

# 巨大体積格子を用いた QCD ハドロンスペクトル測定

## QCD hadron spectrum on very large volume lattice

浮田 尚哉

筑波大学計算科学研究センター

### 1. 研究目的

格子QCD計算から現実のQCDを得るには、(1)クォーク質量を物理的質量(物理点)に調整し、(2)格子間隔ゼロと(3)体積無限大への極限操作を要する。これら調整と極限操作に起因する系統誤差の理論的評価法が存在するが、そもそも各々の格子QCD計算が、その評価法の適用範囲内のパラメータかどうかの判断は難しい。結局、格子QCD計算は、如何にこれら系統誤差を取り除き定量的にQCDを解析できるかが問題になる。究極的に、物理点且つ格子間隔の非常に細かい巨大体積格子での数値計算が実現出来れば、上記系統誤差が全て除去可能になる。ただし、未だ実現していないのが現状である。

本プロジェクトでは、先ず巨大体積格子を用いたQCDの解析手法の開発と整備を行う。また、その手法を用いたハドロンスペクトルの精密測定により有限体積効果をモデル計算を介さず直接評価する。

### 2. 研究成果の内容

#### 1) 解析手法の開発：

格子 QCD のハドロンスペクトル計算は、相関関数の時間依存性から評価する。伝統的な相関関数の計算法 (one to all と呼ばれる手法) では、1 回の測定で、3 次元空間のある 1 点の始点 (あるいは局在した 1 つの空間領域) から全 4 次元格子点への相関関数を計算する。始点をずらした測定を何度も繰り返して、統計数を上げていく。つまり伝統的計算法では、測定数と統計数が等しい。

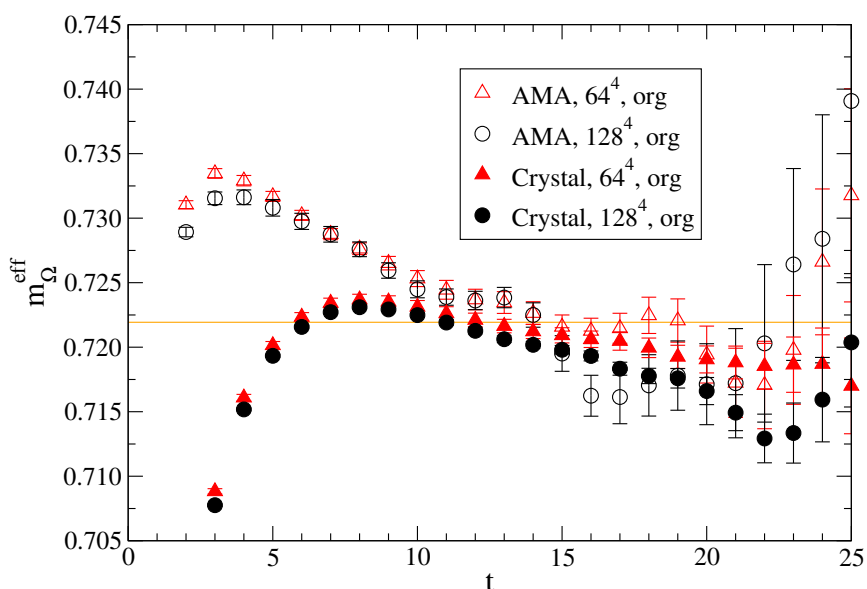
ところで、典型的な QCD スケールに比べて非常に大きな体積を用いた場合、同時に複数の始点を置いた相関関数の計算 (many to all) が可能であることに気づく。例えば、同時に 10 個の始点を置けるなら、測定数 (計算回数) を 10 分の 1 に削減できる。この many to all の手法には、グリッド法と呼ばれる先行研究があるが、巨大体積格子を意識していなく、改良の余地が十二分にあった。

本研究成果は、グリッド法を包含した格子の幾何学に基づいた many to all の一般的手法の開発・整備を行い、数値実験でその有効性を示したことである。計算回数の削減量は、3 次元空間の体積に逆比例する。一辺 10fm の体積では、伝統的手法の数十倍の 1 程度まで削減できることを確認した。

2) ハドロンスペクトルの精密測定 :

開発した手法を用いて、一辺 10fm の巨大体積格子での QCD ハドロンスペクトルの精密測定を実行して、その有限体積効果を論文にまとめた。

一つ興味深い結果は、QCD では  $\Omega$  バリオンは安定粒子であり、これまでの数値計算でも安定粒子として観測されてきた。ところが、有効質量をサブパーセントの統計誤差で評価してみると、安定粒子の存在を示すプラトー領域が現れず不安定粒子の兆候が見えた（下図参照）。もちろん、 $\Omega$  バリオンは崩壊しないのだが、エネルギーの近い 2 粒子状態が存在し、更に離散化された格子ではスピンの高い状態との混合が考えられる。もはや  $\Omega$  バリオンの状態は、エネルギー的に孤立した状態とは見做されず、実際高精度の数値計算によってそれらの状態との混合の効果が確認できたのである。



3. 学際共同利用が果たした役割と意義

巨大体積格子を用いた QCD ハドロンスペクトル計算では、非常に大きな記憶容量を持つプラットフォームが必要とされる。ノード当たりのメモリ容量の大きな Cygnus と、多数ノードを使用できる Oakforest-PACS は、本プロジェクトの遂行に適していた。

4. 今後の展望

今年度の数値計算では、物理点かつ有限体積効果を統計誤差以下に抑えた結果である。しかし、格子間隔 0.084fm のみの結果で、有限格子間隔による系統誤差の評価がまだ完了していない。今後は、全ての系統誤差を取り除いた格子 QCD 計算の実現を目指す。

5. 成果発表

(1) 学術論文

K. I. Ishikawa et al. (PACS collaboration), Phys.Rev.D 100 (2019) 9, 094502.

(2) 学会発表 なし

(3) その他 なし

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	
Oakforest-PACS	○	225,00	
※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。			