

2010年度冬学期 学術俯瞰講義

多彩な物質の世界
—宇宙から地球への遥かなる旅

木曜5限 16:20-17:50

東大駒場キャンパス18号館ホール

「※:このマークが付してある著作物は、第三者が有する著作物ですので、同著作物の再使用、同著作物の二次的著作物の創作等については、著作権者より直接使用許諾を得る必要があります。」

ミクロな素粒子から マクロな宇宙へ

第2回 10月14日

第3回 10月21日

第4回 10月28日

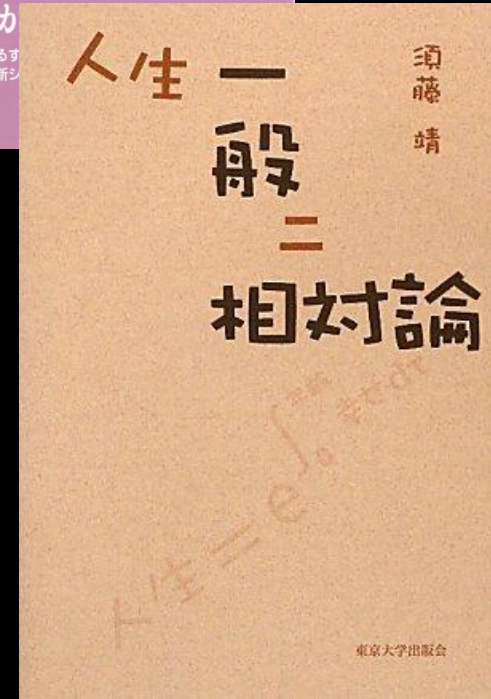
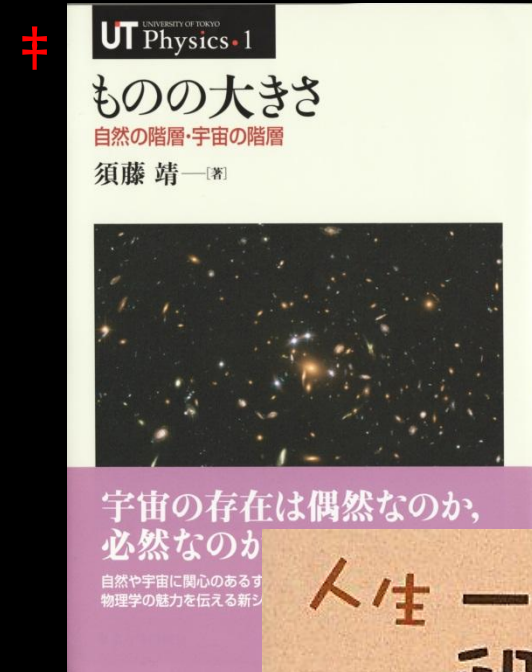
理学系研究科・物理学専攻 須藤靖

第2回～第4回の講義の目的

- 「狭い意味での**理系**」以外の学生が対象
- 断片的な知識の伝達が目的ではない
 - 佐藤文隆:「宇宙がビッグバンでできたなどという知識は二束三文の価値しかない。問題はなぜそう考えられているのかだ」
- **夜空ノムコウ**に何があるのか考えることで、**物理学の心**を伝える

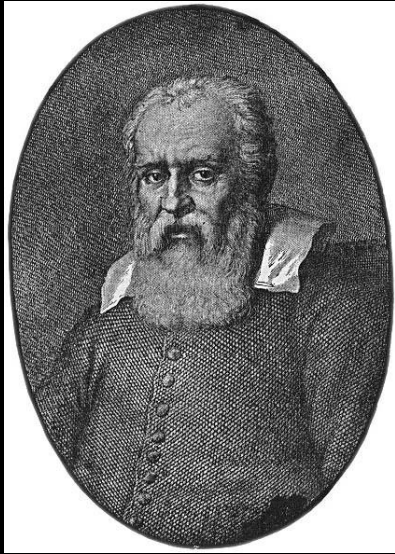
参考文献

- 須藤靖: 『ものの大きさ』
(東京大学出版会、2006)
- 須藤靖: 『人生一般二相対論』
(東京大学出版会、2010)
- 数学セミナー別冊: 『宇宙はどこまでわかったか?』 (日本評論社、2010)
- ジョン・バロウ: 『宇宙に法則はあるのか』
(松浦俊輔訳: 青土社、2004)



目次

- 10/14** ① 物理屋の世界観
② 我々は何も知らなかった
- 10/21** ③ 宇宙の組成と物質の起源
④ 太陽系外惑星の世界
- 10/28** ⑤ 宇宙における偶然と必然
⑥ 科学は世界をどこまで記述できるか

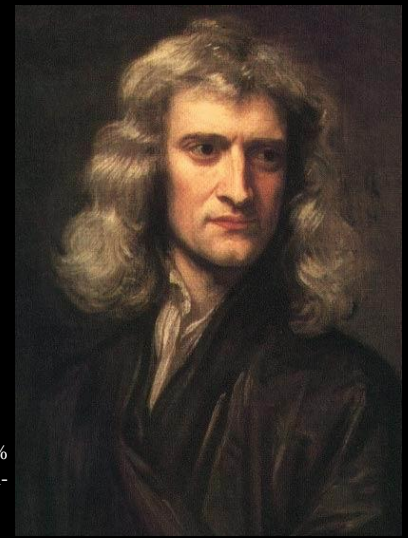


Galileo Galilei
(1564-1642)

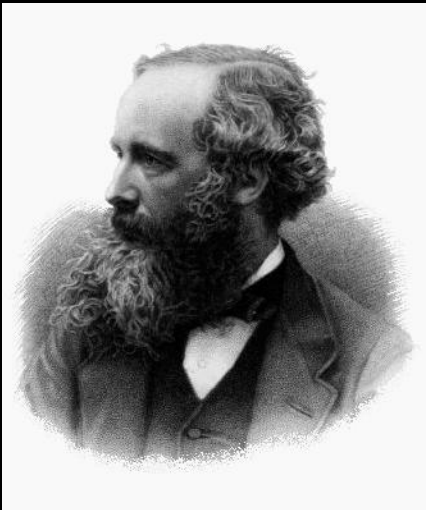
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB:Galileo.jpg>

Isaac Newton
(1642-1727)

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB:GodfreyKneller-IsaacNewton-1689.jpg>



I 物理屋の偏見

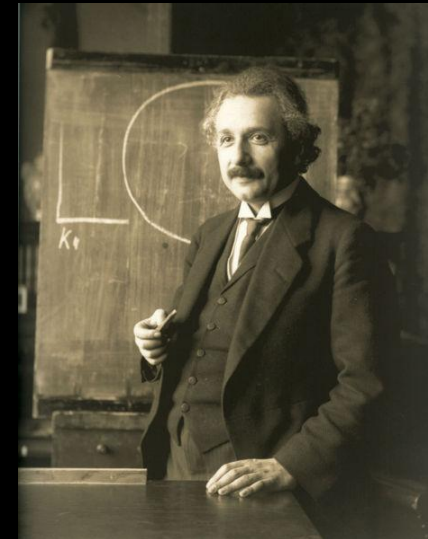


James Clerk Maxwell
(1831-1879)

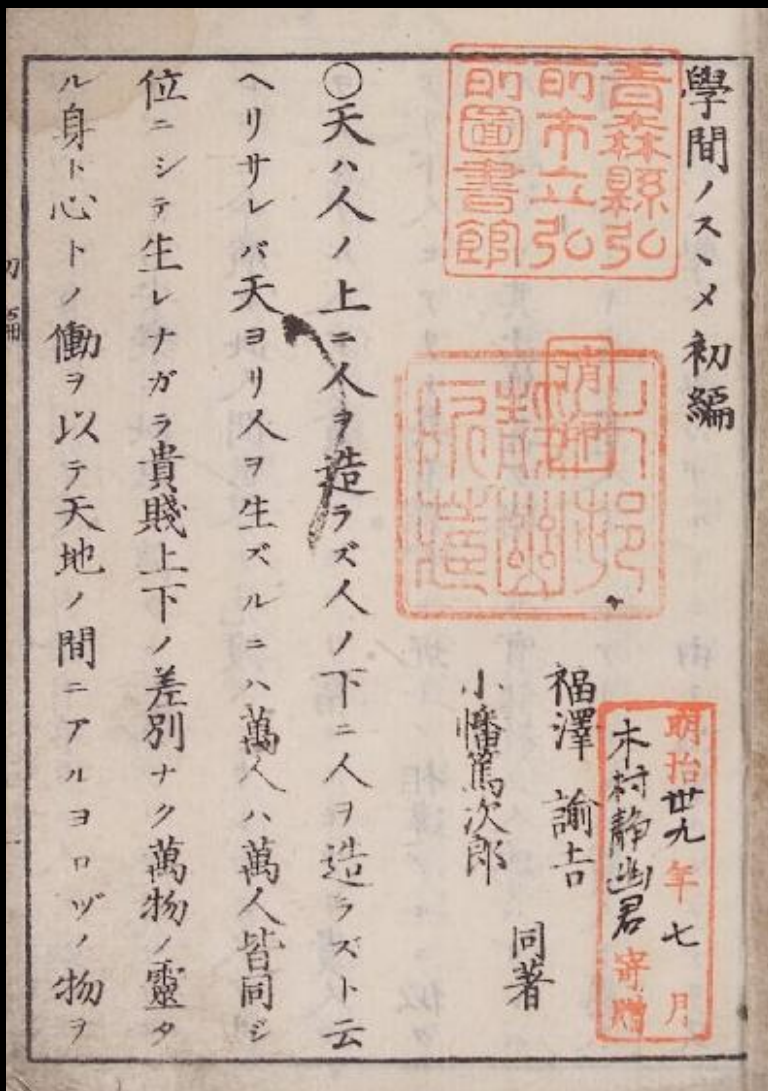
http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB:James_Clerk_Maxwell.png

Albert Einstein
(1879-1955)

http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB:Einstein_1921_by_F_Schmutzer.jpg



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**

究理学(福沢諭吉: 学問ノススメ初編)

- 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

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テ學フベキ箇条ハ甚多
シ地理學トハ日本國中ハ勿論世界萬國ノ風土道案内
ナリ究理學トハ天地萬物ノ性質ヲ見テ其働ヲ知ル學

究理学と物理学

■ 究理学 = natural philosophy (広義)

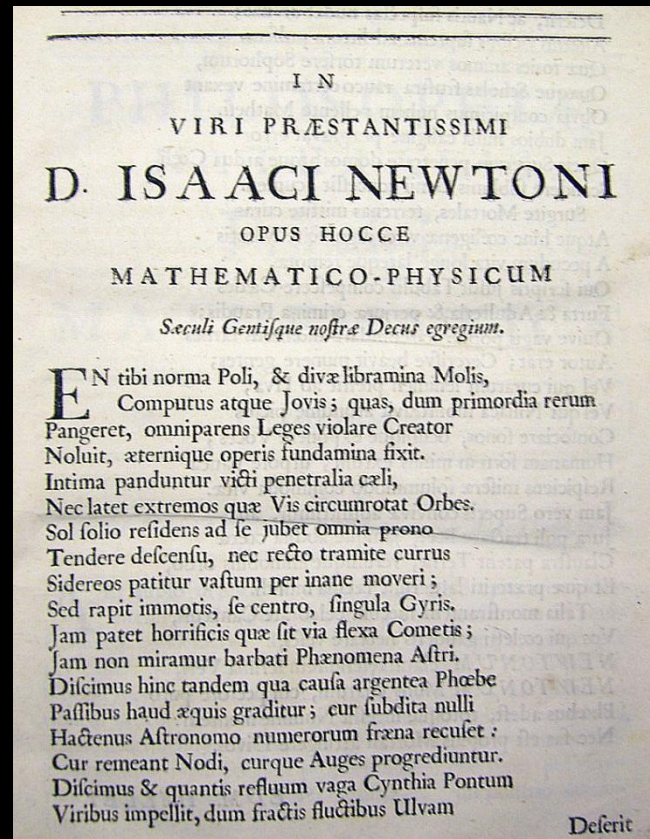
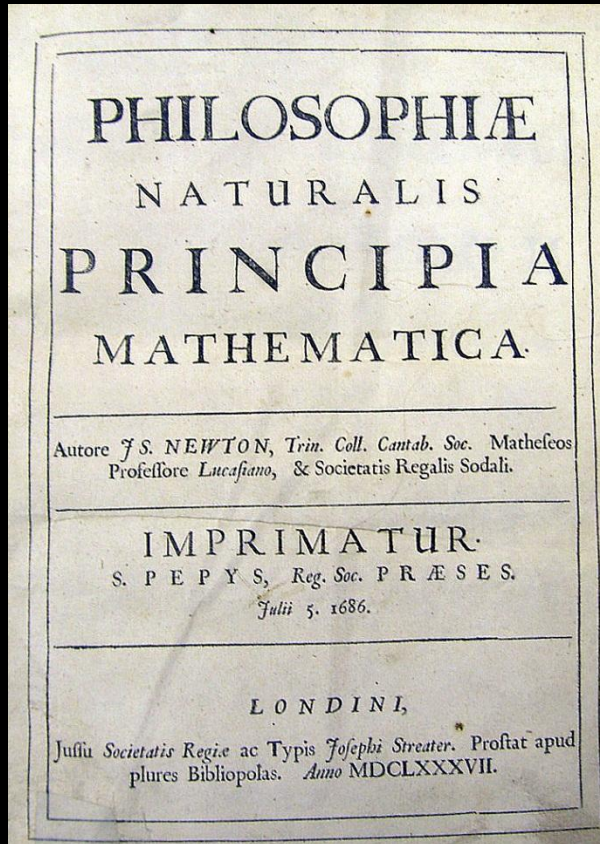
- 17世紀頃の英国で、思弁的な哲学と区別して人々が教養として身につけるべき「実験的な自然の哲学」を意味した
- Philosophiae naturalis principia mathematica
- 究理学 = 物理学 (+ 心理学) ≡ 理学

■ 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)
+ 断片的な事実の集積 (狭義のphysics)

Crawford Collection at Royal Observatory Edinburgh

≠



≠

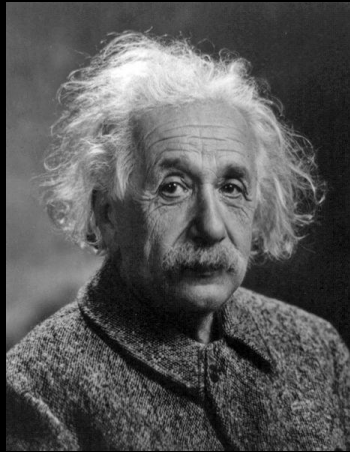


ニュートンの
デスマスク

プリンキピアの初版本(1687)
2007年10月24日撮影

物理教の経典

キ



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d3/Albert_Einstein_Head.jpg

- 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

神 vs 自然法則

- 物理学者は神を信じない人が多いかもしれないが、必ずしも宗教の存在価値を否定するものではない
 - 2010年9月、スティーブン・ホーキングが著書で「宇宙の誕生を説明するのに神は必要ない」と主張して議論を巻き起こした
 - 大半の日本人にとっては、それが話題となること自体が理解できないのではないか
- 科学と宗教の関係は難しいが、本来は相補的であるべきもの
 - そもそも神は定義があいまいなので、科学的な議論になじむものではない
 - 物理学者が自然法則と呼んでいるものは、宗教で神と呼んでいるものと似た役割をしていることが多い⇒「物理教」
- しかし、神あるいは宗教が単に営利を目的として用いられている場合があるとすれば、それは断固拒絶すべきである

物理学はあくまで自然界の近似的記述法

- 自然界の記述言語が数学である必然性はない
 - 自然(神様?)が微分方程式を解いて、物体の運動を決定しているとは思えない
 - にもかかわらずこれだけ多くのことが数学によって記述できることは奇跡であるとも言える
 - ガリレオ・ガリレイ「自然は数学の言葉で書かれている」
 - 現実に「解ける」問題に帰着させるには、本質だけを残した近似が必要
 - 仮にすべての要素を取り込んだ計算が可能だとしても、それでは結局物事の本質を理解できないばかりか、逆に理解から遠ざかるだけ

自然科学とえせ科学との違い

■ 自然科学の特徴

- 決して「厳密な」自然像構築のみを追求してはいない
- あくまで近似的描像を更新し続ける行為
- 論理自身は問題なくとも、実験が否定することもある

■ 「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
- 「説明できない事実が存在する」は自然科学の限界ではなく、むしろ出発点

自然科学は進歩する

■ 失敗する(できる)からこそ進歩する

- 失敗したことが明確に認識でき、その**反省**がフィードバックされた結果としてやがて次の成功を生む
- 過去の文献はどんなに偉大な貢献をしたものであっても、やがて新しい結果にとって代わられる

■ 自然科学は決して万能ではないし、記述できることには限界がある

- 「自然」あるいは実験・観測事実と矛盾すれば、どれほど論理的にすばらしい美しい理論であってもそれは(自然が残念ながら採用しなかったという意味で)間違いであり、捨て去らざるを得ない
- しかし、その営みを通じて「世界」をより深く理解するための本質的・不可欠な作業

政治・行政・哲学などは(あまり) 進歩しない(遅い)

■ 失敗から学ぶことが困難

- 失敗したかどうかは解釈に依存する
- 過去を変えることはできないので、現在の判断が正しかったのか間違っていたのか客観的な検証が困難

■ 定量的な予言が困難(検証が常にとづけ)

- 単に都合のよい部分だけをとってきて一見正しそうな論理をでっちあげることが可能
- 論理とは関係ない「権威」が存在する
- したがって、成果を検証する、さらに反省する、という当然の習慣がないまま次から次へと同じ過ちを繰り返す

注意：物理学(自然科学)帝国主義 を主張しているわけではない

- 自然科学以外の学問が自然科学より劣っていると主張したいわけではない
 - 『知の技法』(東大出版会、1994)において小林康夫先生は、文科系における反証可能性(falsifiability)の重要性を力説している
- 自然科学の方法論が体系として優れているのは事実であろうが、それは自然科学のほうが優れた学問だという意味ではない
- しかしながら、文科系の学生もまた理系的センスを持ち合わせることは重要(というか必須)

科学を学ぶ意味

- 「試験のために勉強する」わけではない
- 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
 - 善悪を区別する
- 結果が役に立つかどうかは別問題。答えが得られなくてもよい。世の中の不思議さを思い知る

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

役に立つ学問と役に立たない学問

- 「役に立つ」となぜ良いか
 - 生活を便利に⇒自由な時間が増える⇒人生を楽しむ（趣味=音楽、美術、文学、科学）
 - 技術が「売れる」⇒「儲ける」⇒何でも買える⇒人生を楽しむ（趣味=音楽、美術、文学、科学）
- 人生の究極的目的を突き詰めればやがて「役に立たない」ものに帰着
 - 狭義の「役に立つ」は、結局は広義の「役に立たない」を楽しむという文脈において意味をもつ？
- *C'est une occupation très jolie. C'est véritablement utile puisque c'est joli.*
(Le Petit Prince: Antoine de Saint Exupéry)

文学部と理学部

- 「文学部か、いいなあ」
- 「え、どうしてです」
- 「思い残すことがないでしょう」

私は《文学部しかない》と決めていて、それが何のためとは思わなかった。しかし、勉強が、それ自体のためというより、ステップであるということも当然あるわけだ。いや大学という存在の《機能》を考えたら、そちらの方が自然なのかもしれない。

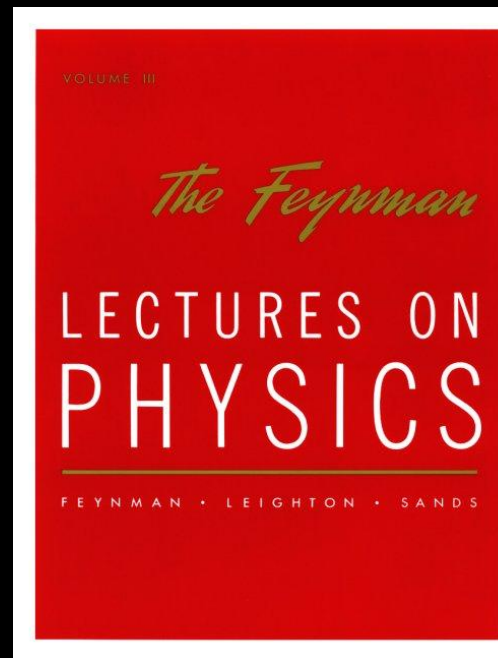
北村薫『六の宮の姫君』(東京創元社)

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**



Richard Feynman (The Feynman lectures on physics, volume III, Feynman's Epilogue)



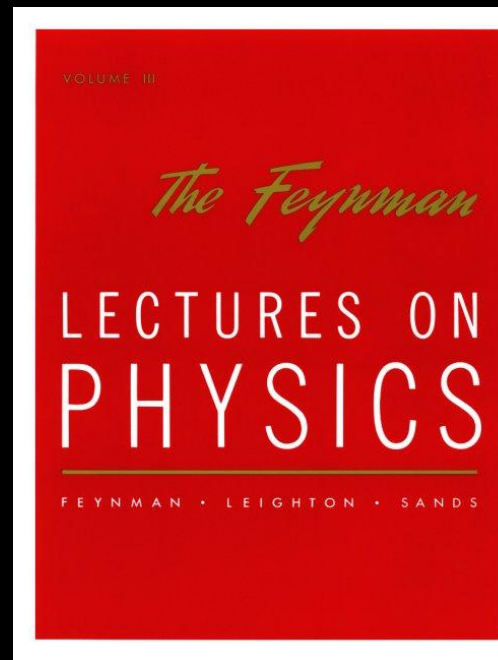
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Richard_Feynman.png

* 上記書籍の表紙について、PEARSON様に画像使用許諾の連絡を行ったのですが、ご返信を頂くことができませんでした。

- Finally, may I add that the main purpose of my teaching has not been to prepare for some examination -- it was not even to prepare you to serve industry or the military.



Richard Feynman (The Feynman lectures on physics, volume III, Feynman's Epilogue)



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

* 上記書籍の表紙について、PEARSON様に画像使用許諾の連絡を行ったのですが、ご返信を頂くことができませんでした。

- 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.)*

Henri Poincaré (Science et méthode, 1908)



http://en.wikipedia.org/wiki/File:JH_Poincare.jpg

- *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 et méthode, 1908)



http://en.wikipedia.org/wiki/File:JH_Poincare.jpg

- *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



http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Terada_Torahiko_in_1935.jpg

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

ここにはアンパンマンマーチの歌詞が
掲載されていましたが、
著作権の都合上削除されました。



フレーベル館刊
(C)やなせたかし/フレーベル館・TMS・NTV

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

科学リテラシー＝科学的思考法

- 文系か理系かといった瑣末な問題ではない
- 科学的**知識の有無**を問題としているのでもない
- いわゆる文系と分類される職業の代表（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（⇔文科I類）に最新の科学・技術の理解がなくては問題の正しい判断が困難であるのも事実
- **残念ながらそれが欠如している（しかもそれに気づかず恥じていない）としか思えない人が多いのも事実**
 - 文系と理系の深い溝（第4回⑥で議論する予定）

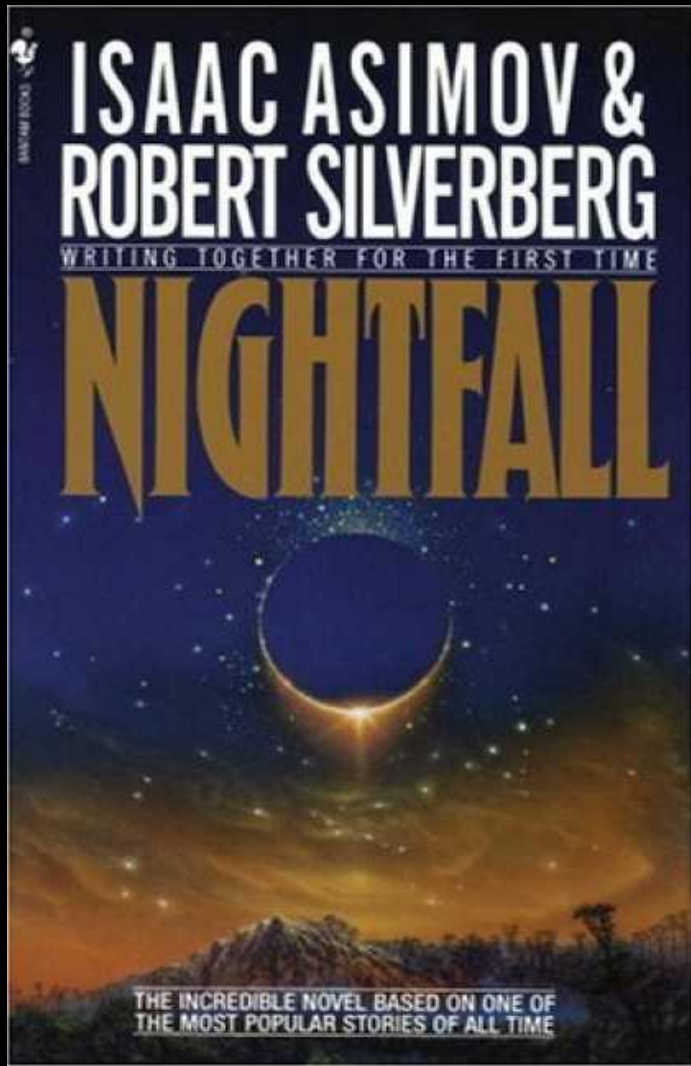
② 我々は何も知らなかった

✦



アイザック アシモフ著:「夜来たる(Nightfall)」 イラスト: 羽馬有紗

アイザック アシモフ: Nightfall (夜来たる)



- 夜が真の世界を認識させることを教えてくれる名作
- “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.”

* 上記書籍の表紙について、PEARSON様に画像使用許諾の連絡を行ったのですが、ご返信を頂くことができませんでした。

A photograph of the Subaru Telescope dome and its upper structure on a mountain peak under a clear blue sky. The main structure is a large, cylindrical, silver-colored building with a white base, situated on a reddish-brown mountain peak. To the right, a smaller, white, dome-shaped structure is visible. The sky is a deep, clear blue.

⚡ (すばる観測所、田中壱氏撮影)



⚡(すばる観測所、田中壺氏撮影)

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

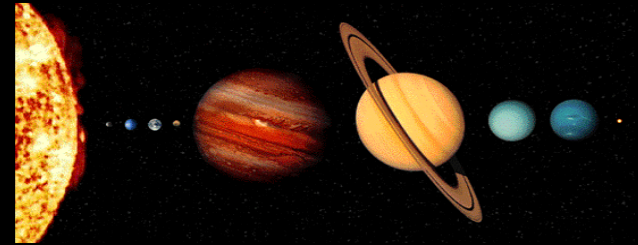
■ 中国の五行説

- (木、火、土、金、水)
× (陽、陰)

- 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)

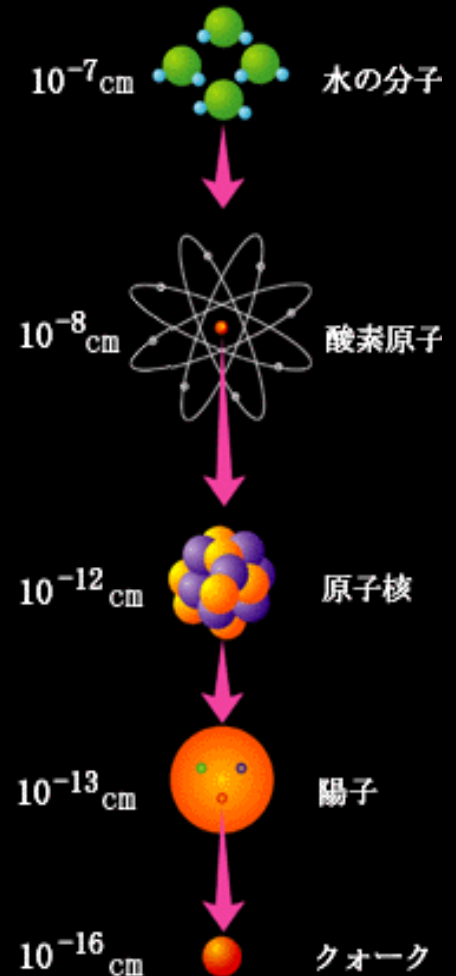
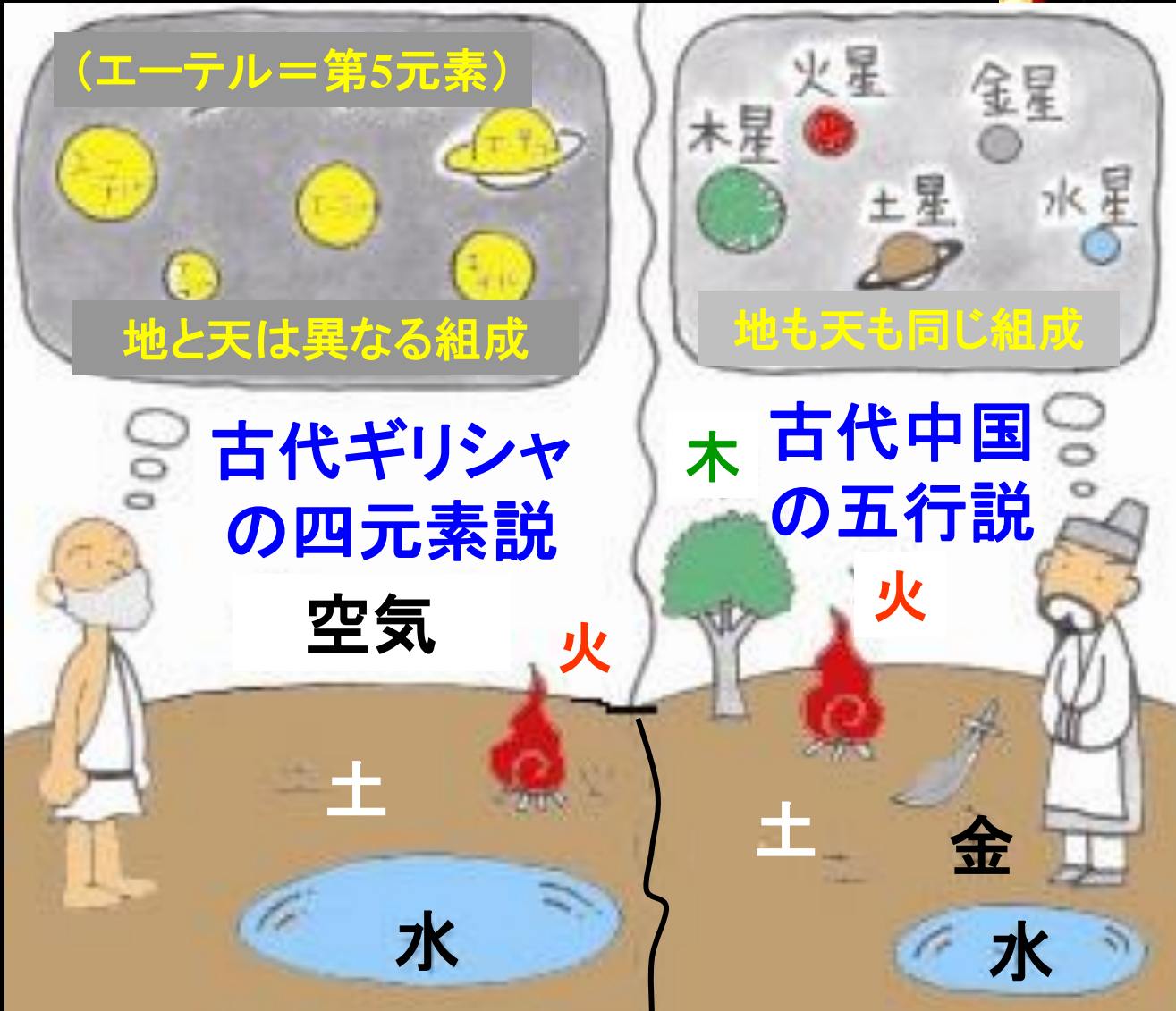


日月火水木金土

	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

自然界に思いをはせる

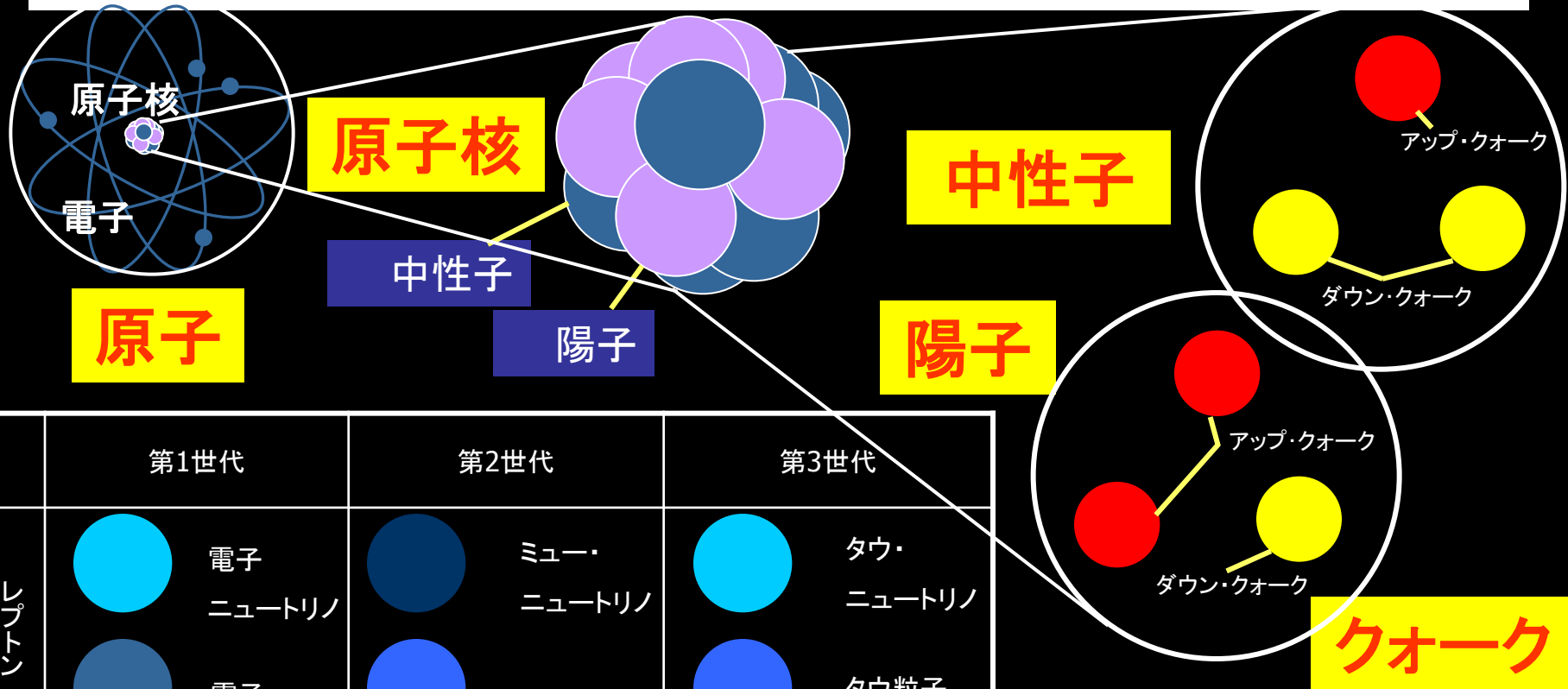
幸



(いずれも 須藤靖「ものの大きさ」図1.1より)

すべての物質は素粒子からできている

クォークからなる複合粒子＝バリオン（普通の元素）



	第1世代	第2世代	第3世代
レプトン	電子 ニュートリノ	ミュー・ニュートリノ ミュー粒子	タウ・ニュートリノ タウ粒子
	ダウン アップ	ストレンジ チャーム	ボトム トップ

原子核の周囲を電子がまわって原子をつくる。原子核は陽子と中性子から、陽子と中性子はアップ・クォークとダウン・クォークから構成されている。

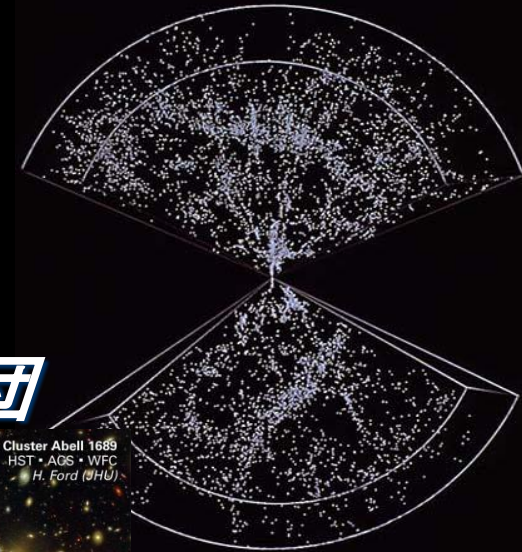
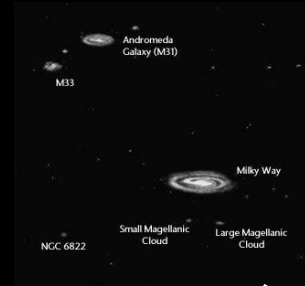
宇宙の主成分は元素か？

- 地上の物質のほとんどすべては元素(原子)から構成されている
 - 光やニュートリノもあるがそれらは全質量への寄与としては無視できる
 - 原子は原子核(=陽子+中性子)と電子からできているが、電子の質量は陽子の2000分の1なのでその寄与も無視してよい
 - 陽子と中性子は「バリオン」と呼ばれる種族である(本来はクォークから構成されている複合粒子の総称)
 - このため、通常物質のことを指して「バリオン」というやや不正確な表現が慣用となっている
- 宇宙も地上と同じく普通の粒子(=バリオン)だけからなると考えるのがもっとも自然なのだが、実は違う！

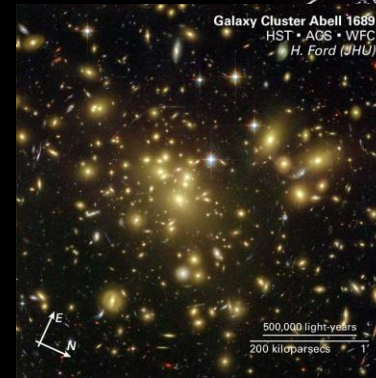
宇宙を構成しているもの

宇宙の大構造

銀河群



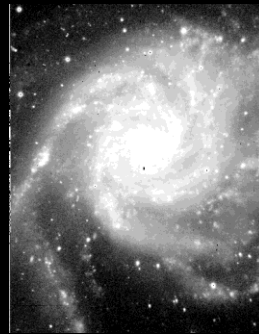
銀河団



矮小銀河



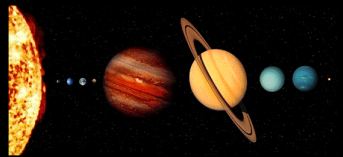
銀河



星団

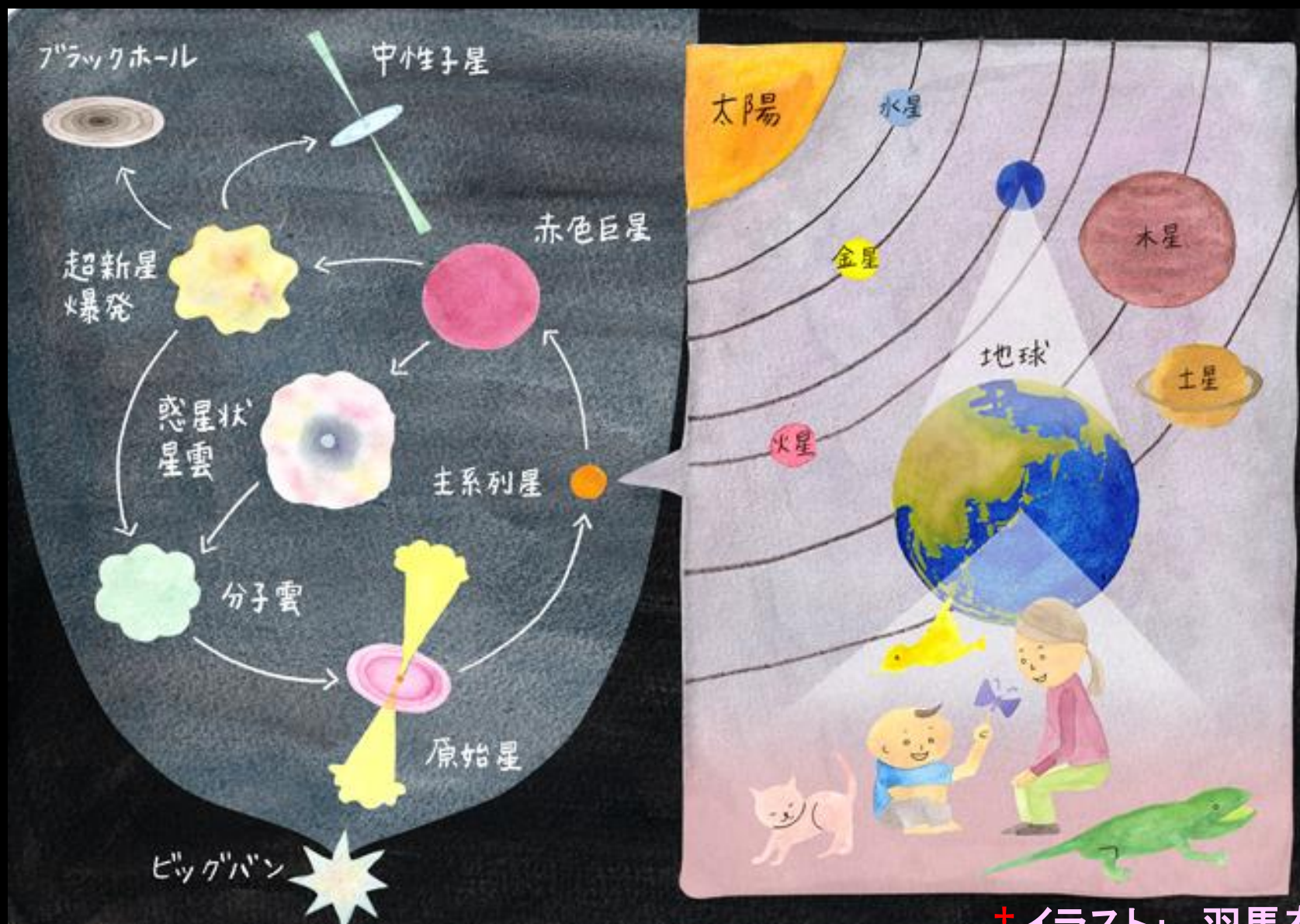


太陽系



天体諸階層の典型的大きさ [光年]

ビッグバンから星・元素・生命の誕生へ

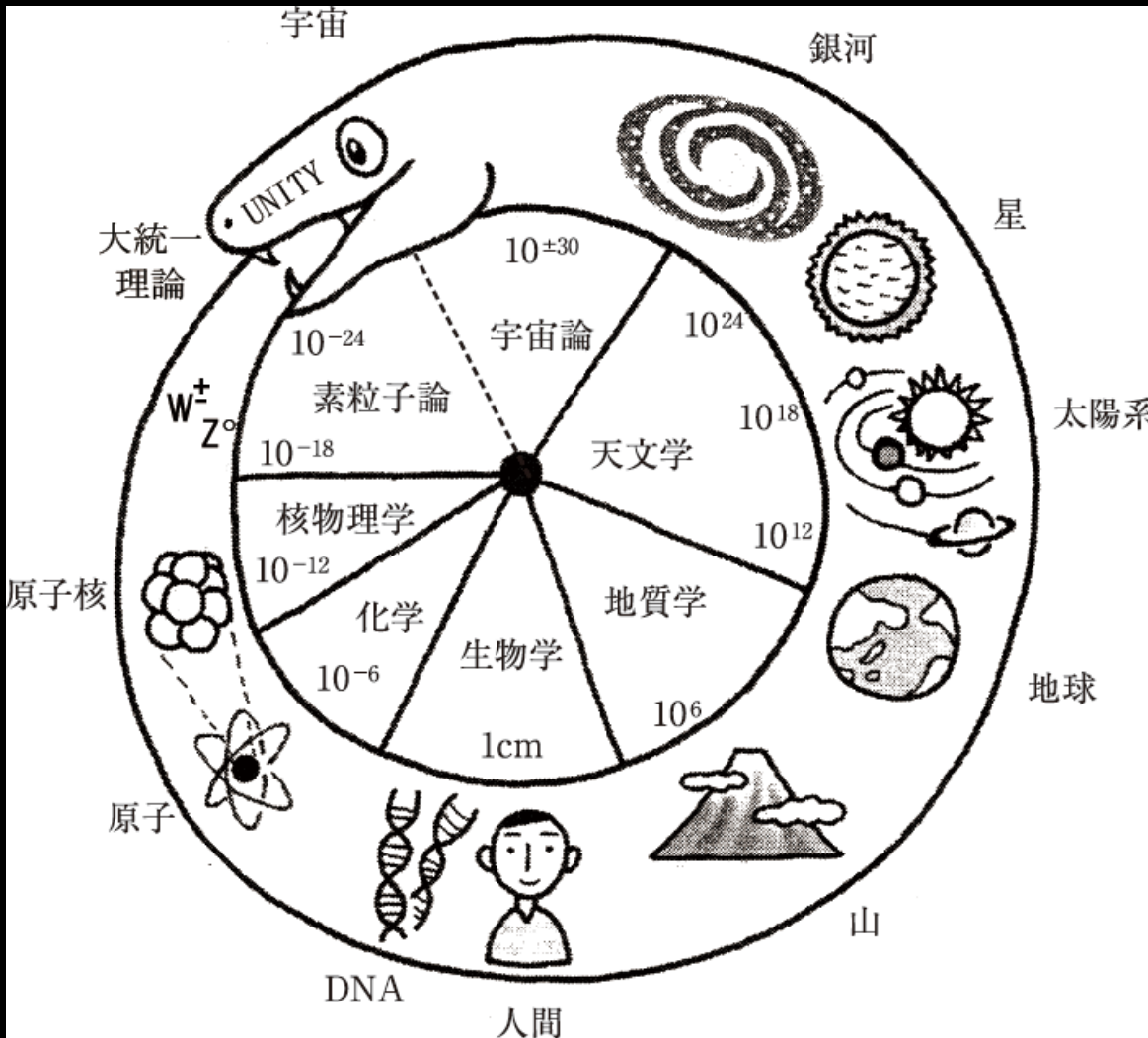


イラスト：羽馬有紗

我々は星の子供：宇宙の元素循環

- ビッグバン後、最初の3分間で合成された軽元素から、数億年後に**第一世代の星**が誕生
- **星の内部で重元素が合成され、それが星の進化の最終段階で宇宙にばらまかれる**
- それを材料として**次の世代の天体**が誕生
- この過程の繰り返しが宇宙での元素循環
- **我々は、かつて宇宙のどこかで生まれた星の内部で合成された重元素、さらには宇宙最初の3分間で合成されたヘリウムを材料としている！**

自然界の成り立ち



- 宇宙の大きさは約 10^{27} cm, すべての物質を形づくる素粒子の大きさは約 10^{-24} cm
- この約50桁も離れた巨視的世界と微視的世界とは宇宙の進化を通じて結びついている

Sheldon Glashow 著 “Interaction”のなかの図をもとに作成

「もの大きさ—自然の階層・宇宙の階層」 fig04-01 須藤-靖 著、東大出版会 (2006年)

イラスト:いずもりよう

天文学・宇宙物理学共通の目標:

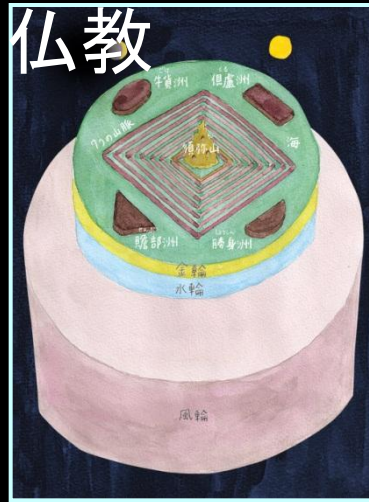
夜空のムコウの世界を探る

我々の世界はどうなっているかを解き明かす

古代エジプト



仏教



古代インド



直接役に立つわけではなくとも人生を豊かにしてくれる本質的な疑問に挑戦する

- 宇宙は何からできているか？ (宇宙論)
- もう一つの地球はあるか？ (太陽系外惑星研究)
- 生命はいかにして誕生したのか？ (宇宙生物学)

宇宙の誕生

宇宙マイクロ波背景放射

Radiation Era
"Dark Ages"

第一世代天体

First stars

原始銀河

First galaxies

HUBBLE ULTRA DEEP FIELD

HUBBLE DEEP FIELD

HUBBLE DEEP FIELD

銀河宇宙

遠くの宇宙は過去の宇宙

Big bang

Modern universe

137億年

10億年

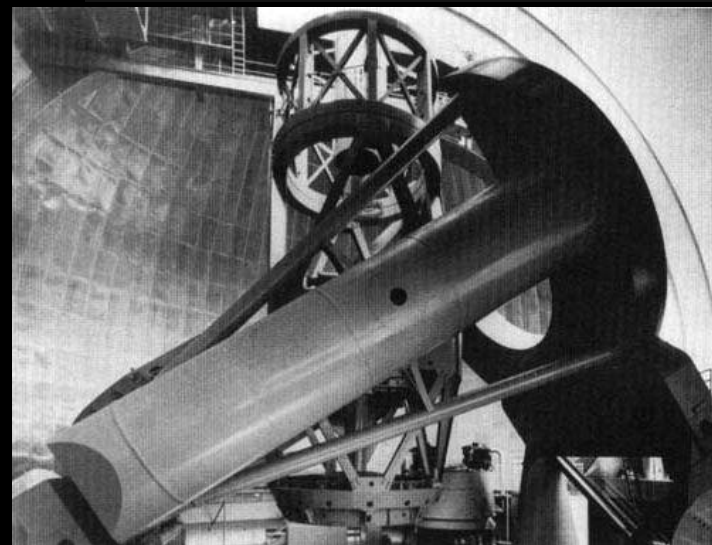
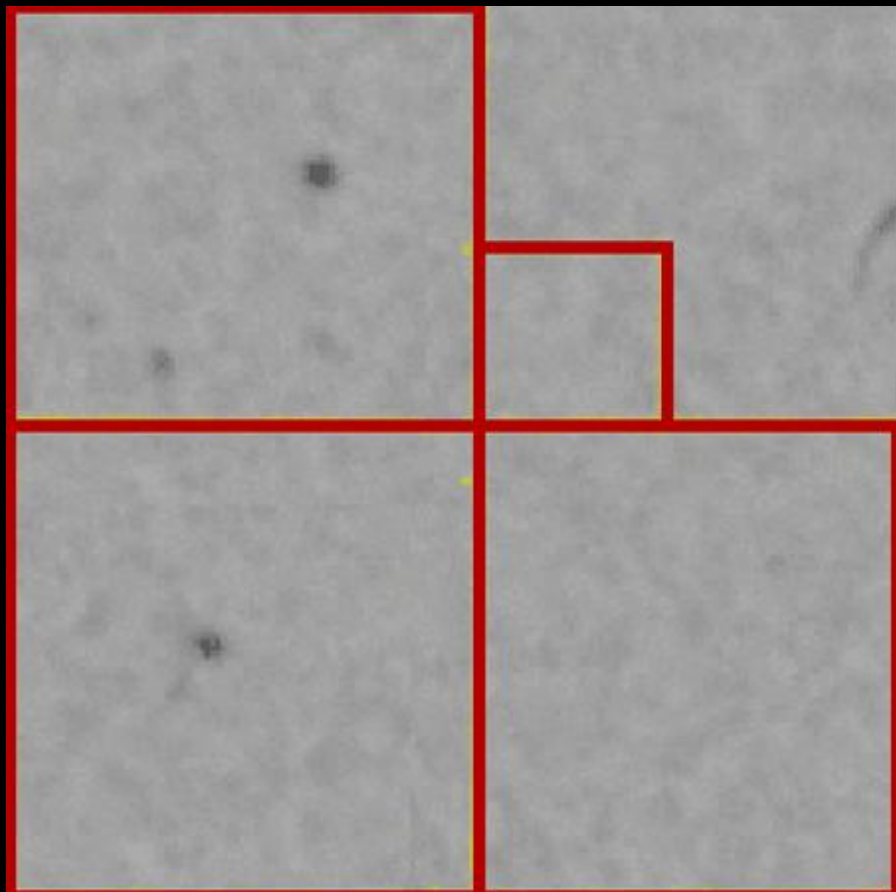
4億年~7億年

Age of the universe (billions of years)





宇宙を見る目の進歩 (1)



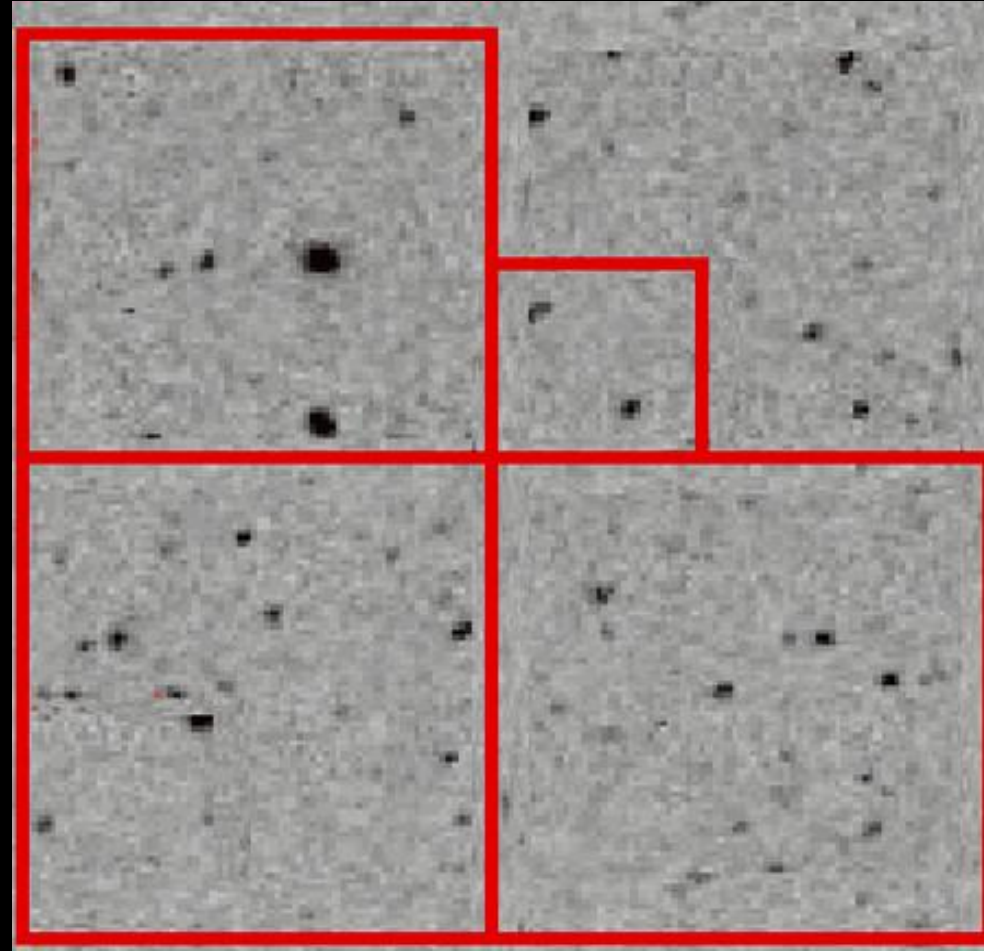
地上5m望遠鏡＋写真乾板
100万×人間の眼

塚田 捷 (編)

「物理学のすすめ」筑摩書房 (1997年8月刊行、第2章 宇宙物理 執筆)



宇宙を見る目の進歩 (2)



地上4m望遠鏡+CCD:
100×写真乾板

塚田 捷 (編)

「物理学のすすめ」筑摩書房 (1997年8月刊行、第2章 宇宙物理 執筆)





塚田 捷 (編)
『物理学のすすめ』筑摩書房 (1997年8月刊行、
第2章 宇宙物理 執筆)



宇宙を見る目の進歩 (3)

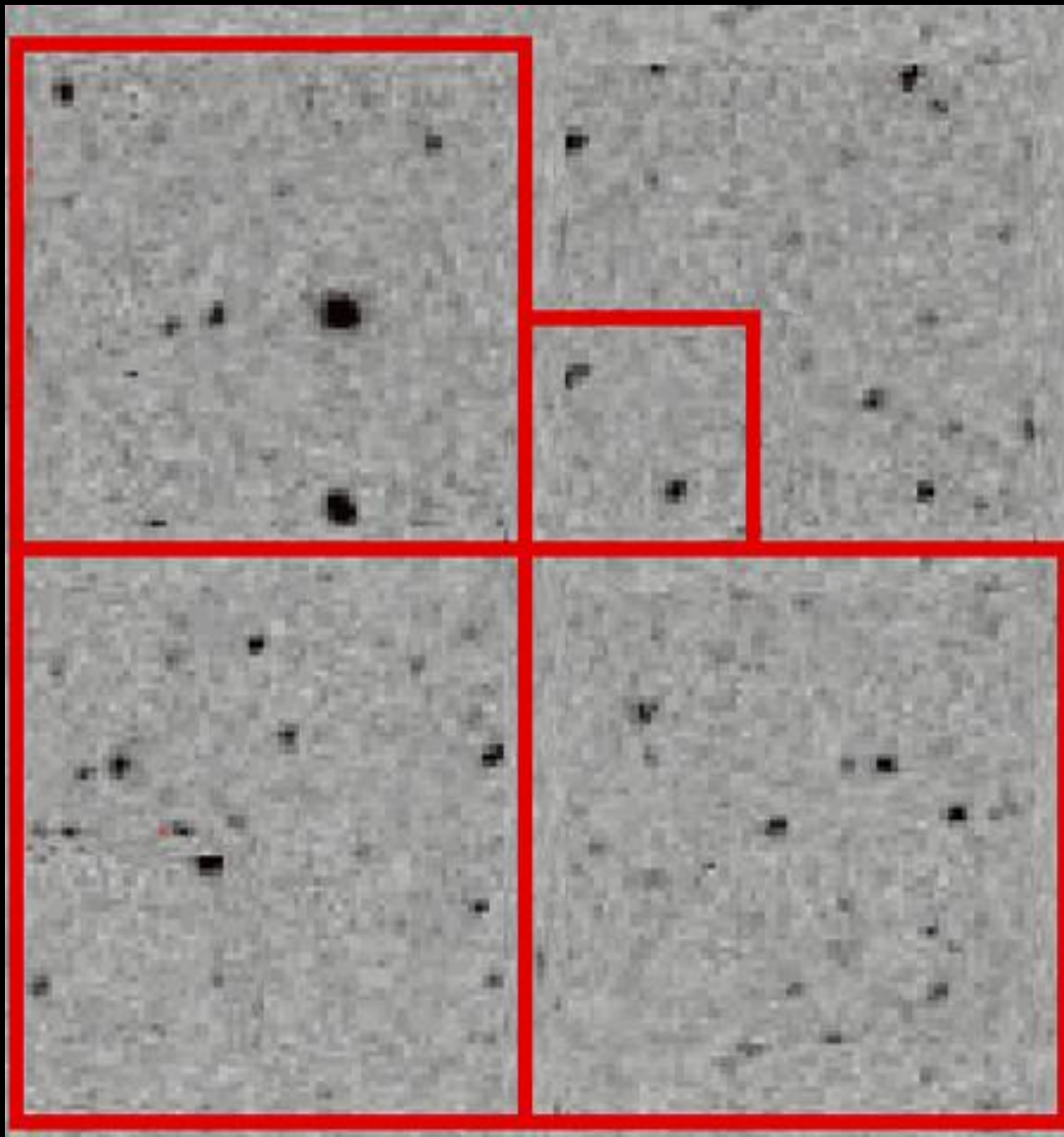


⌘ <http://hubblesite.org/gallery/spacecraft/10/>

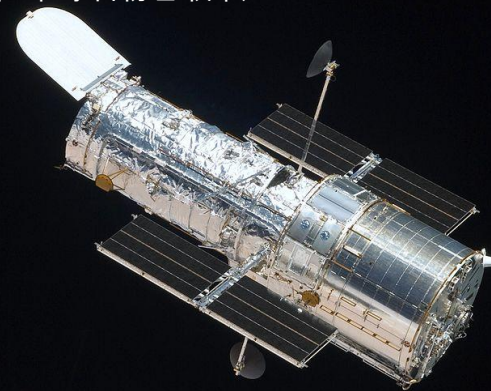
ハッブル宇宙望遠鏡

⌘ <http://hubblesite.org/gallery/spacecraft/25/>





✚ 塚田 捷 (編)
『物理学のすすめ』筑摩書房 (1997年8月刊行、
第2章 宇宙物理 執筆)



✚ <http://hubblesite.org/gallery/spacecraft/25/>

宇宙を見る目の進歩 (4)

✚ 塚田 捷 (編)
『物理学のすすめ』筑摩書房 (1997年8月刊行、第2章 宇宙物理 執筆)



Hubble Deep Field

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

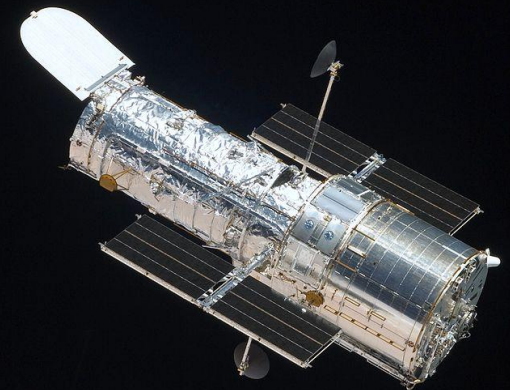
HST WFPC2

ハッブル宇宙望遠鏡+CCD: 1000×地上望遠鏡

<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/1996/01/image/d/format/web/>

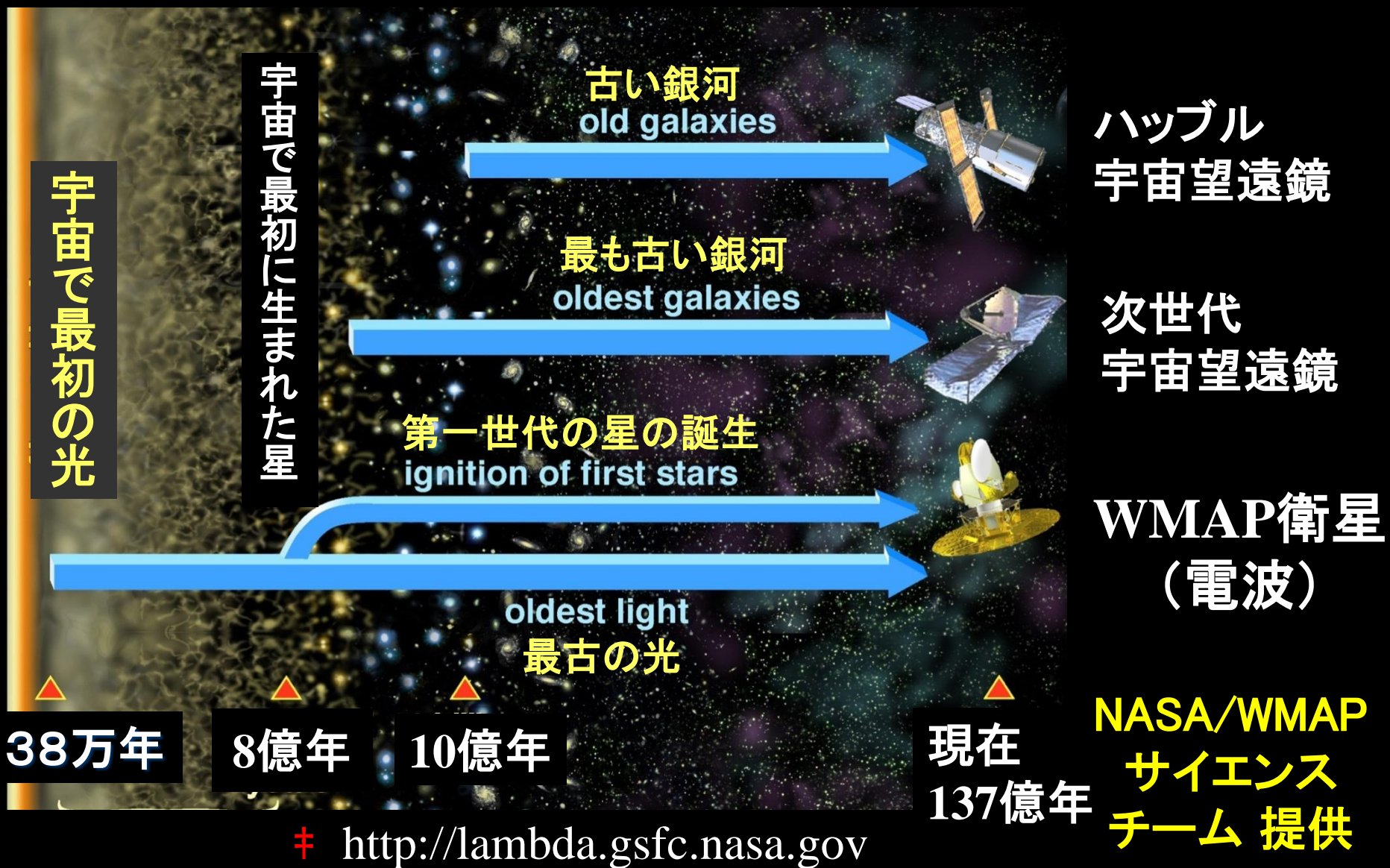


✦ 塚田 捷 (編)
『物理学のすすめ』筑摩書房 (1997年8月刊行、
第2章 宇宙物理 執筆)



✦ <http://hubblesite.org/gallery/spacecraft/25/>

衛星によってさらなる宇宙の果てを見る

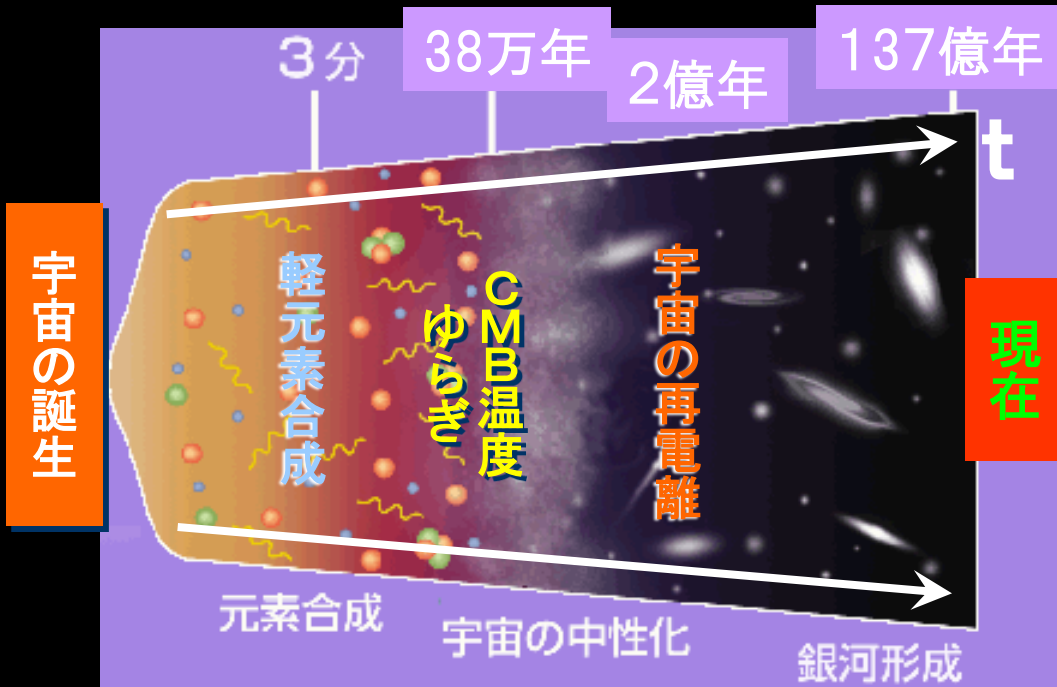


さらに遠く(=過去)を見たい

- 現在は、宇宙が誕生してから137億年
- 宇宙が誕生してから8億年後(つまり、今から129億年前!)の姿はすでに観測可能な時代
- しかし、さらにその昔はまだ天体が誕生していないので、可視光では見たくても見ることができない
 - ⇔ 宇宙が生まれたときの最初の光を見る
- 現在はマイクロ波と呼ばれる波長0.1cm程度の電磁波として全宇宙を満たしている
 - ⇔ CMB:宇宙マイクロ波背景放射

宇宙マイクロ波背景輻射

晴れ上がり直後の宇宙を満たしていた電磁波:ビッグバンの観測的証拠 (今から137億年前の宇宙の光の化石)



- 宇宙の晴れ上がり
 - 誕生後約38万年で、電子と陽子が結合して水素原子となる(宇宙の中性化)
 - 宇宙は電磁波に対して透明となる
- CMBを発見したA. PenziasとR.Wilsonは1978年度ノーベル物理学賞受賞

量子ゆらぎの生成

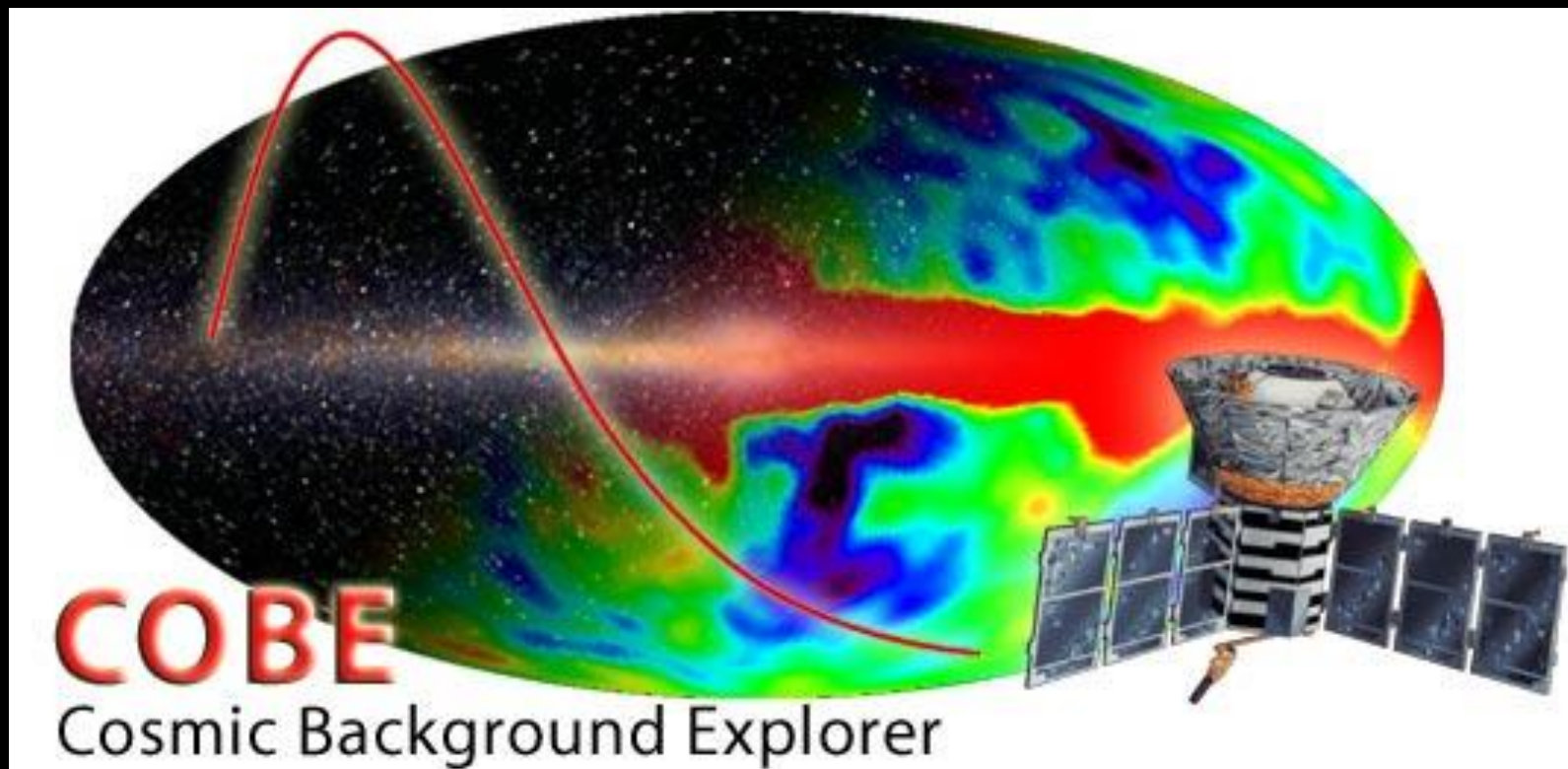
第一世代天体の誕生

銀河の形成

銀河団の形成

宇宙の大構造

2006年度ノーベル物理学賞： COBE衛星を用いた宇宙マイクロ波背景輻射 の精密観測 (J.Mather & G.Smoot)



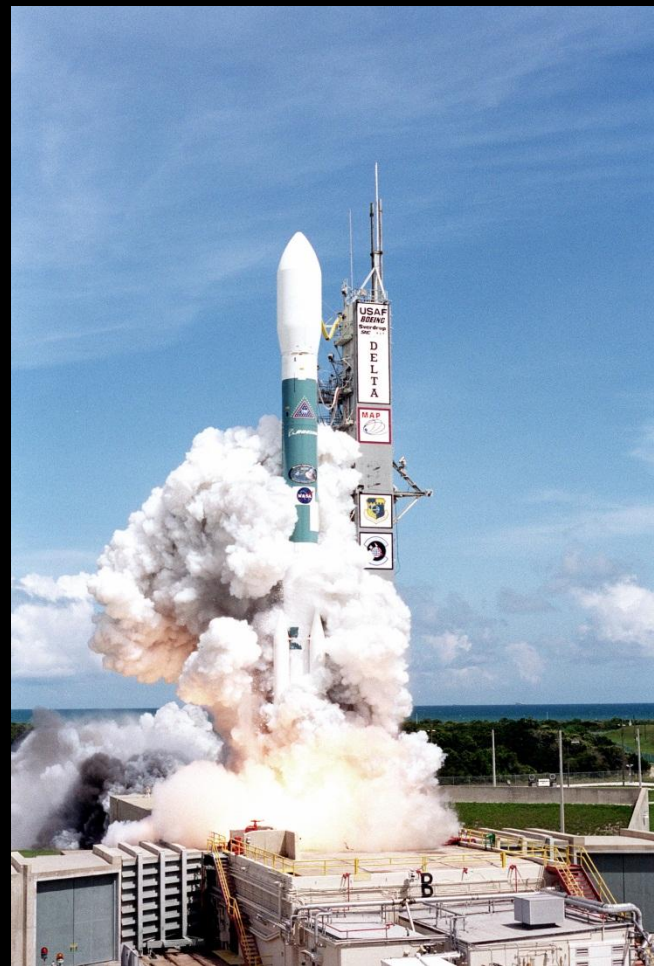
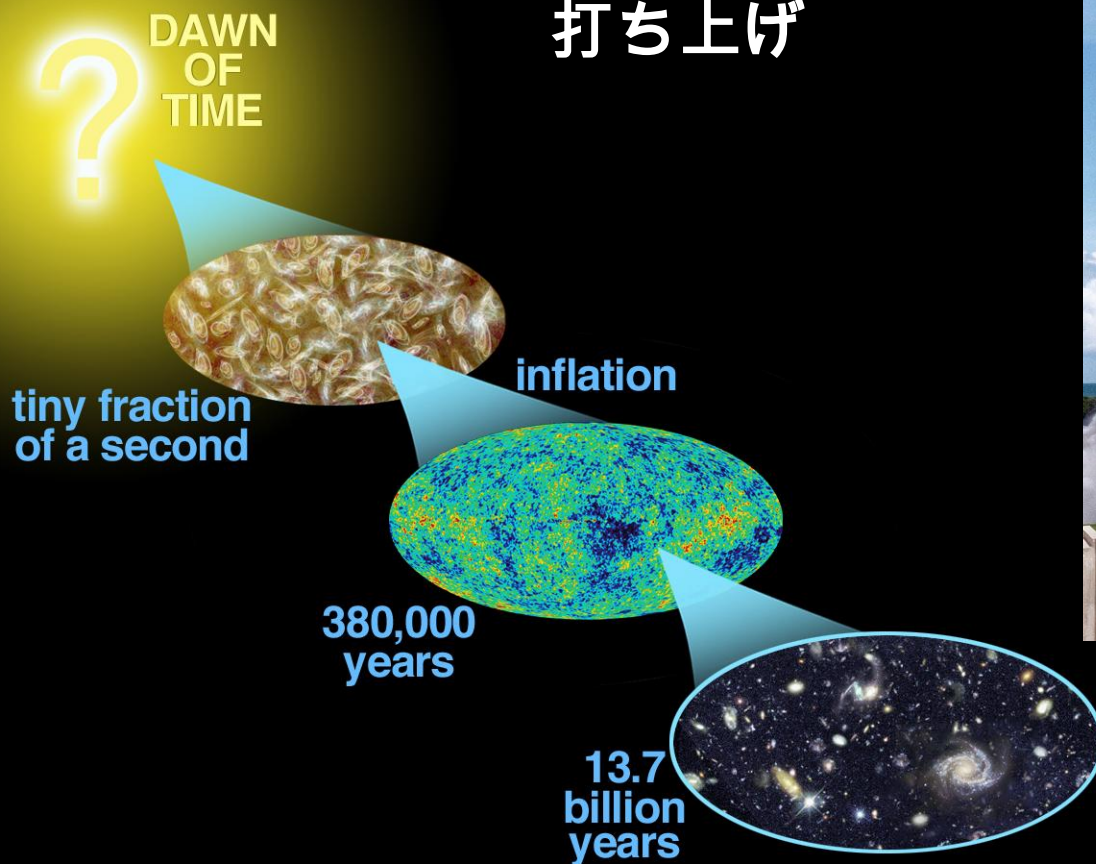
WMAP (ウィルキンソンマイクロ波非等方性探査衛星)

<http://lambda.gsfc.nasa.gov> ㊦

㊦ 2001年6月30日 15:46:46

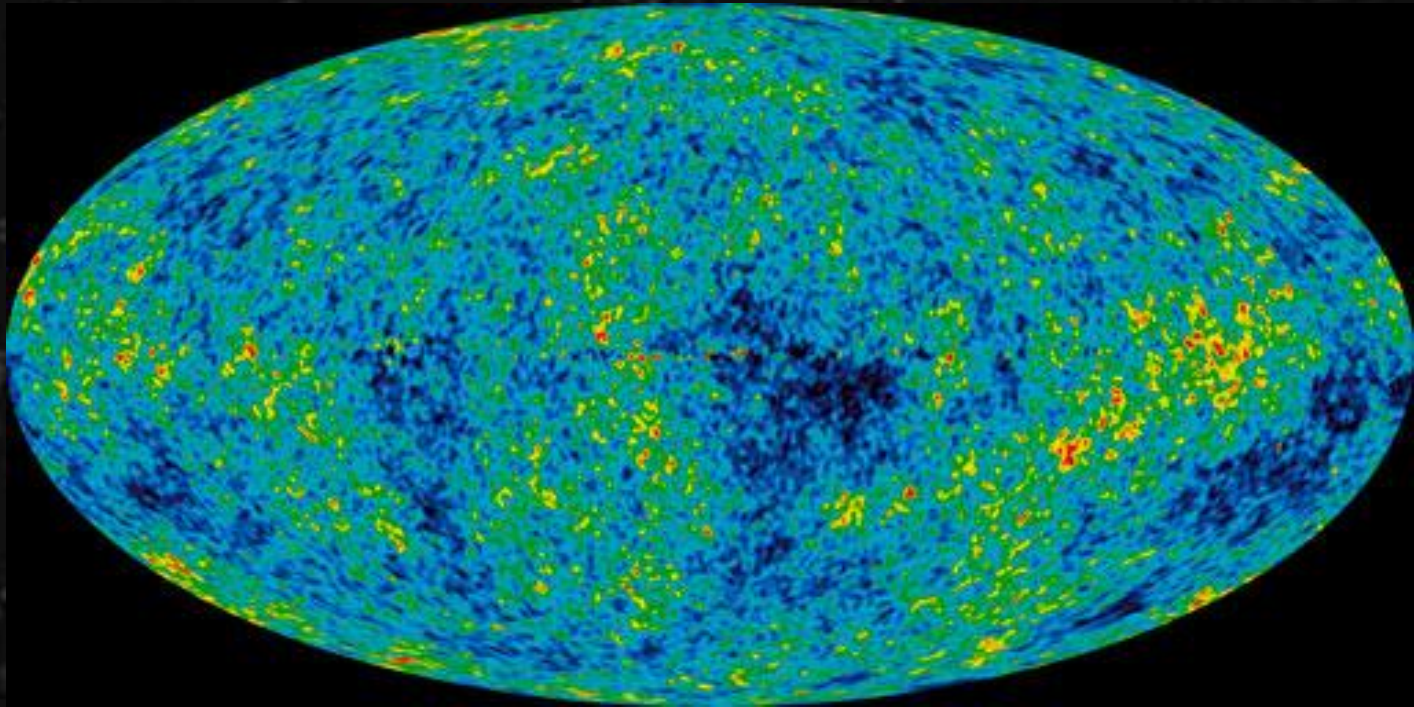
米国東海岸標準時間

打ち上げ



NASA/WMAP
サイエンスチーム提供

WMAP衛星：地球から宇宙の果てへの旅



≠ NASA/WMAP サイエンスチーム提供

<http://lambda.gsfc.nasa.gov>

今回のまとめ

- ① 物理屋の世界観
- ② 我々は何も知らなかった

見えなくとも「夜空のムコウ」にあるもの

- 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

自然界の本質を見抜く

ここに挿入されていた下記書籍のイラストは、
著作権の都合により、削除されました。

新訳 星の王子さま (単行本)
アントワーヌ・ド・サン＝テグジュペリ (著), 倉橋 由美子 (翻訳)
宝島社
p8

見えているものがすべてではない

ここに挿入されていた下記書籍のイラストは、
著作権の都合により、削除されました。

新訳 星の王子さま (単行本)
アントワーヌ・ド・サン＝テグジュペリ (著), 倉橋 由美子 (翻訳)
宝島社
p9、22

Le Petit Prince: Antoine de Saint Exupéry

ここに挿入されていた下記書籍の
イラストは、著作権の都合により、
削除されました。

新訳 星の王子さま (単行本)
アントワーヌ・ド・サン＝テグジュペリ (著),
倉橋 由美子 (翻訳)
宝島社
p104

ダークマター
ダークエネルギー
太陽系外惑星
地球外知的生命

***It's only with the heart
that one can see clearly
What's essential, is invisible to the eye
L'essentiel est invisible pour les yeux***

Le Petit Prince: Antoine de Saint Exupéry