

## 学位申請論文公開講演会

日時：2025 年 2 月 7 日(金) 15:00~

申請者：郭 優佳 (QG 研)

場所：物理会議室 (C207)

題目：量子的な重ね合わせ状態の重力源が作る時空における

アインシュタインリング像と重力を介した量子もつれ生成の関係

### 主論文の要旨

古典的な重力相互作用は一般相対性理論によって記述され、多くの相対論的重力現象を高い精度で説明する。一方で、量子的なエネルギー領域における重力の性質は、理論的にも実験的にも未解明であり、物理学における最重要課題の一つとされている。

量子スケールの重力の解明に向けて、2017 年に Bose、Marletto、Vedral らは「量子的な重ね合わせ状態にある質点間に働くニュートン重力は量子もつれを生成するか」という問いを検証する実験を提案した (BMV 提案)。この提案は、ニュートン重力が持つ量子的性質を比較的低いエネルギー領域で実験検証可能であるとして注目を集めている。

本研究では、BMV 提案を相対論的に拡張し、「重ね合わせ状態の重力源が作る定常な時空における相対論的重力現象」を解析することで、重力特有の量子現象を理論的に明らかにすることを目的とした。具体的には、量子的な重ね合わせ状態の重力源が作る弱重力場において、重力レンズ効果を解析した。これは、重力による時空の歪みによって光の軌道が曲げられる散乱現象であり、特定の条件下では散乱光がリング状の像 (アインシュタインリング) として観測される。本研究では光の偏光自由度を無視した簡単な模型としての無質量スカラー場を用い、背景時空を記述する重力理論として、重力を介した量子もつれを生成する量子重力 (QG) モデルと、そのような量子もつれを生成しないシュレディンガー・ニュートン (SN) モデルの二つを仮定して、それぞれの時空におけるスカラー場の散乱を計算した。

その結果、スカラー場の 2 点相関関数を用いて可視化した散乱スカラー場の像には、重力モデルに応じて違いが現れることが判明した。QG モデルの時空では重力源の重ね合わせ状態を反映して、複数のアインシュタインリング像が合成された像が観測された。一方、SN モデルの時空では、古典的な背景時空を反映して単一のリング像のみが観測された。また、「スカラー場が得る重力源の経路情報」とよばれる新たな測定量を提案し、この測定量に基づく可視化も行った。その結果、QG モデルでは複数のリング像が再び現れたが、SN モデルでは像が消失し、この測定量が重力源とスカラー場間の量子もつれの有無を反映することを示した。

本研究の結論として、量子的な重ね合わせ状態にある重力源が作る時空におけるアインシュタインリング像を解析し、像の定性的な形状を通じて背景時空を記述する重力モデル (QG または SN) の識別、ひいては重力を介した量子もつれの生成が視覚的に検証可能であることを示した。