

Chandra衛星による銀河団高温プラズマ中の鉄の空間分布の系統的解析

○河嶋 健吾、高橋 拓也、夫 才修、川埜 直美、深沢 泰司 (広大理)

銀河団を満たしている高温プラズマ(ICM)中には多量の重元素が含まれており、X線領域での観測によってICM中の重元素の量、分布の情報を得ることができる。今回、非常に優れた空間分解能を持つChandra衛星の観測データを用いて、銀河団における鉄のアバダンス、分布の異方性の精密な解析を行った。

§0 銀河団における重元素の研究の背景 0 §

ASCAによる発見 ~優れた分解能とイメージング機能~

↓ 銀河団ICM中の重元素が、cD銀河付近で著しく増加している

Newton ~非常に大きな有効面積~

鉄以外のアバダンスの精密な測定

ただし…… 精密な鉄の空間分布についての解析はあまり行われていない

本研究の目的

- ・角分解能の非常にすぐれたChandra衛星(0.5arcsec)のデータを用いることで、これまでにない精度で銀河団高温プラズマ中の鉄の空間分布を調べる。
- ・また、12個の異なる銀河団を扱うことで、鉄の分布を系統的に解析する。

⇒ 銀河からの鉄の供給過程についての情報を引き出す

§1 鉄アバダンスの導出 1 §

X線スペクトルから、銀河団の温度、鉄アバダンスの半径分布を導出

フィッティングモデル

MEKAL + 銀河吸収 (wabs)
(APECでもほぼ同じ値を確認済)

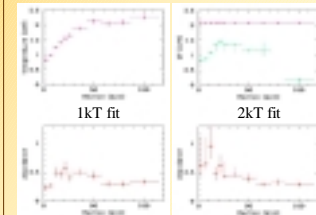
本研究で用いたモデル

1. MEKAL1KT+wabs (3.0~9.0keV)
2. MEKAL1KT+wabs (0.5~9.0keV)
3. MEKAL2KT+wabs (0.5~9.0keV)

1. Fe-K付近のfitting・アバダンス測定の高信頼性の高いFe-Kを用いる。ただし、Fe-Kが強く見える必要あり。
2. Fe-Kが見えなくてもOK。中心付近でアバダンスが大きく減少することがある。
3. 中心の低温成分を考慮。アバダンスの減少がおさえられた。χ squareも減少する傾向。

天体名	赤方偏移 z	Model
A2199	0.0303	3
A2052	0.0350	3
A262	0.0163	3
Centaurus	0.0114	3
2A0335+096	0.0349	1
A1795	0.0631	3
A2029	0.0773	3
A478	0.0881	1
Hydra A	0.0538	3
HCG62	0.0137	2
NGC507	0.0190	3
A3558 (non cD)	0.0478	3

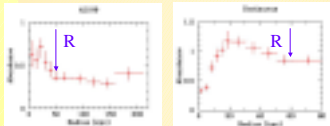
例 A262での1温度フィット、2温度フィットによるアバダンスの比較



高温成分・1温度フィットでの外側温度に固定
低温成分・free parameter

銀河団中心でアバダンスが増加

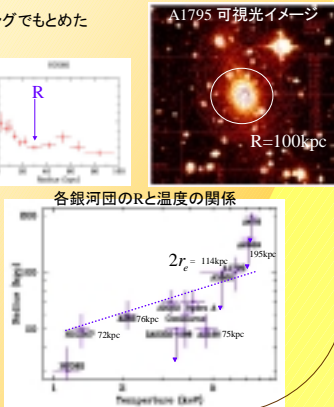
MEKAL2温度+wabsモデルによるフィッティングでもとめたアバダンスの半径分布の例



アバダンス勾配のゆるやかになる半径 R
⇒ 各銀河団のcD銀河のスケールとほぼ一致

cD銀河の半径は銀河団の温度と相関

中心からRまでの鉄の質量を求めていく



各銀河団のRと温度の関係

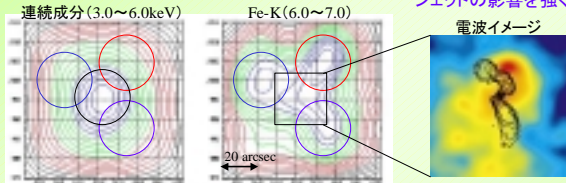
2r_c = 114kpc, 195kpc, 73kpc, 76kpc, 75kpc

§3 鉄の空間分布の異方性の解析 3 §

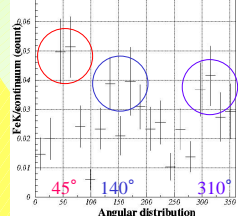
温度の影響を受けにくい鉄のK線を利用して、銀河団内の鉄の分布の異方性を探った。中心領域まで鉄のK線がはっきりとみられたA1795、A2029、A478、Hydra Aでの解析を試みた。・A1795

○ .. A_{Fe} = 0.303 ○ .. A_{Fe} = 0.440

銀河団における鉄の分布はジェットの影響を強く受ける?



Fe K / 連続成分



- ・連続成分のほぼ対称的な分布に対して、Fe-K分布はθ=45° 140° 310° 方向に非対称に伸び、乱されているのがわかる
- ・Fe-K分布がジェットをさけるように分布している

A2029、HydraAも同様に異方性が見つかった

A478はほぼ一様に鉄が分布していた

§2 銀河団ICM中の鉄の質量の導出 2 §

スペクトルフィットで求めた鉄アバダンス分布を用いてICM中の鉄の質量を各銀河団ごとに見積もった

$$\text{鉄質量} \Rightarrow M_{Fe} = \int n_{Fe}(r) 4\pi r^2 dr = \int A_{Fe}(r) (N_{Fe}/N_H) \times 56m_p \times n_H(r) 4\pi r^2 dr$$

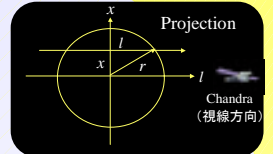
実際の観測からのアバダンス半径分布 ⇒ A_{Fe}(x)

注意: 視線方向に積分された値となる

Projectionの影響を考慮した式

$$A_{Fe}(x) = \frac{\int n_H A_{Fe}(r) n_e(l,x) \Delta(T) dl}{\int n_e^2(l,x) \Delta(T) dl}$$

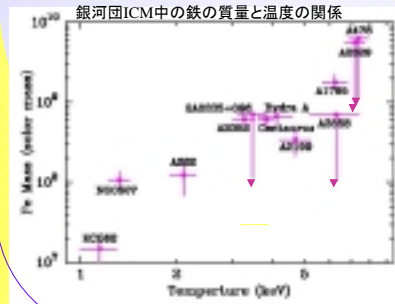
アバダンス分布の3次元化 ⇒ A_{Fe}(r)



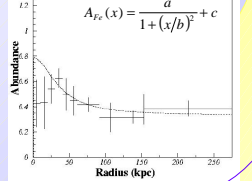
ICMの数密度分布

$$\beta \text{ モデル} \\ n_e(r) = n_{e0} \left[1 + \left(\frac{R}{R_c} \right)^2 \right]^{-\beta}$$

アバダンスの半径分布を A_{Fe}(x) でフィッティングすることで A_{Fe}(r) を求め M_{Fe}(r) を計算



A_{Fe}(x) フィッティング例: A2052



§4 考察 4 §

考察1 cD銀河中の鉄の質量との比較

cD銀河の絶対等級の値(NEDより)から含まれる鉄の質量を求めた。

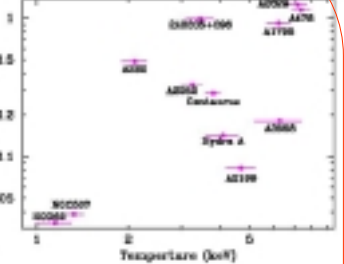
$$8L_B = M_{star} m_b (\text{等級}) \Rightarrow L_B$$

とみなし、1solarを仮定し鉄の質量を計算 ICM中の鉄の質量との比較 ⇒

ICM中の鉄質量 < cD銀河中の鉄質量

ICM中の鉄: cD銀河1つで十分にまかなえる量であるといえる

ICM中の鉄の質量 / cD銀河中の鉄の質量



考察2 銀河団における鉄の拡散

高温プラズマ中でイオン化されたガスの拡散係数D

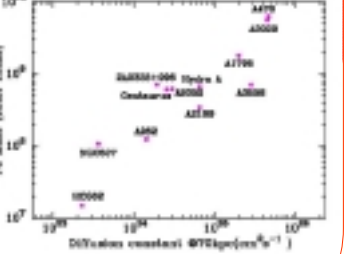
$$D = \frac{1}{3} v_{th} \lambda = \frac{kT_{pl}}{2m_{Fe}} = 5 \times 10^{20} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} \times \left(\frac{n_e}{10^{-4} \text{ cm}^{-3}} \right)^{-1} \left(\frac{kT}{4 \text{ keV}} \right)^{-3/2}$$

12の銀河団それぞれの半径70kpc付近でのガス密度を用い、拡散係数を求めた

↓ Dは温度に強く依存することに注意

拡散係数の高い銀河団: アバダンスの高い領域が大きく広がっている

拡散係数とICM中の鉄の質量の関係



拡散係数の理論値はせいぜい数kpcにとどまり、銀河団の分布の様子を説明しきれない cD銀河内の超新星爆発によるエネルギーの寄与の影響があらわれていると考えられる

§5 まとめ 5 §

本研究から……

銀河団中心の鉄の超過の原因

- ・中心銀河からの拡散(最有力候補)
- ・重力による沈降
- ・メンバー銀河の運動に伴う集積

- ・低温銀河団ではcD銀河1つでICM中の鉄を十分に供給できることがわかった
- ・鉄の広がりもcD銀河と同程度であり、cD銀河から鉄が供給されていることを意味する
- ・銀河群HCG62では、cD銀河中の鉄に比べて、ICM中の超過鉄が非常に少なく、銀河団空間へ既に逃がっている可能性があり、高温銀河団と異なる
- ・鉄の分布は銀河団中心で異方性を示すものがあり、ジェットなどの影響を受ける可能性を示唆する