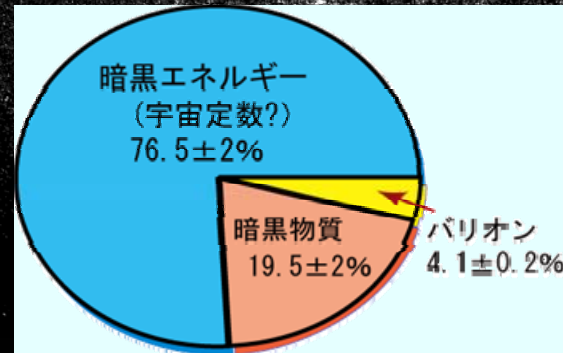
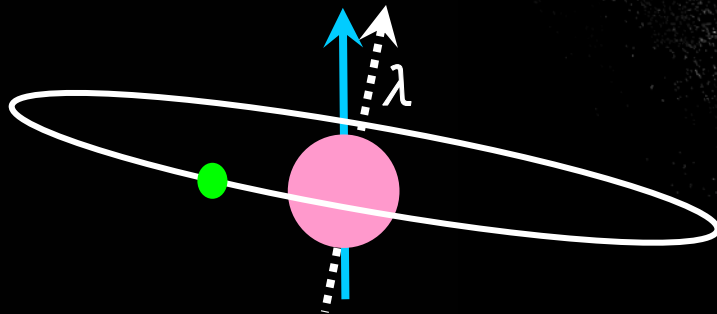


# 夜空の向こうの物理

大学院修士課程入学  
志望者ガイダンス  
2007年6月27日  
16:00~16:30

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



# 主な研究テーマ

## I. 宇宙のダークエネルギー

<http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/myresearch/rironkon06.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](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/waseda06.pdf>

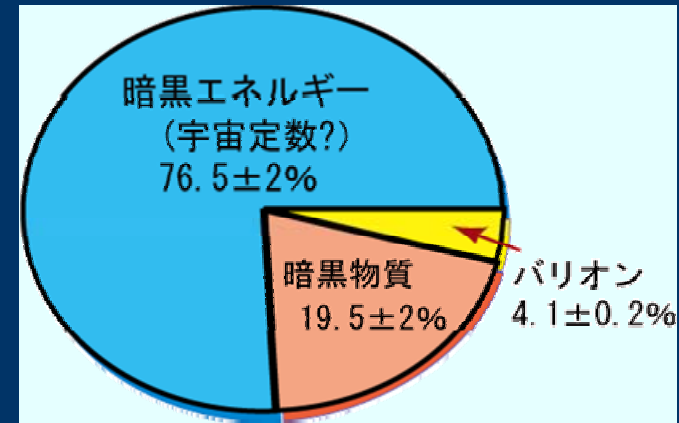
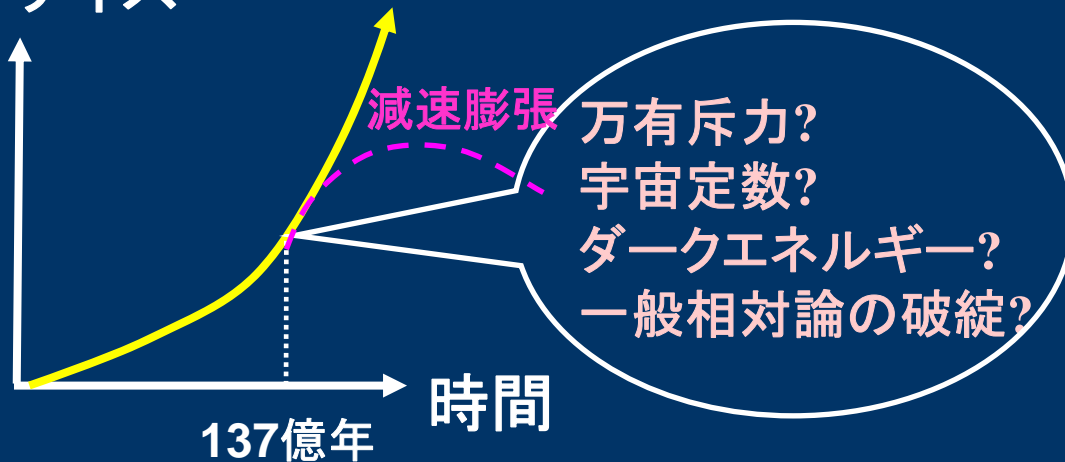
# I 宇宙のダークエネルギー

- 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の共同研究

# ダークエネルギーとは何か

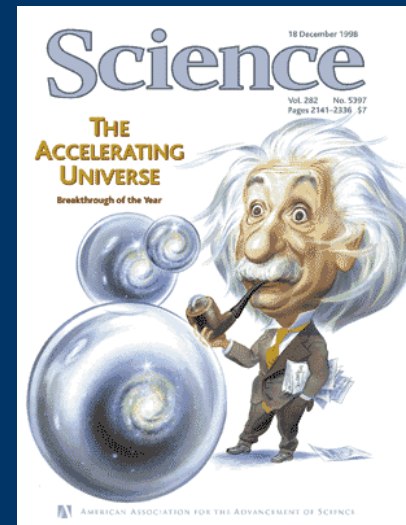
宇宙の  
サイズ

宇宙の加速膨張



Science誌が選んだ  
breakthrough of the year  
1998年 宇宙の加速膨張  
2003年 ダークエネルギー

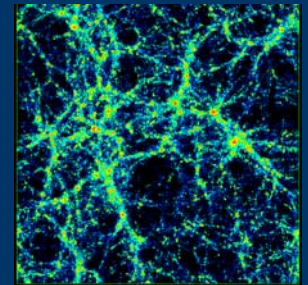
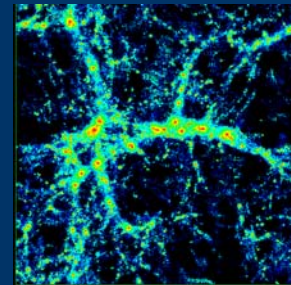
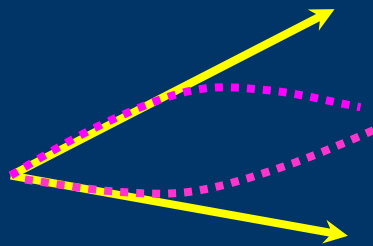
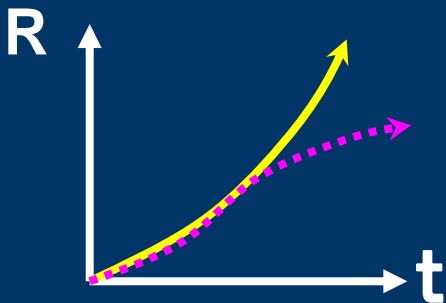
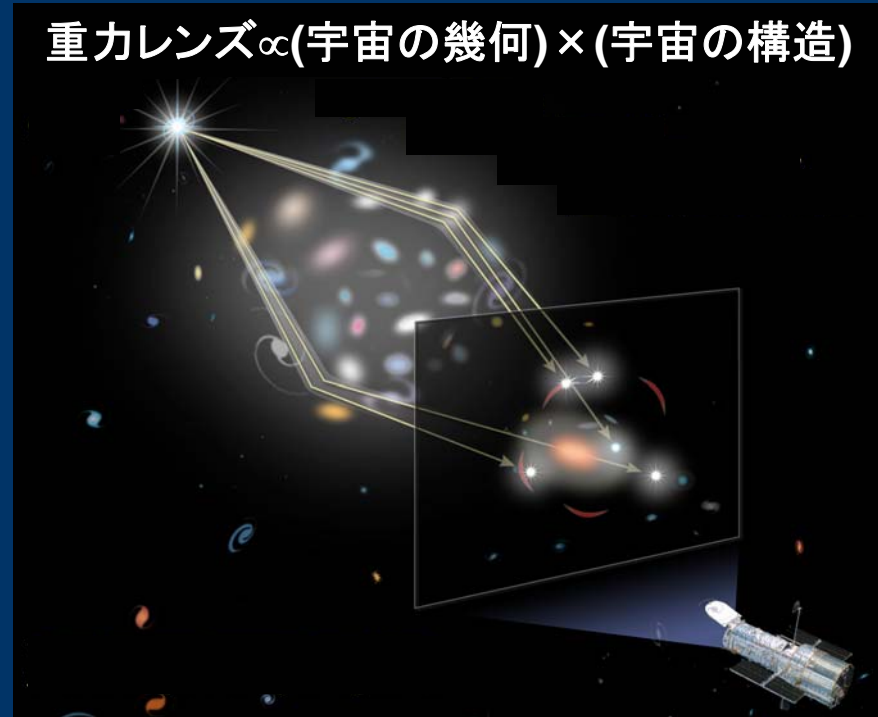
- **宇宙の加速膨張の発見 (1998年)**
  - 重力は引力なので必ず減速膨張
  - 重力を打ち消すような「万有斥力」が必要
- **加速膨張の原因は何か?**
  - 万有斥力を及ぼす奇妙な物質(ダークエネルギー)?
    - アインシュタインの宇宙定数(1917年)?
    - 「真空」がもつエネルギー?
  - 宇宙論スケールでの一般相対論(重力法則)の破綻
- **いずれも未知の物理学を切り拓く鍵**



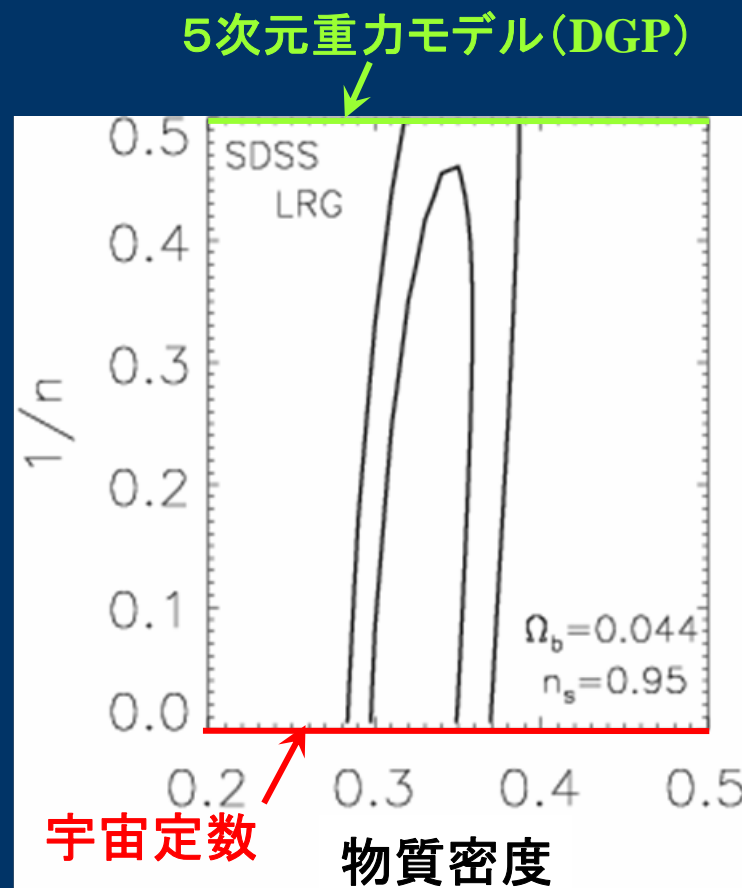
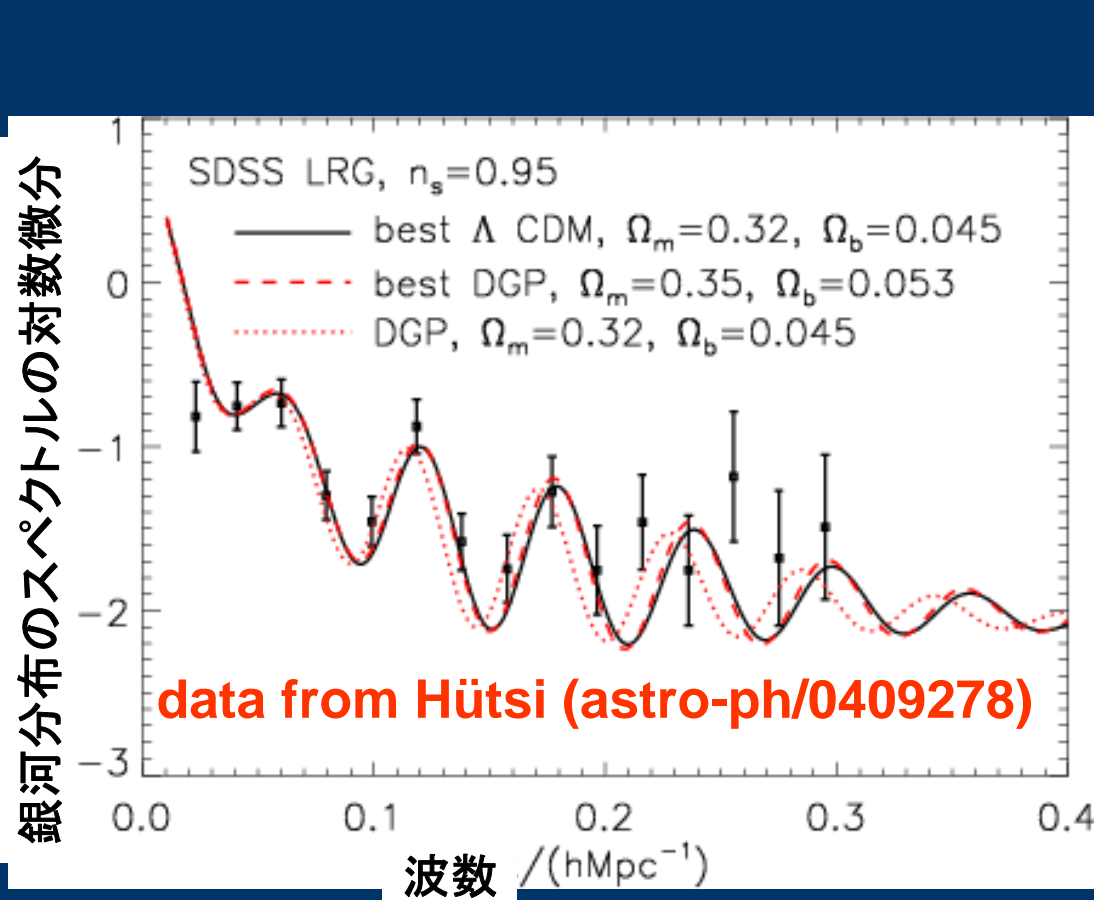
# 暗黒エネルギーの “見え方”

- 宇宙膨張を加速させる
- 宇宙の幾何学を変える
- 宇宙構造の進化を変える
  - 重力レンズの強度の時間変化
  - 宇宙大構造の特徴的スケール(バリオン振動)の時間変化

重力レンズ $\propto$ (宇宙の幾何) $\times$ (宇宙の構造)



# SDSS銀河のバリオン振動データを用いた重力法則とダークエネルギーについての制限



# 暗黒エネルギー研究国際ネットワーク

JSPS 日本学術振興会

## 先端研究拠点事業

JSPS Core-to-Core Program

暗黒エネルギー研究国際ネットワーク

2007年4月  
～2009年3月



### 英国

エジンバラ大学  
王立天文台

ポーツマス大学  
オックスフォード大学  
ロンドン大学

東京大学  
ビッグバン宇宙  
国際研究センター

東北大学

国立天文台

広島大学

京都大学

名古屋大学

### 米国

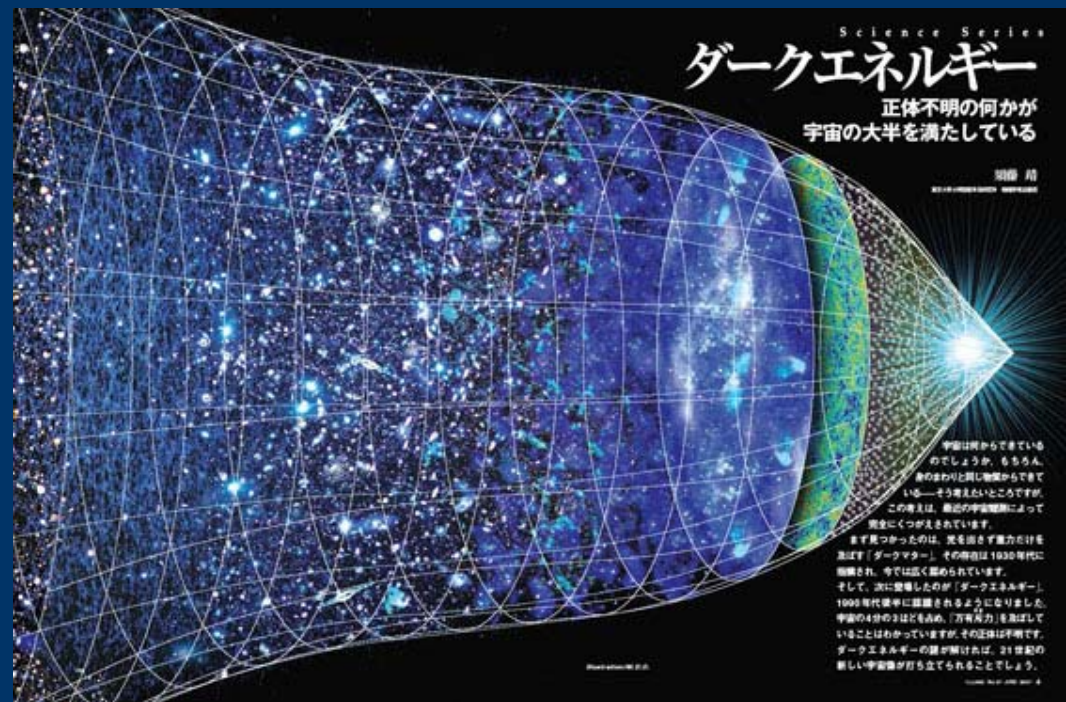
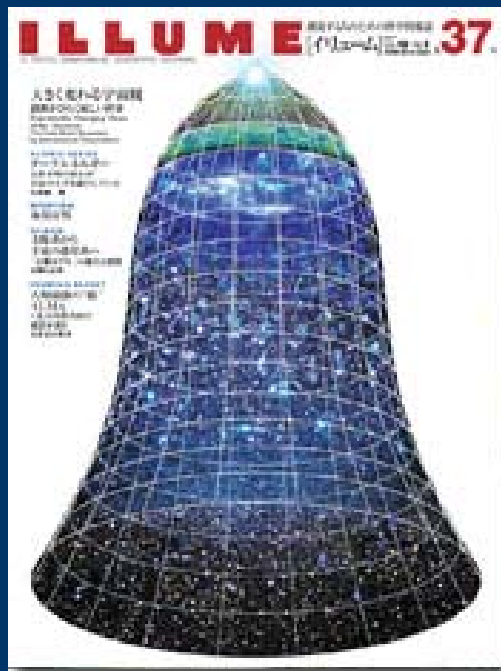
カリフォルニア  
工科大学  
天文学教室

プリンストン大学  
宇宙科学教室

マサチューセッツ工科大学  
宇宙望遠鏡研究所  
シカゴ大学

# より詳しくは配布する解説記事を参照のこと

- 宇宙の暗黒エネルギーを探る
  - 須藤、相原、高田：日本物理学会誌、2007年2月号
- ダークエネルギー
  - イリューム 2007年春号





# 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（日本DIOS、ヨーロッパとの共同EDGE）
  - 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

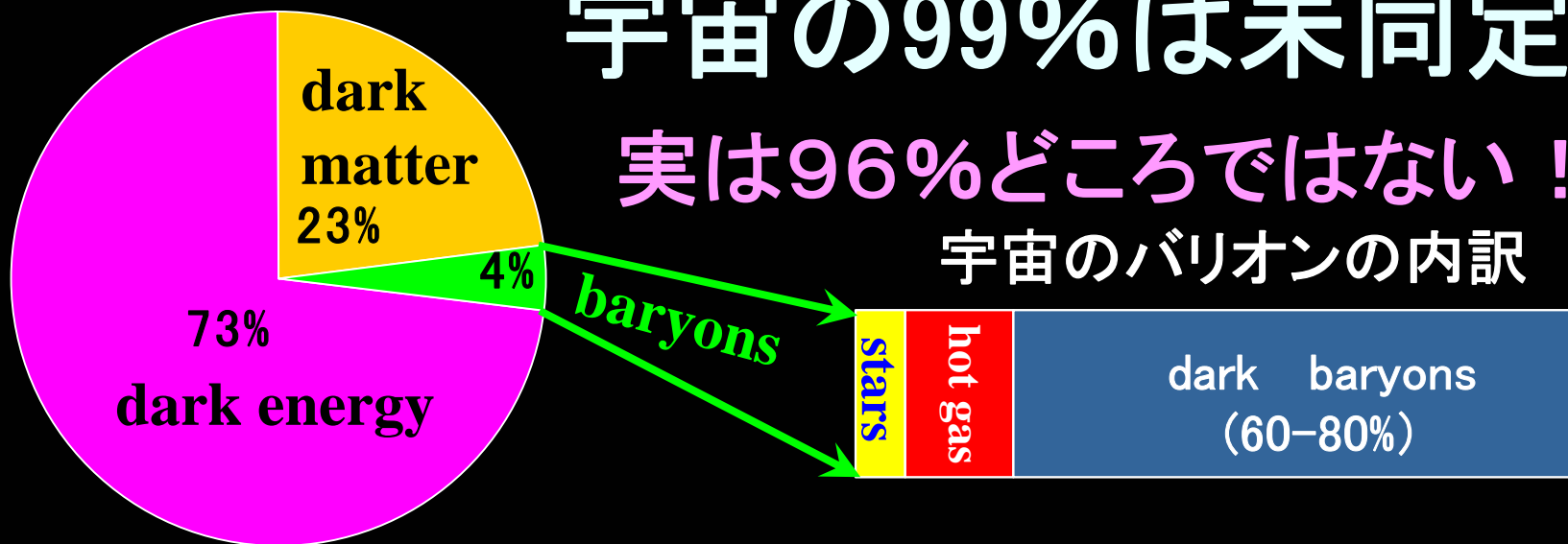
# 宇宙のダークバリオン探査の重要性

- **ダークマターやダークエネルギーの探査・研究と極めて相補的**
  - バリオンは宇宙の物質階層の中でもっとも重要な成分
  - その存在形態を突き止めるためには未知の物理学を必要としない
  - 天文・宇宙物理学を適切に組み合わせることで必ず答えが出る確実なテーマ
  - その検出手段を確定すれば新たな宇宙観測の窓を開拓することになる
- **計画の準備状況(観測可能性と科学的意義の検討、衛星の具体的仕様)において、現時点では日本が世界のトップの位置にいる**
  - 日本独自あるいは他の国も参加するスタイルで国際協力を主導できるプロジェクト

# 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<sup>a</sup>

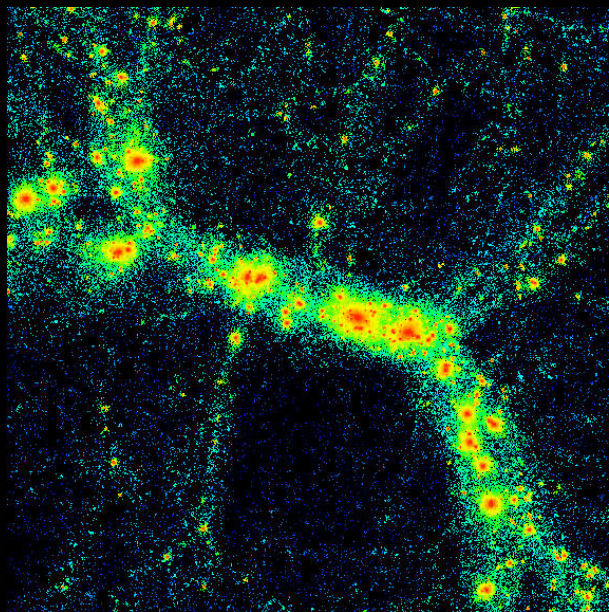
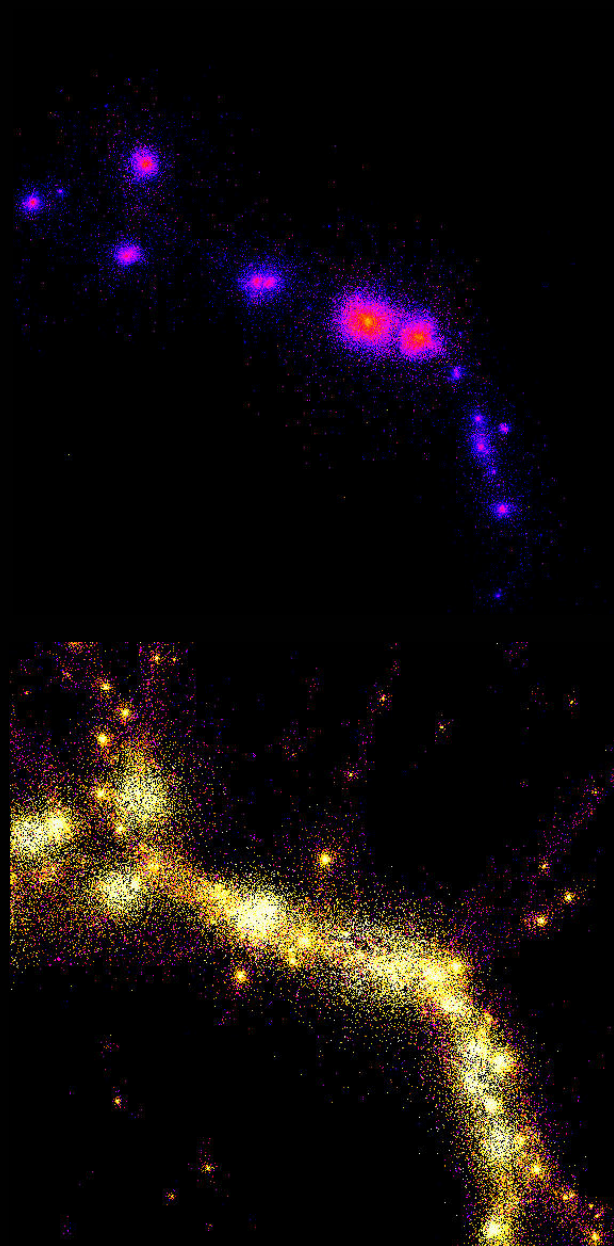
## Cosmic Baryon Budget: Fukugita, Hogan & Peebles: ApJ 503 (1998) 518

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

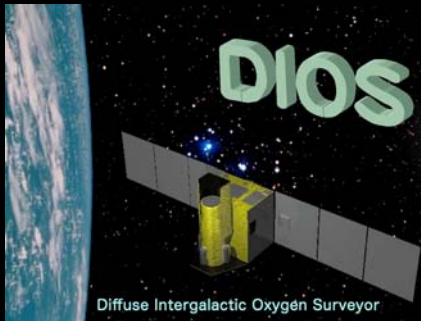


ダークマター

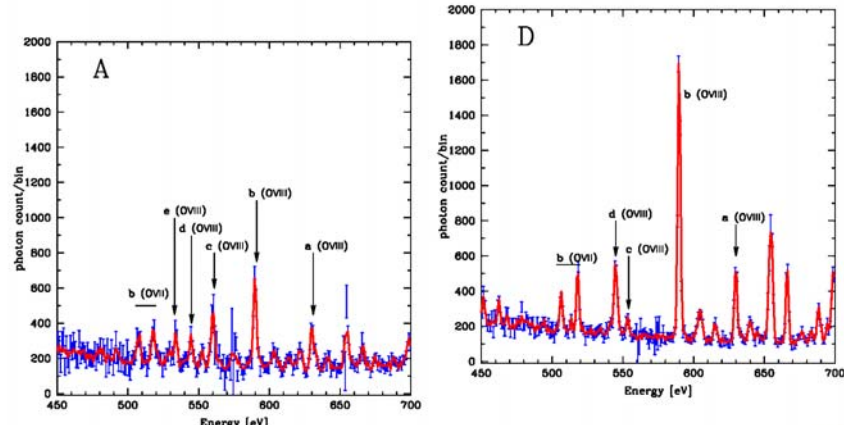
銀河

Yoshikawa et al. (2001)

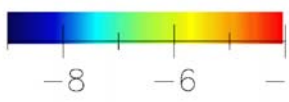
# Searching for cosmic missing baryons with DIOS (Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor)



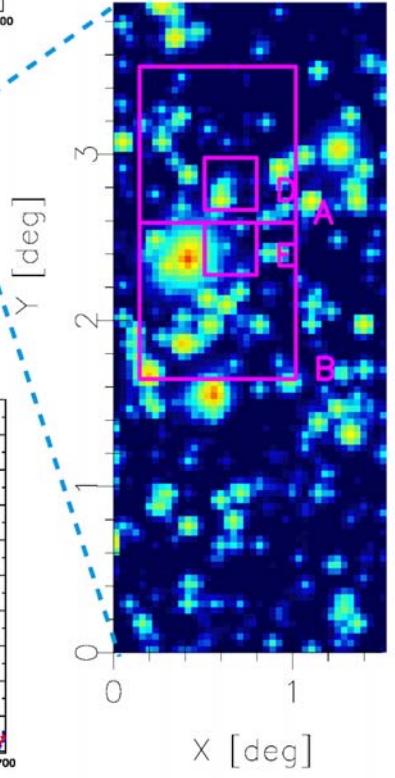
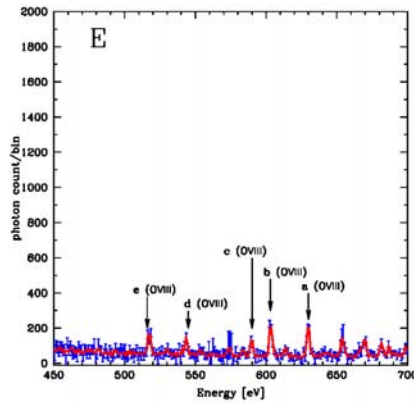
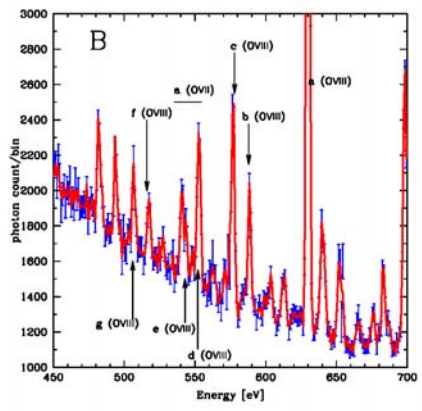
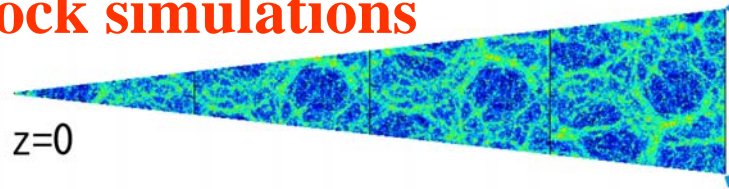
**PASJ 55 (2003) 879**  
**PASJ 56 (2004) 939**



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



**Mock simulations**



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発見
- 理論テンプレートの計算、すばる観測とデータ解析
  - 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、セントアンドリュース大学との共同研究

# 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>

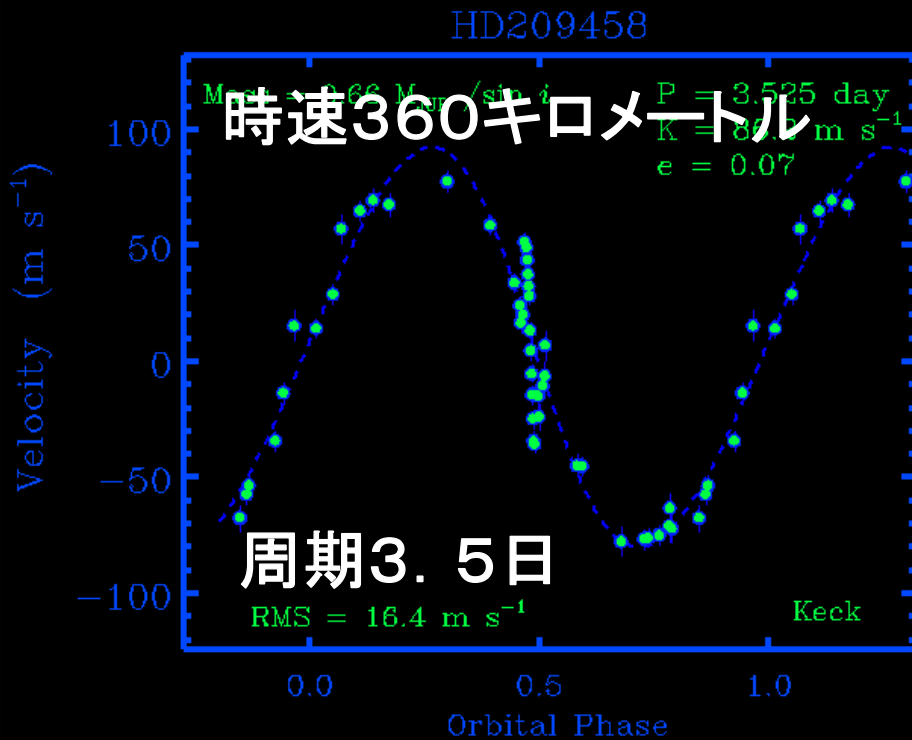
# 太陽系外惑星発見の歴史

- 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)

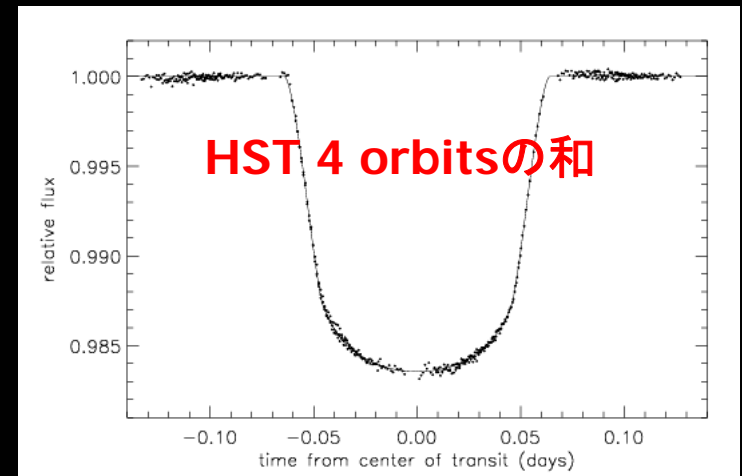
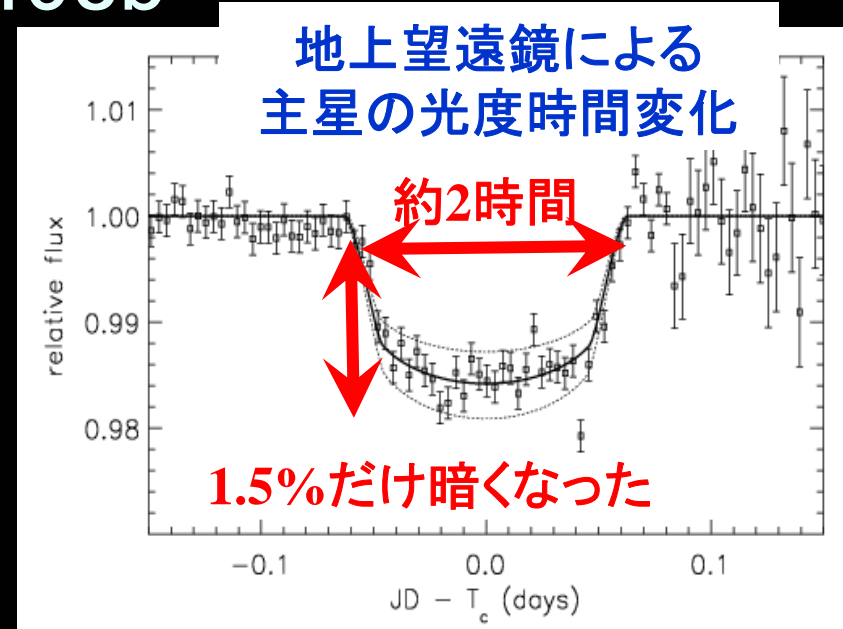


# 初めての太陽系外トランジット(食)惑星 HD209458b

- 速度変動のデータに合わせた惑星食の初検出

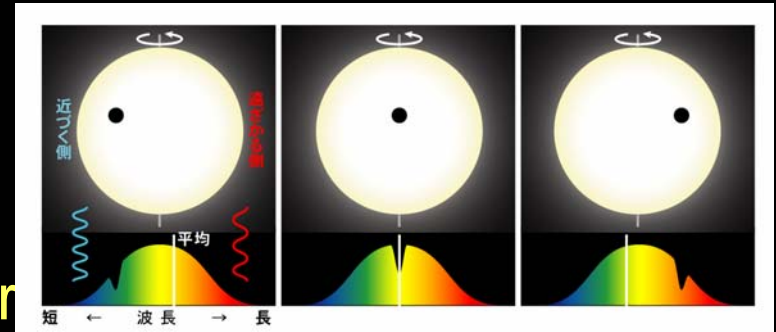


地上望遠鏡による  
主星の速度時間変化



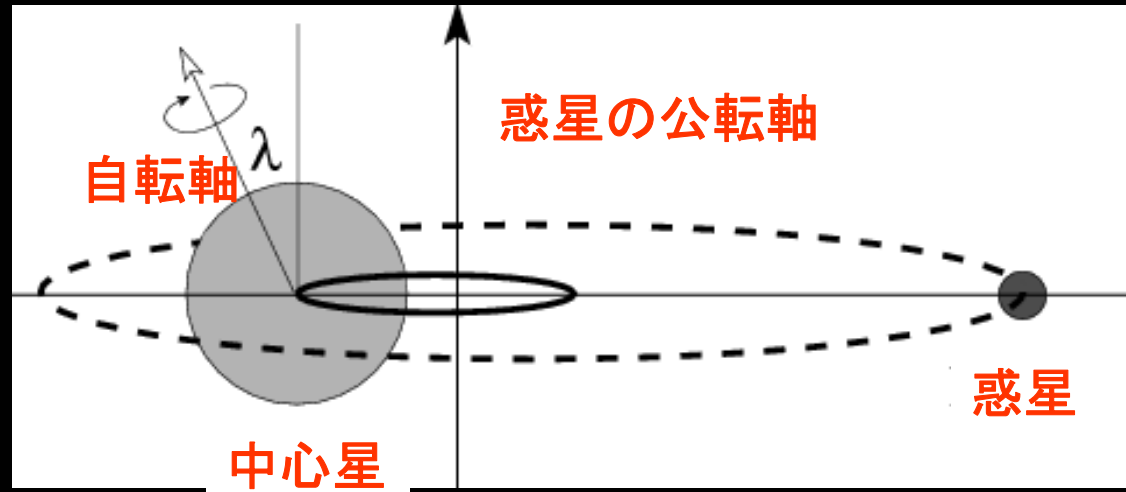
Brown et al. (2001)

# すばる望遠鏡を用いた太陽系外惑星研究



- Transmission spectroscopy of extrasolar planets
  - $H\alpha$  absorption upper limit  $\sim 0.1\%$  (Hoshi Navi, 2005 Feb issue)  
(Winn et al. 2004, PASJ 56, 655)
  - Analysis of other lines (Narita et al. 2005)
- Constraining the stellar spin and the planetary orbital axes from the Rossiter-McLaughlin effect
  - the first analytic formulae + Subaru proposal  
(Ohta, Taruya & Suto 2005; Winn et al. 2005)
- Search for reflected light from extrasolar planets
  - on-going collaboration with a group at St. Andrews University (A. Cameron, C. Leigh, ...)

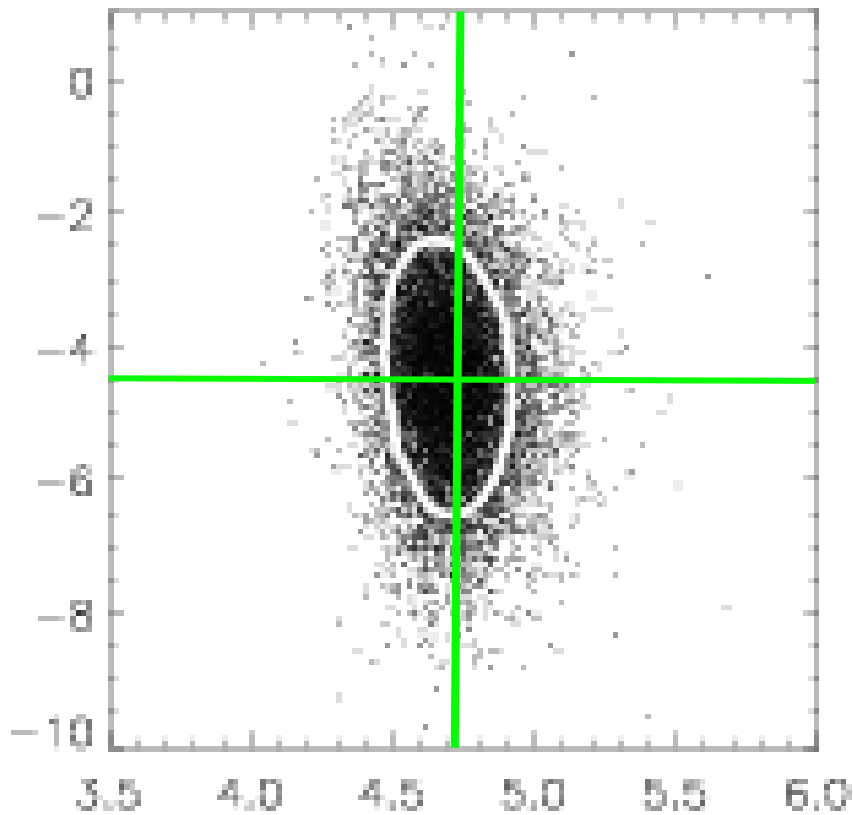
# 系外惑星の公転軸と中心星の自転軸との角度のずれの初検出



- 私の研究室の大学院生太田泰弘君の理論的な論文が、共同研究者であるハーバード大学のJosh Winn氏を刺激
- トランジット惑星 HD209458 に関するベストのデータを集めてフィット
  - ケック天文台(ハワイの10m望遠鏡)による可視光での分光観測
  - ハッブル宇宙望遠鏡による可視光強度変動モニター
  - スピッツァー望遠鏡による赤外線強度変動モニター
- 主星の自転軸と惑星の公転軸が射影された角度  $\lambda$  にして  $(-4.4 \pm 1.4)$  度だけずれていることを発見
  - 今までの観測精度の誤差(約20度)を一桁以上向上
  - 太陽の場合、系内惑星の全角運動量軸に対して7度程度傾いている

# HD209458の解析結果

(射影された)  
自転軸と公転軸の角度のずれ[度]

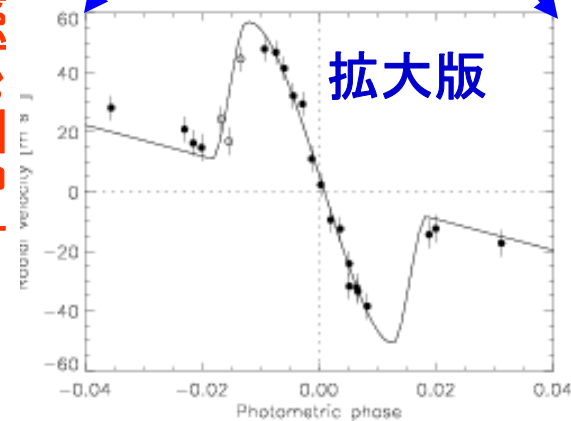
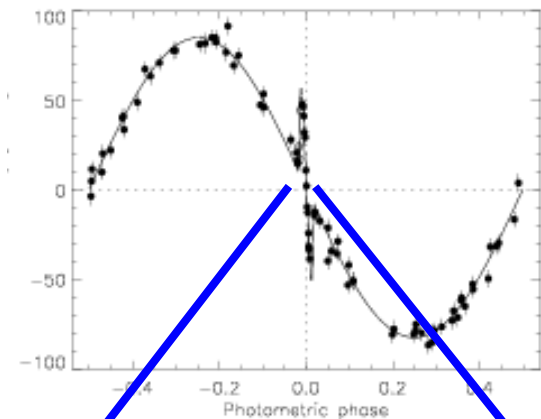


中心星の自転速度 [km/s]

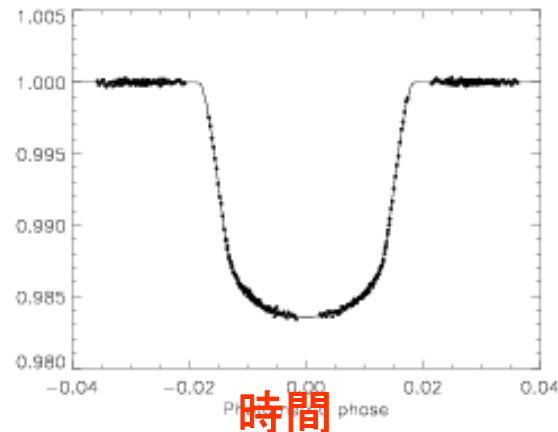
$$\lambda = -4.4 \pm 1.4$$

99.7%以上の確率で $0^\circ$  を否定！


中心星の視線速度 [m/s]



HSTの光度曲線



# 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

---

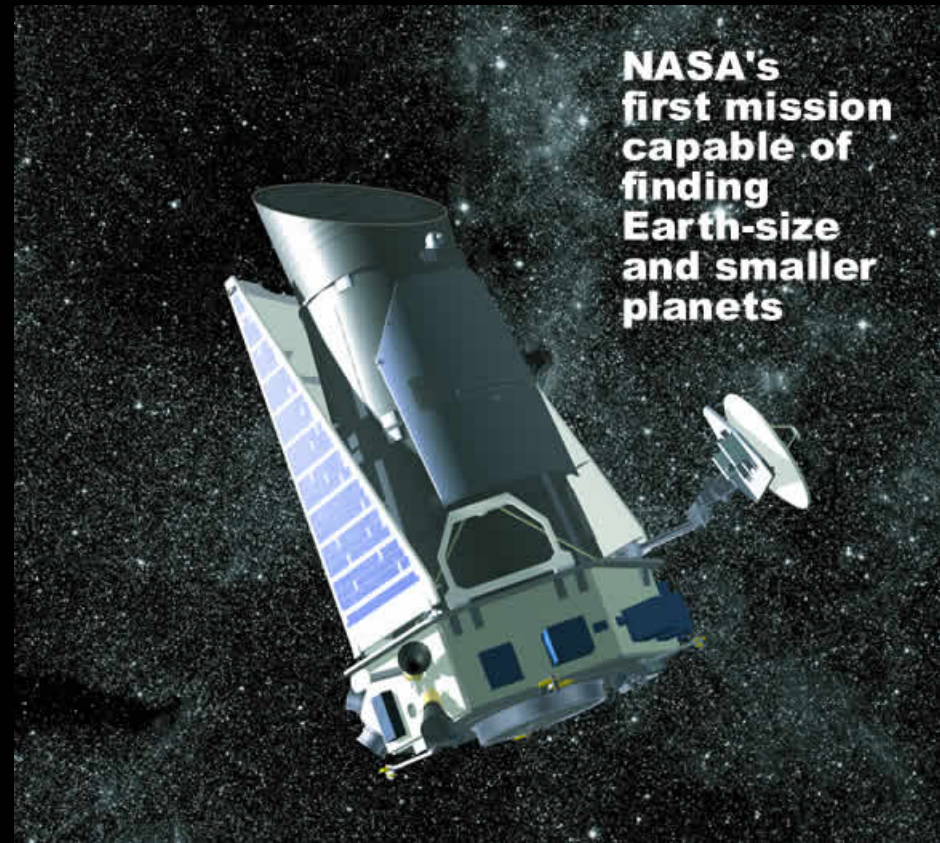
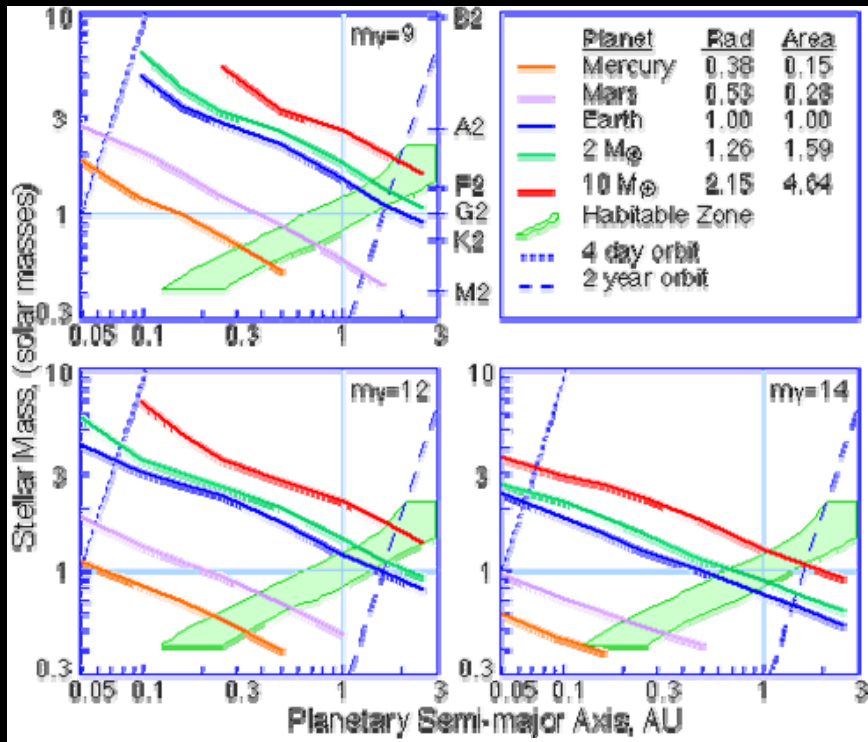
  - 惑星反射光の検出

---

  - **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**

# 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

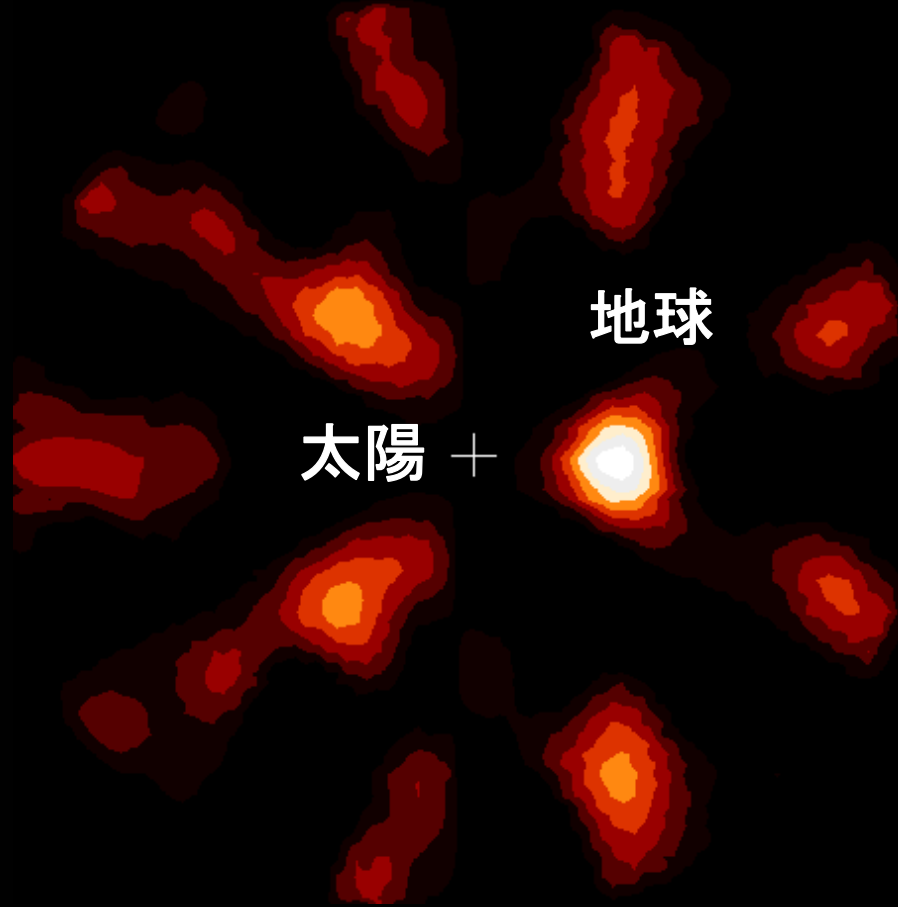


<http://kepler.nasa.gov/>

# ダーウィン衛星

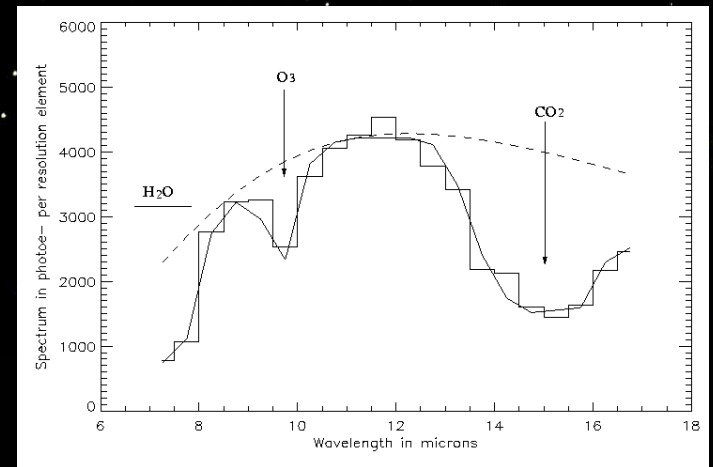
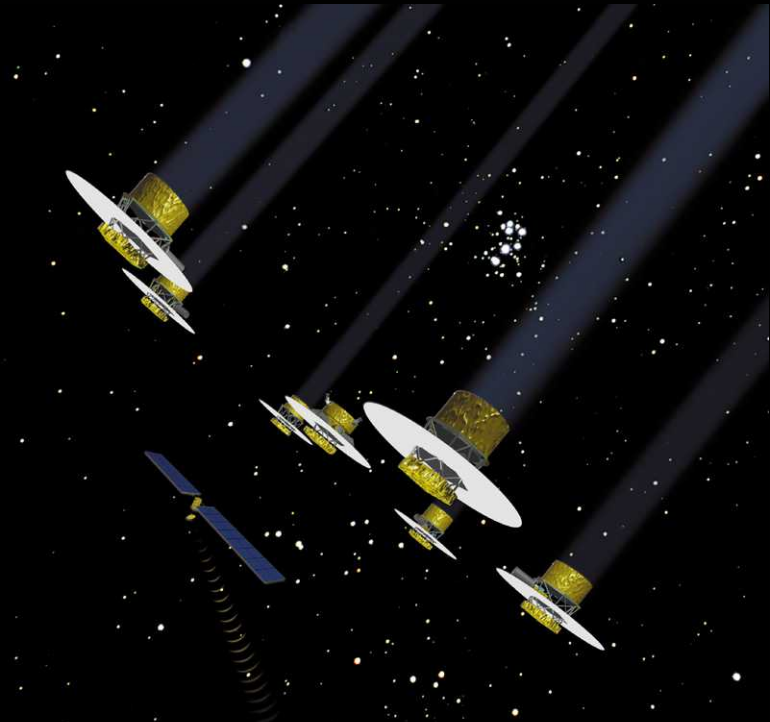
(欧州：2020年頃？打ち上げ)

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

# 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

「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)

「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)

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



# 「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

