

Dark energy function in modified gravity and supergravity

首都大学東京 渡邊 夏輝

E-mail: watanabe-natsuki1@tmu.ac.jp

本発表では $f(R)$ 重力理論を用いたダークエネルギーモデルである Appleby-Battye モデルに焦点を当て、その近似モデルを示す。また超対称性の自発的破れのモデルも提案する。

本発表は首都大学東京の Sergei V. Ketov 氏との共同研究に基づくものである。

宇宙初期のインフレーションや現在の宇宙におけるダークエネルギーを、宇宙の幾何そのものを修正して説明しようとする理論体系を総称して修正重力理論と呼ぶ。その中でも特に $f(R)$ 重力理論という理論が多く研究者に注目され、盛んに研究が行われている。 $f(R)$ 重力理論は Einstein-Hilbert 作用におけるスカラー曲率 R の 1 次の項を、 R の任意関数 $f(R)$ で置き換えたものとして定義される：

$$S_{\text{E.H.}} = -\frac{1}{2} \int d^4x \sqrt{-g} R \quad \rightarrow \quad S_f = \int d^4x \sqrt{-g} f(R) \quad (1)$$

ただし $c = \hbar = M_{\text{Pl}} = 1$ の単位系を用い、 $\eta^{\mu\nu} = \text{diag}(1, -1, -1, -1)$ としている。Einstein 重力は $f(R) = -1/2R$ に対応し、この時 $f'(R) = \text{const.}$ となる。しかし一般の $f(R)$ 重力理論では $f'(R) \neq \text{const.}$ となるため新たな自由度が生まれ、その自由度はスカラロンと呼ばれる。また $f(R)$ 重力理論はスカラー・テンソル重力理論と等価であることが知られていて、この等価性を利用することで対応するスカラーポテンシャルを求めることができる。近年では $f(R)$ 重力理論の超重重力理論への拡張も提唱されていて、それは $F(\mathcal{R})$ 超重重力理論と呼ばれている [1]。この $F(\mathcal{R})$ 超重重力理論においても、 $f(R)$ 重力理論とスカラー・テンソル重力理論の間の等価性と同様の関係があり、これを利用することでスカラーポテンシャルを導出できる。

今回我々は、 $f(R)$ 重力理論を用いたダークエネルギーモデルとして知られている Appleby-Battye (AB) モデル [2] に注目した。このモデルは以下のような $f(R)$ 関数で表される

$$f_{\text{AB}}(R) = -\frac{1}{2}R + \frac{1}{2a} \ln [\cosh(aR) + \tanh(b) \sinh(aR)] \quad (2)$$

a 及び b は正のパラメータである。この $f(R)$ 関数から導かれるスカラーポテンシャルは

$$V_{\text{AB}}(y) = V_0 e^{2y} [\ln(1 - e^{-y}) - e^{-y} \ln(e^y - 1) + 2be^{-y} + C] \quad (3)$$

となる。 V_0 及び C は定数で、それぞれ $V_0 = 1/(2a)$, $C = \ln(e^b + e^{-b}) - b$ である。また $f'(\phi) = -e^{-y}$ により変数 y を導入している。

AB モデルは理論的な制限にコンシステントなモデルであるが、*ad hoc* モデルであるため物理的な意味に乏しい。そこで、我々はより物理的なポテンシャルによる近似を試みた。用いたのは Higgs タイプの Uplifted-Double-Well (UDW) スカラーポテンシャル

$$v_{\text{UDW}}(y) = \frac{1}{4} [(y - y_0)^2 - v^2]^2 + \frac{\mu^2}{2} [(y - y_0) - v]^2 \quad (4)$$

で、ABポテンシャルの係数を除いた部分 $v_{AB} = V_{AB}/V_0$ に対する近似を考えた。 v_{UDW} は y_0, v, μ という3つの実数パラメータを持っている。これに対してABポテンシャルは a 及び b という2つのパラメータを持っているが、パラメータ a は係数 V_0 にしか現れない。従って v_{UDW} の3つのパラメータは b だけで表すことができる。ABポテンシャル及びUDWポテンシャルは、どちらも2つの極小値と1つの極大値を持つ。我々が行った近似は、両ポテンシャルの2つの極小値をフィットさせるというものである。これらの極小値は真空に対応しており、また極大値は2つの真空を分けるポテンシャル障壁となる。また観測によりパラメータ b は大きな値が要求される ($b \geq 30$) ため、 b が大きいという条件も用いた。その結果、 v_{UDW} の各パラメータは以下のように計算された

$$y_0 = b - \frac{1}{2}b^{-2}, \quad v = b + \frac{1}{2}b^{-2}, \quad \mu^2 = b^{-1} - \frac{1}{2}b^{-4}. \quad (5)$$

これらの値を用いた近似の結果を fig.1 に示す。

2つの極小値に注目した際、 $v = 0$ が Minkowski 真空に、 $v > 0$ が de Sitter 真空にそれぞれ対応しており、後者は加速膨張宇宙を表す。また両真空を分けるポテンシャル障壁は $e^{2(b-1)}$ 程度の高さを持っており、このことから加速膨張宇宙の寿命は十分長いことがうかがえる。

v_{UDW} は $F(\mathcal{R})$ 超重力理論を用いることで超対称性の自発的破れのモデルに拡張することができる。この場合、カイラルスカラー超場はグラビティメディエーションのメッセンジャーとなる。

より詳しくは論文 [3] を参照されたい。

References

- [1] S. J. Gates, Jr. and S. V. Ketov, Phys. Lett. B **674** (2009) 59 [arXiv:0901.2467 [hep-th]].
- [2] S. A. Appleby and R. A. Battye, Phys. Lett. B **654** (2007) 7 [arXiv:0705.3199 [astro-ph]].
- [3] S. V. Ketov and N. Watanabe, arXiv:1206.0416 [hep-th].

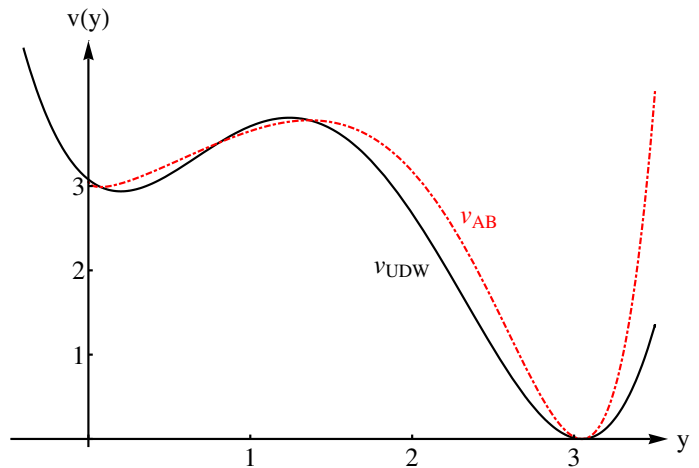


Figure 1: UDWポテンシャルによる近似