

学位申請論文公開講演会

日時 : 2021 年 1 月 25 日 (月) 13:00 -

申請者 : 槌谷 将隆 (QG 研)

場所 : オンライン

接続先の問い合わせ先 : 野尻 伸一 nojiri@gravity.phys.nagoya-u.ac.jp

題目 : 5次元等角運動量ブラックホール時空における Killing-Yano 3-形式の重力摂動への寄与の解析

概要

曲がった時空上の場の方程式 (スカラー場, 電磁場等) の演算子と交換する微分演算子は symmetry operator と呼ばれ, 時空のもつ対称性との関連が調べられている. 例えば, 時空の対称性から構成された symmetry operator が高次元時空における場の方程式の変数分離性を説明する例や, ある解に作用すると別のモードや質量等をもつ解を与える演算子 (昇降演算子) が時空の対称性を用いて構成される例が知られている. このように演算子を用いて場の方程式の解析解を得られるとき, 安定性解析等へと応用されることが期待される. また, 各々の場の方程式に対して, symmetry operator を構成する時空の対称性の種類が調べられており, 特に時空の隠れた対称性が注目されている. 時空の隠れた対称性とは, 時間並進や回転といった時空を不変に保つ変換 (等長変換) の生成子である Killing ベクトル場を, 高階のテンソル場へと拡張した概念である.

真空時空の重力摂動に対する 1 階 symmetry operator の一般形が 2019 年に示された. これによると, 等長変換の生成子である Killing ベクトル場に加えて, 隠れた対称性の一環である Killing-Yano 3-形式が symmetry operator を構成する. ところで, 高次元 Myers-Perry 時空における重力摂動の変数分離性や安定性は未だ調べられておらず, また, 奇数次元 Myers-Perry 時空は Killing-Yano 3-形式をもつことが知られている. 演算子間の交換関係や独立性を調べることによって, Killing-Yano 3-形式が重力摂動の変数分離性や安定性解析に応用される可能性を検討したい.

本研究では, 5次元 Schwarzschild 時空および有限等角運動量をもつ 5次元 Myers-Perry 時空を扱った. これらの時空は, Killing-Yano 3-形式とは独立に Killing ベクトル場によって重力摂動の変数分離およびモード展開を行うことのできる, 最も解析の簡単な奇数次元 Myers-Perry 時空である. それぞれの時空において, Killing-Yano 3-形式から構成される symmetry operator を各モードに作用することで, 交換関係や独立性を調べた.

5次元 Schwarzschild 時空の場合, 重力摂動方程式を用いず, symmetry operator は 3次元球面上のスカラー, ベクトル, テンソルに対する演算に帰着することを示した. さらに, 3次元球面上の特定のモード分解のもとで, スカラー, ベクトル, テンソルハーモニクスは全て symmetry operator に対する固有スカラー, ベクトル, テンソルであることを示した. 特にスカラー型摂動は固有値 0 をもつ.

有限等角運動量をもつ 5次元 Myers-Perry 時空の場合, この時空の対称性と相性の良いモード分解を任意の 2階対称テンソル場に適用し, symmetry operator によるモード間の遷移がないことを, 重力摂動方程式を用いることなく示した. 次に, 重力摂動方程式をいくつかのモードに適用することによって, これらのモードに対する symmetry operator の作用は高々位相のずれを与えるに留まることを示した.

結論として, 5次元 Schwarzschild 時空上の全てのモードと有限等角運動量をもつ 5次元 Myers-Perry 時空上のいくつかのモードについて, Killing-Yano 3-形式から構成される symmetry operator は Killing ベクトル場から構成される symmetry operator と交換し, さらに独立ではないことを示した. つまり, 本研究で扱った範囲では, Killing-Yano 3-形式はモード間の昇降演算子を与えず, 各モードに対して等長変換による解の変換しか与えないことを示した.