

Clustering of quintessence on horizon scales and its imprint on HI intensity mapping

舟田 成登 (立教大学大学院 理学研究科)

Abstract

宇宙項はクラスターを作ることはないが、クインテッセンスはホライズンスケールでクラスターを作ることがわかっている。それを考慮すると、宇宙項とクインテッセンスの3つのポテンシャルを比べるとパワースペクトラムが低い赤方偏移では同じだが、大きい赤方偏移でずれが大きくなることがわかった。

1 序論

銀河の調査には中性水素 (HI) の観測が使われる。それはハッブルスケールよりも広い範囲の観測が行われるので相対論的效果を考慮して測定をする。この論文は HI のデータから角度パワースペクトラムを計算してそれを Λ CDM モデルと比較している。

2 観測と理論の計算

1. クインテッセンスと相対論的摂動

クインテッセンスのスカラール場を ϕ 、ポテンシャルを $U(\phi)$ とするとフリードマン方程式は

$$\begin{aligned}\mathcal{H}^2 &= \frac{8\pi G a^2}{3} \left[\rho_m + \frac{\rho'^2}{2a^2} + U(\phi) \right] \\ &= \mathcal{H}^2(\Omega_m + \Omega_q) \\ \mathcal{H}' &= -\frac{1}{2}\mathcal{H}^2(1 + 3w_q\Omega_q), \quad w_q = \frac{\rho'^2 - 2a^2 U}{\rho'^2 + 2a^2 U} \text{ となり、}\end{aligned}$$

クインテッセンスは以下のクラインゴールドン方程式に従って進化する。

$$\phi'' + 2\mathcal{H}\phi' + a^2 \frac{\partial U}{\partial \phi} = 0$$

摂動している計量は以下で与えられる。 $ds^2 = a^2(\eta)[-(1 + 2\Psi)d\eta^2 + (1 + 2\Phi)\delta_{ij}dx^i dx^j]$

そこから

$$\begin{aligned}\nabla^2\Phi &= \frac{3}{2}\mathcal{H}^2(\Omega_m\Delta_m + \Omega_q\Delta_q) \\ \Phi' + \mathcal{H}\Phi &= -\frac{3}{2}[\Omega_m V_m + (1 + w_q)\Omega_q V_q]\end{aligned}$$

が導かれる。ここで

$$\Delta \equiv \delta - 3(1 + w)\mathcal{H}V, \quad u^\mu = a^{-1}(1 - \Phi, \partial^i V)$$

である。

また、物質とクインテッセンスのエネルギー運動量の保存則より、

$$\Delta'_m - \frac{9}{2}\mathcal{H}^2\Omega_q(1 + w_q)(V_m - V_q) = -\nabla^2 V_m$$

$$V'_m + \mathcal{H}V_m = -\Phi$$

$$\Delta'_q - 3w_q\mathcal{H}\Delta_q - \frac{9}{2}\mathcal{H}^2\Omega_q(1 + w_q)(V_q - V_m) = -(1 + w_q)\nabla^2 V_m$$

$$V'_q + \mathcal{H}V_q = -\frac{c_{sq}^2}{1 + w_q}\Delta_q - \Phi$$

が導かれる。

2. 大きいスケールでのパワースペクトラム

初期の時間を $a_d = (1 + z_d)^{-1} = 10^{-3}$ で定義する。

初期のインフレーションのポテンシャルと繋がるように Φ 定義すると

$$\Phi(k, z) = (1 + z)D_\Phi(k, z)\Phi_d(k)$$

$$\Phi_d(k) = \frac{9}{10}\Phi_p(k)T(k)$$

$$\Phi_p(k) = A \frac{\Omega_{m0}}{D_\Phi(k, 0)} \left(\frac{k}{H_0} \right)^{\frac{(n-4)}{2}}$$

で与えられ、パワースペクトラムは以下のようになる。

$$P_m(k, z) = \frac{9A^2}{50\pi^3 H_0^n} k^n T^2(k) \left[\frac{D_m(k, z)}{D_\Phi(k, 0)} \right]^2$$

この Λ CDM と Q CDM の $z = 0$ の場合の変化を図 1 に示す。この Λ CDM と Q CDM の赤方偏移での変化を図 2 に示す。

3. 観測された角度パワースペクトル

銀河の密度は直接、観測することができないので、一定の時間に区切って観測される。なので、観測されたデータを用いる場合はパワースペクトラムより、赤

方偏移依存する角度パワースペクトラム $C_l(z)$ を用いたほうが良い。 Δ を球面調和関数に拡張すると

$$\Delta_g^{obs}(n, z) = \sum_{lm} a_{lm}(z) Y_{lm}(n)$$

となり、以下のように角度パワースペクトラムが得られる。

$$C_l(z) = \langle |a_{lm}(z)|^2 \rangle$$

$$a_{lm}(z) = \int d^2n Y_{lm}^*(n) \Delta_g^{obs}(n, z).$$

よって導かれた角度パワースペクトラムの Λ CDM と Q CDM の赤方偏移での変化を図 3 に示す。

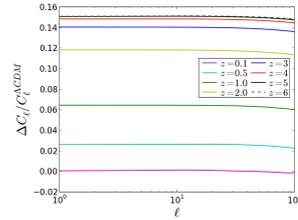


図 3:

3 結論、結果

理論的に計算した場合 $z = 0$ のとき小さいスケールでは一致しているが、大きいスケールでは少しずれている。赤方偏移 z を変化させた場合、大きいスケールで z が低くなるにつれて Q CDM のパワースペクトラムが下がっている。しかし、観測のほうではこのパワースペクトラムの低下が見られなかった。

4 図

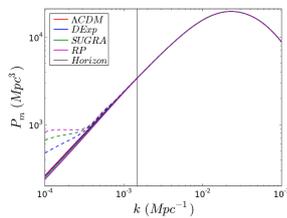


図 1:

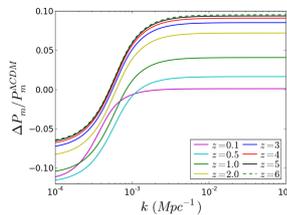


図 2:

5 参考文献

Dark energy theory and obserbation((Lusa Amendola and Shinji Tsujikawa. 2010))

Physical foundations of cosmology((v.Mukhanov. 2005))

Reference

D.Duniya et al, arxiv:1305.4509v1