

日本大学春季公開講座
「新しい宇宙像を求めて」
第4回 2007年6月2日

星空のむこう側

東京大学大学院 須藤 靖

http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation_2007j.html

すばる観測所の青空



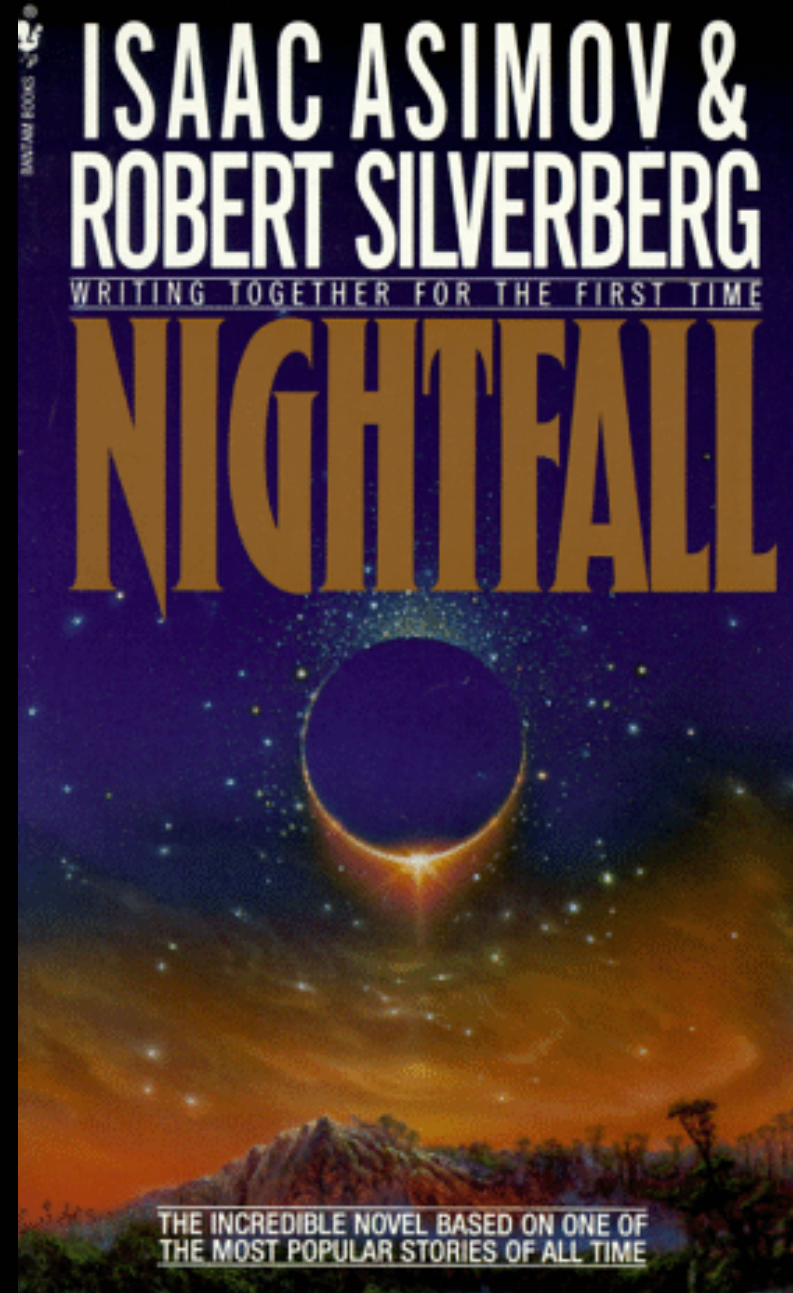
(すばる観測所、田中壺氏撮影)

秋の青空

夜来たる



- 6つの太陽をもつ惑星ラガッシュに2049年に一度の夜が訪れる



夜があることの幸せ

- 暗いので昼間にはできない悪いこともできる
- リラックスできる
- ゆっくり眠れる
- 集中して何かに取り組める
- 地上の世界以外にも、星空の向こうに別の世界がひろがっていることを教えてくれる
 - 宇宙とは何か、物質とは何か
 - 天文学の発端、哲学・自然科学の源流

星空のむこうの世界

■ 宇宙の果てには何がある？

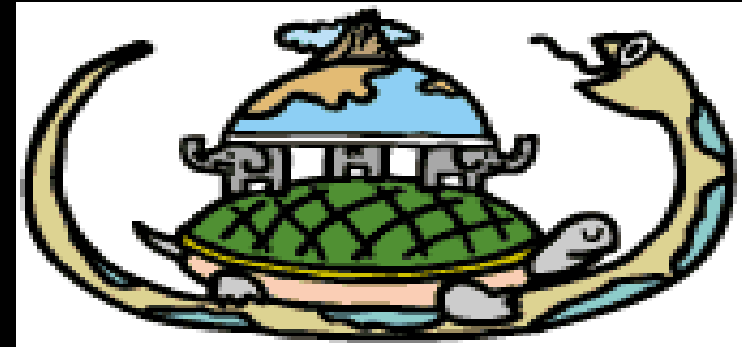
古代エジプトの宇宙像



古代中国の宇宙像



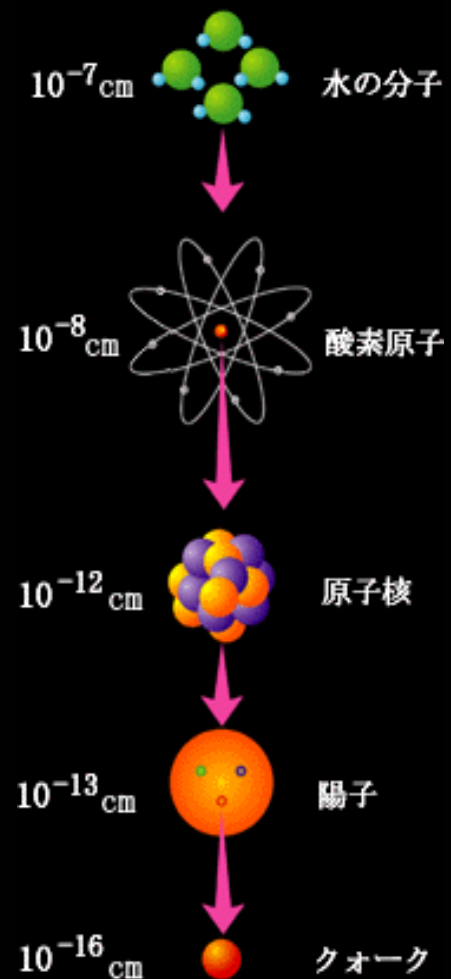
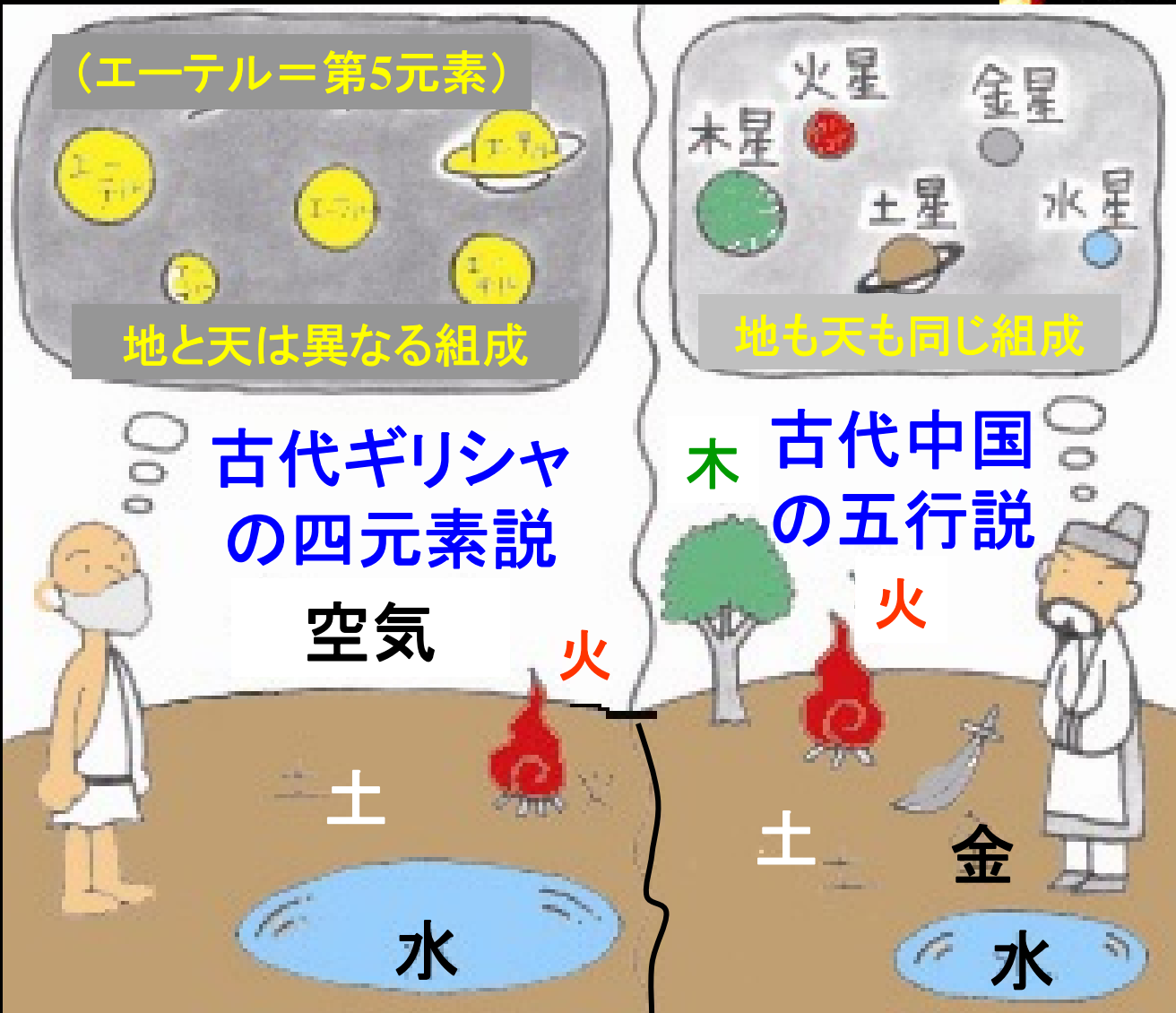
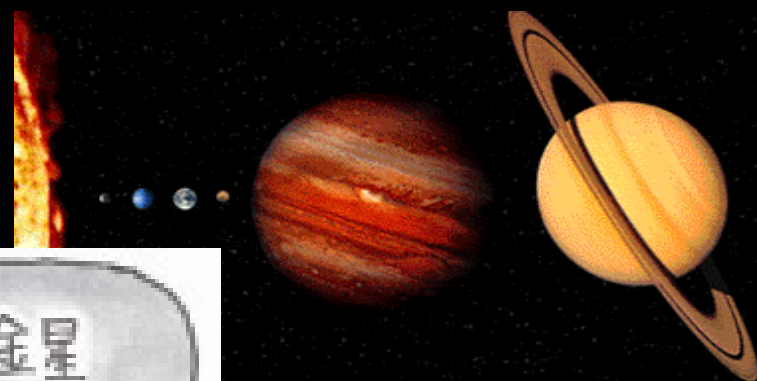
古代インドの宇宙像



<http://www.isas.ac.jp/kids/firstlook/index.html>

- 宇宙を満たしているものは何か？
- もう一つの地球はあるか？
- 夜の存在なくしてこのような思考に到達するのは容易ではない

自然界に思いをはせる

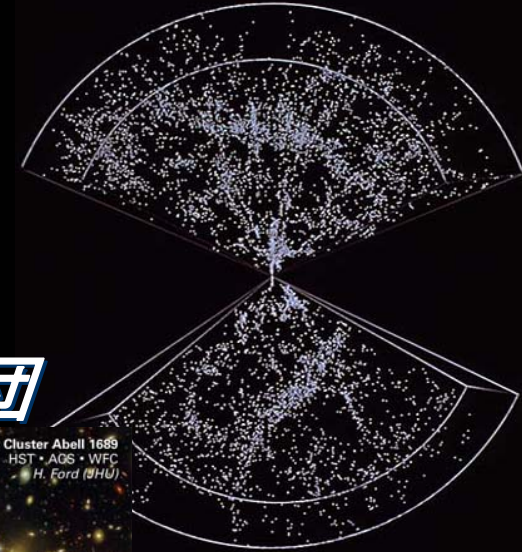


(いずれもよう:須藤靖「ものの大きさ」図1.1より)

宇宙の階層構造

宇宙の大構造

銀河群



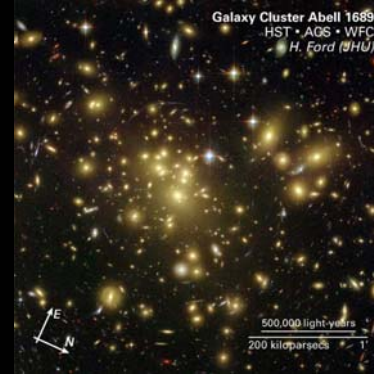
矮小銀河



銀河



銀河団



太陽系



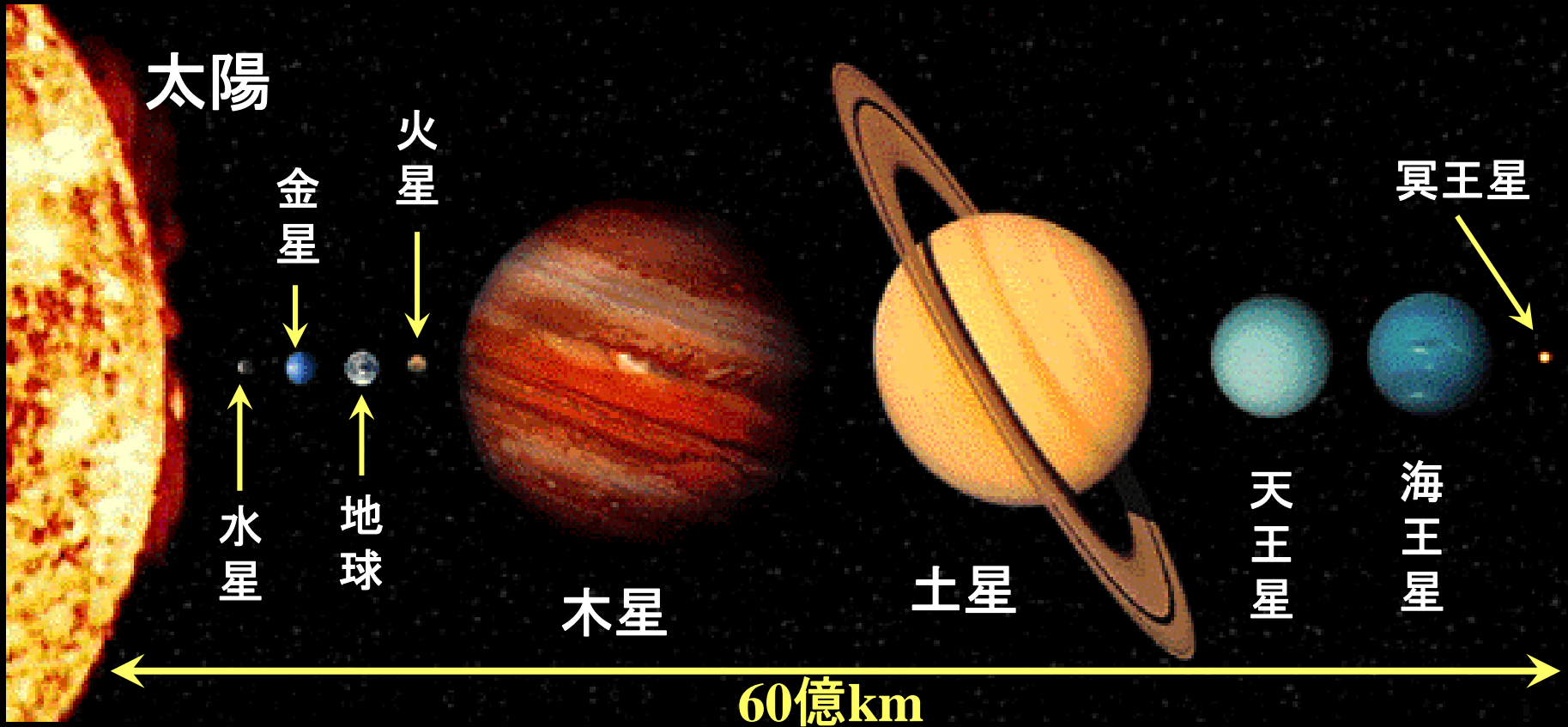
星団



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)]

八~~九~~つの惑星：我が太陽系

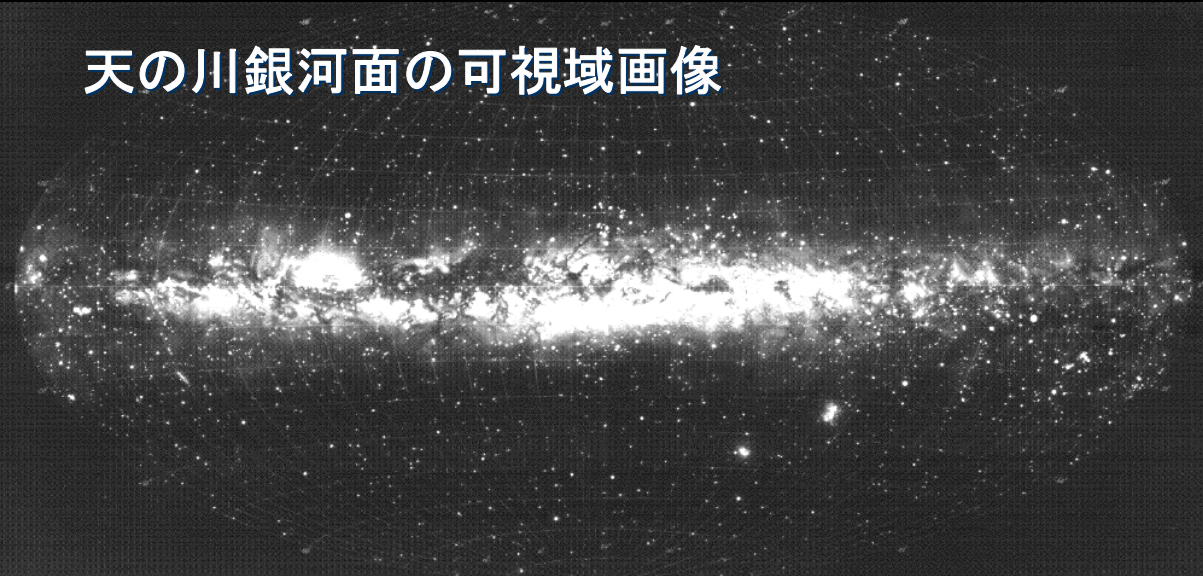


(太陽からの距離は別として、惑星の相対的な大きさはほぼ実際の比の通り)

<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

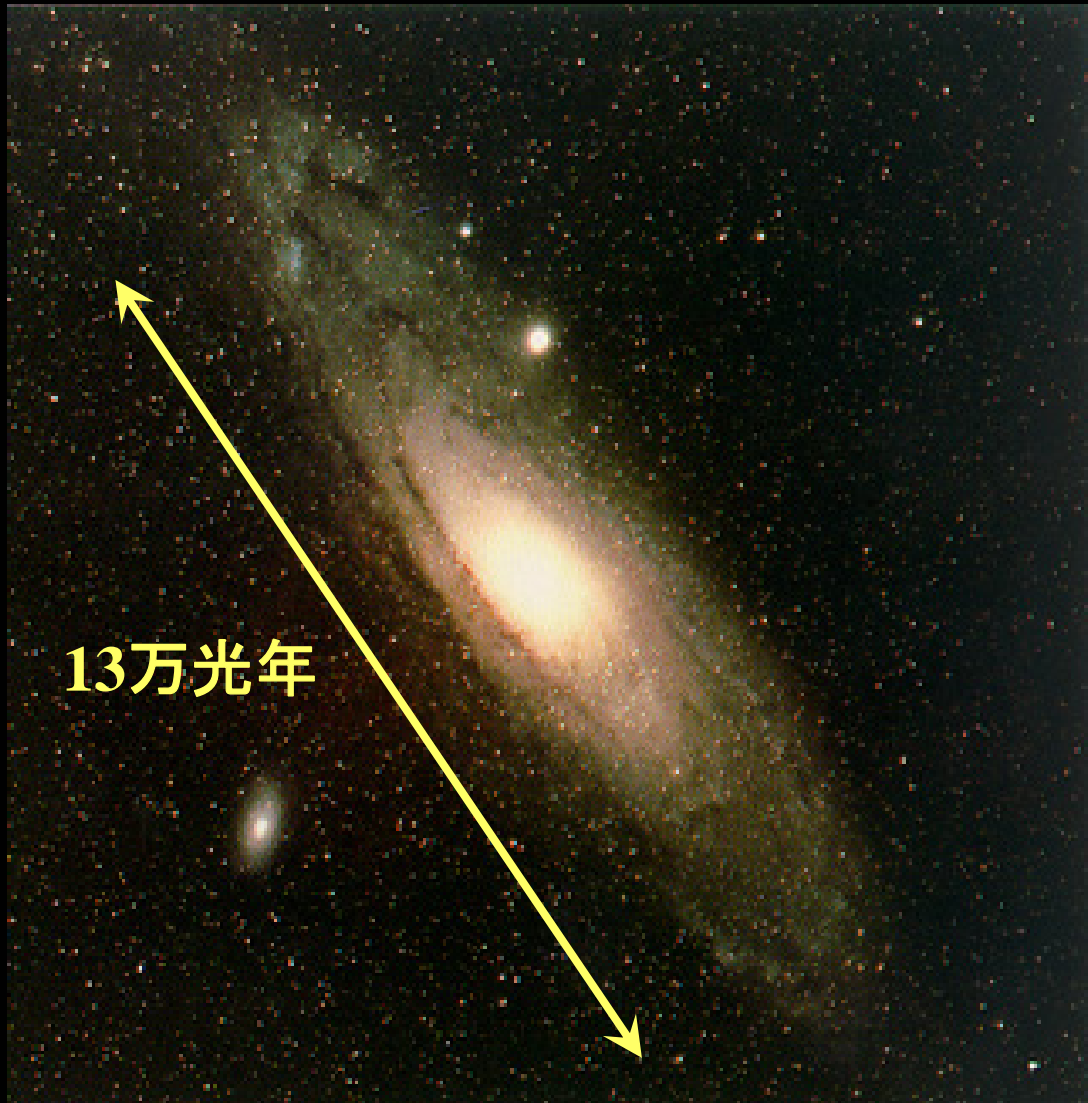


- 我々の銀河系（天の川）は、星とガス（+暗黒物質）からなる渦巻き銀河で、円盤部の直径は約30kpc

COBE衛星による近赤外線域画像



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



M104 © Anglo-Australian Observatory Photo by David Malin

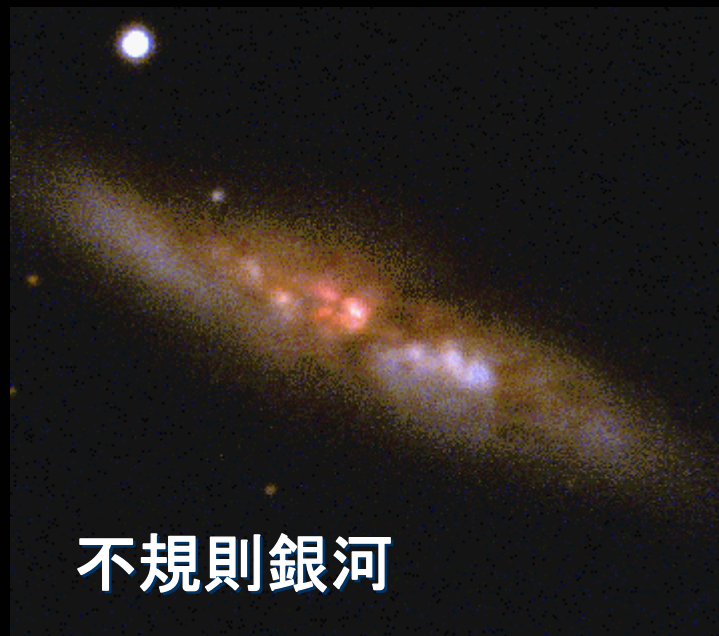
銀河の形態

楕円銀河

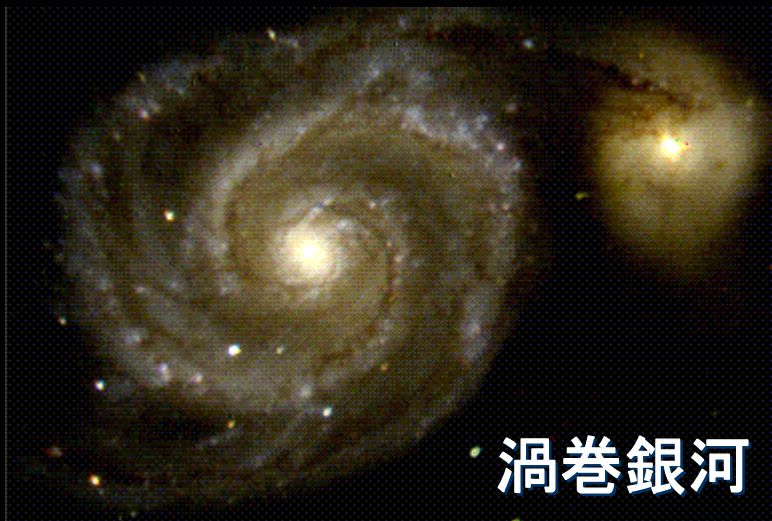


AAT 60

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



S0

レンズ状銀河

渦巻銀河

棒渦巻銀河

E0

E6



SBa

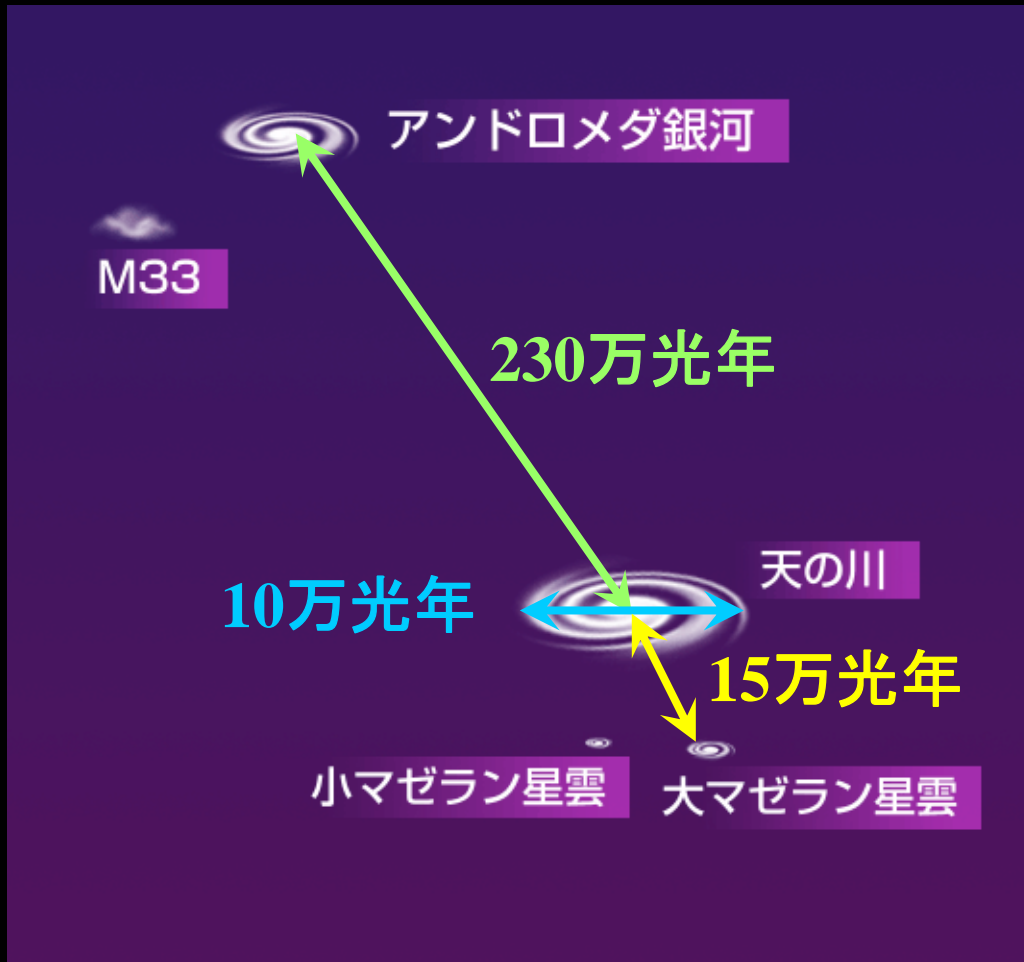
SBb

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/>

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/>

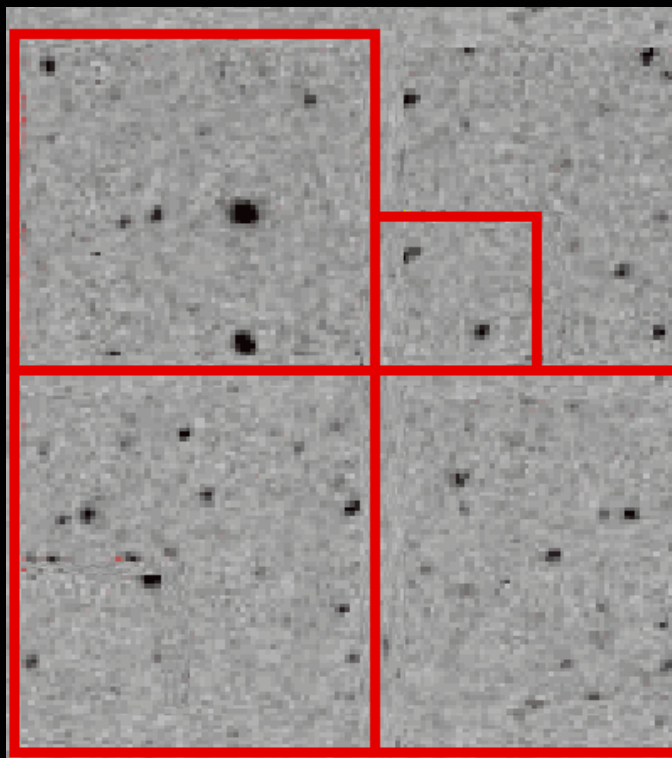


文部科学省

Ministry of Education, Culture,
Sports, Science and Technology

NHK教育 サイエンスZERO 2003年6月11日 0:00 放映

宇宙を見る目 の進歩



地上4m望遠鏡+CCD
100×写真乾板

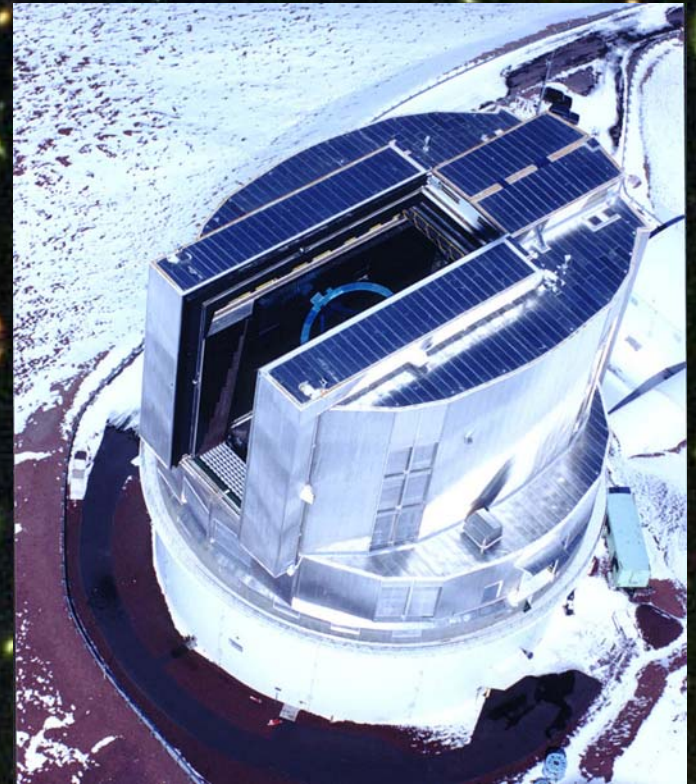


Hubble Deep Field
ST ScI OPO January 15, 1996 R. Williams and the HDF Team (ST ScI) and NASA

HST WFPC2

ハッブル宇宙望遠鏡+CCD:1000×
地上望遠鏡

すばる望遠鏡の見た星空のむこう



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

銀河団周辺の重力で光線が曲げられ、
みかけ上5つの異なる天体をつくる
(ダークマターの存在)

98億光年先にある
クエーサー(中心に
ブラックホール)

62億光年先にある
銀河団まわりの
ダークマター



重レンズ天体
SDSS J1004+4112 :
一般相対論的蜃気楼



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

宇宙の誕生

宇宙マイクロ波背景放射

Radiation Era
"Dark Ages"

第一世代天体

First stars

原始銀河

First galaxies

HUBBLE ULTRA DEEP FIELD

HUBBLE DEEP FIELD

銀河宇宙

遠くの宇宙は
過去の宇宙

Big bang

HDF

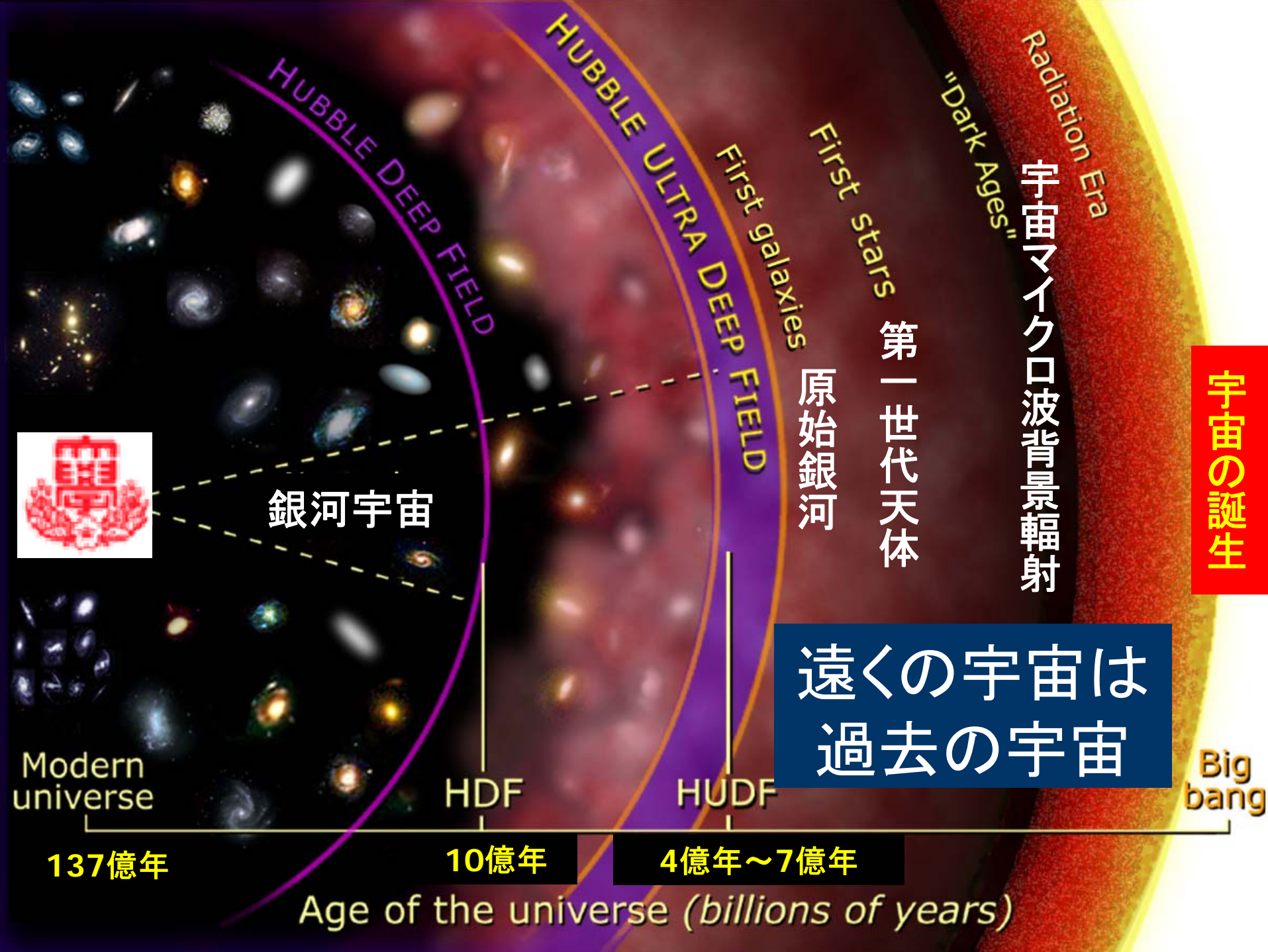
HUDEF

137億年

10億年

4億年~7億年

Age of the universe (billions of years)



100億年を遡る



2006年5月23日 ハッブル望遠鏡 写真公開

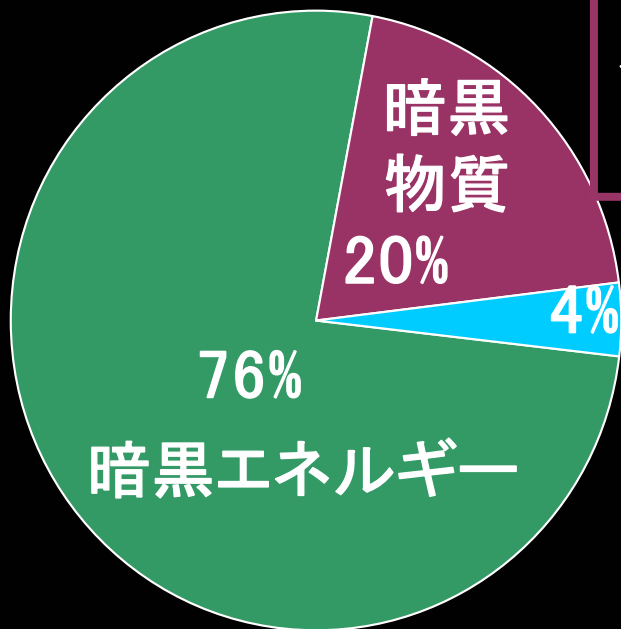
<http://hubblesite.org/newscenter/newsdesk/archive/releases/2006/23/>

宇宙の果ての観測を通じて
光は出さないが宇宙の重力を支配するダークマターが
大量に存在することが明らかにされた

SDSS
J1004+4112

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？

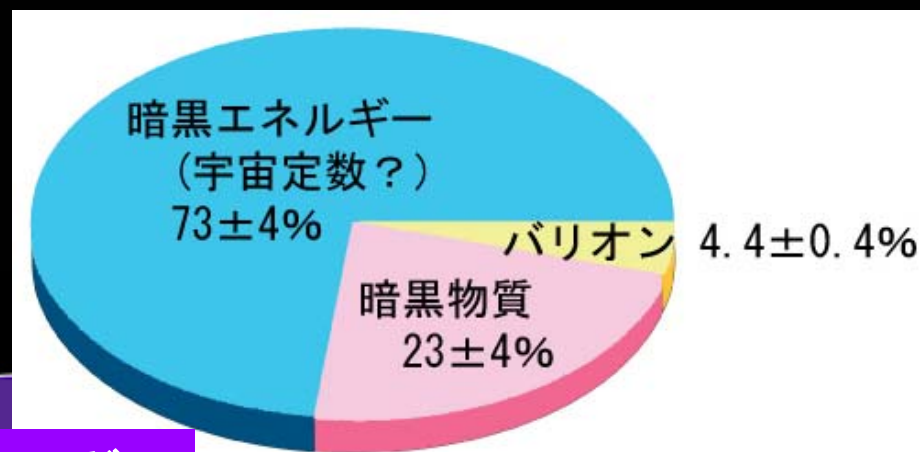
通常物質 (バリオン=通常元素)

- 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！
- 万有斥力(負の圧力)
- 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(の質量)は実質的にはすべてバリオン

宇宙の組成観 の変遷

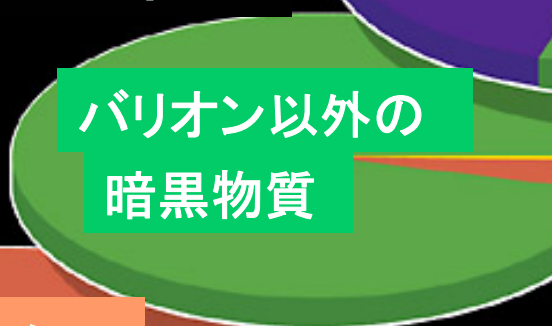
2003年



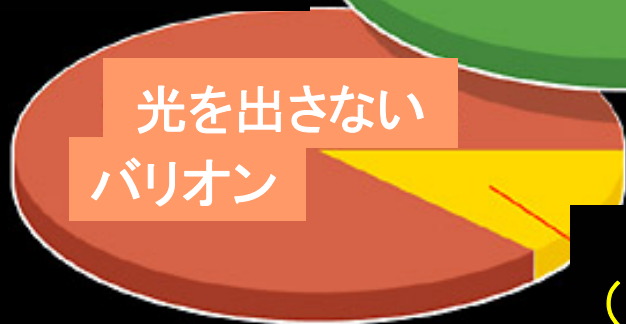
1990年代



1980年代



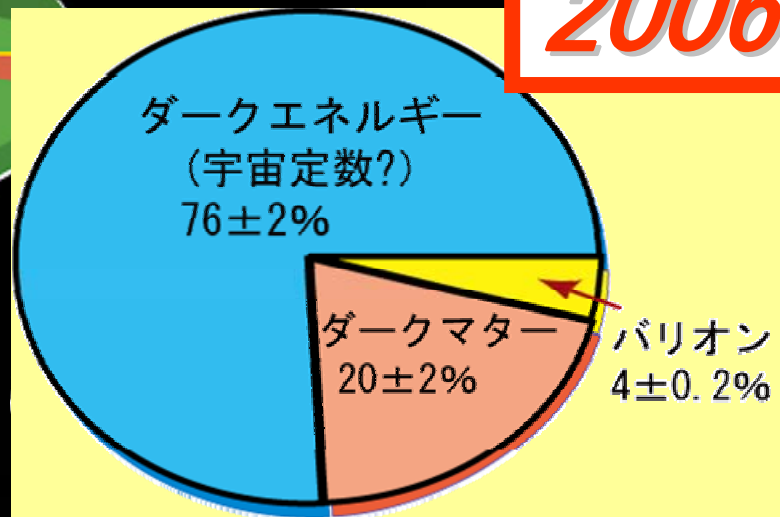
1970年代



光を出さない
バリオン

星・銀河
(バリオン)

2006年



もうひとつの宇宙の果て： 銀河系のどこかに生命を宿した惑星はあるのか？

■ 宇宙の果てと系外惑星



- 大望遠鏡は「暗い」天体を観測できる
 - 本当は明るいのだが遠く
にあり暗く見える天体
⇒ 宇宙の果てにある銀河
 - すぐ近くにあるのだが本
当に暗い天体
⇒ 銀河内にある系外惑星

太陽系外惑星発見の歴史

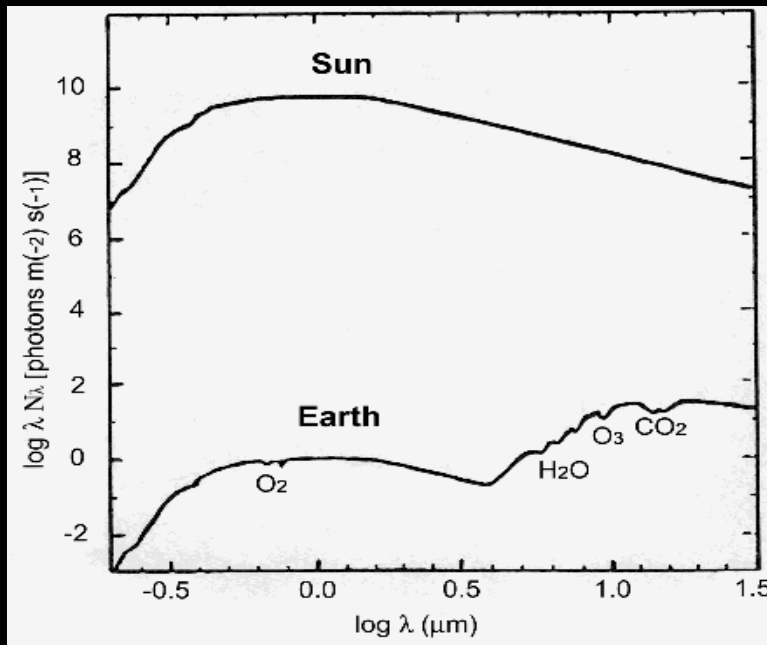
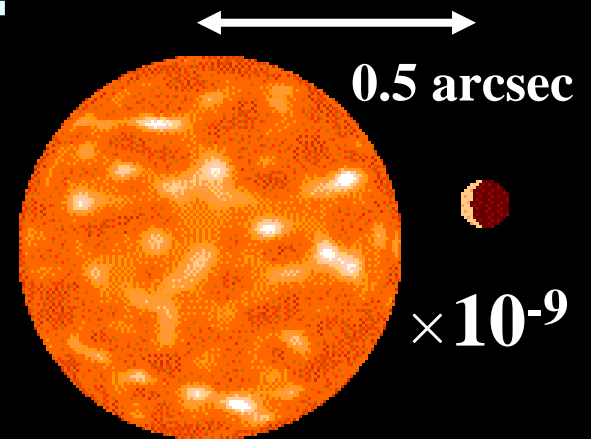
- 1995年：主系列星周りの系外惑星の発見 (51Peg)
- 1999年：系外惑星のトランジット発見(HD209458)
- 2001年：トランジット惑星大気初の検出(ナトリウム)
- 2005年7月：超巨大コアを持つ灼熱惑星の発見
(佐藤文衛ほか)
- 2005年10月：惑星公転軸の傾きの発見 (Winn ほか)
- 2007年4月：居住可能領域にある地球型惑星 ($5M_{\text{地球}}$ および $8M_{\text{地球}}$) の発見？
- 2007年5月31日時点で242個の系外惑星 (200個以上の惑星系)

惑星は直接見えるか？

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

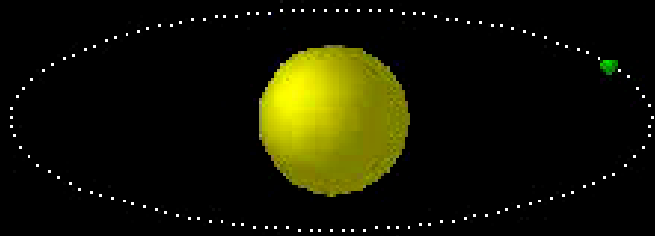


地上観測の典型的な角度分解能の大きさ内で、9桁程度も明るい主星のすぐ隣にある27等級の暗い天体を観測する

⇒ ほとんど不可能！

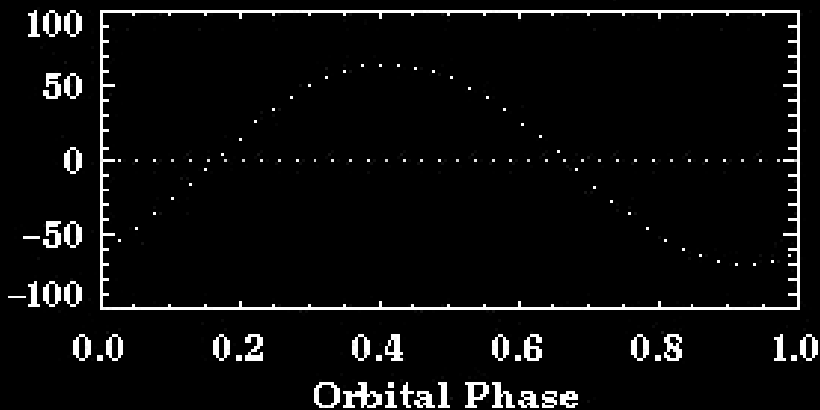
どうやって見つけたのか？

Circular Orbit: rho CrB



$K = 67.4 \text{ m/s}$ $e = 0.03$
 $\omega = 210.0 \text{ deg.}$ $\sin(i) = 0.3$ (*)

Radial Velocity Curve
of the Star [m/s]



- 中心星の運動を精密に観測すれば惑星があるかどうか分かる

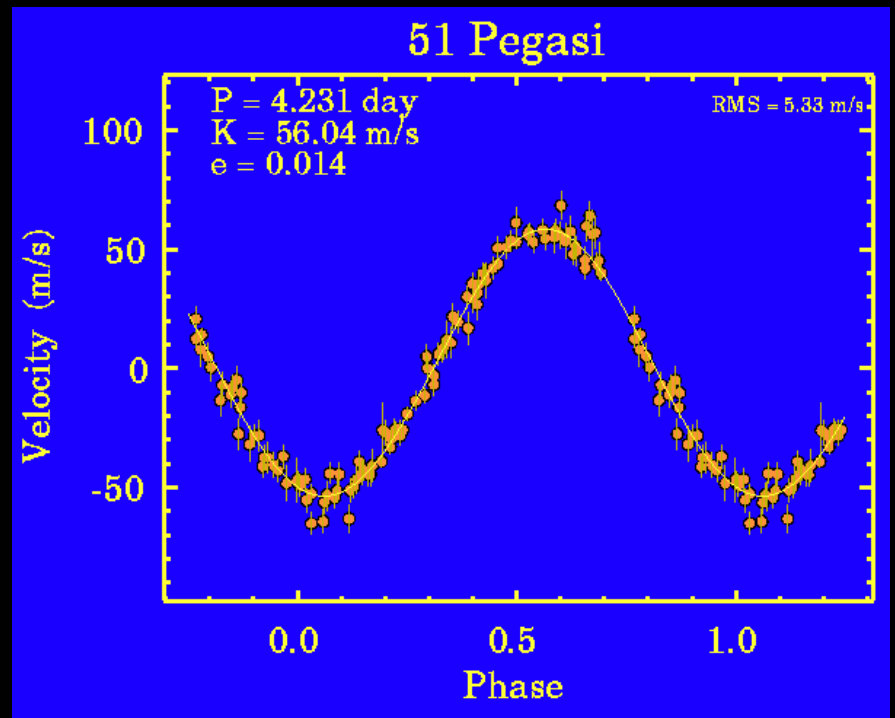
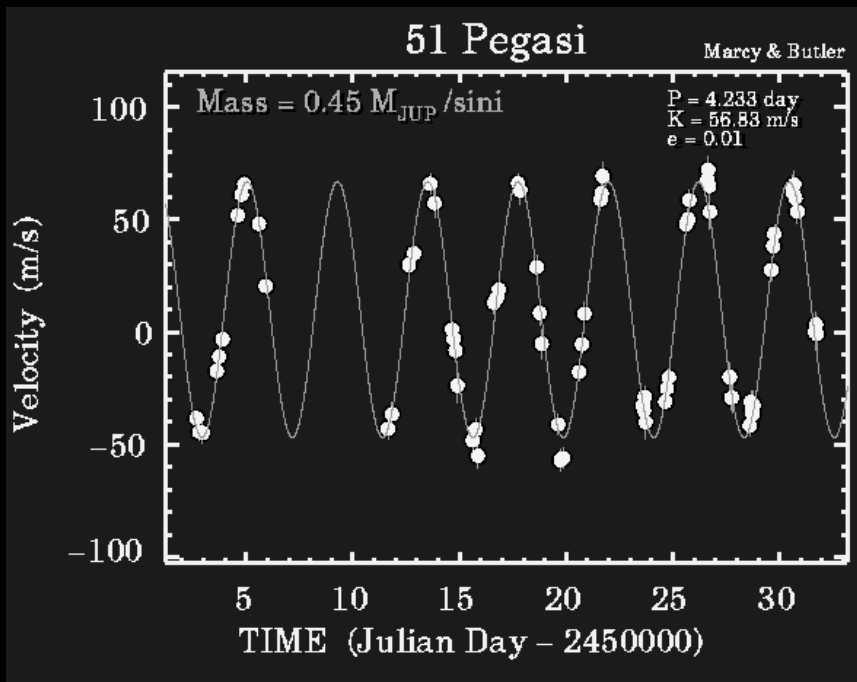
- 中心星の速度が我々に対して毎秒数十メートルだけ周期的に変動

- さらに運がよければ、中心星の前を惑星が横切ること
で星の明るさがほんの少しだけ暗くなる場合もある

- 公転周期を4日間とすると、2時間程度の間、1パーセントだけ暗くなる

ペガサス座51番星 ～初めての太陽系外 惑星の発見～

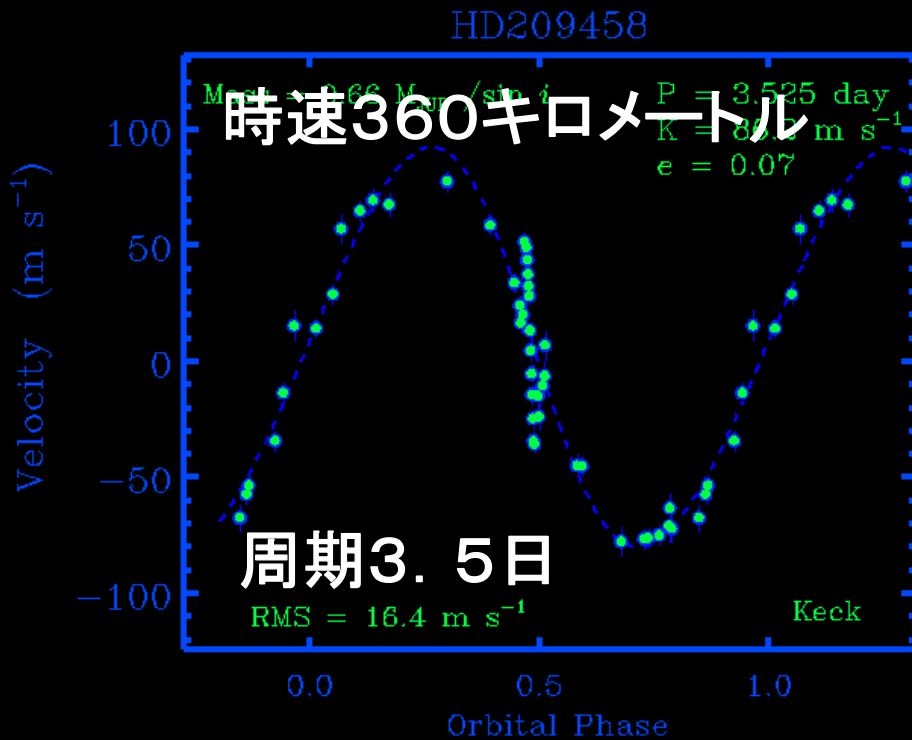
- メイヨール & ケロス (1995年)



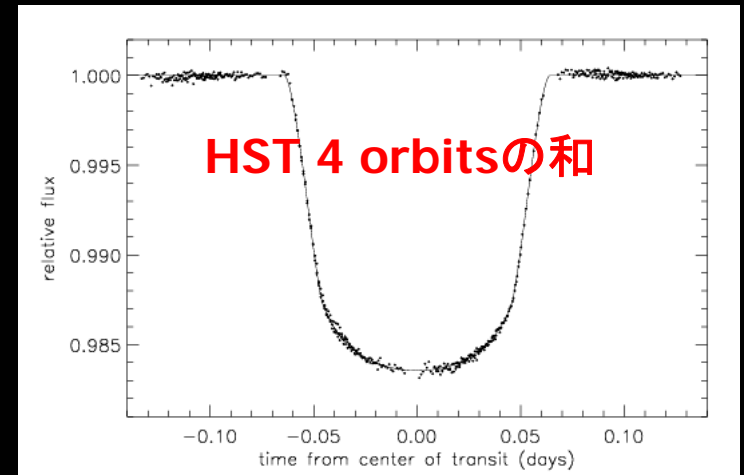
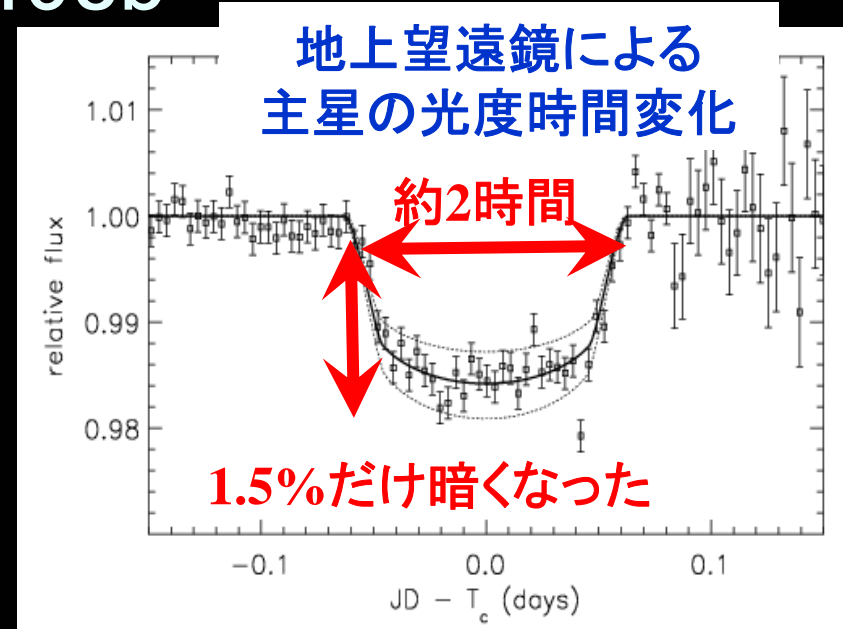
周期がわずか4.2日！

初めての太陽系外トランジット(食)惑星 HD209458b

- 速度変動のデータに合わせた惑星食の初検出




地上望遠鏡による
主星の速度時間変化



Brown et al. (2001)

今後の系外惑星研究ロードマップ

- 
- 巨大ガス惑星発見の時代
 - 惑星大気の見
 - 惑星大気の精密分光観測による組成決定

 - 惑星反射光の検出

 - **地球型惑星の見**
 - **居住可能惑星(水が液体として存在)の見**
 - **バイオマーカー(生物存在の証拠)の同定**
 - **地球外生命の見**

第二の地球はあるか？



- 生命が誕生するには
 - 適度な温度
 - 大気存在
 - 液体の水(居住可能)
 - +偶然？
- 恒星の周りの地球型惑星を探せ！

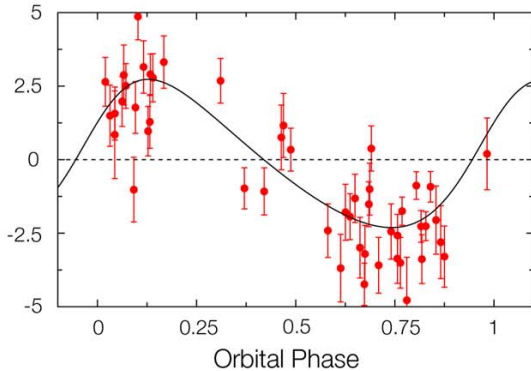
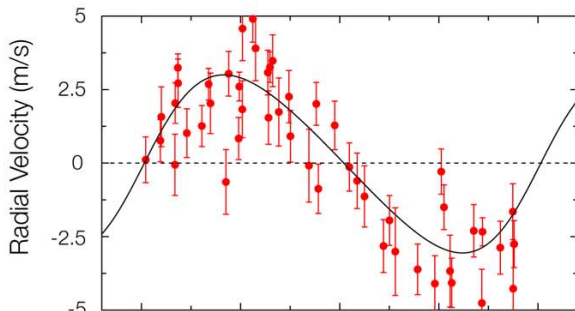
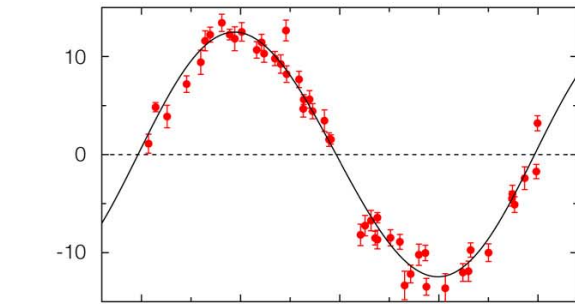
Terra衛星のMODIS検出器のデータ

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

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

居住可能地球型惑星の発見？

- 2007年4月25日 ESO(欧州宇宙機構) 記者発表「スーパーアース」
- 地球から6.26pc(約20光年)の距離にあるM型星Gliese 581(0.3x太陽質量)
- 3つの惑星
 - GL581b 15.6x地球質量、周期 5.4日
 - GL581c 5.0x地球質量、周期13.0日
表面温度が摂氏0~40度？岩石質？
 - GL581d 7.7x地球質量、周期83.6日



Observed Velocity Variation of Gliese 581

ESO Press Photo 22d/07 (25 April 2007)

This image is copyright © ESO. It is released in connection with an ESO press release and may be used by the press on the condition that the source is clearly indicated in the caption.



A Super-Earth around Gliese 581
(Artist's Impression)

ESO Press Photo 22b/07 (25 April 2007)

This image is copyright © ESO. It is released in connection with an ESO press release and may be used by the press on the condition that the source is clearly indicated in the caption.



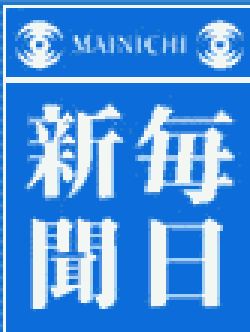
The Planetary System in Gliese 581
(Artist's Impression)

ESO Press Photo 22a/07 (25 April 2007)



科学・いま & 未来

毎日新聞 5月23日



太陽系外の惑星発見

欧州の天文学者チームが、太陽系から約20光年離れた宇宙で、地球によく似た惑星を発見した。生命が存在する可能性があるという。太陽以外の恒星を回る系外惑星は宇宙にどれほど存在するのか。生命のすむ「第二の地球」はあるのだろうか。

◇生命居住可能域

今回見つかった惑星は、地球からてんびん座方向に約20光年離れた「グリーゼ581」という恒星を回っている。直探す上で重要な一里塚は、地球の1.5倍、質量は最小で地球の5倍程度と推測され、岩石質の惑星である。惑星には、鉄の核と岩石のマンテルでできた岩石質の地球型惑星と、木星のように水素やヘリウムの膨らみガスが主成分の巨大ガス惑星、さらに天王星のように氷と石の大きな核を薄いガスの層が覆う巨大水惑星に分類される。このうち、生命をくむ海を持つには十分な量の水が存在しているのは、地球と同程度の質量の岩石質の惑星だけと考えられている。

◇惑星の見つけ方

惑星は自力では光らない。金星や木星が輝いているのは、太陽の光を反射しているからだ。しかし、地球から遠く離れた惑星では、その光を捉えるのは難しい。そこで、恒星を精密に観測し、間接的に惑星の存在を知る方法が編み出された。

惑星を持つ恒星は、公転する惑星の重力の影響を受け、わずかにふらつく。これにより、惑星と

赤色わい星「グリーゼ581」(中心)。赤色わい星は宇宙で最もありふれた恒星で、直ちには太陽の3分の1以下、表面温度も2000程度と低い。欧州南天天文台提供



夢広がる「第二の地球」

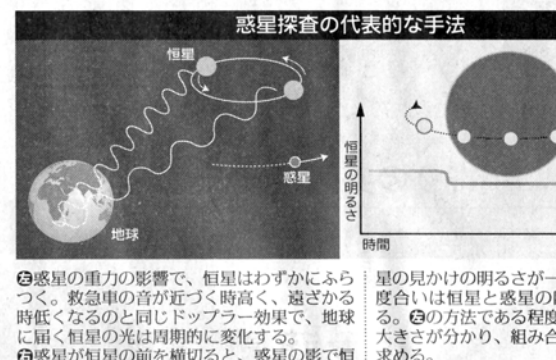
銀河系 160億恒星に可能性

者が95年、長年の観測の末に「太陽以外の恒星の周りに惑星はない」とする論文を出すほどだった。しかし、その2カ月後、スイスの観測チームが初めて惑星を発見した。惑星の姿とはほど遠く、太陽のすぐ近くを回るこの惑星の質量は、木星の約半分。恒星との距離は、0.05天文単位で、4.2日間で回っている。

◇探査衛星も出発

ベガサス座の恒星を回るため、セプティムを超越する灼熱の世界と予想される巨大ガス惑星。大きくゆがんだ楕円軌道を回るため、灼熱と酷寒の世界を行き来する巨大惑星など。ただ、観測技術の向上やデータ蓄積により、最近では木星に似た長い公転軌道の惑星の発見も増えてきているという。井田茂・東京工業大学教授(惑星物理学)は「これらが発見されるまで、人類は太陽系はそれほど珍

軌道回るため、灼熱と酷寒の世界を行き来する巨大惑星など。ただ、観測技術の向上やデータ蓄積により、最近では木星に似た長い公転軌道の惑星の発見も増えてきているという。井田茂・東京工業大学教授(惑星物理学)は「これらが発見されるまで、人類は太陽系はそれほど珍



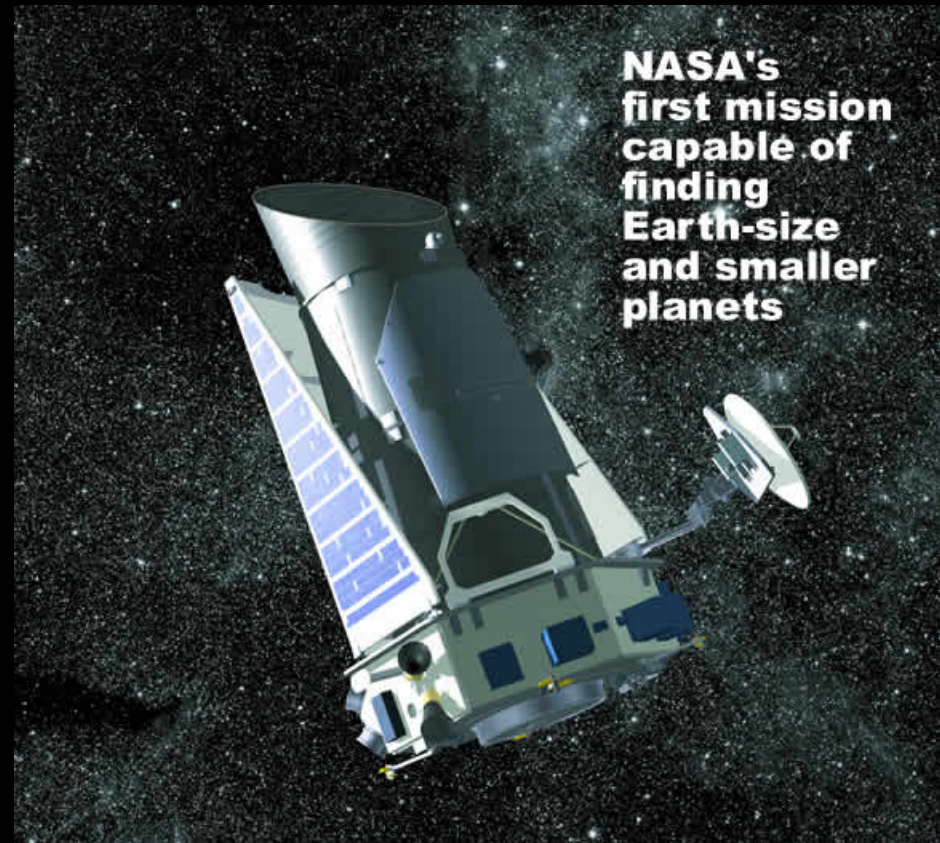
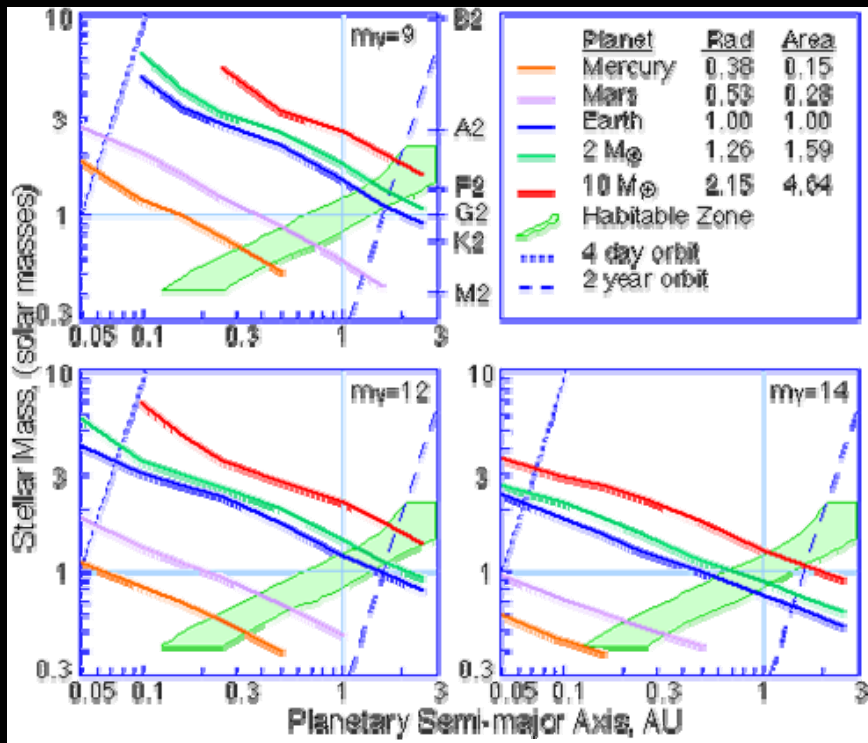
①惑星の重力の影響で、恒星はわずかにふらつく。救急車の音が近づく時高く、遠ざかる時低くなるのと同じドップラー効果で、地球に届く恒星の光は周期的に変化する。②惑星が恒星の前を横切ると、惑星の影で恒



今回発見された地球とよく似た惑星の想像図(手前)。左奥は「グリーゼ581」——欧州南天天文台提供

ケプラー衛星 (米国2008年6月予定)

トランジット惑星の測光サーベイ:
4年間で50個以上の地球型惑星を発見することをめざす

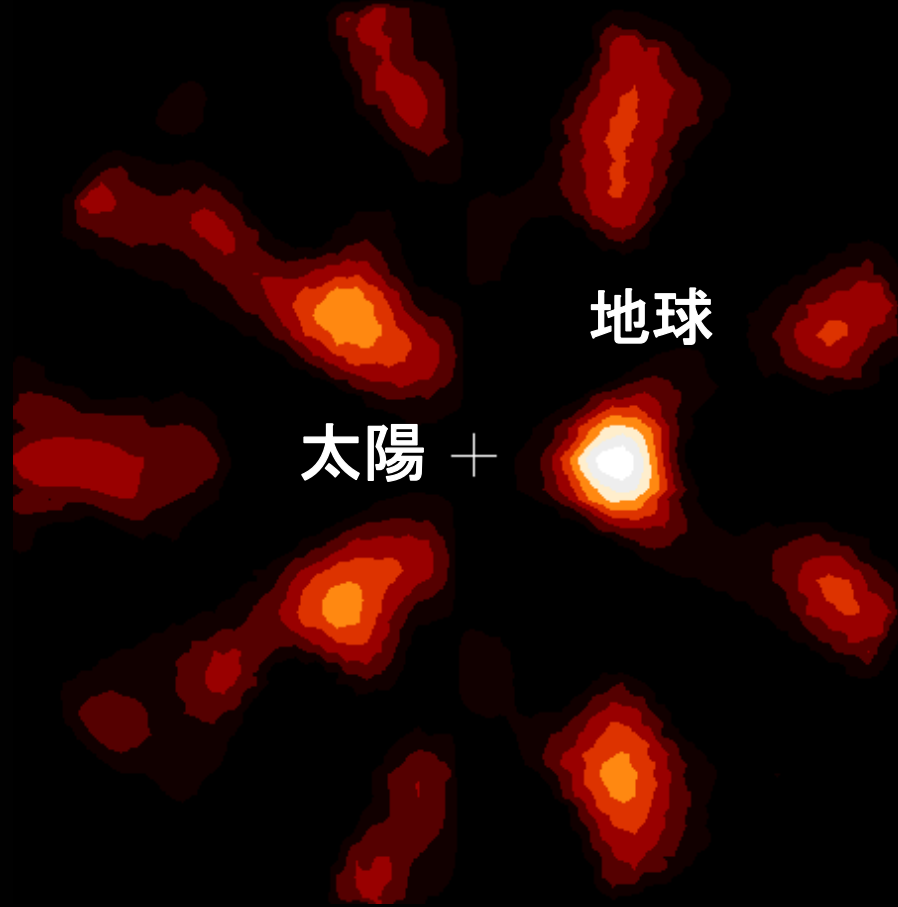


<http://kepler.nasa.gov/>

ダーウィン衛星

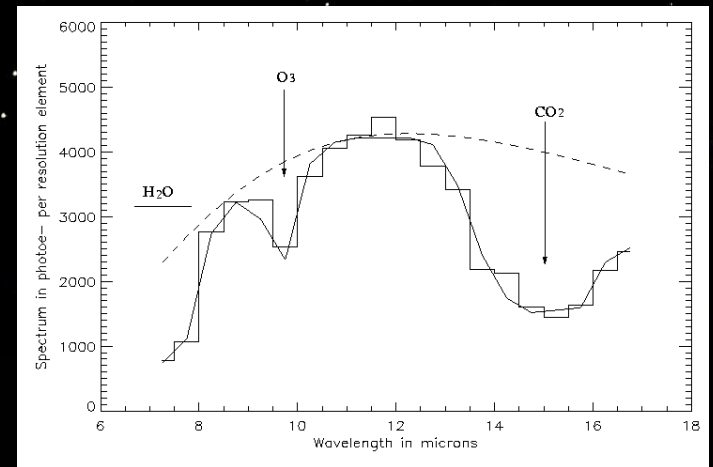
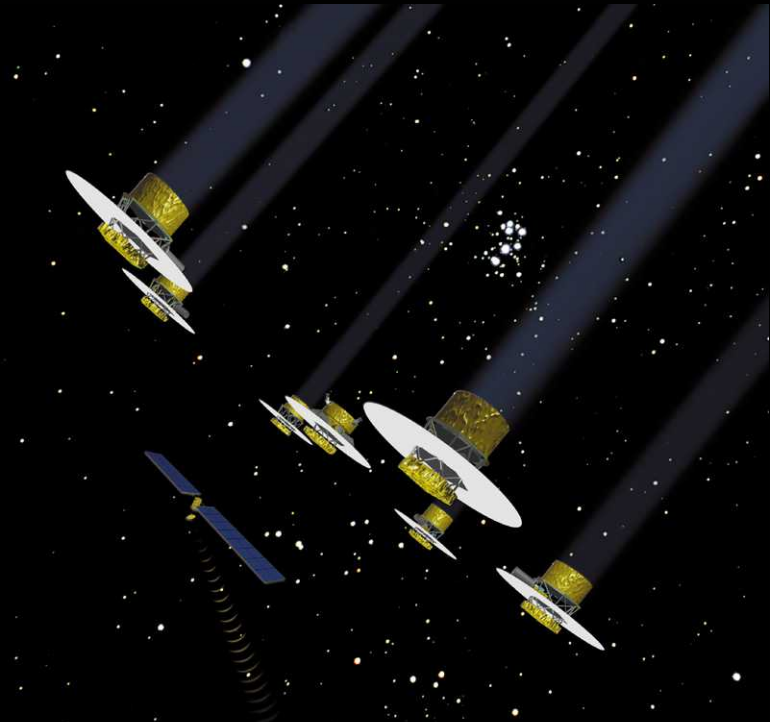
(欧州：2020年頃？打ち上げ)

赤外線での惑星の直接撮像を目指す



30光年先においた太陽と地球の観測予想図

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



宇宙赤外線干渉計群
測光分光観測

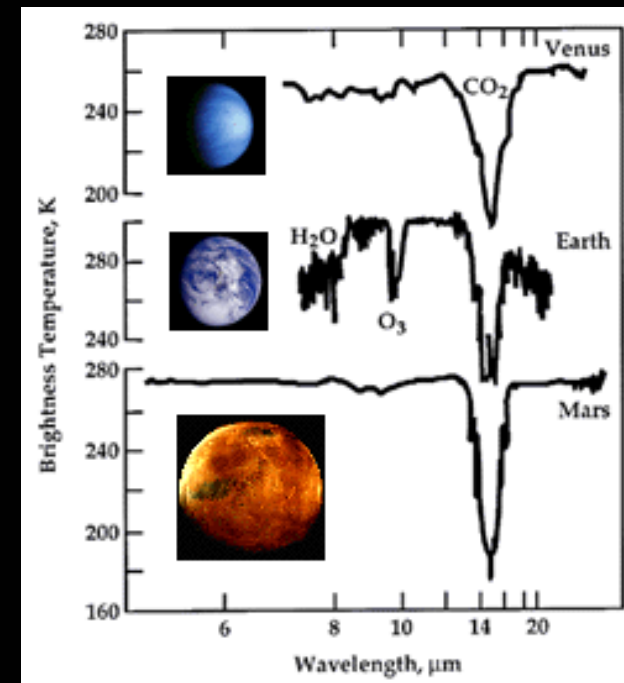
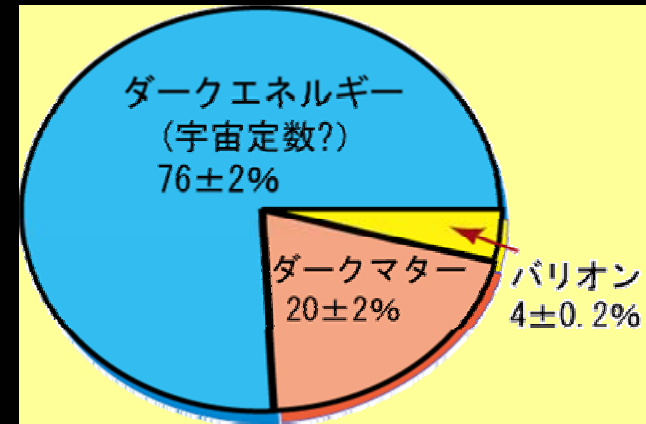
「星空のむこう側」を探ることで、従来全く予想されていなかった新しい科学が発展しつつある

■ 宇宙の果ての観測から微視的世界の新しい階層が発見された

- 宇宙の96%の正体は理解されていない
- 暗黒物質と暗黒エネルギーの解明は新しい自然法則を探る本質的な鍵

■ 天文学から宇宙生物学へ

- 1995年初めての系外惑星発見
- 地球型居住可能(水が液体として存在する)惑星の発見へ
- 遠くの惑星に生物の兆候を探る天文学的試み

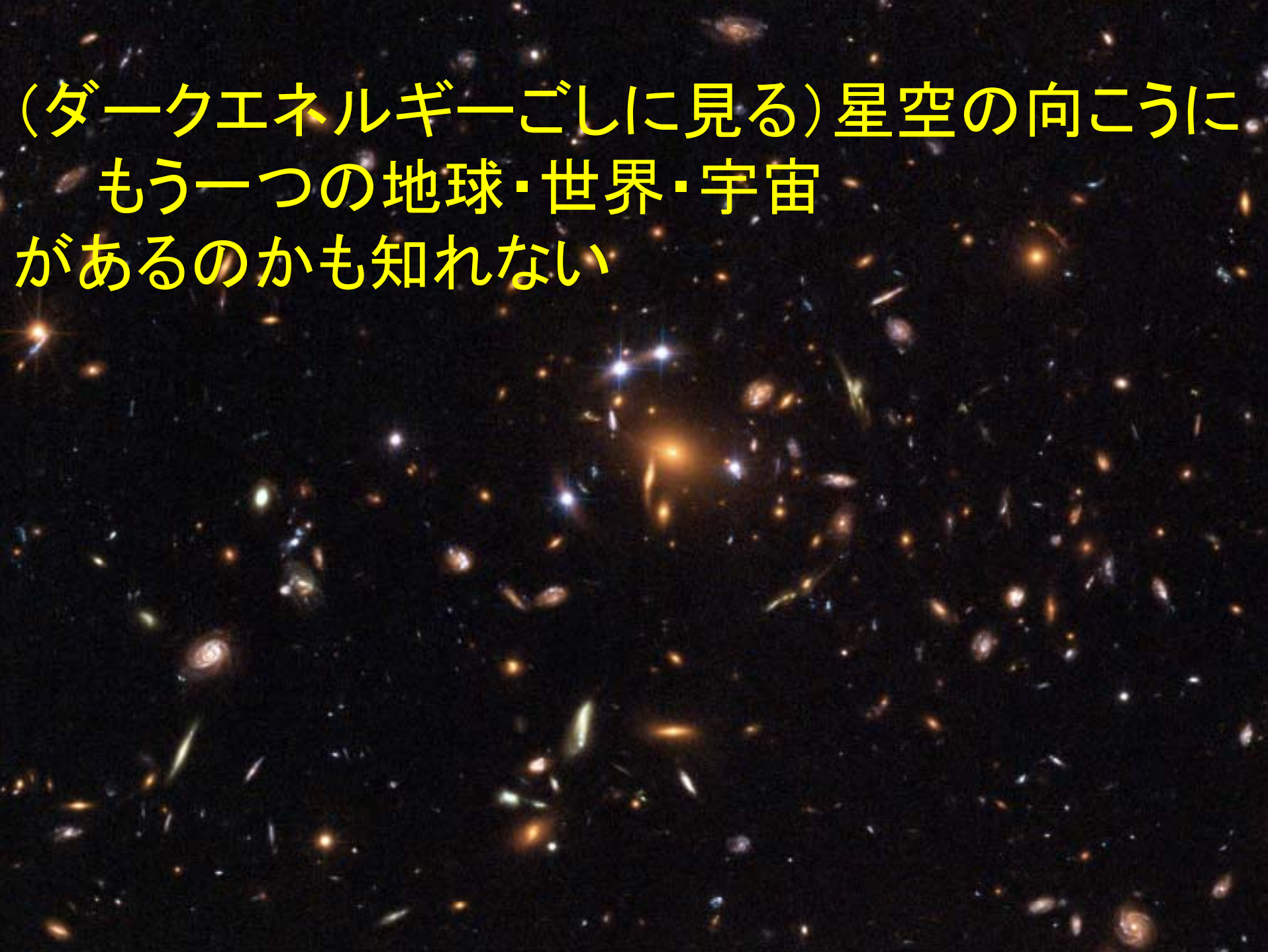


この青空の向こうには
無数の星々
がきらめいている

実はこの星空のいたるところに
ダークマター
ダークエネルギー
が満ちている



(ダークエネルギーごしに見る) 星空の向こうに
もう一つの地球・世界・宇宙
があるのかも知れない



2007年6月8日(金)

東京大学大学院理学系研究科附属ビッグバン宇宙国際研究センター

第二回公開講演会

宇宙の進化とダークエネルギー

17:30-17:50 須藤靖 (東京大学大学院理学系研究科)

ダークエネルギーの概説・講師紹介

17:50-19:00 David Spergel
(プリンストン大学宇宙科学教室)

Taking the Universe's Baby Picture

この講演は英語で行いますが講演スライドは日本語訳したものを我们用います

開場 17:00

会場前に茶菓を用意してお待ちしています

入場無料、申し込み不要

定員 170名 (当日先着順)

場所: 東京大学本郷キャンパス
理学部一号館2階小柴ホール

URL: <http://www.resceu.s.u-tokyo.ac.jp/denet>

問合せ: toiawase@resceu.s.u-tokyo.ac.jp



7月7日 東邦大学理学部 物理学科 公開講座「ミクロの物質とマクロの宇宙」

入場無料、申し込み不要

「単位はどのように決めるか--ミクロの世界と生活」

東邦大学理学部 客員教授

川畑有郷 氏(学習院大学教授)

「宇宙のダークエネルギーとは何か」

東邦大学理学部 客員教授

須藤靖 氏(東京大学大学院教授)

2007年7月7日(土)14:00開場、14:30開演、17:00終了予定

東邦大学理学部(習志野キャンパス) III号館501講堂

http://www.ph.sci.toho-u.ac.jp/event/ex_lecturer.html