

# 宇宙のダークサイド： 暗黒物質と暗黒エネルギー

東京大学理学部物理学教室 須藤 靖

国立天文台提供 すばる望遠鏡 画像

東京大学宇宙線研究所 一般公開 講演会 2003年11月1日

[http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation\\_2003i.html](http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation_2003i.html)

# 我々の世界をもっとよく知りたい

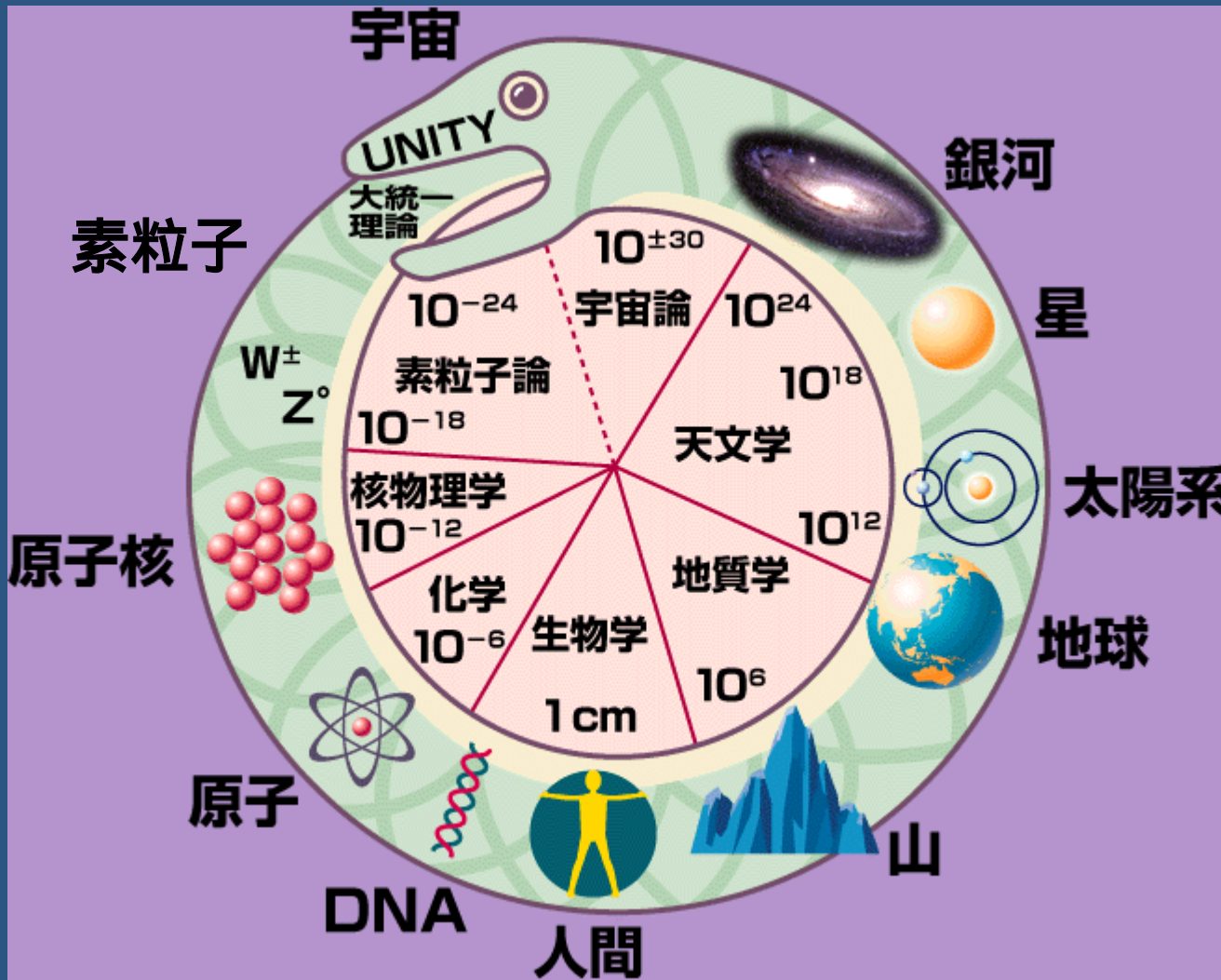
## ■ 微視的世界：物質は何からできているのだろうか？

- ものをどんどん分けていくとどうなるか？
- 分子 原子 原子核(バリオン) 素粒子(クォーク・レプトン)
- もはやこれ以上は分けることのできない最小構成要素が存在
- これ以外の物質(素粒子)は存在しないのか？

## ■ 巨視的世界：宇宙の果てには何があるのだろうか？

- 地球 太陽系 星団 銀河 銀河団 宇宙の大構造
- 宇宙の大きさ(=年齢)はどのくらいだろう
- どれだけ遠くの宇宙を観測できるのだろうか
- 宇宙を占めている物質は、我々がすでに知っている微視的世界の構成要素と同じなのだろうか

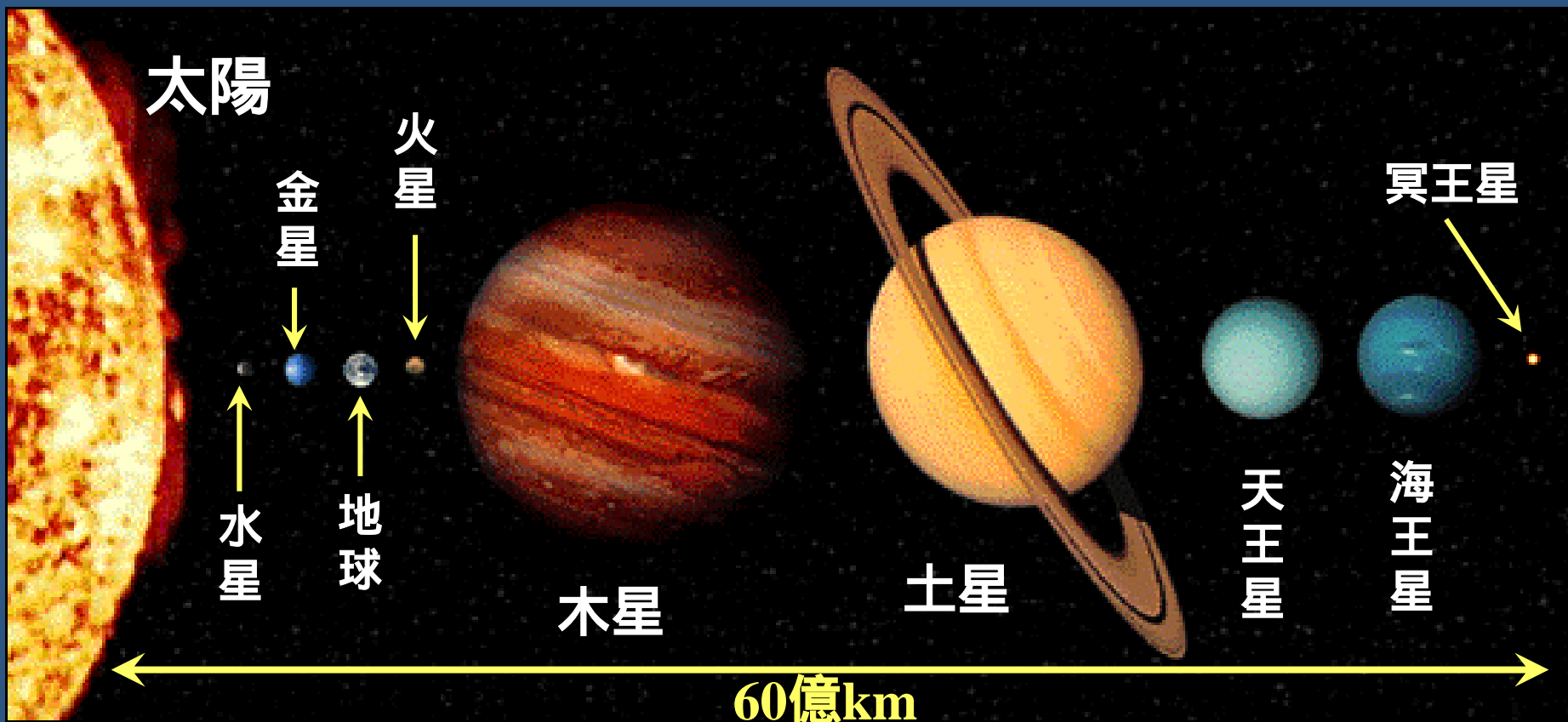
# 自然界の階層



- 宇宙の大きさは約 $10^{27}\text{cm}$ , すべての物質を形づくる素粒子の大きさは約 $10^{-24}\text{cm}$
- この約50桁も離れた巨視的世界と微視的世界とは宇宙の進化を通じて結びついている

シェルドン グラシヨウ 著 ‘‘Interaction’’のなかの図をもとに作成  
宇宙のダークサイド

# 九つの惑星：我が太陽系



(太陽からの距離は別として、惑星の相対的な大きさはほぼ実際の比の通り)

<http://www.solarviews.com/eng/homepage.htm> © Calvin J. Hamilton

# 曜日の名前=物質・宇宙の起源

## ■ 古代ギリシャの4元説

- 空気、土、火、水

## ■ 中国の五行説

- (木、火、土、金、水) × (陽、陰)
- 甲乙 丙丁 戊己 庚辛 壬癸

日月火水木金土



## ■ 昔の中国では惑星 (= 当時の宇宙) の名前は物質の起源に由来

- 宇宙の起源 物質の起源 という考え方は、現在の素粒子的宇宙論においてもっとも基本的なもの

## ■ この名前は現在日本で用いられている曜日名前に残る

- つまり、宇宙の起源 = 物質の起源という考え方は、曜日の名前を通じて我々日本人の日常に入り込んでいる

# 宇宙の階層構造

## 宇宙の大構造

## 銀河群

## 矮小銀河

## 太陽系



## 銀河



## 銀河団



## 星団



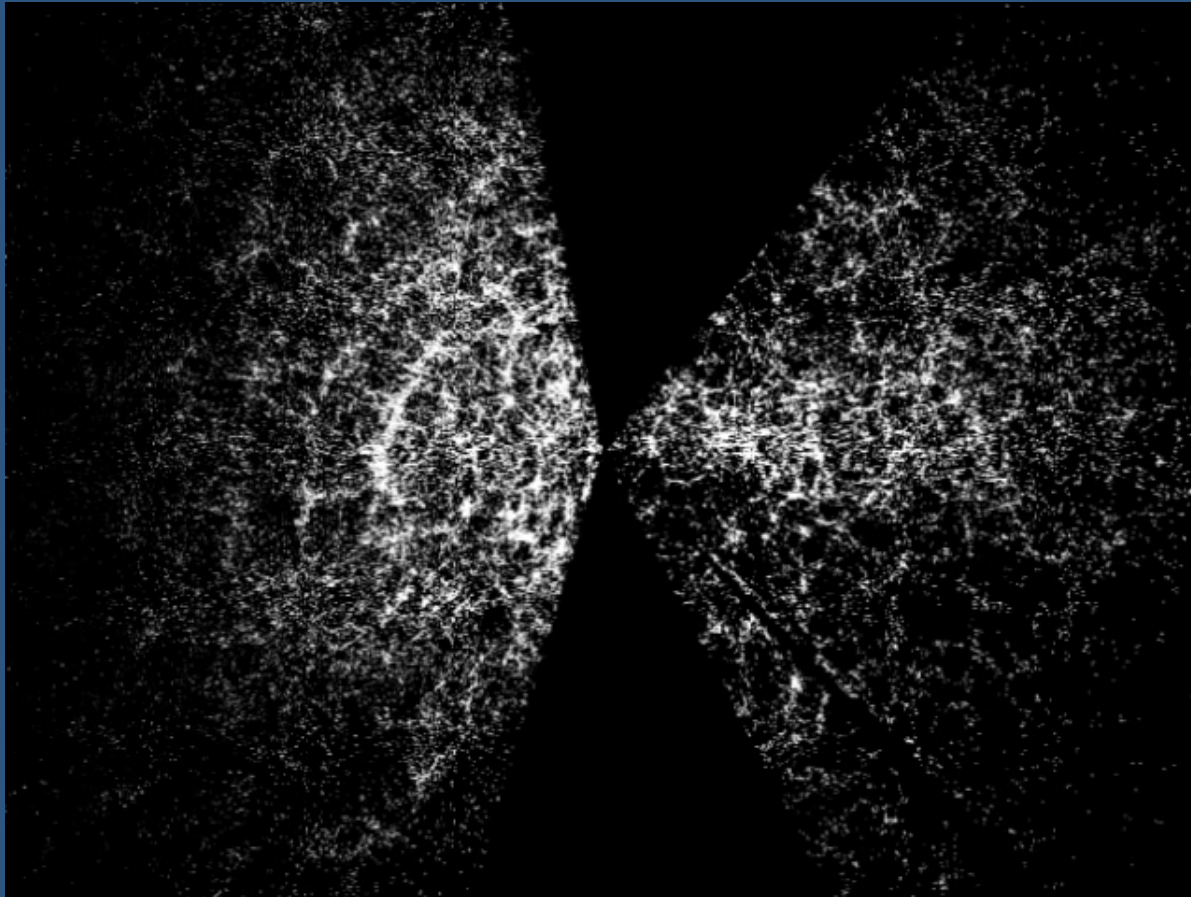
$10^0$   $10^1$   $10^2$   $10^3$   $10^4$   $10^5$   $10^6$   $10^7$   $10^8$

典型的な大きさ [パーセク (~3.1光年)]

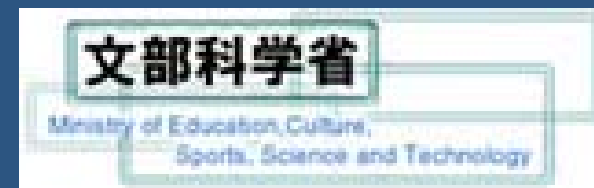


# 史上最大の銀河地図作りをめざして： 日米独共同スローンデジタルスカイサーベイ

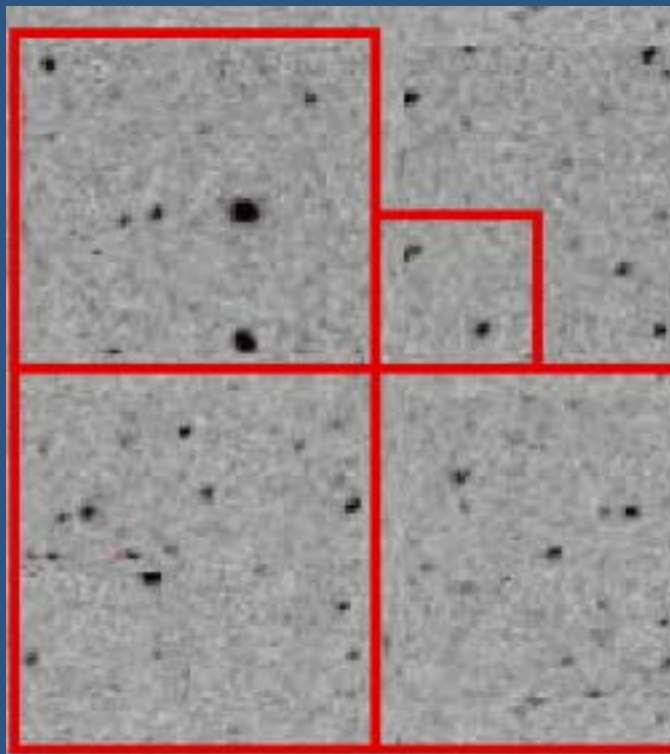
8千万個の銀河を観測、そのなかの80万個の銀河の3次元地図作り



<http://www.sdss.org/dr1/>

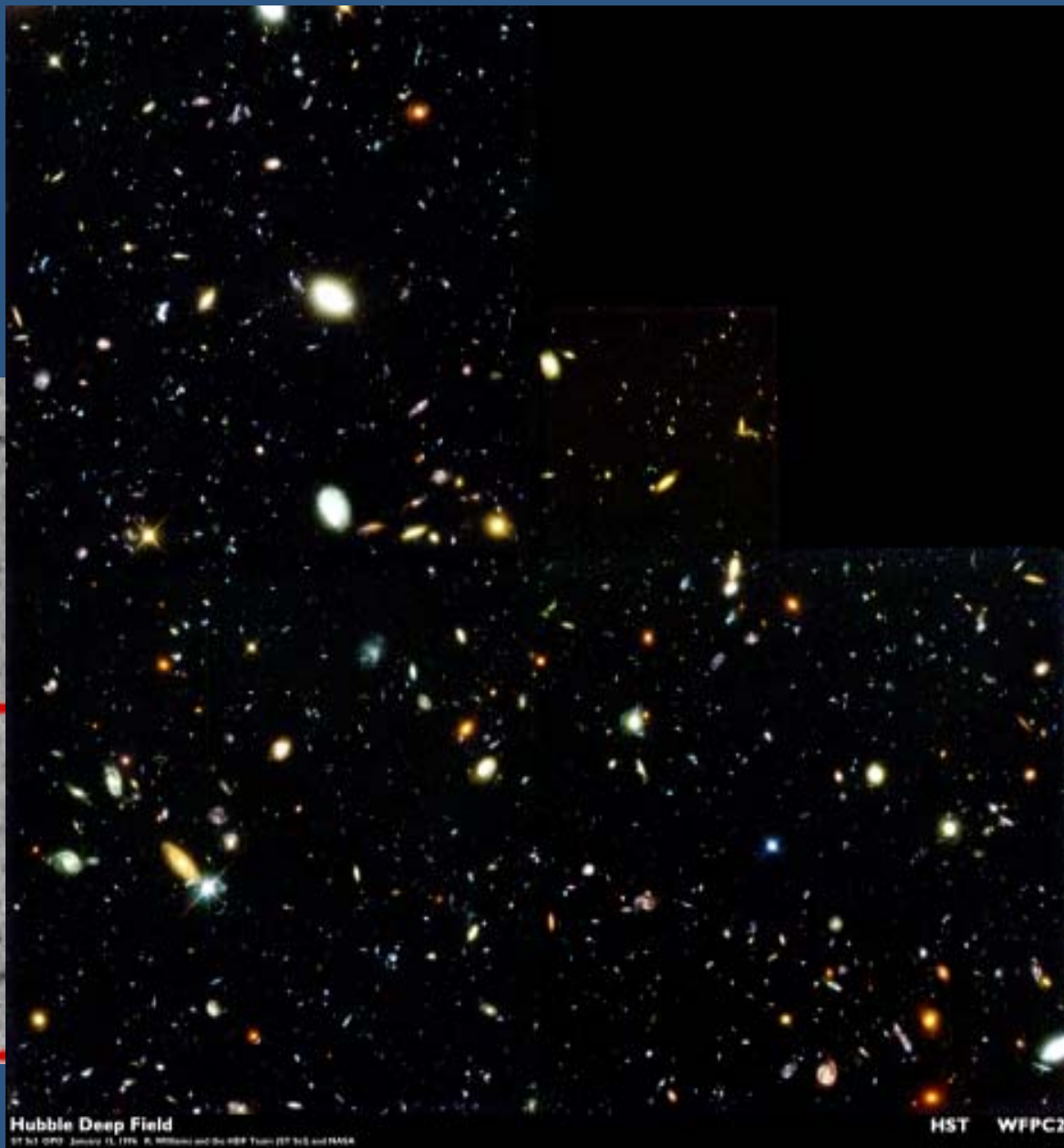


# 宇宙を見る目 の進歩



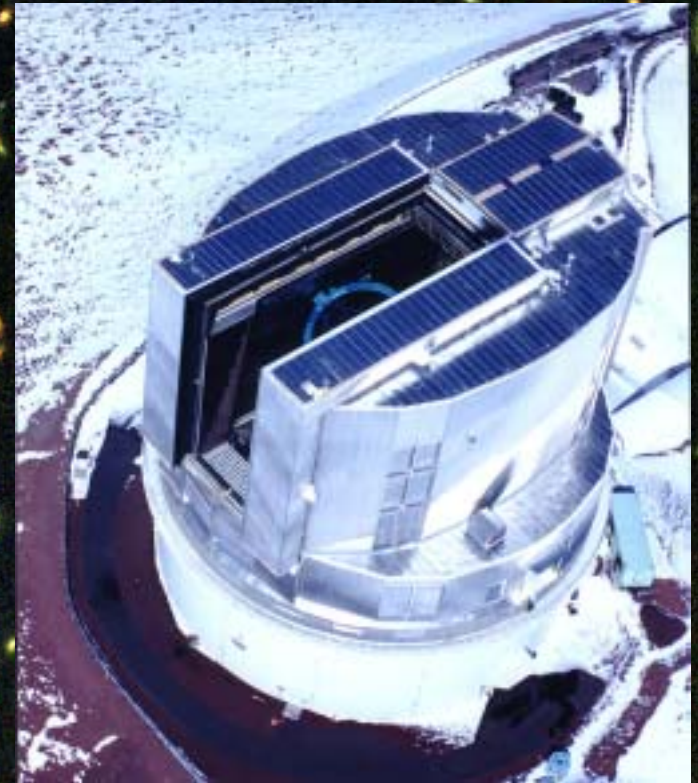
地上4m望遠鏡 + CCD  
100 × 写真乾板

宇宙のダークサイド



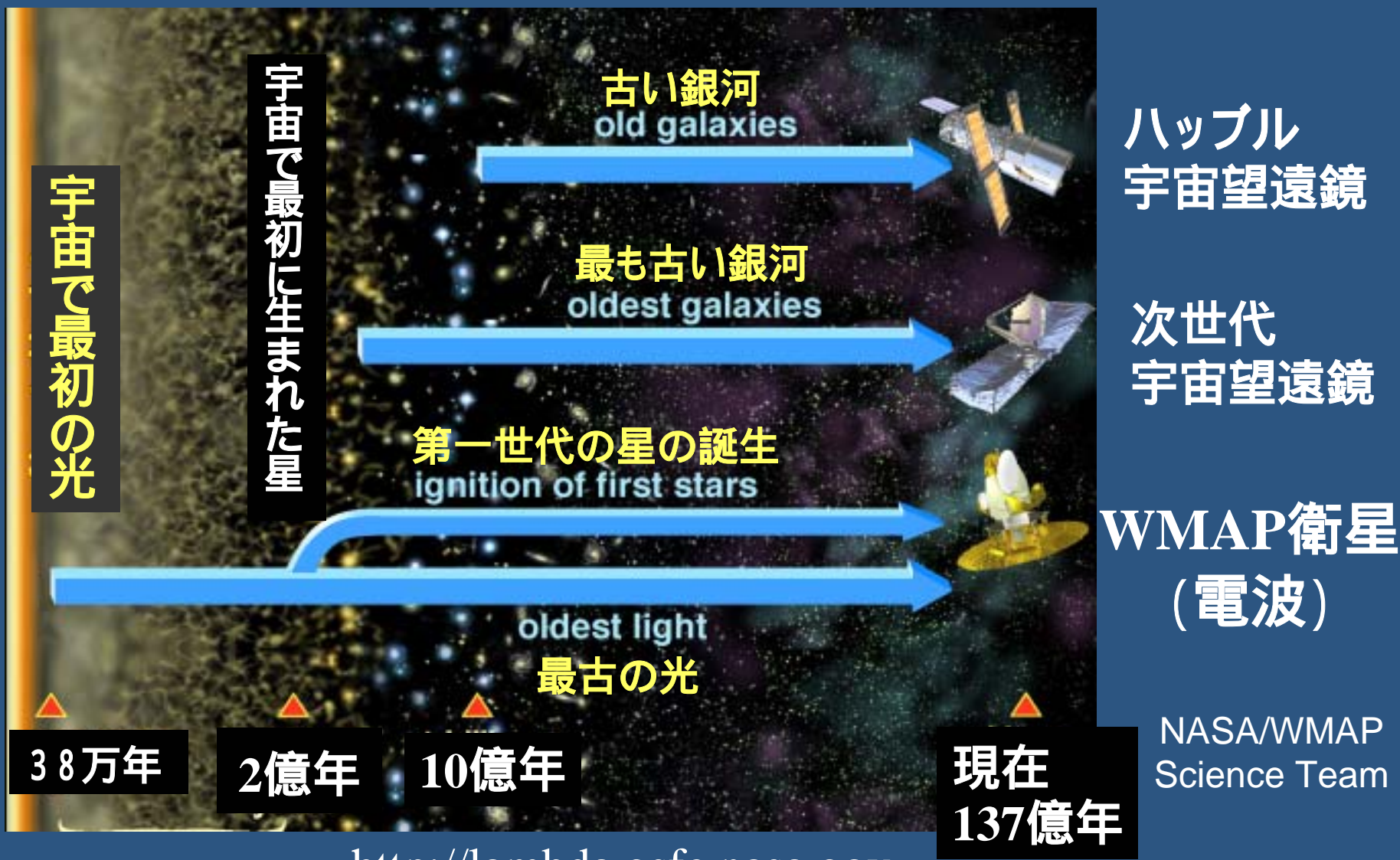
ハッブル宇宙望遠鏡 + CCD: 1000 ×  
地上望遠鏡

# すばる望遠鏡の見た夜空のむこう



<http://www.naoj.org/Gallery/>

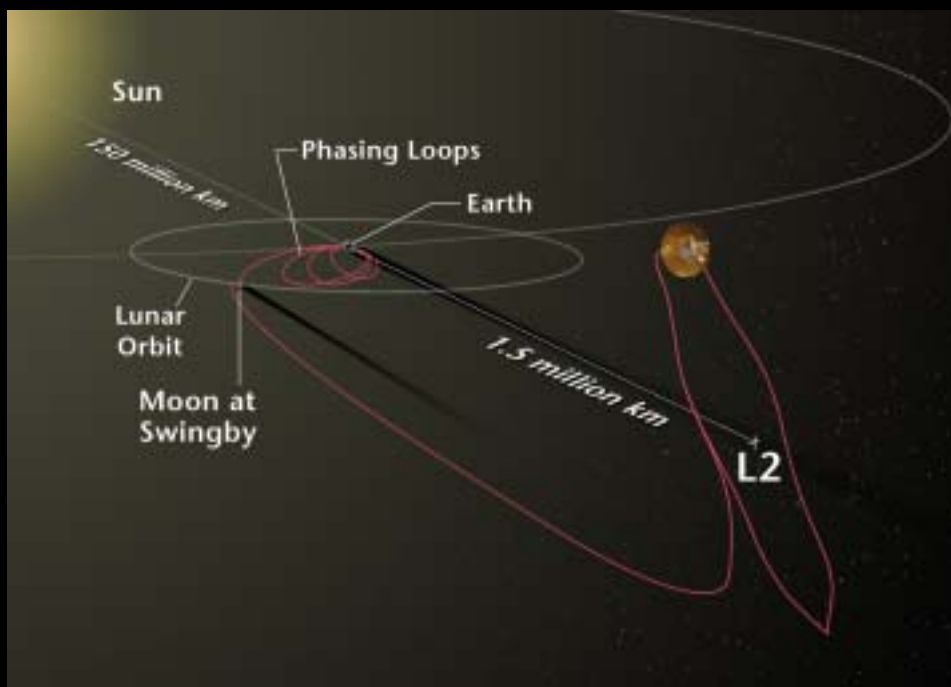
# 衛星を使ってもっと遠くの宇宙を見る



# WMAP (ウィルキンソンマイクロ波非等方性探査衛星)



2001年6月30日 15:46:46  
米国東海岸標準時間  
打ち上げ



NASA/WMAP  
Science Team

<http://lambda.gsfc.nasa.gov>

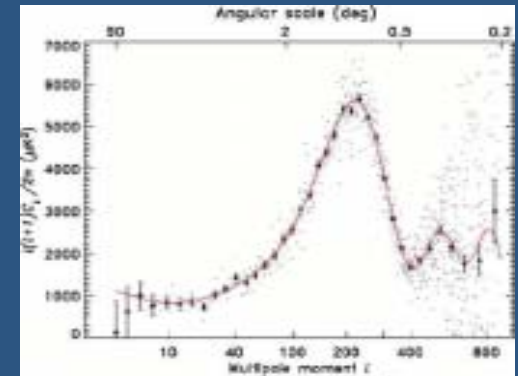
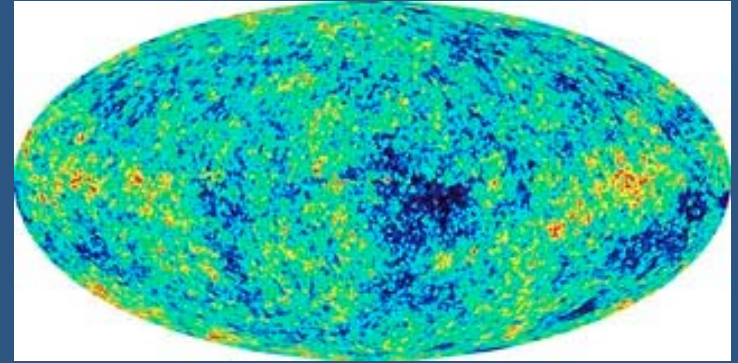
# WMAP衛星：地球から宇宙の果てへの旅



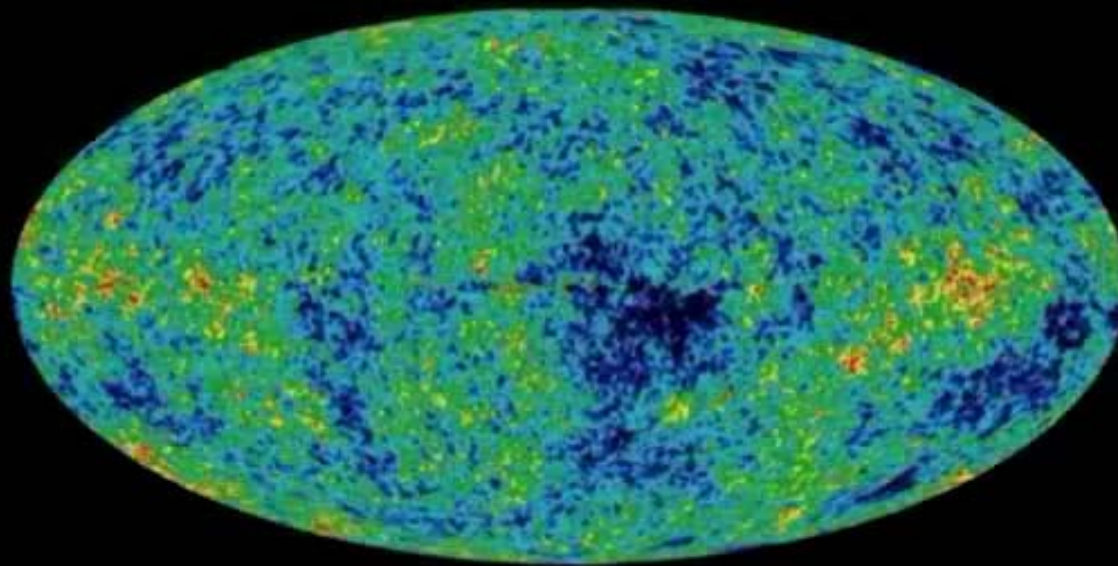
NASA/WMAP  
Science Team

# 古文書の解読方法

- 暗号化された状態の古文書
  - 宇宙マイクロ波全天温度地図
- 暗号を解く鍵
  - 少し難しい数学
- 解読された古文書内容
  - 温度ゆらぎスペクトル
- この古文書の意味を理解するための文法
  - 宇宙モデルを仮定したときの予言
- 隠されている情報
  - 宇宙の年齢、宇宙の幾何学的性質、宇宙の組成、、、



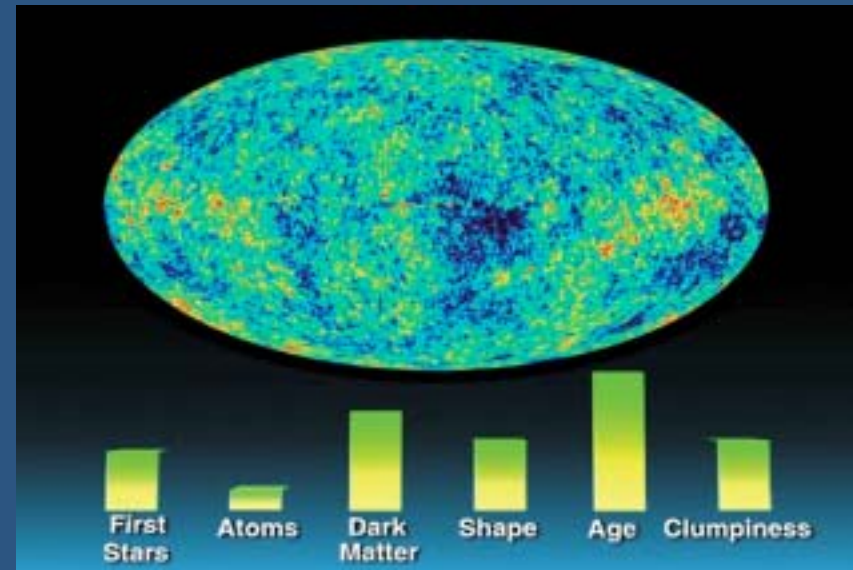
# 38万歳の宇宙から137億歳の現在へ



# 宇宙の古文書が教えてくれたこと

**NASA/WMAP  
Science Team**

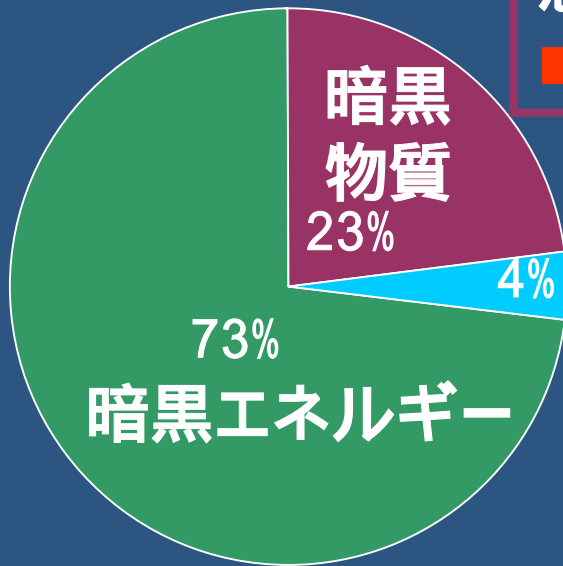
<http://lambda.gsfc.nasa.gov>



- 宇宙の年齢は137億年
- 宇宙は曲率が0 (平坦:ユークリッド幾何)
- 最初の星は宇宙が生まれて2億年後に誕生
- 宇宙の「物質」のほとんどは暗黒物質
- 暗黒エネルギーが宇宙を支配

# 解読結果：我々の宇宙は何からできている？

宇宙の組成



- 銀河・銀河団は星の総和から予想される値の10倍以上の質量をもつ
- 未知の素粒子が正体？

通常物質 (バリオン)

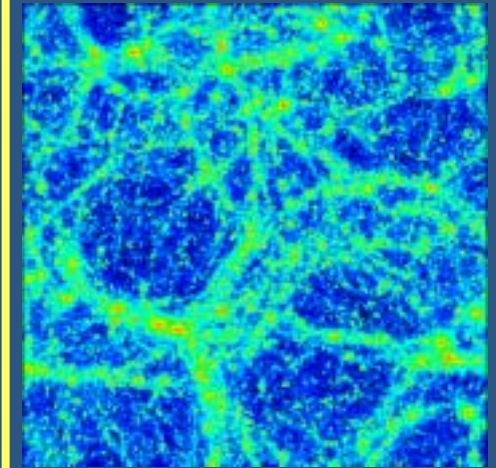
- 宇宙空間を一様に満たしているエネルギーが宇宙の主成分！
- アインシュタインの宇宙定数？

- 元素をつくっているもの (主に、陽子と中性子)
- 現時点で知られている物質はすべてこれからできている

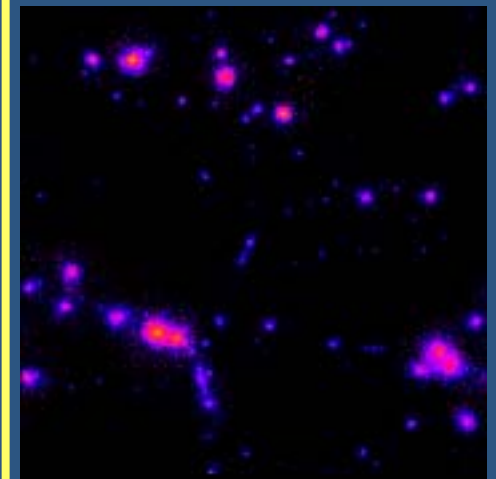
# 宇宙のダークサイド その1: 暗黒物質

- 独立な数多くの宇宙観測データがその存在を支持
  - WMAP衛星、銀河の質量密度プロファイル、銀河団からのX線放射強度、銀河の3次元分布、など
- 宇宙の重力(質量)の大半を支配する
  - 宇宙の構造の起源は暗黒物質の重力
- すでに知られている物質(バリオン)がただ光っていないだけでは説明できない
  - その正体はまだわかっていない
  - 暗黒物質の直接検出実験は21世紀物理学に残された大きな課題
- 暗黒物質は、まだ知られていない新しい物理学を開拓する鍵となる

数値シミュレーションによる暗黒物質分布と明るいバリオンガス分布の比較例



暗黒物質



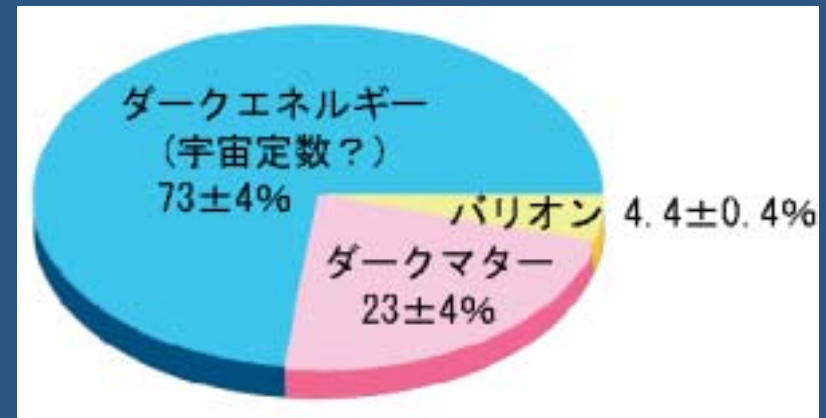
明るいバリオンガス

# 宇宙のダークサイド その2: 暗黒エネルギー

- 暗黒物質とは異なり、ある特定の場所に集中して存在しているようなものではない
  - 例えば、本来何もないはずの真空自体が持っているエネルギーのように、宇宙全体を一様にみたしている
- その重力は、実効的に「万有斥力」
  - 1917年にアインシュタインが(全く異なる理由から)導入した宇宙定数に対応
  - 暗黒物質以上にその正体は不明
- 暗黒エネルギーもまた、我々がいまだ理解していない新たな物理学の存在を示す重要な手がかり

# まとめ

## ダークサイドから主役へ



- 20世紀物理学の飛躍的進展によって、通常物質については極めて深い理解に達し得た
- 一方、21世紀最後の数年間の宇宙観測によって、この通常物質階層は、宇宙全体のわずか4%でしかないことが判明
  - 宇宙の果てを見ることで微視的世界の新しい階層が明らかとなった
  - 宇宙全体の約23%は暗黒物質、約73%は暗黒エネルギー
  - 実はダークサイドこそ宇宙の主役だった
- 暗黒物質の直接検出、暗黒エネルギーの正体の理解は単なる21世紀の科学的課題にとどまらず、新しい自然法則を探り当てる上での、重要な鍵となる