

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 フラッグシップ2020 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、3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。

3フレーバーQCDの温度格子サイズは12で、空間格子サイズは 28^3 と 32^3 とした。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を同定し、その点を臨界点とした。最後に、様々な温度格子サイズで得られた臨界温度、臨界パイ中間子質量の連続極限を実行した。

図1に3フレーバーQCDの臨界温度の連続極限への外挿図を示す。連続極限での臨界温度は、線形フィットで求めた。実温度にすると臨界温度は約135 MeVである。

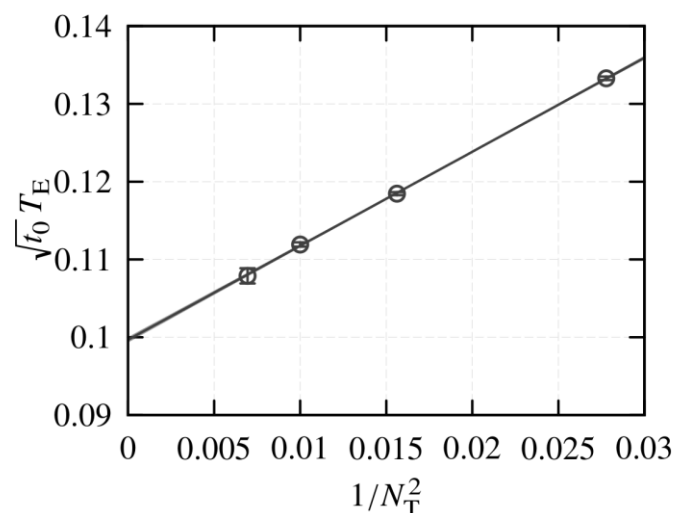


図1 臨界温度の連続極限外挿

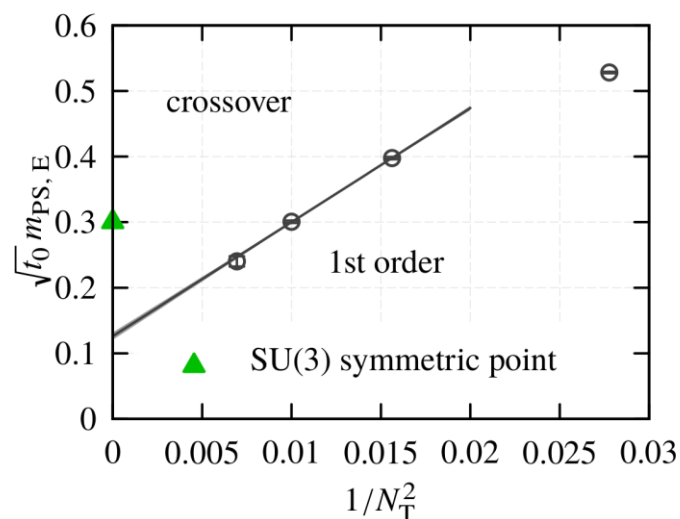


図2 臨界パイ中間子質量の連続極限外挿

図 2 は臨界パイ中間子質量の連続極限への外挿図である。連続極限での臨界パイ中間子質量は、連続極限に近いデータ 3 点を用いた線形フィット及び、3 点を用いた曲線フィットを行い推定したがフィットによる不定性が大きかった。

4. まとめ

3 フレーバーQCD における有限温度相転移の臨界点の位置決定を行った。

臨界温度は約 135 MeV であることが分かった。臨界パイ中間子質量の連続極限值に関しては、フィットに系統誤差が大きい。3 フレーバーQCD に関しては、一時相転移の領域が非常に小さいか存在しない可能性がある。

5. 今後の計画・展望

依然として 3 フレーバーQCD の臨界点の離散化誤差が大きい。これは最終的に臨界点の決定に大きな不定性を残すことになる。結果の信頼性を高めるためには、より大きな温度格子サイズの計算が必要となる。よって、将来的に、3 フレーバーQCD の温度格子サイズ 14 以上の計算が必要であると考えられる。

2019年度 利用研究成果リスト

【会議の予稿集】

1. “Critical endpoint in the continuum limit and critical endline at $Nt=6$ of the finite temperature phase transition of QCD with clover fermions”, Yoshifumi Nakamura, Yoshinobu Kuramashi, Hiroshi Ohno, Shinji Takeda, arXiv:1909.05441

【口頭発表】

1. 「QCD の有限温度相転移の相図」、日本物理学会 2019 年秋季大会、2019 年 9 月 17 日、山形大学
2. “Critical endpoint in the continuum limit and critical endline at $Nt=6$ of the finite temperature phase transition of QCD with clover fermions”, June 21, 2019, the 37th international conference on lattice field theory, Wuhan, China
3. “Critical endpoints of the finite temperature QCD”, International Molecule-type Workshop, “Frontiers in Lattice QCD and related topics”, April 15 - April 26, 2019 YITP Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University