

Flavor Structure and Coupling Selection Rule from Intersecting D-branes

Kyoto University Keijiro. Takahashi
E-mail: keijiro@gauge.scphys.kyoto-u.ac.jp

標準理論のフェルミオンの3世代の構造や、質量の階層性、それらの起源を問うことは、素粒子理論の重要な問題でありつづけている。そして重力の量子論も含む、標準理論を説明する候補として唯一有力なのが超弦理論である。超弦理論は大きなゲージ群と、フェルミオンの世代構造を再現し得る豊富な内容を含んでいる。ここから非摂動的方法で、低エネルギー理論として標準理論を導くことが試みられているがその方法の難しさから未だに有効な手段が得られていない。そこで超弦理論の摂動的な記述から標準理論が得られないかを調べるというアプローチが考えられ、それは string phenomenology と呼ばれる。80年代後半から盛んに調べられたのが Heterotic string モデルであるが、3世代とゲージ群を再現することはできたが余分な粒子や $U(1)$ 群を含み、湯川結合を実験値とあわせることはできなかった。ここ数年 D-brane の発見に伴って TypeIIA, TypeIIB の string についても Intersecting D-brane モデルとして詳しく調べられるようになった。モデルの持つ自由度を生かして標準理論のゲージ群と3世代のスペクトルを再現することはできたが、現実的な湯川結合を再現するには至っていない。その困難は一つのヒッグス粒子についての湯川結合が、世代に対して Z_3 対称性を持つなどして世代混合がなくなってしまうことにある。

私達の研究では、これらのモデルの湯川結合を体系的に整理するために Intersecting D-brane の N 点結合の相互作用の選択則 (selection rule) を定式化し、世代数も (Left N)-(Right M) に拡張したものを考えて一般的なモデルの性質を調べた。この主な結果は以下のようにまとめられる。

1. 湯川結合の selection rule の導出。まず、D-brane の交点を一意的に区別するラベルが必要になる。このために、D-brane a, b 間の交点に局在化した弦をある規則に沿って引き伸ばしたときのベクトルで shift vector $v_{ab}^{(i)}$ ($i = 1, 2, \dots$ はラベル) というものを定義する。すると3枚の D-brane a, b, c の交点ごとに定義される shift vector のうち $v_{ab}^{(i)} + v_{bc}^{(j)} + v_{ca}^{(k)} = 0$ (ただし、sublattice と呼ぶ $\Lambda_{ab}, \Lambda_{bc}, \Lambda_{ca}$ の違いは同一視される。) を満たすものが0でない湯川結合を持つ組み合わせとなる。N 点結合の場合も、N 個の shift vector の和が0になるとして得られるとすぐにわかる。
2. 2束の D-brane a, b がトーラスに対して winding number $(n_a, m_a), (n_b, m_b)$ を持つとすると、交差数 (世代数) は $I_{ab} = n_a m_b - n_b m_a$ となる。湯川結合を与える3束の D-brane a, b, c について、 n 世代フェルミオンを考えるため $I_{ab} = n, I_{bc} = n$ とすると n が整数であるために $I_{ca} = nk$ (k は整数) である事が言える。
3. これらの結果から、単純な3世代モデルは最低3つのヒッグス粒子を含むことになる。しかし実際に解析するとこれらのパラメーターで標準理論を再現できないことが分かる。まとめると $T^2 \times T^2 \times T^2$ の minimal なモデルでは現実的な湯川結合は構成できない。拡張の可能性を探っている。

参考文献

T.Higaki, N.Kitazawa, T.Kobayashi, K.Takahashi, hep-th/0504019, to be published in Phys.Rev.D.