

行列模型は、超弦理論の摂動論に依らない定式化の有力候補として提唱されたものである。摂動論的な超弦理論には、10次元で無矛盾な理論が5種類あり、これを4次元にコンパクト化する方法は無限個存在するので、どれが真の真空であるか分からない。従って、摂動論に関しては現実世界に対する予言能力を持ち合わせていない。こうした問題を解消するために、摂動論に依らない構成的な定式化が必要な段階に来ている。実際、IIB 行列模型に関して4次元時空の再現など様々な興味深い研究が行われている。

弦の場の理論の研究として、特に以下の二つが精力的に研究されている。一つは tachyon 凝縮である。昔は、tachyon のある理論は理論として不完全であると思われていたが、単に不安定であるだけで、やがては安定な真空に到達するものと考えられるようになった。tachyon 凝縮によって以下のような現象が起こることがわかった。(1) tachyon 凝縮の後、時空を埋め尽くす D25-brane は消滅し、開弦の励起が起こらない。(2) D25-brane の消滅した非摂動的な真空上での tachyon ポテンシャルは D25-brane テンションとつりあい、相殺する。もう一つは、rolling tachyon と呼ばれる現象である。これは、弦の場の理論の時間依存する古典解を構成するものである。

その他にも、Dijkgraaf-Vafa 対応という一種の行列模型と4次元 N=1 超対称性ゲージ理論の間の等価性や、pp-wave 背景上の弦理論という厳密に解ける非自明な背景上での弦理論や、WMAP に関係した弦理論的宇宙模型などについて研究がなされている。

1.2 現象論的な方針 – 下から攻めるアプローチ

上記の超弦理論の研究は、数学的な理論の整合性を拠り所にするものであった。それに対してここで述べるアプローチは「現象論 (phenomenology)」と呼ばれるもので、様々な実験的事実をもとにして、標準模型を超える模型を構築しようとする、「下から攻める」方針である。具体的には、標準模型には以下の問題がある。

1. 電荷の量子化: 電子と陽子の電荷の絶対値が極めて高い精度で一致するのは何故か?
2. ゲージ階層性の問題: プランクスケールや大統一理論のエネルギースケールと電弱相互作用のスケールが 10^{14} 以上開いている事が理論のパラメーターの不自然な fine tuning 無しに実現できるか?
特に、スカラーの質量は量子補正により cutoff scale 程度の大きさになるのが自然である。
3. 世代の起源の問題: 強・弱・電磁相互作用に関しては全く同じ性質を持った quark-lepton の世代が何故3世代繰り返されているのか? またその質量や混合には階層性 (e.g. $m_u/m_t \sim 10^{-5}$) がある。

1. の問題は、3つの力を統一的に扱う「大統一理論」により解決できる。2. の問題については、超対称性を導入することでスカラーの質量の量子補正は抑えられることが知られている。また、超対称性を導入すると3つのゲージ結合定数が高いエネルギースケールでよい精度で一致するというボーナスがあり、超対称大統一理論の存在を示唆していると考えられており、SU(5), SO(10), E_6 に基づく超対称大統一理論が研究されている。特に、 E_6 群へのゲージ群の拡張に関して、興味深い研究成果が挙げられている。

しかしながら、超対称性を導入すると、実験事実と矛盾なく超対称性を破る必要があり、研究が進められている。一方で、2. の問題の解決策としては超対称性以外にも余剰次元模型を導入する方法もあり、近年この方向での研究が進んでいる。余剰次元は、弦理論や宇宙論との関係でも興味深いテーマであり、純理論・現象論の双方の観点での研究がなされている。

これらは、現象論の中でも理論的な側面が強いテーマであるが、より実験との関係が強いテーマとして、摂動的 QCD という素粒子論と核理論の両方の領域に跨る分野の研究もなされている。これは、強い相互作用について深い理解を得る上で重要な研究である。