

宇宙論的摂動論について

-同期ゲージとニュートンゲージの場合-

新潟大学 大学院自然科学研究科

一條 真澄

近年、WMAP 衛星により宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) 非等方性が精密に観測されている [1]。この CMB 非等方性は温度ゆらぎの振幅 $\delta T/T$ にして 10^{-5} のオーダーの非常に小さなものである。WMAP の観測データを利用すると、様々な宇宙論パラメータを正確に決定することができる。これにより例えば現在の宇宙のエネルギー組成比を高い精度で知ることができる。ここで、CMB 非等方性の観測データを宇宙論パラメータなどの物理量と結びつけるためには、CMB 非等方性を理論的に記述する必要がある。

宇宙の進化は、空間的に一様かつ等方な計量である Robertson-Walker 計量に基づいた宇宙論により、とても良い近似で記述することが可能である。このことより、宇宙初期において一様等方な状態からのゆらぎ (摂動) がとても小さかったことが推測できる。もし摂動が大きかったのならば、Einstein 方程式の性質より現在の宇宙の一様等方性は大きく破れているはずである。この初期宇宙の小さなゆらぎの時間発展は宇宙論的摂動論によって記述することができる。従って、宇宙論的摂動論を用いて摂動の進化を追い、最終散乱面におけるフォトンの分布の非等方性を求めることにより、CMB 非等方性を理論的に導くことができる。

そこで、本発表では Ma, Bertschinger(1995)[2] の論文のレビューという形で、宇宙論的摂動論の解説を行った。宇宙論的摂動論とは、一般相対論に基づき一様等方宇宙からの摂動を取り扱う理論なのだが、一般相対論的に摂動の定式化を行うとゲージ自由度という問題が発生する [3]。これは摂動量の定義に物理的でない任意性が残ってしまうという問題であり、現実のゆらいだ時空と仮想的な一様等方時空の 2 つの時空を取り扱うことに起因している。またゲージ自由度の存在により、発展方程式の解に非物理的なモード (ゲージモード) が紛れ込んでしまうという問題が起こる。本発表では、ゲージ自由度の存在について詳しい解説を行い、これらの問題に対する対処法として同期ゲージ [4] とニュートンゲージ [5] を用いたゲージ固定の方法を紹介した。また、これらのゲージ固定条件を用いて宇宙論的摂動論の定式化を行った。

今回使用した同期ゲージには、実はゲージ自由度を完全には固定しないという問題が存在する [3]。しかしながら、宇宙がコールドダークマター (CDM) を含んでいるとすると、この問題に対処することができる。CDM が非相対論的粒子であり、重力以外の相互作用を無視することができるという特徴を利用すると、同期ゲージに残るゲージ自由度を固定することが可能になる。またこれに伴い、CDM の運動方程式の数を 1 つ減らすことができ、ここに同期ゲージを採用する利点がある。本発表ではこれらのことについても詳しい解説を行った。

参考文献

- [1] N. Jarosik *et al.*, arXiv:1001.4744 [astro-ph.CO].
- [2] C. P. Ma and E. Bertschinger, *Astrophys. J.* **455**, 7 (1995) [arXiv:astro-ph/9506072].
- [3] J. M. Bardeen, *Phys. Rev. D* **22**, 1882 (1980).
- [4] E. Lifshitz, *J. Phys. (USSR)* **10**, 116 (1946).
- [5] V. F. Mukhanov, H. A. Feldman and R. H. Brandenberger, *Phys. Rept.* **215**, 203 (1992).