

# 銀河団外縁部

滝沢元和

宇宙物理グループ談話会

2011年7月15日

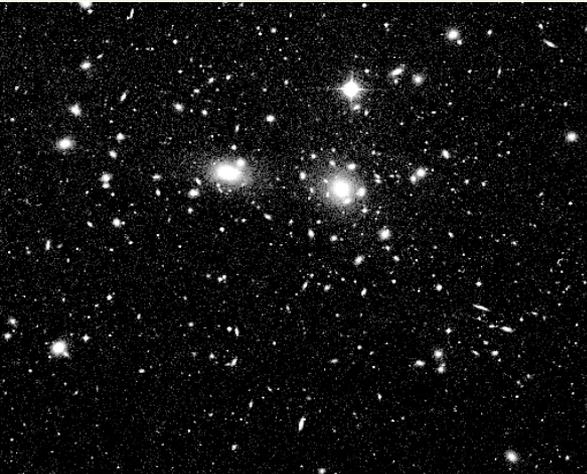
# 今日の予定

---

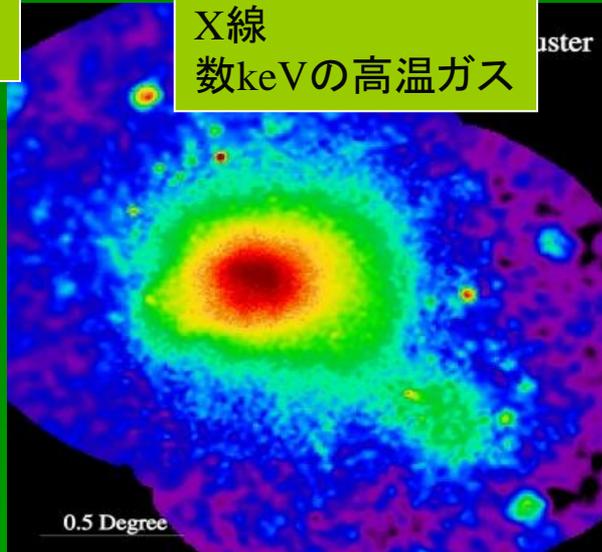
- Introduction
- 球対称密度揺らぎモデルとヴィリアル半径
- A399&A401
- A2044, PKS0745-191, A1795
- Abell 1689
- ペルセウス銀河団
- まとめ

# Introduction: 銀河団

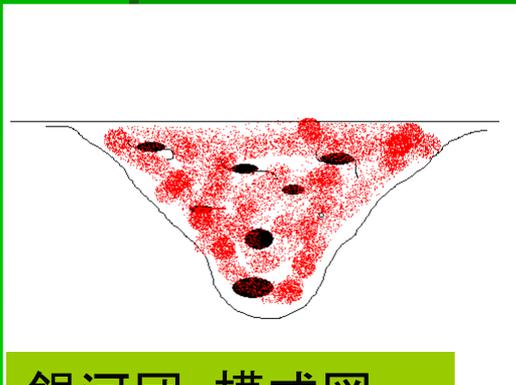
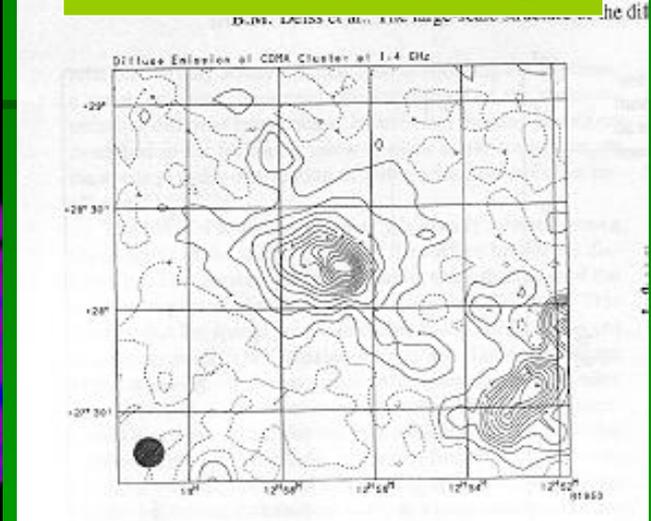
可視光  
(数100個の銀河の集まり)



X線  
数keVの高温ガス

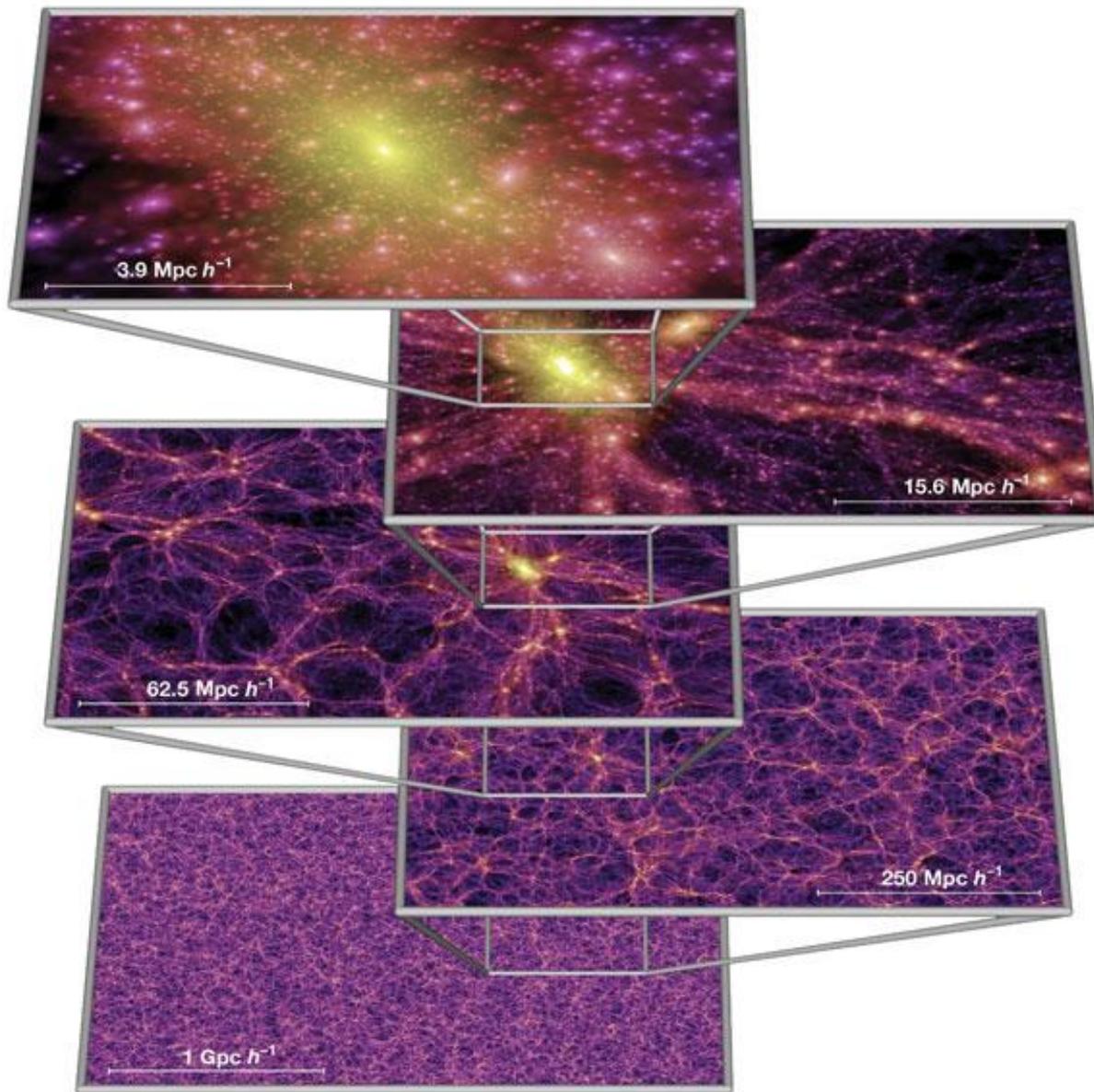


電波  
数GeVの高エネルギー電子



銀河団: 模式図

- 暗黒物質の重力ポテンシャル中に束縛された高温ガス ( $T \sim 10^7 - 8K$ ) と銀河のかたまり。
- 宇宙で最大のビリアライズした天体 ( $R \sim \text{Mpc}$ ,  $M \sim 10^{14-15}$  太陽質量)
- 宇宙の構造形成の(観測可能な)現場
- プラズマ物理の実験場(理想的な無衝突プラズマ)
- 暗黒物質の実験場(重力レンズ、self-interacting dark matter など)



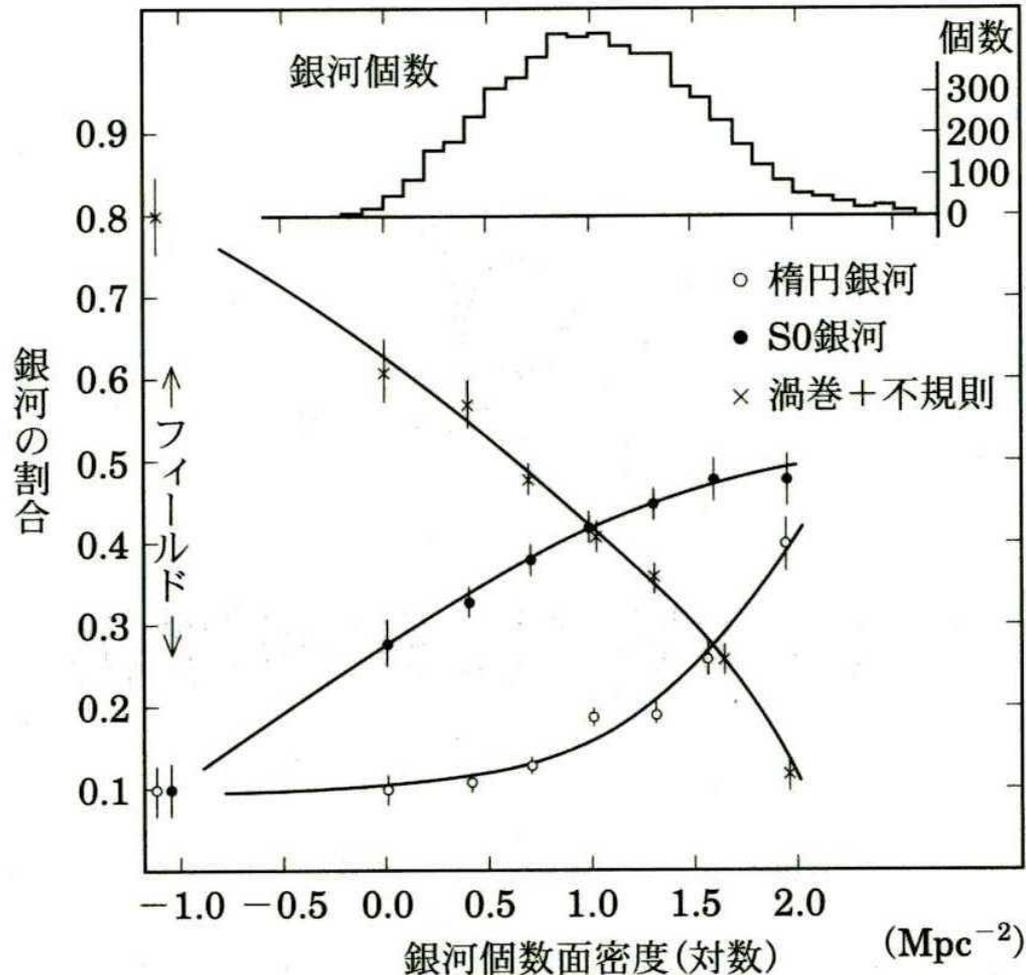
宇宙の大規模構造の  
N体シミュレーションの例  
(Springel et al. 2005)

$$N = (2160)^3 \\ \doteq 1.0078 \times 10^{10}$$

重力不安定性の成長による  
構造形成

現在も周囲の物質を降着させ  
ながら成長している。

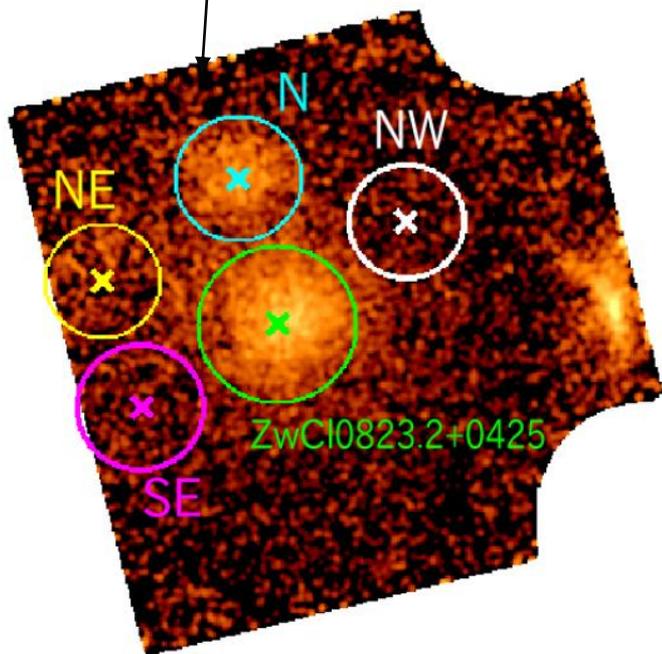
# 銀河の環境効果



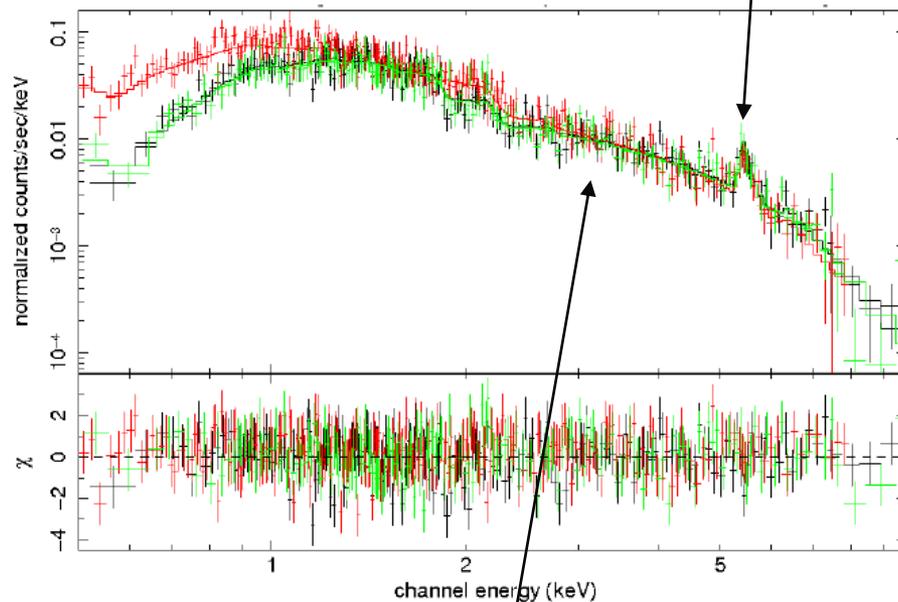
- 楕円銀河やレンズ銀河は銀河団の中に多い。
- 渦巻き銀河は銀河団の外に多い。
- 銀河のできかたは周りの環境に大きな影響を受けているらしい。
- 銀河団に入ってくると形態が変わるのでは？

# X線で見える銀河団

X線表面輝度  $\propto n_e n_i T^{0.5} L$   
→ バリオンの密度分布



重元素の輝線  
→ 重元素量、赤方変位、  
(将来的には) ドップラー変位



連続成分の形  
→ 温度

Watanabe, Takizawa et al. (2011)

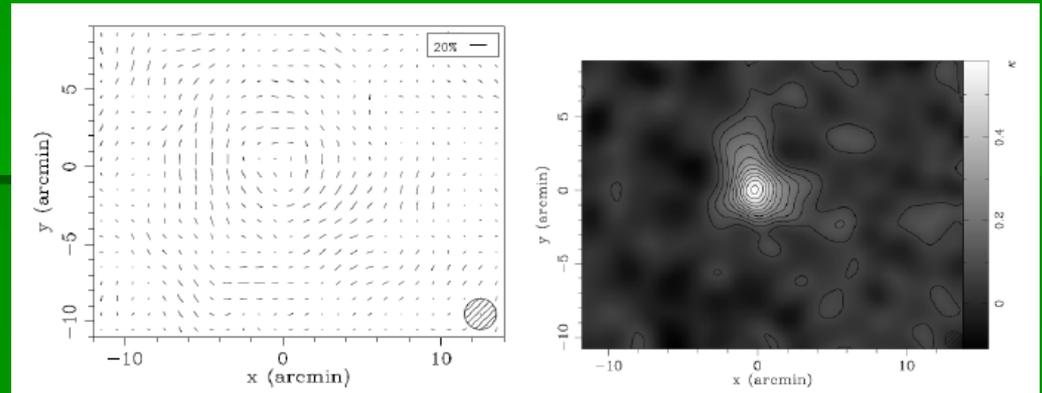
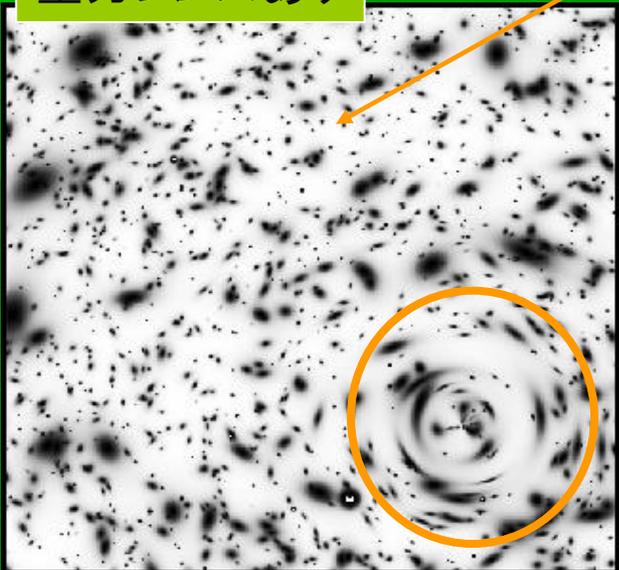
重カレンズなし



# 重カレンズ

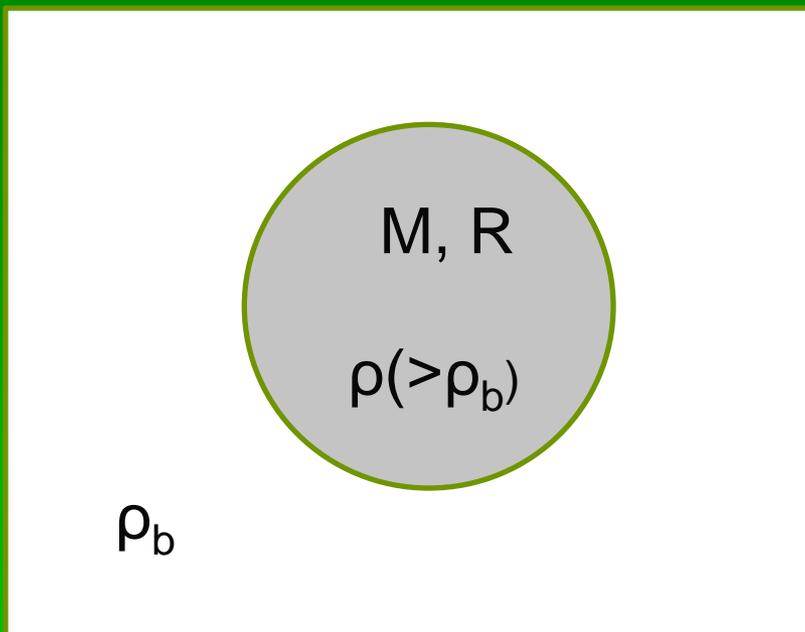
実はこのあたりにある銀河も  
重カレンズ効果をうけて少しづつ  
ゆがんでいる。  
多数の銀河のゆがみ具合の平均  
をとることで、重カレンズ効果  
を検出できる

重カレンズあり



左： 銀河の平均的なゆがみ具合  
右： それから再現した質量分布

# 球対称密度揺らぎモデル



球状の高密度領域を考えると、

$$\frac{d^2R}{dt^2} = -\frac{GM}{R^2}$$

これは解析的に解けて、 $R(t)$ はサイクロイド解になる。

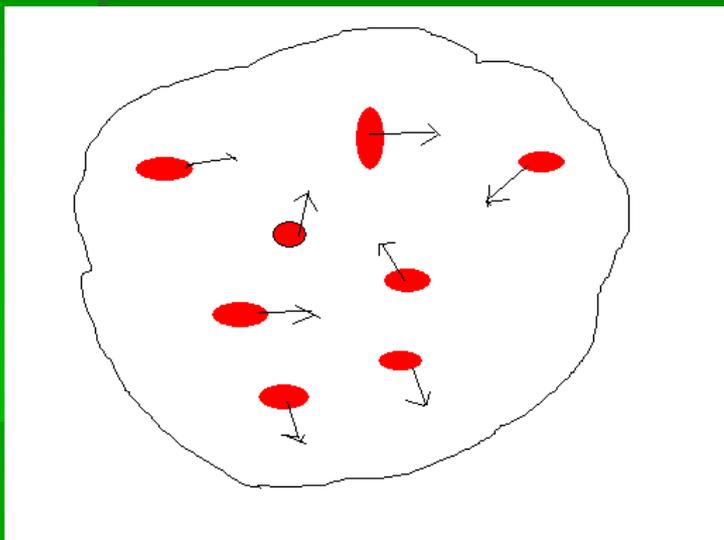
$$\begin{cases} R = A^2(1 - \cos \theta) \\ t = \frac{A^3}{\sqrt{GM}}(\theta - \sin \theta) \end{cases}$$



$\theta = 2\pi$  で  $R=0$  で密度無限大？

# ヴィリアル半径

- 実際には力学平衡から決まるある半径 $r_{\text{vir}}$ に落ち着くであろう。
- $K+W=(\text{一定})$
- $2K+W=0$  (ヴィリアル定理)
- 結果として、 $r_{\text{vir}}$ より内側の平均密度は、天体形成時の宇宙の臨界密度の約180倍となる。
- 実際には $r_{200}$  (内側の平均密度が臨界密度の200倍)などがよく使われる。



# 銀河団外縁部の観測

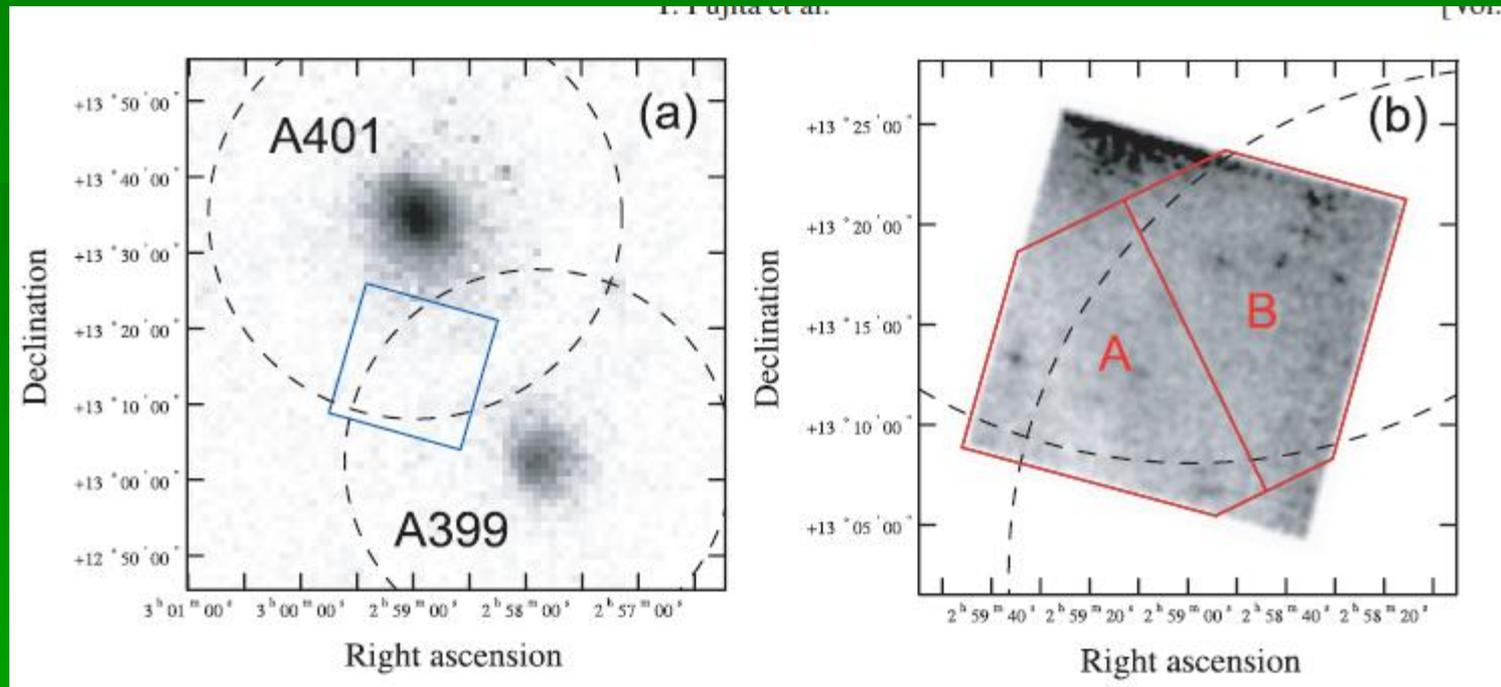
## ■ 銀河団外縁部観測の意義

- 宇宙の構造形成の現場を見る。
- 高温ガスやダークマターの構造や物理状態がどうなっているのか。
- 銀河の形態分化の手がかり。
- 銀河団の総質量、バリオンの存在比など

## ■ 銀河団外縁部観測の困難

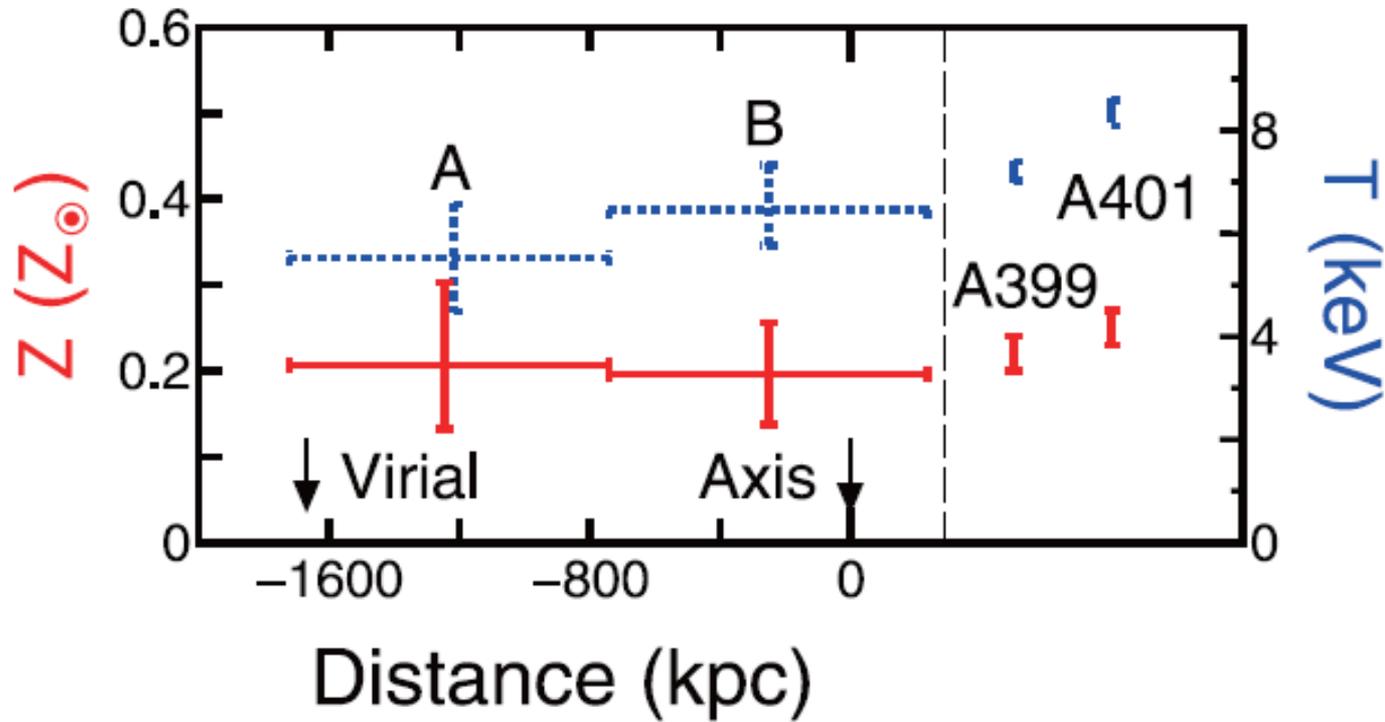
- 高温ガスの密度が低い(X線が暗い)
  - 低BGDな「すざく」でしかできない。
- 見かけのサイズが大きい
- 強い重力レンズは無理
  - 広視野、weak lensing で「すばる」の得意分野

# A399&A401 (Fujita et al. 2008)



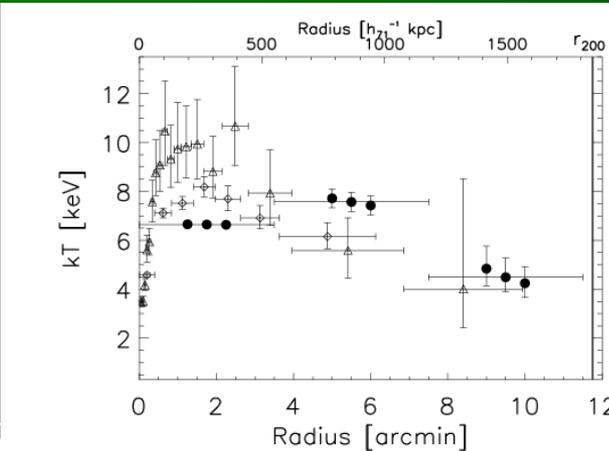
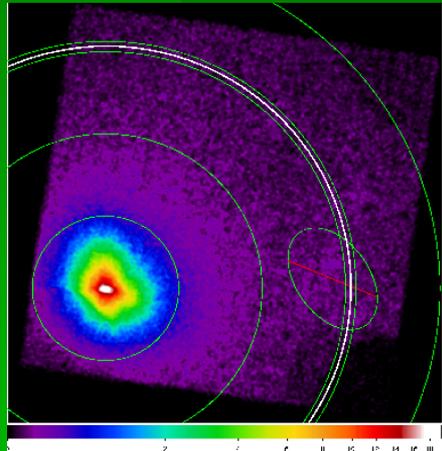
- 衝突直前の二つの銀河団
- 中間部分は圧縮されている。
- 外縁部のわりに輝度が高い。

# A399&A401



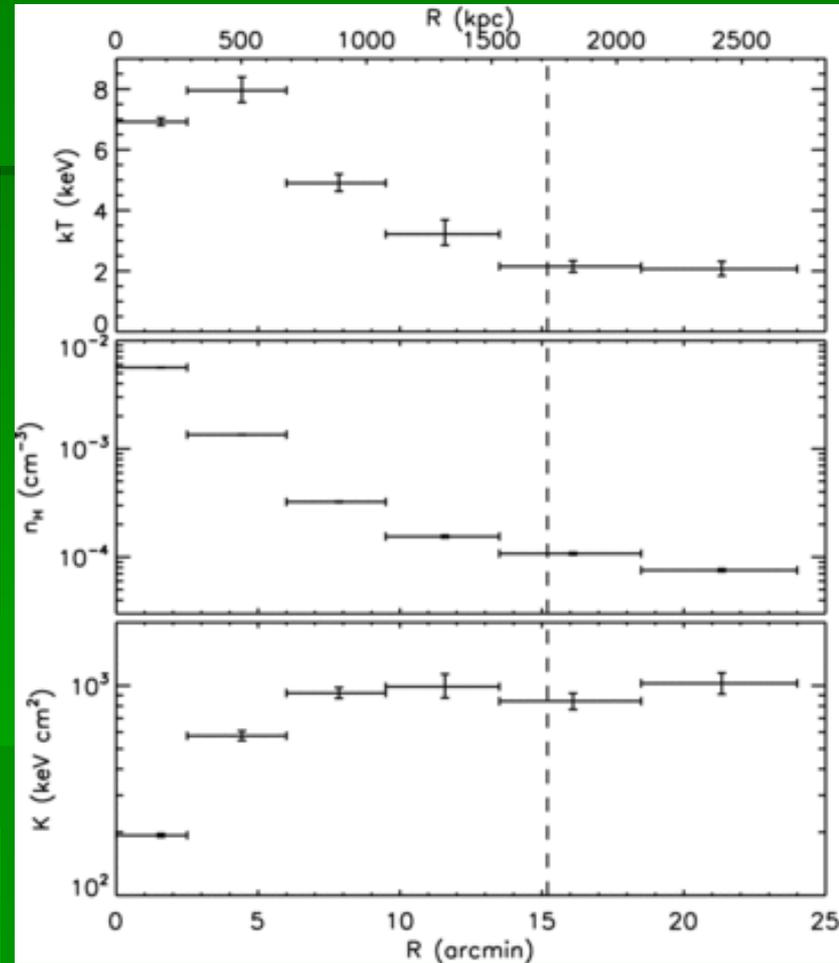
- ヴィリアル半径付近の重元素量 ( $Z \approx 0.2$ ) の最初の測定例
- 銀河団が集積する前から重元素に汚染？
- 超銀河風？

# A2044, PKS0745-191, A1795, A1413



A2044 の温度分布  
(Reiprich et al. 2009)

- 銀河団外側での温度の下降、エントロピーの増大が見えてきた。
- 他にA1795 (Bautz et al 2009)やA1413(Hoshino et al. 2010)でも。



PKS0745-191 の温度、密度、  
エントロピー分布  
(George et al. 2009)

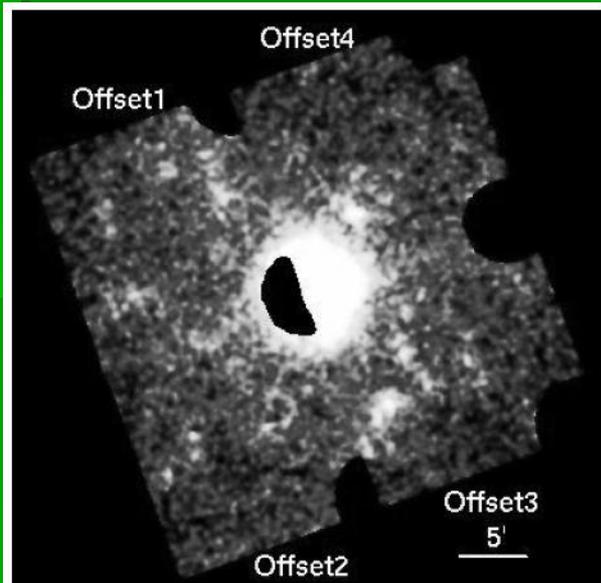
# A1689

(Kawaharada, Okabe, Umetsu, Takizawa, et al. 2010)

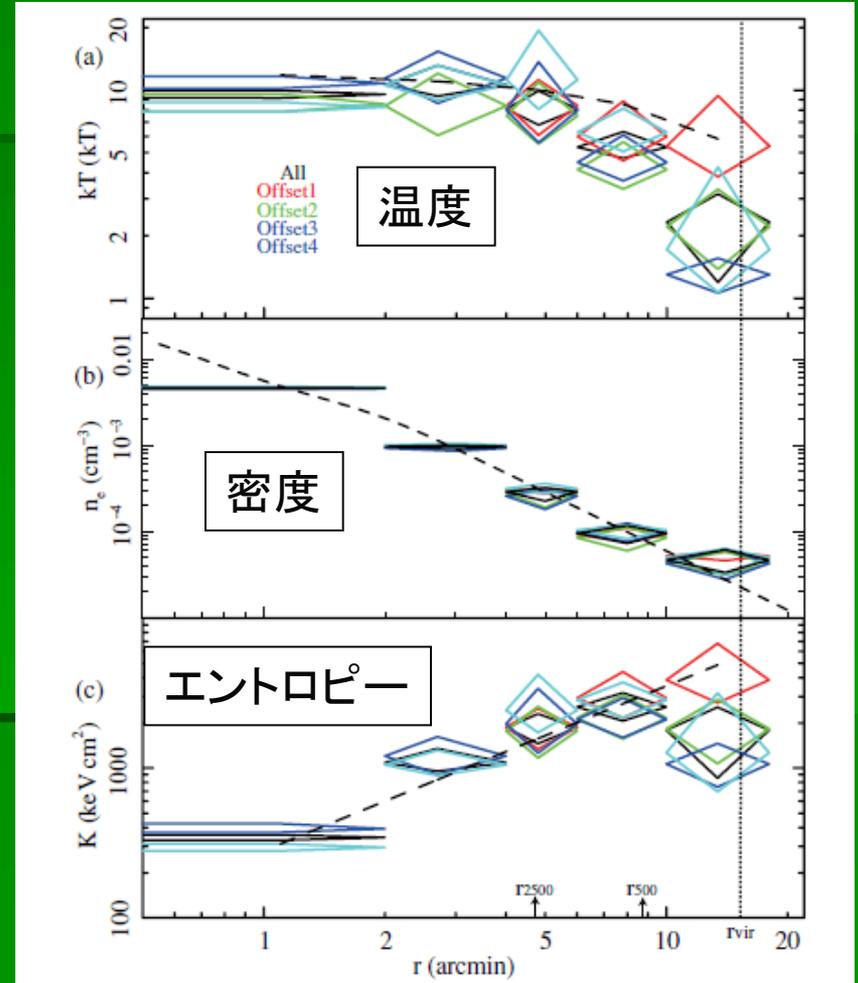
非常によく調べられている重力レンズ銀河団

CDMの予測よりも非常に中心集中度の高い質量分布を持つ。

3軸不等??



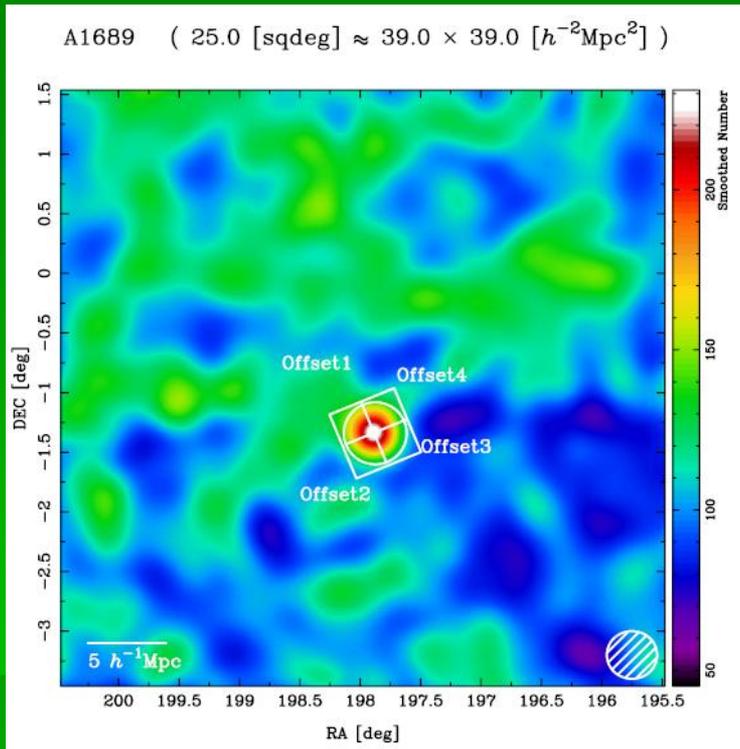
すざくによるA1689のX線イメージ



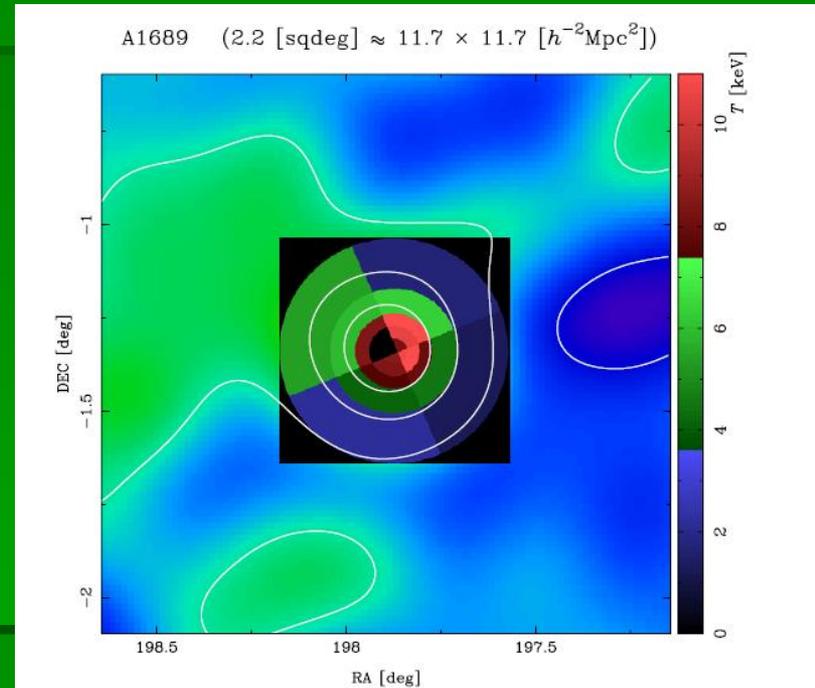
各方位ごとの温度、密度、エントロピー分布  
Offset1のみ外側で温度、エントロピーが高い

# A1689

(Kawaharada, Okabe, Umetsu, Takizawa, et al. 2010)



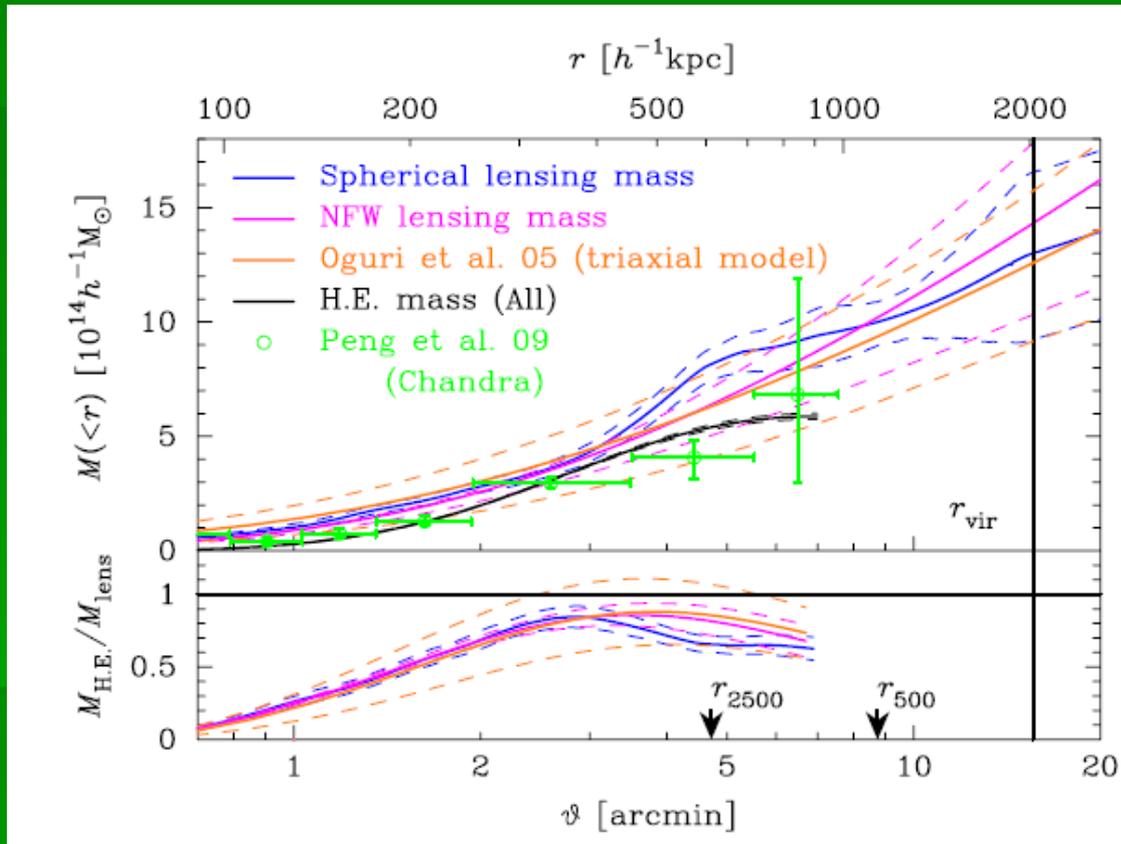
A1689周辺の銀河の個数分布  
Offset1方向に大規模構造フィラメント  
のようなものがある。



中心部:A1689の温度分布  
周辺部:銀河の個数分布(左のを拡大したもの)

# A1689

(Kawaharada, Okabe, Umetsu, Takizawa, et al. 2010)

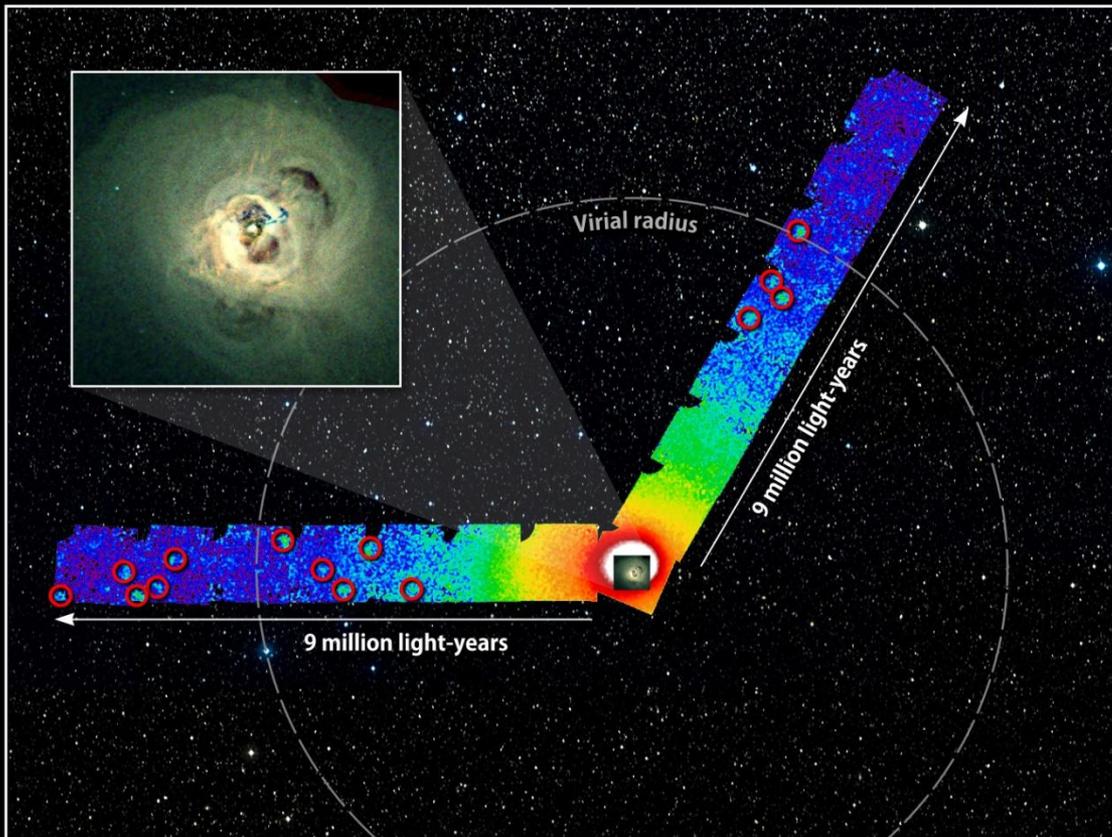


重力レンズから求めた質量と  
X線観測から静水圧平衡を仮定して求めた質量  
の比較。  
図にはのっていないが外側でM(r)の非物理的な減少。静水圧平衡の明らかな破れ

# Perseus Cluster

(Simionescu et al. 2011)

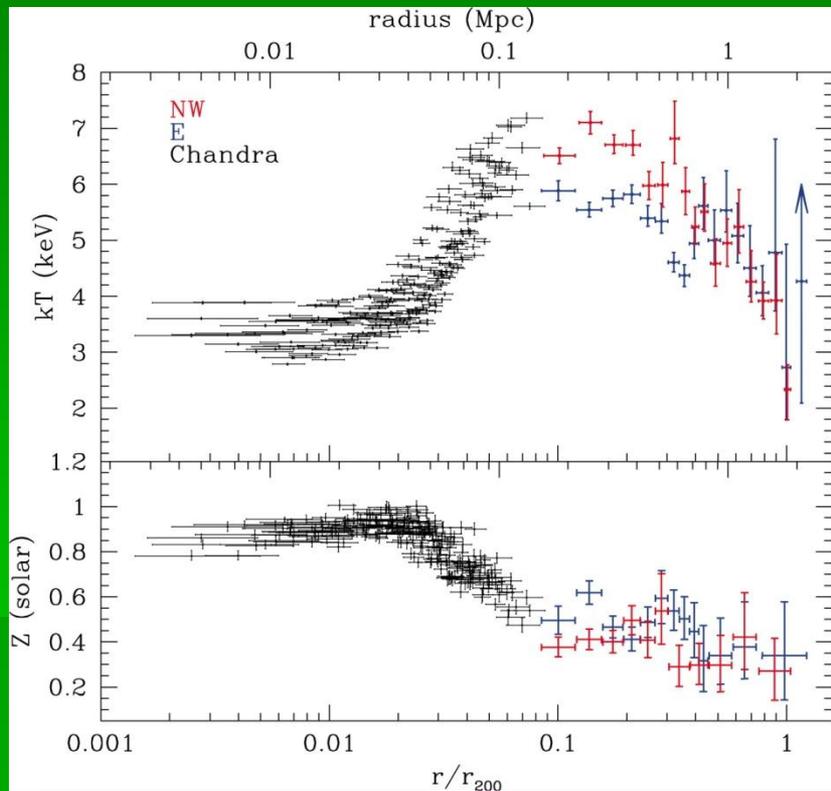
## Suzaku slices through the Perseus Galaxy Cluster



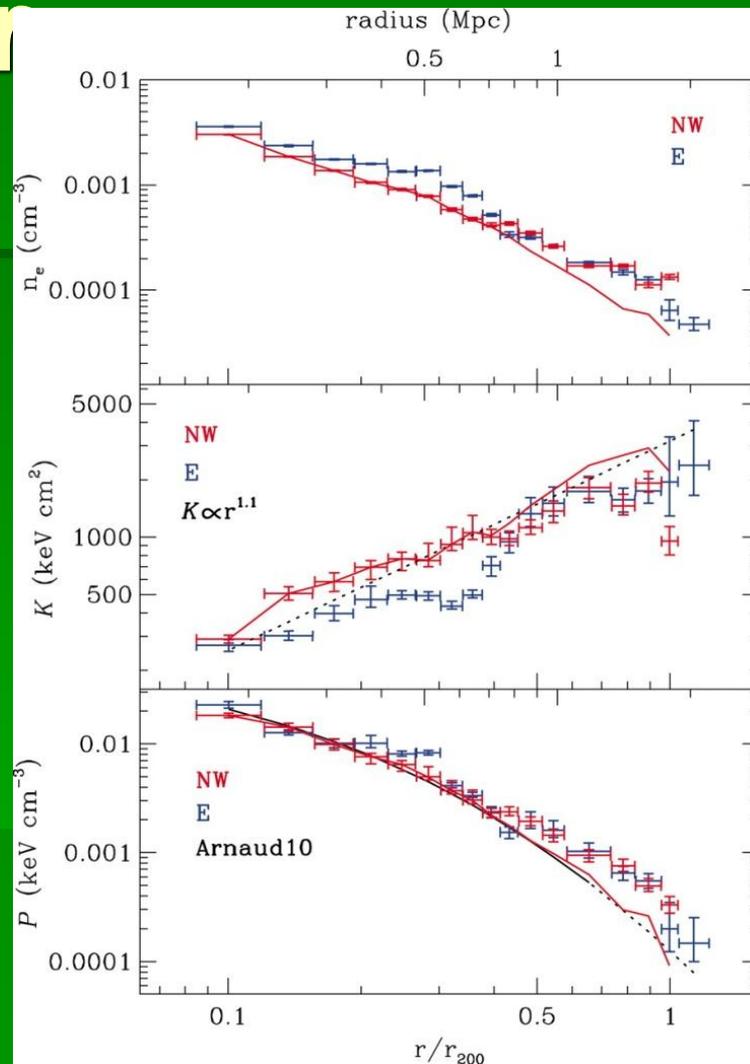
Credit: NASA/ISAS/DSS/A. Simionescu et al.

- 全天で見かけ上最も明るい系外 X-ray diffuse source
- 中心部をのぞけばrelaxしているようにみえる。

# Perseus Cluster (Simionescu et al. 2011)



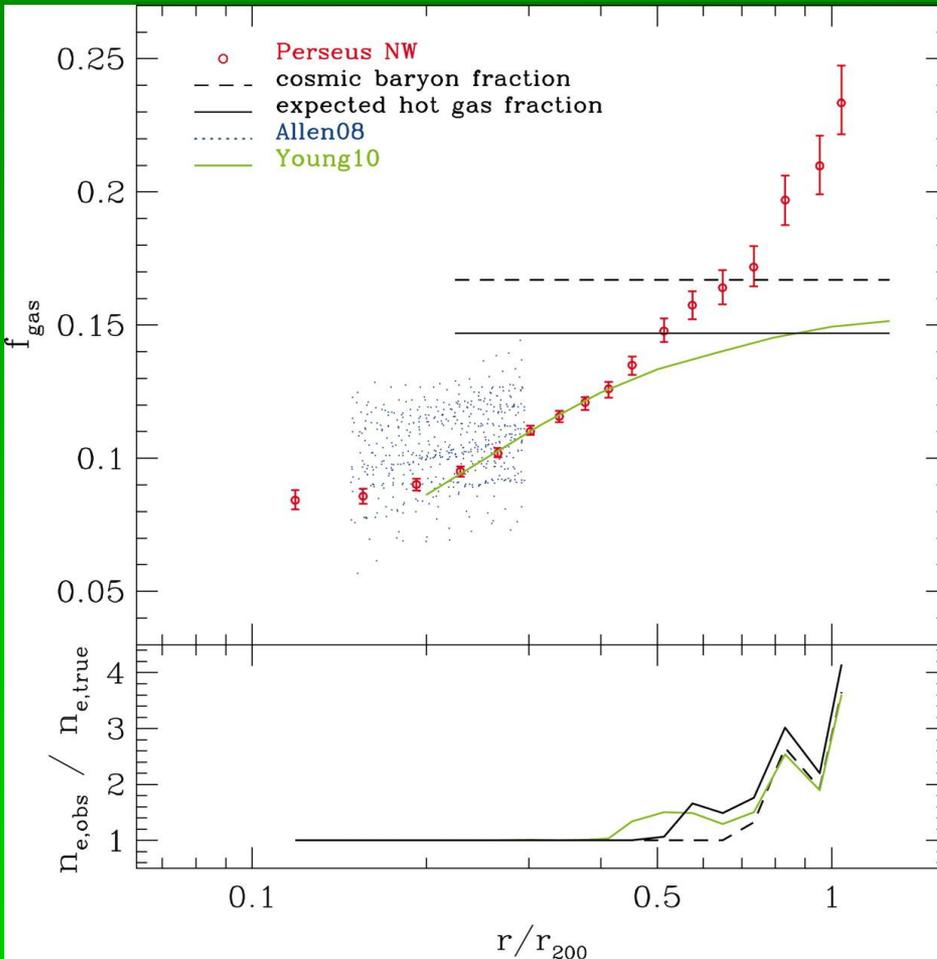
温度(上)と重元素量(下)



密度(上)、エントロピー(中)  
と圧力(下)

# Perseus Cluster

(Simionescu et al. 2011)



- $f_{\text{gas}}$  (ガス質量/総質量)が  $r_{200}$  付近で宇宙平均を上回る??
- ガスがclumpyなため、ガス密度を過大評価していると主張。(X線から直接求まるのは $\langle n^2 \rangle$ で $\langle n \rangle$ ではない)
- ただ、総質量を静水圧平衡から求めている。総質量を過小評価している可能性は高い。

# まとめ

- 銀河団外縁部の観測の重要性
  - 構造形成理論の検証
  - 銀河形態分化のてがかり
  - 銀河団の全体像把握
- すざく衛星によって $r_{200}$ 付近のX線観測が可能になってきた。
  - 温度の下降、エントロピーの上昇
  - 静水圧平衡の破れ
  - 大規模構造フィラメントとの関連
  - ガスはclumpy??