

研究計画

私の研究の長期的目標は、重力相互作用の量子論的理解である。古典重力理論に対する正準量子化の困難は良く知られているが、少なくとも摂動論的には、超弦理論の枠内で議論することにより有限な散乱振幅を得ることが出来る。よって、超弦理論についての更なる研究が上記の目標を達成する有望な手段であると期待される。

近年の研究から、ある種の量子重力理論は AdS/CFT 対応により場の量子論を用いて記述できると期待されている。AdS/CFT 対応は未だ現象論的な側面があるが、重力理論と場の理論の間の非自明な対応を数多く予言し、その正当性が検証されたものも少なくない。よって、AdS/CFT 対応のより深い理解から、量子重力理論に対する知見が得られると期待できる。また、超弦理論における他の諸現象についての研究も、それが重力相互作用を本質的に含んでいる場合には、重要な知見を与えると考えられる。

1. Chern-Simons-matter 行列模型

4次元の量子重力理論を記述すると予想されている場の量子論として、3次元 Chern-Simons-matter (CSM) 理論が議論されている。これは3次元ゲージ理論の族で、多くの異なるゲージ理論を含む。これまで研究されてきたのはその中の一部だが、それらは場の量子論としては一見他の理論と大差がない。私はこれまでの3次元ゲージ理論の研究を拡張し、量子重力理論との対応においてどのような性質が重要なかを明らかにしたい。私の近年の研究では、CSM 理論と深い関係を持つ行列模型の解析を通じて、CSM 理論の非摂動論的性質が明らかになってきた。これを更に進展させることによって、重力理論と対応すべき CSM 理論とそうでないものとの相違点を見つけることが出来ると期待している。実際、これまでの研究によって、行列模型による解析を適用できる CSM 理論の範囲が広がってきており、系統的な研究を進めることが出来ると確信している。

これまででは CSM 理論における物理量の強結合領域での振る舞いに着目してきたが、弱結合領域の摂動級数からも有用な情報が得られると期待される。摂動級数の漸近的な振舞いからインスタントン効果が読み取れることは良く知られているが、弦理論でのインスタントン効果は時空のトポロジーと関連しているため、対応していると思われる重力理論が記述すべき時空の詳細について知見を得ることが出来るだろう。関連する研究が名古屋大学のグループにより行われているが、私の研究では定量的な結果を得ることを目指さない代わりに、より広い範囲の CSM 理論を解析することを目指す。最近 resurgence という名で摂動級数と非摂動効果の関係が盛んに研究されている。このような数学的手法の応用は有用であろう。

2. $\mathcal{N} = 4$ super Yang-Mills (SYM) 理論の特徴付け

$\mathcal{N} = 4$ SYM 理論は AdS/CFT 対応の例として最も詳しく研究された理論である。この理論は非常に大きな対称性を持ち、多くの性質が対称性で制御される。そこで AdS/CFT 対応も単に対称性の帰結かと思いたくもなるが、これまでに調べられた対応はそれほど自明なものではないようにも見える。よって、AdS/CFT 対応の帰結の中から本質的に非自明なものを分離することが重要であると思われる。例えば $\mathcal{N} = 4$ SYM 理論の相関関数には重力理論における対応物があるが、それらの数値的一致が非自明であるかどうかは bootstrap の解にどれだけの任意性があるかに依存する。

$\mathcal{N} = 4$ SYM 理論を完全に特徴付ける性質を特定することは、AdS/CFT 対応を深く理解するための重要なステップであると思われる。近年、場の量子論における非局所的演算子の性質の理解などが進展し、場の量子論に対する理解が新しい段階を迎えている。また、場の量子論の相関関数の一般的な議論が最近注目を集めている。これらの成果を踏まえて、 $\mathcal{N} = 4$ SYM 理論およびその他の超対称的共形場理論の再考を試みたい。完全に一般的な議論をするのはまだ難しいかもしれないが、例えば central charge が大きい極限での議論は比較的易しいと期待され、しかもこの場合の知見は十分に重要なものである。

3. Closed string tachyon condensation

閉じた弦の理論は必然的に重力相互作用を含む。よって、このような理論にタキオンが生じた場合、その凝縮過程は背景時空に大きな影響を及ぼす。実際、多くの研究によって、タキオン凝縮が背景時空の変形を引き起こすことが示唆されている。そこで、タキオンを含む閉じた弦の理論の正しい真空構造（凝縮の機構）を明らかにすることは、弦理論における重力相互作用を理解するための試金石となると考えられる。これまでの私の研究を進展させることで、タキオン凝縮の機構及びその帰結についての理解を深めることを目指す。