

# Multi-field open inflationにおけるtunneling

京都大学 基礎物理学研究所 M2

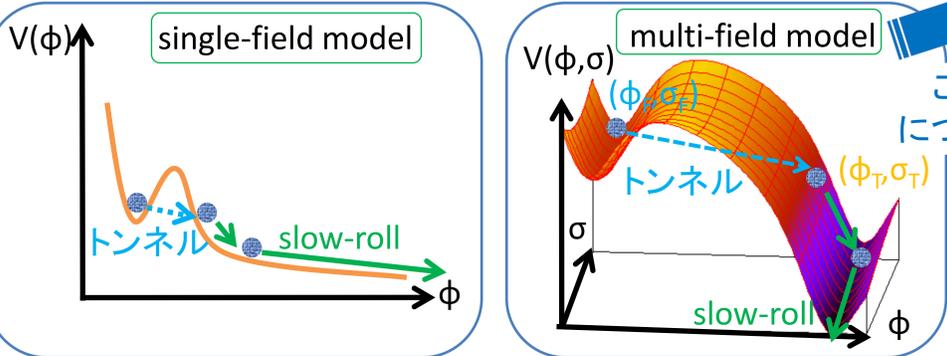
杉村 和幸 共同研究者: 山内大介 佐々木節

## 1. Open Inflation (レビュー)

slow-roll inflationの初期条件は？

### Open Inflation

スカラー場が量子トンネル効果  
極小点にトラップ → slow-rollを始める



トンネル後の宇宙は開いた宇宙になることが示せる

open inflation=トンネルから始まるインフレーション

観測的に宇宙はopenな時代があった(WMAP以前)  
現在の観測によると宇宙はほぼflat

(トンネル後のinflationが十分長ければ問題はないが)

現在の観測からは特にモチベーションはなさそう

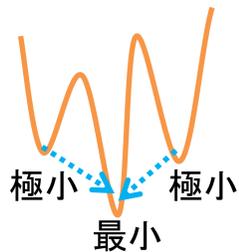
スカラー場のトンネルは起こる？

### String Landscape

- 多数のポテンシャル極小点
- 複数スカラー場



string理論より示唆!!



open inflationは理論的なモチベーションあり!!

スカラー場のトンネルをどう記述？

### Instanton

instantonの方法=量子トンネル効果の解法 (≠inflaton)

スカラー場+重力の系

$$S = \int \sqrt{-g} d^4x \left[ \frac{1}{2\kappa} R - \frac{1}{2} g^{\mu\nu} \partial_\mu \phi \partial_\nu \phi - V(\phi) \right]$$

O(4)symmetryを持つ解が作用最小を与えると予想

$$ds^2 = d\tau_E^2 + a_E^2(\tau_E)(d\chi_E^2 + \sin^2 \chi_E d\Omega^2) \quad \phi(x) = \phi(\tau_E)$$

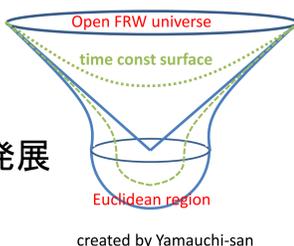
Euclidean action → 変分 → EoM → bounce解

解析接続

トンネル後の計量の時間発展

$$ds^2 = -dt^2 + a^2(t)(dr^2 + \sinh^2(r)d\Omega^2)$$

open Friedman-Robertson-Walker 計量!!



## 2. Multi-field Interaction

multi-fieldの相互作用の影響は？

### Motivation

先行研究

- トンネルにslow-roll field  $\sigma$ の影響はないと仮定
- tunneling field  $\phi$ のみでトンネルを記述
- slow-roll field  $\sigma$ のゆらぎを別に解析

本研究

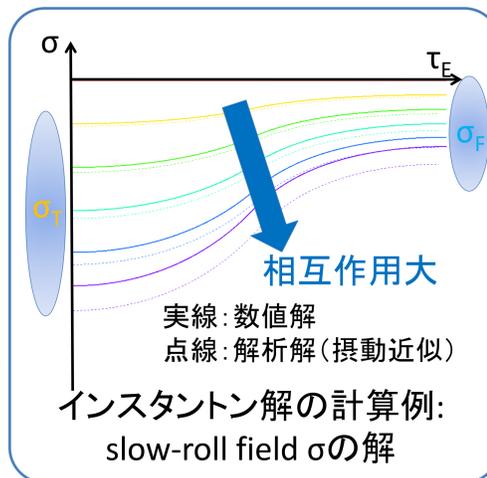
- トンネルに対するslow-roll field  $\sigma$ の影響を非線形効果まで含めて数値的手法で調べる

- インスタントン解(Coleman-De Luccia instanton)の存在はポテンシャルに依存
- 相互作用の考慮の有無が、解の存在を左右する可能性がある

slow-roll field  $\sigma$ の影響を調べることは重要!!

### Result

- 相互作用を考慮したインスタントン解を数値的に求める方法を開発
- slow-roll field  $\sigma$ の影響が摂動的な場合は先行研究で問題なし
- あるポテンシャル(偽真空でのslow-roll field  $\sigma$ のmass  $\ll$  相互作用)では、相互作用で解が消失!?(研究中)



### Future work

- 相互作用によるインスタントン解の消失に対する物理的考察
- open inflationから生じるゆらぎの非ガウス性の計算  
初期条件が通常のslow-roll inflationモデルと異なるため特徴的な形の非ガウス性が生じる可能性あり  
(PLANCKで検証可能)

観測的モチベーションが生じるかも!?

(参考) スカラー場のみの系のトンネリング

bubble生成

$$\text{Action} \quad S[\phi] = \int \left( \frac{1}{2} (\partial_\mu \phi)^2 - V(\phi) \right) d^4x$$

$$\text{Euclidean action} \quad S_E[\phi] = \int \left( \frac{1}{2} (\partial_\mu \phi)^2 + V(\phi) \right) d^4x_E$$

作用最小を与える  $\bar{\phi}(x, t_E) = \bar{\phi}(r = \sqrt{x^2 + t_E^2})$  を求める  
(O(4) symmetryを持つ(証明あり))

拡張

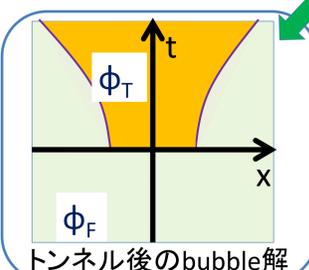
$$\text{Euclidean EoM} \quad \frac{d^2 \bar{\phi}}{dr^2} + \frac{3}{r} \frac{d\bar{\phi}}{dr} = -\frac{dV(\bar{\phi})}{d\bar{\phi}}$$

体積Vあたりのトンネルrate

$$\Gamma/V \propto \exp(-S_E[\bar{\phi}])$$

t=0でt=i t\_Eに解析接続

Euclidean EoMの解  $\bar{\phi}(t_E)$



トンネル後の時間発展

$$\phi(x, t) = \bar{\phi}(r = \sqrt{x^2 - t^2})$$

EoM, bubbleの初期条件満たす

EoM

$$\frac{d^2 \phi}{dr^2} + \frac{3}{r} \frac{d\phi}{dr} = -\frac{dV(\phi)}{d\phi}$$

bubbleの初期条件

$$\phi(x, t=0) = \bar{\phi}(r = \sqrt{x^2})$$
$$\frac{d\phi}{dt}(x, t=0) = 0$$