

クレジット:

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017 須藤靖

ライセンス:

利用者は、本講義資料を、教育的な目的に限ってページ単位で利用することができます。特に記載のない限り、本講義資料はページ単位でクリエイティブ・コモンズ 表示-非営利-改変禁止 ライセンスの下に提供されています。

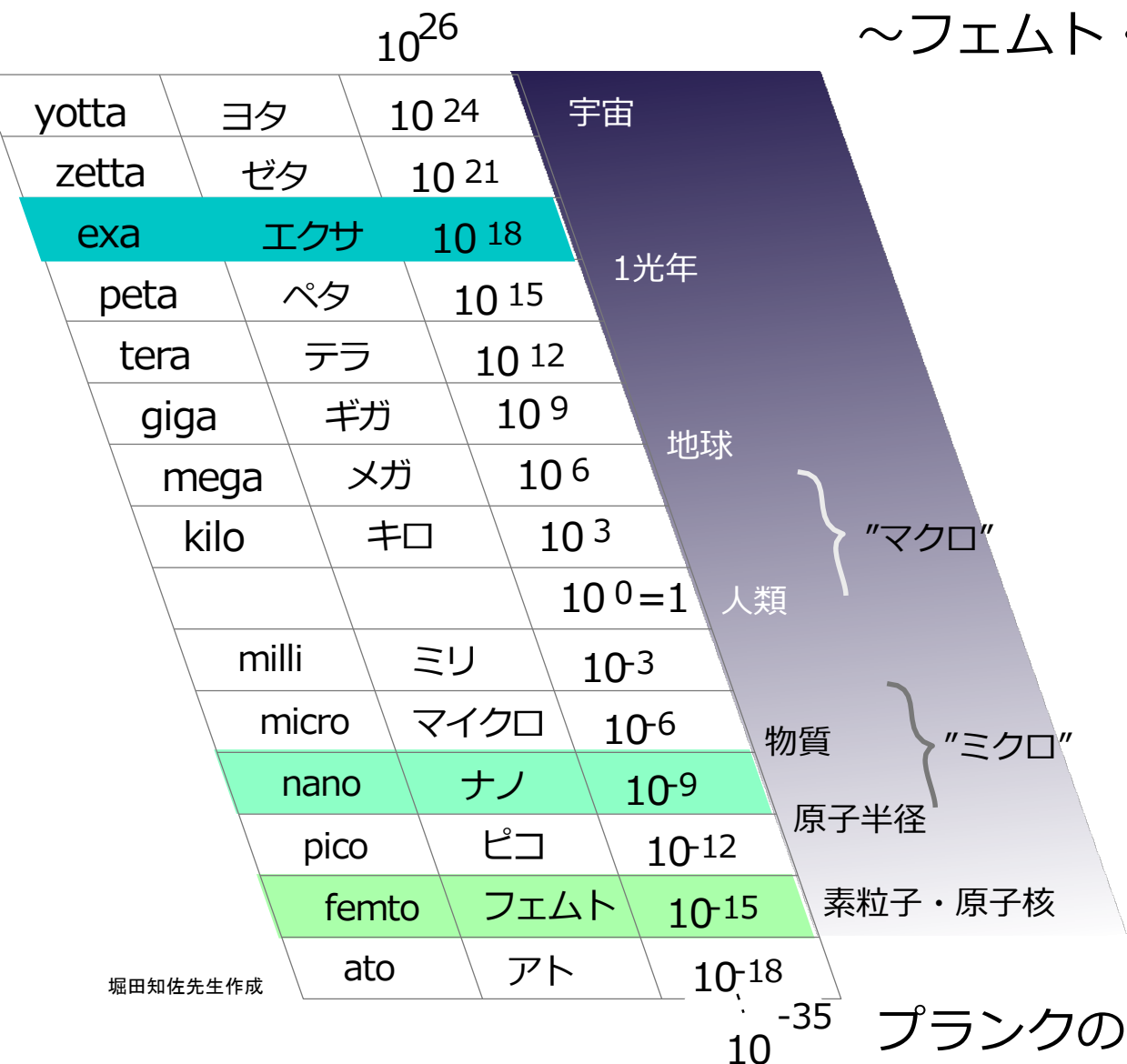
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

本講義資料内には、東京大学が第三者より許諾を得て利用している画像等や、各種ライセンスによって提供されている画像等が含まれています。個々の画像等を本講義資料から切り離して利用することはできません。個々の画像等の利用については、それぞれの権利者の定めるところに従ってください。



物質のはじまりとはたらき

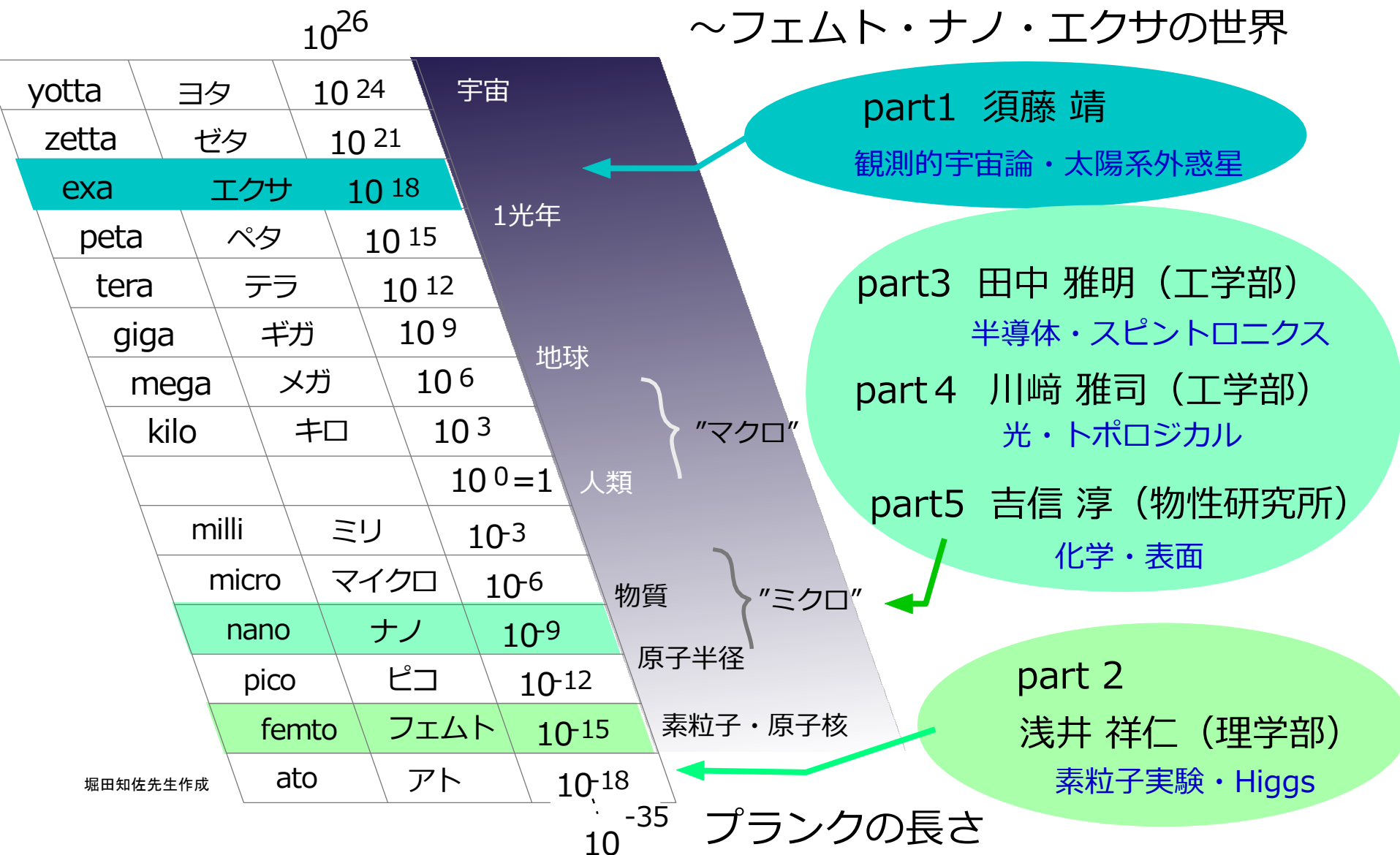
～フェムト・ナノ・エクサの世界



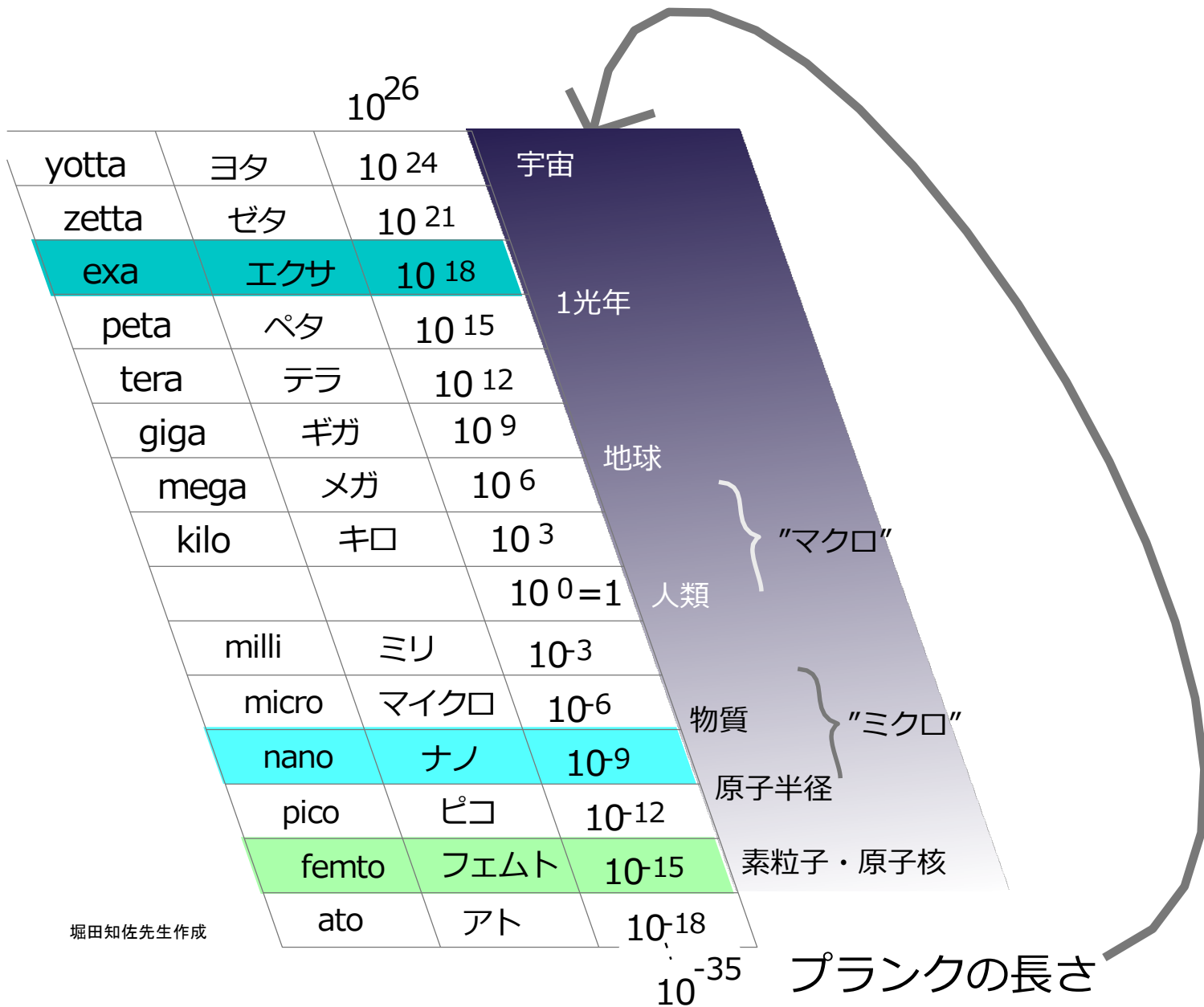
堀田知佐先生作成

物質のはじまりとはたらき

～フェムト・ナノ・エクサの世界



堀田知佐先生作成



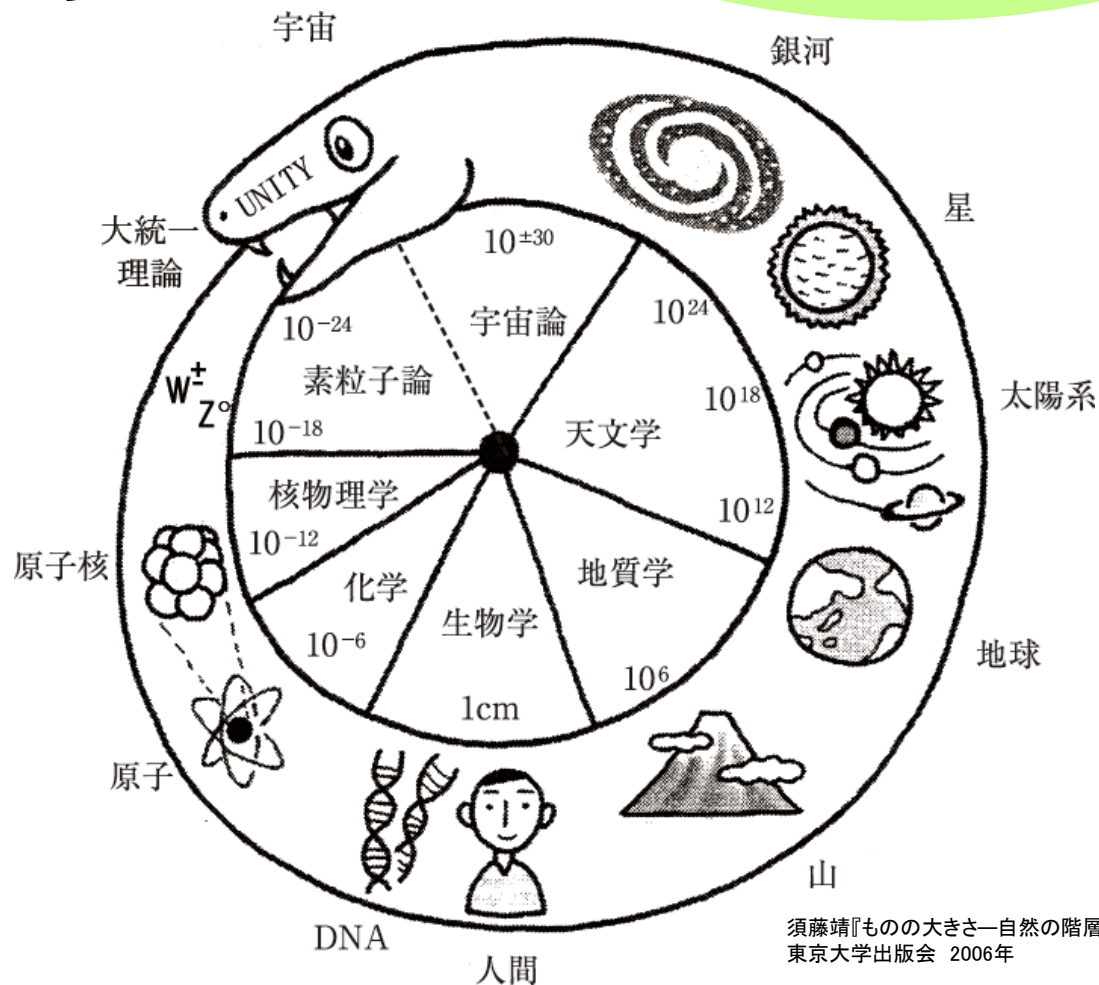
堀田知佐先生作成

Material science 物質科学

物質のはじまり

と

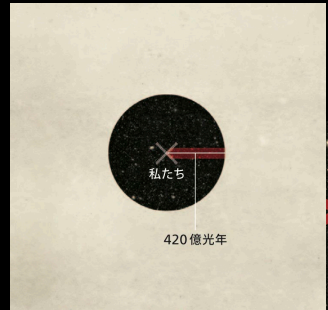
はたらき



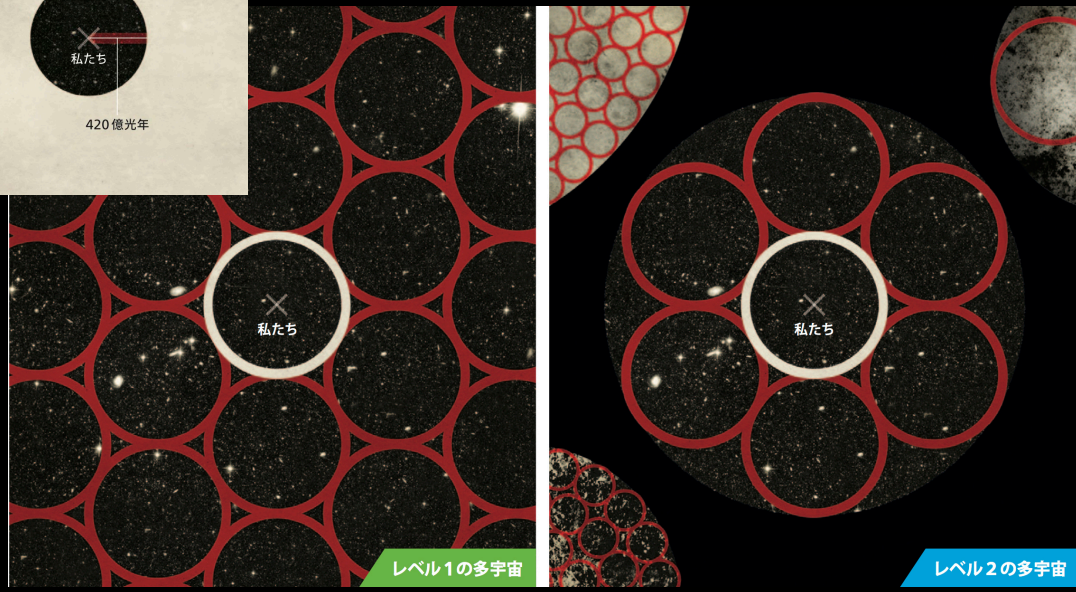
我々の宇宙から マルチバースへ



『日経サイエンス』2011年12月号p. 36



『日経サイエンス』2011年12月号p. 37



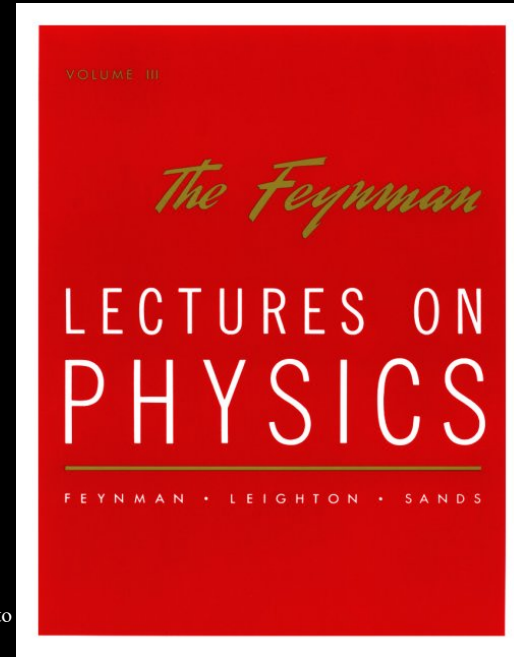
理学系研究科物理学専攻 須藤 靖
 学術俯瞰講義 物質のはじまりとはたらき フェムトナノエクサの世界

2017年9月28日、10月5日、10月12日 16:50-18:35

http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation_2017j



決して達成できるとは
思えないが、私が今回
の講義で皆さんに伝え
たいと思っている目標



The Feynman Lectures on Physics, The
Definitive and Extended Edition, 2/E
<http://catalogue.pearsoned.co.uk/educator/product/The-Feynman-Lectures-on-Physics-The-Definitive-and-Extended-Edition/0805390456.page>

Photo by Los Alamos National Laboratory

From Wikimedia Commons

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Richard_Feynman.png

- Finally, may I add that the main purpose of my teaching has not been to prepare you for some examination -- it was not even to prepare you to serve industry or the military.
 - Richard Feynman in *The Feynman lectures on physics, volume III, Feynman's Epilogue*

Richard Feynman

(The Feynman lectures on physics, volume III, Feynman's Epilogue: "purpose of my teaching")

- I wanted most to give you some appreciation of the wonderful world and the physicist's way of looking at it, which, I believe, is a major part of the true culture of modern times. *(There are probably professors of other subjects who would object, but I believe that they are completely wrong.)*
- Perhaps you will not only have some appreciation of this culture; it is even possible that you may want to join in the greatest adventure that the human mind has ever begun.

講義予定

第1回 9月28日(木)

科学の役割と物理学的世界観

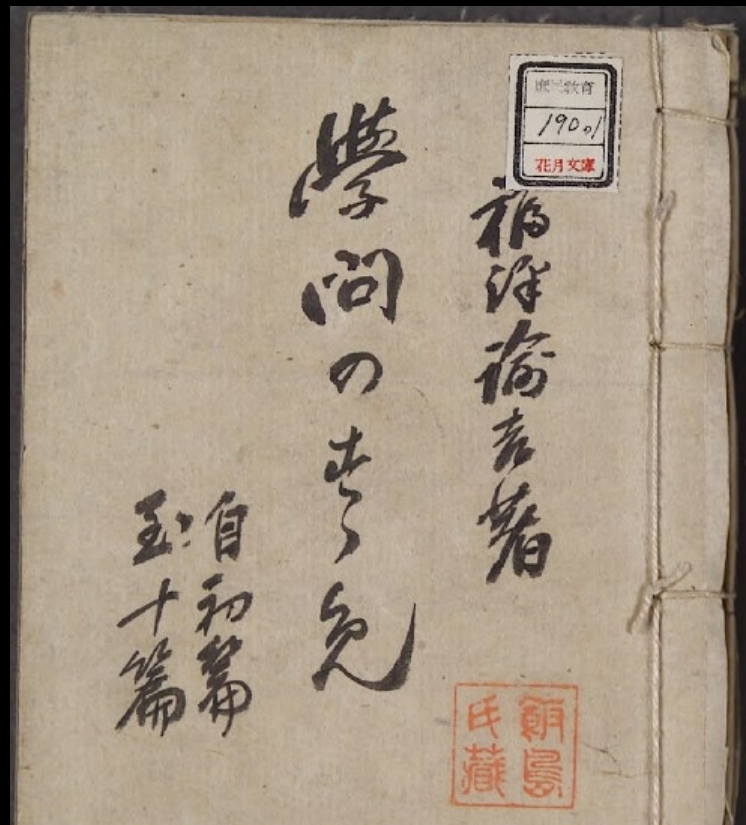
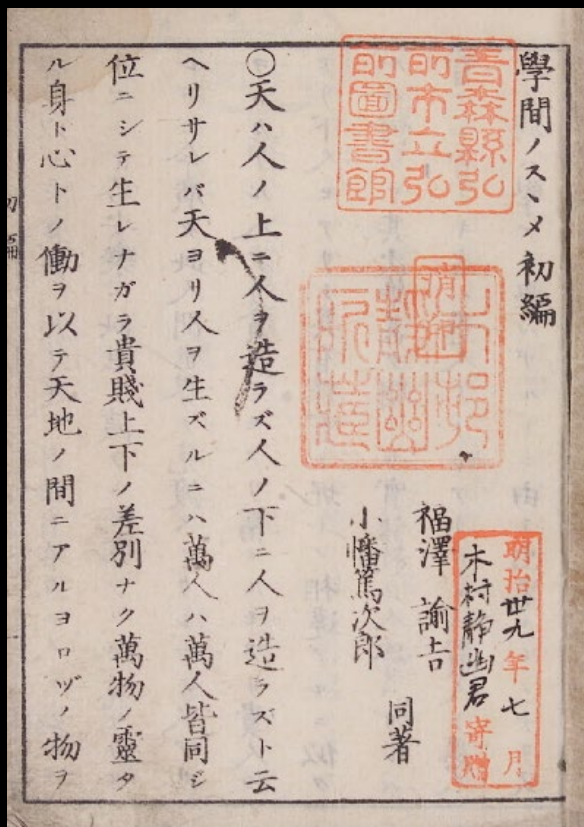
第2回 10月5日(木)

宇宙は物理法則に従っている

第3回 10月12日(木)

我々の宇宙の外の世界

1. 科学の役割と物理学的世界観



理学系研究科 物理学専攻 須藤 靖

上田市立上田図書館
花月文庫所蔵

学術俯瞰講義 物質のはじまりとはたらき フェムトナノエクサの世界

我々の宇宙からマルチバースへ 2017年9月28日16:50-18:35

http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation_2017j

第1回 科学の役割と物理学的世界観

1.1 学問のススメ

1.2 科学の目的と役割

1.3 我々の宇宙 地平線球内の天体諸階層

1.4 夜空ノムコウ 見えるもの≠存在するもの

1.5 宇宙観の進化

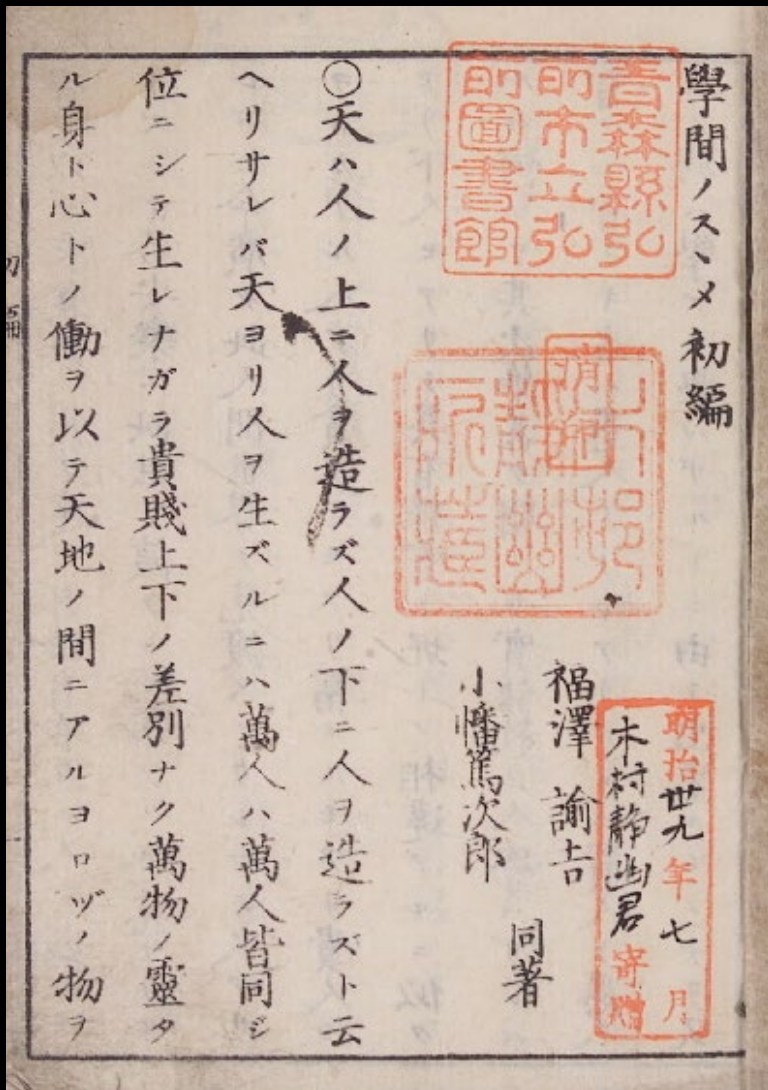
1.6 まとめ 物理学的世界観

補足資料 1.A 先人たちの科学観

1.B 「夜来たる」の教え

1.1 学問ノススメ

福沢諭吉：学問ノス、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りて出来るものなり。**

究理学（福沢諭吉：学問ノスヽメ初編）

證據ナリサレバ今斯ル實ナキ學問ハ先ヅ次ニシ專ラ
勤ムベキハ人間普通日用ニ近キ實學ナリ譬ヘバイロ
ハ四十七文字ヲ習ヒ手紙ノ文言帳合ノ仕方算盤ノ稽
古天秤ノ取扱等ヲ心得尚又進デ學ブベキ箇条ハ甚多
シ地理學トハ日本國中ハ勿論世界萬國ノ風土道案内
ナリ究理学トハ天地萬物ノ性質ヲ見テ其働ヲ知ル學

- されば今かかる実なき学問は先ず次にし、専ら勤むべきは人間普通日用に近き実学なり。
- 譬えば、いろは四十七文字を習い、手紙の文言、帳合いの仕方、算盤の稽古、天秤の取扱い等を心得、なおまた進んで学ぶべき箇条は甚だ多し。
- 究理学とは天地万物の性質を見てその働きを知る学問なり。

究理学と物理学

■ 究理学 = natural philosophy (広義)

- 17世紀頃の英国で、思弁的な哲学と区別し人々が教養として身につけるべき「実験的な自然の哲学」を意味した
- ニュートンのプリンピキア = Philosophiae naturalis principia mathematica

■ 物理学 = physics (狭義)

- 19世紀末頃から実用的な知識の重要性を認識し、natural philosophyがphysicsに置き換わる
- 自然学(広義のphysics)
= 自然法則の究明 (natural philosophy)
+ 個々の現象解明の集積 (狭義のphysics)

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)
- 受身のままただ待っていても何も起こらない
- 高校までの先生とは違い、大学の教員は親切ではない！
- 自分の適性を知る
- すべてを一人だけでやるのではなく、教員、友人、先輩、後輩と共に学び議論し研究する

典型的な理系研究者タイプと思われがち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」**
 - 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**

1.2 科学の目的と役割

日本学術会議の使命

■ 日本学術会議法前文(1948年7月)

- 日本学術会議は、科学が文化国家の基礎であるという確信に立って、科学者の総意の下に、わが国の平和的復興、人類社会の福祉に貢献し、世界の学界と提携して学術の進歩に寄与することを使命とし、ここに設立される

■ 日本学術会議の声明@第一回総会(1949年1月)

- われわれは、日本国憲法の保障する思想と良心の自由、学問の自由及び言論の自由を確保するとともに、科学者の総意の下に、人類の平和のためあまねく世界の学界と提携して学術の進歩に寄与するよう万全の努力を傾注すべきことを期する

大学の使命： 東京大学憲章 (2003年3月18日制定)の前文より

- 国籍、民族、言語等のあらゆる境を超えた人類普遍の真理と真実を追究し、世界の平和と人類の福祉、人類と自然の共存、安全な環境の創造、諸地域の均衡のとれた持続的な発展、科学・技術の進歩、および文化の批判的継承と創造に、その教育・研究を通じて貢献すること

学術に携わるものの責任

- 大学と研究者には自主性・自律性が最大限保証されるべき
 - しかしそれは、その成果が全世界の社会の平和と幸福に貢献する場合に限る
 - 個人的な名声や欲望のためにあるのではない
- 科学者の社会的責任は個々の研究に優先する
 - なぜ研究不正をしてはいけないのか
 - なぜ軍事研究に巻き込まれてはいけないのか
 - その帰結を熟慮せず、研究が進むのならなんでも許されるとの考えは完全な間違い

科学教育の目的： 科学的思考法を身につける

- 文系か理系かといった瑣末な問題ではない
- 科学的**知識**を問題としているのでもない
- いわゆる文系と言われている職業（法律家、政治家、官僚）にこそ科学的**思考法**が不可欠
 - 今や司法関係者に最新の科学・技術の理解がなくては問題の正しい判断は不可能
- 残念ながらそれが欠如している（しかもそれを恥じていない）としか思えない人が多いのも事実

研究者以外も科学を学ぶべき理由

- テストで良い点を取るためではない
- この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
- 正しいことと間違っていることを見極める
 - 変な人(詐欺師、政治家、官僚、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、狭い意味の科学研究だけにとどまらず、人生一般にとって本質的

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
- **競争のための競争は無意味**: 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、必ずしも科学者**の間で共有されていないらしい
 - 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

invaluable > valuable

- 「役に立たない」≠「価値がない」
 - 芸術、音楽、文学、恋愛は役に立つのか？
 - でもそれらこそが生きる意味を保証してくれる
 - **valuable** は、「価値を判断できる」程度に大切、意義深いという意味
 - **Invaluable** は、「もはや価値を判断する事すらできない」ほど重要であるという意味 ≠ **useless**
 - 科学にも**useful**ではなく**useless**だが**invaluable**な分野があって良い

⇒ 天文学や素粒子物理学などはその例

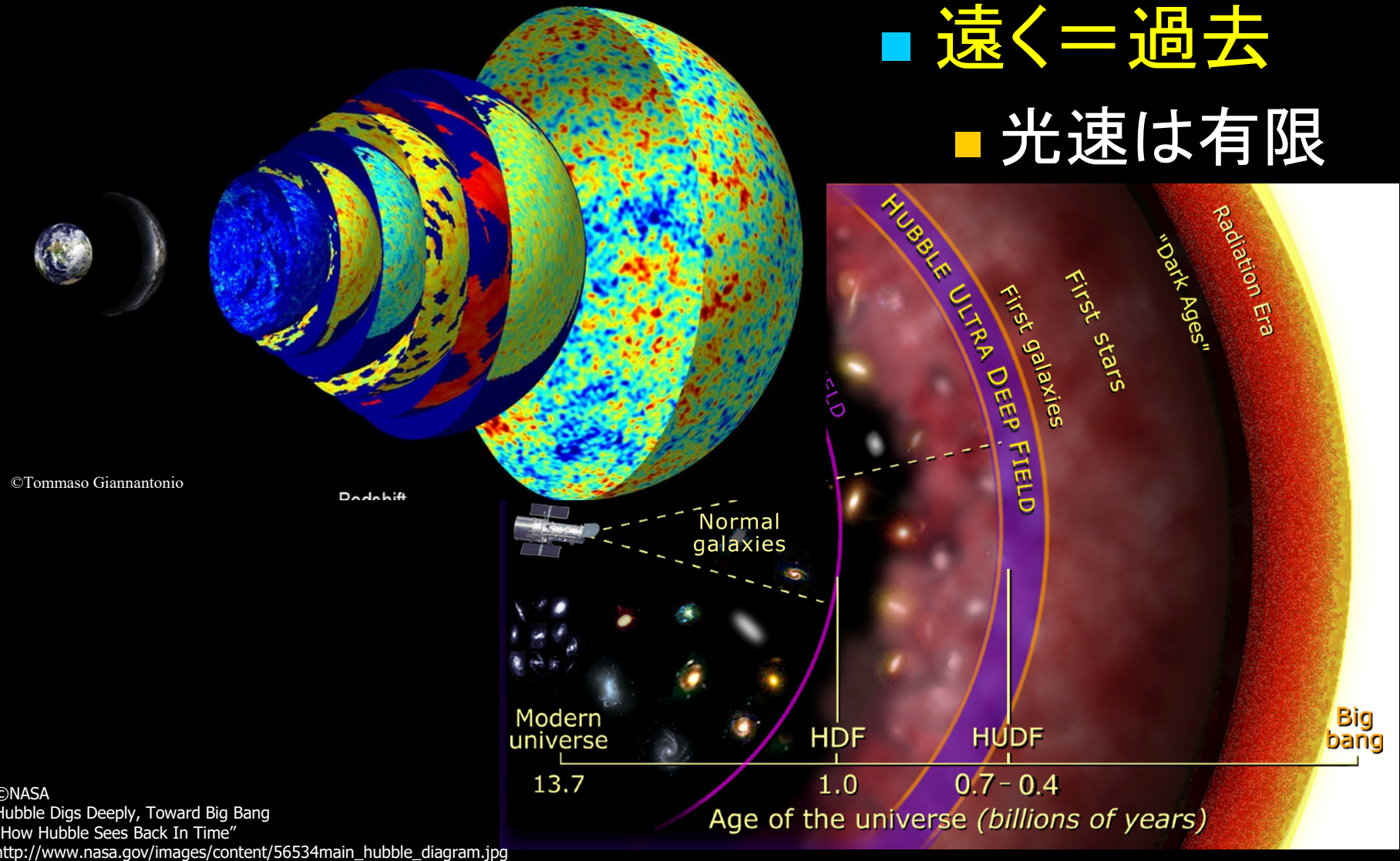
1.3 我々の宇宙

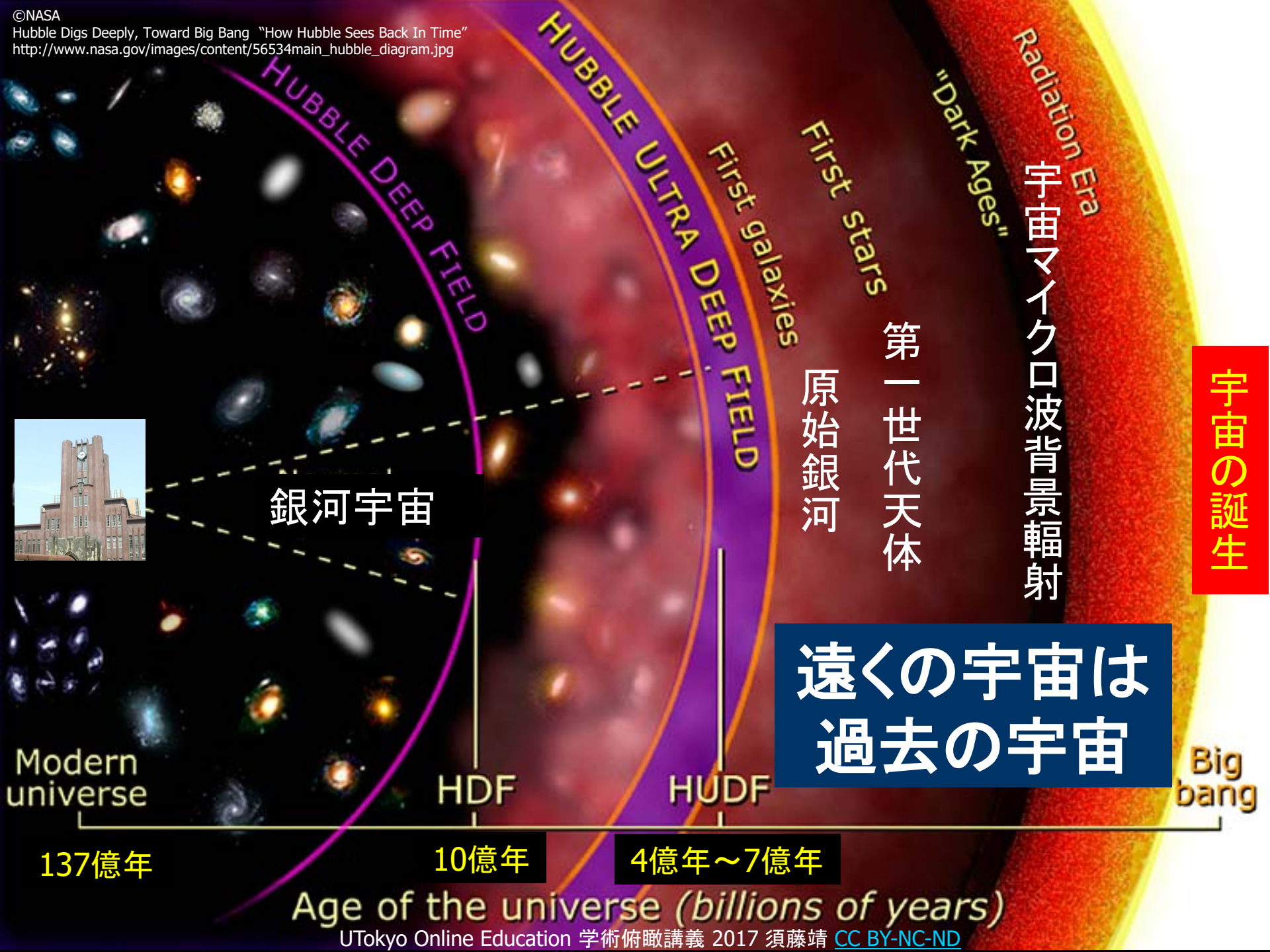
地平線球内の天体諸階層

宇宙観測は天球上で行われる

■ 遠く=過去

■ 光速は有限





宇宙の誕生

宇宙マイクロ波背景放射

第一世代天体

原始銀河

遠くの宇宙は過去の宇宙

Big bang

銀河宇宙

137億年

10億年

4億年~7億年

Age of the universe (billions of years)

なぜかこの世界は階層だらけ

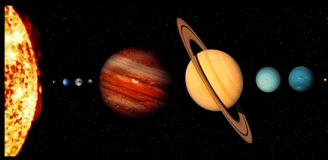
(おそらくある種の安定性を保証する)

- 生物—器官—細胞—DNA—塩基—分子—原子
- 物質—原子—原子核—陽子・中性子—クォーク
- 宇宙—銀河団—銀河—惑星系—地球
- 会長—社長—副社長—専務—部長—課長—係長—社員—派遣—アルバイト
- 教授—准教授—助教—博士研究員—大学院生—学部生
- 士農工商 (最近の教科書では、そのような階層は存在しなかったと教えられるらしいが、、、)

宇宙の階層

宇宙の大構造

太陽系



© NASA

矮小銀河



© NASA

UKS 14

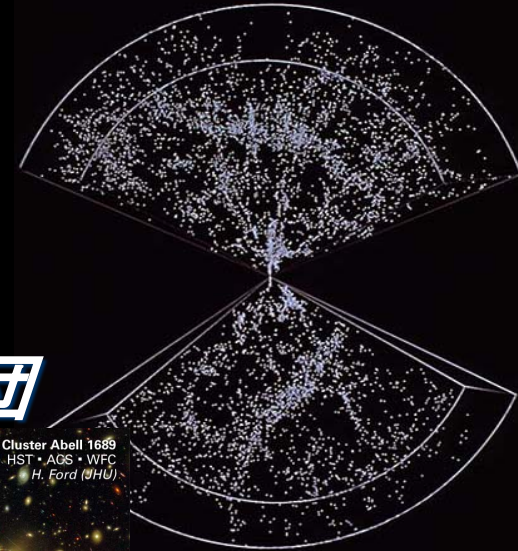
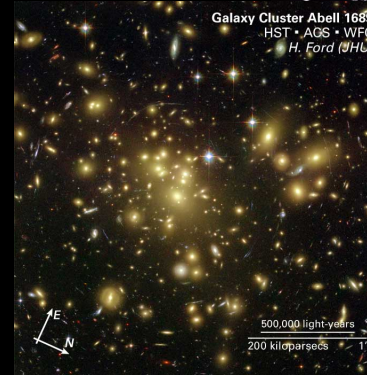
銀河群



銀河



銀河団

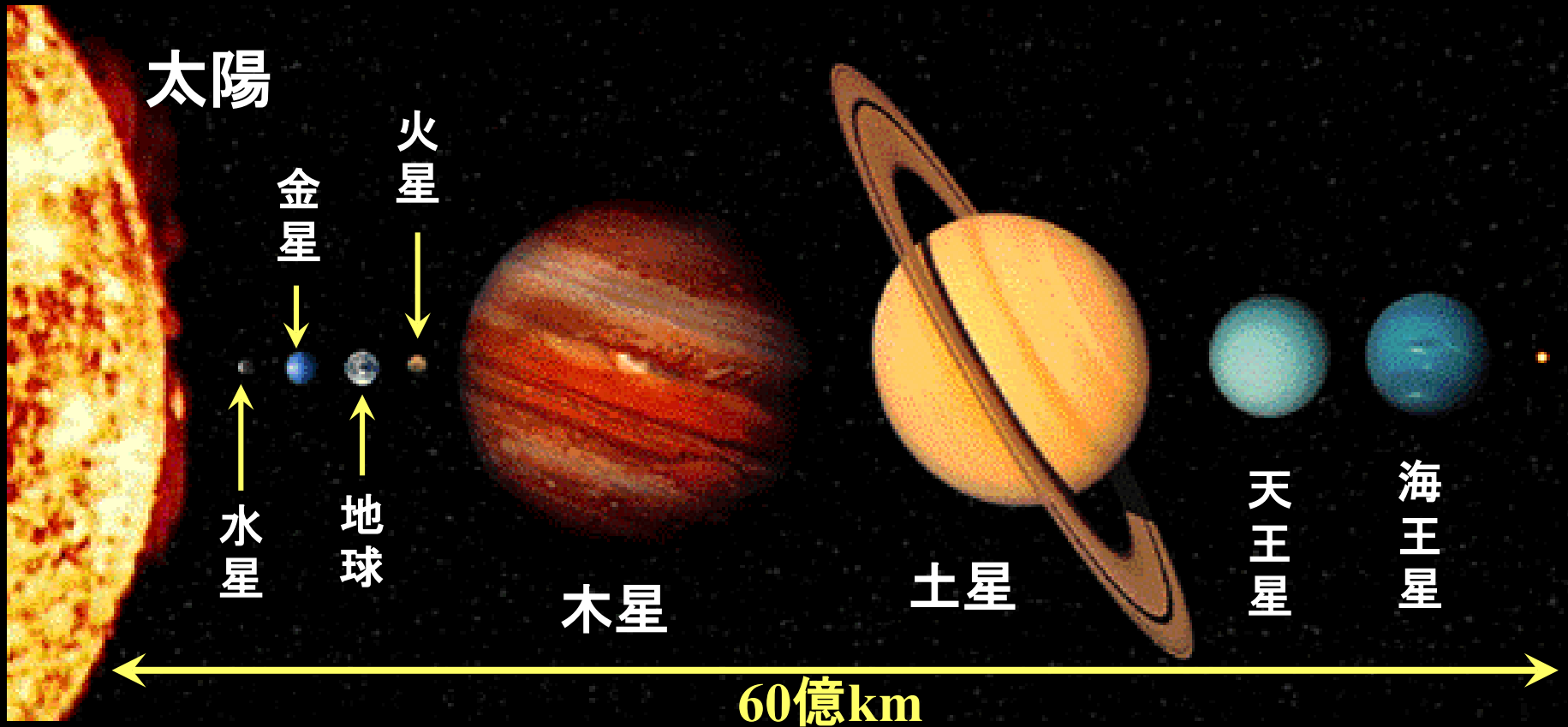


ハッブル宇宙望遠鏡 Biggest 'Zoom Lens' in Space Takes Hubble Deeper into the Universe Credit: NASA, N. Benitez (JHU), T. Broadhurst (The Hebrew University), H. Ford (JHU), M. Clampin (STScI), G. Hartig (STScI), G. Illingworth (UCO/Lick Observatory), the ACS Science Team and ESA
http://hubblesite.org/news_release/news/2003-01/4-galaxies ref. 20171018

10^0 10^1 10^2 10^3 10^4 10^5 10^6 10^7 10^8

典型的大きさ [単位: パーセク (~3.1光年)]

八つの惑星：我が太陽系



(太陽からの距離は別として、惑星の相対的な大きさはほぼ実際の比の通り)

© NASA

アンドロメダ銀河 (M31): 隣の銀河



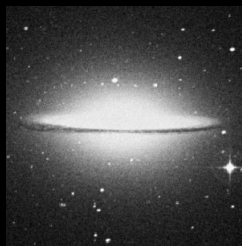
13万光年

すばる望遠鏡
ハイパースーパーリムカム
宮崎聡他 (2013年7月)

すばる望遠鏡
新型の超広視野カメラが開眼、ファースト
トライト画像を初公開
図1: すばる望遠鏡に搭載された HSC
がとらえたアンドロメダ銀河 M31 の姿。
(credit: HSC Project / 国立天文台)
<https://www.subarutelescope.org/Topics/2013/07/30/fig1j.jpg>
Ref. 20171017

銀河の形：ハッブル分類

Sa



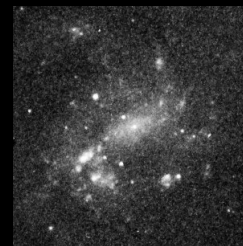
Sb



Sc



Sd



楕円銀河

渦巻銀河

S0

レンズ状銀河



E0

E6

棒渦巻銀河



SBa

SBb

SBc

SBd

銀河団： 宇宙で最大の自己重力系



- 100～1000個の銀河が、直径1千万光年程度の領域に重力で集団化したもの

銀河団エイベル1689
(距離:22億光年)
ハッブル宇宙望遠鏡

ハッブル宇宙望遠鏡 Biggest 'Zoom Lens' in Space Takes Hubble Deeper into the Universe Credit: NASA, N. Benitez (JHU), T. Broadhurst (The Hebrew University), H. Ford (JHU), M. Clampin(STScI), G. Hartig (STScI), G. Illingworth (UCO/Lick Observatory), the ACS Science Team and ESA http://hubblesite.org/news_release/news/2003-01/4-galaxies ref. 20171018

人類が見た最も遠い(=最も古い)銀河宇宙

ハッブル ウルトラ ディープ フィールド (HUDF)



ハッブル宇宙望遠鏡Half-Size Version of the Hubble Ultra Deep Field Credits: NASA, ESA, S. Beckwith (STScI) and the HUDF Team
<http://hubblesite.org/image/1458/category/58-hubble-ultra-deep-field> ref. 20171018

地平線球：我々が現在観測できる宇宙

■ 宇宙膨張のため「観測できる宇宙」の大きさは時々刻々拡大している

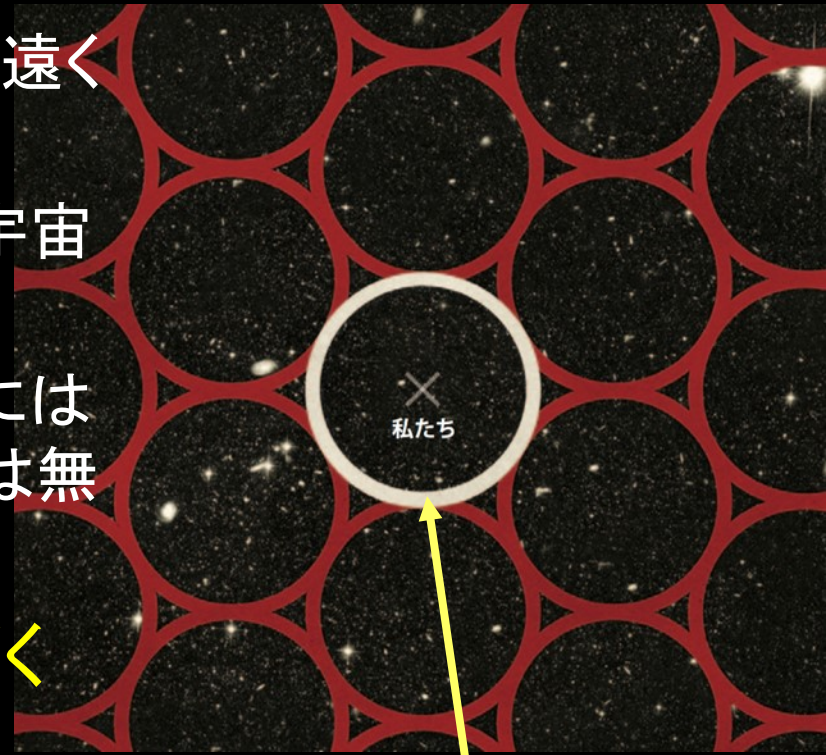
全宇宙（果てはなく、
体積もほぼ無限）

- ある時間内に光が伝わる距離より遠くは観測不可能
- 地平線球：我々を中心する半径「宇宙年齢 × 光速 = 138億光年」の球
- 宇宙膨張を考慮すると、より正確には460億光年となるが、数倍の違いは無視して良い

■ この地平線球は、(全)宇宙のごく一部

- 我々が現在観測できる宇宙 (= 地平線球) と、(全)宇宙とは区別して使い分けるべき

『日経サイエンス』2011年12月号p. 37

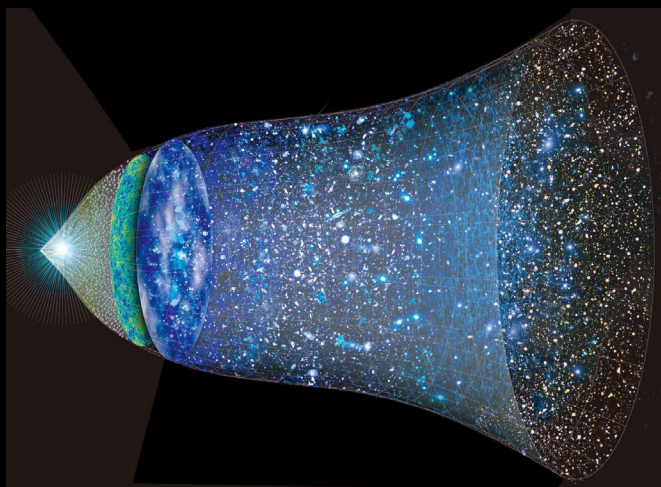
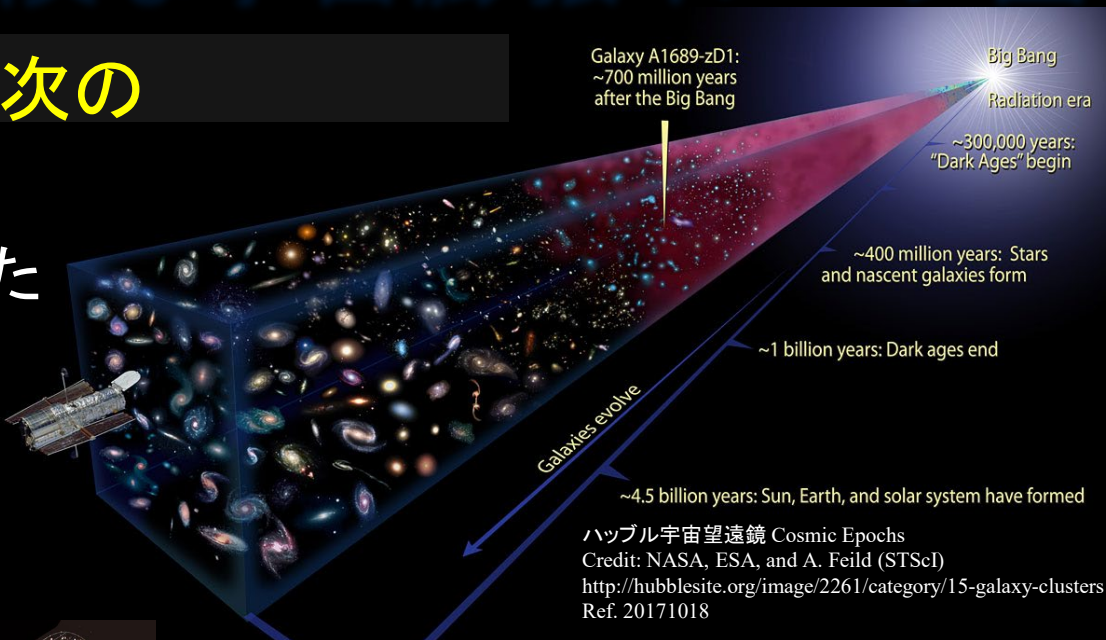


半径460億光年
の地平線球
(我々が観測できる宇宙)

多用されているにもかかわらず 誤解を生み危険な宇宙膨張イメージ図

■ 以下の図から受ける次の 印象はすべて誤解

- 宇宙は点から始まった
- 宇宙には端がある
- 宇宙の大きさは有限
- 宇宙には中心がある



須藤靖 (2007) 「ダークエネルギー: 正体不明の何かが宇宙の大半を満たしている」
『Illume : a TEPCO semiannual review』第37号(vol. 19 No. 1):
pp4-21. p.4-5 東京電力株式会社

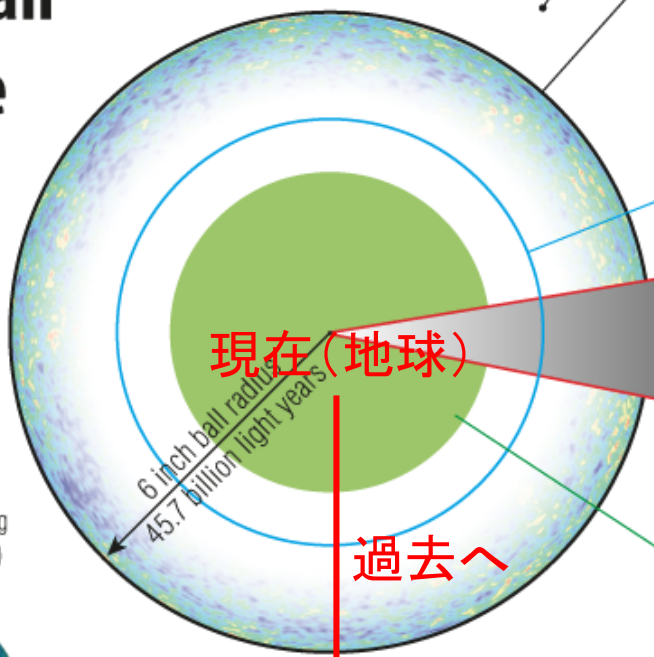
電磁波で現在観測できる宇宙の果て

宇宙マイクロ波背景輻射 (ビッグバンの光の化石)

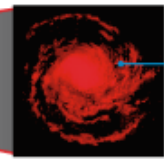
The 12 Inch Beach Ball Universe

Light from outside the sphere has not yet reached us, and light from inside the sphere has already passed us.

Cosmic Microwave Background (CMB) = 45.7 billion light years in radius = 13.7 billion years in time (These numbers are not equal because the universe is expanding at the same time light is traveling.)



Light from the first stars 4 inch radius

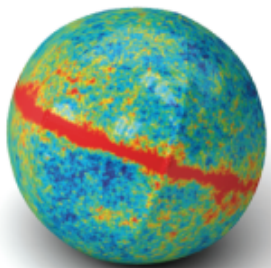


Earth is here

The Milky Way Galaxy 0.000008 inch diameter

Galaxies seen by the Hubble Telescope approx. 3 inch radius

(The red band around the ball is our own Milky Way Galaxy blocking the view of the CMB light.)

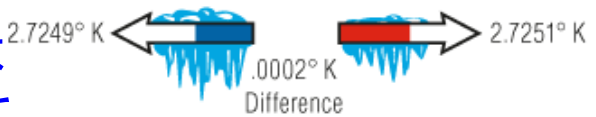


現在(地球)

過去へ

この外側にも宇宙は
ほぼ無限に広がって
いる

The ball shows very small differences in temperature



Learn more: <http://map.gsfc.nasa.gov/resources/edactivity1.html>

地球から天球面での温度地図を逆転させて表現した天球儀

©NASA / WMAP Science Team <https://wmap.gsfc.nasa.gov/media/091057/index.html>

ハッブル宇宙望遠鏡

Hubble Captures a "Five-Star" Rated Gravitational Lens

Credits: ESA, NASA, K. Sharon (Tel Aviv University) and E. Ofek (Caltech)

http://hubblesite.org/image/1929/news_release/2006-23

ref. 20171017

1.4 夜空ノムコウ

見えるもの ≠ 存在するもの

宇宙と世界の大小関係

- 宇宙 > 世界？ or 世界 > 宇宙？
 - Universe = 宇宙 = Space + Time
 - World = 世界 = Time + Space
 - 天文学者(少なくとも私)にとっては「宇宙」は観測できる具体的な対象であり、むしろ「世界」の方がより広い抽象的概念に思える。
- 以下では「世界 > 宇宙」と解釈し、**世界観**という言葉を用いる(ただしこれは私流)

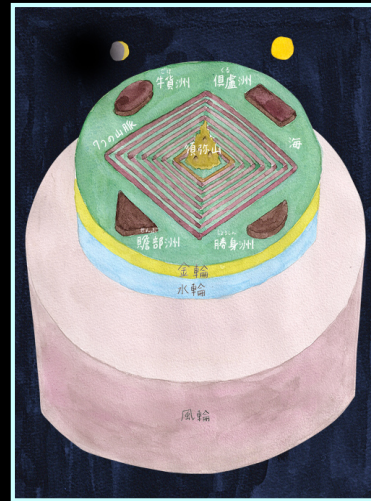
夜空のむこうの世界を探る

■ 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？

アイザック・アシモフ「Nightfall (夜来たる)」

- 6つの太陽を持つ惑星ラガッシュには「夜」がない
 - 空にいつも一つ以上の太陽が昇っているためいつも「昼」のまま
- 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
 - 物語はこれから数時間で「夜」が訪れる時から始まる
 - 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」



イラスト：羽馬有紗

「我々は何も知らなかった」ことに気づくことこそ学問

我々は何も知らなかった

著作権等の都合により、ここに挿入されていた画像を削除しました。

表紙画像

Isaac Asimov, *Nightfall and Other Stories*
(Fawcett Crest, 1969)

- 夜が存在するおかげで我々の世界の本質がわかる
- “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.”

青空しか知らないと我々の世界が
唯一の存在のように思ってしまう

(すばる観測所、田中壺氏撮影)

「我々は何も知らなかった」

満天の星空を見上げれば、
我々以外の世界の存在が実感できる

(すばる観測所、田中壺氏撮影)

この夜空のムコウにさらに別の世界 が存在しているのでは？

ハッブル宇宙望遠鏡

Hubble Captures a "Five-Star" Rated Gravitational Lens

Credits: ESA, NASA, K. Sharon (Tel Aviv University) and E. Ofek (Caltech)

http://hubblesite.org/image/1929/news_release/2006-23

ref. 20171017

1.5 宇宙観の進化

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⇒素粒子(クォーク・レプトン)
 - さらにより基本的な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？
 - 宇宙を占める物質は、この地上の微視的世界の構成要素(素粒子からなる)と同じなのか？

世界は何からできているのか？

■ 古代ギリシャの4元説

- 空気、土、火、水

■ 中国の五行説

- (木、火、土、金、水)

× (陽、陰)

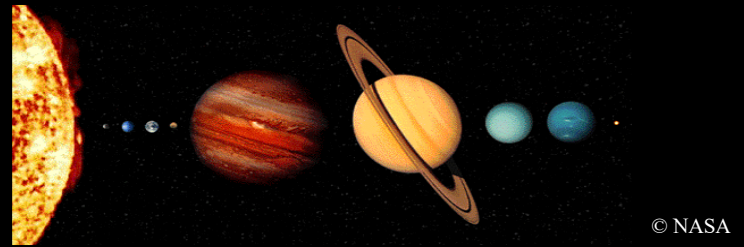
- 日本での惑星と曜日名の由来

■ 現代物理学

- 物質⇒分子⇒原子

⇒原子核(陽子・中性子)、電子

⇒素粒子(クォーク・レプトン)



© NASA

日月火水木金土

	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

天の世界と地の世界



© NASA

(エーテル=第5元素)

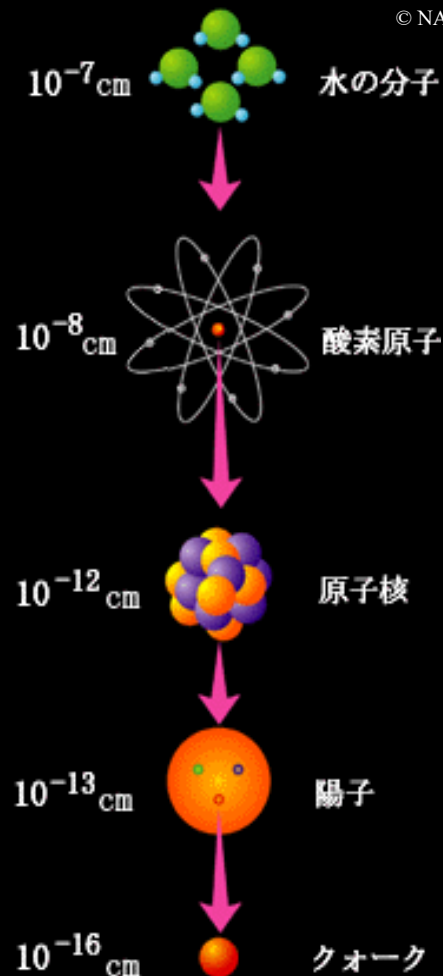


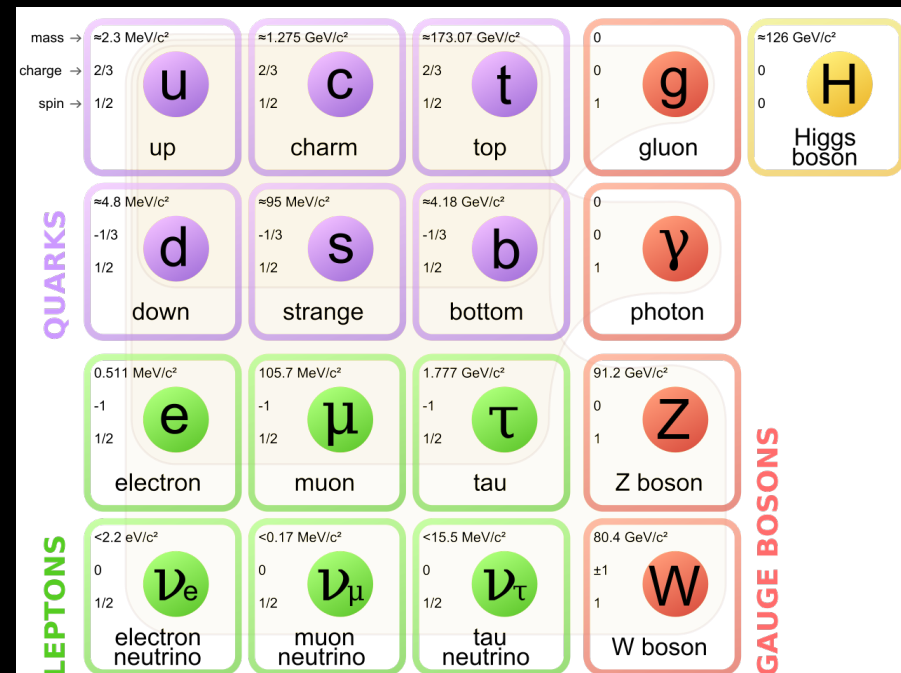
イラスト: 羽馬有紗

宇宙は地球と同じ組成をもつか？

- 宇宙論における最大の疑問
- 20世紀天文学観測がもたらした予想外の発見
 - 宇宙には大量のダークマターが存在
 - 実はさらに大量のダークエネルギーが存在
- 宇宙はダーク成分に支配されている

Image by MissMJ, from Wikimedia Commons ref. 20171010
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Standard_Model_of_Elementary_Particles.svg
CC BY 3.0

- 微視的世界の標準モデル
 - 地球上の既知の物質はすべて元素から、さらに、すべての元素は素粒子(クォークとレプトン)から構成される



重カレンズで「見る」ダークマター



ハッブル宇宙望遠鏡

Hubble Captures a "Five-Star" Rated Gravitational Lens

Credits: ESA, NASA, K. Sharon (Tel Aviv University) and E. Ofek (Caltech)

http://hubblesite.org/image/1929/news_release/2006-23

ref. 20171017

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

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017 須藤靖 [CC BY-NC-ND](#)

Distant quasar

ハッブル宇宙望遠鏡
Gravitational Lensing Splits Quasar Light into Five Images
http://hubblesite.org/image/1930/news_release/2006-23
ref. 20171004

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のダークマ
ターによる重力が、クエーサーからの
光を曲げる

5つの異なる
クエーサー像
が見える

重力レンズ天体
SDSS J1004+4112 :
一般相対論的蜃気楼



宇宙には大量のダークマターが満ちている

重力レンズ効果

- 質量の存在のために空間が歪んだ結果光の進路が曲がる一般相対論的現象
- 銀河(団)の背後にあるクエーサーが、多重像に
- この効果を用いて銀河(団)の質量を推定すると光っている質量の数倍にもなる

銀河団 SDSS J1004 + 4112

Credit: ESA, NASA, K. Sharon (Tel Aviv University) and E. Ofek (Caltech)

ハッブル宇宙望遠鏡

Hubble Captures a "Five-Star" Rated Gravitational Lens

Credits: ESA, NASA, K. Sharon (Tel Aviv University) and E. Ofek (Caltech)

http://hubblesite.org/image/1929/news_release/2006-23 ref. 20171017

- **ダークマター(暗黒物質):** 重力は及ぼすが直接光ることはない。現時点では未知の素粒子なのではないかと考えられている

実は宇宙の主成分はダークエネルギー

- **ダークマターとは異なり、空間的に局在してはいない**
 - 例えば、本来何もないはずの真空自体が持っているエネルギーのように、宇宙全体を一様にみたくしている
- **その重力は、引力ではなく実効的に「斥力」**
 - 1917年にアインシュタインが(全く異なる理由から)導入した宇宙定数に対応
 - ダークマター以上にその正体は不明
- **ダークエネルギーは、いまだ理解していない新たな物理学を探る重要な手がかり**

2011 ノーベル物理学賞

■ Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt and Adam G. Riess

- 1998年に、遠方の超新星の観測を通じて、宇宙の膨張が加速していることを発見

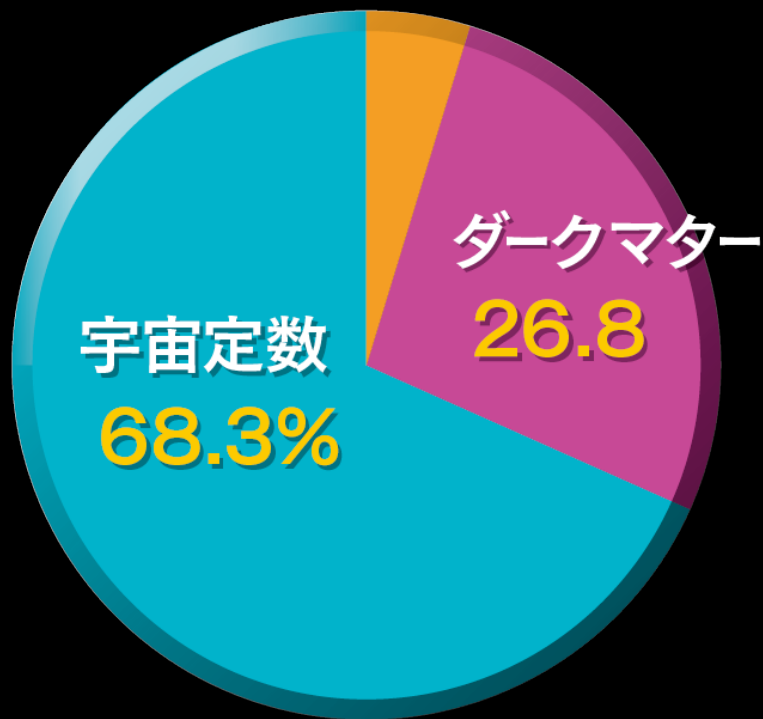
この観測事実を説明する最も有力な仮説がダークエネルギー



© ® The Nobel Foundation

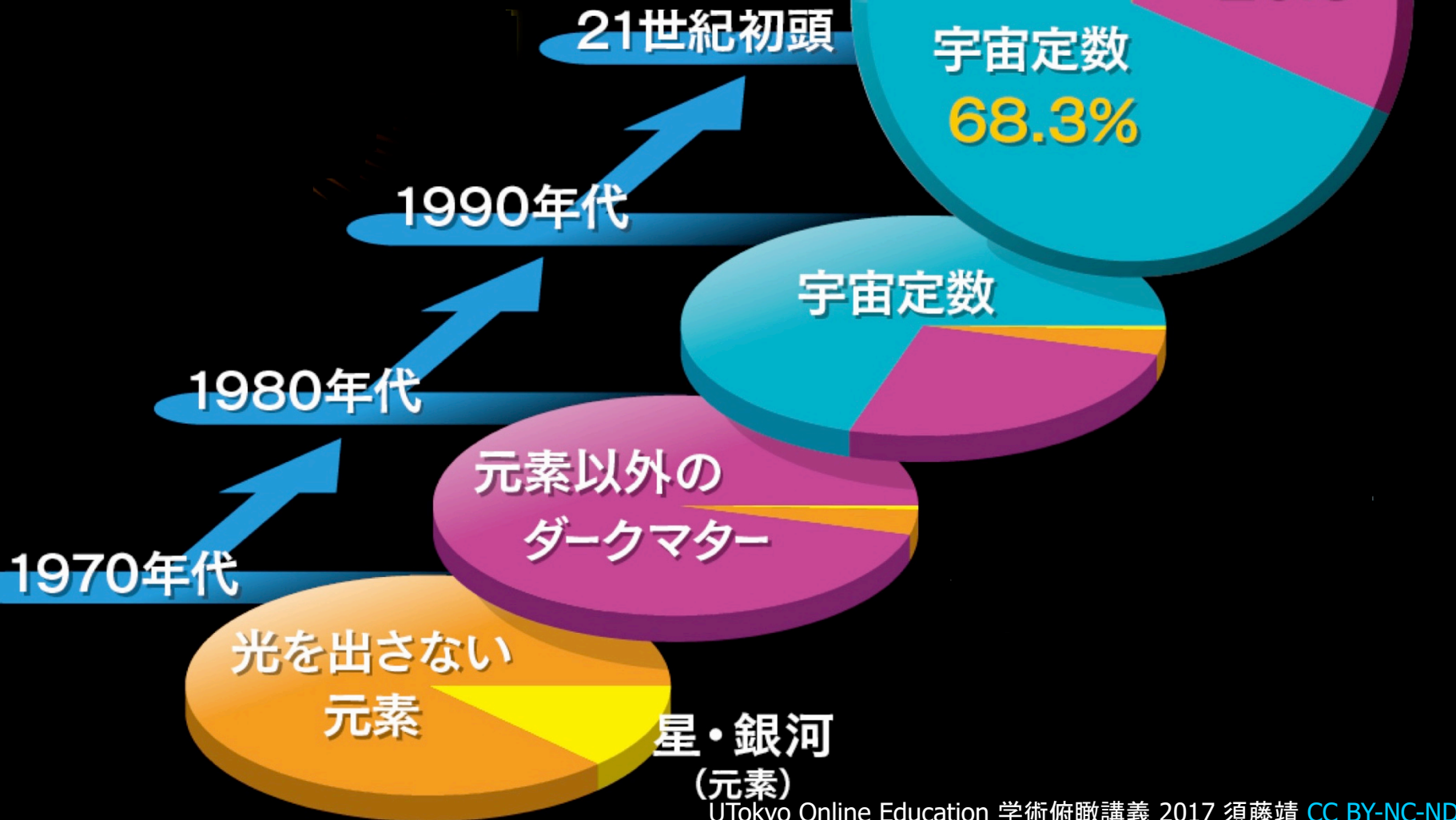
遠方宇宙の観測を通じて明らかになった、現在の我々の宇宙の組成

元素 4.9



- 宇宙の主成分は宇宙定数で約7割を占める
- その次は約3割を占めるダークマター
- 我々の身の回りの世界を構成している元素はわずか5%程度でしかない
- 宇宙の約95%はその正体が未だ解明されていない

現代天文学による 宇宙観の進化



1.6 まとめ

物理学的世界観

物理教の経典

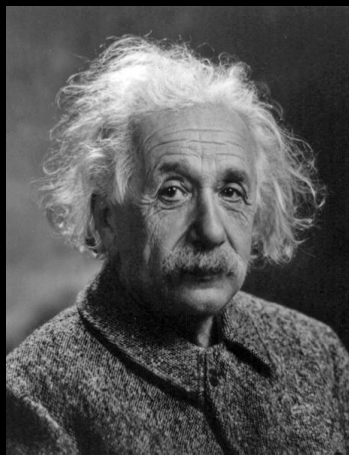


Photo from Wikimedia Commons

- 世の中の「本質的なこと」はすべて物理法則によって「自然に」説明できるはずである
- むろん、実際にわかっていない現象も多いが
 - 自由度が多く、初期条件を精度よく推定できないために細かいことまではわからないだけ(複雑系)
 - まだ正しい物理法則の理解に至っていないだけ(すべての相互作用の統一⇒究極理論への道)
- つまり、単に我々がまだ未熟者であるだけで、もっと修行を積みればわかるようになるはず
 - 学者という職業の存在意義
- 「神様」を持ち出す必要はない

自然科学とえせ科学との違い

■ 自然科学の特徴

- 必ずしも「厳密な」自然像の構築を追求してはいない
- 近似的描像を更新し続ける営み
- 無矛盾な理論モデルでも、実験が否定することがある

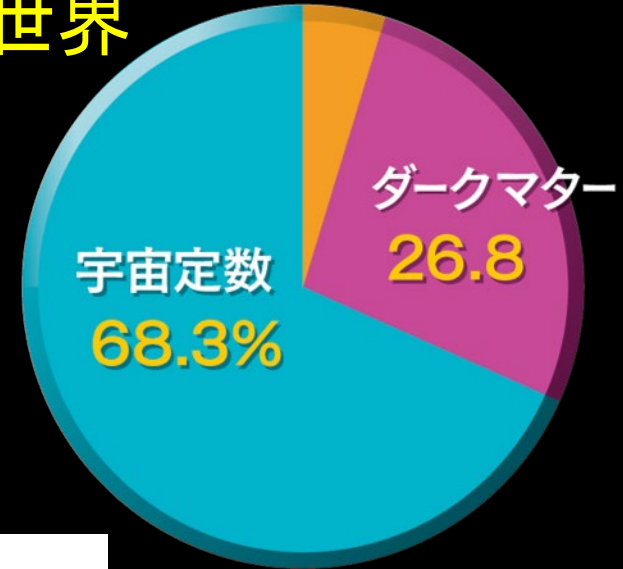
■ 「正しいのか間違っているのか区別できる」ことこそ自然科学の本質的定義

- “falsifiable” (うそであることを示しうる)
- 間違っているか判断できない命題(例えば、神が存在する)は、自然科学では(まだ)扱えない
- 「説明できない謎の存在」は自然科学の限界ではなく、むしろ出発点

現代物理学が到達した世界観

元素 4.9

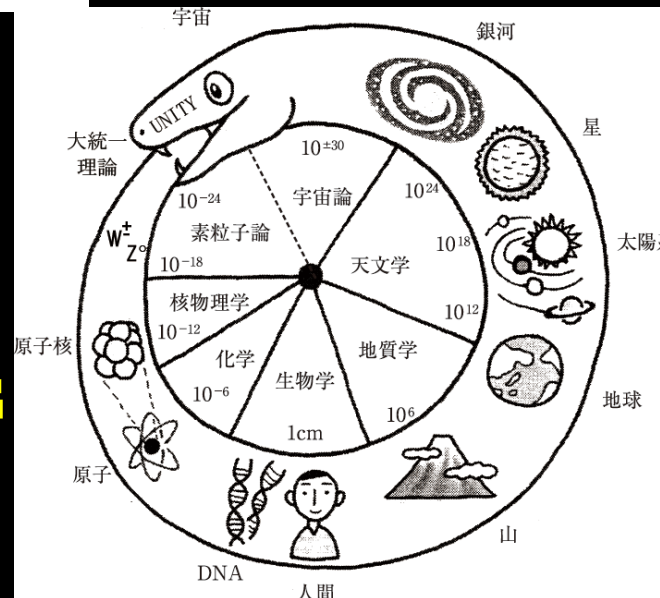
巨視的世界



種類	粒子名	質量 (MeV/c ²)	電荷	スピン
QUARKS	up (u)	≈2.3	2/3	1/2
	charm (c)	≈1.275	2/3	1/2
	top (t)	≈173.07	2/3	1/2
	down (d)	≈4.8	-1/3	1/2
	strange (s)	≈95	-1/3	1/2
	bottom (b)	≈4.18	-1/3	1/2
GAUGE BOSONS	gluon (g)	0	0	1
	photon (γ)	0	0	1
	Z boson (Z)	91.2	0	1
	W boson (W)	80.4	±1	1
LEPTONS	Higgs boson (H)	≈126	0	0
	electron (e)	0.511	-1	1/2
	muon (μ)	105.7	-1	1/2
	tau (τ)	1.777	-1	1/2
	electron neutrino (ν _e)	<2.2	0	1/2
	muon neutrino (ν _μ)	<0.17	0	1/2
tau neutrino (ν _τ)	<15.5	0	1/2	

微視的世界

世界の階層



須藤靖『ものごの大きさ—自然の階層・宇宙の階層』
東京大学出版会 2006年