

# 暗黒物質と重力レンズ

2000年冬学期 東京大学物理学教室

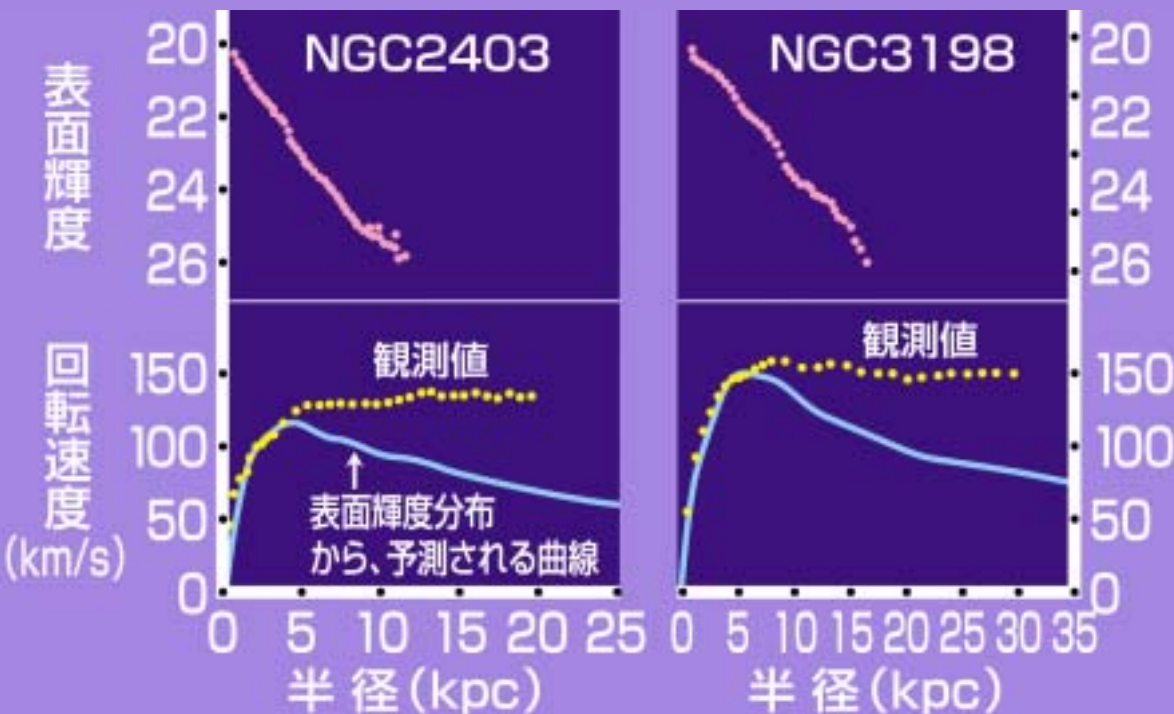
物理学特別講義 BI 須藤 靖

「一般相対論続論」

# 銀河に付随した暗黒物質

- 銀河の平坦な回転曲線は暗黒物質の存在を強く示唆

van Albada & Sancisi (1986)



銀河の中心から  $r$  の距離を円運動する質量  $m$  の星の運動方程式

$$m \frac{v^2(r)}{r} = \frac{GmM(<r)}{r^2}$$

$$\Rightarrow v(r) = \sqrt{\frac{GM(<r)}{r}}$$

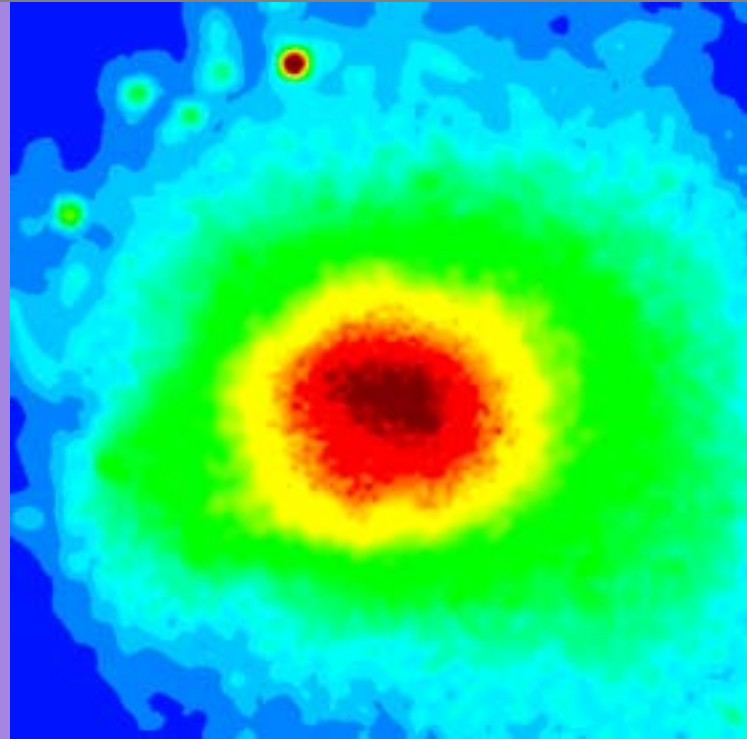
$$v(r) = \text{const.} \rightarrow M(<r) \propto r$$

渦巻き銀河では、円盤半径の2倍以上の領域まで(見えない)質量が広がって分布している

**暗黒物質ハロー  
(ダークハロー)**

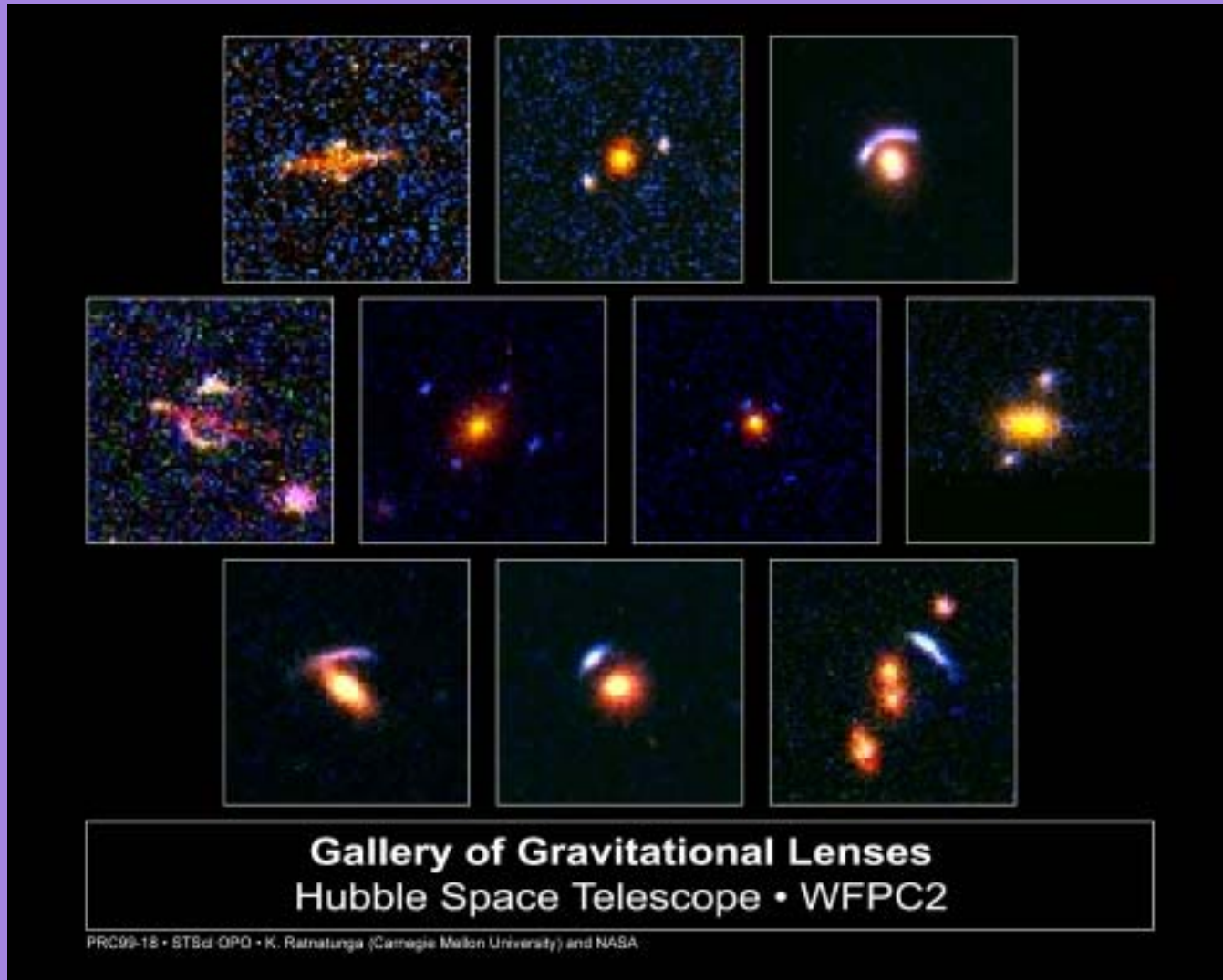
# 銀河団に付随した暗黒物質

- 銀河団は、銀河、高温ガス、暗黒物質の3成分からなる
- 可視光、X線、電波、サブミリ波など、多波長観測が可能
- 銀河団の暗黒物質は、星と高温ガスの総質量の約10倍程度



NASA/GSFC S.L.Snowden氏提供

# ハッブル宇宙望遠鏡の観測した重力レンズ



# 暗黒物質の候補

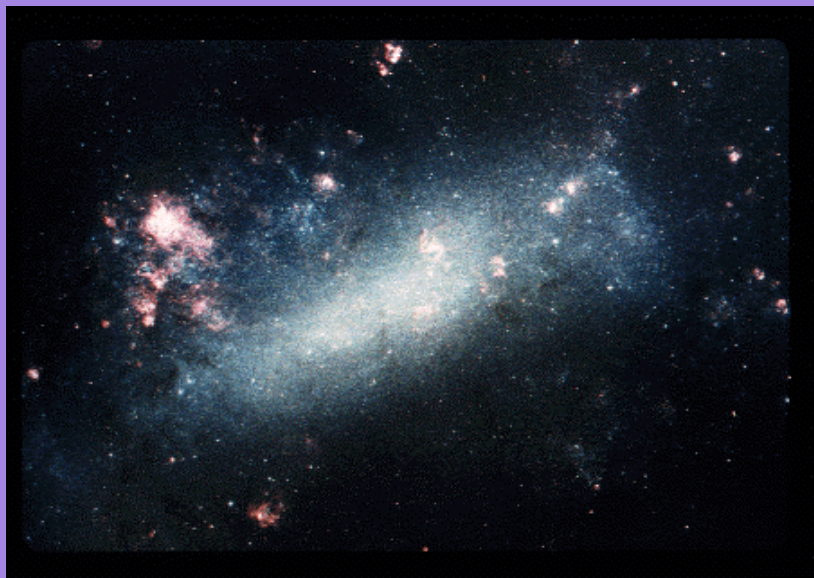
## ■ 天文学的暗黒物質

- 重力レンズの観測により銀河系ハローの暗黒物質の一部は小質量天体であることがわかっている
- 宇宙の暗黒物質のすべてを説明することはできない(ビッグバン元素合成からの制限)

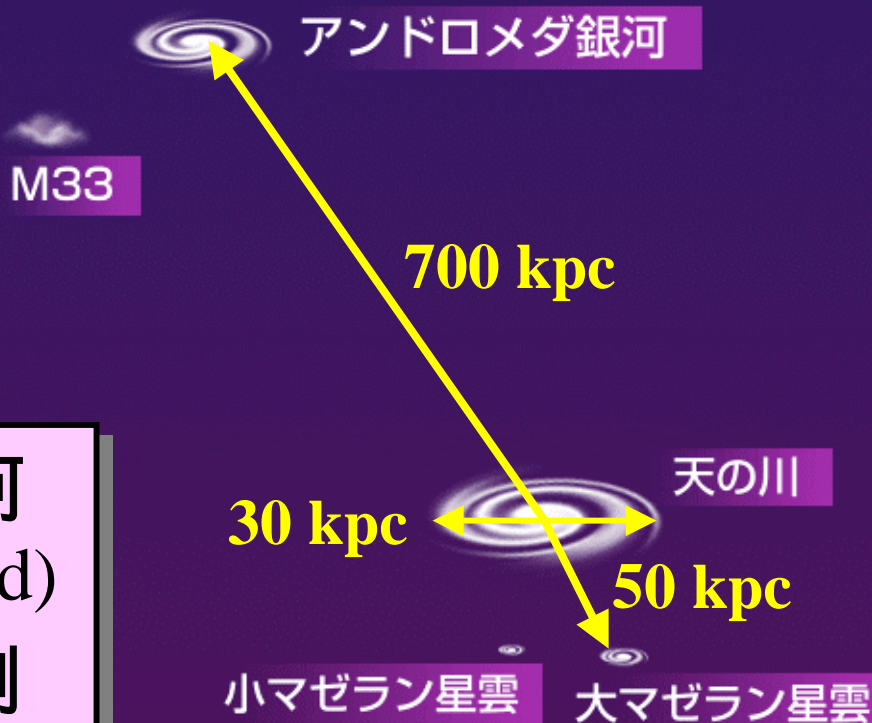
## ■ 素粒子論的暗黒物質

- ニュートリノ以外の暗黒物質粒子(冷たい暗黒物質: **Cold Dark Matter**)が必要
- 理論モデルは数多く提案されているが直接的な実験・観測からの裏づけはない

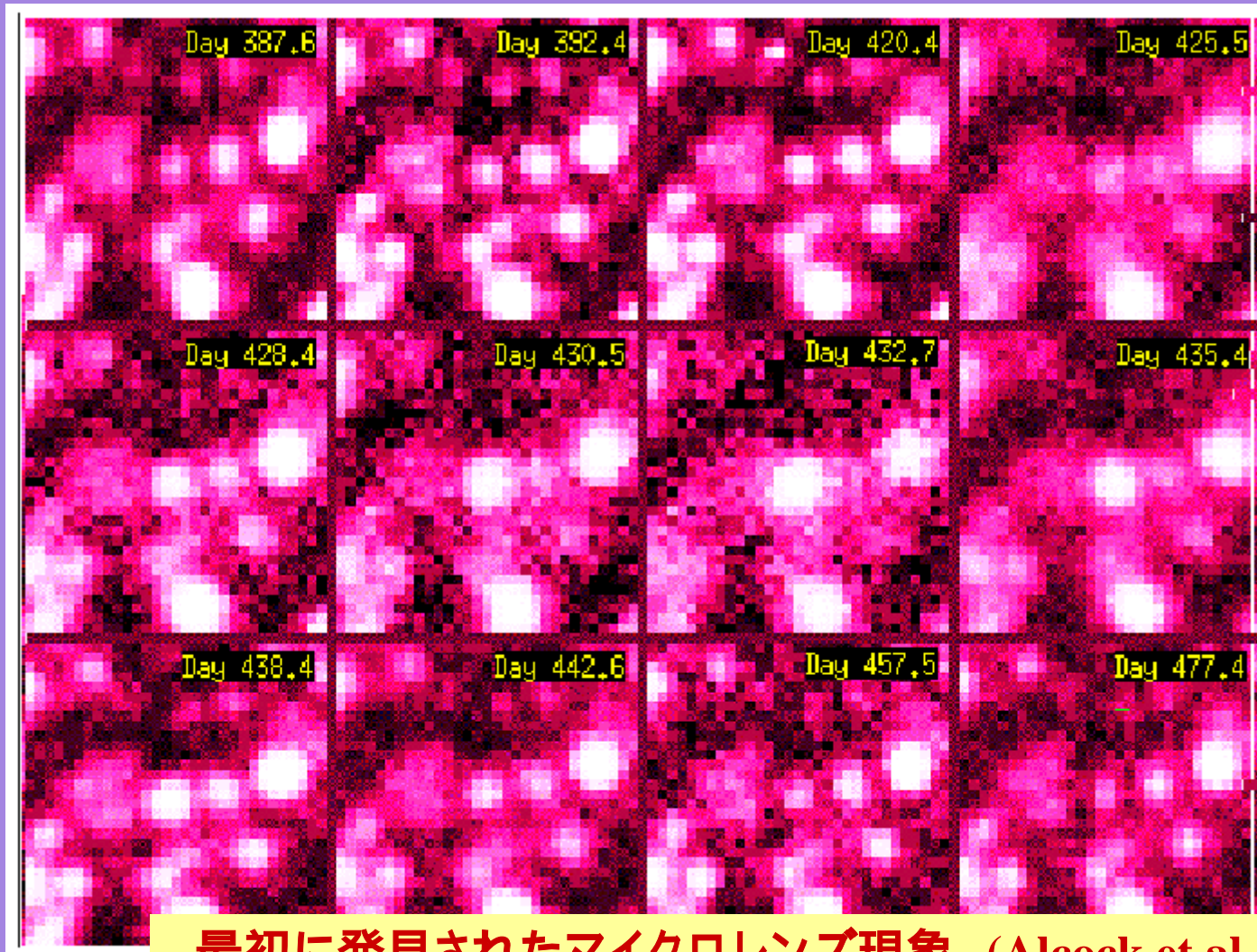
# 大マゼラン星雲



- 我々の銀河系の伴銀河 (Large Magellanic Cloud)
- 1987年に超新星が観測された

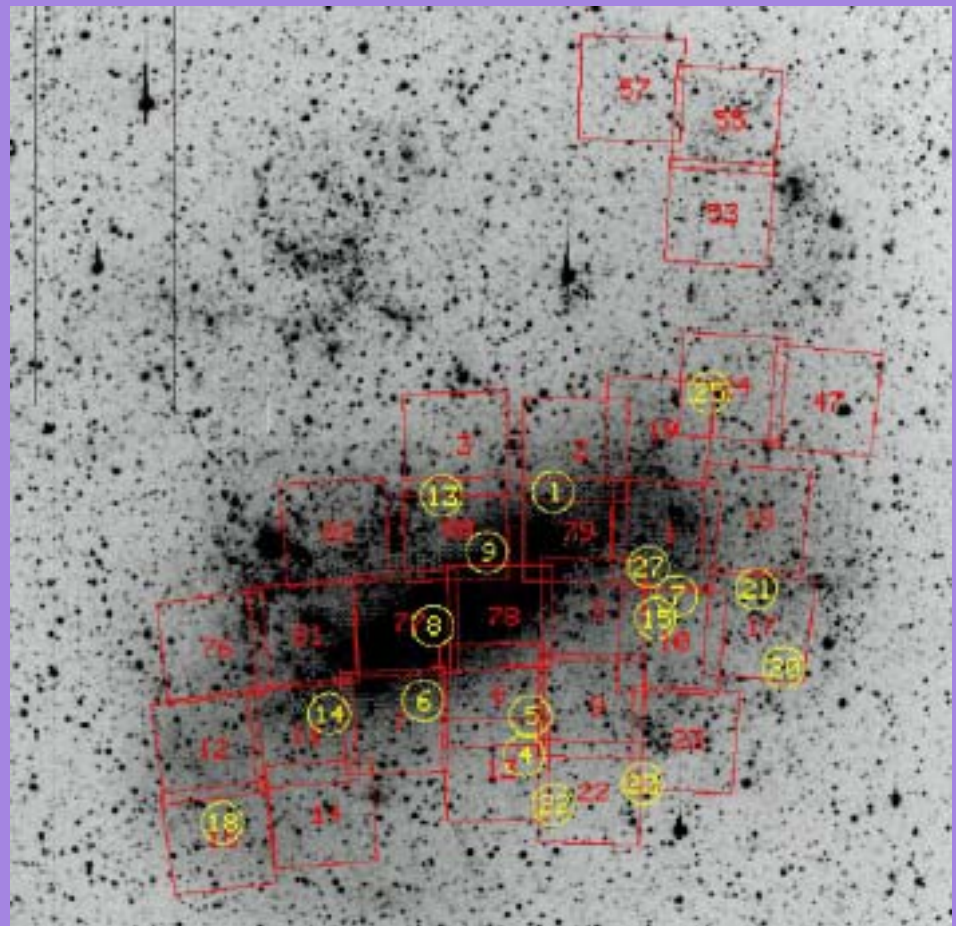
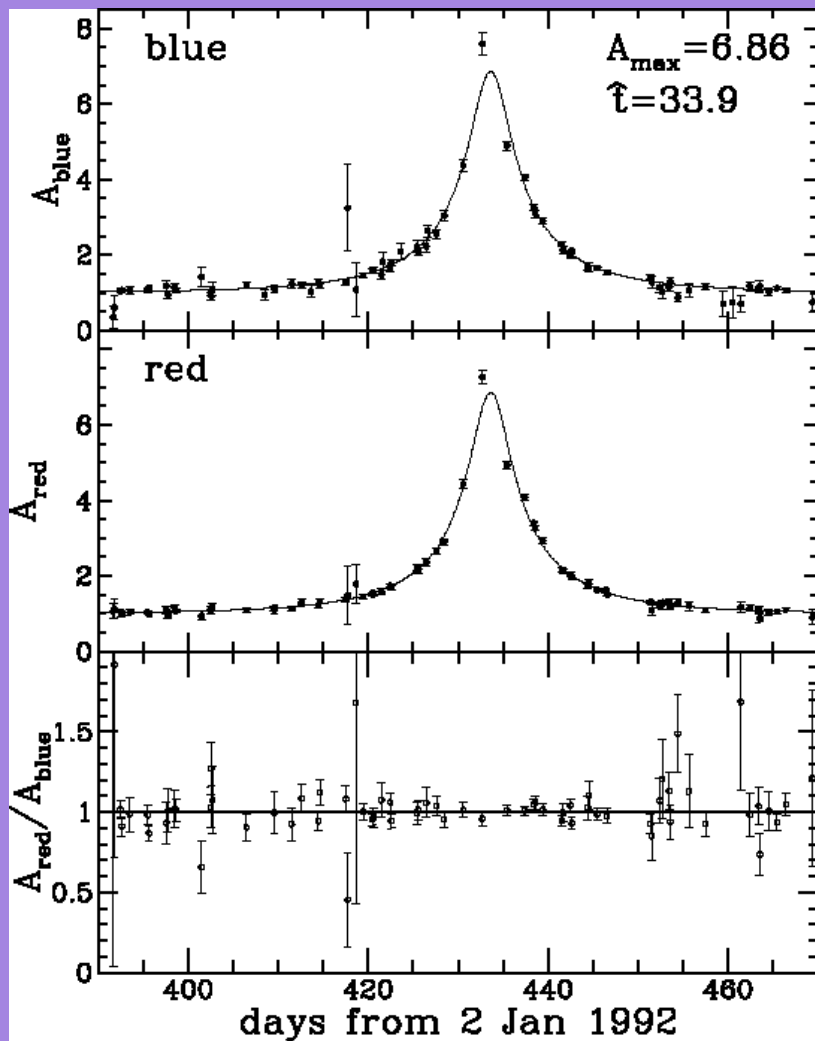


# Massive Compact Halo Objectsの発見



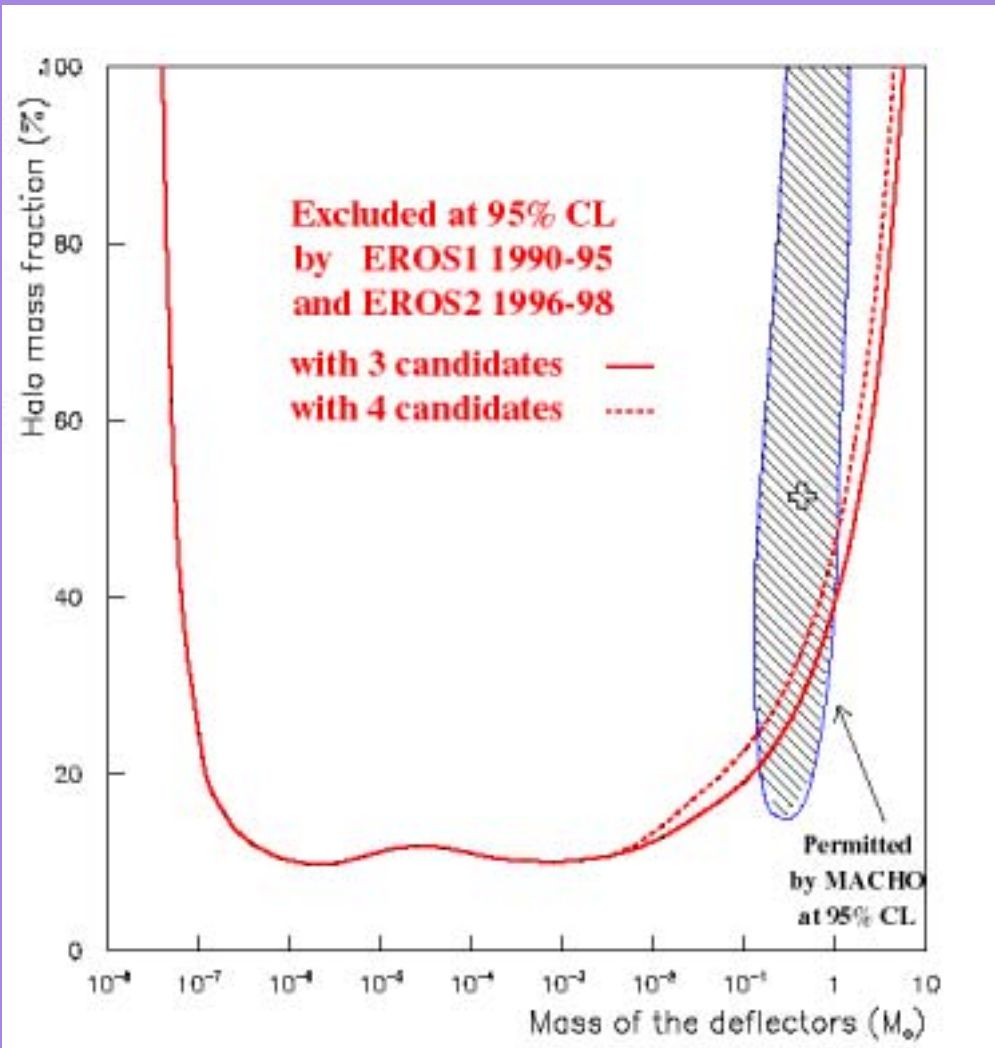
最初に発見されたマイクロレンズ現象 (Alcock et al. 1993)

# MACHOイベントの光度曲線





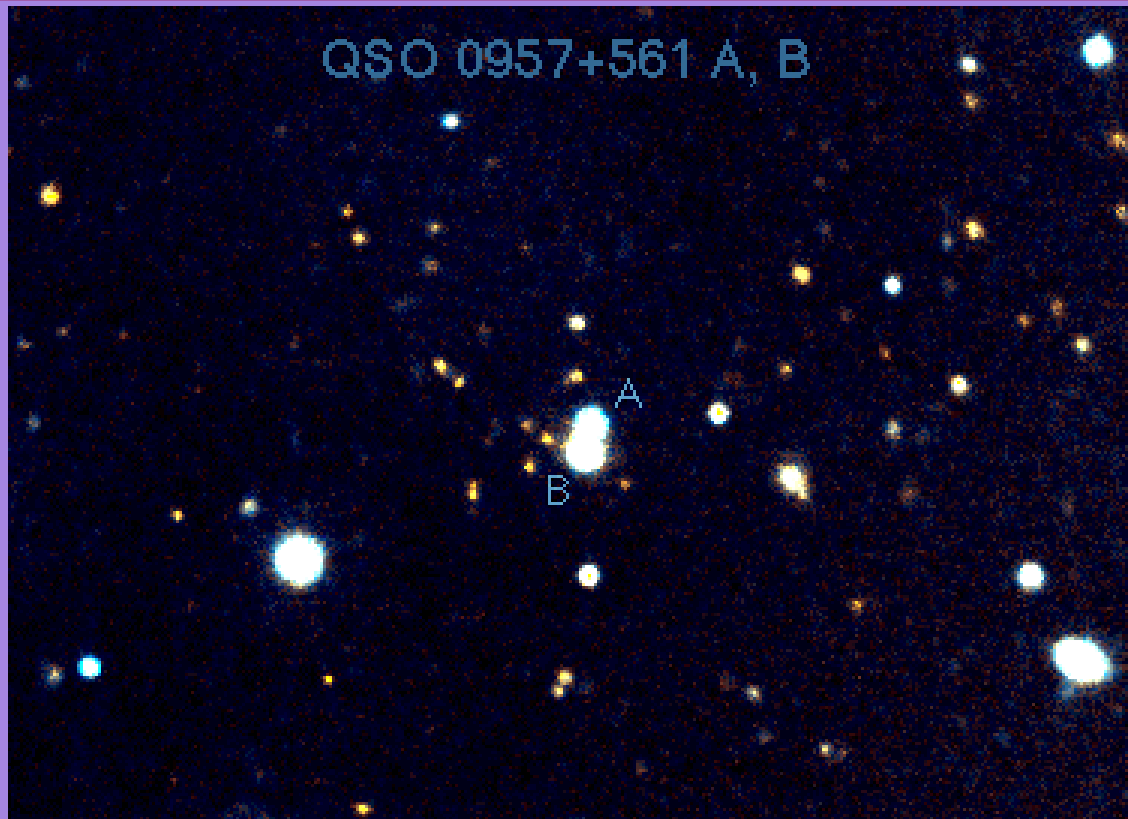
# 銀河系ダークマターの組成



- 銀河系ハローには確かにMACHOが存在する
- 質量は太陽の0.1から1倍程度
- ハロー全体に占める質量は2割程度(つまり、それ以外のダークマターも存在する)

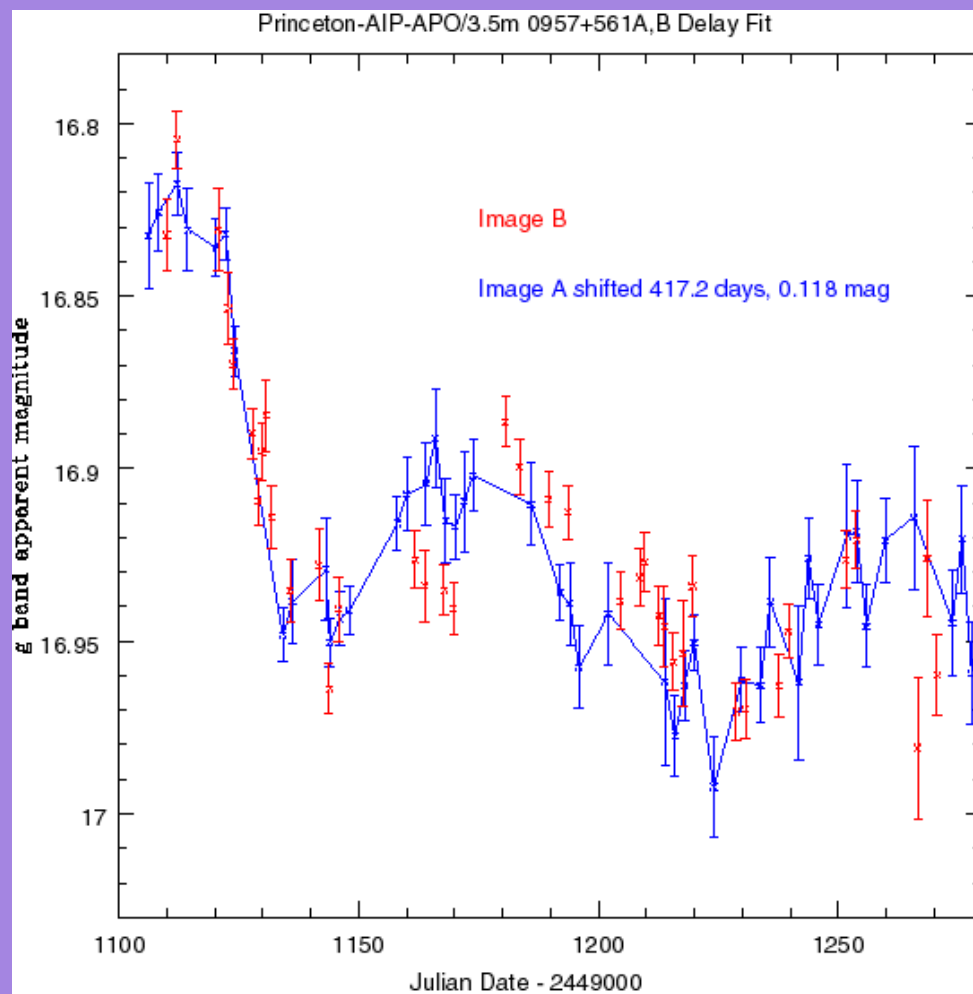
MACHO mass fraction  
Lasserre et al. (2000):  
EROS collaboration

# QSO 0957+561 A, B at $z=1.4$



- 最初に発見された重力レンズ天体 (QSOの2重像):  
Walsh, Carswell and Weymann (1979)

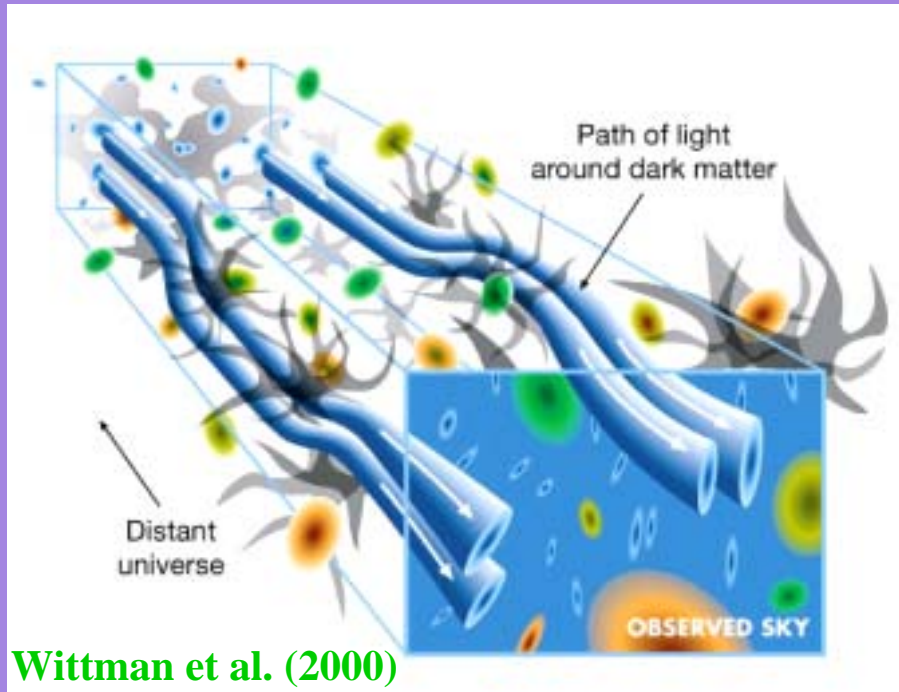
# 0957+561 A, Bの光度曲線と時間差



- QSOの明るさの時間変化より、Bイメージが約一年遅れていることがわかる
- 理論モデルとの比較より、ハッブル定数が推定できる  
(Kundic et al. 1997)

$$H_0 = 64 \pm 13 \text{ km/s/Mpc}$$

# 弱い重力レンズによるダークマター分布地図



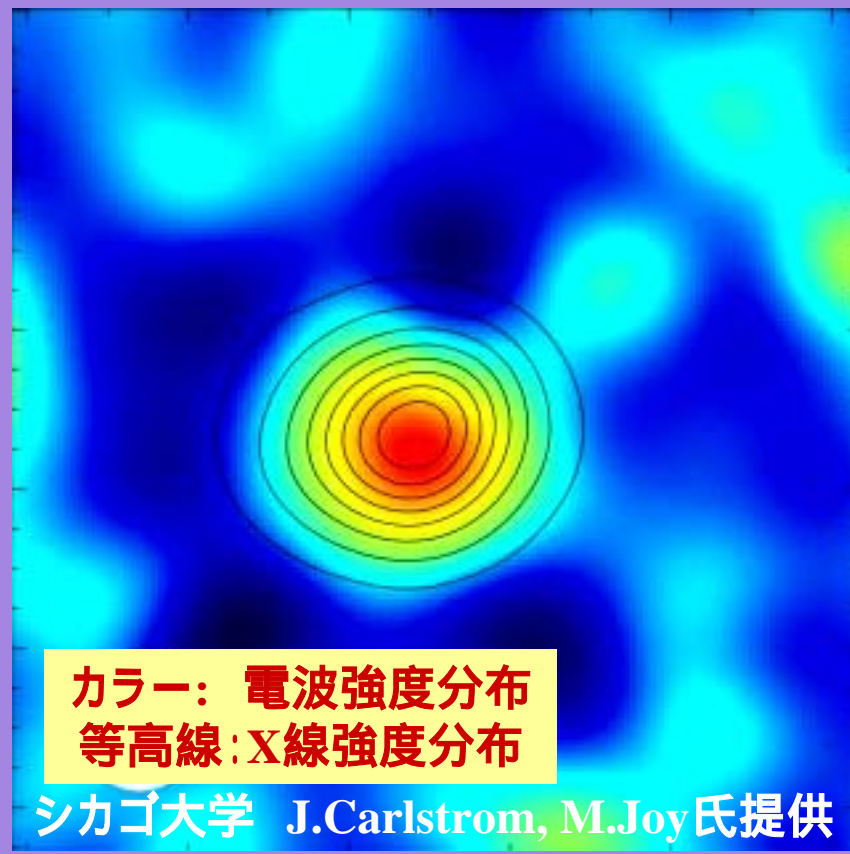
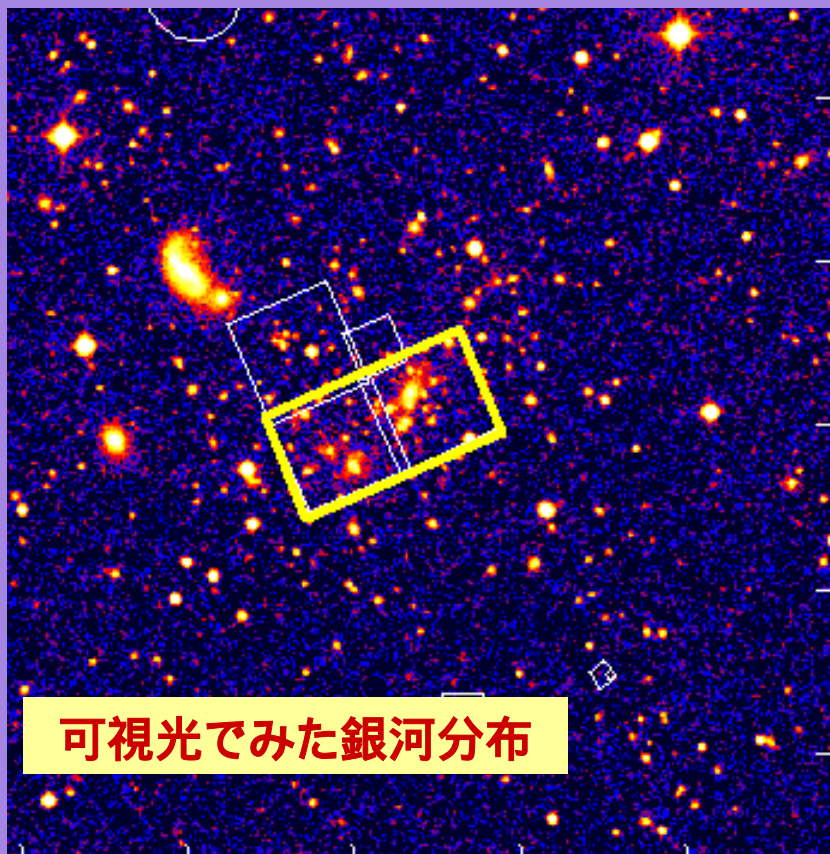
Tegmark (2000)



銀河団の重力ポテンシャルによって遠方の銀河の像が歪んで見える例は数多く知られていたが、2000年になって4つのグループがほぼ同時に、宇宙の大構造に起因する重力レンズ効果の検出を発表した

宇宙のダークマターを直接マッピングすることが可能な時代に突入

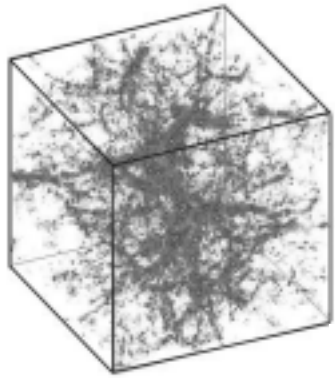
# 銀河団A2218：可視光、電波、X線



# 銀河団A2218 : 重力レンズ

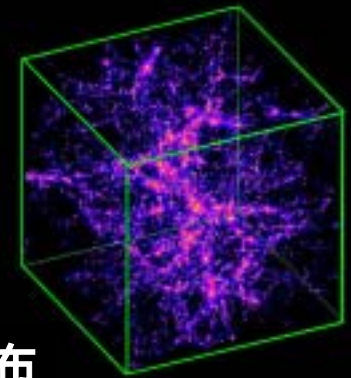
<http://opposite.stsci.edu/pubinfo/pr/2000/08/index.html>

ハッブル宇宙望遠鏡で  
みたA2218の中心部



暗黒物質の分布

## まとめ



高温ガスの分布

### ■暗黒物質と重力レンズ

- 銀河や銀河団には光る物質の約10倍程度の暗黒物質が付随している
- 宇宙の質量の大半は、暗黒物質によって占められているが、その具体的な正体はわかっていない
- いまや重力レンズ現象を通じて、光を発しない物質の分布までも観測できる時代になりつつある