

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2010

課題番号：19540316

研究課題名（和文） ブラックホール熱力学と量子異常

研究課題名（英文） Blackhole thermodynamics and Quantum anomalies

研究代表者

磯 暁 (SATOSHI ISO)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授

研究者番号：20242092

研究分野：素粒子物理学

科研費の分科・細目：物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：ブラックホール、熱力学、量子異常、ウンルー効果、超弦理論、行列模型

1. 研究計画の概要

ブラックホール（BH）は一般相対性理論の解であり、天文観測からも私たちの宇宙での存在は多数知られている。しかし、この解の理論的な性質を突き詰めて調べていくと、種々の不思議な性質が浮かび上がる。その代表的なものが、BH時空が熱力学的な性質をもつということである。ブラックホール時空での場の量子論を考えると、古典的には光すら脱出できない「黒い」存在であったBHは、量子的な効果を通して輻射することがわかる。またこのことと関係して、BHにはエントロピーが付与され、その背後にマイクロな時空構造が存在することを示唆する。このようなBHの熱力学的な性質を調べるがこの研究の目的である。

この研究では、まずマクロな観点からBH時空の量子論的な性質を調べ、BH熱力学の普遍的な性質を明らかにすることを目的とした。また、超弦理論や行列模型といった重力の量子論を使って、BH熱力学の背後にある統計力学的な性質を解明していくことももう一つの目的としている。

2. 研究の進捗状況

最初の2年間は、マクロな観点である量子異常現象からホーキング輻射の解析を徹底的に行った。この研究の出発点は、ホーキング輻射のエネルギー流を重力量子異常から普遍的に導いたことだったが、この研究ではこれを一般化しその基盤を明確化した。まずは回転するBHや高次元BHへ一般化した。さらに重力異常を使った解析だけでは得られなかった黒体輻射スペクトルを、高階スピカレントの量子異常を考察して完全に

導出した。これはホーキング輻射の普遍性を強く保証する重要な結果である。

次にマイクロな観点からのBH時空の量子論に取り組中である。BHは、特異点とホライズンをもつ一般相対論の解であり古典的には解の一意性で特徴づけられる。一方量子的にはBHは巨大なエントロピーをもち、統計力学的な時空描像を示唆する。その例としてDブレーンによる記述や超重力理論のファズボール解による記述が知られている。研究後半ではこのマイクロな記述を使ったBH熱力学の解明に取り組中である。まず行ったのは、無数のファズボール解を粗視化してホライズンをもつBH解のメトリックを導出できないか、という点であった。その結果、どのような粗視化を行っても特異点やホライズンをもつBH解は構成できないことがわかった。これはBH解に対するこれまでとは異なる見方を示唆している。すなわち、BH解がホライズンをもち熱力学的な諸性質をもつのは、メトリックの特異性にあるのではなく、その解のまわりでの物質場の応答が特異的なためだという点である。そこで現在では、ファズボール解とBH解での物理量の応答の類似性を調べている。特にランダムなメトリックでの量子的散乱が引き起こすアンダーソン局在とBHホライズンの関係、また非平衡統計力学のJarzynski方程式や揺らぎの関係式のBH熱力学への適用などを考察中である。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(理由)

この研究の目的は、マクロ、マイクロ双方の

観点からBH熱力学を解明することであった。マクロな観点は、残すことなくほぼ完全に研究が遂行できた。一方、ミクロな側面からの解析は現在研究が進行中であるが、その過程で様々な問題点が明らかになってきた。それは当初から予想されたことであり、達成度という観点からは計画の遅れはない。また、ファズボール時空のメトリックのランダムさを原因とするアンダーソン局在としてBHの性質を導けないか、といったアイデアや、非平衡統計力学で理解の進んだ揺らぎの定理をBHへ応用することで、ミクロな側面を明らかにできるのではないか、といった新しいアイデアが生まれている。この意味で、研究は当初の予定通りに順調に進行中。また、この研究と関連し、ホーキング輻射と等価原理で結ばれているウンルー効果に関しても予想外の方向に研究が進展している。

4. 今後の研究の推進方策

これからはBHのミクロな統計力学的側面を明らかにする研究と、ウンルー効果からの輻射を高強度レーザーで検証する研究を推進していく予定である。

特に、前者はこれまでの研究で得られたアイデア（アンダーソン局在との関連性、揺らぎの不等式のBH系への適用）をどう具体化できるのかを考察していく。

後者に関しては、この研究から生まれた（当初の予定にはなかった）意外な研究の方向性であり、新しい研究計画を企画して研究を推進していきたい。

5. 代表的な研究成果

（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 15件）

- ① Y. Honma, S. Iso, Y. Sumitomo, H. Umetsu and S. Zhang, Generalized Conformal Symmetry and Recovery of $SO(8)$ in Multiple M2 and D2 Branes, Nucl. Phys. B816 (2009) 256 査読有
- ② S. Iso, Hawking Radiation, Gravitational Anomaly and Conformal Symmetry, Int. J. Mod. Phys. A23(2008) 2082 査読有
- ③ S. Iso, T. Morita and H. Umetsu, Hawking Radiation via Higher-spin Gauge Anomalies, Phys. Rev. D77 (2008) 045007 査読有
- ④ S. Iso, T. Morita and H. Umetsu, Quantum anomalies at horizon and Hawking radiations in Myers-Perry black holes, JHEP 0704 (2007) 068 査読有
- ⑤ S. Iso, T. Morita and H. Umetsu, Higher-spin currents and thermal flux

from Hawking radiation, Phys. Rev. D75 (2007) 124004 査読有

- ⑥ S. Iso, T. Morita and H. Umetsu, Fluxes of Higher-spin Currents and Hawking Radiations from Charged Black Holes, Phys. Rev. D76 (2007) 064015 査読有

〔学会発表〕（計 8件）

- ① 磯崎 日本物理学会 平成22年3月23日 シンポジウム招待講演 ウンルー効果 岡山大学
- ② 磯崎 張森 山本康宏 日本物理学会 平成21年9月12日 高強度レーザーによるウンルー効果の検証 甲南大学

〔図書〕（計 1件）

- ① ナイヤ著 阿部泰裕 磯崎 翻訳 現代的視点からの場の量子論 上下巻 シュプリンガー社 2009年 (355頁、319頁)