

すざく衛星によるブラックホール連星 H1743-322 の解析

X-ray study of the black hole candidate H1743-322 with Suzaku

宇宙情報解析研究室 P09078 田鹿 貴之

指導教員：久保田 あや 准教授

1 ブラックホールからの X 線放射

ブラックホール（以下 BH）とは非常に強い重力を持ち、その内部の物質や光はある範囲内から外に出ることができない。BH の周りには降着円盤というガスの円盤が存在する。降着円盤中心付近では摩擦により、ガスが数千万 K という高温に熱せられ、X 線を放出しながら運動エネルギーを失い、徐々に中心の BH に落ち込んでいく。このように、BH の周りに存在する降着円盤から放出される X 線を観測することで BH についてさまざまな情報が得られる。

2 研究の目的

図 1 の様に降着円盤から円盤風が出ているブラックホール連星（以下 BHB）が 4 つ確認されており、本研究で解析を行う H1743-322 も円盤風が確認されている BHB の一つである。本研究の目的は、H1743-322 の降着円盤の X 線の解析により、降着円盤の状態と円盤風の関係について推測することである [1]。

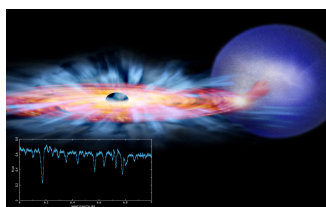


図 1: 降着円盤と円盤風のイメージ [2]

3 すざくによる H1743-322 の観測

すざくは日本の X 線天文衛星であり、X 線望遠鏡 (XRT) $0.2 \sim 12\text{keV}$ の検出範囲を持つ X 線 CCD カメラ (XIS) [3]、 $10 \sim 600\text{keV}$ の検出範囲を持つ硬 X 線検出器 (HXD) [4] が搭載されている。H1743-322 はこれまでの観測の結果から、距離は 8.5kpc (約 2 万 8 千光年)、軌道傾斜角が約 32° [5]、太陽の約 10 倍 ($2 \times 10^{31}\text{kg}$) の質量を持つと推定されている [6]。今回の研究で解析を行う H1743-322 はすざく衛星により 2008 年 10 月 7 日から 2008 年 10 月 8 日にかけて観測が行われており、正味の積分時間は 31.7ks である。

4 データ解析の流れ

すざく衛星によって得られた H1743-322 のデータから X 線データ解析ソフトである XSELECT を使用してイメージとスペクトルを抽出した。図 2 に H1743-322 の XIS から得られた X 線イメージを示す。図 2 の円は

観測する天体からの情報を得るためにソースと、背景放射を補正するためのバックグラウンドの範囲を指定している。

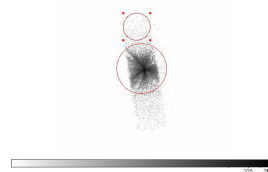


図 2: H1743-322 の XIS0 の画像

XIS では、抽出したデータのチャンネルと X 線の持つエネルギーの対応付けをする rmf ファイルと X 線検出器のエネルギーに対応する有効面積を表す arf ファイルをこのとき作成する。HXD の観測データは $10 \sim 50\text{keV}$ 程度の観測範囲の PIN 型半導体検出器で検出される PIN 部と $40 \sim 600\text{keV}$ 程度の観測範囲を持つ GSO シンチレータで検出される GSO 部に分けられる。次に X 線スペクトル解析ソフト XSPEC を使用して天体のスペクトルから背景放射の除去を行った。図 3 は XIS と HXD から得られた広範囲なエネルギー帯域でのスペクトルである。

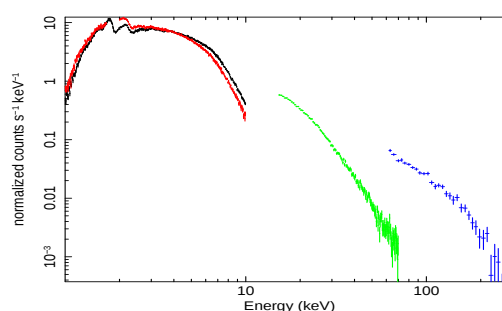


図 3: すざく衛星の検出器から得られたスペクトル、黒と赤は XIS、緑は PIN、青は GSO から得られたスペクトルをそれぞれ表す

5 スペクトル解析

5.1 power-law モデルによる評価

HXD の観測データと XIS を合わせ、 $1 \sim 300\text{keV}$ の広帯域のスペクトルフィットを行った。天体の物理的状態を探るために抽出したスペクトルがどのような放射モデルを用いて再現できるかを調べる。以下では、本研究で得られた H1743-322 のスペクトルに合うモデルを定

め、ソースがどのような天体か推察していく。降着円盤の周囲にある高温コロナからの放射を近似する power-law モデルと天体から望遠鏡までの間の原子による光電吸収モデルを用いて再現した。また、鉄の特性 X 線をし表す、gaussian モデルを用いた。power-law モデルは以下の式で表され、 Γ は光子指数、 K は normalization で 1keV に置ける X 線強度を表す。

$$A(E) = K \cdot E^{-\Gamma}$$

結果を図 5 及び表 1 に示す。 $\chi^2/\text{dof}=1.97$ となりデータは再現されなかった。これは図 5 に示したデータとモデルの残渣にみられるように、高エネルギー側の GSO でデータがモデルを下回っていることが原因である。

5.2 cutoff power-law モデルによる評価

次に、この高エネルギー側の折れ曲がり进行评估するために、power-law モデルを、power-law が指数関数的に折れ曲がる cutoff power-law モデルに置き換えて評価した。cutoff power-law は $A(E)=KE^\Gamma \exp(-\frac{E}{E_c})$ で表され、光子指数 Γ に加え、折れ曲がりのエネルギー E_c をパラメータに持つ。また、再現性を維持するため gaussian モデルは引き続き使用した。結果を図 6 及び表 2 に示す。

5.3 熱的逆コンプトンによる評価

cutoff PL で表される E_c は BH の周りに広がった高温のコロナの電子温度 T_e で決まると考えられており、より物理的な熱的コンプトンモデルで評価を行ったところ、表 2 および図 6,7 の結果を得た。電子温度は $kT_e = 36.2 \text{ keV}$ と推定することができ、典型的な low/hard 状態の値と矛盾ない。結果を図 7 及び表 3 に示す。

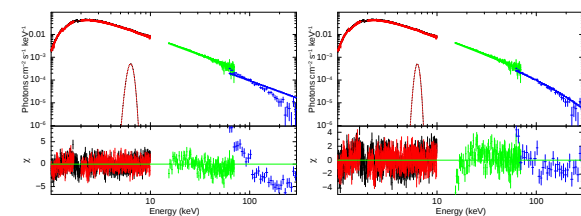


図 4: power-law でのフィット

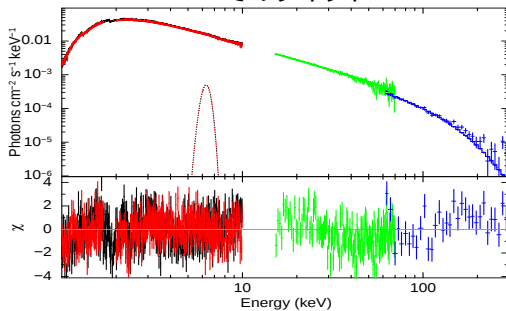


図 6: 熱的コンプトンモデルでのフィット

モデル	パラメータ	単位	値
光電吸収	N_H	$10^{22}/\text{cm}^2$	2.065
power-law	Γ		1.597
	norm	$\text{keV}^{-1}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	0.313
χ^2/dof	等価幅		1.96(dof=974)

表 1: power-law のパラメータ

モデル	パラメータ	単位	値
光電吸収	N_H	$10^{22}/\text{cm}^2$	2.065 ± 0.002
cutoffpl	Γ		1.567 ± 0.004
	E_c	keV	$163.7^{+14.9}_{-12.8}$
	norm	$\text{keV}^{-1}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	0.309 ± 0.001
χ^2/dof	等価幅		1.48(dof=973)

表 2: cutoff power-law のパラメータ

モデル	パラメータ	単位	値
光電吸収	N_H	$10^{22}/\text{cm}^2$	1.621 ± 0.003
熱的コンプトン	Γ		$36.223^{+3.122}_{-2.686}$
	電子温度	keV	0.316 ± 0.001
	norm		
χ^2/dof	等価幅		1.43(dof=976)

表 3: 熱的逆コンプトンモデルのパラメータ

5.4 鉄の吸収線

過去の文献 [6] より H1743-322 のスペクトルの 6.7keV 及び 7.2keV に円盤風由来と思われる鉄の吸収線が確認されている。吸収線とは降着円盤からの X 線が周囲の鉄原子に吸収された場合に現れるスペクトルのへこみであり、スペクトル上での吸収線位置のドップラー効果による変化から円盤風の存在を確認できる。今回の観測での 6-8keV 帯域のスペクトルには文献 [6] で見られたような吸収線は確認できなかった。

6 まとめと考察

得られたパラメータが power-law モデルでよく表されること、天体の X 線強度 (flux) から求めた X 線光度がエディントン限界光度と比較し小さい値となったことより天体が観測当時暗い (low-state) 状態にあったことを推測することが出来た。高エネルギー帯域まで含めたフィットを行った場合、power-law だけではデータが再現できなかったため降着円盤周辺に高温コロナのガスが存在していると考えられる。現段階までのフィットによりコロナの温度を推定することが出来た。また円盤風の存在を示す吸収線は今回の解析では確認されなかった。過去に観測されている円盤風はいずれも本解析よりも光度が高い high state 及び very high state の状態であったことから円盤風は光度の高い状態のみ存在することが示唆される。

参考文献

- [1] Ponti, G 2012 MNRAS.422L..11P
- [2] Chandra X-ray observatory
<http://chandra.harvard.edu/photo/2006/j1655/>
- [3] Koyama, K. et al. 2007, PASJ , 59 , 23
- [4] Takahashi, T. et al. 2007, PASJ , 59, 35
- [5] James F. Steiner et al. 2012 ApJ 745 L7
- [6] J. M. Miller et al. 2006 ApJ 646 394