

Non-SUSY Group (Report I)

Theory, Cosmology, Phenomenology

メンバー： 遠藤、橋、羽柴、鎌田、松本、
中井、進藤、高橋、山下

素粒子標準模型の抱える問題(概念的なものも含む)に対し、超対称模型以外の観点から、様々な模型について現状(LHCの結果)を踏まえ議論を行う。

Non-SUSY模型たちの戦い！

①

- I. ヒエラルキー問題
- II. 世代階層性の問題
- III. 大統一の可能性

$m_h = 122.5 - 127.5 \text{ GeV}$
No BSM Signals @ LHC

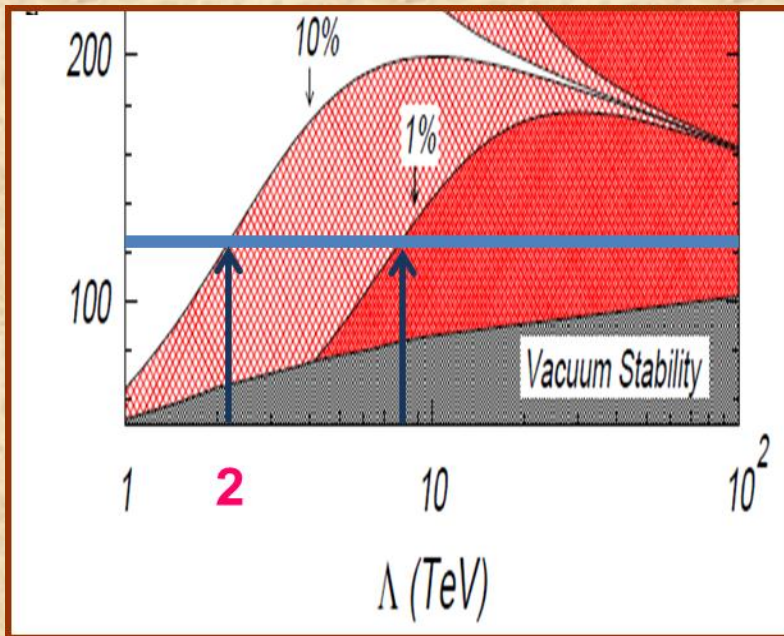
③

1. Little Higgs models.
2. Gauge-Higgs Uni.
3. Large Extra-dim.
4. Warped Extra-dim.
5. Technicolor models
6. Universal Extra-dim.
7. Higgs-less models.
8. 4th generation.
9. Radiative seesaw.
10. Two-higgs doublet.

...

②

[Kolda & Murayama (2000)]



④

LHCのBSM探査に対して、10%
Tuningより緩い模型パラメータ
領域はまだ生きているか？

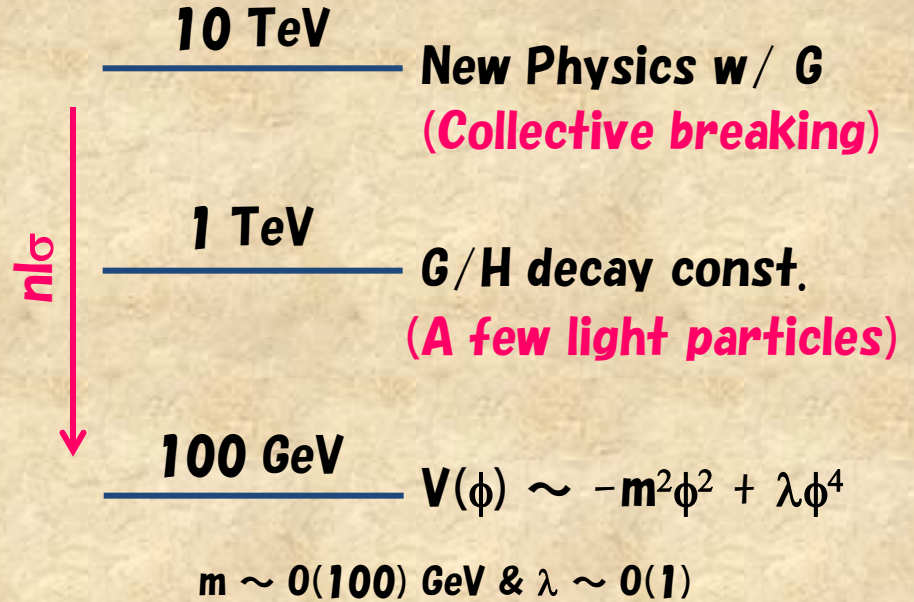
1. Little Higgs models (LH)

Little Higgs (Basics)

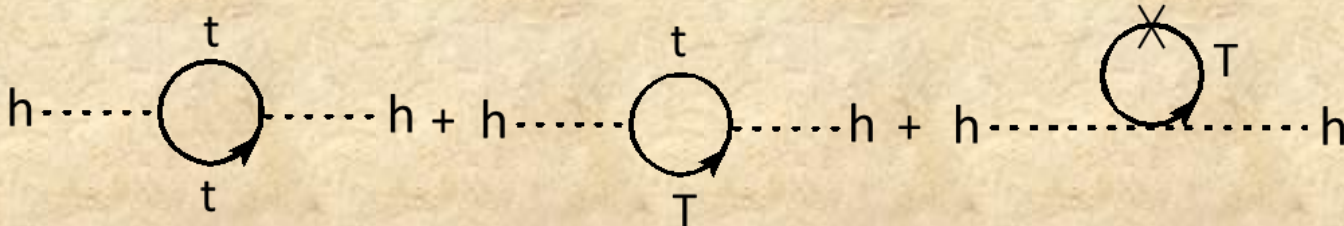
1. Higgs boson は, $G \rightarrow H$ に付随した *pseudo-NG*.
2. Higgs質量項に対する2次発散は *1-loop* でキャンセル.

Little Higgs partner の存在が必ず予言される。

トップ・パートナー(T) の存在



Collective Symmetry Breaking



No Λ^2 at 1-loop Lv. & $\text{Log}\Lambda$ exists $\rightarrow m_T < 600 \text{ GeV}$ for 10%-tuning.

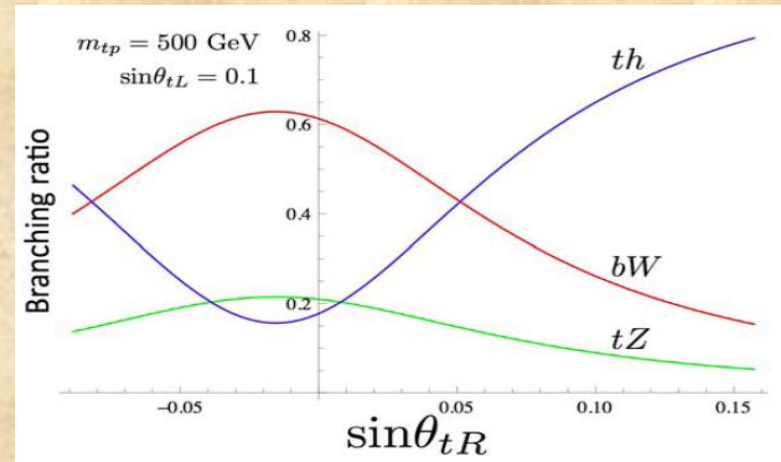
1. Little Higgs models (LH)

Top partner: T(3, 1, 2/3)

Production: $PP \rightarrow TT + X$

Decay modes: $T \rightarrow bW, tZ, th$

Parameters: $m_T, \sin\theta_L, \sin\theta_R$



EWPM \rightarrow Constraint on $\sin\theta_R$

LHC (7TeV) $\rightarrow m_T > 500$ GeV

[CMS PAS EXO-11-099]

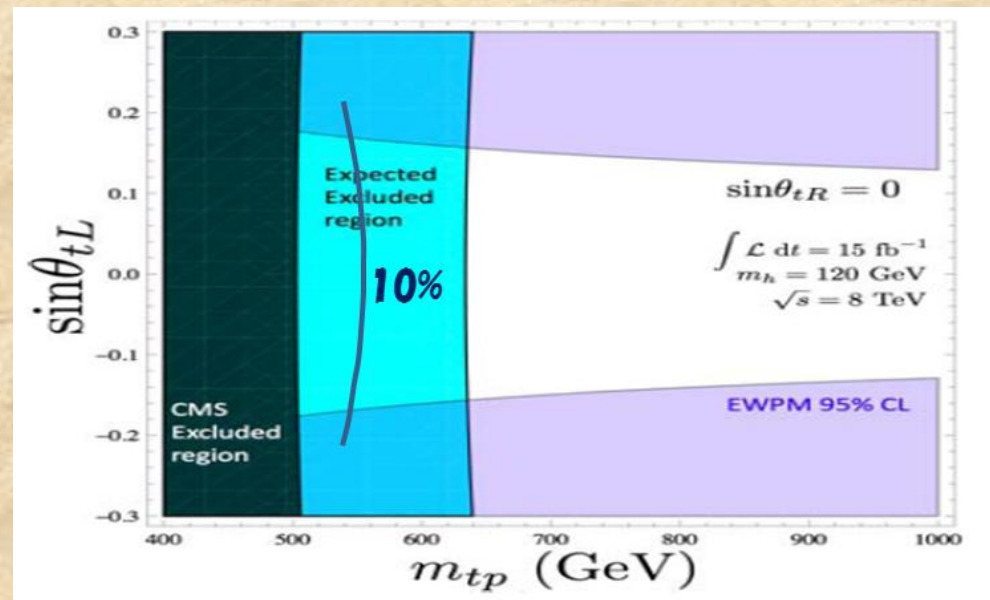
LHC (8TeV) $\rightarrow m_T > 650$ GeV

[Harigaya, et.al., 2012]

Fine-tuning $\rightarrow m_T < 550$ GeV

[Harigaya, et.al., JHEP1201, (2011)]

($\sin\theta_R \uparrow$, then $Br(T \rightarrow th) \uparrow$)



2. Gauge-Higgs Uni. (GHU)

Basics

1. Higgs boson は, (高次元の) Gauge field の一部
2. Higgs質量項に対するUV発散は all order でキャンセル
3. 軽い higgs ($< 200\text{GeV}$) を予言
4. Yukawa は難しい \leftarrow 出来るけど複雑(model-dep. が大きい)

flat metric

little hierarchy は SM より厳しい

$$m_{\text{KK}} \sim v / \theta, \quad (\theta = \theta + 2\pi)$$

\rightarrow 10%教に入信すると即死



10%教の脱洗脳?

warped metric

m_{KK} が $(\pi kR)^{1/2} \sim 6$ 倍大きくなる

\rightarrow 10%教の教え:

$$m_{\text{KK}} \sim 2-3 \text{ TeV}$$



KK top, KK gluon の現象論

2. Gauge-Higgs Uni. (GHU)

Basics

1. Higgs boson は, (高次元の) Gauge field の一部
2. Higgs質量項に対するUV発散は all order でキャンセル
3. 軽い higgs ($< 200\text{GeV}$) を予言
4. Yukawa は難しい ← 出来るけど複雑(model-dep. が大きい)

flat metric

little hierarchy は SM より厳しい
 $m_{KK} \sim v/\theta, (\theta = \theta + 2\pi)$

→ 10%教に入信すると即死

10%教の脱洗脳



warped metric

m_{KK} が $(\pi KR)^{1/2} \sim 6$ 倍大きくなる

→ 10%教の教え:

$m_{KK} \sim 2-3 \text{ TeV}$

KK top, KK gluon の現象論

2. Gauge-Higgs Uni. (GHU)

KK gluon

Yukawa を書くには、LH- と RH-fermion が**同じ多重項**にいる

→ どちらか一方は IR-brane 側による

→ KK gluon との **coupling が大きくなる**: $g^{(1)}/g^{(0)} = 5-7$

→ 第1世代クォークと結合している場合はDijetで制限されている

[1101.5203+update(ATLAS-CONF-2012-038)]

gluon interaction は **model independent**:

PP → $g^{KK}g^{KK}X$ → $(t\bar{t}^{KK})(t\bar{t}^{KK})X$ (multi top events)

2. Gauge-Higgs Uni. (GHU)

KK gluon

Yukawa を書くには、LH- と RH-fermion がある

- どちらか一方は IR-brane 側による
- KK gluon との **coupling が大きくなる**: $g^{(1)}/g$
- 第1世代クォークと結合している場合はDijetで制限される

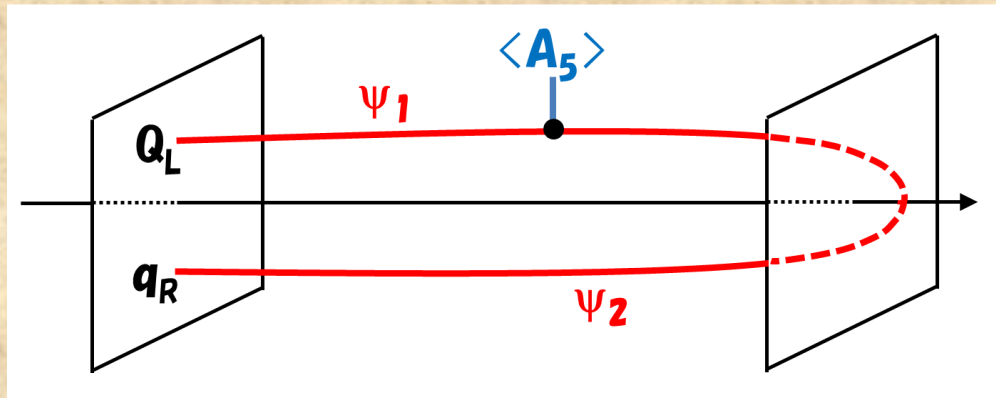
[1101.5203+update(ATLAS-CONF-2012-038)]

gluon interaction は **model independent**:

PP → $g^{KK}g^{KK}X$ → $(tt^{KK})(tt^{KK})X$ (multi top events)



例えば、
SM fermion をUV-brane に置いて、
"messenger" により
EWSBを mediate
(top は無理)



2. Gauge-Higgs Uni. (GHU)

KK gluon

Yukawa を書くには、LH- と RH-fermion がある

- どちらか一方は IR-brane 側による
- KK gluon との **coupling が大きくなる**: $g^{(1)}/g^{(0)}$
- 第1世代クォークと結合している場合はDijetで制限される

[1101.5203+update(ATLAS-CONF-2012-038)]

gluon interaction は **model independent**:

$$PP \rightarrow g^{KK} g^{KK} X \rightarrow (jj^{KK})(jj^{KK})X$$

model dependent

KK top

知られているモデルでは**軽め($\sim 1\text{TeV}$)**にでる

[Medina, et.al., 2007]

- 比較的 **model independent**?

KK top 探索は Little Higgs と同じ (質量は**少し大きい**)

$$\text{LHC (7TeV)} \rightarrow m_T > 500 \text{ GeV}$$

[CMS PAS EXO-11-099]

$$\text{LHC (8TeV)} \rightarrow m_T > 650 \text{ GeV}$$

[Harigaya, et.al., 2012]

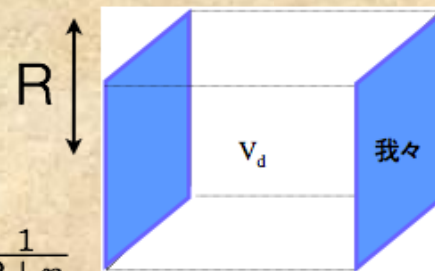
3. Large Extra-dim (ADD)

ADD theory

spacetime $R^4 \times M_n$ M_n : n-dim. compact manifold (volume V_n)

SM field \Rightarrow localized on 3-brane

gravity \Rightarrow spread to bulk



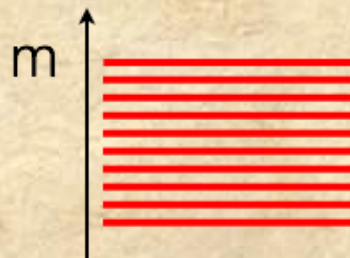
fundamental scale ~~M_{Pl}~~ $\Rightarrow M_D \sim (M_{Pl}^2/V_n)^{\frac{1}{2+n}}$

if $M_D = 10 \text{ TeV}$ $R \sim 10^{\frac{28}{n}-20} \left(\frac{10 \text{ TeV}}{M_D}\right)^{1+\frac{2}{n}} [\text{m}]$

n	2	3	4	5	6
R[m]	10^{-6}	10^{-11}	10^{-13}	10^{-15}	10^{-16}
1/R[GeV]	10^{-10}	10^{-5}	10^{-3}	10^{-1}	1

mass splitting
of KK graviton

$$\Delta m \sim \frac{1}{R}$$



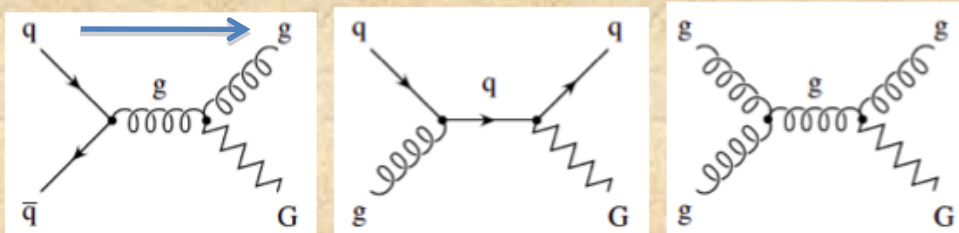
continuous spectrum

たくさんのKK modeの寄与を足し合わせると、結合が強くなる！

3. Large Extra-dim (ADD)

ADD limit

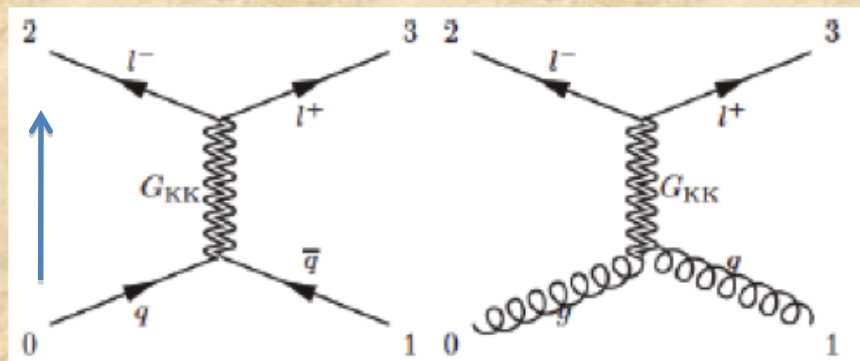
CMS monojet ($\sim 5\text{fb}^{-1}$)



limits on M_D

n	2	4	6
M_D [TeV]	4.1	2.8	2.4

CMS dilepton ($\sim 2\text{fb}^{-1}$)



limits on M_D

n	2	4	6
M_D [TeV]	3.8	3.2	2.7

SN1987a

limits on M_D

n	2	4	6
M_D [TeV]	16	0.29	0.024

Antoniadis,
hep-ph/0512182

3. Large Extra-dim (ADD)

ADD present status

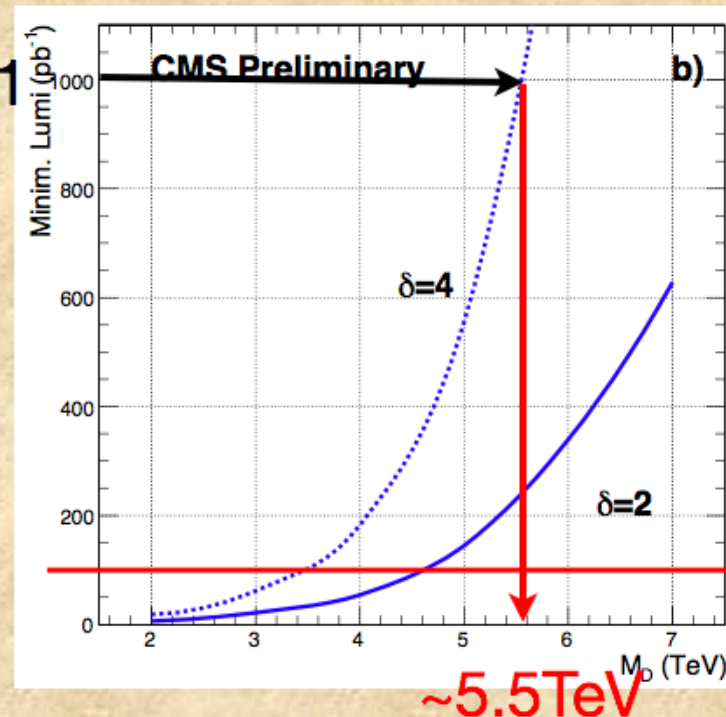
$\Lambda \sim M_D$	$n=2$	$\Lambda > 16\text{TeV}$	\Rightarrow	fine-tuning $< 1\%$
	$n=4$	$\Lambda > 3.2\text{TeV}$	\Rightarrow	$< 10\%$
	$n=6$	$\Lambda > 2.7\text{TeV}$	\Rightarrow	$\sim 10\%$

ADD future prospects

95% C.L. exclusion limit

$$\sqrt{s} = 14\text{TeV}$$

1fb^{-1}



4. Warped Extra-dim (RS)

RS theory solution of hierarchy problem !

5-dim. spacetime $R^4 \times S^1/Z_2$

fixed-point に

positive/negative tension brane を配置

$$ds^2 = \exp(-2kRz) \eta_{\mu\nu} ds^\mu dx^\nu + R^2 dz^2$$

warp factor

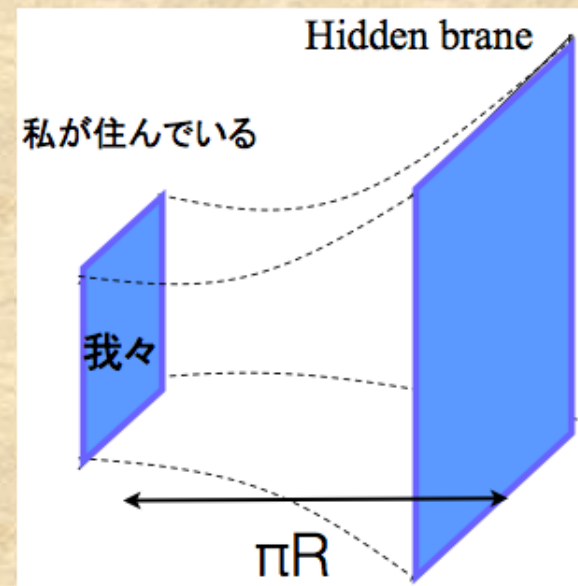
fundamental scale

$$M \sim M_{Pl} e^{-\pi kR}$$

kR	9	10	11	12	13
M [GeV]	10^6	10^4	10^3	10^2	1

KK graviton mass

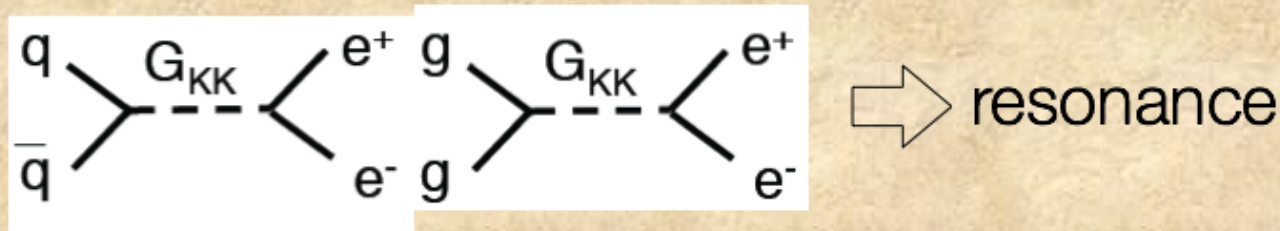
$$M_n \sim z_n k e^{-\pi kR} \quad (z_n = 3.83, 7.01, \dots)$$



4. Warped Extra-dim (RS)

RS limit

ATLAS dilepton ($\sim 5 \text{ fb}^{-1}$)

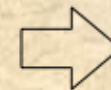


coupling	k/\bar{M}_{Pl}	0.01	0.03	0.1
limits on M_1	M_1 [TeV]	0.91	1.45	2.16
limits on M	M [TeV]	24	13	5.6

RS present status

$$\Lambda \sim M$$

$$k/\bar{M}_{Pl} = 0.01, 0.03$$



fine-tuning

$< 1\%$

$$k/\bar{M}_{Pl} = 0.1$$



$\gtrsim 1\%$

5. Summary table

	10%教	<i>future prospects</i>	
LH	○	8TeV で確認可能	
GHU	× / ○ flat / RS	13TeV は必要	
ADD	× / ○ (n < 6) / (n = 6)	13TeV は必要	
RS	×	—	