

Analysis of inflationary models in higher-dimensional uniform inflation

廣瀬拓哉 (九州産業大学) JHEP 04 (2025) 077 [hep-th/2501.13581]

Introduction and Motivation

インフレーションは、ビッグバン理論の問題を解決！
CMB観測により、 n_s, r に制限がかかる

- Slow-roll parameters (スローロールインフレーションの平坦具合)

$$\epsilon_V = \frac{M_{pl}^2}{2} \left(\frac{V_\phi}{V} \right)^2, \quad \eta_V = M_{pl}^2 \frac{V_{\phi\phi}}{V}$$

- Spectral index (スカラー摂動の2点相関関数のパワースペクトル)

$$n_s = 1 - 6\epsilon_V + 2\eta_V, \quad n_s^{\text{Planck}} = 0.9649 \pm 0.0042$$

- Tensor-scalar ratio (テンソル、スカラー摂動のパワースペクトルの比)

$$r = \frac{\mathcal{P}_h}{\mathcal{P}_R} = 16\epsilon_V, \quad r^{\text{Planck}} < 0.10$$

ある理論が余剰次元を持つなら、
インフレーション期にその余剰次元も
膨張するのでは？



Higher-Dimensional Uniform Inflation !!

[L. A. Anchordoqui, I. Antoniadis (2023)]
[I. Antoniadis, J. Cunat, A. Guillen (2023)]

HDUIと略記

Higher-dimensional uniform inflation

余剰次元空間を持つFRW計量を考える

$$ds^2 = -dt^2 + a(t)^2 d\vec{x}_3^2 + b(t)^2 dy^2$$

$a(t)$: 3次元空間のスケール因子

$b(t)$: 余剰次元空間のスケール因子

3次元空間と余剰次元空間の膨張率が同じだったら

$$H = \frac{\dot{a}}{a} = \frac{\dot{b}}{b}$$



HDUIの考え方

HDUIへ拡張した場合の予想

- 余剰次元空間も膨張することで、 n_s, r の公式が変化
- HDUIは、CMB観測の制限によって棄却される可能性あり

原論文のモチベ: 暗黒次元仮説(Dark Dimension)
Ads distance conjectureをもとに、1つの余剰次元が
 $R \sim 0.1 \mu\text{m} - 10 \mu\text{m}$
であると予言する仮説。

※現在の余剰次元の上限は下表を参照。

Dimension D	1	2	3	4	5	6
torsion balance [μm]	30	23	22	22	19	17
neutron star (excess heat) [μm]	8.3×10^6	5.9×10^{-2}	1.3×10^{-4}	5.9×10^{-6}	9.4×10^{-7}	2.8×10^{-7}
neutron star (γ sources) [μm]	3.9×10^2	3.8×10^{-4}	4.2×10^{-6}	4.7×10^{-7}	1.3×10^{-7}	5.4×10^{-8}
LHC [μm]	5.3×10^{14}	3.8	9.9×10^{-5}	5.0×10^{-7}	2.1×10^{-8}	2.4×10^{-9}

表 余剰次元の数と長さの上限

赤字: 一番厳しい制限
青字: 2025年4月に変更された制限

Set up and Method

セットアップ

- 余剰次元空間は $S^1 \times S^1 \times \dots \times S^1$ 、余剰次元の数は D 、
余剰次元の半径は全て b_0
- 3次元空間と余剰次元空間の膨張率は同じ

計算の流れ

- アインシュタイン方程式から計量の摂動量が従う
運動方程式を導出
- 方程式の解を求め、パワースペクトルの定義に代入
- n_s, r を読み取る

Results

- Slow-roll parameters (スローロールインフレーションの平坦具合)

$$\epsilon_V = \frac{D+2}{4} M_{pl}^2 \left(\frac{V_\phi}{V} \right)^2, \quad \eta_V = \frac{D+2}{2} M_{pl}^2 \frac{V_{\phi\phi}}{V}$$

- Spectral index (スカラー摂動の2点相関関数のパワースペクトル)

$$n_s = 1 - (D+6)\epsilon_V + 2\eta_V - D \quad (b_0 k \ll 1)$$

$$n_s = 1 - (D+6)\epsilon_V + 2\eta_V \quad (b_0 k \gg 1)$$

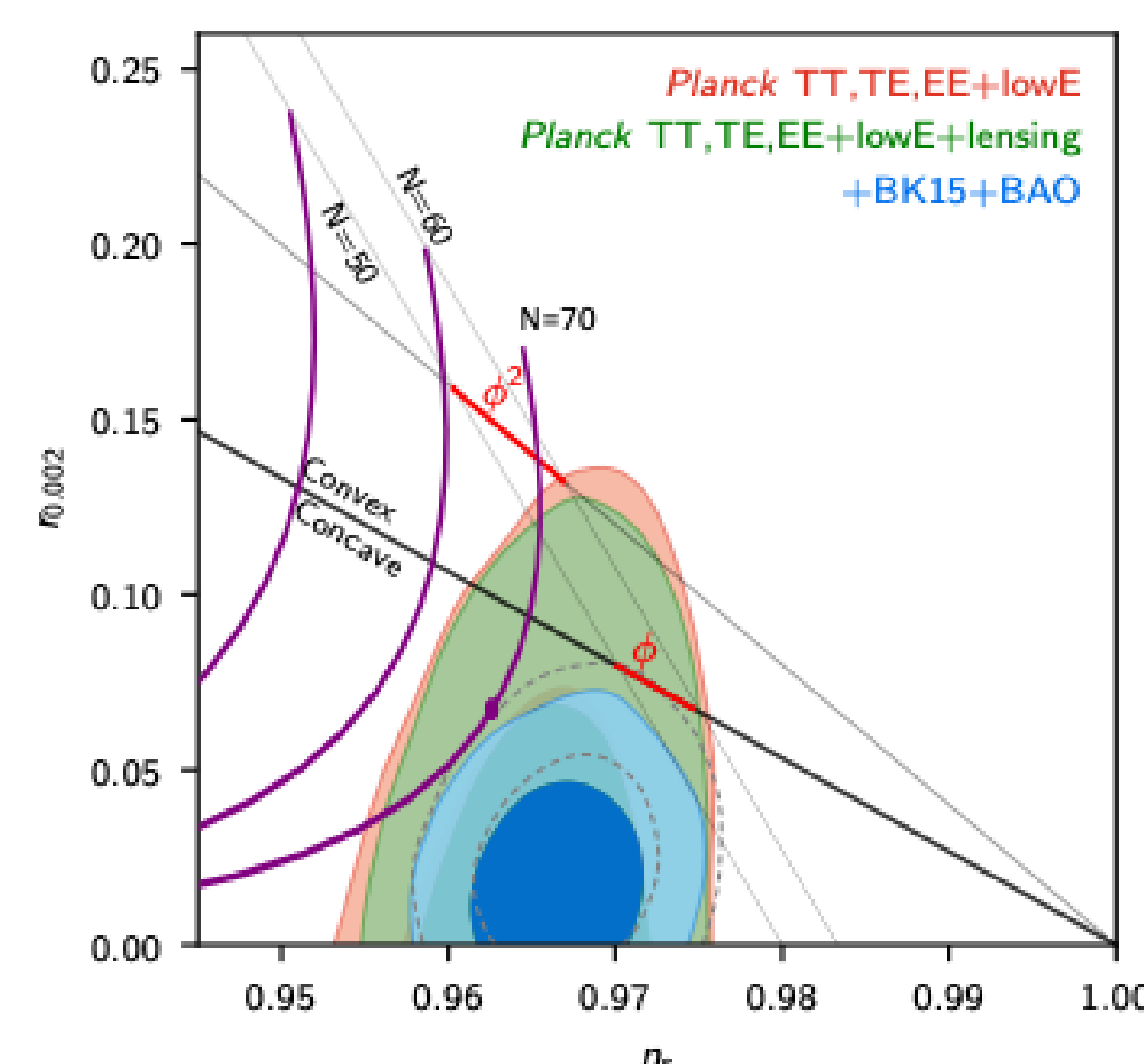
- Tensor-scalar ratio (テンソル、スカラー摂動のパワースペクトルの比)

$$r = 8(D+2)\epsilon_V$$

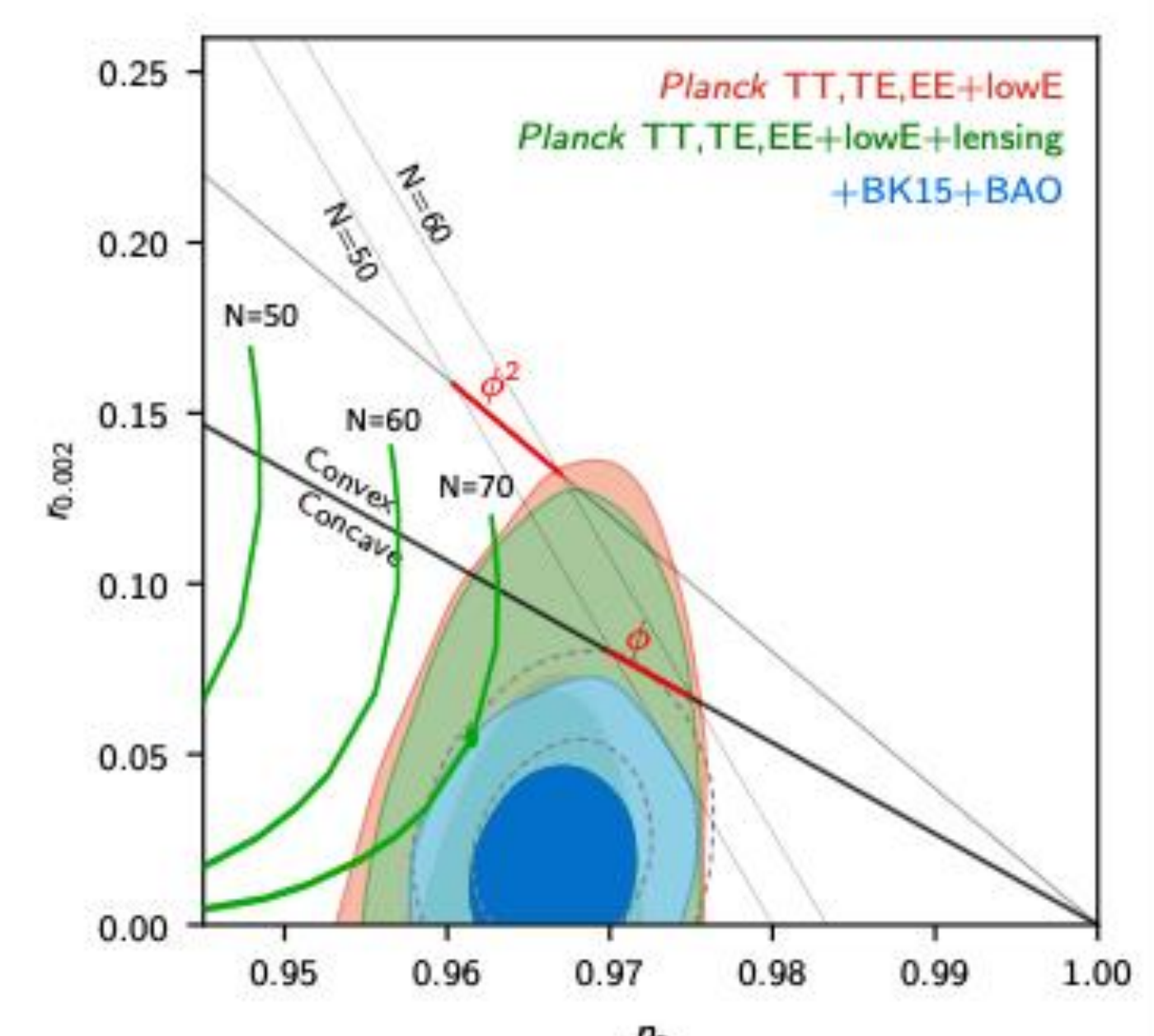
※e-folds、スカラー振幅も論文では言及している

Examples

よく知られているインフレーションモデルを再解析



Natural inflation with $D = 1$



Quartic hilltop inflation with $D = 1$

R^2 inflationの場合、膨張する余剰次元があると
Planckの結果より排除される！

Summary and Future Work

- HDUIはCMBの観測から好まれない
- 1次元だけなら許される \rightarrow 暗黒次元と関連？
- Radion stabilization問題