

インフレーション宇宙の解明へ向けて ——これまでと今後の宇宙観測



高橋 智

佐賀大学理工学部
tomot@cc.saga-u.ac.jp

宇宙誕生の直後、宇宙はインフレーションと呼ばれる急激な加速膨張の時期を経験したと考えられている。このインフレーションは、元来標準ビッグバン宇宙論における諸問題（地平線問題、平坦性問題など）を解決するために提案されたが、しかしそれだけでなく、宇宙の大規模構造や宇宙背景放射の揺らぎなどの宇宙の構造の起源（原始密度揺らぎ）を与えることができる。インフレーションはほぼスケール不変で、ほぼガウスのな原始密度揺らぎを生成し、さらには、原始重力波を生成すると予想されている。現在のところ、インフレーション期に生成されたと考えられる原始重力波は検出されていないが、密度揺らぎに対するインフレーション理論の予言は現在の宇宙観測データと基本的に整合しており、インフレーション理論の基本的な枠組みは正しいと考えられている。

しかしながら、インフレーションがどのように起こったか、その実際のメカニズムについては未だ理解されていない。インフレーションモデルについては様々なものが提案されており、そのモデルによって、上記で述べた原始密度揺らぎ、および原始重力波の性質が異なるため、これらの性質を宇宙観測で精密に測定することにより、インフレーションの実際のメカニズムを解明できると考えられる。

現在、宇宙背景放射の揺らぎを精密に測定したプランク衛星などの宇宙観測データにより、上記の原始密度揺らぎ、原始重力波がみたくべき性質が分かっているが、インフレーションの具体的なモデルを絞りこめるには至っていない。しかし、今後の宇宙観測により、その性質の詳細がより明

らかになるだろう。特に、原始重力波の検出、密度揺らぎの小スケールでの精密観測、密度揺らぎの非ガウス性の精密測定などが期待されている。

原始重力波は宇宙背景放射のBモード偏光の観測で検出されることが期待されており、もし検出されれば、インフレーションが起こっているエネルギースケールが分かり、インフレーションの背後にある理論に対して大きな示唆を与える。

また、今後の宇宙背景放射のスペクトル歪みや中性水素21 cm線の観測により、現在の宇宙背景放射で探査しているスケールより、さらに小さなスケールの密度揺らぎが観測できると期待される。幅広いスケールでの詳細な密度揺らぎの観測は、インフレーションのダイナミクスに対して大きな情報を与える。

密度揺らぎの非ガウス性は、特にインフレーションモデルの枠組みに対して大きな示唆を与える。例えば、単一場インフレーションモデルは非常にガウスのに近い原始密度揺らぎを生成するが、複数場モデルでは、一般に単一場モデルより非ガウスのな揺らぎを生成することが知られており、非ガウス性の情報はモデルの枠組みの峻別を可能にする。将来の銀河サーベイ、21 cm線の観測などから、現在の宇宙背景放射の揺らぎの観測よりも詳細に原始密度揺らぎの非ガウス性の情報が得られると考えられている。

これらの将来観測によって、インフレーションのメカニズムが明らかにされ、インフレーション宇宙の全貌解明に向けて前進すると期待される。

—Keywords—

地平線問題：

宇宙マイクロ波背景放射は等方的であり、これは天球上のあらゆる方向からの放射の強度（温度）はほぼ同じであることを意味する。しかし、因果律を考えると、宇宙誕生後に相互作用し得る領域は限られているため、天球上の離れた方向からの放射の温度が同じであることは非常に不自然である。この因果律の問題を地平線問題と呼ぶ。

平坦性問題：

現在の観測から、現在の宇宙の曲率は（控え目な評価で） $|\Omega_k| < \mathcal{O}(0.1)$ と制限されている（ここで、 Ω_k は宇宙の曲率の大きさを表す量で、 $\Omega_k = 0$ が平坦な宇宙の場合に対応する）。ところが、通常の膨張宇宙において、この曲率の制限を宇宙初期、例えば、宇宙の年齢が1秒のときで考えると $|\Omega_k| < \mathcal{O}(10^{-17})$ となり（より宇宙初期の時期を考えると、さらに値は小さくなる）、宇宙の曲率を非常に平坦に微調整しなければならない。この微調整の問題を平坦性問題と呼ぶ。

宇宙背景放射Bモード偏光：

宇宙背景放射には温度揺らぎだけでなく、「Eモード偏光」と「Bモード偏光」の偏光モードもある。特に、「Bモード偏光」は原始重力波が存在すると生成されるため、インフレーションにより予言される原始重力波を検証する上で非常に重要な観測量である。

揺らぎの非ガウス性：

原始密度揺らぎの統計的な性質を特徴付ける観測量のひとつ。標準的な単一場のインフレーションモデルの場合、非常に「ガウスの」な揺らぎが生成されるが、モデルによっては「非ガウスの」な揺らぎが生成されるため、モデルを検証する上で有用な観測量である。