

Abell 3395 と Abell 3391 の連結領域のX線観測

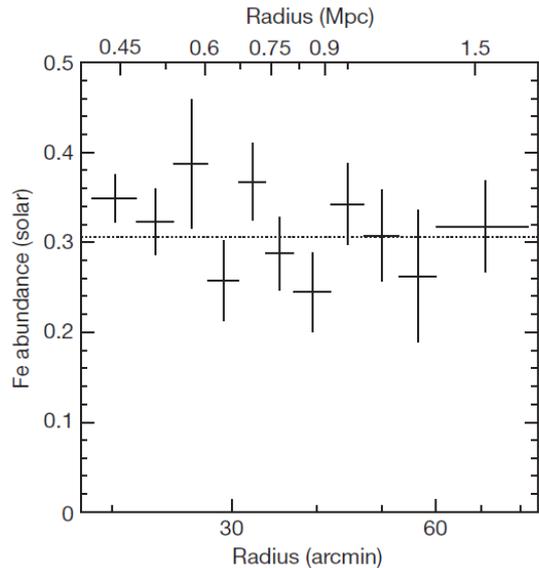
滝沢元和、菅原悠宇紀、板花まどか(山形大)、
赤松弘規(SRON)、藤田裕(大阪大)、
大橋隆哉、石崎欣尚(首都大)

Sugawara, Takizawa et al. (2017)
arXiv:1708.09074, PASJ accepted

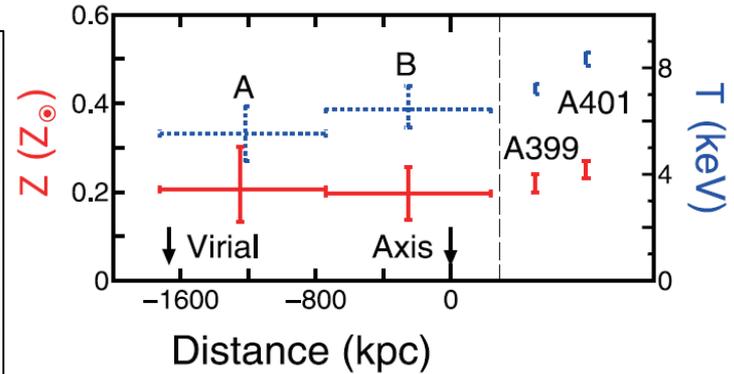
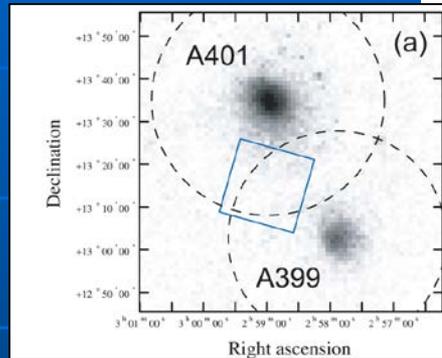
日本天文学会秋季年会
2017年9月11日(月)@北海道大学

銀河団外縁部の重元素量

Perseus座銀河団の
アバダンス分布
Werner et al. (2013)



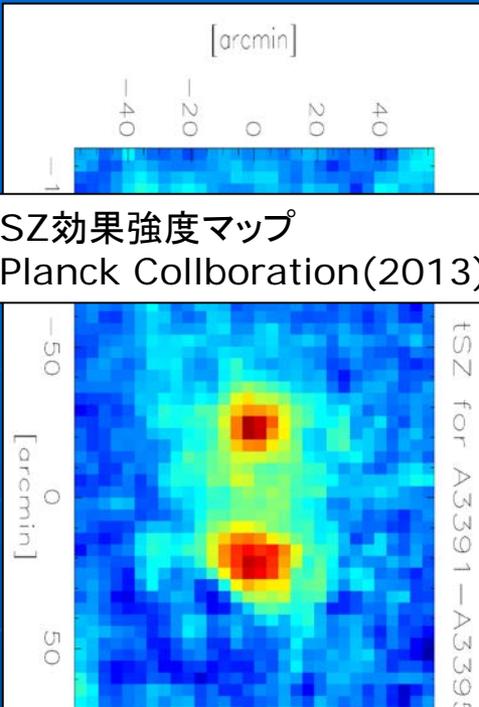
A399&A401
Fujita et al. (2008)
新しいアバダンステーブルでZ~0.3相当



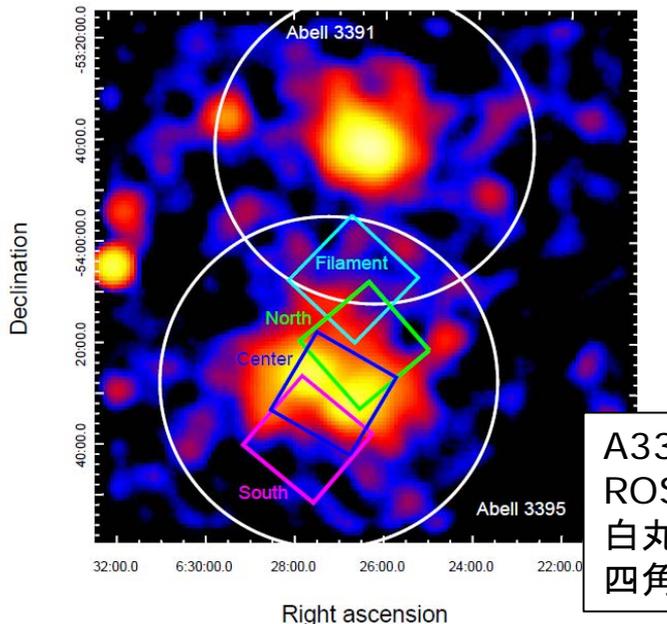
- 銀河団外縁部の重元素量は銀河からの重元素輸送過程や輸送時期の情報を含んでいる。
- 外縁部は暗いのでヴィリアル半径付近の重元素量の観測例は限られている (A401&A399、Perseus, Virgo)が、いずれも $Z \sim 0.3$ solar と高めの値。
- 銀河団形成前の超新星やAGN等によるoutflow起源を示唆 (early enrichment scenario)。
- 普遍的な傾向なのかを知るためもっとサンプルを増やしたい。

Abell 3395 & Abell 3391

SZ効果強度マップ
Planck Collaboration(2013)

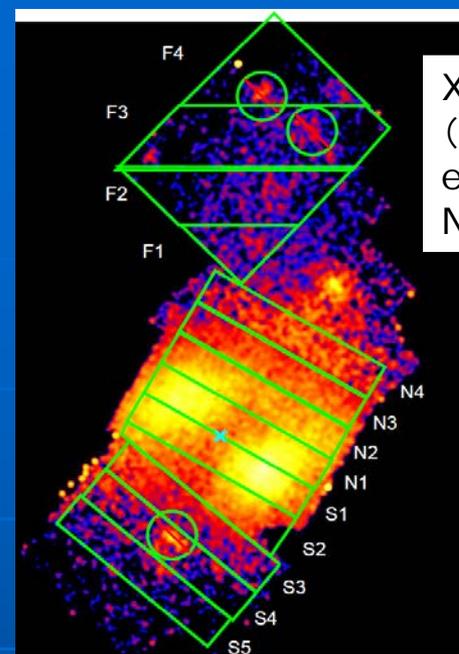
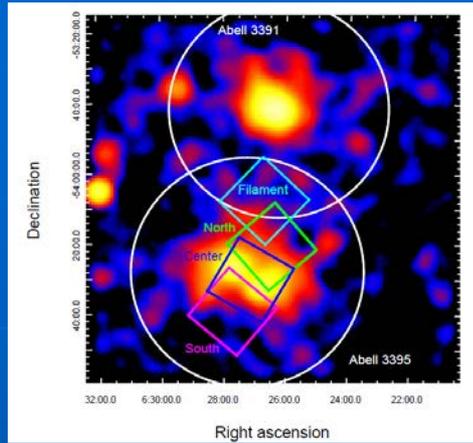


- お互いのvirial半径が重なっている銀河団ペア。pre-merger?
- 連結領域で高温ガスの観測例
 - ROSATとASCAによるDiffuse X-ray emission 検出
(Tittley & Henriksen 2001)。
 - SZ効果検出
(Planck Collaboration 2013)
- 両銀河団の相互作用のため外縁部のわりには明るめで重元素観測に適している(A399&A401と同様)。



A3395&3391
ROSAT image
白丸はヴィリアル半径
四角はすざくのXISの視野

すざく による観測

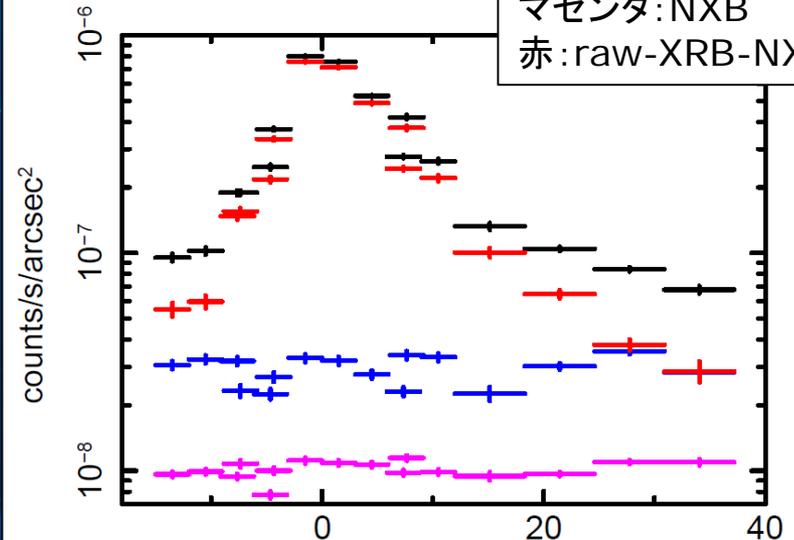


XIS3 image
(0.5-8.0keV)
exposure と
NXBの補正済み

Name (Obs.ID)	(RA, Dec)	Observation Date	Exposure (ksec)*
Filament (809033010)	(96°691, -54°123)	2014/5/14-15	71.8
North (807031010)	(96°614, -54°349)	2013/2/6-7	33.5
Center (803020010)	(96°784, -54°507)	2008/12/15-17	81.2
South (807032010)	(96°927, -54°657)	2013/2/16-17	39.3
Background (804089010)	(101°409, -54°203)	2009/5/20-23	87.8

- 連結領域+Abell 3395 本体のアーカイブデータ
- X-ray BGDはA3404外縁部のアーカイブデータで評価(2.5秒角オフセット)
- 目視でわかる点源
($\sim 3 \times 10^{-13} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$)を除去
- 最も暗い領域(連結領域)でもX-ray BGDと同程度のICM放射を検出。

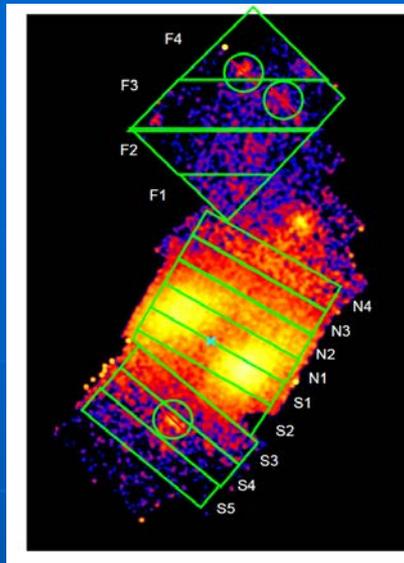
南北方向の表面輝度分布



黒:raw image
青:X-ray BGD
マゼンタ:NXB
赤:raw-XRB-NXB

南 <-----> 北

温度分布

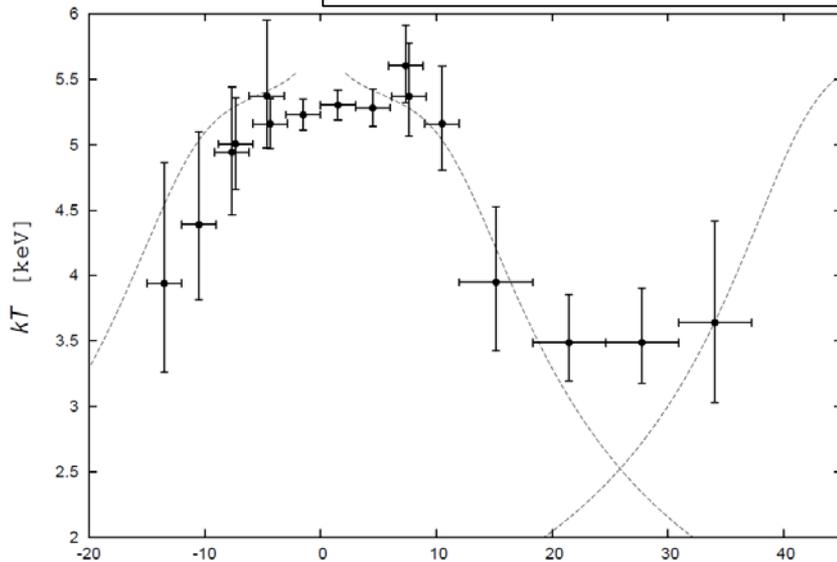


南北方向の温度分布
点線はOkabe et al. (2014)
の普遍的温度プロファイル

- A3995南側から北側(A3391との連結領域)までの温度分布
- Okabe et al. (2014)の普遍的温度プロファイルと比較
- 概ね一致するが、連結領域で高めの兆候

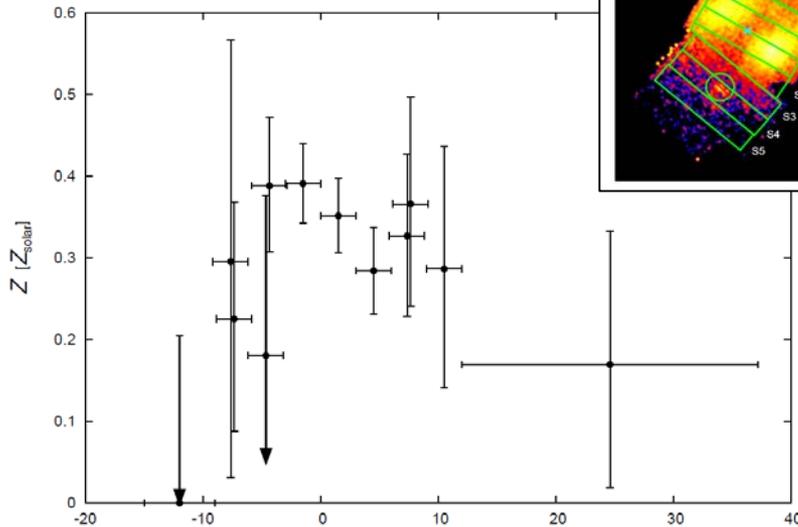
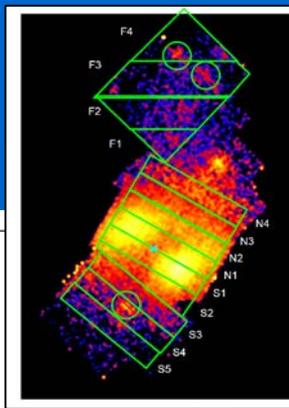
----->

mergerによる加熱か？



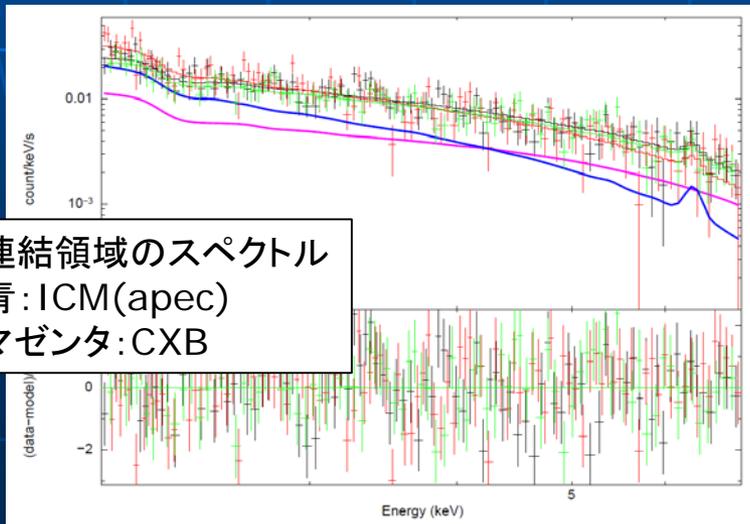
南 <-----> 北

南北方向の重元素量分布



南 <-----> 北

連結領域のスペクトル
 青: ICM(apec)
 マゼンタ: CXB



重元素量分布

- 2-7keVでスペクトルfit(Fe-Lの影響を除くため)
- 連結領域で以下の値を得た。

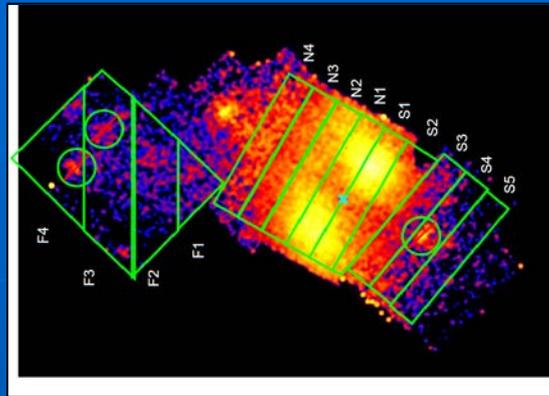
$$Z = 0.169^{+0.164+0.009+0.018}_{-0.150-0.004-0.015} \text{ solar}$$

- A399&A401, Perseusなどの結果($Z \sim 0.3$)とconsistent
- ---> Early enrichment scenarioを示唆
- ちなみに0.7-7keVでfitすると $Z < 0.120$ になってしまう。
 (Fe-Lによるバイアス、Sasaki et al. 2015, Simionescu et al. 2015)

連結領域でX線観測結果から出した y パラメータ

Compton y parameters in the filament

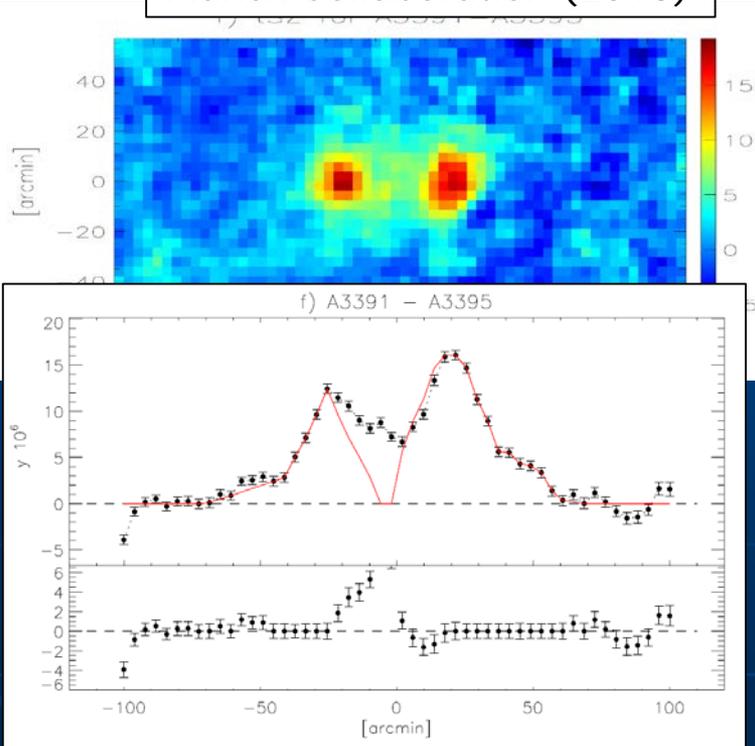
Region Number	y (10^{-6})*
F1	$4.28^{+0.67+0.54+0.12}_{-0.60-0.68-0.13}$
F2	$2.90^{+0.31+0.41+0.13}_{-0.25-0.37-0.12}$
F3	$2.74^{+0.33+0.39+0.15}_{-0.25-0.36-0.13}$
F4	$2.95^{+0.64+0.54+0.19}_{-0.51-0.58-0.22}$



SZ効果観測との比較

$$y = \int \left(\frac{kT_e}{m_e c^2} \right) n_e \sigma_T dl,$$

Planck Collaboration (2013)



- 単純な円柱 (XISの視野の対角線を高さとして直径) を仮定してX線の結果 (kT , n_e) のみでCompton y パラメータを算出 --- $\rightarrow \sim 3 \times 10^{-6}$
- Planckによる結果 ($\sim 7 \times 10^{-6}$) より明らかに小さい。
- 視線方向にのびている?
(or 視線方向に傾いている?)
- X線で温度を過小評価している?

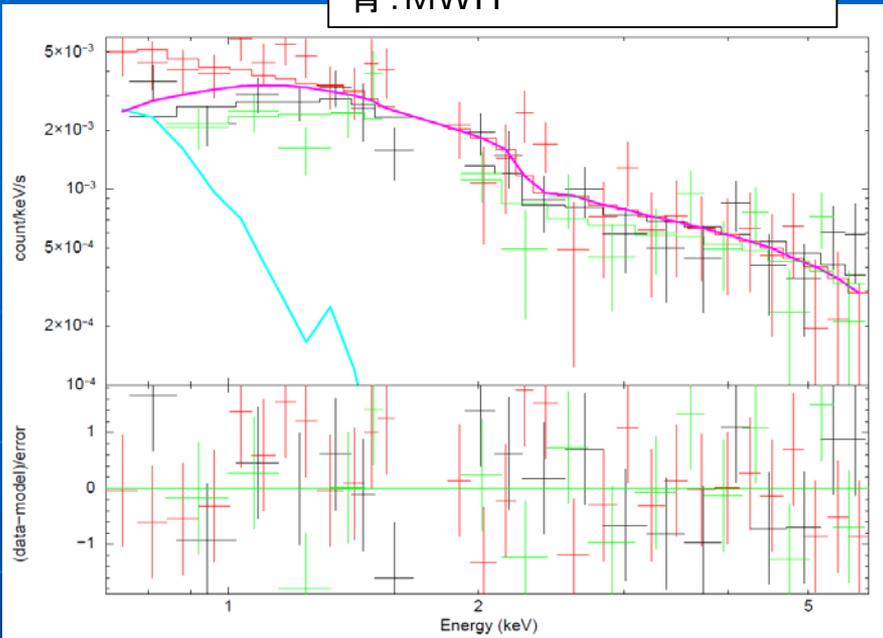
Summary

- A3391との連結領域を含むA3395周辺のすざくのデータを解析した。
- 普遍的温度プロファイル(Okabe et al. 2014)との比較から連結領域でガスの加熱の兆候を得た。
- 連結領域で $Z \sim 0.3$ と矛盾ない重元素量を得た。これは early enrichment scenarioを示唆する。
- 重元素量の測定ではFe-L付近を使わないことが結果におおきな影響を与える。
- X線の結果のみで求めたCompton y パラメータはPlanckの結果よりも小さい。視線方向に伸びた構造やX線で温度を過小評価していることが原因として考えられる。
- Sugawara, Takizawa et al. 2017
(arXiv:1708.09074, PASJ accepted)

以降予備スライド

X-ray BGDのXISスペクトル
マゼンタ: CXB
青: MWH

X-ray BGD model



Model Component	Parameter	Value
LHB	kT^*	0.08 (fixed)
	N^\dagger	$1.63_{-0.74}^{+1.78 \times 10^4} \times 10^{-5}$
MWH	kT^*	0.3 (fixed)
	N^\dagger	$5.57_{-3.70}^{+2.38} \times 10^{-4}$
CXB	Γ^\ddagger	1.4 (fixed)
	N^\S	$8.79_{-0.72}^{+0.72} \times 10^{-4}$
$\chi^2/d.o.f$		53.08/62

- X-ray BGDはA3404外縁部のアーカイブデータで評価 (2.5秒角オフセット)
- Local Hot Bubble, 銀河系円盤の吸収、銀河系ハロー高温ガス、CXBを考慮した以下のようなモデル

$$\text{apec}_{\text{LHB}} + \text{wabs} \times (\text{apec}_{\text{MWH}} + \text{powerlaw}_{\text{CXB}})$$

スペクトル解析

$$\text{const} \times \{ \text{apec}_{\text{LHB}} + \text{wabs} \times (\text{apec}_{\text{MWH}} + \text{powerlaw}_{\text{CXB}} + \text{apec}_{\text{ICM}}) \}$$

- スペクトル解析に使用したのは上記モデル。
- ICM成分以外はX-ray BGDの解析で決めたパラメータで固定。
- CXBの系統誤差はShafer(1983)より

$$\frac{\sigma_{\text{CXB}}}{I_{\text{CXB}}} = 2.8\% \left(\frac{\Omega_e}{15.8 \text{ deg}^2} \right)^{-0.5} \left(\frac{S_c}{8 \times 10^{-11} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}} \right)^{0.25}$$

ただし、点源の解析結果を考慮して

$S_c = 1 \times 10^{-13} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ とした。

- NXBの系統誤差は90%信頼度で4.9%(Tawa et al. 2008)

y パラメーターの食い違いについて (幾何学的要因など)

- apecのnormalization N は奥行きを L と仮定して
 $N \propto n_e^2 L$
- Compton y パラメーターは $y \propto n_e L$
- よって、 N を固定すると $y \sim L^{1/2}$
- 仮定した L が実際の L よりも小さいと y を過小評価してしまう。
- 今回の食い違いの原因がこれだけだとすると、奥行きを天球面内の構造と比べて5倍程度長くとらないといけない。
- あるいは衝突軸が視線方向と10度程度しか傾いていないとしても同様な状況になる。
- ちょっとこれだけで説明するのは難しいか？(X線で温度を過小評価しているなど別の要因も必要)

point sources

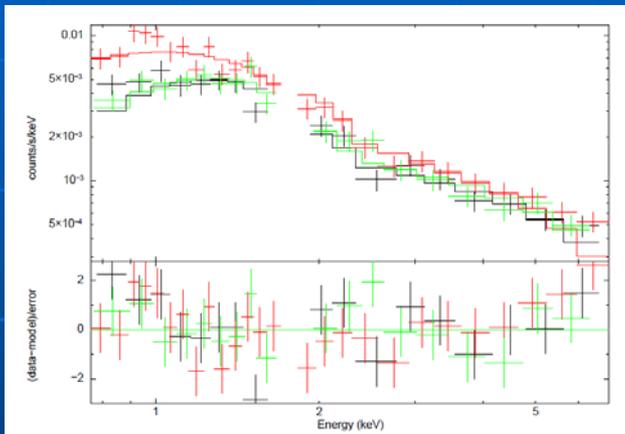
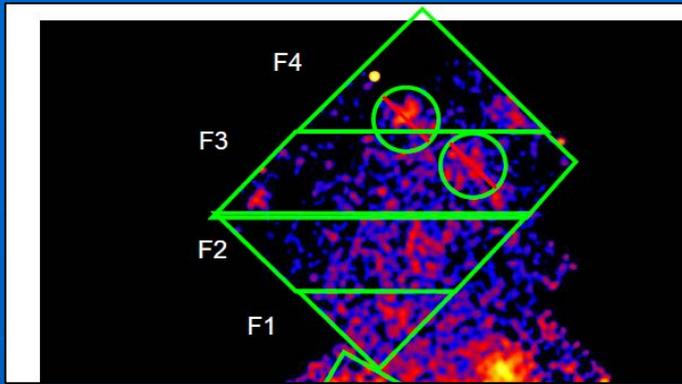


Table 7. Fitting results of the point source A spectra with the power-law model

model component	parameter	value
powerlaw	Γ^*	$1.67^{+0.06}_{-0.06}$
	N^\dagger	$7.49^{+0.48}_{-0.47} \times 10^{-5}$
$\chi^2/d.o.f$		70.23/57

Flux of the point source A for each XIS sensor

sensor	flux ($\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}$)
XIS0	$2.52^{+0.16}_{-0.29} \times 10^{-13}$
XIS1	$3.19^{+0.24}_{-0.17} \times 10^{-13}$
XIS3	$2.20^{+0.06}_{-0.15} \times 10^{-13}$

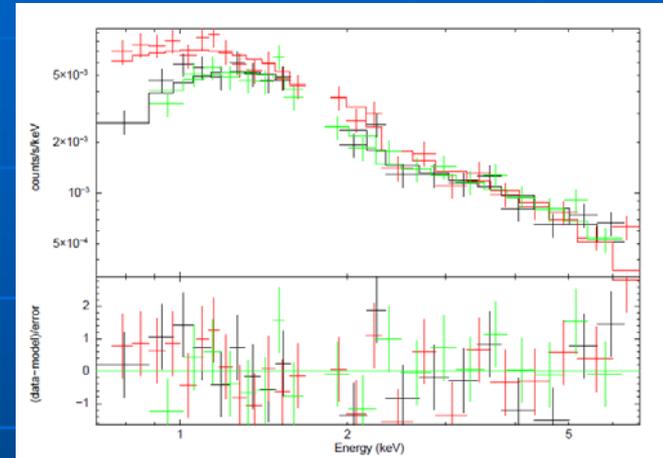


Table 9. Fitting results of the point source B spectra with the power-law model

model component	parameter	value
powerlaw	Γ^*	$1.58^{+0.06}_{-0.06}$
	N^\dagger	$5.81^{+0.39}_{-0.38} \times 10^{-5}$
$\chi^2/d.o.f$		55.12/59

Flux of the point source B for each XIS sensor

sensor	flux ($\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}$)
XIS0	$2.48^{+0.28}_{-0.11} \times 10^{-13}$
XIS1	$2.83^{+0.14}_{-0.11} \times 10^{-13}$
XIS3	$2.41^{+0.14}_{-0.08} \times 10^{-13}$