

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 と S 行列

- 散乱粒子の entanglement と AdS/CFT 対応

量子 entanglement は量子論における非常に興味深い現象である。Cardy らの replica 法による entanglement entropy (EE) の計算や、Ryu-Takayanagi の holographic EE に関連して、最近、EE が盛んに研究されている。また、Maldacena-Susskind による ER=EPR 予想も興味深い。彼らは、Einstein-Podolsky-Rosen pair の間には、それらをつなぐ Einstein-Rosen bridge (wormhole) が存在すると予想した。この予想をサポートする例として、加速する quark と反 quark の pair [Jensen-Karch] や散乱する gluon と gluon の pair [18]*が AdS/CFT 対応で研究された。すると、そもそも「散乱過程における 2 粒子の entanglement の変化は、相互作用によってどのように引き起こされるだろうか？」という疑問が自然と生まれる。散乱過程の解析には S 行列理論が有用なので、私は [19,20] で散乱粒子の EE を S 行列から導出した。

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。

- 散乱粒子の entanglement と実験

Peschanski-私 [20] は、弾性散乱する 2 粒子の 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。この公式は、EE を物理量（散乱断面積と最大衝突径数）で記述しているので、私は、加速器などの実験値から実際に EE を評価してみたい。LHC における proton-proton 散乱は、この公式を使う上で、ちょうど良い例となるだろう。

(2) 弦理論と entanglement

- 弦の 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。

*[] は別紙『論文リスト』の論文番号。