

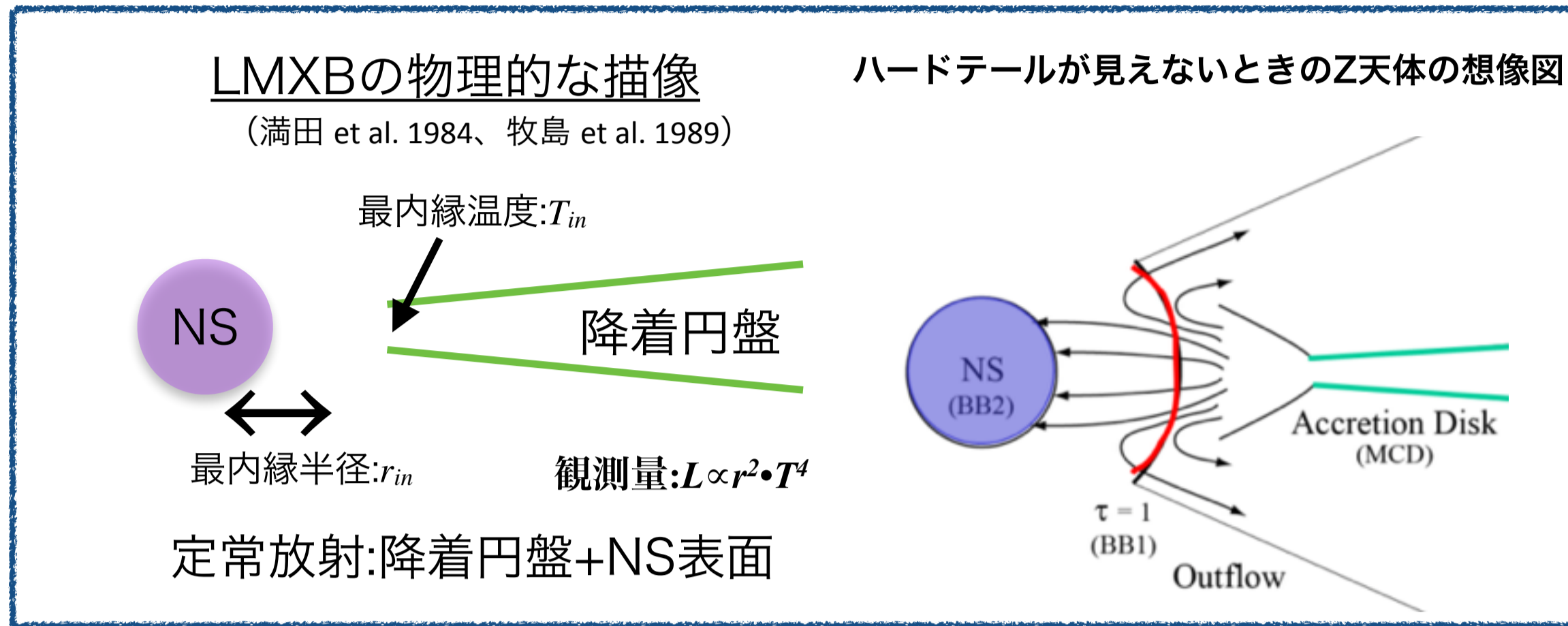
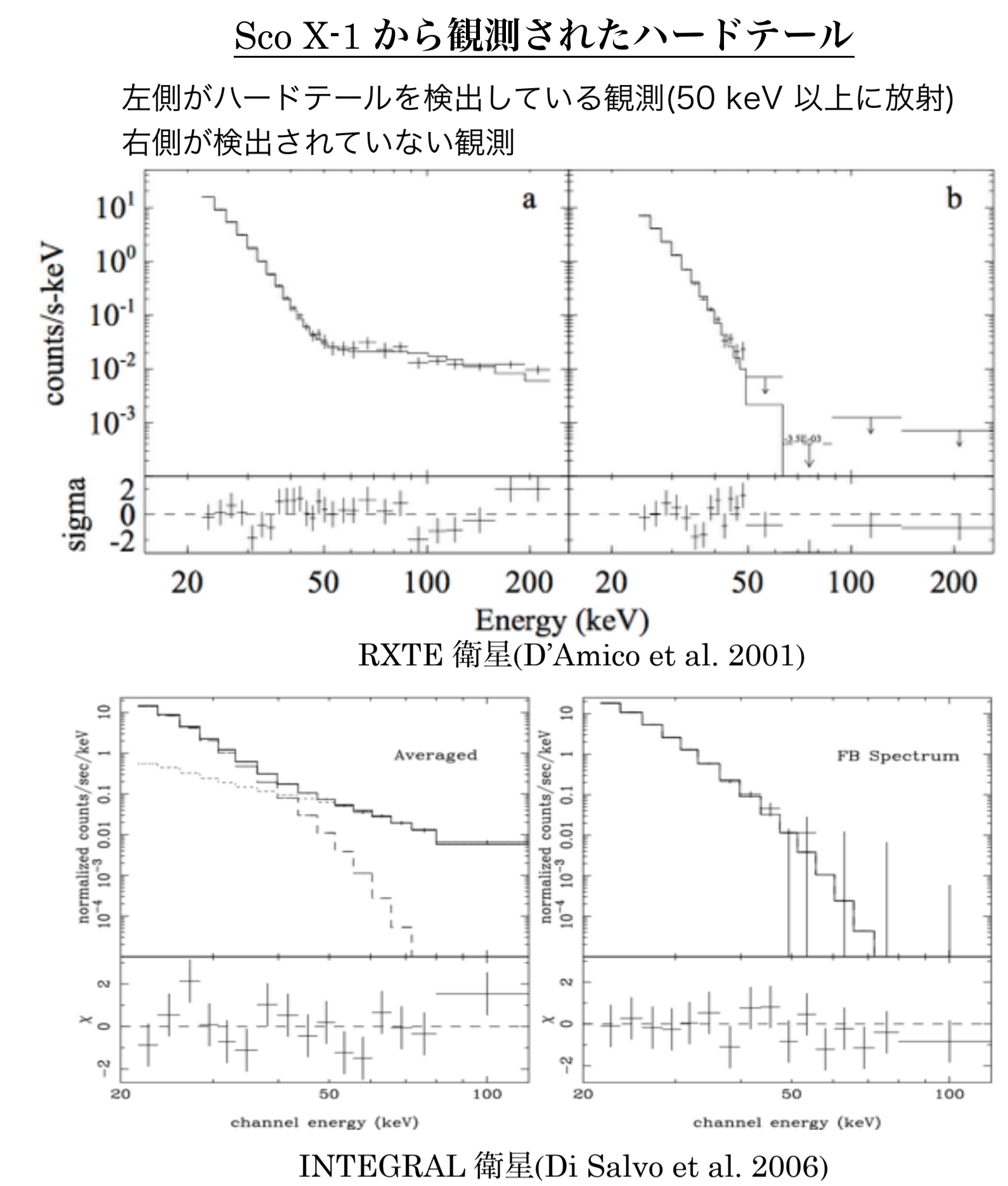
「すざく」衛星による低質量 X 線連星 Sco X-1 の硬 X 線放射の観測

岡田千穂, 高橋弘充, 中岡竜也, 深沢泰司 (広島大学), 堂谷忠靖, 前田良知, 勝田哲 (ISAS), 森英之 (UMBC),
村上弘志 (東北学院大), 湯浅孝行 (理研)

本研究の概要と先行研究

X 線で全天で一番明るい Sco X-1 は、中性子星(NS)をコンパクト星とする低質量 X 線連星 (LMXB) である。Sco X-1 のようなエディントン限界光度 10^{38} erg/s に近い LMXB は、「Z 天体」と呼ばれており、近年、BeppoSAX、RXTE、INTEGRAL 衛星により 50keV 以上で熱的放射を卓越するハードテールの兆候が報告されている。(右図) これまでの報告では、Z天体のハードテールは観測時期や観測天体によって観測されたりされなかったりしている。これが事実であれば、ハードテールが観測されない時期は中性子星近傍で強い放射圧により大量のアウトフローが生じ、その物質によって中心付近が隠されるため観測されなくなる可能性が示唆されている。

そこで、実際に Sco X-1 でハードテールが存在しているかを詳細に調べるため、2015 年 3 月 9-12 日に天体観測時間が33 ksの「すざく」による観測を行い、今回はHXD検出器のデータ解析を行った。「すざく」の推定バックグラウンドは、観測時期前後の約1ヶ月の地没のデータを元に作られている。しかし、Sco X-1の観測時期前後では、HXD検出器をONした観測は約1週間しか行われていなかったため、バックグラウンドの再現精度が悪くなっている。今回は、バックグラウンドの再現精度の向上のために、バックグラウンドの長期成分の補正を行った。得られた HXD-PIN, GSO 検出器のデータについて、全時間平均スペクトルを解析し、ハードテールの有無について考察を行った。(PINのライトカーブには約3倍の強度変動が見られた)

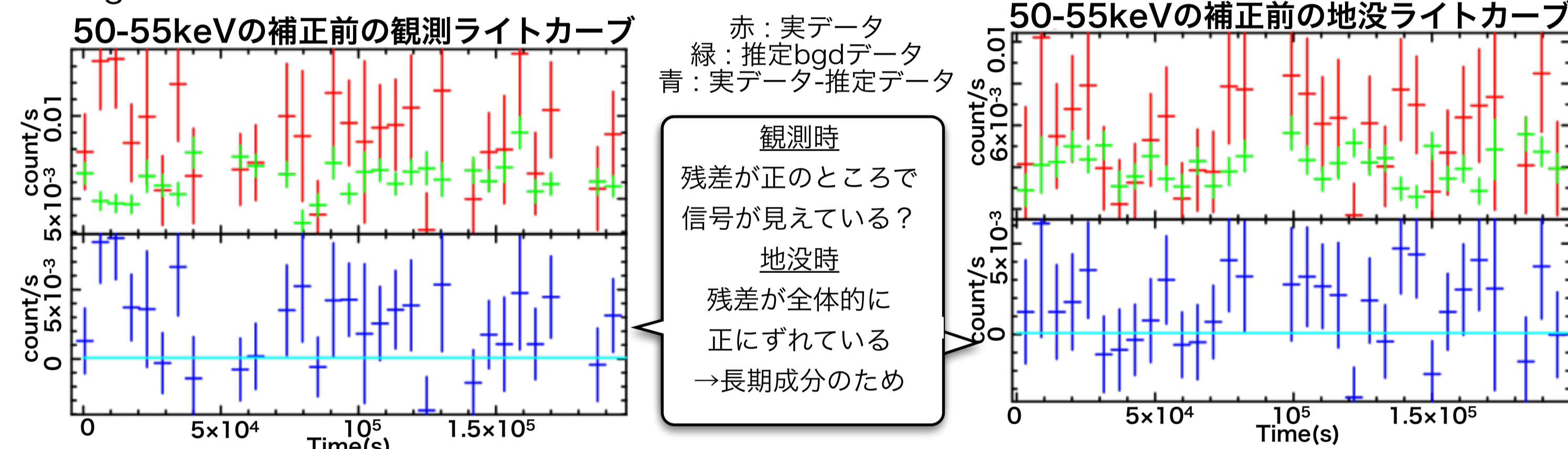


バックグラウンド補正

Sco X-1の観測前後は1週間しかデータがないため、推定バックグラウンド (bgd) の長期成分(数日のスケールでは一定)の再現精度がよくない

PIN検出器のバックグラウンド補正

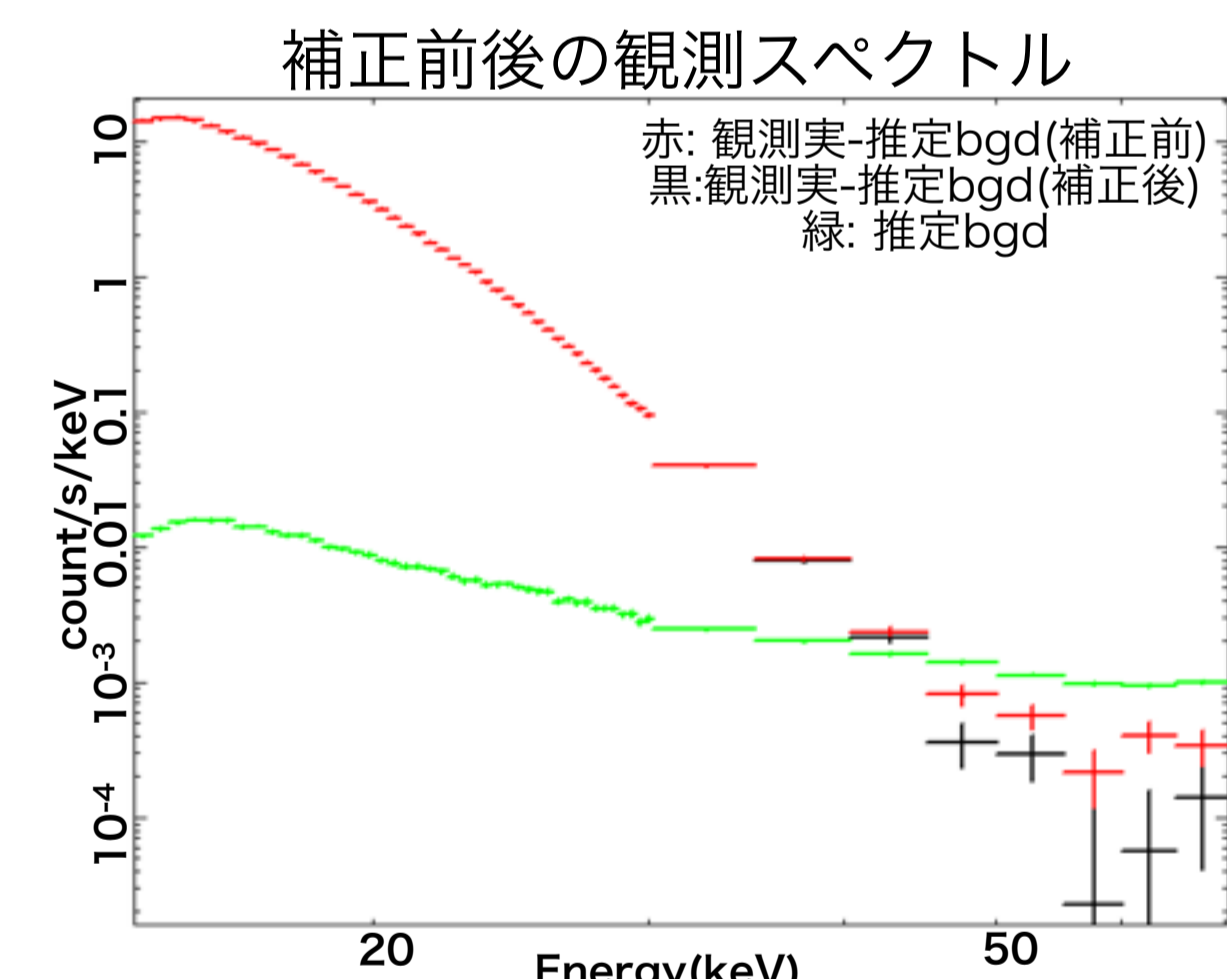
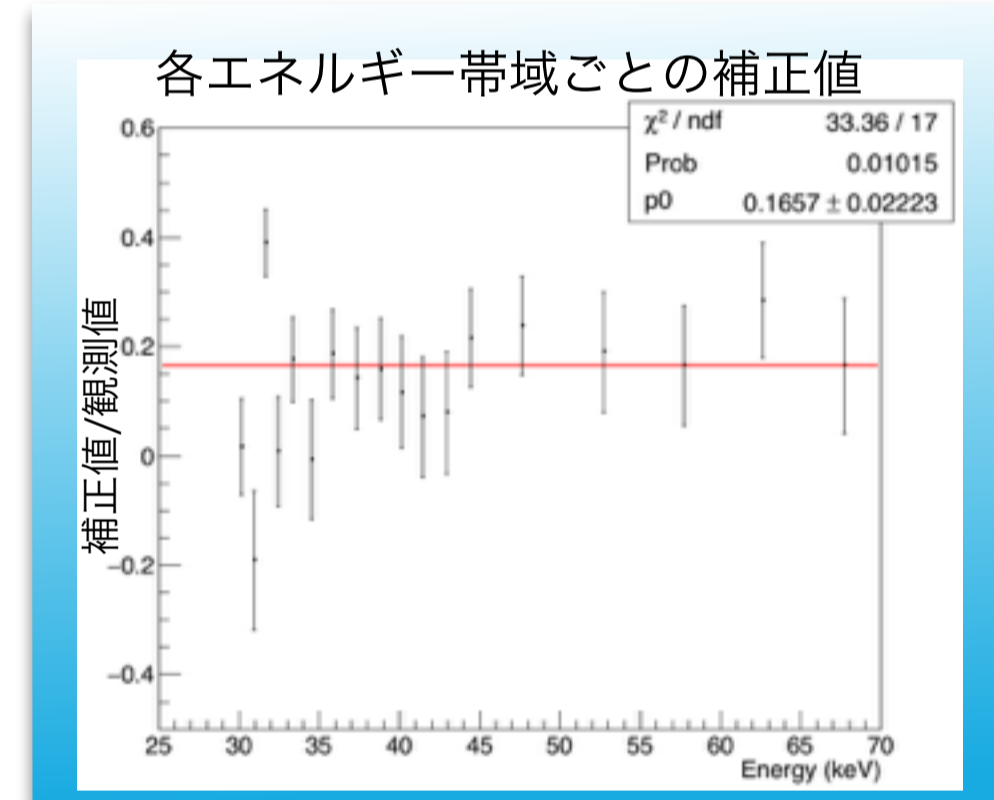
各エネルギー帯域ごとに、全時間の地没の実データと推定データのカウンtrateの差を長期bgd成分として一定値の補正をする。



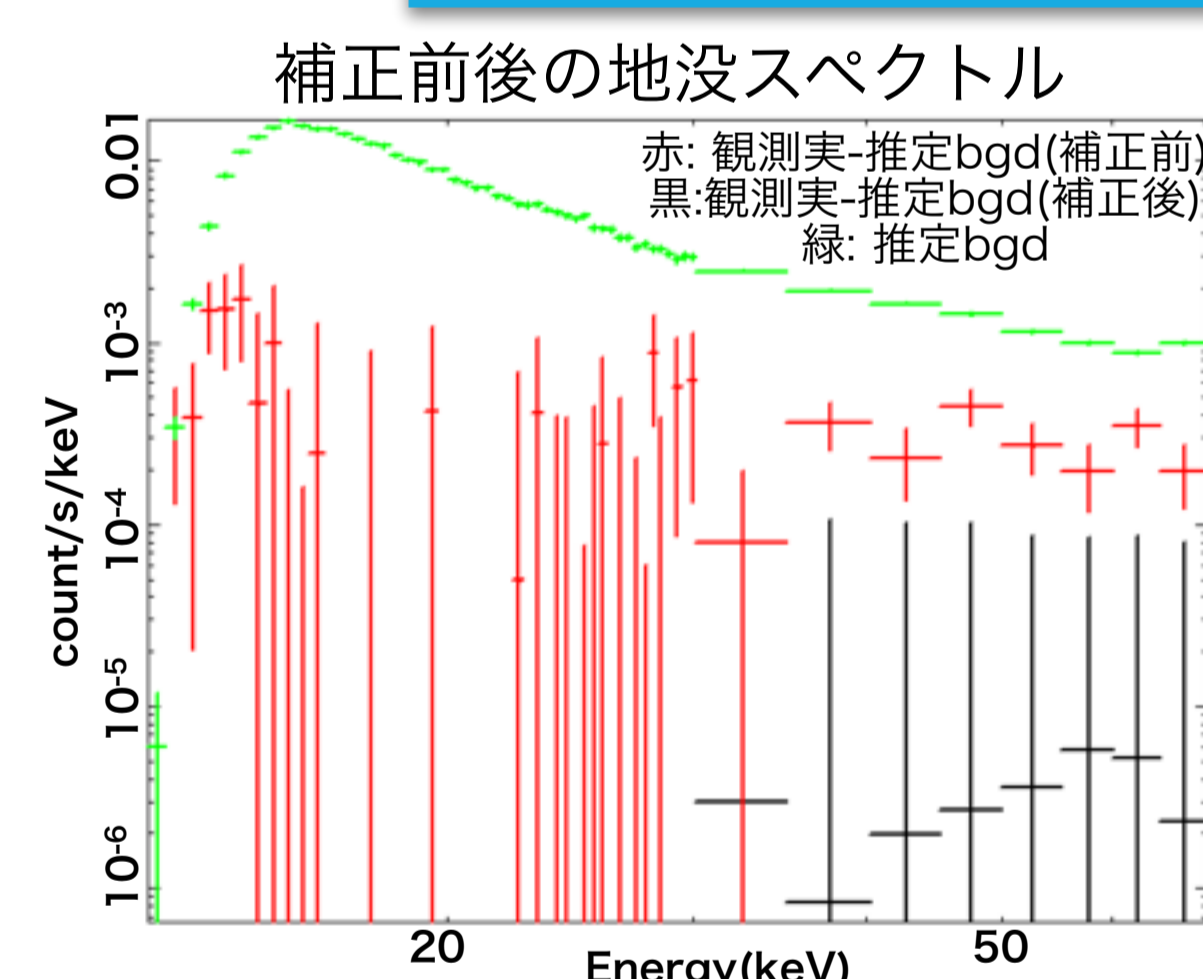
(地没実データ)-(地没推定データ)の差分で補正

50-55keVのとき	全時間の平均レート (count/sec/keV)	補正值 (count/sec/keV)
地没実データ	0.00142	0.00027
地没推定データ	0.00115	

平均で約17%低く見積もられていた



今回注目している40keV以上の高エネルギー側で、推定bgdを一定値で補正することで地没データはフラックスをほぼ0にすることができた。



GSO検出器のバックグラウンド補正

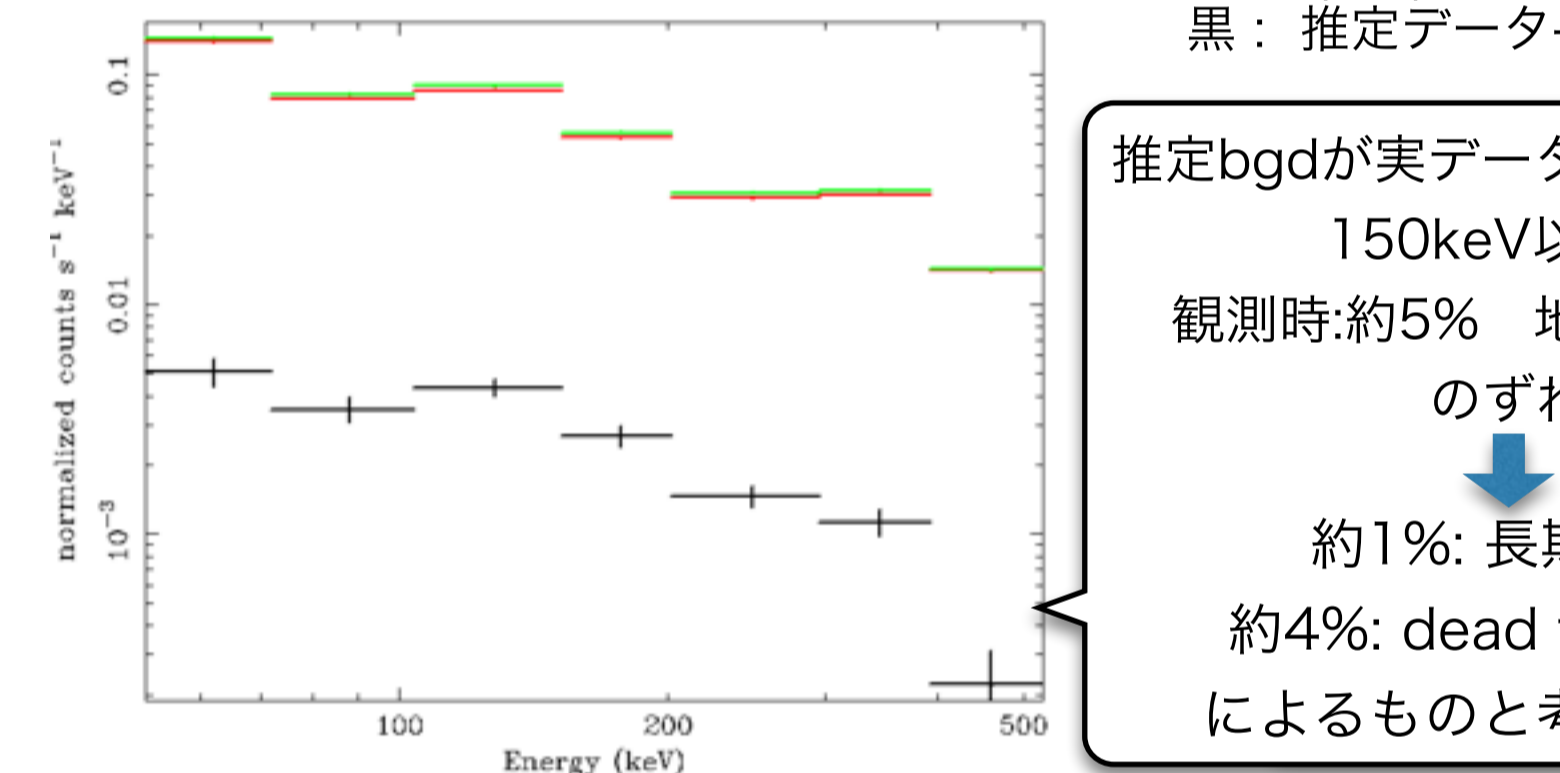
Sco X-1のようなフラックスが高い天体は、dead timeが他の天体よりも大きくなる

- 天体観測時のデッドタイム補正: 90%
 - 地没時のデッドタイム補正: 95%
- 約5%の差がある

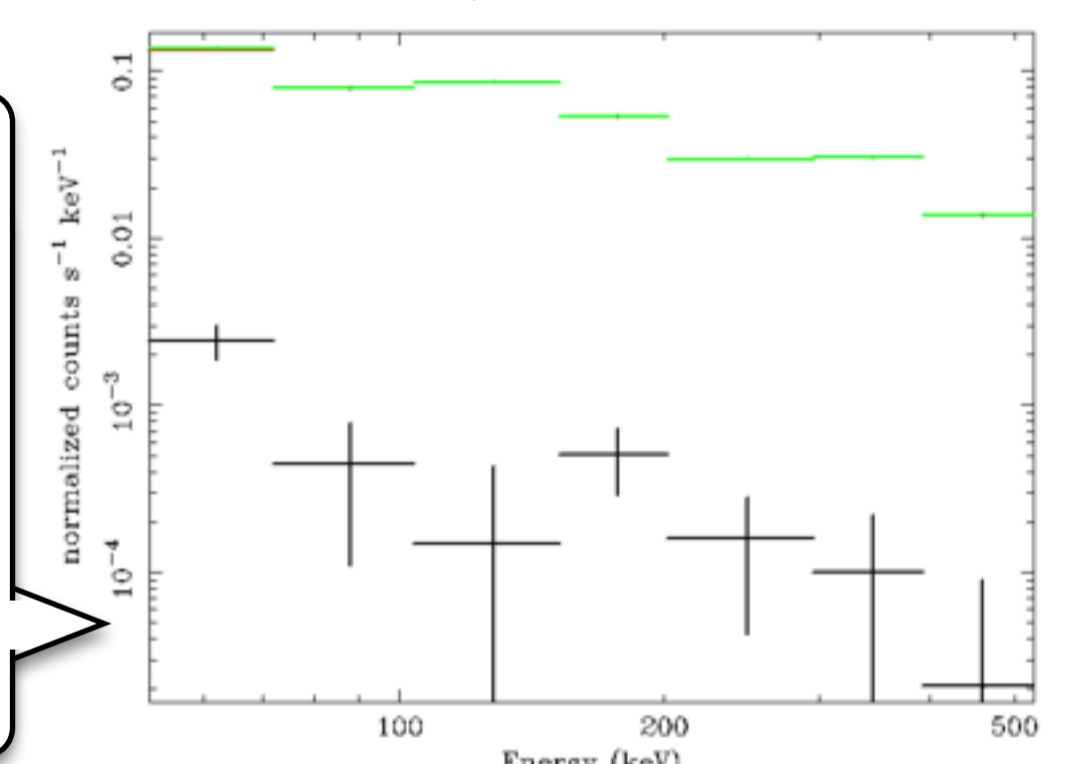
GSOでは推定bgdはdead time補正がされてない。またdead time補正の割合は、地没データと同程度であることが想定されている。そのため、今回のSco X-1のように天体観測時のdead timeが地没と5%も異なると、推定bgdをdead time補正しすぎることになってしまう。

150keV以上ではSco X-1からの信号がないとして150keV以上の観測データと推定バックグラウンドの差がなくなるように補正

観測のスペクトル

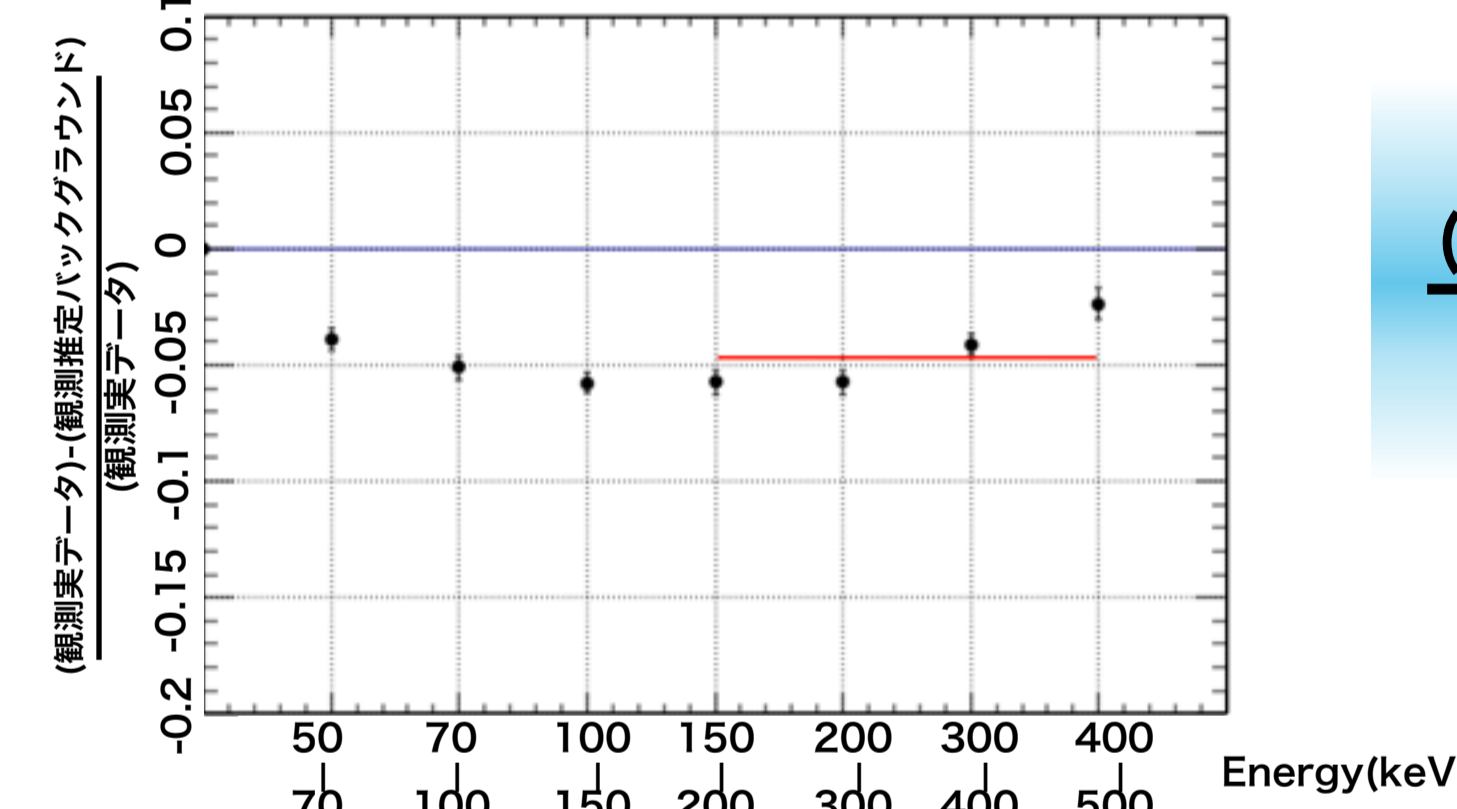


地没のスペクトル



推定bgdが実データよりも大きい
150keV以上で
観測時:約5% 地没時 約1%
のずれ
↓
約1%: 長期成分
約4%: dead time補正
によるものと考えられる

GSOの観測実データと推定bgdの差



150keV以上のエネルギーbinごとの (観測実データ)-(観測推定バックグラウンド) (観測実データ)

を平均した値を補正
-0.047 ± 0.003
→約4.7%の差が存在

PIN

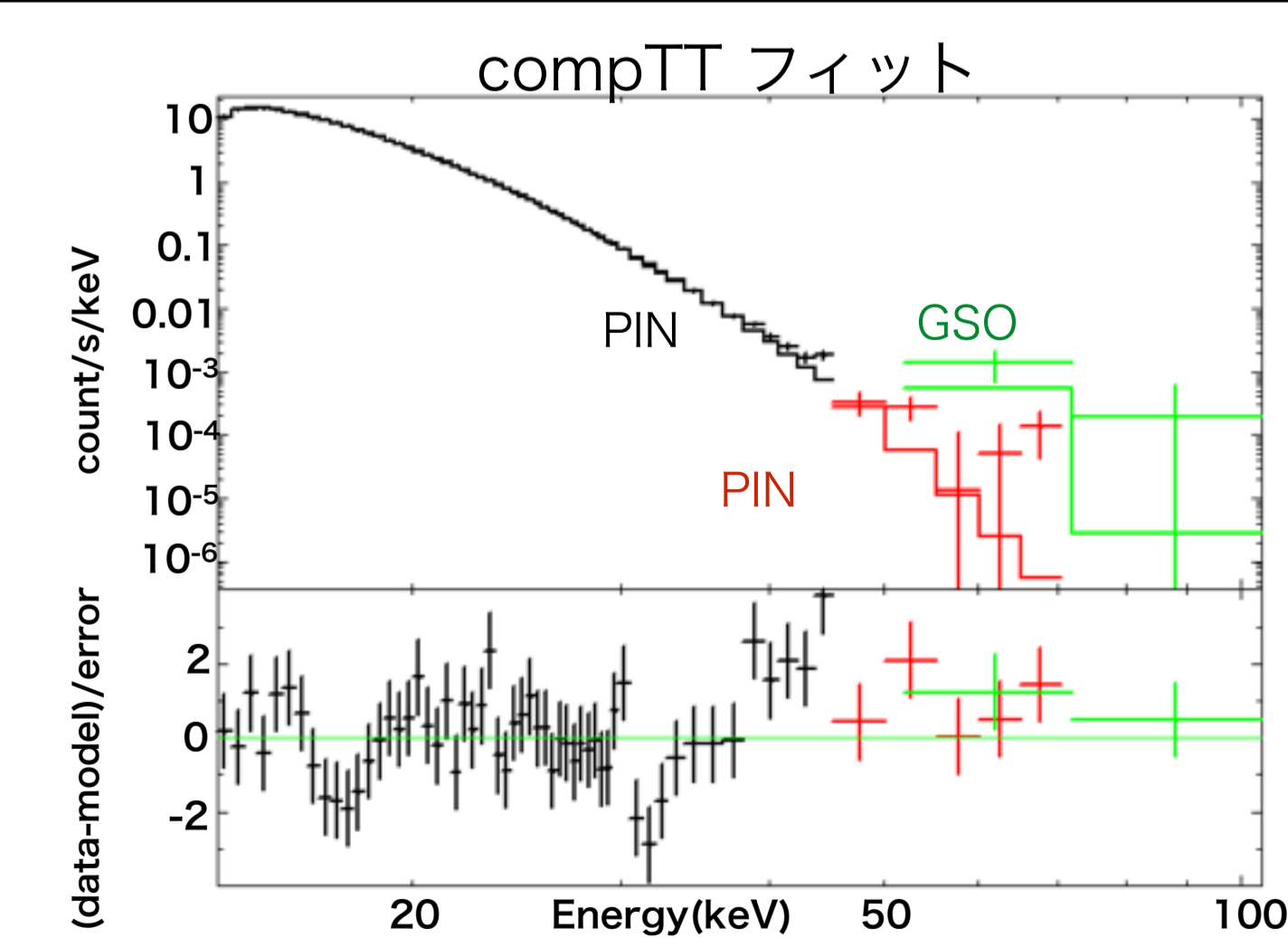
- 長期成分による一定レート補正: 約17%
- 推定bgdはすでにdead time補正済み

GSO 全補正: 約4.7%

- 長期成分による一定レート補正: 約1%
- 推定bgdのdead time補正: 約4%

スペクトルフィット

~PIN, GSO検出器の全時間平均スペクトル~



モデル	値	
compTT	To	1.90 ^{+0.05} _{-0.05}
	kT	3.61 ^{+0.18} _{-0.14}
	taup	2.54 ^{+0.27} _{-0.28}
	Flux (10 ⁻⁹ ergs/cm ² /s)	3.461 ^{+0.002} _{-0.002}
χ ² /dof	1.61 (dof59)	

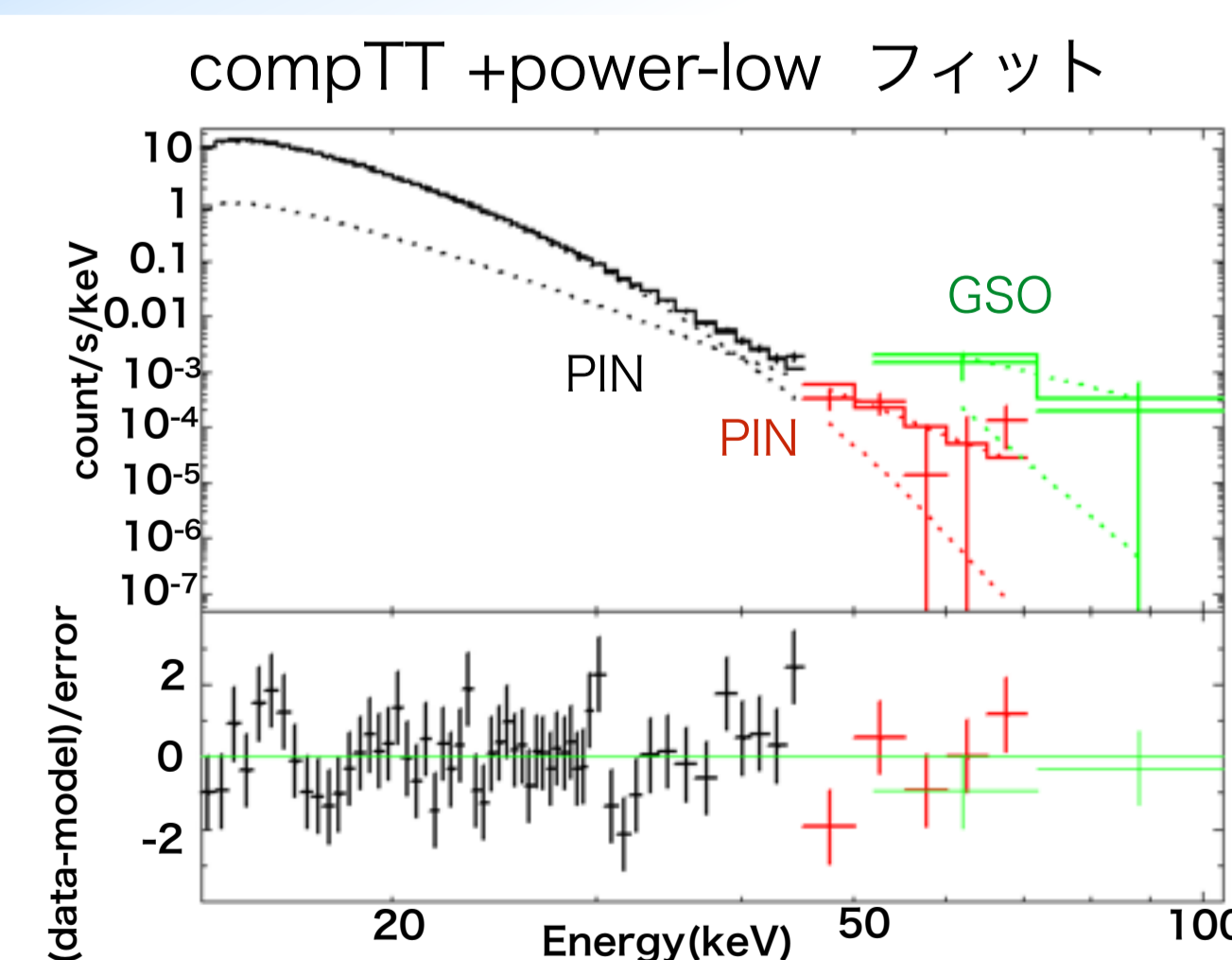
power-lowモデル

$A(E) = KE^{-\Gamma}$
K: 単位時間・面積・エネルギーあたりの放射光子量の無次元量
高エネルギー側のハードテールを表す

compTTモデル

電子温度kTの高温プラズマ中のソフト光子Toが逆コンプトン散乱されるモデル

systematic err 0.5%



モデル	値	
compTT	To	1.70 ^{+0.19} _{-0.13}
	kT	2.96 ^{+0.18} _{-0.14}
	taup	4.09 ^{+0.004} _{-0.58}
power-low	Flux (10 ⁻⁹ ergs/cm ² /s)	3.46 ^{+0.004} _{-0.001}
	PhoIndex	4.88 ^{+0.76} _{-1.23}
	Flux(20-200) (10 ⁻¹⁰ ergs/cm ² /s)	4.01 ^{+2.29} _{-1.98}
χ ² /dof	1.07 (dof57)	

compTTにpower-lowを加えた方がχ²/dofが1に近い値をとる。

単一の熱的コンプトン成分を卓越したハードテールが存在!?

まとめ・考察

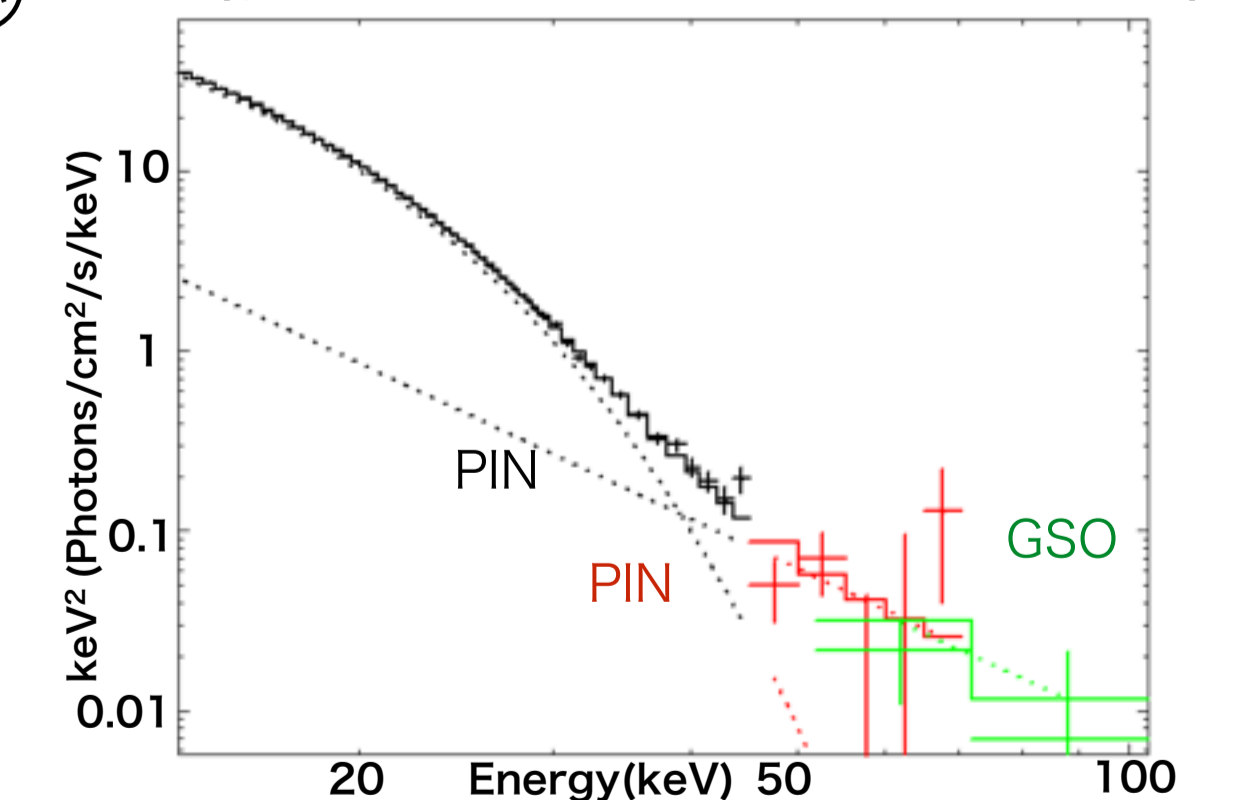
「すざく」で行われたSco X-1の観測は、観測時期前後で約1週間しか観測が行われなかったために、推定バックグラウンドの長期成分の見積もりが本来より悪い。

- PIN検出器では、約17%低い
- GSO検出器では、約4.7% 高い

compTT → compTT + power-low
χ²/dof = 1.61 → 1.07

50keV以上の高エネルギー側でハードテールが存在している可能性が高い

天体からの信号 (検出器の応答を解いたスペクトル)



先行研究との比較

モデル	値	
compTT	kT	4.28 - 4.83
	Flux (10 ⁻⁹ ergs/cm ² /s)	4.07 - 9.63
	PhoIndex	-0.71 - 2.37
power-low	Flux(20-200) (10 ⁻¹⁰ ergs/cm ² /s)	6.30 - 15.6
	χ ² /dof	1.06 - 1.80

INTEGRAL 衛星 (Di Salvo et al. 2006)

モデル	値	
compTT	kTo	1.6 (frozen)
	kT	3.31 ^{+0.02} _{-0.04}
	taup	5.70 ^{+0.10} _{-0.05}
power-low	PhoIndex	3.12 ^{+0.07} _{-0.07}
	Flux(20-200) (10 ⁻¹⁰ ergs/cm ² /s)	6.27 ^{+0.08} _{-0.35}
χ ² /dof	1.31 (dof11)	

「すざく」の観測データは、INTEGRAL 衛星の誤差の範囲内でおおよそ一致したが、RXTE衛星で観測されたほど硬な硬テールは観測されなかった。

今後はライトカーブで調べた状態遷移に応じて、各状態でハードテールの有無を調べる。