

これまでの研究成果のまとめ

行列模型(行列を力学変数とする統計系)が量子重力理論、ひいては弦理論の非摂動的定式化を与える可能性を念頭に置いて研究してきた。

弦理論は重力を含む自然界の4つの相互作用の統一理論の候補として、最も有力である。しかし、弦理論はいまだに摂動的な定式化しか持たないため、現実世界に対する予言能力を持っていない。これが弦理論における最大の課題であり30年近く解決していない。弦理論が答えるべき、なぜ我々の時空は4次元か、我々の宇宙はどのように始まったかといった根源的な問いに答えるためには、弦理論の非摂動的定式化を与えることが本質的である。

近年の研究によって、行列模型の large- N 極限(N は行列のランク)によって弦理論を非摂動的に定式化する可能性が提案されているが、完成には至っていない。私はその完成を目指して、行列模型およびその周辺の物理を研究してきた。主な内容は以下の通りである。

1. IIB 行列模型における4次元時空の生成の平均場近似による解析
2. 非臨界弦理論における非摂動効果の行列模型、ループ方程式による記述
3. 非臨界超弦理論における自発的超対称性の破れの解析

1.ではまず平均場近似の新しい拡張を開発し、それを弦理論の非摂動的定式化の候補であるIIB行列模型に適用することにより、large- N 極限で模型の持つ10次元の回転対称性が4次元のそれに自発的に破れる強い証拠を得た。このことは弦理論の進展が、我々の時空が何故4次元か、という根源的な問いに答え得るところまで来たことを示している。

2.では $c=0$ 非臨界弦理論におけるD-brane(閉弦理論のソリトン)が行列模型のインスタントンであることを指摘し、その積分におけるウエイト、即ち **chemical potential** を厳密に計算した。さらに、この量は行列模型のポテンシャルの詳細に依らない **universal な量であることを証明した**。それにも関わらず、行列模型以外の閉弦の場の理論や、低次元量子重力理論が従う Painlevé I 方程式ではこの量は原理的に計算不可能であることを指摘した。このことは**弦理論の基本的自由度が、閉弦ではなく行列であることを強く示唆している**。

3.では**超対称性を持つ行列模型において、超対称性が行列模型のインスタントン効果によって破れていることを、直交多項式を用いてオーダーパラメータを厳密に計算することにより示した**。さらに、この模型の相関関数が、ある2次元の超対称非臨界弦理論の基本的な相関関数を再現することを示し、**前者が後者の非摂動的定式化を与えている可能性が高いことを指摘した**。以上の結果は、この弦理論では摂動的に保たれていた超対称性が非摂動効果によって自発的に破れることを具体的に示しており、**超弦理論においても超対称性が自発的に破れうることを初めて示した画期的なものである。実際、これらの結果をまとめた私の単名論文は、2013年度第8回中村誠太郎賞を受賞した**。さらに昨年、ランダム行列理論を用いて相関関数の高次が求まることが分かり、現在も研究を進めている。

このように、large- N 極限のダイナミクス、特にその**対称性の自発的破れ**に対し、先鞭をつける研究を行ってきたという自負がある。