

実施報告書

格子 QCD による有限温度 QCD の研究

平成 22 年 11 月 5 日

1 研究組織

Vitaly Bornyakov : ロシア高エネルギー物理学研究所 (IHEP) ・教授
駒 美保 : 沼津工業高等専門学校 ・日本学術振興会特別研究員
駒 佳明 [代表] : 沼津工業高等専門学校教養科 ・講師 / 理研
長谷川 将康 : 金沢大学 ・大学院生 / 理研
石黒 克也 : 高知大学総合情報センター ・助教 / 理研
森 祥寛 : 金沢大学総合メディア基盤センター ・助教 / 理研
中村 宜文 : レーゲンスブルク大学 ・ポスドク
Mikhail Polikarpov : ロシア理論実験物理研究所 (ITEP) ・教授
Gerrit Schierholz : ドイツ電子シンクロトロン研究所 (DESY) ・教授
鈴木 恒雄 (すずき つねお) : 金沢大学 ・名誉教授

2 実施報告

これまでの DIK Collaboration によるクエンチ近似及び 2 フレーバー格子 QCD による有限温度 QCD の研究を拡張し, 2009 年度から, KEK の BlueGene/L の 512 ノードを主に使用して 3 フレーバーの有限温度の格子 QCD シミュレーションを行った。使用した格子作用は Tree level Symanzik ゲージ作用と Stout link smearing Clover (SLinC) フェルミオン作用である。格子サイズ $32^3 \times 12$, $\beta = 5.50$, $\kappa_{ud} = \kappa_s = 0.1200, 0.1203, 0.1205, 0.1207, 0.1209$ について, それぞれ $O(5000)$ の QCD 真空を生成した。

図 1 にこれらの真空を用いて計算した Polyakov ループの結果を示す。 π 中間子及び K 中間子の質量は約 400 MeV から 900 MeV, 格子間隔は約 0.09 fm である。Polyakov ループは温度が上昇するにつれて大きくなっていることがわかる。Polyakov ループサセプタビリティのピークの位置から $\kappa = 0.1207$ 付近に相転移点があることがわかる。この点の温度は約 180 MeV で, π 中間子及び K 中間子の質量は約 600 MeV である。詳細な相転移温度の決定にはさらに統計を上げる必要がある。図 2 はトポロジカル電荷サセプタビリティを κ の関数としてプロットしたものである。統計が少ないながらも, 温度上昇・クォーク質量減少とともに減少するという, よく知られた振る舞いが見て取れる。

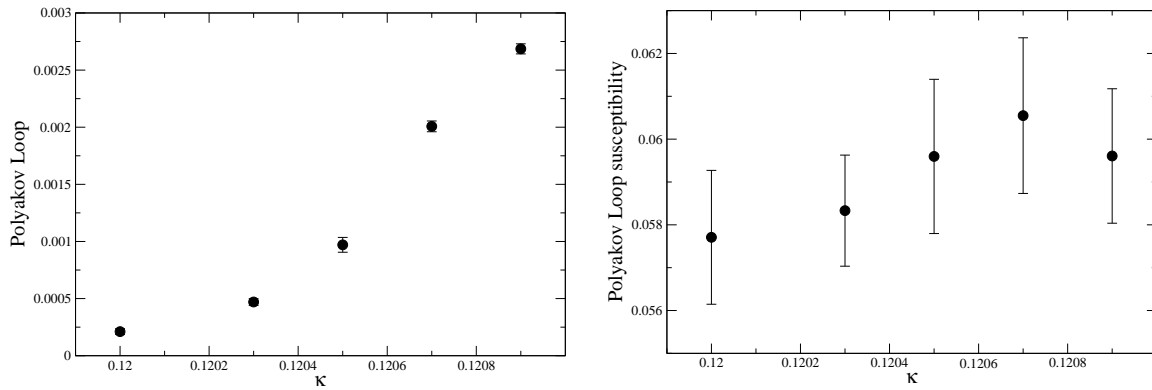


図 1: Polyakov ループ (左) と Polyakov ループサセプタビリティ (右) の κ 依存性

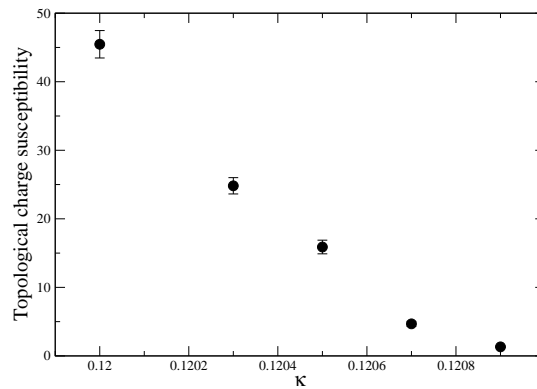


図 2: トポロジカル電荷サセプタビリティの κ 依存性

また、生成した有限温度 QCD 真空の配位を用いて、クォークの閉じ込め機構に関するカラー磁気モノポールの振る舞いについて調べた。ここではクエンチ近似でよく調べられている最大アーベリアン (MA) ゲージを適用した。MA ゲージはリンク変数の行列要素の非対角成分が最小になるようにするゲージである。MA ゲージ固定をなるべく精密に行うために、各 QCD 真空の配位に対してランダムゲージ変換により 20 配位ほど Gribov コピーを作成し、それぞれに Simulated Annealing 法による MA ゲージ固定を施した。そして、一番精密にゲージ固定できた配位を選び、その配位をアーベリアン射影してカラー磁気モノポールを抽出した。

カラー磁気モノポールは 4 次元空間において 1 次元的なループ構造をもつ。図 3 にすべてのモノポールループから計算したモノポール密度 (All) と、その中でも一番長いループ

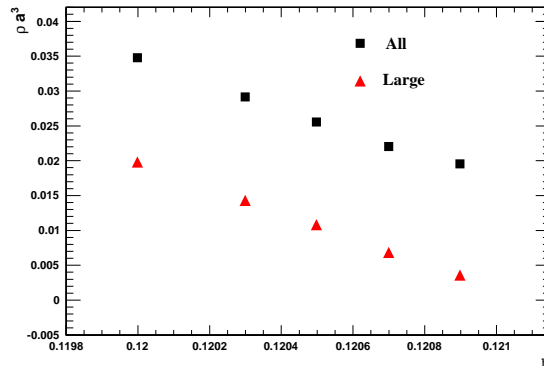


図 3: MA ゲージにおけるカラー磁気モノポール密度の κ 依存性

から計算したモノポール密度 (Large) の κ 依存性を示す。温度が上がるとモノポール密度が下がるという傾向が見て取れる。 κ 増加に伴いモノポール密度は直線的に減少しているが、この傾きは一番長いモノポールループの密度によるものであることがわかる。この振る舞いは定性的にはクエンチ近似での有限温度のそれと同じである。このことは 3 フレーバーにおいてもカラー磁気モノポールがクォークの閉じ込め機構に関与しているということを示唆している。今後は、さらにこれらの QCD 真空配位を用いて、真空の双対超伝導体的描像の観点から真空のタイプを決める解析や、MA ゲージ固定などの特定のゲージに依らない解析も行い、さらに真空の性質について調べる予定である。

3 成果発表

査読付き学術雑誌

- *Probing the finite temperature phase transition with $N_f=2$ nonperturbatively improved Wilson fermions*, V.G. Bornyakov, R. Horsley, S.M. Morozov, Y. Nakamura, M.I. Polikarpov, P.E.L. Rakow, G. Schierholz, T. Suzuki, Phys. Rev. **D82** (2010) 014504.