宇宙を観て世界を知る



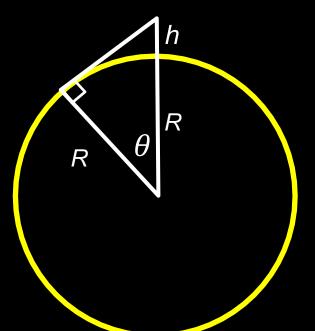
理学部物理学教室 須藤 靖

2020年5月8日18:50-19:05

物理学科進学ガイダンス「物理学は何を目指すのか」

世界を知る=より遠くを見る

■ 地平線(ホライズン)のサイズ



$$\cos heta = rac{R}{R+h}$$
 $1-rac{ heta^2}{2}pprox 1-rac{h}{R}$

$$\ell = R heta pprox \sqrt{2hR} pprox 4\sqrt{rac{h}{1 ext{m}}rac{R}{R_{\oplus}}}\, ext{km}$$

- 自分のホライズンを広げるには、、、
 - ■より高い場所に登り、世界を俯瞰する=天文学
 - スカイツリー、マウナケア、アタカマ、大気圏外

50年前の私にとっての「世界」 @高知県安芸市

「子供の頃、海を見て育っちょらん人間は 信用できん」(西原理恵子)

- ■この水平線は世界の果てなのか?
- その先に別の世界があるのか?
- もしあるならばそこに広がる風景は?

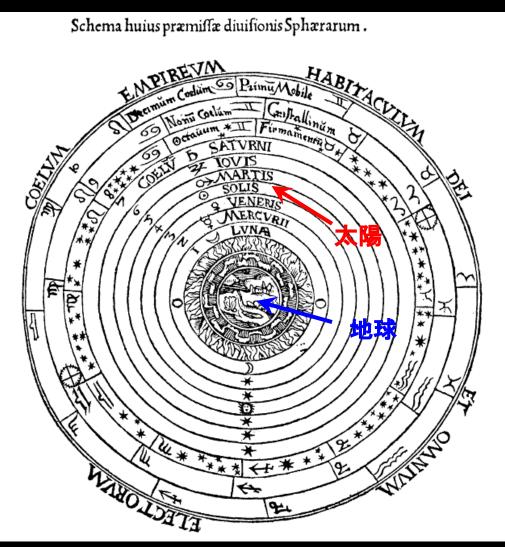


https://www.flickr.com/people/nasa2explore/

スペースステーションから見る天の川



古代ギリシャの世界観

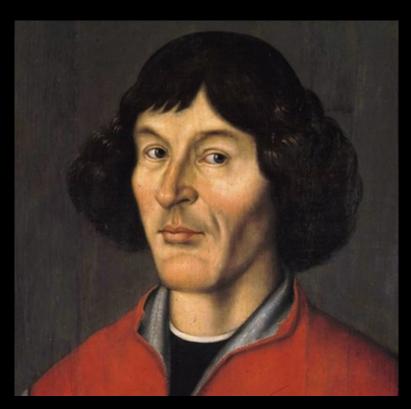


ペトルス・アピアヌス Cosmographia (1539年) Wikipediaより

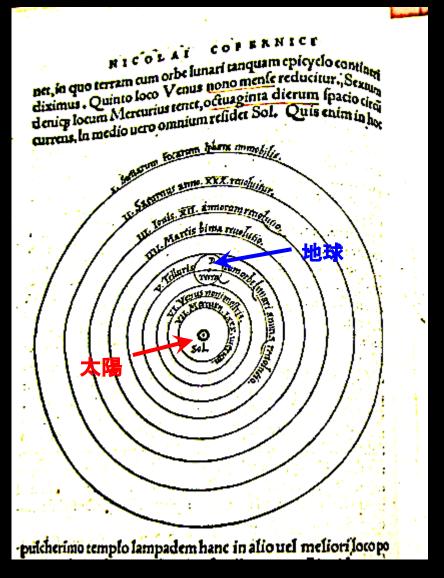
プトレマイオス 「アルマゲスト」 (紀元150年頃)

- ■古代ギリシャ天文 学の集大成
- アリストテレス的 宇宙観
- その後10世紀以上 にわたって大きな 影響を与え続けた

ニコラウス・コペルニクス 「天球の回転について」(1543)



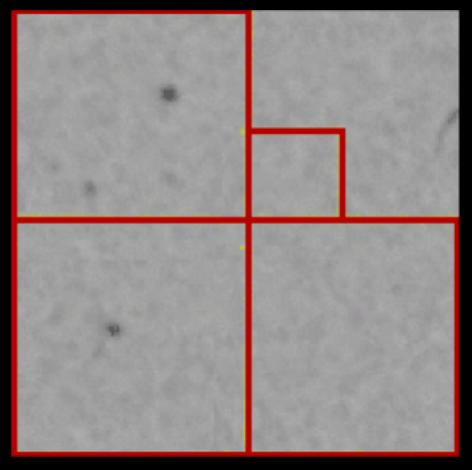
2007年10月24日 日本学術振興会先端拠点形成プログラム 「ダークエネルギーネットワーク」 国際会議@エジンバラ王立天文台 の際に特別公開中の図書館で撮影



この星空の先にもさらに 別の世界が広がっているのか?

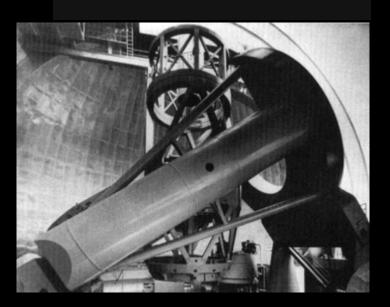


宇宙を見る目の進歩 (1)

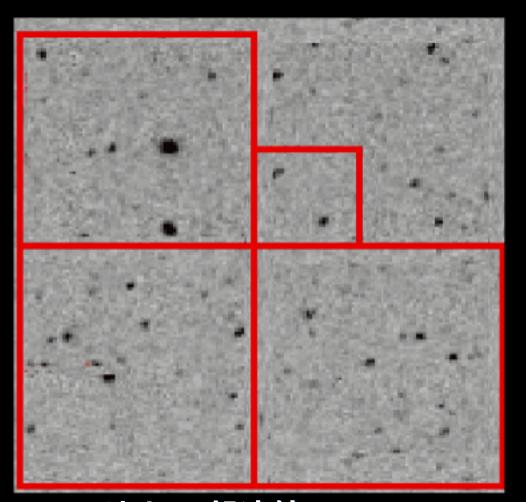


地上5m望遠鏡+写真乾板 100万×人間の眼





宇宙を見る目の進歩 (2)





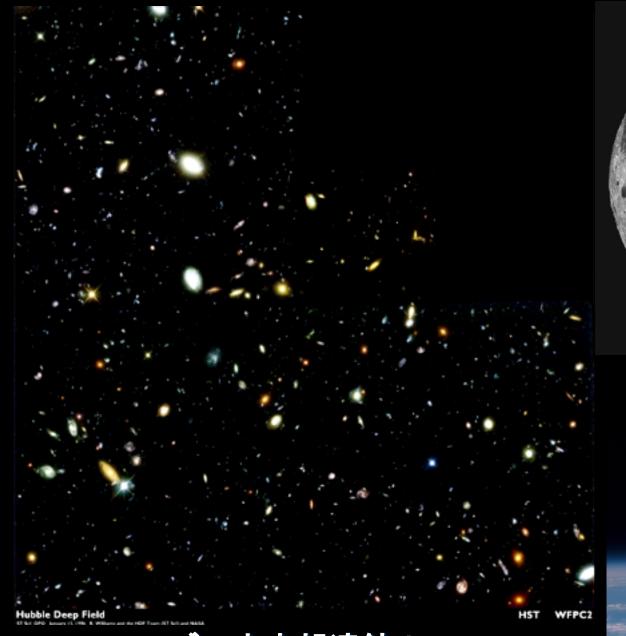


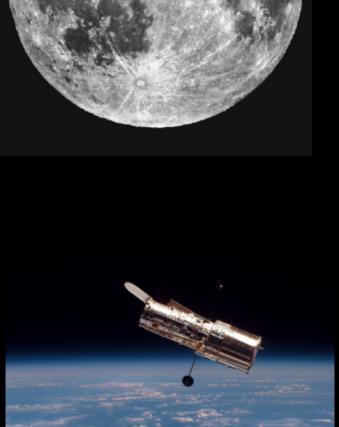
地上4m望遠鏡+CCD: 100×写真乾板

宇宙を見る目の進歩 (3)



http://www.spacetelescope.org/images /archive/category/spacecraft/





ハッブル宇宙望遠鏡+CCD: 1000×地上望遠鏡

2011年 ノーベル物理学賞

■ 宇宙が、互いに反発し膨張を加速させる未知のエネルギー(ダークエネルギー、あるいは宇宙定数)で満たされていることを発見



ソール・パールムター



ブライアン・シュミット

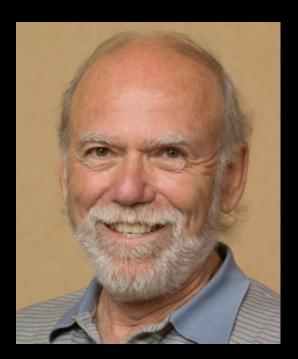


アダム・リース

2017年ノーベル物理学賞

ライナー・ワイス バリー・バリッシュ キップ・ソーン







■ 一般相対論の予言する時空を伝わる波(重力 波)を直接検出するとともに、大質量ブラッ クホール連星を発見

た。このLIGO実験には、現在私が 直接検出されたことが発表されまし が予言する時空のさざ波(重力波) 〇 (ライゴ) 実験施設で、

2016年2月12日、米国のLIG

一般相対論

見を紹介してみたいと思います センター長をしている東京大学ピッグ ます。そこで今回は、この歴史的大発 ハン宇宙国際研究センターのキップ・ アインシュタインの一般相対論によ ノン准教授も大きな貢献をしてい

なっていただければ十分です りあえず次の例えで分かったつもりに り前ですが、その説明は難しいのでと 言われても意味がわからないのは当た 歪んでいます。いきなり空間が歪むと は、質量をもつ物体の周りの空間は 何もない池の表面はほとんど平らで

重力波の存在を疑った時期があったほ

重力波が本当にあるかどうかは

実はアインシュタイン自身ですら、

波、すなわち重力波です。 間の歪みは時々刻々変化し、

へと伝わります。これが重力を伝える

やがて外

いる物体もそのボートの近くに吸い寄 べれば、そのまわりの水面は沈んで下 でも そこにボートをそっと浮か その結果、周囲に浮かんで

> と水面が変化し、それはやがて波とな 高さの変化が「空間の歪み」で、それ かを一般相対論の立場で説明したこと 物体同士になぜ引力(重力)が働くの せられるでしょう。実はこれは二つの 体が激しい運動を行えばその周りの空 って外へ伝わります。同じように、 によって周囲の物体が受ける効果が になります。この例で言う池の水面の トが急に動き出す とびったり一致していることから、 が発見され、その運動が重力波によっ 4年に二つの中性子星からなる連星系 賞を受賞しています。 セル・ハルスが93年のノーベル物理学 トン大学のジョゼフ・テイラー 力波の存在は「間接的」 大論争となりました。しかし、 た。この業績により、米国プリンス

「重力」というわけです。 さらに、このボー

わずかな変化しか及ぼさないからで 出することは物理学者の長年の夢とな といえば、この重力波は想像を絶する っていました。なぜ「夢」だったのか しかなく、地上実験で重力波を直接検 といってもそれはあくまで間接的で

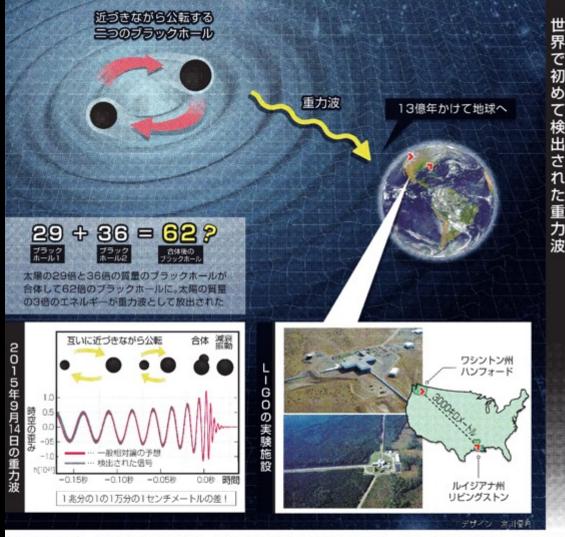
を失っている場合の予想 に証明されま とラッ 197 10億分の1

す。重力波の強さは、互いに離れた2

ることが分かってもらえれば十 変化することに対応します。どう表現 成させる必要があります。これは、 期待できないので、もとの長さより21型的には、h=10-21程度の信号しか 合(あるいは空間の歪み)に対応する距離に対して伸び縮みする変化分の割 点間を重力波が通過する際に、もとの が、とにかく想像を絶する小ささであ 球と太陽間の距離がわずか原子的個分 桁小さい変化分(1兆分の1のさらに hというパラメータで表されます。 してもピンと来ないかもしれません を検出できる装置を完

は、60年代から世界中で試みられておこの重力波直接検出を目指した研究

-62を発見/



たのです。 力と情熱を傾けて検出器の感度を向上 以上にもわたり、 者です。 困難さと自分の才能の限界を思! ながら、重力波検出実験の途方もな 2年間を平川先生に指導していただき ていました。実は私は大学院の最初の 器を開発し、先駆的な基礎実験を行 おいて故平川浩正教授が独創的な検出 り、日本でも、東京大学物理学教室に し続けた結果、ついに夢が現実となっ 研究分野を転向してしまった しかしながら、それ以来30年しかしながら、それ以来30年 世界中の研究者が知

ことが大切なのです。 るため、遠く離れた2点で、同じ時刻 や地震によっても頻繁に長さが変化す 施設です。それぞれの腕の長さは4キ ナ州リビングストンの二つの地点にお ワシントン州ハンフォードとルイジア 測定します。 重力波以外の装置の雑音 かれたL字型の二つの腕からなる実験 に同じ時間変化を示す信号を検出する 一つの腕の長さの微妙な変化分をレ この大発見を成し遂げたLIGO 光を用いてそれぞれ独立に精密に 互いに約3千キロメートル離れた トルで、重力波が到来した際の

その重力波を発生させた天体です。 変化の様子です。わずか〇・2秒間 の二つの腕の長さの微小なずれの時間 は、日本時間の15年9月 見になりました。さらに驚くべきは この2カ所で同時に観測された検出器 9秒にやってきました。 左下の図は、 Pに得られたこの信号が、 歴史的大発 人類史上初めて検出された重力波

子星の連星は今から数億年先には合体 の瞬間にだけかろうじて観測可能な大 するはずですが、 重力波を発生できる天体の候補は極め 限られています。 そもそも地上で検出可能な大きさの その合体直前の最後 すでに述べた中性

2019年ノーベル物理学賞

■ 宇宙の進化と宇宙におけるこの地球の立ち位 置に関する人類の理解への貢献

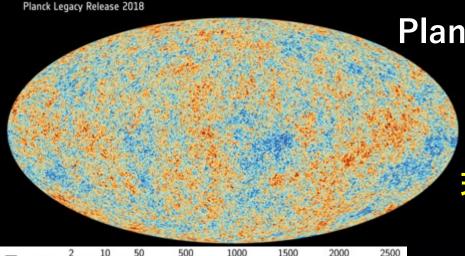
(Contributions to our understanding of the evolution of the universe and Earth's place in the cosmos)

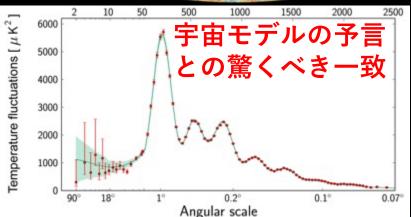


ジェームズ・ピーブルズ ミシェル・マイヨール ディディエ・ケロー

ダークマター、ダークエネルギー以上に重要な発見 宇宙はその果てまで物理法則に従っている

→ THE COSMIC MICROWAVE BACKGROUND





http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2 018/07/Planck s view of the cosmic micro wave background2





1995年 宇宙は惑星で満ちていた

A Jupiter-mass companion to a solar-type star

Michel Mayor & Didier Queloz

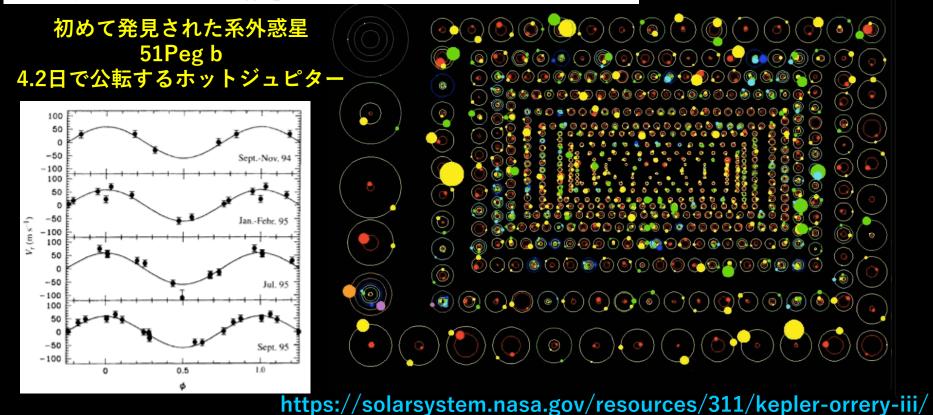
Nature 378(1995)355

Geneva Observatory, 51 Chemin des Maillettes, CH-1290 Sauverny, Switzerland

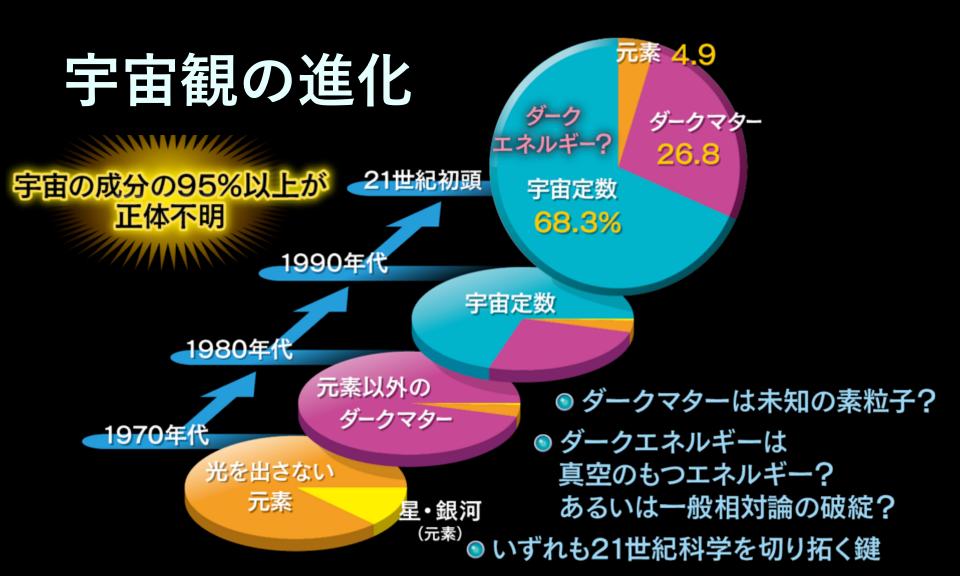
The presence of a Jupiter-mass companion to the star 51 Pegasi is inferred from observations of periodic variations in the star's radial velocity. The companion lies only about eight million kilometres from the star, which would be well inside the orbit of Mercury in our Solar System. This object might be a gas-giant planet that has migrated to this location through orbital evolution, or from the radiative stripping of a brown dwarf.

Kepler planets August 3, 2015 NASA/Daniel Fabrycky

t[BJD] = 2455215

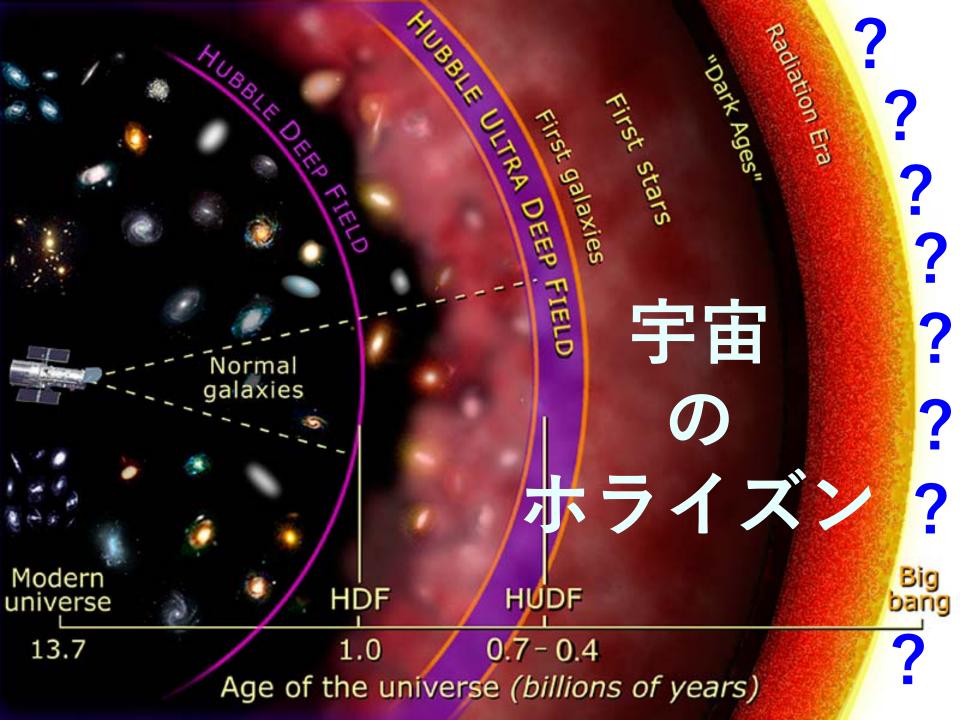


宇宙は何からできている?

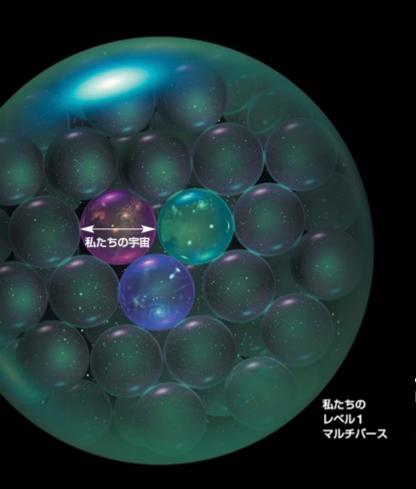


宇宙は「地球」で満ちている?

- 天の川銀河系内の恒星の数=1011個
 - その10%の10¹⁰個が太陽と似た恒星(G型星)
 - さらにG型星の10%がハビタブル惑星を持つと仮定
- 天の川銀河系内のハビタブル惑星の数=109個
 - 観測できる範囲の宇宙内の銀河の数=1011個
- 宇宙内のハビタブル惑星の数=10²⁰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 い(適度な割合の海と陸+偶然?)
 - しかしこのなかで「この地球」だけが生命をもつ と考える方がはるかに不自然では?



本当にこれですべて? 我々のホライズンの先の「宇宙」





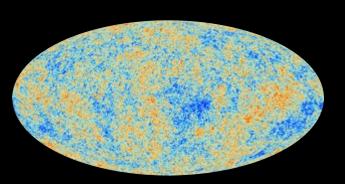
並行して存在する レベル1 マルチパース

『不自然な宇宙』 講談社ブルーバックス 2019年 何もない空間 (膨張している)



宇宙を学び世界を問う

- 果てのないホライズンの拡大
 - 高いところに登る=「学」
 - 遠くを眺めてその先を考える=「問」
- 天文学・宇宙物理学の進歩 ⇔ 新たな世界観
 - 宇宙と生命の誕生・進化



プランク探査機による 宇宙マイクロ波背景輻射全天温度地図

ESA and the Planck Collaboration - D. Ducros

ボイジャー1号が撮影した地球 (ペイル・ブルー・ドット)

NASA/JPL

