

## X線源のX線強度の短時間変動

—その時間遅れの構造—

宮本重徳\*・北本俊二\*

銀河X線源には、中性子星を含む近接連星とブラックホールを含む近接連星とがあると考えられている。X線星 Cyg X-1 は、その質量が  $5M_{\odot}$  より大きく、この質量では中性子星ではあり得ないので、ブラックホールの最有力候補と考えられている。この天体は、(1) そのX線強度が非常に激しい短時間変動をする、(2) そのX線が大変ソフトなエネルギースペクトルを示す High state とハードなエネルギースペクトルを示す Low state とを持っていることが知られている。そこで、たとえX線を放射している天体の質量が不明であっても、上記の2つのCyg X-1 に似た性質を持ったX線星は、ブラックホール候補であると考えられる人が多い。ここで述べるGX 339-4 も、この意味でブラックホール候補の天体である。

Cyg X-1 の Low state でのX線のエネルギースペクトルは power law 型をしており、Sunyaev 達は、逆 Compton 散乱により高エネルギーのX線が創られていると考えたとそのスペクトルの形を上手く説明できる事を示したり<sup>4)</sup>。この場合、後で述べるように、エネルギーの大きいX線ほど時間変動が遅れる。この遅れの存在は、Page 達により cross correlation の方法を用いて確かめられた<sup>2),3)</sup>。

我々は「ぎんが」LAC で観測した Cyg X-1 のデータを用い、複素相関スペクトルを計算し、フーリエ周期に対しX線変動の時間遅れがどう変化しているかを調べた。この結果は、エネルギーの大きいX線ほど時間変動が遅れており、しかも図1a) に示す様に、フーリエ周

期の大きいものほど遅れの時間が大きい。ある時間幅にかたまった光子群が、高温のプラズマの雲に入射し、Compton 散乱してエネルギーが高くなり、雲より漏れ出て来ると考えよう。雲の中で散乱された回数が多いほどX線のエネルギーは大きくなり、従って、エネルギーが大きいX線ほど遅れが大きくなるであろう。しかし、光子のかたまりの時間幅の大きさが大きくなるほど、遅れの時間が大きくなるとは考えられない。遅れの時間は、時間幅にかかわらず、ほぼ一定の筈である。図1a) の曲線は、この simulation 計算の結果を示している。従って、Cyg X-1 の Low state では、Sunyaev 達のような Compton 散乱は起こっていないらしいことが分かる<sup>4)</sup>。我々は物質がブラックホールへ落ち込む際の heat up が高エネルギーX線の変動の時間遅れの原因ではないかと考えている<sup>5)</sup>。

GX 339-4 の very high state の観測データについて同様の解析をした結果を図1b) に示す。よく見るとフーリエ周期 0.2~1.0 秒で肩の様なところがあるのに気付く。この肩は他のエネルギーのX線間にも共通している。そして、上で計算した Compton 散乱によるものに大変良く似ている。紙数の関係で詳しく述べられないが、2.3~4.6 keV のX線を基準にすると、これよりエネルギーの低いX線も、高いX線も変動が遅れている。しかもこの state のX線のエネルギースペクトルは、2つの成分、即ち、降着円盤よりのソフトなX線成分と、3 keV 程度のX線が  $kT \sim 30$  keV,  $\gamma \sim 0.5$  の Compton

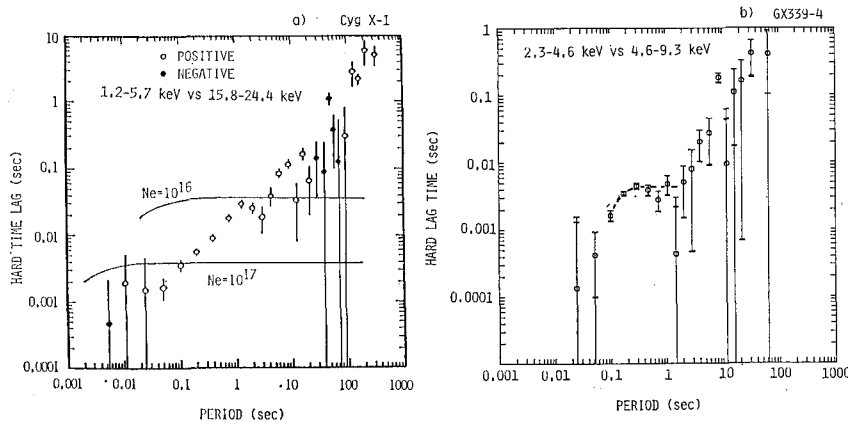


図1 Cyg X-1 と GX 339-4 によるX線の時間変動の遅れ。GX 339-4 には、Compton 散乱による様な肩が見える。

\* 阪大理 Shigenori Miyamoto, Shunji Kitamoto: Short Time Variations of X-ray Sources

雲に入射してエネルギーを得ているとする Compton 散乱成分とでうまく説明できる。従ってエネルギースペクトルも、時間遅れも Compton 散乱によると考えて良さそうである。この雲の大きさをX線の変動の時間遅れより推定すると  $2 \times 10^9$  cm 程度となる<sup>9)</sup>。もしも、この大きな雲の中心が高密度星の位置にあるとすると、降着円盤よりのX線は、すべて Compton 雲を通過して Compton 散乱成分となっている筈なので、この雲は降着円盤より少し離れた所に存在する必要がある。そこで我々は、この高温プラズマの雲は、降着円盤の中心より放出されている高エネルギージェット粒子により作られ、降着円盤の上下に円盤より少し離れて存在するのではないかと考えている。この他に、Cyg X-1 で見られたものによく似た時間遅れがある。これらは Cyg X-1 におけ

るのに似たメカニズムが関係しているのかも知れない。

現在、我々はこの様な方法を用いて、この他の時間変動の大きなX線源の観測データを解析している。この様な dynamic な解析を用いることにより、これまで気付かなかったX線天体の実体が見えて来ると考えている。

文 献

- 1) Sunyaev, R. A. and Trumper, J., Nature **279**, 506 (1979).
- 2) Page, C. G. et al., Sp. Sci. Rev. **30**, 369 (1981).
- 3) Page, C. G., Sp. Sci. Rev. **40**, 387 (1985).
- 4) Miyamoto, S., Kitamoto, S., Mitsuda, K., Dotani, T., Nature **336**, 450 (1988).
- 5) Miyamoto, S., Kitamoto, S., Nature **342**, 773 (1989).
- 6) Miyamoto, S., Kitamoto, S., Kimura, K., Proceedings of ESLAB Symposium (1989), in press.

「ぎんが」による X 線源の準周期的時間変動 (QPO) の観測

満 田 和 久\*・堂 谷 忠 靖\*

1. QPO とは？

X線パルサーの放出するX線パルスは、周期的であるといわれる。その周期の1秒当たりの変化率は  $10^{-11}\%$  程度以下で、周期は大変安定している。このパルスは、X線強度の時間変化をフーリエ変換しパワースペクトルを作ると鋭いピークとなって現れる (図1 (a))。これに対して、周期が波の数にして数個分の時間内に変化してしまったり、位相の揃わない短い波が次々に現れる様な場合には、パワースペクトルには幅の広いピークが現れる (図1 (a), (b))。このような変動は一般に準周期的振

動 (Quasi-Periodic Oscillations) と呼ばれる。しかし、X線天文学では、ヨーロッパのX線天文衛星 EXOSAT により小質量連星X線源と呼ばれる一群のX線源から初めに発見された準周期的振動、およびそれに類似な変動を特に QPO と呼ぶことが多い。「ぎんが」は小質量連星X線源からの QPO を詳しく観測するとともに、ブラックホール候補、さらにX線パルサーからも QPO を発見した。QPO は、X線星に降着する物質とX線星の中性子星またはブラックホールとの相互作用によって生まれるダイナミックな現象であると考えられ、これらの星の周辺での物理現象を探る重要な手がかりである。以下

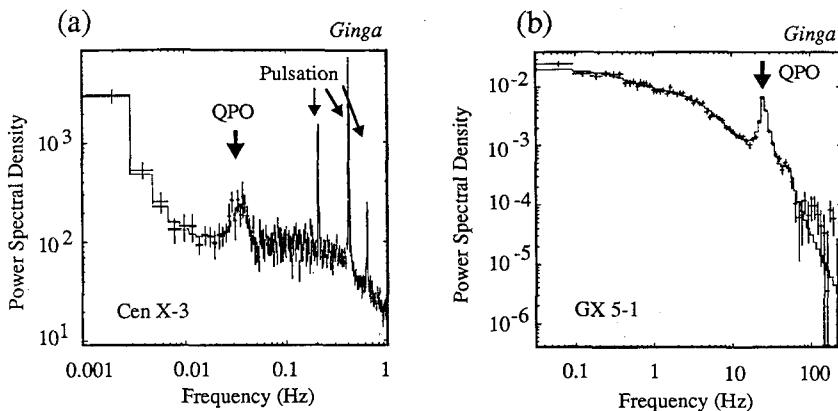


図1 X線パルサー Cen X-3 (a) と小質量連星X線源 GX 5-1 (b) のパワースペクトル。Cen X-3 にみられる鋭いスパイク状のピークは周期的なパルスによるもの。矢印で示された広がったピークが QPO である。

\* 宇宙研 Kazuhisa Mitsuda, Tadayasu Dotani: *Ginga* Observations of Quasi-Periodic Oscillations in X-ray Sources