

# 観測的宇宙論

## 1. 宇宙の階層構造



2001年6月28日～29日  
甲南大学大学院 特殊講義  
須藤 靖

# 天文学、物理学、宇宙論

## ■ 天文学:

astronomy = astro (星、天体) + nemein (分布)

## ■ 物理学: physics (自然)

## ■ 宇宙論: c.f., universe (統一)

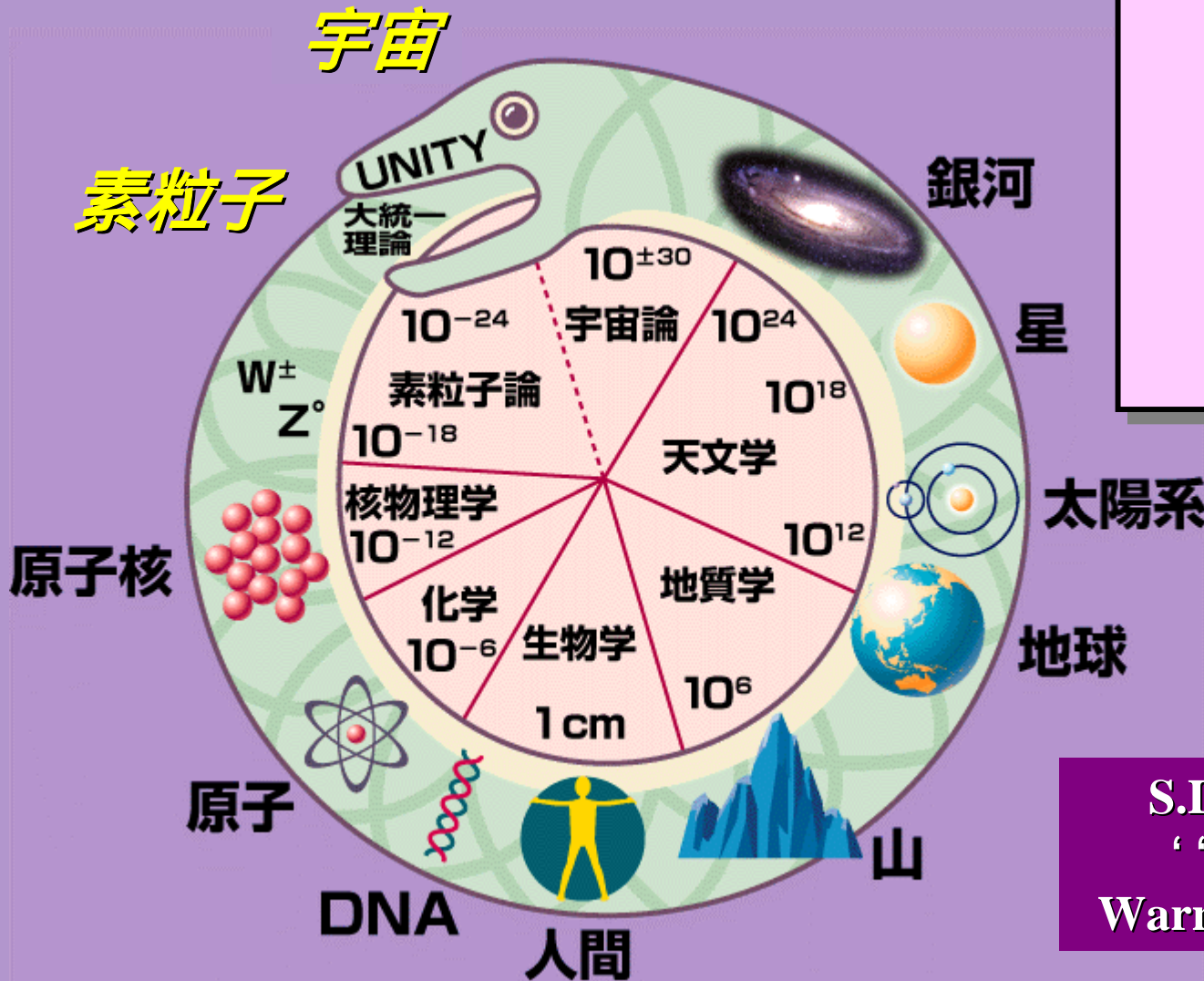
cosmology = kosmos (秩序、調和) + logic(論)

## ■ 宇宙: 四方上下謂之宇、往古來今謂之宙

「淮南子(齊俗訓)」のように「宇」を空間、「宙」を時間とする説や、「宇」を天、「宙」を地とする説などがある (三省堂、大辞林)

# 自然界の階層

- 長さにして約60桁も異なる巨視的世界(宇宙論)と微視的世界(素粒子論)とは宇宙の進化を通じて結びついている



S.L.Glashow 著:  
‘Interaction’  
Warner Books 社より

# クォークとレプトン

## 物質界の階層構造

	第1世代	第2世代	第3世代	電荷
クォーク	u (アップ)	c (チャーム)	t (トップ)	+2/3
	d (ダウン)	s (ストレンジ)	b (ボトム)	-1/3
レプトン	e (電子)	$\mu$ (ミュー粒子)	$\tau$ (タウ粒子)	-1
	$\nu_e$ (電子ニュートリノ)	$\nu_\mu$ (ミューニュートリノ)	$\nu_\tau$ (タウニュートリノ)	0

ハドロン { バリオン  $qqq$  (例: 陽子  $uud$ , 中性子  $udd$ )  
 { メソン  $q\bar{q}$

# 5元説 vs. 4元説

## ■ 古代ギリシャの4元説:

- 空気、土、火、水 (air, earth, fire, water)
- 最近、宇宙定数(暗黒エネルギー)を、この考えにかけて第5番目の元素`quintessence`と呼ぶ洒落がはやっているが、実は、中国ではもともと5元説

## ■ 古代中国の5元説: 十天

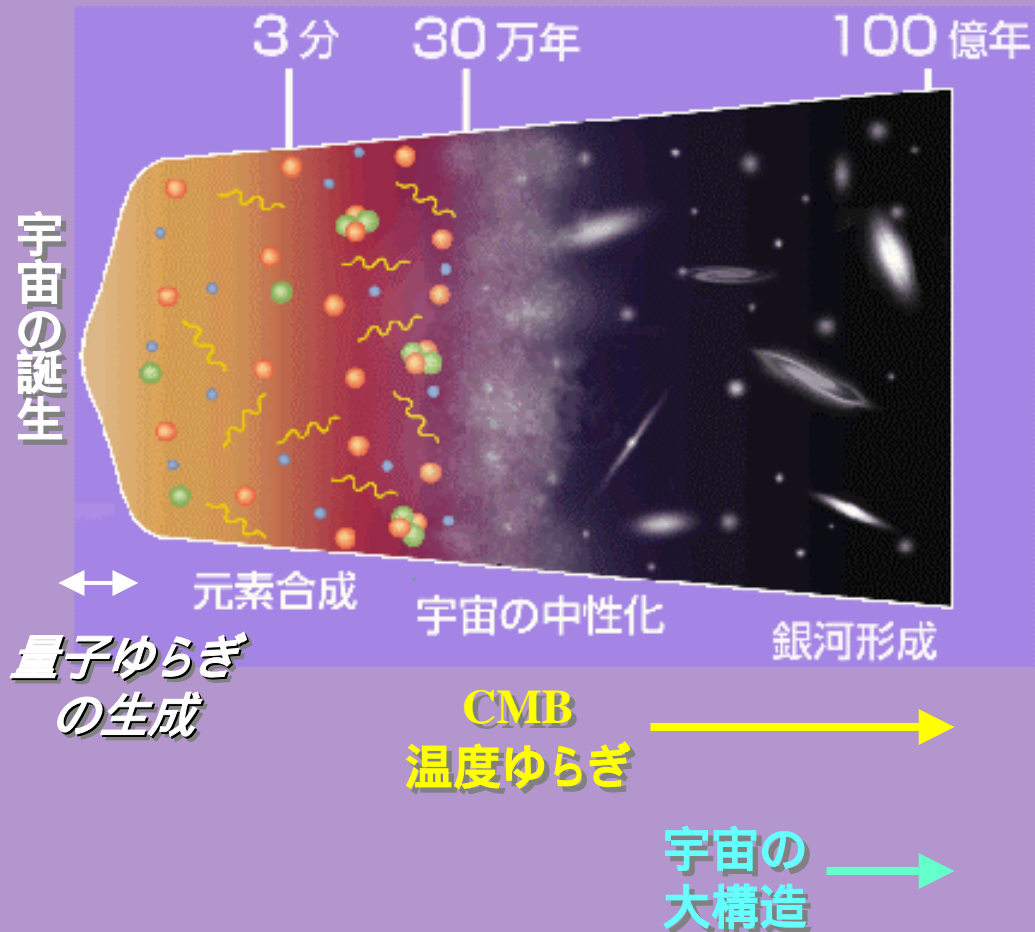
- 甲乙丙丁戊己庚辛壬癸
- (木、火、土、金、水) × (陽、陰)

## ■ 干支 = 十天 十二支

- 子丑寅卯辰巳午未申酉戌亥(mouse, horse, tiger, rabbit, dragon, snake, cow, sheep, monkey, hen, dog, pig)
- 2001(辛巳metal snake), 2002(壬午water horse),,,
- 惑星の名前(元素の起源 宇宙の起源)

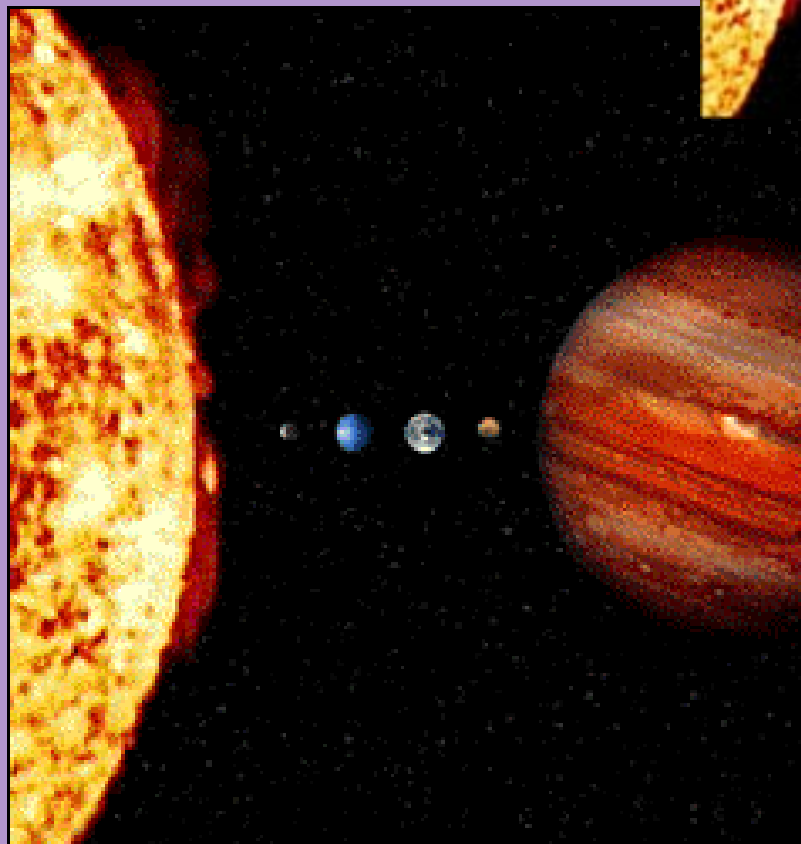
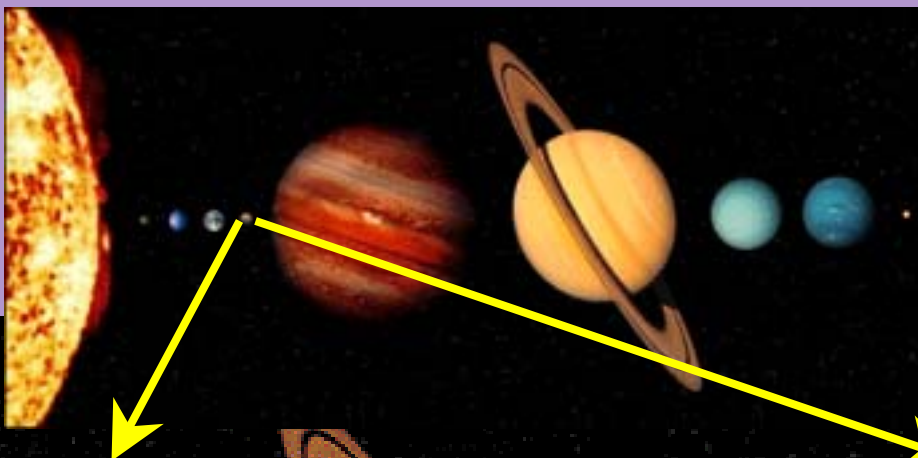


# 宇宙の誕生から銀河宇宙へ



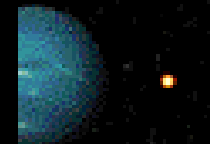
- 誕生直後 ( $10^{-40}$ 秒程度) の宇宙での量子的なゆらぎが、密度の空間的非一様性を生み出した
- インフレーションモデルを用いて、この密度ゆらぎの性質が予言できる
- この理論予言は、CMBの温度ゆらぎの観測を通じて検証可能で、実際良い一致を示している

# 太陽系



## MARS the Movie

This NASA Hubble Space Telescope full-globe picture of the planet Mars is the most detailed view of the red planet ever taken from Earth's distance. Hubble resolves details on Mars' surface as small as 30 miles across, to reveal craters, volcanoes, the north polar ice cap, and fleecy white clouds in the thin Martian atmosphere.



# 水星: Mercury

- 半徑: 2440 km
- 質量:  $1.7 \times 10^{-7} M_{\text{太陽}}$
- 密度:  $5.4 \text{ g/cm}^3$
- 軌道長半徑: 0.39AU
- 自轉周期: 59日
- 公轉周期: 0.24年



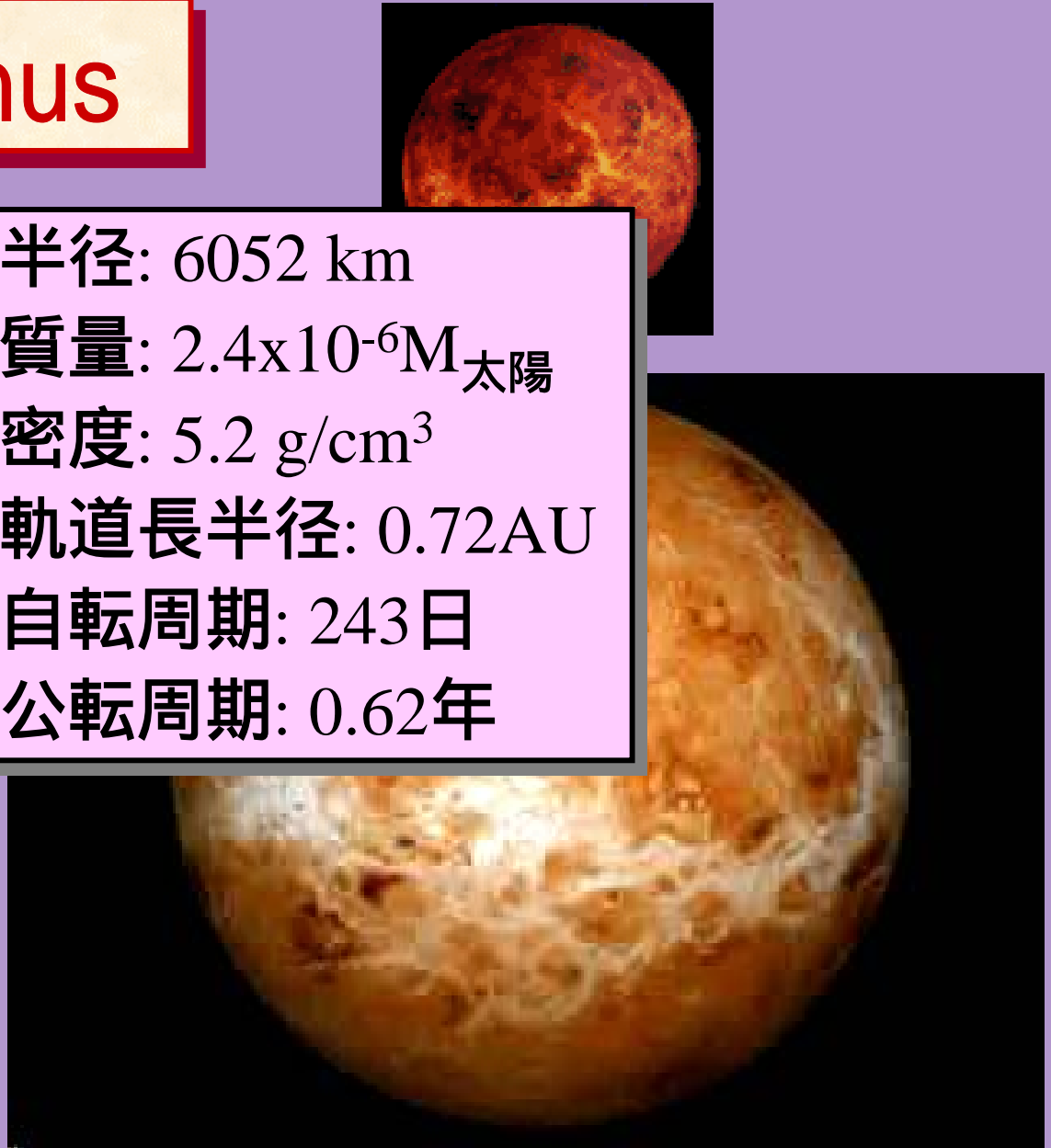
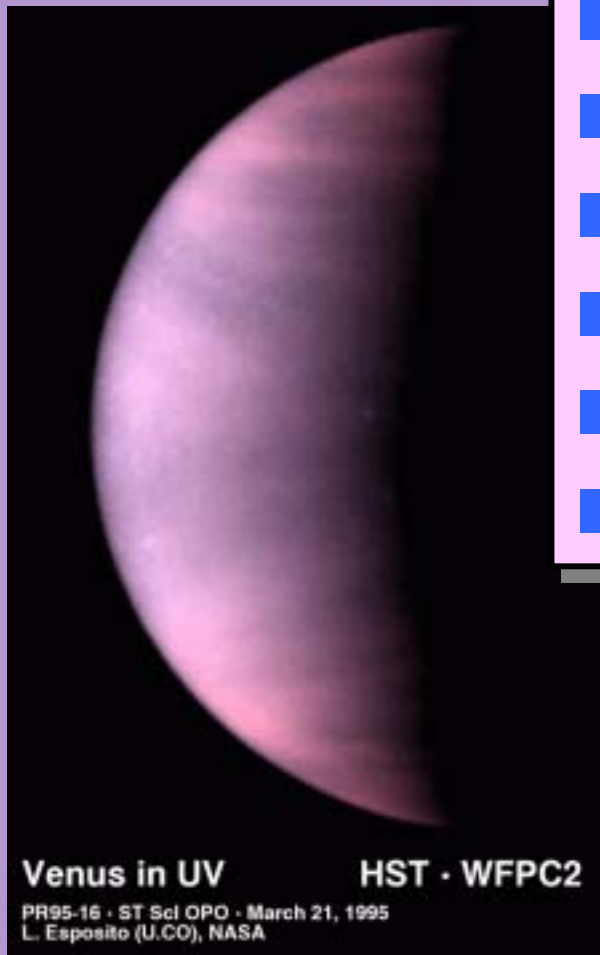
The Largest Moons and Smallest Planets

© Copyright 1999 by Calvin J. Hamilton



# 金星: Venus

- 半徑: 6052 km
- 質量:  $2.4 \times 10^{-6} M_{\text{太陽}}$
- 密度:  $5.2 \text{ g/cm}^3$
- 軌道長半徑: 0.72AU
- 自轉周期: 243日
- 公轉周期: 0.62年



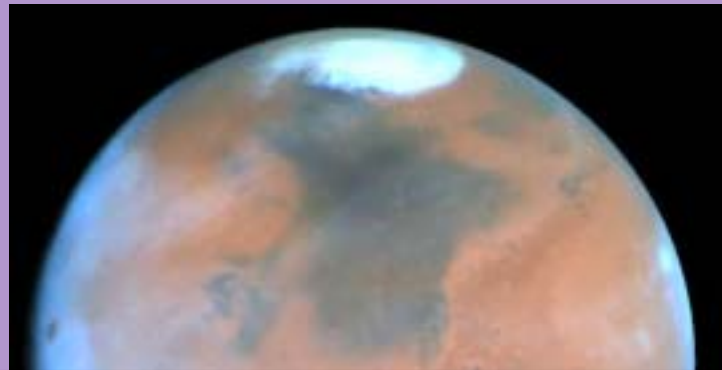
# 地球: Earth



- 半径: 6378 km
- 質量:  $3.0 \times 10^{-6} M_{\text{太陽}}$
- 密度:  $5.5 \text{ g/cm}^3$
- 軌道長半徑: 1AU
- 自轉周期: 1日
- 公轉周期: 1年



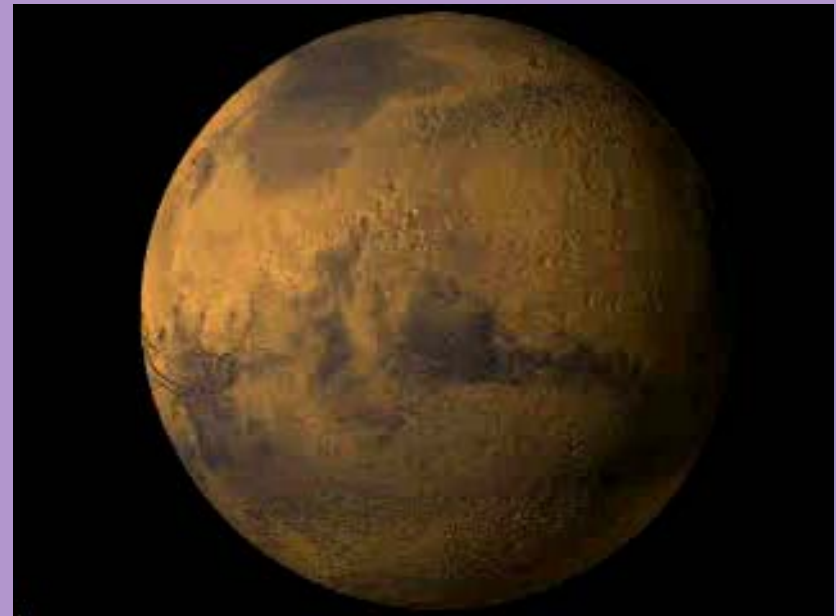
# 火星: Mars



- 半徑: 3397 km
- 質量:  $3.2 \times 10^{-7} M_{\text{太陽}}$
- 密度:  $3.9 \text{ g/cm}^3$
- 軌道長半徑: 1.5AU
- 自轉周期: 1.0日
- 公轉周期: 1.9年

## MARS the Movie

This NASA Hubble Space Telescope full-globe picture of the planet Mars is the most detailed view of the red planet ever taken from Earth's distance. Hubble resolves details on Mars' surface as small as 30 miles across, to reveal craters, volcanoes, the north polar ice cap, and fleecy white clouds in the thin Martian atmosphere.



# 木星: Jupiter

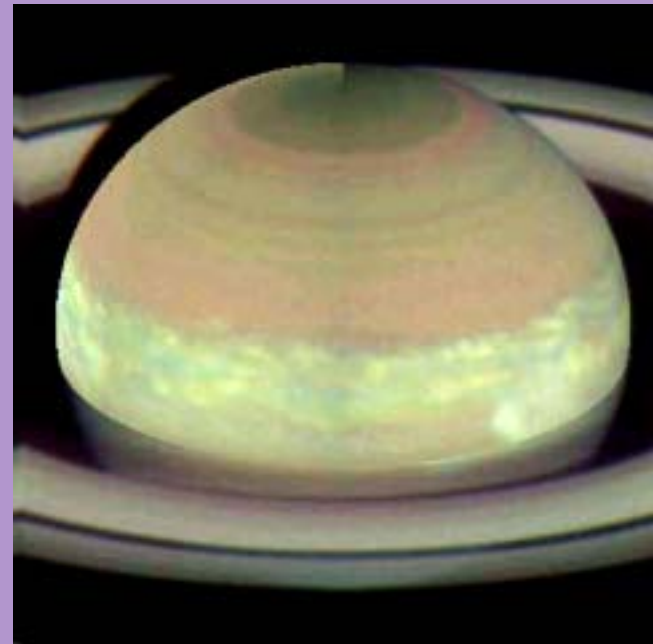
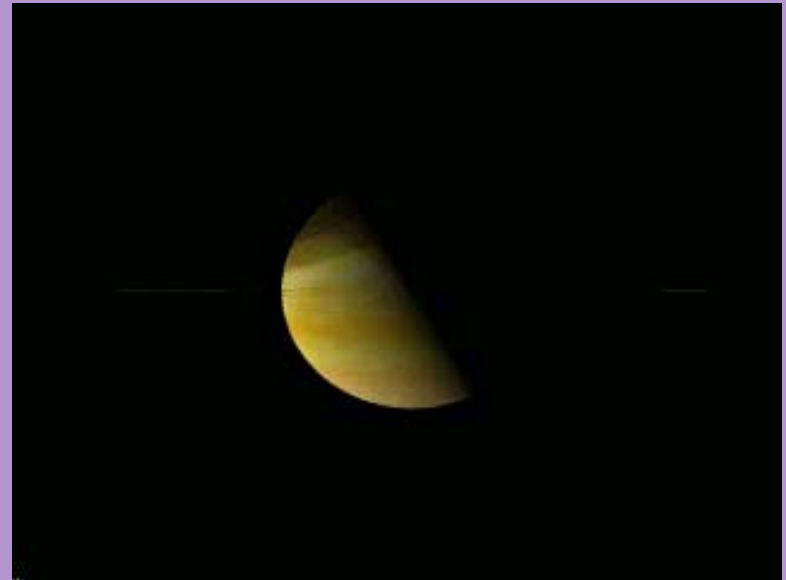


- 半径: 71492 km
- 質量:  $9.5 \times 10^{-4} M_{\text{太陽}}$
- 密度:  $1.3 \text{ g/cm}^3$
- 軌道長半徑: 5.2AU
- 自轉周期: 0.41日
- 公轉周期: 12年



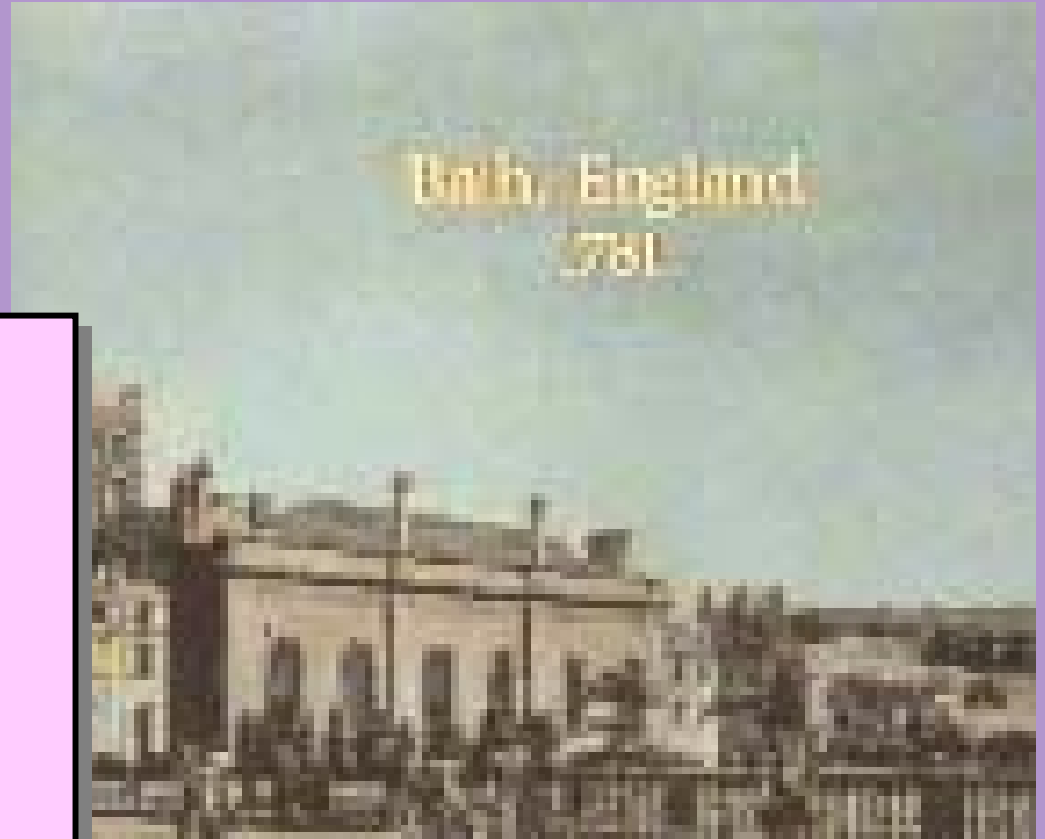
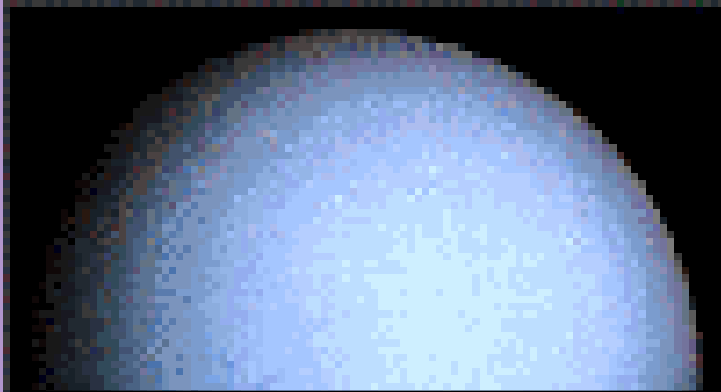
# 土星: Saturn

- 半径: 60268 km
- 質量:  $2.9 \times 10^{-4} M_{\text{太陽}}$
- 密度:  $0.7 \text{ g/cm}^3$
- 軌道長半徑: 9.6AU
- 自轉周期: 0.4日
- 公轉周期: 29年



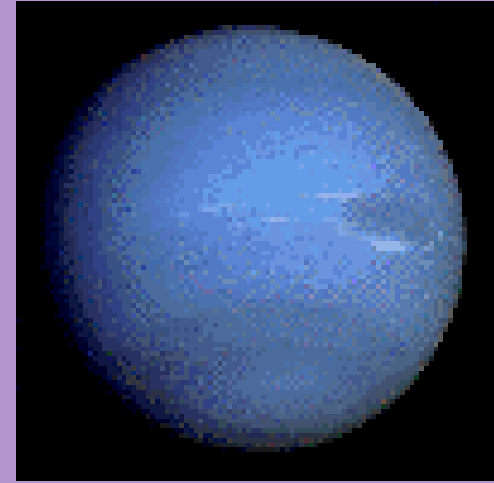
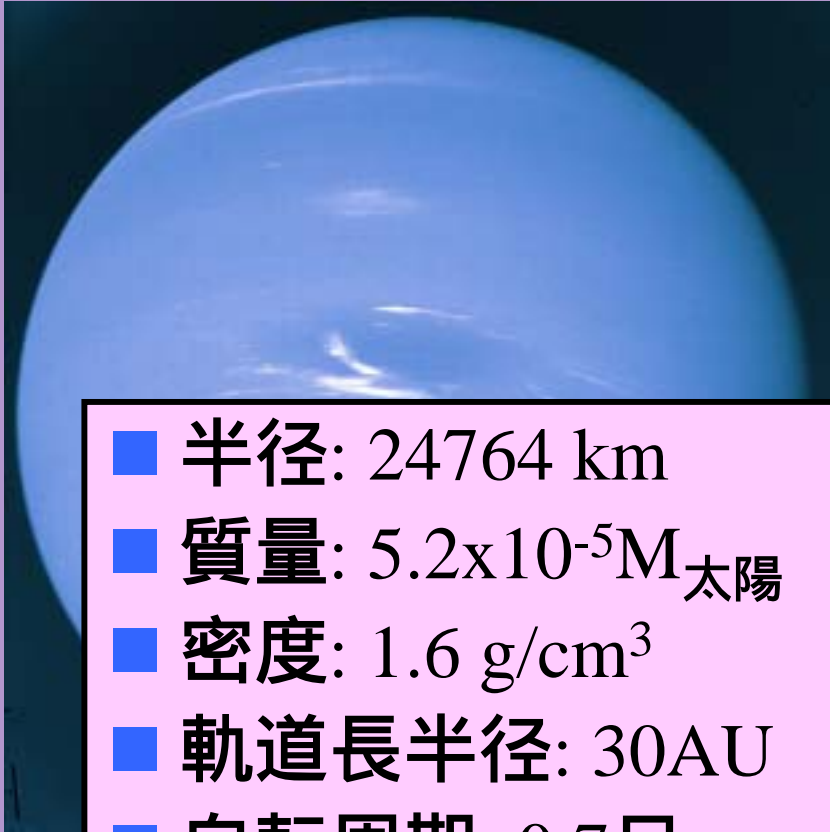


# 天王星: Uranus

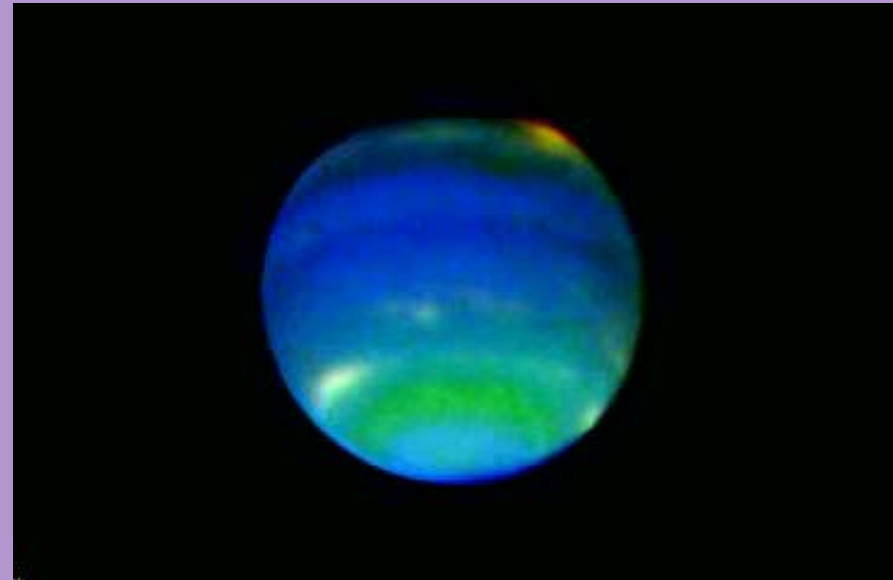


- 半径: 25559 km
- 質量:  $4.4 \times 10^{-5} M_{\text{太陽}}$
- 密度:  $1.3 \text{ g/cm}^3$
- 軌道長半徑: 19AU
- 自轉周期: 0.7日
- 公轉周期: 84年

# 海王星: Neptune



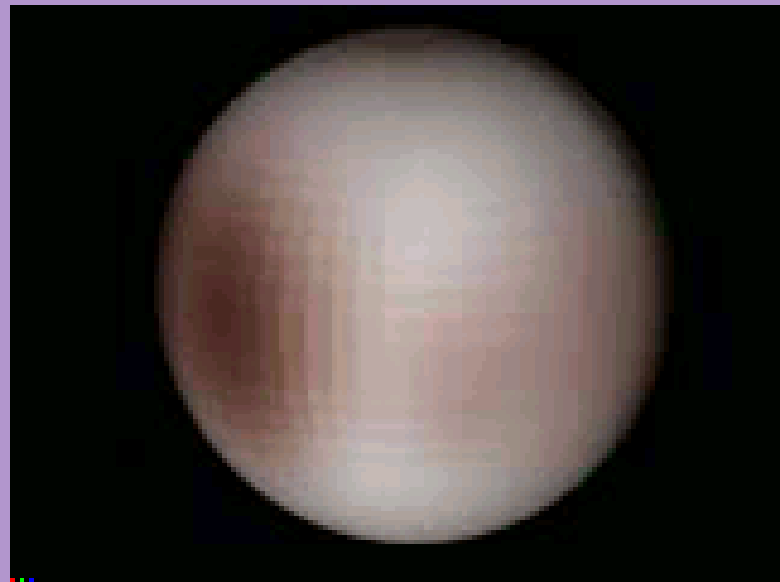
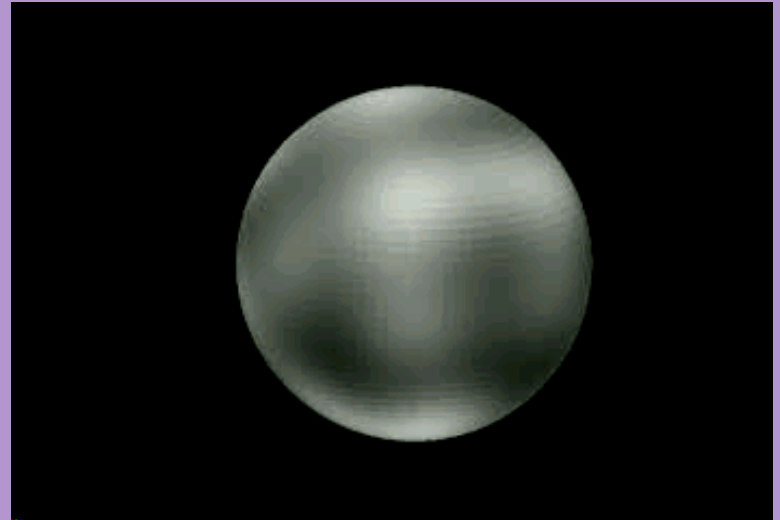
- 半径: 24764 km
- 質量:  $5.2 \times 10^{-5} M_{\text{太陽}}$
- 密度:  $1.6 \text{ g/cm}^3$
- 軌道長半徑: 30AU
- 自轉周期: 0.7日
- 公轉周期: 165年



# 冥王星: Pluto

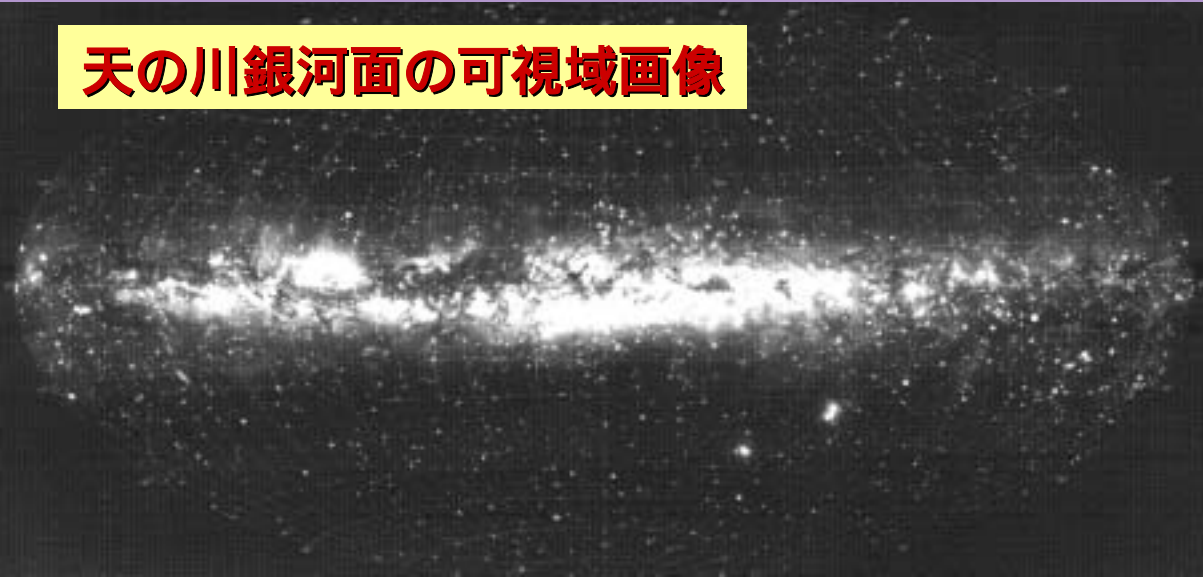


- 半径: 1137 km
- 質量:  $7.4 \times 10^{-9} M_{\text{太陽}}$
- 密度:  $2.2 \text{ g/cm}^3$
- 軌道長半徑: 40AU
- 自轉周期: 6.4日
- 公轉周期: 248年



# 我々の銀河系

天の川銀河面の可視域画像



- 我々の銀河系(天の川)は、星とガス(+暗黒物質)からなる渦巻き銀河で、円盤部の直径は約30kpc

COBE衛星による近赤外線域画像



<http://adc.gsfc.nasa.gov/mw/>

# アンドロメダ銀河 (M31)





# マゼラン星雲

大マゼラン星雲



UKS

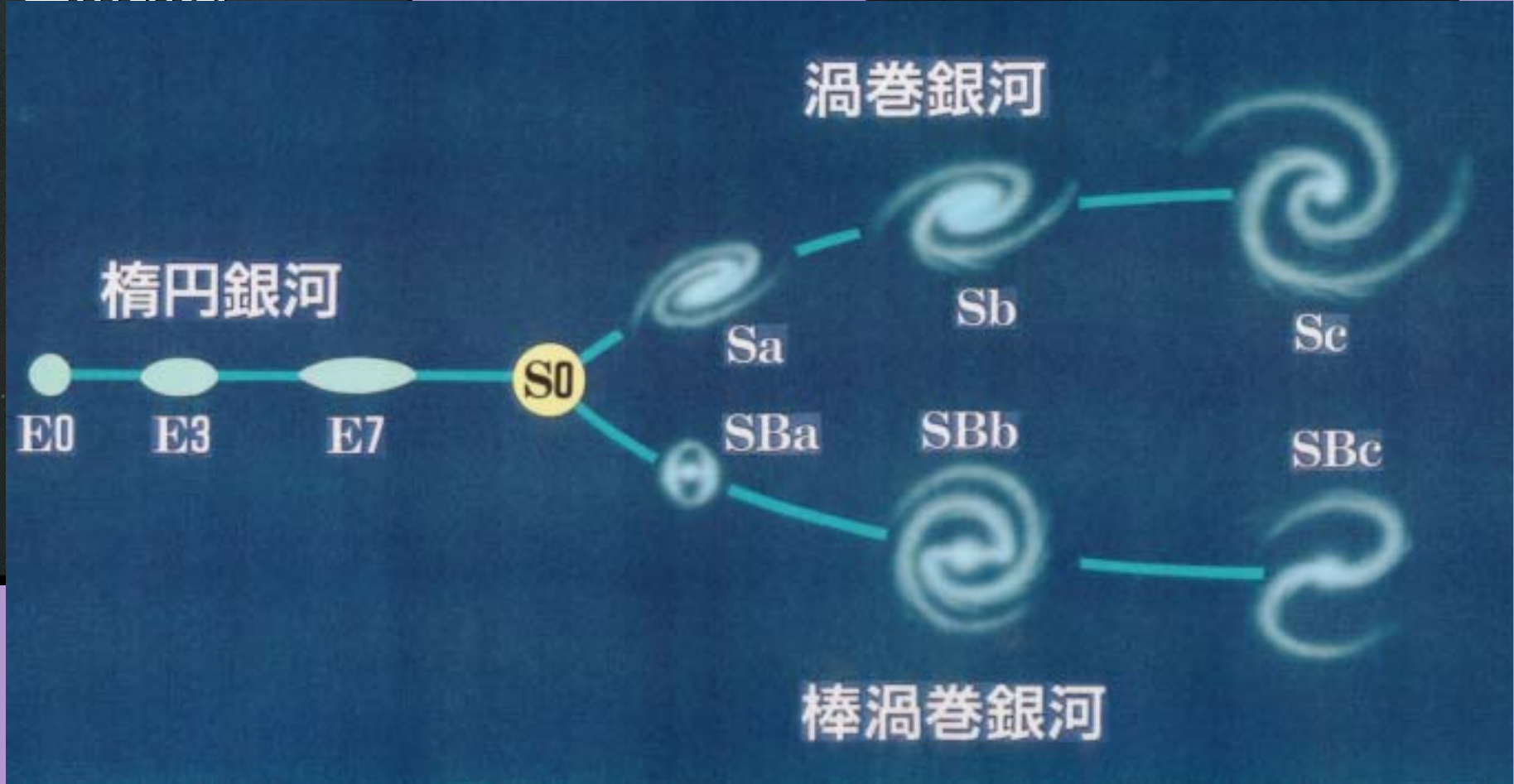
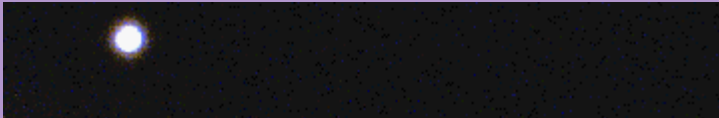
小マゼラン星雲



UKS 17

# 銀河のハッブル分類

楕円銀河



渦巻銀河



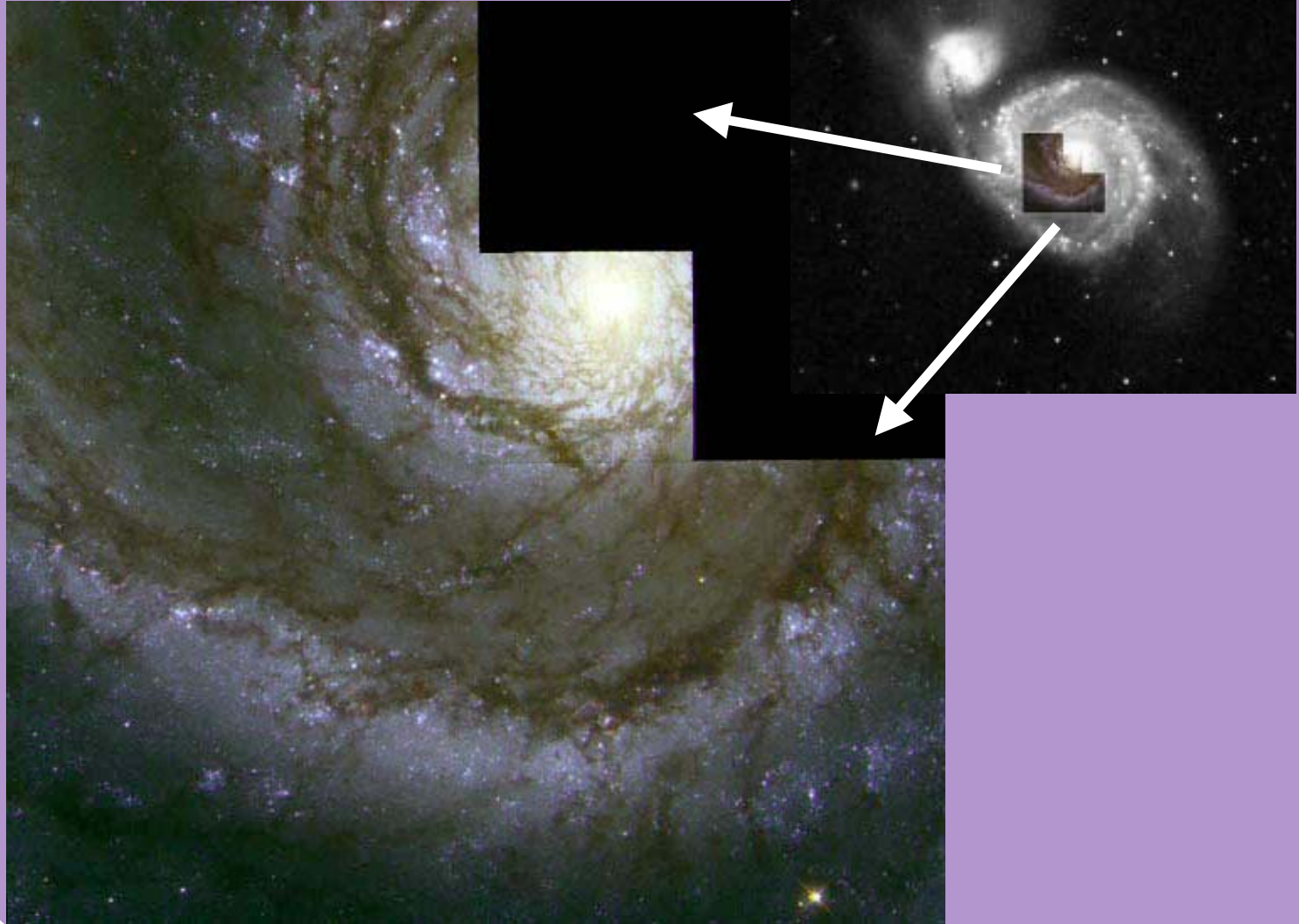
# M83: 近傍の渦巻銀河



M83 © Anglo-Australian Observatory Photo by David Malin

# M51: The Whirlpool Galaxy

Hubble Space Telescope (HST) Image





# M87: おとめ座銀河団内の巨大楕円銀河

Note the lack of hot, young blue stars. There is little gas in this giant. The tiny, bright knots are globular clusters.





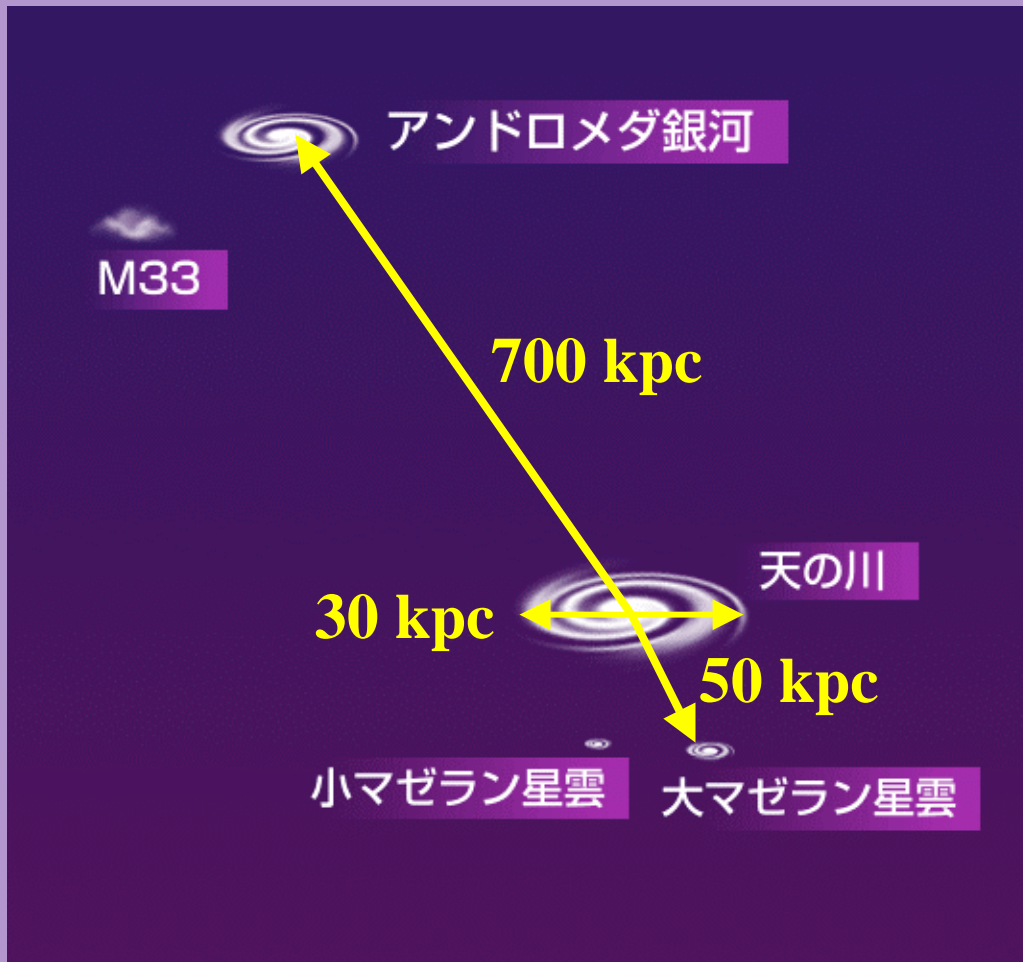
# M104: The Sombrero Galaxy



The dust in the disk of this galaxy is seen in silhouette and in reflection against the huge bulge.

M104 © Anglo-Australian Observatory Photo by David Malin

# 局所銀河群



- 我々の銀河系はアンドロメダ銀河を初めとして30個程度のメンバー銀河とともに、直径2Mpc程度の広がりをもつ局所銀河群を形成している



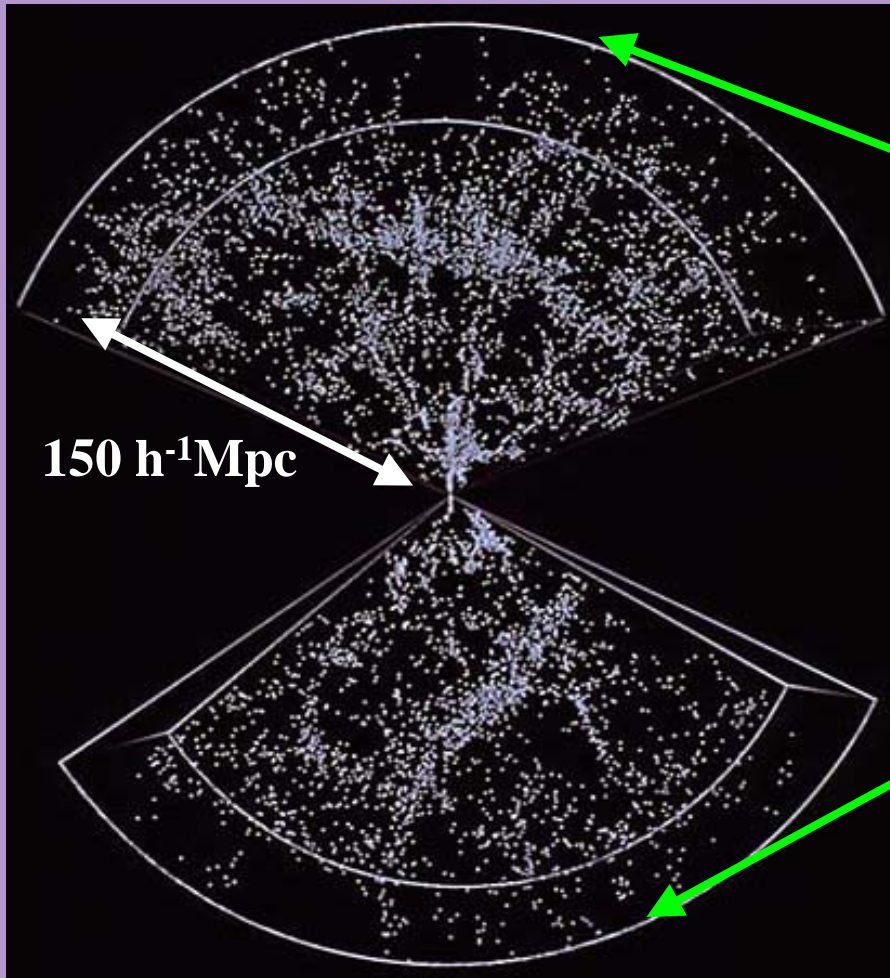
# 銀河団



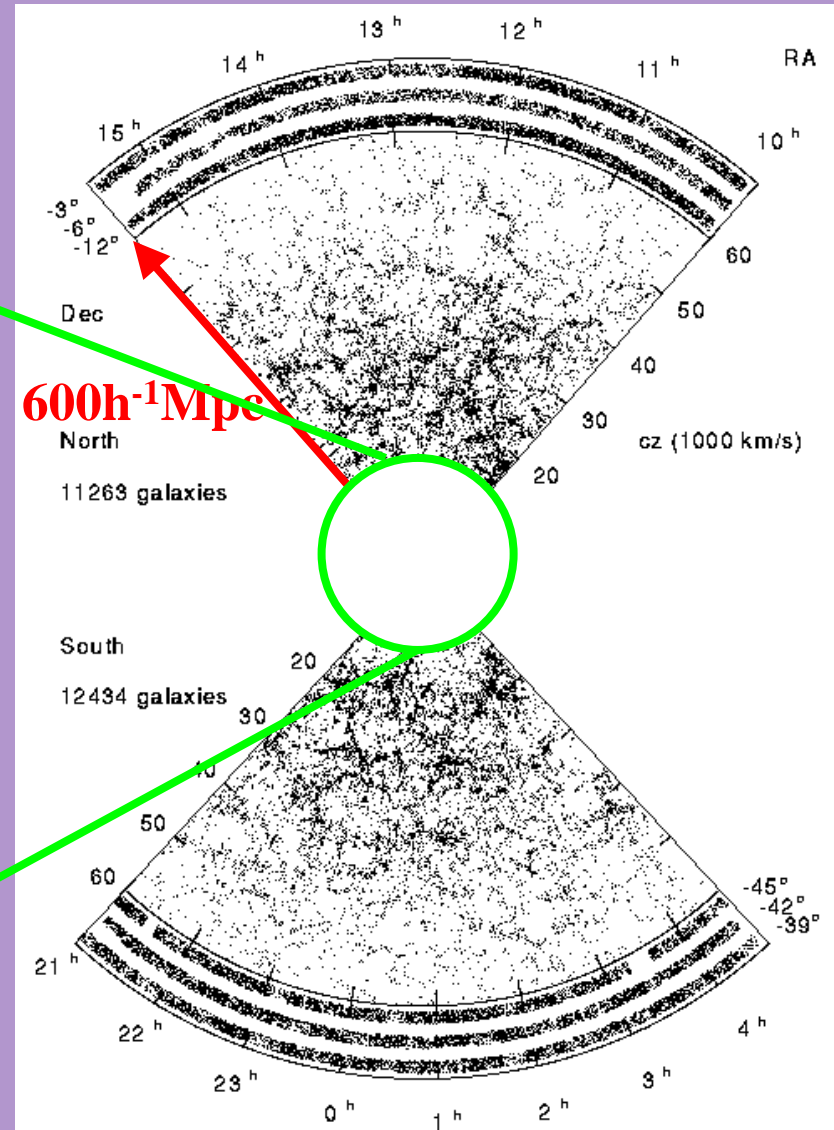
- 100個から1000個程度の銀河が、数Mpcの領域の中に重力的に集団化したものが銀河団
- 宇宙の初期条件を反映しており、宇宙論研究の観測的検証のために重要な階層

髪座銀河団  
( $z=0.0232$ )

# 宇宙の大構造



CfA galaxy redshift survey:  
Geller, da Costa & Huchra (1992)



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



# 宇宙の階層構造



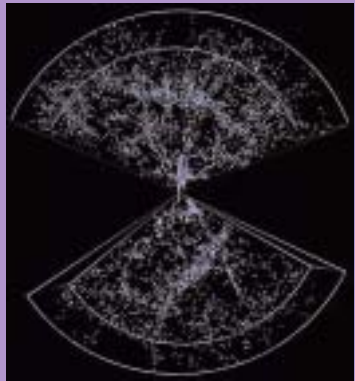
太陽系



矮小銀河



銀河群



超銀河団



星団



銀河



銀河団



典型的な大きさ [パーセク (~3.1光年)]

# 宇宙論研究の目的

- 宇宙の誕生・起源 (量子重力理論)
- 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

このような問題意識はもちろん古くから存在したが、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