

Chandra衛星による銀河団中心部のX線観測

広島大理 川埜直美 深澤泰司 2004/09/21

I. Introduction

Chandra衛星の特徴：**過去最高の空間分解能** (~ 0.5 arcsec)

ASCAやNewtonに比べて、

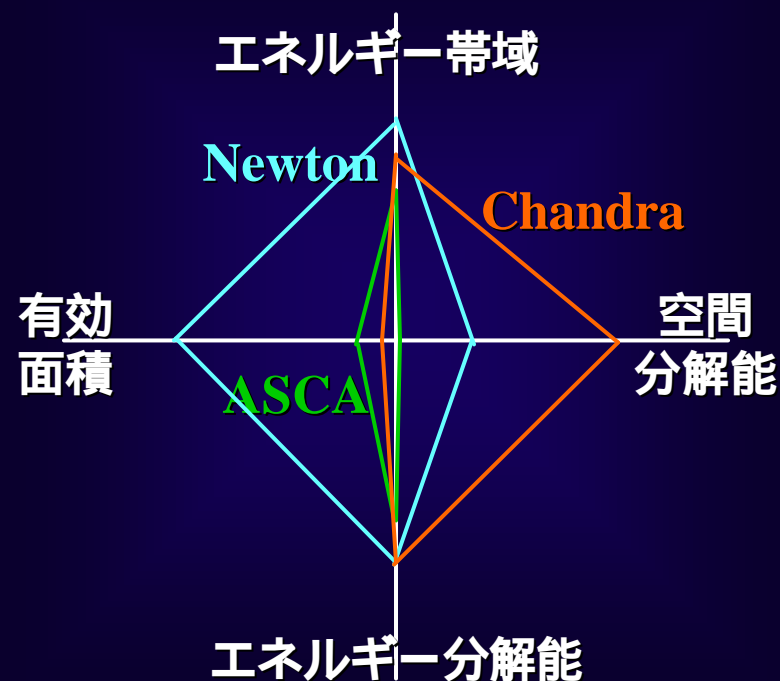
- ・有効面積は小さいが、数 arcsec スケールでの物理量の議論が可能
- ・エネルギー分解能も良い

銀河団の中心領域を細かく分解できる



銀河団中心の低温ガスを詳細に解析し、Cooling Flow (CF) 抑制している加熱現象との関係を探った

ASCA, Newton, Chandra の性能比較



II. 銀河団サンプル

銀河団18個 + 銀河群4個 : 全22個

- **Cooling Flow 銀河団**

→ $\dot{M} = 20\text{-}1000 M_{\odot} / \text{yr}$

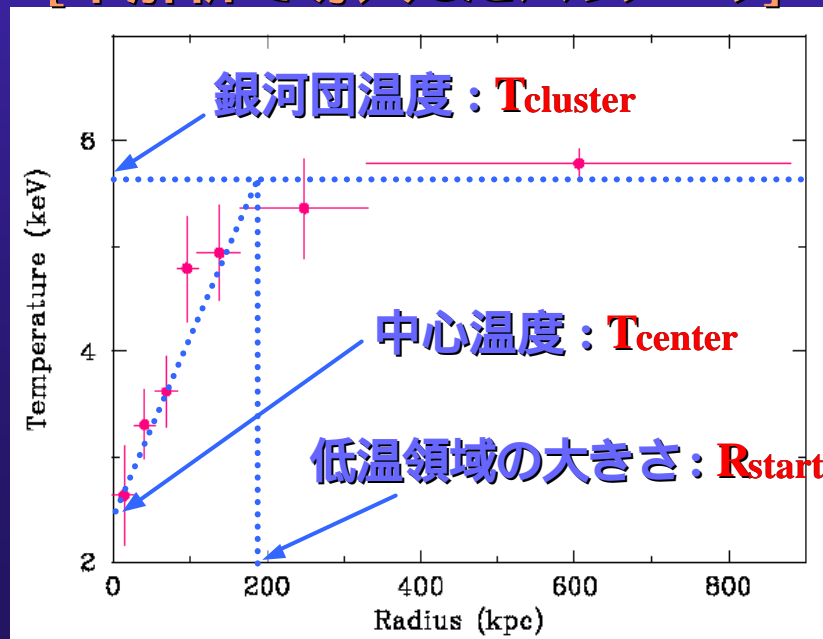
- **近い** $z = 0.01 \sim 0.09$

(例外 A1835 : $z = 0.2352$)

- **明るい** $L_X = 8 \times 10^{42} \sim 3 \times 10^{45} \text{ erg/s}$

全て Chandra ACIS-S3 のデータ

[本解析で導入したパラメータ]



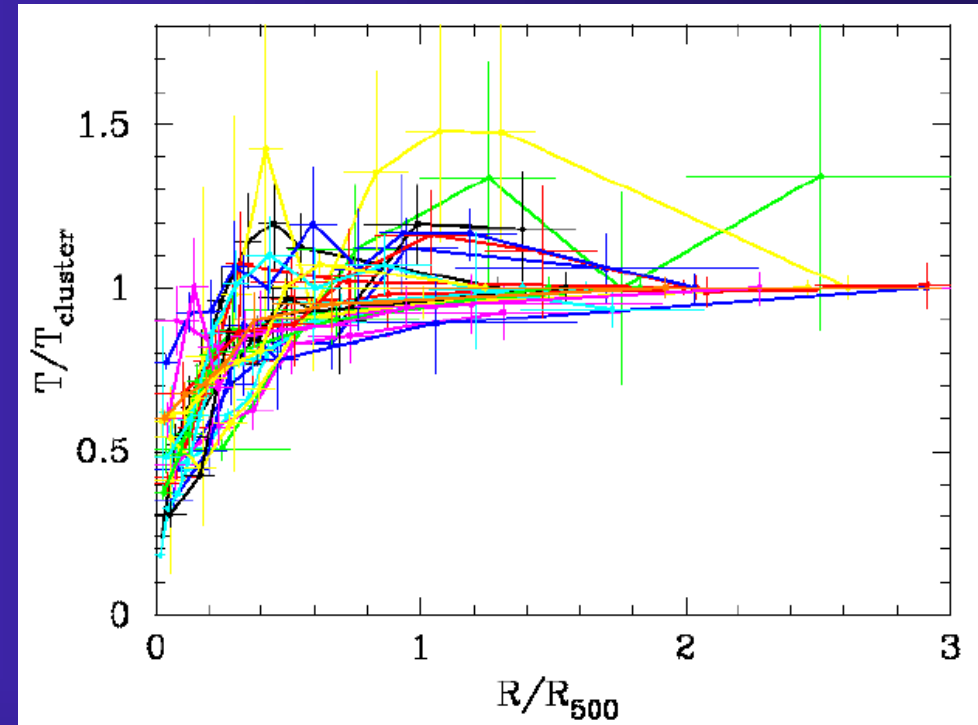
	z	L_X (erg/s)	\dot{M} (M_{\odot} / yr)
A1835	0.2532	2.7×10^{45}	1106
A478	0.0881	2.1×10^{45}	990
A2029	0.0773	2.0×10^{45}	449
Ophiuchus	0.0280	1.5×10^{45}	159
Perseus	0.0179	1.3×10^{45}	208
A1795	0.0631	1.1×10^{45}	523
A3112	0.0750	4.8×10^{44}	565
A3558	0.0480	4.3×10^{44}	25
Hydra A	0.0538	4.0×10^{44}	489
2A0335+096	0.0349	3.3×10^{44}	181
A496	0.0329	3.0×10^{44}	136
A2199	0.0302	2.7×10^{44}	208
A4059	0.0475	1.8×10^{44}	173
A2052	0.0350	1.4×10^{44}	114
Centaurus	0.0114	5.1×10^{43}	25
A262	0.0163	4.3×10^{43}	62
Sersic159-03	0.0580	3.2×10^{43}	----
MKW4	0.0200	7.9×10^{42}	20
N507	0.0190	1.4×10^{43}	40
N5044	0.0082	1.3×10^{43}	25
N533	0.0174	9.0×10^{42}	----
HCG62	0.0137	7.8×10^{42}	----

III. 解析結果 (1)

- 温度の半径分布

- $T_{\text{center}} / T_{\text{cluster}} \sim 0.35-0.60$ で、中心温度は銀河団温度に比例
- 中心温度は $0.61 \sim 4.10$ keV と大きくばらついている

→ 従来の CF Model と合わない



- R_{start} - cooling radius R_{cool}

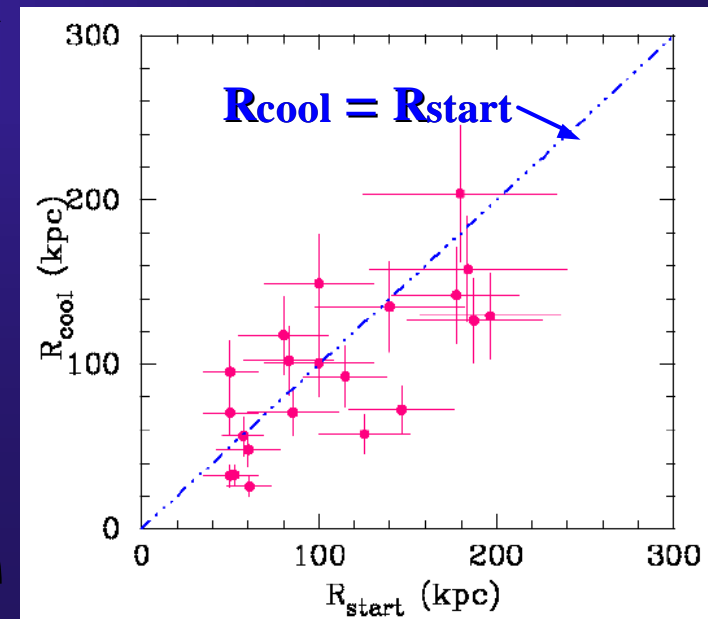
- 低温領域の大きさと cooling radius が一致
- 中心の低温ガスは放射冷却により冷えていることを示唆

- R_{start} - T_{center}

低温領域の大きさと温度が相関

一般的に銀河団の規模と温度は比例
 $T_{\text{center}} - T_{\text{cluster}}$ は比例関係

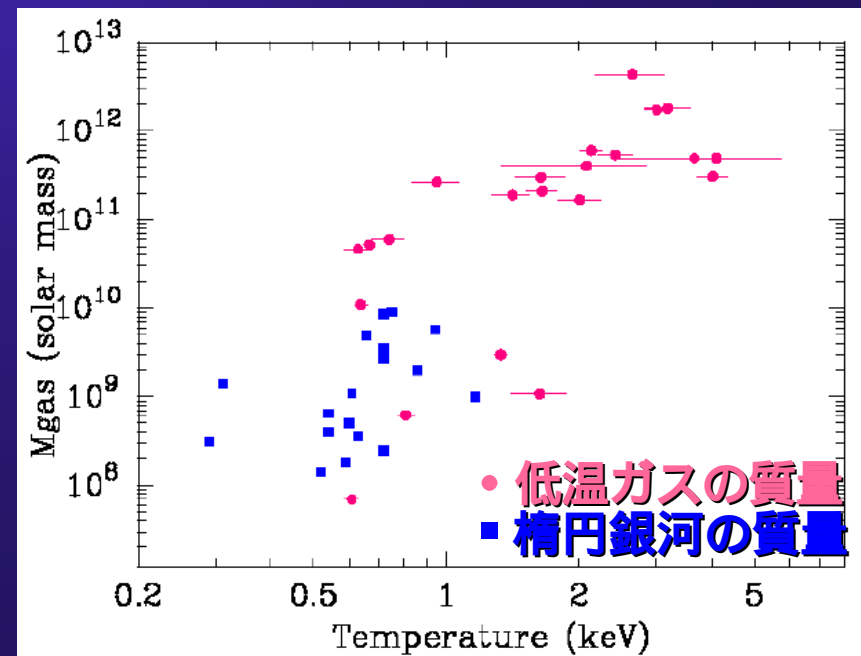
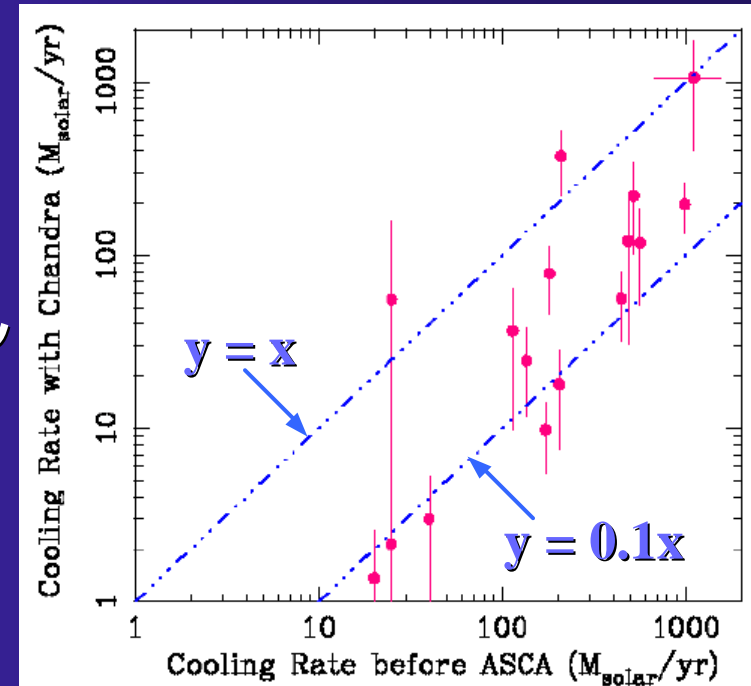
→ 規模の大きな銀河団ほど低温領域が広い



III. 解析結果 (2)

- 吸収の分布
 - ・吸収は場所によらずほぼ一定
 - ➔ 低温ガスによる超過吸収の証拠はなし
- Cooling Rate
 - ・Einstein, ROSAT に比べて、数倍から一桁ほど小さい
 - ➔ Einstein, ROSAT の cooling rate は過大評価されている

低温ガスはCFの予想より少ない
- 低温ガスの質量
 - 多くの銀河団で $10^{10} \sim 10^{12} M$
 - ➔ 中心の巨大楕円銀河 ($10^8 \sim 10^{10} M$) だけでは説明できない



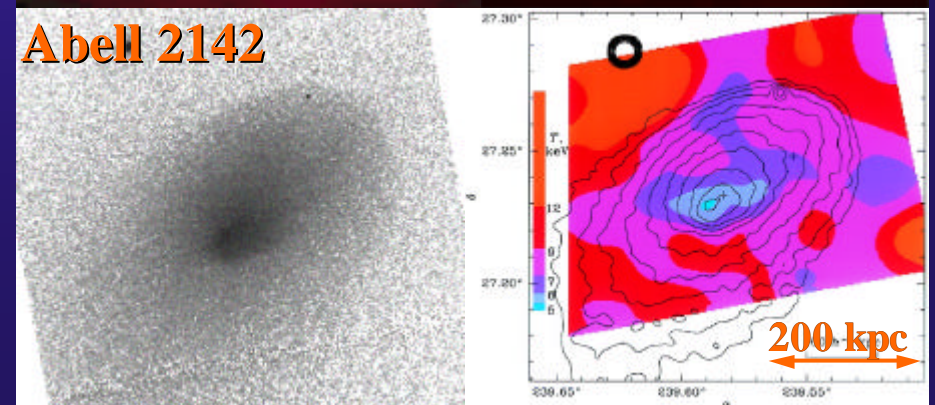
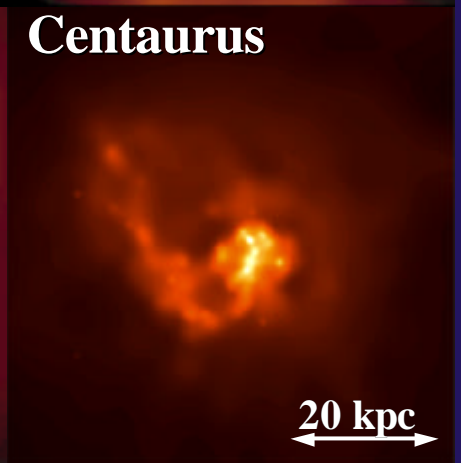
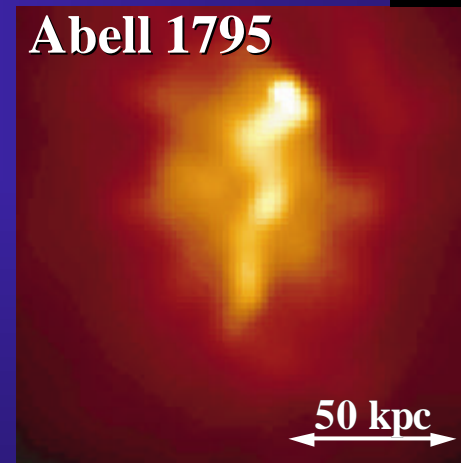
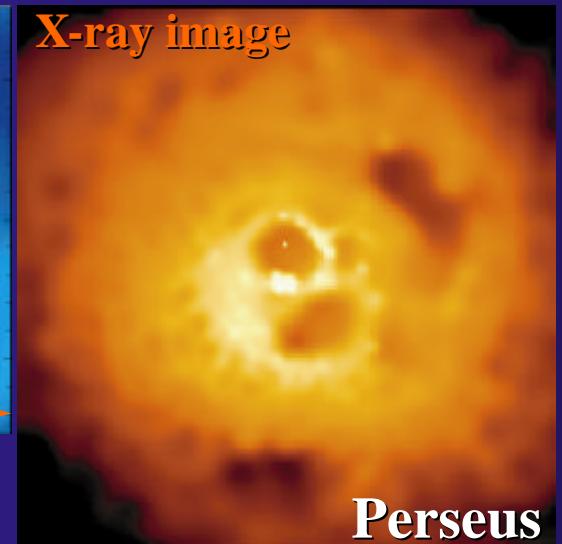
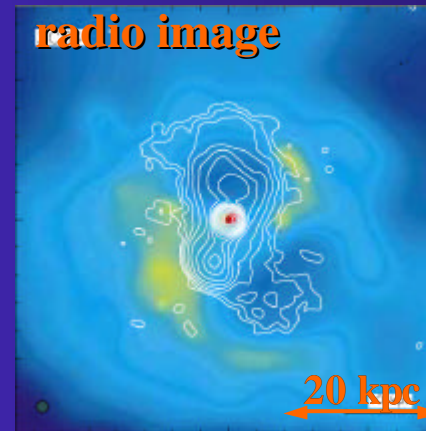
IV. 他の観測結果

- X-ray cavities
 - ・AGNからの電波ローブと良く相関
 - ・電波ローブの周囲に明るい rim (例 : Hydra A, A2052, Centaurus)



電波とX線ガスが激しく相互作用
X線ガスが押しつけられている

- filament 構造
 - ・周辺のガスより温度が低い
 - ・cD銀河の運動に伴って生じる cooling wake
- cold front
 - ・密度・温度の急激な変化
 - ・圧力は一様であり、shock front とは異なる



V. 銀河団中心での加熱現象

加熱モデル

中心のAGN jet によるエネルギー注入

周囲の高温ガスによる Thermal Conduction

Merger を伴う進化による階層構造形成

磁気リコネクションによるエネルギー解放 (銀河の運動)

プラズマ中の高エネルギー陽子・電子

銀河の運動による音波加熱

今回は、比較する観測データが豊富な ~ のモデルについて議論

VI. 加熱現象との比較

AGN jet

- X-ray cavities を良く説明できる

↔ bright rim は温度が低く、shock もない: heating の証拠はない

- Birzan et al. (2004)

X-ray cavities 形成に必要なエネルギー (pV) を計算

Cooling を抑制するには 4~16 倍のエネルギーが必要

→ 中心の温度分布を説明できない

VI. 加熱現象との比較 (続き)

Thermal Conduction

Voigt and Fabian (2004)

放射冷却と熱伝導による heating が
つり合っているとして熱伝導率を計算

5 keV 以下では Spitzer conductivity (κ_s)
より大きな熱伝導が必要

→ 低温銀河団における加熱は難しい

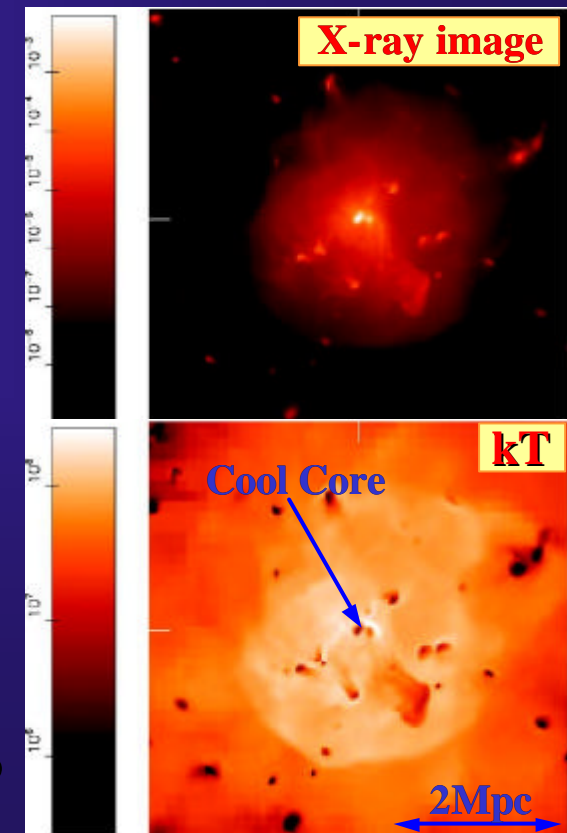
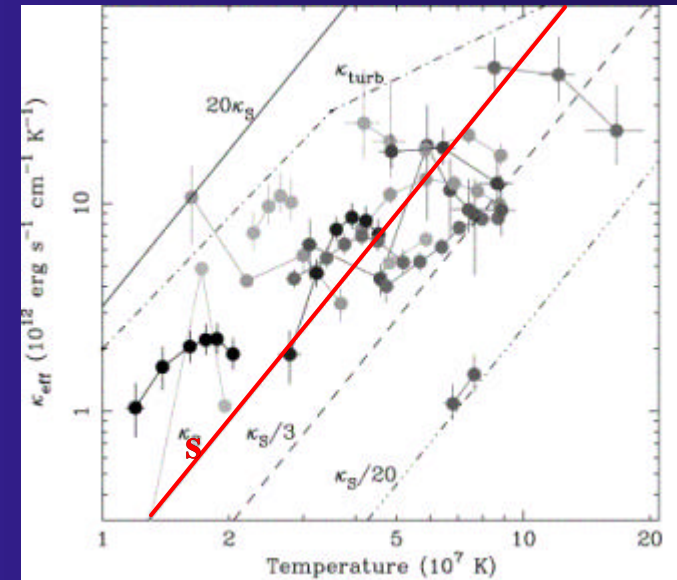
Merger による階層構造

Patrick et al. (2004)

放射冷却とMerger を繰り返して銀河団を
進化させた simulation

- ~ 100 kpc の Cool Core を形成
- Core の温度は最も低いときでも ~1 keV
- cold front, filament 構造も再現

観測された温度分布 低温領域の大きさを説明できる



VII. まとめ

22個の銀河団(群)について中心の低温ガスの系統的特性を調べた

- ・温度は中心に向かって低下し、 $T_{\text{center}} / T_{\text{cluster}} \sim 0.35-0.60$
- ・低温領域の大きさは 50-200 kpc で、銀河団の規模に比例
- ・X-ray cavities や filament 構造 ・cold front の存在

これらを3つの加熱モデルと比較を行った結果、

	AGN jet	Thermal Conduction	Merger 階層構造
温度構造 (T_{center})	×		
低温領域の大きさ	×		
X-ray cavities		---	---
filament,cold front	×	×	

すべての特性を説明できる加熱モデルはない

➔ 複数の加熱を組み合わせる必要がある

Merger による階層構造形成は広範囲の低温ガス分布を再現できる

➔ heating に大きく貢献している可能性がある