

宇宙理論研究室ガイダンス

http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation_2010j.html

2010年4月8日

教授：須藤 靖

（観測的宇宙論、太陽系外惑星）

助教：樽家篤史

（観測的宇宙論、重力波）

ビッグバンセンターの横山順一教授のグループと連携しつつ研究室活動を行っている

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、超新星、銀河、活動銀河核(ブラックホール)、銀河団、宇宙、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：

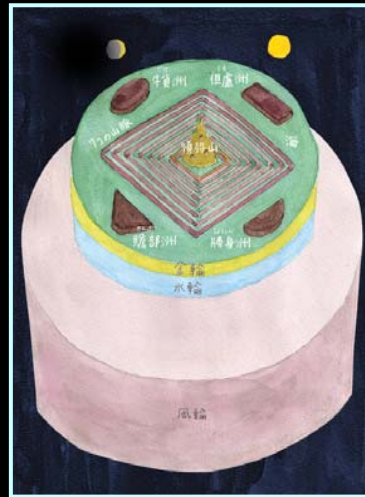
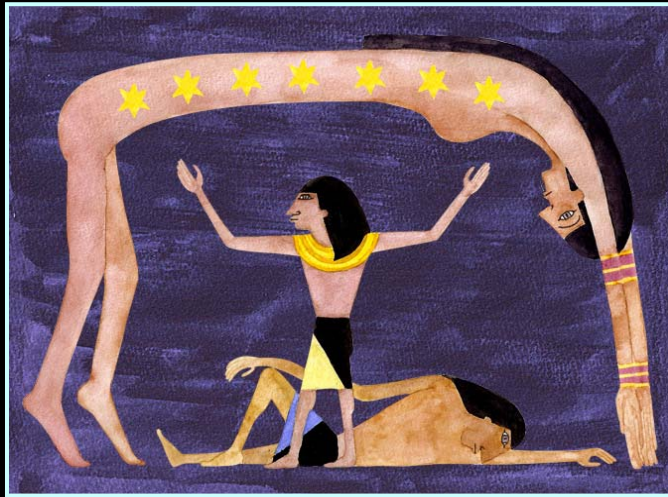
- 理論、観測(地上、気球、ロケット、衛星)、実験、数値シミュレーション

宇宙物理学研究における 物理教室関連研究者の大まかな分布

惑星形成 太陽 天体力学 重力多体系 須藤
系外惑星 須藤 星間物質 山本 宇宙構造形成・進化 須藤
星形成 山本 元素合成・循環 銀河団プラズマ
中澤、牧島、須藤
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 相対論
坪野 余剰次元
中性子星 超新星爆発 ダークマター
中澤、牧島 蓑輪、濱口、諸井、柳田
ブラックホール ガンマ線バースト ダークエネルギー
中澤、牧島 相原、横山、須藤
活動銀河核 中澤、牧島 初期宇宙進化
横山、濱口、諸井、柳田

天文学共通の目標： 夜空のむこうの世界を探る

- 我々の世界はどうなっているかを解き明かす



イラスト：羽馬有紗

- 直接役に立つわけではなくとも人生を豊かにしてくれる本質的な疑問に挑戦する
 - 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）

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

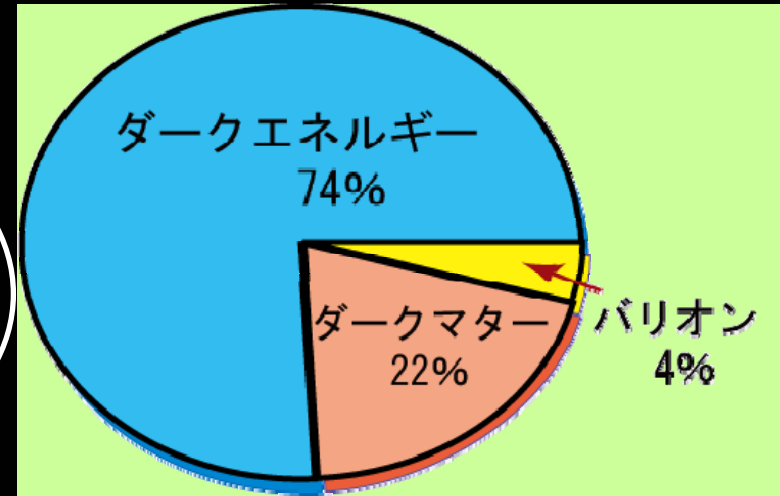
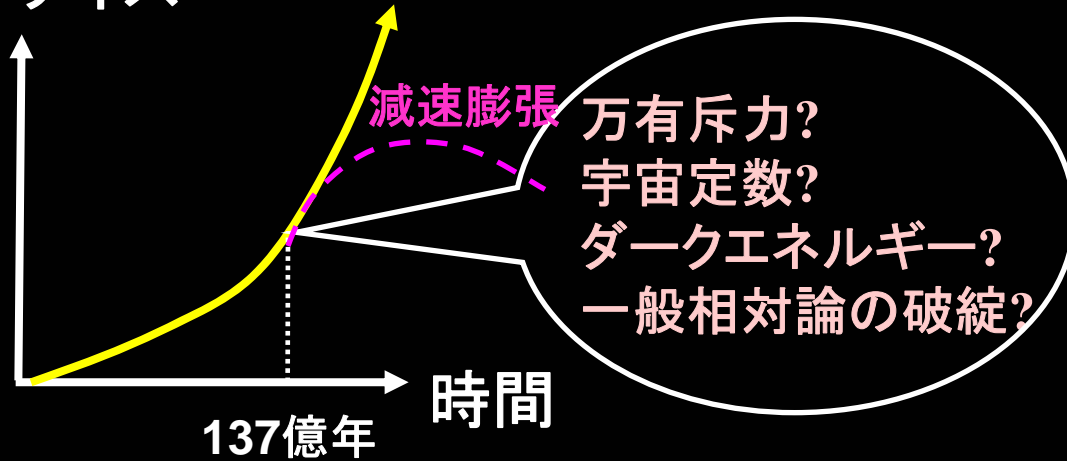
I 宇宙のダークエネルギー

- 理論構築、シミュレーション、観測データ解析
- 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
 - 東大数物連携機構、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

ダークエネルギーと21世紀の物理

宇宙の
サイズ

宇宙の加速膨張



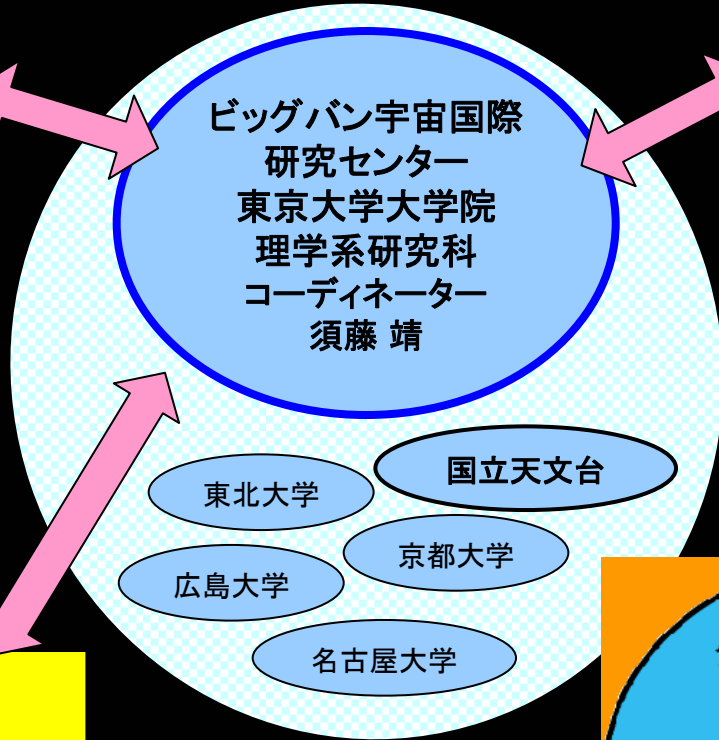
- **ダークエネルギーの正体は何か?**
 - 万有斥力を及ぼす奇妙な物質(ダークエネルギー)?
 - アインシュタインの宇宙定数 (1917年)?
 - 「真空」がもつエネルギー? 21世紀のエーテル?
 - 宇宙論スケールでの一般相対論(重力法則)の破綻
- **いずれであろうと21世紀の物理学を切り拓く鍵**

暗黒エネルギー研究国際ネットワーク

全体コーディネーター: 須藤 靖

アメリカ(準拠点)
プリンストン大学
宇宙科学教室
コーディネーター
Edwin Turner
(プリンストン大学・国立天文台共同研究協定)

アメリカ
カリフォルニア工科大学
天文学教室
コーディネーター
Richard Ellis
(Gemini/Subaru WFMOS
概念設計採択済み)

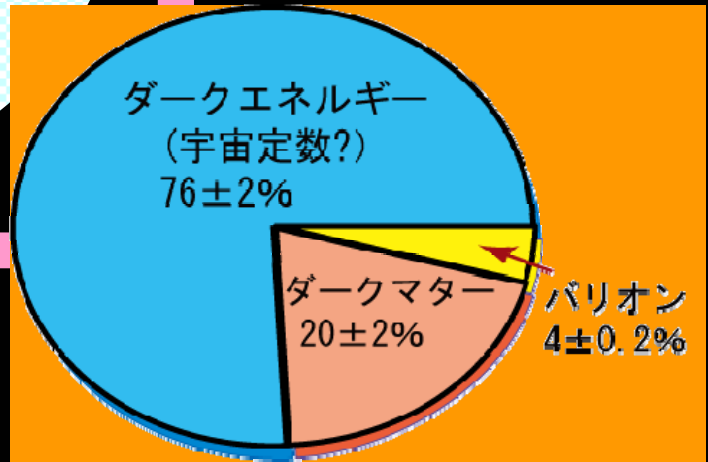


宇宙マイクロ波背景輻射
重力レンズ統計
銀河分布のバリオン振動

超新星による距離決定
弱い重力レンズ観測

イギリス
エジンバラ大学
王立天文台
コーディネーター
John Peacock
(Gemini/Subaru WFMOS
概念設計採択済み)

暗黒エネルギーのモデル
銀河分布のバリオン振動
弱い重力レンズ観測



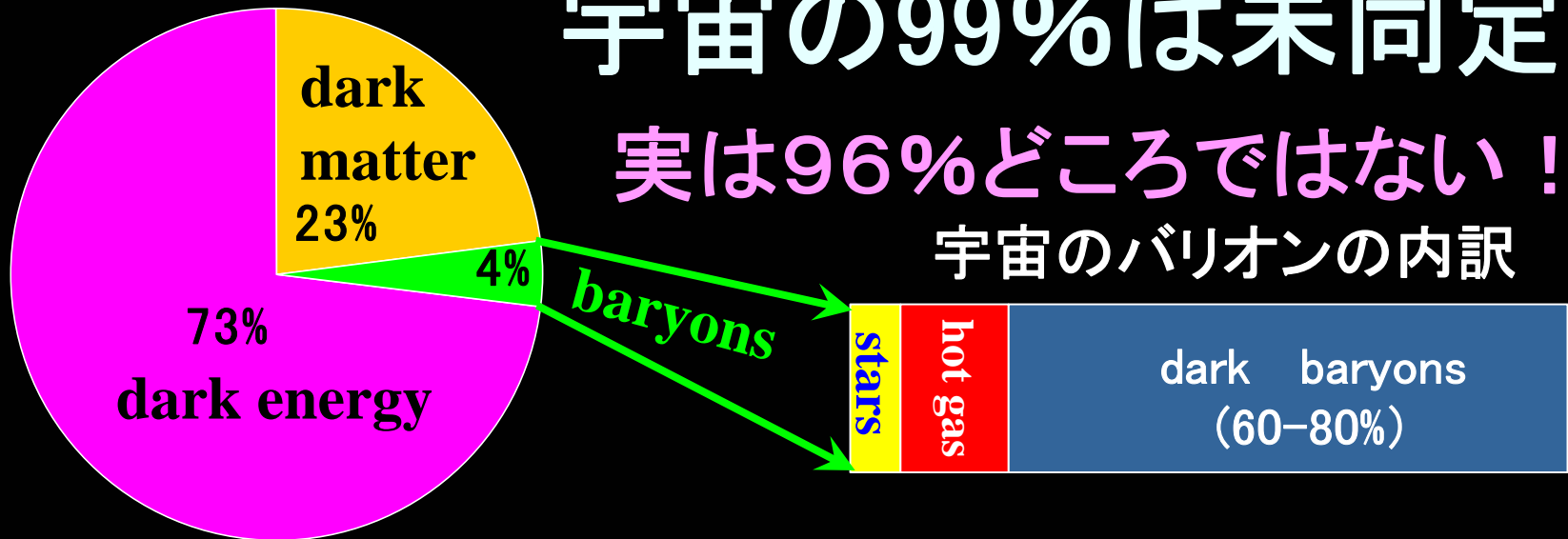
II 銀河団と銀河間物質

- 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

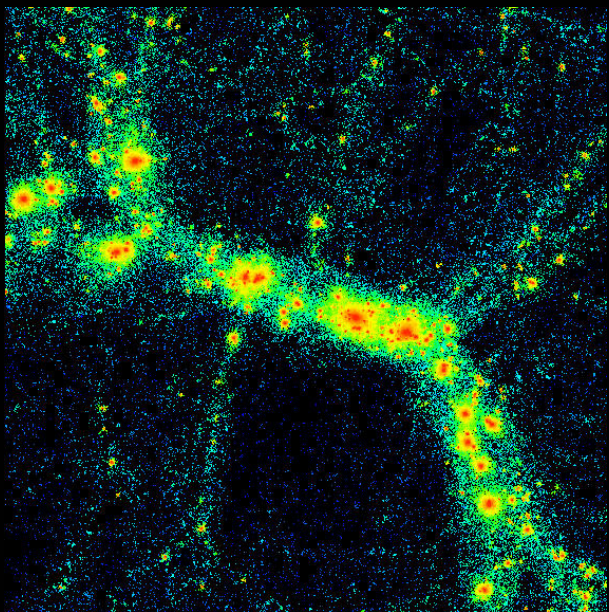
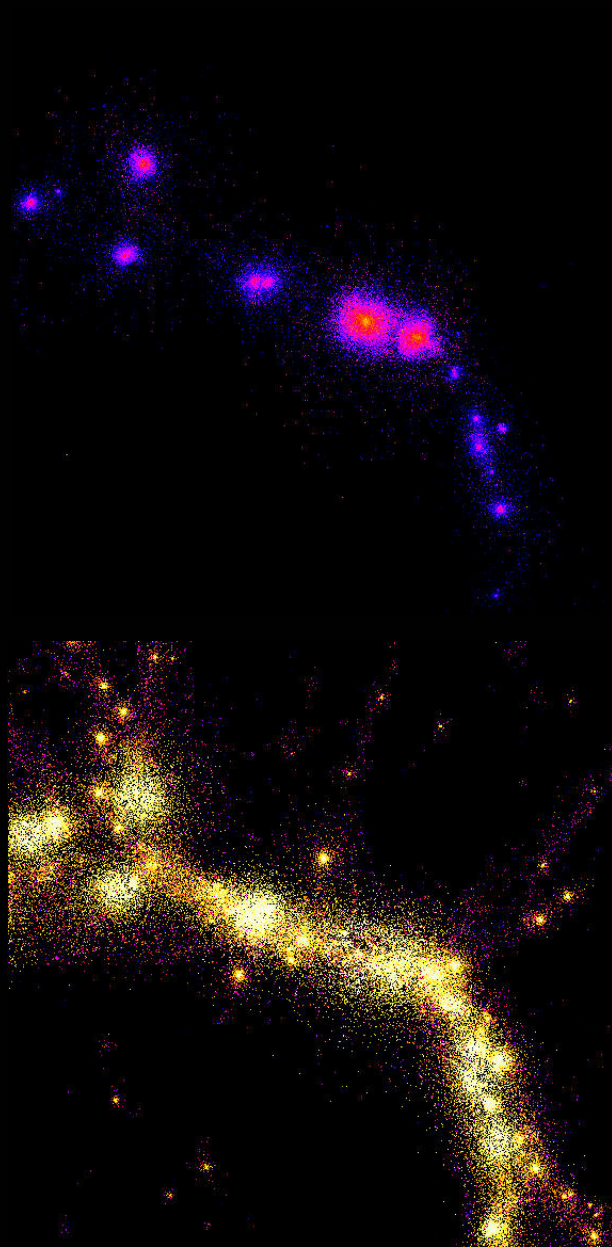
Cosmic Baryon Budget: Fukugita, Hogan & Peebles: ApJ 503 (1998) 518

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

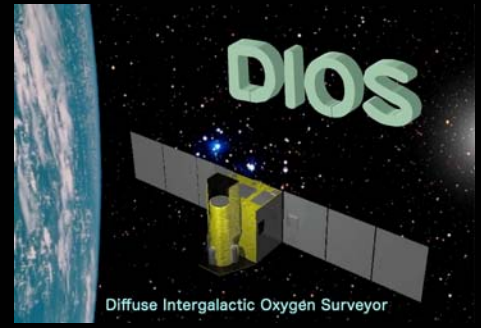


ダークマター

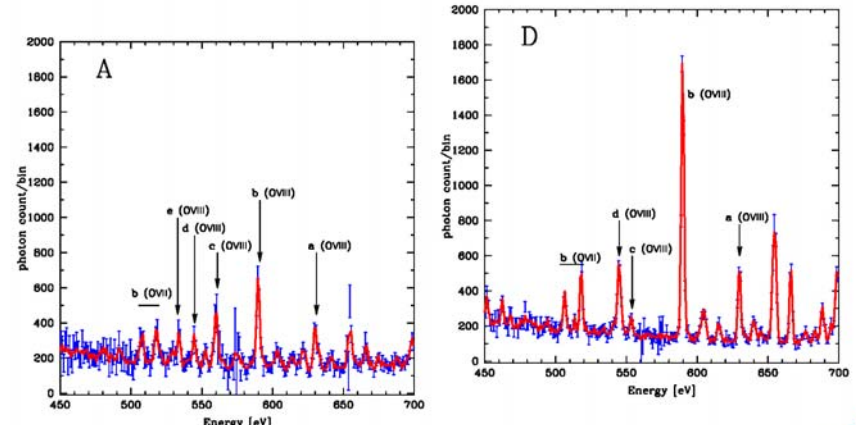
銀河

Yoshikawa et al. (2001)

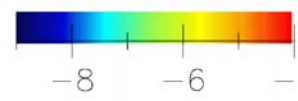
Searching for cosmic missing baryons with DIOS (Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor)



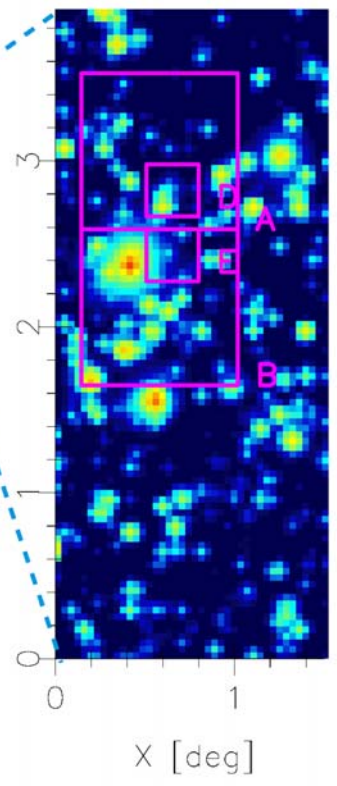
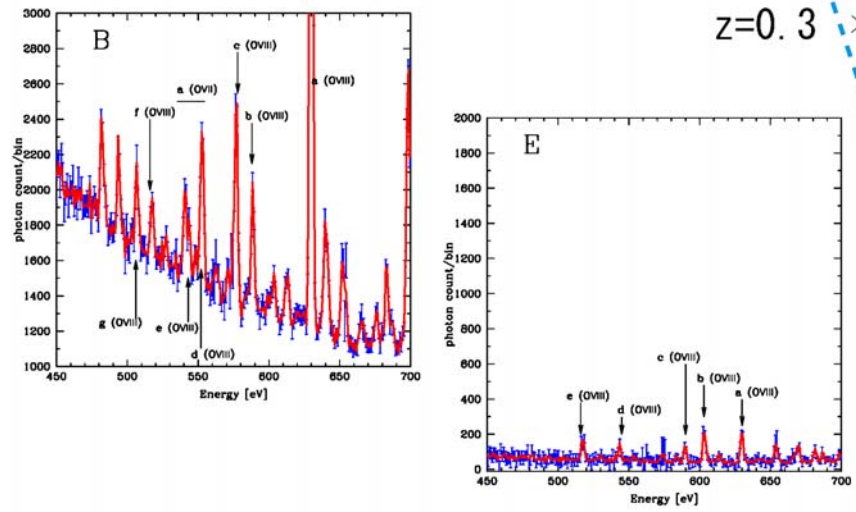
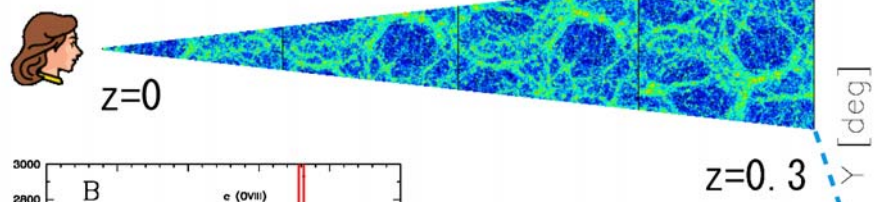
PASJ 55 (2003) 879
PASJ 56 (2004) 939



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



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・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

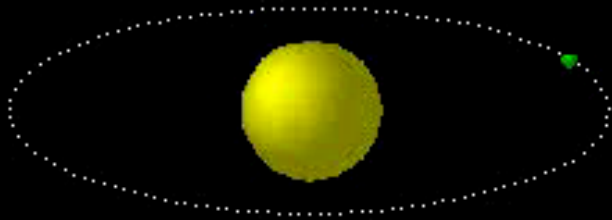
太陽系外惑星（候補）の発見年表

1995年：「我々は何も知らなかった」ことを思い知る



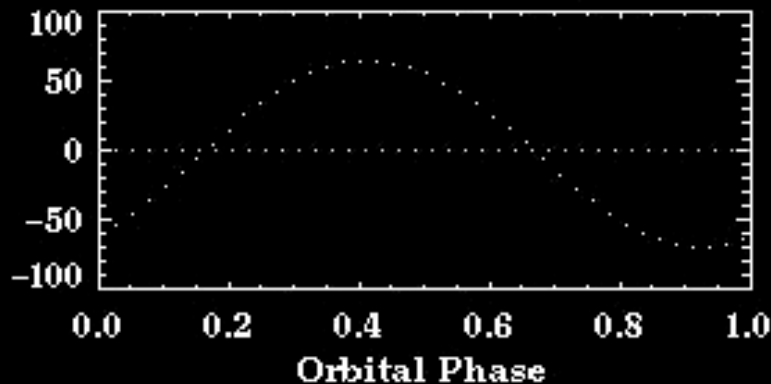
どうやって見つけたのか？

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]



S.G. Korzennik (CfA, © 1997)

■ ドップラー法

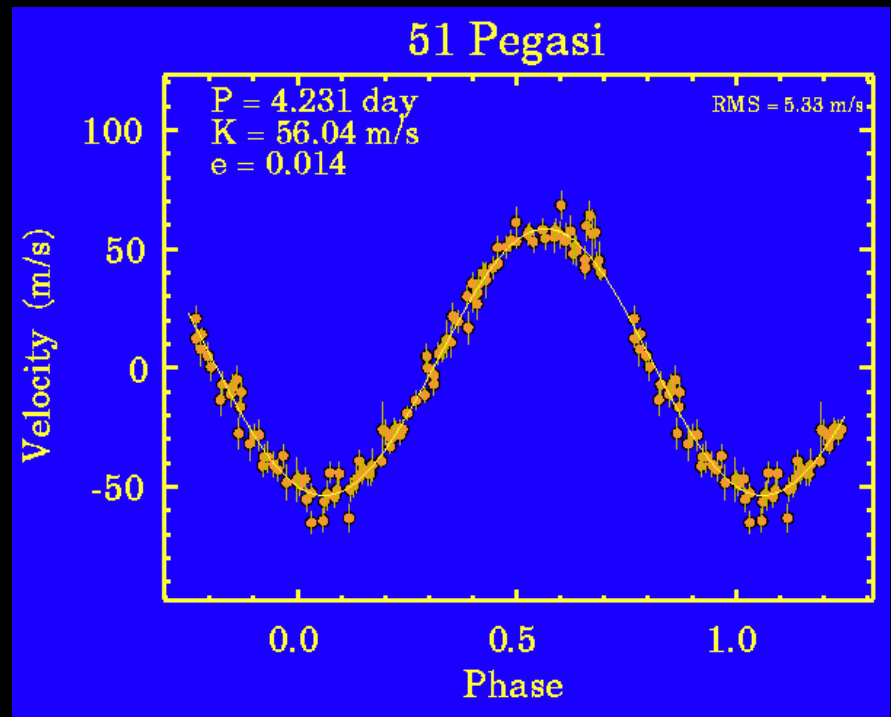
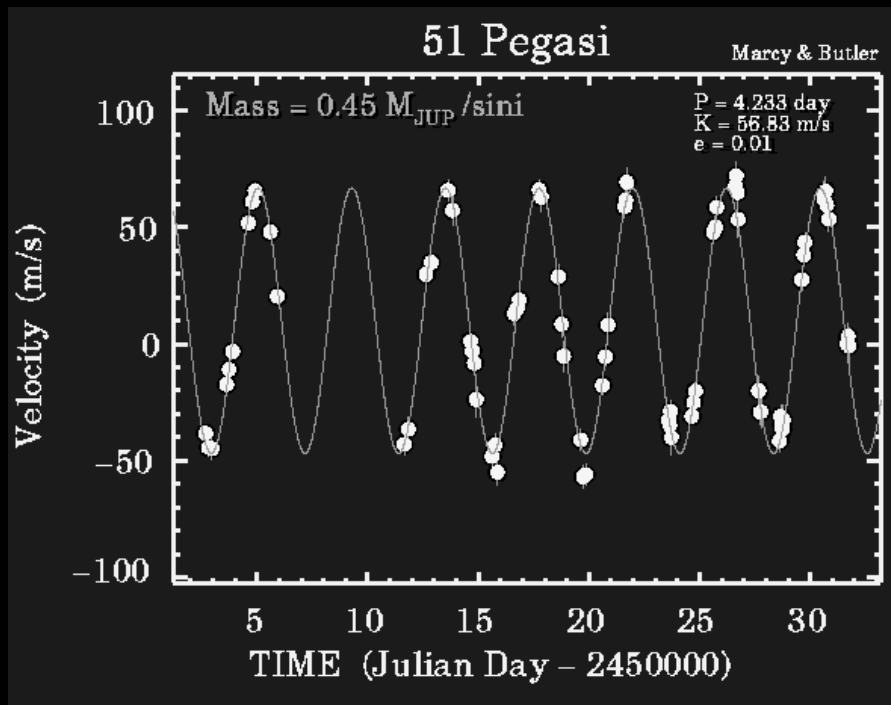
- 中心星の速度が毎秒数十メートル程度、周期的に変動

■ トランジット法

- (運がよければ) 中心星の正面を惑星が横切ることによって星の明るさが1パーセント程度周期的に暗くなる

ペガサス座51番星： 初めての太陽系外惑星 (1995年発表)

わずか4.2日で一周！



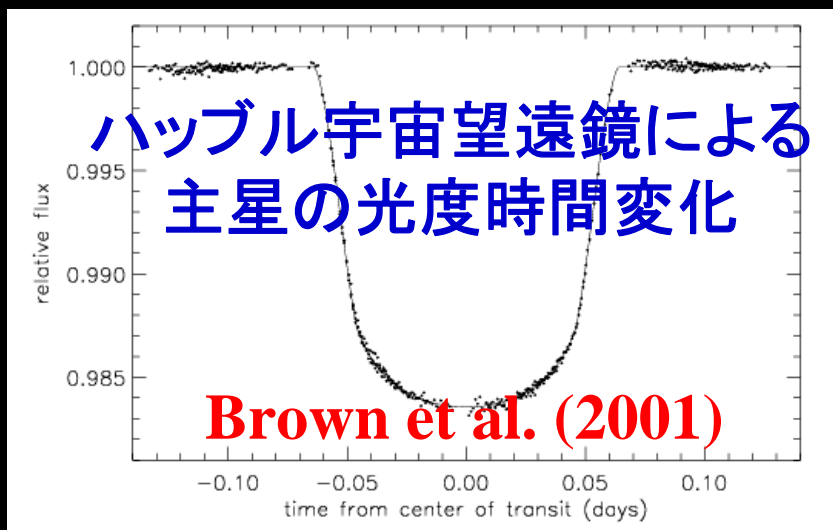
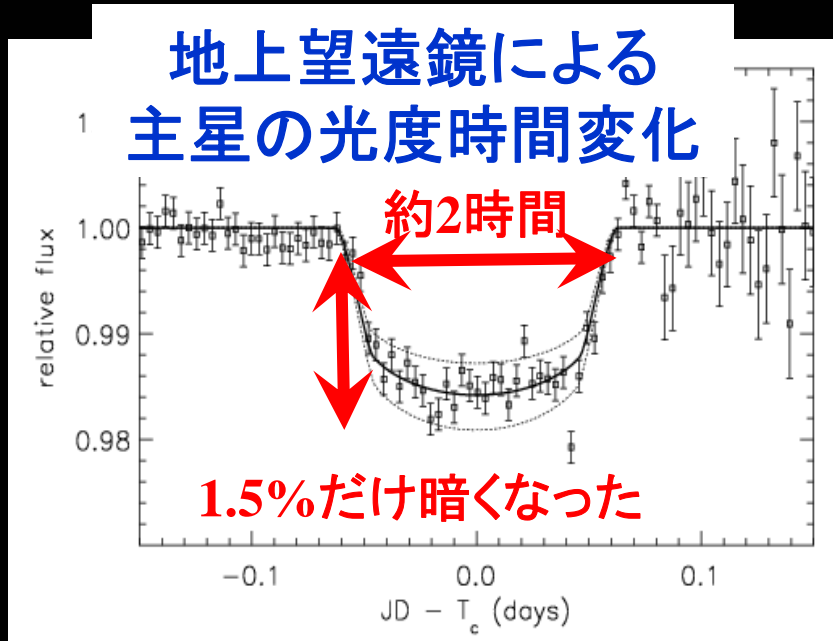
初めてのトランジット惑星HD209458b

- 速度変動のデータに合わせた惑星による主星の掩蔽(可視光)の初検出



地上望遠鏡による
主星の速度時間変化

Henry et al. (1999), Charbonneau et al (2000)



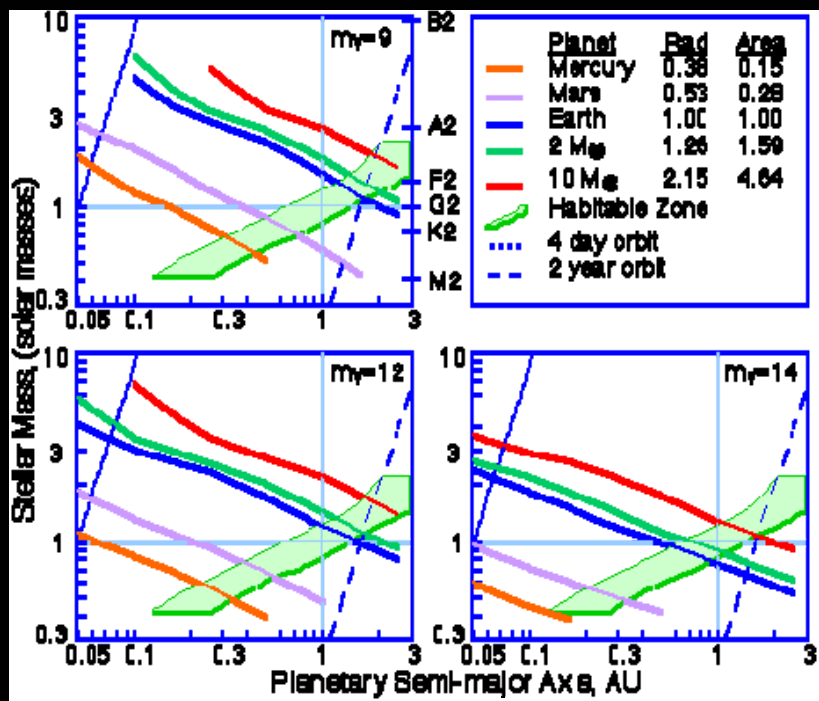
すでに学んだこと

- 惑星(系)は稀なものではなく普遍的存在
 - 太陽に似た恒星の10パーセント程度は惑星を持つ
- 惑星系の性質は多種多様
 - 太陽系と似た系もかけ離れた系も存在する
 - 惑星大気の発見
 - 惑星反射光の検出
 - 主星自転軸と惑星軌道軸とのずれ: 逆行惑星
- 様々な観測手法での相補的アプローチ
 - ドップラー法(精密分光)、トランジット法(精密測光)、重カレンズ(高時間分解能測光)、直接撮像

では次はどうする?

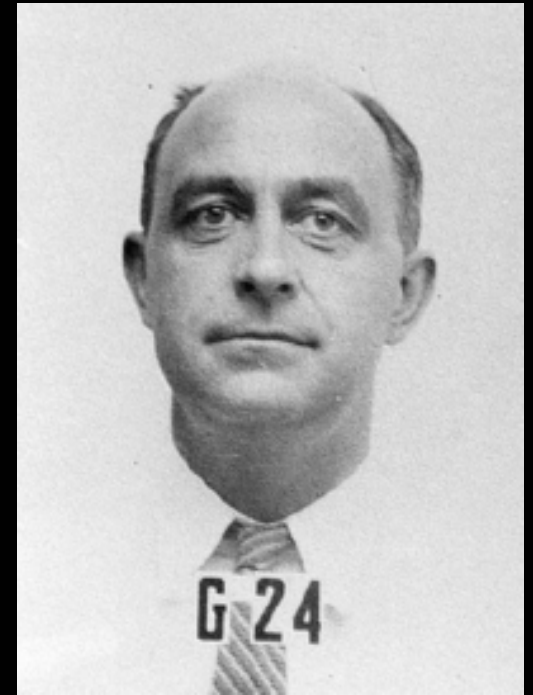
ケプラー衛星 (米国2009年3月6日打ち上げ)

トランジット惑星の測光サーベイ:
地球型(±ハビタブル)惑星の発見をめざす



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

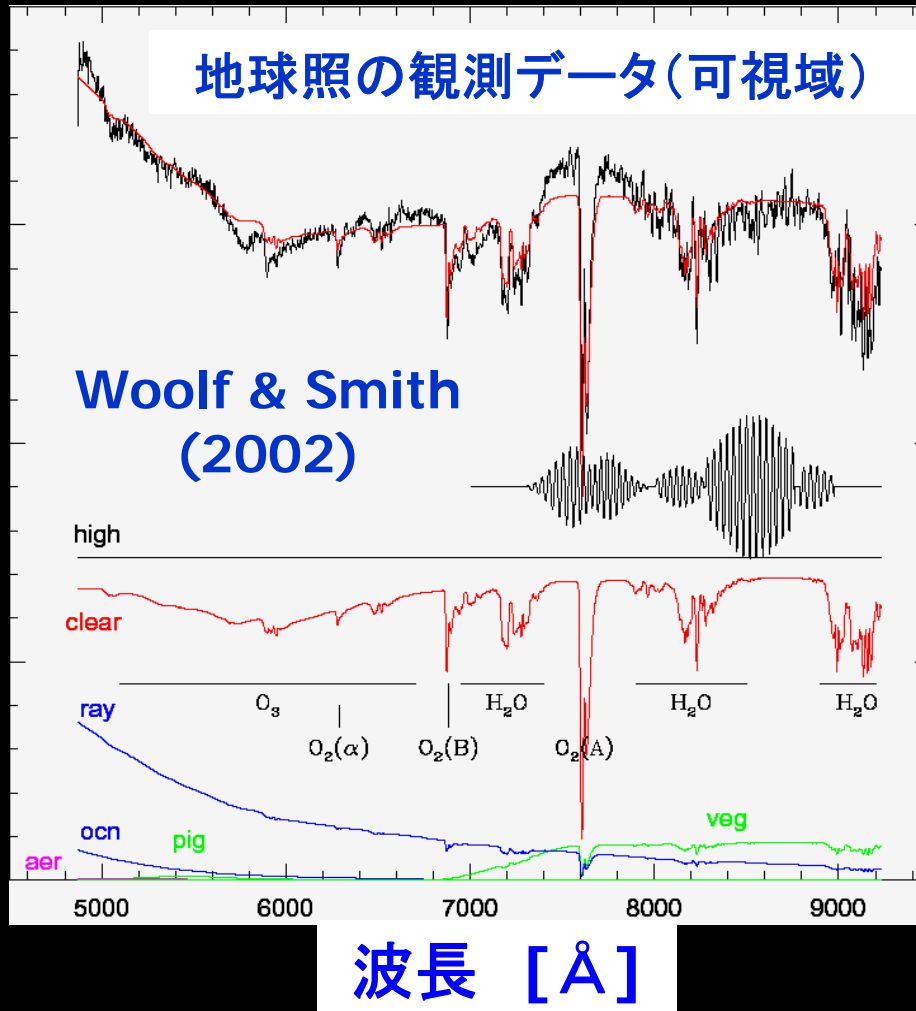
フェルミの疑問 (フェルミのパラドクス)



■ Where are *they*?

- 1950年、ロスアラモス研究所の昼食時にエンリコ・フェルミが問いかけたとされている

常識的バイオマーカー（生物存在の証拠）



■ 酸素

- Aバンド@ $0.76 \mu m$
- Bバンド@ $0.69 \mu m$

■ 水

- $0.72, 0.82, 0.94 \mu m$

■ オゾン

- Chappuis バンド
@ $(0.5-0.7) \mu m$
- Hartley バンド
@ $(0.2-0.3) \mu m$

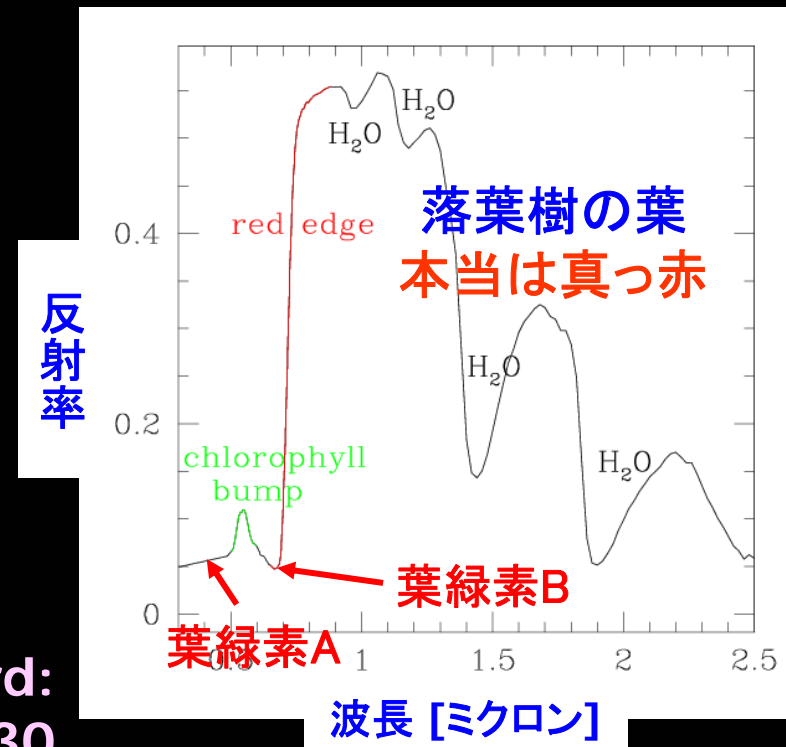
Kasting et al. arXiv:0911.2936

“Exoplanet characterization and the search for life”

より過激(保守的?)なバイオマーカー Extrasolar plants on extrasolar planets

- (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**
 - 地球のリモートセンシング
ではすでに確立

Seager, Turner, Schafer & Ford:
astro-ph/050330



第二の地球の色から、海、陸、植生の占める面積の割合を推定する

- 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻
 - 藤井友香、河原創、樽家篤史、須藤 靖
- 東京大学気候システム研究センター
 - 福田悟、中島映至
- プリンストン大学
 - Edwin Turner

A pale blue dot

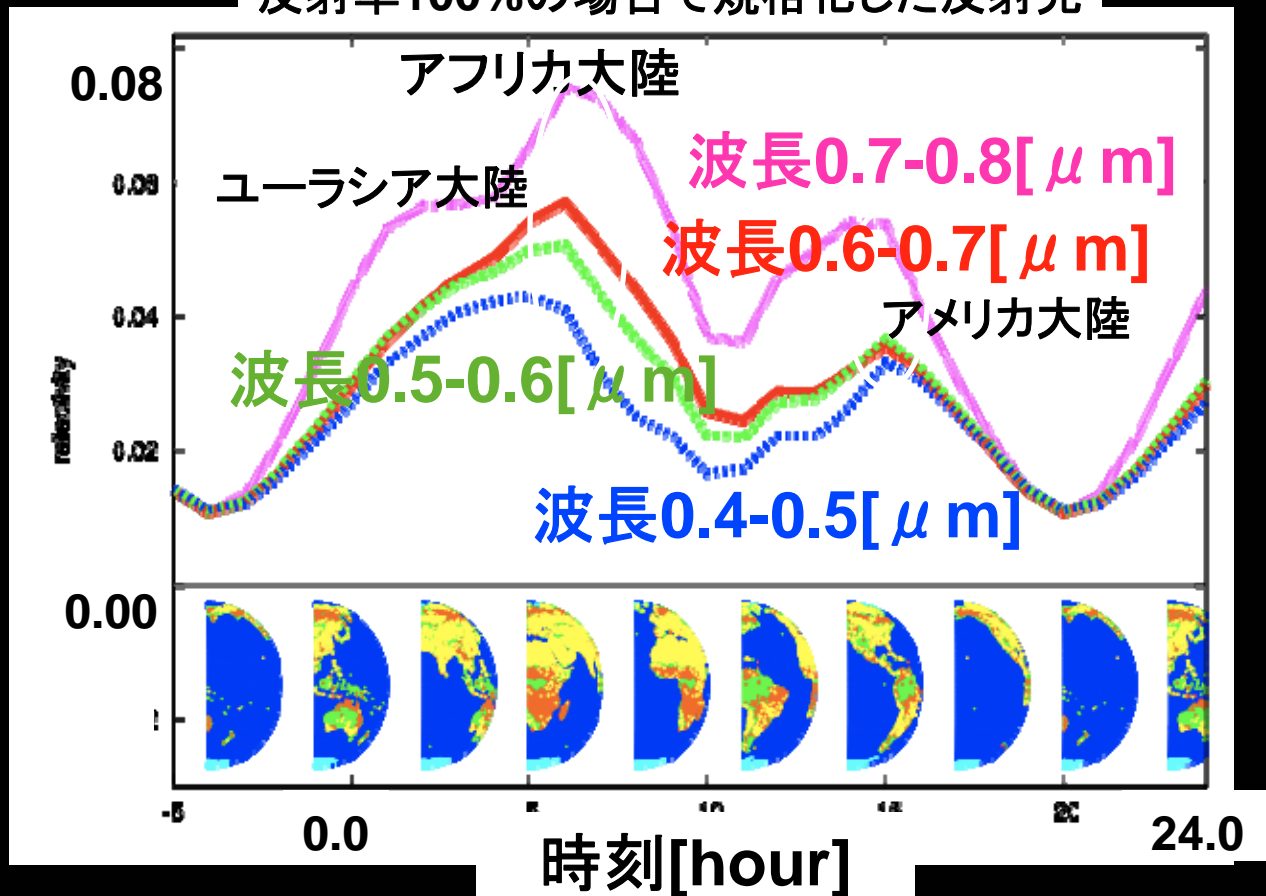
地球は青かった？



自転に伴う反射光の色の
時間変動のシミュレーション

- 春分(3月)
- 自転軸に垂直な方向から観測
- 地球観測衛星のデータを用いて計算

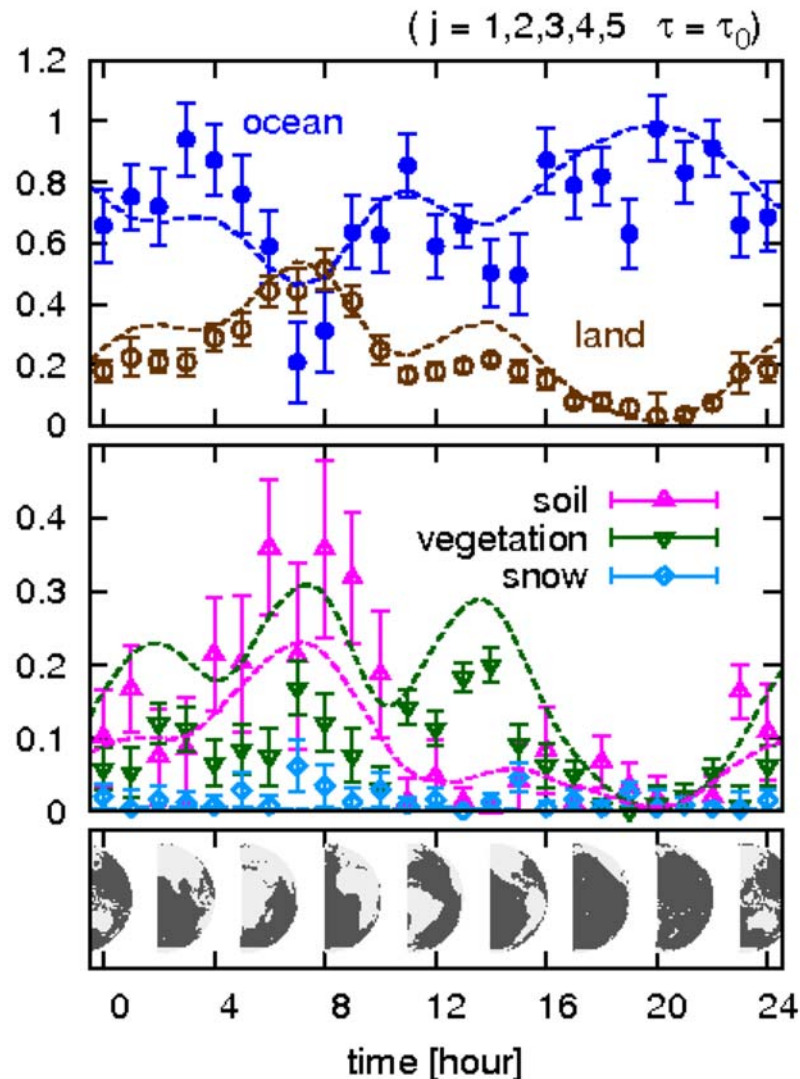
反射率100%の場合で規格化した反射光



Fujii et al. (2009)

第二の地球の色から表面積を推定

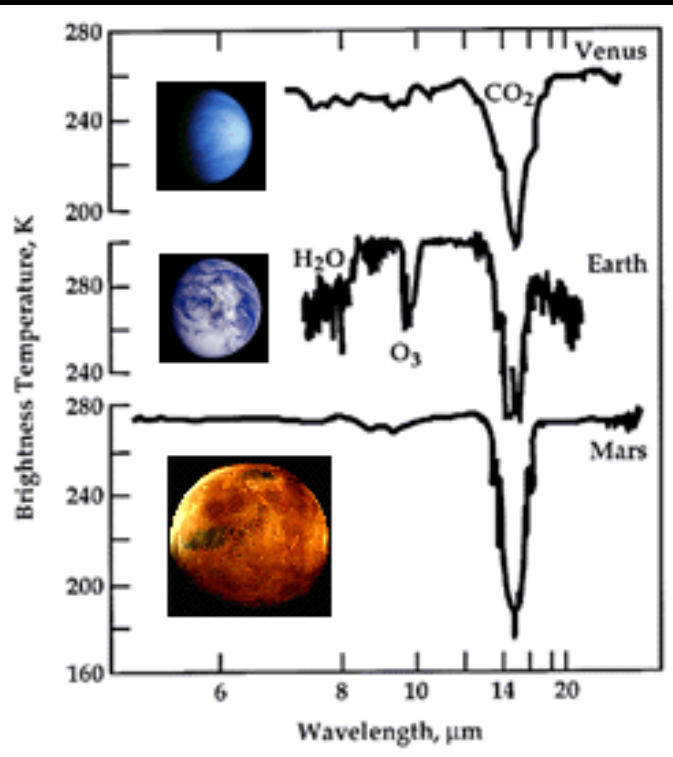
(重みつき)表面積比



- 中心星の光が完全にブロックできた場合
- 10pc先の地球を口径4mの宇宙望遠鏡で1週間観測
- 光子のポワソンノイズだけを考慮(雲を無視)
- レイリー散乱の一次近似
 - 我が地球、悲しからずや空の青、海のをあをにも染まずただよふ
- 海、土、植物、雪の4つの成分の面積比を推定
- 結構イケテル！

Fujii et al. (2009)

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？

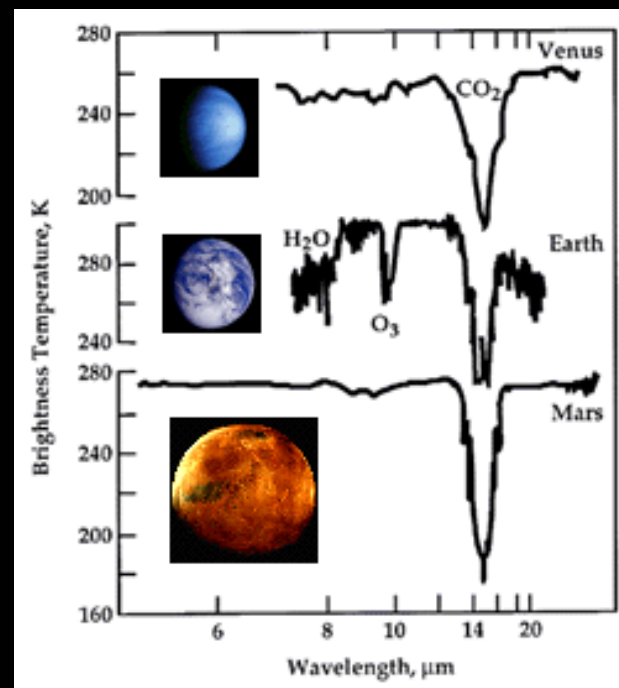
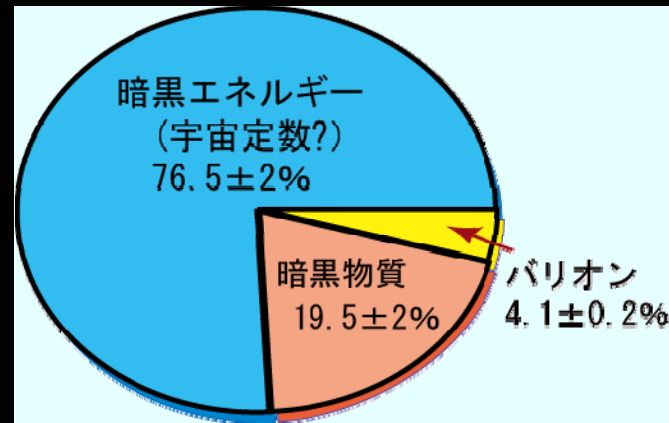
「夜空のむこう」を探ることで、従来全く予想されていなかった新しい科学が発展しつつある

■ 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



前期理論演習

- 松原隆彦「現代宇宙論」(東大出版会、2010年6月刊行予定)の校正稿を用いて、宇宙論の基礎を学ぶ
- その後、希望に応じていくつかの宇宙論のトピックを選んでそれを輪講
- 須藤研に配属となった学生は一緒に、本日夕方5時までに904号室へコピーを受け取りに来ること。この時間までに来れない場合は、明日の午前9時から11時までの間に、同じく904号室までとりに来ること
- 初回は4月12日火曜日13:30から908号室にて開始

後期理論演習

- 広義の天文学・宇宙物理学に関する英語の教科書を選び、担当を決めてそれを発表、全員で議論する
- 詳細は第一回目に希望を聞いたうえで決定する(昨年度は重力波の教科書だった)

http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation_2010j.html