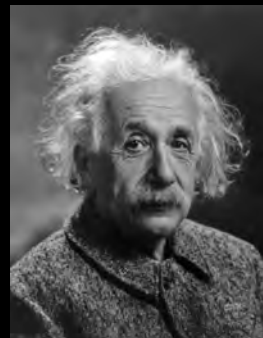
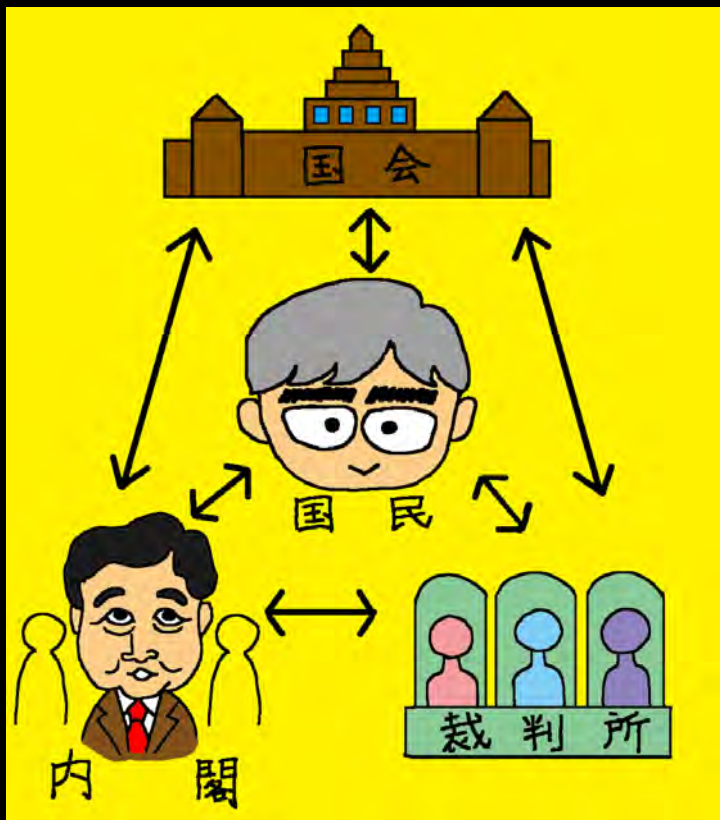


Lawの番人: 法則と法律の違い



物理学者

物理法則

自然世界

学術雑誌
読者



東京大学大学院理学系研究科 物理学専攻 須藤 靖

2018年9月25日 16:00-18:00 @知財高裁研究会

http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation_2018j

本日の目次

1. 法則と法律は違うのか
2. 単純な法則から生まれる複雑な世界
3. 自然界の基本法則: 4つの相互作用
4. 物理法則はどの程度正しい?
5. 自然界における必然と偶然
6. 4つのマルチバースと人間原理
7. 世界はLawに支配されている

1 法則と法律は違うのか

我々が義務教育で学ぶべき最も重要な科学観

「世界はlaw(法則)に従っている」

- 物理法則に矛盾する現象は絶対に起こらない
 - 「原理的には」すべての物事は予言可能なはずであるが、「実際には」その信頼性には限界がある
 - 一方で、「科学的にあり得ない」という結論はほぼ信頼できる
- しかし、「科学的結論だから絶対正しい」あるいは「科学は万能である」は、明らかな間違い(まさに非科学的)
 - 科学は単純な基本法則(law)に加えて、複雑な条件＋推論からなる
- 科学リテラシー: 科学の有効性と限界をとともに理解し疑うことができること ≠ 科学的知識の暗記

我々が義務教育で学ぶべき最も重要な社会規範 「人々はlaw(法律)を遵守しなくてはならない」

- 法律に反する出来事は必ずしも珍しくない
 - 「原理的には」すべての人々は法を遵守すべきであるが、「実際には」合法と違法の判断には限界がある
 - 「違法である」という結論自身が必ずしも絶対的ではない
- さらに、「合法だからやってもよい」あるいは「法律は絶対的真理である」は、明らかかな間違い(皆さんの立場は別?)
 - 社会は明確な法律(law)に加えて、道徳や倫理からなる
- 法律リテラシー: 法律の有効性と限界をとともに理解し疑うことができること ≠ 六法全書の暗記(AI裁判官)

科学教育の目的： 科学的思考法を身につける

(これは今まで講演会で用いてきたスライドをそのまま使っています。あらかじめご容赦を)

- 文系か理系かといった瑣末な問題ではない
- 科学的知識だけの問題でもない
- 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・技術の理解なしに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、人生のあらゆる場面で本質的

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

(おそらく司法関係者にも共通する部分があるかもしれません)

- 他人とコミュニケーションがうまくとれない
 - 研究結果の批判からさらなる発展を学びとれない
- 本を読んで勉強することだけが好き
 - 知識は別として、「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
 - 優れた学者の後追いをすることで自分も優秀だと勘違いしてしまう
- 語学力・文章力・表現力が低い
 - 私の毎日はほとんどの時間、日本語・英語での議論あるいは文章書き

試験が得意な人 ≠ 研究者に向いている人

(「研究」を「司法関係」と置き換えれば共通する部分があるかもしれません)

■ 通常の筆記試験の評価基準

- 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なす

■ これらは研究の現場とはすべて「矛盾」

- 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次元ではなく、本質的に多次元

- 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・研究を楽しめることが大前提

法則は世界(=宇宙)のどこに刻まれているのか

- 法律(law)は、いつどこで誰が決めたかわかっていて、文書として記録も残っている
 - にもかかわらず、法律違反は珍しくないし、法律と照らし合わせて違反かどうか判定する人間(裁判官)すら必要
- 法則(law)は、いつ誰がどこか、具体的な実態としてどこに存在するのかすら不明
 - にもかかわらず、法則違反はありえないし、どのような法則があるのかを探し続ける人間(科学者)すら存在する
- とすれば、宇宙そのものが法則と同じものなのでは？

なぜ法則は数学で正確に記述可能か

■ ガリレオ・ガリレイ

- 宇宙の原理は数学という言葉で記述されている

■ ユージン・ウィグナー

- 数学の不合理的なまでの有効性

■ アルバート・アインシュタイン

- 経験とは独立した思考の産物であるはずの数学が、物理的実在とこれほどうまく合致するのはなぜか

■ リチャード・ファインマン

- 数学を知らずして自然界のもっとも深遠な「美」は理解できない

■ 世界（法則）と数学は実は同じものなのでは？

2 単純な法則から生まれる複雑な世界

ラングトンの蟻

- 極めて単純な決定論的規則だけから予想不可能な複雑なパターンが生まれ得る
 - 検索するとネット上にいろいろな例が紹介されている



Step: 199

ウィキペディアからダウンロードしたアニメーション

単純な法則から生まれる複雑な世界



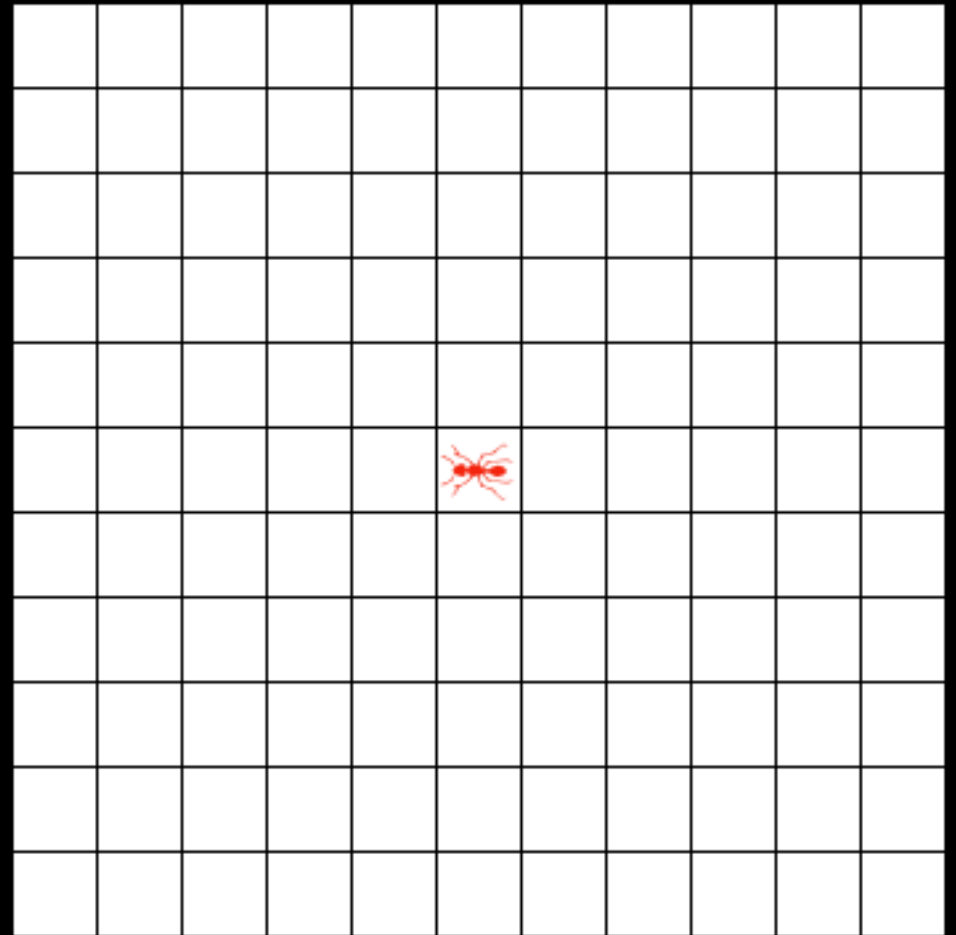
Step: 199

ウィキペディアより

- **物理学における二つの大きな目標: 普遍性と多様性**
 - 複雑に見える現象からその背後にある単純な法則を見抜く
 - 単純な法則からなぜこのような多様性が生まれるかを理解する
 - 対象が何であるかは問わない(物質のみならず、生物・経済・社会・心理現象、脳などまさに森羅万象)

複雑な世界に隠された単純な摂理

- 黒と白の2色からなる2次元タイルをアリが以下の**単純な法則**にしたがって動く
 - 黒いマスに入ると、 90° 左に方向転換し、そのマスに色をつけ、1マス前進
 - 白いマスに入ると、 90° 右に方向転換し、そのマスの色を黒にして、1マス前進
- 最初の黒と白のタイルの配置(**初期条件**)によって複雑なパターン(**世界**)が生まれる



ウィキペディアより

複雑に見える世界であってもそれを支配する原理は単純？
(=「言われてみれば簡単」)

All truths are easy to understand
once they are discovered;
the point is to discover them.

Hale Telescope at the Palomar Observatory

Photograph of 200-inch Hale telescope and dome.

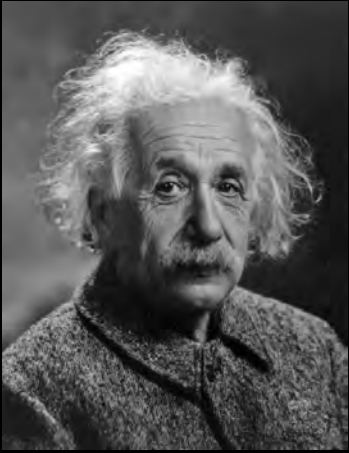
Image Credits: Peter Sorel and Charles H. Cahill

- Galileo Galilei

2010年10月7日@カリフォルニア工科大学天文学教室講堂

3 自然界の基本法則：4つの相互作用

物理教の経典

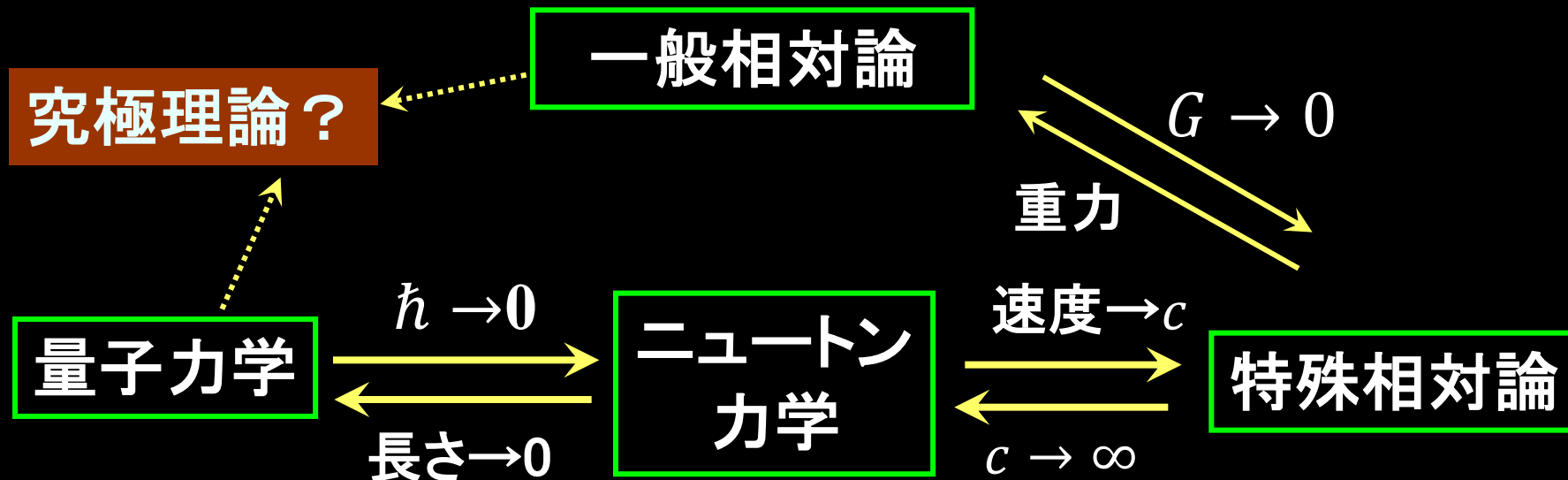


http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d3/Albert_Einstein_Head.jpg

- 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
- 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を突き止めていない(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
- 「神様」を持ち出す必要はない

この世界を支配する基礎物理学と物理定数

- 自然界のスケールは基本物理定数の値で決まる
 - ニュートンの重力定数 G : 重力の強さ
 - 光速 c : 情報が伝わる速度の上限
 - プランク定数 \hbar : 作用の最小単位
- これらの値が異なる世界は、我々の世界とは全く異なる振る舞いをする(より根源的な法則の存在?)



世界は何からできている？

■ 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)

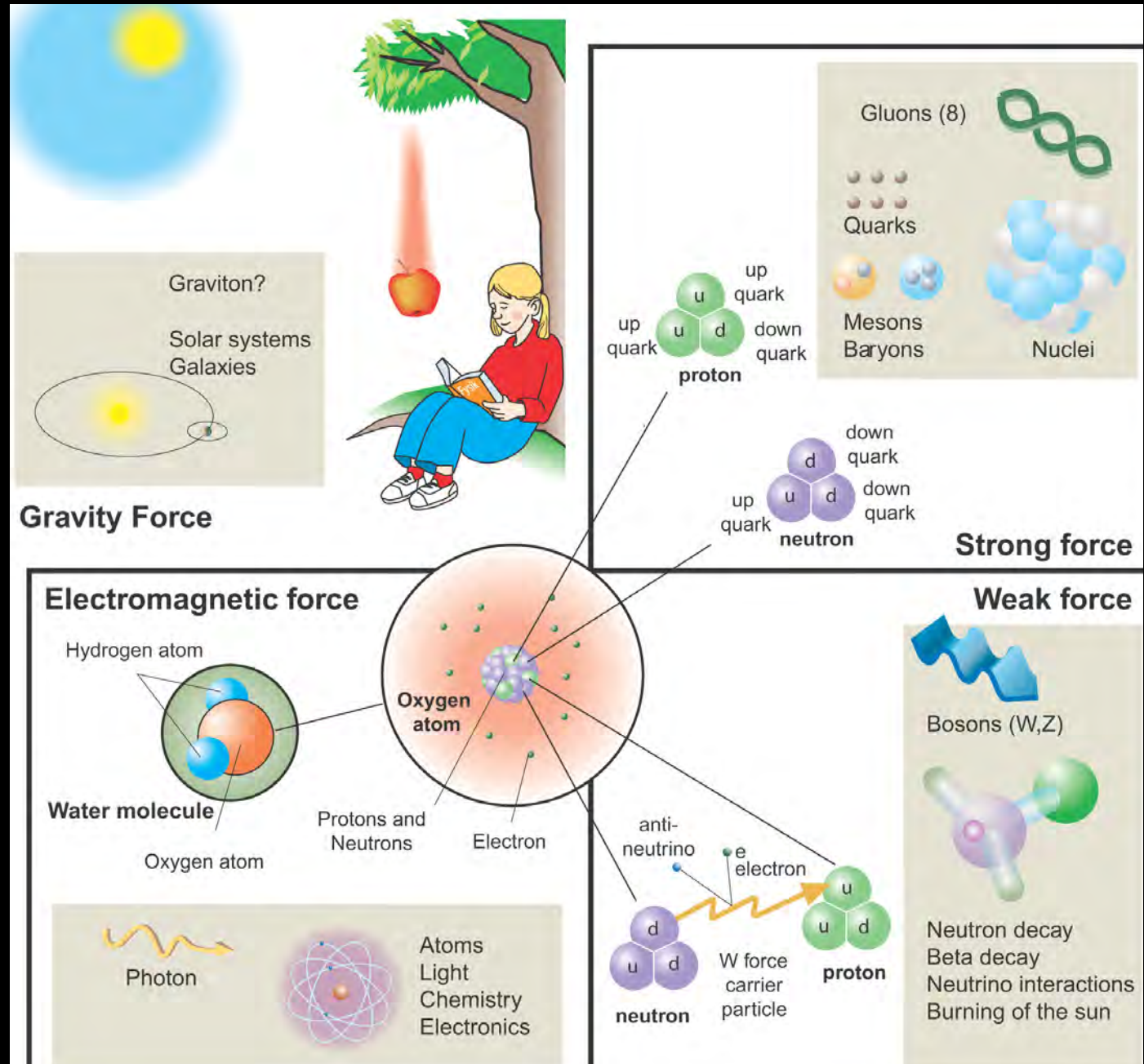


日月火水木金土

	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

自然界に働く 「力」はすべて この4つに帰着

[https://
www.nobelprize.org/](https://www.nobelprize.org/)



自然界の4つの相互作用(=力)

既知のすべての現象は「原理的には」この4つの相互作用で説明尽くされる(要素還元主義)

種類	性質	強さ	力の媒介粒子	到達距離
重力	質量を持つ物体間に働く万有引力	$\alpha_G = \frac{Gm_p^2}{\hbar c} \approx 10^{-38}$	重力子 (質量ゼロ)	無限大 ($\propto 1/r^2$)
弱い力	レプトン、クォーク間に働く(原子核の崩壊に寄与し、引力とか斥力というイメージではない)	$\alpha_W = \frac{g_W^2}{4\pi\hbar c} \approx 0.03$	W+, W-, Zボソン (質量約100GeV)	10^{-15} m
電磁力	電荷を持つ物体間に働く引力あるいは斥力	$\alpha_{EW} = \frac{e^2}{\hbar c} \approx \frac{1}{137}$	光子 (質量ゼロ)	無限大 ($\propto 1/r^2$)
強い力	クォーク間、あるいは核子間に働く結合力	$\alpha_S = \frac{g_s^2}{4\pi\hbar c} \approx 1$	グルオン(質量ゼロ)、 あるいはパイ中間子 (質量約140MeV)	10^{-18} m

素粒子の標準模型：世界の物質階層

クォーク

第1世代	第2世代	第3世代	電荷
u (アップ)	c (チャーム)	t (トップ)	+2/3
d (ダウン)	s (ストレンジ)	b (ボトム)	-1/3

レプトン

第1世代	第2世代	第3世代	電荷
ν_e (電子ニュートリノ)	ν_μ (ミューニュートリノ)	ν_τ (タウニュートリノ)	0
e (電子)	μ (ミュー粒子)	τ (タウ粒子)	-1

ゲージ粒子

電磁相互作用	γ (光子)
強い相互作用	グルオン
弱い相互作用	Z粒子、W粒子

ヒッグス粒子

4 物理法則はどの程度正しい？

どの程度なら「正しい」理論と言える？

ニュートン力学と水星の近日点移動

- 太陽の周りの水星の楕円軌道公転運動
 - 他の惑星がなければこの楕円は変化しない
 - ただし、他の惑星の重力のために、この楕円の軸が100年間に531秒角だけずれる(水星の近日点移動)
 - 観測値は574秒角、すなわち100年に43秒角だけの残差が存在
- そもそもニュートン力学の精度がすごい



- 水星は $100\text{年} \div 88\text{日} \approx 400$ 回以上公転
- つまり、一公転あたりわずか0.1秒角のズレしかない
- ニュートン力学および天文観測の驚異的な精度と信頼性

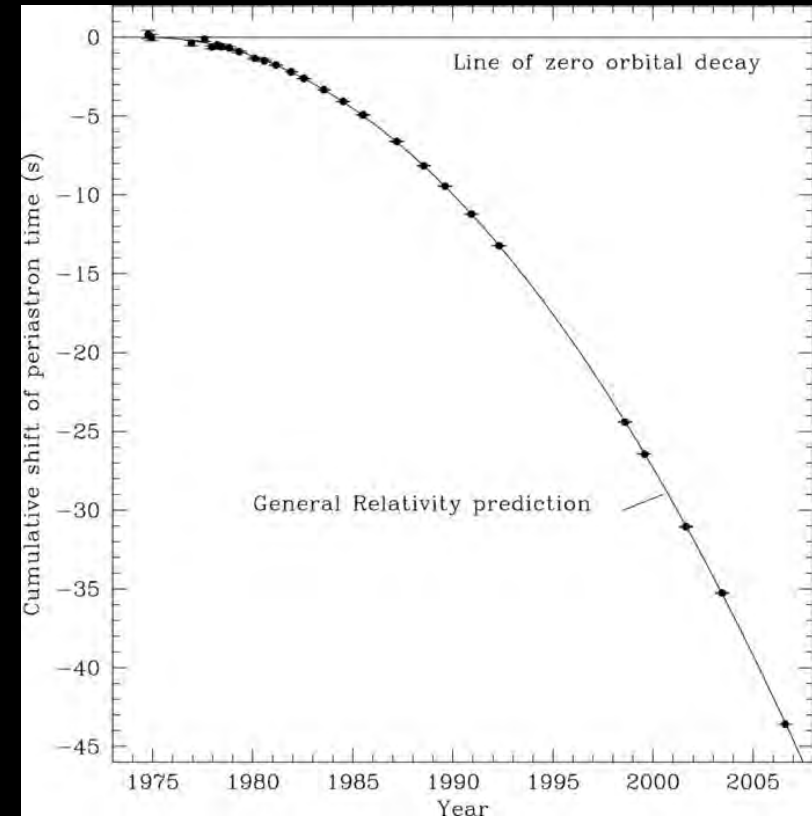
どの程度なら「正しい」理論と言える？： 一般相対論と水星の近日点移動

- 何と一般相対論は、この水星の近日点移動が、ニュートン力学の予言に比べて43秒角だけずれることを自然に説明
 - 観測の誤差0.5秒角の精度で一致
 - アインシュタインの時代には観測値は 45 ± 5 秒角
 - このずれを説明する「ため」の理論などではない
 - 意外性・統一性・定量性が物理学の理論の「正しさ」を示す
- 単なる解釈や価値観、偶然とは明らかに異なる
 - ただしその元となったニュートン力学も同等にすごい
 - 「ニュートン力学は間違い」といった表現はあまりに皮相的
 - 「世界は法則にしたがっている」を確認できる(物理教)

どの程度なら「正しい」理論と言える？

重力波の間接的検出

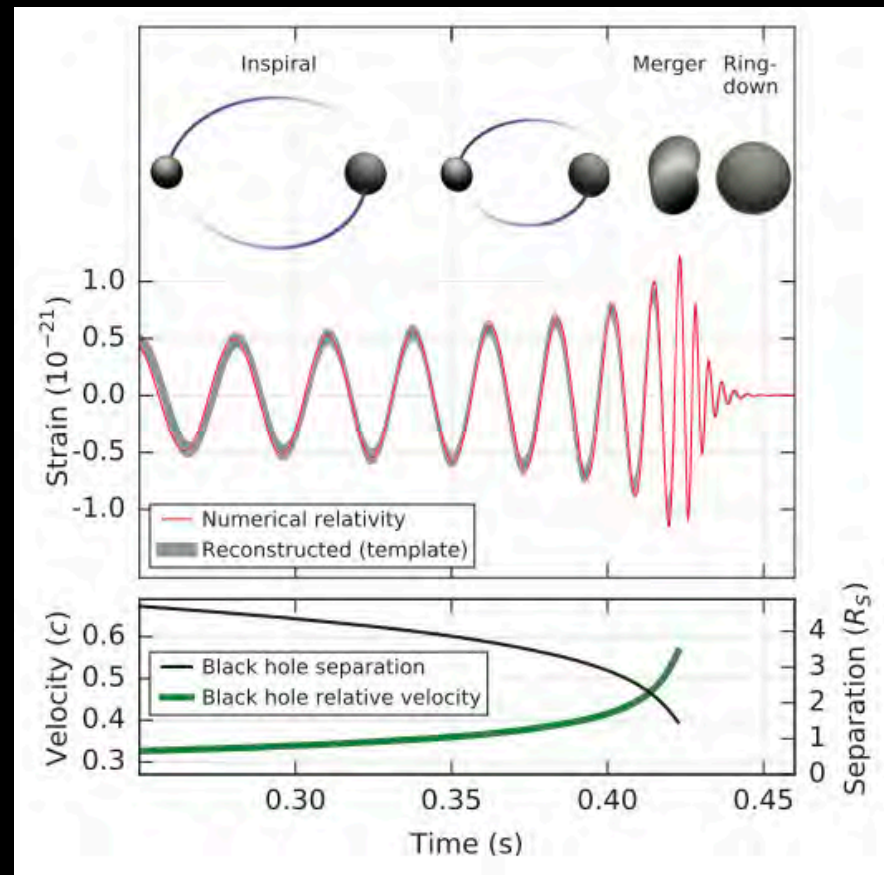
- 連星系をなす中性子星(半径わずか10kmの太陽質量天体:星自体が巨大な原子核)の公転周期($P=7.75$ 時間)が重力波放射によるエネルギー損失によって減少
 - 一般相対論の予言:
 - $\Delta P/\Delta t = -2.402531 \pm 0.0014 \times 10^{-12} \text{s/s}$
 - (理論値)/(観測結果) = 0.997 ± 0.002
 - 1993年ノーベル物理学賞



Weisberg, Nice & Taylor:
ApJ 722(2010)1030

どの程度なら「正しい」理論と言える？ 重力波の直接検出

- 3km離れた2点間距離の変化を $\Delta L/L=10^{-21}$ の精度で検出
- 地球・太陽間の距離が原子1個分だけ変化する
 - 2017年ノーベル物理学賞
 - 基礎物理学と最新測定技術発展の成果



Abbott et al. Phys.Rev.Lett.
(2016)061102

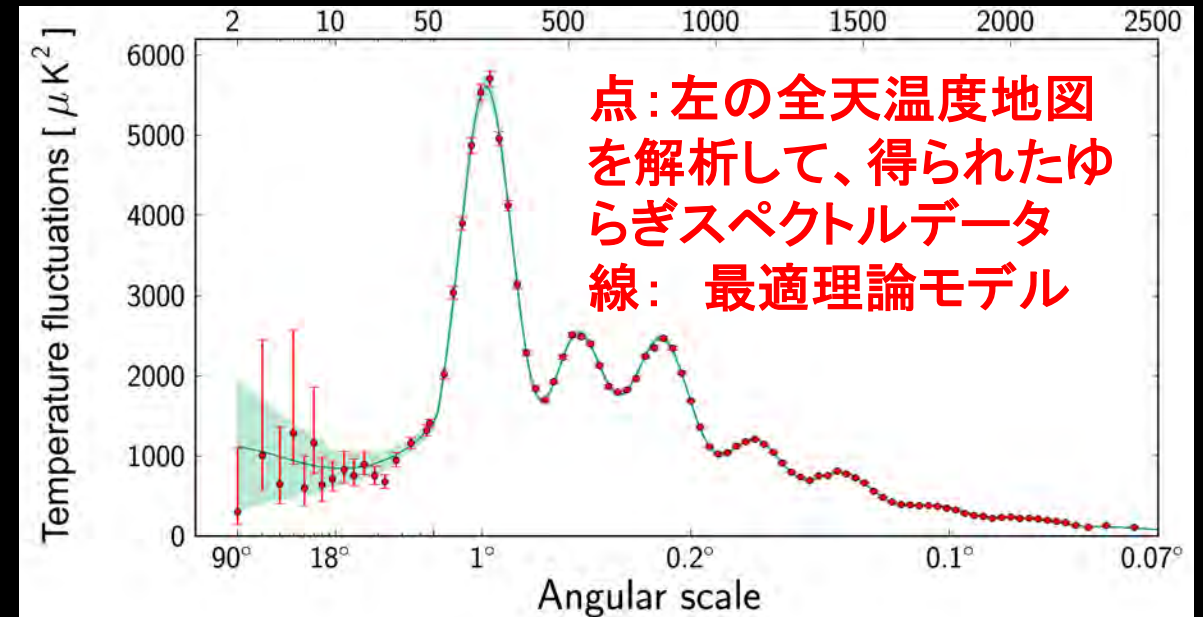
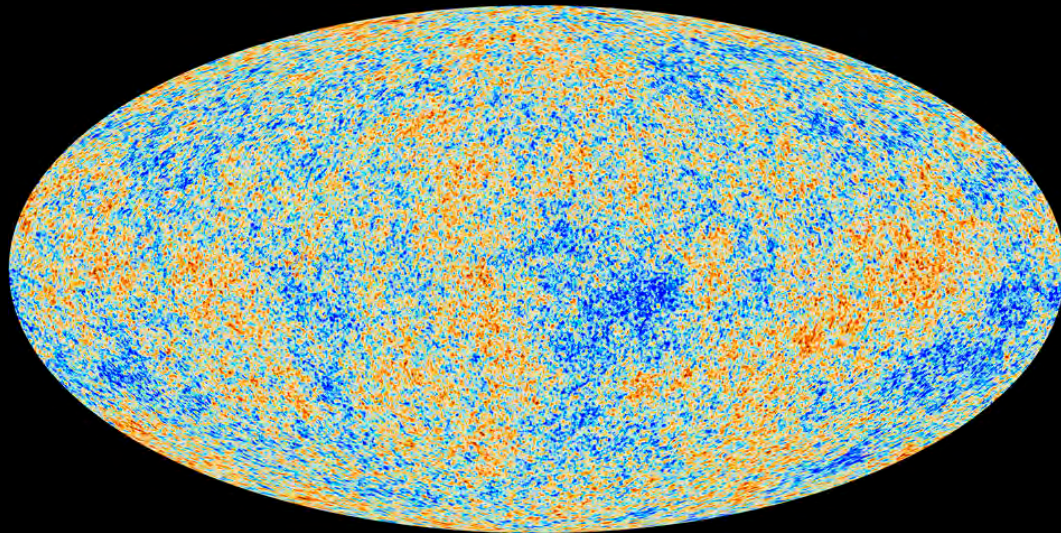
<https://www.ligo.caltech.edu/>

どの程度なら「正しい」理論と言える？

宇宙マイクロ波背景輻射

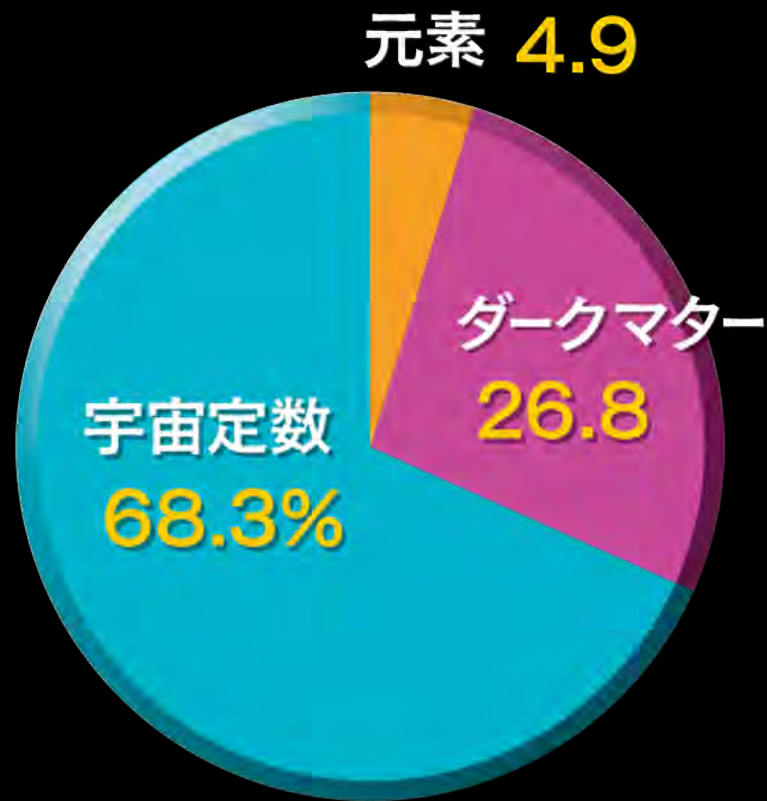
プランク衛星の観測データ(2013)

http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2013/03/Planck_and_the_cosmic_microwave_background



- わずか6つのパラメータだけで特徴付けられる一般相対論的標準宇宙モデルで見事に説明される
 - 宇宙の空間曲率、元素、ダークマター、ダークエネルギー、年齢が推定可能
 - 実験室レベルだけではなく、この宇宙(世界)も物理法則に従っている！

この宇宙マイクロ波背景輻射地図 と物理法則からわかったこと： 現在の宇宙の組成



- 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

現代物理学が確立した世界観

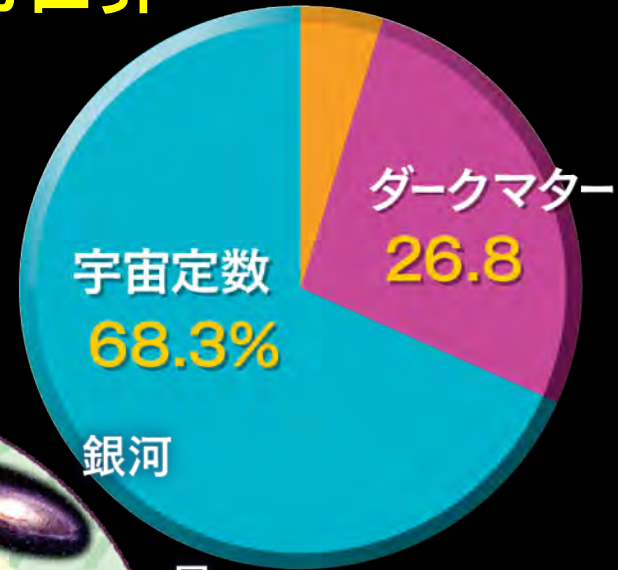
mass →	≈2.3 MeV/c ²	≈1.275 GeV/c ²	≈173.07 GeV/c ²	0	≈126 GeV/c ²
charge →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H Higgs boson
QUARKS					
	≈4.8 MeV/c ²	≈95 MeV/c ²	≈4.18 GeV/c ²	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	91.2 GeV/c ²	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
LEPTONS					
	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	80.4 GeV/c ²	
	0	0	0	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
					GAUGE BOSONS

微視的世界

素粒子

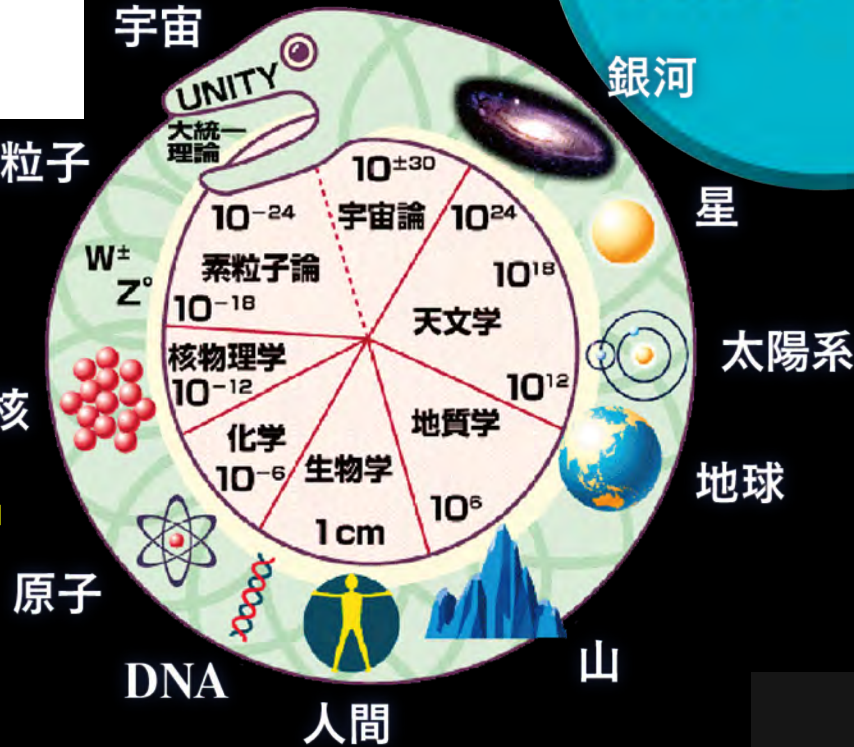
巨視的世界

元素 4.9



世界の階層

原子核



5 自然界における必然と偶然

必然と偶然

■ 科学が解明すべき究極の謎

- なぜ生命は誕生したのか
- なぜ意識が芽生えたのか
- なぜ宇宙は存在するのか

■ 必然と偶然の接点

- この宇宙のどこかで生命が誕生することは必然(?)
- 進化した生物がやがては意識をもつのもまた必然(?)
- しかし、宇宙の存在・誕生は必然なのか偶然なのか?
 - そもそも、宇宙誕生の前に物理法則(必然)はあったのか

この自然界の相互作用の強さの比は どう考えても不自然そのもの

- 電磁気力の強さ: 微細構造定数 (無次元数)

$$\alpha_E = \frac{e^2}{\hbar c} \approx \frac{1}{137}$$

e は陽子の電荷
陽子同士に働くクーロン力 e^2
を無次元化した数値

- 重力の強さ: 重力微細構造定数 (無次元数)

$$\alpha_G = \frac{Gm_p^2}{\hbar c} \approx 6 \times 10^{-39}$$

m_p は陽子の質量
陽子同士に働く重力 Gm_p^2
を無次元化した数値

- 電磁気力と重力の強さの比 $\frac{\alpha_E}{\alpha_G} \approx 10^{36}$

この比はとてつもなく大きな数値なので不自然 (理論的に説明が困難)。一方で、だからこそ少々地面に落とそうが原子は決して壊れない。つまり、この不自然な値こそが世界の安定性を保証している。

(我々の)宇宙を特徴付ける値

■ 現在の宇宙を特徴付ける値 (定数ではない、時間変化)

- 宇宙の年齢: 137億年
- 宇宙の温度: 3度 (摂氏マイナス270度)
- 宇宙の密度: 10^{-29} g/cm³
- 宇宙の組成比:

光:物質:ダークエネルギー = 10^{-5} : 0.3: 0.7

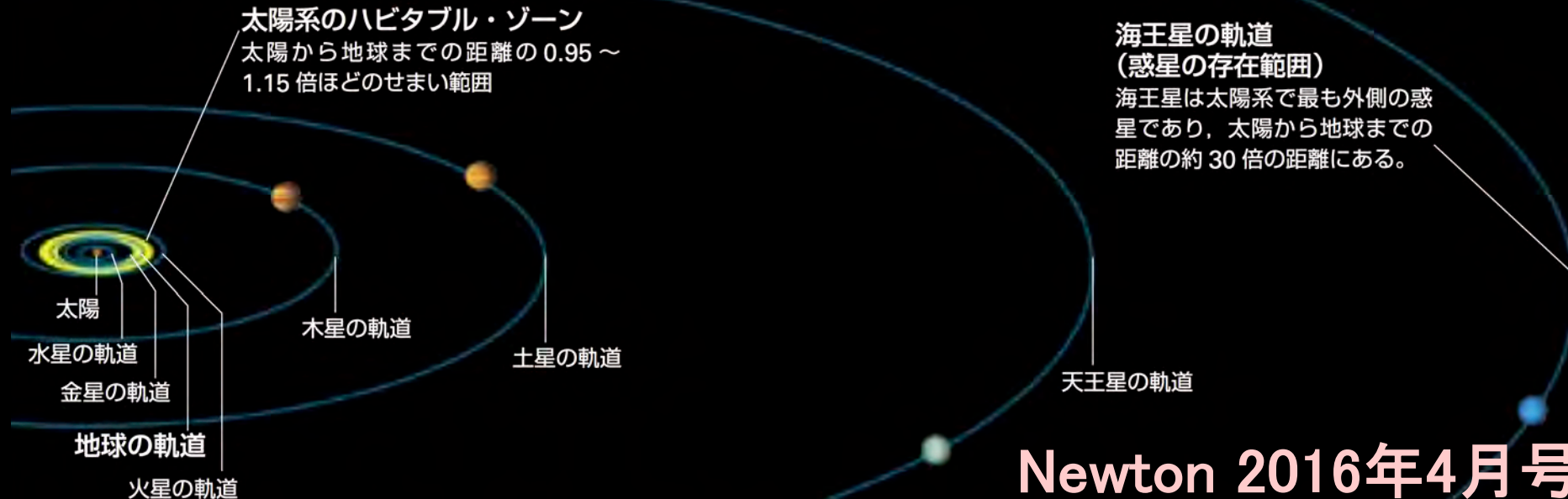
■ 宇宙を特徴付ける「定数」 (無次元数)

- 光子数/陽子数 = 10^9 (宇宙は光で満ちている)
- 重力の強さ/電磁気力の強さ = 10^{-40}
- 宇宙定数/プランク単位 = 10^{-120}

■ これらは偶然与えられたものなのか (説明不可能)、それとも必然的なものなのか (説明可能)?

物事には必ず理由があるのか

地球がハビタブル・ゾーンに入っているのは幸運



水星・金星・地球、火星のイラストは省略した。

太陽系の各惑星の軌道と、ハビタブル／ゾーンをえがいた。惑星の存在範囲にくらべて、ハビタブル・ゾーンが非常にせまい範囲であることがわかる。地球が幸運にもハビタブル・ゾーンにあるため、私たち人類が誕生できた。なお、ハビタブル・ゾーンの範囲については諸説ある。ただしいずれにせよ、その範囲は広くない。

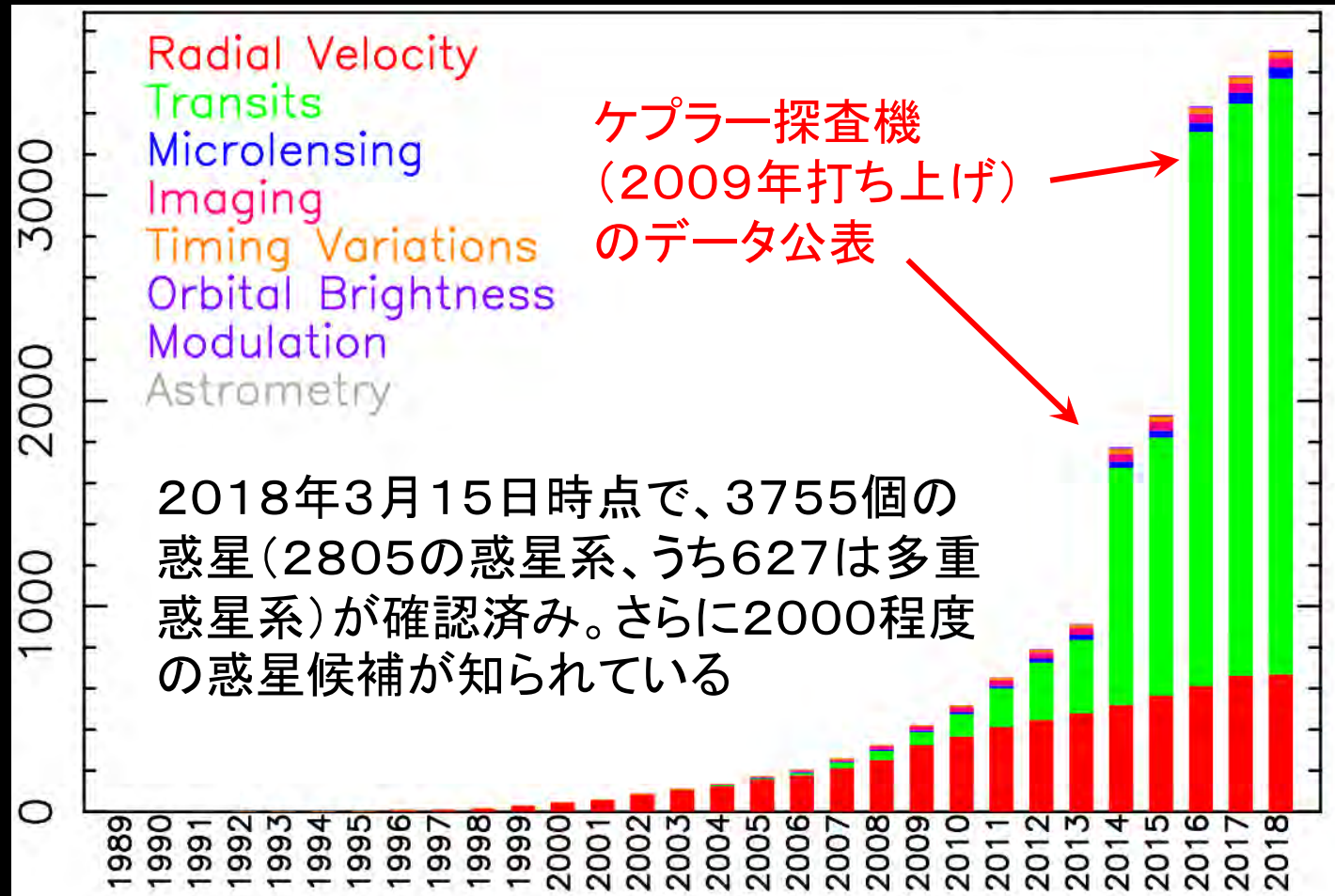
- **例題**：地球上に液体の水が存在するには、太陽との距離が現在の値と±10%以内の狭い範囲になくなくてはならない（ハビタブルゾーン）。これから何かわかることはあるか？

偶然に意味を見い出す

- **回答例 1: 無意味な質問である**
 - 地球と太陽の距離は単に偶然決まっただけ。偶然には意味などない
- **回答例 2: 実は深い意味を持つ**
 - 偶然そのような微調整された系が実在するためには、地球が唯一ではなく、中心星と異なる距離にある無数の惑星が存在すると考える方が自然。つまり、この地球が微調整された(不自然な)性質を持っているのならば、それ以外の無数の惑星が存在していることを示唆する

この問いの正解は別として、太陽系以外に惑星系が普遍的に存在することは事実

発見総数

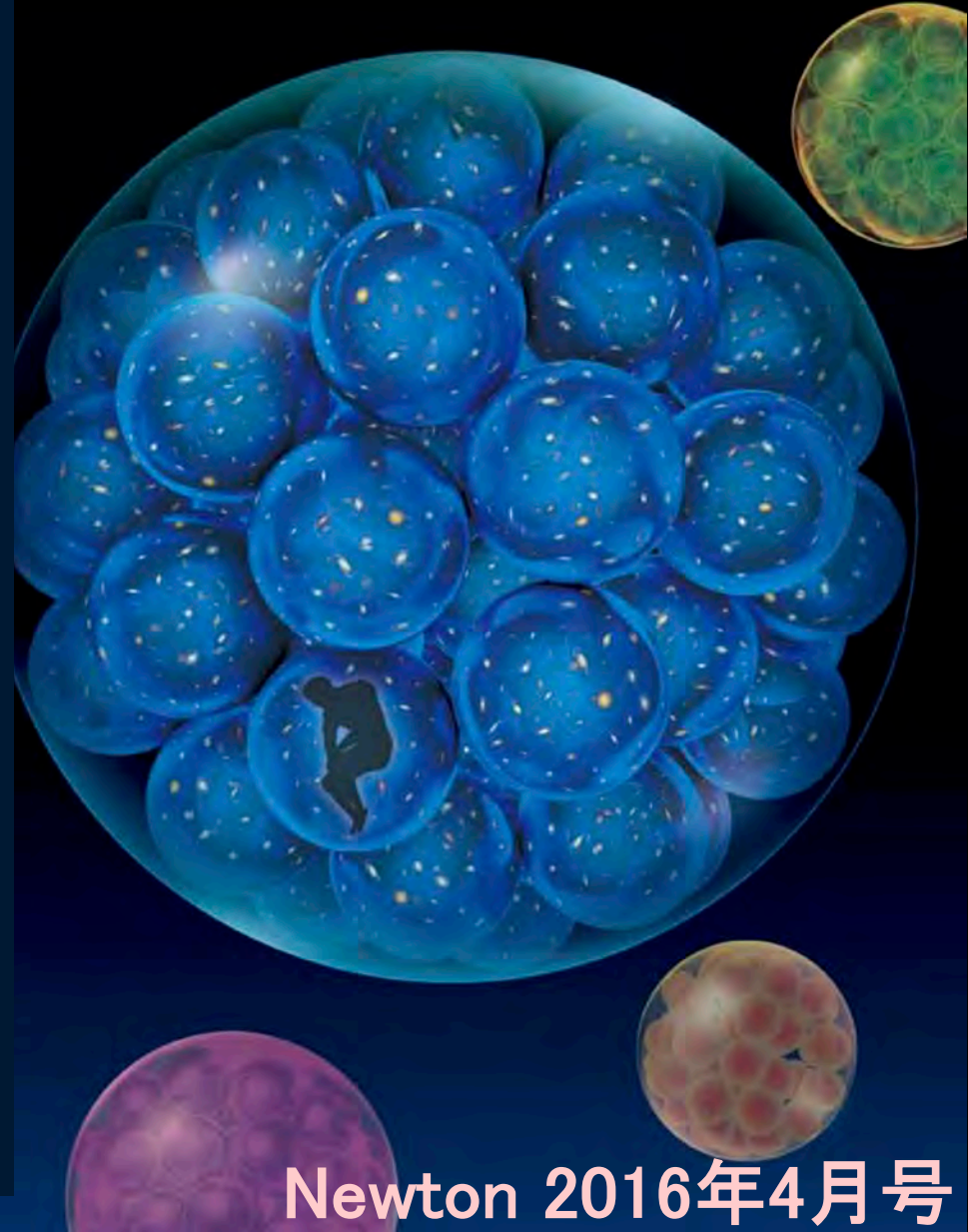


西暦

物事には必ず理由があるのか

■ 応用問題

- この宇宙には我々人間という知的生命が存在するが、そのためには宇宙の初期条件と物理法則に微調整が必要だとされている。これから何かわかることはあるか？



「ユニ」バースから「マルチ」バースへ

■ 回答例 1: 無意味な質問である

- 知的生命の起源を未だ解明できて、あるいはそれは偶然に支配されているだけのいずれかである。それ以上の意味はない

■ 回答例 2: 実は深い意味を持つ

- 知的生命を誕生させる確率が極めて小さいならば、それを相殺するだけの数の宇宙が存在しなければ、知的生命をもつ宇宙は実存し得ない。つまり、宇宙は我々のユニバース以外の無数のユニバース(=マルチバース)からなるのでは

注: multiは日本語ではマルチですが、英語ではマルチです

6 4つのマルチバースと人間原理

森羅万象は果たしてどこまで理解できるのか

- 科学のゴールは、この世界(=我々の宇宙?)の振る舞いを少数の基本原理から説明し尽くすこと
 - それが本当に可能なのかどうか、保証はない
 - だからこそ「ゴール」と呼ぶに相応しい
- では、科学の終着点は次のどちら？
 - (未知の)究極理論によってすべてを必然で説明する
 - 少数の基本法則だけではなく、偶然を認めざるを得ない
- 仮に究極理論が存在した場合でも、微調整されたように思える我々の宇宙だけが唯一無二だとするのは極めて不自然では？

科学的真理と司法判断は必ずしも一致しない

宇宙が無限であると主張したジョルダーノ・ブルーノは異端審問で死刑判決を受け公開火刑に処された(1600年)



Bronze relief by Ettore Ferrari (Wikipedia)

地動説に賛同したガリレオは異端審問で終身刑となった(1633年)。ローマ教皇が正式に裁判の誤りを認め謝罪したのは1992年



Painting by Cristiano Banti (Wikipedia)

- いくつかの例外的国家を除けば、現代では、科学的真理を主張する自由が広く保証されているものと期待する

人間が誕生する確率がどんなに少なくとも宇宙が無数にあればどこかで実現する

- いかにか少ない確率であっても、試行回数が多ければその事象は(整数回)実現する
 - 宝くじで一億円当たる確率は100万分の1以下だが、当選する人は必ず存在
 - 100万本以上の数の宝くじが売れているならば当たり前
- 逆に、人間が存在する宇宙が極めて可能性が低いにもかかわらずまさに我々の宇宙がそのようなものならば、人間が存在しないような宇宙は実は無数にある(マルチバース)と結論すべきでは？
 - そうであって初めて、人間を誕生させる宇宙が存在しているという奇跡的な事実が納得できる

人間原理と物理法則

- マルチバースの存在を認めよう
- そのなかの個々のユニバースでは物理法則が異なる
- それらのなかで、たまたま人間を生む偶然が積み重なったユニバースの一つが我々の住む宇宙
 - 大多数の「普通」のユニバースでは人間は誕生しないから、「これが普通」と納得する「人間」は存在しない
 - 「例外的に珍しい」ユニバースでのみ人間が誕生でき、だからこそそこには「なぜこのユニバースはこのように不自然な微調整が必要なのか」と思い悩む人間が存在する
 - とすれば、人間が生まれるような奇跡・偶然がなぜ起こりえたのか不思議に思う必要はない＝人間原理

レベル1 マルチバース

現在の地平線内にある我々の(レベル1)ユニバースは、レベル1マルチバースに属する元の一つ



- 我々の地平線球の外側にも、同じく地平線球(レベル1ユニバース)が無数にある
- レベル1ユニバースは現在は「まだ」因果関係を持たない。それらの集合が(我々の属する)レベル1マルチバース
- 同じレベル1マルチバース内のレベル1ユニバースは、物理法則は同じだが初期条件が異なる



現在見えない領域にも宇宙は広がっている

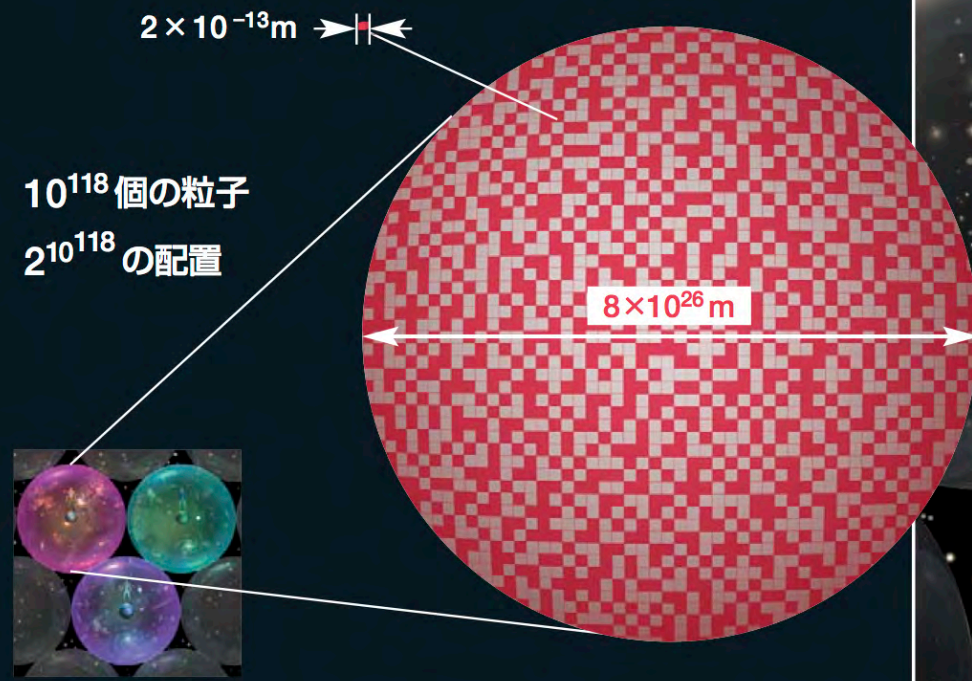
■ レベル1マルチバースの存在はほぼ自明

- (ほぼ)無限に広がる空間内で、我々の地平線球が特殊な位置にあるとは考えられない

■ さらに我々のレベル1ユニバースと同一のレベル1ユニバースのクローンがどこかに存在する(?)

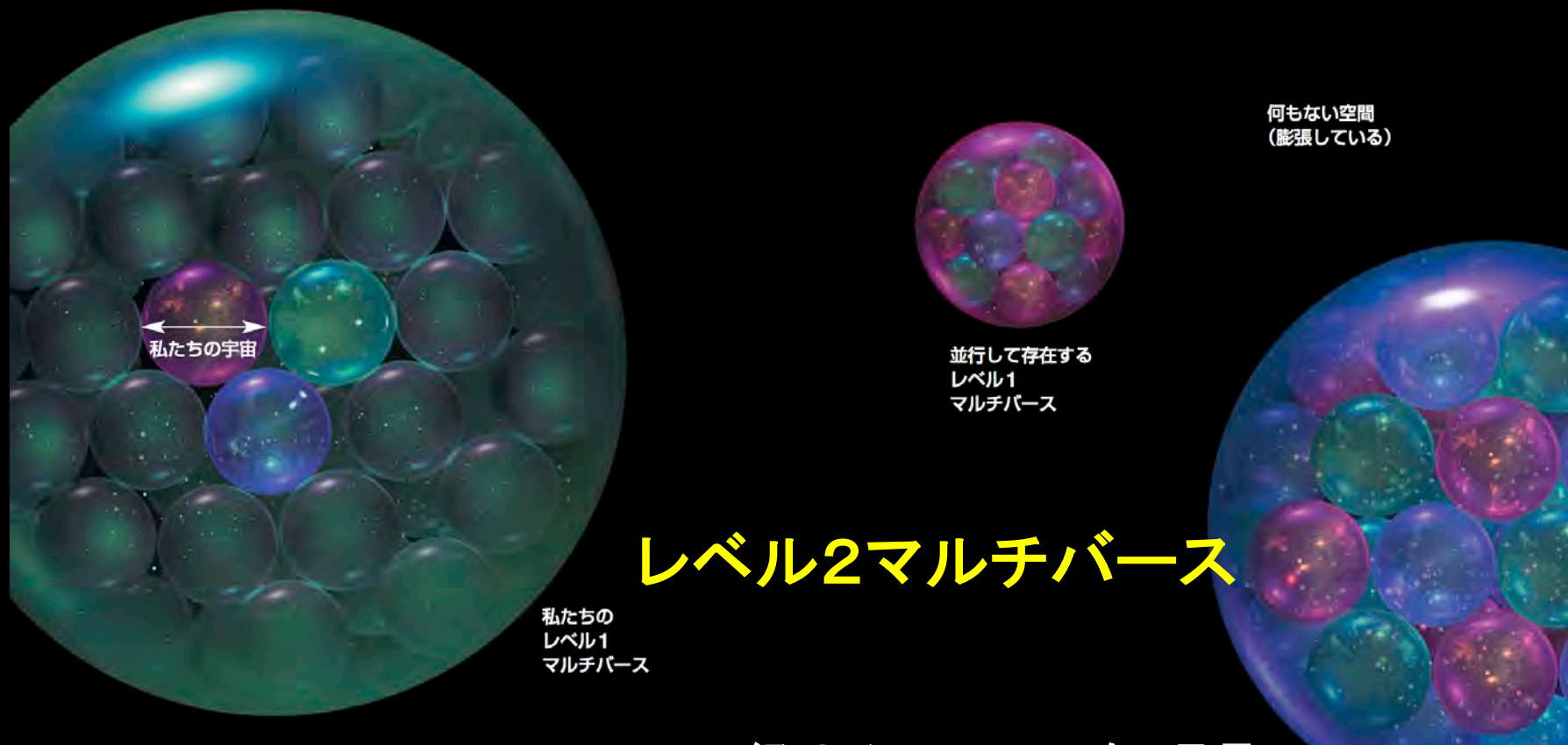
- 地平線球内の素粒子の数は有限。したがって、**宇宙が無限の体積だとすれば、どこかで同じレベル1ユニバースが繰り返し登場するはず**

上と同じ論法を実際の宇宙に適用するとどうなるか。私たちの宇宙には 10^{118} 個の素粒子が入る空間がある。可能な配置パターンは2の 10^{118} 乗通りで、これはざっと10の 10^{118} 乗通りと考えてよい。これに宇宙の直径を掛けると、最も近い同一宇宙までの平均距離が求まる。つまり、10の 10^{118} 乗メートルだ(べき乗が大きいため、係数は無視できる)。



レベル2 マルチバース

- レベル1マルチバースはレベル1ユニバースを元とする集合
- 互いに因果的に無関係なレベル1マルチバースを元とする集合がレベル2マルチバース



レベル3 マルチバース

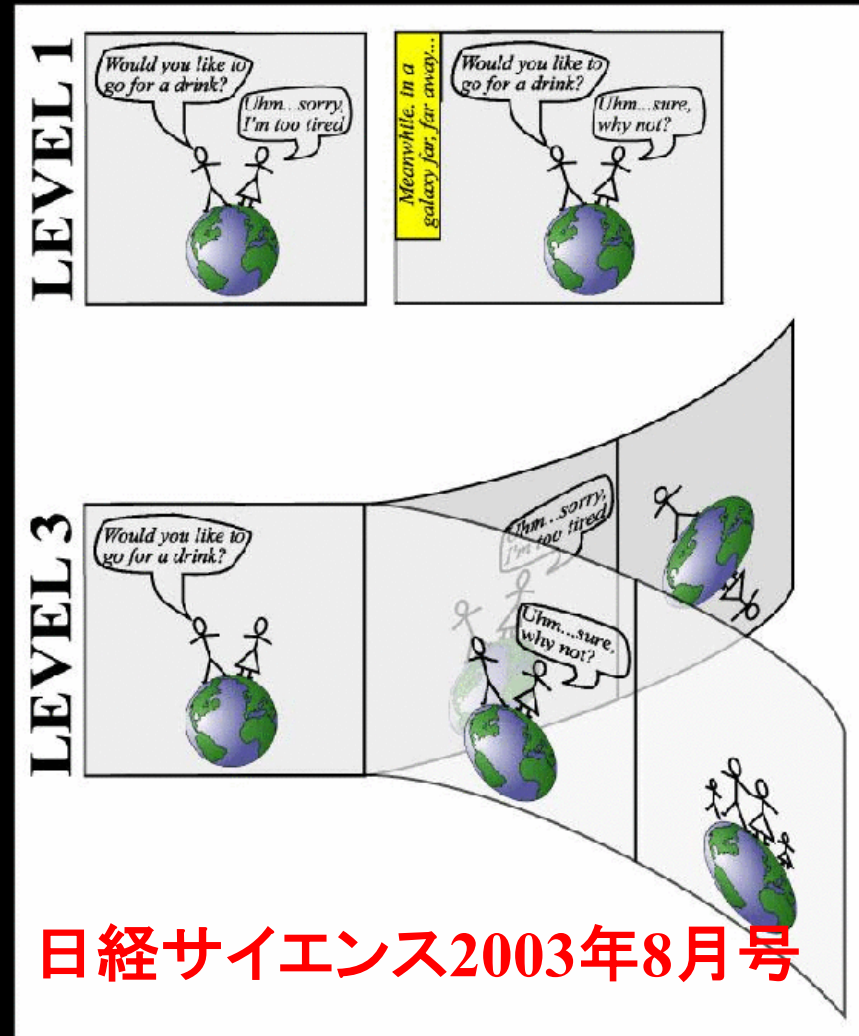
- **ミクロの世界は量子力学によって記述される**
 - 量子力学そのものは確立した理論だが、その物理学的解釈は未解決
- **標準解釈(コペンハーゲン解釈)**
 - 世界は完全には決定論的でなく、確率的要素に左右される
- **もう一つの解釈(エヴェレットの多世界解釈)**
 - 確率的に可能なことは全て実現する
 - 一つのユニバースにはそのなかのどれかだけが起こるので確率的に見える
 - 異なる可能性の数だけ異なるユニバースが存在
→それらの集合がレベル3マルチバース



日経サイエンス2008年4月号

エヴェレットの多世界それぞれに 対応した(並行)宇宙が実在する？

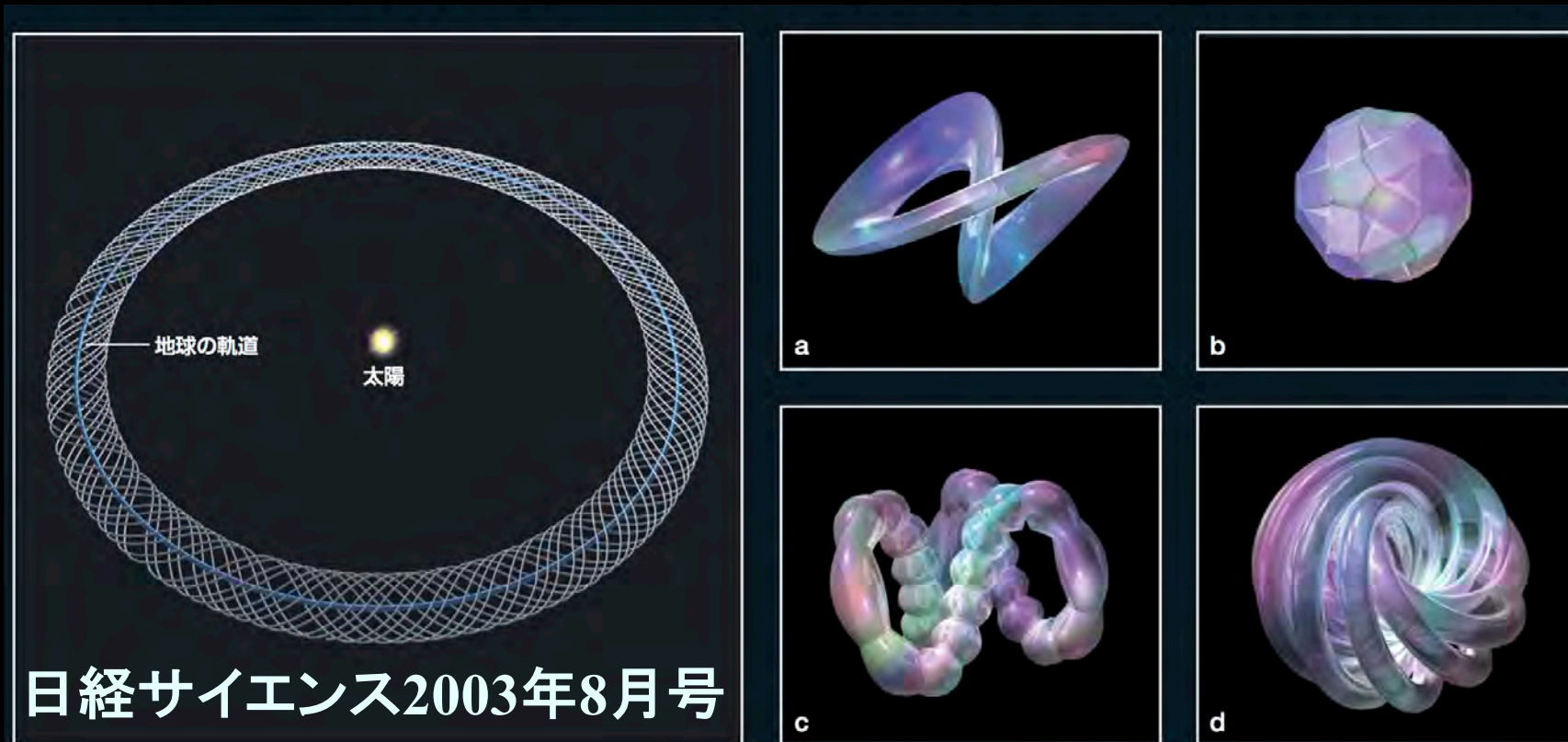
- エヴェレットの多世界解釈を
素直にうけとめる
 - 外から見れば(言わば神の視
点)あたかも我々の宇宙が
次々と異なる宇宙に分岐する
 - それぞれの事象が起こる可能
性に対応した無数の並行宇宙
が実在
 - それらの平行宇宙の全体集合
がレベル3マルチバース



日経サイエンス2003年8月号

レベル4 マルチバース

- 世界とは抽象的な数学的(論理)構造そのものなのでは
 - とすれば法則が数学で記述できるのは当たり前
 - (無矛盾な)数学的構造に対応した無数の宇宙が実在する



左図は、空間内での地球の軌道の構造だが、右図は抽象的空間を描いたイメージ

無矛盾な数学的構造は必ず実在する？

- 我々のユニバースでの実験とは一致しないが、論理的に無矛盾な物理法則(数学的体系)があったとする
 - 実験で否定される以上、その体系はこの世界と矛盾しており、それ以上考えても無意味(標準的思考)
 - 単にたまたま我々の宇宙で採用されていないだけで、それを採用する宇宙がどこかに実在しているだけ？
- 本当は異なる物理法則を持つ世界が無数に存在しているのではないか(世界＝数学的構造＝物理的実体＝宇宙)
 - 物理法則とまで言わずとも、異なる物理定数の組みを持つ宇宙が無数に存在するとするのがレベル2マルチバース
 - レベル4はそれをさらに過激に推し進めたもの
- 観測者が存在しない宇宙の実在を認めるなら、それは結局、論理的な構造の実在と同義では？

Lonely Universeは実在なのか

- 無限に広がった時空に「ユニバース」があると
する。しかしそこには生物(少なくとも宇宙の
存在を認識できるだけの意識をもつ知的生命
体という意味での)は存在しない
- そのユニバースは、その物理法則にした
がって膨張し成長するだろうが、それを観測し
たり熟考したりする生物はいない
- そのようなユニバースは「実在」と呼んでいい
のか？もしそうなら、純粹に数学的な構造を
も実在と認めざるを得ないのでは？

universeからmultiverseへ

- 天文学・宇宙論の歴史は、我々の存在が唯一絶対なものではなく普遍的・自然な存在であることを証明する方向に進んできた
 - 天動説から地動説へ、天の川から銀河宇宙へ、宇宙マイクロ波背景放射の等方性、太陽系外惑星
- **我々の宇宙が唯一無二のものであるという考え方は、時代に逆行しているのではないか？**
 - 我々が存在するユニバースは決して唯一絶対的なものではなく無限に存在するマルチバースのなかの一例にしか過ぎないかも？
 - もしそうならば人間原理による説明が有効

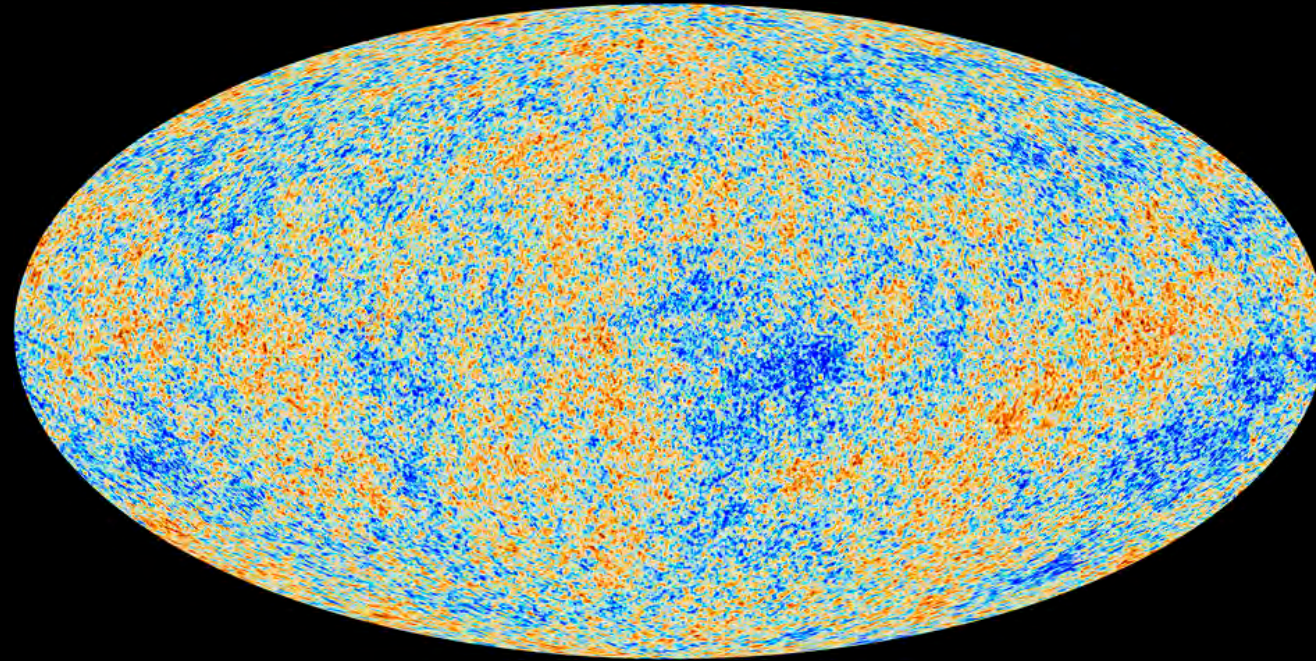
マルチバースを考える意味

- すべての物事には理由・答えがある(究極理論的世界観)という信念を問う
- すべての物事が必然とは限らず偶然は不可避なはず(それでも納得したい⇒人間原理的世界観)
- 人間原理:「人間が存在する」という条件付確率を考えることで、不思議さを減らすベイズ統計的世界観
 - 人間原理の実現には、マルチバースの存在が前提となる
 - 科学による説明の限界をある程度緩和できる
 - 人間原理+マルチバースは観測的に実証することは不可能であろう。したがって、通常自然科学という範疇とは言えないかもしれないが、第一級の哲学としての価値は高い

7 世界はLawに支配されている

現在の宇宙(世界)に関する全情報が 原理的にはここに刻み尽くされている

誕生後38万年の宇宙の「初期条件」=宇宙マイクロ波背景放射



■ 宇宙論の中心的教義

初期条件+(既知の)物理法則 = 現在の宇宙

宇宙 = 天体 + 生命 + 技術 + 社会.....

宇宙の構造

銀河

惑星系

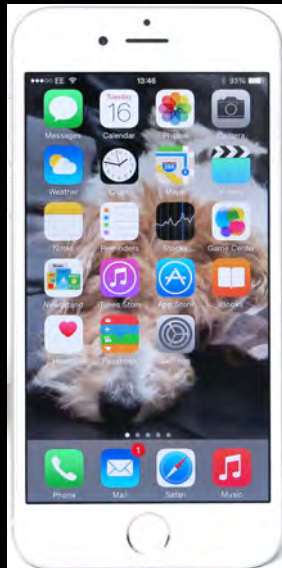


でも決してこれが全てではない

技術と社会

生命と知性

地球と月



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

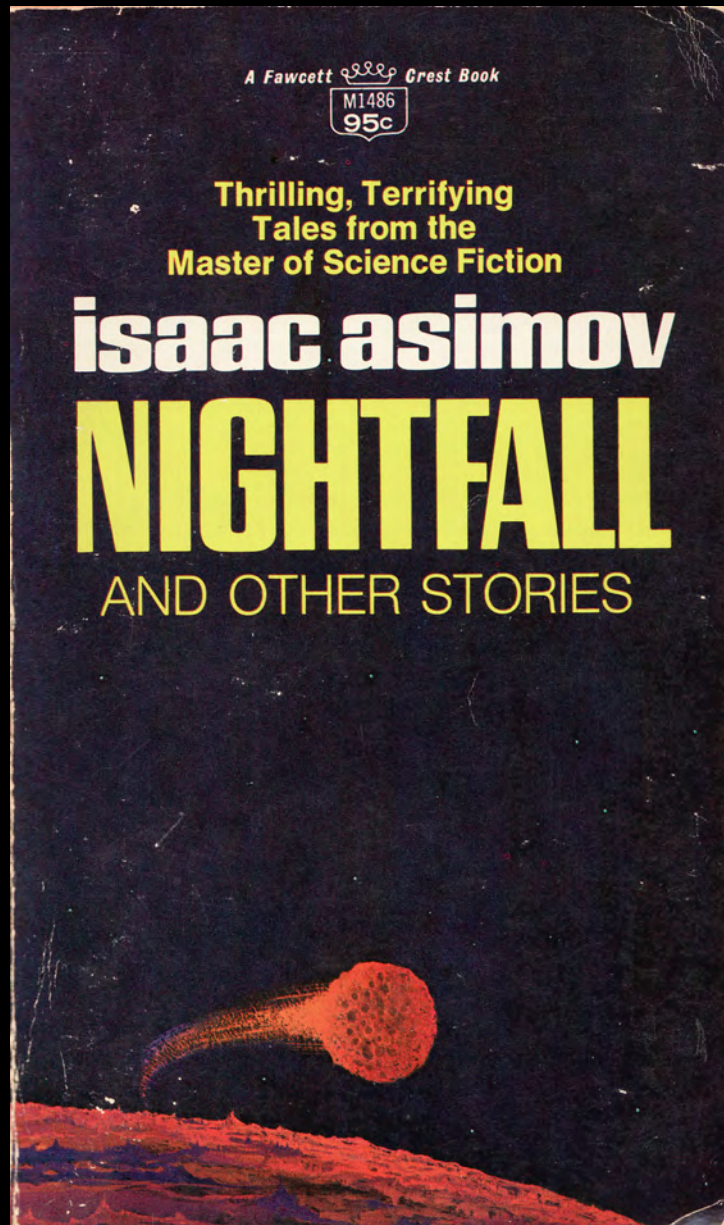
「我々は何も知らなかった」



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



- 夜が存在するおかげで我々の世界の本质がわかる
- “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





「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、田中壱氏撮影)

この夜空のムコウに未知の法則と別の宇宙がある？

<http://hubblesite.org/newscenter/newsdesk/archive/releases/2006/23/>

Lawの番人(科学者)の社会的責任

- 科学は失敗する(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
 - 過去の業績はどんなに偉大な歴史的貢献であろうと、やがて新しい結果にとって代わられる
- 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
 - しかし科学は「世界」をより深く理解する上で本質的・不可欠な営み
 - もはや現代社会は科学なしには成立し得ない
 - だからこそ、科学者はその社会的責任を十分認識して行動すべき