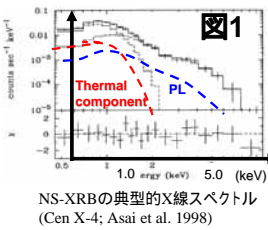


# X線連星4U 1700+24とSgr A\*における放射率の比較

永江 修、高橋弘充、白井裕久、深澤泰司(広島大)

## 1. Introduction

### 1-1. Low/Hard状態の中性子星X線連星(NS-XRB)のスペクトル



一般的な解釈@ $\sim 10^{-5}L_{\text{Edd}}$   
 熱的成分 = Black Body (BB) + Power Law (PL=起源不明)  
 NS表面の放射(温度 $\sim 1\text{keV}$ ) NSのBBを逆コンプトン(IC)?  
 Synchrotron self Compton?!

ブラックホール連星のLH状態  
 X線帯域に熱的成分はないと考えられていた(e.g., McClintock & Remillard 2006)  
 ↓しかし  
 「すざく」やNewtonの活躍により、 $\sim 0.2\text{keV}$ の熱的成分(降着円盤起源disk blackbody)が見えてきた(e.g., Miller et al. 2005; Makishima et al. 2008; Takahashi et al. 2008)

### 1-2. ADAF状態における超巨大ブラックホール(SMBH)Sgr A\*

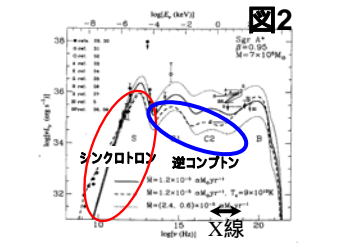
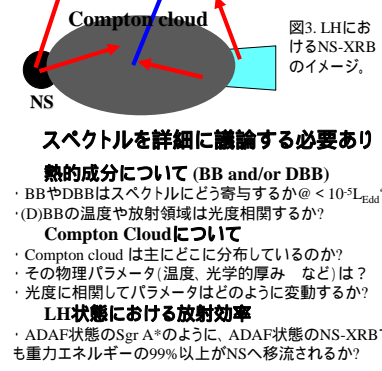


図2: ADAF状態のX線スペクトルはsynchrotron self comptonだと予想されている(Narayan et al. 1995)  
**重力エネルギー99%以上がSMBHへ移流される(e.g., Narayan et al. 1996)**

### 1-3. 研究の目的 -XRBとSMBHのADAFは同じか?!



## 3. Results

### 3-1. 「すざく」データ; 時間平均スペクトル解析

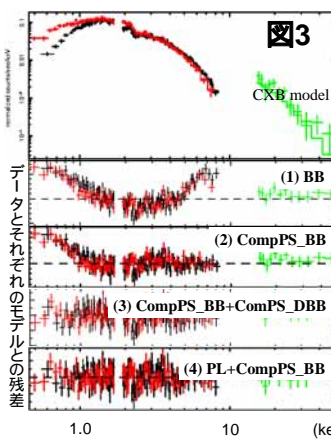
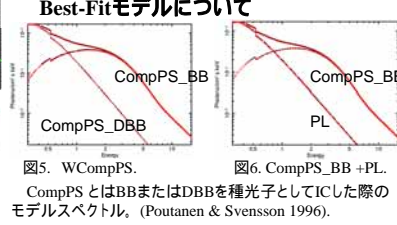


図4: XISとPNで得たスペクトル(0.3-50 keV)とそれぞれのモデルとの残差  
 (1) モデル=BBのみ, 1 keV以下と5 keV以上に大きなexcessが残った.  
 (2) モデル=CompPS\_BB (BBを種光子としてICモデル), 5 keV以上のexcessは消えたが, soft excessが残った.  
 Soft excessはDBBをICしたCompPS\_DBB(3)またはPL(4)によってスペクトルを再現できた. 今回のスペクトル解析からはどちらが正しいのか判断できない.



### 3-2. 「すざく」とNewton; スペクトル比較

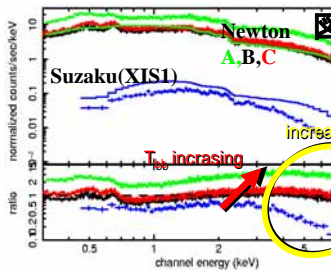


図7: 「すざく」とNewtonのデータをPL(index $\sim 1$ )のみでfittingしたもの. 全てのパラメータは同じにしてあるが, 「すざく」のデータだけは図を見やすくするためfluxを10倍にして表示.  
**BBの $T_{\text{bb}}$ とNormalization(放射領域)は正相関だが, Normalizationの方が激し変化**  
**BBをICするCompton cloudの $\tau_{\text{bb}}$ も正相関(図6および表3)**

表3: スペクトル解析結果

Suzaku	$T_{\text{bb}}$ (keV)	bb	Norm <sub>bb</sub>	T <sub>in</sub>	d <sub>bb</sub>	Norm <sub>d<sub>bb</sub></sub>	Rin(km)	PL index	Reduced $\chi^2$
Model (3)	0.77 $^{+0.01}_{-0.01}$	0.33 $^{+0.04}_{-0.04}$	1.13 $^{+0.15}_{-0.10}$	0.04 $^{+0.10}_{-0.10}$	0.17 $^{+0.15}_{-0.10}$	1.60 $^{+0.10}_{-0.10} \times 10^4$	< 50	-	0.96
Model (4)	0.77 $^{+0.01}_{-0.01}$	0.33 $^{+0.05}_{-0.05}$	1.13 $^{+0.05}_{-0.05}$	-	-	-	-	2.70 $^{+0.14}_{-0.35}$	0.95
Newton A									
Model (3)	1.07 $^{+0.05}_{-0.05}$	1.71 $^{+0.03}_{-0.03}$	32.2 $^{+0.2}_{-0.2}$	0.07 $^{+0.03}_{-0.03}$	0.46 $^{+0.01}_{-0.01}$	1.00 $^{+0.01}_{-0.01} \times 10^5$	< 15	-	1.14
Model (4)	1.06 $^{+0.01}_{-0.01}$	1.73 $^{+0.04}_{-0.04}$	34.3 $^{+0.2}_{-0.2}$	-	-	-	-	2.22 $^{+0.02}_{-0.03}$	1.20
Newton B									
Model (3)	0.99 $^{+0.01}_{-0.01}$	1.29 $^{+0.04}_{-0.04}$	12.0 $^{+0.3}_{-0.3}$	0.06 $^{+0.30}_{-0.10}$	0.53 $^{+0.01}_{-0.01}$	7.30 $^{+0.70}_{-0.90} \times 10^4$	< 12	-	1.19
Model (4)	1.00 $^{+0.01}_{-0.01}$	1.29 $^{+0.05}_{-0.05}$	11.6 $^{+1.7}_{-1.7}$	-	-	-	-	2.07 $^{+0.08}_{-0.10}$	1.21
Newton C									
Model (3)	0.99 $^{+0.01}_{-0.01}$	1.46 $^{+0.03}_{-0.03}$	15.0 $^{+0.8}_{-0.8}$	0.07 $^{+0.03}_{-0.03}$	0.43 $^{+0.03}_{-0.03}$	9.00 $^{+0.07}_{-0.10} \times 10^4$	< 13	-	1.27
Model (4)	0.98 $^{+0.01}_{-0.01}$	1.45 $^{+0.04}_{-0.04}$	15.6 $^{+1.3}_{-0.7}$	-	-	-	-	2.33 $^{+0.06}_{-0.09}$	1.31

$T_{\text{bb}}$ : BBの温度.  $\tau_{\text{bb}}$ : BBをICするCompton cloudの光学的厚み, Norm<sub>bb</sub>: BBのnormalization(放射面積に相当). T<sub>in</sub>: 降着円盤の内縁温度.  $d_{\text{bb}}$ : DBBをICするCompton cloudの光学的厚み, Norm<sub>d<sub>bb</sub></sub>: DBBのnormalization. Rin: 降着円盤の内縁半径. PL index: PLの傾き  
**謎のライン構造あり@ $\sim 0.5\text{keV}$  and  $\sim 0.65\text{keV}$**   
 0.65keVのラインはNewtonのRGS検出器でも報告されているTiengo et al. (2005)でも報告されている. 今回明るくなるラインセンターが小さくなっていくことを確認(重力レッドシフト?) RGSのデータも含め詳細に議論する必要あり

## 2. Observation

### 2-1. ターゲット天体の選定基準

: 非常に暗い状態( $< 10^{-5}L_{\text{Edd}}$ )を観測したい : 降着円盤の寄与(sub-keV)を精査するため, 比較的近い天体 $\sim 1\text{kpc}$ . 星間吸収が小さい天体 $< nH \sim 10^{20}\text{cm}^{-2}$ .

### 表1: 連星パラメータ 4U 1700+24; NSとM2型巨星

パラメータ	値	備考
距離	420 $\pm$ 20 pc	銀河系内XRBの中で最も近い. 星間吸収が小さい $nH \sim 4 \times 10^{20}\text{cm}^{-2}$
連星周期	400 $\pm$ 20 日	長い周期であるので, NSと伴星の距離が遠いと考えられるため, 降着はロッシュローブ降着ではなく, 星風降着であると考えられている
軌道傾斜角	$\sim 0$ 度	連星系からの放射は食されることなく見える

### 2-2. 観測データログ

表2: すざくとNewtonによる観測データ

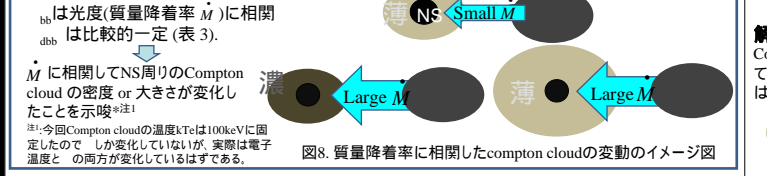
衛星	世界時(UT)	露出時間	$L_{\text{Edd}}$	検出器
Newton A	2002/08/11	$\sim 50$ ks	$\sim 6.2 \times 10^{-4}$	PN & MOS
Newton B	2003/03/09	$\sim 12$ ks	$\sim 2.0 \times 10^{-4}$	PN & MOS
Newton C	2003/08/13	$\sim 50$ ks	$\sim 2.4 \times 10^{-4}$	PN & MOS
Suzaku <sup>1</sup>	2007/08/21	$\sim 50$ ks	$\sim 4.4 \times 10^{-6}$	XIS, PIN

<sup>1</sup>すざく, データは我々(永江ほか)の観測である.  
<sup>2</sup>便宜上Newtonによる観測データは時系列順にそれぞれA-Cとしている. PNのデータはpile-upがなく, MOSのデータには一部pile-upが認められたため, 本学会のポスターではPNのデータだけを扱っている.

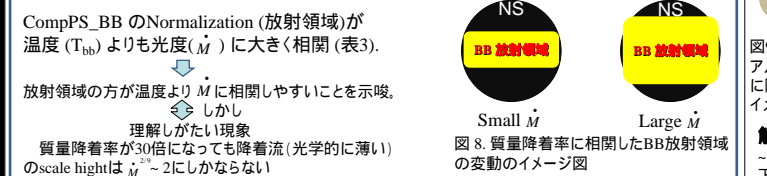
## 4. Discussions

### 4-1. 光度に伴ったパラメータの変動

#### (1) Compton cloudの光学的厚み

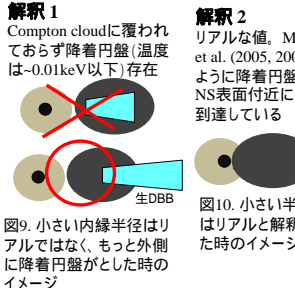


#### (2) BBの温度とNormalization(放射領域)



### 4-2. 降着円盤の内縁半径

内縁半径の見積もり値  
 $\sim 50\text{km}$ (上限); Suzaku,  $\sim 10\text{km}$ (上限); Newton **比較的小!!**



解釈3  
 $\sim 10^{-5}L_{\text{Edd}}$ では降着円盤は存在不可. 1keV以下はsynchrotron self compton(ADAFモデル).

### 4-3. SMBHとの放射率の比較

#### (i) 4U 1700+24の場合

Data	Flux 比 <sup>1</sup>	Comp_DBB or PLのFlux 降着円盤or ADAF領域で放射として解放されるエネルギー
Newton A	$\sim 9.1$	Comp_BBのFlux NS表面で放射として解放されるエネルギー(SMBHへの移流エネルギーに対応)
Newton B	$\sim 6.5$	
Newton C	$\sim 6.9$	
Suzaku	$\sim 6.1$	

<sup>1</sup>(Comp\_BB)/(Comp\_DBB or PL) **両者の比  $< \sim 10$**

#### (ii) Sgr A\*(SMBH)の場合(e.g. Narayan et al. 1996)

SMBHへの移流エネルギーとADAF領域で放射されるエネルギー  **$> \sim 100$**  **1桁以上違う**

#### Our speculation

降着メカニズムの違いか!?  
 Bondie 降着: Sgr A\*(SMBH) vs 星風降着: 4U 1700+24 (XRB) 星風降着の方が降着円盤で放射として解放されやすくなっている!  
 NSの放射率が100%ではない!?

## 5. Summary and Future works

### Summary

4U 1700+24の「すざく」とNewtonで得たスペクトルは, 1keV以上がBBのICで説明でき, 1keV以下はDBBをICしたモデル or PLでスペクトルを再現できた. 「すざく」とNewtonのデータには明るさの変動があり( $\sim 10^4 L_{\text{Edd}}$ ; 「すざく」,  $10^4 L_{\text{Edd}}$ ; Newton)  $\tau_{\text{bb}}$ は明るさ(質量降着率)に正相関していたが,  $d_{\text{bb}}$ は比較的一定だった. (図7と表3). またCompPS\_BBの放射領域の方がBBの温度より相関性が大きい(図8と表3). CompPS\_BBとCompPS\_DBB or PLのFlux ratioは $\sim 10$ 以下であり, SMBH Sgr A\*で見積もられている放射エネルギー比 $\sim 100$ 以上である. 我々は, これらの違いは質量降着メカニズムの違いに原因があるのではないかと推察している(またはNS表面の放射率が100%ではない!?).

### Future issues

Newtonのスペクトルには謎のラインらしき構造が0.65keVと0.5keV付近にあるのがわかる. それらはNewton BとCでは分離していたものの, Newton Aでは両者が混じりあいbroadな構造になっている(光度に相関!). また, ラインのセンターエネルギーが光度に反相関しているようにも見える(重力赤方偏移!).