

全天 X 線観測装置 MAXI による低質量 X 線連星系の研究

Study of Low-mass X-ray binary with Monitor of All-sky X-ray Image

宇宙情報解析研究室 P07009-6 石川 翔大

指導教員：久保田 あや 准教授, 三原 建弘 (理研)

1 背景と目的

低質量 X 線連星 (Low-mass X-ray binary : LMXB) とは、磁場の弱い中性子星 (NS : neutron star) もしくはブラックホールと低質量星 (晩期型星) との近接連星系である。ここでは中性子星連星のものを単に LMXB と呼ぶ。LMXB は、color-color diagram (カラーカラー図) を用いて、Z 天体と Atoll 天体の 2 種類に観測的に分類される [1]。本研究では Z 天体の中でも明るく特徴的な光度曲線を示す GX 17+2 を解析し、LMXB の Z 天体の放射機構の解析する。

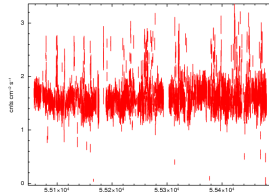


図 1: GX 17+2 の光度曲線

2 全天 X 線観測装置 MAXI

国際宇宙ステーションの「きぼう」に搭載された全天 X 線観測装置 MAXI は、宇宙からの X 線は無バイアスに観測し続けている装置である。地球の周りを約 92 分で 1 周し、それに合わせ全天をスキャン観測している。MAXI には、2~30 keV で観測可能な比例計数管ガススリットカメラ (GSC) と 0.5~10 keV で観測可能な X 線 CCD スリットカメラ (SSC) の 2 種類の X 線検出器が搭載されている。GSC は、全検出器面積が 5350 cm² と大きく、軟 X 線領域から硬 X 線領域まで幅広い範囲に感度がある。本研究では、GSC のデータの解析を行う。



図 2: 全天 X 線観測装置 MAXI

<http://maxi.riken.jp>

3 観測とデータリダクション

3.1 観測天体

GX 17+2 は、赤径 = 274.006 度、赤緯 = -14.036 度 にあり、地球から 26000 光年離れている。MAXI の光度曲線 (図 1) では、短時間で明るくなる振る舞いが見られる。図 3 は、MAXI で得られた GX 17+2 の X 線画像である。水色の丸で囲んだ部分を source、黄色の丸で囲んだ部分を background として解析をした。source の部分は半径 1.6° の円、background の部分は半径 2.5° の円からデータを取得した。

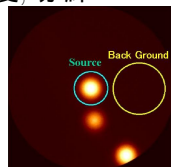


図 3: GX 17+2 の天体画像 (MAXI)

3.2 Z 天体とカラーカラー図

Z 天体と Atoll 天体の分類に使われるカラーカラー図とは、X 軸を Soft color、Y 軸を Hard color でプロットした図である。これらは各帯域の強度比、

$$\text{Soft color} = (\text{中帯域 1}) / (\text{低帯域}) \quad (1)$$

$$\text{Hard color} = (\text{高帯域}) / (\text{中帯域 2}) \quad (2)$$

で定義される。

図 4 は Z 天体として分類される GX 17+2 のカラーカラー図の例を示す。この図のように Z 天体とは、カラーカラー図上で「Z」もしくは「V」の形を描く天体である。CCD 上の位置によって明るい順に Horizontal Branch (HB)、Normal Branch (NB)、Flaring Branch (FB) の 3 つの状態に分けられる。Z 天体は明るいものが多い GX 17+2 と、Sco X-1, Cyg X-2, GX 340+0, GX 349+2, GX 5-1, XTE J1701-462 の 7 つ (Cir X-1 が入れれば 8 つ) が知られている。

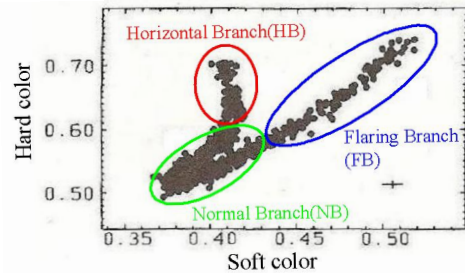


図 4: Z ソースの例 (GX 17+2)

4 NB と FB の解析

4.1 カラーカラー図の作成

本研究では、過去の研究 [2] と同じエネルギー帯域である、低帯域 (2.0 - 3.5 keV)、中帯域 1 (3.5 - 6.0 keV)、中帯域 2 (6.0 - 10.0 keV)、高帯域 (10.0 - 16.0 keV) を用いてカラーカラー図を作成する。図 5 は MAXI から得られた全データを用いた、カラーカラー図である。図 6 は、図 5 のカラーカラー図のデータの質の良い時期 (2010 年 1 月 28 日 ~ 2 月 20 日) を取り出し、2 cts/cm²/s 以上の部分を赤色、それ以外の部分を青色で色分けし示したものである。図 6 を図 4 と比較すると、赤色の部分が FB (明るい状態)、青色の部分が通常の状態 (NB : 増光をしていない安定した状態) であることが分かる。HB は MAXI では見られていない。

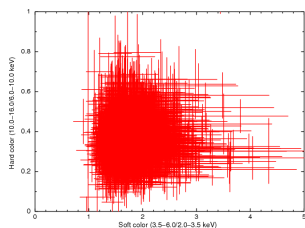


図 5: GX 17+2 のカラーカラー図 (全データ)

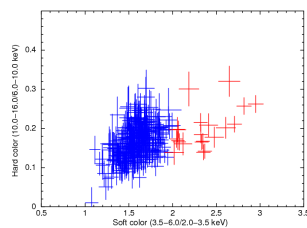


図 6: 同左 MAXI が観測を始めて 166~189 日

4.2 NB と FB のスペクトルの比較

図 7 は、NB と FB のスペクトルである。この二つの状態を比較するため、両スペクトルの比 (FB / NB) を取った (図 7)。形が同じで単純に明るくなっているだけならば、比はフラットになる。しかし、図 8 は FB では単純に明るくなっているのではなく、高エネルギー側でより強度が増えていることを示している。

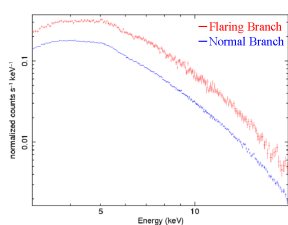


図 7: FB と NB のスペクトル図

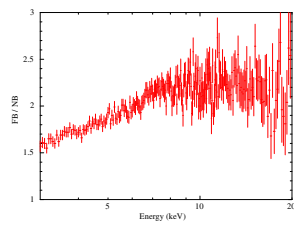


図 8: 図 7 の FB / NB スペクトル比

4.3 NB と FB のスペクトル解析

スペクトル解析とは、観測によって得られたスペクトルをモデルスペクトルと比較し、様々な物理パラメータを求めることである。 χ^2 検定において、reduced $\chi^2 \equiv (\chi^2_\nu)$ が 1 に近いほど最適なモデルである。低質量 X 線連星からの X 線放射は、熱的放射成分として降着円盤からの放射を仮定したモデル (Disk BlackBody : diskBB[3]) と中性子星表面あるいは、降着円盤と中性子星の境界領域からの黒体放射を仮定したモデル (Black Body : BB) の 2 種類のモデルで表される。また、BB で表される熱的放射の一部が、光学的に薄い高温プラズマの中を通ることにより逆コンプトン散乱を受けて元のエネルギーより高いエネルギーを持つ放射

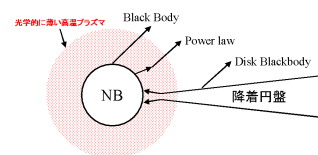


図 9: 輻射成分図

となつて表わされると考えられており、この非熱的放射は power law モデルで表される。熱的放射成分の diskBB と BB の 2 つは分離が難しいので 1 つの成分とみなし、ここでは、diskbb + power law でモデルフィットを行った。どの成分も固定せずモデルフィットを行うと χ^2_ν (自由度 ν) = 0.96 (223) [NB], 1.01 (223) [FB] (系統誤差 : 1% : 以後同じ) と合わせることができた。FB の power law のパラメータはエラーの範囲内で NB と同じだったので、power law の Γ と norm を共通にしてモデルフィットを行った (図 10)。その結果、 $\chi^2_\nu(\nu) = 1.00$ (449) を得た。表 1 にフィット結果を示す。FB は NB に比べ、diskBB の norm (放射面積) は同じで、温度だけが 1.25 倍上がって、フラックス (T^4 に比例する) も 2.5 倍大きいという解釈が成り立つ。

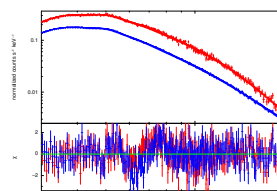


図 10: diskBB+power law フィット

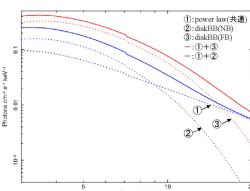


図 11: diskBB+power law モデル

表 1: diskBB+power law フィット結果

		NB (90%エラー)	FB (90%エラー)
wabs	$N_H (10^{22})$	5.1 (4.8 - 5.4)	同左
diskBB	$T_{in} (10^7 K)$	2.30 (2.28 - 2.33)	2.94 (2.91 - 2.97)
	norm	32.5 (29.5 - 35.1)	30.0 (27.4 - 30.5)
power law	Γ	1.91 (1.8 - 2.0)	同左
	norm	1.66 (1.1 - 2.3)	同左

4.4 過去の研究との比較

RXTE 衛星による GX17+2 の過去の研究 [4] では、FB のときには、増えた降着物質の一部が中性子星に落ち切れなくなり、NB にはなかった光学的に厚いアウトフローを生じ、さらなる BB 成分が必要と示唆されている。今回の観測データでもその解釈が可能か検証するため、NB のモデルに BB を加えることで FB のスペクトルをフィットした。 $T = 2.2 \times 10^7$ K、 $R = 6.9$ km の球表面の BB を用いて、 $\chi^2_\nu(\nu) = 1.09$ (448) でフィットできた。この半径は [4] の (8-19 km) と同程度である。しかし、温度は 1.5 倍高い。MAXI の観測でも [4] と同じ解釈も可能である。

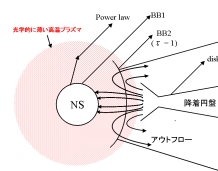


図 12: FB の輻射成分図 [4]

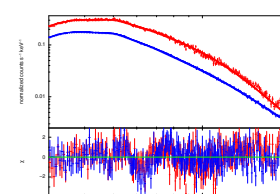


図 13: NB+BB フィット

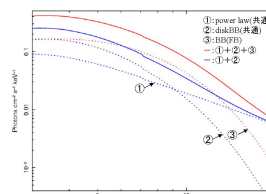


図 14: NB+BB モデル

5 まとめ

GX17+2 の解析にあたり、はじめに、カラーカラー図を作成し、2 cts/cm²/s で色分けをしたことによりそれ以上が FB、それ以下が NB であることが分かった。HB は MAXI での観測では見られなかった。FB と NB のスペクトルの比較を行った結果、FB は NB に比べ単純に明るくなったのではなく、ハード X 線の強度が増していることが分かった。スペクトルフィットの結果、FB は NB が面積が同じで、単純に温度が上がったものでよいことが分かった。過去の研究と MAXI で得られたデータを用いてスペクトル解析を行った結果、FB は NB に BB が加わったものという解釈も可能であることが分かった。

参考文献

- [1] S miglari et al. 2007 APJ 671, 706-712
- [2] Steve Van Straaten et al. 2003, ApJ, 596
- [3] Shakura & Sunyaev, 1973, A&A, 24, 337
- [4] 高橋 弘充, 2005, 東京大学博士論文