

DISCOVERY OF THE LARGEST KNOWN LENSED IMAGES FORMED BY A CRITICALLY CONVERGENT LENSING CLUSTER

Zitrin, Adi; Broadhurst, Tom
ApJ 703:L132-L136,2009

2011/12/7(Wed)
二間瀬研 黒島利沙

Contents

1. Introduction

1.1 Gravitational lensing

1.2 増光率 μ について

2. Objectについて

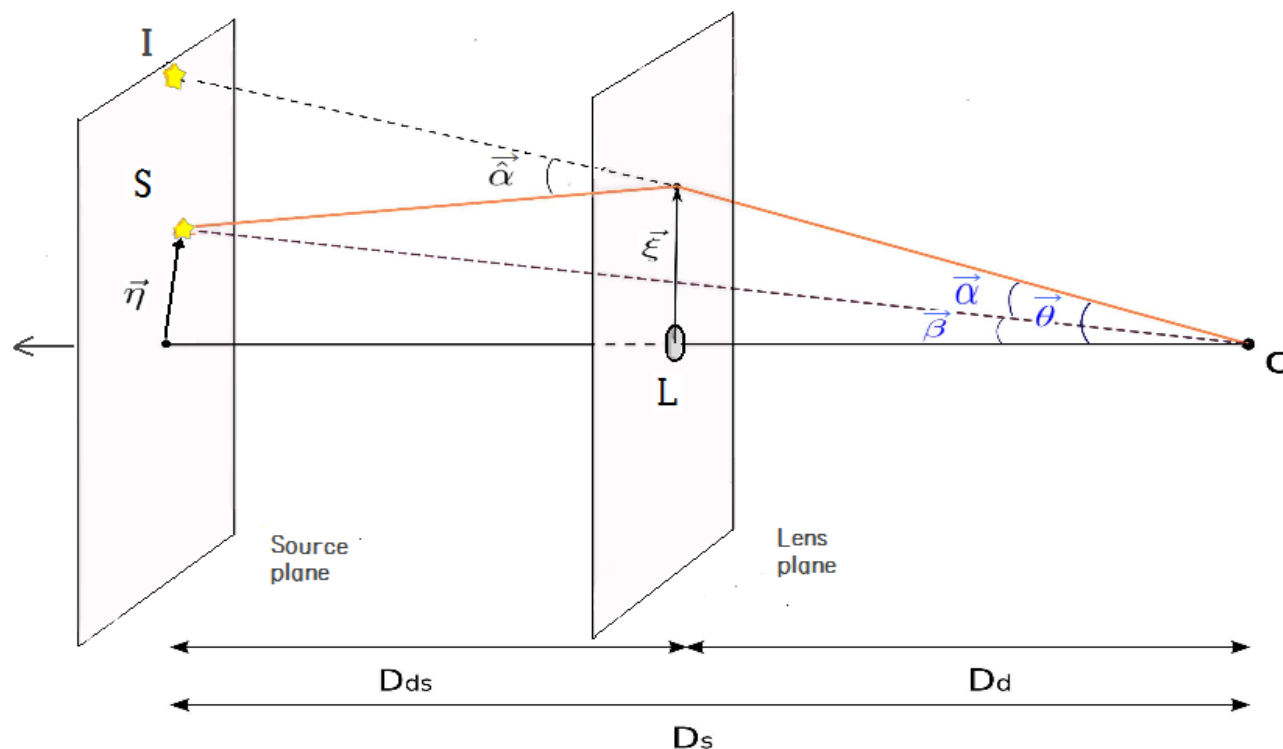
3. 解析方法

4. 結果 & 考察

5. Summary & discussion

1.Introduction

1.1Gravitational Lensing



レンズ方程式:
$$\vec{\beta} = \vec{\theta} - \vec{\alpha}(\vec{\theta}) = \vec{\theta} - \nabla\psi(\vec{\theta})$$

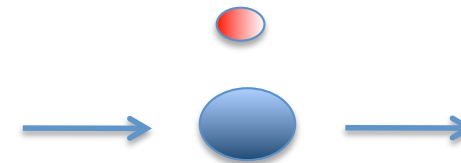
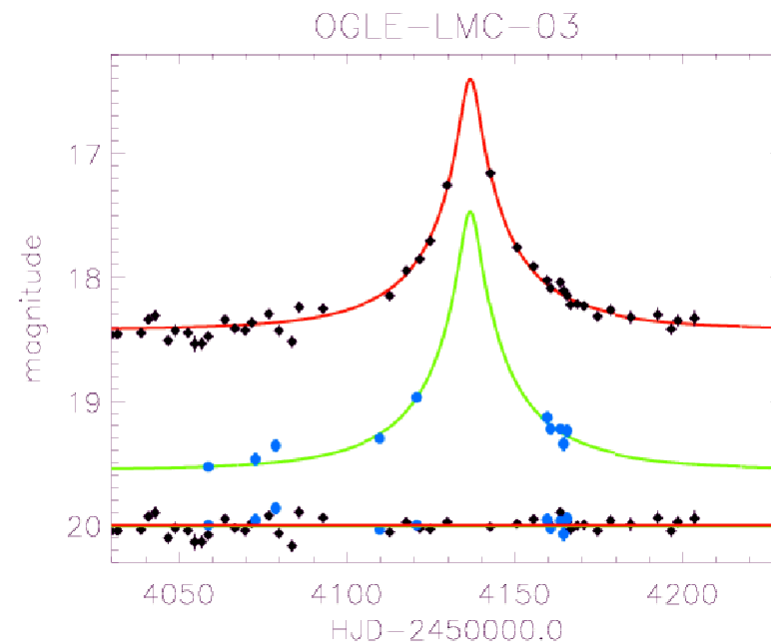
1.Introduction

1.1 Gravitational Lensing...microlensing

恒星スケールの重力レンズ

Separation~mas scale

Our galaxyのハロー中に含まれる
MACHOsの観測 & 質量の見積もり
が主なツール.
系外惑星探査のツールとしても.

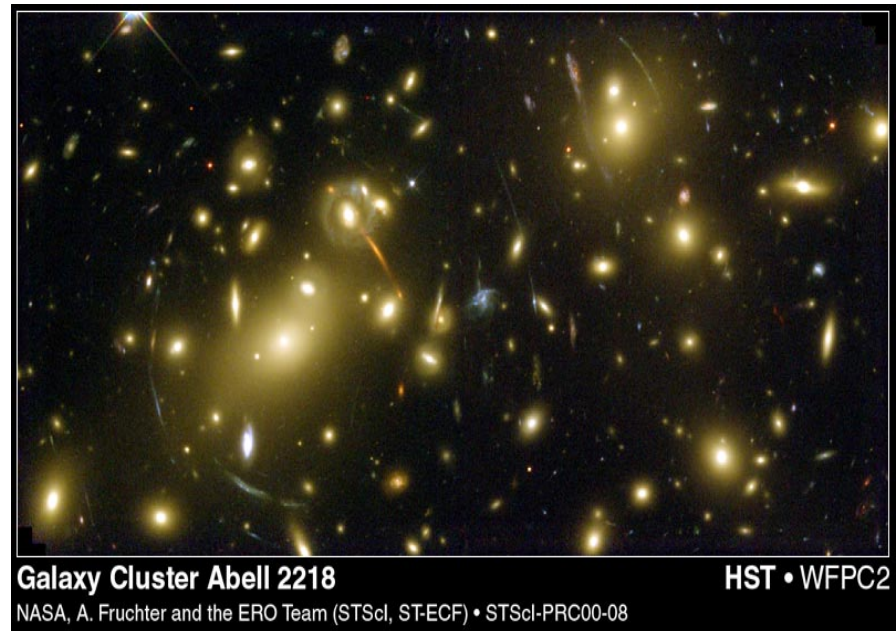


1.Introduction

1.1 Gravitational Lensing...microlensing, Weak lensing

銀河団スケールの重力レンズ

個々のsource銀河からはどれ位歪んでいるのか分からないが、統計量をとることによってshear分布を求め、質量分布にトレースする。
→銀河団のmass mapやRadial mass distributionを得る。



最近は中心付近: strong, 外側: Weakで組み合わせてmass profileを求める研究も.

1.Introduction

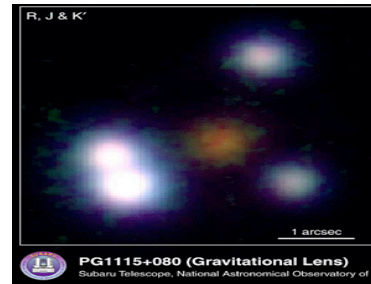
1.1 Gravitational Lensing...microlensing, Weak lensing, Strong lensing

銀河-銀河
銀河団- 背景銀河s

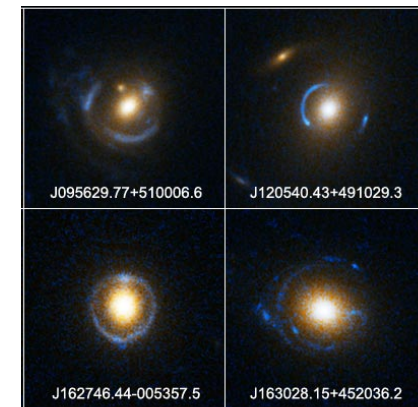
スケールは幅広い.

Multiple imageをつくる.
4重像やEinstein Ring,
clusterのアーチなど

今日は銀河団スケールでの
(強い)重力レンズをpick up!



PG1115+080



Einstein Ring



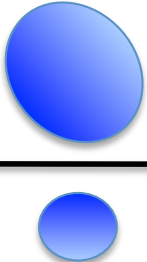
Cl0024



A1689

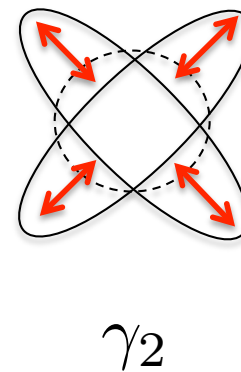
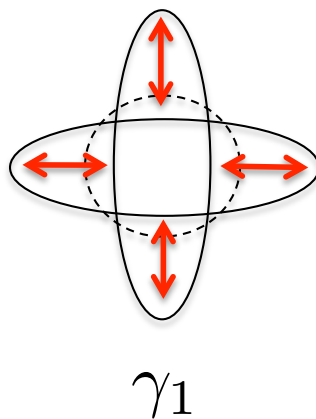
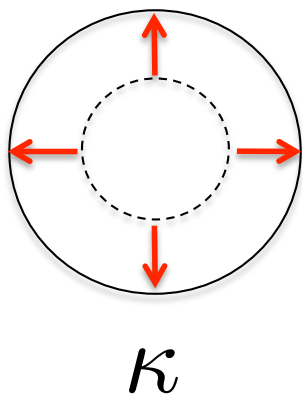
1.Introduction

1.2 増光率 μ について

$$\mu = \frac{\text{面積}}{\text{面積}} \quad \text{面積比で決まる.} \quad = \frac{1}{|(1 - \kappa)^2 - \gamma^2|}$$


※表面輝度は一定

$$\kappa = \frac{\Sigma}{\Sigma_{cr}}$$



$$\gamma_1 = \gamma \cos(2\phi)$$

$$\gamma_2 = \gamma \sin(2\phi)$$

2.Objectについて

2.Objectについて

- MACSJ1149.5+2223

ACS/HST

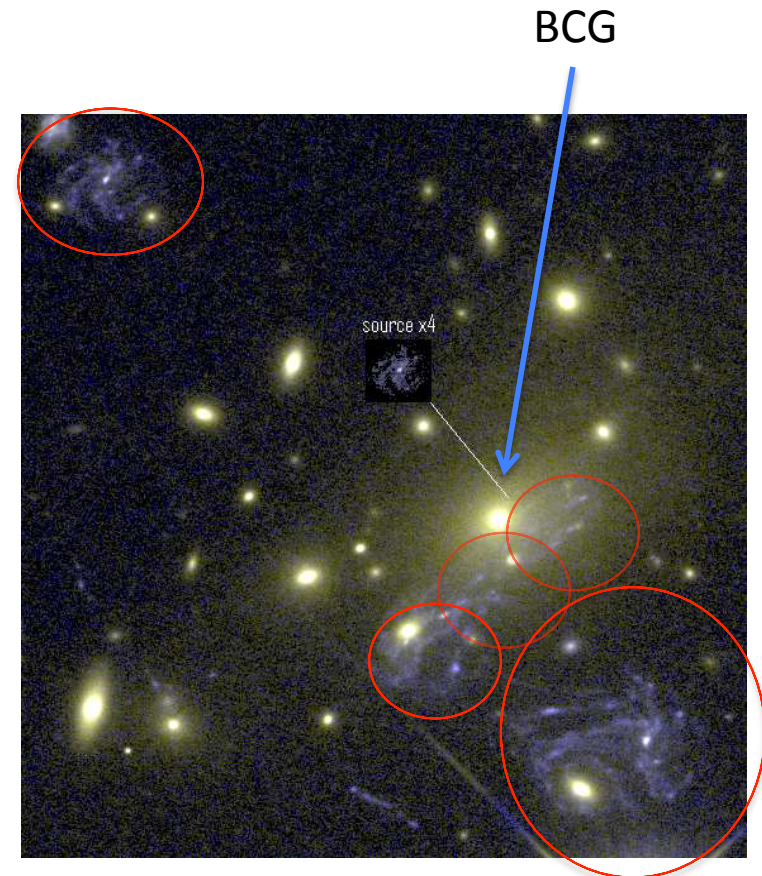
F555W,F814W filterにて

Z=0.544 X線領域にて観測

H II 領域と固有のアームの形状
から同じsourceからのimageだと同定.

大きく増光されたBlue Spiral Galaxy
外側のイメージの形はほぼ歪む事無く
増光.

エリアの1/4ほどを占める.



注: Sourceは予測されたもの

2.Objectについて

- MACSJ1149.5+2223

より遠くの(背景)銀河を発見できる & mass profileを決定できる。

→Clusterの(他分野の)研究においてデータサンプルとして組み合わせることが可能.

今回の目的:

- このクラスターのmass profileや質量を求める.
- sourceの z を見積もる.
- BCG(Brightest Cluster Galaxy)の M/L を見積もる.

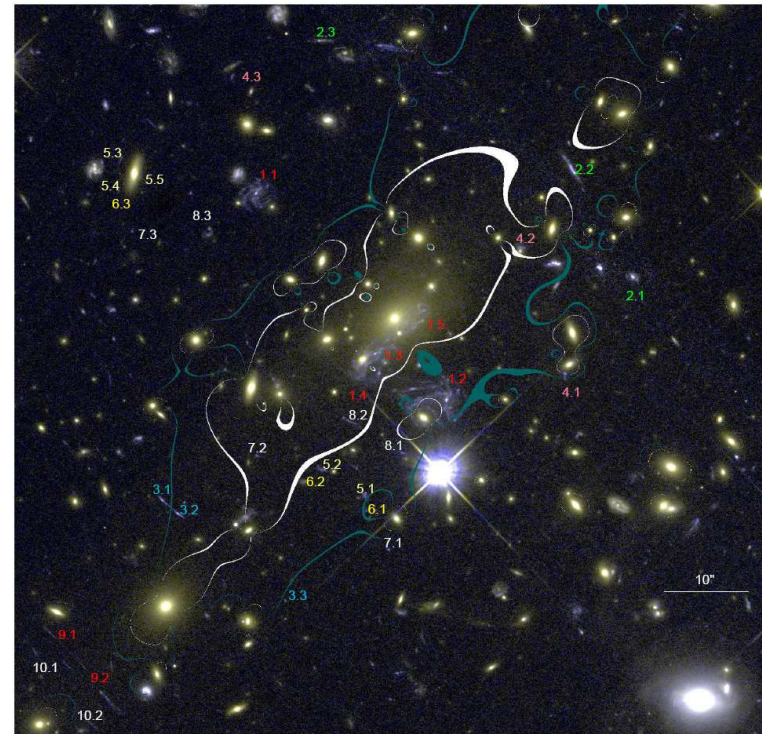
3.解析方法

3.解析方法

(Zitrin et.al 2009a
Broadhurst et.al 2005)

- ① Member Galaxyと背景銀河の識別.
▪ Hubble Legacy Archiveから取ったデータの photometry から cluster と同じ sequence を同定していく.

- ② mass distribution の仮定
member 銀河達の mass profile を r^{-q} と仮定し、
全体の分布はそれを足し合わせて Smoothig
....Degree of Smoothing **S**



- ③ deflection fieldをつくる

$$\vec{\alpha}_T(\vec{\theta}) = K_{gal} \vec{\alpha}_{gal}(\vec{\theta}) + (1 - K_{gal}) \vec{\alpha}_{DM}(\vec{\theta}) + \vec{\alpha}_{ex}(\vec{\theta})$$

6つのフリーパラメーター、33ものレンズイメージ

3.解析方法

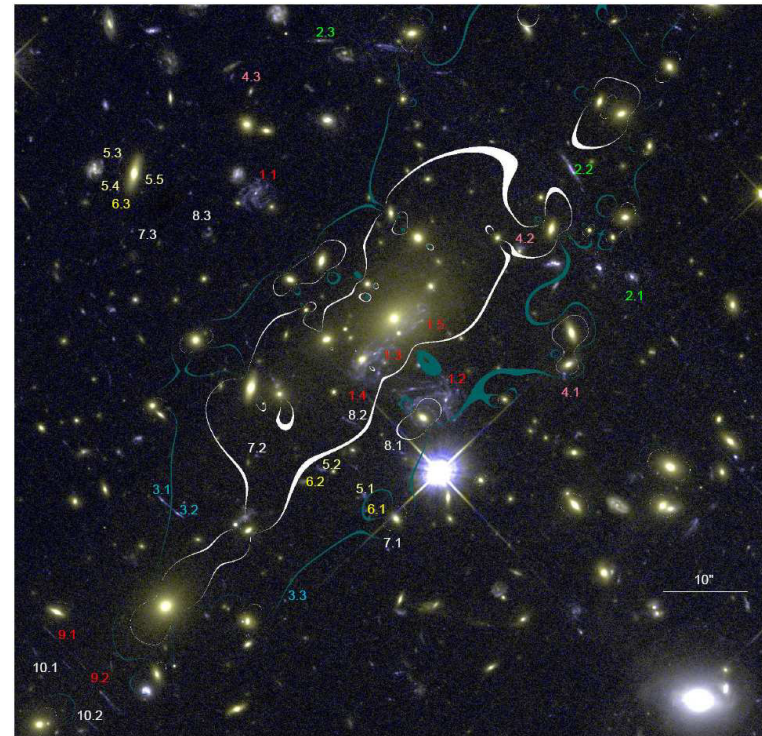
(Zitrin et.al 2009a
Broadhurst et.al 2005)

④detectされたlensed galaxiesをdeflection fieldを使ってソースプレーンに戻し、それから再びレンズプレーンにimageを作り上げ、観測と一致するようsourceの位置(や形)、パラメータを変化させながらLocation、morphorogical detail(対)、color(対)、パリティ(対)などを比較.

実際の終了判定は

$$RMS^2 = \sum \frac{((x'_i - x_i)^2 + (y'_i - y_i)^2)}{N_{images}}$$

モデル リアル total image

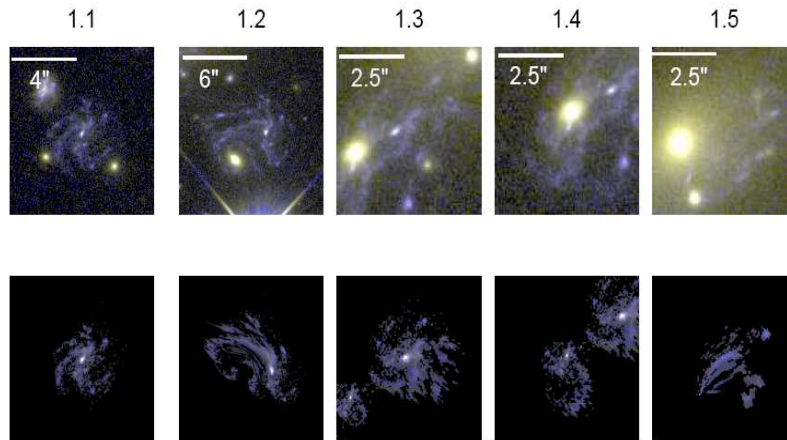


白線はspiral Galaxyのzでのcritical curve
青線はz~2でのcritical curve

4.結果 & 考察

4.結果 & 考察

RMS=1.8" (Zirin et.al 2010)



一番大きく増光されたimageの観測(上)
とモデル(下)

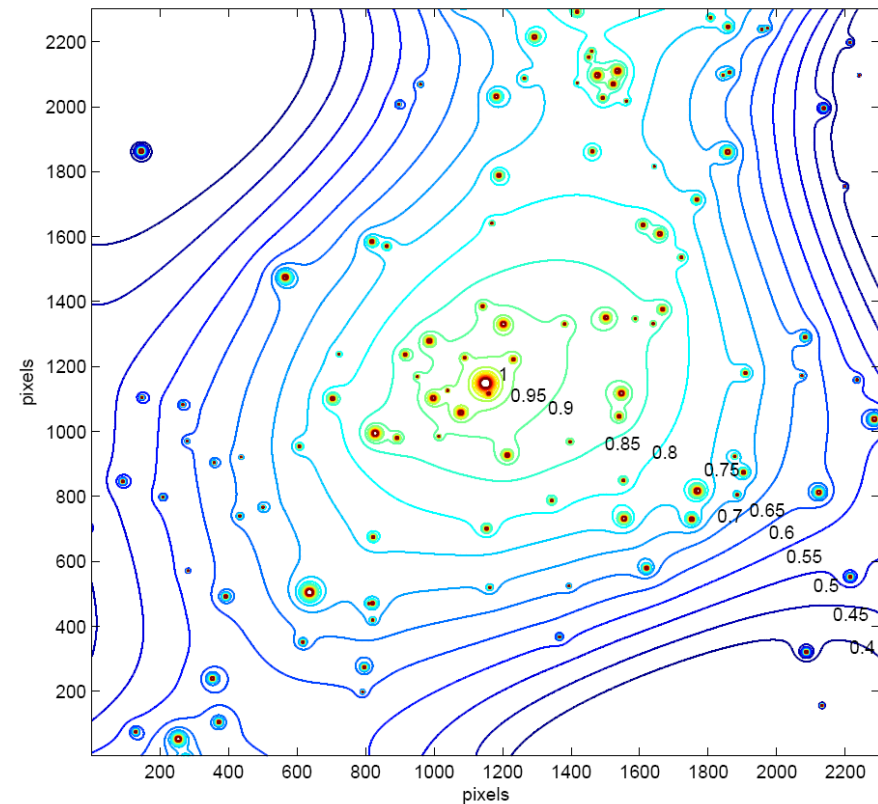
中心付近の勾配が小さい

→200kpc以内はほぼ密度一定.

$$M_{170} \sim (1.7 \pm 0.2) \times 10^{14} M_{\odot}$$

密度一定の条件がimageをほとんど歪ませずに増光させた原因.

Mass map



0.05"/Pix , 1"~6.4kpc/h₀

4.結果 & 考察

増光率の復習...

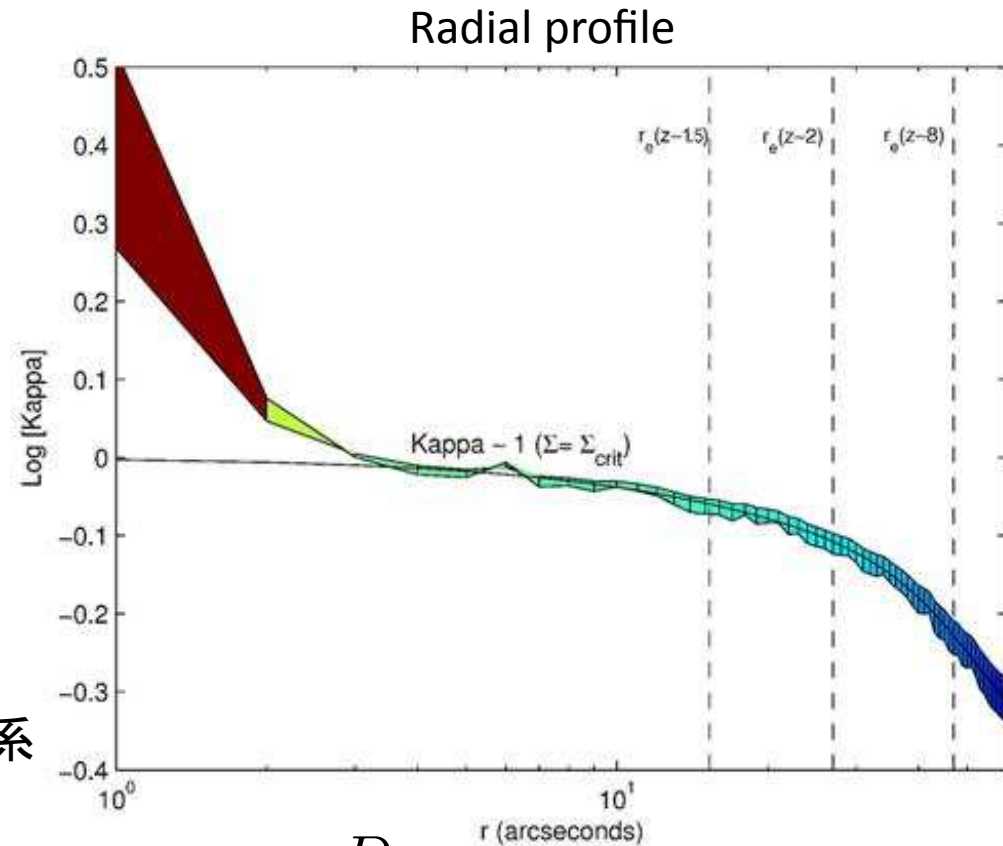
$$\mu = \frac{1}{|(1 - \kappa)^2 - \gamma^2|}$$

$$\kappa = \frac{\Sigma}{\Sigma_{cr}}$$

中心付近のmass分布がほぼ $\Sigma_c(\kappa \sim 1)r$ で
均一なプロファイル

→Spiral Galaxyのtotal の増光率

$\mu \sim 200$! 今まで最大の増光率の系



ちなみにレンズの強さは角径距離の比に依存 $\propto \frac{D_{ls}}{D_s}$

これより、spiral galaxyのz $z = 1.5^{+0.5}_{-0.3}$ と見積もった.

(後に分光観測で $z=1.49$ だと決定している。Smith.et.al)

4.結果 & 考察

更なるアプローチ.

BCGのM/Lを求めてみる。

今までのlensingでは強い制限を付けられていない。

Ex.)Gavazzi et al.2003 では

$$\text{MS2137} \quad \left(\frac{M}{L}\right) < 10 \left(\frac{M}{L}\right)_{\odot}$$

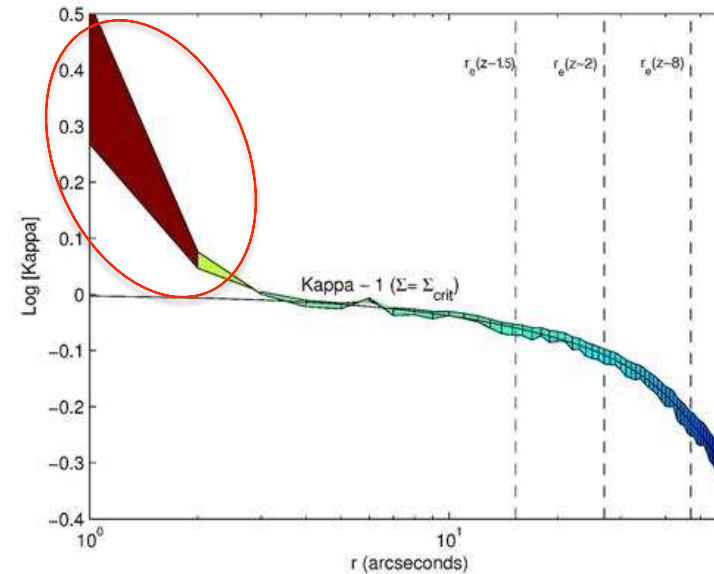
$$\text{BCGの質量: } M = (1.0 \pm 0.2) \times 10^{12} M_{\odot}$$

$$30\text{kpc以内の光度: } L_B = 2.2 \times L_{\odot}$$

$$\left(\frac{M}{L_B}\right) = 4.5 \pm 1 \left(\frac{M}{L}\right)_{\odot}$$

更なる検証をする必要性

Radial mas distributionは明らかにCore



5. Summary & discussion

- Summary

- 歪みの無いspiral Galaxyのある銀河団を見つけた。

- 中心付近の面密度 $\Sigma \sim \Sigma_{\text{cr}}$ ($\kappa \sim 1$)であることが、最大増光率を引き起こしている。

$$\mu \sim 200$$

$$z_{\text{spiral}} \sim 1.5$$

- BC銀河のM/Lを $\left(\frac{M}{L_B}\right) = 4.5 \pm 1 \left(\frac{M}{L}\right)_{\odot}$ と見積もった。

5. Summary & discussion

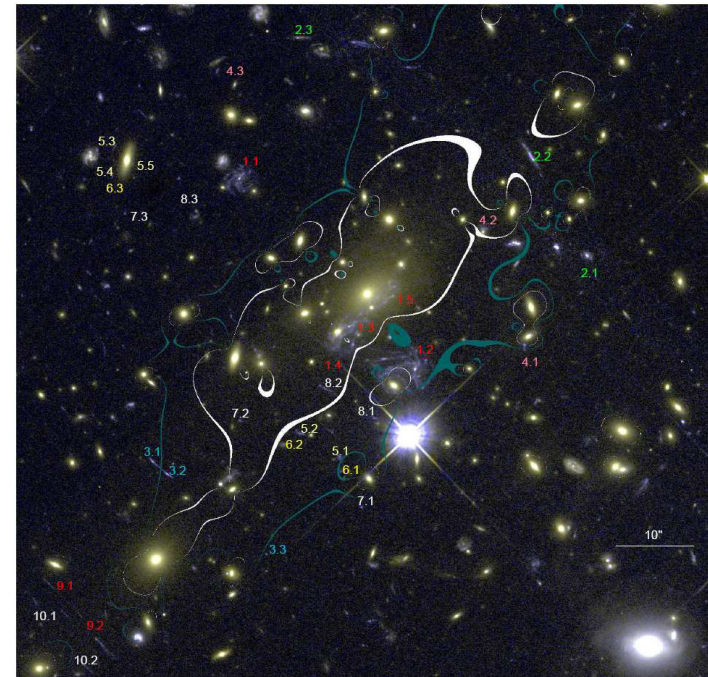
- Discussion

Source $z \sim 2$ の時に対応するEinstein半径. 27“

Λ CDM理論から予測される値より遥かに大きい. . .

この矛盾は、銀河団の質量分布が
扁平した球(ラグビー状)で、かつ
視線方向にそっている場合は
説明できる. (Oguri et al.2009)

Superlens Cluster



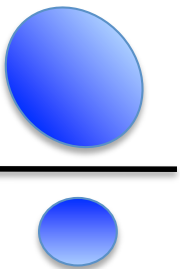
しかし明らかにこの銀河団はCritical curveや広がったX線emissionをみる限り
視線方向には伸びていない.

→unrelax stateが関係しているかもしれない。

終

1.Introduction(補足)

1.2 表面輝度について


$$\mu = \frac{\text{面積比で決まる.}}{= \frac{1}{|(1 - \kappa)^2 - \gamma^2|}}$$

※表面輝度は一定

$$\text{表面輝度: } B = \frac{L}{4\pi r^2} \quad \text{光度: } L = 4\pi r^2 \sigma T^4$$

面積が増える→ r が増える

→光度も増えるので結局表面輝度は保存する.