

課題名 (タイトル) :

2+1 フレーバー有限温度 QCD における臨界線の決定

利用者氏名 :

- 武田 真滋
- 藏増 嘉伸
- 中村 宜文

所属 :

計算科学研究機構 連続系場の理論研究チーム

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

本課題の目的は、量子色力学(QCD)の有限温度相構造を第一原理計算によるモンテカルロシミュレーションによって解明することである。QCDの有限温度相転移の次数は、動力学的に取り入れるクォークの種類の数や、その質量によって大きく変化し、一般的に、軽い質量領域では強い一次相転移を、中質量領域ではクロスオーバーを、さらに重い質量領域では再び一次相転移を示すことが知られている。特に多くの関心を集めているのが軽い質量領域であり、とりわけ1次相転移とクロスオーバー領域をわける境界(2次相転移)を定めることは当該分野において重要な課題の一つである。本課題では、アップクォークとダウンクォーク質量は縮退しているが、ストレンジクォーク質量は別に扱う、いわゆる2+1フレーバーQCDにおいて、その有限温度相転移の次数を表すコロンビアプロット上の2次臨界線の定量的決定を具体的な目標としている。本年度は、特に、3フレーバー対称点から離れた領域における臨界線の決定を目指した。

これまでの量子色力学の有限温度相転移の研究ではスタaggerドフェルミオンを用いたものが主流であった。しかし、普遍性の確認のため異なる格子作用での検証が望まれる。そこで、本課題では0(a)改良されたウィルソン型フェルミオン作用を用いる。

2. 具体的な利用内容、計算方法

ゲージ場配位はRHMC法に基づき生成した。一つのパラメータセットにつき、0(100,000)配位を

生成し、10配位毎にデータを保管した。それらを用いて観測量を測定することにより所望の物理量を得る。これら一連の計算を実行するためにBQCDコードを用いた。

相構造を調べるための秩序変数として、カイラル凝縮を採用した。上記の保管された配位毎に、カイラル凝縮の感受率、歪度、尖度などをノイズ法(1つのゲージ配位につき10回のノイズを生成)によって計算した。下記に述べるように、歪度と尖度によって、相転移点と臨界点の場所の特定をそれぞれ行った。

2+1 フレーバーQCDでは、アップダウンクォーク質量とストレンジクォーク質量を個別に扱うため二つの独立なパラメータが必要となる。そのような広い領域をカバーするために、マルチパラメータ再重み付け法を採用した。

3. 結果

格子QCDシミュレーションにおけるパラメータは、温度方向格子サイズ、3次元空間格子サイズ、ゲージ結合定数 β 、クォーク質量に関するパラメータ(κ_{ud} 、 κ_s)である。本年度の課題では温度方向格子サイズを6に固定し、空間格子サイズは有限サイズスケリングを行うために 10^3 、 12^3 、 16^3 を用いた。

相転移点の決定は、 β と κ_s を固定し κ_{ud} を変化させた時の歪度がゼロを横切る点から決定した。次に臨界点の決定には尖度交差法を用いた。その結果をまとめたのが図1である。これは裸のパラメータ空間上のコロンビアプロットである。横軸はudクォーク質量、縦軸はsクォーク質量に対応している。本来、ゲージ結合定数がz軸方向にあり、臨界線はその3次元空間上に存在している。

しかし、表示の都合上、臨界線をクォーク質量の 2次元平面に射影している。

我々の得た結果によると、臨界線は κ_{ud} を上げる、つまり、 ud クォーク質量を下げると急激に上昇することがわかった。

4. まとめ

本課題では 2+1 フレーバーQCD の有限温度相転移の次数を調べ、裸のパラメータ空間上のコロムビアプロット上の臨界線の一部（フレーバー対称線から上の領域の臨界線）を決定した。ただし、温度格子サイズは 6 とした。

5. 今後の計画・展望

ここで得られたコロムビアプロットはあくまで裸のパラメータ空間上のものである。最終的には物理的パラメータで置き換える必要がある。そのために、裸のパラメータをハドロン質量に置き換える計画で、現在その計算を行っているところである。

また、本課題の計算では温度格子サイズは 6 で固定していた。このサイズではまだ格子離散化誤差が大きいことが予想されるため、さらに大きな格子サイズが必要であり、将来的には臨界線の連続極限を行うことが期待される。

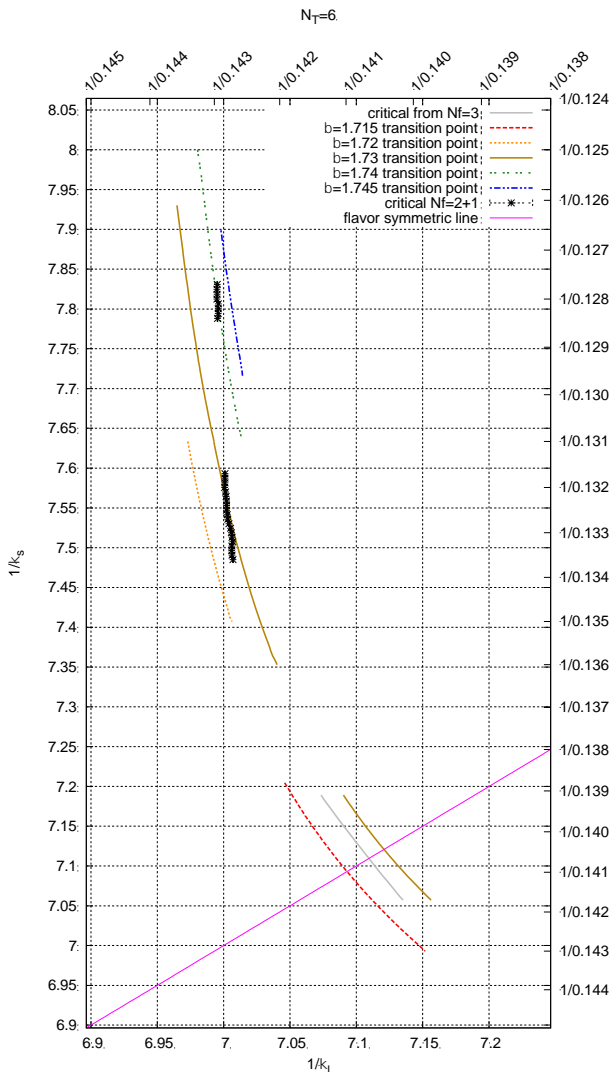


図 1 本課題で得られた裸のパラメータ空間上のコロムビアプロット。横軸は ud クォーク質量に、縦軸は s クォーク質量に対応している。黒い点の集合が臨界線である。色付きの線は、各ゲージ結合定数の値での相転移線である。

平成 28 年度 利用研究成果リスト

【論文、学会報告・雑誌などの論文発表】

1. 「Critical endline of the finite temperature phase transition for 2+1 flavor QCD around the SU(3)-flavor symmetric point」 Yohsinobu Kuramashi, Yoshifumi Nakamura, Shinji Takeda, Akira Ukawa, Phys. rev. D94, 114507 (2016)

【国際会議などの予稿集、proceeding】

1. 「Update of Nf=3 finite temperature QCD phase structure with Wilson-Clover fermion action」 S. Takeda, X.Y. Jin, Y. Kuramashi, Y. Nakamura and A. Ukawa, Proceedings of Science (LATTICE2016) 384

【国際会議、学会などでの口頭発表】

1. 口頭発表：中村宜文、「Critical endline of the finite temperature phase transition for 2+1 flavor QCD around the SU(3)-flavor symmetric point」、LATTICE 2016、2016 年 7 月 25 日、University of Southampton
2. 口頭発表：中村宜文、「Critical endline of the finite temperature phase transition for 2+1 flavor QCD around the SU(3)-flavor symmetric point」、日独セミナー 2016 格子場理論の相構造、2016 年 9 月 26 日、新潟大学駅南キャンパス