

受付 ID	15a-32
分野	素粒子分野

有限温度 QCD の研究

Study of QCD with finite temperature

武田真滋

金沢大学理工研究域数物科学系

1. 研究目的

本プロジェクトの目的は有限温度 QCD の相構造を第一原理計算によって定量的に決定することである。有効模型や先行研究によると、クォーク質量を変化させた時に有限温度相転移の強さは変化し、軽い質量領域では強い1次相転移を示し、一方、重い領域では相転移は弱くなりクロスオーバーになると考えられている。本プロジェクトでは、1次相転移からクロスオーバーへと移る境目である2次臨界点の特定を目標とする。近年、他の複数のグループが発表した結果によると、格子作用の改良の度合いによって、この臨界点が見つかったり、あるいは、見つからなかったりと混沌とした状況が続いていた。このような状況を踏まえ、我々のグループでは、H26年度学際共同利用で得た計算資源を使って3フレーバー理論における臨界点探索を行い、その存在を特定することができた。しかし、一方で臨界点の位置特定は離散化の影響を非常に受けやすいことが明らかになった。そこで、H27年度は、より細かい格子間隔での計算を行い、精密な臨界点の位置特定を目指した。

2. 研究成果の内容

シミュレーションのインプットパラメータは、温度方向格子サイズ、3次元空間格子サイズ、結合定数 β 、クォーク質量に関するパラメータ κ である。温度格子サイズは10に固定し、一方で、空間格子サイズは有限サイズスケーリングを行うために、 16^3 , 20^3 , 24^3 , 28^3 の4つの体積を選んだ。結合定数は5点とり、それぞれの結合定数に対してクォーク質量を2~8点ほど振って、感受率のピーク位置や歪度がゼロとなる点を特定し、それを転移点とした。また、転移点での尖度も同時に求めた。この解析ではマルチアンサンブル法を採用し、得られたグルオン配位の情報を最大限活用している。また、各パラメータセットに対して、グル

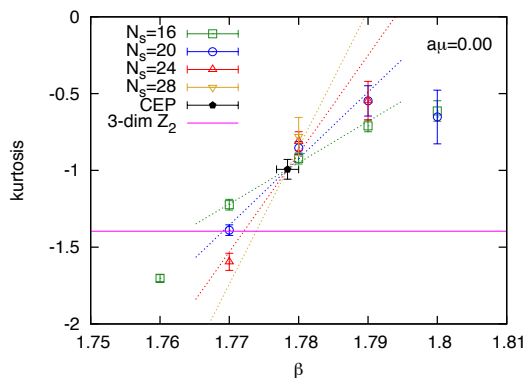


図 1 尖度交差法。横軸は結合定数 β 、縦軸は転移点上での尖度の値である。様々な体積の線が交わる点が臨界点（黒五角形の点）である。

での尖度も同時に求めた。この解析ではマルチアンサンブル法を採用し、得られたグルオン配位の情報を最大限活用している。また、各パラメータセットに対して、グル

オン配位は数千個生成することができた。

次に、尖度交差法により臨界点を特定した。具体的には、転移点上での尖度の値（尖度の最小値）を結合定数の関数としてプロットし、様々な空間格子サイズの線が交わるところを臨界点と特定した（図1参照）。

本課題で得られた臨界点の情報をまとめると、以下の通りである。

$\beta=1.77796(48)$, $\kappa=0.1396661(17)$, $K_E=-0.974(25)$: 臨界点上での尖度の値

3. 学際共同利用として実施した意義

有限温度 QCD の相構造解析は多くのパラメータセットが必要であり、しかも、各パラメータで十分な統計を必要とする。このように多大な資源を必要とする研究において、学際共同利用というまとまった資源を獲得できるシステムは非常に有用であった。

4. 今後の展望

本課題で得られた臨界点は、あくまでシミュレーションパラメータ空間上におけるものである。今後は、物理スケールを設定するために、その臨界点上でのハドロン質量を求め、ハドロン質量を軸に持つ相空間上での臨界点を特定することが課題である。この結果と、これまで得られた小さい温度格子サイズの結果とを組み合わせ、連続極限を再実行する予定である。

また、本課題で得られた臨界点上での尖度の値 K_E が 3 次元 Z_2 ユニバーサリティークラスの値 (-1.396) から有意にずれていることが確認された。これは、小さい温度方向サイズで得られた既存の結果とは相容れないものであった。これを説明する理由として次の 2 つが考えられる。①空間体積が小さいために本来支配的であるべき有限サイズ効果が見えていない可能性。②カイラル凝縮にはベキ型発散が内在していると考えられているがそれが見えている可能性。今後は、まず①の可能性を追求するために、混合演算子解析などを行い、本意でない有限サイズ効果の軽減を試みる予定である。

さらなる方向性としては、現実世界により近い 2 + 1 フレーバー理論の相構造解析にも取り組む予定である。

5. 成果発表

- (1) 国際会議発表 口頭発表、発表者：中村宜文、「Toward the continuum limit of the critical endline of finite temperature QCD」、LATTICE 2015、2015 年 7 月 15 日、神戸国際会議場

使用計算機	使用計算機に○	配分リソース*
HA-PACS	○	8,000
HA-PACS/TCA	○	1,125
COMA	○	9,600
※配分リソースについては 32node 換算時間をご記入ください。		