

## 論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博士 ( 学 術 )	氏名	片山 春菜
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1・2 項該当		
論 文 題 目			
Theoretical studies on analogue Hawking radiation in quantum circuits			
論文審査担当者			
主 査	教 授	畠 中 憲 之	印
審査委員	教 授	荻 田 典 男	印
審査委員	教 授	東 谷 誠 二	印
審査委員	教 授	稲 垣 知 宏	印
審査委員	助 教	飯 沼 昌 隆	印
〔論文審査の要旨〕			
<p>自然界の力を統一する“万物の理論”構築において、重力の統一が残されている。これには量子論と相対論の統合が必須であり、重力に関わる量子効果を検証することが、統合を図る鍵となる。ホーキング輻射は、不確定性原理より対生成された粒子が、光でさえ脱出できないブラックホールから放射される現象で、その観測は統合に向けた試金石となる。しかし、現実のブラックホールでそれを観測するのは極めて困難である。本論文は、量子回路上で擬似的なブラックホールを実現し、そこでのホーキング輻射の観測可能性を論じたものである。</p> <p>本論文は、全 6 章より構成されており、第 1 章では、研究の背景と問題の所在を提示し、研究の目的を述べている。第 2 章では、擬似的ブラックホールの舞台となる量子回路とそこで存在する孤立波（ソリトン）が提案され、第 3 章では、ソリトンが擬似的ブラックホールとして振舞うことを示している。第 4 章では、その擬似的ブラックホールにおけるホーキング輻射をトンネル機構により評価し、擬似的ホーキング輻射が観測可能であるとしている。第 5 章では、ホーキング輻射を増幅するためのレーザー機構を論じている。第 6 章では、本研究の学術的意義など総括を行なっている。</p> <p>本論文におけるブラックホール創生の特徴は、非線形伝送線路を用いていることで、そこで安定に伝播するソリトンを用いて、回路パラメータを制御しているところである。具体的には、非線形 LC 伝送線路とジョセフソン伝送線路について考察し、それぞれ非線形シュレディンガー方程式と非収束型変形 Korteweg-de Vries 方程式によって記述され、衝撃波型のソリトン解を持つことを見出している。これらのソリトンが一様背景流の役割を果たし、その下で空間依存する速度をもった電磁波がその一様流に追従できないところで、擬似的なブラックホールが創生されることを示している。</p> <p>次に、この擬似的ブラックホールを用いて、ホーキング輻射に対するトンネル機構を基にホーキング温度を定式化し、観測可能性を評価している。その結果、ホーキング温度は回路パラメータとソリトン速度に依存する要素によって決定されることを明らかにしている。ソリトン速度の依存性は、これまでの理論にはない新たな寄与であり、ブラックホールからの輻射を同定することに利用される。そして、既存の回路パラメータを用いると、ホーキング温度が数～数十ミリケルビンであるとしている。これより、ホーキング輻射を実験的に観測できると結論づけている。</p>			

最後に、ホーキング輻射のさらなる増幅のため、ブラックホールとホワイトホールのホライズンを利用したブラックホールレーザーを量子回路において考案している。量子回路では、ホライズンが鏡として機能するために要請される異常分散を作り出すことができない。そこでメタマテリアル要素を導入し、分散関係を制御することによって部分的にその要請を克服し、量子揺らぎにより対生成された粒子・反粒子に対応するモードが、ホライズンの間を反復することを可能にしている。そして、ホライズンでの非線形モード変換とジョセフソン・パラメトリック増幅により、ホーキング輻射が指数関数的に増幅されることを示し、量子回路系で初めて、ブラックホールレーザーの理論を構築することに成功している。

以上の通り、本論文で展開された理論は、量子回路中での疑似的ブラックホールの創生とそこでの疑似的ホーキング輻射の観測が可能であることを示し、回路量子重力理論の建設に寄与する先駆的理論として高く評価できる。

以上、審査の結果、本論文の著者は博士（学術）の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。

備考

審査の要旨は、1,500字以内とする。