

すざく衛星による 衝突銀河団 A2255, A2744の温度構造の研究

太田直美、水野真梨子、服部詩穂 (奈良女子大学)、赤松弘規 (SRON)



銀河団の衝突合体現象は、銀河団の質量分布や高温ガスの物理状態に多大な影響を及ぼし、その衝突エネルギーの一部は高エネルギー粒子の加速に使われると考えられている。電波観測から、衝突銀河団の多くに高エネルギー粒子によるシンクロトロン放射が見つっている。また、なかには電波レリックと呼ばれる円弧状の電波放射が見られることがある。その起源は、衝突によるショックの痕跡と考えられているが、観測例が少なく十分理解できていない。そこで我々は、広がった放射に高い感度を持つ「すざく」衛星を用いて、大きな電波レリックを持つ2つの衝突銀河団 A2255 ($z=0.08$), A2744 ($z=0.30$) を観測した。なお、A2255は「すざく」キーププロジェクトの観測サンプルの1つである。XIS検出器のX線スペクトル解析からA2255, A2744の温度構造を調べ、マッハ数を見積もることでレリックの形成過程について検証を行った。その結果、A2255のレリック領域におけるマッハ数1.1-1.6が得られ、衝撃波統計加速の仮定のもと電波観測から推測される値 (~3) と矛盾することがわかった。一方、A2744の外縁部で有意な温度ジャンプを見つけ、マッハ数 2.2 ± 0.5 を得た。この値は電波観測とも一致しており、遠方銀河団の外縁部でこのようなショック構造を検出したのはこれが初めてである。本講演では、二天体のデータ解析結果を報告し、ガスの加熱やレリックの形成過程について議論する。

1. 銀河団の衝突合体とショック構造

- 銀河団は、銀河・高温ガス・ダークマターで構成される宇宙最大の天体。小型の天体同士が衝突合体し、巨大な天体へと進化。
- 衝突銀河団には、ガス温度の分布にジャンプがみられたり、中心や周辺にそれぞれハローやレリックと呼ばれる電波シンクロトロン放射が検出されたりするものがある([2,3]など)。しかし、ガスの加熱過程や電波レリックの起源は十分理解できていない。
- 目的: すざく衛星を用いて大きな電波レリックを持つ衝突銀河団A2255, A2744を観測し、温度構造の解析からレリックの形成過程を検証する。

2. 観測ターゲット

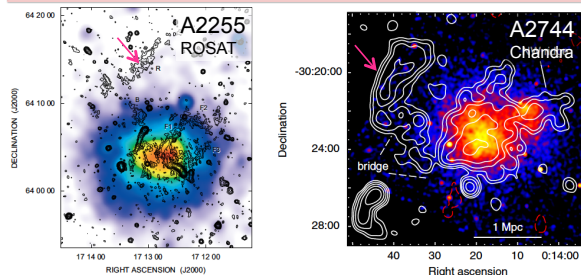


図1. 衝突銀河団 A2255とA2744のX線イメージ(カラー)。等高線は電波シンクロトロン放射の強度分布、矢印は電波レリックの位置[4,5]。

表1. 観測ターゲットのまとめ

	赤方偏移	ガス温度 ^{a)} (keV)	X線光度 ^{b)} (10^{46} erg/s)	電波強度 (mJy)	すざく 観測日	観測時間 (ksec)
A2255	0.08	6.03 ± 0.09	2.27	ハロー: 496, レリック: 117 ^{c)}	中心: 2010年2月7-8日, 北東: 2014年6月2-4日 ^{d)}	44.5, 100.6
A2744	0.30	9.0 ± 0.2	3.73	ハロー: 218, レリック: 98 ^{d)}	北東: 2013年 11月20-22日	82.8

(a)銀河団の平均温度 [6,7], (b)Bolometric luminosity, (c)310-380MHzにおける値 [8], (d) 325MHzにおける値 [9], (e)すざくキーププロジェクト(赤松 et al.)の観測

3. 解析方法

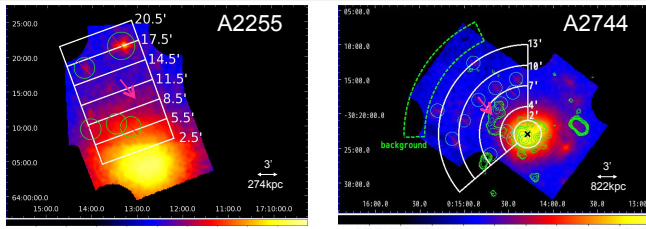


図2. すざく衛星XIS検出器によるA2255とA2744のX線イメージ(カラー)とスペクトル領域の定義(白い実線)。右図の電波等高線は[9]より。

- 2つの銀河団について、電波レリックの領域やその周辺のガスの温度分布を調べるため、図2のように領域を定義し、各領域のスペクトルを抽出した。
- 高温ガスの熱的放射を仮定したモデルフィットからガス温度を求めた。
 - スペクトルモデル: Galactic吸収(phabs) x 高温ガスの熱的放射 (apec)
 - バックグラウンド: 検出器バックグラウンドはxisnxbgenにより作成。Galactic成分とCosmic X-ray Background成分については、銀河団の近傍もしくは視野の端の領域のスペクトルデータから推定。

4. ガス温度分布の解析結果

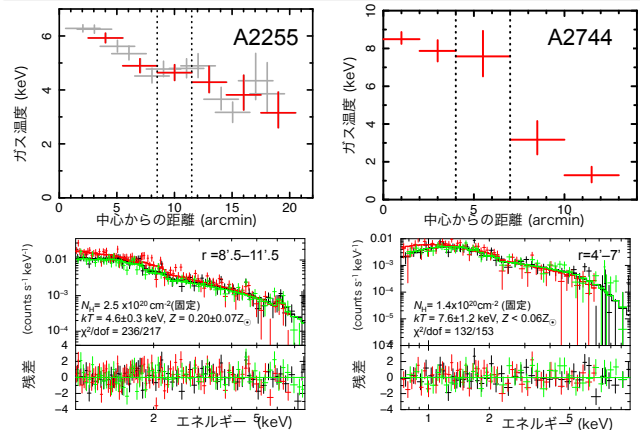


図3. (上)銀河団A2255, A2744北東領域のガス温度分布(十字)。横軸は銀河団中心からの距離を表す。誤差は1 σ 。点線は電波レリックの位置。(下) XIS検出器スペクトルフィットの例 (十字はデータ、実線は最適モデル)。

5. 議論とまとめ

- すざく衛星を用いて、A2255, A2744銀河団の電波レリックを含む北東領域のスペクトル解析を行った。A2255のガス温度は約4keVで顕著な温度構造は見られなかった一方、A2744の外縁部で有意な温度低下を検出した。
- 電波レリックの領域は強い衝撃波による加熱を受けたと考え、ランキン-ユゴニオの関係式

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{5M_x^2 + 14M_x^2 - 3}{16M_x^2} \quad (T_1, T_2: \text{波面前方, 後方の温度})$$
 から衝突のマッハ数 M_x を見積った(表2)。これを衝撃波統計加速の理論を仮定して電波観測から推定した値 M_{radio} と比較すると、
 - A2255 $M_x < M_{\text{radio}} \rightarrow$ X線と電波の結果が一致しない。領域の取り方による M_x の系統誤差は50%程度ありえる。プロジェクション効果により M_x を過小評価している? 電波で仮定している理論が単純すぎる?
 - A2744 $M_x \sim M_{\text{radio}} \rightarrow$ X線と電波の結果が一致。電波レリックと温度ジャンプの位置が一致し、かつ東側に小型の銀河団が見つっていることから、数1000km/sの速度で衝突が起きたと考えられる。遠方銀河団の外縁部でショック構造を検出したのはこれが初めて。

表2. 温度分布とマッハ数の測定結果

	レリックの位置 (分角/Mpc)	ビリアル半径 r_{200} (分角/Mpc)	kT_1 (keV)	kT_2 (keV)	M_x	M_{radio}
A2255	10/0.91	19.5/1.8	4.29 ± 0.49 3.17 ± 0.38	4.64 ± 0.29 4.89 ± 0.44	1.08 ± 0.16 1.55 ± 0.22	> 3
A2744	5.5/1.5	7.3/2.0	3.2 ± 0.9	7.6 ± 1.2	2.2 ± 0.5	1.7-2.5

今後、より詳細な系統誤差の検討や他波長観測との比較からガス加熱やレリックの形成について解釈を進める。A2255は北西や南にもレリックが見つかっており、衝撃波加熱を半径の関数として定量的に探る格好のターゲット。すざくAO10観測公募に追観測を提案し、サンプルを増やす計画である。

