

今後の研究計画

宮地 大河

研究目的

本研究は、ブラックホール摂動論に対して完全 WKB 解析にもとづく純粋に解析的な枠組みを確立することを目的とする。準固有振動 (QNM)、励起因子、灰色因子に対する厳密な表式を導出し、ブラックホール時空における散乱現象の統一的理解を与えることを目指す。また、本枠組みを重力波物理に留めず、ホログラフィや非エルミート物理といった広範な理論領域へ拡張する。これらの分野では、共鳴状態、ストークス幾何、非摂動的補正といった数学的構造が中心的役割を果たしており、完全 WKB 解析はそれらの共通基盤となり得る。

研究計画

本研究は完全 WKB 解析を用いて、QNM・励起因子・灰色因子を導出する解析的な枠組みを構築する。その上で修正重力理論・ホログラフィ・非エルミート物理へと応用範囲を拡張する。この進展を通じて、リングダウン重力波に潜む共鳴構造の本質を明らかにするとともに、様々な理論領域に共通する普遍的な数理解構を探究する。

1. 数学的基盤の確立と QNM の解析

- 低減衰モードの計算法の構築：現在、観測において重要な低減衰モードに対する計算手法を開発中であり、Leaver 法と非常に良い一致を示す結果を得られている。今後はポテンシャル内の摂動パラメータに関する曖昧性を数理的・物理的に確定する。
- 回転ブラックホールへの完全 WKB 解析の適用：既存研究を基盤として、より現実的な回転ブラックホールに対して完全 WKB 法を適用し、QNM の厳密解析を行う。

2. 励起因子・灰色因子への拡張と修正重力理論への応用

- 励起因子および灰色因子の完全 WKB 解析：完全 WKB 解析を用いて励起因子および灰色因子の解析的表式を導出し、特に Voros 係数の寄与を数学・物理双方の観点から分析する。
- 修正重力理論への適用： $f(R)$ 重力、Hořava-Lifshitz 重力などの修正理論に適用し、一般相対論との相違を明確化する。

3. ホログラフィおよび非エルミート物理への展開

- ホログラフィック QCD・強結合場の理論への応用：QNM が輸送係数を決めるホログラフィにおいて、温度・化学ポテンシャルの変化がストークス曲線のトポロジーへ与える影響を解析し、その幾何学的変化を場の理論側の輸送現象・相構造として解釈する。
- 非エルミート物理・共鳴スペクトルへの応用：ブラックホール QNM が開放量子系における共鳴スペクトルと数学的に対応することを利用し、非エルミート模型に完全 WKB 形式を適用する。ストークス幾何を通じて、例外点やトポロジー転移がどのように現れるかを分析し、数理解構を明らかにする。