

衝突銀河団 CIZA J1358.9-4750 の観測

加藤佑一¹、中澤知洋¹、Liyi Gu¹、赤堀卓也²、滝沢元和³、藤田裕⁴、牧島一夫¹
1: 東大理 2:シドニー大 (SIFA) 3:山形大理 4:大阪大理

Abstract

CIZA J1358.9-4750 は銀河面近く位置し、赤方偏移 $z=0.074$ と近傍にある衝突初期の銀河団の候補である。この天体は 14 arcmin (~ 1.3 Mpc) 離れた 2 つの広がった X 線源から成り、その間を明るい X 線放射が繋いでいる。2 つの X 線源は、それぞれ銀河団に対応しており、それらの衝突が、両者の間の領域からの強い X 線放射を引き起こしていると考えられる。「すざく」の観測により、この中間領域のプラズマ温度は最大 $9.2_{-1.5}^{+1.7}$ keV 以上に達し、2 つの銀河団のプラズマ温度 (5.6 ± 0.2 keV と 4.6 ± 0.2 keV) より 1.6 倍以上も高くなっていることが明らかとなった。この温度分布は衝突銀河団の数値シミュレーションによる衝突初期と酷似しており、それぞれの cD 銀河と X 線の輝度ピークの位置の一致も、衝突が始まったばかりであることを支持する。この高温のプラズマが衝撃波により生じたのか、断熱圧縮によるものなのかを調べるために、角分解能に優れる *XMM-Newton* の短時間 (4.8 ks) の X 線イメージを確認した。「すざく」で温度が急激に上昇するところに明らかな輝度のジャンプが発見された。これは圧力のジャンプを意味し、衝撃波が存在することも明らかとなり、そのマッハ数は ≥ 1.4 と推定された。

1 Introduction

銀河団は数百～数千からの銀河からなる宇宙最大の天体である。その質量は $10^{64} M_{\odot}$ ほどであり、その比は銀河が数%、高温プラズマが 20%、残りは暗黒物質である。暗黒物質に捉えられた高温プラズマは、断熱圧縮により温度が 1 億度以上に達し、X 線で明るく輝く。宇宙の大規模構造の進化に伴い、銀河団はお互いに重力で引き合い衝突し、より大型の構造へと進化していく。衝突の際に解放されるエネルギーは 10^{64} erg に達し、その一部は高温プラズマを加熱する。衝突はさらに衝撃波を発生させ、それが乱流を励起させる。衝撃波と乱流は粒子を相対論的エネルギーにまで加速させるとともに、磁場の増幅を引き起こす。しかし、このような「非熱的エネルギー」がどのチャンネルにどれだけのエネルギーがつかまれるかはよく分かっていない。

これを知るには衝突速度や元の銀河団の質量、視線方向からの衝突角度 (viewing angle)、衝突係数¹などの衝突パラメータを精度よく求める必要がある。衝突が進みお互いのコアが通り過ぎた後だと温度分布

や X 線分布が煩雑になり、それらを定めることは難しい。衝突が始まったばかりであれば、そのジオメトリは簡単であり、精度よく求めることができる。ところが衝突初期の例は少なく、衝撃波が発生しているものは近傍宇宙には見つかっていなかった。

本研究では「すざく」と *XMM-Newton* の CIZA J1358.9-4750 の観測について報告する。ハッブル定数は $67 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ とし、誤差は 90% の統計誤差で表示している。

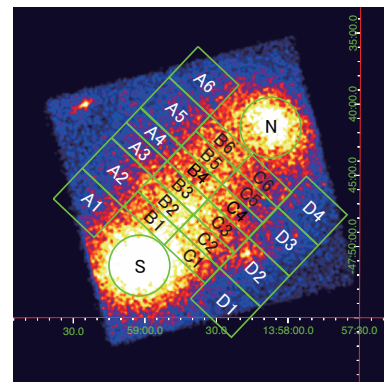


図 1: 0.6–10 keV 帯域の「すざく」による CIZA J1358.9-4750 の X 線画像。緑色で囲まれたそれぞれの領域からスペクトルを抽出した。

¹impact parameter: 2 粒子が接近するときに粒子間に力が働かないとしたときの最近接距離。

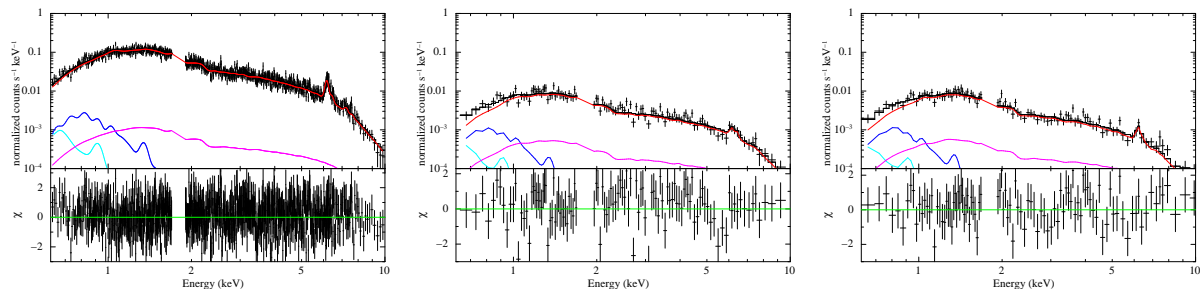


図 2: 図 1 で S, A3, A4 とラベルされた領域から抽出された CIZA J1358.9-4750 のスペクトル。赤は銀河団からの放射、青は天の川銀河からの放射、シアンは太陽系やその周辺からの放射、マゼンタは宇宙 X 線背景放射を表す。

2 CIZA J1358.9-4750

CIZA J1358.9-4750 は CIZA catalog (Ebeling et al. 2002, Kocevski et al. 2007) に集録されている。これは、可視光による観測が難しい銀河面付近 (the Zone of Avoidance; 銀緯 $|b| < 20$ deg) に位置する銀河団を集めたカタログで、X 線観測の発展により作成された。この天体は赤方偏移 0.074、距離にして 320 Mpc と近傍に位置する。南東と北西に銀河団に相当する 2 つの広がった X 線源をもち、それらは 14 arcmin (1.3 Mpc) ほど離れている。その間は X 線で明るく輝き、2 つの銀河団が強く相互作用していることを示唆する。南東と北西の銀河団のほぼ中心にはそれぞれ cD 銀河と考えられる明るい楕円銀河があり、その赤方偏移は 0.0709 と 0.0745 である。

3 Observations

3.1 Suzaku

我々は、2013 年 1 月 21 日から 23 日にかけて AO7 サイクル期に「すざく」により CIZA J1358.9-4750 を 61.7 ks 観測した (PI 西田)。得られた X 線画像が図 1 で、その緑色で囲まれた 24 の領域から 0.6–10 keV 帯域のスペクトルを抽出した。それぞれのスペクトルに対し、Non-X-ray Background を引いた後に、天の川銀河からの放射 (MWH: 温度 ~ 0.3 keV)、太陽系やその周辺からの放射 (LHB: 温度 ~ 0.1 keV)、そして AGN が主な成分と考えられる宇宙 X 線背景放射という 3 種類のバックグラウンドを考慮してスペクトルフィットを行った。CIZA J1358.9-4750 自身からの X 線放射は、光学的に薄いプラズマからの放射を

表す apec モデルで表現し、その温度、輝度、および重元素アバダンスは (比は太陽組成と仮定) 自由パラメータとした。その結果、全てのスペクトルに対して $\chi^2 \sim 1$ となり、温度や表面輝度が精度よく求まった。図 2 にその代表的なスペクトルを載せた。

観測データより求めた温度分布を図 3 を示す。南東と北西の銀河団のプラズマ温度はそれぞれ 5.6 ± 0.2 keV、 4.6 ± 0.2 keV であった。その違いはたかだか 20% 程度であり、2 つの銀河団の質量はおおむね同じあると考えられる。“ブリッジ”領域の温度は最大で $9.2^{+1.7}_{-1.5}$ keV に達し、2 つの銀河団の温度と比べて 1.6 倍ほど高くなっていった。高温成分は 2 つの銀河団を結んだ方向と垂直に伸びていた。

3.2 XMM-Newton

銀河団同士の衝突が音速を超えると衝撃波が発生する。「すざく」の観測だけでは衝撃波の存在を確認できなかったために、4.8 ks と短時間ではあるが角分解能に優れた XMM-Newton 観測の輝度分布を調べた (観測日時: 2004 年 2 月 21 日)。得られた輝度分布を図 3 の左図に載せた。ちょうど「すざく」で温度が最も大きく変化する 6–7 arcmin のところに、明らかな輝度ジャンプが見つかった。

4 Discussion

4.1 Merger phase

CIZA J1358.9-4750 は 2 つの銀河団に相当する 2 つの広がった X 線源を持ち、その間を結ぶ中間領域は明るく、かつ高温となっている。この X 線画像と

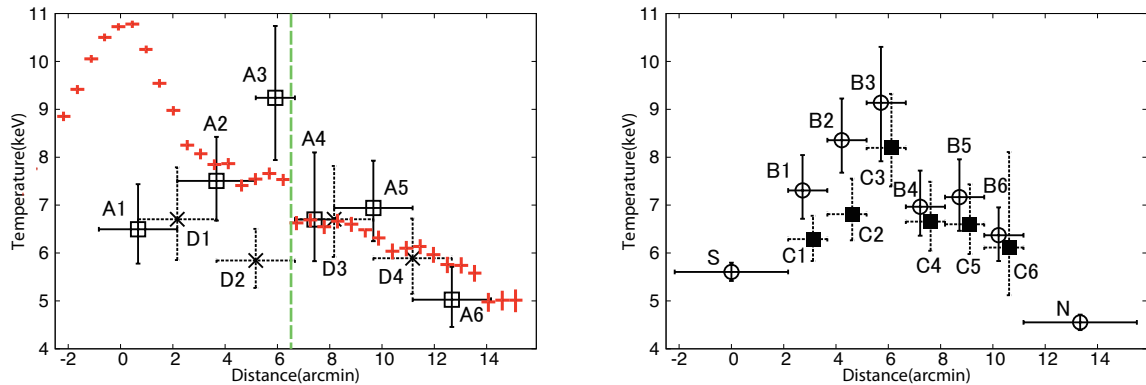


図 3: CIZA J1358.9-4750 の温度 (黒) と輝度 (赤) 分布。左図は A1–A6 と D1–D6 の領域、右図は B1–B-6 と C1–C6 の領域。縦軸は温度で、横軸は南東の銀河団の中心からの距離 (単位: arcmin)。左図の赤点は XMM-Newton による 0.5–4.5 keV 輝度分布であり、緑の縦線の位置で輝度に不連続が見られる。

温度分布は数値シミュレーションでよく見られる衝突初期の典型的な例と酷似している。cD 銀河と X 線ピークの位置も一致するので、2 つ銀河団はまさに衝突の初期にあると結論できる。

4.2 Identification of merger shocks

図 3 で温度が急激に上昇している A4-B4-C4 から A3- B3-C3 領域で、表面輝度が明らかに不連続になっている。温度の上昇と輝度の不連続な上昇の一致はその領域での圧力の不連続性を意味する。つまり、その領域で衝撃波が存在していることが確かめられた。

衝撃波が発見されたので、Rankine-Hugoniot 関係式をその不連続面に対して適応できる。温度が最も急激に上昇する領域として A4 の 6.6 keV から A3 の 9.2 keV を採用すると、マッハ数は 1.4 となる。銀河団プラズマ中の音速は 6.6 keV で 1340 km s^{-1} であるので、衝突速度はおおよそ 1850 km s^{-1} である。

本研究では、銀河団ガスを 1 温度のみとしてフィットを行ったが、実際には衝撃波の前後での高温と低温の成分が視線方向からの衝突角度に応じて射影され、混ざっているはずである。つまり、求めた温度は下限値であり、マッハ数と衝突速度は実際はより大きいと考えられる。

4.3 Implication of merger geometry

衝撃波面が見えていることから、衝突方向はほぼ視線方向に対して垂直方向で起こっていると考えら

れる。これを確かめるために、NED のデータベースを用いて可視光による 2 つの銀河団の赤方偏移を調べた。南東と北西の銀河団の中心から半径 500 kpc の間で、可視光により既に観測されている銀河はそれぞれ 8 および 11 個あった。それらの赤方偏移の平均は 0.0721 と 0.0737 であり、その視線方向の速度差は 480 km s^{-1} となる。これは衝突速度に比べて十分小さいため、衝突はほぼ天球面上で生じていることが強く示唆される。

5 Conclusion

CIZA J1358.9-4750 は 2 つの銀河団が衝突初期の状態にあり、マッハ数 ≥ 1.4 でプラズマ中に明瞭な衝撃波が発生しているという、貴重な例であることが分かった。その衝突はほぼ天球面上で起きていると推測される。

References

- Akahori, T. & Yoshikawa, K., PASJ 62, 335 (2010)
- Ebeling, H., et al. ApJ 580, 774 (2002)
- Feretti, L., A&A Review 20, 54 (2012)
- Fujita, Y., et al. PASJ 60, S343 (2008)
- D. Kocevski, et al., ApJ 662, 224 (2007)
- K. Smith, et al., ApJ 556, L91 (2001)
- Kushino, A., et al., PASJ 54, 327 (2002)
- Maxim, M. & Alexey, V., Phys.Rep. 443, 1 (2007)
- Nakazawa, K., et al., PASJ 61, 339 (2009)
- Sakelliou, I. & Ponman, T., MNRAS 351, 1439 (2004)
- Takizawa, M., ApJ 520, 514, (1999)
- Takizawa, M., ApJ 687, 951, (2008)