HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Non-Abelian discrete flavor symmetries from modular symmetry in string compactification [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	立石, 卓也
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第13564号
Issue Date	2019-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/74293
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Takuya_Tatsuishi_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

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　　立石　卓也

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　中山　隆一
	副査	特任准教授　瀬戸　治

学 位 論 文 題 名

Non-Abelian discrete flavor symmetries from modular symmetry
in string compactification
（超弦理論におけるモジュラー対称性由来の非可換離散フレーバー対称性に
関する研究）

博士学位論文審査等の結果について（報告）

現在の素粒子物理学を記述する理論として、素粒子標準理論が確立し、様々な実験でも検証されている。しかし、標準理論はその枠内において、様々な未解決の謎を含んでいる。物質場であるクォーク・レプトンは３世代構造をなし、世代間の質量比は階層的構造をなしている。この質量の起源である湯川結合の強さは、標準理論の枠内で、最多のパラメータを含む。このような世代構造の起源は、標準理論が抱える大きな謎の１つである。それに加え、ゲージ構造の起源やヒッグスセクターの起源など標準理論はその枠内に未解決の謎を含む。さらには、標準理論は量子重力を対象とせず、重力の量子論も大きな問題の一つである。

超弦理論は、重力を含めたすべての相互作用とクォーク・レプトン、そしてヒッグス粒子を統一的に記述する有力な理論の候補である。この超弦理論は、我々の４次元時空に加えて、６次元コンパクト空間の存在を予言する。このコンパクト空間の上の超弦理論が、我々の様々な素粒子とその相互作用の多様性の起源となっており、コンパクト空間の幾何学的な性質により素粒子の様々な性質が決定される。したがって、コンパクト空間上の超弦理論の４次元低エネルギー有効場の理論の素粒子物理学的様々な性質を解析し、上述のような未解決の素粒子物理学の謎を研究し、解明していくことが重要な課題である。

本論文では、様々なコンパクト空間上の弦理論の中で、特にトーラスやオービフォルド空間上の背景磁場をもつD-ブレーン模型に注目し、その４次元低エネルギー有効場の理論、特に、世代構造について研究を行ったものである。様々な複雑なコンパクト化の模型があるなかで、この模型は比較的単純で、解析的に理論を解くことができる限られたコンパクト空間の１つである。したがって、原理的にすべてのことが計算可能な理論であり、その素粒子物理学的性質を系統的に研究することが非常に重要である。トーラスやオービフォルド空間は、モジュラー対称と呼ばれる幾何学的対称をもつ。本論文の前半では、D-ブレーン模型から導出される４次元低エネルギー有効場の理論がこのモジュラー対称性の下でどのように振る舞うかを解析している。その結果は、モジュラー変換の下で、D-ブレーン模型から導出されるクォーク・レプトンの

モードが非自明に変換することを示した。そして、その変換の代数構造は非可換離散有限群をなしていることを明らかにした。つまり、非可換離散フレーバー対称性である。そのような非可換離散フレーバー対称性は、４次元場の理論の模型構築の枠内で仮定され、様々なフレーバー模型が提案され、盛んに研究が行われてきた。この D-ブレーン模型は、そのような仮定されてきたフレーバー対称性の起源をひも解く、可能性となる。さらには、これまでのフレーバー対称性とは異なり、この D-ブレーン模型では、湯川結合も非自明に変換するような対称性となっていることをしました。

本論文の後半では、上述の結果を踏まえて、モジュラー群の有限部分群をフレーバー対称性としてもつ４次元の場の理論の模型構築を行い、その現象論的性質の解析を行っている。可換離散群をフレーバー対称性と仮定し、クォーク・レプトンの質量行列を導出し、質量、混合角、CP 位相の実験値の再現を試みる４次元の場の理論の模型の提案はこれまで盛んになされてきた。このようなこれまでのアプローチとの違いは湯川結合もフレーバー対称性の下で、非自明な変換することである。そのような模型を本論文で構築し、幾何学的パラメータに対応するモジュライの値等を調整することで、レプトンの質量と混合角の実験値の再現が可能であることを示した。さらには、レプトンセクターにおける CP 位相の予言を行っている。

本論文は、世代間の対称性という視点から、基本理論である超弦理論と実験可能な低エネルギーのフレーバー物理を結びつける架け橋となる研究の方向性を提案するもので、非常に重要である。

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。