非摂動的繰り込み群による Yang-Mills 理論の質量次元 2 の真空凝縮の解析*

千葉大学理学部　加藤 浩

低エネルギーの QCD におけるクォーク閉じ込めの現象の理解は重要な課題である。そのゲージ不変な解釈である Wilson loop の面積則を Yang-Mills 理論の枠組みで解析的に求める方法として、Wilson loop を境界とする世界面の弦の理論が考えられている。これは閉じ込め弦と呼ばれている。この理論において、ゲージ場の質量次元 2 の非自明な真空凝縮の存在は重要な役割を担う。BRS 不変な質量次元 2 の複合演算子

$$\mathcal{O} := \int d^4x \left[\frac{1}{2}\mathcal{A}_\mu \cdot \mathcal{A}_\mu + i\lambda \bar{\mathcal{C}} \cdot \mathcal{C} \right]$$

を考えると、この真空凝縮 $\langle \mathcal{O} \rangle$ が非摂動的に得られる時それが物理的に意味を持つ、つまり BRS 不変になる事が分かっている [1]。これはグルーオン及びゴーストの質量が動力学的に現れる事を意味する。つまり QCD の真空が双対超伝導状態となる事を示唆し、クォーク閉じ込めの機構の説明に重要な役割を果たす [2]。そこで我々は Yang-Mills 理論において非摂動繰り込み群の手法を用いて質量次元 2 の真空凝縮 $\langle \mathcal{O} \rangle$ の解析を行なった。用いたラグランジアンは Baulieu type で 2 つのゲージ・パラメータ λ, ξ を持つ。

$$\begin{aligned} \mathcal{L} \;=\; & -\frac{1}{4}F^2 - \frac{1}{2\lambda}(\partial^\mu \mathcal{A}_\mu)^2 + i\bar{\mathcal{C}} \cdot \partial_\mu \partial^\mu \mathcal{C} - (1-\xi) g i \mathcal{A}^\mu \cdot (\partial_\mu \bar{\mathcal{C}} \times \mathcal{C}) \\ & + \xi g i \mathcal{A}^\mu \cdot (\bar{\mathcal{C}} \times \partial_\mu \mathcal{C}) + \frac{1}{2}\lambda\xi(1-\xi) g^2 (i\bar{\mathcal{C}} \times \mathcal{C}) \cdot (i\bar{\mathcal{C}} \times \mathcal{C}) \end{aligned}$$

さらにプロパゲーターにカットオフ Λ, Λ_0 を導入し、Wilson RG を用いて赤外領域での質量次元 2 の真空凝縮 $\langle \mathcal{O} \rangle$ を数値的に求めた。λ, ξ の繰り込み群の 1-loop の摂動計算より $\lambda = 0$ は赤外固定点であり、そこでは $\partial_\Lambda \xi = 0$ であることが分かっているので、先ず $\lambda = 0$ の場合について質量次元 2 の真空凝縮 $\langle \mathcal{A}_\mu \cdot \mathcal{A}_\mu \rangle$ を求めた。カットオフの導入により理論の BRS 不変性が壊れるが、修正した Slavnov-Taylor Identity を満たすよう RG 方程式の解を選ぶことで、$\Lambda_0 \to \infty, \Lambda \to 0$ の極限で解は BRS 不変性を回復する。その結果、質量次元 2 の真空凝縮 $\langle \mathcal{A}_\mu \cdot \mathcal{A}_\mu \rangle$ の非摂動的に自明でない解が得られた。次の段階としては、ゴーストの真空凝縮 $\langle \bar{\mathcal{C}} \cdot \mathcal{C} \rangle$ を含む場合を扱うために $\lambda \neq 0$ の一般の場合への拡張が考えられる。

参考文献

[1] K.-I. Kondo, Phys. Lett. B 514 (2001) 335,
K.-I. Kondo, T. Murakami, T. Shinohara and T. Imai, hep-th/0111256, Phys. Rev. D **65** (2002) 085034

[2] K.-I. Kondo, and T. Imai, hep-th/0206173.

*この研究は近藤慶一氏 (千葉大理)、今井崇人氏 (千葉大自然)、村上武晴氏 (千葉大自然)、篠原徹氏 (千葉大自然) との共同研究に基づいている。