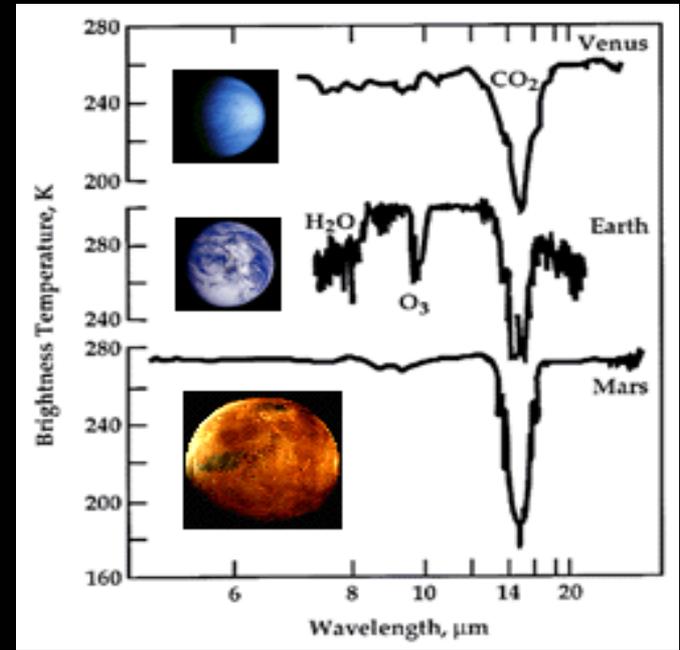
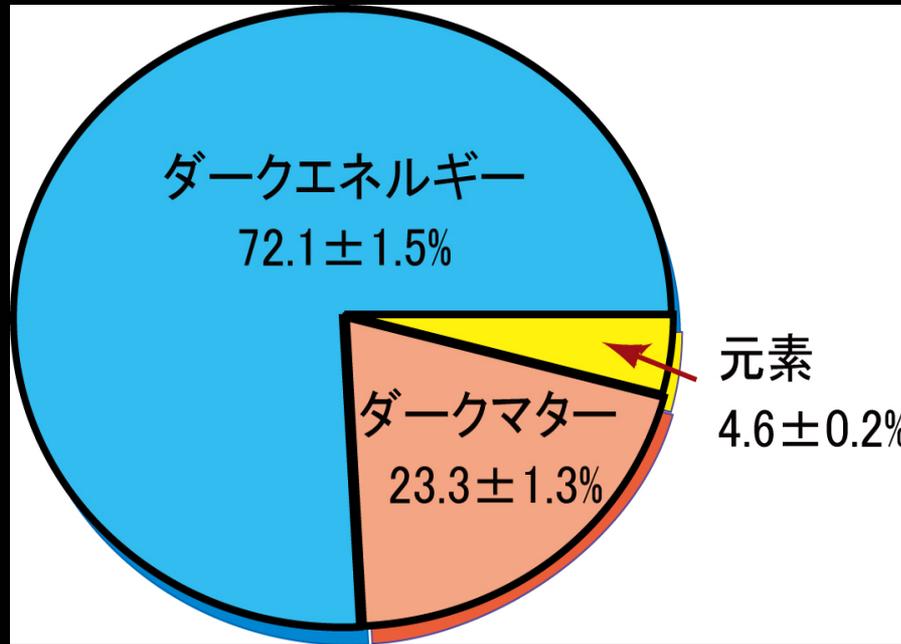


向陽の空ノムコウの世界



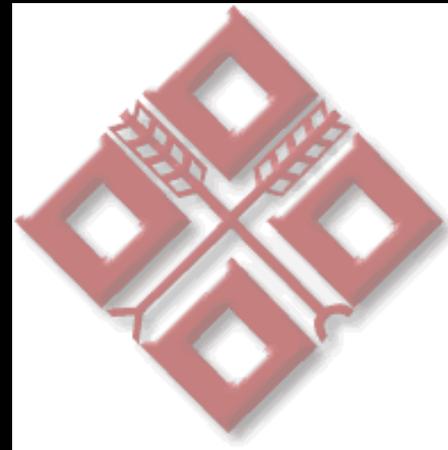
土佐中学校・高等学校

2010年11月18日

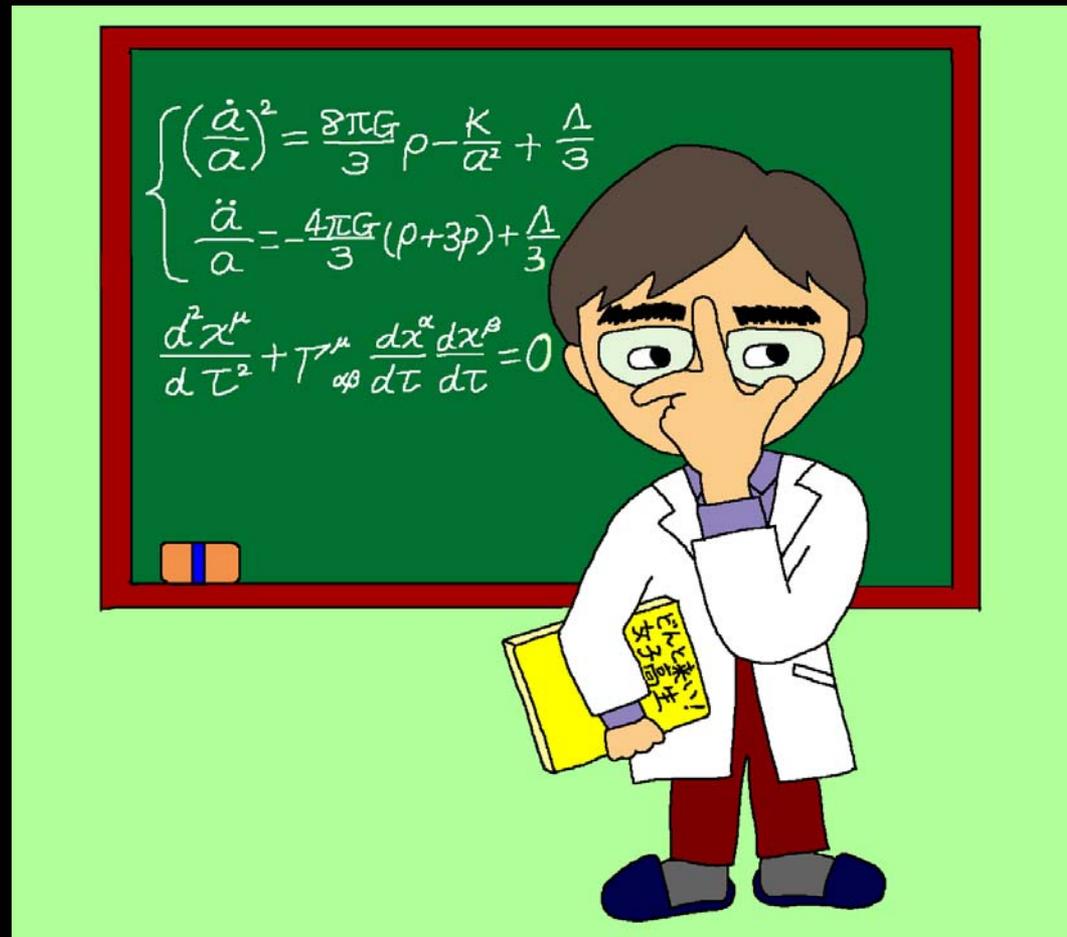
東京大学大学院理学系研究科物理学専攻

須藤 靖 (52回生 担任: 西峯隆博先生)

土佐中学高等学校 90周年記念講演会



なぜ科学する？



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」の物理学(=自然界)は面白さに満ちている!

科学を学ぶ意味＝いごっそう

- 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ない人・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

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

高知県人やなせたかしの教え： アンパンマン オープニングテーマ



- 作詞：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！



試験が得意な人 ≠ 研究に向いている人

- 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(より一般に社会)とは全く「矛盾する」
 - 試験での秀才が必ずしも世の中で成功してはいない
- 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(仕事)が好き・楽しめることが大前提



向陽の空(浅緑?)ノムコウ
2010年8月30日@桂浜

青空しか知らないとこの世界だけが
唯一の存在のように思ってしまう



アイザック・アシモフ著 「Nightfall(夜来たる)」



イラスト：羽馬有紗

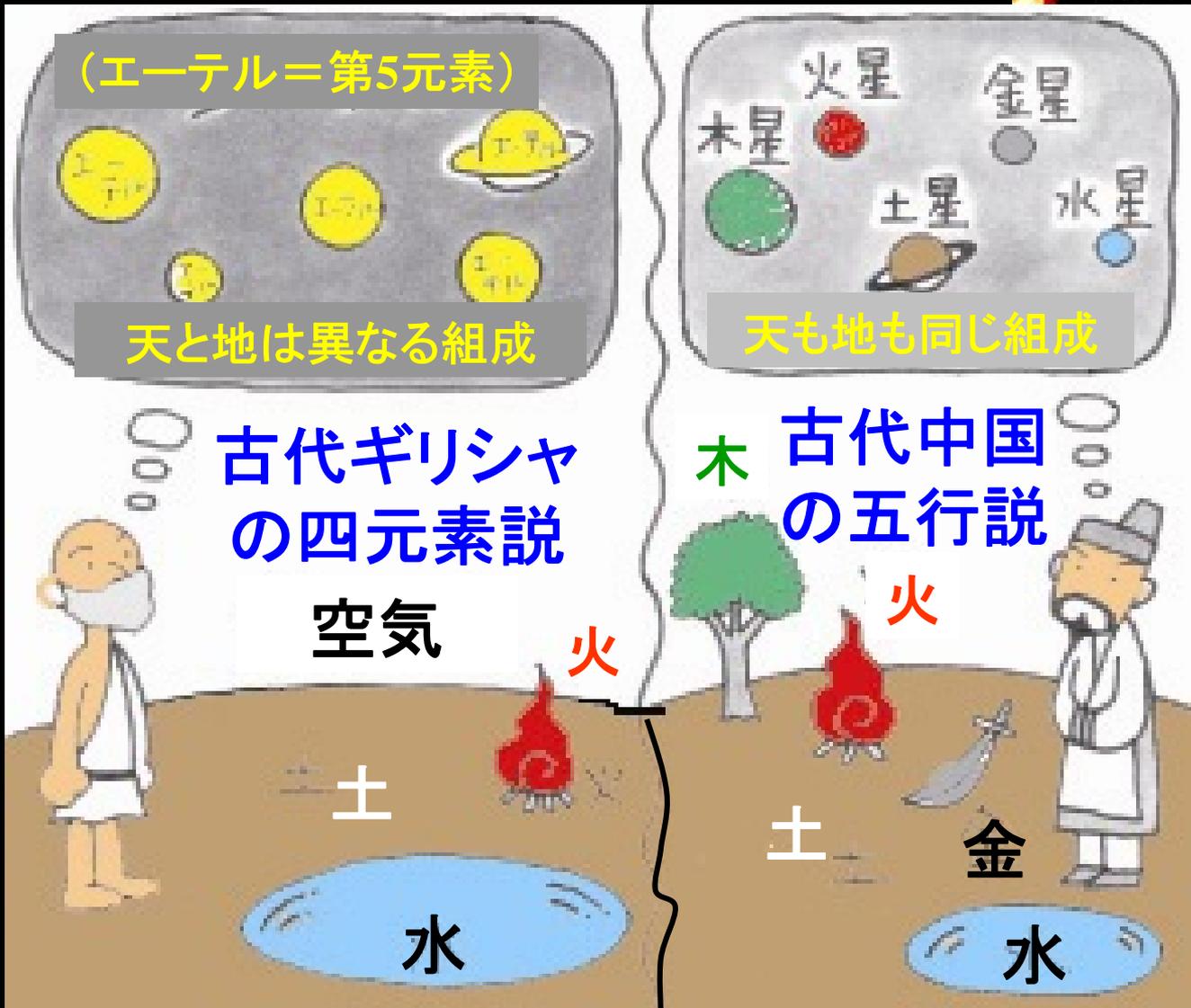
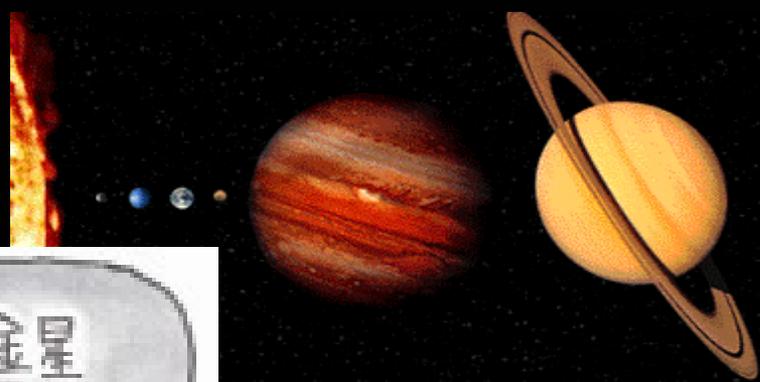
- 2049年に一度しか夜が来ない“地球”の人たち
- 自分たちの“地球”と宇宙との関係は？

「我々は何も知らなかった」

満天の星空を見上げれば、
我々以外の世界がないとは思えない

(すばる観測所、田中壺氏撮影)

嗚呼幸多き天と地



(エーテル=第5元素)

火星 金星
木星 土星 水星

天と地は異なる組成

天も地も同じ組成

古代ギリシャ
の四元素説

木 古代中国
の五行説

空気

火

土

水

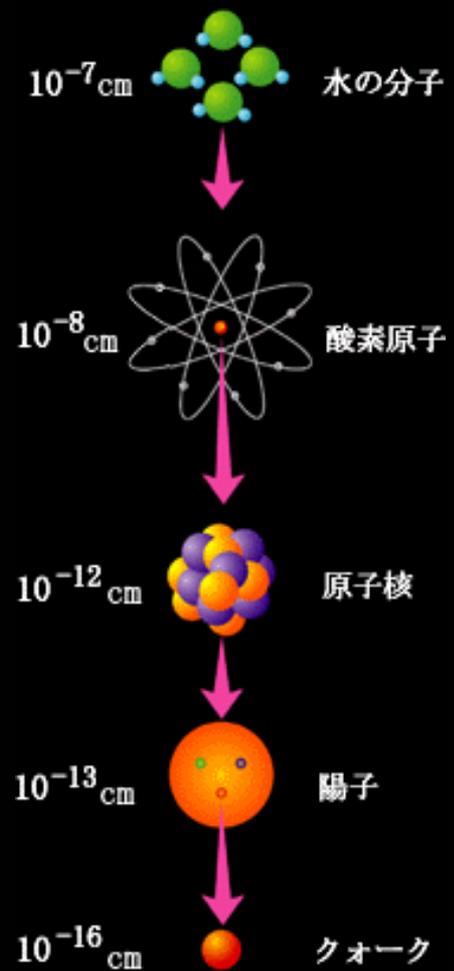
木

火

土

金

水



(いずれも 須藤靖「ものの大きさ」図1.1より)

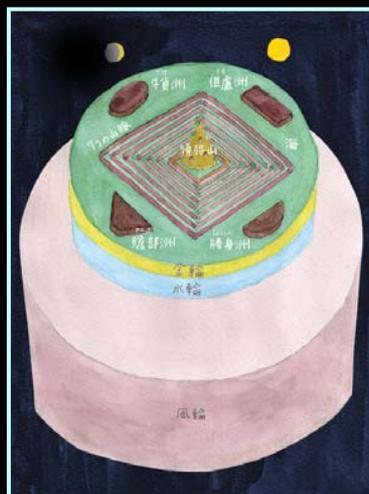
向陽の空ノムコウの世界を探る

■ 見えない先はどうなっているのか

古代エジプト



仏教



古代インド



イラスト：羽馬有紗

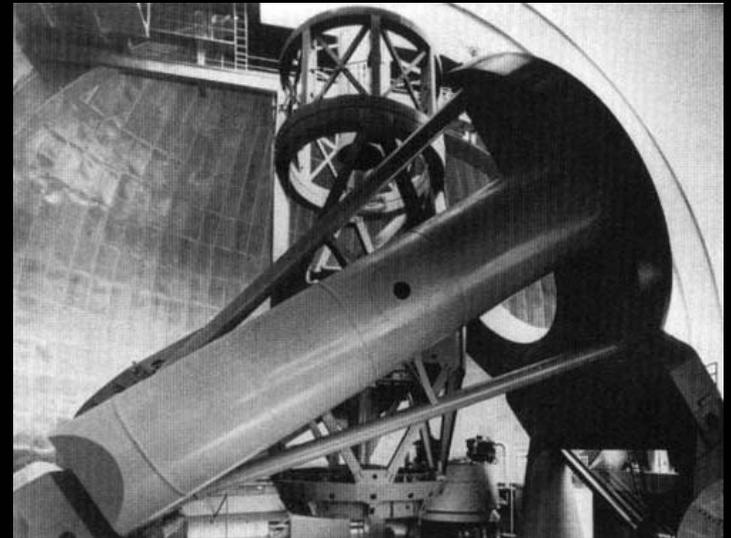
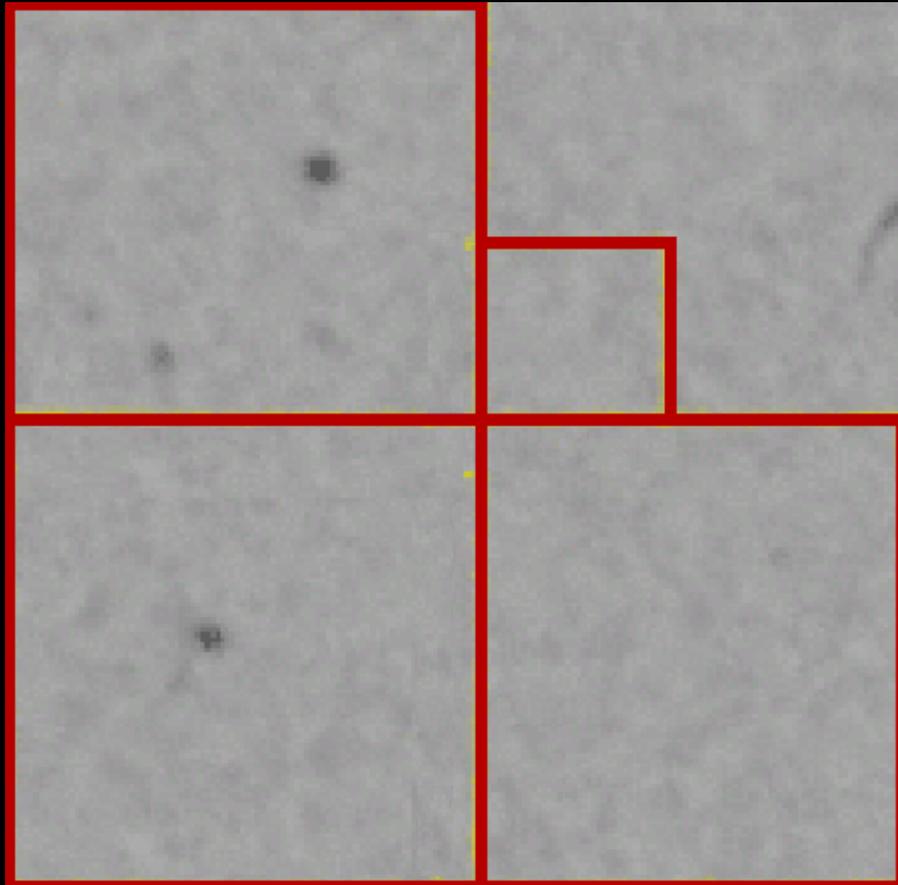
■ みんな知りたいのに答えが(まだ)ない謎

- 宇宙は何からできているか？
- もう一つの地球はあるか？
- 生物はどうやって生まれたのか？

夜空ノムコウを見る

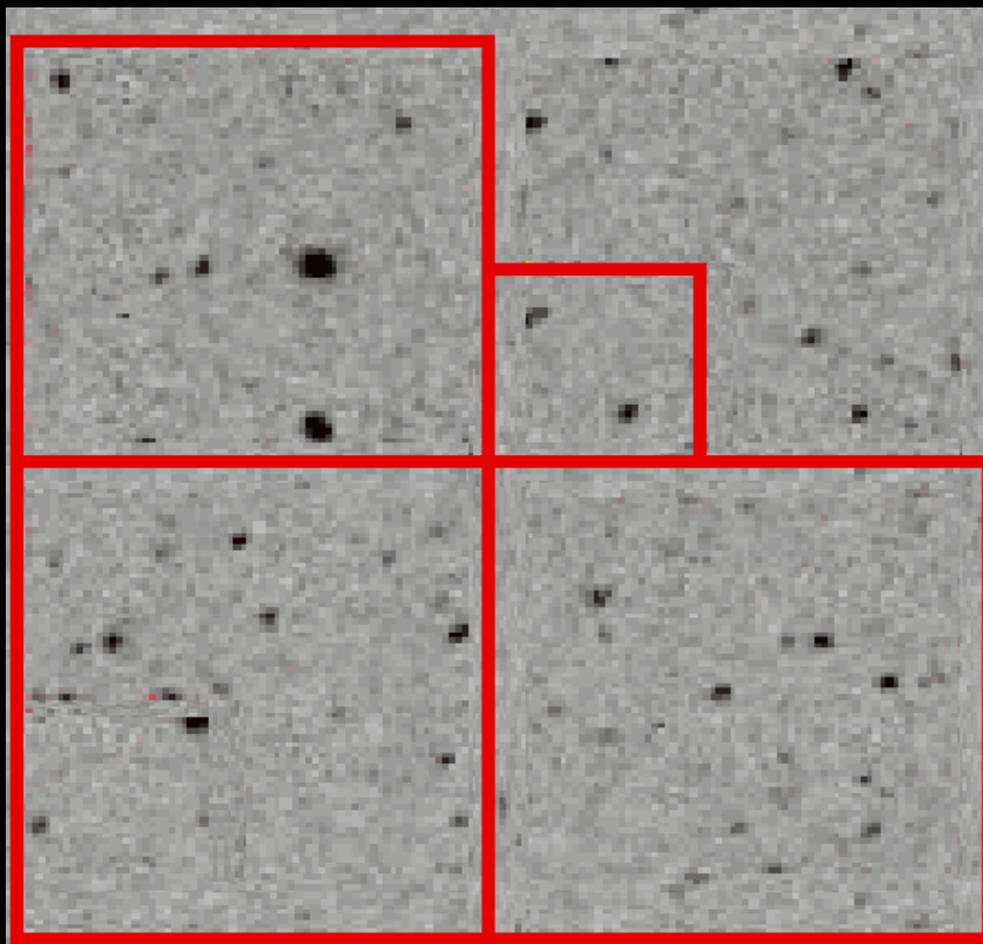
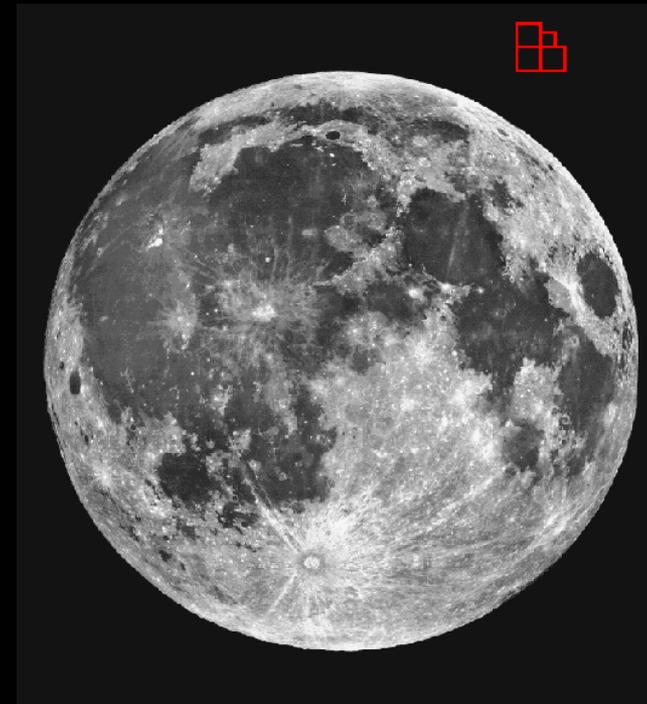


宇宙を見る目の進歩 (1)



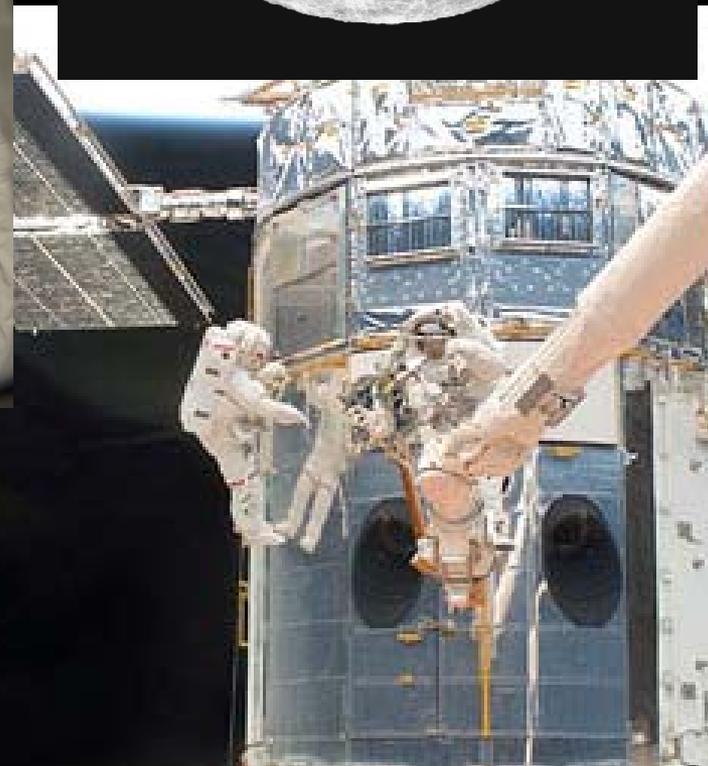
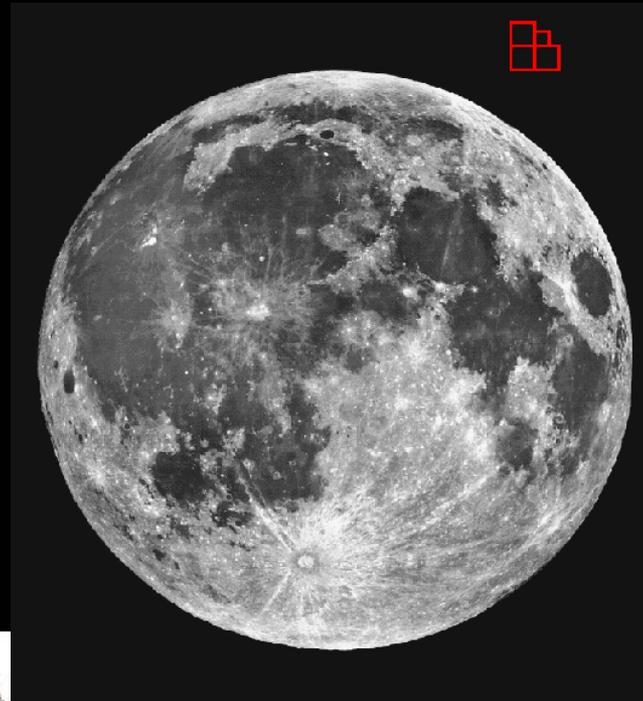
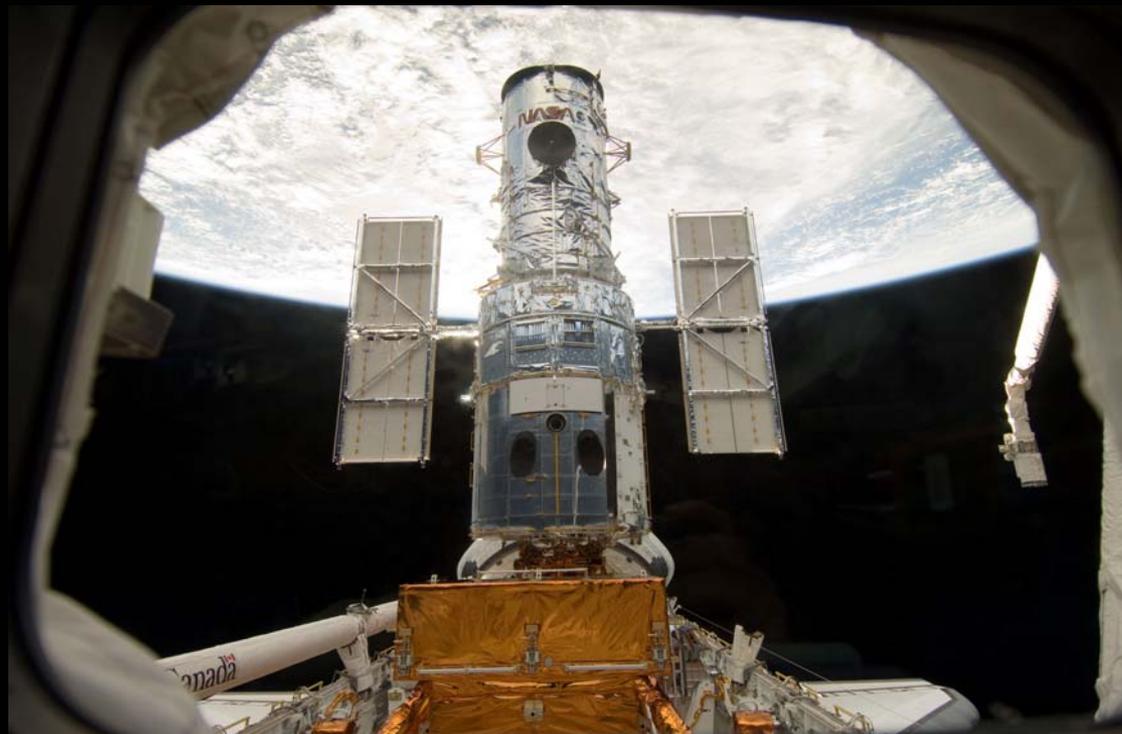
地上5m望遠鏡+写真乾板
100万×人間の眼

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)



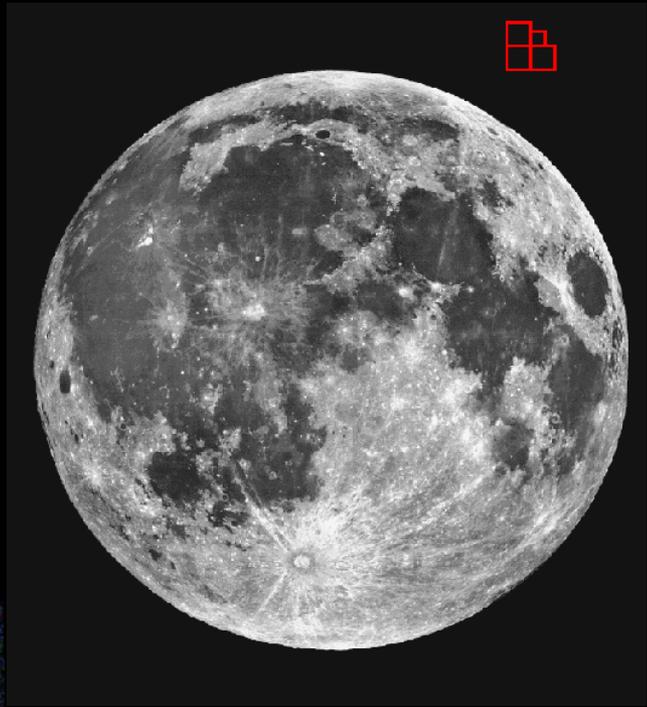
ハッブル宇宙望遠鏡



Hubble Deep Field

ST ScI OPO January 15, 1996 R. Williams and the HDF Team (ST ScI) and NASA

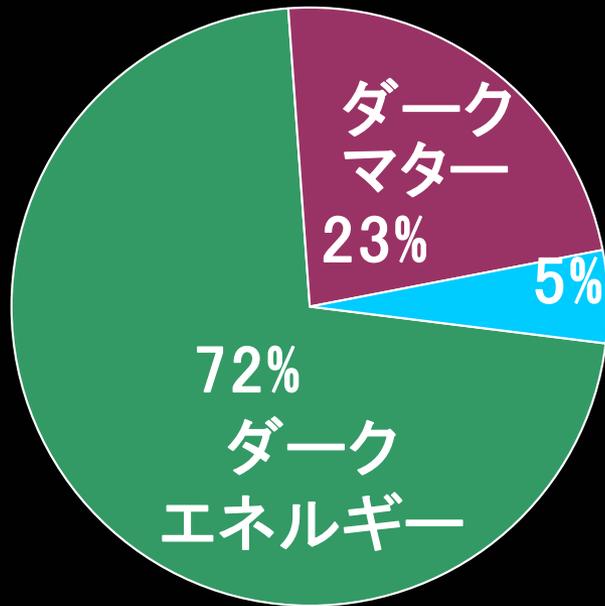
HST WFPC2



ハッブル宇宙望遠鏡+CCD:
1000×地上望遠鏡

宇宙は何からできている？

宇宙の組成



- 銀河・銀河団は星の総和から予想される値の10倍以上の質量
- 未知の素粒子が正体？

通常物質(元素)

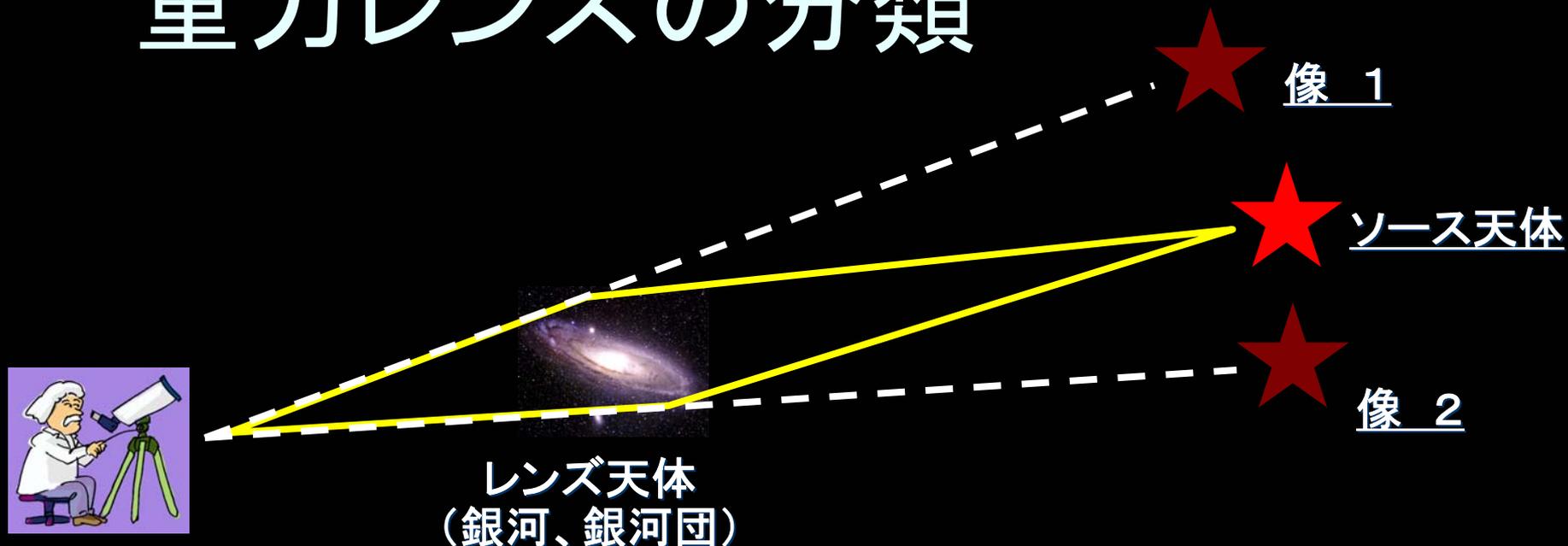
- 現時点で知られている物質は実質的にはすべて元素(陽子と中性子)からなる

- 万有斥力(負の圧力)
- アインシュタインの宇宙定数？
- 宇宙空間を一様に満たしている
- ダークマターとは異なり空間的に局在しないが、宇宙の主成分

宇宙のダークマター

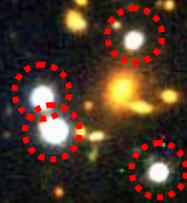
- 実は、光り輝く天体の周りには光ることのないダークマターが満ちている
- **ダークマターの存在は、その周囲を通過する光の軌道を変化させる**
 - アインシュタインの一般相対論にもとづく重力レンズ効果によって実証されている
- その正体は、未発見の素粒子であると考えられている(天文学による微視的世界の発見)

重力レンズの分類



- 光線は重力場によって曲げられる
 - 天体が多重像をつくる(強い重力レンズ)
 - 天体の形状が変形を受ける(弱い重力レンズ)
 - 天体の見かけの明るさが増光する(マイクロレンズ)

100億光年先からの一般相対論的蟹気楼 (SDSS J1004+4112)



2003年に東京大学の稲田直久と大栗真宗がSDSSで発見、すばるで確認
Inada et al. Nature 426(2003)810

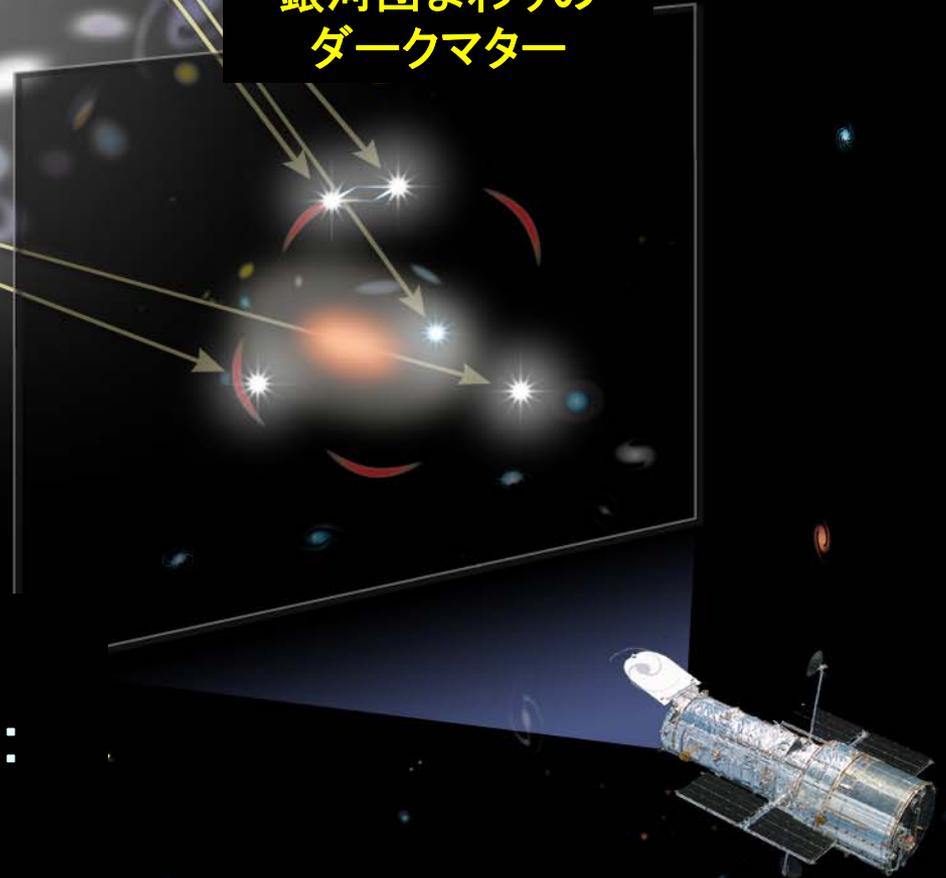
銀河団周辺の重力で光線が曲げられ、
みかけ上5つの異なる天体をつくる
(ダークマターの存在)

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



重カレンズ天体
SDSS J1004+4112 :
一般相対論的蜃気楼



宇宙のダークエネルギー

- 宇宙のあらゆる空間を一様に満たしているものは存在するか
 - 仮にあるとしてもそのようなものは観測可能か
 - 「真空」には本当に何も無いのか
 - 相対的でない測定はあり得るか
- 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
 - 宇宙膨張は宇宙の密度の絶対的な値（何かとの差ではなく）によって決まる
 - 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は可能

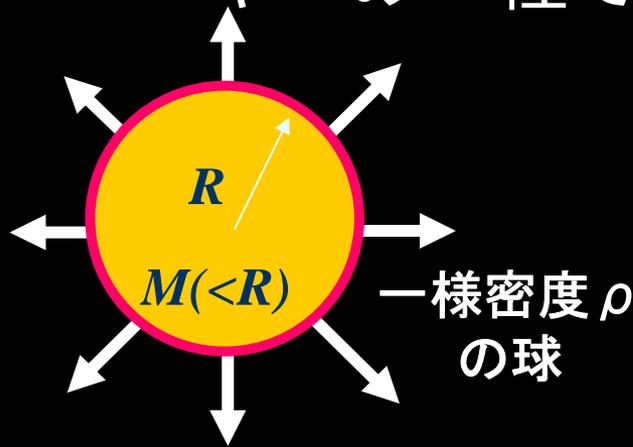
宇宙膨張の方程式

■ 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

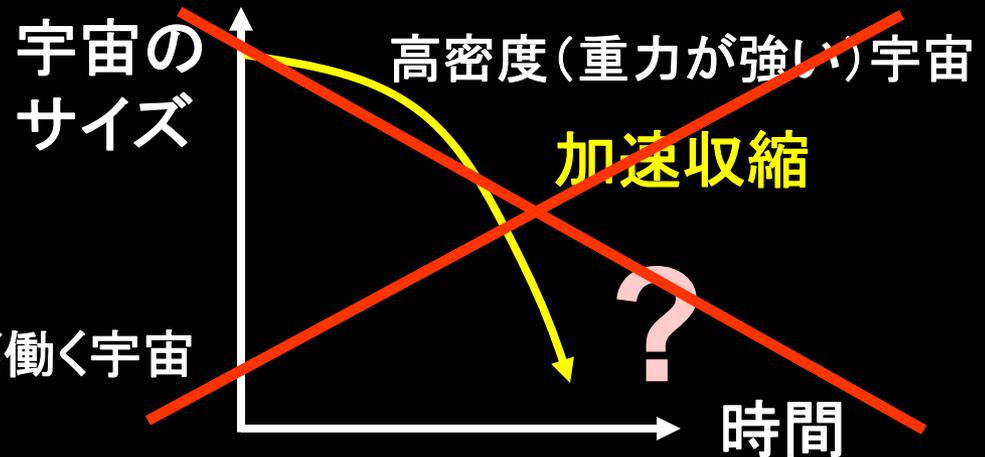
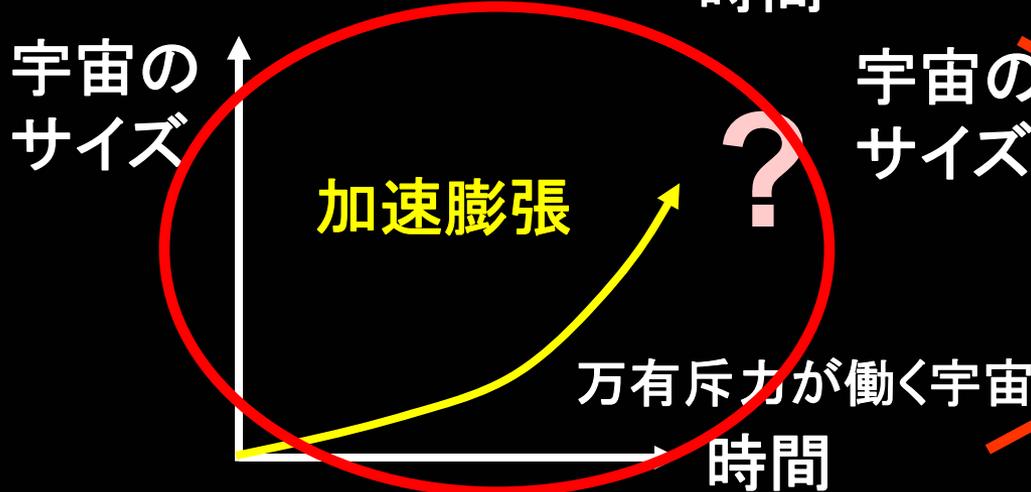
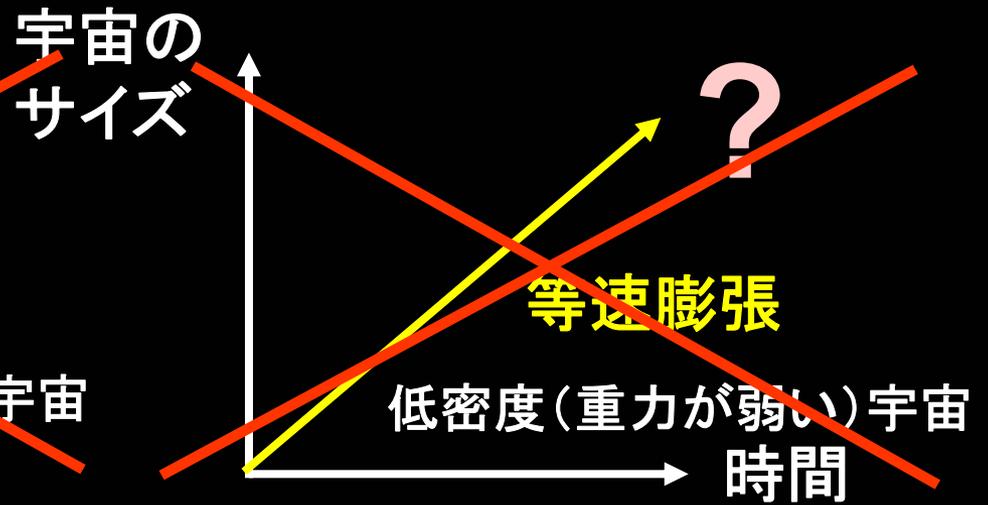
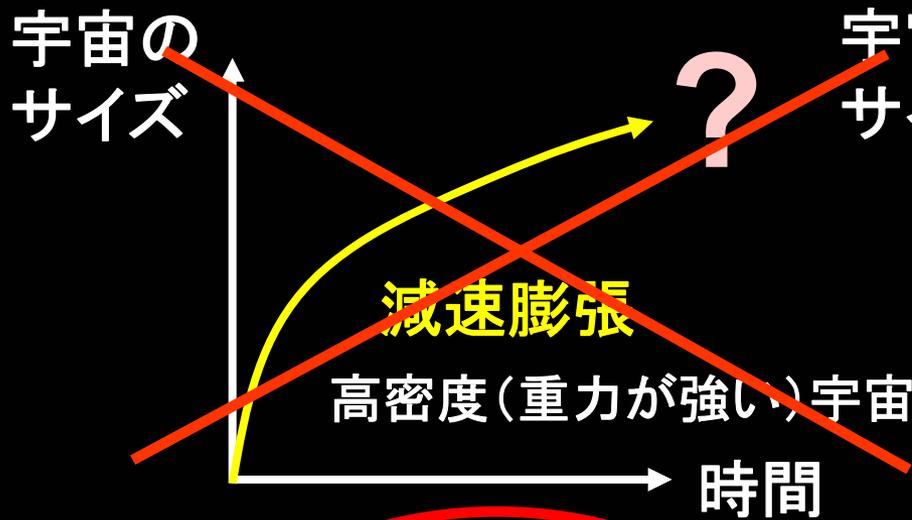


$$\frac{d^2 R}{dt^2} = -\frac{4\pi G}{3} \left(\rho + 3p - \frac{\Lambda}{4\pi G} \right) R$$

一般相対論的宇宙の運動方程式

宇宙の組成と宇宙膨張の未来

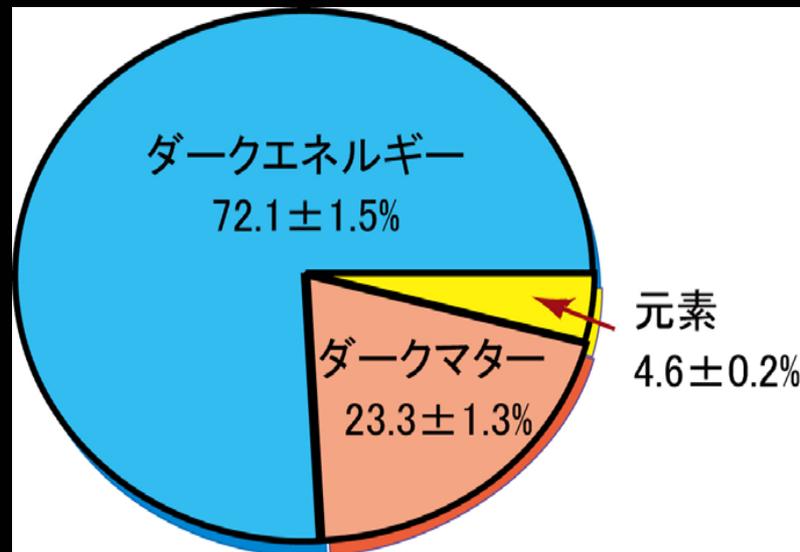
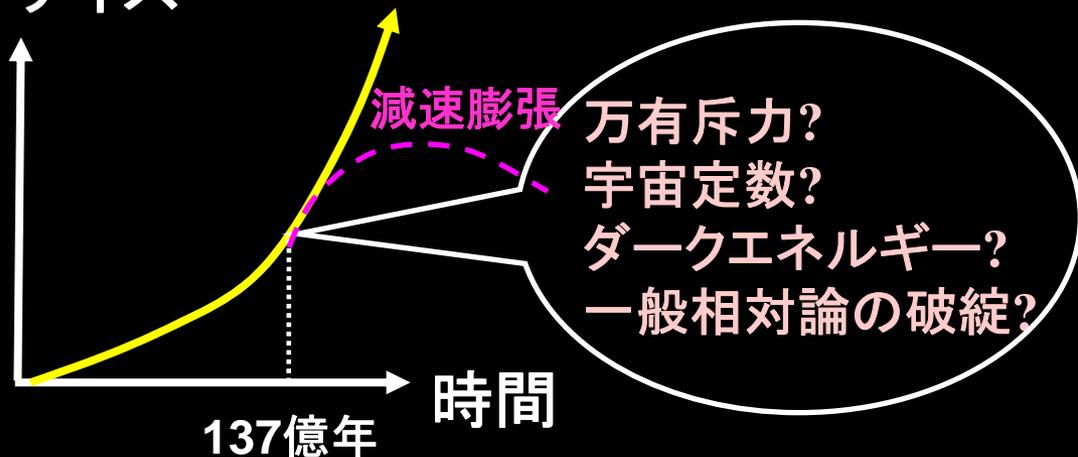
- 宇宙膨張の進化の観測を通じて、宇宙を一様に満たしている成分の存在が検出できる



宇宙の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

■ 我々は何も知らなかった

我々以外の世界はあるのか？ 太陽系外惑星



想像図

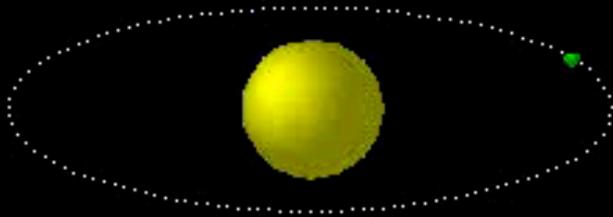
太陽系外惑星（候補）の発見年表

Number of planets by year of discovery



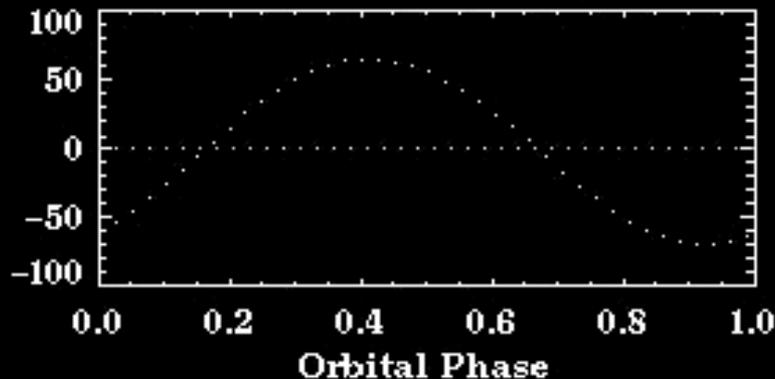
どうやって見つけたのか？

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

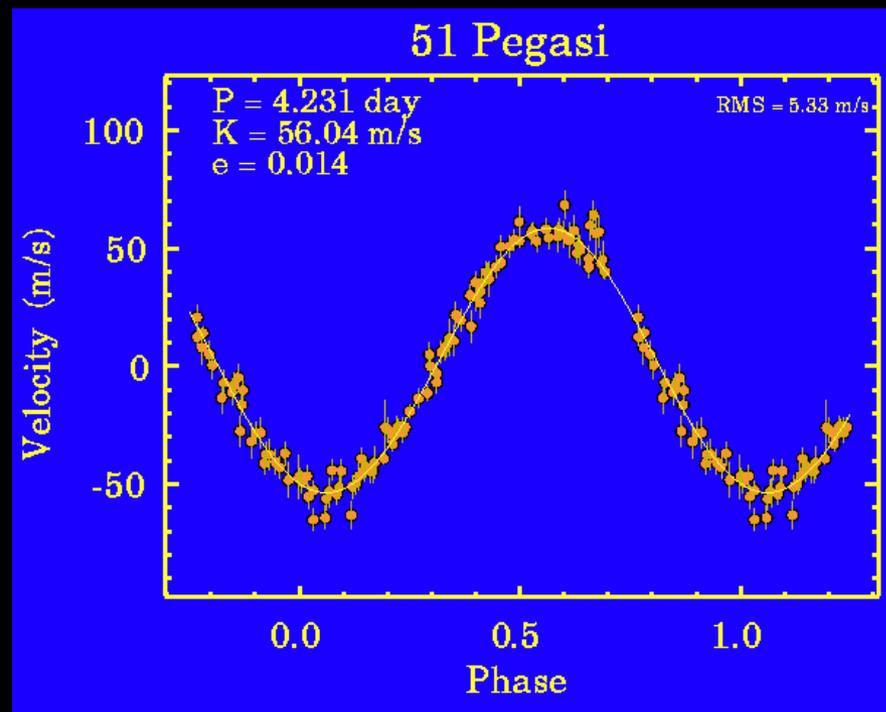
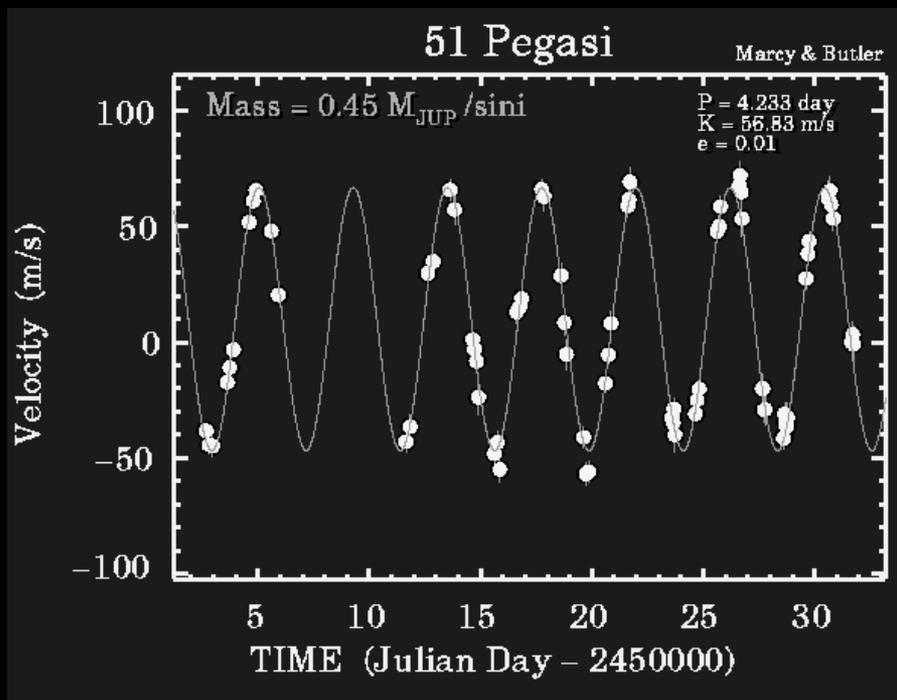
- 中心星の速度が毎秒数十メートル程度、周期的に変動

■ 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

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！



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

ではその次は?

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！

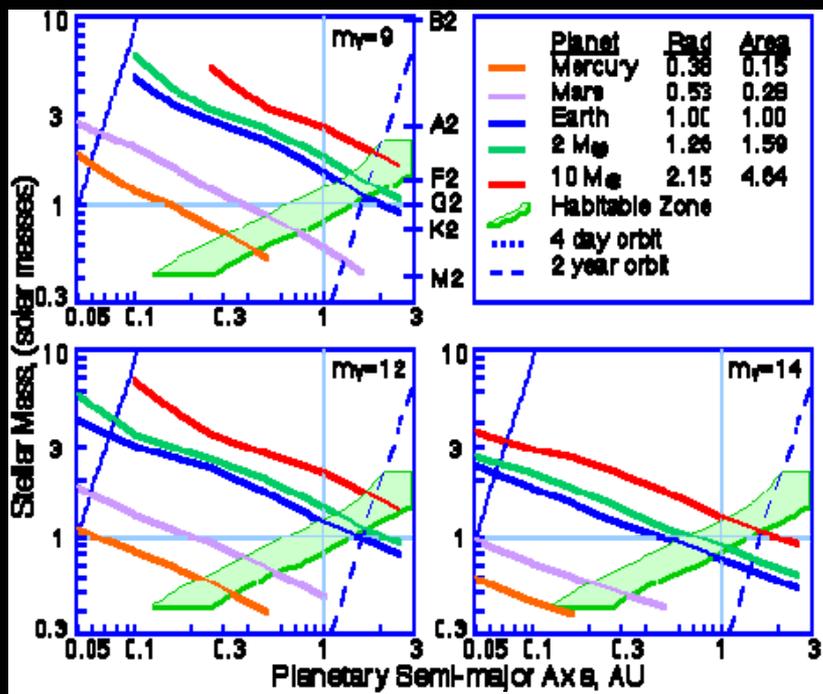
Terra衛星のMODIS検出器のデータ

<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



第一回公開データ
706個のトランジット惑星候補
(Borucki et al. arXiv:1006.2799)



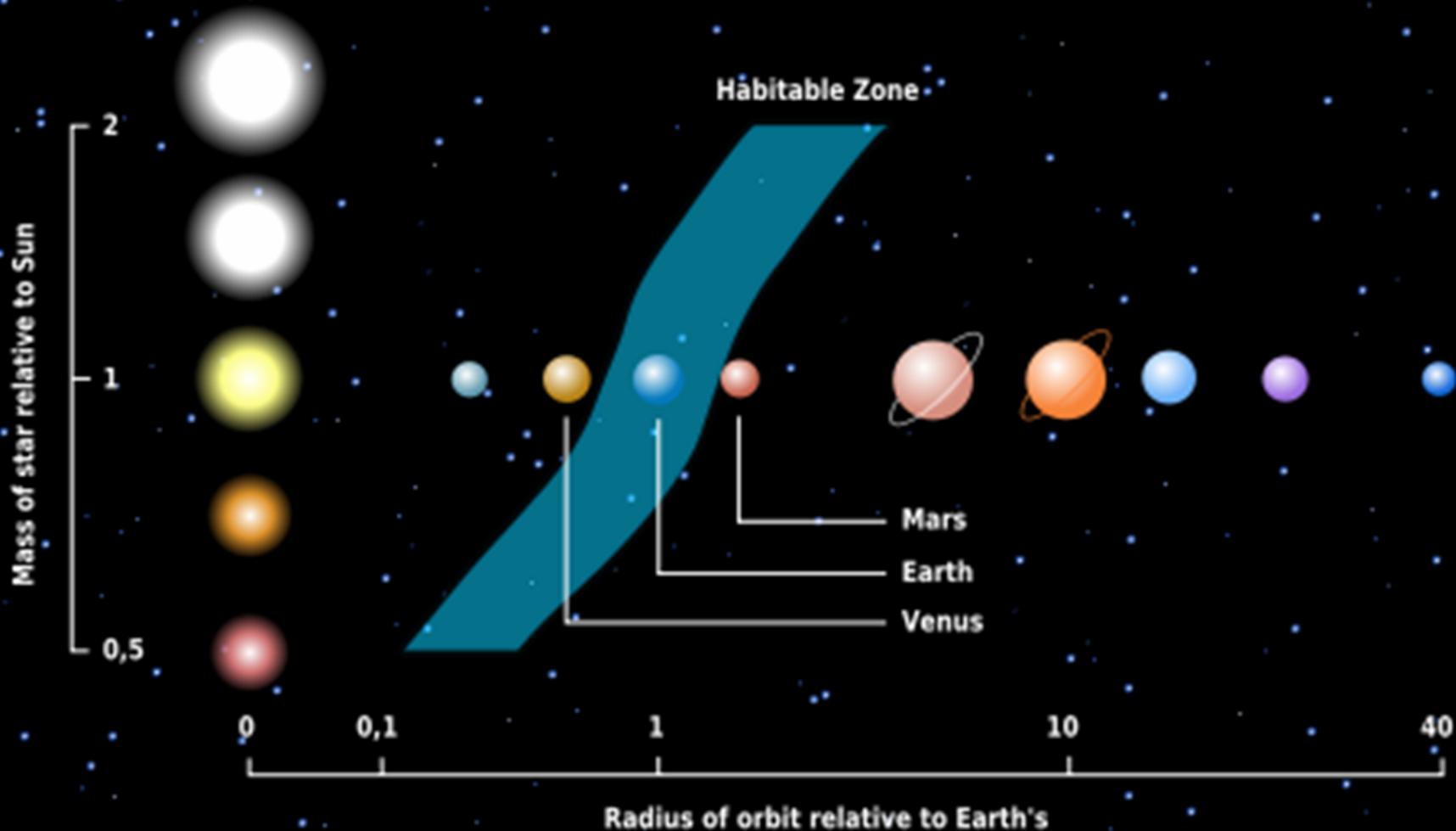
<http://kepler.nasa.gov/>

Gliese 581

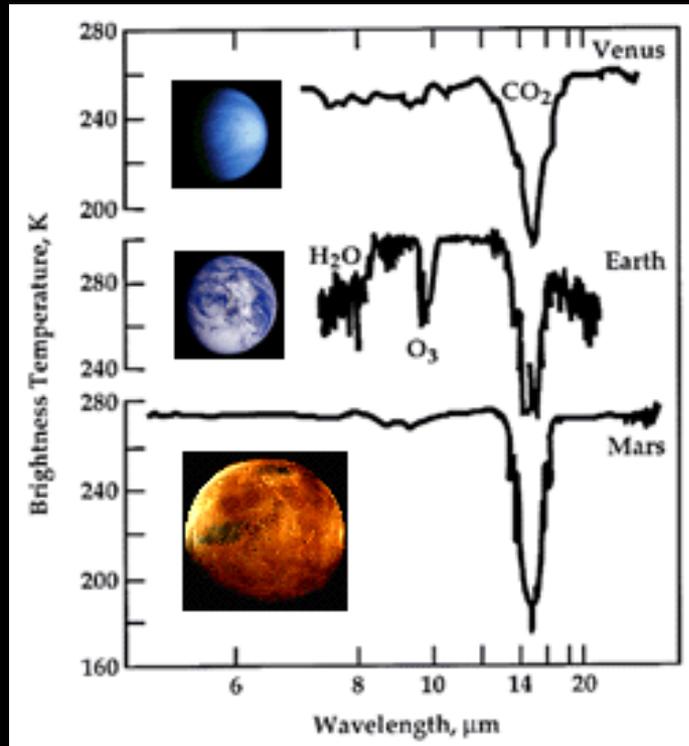
- 地球から約20光年離れたM型星
 - 0.31x太陽質量、0.29x太陽半径、表面温度3500K
- 現時点で6つの惑星の存在が知られている
 - 581e : 1.9x地球質量、公転周期 3.1日
 - 581b : 15.7x地球質量、公転周期 5.4日
 - 581c : 5.4x地球質量、公転周期 12.9日
 - 581g : 3.1x地球質量、公転周期 36.6日
 - 581d : 7.1x地球質量、公転周期 66.8日
 - 581f : 7.0x地球質量、公転周期 433日
- 2010年9月29日 Gliese 581gがハビタブル惑星(水が液体として存在できる温度の領域)ではないかという報告がなされた

ハビタブル惑星(居住可能惑星)?

- Gliese581g: 3.1x地球質量、公転周期 36.6日



太陽系外惑星から宇宙生物学へ



- 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、植物、、
- 超精密測光・分光観測が鍵！
 - 惑星の放射・反射・吸収スペクトルを
中心星から分離する
- もはや哲学など不要!

今まで知らなかった世界をやがて発見してしまうのか？

「やはり我々は何も知らなかった」とつぶやくことになるか？

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、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に等しい

まとめ： 向陽の空ノムコウ

自然の啓示かしこしや

■ 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

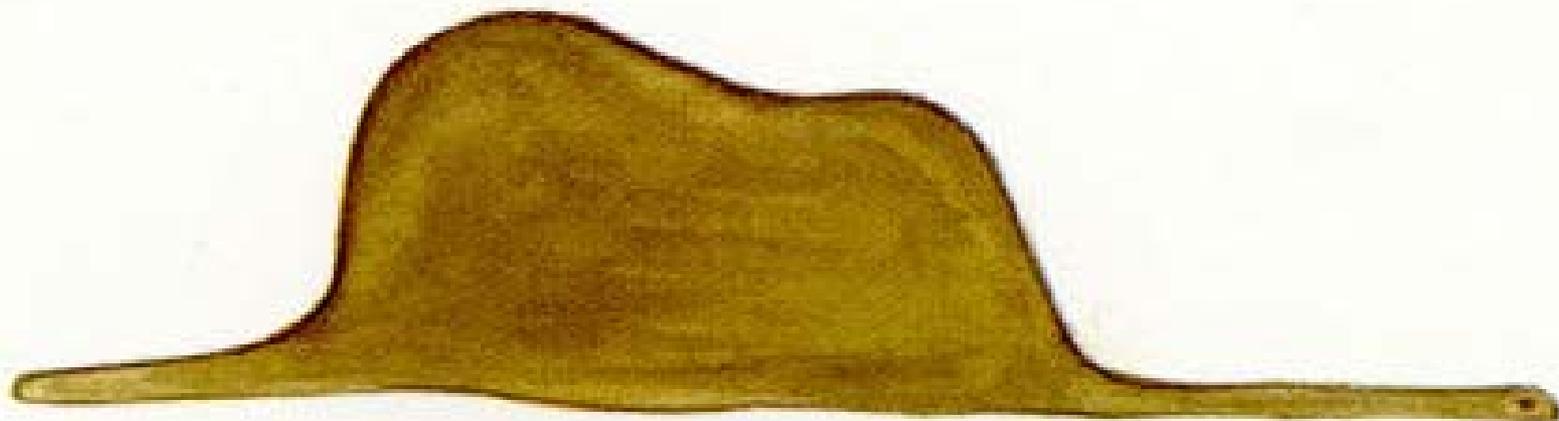
■ 第二の地球を探す

■ 惑星形成論、宇宙生物学

■ 地球外文明はあるか

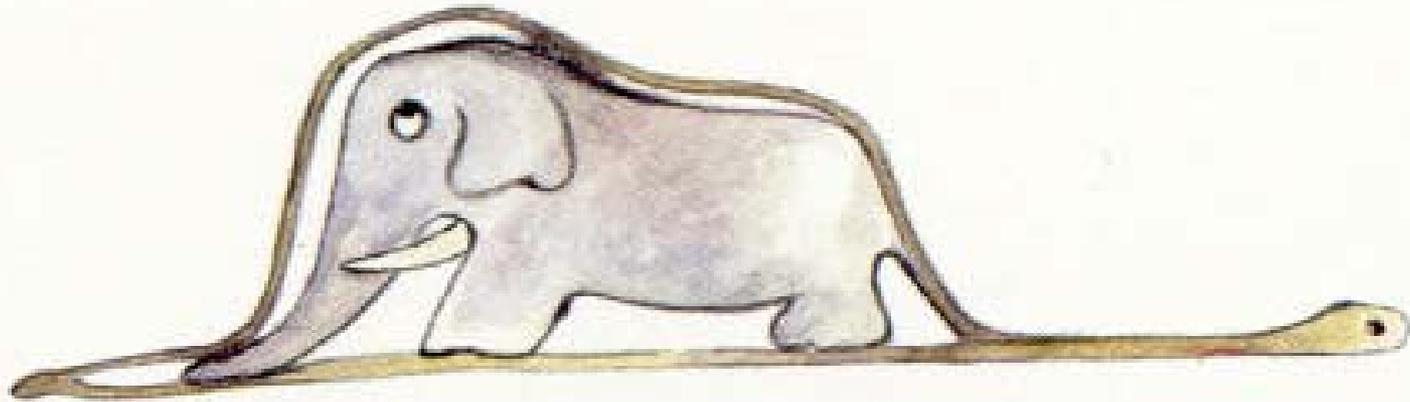
■ 人間原理、宇宙社会学、宇宙比較文化論

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*



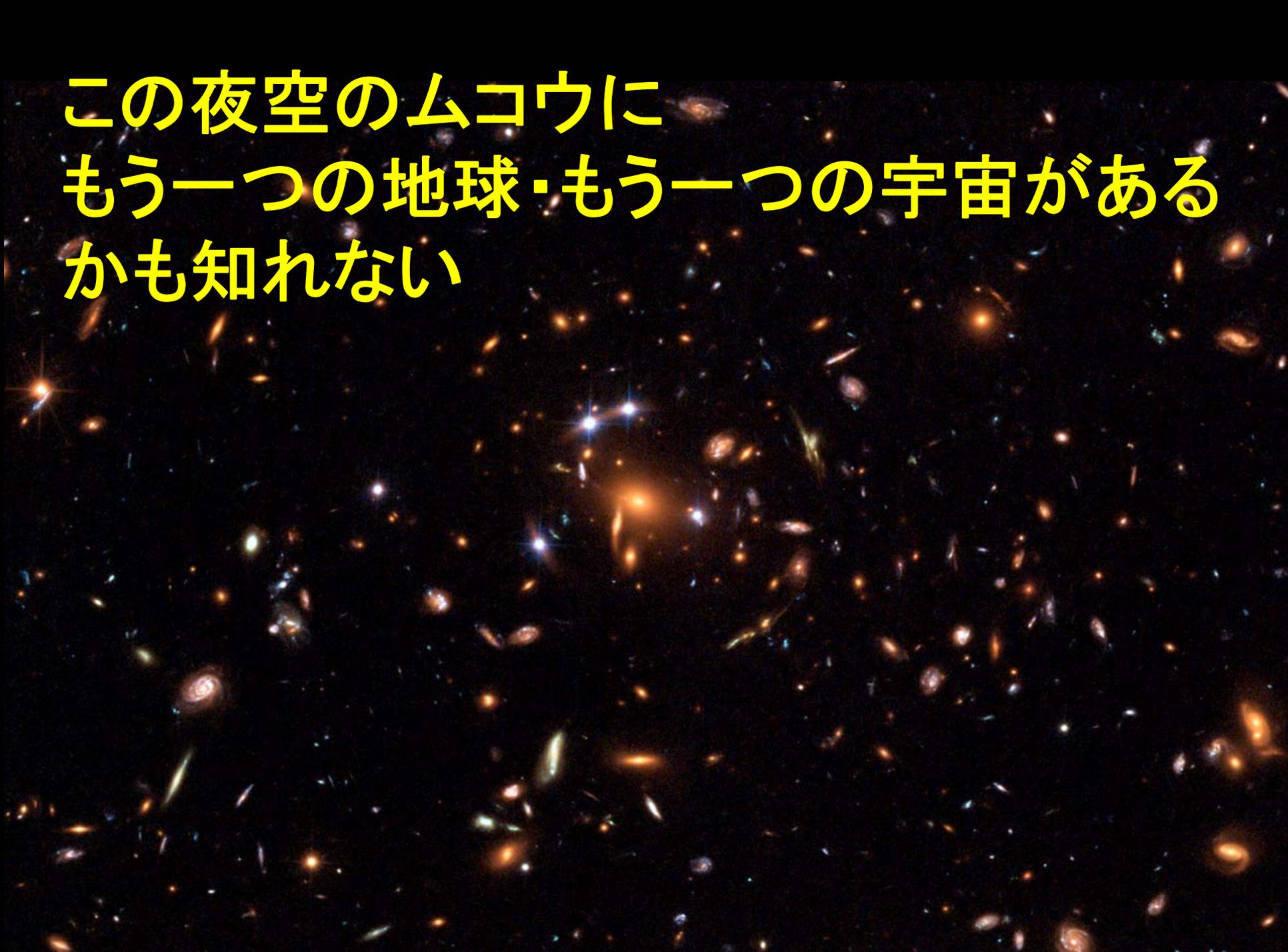
この青空の向こうに何かがあるはず



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



冠する土佐の名に叶え

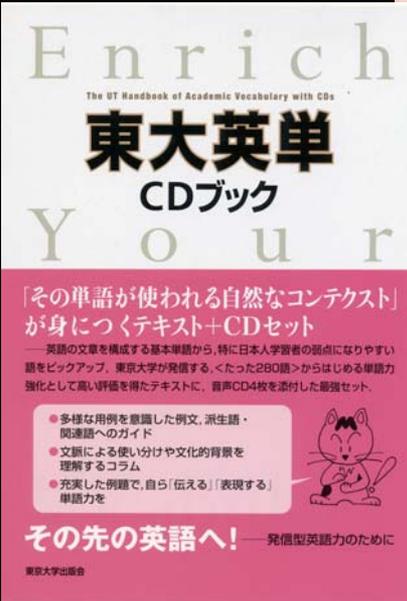


「我々は何も知らなかった」と痛感したい

Seldner, Siebers,
Groth, and Peebles,
1977, AJ, 82, 249.

警告【広告】東大出版会からのお知らせ

- 配布した申し込み用紙を使えば東大出版会の書籍を2割引で購入できます。送料は冊数によらず合わせて200円。自分の進路を決定する際の参考になる本がきっとあると思います。



Enrich
The UT Handbook of Academic Vocabulary with CDs
東大英単
CDブック
Your

「その単語が使われる自然なコンテキスト」
が身につくテキスト+CDセット

—英語の文章を構成する基本単語から、特に日本人学習者の弱点になりやすい語をピックアップ、東京大学が発信する、くたった280語>からはじめる単語力強化として高い評価を得たテキストに、音声CD4枚を添付した最強セット。

- 多様な用例を意図した例文、派生語・関連語へのガイド
- 文脈による使い分けや文化的背景を理解するコラム
- 充実した例題で、自ら「伝える」「表現する」単語力を

その先の英語へ! —発信型英語力のために

東京大学出版会



J-Lit: A Bi-Culture Guide to Fifty Major Works
Jブングク
英語で出会い、日本語を味わう名作50
Robert Campbell
ロバート キャンベル [編]

「日本語と英語、ふたつの言葉で解体される日本文学。小説というのは、その文化その言葉の時代をまるごとのみこんでしまうのだと、ユニークな本に教えられました。」

東京大学出版会 角田光代

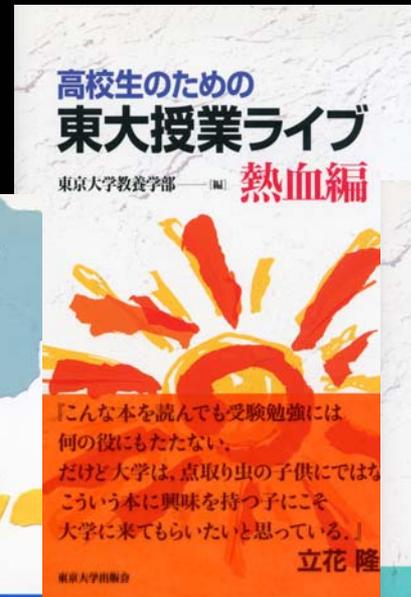


高校生のための
東大授業ライブ
東京大学教養学部 編

「推薦のことば」
この本を読んで、
世界と未来に目を向けましょう!
緒方貞子さん (元国連難民高等弁務官・国際協力機構理事)

大学にはどんな学問があるだろうか。
この本は進路選択にきっと役立つでしょう。
毛利 衛さん (宇都宮大学・日本科学未来館館長)

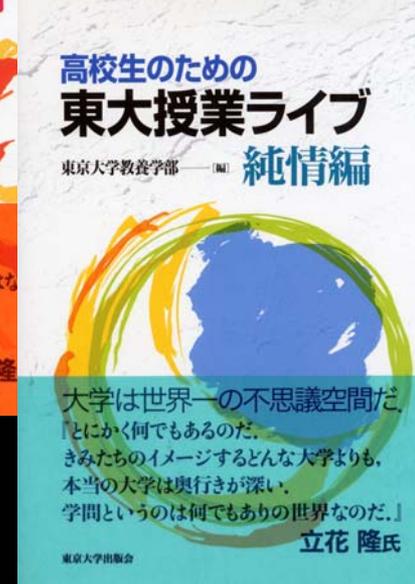
東京大学出版会



高校生のための
東大授業ライブ
東京大学教養学部 編 **熱血編**

「こんな本を読んでも受験勉強には何の役にもたない、
けど大学は、点取り虫の子供にはこんな
こういう本に興味を持つ子にこそ
大学に来てもらいたいと思っている。」
立花 隆

東京大学出版会



高校生のための
東大授業ライブ
東京大学教養学部 編 **純情編**

大学は世界一の不思議空間だ。
「とにかく何でもあるのだ。
きみたちのイメージするどんな大学よりも、
本当の大学は奥行きが深い。
学問というのは何でもありの世界なのだ。」
立花 隆氏

東京大学出版会