

第1章 宇宙マイクロ波背景放射 (CMB)

宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background: CMB) とは、宇宙の創生から 38 万年後に物質から脱結合した光子のことであり、我々が観測できる最古の光である。その発見はペンジアスとウィルソンによって 1965 年に行われ^[7]、その後 Cosmic Background Explorer(COBE) 衛星により強度の周波数依存性 (スペクトル) が測定された^[7]。測定されたスペクトルは温度が 2.725 K の黒体輻射のスペクトルと一致し (図 1.1)、CMB がほとんど一様等方な強度を持つことも確認された。これらの事実により CMB はビッグバン宇宙モデルを支持する強力な証拠となった。こうして現代の宇宙論の基礎を築き、発展させてきた CMB は、現在ではその偏光情報からインフレーション宇宙論の証拠を探ることができると期待されている。本章では、はじめに現在の標準的な宇宙モデルである Λ CDM モデルについて述べ、次いでインフレーション宇宙論について述べる。その後、CMB 偏光について述べる。

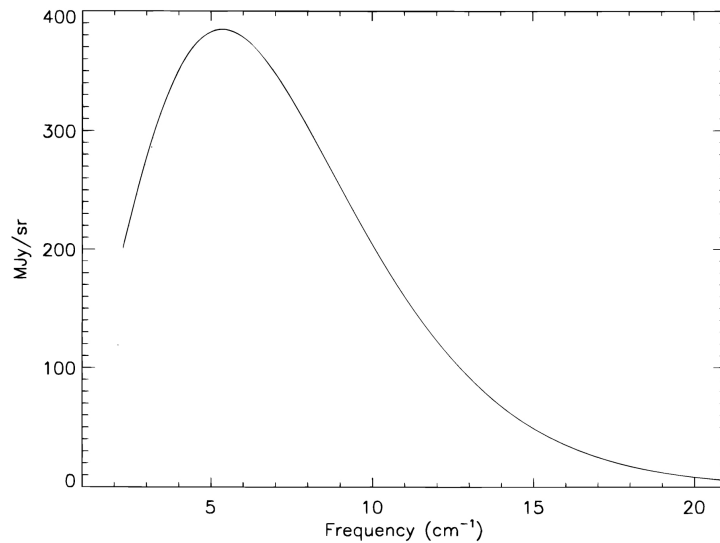


図 1.1: COBE 衛星による CMB のスペクトル測定値を黒体輻射のスペクトルで fitting した結果。

1.1 Λ CDM モデル

現在の標準的な宇宙モデルである Λ CDM モデルについて述べる。まず、Einstein 方程式は、計量テンソル $g_{\mu\nu}$ 、Einstein テンソル $G_{\mu\nu}$ とエネルギー運動量テンソル $T_{\mu\nu}$ を用いて

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu} \quad (1.1)$$

とかける。ここで、 G は重力定数、 Λ は宇宙定数である。また、自然単位系を採用した。一様等方な宇宙では、その計量はフリードマン・ルメートル・ロバートソン・ウォーカー計量

$$ds^2 = -dt^2 + a^2(t) \left[\frac{dr^2}{1 - Kr^2} + r^2 d\Omega^2 \right] \quad (1.2)$$

で記述される。ここで、 $a(t)$ はスケールファクター、 K は宇宙の曲率を表す。また、宇宙の物質が完全流体であることを仮定すると、エネルギー運動量テンソルを

$$T_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} -\rho & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P \end{pmatrix} \quad (1.3)$$

と表すことができる。ここで、 ρ はエネルギー密度、 P は圧力である。式 (1.2)、式 (1.3) を式 (1.1) に代入し、 $(0, 0)$ に注目すると

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho + \frac{\Lambda}{3} - \frac{K}{a^2} \quad (1.4)$$

を得る。これをフリードマン方程式と呼ぶ。また、エネルギー運動量テンソルを用いて、エネルギー保存則を

1.2 インフレーション宇宙論

1.3 CMB 偏光モード

1.4 本論文の構成