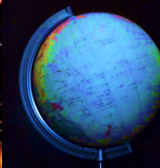
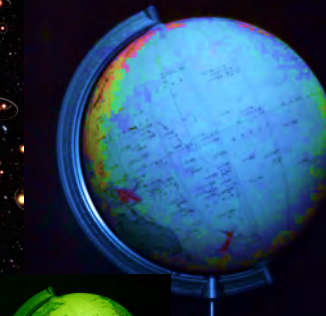


# 系外惑星系が拓く新たな宇宙観



東京大学大学院理学系研究科 物理学専攻 須藤 靖

第82期 高知市民の大学「宙を見上げてー最新・宇宙を知るー」

@ 高知市文化プラザかるぽーと 18:30-20:00、2017年12月19日

ESO/M. Kornmesser <http://www.eso.org/public/images/eso1204a/>

# 自己紹介

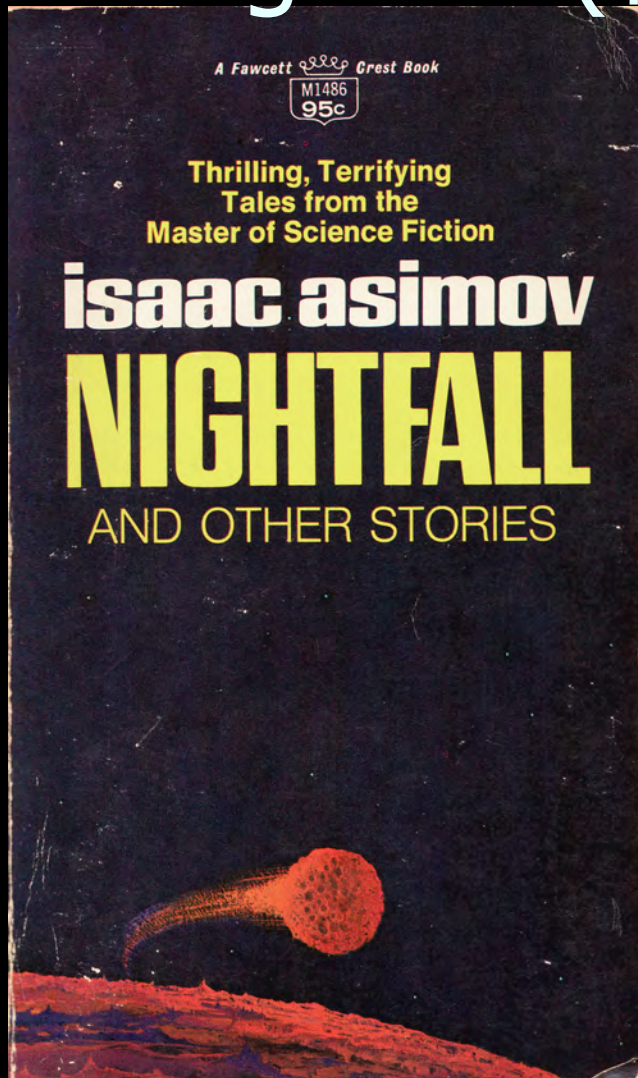
- 1958年 安芸病院で生まれる
- 吉良川保育園、吉良川小学校、伊尾木小学校、清水ヶ丘中学校、土佐高校
- 1977—86年 東京大学理科一類、理学部物理学科、大学院理学系研究科物理学専攻 修士・博士課程
- 1986—89年 カリフォルニア大学博士研究員
- 1989— 茨城大学物理学科助手、広島大学理論物理学研究所助教授、京都大学基礎物理学研究所助教授
- 1993—2006年 東京大学大学院物理学専攻助教授
- 2006年—現在 東京大学大学院物理学専攻教授
- 2009年—13年 プリンストン大学客員教授

# 本日の話の概略

- 1995年、太陽以外の恒星に惑星があることが初めて観測的に証明された
  - それ以来、現在まで膨大な数の太陽系外惑星系が発見されてきた
- つまり、この地球は宇宙においてとりたてて特別な存在ではない
  - とすれば、この地球以外にも、生物、さらには知的文明を宿す惑星が、しかも無数、存在するのではないだろうか
- それらの存在を科学的に解明できるのか？

# 天文学と世界観

# アイザック・アシモフ 著 「Nightfall (夜来たる)」



*Stars -- all the Stars –  
we didn't know at all.  
We didn't know anything.*

# 「Nightfall (夜来たる)」の設定

- 6つの太陽を持つ惑星ラガッシュには「夜」がない
  - 空にはいつも一つ以上の太陽が昇っているため、いつも「昼」の明るさ
- 古来からの伝説によると、2049年に一度だけラガッシュに「夜」が訪れるという
  - これは、たまたま空に一つしか太陽が昇っていない時に、ラガッシュの内側の惑星が起こす皆既日食のためであることがわかる
  - これから数時間で「夜」が訪れる時から物語が始まる
  - 初めて「夜」を見た瞬間、ラガッシュの住民は何を知ったのか

# 「我々は何も知らなかった」



その瞬間に彼らの世界観が一変した

イラスト：羽馬有紗

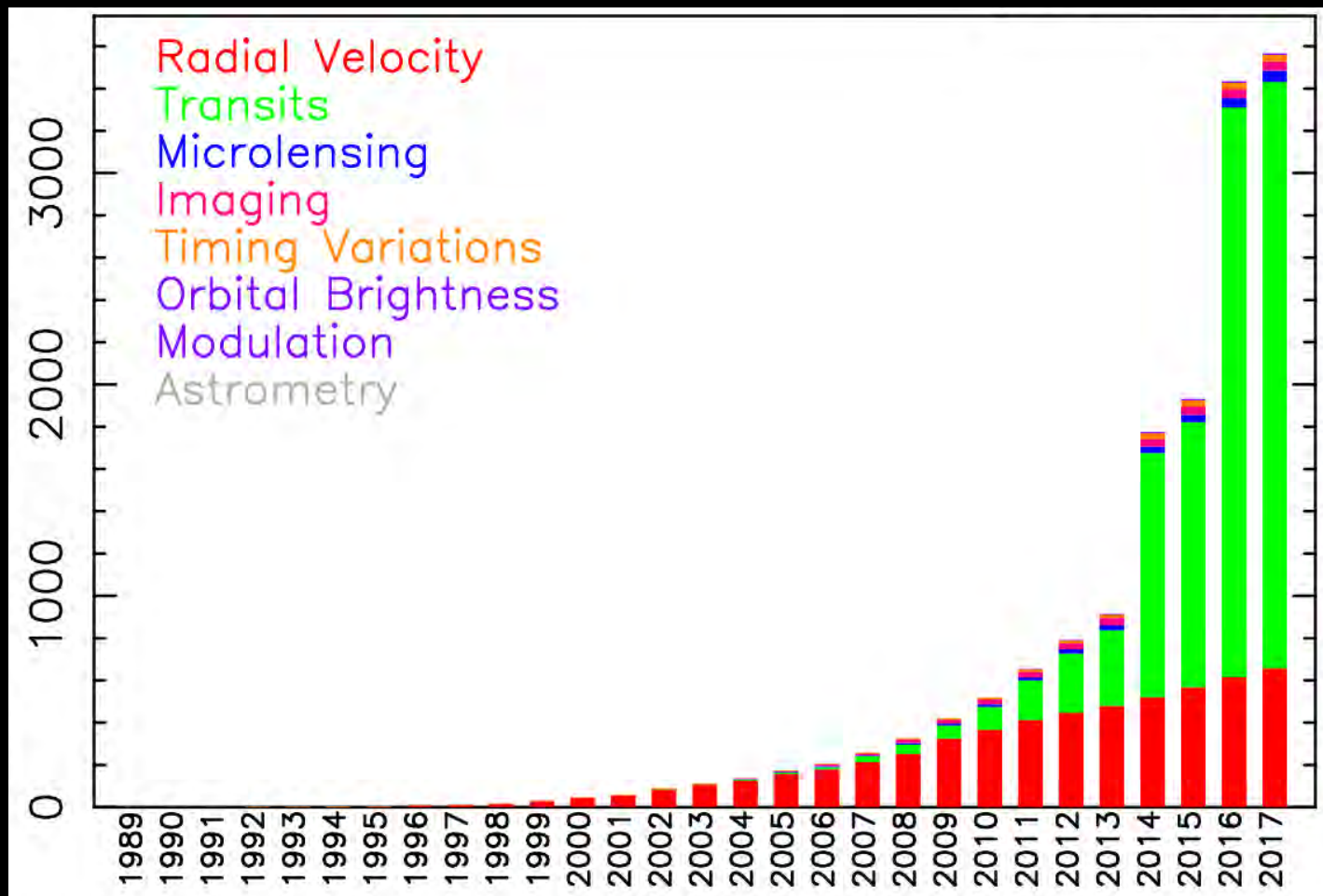
「我々は何も知らなかった」に気づくことこそ科学の本質

# 太陽系外惑星の発見



# 太陽系外惑星発見史

発見総数



西暦

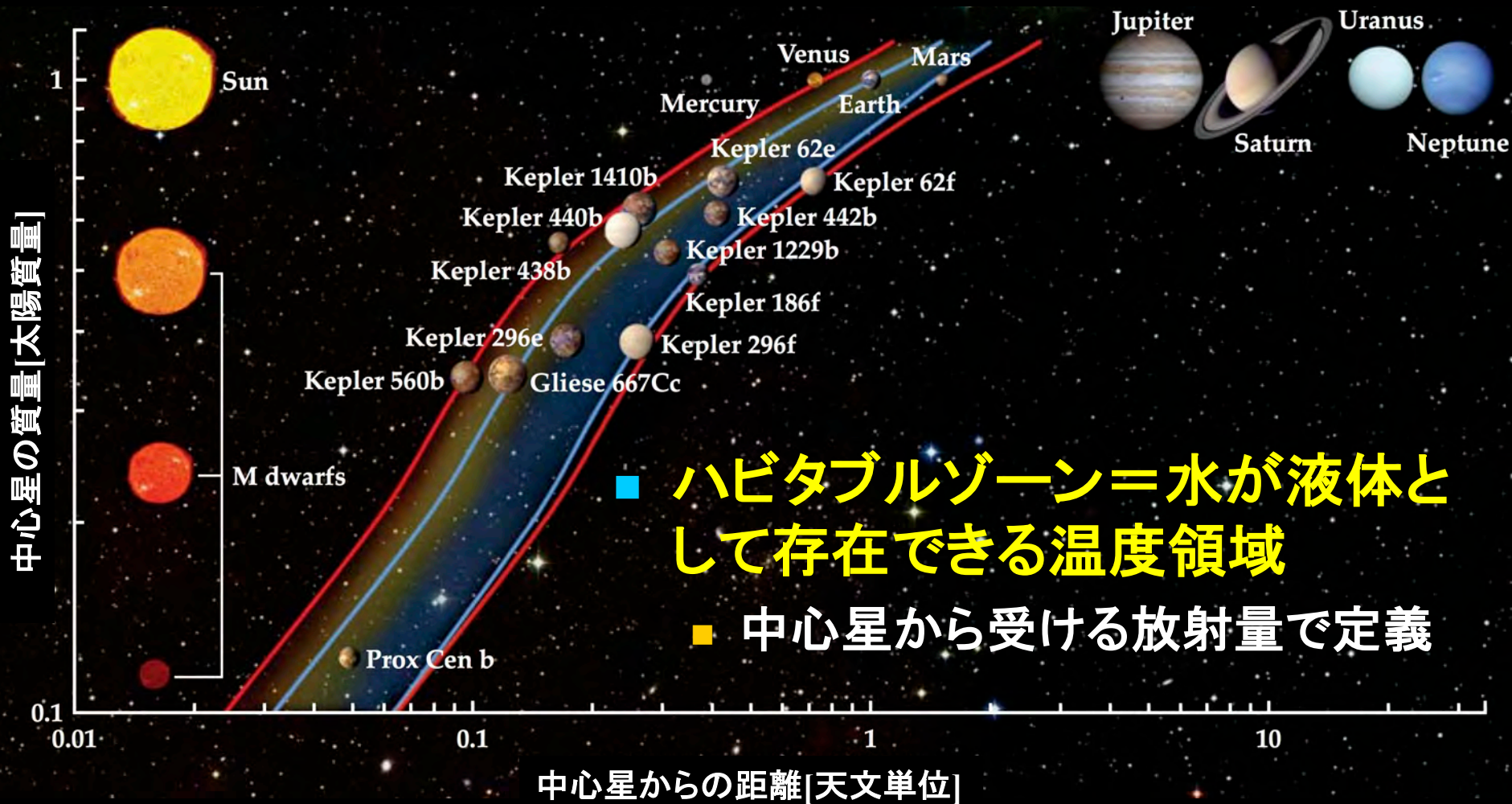
2016年6月時点では

8重惑星系:太陽系のみ、7重惑星系:3、6重惑星系:2、5重惑星系:15、  
4重惑星系:49、3重惑星系:99、2重惑星系 300個以上

# 系外惑星系についてわかってきたこと

- **惑星系の存在は珍しくなくあたりまえ**
  - 太陽と似た恒星の7割以上が惑星を持ち、2割以上は複数の惑星を持つと推定されている
- **太陽系と良く似た系もかけ離れた系も存在**
  - 太陽の周りを数日で公転する巨大ガス惑星(ホットジュピター)
  - 大きな離心率を持つ楕円軌道の惑星
  - ハビタブル惑星候補(水が液体として存在できる温度)
  - 地球よりやや大きい岩石惑星(スーパーアース)が多数
- **我々の地球以外に生命が存在するか？**

# ハビタブル惑星候補



須藤 靖

3月に帰省之際、中学校の同級生7名を誘って、久々の三回密会を企画しました。卒業後40年以上経ちますが、お互いの顔を見ても、さういふ間に背に背り、ぼつとした気持ちになります。故郷、そして友達は他にはえがたいものです。遠に住んでいながら、私達の立場から言うのは、やはりありますが、まことに、明りや遠方から来る。亦た楽しからずや、よし

今回発表されたのは、地球から約39



今回発表されたのは、地球から約39

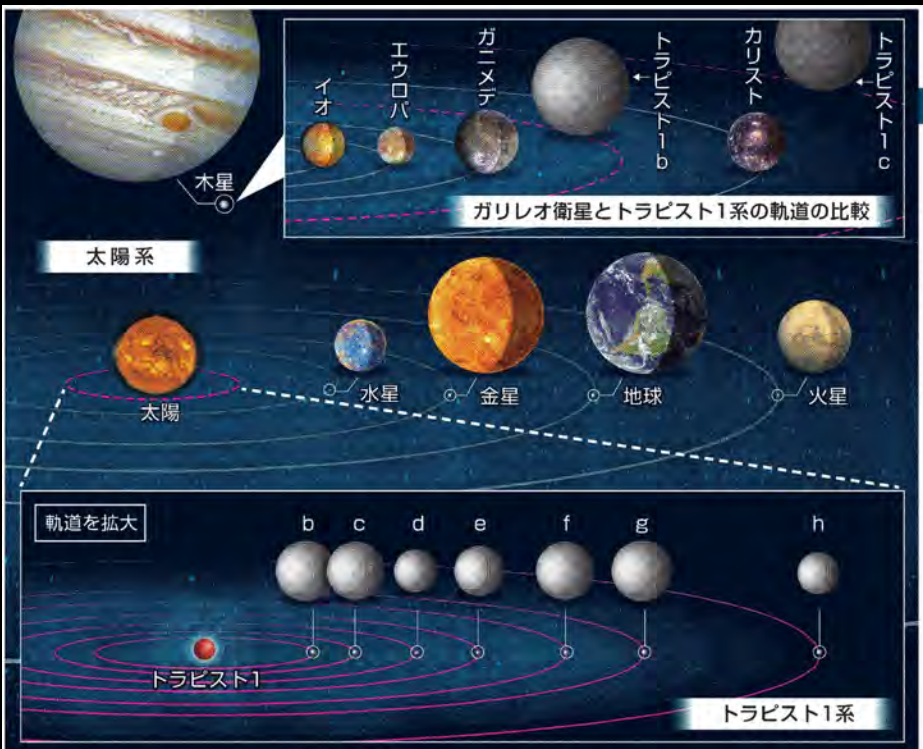
七つの「地球」を宿す星

地球は太陽の周りを年を公転しています。また、地球は自らも太陽系の八つの惑星はほぼ同一平面を公転しています。その平面上に住んでいる宇宙人（仮称）が、地球を「宿す星」として眺めつけたと仮定します。この場合、八つの惑星がそれぞれ公転するたびに、少くも地球の光が輝き、太陽のほんの少しだけ暗くなる。この現象が起きたことがわかると、このトランジット現象が、太陽がほんの少しだけ暗くなる。この現象が起きたことがわかると、このトランジット現象が、太陽がほんの少しだけ暗くなる。この現象が起きたことがわかると、このトランジット現象が、太陽がほんの少しだけ暗くなる。

この法で発見されました。それらの公転期は、1.5日、2.4日、4.1日、6.1日、9.2日、12日、20日などです。つまり、この系は地球に比べてはるかにコンパクトにまとまっています。また、それらの星はいずれも地球の0.7倍から1.2倍の範囲内にあるため、地球と同じく固体を主体とする岩惑星（地球型惑星とも呼ばれます）であろうと考えられています。

このトランジット系は、太陽系と比較したものが上図です。トランジット系では、七つの惑星に対して内側からトランジット1、トランジット2、トランジット3と名づけられています。トランジット系は、太陽系と比較したものが上図です。トランジット系では、七つの惑星に対して内側からトランジット1、トランジット2、トランジット3と名づけられています。

現在では寒い液体の水は存在していません。つまり、この地帯だけが、水が蒸発せず凍ることもなく、液体の水と存在できると見られています。これを「住むには適した環境」と呼ばれます。ただしこれはあくまで惑星単体での話です。確かにここへ大規模に移民すれば、トランジット系の七つの惑星は、いずれも水が凍って存在しなくなると考えられています。さらに、この系では正味、冬になると毛布を巻く必要を中々感じません。同じく、惑星の大気の大層の二層を脱着して、それら毛布のような役割をして、惑星の表面温度が上がりすぎることがあります。これがいわゆる温室効果で、地球の温暖化と関係が深いと考えられています。つまり、系外惑星の大気組成によっては温暖化がひどいかもしれません。



トランジット1惑星系と太陽系の比較
https://exoplanets.nasa.gov/trappist1/#Ranger の図を参考にして作成
◎太陽面を通過していく金星
(2004年6月8日午後3時35分ごろ、高知市の高知新聞放送会館屋上で撮影)



系よりもっとコンパクトな惑星系であることがわかった。むしろ木星とその衛星がなるのほかに近いほどです。木星の半径は太陽の10パーセント、トランジット1系とほぼ同じです。木星は自分自身で光っていませんが、木星の周りに7つの衛星が発見されています。有名なワニオ・ガレイが発見した四つで、内側からイオ、エウロパ、ガニメデ、カリストを付けられています。また、ガレイ衛星と呼ばれるこの惑星は、地球の約半分程度の質量、ガスではなく固体が主成分です。

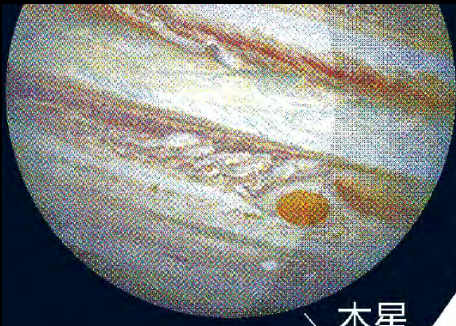
このようにトランジット1系は、太陽系とはかなり異なる性質を持っています。そしてさらに特筆すべきは、生命を宿する可能性があります。その理由は、この系には液体の水が存在します。太陽系の場合、水星と金星は温度が高すぎるため水があたとして蒸発してしまいましたが、火星はかつて海があったのではな

高知新聞二〇一七年五月十三日

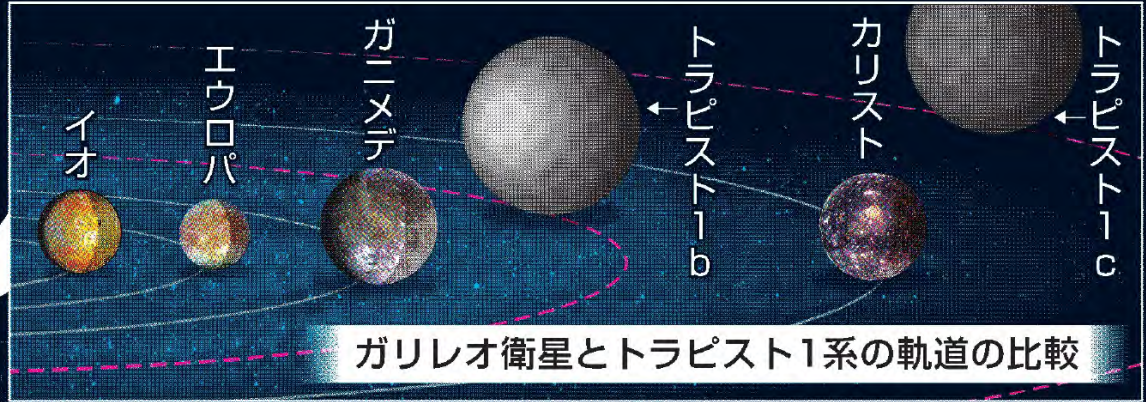
市出稿
宇宙物理学専攻 東京大学教授、安芸

# 惑星系

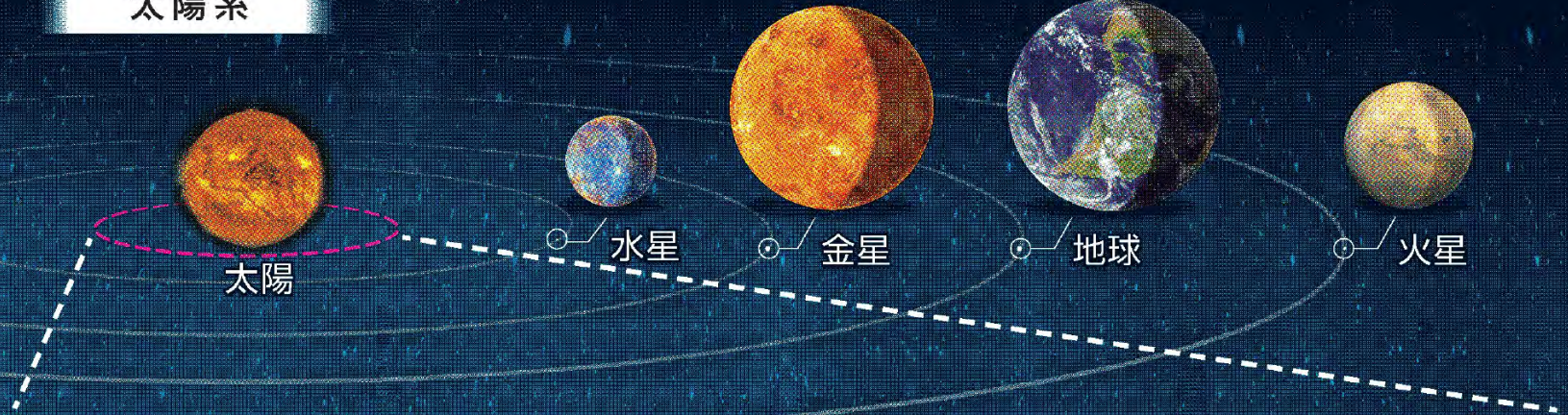
# トラピスト1



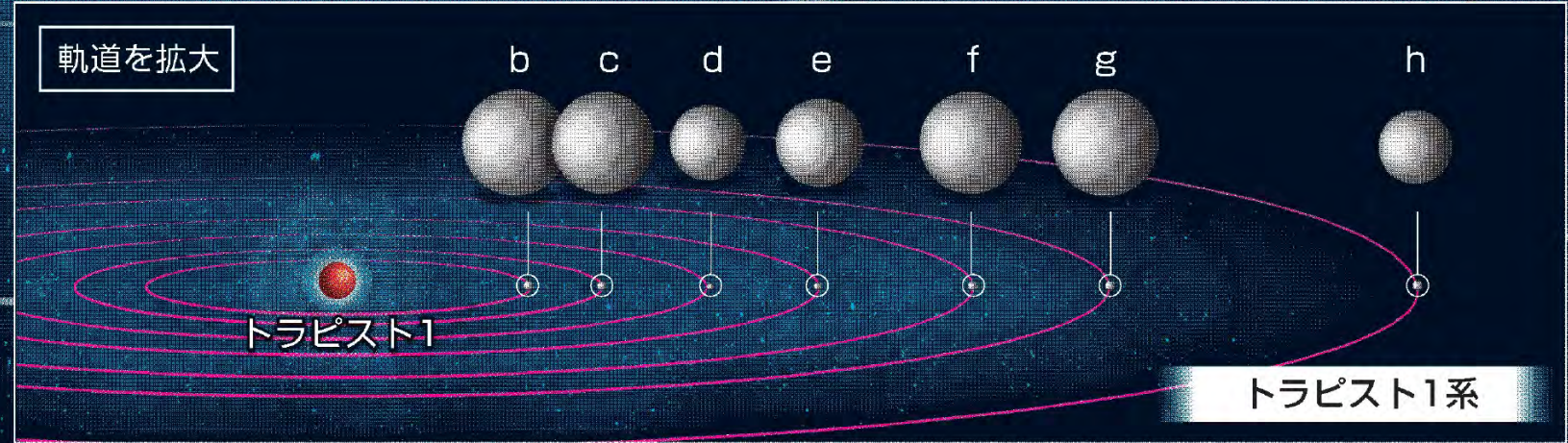
木星



太陽系



軌道を拡大



# 地球サイズのハビタブル惑星の存在確率

## ■ GK型星を公転する地球半径の1~2倍の惑星

- ケプラーのトランジット惑星検出数から、観測的選択効果を補正して推定
- $11 \pm 4$  % (地球上での太陽フラックスの1~4倍のもの)
- $5.7^{+2.2}_{-1.7}$  % (公転周期が200~400日のもの)

Table 1. Occurrence of small planets in the habitable zone

HZ definition	$a_{\text{inner}}$	$a_{\text{outer}}$	$F_{P,\text{inner}}$	$F_{P,\text{outer}}$	$f_{\text{HZ}}$ (%)
Simple	0.5	2	4	0.25	22
Kasting (1993)	0.95	1.37	1.11	0.53	5.8
Kopparapu et al. (2013)	0.99	1.70	1.02	0.35	8.6
Zsom et al. (2013)	0.38		6.92		26*
Pierrehumbert and Gaidos (2011)		10		0.01	~50 <sup>†</sup>

# 宇宙は地球で満ちている？

- 天の川銀河系内の恒星の数= $10^{11}$ 個
  - その10%の $10^{10}$ 個が太陽と似た恒星(G型星)
  - G型星の10%がハビタブル惑星を持つ
- 天の川銀河系内のハビタブル惑星の数= $10^9$ 個
  - 観測できる範囲の宇宙内の銀河の数= $10^{11}$ 個
- 宇宙内のハビタブル惑星の数= $10^{20}$ 個
  - ハビタブル惑星に生命が存在する保証は全くない
  - 本当に生命を宿すための条件は未だ知られていない(適度な割合の海と陸+偶然?)
  - しかしこのなかで地球だけが生命をもつと考える方がはるかに不自然では？

# 宇宙における生命探査

- 30年前は完全なSF物語
  - 科学者よりも一般人が興味をもつ
- 今では科学の一分野として認められつつある
  - サンプルリターン（小天体、火星、木星の衛星に直接探査機を送る）
  - リモートセンシング（遠方の太陽系外惑星を望遠鏡で観測）
  - SETI（地球外知的文明からの信号を検出）
- 人類の究極の科学目標であることは確実
  - ただし少なくとも今後10年から100年は必要



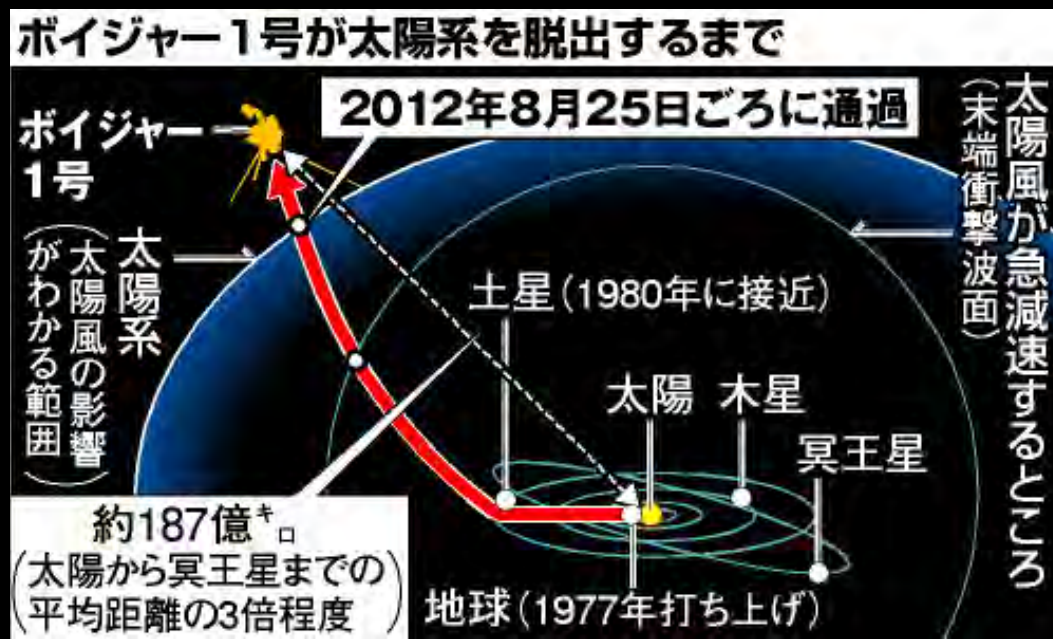
リモートセンシング

我が地球の観測

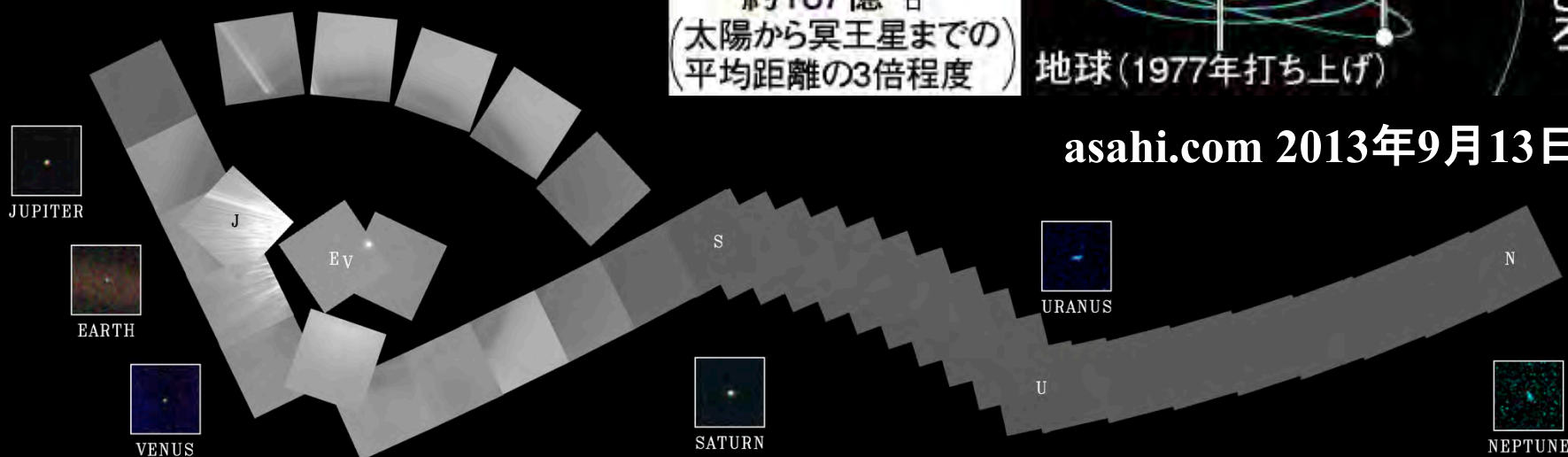
# ボイジャー1号による太陽系内惑星撮像

■ 1990年2月14日  
@40AU

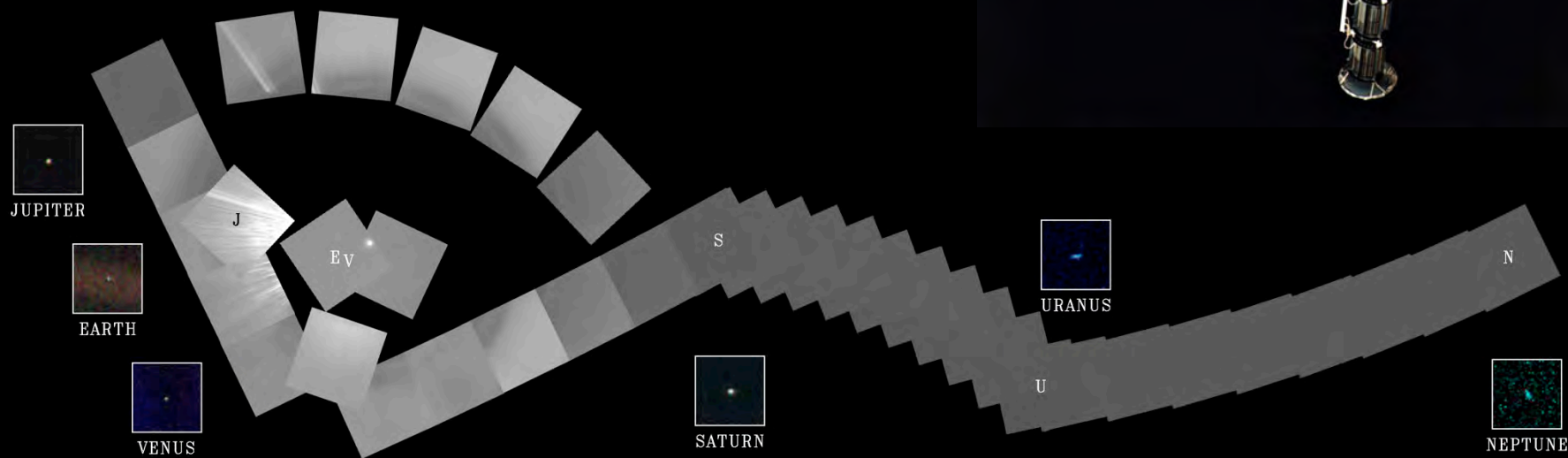
■ カールセーガンが地球の画像を  
**Pale Blue Dot**  
と命名



asahi.com 2013年9月13日



# ペイル・ブルー・ドット





# 土星から 見た地球

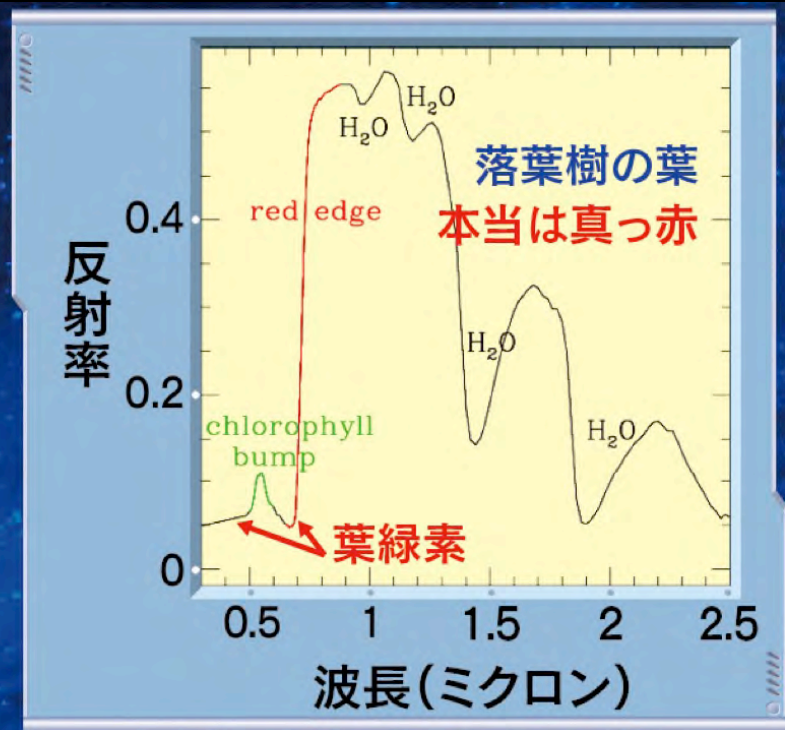
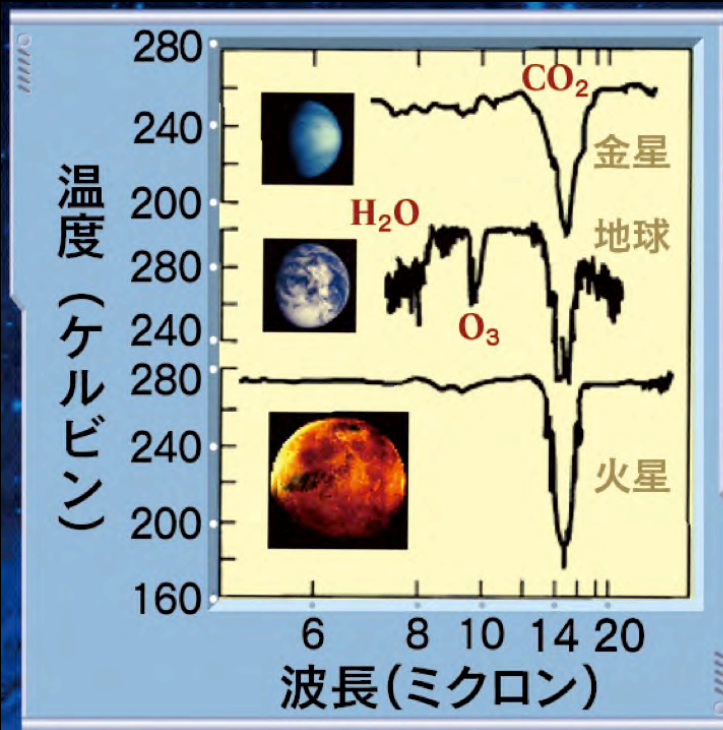


- 土星探査機カッシーニが撮影した地球と月
  - 2013年7月20日(日本時間):2万人がこちらに手を振っている

View from Saturn (Cassini)  
900 million miles away

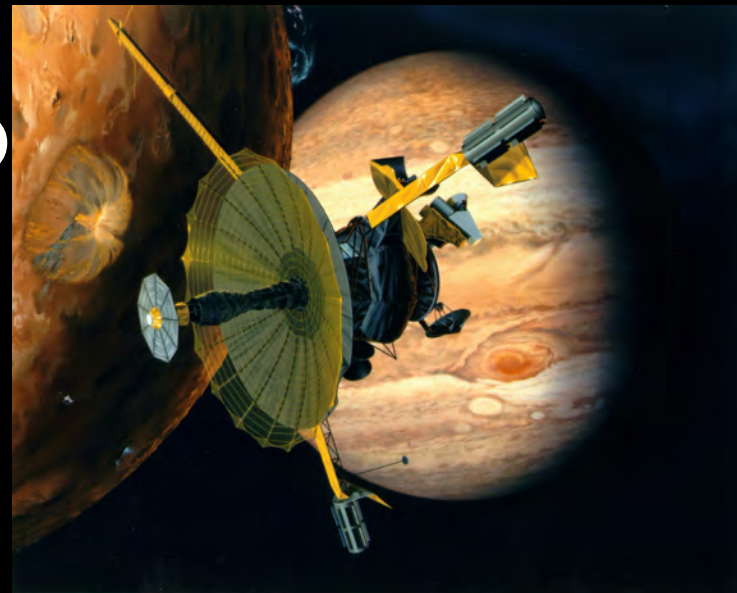
# バイオシグニチャー: 生物が存在する兆候

- 何を見れば生命があると考えらるのか？
  - 生物由来の大気成分(酸素、オゾン、メタン)
  - 植物のレッドエッジ
  - 知的生命体からの電磁波
- いずれにせよ検出は天文学観測しかない



# ガリレオ探査機による地球上の生命探査

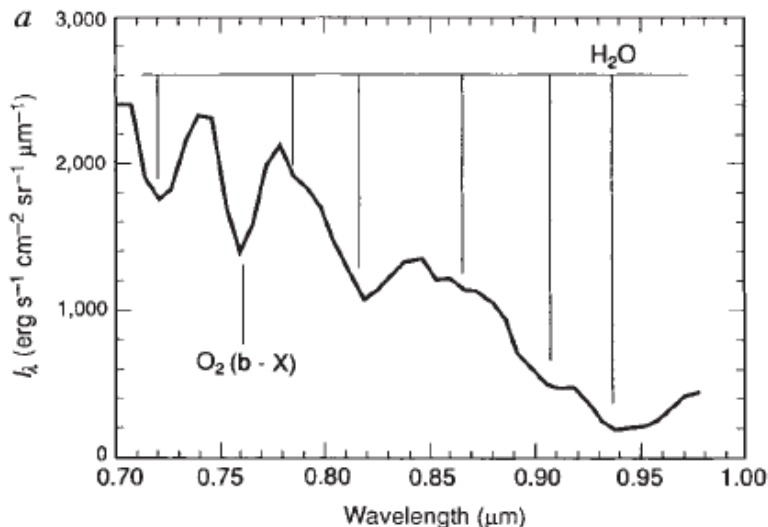
- 1986年5月打ち上げ
- 1990年12月8日一回目の地球スイングバイ時に地球上の“生命探査”
- **地球には生命がいるらしい!**
  - 大量の気体酸素
  - 植物のレッドエッジ
  - 熱平衡から極端にずれた大気中のメタンの存在量
  - 狭帯域で振幅が変化する“不自然な”パルス状電波



Sagan, Thompson,  
Carlson, Gurnett & Hord:  
Nature 365(1993)715

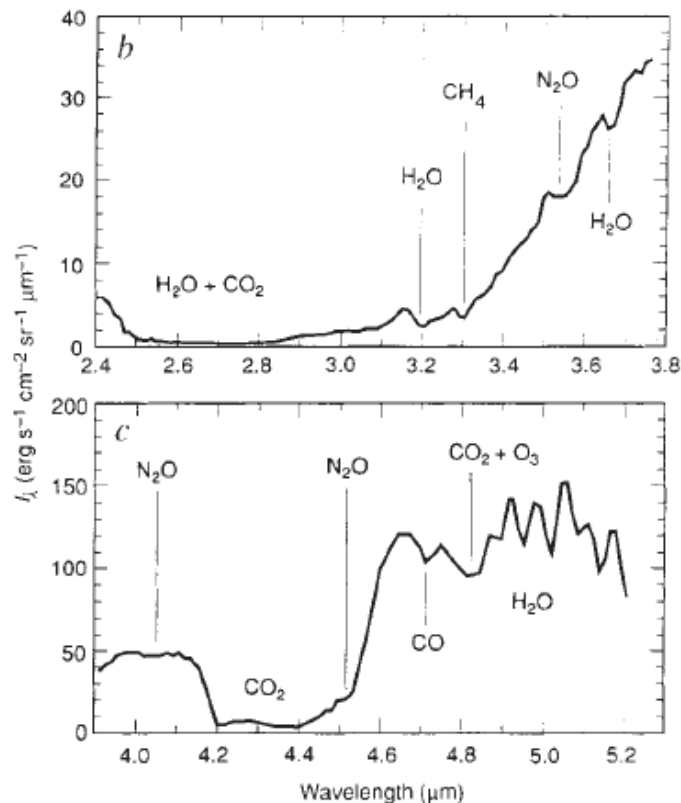
# Sagan et al. (1993): 大気分光

## ガリレオ探査機の観測した地球の可視光-近赤外スペクトル



### 酸素分子の吸収@Aバンド(0.76μm)

FIG. 1 a, Galileo long-wavelength-visible and near-infrared spectra of the Earth over a relatively cloud-free region of the Pacific Ocean, north of Borneo. The incidence and emission angles are  $77^\circ$  and  $57^\circ$  respectively. The  $(b^1\Sigma_g^+ \rightarrow X^3\Sigma_g^-)$  O<sub>2</sub> at  $0.76 \mu\text{m}$  is evident, along with a number of H<sub>2</sub>O features. Using several cloud-free regions of varying airmass, we estimate an O<sub>2</sub> vertical column density of  $1.5 \text{ km-amagat} \pm 25\%$ . b and c, Infrared spectra of the Earth in the  $2.4\text{--}5.2 \mu\text{m}$  region. The strong  $\nu_3$  CO<sub>2</sub> band is seen at the  $4.3 \mu\text{m}$ , and water vapour bands are found, but not indicated, in the  $3.0 \mu\text{m}$  region. The  $\nu_3$  band of nitrous oxide, N<sub>2</sub>O, is apparent at the edge of the CO<sub>2</sub> band near  $4.5 \mu\text{m}$ , and N<sub>2</sub>O combination bands are also seen near  $4.0 \mu\text{m}$ . The

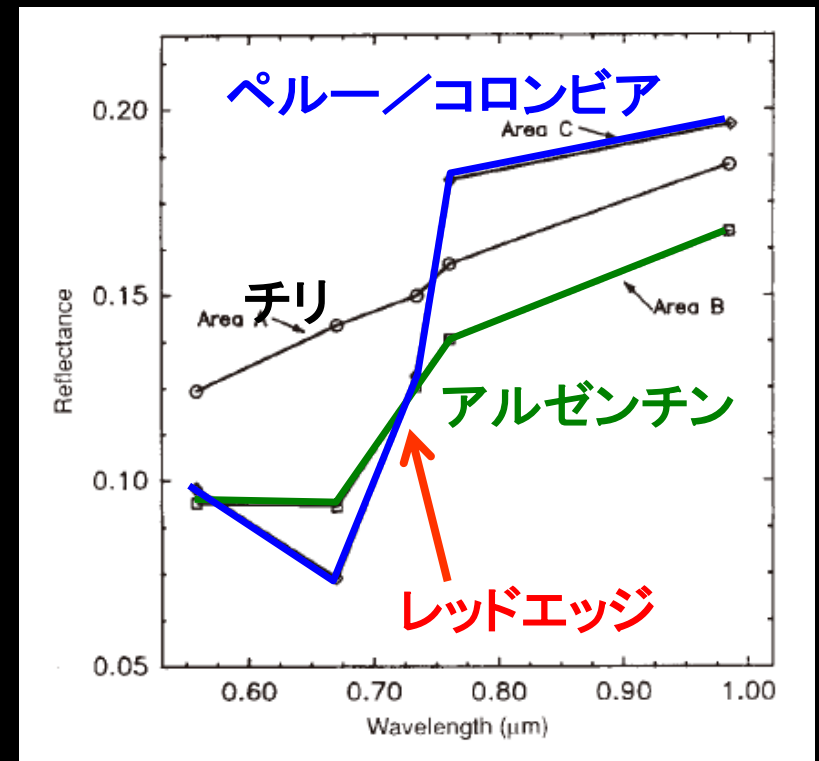


methane (0010) vibrational transition is evident at  $3.31 \mu\text{m}$ . A crude estimate<sup>10</sup> of the CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O column abundances is, for both species, of the order of  $1 \text{ cm-amagat}$  ( $\equiv 1 \text{ cm path at STP}$ ).



# Sagan et al. (1993): 撮像

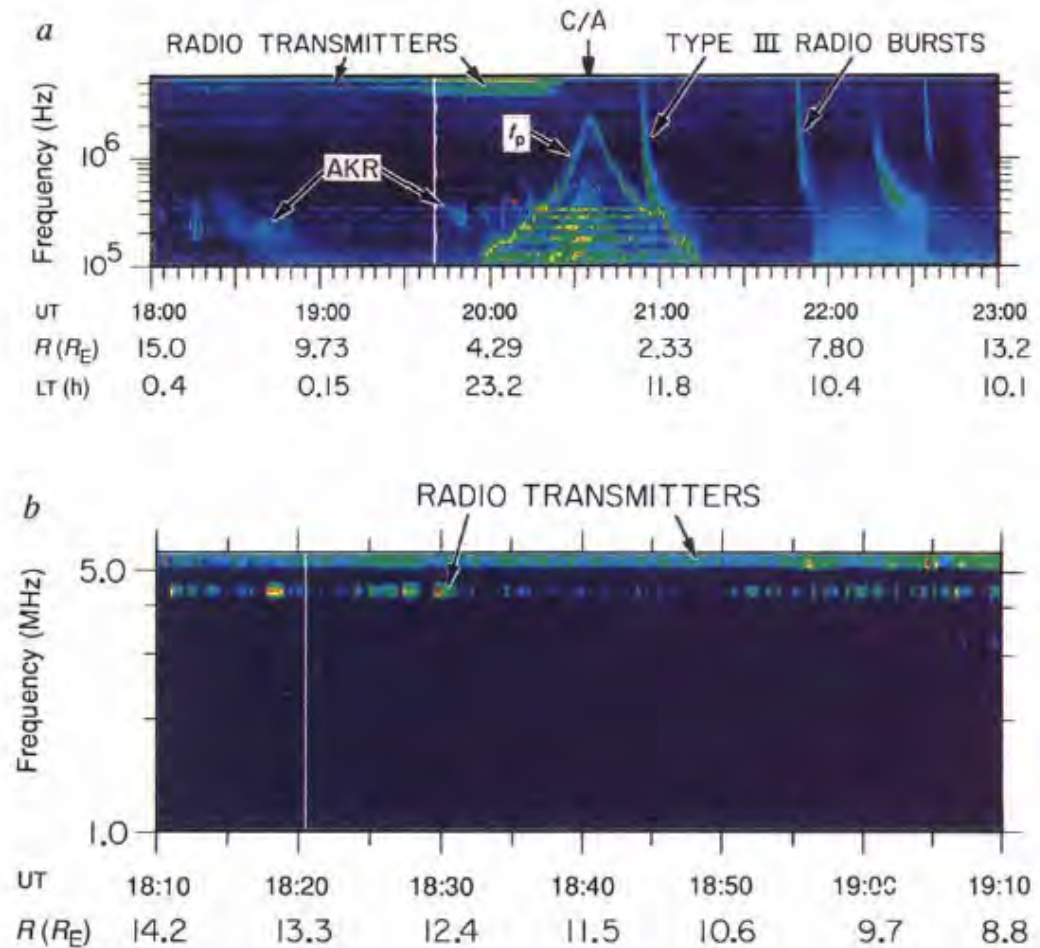
ガリレオ探査機の観測した地球のレッドエッジ



# Sagan et al. (1993): 電波観測

## ガリレオ探査機の観測した地球の電波信号の時系列

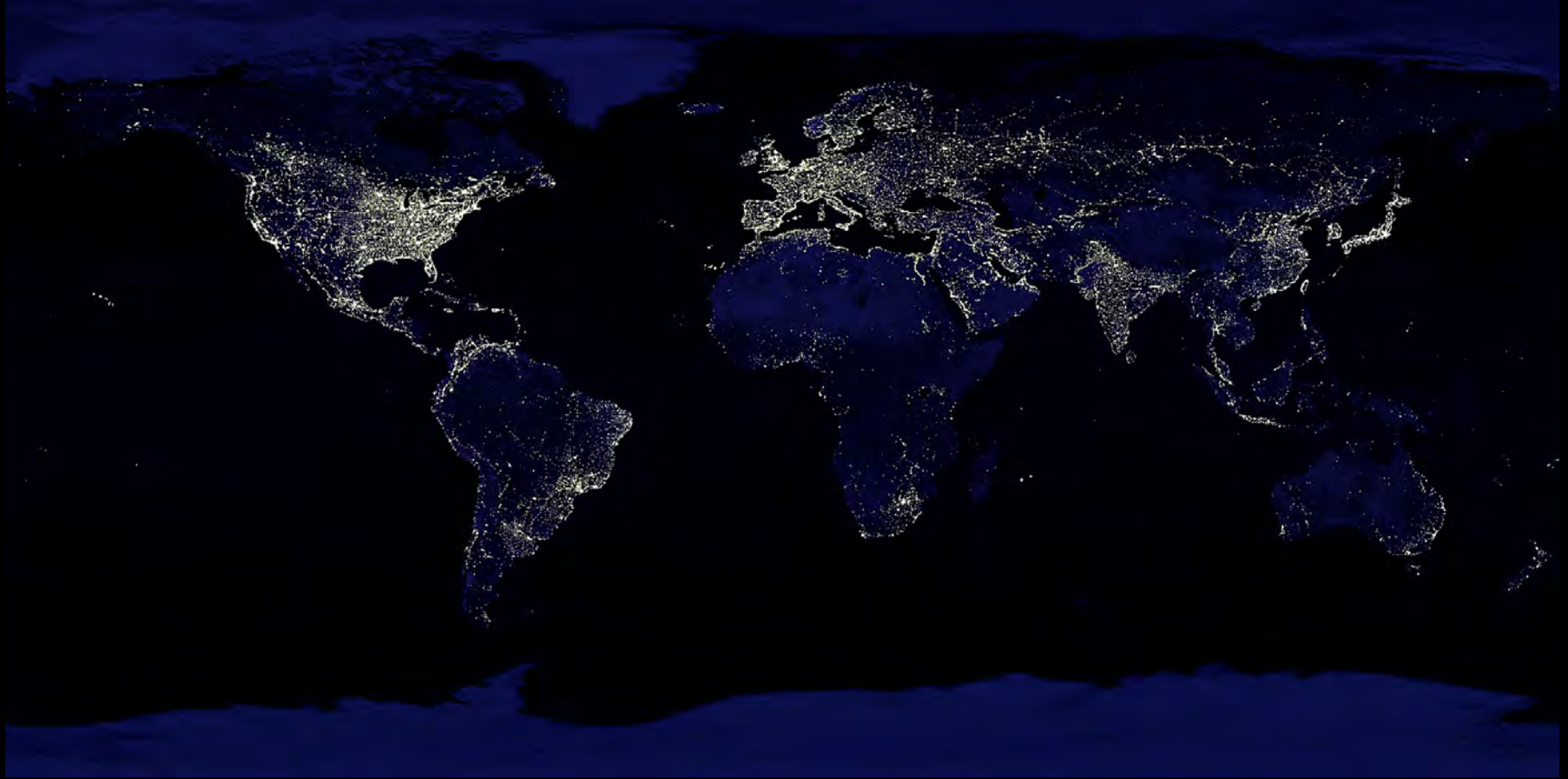
FIG. 4 A frequency–time spectrogram of the radio signals detected by the Galileo plasma wave instrument. The intensities are coded in the sequence blue–green–yellow–red, with blue lowest and red highest. Several natural sources of radio emission are shown in *a*, including auroral kilometric radiation (AKR). Modulated emission at  $f > 4$  MHz is shown with an expanded time scale in *b*. Modulated patterns of this type are characteristic of the transmission of information, and would be highly unusual for a naturally occurring radio source. (UT, universal time;  $R$  is distance of Galileo from Earth in units of Earth's radius,  $R_E$ ; LT, local time.)



リモートセンシング

もうひとつの地球の観測

# Earth at Night 2012



<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/NightLights/page3.php>



四国近辺



日本近辺

# 世界を支配するダーク

須藤 靖

地球から宇宙を観測できるのは夜があるからです。そんなことは言われなくてもわかってることだと思われそうですが、でもそれは、非連続でも地球に夜がなかったら、と考えると、なかなか入らないでしよう。アサカシク、アサカシク、1941年に発表された『暗黒紀』(夜来な)は、まさにそれを主題とした美しい短編小説です。

舞白は、六つの太陽を「惑星」カッシーノ「おかげで空にはいつも以上の太陽が昇っており、人は「夜」を知りません。ところが、古くから伝わる神話によれば、カッシーノ

は約千年ほどに真つ暗黒空間の中に入り、夜を迎えることになっていま

「日食」は、カッシーノを一つ暗黒にするだけの勢いのある出来事だ。ところが実際に「日食」の瞬間に現れたのは、夜が永遠に尽き、数分だけだけ、カッシーノ空は、いつも明るく「星」というものを知り、直ちに自分たちがこの世界を支配する存在だとなかなかたてに気づきました。カッシーノ、またそこに住む自分たちも、この宇宙を支配する存在だとなかなかたてに気づかないで

ています。高知県もその光の大部分が高知市に集中しており、私の生まれが安芸市はほぼ注意し眺めなくてはならないくらいです。それ以外の高知県のうち、夜でも光つ見える面積の割合はたかだか数パーセント程度です。

入り、夜を迎えることになっていま、天文学者たちは夜の暗黒空間に、人々になんか想像してみてもくれない。カッシーノ空は、いつも明るく美しい夜空です。その先自分たちが知らぬ何かが生きているのだ、と夢に思いつけませんか。つまり、自分たちが宇宙の中にいる別な存在だ、と気づくべきです。その予想が正しいかは、あとで時間を経て日食が始まる

り感がある「夜」を迎える。それが、小説の始まりです。

さて、この舞白さんもカッシーノの人々になんか想像してみてもくれない。カッシーノ空は、いつも明るく美しい夜空です。その先自分たちが知らぬ何かが生きているのだ、と夢に思いつけませんか。つまり、自分たちが宇宙の中にいる別な存在だ、と気づくべきです。その予想が正しいかは、あとで時間を経て日食が始まる

るが、全く平凡な存在に過ぎない。舞白は主人公が「われれば何とも知らなかった」とつぶやきます。そしてその物語は終わります。

全同じことが宇宙についても成り立っていることが知られています。宇宙で光に輝いているのは星ですが、それらは宇宙の全質量のわずかパーセント以下に過ぎません。星はわれわれが知っている地球上のすべての物質と同じくらい重く、その質量が、すべての元素と同等に光に輝いていなければなりません。しかし、この元素から成り立っている宇宙の物質をすべて集めたとしても宇宙の全質量の5パーセント程度にすぎないことがわかっています。つまり宇宙の95パーセントは普通の物質ではないのです。まさに高知県の、全面積を占める光を出している面積の比率と似ています。

この連載では、地球が抱える夜の謎をテーマとしてきました。今回高知市から見た夜の地球の姿を紹介したいと思います。

光害の気象衛星が、2012年4月の9日開く10月の13日に撮影したデータから作成された夜の地球が上の画像です。この図もまた同じく眺めていて、舞白さんに描くことを語りかけてくれるのではないのでしょうか。

いつもよく目にする世界地図は、この夜の地球と比べてみると、この地球上でエネルギーを消費している地域が、かに偏っているのが一目瞭然です。まあゆいばかりは置いて見ると、米国の西海岸と東海岸、ヨーロッパ、日本、中国の東側に対して、アメリカ大陸、南米大陸、オーストラリア、中国などの内陸部はほとんど光がありません。(あくまでエネルギーが大陸部に光が流れているという仮定ですが、これは山火事によるものも含まれます。ただしこの画像は、20日間間の観測データを合成したもので、別の日の山火事が同時に起きています。それによって、日本の感覚からすれば、それほど山火事が多いというのでもないと思います。

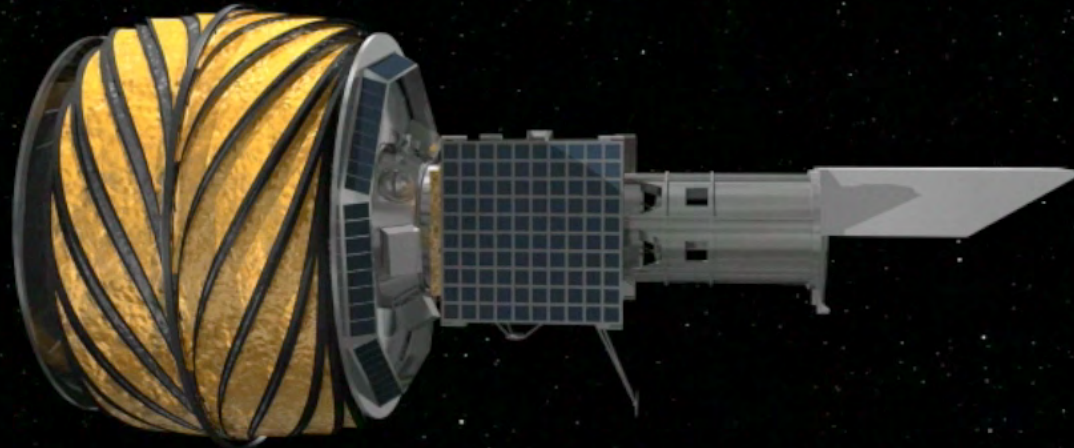
この95パーセントを占めているのが「ダークマター」と「ダークエネルギー」です。なんだか難しそうな名前が思われる方も、どうぞ安心ください。それらが何であるのかわからない人は今のところ世界中に同じように「何より」「ダーク」ともいえない。それらが何であるのかわからないのは、たまたま研究者の益々のために付け加えられた「ダークマター」は光を出さないけれども普通の物質(元素)と同じ「引力力」(重力)は働く未知の素粒子、ダークエネルギーはアインシュタインが提唱した「宇宙定数」(宇宙全体を押し広げようとするエネルギー)であろうと予想されています。そしてこの予想が正しいかは、たまたま全く間違っていないかを検証するための実験や観測が世界中で精力的に行われています。

さて、今年の連載はこれで最後です。今年はいつうにお話になりました。少し早いです。皆様どうぞ長いお年をお迎えください。来年もまた引き続きどうぞお楽しみにしたいと思います。宇宙物理学 東京大学教授 二葉之土朝雄

ある話を聞いた途端に、その先により深い基本的な話が出てくるのが見えます。これは、天文学に限らずあらゆる科学に共通しています。そしてその果てには繰り返して通じて、われわれ人類は必ず賢くなるべく、この世界を支配する存在だとなかなかたてに気づかないでいた。それは、高知県もその光の大部分が高知市に集中しており、私の生まれが安芸市はほぼ注意し眺めなくてはならないくらいです。それ以外の高知県のうち、夜でも光つ見える面積の割合はたかだか数パーセント程度です。

高知新聞二〇一六年12月10日

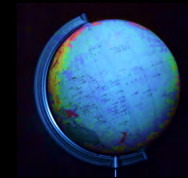
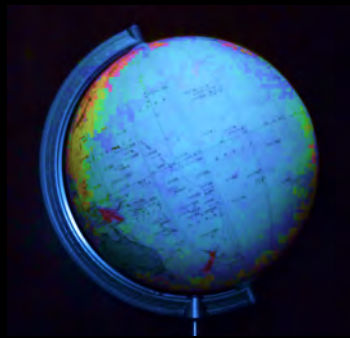
# Starshade project: 地球型惑星を直接見る



- 宇宙望遠鏡の5万km先に中心星を隠すオカルター衛星をおき、惑星を直接撮像(プリンストン大学 J.Kasdinらのグループ)

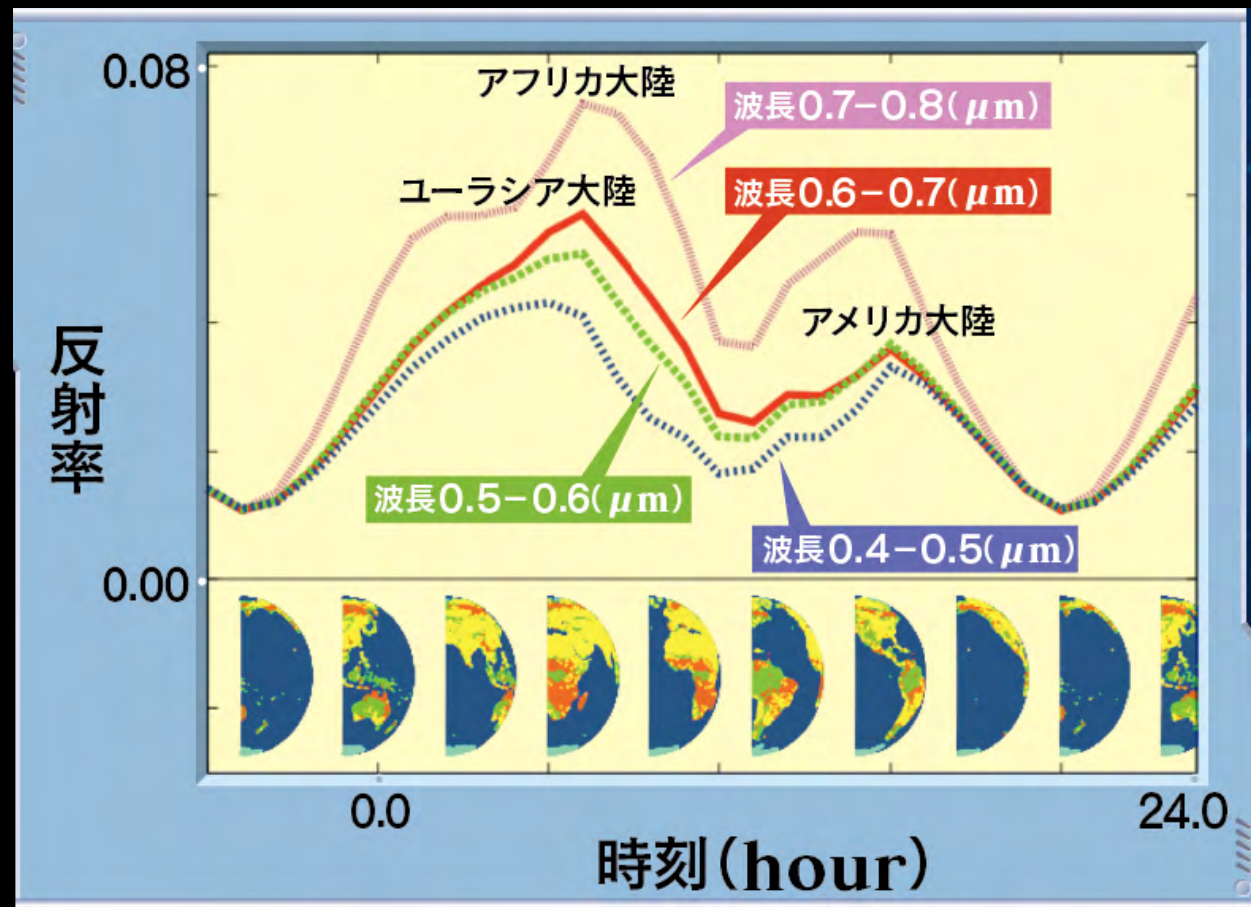
# ペイルブルードットを超えて

- 系外惑星は「点＝ドット」としか見えない
- 表面を直接分解できない
- 自転周期による微妙な色の変化は観測可能



# もうひとつの地球の色

- 自転にともなう地球の反射光の色の時間変化のシミュレーション

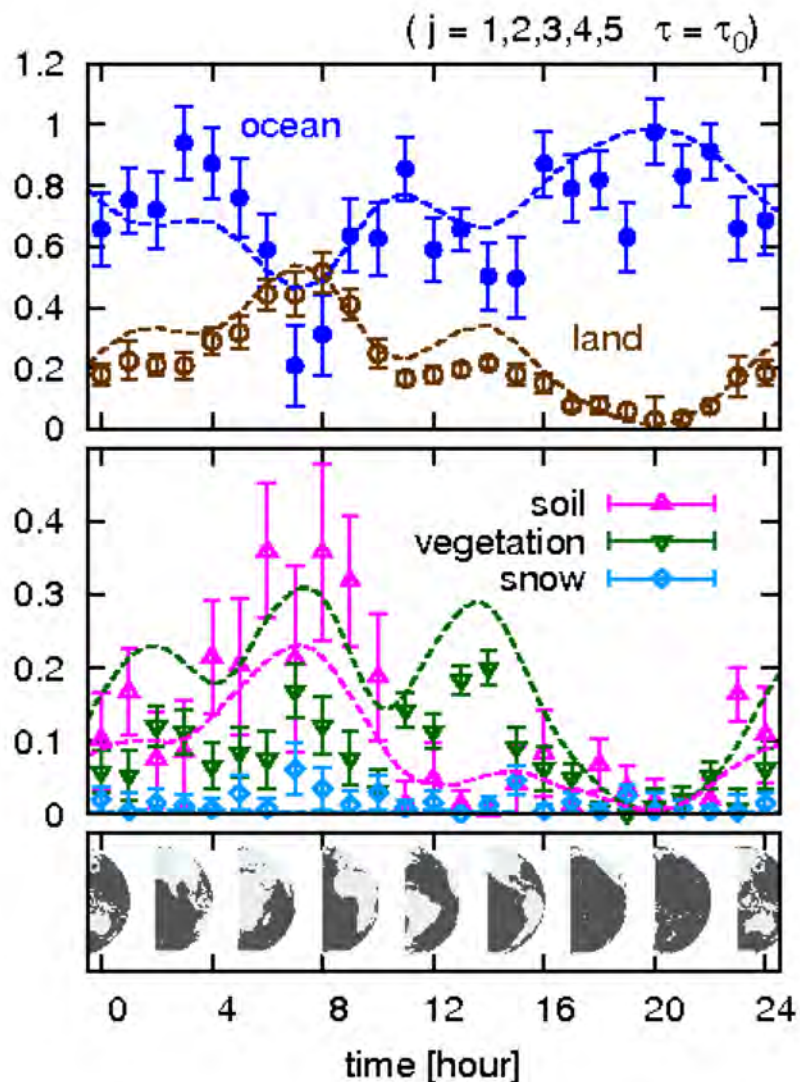


藤井友香 他(2010)



# もう一つの地球の色を解読する

(重みつき)表面積比



- 雲は無視
- 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
- 海、土、植物、雪の4つの成分の面積比を推定
- 雲がなければ、海や植物の存在が検出可能！
  - 雲を考慮した計算では、海や雲は検出できるが、植物は難しいという結論

藤井友香ほか(2010)

系外惑星上の植物の色を予想する

古いM型星



若いM型星



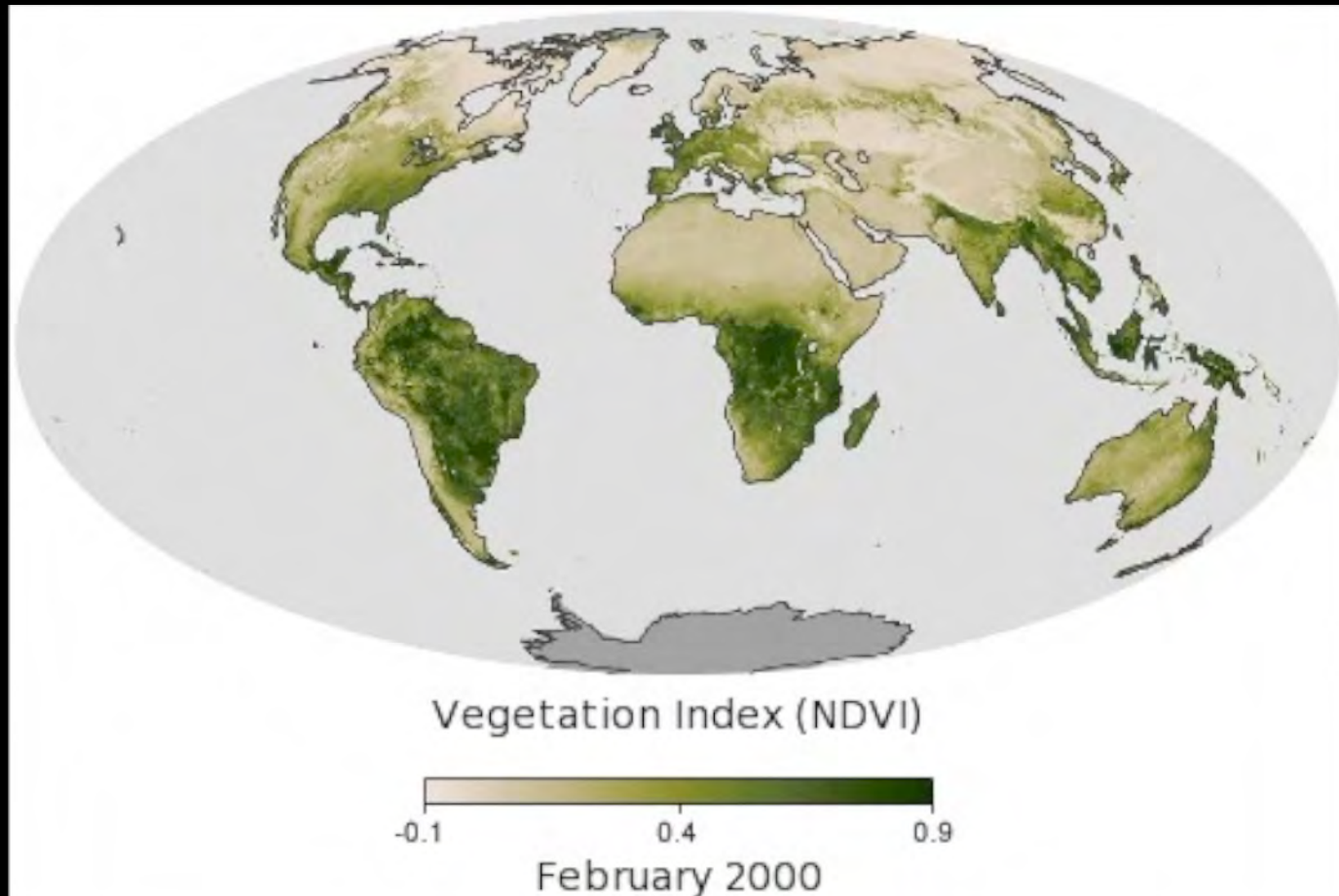
G型星



F型星

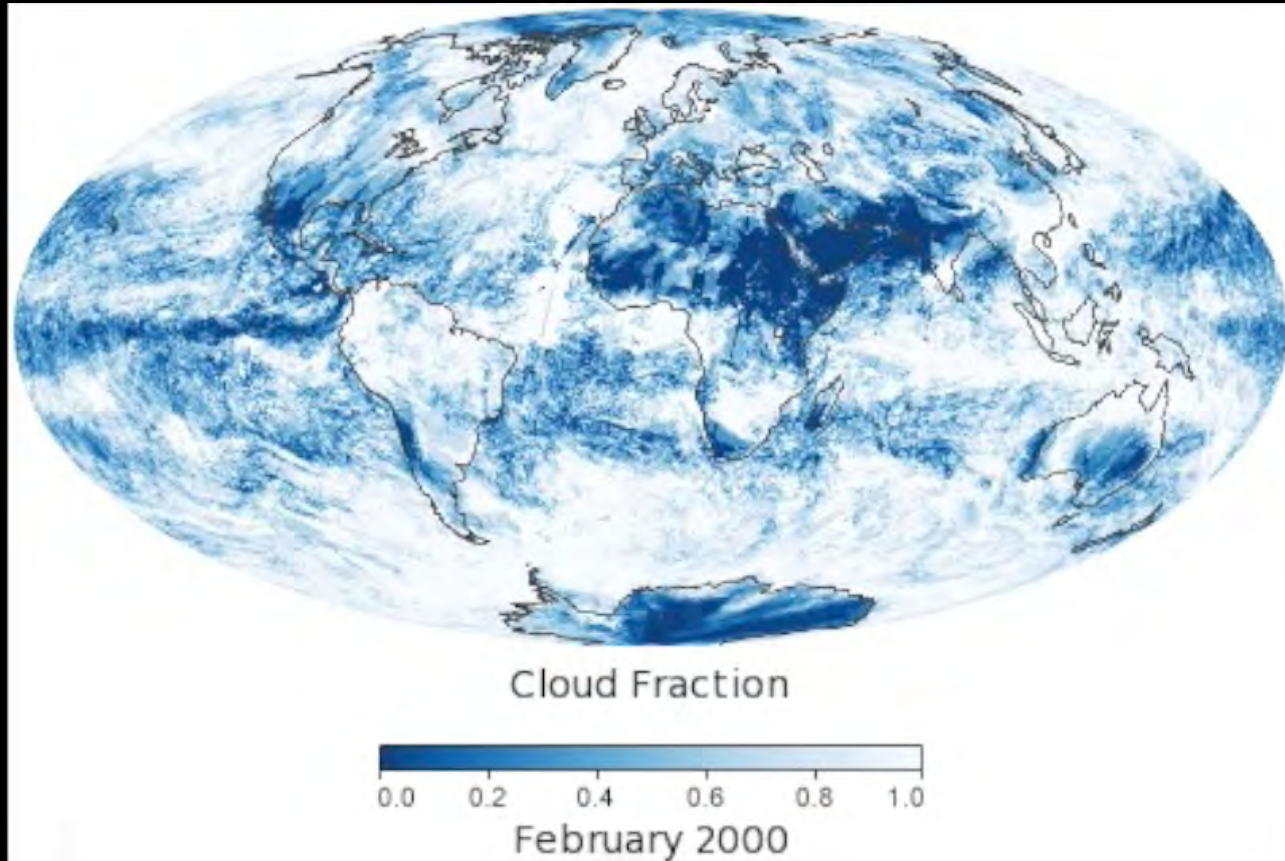


# 地球観測衛星Terraによる 植生分布地図の年次変化



<http://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/>

さらに厄介なことに雲の存在が  
地表面の情報を分かりにくくする



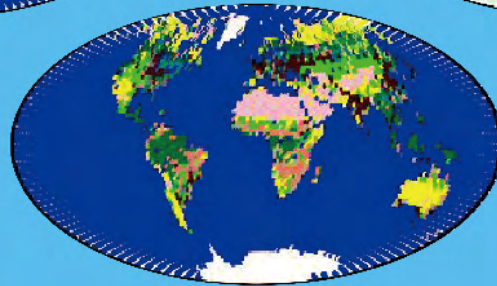
<http://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/>

# 地球測光観測データから推定された地 表面成分の経度分布地図

海



植生



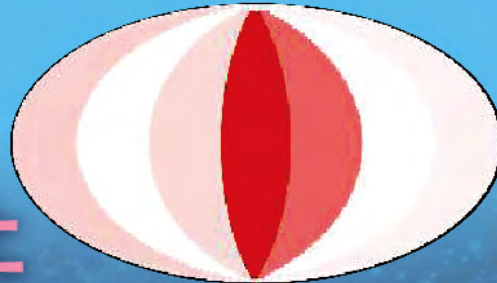
雲



雪



土



藤井友香 他(2011)

# 知的生命体探査

SETI:

Search for Extra-Terrestrial  
Intelligence

# SETI: Search for Extra-Terrestrial Intelligence

- 実は、バイオシグニチャーとして最も決定的なのは、知的文明からの信号
- 1GHzから20GHzの電波（低周波数は銀河系のシンクロトロン放射、高周波数は地球大気が雑音）
- オズマ計画
  - 1960年、フランク ドレイクは、4ヶ月間にわたり毎日6時間、口径26mの電波望遠鏡を、くじら座タウ星とエリダヌス座イプシロン星の方向に向け、中性水素の放射する波長21cm(周波数1.42GHz)帯に、文明の証拠となりうる規則的な電波信号の探査を試みた

# 地球外文明はあるのか？：ドレイクの式

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

銀河系内にあり  
る交信可能な  
知的文明の数



フランク ドレイク博士

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

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。



須藤 靖

「見守る宇宙人」をめぐって... 宇宙人へのメッセージ... この地球の文明は電磁波を用いた交...

宇宙人へのメッセージ... 地球と同じ本質に...

生物由来である厳密な証明は困難... この地球の文明は電磁波を用いた交...

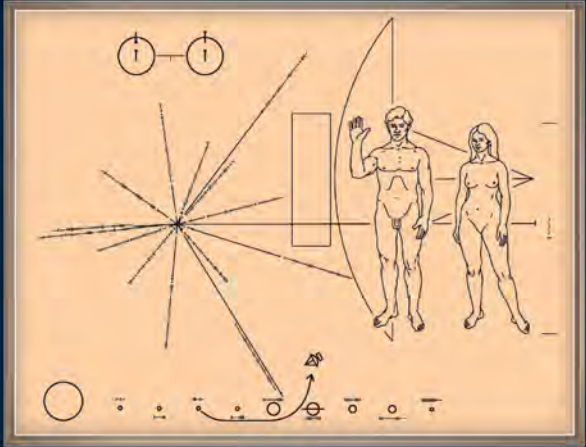
その存在の証明は、中性水素... この地球の文明は電磁波を用いた交...

77年に打ち上げられたボブシャール探... 宇宙物理学者 東大教授 安芸市出身

宇宙人へのメッセージ

バイオニア探査機に搭載された金属板

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Probe\_dish.jpg



ボイジャー探査機に搭載されたレコード盤

https://ia.wikipedia.org/wiki/File:Golden\_Records.jpg



アレシボ・メッセージ

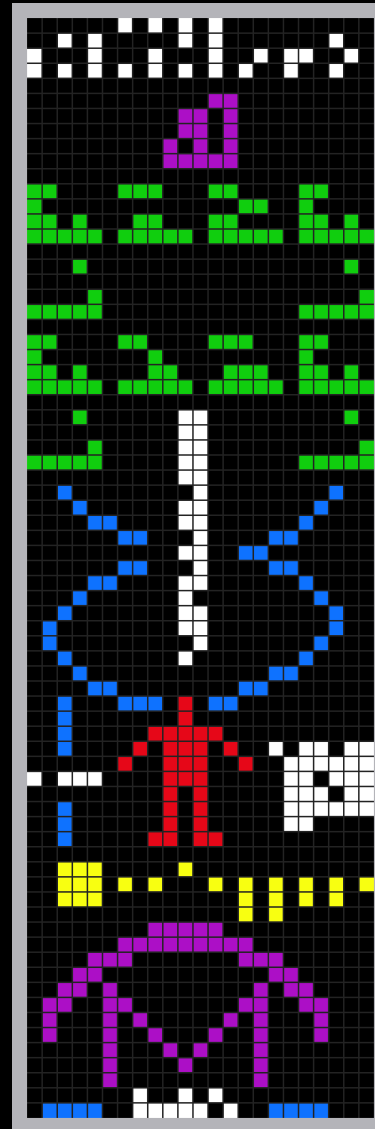
https://ja.wikipedia.org/wiki/アレシボ・メッセージ

れす遠方まで届くという性質がありま... 77年に打ち上げられたボブシャール探...

# アレシボ・メッセージ

- ドレイクは、1974年11月16日にプエルト・リコにあるアレシボ電波望遠鏡から、約2万5千光年離れた球状星団M13に向けて電波信号を送った

- それを解読して並べたとすれば0と1の信号列が右図のようになる



1から10までの数(2進法)

DNAを構成する水素、炭素、窒素、酸素、リンの原子番号(2進法)

DNAのヌクレオチドに含まれる糖と塩基、計12種の化学式

DNAの二重螺旋

人間

太陽系(左端が太陽で、一行上になっているのが地球)

アレシボ電波望遠鏡

# 可視光SETI

- 100光年先の惑星の住人が地球を狙って100Wのレーザーを発していたら検出可能
  - レーザーポインターは1mW
  - 天文観測の補償光学用のレーザーガイド星は数Wのレーザーを放射してつくっている
  - 機械加工用レーザーは数10kWのものがある
- もちろん今のところ検出されていないが、「もしあれば十分検出可能」な時代になっている

プロキシマ ケンタウリ b

須藤 靖

このシリウスの勢回一星から見
た地球で、「私は」の広い宇宙のど
かに宙人はいらぬと思っています。
でも、それを裏面に描かるとは極め
て困難です。と述べました。これは前
述ついでとまで書かず、ひょ
つとまたあまりに悲観的すぎるかも
しれません。そう思わせたのは、
が、2016年5月25日にシリウスの
科学雑誌「ネイチャー」で発表された、プ
ロキシマ・ケンタウリの周のハビタ
ブル星の発見です。

一番近い星に生命が？

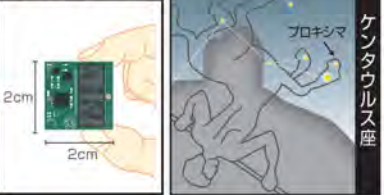
単にプロキシマと呼ばれていま
す。プロキシマは「最も近い」という意
味のギリ語で、まさにこの星で、
すなわちプロキシマがわれわれからも
つとも近い星であることに対して、
ます。ただしプロキシマは、太陽の50
分の1程度の明るさしかなく、肉眼
では観できません。
主星が伴星はいずれも地球から
約4.22光年、プロキシマは4.25
光年の距離にありますから、光なら約
4年間行かれます。現知られ
ている太陽系外惑星の多くは数十から
数百光年先にありますから、それら
に比べると圧倒的に近いのです。当
然このケンタウルス座アルファ星に
は伴星Cを含みます。これは、現
在プロキシマ・ケンタウリ、あるいは
に興味を持って観測を続けまし
ます。
この名前からもわかるように、遠方
の星はその大きさがわからない「点」
にしか見えません。その表面に海があ
るのか降があるのか観測することは
不可能です。ただし、その星がわれ
われに対して動く速度を測るとはでき
ます(詳しくは説明しますが、こちら
に近づいてくるとは思いますが、そ
れはハバットの音が異なるたツツラ、効
果という現象の応用です)そして、そ
の速度が周期的に変化しているか、
その星の周りを回っている惑星があ
ることを見極めることができます。
この方法で発見されたプロキシマ
(惑星は主星の名前の後に小文字
をつけて名づけられます。もし複数の
惑星がある場合は、e、d、cが用い
られます)は、地球の1.3倍程度の
質量をもつ岩質惑星と推定されていま
す。さらに公転周期は約11日なの
で、主星プロキシマは、地球と太
陽の距離のわずかに20分の1程度しか離
れていません。しかし、すでに述べた
ようにプロキシマは太陽の50分の1程
度の明るさしかないため、これはほと
んどあつてもプロキシマは、水が存
在するならば液体でいられる適度な温
度(つまり蒸発もせず、また水でもな
い)にあるものと推定されています。
天文学者たちは、そのようなほほ
い温度をもつ惑星のことを、ハビタ
ブル惑星と呼びます。これは「住むこ
とができる」という感じが大きいです。
味です。われわれの地球は、その表面
の大部分を液体の水である海に覆われ
ています。地球の生命がここで誕生し
たのかはわかっていませんが、生命が
進化し地球のあらゆる場所に広がった
のは、この海のおおかげであるとい
考えられています。そのために、海を
保つていられる温度をもつ惑星は「住
むことができる」だろう、というわけ
です。



ブレイクスルー・スターショット計画



スターチップ

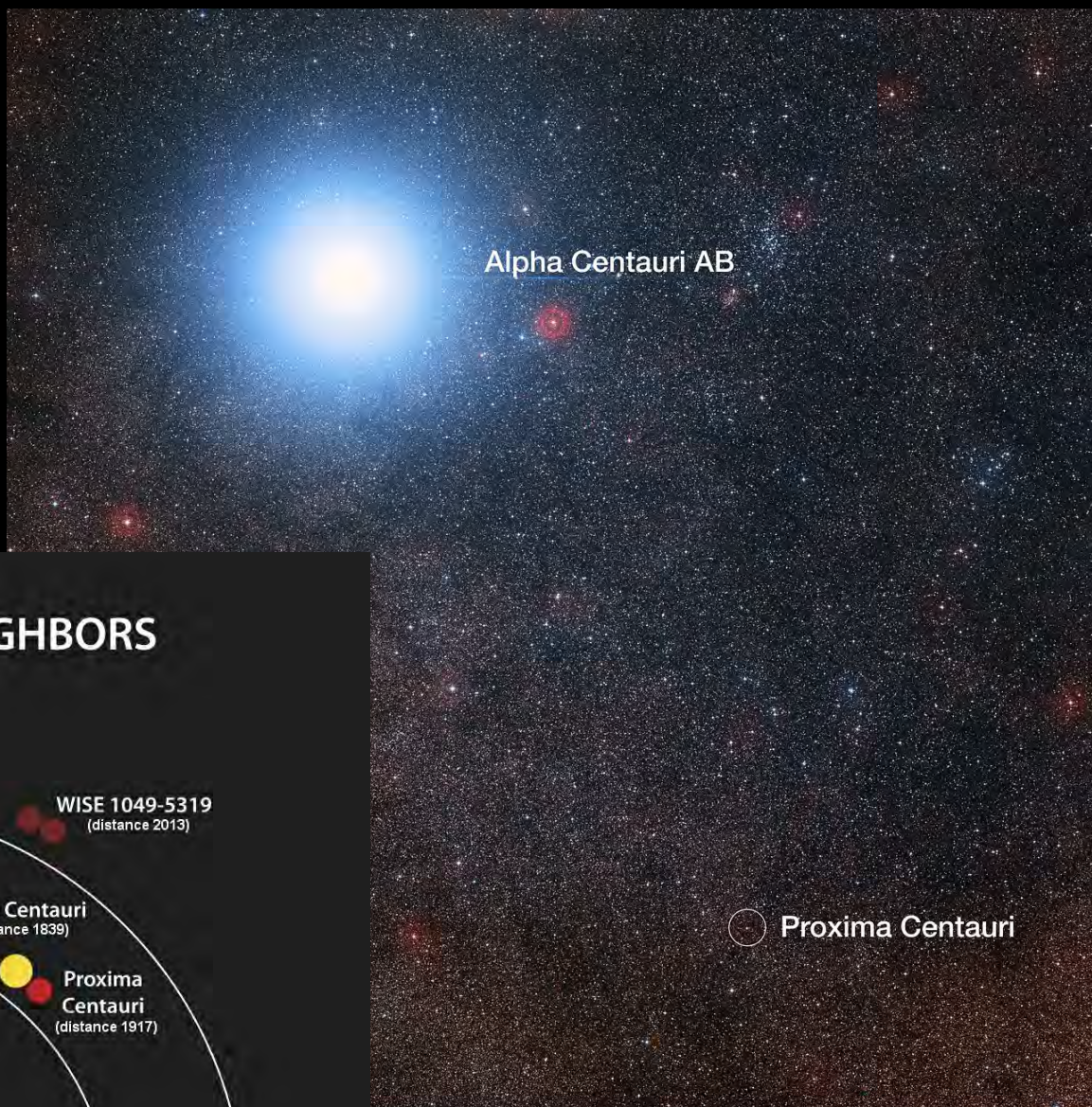


チリにあるヨーロッパ南天文台から見るケンタウルス座アルファ星

写真: http://www.eso.org/public/usa/news/so1202/

た、2013年に伴星の周りに地球
と同程度の質量の惑星が発見したの
報告がなされたことがありました。し
かしその後追観測で確認できなくな
ったため、現在追観測の予定は限りは
た考えられています。
今回のプロキシマの周の惑星は、
まず13年にその発見が完了しまし
た。しかし、その信はそれほど小さく
発見したと報告するほどではありません
でした。そこで研究グループは、ハイ
ル・レッド・ドットという名前の共同
プロジェクトを立ち上げ、数年間に及
ぶ観測を続けたいと、ペイル・レ
ッド・ドットとは、淡い点とい
う意味ですが、木星探査機ボイジャー
1号が撮影した地球の真後ろ画像「イ
ール・ブルー・ドット」にならんでい
ます。
彼はさらに15年、地球外生命探査の
科学的・技術的視野的自的として「ブ
レイクスルー・スターチップ」というプ
ロジェクトを立ち上げました。これは
三つのテーマからなっていますが、そ
のうちの一つが「ブレイクスルー・ス
ターショット」計画と呼ばれ、ケンタウ
ルス座アルファ星に超三探査機を送る
計画です。その計画の理には、イキ
リスの物理学者スティーブン・ホーキ
ングが「スターチップ」を提案したま
す。
「スターチップ」とは、2センチメー
トル四方のサイズにカメラ、コミュニ
タ、交信用レーザーなどを搭載した数
々の探査機をまとめたもので、それを4倍
々4倍の風に飛ばし、地上の観測から
ら発見されたレーザーで光速の5分の
1速度にまで加速します。つまりいけ
ば、約20年でケンタウルス座アルファ
星のすぐ近くまで到達し、プロキシマ
を撮影した直ちに地球に向けて返
ります。
とはいえ、これをすべてあくまで理
論上の話で、それを実現する技術はま
だ存在していません。その検討・開発
のために、ミルナーは約10億円を準備
していますが、最終的な完成には20年
の開拓期間と2兆円以上の経費が必要
だと考えられています。しかし、もし
もそれが実現できれば、今から20年
後に打ち上げ、その20年後にプロキシ
マに到着します。この話を読
んでいる中学生、高校生の中には、
その結果を直接見られるかもしれませ
ん。果してそこには何が写っている
のでしょうか。
(宇宙物理学者、東京大学教授)
|| 第二土曜掲載

# プロキシマ ケンタウリ



## THE SUN'S CLOSEST NEIGHBORS



<http://www.eso.org/public/usa/news/eso1629/>

# プロキシマ ケンタウリb

- ケンタウルス座アルファ星は、太陽に最も近い3重連星系で、その一つがα Cen C =プロキシマ ケンタウリ(4光年先)
- その周りに、水が液体として存在できる可能性のある惑星(プロキシマ ケンタウリb)が発見された(2016年8月26日)
- そこへ直接超ミニ探査機を送るスターショット計画が検討されている

Alpha Centauri AB

Proxima Centauri

<http://www.eso.org/public/usa/news/eso1629/>

# ブレイクスルー イニシャティブ

<http://breakthroughinitiatives.org/Initiative>

- ロシア出身のIT投資家ユリ・ミルナー(素粒子理論が学位取得)が地球外知的生命を探查するために、2015年7月20日に立ち上げた
  - **ブレイクスルーリッスン**: 地球外文明の電波あるいはレーザーによる信号を受信
  - **ブレイクスルーメッセージ**: 宇宙空間へ送るメッセージとして最適なものを提案するとともに、その行為の哲学的倫理的妥当性を検討
  - **ブレイクスルースターショット**: ケンタウルス座アルファ星へ探查機群を送るための概念設計検討



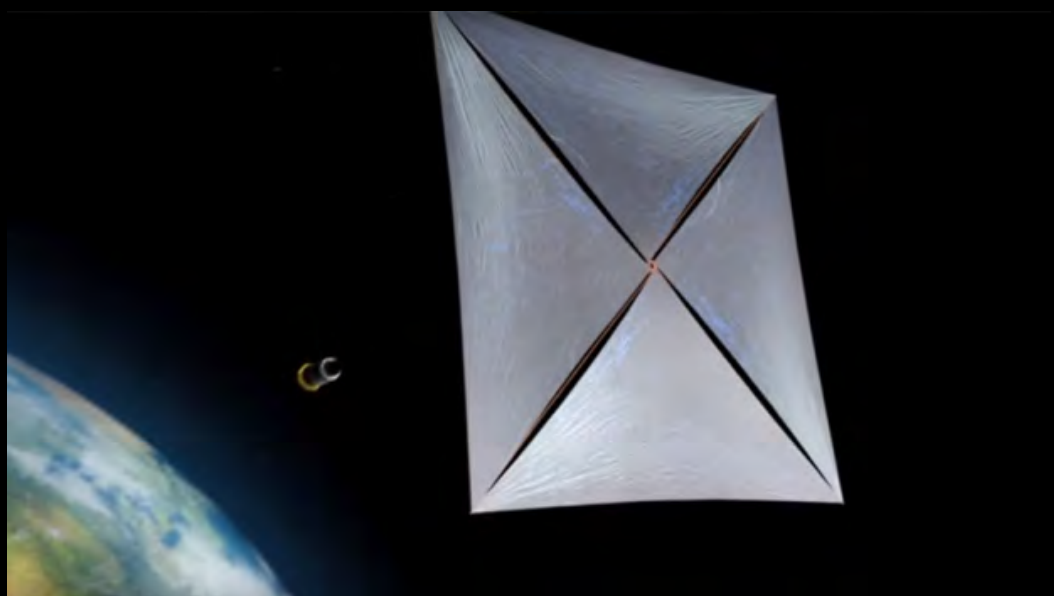
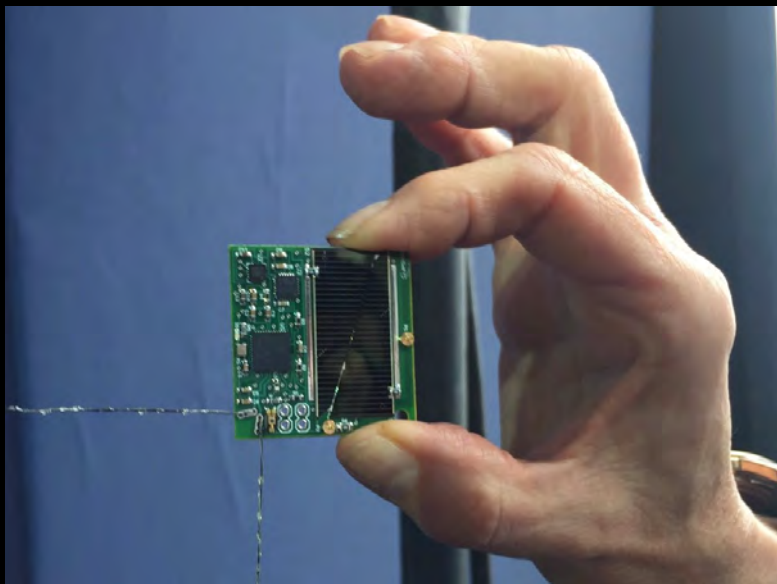
# ブレイクスルースターショット

<http://breakthroughinitiatives.org/Initiative/3>

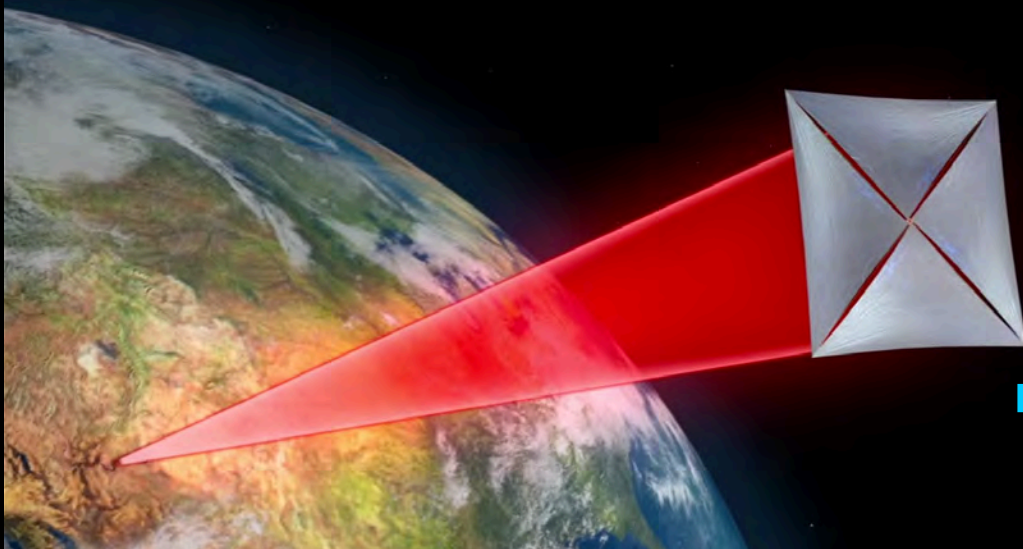
## ■ スターチップ

- 2cm x 2cm、数グラムで、カメラ、コンピュータ、通信用レーザー、燃料装置を搭載したチップ
  - 4m x 4m の帆に結びつけられ、それが地上からのレーザー光を受けて、約10分で光の20%の速度にまで加速される
- プロキシマ ケンタウリに1000個のスターチップを次々と飛ばす。約20年で到着する
- ただしこの技術はまだ存在しておらず、完成までに今から20年の研究開発が必要

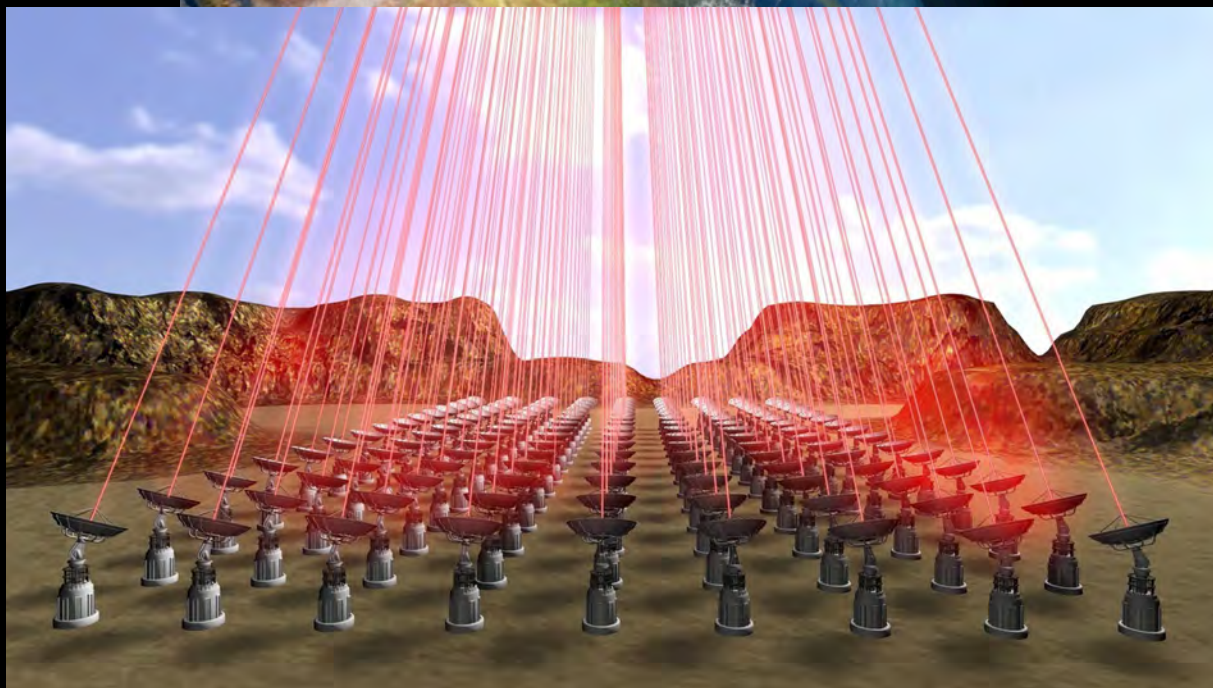
# スターチップ



# 地上のレーザーで光速の20%に加速



- 20年後に打ち上げ、さらに20年かけてプロキシマケンタウリに到達しデータを取得。その4年後には地球にデータが届く。そこには何が写っているのか？



まとめ

# 今から50年後の世界？

- 科学・技術は驚くべきスピードで世界を変える
  - 子供の頃には、スマホ、インターネット、ロボット、自動運転などはSFどころか、想像すらできなかった
- 今から50年後には、今の我々が決して予想できない世界が確実に実現する
  - 自動翻訳(外国語教育は不要)、労働の完全AI/機械化、天災の制圧、脳とコンピュータの完全接続、不老不死、地球外知的文明との遭遇
  - 高知県の消滅、核戦争や未知のウイルスによる人類絶滅、ホモサピエンスに代わる新人類の台頭
- 現在の倫理観、価値観、世界観が一変する

# 予想もできない展開が待っているはず

## ■ 最初に起こるのはどれだろう

- 地球外生物の痕跡の天文学的検出
- 実験室での人工生物の誕生
- 地球外文明からの交信の検出
- 地球文明の破滅（いったん発達した文明は、自然災害、疫病、核戦争、資源の枯渇などの要因で不安定）

■ 交信できるレベルまで安定に持続した地球外文明の有無を知ることは、我々の未来を知ること