

# これまでの研究成果のまとめ

宮地 大河

## 研究背景と動機

2015年にブラックホール連星合体からの重力波（GW150914）が初検出されて以降、これまでに数百件の重力波イベントが観測され、ブラックホールの本質に迫る前例のない機会が開かれている。特に最近観測されたイベント（GW250114）では、信号雑音比約 80 という非常に明瞭なデータが得られた。信号雑音比が高いほど波形の細部まで読み取れるため、この重力波から強重力理論の情報が高い精度で読み取れる。これは、無毛定理やホーキングの面積定理といったブラックホールの性質を直接観測に基づき検証する段階に突入したことを示している。これらの進展は、強い重力場における重力理論を理解するために、より厳密で体系的な理論解析の必要性を示唆している。

合体後の重力波形（リングダウン）はブラックホール摂動方程式の複素固有値である準固有振動（QNM）の重ね合わせで記述される。近年では、各モードの振幅を決める励起因子や、波がブラックホール外部へ透過する度合いを与える灰色因子の重要性も認識されつつある。しかし、これらを体系的かつ解析的に扱う一般的枠組みは存在してこなかった。これまでの手法は数値計算や近似に依存し、ブラックホール物理の背後にある数学的構造を見えにくくし、異なる重力理論間の比較を困難にしていた。

## 研究成果

この問題に対処するため、我々は完全 WKB 解析にもとづく解析的枠組みを構築した。完全 WKB 解析は、リサージュ理論および常微分方程式の大域的解析に基づく手法であり、特殊関数に頼らずに異なる漸近領域間の接続公式を記述できる。

主な成果は以下の通りである：

- ブラックホール摂動方程式に対する完全 WKB 解析の適用法の構築。
- 複素化した動径座標におけるストークス曲線と転回点の構造を可視化する Mathematica パッケージの開発。
- シュバルツシルトブラックホールにおいて完全 WKB 解析を適用し、高減衰の QNM について既知の結果を再導出。
- 物理学分野で指摘されてこなかった、ストークス曲線における対数螺旋構造の寄与を取り入れた。

これらの成果は第 1 著者論文（業績一覧 [P2]）にまとめられ、微分方程式と境界条件のみから QNM を厳密に導出する方法論を提供している。