

令和元年6月13日現在

機関番号：21401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K05086

研究課題名(和文) ワームホール形成における爆発的粒子生成と超伝導回路を用いたその再現実験の提案

研究課題名(英文) Explosive particle creation by wormhole formation and proposal of experiment using superconducting circuit

研究代表者

宮本 雲平 (Miyamoto, Umpei)

秋田県立大学・総合科学教育研究センター・准教授

研究者番号：70386621

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：ワームホールと呼ばれる時空構造は因果律の破れなど物理学にとって深刻な問題を引き起こす。したがって、ワームホール形成を阻止するメカニズムが宇宙に内存していることが期待されるが、そのようなメカニズムで決定的なものは知られていない。本研究では、宇宙においてワームホールが形成されそうになると、爆発的な粒子生成が起こり、その反動でワームホール形成が妨げられることを簡単なモデルを用いて示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年の重力波観測やブラックホールの直接撮影に象徴されるように、一般相対論の研究は理論と観測が両輪となって進む精密科学への転換期を迎えている。そのような時期に、ワームホールというエキゾチックでありながら一般相対論において重要な位置を占める対象について、その性質(量子論的不安定性)を明らかにできたことは学術的意義が大きい。また、SFとも揶揄されかねない対象について、信頼できる枠組みで低エネルギー再現実験について論じた本研究は、青少年の科学的興味を刺激し、基礎科学と科学技術の融合を推進するという点で社会的意義も大きいと言える。

研究成果の概要(英文)：The space-time structure called a wormhole causes a serious problem such as the breakdown of the causality. Therefore, it is expected that the nature includes a mechanism prohibiting the wormhole formation. However, such a mechanism has not been known so far. In this study, we showed that the wormhole formation is associated with explosive particle creation, and the wormhole formation is unstabilized by its back-reaction using simple models.

研究分野：一般相対性理論

キーワード：ワームホール 動的カシミール効果 粒子生成 一般相対論 曲がった時空での場の量子論

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ワームホールとは、異なる宇宙や宇宙の異なる点を往復可能にするような穴構造である。時空の運動方程式であるアインシュタイン方程式はワームホールを解として許すが、ワームホールの存在はタイムマシンや因果律の破れなど物理学にとって深刻な問題を引き起こすことが知られている。したがって、ワームホールの形成を阻止するようなメカニズムが宇宙に内存していることが期待されるが、そのようなメカニズムで決定的なものは知られていない。

2. 研究の目的

量子力学が一般相対論に基づく古典的時空描像を覆す例として、ブラックホールの蒸発や原始宇宙における密度揺らぎ(銀河構造の種)の生成がよく知られている。本研究の大きな目的は、ワームホールについて同様のパラダイム:「ワームホール形成が量子論によって禁止されること」を提示することである。

3. 研究の方法

本研究では、ワームホール形成の本質を空間のトポロジー変化と捉えることから始める。その上で、トポロジー変化には不安定性(爆発的粒子生成)が伴うこと、それを裏付ける実験方法が存在すること、ワームホール形成を表す具体例で不安定化が起こることを示す。これらは、ワームホール形成が量子論により禁止されることの強い証拠となる。

4. 研究成果

本研究における主な成果は、ワームホール形成をモデル化した低次元宇宙において、量子スカラー場の爆発的な粒子生成が起こることを証明したことである(雑誌論文⑧、学会発表⑪⑫)。また、その成果を得る過程で、ワームホール形成の量子論的不安定性を理解するには、境界条件の動的な変化による粒子生成(動のカシミール効果)のより詳細な理解が不可欠であることに気付いたことも大きな進歩と言える。それを受けて行った動的な境界条件による粒子生成に関する解析結果(雑誌論文①、学会発表⑧⑨)は、ワームホール形成による量子論的不安定性と同時に実験室における再現実験の存在を強く示唆している。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 10 件)

(全て査読付き原著論文)

- ① Explosive particle creation by instantaneous change of boundary conditions
U. Miyamoto
Physical Review D (American Physical Society) 99 巻, 025012, 1-20 頁 (25 Jan, 2019)
DOI: 10.1103/PhysRevD.99.025012
- ② Systematical study of pulsar light curves with special relativistic effects
H. Sotani, U. Miyamoto
Physical Review D (American Physical Society) 98 巻, 103019, 1-14 頁 (26, Nov, 2018)
DOI: 10.1103/PhysRevD.98.103019
- ③ Pulse profiles of highly compact pulsars in general relativity
H. Sotani, U. Miyamoto
Physical Review D (American Physical Society) 98 巻, 044017, 1-12 頁 (9, Aug, 2018)
DOI: 10.1103/PhysRevD.98.044017
- ④ Sensitivity of pulsar light curves to spacetime geometry and efficacy of analytic approximations
H. Sotani, U. Miyamoto
Physical Review D (American Physical Society) 96 巻, 104018, 1-20 頁 (14, Nov, 2017)
DOI: 10.1103/PhysRevD.96.104018
- ⑤ Non-linear perturbation of black branes at large D
U. Miyamoto
Journal of High Energy Physics (International School for Advanced Studies)
2017, 6 巻, 1-25 頁 (6, June, 2017)

DOI: 10.1007/JHEP06(2017)033

- ⑥ Escape probability of the super-Penrose process
K. Ogasawara, T. Harada, U. Miyamoto, T. Igata
Physical Review D (American Physical Society), 95 巻, 124019, 1-5 頁 (9, June, 2017)
DOI: 10.1103/PhysRevD.95.124019
- ⑦ Consistent analytic approach to the efficiency of collisional Penrose process
T. Harada, K. Ogasawara, U. Miyamoto
Physical Review D (American Physical Society) 94 巻, 024038, 1-5 頁 (20, July, 2016)
DOI: 10.1103/PhysRevD.94.024038
- ⑧ Vacuum excitation by sudden appearance and disappearance of a Dirichlet wall in a cavity
T. Harada, S. Kinoshita, U. Miyamoto
Physical Review D (American Physical Society) 94 巻, 025006, 1-17 頁 (5, July, 2016)
DOI: 10.1103/PhysRevD.94.025006
- ⑨ High efficiency of collisional Penrose process requires heavy particle production
K. Ogasawara, T. Harada, U. Miyamoto
Physical Review D (American Physical Society) 93 巻, 044054, 1-9 頁 (23, Feb, 2016)
DOI: 10.1103/PhysRevD.93.044054
- ⑩ Strong gravitational lensing by an electrically charged black hole in Eddington-inspired Born-Infeld gravity
H. Sotani, U. Miyamoto
Physical Review D (American Physical Society) 92 巻, 044052, 1-10 頁 (27, Aug, 2015)
DOI: 10.1103/PhysRevD.92.044052

[学会発表] (計 12 件)

全て研究代表者 (宮本雲平) による発表。

- ① Dynamical aspects of cylindrical objects in (non-)gravitational physics
General Relativity and Partial Differential Equation
2019 年 5 月 24 日、近畿大学東大阪キャンパス
- ② 高次元における平均曲率一定面とブラックホールの安定性
第 20 回「特異点と時空、および関連する物理」研究会
2019 年 1 月 13 日、九州大学西新プラザ
- ③ Non-linear perturbation of black branes at large D
The 8th International Workshop on Astronomy and Relativistic Astrophysics
Sep. 9th-15th, 2018, Tawachaki Cafe and Restaurant, Ollantaytambo, Peru
- ④ Black hole and fluid: Analogy and duality I-II
Partial Differential Equation and General Relativity
2018 年 7 月 19-20 日、山形大学理学部数理科学科
- ⑤ Non-linear perturbation of black branes at large D
The 15th Marcel Grossmann Meeting, July 5th (1st-7th), 2018
University of Rome La Sapienza, Rome, Italy.
- ⑥ Non-linear perturbation of black branes at large D
The 27th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan
27th Nov 2017, Hiroshima University, Hiroshima, Japan
- ⑦ Large-D 極限におけるブラックブレーンの非線形摂動
日本物理学会 2017 年秋季大会
宇都宮大学、2017 年 9 月 14 日
- ⑧ 急激な境界条件の変化による量子真空の励起
日本物理学会 2016 年秋季大会

宮崎大学、2016年9月22日

- ⑨ Is wormhole formation prohibited by semi-classical effects?
Spanish-Portuguese Relativity Meeting: One Hundred Years of the Schwarzschild Solution
Sep. 12-15th, 2016, Lisbon, Portugal
- ⑩ ブラックホールと流体：類似性と双対性(1)-(2)
第1回数理セミナー
2016年7月29-30日、摂南大学理工学部基礎理工学機構数学教室
- ⑪ Vacuum excitation by sudden (dis-)appearance of a Dirichlet wall in a cavity,
The 25th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan,
Dec. 7-11th, 2015, Kyoto Univ, Japan
- ⑫ Dirichlet 壁の出現・消滅による真空励起
日本物理学会第71回年次大会
東北学院大学（泉キャンパス）、2015年3月20日

6. 研究組織

(1) 研究分担者

該当なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：原田 知広

ローマ字氏名：Tomohiro Harada

研究協力者氏名：木下 俊一郎

ローマ字氏名：Shunichiro Kinoshita

※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。