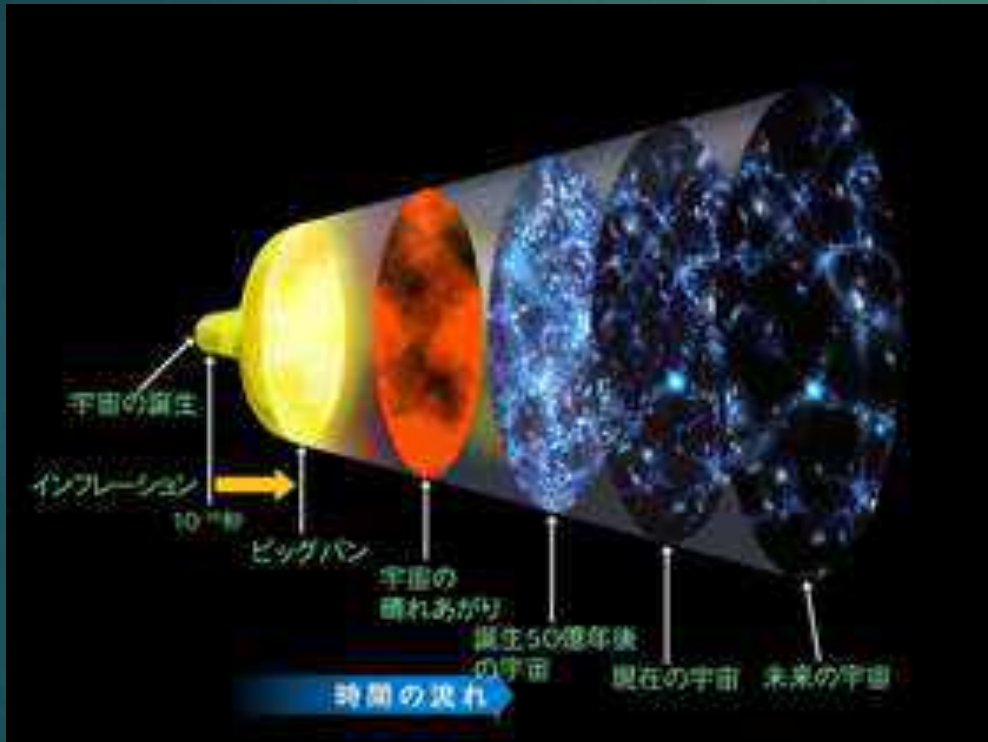


最新宇宙論

目を見張る最近の宇宙論争の進展

宇宙論の標準理論

現在、標準となっている理論は、ビッグバン宇宙論です。
およそ138億年前に「無」の状態から時空特異点 (高密度な1点)がひょっこり現れ、急激な膨張(ビッグバン)の後に現在のような広大な宇宙が造られたというものです。



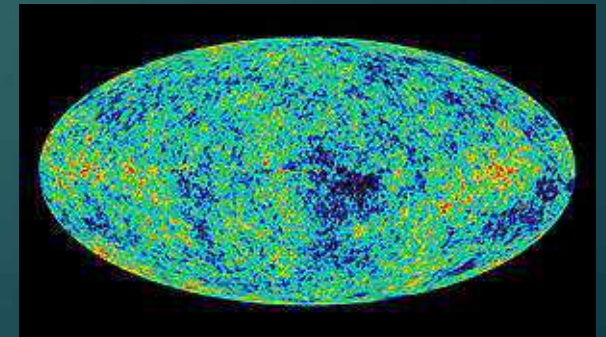
もう少し詳しく述べると、誕生した宇宙はその直後に急激な膨張を始めます。この段階は「インフレーション期」と呼ばれ、その膨張は光の速さを超えました。宇宙の膨張が始まることで直後に重力が生まれます。宇宙は誕生から1兆分の1の、その1兆分の1の、さらに10億分の1秒という非常に短い時間が経過するとやがて膨張の速度は落ち始め今度は熱エネルギーを放出し始めます。この現象がビッグバンです。この段階の宇宙の直径は未だ1000km程度でしたが1兆×1兆度という想像を超える高温に達していました。

「無」とは、時間や空間、物質、エネルギーのない状態のこととされている。非常に短い時間の中では、時間や空間、エネルギーは1つの値をとれずに揺らいでいます。これらの超マイクロな宇宙がトンネル効果によって突然現れてくるのです。(アレキサンダー・ビレンキンの提唱：1982年)

※インフレーション理論は、のちに、アラン・グース、佐藤勝彦らにより、ビッグバン理論の問題点を解消するために組み込まれたものです。

ビッグバン理論の成り立ち

0. アインシュタインの考えた宇宙は、静止宇宙モデル（一様性・等方性）であった
1. 1922年にフリードマンは、アインシュタインの一般相対性理論から、この宇宙が膨張することを導き出した
2. 1927年にル・メートルが宇宙の膨張率の推定値を提示し、1929年にハッブルが銀河の観測により、遠い銀河ほど遠ざかる速度が速いので宇宙が膨張していることを発見。
(ハッブル・ルメートルの法則)
3. 1946年にガモフは、原子核物理学に基づき、宇宙の膨張を逆れば、高密度の熱い火の玉から始まらなければならないことを示した (ビッグバンの命名者は、ホイル)
4. 1966年に偶然にも通信衛星のためのマイクロ波受信アンテナの試験中に、宇宙マイクロ波背景放射(3K放射)が発見された。
のちにこれがビッグバンの証の1つとなった
(ベル研究所：ペンジアスとウィルソン)



ビッグバンモデルの問題点（1）

1. 特異点問題

ビッグバン理論では、宇宙の始まりには高密度な特異点があったことになる。宇宙の始まりが点であったなら、エネルギーは無限大となり、物理学が破綻した点になる。即ち、物理法則だけでは、宇宙のはじまりは語れないという問題

2. 地平線問題

宇宙の温度を測ると、宇宙全域がほぼ均一な温度分布になっているのはおかしいという問題
宇宙を見て、その論理的に見える限界のところを宇宙の地平線といいます。宇宙誕生から138億年ということは、光の速度を考えると、どの方向にも138億光年のところに、見える限界の地平線があります。
ここで問題は、地球を中心に正反対のところ同士は、276億光年の距離があります。こ2つの点は、時間的に光も光以外のものも当然届いてはいないはずですが、今まで一度も関係を持たなかったのに、その反対側同士が同じ温度であるということは不合理であるというのです。また、宇宙全体がほとんど同じ温度になっているのも変だというのです。

ビッグバンモデルの問題点（2）

3. 平坦性問題

宇宙を「閉じた宇宙」「平らな宇宙」「開いた宇宙」の3つに分ける考え方です。平らな宇宙の密度を1とすると、それより密度が高くなると、閉じた宇宙になり宇宙はいずれ収縮していき、1より小さいと開いた宇宙になり宇宙は果てしなく広がり続けることになる、という考え方です。ここで問題は、現在の観測結果から、今の宇宙はほとんど平らで、質量密度は1に近いらしいのです。確率的には、閉じた宇宙や、開いた宇宙になるほうがはるかに多いのに、どうしてこの宇宙は、より1に近いのだろうという問題です。

4. 磁気モノポール問題

磁石のS極N極の問題です。磁石はどんなに切っても端にS極とN極ができます。ところが、ビッグバンの時には、真空の相転移によって空間に方向性をもつドメインと呼ばれるものができ、このドメインとドメインの隙間に、磁石のS極とN極の二つがばらばらになって、S極だけ、N極だけというものができたはずだといえます。これを磁気モノポール（単極子）といえます。これが現在もいっぱいあるはずなのにひとつも見つからないという問題です。



インフレーション宇宙論へ

ビッグバン宇宙論の問題点を解決する為に

- 1981年にアラン・グース、佐藤勝彦らが提唱したのが「**インフレーション宇宙論**」である

この理論は、火の玉であるビッグバンの前に、非常に急激な膨張（ 10^{-36} ～ 10^{-34} 秒間に 10^{30} 倍に膨張）があったとする理論である。インフレーションの中「量子ゆらぎ」は引き延ばされ、宇宙構造の種が仕込まれた。

- ・ インフレーションの中、空間が途方もなく引き伸ばされるため、我々が観測できる宇宙がほんの狭い範囲になってしまうため、宇宙全体は実は歪んでいるかも知れないが、我々にはそれが分からない。つまり、空間は平坦に見えるということになる（**平坦性問題**の解決）。

- ・ 地平線を超えて因果関係がないと思われる2つの領域も、インフレーションで引き伸ばされる直前はごく近かった。当然、情報のやり取りも行われていたので、**地平線問題**も解決できる。

- ・ **モノポール問題**は、少し難しい話になるが、インフレーションにより、真空の相転移によってできたと思われるドメインが引き伸ばされたと考えれば、我々の見ている宇宙がドメインにすっぽり含まれてしまっているかもしれない。これではドメインとドメインの間隙間にできるとされているモノポール（単極子）が見つけれないのは当然ということになる。または、インフレーションにより、極端に薄められて、モノポールが現在の観測技術ではかからないためとも考えられます。

こうして、インフレーション宇宙論により、ビッグバン宇宙論の持っていた問題点がいくつも解決された。

インフレーションモデルでも解決出来ない問題点（宇宙創成問題）

- インフレーション理論には、宇宙のはじまりには物理学が破綻した高密度な特異点があったことになる（ペンローズ／ホーキング）。そこで、この問題を解消するために、トンネル効果論(ビレンキン)や虚数時間論(ホーキング)などの補足理論が考え出された。

・ビレンキンは、宇宙の誕生には、「無」のゆらぎが、高いエネルギー障壁を超える必要がある。しかし、「無」のゆらぎが、そのためのポテンシャルエネルギーを持つとは理論上考えられない。なぜならポテンシャルエネルギーと宇宙膨張の運動エネルギーを合わせた、宇宙全体のエネルギーの収支はゼロでなければならないからだ。収支がゼロだとすると、ポテンシャルエネルギーがプラスになると、当然、運動エネルギーがマイナスにならなければならないが、これはあり得ない。だからビレンキンは、この山をすっと通り抜けるトンネルを考え、物理法則の破綻を切り抜けることができるとした（量子トンネル効果）。

・ホーキングは、1点集中による物理法則の破綻を切り抜けるため、虚数時間により宇宙が始まったとする理論を考えた。こうすることにより、運動エネルギーもマイナスになりえることになり、「無」のゆらぎのポテンシャルエネルギーがプラスの値を持つことができる（虚数時間論）。

更に、虚数時間から宇宙が始まったとすると特異点をなくすることができる、ホーキングらは主張する。従来のビックバン理論では、宇宙の始まりの端に、とがった点（特異点）ができてしまう。ところが宇宙が虚数時間から始まったとすると、ここが丸くなる。こうすると、実数時間に入る前の時空には、時間方向と空間方向との区別がなくなる。そして、特別な点である特異点もなくなるとしたのである。

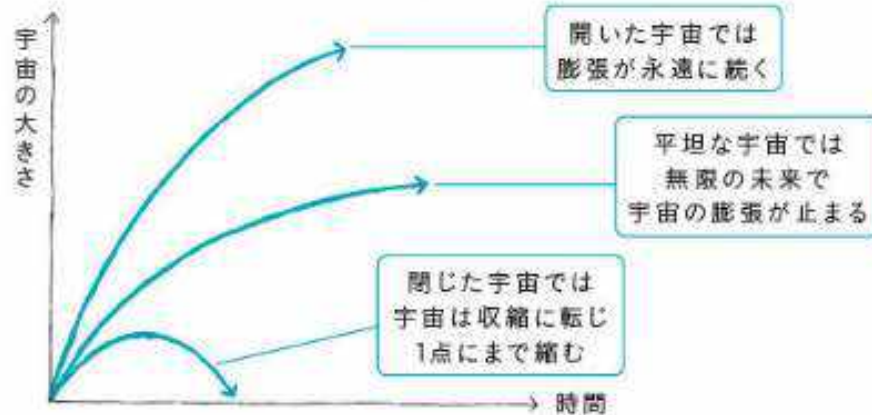
※これでも、まだまだ分からないことがたくさん残っています。

宇宙のかたち

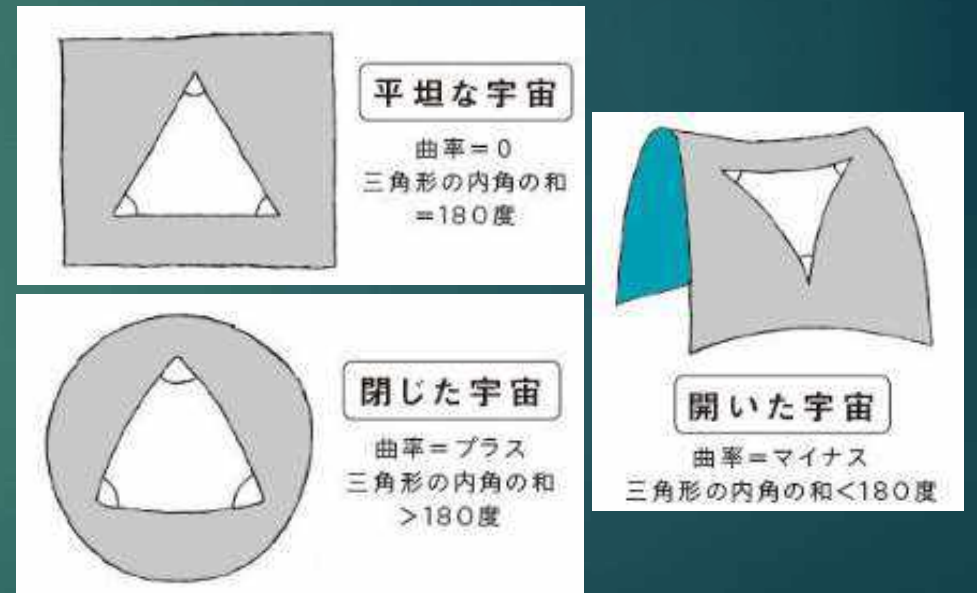
宇宙は曲率により、最後は収縮する宇宙、このままゆっくりと膨張し続ける宇宙、加速的に膨張してしまう宇宙の3つに分けられるという。現在、観測できる範囲では、限りなく平坦に近いという結果が出ている。

宇宙の曲率は宇宙の未来に影響を与える？

閉じた宇宙の場合、宇宙に存在する物質やエネルギーの重力によって、宇宙の膨張はやがて止まり、逆に収縮を始めます。一方、平坦な宇宙や開いた宇宙では、物質やエネルギーの重力は宇宙の膨張を止められず、宇宙は膨張を続けます。



※上記は暗黒エネルギーの存在を考慮しない、単純なモデルの場合のイメージです。



宇宙の大きさ

標準理論では、宇宙の大きさは、インフレーションの終了時にわずか直径100mほど、ビッグバンの始まりでも1000 kmほどの大きさであった。その後、膨張速度ゆるめながらも、わずか38万年後の宇宙の晴れ上がり時には、何億光年かの大きさにまでは大きくなっているはずである。

また、宇宙の晴れ上がり(38万年後)の時から現在までの138億年間では、宇宙背景放射の温度から推測して約1000倍程度の膨張であったことが計算されている。(宇宙の晴れ上がりの時、約3000Kの温度であったものが、現在、宇宙背景放射として約3Kの温度として計測されている。つまり直径が約1000倍に広がったと考えられる。[体積では1億倍となる])

宇宙の晴れ上がりの時の宇宙の大きさは不確定なので、現在の大きさを正確に把握できないが、ビッグバンの始まりの温度(10^{23} K) など、それぞれの時折りの温度等から単純に推測すると、晴れ上がりの時約100億光年とする推測値が導かれ、そこからの計算では、現在約10兆光年などという値も導き出されるが、正確ではない。

また、宇宙の膨張速度はあるところからは光速を超えており、永遠に観測ができないので推測の域をでることもなく、結局のところ宇宙に果てがあるかどうかも分かっていない・・・

宇宙の果て

宇宙の果てを観測できる範囲とするなら465億光年(膨張を考慮)と計算されています。ただその先も宇宙は限りなく同じように広がっていると考えられています。

また、宇宙の果てを考えると、宇宙のかたち(空間の曲がり具合)により、3つのパターンが考えられます。三角測量の考えを使って宇宙空間の曲がり具合(歪)を考えると・・・

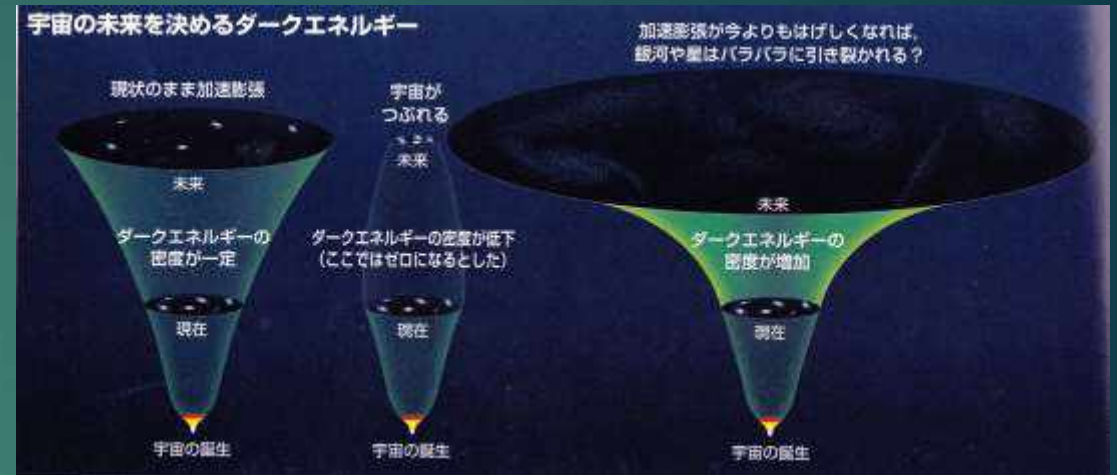
- (1)宇宙に描いた三角形の内角の和が180度より大きい場合：球状の空間(地球のような3次元の広がりではなく4次元の広がりを持つ)が想定され、宇宙の大きさは有限であるが、特別な果てはなく、1週すると元の場所に戻って来るとも考えられます。
- (2)宇宙に描いた三角形の内角の和が180度に等しい場合：空間は平坦でどこまでも続き果てはない。
- (3)宇宙に描いた三角形の内角の和が180度より小さい場合：空間は歪んで無限に広がり果てはない。

ここで、果てがない無限の大きさを持つと考えると、ビッグバンという出発点や宇宙年齢が有限値を持っていることを考えると不自然に思われます。また、実測では、三角形の内角の和はほぼ180度で限りなく空間に歪みがないという結果が出ています。

ただ、我々の観測できる範囲は狭く、この範囲では平坦で歪がないように見えても、宇宙全体から見ると歪んでいるかもしれません。宇宙の果ての問題は、現在の科学力では推測の域を出ないことが多々あり、本当のところ何も分かっていないというのが現実です。永遠の謎かも知れません。

宇宙のおわり

標準理論の宇宙は、真空エネルギーやダークエネルギーの状態により、最後は収縮する宇宙（ビッグクランチ）、このままゆっくりと膨張し続ける宇宙（ビッグフリーズ）、加速的に膨張してしまう宇宙（ビッグリップ）の3つに分けられるという。



- ビッグクランチ 最後、誕生時のような小さな点（特異点）にまでつぶれてしまう
- ビッグフリーズ／ビッグチル 「静かに冷えて終わる宇宙」
- ビッグリップ 銀河も星もみな引き裂かれてしまう。最後には、原子さえも引き裂かれてしまい何もない無の空間だけが残る

最新の宇宙論（1）

ビッグバン理論では、宇宙のはじまりは、何もない「無」の空間から真空のエネルギーのゆらぎにより、ひょっこりと宇宙が生まれたとされている。

- ・ **マルチユニバース**（ 10^{500} 個の宇宙が存在？）

インフレーション理論では、宇宙のあちこちで連続してインフレーションが起こるとされている（ビレンキン：永遠のインフレーション）。そのことにより、1つの宇宙から複数の子宇宙が生まれ、更にその子宇宙にも新たな宇宙（孫宇宙）が生まれることが導き出されるという。

更に、量子重力理論の1つである超ひも理論では、折りたたまれた余剰次元の折りたたまれ方が異なると違った宇宙になり、その数は 10^{500} 個の宇宙が存在するという計算がある。

- ・ **サイクリック宇宙**（現在に宇宙は50回目？）

宇宙は無限の自律的な循環に従うとする宇宙論である。

例えば、1930年にアルベルト・アインシュタインが簡潔に考えを示した振動宇宙論 (oscillatory universe theory) では、ビッグバンによって始まりビッグクランチによって終わる振動が永遠に連続する宇宙を理論化した。

ビッグバンとビッグクランチの間、宇宙は膨張してゆき、その後、物質の重力による引力によって再び収縮し崩壊して、ビッグバウンス（大きな反発）が起こる。



最新の宇宙論（2）

- ・ **ブレン宇宙（膜理論）**

超ひも理論をもとに発展した宇宙論に、「ブレンワールド」がある。この仮説では、私たちの宇宙は高次元空間に浮かぶ“膜(ブレン)”のようなものとされます。高次元空間には、いくつもの膜宇宙がただよっているかもしれません。実際、私たちの宇宙が現在の姿になるためには、ほかの膜宇宙が必要だったとするモデルもあります。ポール・スタインハートとニール・トロックらは、引き合った膜宇宙どうしの衝突が私たちの宇宙の誕生の瞬間(ビックバン)だと考える「**エキピロティック宇宙モデル**」を考えた。

- ・ **ループ量子重力理論（リー・スモーリンほか）**

宇宙のはじまりを考えるための新理論。これはビックバン理論の基礎である**一般相対性理論**と、素粒子などミクロな世界を扱う理論の基礎である**量子力学**を融合した理論。現在、**超ひも理論**とここで述べる**ループ量子重力理論**が有力候補である。ループ量子重力理論は、ループ状のエネルギーの塊を基本的な量として重力を扱う。この理論は重力と他の3つの力の統一という観点には欠けているが、超ひも理論(11次元)のような余分な次元を考える必要がなく、さらに4次元時空にあらかじめ平坦であるなどの特定な構造を仮定する必要もないので、特異点近傍の様子を調べることができるという特典をもつ理論である。また、この理論では簡単な場合に宇宙の進化が解かれていて、ビックバンは特異点ではなく宇宙は収縮期から膨張期に転じる（サイクリック宇宙論に通ずる）ことが導かれている。更にこの理論では、時間と空間にも最小単位があり、時間は連続的に流れるのではなくコマ送りのように流れるとされている。

- ・ **ホジャバ・リフシッツ重力理論（ペトロ・ホジャバ/エフゲニー・リフシッツ）**

- ・ **超ひも理論（グリーン/ジョン・シュワルツらが初めて提唱 ⇒ ジョセフ・ポルチンスキー：Dブレンの提唱者の1人 ⇒ エドワード・ウィッテン：M理論へと発展）**

参考書（書籍）

- Newton別冊 「宇宙誕生」「大宇宙」「宇宙論の新時代」「宇宙はどうやって誕生したのか」
- 目からウロコの宇宙論（富永裕久著・佐藤勝彦監修）
- よくわかる最新宇宙論の基本と仕組み（竹内 薫著）
- 宇宙の始まりと終わり（二間瀬 敏史著）
- なぜビッグバンは起こったのか—インフレーション理論が解明した宇宙の起源（アラン・H.ゲーズ）
- サイクリック宇宙論（ポール・スタインハート、ニール・トウロク）
- 繰り返される宇宙（マーチン・ボショワルト、前田秀基訳）
- 宇宙創生はじめての3分間（S.ワインバーグ、小尾信彌訳）
- 宇宙のすべて（アダム・ فرانク）
- 宇宙創生（サイモン・シ）