

X 線天文衛星 XMM-Newton を用いた近接銀河団 RXC J0751.3+1730,SDSS 117.7+17.7+0.19 の観測

小林 洋明 (名古屋大学大学院 理学研究科)

Abstract

銀河団は宇宙の階層構造の中で、重力的に緩和した最大のシステムである。そのため、衝突銀河団システムを観測し、その衝突現象を理解することは宇宙の力学進化史の解明にもつながる。また、銀河団中のバリオンの多くは X 線を放出する高温ガスであるため、X 線を用いた観測は銀河団を検出・詳細解析をする上で有用な方法と考えられる。そこで、我々は新たな衝突銀河団システムを探すため、X 線 (ROSAT) により 2 個、可視光 (SDSS) により 1 個の計 3 個の銀河団が近接していると示唆されている領域を選定した。その領域を広視野 (直径 $\sim 30'$) かつ高角度分解能 ($\sim 15''$) の X 線天文衛星 XMM-Newton を用いて初のポイントイング観測を行い、新たな衝突銀河団システムの検出を試みた。

その結果、上記 3 ヶ所の銀河団領域から X 線放射を検出した。さらに、新たに 1 領域から広がった X 線放射を検出した。解析の結果、これまで X 線で銀河団と同定されていた天体のうち 1 つが QSO であることを初めて明らかにし、X 線で同定されていたもうひとつの銀河団に関しては初めて温度等の物理量を定量的に求めた。さらに、可視光で銀河団と同定されていた天体が存在する領域に関してはこれまでの X 線観測では広がった天体は検出されておらず、本研究で初めて付随する高温ガスの存在を明らかにし定量的に物理量を求めた。

1 Introduction

銀河団は、宇宙の力学進化の構造形成の中間的存在であり、宇宙で最も大きな重力的に束縛された系である。その質量内訳として大部分をダークマターが占めており (85 %)、次いで銀河団ガスと呼ばれる高温ガス (13 %)、そして星 (2 %) となっている。括弧内の数字は銀河団の重力質量の割合を表している [1]。現在観測可能なバリオンの多くは銀河団ガスである。銀河団ガスは銀河団の中心に落ちる際に重力エネルギーを開放し加熱される。その時の温度が数千万 K となるため、X 線による観測が有用となる。

銀河団は銀河群同士の衝突・合体の繰り返しによって形成され、その後も互いの重力で引き付け合い衝突を繰り返しながら成長をしていく。

銀河団は成長するに従って、X 線光度とガスの温度が共に上昇していく傾向があることが知られており、図 1 は銀河団 (黒色)、銀河群 (水色)、楕円銀河 (青色) の温度と X 線光度を表す [2, 3, 4, 5]。

図 1 より、楕円銀河から銀河群・銀河団に至るま

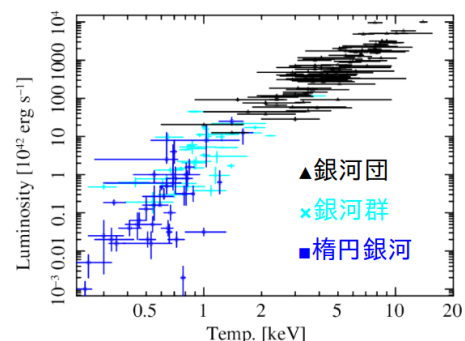


図 1: 天体の温度と X 線光度の相関図

縦軸に X 線光度 ($10^{42} \text{ erg s}^{-1}$)、横軸にガスの温度 (keV) を表す。

黒：銀河団、水色：銀河群、青色：楕円銀河

での間の加熱・放射メカニズムに大きな違いはないことが示唆される。本研究では、宇宙の力学進化の解明にむけて中間的存在である銀河団の成長過程の衝突現象に着目した。

2 Observations

本研究の目的はこれまでに知られていない衝突銀河団を検出しその物理過程を理解することである。銀河団が近接している領域で、新たな衝突銀河団が見つけれられる可能性を考え、これまでのサーベイ観測によって作成された銀河団カタログを用いて銀河団を探した。その結果、観測領域として X 線によるサーベイ観測 (ROSAT) により 2 天体、可視光サーベイ (SDSS) により 1 天体の計 3 つの銀河団が近接していると示唆される領域を選定した。その領域を広視野 (直径 $\sim 30''$) かつ高角度分解能 ($\sim 15''$) の XMM-Newton で初めてポインティング観測を行った。表 1 はこれら 3 つの銀河団の座標と赤方偏移を表す。

表 1: 観測候補天体の諸元

天体名	RA(degree)	Dec(degree)	赤方偏移
Obj 1 (X-ray) ¹	117.85	+17.51	0.189
Obj 2 (X-ray) ²	117.79	+17.73	0.186
Obj 3 (Optical) ³	117.72	+17.68	0.192

¹ RXC J0751.3+1730

² RXC J0751.1+1743

³ SDSS +117.7+17.8+0.19

XMM-Newton による観測は、観測データとしては 2 回分の観測データがあり、観測時間はそれぞれ 79 ks (Obs 1) , 87 ks (Obs 2)。

3 Results & Discusion

3.1 Imaging Analysis

図 2 のイメージは 2 回の観測データのイメージを重ねあわせたものになる。これを見ると、X 線で明るい場所が 4 ヶ所検出されたので、それぞれの領域を Region 1 から Region 4 のように定義した。

これらの領域中の輝度ピーク位置と観測天体の座標を比較したところ、表 2 のようになった。

Region 1 , 3 の領域中に X 線により銀河団と示唆された天体が存在しており、Region 2 中には可視光によって銀河団と示唆された銀河団が存在していた。

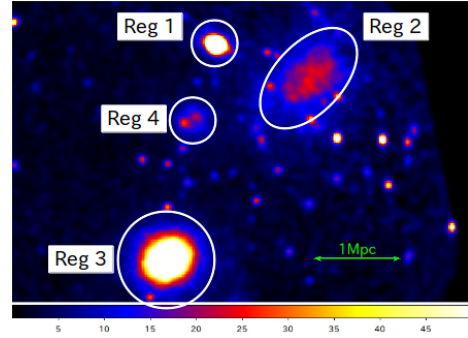


図 2: エネルギーバンド 0.5 - 2.0 keV のイメージ
白丸はそれぞれ定義をした領域を表す。

表 2: X 線が検出された領域と候補天体との対応表

領域	対応候補天体	X 線輝度ピークと カタログ天体の距離
Region 1	Obj 1	3''
Region 2	Obj 3	15''
Region 3	Obj 2	3''
Region 4	未検出	-

Region 2 の領域については、これまでの X 線サーベイで点源は検出されていたが、本観測で初めて輝度分布から定量的に広がった X 線源が検出された。しかし、Region 1 の天体に関しては輝度分布から点源と考えても矛盾しないという結果となった (図 3)。

また、Region 4 に関してはこれまでの X 線のサーベイ観測で知られていた天体はなく、本観測で初めて検出された X 線天体である。

3.2 Spectrum Analysis

本解析では、先ほど定義した領域をソース領域、周囲の暗い領域をバックグラウンド領域とし同時フィットによる解析を行った。スペクトルを作成したデータは Obs 2 の MOS と呼ばれる検出器 2 台のデータを足しあわせて使用。以下のスペクトルでは、点線でバックグラウンド成分を表し、実線でそれぞれの領域のソース成分 (超過成分:緑) を表す。バックグラ

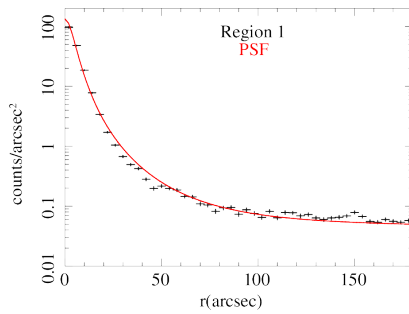


図 3: Obs 2 の 1 つの検出器を用いた Region 1 の輝度分布。

黒色:データ点, 赤色:PSF:点源で期待される動径カウント分布

縦軸は単位面積当たりのカウント数、横軸は中心からの距離を表す。

ウンドの成分の内訳は表 3 に示す。

表 3: バックグラウンドの成分とスペクトル中の対応色

名称	起源	色
LHB	太陽系を 100 pc ほどで囲む 100 万 K 程度の高温ガス	青
GH	系内の中性ガスの吸収を受ける銀河系遠方の放射	橙
CXB	系外の AGN の放射の重ね合わせ	紫
NXB	検出器由来のバックグラウンド	桃

- Region 1

イメージ解析より、点源である可能性が示唆された。また、X 線ピークから 3" の位置に可視光によって QSO が検出されているため、典型的な QSO のモデルである 2 つのべき関数のモデルを仮定してフィットを行った (図 4)。その結果、べきはそれぞれ 1.2 と 2.8 であった。この値は QSO と考えても矛盾しない値であることから Region 1 は QSO と考えられる [6]。

- Region 2,3

イメージ上で広がっており、高エネルギー側に Fe K α と考えられる輝線があったため、高温プラズマガスに対してよく用いられている衝突電離平衡プラズマモデルを仮定してフィットした。その結果は図 5, および表 4 のようになった。

- Region 4

Region 4 に関しては、スペクトルに目立った輝

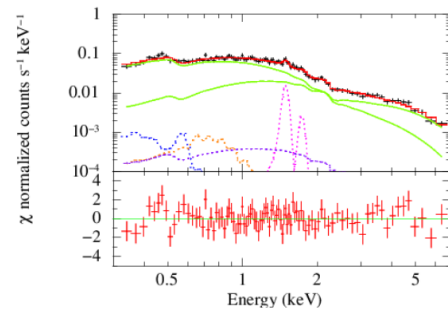


図 4: Region 1 のフィッティング結果。

上段: データ (黒色) とモデル (赤色), それぞれの成分, 下段: データとモデルの残差

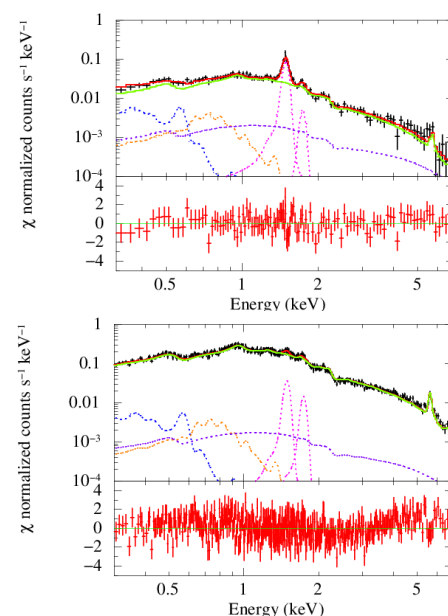


図 5: 上図: Region 2 のフィッティング結果 下図: Region 3 のフィッティング結果。

上段: データ (黒色) とモデル (赤色), それぞれの成分, 下段: データとモデルの残差

表 4: Region 2,3 のベストフィット値

	$k_B T$	$L_X(0.5 - 10.0 \text{ keV})$
Region 2	3.3 keV	$7.4 \times 10^{43} \text{ erg/s}$
Region 3	3.9 keV	$3.4 \times 10^{44} \text{ erg/s}$

線がなかったため熱的成分が支配的なモデルと非熱的成分が支配的なべき関数モデルの 2 種類でフィットを行った (図 6)。その際、フィッティングパラメータの一つである赤方偏移は、X 線輝度ピーク位置に赤方偏移が 0.192 の銀河が存在していたため、0.192 で固定した。その結果どちらも reduced χ^2 が 3% 程度しか変わらず、有意な差はなかった。

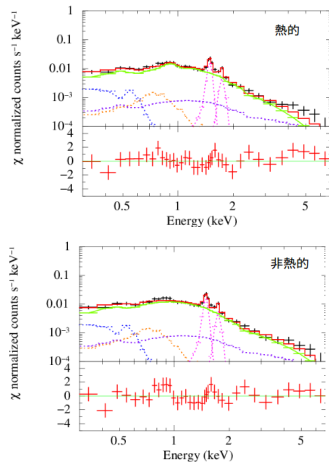


図 6: バックグラウンド領域で得られたスペクトルに対する超過成分として、熱的 (上) 及び非熱的 (下) 成分を仮定したスペクトルフィットの結果。

3.3 Discussion

Region 2,3,4 のスペクトル解析から推定される温度と輝度を図 1 上に示すと、図 7 となる。

図 7 を見ると、3 領域とも銀河群・銀河団と考えるとも矛盾しないような天体であることが分かった。

4 Conclusion

宇宙の構造形成の一端を担う銀河団の進化を調べるため、新たな衝突銀河団を探そうと銀河団カタログから銀河団の近接した領域を選出した。その領域を XMM-Newton で初めてポインティング観測をし、そのデータの解析を行った。

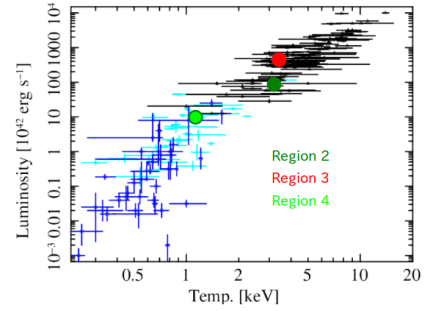


図 7: それぞれの領域の温度と輝度、Region 4 の温度は超過成分として熱的成分を仮定した時の温度

その結果、銀河団カタログ中の 1 天体 (Region 1) が QSO であることを解析した。また、これまで可視光でのみ銀河団と示唆されていた天体 (Region 2) を X 線で初めて同定をした。さらに X 線で銀河団と示唆されていた天体 (Region 3) に対し初めて分光解析し、物理量を定量的に求め銀河団であることを決定した。また、これまでのサーベイ観測では検出されなかった天体 (Region 4) を検出し、広がった X 線源が存在することが分かった。

今後は、それぞれの銀河団の物理量の動径分布や銀河分布を調べる他、Region 3 については、どの範囲まで輝度分布が β model で表されるのかを調べ、周囲の天体との相互作用についても詳しく解析を進めていく予定である。

Acknowledgement

基礎物理学研究所 (研究会番号: YITP-W-15-04) 及び国立天文台からのご支援に感謝いたします。

Reference

- [1] 谷口義明, 岡村定矩 & 祖父江義明 2007, 日本評論社
- [2] White, D. et al. , 1997 , MNRAS , 292 , 419
- [3] Xue, Y.-J. & Wu, X.-P , 2000 , ApJ , 538 , 65
- [4] O’Sullivan, E. et al. , 2003 , MNRAS , 340 , 1375
- [5] Mitsuishi et al. , 2014 , ApJ , 783 , 137
- [6] Piconcelli, E. et al. , 2005 , A&A , 432 , 15