

宇宙視を楽しむ(その2)
宇宙はロマンとミステリーの泉
[E] 優しい宇宙論

- * 皆の広場 素人の宇宙考⑨
- *
- * **[4]宇宙誕生直後の詳細**
- * **[5]宇宙崩壊シナリオ**
- * Riv1 2024年8月22日
- * 原作 2018年8月22日
- *
- * シ18 永野 徹

[4] 宇宙誕生直後の詳細

- *
- * (1) 宇宙誕生後のできごと
- * (2) 宇宙誕生瞬間のできごと
- * (3) 宇宙の晴れ上がり
- *

(1) 宇宙誕生後のできごと
1) 宇宙誕生後の経過

宇宙の進化 タケウチ

0秒	宇宙誕生	加速膨張
10 ⁻³² 秒	インフレーション 宇宙の加熱(ビッグバン) 対称性が破れる	減速膨張
3分	ヘリウム原子核の生成	
38万年	水素原子の生成 宇宙の晴れ上がり 宇宙暗黒時代	加速膨張
2億年	最初の恒星形成	
137億年	現在	加速膨張

2) 初期宇宙

光が支配的だった初期宇宙

物質と光の競争

現在の宇宙では、物質(光子)の方が重いです。物質の方が重い(物質優勢の時代)

フタマセ

初期の宇宙

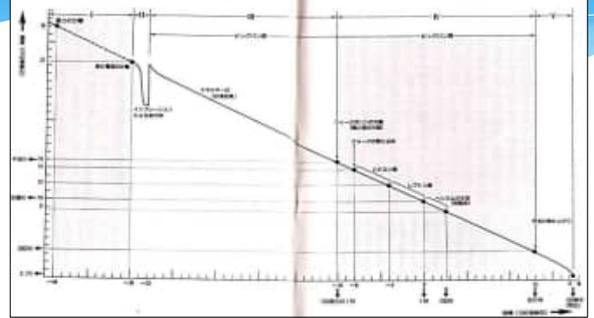
初期の宇宙では、光子が圧倒的に重いです。物質は十分に存在していません(放射優勢の時代)

(2) 宇宙誕生瞬間のできごと

区分	時間・他	温度・重さ	事象	理論
0期 (インフレーション)				
i 期初	10^{-43} 秒	超・影響	プラズマスープ	大統一理論
II 期		カオスの世界 1cc≒1兆トン	クォーク・レプトン グルーオン・光子	超弦理論 超対称性理論
III 期	10^{-10} 秒 ビッグバン始 (100億分の1秒)	素粒子砂漠 ≦1000兆度 光子は2種類	電弱分離 ウイークボソン分離(重い粒子)	真空の相転移
IV 期 始	10^{-8} 秒 (1億分の1秒)	100兆度	レプトン・光子の世界	
ハドロン期	10^{-8} 秒~ 10^{-4} 秒	~1兆度	ハドロン・パイオン生成	
レプトン期	10^{-4} ~1秒	~100億度	(陽子・中性子・中間子) 誕生	
ヘリウム期	1秒~200秒	~10億度	ヘリウム生成	(IV期の理論) ゲージ理論・
IV 期 末	10^{13} 秒 ビッグバン終 (10兆秒=約38万年)	宇宙暗上り 3000℃ 光子凍結無!	水素原子誕生 宇宙背景放射	電弱統一理論 量子色理論
V 期	t≧38万年~現在(137億年)、273K		星・銀河誕生	

1) 宇宙誕生直後の分析

1. 宇宙誕生直後全シーン(温度vs時間)



2. 宇宙誕生直後第1シーン(0~III 期)

期	0期	I 期	II 期	III 期
	カオスの世界	インフレーション期	素粒子の砂漠地帯	ビッグバン I 期
時間	10^{-43}	10^{-36}	10^{-10} ~	10^{-8} ~
理論	思弁的議論	大統一理論 超弦理論 インフレーション理論 超対称性理論	素粒子論 ゲージ理論 電弱統一理論(ヒッグス)	量子色力学
現象	強・電・弱三力統一 相転位 重力分離	強と電弱統一 重力分離	クォーク・レプトン・ゲージ粒子 光子のスープ状態 クォークとレプトン分岐	重力・強弱力分離 エネルギーが12桁減 ウイークボソン非分離
重さ	1cc=1兆トン			
大きさ	10^{-39}			1cm
温度 K	無限大の熱さ	10^{32}	10^{27}	1000兆度

3. 宇宙誕生直後第2シーン(第IV期)

10-13秒後、素粒子に質量誕生

期	IV 期			
	初期	ハドロン期	レプトン期	核融合期
時間	10^{-10} ~	10^{-8} ~	10^{-4} ~	1秒後 百秒後
理論	電弱統一理論 ゲージ理論	量子色力学		
現象	真空の相転位 自発性対称性の破れ 光子が2種分離 クォーク閉じ込め	ハドロン分離 ハドロン(三色クォーク) クォーク閉じ込め パイオン分離 レプトン	レプトン電子 中性子⇄陽子 ニュートリノ放出	陽子と中性子 存在比10対2 核融合炉 水素誕生(12) ヘリウム誕生(1)
重さ		陽子・中性子誕生 1cc=1000トン		1cc=100kg
大きさ				
温度 K		100兆度~1兆度		100億度
		100億分の1秒後~		

(3) 宇宙晴れ上がり

宇宙誕生(ビッグバン)～晴れ上がり～現在



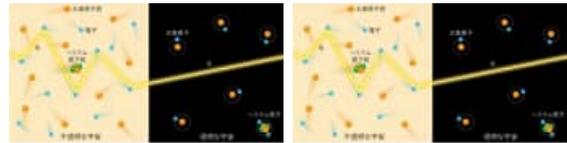
1) 宇宙の晴れ上がりとは

(宇宙誕生38万年後)

光が直進できるようになる(プラズマ状態を脱出)

晴れ上がり前(光吸収)

晴れ上がり後(光直進)



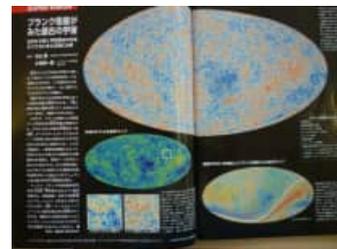
① 宇宙の晴れ上がり (宇宙誕生38万年後)

光が直進できるようになる(プラズマ状態を脱出)



② 宇宙晴れ上がり証拠(宇宙誕生38万年後の光)

宇宙晴れ上がり時の残光(マイクロ波)



③宇宙背景放射観測

観測成果(温度ゆらぎ)

1. COBEの観測結果
 晴れ上がり時の温度揺らぎは10万分の1しかない。現在の大規模構造が存在する為には晴れ上がり時に1000分の1の温度揺らぎが必要。このことから宇宙晴れ上がり以前に暗黒物質で適度な(1000分の1程度)ゆらぎが確保されていた。

なぜ10万分の1の揺らぎしかない?
 小さい揺らぎのゆらぎのゆらぎ

現在の宇宙
 観測結果: 現在の宇宙には大規模構造がある
 現在の宇宙には大規模構造がない
 現在までに密度揺らぎは10^-5以上になっている
 現在までに密度揺らぎは10^-2以上になっている
 晴れ上がり時の密度揺らぎは10^-2以上になっている
 晴れ上がり時の密度揺らぎは10^-5以上になっている
 宇宙
 晴れ上がり時の宇宙 (大きさは1000分の1)

⑤宇宙崩壊シナリオ

- * (1)宇宙の一生
- * (2)宇宙崩壊プロセス
- * (3)宇宙の熱的崩壊シナリオ
- * (4)ブラックホール蒸発
- * (5)宇宙終焉まとめ

(1)宇宙の一生

1)宇宙誕生～崩壊

- ① 0秒 宇宙開闢
- * ② 10⁻⁴⁴ 重力と時空の誕生
- * ③ 10⁻³⁶ 強い力の誕生
- * ④ 10⁻¹¹ 弱い力と電磁力の誕生
- * ⑤ 10⁻⁴ クォークがハドロンに閉じ込められる
- * ⑥ 10⁻² 元素の合成開始
- * ⑦ 10¹²(1兆) 宇宙晴れ上がりと銀河形成開始
- * ⑧ 10³⁴ 星は白色矮星、中性子星、ブラックホール化
- * ⑨ 10¹⁰⁰ 全ての銀河は量子効果で蒸発生滅
- * 白色矮星は中性子星になる
- * 中性子星はブラックホールとなる
- * ⑩ 10¹⁵⁰⁰ 中性子星以外は鉄まで崩壊
- * ⑪ 以降 宇宙直径波長の電波と微視泡立ち真空中の中で宇宙が再生されるか?

(2)宇宙崩壊プロセス

(平)宇宙の最後

宇宙の種類(開・閉・平) タケウチ

宇宙の種類(開・閉・平)

加速膨張する宇宙の死

1) 開宇宙 (開) 膨張が止まらず、無限に広がる。最終的に熱的死(ビッグフリーズ)を迎える。

2) 平宇宙 (平) 膨張が止まり、最終的に熱的死(ビッグフリーズ)を迎える。

3) 閉宇宙 (閉) 膨張が止まり、最終的に収縮し、ビッグクラッシュ(ビッグバン)を迎える。

(3) 宇宙の熱的崩壊シナリオ

① 宇宙終焉全体像 (永遠に膨張を続ける場合)

○小宇宙の未来予測

(1) 永遠に膨張し続ける場合(熱的死)

宇宙の膨張が永遠に続いて宇宙の終焉は熱的死と呼ばれる状況になる。つまり宇宙の膨張に伴い宇宙は冷却され最終的には生命を維持することができなくなる。

(熱的死に至る説明)

- ・宇宙マイクロ波背景放射測定結果では宇宙は空間的に平坦で膨大なダークエネルギーが存在していると言われており、宇宙が平坦 or 開かれている場合この宇宙は永遠に膨張を続けることになる。更に膨張のスピードは今後ますます加速される。
- ・宇宙の膨張が加速される場合、銀河団の距離はますます遠ざかり、赤方偏移によって古代の宇宙からの光は波長が引き伸ばされ光度も弱くなりいずれ観測できなくなる。
- ・星は $10^4 \sim 10^4$ 同形成されるが、最終的には星形成に必要なガスは全て消費されて新規の星を生み出さなくなる。

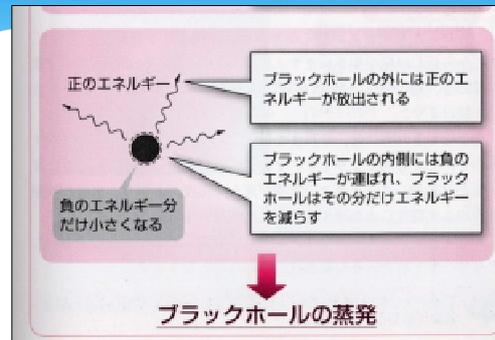
② 宇宙終焉ステップ1

- ($10^2 \sim 10^4$) 年 星の成長期
 - ① ($10^2 \sim 10^3$) 年後の原始時代: ビッグバン後まだ星が形成されていない時期
 - ・ビッグバンから 1.55 億年後最初の暗黒星雲の形成が始まる。
 - ・超新星爆発等による分子雲により星や銀河が形成されが、物質の濃度により密度の高い部分に重力集積で原子星の中心核が形成される。
 - ② ($10^3 \sim 10^4$) 年後の主系列星として輝く時代
 - ・原始星が形成された後、中心核の温度が上がリ水素の核融合が始まり主系列星となる。
- (1.77~2.17) 10^{10} 年後: 天の川銀河終焉(天の川銀河とアンドロメダ銀河の合体)
 - ・今から 50 億年後(ビッグバンから 190 億年後)アンドロメダ銀河と衝突する。
- ($10^{11} \sim 10^{12}$) 年後: 局所銀河団は
 - ・天の川銀河とアンドロメダ銀河は所属する局所銀河群に合体して膨張。
 - ・局所銀河群以外の銀河は宇宙の地平線のかなたに消える。
 - ・1500 億年後には局所銀河団を超える情報は入手不可。
- 銀河団不可知(地平線を越える)
 - ・(10^{11} 年)後、多くの銀河は輝きが失せる。
 - ・(10^{12} 年)後、おとめ座超銀河団以外の超銀河団は不可知となる。

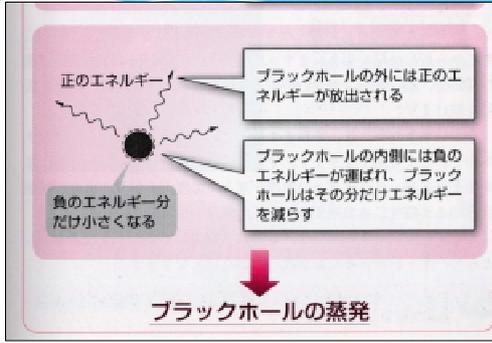
③ 宇宙終焉ステップ2

- ($10^{13} \sim 10^{14}$) 年後
 - ・(10^{13}) 後、星の形成は終わり、縮退の時代が始まる。星が輝きを失い、ブラックホール、白色矮星、中性子星、ブラックホールのみ残る時期。
 - ・(10^{14}) 後: 銀河のブラックホール化
 - 水素を使い果たした後
 - ・赤色矮星は最も長く輝き 10 兆年程寿命の後そのまま冷えて黒色矮星となる。
 - ・質量が太陽の 0.08 倍 ~ 8 倍程度星は水素がヘリウムとなる白色矮星となる。
 - ・太陽の 8 倍以上の質量がある星は最終的に超新星爆発を起して中性子星かブラックホールになる。
- ($10^{15} \sim 10^{17}$) 年後: ブラックホールの蒸発
 - ブラックホール時期: 白色矮星、中性子星やその他のすべての天体が陽子崩壊により破壊されて、ブラックホールのみ残る時期。
- ($10^{17} \sim 10^{20}$) 年後: 放射のみの宇宙
 - 終焉の時代: ブラックホールも蒸発して光子とレプトンのみが空間に残る時期。
- ($10^{20} \sim$) 年後: 永久冷却時代
 - ・絶対温度に向かって永久に冷却し続ける。
- ($10^{20} \sim 10^{27}$) 年後: 全核子の崩壊
 - ・ボリオン物質は光子かレプトンに変化してボジトロニウム原子生成には 10^{27} 年かかり、その後 10^{31} 年後にはガンマ線を放射して崩壊する。

(4) ブラックホールの蒸発 (ホーキング)



①ブラックホールの崩壊（蒸発～絶対零度）
ブラックホール誕生～蒸発（ホーキング）



(4)宇宙終焉まとめ

分類	宇宙論年	第五ケース名称	論名	補足	寿命	星・銀河存在期間(年)
□大宇宙		最終宇宙論	無限小宇宙論	無限小宇宙で構成	永遠	無限の小宇宙が無限に存在
□小宇宙(最終)		定常宇宙論 (宇宙はひとつ)	(田中宙蔵) 20世紀初まで	宇宙は永遠のもの	無限無し	宇宙は永遠に存在するが物質
相対性理論	閉宇宙 (大爆炸)	ビッグバン論	経路宇宙論	重力収縮 ビッグバンの逆転	再生(反転)	ビッグバンとビッグバン後反転 (天の川に星・銀河の一生)
	開宇宙 (大爆炸or負)	ビッグフリーズ	熱力学宇宙論 エンタルピー増大 ①天の川銀河のブラックホール ②太陽の20倍以上の質量星には超新星爆発後に ブラックホールが形成される。(銀河内に10 ¹² 個ある) ③銀河中心に大質量ブラックホールが存在している。 10 ¹² 年単位は全てを含み込むことに注意する。	宇宙の熱的死 熱力学第二法則への違反	熱的死	(天の川)内の寿命は年 星形成 (10 ⁹ ~10 ¹⁰) 星消滅 (10 ⁹ ~10 ¹⁰) 銀河消滅 (10 ¹² ~10 ¹³) 超銀河消滅 (10 ¹³) 銀河消滅 (10 ¹³)
	—	ビッグリップ	虚数宇宙論	ダークエネルギー	崩壊	虚数宇宙論でビッグリップになる
量子論	—	真空崩壊	量子論	真の真空へ相転移	無限	高エネルギー真空崩壊で崩壊

宇宙視を楽しむ

(凡例)

(出典・引用) その他WEB他;
 「宇宙137億年の謎」 ナツメ社 二間瀬敏史
 「宇宙論」「相対性理論」「量子論」3冊 佐藤勝彦
 「宇宙と量子論」 PHP 竹内 薫

おわり

今回R6 (2024) 12月13日
 原案H30 (2018) 8月

永野 徹

- *
- *
- *
- *