

研究業績概要

私の近年の研究は、AdS/CFT 対応のより深い理解を目指したものである。AdS/CFT 対応は、00 年代における超弦理論の研究の主題のひとつであり、量子重力理論とゲージ理論との不思議な関係の存在を主張するものである。AdS/CFT 対応に基づいて、重力理論の古典近似を用いたゲージ理論の解析がこれまで広く行われたが、より非自明で重要なのはゲージ理論による量子重力理論の記述の可能性である。どのようなゲージ理論が量子重力理論を記述し得るのかを明らかにすることから、量子重力理論の構造についての深い知見が得られると期待される。

論文 10 において¹、私は Soo-Jong Rey 氏、山口哲氏と共同で、ABJM 理論と呼ばれる 3 次元ゲージ理論について考察し、それが記述すると予想された重力理論との対応を調べた。この研究は ABJM 理論研究の初期に行われたもので、Wilson loop と弦の対応という AdS/CFT 対応において基本的な性質を扱っており、現在でも種々の論文に引用されている。

論文 7 では、ABJM 理論の large N 極限について考察した。Large N 極限はゲージ理論の性質を単純化する極限で、ゲージ理論と弦理論を関係付ける際に以前から考察されてきた。この論文はゲージ理論の強結合領域での Wilson loop の振舞いを解析した先駆的なものである。3 次元ゲージ理論の large N 極限の解析は、ABJM 理論に限らず、より一般の 3 次元ゲージ理論に対しても適用することが可能である。私の最近の論文ではそのような解析を系統的に行い、ゲージ理論の性質と、対応しうる重力理論の性質との関係を調べた。

ABJM 理論は AdS/CFT 対応の美しい例を与えるが、それだけを眺めていても AdS/CFT 対応という現象の理解が進展するとは限らない。むしろ、対応が存在しないゲージ理論の例を理解する方が、ゲージ理論と重力理論の対応の根源を知るために有用であると思われる。私が近年行ってきた系統的な研究は、このような方向での理解の進展につながると期待している。

AdS/CFT 対応の根源的理解に関する研究は、川合光氏との共著論文 13,14 において行われた。ここでは、摂動的弦理論の振幅を無限個足し合わせるにより現れる近似的なスケール不変性の存在を主張し、それに基づいて AdS/CFT 対応が主張する種々の対応が説明できることを示した。この論文で議論された振幅の無限和の性質等については解析の精密化も可能であると考えられ、今後の更なる進展が期待される。

00 年代前半における私の研究の主題は「タキオン凝縮」だった。誕生した当初の弦理論は様々な問題を抱えていたが、そのひとつがタキオンの存在だった。この問題は超対称性の導入によっても本質的には解決されない。弦理論研究の初期から予想されていた解決のシナリオがあり、それによると弦理論に現れるタキオンはヒッグス粒子のようなものであり、それが適当な真空期待値を持つ（凝縮する）ことにより真空状態が実現される。このシナリオが実際に弦理論で実現されている例が認識されたのは 90 年代後半である。この時は開いた弦の理論に現れるタキオンの凝縮が議論された。

論文 27 では閉じた弦の理論に現れるタキオンについて議論し、これが凝縮した場合に実現される真空状態の性質についての予想を提出した。この論文は後に第 3 回素粒子メダル奨励賞を受賞した。閉じた弦の理論におけるタキオンの研究は 01 年頃から活発に行われるようになり、私もその進展に寄与できたと自負している。

開いた弦の理論はゲージ理論に対応するのに対して、閉じた弦の理論は重力理論に対応する。それに関連して、閉じた弦の理論におけるタキオン凝縮の研究はより難しく、更なる理解の進展が望まれる。

弦理論の研究において、相互作用が強くなった場合の理論の性質を知る必要が出てくることが多い。また、弦が運動する空間の曲率が大きくなり、古典的な空間内での弦の運動という記述が不十分になる状況も多い。そのような場合には、現在知られているような摂動的に定義された弦理論は力不足であり、より適切な弦理論の定式化が必要となる。90 年代後半に、このような問題意識が多くの研究者の間で共有され、幾つかの定式化が提唱された。そのうちのひとつが、日本のグループによって提唱された IIB 行列模型である。

論文 33 では、模型の提唱者の一人である土屋麻人氏と共同で IIB 行列模型の解析を行い、模型が記述しうる時空の微細構造についての重要な知見を得た。これはその後の IIB 行列模型の研究において基礎的な役割を果たした。

上述の研究以外にも、私は超弦理論の様々な側面についての研究を行ってきた。ブラックホールの熱力学に関する研究等がその例である。超弦理論は様々なものを包摂する理論だと期待されている。その理解のために、多様な視点からの研究を行ってきた結果の蓄積が今後ますます重要になってくると思われる。

¹論文番号は、研究業績リスト a. 査読付き原著論文を参照。