

第2の地球を探す

A

須藤靖

×

毛利衛

b



20年後、私たちは宇宙に生命を見つけているか？

「サイエンス・カフェ」 2005年4月23日 @café ease

Neuhäuser, Guenther, Wuchterl, Mugrauer, Bedalov, Hauschildt

宇宙論をする心 ～遠くには何があるのだろうか～

- 遠く(=過去)の宇宙はどうなっているのか？
- 我々人類はこの広い宇宙でひとりぼっちなのか？
- 第二の地球はあるか？

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
 - 大気存在
 - 液体の水
 - + 偶然？
- 恒星のまわりの惑星を探せ！

Terra衛星のMODIS検出器のデータ

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

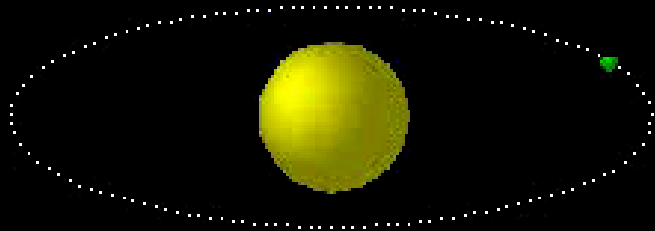
<http://www.nasa.gov/home/index.html>

どんな系外惑星がみつかっているのか

- 2005年4月16日までに154個の系外惑星
- 1995年：初めての太陽系外惑星
 - 約50光年先のペガサス座51番星の周り
 - 一年(公転周期)がわずか4.2日
 - 質量は木星の1/2(地球の150倍)
- 1999年：食をおこす系外惑星の初発見
 - 約150光年先のHD209458という星の周り
 - 3.5日で公転、質量は木星の0.7倍(地球の200倍)
 - 惑星の大きさがわかる(半径が木星の1.3倍、地球の15倍)
 - 地球のような岩石惑星ではなく、木星のようなガス惑星
 - ホットジュピター
- 太陽系惑星とは全く異なる姿：すべてが予想外

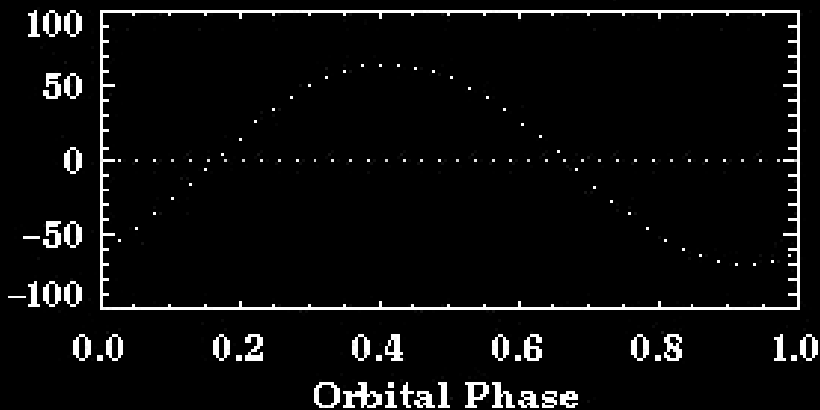
どうやって見つけたのか？

Circular Orbit: rho CrB



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

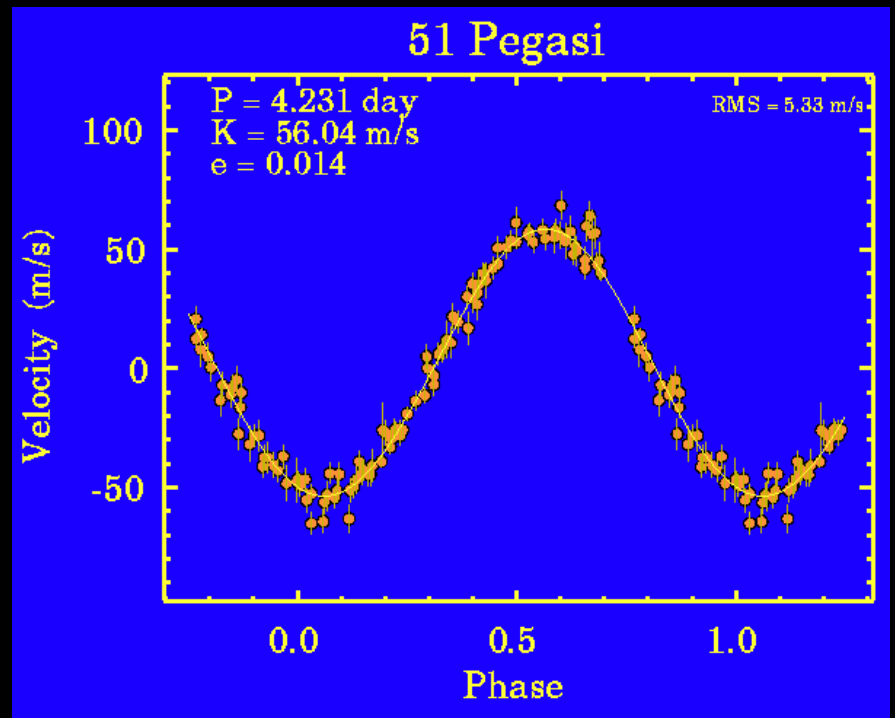
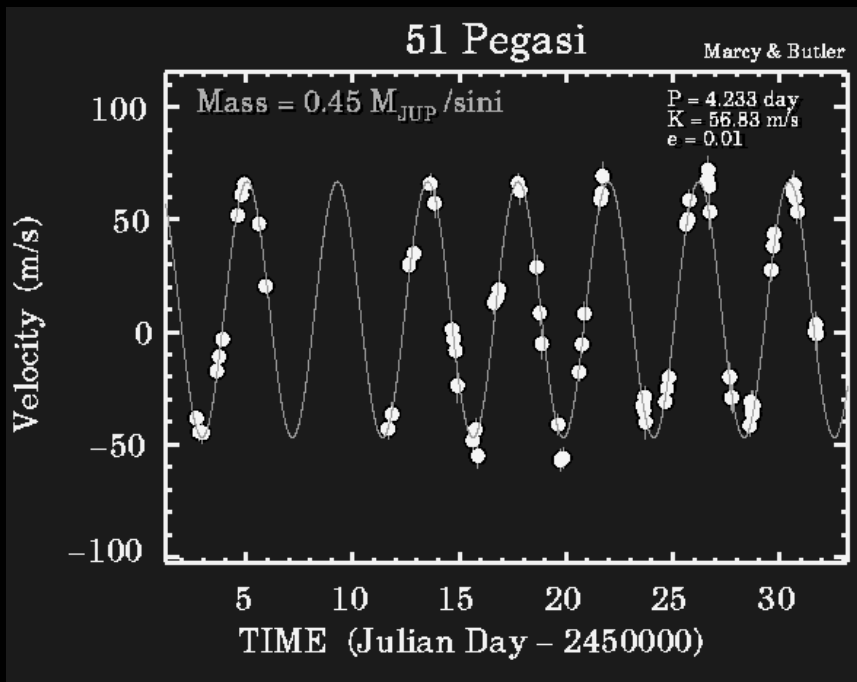
Radial Velocity Curve
of the Star [m/s]



- 惑星を直接見ることはできない (暗すぎる)
 - 赤外線での直接撮像が今後10年スケールでの目標
- 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によって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！

ウプシロンアンドロメダ星 ～3つの惑星をもつ星～

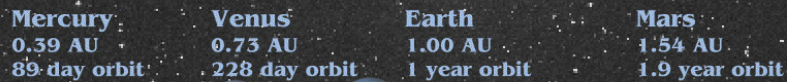
<http://cfa-www.harvard.edu/cfa/hotimage/latest.html>

The Upsilon Andromedae System



<http://cfa-www.harvard.edu/afoe/simulation.html>

Our Inner Solar System



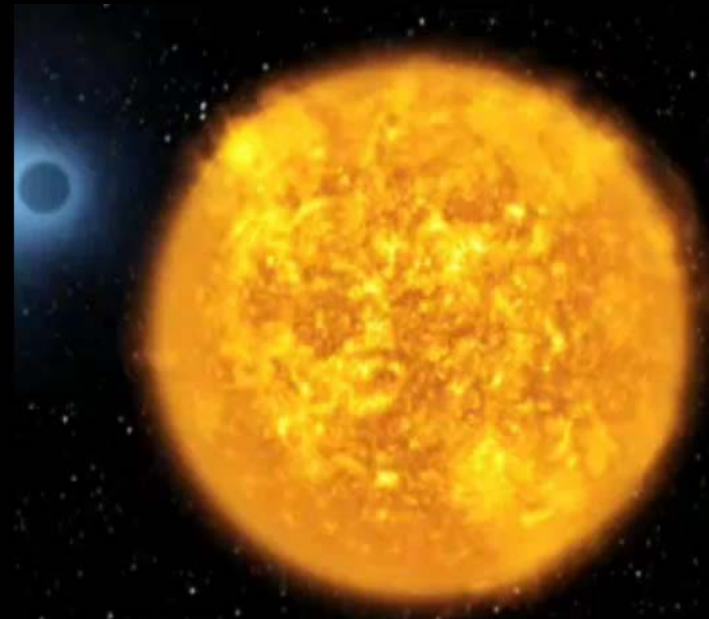
© Harvard-Smithsonian CFA (A. Conlos), 1999



HD209458の食



HD209458b : 蒸発しつつある惑星？



<http://hubblesite.org/newscenter/archive/2003/08/>

赤外線で見える惑星の食



系外惑星観測の先駆者たち



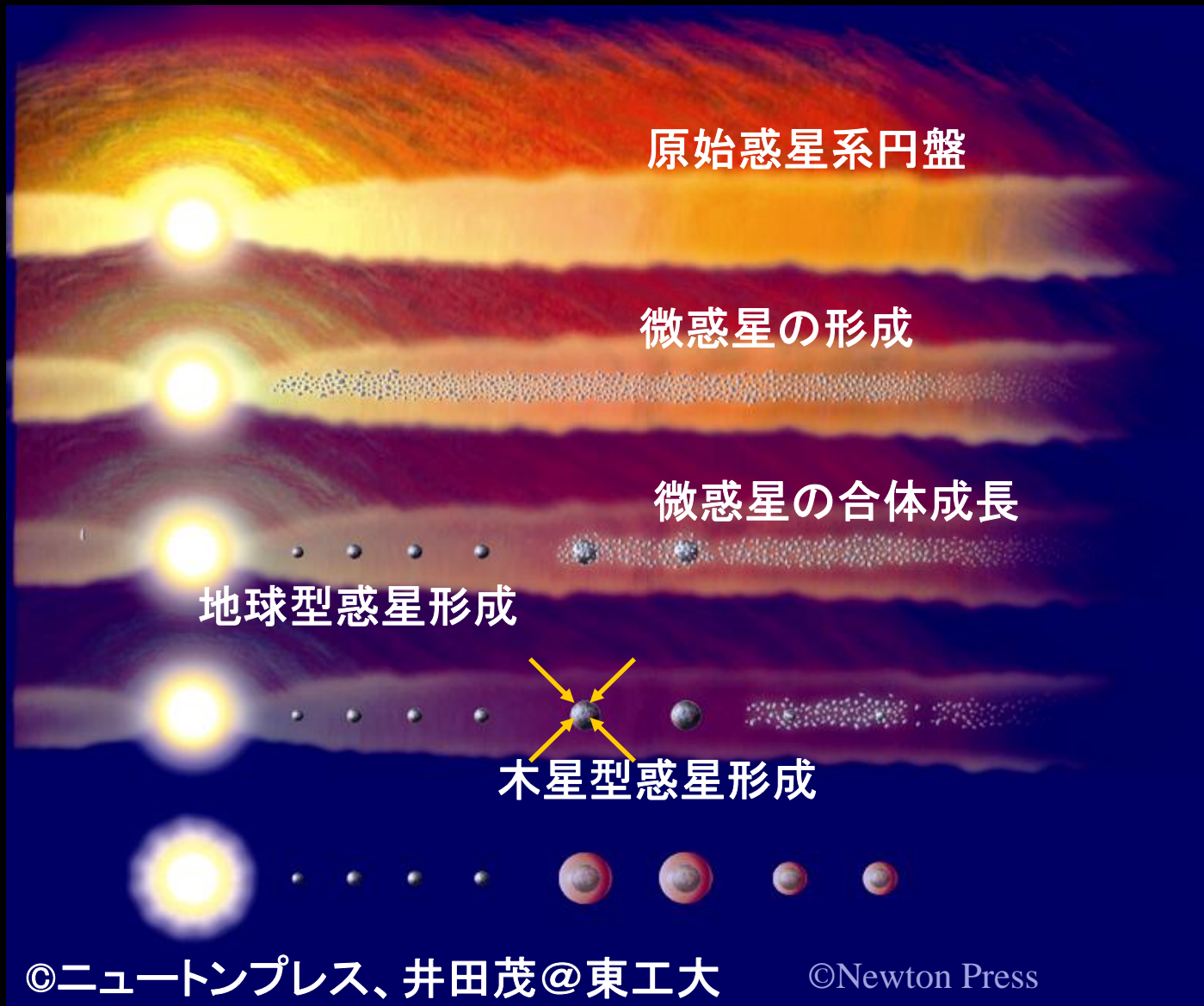
マーシー博士



メイヨー博士

2004年11月4日 京都大学基礎物理学研究所シンポジウム 懇親会

太陽系形成標準理論



宇宙論と系外惑星研究のつながり

- 我々の世界をもっと良く知りたい
- 遠くの宇宙はどうなっているのか？
- 見たことのない暗い天体を探す
- 宇宙論をする心を支える究極の目的
- 我々はこの広い宇宙でひとりぼっちなのか？
- 第二の地球はあるか？

系外惑星を研究することになったきっかけ

- プリンストン大学のエドウィン・ターナー先生に影響された
 - 宇宙論(特に、一般相対論の予言する重力レンズ)に関する10年来の共同研究者
 - 2000年末に大学の談話会で系外惑星の話をお願いし、その内容に感激した
- 実は宇宙論に関する日本での共同研究者にも系外惑星研究に興味を持っている人が多くいたことを発見し、グループを立ち上げ
- すばる望遠鏡での観測計画提案・実行

2000年11月10日物理教室談話会

THE DETECTION AND CHARACTERIZATION
OF EXTRASOLAR PLANETS

Ed Turner

Princeton University Observatory

系外惑星研究の面白さ

- 極めて重要で基本的な問いかけ
 - 専門化・難解さが進む科学の最先端研究において、その道の専門家だけでなく、広く人々にその面白さを共有してもらえる
 - 講演会などにおいても聴衆の興味が伝わり、こちらもやりがいがある
 - 専門家と市民(納税者)との遊離をあまり感じない
- 本格的な開始がわずか10年前
 - 新参者でもまだまだ重要な貢献ができる
 - 重要な発見が目白押し

地球型系外惑星の見つかる可能性について

- 現在見つかっている154個の系外惑星はいずれも地球型(岩石惑星)ではないと考えられている
 - 今まで見つかっているなかで最も軽い惑星は地球の約14倍(天王星は地球の14倍、海王星は17倍)
 - 食を起こしている惑星数例から考えておそらくすべてガス惑星(木星型)
- 2007年10月ごろ打ち上げが予定されているアメリカの系外惑星探査衛星ケプラーでは、4年間で50個以上の地球型系外惑星を発見する予定

系外惑星観測のロードマップ

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

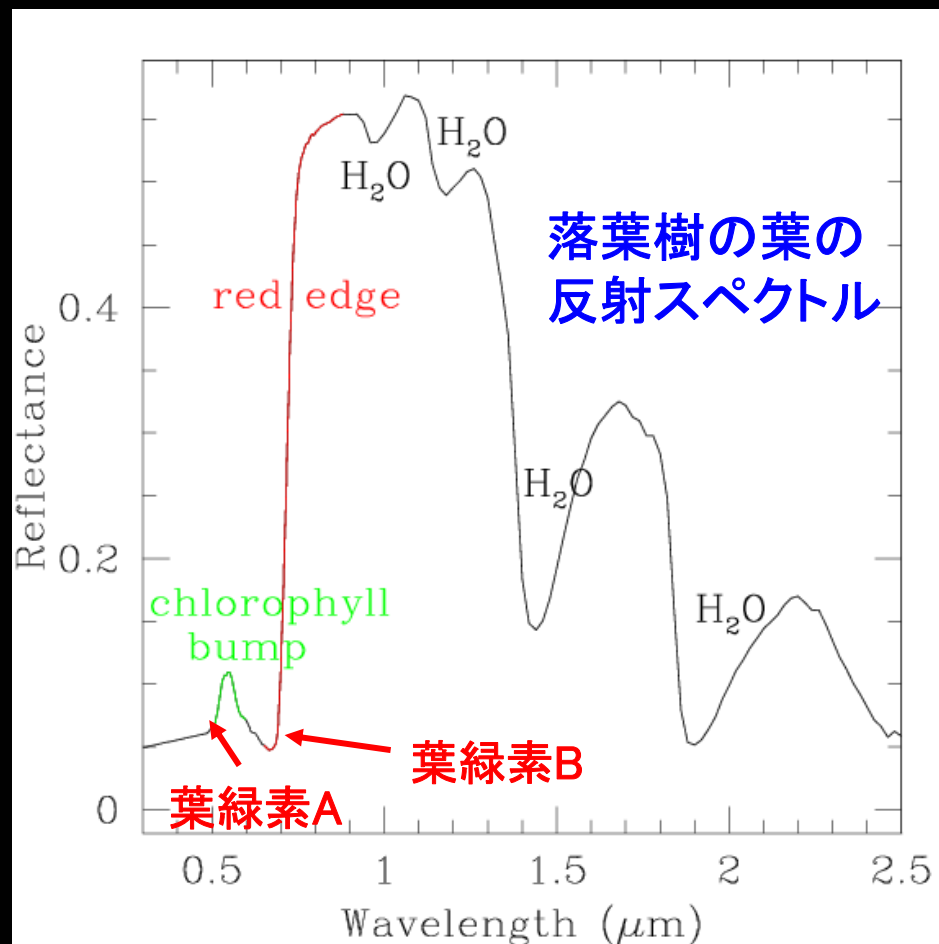
- 惑星反射光の実出

- 地球型惑星の実見
- バイオマーカー(生物存在の証拠)の実定
- 居住可能惑星の実見
- 地球外生命の実見



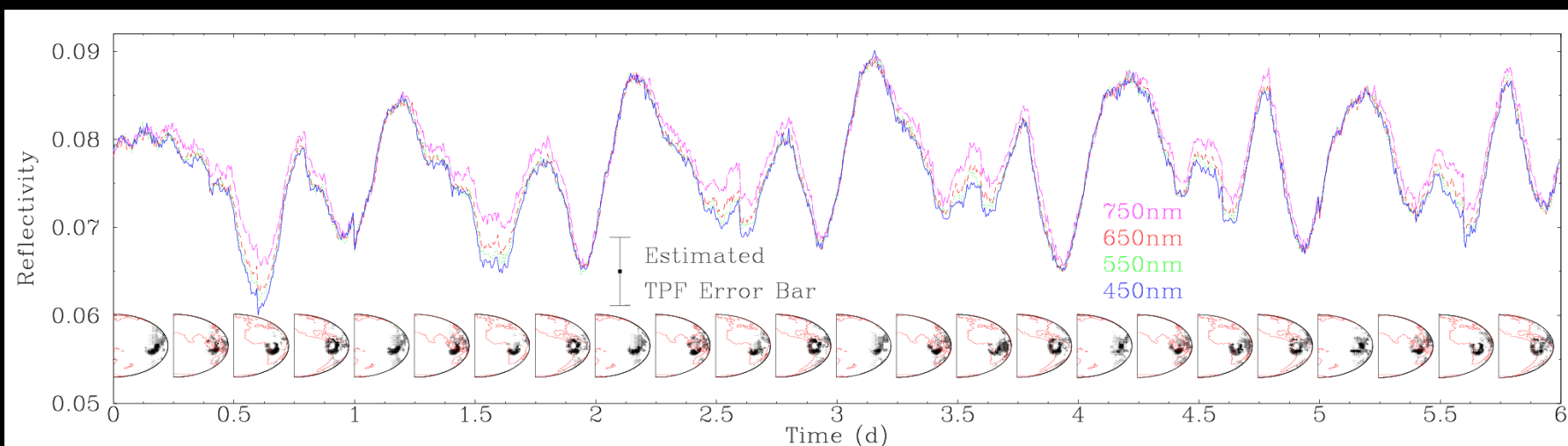
植物の反射率とバイオマーカー

- (地上の) 植物は赤外線に近い波長でまばゆく輝いている(反射率が急激に増大)
- これを太陽系外惑星に生命(植物)があるかどうかの判定に利用できるか？



Seager, Ford & Turner
astro-ph/0210277

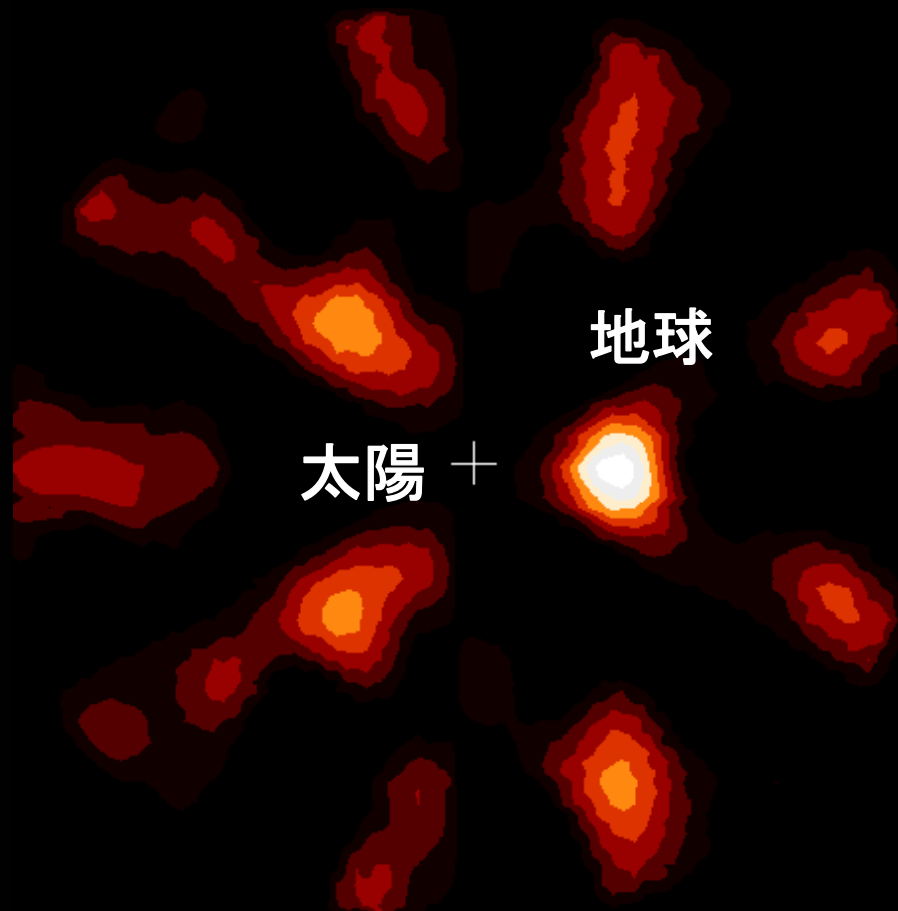
地球が30光年先にあるとしてどこまでみえるか？



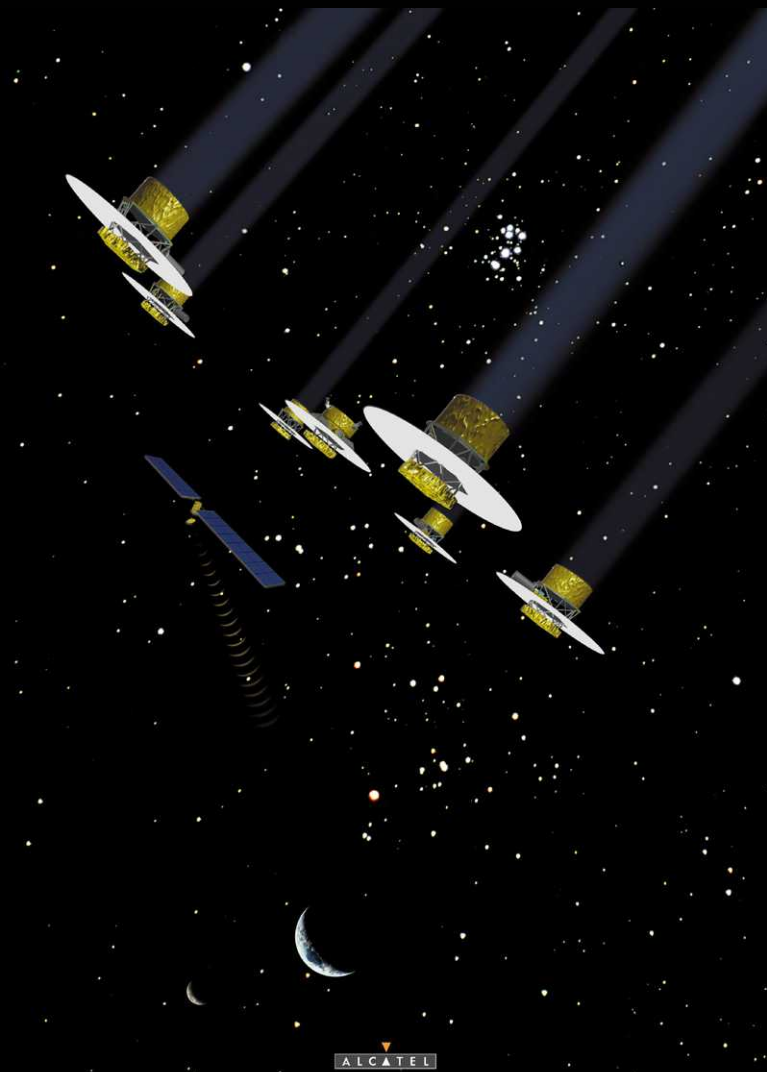
Ford, Seager & Turner: Nature 412 (2001) 885

- **10%レベルの日変化は検出可能**
 - 大陸、海洋、森林などの反射特性の違いを用いる
- **雲の存在が鍵**
 - 太陽系外地球型惑星の天気予報の精度が本質的！

ダーウィン衛星 (欧州：2015年頃打ち上げ?)

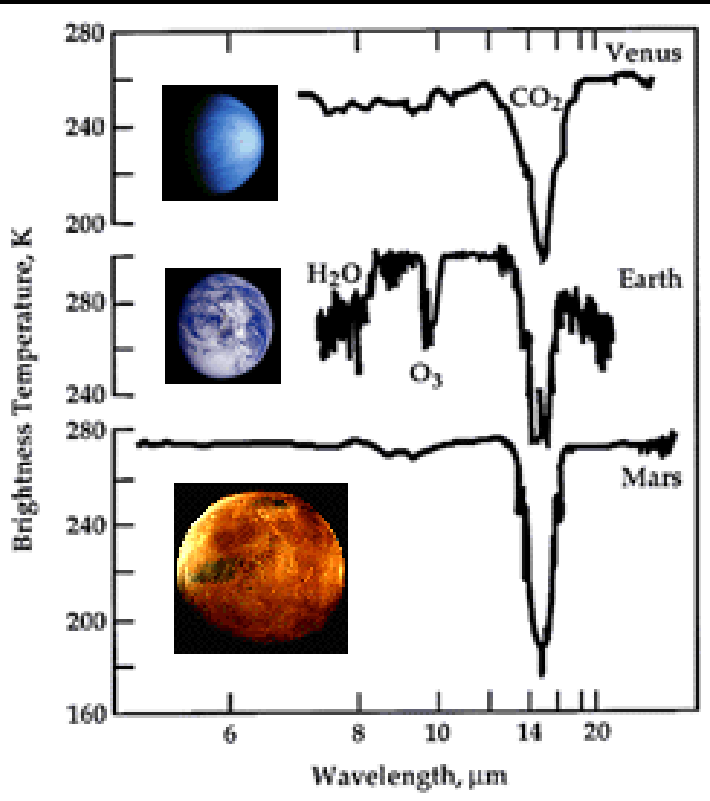


30光年先においた太陽と地球の観測予想図
<http://ast.star.rl.ac.uk/darwin/>



宇宙赤外線干渉計群
測光分光観測

太陽系外惑星研究： 今後の20年 “天文学から宇宙生物学へ”



- 木星型ガス惑星： 発見の時代から“characterization”の時代へ
 - 起源、形成、進化の基礎モデル構築
- 地球型惑星の発見へ
- 居住可能惑星の発見へ
 - 水が液体として存在する惑星
- 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検証できるか？ Biomarker を特定できるか？

謎解きはまだまだこれから

- **宇宙の果てをみることで自然界の新たな物質階層が明らかとなった**
 - 宇宙の約23%は暗黒物質、約73%は暗黒エネルギー
 - 我々は宇宙の96%の部分を全く理解していなかった
 - 暗黒物質、暗黒エネルギーの解明は21世紀科学の大目標
- **10年足らず前に初めて太陽系以外に惑星が存在することが発見された(ただしまだガス惑星のみ)。**
 - 第二の地球はあるのか？
 - 地球外生物、地球外知的文明は存在するか？
 - 我々の存在は偶然か、必然か？
 - これらが単なる夢物語やSFではなく、科学的に議論できる時代になってきた！

地球外知的生命はいるか？：ドレイクの式

$$N = (N_s / L_s) \times f_p \times n_e \times f_L \times f_I \times f_C \times L$$

銀河系内に
ある交信可
能な知的文
明の数

銀河系内の（生命に適した）恒星の数

その恒星の寿命

その恒星が惑星を伴っている確率

その惑星の中で、生物が存在可能な
環境にある地球型惑星の期待値

その惑星に生物が発生する確率

その生物が知的生命に進化する確率

その知的生命が他の文明と交信を行う確率

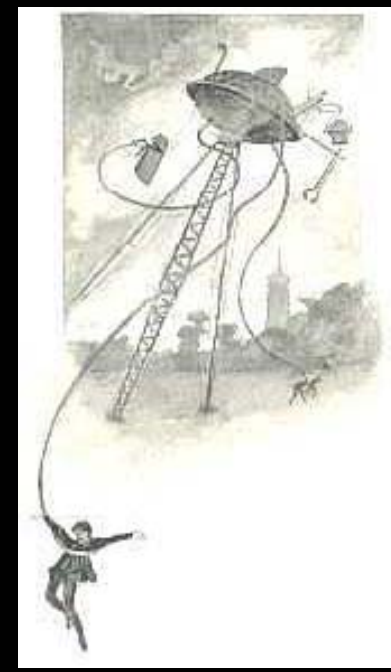
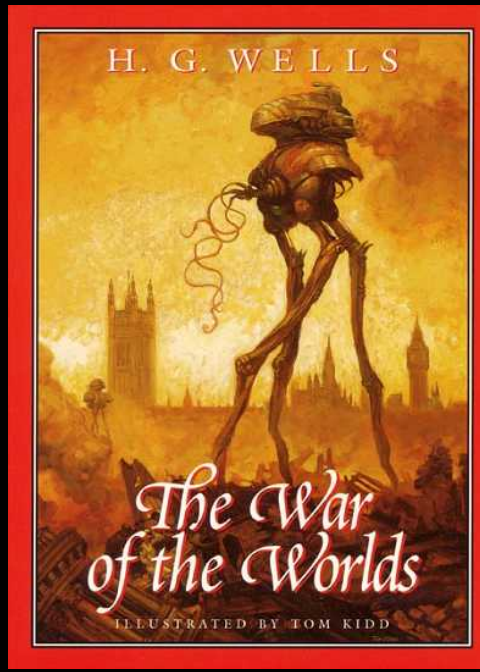
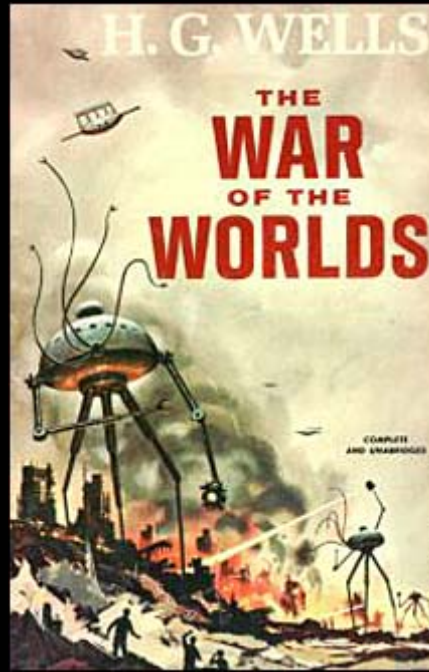
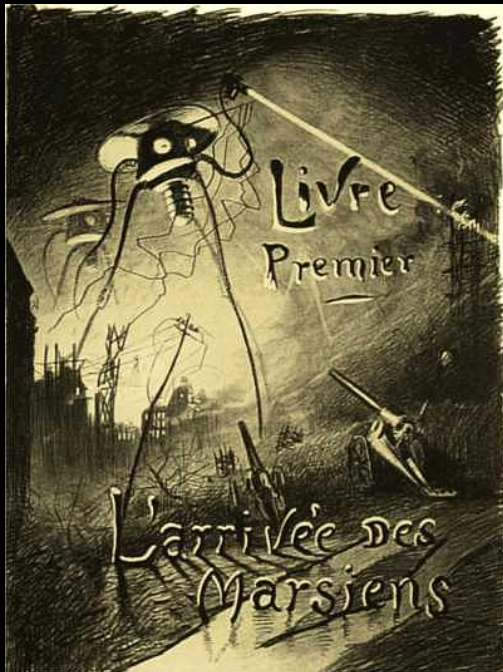
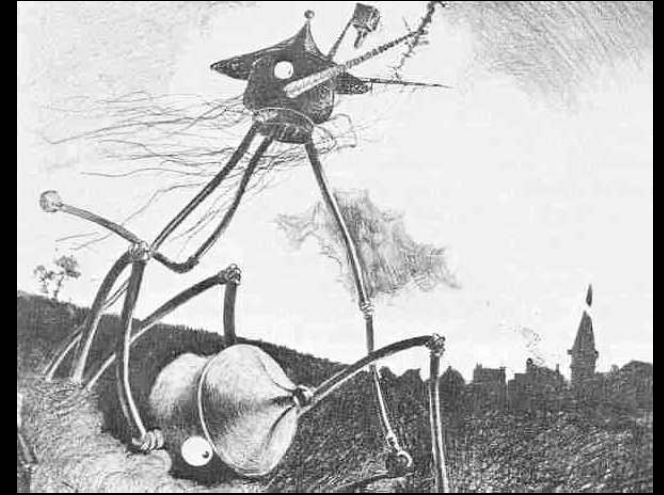
その文明の継続時間



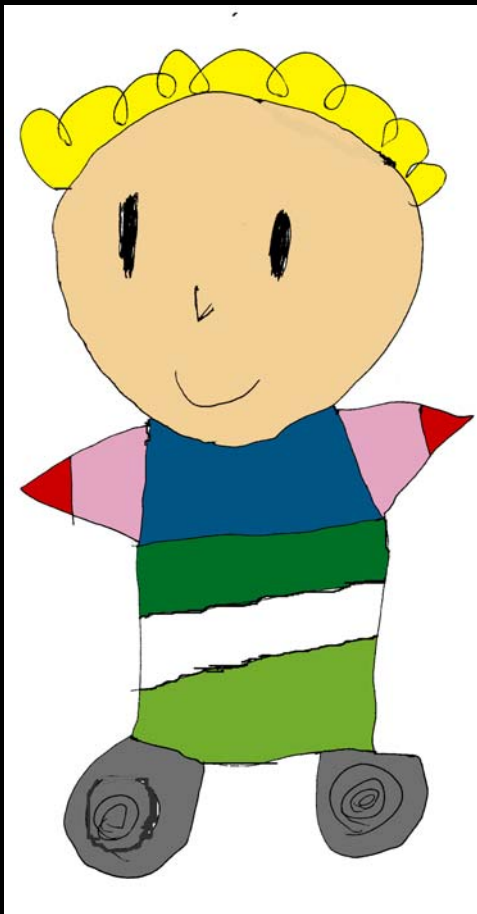
Frank Drake博士

Nの値は良くわかっていない。0.003個（つまり、我々の地球以外には存在し得ない！）と推定する研究者から200万個と推定する研究者までいる。ドレイク博士自身は1万個程度であると考えた。

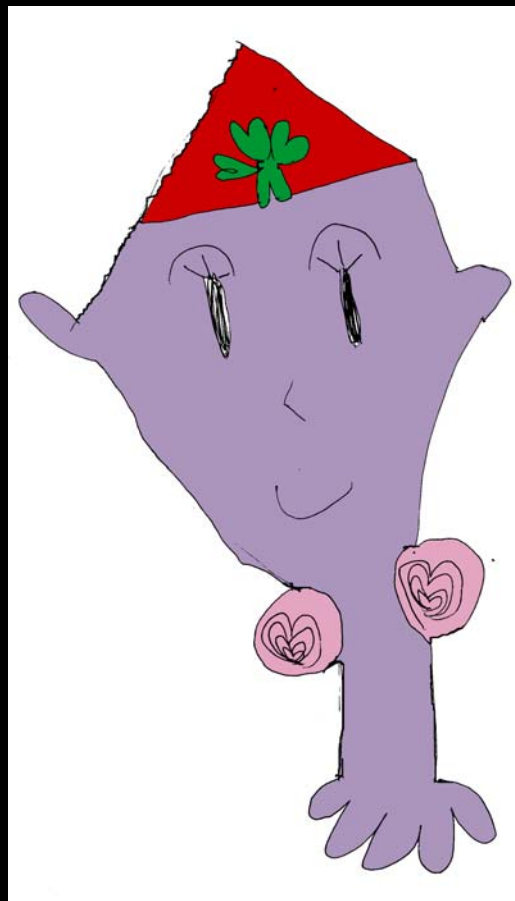
宇宙人の姿を予想する？



我が娘の作品



すとうあかね(小1)



すとうみどり(小5)