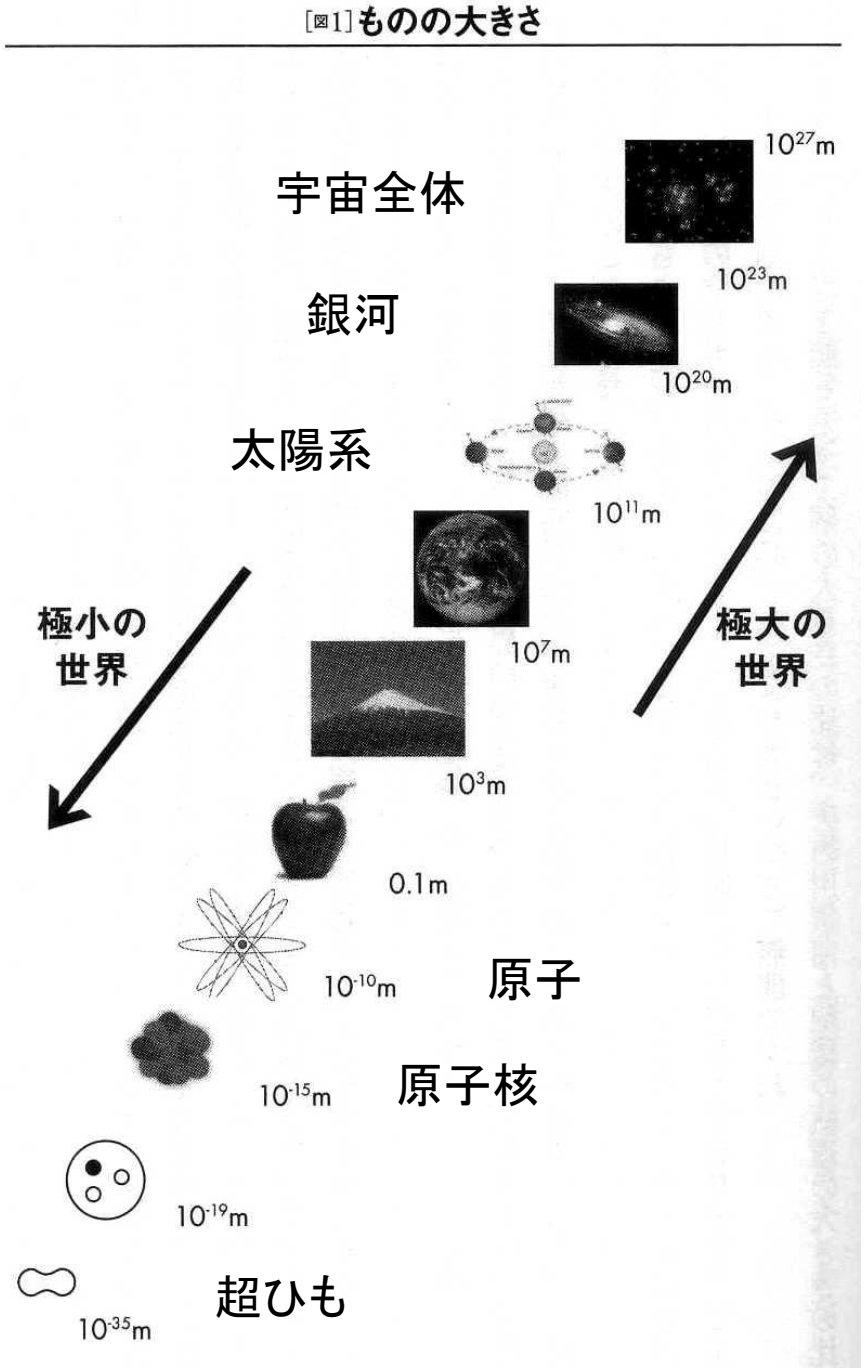
東葛リベラルアーツ
最新宇宙論
～宇宙の始まりと終わり～

2013/8/5

Link and Create　福島 毅

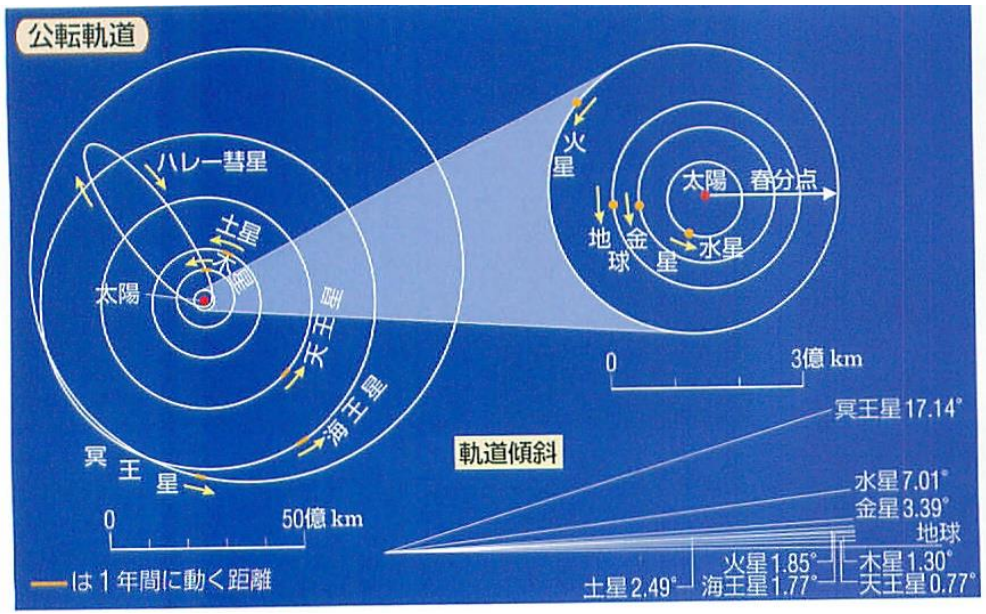


スケールの確認

われわれの宇宙の広がり
≒137億光年　≒10^{27}m
（1000・・・0）　0が27個

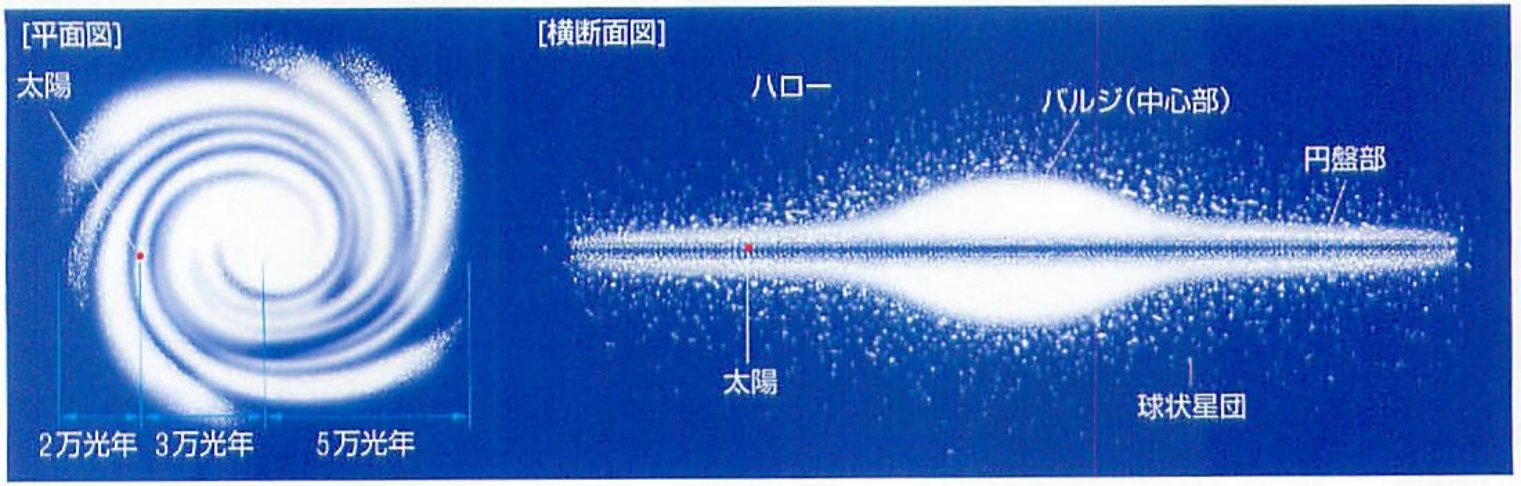
私たちが認識している
空間スケール

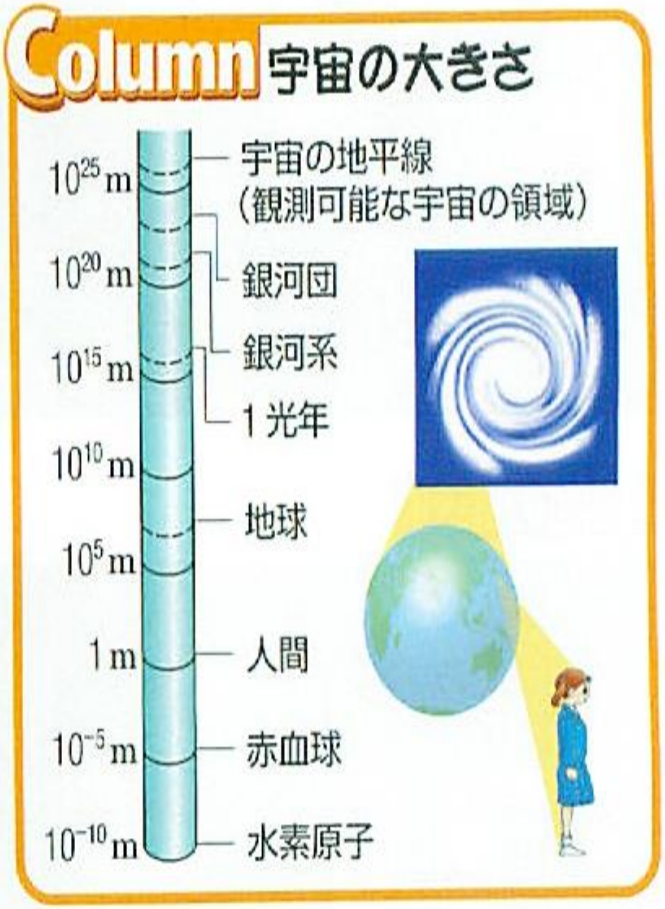
プランク長（物質の最小単位）
≒10^{-35}m（0．00・・・1）　0が35個



太陽系の大きさ
　太陽風の及ぶ範囲
　　≒100天文単位
　　1天文単位＝地球～太陽間
　　光速で14時間

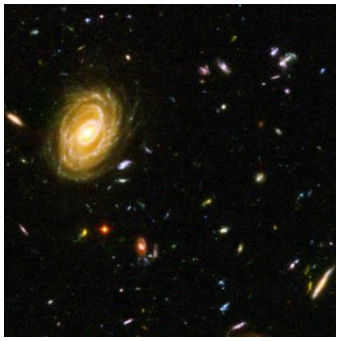
我々の銀河（天の川銀河）
　さしわたし10万光年
　太陽は銀河中心から≒3万光年



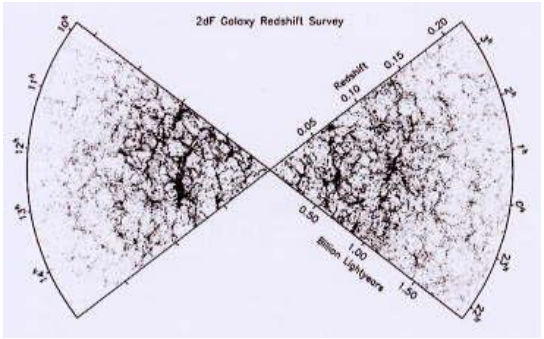


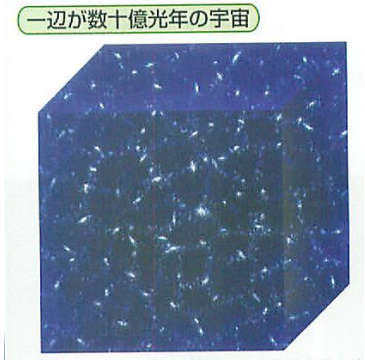
銀河
我々の銀河＝天の川銀河

銀河群（3個～数十個）
我々の銀河群＝局部銀河群
（アンドロメダ、大マゼラン、小マゼラン、しし座銀河群など）



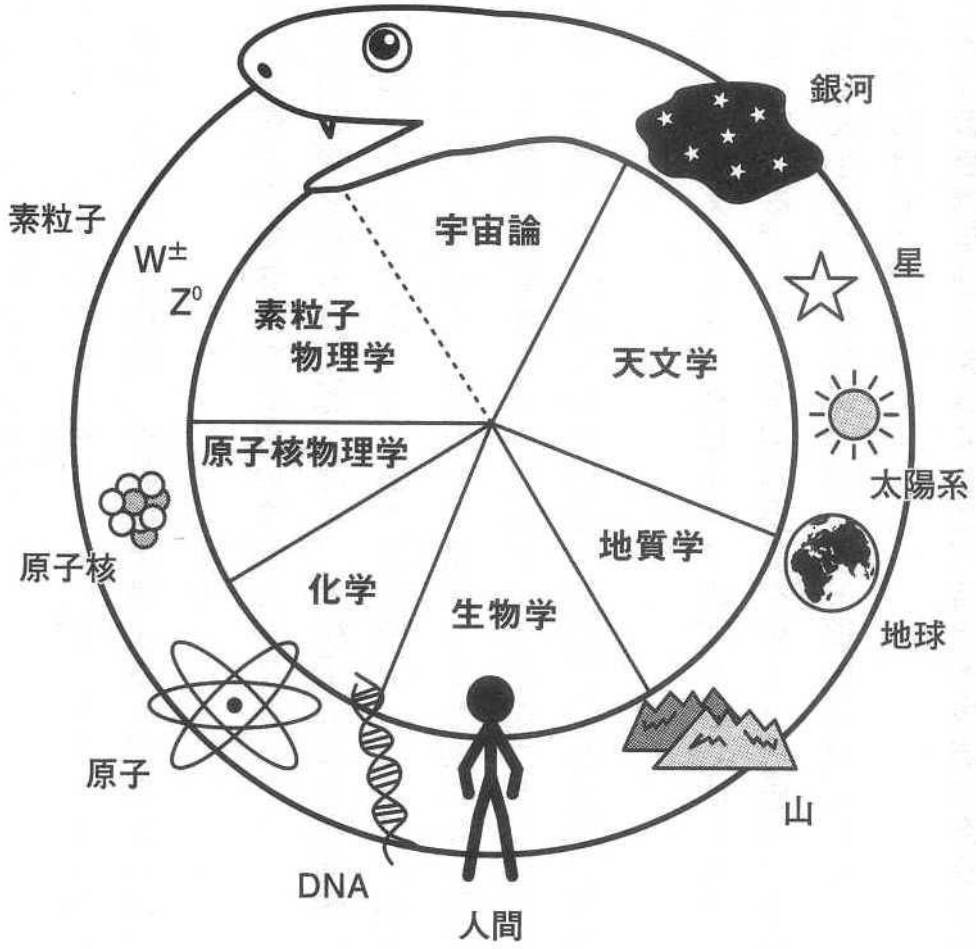
銀河団（数百～数千個）
おとめ座銀河団など





超銀河団（1億光年程度）
泡状構造をもつことが発見された

[図2]ウロボロスの蛇



ウロボロスの蛇

：自分の尾を飲み込む蛇

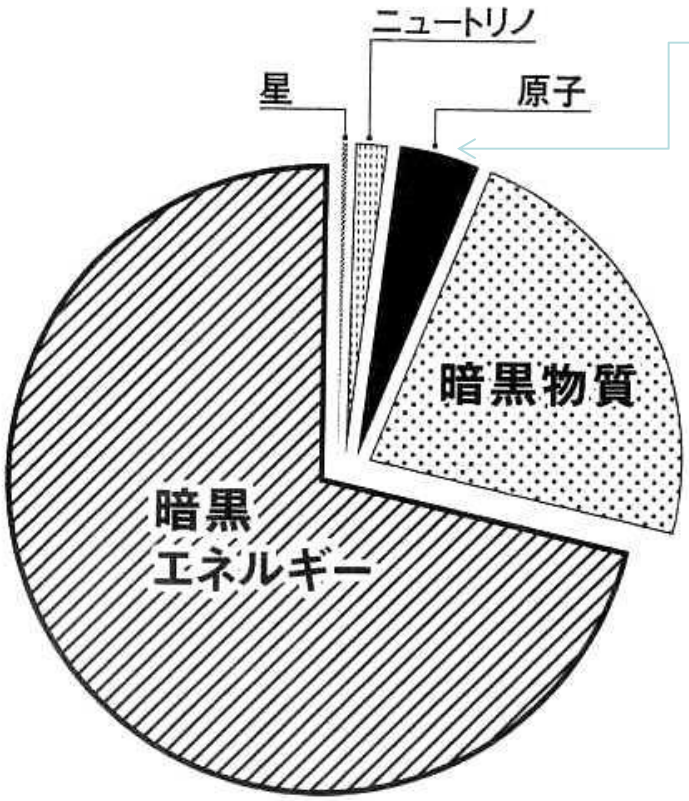
（古代ギリシャでは世界の完全性を表すシンボル）

⇒宇宙を考えると素粒子につきあたり、素粒子を考えると宇宙につきあたる。

（宇宙物理学者　村山　斉）

宇宙は何でできているか？

・星と銀河	0.5%
・ニュートリノ	0.1～1.5%
・普通の物質（原子）	4.4%
・暗黒物質	23%
・暗黒エネルギー	73%
・反物質	0%
・暗黒場（ヒグス）	10^{62}%??



われわれが知っている（認知できている）世界は、わずか4%！

ダークマター（暗黒物質）

ダークマターとは？
電磁波（ガンマ線、X線、紫外線、可視光線、赤外線、電波）などを放っていない天体。

なぜわかった？
銀河の運動をよく観察すると、見えている物質だけでは説明不可能な挙動があることがわかったから。

正体は？
白色矮星、中性子星、褐色矮星、小型のブラックホールなどの候補があるがはっきりしたことは不明。

ダークエネルギー（暗黒エネルギー）

ダークエネルギーとは？
宇宙の内部には、引力を持つ天体があるが、この引力に打ち勝ち空間を広げようとする斥力がある。これがダークエネルギー。

なぜわかった？
観測によれば、宇宙空間が予想以上のスピードで広がっており、これは未知の斥力が働いていると考えざるを得ないから。

正体は？
全くわかっていない。

物質は何でできているか？

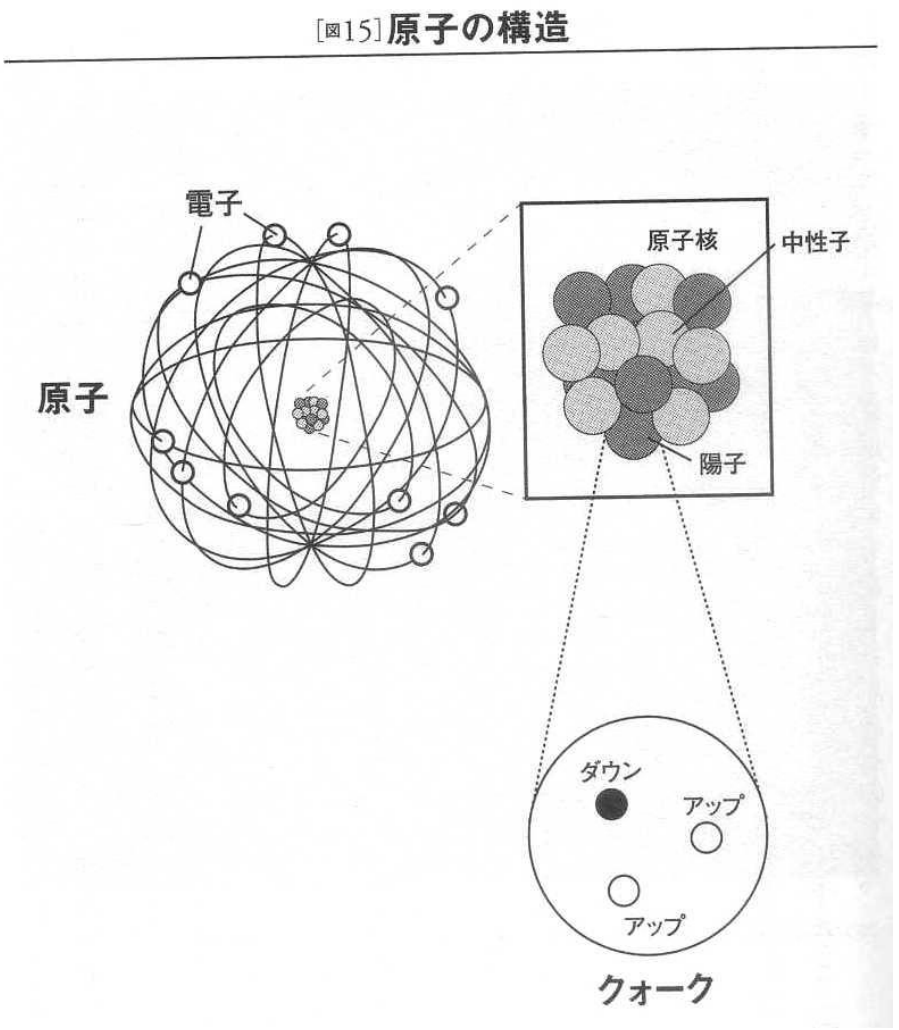
分子

原子

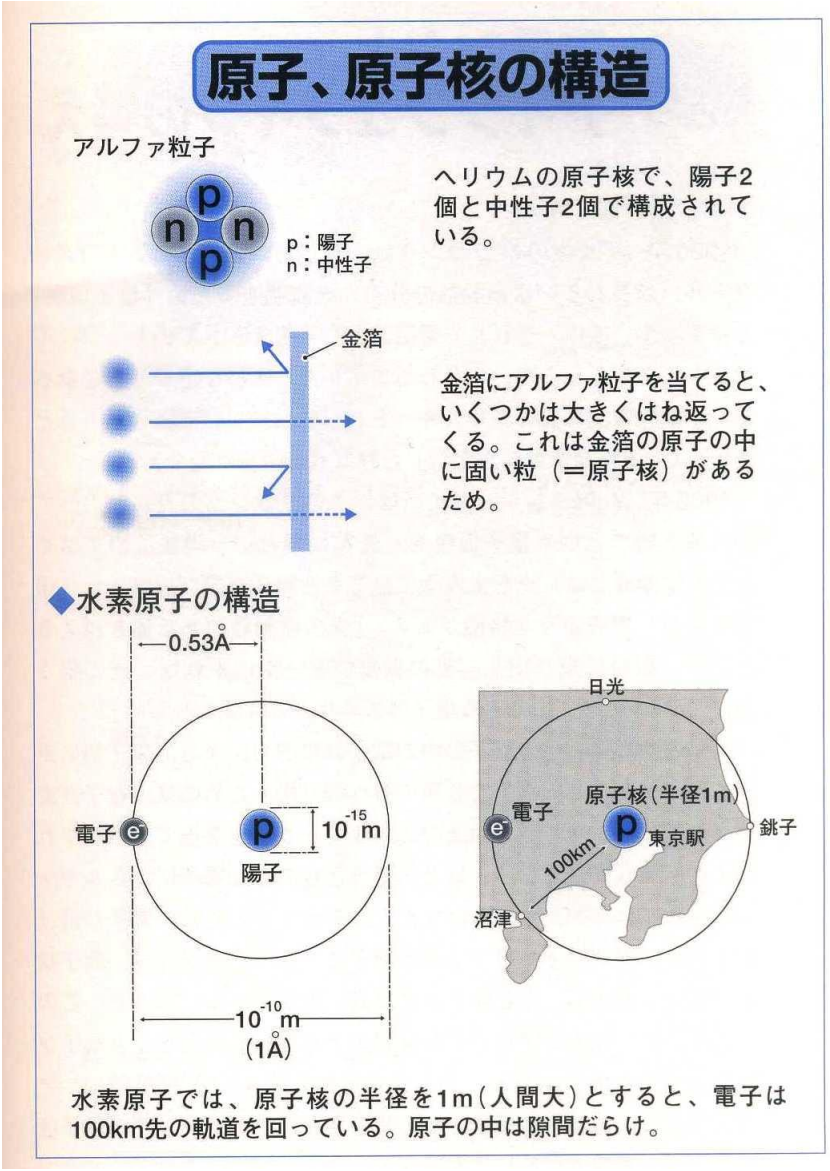
電子＋原子核

陽子＋中性子

クォーク
（究極の粒子？）



物質は何からできているか



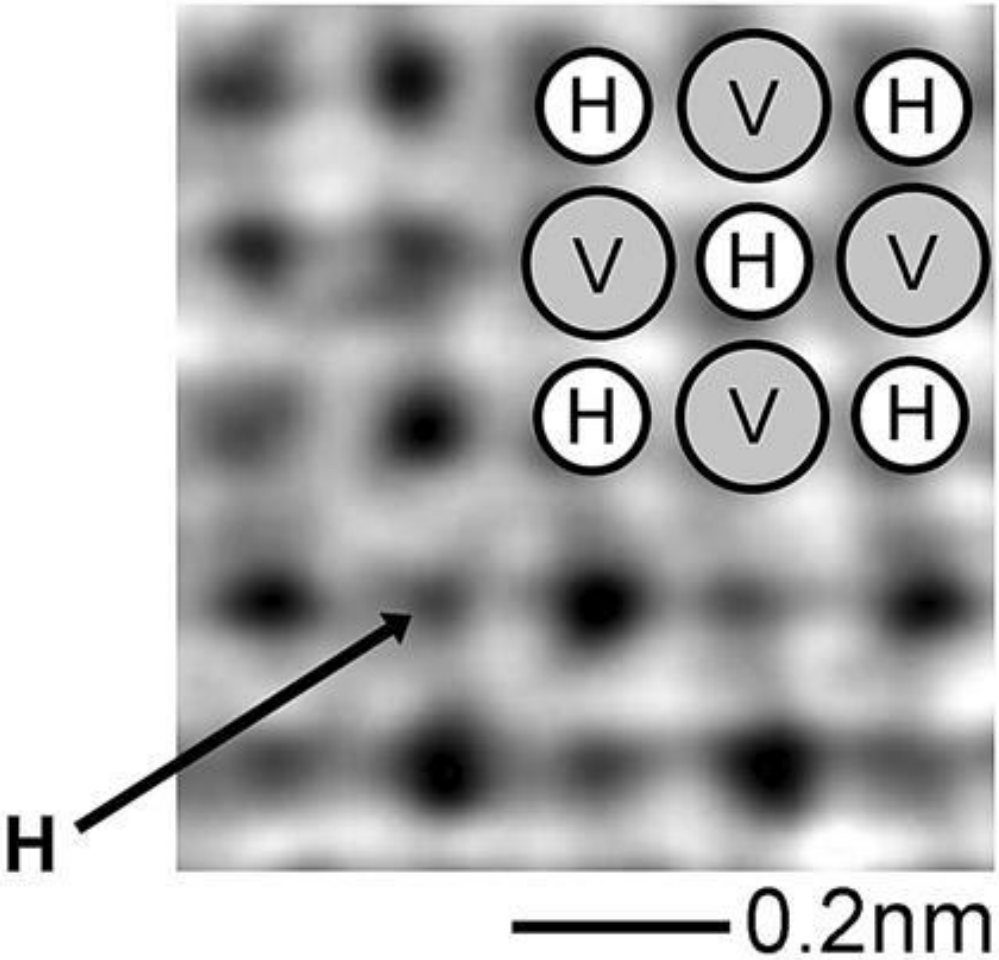
意外と知られていませんが・・・

原子を構成する原子核と電子の距離は比にして1000倍の距離があります。

例えると東京駅に置いた半径1ｍのボールが原子核とすると、電子がまわっているのは、100km離れた箱根・日光あたり。

原子って、中身がスカスカだったんですね。原子と電子の間は真空。ということは真空だらけ。マクロでみると連続して隙間はないように思えてしまう。

物質は何からできているか？



東京大学の幾原雄一教授率いる研究グループは、新型の電子顕微鏡を使い、全ての元素の中で最も軽く最も小さな水素原子1個の撮影に世界で初めて成功した。

2010/11/4

nm：ナノメートル　10億分の1m

物質は何からできているか？

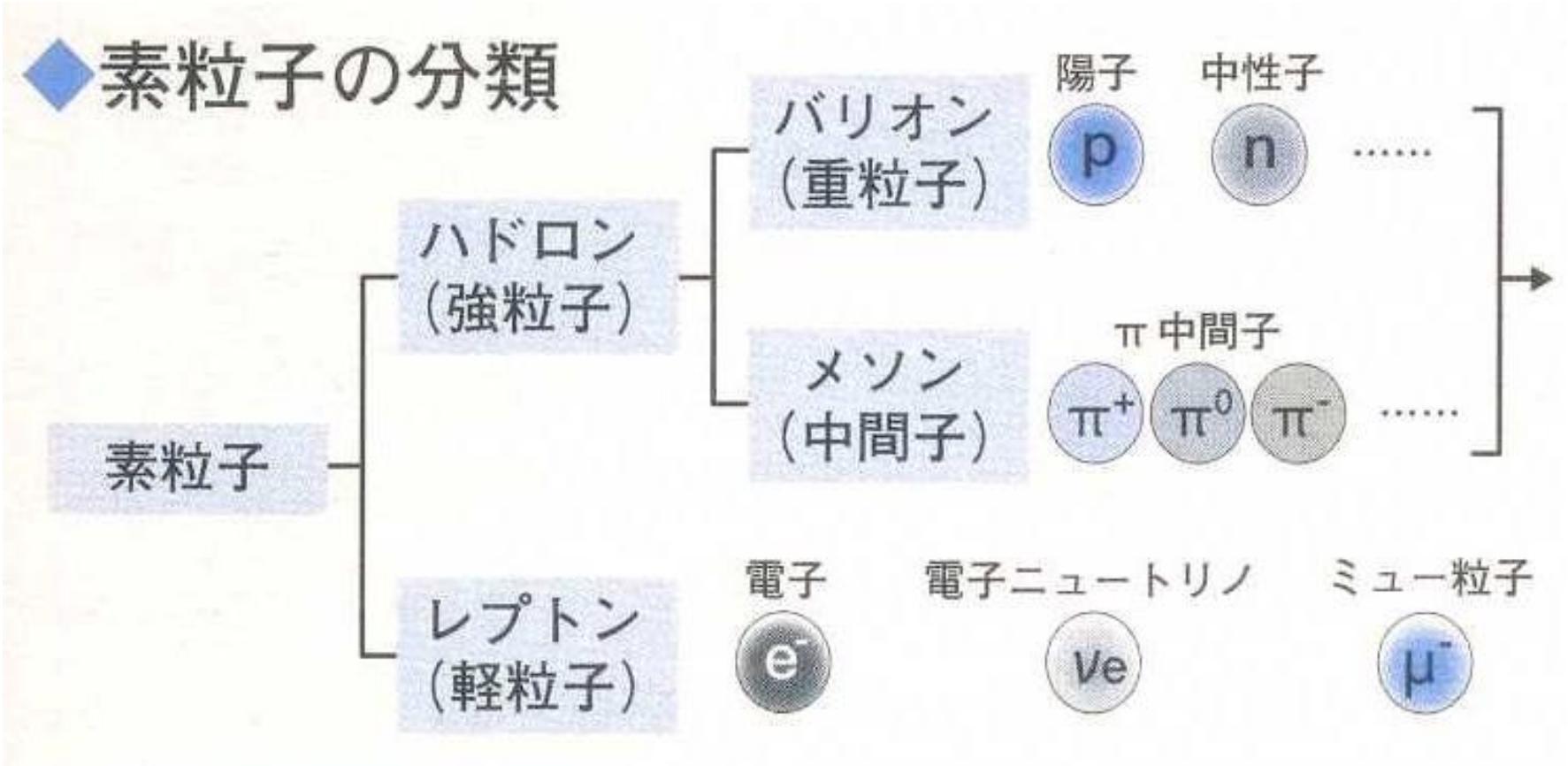
現代物理学でわかってきたのは・・・

1．物質は**素粒子**からできている。素粒子の種類は300種類ほど。

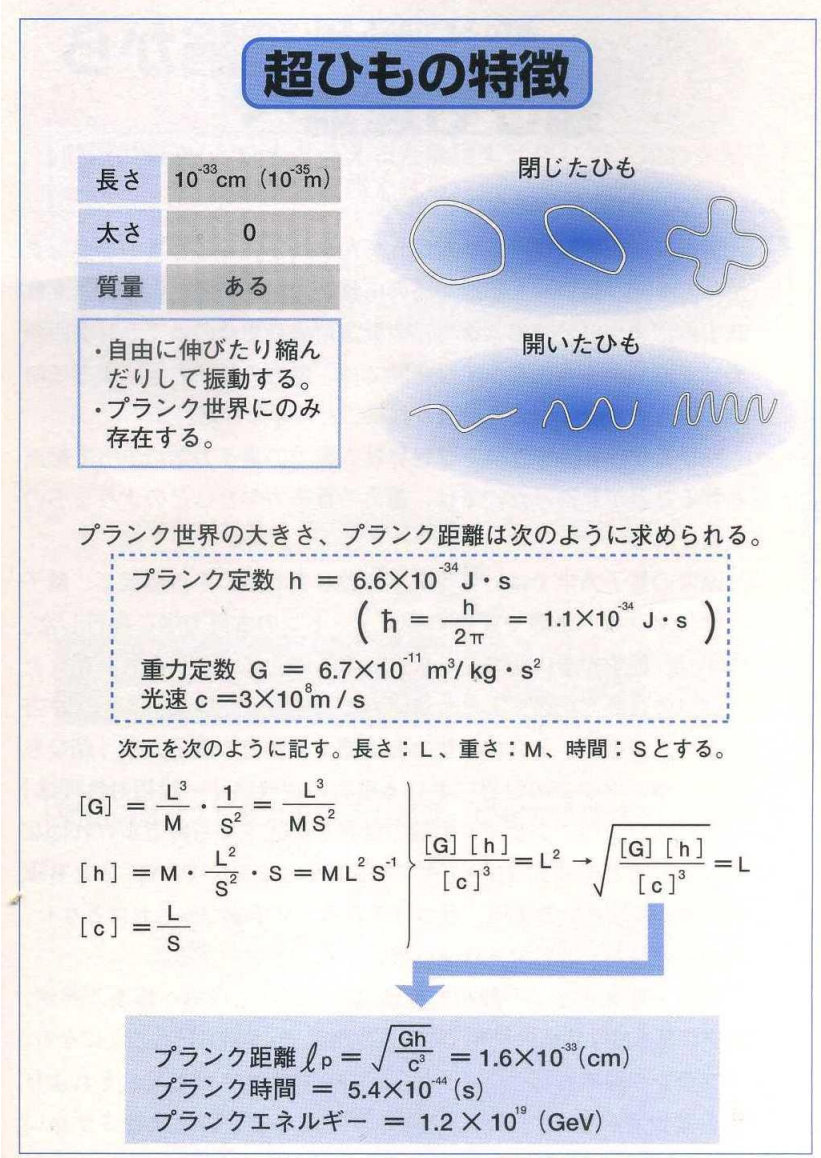
2．**素粒子**は、**ハドロン**（質量を持つ）と**レプトン**（ほとんど質量を持たない）に分類される。

3．**ハドロン**は、6種類の**クォーク**により表現できる。ただし、クォークは単体で取り出すことが困難。

物質は何からできているか？



さらに究極の粒子はあるのか？



物質の究極は、粒状の粒子ではなく、自由に伸びたり縮んだり、振動したりする“超ひも”である。
【超ひも理論】

超ひも理論によれば、さまざまな素粒子をその振動状態などで表現することが可能。

ただし、ひもの長さは
10^{-35}m
直接の観測手段はない。

素粒子は、「もの」ではなく、場にエネルギーが集中して数えられる状態

http://manataku.blog.so-net.ne.jp/2010-09-12

例え）
電光掲示板
　粒粒の粒子が動いているのではない。
エネルギーが集中しているところが
光って、その場所が移動しているだけ。

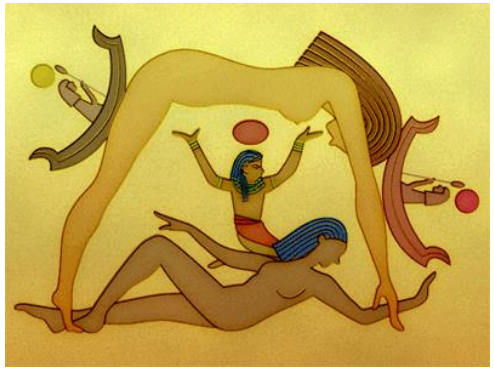
あらゆる素粒子は、空間を満たしている『場』が示す一つの状態。

エネルギーが集中して１個２個と数えられる状態になる『こと』

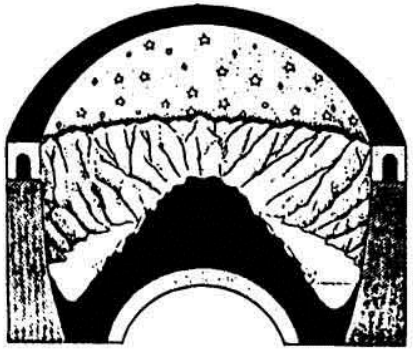
物質とエネルギーは等価
（アインシュタイン）

宇宙観の移り変わり

古代インドの宇宙観
世界は巨大な亀の甲羅（こうら）に支えられた3頭の象が半球状の大地を支えていると考えられていました。



古代エジプトの宇宙観
星は天に張りついたまま天といっしょに動きます。そして、太陽神ラーが毎日ボートに乗って、天のナイル川を渡ることで昼夜ができると考えていました。



古代バビロニアの宇宙観
箱庭型の宇宙観です。星は天井からつり下がっており、太陽・月・星などは、トンネルを出たり入ったりすることで見え隠れします。

http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0320a/contents/rekishi/answer01/index.html

宇宙観の移り変わり

2世紀：天動説（プトレマイオス）

↓

惑星の運動が説明できない。

↓

15世紀：地動説（コペルニクス）

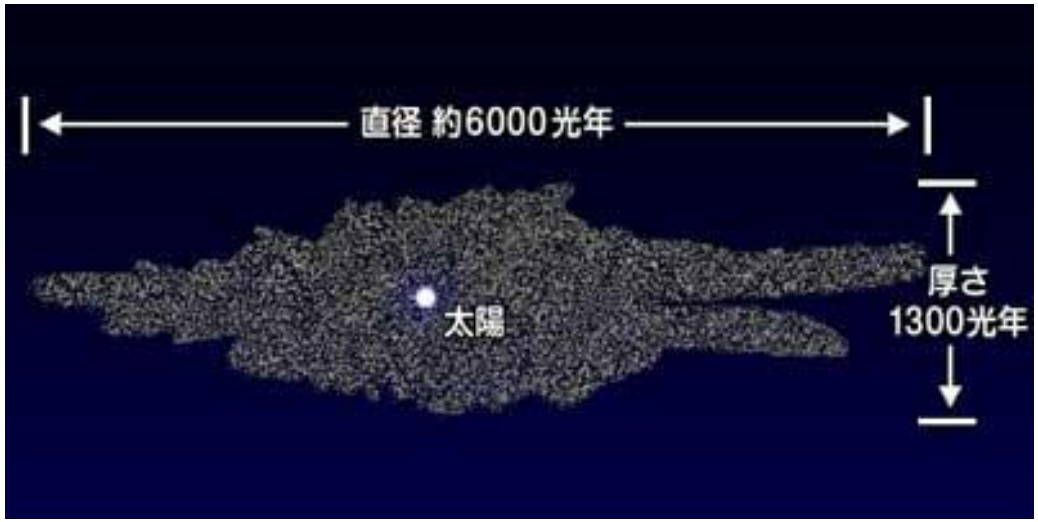
↓

17世紀：ガリレオ・ケプラーらにより地動説が不動に。

ガリレオの望遠鏡

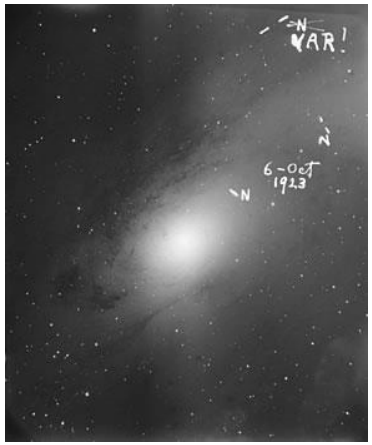
http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0320a/contents/rekishi/answer05/index.html

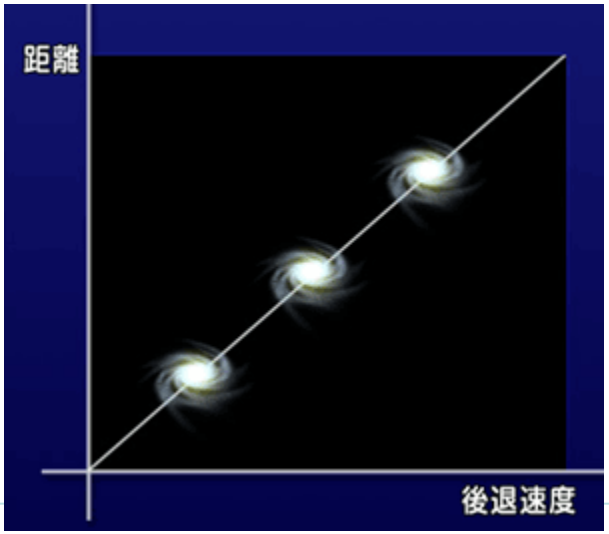
宇宙観の移り変わり



17~18世紀：ハーシェルの宇宙
天の川に沿った方向には暗い星の数が多いこと、つまり星が集中していることを見いだしたのです。一方、天の川からはなれるにしたがって星の数は減っていました。この観測結果から、ハーシェルは、この宇宙が薄い円盤状の構造をしていると考えた。

宇宙観の移り変わり





1924年　ハッブル

アンドロメダ大星雲の観測で、星雲内で変光星を発見

↓

その明るさからアンドロメダ大星雲までの距離は90万光年と算出し、銀河系の広がりよりも遠方の銀河であることを証明

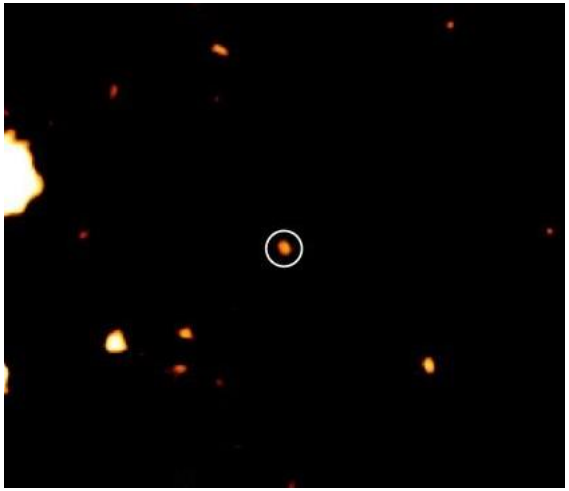
↓

いくつかの銀河の速度を測定し、私たちから遠いものほど速い速度で遠ざかっているというハッブルの法則を発見

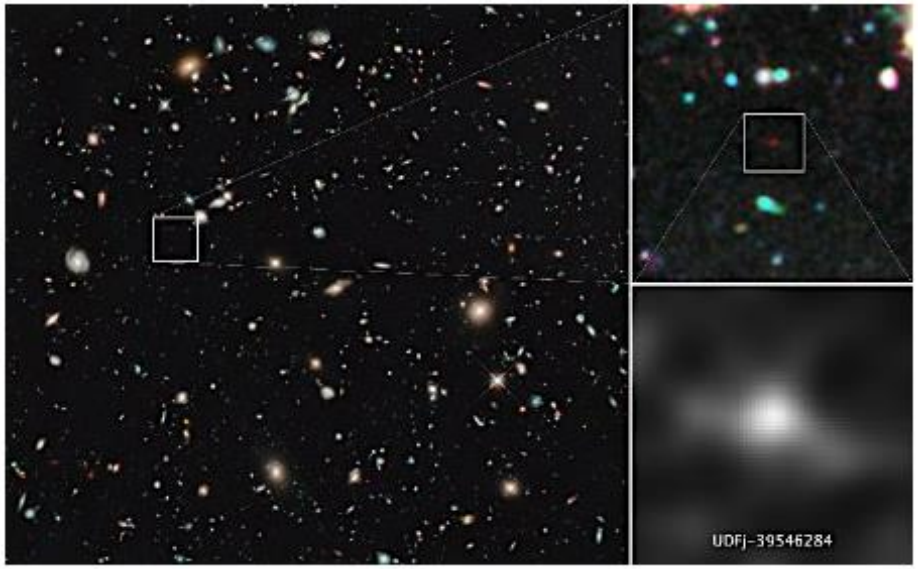
↓

すべての銀河が互いに遠ざかっている。
宇宙が静的でなく、膨張していることを示唆

最も遠い天体の観測



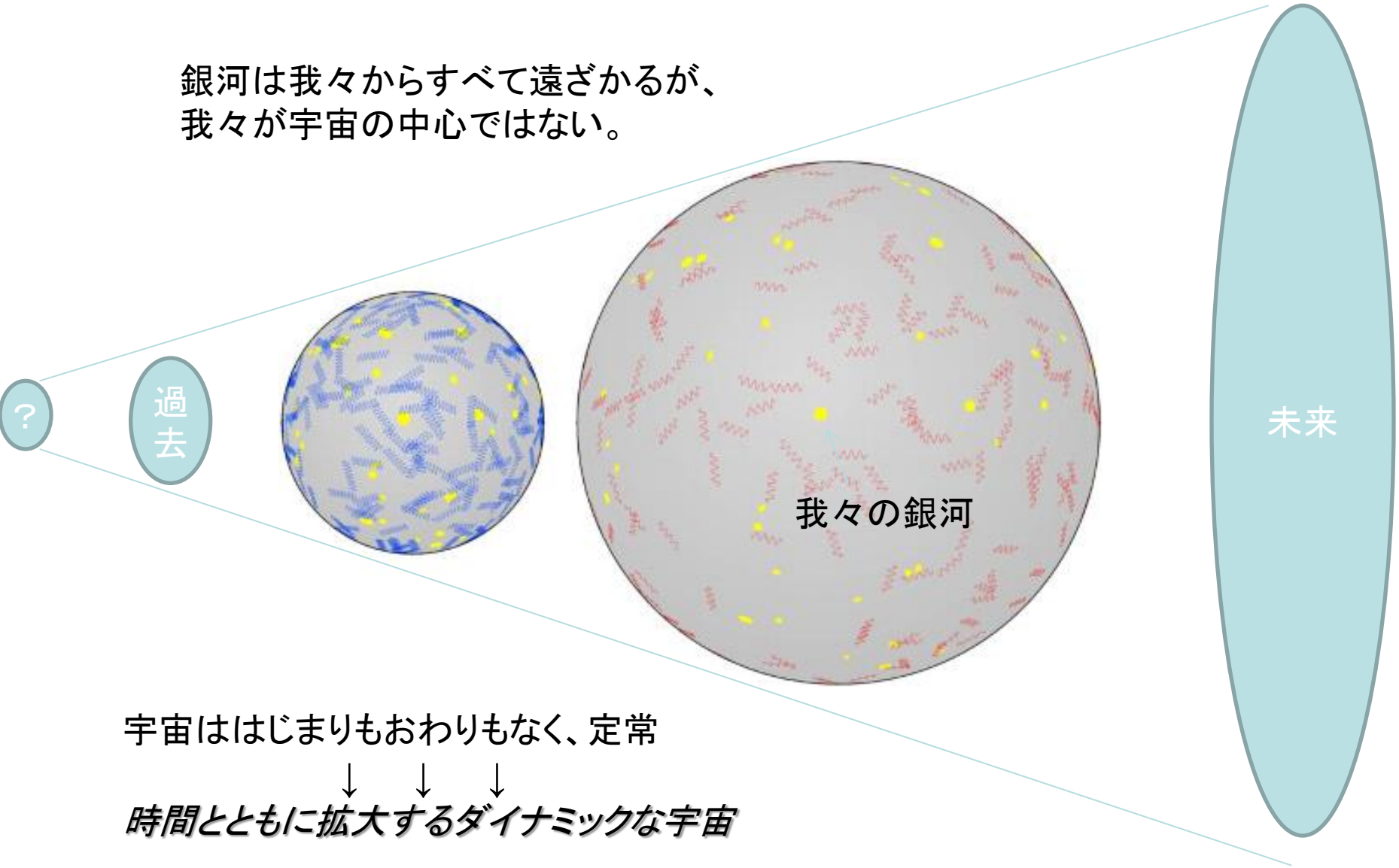
130億9千万光年からのガンマ線バースト
GRB 090423
岡山天体物理観測所
（2009年4月23日）



132億光年からの銀河の光
ろ座方向UDFj-39546284
ハッブル望遠鏡
（2011年1月27日）

宇宙観の移り変わり

銀河は我々からすべて遠ざかるが、
我々が宇宙の中心ではない。

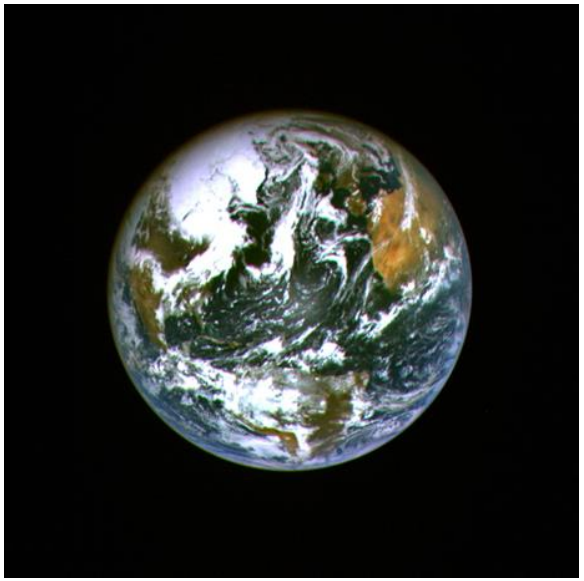


宇宙ははじまりもおわりもなく、定常

↓ ↓ ↓

時間とともに拡大するダイナミックな宇宙

宇宙の果ては？



JAXAより

例え）

地球は、大きさ（体積）は有限ですが、はてはありません。ここが“境界“、”淵”という場所はないのです。これは2次元の例ですが。。。

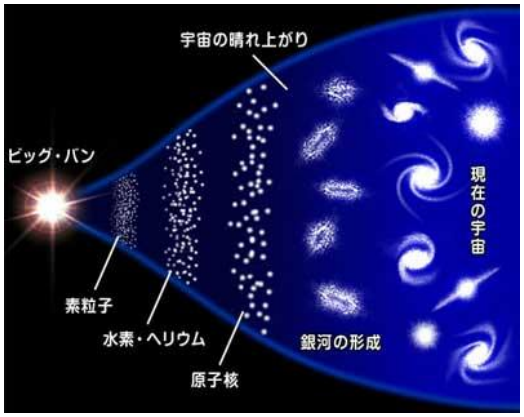
同様に、**宇宙にも果て**はありません。確認できている広がりは有限（137億光年）です。「その外は何ですか」と聞かれても3次元のボディでは確認手段がありません。

もしかして地球を出発したロケットで宇宙の果てを目指して飛んでいたら地球が見えてくるということもありえます。

宇宙の始まり

ガモフ
「ビッグバン理論」

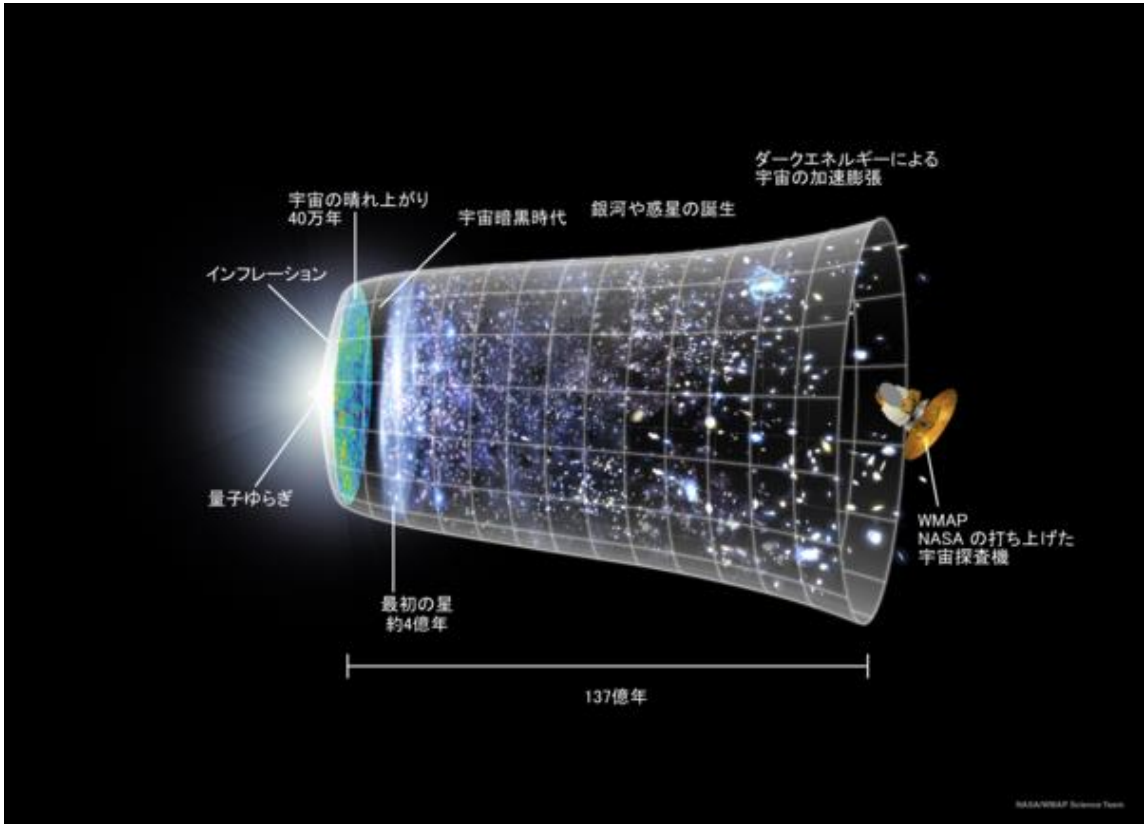
宇宙には始まりがあり、最初は高温高圧の火の玉として生まれて以来、膨張し続けている



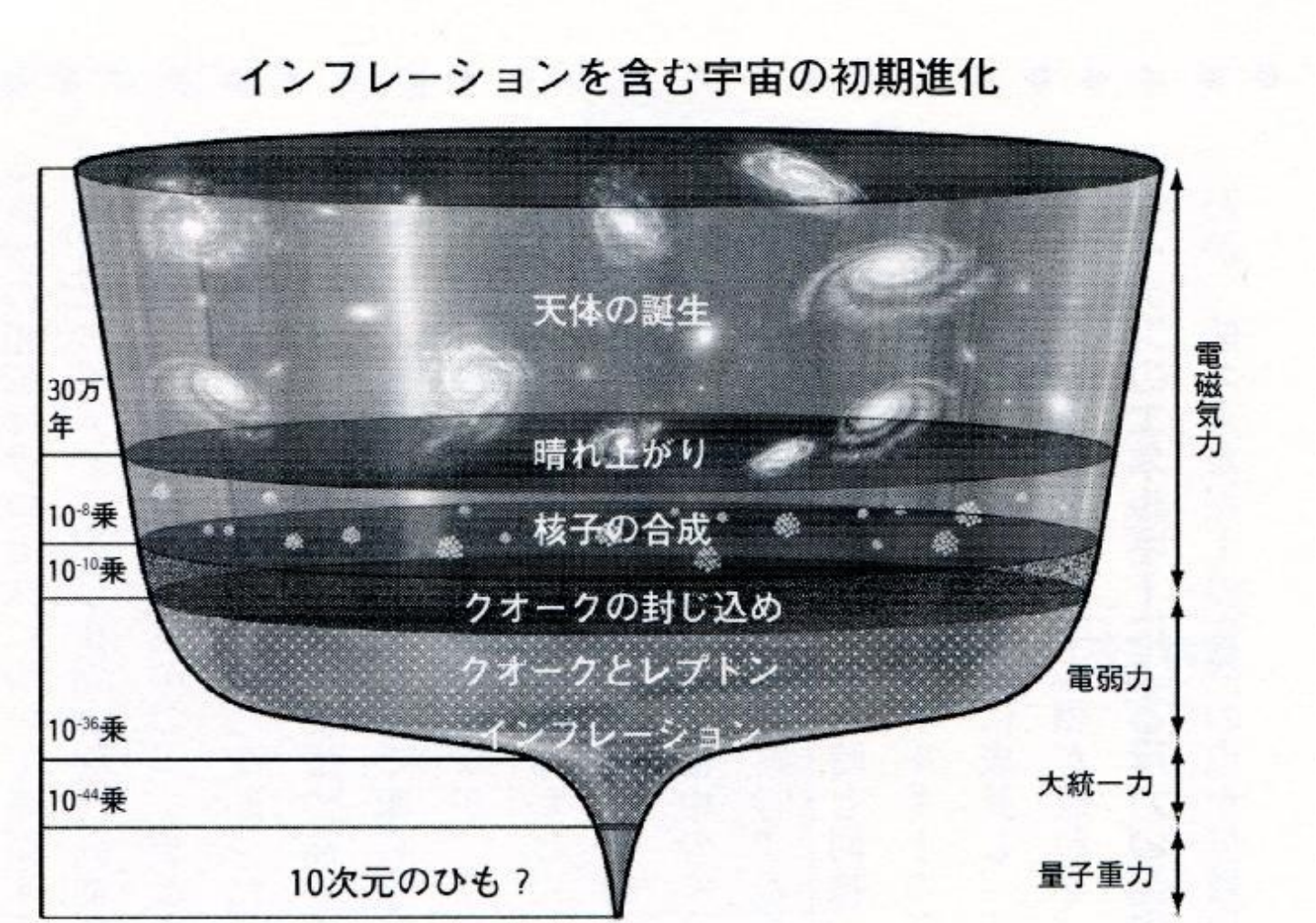
グース・佐藤勝彦
「インフレーション理論」

宇宙は誕生直後、指数関数的な膨張をした。
10^{-36}～10^{-34}の間に
10^{30}倍になった。

例え）
直径1cmのコインが一瞬で銀河の100万倍。



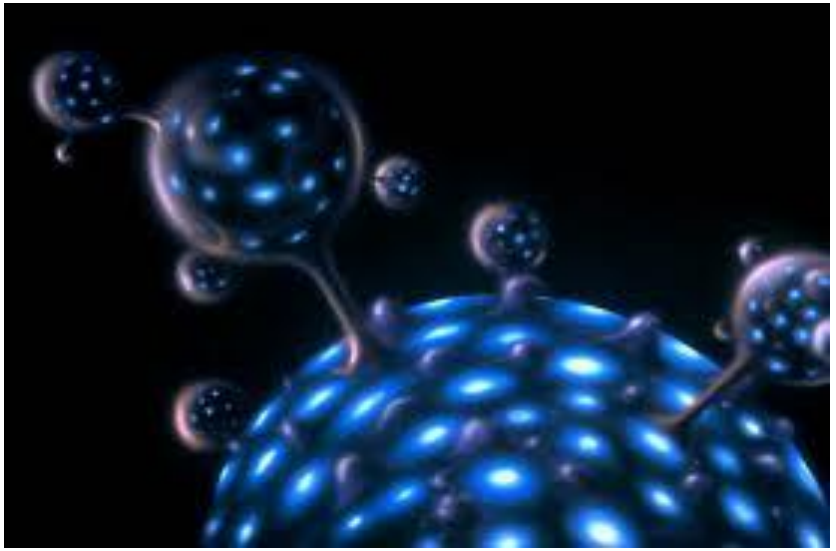
宇宙のはじまり



インフレーションは、全宇宙にいまだ重粒子が存在しない時代に全過程が終了した。
我々が知っている物質世界の誕生はこの後となる。

現在のところ、10^{-44}秒以前はよくわかっていない。

マルチバース
子宇宙・孫宇宙



われわれの宇宙は、インフレーション宇宙の中のほんの一箇所で起きたビッグバンから始まった「ポケット宇宙」で、他にも多数の兄弟宇宙（子宇宙・孫宇宙）が存在するという可能性がある。
これら全体を指す言葉がマルチバース

ただし、他の宇宙とは、つながっているとしてもワームホールのような微細な穴であるので、コンタクトを取ることは不可能。

M理論
（M:Master　Miracle　Mystery）

- 根源的な理論の候補。5つの超ひも理論は、M理論の異なる姿。
- 11次元時空の理論
- 振動するひもだけではなく、点粒子や2次元の膜、3次元の塊、それ以上の描写が難しい高次元の物体（pブレーン）を含む。
- 10^{500}個の宇宙。それぞれが異なる法則を持つ。われわれの宇宙はその一つ。

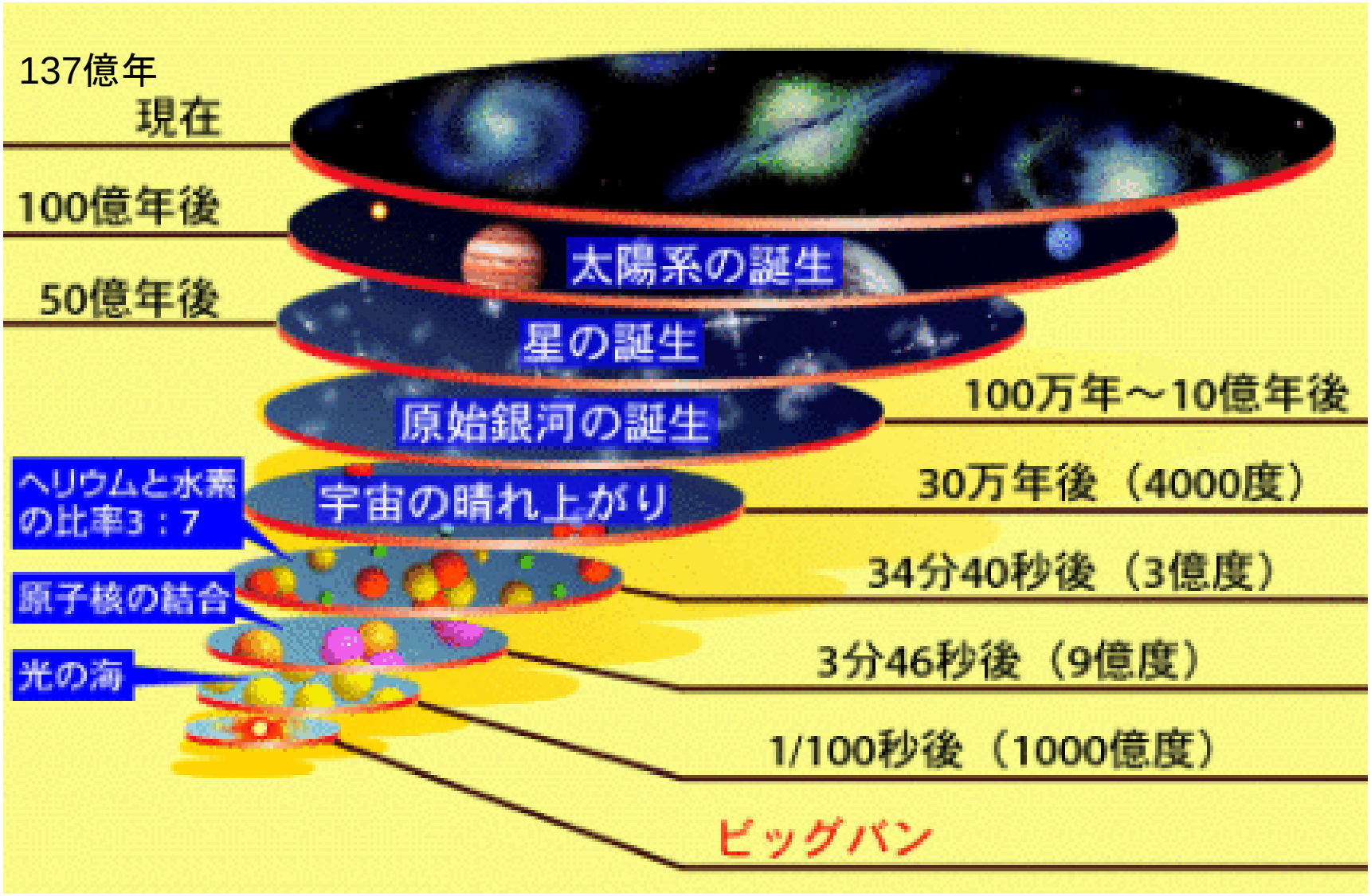
宇宙の開闢（かいびゃく）

http://osksn2.hep.sci.osaka-u.ac.jp/~naga/kogi/handai-honor08/yr08-11-VacIntro080703.pdf

宇宙は、真空のゆらぎから出現した。
　※真空とは何もない場ではない。（エネルギーが充填されている場）

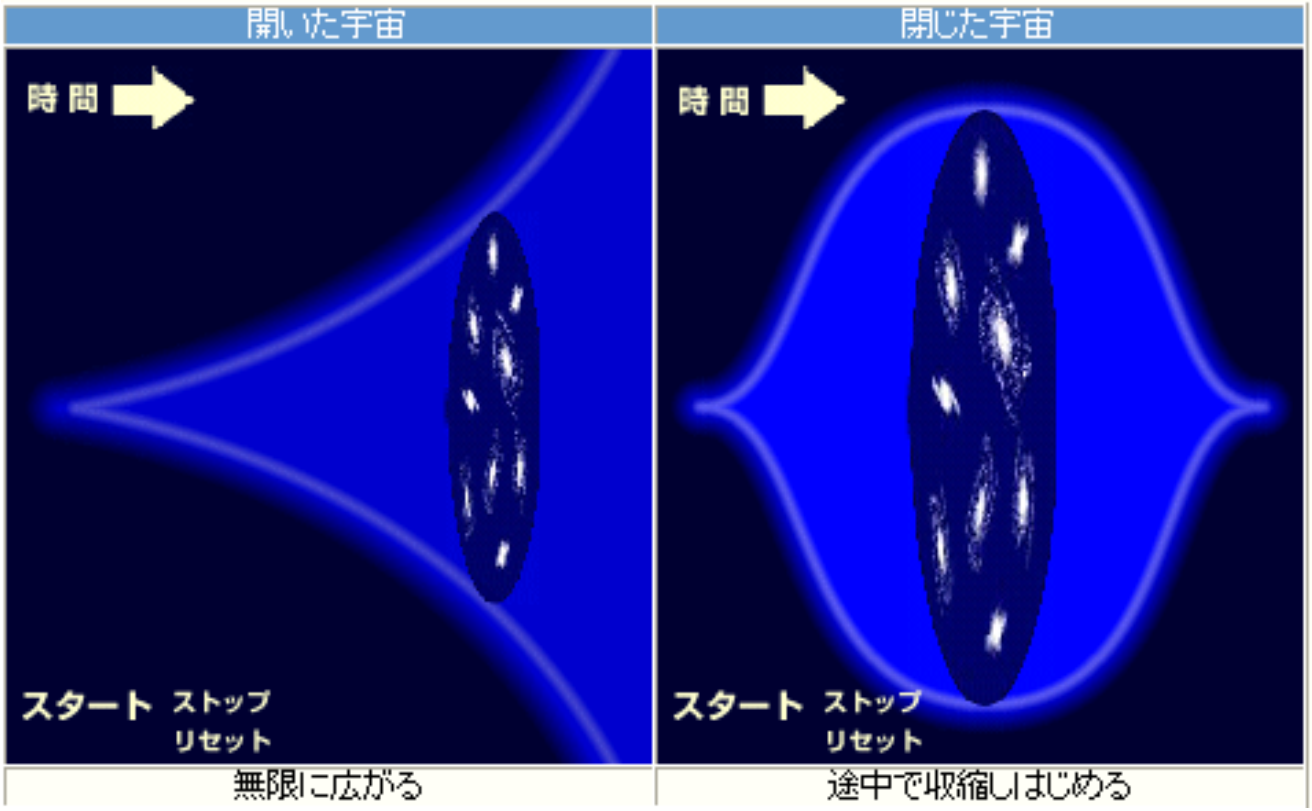
無の空間であっても、ほんの一瞬の間にエネルギーの値は不確かになり、さまざまな値をとりうる。（不確定性原理より）

宇宙の始まり


137億年
現在
100億年後
50億年後
太陽系の誕生
星の誕生
原始銀河の誕生
宇宙の晴れ上がり
ヘリウムと水素の比率3：7
原子核の結合
光の海
100万年～10億年後
30万年後（4000度）
34分40秒後（3億度）
3分46秒後（9億度）
1/100秒後（1000億度）
ビッグバン

ここで動画を見てみましょう。

宇宙の終焉　どちらでしょう？



国立科学博物館
HPより

宇宙の中の物質の量が少なくて宇宙が開いている場合は、永遠に宇宙は膨張していく。銀河は膨張によって宇宙の地平線に沈んでいき、私たちから見えなくなる。安定な素粒子が薄く散らばっているだけの、さびしい宇宙となる。

or

宇宙の中に膨張を引きとめる物質の量が多ければ、いずれは膨張が止まり、やがて収縮に転じ、宇宙は1点に収縮する（ビッグクランチ）。ビッグクランチからビッグバンがはじまり、宇宙は輪廻するという説もある。

宇宙の終焉シナリオは3つ考えられている

収縮に転じ、１点へ

ゆっくりと膨張。
絶対零度の世界へ

最後に急速膨張。
破裂してバラバラに

ダークマターが発見された経緯

銀河系は回転している。

例えば太陽系は、秒速220kmで回転しているが、遠心力に逆らう重力が必要。

太陽系をつなぎおくための重力は、目に見える天体の質量だけでは不十分

↓

目に見えない何ものかの存在がある

↓

ダークマター（暗黒物質）

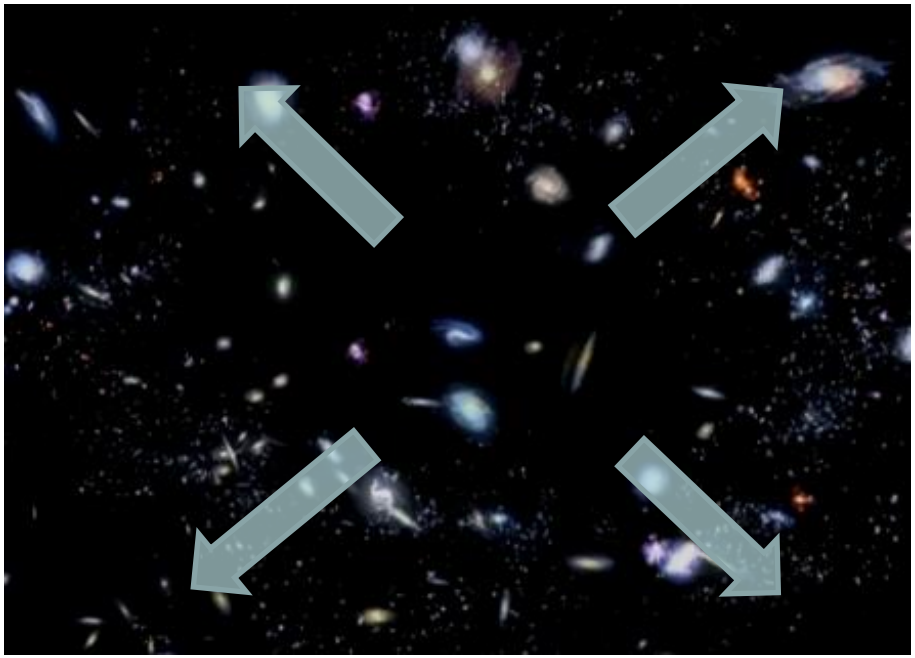
ダークマター（暗黒物質）

ダークマターとは？
電磁波（ガンマ線、X線、紫外線、可視光線、赤外線、電波）などを放っていない天体。

なぜわかった？
銀河の運動をよく観察すると、見えている物質だけでは説明不可能な挙動があることがわかったから。

正体は？
白色矮星、中性子星、褐色矮星、小型のブラックホールなどの候補があるがはっきりしたことは不明。

ダークエネルギーが発見された経緯



様々な銀河の後退速度を詳しく観測してみる

銀河の後退速度すなわち宇宙が拡大している速度は増してきていることが判明。

宇宙を拡大する斥力が存在する。

ダークエネルギー（暗黒エネルギー）

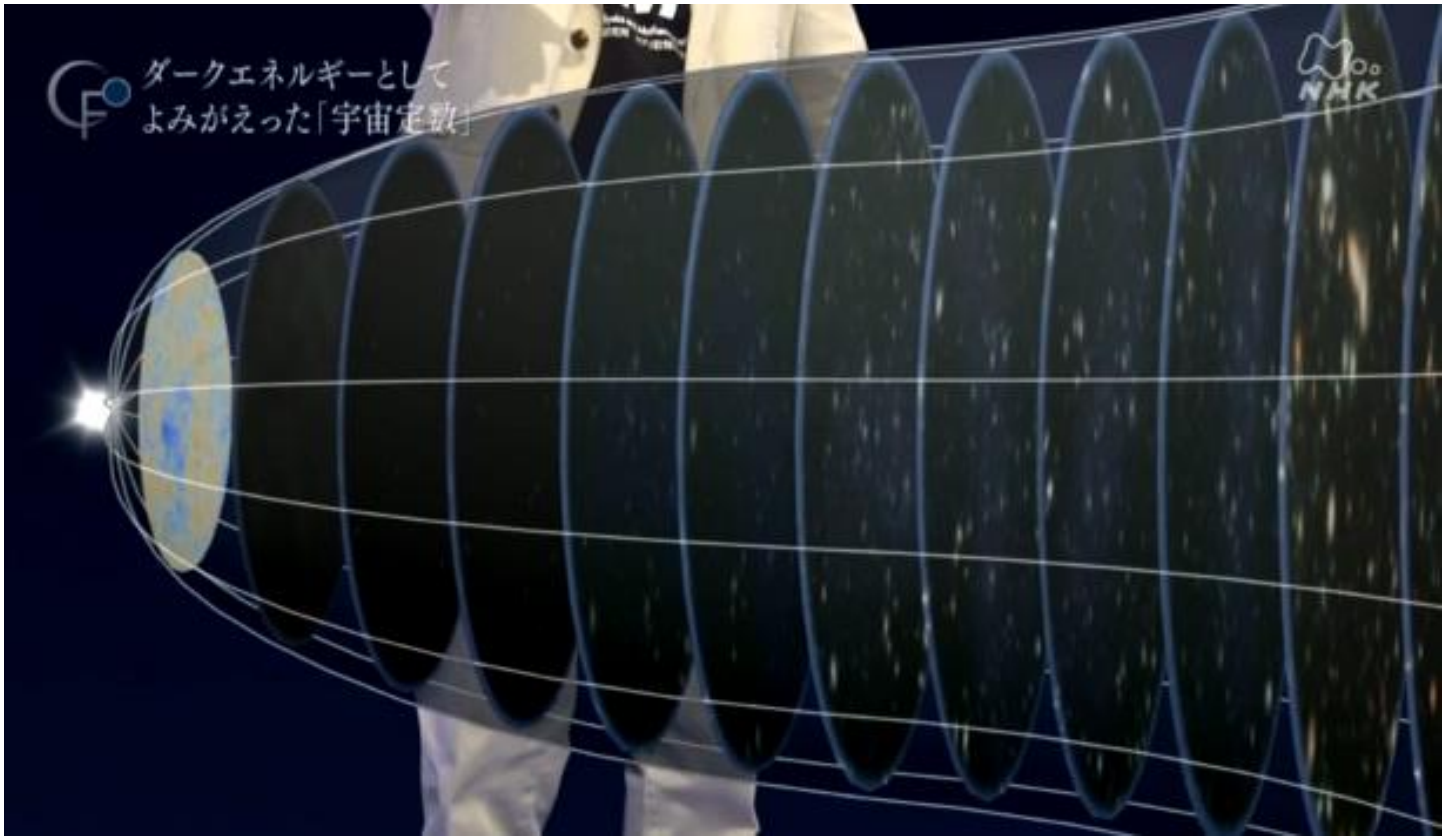
ダークエネルギー（暗黒エネルギー）

ダークエネルギーとは？
宇宙の内部には、引力を持つ天体があるが、この引力に打ち勝ち空間を広げようとする斥力がある。これがダークエネルギー。

なぜわかった？
観測によれば、宇宙空間が予想以上のスピードで広がっており、これは未知の斥力が働いていると考えざるを得ないから。

正体は？
全くわかっていない。

宇宙図

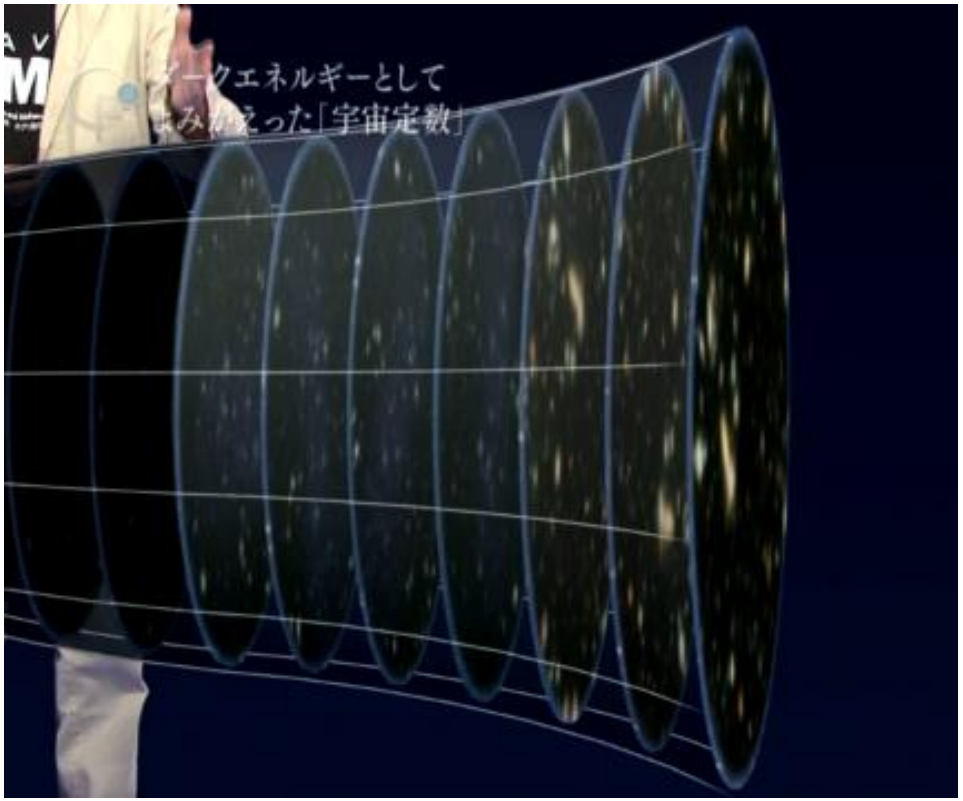


宇宙の大きさ

時間

宇宙誕生当初～70億年までは宇宙の広がり方はゆっくりだった。
ダークマター　＞　ダークエネルギー

宇宙図



宇宙の大きさ

時間

宇宙誕生から70億年後から先は、膨張のスピードが加速。
ダークマター　＜　ダークエネルギー

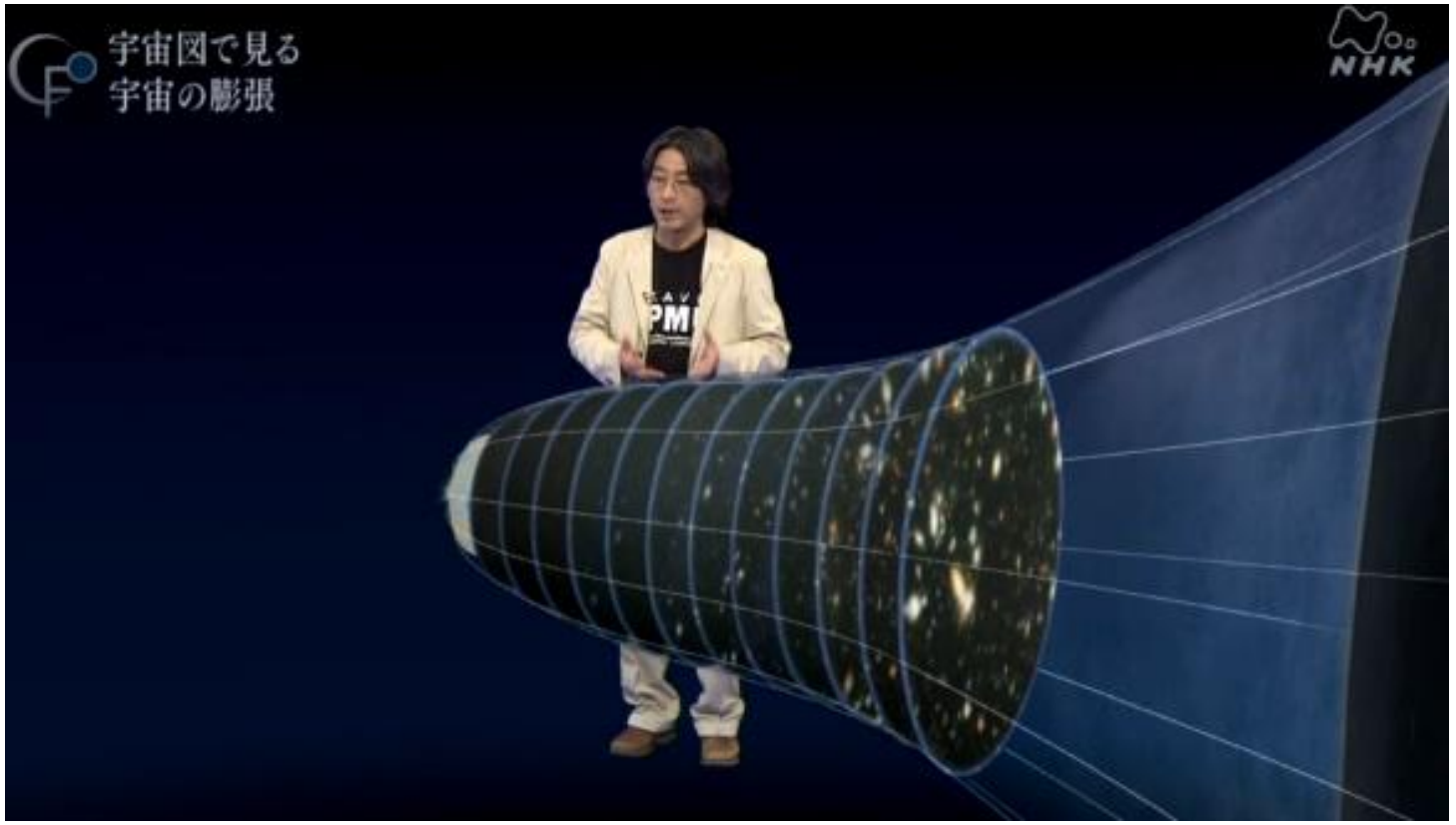
宇宙の終焉シナリオは3つ考えられている

収縮に転じ、１点へ

ゆっくりと膨張。
絶対零度の世界へ

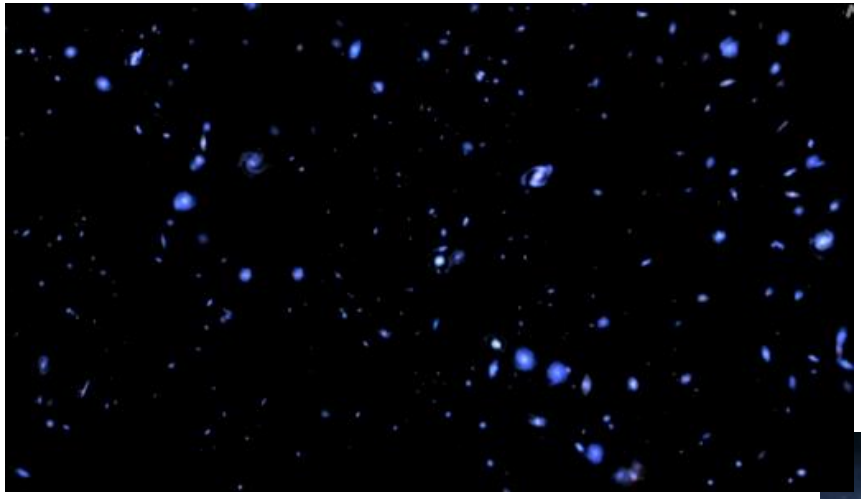
最後に急速膨張。
破裂してバラバラに

ビッグ・フリーズのシナリオ



宇宙空間がゆっくりと確実に膨張を続けていく。
カーブの曲がり具合、傾きが一定。
ダークエネルギーは増えるが急激には増えない場合。

ビッグフリーズのシナリオ

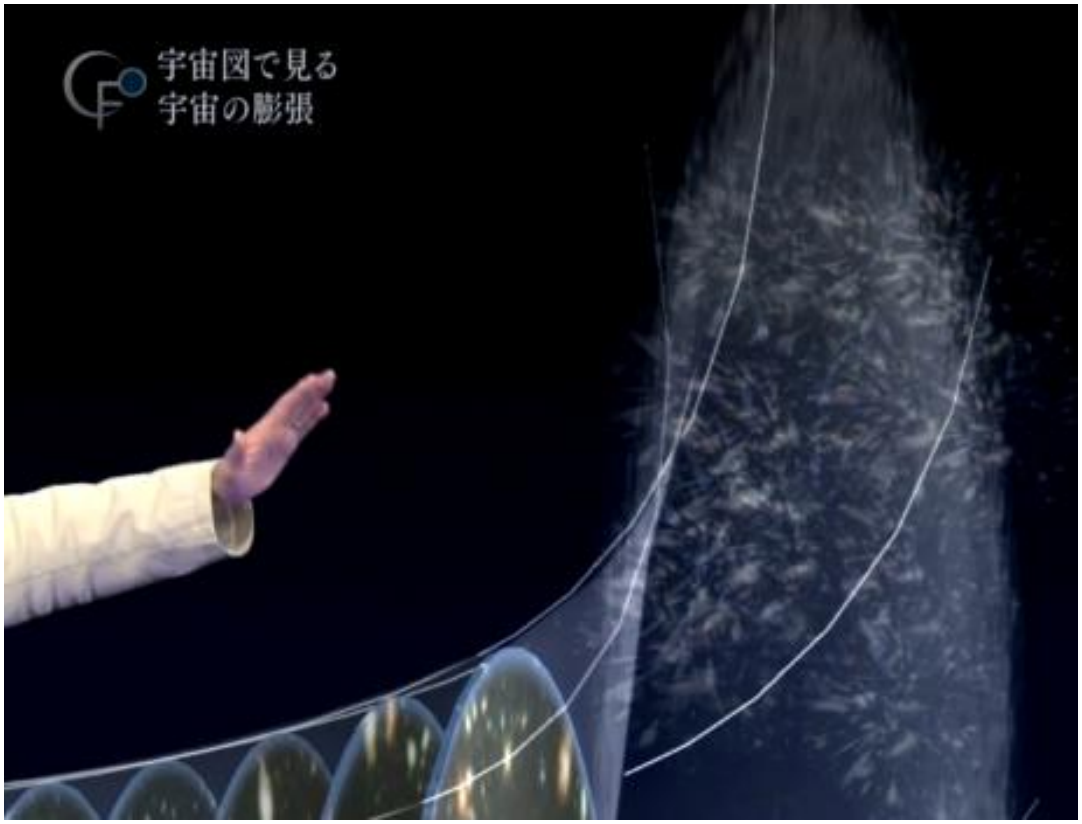


数百億年後、すべての星々は冷えて光を失っていく。

光も動くものもない。暗闇と静寂。

密度が下がり温度が下がる
-273.15度
エネルギー最低の状態

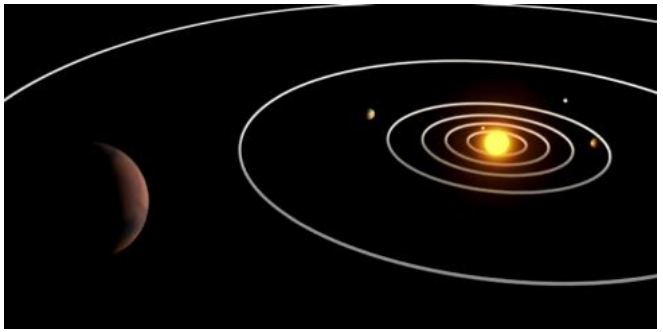
ビッグ・リップのシナリオ

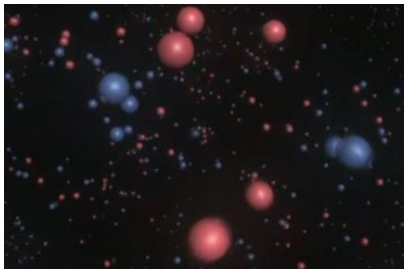


宇宙空間が急激に膨張し、暴走する。
カーブの曲がり具合が急速に拡大。垂直にまでなる。
ダークエネルギーはが急激に増える場合。

ビッグ・リップのシナリオ

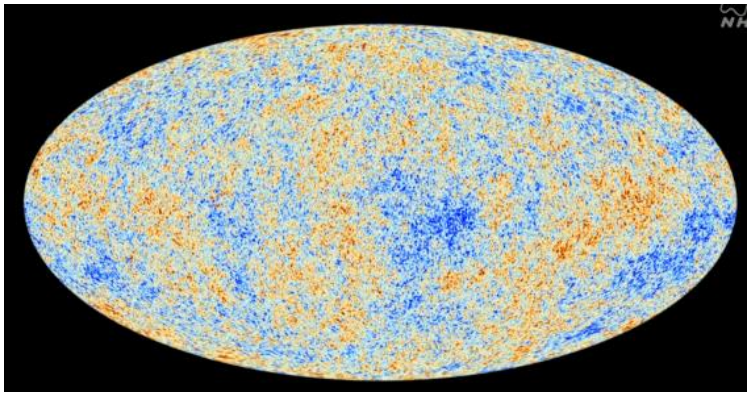
数百億年後、銀河の星はバラバラになり解体する。惑星も恒星から離脱する。



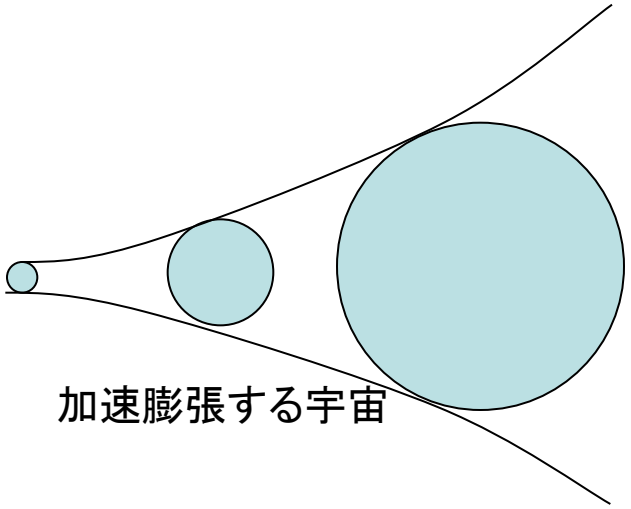


惑星も、大地はひびわれ、バラバラの粒子に。
さらに、分子・原子自体も壊れ、素粒子に。

宇宙の終焉の答え



宇宙マイクロ波背景輻射の全天分布
（提供：eesa／WMAP）



加速膨張する宇宙

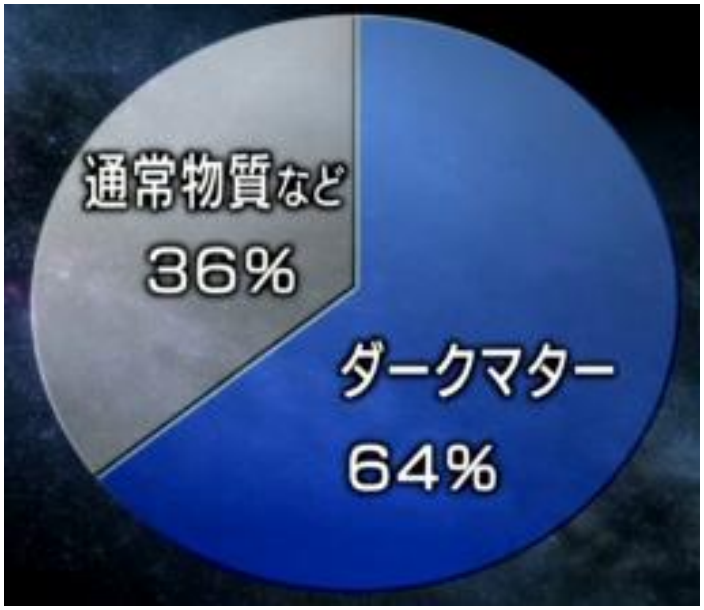
NASAのWMAP（マイクロ波観測衛星）2001年
さらにeesaの探査機プランク　2009年の観測

・宇宙年齢は（137.72±0.59）億歳であること
　2013年3月現在

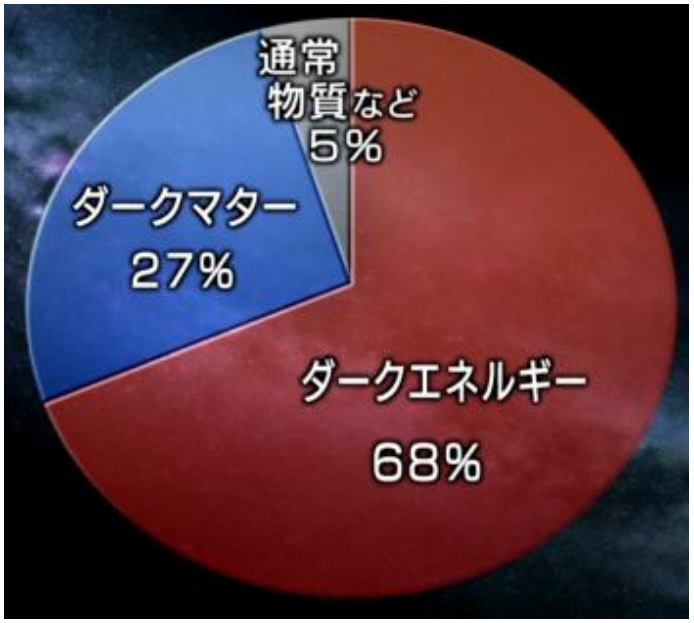
・宇宙は膨張し続けていること
・現在は第2のインフレーションともいえる時期で、膨張速度が加速しつつあること

・宇宙にあるふつうの物質はたった4%で、23%が暗黒物質（ダークマター）、残り73%が暗黒エネルギーであること｛宇宙空間を押し広げるように働く正体不明のエネルギーが空間を満たしている可能性がある。｝

ビッグ・フリーズかビッグ・リップかは現在では、まだ不明
今後の観測が必要



誕生直後の宇宙



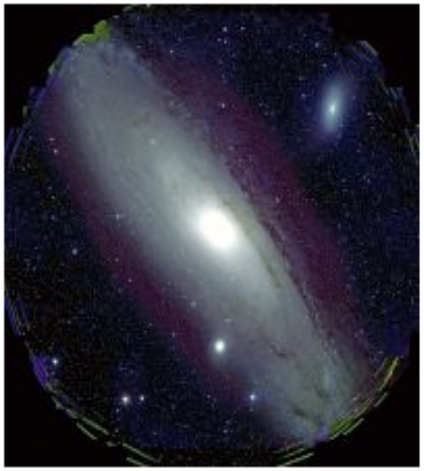
現在の宇宙

あらゆる距離にあるたくさんの銀河の後退速度を測定し、
ダークマターの量を推定する試み

アンドロメダ銀河、鮮明に…すばるに新型カメラ

ツイート 86 おすすめ 410 おすすめ チェック 携帯に送る

写真の拡大



すばる望遠鏡の新型カメラがとらえたアンドロメダ銀河（国立天文台HSCプロジェクト提供）

国立天文台や東京大などは31日、米ハワイ島にある「すばる望遠鏡」に搭載した、新型カメラで初めて撮影したアンドロメダ銀河の鮮明な画像を公開した。

搭載したのは、全長約3メートル、重さ約3トンの巨大デジタルカメラ。画素数は一般的なデジカメの80倍以上ある約8億7000万と高解像度で、画像を拡大しても銀河内の星の一つ一つがはっきりと見える。

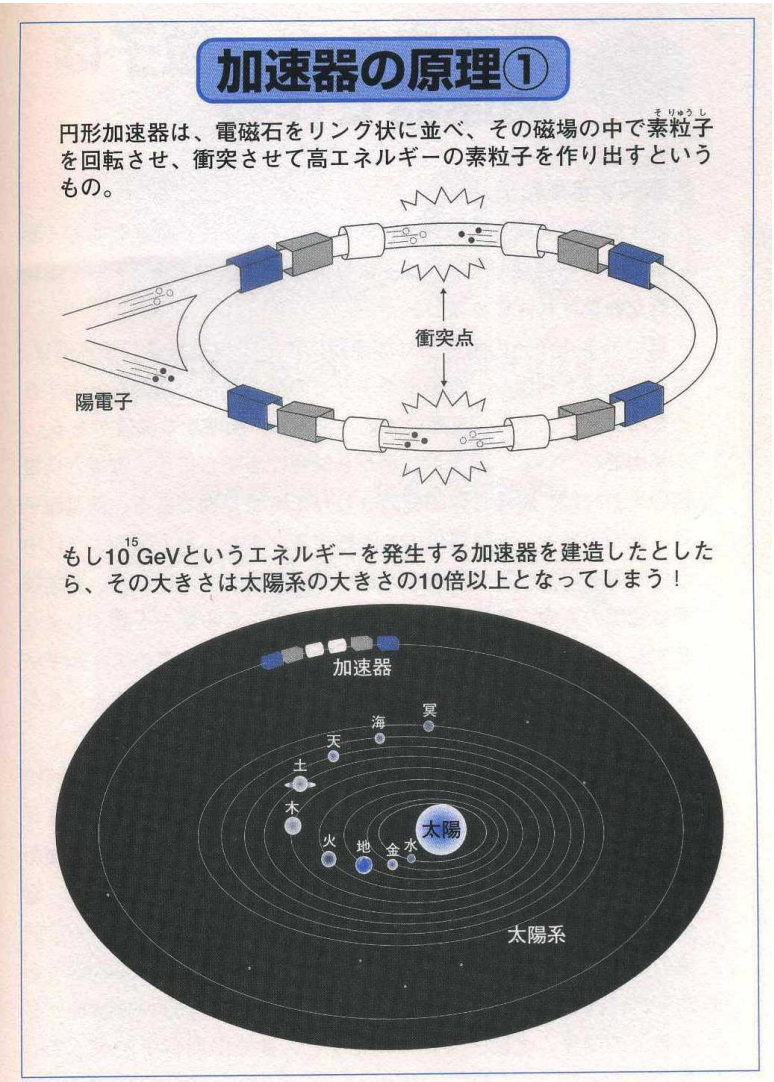
従来の7倍という世界最高性能の広い視野を持ち、アンドロメダ銀河のほぼ全体を一度の撮影で捉えることに成功した。

同銀河は、地球から約230万光年先にあり、最も銀河系に近い渦巻き銀河で、直径が20万光年以上ある。見かけが大きいため、地上の大型望遠鏡ではこれまで、全体を一度に撮ることはできなかったという。

（2013年8月1日18時33分　読売新聞）

宇宙の初期を知るための装置

大型ハドロン衝突型加速器（LHC）
【欧州原子核研究機構（CERN）所属】



全長27キロにおよぶ円形のトンネル構造を持ち、光とほぼ同じ速さで陽子を衝突させる。（2008年10月稼働）

・ビッグバンから1兆分の1秒後の宇宙を再現
・ヒッグス粒子の発見（質量獲得）
・暗黒物質（ダークマター）の解明
・ミニブラックホールの発生？

2013年07月31日 09時06分 更新

宇宙と物質の根源に迫る「次世代加速器」日本誘致の課題(1/2)

宇宙と物質の根源に迫る巨大実験施設「国際リニアコライダー」の建設地として、日本が有力視されているが、予算などに課題が残る。

[産経新聞]

ツイート 56 いいね！ 27 +1 7 チェック 投稿 共有 プリント／アラート

PR 業務を効率化する高性能PCならUltrabook

PR 【期間限定】初期費用0円で使える法人向けLTEサービス

宇宙と物質の根源に迫る巨大実験施設「国際リニアコライダー」（ILC）の建設地として、日本が有力視されている。

ILCは、昨年7月に「ヒッグス粒子」とみられる新粒子を発見した欧州合同原子核研究所（CERN）の円型加速器（LHC）の次世代機として、日米欧などの科学者が国際協力による建設を計画している直線型加速器だ。

計画では東京－横浜間に相当する全長30キロの直線型加速器を地下に建設し、光速近くまで加速した電子と陽電子を正面衝突させる。宇宙誕生のビッグバン直後の高エネルギー状態（約1京度）を再現でき、ヒッグス粒子の先にある「新しい物理」を切り開く成果が期待されるという。

建設費用は10年間で約8300億円で、その半額程度が立地国の負担となる見通しだ。国内の建設候補地は、岩手県の北上山地と福岡・佐賀県境の脊振（せふり）山地の2カ所で、8月中に一本化される。

最先端研究の拠点は柏にも

Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe
東京大学 国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構

KAVLI IPMU

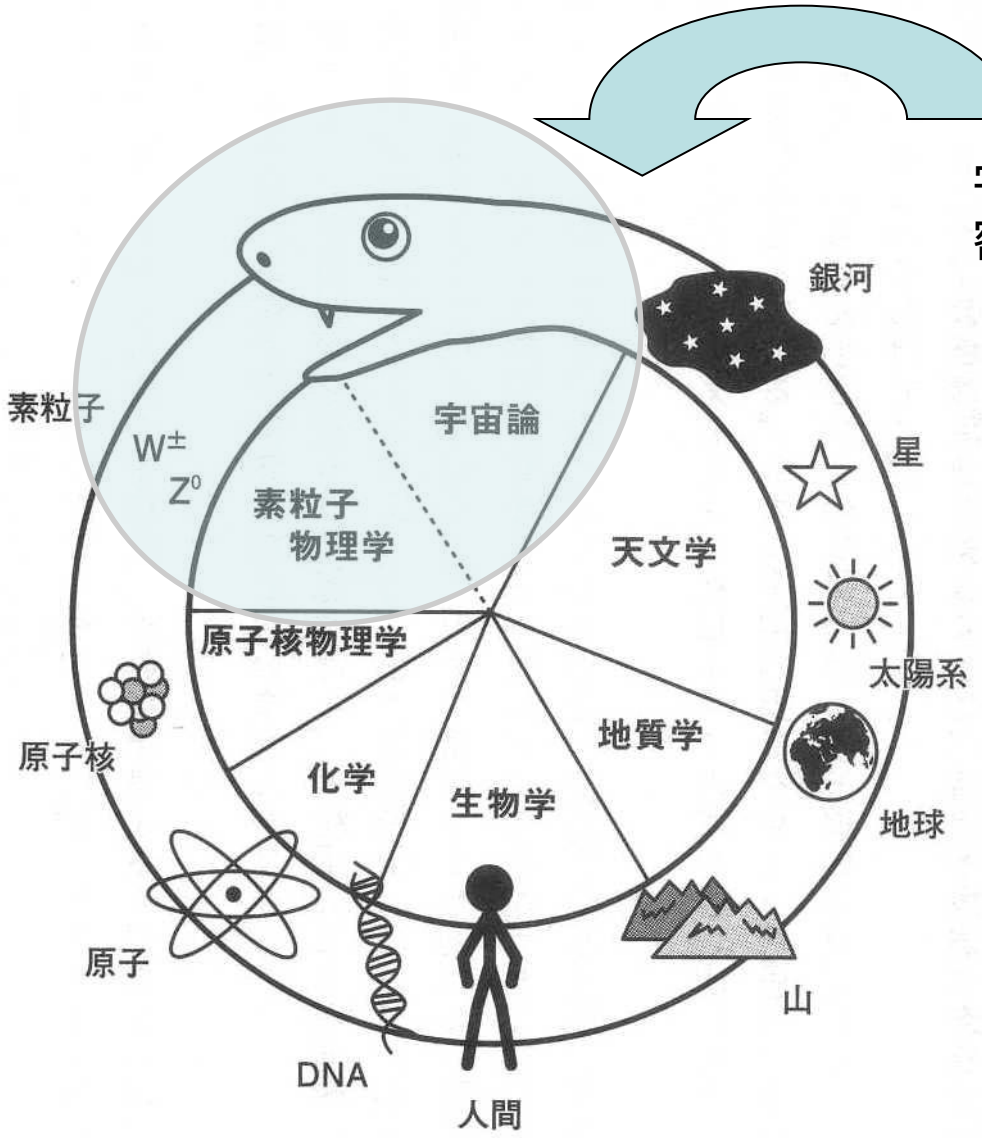
LANGUAGES ENGLISH 日本語　　SEARCH THIS SITE: SEARCH

- ホーム
- 目的
- 寄付のお願い
- 機構案内
- 研究活動
- ニュース & インフォメーション
- 広報
- 訪問者のために
- 職員のために
- 職員のために -内部向け-
- 柏での生活
- 求人情報
- 関連リンク

機構案内

東京大学　柏キャンパス内
　　動画に登場の村山博士の拠点もここです。

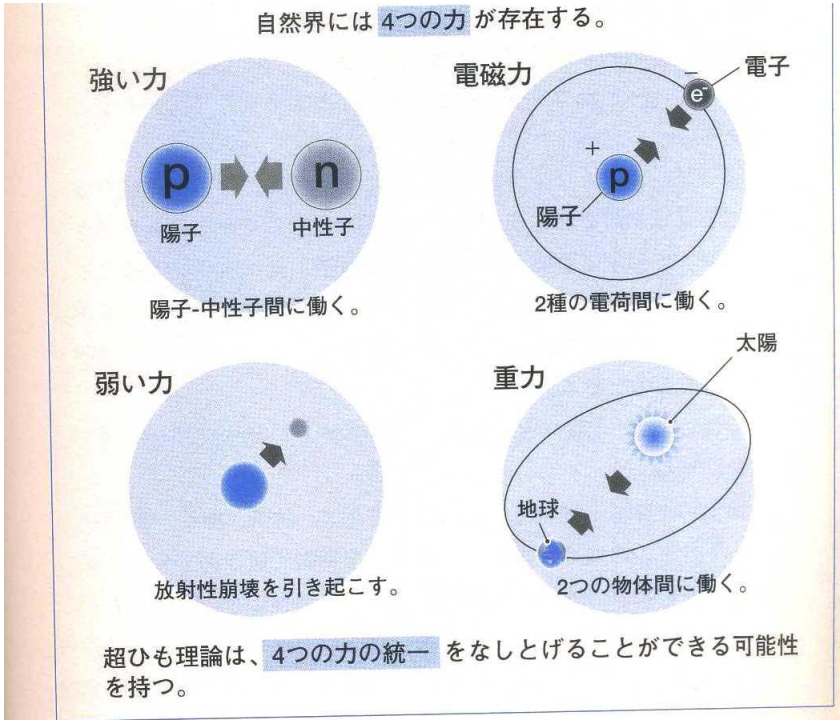
[図2]ウロボロスの蛇

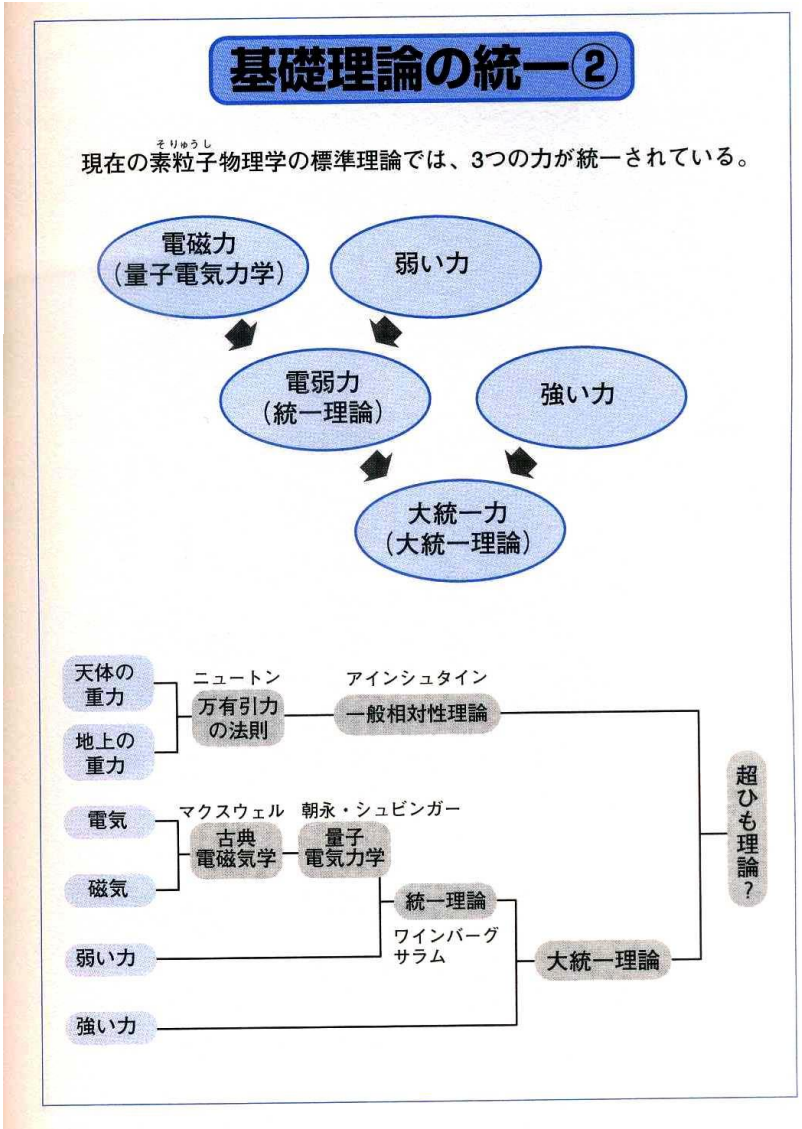


宇宙論と素粒子物理は
密接に関係している。

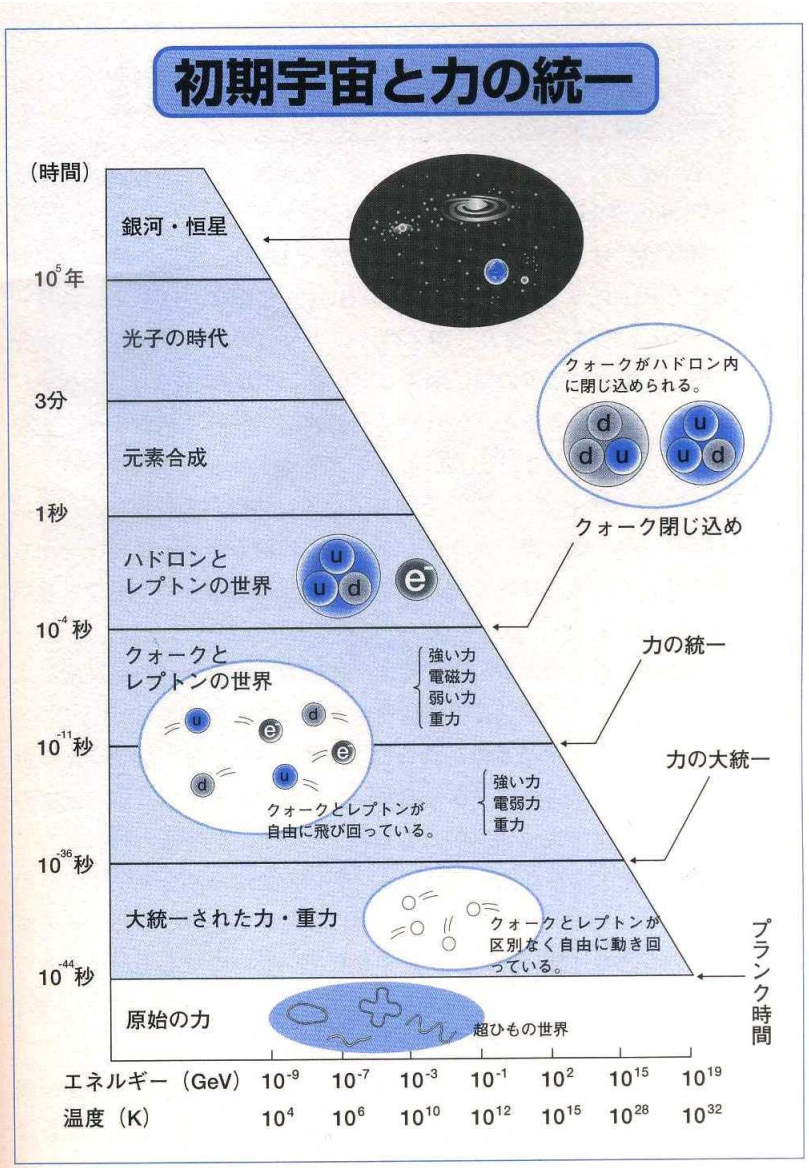
力の統一の話

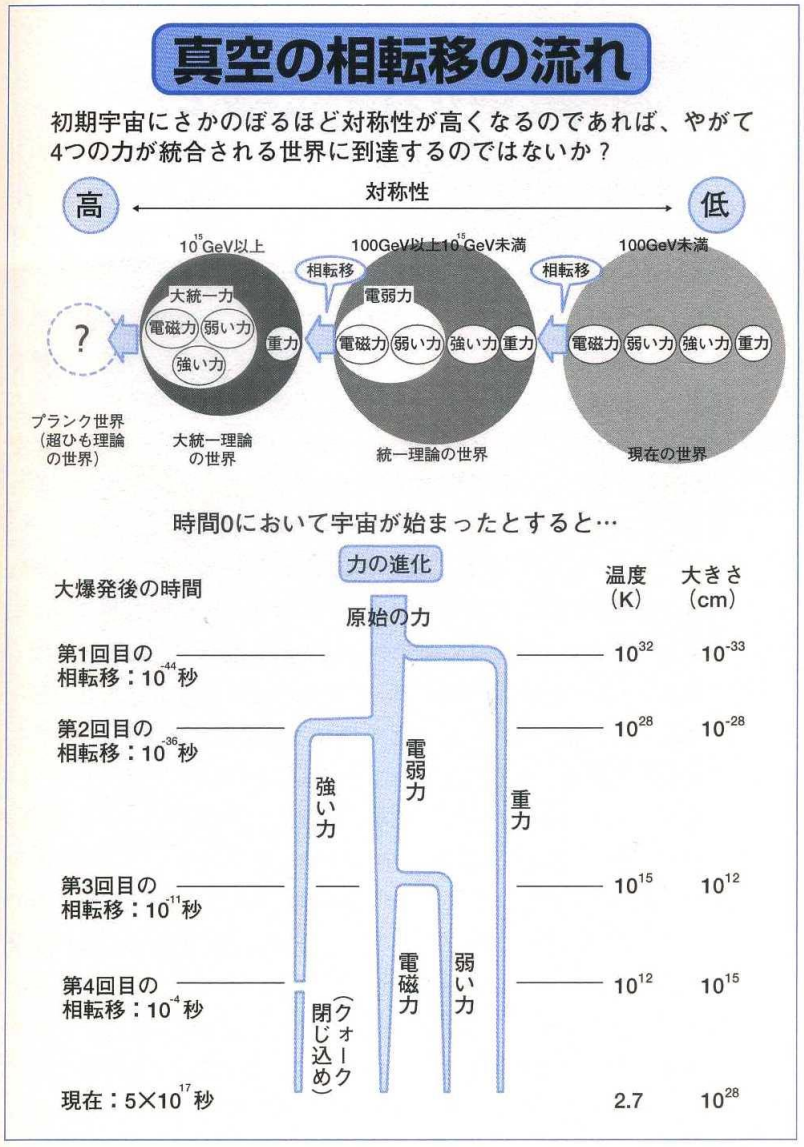
宇宙誕生の初期に何が起きていたか（どのような力がどう働いていたか）は、素粒子のレベルでの出来事を知る必要がある。 統一した理論が必要。

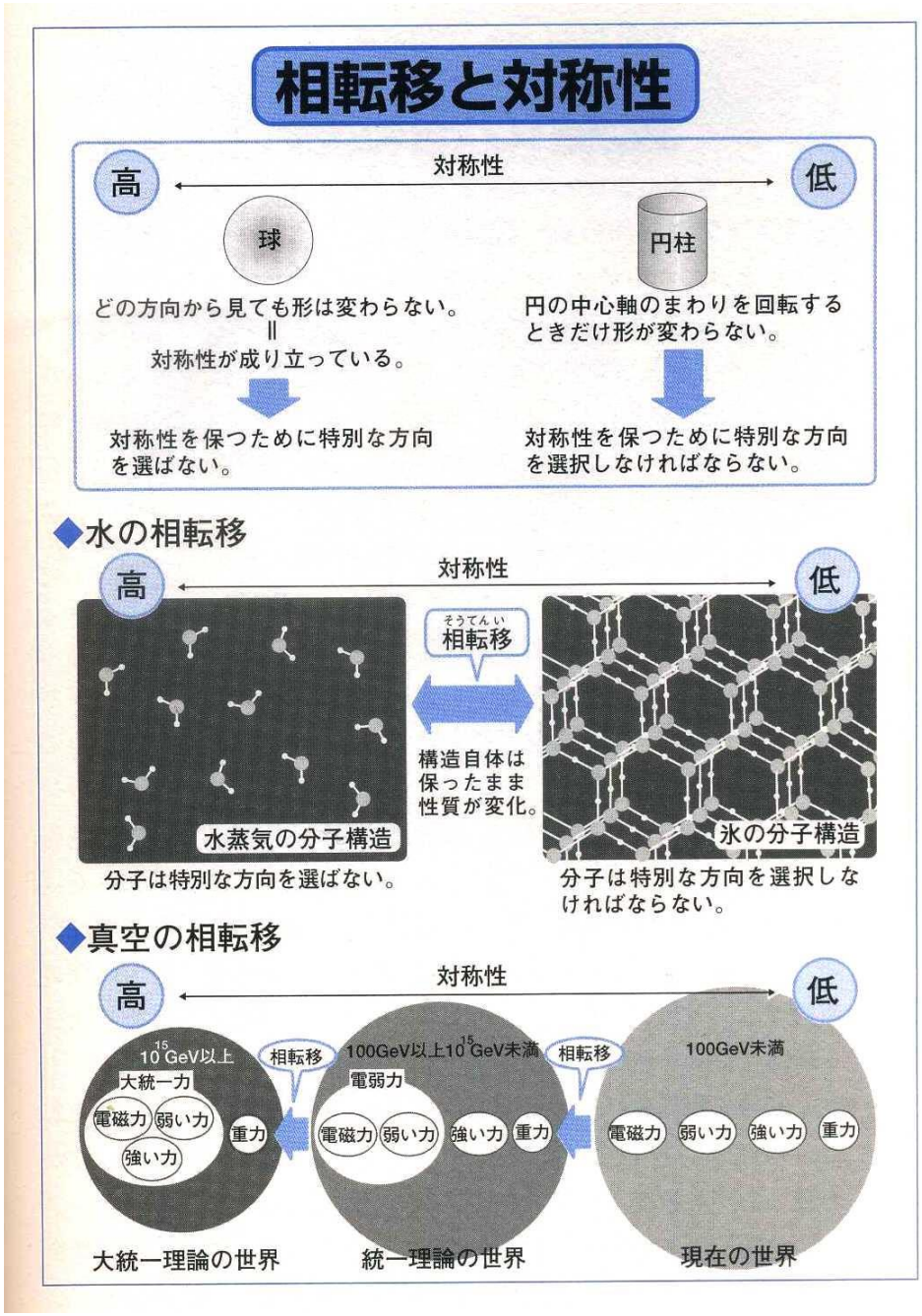




初期宇宙


初期宇宙と力の統一
（時間）
銀河・恒星
10^5年
光子の時代
3分
元素合成
1秒
ハドロンと
レプトンの世界
10^-4秒
クォークと
レプトンの世界
10^-11秒
10^-36秒
大統一された力・重力
10^-44秒
原始の力
プランク時間
クォークがハドロン内
に閉じ込められる。
クォーク閉じ込め
力の統一
力の大統一
強い力
電磁力
弱い力
重力
クォークとレプトンが
自由に飛び回っている。
強い力
電弱力
重力
クォークとレプトンが
区別なく自由に動き回
っている。
超ひもの世界
エネルギー（GeV） 10^-9 10^-7 10^-3 10^-1 10^2 10^15 10^19
温度（K） 10^4 10^6 10^10 10^12 10^15 10^28 10^32


真空の相転移の流れ
初期宇宙にさかのぼるほど対称性が高くなるのであれば、やがて
4つの力が統合される世界に到達するのではないか？
高
対称性
低
10^15GeV以上
100GeV以上10^15GeV未満
100GeV未満
相転移
相転移
大統一力
電磁力
弱い力
強い力
重力
電弱力
電磁力
弱い力
強い力
重力
電磁力
弱い力
強い力
重力
?
プランク世界
（超ひも理論
の世界）
大統一理論
の世界
統一理論の世界
現在の世界
時間0において宇宙が始まったとすると…
力の進化
大爆発後の時間
温度
（K）
大きさ
（cm）
原始の力
第1回目の
相転移：10^-44秒
10^32
10^-33
第2回目の
相転移：10^-36秒
10^28
10^-28
強い力
電弱力
重力
第3回目の
相転移：10^-11秒
10^15
10^12
第4回目の
相転移：10^-4秒
10^12
10^15
（クォーク閉じ込め）
電磁力
弱い力
現在：5×10^17秒
2.7
10^28



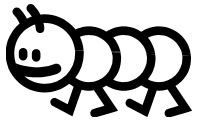
宇宙の初期のときほど、超対象的

すべての力も統一

空間の次元のはなし

0次元：点の世界、面積がない

1次元の住人：いも虫　線しか歩けない



1次元：線の世界、幅がない

2次元の住人：蟻　　面の上しか歩けない

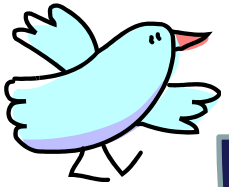
2次元：面の世界、奥行き（高さ）がない

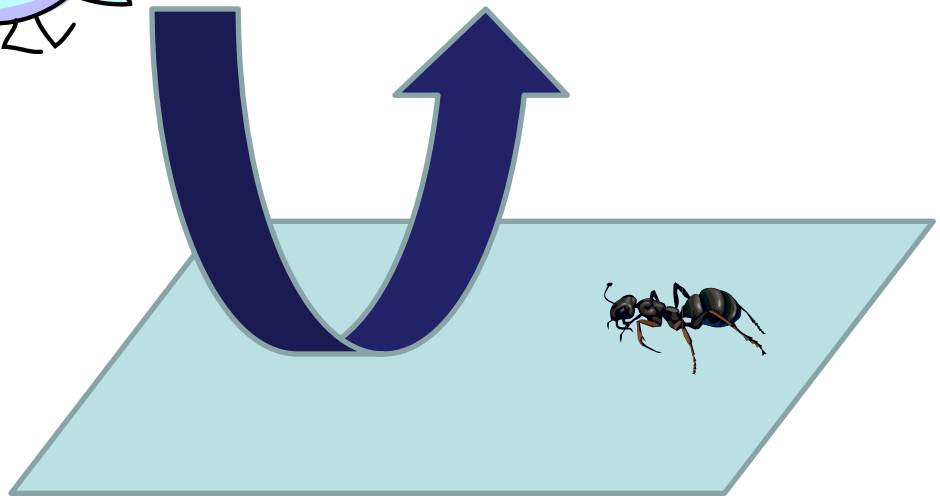
3次元の住人：鳥やヒト　立体の認識ができる

3次元：立体の世界

空間の次元のはなし

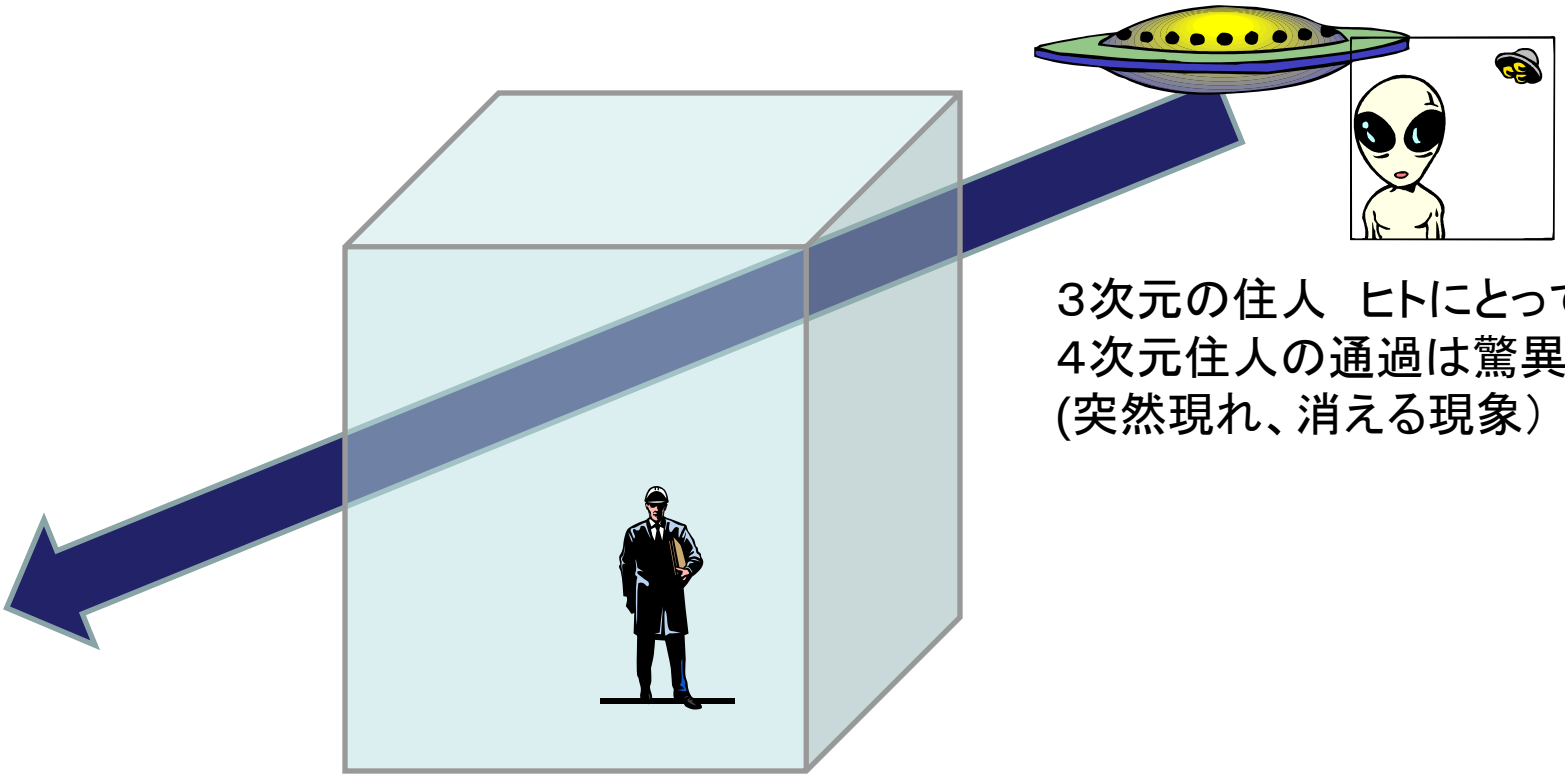
1次元の住人　いも虫にとって、
蟻の通過は驚異！
(突然現れ、消える)





2次元の住人　蟻にとって、
鳥の着地は驚異！
(突然現れ、消える)

空間の次元のはなし



3次元の住人　ヒトにとって、
4次元住人の通過は驚異！
(突然現れ、消える現象）

空間3次元で、突然出現したり消えたりといった現象が観測されるなら、
それは、われわれの住んでいる次元がもともと空間4次元以上である証拠。

空間の次元のはなし

われわれの住んでいる次元は空間4次元以上であるのか？

・素粒子研究の世界では、空間から突然粒子が現れ、消滅するのは日常的におきている。（対生成・対消滅など）

・超能力による物体出現・物体消失は？？？

・未確認飛行物体？？？

現代物理学では、例えば　超ひも理論では、空間は13次元以上であるとしている。

図では13次元は描けませんが、数式では記述できるのです。

（x、y、z）　→　（x1、x2、x3、・・・・x13）と座標定義。

われわれの認知

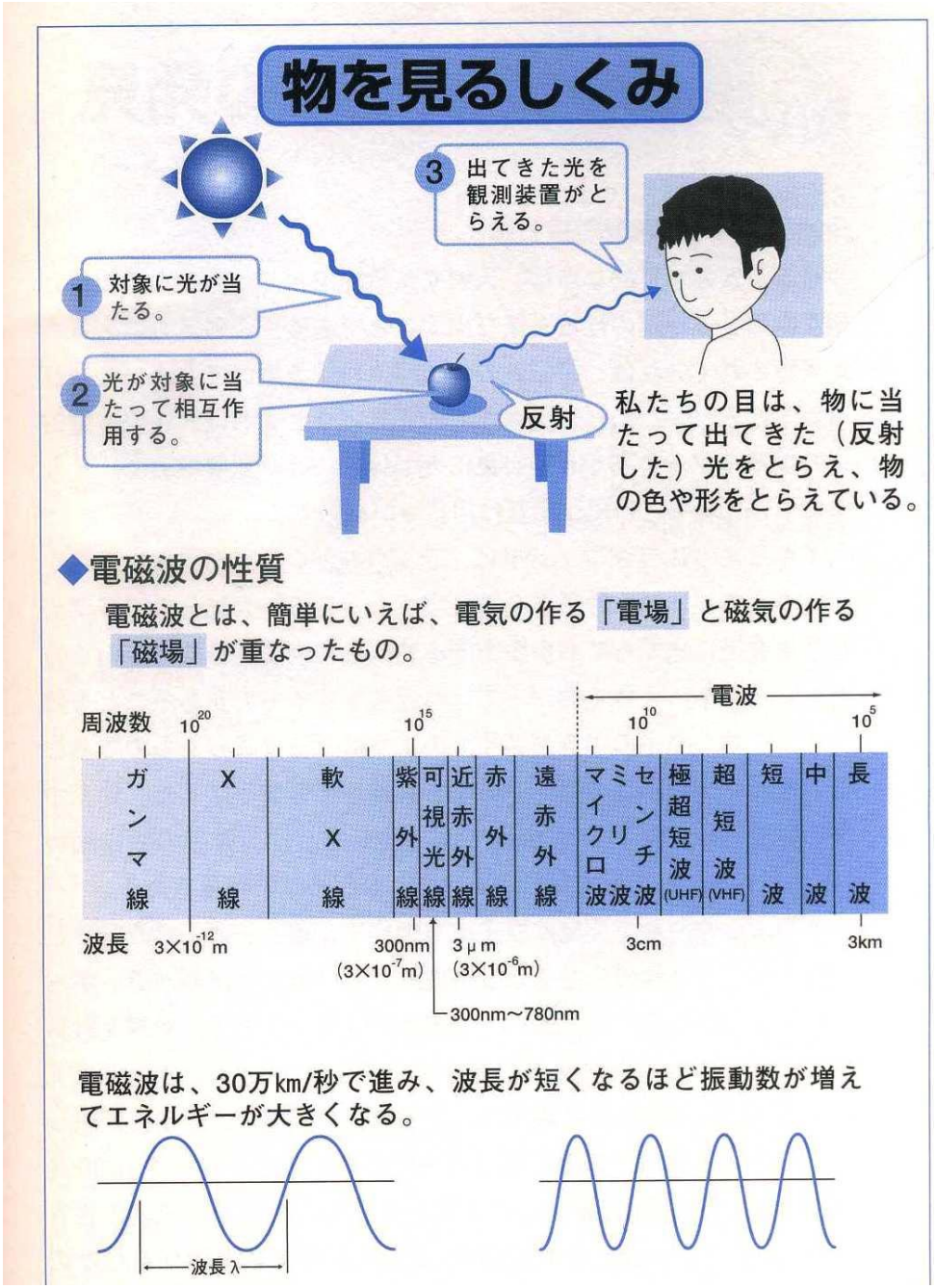
（見える･聞こえる世界の限界）

	生身	機械
認識できる波長	最小 10^{-7}m 程度	最小 10^{-12}m 程度
認識できる周波数	最大 10^{15}Hz 程度	最大 10^{20}Hz 程度

つまり、

これより小さな単位の物体の素性はよくわからない。

これより高い周波数の振動の素性はよくわからない。



われわれの認知の限界

人類は物事を切り離して分離して、要素分解して考えてきた。
その“分解して分析”できる最小単位は　どの程度なのだろう？

プランク長　10^{-35}m：　究極の物質単位と考えられる“振動するひも”の長さ
　（理論的に出された最小単位であって、確認するすべは現在のところない）

プランク時間　10^{-44}秒：　時間は連続と考えられているが、これより小さな時間単位は、不連続かもしれない。
　（時間って本当に連続して流れているかどうかが怪しい）
　　（映画のように、細かなストップモーションのつぎはぎなのかもしれない）

奇跡的な宇宙

- この宇宙は奇跡的にバランスよくつくられている。物理定数がわずかでも違えば生命はもとより、原子や恒星さえ存在できない。自然法則が違っていたら、3次元でなかったら、多くの可能性の中で、宇宙はなぜこのように人間のような高度な生命を生み出すのに適した構造をしているのか？それは偶然なのか？

Wikipediaより

奇跡的な宇宙：
量子力学の多世界解釈

・宇宙はミクロなレベルでの可能性の数だけ分岐し、結果として無数の宇宙が実在することになる。

・もしも宇宙が一つしか存在しないなら、10のマイナス500乗の確率でしか起きない出来事が起きることは奇蹟だが、もし10の500乗個の宇宙が存在するなら、そのうちの一つに生命が存在しうる宇宙（きわめて多くの奇跡の偶然が重なっているように見える宇宙）があったとしても驚くに値しない。

（ホーキングらの主張：神の一撃すら必要ない。もし神が世界を創ったのなら、その“神”は誰がつくったのか？）

お勧めサイト

- サラリーマン、宇宙を語る http://www.astronomy.orino.net/site/kataru/index.html

動画で観る宇宙

宇宙のはじまり：　素粒子が解き明かす宇宙の始まり　51’40“～

宇宙のはじまり：　マゼラン雲の正体を探れ～宇宙創成の秘密を見た　55’30“～

宇宙のおわり：“宇宙の終わり”に迫れ　55’30“～