

我々の宇宙の起源

1 膨張宇宙の発見

1915年にEinsteinは重力についての理論である一般相対性理論 (General Relativity; GR) を構築しました。GRでは、質量は時空を歪め、その歪みこそが重力であると説明されます。GRは宇宙という時間と空間の広がりに対して適用できる理論です。そこでEinsteinはGRを宇宙全体に対して適用し、Einstein方程式：

$$\underbrace{G_{\mu\nu}}_{\text{時空の歪み}} = \underbrace{\frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}}_{\text{物質のエネルギー}} - \underbrace{\Lambda g_{\mu\nu}}_{\text{宇宙項}}$$

を用いて宇宙の構造を考察したところ、驚くべき結果を得ました。それは**宇宙は膨張または収縮が可能である**というものでした。しかし当時は宇宙は静的で不変なものだと信じられており、この結果は中々受け入れられませんでした。その後、1927年にLemaître、1929年にHubbleによって銀河の後退速度の観測を通して宇宙が膨張している証拠が発見され、宇宙の膨張が認められていきました。

2 ビッグバン

ところで、宇宙が膨張しているならば過去に遡っていけば宇宙は収縮していくため、宇宙は有限時間前に1点から始まったと考えられます。では、初期の宇宙はどのようになっていたのでしょうか。この疑問に対し1927年にLemaîtreは**ビッグバン宇宙論**を提唱し、1948年にGamovらがこの理論に初めて具体的な説明を与えました。これは**初期の宇宙は高温・高密度の環境であり、その後の膨張に伴って宇宙は冷えていった**という宇宙の進化モデルです。この理論は宇宙の物質のほとんどが水素とヘリウムであるという観測

事実や宇宙の膨張を上手く説明できるものでした。今日では様々な観測により理論の正しさが認められています。

3 宇宙の晴れ上がり

誕生から間もない宇宙は非常に高温で、光は飛び回る電子によって散乱されてしまい直進できませんでした。霧の中のイメージです。しかし、その後の宇宙の膨張によって温度が下がると光は直進できるようになります。このことを**宇宙の晴れ上がり**と言います。この直進可能になった光は現在の我々が観測できる最古の光であり、**宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background; CMB)** と呼ばれています。

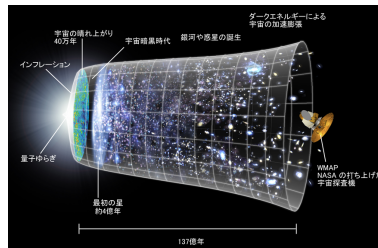


図 1: 宇宙の歴史 (wikipedia)

4 インフレーション

さらに時間を遡りましょう。高温・高密度状態のビッグバンはどのように始まったのでしょうか。この疑問に説明を与えたのが1980年頃に佐藤勝彦、Guth、Starobinskyによって提唱された**インフレーション理論**です。これはエネルギーの高い真空がその斥力によって非常に短時間の間に指数関数的に急膨張し、その後の真空の相転移によって解放されたエネルギーから粒子とビッグバンが生成されたとする理論です。この理論によってビッグバン宇宙論での未解決問題*1を解決することができます。

現在ではインフレーションの証拠の観測が試みられています。ここではCMB観測衛星のLiteBIRDと宇宙空間における重力波検出器のDECIGOを紹介します。インフレーションがあったとすると、時空の指数関数的な急膨張時に重力波が生じます。この重力波によってCMBにはB-mode偏光成分というものが生じるため、LiteBIRDではこれの検出を行うことによってインフレーションの証拠を掴むことを目指しています。DECIGOではインフレーションで発生する重力波の直接観測によりインフレーションの証拠を掴むことを目標としています。

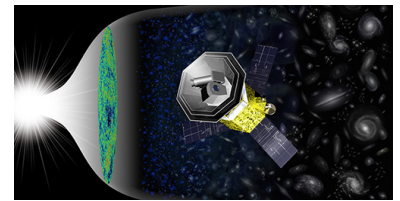


図 2: LiteBIRDのイメージ (JAXA HP)



図 3: DECIGOのイメージ (https://granite.phys.s.u-tokyo.ac.jp/decigo/DECIGO-WS17/decigo181101_ando.pdf)

参考文献

- [1] 小松英一郎. 『新天文学ライブラリ 宇宙マイクロ波背景放射』. 日本評論社 (2019).
- [2] Dodelson, Schmidt. 『Modern Cosmology』. Academic Press(2021).
- [3] インフレーション理論 (天文学辞典 <https://astro-dic.jp/inflationary-cosmology/>)

*1 地平線問題, 平坦性問題, モノポール問題等