

令和元年6月24日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2015～2018

課題番号：15K05073

研究課題名（和文）ブラックホール時空における波動光学効果とその観測的検証

研究課題名（英文）Wave optical effect in black hole spacetimes

研究代表者

南部 保貞（Nambu, Yasusada）

名古屋大学・理学研究科・准教授

研究者番号：40212112

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：光の不安定軌道より半径が小さい天体(black hole mimicker)は、天体自身が光を放出しない完全吸収表面を持つ場合には、外部から照らす光を用いては black holeと区別することはできない。波動光学に基づいてこの問題を検討した。その結果、星の表面が光の不安定軌道より小さい場合でも、星の表面の存在は、回折効果によりパワースペクトルに周期に長い振動を出現させることを見出した。不安定軌道の存在自身はパワースペクトルに周期の短い振動として現れる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光の不安定軌道より半径が小さい天体(black hole mimicker)は、天体自身が光を放出しない完全吸収表面を持つ場合には、外部から照らす光を用いては black holeと区別することはできない。しかしながら波動を用いたそのような天体からの散乱波の観測が可能であれば、表面の存在は散乱波のパワースペクトルに周期の長い振動を生じさせる。これは遠方を通る波と星の表面の存在による回折効果の結果である。不安定軌道の存在そのものは、パワースペクトルに対して短い周期の振動を生じさせるので、これらの2種類の振動パターンを解析することで、光では見えない不安定軌道内部の情報を引き出すことが可能となる。

研究成果の概要（英文）：To discriminate black hole mimickers of which radius is smaller than unstable photon orbit, we investigate wave optics in spherically symmetric spacetimes with compact gravitating object. We found that the effect of star's surface smaller than the radius of unstable photon orbit results in oscillation in power spectrums with long period, which make possible to discriminate black hole mimickers from black hole.

研究分野：重力理論

キーワード：ブラックホール 光の不安定軌道 波動光学 干渉と回折

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

重力の物理を記述する一般相対論は、光でさえ脱出不可能なブラックホールの存在を予言する。我々の宇宙に実際にブラックホールが存在していることは、候補天体まわりの星の運動の様子や中心の活動領域からのエネルギー放出量などの物理量の観測によって間接的ではあるがほぼ確実であると考えられている。今年、電波干渉計を用いた**ブラックホールの直接撮像**の観測結果が発表され、背景光中においてブラックホールが光を吸収する黒い穴(**ブラックホール・シャドウ**)として見えることが確認された。理論的にこの状況を計算するには、ブラックホール近傍の光源からの光の伝搬をブラックホール時空中での測地線方程式を解く事で追跡する(ray tracing)を用いた像計算。これは、重力レンズ天体としてブラックホールを扱う事に相当する。重力レンズ系を取り扱う方法としては波動性を完全に無視した幾何光学極限(波長ゼロ)での解析以外に、短波長の波動効果を取り入れた波動光学的取り扱いも行なわれている。波動性を考慮する事で、コースティック上で起こりうる増光率の発散の回避(増光率の正確な評価)や干渉効果の観測量に対する影響が議論可能となる。特に周波数スペクトルの振動として周波数領域に現れる干渉効果は、コンパクト天体(原始ブラックホール、宇宙ひもなど)の存在比を推定するのに応用されている。

2. 研究の目的

本研究では波(電磁波,重力波)を用いたブラックホールの観測的**直接検証**を最終目的として、その観測計画構築に必要であるブラックホール時空中での**波動光学**の理論的整備及び**数値シミュレーション**を行う。そして、ブラックホール時空固有の性質である光の不安定円軌道の存在を原因として周波数スペクトルに現れる干渉効果(周波数スペクトルのうなり)の解析を行い、それに基づいたブラックホール**直接検証**の方法の検討ならびに具体的な観測提案の作成を目指す。

3. 研究の方法

波として偏極の自由度を無視したスカラー場を考え、これに対する波動方程式をブラックホール時空中において計算する。波源としては単色の点源を仮定し、観測点における散乱波のパワースペクトルを評価する。具体的は計算方法としては取り扱う時空の対称性(定常性,球対称性,軸対称性)を用いて、波を部分波展開する。そして動径波動関数に対する常微分方程式を数値的に積分し、最後に部分波の和を数値的に実行することで観測点における散乱波を得る。

4. 研究成果

球対称時空中におけるコンパクト天体を想定して解析を行った。特に光の不安定軌道より半径が小さい天体(black hole mimicker)は、天体自身が光を放出しない完全吸収表面を持つ場合には、外部から照らす光を用いてはblack hole と区別することはできない。波動光学に基づいてこの問題を検討した。その結果、星の表面が光の不安定軌道より小さい場合でも、星の表面の存在による回折効果により、パワースペクトルに周期に長い振動が出現することを見出した。不安定軌道の存在自身はパワースペクトルに周期の短い振動として現れる。以上の2つの効果を用いることで、black hole mimicker は波動光学を用いることでblack hole と識別可能であることが明らかとなった。

部分波の方法に基づく波動の計算数値コードの開発に予想外に時間を必要としたために、当初の研究計画の軸対称 Kerr ブラックホール時空中における波動の計算に取り組むことはできなかった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計5件)

(1)査読なし:

Y. Nambu, S. Noda and Y. Sakai,
“Wave optics in spacetimes with compact gravitating object”, preprint arXiv:1905.01793
(2019)

(2)査読あり:

S. Noda, Y. Nambu and M. Takahashi

“Analog rotating black holes in a magnetohydrodynamic inflow”, Phys. Rev. D 33 (2017) 075011

(3)査読あり:

Y. Nambu and S. Noda, “Wave optics in black hole spacetime: the Schwarzschild case”

Class. Quantum Grav. 33(2016)075011.

(4)査読あり:

H. Saida, A. Fujiwara, C. Yoo and Y. Nambu “Spherical polytropic balls cannot mimic black holes”

Prog. Theor. and Exp. Physics (2016) 043E02

(5)査読あり:

A. Fujisawa, H. Saida, C. Yoo and Y. Nambu “Maximum mass of a barotropic spherical star”

Class. Quantum Grav. 32 (2015)215028

[学会発表] (計9件)

・発表者 南部保貞:

“ブラックホール時空での波動光学の整備及び応用” 2015/10/10 ブラックホール地平面勉強会
(山口大学)

・発表者 南部保貞:

“Twisted wave front of scattering waves by Kerr black holes” (poster)

Hot topics in general relativity and gravity (Quy Nhon, Vietnam 8/9-8/15, 2015)

・発表者 南部保貞:

“SuperradianceとしてのBZ process” (招待講演) ブラックホール磁気圏研究会(夕張マウント
レースイホテル 2016/3/2-3/3)

・発表者 南部保貞:

“Particle limit and superradiance” (poster)

M87 workshop 台湾大学ASIA (2016/5/23)

・発表者 南部保貞:

“カー時空での波動光学の数値計算” (招待講演) BH磁気圏研究会(南紀白浜ホテル 2017/3/3)

・発表者 南部保貞：

「BZ processとsuperradiance」(招待講演) BZ研究会 (琵琶湖クラブ 2017/9/29)

・発表者 南部保貞：

「強度コヒーレンスとブラックホール」(招待講演) ブラックホール磁気圏研究会 (熊本大学 2018/3/4)

・発表者 南部保貞：

「Wave optic in spacetimes with compact gravitating object」(招待講演) ブラックホール磁気圏研究会 (愛知教育大学 2019/3/3)

・発表者 南部保貞：

「Wave optics in spacetimes with compact gravitating object」, 大阪市立大学理論セミナー 2019/4/19

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年：

国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年：

国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号 (8 桁)：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。