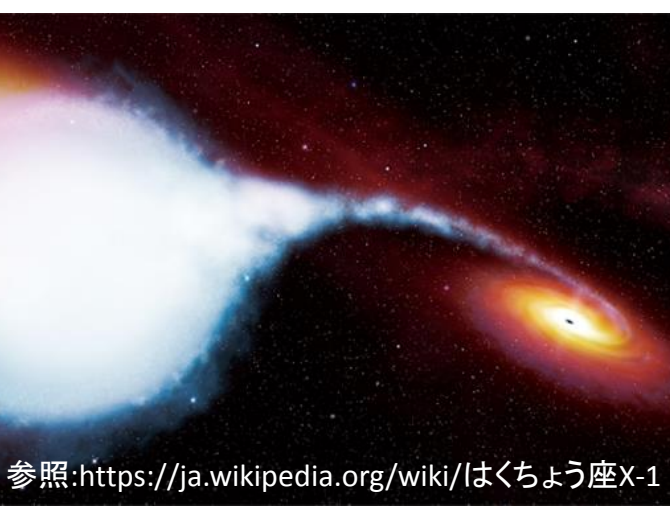


# ブラックホール連星LMC X-3のX線スペクトル形状の変化

岩尾祐希・高橋弘充・水野恒史・深澤泰司(広島大学)・久保田あや(芝浦工業大学)・Chris Done(Durham大学)



## 1. 研究概要

ブラックホール連星(BHB)は恒星質量ブラックホールと伴星からなる天体であり、伴星からの物質の供給によりブラックホールの周りに降着円盤を形成し、X線で明るく輝いている。LMC X-3は典型的な標準降着円盤を持つBHBと知られており、幾何学的に薄く、光学的に厚い状態で、円盤の内縁が最終安定軌道(ISCO)に到達していると観測的に考えられている。本研究では「すざく」とXMM-Newton衛星のデータを用いてLMC X-3合計7観測を解析した。0.7-10 keV以上のX線スペクトルを比較したところ、high/soft状態で1桁光度が変化中、スペクトルの形状が変化していることがわかった。標準降着円盤モデルでは温度と半径の依存性を示すべき指数は-0.75であるが、それをフリーパラメータにして解析したところ、光度が約1桁減光する間に、べき指数は-0.70から-0.59へと増加した。また、「すざく」とXMM-Newtonにパラメータの振る舞いの違いが見られたが、ハードテイル成分の寄与とモデルの不完全さが原因だと考えた。

## 2. LMC X-3の「すざく」とXMM-Newtonによる7観測

BHBであるLMC X-3はX線天文衛星「すざく」3観測により、円盤放射の再現には多温度黒体放射モデル(diskbb)よりも**幅広い放射**が要求される(Kubota et. al[1].、2018年秋季年会)

→XMM-Newton4観測を合わせた計7観測を比較

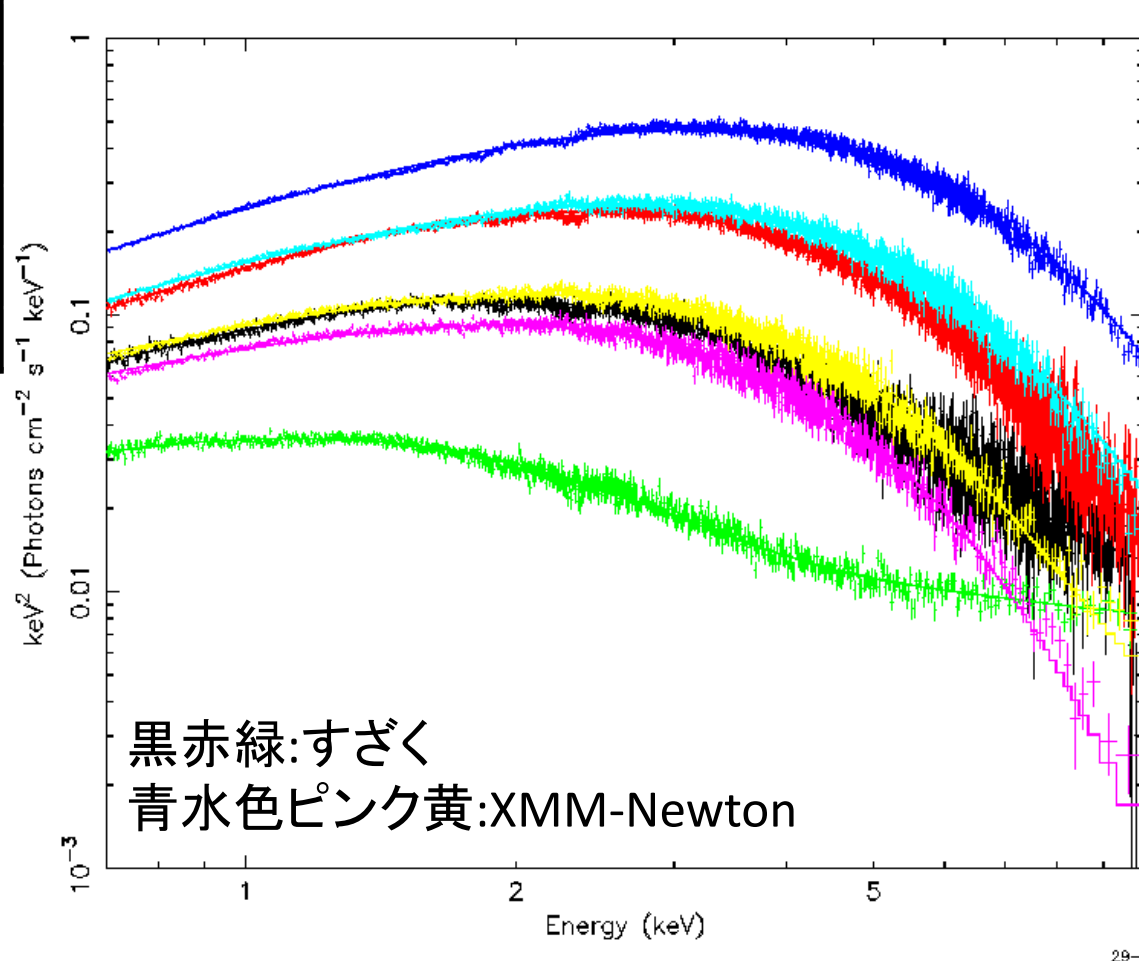
	露光時間(ks)	光度( $10^{38}$ erg/s)	エディントン比
Suzaku	403020010	54.3	1.04
(0.7-30 keV)	404062010	133.4	2.16
	407086010	87.1	0.312
XMM-Newton	109090101	9.06	4.37
(0.7-10 keV)	0671420301	9.51	2.33
	0671420401	10.5	0.812
	0671420501	10.5	1.07

BHの質量  $7 M_{\odot}$  距離 52 kpcと仮定

7観測中で**光度は約15倍変動**

Simpl\*diskbbモデルで解析  
(3.スペクトル解析参照)

7観測の光度変化



黒赤緑:すざく  
青水色ピンク黄:XMM-Newton

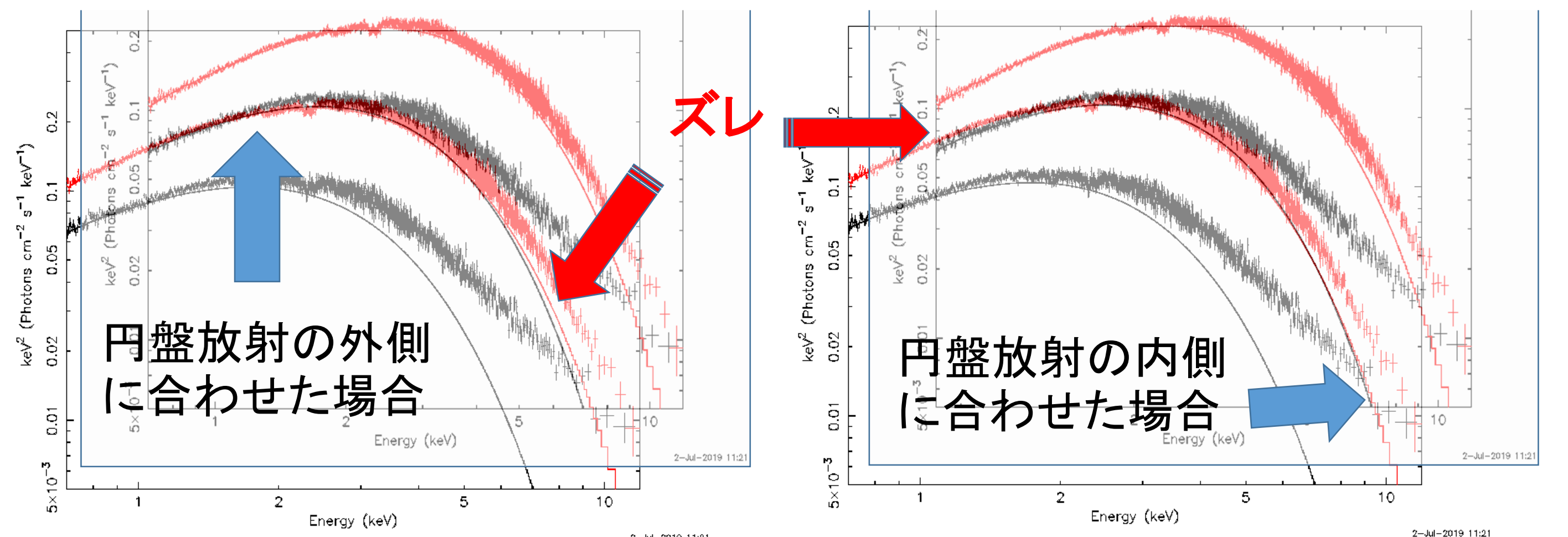
## 5. 考察～スペクトル形状の違い～

**pが変化しているとは?**

広帯域な1観測から、標準円盤放射よりも幅広い放射が報告  
→今回の結果:光度変化にともなって、幅広さ(p)も変化  
→降着円盤のスペクトル形状が変化(標準円盤放射は温度と最内縁半径のみに依存し、スペクトル形状pは変化しない)

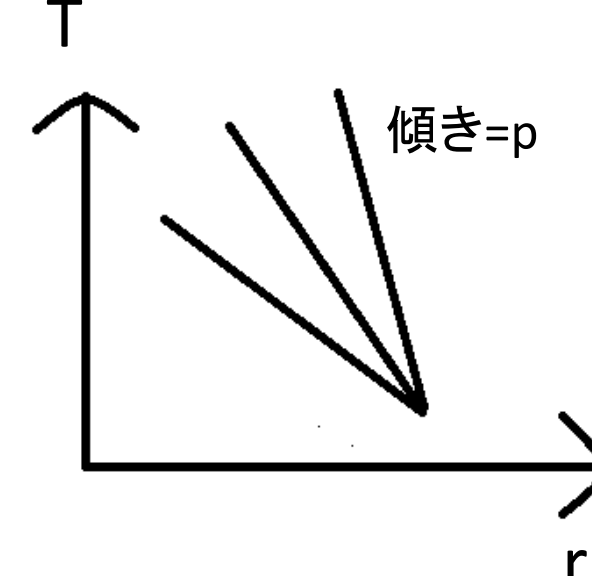
円盤の内側が標準状態からズレているのか?

フィットした後、コロナでの散乱成分を除き、円盤放射成分のみを示した図  
(黒:すざく(403020010)、赤:すざく(404062010))



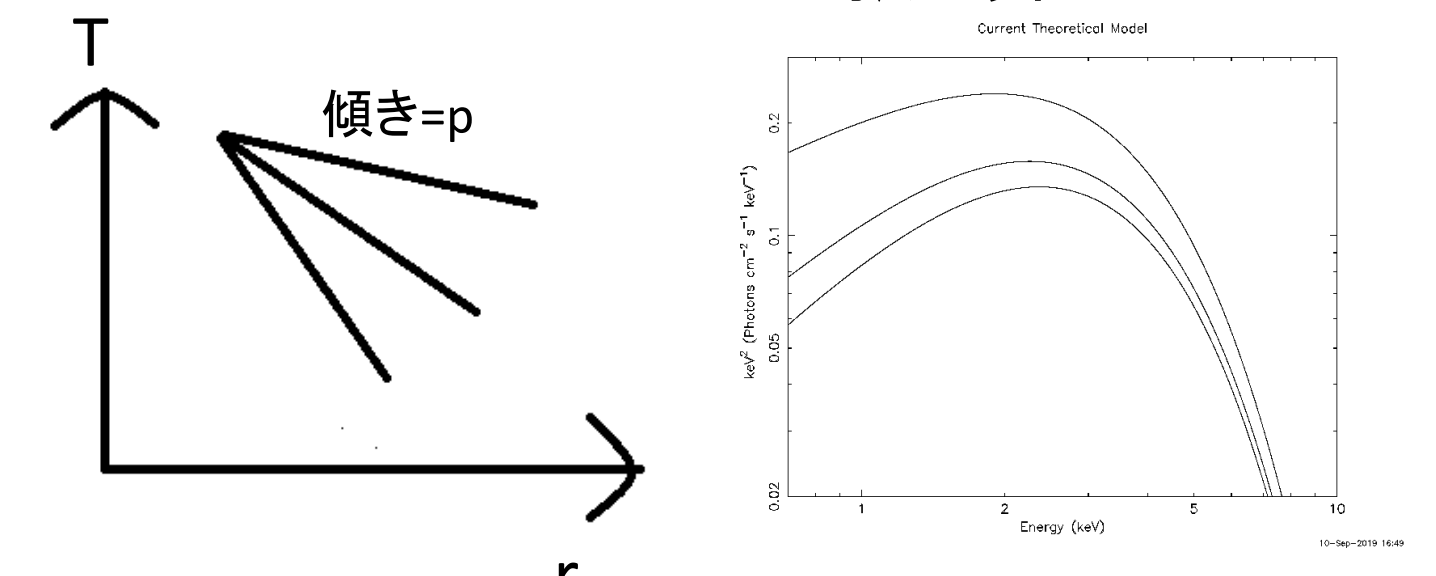
パラメータから見たそれぞれの振る舞い

すざくの振る舞い



Rinとpがともに変化

XMM-Newton的振る舞い



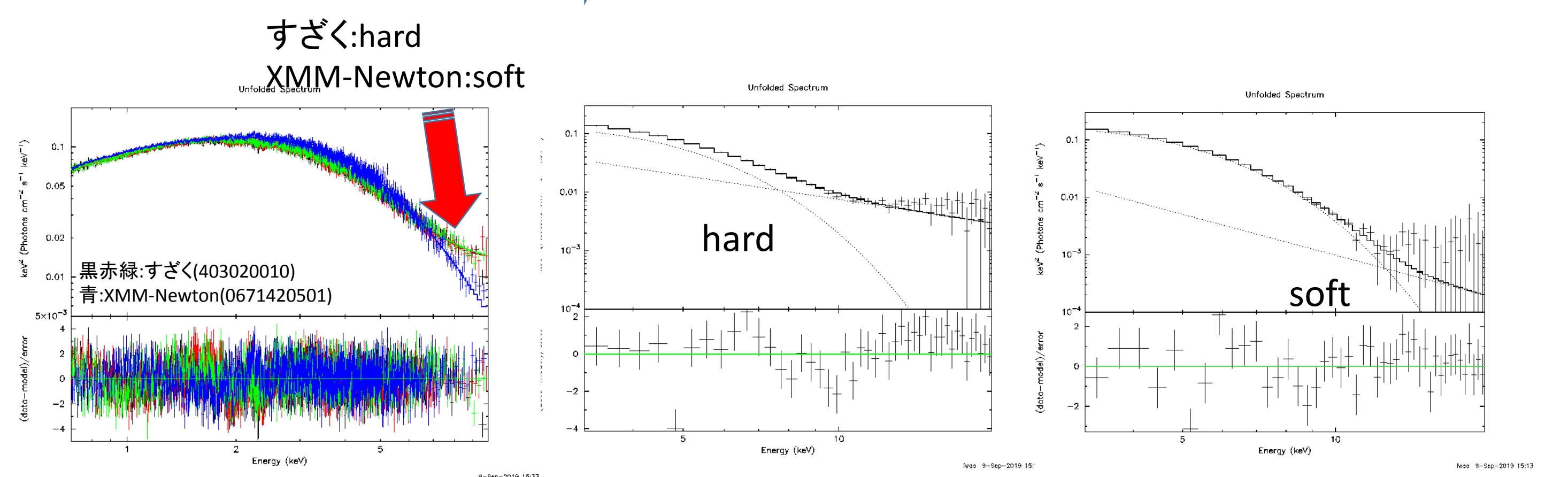
Rinが一定で、pのみが変化

最内縁が定まっており、pのみが変化

**ハードテイル成分の変化(「すざく」とNewton観測時の差)**

同程度の光度(エディントン比10%前後)のスペクトル  
→検出器によるもの?

→RXTE衛星で左のデータと同程度の光度のデータから、softとhard両方のスペクトルが存在した  
(モデル: phabs\*(diskbb+powerlaw))



光度が同程度の「すざく」とXMM-Newtonのデータでスペクトル形状の違い(+ハードテイル成分の強弱)が見られた。

→RXTE衛星のデータでも、ハード成分の強弱を確認

(天体に起因した変化と考えられる)

→「すざく」とXMM-Newtonで、円盤放射のパラメータに差が見られるのは、ハードテイル成分を再現するモデルが不完全?

## 3. スペクトル解析(ソフトXSPECを利用)

・標準降着円盤モデルtbfeo\*(simpl\*diskbb)モデルでは10 keV以上を再現できなかった(下左図)

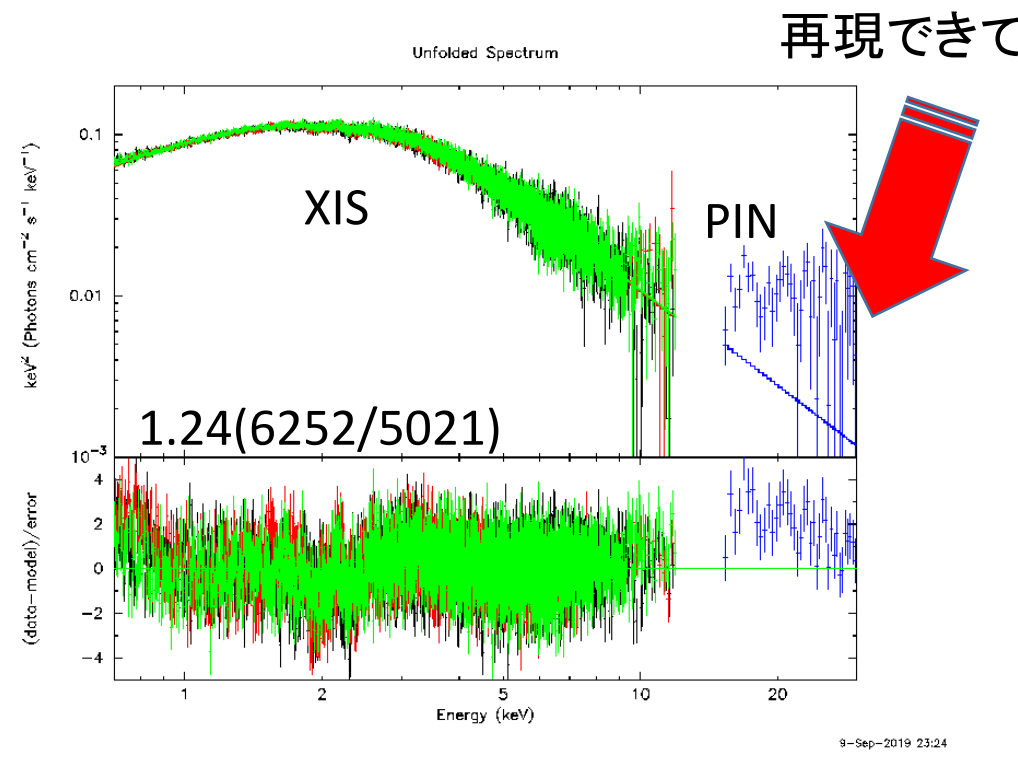
→tbfeo\*(simpl\*diskbb)にパラメータを1つ増やした

・diskbbモデル: diskbbの温度半径依存指数p(-0.75)をfree

・simplモデル: コロナによって円盤放射を逆コンプトン散乱

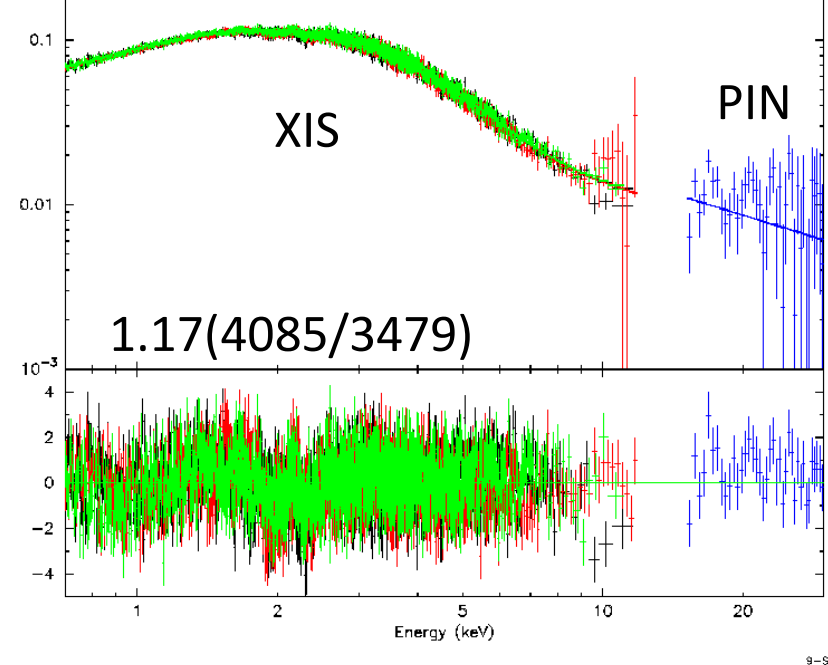
Diskbbモデルでは再現不可

再現できていない

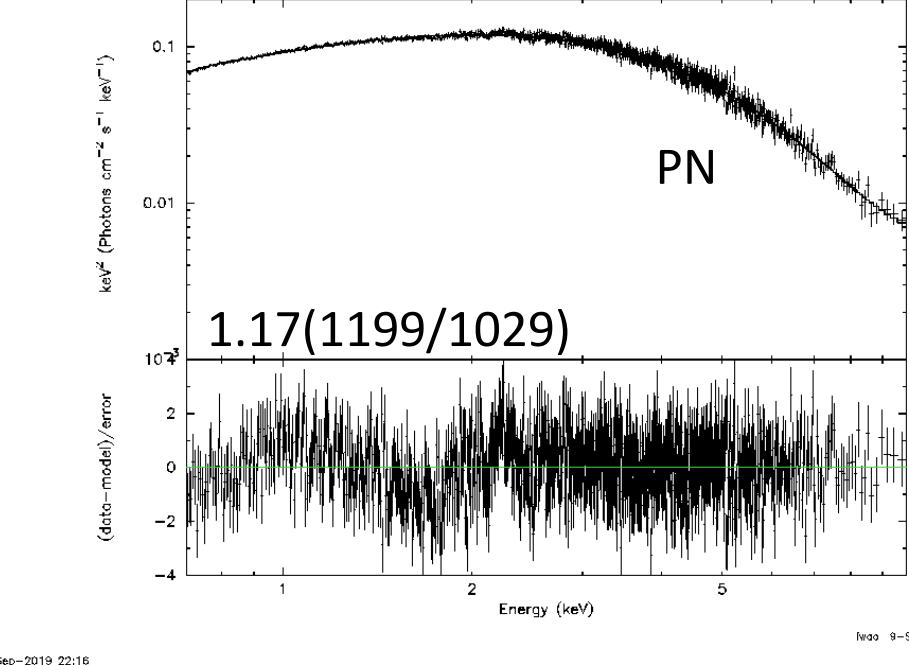


Diskbbモデルでは再現可能

すざく



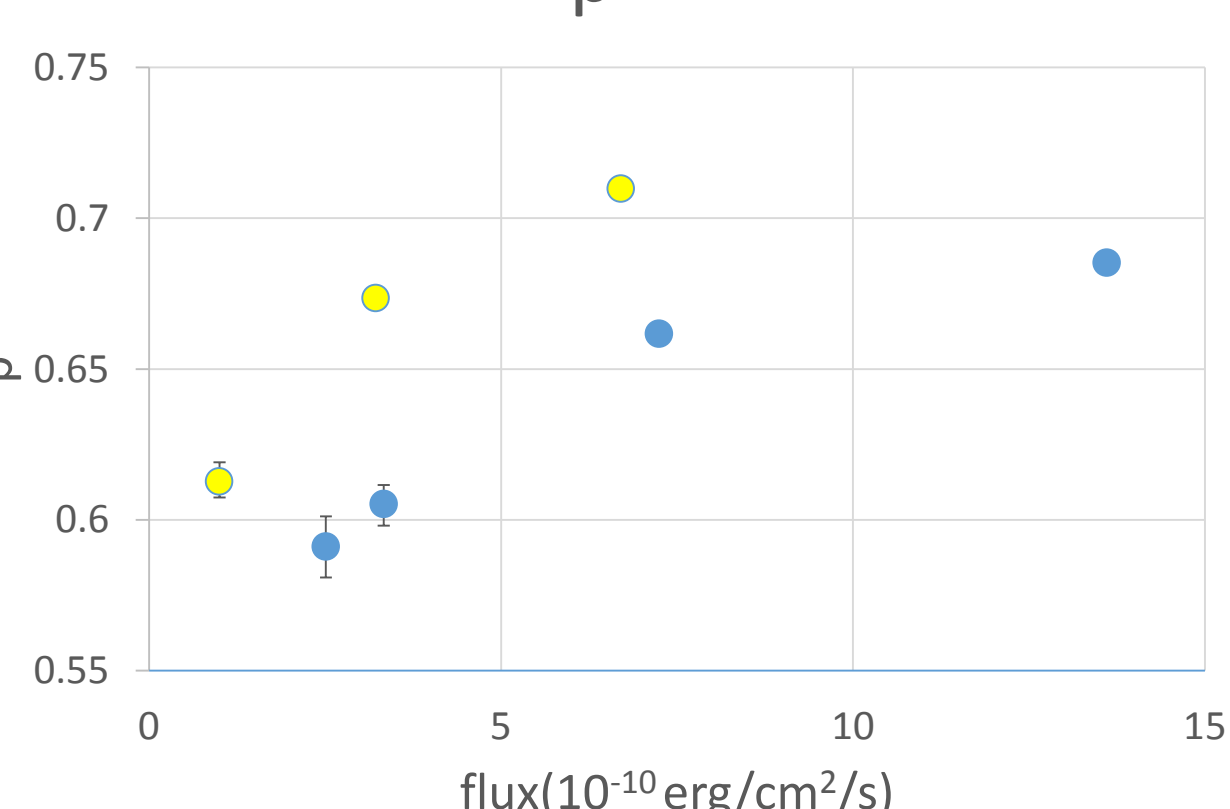
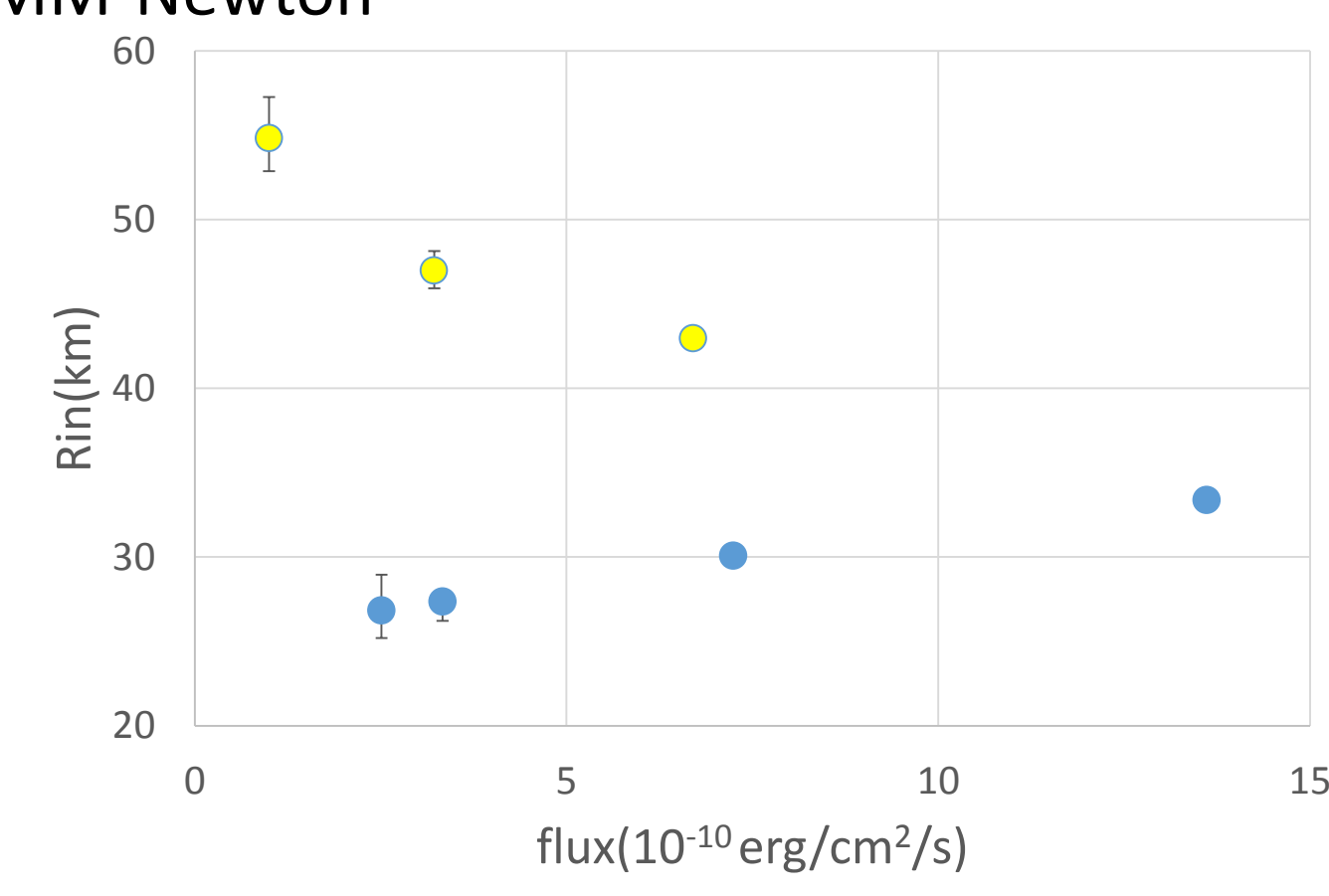
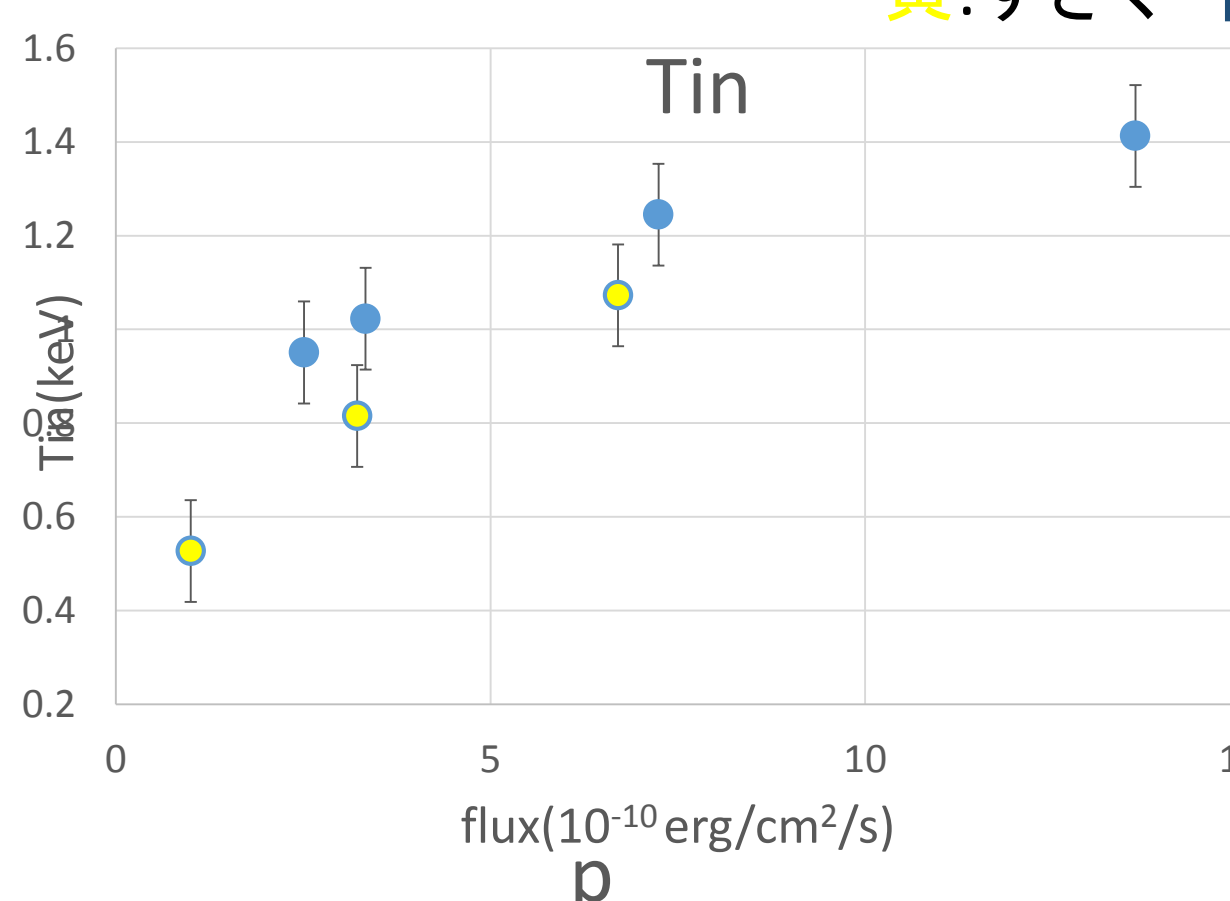
XMM-Newton



## 4. すざくとNewtonでのパラメータの違い

黄:すざく 青:XMM-Newton

Rin



$T_{in}$ :円盤の最内縁温度  
 $R_{in}$ :円盤の最内縁半径  
p:標準降着円盤の温度半径依存指数(-0.75)をフリーにしたパラメータ

光度が減少すると

・ $T_{in}$ は両検出器とも減少し、物理描像と一致する

・ $R_{in}$ は「すざく」では増加する傾向だが、XMM-Newtonでは約30 km前後で一定であり従来通りの結果が得られた(Ebisawa et. al.[2])

・pは両検出器とも減少傾向だが、絶対値が異なる

## 6. まとめ

- ・典型的な標準降着円盤だと考えられてきたLMC X-3のhigh/soft状態で、光度変化にともなってスペクトル形状の違いが確認された
- ・同程度の光度でもハードテイルの寄与により、円盤スペクトルの形状が異なるという結果になったが、これはモデルの不完全さが原因であると考えている

参考文献

- [1] Kubota, A. et al., TESTING ACCRETION DISK STRUCTURE WITH SUZAKU DATA OF LMC X-3"  
[2] Ebisawa, K et. al.1991,ApJ.362,213