

有限温度 QCD の研究

Study of QCD with finite temperature

代表者氏名：武田真滋

所属：金沢大学理工研究域数物科学系

1. 研究目的

有限温度 QCD の相転移の次数はクォーク質量の値や、クォークの種類であるフレーバーの数に依存することが知られている。本研究では、3つのクォークの質量が縮退した状況での相転移の強さを、強い相互作用の第一原理計算である格子 QCD シミュレーションに基づいて決定することを目的としている。具体的には、コロンビアプロットのカイラル領域において、その対角線上に存在すると考えられている臨界点の場所を特定することが目標となる。この位置が定まれば、その前後で1次相転移領域とクロスオーバー領域を区別することができる。

これまでのスタaggerド型フェルミオンを用いた先行研究や、我々のグループが報告しているウィルソン型フェルミオンの結果ではその臨界点は非常に小さいクォーク質量領域に位置すると予想されているが、現状としては連続極限での臨界点は定まっておらず、その値がゼロであるか、あるいは、有限値であるかの結論は出ていない。そのような状況で、本研究では、その臨界点の場所を高精度で特定すること、あるいは、その特定が難しい場合はその上限値の幅を狭めることを具体的な目標とする。もし臨界質量がゼロであればこれまでの有効理論を用いた解析と矛盾するなど長年予想されてきた状況が覆される可能性も残されていることから、精密に連続極限の値を決めることは非常に重要な課題である。

2. 研究成果の内容

本年度は温度格子サイズを $N_T=12$ として、3フレーバーQCD の有限温度相転移を調べた。図1はその尖度交差法の結果である。ここでは、秩序変数としてカイラル凝縮を用い、それに関する尖度を図示している。有限サイズスケールリングを行うために空間格子サイズ3点(24^3 , 28^3 , 32^3)のデータを生成した。臨界点のユニバーサ

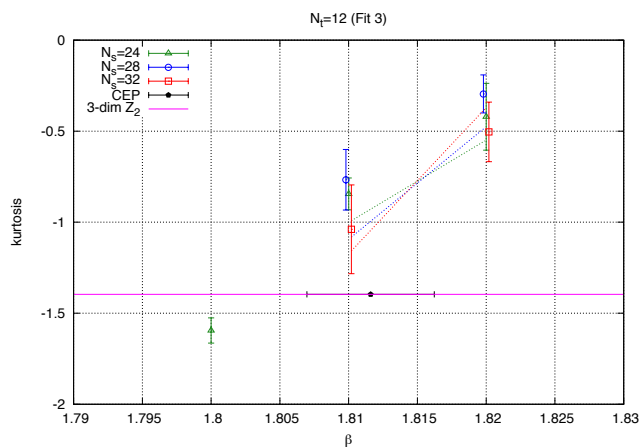


図1 尖度交差法：縦軸は尖度、横軸はゲージ結合定数。黒い点が臨界点を示す。

リティークラスは3次元 Z_2 と仮定しているが、これは以前に行った小さい温度格子サイズの研究から十分に妥当と言える。また、温度格子サイズが大きくなるとエネルギーに由来する有限サイズスケーリングの破れの寄与が多くなることが経験的に知られているが、その影響を考慮した関数形でフィットを行っている。この図より、裸のパラメータ空間における臨界点を決定した。

ただし、尖度交差法だけでは上記のように幾つかの仮定を含んでいるため、解析の妥当性が明確ではない懸念がある。そこで、他の独立な解析結果も加えることで解析全体の妥当性の強化を図ることにした。その新しい解析として、カイラル凝縮の感受率のピークに関するスケーリングを調べた。具体的には、感受率のピーク χ_{\max} を空間格子の1辺のサイズ N_s の関数として $\chi_{\max} \propto (N_s)^b$ から指数 b を取り出し、それをゲージ結合定数の関数として示したのが図2である。薄い紫色の帯が図1で定めた臨界点を示しており、その結果と3次元 Z_2 イジングユニバーサリティークラスを仮定した指数 b の値（緑色の水平線）をとるゲージ結合定数の値が一致していることから、臨界点は正しく見積もられていることが確認できたと考えている。

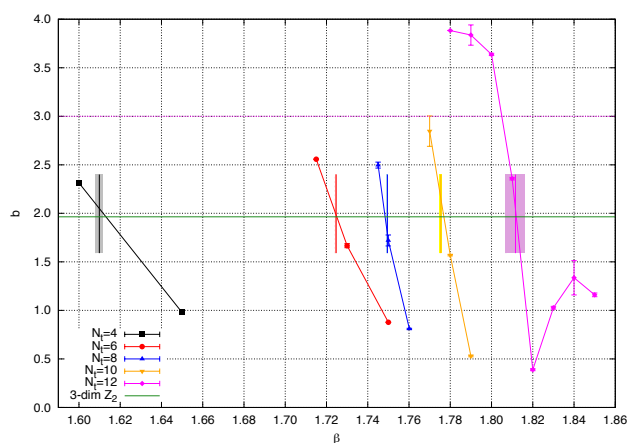


図2 感受率に関する指数 b 、横軸はゲージ結合定数。本課題における結果は $N_T=12$ である。

3. 学際共同利用として実施した意義

有限温度 QCD シミュレーションでは非常に多くのパラメータサーチが必要となり、膨大な計算リソースが必要となる。そのような状況で、本学際共同利用による支援が重要な役割を果たした。特に、空間格子 32^3 の計算では OFP のメニーコアアーキテクチャが重要な役割を果たしている。

4. 今後の展望

現状では裸のパラメータ空間上での臨界点を決めた段階であるため、今後はハドロン質量などを使って物理的なパラメータ空間上での臨界点を決定する必要がある。それが完了すれば、今回得られた $N_T=12$ の結果と組み合わせて連続極限への外挿の解析に加えることにより、より精密に臨界点の位置を絞ることができると考えている。

また、今後の展望としては2+1フレーバーQCDの相構造解析を行い、臨界線の形状を決定し、かつ、その連続極限を実行することも視野に入れている。

5. 成果発表

(1) その他

大阪大学素粒子論研究室セミナー 2019年1月22日

武田真滋「QCD phase structure」

使用計算機	使用計算機 に○	配分リソース*	
		当初配分	追加配分
COMA	○	97,040	0
Oakforest-PACS	○	385,400	77,080
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。			