

高工研^A 松古栄夫^A

Lattice QCD simulation with exact chiral symmetry

KEK Hideo Matsufuru

QCDの非摂動的効果を計算できる格子QCDシミュレーションは、精密な理論的予言が必要なフレーバー物理をはじめ、QCDの相構造の解明、QCDに基づく原子核物理の構築などに重要な役割を持つ。この講演では、JLQCD Collaborationが行っている、格子上での厳密なカイラル対称性を持つフェルミオンを用いた、大規模格子QCD計算のプロジェクトについて紹介する。

格子QCDが提唱されて以来、カイラル対称性を持つ格子上のフェルミオン作用を構築することは難問であったが、5次元空間で構成されたドメインウォール作用などの登場により、格子上のカイラル対称性の理解はこの十年で大きく進んだ。Neubergerによって提唱されたオーバーラップ演算子は、ドメインウォール作用の5次元方向無限大の極限に対応し、格子上でのカイラル対称性を表す Ginsparg-Wilson 関係式を厳密に満たす。従って理論的にエレガントな構造を持ち、演算子間の混合の構造が簡単になるなど、計算上のメリットも大きい。一方でオーバーラップ演算子はWilson演算子の符号関数を含むため、これを計算するための数値的コストが非常に大きい。最近のアルゴリズムとコンピュータの発展によって現実的な計算が可能になった。

JLQCD Collaboration は2006年に、オーバーラップ・フェルミオンを用いた動的シミュレーションの大規模プロジェクトを開始した(ウェブサイト: <http://jlqcd.kek.jp/>)。オーバーラップ・フェルミオンは系のトポロジーが変化する際に不連続の特異性を持ち、これを処理するための計算コストが大きい。このため、非物理的なWilsonフェルミオンを導入することにより、トポロジーを固定した計算を行う。トポロジーを固定したことによる物理量の系統誤差は、有限体積効果として評価することが可能である。

これまでに、2つの軽いフレーバー(u, d クォークに対応)が存在する場合($N_f=2$)の計算を、 $16^3 \times 32, a \simeq 0.12\text{fm}$ で行っている。この配位の上で、スペクトルや崩壊定数、 K メソンのバググパラメーター、形状因子、 $\pi^+-\pi^0$ の質量差、核子のシグマ項などの計算を行っている(それぞれの講演を参照)。相関関数に基づいてトポロジー感受率を求めることにより、トポロジー固定のシミュレーションとしての整合性も確認している。また、パイオンの波長が系のサイズよりも大きい ϵ 領域において、カイラル凝縮など低エネルギー有効理論のパラメーターの計算を行っている(深谷氏の講演)。

一方、ストレンジ・クォークの効果を取り入れた、 $N_f=2+1$ フレーバーの計算も $16^3 \times 48$ の格子で行っており、これから様々な物理量の測定を行うとともに、より大きなサイズの格子での計算を計画している。