

KEK 大型シミュレーション実施報告書 ONE グループ

1 研究組織

研究責任者

中村 純 (なかむら あつし) 広島大学情報メディアセンター・教授

共同研究者

浜田 政智 (はまだ まさとし) 九州大学・理学研究科・D3

2 研究課題の背景

RHIC, LHC などでの高エネルギー重イオン反応、中性子星内部などは有限密度の物質系である。有限温度・密度で、QCD はどのような相図を示すか、また中性子内部はどのような密度でクォーク系となるか、またさらには、重い原子核内で QCD はどのような性質を示すのかは、非常に興味深い物理的問題であり、多くのモデル計算が行われている。

しかし、モデル計算には不定性が大きく、モデルの不定のパラメータを変えると、その予言する描像も変わってしまう。QCD に基づく第一原理計算が強く求められている。

その計算は、以下の統計系を格子 QCD に対して数値的に評価することを意味する：

$$Z = \text{Tr} e^{-\frac{1}{kT}(H-\mu N)} = \int \mathcal{D}U \mathcal{D}\bar{\psi} \mathcal{D}\psi e^{-\frac{1}{kT}S_G - \bar{\psi}\Delta\psi} = \int \mathcal{D}U \prod_f \det \Delta(m_f) e^{-\frac{1}{kT}S_G} \quad (1)$$

しかし、 $\det \Delta$ の実数性を保証する関係式

$$\Delta(\mu)^\dagger = -D_\nu \gamma_\nu + m + \mu^* \gamma_0 = \gamma_5 \Delta(-\mu^*) \gamma_5 \quad (2)$$

が有限の μ ではなりたらず、符号問題が生じる。そのため、モンテカルロ計算の適用が難しく、もっともチャレンジングな数値シミュレーションとなっている。

3 本年度の研究報告

我々は、クルーバー項を含むウィルソン・フェルミオン作用と、岩崎型の改良されたゲージ作用を使って、虚数化学ポテンシャルのプログラムの開発を行った。化学ポテンシャルはが虚数の時は、

$$(\det \Delta(\mu_I))^* = \det \Delta(\mu_I) \quad (3)$$

となり符号問題を持たないため、適当な関数形を仮定することで、実化学ポテンシャルへ解析接続を行うことができる。またそのフーリエ変換を通してカノニカル分配関数を得ることができる。

$$Z_C(Q) = \int \frac{d\phi}{2\pi} e^{-iQ\phi} Z_{GC}(\mu = i\pi T) \quad (4)$$

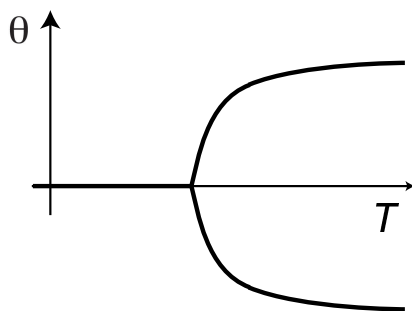


Figure 1: 虚数化学ポテンシャルの時の、拡張されたポリアコフープの位相。

したがって、有限密度系の情報を得ることが出来るはずである。

この理論は、拡張された Z_3 対称性を持っているが、その各セクターを十分にサーチするためには膨大な計算量が必要になることが明らかになった。そのため、KEK の Blue Gene での計算を予定していたが、現在の 2 次元分割のプログラムでは多数のノードを持つ Blue Gene の大規模な利用は効率的でないので、3 次元化を進めた。このため、20 年度は実利用は行わなかった。3 次元化はほぼ完了したので、次回よりの利用を予定している。