HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	4D Effective Action from Non-Abelian DBI Theory with Magnetic Background [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	高田, 慎太郎
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第14785号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/85883
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Shintaro_Takada_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　　高田　慎太郎

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

学 位 論 文 題 名

4D　Effective Action from Non-Abelian DBI Theory with Magnetic Background
（背景磁場の存在する非可換 DBI 理論の次元削減による４次元有効理論）

博士学位論文審査等の結果について（報告）

低エネルギーでの素粒子物理学の様々な現象は、素粒子標準模型として記述され、実験的にも検証されている。しかし、その標準模型においても解明されない問題を多く含む。クォーク・レプトンはなぜ３世代構造となっているのか。その質量はヒッグス場との湯川結合で与えられるが、標準模型の枠内では、フリーパラメータとなっている。クォーク・レプトンの質量を再現するためには、３世代間で数桁異なる湯川結合の値を導入しないといけないが、その起源は何なのか。このような標準模型が内在する問題のほかに、量子重力理論の定式化など標準模型の枠外の問題がいまだに素粒子物理学には存在する。

超弦理論は重力を含むすべての相互作用とクォーク・レプトンやヒッグス粒子などを統一的に記述する枠組みを与える理論である。しかし、超弦理論が理論的に整合するためには１０次元が必要である。つまり、我々の観測する４次元以外に６次元が必要であり、それは現在の観測で検出できないほど、小さなコンパクト空間となっていると思われている。このコンパクト空間は、素粒子物理学において、極めて重要である。このコンパクト空間の構造により粒子どうしの結合の様子が異なる。素粒子物理学のほとんどの性質がコンパクト空間の幾何学的構造で決まっているのである。実際これまで様々なコンパクト空間が研究されてきた。

超弦理論の様々なコンパクト化の中で、背景磁場の存在する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非常に興味深いコンパクト化の１つである。コンパクト空間の幾何学的構造が比較的単純であるため、様々な素粒子物理学に関する定量的な性質を原理的に解析的に計算することが可能である。たとえば、カラビーヤウ多様体などは複雑な幾何学的構造をもち、定量的な解析的研究はかなり困難で、トポロジーによる解析のみが可能である。そのような単純な構造でありながら、背景磁場の存在するトーラスやオービフォルド上の超弦理論は非常に興味深い性質を示す。整合性により背景磁場は整数に量子化され、ゼロモードの数を解析すると、量子数が同じゼロモードが背景磁場の数に応じて現れ、クォーク・レプトンの３世代構造を実現する背景磁場が存在する。さらには、そのゼロモードのコンパクト空間内の波動関数は異なる位置に準局在しており、その局在する位置に応じて湯川結合の大きさが異なる。つまり、湯川結合の世代間で数桁も異なる階層構造を説明することも可能である。さらには、最近では背景磁場の存在するトーラスやオービフォルドのモジュラー対称性と呼ばれる幾何学的対称性が注目を集めている。この対称性は上述のゼロモード波動関数どうしを変換するもので、離散的なフレーバー対称性となっている。この離散対称性がレプトンセクターの大きな混合角の起源なのではないかと盛んに研究されている。

本論文は、上述のように超弦理論の背景磁場の存在するトーラスやオービフォルドコンパクト化から導かれる素粒子物理学を研究することが目的である。特に、素粒子物理学理論の基本となる４次元低エネルギー有効場の理論の導出を目的とする。１０次元の超弦理論のゼロモードは、１０次元超対称 Yang-Mills 理論に対応する。したがって、これまで４次元低エネルギー有効理論の導出では、１０次元超対称 Yang-Mills 理論を出発点とし、背景磁場の存在するトーラスやオービフォルドコンパクト化において、４次元有効理論の導出を行ってきた。一方で、D-ブレーン上の開弦のダイナミックは、Dirac-Born-Infeld 作用により記述されことが知られている。つまり、Yang-Mills 理論に比べ、Dirac-Born-Infeld 理論の方がより弦理論的効果を反映するのである。本論文では、１０次元 Dirac-Born-Infled 作用を出発的に、背景磁場の存在するトーラスやオービフォルドコンパクト化を行い、４次元低エネルギー有効場の理論の導出を行った。Dirac-Born-Infeld 理論においては、磁場でべき展開する必要があり、最低次と次の次数の展開までの結果をまとめている。解析の結果は、Yang-Mills 理論からの導出に比べて、補正項が存在することを示した。ゲージ場の運動項の係数は、これまで弦理論による振幅による解析と一致している。また、超対称理論の枠組みで、Kahler 計量に対応する物質場の運動項の係数は、今回新しく得られた結果である。さらには、この Kahler 計量を考慮すると、物質場どうしの結合項が、超対称理論のスーパーポテンシャルから導かれる F-項と整合することを示した。Kahler metric への補正項の導出は、物理的な湯川結合への補正となり、今後のクォーク・レプトンの質量の解析に非常に重要となる補正である。

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。