

氏 名 古賀 勇一

学位の種類 博士 (理学)

学位授与年月日 令和6年3月31日

学位論文名 Exponential suppression of cosmological constant in non-supersymmetric heterotic string theories with general Z_2 twists
(一般の Z_2 ねじれを持つ非超対称ヘテロ型弦理論における宇宙定数の指数関数的抑制)

論文審査委員 主査 教授 森山 翔文

副査 教授 丸 信人

副査 准教授 西中 崇博

副査 特任教授 糸山 浩 (名誉教授)

論文内容の要旨

本論文では、 Z_2 のねじれを伴った任意次元のコンパクト化によって構成される非超対称弦理論について調べた。

近年の加速器実験の結果を受けて、超対称性が非常に高いエネルギースケールで破れているというシナリオにも関心が集まるようになり、非超対称弦理論から現実的なモデルを構築しようという試みがなされている。非超対称弦理論には宇宙定数が極めて大きくなるという問題があるが、 Z_2 のねじれを伴ったコンパクトによって構成される非超対称弦モデルでは、コンパクト空間の大小に応じて超対称性が漸近的に回復することがある。超対称性が漸近的に回復している場合で、ゼロ質量状態のボソンとフェルミオンの自由度が一致する場合、宇宙定数は指数関数的に小さくなる。

先行研究では、1次元方向に対してのみ Z_2 のねじれを伴ったコンパクト化を採用して得られるモデルが調べられていたが、モジュライ不安定性の課題があった。本論文では、任意次元に対して Z_2 のねじれを伴ったコンパクト化を採用することで得られる一般的な非超対称弦モデルを調べた。8次元の一般的な非超対称モデルにおいて、コンパクト空間の大小それぞれの極限によって得られる終点モデルを具体的に調べ、従来よりも豊富な終点モデル間の内挿パターンを発見した。また、任意次元の一般的なヘテロ型非超対称モデルにおいて、超対称性が漸近的に回復する場合で宇宙定数が指数関数的に抑制されるモジュライの配位を特定した。さらに、有効ポテンシャルを用いてモジュライ安定性を調べ、宇宙定数の指数関数的抑制を与えるモジュライの配位はポテンシャルの鞍点に対応することを示した。

論文審査結果の要旨

弦理論は重力を含めた統一理論を与える候補であるが、超対称性を持たず、指数関数的に抑制された宇宙定数を与える現実的な弦理論の構築は困難である。古賀勇一氏は博士前期後期課程において、糸山浩司名誉教授と中島爽太氏とともに共同研究を通じて、超対称弦理論と非超対称弦理論を内挿するヘテロ型弦理論における宇宙定数の抑制を調べてきた。本博士論文は、特に古賀氏による単著論文[*Nucl. Phys. B* **990** (2023) 116160]に基づいて書き下ろされた。

本博士論文では、まず分配関数の視点から超対称弦理論、非超対称弦理論、内挿模型の構成を説明した。ヘテロ型弦理論において、理論のモジュラー不変性から内部空間が強く制限され、これにより少数の 10 次元模型のみが整合する。非自明なウィルソンループを導入してツイストコンパクト化して構築した内挿模型では、10 次元極限において興味深い形で少数の模型が再現される。その後に論文では、零質量状態の解析から宇宙定数が指数関数的に抑制される条件を求め、条件を満たす模型を構築した。宇宙定数の抑制には、零質量のボソンとフェルミオンの個数が釣り合い、ある意味で近似的に超対称性を持つことが要求される。また最後に模型の変形に対する安定性を議論した。本研究における古賀氏の成果は、これまで議論されてきた単一方向のツイストコンパクト化を複数方向のツイストコンパクト化に拡張し、その中で宇宙定数の指数関数的抑制を議論したことである。これにより、指数関数的に抑制される非超対称弦理論が大きく広がることがわかった。

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。