



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Flavor structure in magnetized orbifold and blow-up manifold compactification [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	内田, 光
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第15275号
Issue Date	2023-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/89520
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Hikaru_Uchida_review.pdf, 審査の要旨



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士 (理 学) 氏 名 内田 光

審査担当者	主査	教 授	小林 達夫
	副査	教 授	鈴木 久男
	副査	准教授	瀬戸 治
	副査	講 師	末廣 一彦

学 位 論 文 題 名

Flavor structure in magnetized orbifold and blow-up manifold compactification
(背景磁場入りオービフォルドおよびブローアップ多様体コンパクト化に
おけるフレーバー構造に関する研究)

博士学位論文審査等の結果について (報告)

100 GeV エネルギースケールまでの低エネルギーの素粒子物理学の様々な現象は、標準模型で記述される。その標準模型においては、多くの実験的検証がなされ確固たる理論となっている。しかし、素粒子物理学において、いまだに多くの解明されない謎が存在する。クォーク・レプトンは、量子数の同じ3世代の繰り返しとなっており、その世代間の質量比は桁違いにかけ離れた階層構造をもつ。さらに、その世代同士は世代混合を起こすが、クォークとレプトンでその混合の振る舞いが異なる。このようなフレーバー構造の起源は何なのかといった標準模型が内在する謎が種々ある。一方で、量子重力理論の定式かはどうすればよいか。様々な宇宙的な観測から強く示唆される暗黒物質の起源、インフレーションの起源は何なのかなど、標準模型の枠外の問題も多く存在する。したがって、標準模型を超えるようなより基本的な理論が存在すると多くの研究者が期待をしている。

超弦理論は、重力を含むすべての相互作用を統一的に記述し、さらにクォーク・レプトンやヒッグスのモードを統一的に記述する枠組みを与える。したがって、標準模型を超えた素粒子物理学のより基本的な理論の有力な候補である。超弦理論は、我々の4次元時空に加えて、6次元のコンパクト空間を予言する。この6次元コンパクト空間は、超弦理論が素粒子物理学の様々な性質を導出する上で極めて重要である。弦のもつ6次元コンパクト空間上の性質、振る舞いにより、個々の素粒子の量子数や結合、対称性のもとでの変換性などが決定されるからである。

これまで様々な6次元コンパクト空間上の超弦理論が研究されてきた。カラビーヤウ多様体は6次元コンパクト空間の代表的な空間である。しかし、カラビーヤウ多様体は、その幾何学的構造の詳細はいまだに不明な点も多く、トポロジー由来の性質に関しては、解析は可能であるが、特別な場合を除いて、カラビーヤウ多様体上の弦理論の詳細を解析的研究することは難しい。一方で、背景磁場をもつトーラスコンパクト化やオービフォルドコンパクト化は、そのコンパクト空間上の弦理論や場の理論を解析的に調べるのが可能であり、フェルミオンの質量を調べるのに重要な湯川結合の関数形も解析的に求まる。このようなコンパクト化は、カラビーヤウ多様体に比べ単純ではあるが、フレーバー構造に関して、豊かな構造をもつことが知られている。実際に、クォーク・レプトンの質量の再現可能性などが北大のグループを中心に研究されてきた。

本論文は、上述のようにコンパクト空間をトーラスやオービフォルドとして、このコンパクト空間上に背景磁場をもつ D-brane から導出される低エネルギー有効場の理論の素粒子物理学的な性質の解析が目的である。

まず、前半においては、モジュラー対称性の低エネルギー有効場の理論における意味が議論さ

れている。モジュラー対称は、トーラスやオービフォルドを構成する際の基底の取り替えに対応する幾何学的対称性である。そのコンパクト空間の基底の変換により、複数の世代に対応するコンパクト空間内の波動関数の変換性を議論している。この変換により世代間が移り変わることで、低エネルギー有効場の理論としては、フレーバー対称性となっていることが示されている。さらに3世代を与えるコンパクト化に注目し、その3世代が有限モジュラー群 Γ_n の被覆群や中心拡大した群のもとで、非自明な表現となっていることを示した。有限モジュラー群 Γ_n は、ボトムアップアプローチのフレーバーモデル構築において、しばしば仮定される S_3, A_4, S_4, A_5 などの非可換離散群を含む。上の結果は、そのようなモデル構築で仮定される非可換群離散フレーバー対称性の起源を示す可能性がある。ただし、この超弦理論由来のフレーバー対称性は、通常の場合の理論の対称性とはことなり、湯川結合などの結合も非自明に変換する対称性である。この対称性のアノマリー構造に関しても一般論を含め議論がなされている。

次に、後半においては、オービフォルドのブローアップが議論されている。オービフォルドは、曲率が特異点に集まり、その他の領域では平坦な空間である。この特異点の曲率を有限領域まで広げる操作がブローアップである。6次元のオービフォルドをブローアップすることで、特定のカラビーヤウ多様体が構成できることが知られている。本論文においては、簡単のため2次元オービフォルドのブローアップを考察し、ブローアップ多様体上で波動関数の接続などが議論されている。さらには、境界条件を滑らかにするために、局所磁場と局所曲率が導入され、インデックス定理との対応が研究されている。このような局所磁場などの導入により、新たに局所的なモードが現れることも指摘されている。オービフォルド上のヘテロ型弦理論においてもそのような局所的モードが現れることが知られており、それぞれのモードを比較検討することは今後の課題として興味深い。

このように、本論文では、コンパクト空間上の超弦理論から導出される低エネルギー有効場の理論の性質について新たな知見が得られた。この結果は今後の素粒子物理学の発展に貢献するものである。

よって著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。