

銀河団外縁部

滝沢元和

宇宙物理グループ談話会

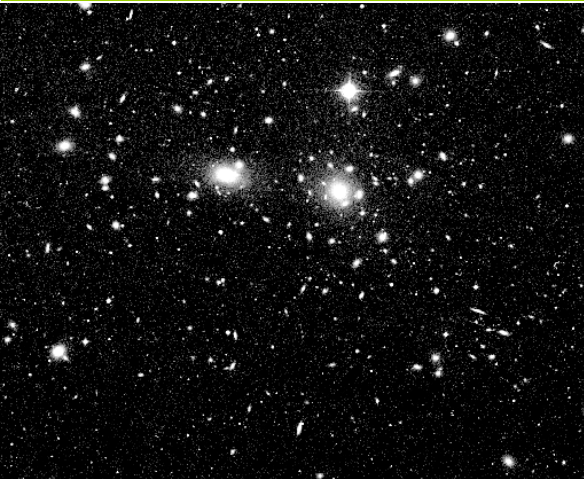
2011年7月15日

今日の予定

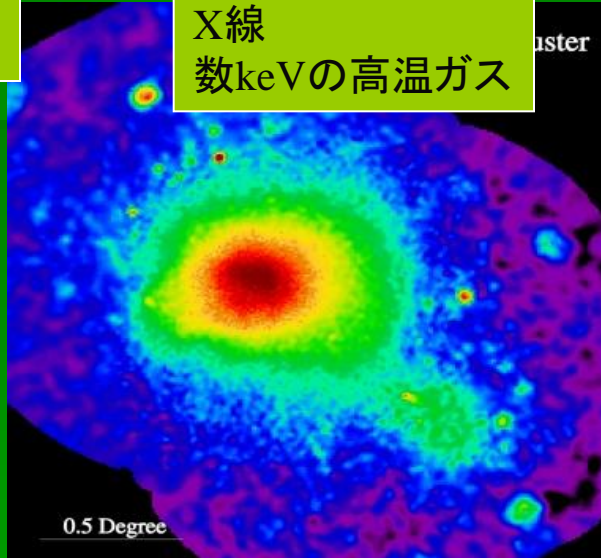
- Introduction
- 球対称密度揺らぎモデルとヴィリアル半径
- A399&A401
- A2044, PKS0745-191, A1795
- Abell 1689
- ペルセウス銀河団
- まとめ

Introduction: 銀河団

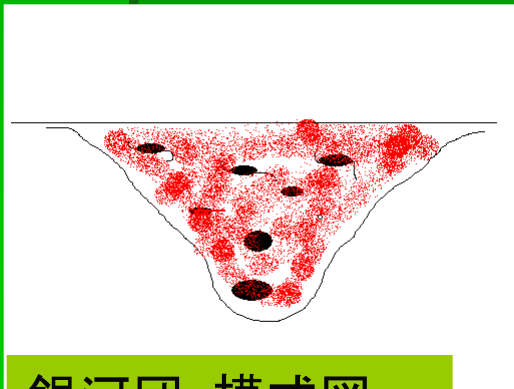
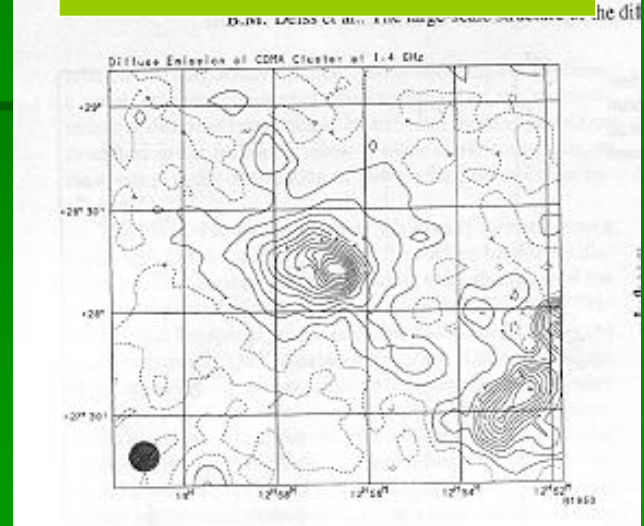
可視光
(数100個の銀河の集まり)



X線
数keVの高温ガス

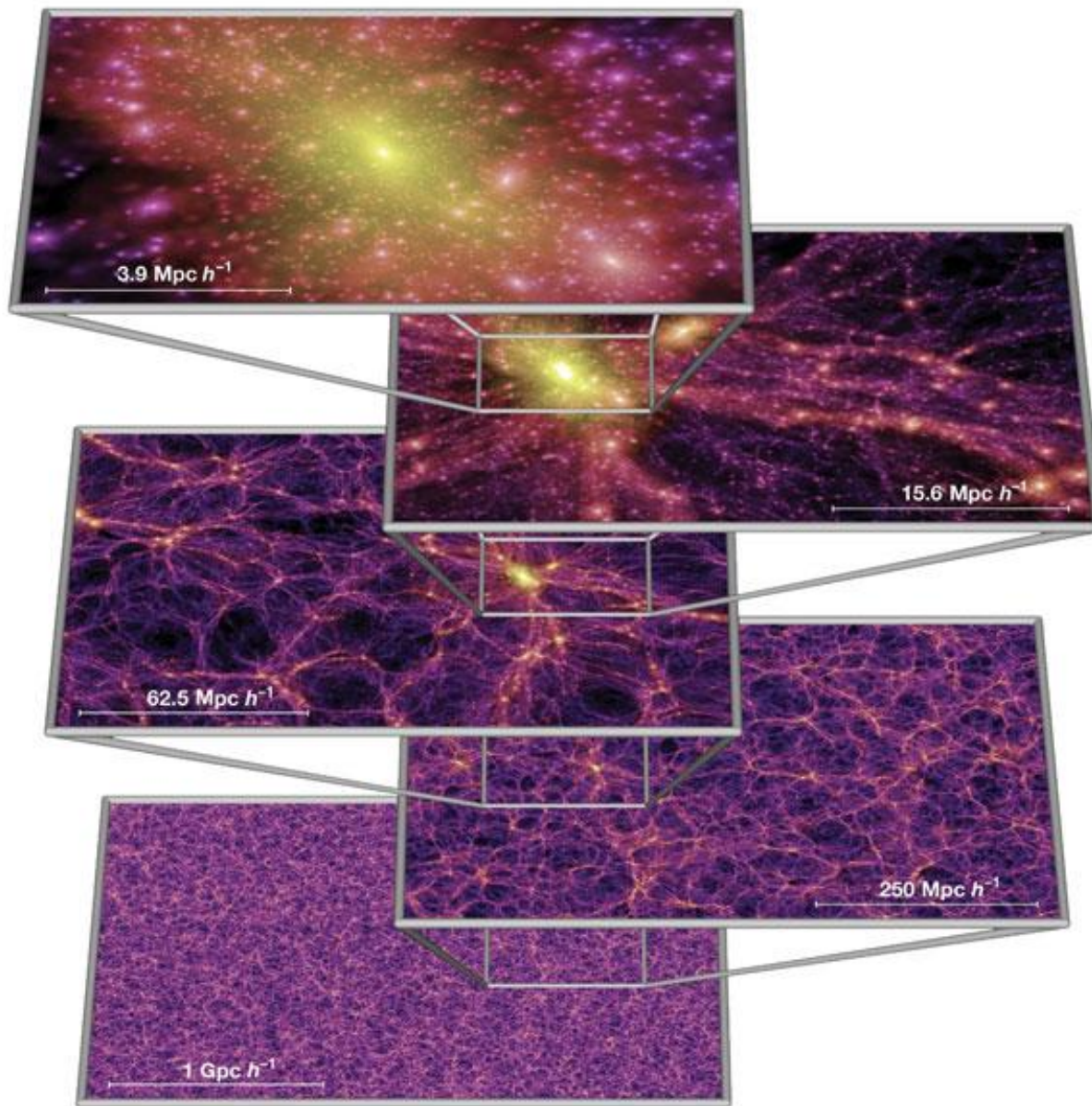


電波
数GeVの高エネルギー電子



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 ($T \sim 10^7 - 8 \text{K}$) 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)



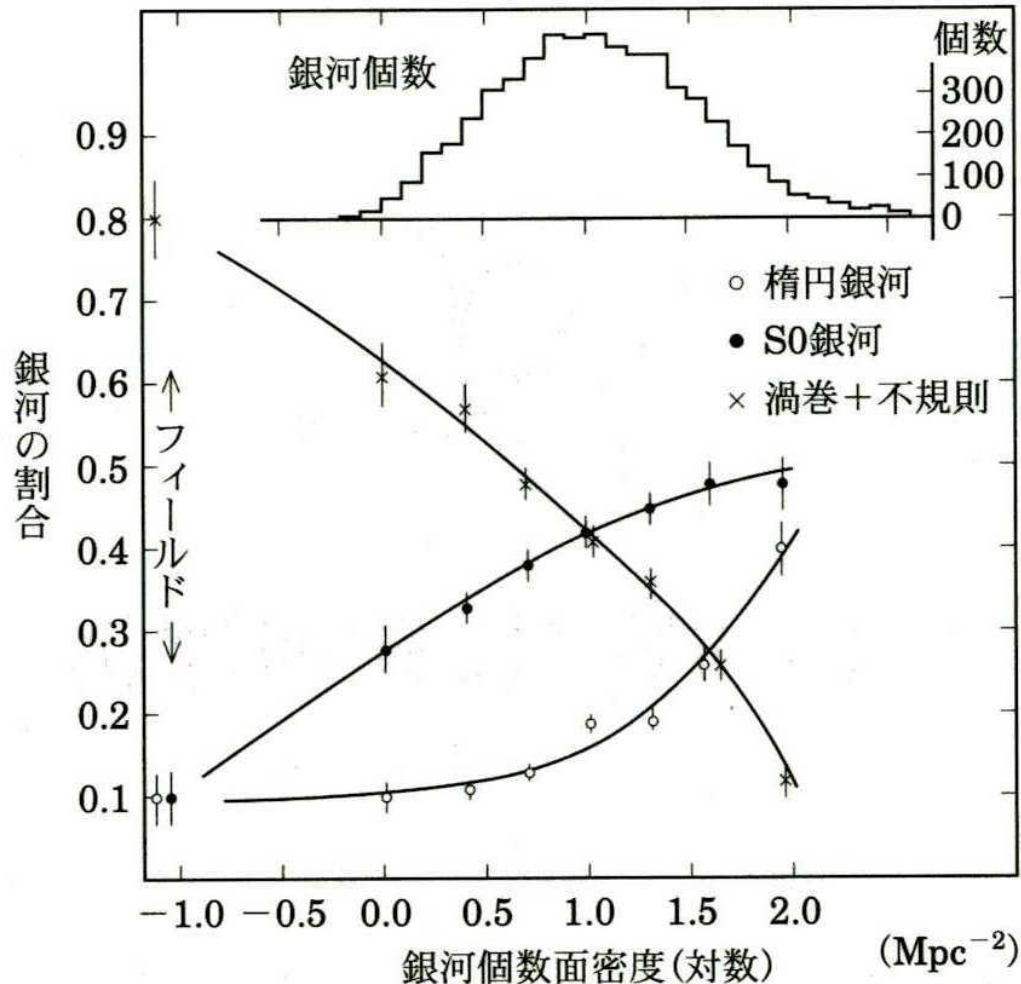
宇宙の大規模構造の
N体シミュレーションの例
(Springel et al. 2005)

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

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。

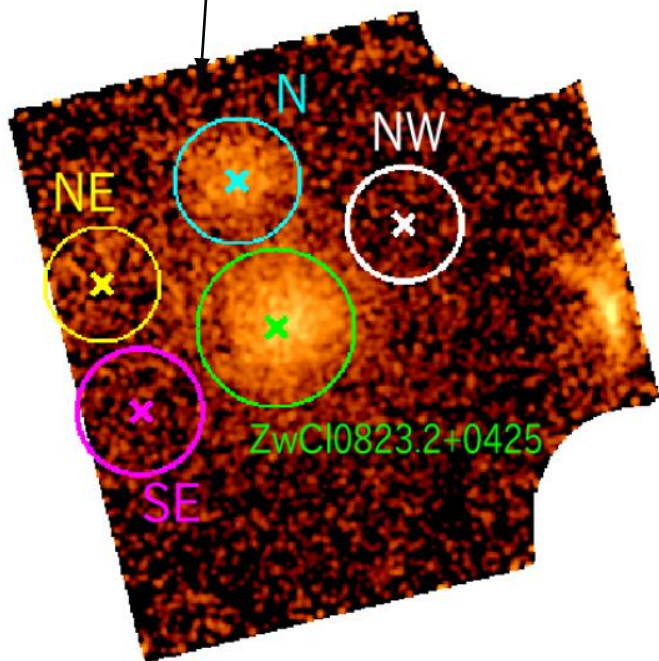
銀河の環境効果



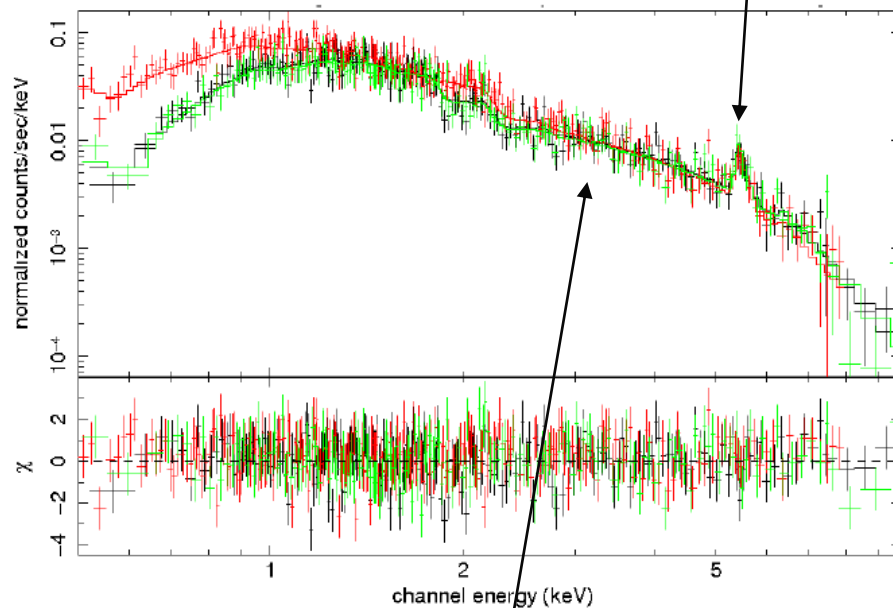
- 楕円銀河やレンズ銀河は銀河団の中に多い。
- 渦巻き銀河は銀河団の外に多い。
- 銀河のできかたは周りの環境に大きな影響を受けているらしい。
- 銀河団に入ってくると形態が変わるのでは？

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



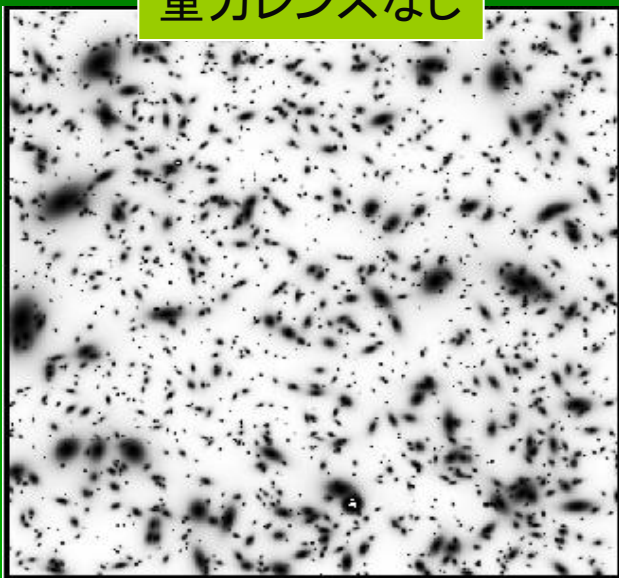
重元素の輝線
→ 重元素量、赤方変位、
(将来的には) ドップラー変位



連続成分の形
→ 温度

Watanabe, Takizawa et al. (2011)

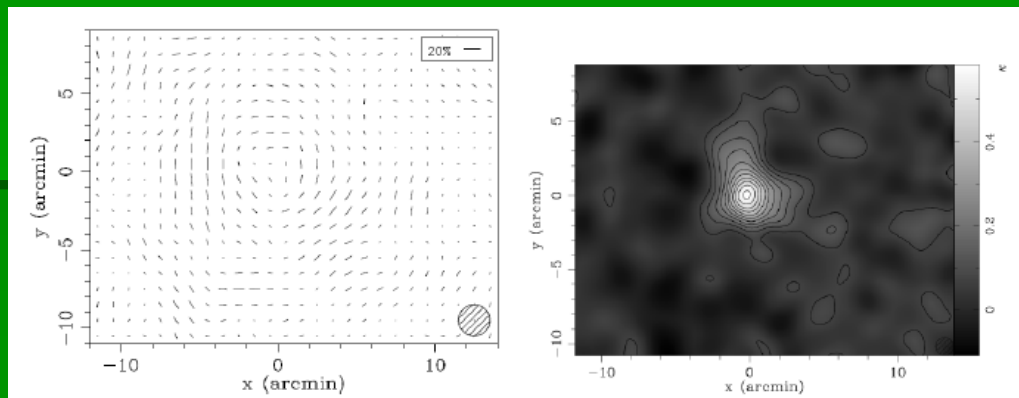
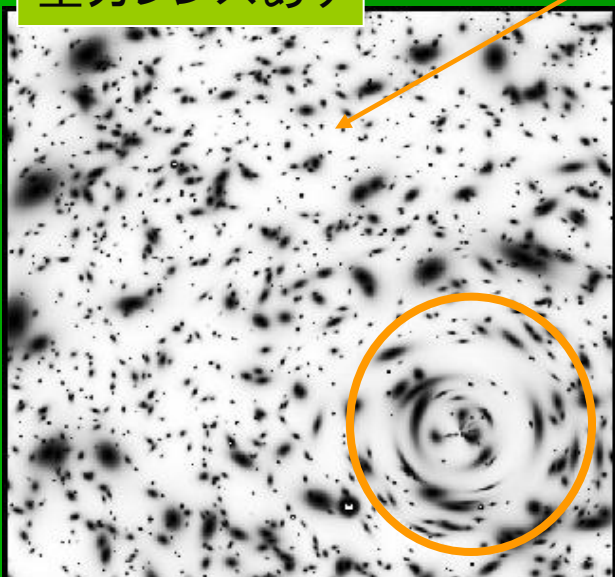
重カレンズなし



重カレンズ

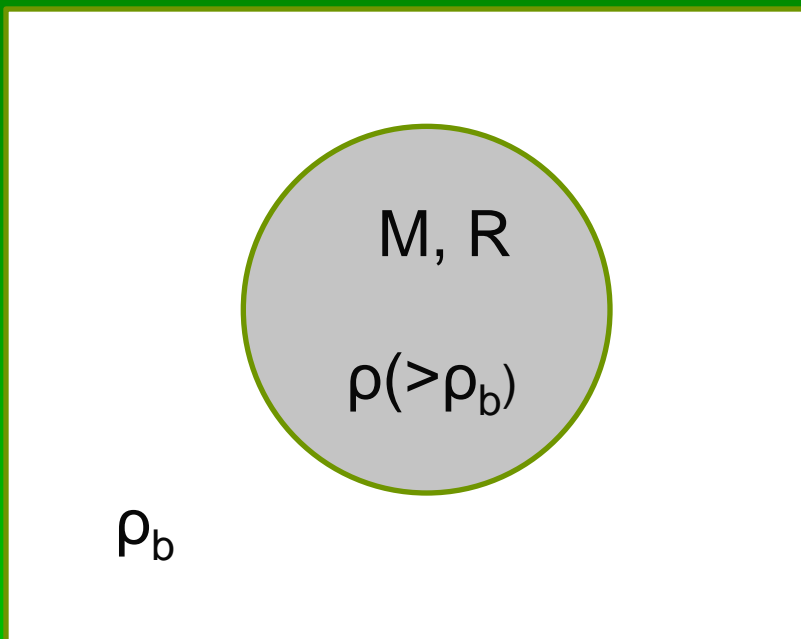
実はこのあたりにある銀河も
重カレンズ効果をうけて少しづつ
ゆがんでいる。
多数の銀河のゆがみ具合の平均
をとることで、重カレンズ効果
を検出できる

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

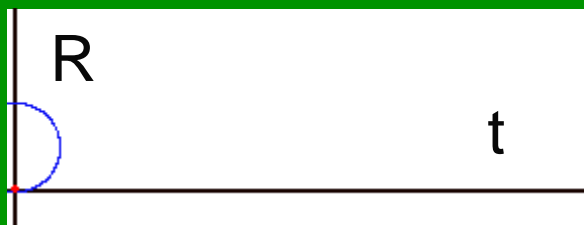


球状の高密度領域を考えると、

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

これは解析的に解けて、 $R(t)$ はサイクロイド解になる。

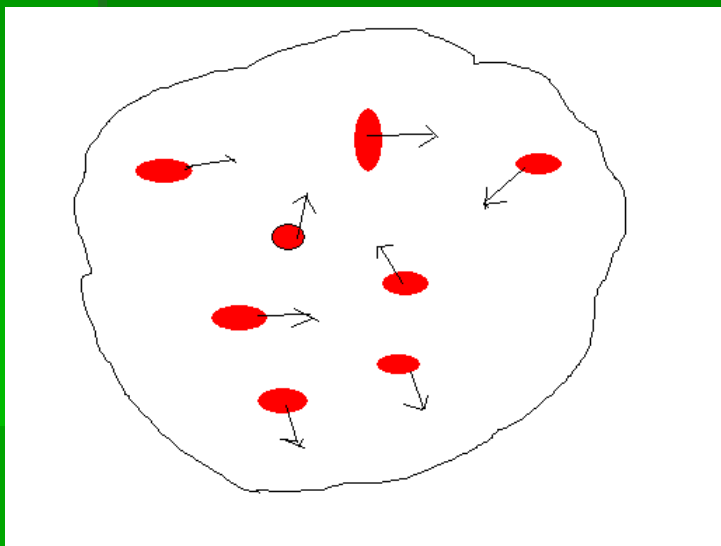
$$\begin{cases} R = A^2(1 - \cos \theta) \\ t = \frac{A^3}{\sqrt{GM}}(\theta - \sin \theta) \end{cases}$$



$\theta = 2\pi$ 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_{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_{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

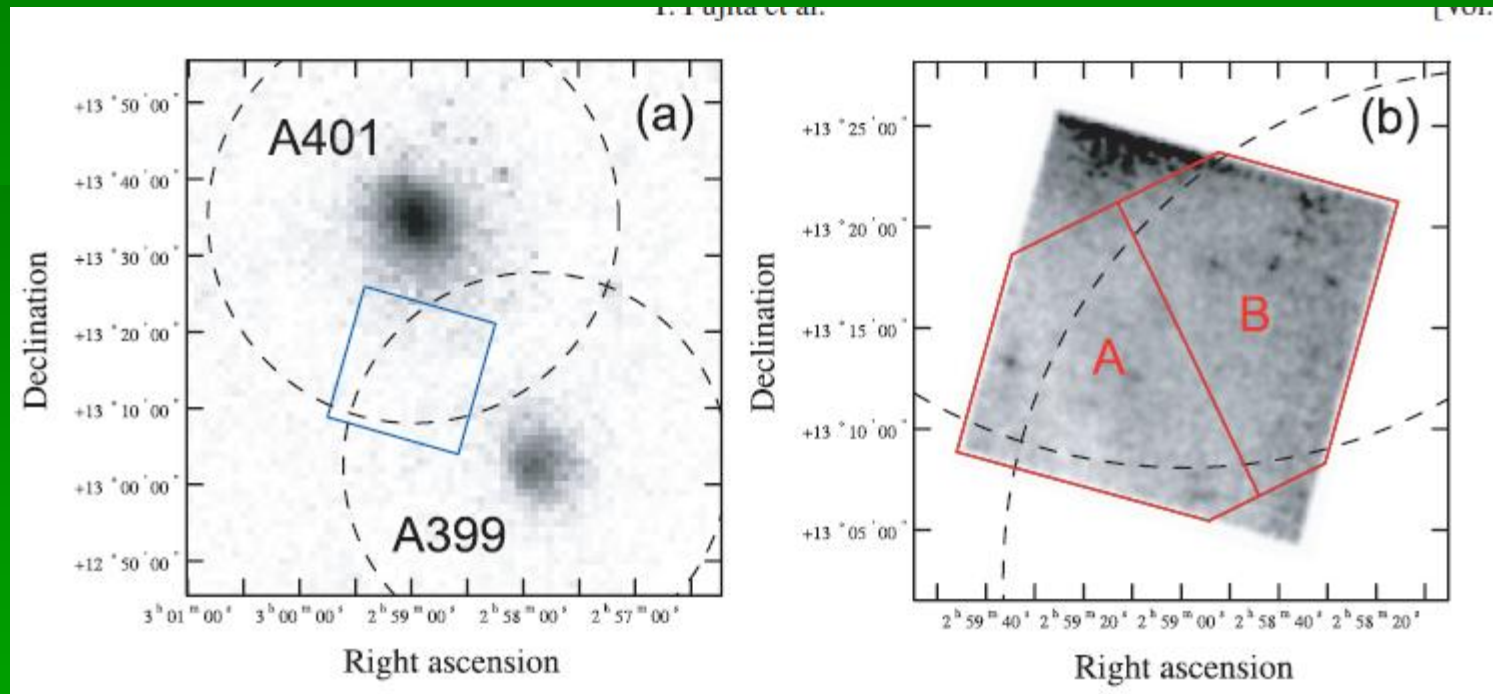
■ 銀河団外縁部観測の意義

- 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

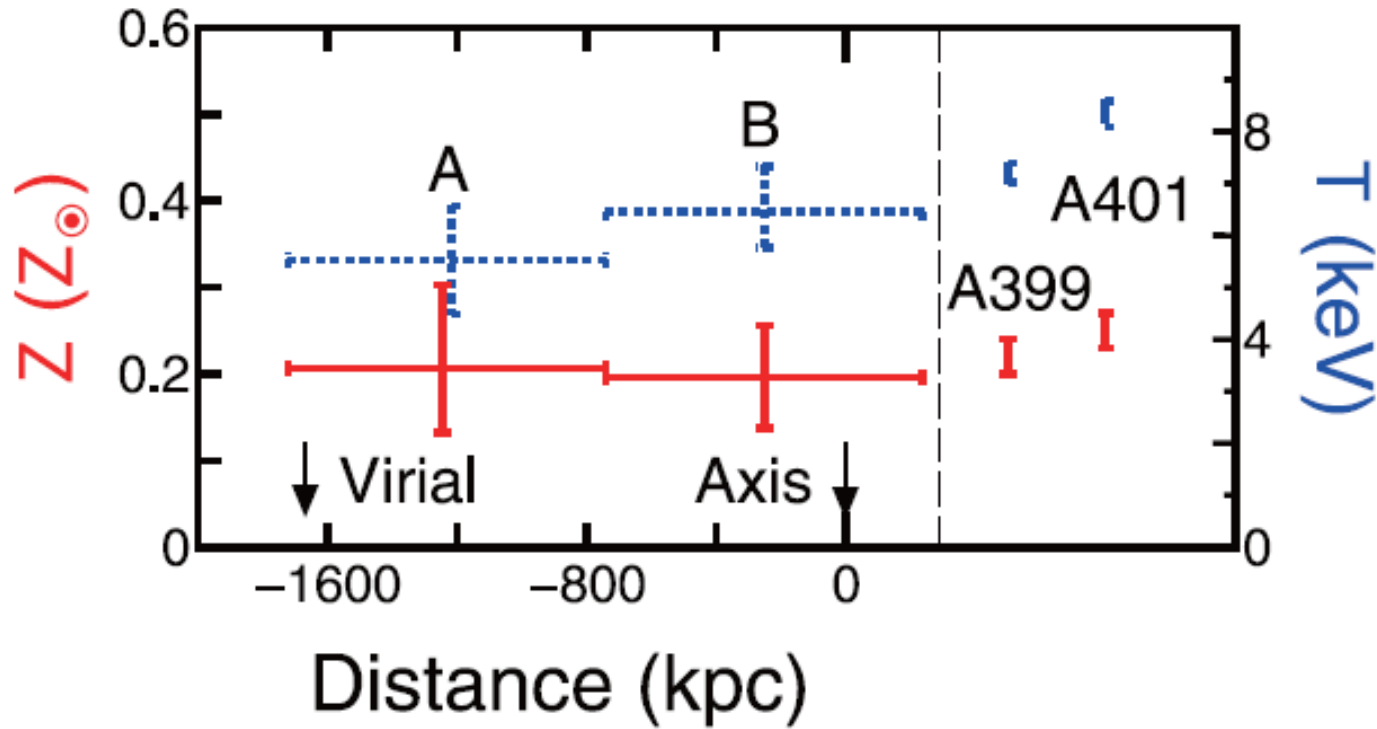
- 高温ガスの密度が低い(X線が暗い)
 - 低BGDな「すざく」でしかできない。
- 見かけのサイズが大きい
- 強い重力レンズは無理
 - 広視野、weak lensing で「すばる」の得意分野

A399&A401 (Fujita et al. 2008)



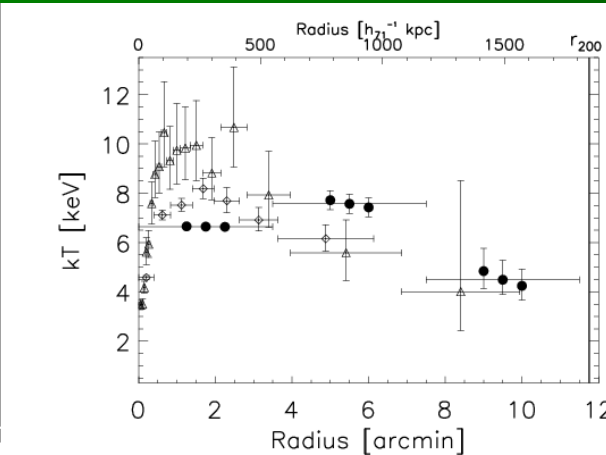
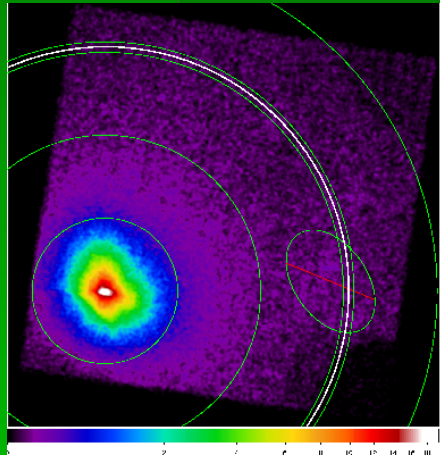
- 衝突直前の二つの銀河団
- 中間部分は圧縮されている。
- 外縁部のわりに輝度が高い。

A399&A401



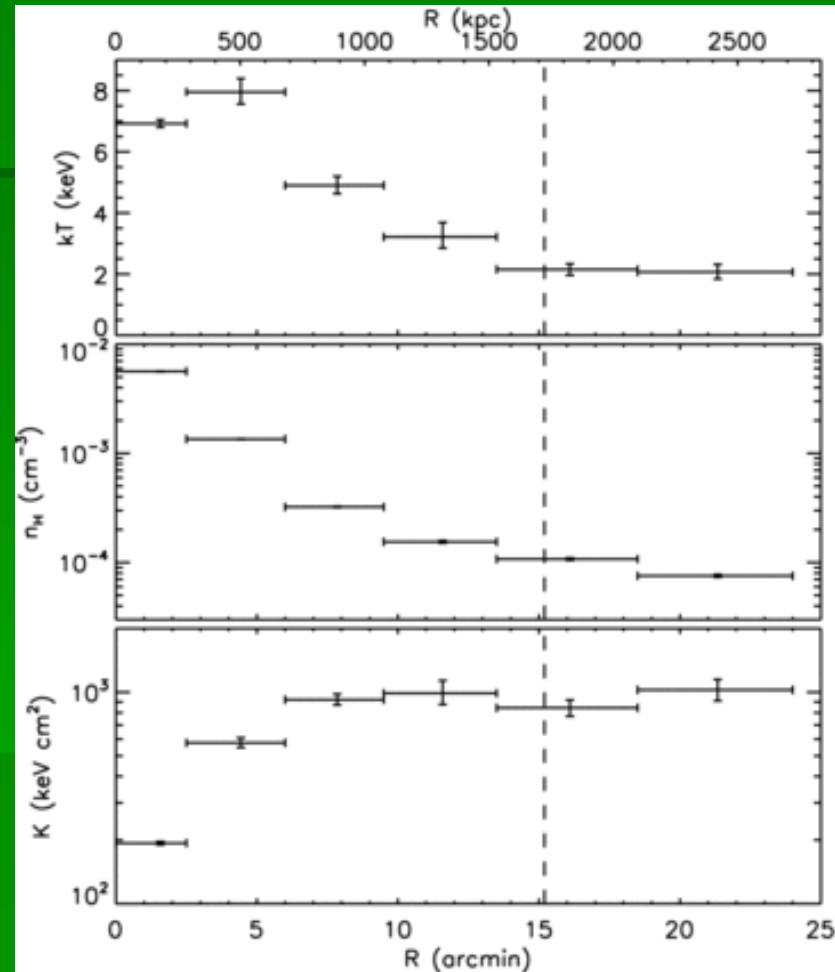
- ヴィリアル半径付近の重元素量 ($Z \approx 0.2$) の最初の測定例
- 銀河団が集積する前から重元素に汚染?
- 超銀河風?

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)

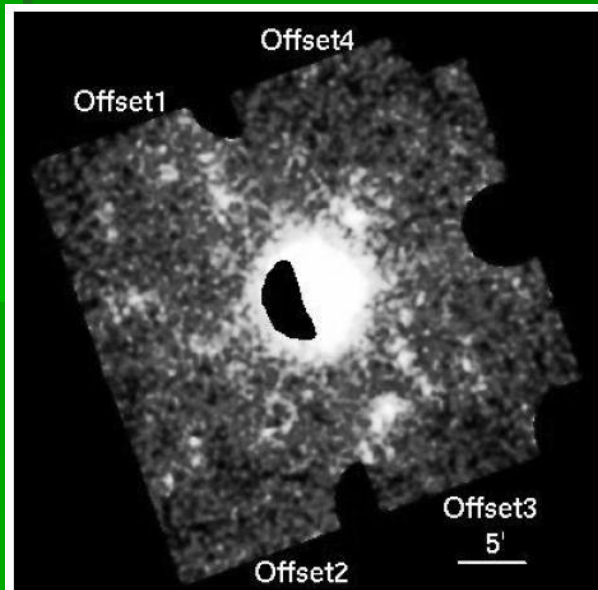
A1689

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

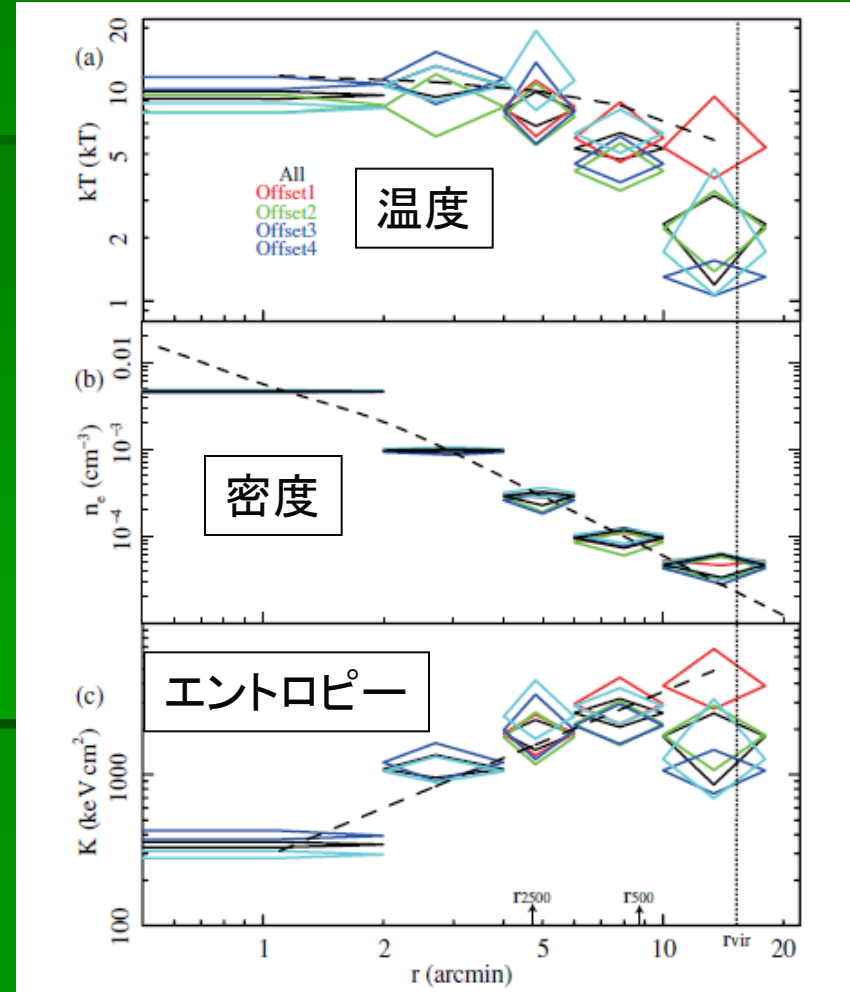
非常によく調べられている重力レンズ銀河団

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??



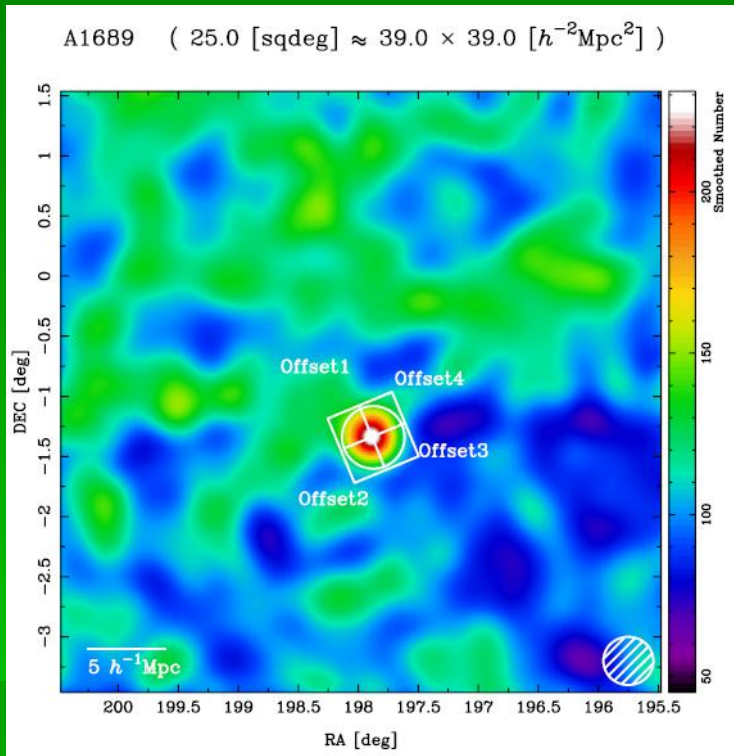
すざくによるA1689のX線イメージ



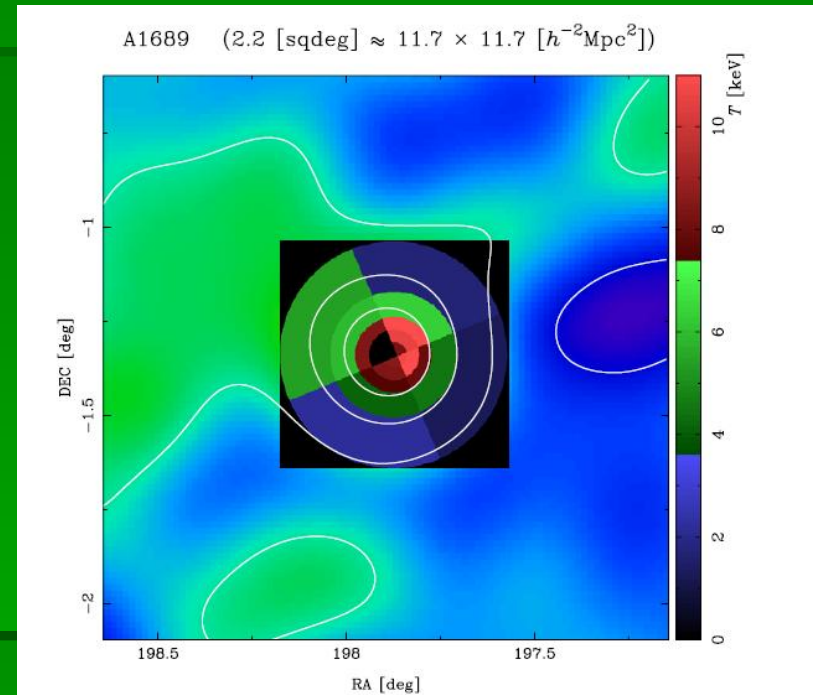
各方位ごとの温度、密度、エントロピー分布
Offset1のみ外側で温度、エントロピーが高い

A1689

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



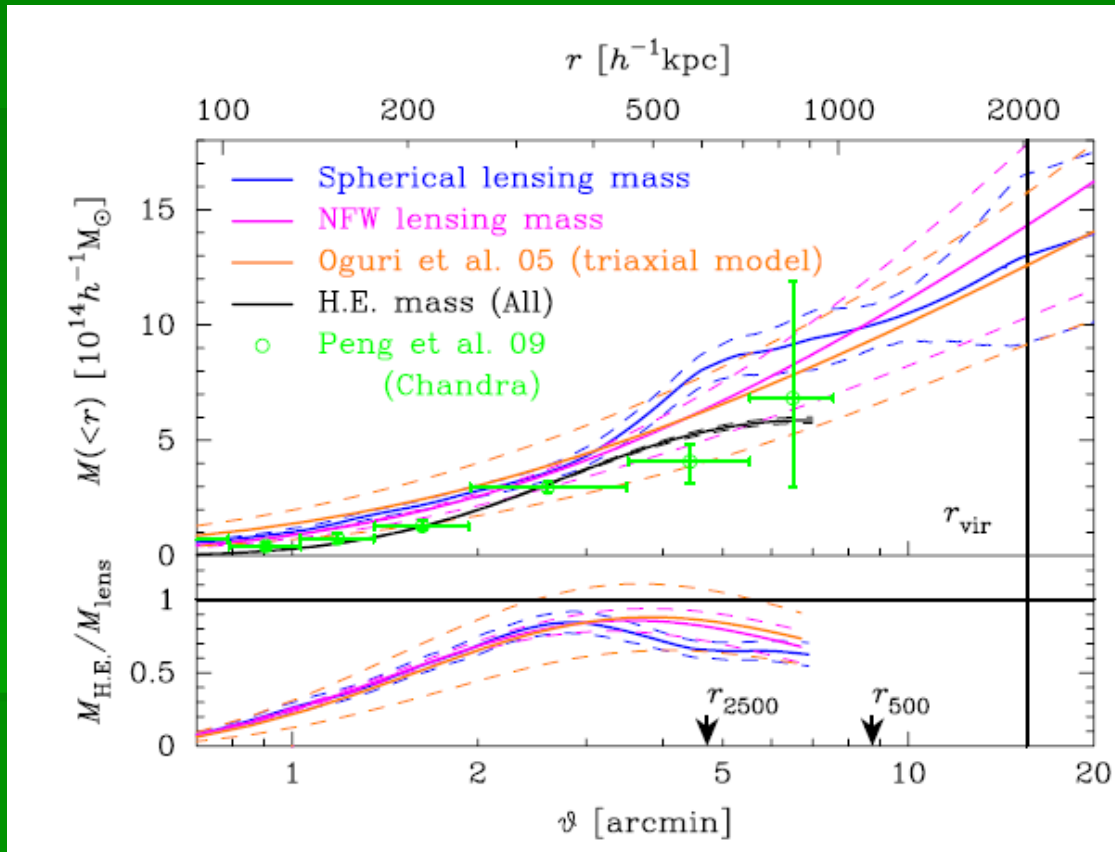
A1689周辺の銀河の個数分布
Offset1方向に大規模構造フィラメント
のようなものがある。



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)



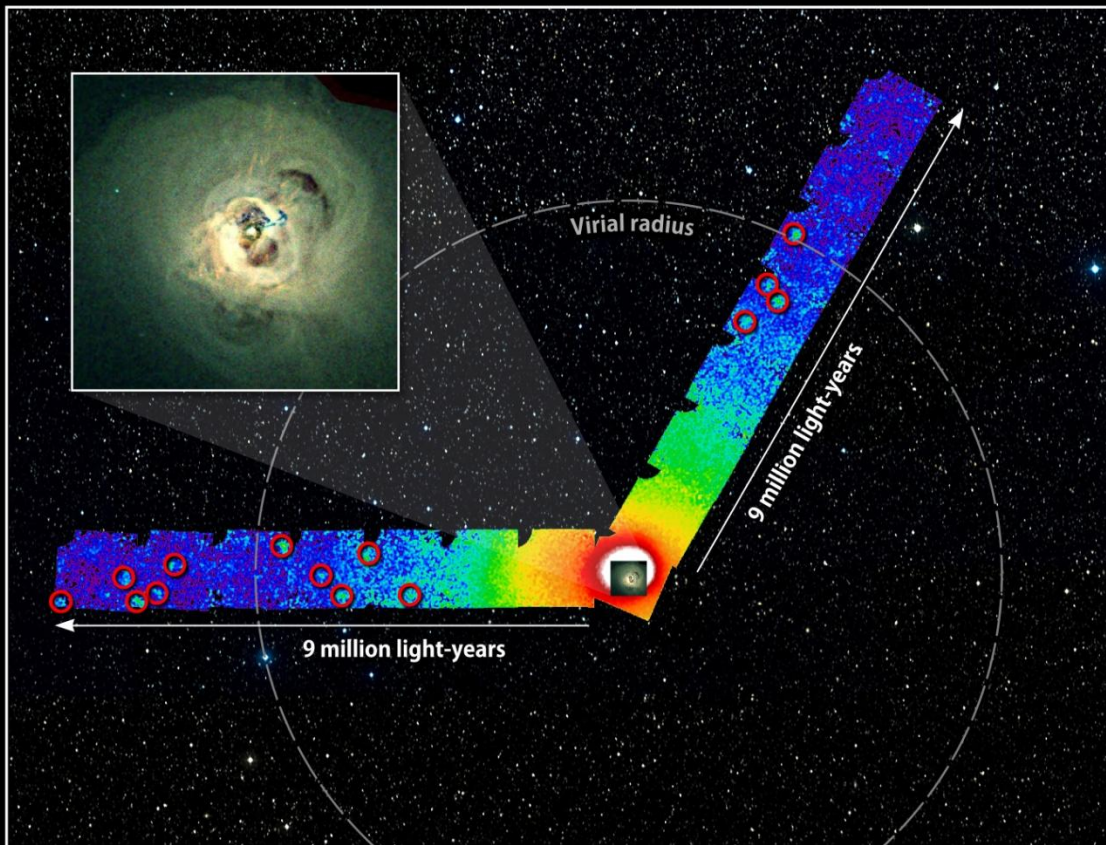
重力レンズから求めた質量と
X線観測から静水圧平衡を仮定して求めた質量
の比較。

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)

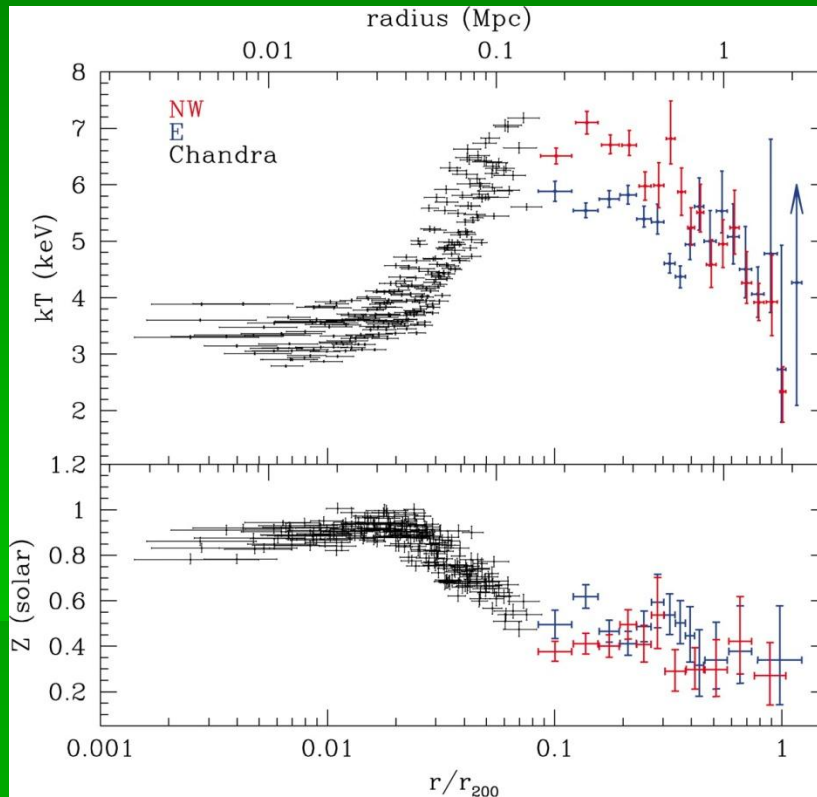
Suzaku slices through the Perseus Galaxy Cluster



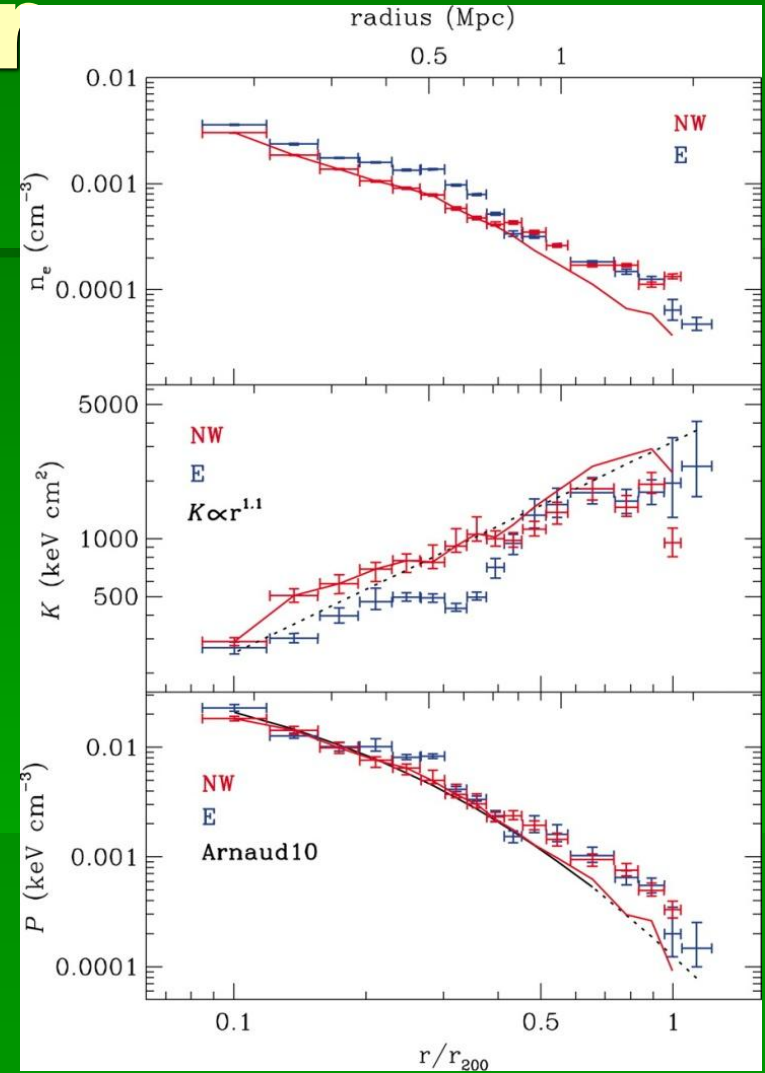
Credit: NASA/ISAS/DSS/A. Simionescu et al.

- 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)



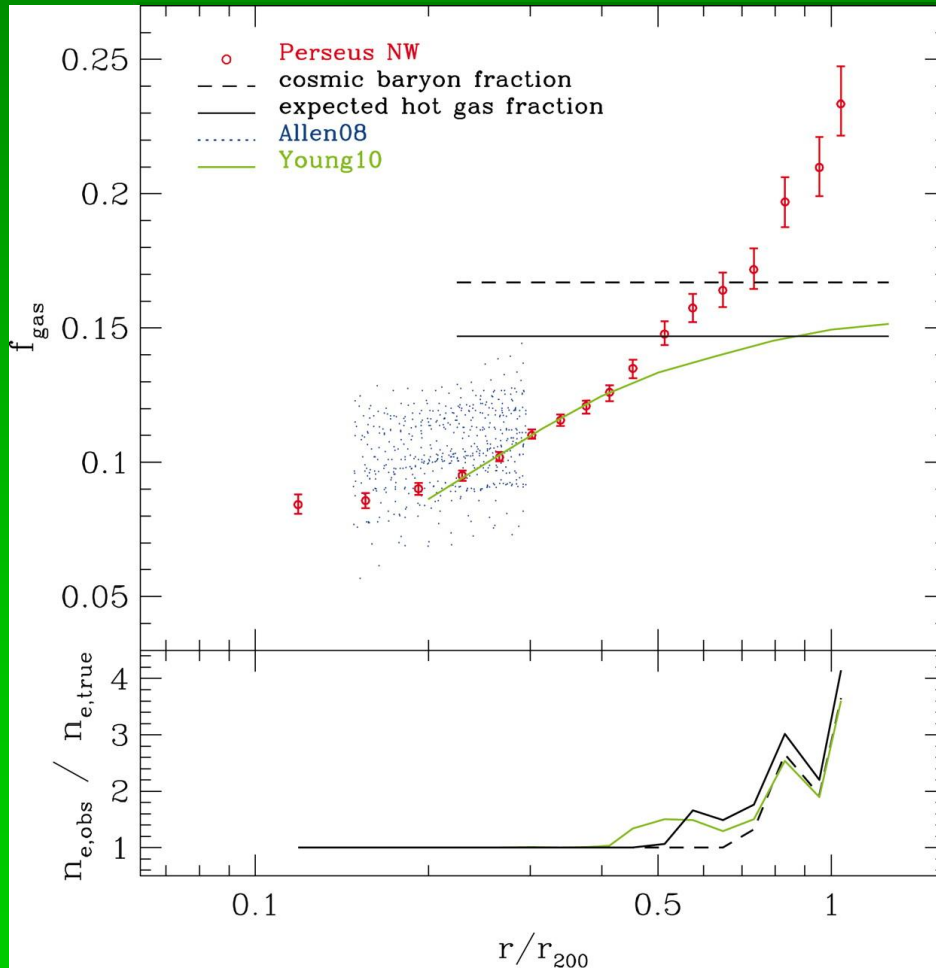
温度(上)と重元素量(下)



密度(上)、エントロピー(中)
と圧力(下)

Perseus Cluster

(Simionescu et al. 2011)



- f_{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??