

PRESENTATION

SU(N)-natural inflation

における原始重力波生成

Tomohiro Fujita
(Waseda IAS)

arXiv:2110.03228

with H. Nakatsuka, K. Murai (ICRR) & K. Mukaida (KEK)
in prep with K. Murai and R. Namba (RIKEN)

WIAS

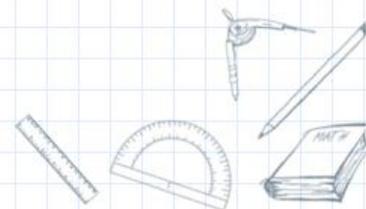
早稲田大学高等研究所
Waseda Institute for Advanced Study

22nd. Feb. 2021 @ 大阪市大



前半： 宇宙論の背景

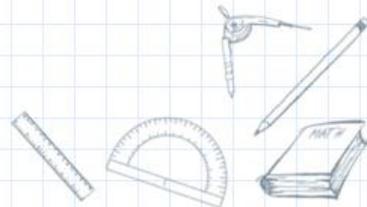
後半： 素粒子的な理論





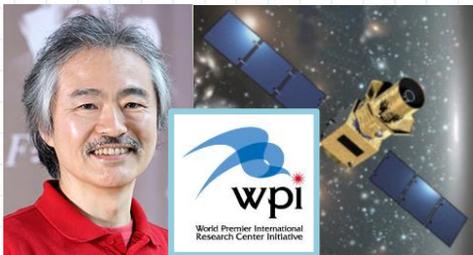
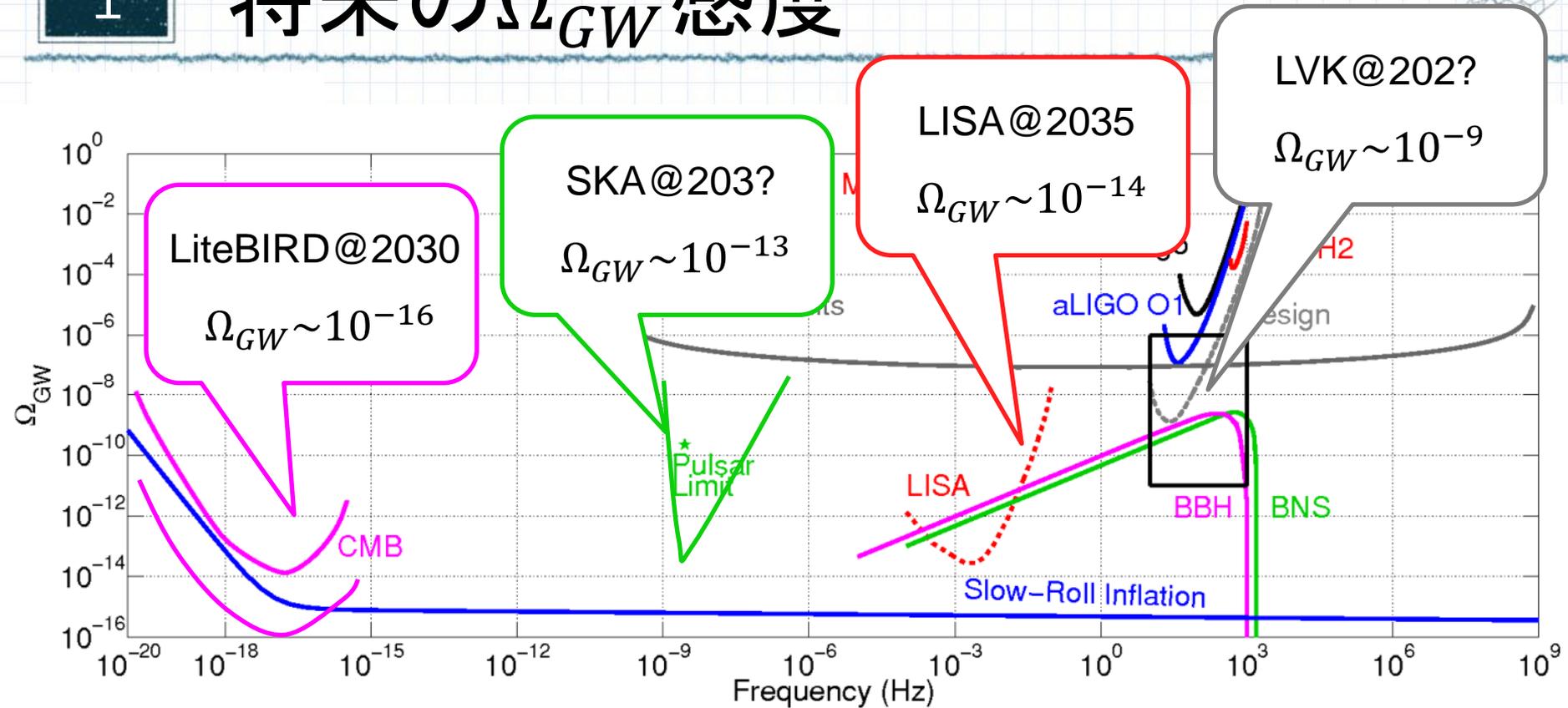
前半：宇宙論の背景

後半：素粒子的な理論



将来の Ω_{GW} 感度

[Abbot+(1612.02029)]



羽澄昌史(KEK)

LiteBIRD@JAXA

重力波で宇宙を見るとき
一番深く掘れるのは**CMB**スケール

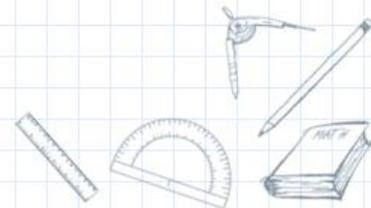


CMBの観測対象は

インフレーションの真空ゆらぎ重力波

振幅は計算済。 ρ_{inf} が直接測れる！

$$\mathcal{P}_h^{\text{vac}} = \frac{2H_{\text{inf}}^2}{\pi^2 M_{\text{Pl}}^2} \approx 2 \times 10^{-11} \left(\frac{\rho_{\text{inf}}^{1/4}}{10^{16} \text{GeV}} \right)^4$$





- CMBの観測対象は
インフレーションの真空ゆらぎ重力波

- 振幅は計算済。 ρ_{inf} が直接測れる！

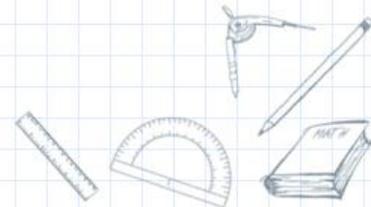
$$\mathcal{P}_h^{\text{vac}} = \frac{2H_{\text{inf}}^2}{\pi^2 M_{\text{Pl}}^2} \approx 2 \times 10^{-11} \left(\frac{\rho_{\text{inf}}^{1/4}}{10^{16} \text{GeV}} \right)^4$$



新機軸：インフレーション中に

- **物質場**のゆらぎから重力波生成

- 観測できれば高エネルギー領域の物質を**探査**できる！



どんな場が重力波を作る？

SVT Decomposition Theorem:

At the 1st order cosmological perturbation,
scalar, vector and tensor are decoupled.

高次摂動で
ないと重力波
生成はできな
い。。。

×ツリー: $\delta S, \delta V_i$ ~~Source~~ δT_{ij}

△ループ: $\partial_i \delta S \partial_j \delta S,$
 $\delta V_i \delta V_j$ Source δT_{ij}

SU(2)は例外

ベクトル場が背景値(VEV)を持つ

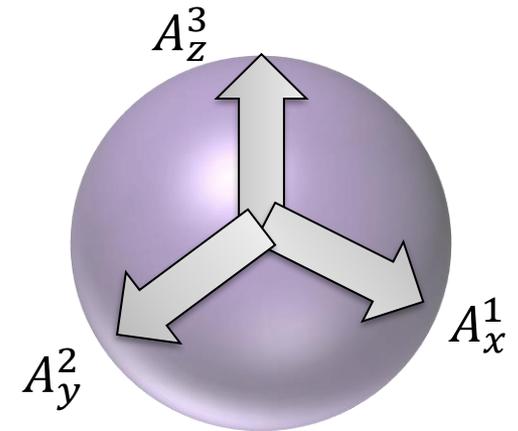
$$V_i^{BG} \delta V_j \xrightarrow{\text{Source}} \delta T_{ij}$$

ただし宇宙は等方的

U(1) \rightarrow 非等方解

SU(2) \rightarrow 等方解がアトラクター

等方解

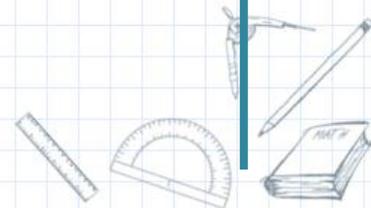


$$A_i^a \propto \delta_i^a$$

$$\mathcal{L}_A = -\frac{1}{4} FF - \frac{\phi}{f} F\tilde{F}$$

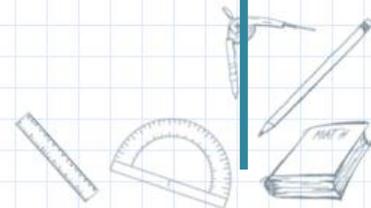


	Vacuum	SU(2)
①振幅	$\left(\frac{H_{\text{inf}}}{M_{\text{Pl}}}\right)^2$	$\left(\frac{H_{\text{inf}}}{M_{\text{Pl}}}\right)^2 \Omega_A e^{3.6mQ}$
②スペクトル傾き	小さい	大きくなれる
③偏極	なし	円偏極
④非ガウス性	小さい	大きい



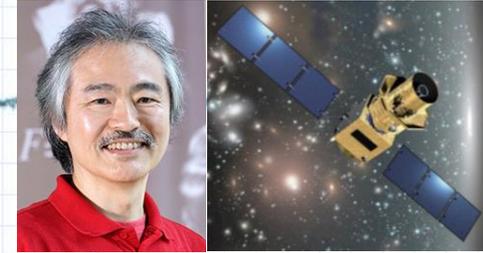


	Vacuum	SU(2)
①振幅	$\left(\frac{H_{\text{inf}}}{M_{\text{Pl}}}\right)^2$	$\left(\frac{H_{\text{inf}}}{M_{\text{Pl}}}\right)^2 \Omega_A e^{3.6mQ}$
②スペクトル傾き	小さい	大きくなれる
③偏極	なし	円偏極
④非ガウス性	小さい	大きい

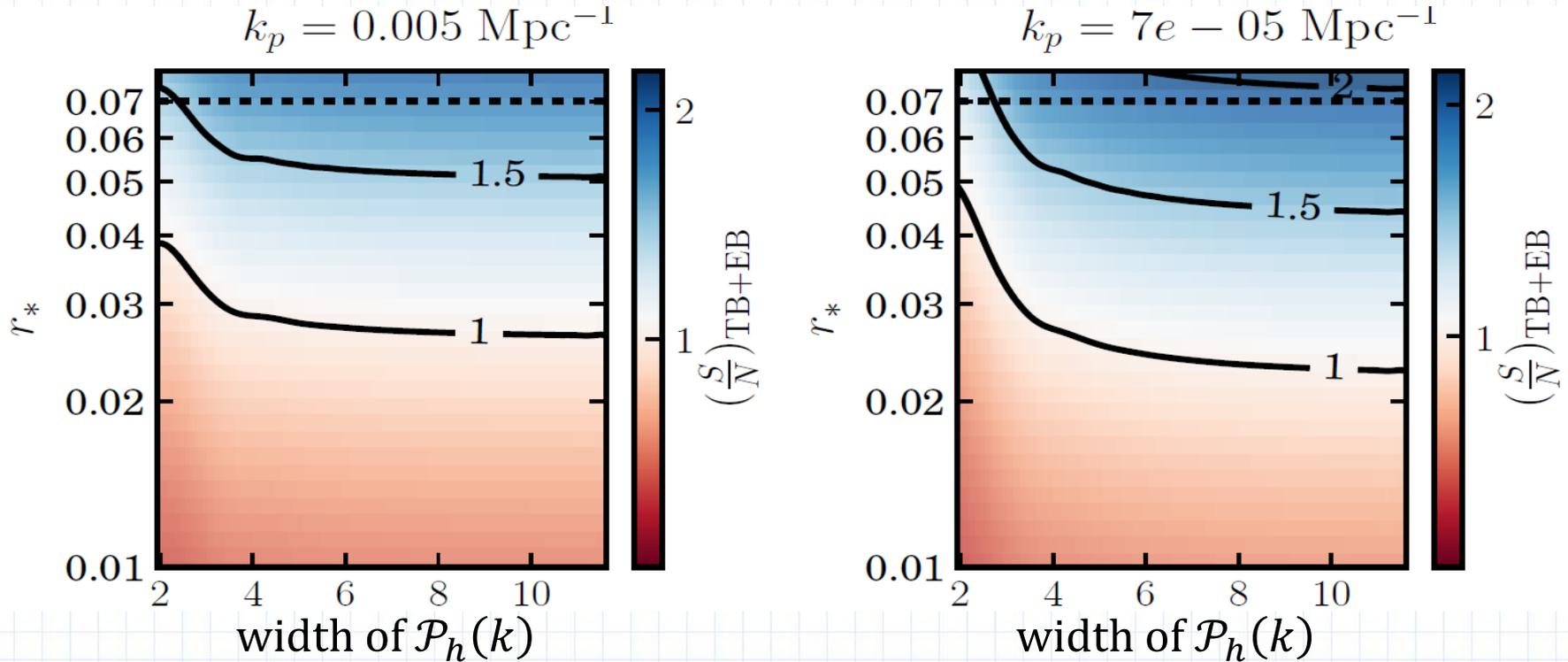


1 LiteBIRDで検出可能 (偏極)

[Thone, TF, Hazumi + (2018)]



Forecast

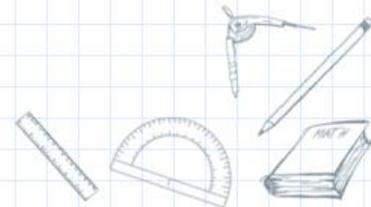


$r_* \gtrsim 0.03$ なら重力波のパリティ破れが見える！





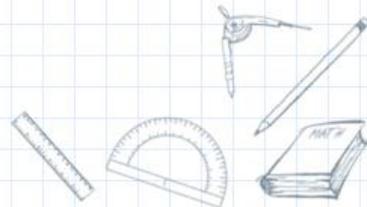
- CMBスケール重力波が一番感度が良い
- 真空ゆらぎ重力波が主な対象。計算済。
- Treeで重力波生成するSU(2)が面白い！



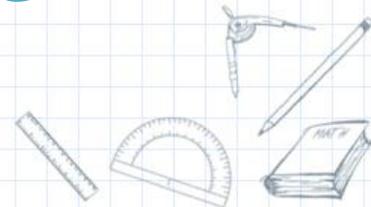


前半： 宇宙論の背景

後半： 素粒子的な理論



- 一般の単純リー群への拡張
“SU(N)-natural inflation”
- SU(N)でも**SU(2)部分群**がVEVを持ち重力波生成する
- VEVは等方的 : $SU(2) \times SO(3) \rightarrow SO(3)$ という**SSB**
- どのSU(2)部分群か(SSB型)が**解を特徴づける**



モデル: Axionic inflatonがゲージ場とCS結合

$$\mathcal{L} = \underbrace{\frac{1}{2} (\partial\phi)^2 - V(\phi)}_{\text{Axionic inflaton}} - \underbrace{\frac{1}{4} FF - \frac{\lambda}{4f} \phi F \tilde{F}}_{\text{SU(N) gauge field coupled to } \phi}$$

3つの仮定(一様, 静的, 並行EB)の下でゲージ場安定解は

$$A_i = \sigma \mathcal{J}_i \quad \left(\begin{array}{l} A_0 = 0 \\ i = x, y, z \end{array} \right) \quad \begin{array}{l} \text{SU(2)} \\ \text{部分代数} \end{array} \quad \mathcal{J}_i = n_i^a T^a$$

SU(2)の選び方は1パラメータ λ に集約

$$\xi \equiv \phi / 2fH$$

交換関係 $[\mathcal{J}_i, \mathcal{J}_j] = i\lambda \epsilon_{ijk} \mathcal{J}_k$ VEV $\sigma = \left(\xi + \sqrt{\xi^2 - 4} \right) / 2\lambda$





具体例: SU(3)&SU(4)

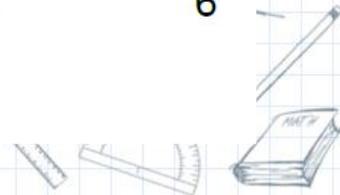
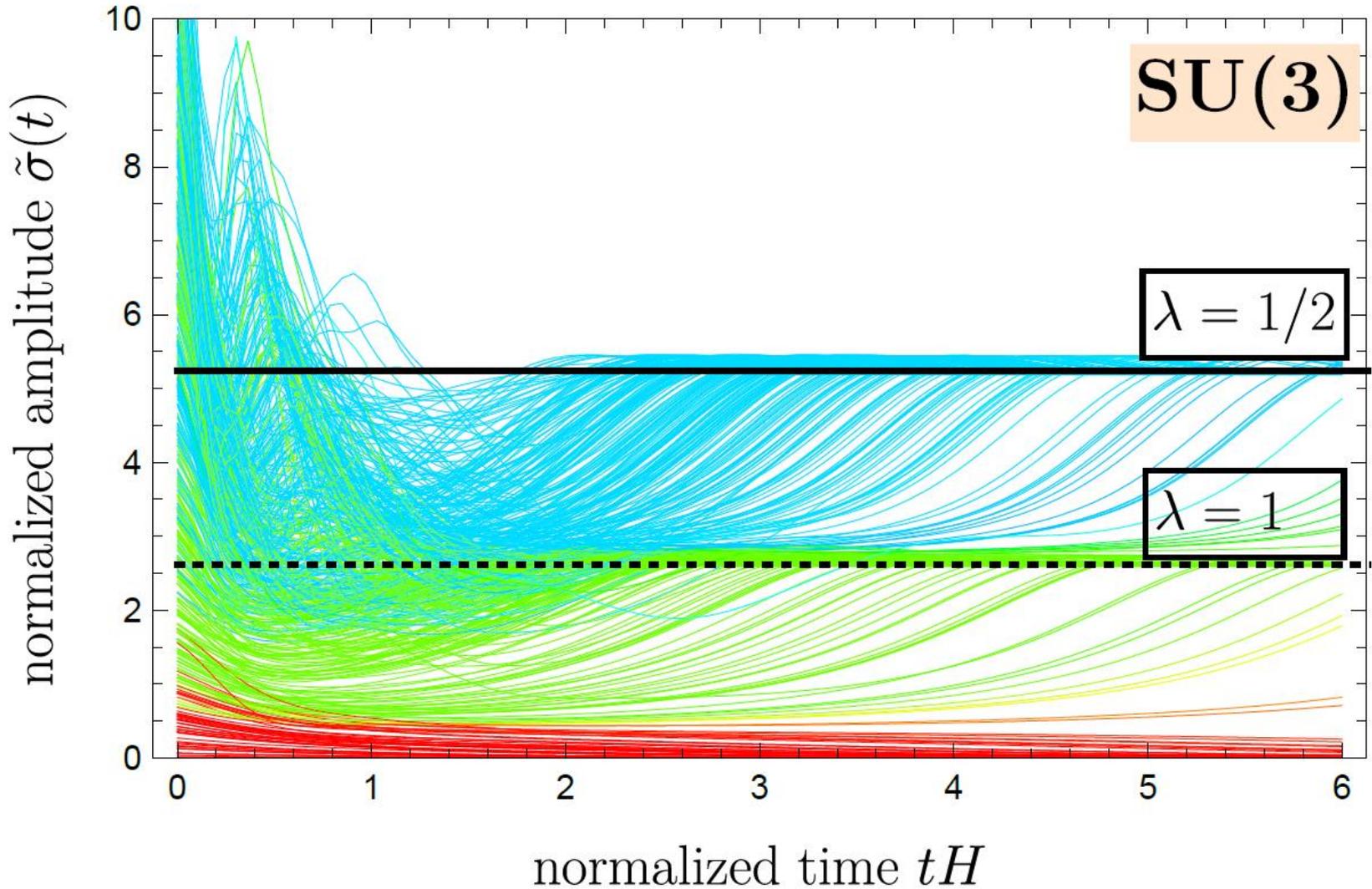
group	subgroup	N	$N^2 - 1$	m
SU(3)	SU(2) × U(1)	$2_{-1} + 1_2$	$3_0 + 2_3 + 2_{-3} + 1_0$	2
	SU(2)	3	3 + 5	3
SU(4)	SU(3) × U(1)	$3_{-1} + 1_3$	$8_0 + 3_{-4} + \bar{3}_4 + 1_0$	-
	SU(2)	4	3 + 5 + 7	4
	SU(2) × SU(2)	$(2, 1) + (1, 2)$ $(2, 2)$	$(3, 1) + (1, 3) + (2, 2) + (2, 2) + (1, 1)$ $(3, 3) + (3, 1) + (1, 3)$	- -

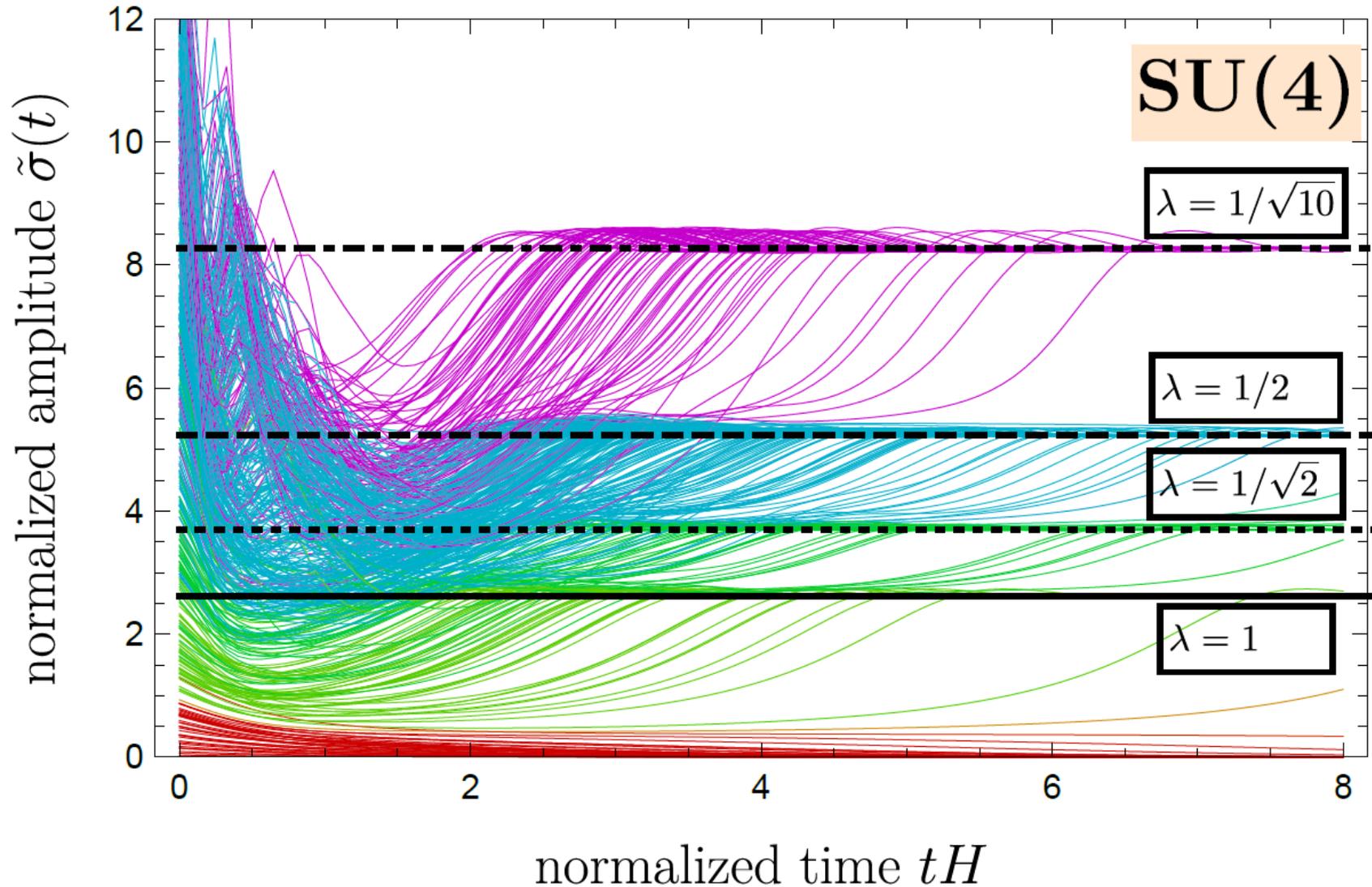
SU(3)は**2つ**、SU(4)は**4つ**、
SU(2)部分群のとり方＝別の安定解がある

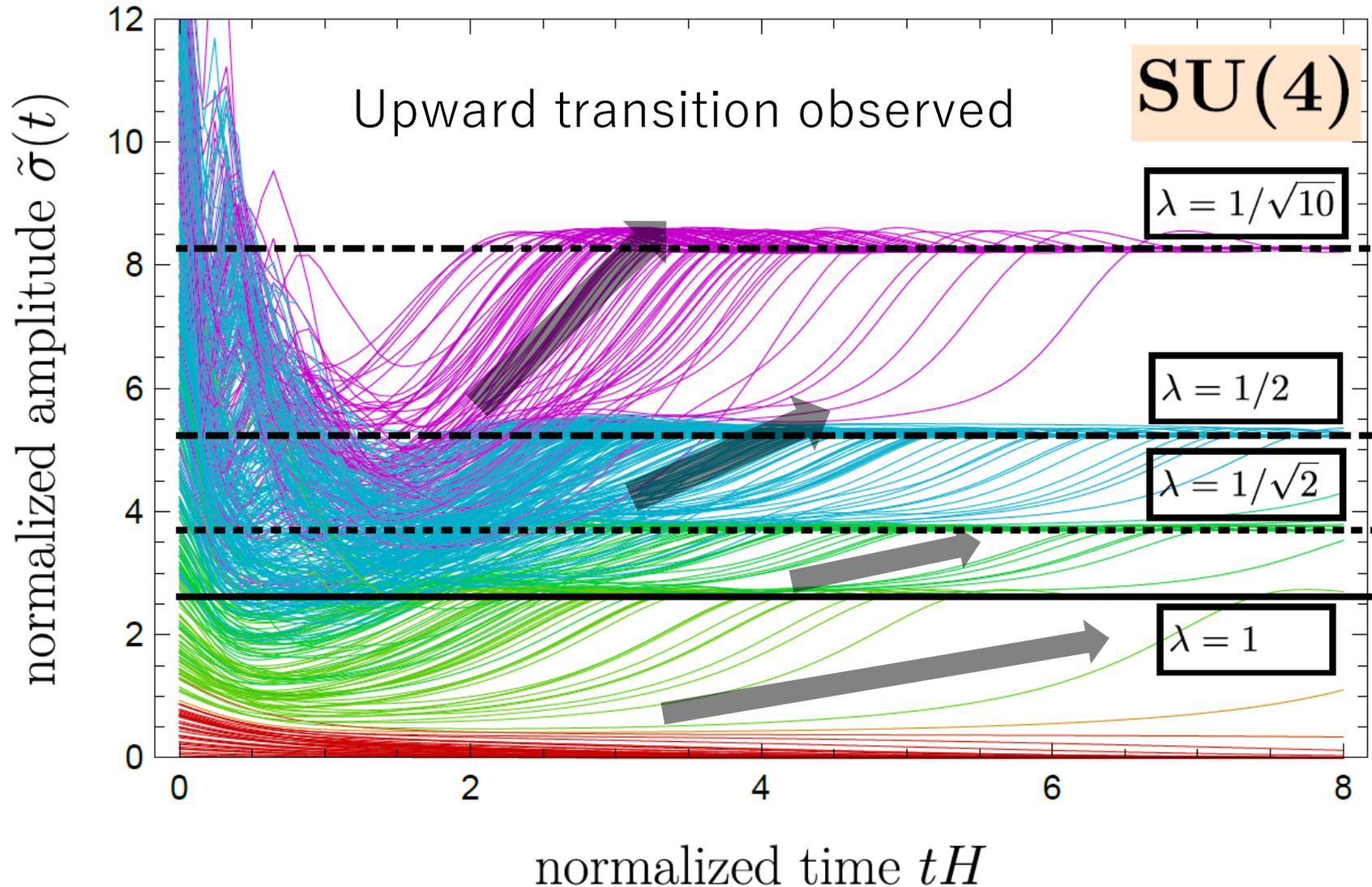


2

500 realizations, $\xi = 3$



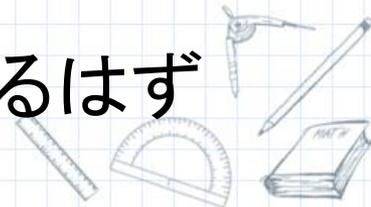






摂動＝観測量は？

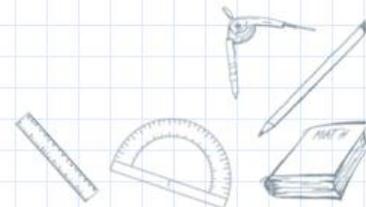
- SSBパターンの違いは摂動の性質にも現れるはず
- TreeではSU(N)によらず **Universalな結果**！ (ζ, h)
 λ がゲージ結合定数 g と縮退: $F \supset g[A, A] \propto g\lambda$
- VEVのTransition(λ の変化)が縮退を破る
1loopではSSBパターンの違いが顕著になるはず





$$A_i = \sigma T_i$$

- Axion-SU(N)モデルで背景解を構成した
- SU(2)部分群の選択で異なる解が現れる
- Treeでは観測量は同等。
1loopから違いが見えるか？



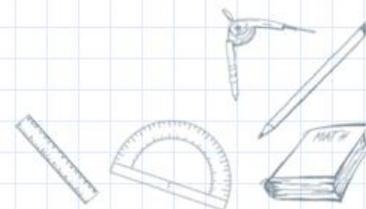
CMBスケール重力波

素粒子 × 宇宙論的に面白い！

Rich phenomenology

10分ではとても語り尽くせない

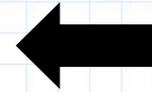
ご興味をお持ちの方はお気軽にご連絡を
議論、セミナーします！



Effective Potential



$$V_{\text{eff}}(\sigma) = \frac{1}{2} \sigma^2 - \frac{1}{3} \xi \lambda \sigma^3 + \frac{1}{4} \lambda^2 \sigma^4$$



Static EoM:
 $V'_{\text{eff}} = 0$

