フレーバー物理の新しい手法としての非等方格子の研究とその応用

大型-121: sckyoto グループ

21 May 2004

平成 16 年度 研究実施報告書

メンバー: 大野木 哲也 (京大基研、助教授; 研究責任者)
松古 栄夫 (KEK 計算科学センター、助手) 梅田 貴士 (京大基研、学振研究員)
深谷 英則 (京大基研、D2) 根岸 俊輔 (京大理、D1)

標準理論の検証のために小林益川行列要素を決定するには格子 QCD によるハドロン遷移確率の計算が必要である。しかし、従来の方法による格子 QCD 計算には重いクォークおよびカイラル外挿にともなう系統誤差があり、遷移行列の理論的不定性の原因となっている。例えば、重いクォークに対してこれまで主に用いられてきた有効理論では、離散化誤差、繰り込みの摂動近似誤差が 10–20%程度あり、新しい手法が必要となっている。またカイラル外挿に関しては十分に軽い動的フェルミオン効果を計算に取り入れること、カイラル外挿のためにカイラル対称性の破れをコントロールすることが必要であり、Ginsparg-Wilson フェルミオンが注目を浴びているが、粗いゲージ配位に対する局所性の破れの可能性や計算コストの増大が計算上の困難として存在する。アルゴリズムの改良とともにゲージ作用の改良が望まれている。

我々は、この状況を踏まえて以下の 3 つを目標として研究を行っている。

1. 重いクォークの新しい定式化として非等方格子による重いクォークの相対論的記述の研究
2. トポロジーを保存するゲージ作用の研究と GW フェルミオンへの応用
3. その他の フレーバー物理に関する新しい問題の開拓と計算手法の他分野への応用

以下それぞれについて今年度の成果を概説する。

1 非等方格子のフレーバー物理への応用

時間方向の格子間隔を細かくした非等方格子では、$O(ma)$ の系統誤差は時間方向の格子間隔によってコントロールされ、空間の格子単位でみると大きな質量のクォークも有効理論に頼ることなく相対論的に記述出来ると期待される。そこで、$O(a)$ 改良された非等方作用でこの予想が正しいかを検証し、物理への応用を行う。非等方格子はパラメータに非等方性があるため、相対論的マッチングが必要である。作用においてマッチすべきパラメタは、リーディングの運動項の非対称性パラメタ γ_F、および $O(a)$ 改良項であるスピン電場項とスピン磁場項の係数 c_E, c_B である。昨年度までの研究で、中間子の質量と、Alpha Collaboration によって開発された定常的カラー電場の背景での PCAC 関係式を利用して決定する方法で、パラメタ γ_F,c_E を精度よく決定し得ることが分かっていた。

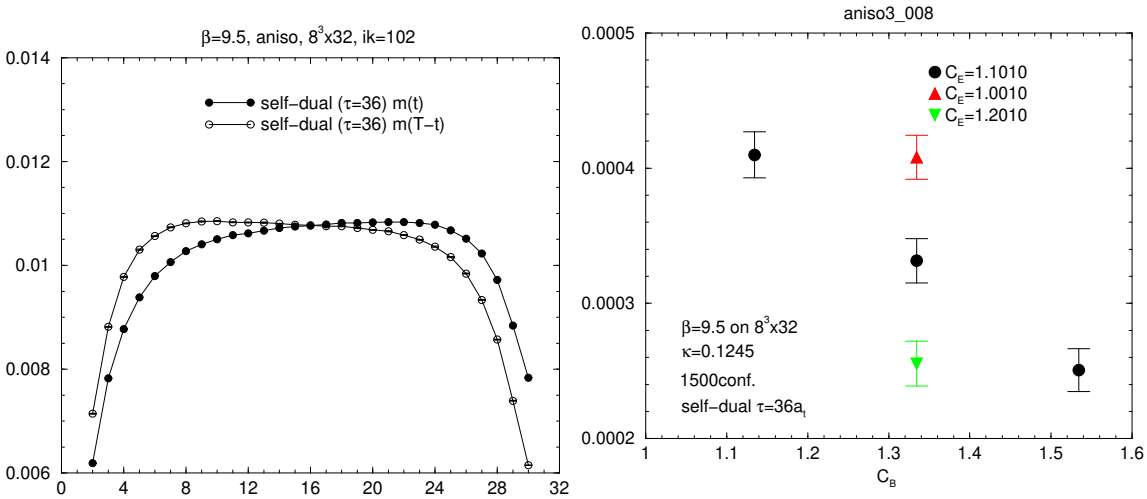

図 1: 自己双対背景場のもとでの PCAC 質量。左図: PCAC 質量の時間依存性、右図: 2 つの kinematical 条件での PCAC 質量の差。

今年度は、最後に残った c_B の決定方法について研究した。まず、自己双対な背景場

$$A_k(t,\vec{x}) = b(t)I_k, \quad [I_j, I_l] = \epsilon_{jkl}I_l$$

のもとでの Alpha Collaboration による PCAC 関係式を用いた c_B の決定方法を検討した。その結果、決定は可能だが極めて細かい格子間隔でも、チューニング結果の c_B の値が tree 近似の値よりも倍程度に大きいことが分かった。このずれは量子補正では考えにくく系統誤差の可能性が疑われるため他の決定方法との整合性のチェックが必要である。

そこで、独立な方法として、空間方向に伝搬する相関関数を用いた、定常的なカラー磁場の背景中での PCAC 関係式による c_B の決定方法に取り組んでいる。Alpha Collaboration の PCAC 関係式に基づく方法は、連続極限で定義できるものであるが、格子上で境界条件の設定に注意が必要である。従来の方法は Wilson 項の係数 $r = 1$ ととることにより格子上での Dirac 方程式が 1 階差分方程式であることを利用した境界条件の設定を行っていた。我々の非等方格子では r は非等方パラメータの逆数に比例するため、2 階差分方程式となり従来の境界条件では不十分である。我々は、この場合に連続極限が取れるためには、Dirchlet 境界条件+Neumann 境界条件を課す必要があることを示した。現在この方法の、実際の数値計算での有効性を確認中である。

2　トポロジーを保存するゲージ作用の研究

フレーバー物理においてカイラル対称性は重要な問題であるが、そのなかでもトポロジーは重要な意味をもつ。カイラル対称性をもつ Domain-Wall フェルミオンにトポロジーを保存するべく Admissibility 条件を自動的に満す作用を用いたシミュレーションの新しい方法を提唱し、θ 真空凝縮を 2 次元の massive Schwinger 模型において調べた。

現在 、この作用を QCD に拡張し、基礎パラメータの測定を行っている。

3　その他

scrabbit Collaboration との協力体制で、ペンタクォークの研究を行った。クェンチ近似の β=5.7 の格子で Wilson フェルミオンを用いて複数個の演算子を用いた 2×2 の相関関数行列から $(I, J) = (0, \frac{1}{2})$, のチャンネルの基底状態および第一励起状態を引き出し、で、1.5 -3 fm の間の 4 つの体積での比較を行うことにより体積依存性を調べた。 その結果、基底状態は核子 + K 中間子の散乱状態で完全に理解されるが、第一励起状態は質量の体積依存性などから、散乱状態ではなく何らかの束縛状態とコンシステントであることが分かった。

参考文献

[1] H. Fukaya and T. Onogi, "theta vacuum effects on the chiral condensation and the eta' meson correlators in the two-flavor massive QED(2) on the lattice," Phys. Rev. D **70**, 054508 (2004) [arXiv:hep-lat/0403024].

[2] T. T. Takahashi, T. Umeda, T. Onogi and T. Kunihiro, "Search for the possible S = +1 pentaquark states in quenched lattice QCD," [arXiv:hep-lat/0503019].

[3] P. de Forcrand *et al.* [QCD-TARO Collaboration], "Contribution of disconnected diagrams to the hyperfine splitting of charmonium," JHEP **0408**, 004 (2004) [arXiv:hep-lat/0404016].

プロシーディングス

1. H. Fukaya and T. Onogi, arXiv:hep-lat/0409021.
2. T. T. Takahashi, T. Umeda, T. Onogi and T. Kunihiro, arXiv:hep-lat/0410025.
3. H. Matsufuru, H. Fukaya, M. Okawa, T. Onogi and T. Umeda, arXiv:hep-lat/0412027.