

氏名（本籍・生年月日）	後藤 裕平（神奈川県・昭和 63 年 4 月 3 日）		
学位の種類	博士（理学）		
学位記番号	甲 第 117 号		
学位授与の日付	平成 29 年 3 月 20 日		
学位授与の要件	信州大学学位規程 第 5 条第 1 項該当		
学位論文題目	「Search for extra dimensional model as physics beyond the standard model」		
論文審査委員	主査 川村 嘉春 教授	竹下 徹 教授	
	小竹 悟 教授	林 青司 教授	
	奥山 和美 准教授		

論 文 内 容 の 要 旨

2012 年，欧州原子核研究機構の大型ハドロン衝突器における実験において“素粒子標準模型”の最後のピースである Higgs 粒子が発見された．これにより，素粒子標準模型の電弱対称性の破れの機構もその正しさが実験的に証明された．しかし，素粒子標準模型は完璧な理論ではなく，いくつかの問題を含んでいる．その問題を解決するために，さらに宇宙初期の歴史を解明するために，“標準模型を超えた物理”を探求する必要がある．

標準模型を超えた物理として，“大統一理論”，“超対称性理論”，“高次元理論”，“テクニカラー（複合）模型”など様々な理論・模型が提唱され，それぞれの理論・模型において新粒子が予言される．しかし，現在に至るまで標準模型粒子以外の粒子は発見されていない．つまり，現在の実験可能なエネルギースケールよりも低いエネルギースケールには標準模型を超える物理は存在しない．ゆえに，より高いエネルギースケールに新粒子を含む新物理を仮定し，新物理から素粒子標準模型の物理を再現できるかどうかを確かめることが重要である．また，標準模型がどのくらい高いエネルギースケールまで有効であるかを探求することも重要である．

本論文では，標準模型が抱える問題の一つである“世代・フレーバー数の起源は何か”という問題に着目した．この問題の解決の基本的なアイデアは以下通りである．標準模型では， $SU(3)_C \times SU(2)_L \times U(1)_Y$ ゲージ群に関する 3 種類のゲージ粒子が存在し，異なるゲージ粒子として観測される．しかし，大統一理論と呼ばれる理論によると，宇宙初期では“力の統一”というアイデアの下でこれらの粒子は区別できなかつたと理解される．同様にして，物質粒子はそれぞれ 6 種類のクォークとレプトンにより構成され，異なる粒子として観測されているが，大統一理論を拡張した理論の下で宇宙初期では，“世代・フレーバー数の統一”が実現し，これらの物質粒子は区別できなかつたと予想される．このようなアイデアに基づき，より大きな 1 つのゲージ群の下で力の統一と世代・フレーバー数の統一を同時に実現するために“オービフォードに基づく余剰次元空間を含む高次元理論”の

構築を目指した。

具体的には、余剰次元空間として 2 次元オービフォールド T^2/Z_M ($M=2,3,4,6$) の用いた 6 次元時空上における大統一理論を拡張した理論として $SU(N)$ ゲージ理論に基づく世代・フレーバー数の統一モデルを探索し、数多くの 3 世代統一モデルを見つけた。また、カイラルフェルミオンの世代数と高次元ゲージ場の高次元成分と関係するウィルソンライン位相の関係について調査し、モデルの一般的な特徴として世代数はウィルソンライン位相に対して独立であることが分かった。そして、このような特徴は理論の背後に存在する“量子力学的超対称性”から理解されることも分かった。また、世代数とウィルソンライン位相の関係が、一般次元において成立することを示した。

さらに、導出した多くの 3 世代統一モデルの中で、2 次元オービフォールド T^2/Z_2 を用いた 6 次元時空上における $SU(9)$ ゲージ理論に着目し、現象論的に現実的なモデルを具体的に構成できるかどうか、特に 6 次元時空上における相互作用から 4 次元時空上に物質粒子の質量獲得に関する湯川結合が導かれるかどうかについて調べた。 $SU(9)$ に基づく 3 世代統一 $SU(9)$ モデルは 32 個存在し、これらのモデルは質量獲得の観点から 4 つのタイプに分類できることが分かった。これら 4 つのタイプのうち湯川結合由来ですべての物質粒子が質量を獲得できる可能性があるのは 1 つのタイプのみであることも分かった。また、このモデルに超対称性を導入して拡張したモデルにおいて、超対称粒子の一種であるスフェルミオンの質量に関する和則を導入した。和則はモデルの特有なものなので、将来、実験により検証される可能性がある。