

夜空を通して世界を知る

東京大学 大学院理学系研究科 物理学専攻
須藤 靖

2011年6月18日 13:30-15:30@駿台お茶の水3号館

http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation_2011j.html

科学を学ぶ意味

高校で習う物理は面白いのか

$$m\vec{a} = \vec{F} \quad \frac{1}{2}mv^2 - G\frac{Mm}{r} = E \quad H = \frac{i}{2\pi r}$$

$$f' = f \frac{v - u'}{v - u} \quad Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

$$y = A \sin \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad C = \frac{\epsilon S}{4\pi k_0 d}$$

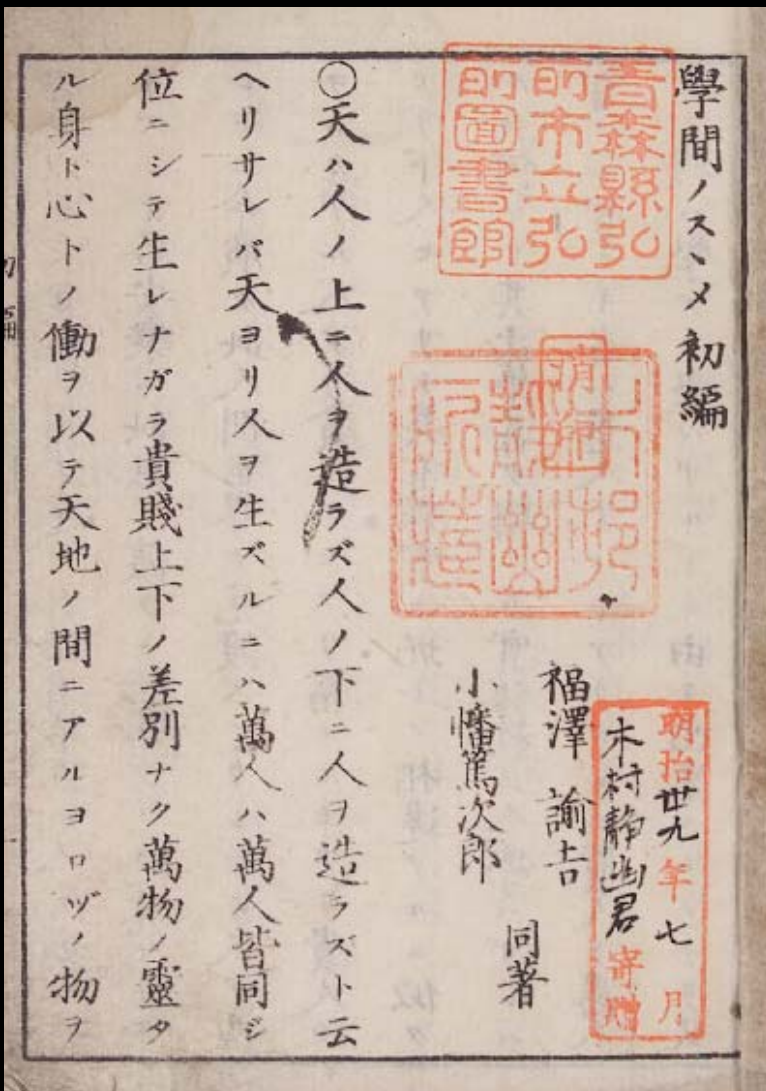
- **結論**: 高校の物理の教科書は全くイケテナイ
- できなくてもつまらなくても気にしないで良い!
- 「本当」の科学(=自然界)は面白さに満ちている!

科学を学ぶ意味

- テストで良い点を取るためではない
- 楽しみながら、すこしでもより自然を理解する
- 世の中の不思議さを認識する
- 当たり前とされていることでも一度は疑ってみる
 - みんなが言っているからではなく自分で納得する
- 本物と偽物を見極める
 - 変な人 (TVに出過ぎる有名人・肩書きだけで中身の無い人・詐欺師・政治家・官僚・大学教員) に騙されない
 - 真実を合理的に理解し納得する
 - 健全な懐疑心をもち、善悪を区別する
- 科学的考え方は狭い意味の科学にとどまらない

福沢諭吉：学問ノススメ初編

- 「天は人の上に人を造らず人の下に人を造らず」と言えり
- されども今広くこの人間世界を見渡すに、かしこき人あり、おろかなる人あり、貧しきもあり、富めるものあり、貴人もあり、下人もありて、**その有様雲と泥との相違あるに似たるは何ぞや**
- その次第甚だ明らかなり。「実語教」に、「人学ばざれば智なし、智なき者は愚人なり」とあり。**されば賢人と愚人との別は、学ぶと学ばざるとに由って出来るものなり**



科学とは何か

リチャード・ファインマン:『科学とは何か: ファインマンさん
ベストエッセイ』(大貫・江沢 訳 岩波書店)

- 今まで引き継がれてきたことがみな真実だという考えに疑いを抱き、過去の経験を伝えられてきたままの形で鵜呑みにせず、実際の経験をとおしてまったくのはじめから、実際はどうなのかを発見し直すということです。これこそが科学です。つまり、**過去から継承されてきた種族としての経験を必ずしも信用せず、もっと直接の新しい経験からそれを調べ直す価値を発見した結果が、科学なのです。**これが僕の科学観で、僕にできる最上の定義はこれ以外にありません。
- 僕はみなさんが専門家を、たまにどころか、必ず疑ってかかるべきだということを、科学から学んで頂きたいと思います。事実、僕は科学をもっと別な言い方でも定義できます。**科学とは専門家の無知を信じることです。**

寺田寅彦『断水の日』

(大正十一年一月、東京・大阪朝日新聞)

- 私が断水の日に経験したいろいろな不便や不愉快の原因をだんだん探って行くと、どうしても今の日本における科学の応用の不徹底であり表面的であるという事に帰着して行くような気がする。このような障害の根を絶つためには、一般の世間が平素から科学知識の水準をずっと高めてにせ物と本物とを鑑別する目を肥やしそして本物を尊重しにせ物を排斥するような風習を養うのがいちばん近道で有効ではないかと思ってみた

Henri Poincaré (Science et méthode, 1908)



- *Le savant n'étudie pas la nature parce que c'est utile. Il'étudie parce qu'il y prend plaisir et il y prend plaisir parce qu'elle est belle. Si la nature n'était pas belle elle ne vaudrait pas la peine d'être connue, la vie ne vaudrait pas la peine d'être vécue.*

Henri Poincaré (Science and method, 1908)



- *The scientist does not study nature because it is useful to do so. He studies it because he takes pleasure in it, and he takes pleasure in it because it is beautiful. If nature were not beautiful, it would not be worth knowing and life would not be worth living.*

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できている。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できている。 **なぜだろう。**

(大正十年三月、渋柿)

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

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

私の人生の目標： アンパンマン オープニングテーマ

- 作詞：(高知県人)やなせたかし
なんのために生まれて
なにをして生きるのか
こたえられないなんて
そんなのは いやだ！



夜空ノムコウの世界

青空のムコウには何かがあるのか



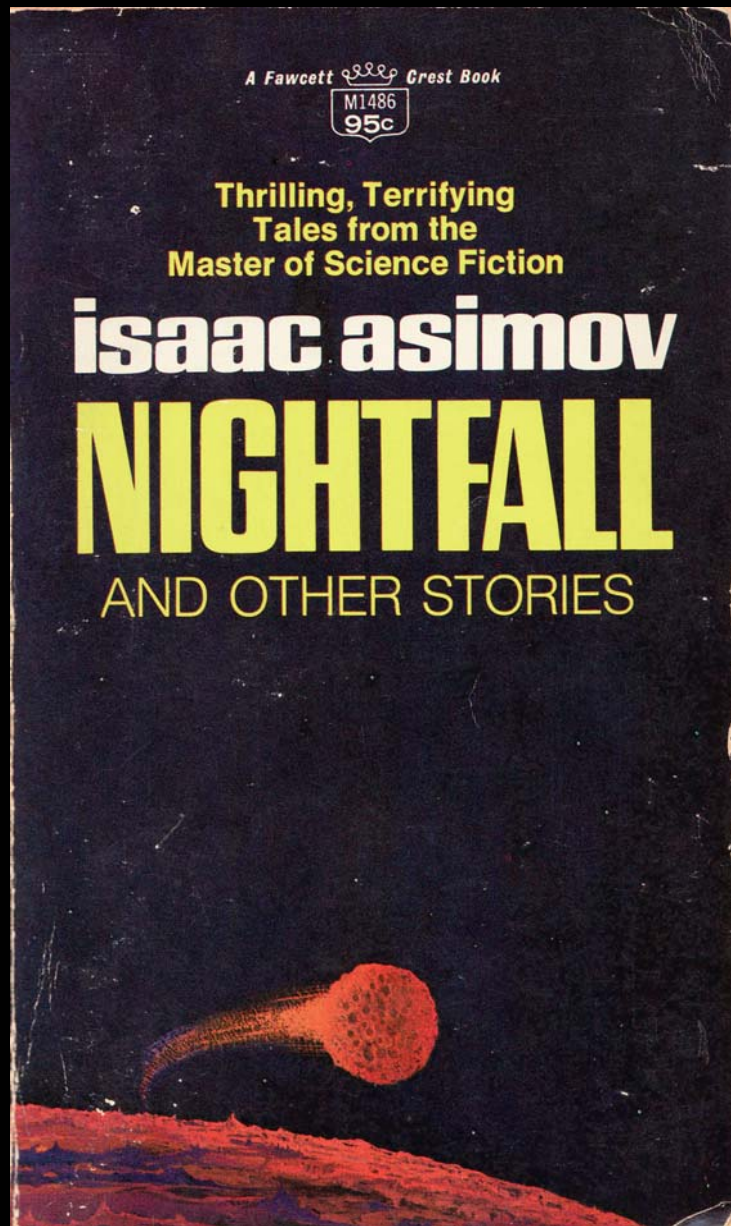
アイザック・アシモフ著 「Nightfall(夜来たる)」



イラスト：羽馬有紗

- 2049年に一度しか夜が来ない“地球”の人たち
- 自分たちの“地球”と宇宙との関係は？

アイザック アシモフ: Nightfall(夜来たる)



- 夜の存在が外の世界の存在を教えてくれる秀逸な名作
- “Light !” he screamed. Aton, somewhere, was crying, whimpering horribly like a terribly frightened child.
“Stars -- all the Stars -- we didn't know at all. We didn't know anything.”

「我々は何も知らなかった」
でもこれですべて？

(すばる観測所、田中壱氏撮影)

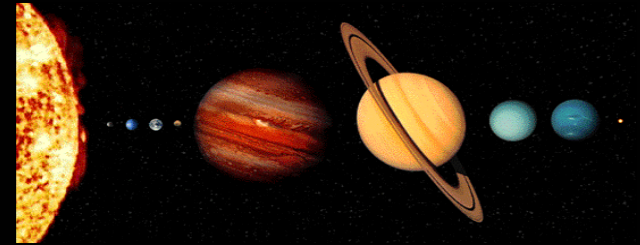
この世界をもっとよく知りたい

- **微視的世界：物質は何からできている？**
 - ものをどんどん分けていくとどうなるか？
 - 分子⇒原子⇒原子核(バリオン)⇒素粒子(クォーク・レプトン)
 - もはやこれ以上は分けることのできない最小構成要素が存在
 - **これ以外の物質(素粒子)は存在しないのか？**
- **巨視的世界：宇宙の果てには何がある？**
 - 地球⇒太陽系⇒星団⇒銀河⇒銀河団⇒宇宙の大構造
 - 宇宙の大きさ(=年齢)は？
 - さらに遠く(=過去)の宇宙はどうなっている？
 - **宇宙を占めている物質は、我々がすでに知っている微視的世界の構成要素と同じなのか？**

世界は何からできている？

■ 古代ギリシャの4元素説

- 空気、土、火、水



■ 中国の五行説

- (木、火、土、金、水)
× (陽、陰)

日月火水木金土

- これが日本で用いられている惑星と曜日の名前の由来

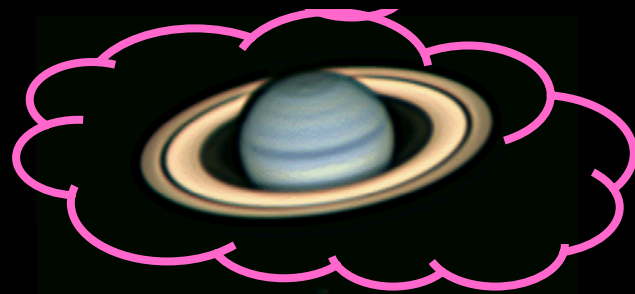
■ 現代物理学

- 分子⇒原子⇒原子核(陽子・中性子)
⇒素粒子(電子、ニュートリノ;クォーク・レプトン)

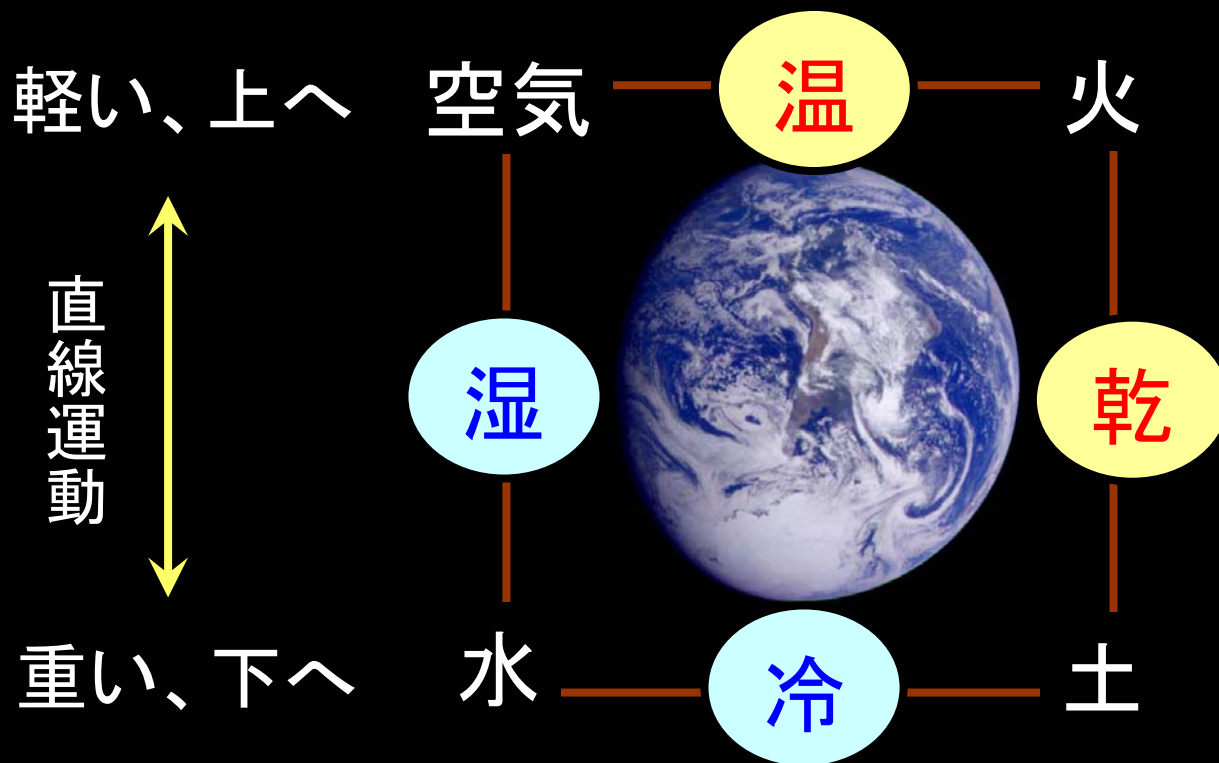
| | 陽 | 陰 |
|---|-----------|-----------|
| 木 | きのえ 甲 | きのと 乙 |
| 火 | ひのえ 丙 | ひのと 丁 |
| 土 | つちのえ 戊 | つちのと 己 |
| 金 | かのえ 庚 | かのと 辛 |
| 水 | みずのえ 壬 | みずのと 癸 |

アリストテレスの4(+1)元素説的世界観

アイテール (第五元素)



円運動



五行説: 古代中国の素粒子論



水



木



金



火

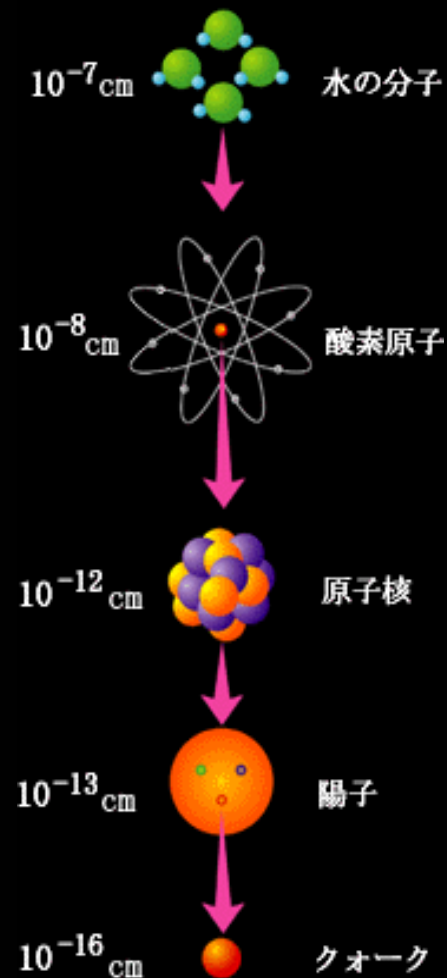
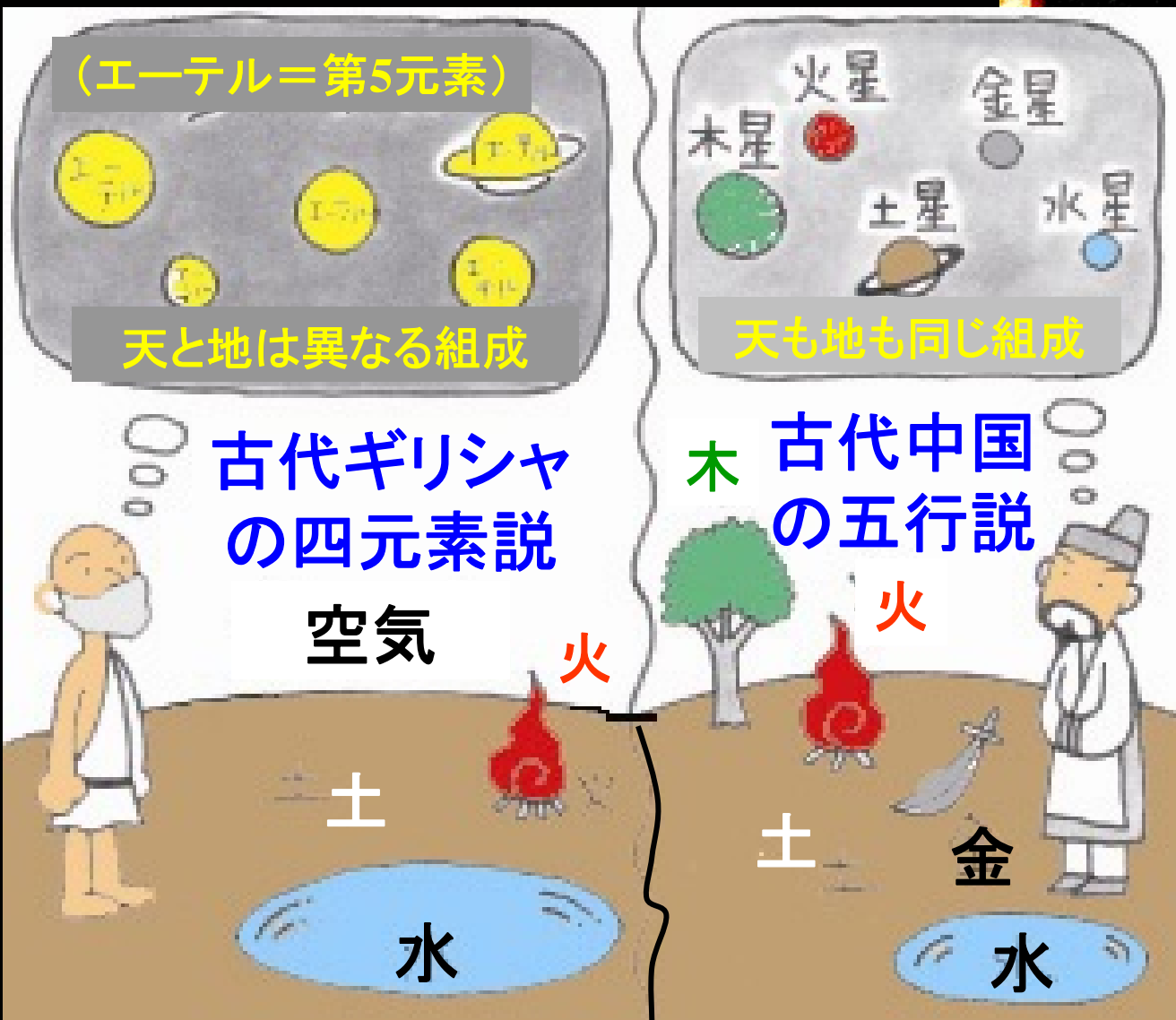


土



北京 天壇にて

天の世界と地の世界

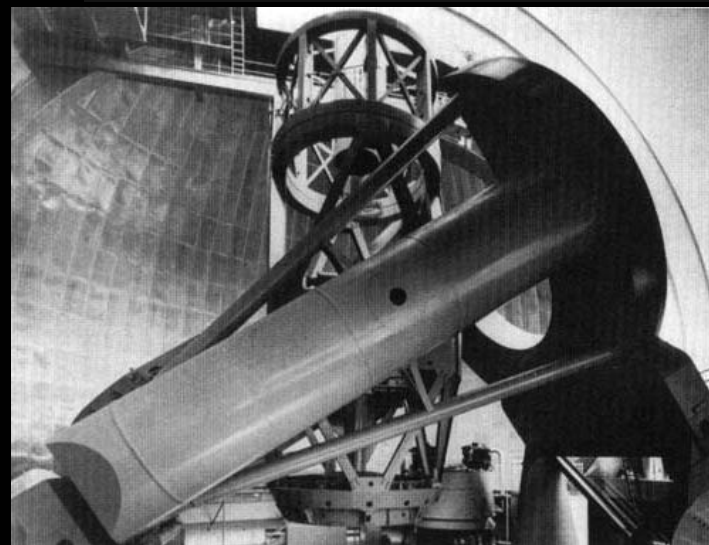
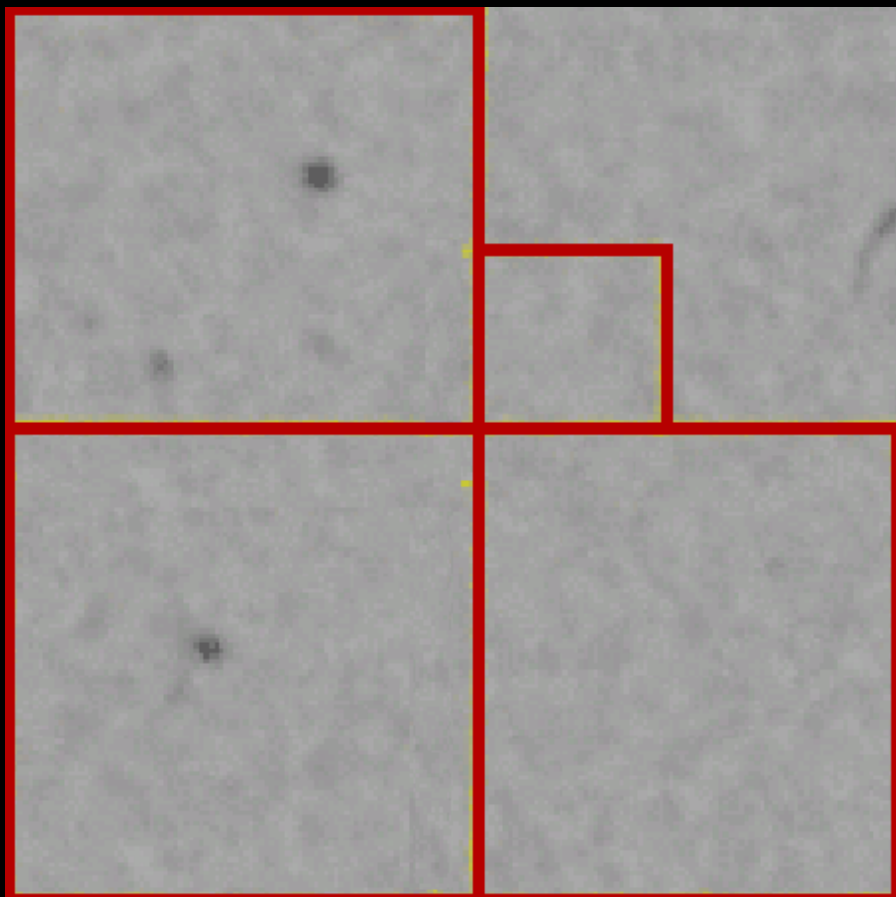


(いずれも 須藤靖「ものの大きさ」図1.1より)

小休止
質問があればどうぞ！

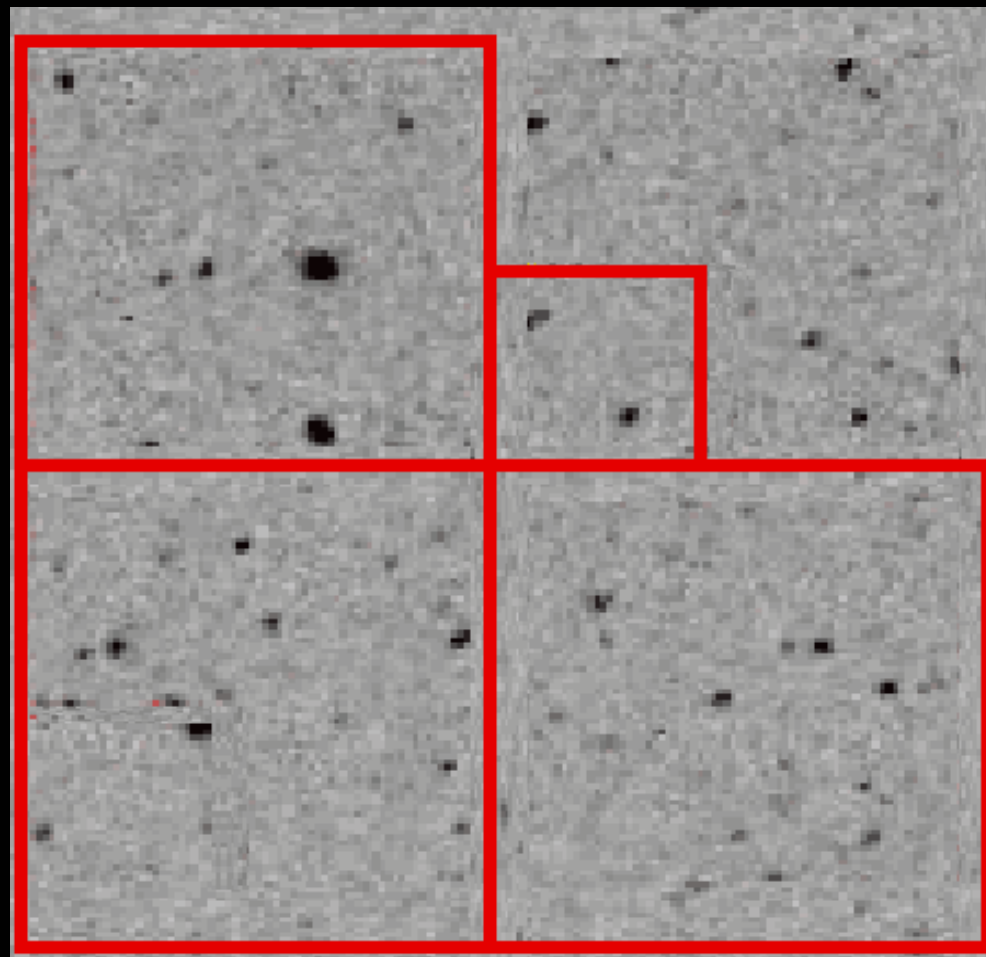
宇宙の果てと宇宙の組成

宇宙を見る目の進歩 (1)

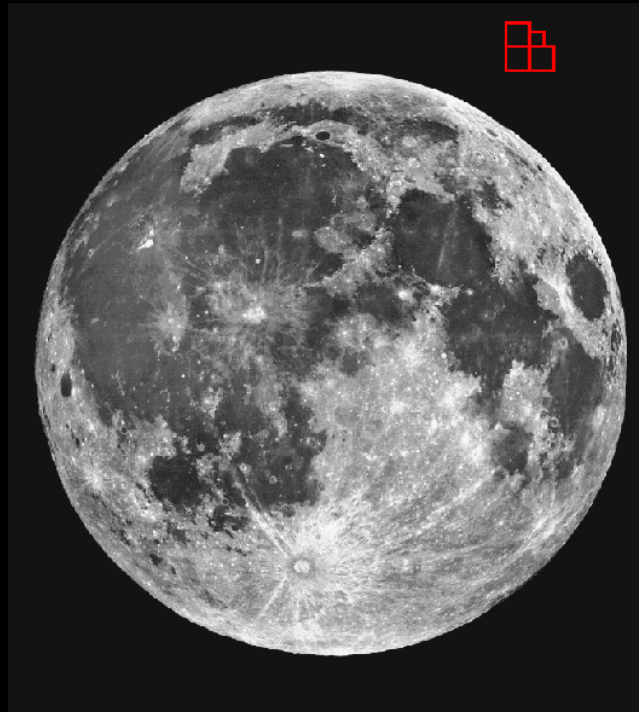


地上5m望遠鏡+写真乾板
100万×人間の眼

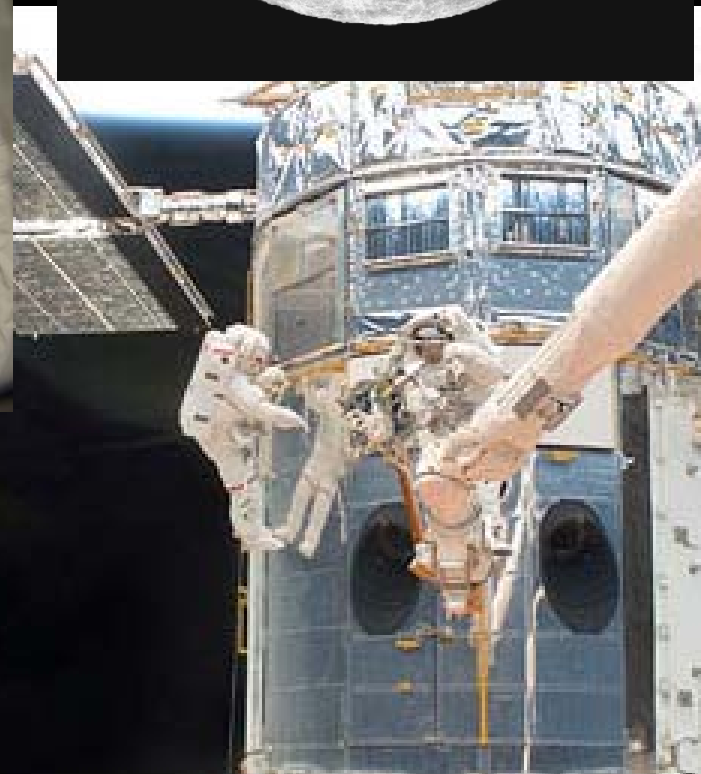
宇宙を見る目の進歩 (2)



地上4m望遠鏡+CCD:
100×写真乾板



宇宙を見る目の進歩 (3)

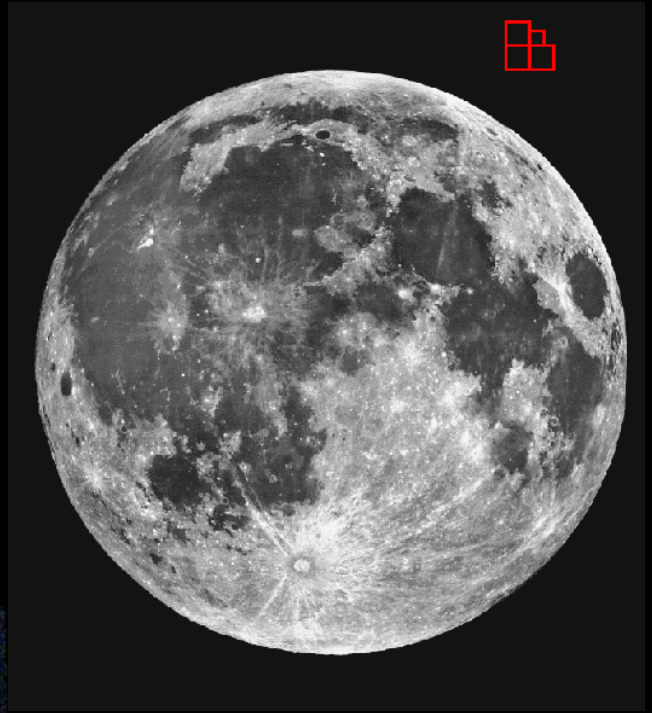


ハッブル宇宙望遠鏡



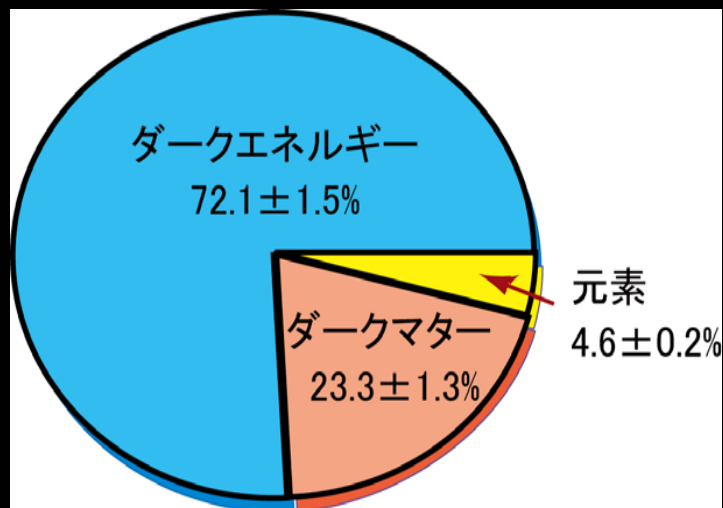
Hubble Deep Field
CT C41 0870 January 16, 1996. © Williams and the HDF Team, ST ScI and NASA

HST WFPC2



ハッブル宇宙望遠鏡+CCD:
1000×地上望遠鏡

20世紀の天文学が眺めた夜空の果て 「宇宙は何からできているか？」



- 我々の体をはじめ、地上のすべての物質は**元素**から成る
- しかし宇宙全体を考えると、元素の割合は5%以下
- 光は出さず重力だけを及ぼす**ダークマター**が約2割
- 残る7割以上は、宇宙を一様に満たす**ダークエネルギー**

- 目に見えない ≠ 存在しない
- 宇宙の主成分は目に見えない未知の存在

重力レンズで「見る」ダークマター



銀河団周辺の重力で光線が曲げられ、
みかけ上5つの異なる天体をつくる
(ダークマターの存在)

98億光年先にある
クエーサー(中心に
ブラックホール)

62億光年先にある
銀河団まわりの
ダークマター



重レンズ天体
SDSS J1004+4112 :
一般相対論的蜃気楼



ハッブル宇宙望遠鏡で観測した 重カレンズ SDSS J1004+4112

これだけ強く曲げる
ためには大量の質
量の存在が必要

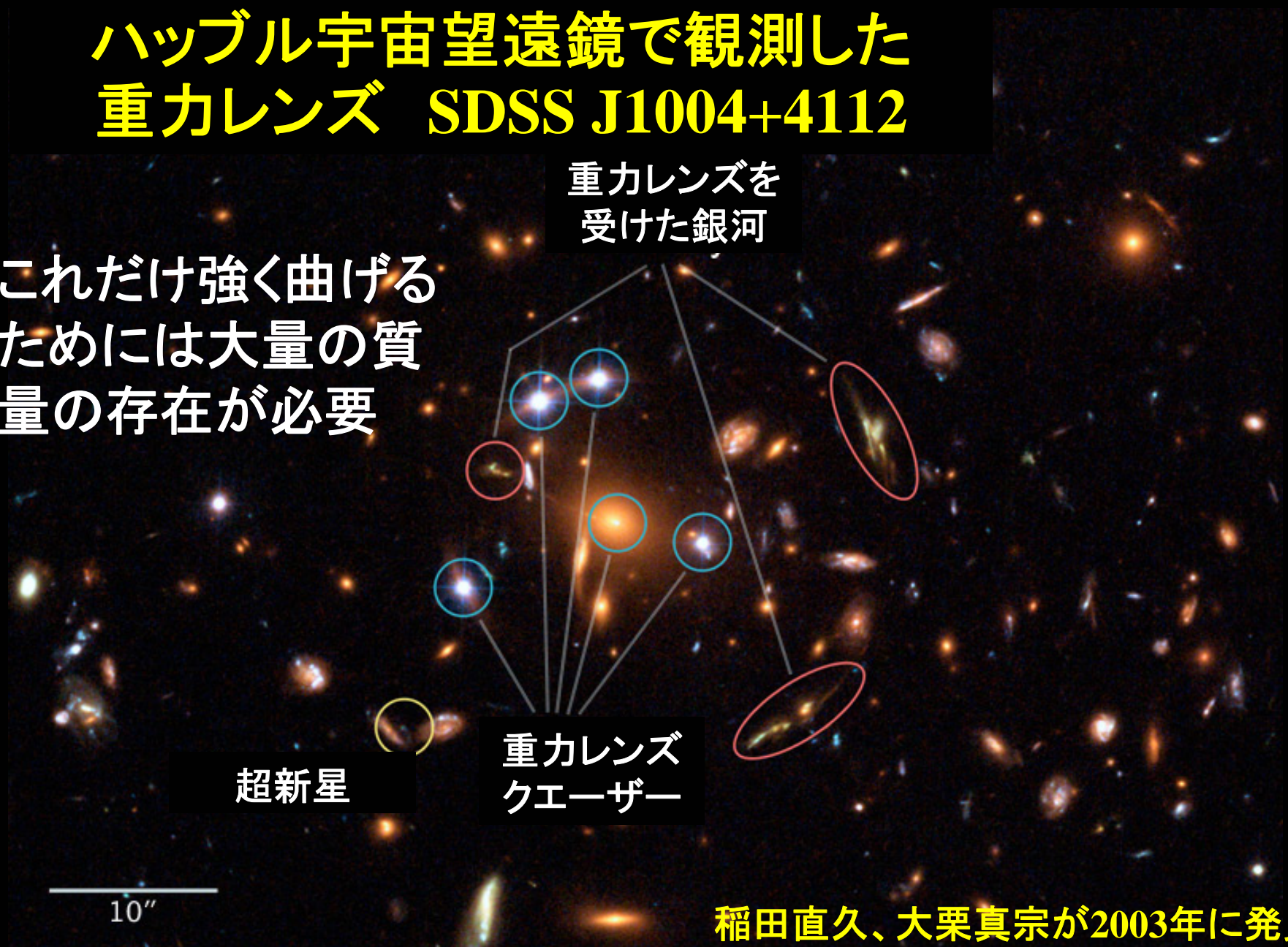
重カレンズを
受けた銀河

超新星

重カレンズ
クエーザー

10''

稲田直久、大栗真宗が2003年に発見



宇宙のダークマター

- 実は、光り輝く天体の周りには光ることのないダークマターが満ちている
- **ダークマターの存在は、その周囲を通過する光の軌道を変化させる**
 - アインシュタインの一般相対論にもとづく重力レンズ効果によって実証されている
- その正体は、未発見の素粒子であると考えられている(天文学による微視的世界の発見)
- **ダークマターの直接検出は21世紀物理学に残された大きな課題**

宇宙のダークエネルギー

- ダークマターの存在は、光っているものだけが世界のすべてではないことを教えてくれた
 - 空間分布の違いを利用した相対的観測
- では宇宙のあらゆる空間を一様に満たしているような成分は存在しないのか
 - 仮にあるとしても相対的でない測定は可能か
 - 「真空」には本当に何も無いのか
- ダークエネルギーは、空間的には一様分布していてもその密度は時々刻々変化する
 - 宇宙膨張の時間依存性を測定する
 - 時間軸に沿った相対的な測定を行なう

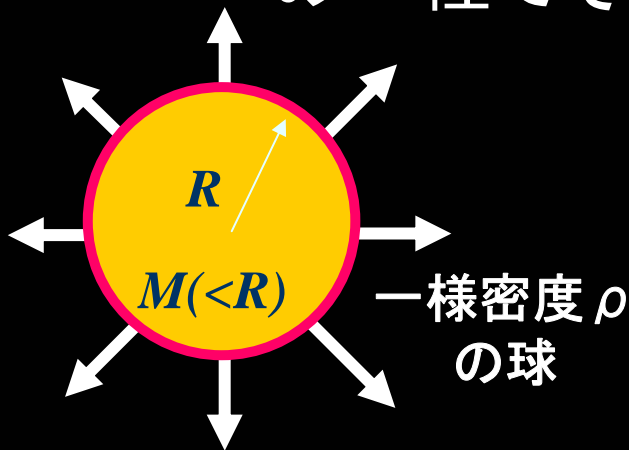
宇宙膨張の方程式

■ 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

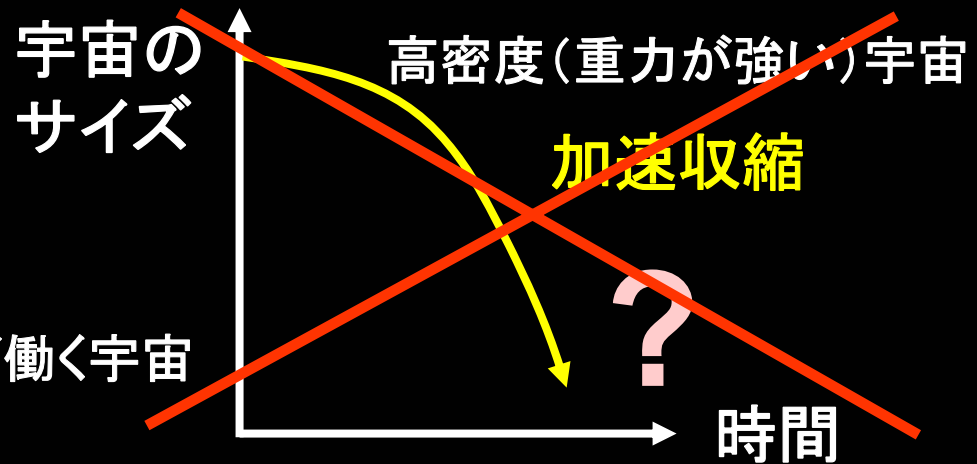
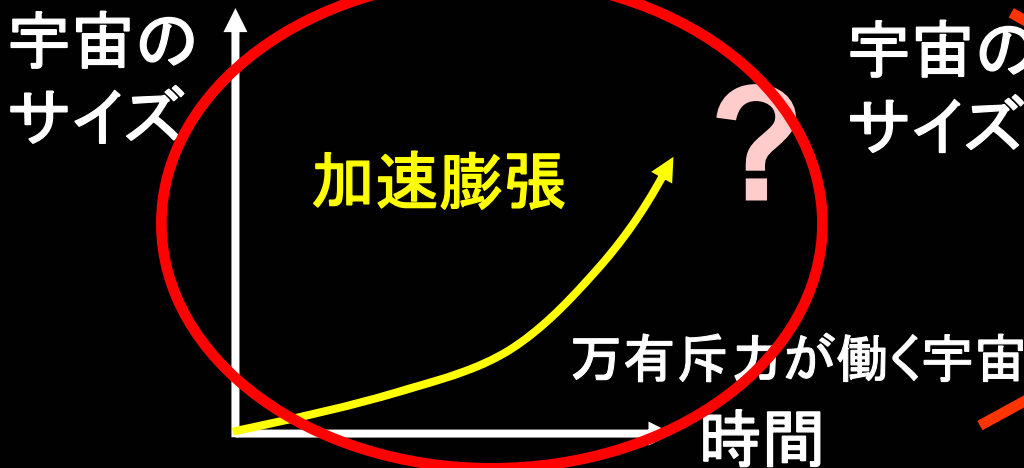
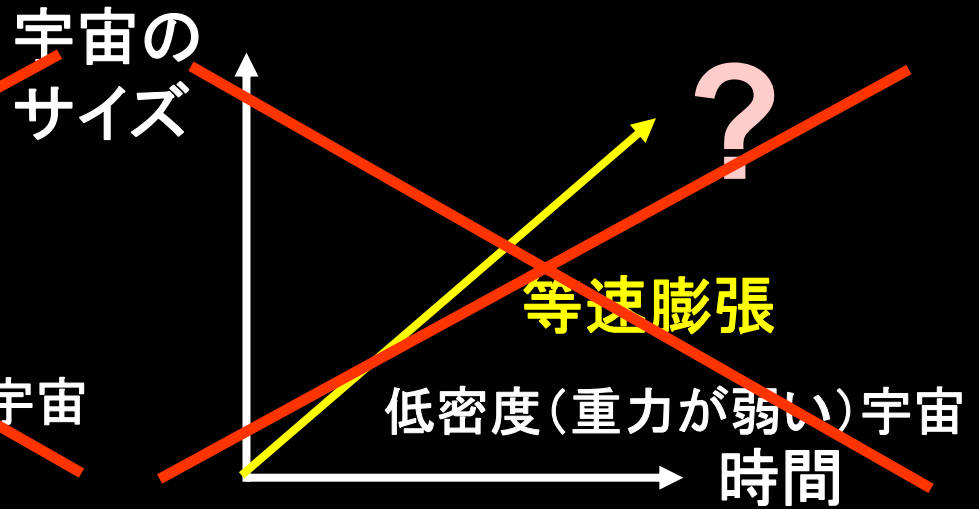
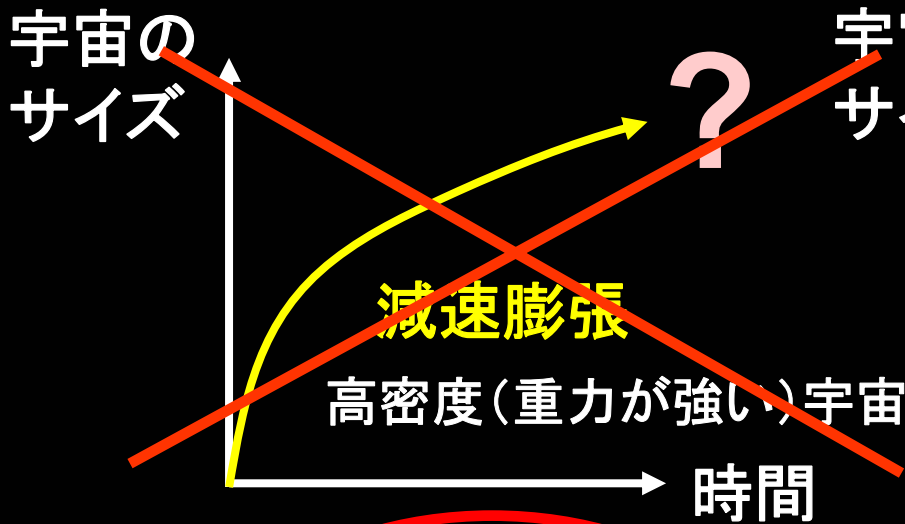


$$\frac{d^2 R}{dt^2} = -\frac{4\pi G}{3} \left(\rho + 3p - \frac{\Lambda}{4\pi G} \right) R$$

フリードマン方程式

宇宙時間変化と宇宙の組成

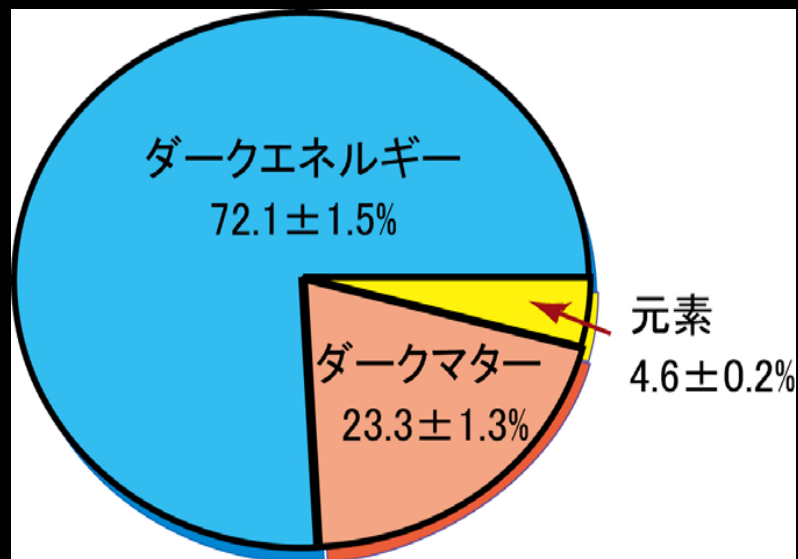
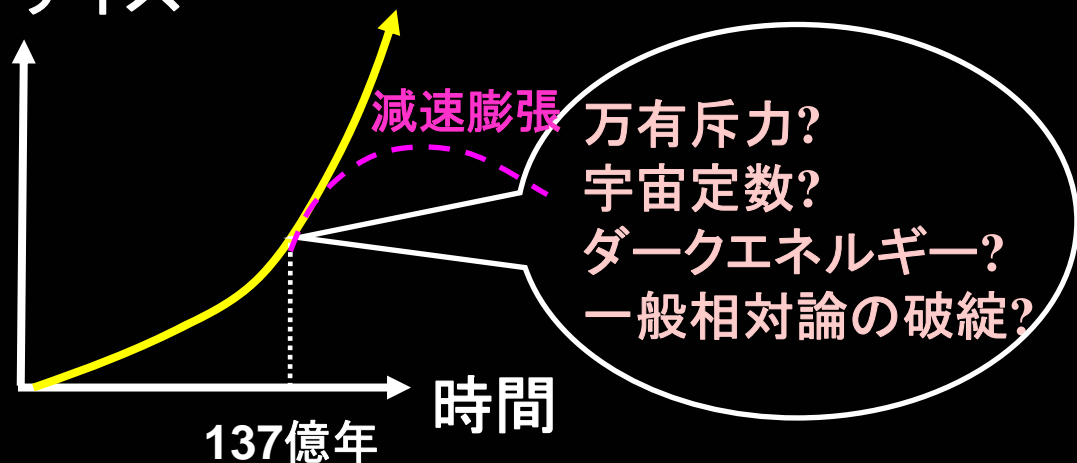
- 宇宙の構造と進化の観測を通じて、宇宙の組成を決定する ⇒ 宇宙の未来もわかる



宇宙の成分の95%以上が正体不明

宇宙の
サイズ

宇宙の加速膨張

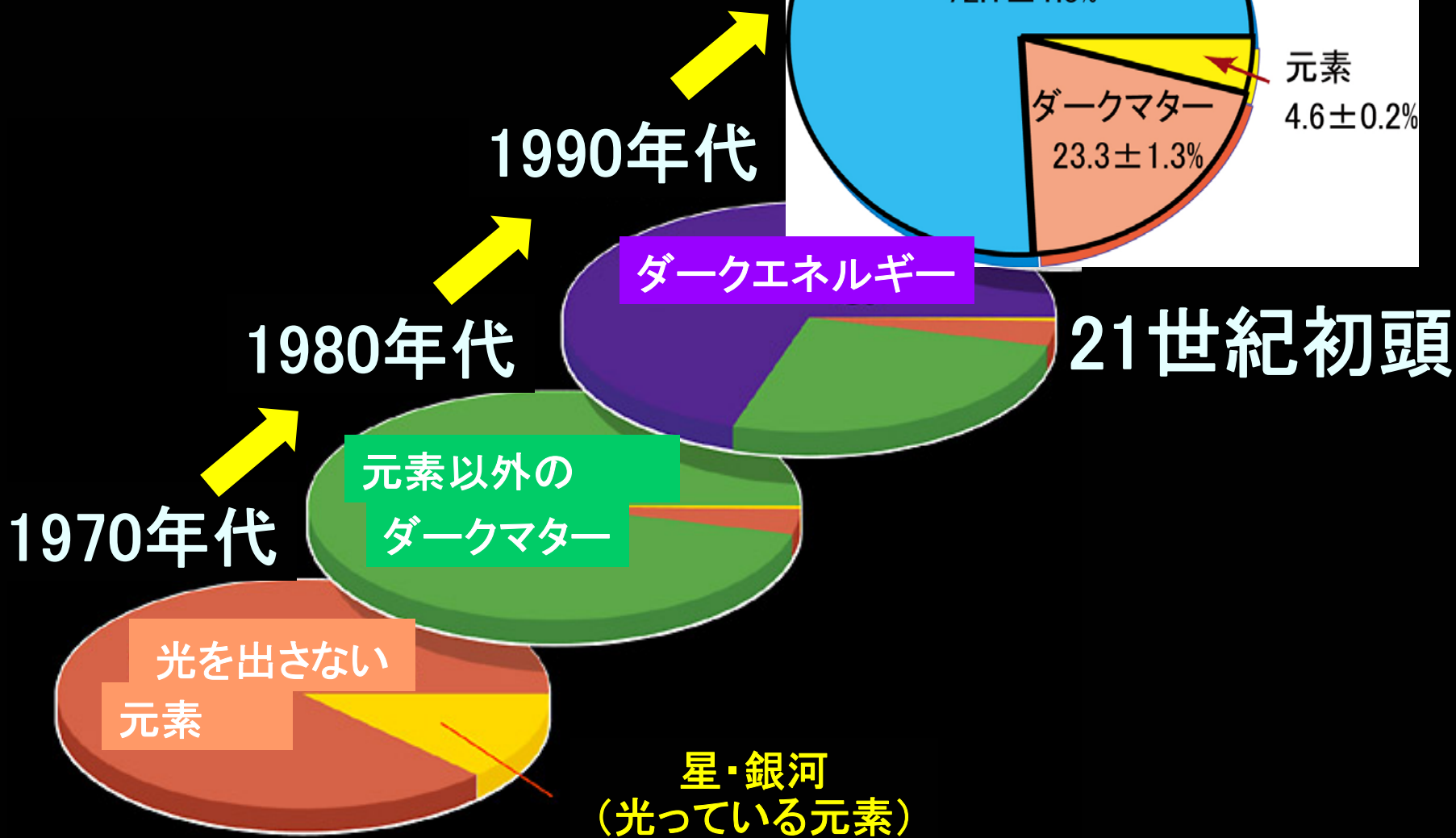


■ ダークエネルギーの正体は何か？

- 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世紀の科学を切り拓く鍵

宇宙観の変化



小休止
質問があればどうぞ！

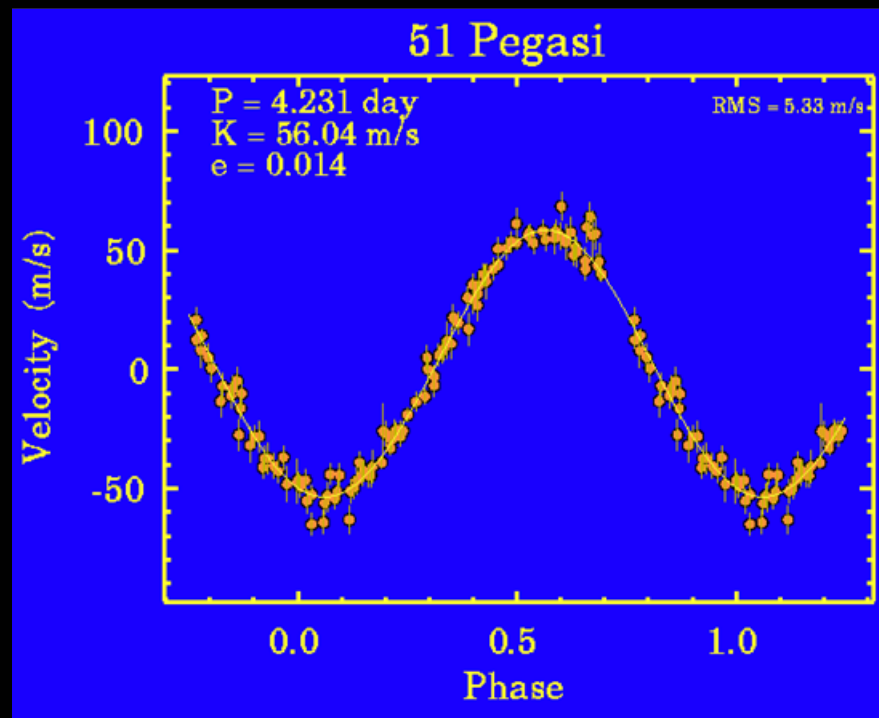
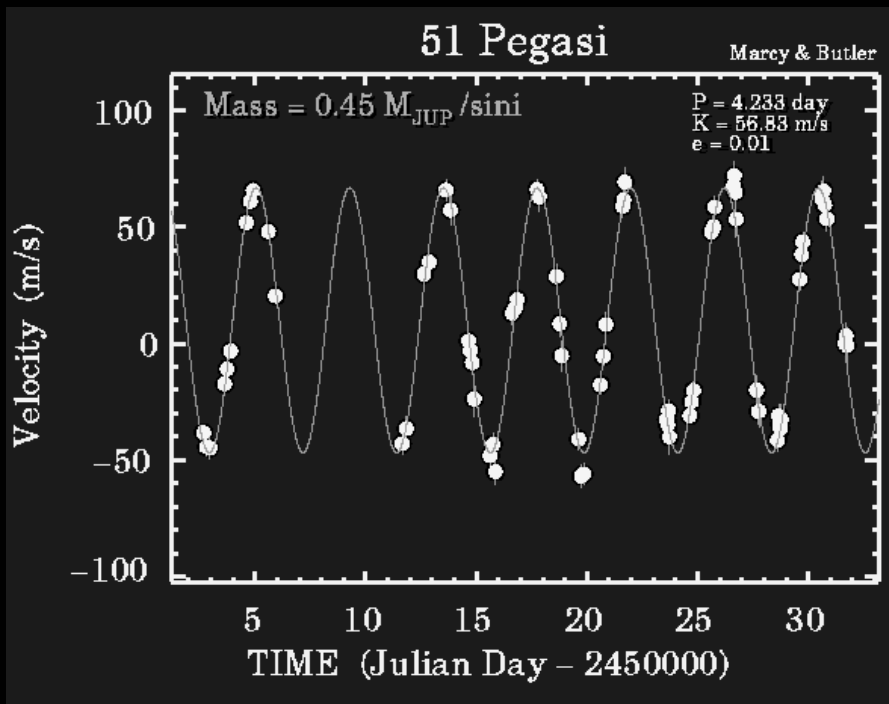
地球以外の「世界」はあるのか？ 太陽系外惑星



想像図

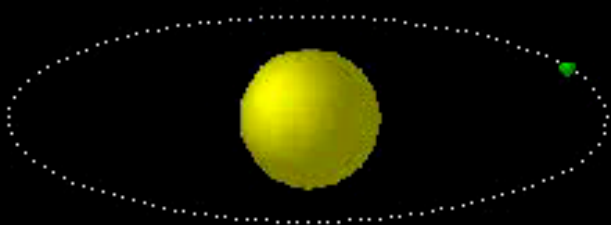
ペガサス座51番星： 初めての太陽系外惑星 (1995年発表)

わずか4.2日で一周！



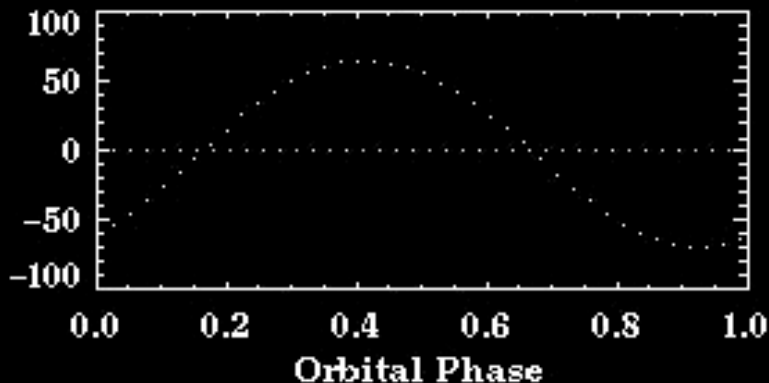
どうやって見つけたのか？

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]



■ ドップラー法

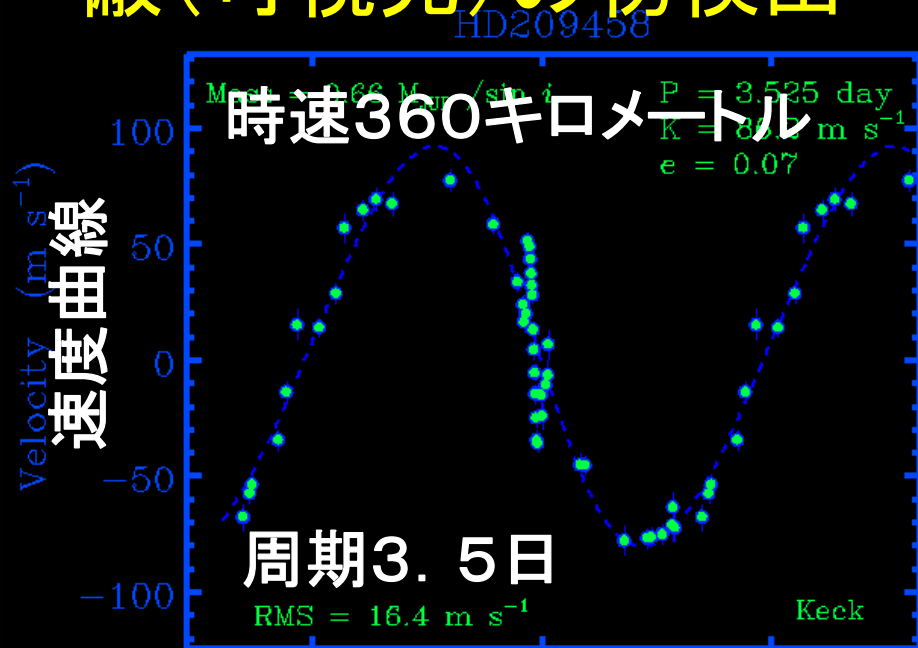
- 中心星の速度が毎秒数十メートル程度、周期的に変動

■ 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

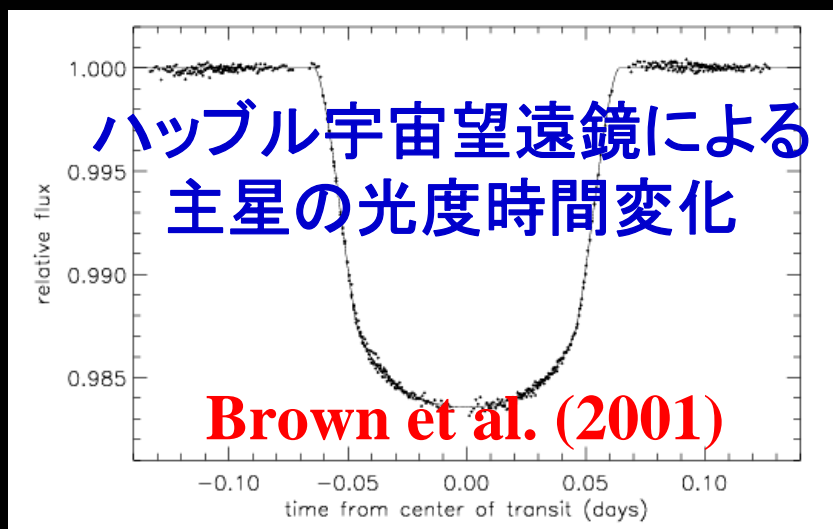
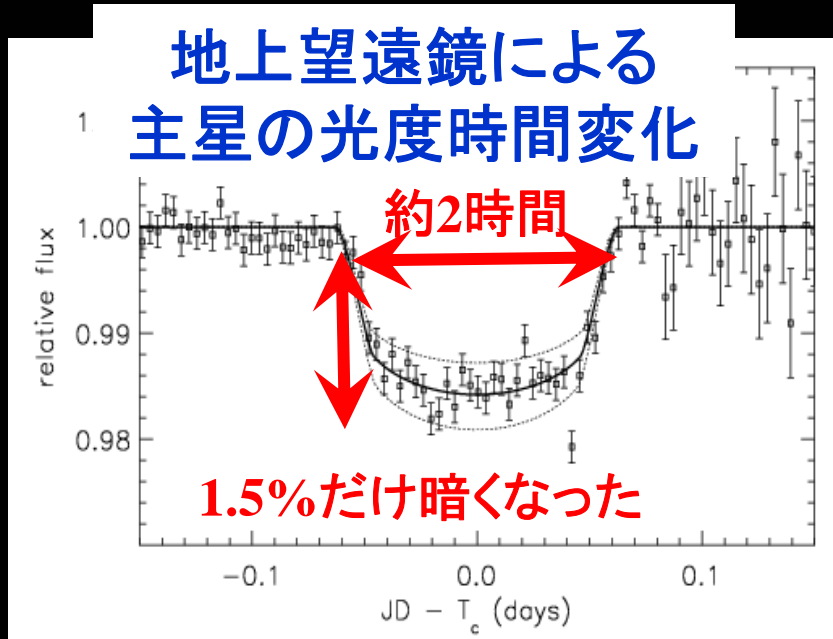
初めてのトランジット惑星HD209458b

- 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



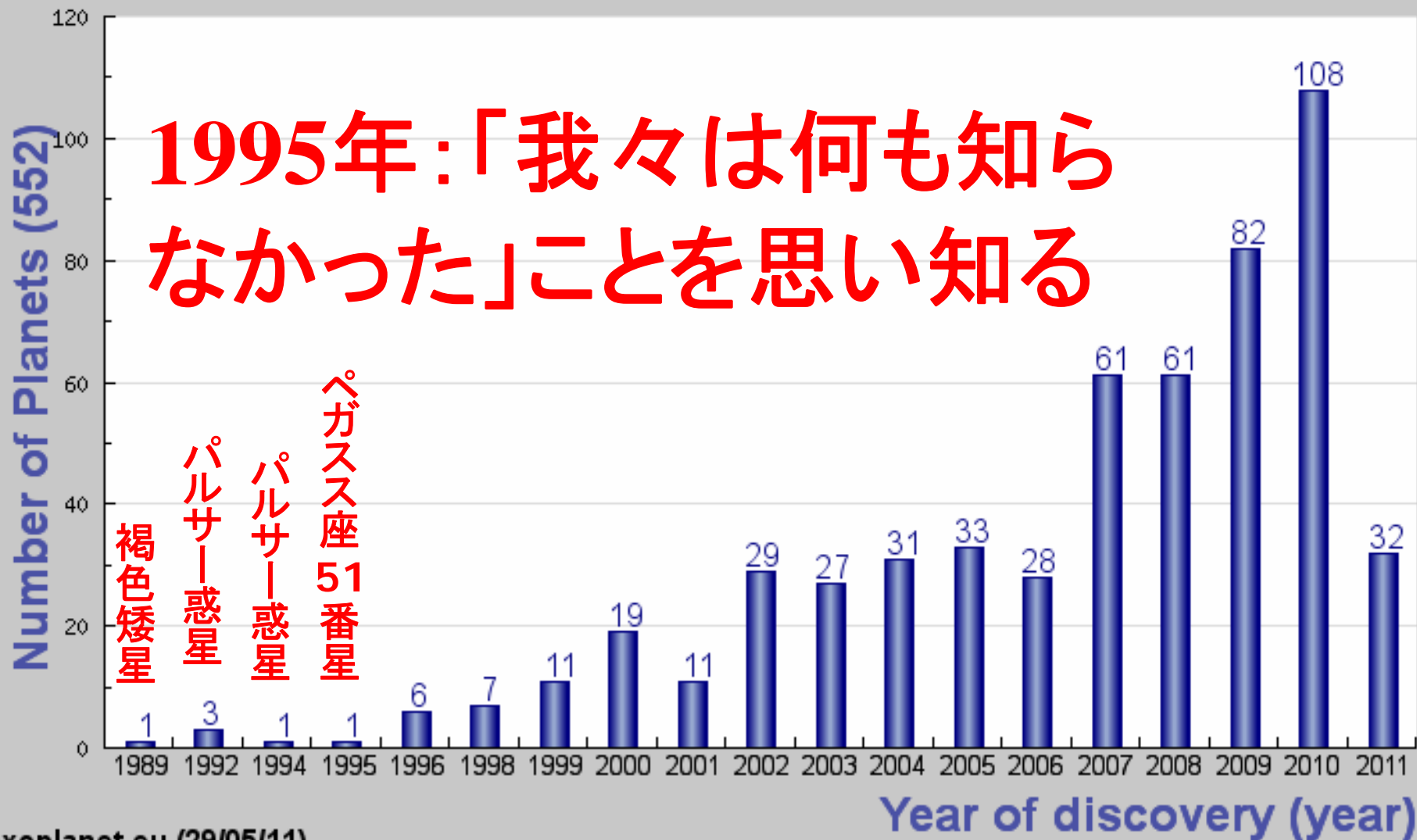
地上望遠鏡による
主星の速度時間変化

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



太陽系外惑星の発見年表

Number of planets by year of discovery



exoplanet.eu (29/05/11)

2011年5月29日時点 <http://exoplanet.eu/>

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(ハビタブル:居住可能性条件)
 - +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>

ケプラー探査機 (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

■ Borucki et al. NASA press release (2011年2月1日)

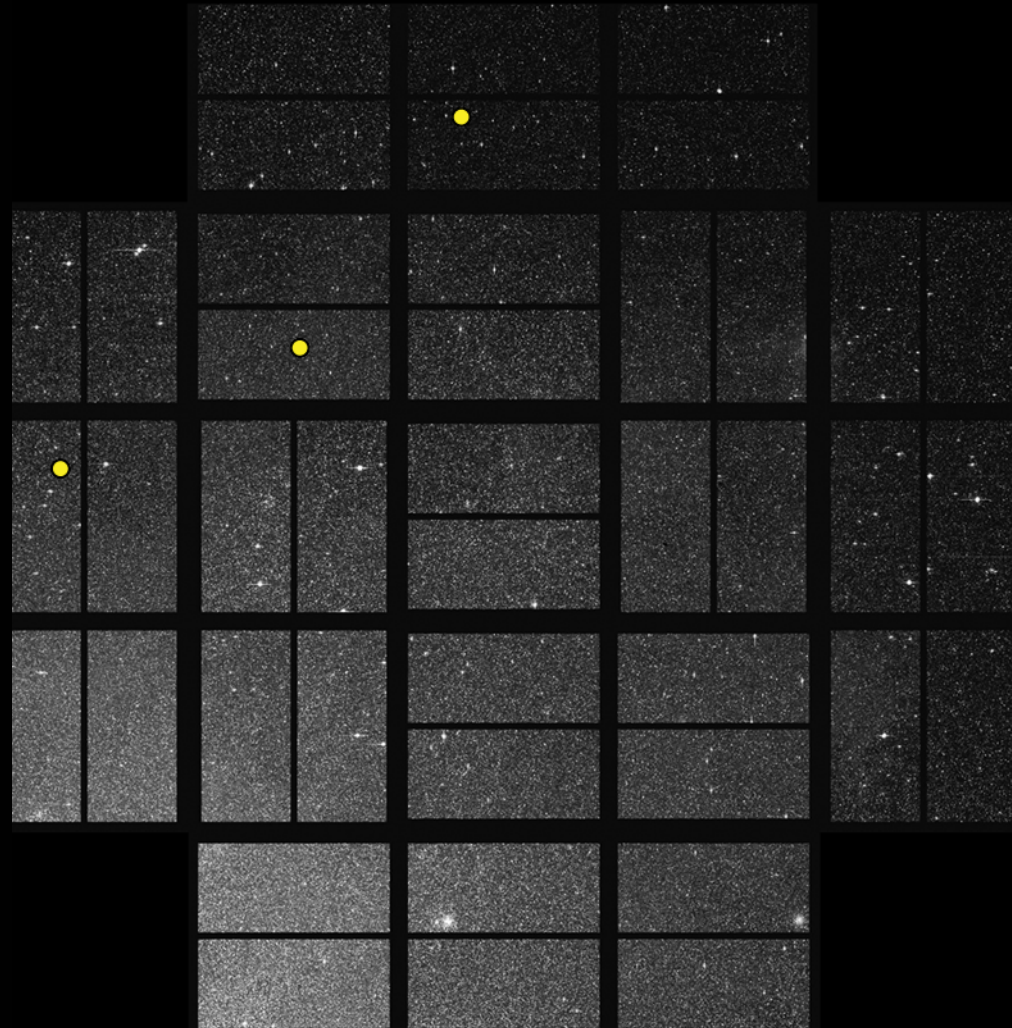
- 1235 のトランジット惑星候補
- 54 個がハビタブルゾーン?
- うち5個が2倍の地球半径以下
- 2重、3重、4重、5重、6重惑星系はそれぞれ、115 45, 8, 1, 1個
- 太陽と似た恒星の約34%が惑星を持ち、17%は多重惑星を持つ



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

ケプラー探査機の観測領域

- 白鳥座・琴座付近の100平方度
 - 全天の400分の1
- 以前から知られていた惑星は3個（黄色の点）
- 4年間繰り返しモニター

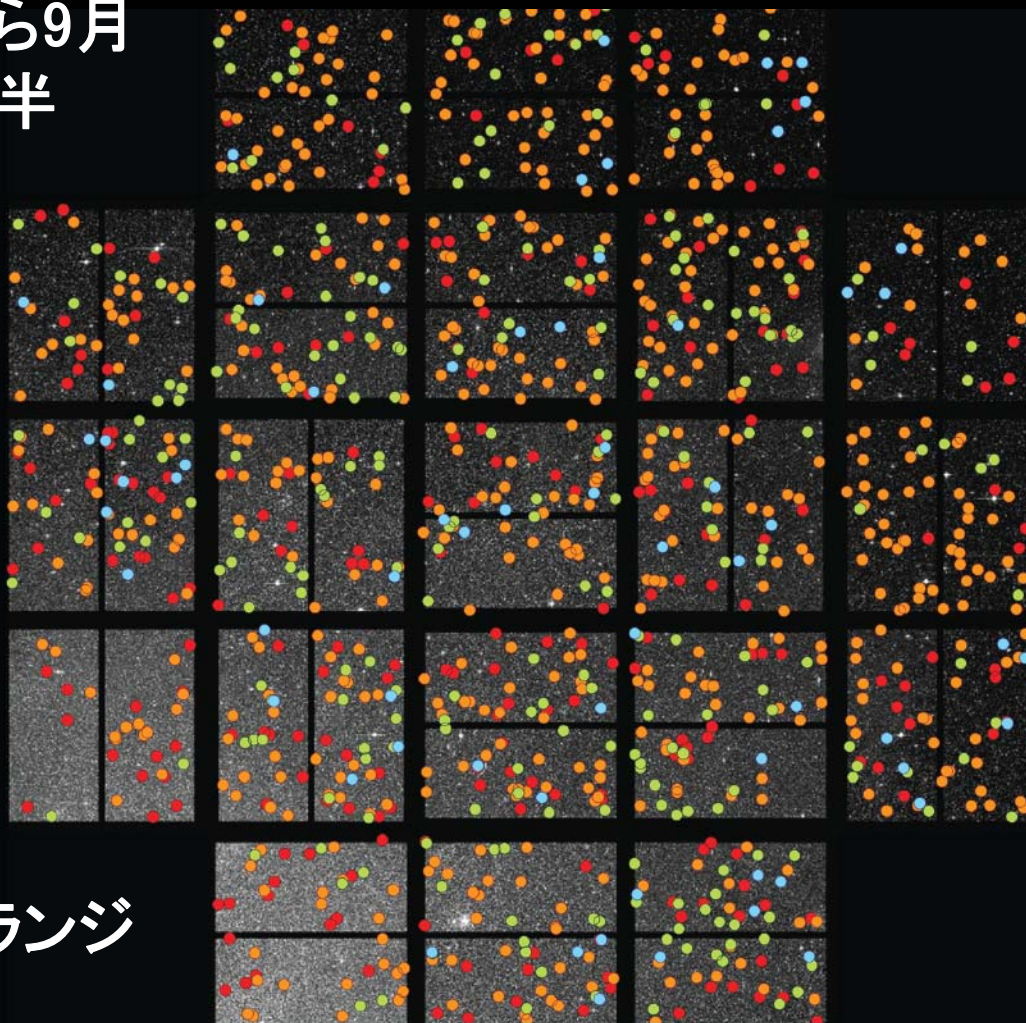


新たに発見された惑星候補

- 2009年5月2日から9月16日までの4ヶ月半

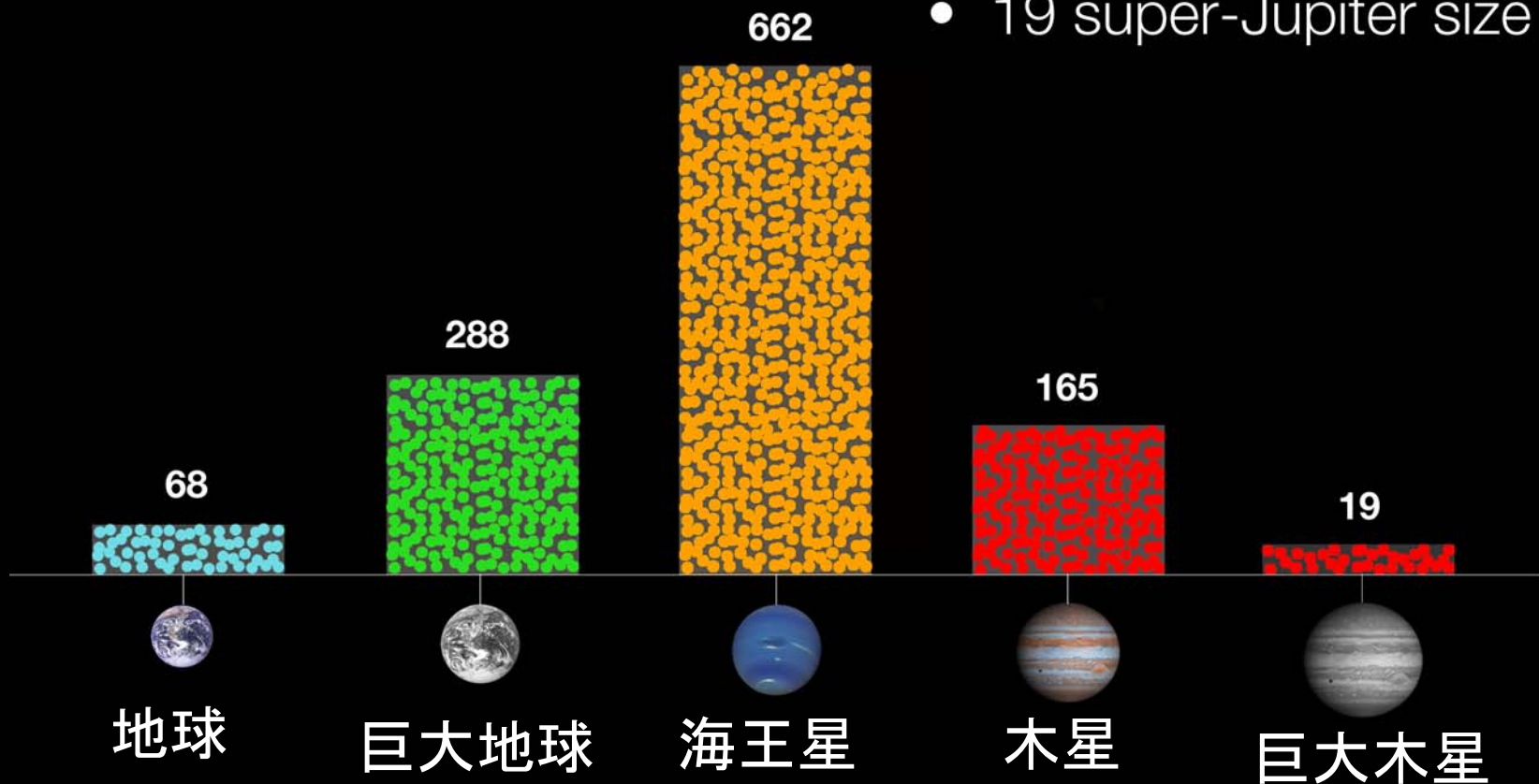
- Earth-size
- Super-Earth size
1.25 - 2.0 Earth-size
- Neptune-size
2.0 - 6.0 Earth-size
- Giant-planet size
6.0 - 22 Earth-size

- 1200個以上のトランジット惑星候補

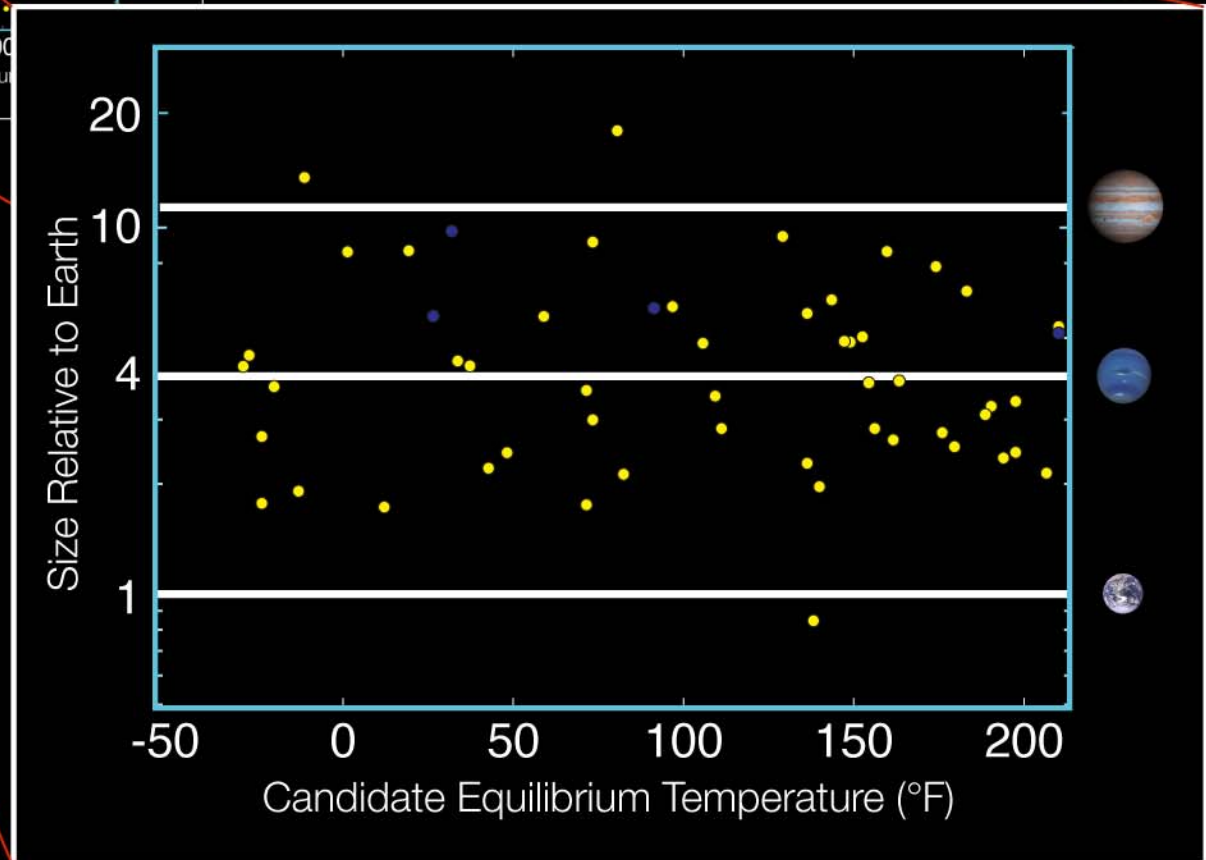
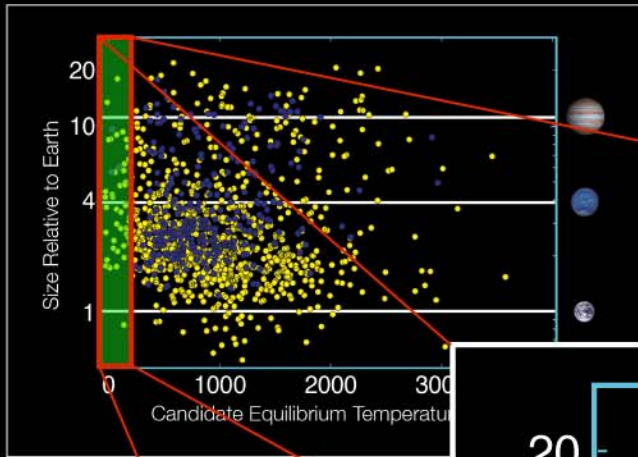


ケプラー探査機が発見した惑星候補

- 68 Earth-size
- 288 super-Earth size
- 662 Neptune size
- 165 Jupiter size
- 19 super-Jupiter size



水が液体として存在する 温度の惑星候補

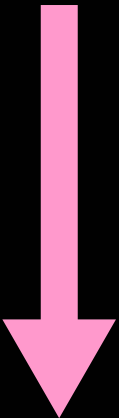


すでに学んだこと: 惑星いろいろ

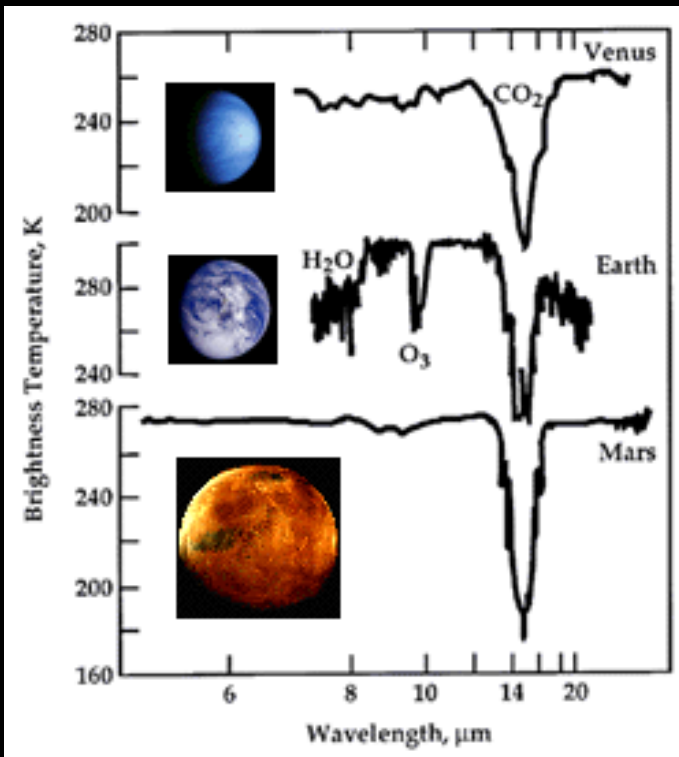
- **惑星(系)は稀なものではなく普遍的**
 - 太陽と似た恒星の34%(以上)が惑星を持ち、17%(以上)は複数の惑星を持つ
- **太陽系と良く似た系もかけ離れた系も存在**
 - 太陽の周りを数日で公転する木星型惑星が大量に存在(太陽系の木星の周期は約10年)
 - 太陽系とは違い円軌道というよりもかなりゆがんだ楕円軌道の惑星も多い
 - 地球の2倍程度の質量の惑星候補も複数報告
 - 水が液体として存在する摂氏0度から100度の温度の惑星(ハビタブル惑星)候補も報告
 - 我々の地球以外に生命が存在するか?

さらにもっと将来の展望

- 巨大ガス惑星発見の時代 (1995)
 - 惑星大気の実見 (2002)
 - 惑星赤外線輻射の実出 (2005)
 - 惑星可視域反射光の実出 (2009)
-
- 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
 - 惑星の直接実出(測光&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



太陽系外惑星のさきにあるもの “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
-
- 直接見に行くことができない系外惑星の表面組成・分布を
天文観測だけでどこまで推定できるか
 - 天文学から宇宙生物学を経て新たな世界観を開拓

小休止
質問があればどうぞ！

まとめ

新たな世界観を開拓する科学

- 宇宙の果てを観測する
 - 宇宙論
- 宇宙を満たしている物質を探る
 - 素粒子論
- 第二の地球を探す
 - 惑星形成論、宇宙生物学
- 地球外文明はあるか
 - 人間原理、宇宙社会学、宇宙比較文化論

高校までの「勉強」と大学(院)での「学問」

■ 高校まで

- 学習(学んでくりかえす)、勉強(つとめはげむ)

■ 大学(特に大学院)では

- 学問(学びて問う)
- 受身のままずっと待っていても何も来ない
- 高校までの先生とは違い、大学の教員は親切ではない！(予備校の先生は？？？)
- 自分の適性を知る
- すべてを一人でやるのではなく、教員、友人、先輩、後輩と共に学び議論し研究する

典型的な研究者タイプと思われがちであるにもかかわらず実は研究者に向いていない人

- 他人とコミュニケーションがうまくとれない
 - 結果の批判を通じてさらなる発展が期待できない
- 本を読んで勉強することだけが好き
 - これでは新たな学問・研究にならない
- 難しい分野・問題・テーマだけが好き
 - 優れた学者と同じ道を歩んでいることで自分も優れた研究者であると勘違いする
- 語学力・文章力・表現力が低い
 - 実は私の日常のほとんどの時間は、日本語か英語での議論あるいは文章書きに費やしている
 - 実は理系でも(こそ)重要

試験が得意な人 ≠ 研究者に向いている人

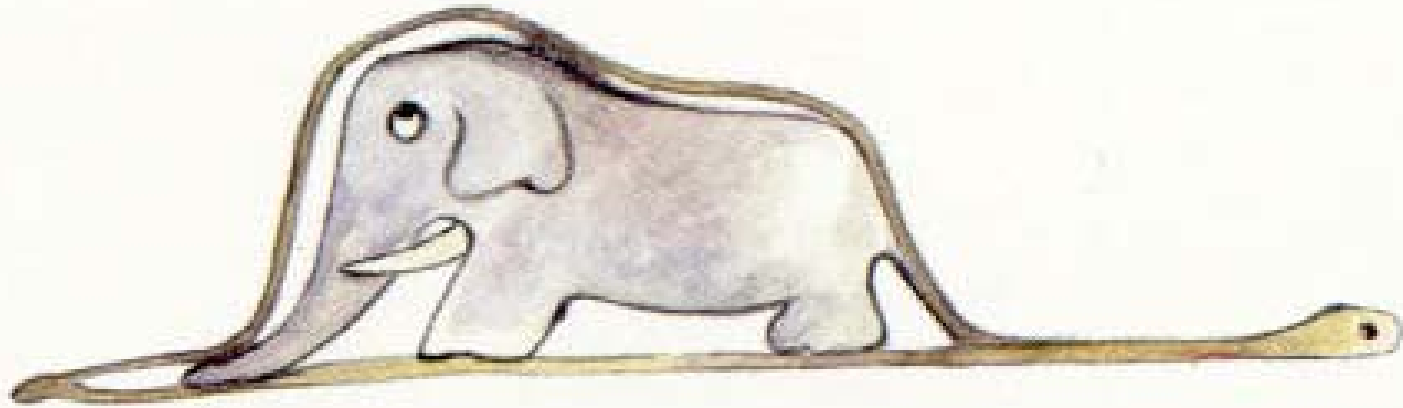
- 大学入学までに行う試験での評価基準
 - 正解が存在することがわかっている問題を
 - 決められた時間内に
 - 一人だけで何も見ず
 - すべての科目を万遍なく
- これらは研究の現場とはすべて「矛盾する」制約
 - 試験での秀才が必ずしも優れた研究者にはなっていない
- 人間の才能は1次元に数値化できるものではなく、多次元空間で表現すべきもの
 - 必ずしも(とびぬけて)優秀である必要はない
 - 何でも良いから余人をもって代えがたい度合いが重要
- 何よりも研究が好き・楽しめることが大前提

みえているものだけがすべてではない



*Mon dessin ne représentait pas un chapeau. Il représentait
un serpent boa qui digérait un éléphant*

大切なものは目に見えない



*J'ai alors dessiné
l'intérieur du serpent boa, afin que les grandes personnes puissent
comprendre. Elles ont toujours besoin d'explications*



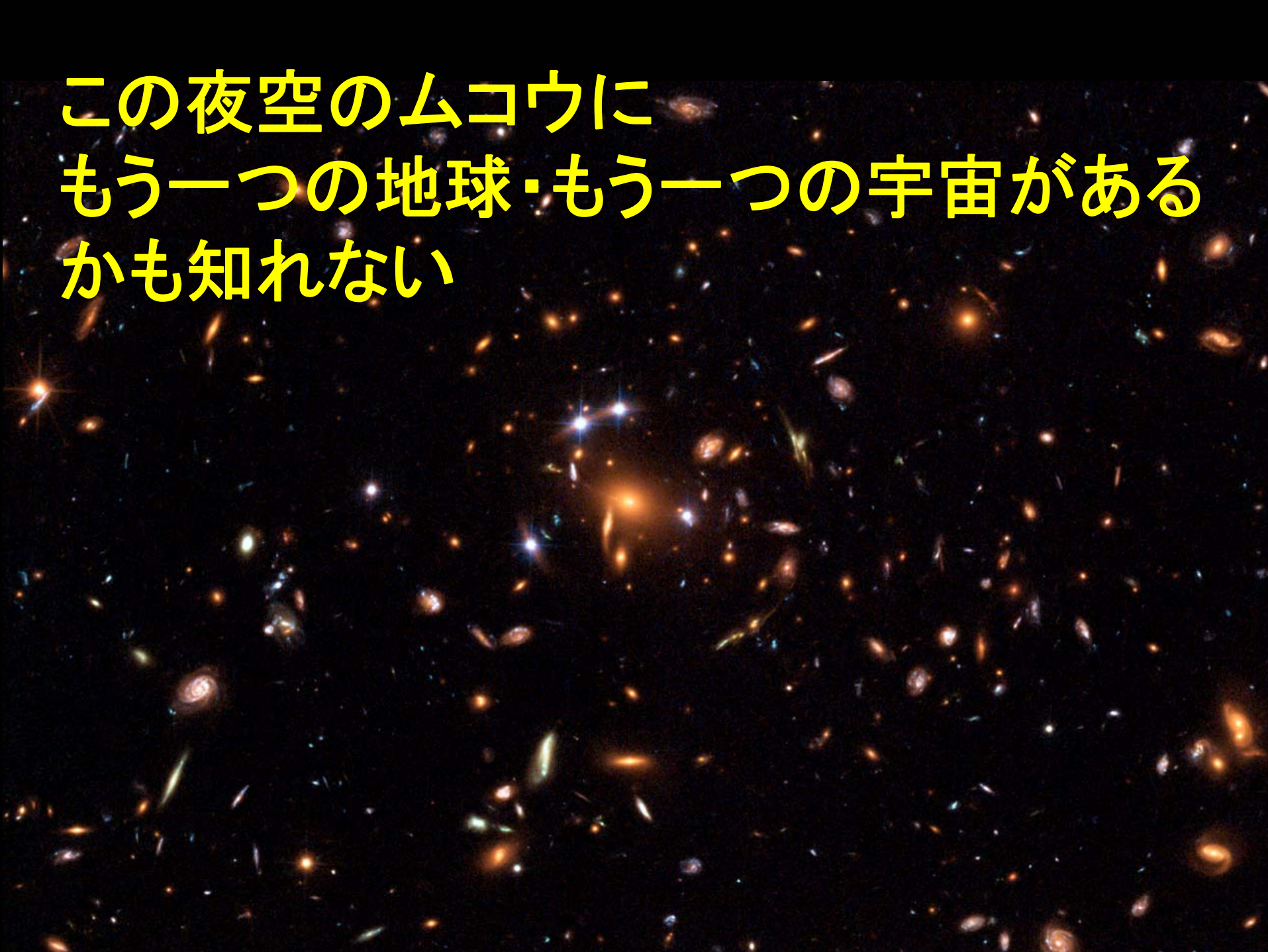
この青空の向こうに何かがあるはず



この星空の向こうにも何かがあるはず



この夜空のムコウに
もう一つの地球・もう一つの宇宙がある
かも知れない



「星の王子様」より



夜空を埋め尽くす無数の星々のどれかに咲く

たった一つの花が好きになれたなら

夜空を見上げるだけで

とっても幸せな気持ちになれる

「僕の花がこの夜空のどこかにあるんだ」

と信じられるだけで

金子みすず：『星とたんぽぽ』

青いお空のそこふかく
海の小石のそのように
夜がくるまでしずんでる
昼のお星はめにみえぬ
見えぬけれどももあるんだよ
見えぬものでもあるんだよ

アンパンマン エンディングテーマ

- 作詞：やなせたかし
もし自信をなくして
くじけそうになったら
いいことだけ
いいことだけ
思い出せ



<http://www.ntv.co.jp/anpanman/>

©やなせたかし/フレーベル館・TMS・NTV

湯川学の科学観

東野圭吾『真夏の方程式』 文藝春秋社 p.411

- この世界には現代科学では解けない謎がいくつもある。しかし科学の発展と共に、いずれも解かれていくだろう。では科学に限界はあるのだろうか。あるとすれば、何がそれを生み出すのだろうか
- それは人間だ。人間の頭脳だ。たとえば数学の世界では、何か新しい理論を発見した時には、正しいかどうかをほかの数学者に検証してもらおう。だが発見される理論は益々高度化していく。そうになると当然検証できる数学者もかぎられてくる。ではもし理論が難解すぎて、ほかの誰も理解できなかつたらどうだろう。それが理論として定着するには、別の天才が現れるまで待たねばならない。人間の頭脳が科学の限界を生み出すというのはそういう理由からだ。

湯川学の人生観

東野圭吾『真夏の方程式』 文藝春秋社 p.412

- **どんな問題にも答えは必ずある。** だけどそれをすぐに導き出せるとはかぎらない。人生においてもそうだ。今すぐには答えを出せない問題なんて、これから先、いくつも現れるだろう。そのたびに悩むことには価値がある。しかし焦る必要はない。答えを出すためには、自分自身の成長が求められている場合も少なくない。だから人間は学び、努力し、自分を磨かなきゃいけないんだ。



$$\begin{cases} \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{K}{a^2} + \frac{A}{3} \\ \frac{dx}{dt} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3p) + \frac{A}{3} \\ \frac{d^2x}{dt^2} + \Gamma^{\mu}_{\mu} \frac{dx^{\mu}}{dt} = 0 \end{cases}$$



週間新潮 2010年7月29日号

BOOK OF THE WEEK

評者 ● 渡邊十絲子 詩人

愛いっぱいの「天文学者の生活と意見」

東大の物理の先生(専門

は宇宙論)って、どんな人

だろうと想像してみる。身

なりにかまわずオタク的。

いわゆるカタブツで、冗談

がつうじない。

わたしの思いえがくそん

な貧しいイメージは、この

一冊でこなごなになった。

それどころか、激しい共感

に胸がゆさぶられた。東大

の物理の先生は詩人とおん

なじだ。世間から「雰囲気

だけは立派だけど、それっ

てなにかの役に立つの？」

とうさんくさそうに見られ

それでも自分の信念をつら

ぬき、ちまちまと安い仕事

をこなして生活しているの

だった。

いてもたってもいられず

に都内の大書店をめぐり、

本書の状況を調査する。た

いがいは科学・理工のフロ

アにある「物理」の棚、そ

のなかでも「相対論」の場

所に置かれている。でもそ

れは大間違いだ。書店のみ

なさん、この本は相対論の

ことなんかちつとも教えて

くれません。版元の名前に

惑わされなくて、いますぐ

に「爆笑エッセイ」の棚に

移してください。

「海底人の世界観」「外耳炎

が誘う宇宙観の変遷」「物理

とカラオケ」などの章タイ

トルを見れば、この本がい

かに斬新な「天文学者の生

活と意見」であるかがわか

るだろう。学

者が自分の研

究分野のことや教員生活に

ついて書いたエッセイは多

いが、ここまで自分を遠く

から(望遠鏡で。さすが天文

学者)冷徹に見ているもの

はなかなかない。笑い優先

自己愛はあとまわし。愛娘

や学生の写真もふんだんに

使った(周囲の人は気の毒

だ)、リアルな生活感満載の

エッセイなのだ。しかしす

っかり笑わされながらも、

著者の研究対象が、宇宙の

なかみの4分の3を占めて

いるにもかかわらず得体の

知れない「ダークエネルギー

」だということもすんな

り頭に入る。凄腕である。

自分の仕事をおもしろく

書き、人に伝える。それは

深い愛(仕事に対しても、読

者に対しても)なくしては

不可能なことだ。愛の人を

発見してうれしい。

人生一般二相対論

●須藤 靖 東京大学出版会 / 255200円

人生一般二相対論

須藤 靖

東京大学出版会