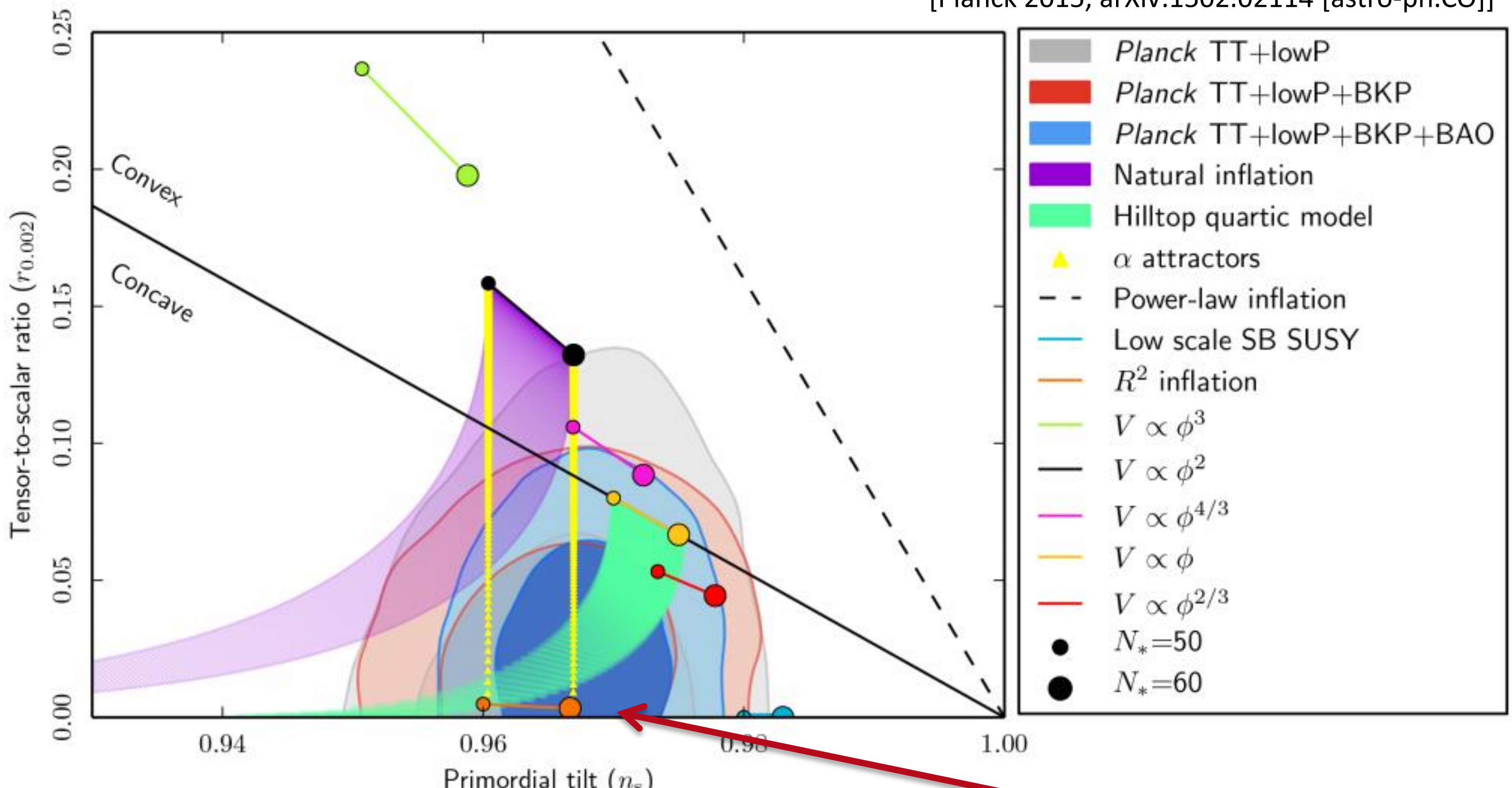
Effective potential does not depend on frame but on prescription

大阪大学 素粒子論研究室
中西 由香理

共同研究者：尾田欣也 氏、川合光 氏、濱田雄太 氏

観測はシンプルな模型を支持

[Planck 2015, arXiv:1502.02114 [astro-ph.CO]]



Higgs inflation

[Bezrukov, Shaposhnikov (2008)]

Higgs inflation

Jordan frame

$$S = \int d^4x \sqrt{-g} \left[\frac{M_{\rm P}^2}{2} \left(1 + \xi \frac{\varphi^2}{M_{\rm P}^2} \right) \mathcal{R} - \frac{1}{2} g^{\mu\nu} \partial_\mu \varphi \, \partial_\nu \varphi - \frac{\lambda}{4} \varphi^4 + y \varphi \overline{\psi} \psi \cdots \right]$$

non-minimal coupling

[Bezrukov, Shaposhnikov (2008)]

Higgs inflation

Jordan frame

$$S = \int d^4x \sqrt{-g} \left[\frac{M_{\rm P}^2}{2} \left(1 + \xi \frac{\varphi^2}{M_{\rm P}^2} \right) \mathcal{R} - \frac{1}{2} g^{\mu\nu} \, \partial_\mu \varphi \, \partial_\nu \varphi - \frac{\lambda}{4} \varphi^4 + y \varphi \overline{\psi} \psi \cdots \right]$$

non-minimal coupling

$$g^{\rm E}_{\mu\nu} = \left(1 + \xi \frac{\varphi^2}{M_{\rm P}^2} \right) g_{\mu\nu}$$

[Bezrukov, Shaposhnikov (2008)]

Higgs inflation

Jordan frame

$$S = \int d^4x \sqrt{-g}\left[\frac{M_{\rm P}^2}{2}\left(1 + \xi\frac{\varphi^2}{M_{\rm P}^2}\right)\mathcal{R} - \frac{1}{2}g^{\mu\nu}\,\partial_\mu\varphi\,\partial_\nu\varphi - \frac{\lambda}{4}\varphi^4 + y\varphi\overline{\psi}\psi\cdots\right]$$

non-minimal coupling

$$g^{\rm E}_{\mu\nu} = \left(1 + \xi\frac{\varphi^2}{M_{\rm P}^2}\right)g_{\mu\nu}$$

Einstein frame

non-canonical

$$S = \int d^4x\sqrt{-g_{\rm E}}\left[\underline{\frac{M_{\rm P}^2}{2}\mathcal{R}_{\rm E}} - \frac{1}{2}(\cdots)\,g_{\rm E}^{\mu\nu}\,\partial_\mu\varphi\,\partial_\nu\varphi\right.$$

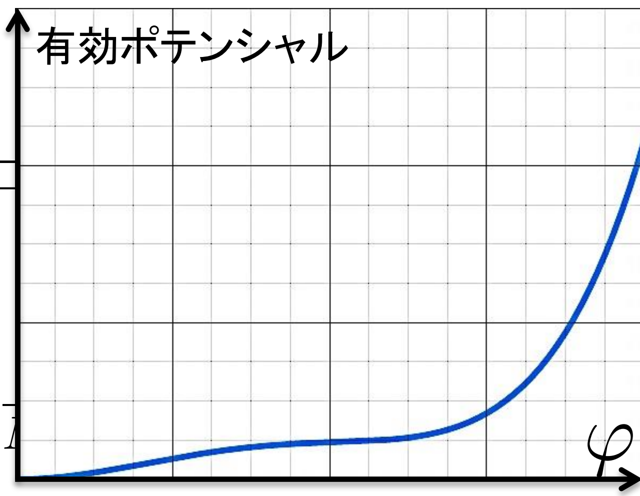
$$\left. - \frac{\lambda}{4}\frac{\varphi^4}{(1+\xi\varphi^2/M_{\rm P}^2)^2} + \frac{y\varphi\overline{\psi}\psi}{(1+\xi\varphi^2/M_{\rm P}^2)^2}\cdots\right]$$

[Bezrukov, Shaposhnikov (2008)]

Higgs inflation

Jordan frame

$$S = \int d^4x\sqrt{-\ \cdots \ {}^{\mu\nu}\,\partial_\mu\varphi\,\partial_\nu\varphi - \frac{\lambda}{4}\varphi^4 + y\varphi\bar{\psi}\psi\cdots\Big]$$



$$g^{\mathrm{E}}_{\mu\nu} = \Big(1 + \xi \cdots$$

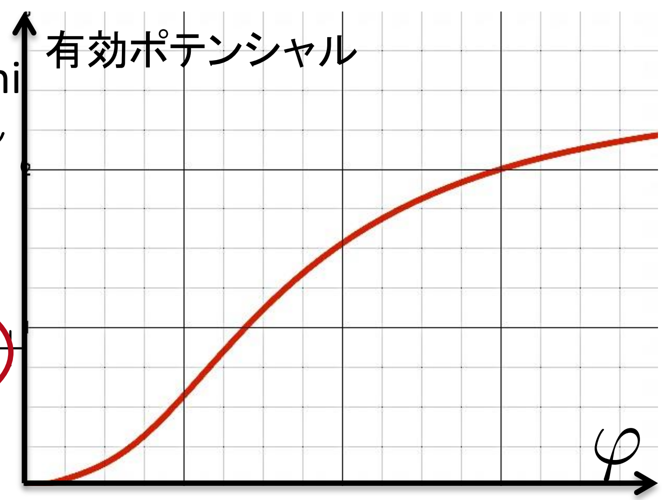
n-minimal coupling

Einstein frame

non-canoni

$$S = \int d^4x\sqrt{-g_{\mathrm{E}}}\left[\frac{M_{\mathrm{P}}^2}{2}\mathcal{R}_{\mathrm{E}} - \frac{1}{2}(\cdots)\,g_{\mathrm{E}}^{\mu\nu} \cdots\right.$$

$$- \frac{\lambda}{4}\frac{\varphi^4}{(1+\xi\varphi^2/M_{\mathrm{P}}^2)^2}$$



処方箋 (Prescription)

1-loop 補正が最小化されるスケールの取り方

J

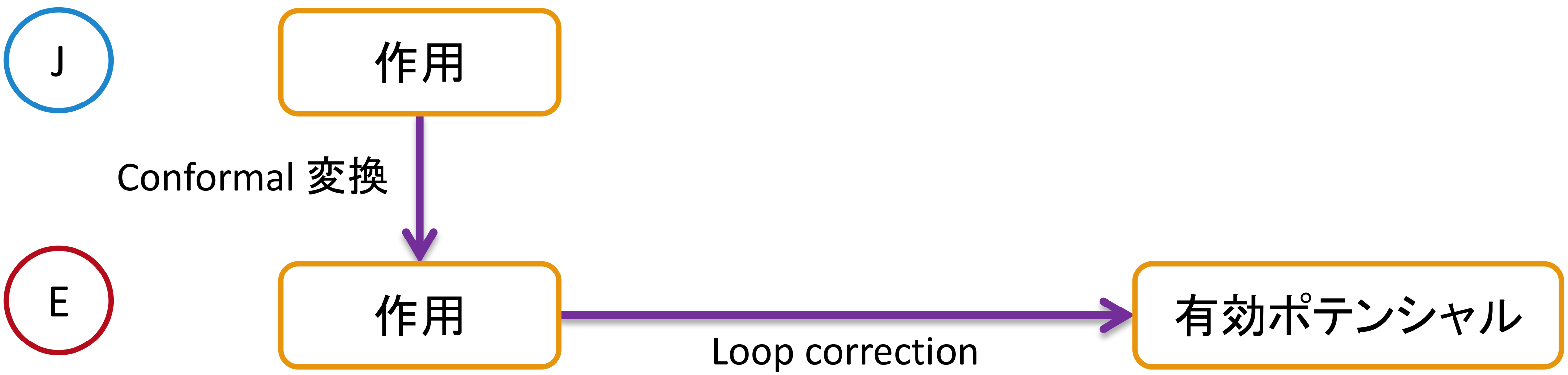
作用

E

有効ポテンシャル

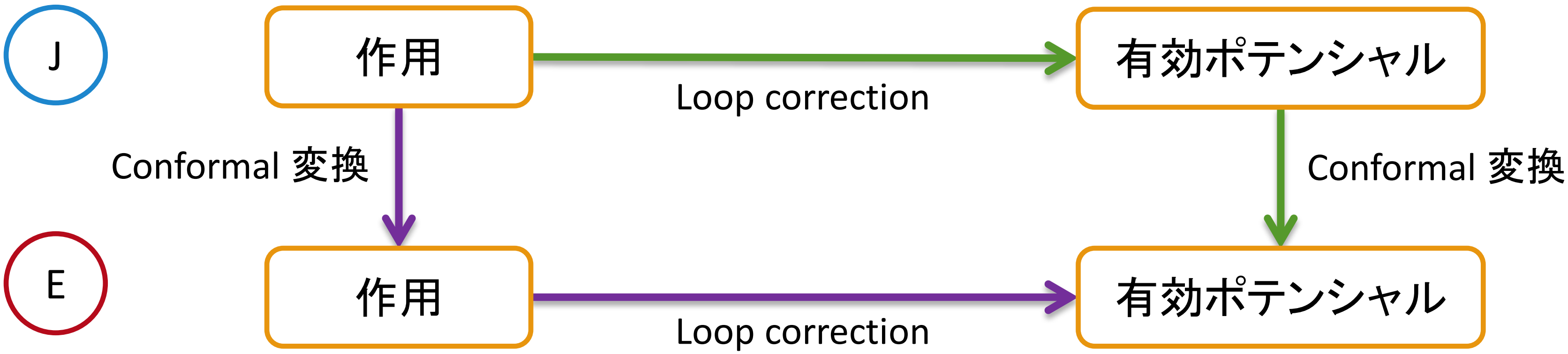
処方箋 (Prescription)

1-loop 補正が最小化されるスケールの取り方



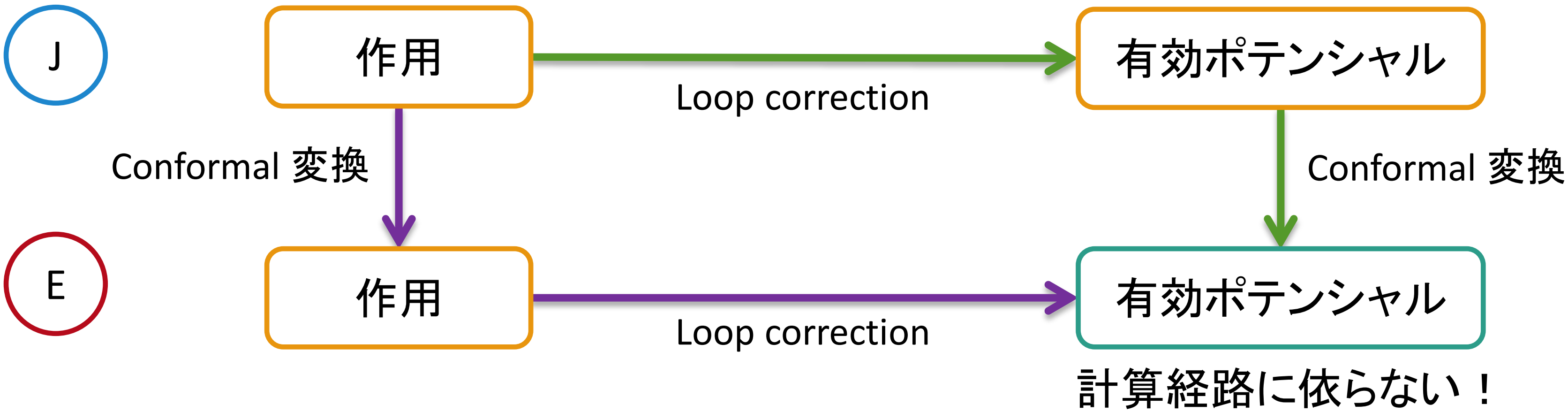
処方箋 (Prescription)

1-loop 補正が最小化されるスケールの取り方



処方箋 (Prescription)

1-loop 補正が最小化されるスケールの取り方



処方箋 (Prescription)

1-loop 補正が最小化されるスケールの取り方

$$\begin{tikzcd} \text{J} & \text{作用} \arrow[rr, "\text{Loop correction}"'] \arrow[d, "\text{Conformal 変換}"'] & & \text{有効ポテンシャル} \arrow[d, "\text{Conformal 変換}"] \\ \text{E} & \text{作用} \arrow[rr, "\text{Loop correction}"'] & & \text{有効ポテンシャル} \end{tikzcd}$$

計算経路に依らない！

Prescription I $\quad \mu \sim \dfrac{\varphi}{\sqrt{1+\xi\frac{\varphi^2}{M_{\mathrm{P}}^2}}}$

Prescription II $\quad \mu \sim \varphi$

処方箋で物理に違い

↓

どっちが正しい？

目次

- イントロダクション
- 処方箋は理論を決めている！
- 処方箋は計算経路に依らない！
- Bare coupling の奇妙な関係
- まとめ

目次

処方箋を決めるために必要なこと

そもそも処方箋とは何ぞや

1-loop 有効ポテンシャルは μ にも計算経路にも依らない

処方箋を決めるために必要なこと

そもそも処方箋とは何ぞや

1-loop 有効ポテンシャルは μ にも計算経路にも依らない

計算経路から処方箋は決められないのでは？

処方箋を決めるために必要なこと

そもそも処方箋とは何ぞや

1-loop 有効ポテンシャルは μ にも計算経路にも依らない

計算経路から処方箋は決められないのでは？

running をきちんと見るために

- 理論をいずれかのフレームで定義する
（場に依らないカットオフを置く）

- くりこみ条件を置く

この2つで
処方箋が決まる

結合定数への要請

$$F_{\mathcal{R}}(\varphi) = 1 + \xi \frac{\varphi^2}{M_{\mathrm{P}}^2}$$

理論を定義

J

$$\lambda_{\mathrm{J}}^{\mathrm{II}}(\mu_{\mathrm{J}}, \varphi) = \lambda_{\mathrm{UV}}^{\mathrm{II}}(\varphi) - \frac{N}{4\pi^2} y^4 \ln \frac{\mu_{\mathrm{J}}^2}{\underline{\Lambda_{\mathrm{J}}^2}}$$

※両者の定義はF_R^2だけずれている

E

$$\lambda_{\mathrm{E}}^{\mathrm{I}}(\mu_{\mathrm{E}}, \varphi) = \lambda_{\mathrm{UV}}^{\mathrm{I}}(\varphi) - \frac{N}{4\pi^2} \left(\frac{y}{\sqrt{F_{\mathcal{R}}(\varphi)}} \right)^4 \ln \frac{\mu_{\mathrm{E}}^2}{\underline{\Lambda_{\mathrm{E}}^2}}$$

くりこみ条件

$$\lambda(E_{\mathrm{R}}, \varphi)\big|_{(\varphi/M_P)=0} = \lambda_{\mathrm{R}}$$

Bare coupling

$$\lambda_{\mathrm{UV}}(\varphi)\big|_{(\varphi/M_P)=0} = \lambda_{\mathrm{B}}$$

結合定数への要請

$$F_{\mathcal{R}}(\varphi) = 1 + \xi \frac{\varphi^2}{M_{\mathrm{P}}^2}$$

理論を定義

J
$$\lambda_{\mathrm{J}}^{\mathrm{II}}(\mu_{\mathrm{J}}, \varphi) = \lambda_{\mathrm{UV}}^{\mathrm{II}}(\varphi) - \frac{N}{4\pi^2} y^4 \ln \frac{\mu_{\mathrm{J}}^2}{\underline{\Lambda_{\mathrm{J}}^2}}$$

※両者の定義はF_R^2だけずれている

E
$$\lambda_{\mathrm{E}}^{\mathrm{I}}(\mu_{\mathrm{E}}, \varphi) = \lambda_{\mathrm{UV}}^{\mathrm{I}}(\varphi) - \frac{N}{4\pi^2} \left(\frac{y}{\sqrt{F_{\mathcal{R}}(\varphi)}} \right)^4 \ln \frac{\mu_{\mathrm{E}}^2}{\underline{\Lambda_{\mathrm{E}}^2}}$$

くりこみ条件
$$\lambda(E_{\mathrm{R}}, \varphi)|_{(\varphi/M_P)=0} = \lambda_{\mathrm{R}}$$

Bare coupling
$$\lambda_{\mathrm{UV}}(\varphi)|_{(\varphi/M_P)=0} = \lambda_{\mathrm{B}}$$

定数

結合定数への要請

$$F_{\mathcal{R}}(\varphi) = 1 + \xi \frac{\varphi^2}{M_{\mathrm{P}}^2}$$

理論を定義

J

$$\lambda_{\mathrm{J}}^{\mathrm{II}}(\mu_{\mathrm{J}}, \varphi) = \lambda_{\mathrm{UV}}^{\mathrm{II}}(\varphi) - \frac{N}{4\pi^2} y^4 \ln \frac{\mu_{\mathrm{J}}^2}{\Lambda_{\mathrm{J}}^2}$$

※両者の定義はF_R^2だけずれている

E

$$\lambda_{\mathrm{E}}^{\mathrm{I}}(\mu_{\mathrm{E}}, \varphi) = \lambda_{\mathrm{UV}}^{\mathrm{I}}(\varphi) - \frac{N}{4\pi^2} \left(\frac{y}{\sqrt{F_{\mathcal{R}}(\varphi)}} \right)^4 \ln \frac{\mu_{\mathrm{E}}^2}{\Lambda_{\mathrm{E}}^2}$$

くりこみ条件

$$\lambda(E_{\mathrm{R}}, \varphi)\big|_{(\varphi/M_P)=0} = \lambda_{\mathrm{R}}$$

Bare coupling

$$\lambda_{\mathrm{UV}}(\varphi)\big|_{(\varphi/M_P)=0} = \lambda_{\mathrm{B}}$$

定数

λ_{UV} の φ 依存性と
場の値が大きいときのくりこみ条件が決まる

処方箋が意味すること

有効ポテンシャルに各関係式を戻す

Einstein frame

||

Prescription I

$$\mu \sim \frac{\varphi}{\sqrt{1+\xi\frac{\varphi^2}{M_{\mathrm{P}}^2}}}$$

Jordan frame

||

Prescription II

$$\mu \sim \varphi$$

処方箋が意味すること

有効ポテンシャルに各関係式を戻す

Einstein frame
||
Prescription I

$$\mu \sim \frac{\varphi}{\sqrt{1+\xi\frac{\varphi^2}{M_{\mathrm{P}}^2}}}$$

Jordan frame
||
Prescription II

$$\mu \sim \varphi$$

逆に言えば…

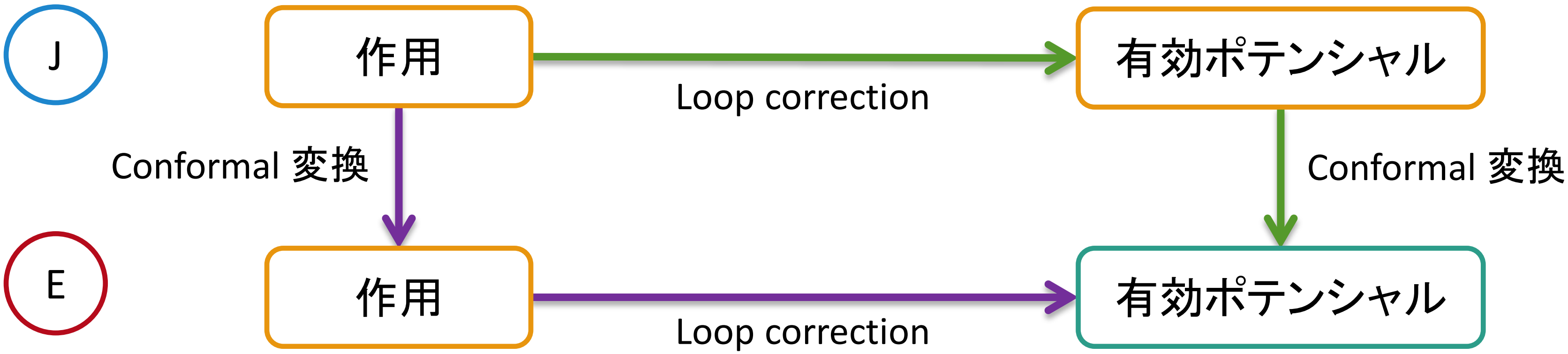
処方箋を選ぶ
||
理論が定義されているフレームを選ぶ

目次

- イントロダクション
- 処方箋は理論を決めている！
- 処方箋は計算経路に依らない！
- Bare coupling の奇妙な関係
- まとめ

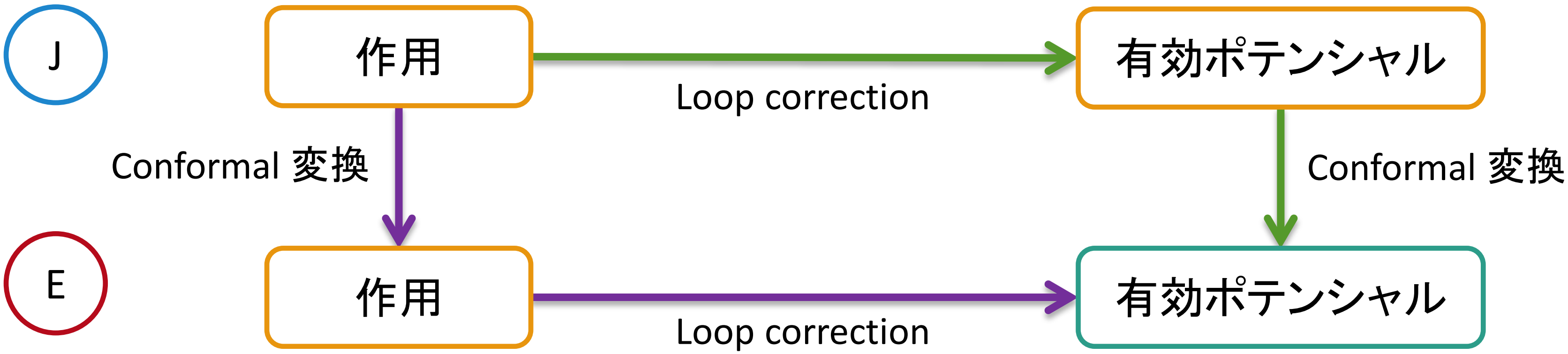
処方箋は計算経路に依らない！

有効ポテンシャルに各関係式を戻す



処方箋は計算経路に依らない！

有効ポテンシャルに各関係式を戻す



1-loop 補正がどちらのフレームで計算されていても
得られる処方箋は変わらない

- 紫ルートでも緑ルートでも良い
- どちらのフレームの量で書き表しても良い

目次

- イントロダクション
- 処方箋は理論を決めている！
- 処方箋は計算経路に依らない！
- Bare coupling の奇妙な関係
- まとめ

Bare coupling の奇妙な関係

λ$_{\mathrm{UV}}$ の Higgs 場への依存性

$$F_{\mathcal{R}}(\varphi) = 1 + \xi \frac{\varphi^2}{M_{\mathrm{P}}^2}$$

Prescription I

$$\lambda_{\mathrm{UV}}^{\mathrm{I}}(\varphi) = \frac{\lambda_{\mathrm{B}}^{\mathrm{I}}}{(F_{\mathcal{R}}(\varphi))^2}$$

Prescription II

$$\lambda_{\mathrm{UV}}^{\mathrm{II}}(\varphi) = \lambda_{\mathrm{B}}^{\mathrm{II}}$$

※両者の定義は$F_R{}^2$だけずれている

Bare coupling の奇妙な関係

λ$_{UV}$ の Higgs 場への依存性

$$F_{\mathcal{R}}(\varphi) = 1 + \xi \frac{\varphi^2}{M_{\mathrm{P}}^2}$$

Prescription I

$$\lambda_{\mathrm{UV}}^{\mathrm{I}}(\varphi) = \frac{\lambda_{\mathrm{B}}^{\mathrm{I}}}{(F_{\mathcal{R}}(\varphi))^2}$$

Prescription II

$$\lambda_{\mathrm{UV}}^{\mathrm{II}}(\varphi) = \lambda_{\mathrm{B}}^{\mathrm{II}}$$

※両者の定義は$F_R{}^2$だけずれている

Jordan フレームで定数

Bare coupling の奇妙な関係

λ$_{UV}$ の Higgs 場への依存性

$$F_{\mathcal{R}}(\varphi) = 1 + \xi \frac{\varphi^2}{M_{\mathrm{P}}^2}$$

Prescription I

$$\lambda_{\mathrm{UV}}^{\mathrm{I}}(\varphi) = \frac{\lambda_{\mathrm{B}}^{\mathrm{I}}}{(F_{\mathcal{R}}(\varphi))^2}$$

Prescription II

$$\lambda_{\mathrm{UV}}^{\mathrm{II}}(\varphi) = \lambda_{\mathrm{B}}^{\mathrm{II}}$$

※両者の定義は$F_R{}^2$だけずれている

Jordan フレームで定数

カットオフ＝Einstein フレームで定数
Bare coupling＝Jordan フレームで定数

まとめ

処方箋は理論を決めている

- カットオフ(とくりこみ条件)から処方箋が決まる
- 処方箋を決めると理論が決まる

処方箋は計算経路に依らない

- 有効ポテンシャルと処方箋は
  ループを計算するフレームには依らない

Bare couling の奇妙な関係

- Prescription I では、カットオフは Einstein、
  bare coupling は Jordan フレームで定義される

今後の展望

- もう少し一般的なモデルでちゃんとやる
  - 他の項にも Higgs の係数関数
  - Friedmann 方程式への効き方を具体的に

- 別の話題
  - 物理量のフレーム（representation）不変性
  - 断熱減算（定式化と応用）