

課題名(タイトル):

## 有限温度 QCD の相構造解析

利用者氏名: ○中村宜文

理研における所属研究室名: 計算科学研究センター フラッグショップ2020プロジェクト アプリケーション開発チーム

## 1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

量子色力学(QCD)における有限温度相転移の次数(強さ)は、クォークの質量やフレーバー数に依存することが知られている。特に3フレーバーにおけるカイラル極限、すなわちクォーク質量がゼロの場合、相転移の次数は1次となることが予想されている。このクォーク質量をゼロから徐々に大きくしていくと、一次相転移から二次相転移の臨界終点を経てクロスオーバーになると考えられている。これを確かめるため、格子QCDシミュレーションを用いて臨界終点を決定する研究が既に行われてきた。その多くはスタッガード型のクォーク作用を用いたものであったが、作用を改良し格子離散化誤差を小さくするほど、または、連続極限により近づくほど臨界終点におけるパイ中間子質量が小さくなった。一方、ウィルソン型クォーク作用を用いた研究でも同様の振る舞いがみられたが、臨界終点におけるパイ中間子質量はスタッガード型のものに比べると大きい値を示している。このように、未だに臨界終点の位置について最終的な結論は得られておらず、本当に一次相転移の領域が存在するのかさえもまだ確かめられていない。また、クォーク作用の違いによって結果に違いがみられることについても理解する必要がある。

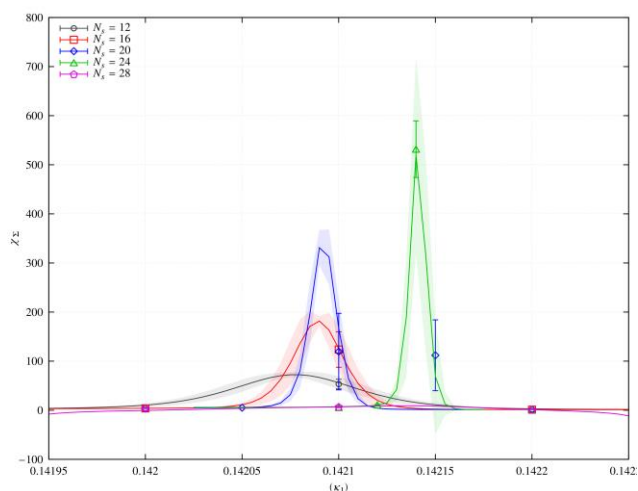
## 2. 具体的な利用内容、計算方法

本年度は、ウィルソン型クォーク作用を用い、2+1フレーバーQCDの相構造を並行して調べることにした。岩崎ゲージ作用と縮退した質量をもつ0(a)改良されたウィルソンクローバー作用を用いて格子QCDシミュレーションを行った。ゲージ配位生成のためにHMCアルゴリズムを用いた。使用したプログラムはBQCDである。相構造を決定するために必要な秩序変数としてクォーク凝縮を選び、その高次のモーメントの評価に

はノイズ法を用いた。2+1フレーバーQCDの温度格子サイズは8で、逆結合定数 $\beta=1.75$ である。有限サイズスケール解析を行うために、複数の空間格子サイズの計算が必要である。

## 3. 結果

クォーク凝縮の感受率を計算し、そのピーク位置を相転移点として採用し、相転移点におけるクォーク凝縮の尖度が空間格子サイズに依存しない点の同定を試みた。下図は、空間体積を変えてクォーク凝縮の感受率を質量の関数でプロットしたものである。空間体積を変えると臨界点が大きく変わることから、これは一次相転移の領域にあることがわかる。



## 4. まとめ

$\beta=1.75$ で温度方向の空間サイズ8で2+1フレーバーQCDにおける有限温度相転移点の探索を行い、一次相転移領域にあることが分かった。

## 5. 今後の計画・展望

引き続き、空間サイズ8で2+1フレーバーQCD有限温度シミュレーションで $\beta$ を変えた計算を行い、クロスオーバー転移を探し、臨界終線を探索につなげる。

2020年度 利用研究成果リスト

**【雑誌に受理された論文】**

“Nature of the phase transition for finite temperature  $N_f=3$  QCD with nonperturbatively  $O(a)$  improved Wilson fermions at  $N_t=12$ ”, Y. Kuramashi, Y. Nakamura, H. Ohno, S. Takeda, Phys. Rev. D 101, 054509, 10 pp (2020)

**【会議の予稿集】**

“Critical endpoint in the continuum limit and critical endline at  $NT=6$  of the finite temperature phase transition of QCD with clover fermions”, Y. Nakamura, Y. Kuramashi, H. Ohno and S. Takeda, PoS(LATTICE2019) 053, 7 pp. (2020) [arxiv 版は報告済み]

**【口頭発表】**

“Study of QCD with finite temperature”, 12th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences, October 6, 2020, ONLINE

**【ポスター発表】**

“Nature of the finite temperature phase transition for three flavor QCD”, the 2nd R-CCS international symposium, February 17 - 18, 2020, RIKEN R-CCS, Kobe, Japan