

Determination of HVP muon $g-2$ in lattice QCD

新谷 栄悟
筑波大学

1. 研究目的

格子 QCD 計算を利用して、素粒子原子核分野において注目されている、ミュー粒子異常磁気能率 ($g-2$) の第一原理計算を実施する。これまでの理論計算では、QCD に従う強い相互作用を取り入れた計算実行は困難であり、モデルを仮定した系統誤差の評価があいまいであった。したがって、今後のミュー粒子 $g-2$ に関する実験結果 (フェルミ国立研究所および JPARC における新しいミュー粒子 $g-2$ 測定) から標準模型の寄与を正確に記述するためには、モデルに依存しない第一原理計算が必要となる。そこで、本研究ではこれらの物理量を格子 QCD 計算から高精度で求めることで、将来の高強度実験との比較、標準模型の検証および、それを超えた新しい物理探索に重要なインプットとなる理論計算を与えることを目的とする。

2. 研究成果の内容

平成 31 年度の OFP を利用した格子 QCD 計算では、PACS グループが中心となって生成したゲージ配位上で、上記の物理量を計算した。具体的なパラメータとして、 $2+1$ フレーバーの動的クォークを含んだ格子サイズ 160^4 、格子カットオフ 3.09GeV のゲージ配位で、パイ中間子質量は 135MeV である。

ミュー粒子 $g-2$ 計算では、ベクトル型カレントの 2 点関数を高精度で求めて、重み関数との積を時間積分した結果として与えられる。この際に、重み関数の構成から、時間方向のほぼすべての成分が高統計で求まっている必要がある。格子 QCD 計算における相関関数の時間成分が大きい領域は、シグナル・ノイズ比が指数関数的に悪くなる傾向があり、この誤差を小さくすることが最大の課題である。本研究では、AMA 法を格段に改良して、より効率化が図られる domain-decomposition 法と deflation 法を組み合わせた最適化を行い、 160^4 格子に対して高統計結果が得られた。図 1 にこれまで得られた結果を示す。平成 30 年度の結果と比較して、特にカットオフ 3.5fm より大きい点において精度が格段に向上している。2 倍以上の誤差の減少が確認できた。これは、統計数を上げることで統計分布が理想となるガウス分布に近づいたことで誤差評価が正確になったことが考えられる。

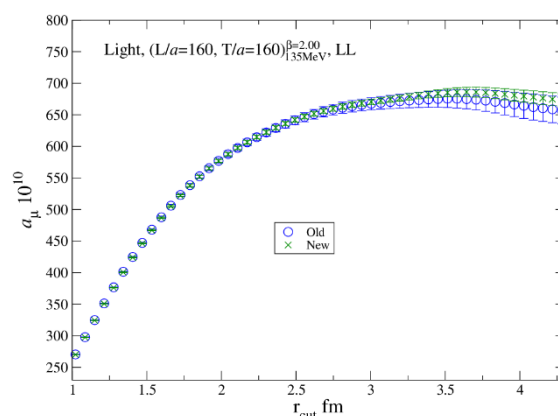


図 1：ベクトル型カレントの 2 点関数と重み関数との積の時間方向依存性。平成 30 年度の結果を「Old」、平成 31 年度の結果を「New」とした。

3. 学際共同利用が果たした役割と意義

OFFP を利用した計算は、これまでの格子 QCD では達成できていないほどの高精度でかつ大規模なシミュレーションを実施できた。この結果、物理的なゲージ配位上で正確にミュー粒子 $g-2$ を求めることができた。この成果は、全体の誤差がまだ 2% と実験値と比較すると大きいですが、これまでより正確な系統誤差の影響を調べることができた。特にモデルを介することがなく、格子 QCD 計算のみでミュー粒子 $g-2$ を求められたことは意義がある。

4. 今後の展望

今後は、これまでの結果を踏まえて、より大規模な計算実施に移行する計画である。PACS グループが生成した 256^4 ゲージ配位は 3 点目のカットオフ上のデータが得られるため、連続極限を信頼できる方法で求めることができる。加えて、ベクトル型カレントの 2 点関数の構成上必要となる非接続ダイアグラムも同時に求める。このダイアグラムは全体の寄与としては小さいが、統計精度が向上すれば無視できない大きさとなる。非接続ダイアグラムをいかに効率的に遂行するかを今後系統的に調べる方針である。

5. 成果発表

(1) 学術論文

Eigo Shintani, Yoshinobu Kuramashi, “Hadronic vacuum polarization contribution to the muon $g-2$ with $(2+1)$ -flavor lattice QCD on a larger than $(10 \text{ fm})^4$ lattice at the physical point”, Phys. Rev. D 100, 034517 (2019), pp1—15.

(2) 学会発表

(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
Cygnus			
Oakforest-PACS	○	240,000	
※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。			