

# Very High Stateにおけるブラックホール連星のX線スペクトルの分類



永江 修, 阿部由紀子, 深澤泰司

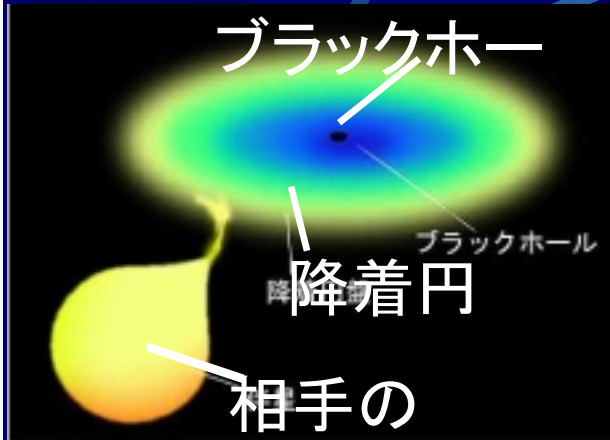
(広島大学理学研究科)

久保田あや(理化学研究所)

2004年9月28日(火) 日本物理学会@高知大学

# ブラックホールの物理的描像

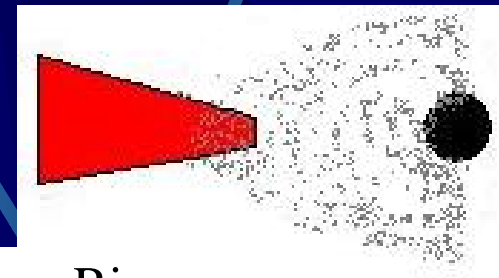
連星なら観測可能



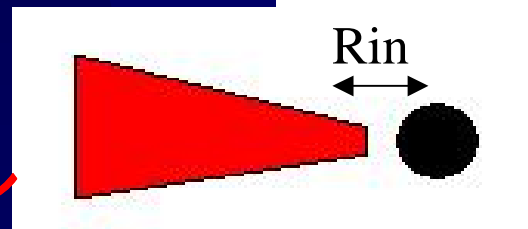
質量降着率によってスペクトルに特徴が現れる

1: Low State  $\Rightarrow$  質量降着率小 の時  
 スペクトル = power-law (index  $< 2$ )

放射メカニズムは  
 特定されていない



2: High State  $\Rightarrow$  質量降着率大の時  
 スペクトル = 標準降着円盤モデル



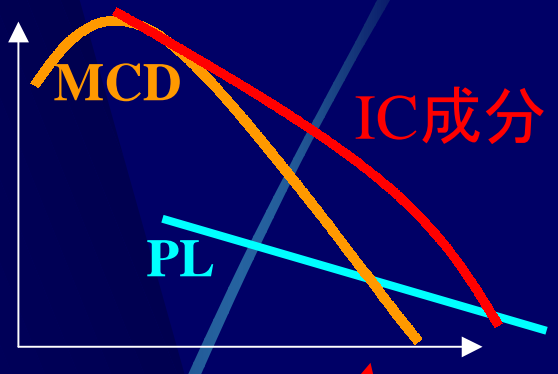
$R_{in}$  (diskの最も内側) が一定  
 理論的な最終安定軌道

$$R_{in} = 3 \frac{2GM}{c^2} = 9 \frac{M}{M_{\odot}} \text{ (km)}$$

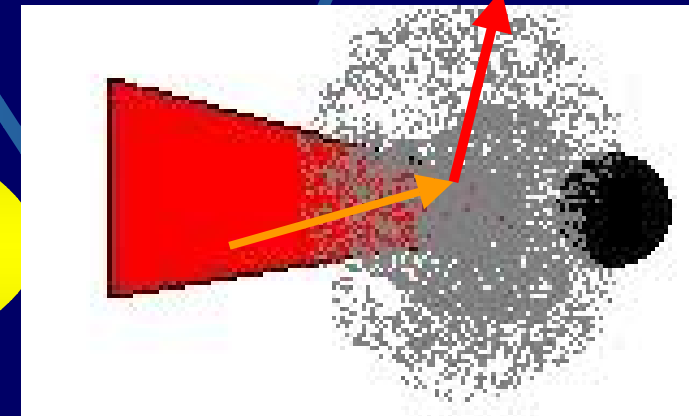
{  $T_{in} \sim 1.2 \text{ keV}$  以下 }

### 3: Very High State(VHS)⇒質量降着率最大

1991年GX339-4←ぎんが衛星  
スペクトルが、power-law dominant  
Index>2.5(別名; Steepen Power-Law)  
標準降着円盤モデルfitすると $R_{in}$ が小



Kubota et al.2001の解釈  
MCD photon(soft成分)の一部を電子雲に  
よって逆コンプトン散乱し、エネルギーを  
たたき上げる。



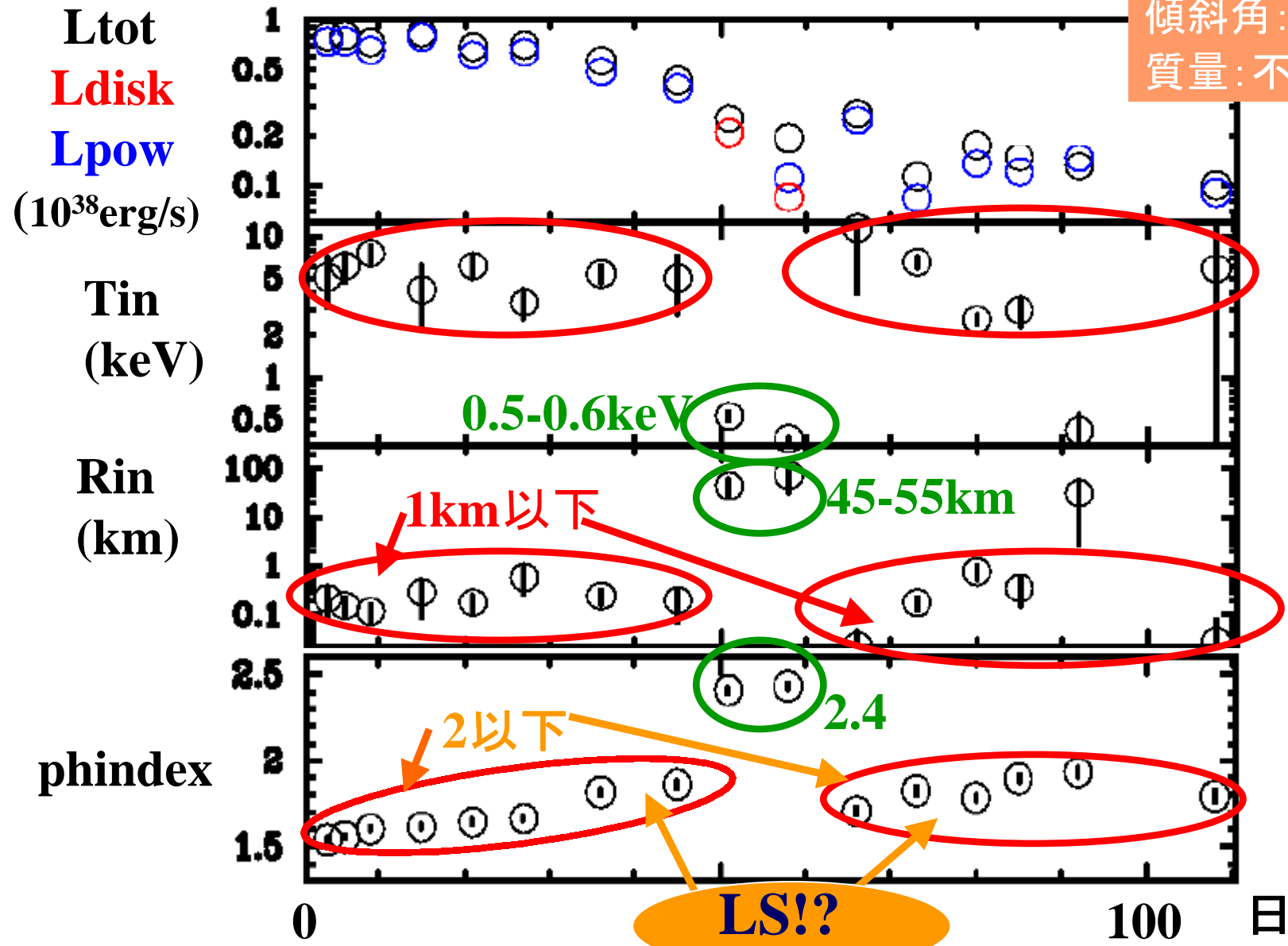
#### 研究目的

上記の振る舞いが報告されているXTE J1650-500,SAX J1711.6-3808を解析し、Very High StateにおけるX線スペクトルを統一的に理解する。また、エディントン光度を超える4U1543-47の解析結果と共同研究者の結果を用いて、光度とVery High Stateとの関係を議論する。

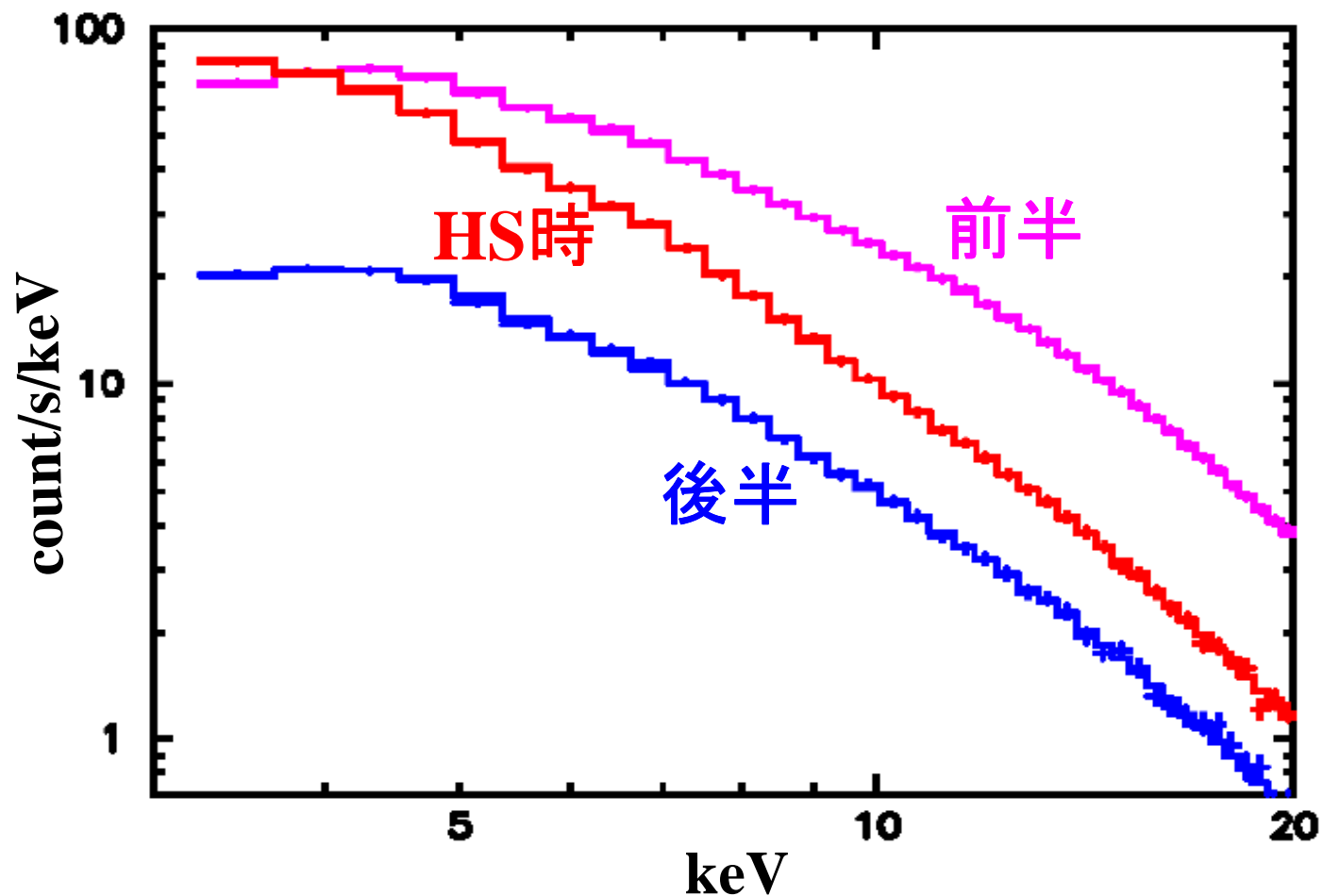
# SAXJ1711.6-3808の解析結果

標準降着円盤モデル(MCD+PL)

距離: 10kpc仮定  
傾斜角:  $0^\circ$  仮定  
質量: 不明

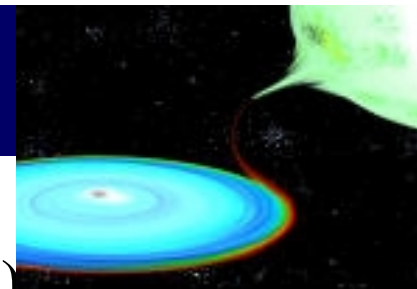


## 各時期ごとのスペクトルの比較



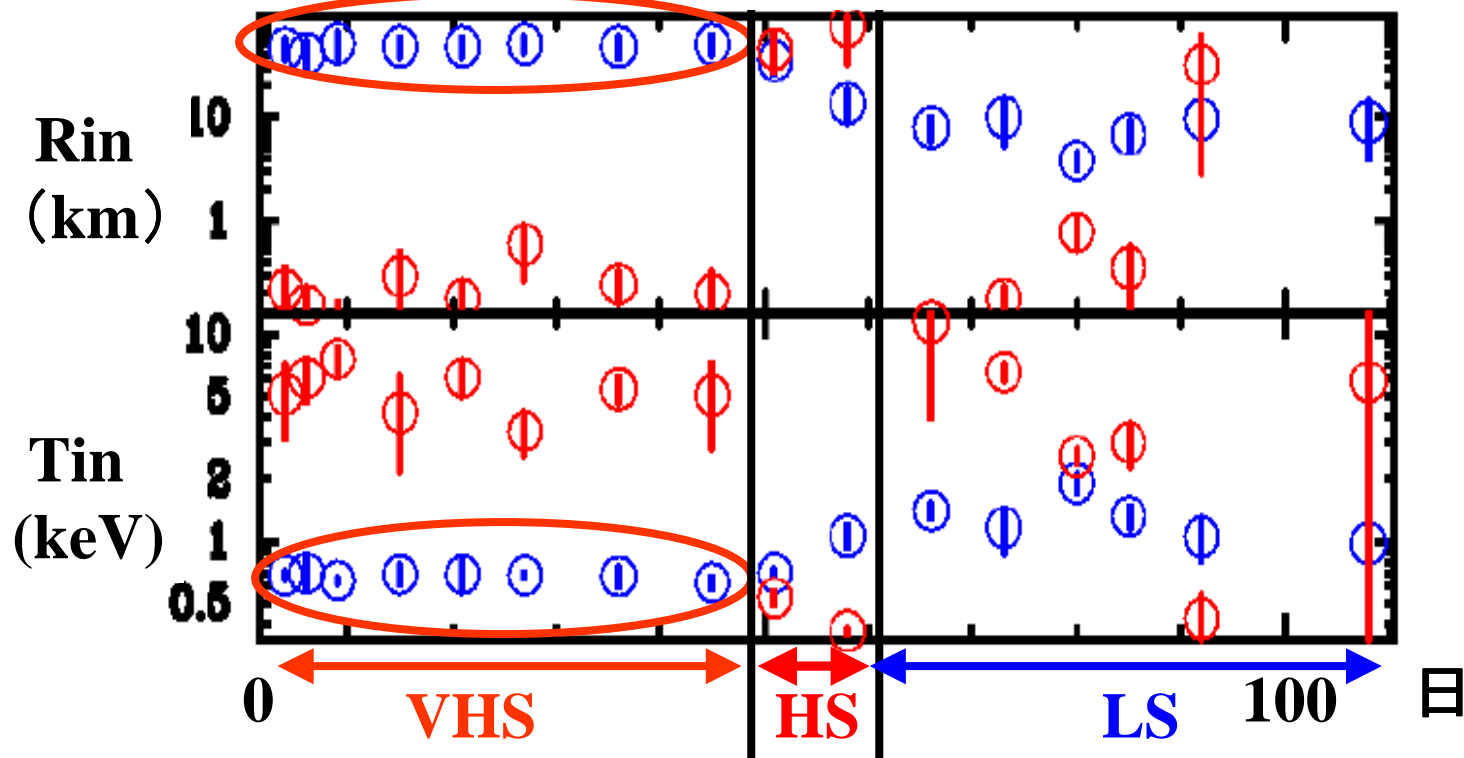
- ・前半も後半もHS時より明らかにhard
- ・前半はHS時より高エネルギー側のcount rateが大きいことから、diskからの放射を逆コンプトン散乱しているという、Kubota et al.2001の解釈で説明できそうである

# 逆コンプトン散乱を考慮した解析



○:HS (MCD+PL)

○:VHS (MCD+PL+IC PLのindex = 2.2で固定)



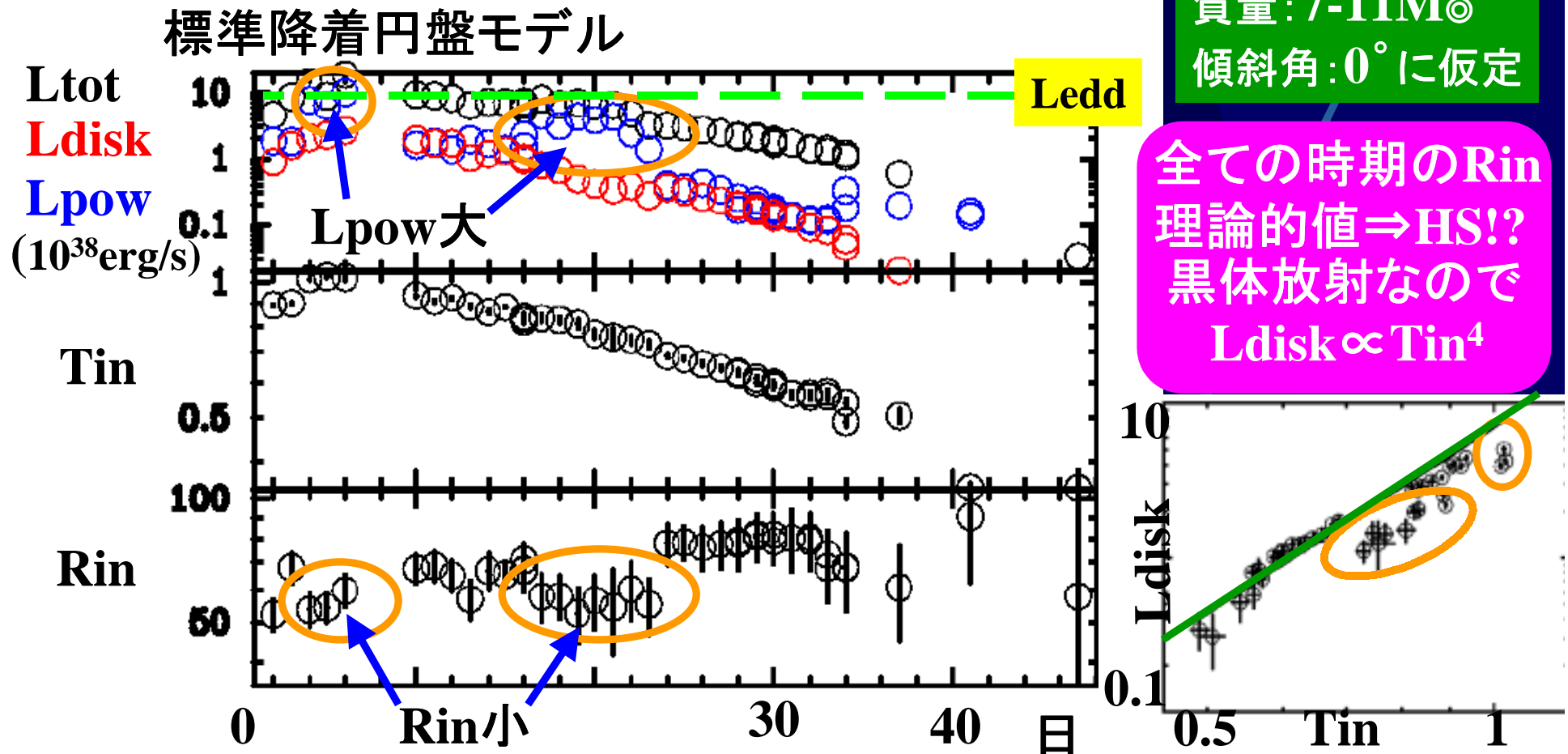
逆コンプトン散乱の仕方によっては、steep  
にならない状態が続くのかもしれない 謎!!

# 4U1543-47の解析結果

距離: 7.5kpc

質量: 7-11 $M_{\odot}$

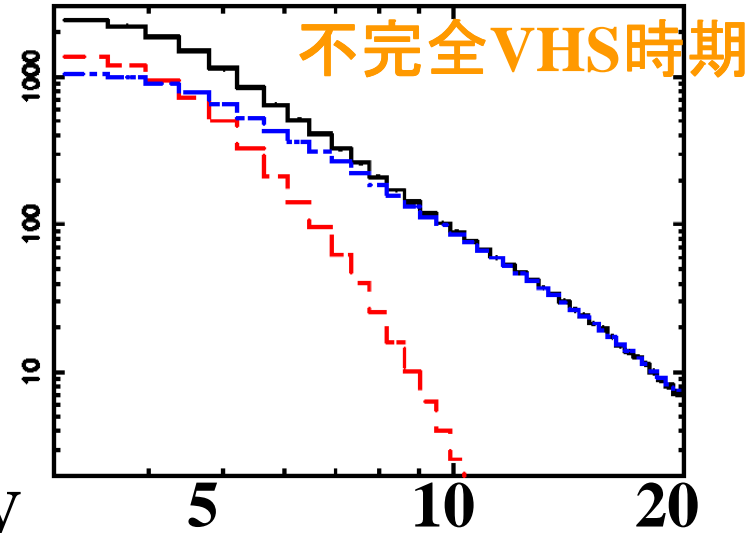
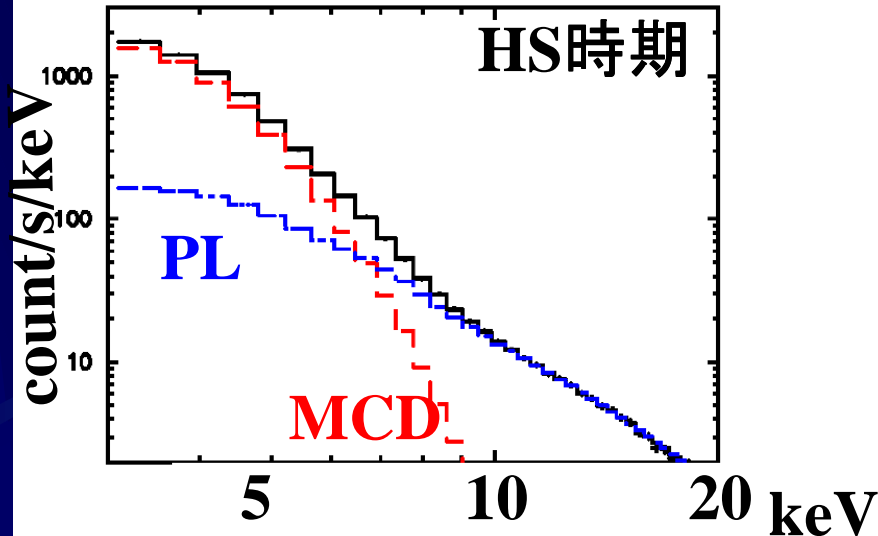
傾斜角:  $0^{\circ}$  に仮定



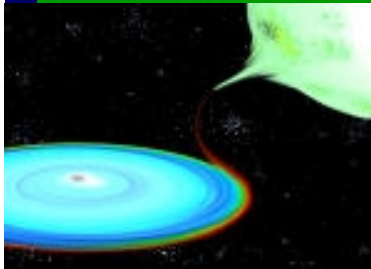
○ ICを考慮したモデルでfitしても有意な結果は得られなかった  
 多少diskが電子雲に覆われており、逆コンプトン散乱の兆候を示している可能性はあるが、完全なVHSではない

∴VHSには一般的な臨界光度が存在するわけではない

# HS時期と不完全VHS時期のスペクトルの比較

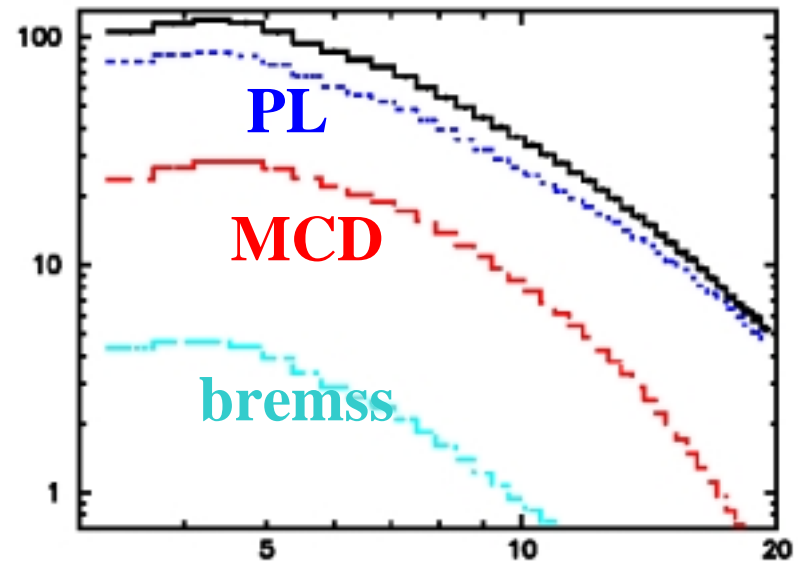


不完全VHS時期は、hard成分(power-law)が卓越している



右図の完全なVHS時期と見比べると4U1543-47は、不完全なVHSであることがスペクトルからも示唆される

## SAXJ1711.6-3808のVHS時期





## VHSになる条件とは?

ターゲット名	相手の星	$M_{\text{BH}}$	$L_c (10^{38} \text{erg/s})$	$L_c/L_{\text{edd}}$	$T_{\text{in}}(\text{keV})$
4U1630-47	不明	3.4-5.6	1.3	0.15-0.25	1.0
H1743-322	不明	3.4-5.6	2.0	0.24-0.39	0.9
<b>XTE J1650-500</b>	不明	6-7	0.3	0.02-0.03	0.4
XTE J2021+381	不明	4.5-5.6		0.1以上	
<b>SAX J1711.6-3808</b>	不明	4.6-6	0.4	0.06-0.08	0.7
XTE J1859+226	G型	7.6-12	2.0	0.11-0.18	1.0
<b>4U1543-47</b>	<b>A型</b>	7.4-11.4		1以上	
XTE J1550-564	G-K型	8.4-10.8	1.0	0.06-0.08	1.0
GRO J1655-40	F型	6.0-6.6	1.0	0.1-0.11	1.2
LMC X-3	<b>B型</b>	5.0-7.2		1以上	

(下の三つはKubota et al.参照)

Lc/Ledd等の値が条件とは言えない

1つの可能性⇒相手の星が重い(図の色つき部分)の場合は  
VHSになりにくいのかもしれない

## まとめ

### SAXJ1711.6-3808

VHS⇒HS⇒LSの3状態遷移がはっきり見て取れる。  
VHS時期でもphoton indexが小さいまま、逆コンプトン散乱の仕方によって、そのような状態になるのかもしれない

### 4U1543-47

ほぼ全ての時期でHS、少しIC散乱の兆候を示す時期あり。  
光度は大きいですが、完全なVHSになってはいない ⇒ VHSの臨界光度は天体によって違う



相手の星の質量が、VHSになる条件の一つとして示唆される

## 今後の課題

- ・天体数を増やし、VHSの兆候を示すBHCのX線スペクトルを、より統一的に理解する

# XTEJ1650-500の解析結果

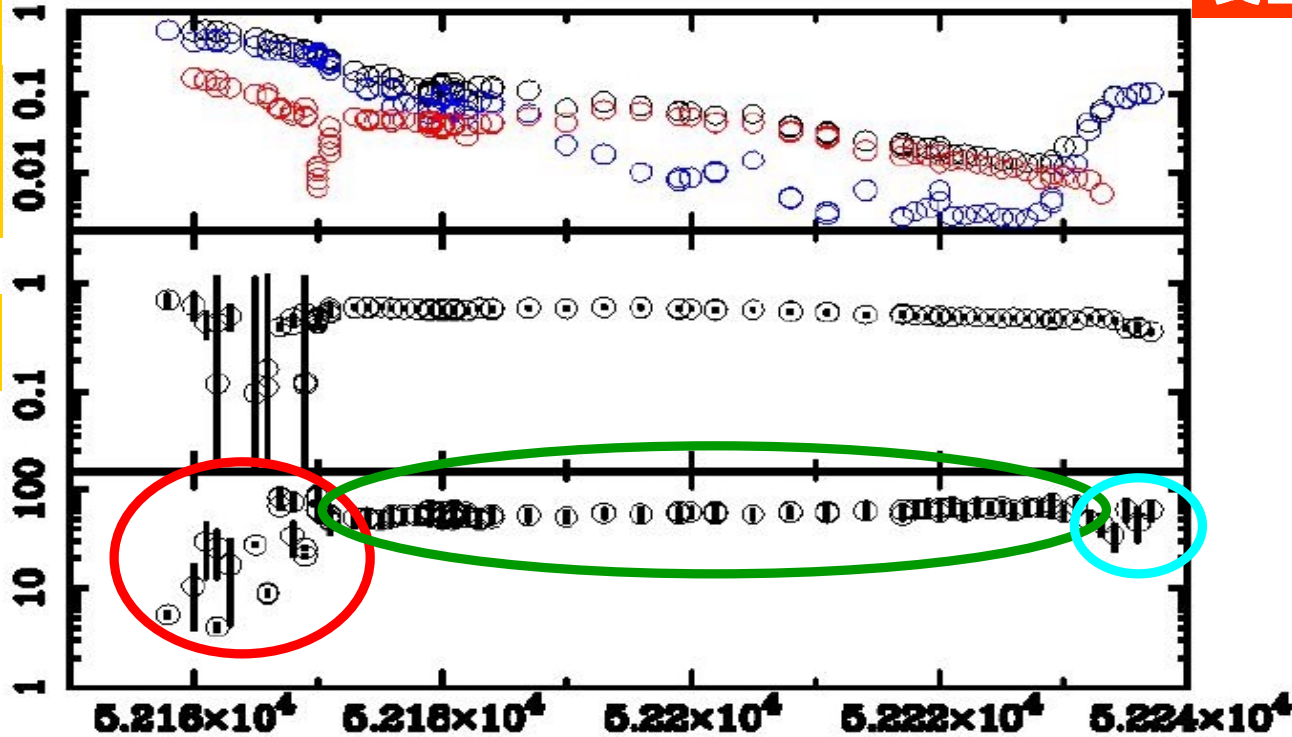
距離: 4kpc  
傾斜角  $\theta = 30^\circ$   
質量: 不明

標準降着円盤モデル (MCD+PL)

Ltot Ldisk  
Lpow  
( $10^{38}$ erg/s)

Tin (keV)

Rin(km)



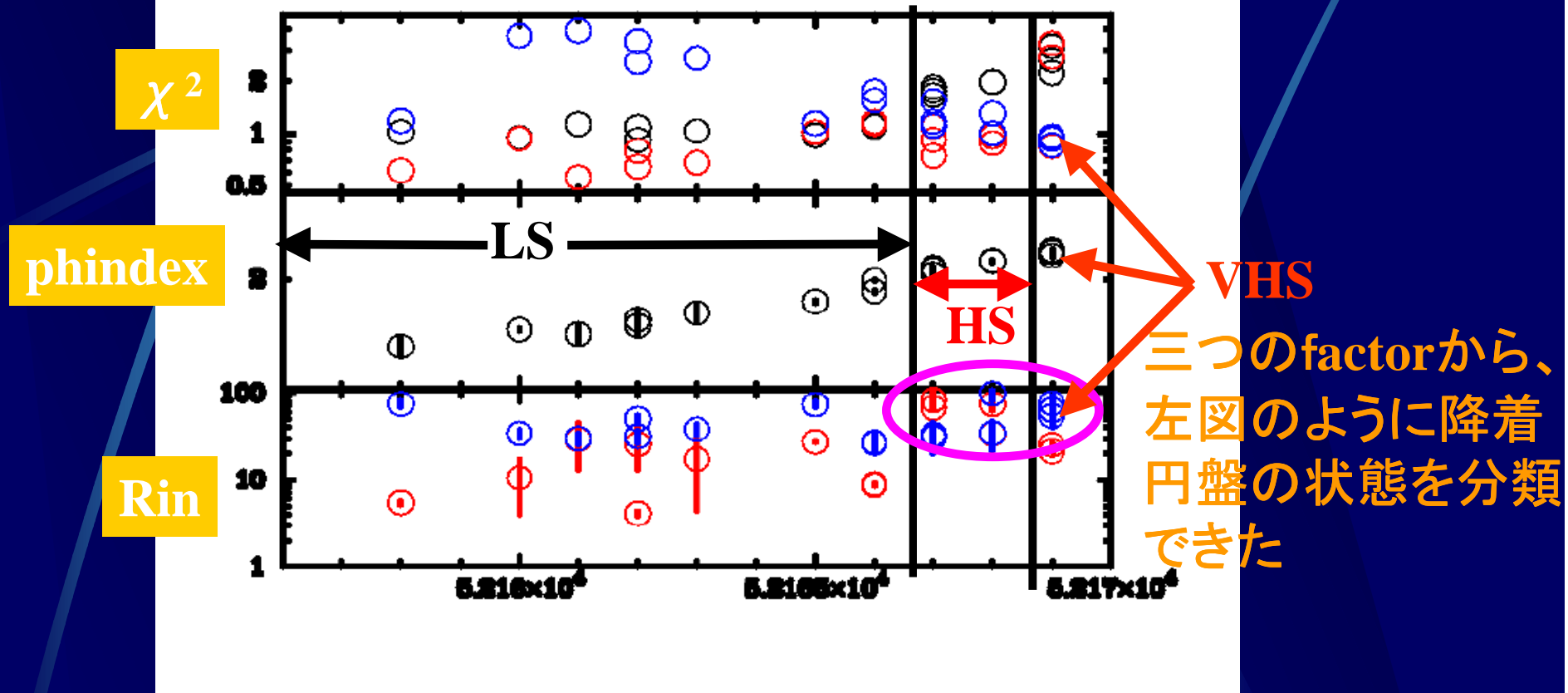
- 時期:  $T_{in}=0.4-0.5$ keV、 $R_{in}=55$ km-65km ( $6-7M_{\odot}$ ) 一定  $\Rightarrow$  HS
- 時期:  $L_{pow}(\sim L_{tot})$  卓越  $\Rightarrow$  LS
- 時期:  $T_{in}$ 、 $R_{in}$ 異常、 $L_{pow}$ も高い  $\Rightarrow$  VHS or LS



詳細に再解析。  
LS、HS、VHSを決める

# 最初の時期の詳細な解析

○:LS(PLでfit) ○:HS (MCD+PL) ○:VHS(ICを考慮)



○ 時期のRinと、前ページ ~80km      ○ 時期のRinの比較 ~50km

HS⇒VHS⇒HSと状態遷移間にdiskが内側へ形成されてる事を示唆  
観測的にとらえたのは世界初

# 4U1543-47のHSと不完全VHSのスペクトルの比較

