

宇宙の階層

東京大学 理学部 宇宙物理学講義 須藤靖
第2回前半 2006年10月16日

宇宙の階層構造

太陽系



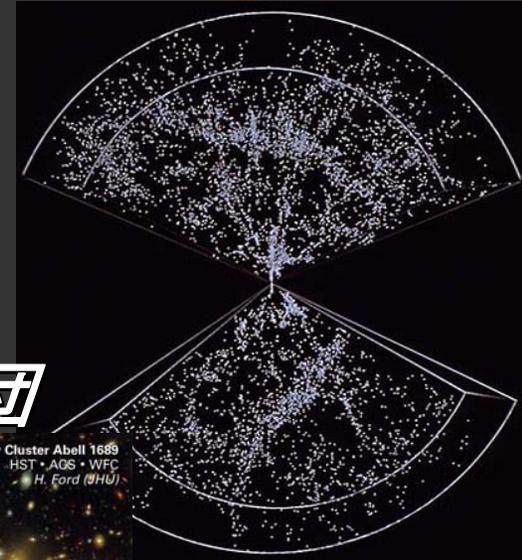
矮小銀河



銀河群



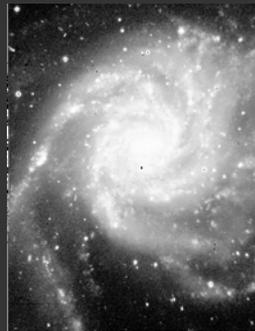
宇宙の大構造



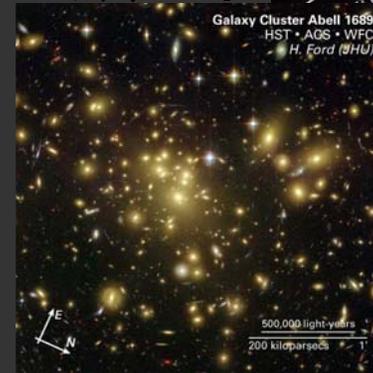
星団



銀河



銀河団



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

典型的大きさ [パーセク(〜3.1光年)]

地球

←→ 1万3000km

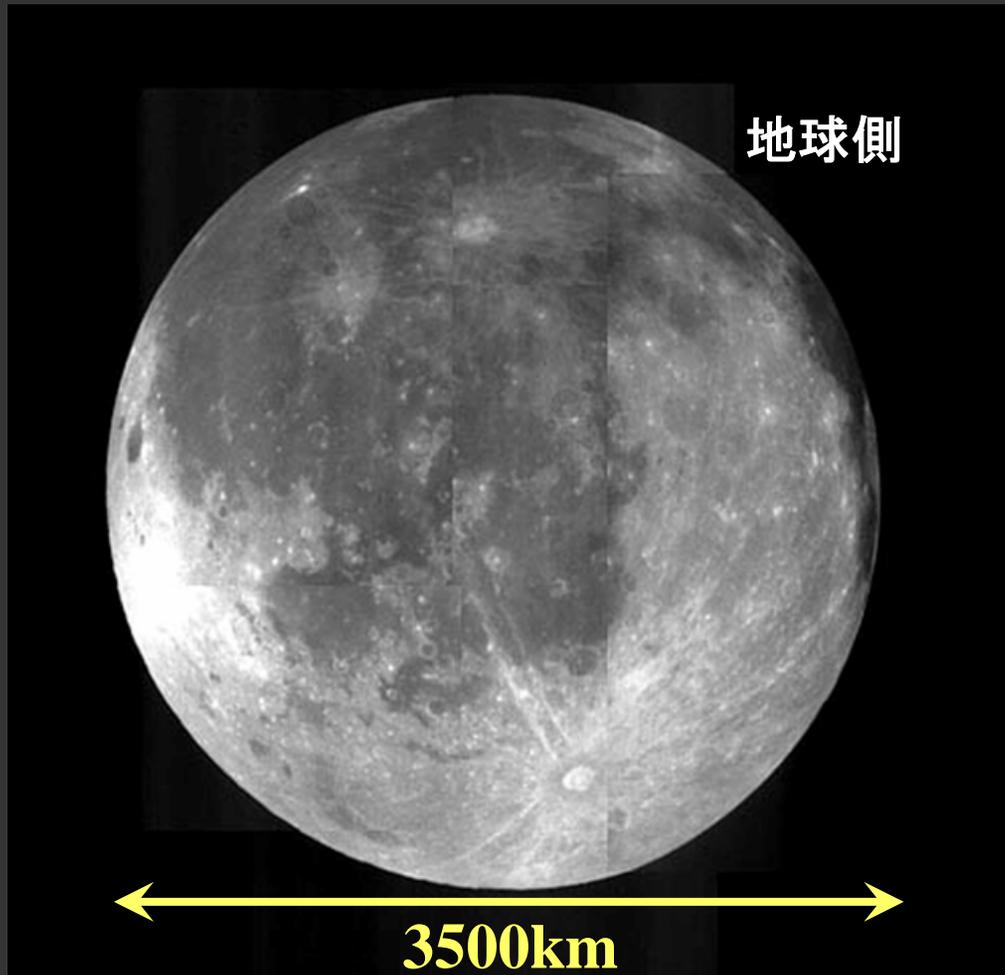


Terra衛星のMODIS検出器のデータ

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

<http://www.nasa.gov/home/index.html>

月：衛星



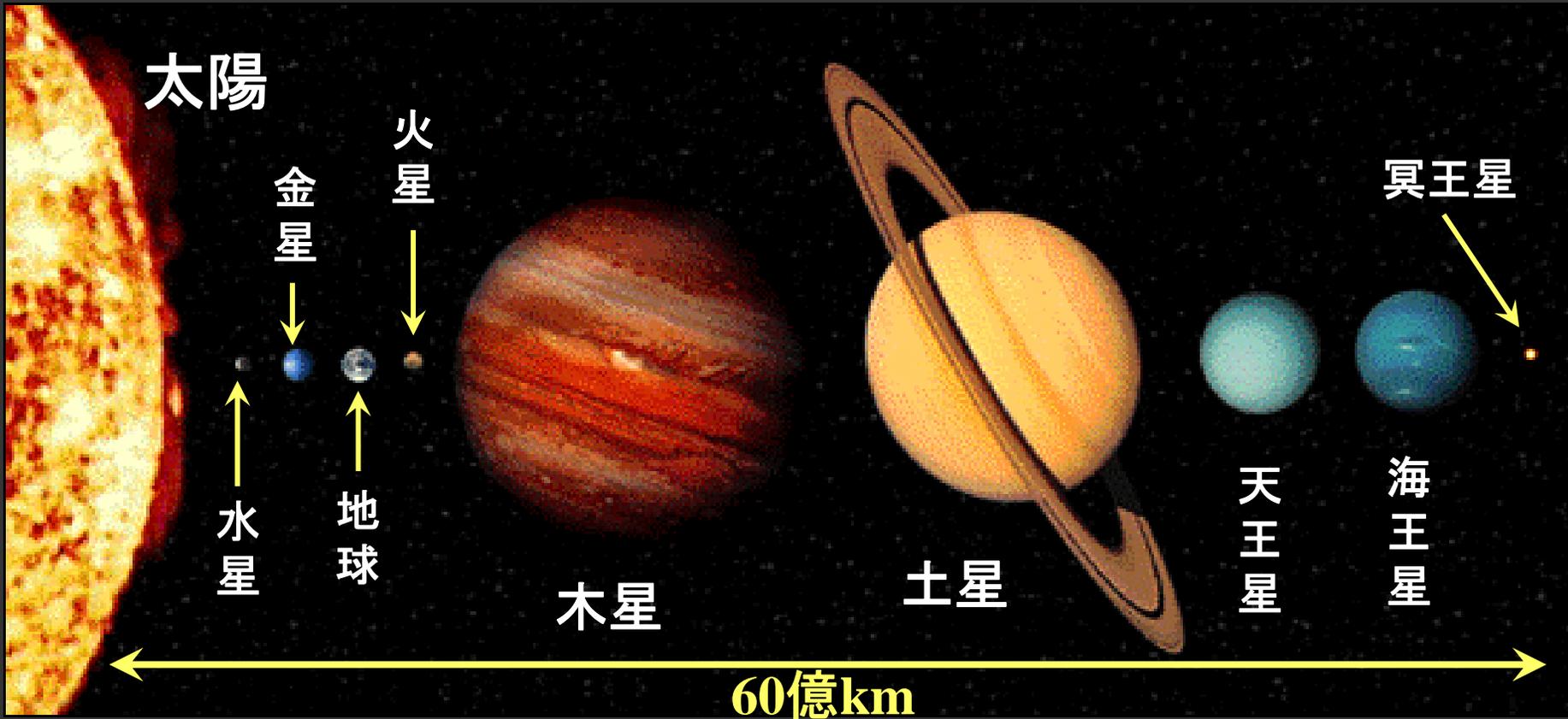
月探査機クレメンタイン 1994年



アポロ16号 1972年

<http://www.nasa.gov/home/index.html>

八~~九~~つの惑星：我が太陽系

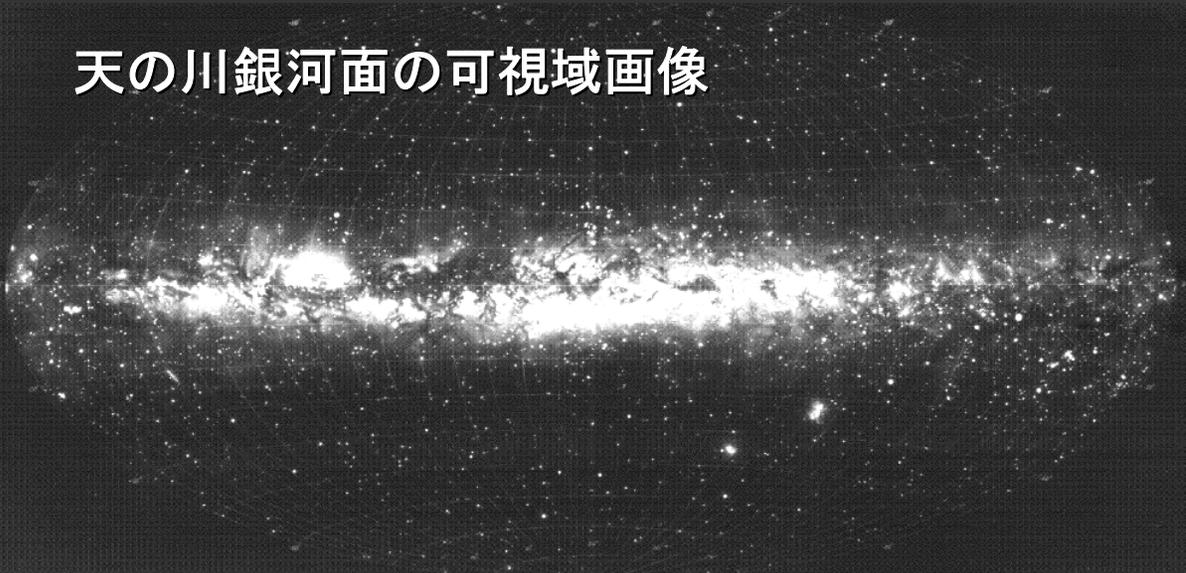


(太陽からの距離は別として、惑星の相対的な大きさはほぼ実際の比の通り)

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

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



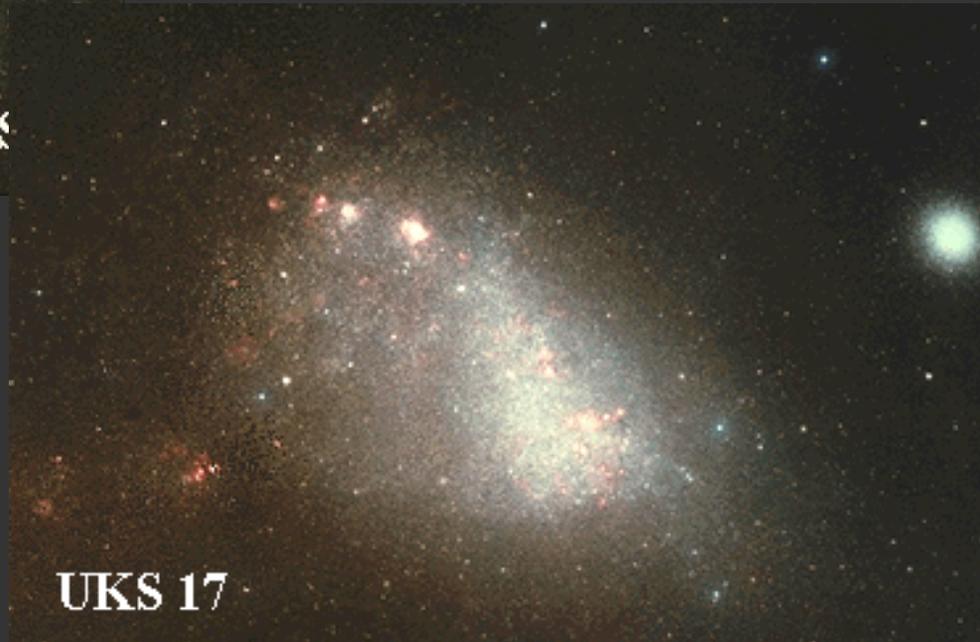
マゼラン星雲



大マゼラン星雲

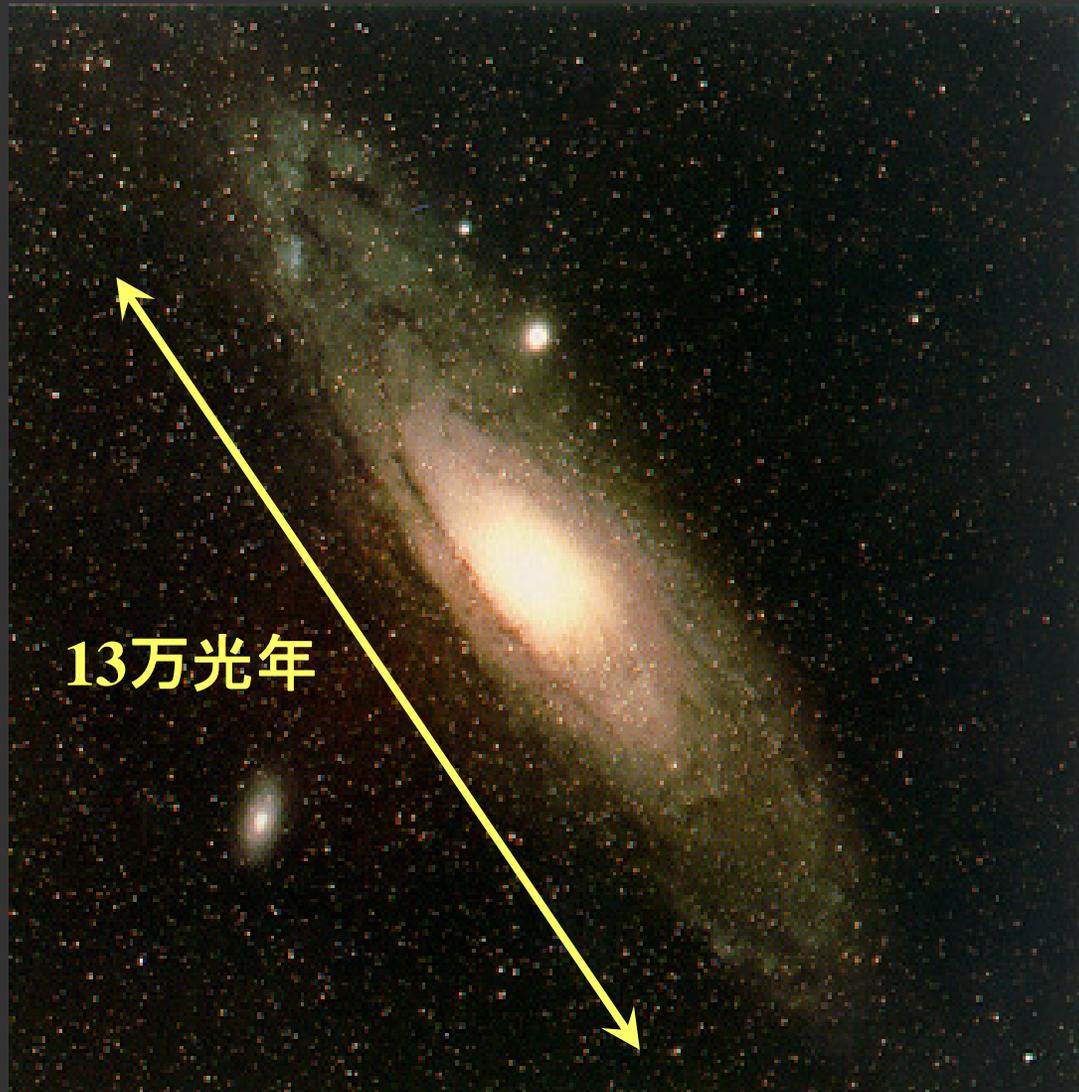
UKS

小マゼラン星雲



UKS 17

アンドロメダ銀河 (M31): 隣の銀河

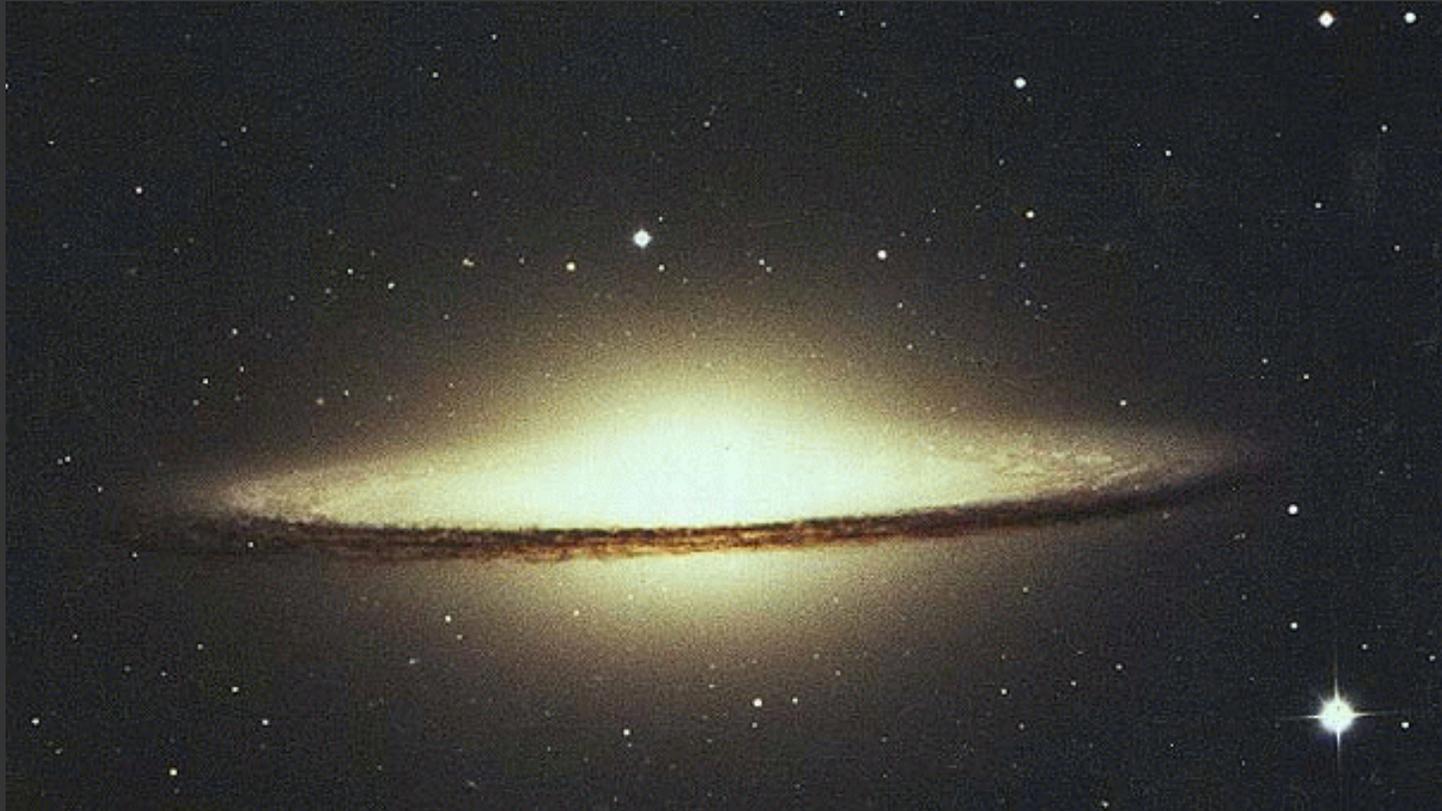


M83: 近傍の渦巻銀河



M83 © Anglo-Australian Observatory Photo by David Malin

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

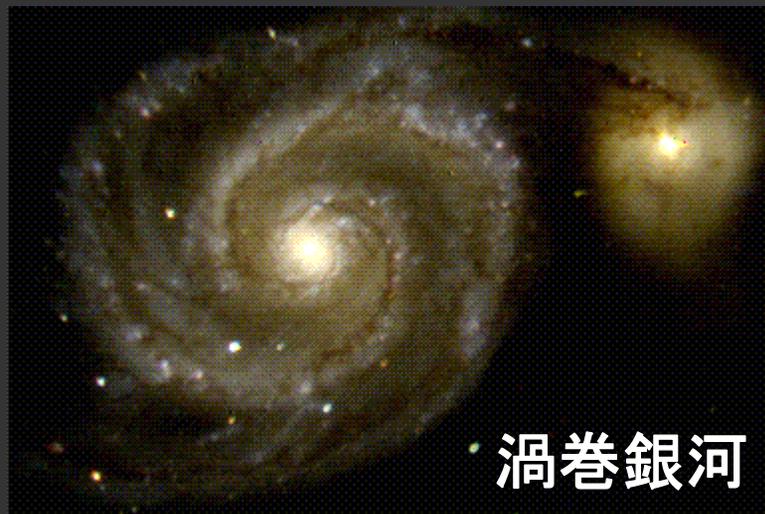
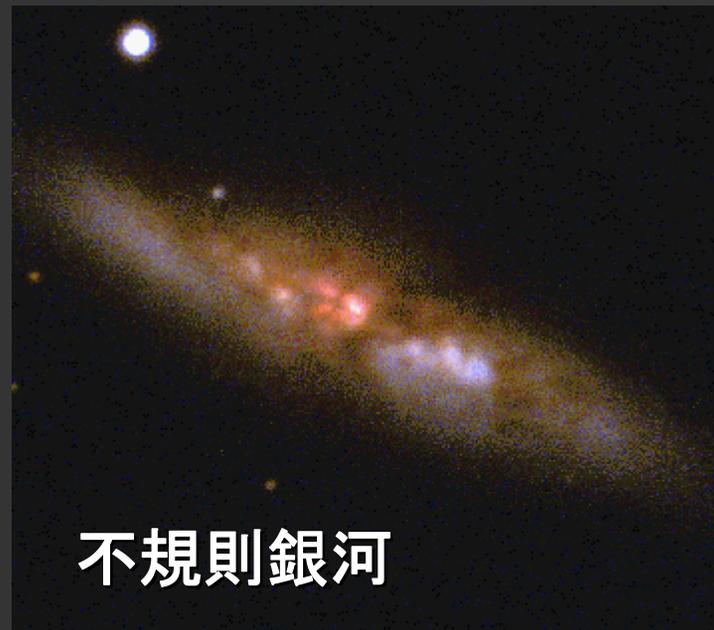
銀河の形態

楕円銀河



AAT 60

不規則銀河



渦巻銀河

銀河の形: ハッブル分類

Sa



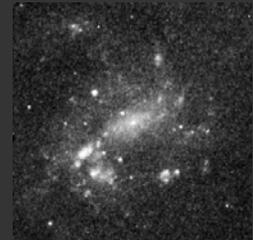
Sb



Sc



Sd



楕円銀河



E0



E6

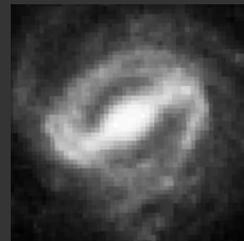


S0

レンズ状銀河

渦巻銀河

棒渦巻銀河



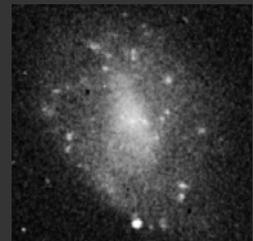
SBa



SBb



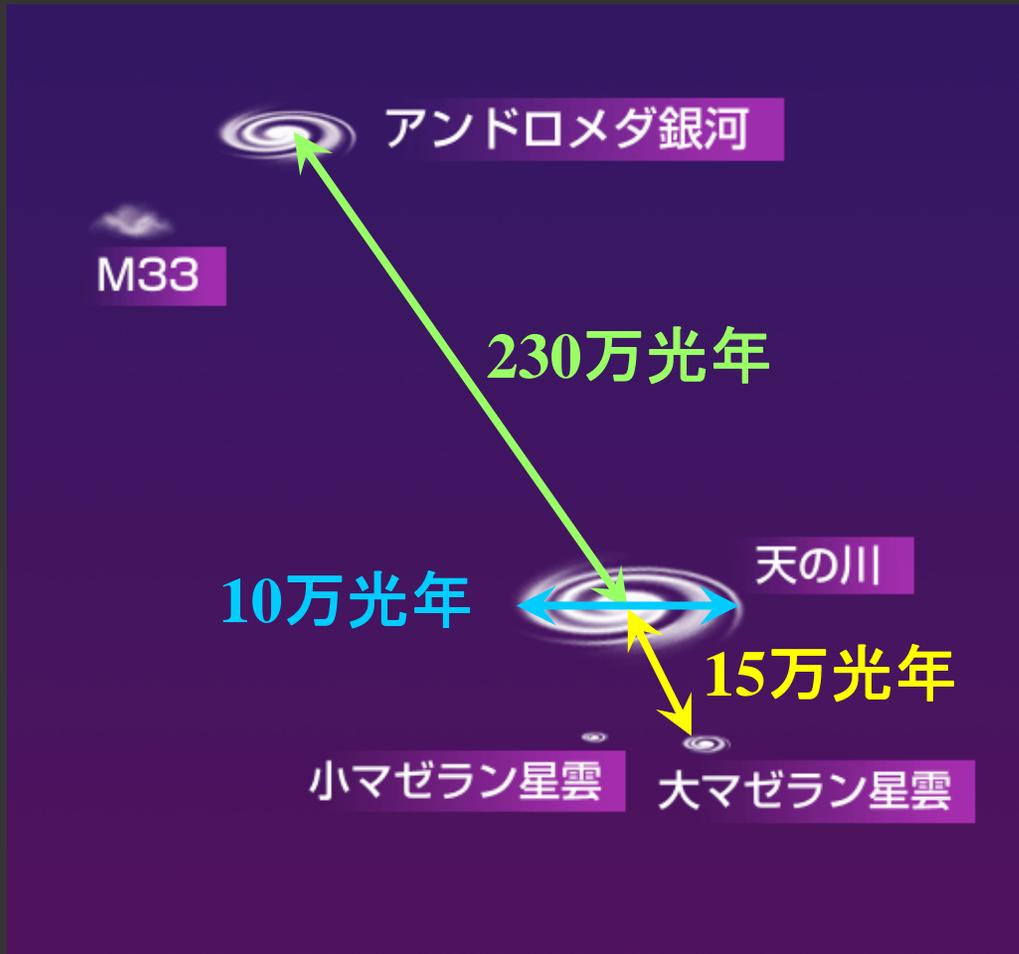
SBc



SBd

<http://skyserver.pha.jhu.edu/jp/>

局所銀河群： 我々のまわりの銀河集団



- 我々の銀河系はアンドロメダ銀河をはじめ30個程度のメンバー銀河とともに、直径600万光年程度の広がりをもつ局所銀河群を形成している

銀河団： 宇宙で最大の自己重力系



- およそ100～1000個の銀河が、直径1000万光年程度の領域に重力的に引き合い、集団化したもの

銀河団エイベル1689
(距離:22億光年)
ハッブル宇宙望遠鏡

<http://hubblesite.org/newscenter/archive/>

すばる望遠鏡の見た夜空のむこう



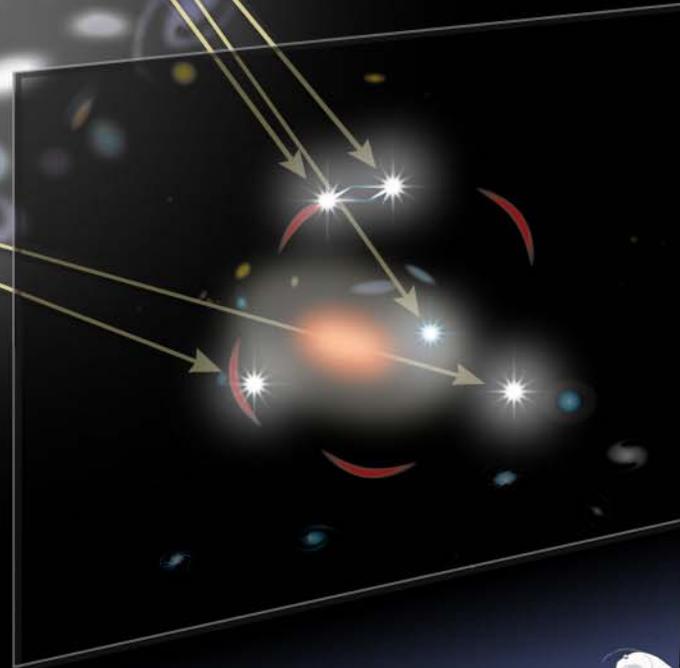
<http://www.naoj.org/Gallery/>

98億光年先にある
クエーサー

銀河団の重力を受けてクエーサーからの光線が曲げられてみかけ上5つの異なる天体として観測される

62億光年先にある
銀河団

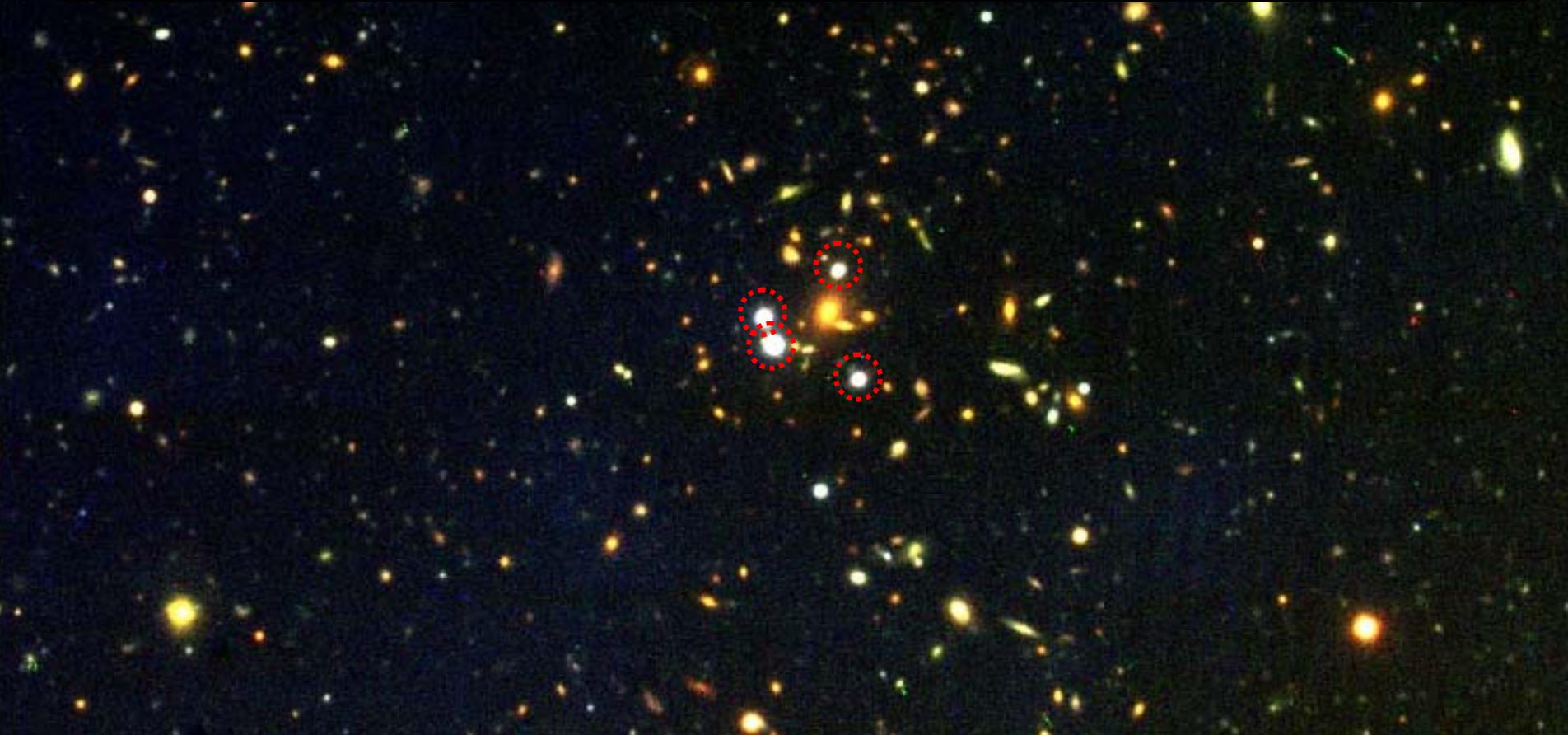
重力レンズ天体
SDSS J1004+4112 :
一般相対論的蜃気楼



**The red crescents represent lensing arcs —
Smeared images of background galaxies.*

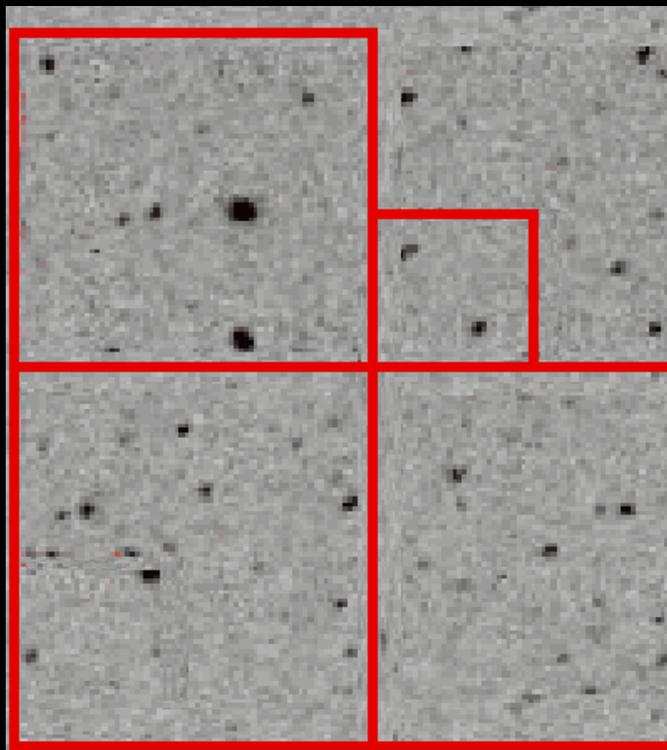
<http://hubblesite.org/newscenter/newsdesk/archive/releases/2006/23/>

100億光年先からの一般相対論的蜃気楼 (SDSS J1004+4112)



2003年に東京大学の稲田直久と大栗真宗がSDSSで発見、すばるで確認
Inada et al. Nature 426(2003)810

宇宙を見る目 の進歩



地上4m望遠鏡+CCD
100×写真乾板



Hubble Deep Field
ST ScI OPO January 15, 1996 R. Williams and the HDF Team (ST ScI) and NASA

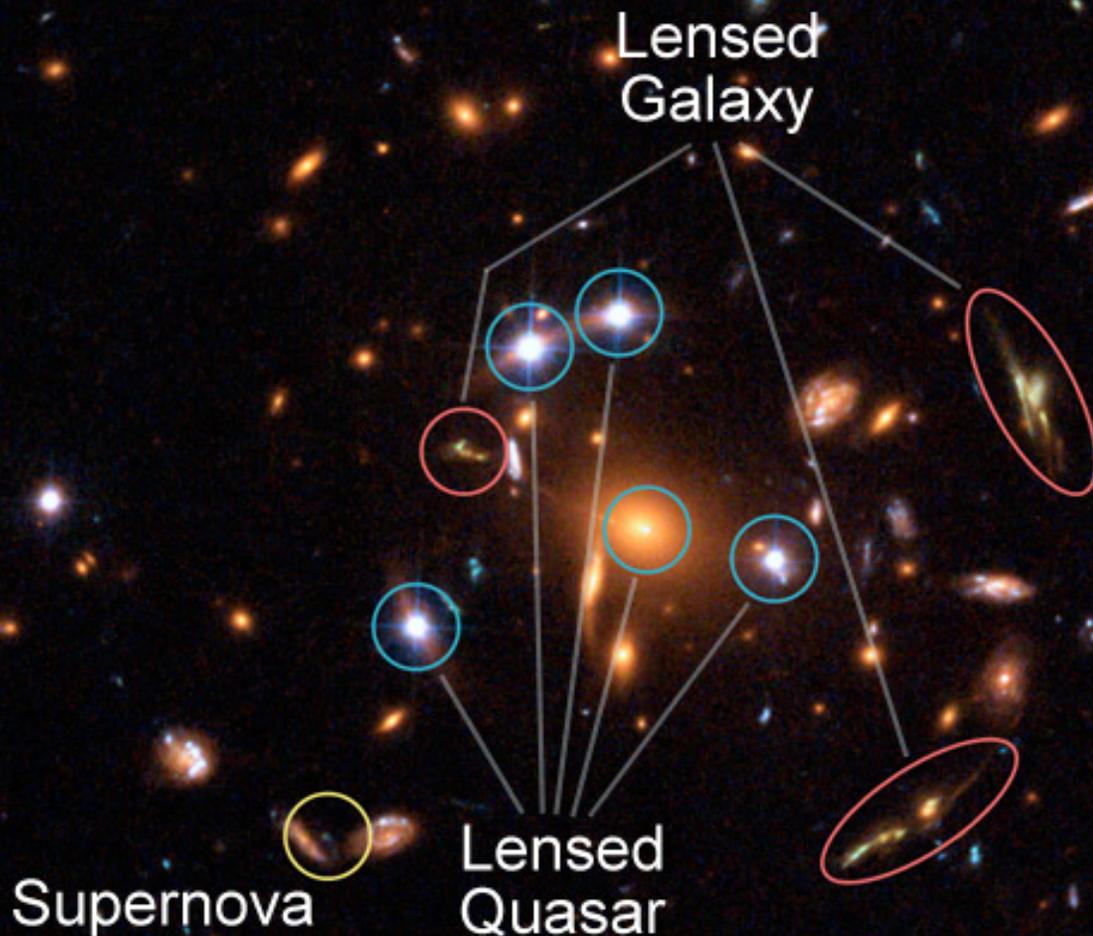
HST WFPC2

ハッブル宇宙望遠鏡+CCD:1000×
地上望遠鏡

Galaxy Cluster SDSS J1004+4112

HST ACS/WFC

ハッブル望遠鏡で見たSDSS 1004+4112



2006年5月23日 ハッブル望遠鏡 写真公開

<http://hubblesite.org/newscenter/newsdesk/archive/releases/2006/23/>

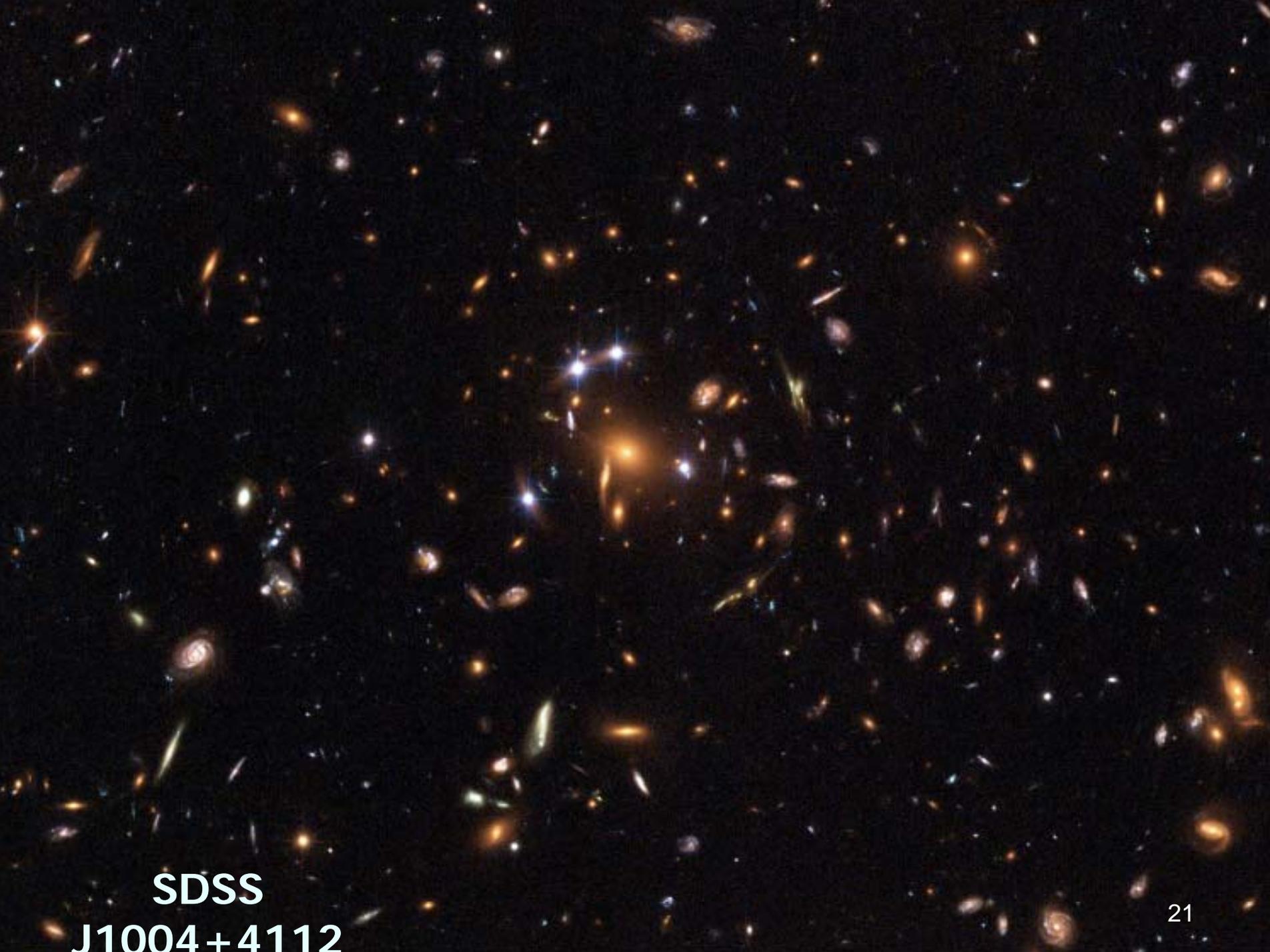
10"

100億年を遡る



2006年5月23日 ハッブル望遠鏡 写真公開

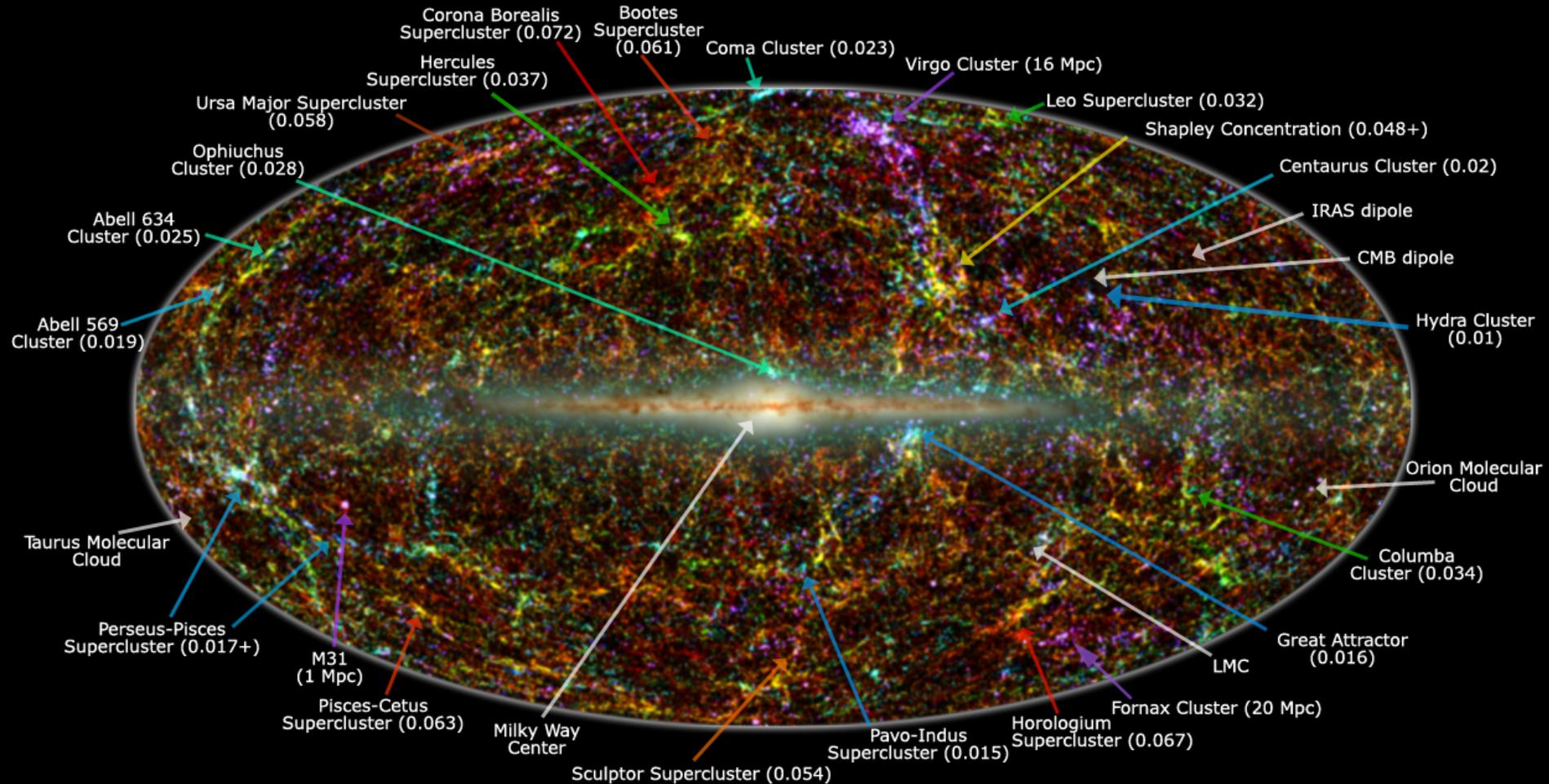
<http://hubblesite.org/newscenter/newsdesk/archive/releases/2006/23/>



SDSS
J1004+4112

近赤外線で見た近傍宇宙

Large Scale Structure in the Local Universe



Legend: image shows 2MASS galaxies color coded by redshift (Jarrett 2004); familiar galaxy clusters/superclusters are labeled (numbers in parenthesis represent redshift).
Graphic created by T. Jarrett (IPAC/Caltech)

近赤外線で見た銀河団分布

2MASS Local Universe

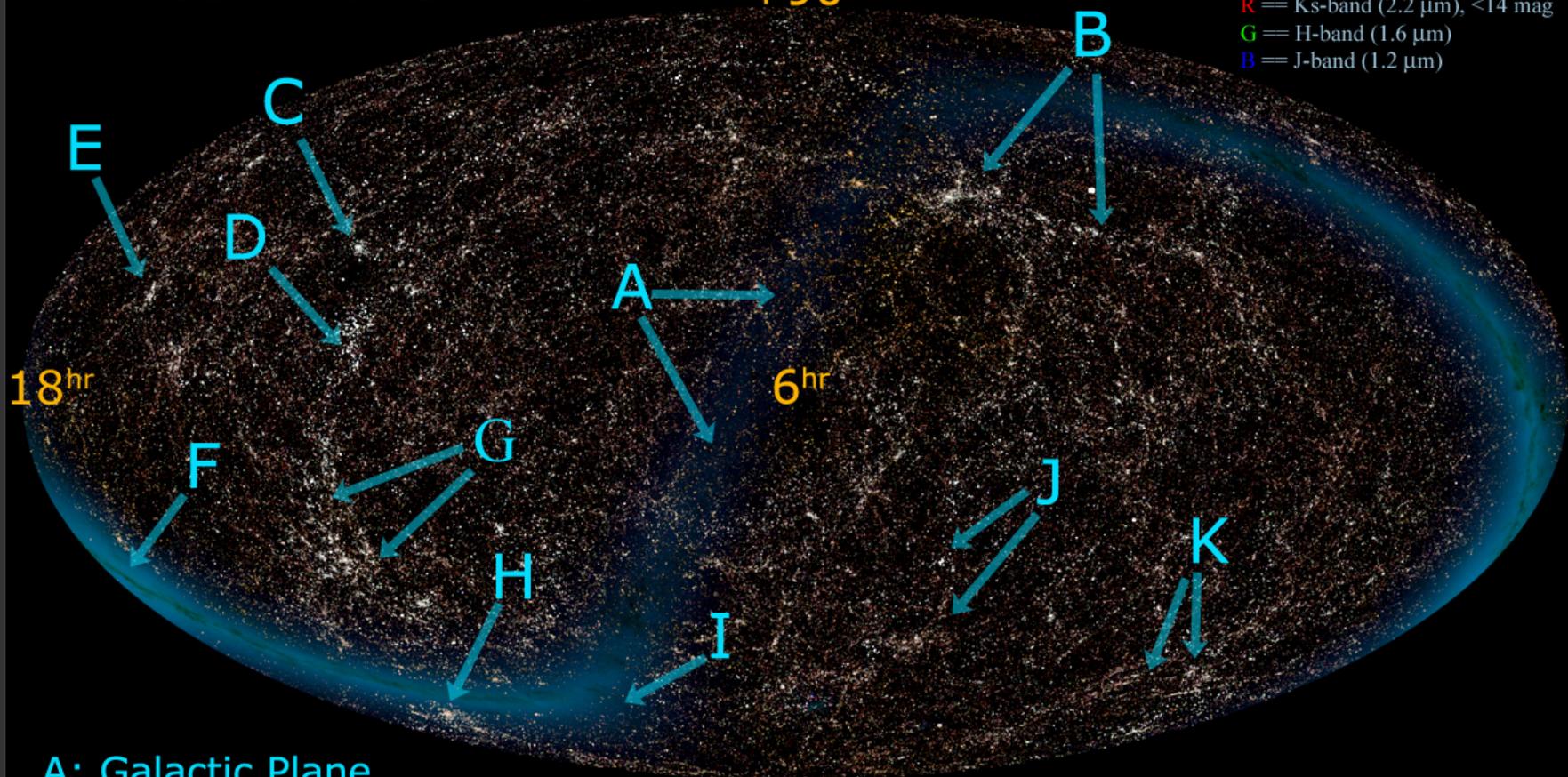
+90°

RGB Channels:

R = Ks-band (2.2 μm), <14 mag

G = H-band (1.6 μm)

B = J-band (1.2 μm)



A: Galactic Plane

B: Perseus-Pisces Supercluster

C: Coma Cluster

D: Virgo Cluster/Local Supercluster

E: Hercules Supercluster

F: Galactic Center

-90°

G: Shapley Concentration/
Hydra-Centaurus Supercluster

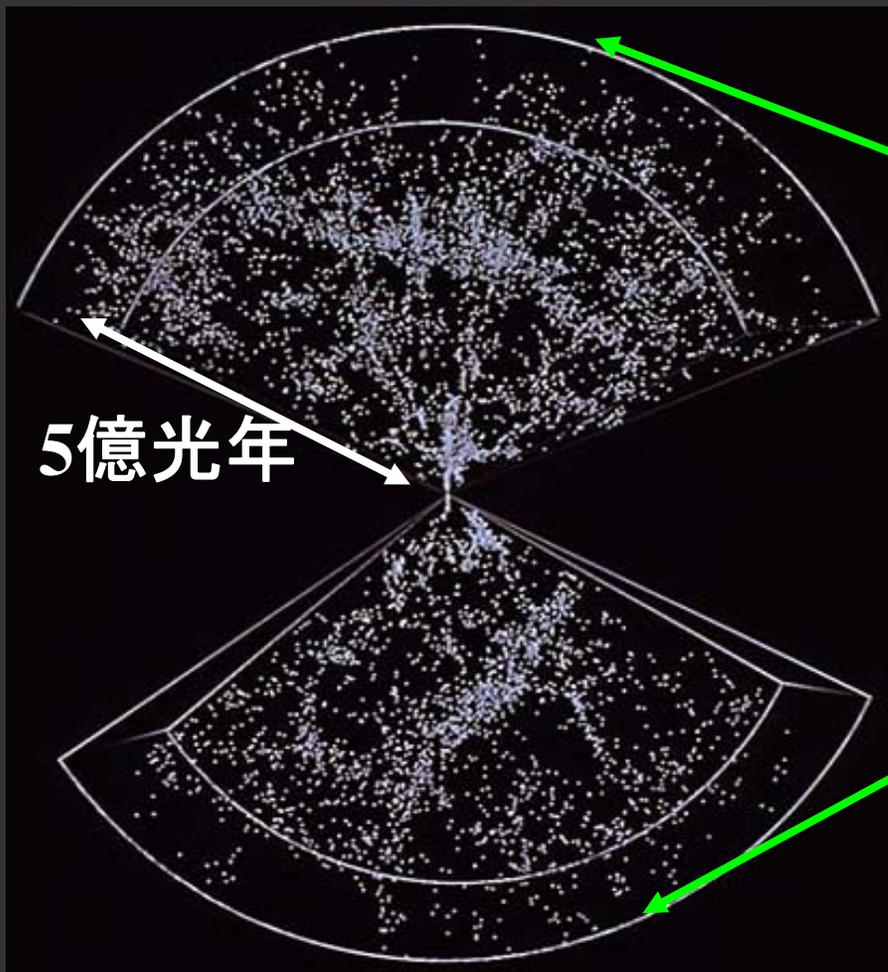
H: "Great Attractor"/Abell 3627

I: "Local Void"

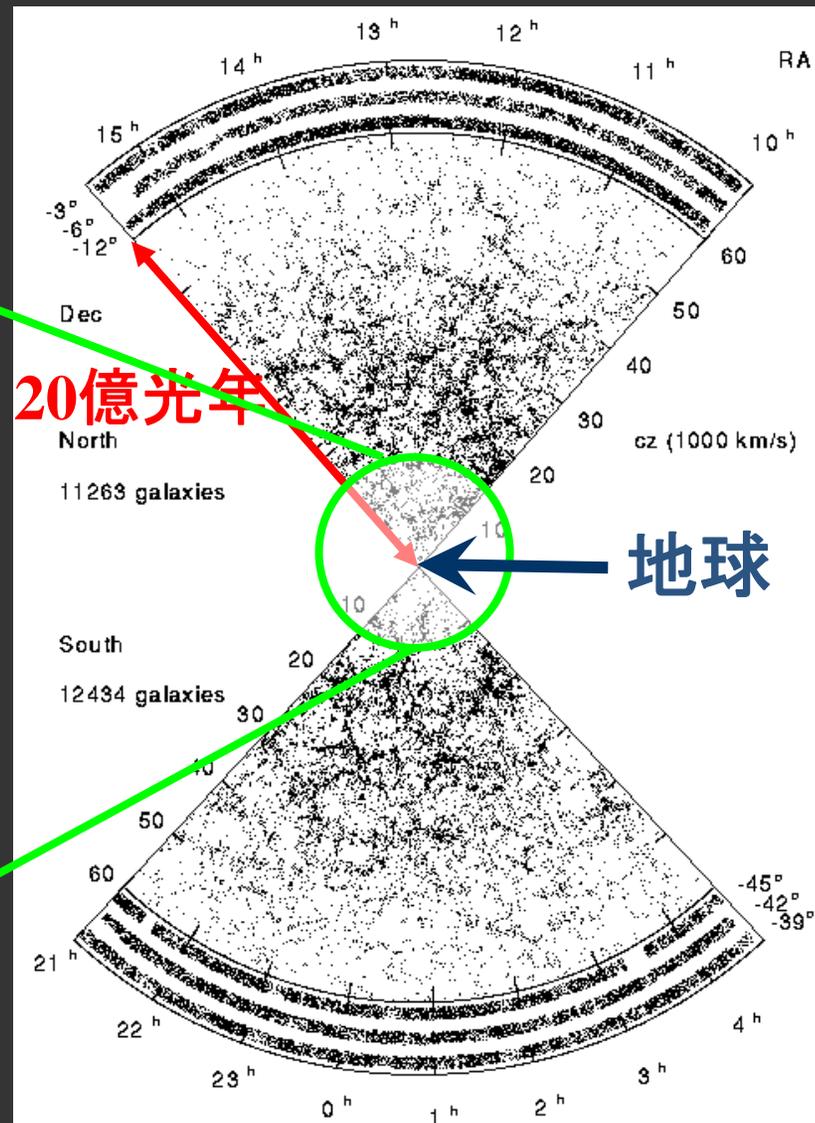
J: Eridanus/Fornax Clusters

K: Pavo-Indus Supercluster

銀河の3次元分布地図

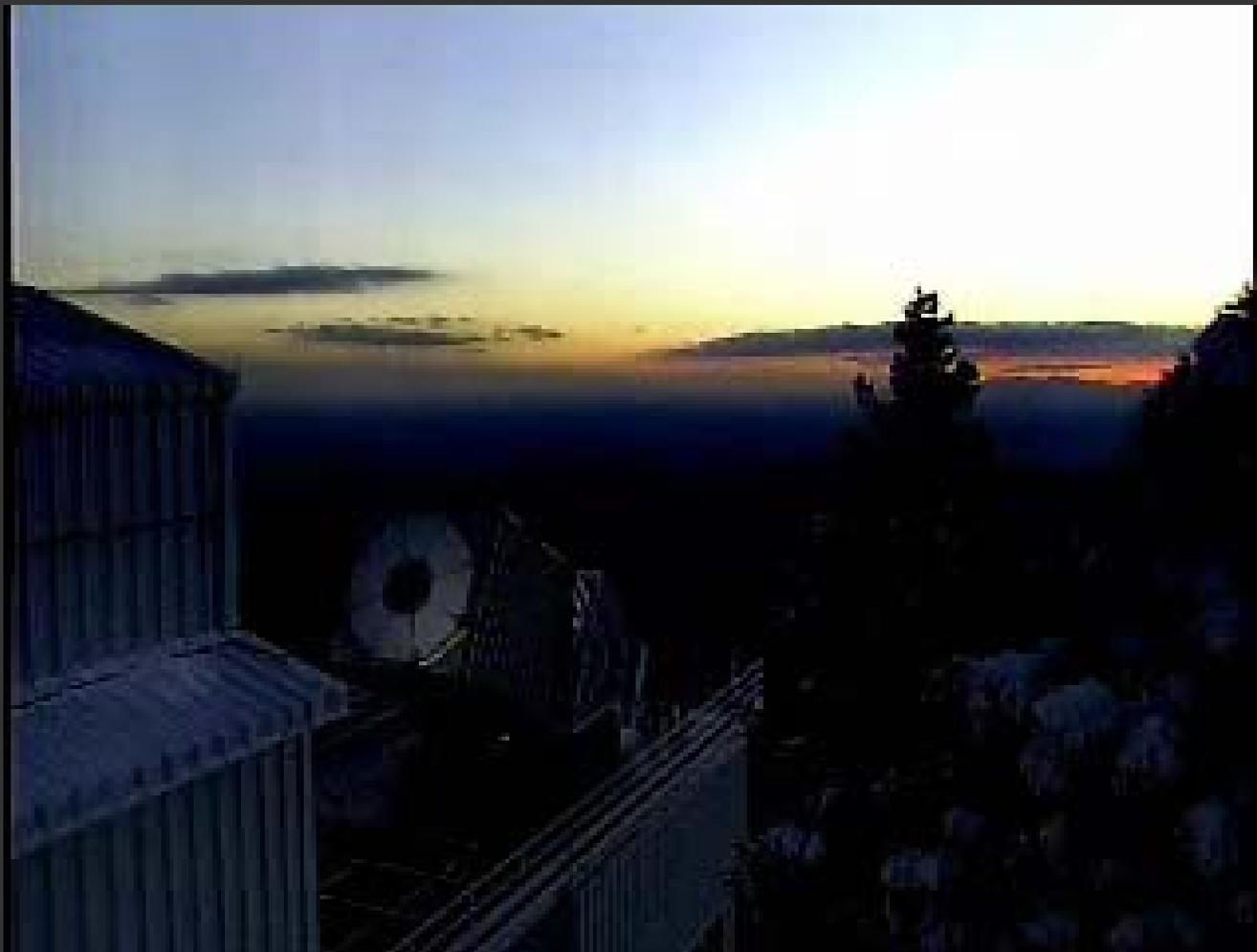


CfA galaxy redshift survey:
Geller, da Costa & Huchra (1992)



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

SDSS (スローンデジタルスカイサーベイ) 米国ニューメキシコ州アパッチポイント天文台

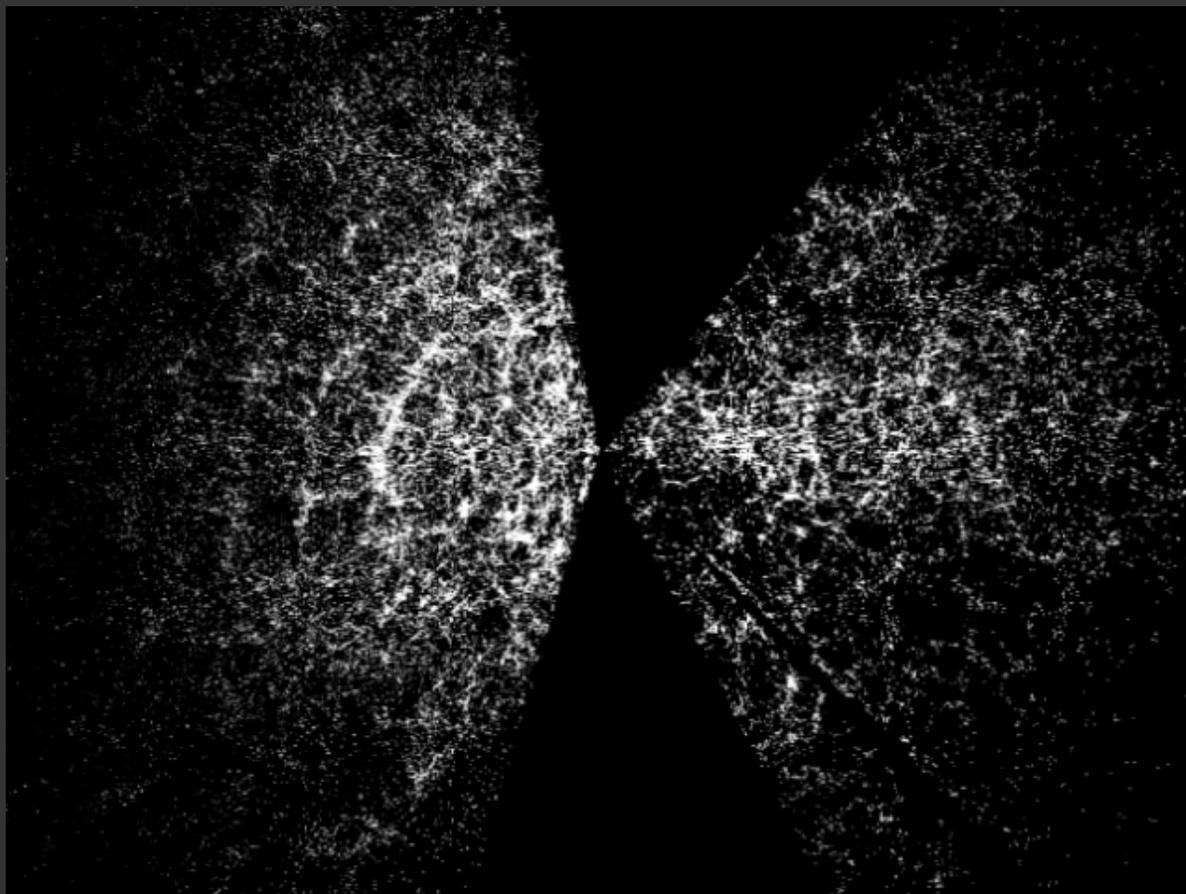


NHK教育TV “サイエンスゼロ” 2003年6月11日放映



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

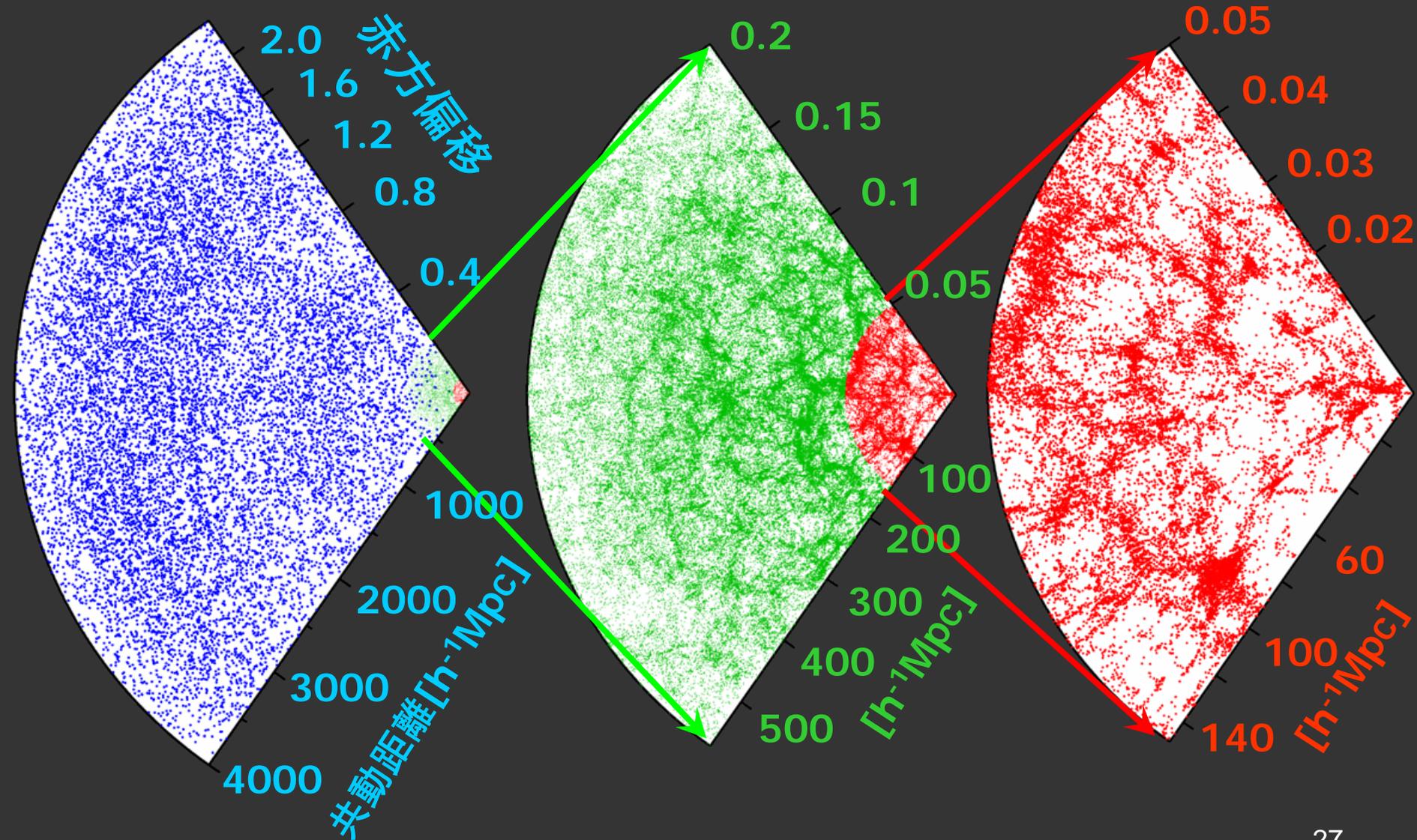


<http://www.sdss.org/dr1/>



NHK教育 サイエンスZERO 2003年6月11日 0:00 放映

SDSSクエーサーと銀河の宇宙地図



ドップラー効果と赤方偏移・後退速度

実験室系でのスペクトル



観測されたスペクトル



波長 \longrightarrow

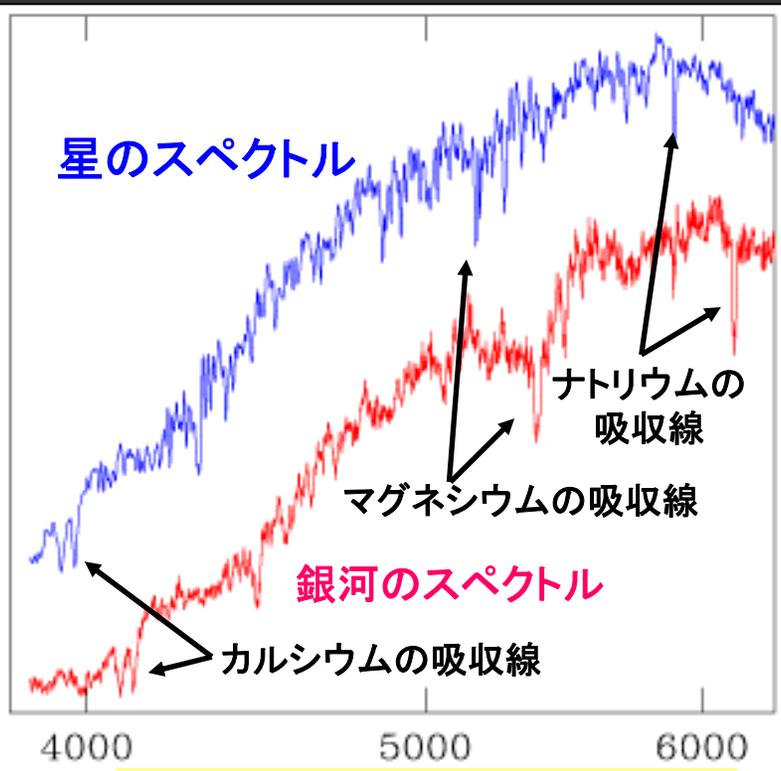
赤方偏移

$$z \equiv \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$$

後退速度

銀河の分光観測と後退速度

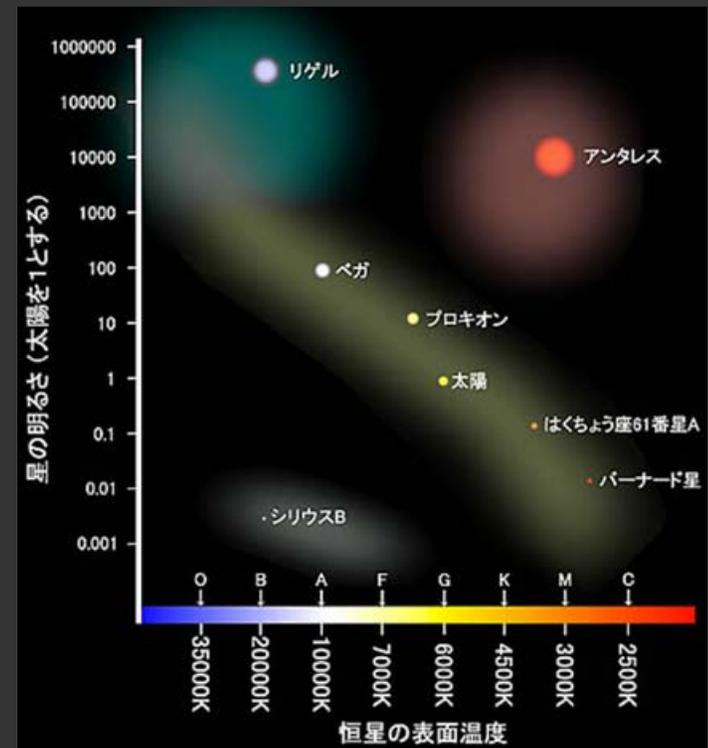
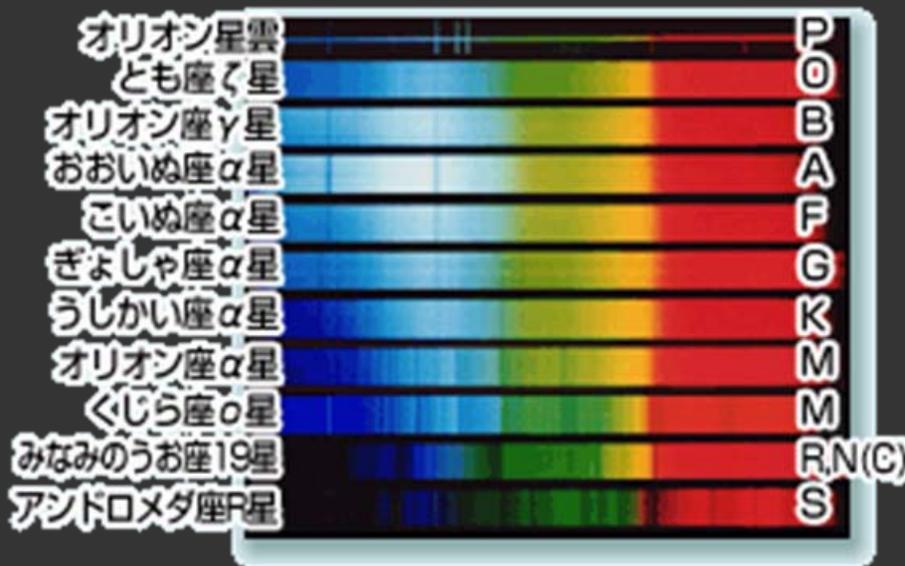
スペクトル強度



	KH ⁻	速度	距離
NGC 221		80 km/s	 300 kpc
おとめ座の中 の銀河		900 km/s	 2 Mpc
うお座の中 の銀河		2100 km/s	 7 Mpc
おおぐま座 の中の銀河		6000 km/s	 25 Mpc
ふたご座の中 の銀河		9000 km/s	 40 Mpc

吸収線と恒星のスペクトル

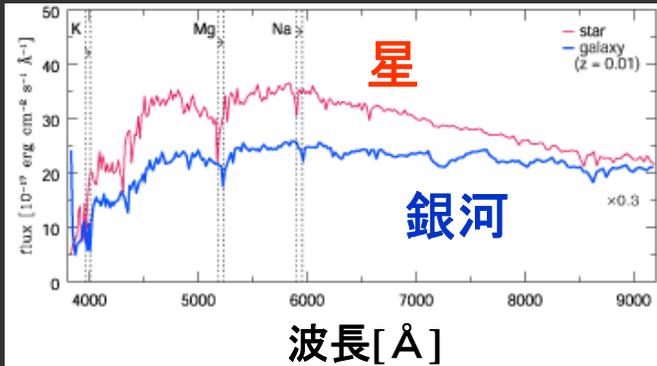
- 水素原子に限らず、さまざまな元素は特徴的な波長の光を吸収・放出する
- 恒星から放射される光(連続光)は、その大気を通り過する途中でさまざまな元素に吸収されて特徴的な吸収線系を示す
 - 星の温度、元素組成の手がかり



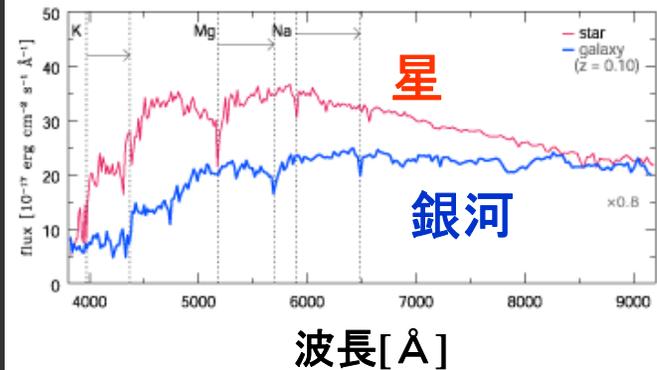
銀河のスペクトルとドップラー効果

スペクトル強度

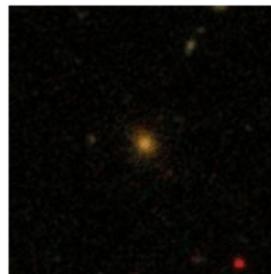
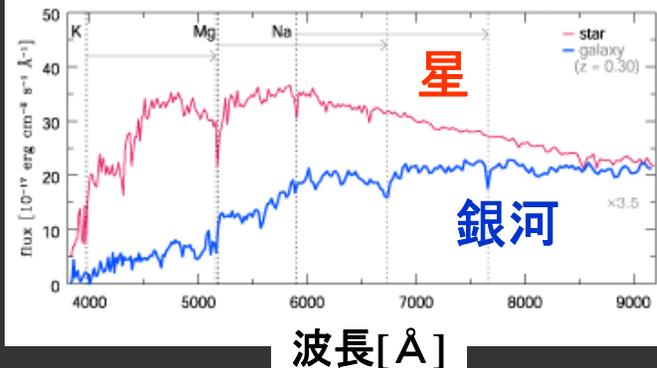
見かけの大きさ



近くの銀河



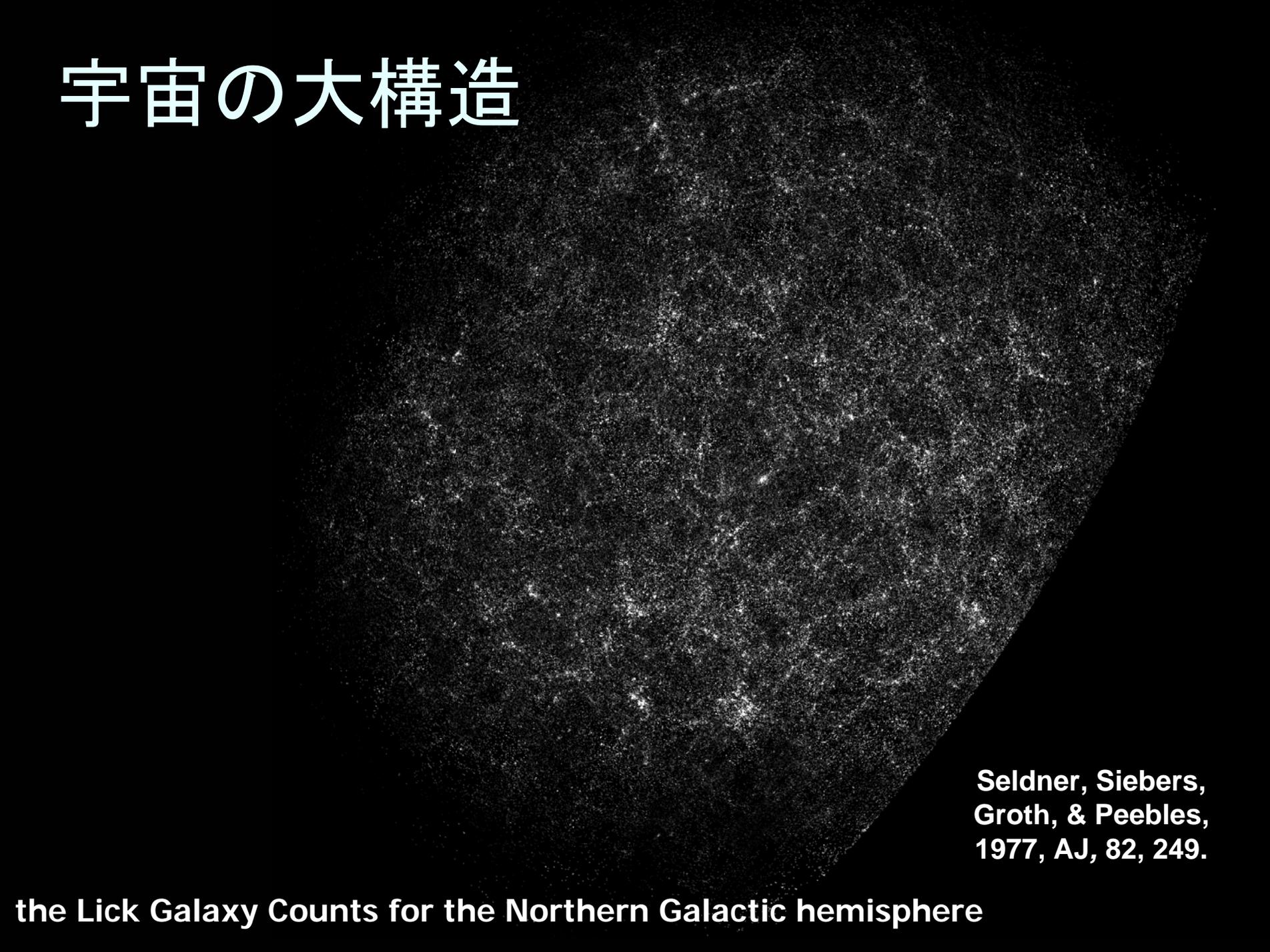
少し遠めの銀河



遠めの銀河

- 銀河のスペクトルは基本的にはその中の星のスペクトルの重ね合わせ
- 宇宙膨張のために遠方の銀河ほど吸収線の波長が長いほうにずれる
- これを用いればその銀河が我々から遠ざかっている速度を推定できる

宇宙の大構造



Seldner, Siebers,
Groth, & Peebles,
1977, AJ, 82, 249.

the Lick Galaxy Counts for the Northern Galactic hemisphere

宇宙に構造はあるか？

■ 構造はない

- 局所的な凸凹はあるかもしれないが、大きなスケールにわたって平均してしまえばそれらのパターンは消えさってしまうはず
- 初期に銀河がある分布にしたがっていたとしても、宇宙が膨張するにつれてそれらは薄められてしまい、結局ほとんどランダムな分布に近づくはず

■ 構造はある

- よく理解されていないにせよ宇宙が誕生したときの情報は、現在の銀河分布に何らかの痕跡を残しているに違いない
- 逆に、初期条件には依存せず、銀河同士の重力的相互作用の結果としてある特徴的な分布に落ち着くのではないか

■ 起源と進化、あるいは、初期条件と物理法則、という2つの側面の相対的な重要度

- 宇宙の構造は初期条件をそのまま記憶しているのか、逆にその後の物理過程で普遍的に決まってしまうのか

東辻・木原(1969): 銀河の2点相関関数

No. 3]

Distribution of Galaxies

227

$$r_0 = 4.7 \times 10^6 \text{ pc in } g(r) = (r_0/r)^{1.8}.$$

Vol. 21, No. 3

Publications of the Astronomical Society of Japan

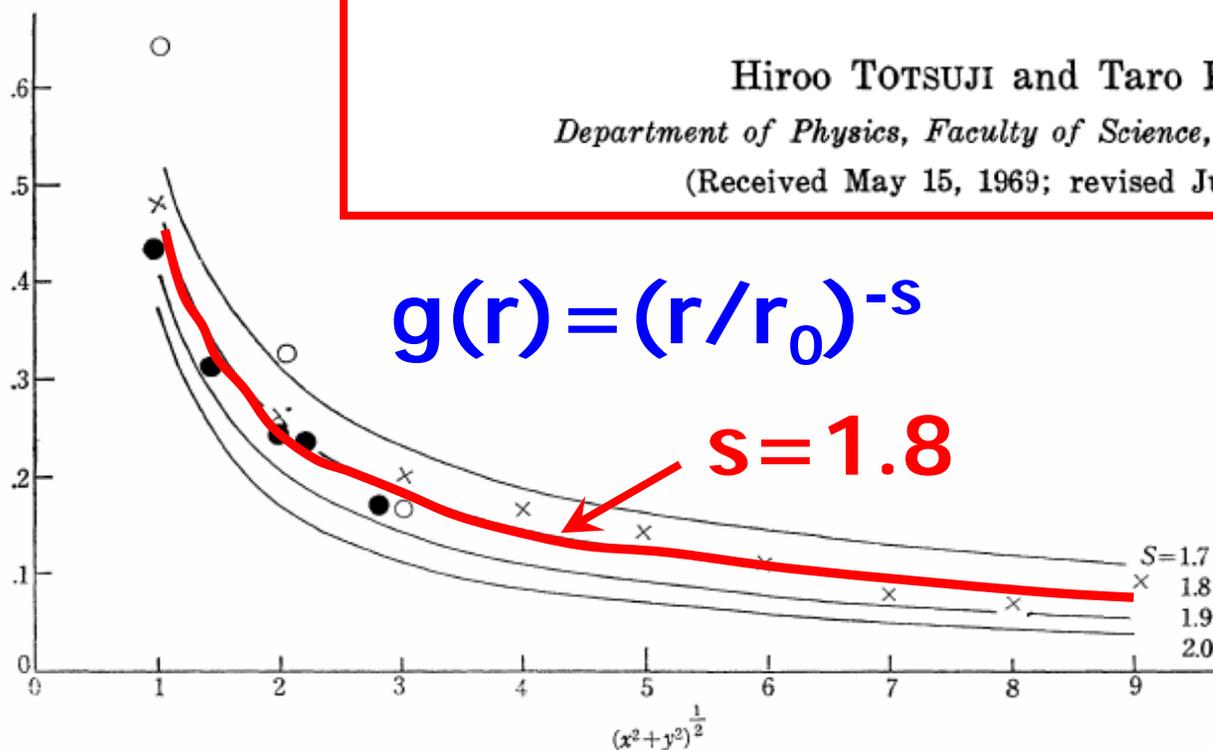
1969

The Correlation Function for the Distribution of Galaxies

Hiroo TOTSUJI and Taro KIHARA

Department of Physics, Faculty of Science, University of Tokyo

(Received May 15, 1969; revised June 26, 1969)



Totsuji & Kihara
PASJ 21 (1969)
221

Groth & Peebles (1977)

No. 2, 1977

CATALOGS OF EXTRAGALACTIC OBJECTS

403

redshift and curvature effects to express w_s in terms of ξ . We evaluate these equations with the standard parameters, $\gamma = 1.77$ and $hD_{\text{eff}}^* = 47.2$ Mpc. The result is

$$\xi(r) = (r_0/r)^{1.77},$$

$$hr_0 = 4.7 \text{ Mpc},$$

$$0.05 \text{ Mpc} \lesssim hr \lesssim 9 \text{ Mpc}.$$

(63)

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, **217**: 385–405, 1977 October 15

© 1977, The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

STATISTICAL ANALYSIS OF CATALOGS OF EXTRAGALACTIC OBJECTS. VII. TWO- AND THREE-POINT CORRELATION FUNCTIONS FOR THE HIGH- RESOLUTION SHANE-WIRTANEN CATALOG OF GALAXIES*

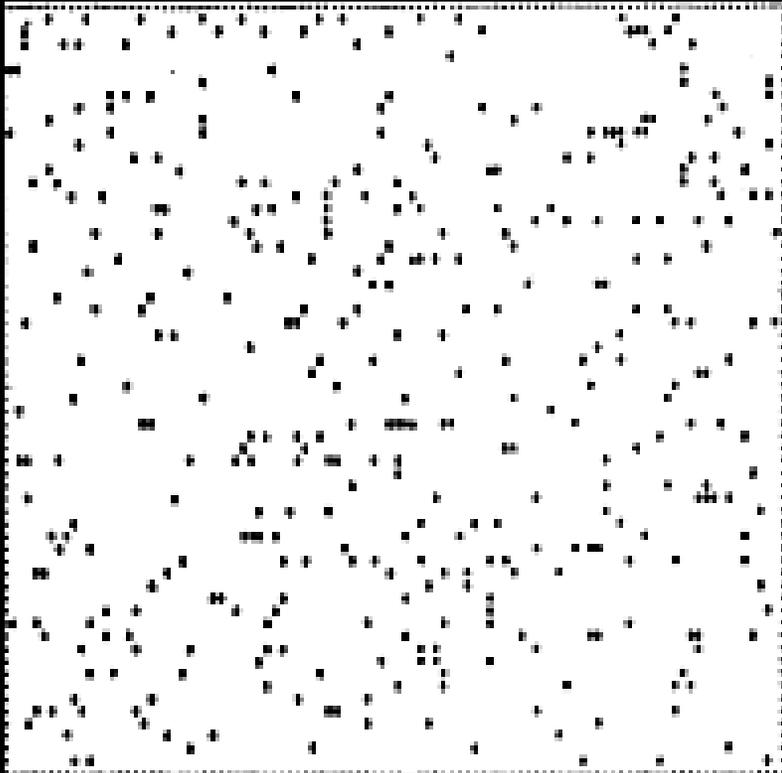
EDWARD J. GROTH AND P. J. E. PEEBLES

Joseph Henry Laboratories, Physics Department, Princeton University

Received 1977 March 4; accepted 1977 April 7

see also, Peebles & Hauser ApJS 28(1974)19; Peebles A&A 32(1974)391

三好・木原(1975): 宇宙論的N体計算



← t/t_i (規格化された宇宙時刻)

- ADS スキャンから作成したGif アニメーション
- 粒子数 = 400
- ラインプリンター用紙に数字の8 (?)を印字して表現した宇宙の大構造の進化

Miyoshi & Kihara
PASJ 27 (1975)
333

Publ. Astron. Soc. Japan 27, 333-346 (1975)

Development of the Correlation of Galaxies in an Expanding Universe

Kazunori MIYOSHI* and Taro KIHARA

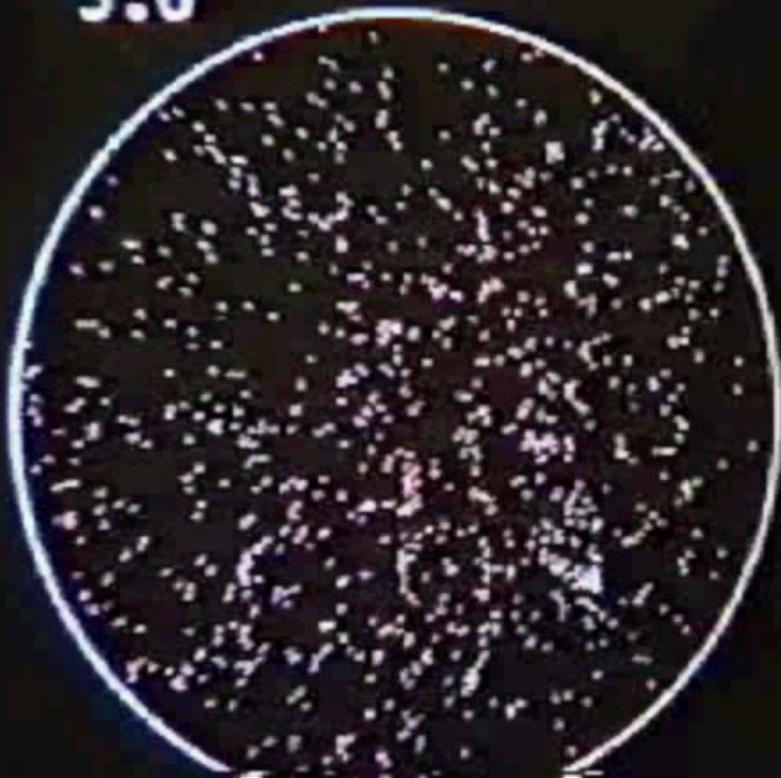
Department of Physics, Faculty of Science, University of Tokyo, Tokyo

(Received 1974 December 4)

宇宙論的N体計算の世界最初の映画

スケールファクター

3.0



- 粒子数=1000
- プリンストン大学
エドターナー氏提供
(16ミリフィルムをデジタル化したもの)
- Aarseth, Turner & Gott, ApJ
228(1979)664