

氏 名 廣瀬 拓哉

学位の種類 博士(理学)

学位授与年月日 令和4年9月23日

学位論文名 **Toward an Approach to the Hierarchy Problem via Flux Compactification**  
(フラックスコンパクト化による階層性問題のアプローチに向けて)

論文審査委員 主査 教授 丸 信人

副査 教授 中尾 憲一

副査 准教授 西中 崇博

### 論文内容の要旨

この博士論文では、背景磁場を含むコンパクト化（フラックスコンパクト化）された高次元理論において、高次元ゲージ場の余剰成分スカラー場（ウィルソンライン(WL)スカラー場）のゼロモードの質量に関する量子補正が有限でかつ消えない状況を実現する可能性について注目する。可換ゲージ理論から非可換ゲージ理論へと拡張し、さらに非可換ゲージ理論にはある高次元演算子を加えた理論も考える。これらの理論で WL スカラー場の質量に関する量子補正が相殺していることを示す。フラックスコンパクト化における有限かつ消えない WL スカラー場の質量を実現するため、質量に関する 1 ループレベルの量子補正の中に現れる一般化されたループ積分を解析する。さらに、その解析から有限な量子補正が得られる 4 点相互作用項と 3 点相互作用項を推測、分類する。これらの相互作用項のうち、ある単純な形の相互作用項に着目し、6 次元スカラー量子電磁気学の枠組で WL スカラー場の質量に関する量子補正が実際に有限に得られることを例証する。最後に、以上の議論の応用として、フラックスコンパクト化された理論における新しいインフレーション理論を提唱し、Planck 2018 の観測データと我々の結果を比較する。

### 論文審査結果の要旨

素粒子標準模型において、ヒッグス粒子の質量を量子補正まで考慮して計算すると、典型的に大統一理論スケール( $10^{16}\text{GeV}$ )やプランクスケール( $10^{18}\text{GeV}$ )となり、実験値  $125\text{GeV}$  を得るためには理論のパラメタに不自然な微調整が要求される。これを階層性問題といい、これを解決することが標準模型を超える物理を考える動機の 1 つである。

本博士論文では、高次元理論における余剰空間に磁場が存在する理論で階層性問題の解決を試みる研究についてまとめている。まず、2 次元トーラスにコンパクト化された 6 次元量子電磁力学において、電磁場の 5,6 成分のゼロモードスカラー場(WL 場)質量に対する量子補正が相殺されることが先行研究で示された。WL 場が余剰空間の並進対称性の自発的破れに伴う南部・ゴールドストーンボソンになるためである。将来的に、WL 場をヒッグス場と同等したいので、非可換ゲージ理論に拡張することが必要である。本博士論文で、6 次元 SU(2)ヤン・ミルズ理論

において、この相殺機構が成り立つことを示した。また、WL 場に質量を生成するためには、余剰空間の並進対称性を破る相互作用を導入する必要がある。本博士論文で、有限質量を生成する相互作用を類推し、一番簡単な相互作用を用いて、実際に有限質量が生成されることを示した。最後に、WL 場をインフラトン場とみなし、インフレーションに関連する物理量を評価し、最新の観測結果を比較検討した。これら一連の研究により、階層性問題に対する新しいアプローチが提案され、標準模型を超える物理模型構築の第 1 歩が示された。

よって、本論文は博士（理学）の学位を授与するに値するものと審査した。