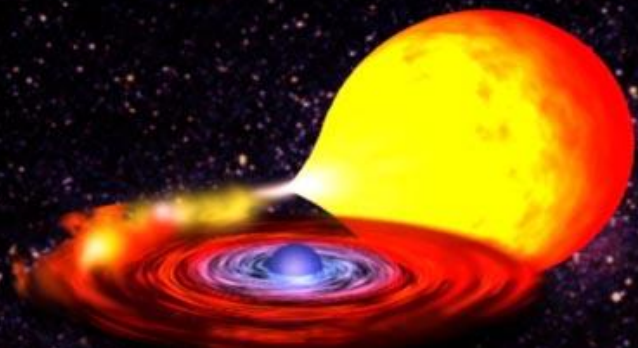
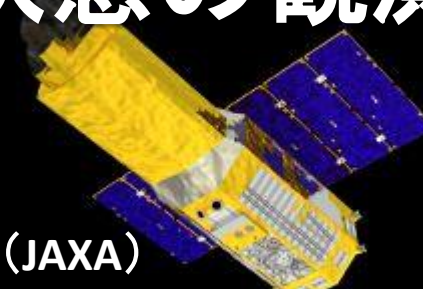


X線連星 (NASA)



「すざく」衛星を用いた低質量X線連星 IGR J16194-2810のLow/Hard 状態の観測



すざく (JAXA)

北村 唯子、高橋 弘充、深澤 泰司、永江 修(広島大学)

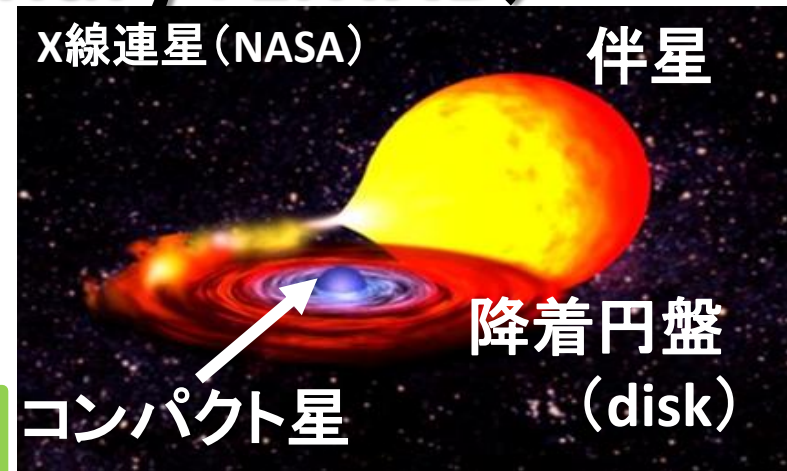
2011年9月 天文学会秋季年会

低質量X線連星

(Low-Mass X-ray Binary: LMXB)

- ▶ コンパクト星: ブラックホール (BH)
又は
弱磁場中性子星 (NS)
- ▶ 伴星: 質量 $\sim 1M_{\text{SUN}}$ 程度の恒星

重力エネルギーの解放によりX線で明るく輝く



“Low/Hard 状態” となることがある

◆ “Low/Hard 状態” とは？

⇒ (NS連星系) 光度 $L \sim 10^{36} \text{ erg s}^{-1}$ ($\sim 0.01L_{\text{Edd}}$) 程度の暗い状態。

◆ 観測は主に $L > \sim 10^{36} \text{ erg s}^{-1}$ の以上明るい天体に限られている。

Low/Hard状態のスペクトル

$L > \sim 10^{36} \text{ erg s}^{-1}$ 以上の
ときの天体周辺の描像

光学的に薄い高温プラズマが存在

BB放射領域

R_{BB}

NS表面温度 T_{BB}
光学的厚さ τ_{BB}

NS

R_{in}

温度 T_e
Compton雲

diskの温度 T_{in}
光学的厚さ τ_{DBB}

disk

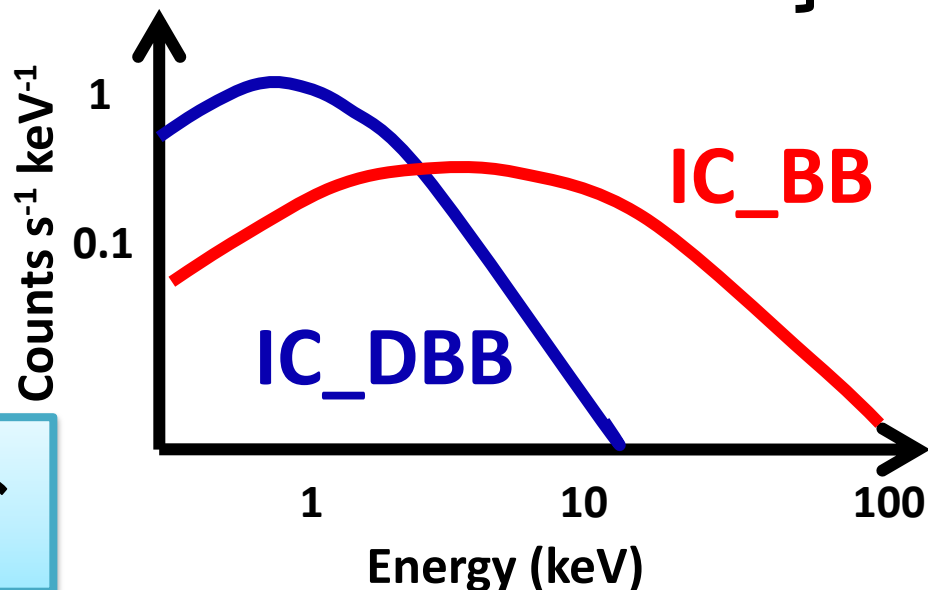
スペクトル

diskのDBBがCompton雲で
ICされた放射 (IC_DBB)

+

NSのBBがCompton雲で
ICされた放射 (IC_BB)

$L < \sim 10^{36} \text{ erg s}^{-1}$ より暗い場合には、
どのような物理状態になるのか？



研究目的

$L > \sim 10^{36} \text{ erg s}^{-1}$ 以上で観測が行われてきたLMXBのLow/Hard状態



光度が低い場合 ($L < \sim 10^{36} \text{ erg s}^{-1}$ 以下) のLow/Hard状態の

- ・天体周辺の構造 (放射領域、温度 T 、光学的厚さ τ)
- ・ハード側の放射の起源

どうなっているのか？

【Nagae et al.(2008) による先行研究】

- ◆ **4U 1700+24**: $L \sim 10^{32} - 10^{34} \text{ erg s}^{-1}$ 程度の最も暗いNS – LMXB
- ◆ 暗いため、 $\sim 10 \text{ keV}$ までのデータしか取得できていない



Low/Hard 状態の光度が中間 ($L \sim 10^{35} \text{ erg s}^{-1}$) 場合のNS-LMXBを観測し、光度によって天体周辺の物理状態がどのように変化するかを明らかにしたい

「すざく」によるIGR J16194-2810の観測

解析天体：IGR J16194-2810

- 中性子星とM型巨星のX線連星
- 距離：3.7 kpc（近傍に存在している）
- 光度： $L_{2-10} \sim 7.2 \times 10^{34} \text{ erg s}^{-1}$
(*INTEGRAL* (2006) と *Swift* (2007) の観測)



「すざく」の観測ログ

- 観測期間：2009/02/05 – 02/06
- 露光時間：約45 ksec
- 光度： $L_{0.8-10} \sim 7.6 \times 10^{34} \text{ erg s}^{-1}$

- ・定常的に光度 $\sim 10^{35} \text{ erg s}^{-1}$ 程度を保つ
- ・定常的に光度を保つ天体の中で**2番目に暗い**

- ・円盤からの放射は低温
- ・Low/Hard状態では、逆コンプトン散乱された放射が高エネルギー側まで伸びる
⇒幅広い観測帯域が必要

「すざく」のXIS、HXD-PINを用いることにより
X線で広帯域(0.8 – 70 keV)の観測が可能。

結果(1) 時間平均スペクトル解析

Model. **DBB** + **IC_BB**

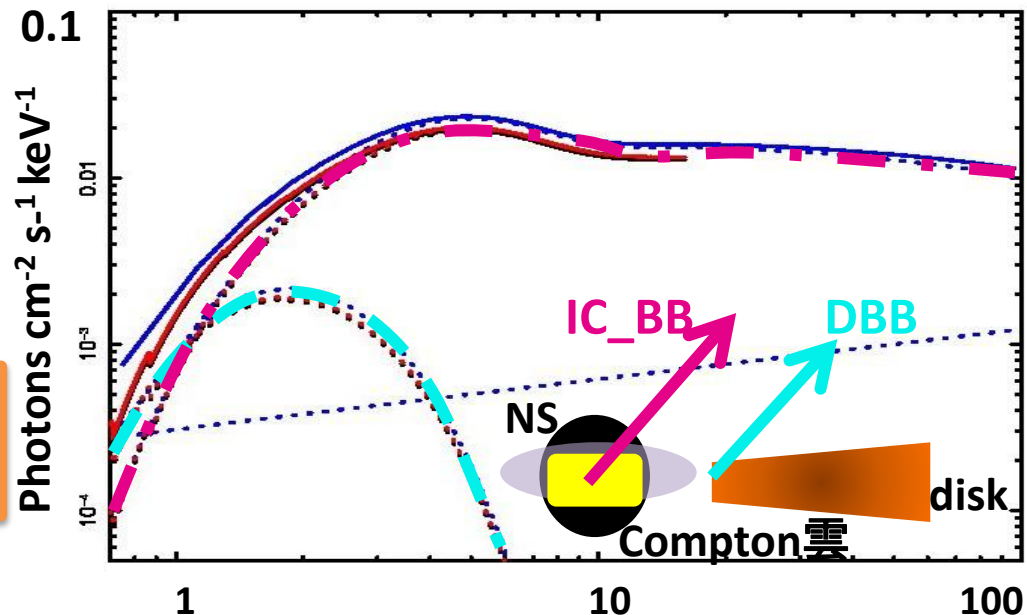
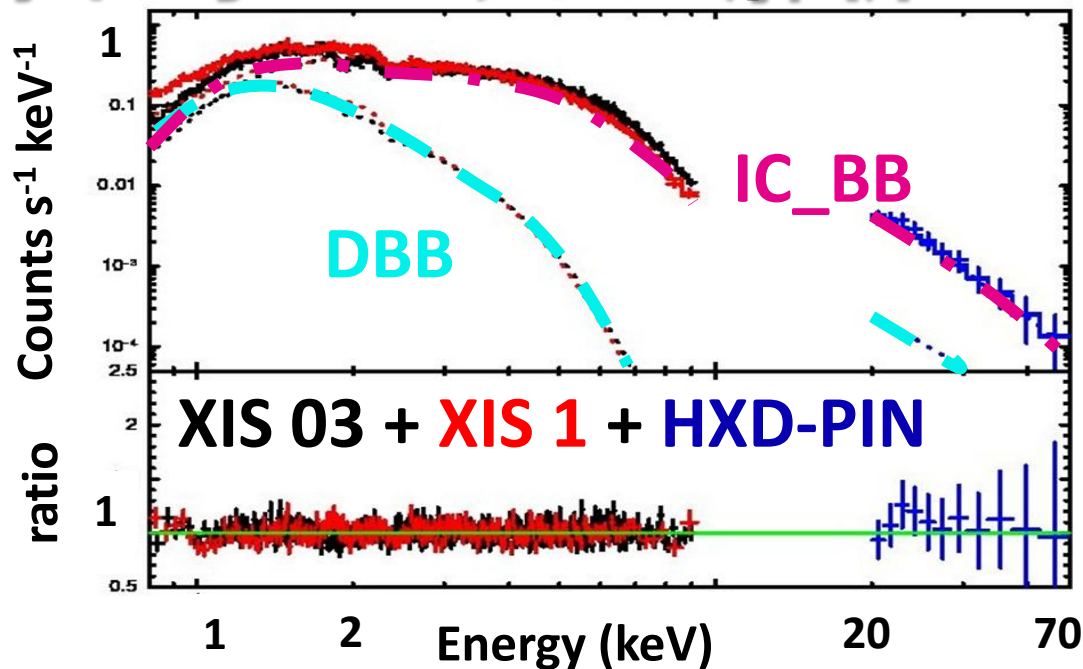
IC_BB ... CompPS を用いた

	DBB
T_{in} (keV)	$0.6^{+1.1}_{-0.1}$
R_{in} (km)	$0.7 (< 1.0)$ 小
	IC_BB
T_{BB} (keV)	$1.05^{+0.07}_{-0.04}$
τ_{BB}	$0.56^{+0.04}_{-0.05}$
R_{BB} (m)	680^{+60}_{-220}

$T_e = 100$ keV (fix)

χ^2_{ν} (d.o.f) = 1.13(588)

R_{in} が小さい ($R_{in} > 10$ km)
 ⇒このモデルでは再現できていない



結果(1) 時間平均スペクトル解析

Model. IC_DBB + IC_BB

IC_DBB } CompPS用いた
IC_BB }

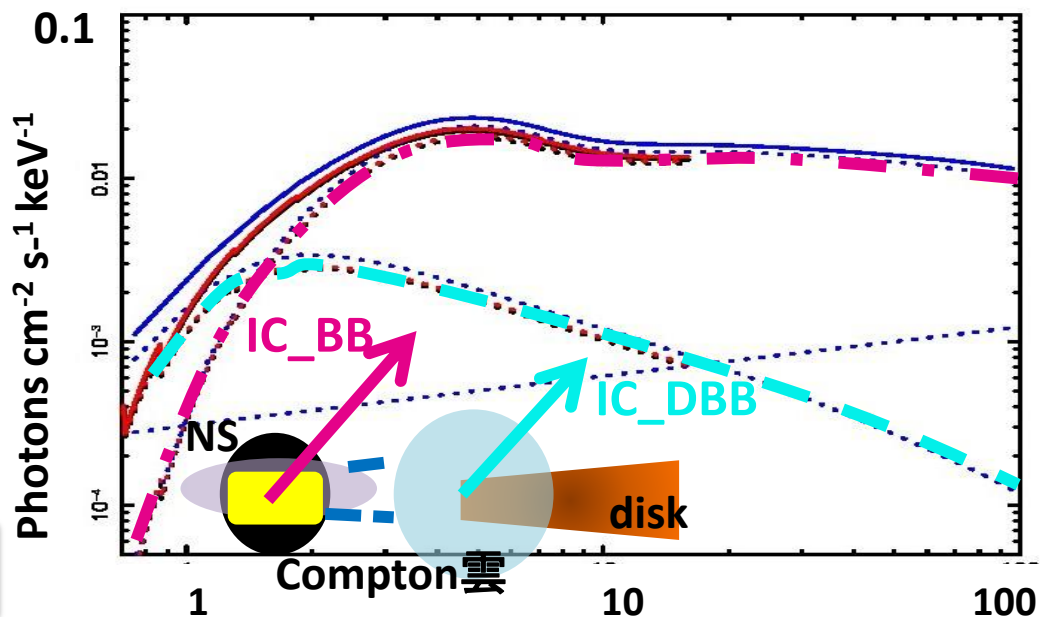
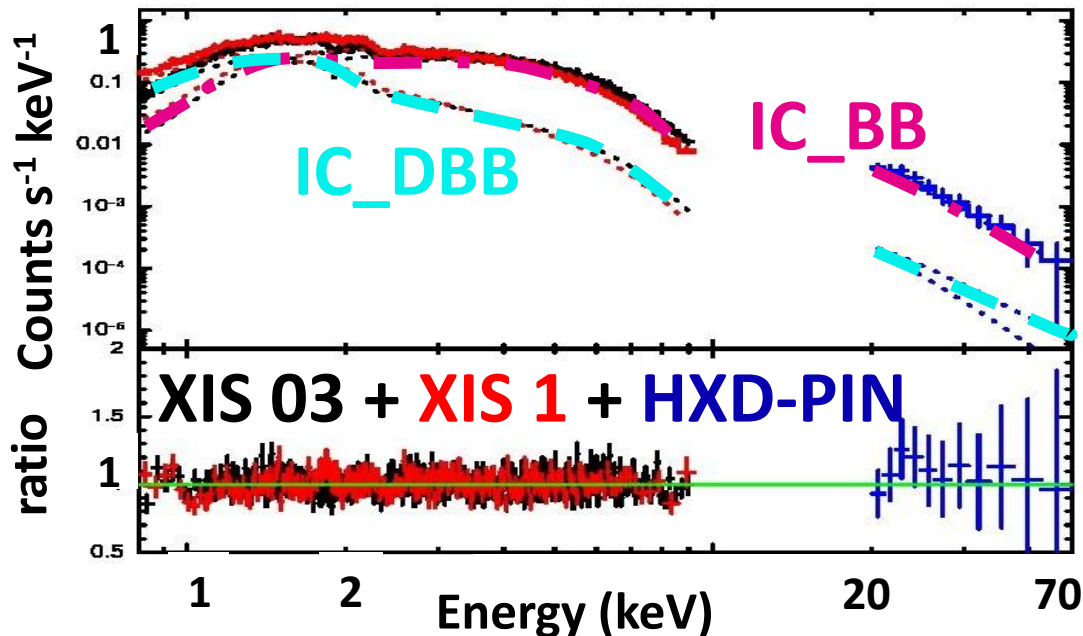
	IC_DBB
T_{in} (keV)	0.11 ± 0.02
τ_{DBB}	$(0.1 <) 0.2$
R_{in} (km)	40^{+30}_{-20}

	IC_BB
T_{BB} (keV)	1.05 ± 0.05
τ_{BB}	0.6 ± 0.1
R_{BB} (m)	680^{+30}_{-40}

$T_e = 100$ keV (fix)

χ^2_{ν} (d.o.f) = 1.14 (594)

このモデルでスペクトル再現できた



4U 1700+24との比較

4U 1700+24・・・NSとM型巨星の連星

- 2002年8月 **最も明るかった**ときの XMM-Newton の観測
- 2007年8月 **最も暗かった**ときの「すざく」の観測
- 銀河系内の**X線連星の中で最も近い**(420 pc)

} 比較

(Nagae et al. 2008)

$T_e(\text{keV}) = 100 \text{ keV (fix)}$ **明** ←→ **暗**

	IGR J16194-2810	4U 1700+24 (XMM)	4U 1700+24 (すざく)
$L (\text{erg s}^{-1})$	$\sim 8 \times 10^{34}$	$\sim 2 \times 10^{34}$	$\sim 2 \times 10^{32}$
$T_{\text{BB}} (\text{keV})$	1.05 ± 0.05	1.07 ± 0.01	0.76 ± 0.01
τ_{BB}	0.6 ± 0.1	1.71 ± 0.03	0.33 ± 0.05
$R_{\text{BB}} (\text{m})$	680^{+30}_{-40}	240 ± 10	45^{+4}_{-3}
$T_{\text{DBB}} (\text{keV})$	0.11 ± 0.02	0.07 ± 0.01	< 0.05
τ_{DBB}	$(0.1 <) 0.2$	0.46 ± 0.01	< 0.35
$R_{\text{DBB}} (\text{km})$	40^{+30}_{-20}	$13.3^{+0.1}_{-0.2}$	> 4.2

結果 ・4U 1700+24のXMMとすざくの結果: 光度⇒高、 τ_{BB} ⇒大 明るさに相関している。
 ・IGR J16194 2810と4U 1700+24 (XMM) の結果: 明るさと τ_{BB} の相関関係はみられない。

議論 τ_{BB} の違いについて(仮説)

今回解析した天体

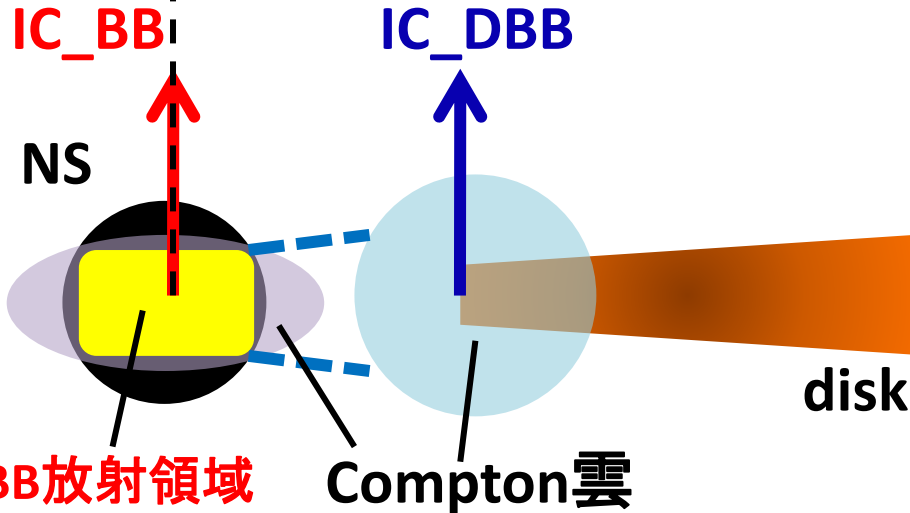
4U 1700+24



観測者

よりface onに近い?

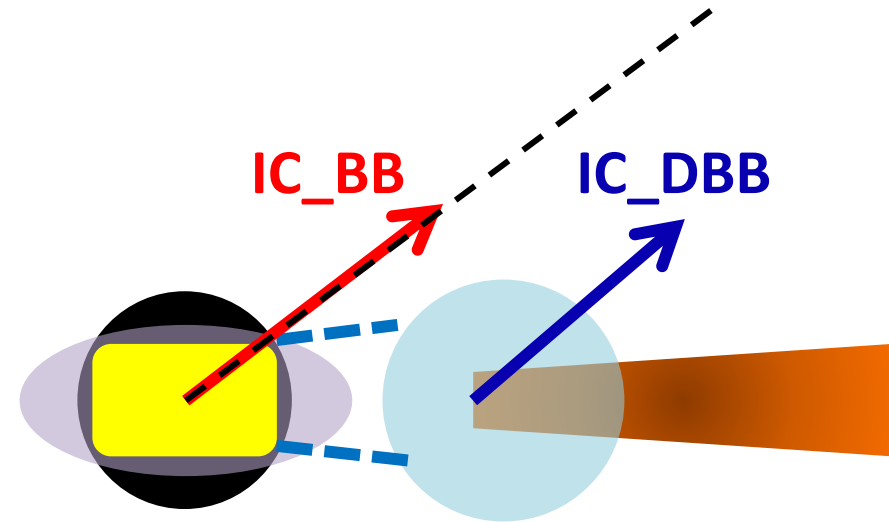
明るいのに τ_{BB} 小



観測者

よりedge onに近い?

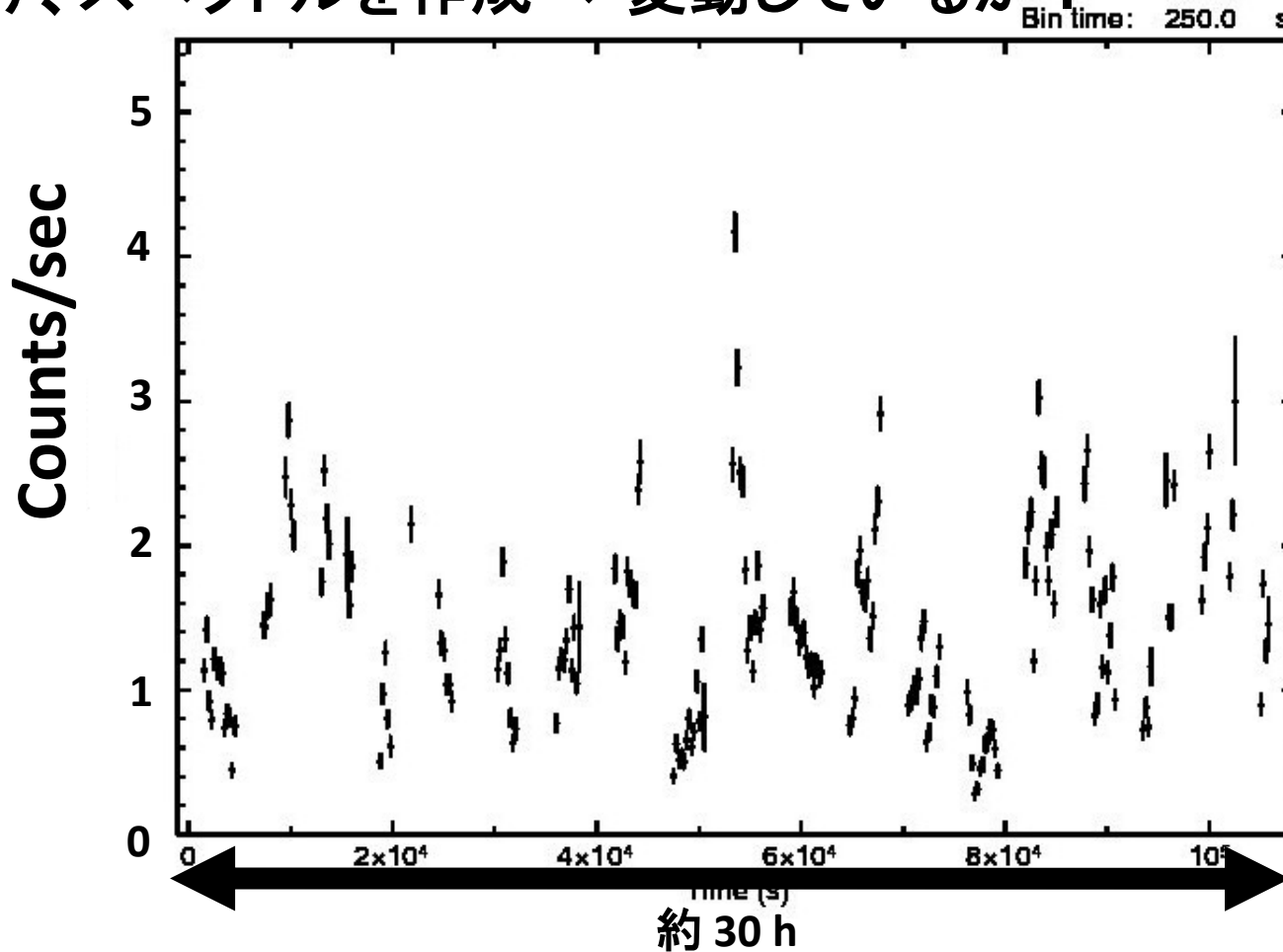
暗いのに τ_{BB} 大



観測する方向の違いで Compton 雲の
光学的厚さ τ_{BB} が変化する可能性がある。

結果(2) 時間変動

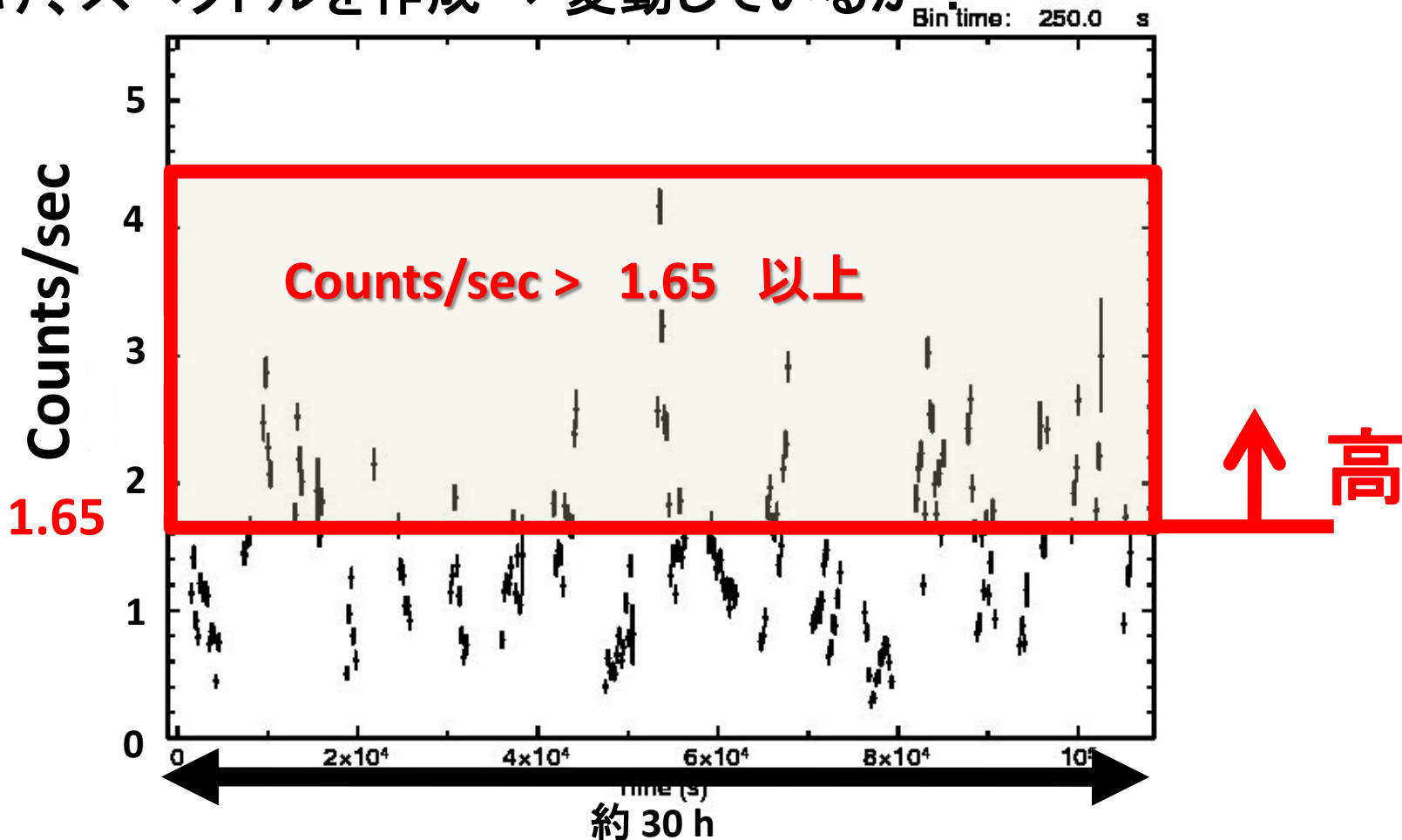
全エネルギー帯域の光度曲線から、光度の「高い」とき、「低い」ときにわけ、スペクトルを作成 ⇒ 変動しているか？



時間平均スペクトルのモデル × constant factor でフィット
⇒ スペクトルを再現できたため、明るさによるスペクトルの変動はみられなかった

結果(2) 時間変動

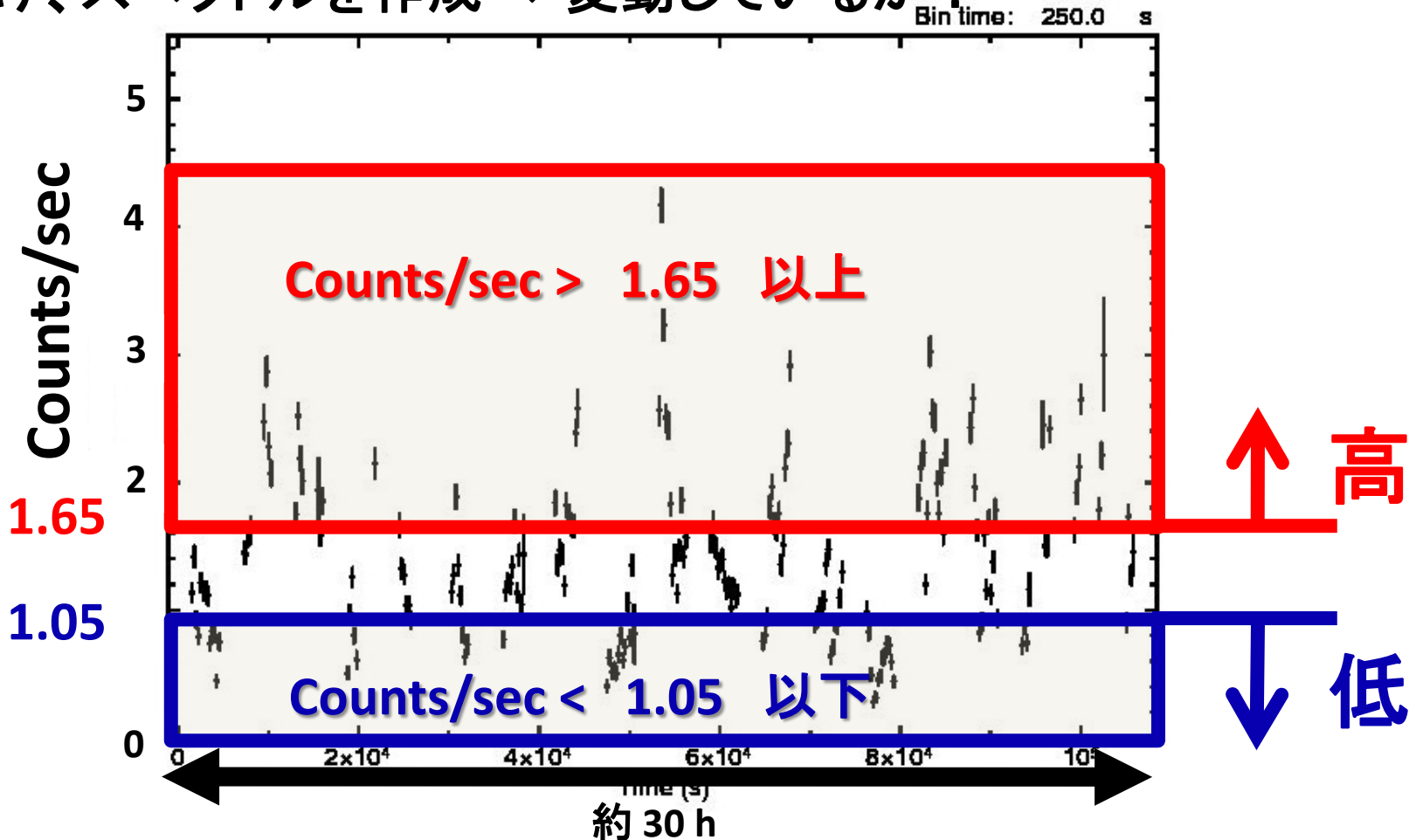
全エネルギー帯域の光度曲線から、光度の「高い」とき、「低い」ときにわけ、スペクトルを作成 ⇒ 変動しているか？



時間平均スペクトルのモデル × constant factor でフィット
⇒ スペクトルを再現できたため、明るさによるスペクトルの変動はみられなかった

結果(2) 時間変動

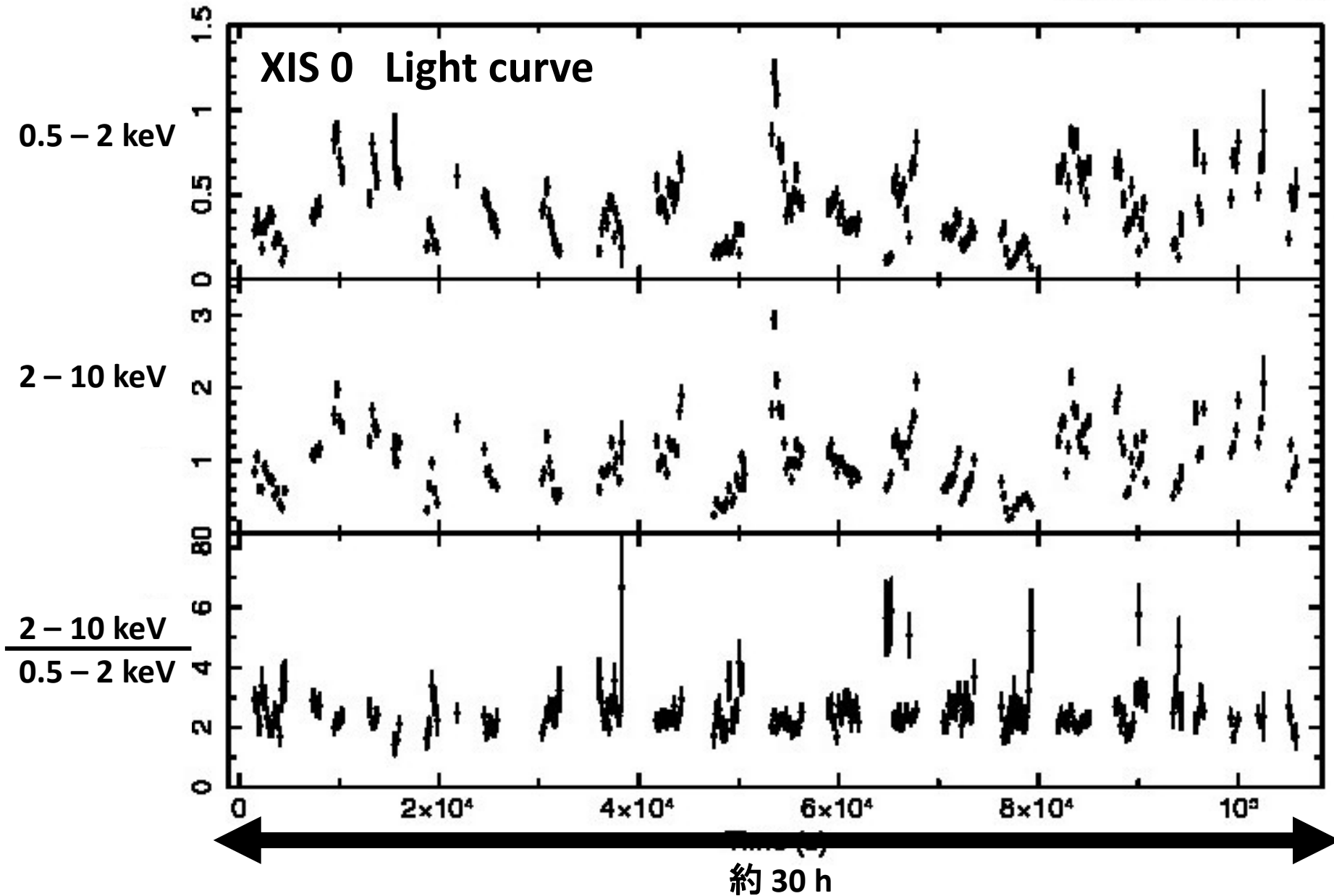
全エネルギー帯域の光度曲線から、光度の「高い」とき、「低い」ときにわけ、スペクトルを作成 ⇒ 変動しているか？



時間平均スペクトルのモデル × constant factor でフィット
⇒ スペクトルを再現できたため、明るさによるスペクトルの変動はみられなかった

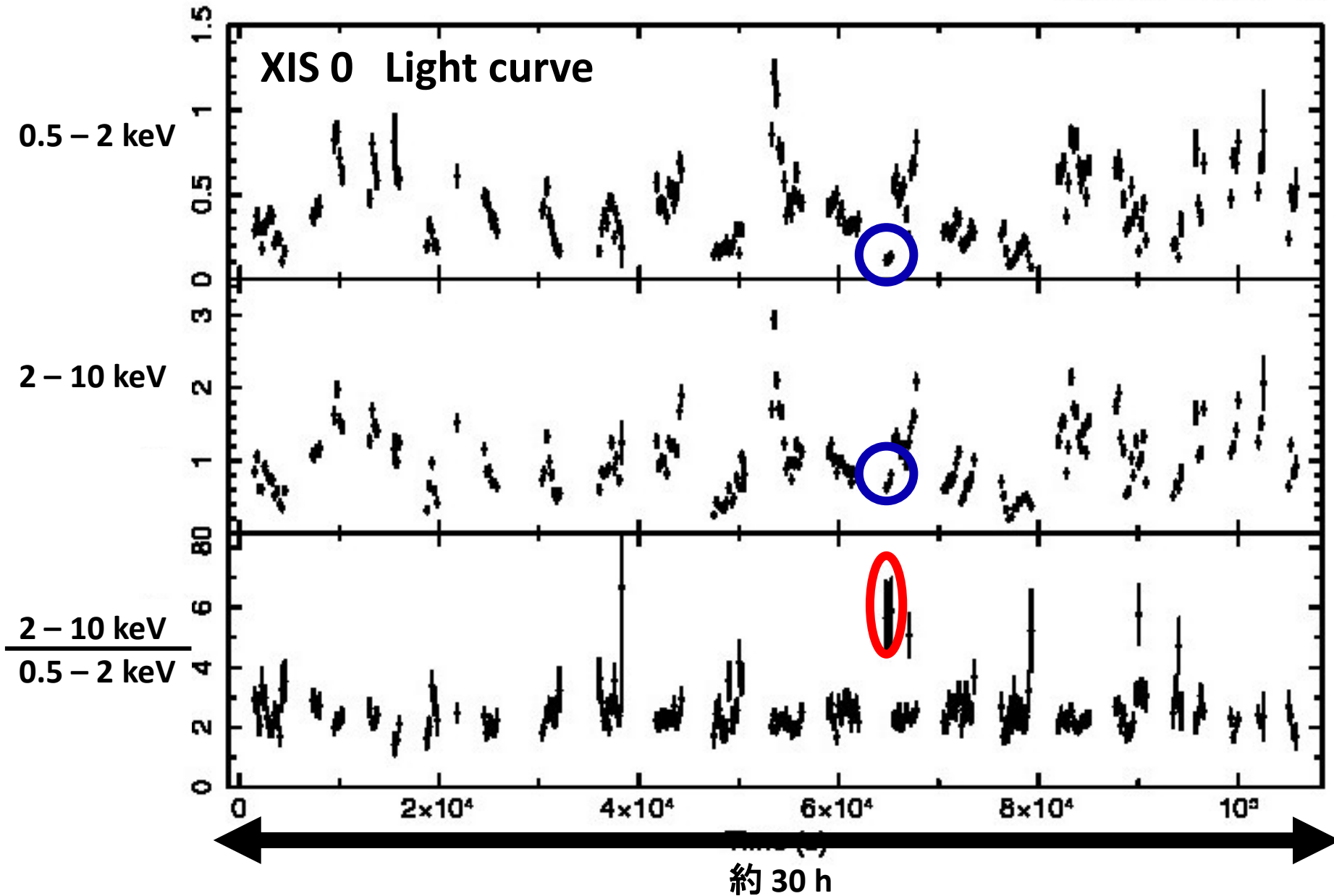
結果(2) 時間変動

Bin time: 250.0 s



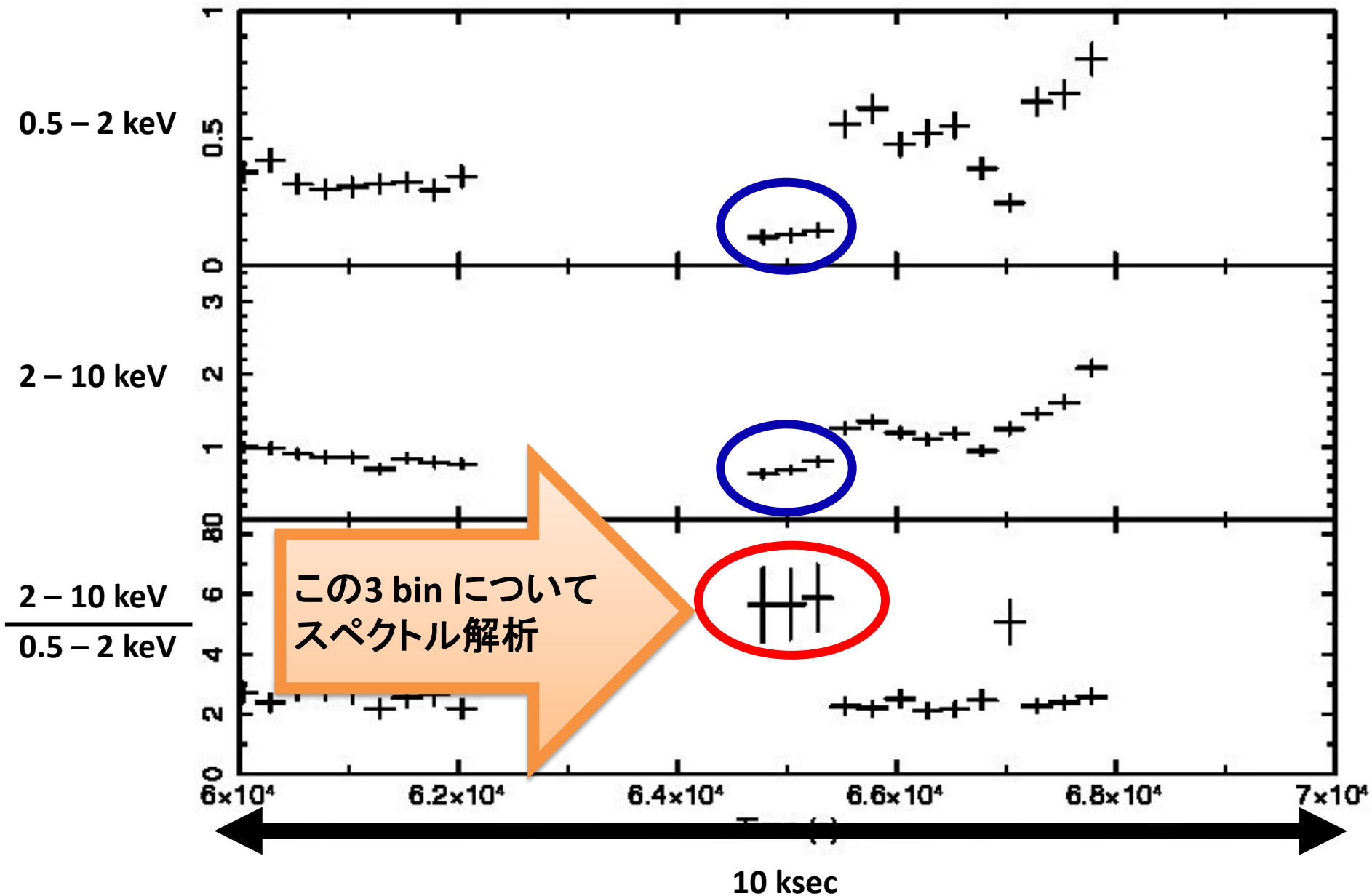
結果(2) 時間変動

Bin time: 250.0 s

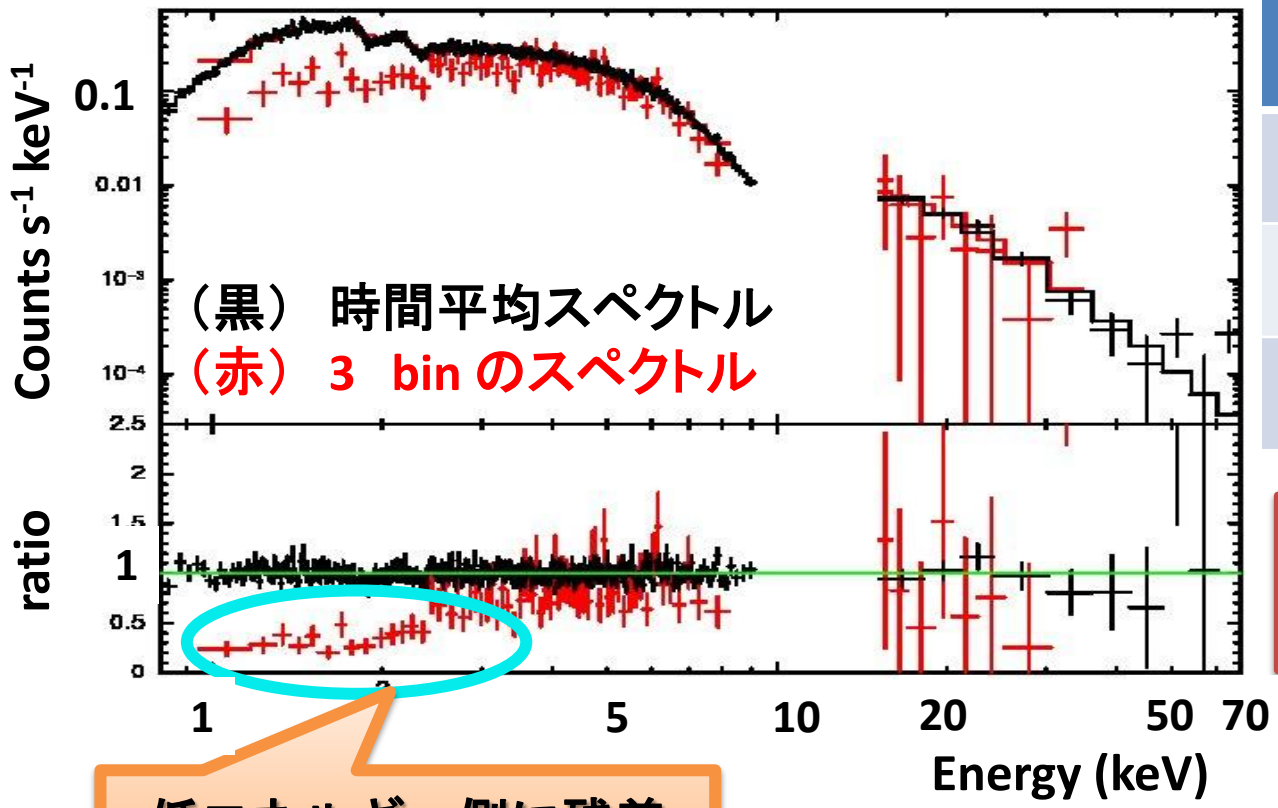


結果(2) 時間変動

Bin time: 250.0 s



結果(3) スペクトル解析



	IC_DBB
T_{in} (keV)	0.11 (fix)
τ_{DBB}	0.2 \rightarrow 0
R_{in} (km)	40 \rightarrow 0 ^{or}

IC_BBのパラメータの変動はなかった

低エネルギー側に残差

- diskからの放射が観測されなかったのは・・・
- 解釈) disk周辺の電子雲がNSに落ち込んだ
⇒ DBBをICする物質がなくなったため？

まとめ

- 定常的に $\sim 10^{35}$ erg s⁻¹ 程度を保つ低光度なNS - LMXB IGR J16194-2810 のLow/Hard状態を「すざく」を用いて観測・解析を行った。
- スペクトルは2成分で再現できた \Rightarrow IC_DBB + IC_BB
 - 2 keV以下・・・diskのDBBがICされたモデル。
 - 2 keV以上・・・NSのBBがICされたモデル。
- より光度の低い($\sim 10^{34}$ erg s⁻¹) 4U 1700+24 との比較。
 - τ_{BB} が異なる \Rightarrow 観測する方向によって違う可能性がある。
- 光度曲線 \rightarrow 数100secのタイムスケールでの変動がみられた。
 - スペクトルを光度の「高い」とき、「暗い」ときにわけ、変動を調べた。
 - \Rightarrow このタイムスケールでは、明るさによってスペクトルが変動しているわけではなさそうである。