

論文審査の結果の要旨

氏名 林中 貴宏

本論文は5章からなる。第1章は序章として、本論文の基礎となる量子論に基づく宇宙論研究のこれまでの発展と現在の課題についての外観、原始磁場形成理論における電場の生成とその下での量子電磁気学的相互作用の重要性が述べられ本研究の物理的動機付けがなされている。

第2章は第3章以降で必要とされる曲がった時空における場の理論の基礎について、スカラー場、ディラック場、ゲージ場の取り扱いについてそれぞれ説明され、量子電磁気学 (QED) の作用と運動方程式、荷電粒子の作る電流についてレビューされている。

第3章と第4章で論文提出者の行った研究について述べられている。まず、第3章ではド・ジッター時空において、空間的に一様で時間的に変化しない背景電場を考え、重力と電場という2つの背景場の下、電荷を持ったディラック場の運動方程式を解き、得られた解析解を用いて、誘導される電流の真空期待値を計算している。電流の真空期待値は発散するが、断熱正則化を用いて、**minimal subtraction** と呼ばれる繰り込み条件を課すことで有限の結果が得られることが示されている。この計算結果から、電場が荷電粒子の質量から決まる臨界値よりも弱い場合に反遮蔽効果、つまり、外部電場を増幅する方向に荷電粒子が動き、電場と逆向きの電流が流れるという特異な現象が起こることが明らかにされ、この現象がド・ジッター時空中の観測者から見る地平線からの粒子生成が背景電場によって影響を受けその電荷が偏ることによって説明できることが述べられている。また、電気熱力学的考察から反遮蔽効果がエントロピー増大過程であり熱力学の第二法則に反しないことが示されている。

第4章では、荷電粒子がスカラー場の場合について時間的・空間的一定な背景電場の下で誘導される電流の真空期待値の計算が述べられている。スカラー場の場合には先行研究で断熱正則化と **minimal subtraction** を用いた計算が行われていたが、論文提出者は新たに **point-splitting** 正則化と呼ばれるゲージ不変性を保った計算手法と **minimal subtraction** を用いて計算を行い、弱い電場の極限でディラック場と異なり反遮蔽が現れず、さらに、電気伝導度がスカラー場の質量の2乗に反比例して大きくなるなど先行研究と同じ結果を得たことが述べられている。しかし、繰り込み条件として **minimal**

subtraction を使うと、荷電粒子が重い極限での誘導電流の期待値の解析的振る舞いが、半古典的な解析と一致せず、半古典的解析では現れない質量のべき乗の形をした摂動的な項が現れるという問題があることが示され、この問題を解決するために摂動的部分を全て取り除き、非摂動項のみを取り出す新たな繰り込み条件である maximal subtraction が提案されている。さらに、申請者の提案した maximal subtraction を用いたスカラー場とディラック場の誘導電流が計算され、両者とも弱い電場の下で反遮蔽効果を示し、半古典的極限で正しい振る舞いをする事が確かめられている。

第 5 章は全体のまとめと、本研究で得られた反遮蔽効果による宇宙論的帰結としてインフレーション宇宙における自発的電磁場の生成の可能性について議論されている。

このように本論文はド・ジッター時空における電磁気学的現象を量子電磁学を用いて調べたもので、時間的に変化しない背景電場の下で、荷電ディラック場を考え、初めて反遮蔽効果が現れることを見出し、また、スカラー場とディラック場の誘導電流の真空期待値を計算するためのより物理的であると思われる新たな繰り込む手法を提案するなど曲がった時空における量子電磁気学に対する新たな知見を得ておりその学問的意義は高いと考えられる。なお、本論文 3 章の一部は藤田氏と横山氏との共同研究、第 4 章の一部は横山氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析および考察を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。