

実施報告書

格子 QCD による有限温度 QCD の研究

平成 23 年 4 月 21 日

1 研究組織

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：パルマ大学・Postdoc / 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：理化学研究所計算科学研究機構・研究員

鈴木 恒雄：金沢大学・名誉教授

2 実施報告

今回の利用では、2009 年度から KEK の BlueGene/L の 512 ノードを主に利用して行っている 3 フレーバーの有限温度の格子 QCD シミュレーションをさらに進め、アップ・ダウン・ストレンジクォークの質量和を一定 $2m_l + m_s = \text{const}$ (ただし $m_l \neq m_s$) とした場合のシミュレーションを行い、明示的にフレーバーに依らないグルーオンの自由度の物理量の振る舞いについて調べた。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。これまで、格子サイズ $32^3 \times 12$, $\beta = 5.50$, $\kappa_{sym} = \kappa_l = \kappa_s = 0.1200, 0.1203, 0.1205, 0.1207, 0.1209$ について、それぞれ $O(5000)$ 個, $\kappa_{sym} = 0.1208$ については $O(3000)$ 個の QCD 真空を生成しているが、今回新たに $(\kappa_l, \kappa_s) = (0.12010, 0.12070)^1$, $(0.12100, 0.11892)$ の 2 点でそれぞれ $O(2000)$, $O(1000)$ 個の真空を生成した。この 2 点は $2m_l + m_s$ の値が $\kappa_{sym} = 0.1203$ と同じであり、今回の研究では、この 2 点と $\kappa_{sym} = 0.1203$ で計算した物理量を比較することが目的である。

図 1(左) にこれまで生成してきた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くことがわかる。Polyakov ループサセプティビリティの振る舞いから、相転移点は $\kappa = 0.1205 \sim 0.1208$ にあると推測

¹ 申請時は $(\kappa_l, \kappa_s) = (0.12070, 0.1195)$ を生成する予定であったが $(0.12010, 0.12070)$ に変更した。

されるが、統計をさらに上げて調べる必要がある(図 2(左) 参照)。図 3(左) はトポロジカルサセプティビリティを κ の関数としてプロットしたものである。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 4(左) はプラケットの κ 依存性である。

図 1 ~ 4 の右図は、 $2m_l + m_s$ を一定に保ち、 m_l を変化させたときの Polyakov ループ、Polyakov ループサセプティビリティ、トポロジカルサセプティビリティ、プラケットの振る舞いである。 $(\kappa_l, \kappa_s) = (0.12010, 0.12070)$, $(0.12030, 0.12030)$ の Polyakov ループ、トポロジカルサセプティビリティ、プラケットについてはそれぞれの左図の変化量に比べてほぼ一定とみなすことができる。従って、これらの物理量は、 $2m_l + m_s = \text{const}$ であれば m_l を変化させても影響を受けない、または受けても小さいと考えることができる。Polyakov ループサセプティビリティについては統計を上げて調べる必要がある。物理的クォーク質量での 3 フレーバー有限温度の相転移温度決定のためには、 κ と β の調節が大変重要であるが、今回の結果からその調節方法について指針を得ることができた。

3 成果発表

ポスター発表

- *Finite temperature QCD with SLiNC fermions*, Y. Nakamura, M. Koma, Y. Koma, Japanese-German Seminar 2010 "Lattice QCD confronts experiments" 4(Thu) - 6(Sat) November 2010, Mishima, Japan, *Best Poster Award*.

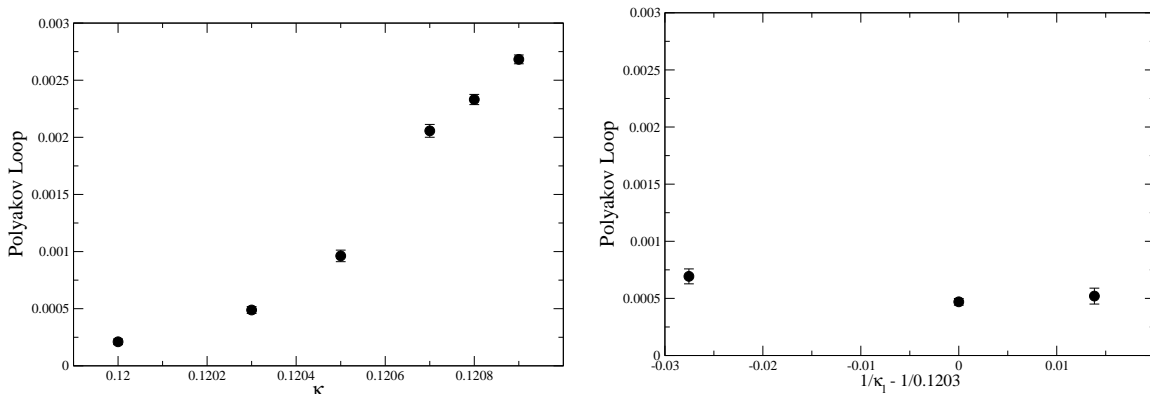


図 1: Polyakov ループの κ 依存性 (左) と $m_u + m_d + m_s$ を $\kappa = 0.1203$ での値に保った時の $1/\kappa_l - 1/0.1203$ 依存性 (右)

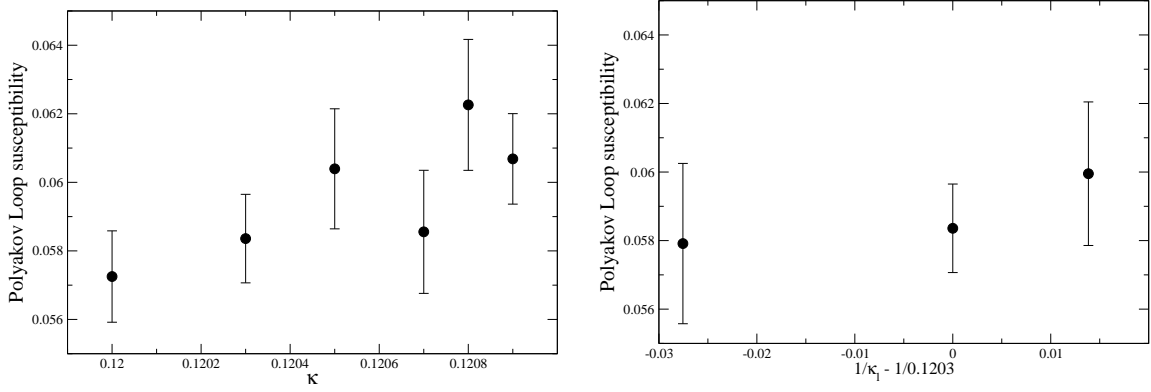


図 2: 図 1 と同様に, Polyakov ループサセプティビリティの $\kappa(\kappa_l)$ 依存性

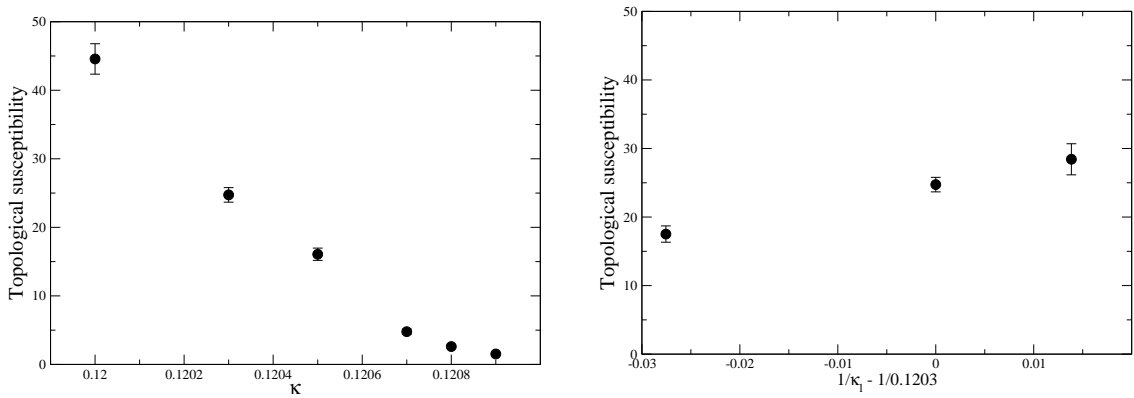


図 3: 図 1 と同様に, トポロジカルサセプティビリティの $\kappa(\kappa_l)$ 依存性

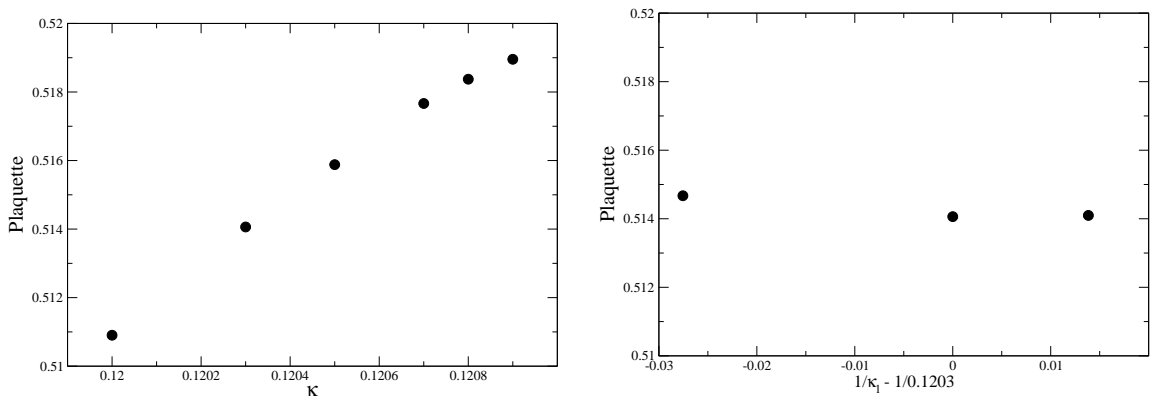


図 4: 図 1 と同様に, プラケットの $\kappa(\kappa_l)$ 依存性