

すざく衛星による遠方銀河団の解析

X-ray study of Cluster of galaxies observed with SUZAKU

X線天文学研究室 BP19117 蕭 羽君

指導教員：久保田 あや 教授

1 はじめに

宇宙において、銀河は集団として存在しており、その規模の大きいものを銀河団という。銀河団は、一般的に 100 個から数千個程度の銀河が集まっているとされる。しかし、X 線天文学の幕開けにより、銀河団は単なる個々の銀河の集団ではないことがわかった。図 1 はかみのけ座銀河団の可視光画像と X 線画像を重ねたもので、白い部分が可視光画像・紫がかった部分が X 線画像をとなっていて、X 線では個々の銀河ではなく銀河間空間に広がった放射が見られることがわかる。このように、X 線観測は銀河団全体の性質を知る上で非常に重要である。特に赤方偏移 z が 0.8 より大きい遠方銀河団では、その存在量と現代宇宙論の定量的な比較が可能なので、銀河のさまざまな性質がわかる（文献 [1]）。本研究ではすざく衛星で観測された遠方銀河団のスペクトル解析を行い、距離の違いによる銀河団の進化を探る。

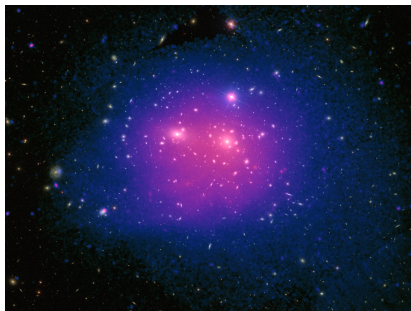


図 1: かみのけ座銀河団の可視光画像と X 線画像を重ねたもの（出典：ESA Science & Exploration）

2 銀河団からの X 線放射

X 線は数千万 K の高温のプラズマを起源とするもので、X 線観測によって銀河団には高温プラズマが付随することがわかった。銀河団に広がる高温プラズマによって、二種類の X 線が生じる。一つ目は、自由電子とイオンとの間のクーロン力で電子が減速されることによって起こる熱制動放射での連続スペクトルの X 線、もう一つは電子が励起・逆励起されることによる線スペクトルの X 線である（文献 [2]）。熱制動放射については次のセクションで詳しく説明する。高温プラズマの温度は銀河の星の質量の 2 から 5 倍にも達する（文献 [3]）。さらに、銀河の星およびプラズマの質量だけでは観測されたプラズマの温度（すなわちガスの運動エネルギー）を繋ぎ止めることはできないため、見えないけれど質量をもった暗黒物質の存在が不可欠であることがわかった。暗黒物質の質量は銀河全体の約 85 %ほどだと推定される（文献 [4]）。

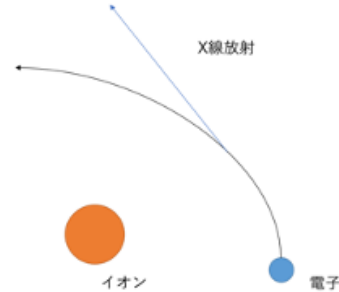


図 2: 熱制動放射の概略図

3 すざく衛星

すざく衛星は 2005 年 7 月 10 日に内之浦宇宙空間観測所により打ち上げられた宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 所属の日本で 5 機目の X 線天文衛星である。約 10 年間観測を経て、2015 年 8 月に運用停止した。すざく衛星の軌道周期は 96 分で軌道傾斜角は 31 度、軌道は円軌道で軌道高度は 550km である（文献 [5]）。最大の特徴は、0.2-600keV の広いエネルギー帯域にあり、高いエネルギー分解能かつ高感度の分光観測を可能とした（文献 [6]）。本研究では、比較しやすいように 2006 年に使用不可となった XIS2 を除く 3 台の XIS による観測データを扱う。

4 すざく衛星による遠方銀河団の観測

Ebeling らは、ROSAT 衛星による全天探索のデータから 0.1-2.4keV のフラックスが $5.0 \times 10^{-12} \text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}$ 以上の 242 個の Abell 銀河団のデータが得られた（文献 [7]）。このカタログから、すざく衛星による観測を調べたところ、約 70 天体が観測されていることがわかった。このうち、X 線画像が比較的明るく見える天体（表 1）について解析を行う準備をした。

表 1: 取得した解析データ (flux: $10^{-19} \text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}$)

name	観測日	観測時間	flux	赤方偏移
ACO 2199	2006/10/01	25ks	95.4	0.0299
ACO 3571	2014/01/09	38ks	109.5	0.0397
ACO 2319	2006/10/27	100ks	104.8	0.0559
ACO 3112	2013/06/23	120ks	36.4	0.0703
ACO 2244	2007/10/19	71ks	22.8	0.0970
ACO 2204	2006/09/17	49ks	21.2	0.1524
ACO 2219	2009/04/03	107ks	9.2	0.2257
ACO 2390	2009/05/04	96ks	9.5	0.2329

5 スペクトル解析

距離の違いによる性質の違いを探るために、エネルギー範囲を 0.4-8.0keV としてスペクトル解析を行った。解析を行うにあたり、天体の X 線画像から目視で明るいところに対して半径 3.0arcmin の円形の領域を抽出し、データリダクションを行った。バックグラウンドとして Lockman Hole を使用した。

星間吸収のモデルとして tbabs モデル、太陽の組成をもとに元素による影響も考慮した高温プラズマからの放射スペクトルに対するモデルとして Raymond-Smith モデル (文献 [8])、熱制動放射による連続スペクトルに対するモデルとして赤方偏移も考慮した zbremss モデル (文献 [9]) と線スペクトルに対するモデルとして zgauss を併用して用いて解析をした。図 3 は、解析した天体のうち ABELL 3571 に対して、const * tbabs * raymond でモデルフィットした結果である。

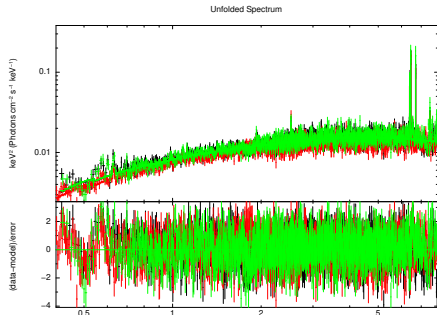


図 3: ABELL 3571 raymond モデル

各天体に対して const * tbabs * (zbremss + zgauss + zgauss) でモデルフィットをして、zgauss によって赤方偏移のずれを考慮した輝線のエネルギーを算出したところ、図 4 にあるように 6.66~6.70keV、6.94~6.98keV あたりに共通して輝線が存在することが確認できた。これはエネルギーの値から、鉄輝線だと考えられる。

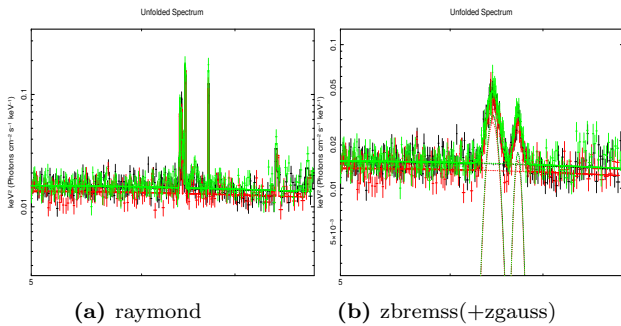


図 4: ABELL 3571

6 各パラメータの比較

それぞれの天体に対するスペクトル解析によって得られた表 2 のパラメータを比較した。なお、光度 (luminosity) は 0.5~10keV の範囲で算出し、3 つの XIS それぞれの値を平均した。

表 2: 取得したパラメータ (光度: 10^{-7}erg s^{-1} , kT:keV)

天体	赤方偏移	光度	kT	abundance
ACO 2199	0.0299	6.92×10^{43}	$3.98^{+0.04}_{-0.04}$	$0.71^{+0.03}_{-0.03}$
ACO 3571	0.0397	2.01×10^{44}	$7.38^{+0.08}_{-0.08}$	$0.53^{+0.03}_{-0.03}$
ACO 2319	0.0559	3.68×10^{44}	$9.71^{+0.14}_{-0.14}$	$0.46^{+0.02}_{-0.02}$
ACO 3112	0.0703	3.63×10^{44}	$4.50^{+0.03}_{-0.03}$	$0.71^{+0.02}_{-0.02}$
ACO 2244	0.0970	5.11×10^{44}	$5.76^{+0.06}_{-0.06}$	$0.51^{+0.03}_{-0.03}$
ACO 2204	0.1524	2.28×10^{45}	$7.11^{+0.11}_{-0.11}$	$0.63^{+0.04}_{-0.04}$
ACO 2219	0.2257	2.29×10^{45}	$11.53^{+0.21}_{-0.21}$	$0.34^{+0.03}_{-0.03}$
ACO 2390	0.2329	2.69×10^{45}	$11.33^{+0.22}_{-0.22}$	$0.48^{+0.04}_{-0.04}$

以下の図 5 は表 2 の各パラメータに対して比較を行ったものである。

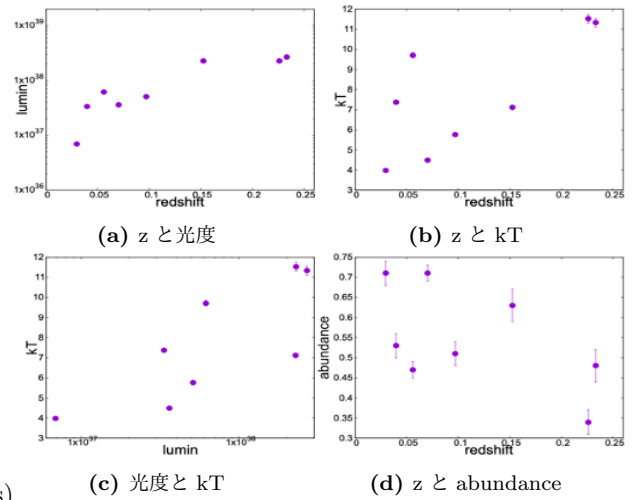


図 5: パラメータの比較

7 まとめと考察

対象の天体について、赤方偏移の違いによる光度 (luminosity) および kT の比較を行ったところ、赤方偏移と光度 (luminosity) は相関係数は 0.95 と強い正の相関・赤方偏移と kT は相関係数が 0.74 と前者に比べて弱いものの正の相関が示唆された。同時に、光度 (luminosity) と kT の比較も行ったが、相関係数は 0.74 となり、赤方偏移と kT と同程度の正の相関が示唆された。赤方偏移と abundance に対しても比較を行ったが、相関係数は-0.56 と弱い負の相関が示唆された。

今回の研究では 8 つの銀河団について取り扱ったが、まだサンプル数が少ないため、大幅にサンプル数を増やした上での比較が必要である。

References

- [1] Wills et al. 2018, MNRAS, 430, 134
- [2] 岩尾徹, 2011, J. Plasma Fusion Res., 87-8, 528
- [3] 川埜 直美 修士論文 (広島大学) 2003
- [4] 谷口義明他「シリーズ現代の天文学: 4 銀河 I」日本評論社
- [5] Mituda, K. et al. 2007, PASJ, 59, 1
- [6] Takahashi et al. 2007, PASJ, 59, 35
- [7] Ebeling et al. 1996, MNRAS, 281, 799
- [8] Raymond&Smith, 1977, ApJS, 35, 419
- [9] Kellogg et al. 1975, ApJ, 199, 1