

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 12 日現在

機関番号：56101
研究種目：若手研究（B）
研究期間：2010～2012
課題番号：22740190
研究課題名（和文） 高エネルギーstring散乱によるブラックホール生成とハドロン物理
研究課題名（英文） Black hole production by high energy string scattering and hadron physics
研究代表者
松尾 俊寛（MATSUO TOSHIHIRO）
阿南工業高等専門学校・一般教科・准教授
研究者番号：80392124

研究成果の概要（和文）：本研究は、矛盾のない重力の量子論である弦理論のなかでブラックホール生成に関する問題を扱い、さらにそのハドロン物理への応用を試みるものである。主な成果は、弦理論の基本的自由度である弦と膜をもとにした特異点のないブラックホール解を具体的に構成したことである。また、高エネルギー状態にある弦の崩壊過程を超弦理論の摂動論を用いて解析し、ブラックホールの蒸発を引き起こすホーキング輻射との比較を行った。

研究成果の概要（英文）：We studied the production of black holes in string theory which is a consistent quantum theory of gravity, and its applications to hadron physics. We constructed, as a main result of this research, a concrete solution that describes a certain type of black hole without any singularity at its center. We used string and membrane as sources that are the basic degrees of freedom of string theory. In addition, we analyzed various decay processes of a high energy superstring in the context of the string perturbation theory, and compared its decay rates with Hawking radiation which leads to the evaporation of black holes.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,800,000	540,000	2,340,000

研究分野：物理学

科研費の分科・細目：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：超弦理論、ブラックホール

1. 研究開始当初の背景

超弦理論は矛盾のない重力の量子論であり、原理的には、アインシュタイン古典重力理論では説明の困難なブラックホールの生成、消滅過程を記述することが可能な理論である。しかしまだそれらを詳細に記述できるほどには理論が理解されておらず、様々な角度からの研究が求められている。また、ゲージ/弦対応を通じてブラックホールの生成消滅過程に対応する高エネルギーハドロン物理における現象への応用の可能性が高エネルギーハドロン衝突実験の結果の蓄積に伴って注目されてきていた。

2. 研究の目的

本研究はそのような状況のもと、弦理論の枠組みの中でブラックホールをどのように記述するのか理解を深めることに焦点をあて、弦を用いた具体的なブラックホール解の構成と、ブラックホールに対応すると考えられる高エネルギー状態にある超弦の性質の解明を目指した。

さらに最終的な目標として、弦理論におけるブラックホールの物理と高エネルギーハドロン物理をゲージ/弦対応を通じて相補的に理解することを目指して研究を行った。

3. 研究の方法

本研究に用いる方法は主に解析的な手法で

あるが、重力解の構成とその性質の解析には数値的方法も用いた。具体的には、まずは古典アインシュタイン重力理論の枠組みの中で、弦と膜をソースにしたブラックホール解を構成することが可能であるのか調べ、特に静的な場合には具体的に解を構成した。さらに、得られた解を変形して、動的な過程を記述する解への拡張、解の摂動への応答などを理論的、数値的な方法によって解析した。

高エネルギー超弦の研究においては、弦の摂動論を用いた散乱振幅の解析により計算を行った。

上記の研究を遂行する上で、他研究者との議論、情報交換は決定的に重要であり、共同研究者のみならず、何人もの研究者とのさまざまなやり取りの中で生まれたアイデアによって研究を進展させることができた。他研究者とのコミュニケーションが重要な研究方法であったと言える。

4. 研究成果

本研究の主な研究成果は、弦自身が作る自己重力場中の静的な解の構成に関する研究である。そこでは非等方な微視的自由度である弦と膜をソースとして実際にブラックホール解を構成した。さらに、この解において質量や弦の張力などのパラメータに解がどのように依存しているのかを詳細に調べた。この解の特筆すべき点は、ホライズンをもつが

特異点の存在しない解が存在することを具体例として示したことにあり、粒子以外の自由度を用いることで特異点のないブラックホール解を構成した初めての例である。特異点は重力理論の破綻点であるが、本研究で得られた解によって特異点がつもつ問題に影響されことなくホライズンの性質やブラックホールの蒸発等の時空の性質について議論することが可能になる。

これらの成果に基づき、実際に弦の衝突過程で特異点のない解を生成することができるのか、とくに散乱過程において背景時空への自己無撞着な反跳効果をどのように取り入れるのかを調べることは今後の重要な課題である。まだ十分ではないが超高エネルギーのストリング散乱過程を背景場も含めて記述する枠組みを構成するための手がかりを得つつあり、より具体的な成果をあげるために引き続き研究を進めている。

ブラックホールに比較される高エネルギー超弦の性質に関する研究では、輻射率の計算を具体的に実行し、特にボソン、フェルミオン輻射の場合にどのような輻射スペクトルが得られるのかを、黒体輻射からのずれを表す灰体因子まで含めて決定した。特にこれまでの研究では、ボソン弦理論での研究、もしくは超弦理論の中でもボソン輻射に限られた研究しか存在していなかった。これは超弦理論の形式のうち、フェルミオンを扱う際に現れるゴーストの扱いが難しいNSR形式と呼ばれる形式での研究が主であったからである。本研究では時空の超対称性が明白なGS

形式と呼ばれる形式を用いてフェルミオン輻射確率まで完全に計算したところが新しい結果である。得られた結果からは、ブラックホールの場合と比較可能な熱分布、さらに黒体輻射からのずれを表す灰体因子を読み取ることができた。興味深いことに、ゲージ/弦理論対応の発見のきっかけをつくったDブレーンからの輻射の際に現れる灰体因子と同じ形が閉弦の放出の場合に現れることがわかった。これらの結果についての物理的解釈、とくに高エネルギー弦をブラックホールとみなし、そこから意味のある物理的帰結を引き出すことは今後の課題である。

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2件)

- ① Shoichi Kawamoto, Toshihiro Matsuo,
Emission spectrum of soft massless states from heavy superstring, *Physical Review D*, 査読あり、87, 124001(2013)DOI: 10.1103/PhysRevD.87.124001
- ② Hikaru Kawai, Toshihiro Matsuo,
Gravitational string-membrane hedgehog and internal structure of black holes, *Progress of Theoretical Physics*, 査読あり、125.No4, 2012, 687-708 DOI: 10.1143/PTP.125.687

[学会発表] (計3件)

- ① 松尾俊寛、Emission spectrum from a heavy superstring, 日本物理学会 2013 年春季大会、平成 25 年 3 月 28 日、広島大学
- ② 松尾俊寛、Fermion emission rates from a heavy string, 日本物理学会 2012 年春季大会、平成 24 年 3 月 26 日、関西学院大学
- ③ 松尾俊寛、Gravitational string-membrane hedgehog and internal structure of black holes, 日本物理学会 2011 年秋期大会、平成 23 年 9 月 15 日、弘前大学

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者 ()

研究者番号 :

(2) 研究分担者 ()

研究者番号 :

(3) 連携研究者 ()

研究者番号 :