兆ガウスと見積られる。

5. Her X-1 には Pre-Eclipse Dip と呼ばれる X 線強度の陥没現象 (特に軟 X 線領域で著しい) が見られる。この X 線陥没は35 周期の明るい時期の間中1.62 日周期で X 線星食の直前で起こ

る。従って1.70 日の公転周期に対して少しずつ位相がずれていく (1.62 日周期は1.70 日周期と35 日周期とのうなり周期である)。この X 線陥没は、公転面に対して傾いている降着円盤が35 日周期で歳差運動をしており、その外縁部が周期的に X 線ビームをさえぎるためと解釈される。

6. 連星軌道の公転周期が変動しているかどうかは X 線連星の進化を研究する上で重要であるが、X 線パルサーではこれまでに Cen X-3 についてのみ公転周期の有意な変動 (軌道の縮小) が知られており、これは主星の潮汐力に起因するものとされている。最近 Her X-1 の公転軌道周期も毎年約2ミリ秒の割合で (Cen X-3 の約100分の1の割合) 減少していることがわかり、この連星の進化を研究する新しい手がかりが得られた。

7. 35 日周期の暗い時期の Her X-1 の X 線強度は、明るい時期の数%である。しかもこの成分は1.24 秒の脈動を見せないで、降着円盤で反射、散乱された成分と考えられる。最近の“ぎんが”による観測では、この散乱 X 線には冷たいガスで散乱される成分と、熱いプラズマで散乱される成分が混在することがわかった。この後者は、X 線照射を受けて降着円盤表面から蒸発した降着円盤コロナに起因するものと考えられる。

このように、この X 線連星パルサー Her X-1 からは極めて豊富な現象が観測されている。そしてこれらを繋ぎ合わせると降着円盤を伴う中性子星を含む近接連星系の基本的描像、その生い立ちと現在の姿を描き出すことができる。それでもまだベールに包まれた部分や霞みがかかったようにぼんやりとしか見えない部分があり、その景色 (基本的描像) は描き手によって異なる。さて、あなたの描く景色はどのようなものであろうか。

長瀬文昭 (宇宙研)

#### 参考文献

- 1) Tananbaum, H., et al. 1972, *Astrophys. J. Letters*, **174**, L143.
- 2) Nagase, F. 1989, *Publ. Astron. Soc. Japan*, **41**, 1.