

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 31 日現在

機関番号：33907

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26610050

研究課題名(和文) ブラックホールの曲がった時空の効果を直接検出する方法

研究課題名(英文) A Method for Direct Measurement of BH Spacetime

研究代表者

齊田 浩見 (Saida, Hiromi)

大同大学・教養部・准教授

研究者番号：80367648

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：ブラックホール(BH)は「光も(重力波も)脱出できない程に極端に重力が強い領域」なので、天体自身が発する光を捉えるという通常の観測手段では観測できない。そこで本研究は、一般相対論によって数学的に示されている「BH一意性定理：BHは質量と自転速度だけで完全に特徴づけられる」に注目し、「BH直接観測」とは「BHの強い重力に起因する現象の観測で質量と自転速度を測ること」と定義した。そして、BH近傍の光源が発する2本の光線がBH周囲を巡った後に遠方の観測者に届く状況を想定し、その2光線の到達時間差と強度比から質量と自転速度を測る原理を考案した。今後は、この原理を実際の観測に応用していきたい。

研究成果の概要(英文)：Black Hole (BH) is the extremely strong gravitating region from which even the light (and the gravitational wave) cannot escape, and the BH cannot be observed by the usual observation method that detects lights emitted by celestial bodies. Then, referring to the BH uniqueness theorem proven by the general relativity (the BH is completely characterized by its mass and spin velocity), we have defined the "BH observation" as "to measure the mass and spin of the BH via observing the strong gravitational phenomena caused by the BH". I have considered 2 light rays that emitted by a source located near the BH and reach a distant observer. The quantities that I have analyzed are the delay between arrival times of the 2 rays and the ratio of intensities of the 2 rays, and I proposed a principle of the "BH observation" in which the mass and spin of the BH are measured from the "time delay" and the "intensity ratio". In future studies, I will apply this principle to real observations.

研究分野：宇宙物理学

キーワード：ブラックホール 重力レンズ 一般相対性理論

1. 研究開始当初の背景

ブラックホール（BH）の存在は、一般相対論によって理論的に予言されていたものの、直接的な観測的証拠はなかった。一般相対論の検証精度向上にもつながるBHの直接観測を成功させることが望まれていた。

2. 研究の目的

本研究では、一般相対論によって証明されている「BH一意性定理」に注目し、「BH直接観測」とは「BHの強い重力に起因する現象の観測を通して、BHの質量と自転角運動量を測定すること」と定義した。そして本研究の目的は、自転するBHの重力レンズ効果の測定を通してBH直接観測を行う原理を考案することであった。

3. 研究の方法

BH近傍で、BHより十分小さな光源がバースト的（短時間）に等方発光する場合を想定し、その光が自転BHの重力レンズ効果を受けながら遠方の観測者まで伝わる様子を、一般相対論に基づいて計算した。光源から発せられた光線はBHの周囲を何回か巡ってから観測者に届く。原理的には、0周巡る光線、1周巡る光線・・・と、無限の周回数が可能であるが、周回数が増えるごとに観測者に届いた際の強度が著しく減少していく傾向を示す。（少ない数回数、0、1、2周あたりは、状況設定によっては、0周光よりも1周光の方が強い場合もある。）

本研究では0周光と1周光に注目した。具体的には、「0周光と1周光が観測者に届く時間の差 Δt 」と「0周光と1周光の観測強度の比 R 」を計算した。そして、BHと光源、観測者の相対的な配置を様々に変えて（つまり、BHの周囲で

発生する複数のバースト的発光現象について）時間差 Δt と強度比 R を測り、それらを全て説明できる共通のBH質量とBH自転角運動量を計算することを考えた。これは、本研究の定義による「BH直接観測」の原理となる。

なお、我々の銀河系中心の巨大BH候補天体SgrA*を例に、現在の電波望遠鏡の能力で時間差 Δt と強度比 R が測れるかどうかを数値計算で評価した。そして、観測者から見て光源がBHの裏側にあるような設定であれば、現在の望遠鏡の能力でも時間差 Δt と強度比 R が測れるという結論を得た。今後は、本研究で考案したBH直接観測の原理を、実際の観測に応用する研究をしていきたい。

4. 研究成果

本研究課題の主な成果は、上記「研究の方法」でも述べたように、① BH一意性定理に基づいて「BH直接観測」の定義（BHの強い重力に起因する現象の観測を通してBH質量とBH自転角運動量を測ること）を明確にした上で、② 自転BHの重力レンズ効果によって観測者に届く0周光と1周光の時間差 Δt と強度比 R からBH直接観測の原理を考案し、③ その時間差 Δt と強度比 R が現在の望遠鏡の能力で測定可能であること示したこと、である。この成果は、論文として掲載決定している。（2017年5月あるいは6月に出版予定。）

なお、本研究では、「自転BHの重力レンズ効果の観測がどの程度確実にBH存在を示すことができるのか」という論点についても研究をした。数学的な技術的理由により、球対称静的な場合のみでしか研究を進めていないが、BHの重力レンズ効果（光の不安定円軌道の存在）がほぼ確実にBHの存在を示すだろうと

いう結果を得ている。この成果は、2本の論文にまとめた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

[1] 斉田浩見, *How to Measure Black Hole's Mass, Spin and Direction of Spin Axis in Kerr Lens Effect 1: test case with simple source emission near BH*, Progress of Theoretical and Experimental Physics, Vol.2017, 掲載決定(42pages), 2017 年

[2] 斉田浩見, 藤沢篤仁, 柳哲文, 南部保貞, *Spherical Polytropic Balls Cannot Mimic Black Holes*, Progress of Theoretical and Experimental Physics, Vol.2016, id043E02 (17pages), 2016 年

[3] 三好真, 春日隆, Jose K. Ishitsuka Iba, 岡朋治, 関戸衛, 岳藤一宏, 高橋真聡, 斉田浩見, 高橋芳太, *Caravan-Submm Black Hole Imager in Andes*, Advances in Astronomy, Vol.2016, id8306494 (12pages), 2016 年

[4] 藤沢篤仁, 斉田浩見, 柳哲文, 南部保貞, *Maximum mass of a barotropic spherical star*, Classical and Quantum Gravity, Vol.32, id215028(13pages), 2015 年

[5] 坂井伸之, 斉田浩見, 玉置考至, *Gravastar Shadows*, Physical Review D, Vol.90, id104013 (9pages), 2014 年

[学会発表] (計 15 件)

[1] 斉田浩見, 「孤立した BH の質量、自転角運動量と自転軸の見込み角を測る方法: Kerr BH の重力レンズ効果」, 日本天文学会 2016 年秋季大会, 2016 年 9 月 14-16 日, 松山大学(松山市)

[2] 斉田浩見, 「A principle of measuring the BH' s mass and spin via detecting the strong gravitational lens effect by Kerr BH」, M87 Workshop, 2016 年 5 月 23-27 日, 国立臺灣大学(台北市, 台湾)

[3] 斉田浩見, 「ブラックホールの強い重力レンズ効果の観測による質量と自転角運動量の測定方法 2」, 日本物理学会第 71 回年次大会, 2016 年 3 月 19-22 日, 東北学院大学(仙台市)

[4] 斉田浩見, 「ブラックホールの曲がった時空の効果を直接観測する原理と方法 3」, 日本天文学会 2016 年春季大会, 2016 年 3 月 14-17 日, 首都大学東京(八王子市)

[5] 斉田浩見, 「BH の強い重力レンズ効果の観測による BH 質量と自転角運動量の測定原理」, ブラックホール磁気圏研究会, 2016 年 3 月 2-5 日, ホテルマウントレースイ(夕張市)

[6] 斉田浩見, 「BH 疑似天体はあり得るか?」, ブラックホール磁気圏研究会, 2016 年 3 月 2-5 日, ホテルマウントレースイ(夕張市)

[7] 斉田浩見, 「Kerr BH の強い重力レンズ効果の測定による質量と自転角運動量の測定方法の検討」, 第 17 回特異点研究会, 2016 年 1 月 9-11 日, 慶應大学(横浜市)

[8] 斉田浩見, 「How the observational quantities of strong gravitational lens effect depend on BH' s mass and spin」, Texas Symposium on Relativistic Astrophysics, 2015 年 12 月 13-18 日, International Conference Center Geneva(ジェネーブ市, スイス)

[9] 斉田浩見, 「天文観測のための一般相対論とブラックホール」, ブラックホール地平面研究会, 2015 年 10 月 10-11 日, 山口大学(山口市)

[10] 齊田浩見, 「ブラックホールの強い重力レンズ効果の観測による質量と自転角運動量の測定方法」, 日本物理学会 2015 年秋季大会, 2015 年 9 月 25-28 日, 大阪市立大学 (大阪市)

[11] 齊田浩見, 「ブラックホールの曲がった時空の効果を直接観測する原理と方法 2」, 日本天文学会 2015 年秋季大会, 2015 年 9 月 9-10 日, 甲南大学 (神戸市)

[12] 齊田浩見, 藤澤篤仁, 柳哲文, 南部保貞, 「流体球が持ち得る最大質量—ブハダールの制限より厳しい制限—」, 第 16 回特異点研究会, 2015 年 1 月 10-12 日, 名古屋大学 (名古屋市)

[13] 齊田浩見, 「SgrA*を巡る星 S2 を通した重力理論の制限への期待」, 長野ブラックホール天文教育研究会, 2014 年 11 月 15-16 日, 長野市

[14] 齊田浩見, 「一人時間差相関—BH の直接検出を目指した—」, ブラックホール地平面研究会, 2014 年 9 月 4-5 日, 山口大学 (山口市)

[15] 齊田浩見, 藤澤篤仁, 柳哲文, 南部保貞, 「BH シャドウは BH 存在の直接証拠になるか?」, 日本物理学会 2014 年秋季大会, 2014 年 9 月 18-21 日, 佐賀大学 (佐賀市)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等: 現在はなし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

齊田 浩見 (SAIDA, Hiromi)

大同大学・教養部・准教授

研究者番号: 80367648

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号:

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号:

(4) 研究協力者

高橋 真聡 (TAKAHASHI, Masaaki)

南部 保貞 (NAMBU, Yasusada)

坪井 昌人 (TSUBOI, Masato)

三好 真 (MIYOSHI, Makoto)

春日 隆 (KASUGA, Takashi)

岡 朋治 (OKA, Tomoharu)