

夜空のむこう

東京大学理学部物理学教室 須藤 靖

2003年
5月21日



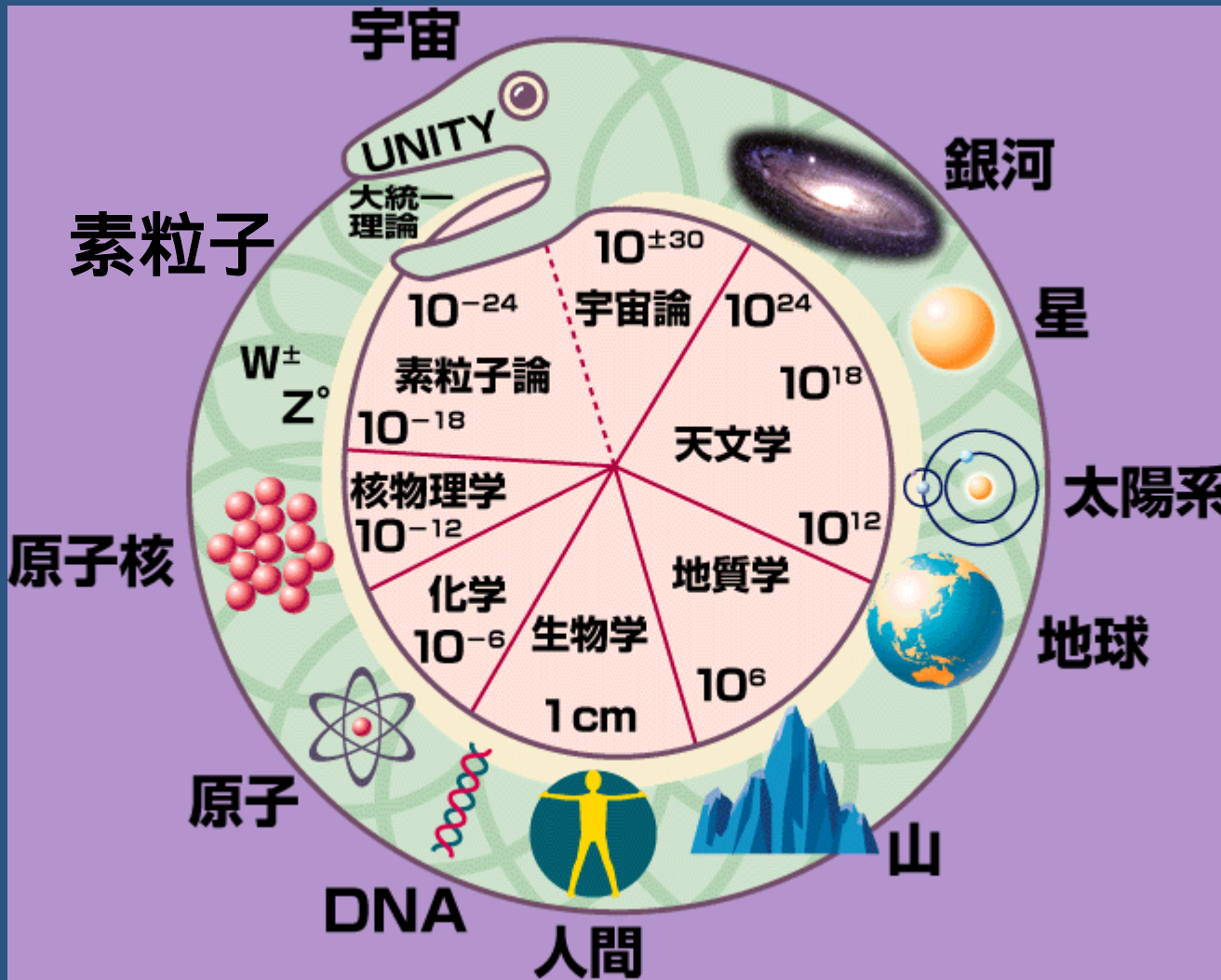
春日部共栄高等学校

http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation_2003j.html

我々の世界は不思議なことだらけ

- 物質は何からできているのか？
- なぜ物質は安定なのか？
- 物質はどうやって誕生したのか？
- 宇宙の果てには何があるのか？
- 生物と無生物はどこが違うのか？
- 地球上の生物はどうやって誕生したのか？
- 最初の生物から人類への進化の道筋は？
- 人はなぜ考えることができるのか？
- 地球以外に生物・知的生命体は存在するか？

自然界の成り立ち



- 宇宙の大きさは約 10^{27} cm, すべての物質を形づくる素粒子の大きさは約 10^{-24} 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
夜空のむこう

遠くには何があるのだろうか

- 宇宙はどうなっているのか：宇宙の階層
 - 月、太陽、太陽系、恒星、星団、銀河系(天の川)、銀河、銀河団、宇宙の大構造
- 遠くの宇宙の研究は考古学
 - 光は有限の速度をもつ。つまり、今見ている遠く天体は、実はずっと昔の姿。
 - 毎日見ている太陽は、実は約8分遅れの姿。天文学者は、100億年以上前の昔の天体からやっと届いた光を、今、観測して研究している。
 - 遠くを見れば宇宙の過去がわかる。
- 我々人類は広い宇宙でひとりぼっちなのか？
- 第二の地球はあるか？

地球から宇宙へ

~ 1万kmから137億光年の旅 ~

地球

←→ 1万3000km

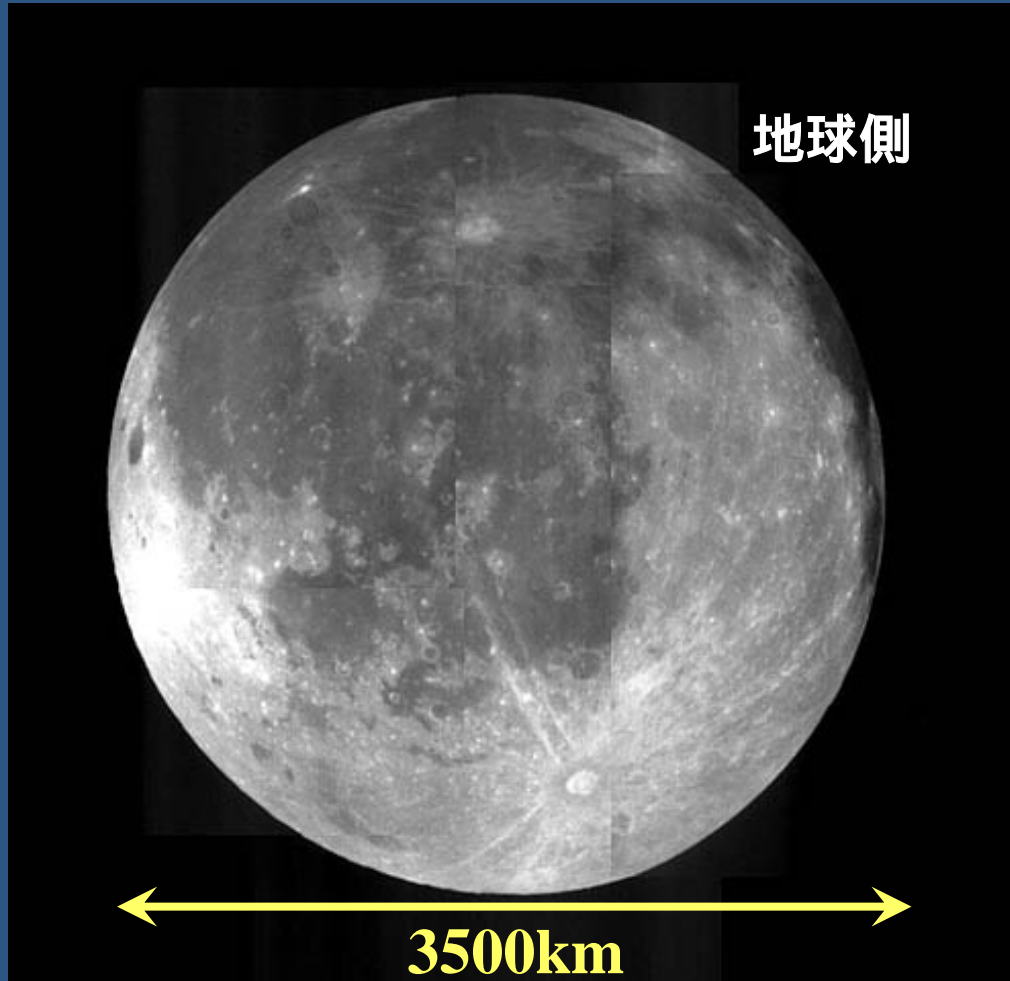


Terra衛星のMODIS検出器のデータ

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

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

月：衛星

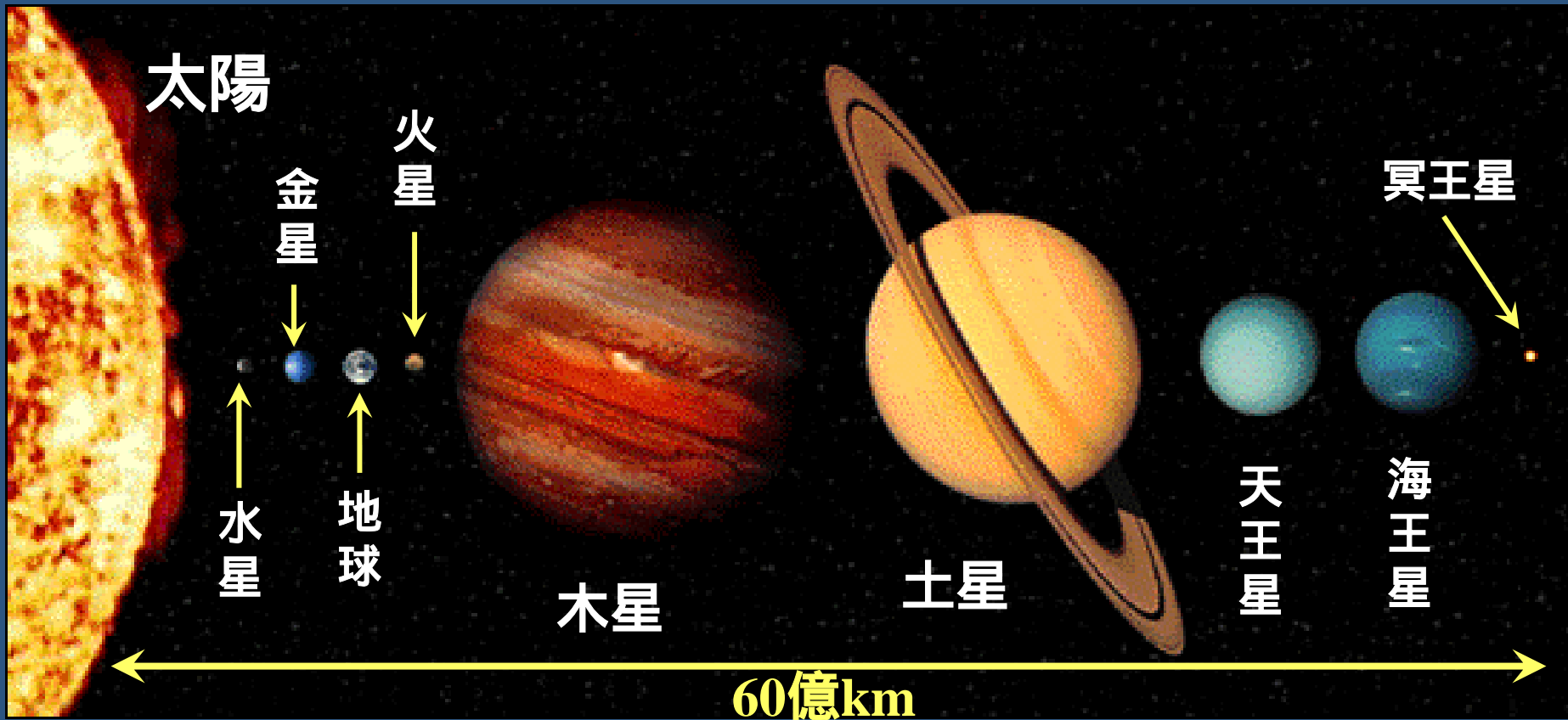


月探査機クレメンタイン 1994年



アポロ16号 1972年

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)

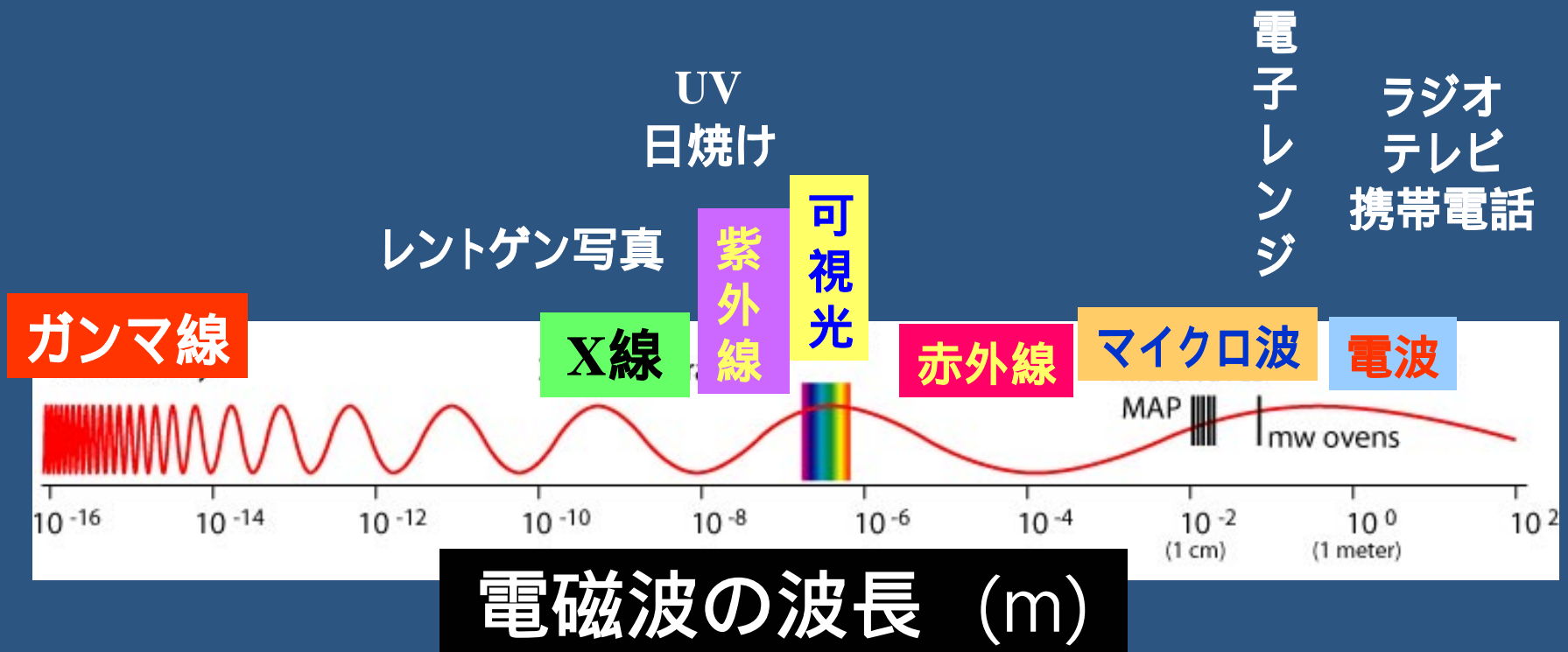
<http://www.solarviews.com/eng/homepage.htm> © Calvin J. Hamilton

曜日の名前と物質・宇宙の起源

- ものは何からできているのか？
 - 分子、原子、原子核、素粒子
- 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
- 結果的に、中国の人々は、宇宙(惑星)に物質の起源を対応付けていた
 - 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
- これに、太陽と月を加えて、現在の曜日の名前となっている。
 - つまり、気がつかないうちに、宇宙の起源・物質の起源は、曜日の名前という形で、日本人の日常に入り込んでいる

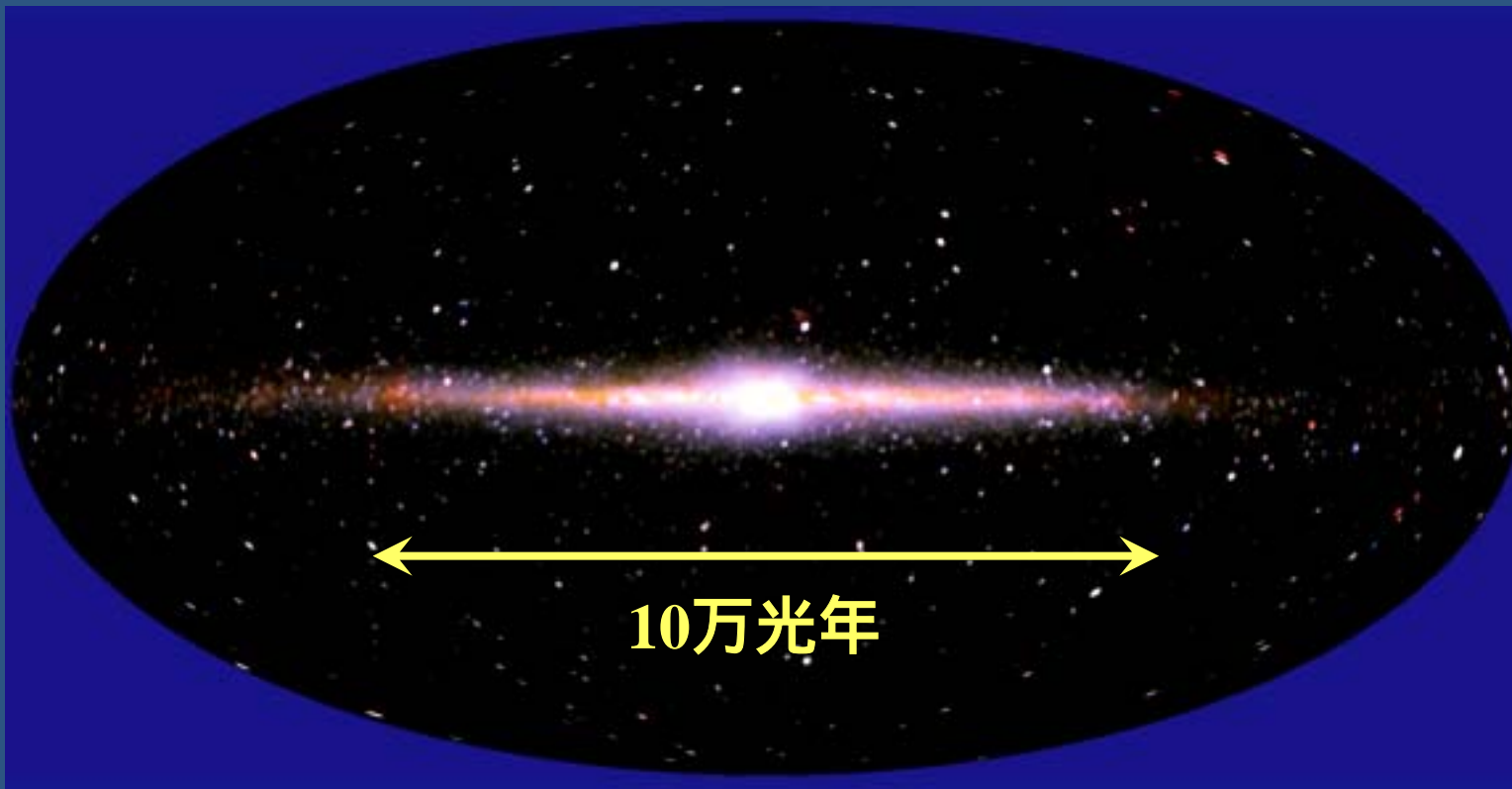
電磁波の名前と波長

通常、「光」と呼ばれているものは、電磁波と呼ばれる波の一種である。これらは波長に応じて異なる名前をもつ。現代の天文学ではこれらすべての波長を駆使した観測を行っている。

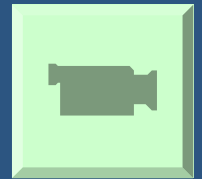


我々の銀河系：天の川

- 我々の銀河系(天の川)は、星とガスからなる渦巻き銀河。しかし実は、その質量の9割以上は光では観測できない(正体不明の)暗黒物質である

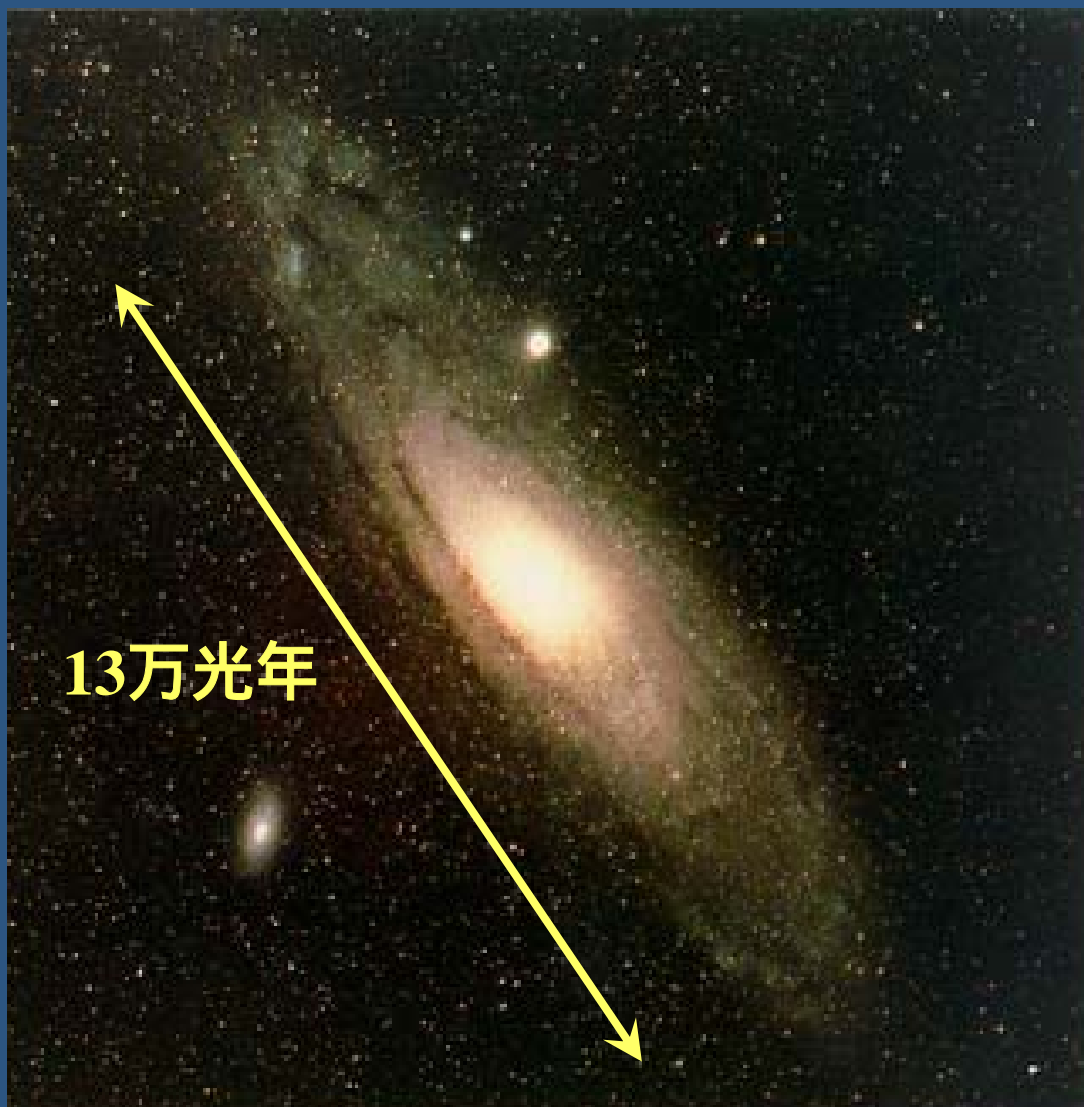


異なる波長
(可視光、
赤外線、
サブミリ波、
電波)で見
た天の川



COBE衛星による近赤外線画像 <http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe/>

アンドロメダ銀河 (M31) : 隣の銀河



局所銀河群： 我々のまわりの銀河集団



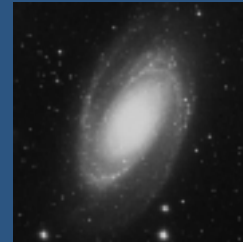
- 我々の銀河系はアンドロメダ銀河をはじめ30個程度のメンバー銀河とともに、直径600万光年程度の広がりをもつ局所銀河群を形成している

銀河の形：ハッブル分類

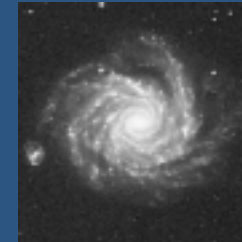
Sa



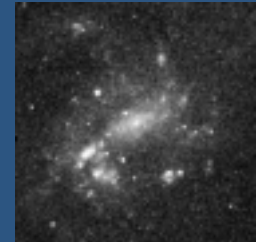
Sb



Sc



Sd



楕円銀河



E0



E6

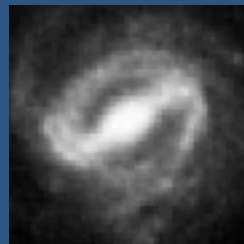


S0

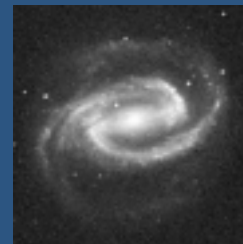
レンズ状銀河

渦巻銀河

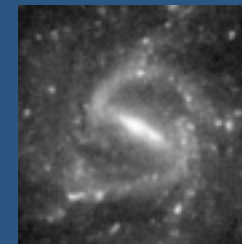
棒渦巻銀河



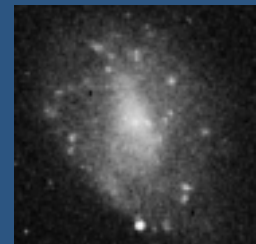
SBa



SBb

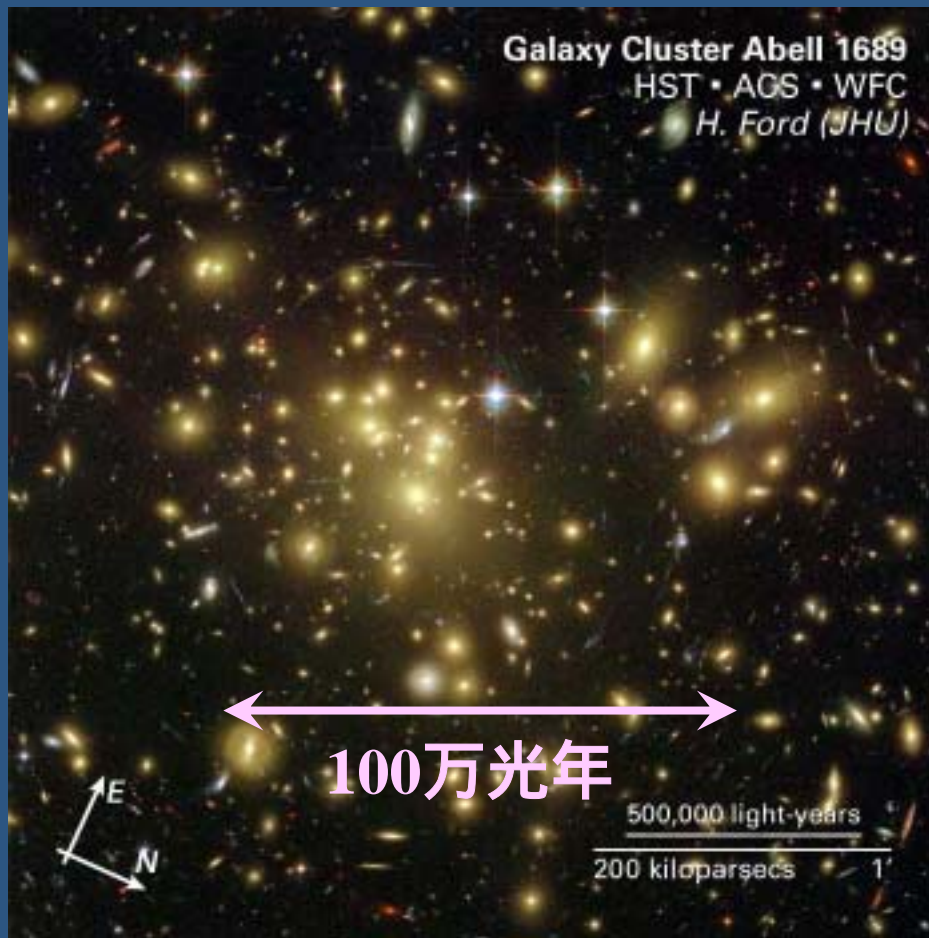


SBc



SBd

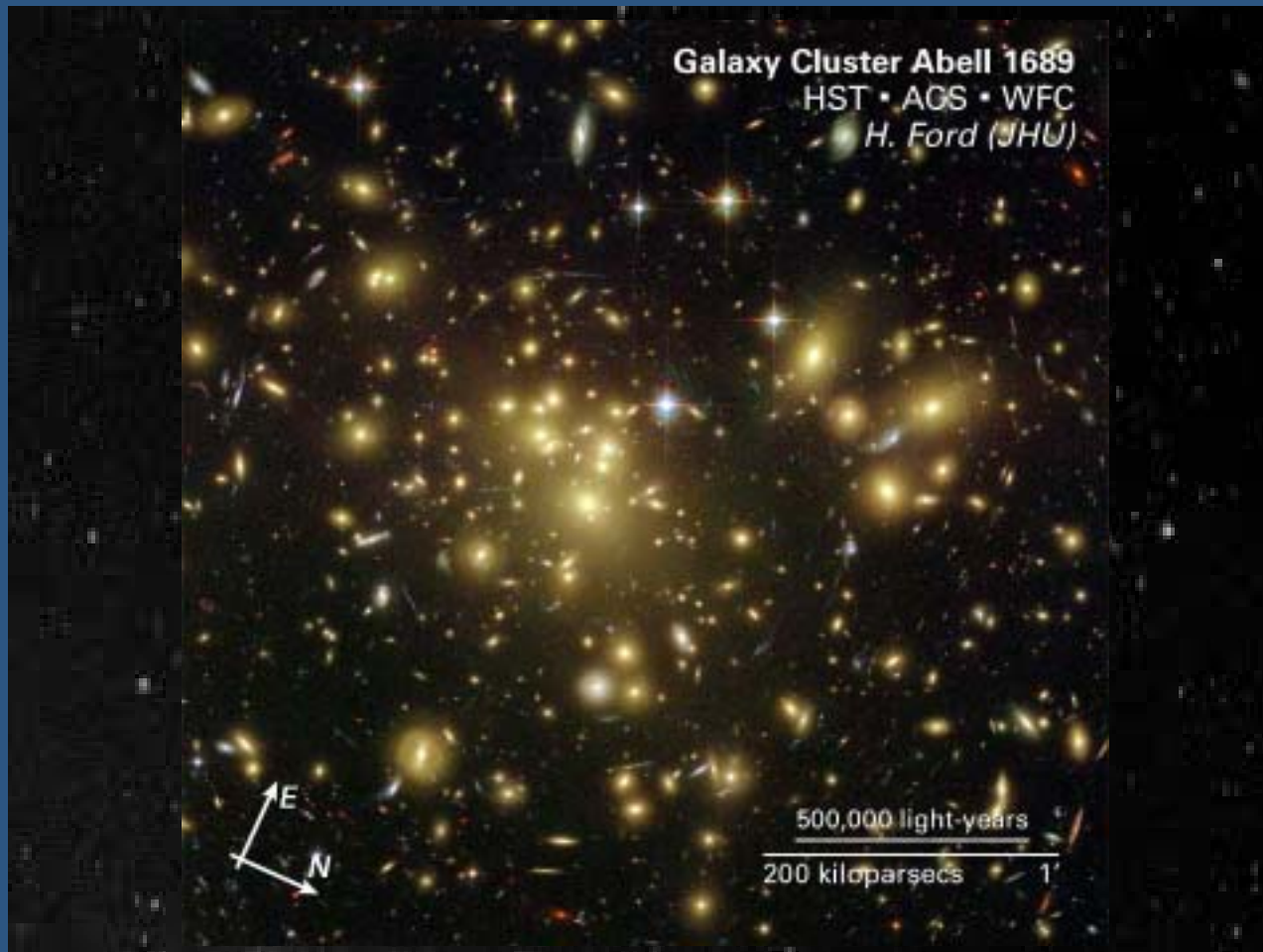
銀河団： 宇宙で最大の自己重力系



- 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

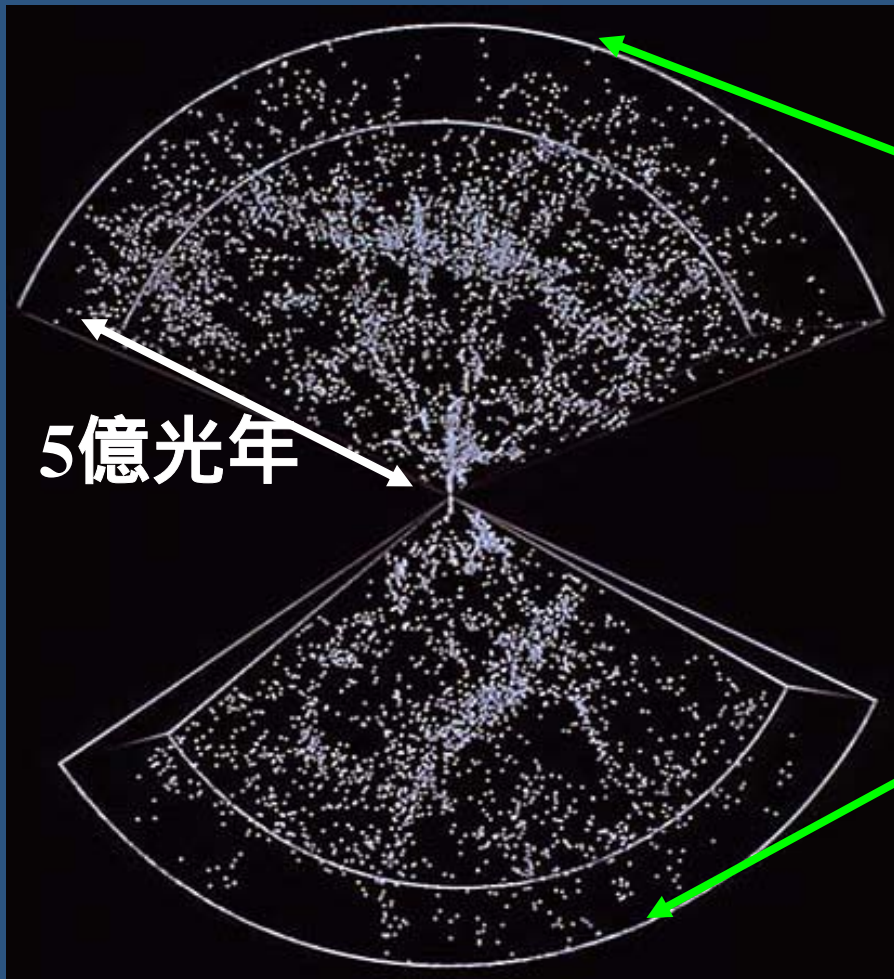
22億年前の銀河団を見る



銀河団エイベル1689 ハッブル宇宙望遠鏡

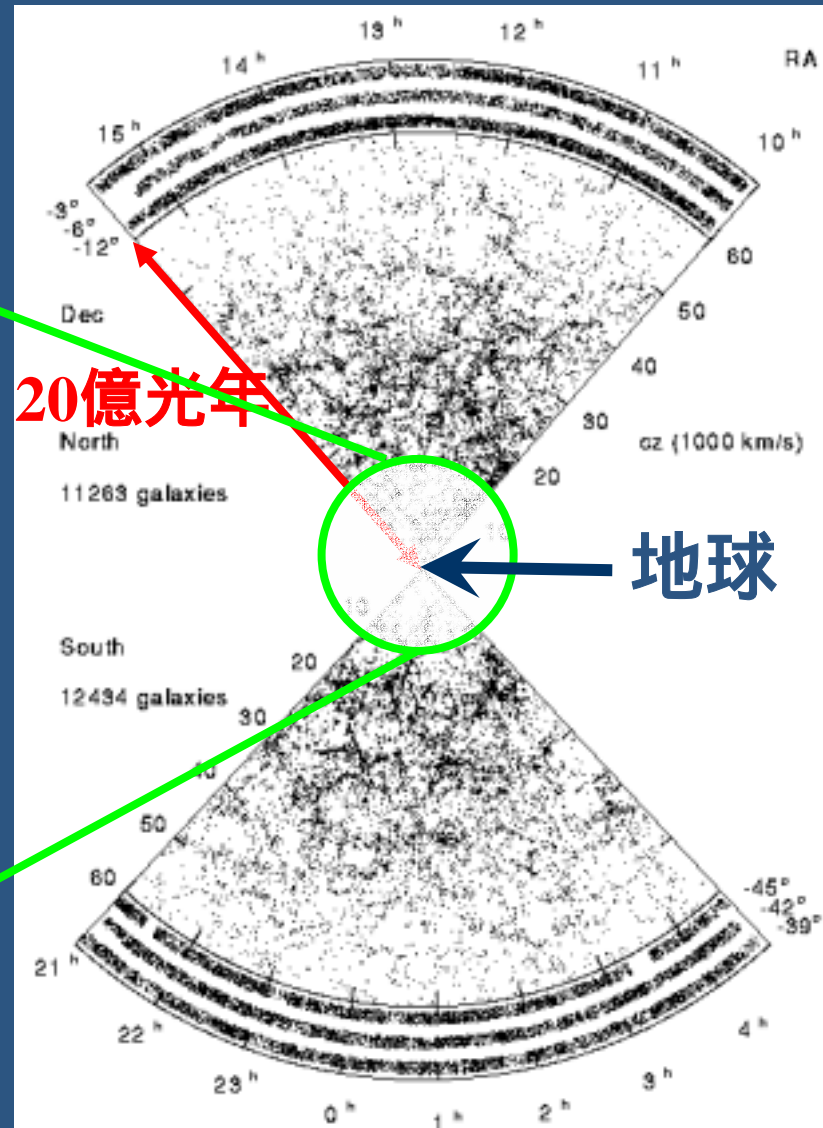
<http://hubblesite.org/newscenter/archive/>

銀河の3次元分布地図



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

夜空のむこう



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

まとめ：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



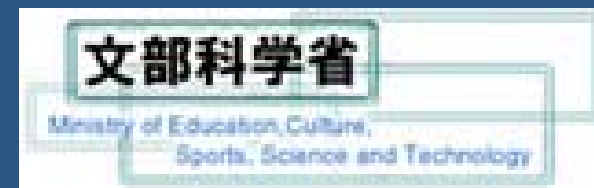
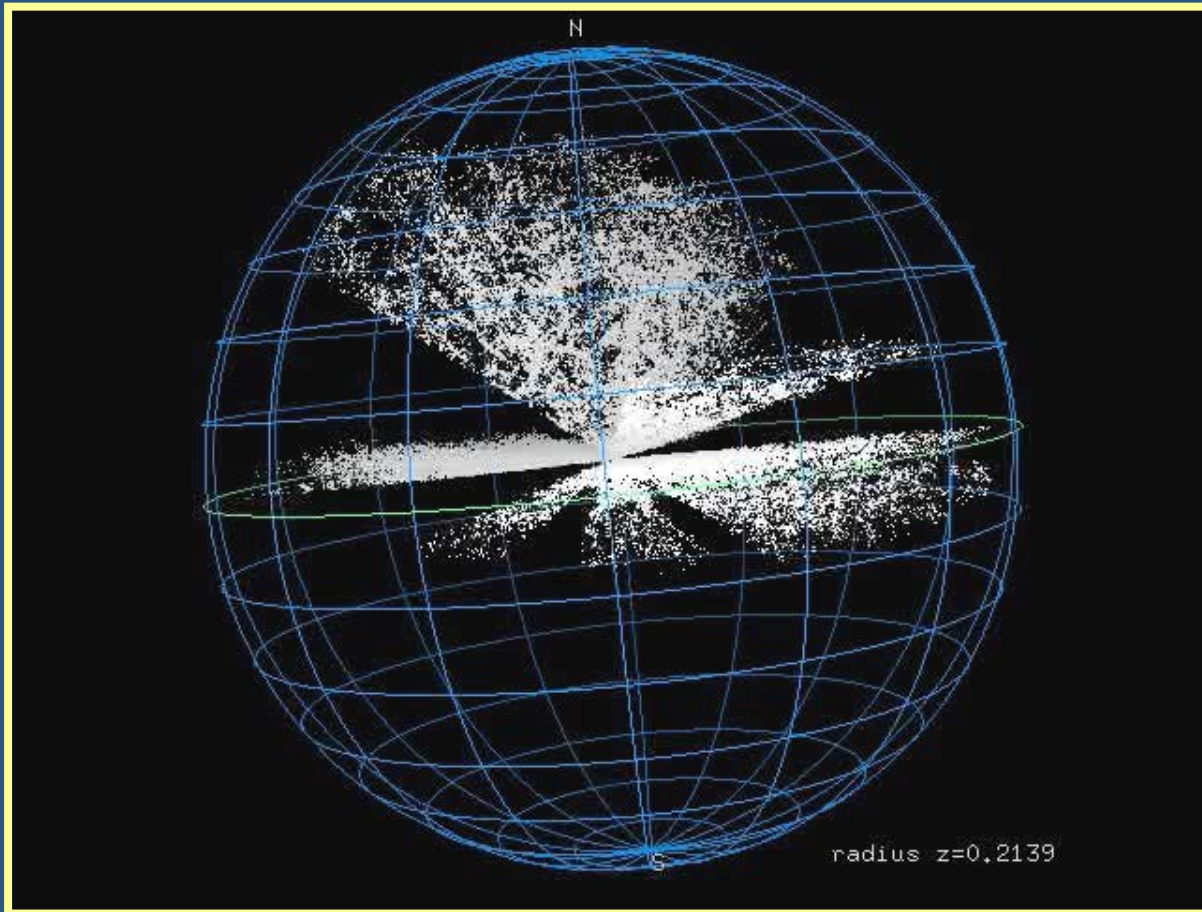
星団



典型的な大きさ [パーセク (~3.1光年)]



より広い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



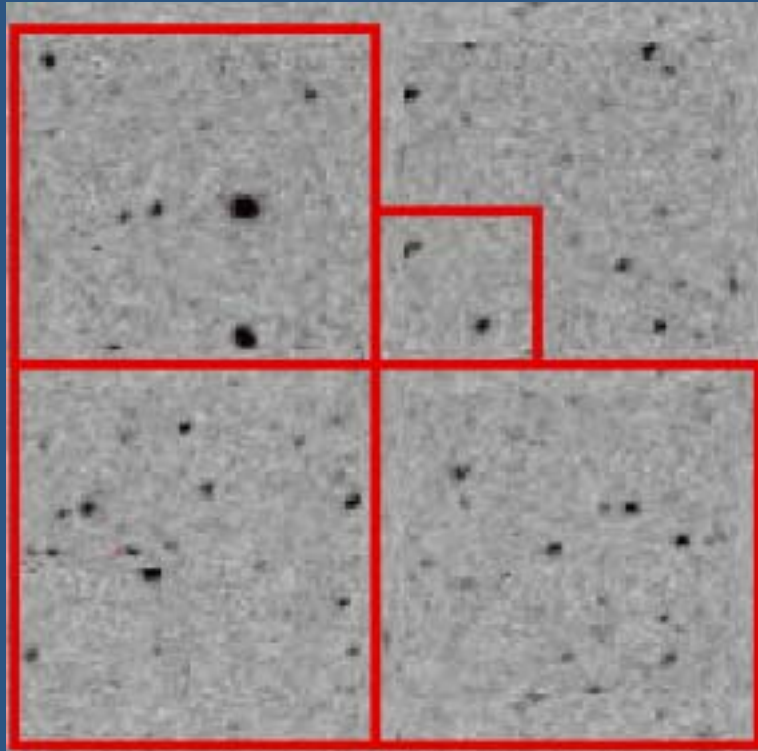
夜空のむこう

1億個の銀河を観測
100万個の銀河の地図作り

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

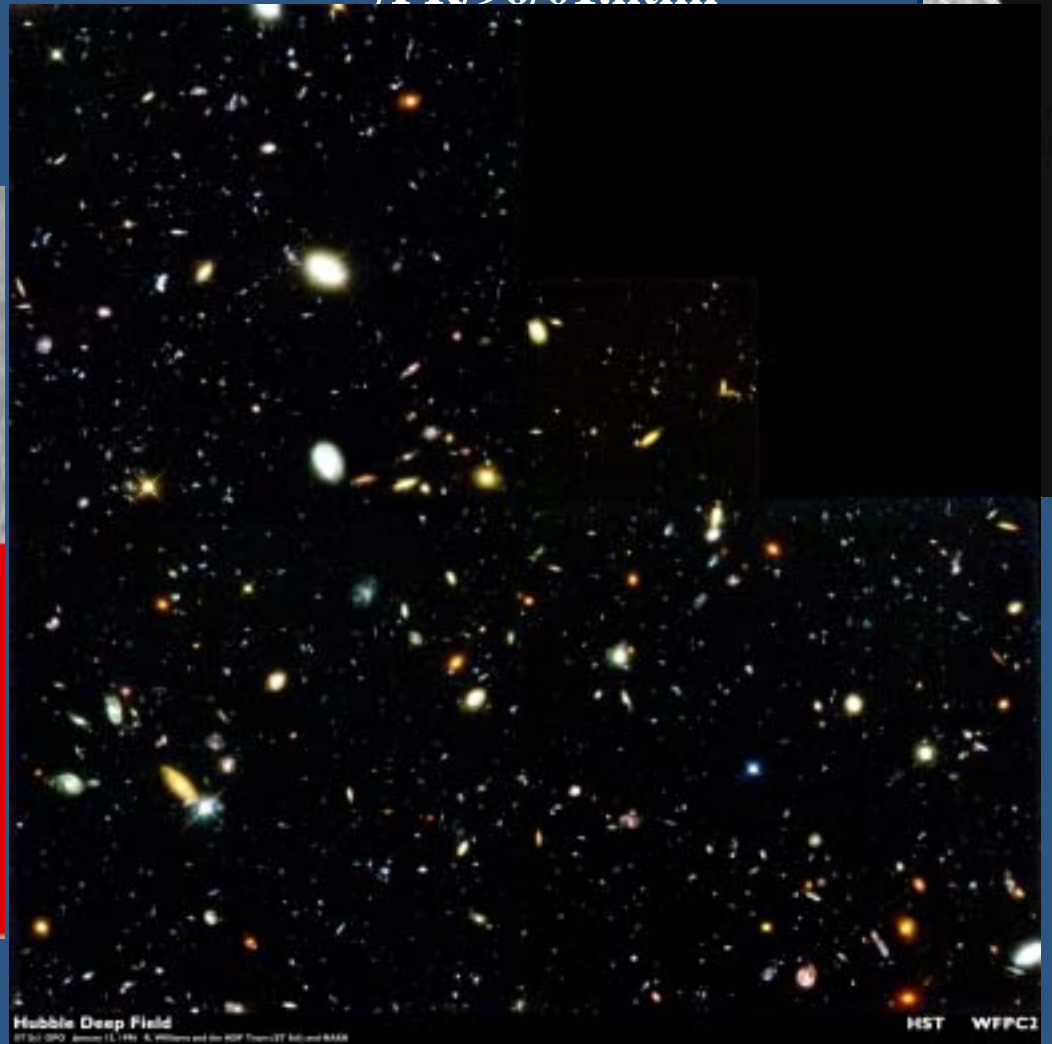
より遠くの宇宙へ： ハッブル深宇宙

<http://osite.stsci.edu/pubinfo/PR/96/01.html>



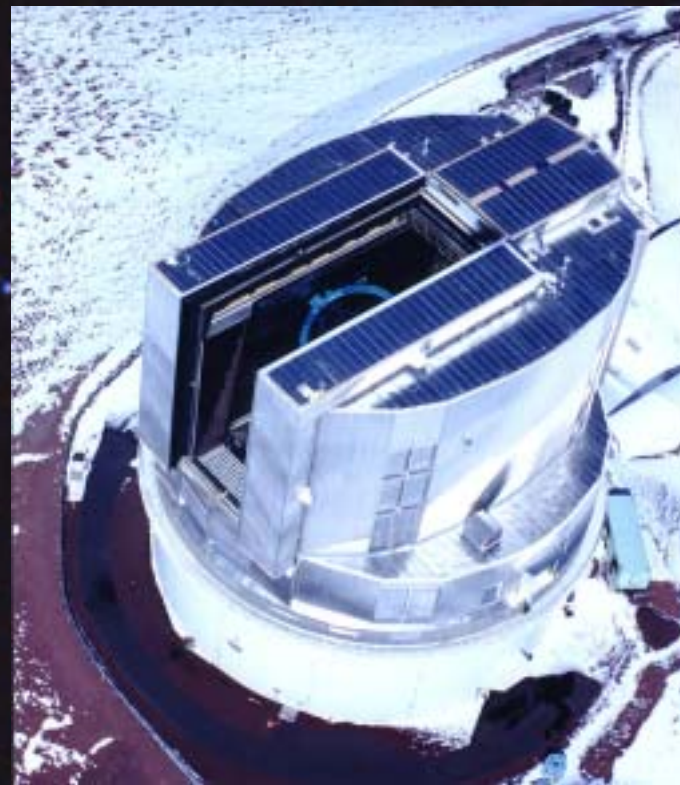
地上4m望遠鏡 + CCD：
100× 写真乾板

夜空のむこう



HST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/>

かつて人類が見たもっとも遠くの宇宙の映像の一つ
～ 宇宙の果て～

さらに遠く (=過去) を見たい

- 現在は、宇宙が誕生してから137億年
- 宇宙が誕生してから8億年後(つまり、今から129億年前!)の姿はすでに観測可能な時代
- しかし、さらにその昔はまだ天体が誕生していないので、可視光では見たくても見ることができない

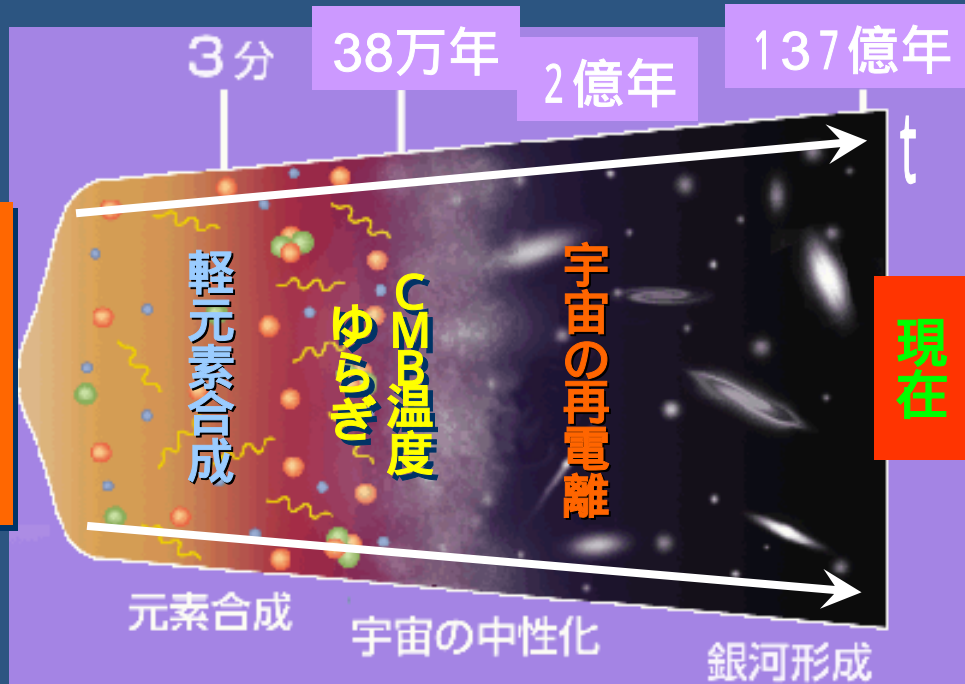
宇宙が生まれたときの最初の光を見る

- 現在はマイクロ波と呼ばれる波長0.1cm程度の電磁波として全宇宙を満たしている

CMB: 宇宙マイクロ波背景放射

宇宙マイクロ波背景輻射

CMBは、晴れ上がり直後の宇宙を満たしていた電磁波
(今から137億年前の宇宙の光の化石)



- 宇宙の晴れ上がり
 - 誕生後約38万年で、電子と陽子が結合して水素原子となる (宇宙の中性化)
 - その結果、宇宙は電磁波に対して透明となる

量子ゆらぎの生成

第一世代天体の誕生

銀河の形成

銀河団の形成

宇宙の大構造

CMB:
Cosmic Microwave Background

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



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

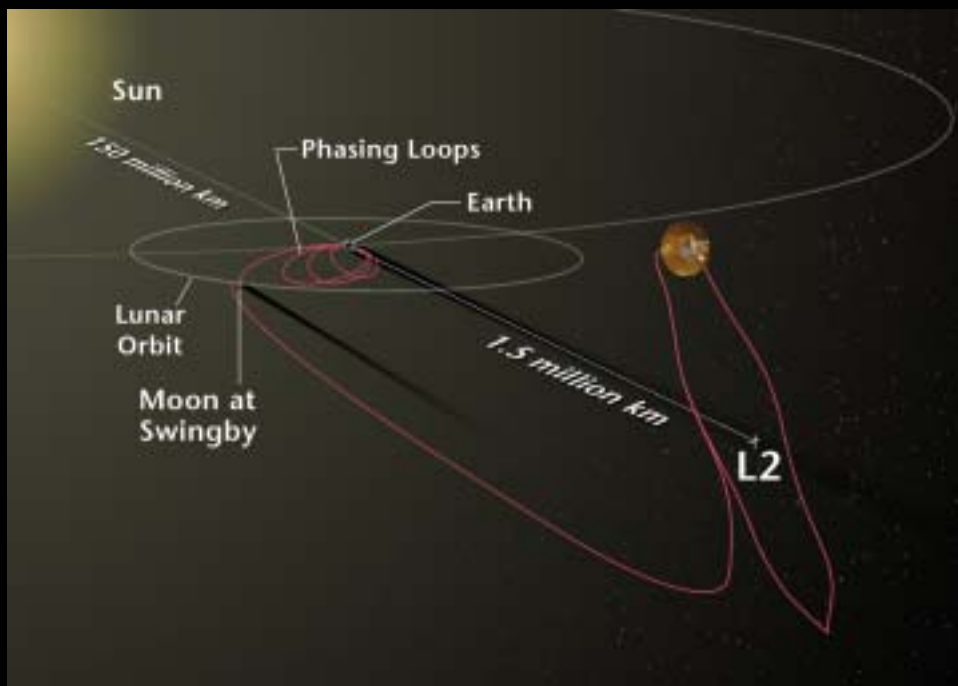
夜空のむこう

**NASA/WMAP
Science Team**

何がどこまで見えるか？

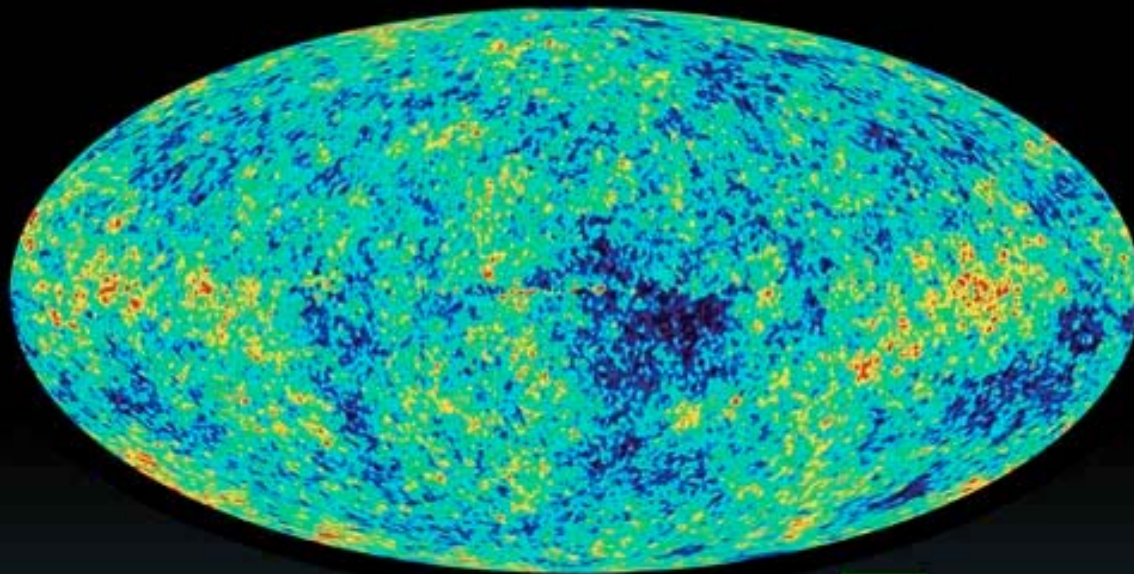


WMAP 衛星打ち上げ

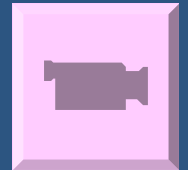


<http://lambda.gsfc.nasa.gov>

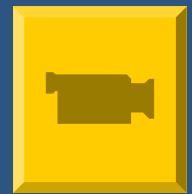
WMAP衛星が見た誕生後38万年の 宇宙の温度ゆらぎ全天地図



WMAP衛星
宇宙の旅



CMBから
現在へ



NASA/WMAP
Science Team

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

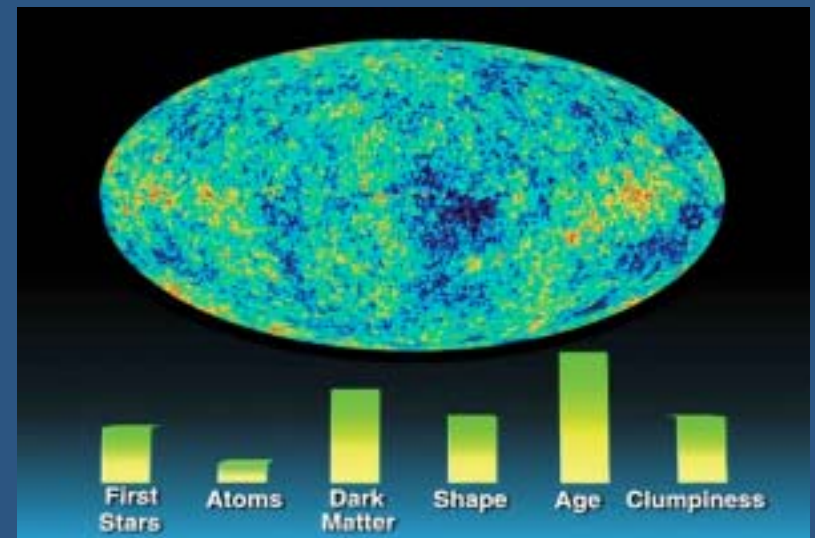
夜空のむこう

(2003年2月13日発表)

古文書を解読すると、、、

- 宇宙で最初の星がいつ誕生したのか
- 宇宙の元素の存在量
- 宇宙の暗黒物質の存在量
- 宇宙の曲率
- 宇宙の年齢
- 宇宙のデコボコ度合い

NASA/WMAP
Science Team



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

現在の宇宙の組成

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

NASA WMAP Science Team



総量 = 1.02 ± 0.02

ダークエネルギー

(宇宙定数)

0.73 ± 0.04

全物質 0.27 ± 0.04

星

バリオン

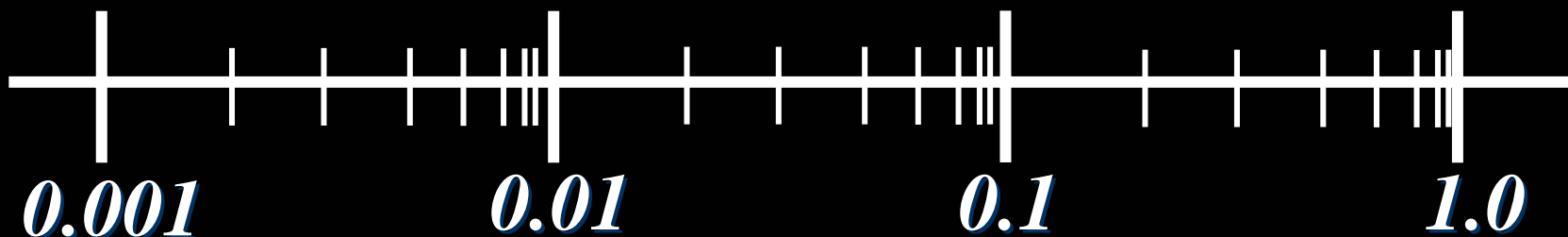
CDM

理論予言

0.005 ± 0.002

0.044 ± 0.004

0.23 ± 0.04



宇宙の全質量に占める割合

さらなる謎を探る

～ 第2の地球を求めて～

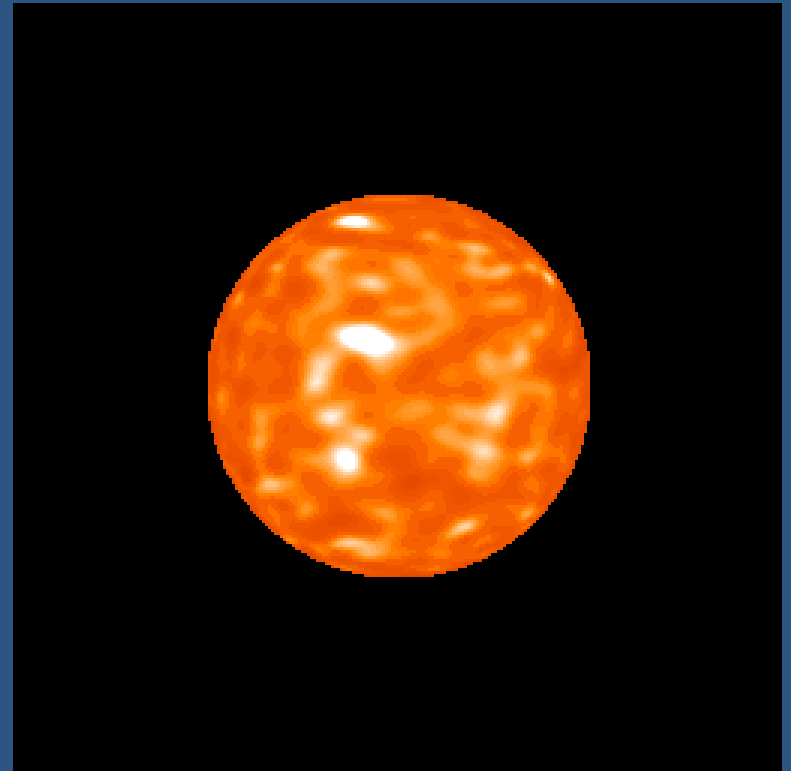
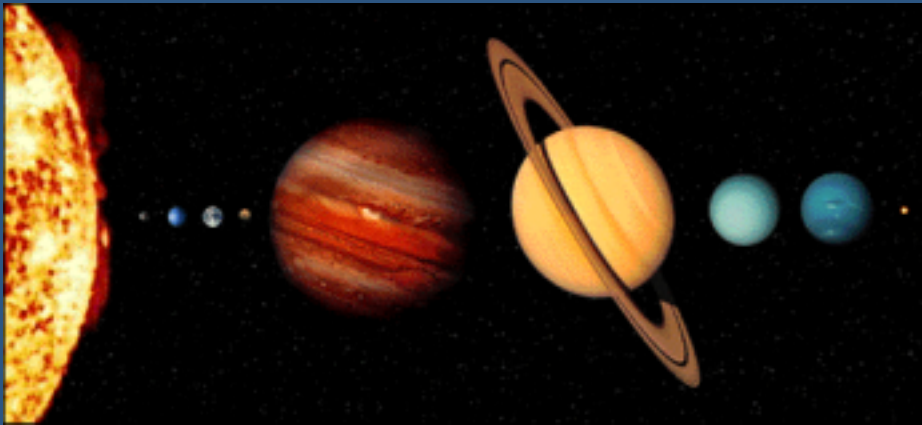
- 宇宙の果てから再び近くの星へ
- この広い宇宙のなかで、我々はひとりぼっちなのだろうか？

第二の地球はあるか？



- 地球以外に生物がいる証拠は存在しない
- 生物が誕生するには
 - 大気存在
 - 適度な温度(水が液体として存在)
 - + 偶然？(必要/十分条件ともに現時点では不明)
 - 太陽のような恒星では不可能 恒星のまわりの惑星を探せ！

太陽系外惑星探查



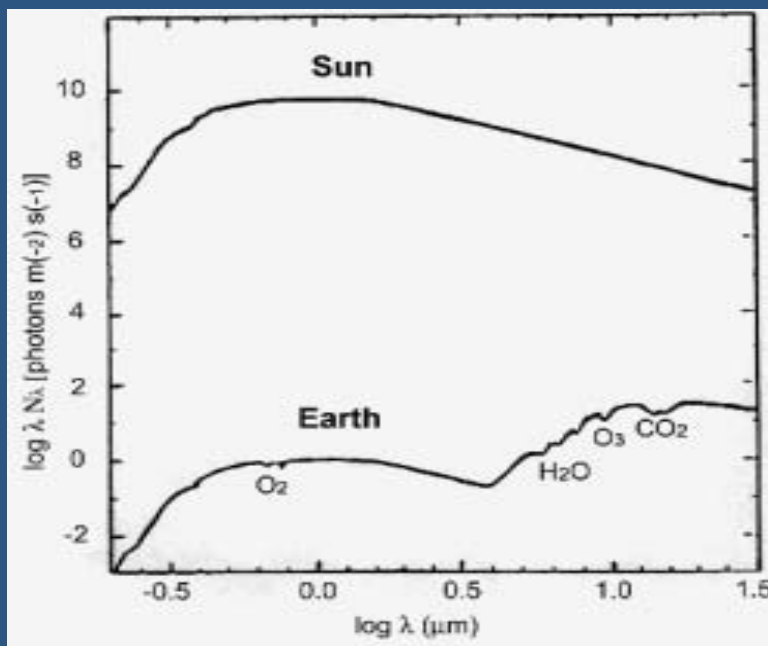
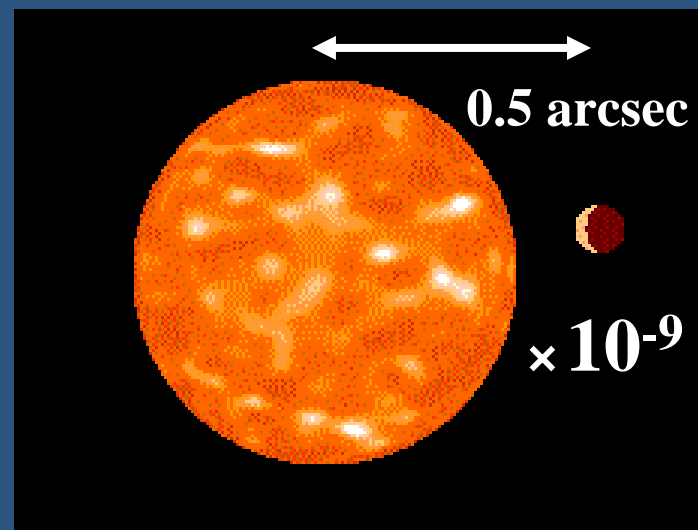
太陽系外惑星発見の歴史

- 1781年：天王星、1846年：海王星、1930年：冥王星の発見（わが太陽系の拡大）
- 1995年：約50光年先のペガサス座51番星の周りを4.2日で公転している惑星の発見（初めて発見された太陽系外惑星は一年がわずか4.2日だった！）
- 1999年：アンドロメダ座ウプシロン星（約40光年先）に3つの惑星（太陽系外惑星系の発見）
- 2003年5月20日までに105個の系外惑星

惑星は直接見える？

10pcから観測した木星

明るさ： 27等級（可視域）
主星との角距離： 0.5秒角

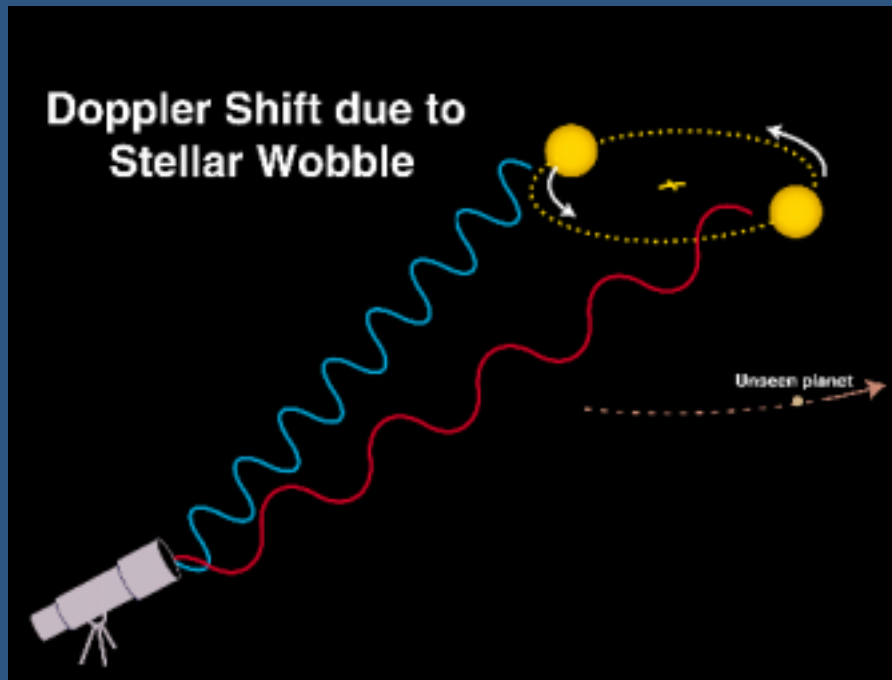


地上観測の典型的な角度分解能の大きさ内で、9桁程度も明るい主星のすぐ隣にある27等級の暗い天体を観測する

ほとんど不可能！

惑星を間接的に「見る」

惑星は直接見えなくても、
主星の軌道はその影響を受ける



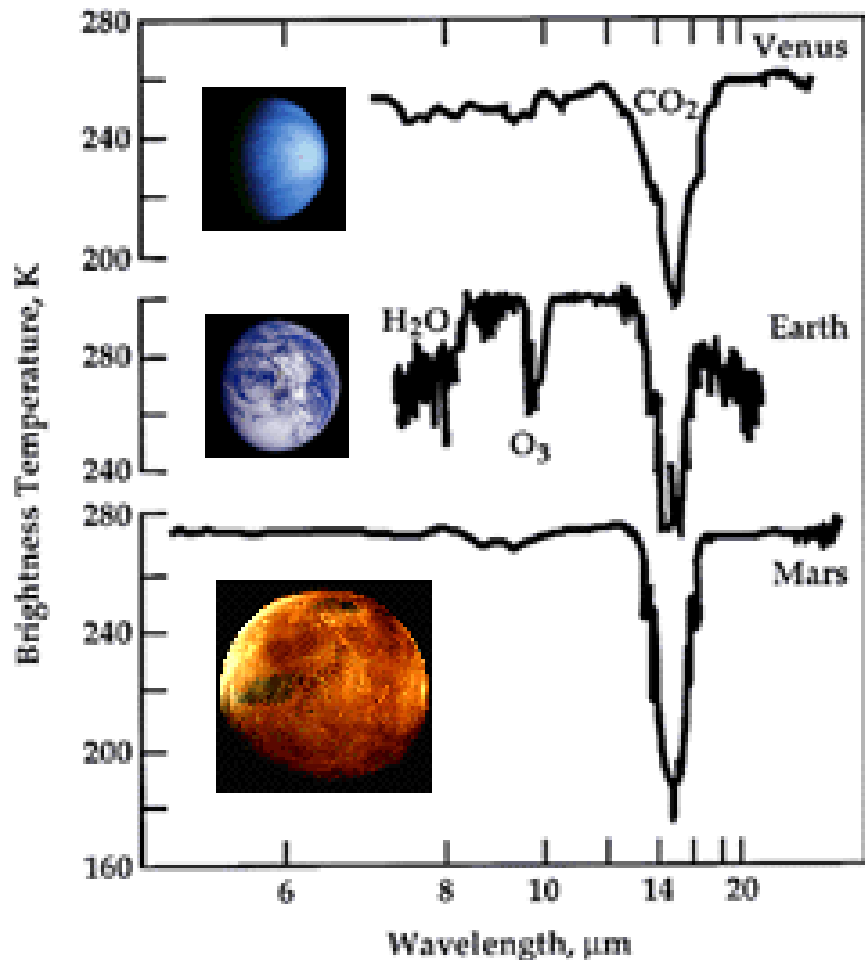
ケプラーの法則：
地球は太陽の周りを楕
円運動している



厳密には、太陽も地球
のために少しだけいつ
も運動している

この方法によって、木星程度の質量の太陽系外
惑星がすでに100個以上発見されている！

今後の展望



- 木星型惑星の発見の時代 (1995) から、惑星系を特徴づけ、理解する時代へ
- 地球型惑星の最初の発見
- 生命を宿す惑星？
 - 太陽系外生命探査
- 生物存在の兆候を探る
 - スペクトルの形 惑星の温度、水が液体として存在？
 - 強いCO₂吸収帯 大気？
 - O₃吸収帯 大量の酸素 生物によって生成？
 - H₂O吸収帯 海が存在？

21世紀への課題



- 地球型惑星の発見
- 水が液体として存在する惑星の発見
- 太陽系外惑星以外に生物が存在することの兆候を探す
- 物理学、化学、天文学、地球惑星学、生物学を総合した新しい研究分野の誕生

地球型惑星の直接検出を目的として、2015年頃にヨーロッパで打ち上げが予定されている赤外線干渉計衛星Darwin. 1.5mの望遠鏡6基を50mから500mの間隔で船隊を組む.

<http://ast.star.rl.ac.uk/darwin/>

最後に一言

我々の自然界には、とっても基本的で、不思議で、なのに世界の誰もまだその理由を知らないようなわくわくする謎がたくさん君たちを待っています！

たまには夜空でも眺めながら、それらについてじっくり思いをはせてみて下さい。