

受付 ID	15a-27
分野	素粒子分野

## 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

本プロジェクトの歴史は長く、その第一歩は、2006 年の PACS-CS 稼働開始とともに、領域分割 HMC アルゴリズムを用いた物理的な u, d クォーク質量での 2+1 フレーバー QCD シミュレーションを目標とし、それを実現したことにある。その後、物理点計算で用いた reweighting 法を応用することによって QED 効果を取り入れつつ u, d クォーク質量の縮退を解くことができる可能性を見出し、格子間隔約 1fm, 空間体積約  $(3\text{fm})^3$  の格子上で 1+1+1 フレーバー QCD+QED シミュレーションを実現した。平成 24 年秋より京コンピュータの共用が開始され、2+1 フレーバー QCD における物理点での空間体積約  $(9\text{fm})^3$  の配位を生成した。これは、従来のものと比較して 27 倍空間体積が大きくなっており、ハドロンの各種形状因子の精密測定や QCD による原子核の直接構成を可能とする。

#### 2. 研究成果の内容

平成 27 年度は、ハドロン質量、クォーク質量、擬スカラー粒子崩壊定数などの基本的な物理量の計算に対して時空間並進対称性を利用した統計精度の向上を目指した。図 1 は物理点でのハドロン質量の計算結果を実験値と比較したものである。ここでは、クォーク質量 ( $m_u=m_d \neq m_c$ ) と格子間隔を決めるための 3 つの物理量として、 $\pi$  中間子質量 ( $m_\pi$ )、K 中間子質量 ( $m_K$ )、 $\Omega$  バリオン質量 ( $m_\Omega$ ) を採用している。

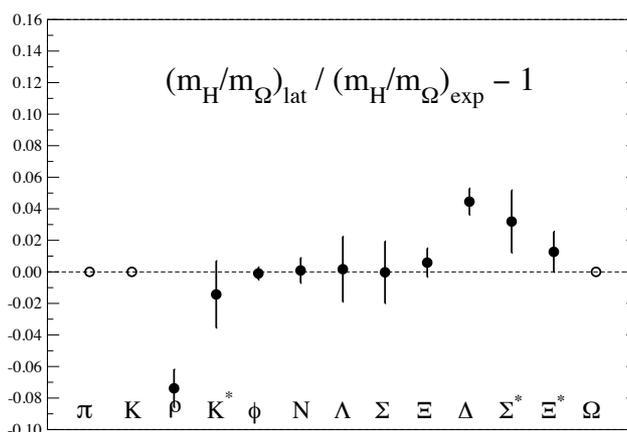


図1: 2+1フレーバー格子QCD 計算で得られたハドロン質量と実験値との比較. 白抜きシンボルはクォーク質量と格子間隔を決めるための物理インプットを表す.

安定粒子(強い相互作用で崩壊しない)は実験値と誤差の範囲で一致しているのに対して, 不安定粒子(強い相互作用で崩壊する  $\rho$  や  $\Delta$  など)は, 誤差の範囲を超えて実験値との有意なズレが見取れる. これは, 現在採用しているハドロン質量の計算方法が不安定粒子に対しては有効でないことを表しており, これまで長い間期待されていたことであるが, 今回初めて確認に成功した. この他, ハドロン質量の計算と並行して, 擬スカラー中間子の崩壊定数, カイラル摂動論における低エネルギー定数, 核子のシグマ項などの計算も実行し, 大変興味深い結果を得ている.

### 3. 学際共同利用として実施した意義

京コンピュータで生成された配位上での物理量計算は, クォーク伝播関数とハドロン多点関数の計算から構成されるが, クォーク伝播関数の計算は計算コストが重く, HA-PACS のベースクラスタ部/TCA 部の 12 ノード 48GPU のジョブを実行する必要がある. また, この計算を COMA の汎用コア部を用いて同程度の計算時間で行おうとすると, 32 ノードのジョブを実行することが必要である. 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, 本学際共同利用以外には存在しない.

### 4. 今後の展望

京コンピュータを用いて生成された2+1フレーバーQCDにおける物理点での空間体積約  $(9\text{fm})^3$  の配位の最大の特徴は, 従来にない圧倒的な大きさの空間体積である. その最大の利点の一つは, 離散化された運動量の刻み幅が細くなることによって, ハドロン形状因子の運動量空間における精密な解析が可能となることである. 平成28年度は, 特に  $\pi$  中間子と核子の形状因子計算に取り組む予定である.

5. 成果発表

(1) 学術論文

"2+1 flavor QCD simulation on a  $96^4$  lattice",

K.-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Kuramashi, Y. Nakamura, Y. Namekawa, Y. Taniguchi, N. Ukita, T. Yamazaki, and T. Yoshié,  
PoS LATTICE2015 (2015) 075.

(2) 学会発表

Naoya Ukita,

"2+1 flavor QCD simulation near the physical point on a  $96^4$  lattice"

Lattice 2015,

July 14-18, 2015, Kobe International Conference Center, Kobe, Japan.

Naoya Ukita,

"2+1 flavor QCD simulation near the physical point on a  $96^4$  lattice"

QUCS 2015, November 4-8, 2015, Nara, Japan.

(3) その他

使用計算機	使用計算機に○	配分リソース*
HA-PACS	○	8000 時間
HA-PACS/TCA	○	1800 時間
COMA	○	5760 時間

※配分リソースについては 32node 換算時間をご記入ください。