

有限クォークおよび有限アイソスピン化学ポテンシャル におけるQCD相図

arXiv:hep-ph/1005.0910

佐々木崇宏

境祐二、河野宏明^A、八尋正信

九大理、佐賀大理工^A

2010.8.9@パノラマランド木島平
三者若手夏の学校 原子核パート 研究会

目次

- 導入

QCD相図、アイソスピン化学ポテンシャル

- 定式化

PNJL模型、平均場近似、熱力学ポテンシャル

- 計算結果

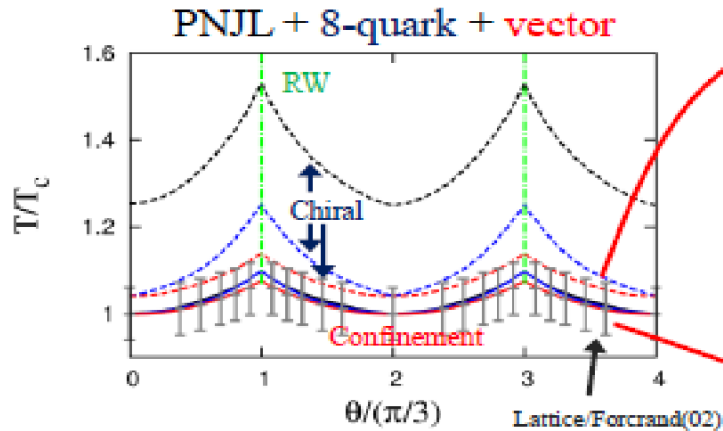
- まとめ

QCD相図

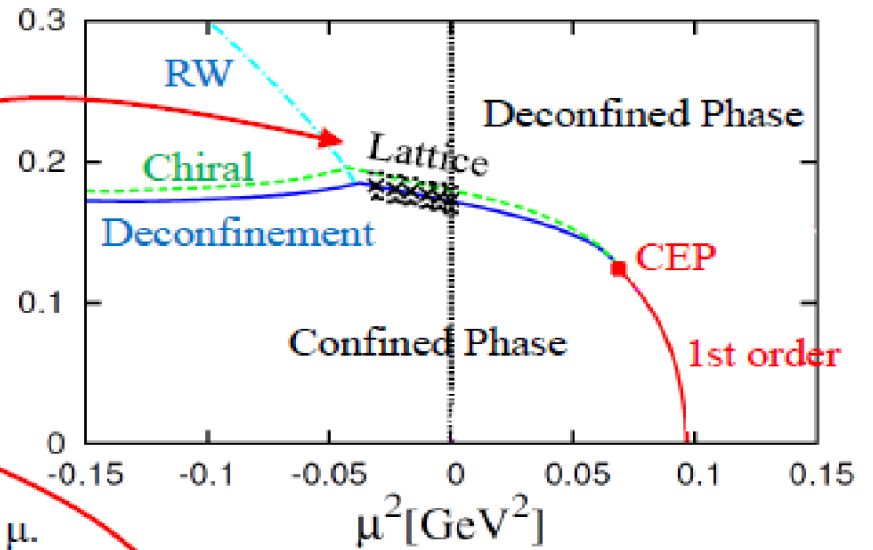


八尋正信氏 講演スライド(8月6日)より

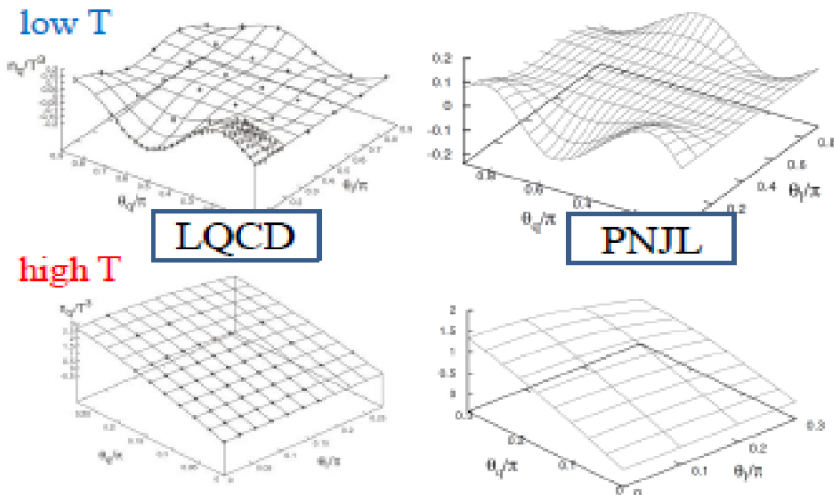
Imaginary quark μ



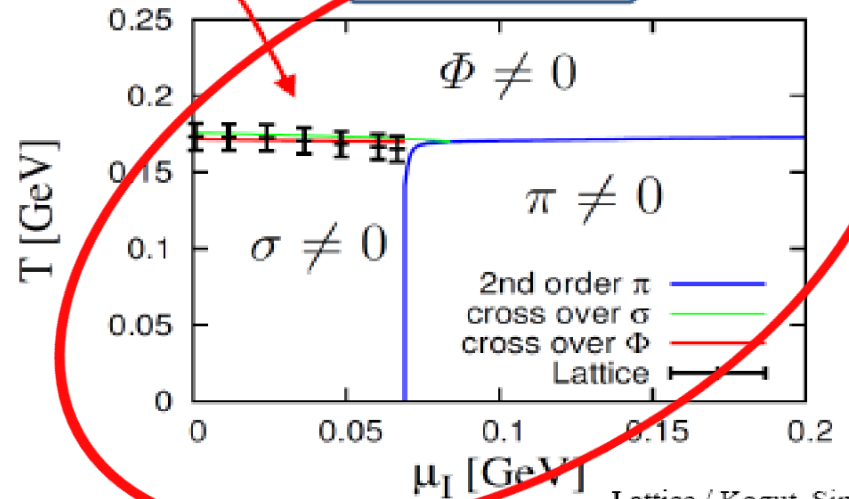
Their strength can be determined at imaginary μ .



Imaginary both quark and isospin μ



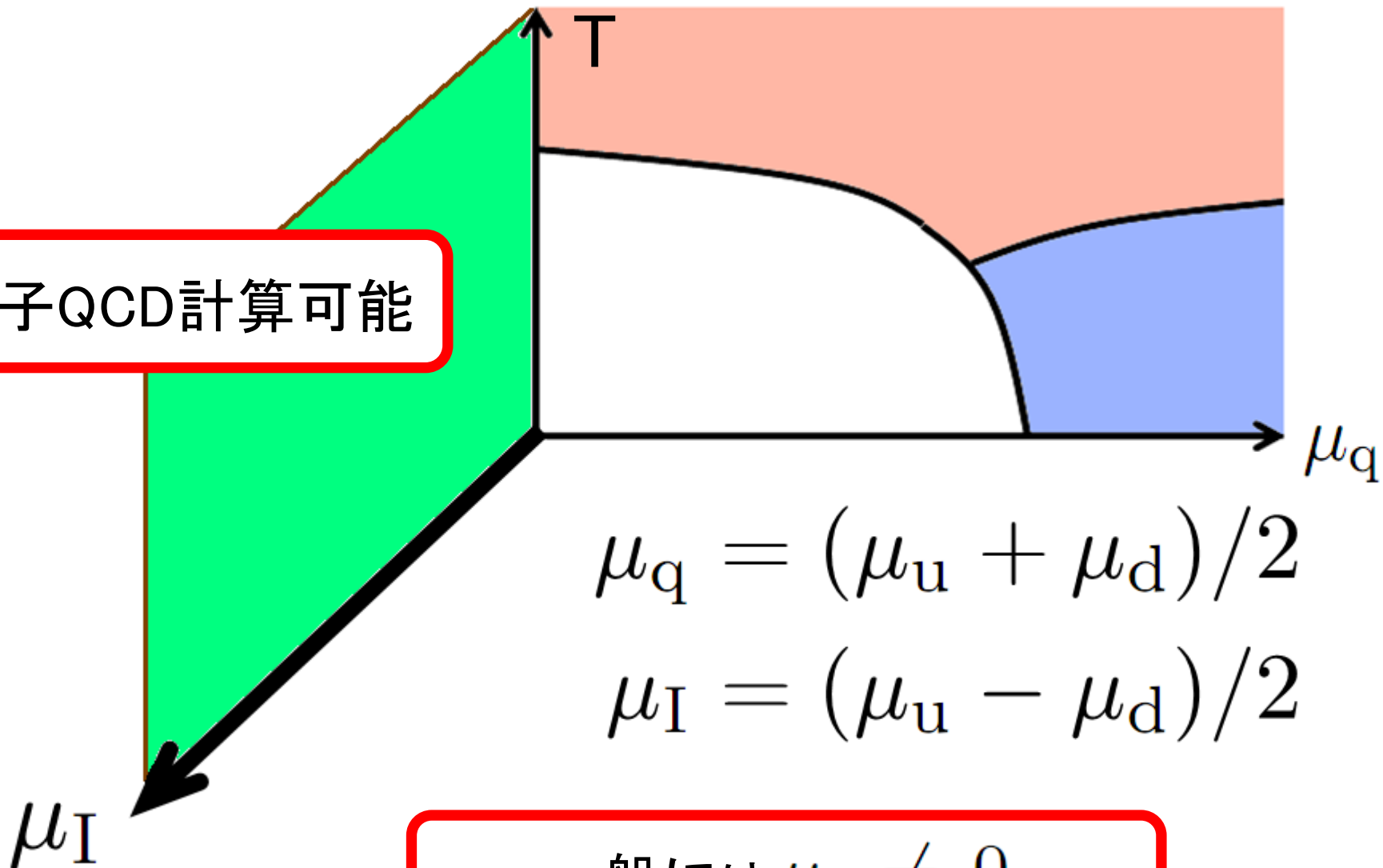
Real isospin μ



Lattice / Kogut, Sinclair (04)

アイソスピン化学ポテンシャル

格子QCD計算可能



$$\mu_q = (\mu_u + \mu_d)/2$$

$$\mu_I = (\mu_u - \mu_d)/2$$

一般には $\mu_I \neq 0$

定式化

- ・PNJL模型
- ・平均場近似
- ・熱力学ポテンシャル

PNJL模型

Polyakov-loop extended Nambu-Jona-Lasinio 模型

$$\mathcal{L} = \underbrace{\bar{q}(\gamma_\nu D^\nu - \gamma_4 \hat{\mu} + \hat{m}_0)q}_{\text{クォークの運動}} + \underbrace{G_s [(\bar{q}q)^2 + (\bar{q}i\gamma_5 \vec{\tau}q)^2]}_{\text{接触相互作用}} - \underbrace{\mathcal{U}}_{\text{グルーオン}}$$

$$m_0 = \text{diag}(m_0, m_0)$$

$$\hat{\mu} = \mu_q \tau_0 + \mu_I \tau_3$$

スカラー型8点相互作用を導入

$$\mathcal{L} \rightarrow \mathcal{L} + G_8 [(\bar{q}q)^2 + (\bar{q}i\gamma_5 \vec{\tau}q)^2]^2$$

PNJL模型

パラメーターセット

実験量

$$m_0, \Lambda, G_s, G_8 \rightarrow f_\pi, M_\pi, M_\sigma, M_\eta$$

Polyakov ポテンシャル

格子計算

$$\mathcal{U} = T^4 \left[-\frac{a(T)}{2} \Phi^* \Phi + b(T) \ln \{ 1 - 6\Phi\Phi^* + 4(\Phi^3 + \Phi^{*3}) - (\Phi\Phi^*)^2 \} \right]$$

$$a(T) = a_0 + a_1 \left(\frac{T_0}{T} \right) + a_2 \left(\frac{T_0}{T} \right)^2 \quad b(T) = b_3 \left(\frac{T_0}{T} \right)^3$$

S.Roessner, C.Ratti, and W. Weise, Phys.Rev.D 75, 034007 (2007)

平均場近似

$$\mathcal{L}_{MFA} = \bar{q} (\gamma_\nu D^\nu - \gamma_4 \hat{\mu} + M\tau_0 + Ni\gamma_5\tau_1) q - G_s [\sigma^2 + \pi^2] - G_8 [\sigma^2 + \pi^2]^2 - \mathcal{U}$$

$$M = m_0 - 2G_s\sigma - 4G_8\sigma(\sigma^2 + \pi^2)$$

$$N = -2G_s\pi - 4G_8\pi(\sigma^2 + \pi^2)$$

平均場

$$\sigma \equiv \langle \bar{q}q \rangle \neq 0 \quad \Rightarrow \text{カイラル対称性の破れ}$$

$$\pi \equiv \langle \bar{q}i\gamma_5\tau_1q \rangle \neq 0 \quad \Rightarrow \text{超流動状態}$$

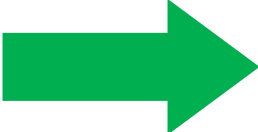
$$\Phi \neq 0 \quad \Rightarrow \text{非閉じ込め}$$

熱力学ポテンシャル

$$Z = \int \mathcal{D}q \mathcal{D}\bar{q} \exp \left[- \int d^4x \mathcal{L} \right]$$

$$\begin{aligned} \Omega = & -2 \sum_{i=\pm} \int \frac{d^3p}{(2\pi)^3} \left[3E_i \right. \\ & + \frac{1}{\beta} \ln \left[1 + 3(\Phi + \Phi^* e^{-\beta E_i^-}) e^{-\beta E_i^-} + e^{-3\beta E_i^-} \right] \\ & + \frac{1}{\beta} \ln \left[1 + 3(\Phi^* + \Phi e^{-\beta E_i^+}) e^{-\beta E_i^+} + e^{-3\beta E_i^+} \right] \\ & \left. + G_s[\sigma^2 + \pi^2] + 3G_8(\sigma^2 + \pi^2)^2 + \mathcal{U} \right] \end{aligned}$$

$$E_{\pm}^{\pm} = E_{\pm} \pm \mu_q \quad , \quad E_{\pm} = \sqrt{(E \pm \mu_I)^2 + N^2}$$

 $(\sigma, \pi, \Phi, \Phi^*)$ を決定

計算結果

8点相互作用の「あり」と「なし」を比較。

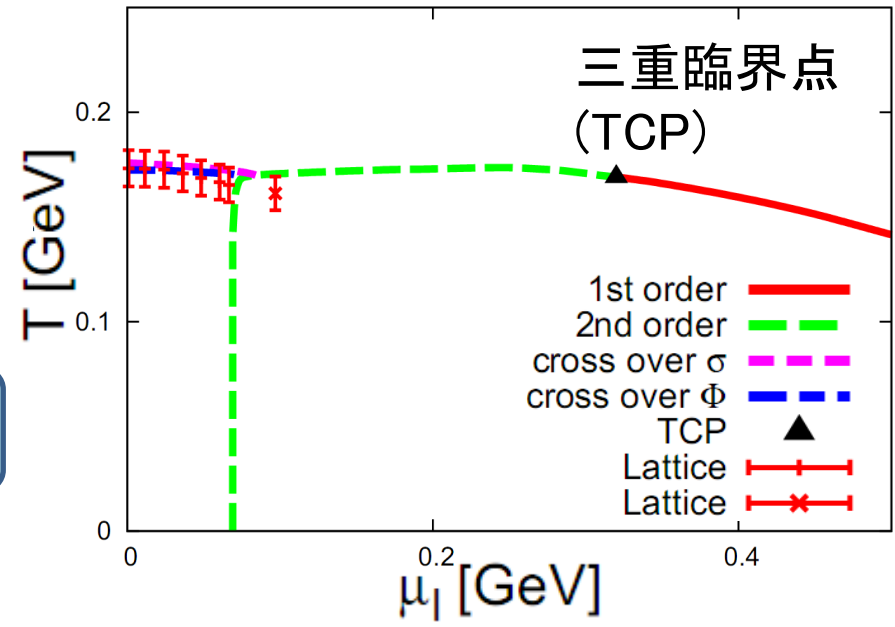
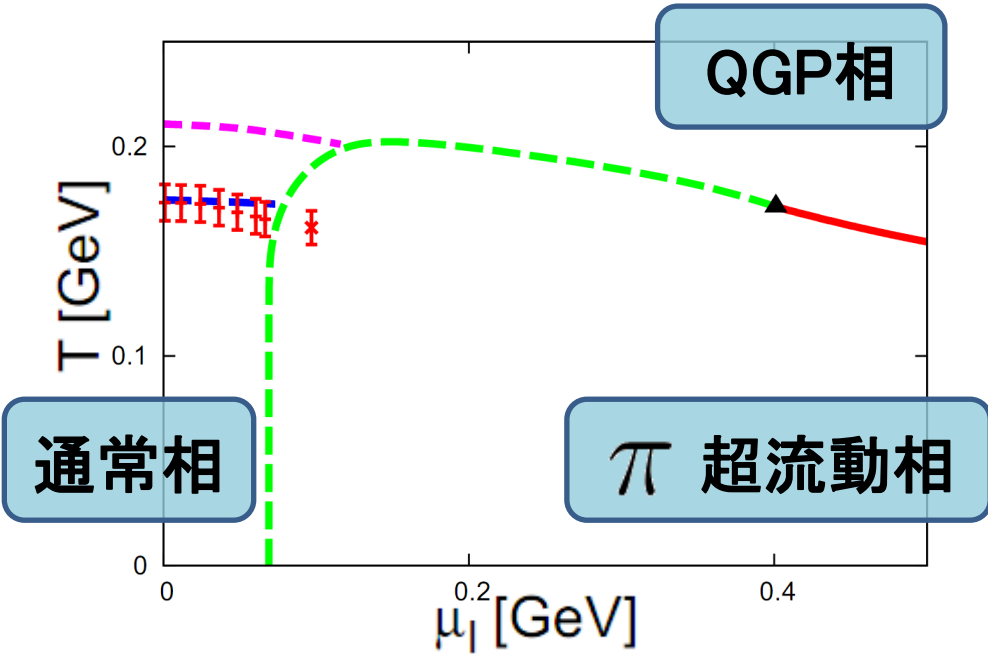
- $\mu_q = 0$ の μ_I - T 平面
- μ_q - μ_I - T の3次元相図

μ_I - T 平面

$\mu_q = 0$: 格子計算が可能

$G_8 = 0$

$G_8 \neq 0$

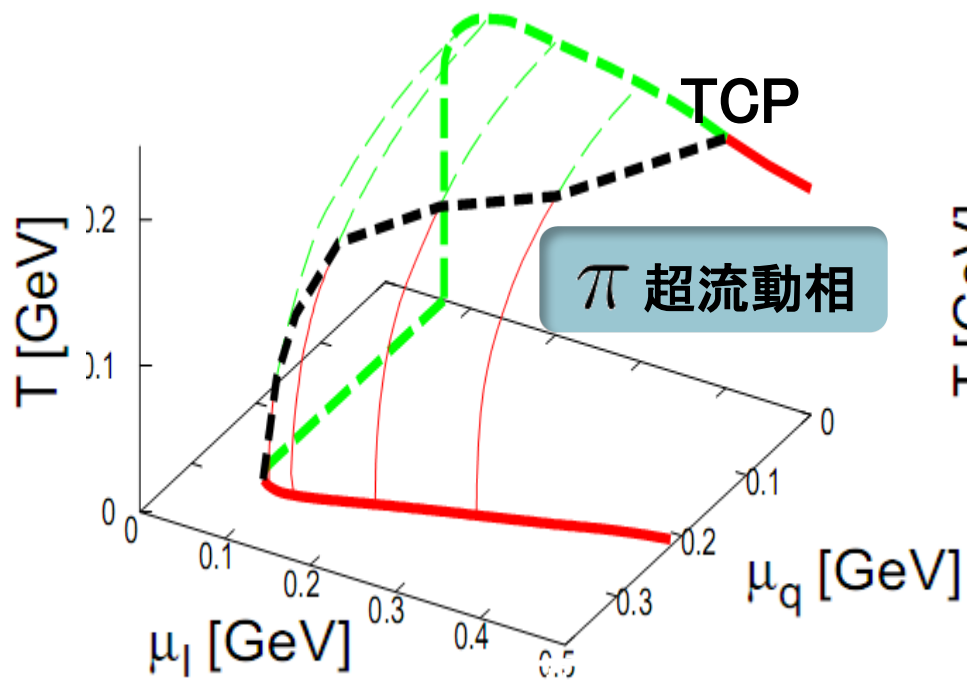


- ・「8点あり」の結果が、格子計算を再現
- ・TCPが低 μ_I 側へ移動

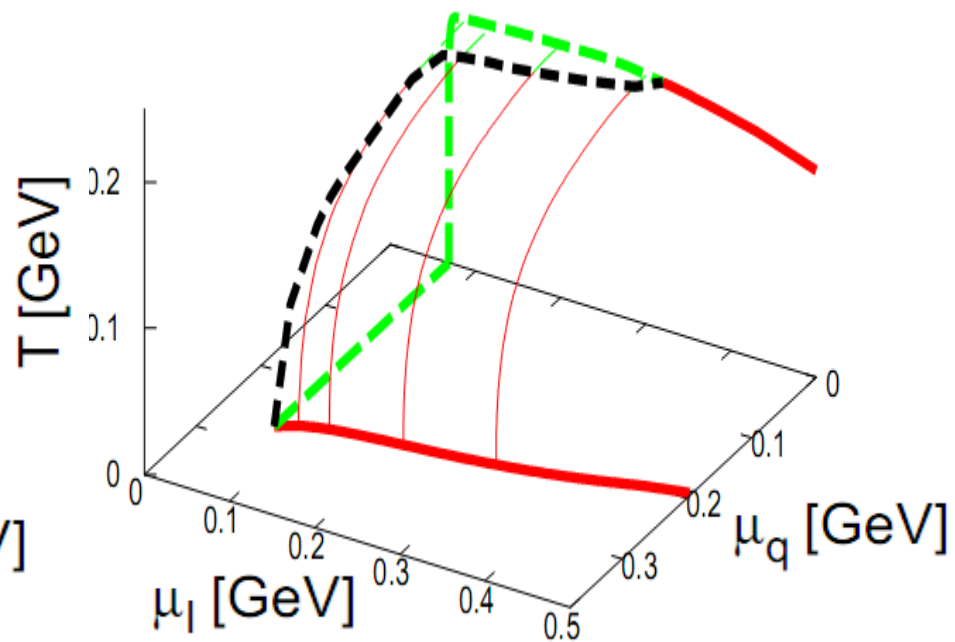
3次元相図

π の相転移面

$$G_8 = 0$$



$$G_8 \neq 0$$



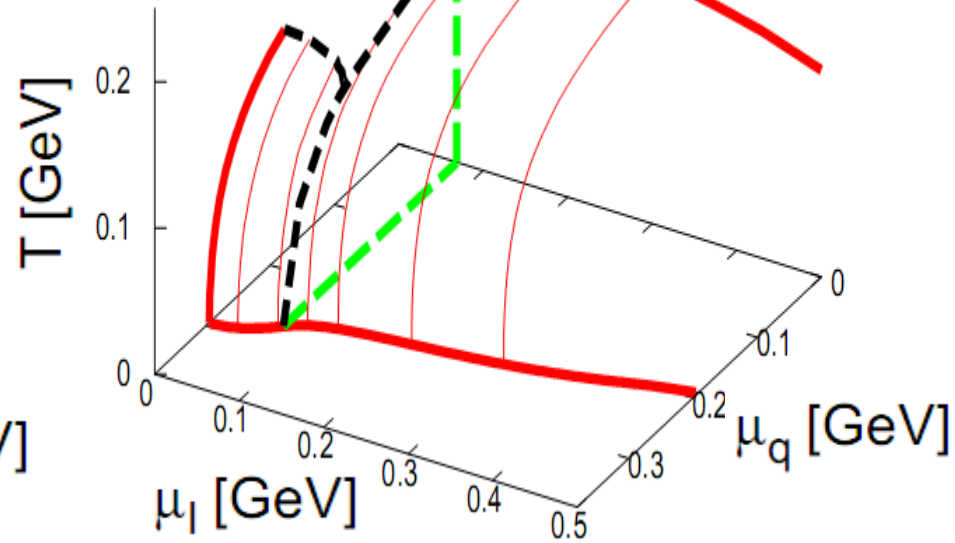
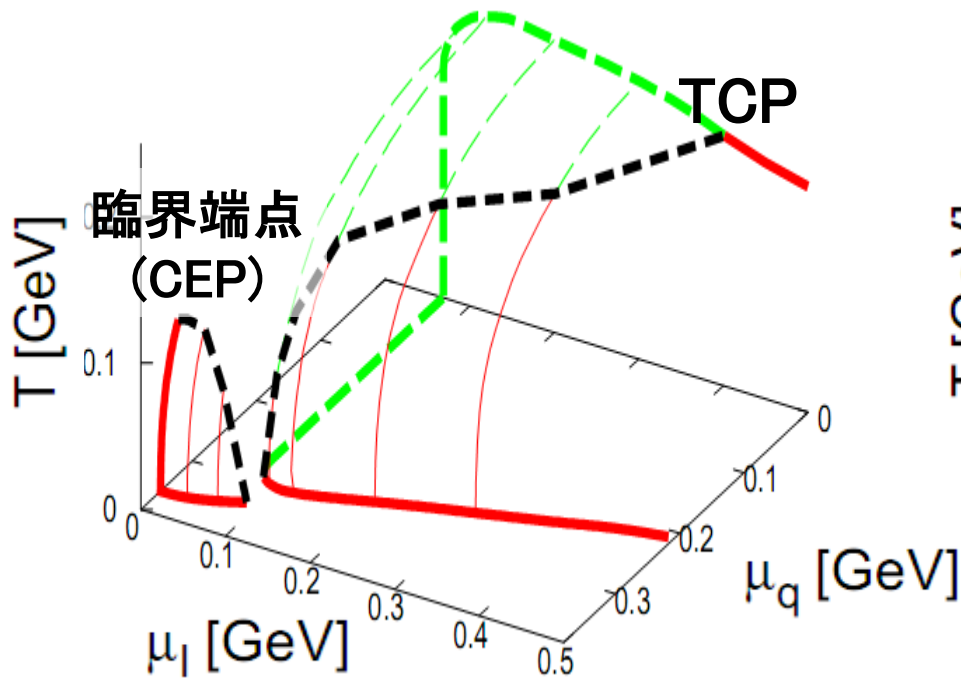
3次元相図

π の相転移面 + カイラル・閉じ込め

$$G_8 = 0$$

CEPとTCPが合流

$$\neq 0$$



まとめ

- 8点相互作用を加えたPNJL模型で、 $\mu_q - \mu_I - T$ の3次元空間で相構造を計算した。
- この模型は、 $\mu_I - T$ 平面で格子計算を満足する。
- 8点の相互作用により、CEPとTCPの動きに定性的変化が起こる。