

## 学位申請論文公開講演会

日時：2026 年 1 月 28 日(水) 10:00~

申請者：谷井 大樹 (E 研)

場所：物理会議室 (C207)

題目：自然な大統一理論に関する新たな探索と現象論

### 主論文の要旨

自然界には、強い力、弱い力、電磁気力、重力の 4 つの力が存在する。素粒子標準模型は、重力を除く 3 つの力をゲージ理論で記述する。素粒子標準模型は多くの実験結果を高い精度で説明するが、いくつかの問題が残されており、素粒子標準模型を超える理論の存在を示唆するものと考えられている。

有力な候補として超対称性大統一理論が提案されたが、粒子の統一に起因して非現実的な質量関係を予言するという難点がある。本学位論文で扱う自然な大統一理論は、対称性で許される全ての相互作用を 1 のオーダーの係数で導入することで、粒子の質量階層が説明される。しかし、ゲージ結合定数の統一条件と現実的なニュートリノ質量の条件が同時に満たされないという問題が残されていた。

本研究では、まずこの不整合を解消するための模型を構築した。具体的には、相互作用の係数の一部を小さな値に置き換えることで、ゲージ結合定数の統一とニュートリノ質量の条件を同時に満たすことが可能であることを示した。また、新たな物質場を導入し、ディラックニュートリノ質量に変更を加えることでも同様の整合性が得られることを確認し、自然な大統一理論の拡張性を示した。

さらに、自然な大統一理論をもとに超対称性が自発的に破れるシナリオにおいて、超対称性粒子の質量の起源を詳細に解析し、超対称性の破れは D 項の寄与が一般的に支配的となることを証明した。これは超対称性粒子の質量が電荷に強く依存することを意味し、将来的な検証可能性の高さを示している。さらに、ヒッグス粒子の質量への D 項の寄与を抑え、より軽いヒッグス質量を実現できる可能性を検討した。これは電弱スケールの安定に貢献する一方で、第 3 世代の超対称性粒子の質量が虚数になる恐れがあるため、超対称性の破れのスケールを低く設定し、かつ実験的制約を満たすことが要求される。特に、K 中間子の混合現象に基づく制限を考慮し、第 1・第 2 世代の超対称性粒子の質量がおおよそ 140~300 テラ電子ボルトである必要があることを示した。

以上の研究により、自然な大統一理論におけるゲージ結合定数の統一とニュートリノ質量の整合的な関係が具体的な模型のもとで実現されることが示された。また、超対称性の自発的破れに伴う質量生成の一般的特徴が明らかにされ、今後の実験的検証において重要な手がかりを与える結果となった。本研究は、自然な大統一理論における問題を整理・解消し、素粒子標準模型を超える理論の発展に向けた知見を提供するものである。