

格子 QCD による非摂動現象に寄与するグルーオン成分の研究：ディラック固有モードを用いたゲージ不変な枠組みでの解析

京大理 権業慎也, 入谷匠, 菅沼秀夫

Study of relevant gluon component for non-perturbative phenomena from lattice QCD:
Gauge-invariant analysis in terms of Dirac eigen-modes

Kyoto Univ. Shinya Gongyo, Takumi Iritani, Hideo Suganuma

量子色力学(QCD)の低エネルギー領域においては、クォークの閉じ込めやカイラル対称性の破れといった非摂動的現象が生じる。これまでにこれらの非摂動的現象の間にはなんらかの関係があることが示唆されてきた。例えば、有限温度のQCDにおいては閉じ込め・非閉じ込め相転移やカイラル相転移がおこるが、両者の相転移温度がほぼ一致することが明らかにされた[1]。他にも菅沼・佐々木・土岐は、双対ギンツブルグ・ランダウ理論で閉じ込めを与えるモノポール凝縮の寄与がカイラル対称性の破れに関しても支配的な寄与をすることを指摘した[2]。

本研究では、ディラック固有値、つまり $\gamma_\mu D_\mu = \gamma_\mu(\partial_\mu + igA_\mu)$ の固有値の紫外側や赤外側を切断し制限することにより得られたリンク変数を用いて、閉じ込めに主要な寄与を与えるグルーオンの成分を調べる。この新たな方法ではクォークの閉じ込めがどの(エネルギー)スケールのグルーオンによって引き起こされるかをゲージ不変かつ定量的に調査することができる。一方、カイラル対称性の破れは、Banks-Casher関係式[3]

$$\langle \bar{q}q \rangle = - \lim_{m \rightarrow 0} \lim_{V \rightarrow \infty} \frac{\pi}{V} \langle \rho(0) \rangle \quad (1)$$

($\rho(\lambda)$:ディラック固有値の分布関数)を通して、直接ディラック固有値と関係づけられる。このため、この手法ではカイラル対称性の破れと閉じ込めの関係が議論できる。さらにディラック固有値は、Atiyah-Singerの指数定理[4]

$$Q = \frac{g^2}{16\pi^2} \int d^4x \text{Tr} G_{\mu\nu} \tilde{G}^{\mu\nu} = \nu_R - \nu_L \quad (2)$$

(ν_R, ν_L :ディラック固有値の右巻き・左巻きのゼロモードの数)を通して、トポロジカル・チャージと関係づけられるため、トポロジカル・チャージとの関係も議論できる。

ここでの新しい方法の詳細とともに、格子QCDモンテカルロ計算により数値的に解析した結果を発表する。

参考文献

- [1] F.Karsch, Lect. Notes Phys. 583 (2002) 209.
- [2] H.Suganuma, S.Sasaki, H. Toki Nucl. Phys. B435 (1995) 207.
- [3] T.Banks, A.Casher Nucl. Phys. B169 (1980) 103.
- [4] M.F.Atiyah, I.M.Singer, Proc. Nat. Acad. Sci. 81, (1984) 2597.