

学位申請論文公開講演会

日時：2026 年 1 月 30 日(金) 10:00~

申請者：森 聡一郎 (E 研)

場所：物理会議室 (C207)

題目：弦のエンタングルメントによるブラックホールエントロピーの導出

主論文の要旨

理論物理学における最も重要な未解決問題の一つとして、ブラックホールの量子力学の解明がある。ブラックホールシャドウの観測をはじめ様々な観測結果によりブラックホールの存在自体は十分に確立された一方、その存在が量子力学と一般相対性理論の統一を阻んでいる。

ブラックホールの大きな特徴の一つは、事象の地平面に比例したエントロピーを持つことである。その量子力学的起源を理解する試みの一つとして、量子もつれエントロピー(EE)による解釈がある。事象の地平面の内側と外側の自由度の間の EE を、ブラックホールエントロピーと同一視する考えである。

量子重力理論の最有力理論である弦理論において、2 次元ブラックホール時空上の弦の運動を厳密に記述する方法が知られていた。また、Fateev-Zamolodchikov-Zamolodchikov(FZZ) 双対性によれば、この弦の物理はまったく異なる時空を伝播する弦(sine-Liouville 弦)により記述可能である。2 次元および 3 次元ブラックホールのエントロピーを、sine-Liouville 弦における折りたたまれた弦(folded strings)の EE として解釈可能か確かめることが本研究の目的である。

sine-Liouville 弦は、2 次元円筒時空を考え、その円周方向に巻き付いた弦が凝縮した弦理論として定式化される。弦の世界面のチャンネル双対性を用いることにより、巻き付いた弦は 2 次元円筒の無限遠から伸びる folded string とみなせる。また時間的な方向をもつローレンツ的時空へ FZZ 双対性を接続することにより、folded string は、2 つの非連結な 2 次元ミンコフスキー空間を伝播するペアとなる。これらの間の EE を計算するために、弦の世界面に対してレプリカ法を適用した。その結果、folded string のペアに関するレニーエントロピー(RE)が、多重被覆分岐構造の世界面(レプリカ世界面)を持つ弦の分配関数に一致する。RE に適切な極限をとることにより EE が計算される。拡張された FZZ 双対性を用いることにより、以上の手続きは 3 次元ブラックホールへも適用可能である。

このようにして得られた EE は 2 つの寄与からなる。そのうちの 하나는、2 次元球面で定義されるある共形場理論の多点相関関数として書け、厳密に計算した。もう一方は、レプリカ世界面の数学的構造の複雑さのために計算不可能だったものの、folded string の間の EE がブラックホールエントロピーであるとの解釈を支持する結果を得た。

ブラックホールの持つエントロピーの起源が量子もつれに起因するとの考えに基づき、低次元ブラックホールのエントロピーと folded string の EE が一致するかどうかを調べた。そしてその考えを支持する計算結果が本研究により得られた。