

QCD 結合定数の精密計算

High precision computation of QCD coupling constant

新谷 栄悟

筑波大学計算科学研究センター

1. 研究目的

本研究では量子色力学における基本的パラメータである強い結合定数を格子 QCD を用いた第一原理計算により精密に求めることを目的とする。この強い結合定数は、現在稼働中の LHC 実験および関連した高エネルギー物理実験において新物理探索における不定性の主な起源となっている。素粒子標準理論では組み込まれていない新しい物理機構を調べるうえで、1 TeV 以下の既存の物理現象から生じる寄与（バックグラウンド）を実験結果から取り除く必要があるが、その際に摂動的 QCD 計算におけるインプットパラメータの精度が重要となる。現在では、高次元摂動計算（3 ループ以上）をもとにした摂動計算を用いているが、その際に QCD における強い結合定数の値を代入してバックグラウンドノイズとして求めている。実験精度の高度化に伴って、バックグラウンドノイズの高精度評価が重要となっていることから、強い結合定数の高精度が求められている。実際、結合定数の世界基準は Z ボゾン質量のエネルギースケールにおいて $0.1179(10)$ [Particle Data Group 2020] と 1% 弱であるが、3 ループ計算が重要となる現在、単純には誤差が 3 倍されるため 3% が不定性として残っている。1% 未満を目指す高精度物理において、この不定性は依然としてネックである。

格子 QCD はエネルギースケールをハドロン質量（例えばオメガ粒子）を用いて決定できれば、理論計算から様々な QCD に関連する物理現象を予想することができる。この際には、経路積分をモンテカルロ積分法を用いて数値的に求めるのだが、強い結合定数の計算においても同様のプロセスを経て、原理的には理論計算からその値を決定することができる。 e^+e^- 衝突実験などから求められるスペクトル関数を用いた評価方法と比較して、実験結果を（直接的に）インプットとして用いないため高精度化が期待される。

2. 研究成果の内容

本研究では、格子上においてベクトルカレントの相関関数から求められる真空偏極関数を各運動量におけるデータ点として求めることで、そのデータと QCD 摂動論との比較によって強い結合定数を数値的に導出する。格子 QCD で得られる真空偏極関数データは高運動量においては QCD 漸近自由性から摂動論でよく記述できることが知られている。格子 QCD では真空偏極関数の微分形を求めることで、スキーム依存がない形でデータを得ることができるので、直接的に摂動論を当てはめることで、摂動論のスキーマ

ムに合わせた結合定数が求められる（一般的には $\overline{\text{MS}}$ と呼ばれるスキームが用いられる）。現在のところ、5 ループまで知られている。

格子上では運動量の組み合わせの個数は格子体積に比例するので、格子体積を大きくすることでその精度は向上すると考えられる。本研究では、体積増加における計算コストを抑えるために、ウィルソンフェルミオン形式を用いることにする。この形式では、カイラル対称性を破るために格子化誤差が大きく寄与する。そこで、ゲージ場を **smear** することでその誤差の影響を極力小さくし、連続極限をとることで最終結果を得ることができると期待される。そのためには、物理的な格子体積を一定に保ったまま、3 点の異なる格子間隔上における真空偏極関数を求める必要がある。

そこで、筑波大学の格子 QCD 研究者が中心的な構成メンバーである PACS グループが提供するゲージ配位を利用した格子 QCD 計算を実行した。このゲージ配位は 10 fm^3 の体積をもつウィルソン型フェルミオン形式を用いたゲージ配位データを複数の格子間隔 (0.08fm、0.06fm、0.03fm) ある。今年度では、格子間隔 0.08fm、0.06fm で相関関数を計算して格子間隔依存性を調べた。

3. 学際共同利用が果たした役割と意義

OFP を利用した格子 QCD 計算によって 2 点の格子間隔データを得ることができた。学際共同利用による大規模計算機利用による成果となる。

4. 今後の展望

今後は格子間隔 0.03fm のゲージ配位のデータを取り、解析により連続極限をとった最終結果を導出する。

5. 成果発表

- (1) 学術論文
- (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	○	368,333	283,333
※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。			