

時間、空間を考える

岡本良治(九工大工)

時間、空間についてわかっているつもり？！

時間の観念(意識)の4つの形態

ライプニッツの立場: 関係説

モデルとしての機械時計—その役割の変遷—

17世紀における運動論、時空論

—何が、何に対して運動しているのか—

ライプニッツの立場: 関係説

ニュートンによる絶対空間、絶対時間という概念の導入

ファイル名＝時間空間を考える080122a.ppt

時間、空間についてわかっているつもり？！

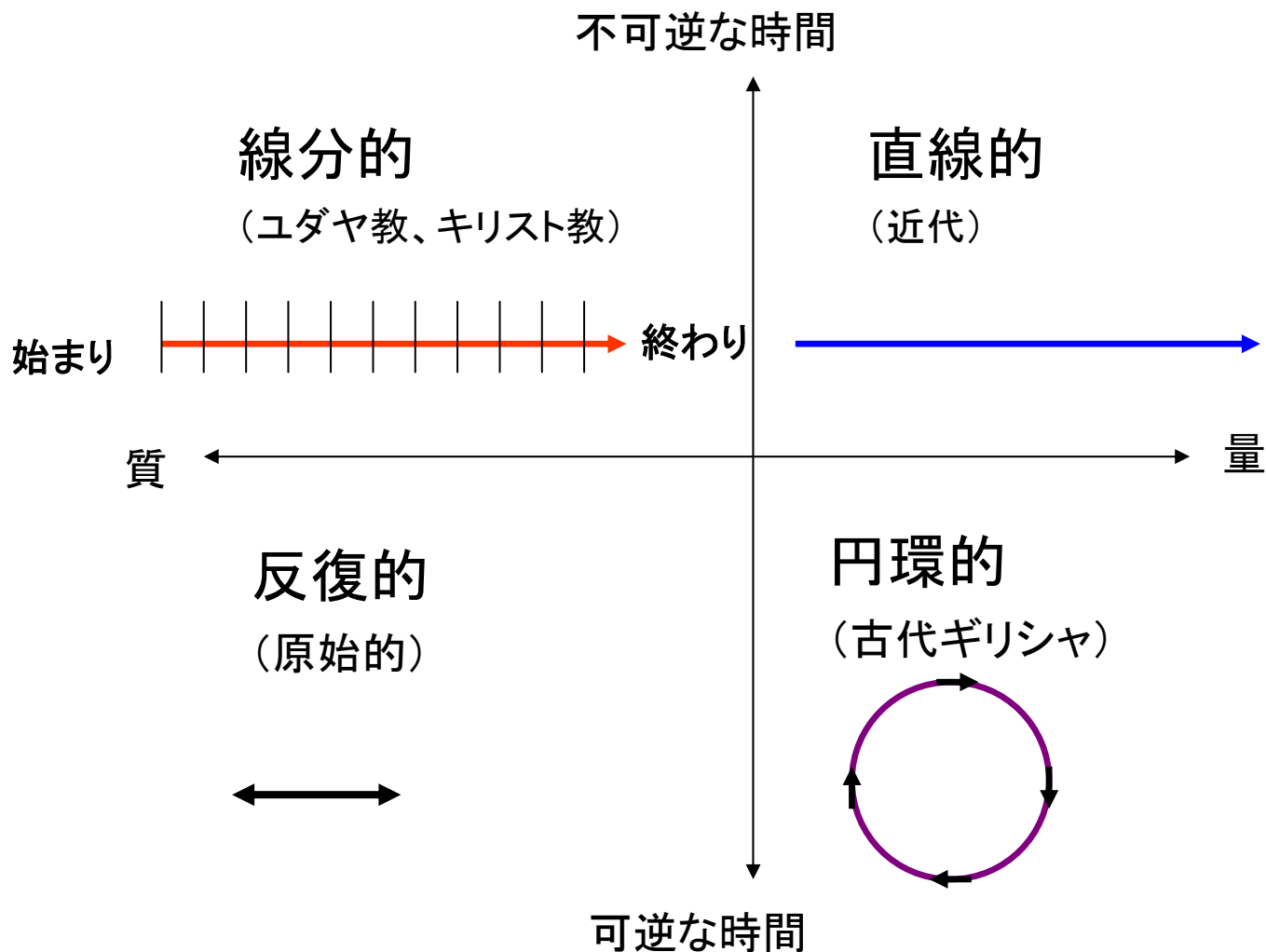
一口に時間と言っても、物理学における時間または物理的時間と人間の社会的時間と個人の意識する時間など種々の様相がある。前者が普遍的であり、客観的であるとしても。

われわれは「空間の中で、時間とともに、物質の状態が変化する」というものの見方にあまりにも慣れている。

このような考え方には空間、時間、物質の三者がお互いに独立な要素と仮定されている。無論、日常生活においてはそれで特に問題はない。

しかし、宇宙膨張(実は空間の膨張)を知らされたときの驚きや、「宇宙のはじまりの以前はどうなっていたか」などの疑問をもつ場合には、時間・空間概念をよくわかっていると誤解しているのではないか。

時間の観念(意識)の4つの形態



モデルとしての機械時計—その役割の変遷—

古代、中世 宇宙(コスモス)のモデルとしての機械時計
機械をつくる時計技師としての神

Deus(ラテン語、ギリシャ神話の最高神)



Dieu(フランス語)



Day(日、英語)

近代 機械論的宇宙観のモデルとしての機械時計

現代 社会や労働の規律・分業のモデルとしての時計

ミヒヤエル・エンデ「時間泥棒」 時計仕掛けこそ人間の自由を奪う大敵

17世紀における運動論、時空論
—何が、何に対して運動しているのか—

ライプニッツの立場：関係説

宇宙は物質で充満している
＝真空と原子は存在しない
関係主義的時空（発展的時空）

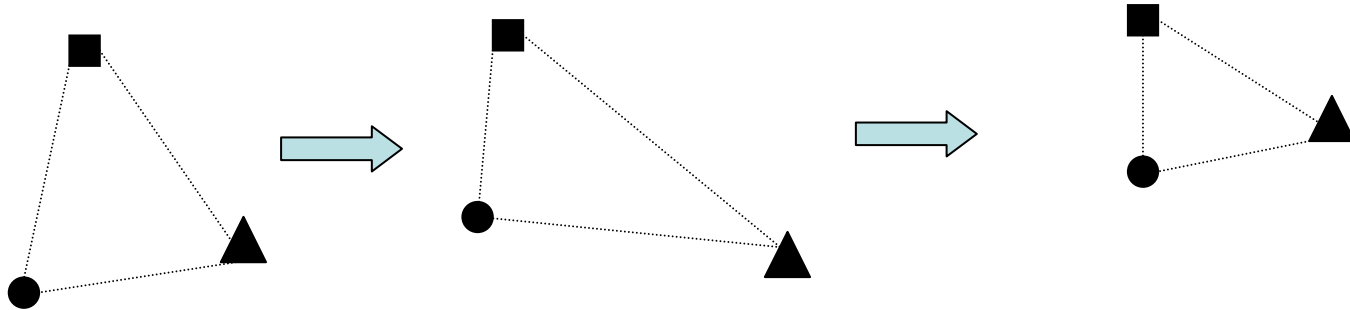
ニュートンの立場：絶対説

真空は存在する（物質は「粒子」から構成される）
物体の運動の外枠としての時間と空間

ライプニッツの立場：関係説

可能な配置

複数の物体の同時存在の秩序＝空間



法則により変化

物体の変化の時点の順序＝時間

物質あつての時間、空間

→ なぜ時空が生じたのかという問い＝なぜ物質世界が実現したのかという問い

ニュートンによる絶対空間、絶対時間という概念の導入

空間と時間を

絶対的なもの(真の、数学的な時間)と

相対的なもの(見かけの、日常的)に分ける:

時間と空間は相互に独立なものである(と考える)

力学に必要なものは絶対的な方である(と考える)

物質の存在、物体の運動と絶対時間、絶対空間はまったく関係がない
(と考える)

空間はユークリッド幾何学が想定している空間で、
物質(天体)以外のところでは真空(と考える)!

絶対時間

それ自体で、その本性によって、外界のいかなるものとも関係なく
一様に流れるもの(時間)である。

「一様に流れる」=世界の異なる場所においても、また世界の歴史
のどの時点においても単位時間の長さが変わらずに時間が経過する
ということ。

絶対空間

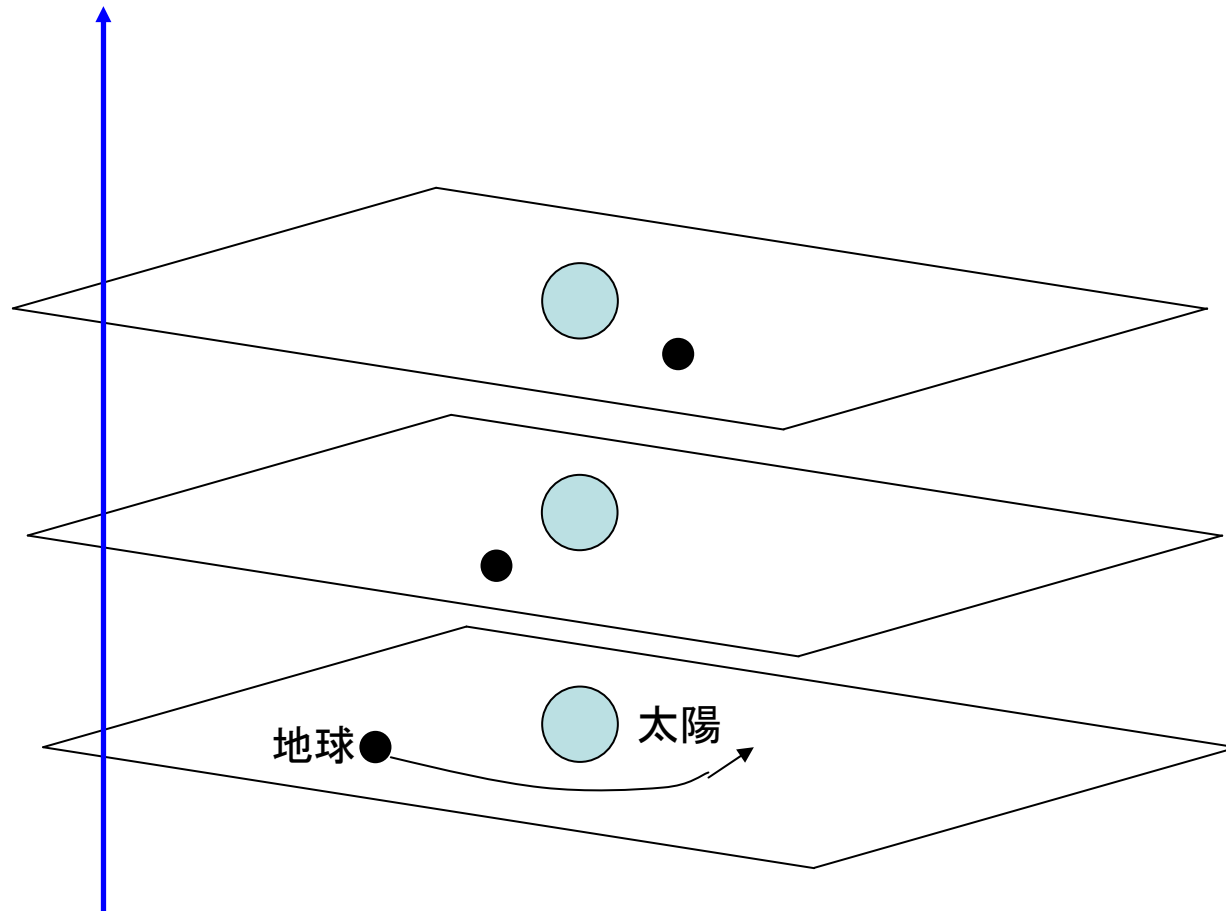
その本性において、
外界のいかなるものとも関係なく、
常に同じままで不動のもの

無限に広がり、等質的、等方的

絶対時間、絶対空間と物体の運動の関係

絶対時間は一様に流れる

絶対空間は不動、不変、無限、等質、等方的



絶対空間、絶対時間という見方の 影響の長さ、大きさ

宇宙に関する最頻出質問

Q. 宇宙の外側はどうなっているのか？

(A. 情報が到達しない地平の外側のことは物理的には議論できない。)

Q. 宇宙の始まり以前はどうなっていたのか？

(A. 宇宙の始まりとは、物質, 時間・空間(時空)の始まりでもある。
宇宙の始まり以前には、時間もない！！)

絶対時間、絶対空間の導入の背景と歴史的意義

デカルトの**相対主義的運動論**に対する反発

世界は物質で充満しており、
地球はそのような物質の海の中を渦動により運ばれている。
地球と直に接してそれを運んでいる物質との間で相対的な運動はない
地球に接している物質を「静止している」とみなせば、「地球は実は動いていない」
————→ 惑星の運動は減衰して、持続しないことになる！

↑
デカルト1633年「宇宙論」完成のころ、
ガリレイの異端裁判の情報あり

絶対時間空間の導入の歴史的意義

力学の建設の際の外枠として、物体・物質に無関係の絶対時空を仮定したことは、
17世紀当時としては革命的であり、
実行可能という意味で現実的であり、
その後の300年間の科学の歴史を眺めた後知恵からしても賢明な選択

相対主義的、関係主義的、時空論の系譜

ライプニッツ 17世紀(マッハ20世紀)

宇宙のすべては関係しあっている

絶対空間を前提せずとも(相対的)位置は測れる、

出来事の間隔も測れる

宇宙の変化をモノイド(情報の流れ)から説明するという野心的試み

(空間、時間自体の「量」をどう測るか?)

→17世紀には、計算は不可能であった!!

ポアンカレ(1854-1912): 約束事としての「時間の等しさ」

アインシュタイン:

1905年特殊相対論: 時間と空間のそれぞれは相対的で、物体の運動により決まる

しかし、時空は絶対的(時空のみが独立の実在性をもつ)

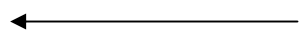
1915年一般相対論: 時空は物質の存在に依存して可変的

20-21世紀: 量子宇宙論

一般相対論の宇宙：静的で一様な閉じた有限の時空

(1) アインシュタインの球形宇宙

- 空間的には有限であるが、閉じていて、境目はなく、物質が(大局的には)ほぼ均一に分布している宇宙
- イメージ: 3次元ユークリッド空間の中の球の表面すべて、そしてそれのみからなる空間



1910年代当時の観測される宇宙では、物質(天体)が大局的には一様に分布していた(局所的には、銀河系のように物質が偏って分布する領域があることを排除しない)

恒星の運動は極めて小さく、宇宙全体は変化のない定常的な状態にあると考えられたから

一般相対論の宇宙：静的で一様な閉じた有限の時空

(2)ド・シッターの宇宙

- 空間的には有限であるが、閉じていて、境目はなく、物質が(大局的には)ほぼ均一に分布している宇宙
- イメージ: 3次元ユークリッド空間の中の球の表面すべて、そしてそれのみからなる空間

(物質の含まれない宇宙、物質密度が平均でゼロ)

宇宙定数を含む重力場の方程式の解で、固有の重力場が備わっている。

宇宙(時空)が膨張する可能性

膨張宇宙論

1888年 H.C.フォーゲル(ドイツの天文学者)

星の**光のドップラー効果**を発見:星からの光の分析 → **スペクトルの赤方偏移**

(参考)ドップラー効果

放射(音, 光など)の源が観測者と相対的に運動しているときに観測される波長が変化する現象. 源が観測者に近づくときには波長は短くなり(振動数は高くなり)遠ざかるときには波長は長くなる(振動数は低くなる). 星がわれわれから遠ざかるときには, 光の全スペクトルは赤色の方にずれる.

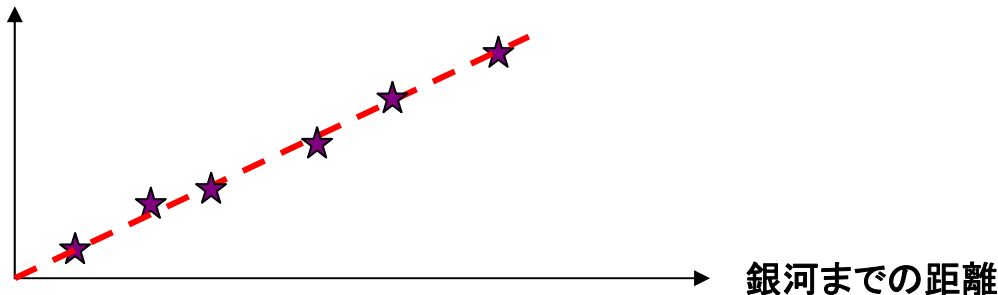
例:うさぎ座デルタ星は毎秒99キロメートルの速度で後退.

1920年 V.M.スティーファー(アメリカの天文学者) 当時われわれの銀河系内にあると思われていたいくつかの"星雲"について, その赤方偏移を測定したところ, それら全部が毎秒1,800キロメートルにも達する驚くべき速度で後退していることを発見した.

1929年 Hubbleの法則(銀河後退速度と銀河までの距離が比例する)

Edwin Hubble(1889-1953)

銀河の後退速度



ビッグバン宇宙論

G. ガモフ提唱 ← 原爆実験1945年7月15日における巨大な火球の目撃

ビッグバン (Big Bang) とは何か、なぜ起きたのか、どのように起きたのか？ 本当に起きたのか？

初期宇宙が超高温、超高压と仮定し、その状態から(宇宙が)膨張を始めたとすると、軽い元素合成を初めとするいくつかの謎が解け、宇宙全体の進化の見通しがついてくる！

誤解に注意！

空間の中で、爆弾が爆発するようにビッグバンが起きたのではなく、高温高密度の空間が生じたこと自体がビッグバンであろう。予め空間の存在を前提したら、ビッグバン宇宙論の値打ちはほとんどなくなる。

宇宙背景放射:ビッグバン宇宙論の証拠の一つ

1965年:

R. Dickeらの理論グループによる計算値: 10度K

A. ペンジアス、R. ウィルソンによる偶然の発見: 約3度K

ビッグバン宇宙論の難点(1)地平線問題

宇宙背景放射が宇宙のあらゆる方向から一様に来るという事実

因果的な作用が伝わる最高速度は光速だから、
空間のある地点から作用が伝わる距離には限界がある



この限界(=「地平」)を超えた場所ではいくら長く待っても、
もとの地点からの情報は伝わってこない



初期宇宙で、光が自由に通り始めるのは約30万年後であり、
このころの「地平」の大きさは膨張を考慮しても90万光年程度



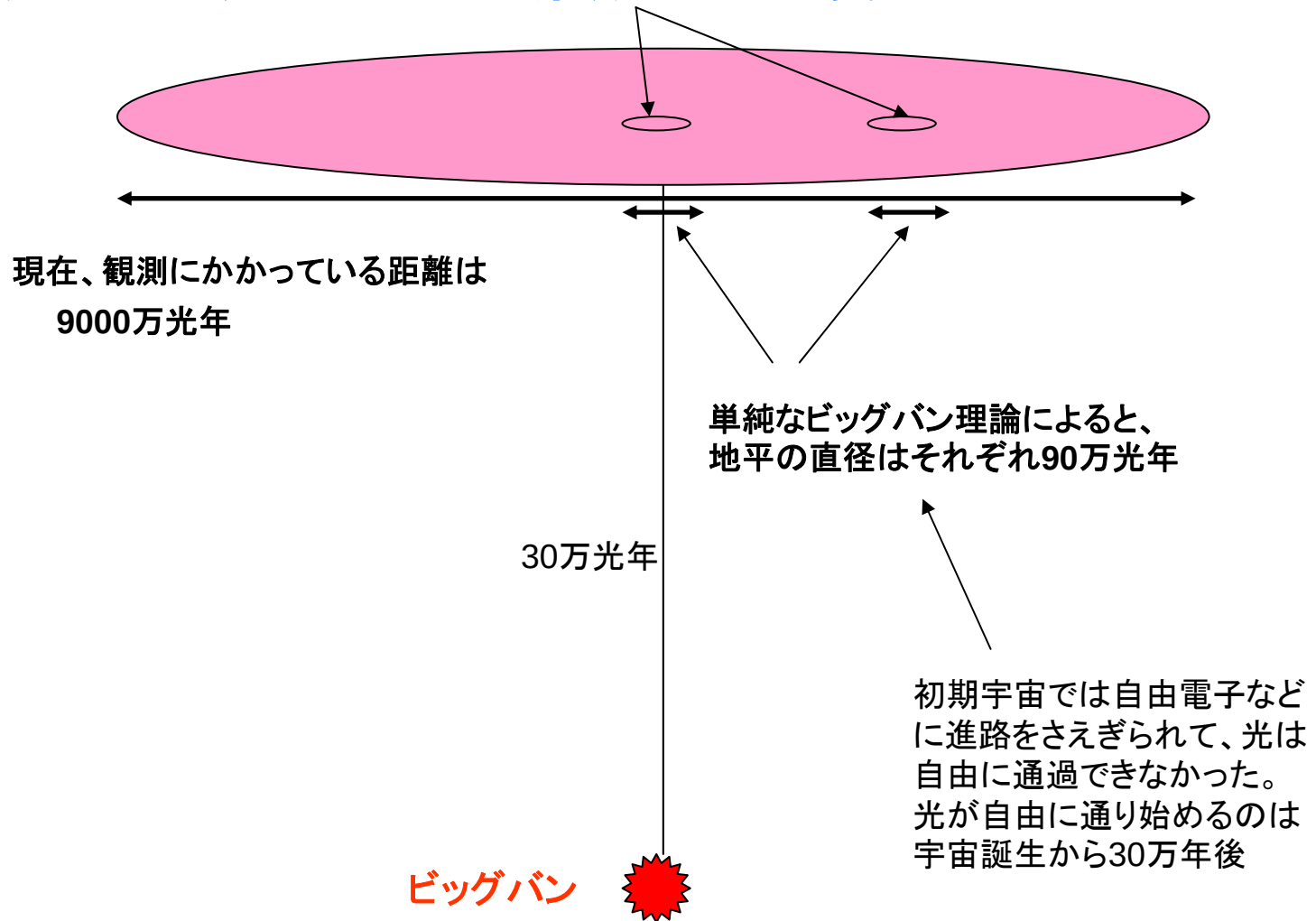
現在、観測にかかる宇宙の範囲は宇宙誕生後30万年に遡り、
この「地平」の大きさの約100倍、9000万光年に達する



因果作用が全く伝わらない広大な領域で、
なぜ宇宙背景放射の温度が等しいのか謎である

地平問題

光でも地平の外側には伝わらないから、相互作用がなかったはずなのに、なぜ宇宙背景放射の温度が等しいのか？



ビッグバン宇宙論の難点(2)平坦性問題

現在の宇宙では、ニュートンの慣性の法則がどの方向でも成り立っていると
いってよいほど、大局的にはユークリッド空間に近い(曲率はほとんどゼロ)

つまり、宇宙の形、あるいは幾何学は観測にかかる限り平坦になっている。膨
張宇宙論ではこれも説明を要する。

物質密度の比率 Ω の値が、膨張宇宙の運命を決める。(一般相対論)

$\Omega = 1$: 平坦な宇宙,

Ω が1より大きいならば閉じた宇宙、

Ω が1より小さければ発散する開いた宇宙となる

ビッグバンから1秒後には、

Ω の値は1からのずれが極めて小さい(=10のマイナス15乗)

Ω の値は、他でもなく、なぜこのような値になっているのか？

インフレーション宇宙論

提唱者：アラン・グース、佐藤勝彦、アンドレイ・リンデ

ビッグバン宇宙論の難点(1)地平線問題、(2)平坦性問題を解決する

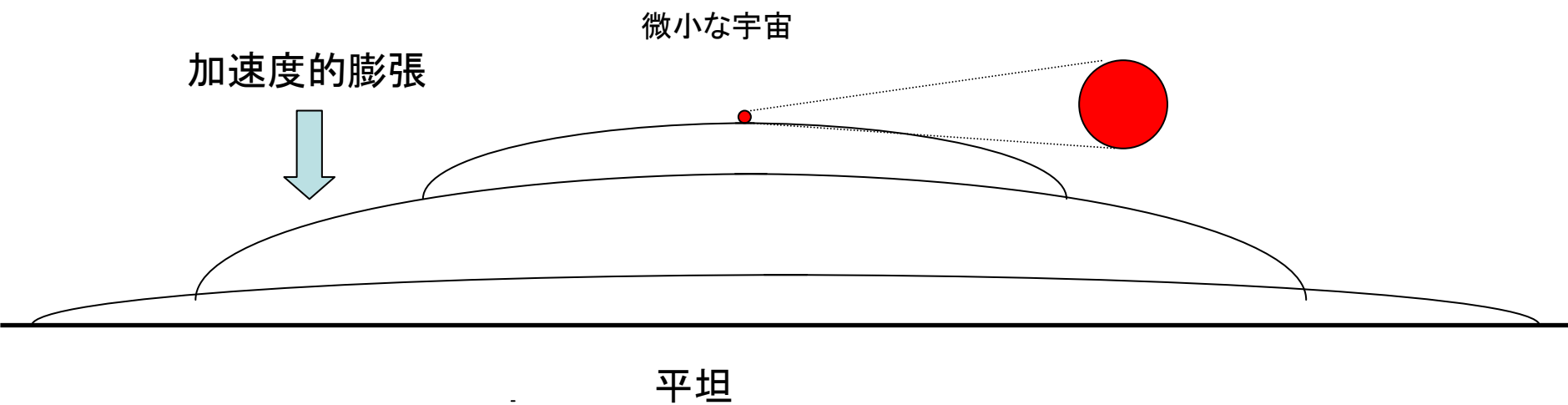
宇宙が加速度的、指数関数的に膨張する(と仮定する)

いつ、どの程度の期間、そのような膨張が起きたか？

→宇宙誕生直後、 10^{-44} 秒から 10^{-35} 秒くらいまでの間に、
うまれたばかりの極小の宇宙が、1次元の長さにして、少なくとも 10^{30} 倍(体積にして、 10^{90} 倍)ほど膨張したというシナリオ

1ミリを 10^3 倍すると1m、 10^6 倍すると1km、 10^9 倍すると1000km、
 10^{12} 倍すると100万km、 10^{18} 倍すると1兆km、 10^{21} 倍すると1000兆km、
これを10億倍すると、 10^{30} 倍になる！

インフレーション理論による平坦性問題の解決



暗黒物質（ダークマター）

宇宙にある星間物質のうち自力で光っていないか光を反射しないために光学的には観測できない物質のことである。

暗黒物質の存在は、ヴェラ・ルービンにより指摘された。水素原子の出す21cm輝線で銀河外縁を観測したところ、ドップラー効果により星間ガスの回転速度を見積もることができた。この結果と遠心力・重力の釣り合いの式を用いて質量を計算できる。すると、光学的に観測できる物質の約10倍もの物質が存在するという結果が出た。この銀河の輝度分布と力学的質量分布の不一致は銀河の回転曲線問題と呼ばれている。この問題を通じて存在が明らかになった、光を出さずに質量のみを持つ未知の物質が暗黒物質と名付けられることとなった。

暗黒物質の候補

具体的に何が暗黒物質として宇宙の質量の大半を占めているかである。

宇宙の晴れ上がりの時に、運動エネルギーが質量エネルギーを上回っていたものを熱い暗黒物質、そうではないものを冷たい暗黒物質と呼ぶ。現状の本命は冷たい暗黒物質シナリオであるが、決定的な弱点はその候補粒子が未だ見つかっていないことである。

また、重力を介してのみ相互作用する物質（シャドーマター）も候補として挙げられているが、これは現状では純粋に理論的な存在であり、観測事実はない。

素粒子論からの候補

ニュートリノ

熱い暗黒物質の代表例。従来ニュートリノの質量は0であると思われていたが、近年では微少な質量を持っている事がほぼ確実になった。ニュートリノは宇宙全体に存在する数が非常に多い(計算では $\sim 100/\text{cm}^3$)ので、質量が10eV程度あれば暗黒物質の候補になる。ただし、ニュートリノが暗黒物質の主成分だとすると銀河形成論的に困ったことがおこる。銀河団以下のスケールの構造が生まれなくなってしまうのである(free streaming mixing)。これは、ニュートリノ同士の相互作用がほとんど無く互いに通り過ぎてしまい、圧力が生じないことによる。

天体物理学からの候補

いずれもバリオンからなる。ビッグバン仮説においては、バリオンの存在量が予言できる。その値は、臨界密度の約1/100程度である。ところが、実際の宇宙の密度はその10倍程度であると見積もられているため、以下の候補を全て考慮に入れたとしても元々のバリオンの量が足りない。そのため、非バリオン暗黒物質の存在を仮定する必要があることに変わりはない。

ブラックホール

小規模なブラックホールは超新星爆発のときに生じる。質量が太陽の数億倍もあるような大規模なブラックホールは銀河中心で観測されているが、まだ成因はよく分かっていない。恒星規模のブラックホールが銀河系内にいくつくらい存在するのか、その質量分布がどのような物か、等も未だ明らかではないため、これは暗黒物質の候補となる。

白色矮星・中性子星

比較的小質量の恒星が燃え尽きると白色矮星・中性子星になる。こうした星が自分で出す光が小さい場合、暗黒物質の候補となりうる。

褐色矮星

恒星誕生の際、核融合が起こるほどのガス質量がなかった場合、明るく輝かないために観測は困難となる。近年、観測精度の向上によって褐色矮星が観測されるようになった。

惑星

観測できる多数の恒星がそれぞれ観測できない惑星を持っている可能性があり、これが暗黒物質の候補になる。

MACHO

MAssive Compact Halo Objectの略。銀河ハロー内に存在する、小さくて光学的に観測の不可能(あるいはきわめて困難)な天体の総称。上記の白色矮星、恒星ブラックホールもその一種である。

文献

真木悠介「時間の比較社会学」(岩波書店, 1997年)

井上俊、上野千鶴子、大澤真幸、見田宗介、吉田俊哉「時間と空間の社会学」
(岩波講座「現代社会学」第6巻)(岩波書店、1996年)

佐藤文隆「量子宇宙をのぞくー時間と空間のはじまりー」(講談社・ブルーバックス, 1991年)

佐藤文隆「アインシュタインの宇宙」(朝日新聞社・朝日文庫, 1992年)

G.コイン他編「宇宙理解の統一をめざして」(南窓社, 1992年, p.374)

バーバラ・スーリング「イエスのミステリー」(NHK出版、1993年)

高津春繁・斉藤忍随「ギリシャ・ローマ古典文学案内」(岩波文庫, PP.200-202)

阿部謹也「甦える中世ヨーロッパ」(日本エディタースクール出版部, 1992年)

p.104: 時間意識の変化ー円環から直線へー

高野義郎「物理学の再発見1」(講談社・ブルーバックス, 1979年)

劉文英「中国の時空論」(東方書店, 1993年)

本川達雄「ゾウの時間、ネズミの時間」(中央公論社、中公新書、1996年)

本川達雄「時間」(NHKライブラリ、NHK出版、1996年)

ジャクリーヌ・ド・ブルゴワン「暦の歴史」(創元社、2001年)

エルンスト・マッハ「感覚の分析」(法政大学出版局、1976年)

渡辺 慧「時」(河出書房新社、1979年)

ポアンカレ「科学と仮説」(岩波文庫、1966年)

内井惣七「空間の謎・時間の謎」(中央新書、2006年)