



Hill climbing

Higgs inflation

Kin-ya Oda (Osaka)

with

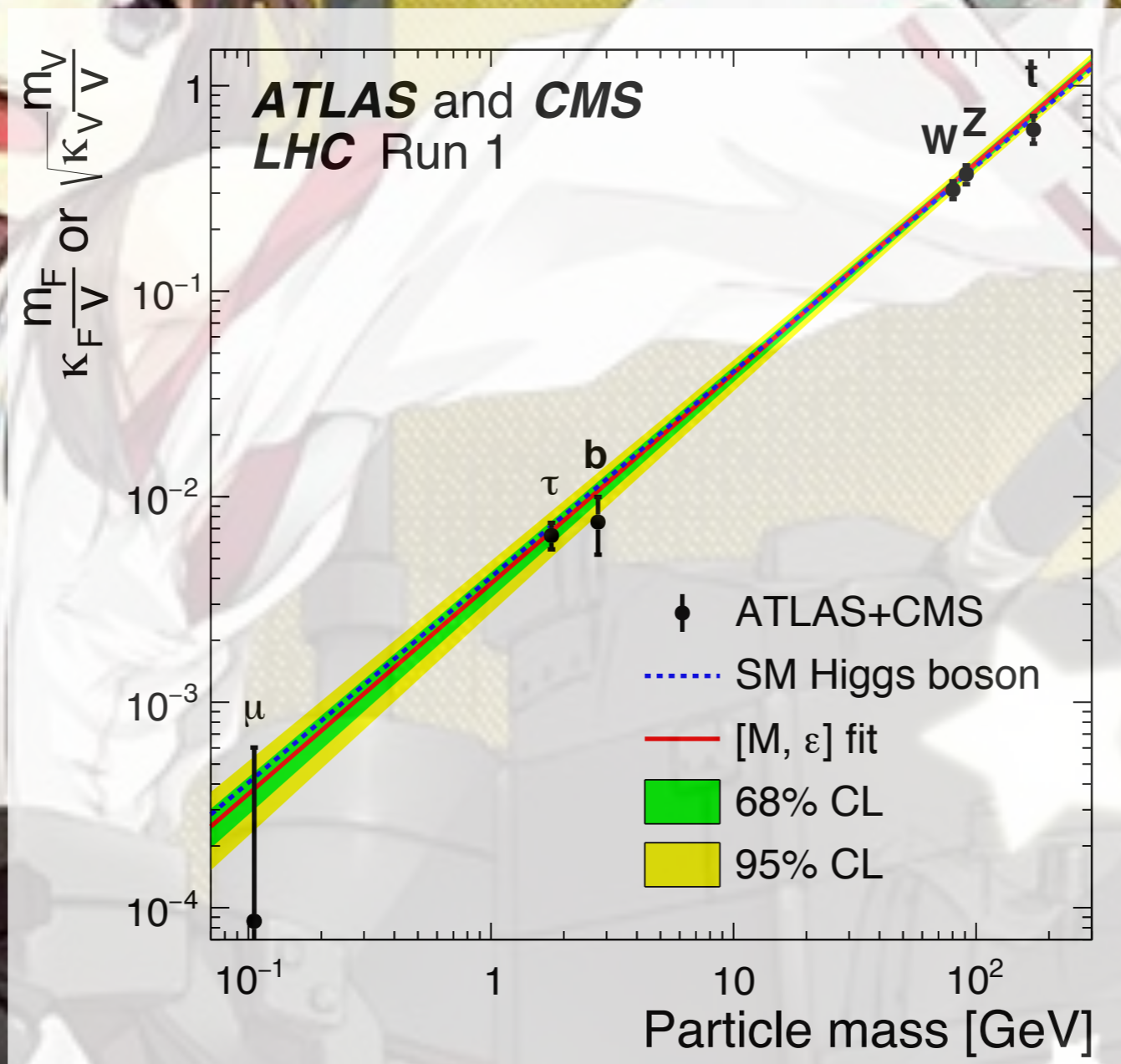
Ryusuke Jinno (IBS)

&

Kunio Kaneta (IBS → Minnesota)

標準模型大勝利!!!

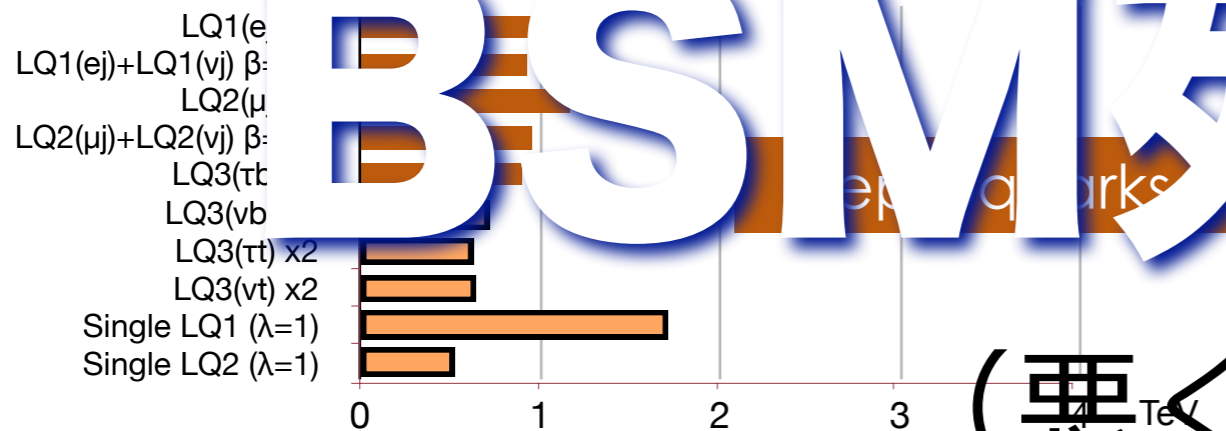
(良く言えば)



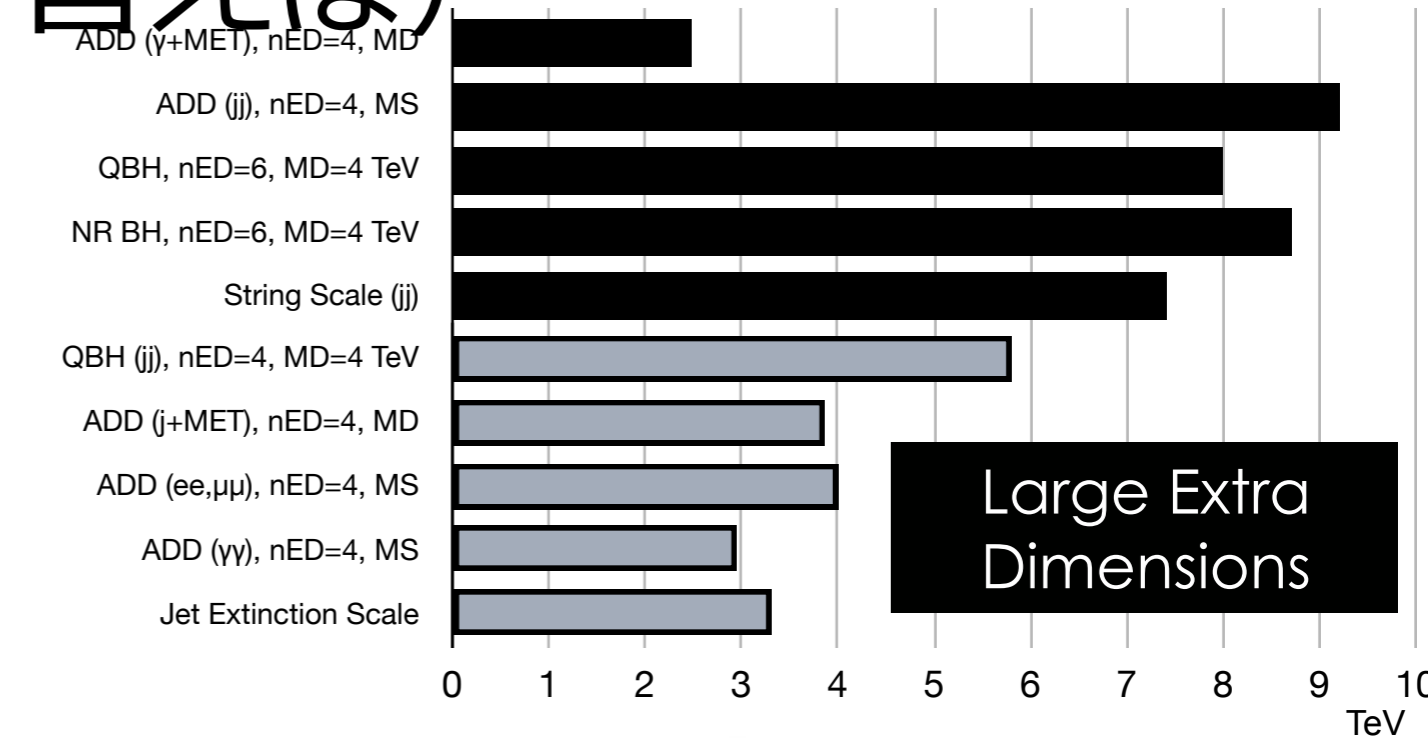
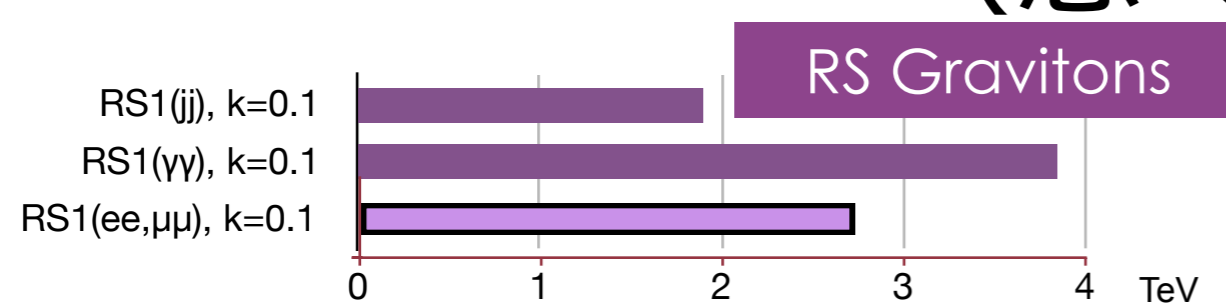
ATLAS & CMS (2016)

BSMの死屍累々

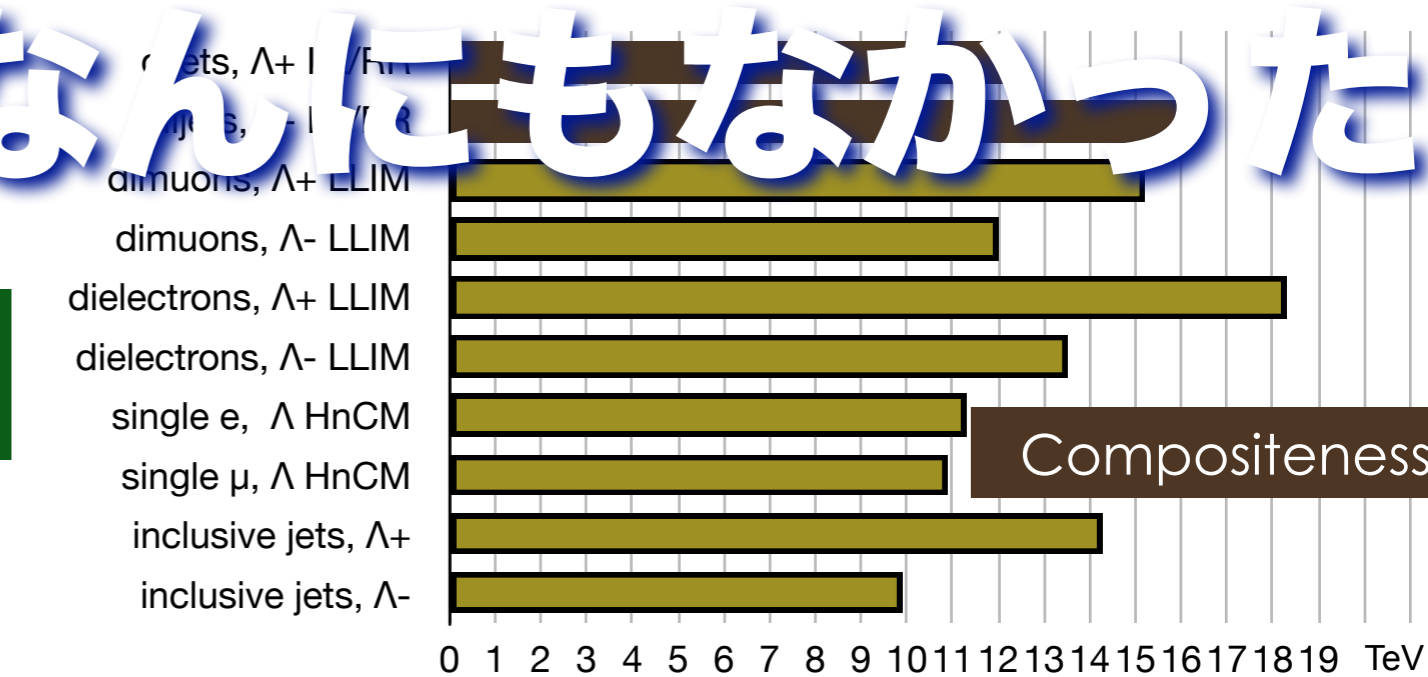
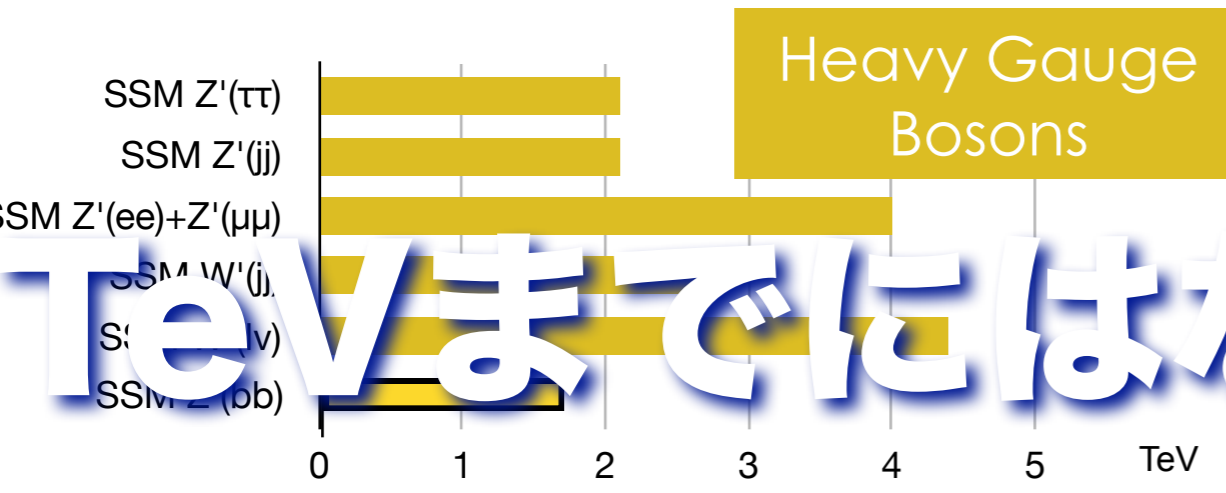
13 TeV 8 TeV



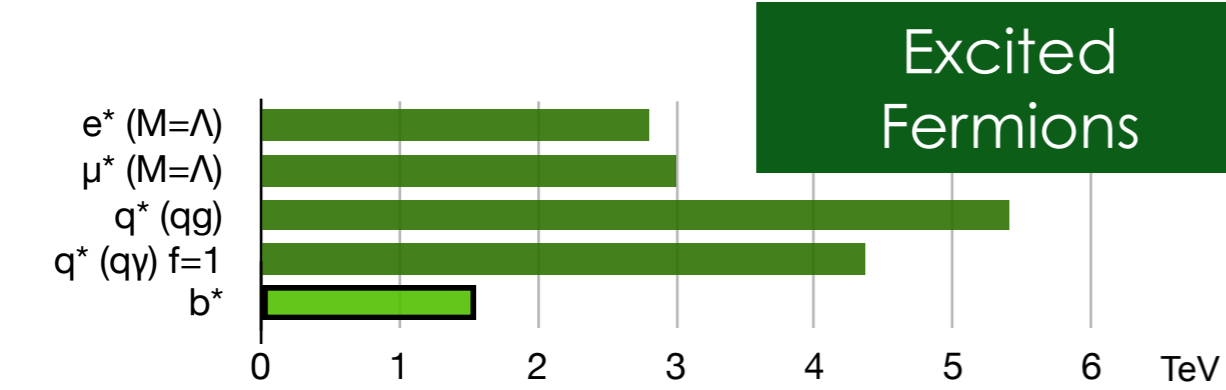
(悪く言えば)



CMS Preliminary



TeVまでにはなんにもなかった



今そこにあるBSM新物理

◆ なんもなさ、を直接あつかう

★ 漸近安全性

→ 山田さんのトーク (昨日)

◆ いやなんもなくはないし派

★ 暗黒物質、ニュートリノ質量

→ 中西さんのポスター (今日)

★ インフレーション!

→ このトークのテーマ (実は、なんもなさ、とのハイブリッド)

前提

神は我々をキワキワに置いた

(観測事実)

Our Universe

プランクスケールで3重のゼロ：
4点結合、その β 関数、裸の質量。

[Hamada, Kawai, **KO**, 2012]

Plan

1. 宇宙ヤバイ
2. **多重臨界原理はヒッグス質量を予言していた**
3. **登山ヒッグス・インフレーション**

宇宙ヤバイ

単語記事: 宇宙ヤバイ

 編集  Tweet

[原文](#) [関連動画](#) [関連商品](#) [関連コミュニティ](#) [関連項目](#) [掲示板](#)

宇宙ヤバイ（うちゅうやばい）とは、代表的なコピペの一つ。

■ 原文

“

ヤバイ。宇宙ヤバイ。まじでヤバイよ、マジヤバイ。
宇宙ヤバイ。

まず広い。もう広いなんてもんじゃない。超広い。
広いとかって

「東京ドーム20個ぶんくらい？」

とか、もう、そういうレベルじゃない。

何しろ無限。スゲェ！なんか単位とか無いの。何坪とか何畝とかを超越してる。無限だし超広い。

しかも膨張してるらしい。ヤバイよ、膨張だよ。

だって普通は地球とか膨張しないじゃん。だって自分の部屋の廊下がだんだん伸びてったら困るじゃん。トイレとか超遠いとか困るっしょ。

通学路が伸びて、一年のときは徒歩10分だったのに、三年のときは自転車で二時間とか泣くっしょ。

だから地球とか膨張しない。話のわかるヤツだ。

けど宇宙はヤバイ。そんなの気にしない。膨張しまくり。最も遠くから到達する光とか観測してもよくわかんないくらい遠い。ヤバすぎ。

無限っていたけど、もしかしたら有限かもしれない。でも有限って事にすると

「じゃあ、宇宙の端の外側ってナニよ？」

って事になるし、それは誰もわからない。ヤバイ。誰にも分からないなんて凄すぎる。

あと超寒い。約1ケルビン。摂氏で言うと-272°C。ヤバイ。寒すぎ。バナナで釘打つ暇もなく死ぬ。怖い。

それに超何も無い。超ガラガラ。それに超のんびり。億年とか平気で出てくる。億年で。小学生でも言わねえよ、最近。

なんつっても宇宙は馬力が凄い。無限とか平気だし。

うちらなんて無限とかたかだか積分計算で出てきただけで上手く扱えないから有限にしたり、fと置いてみたり、演算子使ったりするのに、

宇宙は全然平気。無限を無限のまま扱ってる。凄い。ヤバイ。

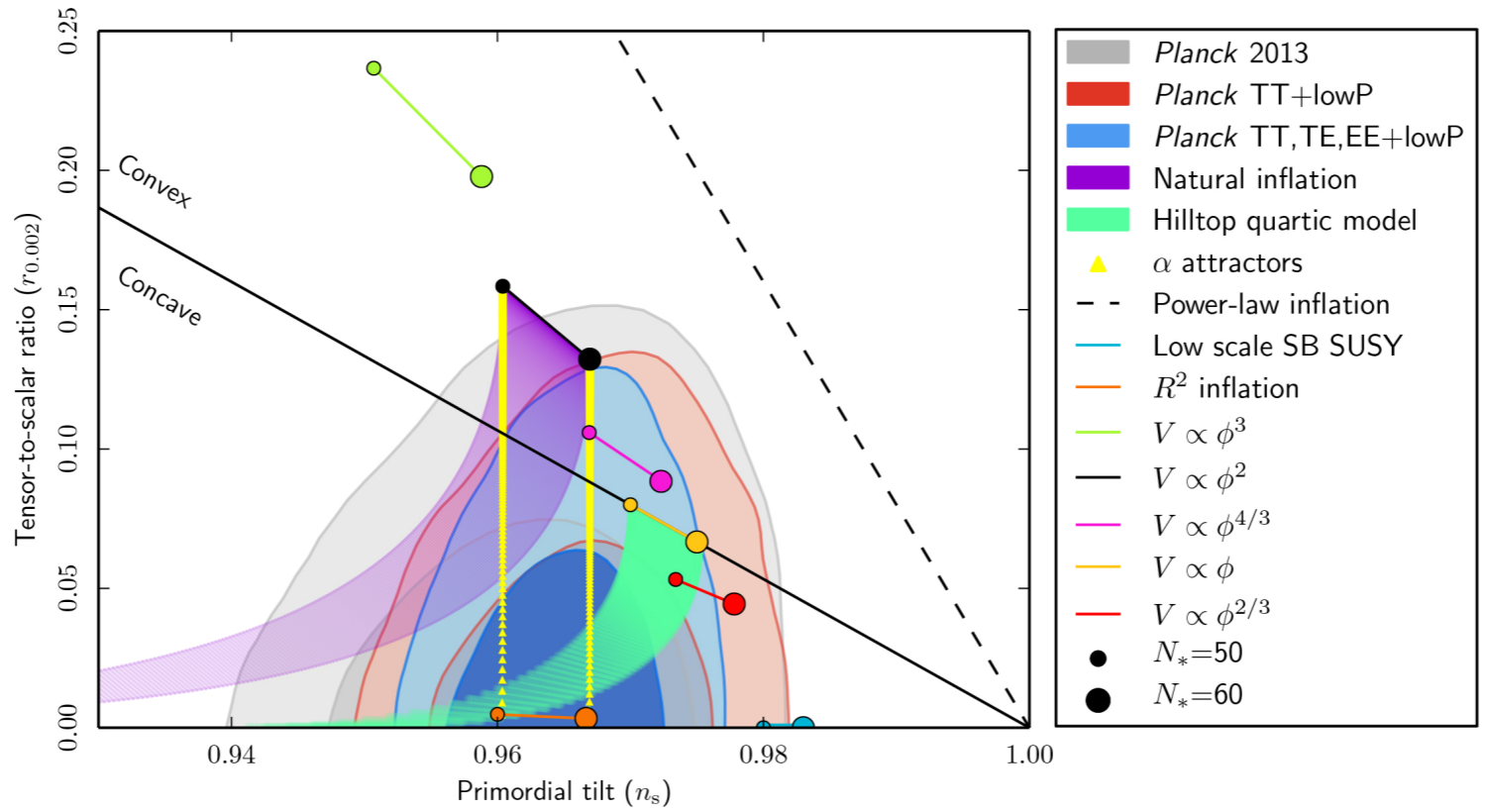
とにかく貴様ら、宇宙のヤバさをもっと知るべきだと思います。

そんなヤバイ宇宙に出て行ったハッブルとか超偉い。もっとがんばれ。超がんばれ。

宇宙論が精密科学になってしまった

[1] Parameter	[2] 2013N(DS)	[3] 2013F(DS)	[4] 2013F(CY)	[5] 2015F(CHM)	[6] 2015F(CHM) (Plik)	([2] - [6])/σ _[6]	([5] - [6])/σ _[5]
$100\theta_{MC}$	1.04131 ± 0.00063	1.04126 ± 0.00047	1.04121 ± 0.00048	1.04094 ± 0.00048	1.04086 ± 0.00048	0.71	0.17
$\Omega_b h^2$	0.02205 ± 0.00028	0.02234 ± 0.00023	0.02230 ± 0.00023	0.02225 ± 0.00023	0.02222 ± 0.00023	-0.61	0.13
$\Omega_c h^2$	0.1199 ± 0.0027	0.1189 ± 0.0022	0.1188 ± 0.0022	0.1194 ± 0.0022	0.1199 ± 0.0022	0.00	-0.23
H_0	67.3 ± 1.2	67.8 ± 1.0	67.8 ± 1.0	67.48 ± 0.98	67.26 ± 0.98	0.03	0.22
n_s	0.9603 ± 0.0073	0.9665 ± 0.0062	0.9655 ± 0.0062	0.9682 ± 0.0062	0.9652 ± 0.0062	-0.67	0.48
Ω_m	0.315 ± 0.017	0.308 ± 0.013	0.308 ± 0.013	0.313 ± 0.013	0.316 ± 0.014	-0.06	-0.23
σ_8	0.829 ± 0.012	0.831 ± 0.011	0.828 ± 0.012	0.829 ± 0.015	0.830 ± 0.015	-0.08	-0.07
τ	0.089 ± 0.013	0.096 ± 0.013	0.094 ± 0.013	0.079 ± 0.019	0.078 ± 0.019	0.85	0.05
$10^9 A_s e^{-2\tau}$	1.836 ± 0.013	1.833 ± 0.011	1.831 ± 0.011	1.875 ± 0.014	1.881 ± 0.014	-3.46	-0.42

直にインフレーション由来



Planck (2015)

今後の進展が期待できる

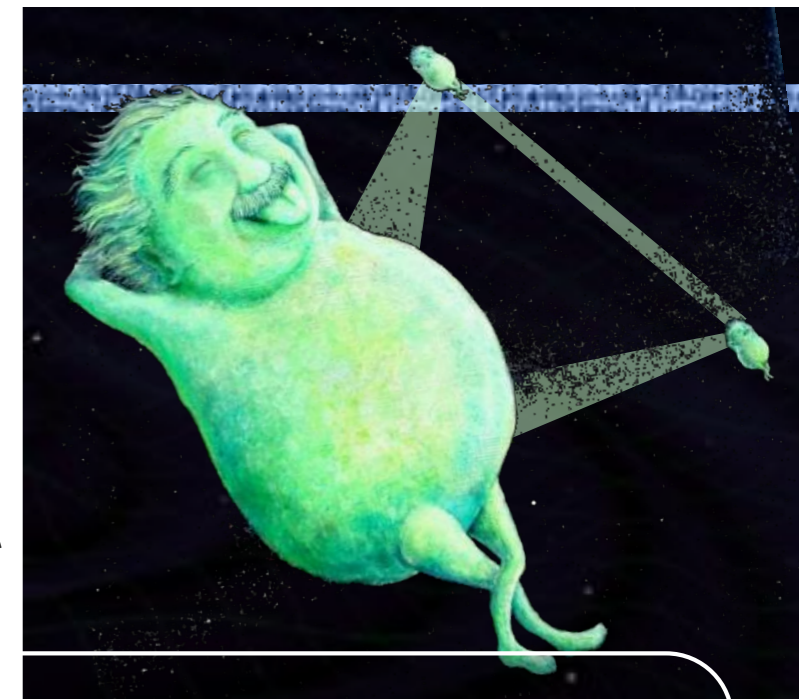
◆ 宇宙背景重力子輻射が熱い（比喩的に）

★ r から間接的に

❖ CMB B-mode が受ければ即（明日にでも；
Recall BICEP2）

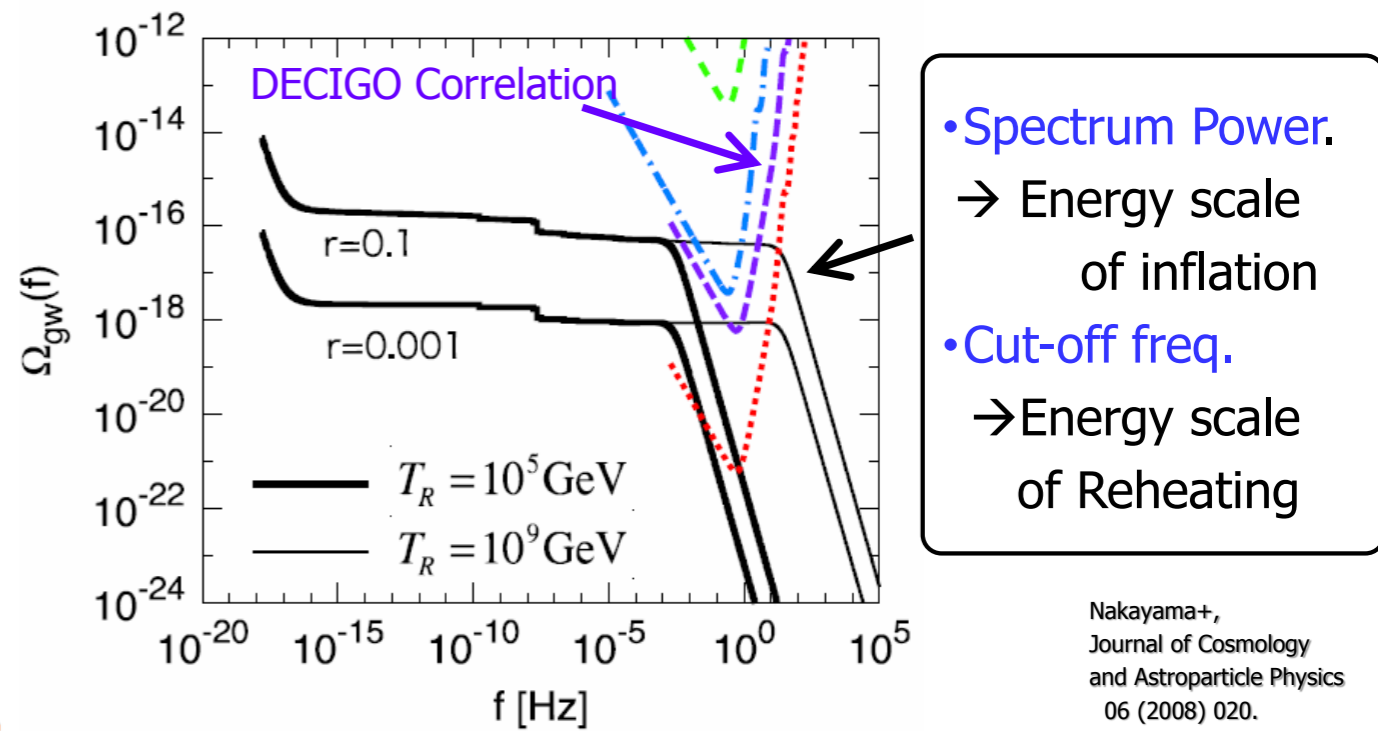
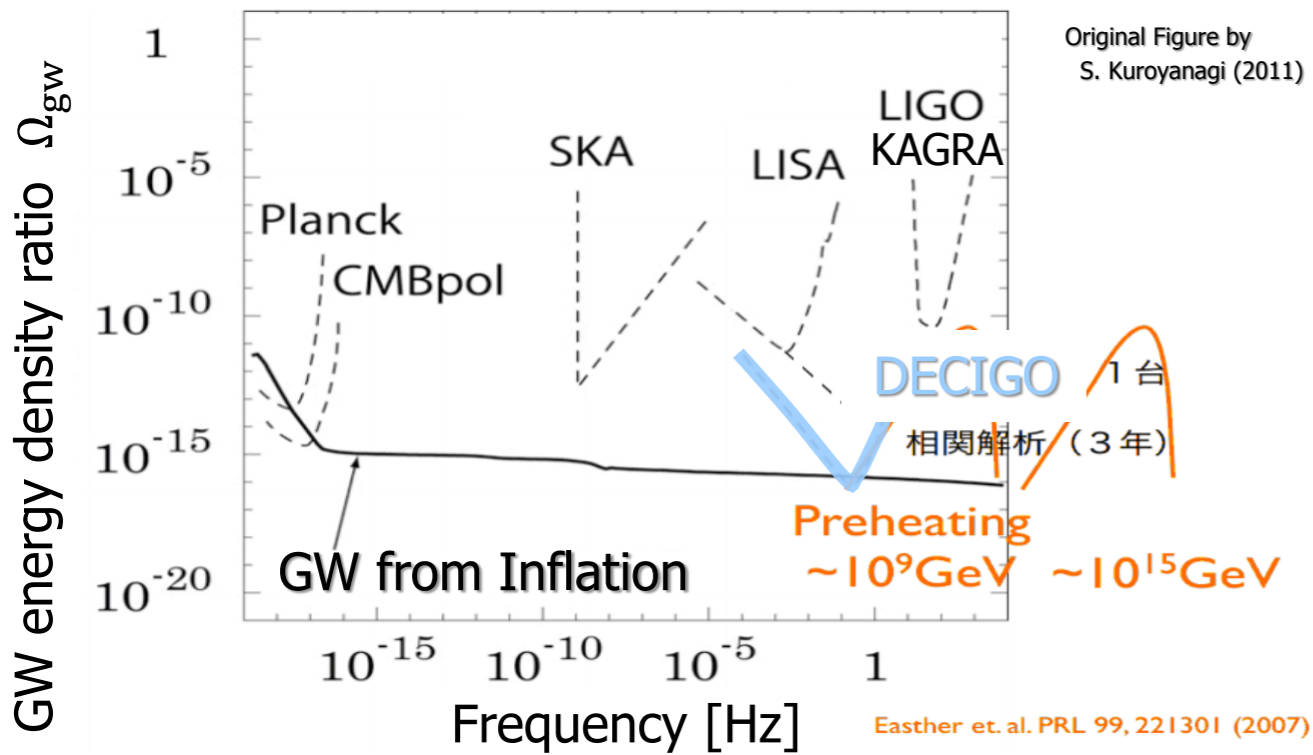
★ 直接観測は？

❖ (Ultimate) DECIGO で行けるか



from DECIGO website

(参考) こんなかんじらしい



安東さんのスライドから (2014)

もうすぐ

プランクスケール

(重力×量子論) が

直接見える

Plan

1. 宇宙ヤバイ
2. **多重臨界原理はヒッグス質量を予言していた**
3. 登山ヒッグス・インフレーション

ヒッグス質量は予言されていた

Standard model criticality prediction top mass 173 ± 5 GeV
and Higgs mass 135 ± 9 GeV

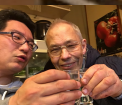
C.D. Froggatt^a, H.B. Nielsen^b

Phys. Lett. (1996)

(2012)

PREdicted the Higgs Mass

H.B. Nielsen * *The Niels Bohr Institute, Copenhagen, Denmark*



MPP? なにそれ

小正準版・場の理論 (式で)

Frogatt & Nielsen (1996)
 [Review in Hamada, Kawai, **KO**, 1501.04455]

正準

小正準

統計力学

$$Z(\beta) = \sum_n e^{-\beta H_n}$$

熱力学 (大体積) 極限

$$\bar{\Omega}(E) = \int d\beta \int d\mathcal{E} e^{\mathcal{S}(\mathcal{E}) - \beta(\mathcal{E} - E)} \longrightarrow \Omega(E) = \sum_n \delta(H_n - E)$$

場の理論

$$Z(\{\lambda\}) = \int [d\varphi] e^{-\mathcal{S}(\{\lambda\})[\varphi]}$$

$$\bar{\Omega}(I_0, I_2, I_4, \dots) = \left(\int d\Lambda \int dm^2 \int d\lambda \dots \right) e^{\Lambda I_0 + m^2 I_2 + \lambda I_4 + \dots} Z(\Lambda, m^2, \lambda, \dots)$$

$$\longrightarrow \Omega(I_0, I_2, I_4, \dots) = \int [d\varphi] e^{-\int d^D x (\partial\varphi)^2} \delta\left(\int d^D x - I_0\right) \delta\left(\int d^D x |\varphi|^2 - I_2\right) \delta\left(\int d^D x |\varphi|^4 - I_4\right) \dots$$

小正準版・場の理論 (言葉で)

Frogatt & Nielsen (1996)

[Review in Hamada, Kawai, KO, 1501.04455]

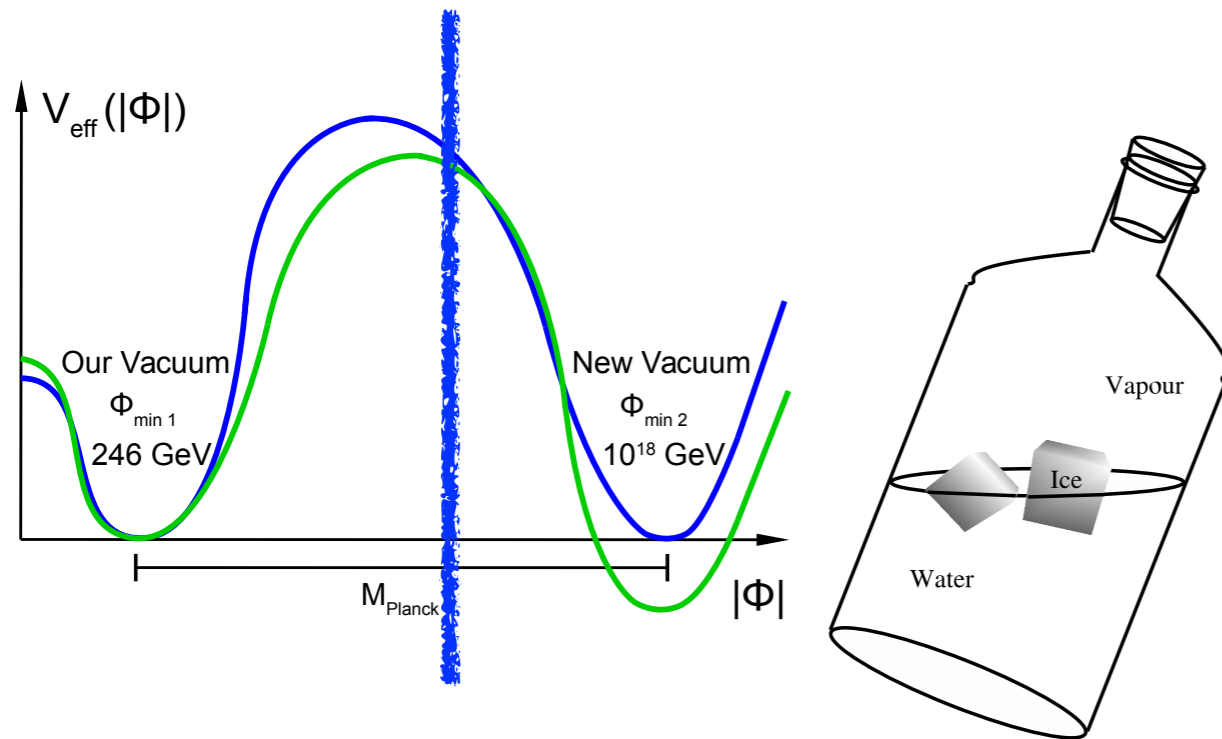
- ◆ 統計力学では**小正準**形式が本質
 - ★ 決まったエネルギー E の状態を足し上げて**状態数** Ω を勘定。
 - ★ **全部の状態**を足し上げる**正準**形式は、**熱力学極限**で状態数 Ω が**小正準**形式と一致することで正当化される。
- ◆ 場の理論だとどうなる？
 - ★ 神はまず**小正準**的に**場の空間積分値** I_n を決める。
 - ★ **全部の場の配位**を足し上げる従前の経路積分から、**結合定数** (や**宇宙項、質量、...**) を足し上げて**熱力学極限**を取ると状態数 Ω が得られる。
- ◆ Q: どんな**結合定数** (や**宇宙項、質量、...**) が配位を dominate するのか？

多重臨界原理

Frogatt & Nielsen (1996)

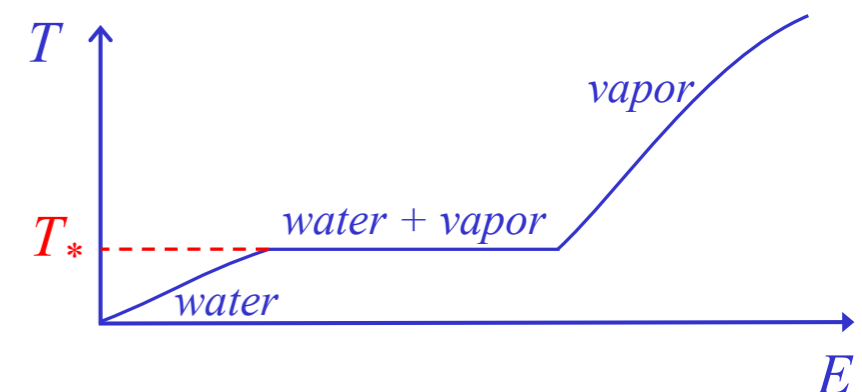
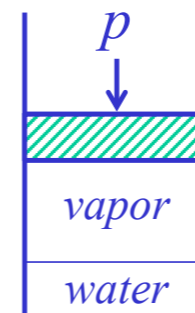
[Review in Hamada, Kawai, **KO**, 1501.04455]

- ◆ 小正準の神は場の空間積分値を好きに取りたい。
- ◆ 熱力学（大体積）極限において足し上げられる結合定数（や宇宙項、質量、…）はその値を挟む複数の真空が縮退するように自動的に tune される。



多相共存は広い E に対して
同じ T_* を選ぶ。

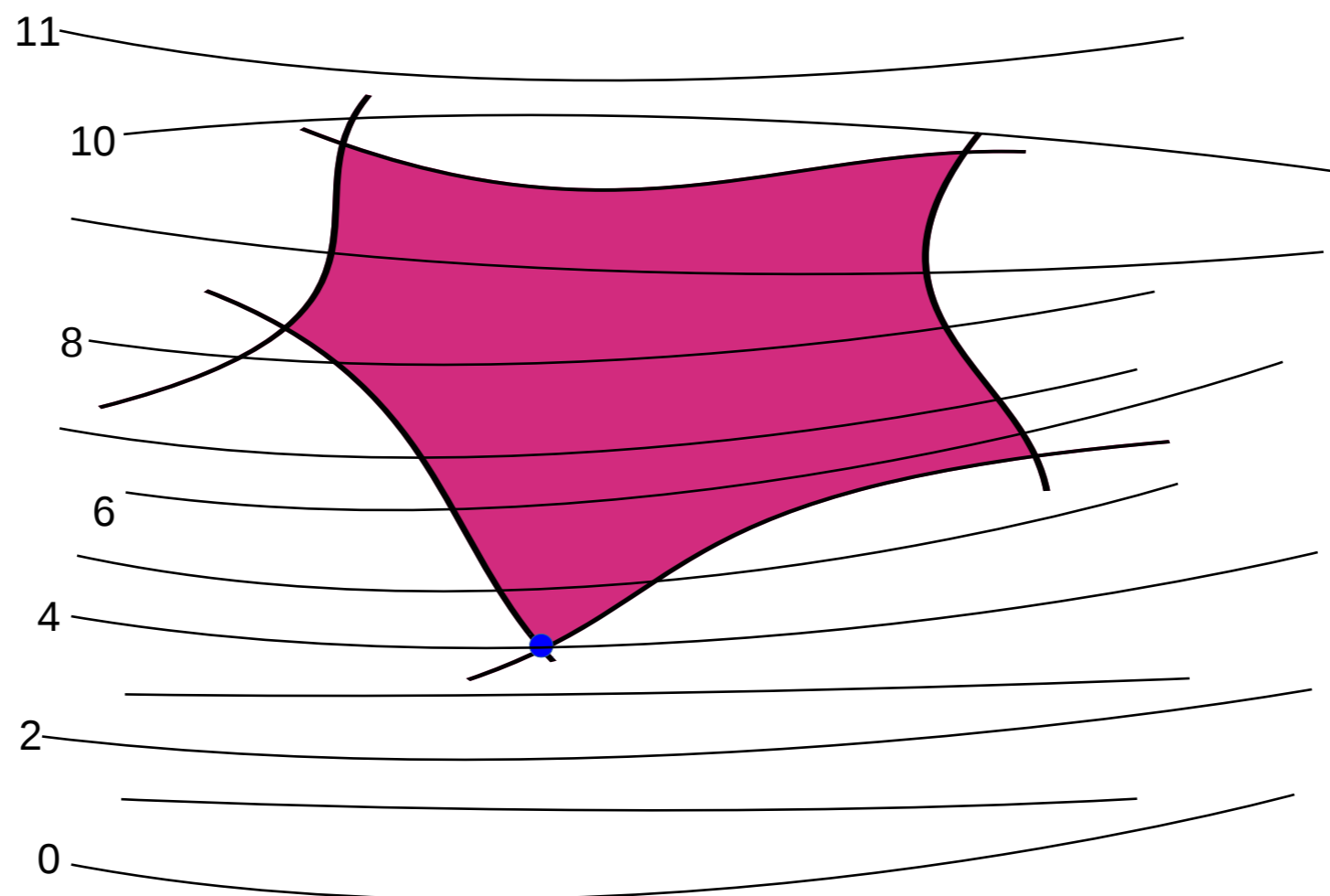
From Nielsen et al. (2017)



一般化された多重臨界原理

Nielsen (2012)

- ◆ 熱力学極限で、なんかある量を extremize しようと思ったら複数の allowed region の端に来る。



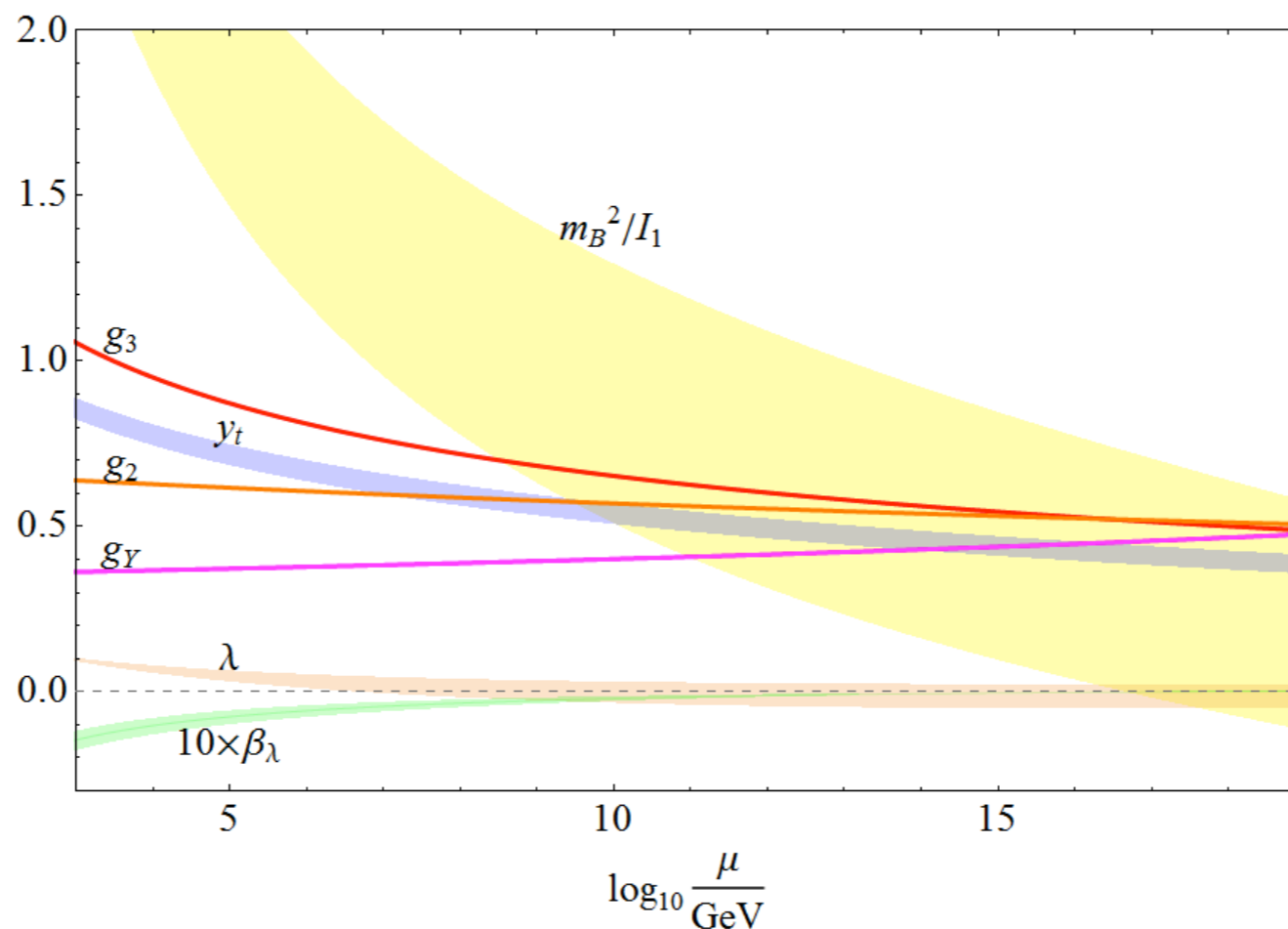
From Nielsen et al. (2017)

もういっご臨界だと尚良い

◆ プランクスケールで3重のゼロ：

★ 4点結合、その β 関数、裸の質量。

Hamada, Kawai, **KO** (2013)



◆ 同時に **R の係数** も臨界になってるかも！？ → 今日の話

Plan

1. 宇宙ヤバイ
2. 多重臨界原理はヒッグス質量を予言していた
3. **登山ヒッグス・インフレーション**

余談：Hillclimbing

ぐるぐる翻訳より

英語 ▾	🗣️ 🔊 ↔	日本語 ▾	📄 🔊
hillclimbing <small>編集</small>		登山	
もしかして: hill climbing		Tozan	

ぐるぐる画像検索より



Higgs inflation

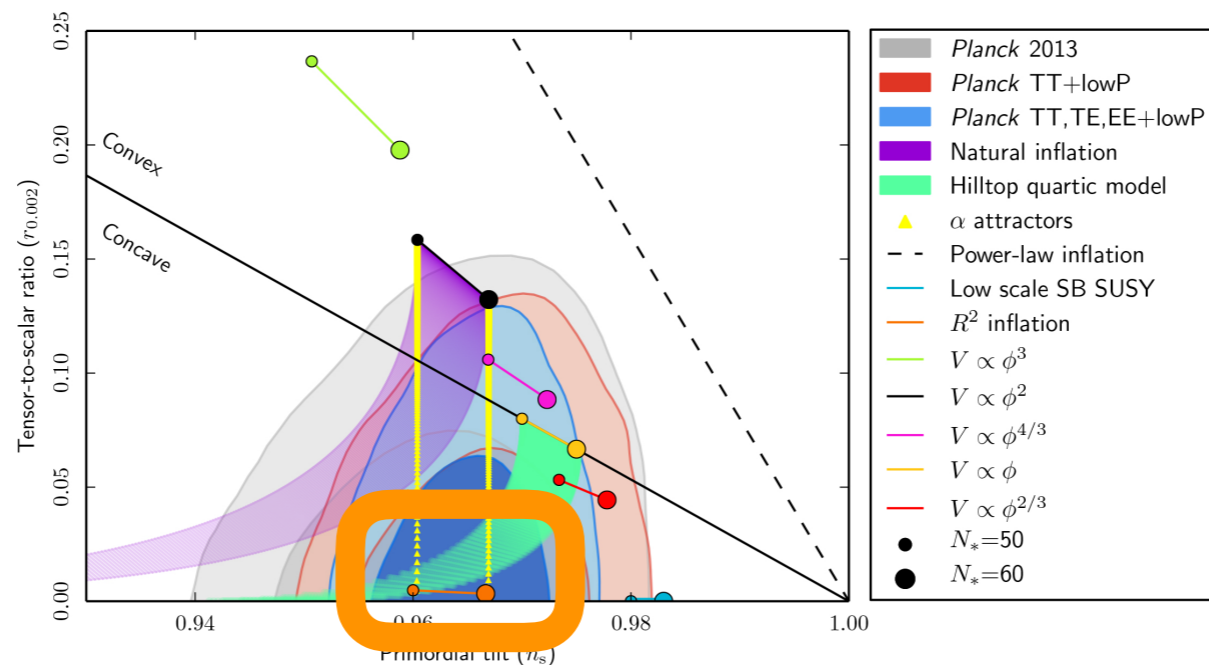
Salopek, Bond, Bardeen (1989)

Bezrukov, Shaposhnikov (2008)

◆ ナイスである :

★ 人類が今まで見た唯一の**素スカラー**場

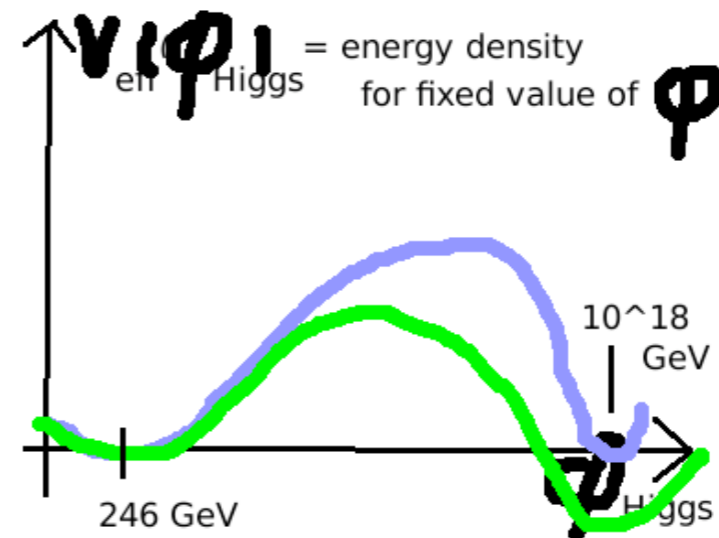
★ CMB の **bests fit** model



Planck (2015)

MPP と両立できる？

◆ 【鑑賞】 天才の描いた絵→



Nielsen (2012)

◆ 途中で山があると inflation には使えない？

Hamada, Kawai, **KO** (2014)

★ 上から勢いよく落とせば通り越せる。

→ 中西さんのポスター (今日)

★ R も臨界になってたらいいんじゃない？

→ このはなし

登山インフレーション

Jinno, Kaneta (2017)

$$S \sim - \int d^4x \sqrt{-g} \left[F(\phi) R + (\partial\phi)^2 + V(\phi) \right]$$

- ◆ Einstein frame potential $\sim V/F^2$
 - ★ $V(\phi)=0$ の点で $F(\phi)=0$ なら持ち上がる。
- ◆ Einstein frame の canonical 場は大体 $\ln F$
 - ★ V/F^2 が F の多項式なら exponentially flat.

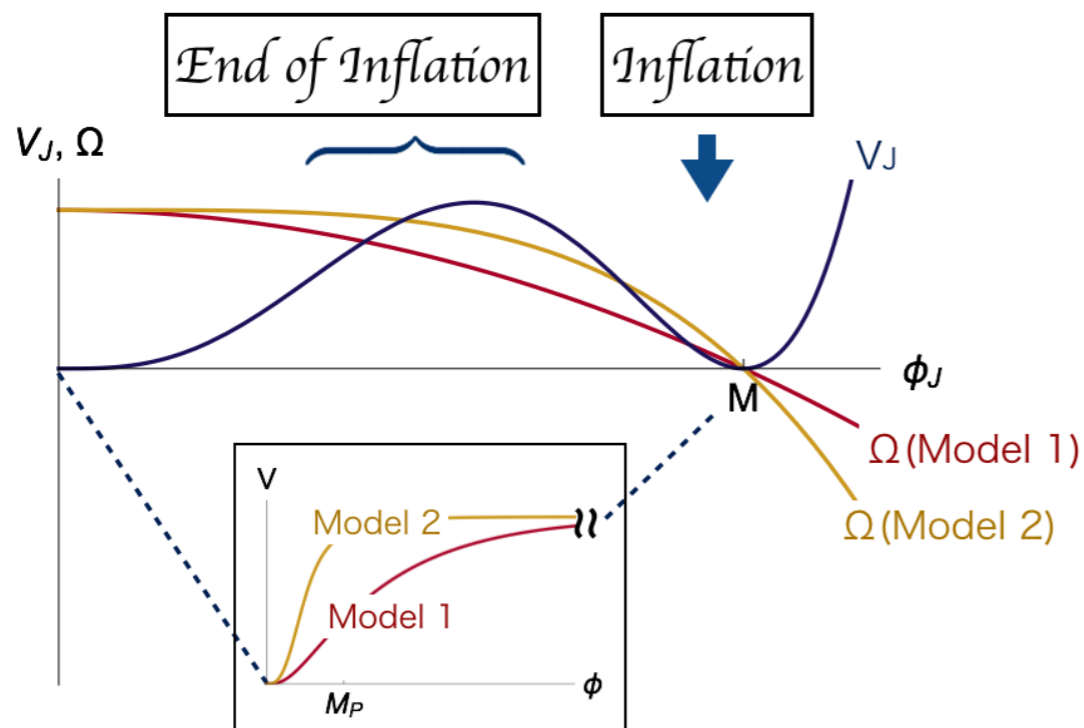
登山ヒッグス・インフレーション

Jinno, Kaneta, **KO** (2017)

◆ やったこと

★ 4点結合を minimum のまわりで展開

★ $\lambda(\phi) \sim \beta_2 [\ln(\phi/M)]^2$



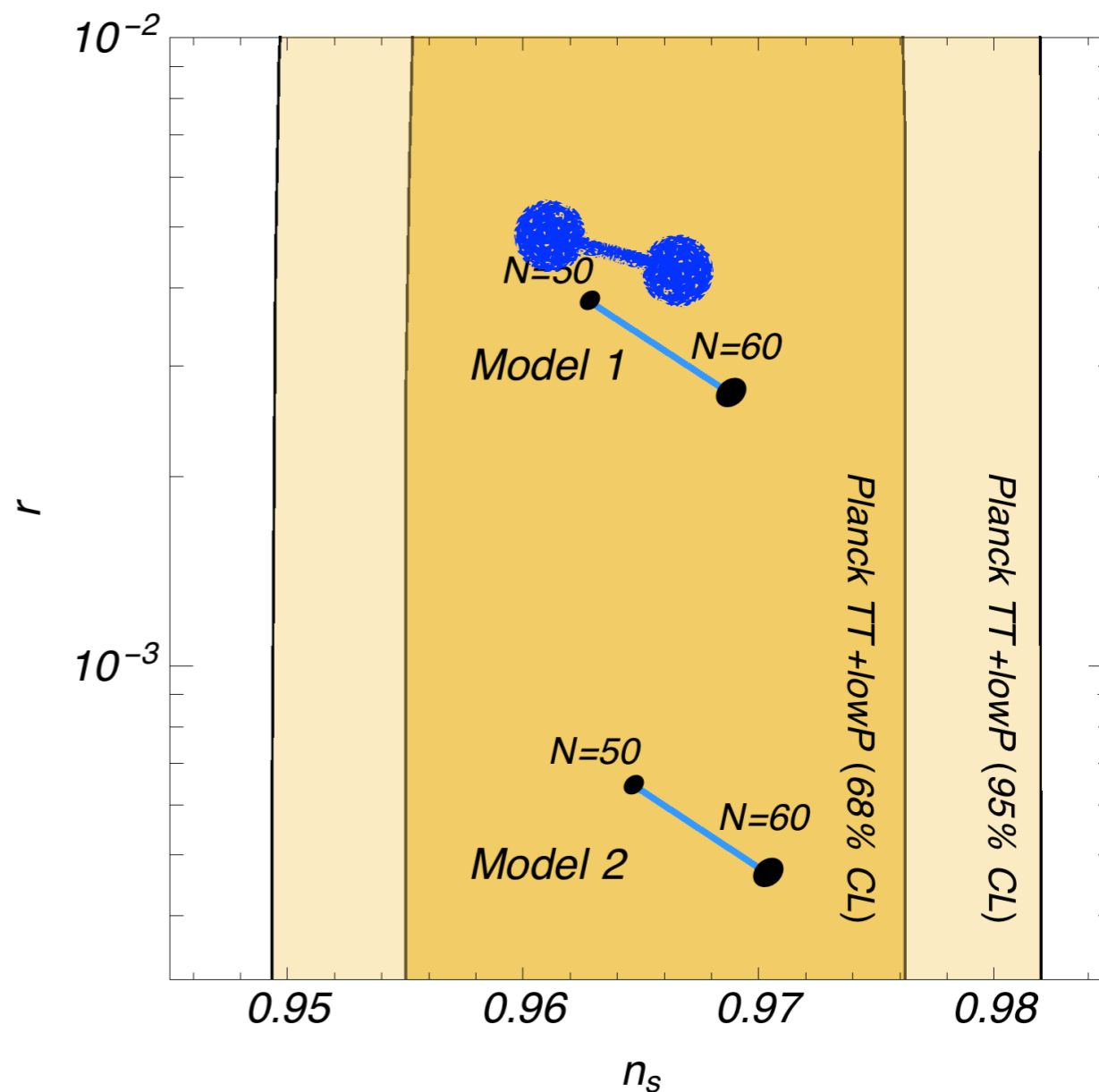
$$F = \begin{cases} 1 - \left(\frac{\phi_J}{M}\right)^2 & \text{(Model 1),} \\ 1 - \left(\frac{\phi_J}{M}\right)^4 & \text{(Model 2).} \end{cases}$$

$$V = \begin{cases} \frac{\beta_2 M^4}{16} (1 - F - \dots) & \text{(Model 1),} \\ \frac{\beta_2 M^4}{64} \left(1 - \frac{1}{12} F^2 - \dots\right) & \text{(Model 2).} \end{cases}$$

結果

Jinno, Kaneta, **KO** (2017)

- ◆ r (宇宙背景重力子放射の効果) がもうすぐみえる。
- ◆ 普通の Higgs inflation と区別がつく。



まとめ

1. 宇宙ヤバイ
2. **多重臨界原理はヒッグス質量を予言していた**
3. **登山ヒッグス・インフレーション**
 - 多重臨界原理と整合的
 - 普通の Higgs inflation と**区別可能**

Thank you!

