

中性子星とブラックホール天体の光度と質量降着率の関係の差異 Difference in luminosity and a mass-accretion-rate relation in a neutron star X-ray binary and a black hole X-ray binary

○小野寺 卓也¹, 根来 均²*Takuya Onodera¹, Hitoshi Negoro²

Abstract : Low Mass X-ray Binaries (LMXBs), containing a black hole (BH) or a neutron star (NS), exhibit a large variation in luminosity and state changes. We performed spectral analysis of a NS LMXB, MAXI J1647-227, and a BH LMXB, Swift J1753.5-0127, using MAXI/GSC and Swift/XRT data. We have found that mass accretion rates and total luminosity of MAXI J1647-227 are consistently constant and, on the other hand, total flux of Swift J1753.5-0127 decrease. The decline in flux implies a decrease in a mass accretion rate or radiation inefficiency in a mass accretion onto a BH.

1. X線天体

1-1. X線天体の状態とスペクトル

ブラックホール天体や中性子星などの X 線連星は、伴星からのガスの流入により降着円盤を形成する。そのガスが中心の高密度星に落ち込む際に重力エネルギーが解放され、X 線として放射される。この X 線の放射スペクトルは、ガスの流入量（質量降着率）の変化により、大きく分けて 2 つの状態を遷移することが知られている。1 つはソフト状態と呼ばれ、質量降着率が高く、比較的光度が明るいときにみられる。この状態では、標準降着円盤と呼ばれる幾何学的に薄く光学的に厚い円盤が形成され、スペクトルは内縁温度 ~ 1 keV 程度の多温度黒体放射で説明される。もう一方はハード状態と呼ばれ、質量降着率が低く、比較的光度が暗いときにみられる。この状態では、円盤が光学的に薄く、標準降着円盤に比べて放射効率が悪い（ADAF）。スペクトルは、希薄なプラズマ内での制動放射や逆コンプトンによって、べき関数型を示す。

1-2. ブラックホールと中性子星の光度の差異

ブラックホールと中性子星の区別は、各々の光度変化によって特徴付けられる。中性子星の場合は、降着円盤の内縁まで運ばれたガスが中性子星表面にぶつかり、運動エネルギーが放射として解放される。しかし、ブラックホールの場合は物理的な表面を持たないため（事象の地平線）、内縁まで運ばれたガスによるエネルギー解放の有無により、光度に差が出るのが期待される^[1]。

2. 解析

2-1. MAXI J1647-227

MAXI J1647-227 とは、2012 年 6 月 14 日に MAXI/GSC^[2] が発見した新 X 線天体である^[3]。本天体は、2012 年 6 月 19 日に Swift/XRT^[4] で I 型 X 線バーストが検出され、中性子星であることが判明した^[5]。解析では、アウトバースト中に Swift/XRT で観測された 8 回のデータを用いた。

2-1-1. スペクトル解析

スペクトル解析は、NASA が提供している解析ソフトウェア XSPEC を用いた。使用したモデルは、星間吸収を考慮した、標準降着円盤からの多温度黒体放射と中性子星表面からの黒体放射を足し合わせたものである。降着円盤は、同じ円盤上でも半径により温度が異なるので、様々な温度の黒体放射の重ね合わせ（多温度黒体放射）で表現される。ここでは、 $D=10\text{kpc}$, $i=60^\circ$, $L_{\text{disk}}=4\pi R_{\text{in}}^2 T_{\text{in}}^4$ [erg/s] を用いて、降着円盤の光度 L_{disk} お

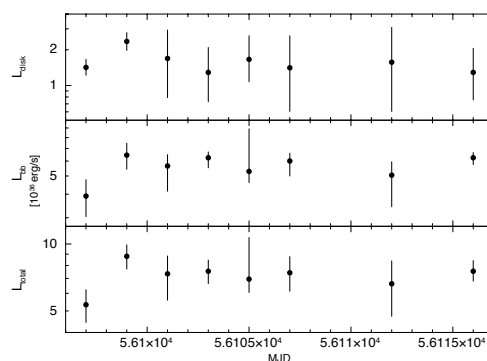


Figure 1. Time variations of each luminosity in MAXI J1647-227 (L_{disk} , L_{bb} , $L_{\text{total}}=L_{\text{disk}}+L_{\text{bb}}$)^[6]

よび黒体の光度 L_{bb} を算出した (Fig. 1). また, 多温度黒体放射モデルから得られる降着円盤の内縁温度 T_{in} [keV]と光度 L_{disk} [erg/s]の関係式,

$$T_{in} \propto \dot{m}^{-1/2} L_{disk}^{3/4} \quad (2.1)$$

から, 質量降着率 \dot{m} が一定ならば T_{in} は L_{disk} の $3/4$ 乗に比例する. Fig. 2 は T_{in} と L_{disk} の相関図であり, $T_{in} = \alpha L_{disk}^\beta$ (α, β : 任意定数) のべき関数でフィッティングすると, $\beta = 0.77 \pm 0.06$ となり, (3.1)式の結果と一致する. また, 総光度が時間変化において一定である結果に矛盾しない (Fig 1.). すなわち, 降着円盤で解放されなかった重力エネルギーが中性子星表面で熱エネルギーとして解放されていることがわかる.

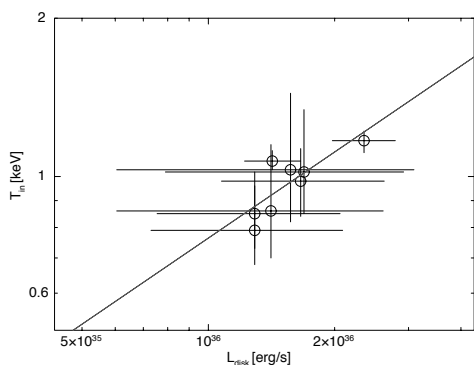


Figure 2. Relation between L_{disk} and T_{in} in MAXI J1647-227 [6]

2-2. Swift J1753.5-0127

2005 年 5 月 30 日に Swift/BAT で検出されたブラックホール天体である. 検出されてからハード状態を維持していたが, 2009 年の数日間, MAXI でソフト状態に遷移したことが観測された^[7]. また, 同様に 2012 年にもソフト状態が確認され^[8], Swift/XRT での追観測が行われた. 今回は, この時期の観測データを用いて解析を行った.

2-2-1. パイルアップ

本天体は MAXI J1647-227 よりも明るいため, パイルアップの影響について調べた. パイルアップとは, 1 回の露光時間中に, 1 つの画素に 2 個以上の X 線光子が同時に入ることを用いる. 降着円盤成分を正しく見積もるために, 今回は grade 0-2 に対する grade 0 のイベント数の割合を取ることで, パイルアップの度合いを見積り, 補正した^{[9][10]}. これより, パイルアップの影響を受けると, スペクトルがハードになり, T_{in} が約 1.1 倍, R_{in} では約 1.4 倍の差が生じることが疑われた.

2-2-2. スペクトル解析

使用したモデルは, 星間吸収を考慮した, 標準降着円盤からの多温度黒体放射とハード状態に顕著なべき関数成分を足し合わせたものである. 本天体は距離が不定であるため, フラックスによる比較を行った. 各成分 F_{disk} , F_{power} は, 0.01-10 keV, 1-100 keV の領域で算出した. Fig.3 より, F_{disk} は MJD 56047 を境に減少しているが, F_{power} は MJD 56049, 56050 で減少せず, この観測期間を通して大きな変動は見られない. これは, 標準円盤成分が支配的だったスペクトルから, べき関数成分が支配的になったことを示す. MJD 56049 以降の F_{total} の減少は, 質量降着率の減少, または ADAF による放射効率の減少の可能性が考えられる. 今後, 質量降着率やフラックスをより正確に見積もり, どちらが原因であるか調べる予定である.

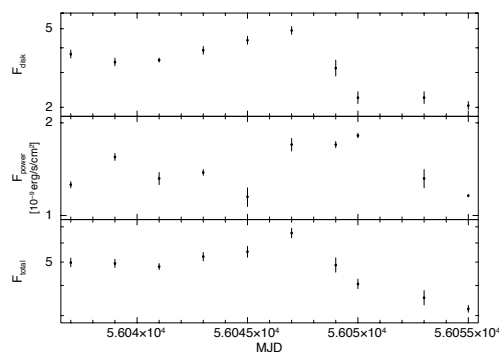


Figure 3. Time variations of each flux in Swift J1753.5-0127 (F_{disk} , F_{power} , $F_{total} = F_{disk} + F_{power}$)

3. 参考文献

- [1] Narayan, R., et al., ApJ, Vol. 478, pp 79-82, 1997
- [2] Matsuoka, M., et al., PASJ, Vol. 61, pp 999-1010, 2009
- [3] Negoro, H., et al., Astronomer's Telegram, #4175, 2012
- [4] David, N., et al., SSR, Vol. 120, pp 165-195, 2005
- [5] Kenna, J., et al., Astronomer's Telegram, #4192, 2012
- [6] Onodera, T., et al., Suzaku-MAXI conference proceedings, pp 206-207, 2014
- [7] Negoro, H., et al., Astronomer's Telegram, #2341, 2009
- [8] Soleri, P., et al., Astronomer's Telegram, #4056, 2012
- [9] Pagani, C., et al., APJ, Vol. 645, pp 1315-1322, 2006
- [10] Mineo, T., et al., Nuovo Cimento B, 2007