

X線による楕円銀河 M86 周辺の広がった放射の研究

(X-ray study of extended emission around the elliptical galaxy M86)

金沢大学大学院自然科学研究科数物科学専攻

菱 右京

In this thesis, we studied the extended emission around M86 using the Suzaku data. The M86 core, the plume, and the tail extending toward the northwest were clearly detected, as well as the extended halo around them. The surface brightness distribution of the core and the extended halo was represented relatively well with a single beta-model and a constant. The temperatures of the extended emission had a positive gradient to about 35 kpc from M86 center. This result indicates that the halo gas is located in a larger scale potential structure than that of the galaxy. We obtained the abundances of O, Ne, Mg, Si, S, and Fe separately, for the core, the plume, and the tail. Abundance ratios with respect to Fe were consistent with the solar ratios everywhere, except for Ne. The abundance of the halo was almost the same up to $r \sim 100$ kpc, and then it became significantly smaller at $r \gtrsim 100$ kpc, indicating the gas with low metal abundance still remains in the outer halo. From the surface brightness distribution, we estimated the gas mass ($\sim 3 \times 10^{10} M_{\odot}$) and the dynamical mass ($\sim 3 \times 10^{12} M_{\odot}$) in $r < 100$ kpc. We estimated that the gas mass to the dynamical mass ratio was 10^{-3} – 10^{-2} , suggesting a significant fraction of the halo gas had been stripped.

1 銀河と銀河団の相互作用

銀河団や銀河群に重力的に束縛された銀河は、様々な相互作用を受けることで、銀河自身の進化だけでなく、銀河団の化学進化に大きく影響を与えることを示した。特に、銀河団ガス (Intracluster medium; ICM) 中を銀河が移動することで、銀河間ガス (Interstellar medium; ISM) が ICM から受ける動圧により剥ぎ取られるプロセスは、ICM に含まれる重元素の一部を説明することができる。動圧剥ぎ取りによって見られる、いくつかの特徴的な物理機構が X 線観測によって観測され、これまでに多くの証拠が示されてきた。

おとめ座銀河団のほぼ中央に位置する楕円銀河 M86 は、銀河団と視線方向に ~ 1500 km/s の相対速度を持っており、動圧剥ぎ取りのプロセスを評価するには良いサンプルである。これまでに可視光、赤外線だけでなく、X 線観測においても動圧剥ぎ取りの証拠が多数報告されてきた。近年では、Chandra 衛星や XMM-Newton 衛星による X 線観測によって中心から北西に位置する明るい領域 (Plume) や、そこからさらに伸びた Tail といった構造が正確に捉えられ、議論されてきた。しかしながら、M86 から大きく広がった X 線放射領域に関してはあまり議論されておらず、M86 とその周辺を取り巻く環境の理解には至っていない。

2 M86 と広がった X 線放射領域

本研究では、低バックグラウンドで広がった天体の観測を得意とする Suzaku 衛星の観測データを用い、広がった X 線ハローにまで拡張して解析を行った。まず、軟 X 線帯域でのイメージ解析を行うことで、これまでに報告されてきた中心から北西に位置する Plume 領域、そこからさらに北西に伸びた Tail 領域を確認した (図 1)。また、M86 中心から方位角 135 度から 365 度の範囲をいくつかの領域に分けて X 線表面輝度分布を調べた。定量的な評価を行うために、 β モデルと呼ばれる関数をこれらの領域に当てはめた。その結果、M86 中心から大きく広がったガスはの輝度分布は方位角 135 度から 365 度の範囲では、 $\beta \sim 0.5$ の単一 β モデル + 定数で概ね再現できることを示した。

次に、M86 中心のスペクトル解析を行い、中心が ~ 0.9 keV と ~ 0.6 keV の 2 つの温度成分を持つことを示した。また、Plume と Tail 領域ではスペクトルを 1 温度で説明することを示した。これらの結果は、Chandra 衛星、XMM-Newton 衛星で得られた結果とコンシステントであった。3 領域の O, Ne, Mg, Si, S, Fe といった α 元素の組成を調べたところ、3 つの領域全てで Fe に対する元素組成比が同じパターンを示した。この元素組成比は、Ne 以外の元素は Fe に対して 1 太陽組成を示したが、Ne のみ 3 太陽組成である特徴を持っていた。ただし、Ne のみ太陽組成比より大きいことを超新星爆発のモデルで説明することは難しく、プラズマモデルの不定性による系統的誤差が本質的な原因である可能性が示唆された。これら結果より、Plume, Tail からの X 線放射成分が M86 中心の冷たいガスに起源を持つことが伺え、ICM から受ける動圧により中心の冷たいガスが剥ぎ取られ、Plume, Tail を形成しているといった、これまでの描像をより強く支持する。

M86 から広がった X 線放射領域についてもスペクトル解析を行った結果、中心からの温度、元素組成の動径分布を得た。温度分布は中心から ~ 35 kpc までは温度勾配が正であり、以降 ~ 100 kpc まで温度勾配が無いか負であった。また、 $\beta_{\text{SPEC}} = \mu m_p \sigma^2 / kT \sim 0.5$ が得られた。よって、銀河の速度分散を超えるエネルギーが重力ポテンシャルとして広がっていることが示唆された。元素組成の分布は、50 kpc

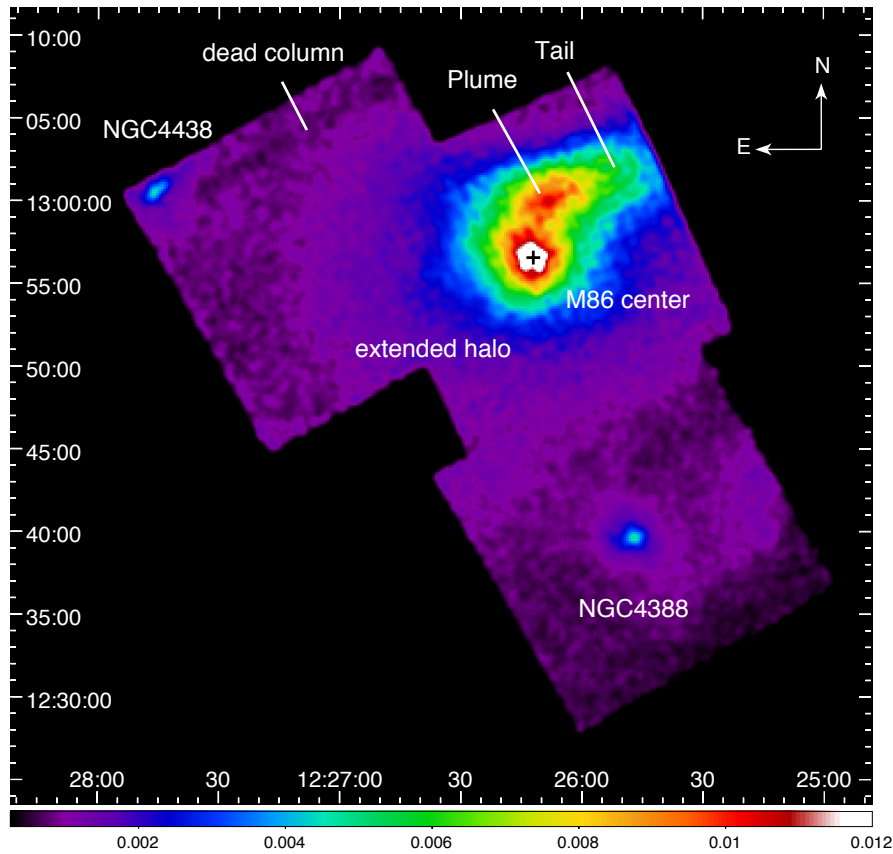


図 1: XIS のイメージを 0.8–1.2 keV 帯を用いて、3つの観測データを合成したモザイクイメージ。 $\sigma = 3$ のガウシアンでスムージングを行った。NXB は差し引いてあり、Vignetting 効果は補正してある。カラーバーの単位は $\text{counts sec}^{-1} \text{ arcmin}^{-2}$ である。

を超える外縁部で元素量の低下が見られ、外縁部では未だに重元素汚染の少ないガスが分布していることが示された。

3 動圧剥ぎ取りによる銀河団ガスとの相互作用

M86 中心から広がった X 線放射領域が 100 kpc 以上にまで広がっていると考えると、観測結果より得られた X 線表面輝度分布をうまく説明できることを示し、放射領域が 100 kpc 以上まで広がっていることを明らかにした。温度構造などの結果と合わせて、M86 から広がる X 線放射領域はより規模の大きな、恐らくは銀河群の重力ポテンシャルに束縛されたプラズマであると考えられることを示した。

M86 から広がるガスの質量を、スペクトル解析、X 線表面輝度分布から得られた結果より推定したところ、100 kpc 以内でのガス質量は $\sim 3 \times 10^{10} M_{\odot}$ であった。

さらに、静水圧平衡と球対称が成り立っていると仮定して重力質量を算出すると、100 kpc 以内で $\sim 3 \times 10^{12} M_{\odot}$ であった。重力質量に対するガスの割合は $\sim 1\%$ となり、半分以上のガスは剥ぎ取られているもののまだかなりの量のガスが残っていることが示唆された。この結果より、M86 がおとめ座銀河団との衝突合体の比較的初期の段階にあることを示した。

動圧剥ぎ取りの時間スケールをクーロン力による粒子の散乱から計算した場合に、外縁部と中心部では同程度であることから、一度銀河団を通過することで十分剥ぎ取りが起きることが示された。これらの結果は、M86の軌道が中心から外れているために、銀河団中心に近づいた場合でもISMが完全には剥ぎ取られないか、M86がおとめ座銀河団の中心付近を通過するのは今回が初めてであると考えられることを説明できる。

学位論文審査報告書（甲）

1. 学位論文題目（外国語の場合は和訳を付けること。）

X線による楕円銀河 M86 周辺の広がった放射の研究

2. 論文提出者 (1) 所属 数物科学 専攻(2) 氏名 菱 右京

3. 審査結果の要旨（600～650字）

本論文は、おとめ座銀河団に属する楕円銀河 M86 からの X 線放射について、Suzaku 衛星による観測データを解析した結果についてまとめたものである。M86 は銀河団中を相対速度 1500 km/s の速さで運動しており、動圧によって高温星間物質の剥ぎ取りが起きていることが過去の X 線等の観測で知られている。本研究では、これらの従来の結果を確認すると同時に、これまではあまり注目されていなかった、M86 の周りに薄く広がる X 線放射について詳しく調べた。その結果、このガスは方向によっては少なくとも 100 kpc の広がりを持っていること、外側では温度が 1 keV 程度であるのに対して中心部では 0.9 keV 程度と有意に低いこと、50 kpc よりも外側では重元素の量が有意に低いこと等を明らかにした。これらの結果から、M86 の周りに薄く広がった放射は、M86 を中心とする銀河群に付随するガスであると考えられ、一方でまだ重元素に汚染されていないガスが残っていることから、銀河群のガスが銀河団ガスとまさに相互作用している現場を捉えた結論した。これらは銀河団の進化を考える上で重要な結果であり、博士論文としてふさわしい内容である。よって合格と判定した。

4. 審査結果 (1) 判定 (いずれかに○印) 合格 ・ 不合格(2) 授与学位 博士(理学)