

# RXTE 衛星によるブラックホール連星 GRO J1655-40 の長期変動の解析

X-ray study of long time spectral variation of black hole candidates with RXTE

宇宙情報解析研究室 p06058 鈴木 裕之

指導教員：久保田 あや 准教授

## 1 背景と目的

ブラックホール(以下 BH)とは光さえも脱出できない程の強い引力を持った天体である。光を発しないため単体では発見するのは不可能である。しかし、図の様に BH と通常の恒星とが連星系をなしているとき、その恒星から BH に落ち込むガスが高温となり X 線を放射するので存在を知ることができる。

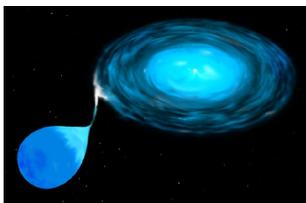


図 1: 降着円盤の例 [5]

このガスを降着円盤といい、回転しながら BH に落ち込んでいく。降着円盤が BH に落ち込む時に摩擦熱により数千万度になり、黒体放射によって X 線が放射される。本研究ではこの X 線スペクトルを長期的に観測し、降着円盤がどう変化していくか解明することを

目的とする。

## 2 観測の概要とデータリダクション

### 2.1 観測の概要

本研究対象の天体 GRO J1655-40 は、さそり座にある X 線トランジェント天体である。1994 年 7 月 27 日にコンプトンガンマ線観測衛星搭載の BATSE 検出器によって発見された。この天体の座標は、赤経が 16h54m00.00s で赤緯が  $-39^{\circ}50'45''$  である。GRO J1655-40 は、超光速ジェットを示すいくつかの BH 連星のうちの一つである [10]。光学的観測によれば、中央物体の質量が  $7.02 \pm 0.22 M_{\odot}$  で、系の傾斜角が  $69^{\circ}.5 \pm 0^{\circ}.08$  であると推定されている [8]。さらに、3 つの独立した方法により地球からの距離は 3.2kpc と推定されている [4][3]。休止状態に移行する間に、ちょうど他の BH 連星の様に GRO J1655-40 のスペクトルはソフトからハード状態へ直ちに進化することが観測された。一方、降着円盤の内側の半径は 20km で一定である [1]。GRO J1655-40 は Rossi X-ray Timing Explorer(RXTE) 衛星 [7] によって 1995 年 12 月 30 日から 1997 年 12 月 18 日の間に 82 回断続的に観測された。本研究ではこのうち図 2 に示す日付の観測データからスペクトルを抽出し、それぞれ解析を行った。

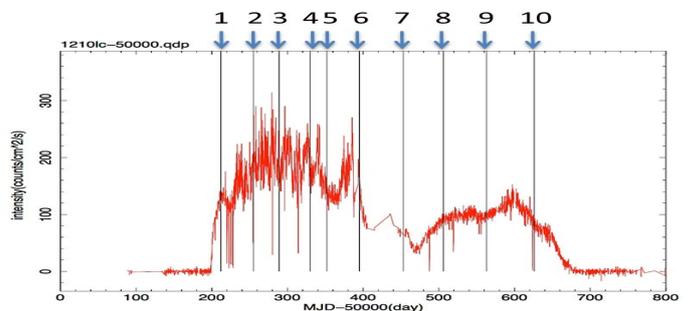


図 2: GRO J1655-40 の 1995 年 12 月 30 日から 1997 年 12 月 18 日の光度変動。縦線部分のスペクトル抽出した。日付の順で番号をつける。

### 2.2 データリダクション

RXTE 衛星は長期間に渡って何度も天体を観測する特徴がある。RXTE のデータには目的の天体の観測データ以外にも、衛星の状態に関するデータも含まれている。それらのデータから、良い観測の時間を決定することをデータリダクションという。具体的には衛星からのデータに含まれているフィルターファイルを参照し、オンになっている検出器の数とスペクトルを抽出したい検出器の番号、衛星と地球の水平線を結んだ直線を基準に何度以下にある天体のデータを除外するかの閾値、検出器の揺れがどの程度であるか、衛星が South Atlantic Anomaly という大西洋上空の放射線の異常帯を通過している時間を考慮することで良い観測時間を得られる。そこからバックグラウンドを差し引く事で解析に使えるスペクトルを得られる。

## 3 スペクトル解析

### 3.1 wabs と smedge モデル

スペクトル解析とは、観測データからのスペクトルとモデルスペクトルを比較することで物理パラメータを求める事である。 $\chi^2$  検定によりデータに適合するモデルのパラメータを決定する。本研究ではまず  $wabs * smedge * (diskbb + power-law)$  というモデルの組み合わせでモデルフィットを行った。wabs モデルとは星間吸収を表したモデルである。smedge(smear edge) モデルは、ブラックホール連星の X 線スペクトルではよく観測される鉄の吸収端を表している [2]。

### 3.2 diskbb と powerlaw モデルでの解析

diskbb モデル [6] は標準降着円盤 [9] を近似したモデルで、半径  $r$  に置ける円盤の局所温度  $T(r)$  が  $T(r) = T_{in}(r/r_{in})^{3/4}$  である多温度黒体放射の重ね合わせである。 $T_{in}$  は降着円盤の最も内側の温度、 $r_{in}$  は降着円盤の最も内側の半径である。power-law モデルは光学的に薄い降着円盤から放射された X 線が BH 周辺のコロナの中で逆コンプトン散乱を繰り返した状態を表したモデルである。その式は  $A(E) = KE^{-\Gamma}$  で表され、 $K$  は単位時間、面積、エネルギーあたりの放射光子数で  $\Gamma$  は無次元量である。図 3 にモデルの放射の様子を示す。wabs\*smedge\*(diskbb+powerlaw) というモデルを 10 回分のスペクトルに適用した時のモデルごとの flux が図 4、その時のパラメータ  $r_{in}$ 、 $T_{in}$ 、 $\Gamma$ 、 $\chi^2/dof$  の観測時期ごとにプロットすると図 5 の様になった。

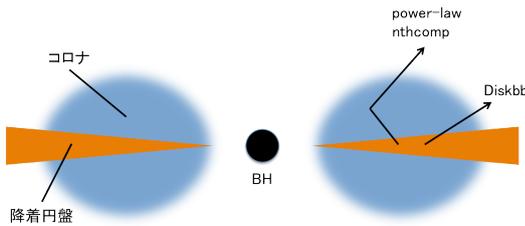


図 3: モデルがどのような X 線放射を表しているか

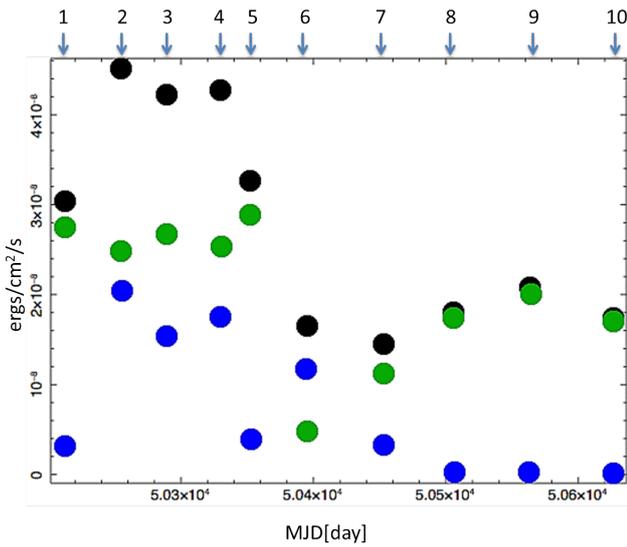


図 4: モデルごとの flux の時間変動。青:power law 緑:diskbb 黒:合計値

diskbb+powerlaw モデルでフィットした場合、5,7,8,9,10 番では diskbb からの明るさが強く、power-law からの明るさが弱く、 $\Gamma$  が 2 程度なので high state であると言える。6 番に diskbb+power law を適用した場合、 $T_{in}$  が高く、 $\Gamma$  が 2.5 以上となっている。また、 $r_{in}$  が 4.89km というのはシュバルツシルト半径の半分以下となり最終安定軌道と矛盾している。この理由から 1,2,3,4,6 番では high state ではなく very high state ではないかと考えた。

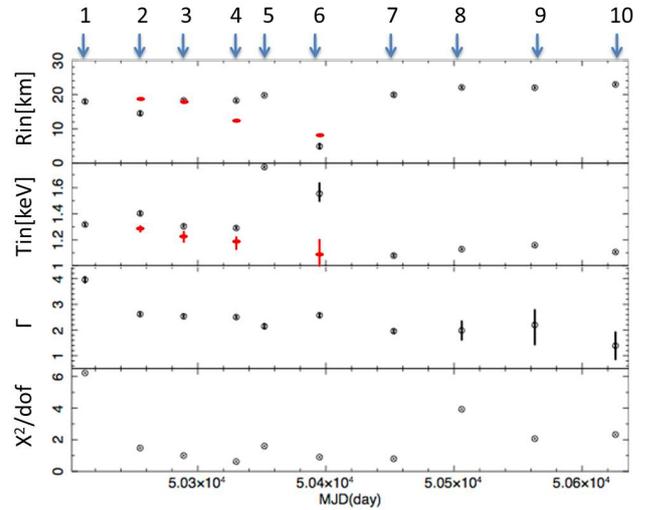


図 5: パラメータの時間変動。黒:diskbb+powerlaw、赤:diskbb+nthcomp+powerlaw でフィットしなおした値

### 3.3 diskbb+nthcomp+pow での解析

そこで very high state をよく表す nthcomp というモデルを追加し、wabs\*smedge\*(diskbb+nthcomp+powerlaw) のモデルでフィットした。nthcomp は熱逆コンプトン 5 散乱を表したモデルで、power-law モデルよりとても良い再現をするがパラメータは複雑である。高エネルギーのカットオフは power-law のそれより鋭く、コロナの電子温度  $kT_e$  によってパラメータ化される。低エネルギー成分は黒体温度  $kT_{bb}$  によって決定される [11]。このモデルでフィットした時のパラメータを図 5 の赤い点に示す。very high state を考慮すること diskbb 成分の温度が通常通りとなり、nthcomp モデルが正しく機能した。よって 2,3,4,6 番は very high state であると言える。

## 4 まとめと考察

観測時期によりよく合うモデルが違っていた。これにより 2,3,4,5,7 番では very high state、6,8,9,10 番では high/soft state であると判別できた。今後の課題としては各パラメータの相関を調べ、詳細な条件を探ることが必要である。

## 参考文献

- [1] 久保田あや, 博士論文, 2001, 東京大学
- [2] Ebisawa, K., et al. 1994, PASJ, 46, 375
- [3] Greiner et al., 1995, A & A, 297, 67
- [4] Hjellming & Rupen, 1995, Nature, 217, 709
- [5] HubbleSite - NewsCenter - Hubble Probes the Workings of a Stellar Hydrogen Bomb (05/22/1995) - Release Images, [http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/1995/23/image/a/format/large\\_web/](http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/1995/23/image/a/format/large_web/)
- [6] Mitsuda, K. et al. 1984, PASJ, 36, 741
- [7] NASA, About RXTE, [http://heasarc.nasa.gov/docs/xte/learning\\_cent](http://heasarc.nasa.gov/docs/xte/learning_cent)
- [8] Orosz & Bailyn, 1997, ApJ 477, 878
- [9] Shakura, N. I. Sunyaev, R. 1973, A & A, 24, 337
- [10] Tingay et al., 1995, Nature, 374, 141
- [11] Zdziarski, Johnson & Magdziarz 1996, MNRAS, 283, 193