

# 沼地予想



濱田雄太 (KEK)

2022/09/01 素粒子物理学の進展2022

素粒子物理学の進展 2019

山崎さんのトーク

「Swampland Conjectures」

なるべく相補的な話をしたいと思います。

この話題のレビュー

[Brenann, Carta, Vafa 1711.00864,

Palti 1903.06239,

Beest, Calderon-Infante, Mirfendereski, Valenzuela 2102.01111,

Grana, Herraez 2107.00087,

日本物理学会 77巻(2022) 8号]

弦理論は量子重力の候補！

利点: 重力子のループを有限に計算。ある種の  
black holeのentropyを再現可能。

欠点: たくさんの解 (真空)。予言能力がない。

「予言能力がない？」 本当にそうか？

# Landscape vs Swampland

量子重力と結合できる場の理論の集合

場の理論4

Landscape

場の理論2

Swampland

場の理論3

場の理論としては無矛盾だが、  
量子重力とは結合できないものの集合

場の理論1

(Landscapeの理論の数)/(Swamplandの理論の数)=0と期待.

素朴には任意の場の理論が結合できるように思える。

しかし、弦理論はこれが有限個の場の理論であることを示唆！

例)  $SU(N)$ ゲージ理論

$N = 2, \dots$  の無限個の場の理論がある。

弦理論からは (例えば) D-braneを $N$ 枚重ねて実現。

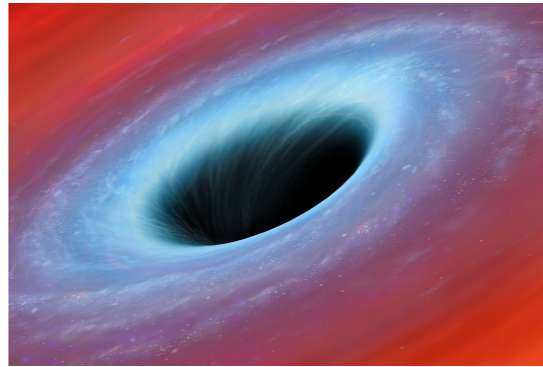
余剰次元のD-brane電荷の相殺や系の安定性から $N$ を

いくらでも大きくはできず、上限がある。

どんな予想があるか？  
なぜ予想されてるか？  
現象論との関係、  
をお話しします。

# Talk Plan

# Talk Plan



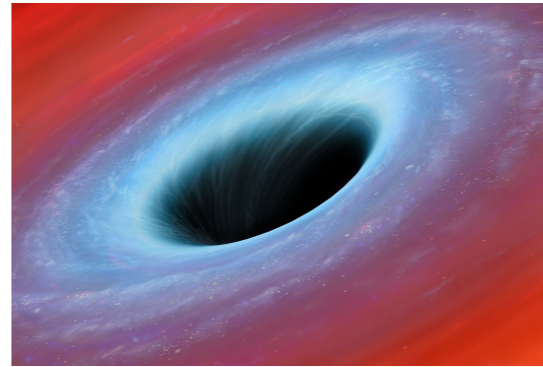
BHからmotivate

$$S_{BH} = A/4.$$

$A$ はBlack Hole(BH)の面積.



# Talk Plan



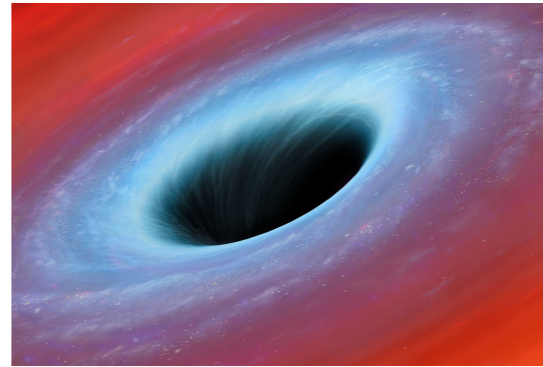
BHからmotivate

$$S_{BH} = A/4.$$

$A$ はBlack Hole(BH)の面積.

No Global Symmetry Conjecture  $\supset$  Completeness Hypothesis

# Talk Plan



BHからmotivate

$$S_{BH} = A/4.$$

$A$ はBlack Hole(BH)の面積.

No Global Symmetry Conjecture  $\supset$  Completeness Hypothesis

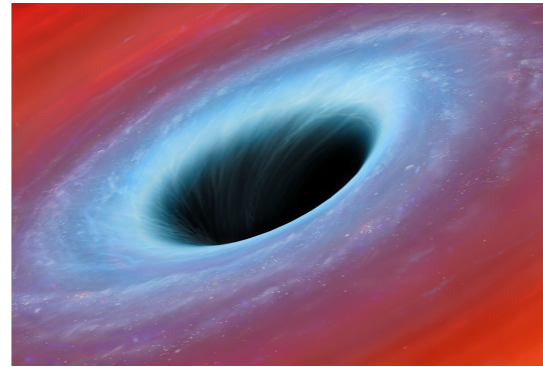


定量化

Weak Gravity Conjecture

# Talk Plan

Compact Brane Moduli



BHからmotivate

$$S_{BH} = A/4.$$

$A$ はBlack Hole(BH)の面積.

No Global Symmetry Conjecture  $\supset$  Completeness Hypothesis

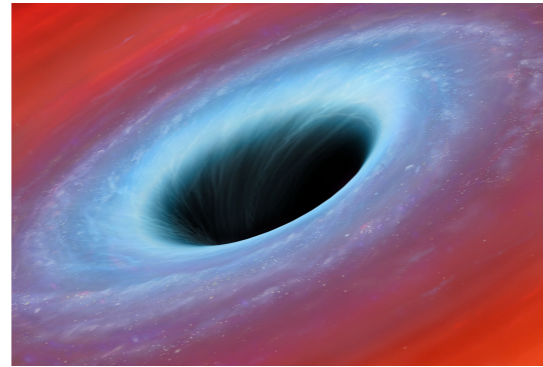


定量化

Weak Gravity Conjecture

# Talk Plan

Compact Brane Moduli



BHからmotivate

$$S_{BH} = A/4.$$

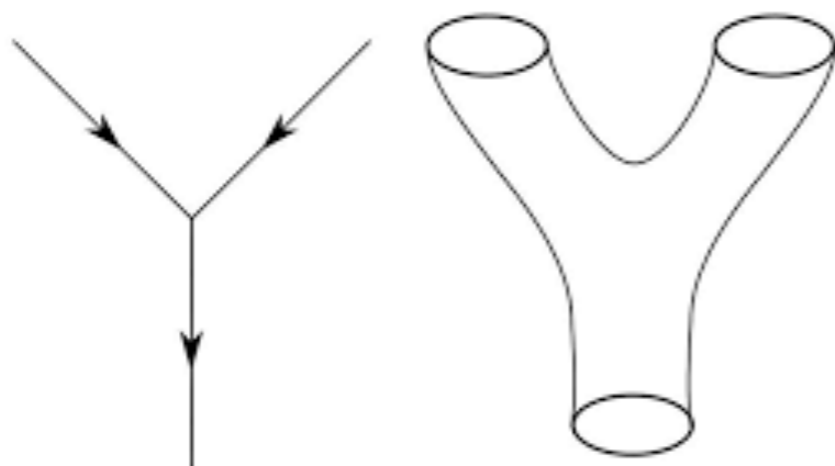
$A$ はBlack Hole(BH)の面積.

No Global Symmetry Conjecture  $\supset$  Completeness Hypothesis



定量化

Weak Gravity Conjecture

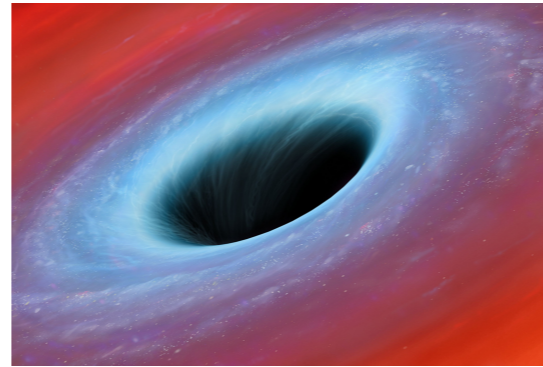


弦理論からmotivate

Distance Conjecture  
de Sitter Conjecture

# Talk Plan

Compact Brane Moduli



BHからmotivate

$$S_{BH} = A/4.$$

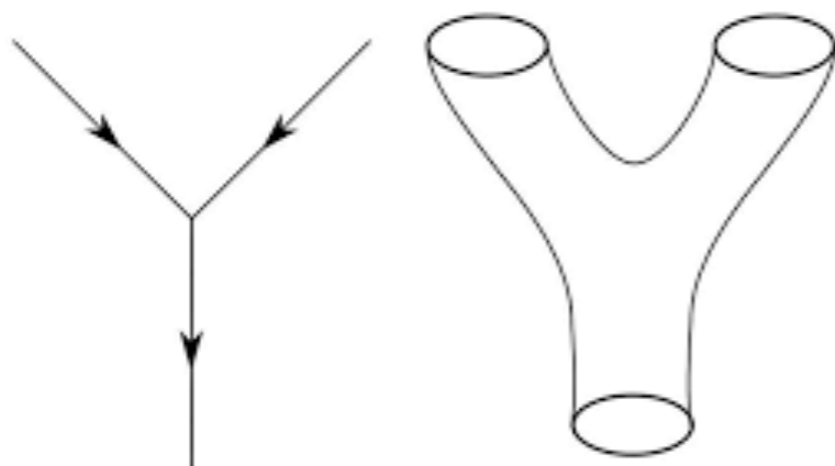
$A$ はBlack Hole(BH)の面積.

**No Global Symmetry Conjecture**  $\supset$  Completeness Hypothesis



定量化

Weak Gravity Conjecture



弦理論からmotivate

Distance Conjecture

de Sitter Conjecture

# No Global Symmetry

**主張:** 量子重力理論にはグローバル対称性が存在しない.

[..., Banks-Dixon '88, ..., Banks-Seiberg '10, ..., Harlow-Ooguri '18, ...]

摂動弦理論

Black Hole (BH)

Holography

内部対称性については,

離散対称性 (例:  $\mathbb{Z}_N$ ) と連続対称性 (例:  $SU(2)$ ) どちらも存在しない.

Higher form対称性 (や非可逆対称性) も存在しない.

時空離散対称性 (例: パリティ) はよく分からない.

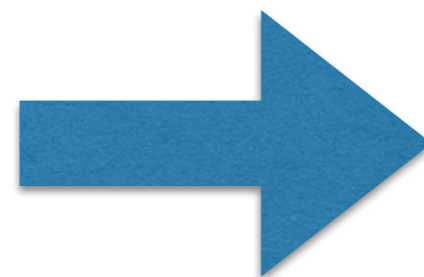
時空に境界があって, そこに存在するglobal対称性はOK.

(例: AdS/CFT)

# ブラックホールとの関係

$SU(2)$ グローバル対称性があったとする.

スピン $J$ の物質を入れると,  
いくらでも大きな $SU(2)$  chargeを持つ  
BHを構成できる.

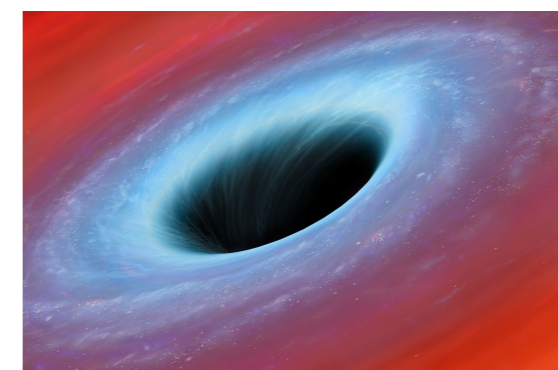


ホーキング輻射

外側の観測者には $SU(2)$

Chargeは見えないので, 無限個の  
BH状態を区別不可能.

一方で,  $e^{S_{BH}}$ は有限



$$S_{BH} = A/4.$$

$A$ はBHの面積.

# 解

解(1) Explicitly broken.

そもそもglobalな保存電荷がない.

解(2) Gauged

電場があるので, 遠方の観測者がブラックホール  
の持つchargeを観測できる.



# $B - L$

標準模型にはglobal  $B - L$  対称性がある.

Explicitly broken or gauged のどちらか成り立つべき.

(1) Explicitly broken

ニュートリノ質量項

$$\mathcal{L} = \frac{1}{\Lambda} LHLH + \dots$$

で  $U(1)_{B-L} \rightarrow \mathbb{Z}_2$  に破る.

(2) Gauged

$U(1)_{B-L}^3$  をキャンセルするように標準模型を拡張してゲージ化.

# Strong CP problem

QCD Lagrangian is

$$\mathcal{L} \sim -F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + \theta F_{\mu\nu}\tilde{F}^{\mu\nu}$$

Experimental constraint is  $\theta \lesssim 10^{-10}$ .

An explanation is given by QCD axion  $a$ .

Lagrangian is

$$\mathcal{L} \sim (\partial_\mu a)^2 - F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + \frac{a}{f_a} F_{\mu\nu}\tilde{F}^{\mu\nu}$$

**EOM** for axion requires

$$\delta_a Z \sim \langle F_{\mu\nu}\tilde{F}^{\mu\nu} \rangle = 0 \rightarrow \theta = 0.$$

# Axion quality problem

Axionはカイラル対称性  $U(1)_{PQ}$  の南部-Goldstone粒子として出てくる。 $U(1)_{PQ} SU(3)_C^2$  のアノマリーを通してのみ破れる。

素朴に

$$\mathcal{L} \sim \frac{\Phi^5}{M_P} \quad \Phi: U(1)_{PQ} \text{ charged scalar}$$

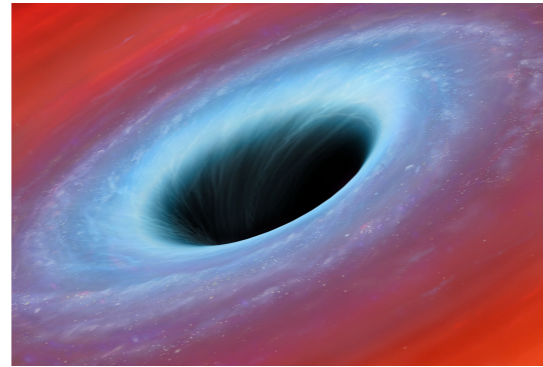
で $U(1)_{PQ}$ 破れると問題。 $\langle \Phi \rangle \sim 10^{10} \text{ GeV}$ とすると

$$\mathcal{L} \sim \frac{\Phi^{10}}{M_P^6}$$

くらいまでの係数はsuppressされてないといけない。

# Talk Plan

Compact Brane Moduli



BHからmotivate

$$S_{BH} = A/4.$$

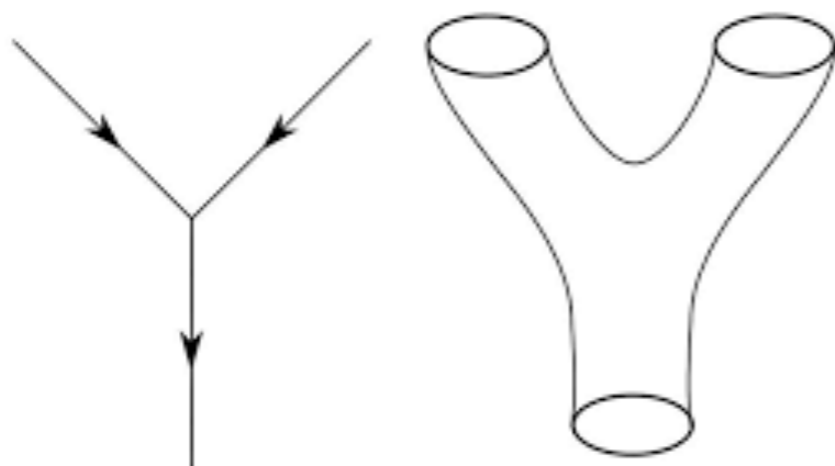
$A$ はBlack Hole(BH)の面積.

No Global Symmetry Conjecture  $\supset$  Completeness Hypothesis



定量化

**Weak Gravity Conjecture**



弦理論からmotivate

Distance Conjecture

de Sitter Conjecture

# Weak Gravity Conjecture (WGC)

Statement:

For  $U(1)$  gauge group, there exists **at least** one **charged state** which satisfies (in  $2M_{\text{Pl}}^2=1$  unit)

$$|Q| \geq M$$

( $M, Q$ ): mass and  $U(1)$  charge of the state.

Magnetic versionも存在する。  $|Q_M| \geq m_M$ .

( $m_M, Q_M$ ): monopole mass and  $U(1)$  magnetic charge.

# WGCの説明

元々の動機はExtremal BHの崩壊から. [[ArkaniHamed-Motl-Nicolis-Vafa '06](#)]

弦理論での反例は見つかっていない.

photon-photon散乱振幅のunitarity, causalityからの説明.

Extremal BHがWGCを満たす状態となる.

[[Hamada-Noumi-Shiu '18](#)] [cf. 上田くんのトーク]

Holographyからの説明. [[Montero '18](#)]

# Non-SUSY AdS conjecture

- Conjecture 1:

Except for BPS state, gravity is **strictly** weakest force.



[Maldacena, Michelson, Strominger '98]

All non-SUSY AdS vacua supported by flux are unstable.

AdS vacuum

AdS with  
less flux

- Conjecture 2: All non-SUSY AdS vacua are unstable.

(as long as low energy action is Einstein gravity with finite number of fields)

Motivation: (All known construction from M/string theory,  
AdS is supported by some flux.) + (Conjecture 1)

# Neutrino質量

Neutrinoの質量やDirac/Majoranaに応じて

標準模型を $S^1$ コンパクト化した理論に $AdS_3 \times S^1$ 真空が出る。

[Arkani-Hamed, Dubovsky, Nicolis, Villadoro '07] [Ooguri, Vafa '16, Ibanez, Martin-Lozano, Valenzuela '17]

この $AdS_3 \times S^1$ 真空は非摂動的に不安定であるため、

予想には反しない。 [Hamada-Shiu '17]

より複雑なコンパクト化, 別の予想を用いてneutrino質量, Dirac/

Majoranaを制限する試み。 [Gonzalo-Herreraez-Ibanez '18, Gonzalo-Ibanez-

Valenzuela '21]



# Talk Plan

Compact Brane Moduli



BHからmotivate

$$S_{BH} = A/4.$$

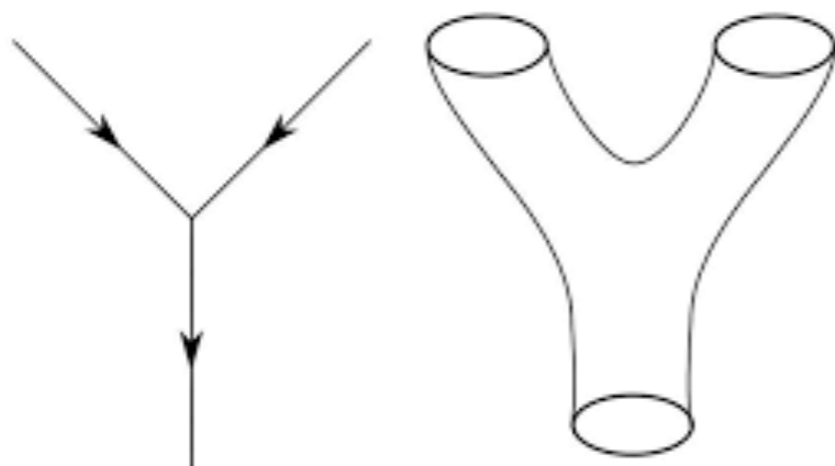
$A$ はBlack Hole(BH)の面積.

No Global Symmetry Conjecture  $\supset$  **Completeness Hypothesis**



定量化

Weak Gravity Conjecture



弦理論からmotivate

Distance Conjecture

de Sitter Conjecture

# Completeness Hypothesis

**主張:** 理論が持つゲージ群の表現は可能な**全て**が現れる。

[[Polchinski '03](#), [Banks-Seiberg '10](#), [Harlow-Ooguri '18](#), [Rudelius-Shao '20](#), [Heidenreich-McNamara-Montero-Reece-Rudelius '21](#), ...]

## Supports

- Dirac量子化条件と矛盾しない限り、**任意のチャージを持つBH解**を考えることができる。
- 理論にmissing chargeがあったとする。その場合も、missing chargeを持つWilsonループを考えることができる。これは、無限に重い電子対を入れてると理解。重力理論では、ブラックホールと解釈される。
- Missing chargeは**1-formグローバル対称性**や**非可逆対称性**を出す。

# 標準模型

標準模型に適用すると,

- ・モノポールが存在しなければならない.
- ・分数電荷の場がある可能性がある.

標準模型のゲージ群には不定性がある [Tong '17]

$$SU(3) \times SU(2) \times U(1), \quad \frac{SU(3) \times SU(2) \times U(1)}{\mathbb{Z}_2},$$
$$\frac{SU(3) \times SU(2) \times U(1)}{\mathbb{Z}_3}, \quad \frac{SU(3) \times SU(2) \times U(1)}{\mathbb{Z}_6}$$

# 標準模型

ゲージ群は

$SU(3)_C \times SU(2)_L \times U(1)_Y \rightarrow SU(3)_C \times U(1)_{QED}$  に破れる.  $Q_{QED} = T^3 + Y$ ,

Name	field	$SU(3)_C$	$SU(2)_L$	$U(1)_Y$	spin	B	L
left handed quark	$q_i = (u_L, d_L)_i$	3	2	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	0
right handed quark	$u_{Ri}$	3	1	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	0
	$d_{Ri}$	3	1	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	0
left handed lepton	$l_i = (\nu_L, e_L)_i$	1	2	$-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	1
right handed lepton	$e_{Ri}$	1	1	-1	$\frac{1}{2}$	0	1
Higgs	$H = (H^+, H^0)$	1	2	$\frac{1}{2}$	0	0	0
gluon	$G_\mu$	8	1	0	1	0	0
$SU(2)_L$ gauge boson	$W_\mu$	1	3	0	1	0	0
$U(1)_Y$ gauge boson	$B_\mu$	1	1	0	1	0	0

$\xi: e^{2\pi i Y} \in U(1)_Y, \eta = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \in SU(2)_L, \begin{pmatrix} e^{2\pi i/3} & 0 & 0 \\ 0 & e^{2\pi i/3} & 0 \\ 0 & 0 & e^{2\pi i/3} \end{pmatrix} \in SU(3)_C$  で場は変換しない.

$$SU(3) \times SU(2) \times U(1)$$

Completenessからの要請

少なくとも  $\left(1, 1, \frac{1}{6}\right)$  の状態が存在  $\rightarrow Q_{QED} = \frac{1}{6}$  の分数電荷状態.

この状態がminimal電荷を持つ状態とすれば,

Magnetic Monopoleのminimal磁荷は

$$M_{QED} = 6.$$

$$\underline{SU(3) \times SU(2) \times U(1)}$$

$$\mathbb{Z}_2$$

$$\xi^3 : \quad e^{2\pi i(3Y)} \in U(1)_Y, \eta = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \in SU(2)_L$$

$\left(\mathbf{1}, \mathbf{1}, \frac{1}{6}\right)$  の状態は  $e^{2\pi i(3Y)} = -1$  なので、許されない。

許される状態は、

$$\left(\mathbf{1}, \mathbf{2}, \frac{1}{6}\right) \rightarrow Q_{QED} = \frac{2}{3}, -\frac{1}{3} \quad \text{や} \quad \left(\mathbf{1}, \mathbf{1}, \frac{1}{3}\right) \rightarrow Q_{QED} = \frac{1}{3} \quad \text{など.}$$

Minimal電荷は  $|Q_{QED}| = \frac{1}{3}$  で、やはり分数電荷の状態が存在。

MonopoleのMinimal磁荷は  $M_{QED} = 3$ .

$$\underline{SU(3) \times SU(2) \times U(1)}$$

$$\mathbb{Z}_3$$

$$\xi^2 : \quad e^{2\pi i(2Y)} \in U(1)_Y, \quad \begin{pmatrix} e^{2\pi i \frac{2}{3}} & 0 & 0 \\ 0 & e^{2\pi i \frac{2}{3}} & 0 \\ 0 & 0 & e^{2\pi i \frac{2}{3}} \end{pmatrix} \in SU(3)_C$$

許される状態は,

$$\left( \mathbf{1}, \mathbf{1}, \frac{1}{2} \right) \rightarrow Q_{QED} = \frac{1}{2} \quad \text{や} \quad \left( \mathbf{3}, \mathbf{1}, \frac{1}{6} \right) \rightarrow Q_{QED} = \frac{1}{6} \quad \text{など.}$$

Minimal電荷はcolor singletなら  $|Q_{QED}| = \frac{1}{2}$ , coloredなら  $|Q_{QED}| = \frac{1}{6}$ .

Color磁荷を持たない Monopoleの Minimal QED磁荷は  $M_{QED} = 6$ ,

Color磁荷を持つ Monopoleの Minimal QED磁荷は  $M_{QED} = 2$ .

$$\underline{SU(3) \times SU(2) \times U(1)}$$

$$\mathbb{Z}_6$$

$$\xi : \quad e^{2\pi i Y} \in U(1)_Y, \eta = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \in SU(2)_L, \begin{pmatrix} e^{2\pi i/3} & 0 & 0 \\ 0 & e^{2\pi i/3} & 0 \\ 0 & 0 & e^{2\pi i/3} \end{pmatrix} \in SU(3)_C$$

Color singletの分数電荷状態は存在しない.

Minimal電荷はcolor singletなら  $|Q_{QED}| = 1$ , coloredなら  $|Q_{QED}| = \frac{1}{3}$ .

Color磁荷を持たないMonopoleのMinimal QED磁荷は  $M_{QED} = 3$ ,

Color磁荷を持つMonopoleのMinimal QED磁荷は  $M_{QED} = 1$ .



# WGCと組み合わせ

$$\begin{array}{ccc}
 |Q_{QED}| = \frac{1}{6} & |Q_{QED}| = \frac{1}{3} & |Q_{QED}| = \frac{1}{2} \text{ (color singlet), } \frac{1}{6} \text{ (colored)} \\
 SU(3) \times SU(2) \times U(1) & \frac{SU(3) \times SU(2) \times U(1)}{\mathbb{Z}_2} & \frac{SU(3) \times SU(2) \times U(1)}{\mathbb{Z}_3}
 \end{array}$$

Color singletの分数電荷状態が存在.

さらに, 分数電荷状態にWGCが成立すると**仮定**すれば,

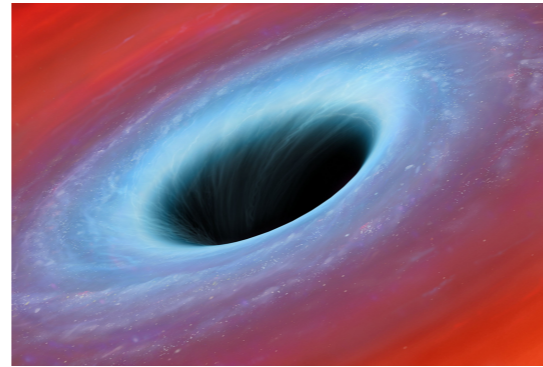
$$M \leq \sqrt{2} |Q_{QED}| M_P.$$

また, Magnetic monopoleの質量は  $m_{\text{mag}} \leq g M_P \sim \frac{1}{e} M_P$

初期宇宙などで生成される可能性?

# Talk Plan

## Compact Brane Moduli



BHからmotivate

$$S_{BH} = A/4.$$

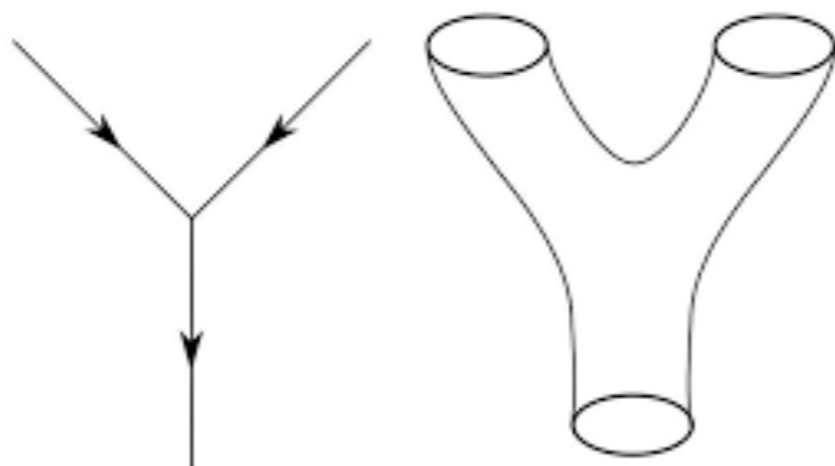
$A$ はBlack Hole(BH)の面積.

No Global Symmetry Conjecture  $\supset$  Completeness Hypothesis



定量化

Weak Gravity Conjecture



弦理論からmotivate

Distance Conjecture

de Sitter Conjecture

# Branes

主張: Braneのモジュライ空間はコンパクト.

$d > 6$  の超重力理論, **BPS defect** (超対称性で安定性が保証された位相欠陥)を考える.

例:

ゲージインスタントン ( $(d - 5)$ -brane,  $(d - 4)$ -dim field theory),

モノポール ( $(d - 4)$ -brane,  $(d - 3)$ -dim field theory).

ブレーンはモジュライのVEVでparametrizeされた内部自由度を持つ。

# Compact moduli space

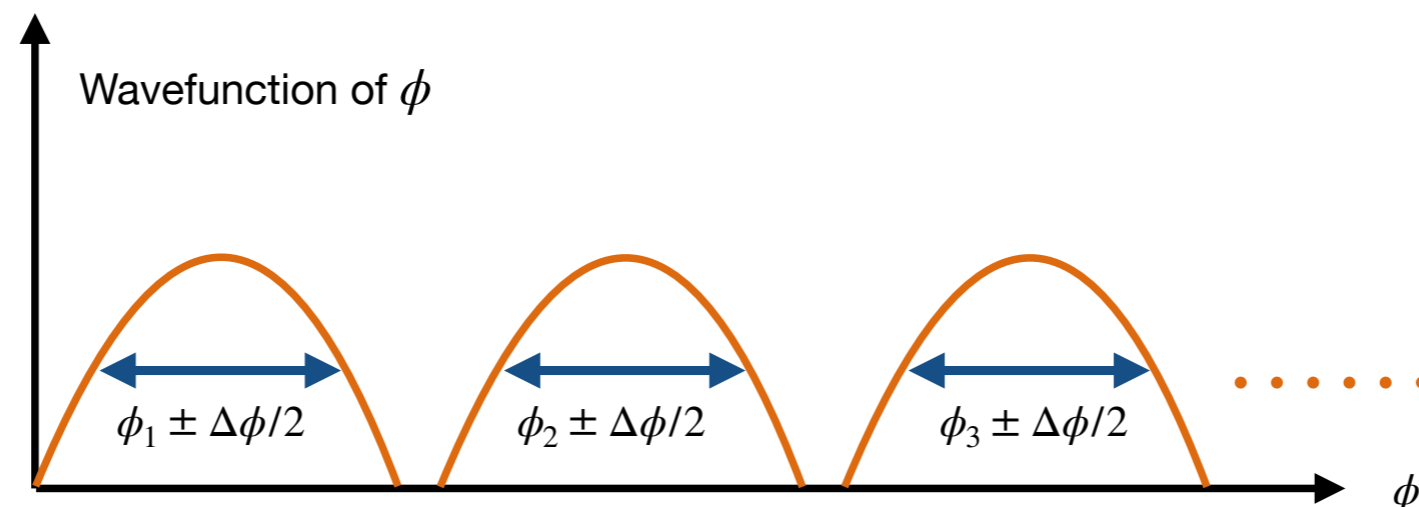
トーラスにコンパクト化する ( $T^{d-5}$  for instanton,  $T^{d-4}$  for monopole):

5d or 4d 理論 にいる **0-brane** [Quantum Mechanics (QM)].

0-braneの量子状態 ← moduli field  $\phi$ の波動関数.

もしモジュライ空間がコンパクトでなければ,  
given energy rangeに無限個の状態がある。

これは, Bekenstein **entropy bound**  $S(M)$ を破る。



# Why interesting?

ゲージインスタントンのCompact Coulomb Branch

= String理論の内部空間

9d: D4 in IIA on  $S^1/\mathbb{Z}_2$ ,

8d: D3 in F-theory on elliptic K3,

7d: M2 in M-theory on K3.

Finite BH entropy  $\leftrightarrow$  Finite  $M_P$  (finite内部空間体積)

The consistency condition of geometry gives rise strong restrictions on the possible patterns of the gauge group.

# Talk Plan

Compact Brane Moduli

BHからmotivate

$$S_{BH} = A/4.$$

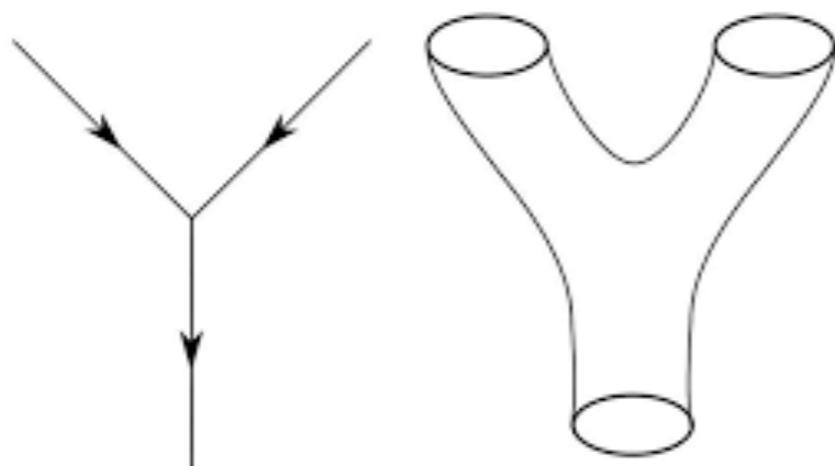
$A$ はBlack Hole(BH)の面積.

No Global Symmetry Conjecture  $\supset$  Completeness Hypothesis



定量化

Weak Gravity Conjecture



弦理論からmotivate

**Distance Conjecture**

de Sitter Conjecture

# Distance Conjecture

Massless スカラー場のラグランジアン

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2} \eta^{\mu\nu} g_{IJ} (\partial_\mu \phi^I) (\partial_\nu \phi^J)$$

$g_{IJ}$  を場の空間の metric と呼ぶ. これを使って distance を定義できる.

スカラー場  $\phi$  の空間の distance が大きいところで, 指数関数的に軽い状態の tower が現れる. 特に, tower の質量は

$$M_{\text{tower}} \sim M_P e^{-n\alpha\Delta\phi}, \quad n = 1, 2, \dots$$

ここで,  $\alpha$  は  $\mathcal{O}(1)$  の正の定数.

# 2つの極限

## 極限1: KK tower

$D = d + 1$  dimensional spacetime compactified on  $S^1$ .

The radius  $R$  corresponds to the radion field  $\phi$ .

$$2\pi R = e^{\sqrt{\frac{d-2}{2(d-1)}}\phi}, \quad M_{KK}^2 \sim e^{-\sqrt{\frac{2(d-1)}{d-2}}\phi}.$$

For  $\phi \rightarrow \infty$ ,  $d$ -dimensional EFT breaks down.

## 極限2: String tower

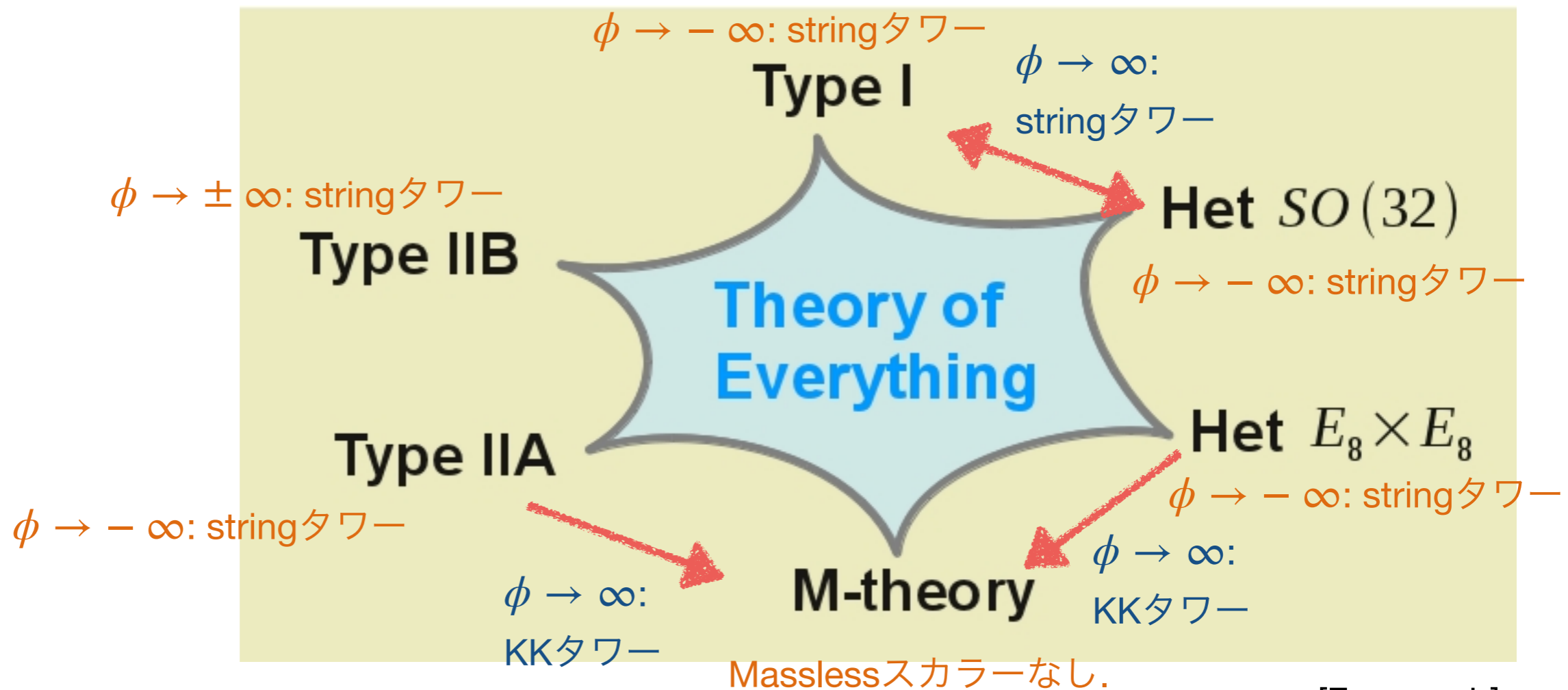
Dilaton場  $\phi$  (弦の結合定数  $e^\phi$ ) と string scale  $M_{st}$  の関係は  $M_P^8 = M_{st}^8 e^{-2\phi}$

$M_P$  を固定して  $\phi \rightarrow \infty$  では string 励起モードが軽くなる。



# Examples in String Theory

ディラトン  $\phi$  (弦の結合定数  $e^\phi$ )



[From [web](#)]

# インフレーション

Cutoff scaleがHubbleよりも低くなるとinflationのdynamicsに影響出そう.

$$H \lesssim M_P e^{-\alpha \Delta\phi / M_P}, \quad \frac{\Delta\phi}{M_P} \lesssim \frac{1}{\alpha} \log \left( \frac{M_P}{H} \right)$$

$H$  を固定した時に,  $\Delta\phi$  に上限が出る.

一方で, Lyth bound [Lyth '96] は  $H$  を固定した時に  $\Delta\phi$  への下限を出す.

$$10^5 \frac{H}{M_P} \lesssim \frac{\Delta\phi}{M_P}$$

合わせて, 
$$\frac{H}{M_P} \lesssim \frac{10^{-5}}{\alpha}.$$

# Talk Plan

Compact Brane Moduli

BHからmotivate

$$S_{BH} = A/4.$$

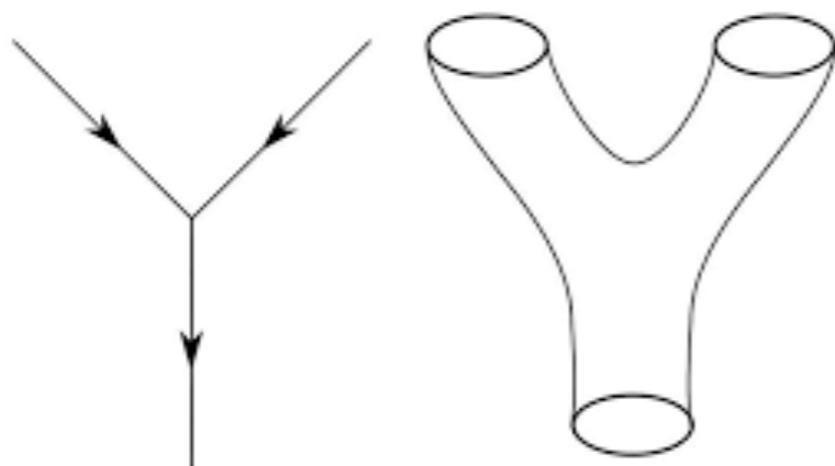
$A$ はBlack Hole(BH)の面積.

No Global Symmetry Conjecture  $\supset$  Completeness Hypothesis



定量化

Weak Gravity Conjecture



弦理論からmotivate

Distance Conjecture

**de Sitter Conjecture**

# de Sitter Conjecture

EFTのPotential  $V(\phi)$ は

$$|\nabla V| \geq \frac{c}{M_P} V \quad \min(\nabla_i \nabla_j V) \leq -\frac{c'}{M_P^2} V$$

の少なくともどちらか一方が満たされる.

ここで,  $c$  と  $c'$  は正の  $\mathcal{O}(1)$  の係数.

de Sitter真空では  $|\nabla V| = 0$  かつ  $\min(\nabla_i \nabla_j V) > 0$

なので, Conjectureが正しければ, excludeされる.

# $SO(16) \times SO(16)$ 弦理論

10次元では超対称性を持たないが, tachyonもない弦理論として  
 $SO(16) \times SO(16)$ 弦理論がある.

Tree levelでの宇宙項はゼロ. One-loopでの宇宙項をColeman-  
Weinbergと同じように計算でき,

$$\Lambda_{10} \simeq 4 \times 10^{-6} (\alpha')^{-5} \quad (\alpha')^{-1}: \text{弦の張力.}$$

となる. **正の宇宙項.**

# Runaway Potential

しかし, これは安定なde Sitter真空を意味しない.

String frameでの作用

$$S = (\alpha')^{-4} \int d^{10}x \sqrt{g} e^{-2\phi} \left( \frac{1}{2}R + 2(\nabla\phi)^2 - (\alpha')^4 \Lambda_{10} + \dots \right)$$

はdilaton場  $\phi$  を含む ( $g_s = e^\phi$ が弦の結合定数). Einstein frameでは

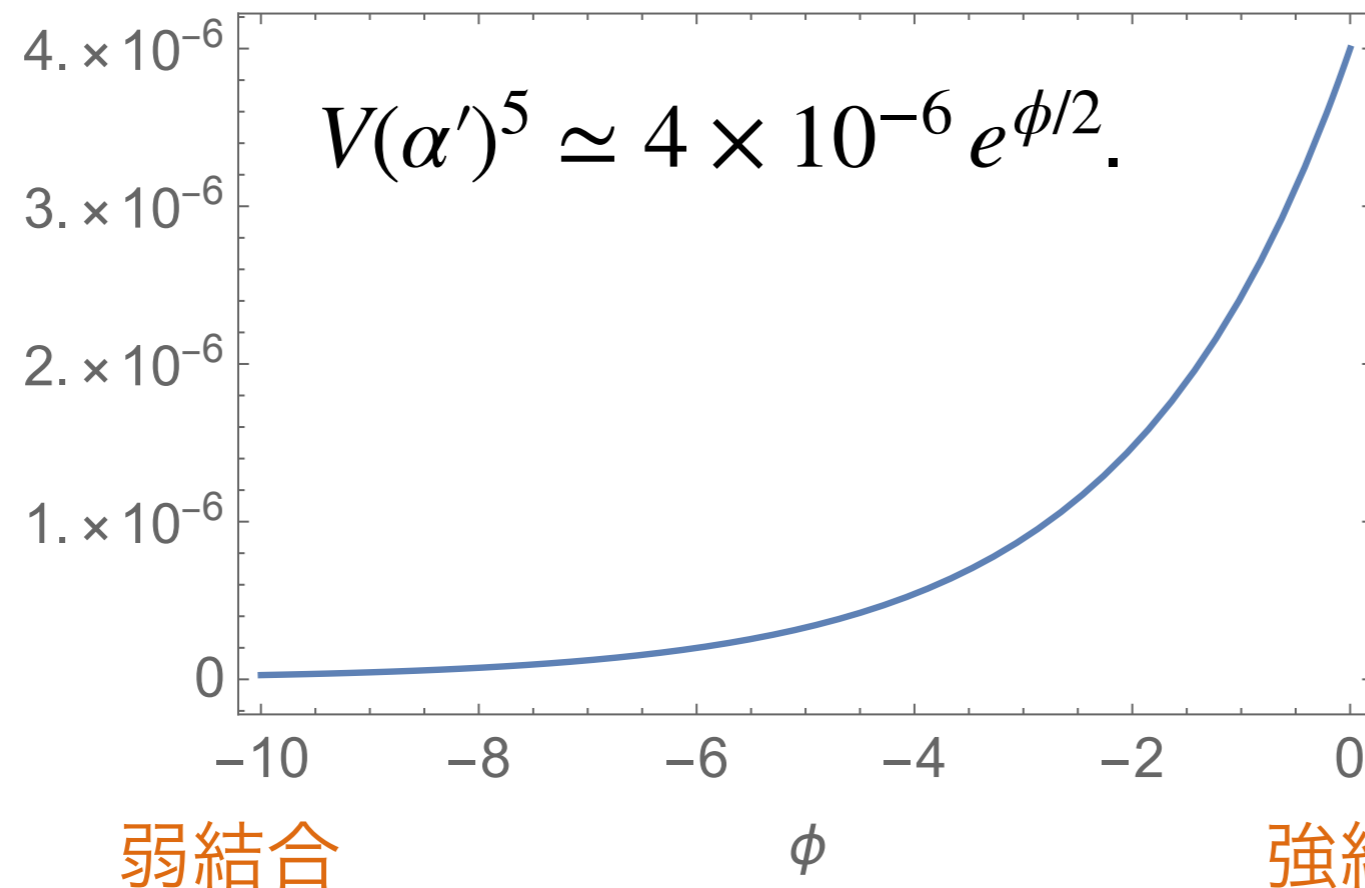
$$S = \int d^{10}x \sqrt{g} \left( R + \frac{1}{2}(\nabla\phi)^2 - \Lambda_{10} e^{\phi/2} + \dots \right)$$

ポテンシャルは  $V = \Lambda_{10} e^{\phi/2}$ .

$$V = \Lambda_{10} e^{\phi/2}$$

Einstein frameでのdilaton potential:

$$V = \Lambda_{10} e^{\phi/2} \simeq 4 \times 10^{-6} (\alpha')^{-5} e^{\phi/2}.$$



$g_s = e^{\phi} \rightarrow 0$  への  
Runaway potential.

# dS Conjecture is Controversial

予想は弦理論でdS時空を実現する提案を否定している.

KKLT [Kachru-Kalosh-Linde-Trivedi '03]

LVS [Balasubramanian-Berglund-Conlon-Quevedo '05]

これらのシナリオでは

- 1: SUSYを保つAdS真空 (で宇宙項の絶対値が小さいもの) を構成.
- 2: 小さなSUSY breaking効果を加えてdS真空へとupliftする.

現状では1の段階で既にControversial.



# dS Conjecture is Controversial

**主張1:** IIB/F理論の4次元時空へのコンパクト化で  $\Lambda_4 = -10^{-123} M_P^4$

(現実宇宙と同じ絶対値で逆符号)となるものを構成した. [Demirtas-Kim-

McAllister-Moritz-Rios Tascon '21]

**主張2:** IIB/F理論に存在する5-braneが存在するので, そのholography

を考える(5-brane上の場の理論と5-braneを消した曲がった時空上の量

子重力が等価)と  $\Lambda_4 = -10^{-123} M_P^4$  を実現する理論のカットオフス

ケールは  $|\Lambda_4|/M_P^2 \sim 10^{-61} M_P \sim 10^{-34} \text{eV}$  [Lust-Vafa-Wiesner-Xu '22]

?????

# まとめ

色々な沼地予想を紹介しました.

- No Global Symmetry Conjecture
- Weak Gravity Conjecture
- Completeness Hypothesis
- Distance Conjecture
- Compact Brane Moduli
- de Sitter Conjecture