

38. ワームホールを用いたAdS/QCD模型の構築

2026/09/03 熱場の量子論とその応用@KEK

岩中章紘 (YITP, PD)

01

背景

- ・ 強結合QCDの有効模型 $\rightarrow$ AdS/QCD模型
 - ・ 代表例: D4/D8 模型・次元脱構築模型
 - ・ QGP(クォークグルーオンプラズマ) への拡張が困難
- $\rightarrow$ QGP や相転移を記述したい!

02

まとめ

- ・ AdS/QCD模型を作った
 $\rightarrow$ 通行可能なワームホールを使った
- ・ 有限温度(QGP)に拡張した
 $\rightarrow$ ブラックホールを使った
- ・ ハドロンの性質や相転移を調べた

03

結果 01

$$ds^2 = a^2(z)(\eta_{\mu\nu}dx^\mu dx^\nu + dz^2),$$

$$a(z) = \begin{cases} L/(z+z_0) & \text{for } -z_0 \leq z < 0, \\ -L/(z-z_0) & \text{for } 0 \leq z \leq z_0 \end{cases}$$

[Taishi Kawamoto, et al., JHEP **04**, 086 (2025)]

$$I_g = -\kappa \int d^4x dz \sqrt{-g} \text{tr} \left[\frac{1}{2} F_{MN} F^{MN} \right],$$

$$F_{MN} = \partial_M A_N - \partial_N A_M - i[A_M, A_N], \quad M, N \in \{0, 1, 2, 3, z\}$$

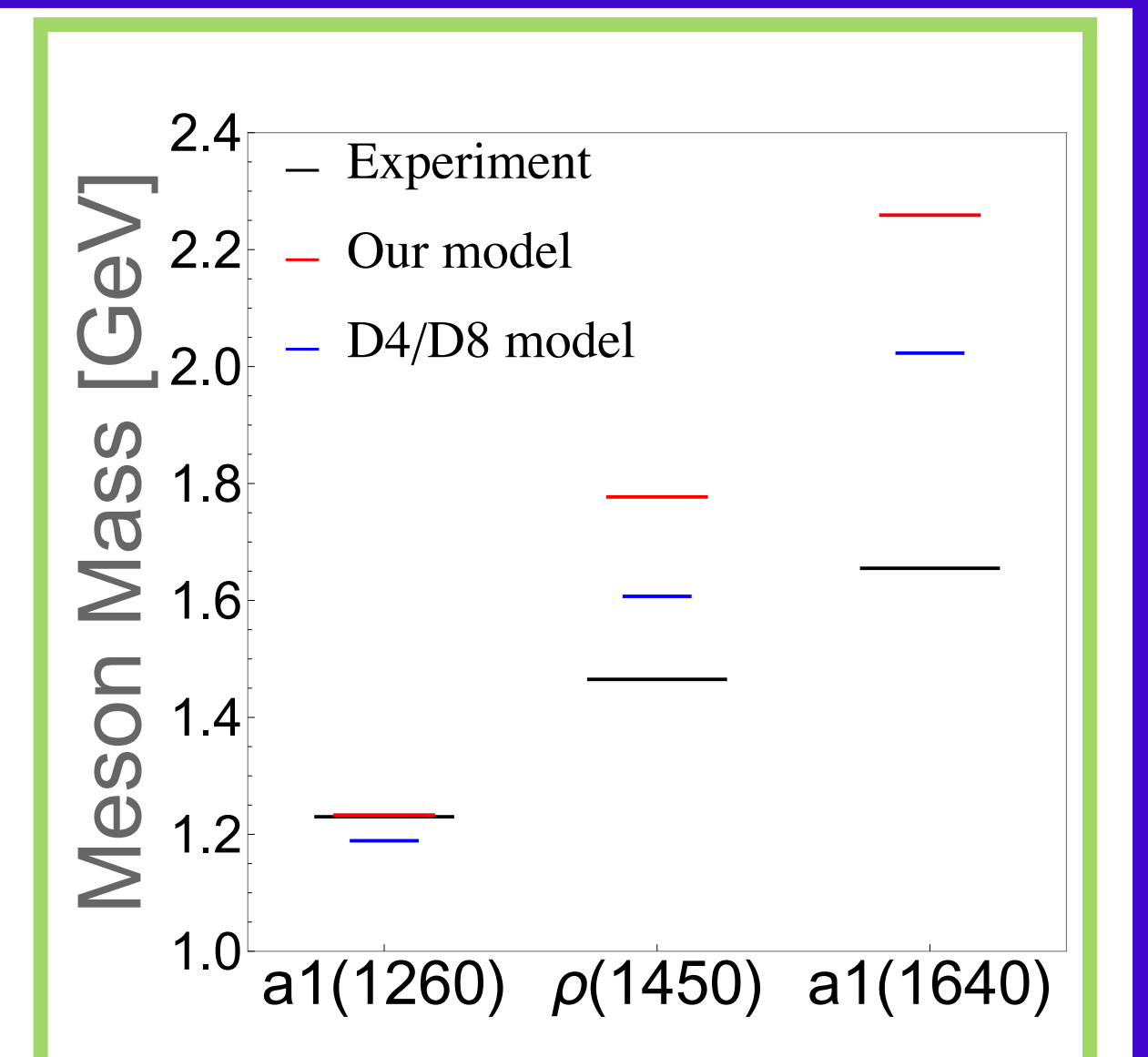
$z_0 = L$ は m_ρ で, κ は f_π でそれぞれ fit

A_μ の運動方程式を解く $\rightarrow$ メソン質量が求まる

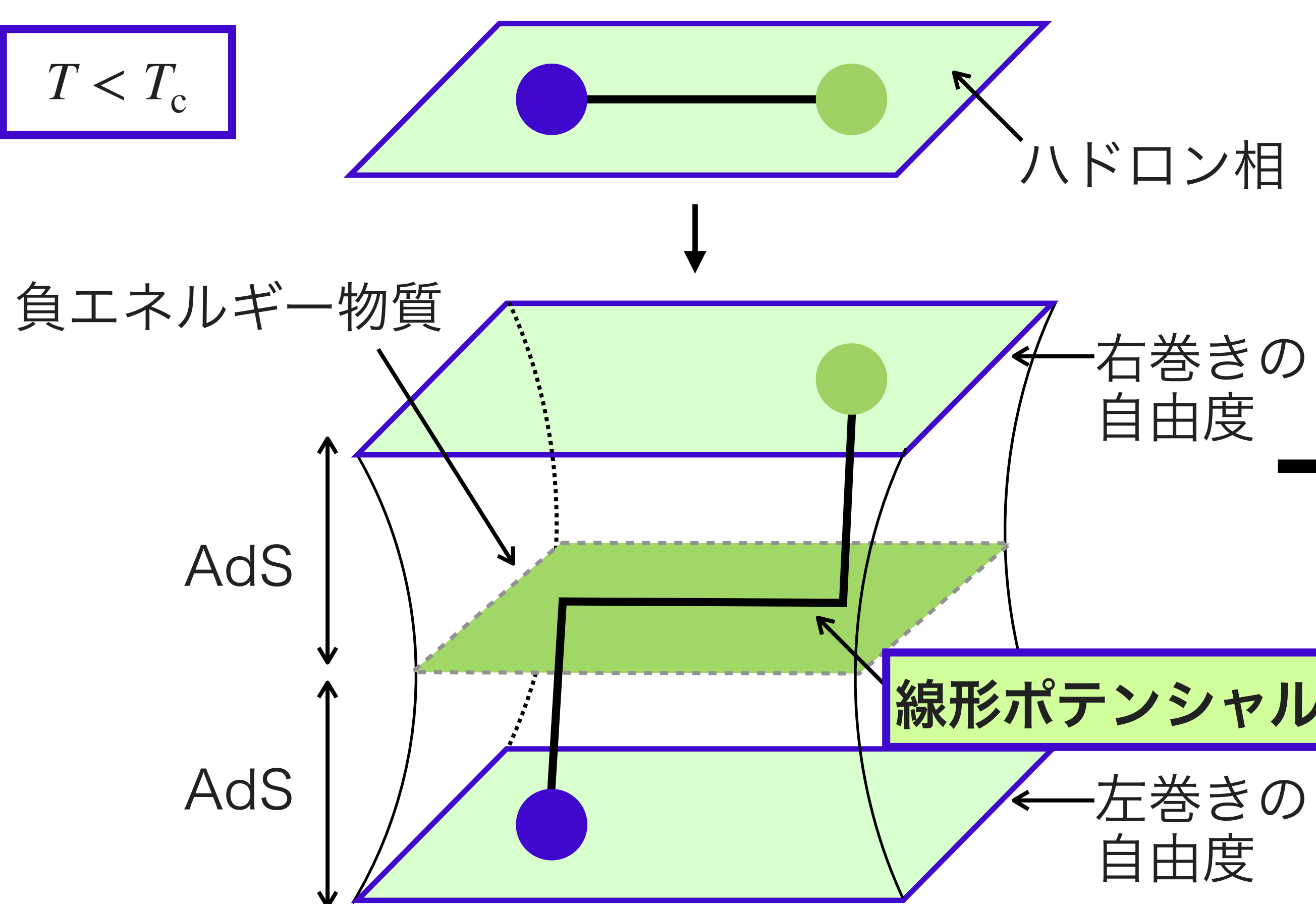
$$\frac{m_{a_1}}{m_\rho} = \frac{J_1 \text{の1つ目のゼロ点}}{J_0 \text{の1つ目のゼロ点}} = \boxed{1.593}$$

cf. 1.587 (exp.)

Bessel 関数のゼロ点で決まる!
模型のパラメータによらない!

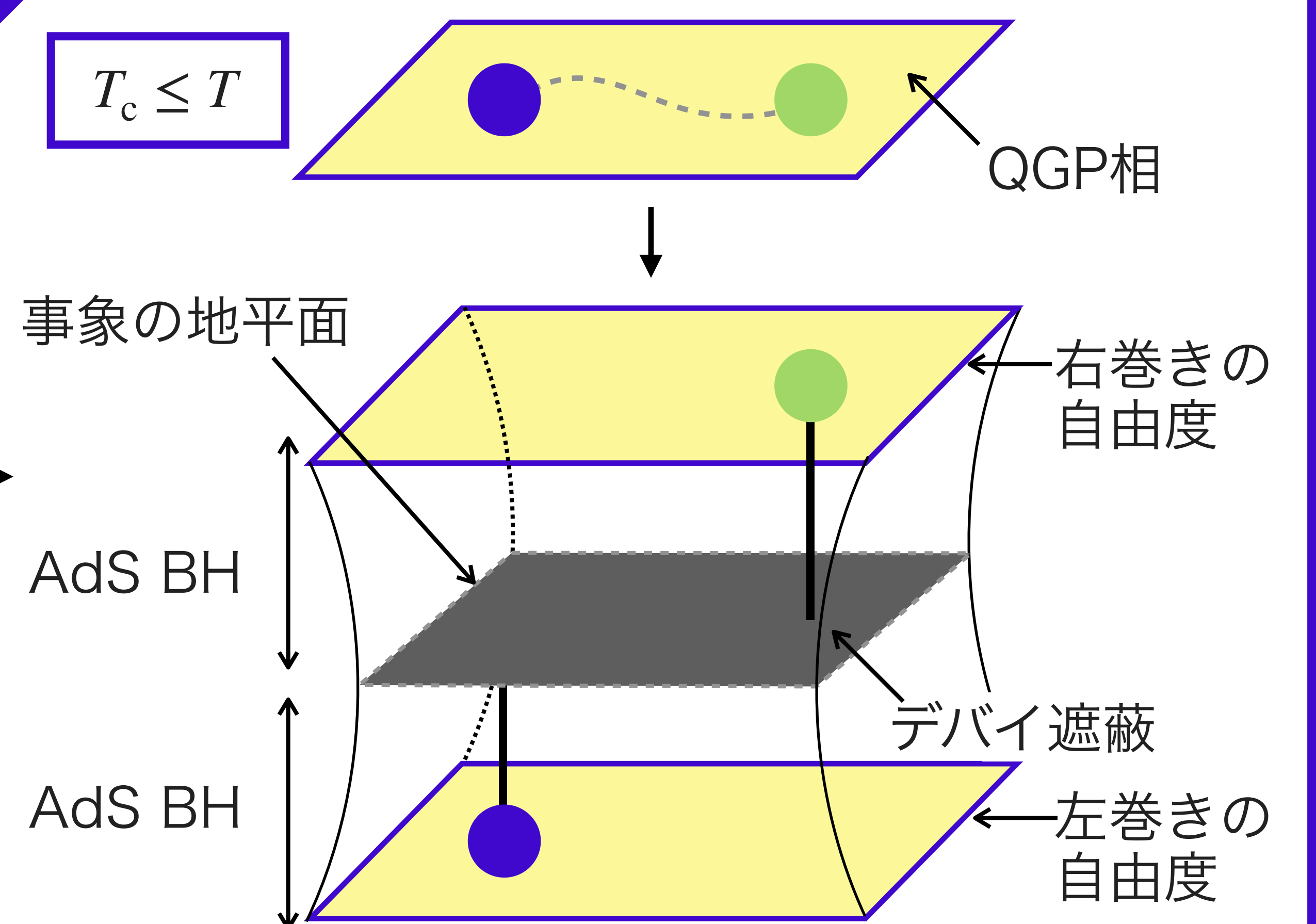


$$T < T_c$$



04

$$T_c \leq T$$



05

結果 02

$$ds^2 = \frac{L^2}{z^2}(-f(z)dt^2 + d\vec{x}^2 + f^{-1}(z)dz^2), \quad f(z) = 1 - (z/z_h)^4$$

Einstein-Hilbert 作用 + negative tension brane + etc. を比較

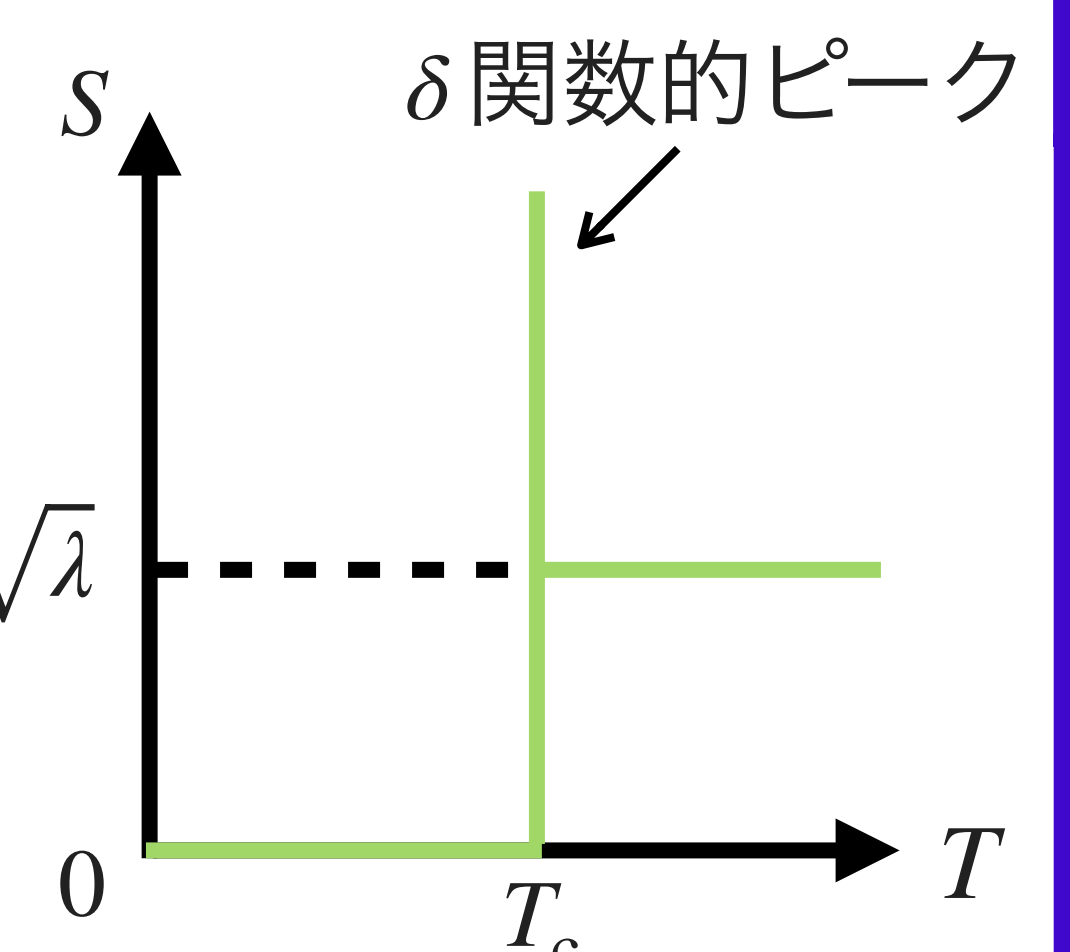
$$T_c = \frac{7^{1/4}}{\pi z_0} = \boxed{167 \text{ MeV}}, \quad 1 \text{ 次相転移}$$

結果 03

エントロピーに $\boxed{\text{ピーク}}$

$$S_{T_c < T} = -\frac{\partial F_{\text{strings}}}{\partial T} = \boxed{\sqrt{\lambda}}$$

cf. [Koji Hashimoto and Dmitri E. Kharzeev, PRD **90**, 125012 (2014)]
[Kristan Jensen and Andreas Karch, PRL **111**, 211602 (2013)]



06

考察

あるいはこじつけ

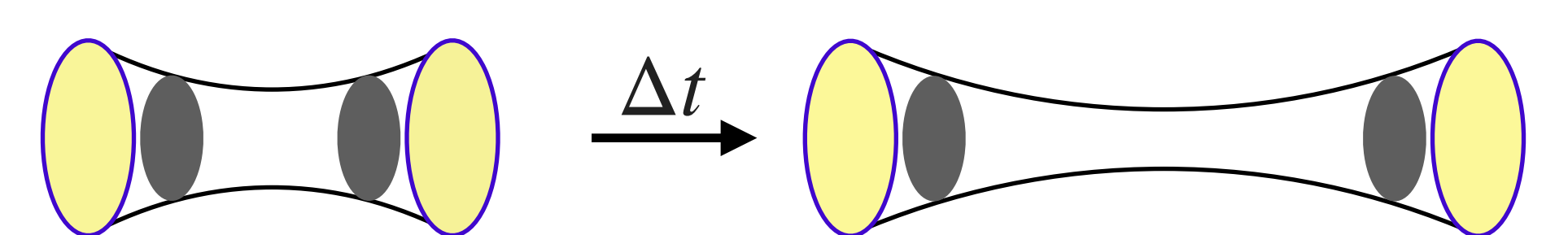
① Double trace 変形っぽい

$$\begin{aligned} S_{\text{mass}} &= \int d^4x \text{tr}[m\bar{q}q] \\ &\sim \int d^4x \text{tr}[m\bar{q}_L q_R] \\ &\leftrightarrow \int d^4x \text{tr}[\dots]_L \text{tr}[\dots]_R \end{aligned}$$

② レプリカ法っぽい

$$Q_{ab} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{N} \langle \langle \sigma_a^i \sigma_b^i \rangle \rangle$$
$$\leftrightarrow \langle \bar{q}_L(x) q_R(x) \rangle + (L \leftrightarrow R)$$

③ Complexityっぽい



※境界は $S^3 \times \mathbb{R}$ (global patch)

Long string $\sim$ Complexity? (CV)

[Leonard Susskind, Fortsch.Phys. **64** 24-43 (2016)]