

Gauge-Higgs Unification in Spontaneously Created Fuzzy Extra Dimensions

信州大学理学部 奥山和美

E-mail: kazumi@azusa.shinshu-u.ac.jp

(この発表は古内一之氏 (NCTS)、稲見武夫氏 (中央大) との共同研究に基づく)

標準模型ではヒッグスの質量を軽く保つような対称性が存在しないため、輻射補正によりヒッグス場の質量項に 2 次発散が現れ、微調整の問題あるいは階層性の問題が生じてしまう。この問題の解決としては、超対称性が最も有力な候補であるが、それ以外にも高次元の場の理論による解決の可能性が考えられる。その一つの例であるゲージ・ヒッグス統一というアプローチでは、高次元のゲージ場を考え余剰次元方向のゲージ場の成分を 4 次元のスカラー場と同定する。そのようなスカラー場に対しては、高次元のゲージ対称性により局所的な質量項が禁止されるので、質量が軽いことを自然に説明できる。素朴には質量がゼロにしかならないと思われるが、余剰次元方向に巻き付いたウィルソンラインの 2 乗の項が量子効果によって生成され、有限の質量を獲得する。この質量項は余剰次元方向には局所的ではなく余剰次元のトポロジーに依存する赤外効果であるので、そこには 2 次発散は現れない。しかしながら、このような高次元ゲージ理論による階層性問題の解決法では、高次元のゲージ理論が繰り込み可能ではない、余剰次元の存在を最初から仮定しなければならない、などの問題があり基本理論としては不満足である。

そこで我々は、4 次元の場の理論から出発し、ファジー (非可換) な余剰次元が自発的に創成するモデルを提案した。ファジーな余剰次元が現れる状況は、超弦理論において B 場のフラックスが貫いているようなサイクルに巻き付いた D ブレーンを考えると実現されるので、このようなモデルを考えることは自然である。我々は、最も簡単な例として、ファジートーラスが 4 次元理論の真空として実現されるモデルを考えた。このようなモデルは、ユニタリ行列に値を持つ二つの場 U_1, U_2 が twisted Eguchi-Kawai 型のポテンシャルを通して相互作用している作用を考えると実現できる。この作用をファジートーラス解のまわりに展開し、ファジートーラスに巻き付いたウィルソンラインに対する有効ポテンシャルを 1-loop で計算すると、 \mathbb{Z}_N 位相の相殺により 2 次発散が出ないことが確かめられる。更に、power counting の議論により高次のループ補正に対しても安定であることがわかる。このユニタリ行列のモデルは、type IIB の超弦理論で discrete torsion が入った $\mathbb{C}^3/\mathbb{Z}_N \times \mathbb{Z}_N$ オービフォールドに置かれた D3 ブレーン上の理論 (の bosonic 部分) に現れる 3 個の複素行列の場 $Z_{1,2,3}$ を考え、 $Z_{1,2} = fU_{1,2}, Z_3 = 0$ と置くと得られる。この D3 ブレーン上の理論は、 $\mathcal{N} = 4$ 超対称ゲージ理論のスーパーポテンシャルを \mathbb{Z}_N 位相で β 変形した $\mathcal{N} = 1$ 理論になっている。ターゲット空間の描像では、オービフォールド $\mathbb{C}^3/\mathbb{Z}_N \times \mathbb{Z}_N$ を特異点から離れた場所で \mathbb{R}^4 上の T^2 ファイブレーションと見なすと、discrete torsion は T^2 を貫く B 場とすることができて、4 次元理論のファジートーラス解は T^2 に巻き付いた D5 ブレーンを表している。