

地平線の先に広がる世界： マルチバースと人間原理

何もない空間
(膨張している)

私たちの
レベル1
マルチバース



並行して存在する
レベル1
マルチバース

私たちの宇宙

東京大学大学院理学系研究科
物理学専攻・ビッグバン宇宙国際研究センター 須藤 靖

日本物理学会四国支部講演会
2022年12月6日 17:00- @高知大学朝倉キャンパス

日経サイエンス2003年8月号

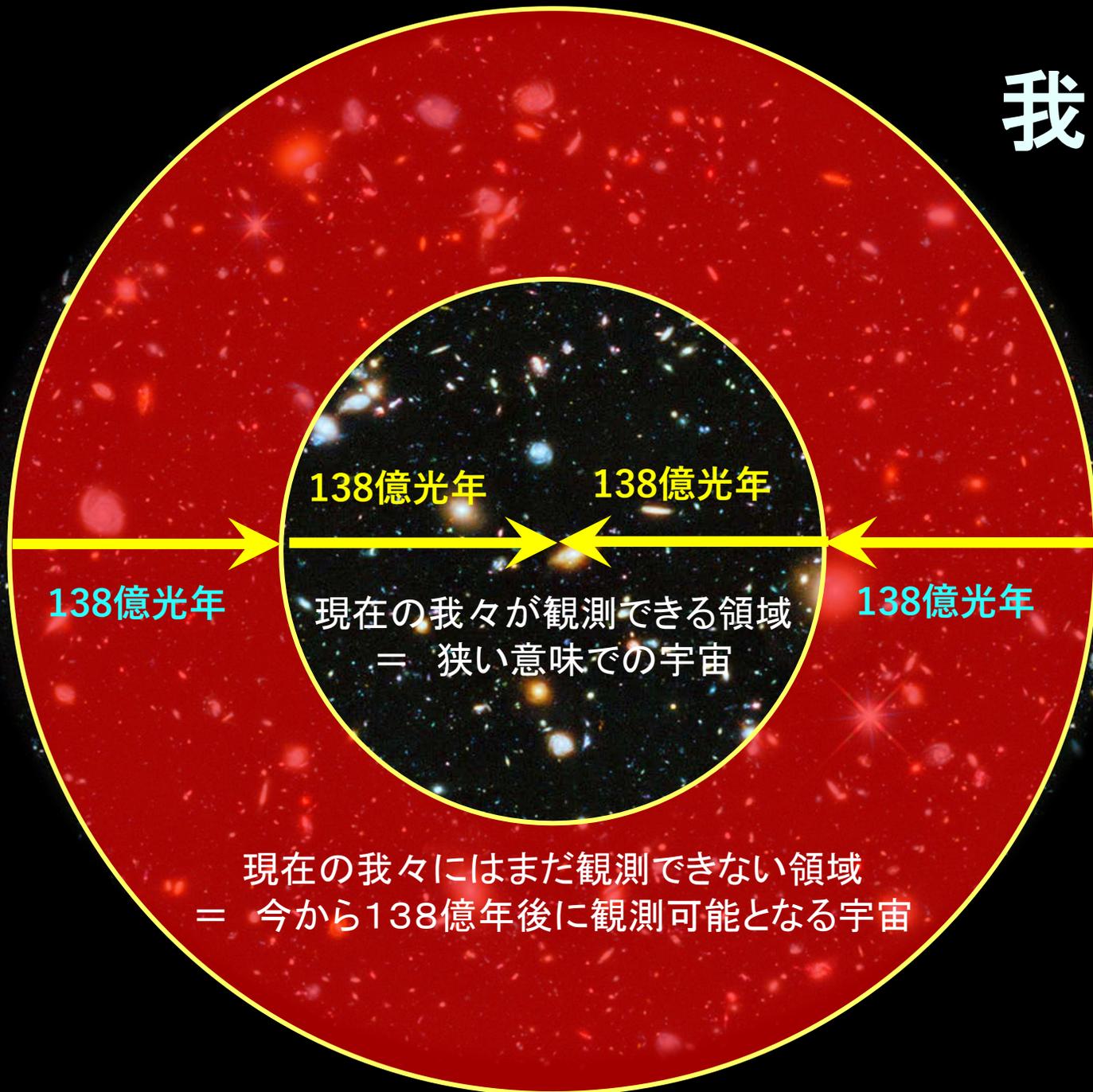
http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation_2022j.html

目次

- 1 現在の我々が「観測できる宇宙」は宇宙のほんの一部
- 2 テグマークによるマルチバースの4分類
- 3 量子力学の多世界解釈とレベル3マルチバース
- 4 抽象的論理構造とその対応物としてのレベル4マルチバース
- 5 人間原理：マルチバースの選択律
- 6 離散性と連続性：レベル1マルチバースとパラレル宇宙
- 7 まとめ：マルチバース＋人間原理的世界観

1 現在の我々が「観測できる宇宙」は 宇宙のほんの一部

我々が観測できる宇宙 ＝地平線球



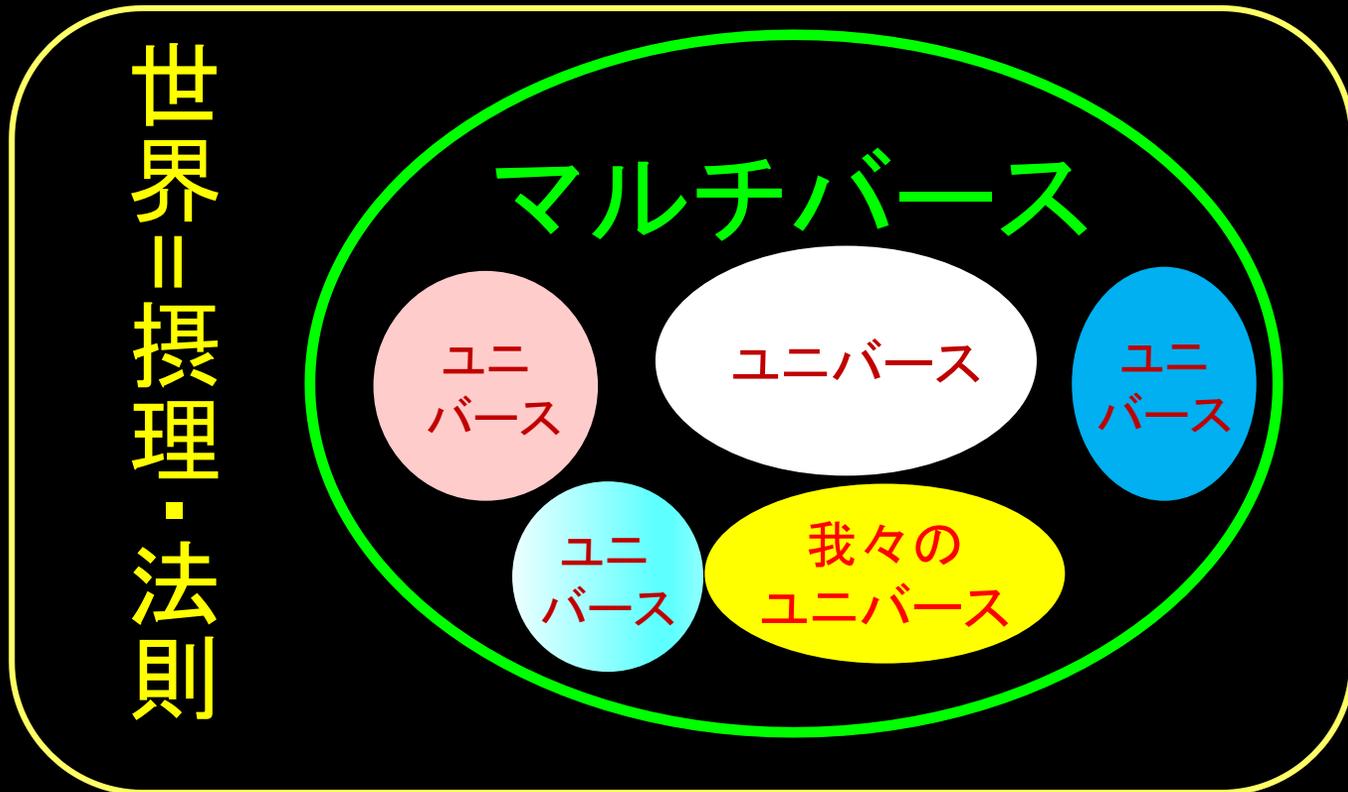
- 観測可能な領域は宇宙年齢で決まっている(因果律)
- 厳密に言えば、その外がどうなっているかはわからない
- ただしある程度は通常物理学考察から推定できる
- しかし、どこまでも遠くにいけば、科学的というよりも哲学的考察にならざるを得ない

「宇宙」は異なる意味で用いられているため混乱を招く

- 宇宙＝空間＋時間(＝天地四方上下＋往古来今)
 - 語源：淮南子(紀元前139年の中国の哲学書)
- 宇宙＝半径138億光年の地平線球内の観測可能領域
 - 天文学者が宇宙と言う場合は、ほとんどがこの意味
- 宇宙＝地球外空間あるいは太陽系＝space
 - 惑星科学や天文学における観測探査機などの場合に多い
 - *“Space, the final frontier. These are the voyages of the starship Enterprise. It’s five-year mission, to explore strange new worlds, to seek out new life and new civilizations, to boldly go where no man has gone before...” (Star Trek)*
- ○○の宇宙＝人文系で格好づけに用いられる意味不明なレトリック

世界 > マルチバース > ユニバース

- 「宇宙の外に何があるか」というFAQは、「宇宙」の定義によって答えが違う
- 実在するかどうかはさておき、以下では**ユニバース=universe**と、**その集合の総称としてのマルチバース=multiverse**を区別する



- **コンプライアンス的注意**
 - 左図はあくまでも私の個人的語感にもとづくもので一般的用法ではない
 - この意味不明な図の意味を伝道するのが今回の目的だが、信教の自由は遵守する

レベル1 マルチバース

並行宇宙のうち最も単純なのが、私たちから遠すぎるためにまだ見ることのできない空間領域があるという考え方だ。現在、私たちが見ることが可能な最も遠い場所は約 4×10^{26} m、420 億光年離れた場所だ。この距離はビッグバン以降に光が移動した距

観測可能な
範囲の限界

4×10^{26} m

私たちの宇宙

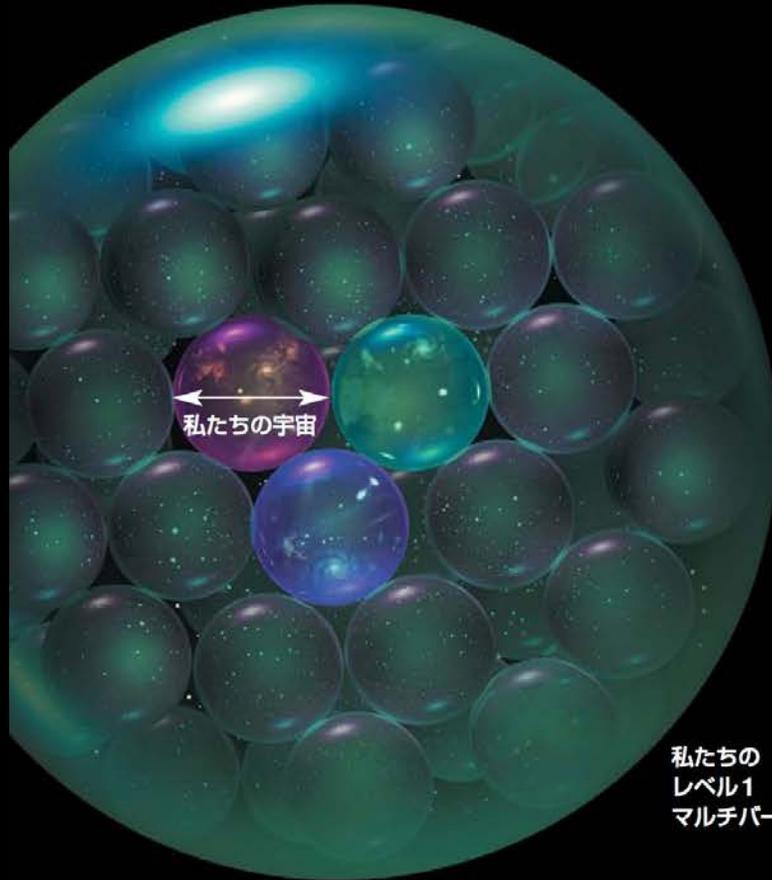
並行宇宙

並行宇宙

$10^{10^{118}}$ m

私たちの宇宙と
同一な並行宇宙

2 テグマークによる マルチバースの4分類



何も無い空間
(膨張している)

This diagram shows a large, translucent blue sphere representing the Level 1 multiverse. Inside, many smaller, colorful bubbles are packed together, representing individual universes. The overall structure is shown to be expanding.

マックス・テグマークが提唱する 4つの異なるマルチバース

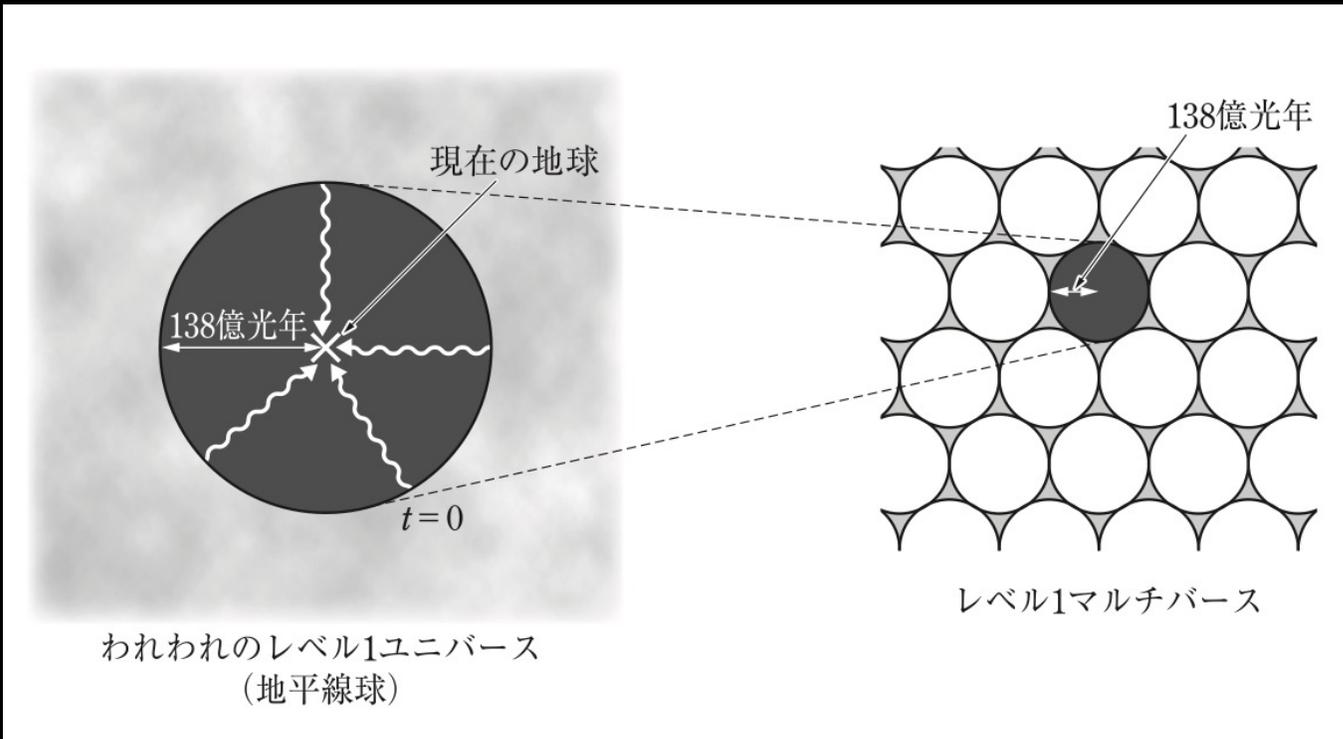
レベル	説明
1	現在観測可能ではない地平線の外側にも、同様のユニバースが無限に存在。それらは徐々に観測可能な領域に入る。これら同じ物理法則をもつユニバースの集合がレベル1マルチバース（これをマルチバースと呼ぶかどうかは定義の問題で、存在は確実）
2	無限個のレベル1マルチバースは、原理的にも因果関係を持たないまま、階層的に存在するかもしれない。それらは物理法則が異なるかもしれない。それらの集合をレベル2マルチバースとする
3	量子力学の多世界解釈に対応する無数の時空の集合。レベル3マルチバース内の異なる元を遍歴する軌跡の一つが我々のユニバースであると解釈することができる
4	異なる数学的構造に対応する具体的な時空は必ず実在する。言い換えれば、抽象的な法則は必ず対応する物理的実体を伴うと考え、それらの集合をレベル4マルチバースとする。世界が数学にしたがっているという驚くべき事実を自然に説明できる

レベル1 マルチバース

- 我々の地平線球の外側にも、同じ地平線球（レベル1ユニバース）が無数にあるが、現在は「まだ」互いに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
- 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
- 同じレベル1マルチバース内のレベル1ユニバースは、初期条件が異なるものの物理法則は同じ



レベル1マルチバースは間違いなく実在する

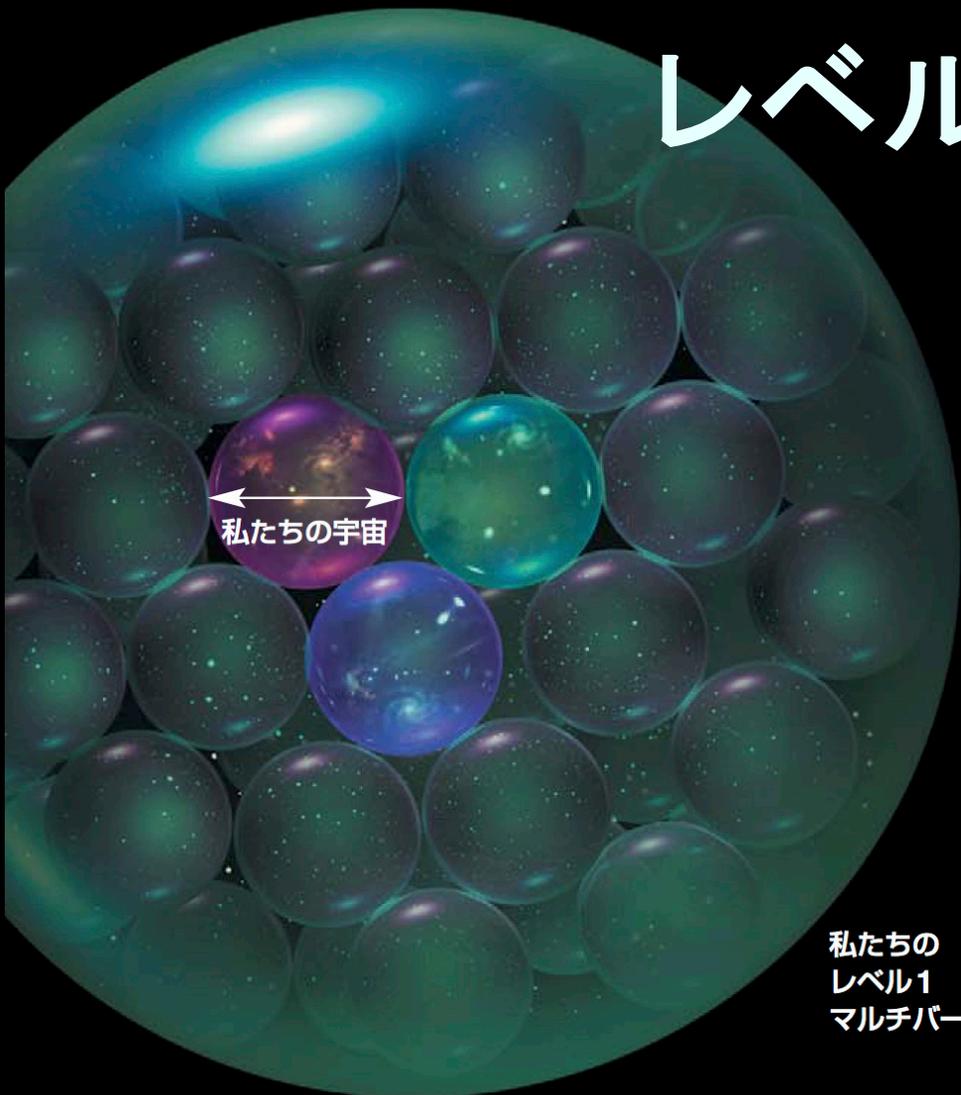


- 単に我々が観測できない地平線球の外にも宇宙は広がっているという極めて当たり前の主張
 - あえてマルチバースと呼ぶ必要もないが、一応分類としておいた程度の意味
-
- 現在は異なるレベル1ユニバースであろうと、時間とともに同じ地平線球に入る(因果関係を持つようになる)ので、やがて同じレベル1ユニバースに合体することに注意

インフレーション理論からは、レベル1よりもやや精巧な別種の並行宇宙の存在が浮かび上がってくる。私たちのレベル1マルチバース（私たちの宇宙とそれに隣接する空間領域）は泡のようなもので、これがより大きなほとんど空っぽの空間に埋め込まれ

ているという考え方だ。空間の中には別の泡があり、私たちの泡とは切り離されている。雲の中の水滴のようなイメージだ。こうした核ができる際、それぞれの泡では量子場が異なるため、他の泡とは異なった特性が生まれる。

レベル2 マルチバース



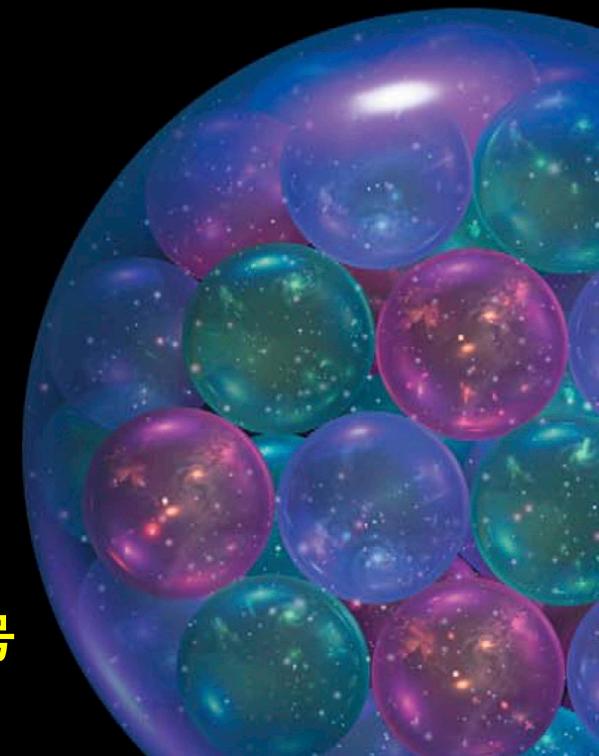
私たちの宇宙

私たちの
レベル1
マルチバース



並行して存在する
レベル1
マルチバース

何もない空間
(膨張している)



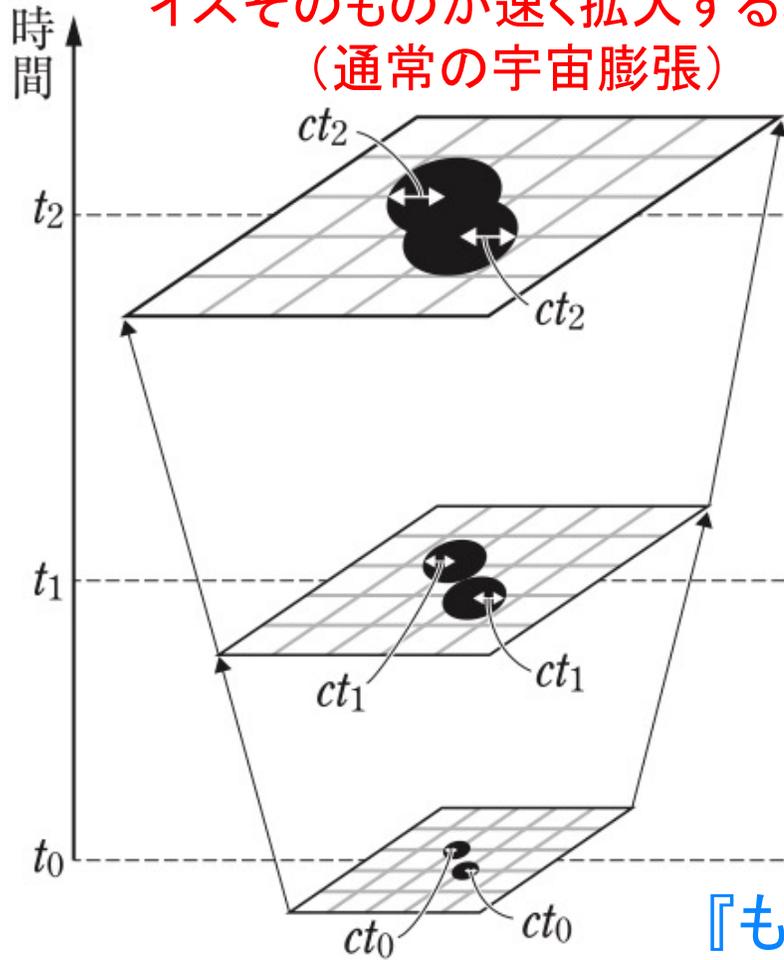
日経サイエンス2003年8月号

レベル2マルチバース＝因果関係を持ちえない 異なるレベル1マルチバースの集合

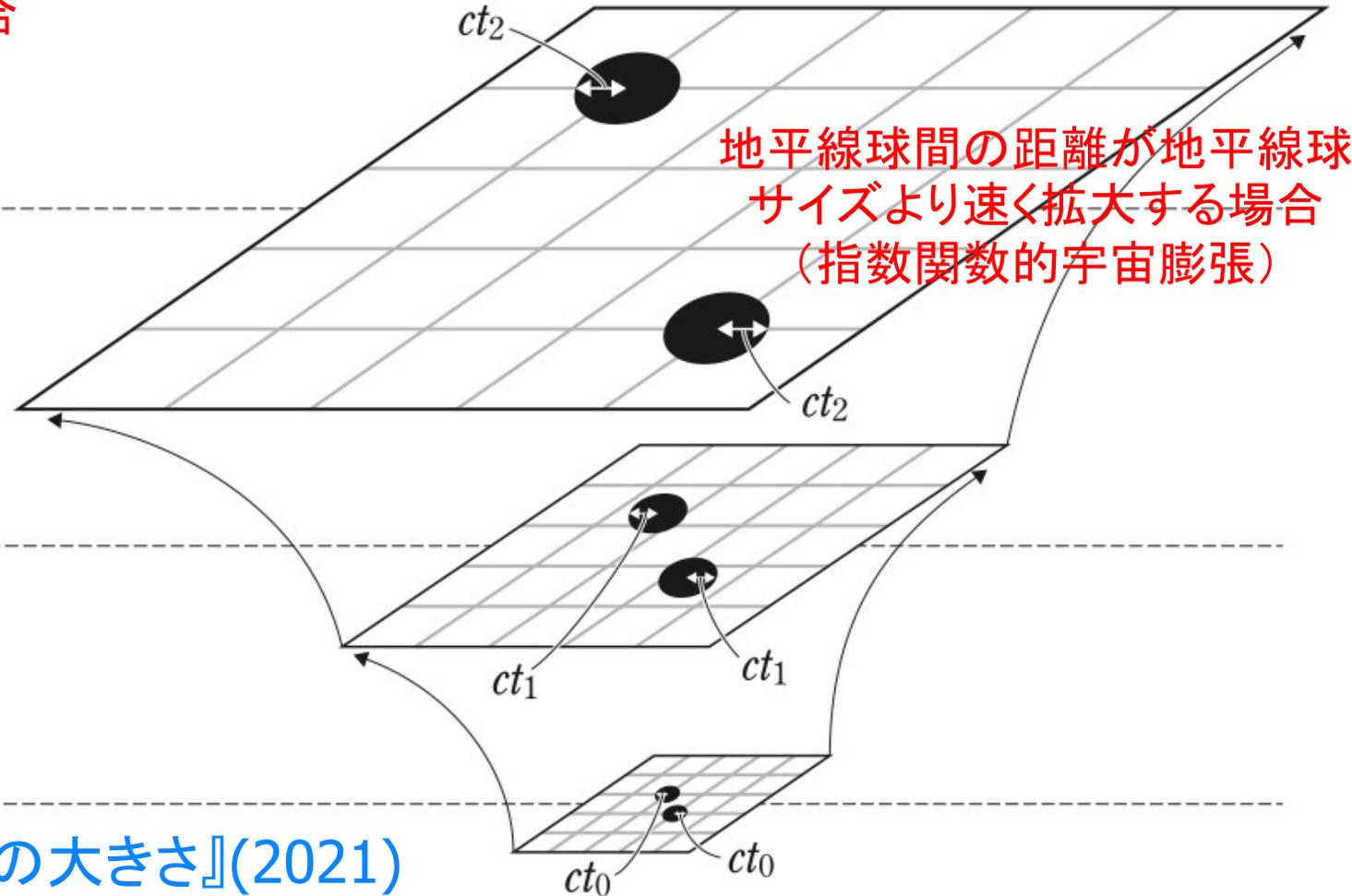
- 同じレベル1マルチバースに属する異なるレベル1ユニバースは同じ時空と物理法則を共有。現在は因果関係を持たないが、時間が経てばやがて互いの存在を確認できる。
- レベル2マルチバースを構成する異なるレベル1マルチバース同士は、仮に同じ時空上に存在していようと、互いに因果関係を持たない(さらには異なる空間次元に存在しているかも)
 - 例えばインフレーションモデルによれば、互いに指数関数的(超光速)に遠ざかり未来永劫因果関係を持ち得ない「宇宙」が誕生し得る
 - 佐藤勝彦他(1982)による宇宙の多重発生モデル(これはレベル2マルチバースを生み出す物理モデルの例である)

レベル2マルチバースの可能性 (1)

地平線球間の距離よりも地平線球サイズそのものが速く拡大する場合
(通常の宇宙膨張)



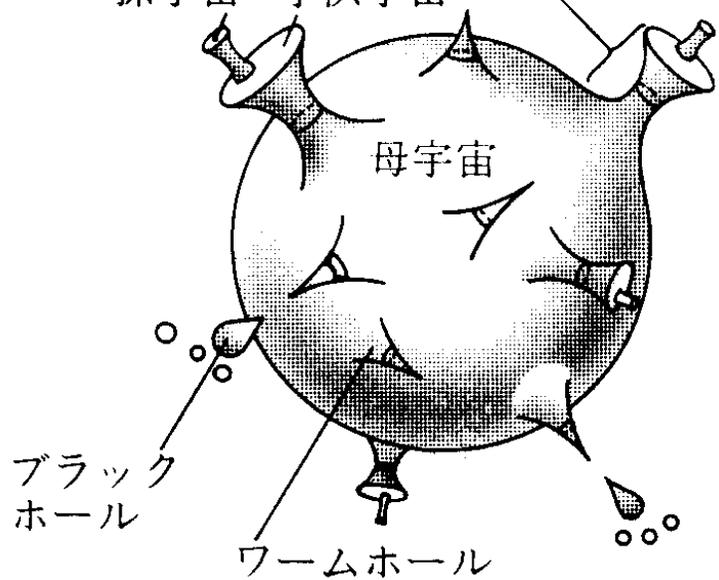
地平線球間の距離が地平線球サイズより速く拡大する場合
(指数関数的宇宙膨張)



『もの大きさ』(2021)

例えば、インフレーション中の宇宙の多重発生

アインシュタイン・ローゼンの橋
孫宇宙 子供宇宙



K.Sato et al.
Phys.Lett.B108
(1982) 103

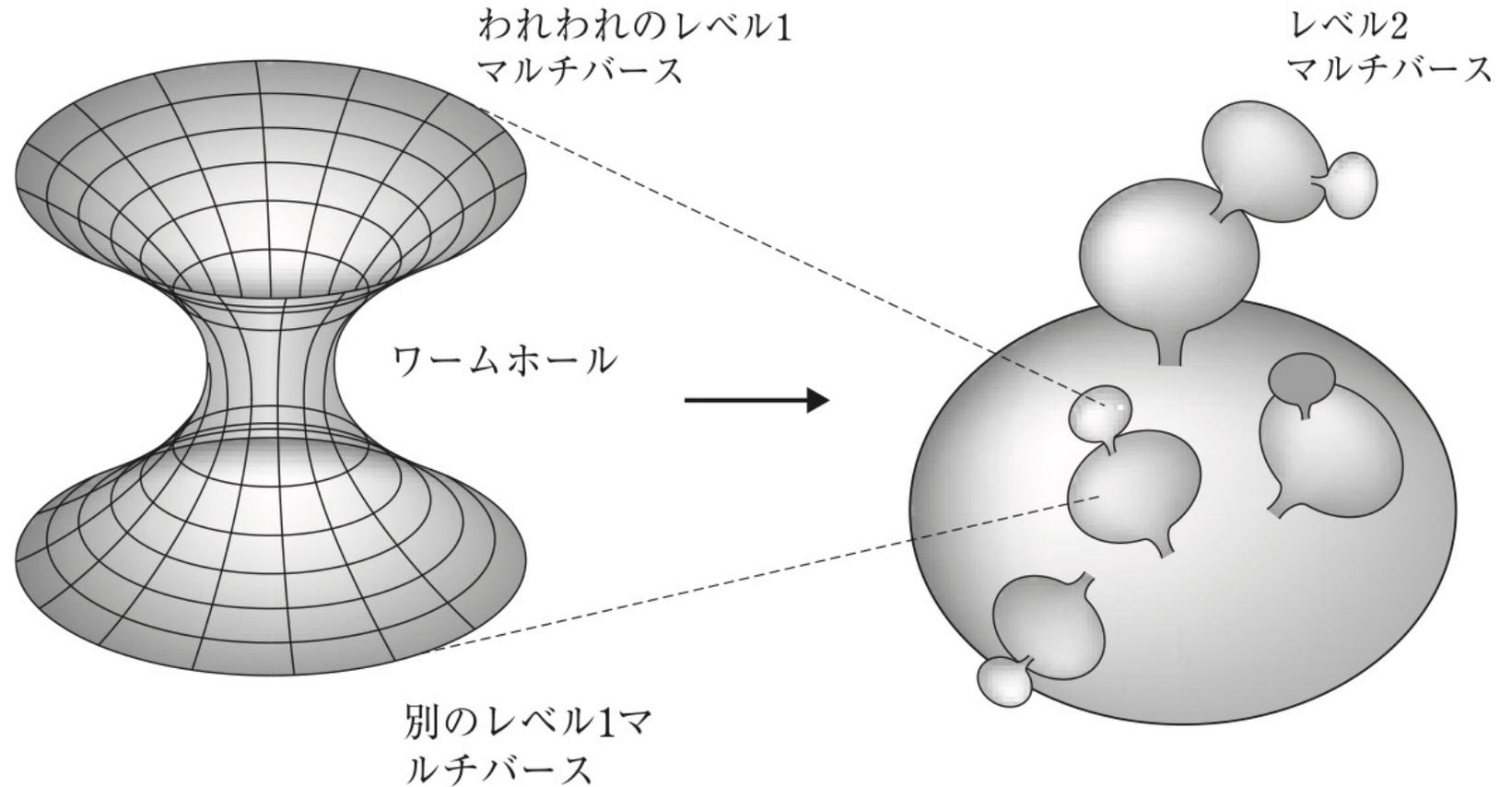
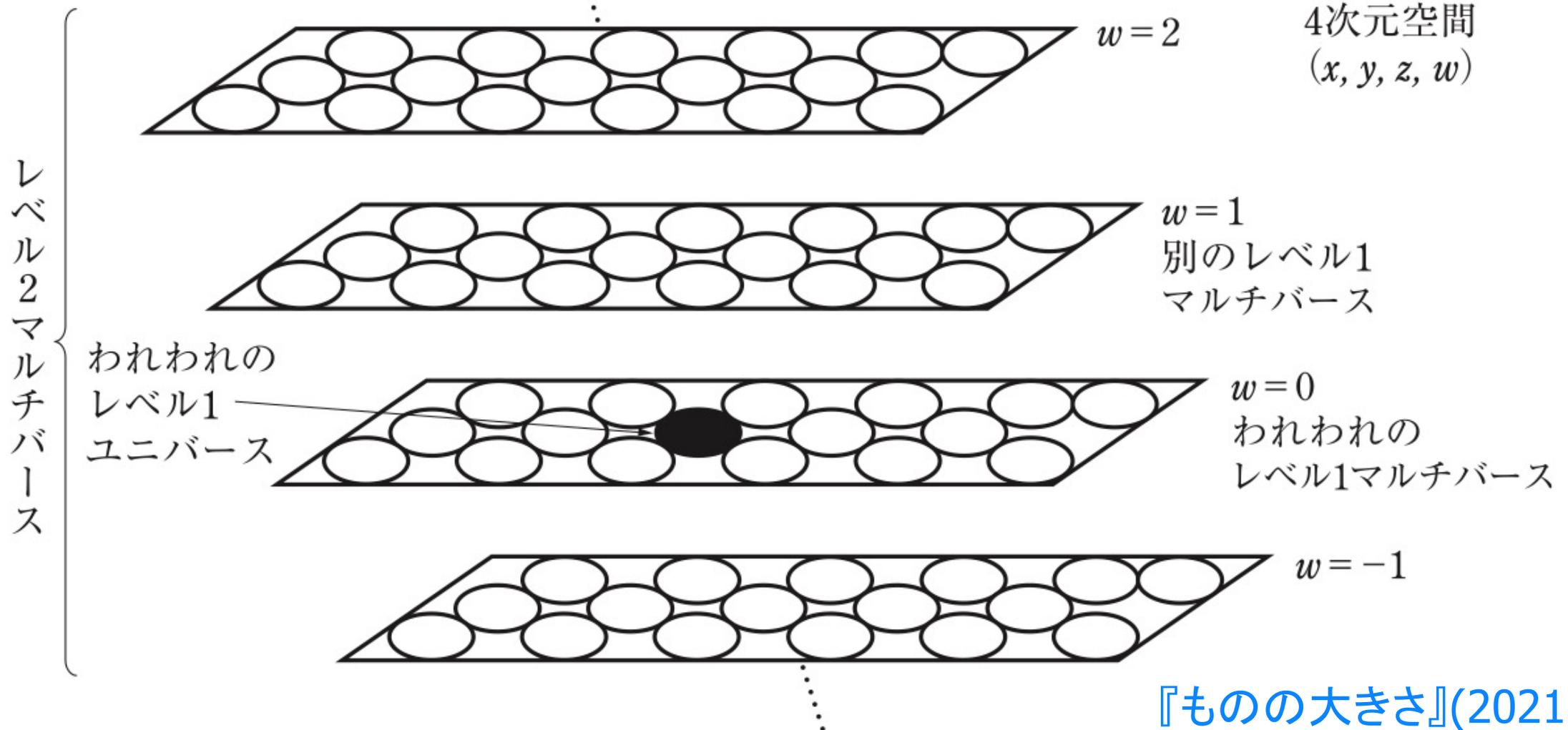


図 6.5 ワームホールで隔てられた異なる宇宙の集合としてのレベル 2 マルチバース. 左のようにワームホールで隔てられた宇宙 (レベル 1 マルチバース) が階層的にどこまでも続き, 右のような集合としてのレベル 2 マルチバースを構成する可能性がある. そのなかの 1 つがわれわれが属するレベル 1 マルチバースに対応する.

『ものの大きさ』(2021)

レベル2マルチバースの可能性 (2)

もし空間次元が4次元以上なら、異なる次元に存在する別のレベル1マルチバースは認識できない

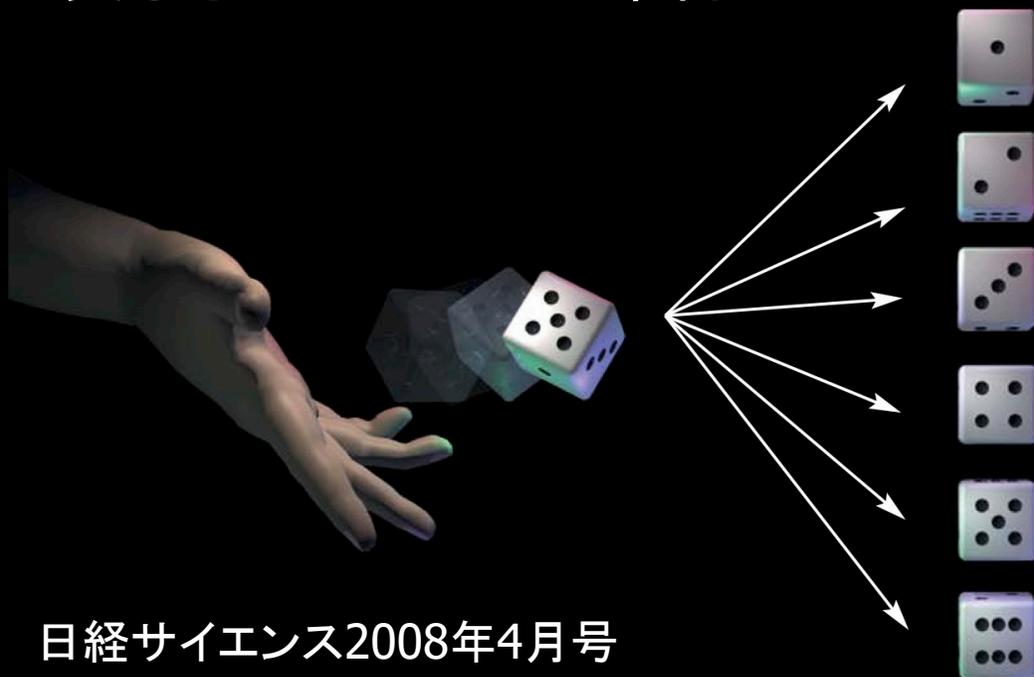


3 量子力学の多世界解釈と レベル3マルチバース

レベル3 マルチバース

■ 量子力学におけるエヴェレットの多世界解釈

- 一つのユニバース内に「異なる可能性」が同時に存在するのではなく、それらの可能性ごとに「異なるユニバース」が**実在すると考える**
- 観測すると、シュレーディンガーの猫が死んでいる宇宙と死んでいない宇宙のどちらかに観測者が分岐する(が自分はそのことを知り得ない)
- これらの異なるユニバースの集合がレベル3マルチバース



量子のサイコロ

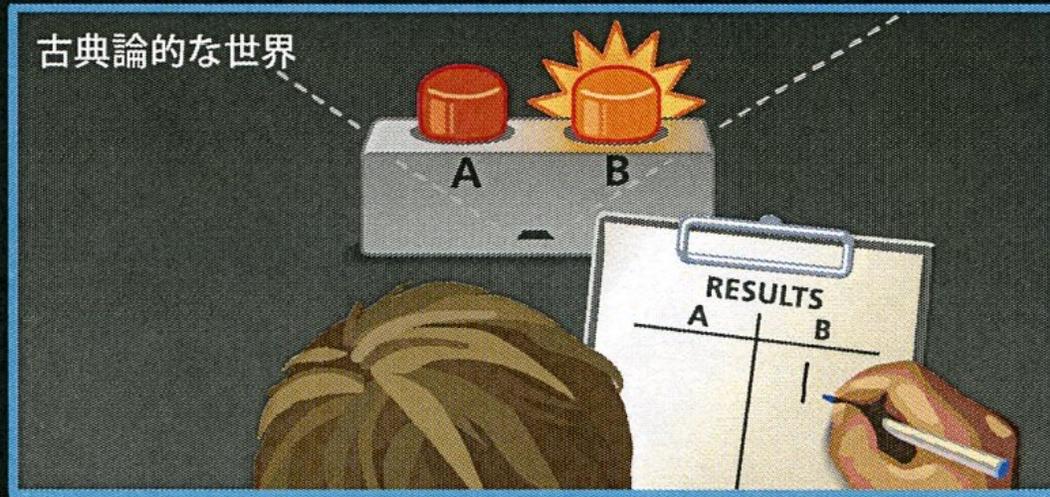
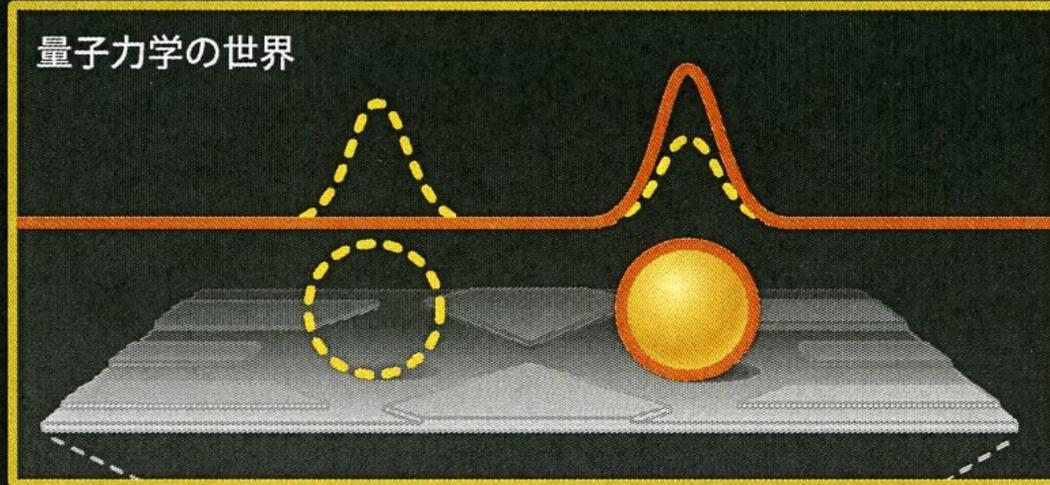
目の出方が完全に無秩序な「量子のサイコロ」を考える。これを振ると1から6までの目のいずれかに落ち着くが、その出方は無秩序だ。しかし量子力学の考え方では、振られたサイコロは1から6までの目を同時に示す。この矛盾した見方に折り合いをつけるには、サイコロが別の宇宙で別の目を出すと考えればよい。6つある宇宙の1つでは「1」、もう1つの宇宙では「2」を出すという具合だ。私たちはいずれかの宇宙の中にとらえられているので、量子世界の全体像のうちごく一部しか実感できない。

量子力学のコペンハーゲン解釈

日経サイエンス2008年4月号

コペンハーゲン解釈

ボーアによると、観測する側である測定器（と測定する人）は古典論的な世界にいて、量子力学の世界とは隔絶している。こうした古典論的な測定器で量子力学的な重ね合わせ状態を観測すると、波動関数は、重ね合わせになっていた状態のうちどれか1つにランダムに収縮し、ほかの状態はすべて消え去る。なぜそうした収縮が起きるのかは、量子力学の方程式からは出てこない。波動関数の収縮は、量子力学とは別に、新たな仮説として付け加えられたものだ。



量子力学の建設に大きな寄与をしたニールス・ボーアが、コペンハーゲンで発展させたもので、現在の量子力学の標準的「解釈」

量子力学の多世界解釈

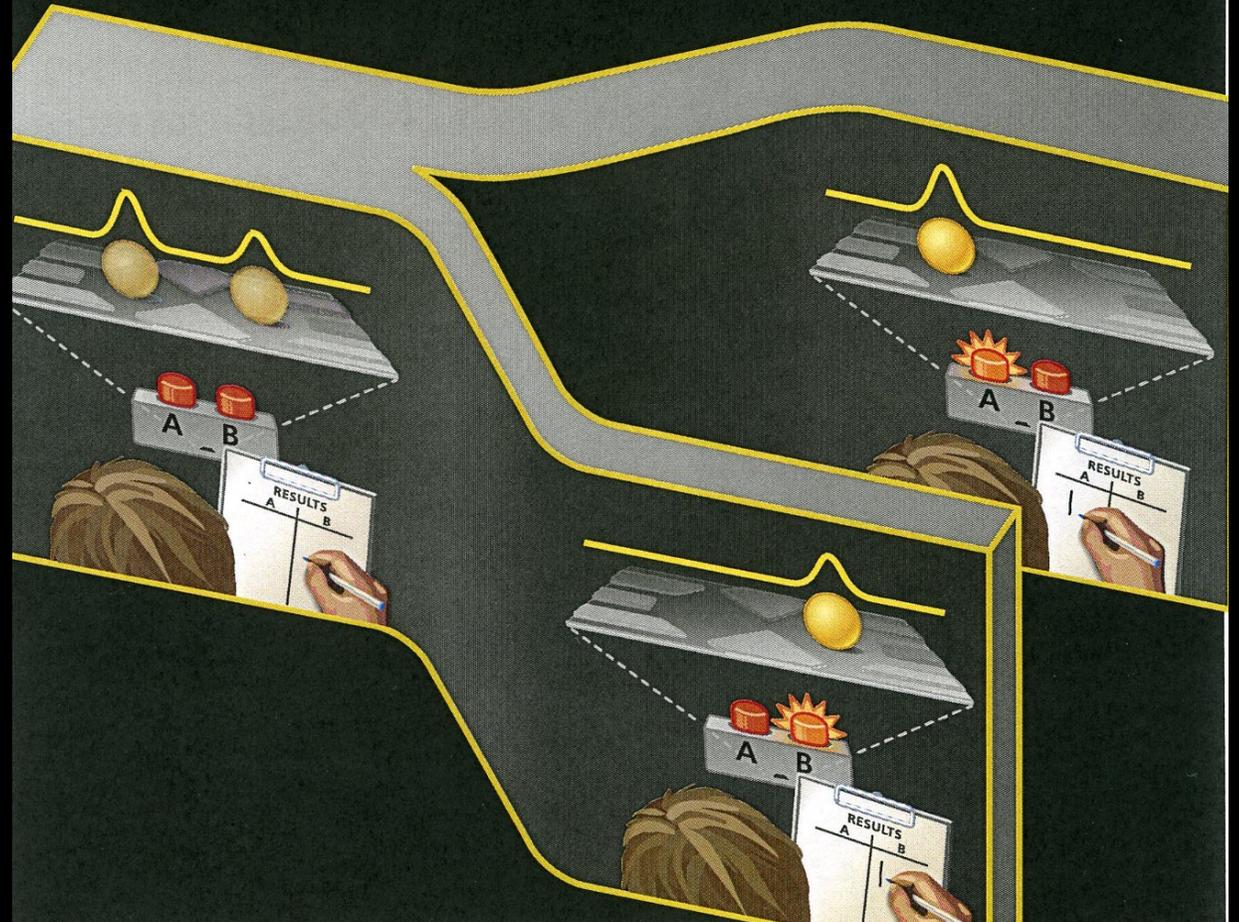
- コペンハーゲン解釈によれば、「我々が住む」唯一の宇宙には、異なる量子状態が共存しており、なんらかの観測を行って初めてそのうちの一つだけが選ばれて確定する
 - 観測前には、生きた猫と死んだ猫の状態が共存しているし、右の窓から侵入した波乃光子も左の窓から侵入した波乃光子も同等に状態として共存している
- そうではなく、これらの異なる状態はすべて実現するのであり、それら一つ一つの実現した結果が異なる宇宙として実在していると考えてはどうか(エベレットの多世界解釈)
 - 異なる状態にある無数の宇宙が並行に存在し、観測者は観測するたびに自分がそのなかのどの宇宙に存在しているか「確認」するに過ぎない

エヴェレットの 多世界解釈

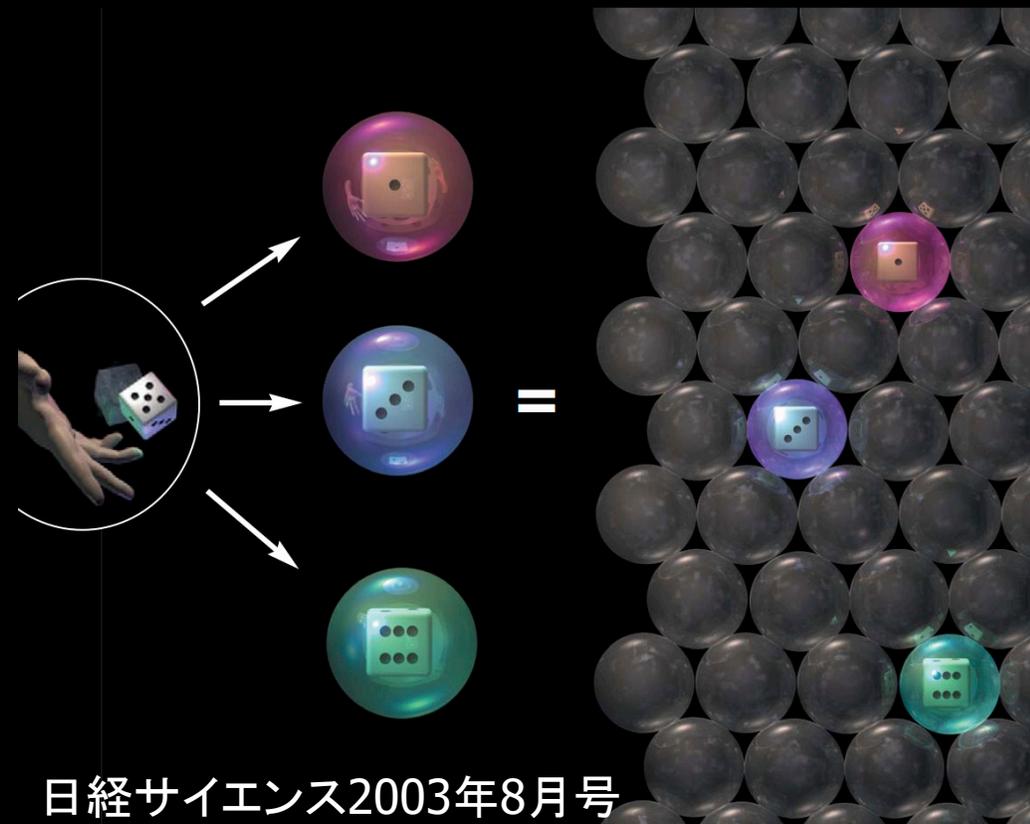
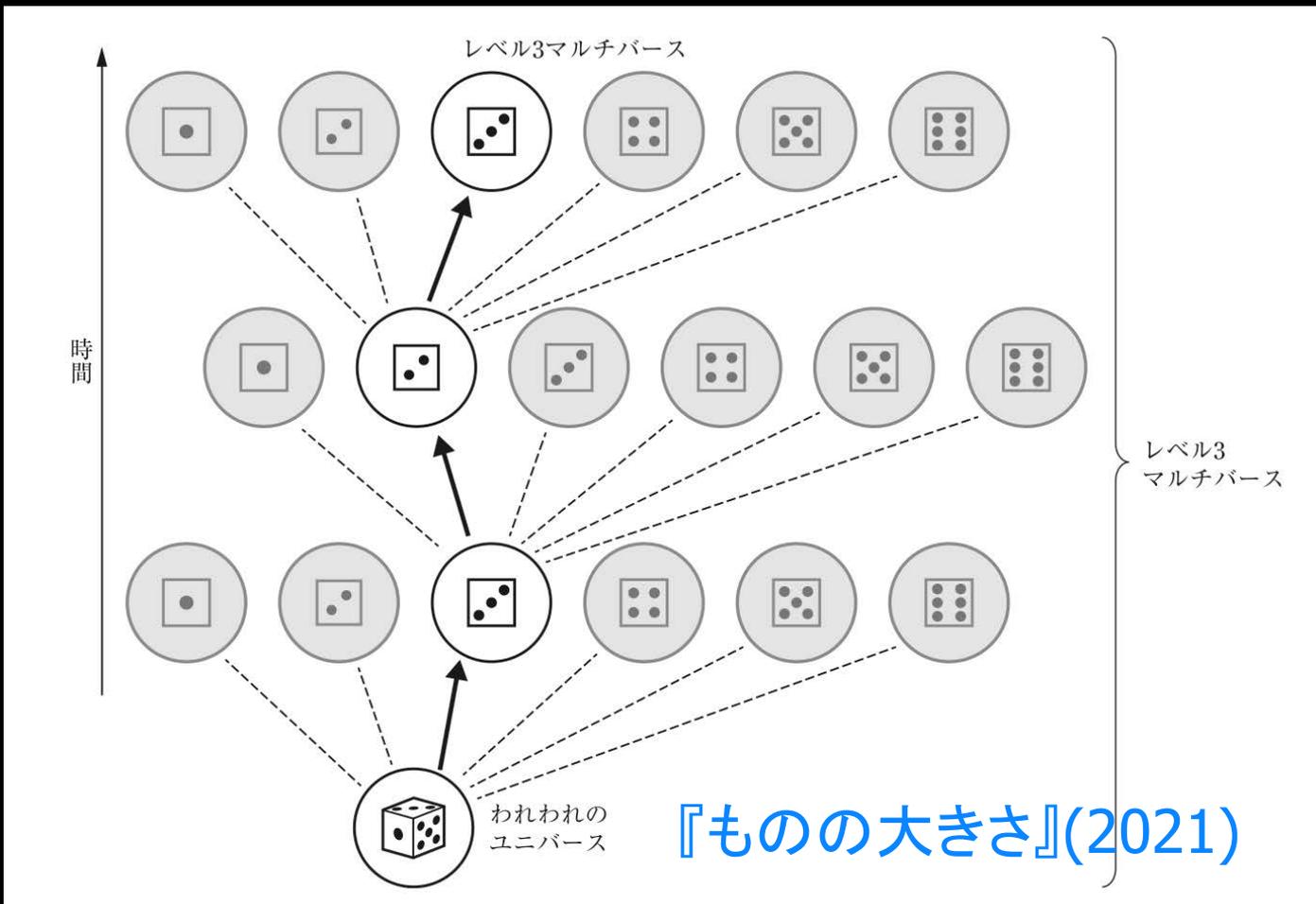
- プリンストン大学の学生であったヒュー・エヴェレットが提案し、指導教員であったジョン・ホイーラーが高く評価したが、ボアには受け入れられなかった
- 極めて独創的な解釈であり、支持する物理学者も多い
- 「解釈」という言葉からわかるように、この解釈を採用しようと、量子力学の結果がコペンハーゲン解釈と異なるわけではない

エヴェレット解釈は、観測する側である測定器（と測定する人）を、量子力学の通常の原理と方程式に従うもう1つの量子系であるとみなして、観測の過程を解析したという点で革新的だ。解析の結果、エヴェレットは次のように結論づけた。観測後に得られるのは異なる観測結果の重ね合わせであり、その重ね合わせの各要素は、分岐した宇宙に対応するそれぞれの分枝のようなものだ。私たちがマクロな世界で重ね合わせを見ることができないのは、それぞれの分枝にいる多くの「私」は、自分がいるその分枝の中のことしか知覚できないからだ。

日経サイエンス2008年4月号



レベル3 マルチバース



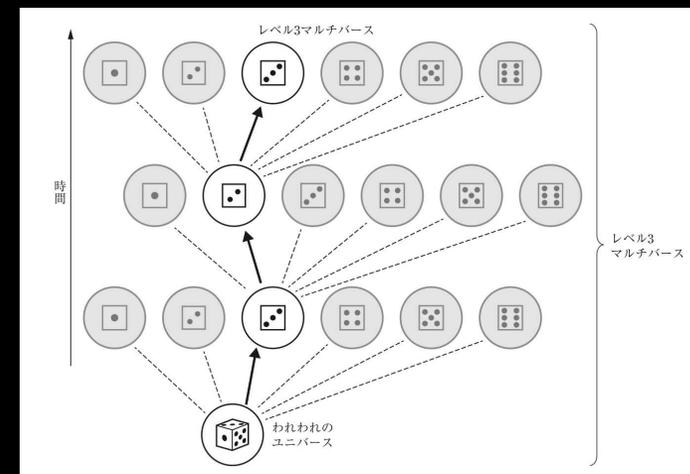
- 量子サイコロ(決定論的な古典サイコロではないことに注意!)を振るたびに世界が分岐すると考えても良いし(左)、無数に存在する量子的並行宇宙のどれかに落ちて着くと考えても良い(右:その集合がレベル3マルチバース)

レベル3マルチバース実在の検証実験： シュレーディンガーの人間(量子自殺)

- コンプライアンス的注意：仮に多世界解釈に完全に納得したとしても良い子は決して真似してはいけません
- 瞬時に死に至らしめる量子論的な(決定論的ではない)弾丸発射装置
 - 弾丸が発射するかしないかは半々の確率で量子的に(因果的ではなく)決まる
 - その装置の試し撃ちを外から見ていると、平均2回に一回、実弾が発射される
- 実際にその装置の前に自分の頭をおく
 - もしマルチバースがなければ、平均としては2、3回後にはほぼ確実に死んでしまう
 - もしレベル3マルチバース(あるいは並行宇宙)が実在するなら、自分が死んだ宇宙は認識できないからそこで終わり。一方、空撃ちが起こった宇宙では自分を認識できる。つまり認識できる「自分」にとっては、無限に空撃ちが起こるはず。
 - むろん、傍観している他人にとってはその選択効果はないので、ほとんどの場合は当人が本人が死ぬことを確認するだけ

コペンハーゲン解釈と多世界解釈の予言の違い

- この量子的装置を100回用いて一度も弾が出なかったとする
 - 確率 $P=1/2^{100}=10^{-30}$
 - この試行一回に1秒かかるとすると、 $100秒 \times 10^{30} =$ (現在の宇宙年齢)の 10^{15} 倍だけの時間をかけて初めて平均的に一度起こる程度
- 実際にそのような「奇跡」を体験したら
 - 自分は選ばれしものなのだと納得する
 - 装置が壊れている(あるいは詐欺である)ことを疑う
 - 量子力学の多世界解釈が証明されたと納得する
- 多世界解釈ではこの試行は異なる宇宙で並行してなされる
 - 100秒後に 10^{30} 個のレベル3マルチバースのどこかで実現
 - 量子コンピュータが高速計算できる原理！
 - 自分が生きている宇宙以外は、存在しないと同じ(人間原理的選択原理)



4 抽象的論理構造と

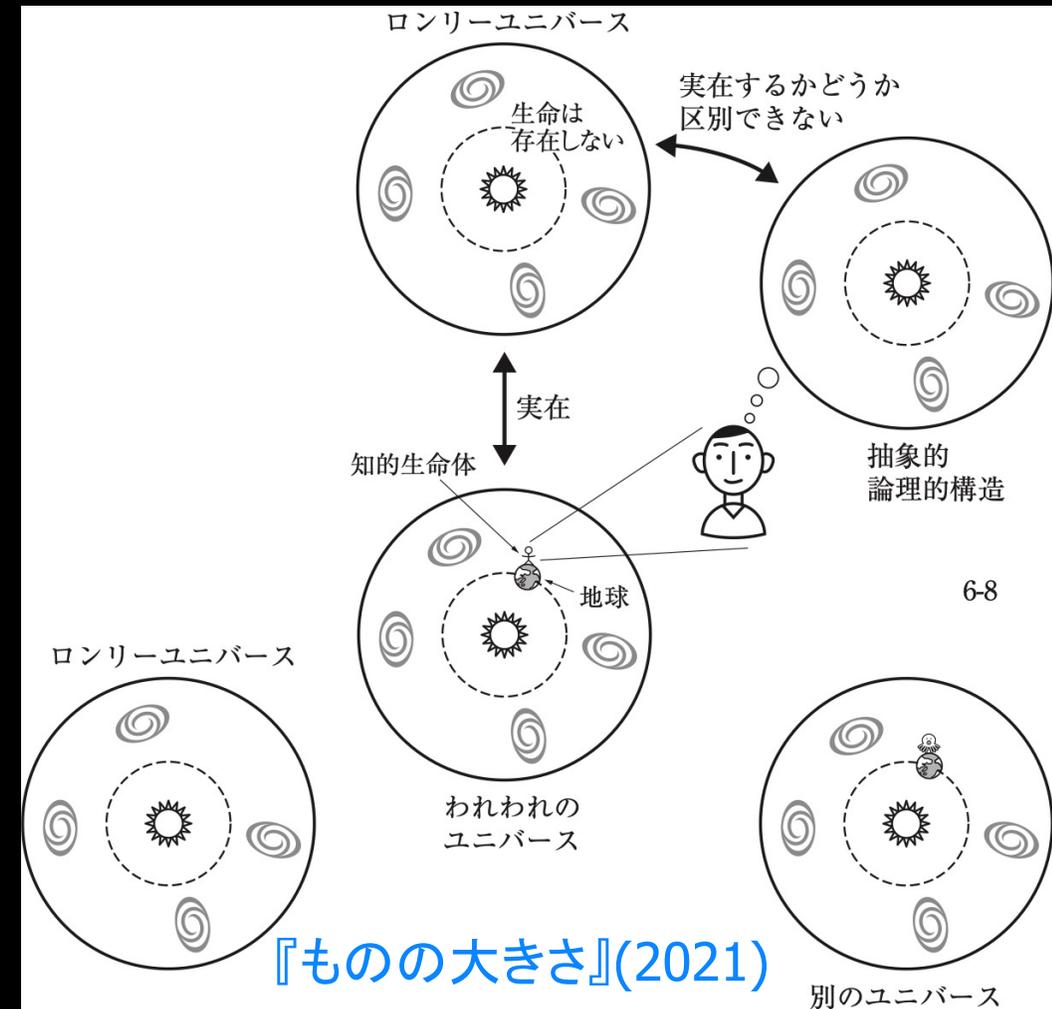
その対応物としてのレベル4マルチバース

レベル4 マルチバース

- **世界とは抽象的な数学的構造そのものだと考える**
 - この抽象的な構造が複数あるならば、それに対応して異なる物理法則を持つ世界(レベル4マルチバース)が実在しているのではないか
 - とすればこの宇宙の法則が数学で記述できるのは当たり前
- **世界 = 数学的構造 = 物理的実体 = 宇宙**
 - 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(標準的考え)
 - **単にたまたま我々の宇宙で採用されていないだけで、それを採用する別の宇宙がどこかに実在しているのでは？**

Lonely World/Universe

- 実在する「ユニバース」に生物(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)が存在する必然性はない
- 固有の物理法則にしたがって進化するユニバースはの大半には、それを観測したり熟考したりする生物がない
- そのようなユニバースをも「実在」と認めて良いとすれば、純粹に数学的に無矛盾な抽象的論理構造はあまねく実在と言うべきでは？
- 実在を確認するためには人間が必要
= 人間原理



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どこかに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が実在するという主張と区別できないのでは？

法則は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るし、文書として記録も残っている
- 法則(law)は、いつ誰がどこるか、具体的な実態としてどこに存在するのかすら不明
- とすれば宇宙そのものが法則(摂理、論理構造)と同じなのでは
 - 例えば一般相対論における粒子の運動方程式は、時空の幾何学的な測地線方程式そのものである。つまり、法則は宇宙に刻みこまれている
 - 一般相対論に限らず、耳にすることが多い「物理学の幾何学化」という言葉は、とりもなおさず宇宙＝法則というレベル4マルチバース的主張そのものだとして解釈できる

5 人間原理: マルチバースの選択律

森羅万象はどこまで必然のみで理解できるのか

- 科学のゴールは、この世界(あるいは我々のユニバース)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、ゴールとして掲げる意味がある
- 科学の終着点の2つの可能性
 - 究極理論 (Theory of Everything) を発見し、全てを必然的に説明し尽くす
 - ある程度少数の基本法則にまでは還元できるものの、結局なぜそれらでなくてはならないのかまでは説明できず、どこかで偶然を認めざるを得ない
- 究極理論といえどこの宇宙を一意的に説明するには、**初期条件**まで決める原理が必要だが、これは不可能では？
- この初期条件の選択の偶然が、世界を認識する人間の存在を保証しているのでは？

微調整 (fine tuning)を認めてよいか？

- 自然界を特徴付ける無次元量は1であるべし
 - 無次元パラメータの値が単純な予想に比べて不自然に大きい(小さい)場合、物理屋は「微調整」されていると呼び、忌み嫌う
 - 例えば、つまみを回して選局したラジオを思い出せば、重力/電磁気力なら 10^{-40} 度、宇宙定数なら 10^{-120} 度の精度でピッタリ合わせない限り、うまく音が聞こえないことに対応する
 - この不自然さを偶然で片付けたくないなら、自動的にその値が選ばれるような何らかの法則が潜んでいると疑うべき(つまりそのパラメータを場の変数とみなし、その運動方程式を考える)

(我々の)宇宙を特徴付ける値

■ 現在の宇宙を特徴付ける値 (定数ではなく時間変化する)

- 宇宙の年齢: 138億年
- 宇宙の温度: 3ケルビン (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)?

我々の宇宙を支配する物理法則の絶妙なバランス

■ 強い相互作用の結合定数： α_S

- $\alpha_S \uparrow \Rightarrow$ ${}^2\text{He}$ が存在できるとすべての水素がヘリウムになる \Rightarrow 水ができない
- $\alpha_S \downarrow \Rightarrow$ 水素のみになり高分子ができない

■ 電磁相互作用の結合定数： α_E

- $\alpha_E \uparrow \Rightarrow$ 原子核がクーロン斥力で壊れる
- $\alpha_E \downarrow \Rightarrow$ 高分子ができない

■ 弱い相互作用の結合定数： α_W

- $\alpha_W \uparrow \Rightarrow$ 中性子のベータ崩壊の寿命 $\downarrow \Rightarrow$ ビッグバン元素合成以前に中性子が消滅し、水素しか残らない
- $\alpha_W \downarrow \Rightarrow$ 中性子と陽子の質量差1.29MeVよりずっと以前に弱い相互作用が切れる(普通は宇宙の温度が0.7MeVの頃) \Rightarrow 中性子と陽子の個数比は1:1 \Rightarrow ビッグバン元素合成の際すべてがヘリウムになってしまう

■ 相互作用定数が微調整されていない限り、生物は誕生しない？

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



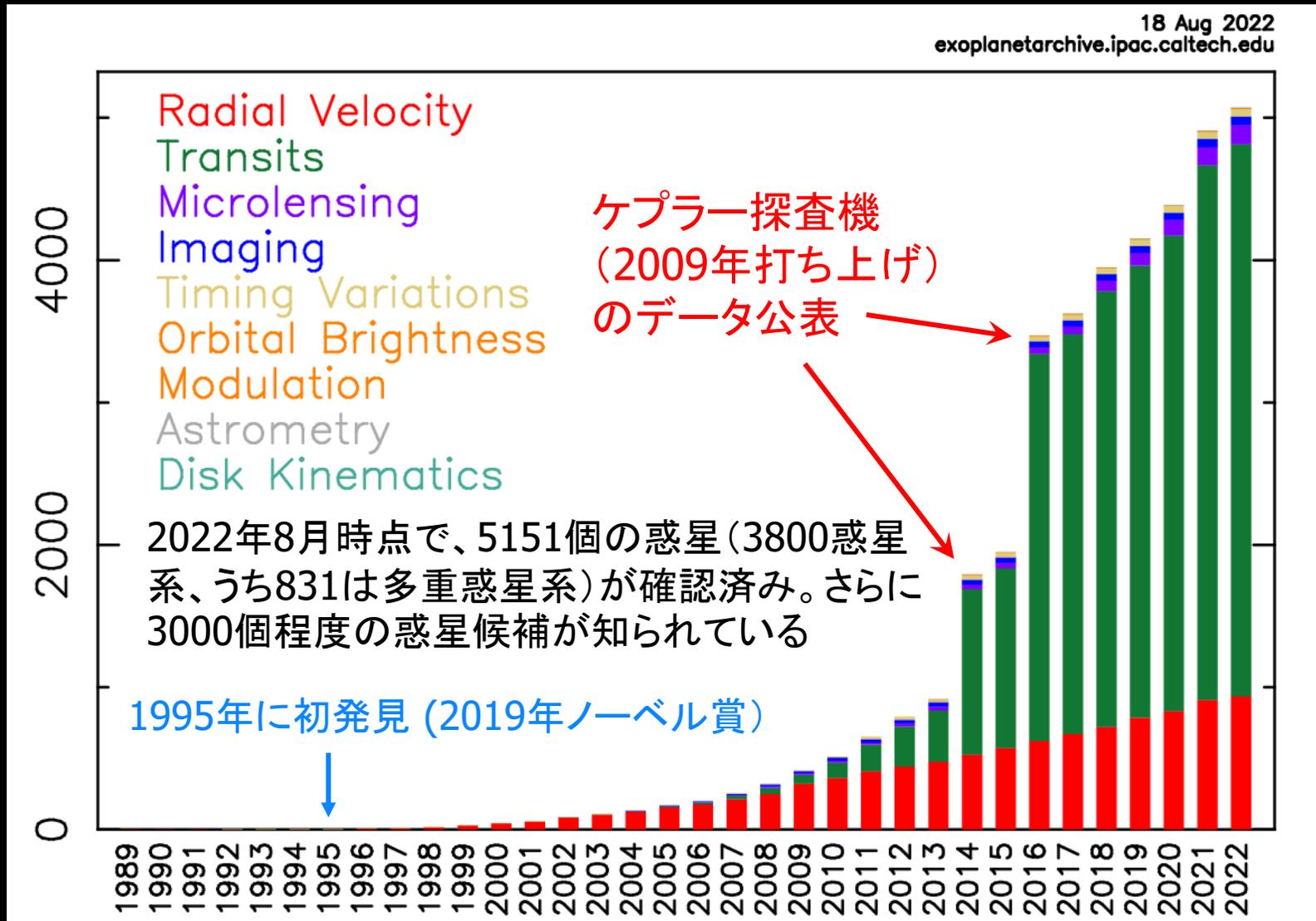
- **例題**: 地球上に液体の水が存在するには、太陽との距離が現在の値と±10%以内の狭い範囲になくなくてはならない。これから何かわかることはあるのか？

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。偶然には意味はない。
- 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、太陽系外惑星は普遍的に実在

発見総数

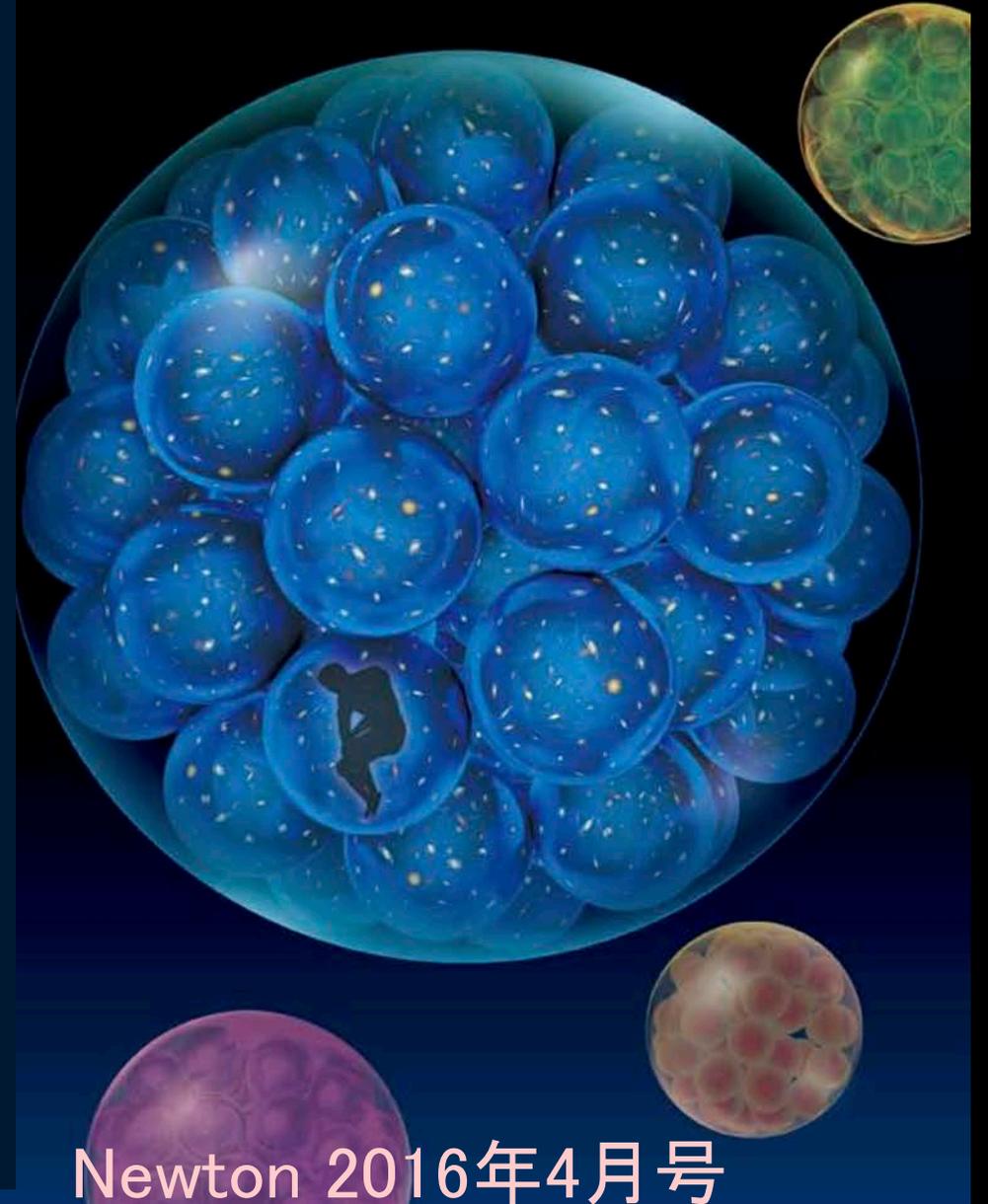


西暦

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マルチバースにある無数のユニバースのなかでたまたま知的生命を宿すような条件を備えた例である。つまり、マルチバースの実在が示唆される

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)のか？
 - すべての物事が必然とは限らず偶然は不可避(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
- ただし、マルチバースの存在を科学的に証明することは不可能
 - もしそれができたとすればその宇宙は我々の宇宙・世界の一部に過ぎないことになってしまうはず
- マルチバースという考え方そのものは決してSFやとんでも系ではない一方で、検証可能性という立場から考えれば正統的な科学の枠にはない

人間原理と物理法則

- マルチバースの存在を認めよう
- そのなかのユニバースでは物理法則が異なっている
 - 少なくとも物理定数や宇宙定数の値は違っている
- 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例が我々の住む宇宙
 - 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

人間原理の算数

- 極度にありえない事象を、同等にありえない事象(人間の存在)と関係づ
- $P(\text{不思議なこと}) \ll 1$ であるが、 $P(\text{人間の存在})$ もまた $\ll 1$ であるから、「不思議なこと」と「人間の存在」が相関していたならば、その条件付確率 $P(\text{不思議なこと} | \text{人間の存在}) \approx 1$ となることはあり得る

$$P(\text{不思議な事} | \text{人間の存在}) = \frac{P(\text{不思議な事、人間の存在})}{P(\text{人間の存在})} \gg P(\text{不思議な事})$$

- 不思議さが減り、何か心が安らぐような気がする(自然科学と呼ぶべきかかどうかは別として精神面では大切)
 - しかし、金銭を要求するたぐいのものでは(あってはなら)ない

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

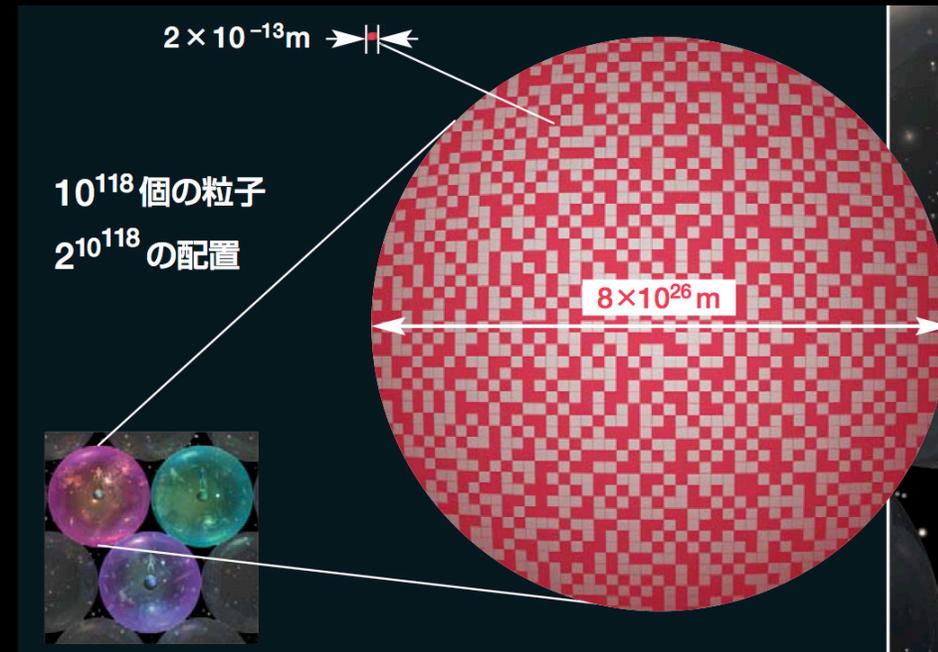
- いかにか少ない確率であっても、試行回数が多ければその事象は必ず実現する
 - 宝くじで一億円当たる確率は100万分の1以下だが、当選する人は必ず存在
 - 100万本以上の数の宝くじが売れているならば、統計的には当選者がいないほうがおかしい
- 逆に、人間が存在する宇宙が極めて可能性が低いにもかかわらずまさに我々の宇宙がそのようなものならば、人間が存在しないような宇宙は実は無数にある(マルチバース)と結論すべきでは？
 - そうであって初めて、人間を誕生させる宇宙が存在しているという奇跡的な事実が納得できる

6 離散性と連続性:

レベル1マルチバースとパラレル宇宙

パラレルユニバース(クローン宇宙) が実在するための仮定

- 我々が観測できる宇宙(半径138億光年の地平線球: レベル1ユニバース)は有限個の自由度で記述し尽くされる(量子論的効果は無視できると仮定)
- その外に広がる宇宙(レベル1マルチバース)の体積は(ほぼ)無限



有限体積の宇宙が持つ情報量は有限か —世界はデジタルか、アナログか？—

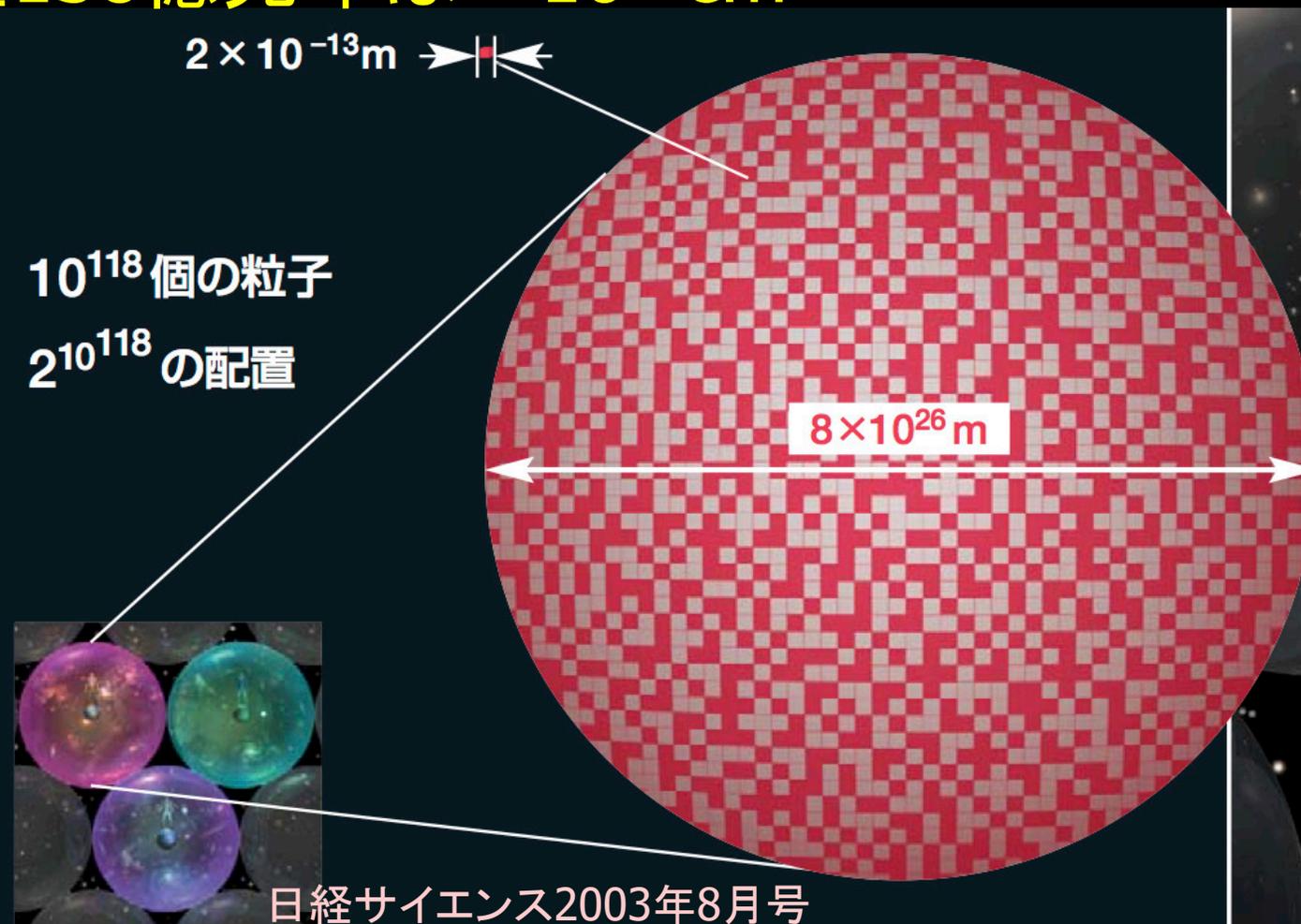


- この作業を繰り返していくと、いずれは近似ではなく本物(と区別できないクローン宇宙)に到達する？
 - すべての物質は有限個の素粒子からなる(量子論を無視する)
 - 時間と空間も連続ではなく離散的かも？
 - とすれば宇宙はデジタル情報に帰着するので、3Dプリンターで宇宙を創り続けると、いずれクローン宇宙が出現するはず？

我々の地平線球が持つ「古典的」情報量

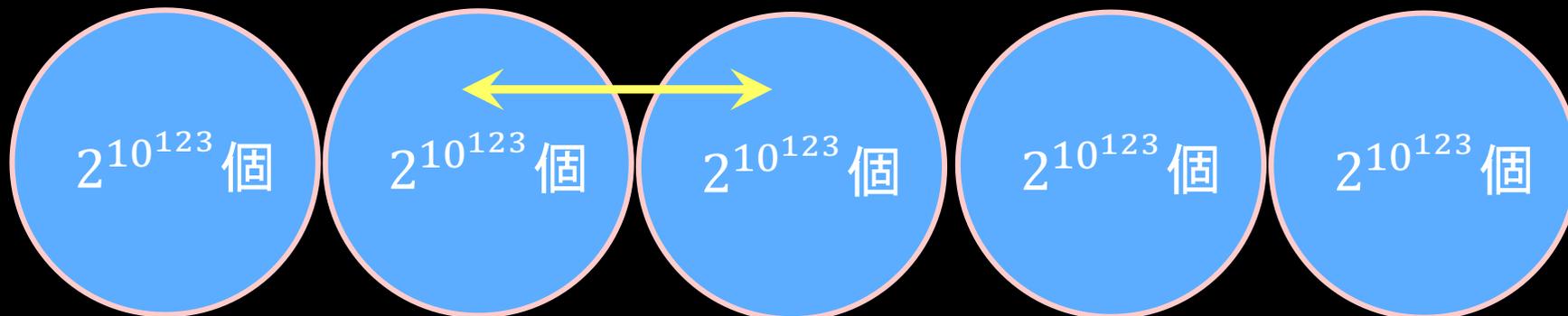
- 水素の原子核の大きさは $\sim 10^{-13}\text{cm}$
- 地平線球の半径138億光年は $\sim 10^{28}\text{cm}$

- この地平線球につめこめる水素の個数は最大 $(10^{28}/10^{-13})^3 = 10^{123}$ 個
- そこに実際に水素を置くかどうかの2通りの可能性があるので、可能な配置数は2の 10^{123} 乗通り
- この半径をもつ地平線球の種類は2の 10^{123} 乗通り*しか*ない



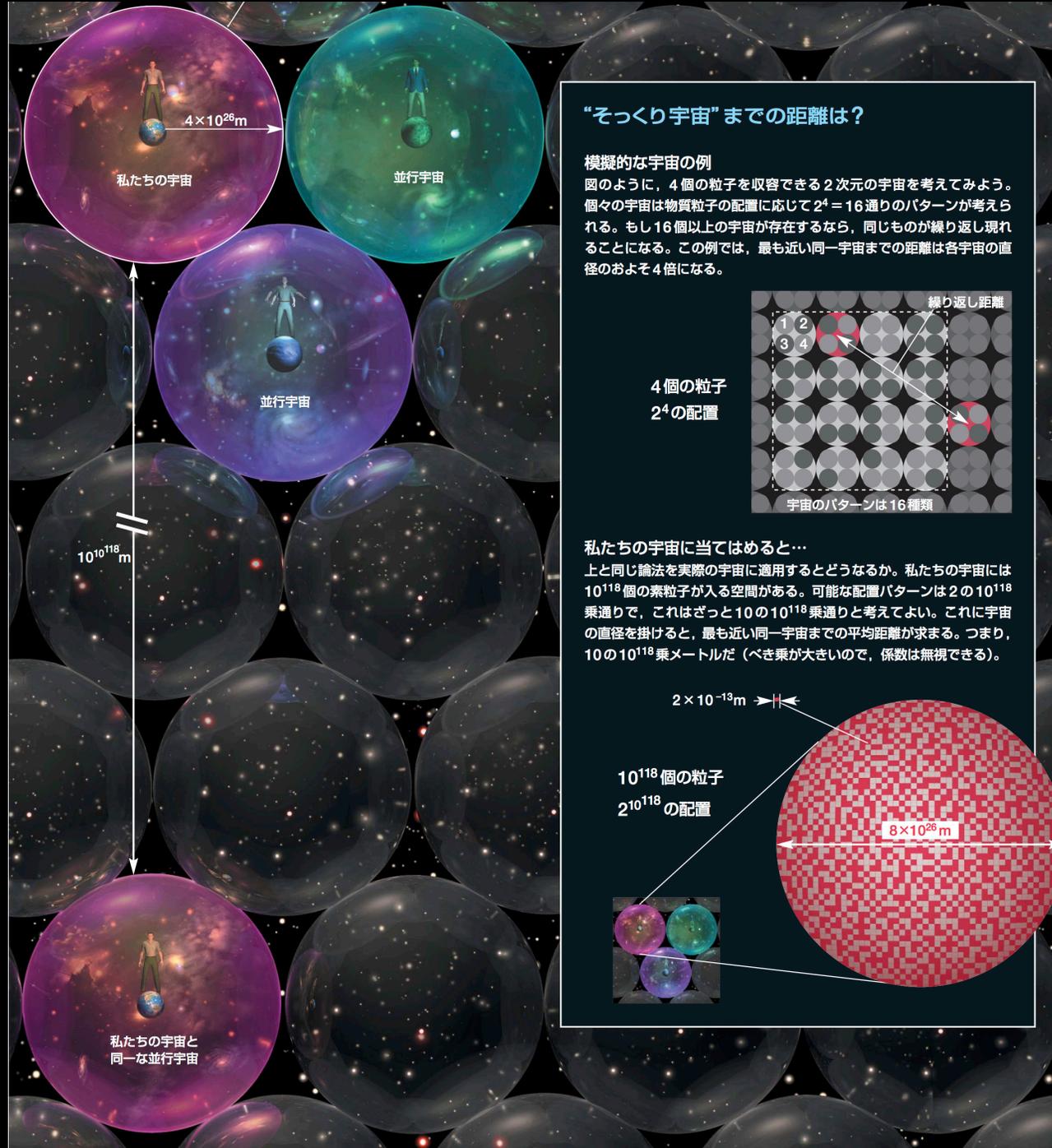
隣のクローン宇宙までの距離

- 2の 10^{123} 乗個の地平線球(レベル1ユニバース)を含む体積の球
 - それぞれの地平線球内の水素配列は全くランダムだとする
 - 完全に同一の水素配列をもつ地平線球(レベル1ユニバース)は全く同じ性質を持つクローン宇宙だとする
- とすれば平均的には、この体積の球と同じ体積をもつ隣の球内には、我々の地平線球のクローン宇宙が存在しているはず
 - 隣のクローン宇宙までの距離(あくまで古典論に基づく)
138億光年 \times (2の 10^{123} 乗) $^{1/3}$ \sim (10の 10^{122} 乗)億光年



パラレル宇宙 (クローン宇宙) は実在するか

- 宇宙が(10の 10^{122} 乗)億光年より大きければ(=ほぼ無限体積)、有限自由度の同一の構造は無限個存在するはず
- 同一原子配置をもつ人間は**意識**まで含めて同じ人間(≠クローン人間)となるのか？
- 自由意志と古典的決定論



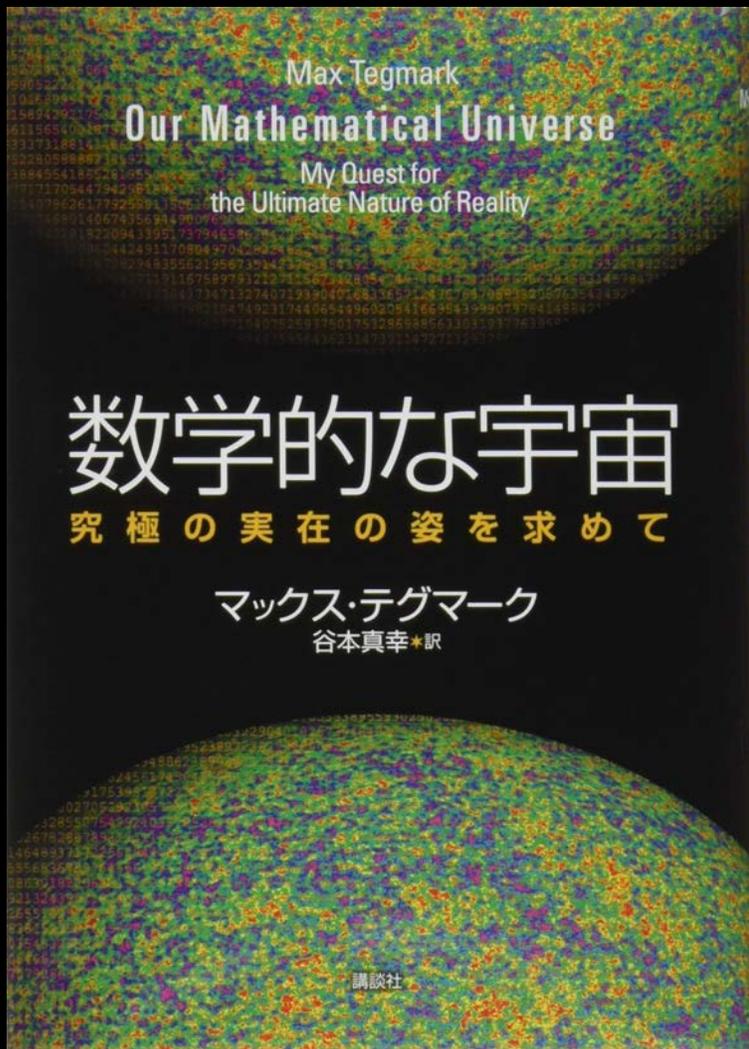
7 まとめ:

マルチバース + 人間原理的世界観

今回提起した正解のない疑問の数々

- 我々が直接観測できる地平線(138億光年)の先には、どのような宇宙が広がっているのか
- 世界は、離散的か連続的か
 - もし世界が離散的自由で表現されるなら、その中の有限体積の領域は無有限体積の中に繰り返し登場する。すなわち並行宇宙は実在するかも
- 知的生命体が存在しない宇宙(ロンリーユニバース)もまた、実在と認めてよいか
 - もし良いとすれば、数学的な論理構造と実在する宇宙との違いはないのでは
 - これこそ、宇宙が数学的な物理法則に(厳密に)したがっている理由？

参考文献



講談社 (2016年)

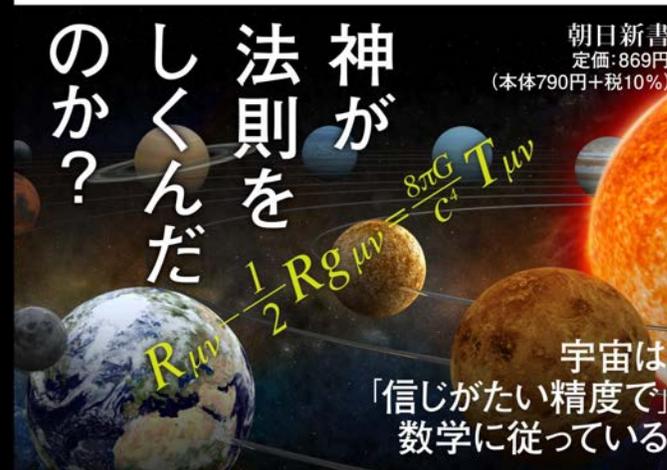


東京大学出版会 (初版 2006年 第2版 2021年)

今回の内容に関する一般向け解説本



講談社ブルーバックス 2019年



朝日新書 2022年1月刊