

# ゼロおよび純虚数化学ポテンシャルにおける、 3フレーバーQCDのクォーク質量依存性

arXiv : hep-ph/1105.3959

**佐々木崇宏**

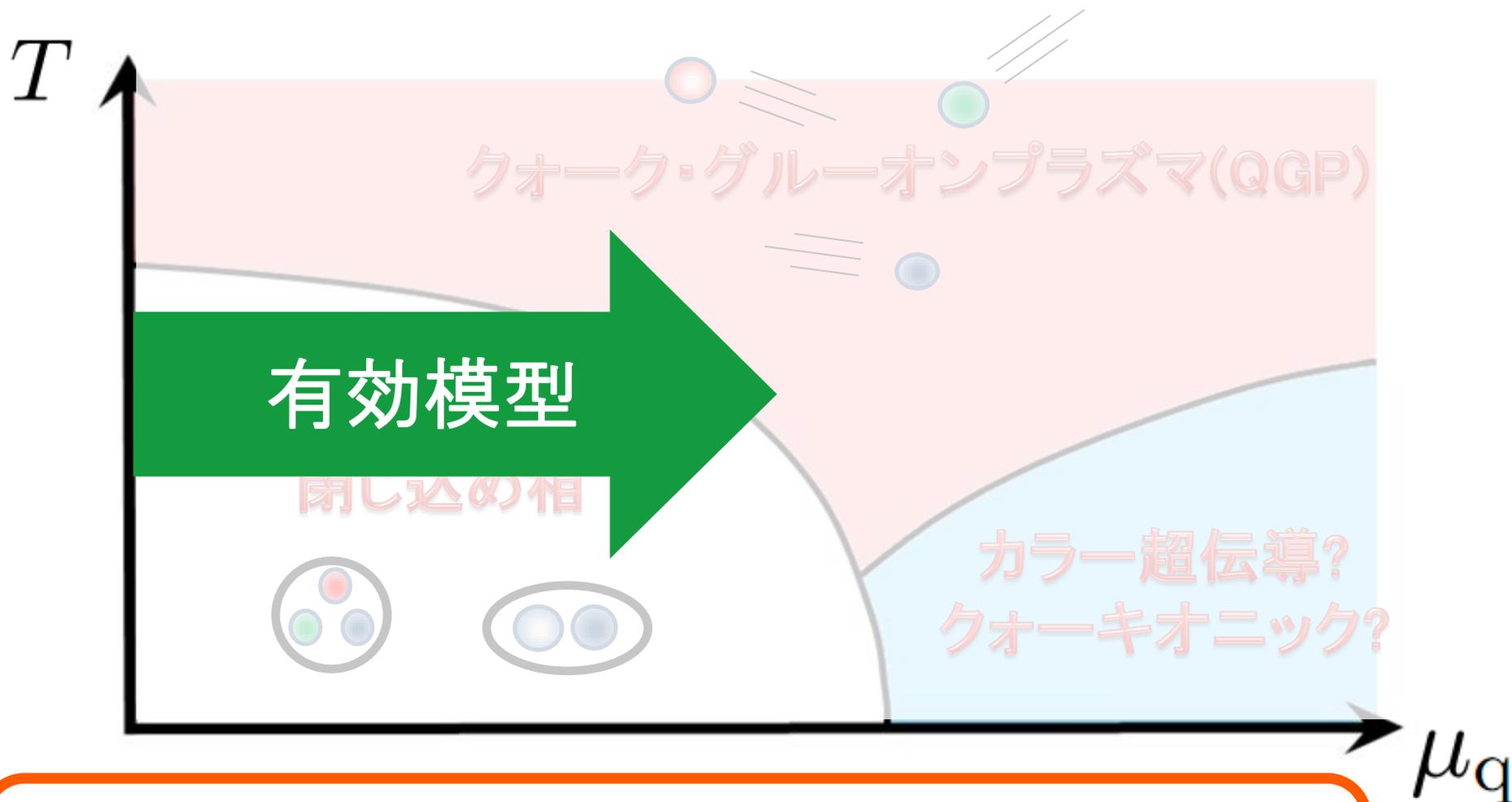
境祐二、河野宏明<sup>A</sup>、八尋正信

九大院理、佐賀大理工<sup>A</sup>

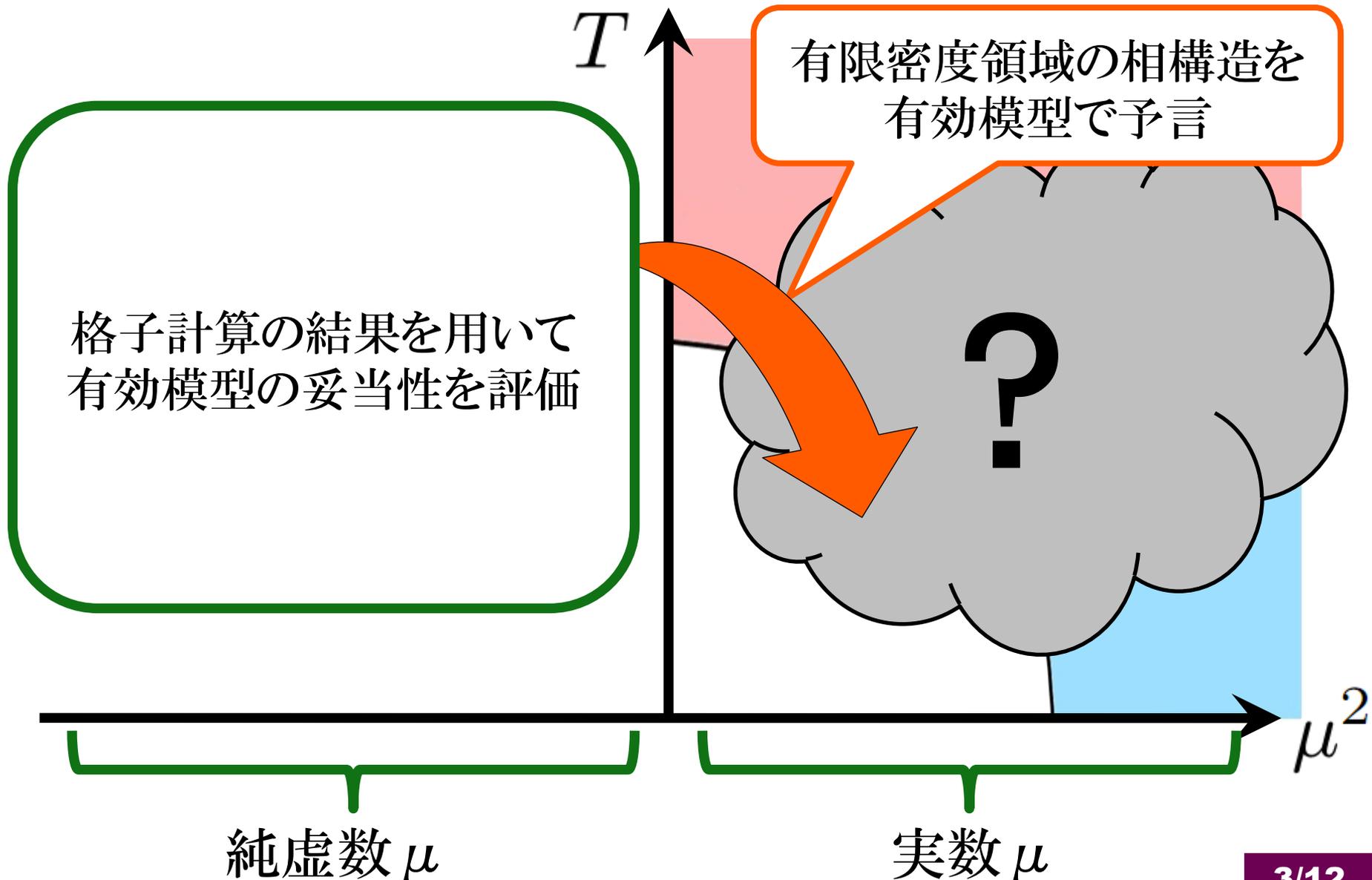


**九州大学**  
KYUSHU UNIVERSITY

2011.8.19@白浜荘  
原子核三者若手夏の学校 原子核パート研究会



- 第一原理計算(格子QCD)は有限密度で困難。
- 信頼できる有効模型でQCD相図を解析する!



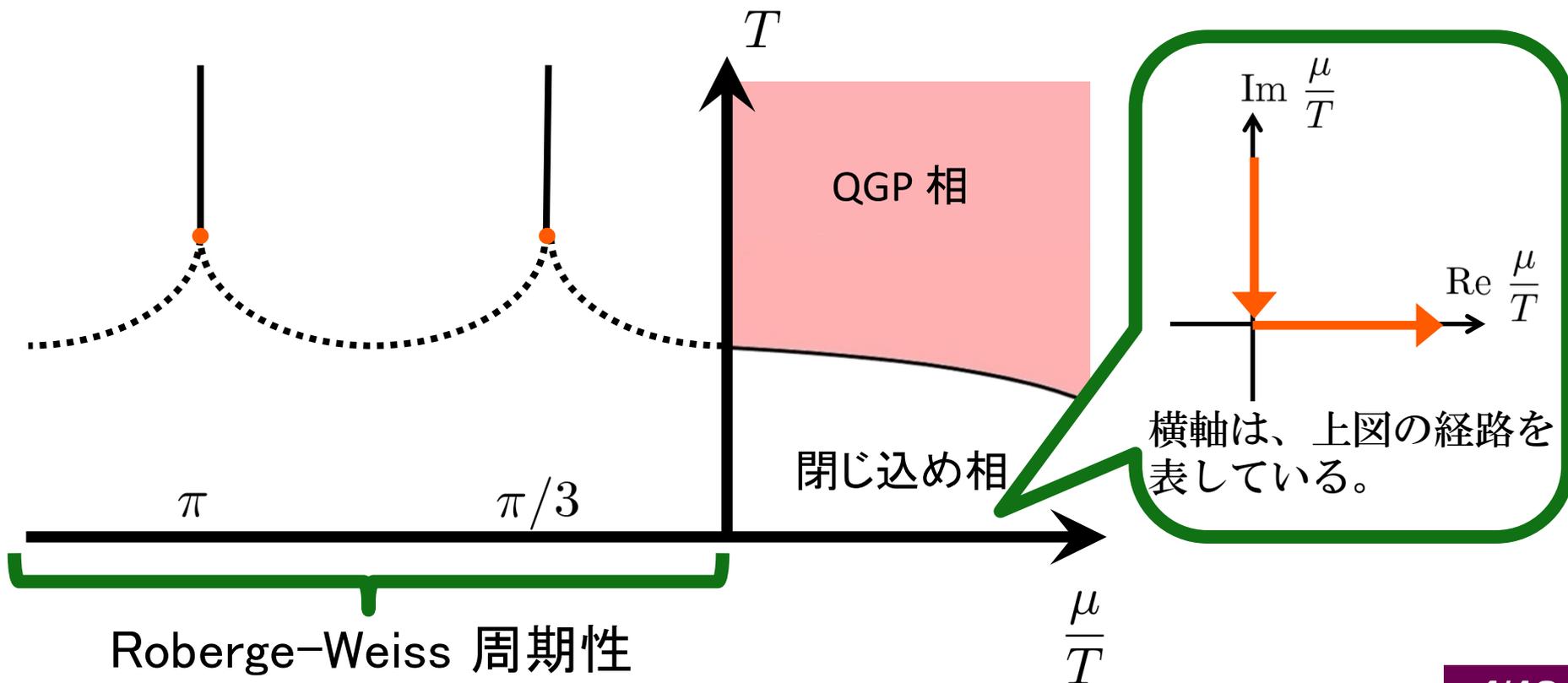
# 純虚数化学ポテンシャル

QCD は Roberge-Weiss 周期性をもっている。

$$\theta = \text{Im}(\mu/T)$$

$$Z(\theta + 2\pi/3) = Z(\theta)$$

(A. Roberge and N. Weiss, Nucl. Phys. B275, 734, 1986)



# Entanglement PNJL 模型

## PNJL 模型

(K. Fukushima, Phys. Rev. D **77**, 114028 (2008))

$$\mathcal{L}_{\text{PNJL}} = \bar{q}(i\gamma_\nu D^\nu - \hat{m}_0)q + G_S \sum_{a=0}^8 [(\bar{q}\lambda_a q)^2 + (\bar{q}i\gamma_5\lambda_a q)^2] \\ - G_D [\det \bar{q}(1 + \gamma_5)q + \det \bar{q}(1 - \gamma_5)q] - \mathcal{U}(\Phi, \bar{\Phi}, T)$$

$$\hat{m}_0 = \text{diag}(m_u, m_d, m_s) \quad m_u = m_d = m_l$$

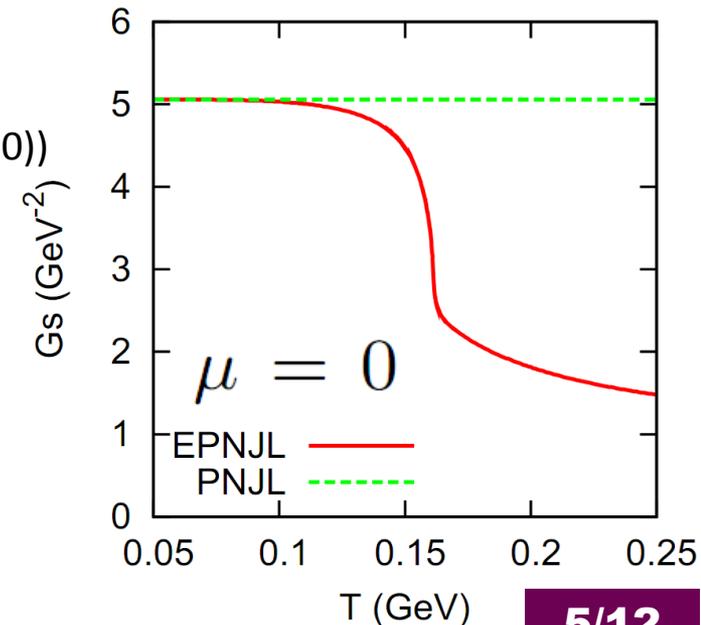
## Entanglement 結合

(Y. Sakai, T. S, H. Kouno and M. Yahiro, Phys. Rev. D **82**, 076003 (2010))

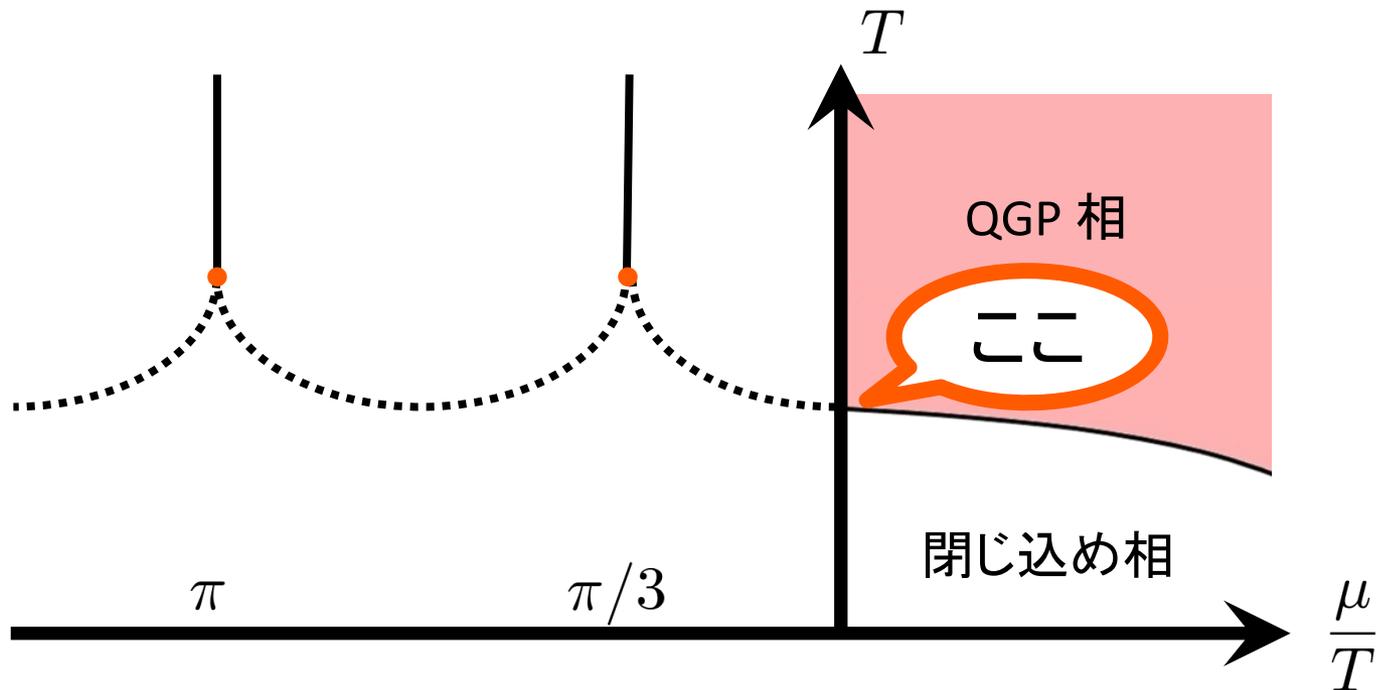
$$G_S(\Phi) = G_S [1 - \alpha_1 \Phi\Phi^* - \alpha_2(\Phi^3 + \Phi^{*3})]$$

パラメーターは以下のように設定している。

$$(\alpha_1, \alpha_2) = (0.25, 0.1)$$



# ゼロ化学ポテンシャル

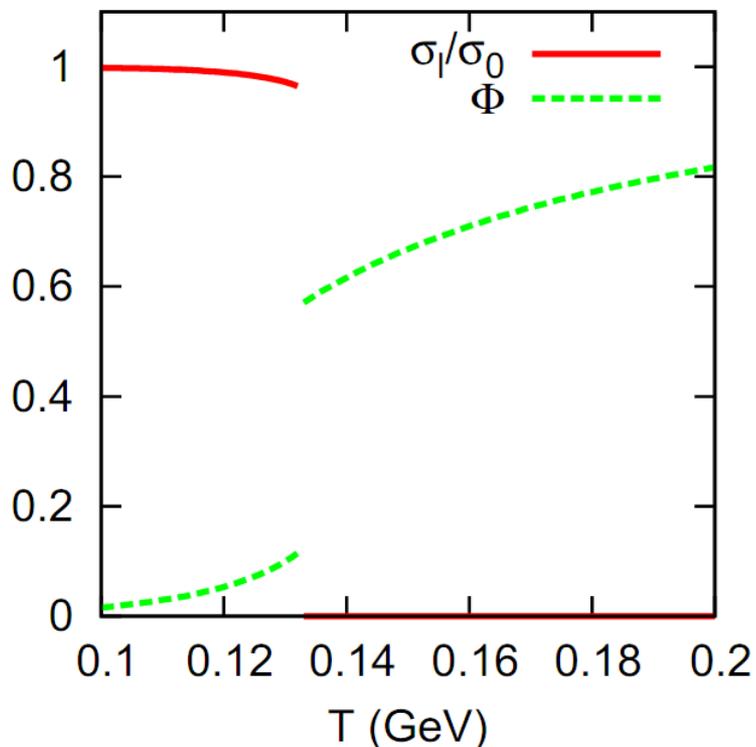


# ゼロ化学ポテンシャル

$$\mu = 0$$

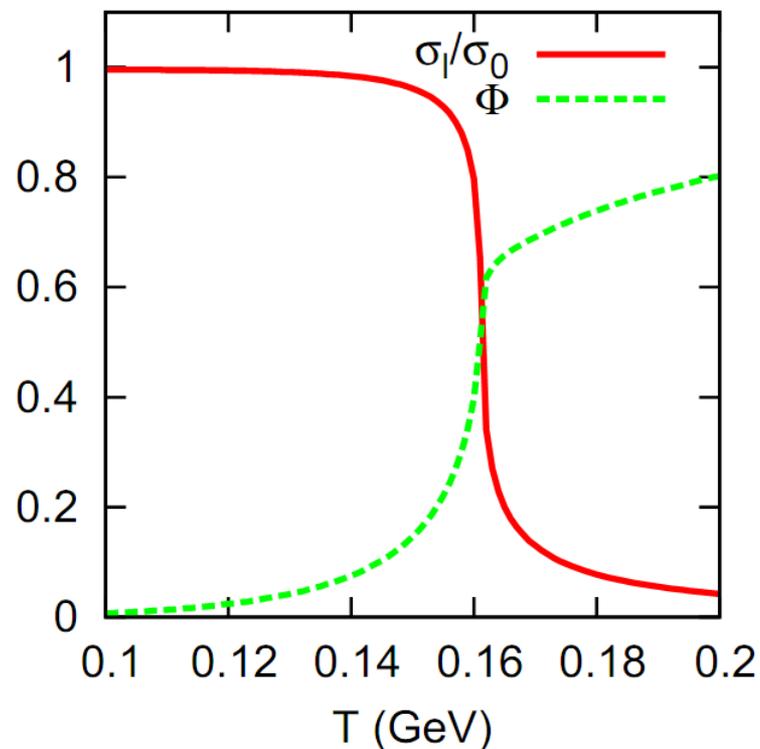
## EPNJL 模型での計算結果

$$m_l = m_s = 0$$



カイラル極限では  
1次相転移

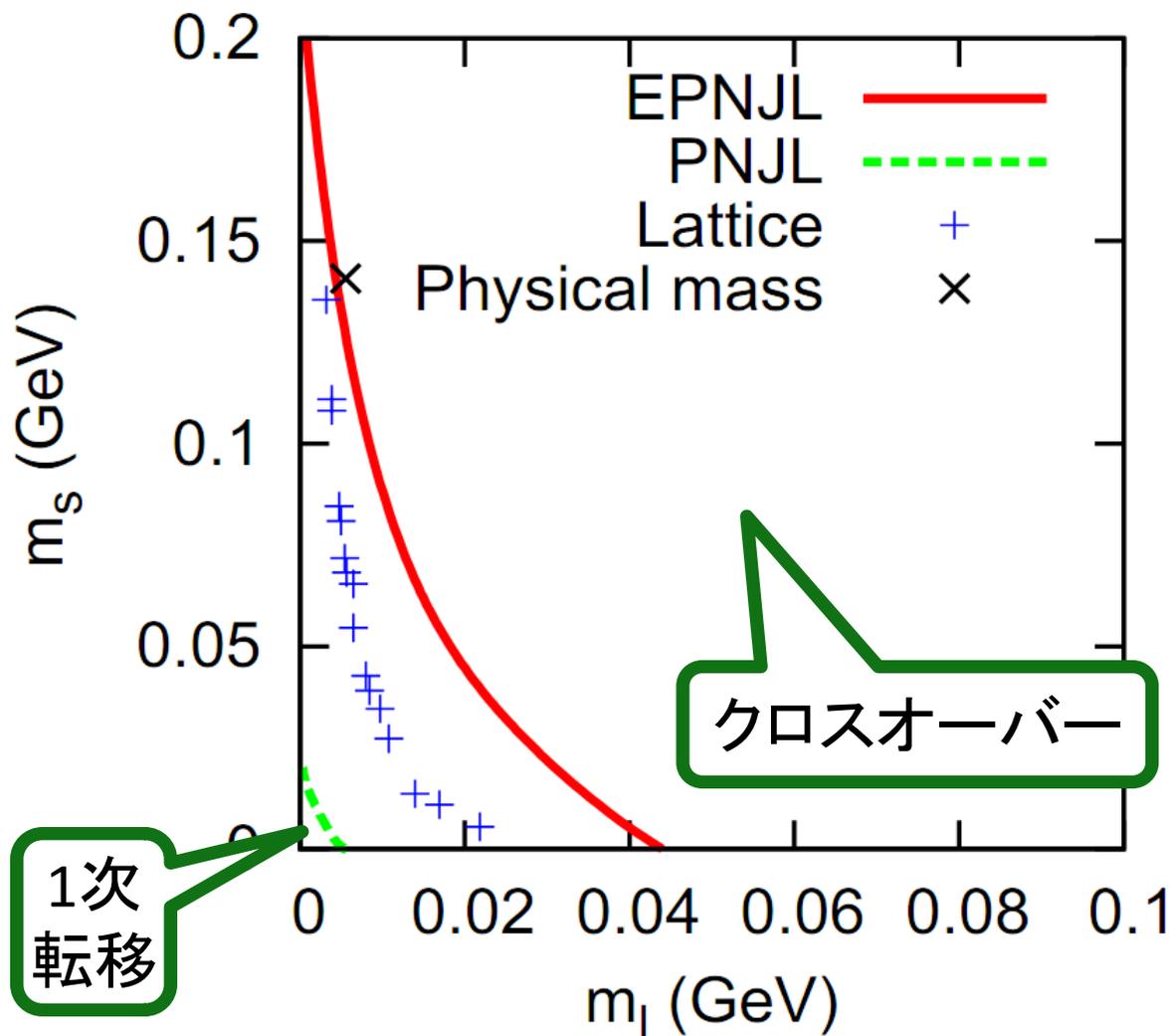
$$m_l = 5.5 \text{ [MeV]}, m_s = 140.7 \text{ [MeV]}$$



クォークが重いと  
クロスオーバー転移

# ゼロ化学ポテンシャル

$$\mu = 0$$



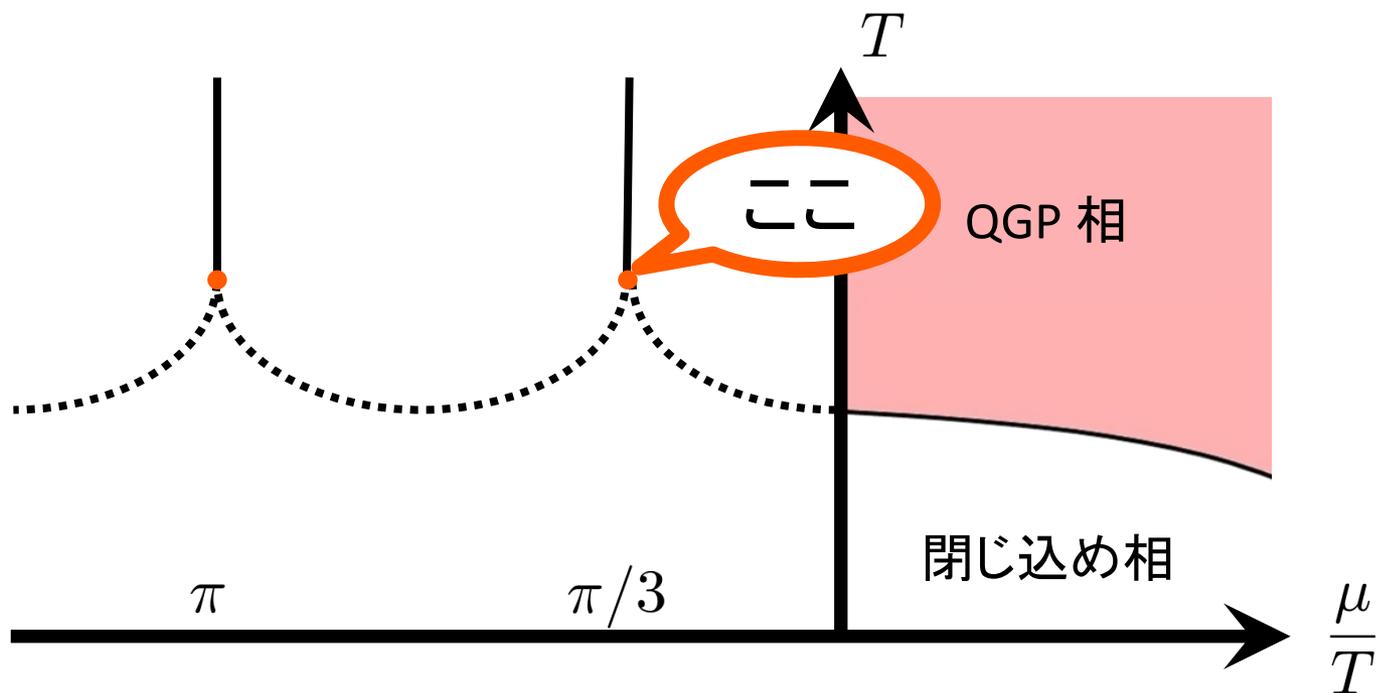
EPNJL 模型  
格子計算と  
おおよそ一致

PNJL 模型  
1次相転移の領域が  
小さい

Lattice data :

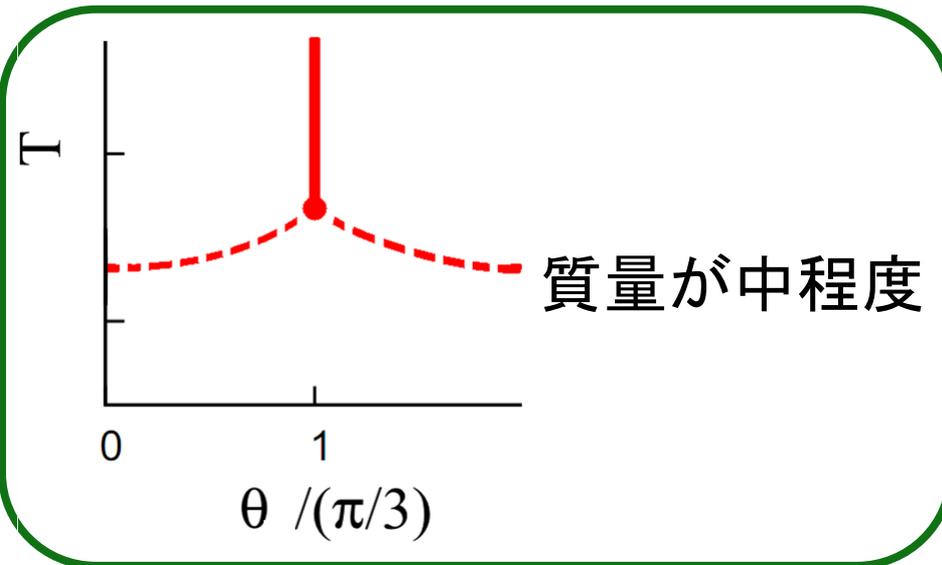
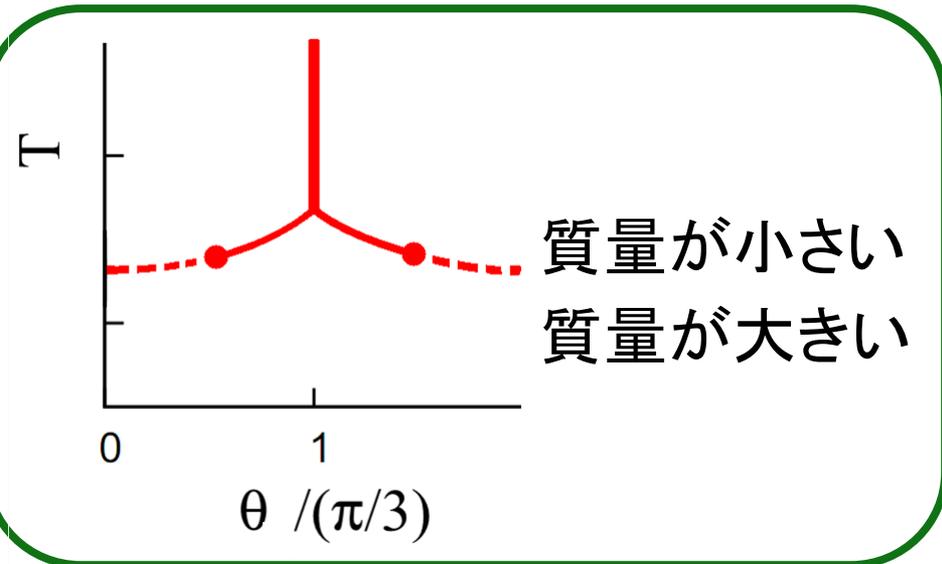
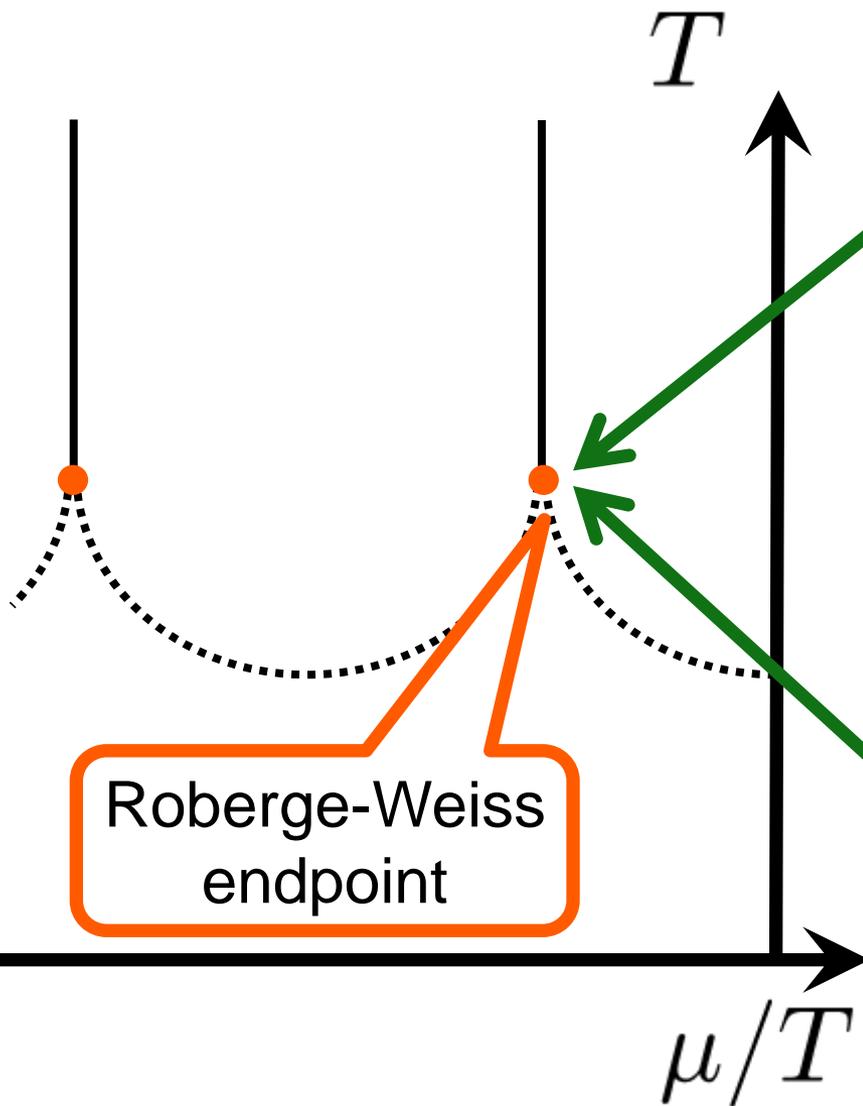
P. de Forcrand and O. Philipsen, Phys. J. High Energy Phys. 01, 077 (2007)

# 純虚数化学ポテンシャル



# RW endpoint

$$\theta = \pi/3$$



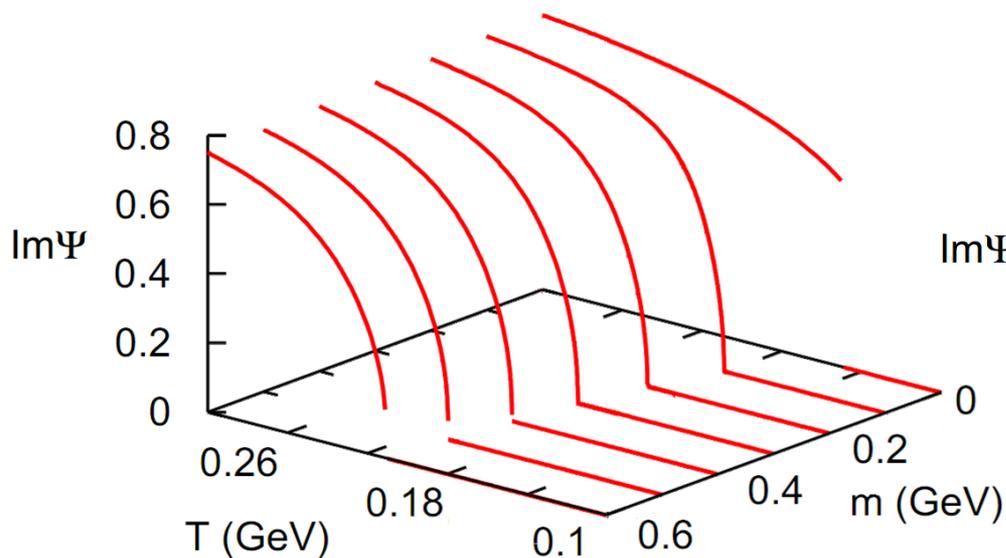
# RW endpoint

$$\theta = \pi/3$$

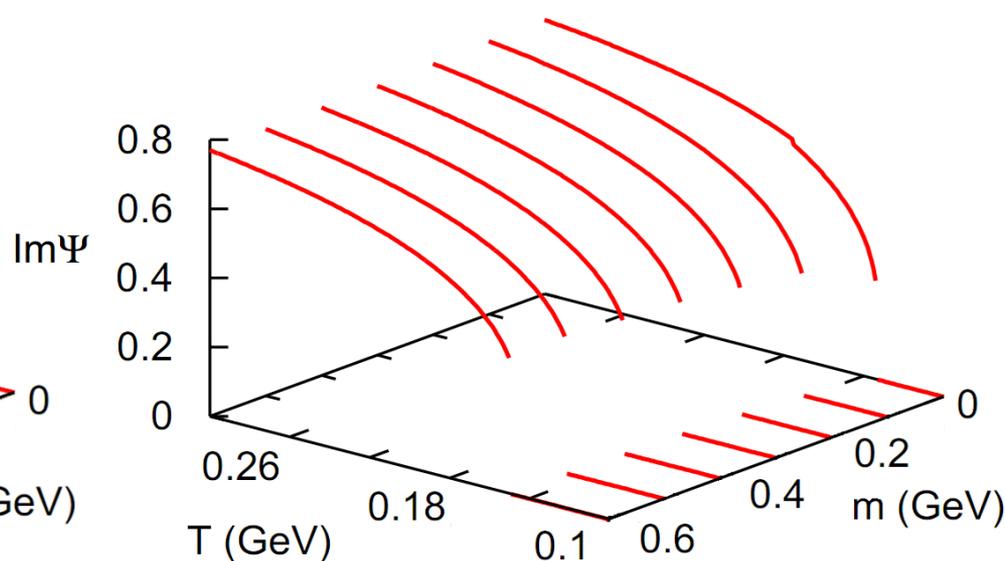
縮退した3フレーバー :  $m_l = m_s = m$

$$\Psi = \Phi e^{i\theta}$$

## EPNJL model



## PNJL model



EPNJL 模型が、格子計算結果を再現。

- 質量が小さい領域と大きい領域で1次相転移。
- 質量が中程度の領域で2次相転移。

# まとめ

QCDの有効模型の信頼性を評価した。

## 調べた項目

格子QCD計算が予言する、  
相転移次数のクォーク質量依存性を再現できるか?  
(ゼロ化学ポテンシャル、純虚数化学ポテンシャル)

## 結果

Entanglement PNJL 模型なら再現可能。

## Future work

EPNJL模型を使って、有限密度での状態方程式を予言する。