

プロジェクト名(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 運用技術部門 ソフトウェア開発技術ユニット

1. 本プロジェクトの研究の背景、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agger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aggerド型のものとは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 $\beta=1.75$ と1.76である。また、有限サイズスケリング解析を行うために、複数の空間格子サイズの計算が必要であり、空間格子サイズ16、20、24、28で計算を行った。

3. 結果

逆結合定数 $\beta=1.75$ では、統計数を上げた結果、一時相転移の兆候がより鮮明になった。新しく始めた $\beta=1.76$ では統計数がまだ少ないが、 $\beta=1.75$ よりは相転移がかなり緩やかで、カイラル凝縮がクロスオーバーのような振る舞いをしていった。

4. まとめ

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、 $\beta=1.75$ では一次相転移領域、 $\beta=1.76$ ではクロスオーバーであることを示唆する結果を得た。

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 β 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。

2021 年度 利用研究成果リスト

【口頭発表】

“Critical endpoints in (2+1)- and 4-flavor QCD with Wilson-Clover fermions”, The 38th International Symposium on Lattice Field Theory, July 26, 2021, ONLINE

“Study of QCD with finite temperature”, 13th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences, October 8, 2021, ONLINE