

X線と重力レンズでさぐる 銀河団

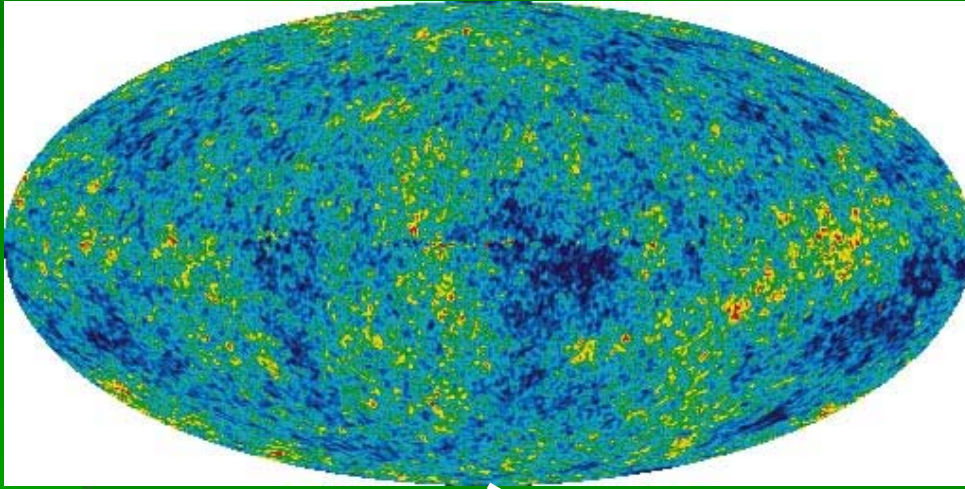
滝沢元和

宇宙物理グループ談話会

2010年6月18日

今日の予定

- Introduction
- 1E0657-56 (弾丸銀河団)
- Cl 0024+17 (ダークマターリング? 銀河団)
- Abell 1689
- ZwCl 0823.2+0425 周辺領域
- まとめ



“昔の宇宙”

WMAP衛星によるマイクロ波背景放射の温度MAP

(赤:高温 青:低温)

$\Delta T/T \sim 10^{-5}$

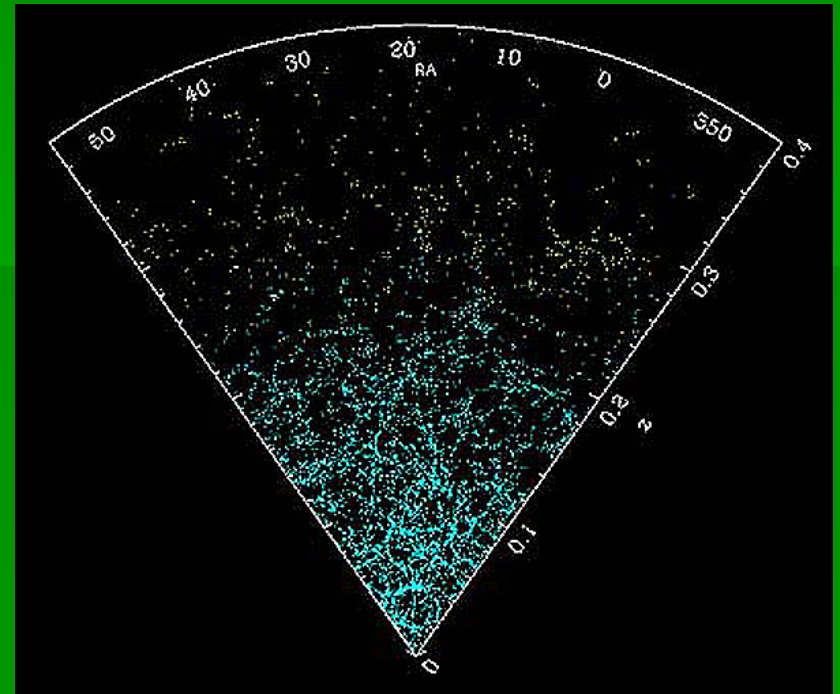
非常に一様

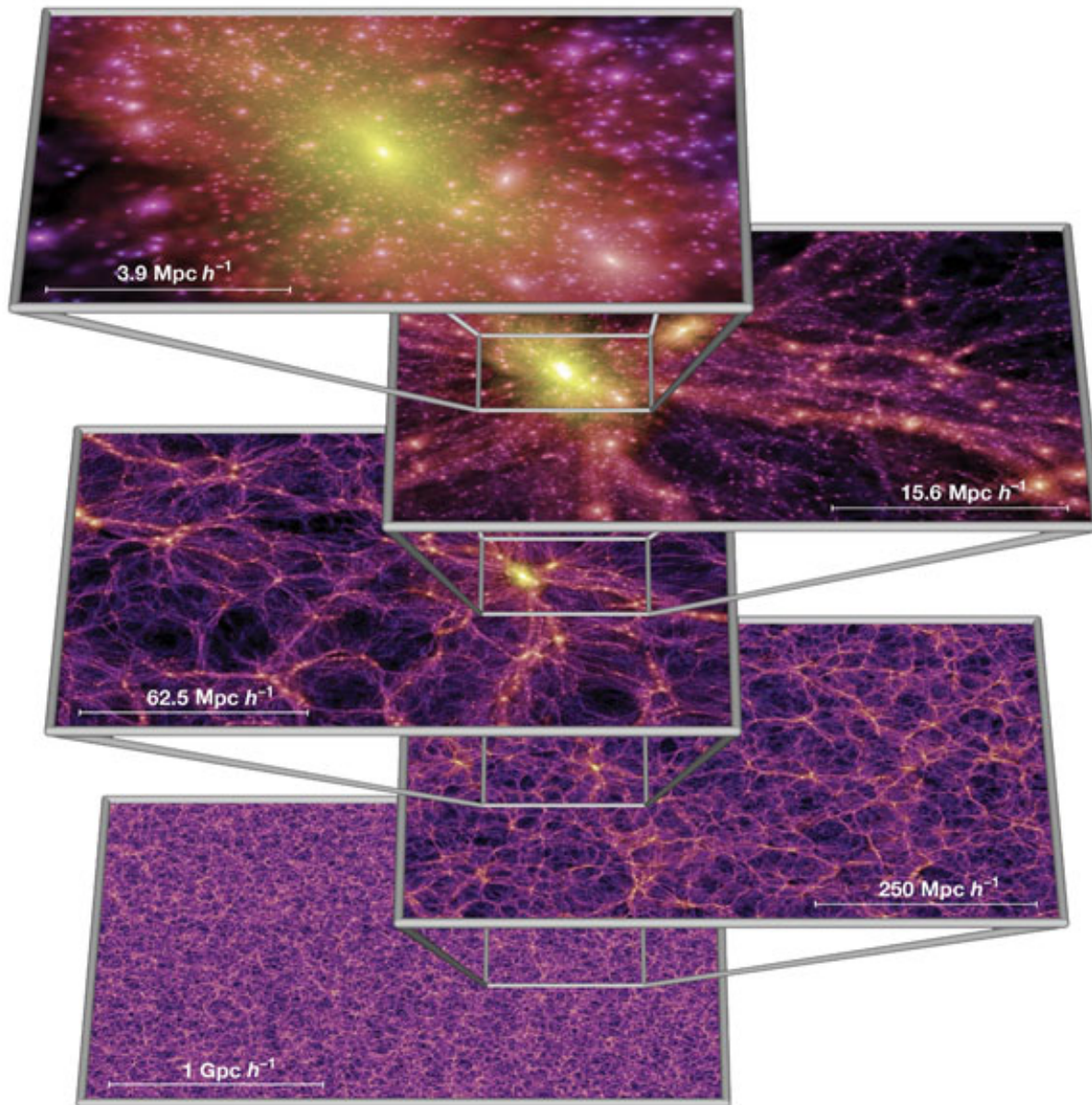
“最近の宇宙”

SDSSによる銀河の空間分布図

$\Delta N/N > 1$ も珍しくない

非一様



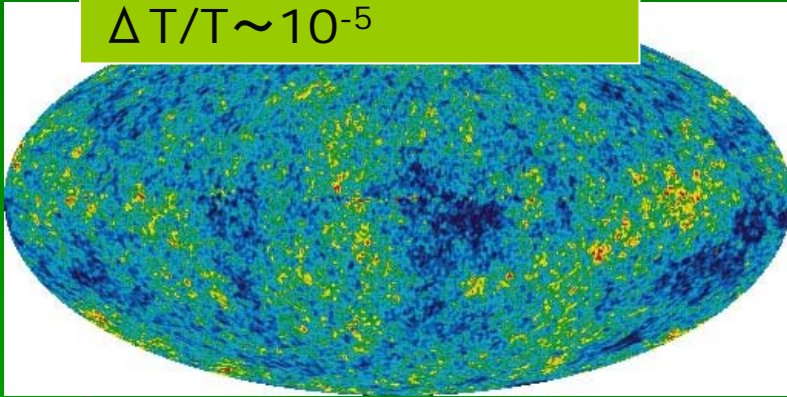


宇宙の大規模構造の
N体シミュレーションの例
(Springel et al. 2005)

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

重力不安定性の成長による
構造形成

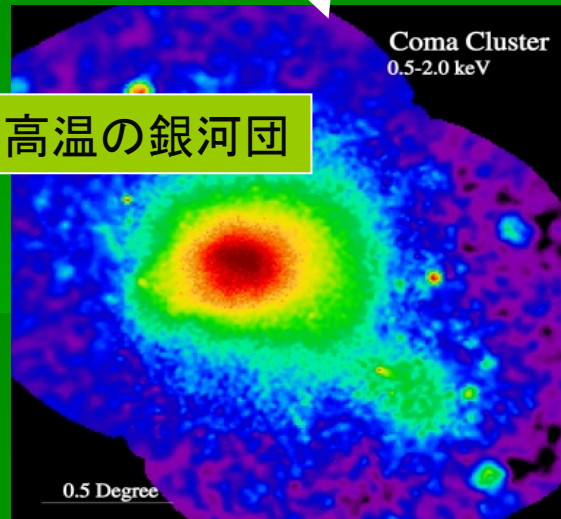
単調で一様な“昔の宇宙”
 $\Delta T/T \sim 10^{-5}$



可視光で明るい渦巻き銀河



X線で明るい高温の銀河団



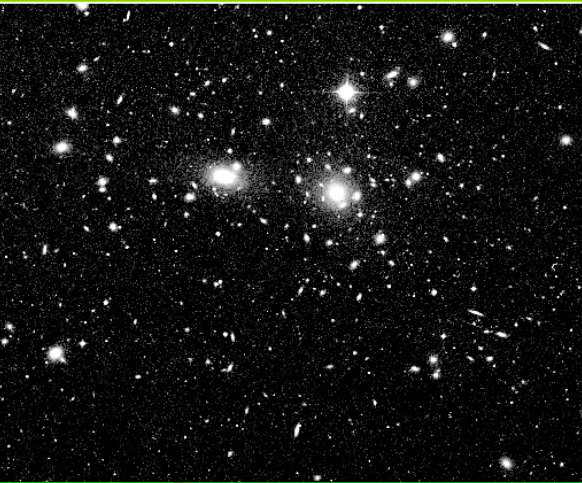
可視光で明るい楕円銀河



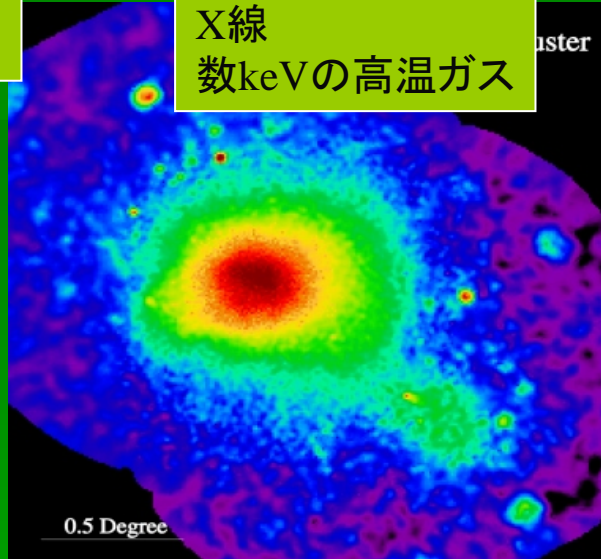
現在の宇宙：
非一様な様々な種類の“天体”
重力+バリオンの物理(加熱、粒子加速、冷却、星形成 etc)

銀河団

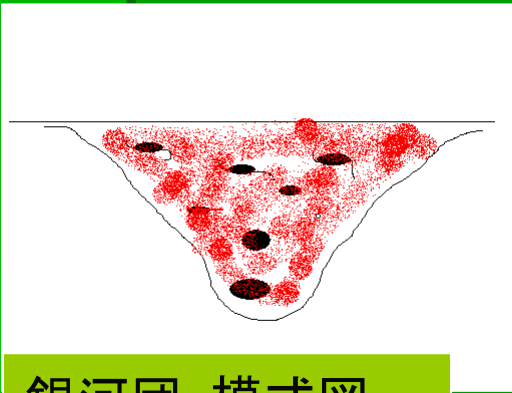
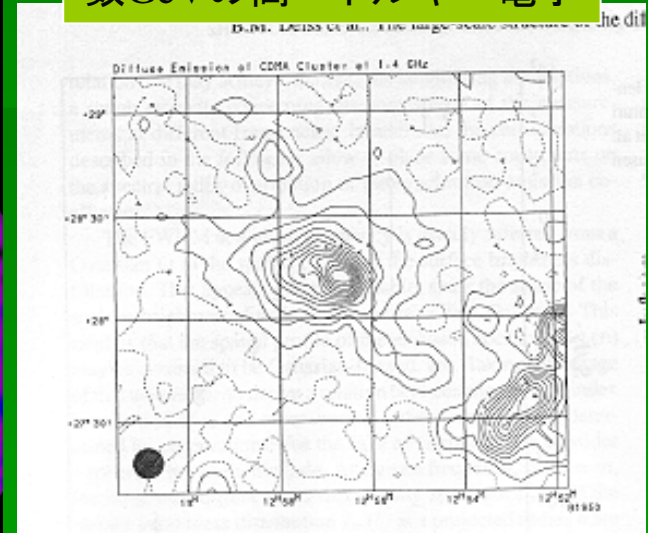
可視光
(数100個の銀河の集まり)



X線
数keVの高温ガス



電波
数GeVの高エネルギー電子



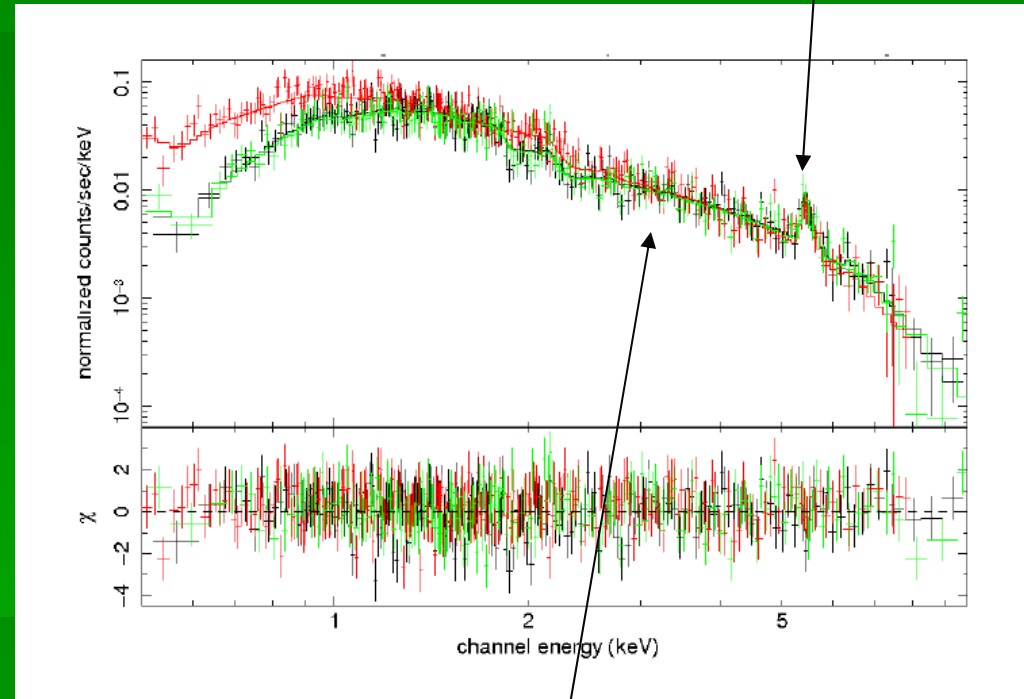
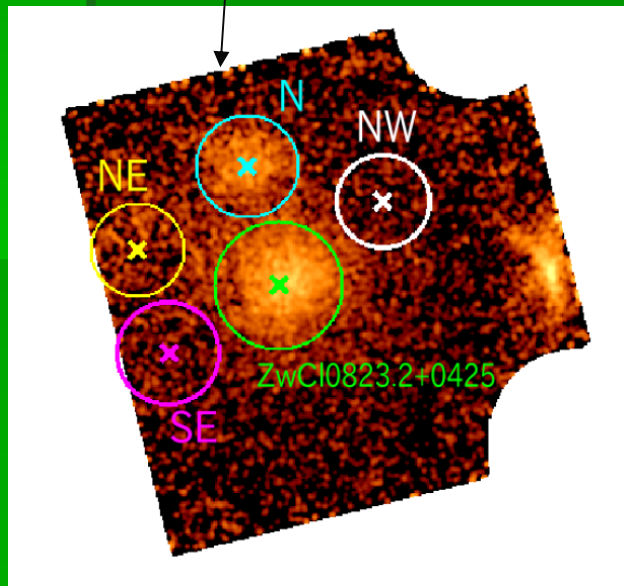
銀河団: 模式図

- 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)

X線で見える銀河団

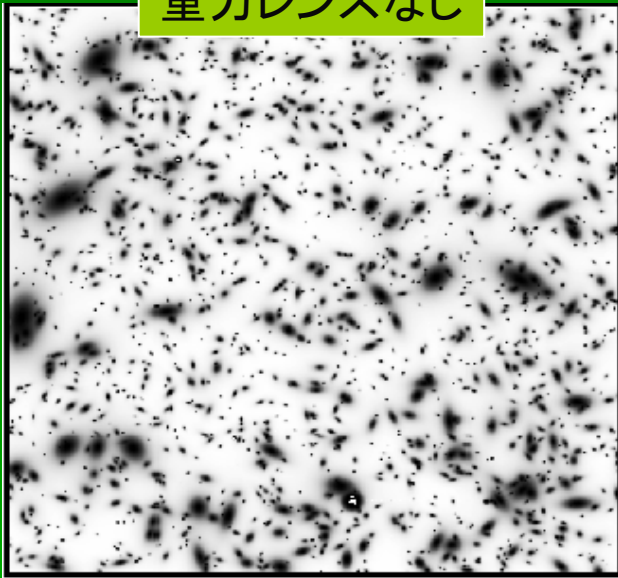
重元素の輝線
→重元素量、赤方変位、
(将来的には)ドップラー変位

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



連続成分の形
→温度

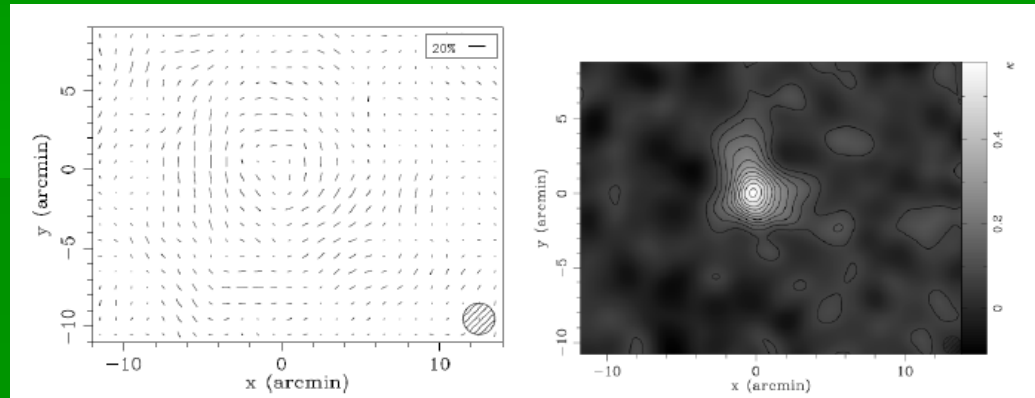
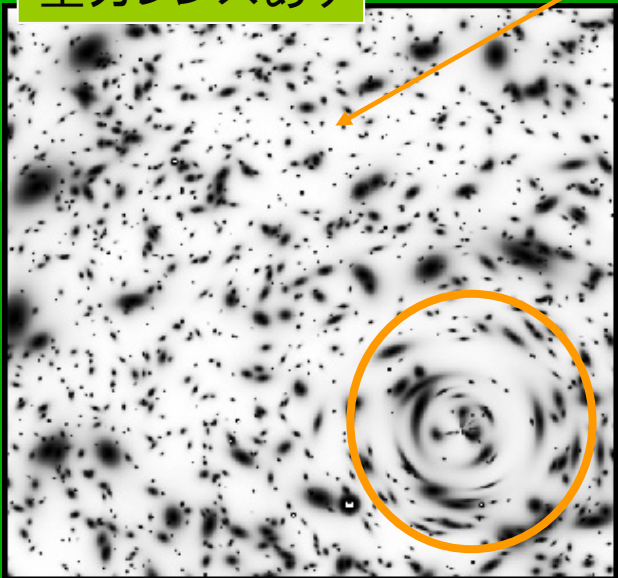
重カレンズなし



重カレンズ

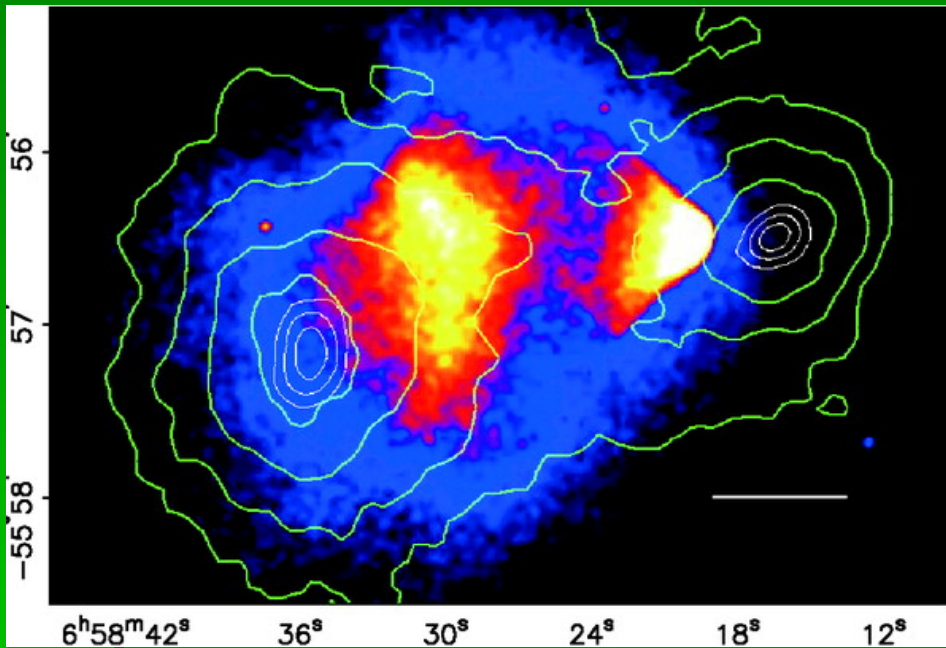
実はこのあたりにある銀河も
重カレンズ効果をうけて少しづつ
ゆがんでいる。
多数の銀河のゆがみ具合の平均
をとることで、重カレンズ効果
を検出できる

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

1E 0657-56: 質量分布



X線イメージ(カラー)
質量分布(等高線)
Clowe et al. (2006)

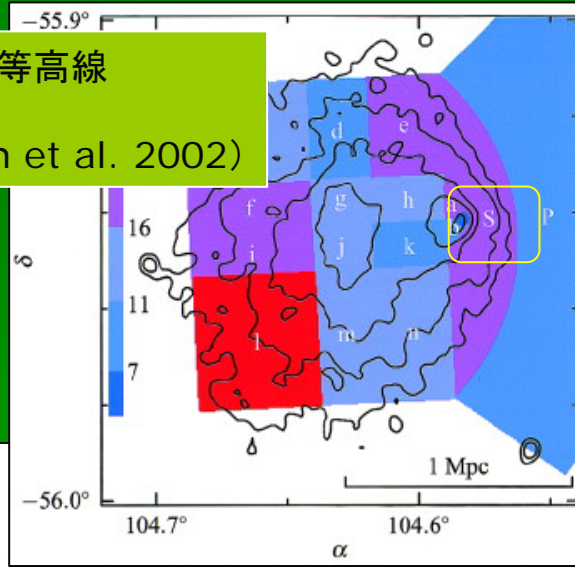
- Weak lensing で質量分布が求められた。
- ICMと質量分布のピークにずれ。(質量分布と銀河分布はほぼ一致)

ガスがram pressureによってDMのポテンシャルからはぎとられたため。

本当かなあ、、、？

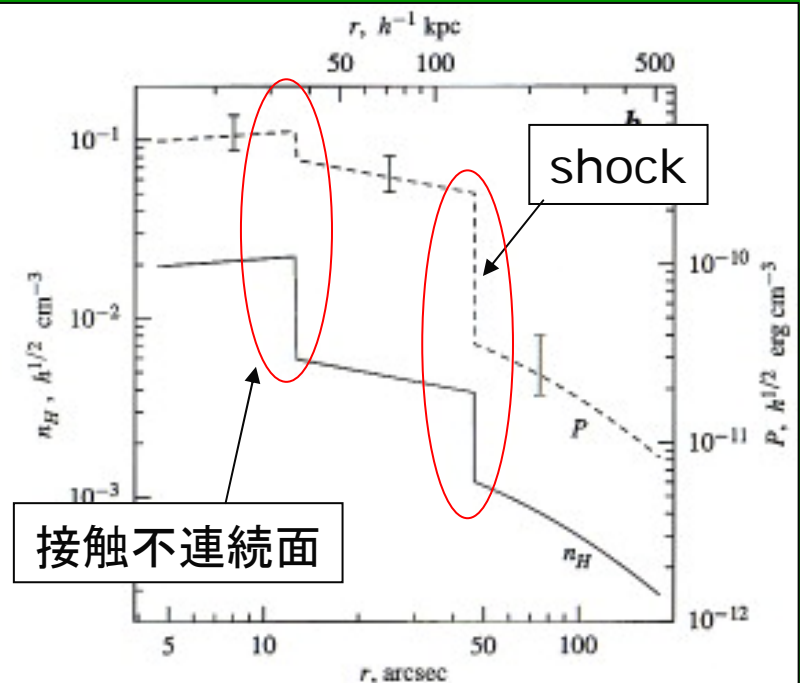
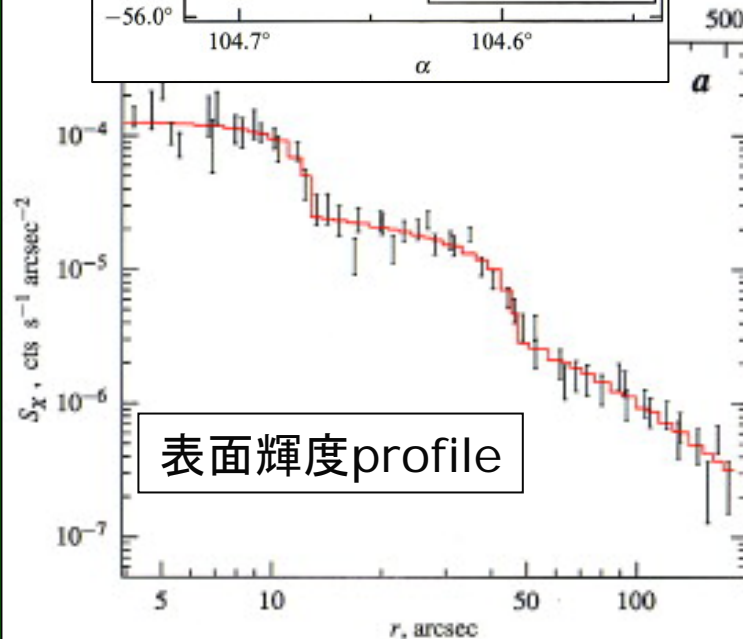
1E 0657-56: cold front & bow shock

X線イメージ: 等高線
 温度: カラー
 (Markevitch et al. 2002)

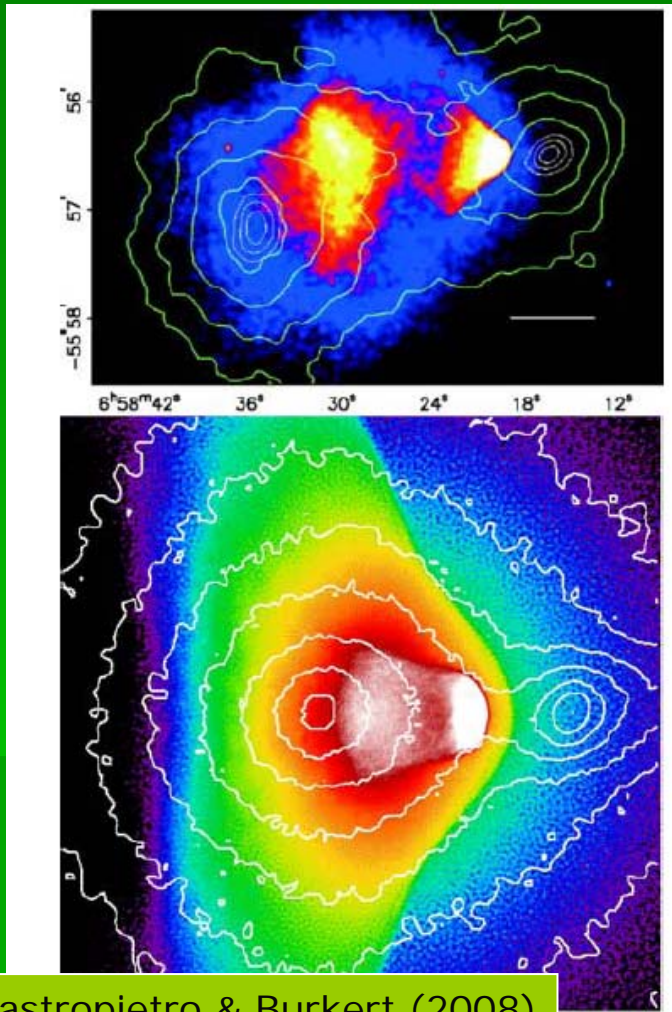


Substructure 前面の密度、圧力 profileから、

$M = 3.0 \pm 0.4$
 $V_s = 4740^{+710}_{-550} \text{ km/s}$
 (ちなみに $v_{200} = 2380 \text{ km/s}$)

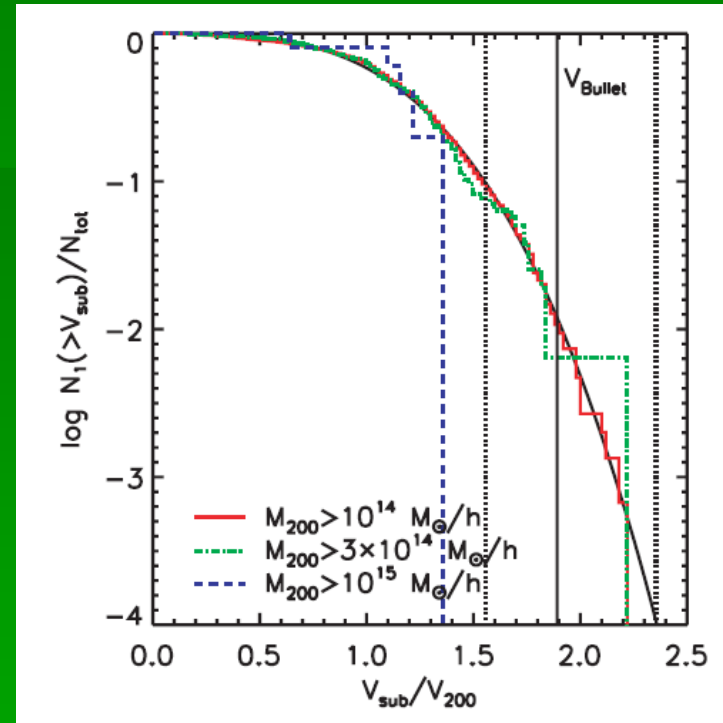


1E0657-56 シミュレーションなど



Mastropietro & Burkert (2008)

他にSpringel & Farrar (2007)
Takizawa (2006) など



$$V_s = 4740^{+710}_{-550} \text{ km/s}$$

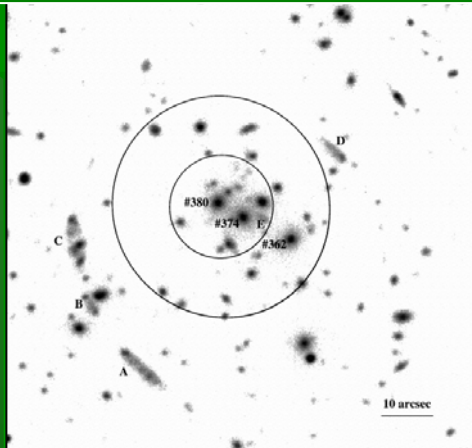
(ちなみに $v_{200} = 2380 \text{ km/s}$)

宇宙論的N体シミュレーションのデータで調べてみた。(Hayashi & White 2006)

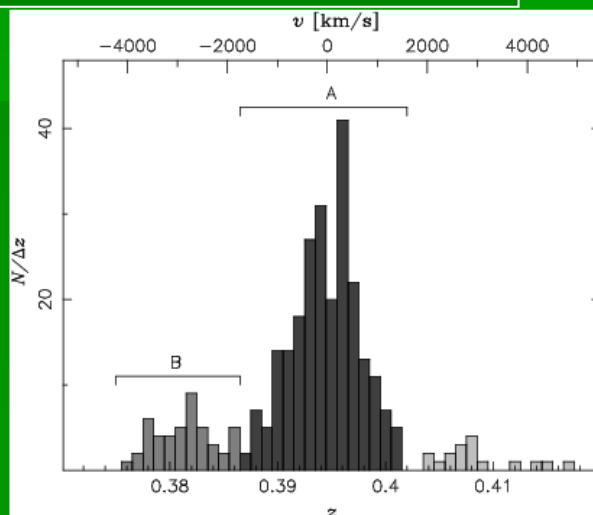
こういう高速衝突は非常に珍しい。(～0.01)

CL 0024+17 銀河団

CL 0024+17 中心部: 可視光イメージ



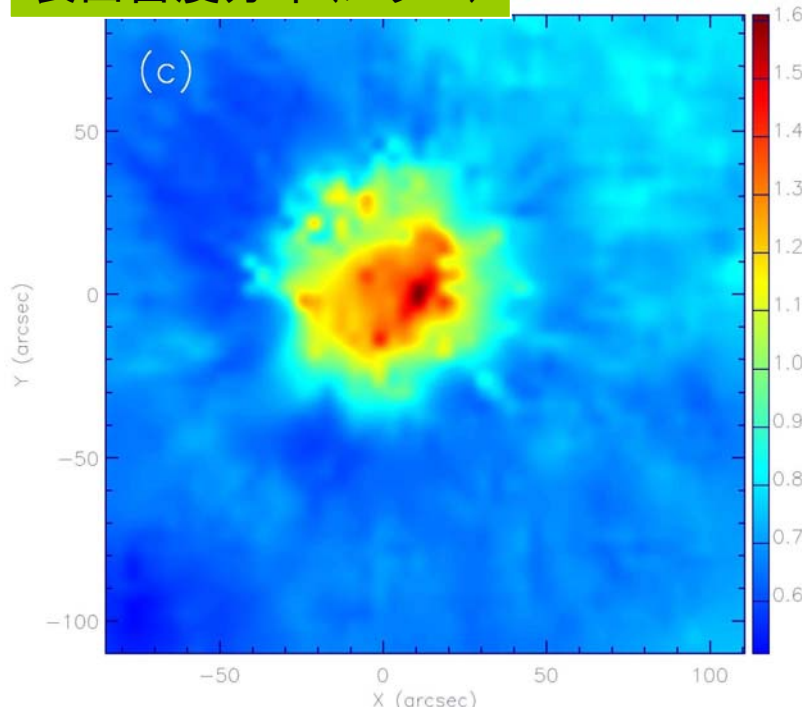
member galaxiesの視線速度分布



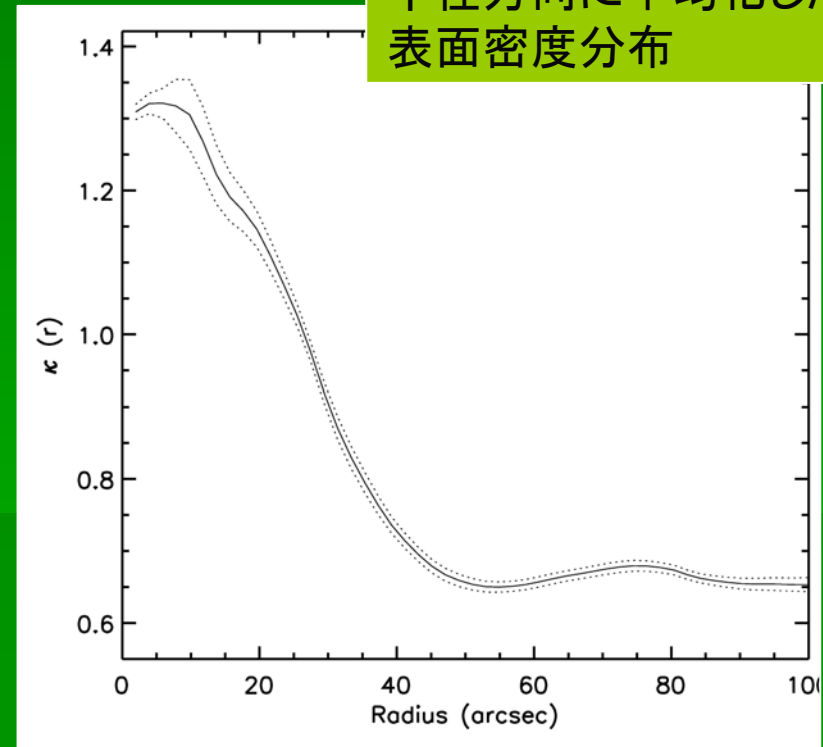
- $z=0.4$ にある代表的な重力レンズ銀河団
- 5つのアーク
- アークから求めた質量がX線観測から求めた質量(静水圧平衡を仮定)より3倍程度大きい。
- 質量分布でフラットなコア → self-interacting dark matter か?
- 視線方向に二つの銀河団が重なっているようだ?

Mass map derived from weak and strong lensing: Jee et al. (2007)

表面密度分布(カラー)



半径方向に平均化した表面密度分布



比較的フラットなコア
 $r \sim 75 \text{ arcsec}$ のところにリング状の質量の増加が

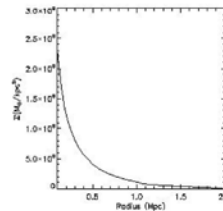
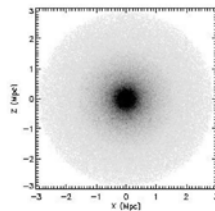
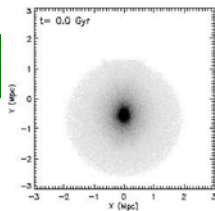
Numerical simulation of two colliding clusters

衝突軸と垂直な方向から見ると、

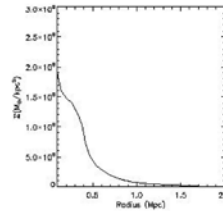
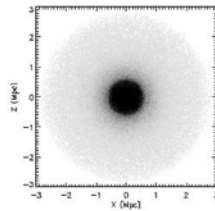
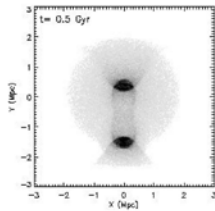
衝突軸と平行な方向から見ると、

表面密度の radial profile

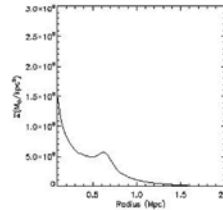
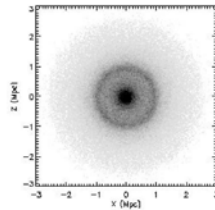
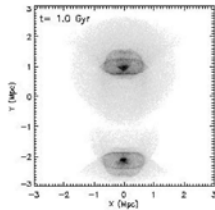
t=0 Gyr



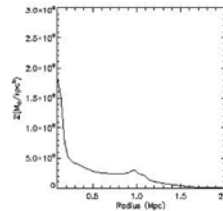
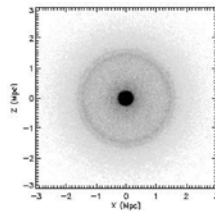
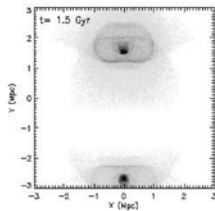
t=0.5 Gyr



t=1.0 Gyr



t=1.5 Gyr

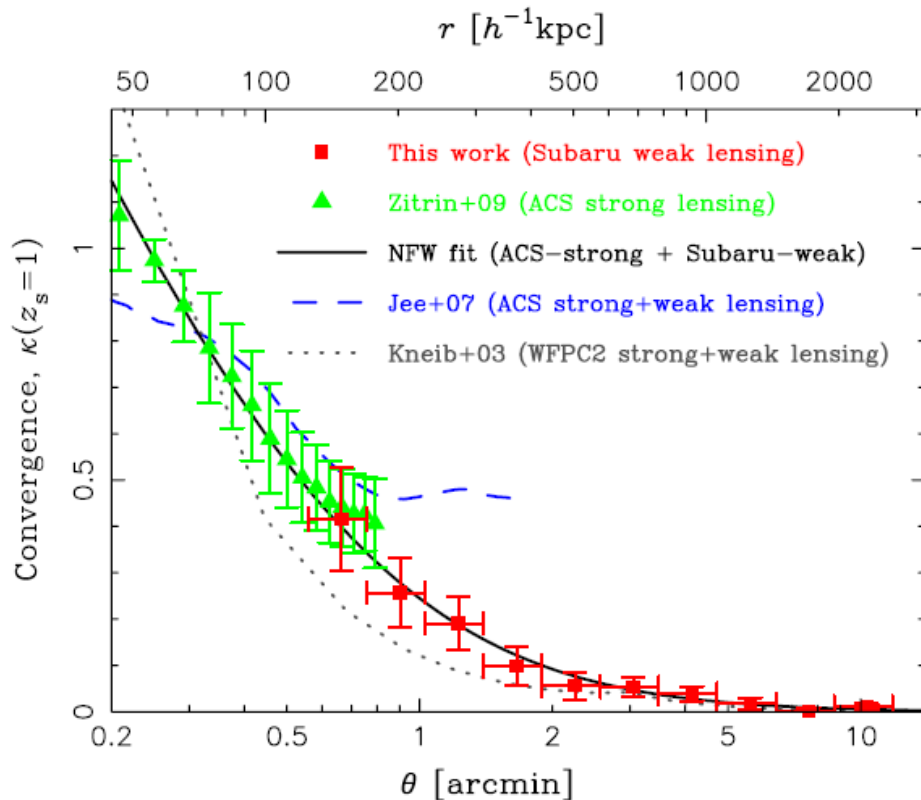


CL 0024+17は正面衝突している銀河団を衝突軸方向からみているのではないかな？

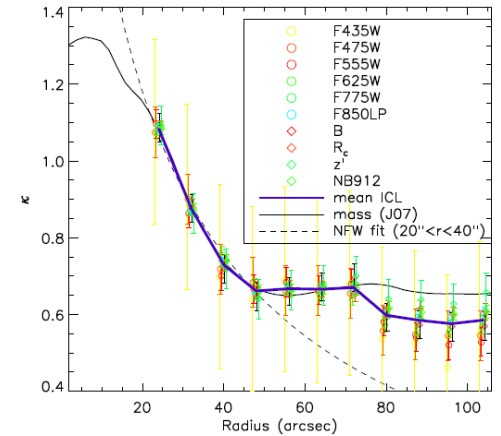
数値シミュレーション(N体のみ)との比較から、質量比1:2でコア通過後1-2Gyrぐらいだとよさそう。

ただし、こういう構造をつくるにはおそらく変な速度分布をつけているはず($\sigma_r \ll \sigma_t$???)

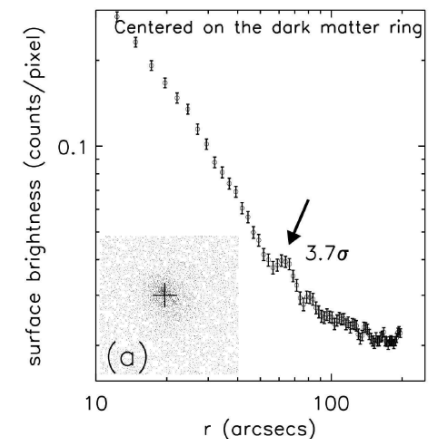
C10024+17 その後



Umetsu et al. (2010)
 表面密度プロファイルはJee et al. と矛盾
 リングなんかない??



Jee (2010)
 Intracluster light の分布でもリング、
 位置はDMとほぼ同じ(上)。
 X線輝度分布でもリング、
 位置は少し内側にずれている(下)



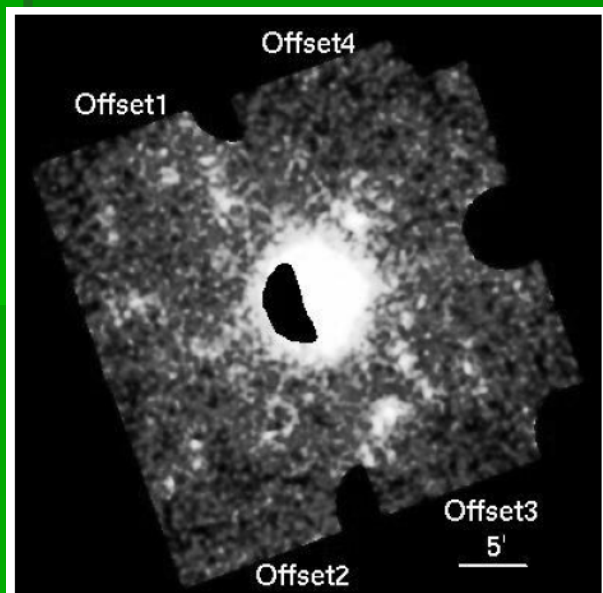
A1689

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

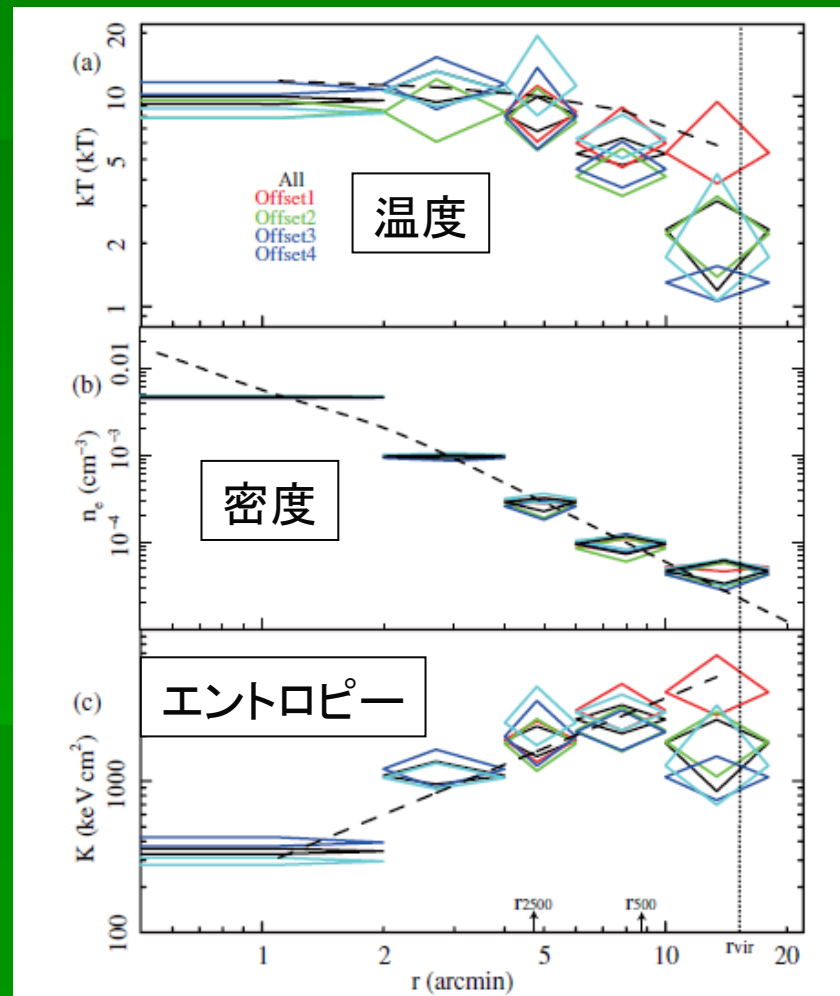
非常によく調べられている重力レンズ銀河団

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??



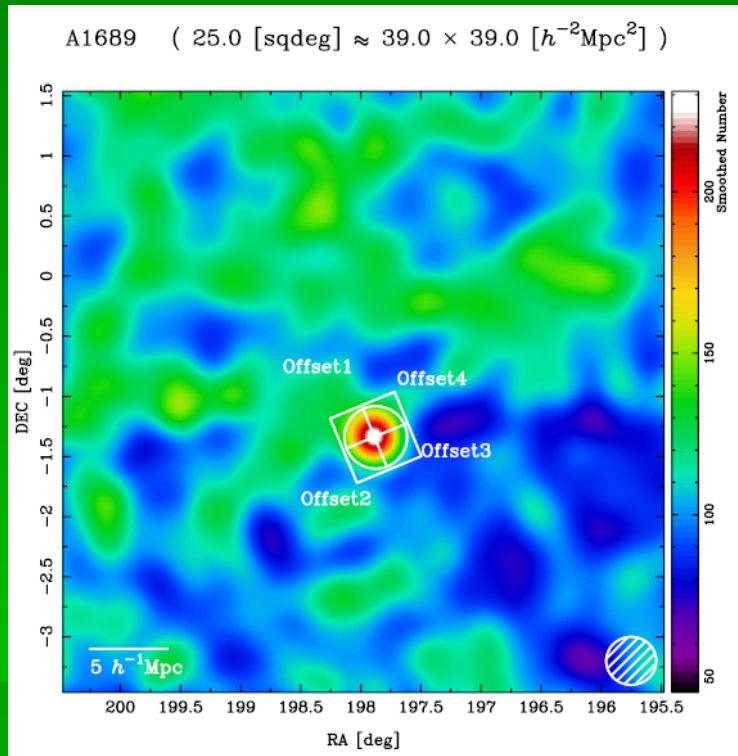
すざくによるA1689のX線イメージ



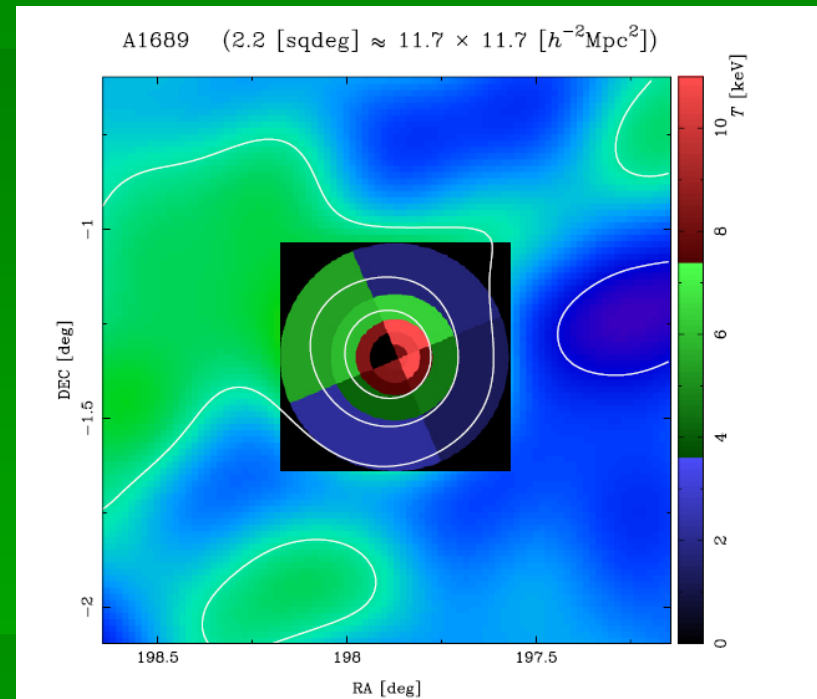
各方位ごとの温度、密度、エントロピー分布
Offset1のみ外側で温度、エントロピーが高い

A1689

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



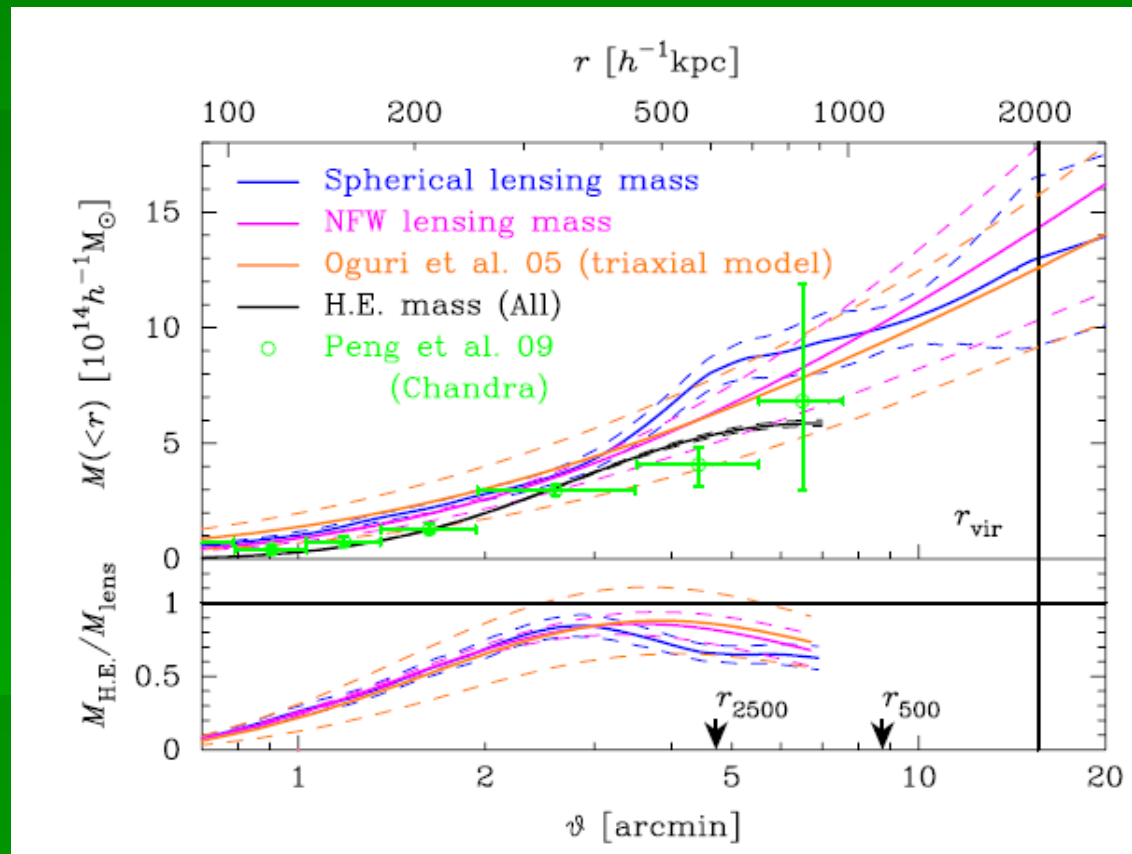
A1689周辺の銀河の個数分布
Offset1方向に大規模構造フィラメント
のようなものがある。



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

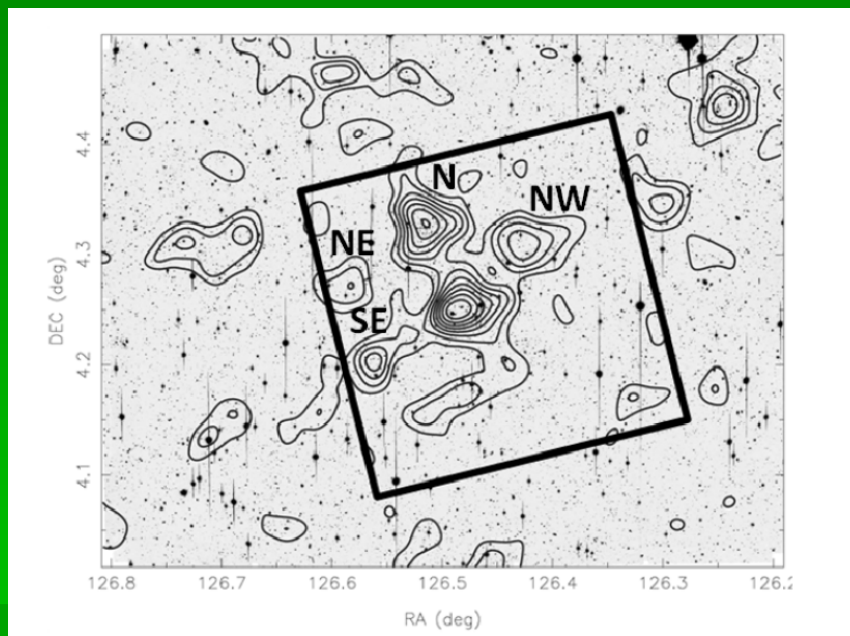
(Kawaharada, Okabe, Umetsu, Takizawa, et al. 2010)



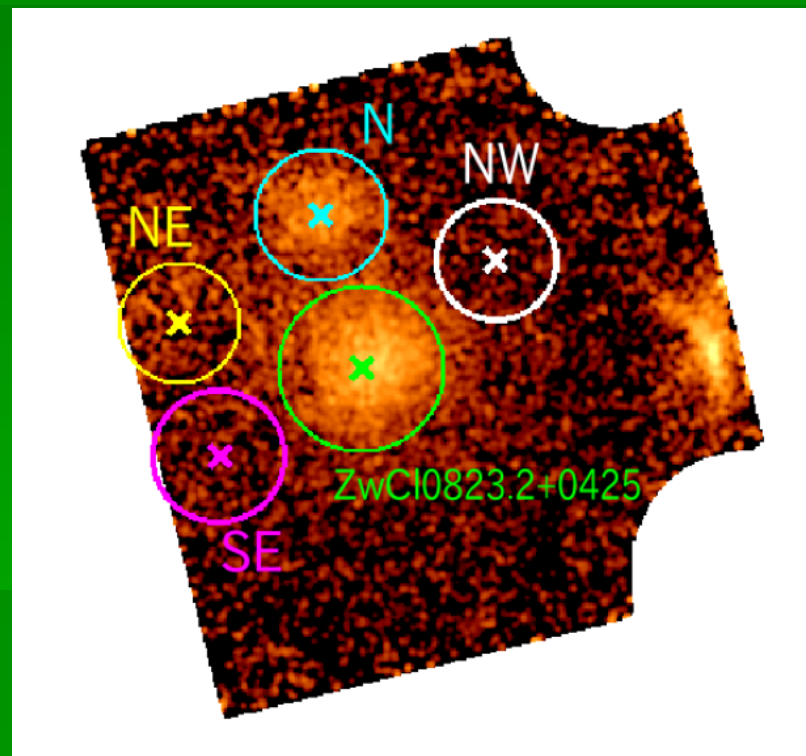
重力レンズから求めた質量と
X線観測から静水圧平衡を仮定して求めた質量
の比較。

ZwCl0823.2+0425周辺領域

(Watanabe, Takizawa, et al., in prep.)



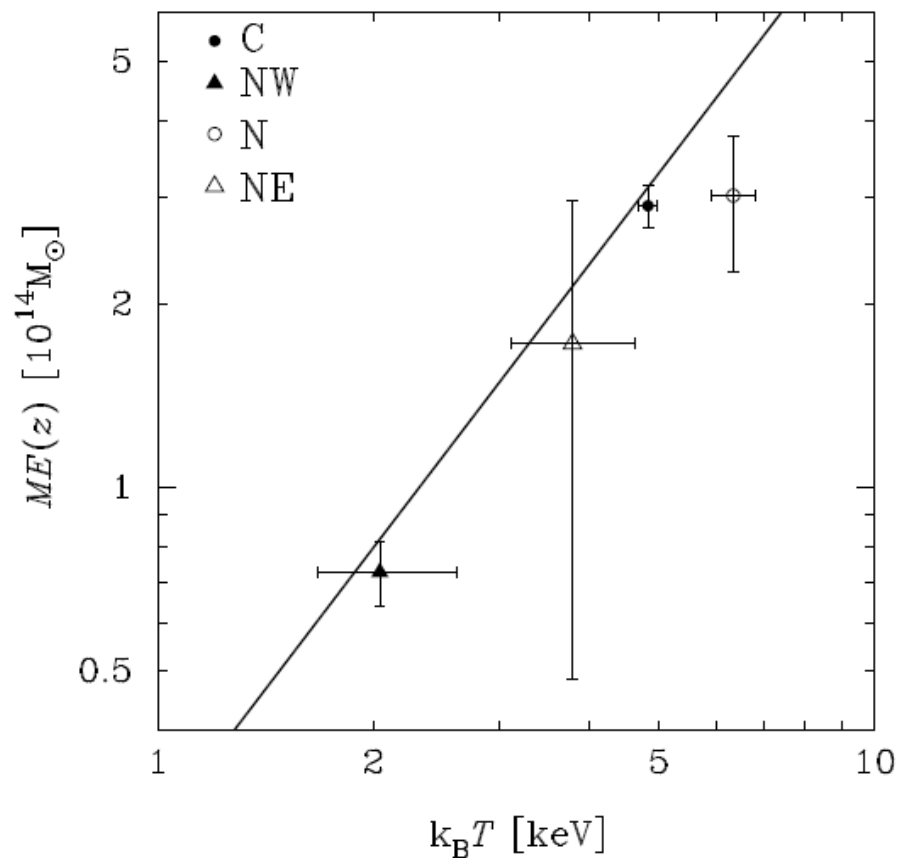
重力レンズから求めた質量分布(等高線)
すざくXISの視野



すざくのX線イメージ

ZwC10823.2+0425 周辺領域

(Watanabe, Takizawa, et al., in prep.)



各ハローの温度-質量関係
温度 ---- X線観測から
質量 ---- 重力レンズから

$$ME(z) \propto (kT)^{\{1.54+0.31, -0.45\}}$$
$$E(z) = (\Omega_0(1+z)^3 + \Lambda_0)^{0.5}$$

単純な self-similar model の予言
では $ME(z) \propto (kT)^{1.5}$

まとめ

- X線と重力レンズを組み合わせることで銀河団のバリオン成分およびダークマター成分の両方に迫ることができる。
- 1E0657-56
 - 質量分布とガス分布にずれ
 - 非常にまれな高速衝突だと思われる。
- CL0024+16
 - リング状の質量分布???
 - 視線方向の衝突らしい。
- Abell 1689
 - 大規模構造フィラメントからのガスの流入による加熱
- ZwCl0823.2+0425領域
 - 重力レンズで見つかったハローからのX線放射
 - 温度-質量関係は自己相似モデルの予言と一致