

# 宇宙マイクロ波背景放射 (CMB)

## CMBとは？

CMBとは、宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background) の略称で、宇宙の晴れ上がり (後述) の時点からほぼ等方的にやってくる 2.725 K の光子のことで、

1964年、PenziasとWilsonがアンテナを空に向けていた際に確認された、取り除くことができない電波雑音が宇宙から来た光子だと分かり、CMBの発見となりました。

1989年、NASAが打ち上げたCMB観測衛星COBEの遠赤外絶対分光器 (FIRAS) によって行われた精密測定により、CMBのスペクトルが温度 2.725 K の黒体放射のスペクトルに一致するという結果が得られました。

CMBが黒体放射のスペクトルを持つことは、初期の宇宙が現在とは異なり、物質と光が熱平衡状態であったことを示しており、初期に高温・高密度の火の玉状態であった宇宙が急激に膨張したとする、ビッグバン理論の観測的証拠の1つとなっています。

## 宇宙の晴れ上がり

宇宙の晴れ上がりとは、物質と光の熱平衡状態が終わり、光子が電子に散乱されずに真っ直ぐ進めるようになること、またその時期を指します。

宇宙初期は高温・高密度な状態であるため、原子に束縛されていない自由電子の数密度が高い状態にあります。膨張により宇宙の温度が下がると自由電子は水素原子やヘリウム原子に束縛され、数密度が減少します。3000 K程度に下がると、光子が自由電子と衝突してから次に衝突するまでの時間である平均自由時間が宇宙年齢の目安となるハッブル時間を超えます。そうして、光子が自由電子に散乱されなくなるのです。



Figure 7. 宇宙の晴れ上がりの様子.

## SW効果

CMBはほぼ等方的と述べましたが、わずかな温度異方性が存在し、宇宙に関する有用な情報が多く含まれているとして重要視されています。重力場による温度異方性の原因としては、ザックス・ヴォルフエ (SW) 効果, 積分ザックス・ヴォルフエ (ISW) 効果があります。

両効果とも重力赤方偏移による効果ですが、その起源が異なります。SW効果は宇宙の晴れ上がりが起きた位置と観測位置の重力ポテンシャルの差に由来しています。ISW効果は宇宙の晴れ上がりが起きた位置と観測位置の間の光子の経路上の重力場の時間変動に由来しています。

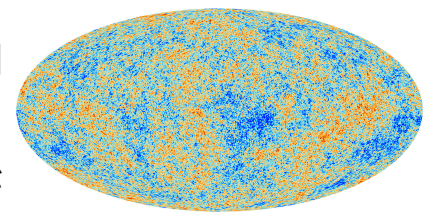


Figure 8. Planckが観測したCMBの温度揺らぎ。 ©ESA

## 参考文献

[1] 小松英一郎, 『宇宙マイクロ波背景放射』, 日本評論社, 2019.