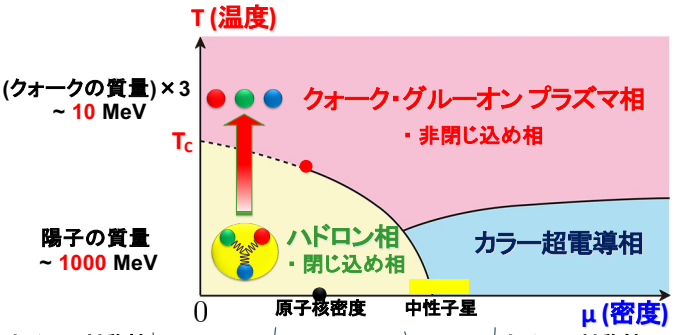
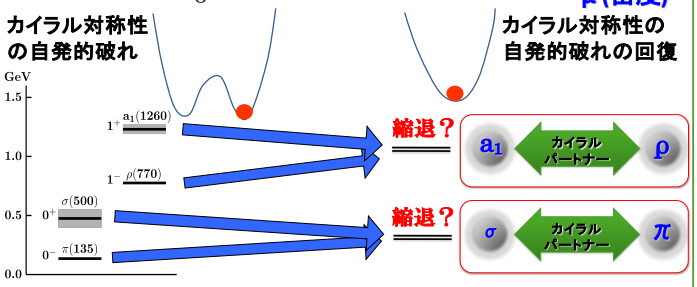
2022年度採択課題: jh220024

格子QCDによるカイラル対称性とスカラー中間子質量生成機構の研究

関口 宗男（国士舘大学：代表）、若山 将征（千葉工業大学：副代表）、伊達 進（大阪大学CMC）、
村上 祐子（広島大学）、中村 純（大阪大学RCNP）、和田 浩明（国士舘大学）

研究背景：質量の起源





研究目的

πとσ中間子、ρとa_1中間子はカイラル・パートナーと考えられ、有限温度中でそれらの質量が縮退する過程を第一原理である量子色力学(QCD)の非摂動論的計算（格子QCDシミュレーション）により検証する。この結果よりQCDの非摂動論的効果により中間子質量が生成されることを明らかにする。

研究手法：カイラルフェルミオン作用

格子フェルミオン作用にカイラル対称性 を持たせることは困難だが、カイラル対称性を格子上に拡張した格子カイラル対称性を持たせることは可能である。カイラルフェルミオン作用であるトランケイテッドオーバーラップフェルミオン(TOF)作用は近似的に格子カイラル対称性を満たすため、カイラル対称性に関する物理量の計算に適する。

COST (TOF作用) ~ COST (ウィルソンフェルミオン(WF)作用) × $\mathcal{O}$(100) !

研究課題(1) TOF作用によるフルQCDシミュレーション・コードの最適化・高速化

阪大CMCの協力の下、コードの高速化を実現！

TOF作用によるクエンチ・コードのVersion	開発期間	前Versionとの計算速度の比較	利用計算機
Ver.1	-----	-----	SX-ACE
Ver.2	2017年度	約1.20倍に向上	SX-ACE
Ver.3	2019年1月 →2020年5月	約1.15倍に向上	SX-ACE
Ver.3.5	2020年度 →2021年度	主要ルーチンが 約20.5倍※1に向上	SQUID (SX-Aurora)
Ver.4	2021年度	約3.64倍※2に向上	SQUID (SX-Aurora)

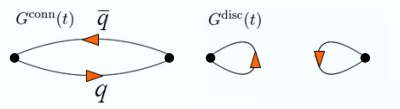
※1 SQUID上で走らせたVer.3とSQUIDに最適化したVer.3.5との比較
※2 SX-ACE上で走らせたVer.3とSQUIDに最適化したVer.4との比較

TOF作用によるクエンチ・コード
↓
TOF作用によるフルQCDシミュレーション・コード

- 2022年度5月末に、開発はほぼ完成
- 現在、基本的物理量に対しての先行研究との比較を実施中
- SQUID(SX-Aurora)へのコードの最適化を始める

研究課題(2) WF作用によるフルQCDシミュレーション・コードの最適化と真空中でのσ中間子伝搬関数のシミュレーション

π, ρ, a_1中間子に対してはクォーク接続型グラフ（左図）の計算だけで良かったが、σ中間子は真空と同じ量子数を持つため、クォーク非接続グラフ（右図）の計算も必要不可欠である。

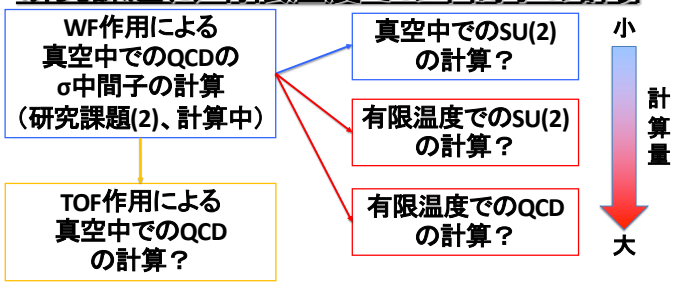


非接続グラフ（右図）の計算は動的クォークの寄与を考慮に入れたダイナミカルな計算が本質的である。

WF作用によるSU(N)ゲージ相互作用のフルQCDのコード

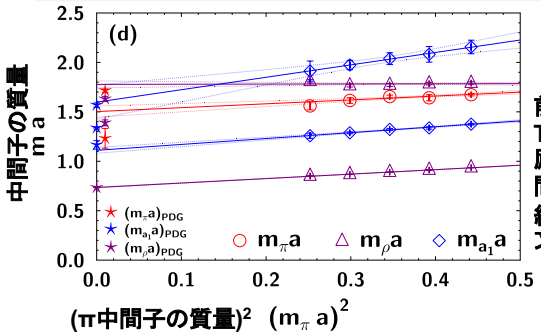
- 2020年度に、SU(3)ゲージ相互作用(QCD)のコードをSU(N)へ一般化したコードに拡張
- 2021年度に、CMCの協力の下、SX-Auroraへの最適化を行い、SX-ACEに対してSX-Auroraでの計算速度は7.1倍に向上
- 2021年度後半から現在にかけて、SX-Auroraで、σ中間子の質量を計算中

研究課題(3) 有限温度での中間子の計算



研究課題(2)の計算量により、2022年度後半の計算内容を決定する。

その他：TOF作用による励起状態の計算



前年度までの、TOF作用による励起状態の中間子の質量の結果を、近日論文に投稿予定

これまでの研究成果（査読付き論文）

(1) Y. Murakami, A. Nakamura, M. Sekiguchi, H. Wada and M. Wakayama, “Lattice study of meson properties at finite temperature using the truncated overlap fermion s” Proceedings of Science Vol. 363 ,pp.045-1～6, August 27, 2020.

(2) Y. Murakami, M. Sekiguchi, H. Wada and M. Wakayama, “Properties of the five dimensions for the truncated overlap fermions,” Journal of Physics Communications 5, August 17, 2021, 085009-1～7. (Institute of Physics)

(3) Y. Murakami, M. Sekiguchi, H. Wada and M. Wakayama, “Mass spectroscopy of light excited mesons on truncated overlap fermions,” 近日投稿予定.