

受付 ID	16a44
分野	素粒子

## 有限密度格子 QCD に現れる符号問題の研究

### Study of the sign problem in the finite density lattice QCD

谷口裕介

筑波大学計算科学研究センター

#### 1. 研究目的

有限密度格子 QCD には複素作用の問題があり、単純なモンテカルロ計算は不可能である。この複素作用の問題を避ける方法として、カノニカル分配関数の導出を主なターゲットとするカノニカル法が有力視されている。カノニカル法を用いると確かに有限密度 QCD が数値計算可能となり、具体的な熱力学量としてカノニカル分配関数を求められるようになる。ところが、物理的には実かつ正定値となるべきカノニカル分配関数が複素数になってしまうという形で符号問題が現れることがわかってきた。近年の研究から、その複素位相の揺らぎは高温側では小さいものの、低温側では非常に大きくなることが判明してきた。本プロジェクトでは、この複素位相の性質についての詳しい調査を行うことを目的としている。

#### 2. 研究成果の内容

カノニカル法において符号問題は、カノニカル分配関数の位相として現れるということが知られている。これはカノニカル法が克服すべき問題であるが、位相それ自体の性質についてはあまりよく知られていない。そこでこの研究では、以下の2つの点を目標に計算を行った。

(1) カノニカル分配関数の位相の温度依存性と粒子数依存性の調査

(2) 位相が現れるメカニズムとその対策

高温側の結果では位相は  $0$  と等しく問題はないことがわかるが、低温側の結果では位相は  $\pi/2$  を超えており符号問題が強く現れていることが示唆される。また、位相がバリオン数  $N_B$  におおよそ比例して大きくなっていることが確かめられた。

この位相を減らすため、そのもっとも素朴な方法として統計数を上げた計算を試みた。統計が少ない場合は位相が激しく現れるが、統計を上げた場合は  $\pi/2$  を超えない領域もあることが見て取れる。この結果から、統計を上げることによってバリオン数が少ない領域ではある程度位相を抑えることができるということがわかった。

#### 3. 学際共同利用として実施した意義

#### 4. 今後の展望

符号問題は、体積を増やしたときに必要な統計数も増えるという文脈で現れる。今後の計算では位相の体積依存性についても調査を行う必要がある。

5. 成果発表

(1) 学術論文

- QCD phase transition at real chemical potential with canonical approach, A.Nakamura, S.Oka and Y.Taniguchi,, Journal of High Energy Physics, 2016(2), 1-19,
- Study of high density phase transition in lattice QCD with canonical approach, A.Nakamura, S.Oka and Y.Taniguchi, PoS LATTICE 2015 (2016) 165.

(2) 学会発表

- Calculation of Hadronic observable with Canonical approach in finite density lattice QCD, A.Suzuki, RBRC Workshop on Lattice Gauge Theories 2016, Physics Department, Brookhaven National Laboratory, NY, USA, March 9-11, 2016
- カノニカル法を用いた有限密度格子 QCD における物理量の計算とその体積依存性の研究, 鈴木遊, 日本物理学会 第 71 回年次大会 (2016 年), 東北学院大学 泉キャンパス, 2016 年 3 月 19 日-22 日
- Study of sign problem in canonical approach, Asobu Suzuki, The 34<sup>th</sup> International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE2016), University of Southampton, UK, 24-30 July 2016
- カノニカル法における分配関数の位相の研究, 鈴木遊, 理研シンポジウム・iTHES 研究会 「熱場の量子論とその応用」, 理化学研究所, 2016 年 8 月 22 日-24 日
- カノニカル法における符号問題の研究, 鈴木遊, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 宮崎大学, 2016 年 9 月 21 日-24 日
- Complex phase problem in the canonical approach, Asobu Suzuki, Phase structure of lattice field theories— Japanese-German Seminar 2016 —, Niigata University, 26-28 September, 2016

(3) その他

使用計算機	使用計算機に○	配分リソース*
HA-PACS	○	9200
HA-PACS/TCA		
COMA	○	5750
※配分リソースについては 32node 換算時間をご記入ください。		

