

夜空のムコウを探る

大学院修士課程入学

志望者ガイダンス

2009年6月3日

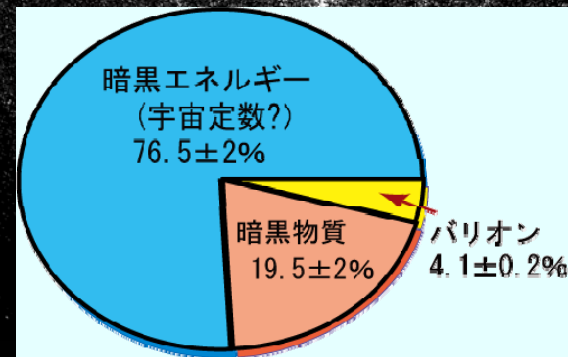
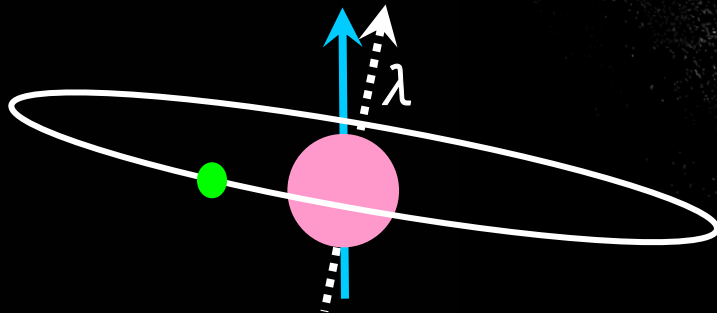
14:30~15:00

樽家篤史、須藤 靖

東京大学大学院

理学系研究科

物理学専攻



宇宙物理学の定義

- よくわからない、、、
- とにかく森羅万象を対象とする
- キーワードは、「起源」と「進化」
- 「天文学 (astronomy) 」との違いも明確ではない
- ただし、慣用的に
「宇宙物理学 (astrophysics)
≠ 宇宙論 (cosmology)」
であることだけは確か

宇宙物理学 ≠ 宇宙論

太陽	天体力学	重力多体系
惑星形成	星間物質	構造形成
星形成	元素合成・循環	銀河団プラズマ
降着円盤	銀河進化	宇宙線加速・伝播
第一世代天体	輻射輸送	重力波
中性子星	超新星爆発	相対論
ブラックホール	活動銀河核	余剰次元
ガンマ線バースト		宇宙論
		ダークマター
		ダークエネルギー
		初期宇宙進化

天文学・宇宙物理学の研究対象

宇宙の大構造

銀河群

矮小銀河

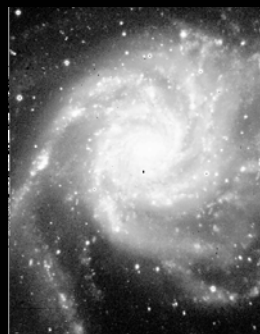
太陽系



星団



銀河



銀河団



天体諸階層の典型的大きさ [光年]

天文学・宇宙物理学研究テーマの分類

■ 対象別：「XX」の起源と進化

- 「XX」 = 惑星、太陽、恒星、星間物質、超新星、コンパクト天体、銀河系(天の川)、銀河、活動銀河核、銀河団、宇宙、時空、生命・文明

■ 波長別：「YY」天文学

- 「YY」 = 電波、赤外線、可視光、紫外線、X線、ガンマ線、宇宙線、ニュートリノ、重力波

■ 手法別：

- 理論、観測(地上、気球、ロケット、衛星、地下)、実験、数値シミュレーション

私の考える科学の心

- 謎を解明する(問題に答える)よりも、**新たな謎を発見(世の中の不思議さに感嘆)**するほうが大事
 - **勉強**(つとめはげむ)から **学問**(学びて問う)へ
- **決して競争するな**: 勝ち負けという価値観は科学とは本来相容れない
- **ただし、このような私の価値観は、科学者の間でもあまり受け入れられてはいない**
 - しかし「役に立たない」学問を、その波及効果、あるいは「100年後に役に立つ」学問を生み出すという理由で正当化する論調には賛同しかねる

答えを知るより、疑問に思う心が大切

眼は、いつでも思った時にすぐ閉じることができるようになっている。

しかし、耳のほうは、自分では自分を閉じることができないようになっている。

なぜだろう。

寺田寅彦 1878年11月28日～1935年12月31日

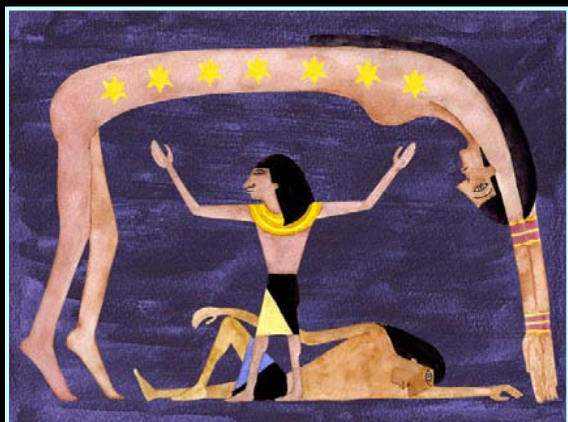
高知県出身

東京帝国大学物理学教授

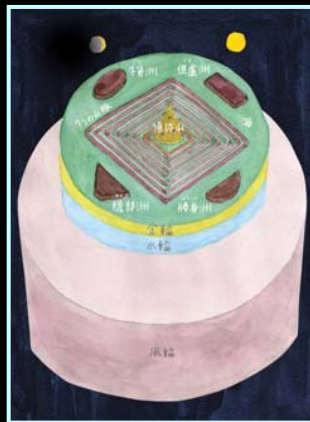
(大正十年三月、渋柿)

夜空のむこうの世界を探る

古代エジプトの宇宙像



仏教の宇宙像



古代インドの宇宙像



■ 宇宙は何からできているか？（宇宙論）

■ もう一つの地球はあるか？（太陽系外惑星研究）

■ 生命はいかにして誕生したのか？（宇宙生物学）

最近20年間の進展

- バリオン以外のダークマターの存在
- 超新星1987Aからのニュートリノの検出
 - ニュートリノ天文学
- 超新星を用いた宇宙の加速膨張の発見
 - ダークエネルギーの存在／一般相対論の限界？
- 宇宙マイクロ波背景輻射の温度ゆらぎと広域銀河カタログによる宇宙論モデルの精密検証
 - 標準ダークマターモデル(インフレーションによるゆらぎ、冷たいダークマター、ダークエネルギー)
- ガンマ線バーストの宇宙論的天体説の確定
- 銀河とブラックホールの共進化
- 太陽系外惑星の発見
- 余剰次元にまつわる理論的探求

残された課題（起源と進化）

- 宇宙の創生
- ダークマターの直接検出
- ダークエネルギーの性質の解明
- 重力波の直接検出 ⇒ 重力波天文学の開拓
- 高エネルギー宇宙線の起源 ⇒ 粒子線天文学の開拓
- 超新星爆発のメカニズム
- ガンマ線バーストのメカニズム
- 第一世代天体形成
- 星形成
- 系外惑星の探査と理解 ⇒ 宇宙生物学への布石

宇宙理論研究室における研究テーマ

I. 宇宙のダークエネルギー

<http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/myresearch/kouenkai080510.pdf>

II. 銀河団と銀河間物質

http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/myresearch/texas_dios05.pdf

III. 太陽系外惑星

http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/myresearch/phys-colloquium07_Oct12.pdf

I 宇宙のダークエネルギー

- 理論、シミュレーション、SDSSデータとの比較
- すばる望遠鏡に搭載する撮像、分光装置を用いた観測プロジェクトの立案
 - 一部は、東大相原研、国立天文台、東北大学、名古屋大学、広島大学、プリンストン大学、カリフォルニア工科大学、エジンバラ大学、ポーツマス大学などとの共同研究

なぜ宇宙を見ることができる？

- 夜空が暗いからこそ天体が見える、我々の世界を理解できる (Isaac Asimov: *Nightfall*)
- 星や銀河は輝いているから存在がわかる
- 「暗いところには何もない」ことを証明できるか？
 - 漆黒の粒子が集積した結果、光を隠しているのでは？ (de Selby in Flann O'Brien: *The Third Policeman*)
 - 真の暗闇を撮影できるか(=ダークエネルギーの観測)
 - 完全な静寂を録音できるか(小林康夫と坂本龍一の対談 UP2008年2月号)
- 宇宙を満たしているものは何か？認識しうるか？

ダークエネルギーはなぜ観測できる？

- 一般にものの検出は差分観測(≠絶対観測)
 - 天体: 暗いところと光っているところの差
 - ダークマター: 空間的な非一様性を天体をトレーサーとして力学的に検出
- もしもダークエネルギーが空間を完全に一様に満たしているとする、その検出には絶対観測が必要？
 - 時間領域での差分観測をすればよい
 - 宇宙膨張、宇宙の構造進化など観測量の時間進化を通じてダークエネルギーの存在を読み取る

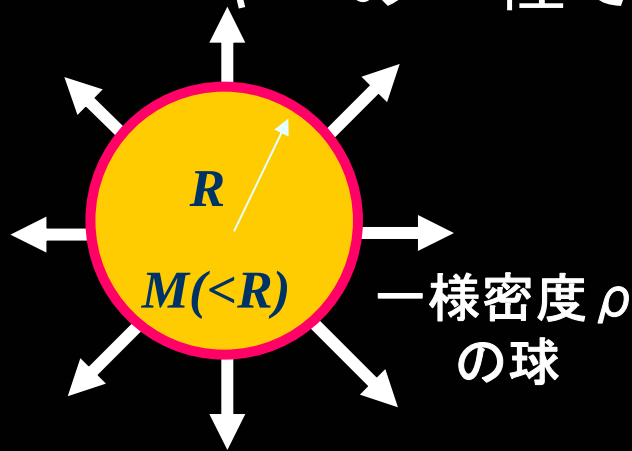
宇宙膨張の方程式

■ ニュートン力学による運動方程式

$$\frac{d^2 R}{dt^2} = -\frac{GM(< R)}{R^2} = -\frac{G}{R^2} \left(\frac{4\pi}{3} \rho R^3 \right) = -\frac{4\pi G}{3} \rho R$$

■ 一般相対論による宇宙膨張の方程式もほぼ同じ

- 質量密度 ρ のみならず圧力 p もまた重力源となる
- 万有斥力に対応する「宇宙定数」(Λ : ダークエネルギーの一種でその有力候補)が存在し得る

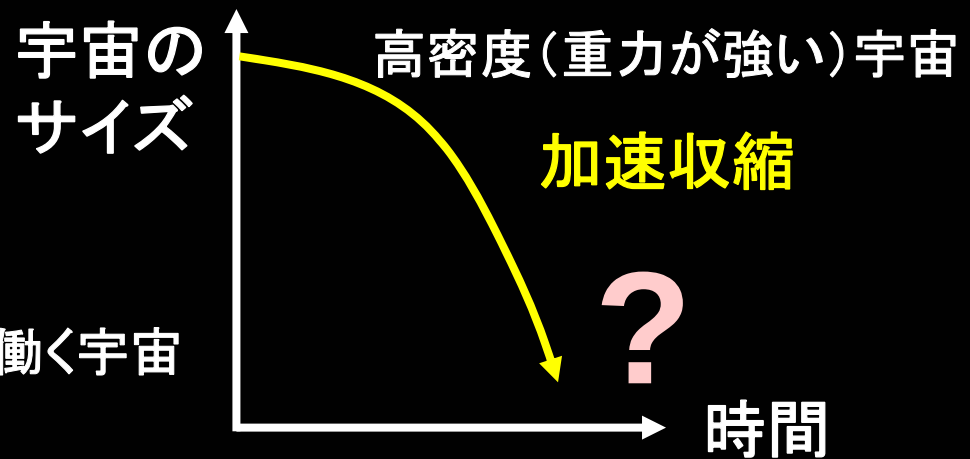
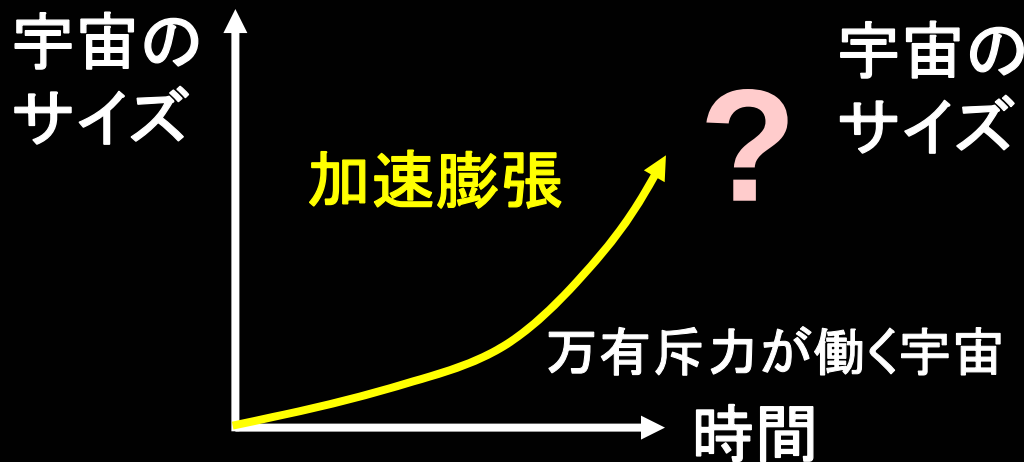
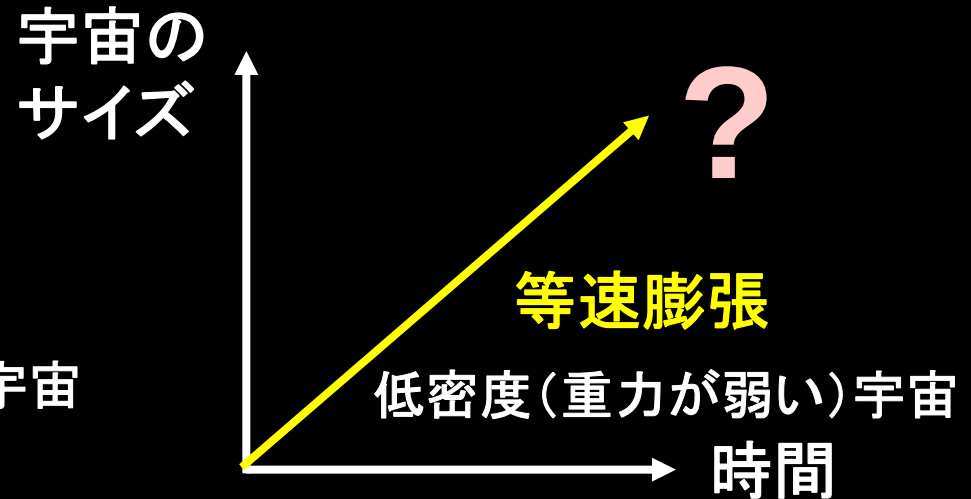
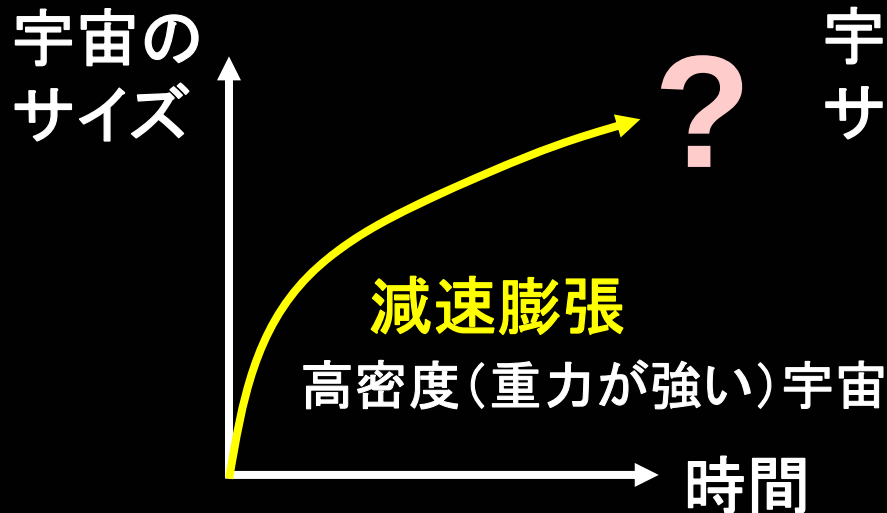


$$\frac{d^2 R}{dt^2} = -\frac{4\pi G}{3} \left(\rho + \boxed{3p} - \frac{\boxed{\Lambda}}{4\pi G} \right) R$$

フリードマン方程式

宇宙の組成と宇宙膨張の未来

- 宇宙の構造と進化の観測を通じて、宇宙の組成を決定する $\Rightarrow$ 宇宙の未来もわかる



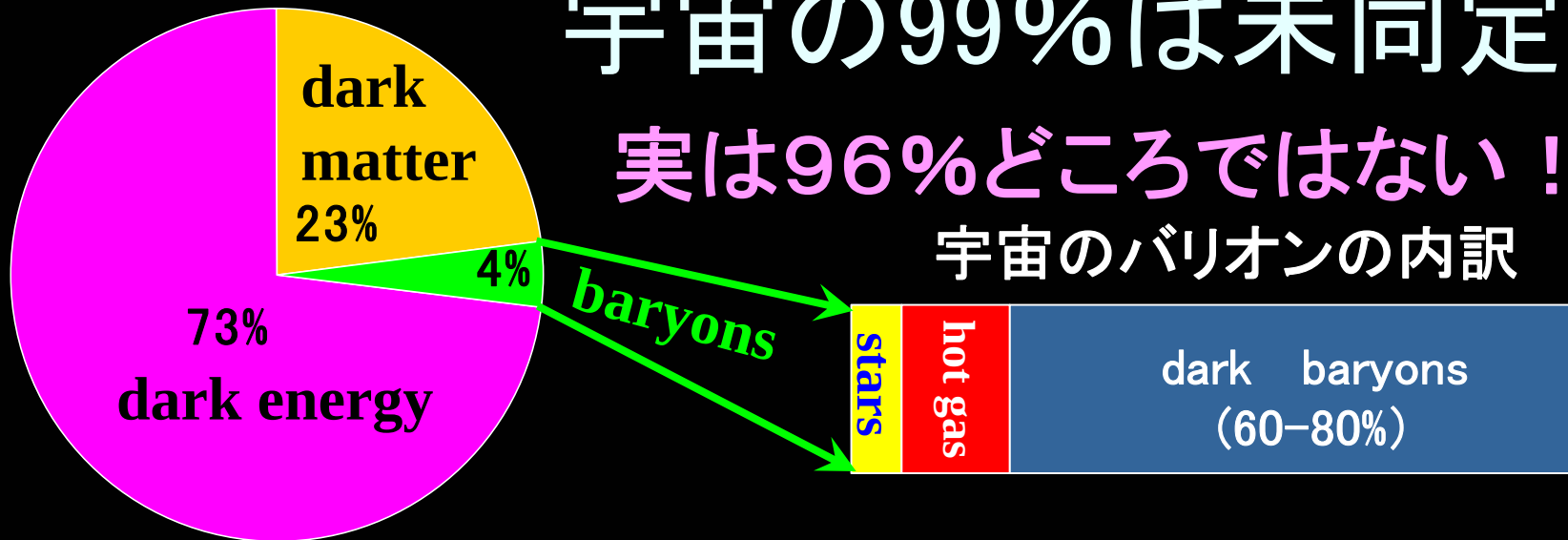
Ⅱ 銀河団と銀河間物質

- 銀河団の理論モデル構築
- 銀河間に存在する宇宙のダークバリオンのシミュレーション
- ダークバリオン探査専用衛星の提案
 - 首都大学東京、宇宙研、筑波大、金沢大、ローマ大、ボローニャ大、オランダSRONなどとの共同研究

宇宙の99%は未同定

実は96%どころではない！

宇宙のバリオンの内訳



Component

Central

Maximum

Minimum

Grade^a

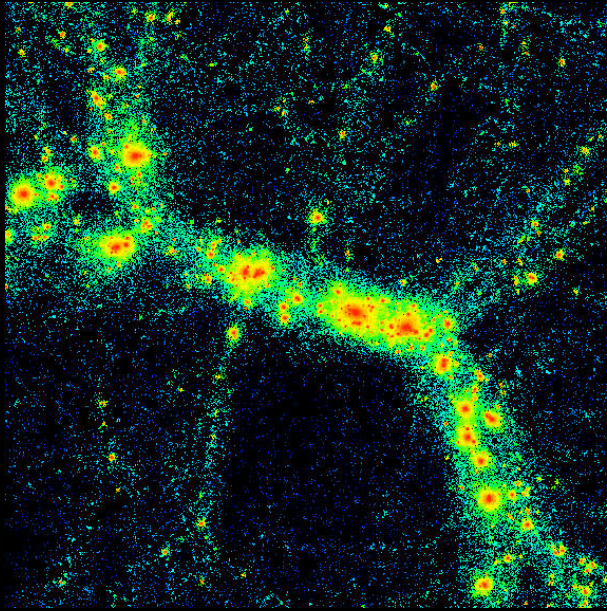
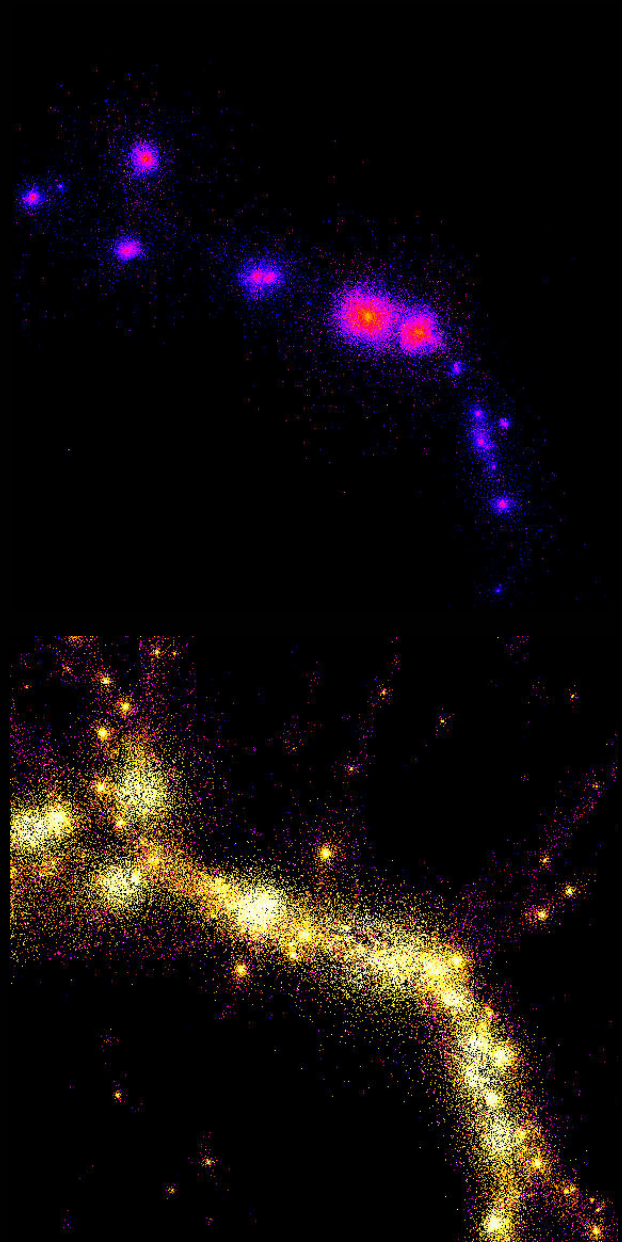
Cosmic Baryon Budget: Fukugita, Hogan & Peebles: ApJ 503 (1998) 518

1. Stars in spheroids	0.0026 h_{70}^{-1}	0.0043 h_{70}^{-1}	0.0014 h_{70}^{-1}	A
2. Stars in disks	0.00086 h_{70}^{-1}	0.00129 h_{70}^{-1}	0.00051 h_{70}^{-1}	A—
3. Stars in irregulars	0.000069 h_{70}^{-1}	0.000116 h_{70}^{-1}	0.000033 h_{70}^{-1}	B
4. Neutral atomic gas	0.00033 h_{70}^{-1}	0.00041 h_{70}^{-1}	0.00025 h_{70}^{-1}	A
5. Molecular gas	0.00030 h_{70}^{-1}	0.00037 h_{70}^{-1}	0.00023 h_{70}^{-1}	A—
6. Plasma in clusters	0.0026 $h_{70}^{-1.5}$	0.0044 $h_{70}^{-1.5}$	0.0014 $h_{70}^{-1.5}$	A
7a. Warm plasma in groups	0.0056 $h_{70}^{-1.5}$	0.0115 $h_{70}^{-1.5}$	0.0029 $h_{70}^{-1.5}$	B
7b. Cool plasma	0.002 h_{70}^{-1}	0.003 h_{70}^{-1}	0.0007 h_{70}^{-1}	C
7'. Plasma in groups	0.014 h_{70}^{-1}	0.030 h_{70}^{-1}	0.0072 h_{70}^{-1}	B
8. Sum (at $h = 70$ and $z \simeq 0$)	0.021	0.041	0.007	...

宇宙の物質分布 (SPH simulation)

銀河団高温ガス

ダークバリオン



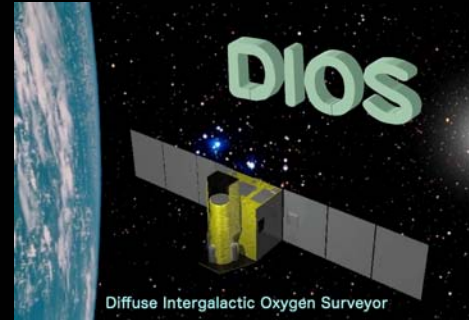
ダークマター

銀河

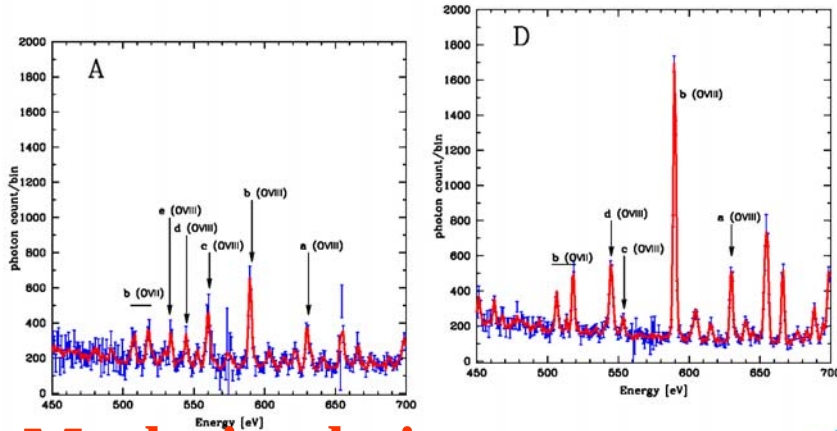


Yoshikawa et al. (2001)

Searching for cosmic missing baryons with DIOS (Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor)



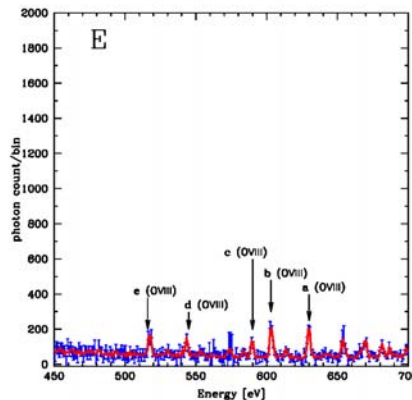
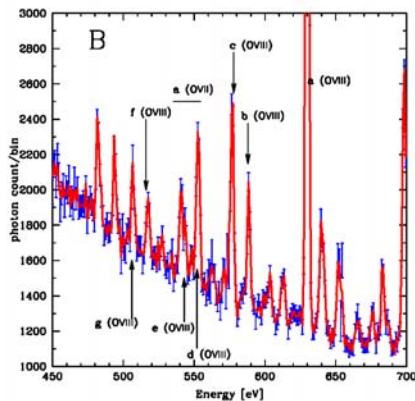
PASJ 55 (2003) 879
PASJ 56 (2004) 939



Mock simulations

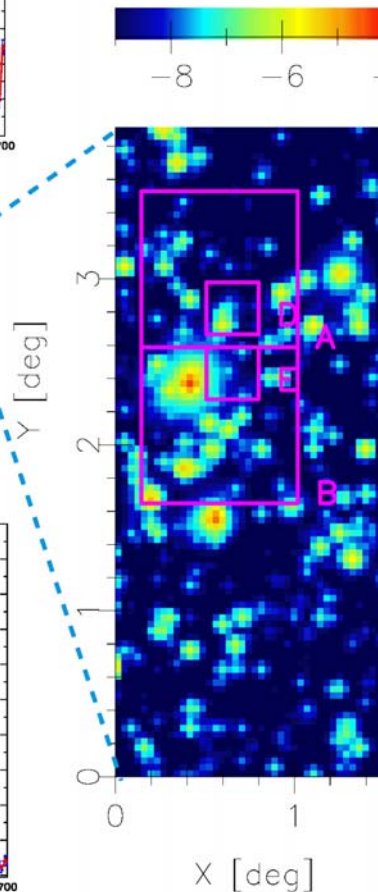


$z=0$



$z=0.3$

$\text{Log } S_x \text{ [erg/s/cm}^2\text{]}$



Tokyo Metropolitan Univ.:

T. Ohashi

JAXA/ISAS:

N. Yamasaki

K. Mitsuda

Nagoya Univ.:

Y. Tawara

Univ of Tokyo:

K. Yoshikawa

Y. Suto

Ⅲ 太陽系外惑星

- 太陽系外トランジット惑星の観測・理論的研究
 - 系外惑星の角運動量の決定とその起源
 - 系外惑星の大気組成の決定
 - 系外惑星の反射光の検出
 - 系外惑星のリングと衛星の兆候
 - 地球型惑星の反射光の時間変化
 - 国立天文台、プリンストン大学、マサチューセッツ工科大学、との共同研究

太陽系外惑星とはどんなものか

- 水金地火木土(天海冥)のその先？
- わが太陽系の拡大
 - 1781年：天王星の発見
 - 1846年：海王星の発見
 - 1930年：冥王星の発見
- 1995年：初めての太陽系外惑星の発見
- 哲学から科学へ
 - この宇宙とよく似た宇宙も全く異なる宇宙も無限に存在する
 - エピキュラス（紀元前341年～270年）
 - 我々以外の宇宙は存在し得ない
 - アリストテレス（紀元前384年～322年）

第二の地球はあるか？



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

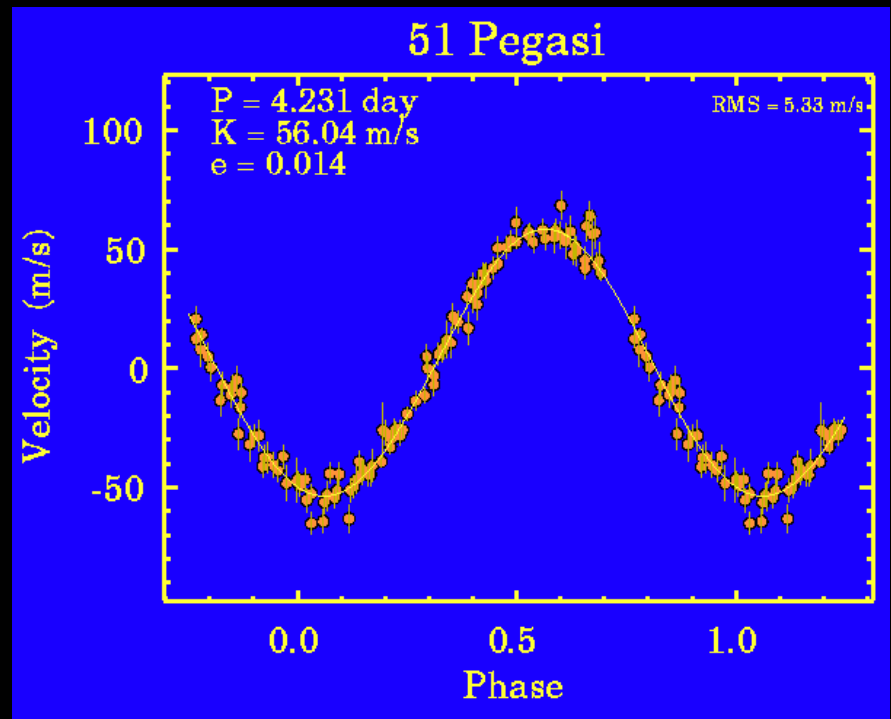
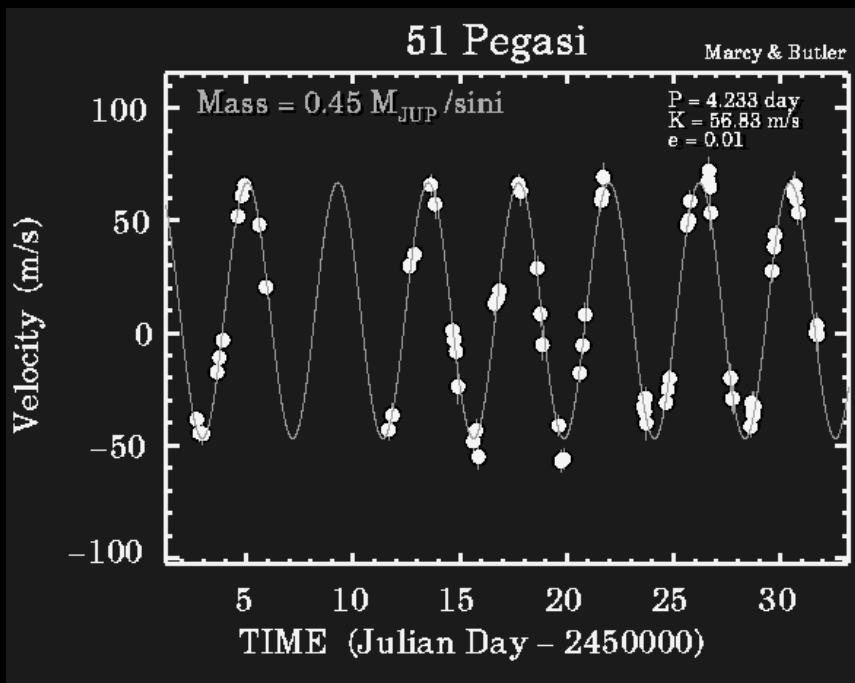
Terra衛星のMODIS検出器のデータ

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

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

ペガサス座51番星 ～初めての太陽系外 惑星の発見～

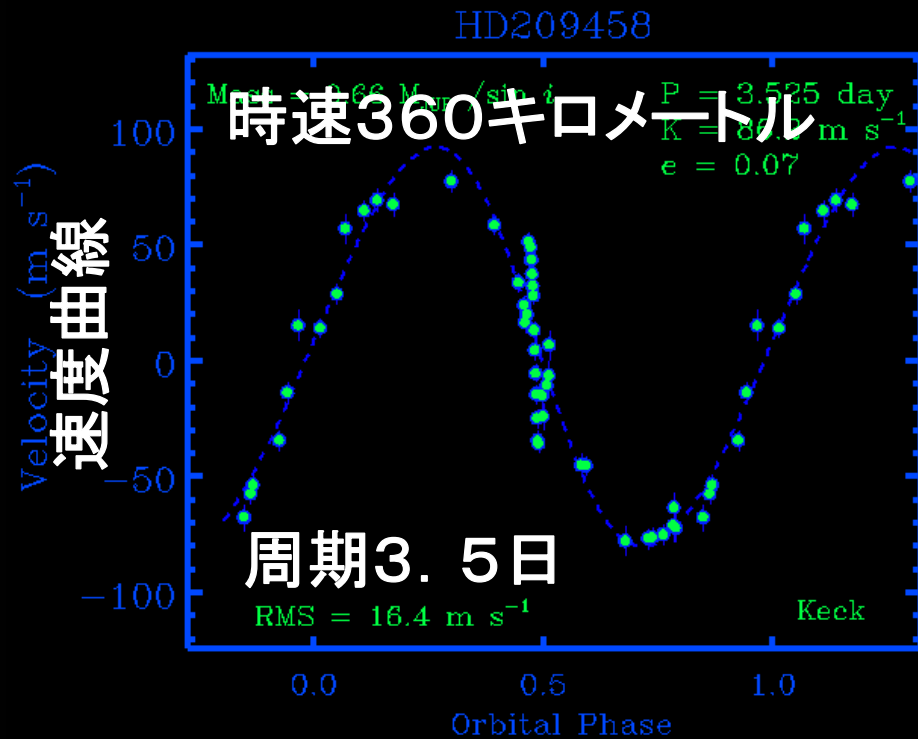
■ メイヨール & ケロス (1995年)



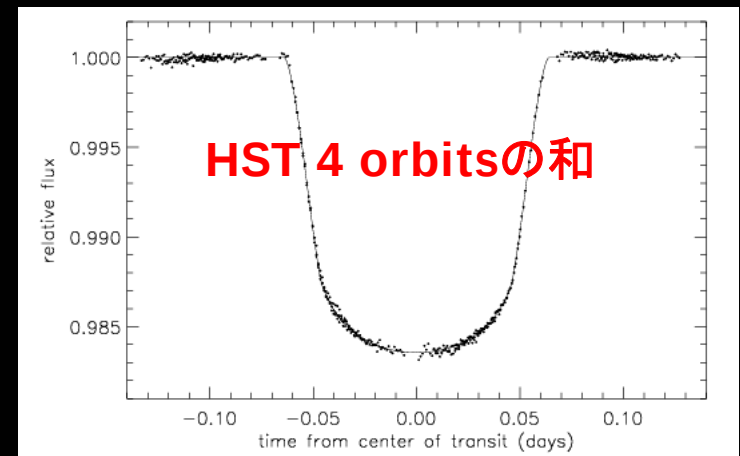
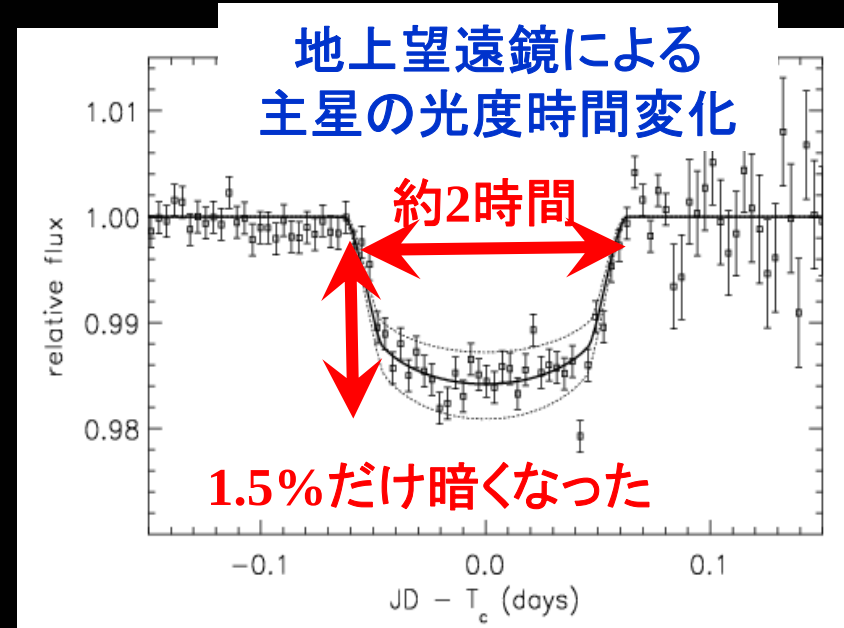
周期がわずか4.2日！

最初の太陽系外トランジット(食)惑星 HD209458b (2000年発表)

■ 速度変動のデータに合わせた惑星食の初検出

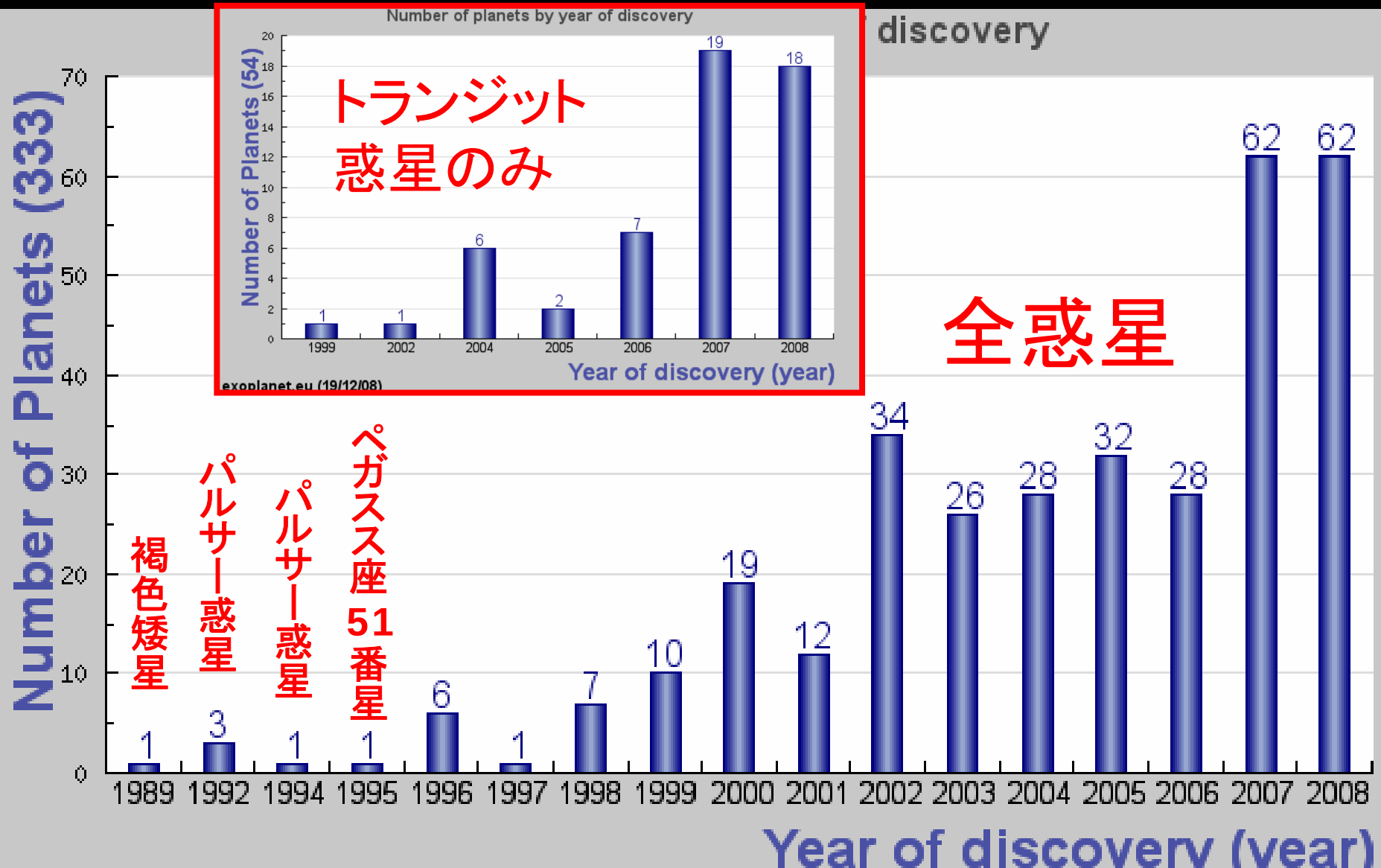


地上望遠鏡による
主星の速度時間変化



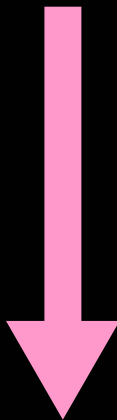
Brown et al. (2001)

太陽系外惑星(候補)の発見年表



今後の系外惑星研究

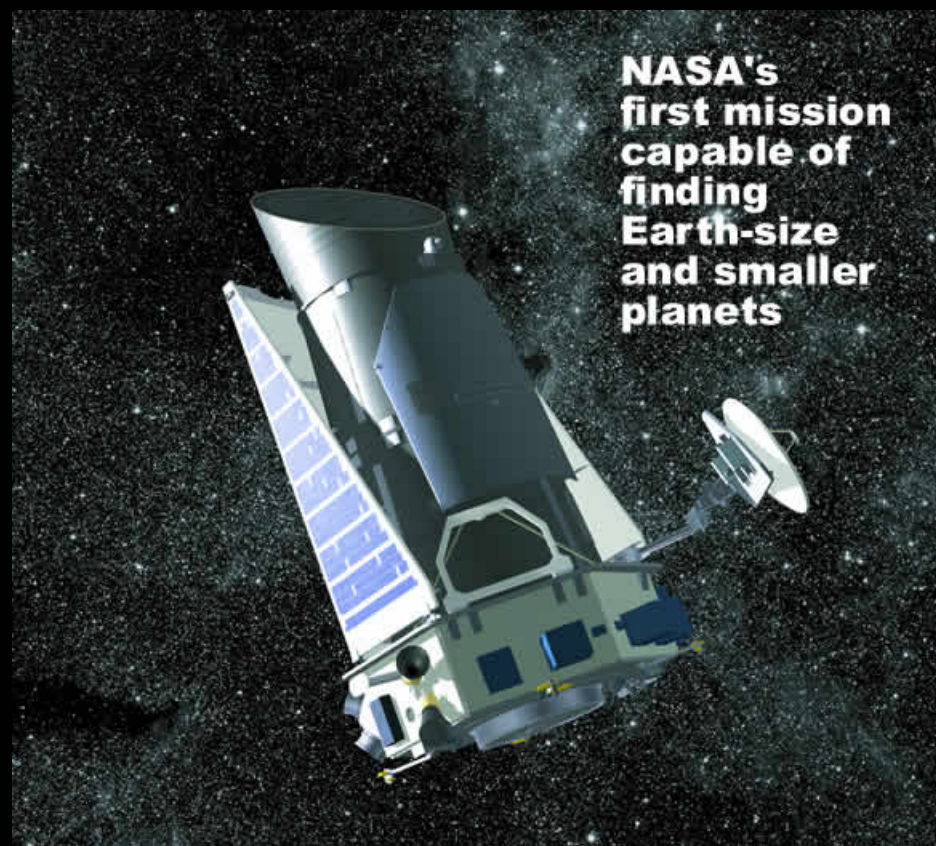
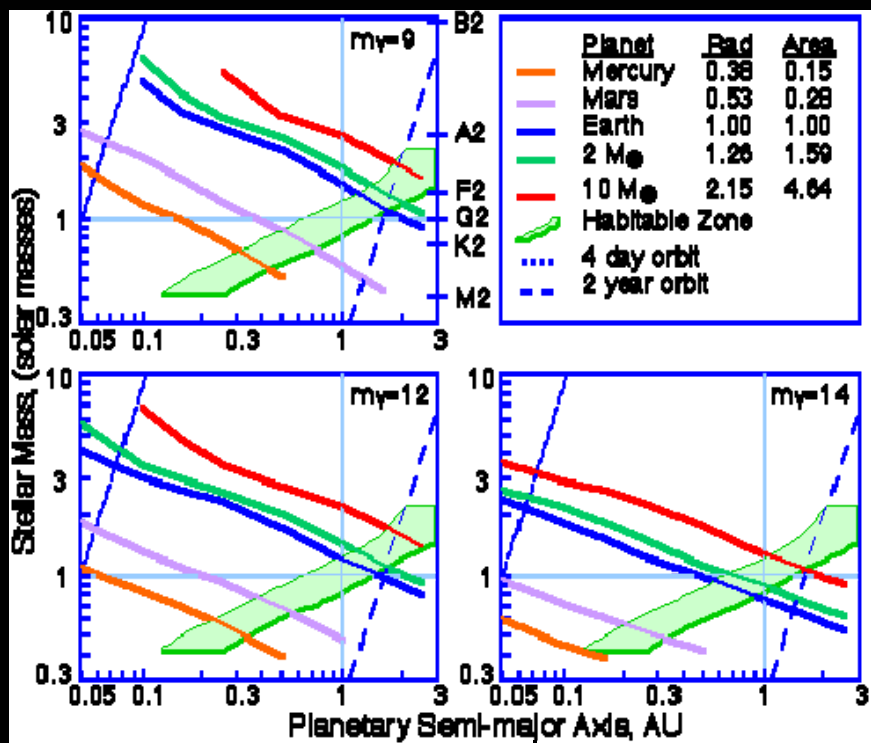
- 巨大ガス惑星発見の時代 (1995～)
 - 惑星大気の実見 (2002)
 - 惑星大気の高精密分光観測による組成決定
 - 惑星赤外線輻射の検出 (2005)
-
- 惑星可視域反射光の検出
 - 系外惑星リング、衛星の実見
 - 地球型惑星、居住可能惑星の実見
-
- 惑星の直接検出(分光)
 - バイオマーカー(生物存在の証拠)の同定
 - 地球外生命の実見



ケプラー衛星 (米国2009年3月7日打ち上げ)

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

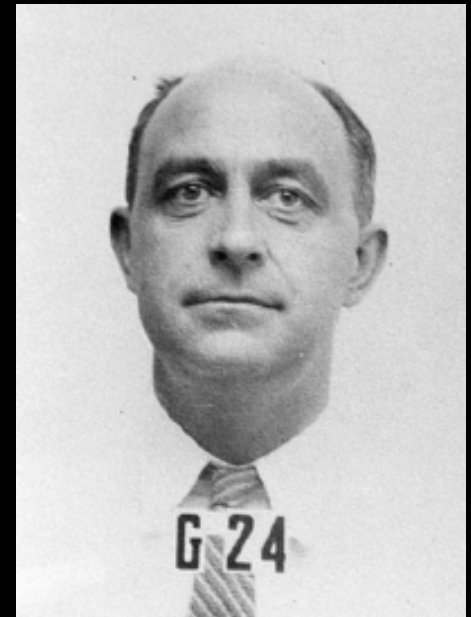


<http://kepler.nasa.gov/>

Fermi's question

- Where are *they*?

- Enrico Fermi during a luncheon conversation at Los Alamos (1950)



バイオマーカー（生物存在の証拠）の同定

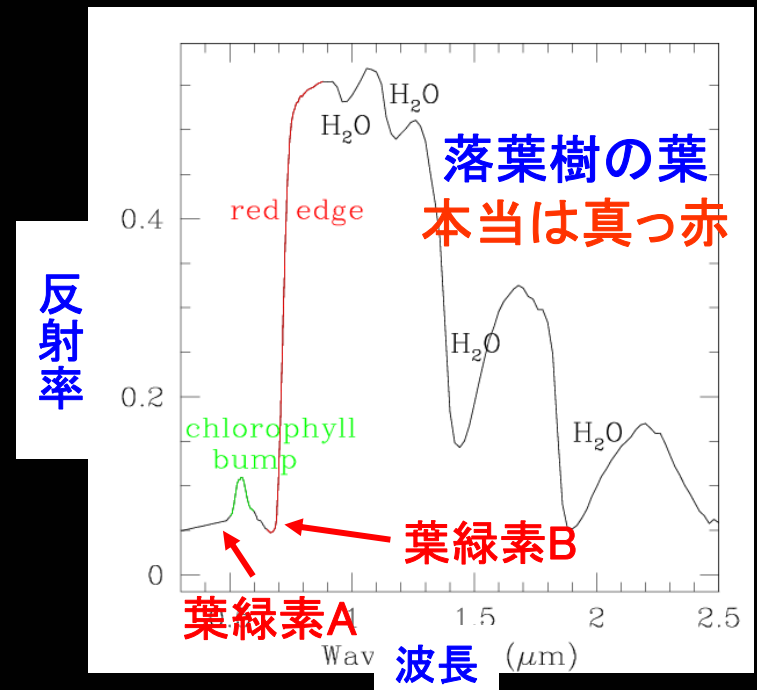
- （居住可能）地球型惑星を発見するだけでは、そこに生命があるかどうかはわからない

- **Biomarker** の探求

- 酸素、オゾン、水の吸収線
- 植物の **red edge**
- *Extrasolar planets from extrasolar plants (E. Turner)*
- とにかく超精密分光観測

- やっぱりSETIか？

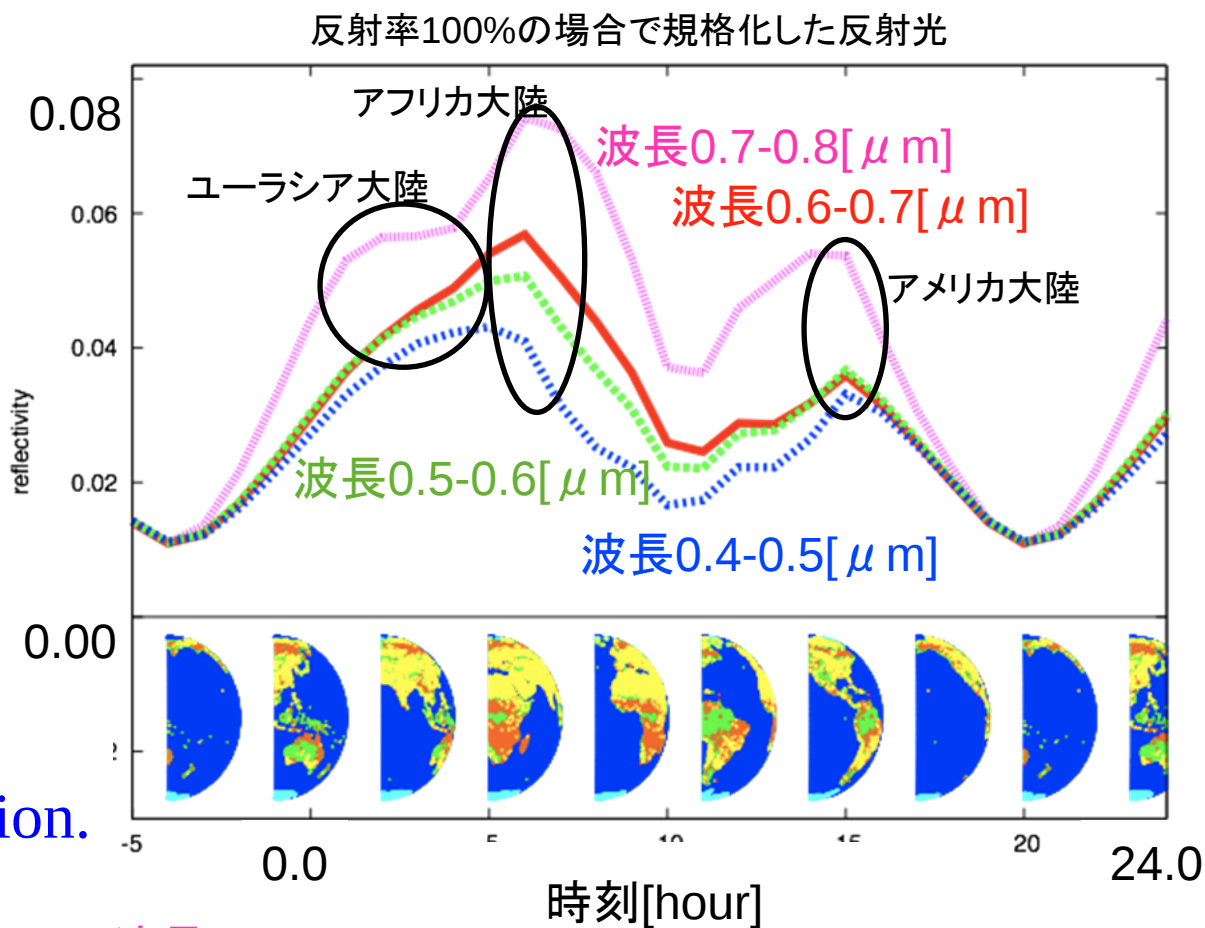
- 可能性は低くともこれ以上に確実なものはない
- まっとうなバイオマーカーではやはり隔靴搔痒



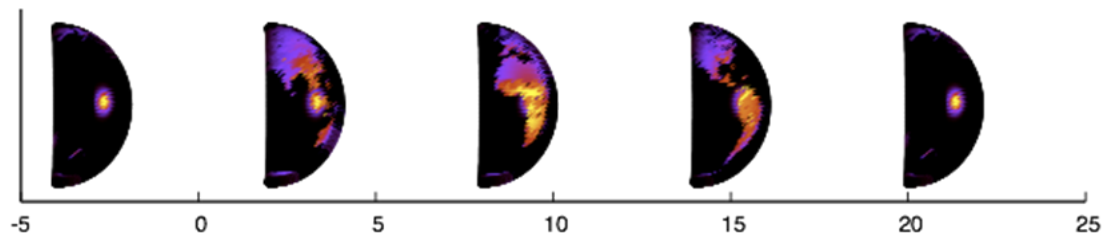
反射光の 時間変動

- 春分(3月)
- 自転軸に垂直な方向から観測

Fujii et al. in preparation.

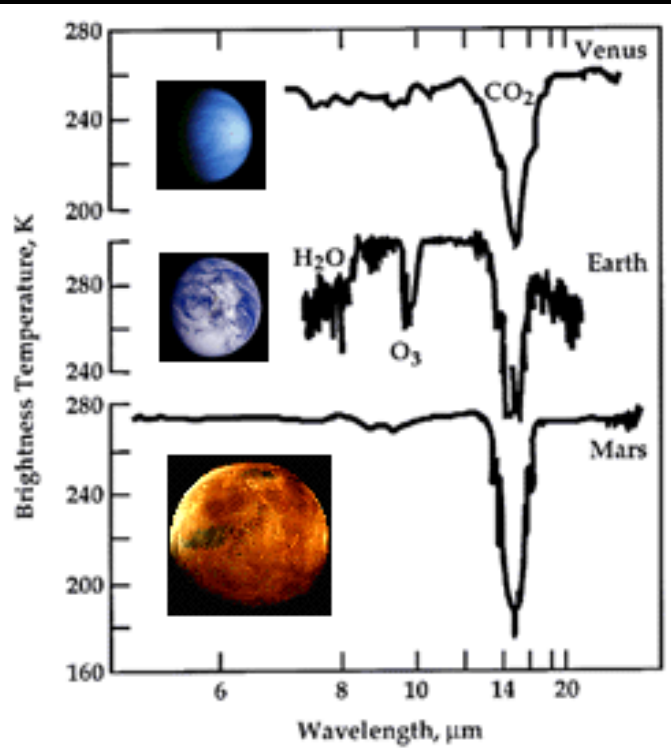


波長0.7-0.8[μ m]



各地点の
寄与の大きさを
色で表したもの

太陽系外惑星： そのさきにあるもの “天文学から宇宙生物学へ”



- 地球型惑星の発見
- 居住可能(ハビタブル)惑星の発見
 - 水が液体として存在する地球型惑星
- バイオマーカーの提案と検出
 - 酸素、水、オゾン、核爆発、、
- 超精密分光観測の成否が鍵！
 - 惑星の放射・反射・吸収スペクトルを
中心星から分離する

直接見てくることができない距離にある惑星に
生物が存在するかどうかを天文観測だけで説得
できるか？ Biomarker を特定できるか？

「夜空のむこう」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

