

実数および純虚数化学ポテンシャル領域における 2+1フレーバーPNJL模型を用いた QCD相構造の研究

小田 輝 (九大院理)

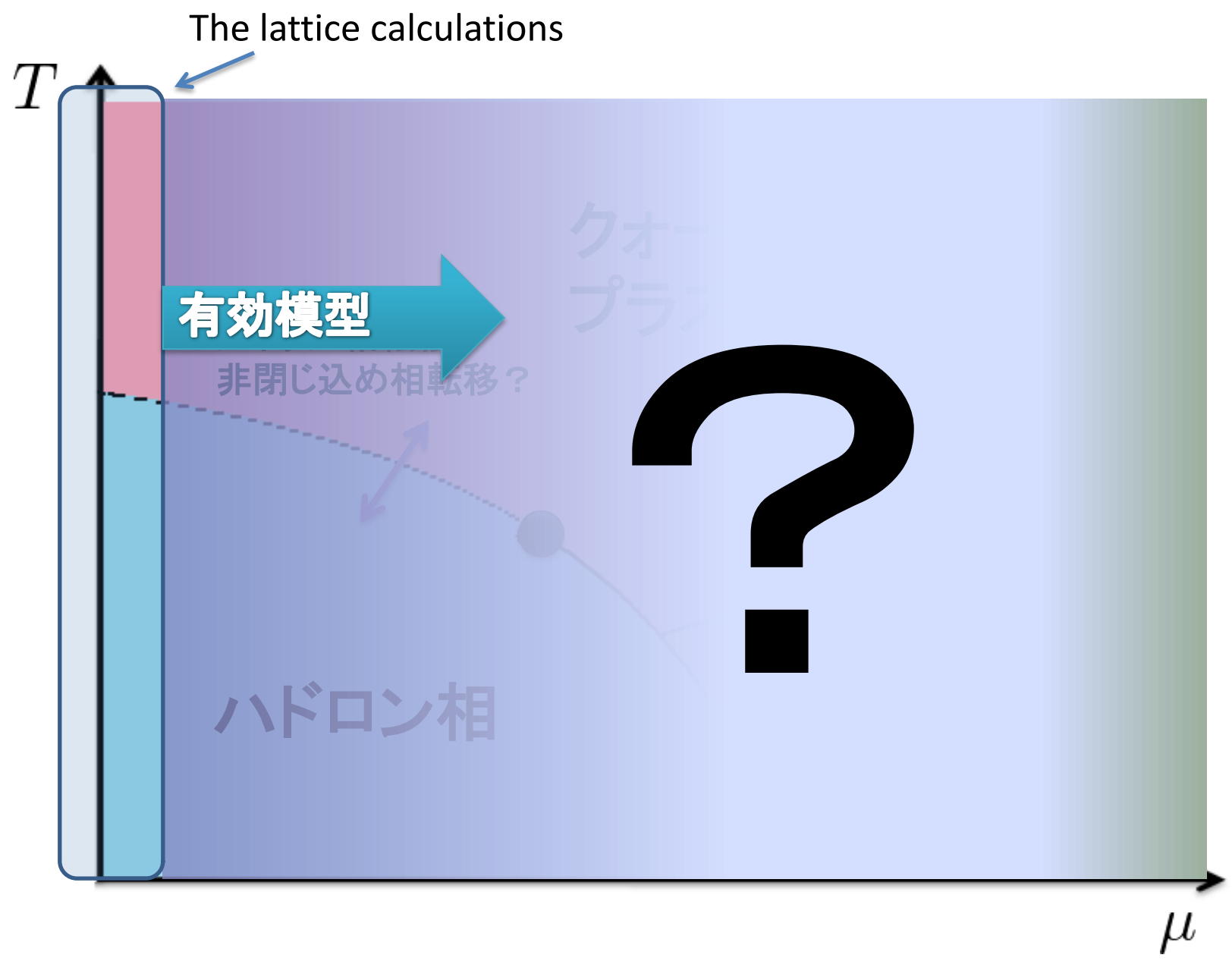
松本 健史 (九大院理), 柏 浩司 (九大院理)

河野 宏明 (佐賀大理工), 八尋 正信 (九大院理)

OUTLINE

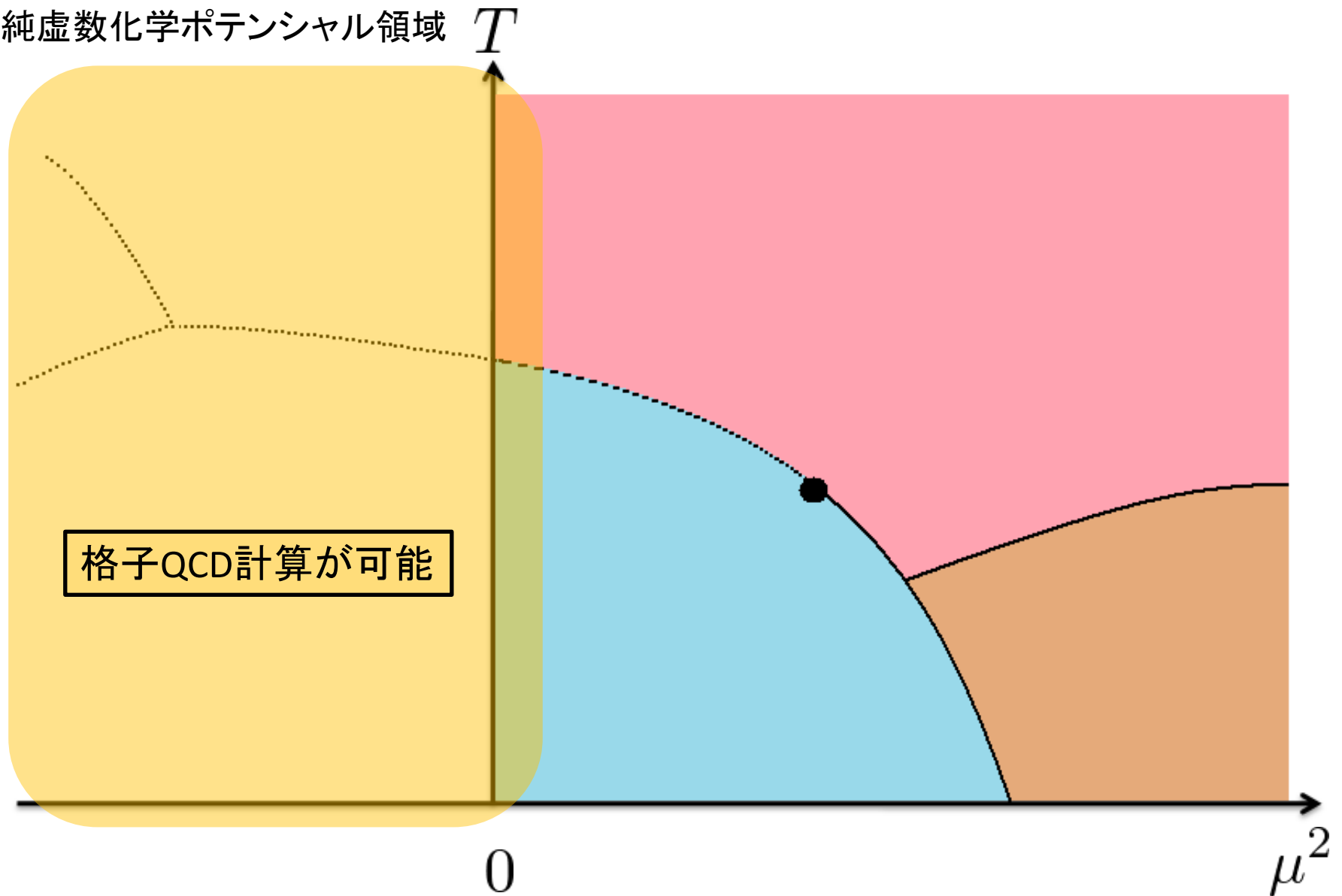
1. Introduction
2. Model and formalism
3. Numerical results
4. Summary and conclusions

QCD相図(予想図)



QCD相図(予想図)

純虚数化学ポテンシャル領域



Roberge-Weiss周期性

純虚数化学ポテンシャル領域におけるQCDの性質 $(\mu \rightarrow i\mu_I)$

QCDの分配関数

$$Z(\theta) = \text{Tr} \left(e^{-\beta H_{QCD} + i\theta \hat{N}} \right) \quad \left\{ \begin{array}{l} \theta = \mu_I/T, \beta = 1/T \\ \hat{N} = \int d^3x (q^\dagger q) \end{array} \right.$$

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

θ に関して、 $2\pi/3$ の周期性をもつ: Roberge-Weiss (RW) 周期性

- RW周期性を満たす有効模型を用いて、純虚数化学ポテンシャル領域を調べる。

The three-flavor PNJL模型

SU(3) PNJL Lagrangian ($N_c=3$):

$$\mathcal{L} = \bar{q}(i\gamma^\mu D_\mu - \hat{m})q + \frac{1}{2}g_s \sum_{a=0}^8 [(\bar{q}\lambda^a q)^2 + (\bar{q}i\gamma_5\lambda^a q)^2] \\ + g_D \{ \det[\bar{q}(1 + \gamma_5)q] + \det[\bar{q}(1 - \gamma_5)q] \} - \mathcal{U}(\Phi[A], \bar{\Phi}[A]; T)$$

ポリヤコフポテンシャル

$$\frac{\mathcal{U}(\Phi, \bar{\Phi}; T)}{T^4} = -\frac{b_2(T)}{2} \bar{\Phi}\Phi - \frac{b_3}{6} (\bar{\Phi}^3 + \Phi^3) + \frac{b_4}{4} (\bar{\Phi}\Phi)^2$$

$$b_2(T) = a_0 + a_1\left(\frac{T_0}{T}\right) + a_2\left(\frac{T_0}{T}\right)^2 + a_3\left(\frac{T_0}{T}\right)^3$$

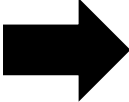
➔ $\langle \bar{u}u \rangle, \langle \bar{s}s \rangle, \Phi, \bar{\Phi}$

Pseudoscalar and scalar mesons

メソン質量を計算するために、6点相互作用を4点相互作用に近似する。

$$\mathcal{L} = \bar{q}_i(i\gamma_\nu D^\nu - \hat{m}_0)q_j + \sum_{a=0}^8 [G_a^- (\bar{q}\lambda_a q)^2 + G_a^+ (\bar{q}i\gamma_5\lambda_a q)^2]$$

$$+ \sum_{a,b=0,3,8} [G_{ab}^- (\bar{q}\lambda_a q)(\bar{q}\lambda_b q) + G_{ab}^+ (\bar{q}i\gamma_5\lambda_a q)(\bar{q}i\gamma_5\lambda_b q)]$$



| | | |
|--------|-----------------------|------------------------------|
| メソン | | |
| (π, σ) | (η, a ⁰) | π ~ $\bar{u}u$ |
| (K, κ) | (η', f ⁰) | K ~ $\bar{u}s$ |
| | | η, η' ~ $\bar{u}u, \bar{s}s$ |

6点相互作用の効果により、(η, η'), (σ, f₀)に関しては、フレーバーの混合が起こる。

Pseudoscalar and scalar mesons

The random phase approximation(RPA):

$$\frac{-ig^2}{p^2 - m^2} \approx \text{[diagram of meson exchange]} + \text{[diagram of meson loop]} + \text{[diagram of two meson loops]} + \dots$$

$$= \frac{\text{[diagram of meson exchange]}}{1 - \text{[diagram of meson loop with fermion line]}}$$

$$1 - 2K_i^\pm \Pi^{PS,S}(k^2) = 0$$

3. Numerical results

➤ 中間子質量の密度依存性

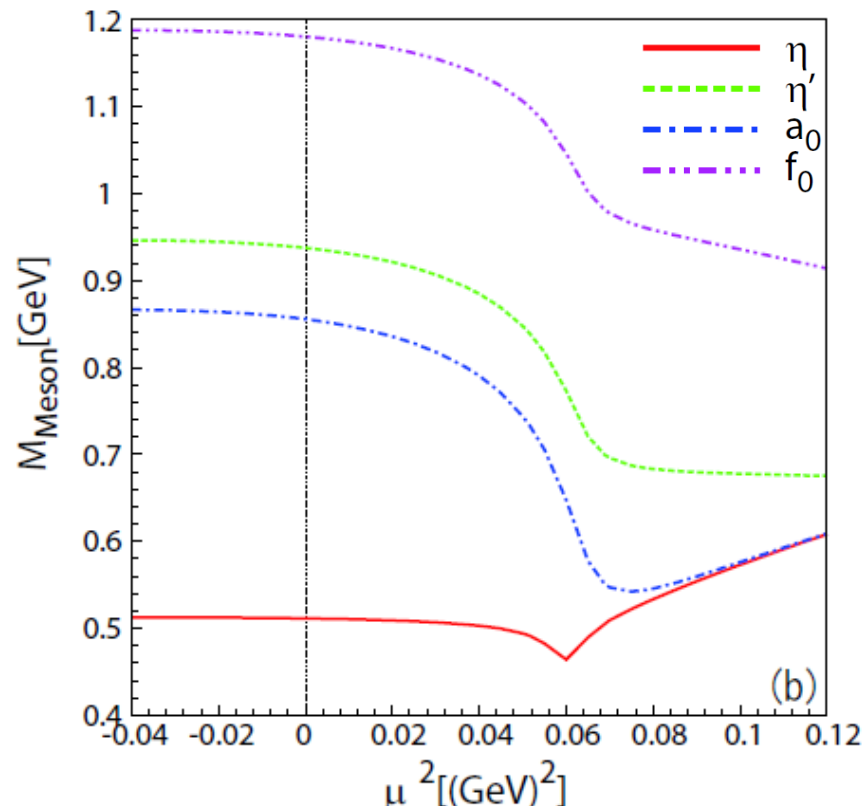
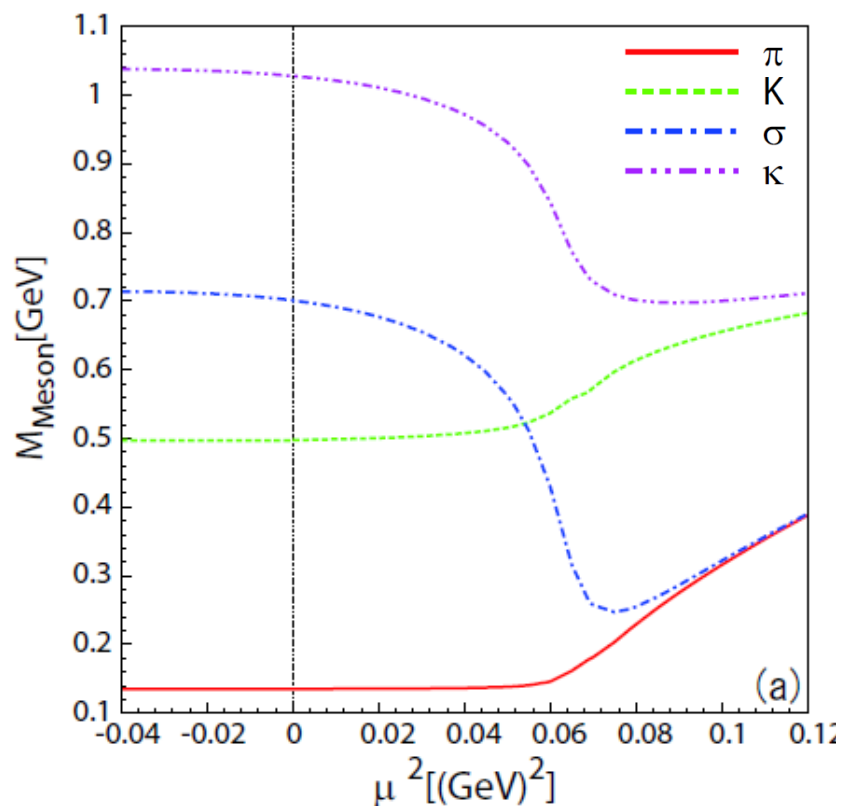
- 高密度領域において、中間子質量の縮退。

➡ カイラル対称性の部分的な回復

➡ 軸性アノマリーの効果 ※(η, a_0)メソンの縮退

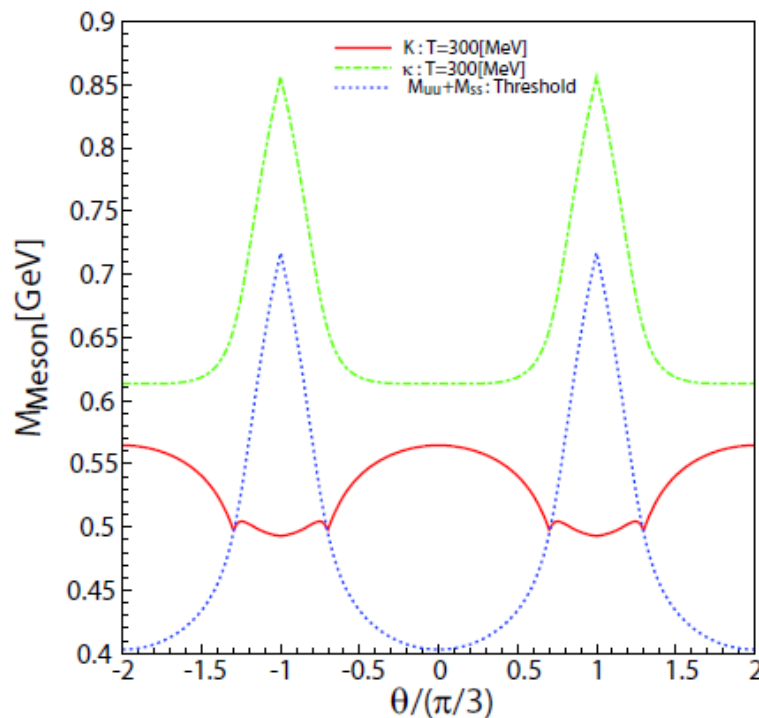
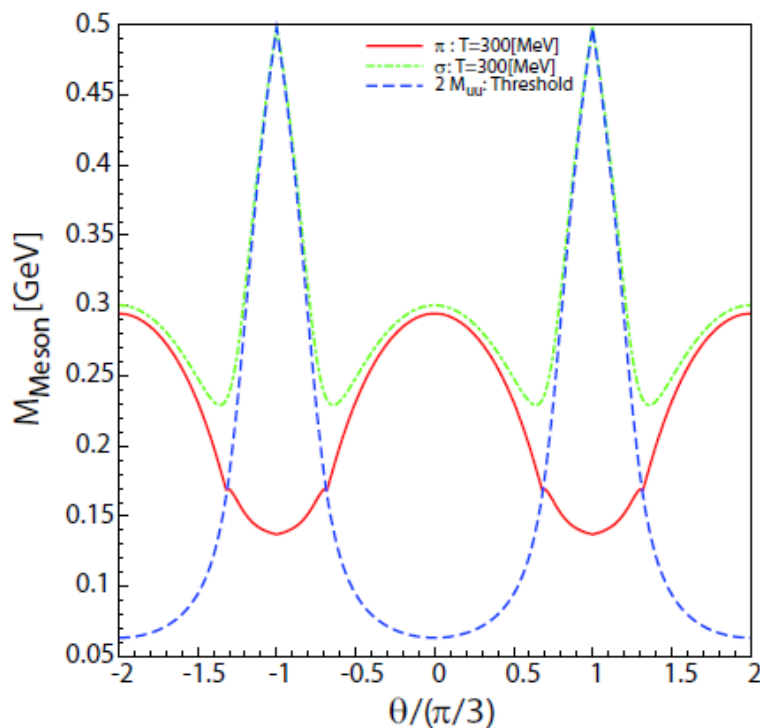
- (K, κ)メソンと(η', f_0)メソンは縮退しない。 ➡ スレンジクォークの効果

$T = 200\text{MeV}$



➤ 中間子質量の $\theta(\mu/T)$ 依存性(純虚数化学ポテンシャル領域)

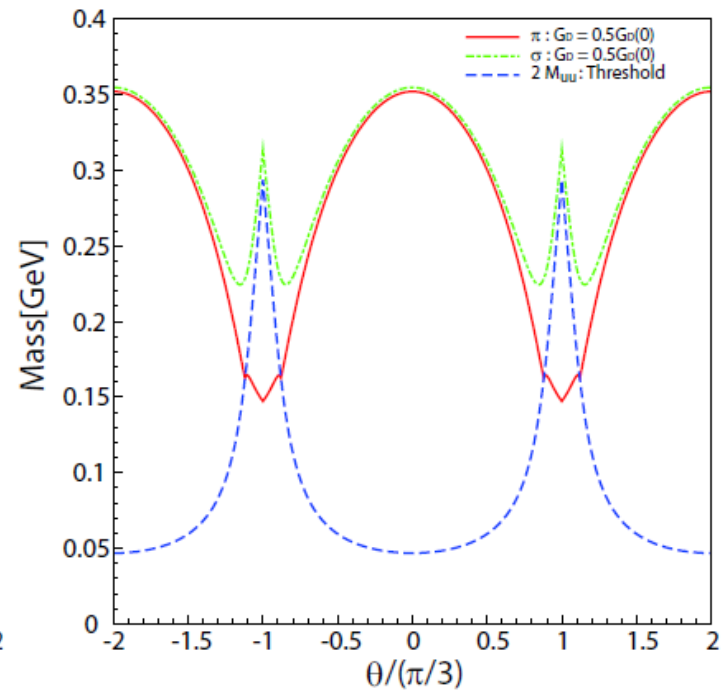
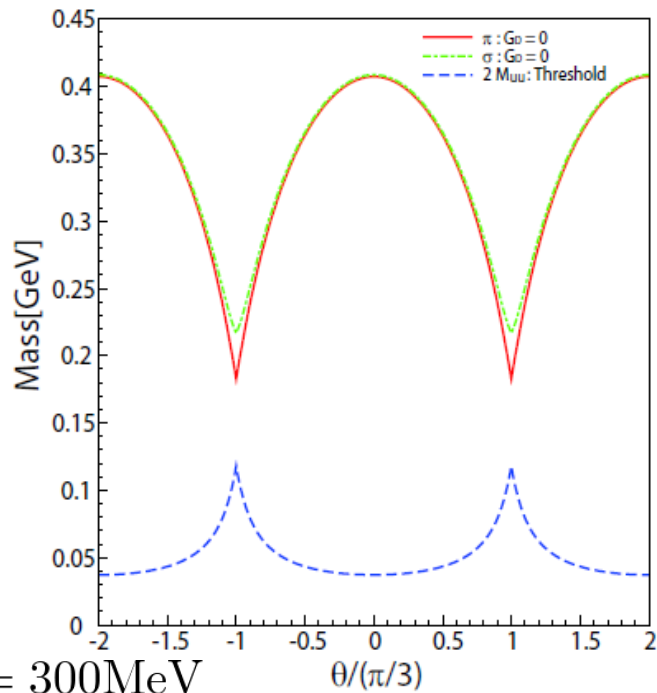
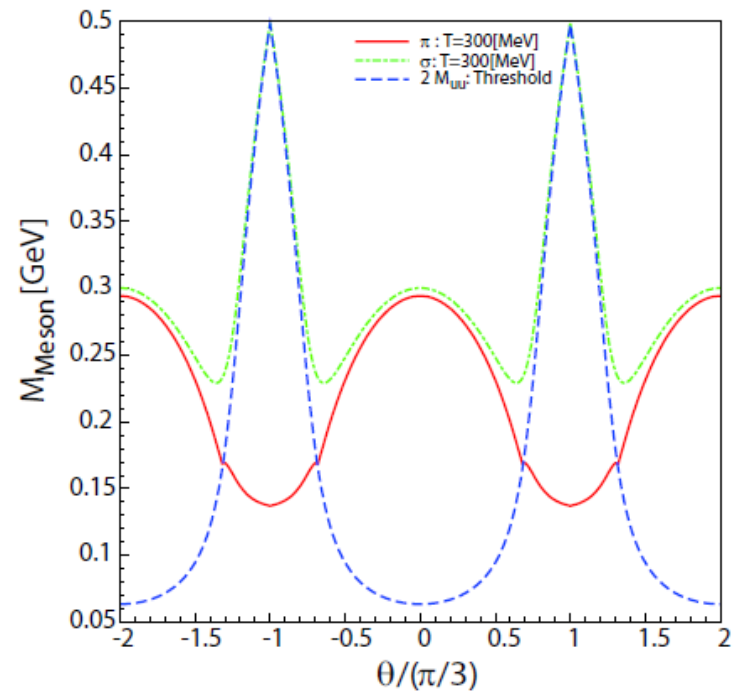
- 中間子質量がRW周期性($2\pi/3$ の周期性)をもつことが確認できる。
- 純虚数化学ポテンシャルを導入したことにより、対称性の破れが起こる。
- 中間子質量が構成子クォーク質量より大きくなる領域でくぼみの構造がみられる。



➤ 6点相互作用結合定数の影響

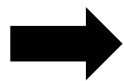
π, σ に関して

- 結合定数の増大に伴い、中間子質量が小さくなる。
- σ 中間子については、 $\theta=\pi/3$ の付近で、大きな変化が見られた。

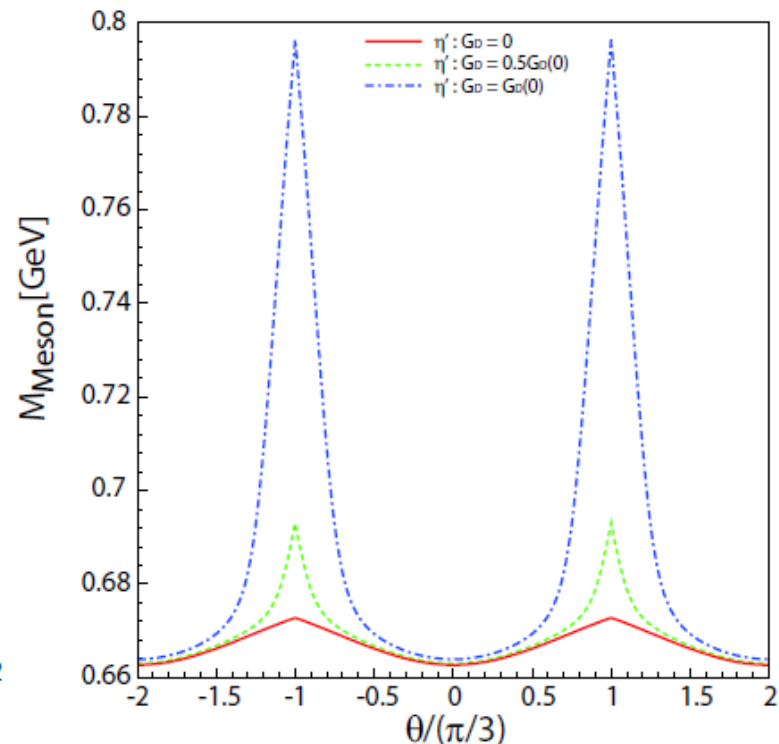
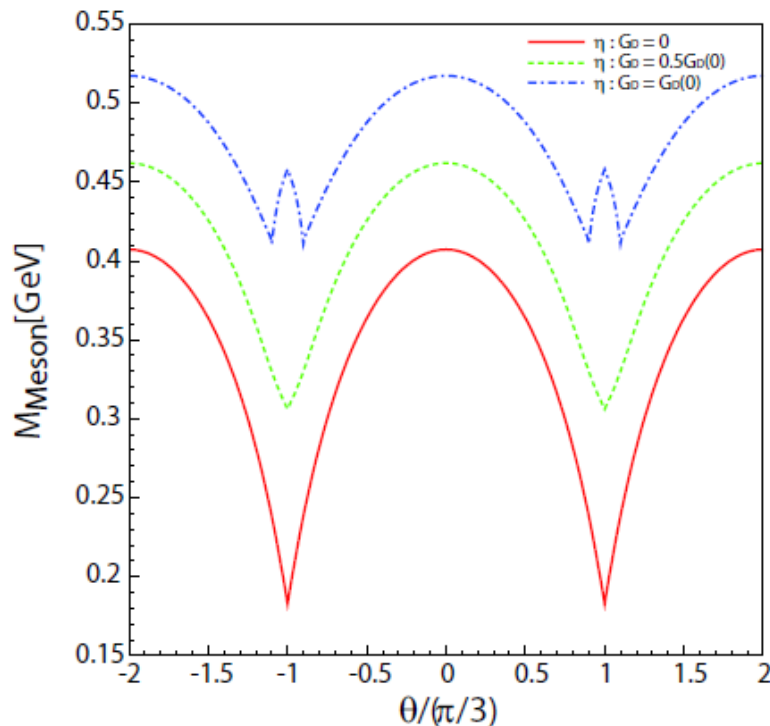


η, η' に関して

- η' メソン質量は、結合定数の変化に対して、零密度付近では変化しない。
- アノマリーの効果は、カイラル対称性が破れているところでのみ現れる。



格子QCD計算とフィットさせることで、6点相互作用の結合定数の大きさを決められる。



Summary and conclusions

- ◆ 3フレーバーPNJLモデルを用いて、実数及び純虚数化学ポテンシャル領域におけるメソン質量の振る舞いを調べた。
 - 実数領域において、高温・高密度領域においてカイラル対称性や軸性アノマリーの部分的な回復がみられた。
 - 虚数領域において、メソン質量のRW周期性が確認できた。
- ◆ メソン質量の6点結合定数依存性を調べた。
 - η' メソンの質量から6点相互作用の結合定数が決められることがわかった。