

Schwinger 模型における スクリーニング効果と物理的状態の関係について¹

日本大学大学院理工学研究科 佐藤 佳

E-mail: kei@phys.cst.nihon-u.ac.jp

J.Schwinger は (1+1) 次元 massless QED におけるゲージ場の Green 関数が

$$\Delta_{\mu\nu}(k) = \frac{-i}{k^2 - \mu^2} \delta_{\mu\nu} \quad , \quad \mu = \frac{e}{\sqrt{\pi}}$$

と計算されることを示し、ゲージ不変性はゲージ場が massless であることと、直ちには結び付かない事を主張した [1]。すなわち、(1+1) 次元時空では電荷 e が無次元ではない為、ゲージ場が質量 μ を持つことを示した。この結果から、長距離力である Coulomb ポテンシャルが湯川型のポテンシャルに置き換わることが予想されるが、実際には (ゲージ場が質量を持つ原因もそうであるように) 物質場の量子効果により

$$V = \frac{e^2}{2\mu} \left(1 - e^{-\mu|y-y'|}\right)$$

という形をしたスクリーニングポテンシャルと呼ばれる非自明なものになることが知られている。その導出方法については様々な議論がなされており [2][3]、この toy 模型におけるスクリーニング効果のメカニズムを詳細に調べておくことは、閉じ込めの問題などを考える上で意義のあることと思われる。

今回我々は、external source $J_{ex}^0 = e(\delta(z-y) - \delta(z-y'))$ が存在する場合に、この source の間のポテンシャルを通常の QED において Bohm-Pines が提案した考え方 [4] に沿って評価した。そのステップとして、i) 物質場の積はゲージ不変な point splitting 正則化法により処理し、物質場にゲージ場の cloud を取り込む。ii) source J_{ex}^0 の下での物理的真空 $|0_{phys}^J\rangle$ は、このような cloud の効果により修正された Gauss 則 $G = \left(1 + \frac{e^2}{\pi} \frac{1}{\partial^2}\right) \partial_1 \pi^1 - J_{ex}^0 \approx 0$ を解いて決定する。ここで、 π^1 はゲージ場 A_1 の共役量を表わす。この結果、ゲージ不変な物理的状態として

$$|0_{phys}^J\rangle = \exp \left[i \int du^1 A_1(u) \int_{-\infty}^u dz \left(1 + \frac{e^2}{\pi} \frac{1}{\partial^2}\right)^{-1} J_{ex}^0(z) \right] |0\rangle$$

が得られる。これは external source J_{ex}^0 の存在により $|0\rangle$ がユニタリー変換されることを表わしている。最終的に $|0_{phys}^J\rangle$ による Hamiltonian 期待値を評価することによって、ゲージを固定せずに上記のスクリーニングポテンシャルが得られる。

Schwinger 模型における Coulomb ((1+1) 次元では閉じ込め) ポテンシャルとスクリーニングポテンシャルの関係についても以前から様々な議論がなされている興味深い問題であるが、Coulomb ポテンシャルの導出については今後の課題としたい。

参考文献

- [1] J.Schwinger, Phys. Rev. **128**, 2425 (1962)
- [2] P.Gaete and I.Schmidt, Phys. Rev. D **61**, 125002 (2000)
- [3] S.Iso and H.Murayama, Prog. Theor. Phys. **84**, 142 (1990)
- [4] D.Bohm and D.Pines, Phys. Rev. **92**, 609 (1953)

¹この報告は、日大理工の仲 滋文氏との共同研究に基づいています。