

## ハドロン間相互作用の格子 QCD 第一原理計算

### First-principles Lattice QCD calculation of Hadron interactions

土井琢身

理化学研究所仁科加速器科学研究センター

#### 1. 研究目的

本研究では、量子色力学(QCD)の第一原理計算である格子 QCD シミュレーションを用いることで、ハドロン間相互作用を QCD に基づき直接決定し、素粒子・原子核・宇宙天文学物理という異なる物質階層間のミッシングリンクを繋ぐことを最終的目標としている。本年度は、計算の精密化を目指した大規模計算プログラムの一部として、Cygnus を用いてゲージ配位のゲージ固定を行うと共に、今後の相関関数測定計算の実行に向けて OFP へのコードの移植作業を行うことを目的とした。

#### 2. 研究成果の内容および学際共同利用が果たした役割と意義

Cygnus においては、パイオン質量 270MeV、 $72^4$  格子における高精度計算の一環として、ゲージ配位の (クーロン) ゲージ固定の計算を行った。これまで同種の計算を HA-PACS (NVIDIA Tesla M2090) や理研 GPGPU サーバ (NVIDIA Tesla K20X) で行ってきたが、Cygnus (NVIDIA Tesla V100) で実行したところ、Tesla K20X に対して演算性能やバンド幅から予想されるスケーリングと比べ、約 2 倍高速にゲージ固定を実行することができた。なお、ゲージ固定された配位を基にした物理量測定計算については、(既に測定コードを高度にチューニング済みの) 他所スパコンを用いた。本学際共同利用の利用開始前は、ゲージ固定が往々にして計算のボトルネックとなっていたので、本利用の意義は大きい。

OFP においては、ハドロン多体系相関関数の大規模計算に向けたコード開発を行った。特に、ハドロン共鳴状態の統一的理解に向けて、クォーク対生成消滅ダイアグラムが重要な系での HAL QCD ポテンシャルの導出方法の確立を目指し、 $I=1$   $\pi\pi$  相互作用 ( $\rho$  メソン共鳴状態) を対象とし、all-to-all 法を用いた研究・コード開発を行った。その結果、all-to-all 法の効率的計算として、one-end trick, sequential 法、all-mode-average 法を組み合わせる手法を開発し、(他所スパコンによる) テスト計算では統計誤差を約一桁削減可能なことを見出した。さらに該当コードを OFP に移植し、チューニング等を行うことで、移植当初と比べて約 2 倍の高速化を達成することに成功した。

### 3. 今後の展望

2019 年度の利用において、クォーク生成消滅ダイアグラムがある系での計算手法の開発に成功し、OFP でのコード準備も整った。そこで 2020 年度より、 $I=1 \pi \pi$  相互作用を対象とした大規模計算を開始する予定である。これにより、まず  $\rho$  メソン共鳴状態を HAL QCD 法において導出することを当面の目標とする。これに成功した暁には、様々なメソン・メソン、メソン・バリオン共鳴状態の研究へと進展させる。特に HAL QCD 法を用いたエキゾチックハドロンの研究は大きなインパクトを与えるものと考えており、QCD に基づくハドロ共鳴状態の統一的理解を目指す。

### 4. 成果発表

- (1) 学術論文 0 件
- (2) 学会発表 7 件
- (3) その他 なし

| 使用計算機          | 使用計算機<br>に○ | 配分リソース* |      |
|----------------|-------------|---------|------|
|                |             | 当初配分    | 追加配分 |
| Cygnus         | ○           | 5,400   | 0    |
| Oakforest-PACS | ○           | 76,500  | 0    |

※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。