

# 格子 QCD によるヘビーハドロン

滑川 裕介  
筑波大学 計算科学研究センター

## 1 Introduction

格子場の理論とは、離散化された時空上で定義された場の理論である。紫外及び赤外発散は、格子間隔  $a$  及び格子サイズ  $L$  により、自然な形で正則化される。連続時空の理論は、 $L \rightarrow \infty, a \rightarrow 0$  の極限で再現される。格子場の理論における最大の利点は、コンピュータシミュレーションによる非摂動的解析である。格子場の理論に基づく数値シミュレーションを用いて、特に非摂動的効果が顕著な量子色力学 (QCD) において、種々の物理量が模型に依存することなく非摂動的に計算されている。

## 2 Recent development

格子 QCD シミュレーションにおける最近の進展として、計算機の能力向上及びアルゴリズムの改善により、極めて現実に近いシミュレーションが実行可能になった事が挙げられる。格子 QCD 計算におけるパイオン質量は、これまで非現実的な値を取らざるを得なかった。しかし、今やパイオン質量を現実の値である 135 MeV に取る格子 QCD シミュレーションが行われるようになった [1]。さらに、QCD に加え、QED 効果も含めたシミュレーションも実行されている [2]。

Year	Machine	Speed [TFlops]	$m_\pi$ [MeV]
1996-2005	CP-PACS	0.6	700
2006-2011	PACS-CS	14	160
2008-2014	T2K(Tokyo,Tsukuba,Kyoto)	235	135
Experiment			135

Table 1: 格子 QCD 計算におけるパイオン質量の時間履歴

### 3 Recent results for heavy hadrons

格子 QCD シミュレーションは、チャームクォークを含むヘビーハドロン系の研究に有用である。格子 QCD により、未発見粒子の予言、未確定実験結果に対する判定、クォーク閉じ込めにより実験的に測定できないクォーク質量、Cabbibo-Kobayashi-Maskawa (CKM) 行列要素の決定が可能である。

図 1(左図) は、格子 QCD により計算されたチャームバリオンスペクトルである [3]。既に発見されているチャームクォークを 1 つ含むチャームバリオンに関して、格子 QCD の計算結果と実験値 [4] は良く一致している。チャームクォークを 2 つ若しくは 3 つ含むチャームバリオンは、実験的に探索中である。格子 QCD 計算は、これら未発見チャームバリオンの予言値を与える。

図 1(右図) は、チャームクォーク 2 つとダウンクォークから成るチャームバリオン  $\Xi_{cc}$  の実験値と格子 QCD 計算結果の比較である [3]。 $\Xi_{cc}$  は SELEX 実験により発見が報告された [5]。しかし、他の BABAR, BELLE, FOCUS 実験では、SELEX 実験値近傍にシグナルが確認されていない。SELEX 実験値は格子 QCD 計算結果とも明確な差が有る。格子 QCD 計算は SELEX 実験による  $\Xi_{cc}$  の質量値より 100 MeV 上に  $\Xi_{cc}$  のシグナルを予言する。このように、格子 QCD は未確定実験結果に対する正否判定の一助となれる。

図 2 は、格子 QCD シミュレーションにより求められたチャームクォーク質量及び Cabbibo-Kobayashi-Maskawa (CKM) 行列要素である [6]。チャームクォーク質量は、格子正則化で求められた値を  $\overline{MS}$  に変換し、図示している。CKM 行列要素は、純レプトン崩壊幅の実験値と格子 QCD で得られた崩壊定数を組み合わせて得られる。これらの例が示す通り、格子 QCD は実験的に直接観測できない物理量についても計算できる。

他にも、電磁形状因子計算 [7],  $Y(4140)$  検証 [8],  $T_{cc}, T_{cs}$  探索 [9] といった様々な試みが格子 QCD を用いて実行されている。

## References

- [1] S. Aoki *et al.* (PACS-CS Collab.), Phys. Rev. D81, 074503 (2010).
- [2] S. Aoki *et al.* (PACS-CS Collab.), Phys. Rev. D86, 034507 (2012).
- [3] Y. Namekawa *et al.* (PACS-CS Collab.), Phys. Rev. D87, 094512 (2013).

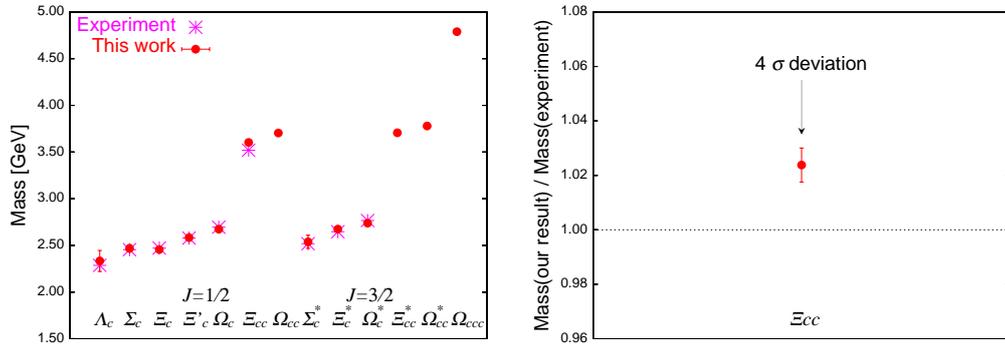


Figure 1: チャームバリオンスペクトルの格子 QCD 結果 [3] 及び実験値 [4]

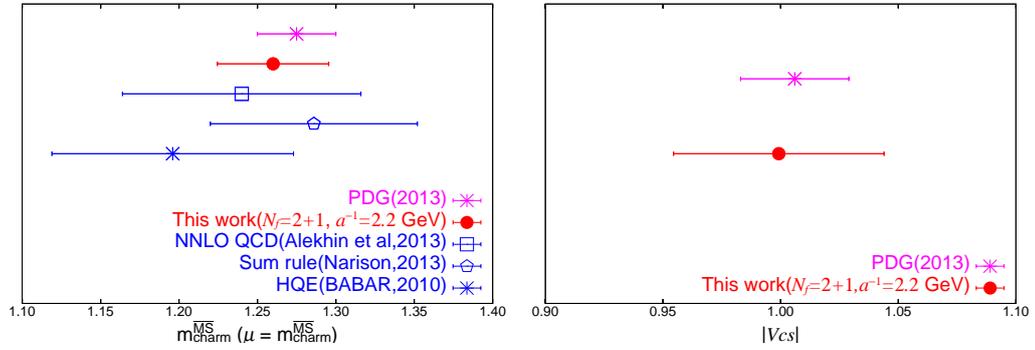


Figure 2: チャームクォーク質量 (左図) 及び CKM 行列要素  $|V_{cs}|$  (右図) [6]

- [4] J. Beringer *et al.* (Particle Data Group), Phys. Rev. D86, 010001 (2012).
- [5] M. Mattson *et al.* (SELEX Collab.), Phys. Rev. Lett. 89, 112001 (2002);  
A. Ocherashvili *et al.* (SELEX Collab.), Phys. Lett. B628, 18 (2005).
- [6] Y. Namekawa *et al.* (PACS-CS Collab.), Phys. Rev. D84, 074505 (2011).
- [7] K.U. Can *et al.*, Phys. Lett. B719, 103 (2013); 本研究会報告 (高橋氏).
- [8] S. Ozaki and S. Sasaki, Phys. Rev. D87, 014506 (2013).
- [9] Y. Ikeda *et al.* (HAL Collab.), Phys. Lett. B729, 85 (2014); 本研究会報告 (池田氏).