

受付 ID	17a16
分野	素粒子

物理的クォーク質量における 2+1 フレーバー格子 QCD

2+1 Flavor Lattice QCD with the Physical Quark Masses

藏増 嘉伸

筑波大学計算科学研究センター

1. 研究目的

現在の格子 QCD シミュレーションには、2つの大きな問題点が存在する。まず、物理点(自然界のクォーク質量)直上でのシミュレーションが可能になったことは事実だが、実際に物理点のみで物理量の評価を行えるほどの精度を得るレベルには至っていない。もう一つは、単一の物理パラメータを持つゲージ配位(モンテカルロサンプル)からユニバーサルに様々な物理量の高精度精密計算ができていたわけではなく、そのことが格子 QCD 計算の予言能力を毀損している。本課題では、格子 QCD において世界初となる master-field シミュレーション(超大体積シミュレーション)を行うことによって上記2つの問題を克服し、格子 QCD 計算の予言能力を格段に向上させる。

2. 研究成果の内容

従来の格子 QCD 計算では、体積を大きくすることとゲージ配位数を増やして統計精度を向上させることは相克する課題であった。つまり、体積を大きくするにせよ、統計精度を向上させるにせよ、各々独立に計算コストが増大するため、どちらかに注力した計算を行えば、他方は犠牲にせざるを得ないと考えられてきた。しかしながら、我々は京コンピュータを用いて(8fm)⁴超の時空間体積を持つ大体積シミュレーションを行った結果、物理量の統計誤差が4次元時空間体積 V に対して $1/\sqrt{V}$ に比例して減少することを確認し、実は体積を大きくすることは統計精度を向上させることを明らかにした。これにより、我々は超大体積シミュレーションの優位性を提唱し、現在は(10fm)⁴を超える時空間体積を持つシミュレーションを行っている(最近同様のアイデアが Lüscher により提唱され、“master-field” シミュレーションと名付けられた)。これは、現在の世界の格子 QCD 計算が(5~6fm)⁴の体積で行われていることを考えると、格段に大きな時空間体積でのシミュレーションである。

平成29年度は、具体的なパラメータとして、物理点直上(格子間隔,格子サイズ)=(0.085fm,128⁴)のゲージ配位を生成した。図1(左)は、格子サイズ128⁴と64⁴(現在世界の格子 QCD 計算で典型的に採用されている格子体積)の配位上で計算された π 中間子の2点相関関数 $C_\pi(t)$ を用いて、それぞれについて時間 t における π 中間子の局所

有効質量 $m_{\pi}^{\text{eff}}(t) = \ln\{C_{\pi}(t)/C_{\pi}(t+1)\}$ をプロットしたものである。両者に差異が見えることから、明確な有限体積効果が存在することが見て取れる。また、図1(右)は、格子サイズ 128^4 と 64^4 の配位上で計算された π 中間子崩壊定数を比較したものである。こちらについても明確な有限体積効果が存在することが確認できる。

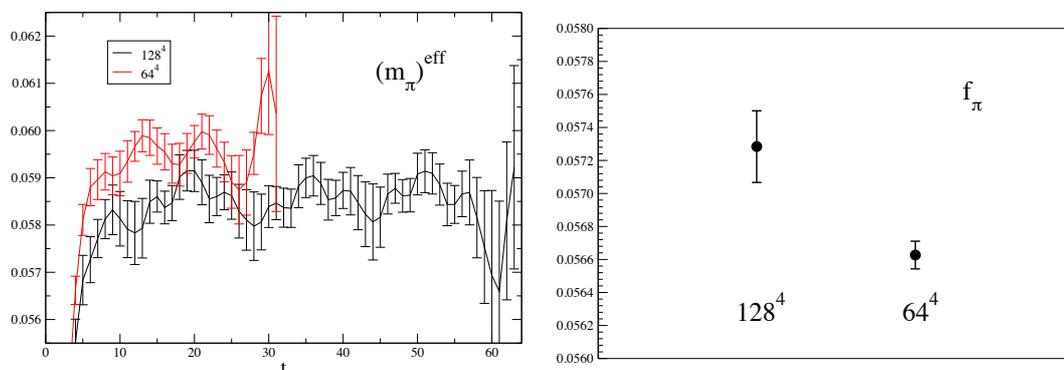


図1: 格子サイズ 128^4 と 64^4 における π 中間子局所有効質量(左)と π 中間子崩壊定数(右).

3. 学際共同利用として実施した意義

物理点直上での(格子間隔,格子サイズ)=(0.085fm,128⁴)のゲージ配位は、京コンピュータで生成された96⁴格子サイズの配位の3倍以上の体積を有している。現在の日本国内において、これほど大きなジョブを無償で実行できる計算機環境は、学際共同利用におけるOakforest-PACS以外には存在しない。

4. 今後の展望

本計算により、ハドロン単体の諸性質解明のためには、従来予想よりもはるかに大きな空間体積が必要であることが明らかになった。現在、複数の格子間隔における計算を実行中であり、これにより精密計算へ向けて格子QCD計算における主要系統誤差の一つである格子間隔依存性を取り除くことが可能となる。

5. 成果発表

(1) 学術論文

“Mixed Precision Solver Scalable to 16000 MPI Processes for Lattice Quantum Chromodynamics Simulations on the Oakforest-PACS System”,
Taisuke Boku, Ken-Ichi Ishikawa, Yoshinobu Kuramashi and Lawrence Meadows,
arXiv:1709.08785 [physics.comp-ph].

(2) 学会発表

[口頭発表]

Yoshinobu Kuramashi,

“A large scale simulation of 2+1 flavor lattice QCD”,

The 35th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2017),

Granada Conference and Exhibition Centre, Granada, Spain, June 18-24, 2017.

(3) その他

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
HA-PACS/TCA	○	46800	11700
COMA	○	230400	57600
Oakforest-PACS	○	1797730	898865
※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。			