

すぎく衛星による高光度の中性子星-低質量星連星の解析

Analysis of the neutron star LMXBs by the suzaku satellite

宇宙情報解析研究室：P08028 大川鮎麻

指導教員：久保田 あや 准教授

1 背景と目的

太陽質量の10倍を超える恒星は進化の最終段階における重力崩壊の結果圧縮され中性子星となる。磁場の弱い中性子星が太陽の数倍以下の質量を持つ低質量星と近接連星系を構成すると、恒星からのガスが中性子星に流入し、中性子星の周りには降着円盤とよばれる回転ガス円盤が作られる。降着円盤のガスは摩擦によって数千万度に熱せられ、X線を放射する。また、円盤からのガスが中性子星表面に降り積もった際、ガスの力学的エネルギーが中性子星表面で解放され、中性子星表面も数千万度に熱せられる。このような系を中性子星-低質量 X 線連星 (LMXB) と呼ぶ。明るく輝く中性子星 LMXB では、降着円盤からの多温度黒体放射 (diskbb)[4] と中性子星表面からの単温度黒体放射 (bbody) の2成分の放射が観測される。

中性子星 LMXB は、Z ソースと Atoll ソースに分類され、本研究では Z ソースのみを扱う。Z ソースは明るい状態の中性子星連星であり、図1のような X 線のカラーカラーダイアグラムと呼ばれる図において Z の形を示すもので、銀河系内に6天体が知られている。過去の研究により、一定の光度を超えると中性子星を囲むような光学的に厚いプラズマを形成するアウトフローが起ることがわかっている[1]。本研究では高光度の中性子星 LMXB におけるエネルギー解放機構の解明を目指し X 線天文衛星「すぎく」によって観測された Z ソース、GX17+2、GX349+2、Cyg X-2 のデータ解析を行った。

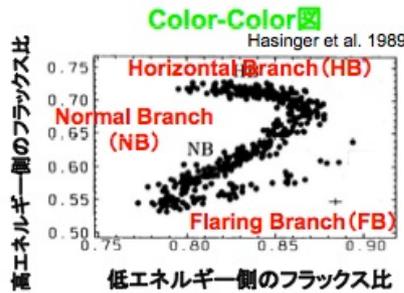


図1: Z ソースのカラーカラー図 [1]

2 3天体のすぎくによる観測

「すぎく」は2005年7月に打ち上げられた日本で5番目の X 線天文衛星であり、0.3-10keV に感度をもつ4台の X 線 CCD カメラ (XIS)[5] と 10-300keV に感度をもつ1台の硬 X 線検出器 (HXD) [6] によって広帯域の観測が可能である [1]。このあと表1に3天体の地球からの距離、赤道座標、観測時期、有効積分時間をまとめる。図2と図3に GX17+2 の XIS 検出器によって取得された X 線画像と X 線強度変動を示す。

表1: 解析を行う天体

天体	GX17+2	GX349+2	Cyg X-2
観測時期	2007/9/19	2006/3/19	2006/5/16
有効積分時間 (ks)	19.1	28.1	39.3
距離 (光年)	約26000	約16000	約26000
赤道座標 (度)	274.006,-14.036	256.435,-36.423	326.172,38.322

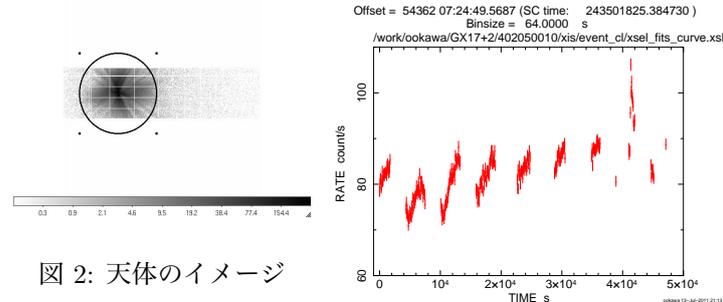


図2: 天体のイメージ

図3: 天体の強度変動

3 データリダクションと解析

観測データからスペクトルを作成するには、最適な時間領域、画像から X 線イベントを抽出する (data reduction)。今回の研究では、天体の中心から半径 200 ピクセルの領域の円形領域にあるイベントを用いてスペクトルを抽出した。放射スペクトルの検証に用いたモデルは、中性子星の基本モデルである diskbb+bbody+powerlaw に星間吸収をかけたモデル (描像1:図4) とアウトフローの状態にあると仮定した際に扱う diskbb+bbody+powerlaw モデル (描像2:図5) である。図4,5に示すように、bbody は中性子星表面からの黒体放射、diskbb は中性子星まわりに形成された標準降着円盤からの放射を近似した多温度黒体放射を示している。また、power-law は図には示していないが、円盤や中性子星まわりの高エネルギー電子による逆コンプトン散乱を表す。

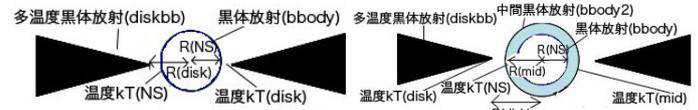


図4: 描像1

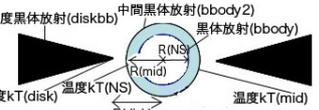


図5: 描像2

3.1 GX17+2 の解析

描像1で評価した。結果は降着円盤の温度 kT (disk) = 2.96 [keV], 中性子星表面温度 kT (NS) = 0.92 [keV], χ^2 値 = 1.185 となり、ある程度正しい値になったが、この値から中性子星の半径と降着円盤の最内縁半径を求めると、中性子星半径 R (NS) = 19 [km]、降着円盤最内縁半径 R (disk) = 5 [km] となってしまう中性子星に降着円盤が突き刺さる形となり物理的に正しくないことが分かる。よって、GX17+2 はアウトフローの状態にあると仮定して描像2のモデルで評価した。結果は kT (disk) = 0.87 [keV], kT (NS) = 2.47 [keV], 中間成分温度 kT (mid) = 1.25 [keV], χ^2 値 = 1.082, 光度 = 1.3×10^{30} [W] となり、先ほどより整合度が高くなった。この時の各半径を求めると、 R (NS) = 6 [km], 中間成分半径 R (mid) = 18 [km], R (disk) = 20 [km] となり、これは物理的にも正しい状態と言える。図6にスペクトルと描像2のベストフィットモデルおよびモデル1、2との残差を示す。

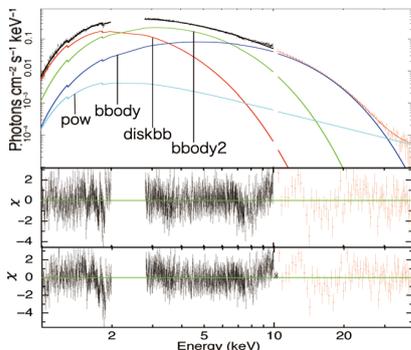


図 6: 1 段目:モデルとデータ 2 段目:描像 1 での残差 3 段目:描像 2 での残差

3.2 GX349+2 の解析

描像 1 で評価した。結果は降着円盤の温度 kT (disk) = 2.87 [keV], 中性子星表面温度 kT (NS) = 0.65 [keV], χ^2 値 = 1.101 となり、ある程度正しい値になったが、この値から中性子星の半径と降着円盤の最内縁半径を求めると、中性子星半径 R (NS) = 44 [km], 降着円盤最内縁半径 R (disk) = 7 [km] となってしまう中性子星に降着円盤が突き刺さる形となり物理的に正しくないことが分かる。よって、GX349+2 はアウトフローの状態にあると仮定して 描像 2 のモデルで評価した。結果は kT (disk) = 1.04 [keV], kT (NS) = 2.32 [keV], 中間成分温度 kT (mid) = 1.17 [keV], χ^2 値 = 1.088, 光度 = 0.9×10^{30} [W] となり、先ほどより整合度が高くなった。この時の各半径を求めると、 R (NS) = 4 [km], 中間成分半径 R (mid) = 13 [km], R (disk) = 13 [km] となり、これは物理的にも正しい状態と言える。図 7 にスペクトルと描像 2 のベストフィットモデルおよびモデル 1、2 との残差を示す。

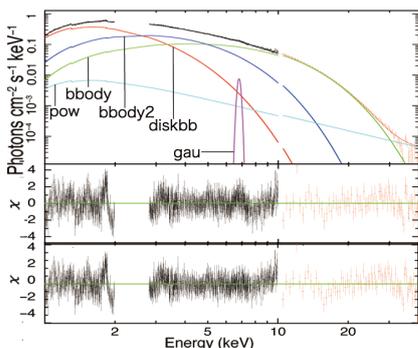


図 7: 1 段目:モデルとデータ 2 段目:描像 1 での残差 3 段目:描像 2 での残差

3.3 Cyg X-2 の解析

最初に描像 1 で評価した。結果は降着円盤の温度 kT (disk) = 1.52 [keV], 中性子星表面温度 kT (NS) = 2.20 [keV], χ^2 値 = 1.256, 光度 = 1.2×10^{30} [W] となり、ある程度正しい値になった。この時の各半径を求めると、中性子星半径 R (NS) = 6 [km], 降着円盤最内縁半径 R (disk) = 9 [km] となり、これは物理的に正しい状態と言える。よって Cyg X-2 はアウトフローの状態にないことが分かる。図 8 にスペクトルと描像 2 のベストフィットモデルおよびモデル 1、2 との残差を示す。

4 考察

今回の解析から、Cyg X-2 は中性子星の一般的な状態 (描像 1) でよく理解できることがわかった。一方、GX17+2 と GX349+2 は、描像 1 では円盤の半径が中性子星半径よりも小さくなるという矛盾した結果が得られたため、ア

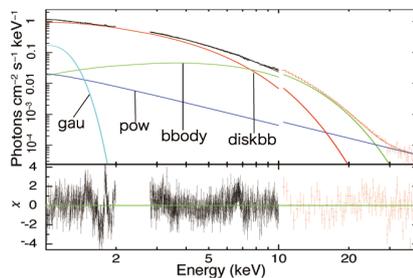


図 8: 1 段目:モデルとデータ 2 段目:描像 1 での残差

ウトフローを起こしている可能性のある描像 (描像 2) で再評価したところ、物理状態が正しい状態となりこの描像で矛盾なく説明できることがわかった。以上の結果を用いて、図 6.2 に中性子星のエディントン限界光度比に対する、円盤温度、円盤内縁半径、中性子星の表面温度、中性子星および中間層の半径、スペクトル解析における χ^2 値を示した。この図から、同じアウトフローを起こしている天体でも光度が高い天体の方が、全体的に半径や最内縁半径が大きくなる傾向にあるのではないかと。エディントン限界に対する割合が、GX17+2 が 65% Cyg X-2 が 60% GX349+2 が 45% で、GX の 2 天体がアウトフローしているのに Cyg X-2 はしていなかったことから、天体ごとに NB から FB に移行する光度にかなりの違いがあるのではないかと。ということがわかった。

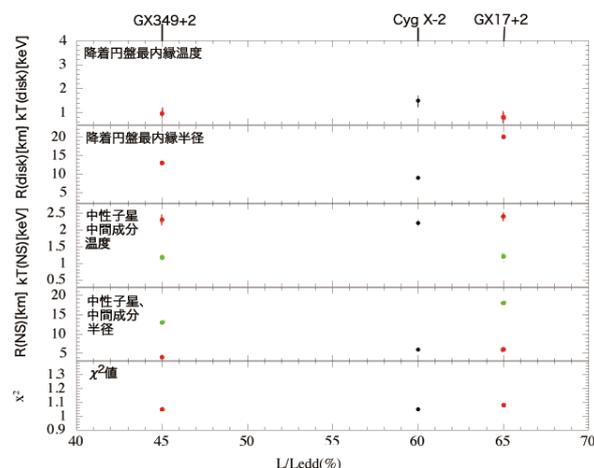


図 9: エディントン比 L/L_{Edd} に対する、得られたパラメータ (黒:描像 1 での値 赤:描像 2 での値 緑:中間成分の値)

5 結論

本研究では、対象天体から放射されている X 線のスペクトルを調べる事で、天体の物理状態を調べた。最初に中性子星の一般的なモデルである 描像 1 とのモデルフィットを 3 天体で行った結果、Cyg X-2 のみ正しい物理状態を示す事が出来た。次に GX17+2 と GX349+2 について描像 2 とのモデルフィットを行った結果、 χ^2 値も更により物理状態の矛盾点も解消された。この結果によると、GX17+2, GX349+2 の 2 天体はアウトフローの状態にある可能性があることが確認できた。そして、描像 2 でモデルフィットを行った際に 中性子星の半径が GX17+2 で 7km, GX349+2 で 4km となり、理論値 (~ 10 km) の範囲に収まることも確認出来た。今現在私たちの銀河系内で確認されている Z 天体は 9 天体と少ない。よって多くのサンプルを採る事は出来ないだろうが、もっと深く研究していく事でまた新しい物理状態を発見し、既存の物理状態に対する理解も深まるだろう。

参考文献

- [1] H. Takahashi, PhD thesis 2005, University of Tokyo
- [2] すぎくヘルプ編『『すぎく』ファーストステップガイド』
- [3] Mitsuda, K., et al. 1984, PASJ, 36, 741
- [4] Koyama, K. et al. 2007, PASJ, 59, 23
- [5] Takahashi, T. et al. 2007, PASJ, 59, 35