

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 宮田晃宏

最近、ブラックホールの情報パラドックスを解決する方法としてアイランド公式と呼ばれているものが有望視されている。本博士論文の目標はいくつかの新たな模型についてアイランド公式を検証することである。

本論文は5章よりなる。第1章はイントロダクション、第2章はブラックホールの情報パラドックスとその解決についてのレビューである。第3章ではオリジナルな結果の一つである2つの別箇の宇宙の中に漸近的に平坦なブラックホールを置いた場合の解析、第4章はもう一つの結果であるベビーユニバースを用いた情報問題の解決について述べられている。第5章は本論文で得られた結果と将来の研究課題についてまとめられている。

ブラックホールは量子効果によりホーキング放射を起し蒸発することが知られているが、その際に生じる情報喪失に関連して多くの謎を現代物理学に与えている。その一つとしてブラックホールが放出するエントロピーの総量が時間に比例して増大し、ブラックホール本体がもともと持っていたエントロピーよりも見かけ上大きくなってしまふことがあげられる。最近、アイランドとよばれるブラックホール内部の構造を導入することによりブラックホールによるエントロピー放出（その時間変化はページ曲線と呼ばれる）は適当な時点で終了することが理解され、パラドックスが解決された。

本論文の3章では、共形場で記述される物質で定義された宇宙と重力場と共形場が組み合わされた宇宙を組み合わせた模型を用いてアイランド公式の検証を行っている。この模型は宇賀神氏らにより導入され2次元反ド・ジッター空間とJT重力模型を用いたアイランド公式の検証などがなされていた。この論文では反ド・ジッター空間の代わりに漸近的に平坦な2次元時空、JT重力の代わりにCGHS重力模型を用いた解析が行われた。2つの宇宙の情報は、エンタングルメントを表す熱力学的状態関数により記述し、その背景を用いて重力（今の場合はディラトン）の方程式を具体的に解いた。ブラックホール中に構造を入れない仮定の下ではページ曲線は温度と比例することが示され、通常のブラックホール解におけるエントロピーの問題を再現した。さらに、ブラックホール内部にアイランドを導入した解析を行うとページ曲線はある温度までは上昇するがそこから先では減少に転じることが示された。これは、この論文のセットアップでもアイランド仮説が有効であることを示している。次に重力を含む宇宙に局所的な摂動を加えた場合に、系のエントロピーがどうなるのかをアイランド公式を用いて調べた。摂動を入れる場所により系の反応が異なるが、結果的にはブラックホールの蒸発が早まることが示された。

第3章の結果のうち前半の部分（ページ曲線の導出）は宇賀神氏らの先行研究からセットアップを変えて行われた計算であり、後半は他のブラックホール研究からインスピレーションを得た新たな計算である。本論文の結果は京都大学基礎物理学研究所の宇賀神氏との共同研究に基づいているが、宮田氏は論文中の解析部分を主体的に行った。

第4章ではアイランド公式によるブラックホール情報問題の解決について別の視点からの解決を考案している。もともとのブラックホールにおける情報消失は、ブラックホールとホーキング放射の系についてブラックホールにより完全な情報が得られず状態の組み合

わせを表す係数が実質的に決めることができない乱数となることに起因している。この章で著者はベビーユニバースの量子力学状態をさらに付け加えることにより、情報消失の問題が一部解決できるのではという予想をたて、さらにそれに伴うガウス則の変更について考察した。第4章はアイデア中心の予想であるが、具体的な計算の部分は宮田氏により遂行された。

以上のように、本博士論文では、新たなセットアップでブラックホールの情報消失問題を解決するアイランド公式をサポートする結果を提案している。また、ベビーユニバースの自由度の導入について新しいアイデアを提案している。これらの研究は共同研究に基づくが解析部分における宮田氏の貢献は明らかである。また口頭試問においても宮田氏は十分な学識を持つことを示した。

よって本論文は博士（学術）の学位請求論文として合格と認められる。