

The Bullet Clusterにおける硬X線放射の起源

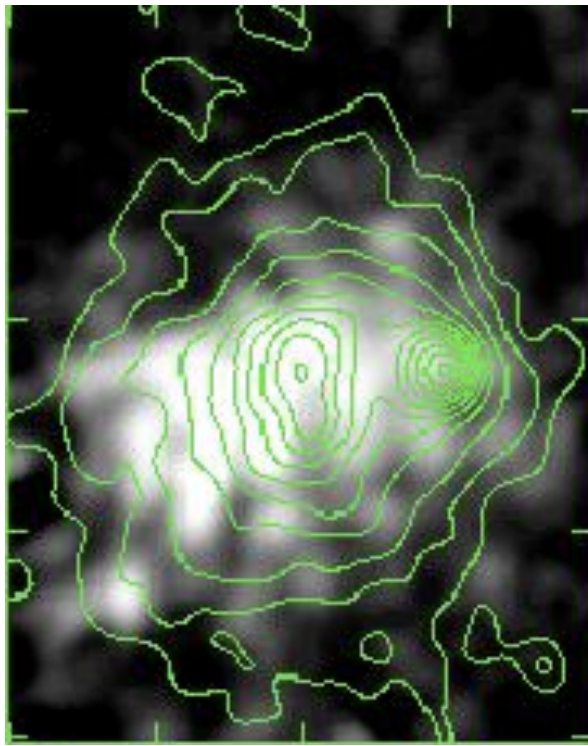
永吉 賢一郎 (ISAS/JAXA), 太田 直美 (奈良女子大学), 松下 恭子 (東京理科大学), 満田 和久 (ISAS/JAXA)

The Bullet ClusterではRXTEやSwiftによる観測で非熱的硬X線放射が報告されている(Petrosian et al. 2006, Ajello et al. 2010)。しかし、硬X線フラックスの不定性は大きく、スペクトルモデルは1温度+非熱的放射と単純なものに限られる。銀河団衝突は複雑な現象であり、硬X線放射の解釈には熱的放射モデルやバックグラウンドの慎重な取り扱いが必要である。我々は今回、硬X線領域で最高の感度を誇るすざくと、高角度分解能かつ豊富なデータを持つChandraを用いて多温度モデル解析を行い、硬X線放射は高温の熱的放射で説明できることを示した。

Introduction

The Bullet Cluster($z=0.296$)は最も有名な衝突銀河団である。衝突銀河団ではショックや乱流による**ガス加熱**や**粒子加速**が起きていると考えられる。実際に電波領域の観測では銀河団全体に広がる非常に強いシンクロtron電波ハローが検出されており(Liang et al. 2000)、加速された高エネルギー粒子の存在は確かなものとなっている。

高エネルギー粒子はCMB光子と相互作用し、逆コンプトン散乱により非熱的な硬X線を放射すると考えられる。The Bullet ClusterではRXTEやSwiftによる観測で非熱的硬X線放射が報告されている(Petrosian et al. 2006, Ajello et al. 2010)が硬X線の不定性は大きく、仮定しているモデルも1温度+非熱的放射と単純なものである。また、別の衝突銀河団であるRXJ1347の硬X線は、SuzakuとChandraを用いた詳細な解析により $\sim 25\text{keV}$ という非常に熱いガスの熱的放射で説明できることが分かった(Ota et al. 2008)。



Liang et al. 2000

コントア: X線
グレイ: 電波

Motivation

- 衝突におけるガス加熱や粒子加速機構、さらには銀河団に存在するMpcスケールの強力な磁場がどのように形成されたかを理解する。その手がかりとして
 - 硬X線領域で最高の感度を持つすざく衛星を用いて、**The Bullet Cluster**の硬X線の起源や放射過程を理解する必要がある。

解析手法

すざく衛星のXISおよびHXDを用いた。観測は2006.12.26, HXD nominalで行われ、観測時間はXIS 100 ksec, HXD 80 ksecである。熱的モデルと非熱的モデルを仮定して解析した。多温度モデルはChandraの ~ 500 ksecという豊富なデータを用いて構築した。このモデルとすざくHXDを組み合わせて、より詳しく硬X線を調べた。

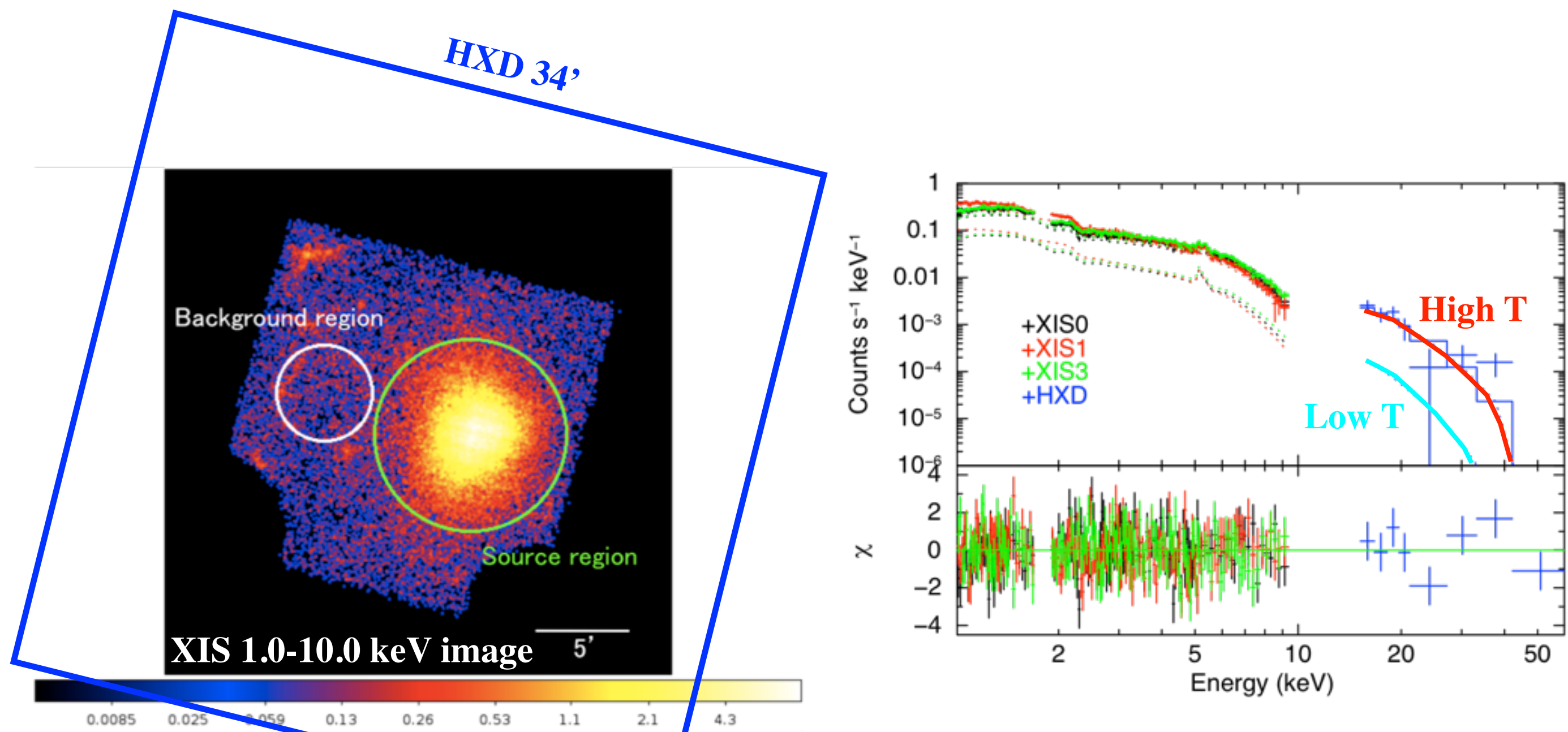
HXDによる硬X線検出

HXDデータの90%程度はNXB(Non X-ray Background)である。NXB系統誤差2%を考慮すると、14-25 keVにおいて有意に硬X線を検出していることが分かった。

Flux(14-25 keV) = 3.30 ± 0.40 (± 1.12) $\times 10^{-12} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ **2.9 σ**
Flux(14-40 keV) = 4.01 ± 0.79 (± 2.56) $\times 10^{-12} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ **1.6 σ**



XIS+HXDによる広帯域スペクトル解析



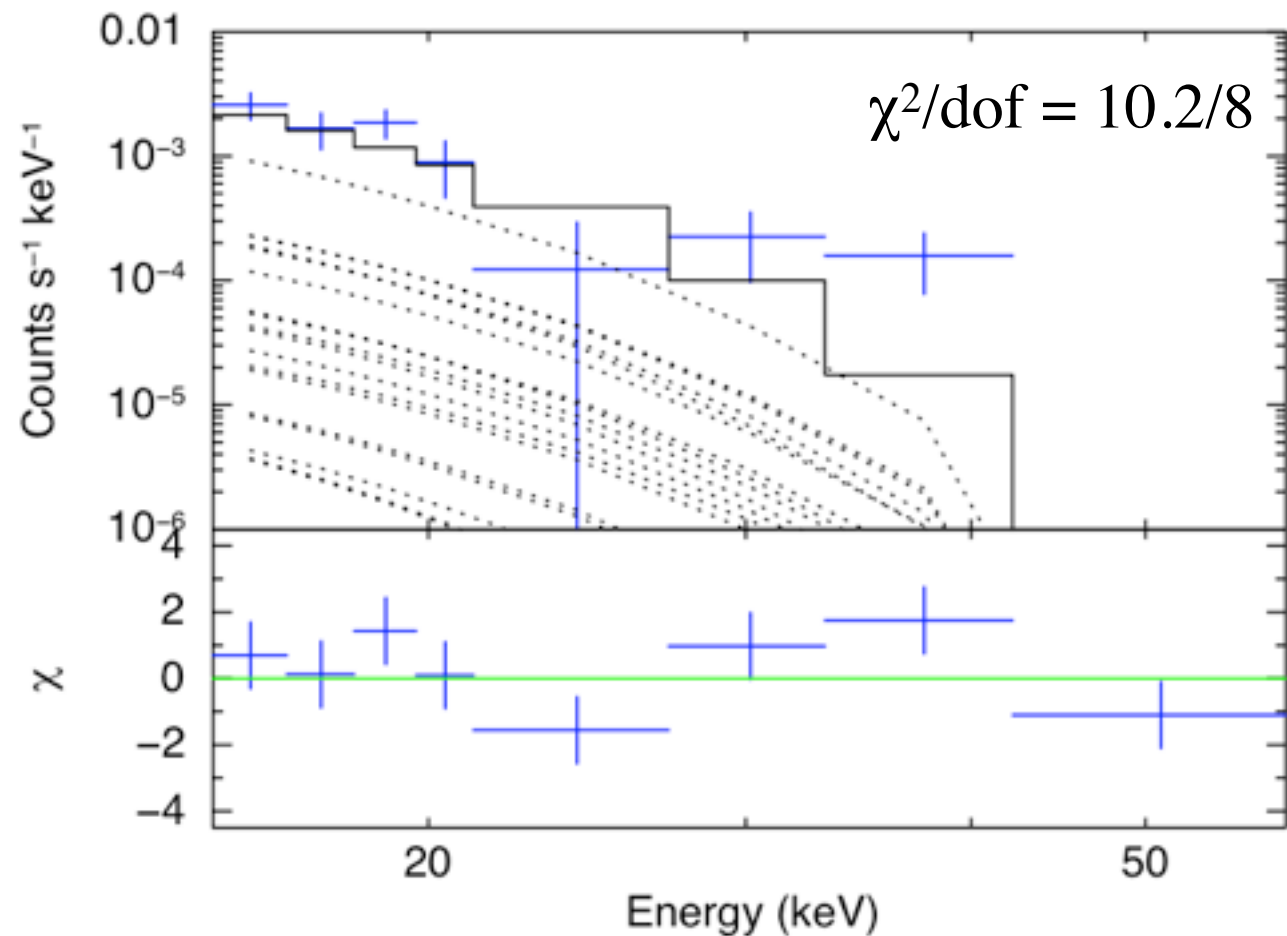
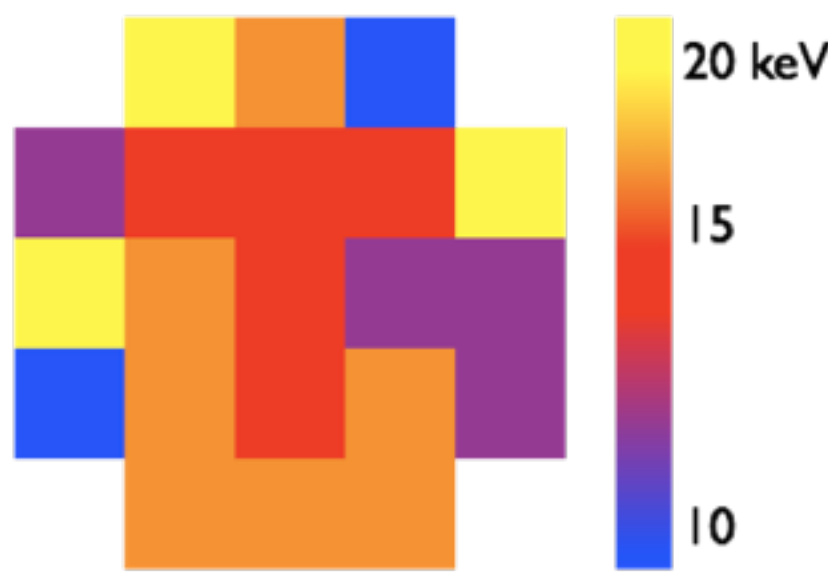
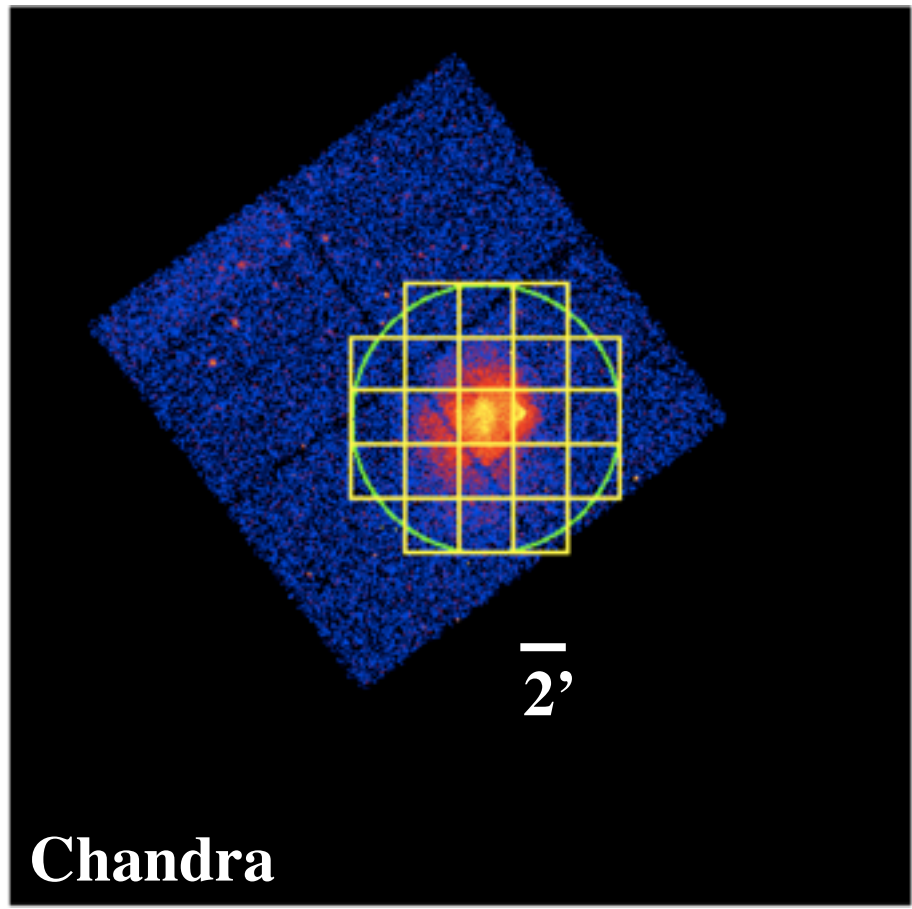
model	kT1 [keV]	kT2 [keV] or Γ	Z [solar]	χ^2/dof
APEC	$13.3^{+0.4}_{-0.4}$		$0.27^{+0.04}_{-0.04}$	450.3/434
APEC+APEC	$7.2^{+4.3}_{-2.8}$	17^{+5}_{-2}	$0.28^{+0.04}_{-0.04}$	441.9/432
APEC+PL	$12.6^{+1.5}_{-1.2}$	< 1.7	$0.26^{+0.05}_{-0.06}$	447.2/432

スペクトルは $\sim 13\text{keV}$ の一温度モデルでよくフィットできる。2温度モデルではフィットは有意に改善し、 $\sim 17\text{keV}$ の高温成分と $\sim 7\text{keV}$ の低温成分を得た。

1温度+非熱的放射モデルではフィットは改善しなかった。高温の熱的成分が硬X線をよく説明しているように見える。

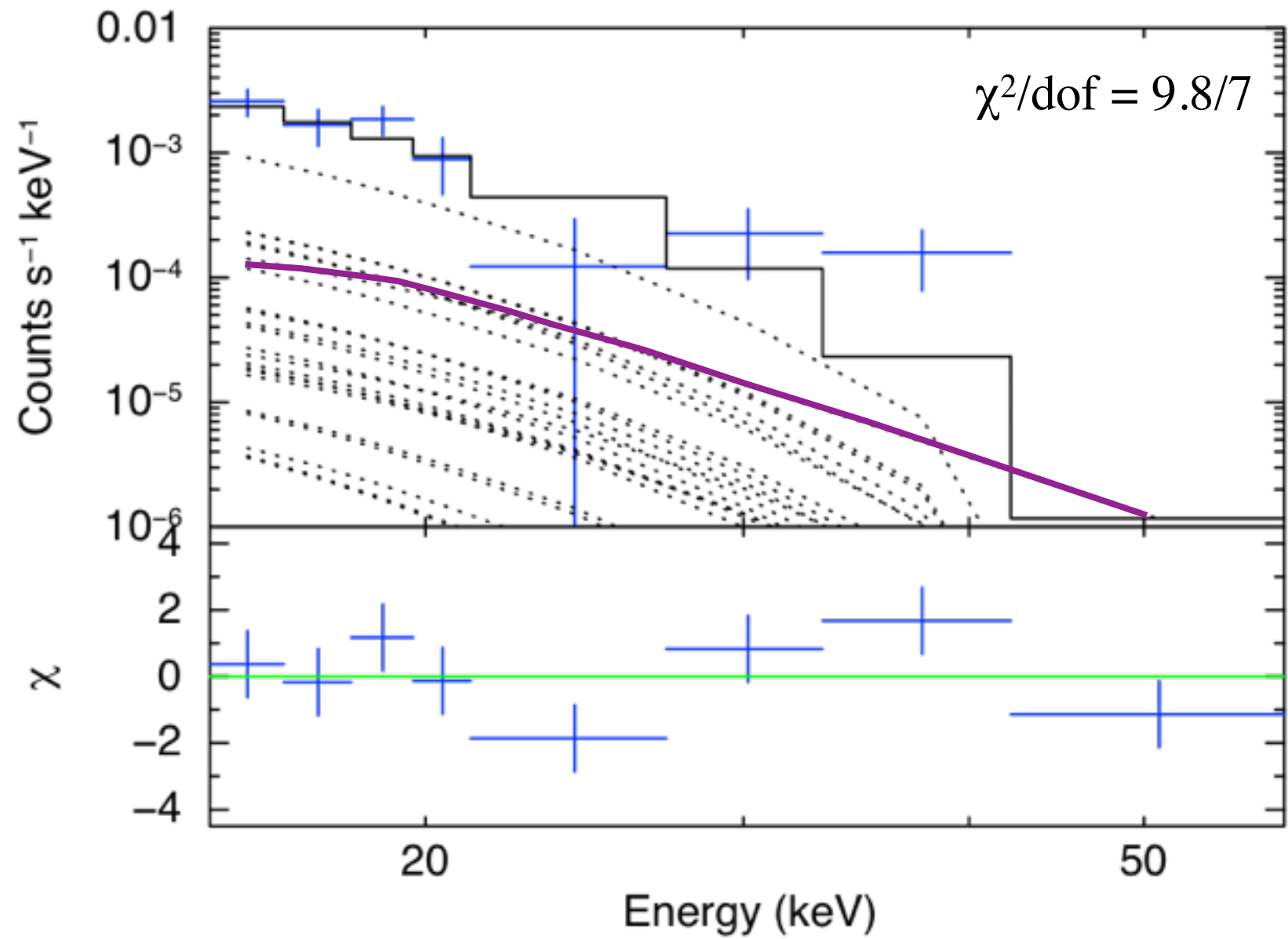
Chandraを用いた多温度モデルの構築

すざくのスペクトルは2温度モデルでよく再現できたが、衝突銀河団のガスはショックや乱流によりもっと複雑な温度構造を持つと思われる。そこでChandraの ~ 500 ksecという豊富なデータを用いて、多温度モデルを構築した。



Chandraを用いて構築した多温度モデルはすざくのHXDスペクトルをよく再現する。

すざく + Chandraによる非熱的放射への制限



多温度モデルに非熱的放射モデルを加えてスペクトルフィットした。非熱的放射のベキは電波領域の観測と同じ $\Gamma=2.2$ に固定した。フィットは多温度モデルのみと比べて改善しなかった。非熱的放射のフラックス上限値が求まり

$$F_{\text{NT}} < 9.4 \times 10^{-12} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$$

という値を得た。

Discussion

非熱的放射のフラックスを比較する

	model	Γ	$F_{\text{NT}} [\times 10^{-12} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}]$
XMM+RXTE	APEC+PL	$1.6^{+0.2}_{-0.2}$	5^{+3}_{-3}
XMM+Swift	APEC+APEC+PL	$1.86^{+1.25}_{-0.14}$	$3.4^{+1.1}_{-1.0}$
Suzaku XIS+HXD	APEC+PL	< 1.7	< 18
Suzaku HXD	Multi-T+PL	2.2(fix)	< 9.4

今回のすざく衛星を用いた解析は他の衛星と矛盾しない。しかし、2温度と多温度の解析から非熱的成分は積極的に入れる必要はなく、硬X線は $\sim 17\text{keV}$ の高温熱的成分でよく説明できる。また高温熱的成分の硬X線フラックスは、他の衛星で求められた非熱的成分の硬X線フラックスを十分説明できるものであった。最後にフラックスの上限値と $L_{\text{IC}}/L_{\text{syn}} = U_{\text{CMB}}/U_{\text{B}}$ の関係から、磁場の下限値を

$$B > 0.059 \mu\text{G}$$

と見積もることができる。

Summary

- The Bullet Cluster**からHXDを用いて有意な硬X線放射を検出した。
- 広帯域スペクトルは2温度モデルでよくフィットでき、非熱的放射は顕著には見られなかった。
- 多温度モデルはHXDの硬X線スペクトルを良く説明し、非熱的モデルを加えてもフィットは改善しなかった。また、他の衛星で報告されている非熱的放射のフラックスは高温熱的成分で十分説明できる量である。以上より**The Bullet Cluster**の硬X線放射は高温の熱的成分が卓越していると考えられる。
- 非熱的放射の上限値は $F_{\text{NT}} < 9.4 \times 10^{-12} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ であり、これから磁場は **$B > 0.059 \mu\text{G}$** と見積もられる。

参考文献

Ajello et al. 2010, 725, 1688
Liang et al. 2000, ApJ, 544, 686
Markevitch et al. 2002, ApJ, 567, L27
Markevitch et al. 2004, ApJ, 606, 819
Ota et al. 2008, A&A, 491, 363
Petrosian et al. 2006, ApJ, 652, 948
Suzaku memo 2007, 2008