

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 2×10^9 cm 程度となる⁹⁾。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

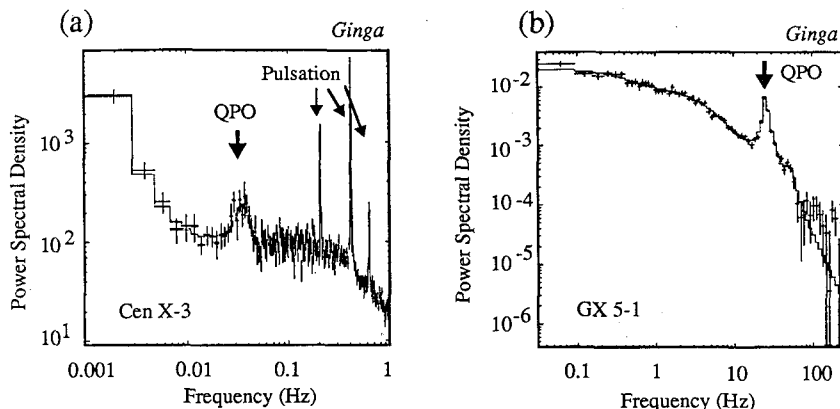


図 1 X 線パルサー Cen X-3 (a) と小質量連星 X 線源 GX 5-1 (b) のパワースペクトル。Cen X-3 にみられる鋭いスパイク状のピークは周期的なパルスによるもの。矢印で示された広がったピークが QPO である。

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

では、ぎんがの観測によって何が新たにわかり、逆に何がわからなくなったかを紹介してゆきたい。

2. 中性子星は高速で回転しているか？

1ミリ秒に近い短い周期で高速で回転する電波パルサーが1983年頃から1987年頃にかけて相次いで発見された。これらの電波パルサーの生成過程として、小質量連星X線源中で、中性子星の自転が質量降着によって1ミリ秒近くまで加速され、やがて質量降着が停止したのち、ミリ秒パルサーとして再生するという説が提案されている。中性子星がこのように高速で回転していて、かつ、適当に弱い磁場（中性子星表面で約 10^9 gauss）を持っていると降着物質が作る降着円盤の内縁の回転と中性子星の回転のビートの周波数は数10 Hz になり、4つのX線源から観測されているHorizontal-Branch QPOと呼ばれる種類のQPOとはうまく一致する。このビートの周期で降着円盤から物質が塊を作って落ちることによってX線の変動が作られるというモデルが提案された。

これに対し「ぎんが」の結果は幾つかの疑問を投げかけている。まず、中性子星が磁場を持って回転しているなら、その周期がX線に現れてもよいはずである。「ぎんが」はこれまでの観測に比べて数倍以上高い感度で周期的なパルスの探査を行ったが発見できなかった。さらに、X線変動は、物質が塊になって落ちているモデルとは矛盾する性質を持つことも明らかになった。X線パルサーの場合には中性子星の自転周期はよくわかっており、磁場の強さもだいたいわかっている（中性子星表面で 10^{12-13} gauss）。ぎんがが観測したCen X-3（自転周

期=4.8秒）というパルサーからのQPOの性質はこのような描像で説明するには幾つかの疑問が残る。これらの結果は必ずしもビートそのものを否定するものではないが、モデルについて再考をうながすものである。

3. ブラックホールは輝いているか？

小質量連星X線源のエネルギースペクトルは中性子星のごく近傍まで伸びる降着円盤からの放射と中性子星からの放射の和によりよく説明される。後者の放射はQPOを示すようなX線源については、どれも2 keV程度の色温度の黒体放射の形をしている。「ぎんが」のデータにより6 Hz前後の中心周波数の4個のX線源からのQPOについてそのエネルギー依存性を調べた。前節に述べたHBタイプのQPOを除く多くのQPOの中心周波数は6 Hz前後である。理由はよくわからないが、6 Hzはなにか普遍的な周波数のように思われる。この解析の結果、後に述べる位相差を除いて、どのX線源のQPOについても主に約2 keVの黒体放射の強度が変動していることが明らかになった。このことは、降着円盤内縁から中性子星への質量降着率が振動して、中性子星表面からの放射強度が変動していることを示唆している。GX 5-1, Cyg X-2の二つのX線源からの約6 HzのQPOには、約3 keV以下のエネルギーの光子の振動とよりエネルギーの高い光子の振動の間に約70ミリ秒に相当する大きな位相差があることもわかった。このひとつの解釈は降着円盤成分に位相の進んだ変動があることである。

ラピッドバースターは2型バーストと呼ばれるX線バーストを全天で唯一起こす天体である。「ぎんが」はこ

Rapid Burster

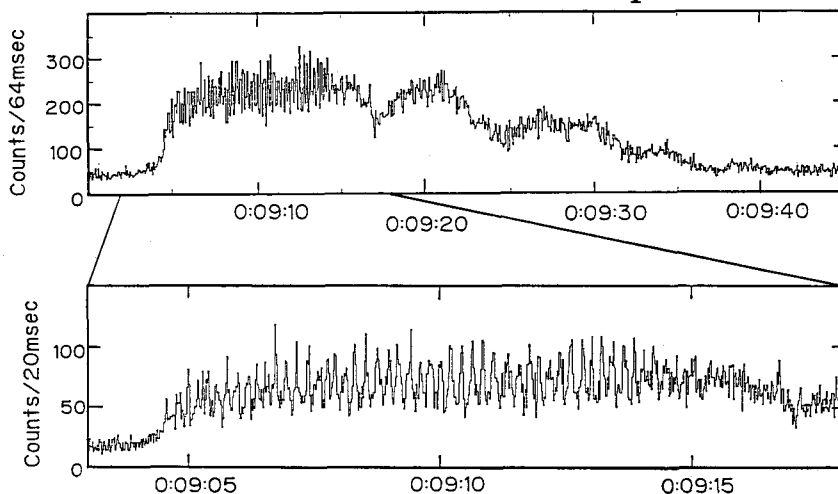


図2 ラピッドバースターからの2型バーストのX線ライトカーブ。QPOの一つ一つの振動が0番目の山の拡大(下図)にはっきりと見える。

August 12, 1988 (UT)

のバースト中の QPO を観測した。この観測により、初めて直接 QPO の波形を見ることができた。この X 線源からの 2 型の X 線バーストは、幾つかの「山」からなっている。その山を時間順に 0, 1, 2, …… 番目と表すと QPO は偶数 (0, 2, ……) 番目の山にのみみられる (図 2)。一つ一つの振動の山または谷の間の時間間隔を調べると、それが 10 サイクルで 10% 程度の割合でゆっくりと変化していることがわかった。2 型バーストは中性子星への間欠的な質量降着により起きると考えられており、この QPO も前述の小質量連星 X 線源の定常成分の QPO と同様に中性子星への降着率の変化であろう。

「ぎんが」の観測により、ブラックホール候補とされる二つの X 線源、LMC X-1 (0.04 Hz)、GX 339-4 (6 Hz) から QPO と呼ぶべき変動が発見された。これらのブラックホール候補の X 線エネルギースペクトルは、降着円盤からの放射成分と高エネルギーテイルと呼ばれる硬い成分の和により表される。QPO の性質を調べると、どちらの X 線源の QPO も後者の成分に関係していることがわかる。このことは、これらの QPO が小質量連星 X 線源の 6 Hz の QPO と同様の機構により発生していることを示している。さらに、このことは、これまで (少なくとも我々は) まじめに考えることのなかった安定な軌道 (シュバルツシルド半径の 3 倍) の内側でのエ

ネルギーの解放が、降着円盤で放出される量と同程度であることを示唆している。

参 考 文 献

- 1) 「ぎんが」以前の結果については、Lewin, W. H. G. et al. 1988, Space Sci. Rev. 46, 273 に詳しい。
- 2) 「ぎんが」の成果は、P.A.S.J. 「ぎんが特集号」(1989, Vol. 41-3), 23rd ESLAB symposium (1989) Proceeding 等にまとめて発表されている。また、学位論文 “Quasi-Periodic Oscillations of the X-ray Flux from Binary X-ray Sources”, T. Dotani, 1989 (東京大学) はそれまでの「ぎんが」の QPO 観測の結果を集大成したものである。

☆ ☆

☆ ☆ ☆

誠報社 ならではのスペシャルプラン

1991年の皆既日食ツアー

東急観光
誠報社の共同企画

HAWAII



主催：東急観光株式会社
●お申し込み、お問い合わせは 誠報社

1991年ハワイ皆既日食ツアー
第1次募集500名様は好評のうち
満席になりました。

第2次募集準備中 近日発表予定

安全で最適なロケーション確保!!

誠報社では五島プラネタリウムをはじめ、ハワイ観光事業に絶大な実績を誇る東急グループの協力を得て、皆様に満足していただける日食ツアーを実施いたしたくすでに第2次募集用のホテルは確保済みです。

MEXICO



主催：株式会社日本交通公社
●お申し込み、お問い合わせは 誠報社

1991年メキシコ皆既日食ツアー
旅行代金 ¥588,000 <全日程朝食付>
7月7日(日)~7月14日(日) 6泊8日
40名様募集中!!

カリフォルニア半島サンホセデルカボにホテル確保!!

ロサンゼルスから現地への安全・確実な飛行機チャーター確保!!

数多くの日食ツアーを手がけた日本交通公社のスタッフが経験に基づいて企画した本格的日食ツアーを実施いたします。

チャーター便とホテルを確保してある希少なツアーです。

利用ホテル：皆既帯直下の半島最大級の豪華新装リゾートホテルをデポジット済の上、確保

ホテルプラザロスコリアス <サンホセデルカボ> 4泊

天体望遠鏡
専門店

(株) 誠 報 社

〒101 東京都千代田区三崎町3-6-5
TEL. (03)234-1033(代)

原島ビル2F
FAX. (03)234-1038