

# ブラックホールGX339-4のすざく衛星観測データにもとづいた降着円盤の解析

## Suzaku observation of the Black Hole GX339-4

宇宙情報解析研究室：P06071-7 田村愛美

指導教員：久保田あや

平成 22 年 2 月 9 日

### 1 背景と目的

ブラックホール（以降 BH）とは、光さえも抜け出せない程の重力を持つ天体である。そのため、BH を可視光で観測しても、その姿を観測することは難しい。そこで観測には X 線が用いられる。本研究で扱う GX339-4 天体は、太陽質量の 30 倍程度の恒星が進化の最終段階で重力崩壊を起こし形成された BH であり、図 1 の様に、光学主星とが近接連星系を成している。この様な連星は相手の星の外層大気がブラックホールの強い重力に引かれ、ブラックホールのまわりをケプラー運動しながら落ち込んでいく。このようにして形成されるガス円盤を「降着円盤」と呼ぶ。降着円盤に BH からのガスが落ち込む時に摩擦により数千万度の高温に熱せられ強い X 線が放射される。本研究では、この降着円盤のスペクトルから降着円盤のメカニズムを説明することを目的としている。

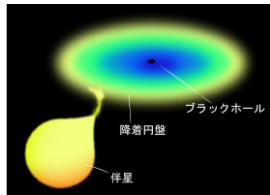


図 1: BH 連星周辺の概念図

### 2 GX339-4 の「すざく」による観測

GX339-4 はこの名前の通り「銀河 X 線源の銀経 339 度、銀緯 -4 度に位置する天体」である。1973 年に発見され、BH 候補天体として知られている。[10] すざくは 2007 年 2 月 12 日から 15 日にかけて観測を行った。すざく衛星 [1] は、0.2-12 keV で観測可能な軟 X 線検出器 (XIS) [7] と 10-300 keV で観測可能な硬 X 線検出器 (HXD) [8] が搭載されており、これら 2 種類の検出器によって、0.2-300 keV という広帯域のエネルギー領域での観測が可能である [2]。図 2 は XIS 検出器によって得られた GX339-4 の画像である。本来 XIS は 17.8 分 17.8 分の正方形の視野を持つが、本観測では GX339-4 が大変明るいいため、視野を絞って読み出し時間を節約する 1/4 window mode という方法で観測が行われた。

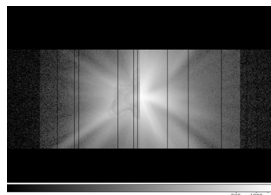


図 2: XIS0 のイメージ

### 3 スペクトル解析の準備

観測データには、衛星からの観測データ以外にも、地球を見ている時間帯や地球が発する磁気異常領域 (SAA) な

どの影響での観測による質の悪い時間帯のデータも含まれている。NASA および ISAS/JAXA で提供される観測データには、SAA などの時間帯があらかじめ除去された cleaned event というデータがあり、解析にはこれを用いる。この cleaned event について、目的の天体の中心付近の領域のみ取り出すデータリダクションを行い最終的にスペクトルを抽出する。データリダクションの流れを以下の図 3 に載せる。

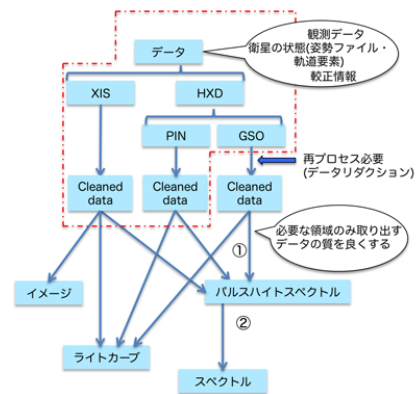


図 3: データリダクションの流れ

#### 3.1 XIS のスペクトル作成

cleaned event というデータから、天体の中心から半径 240 ピクセルの領域の円形領域にあるイベントを用いた。[9] さらに検出器の channel およびカウント数を Energy や光子数に対応させるための応答関数を作る。応答関数には、検出器の channel (PHA) とエネルギーとの対応させる rmf file、および、エネルギーごとの有効面積を記述する arf file が必要である。これらの応答関数は観測時期、検出器の光軸から天体方向の微小なずれ等によって異なるため、すざくチームにより提供されているソフトウェアパッケージを用いて観測ごとにシミュレーションして作成した。

#### 3.2 HXD のスペクトル作成

HXD は、PIN 型半導体検出器 (PIN) [10-7-keV] とシンチレーション検出器 (GSO) [40-300keV] から成る。PIN は XIS と同様にスペクトルを抽出する。一方 GSO は cleaned event が用意されていないので、観測データそのままの状態からデータリダクションを行わなければならない。主に、観測データの SAA の時間をのぞく作業や、バックグラウンドの差し引き (図 4)、バックグラウンドと観測スペク

トルとの GTI の一致などのデータリダクションを行い必要なデータを抽出した。

また、抽出したスペクトルを図 5 に示す。

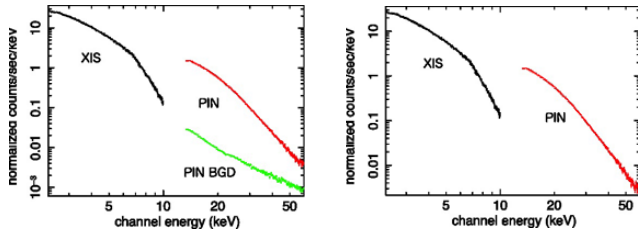


図 4: 作成したスペクトル 図 5: 抽出したスペクトル

## 4 スペクトル解析

### 4.1 単純なモデルでの解析

スペクトル解析とは、観測によって得られたスペクトルをモデルスペクトルと比較し最適化することで、様々な物理パラメータを求めることである。 $\chi^2$  検定から最適な物理パラメータを探る。ここでは、作成したスペクトルを再現する放射モデルを考察する。今回の研究では、まず power-law, diskbb, power-law+diskbb の 3 つの放射モデルに星間吸収をかけたモデルで評価した。ここで power-law モデルとは、光学的に薄い降着円盤から放射された X 線が BH 周辺の高温プラズマ内で逆コンプトン散乱した状態を表したモデルスペクトルであり、 $A(E) = KE^{-\Gamma}$  で表される。K は単位時間・面積・エネルギーあたりの放射光子量では無次元量である。次に diskbb モデル [4] は、標準降着円盤 [11] を近似したもので、半径  $r$  にお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。ここで  $T_{in}$  は降着円盤の最も内側の温度、 $r_{in}$  は降着円盤の半径である。3 つのスペクトルフィットの結果を以下の図 6(a)-(c) に載せる。スペクトル図の上段は天体スペクトルで、下の段はスペクトルとモデルとのずれを表している。この図をみると、図 6(a)(b) のスペクトルとデータのずれは大きく、モデルがデータを再現出来ていないと言えない。実際、 $\chi^2/dof$  値は、power-law で、13.356、diskbb では 717.273 と 1 とはかけ離れた値になった。次に図 6(c) の diskbb+power-law モデルとのモデルフィットでは、 $\chi^2/dof$  は 2.4175 と他のモデルよりは、1 に近づいたものの、まだモデルとデータが合わない部分がある。

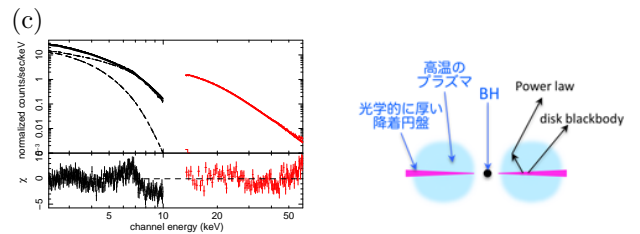
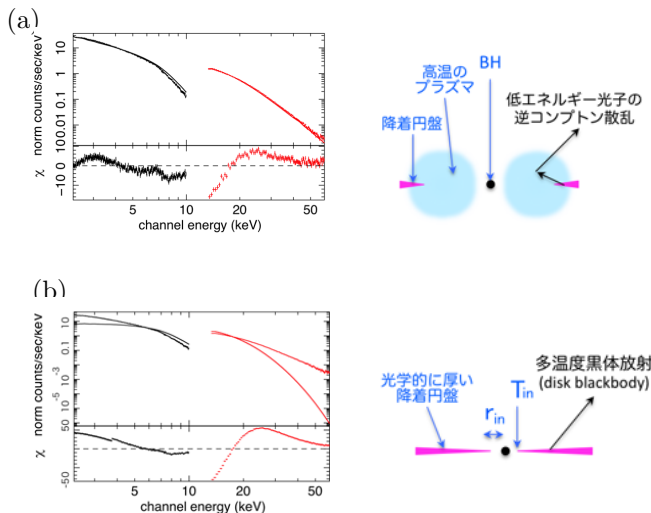


図 6: それぞれのモデルとのフィット結果及び、仮定モデルの概要 ((a)power-law,(b)diskbb,(c)power-law+diskbb)

### 4.2 詳細な解析

次に詳細なモデル、(diskbb+compbb+laor) × smedge モデルと比較を行った。compbb モデルとは、逆コンプトン散乱した黒体放射を表すモデルである。つまり黒体放射で発生した低エネルギーの光子が高温プラズマと逆コンプトン散乱を起こし高エネルギー側に叩きあげられる現象を表したモデルである。以下の図 7 にモデルフィットの結果を載せる。 $\chi^2/dof$  値は、1.030 と求められ、モデルとデータが合ってきた。

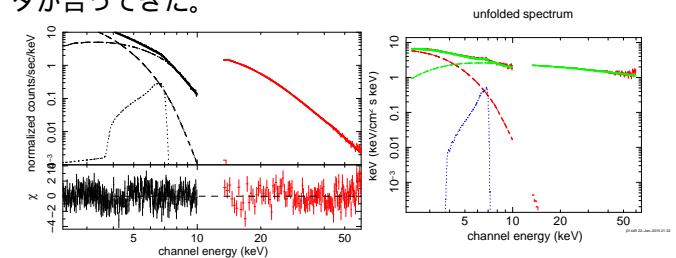


図 7: (compbb+diskbb+laor)smedge とのモデルフィット

## 5 結果と考察

研究の結果、power-law モデルで合わなかった低エネルギー側のスペクトル構造を compbb モデルによって、表す事ができた。また、降着円盤の状態を示すパラメータ、 $T_{in} = 0.74[\text{keV}] = 8.6 \times 10^6 [\text{K}]$ 、 $R_{in} = 68.20[\text{km}]$ 、 $L_x = 2.042 \times 10^{38} [\text{erg/s}] = 2.042 \times 10^{31} [\text{J/s}]$  と求められた。これにより、GX339-4 は降着円盤の最も内側の温度が  $8.6 \times 10^6 [\text{K}]$  で、この降着円盤の周りは厚い高温プラズマに覆われ、降着円盤から放射された光子は、このプラズマ内で逆コンプトン散乱を繰り返しプラズマの外に出てくる。また、半径が  $68.21[\text{km}]$  ということから、今回の観測のような very high state でとても明るい状態では、高温のプラズマが卓越し、降着円盤が内側まで入って来れず半径が大きくなっているという描像が決定できた。

## 参考文献

- [1] Mitsuda, K. et al. 2007, PASJ, 59, 1
- [2] すざくヘルプ編「すざく解析マニュアル」
- [3] 砂川真哉 卒業論文 (芝浦工業大学) 2009
- [4] Mitsuda, K., et al. 1984, PASJ, 36, 741
- [5] Makishima, K. et al. 1986, ApJ, 308, 635
- [6] Kubota, A. et al. 2001, ApJL, 560, 147
- [7] Koyama, K. et al. 2007, PASJ, 59, 23
- [8] Takahashi, T. et al. 2007, PASJ, 59, 35
- [9] Yamada, et al. 2010, ApJ, 受理
- [10] Markert, T. H., 1973, ApJL, 184, L67
- [11] Shakura, N. I., Sunyaev, R. A. 1973, A&A, 24, 337
- [12] Jeffrey E. McClintock 「Black Hole Binaries」