

# 「すざく」を用いた LMXB GS1826-238 における ハード状態のスペクトル解析

小野 光、牧島一夫、中澤知洋、鳥井俊輔、櫻井壮希 (東京大学大学院 理学系研究科)

## Abstract

中性子星 (NS) には  $\lesssim 2M_{\odot}$  の質量の恒星と連星系を成して、X線を放射するものがあり、そのスペクトルには 2つの状態が知られている。一つは 20 keV 以下の帯域が卓越しているソフト状態、もう一つは 20 keV 以上の高エネルギー帯域が卓越しているハード状態である。Sakurai et al. (2012) によると、光度が  $\sim 10^{36}$  erg/s の Aquila X-1 のハード状態の 1-100keV スペクトルが、NS 表面の黒体放射が逆コンプトン散乱されたものと、降着円盤による多温度黒体放射の和によって説明されることが分かっている。これに対して、GS1826-238 はつねにハード状態にある NS 連星だが、光度が  $\sim 10^{37}$  erg/s と高く、そのスペクトルが Aquila X-1 と同様に説明できるか不明だった。そこで「すざく」による GS1826-238 の 0.8 – 200 keV スペクトルを解析したところ、降着円盤の軸が視線方向から十分に傾いていると考えれば、一般的な光度、 $\sim 10^{36}$  erg/s のハード状態の天体と同様の描像で理解できることが分かった。

## 1 Introduction

X線源の一種として、弱磁場の中性子星 (NS) と質量が  $2 M_{\odot}$  以下の恒星が近接連星をなした、Low Mass X-ray Binary (LMXB) と呼ばれる天体がある。LMXB では光度が  $L \gtrsim 10^{37}$  erg/s のとき、スペクトルは 15 keV 以降で急に弱くなり、ソフト状態と呼ばれる。スペクトルは硬く、100 keV まで伸び、天体はハード状態にあると言われる。この様子を図 1 に示した。

ハード状態の LMXB の X 線スペクトルは一般的に、何らかの光学的に厚い熱的な放射と、NS の周りの高温のコロナによる逆コンプトン散乱の和によって説明されることが、Lin et al. (2007), Cocchi et al. (2011), Tarana et al. (2011) らによって明らかにされている。また、Sakurai et al. (2012) は、NS のハード状態にある光度が  $L \sim 10^{36}$  erg/s の LMXB として Aquila X-1 のデータを解析し、光学的に厚い放射は、中性子星よりやや外側に存在する標準降着円盤からの多温度黒体放射であること、また逆コンプトン放射は、円盤の内側に生じた高温コロナ流によって、中性子星からの黒体放射光子が散乱されたものであることを明らかにした。

一方、ハード状態のスペクトルを示し、 $L \sim$

$10^{37}$  erg/s もの光度を持つ X 線源、GS1826-238 が見つかっており、Thompson et al. (2005), Cocchi et al. (2011) らによって解析されている。ただしここでは降着円盤が単温度の黒体で近似されている。そこで今回は「すざく」と *RXTE* のデータを使い、この状態が Sakurai et al. (2012) の延長線上にあり、同様の物理状態と考えられるのか、それとも全く新しい状態にあるのかを検証した。

## 2 Analysis

### 2.1 Data Processing

2009 年 10 月 21 日に X 線観測衛星「すざく」および *RXTE* で得られた GS1826-238 の、0.8 – 200 keV のスペクトルを解析した。使用した「すざく」の検出器は XIS、HXD-PIN、HXD-GSO の 3 つで、それぞれのエネルギー帯域は 0.2 – 12 keV、10 – 70 keV、40 – 600 keV である。使用した領域は、中心から約  $3''$  をのぞいた、半径  $2'$  の円である。天体の中心をのぞいたのはパイルアップを除くためである。また使用した XIS 検出器のライトカーブを図 2 に示す。地没の間は観測できないので取り除かれており、また、バーストが観測されていることが分かる。*RXTE* の観測とで

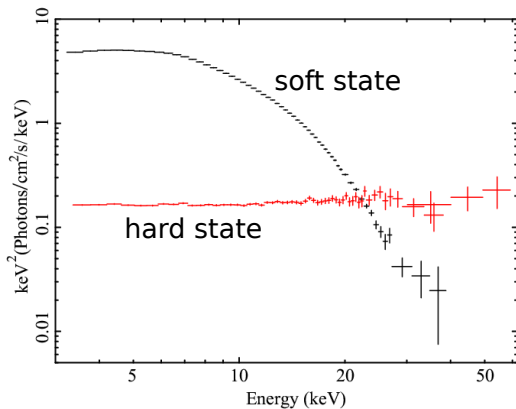


図 1: Aquila X-1 の、ソフト状態 (黒) とハード状態 (赤) のスペクトル: 縦軸は  $\nu F\nu$  であり、対数になっている。横軸は光子のエネルギー。Sakurai et al. (2012) より。

きるだけ同じ時間帯を使うために、 $10^5 - 1.3 \times 10^5$  s の部分だけ使った。Exposure は 13.87 ksec である。XIS の使用したエネルギーは 0.3 – 7 keV から 1.7 – 1.9 keV、2.2 – 2.4 keV の除いたものを使った。1.7 – 1.9 keV、2.2 – 2.4 keV は Si の吸収線と Au による構造をさけるためである。また、8 keV 以上の帯域は、観測の統計に比べて応答関数の系統誤差が大きいため、今回の解析では使用しなかった。

Offset = 55125 21:12:57.1840 (SC time: 309474713.000000)

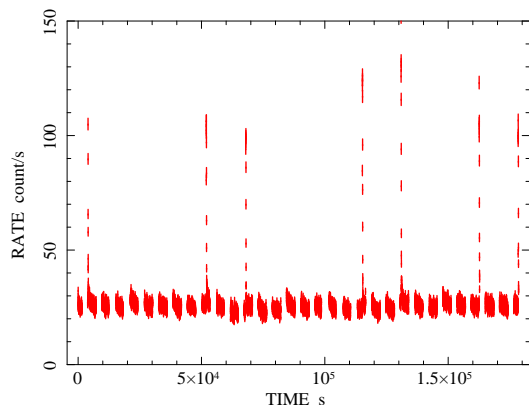


図 2: 「すぎく」の XIS1 で得られた、GS1826-238 のライトカーブ:RXTE と出来るだけ同じ時間を使うために、 $10^5 - 1.3 \times 10^5$  s を使った。

## 2.2 Spectral Analysis

Sakurai et al. (2012) にならい、モデルとしてが高温のコロナに覆われ、その周りに降着円盤がある場合を考えた。NS は球体で、黒体放射し、これがコロナによって逆コンプトン散乱されていると考える。降着円盤の傾きによっては、円盤からでた光子が逆コンプトン散乱されたものが見える可能性があるが、仮に見えるとしてもわずかであると考えて、第 0 近似としてこのような光子は考えない。このようなモデルとして、XSPEC で nthcomp+diskbb を使った。その結果、図 3 に示すように、「すぎく」と RXTE による GS1826-238 の定常対数のスペクトルは、 $\chi^2/\nu = 964/760$  であり、よく再現された。得られた結果を表 1 および図 3 にまとめる。これらのパラメータから、黒体としたの NS の半径は約 5.7 km と計算され、降着円盤の内縁半径は、 $6.9 \pm 1.7$  km と求まった。ここで、Mescheryakov et al. (2011) に従い、この天体の降着円盤の軸の、視線方向からの角度が  $62.5^\circ \pm 5.5^\circ$  であるとした。

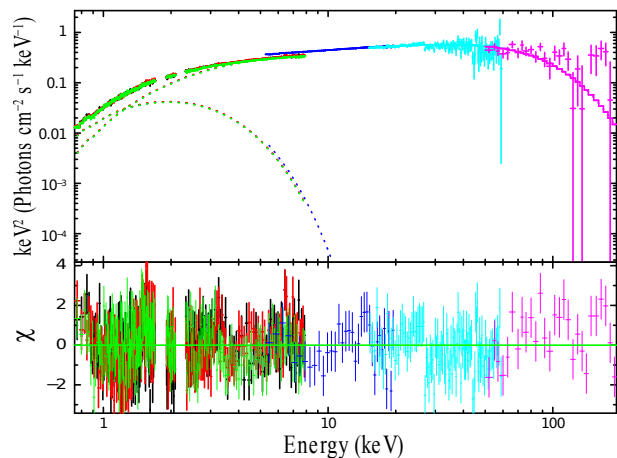


図 3: 「すぎく」と RXTE による、GS1826-238 の  $\nu F\nu$  のスペクトル。黒:XIS0, 赤:XIS1, 緑:XIS3 青:RXTE; 水色:HXD-PIN; マゼンタ:HXD-GSO

表 1: スペクトルフィットで得られたパラメータ: $T_{\text{in}}$  は降着円盤の規格化定数と最内縁温度。 $kT_{\text{bb}}$ 、 $kT_e$ 、 $\Gamma$  はそれぞれ、逆コンプトン散乱のモデルの黒体の温度、コロナの温度、およびべきである。

$kT_{\text{in}}(\text{keV})$	$kT_{\text{bb}}(\text{keV})$	$kT_e(\text{keV})$	$\Gamma$
$0.70^{+0.14}_{-0.10}$	$0.81^{+0.13}_{-0.08}$	$20^{+2.0}_{-1.7}$	$1.7^{+0.01}_{-0.01}$

### 3 Discussion

NS の半径によって降着円盤の最内縁半径は制約を受ける。傾きの値によって、最内縁半径は任意に大きな値をとれるが、 $\sim 60^\circ$  程度の傾きを仮定すれば、中性子星の半径よりも降着円盤の最内縁半径の方が大きく、今回のモデルの中では矛盾が生じない。従って、 $L \sim 10^{37}$  と非常に高光度なハード状態でも Sakurai et al. (2012) のように、中性子星からの黒体放射のコロナによる逆コンプトン散乱と、降着円盤による多温度黒体放射での解釈が可能である事が分かった。

この解析では、NS の半径が標準的な  $\sim 10$  km よりもかなり小さく求まっている。この点に関しては、天体までの距離が本来よりも小さく、天体を暗く見積もってしまっている可能性がある。計 7 回の X 線バーストのデータが「すぎく」で得られているので、その明るさと距離の関係も確認しつつ、更に解析を進める。

### Reference

- Cocchi, M., Farinelli, R., & Paizis, A. 2011, , 529, A155
- Lin, D., Remillard, R. A., & Homan, J. 2007, , 667, 1073
- Mescheryakov, A. V., Revnivtsev, M. G.,
- Sakurai, S., Yamada, S., Torii, S., et al. 2012, , 64, 72  
& Filippova, E. V. 2011, Astronomy Letters, 37, 826
- Thompson, T. W. J., Rothschild, R. E., Tomsick, J. A., & Marshall, H. L. 2005, , 634, 1261
- Tarana, A., Belloni, T., Bazzano, A., Méndez, M., & Ubertini, P. 2011, , 416, 873