

今 後 の 研 究 計 画

ゲージ/重力対応 (AdS/CFT 対応、フォログラフィ) は、近年では、素粒子論だけでなく、情報理論や物性理論などの様々な物理や数学の分野において強結合の理論を理解するために、非常に有用な道具となってきている。別紙『研究歴』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こうと思う。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 と弦理論

量子 entanglement は、量子力学における非常に興味深い現象である。近年、量子 entanglement に対して重力理論から幾何学的理解を与える提案がなされた。一つは、2006 年、Ryu と Takayanagi の提案による AdS/CFT 対応を用いた entanglement entropy (EE) の導出法である。これによって、bulk 理論内の極小曲面の面積という幾何学的理解が EE に与えられた。もう一つは、2013 年、Maldacena と Susskind による ER=EPR 予想である。彼らは、Einstein-Podolsky-Rosen pair の間には、その pair をつなぐ Einstein-Rosen bridge (または wormhole) が存在することを示唆した。

- ER=EPR 予想をサポートする例として、加速する quark-反 quark ペア (Jensen-Karch) や、散乱する gluon-gluon ペア (関-Sin) が考えられ、AdS/CFT 対応によって、これらの過程を記述する開弦の世界面上の計量には、wormhole が現れることが示された。それでは、「散乱過程において、二つの粒子の量子 entanglement 状態の変化は、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。散乱に関しては S 行列理論が知られているので、まずは場の理論の立場から S 行列と EE の関係を明らかにしたい。さらに、AdS/CFT 対応では散乱振幅も EE も極小曲面の面積に関連付けられるので、散乱過程における EE の変化を、極小曲面の幾何学の立場からどのように理解されるか考えていきたい。
- D-brane と D-brane の間の量子 entanglement は何であろうか？我々は boundary state を用いた D-brane の記述を知っており、EE を計算するために replica trick を D-brane 系に応用する方法を開発する必要がある。また、タキオン凝縮と関連して、D-brane と anti-D-brane のペアを量子 entanglement の立場から見直すのは面白い。

2. 弦理論の様々な応用

- 重力と流体には幾つかの興味深い対応関係がある。一つは、black hole membrane paradigm である。最近、Empanan らによって、large D (次元) の重力における black hole が研究され、Bhattacharyya らによって、large D 重力での membrane paradigm が提唱された。もう一つは、2000 年代初めに提案されたゲージ/重力対応からの流体力学/重力対応である。この文脈で、turbulence について、多くの研究がなされた。私は、Burgers turbulence に注目したい。Fouxon-Oz は、これをゲージ/重力対応から指摘した。Burgers turbulence は large D 空間で顕著なので、私は、それを large D 重力の membrane paradigm で考え直してみたい。また、その結果を、Fouxon-Oz のものと比べてみよう。そもそもナビエ-ストークス方程式は物理学及び数学における長年の問題であるが、これらの新たな見方が進展をもたらすかもしれない。
- この十年でゲージ/重力対応は物性理論での様々な現象の理解に応用され、AdS/CMT 対応とも呼ばれている。しかしながら、物性理論家の立場からすると、現段階ではゲージ/重力対応は現実的な物質を理解するのに役に立たないと言わざるを得ない。この問題点に対して、AdS/CMT 対応に実際の物質の結晶構造の様なものを導入することを考えたい。bulk 重力理論の解析で連立 2 階偏微分方程式を解くことになるので、数値計算に頼らざるを得ないだろうが、AdS/CMT 対応の物性理論における有用性の向上に貢献できるだろう。