

今後の研究計画

近年では、素粒子論は、弦理論や AdS/CFT 対応（ゲージ/重力対応、フォログラフィ）を通して、情報理論や物性理論などの様々な物理や数学に密接な関わりを持っている。別紙『これまでの研究成果のまとめ』の通り、私はこれまで様々な研究テーマを扱ってきたので、本研究計画でも、以下に記すような学際的研究に取り組んで行きたい。ここでは、特に現在興味を持っている幾つかのテーマについて具体的に述べる。

(1) 量子 entanglement

- 散乱粒子の entanglement と実験

Peschanski-私 [20] は、S 行列理論を用いて、高エネルギー弾性散乱する 2 粒子の Entanglement Entropy (EE) を表す公式を見つけた。これは、現象論や実験の観点からも興味深いと思われる。この公式によって EE は物理量（散乱断面積と最大衝突径数）で記述されるので、私は加速器実験から得られるデータを基に EE を評価することを考えたい。例えば、高エネルギーでの proton-proton（または anti-proton）散乱については、LHC や Tevatron などによる実験データがあり、この公式を通して量子 entanglement をそれら粒子の物理的特性を解き明かすツールとして発展させたい。

- AdS/CFT 対応との関係

holographic EE では、2 つの領域間の EE が AdS 空間内の極小曲面の面積と関係づけられる。一方、AdS/CFT 対応によると、散乱振幅も別の極小曲面から得られる。そこで、私は、AdS/CFT 対応での極小曲面という幾何学的立場から、散乱振幅と EE の関係を解明したい。

- 弦理論と entanglement

S 行列理論は弦理論とも深く関わる歴史を持っている。そこで、弦と弦の entanglement を考えよう。まず、弦の散乱によって終状態に二つの弦が現れる過程を考える。散乱振幅を計算して得られる S 行列に対して、[19,20] で開発された手法を応用し、終状態の二つの弦の EE を調べる。[19,20] で考えられた 2 粒子の entanglement と比べて、散乱後の弦の entanglement はどのような（弦特有の）性質を持つか明らかにする。

これを踏まえて、次に、重い弦から軽い弦が放出される過程を考えてみよう。終状態における重い弦と軽い弦はどのように entangle しているであろうか。この弦の放出過程は、black hole 輻射のアナロジーと捉えられる。すると、このような弦同士の entanglement を調べることで、black hole と輻射の entanglement の諸問題に弦理論から示唆を与えられると期待できる。

- D-brane の entanglement

D-brane も弦理論の基本的な構成要素である。本研究では、離れたところに配置された D-brane 同士の entanglement を理解したい。D-brane は、その間で閉弦を交換することにより相互作用し、その結果、これらの D-brane の間には entanglement が生じると考えられる。本研究では、boundary 状態を用いた D-brane の記述から EE を調べる。

(2) 低次元の AdS/CFT 対応

- SYK 模型と AdS₂/CFT₁ 対応

これまで色々な次元で AdS/CFT 対応が研究され、上述のようにその様々な応用も考えられてきた。しかしながら、2次元 AdS/1次元 CFT 対応はあまり明らかになっていなかった。最近、この AdS₂/CFT₁ 対応の候補として SYK 模型が提案され、注目を集めている。この模型には、物性理論ではよく知られる disorder average という手法が用いられている。一方、素粒子論でよく用いられる量子場の理論では、この手法はあまり馴染みがない。そこで、SYK 模型を参考に、私は場の理論の枠組みで、SYK 的な模型、あるいは、他の AdS₂/CFT₁ 対応の例となる模型の研究に取り組みたい。