Renormalizability of the Gauged NJL Model with Instanton-Induced Operators

名古屋大学　藤山和彦
E-mail: fujiyama@eken.phys.nagoya-u.ac.jp

4 次元の gauged NJL 模型の繰り込み可能性の研究には約 10 年の歴史がある。まず、初期の重要な研究は [1] によるもので、パイオンの崩壊定数を有限にするための条件として $A>1$ が[1]導かれた。$A>1$ の制限は、少なくとも $N_f>4$ を満たす gauged NJL 模型のみが繰り込み可能と成り得ることを示唆するが、この段階ではより詳細な研究が必要とされた。次に登場した論文 [2] は、fixed gauge coupling 版の gauged NJL 模型、即ち $A\to\infty$ と解釈される gauged NJL 模型の繰り込み可能性を議論し、具体的な繰り込みの手続きを与えた。繰り込み群の側面から本質的な理解を提供した [3] は、gauged NJL 模型が繰り込み可能であるためには、ゲージ相互作用の漸近的自由性がある程度弱くなければならない（$A>1$）ことを明らかにした。また、このような研究を非摂動繰り込み群の見地から再解析し、$A>1$ の意味をより深く理解することに成功した [4] の仕事の功績も大きい。非摂動繰り込み群は格子ゲージ理論同様、構成的に場の理論を定義出来る可能性を秘めており、理論の繰り込み可能性を第一原理から数値計算によって決定出来るという特色を持っている。[1]、[2]、[3]、[4] は、計算手法や近似法が異なっているにも拘らず、互いの結果をサポートしており、今や 4 次元の gauged NJL 模型の繰り込み可能性は、信頼性の高い結果として受け入れられている。

しかし、これらの研究の中で常に見過ごされてきたのは、$U(1)_A$ アノマリーの重要性である。確かにフレーバーの数が多い時は、$U(1)_A$ 対称性のない instanton-induced operator は、高次のオペレーターであり、基本理論の構成に関与しないものと予想される。しかし、$N_f=2$ の gauged NJL 模型には、instanton-induced operator として 4 体フェルミ相互作用が存在し、このオペレーターを無視して連続極限の構成をするわけにはいかない。考慮するオペレーターの数を増やしたため、非摂動繰り込み群方程式のベータ関数が複雑になり、厳密な固定点の値を求めたり、どのオペレーターが relevant であるかを理解したりするには、数値計算をする必要がある。そこで、手っ取り早く紫外固定点を見つけ出し、どの結合定数を繰り込めば、連続極限がとれそうかを調べる方法として、large N_c fixed point analysis を提案したい。この方法は、常に第一原理的な計算を追い求める方針から逸脱しているが、余計な情報を取り除いた時の固定点の様子がはっきりとわかるため有用である。この方法を使うと、従来からよく知られた固定点において、ゲージ相互作用と 2 種類のスカラー 4 体フェルミ相互作用が relevant であるとわかる。結局、$N_f=2$ で繰り込み可能な gauged NJL 模型のラグランジアン[2]は、

$$\mathcal{L}=-\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}+\bar{\psi}i\not{D}\psi+\frac{G}{2N_c}\sum_{a=0}^{3}\Big\{(\bar{\psi}\tau^a\psi)^2+(\bar{\psi}i\gamma_5\tau^a\psi)^2\Big\}+\frac{I}{2N_c}\Big\{(\bar{\psi}\psi)^2+(\bar{\psi}i\gamma_5\sigma^a\psi)^2\Big\}$$

となり、繰り込まれた理論は $U(1)_A$ 対称性をもたない。結合定数 I の繰り込みを怠れば、連続極限を構成することは出来ず、[3]、[4] の結果を再現することになる。

参考文献

[1] K.-I.Kondo,S.Shuto,and K.Yamawaki,Mod.Phys.Lett.A6(1991),3385.

[2] K.-I.Kondo,M.Tanabashi,and K.Yamawaki,Prog.Theor.Phys.89(1993),1249.

[3] M.Harada,Y.Kikukawa,T.Kugo,and H.Nakano,Prog.Theor.Phys.92(1994),1161.

[4] K.-I.Kubota,and H.Terao,Prog.Theor.Phys.102(1999),1163.

---

[1] $A=18C_F/(11N_c-2N_f)$

[2] $\tau^0=1/2,\quad \tau^a=\sigma^a/2$（$\sigma^a$ は Pauli 行列）