

Discovery of a Ringlike Dark Matter Structure in the Core of the Galaxy Cluster CL 0024+17

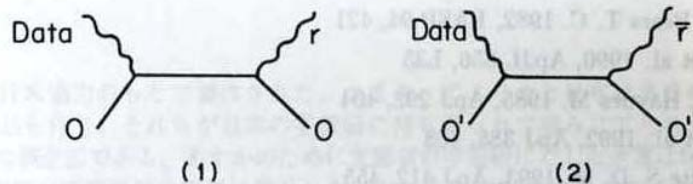
Jee et al. (astro-ph/0705.2171) の紹介
(副題: ニュースになった銀河団)

山形大学宇宙グループ談話会
(2007年5月25日)
滝沢元和

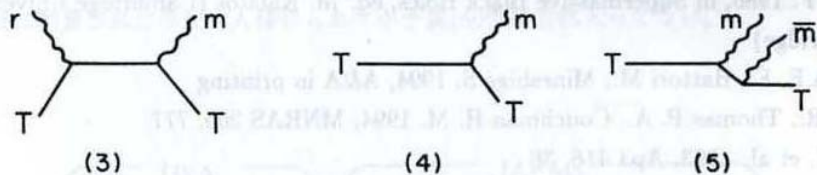


本題に入る前に、、、 Fundamental Theory of Astrophysicist Processes

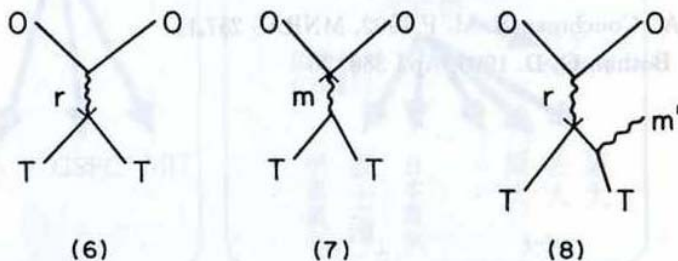
OBSERVERS



THEORISTS



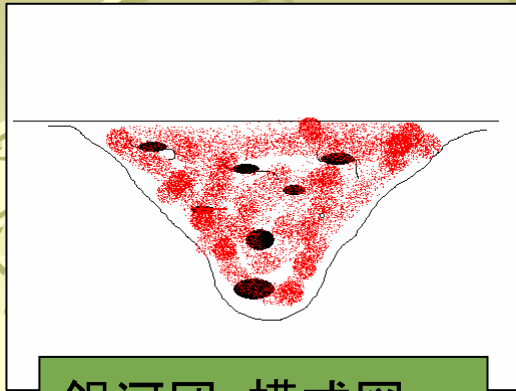
INTERACTION



「宇宙物理学者プロセス」のファイマン
ダイアグラム
1994年天文天体物理若手夏の学校の
収録から
石坂千春さん(現:大阪市立科学館)
作成

Figure 1. Fundamental Theory of Astrophysicist Processes. (1) Emission of a result r by an observer O after obtaining data. (2) Emission of the opposite result \bar{r} by a different observer O' in response to the same data. (3) Emission of a model m by a theorist T after absorption of an observational result r . (4) Spontaneous emission of a model. (5) Emission of a model m and its opposite \bar{m} . (6) & (7) Elastic scattering of observers and theorists. (8) Rare process in which theorist emits a modified model m' in response to a new result from an observer.

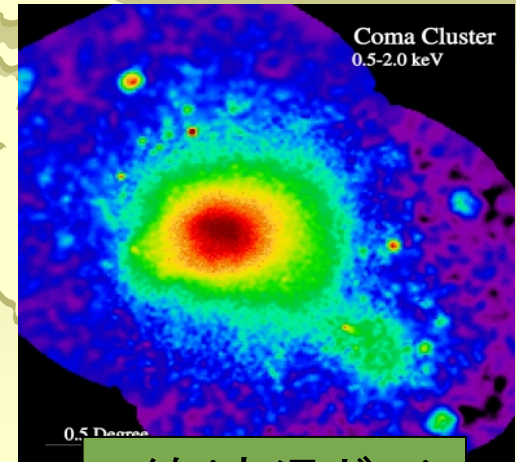
Introduction



銀河団: 模式図



可視光(銀河)

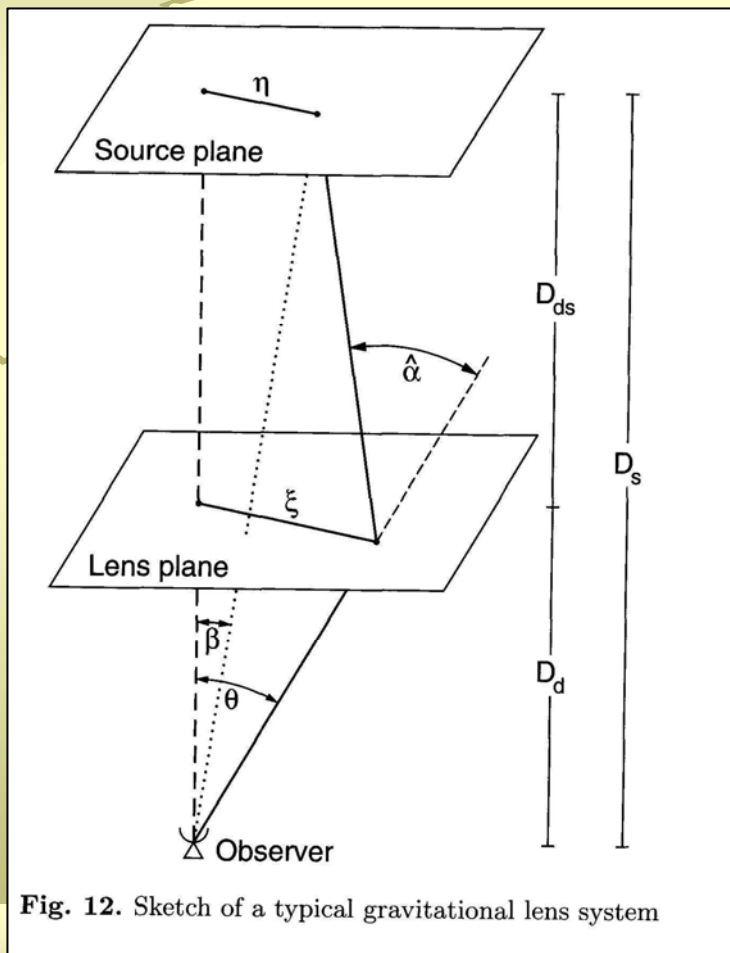


X線(高温ガス)

● 銀河団

- 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 ($R \sim \text{Mpc}$, $M \sim 10^{15}$ 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)

重力レンズ: レンズ方程式 & レンズポテンシャル



レンズ天体の表面密度 Σ と光線の曲がり角 α との関係式

$$\psi(\theta) = \frac{1}{\pi} \int_{\mathbb{R}^2} d^2\theta' \kappa(\theta') \ln |\theta - \theta'|$$

$$\alpha = \nabla \psi,$$

ψ : レンズポテンシャル

$$\kappa(\theta) := \frac{\Sigma(D_d \theta)}{\Sigma_{cr}} \quad \text{with} \quad \Sigma_{cr} = \frac{c^2}{4\pi G} \frac{D_s}{D_d D_{ds}},$$

イメージ上での角度 θ とソースでの角度 α との関係式: レンズ方程式

$$\beta = \theta - \frac{D_{ds}}{D_s} \hat{\alpha}(D_d \theta) \equiv \theta - \alpha(\theta)$$

ある α に対して複数の解 θ が存在することもある
---> 多重像に

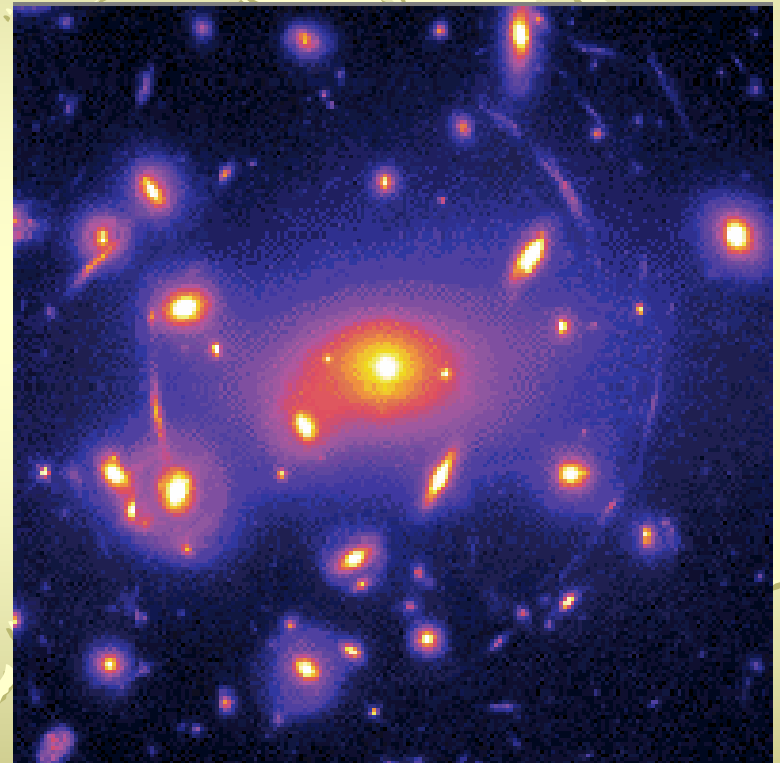
重力レンズ: strong lensing

特別な条件がそろえば円弧状の多重像が観測される

たとえば、軸対象レンズならば、
アーク内の平均面密度がちょうど
 Σ_{cr} のとき。したがってレンズとソースの red shift がわかればアーク内の総質量が求まる

$$M_{\text{lens,arc}}(r < r_{\text{arc}}) = \pi r_{\text{arc}}^2 \Sigma_{\text{cr}}$$

ただし、アーク内部の質量分布や、アークの外の質量はわからない。
(modelに依存)



A2218銀河団とアーク

非軸対象の場合もだいたい同じ

重力レンズ: weak lensing

アークがない領域でも背景銀河は重力レンズ効果を受けている。

背後に丸い(円)天体があれば右のようにゆがめられる。楕円の離心率にはレンズ天体の質量分布の情報が入っているはず。

しかし、実際の天体(銀河)は丸くない、、、

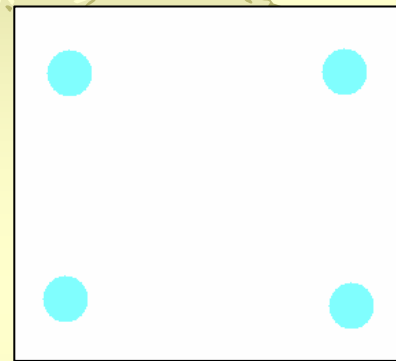
が、楕円の長軸方向はランダムに分布し平均的には離心率ベクトルは0。

背景銀河の平均的な離心率ベクトルをはかって質量分布を再構成

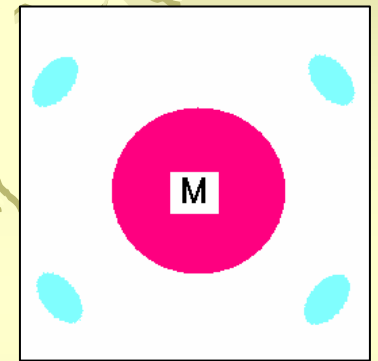
Non-parametricに質量”分布”が求まる。

Mass sheet degeneracy の問題

観測的には簡単な問題ではない



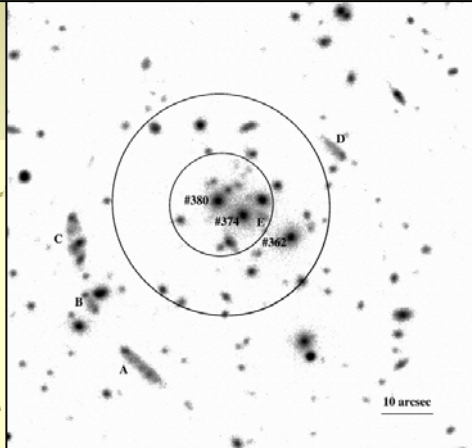
lens なし



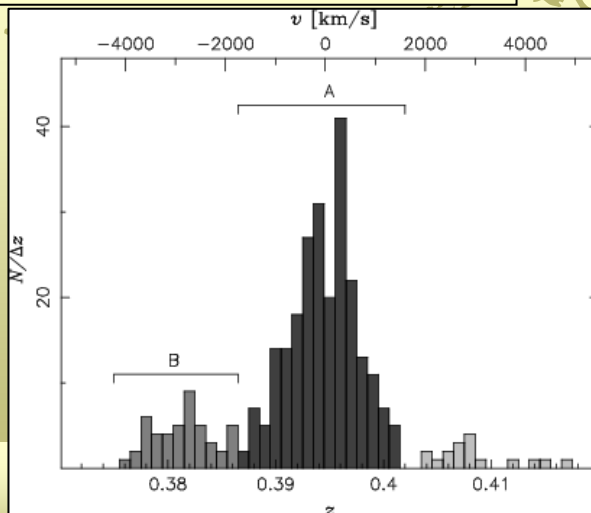
lens あり

CL 0024+17 銀河団

CL 0024+17 中心部: 可視光イメージ

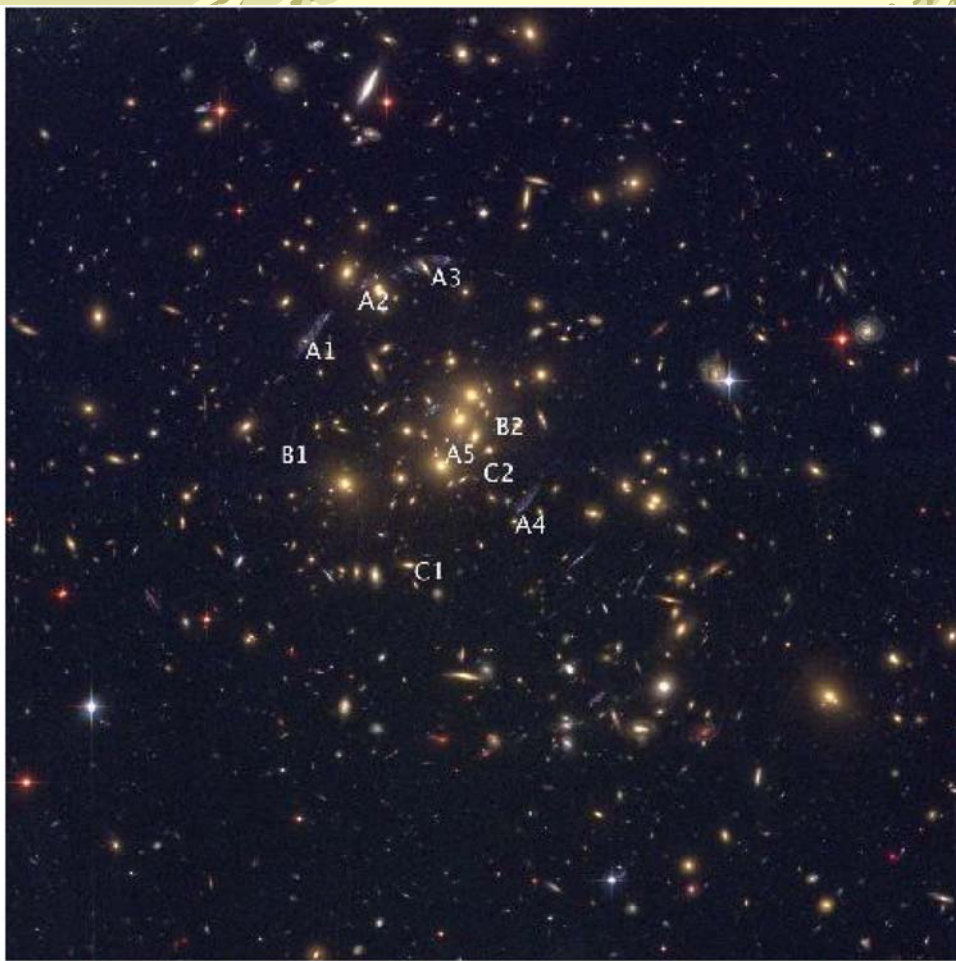


member galaxiesの視線速度分布



- $z=0.4$ にある代表的な重力レンズ銀河団
- 5つのアーチ
- アーチから求めた質量が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?

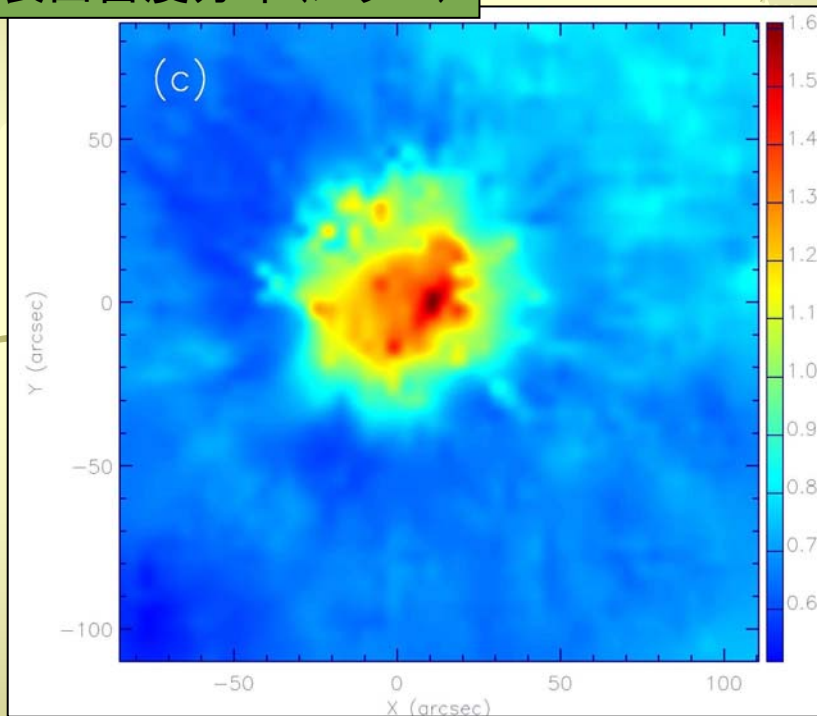
HST/ACS 疑似カラーイメージ



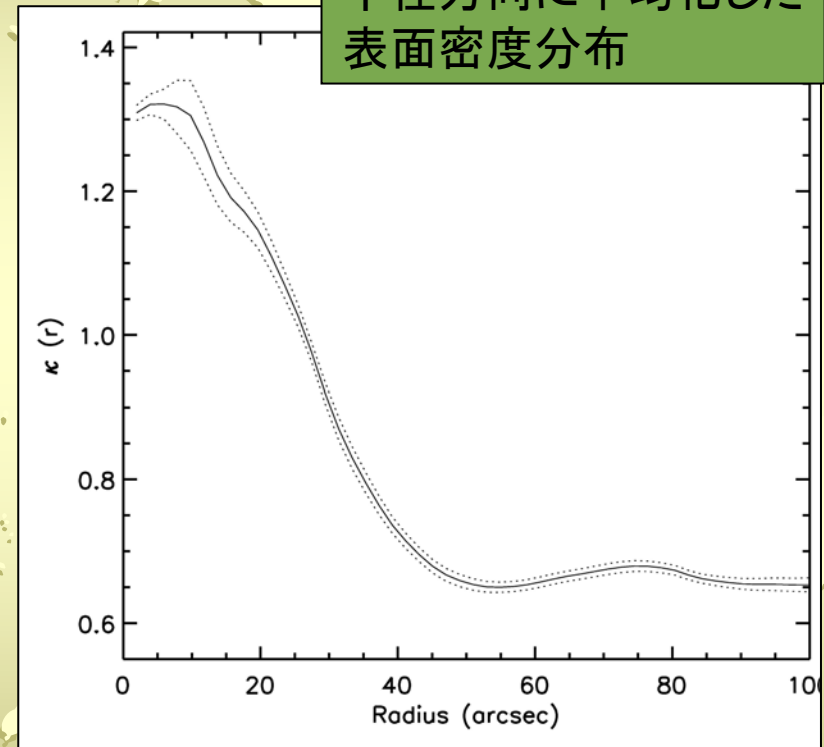
- 有名な5つのアーク (A1--5)に加えて新たに2組(B1-2, C1-2)のアーク候補が
- Strong lensing + weak lensing で質量分布を再構成。

Mass map derived from weak and strong lensing

表面密度分布(カラー)



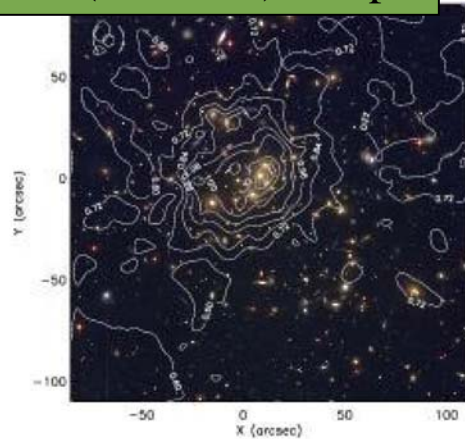
半径方向に平均化した表面密度分布



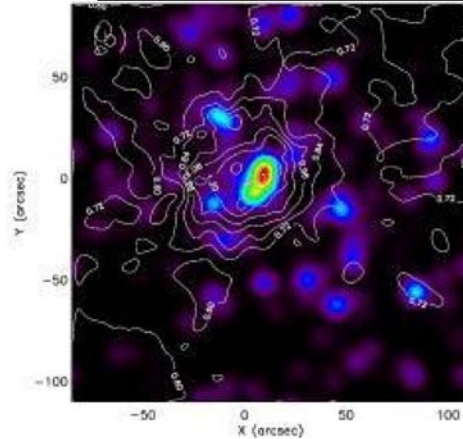
比較的フラットなコア
 $r \sim 75$ arcsec のところにリング状の質量の増加が

Comparison with X-ray and galaxy distribution

Mass(contours) vs opt.

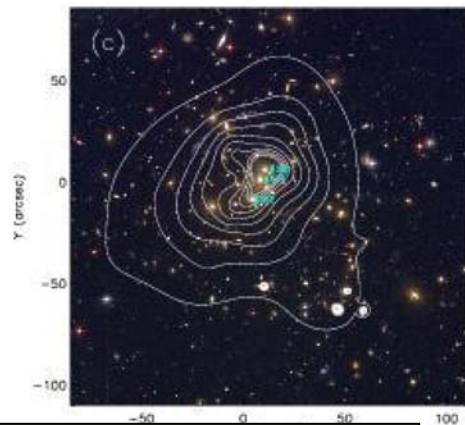


Mass(contours) vs opt.(smoothed)

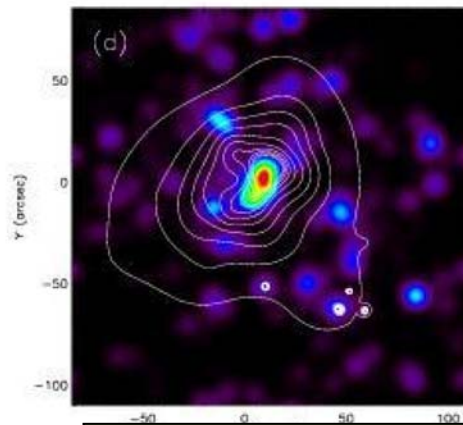


- 質量、X線、銀河の分布は大筋で一致
- リング状の構造は質量分布でのみ確認

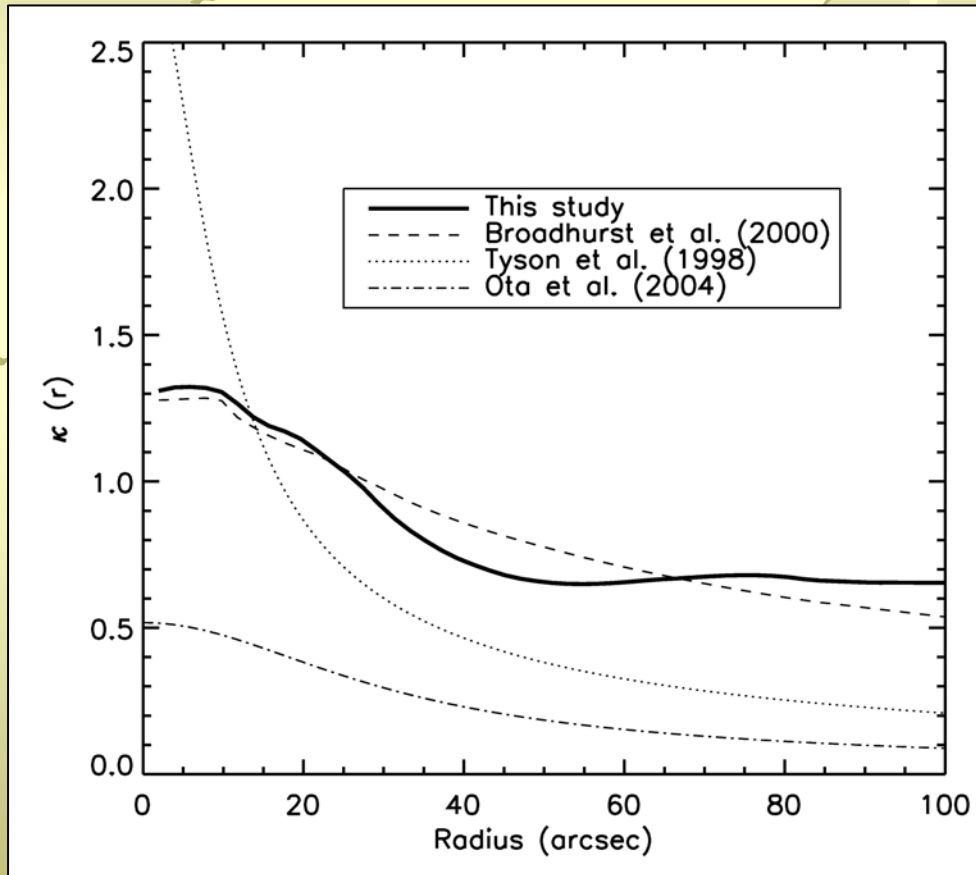
X-ray(contours) vs opt.



X-ray(contours) vs opt.(smoothed)



Mass profile: Comparison with the former results



- Broodhurst et al. (2000)
 - Strong lensing modeling with 8 circular NFW haloes
- Tyson et al. (1998)
 - Strong lensing modeling with 3 elliptical NFW haloes
- Ota et al.(2004)
 - hydrostatic mass estimation with X-ray data

X-ray mass は3倍近くunderestimate
これではアークが出ないはず、、、

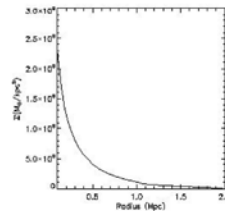
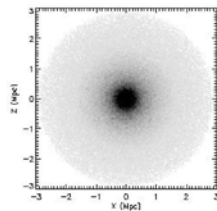
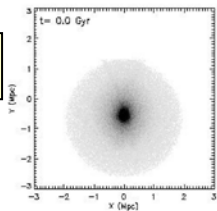
Numerical simulation of two colliding clusters

衝突軸と垂直な方向から見ると、

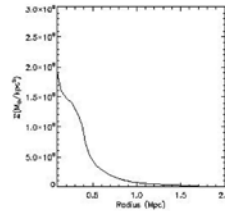
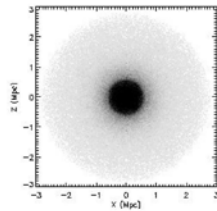
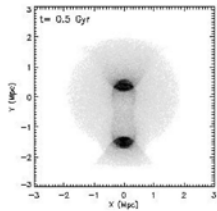
衝突軸と平行な方向から見ると、

表面密度の radial profile

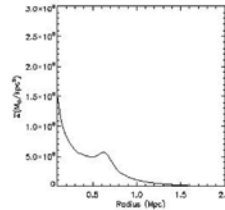
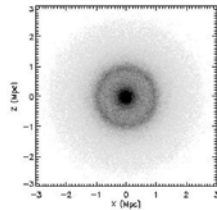
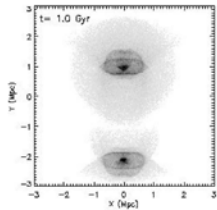
t=0 Gyr



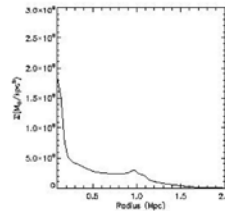
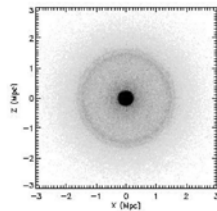
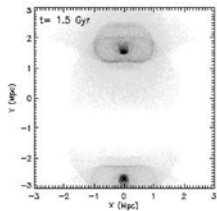
t=0.5 Gyr



t=1.0 Gyr



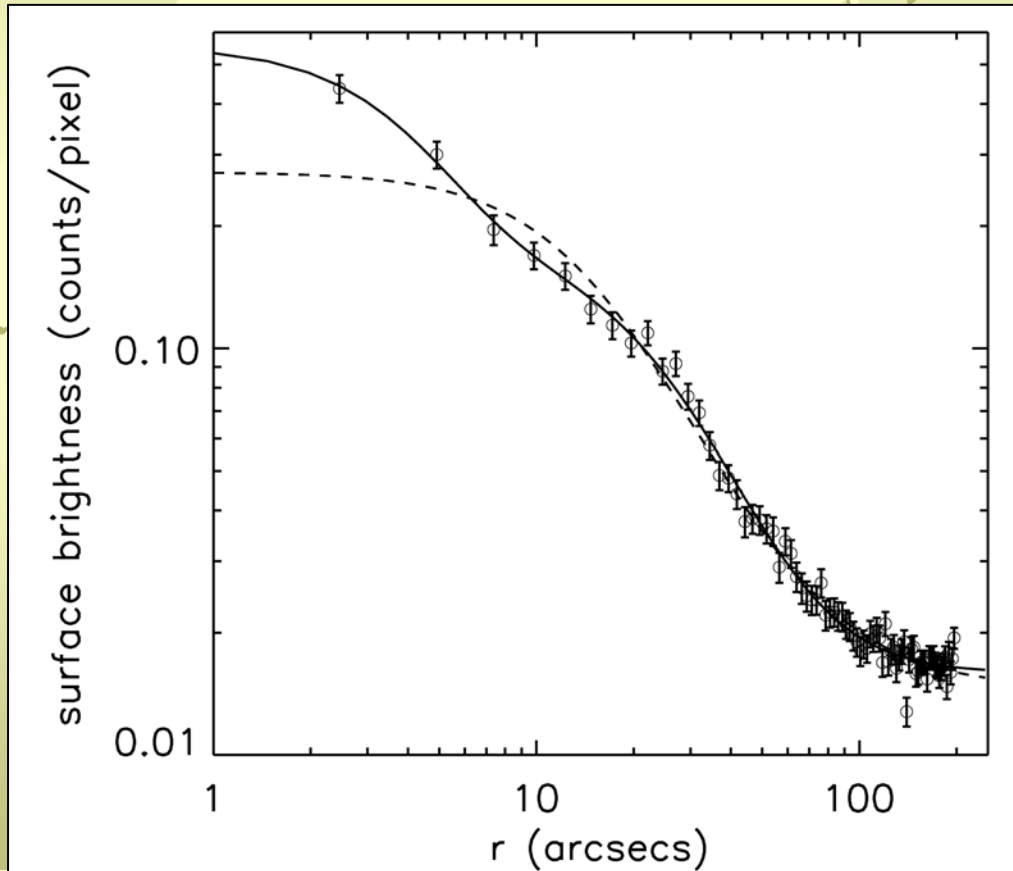
t=1.5 Gyr



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？

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。

X-ray surface brightness profile



- なんか二成分あるように見える。やっぱり視線方向に二つの銀河団が重なっているのか？

Dark Matter の性質について

- 普通の宇宙論的N体計算(無衝突)では中心で cuspy ($\rho \propto r^{-\alpha}$ 、 $\alpha \simeq 1.5$ 程度)なプロファイルになる。
- CL0024+17はflat core を持つ \longrightarrow
「self-interacting DMが必要」と主張する人もいた。
- 単に「衝突中でrelaxしていないから」で良い。
- むしろ、self-interaction が強すぎると今回のようなリング状の構造は消されるかもしれない。

まとめ

- 代表的な重力レンズ銀河団CL 0024+17をHST/ACSで観測し、strong lens と weak lens の解析結果を使って質量分布を求めた。
 - $r \sim 75''$ のところにリング状のdensity enhancementが見つかった。
 - 中心部はflatなcore。
 - X線観測から求めた質量より3倍程度多い。
- 正面衝突1-2Gyr後の銀河団を衝突軸方向から見ているものと考えられる。
- 今回の結果はself-interacting dark matter に対する制限になるかもしれない。

蔵王温泉銀河団研究会(仮称)

- 会場: たかみや瑠璃倶楽リゾート
- 期間: 2007年10月24(水) - 26(金)
- 世話人
 - LOC 滝沢(山形大)、大野(山形短大)、岡部(東北大)
 - SOC 藤田(大阪大)、滝沢(山形大)、中澤(東京大)、井上(国立天文台)、岡部(東北大)
- 準備や当日運営でご協力をお願いすることもあるかと思っておりますのでよろしくお願い致します。

