

有限温度 QCD の研究

Study of QCD with finite temperature

代表者氏名：中村宜文

所属：理化学研究所計算科学研究センター

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。

これまでのスタッガー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

温度格子サイズを $N_T=8$ 、2+1 フレーバー QCD の有限温度計算を小さな空間体積で行い、およその相転移点を見積もった。

2018年度に温度格子サイズ $N_T=12$ 、3 フレーバー QCD の裸のパラメータ空間上での臨界点を決めたが、物理的なパラメータ空間上での臨界点を得るための計算が残されていた。本年度は、ハドロン質量とウィルソンフローの計算を行い、物理的なパラメータ空間上での臨界点を得ることができた。図1は、臨界点の上限値を、パイ中間子質量の二乗と、 η_s 質量の二乗平面にプロット

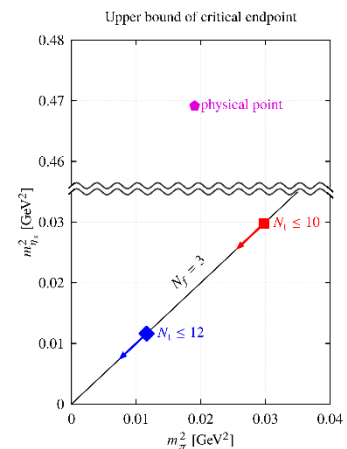


図 1 臨界点の上限値

した図である。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と、 $N_t=10$ までの結果と比較して、臨界点の上限がかなり小さくなることがわかった。

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、大きな空間格子の計算では OFP のメニーコアアーキテクチャが重要な役割を果たした。

4. 今後の展望

臨界点のための計算の次のステップとしては $N_t=14$ であるが、それには $N_t=12$ の計算リソースの 2 倍から 3 倍の計算リソースが必要になると考えられる。そのため、今後は 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に力を入れたい。

5. 成果発表

(1) 学術論文

- ① “Nature of the phase transition for finite temperature $N_t=3$ QCD with nonperturbatively $O(a)$ improved Wilson fermions at $N_t=12$ ”, Y. Kuramashi, Y. Nakamura, H. Ohno, S. Takeda, Phys. Rev. D 101, 054509, 10 pp (2020)

(2) 学会発表

- ① “Critical endpoints of the finite temperature QCD”, Y. Nakamura, Y. Kuramashi, H. Ohno, S. Takeda, International Molecule-type Workshop, “Frontiers in Lattice QCD and related topics”, April 15 - April 26, 2019 YITP Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University
- ② “Critical endpoint in the continuum limit and critical endline at $N_t=6$ of the finite temperature phase transition of QCD with clover fermions”, Y. Nakamura, Y. Kuramashi, H. Ohno, S. Takeda, June 21, 2019, the 37th international conference on lattice field theory, Wuhan, China
- ③ 「QCD の有限温度相転移の相図」、中村宜文、日本物理学会 2019 年秋季大会、2019 年 9 月 17 日、山形大学
- ④ “Nature of the finite temperature phase transition for three flavor QCD”, Y. Nakamura, the 2nd R-CCS international symposium, 2/17-2/18, 2020,

RIKEN, Kobe, Japan

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
Cygnus	○	30,000	15,000
Oakforest-PACS	○	225,000	75,000
※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。			