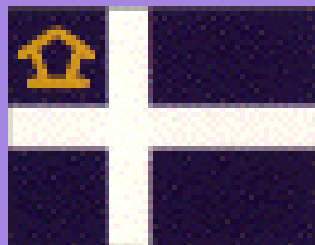


# 観測的宇宙論

## 3. 20世紀宇宙論の到達点



2001年5月17日～19日  
立教大学大学院 集中講義  
須藤 靖

# 20世紀宇宙論研究の歴史

- 1916年～ 一般相対論的宇宙モデル
- 1929年 宇宙膨張の発見
- 1946年～ ビッグバンモデル
- 1965年 CMBの発見
- 1980年～ 宇宙の大構造の発見  
素粒子論的宇宙論の誕生  
宇宙論的数値シミュレーション
- 1992年 CMB温度ゆらぎの検出
- 1990年代後半～  
宇宙論パラメータの精密決定

# 宇宙論研究の目的

- 宇宙の誕生・起源
- 宇宙の質量(密度)
- 宇宙の年齢
- 宇宙の果て
- 宇宙の未来

宇宙論研究の進展により、このような基本的な問いかけに対して、観測データに基づく定量的検証が可能になっている

**宇宙論パラメータの決定**

# 宇宙論パラメータ

- $H_0$  : ハッブル定数
- $\Omega_b$  : バリオン密度パラメータ
- $\Omega_0$  : 質量密度パラメータ
- $\lambda_0$  : 宇宙定数
- $k_0$  : 宇宙の曲率 ( $= \Omega_0 + \lambda_0 - 1$ )
- $\sigma_8$  : 密度ゆらぎの振幅

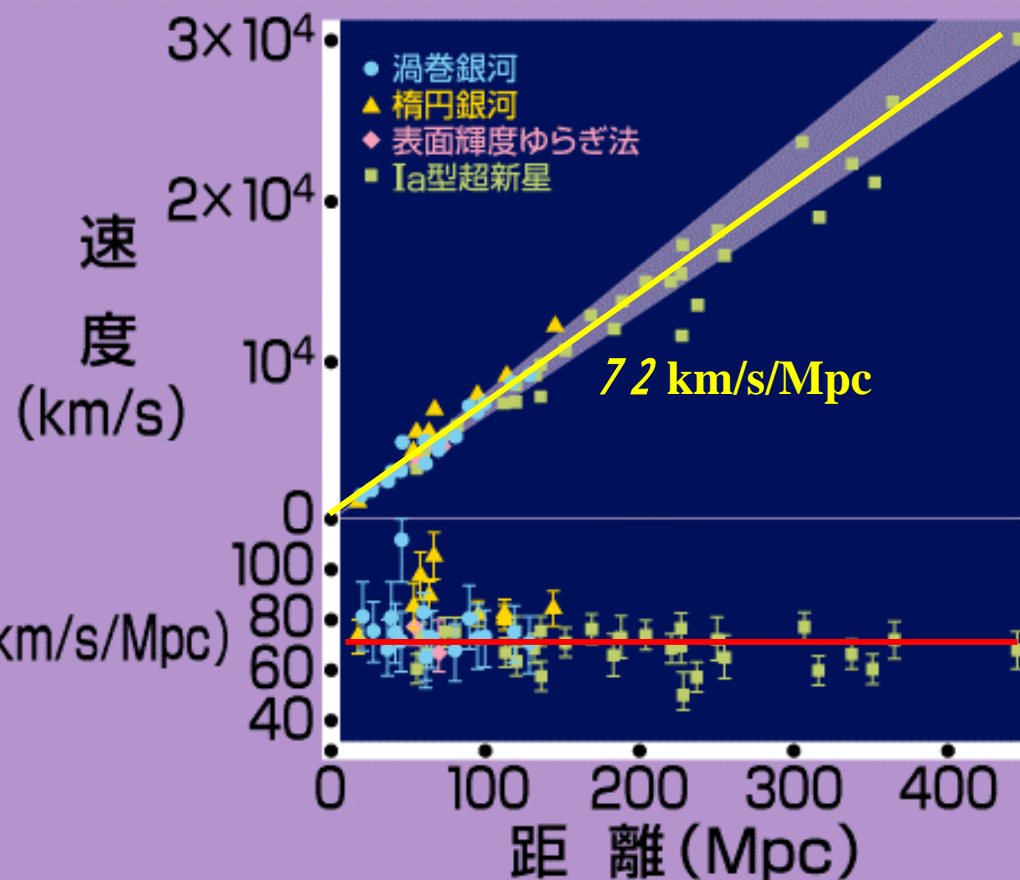
# 20世紀観測的宇宙論の成果

- ハッブル定数と宇宙の距離尺度
- 赤方偏移サーベイと宇宙の大構造
- CMB温度地図と原始密度ゆらぎの再構築
- 質量密度パラメータと宇宙定数
- 銀河系ダークマターとMACHO
- 弱い重力レンズによる宇宙の質量(ダークマター)分布地図

# ハッブル定数と宇宙の距離尺度

## 遠方銀河の距離推定

$$H_0 = 72 \pm 7 \text{ km/s/Mpc}$$



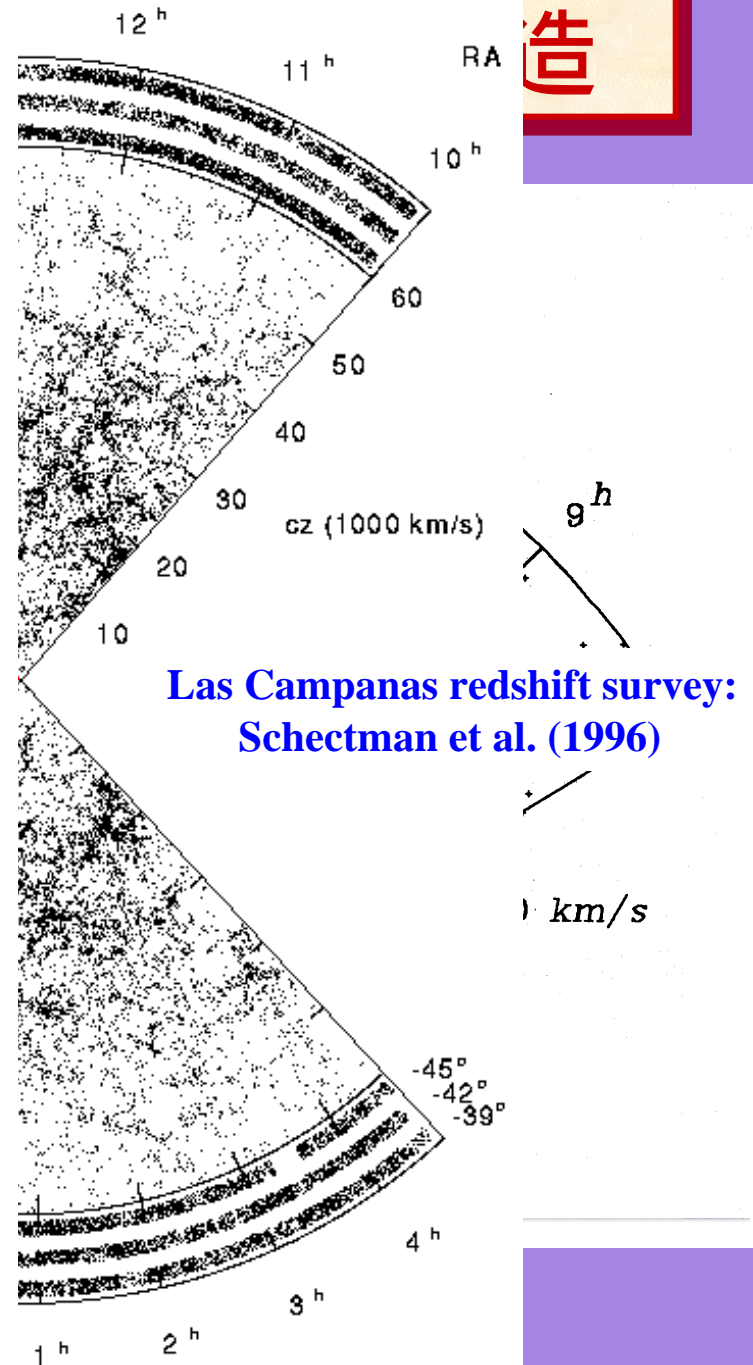
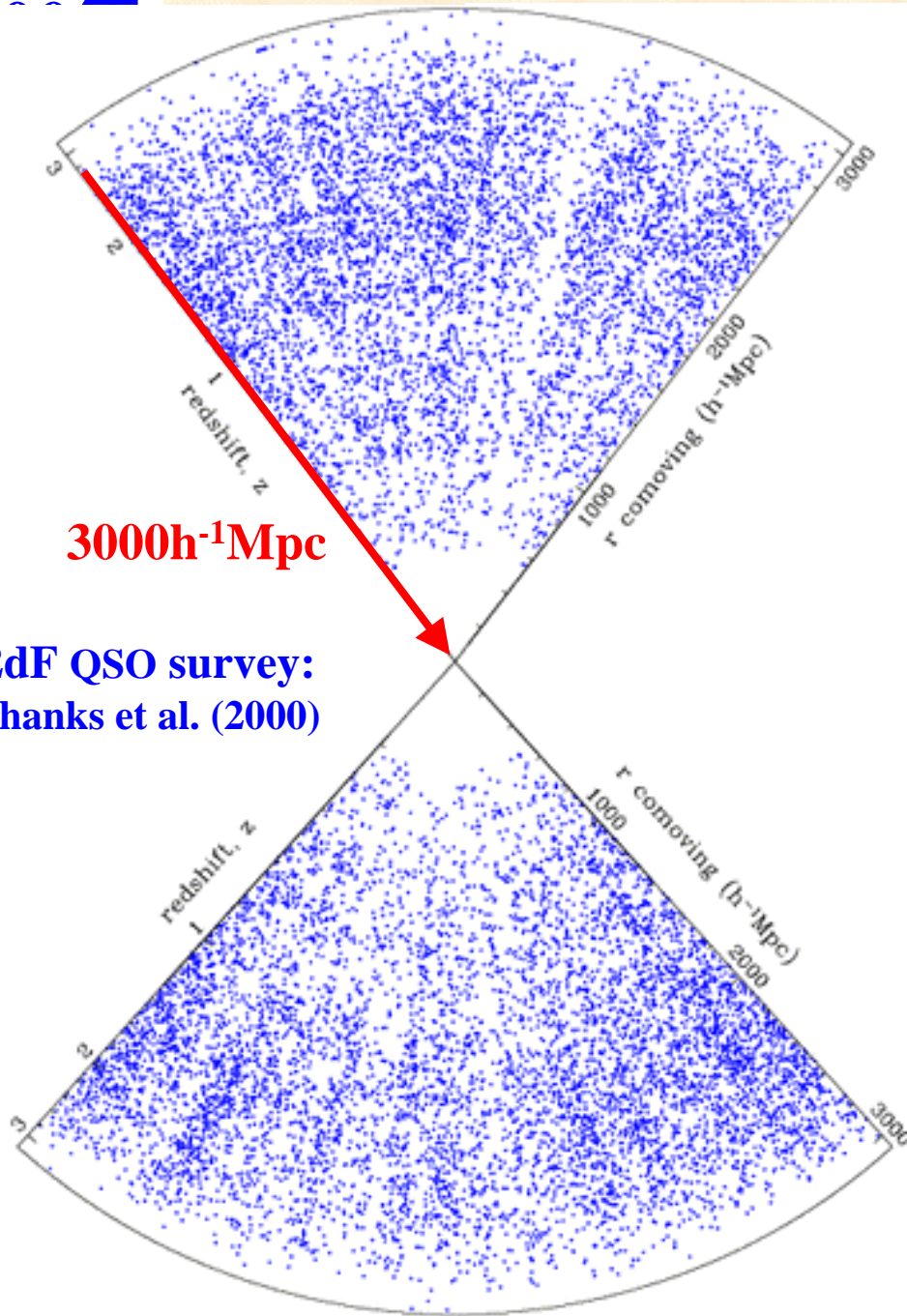
ハッブル宇宙望遠鏡によるセファイド変光星の観測から、ハッブル定数の値は1割の誤差範囲で決定されている

W.L.Freedman:  
Phys.Rep.333-334(2000)13

17<sup>h</sup>

**2dF QSO survey:**  
Shanks et al. (2000)

**3000h<sup>-1</sup>Mpc**



**Las Campanas redshift survey:**  
Schectman et al. (1996)

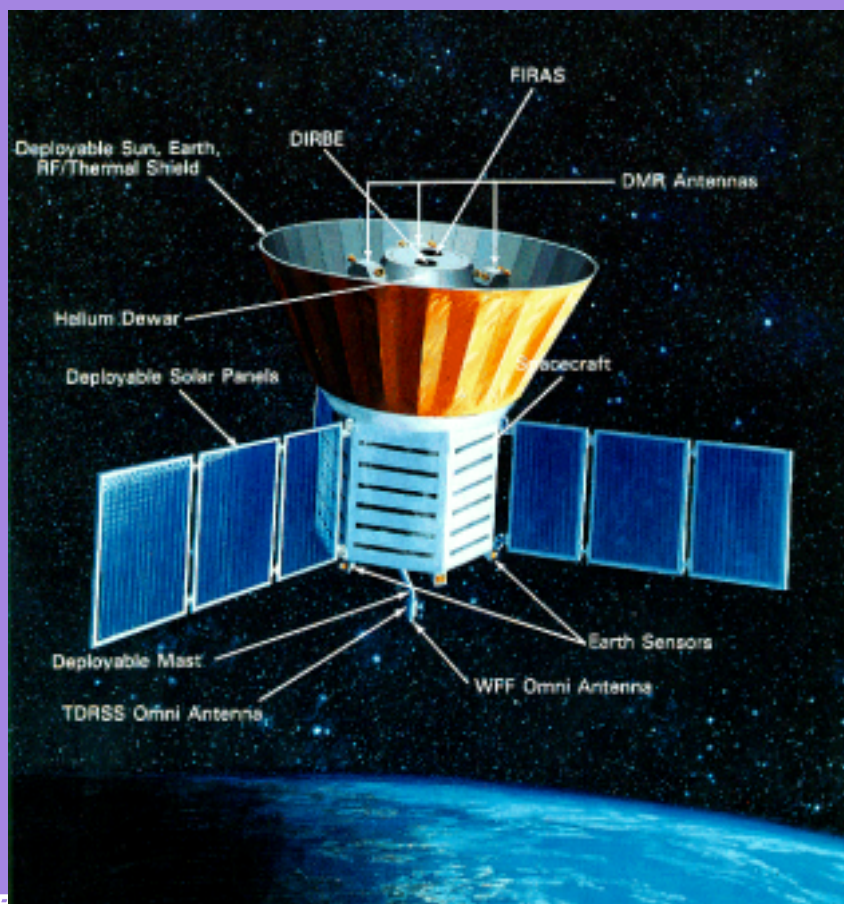
1000 km/s



# CMB温度ゆらぎの観測

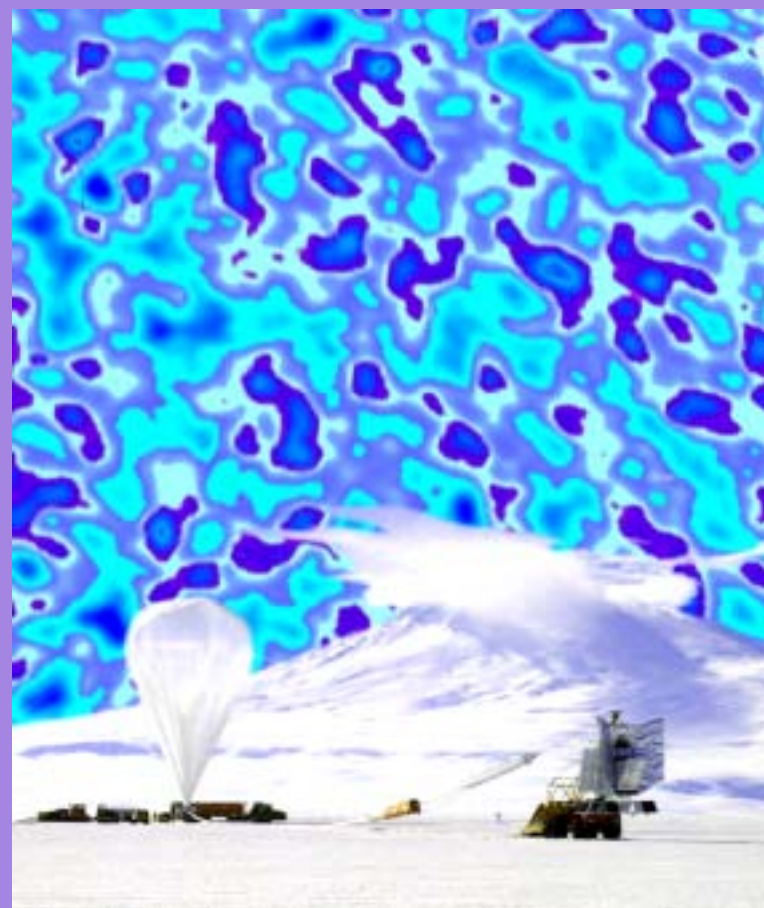
## COBE 衛星

[http://space.gsfc.nasa.gov/astro/cobe/ed\\_resources.html](http://space.gsfc.nasa.gov/astro/cobe/ed_resources.html)



## BOOMERanG 気球実験

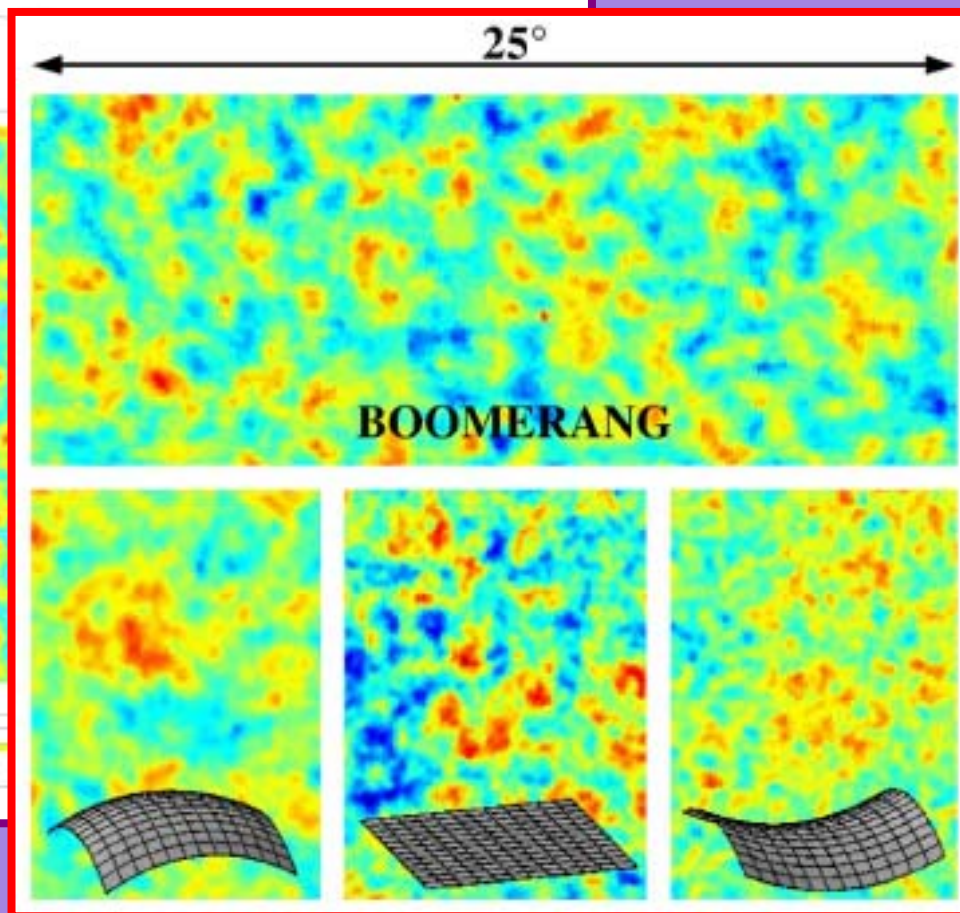
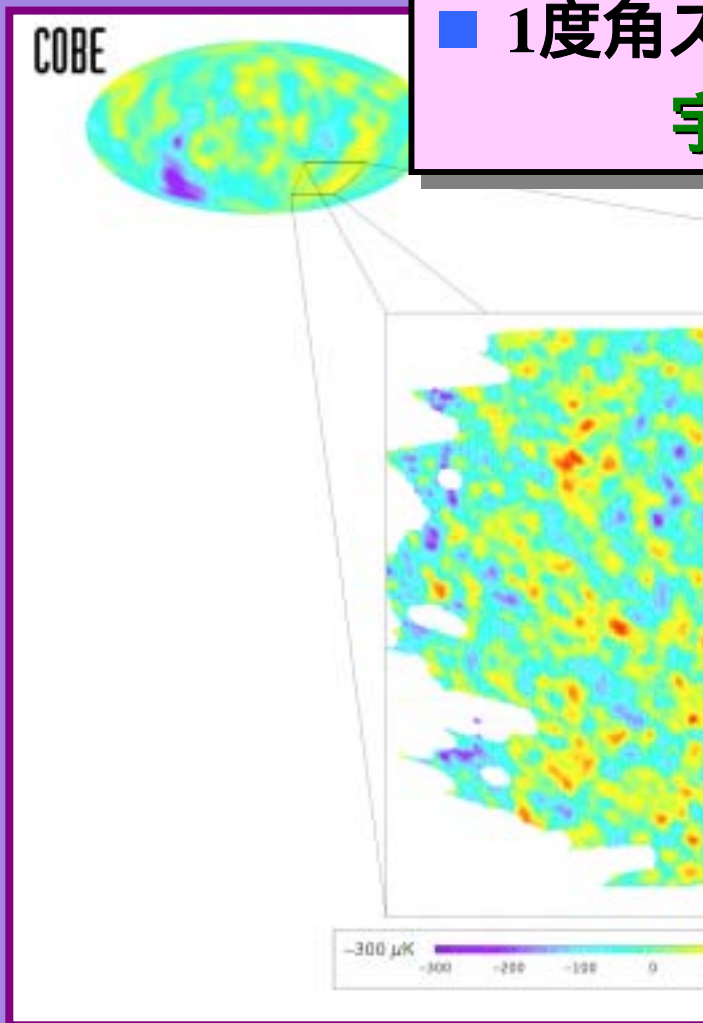
<http://www.physics.ucsb.edu/~boomerang>





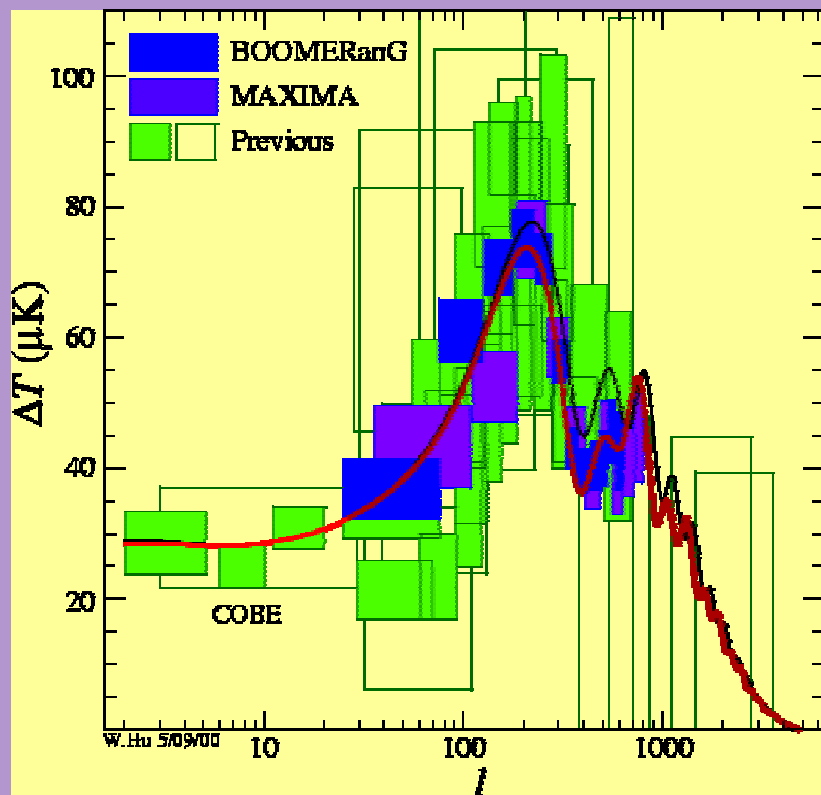
# CMB温度地図と宇宙の曲率

- 1度角スケールでのCMB温度ゆらぎ  
宇宙の曲率 =  $\Omega_0 + \lambda_0 - 1$  に敏感

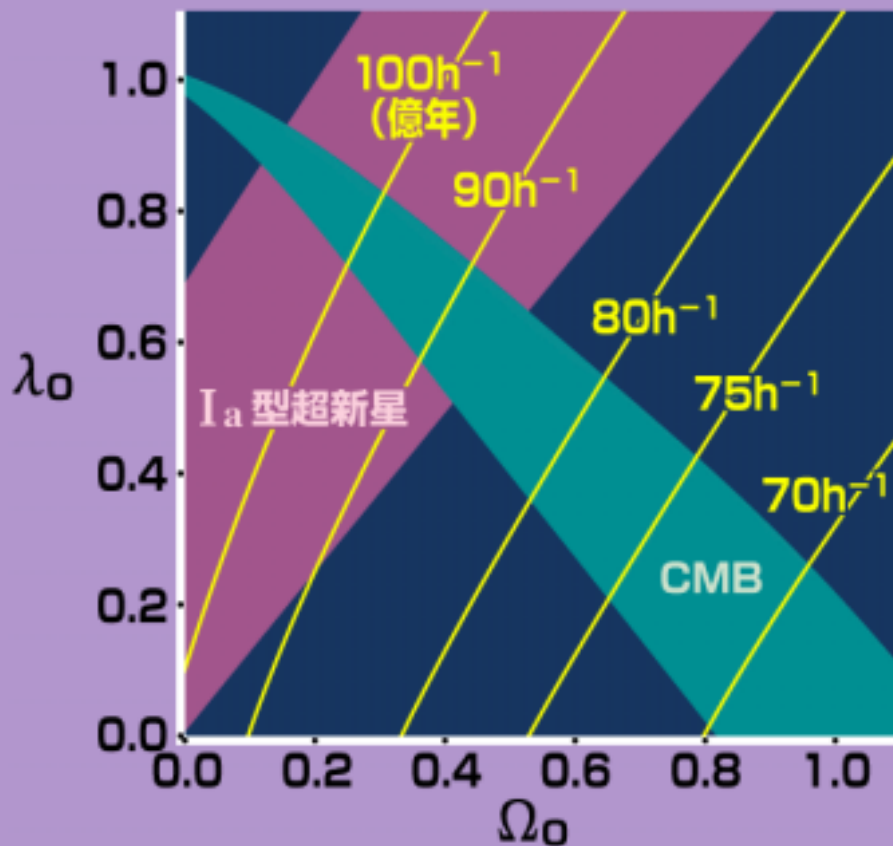


BOOMERanG 観測

# CMB温度ゆらぎと宇宙論パラメータ



<http://background.uchicago.edu/~whu/cmbex.html>



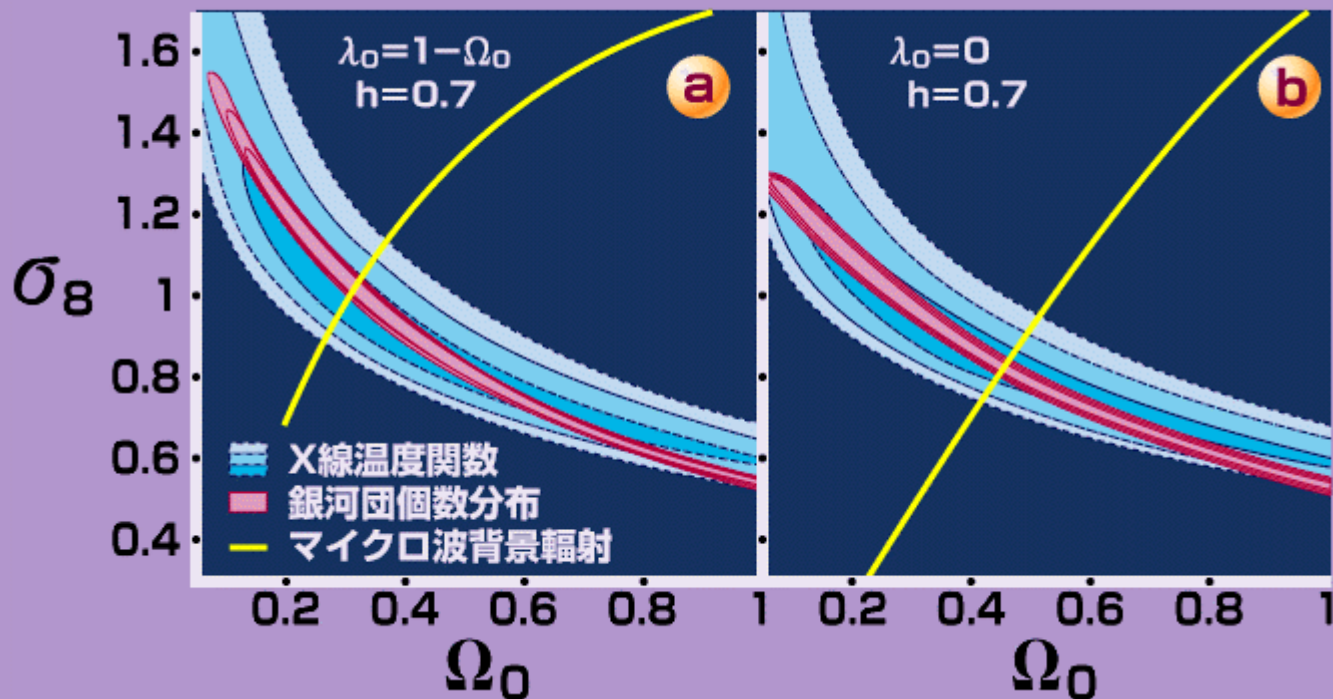
BOOMERanG 観測からの制限

# X線銀河団と質量密度パラメータ

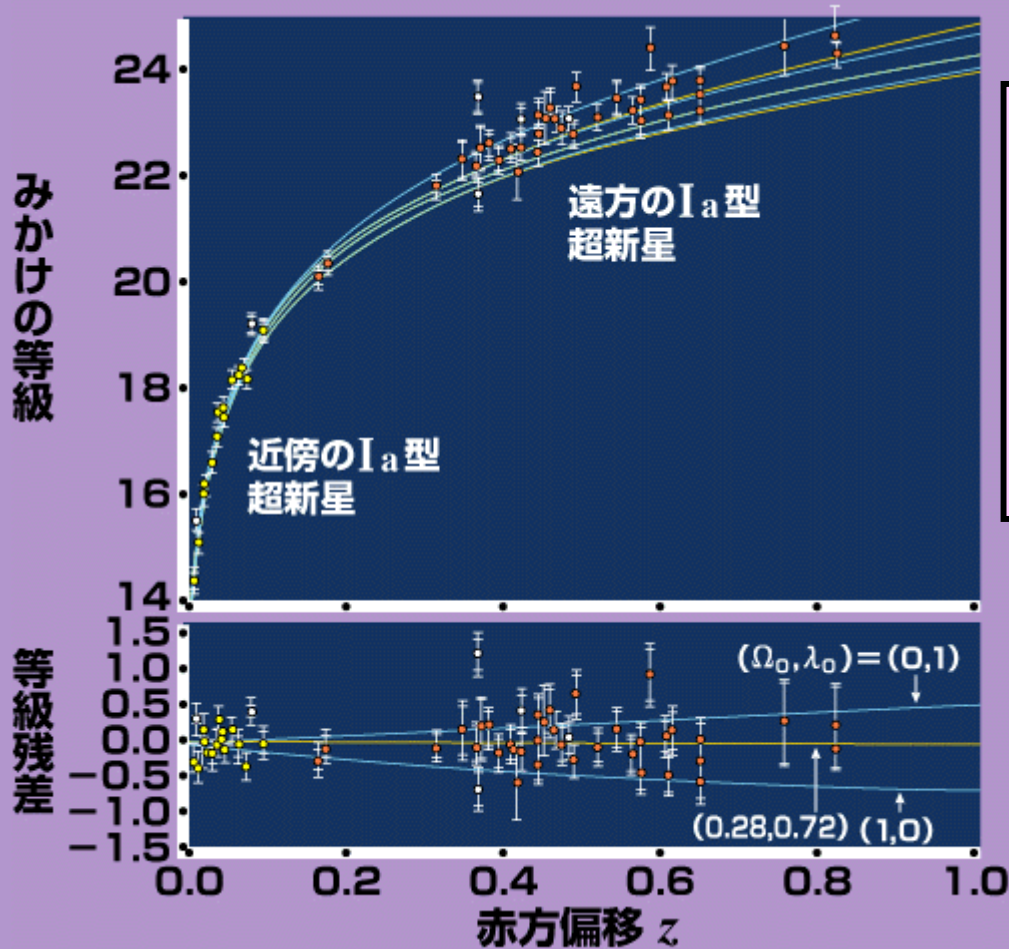
■ X線銀河団 + マイクロ波背景輻射

$$\sigma_8 = 1, \Omega_0 = 0.3, \lambda_0 = 0.7$$

または  $\sigma_8 = 0.85, \Omega_0 = 0.45, \lambda_0 = 0$



# 超新星と宇宙定数



■ 遠方超新星までの距離推定

$$\Omega_0 = 1, \lambda_0 > 0$$

宇宙定数の存在！

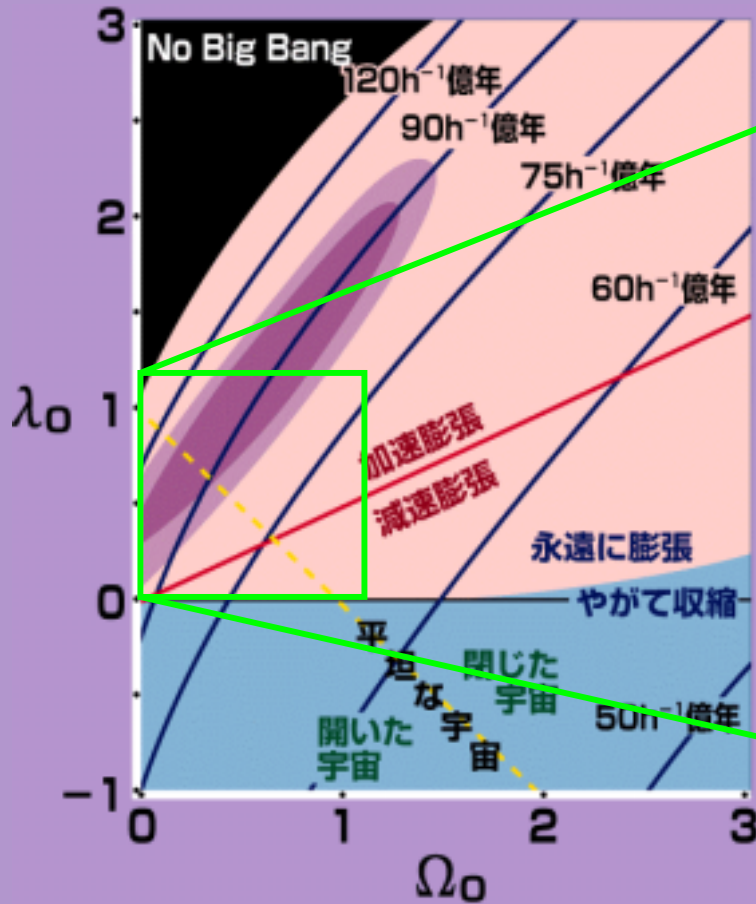
Perlmutter et al. :  
*The Astrophysical Journal*  
517(1999)565



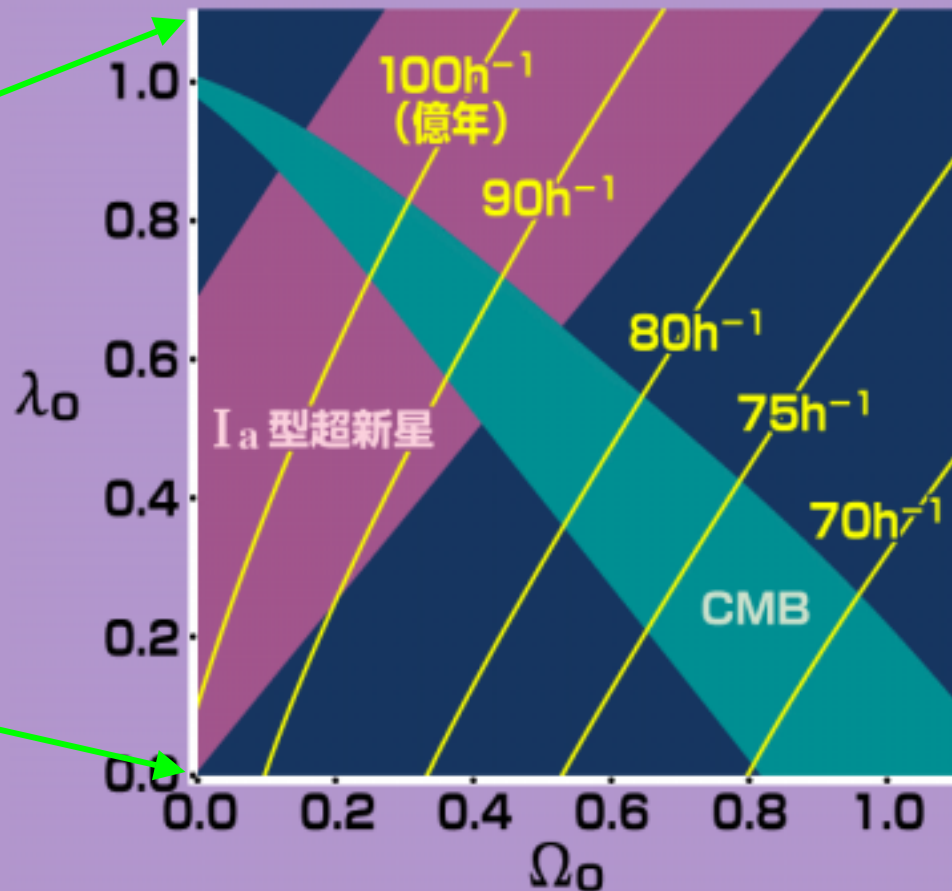
# 質量密度パラメータと宇宙定数

■  $\Omega_0=0.3, \lambda_0=0.7$

宇宙は平坦 ( $k_0=0$ ) ?



Perlmutter et al. (1999)



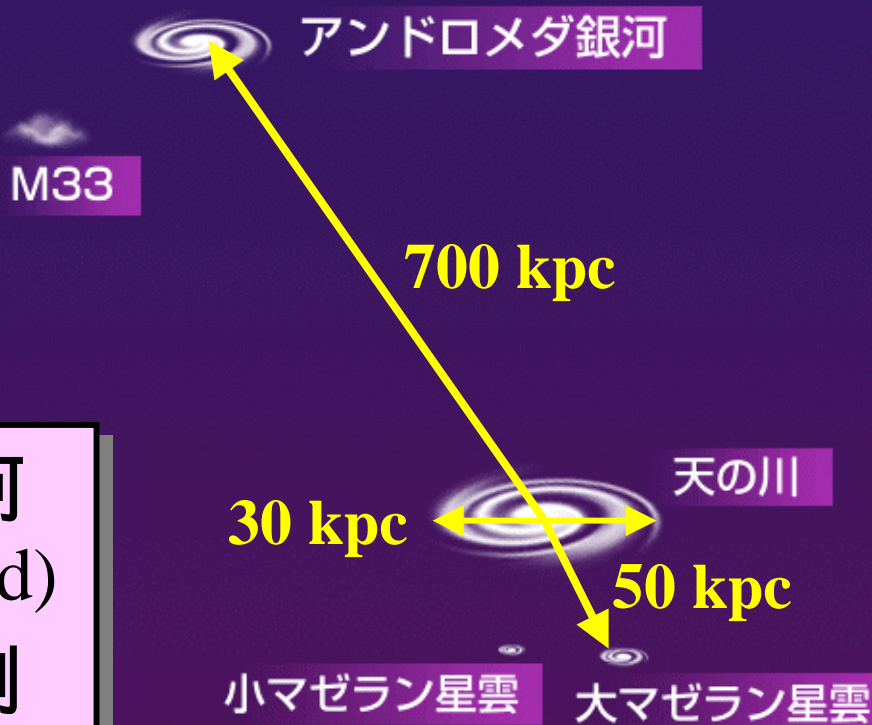
BOOMERanG 観測からの制限



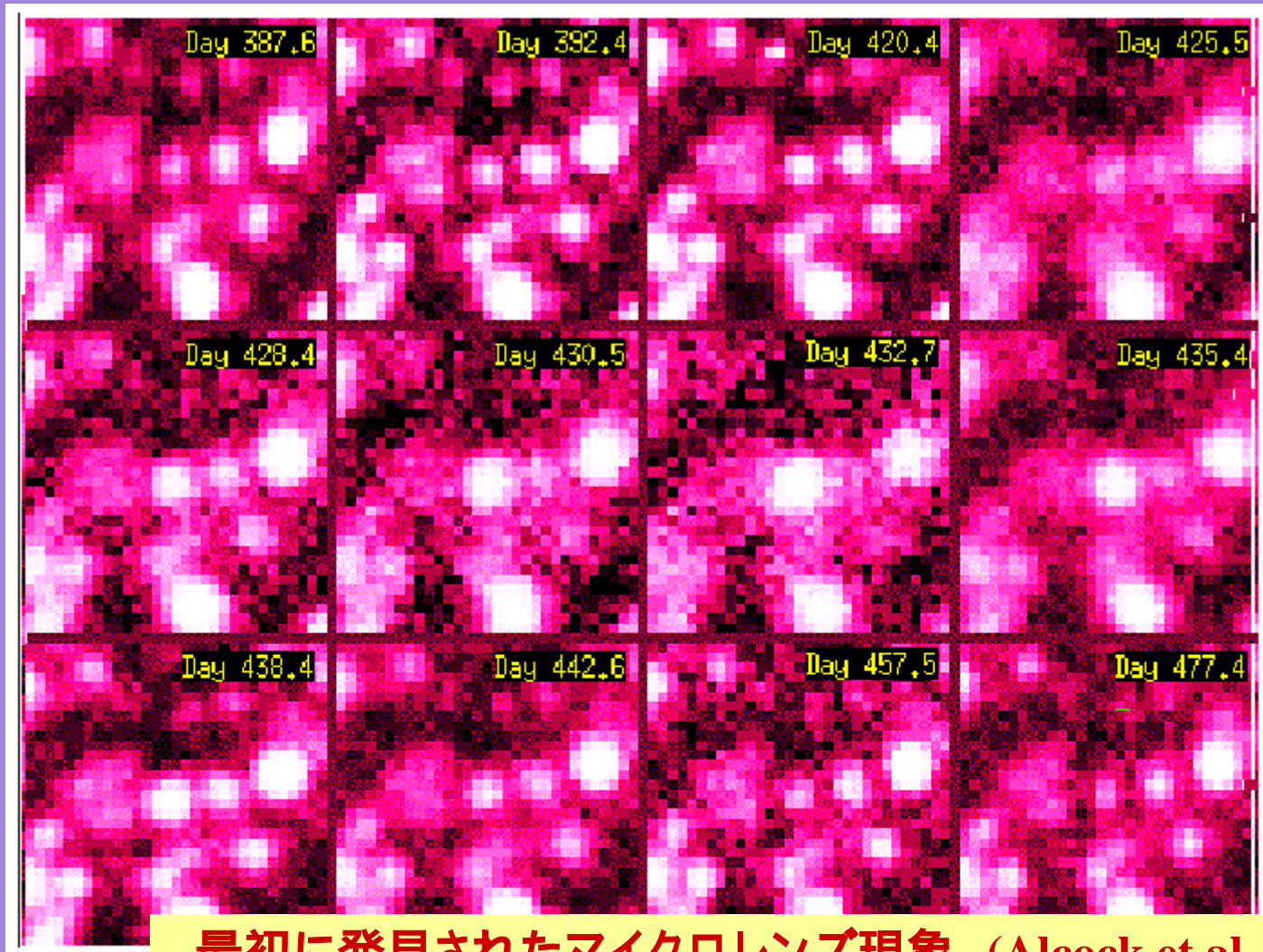
# 大マゼラン星雲



- 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



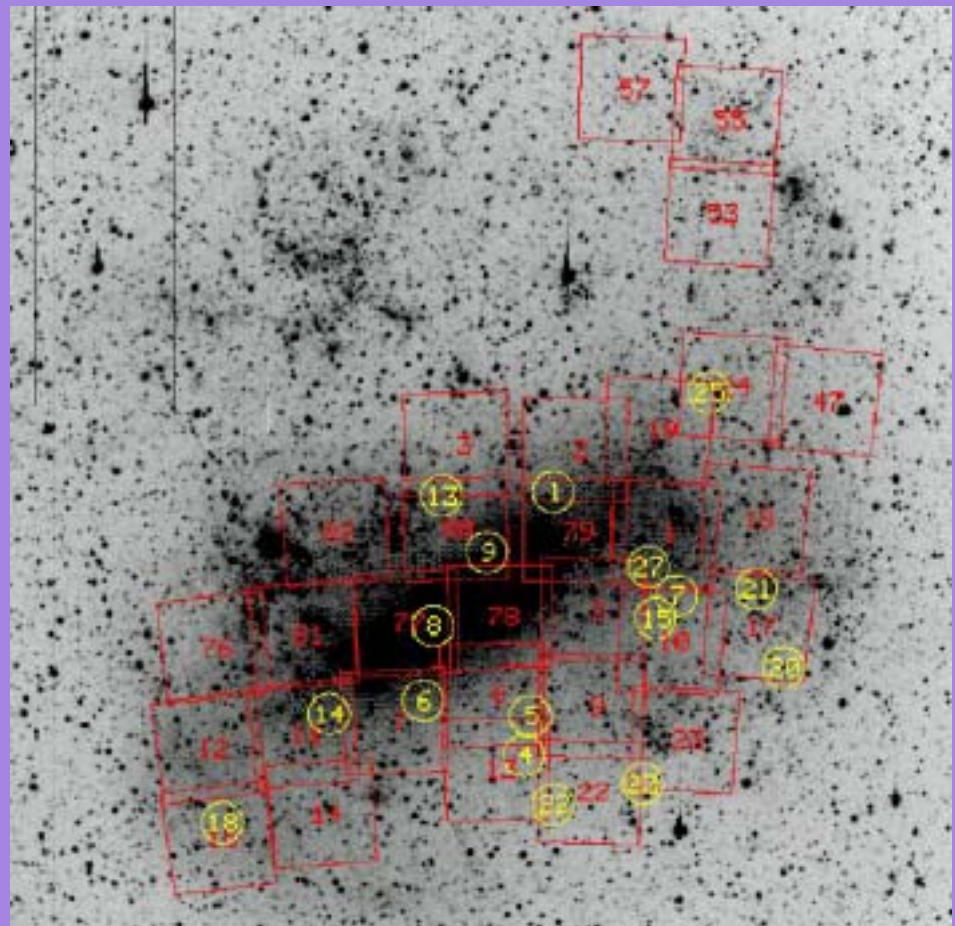
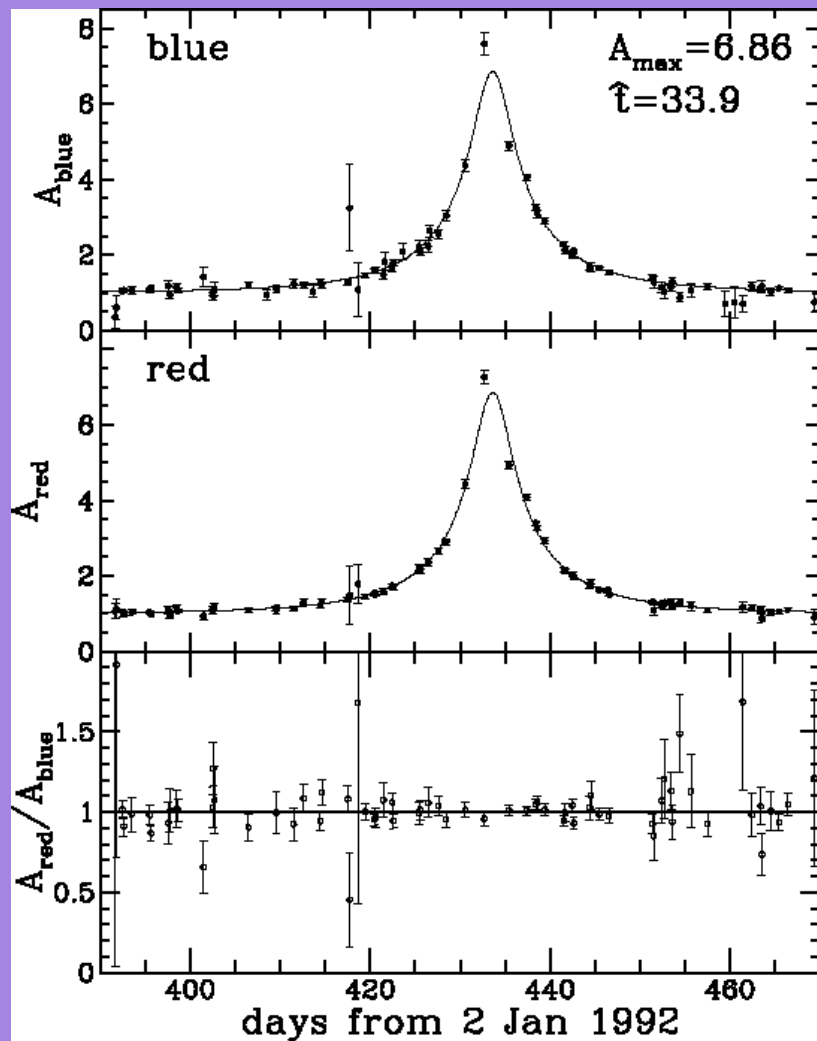
# Massive Compact Halo Objectsの発見



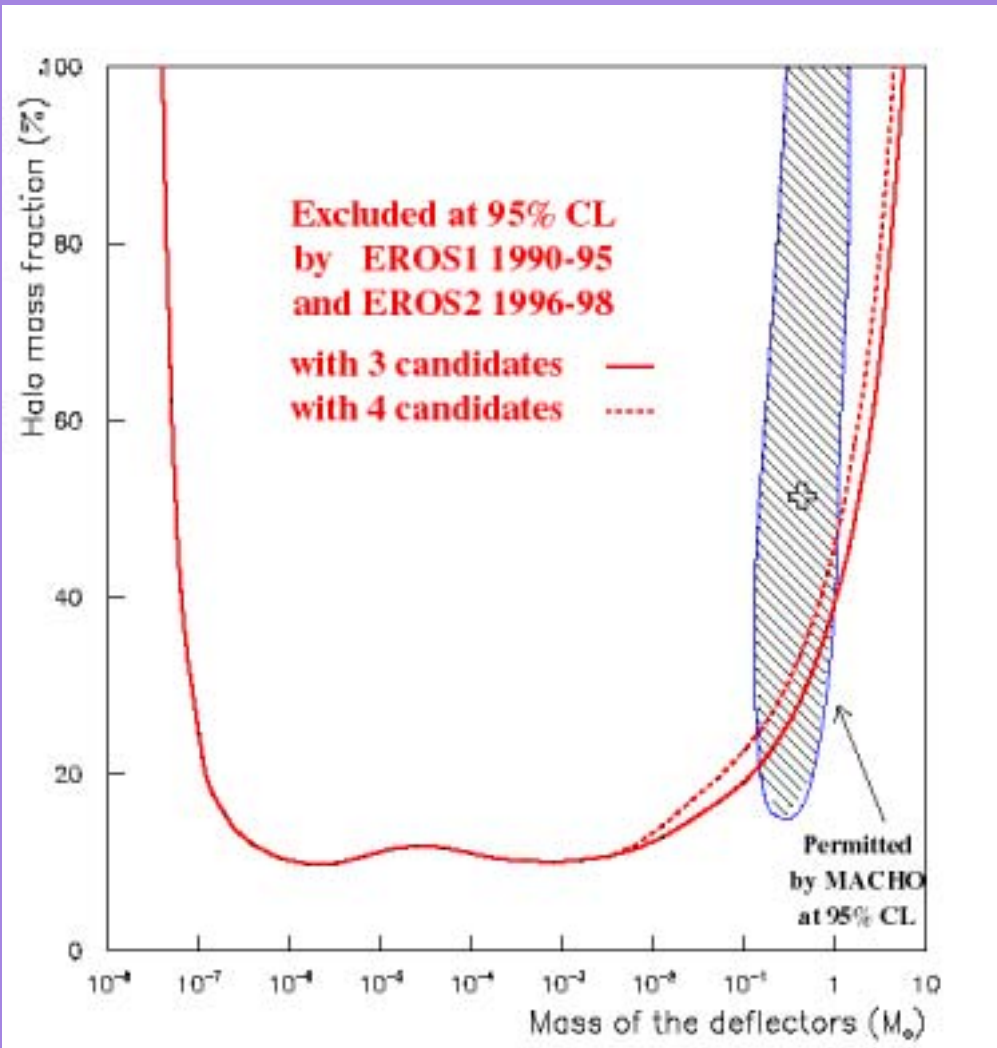
最初に発見されたマイクロレンズ現象 (Alcock et al. 1993)



# MACHOイベントの光度曲線



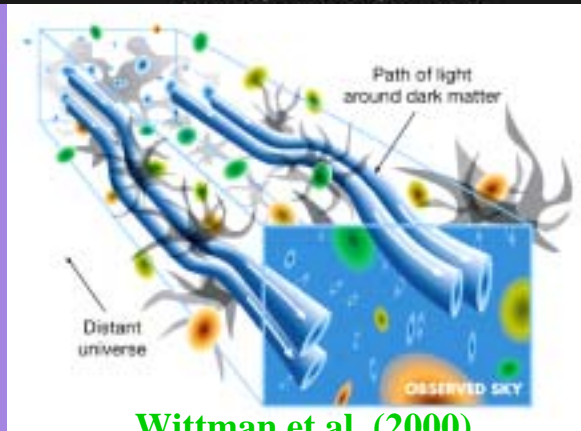
# 銀河系ダークマターの組成



- 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)

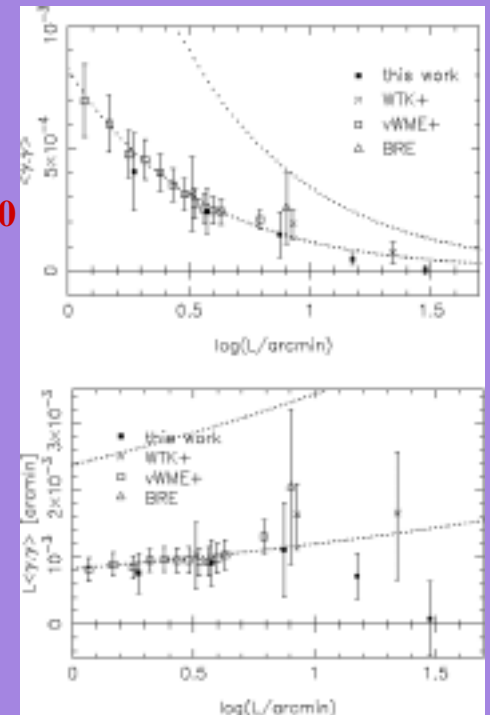
MACHO mass fraction  
Lasserre et al. (2000):  
EROS collaboration

# 弱い重力レンズによる ダークマター分布地図



- Kaiser et al. astro-ph/0003338
- Wittman et al. astro-ph/0003014
- Bacon et al. astro-ph/0003008
- van Waerbeke et al. astro-ph/0002500

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



宇宙の質量(ダークマター)分布を直接マッピングすることが可能な時代に突入した



# 広・深・多：新たな展開を求めて

広く



SDSS 望遠鏡

深く



すばる望遠鏡とSDF画像



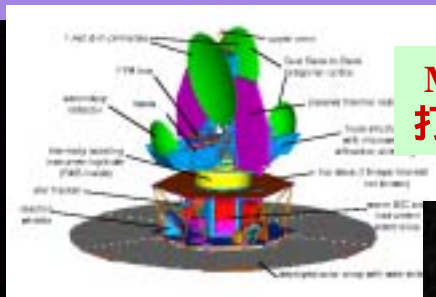
多波長で



LMSA



Astro-F (IRIS)



MAP(2001年  
打ち上げ予定)

PLANCK (2007年  
打ち上げ予定)



# 21世紀宇宙論の展望

- 20世紀最後の数年間で急速に進展した宇宙論パラメータの理解を確定

**精密宇宙論の時代へ**

- 宇宙の起源の理論的解明

**量子宇宙論の完成へ**

- さらなる謎・未知の領域を探る

**第一世代の原始天体**

**生命誕生の環境としての宇宙**

# Expanding the *expanding* universe

0th order	一様等方宇宙モデル	宇宙論パラメータ
1st order	密度揺らぎの線形摂動論	宇宙の大構造 マイクロ波背景輻射
2nd order	非線型重力進化	ダークマターの構造形成
3rd order	バリオンガスの進化	第一世代天体と元素の起源
4th order	銀河、星、惑星の形成進化	光り輝く銀河宇宙の誕生
...		
L-th order	生命の起源・進化	宇宙論的生物発生学
M-th order	知的生命体への進化	宇宙論的生物進化学
N-th order	文化・文明・宗教	宇宙論的社会学
...		

**宇宙論研究はまだ始まったばかり！**