

すざく衛星のデータを用いたケンタウルス座銀河団の解析

X-ray study of Centaurus Cluster observed with SUZAKU

宇宙情報解析研究室 bp12063 進藤 稜弥 指導教員：久保田 あや 准教授

1 背景と目的

銀河団は宇宙で最大の天体である。銀河団は数十個から数千個もの銀河が、互いの重力で引き合うことによって形成されている宇宙で最大の天体である。銀河団は現在も進化しており、宇宙の進化に匹敵するような長い時間スケールでゆっくりと収縮を続けている。銀河団を構成するものは大きく分けると、質量の寄与の大きい順に、ダークマター、高温の銀河間ガス、銀河という3つの要素で構成されている。この銀河間ガスは銀河全体を満たしており、大部分は滑らかに分布しているが[1]、二つ以上のサブ銀河団が合体途中の銀河団も存在し、これらは進化の過程にあると考えられる。

本研究で解析を行うケンタウルス座銀河団も合体途中の銀河団と考えられる。この銀河団はケンタウルス座の方向、赤方偏移 $z = 0.0104$ に存在する近傍の銀河団で、非常に明るく巨大な楕円銀河 (cD 銀河) NGC4696 (座標 $Ra=192.2^\circ$ 、 $Dec=-41.3^\circ$) を構成銀河にもつ。過去に多くの観測研究が行われてきたが、Lucey らによって NGC4696 を中心とした主銀河団と NGC4709 ($Ra=192.5^\circ$ 、 $Dec=-41.4^\circ$) を中心としたサブ銀河団の二つの速度構造 (速度差はおよそ 1500km/s) を持つことが報告されている [2]。すざくによる観測は 2005 年に行われた。太田らは中心部の 18 分角 (=78 万光年) の領域を詳細に分割し、この領域での銀河団ガスのバルクな運動の有無を精査し速度差の上限値を $|\Delta v| < 1400\text{ km/s}$ と導いた [3]。本研究では、ケンタウルス座銀河団のすざくの観測において、中心部とさらに外側の観測データに注目し、速度差の測定から、銀河団ガスのバルクな運動を考察し、銀河団の進化に迫ることを目指す。

2 すざく衛星によるケンタウルス座銀河団の観測

すざく衛星 [4] は 2005 年 7 月 10 日に打ち上げられた、国内では 5 番目の X 線観測衛星である。XIS は X 線望遠鏡 (XRT) [5] の焦点面に置かれている。空間分解能 1 分角の $0.5\text{-}10\text{keV}$ のエネルギー領域に感度を持つ軟 X 線 CCD カメラ (XIS) [6] 4 台である。 $10\text{-}600\text{keV}$ の領域に感度を持つ硬 X 線検出器 (HXD) [7] が 1 台搭載され、これまでにはない広いエネルギー領域において高いエネルギー分解能かつ高感度な X 線観測が可能である。ケンタウルス銀河団は、2005 年 12 月 27-29 日にすざく衛星によって中心部および銀河団中心から ± 8 分角離れた外縁部でのオフセット観測 (オフセット 1 および 2) が行われている [3]。また、銀河団は広がっているため、XIS の視野内から BGD となる背景放射を差し引くことができない。このため、BGD のスペクトルの作成には、明るい天体が存在しない North Ecliptic Pole 領域 (NEP) の観測を用いた。表 1 に観測の概要をまとめた。図 1 は、ケンタウルス座銀河団の領域で行われたすざくによる観測の XIS 画像である。今回解析する観測は図 1 の色のついた領域である。

表 1: ケンタウルス座銀河団, NEP, OFFSET1.2 の観測概要

天体名	観測時期	積分時間 [秒]	(RA, DEC)
銀河団中心部	05.12.27-28	29397	(192 °, -41.3 °)
オフセット 1	05.12 28-29	33431	(192 °, -41.4 °)
オフセット 2	05.12 29-30	31647	(192 °, -41.1 °)
NEP	05.09.02-04	106201.5	(273 °, 66.0 °)

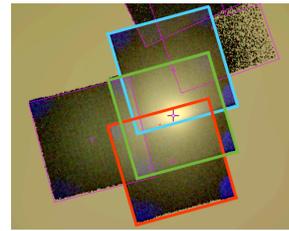


図 1: すざくによるケンタウルス座銀河団周辺の XIS 画像 (ISAS, JUDO2 による) 中心部、オフセット 1.2 の視野をそれぞれ中心部 (緑)、オフセット 1.2 (赤)(青) で示す。各視野はそれぞれ 17.8 分角 x 17.8 分角である。

3 データリダクションとスペクトル作成

中心領域、オフセット 1.2 それぞれについて、座標 (Ra , Dec) = (192.201 °, -41.313 °), (192.202 °, -41.450 °), (192.2010 °, -41.180 °) を中心として半径 3.45 分角の領域にある X 線イベントを用いてスペクトルを抽出した。また、NEP の観測から (272.788 °, 65.981 °) の位置を中心に同じ半径の領域にある X 線イベントを用いて BGD 用のスペクトルを抽出した。データ抽出には `heasoft`¹ の `xselect` というパッケージを用いた。図 2 に、銀河団中心領域、オフセット 1、オフセット 2、および NEP から上記の領域に従って抽出した X 線スペクトルを示す。図 2 の黒、赤、緑目的天体以外からの X 線が含まれるが、これを除去するために NEP (青) の観測から作成した BGD のスペクトルを差し引いた。このようにして作成した天体からの X 線のみをスペクトルを図 3 に示す。なお、本研究では鉄の特性 X 線に着目するため、高エネルギー側で BGD の高い XIS1 は用いず、XIS0.2.3 の観測データを使用する。

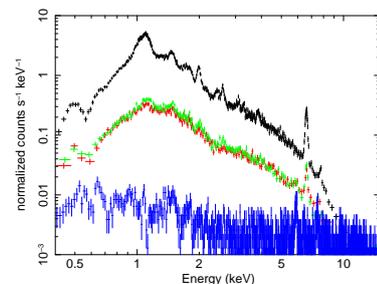


図 2: フィルター後のスペクトル 中心 (黒), オフセット 1 (赤), オフセット 2 (緑), NEP (青)

¹<http://heasarc.nasa.gov/lheasoft/>

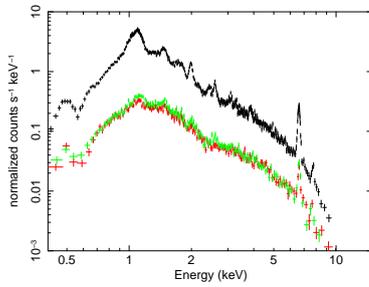


図 3: 図 2 の中心、オフセット 1、2 のスペクトルから BGD(NEP) のスペクトルを差し引いたスペクトル

4 スペクトルの解析

4.1 応答関数の作成

天体や BGD などの観測された X 線源から実際に放射されているはずのスペクトルを再現するためには、観測した望遠鏡や検出器によるスペクトルへの影響を応答関数を用いて考慮する必要がある。応答関数とは、ARF と RMF のことである。ARF とは、検出器の検出効率と望遠鏡の有効面積エネルギー依存性を表しているファイルである。RMF は 1 つのエネルギー光子に対するパルスハイトの確率分布であり、検出器のチャンネルをエネルギーに変換することができる。レイトレーシングの手法で各領域の応答関数を作成し、解析に用いた。

4.2 モデルフィット

スペクトル解析の目的はどのような放射を行っているかを知り、天体の物理状態を探ることにある。この為に放射モデルを用いてスペクトルを再現した。今回はスペクトル中の鉄輝線に注目した。ガスは様々な方向に運動しており、ドップラー効果により波長がずれ鉄輝線の幅にずれが生じる。この幅を測定することによりガスの運動速度が求められる。鉄輝線のスペクトルを表すモデルとして gaussian(正規分布) モデルを使用する。また、連続 X 線放射を近似するため、エネルギー E に対して強度 $f(E)$ が $f(E) \propto E^{-\gamma}$ で表される powerlaw(べき関数) モデルを用いる。得られたパラメータを表 2 にまとめた。

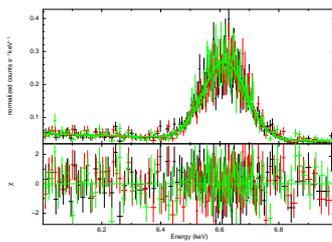


図 4: 中心部のモデルフィット XIS0(黒)2(赤)3(緑)

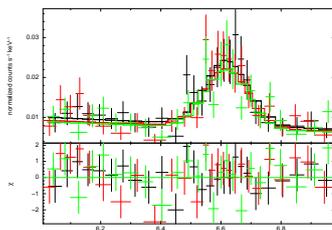


図 5: オフセット 1 のモデルフィット XIS0(黒)2(赤)3(緑)

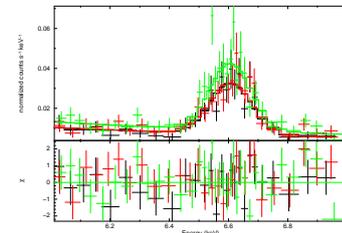


図 6: オフセット 2 のモデルフィット XIS0(黒)2(赤)3(緑)

表 2: XIS023 の同時 FIT(const+powerlaw+gaussian) の表

model	パラメータ	中心部	オフセット 1	オフセット 2
powerlaw		$3.18 \pm_{0.74}^{0.72}$	1.53 ± 1.6	$3.133 \pm_{1.37}^{1.71}$
powerlaw	norm	$17.0 \pm_{12.3}^{46.9}$	$0.18 \pm_{0.09}^{3.35}$	$3.08 \pm_{2.8}^{69.4}$
gaussian	中心 E[keV]	$6.621 \pm_{0.003}^{0.002}$	6.624 ± 0.01	6.612 ± 0.007
gaussian	[ev]	$17 \pm_{17}^8$	$0 \pm_{0}^{35}$	$0 \pm_{0}^{31}$
gaussian	norm	0.052 ± 0.0021	$0.0306 \pm_{0.0005}^{0.0006}$	$0.0055 \pm_{0.0006}^{0.0007}$
	χ^2 (dof)	0.99(325)	1.07(71)	0.95(85)

5 考察

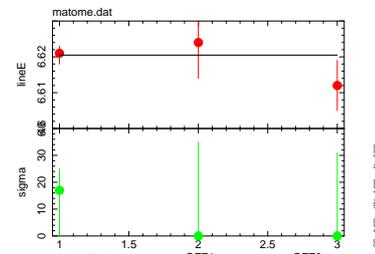


図 7: 中心エネルギーの誤差範囲 の誤差範囲

鉄輝線は誤差の範囲で一定。中心エネルギーは誤差の範囲で一定と読み取れる。中心エネルギーを E_c とし、エネルギー差を ΔE で表し、速度 $v = (\Delta E \times c) \div E_c$ で求めた。結果を表 3 にまとめた。

表 3: エネルギー差と相対速度

天体名	中心値 [keV]	ΔE [keV]	Δv [km/s]
中心部	$6.621 \pm_{0.003}^{0.002}$	0	0
オフセット 1	6.624 ± 0.01	0.003	135
オフセット 2	6.612 ± 0.007	-0.012	-543

6 まとめと結論

エネルギー差と速度によりオフセット 1 は青方偏移していることがわかる。またオフセット 2 は赤方偏移していることがわかる。よって上部が手前へ、下部が奥へバルク運動していると考えられる。しかし、誤差範囲が大きいいため、一概には決められない。

References

- [1] 谷口義明 2007/10/25 現代天文学 日本評論社 4 巻銀河 1 P215
- [2] Lucy et al 1986, MNRAS 221, 453
- [3] ota et al 2007, PASJ, 59, 5
- [4] Mituda, K. et al. 2007, PASJ, 59, 1
- [5] Serlemitsos P. J., et al., 2007, PASJ, 59, 9
- [6] Koyama, K. et al. 2007, PASJ, 59, 23
- [7] Takahashi, T. et al. 2007, PASJ, 59, 35