

21世紀の観測的宇宙論

東京大学 大学院理学系研究科

須藤 靖

2000年9月24日 日本物理学会@新潟大学

宇宙線分科 シンポジウム

「観測的宇宙論の進展と大型観測装置の役割」



観測的宇宙論研究のゴール

■ 宇宙の多様性の物理的理解

- 第一世代の天体
- 階層構造(星・銀河・銀河団・超銀河団)
- 物質密度と分布(バリオン・ダークマター)
- 元素の起源
- 宇宙の熱史

■ 宇宙の初期条件の再構築

- 宇宙論パラメータの決定
- 原始密度揺らぎのスペクトルと確率分布関数



宇宙論研究を支える素朴な疑問

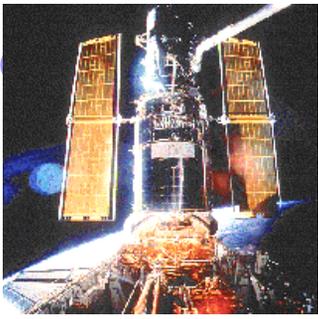
- 宇宙の誕生・起源
- 宇宙の質量(ダークマター、宇宙定数)
- 宇宙の年齢(距離尺度、ハッブル定数)
- 宇宙の果て(宇宙は有限か、無限か)
- 宇宙の未来

もちろんこのような問題意識はいつの時にも存在したが、観測データに基づく定量的検証が可能になったのは、わずかここ数年のことである。



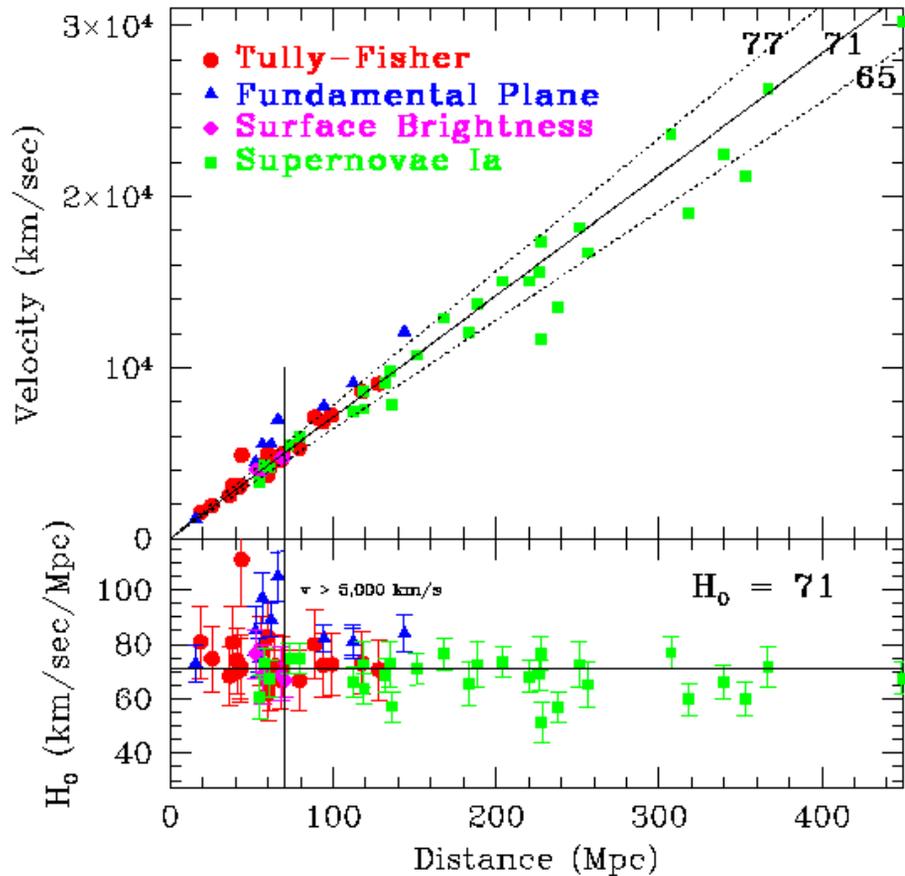
20世紀観測的宇宙論の成果

- 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

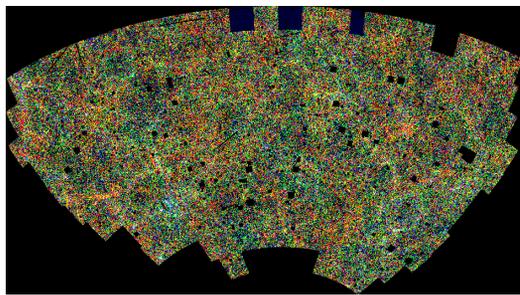
$H_0 = 71 \pm 3$ (統計誤差) ± 7 (系統誤差) km/s/Mpc



1999年に発表された、ハッブル宇宙望遠鏡キープロジェクトの最終結果。近傍の銀河18個の距離をセファイド型変光星で較正することによって、1929年のハッブル以来、初めてハッブル定数(すなわち、宇宙の距離尺度)が、10パーセントの精度で決定された。

W.L.Freedman:

Phys.Rep. 333-334(2000)13

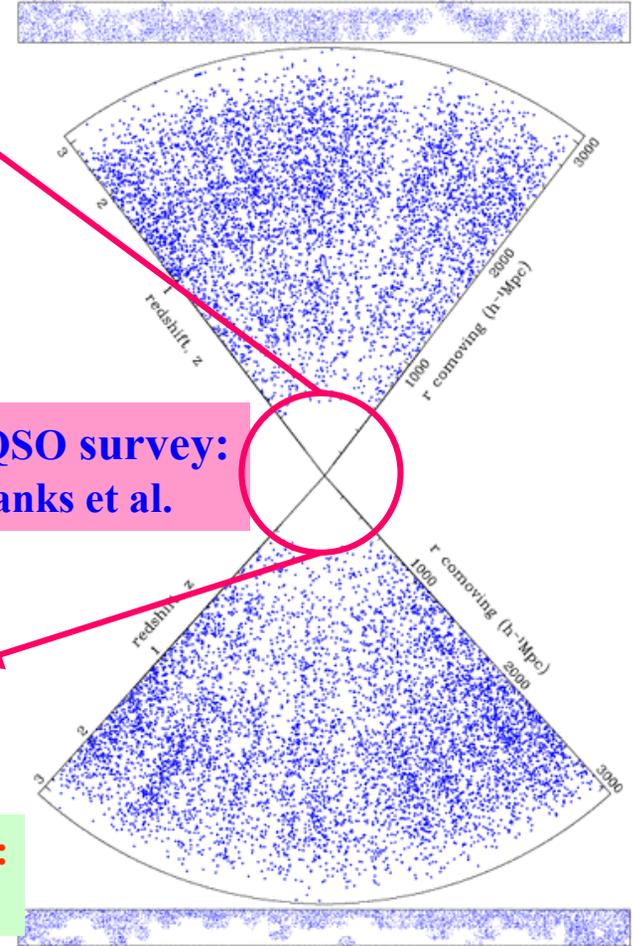
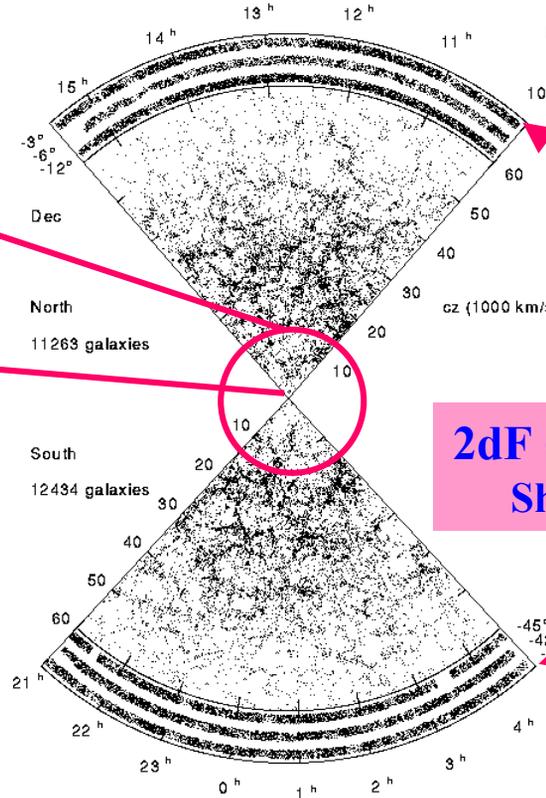
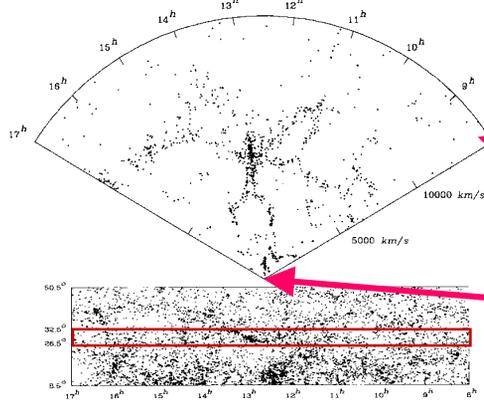


赤方偏移サーベイ と宇宙の大構造

1996年

2000年7月時点

1986年

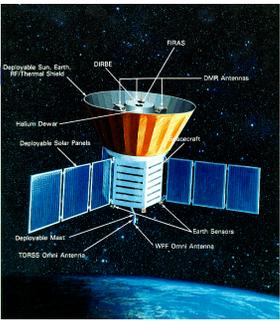


CfA galaxy redshift survey:
de Lapparent, Geller and Huchra (1986)

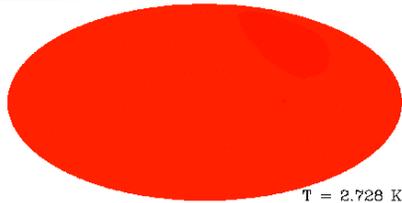
現在の宇宙に大構造があるという単なる発見にとどまらず、光円錐に沿って、大構造の形成進化を時系列として宇宙の果てまで見通せる時代！

2dF QSO survey:
Shanks et al.

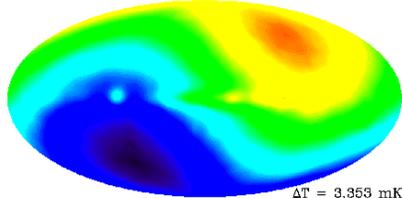
Las Campanas redshift survey:
Schectman et al. (1996)



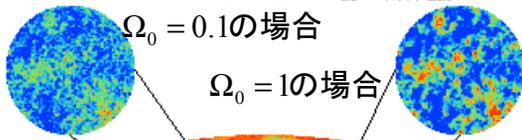
マイクロ波背景輻射温度地図 と原始密度ゆらぎの再構築



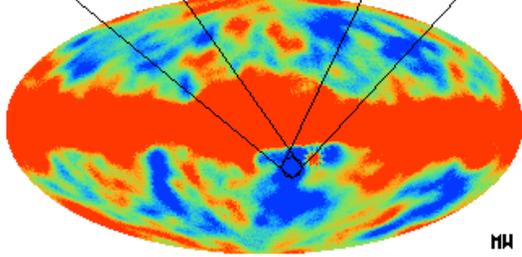
1965年: Penzias & Wilson
3K背景輻射の発見
--ビッグバンモデルの観測的検証--



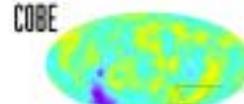
1976年: Smoot, Gorenstein & Muller
CMBの双極子成分発見
--CMB系と銀河の相対速度の決定--



1992年: COBE 衛星
CMB温度ゆらぎの発見
--宇宙の構造の種、重力不安定性理論--

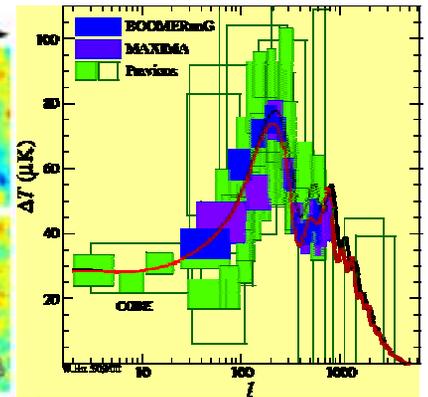
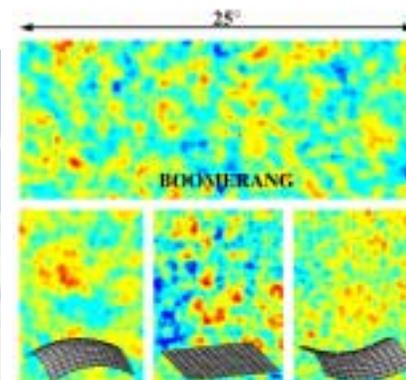
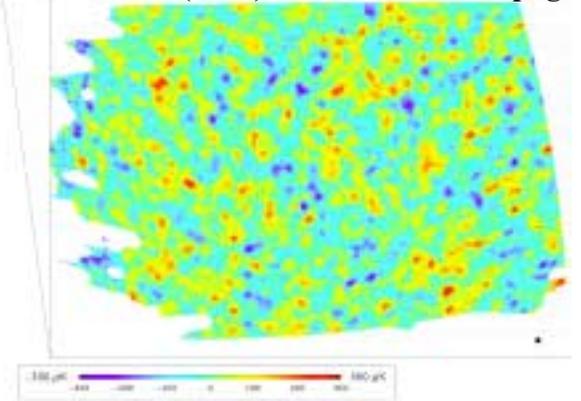


Bennett, Turner & White (1997)
COBE DMR 4 year map
(角度分解能 ~ 7度)

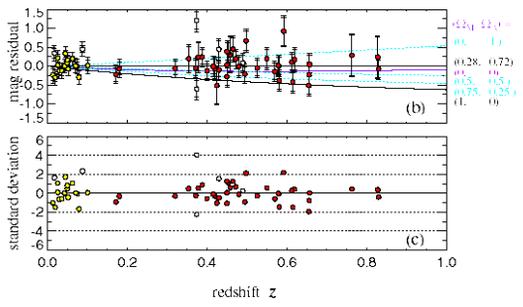
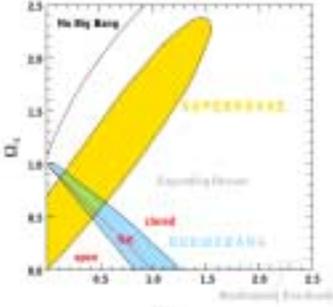


2000年: BOOMERANG, MAXIMA
balloonによる高角度
分解能(~0.3度)観測

de Bernardis et al. (2000) W.Hu's web page



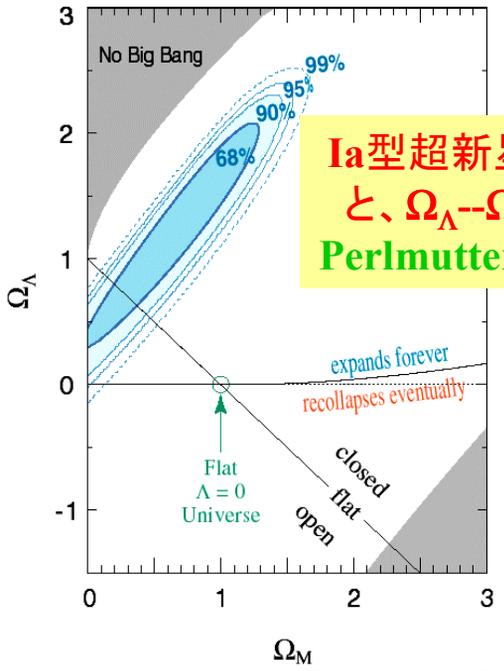
質量密度パラメータと宇宙定数



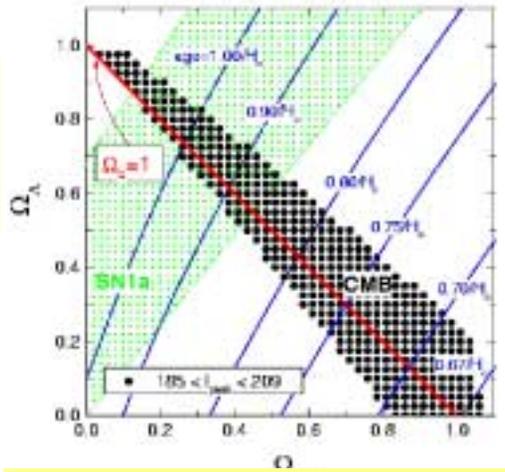
超新星、CMB温度ゆらぎ、銀河団などの
独立した観測的制限を組み合わせると

$$\Omega_\Lambda = 0.7, \quad \Omega_m = 0.3$$

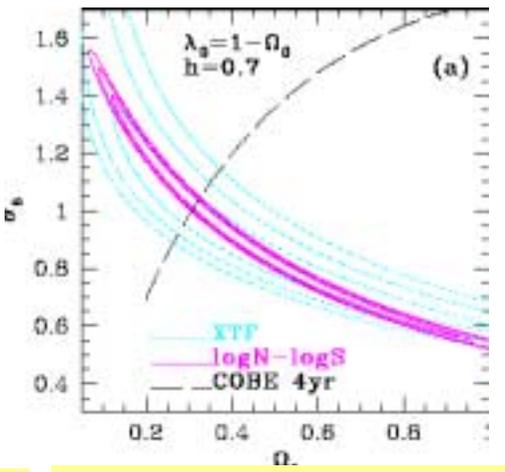
は、現実の宇宙を記述する一つの可能性



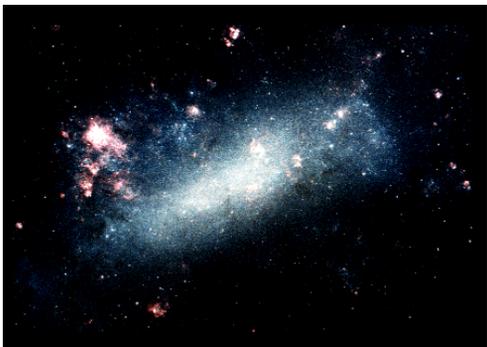
Ia型超新星のm-z関係
と、 Ω_Λ -- Ω_m への制限
Perlmutter et al. (1999)



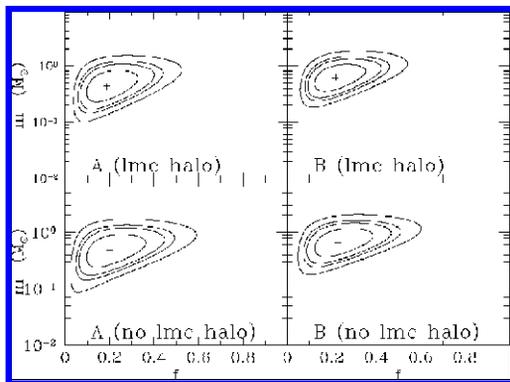
CMB温度ゆらぎからの制限
de Bernardis et al. (2000)



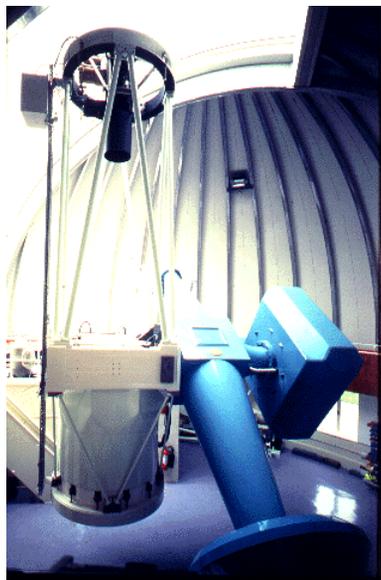
X線銀河団からの制限
Kitayama & Suto (1997)



銀河系ダークマターとMACHO



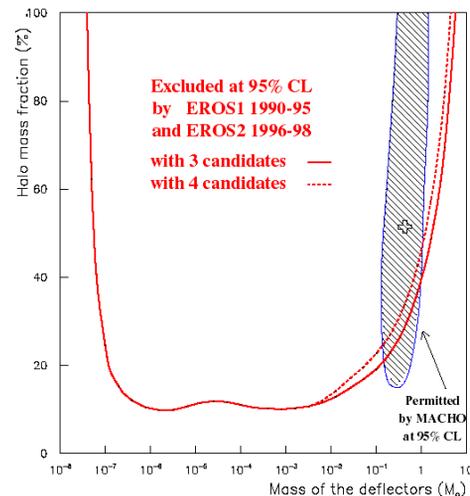
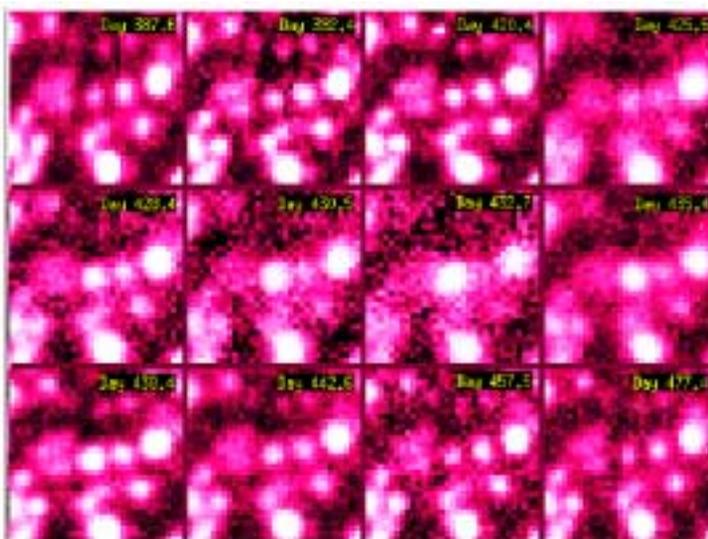
- 銀河系ハローには確かにMACHOが存在する
- 質量は太陽の0.1から1倍程度
- ハロー全体に占める質量は2割程度(つまり、それ以外のダークマターも存在する)



Halo mass fraction vs. MACHO mass
Alcock et al. (2000): MACHO collaboration

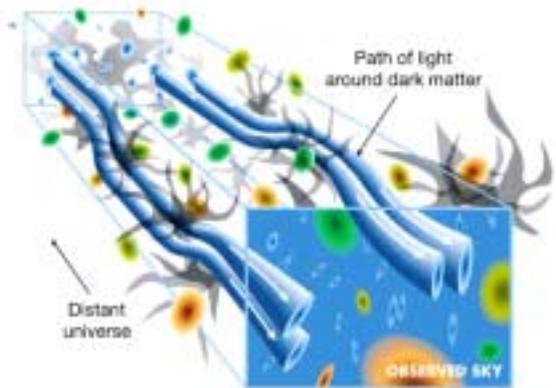
大マゼラン星雲とMACHOプロジェクトの用いているストロムロ山50インチ(!)専用望遠鏡

1stマイクロレンズイベント
Alcock et al. (1993)



Halo mass fraction vs. MACHO mass
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



Wittman et al. (2000)



Tegmark (2000)

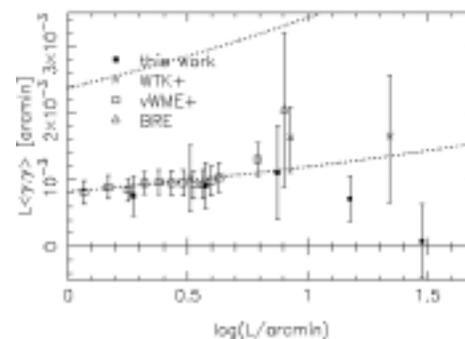
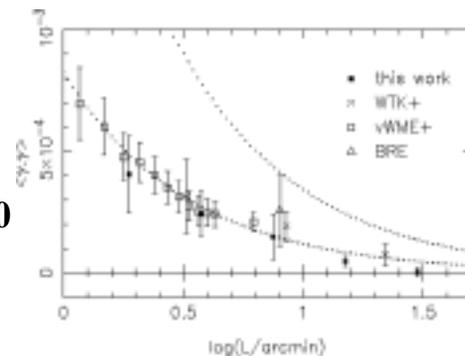
Kaiser et al. astro-ph/0003338

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



精密宇宙論 (Precision Cosmology) ?

--- Since people have been working on the problem for more than sixty years, perhaps the most surprising result would be that in the next decade a consistent and believable picture for the values of the cosmological parameters is at last established. ---

P.J.E.Peebles (1993) ``Principles of Physical Cosmology'' p.677

驚くべきことに、21世紀を待つまでもなく、宇宙論パラメータの値はすでにかかなり収束しつつあると言える



21世紀は、*(Precision Cosmology)* だ！
という人もいる(多い?)が、それでは結局、宇宙論は
low risk, low returnの学問になりさがるのではないか？



広・深・多：新たな展開を求めて

広く



深く



多波長で



LMSA



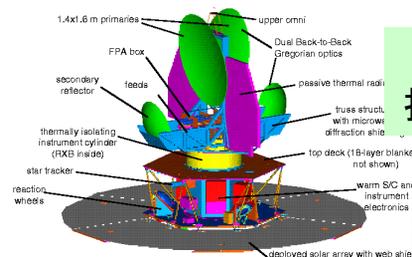
Astro-F (IRIS)



SDSS 望遠鏡

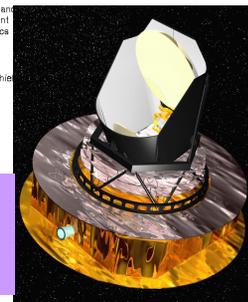


すばる望遠鏡とSDF画像



PLANCK (2007年 打ち上げ予定)

MAP(2001年 打ち上げ予定)





21世紀へ向けて

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、惑星の形成と進化	光り輝く銀河宇宙の誕生
...		
M-th order	生命の起源・進化	宇宙論的生物発生学
N-th order	知的生命体への進化、文化・文明・宗教	宇宙論的生物進化学
...		
∞	宇宙の終焉	

宇宙論は
まだ始まった
ばかり！

The historical record here and in other physical sciences suggests that as the puzzles and conundrums we know about are laid to rest, they will be replaced by still more interesting ones.

P.J.E.Peebles (1993) ``Principles of Physical Cosmology'' p.683