氏　　　名	德（とく）　永（なが）　達（たつ）　哉（や）
学位(専攻分野)	博　　士（理　　学）
学位記番号	理　博　第　3244　号
学位授与の日付	平成 20 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	理学研究科物理学・宇宙物理学専攻
学位論文題目	String Theory in Calabi-Yau Backgrounds （カラビ-ヤウ多様体上の弦理論の研究）
論文調査委員	（主　査） 准教授 國友　浩　　教授 九後太一　　教授 川合　光

論　文　内　容　の　要　旨

この論文は，カラビ－ヤウ多様体の拡張として，超多様体及び一般化された複素多様体の 2 つの場合を考察し，各々に対する超弦理論あるいは関連する位相的場の理論を構成した上で，それらの性質について解析したものである。

10次元時空上で定義される超弦理論を 4 次元時空と関連づけるためには，残りの 6 次元空間をコンパクト化する必要がある。カラビ－ヤウ空間は，このコンパクト空間の最も典型的な例であり，その上の超弦理論を考察することは，超弦理論から現実の 4 次元世界に関する知見を得る上で非常に重要な意味を持つ。しかしながら近年，現象論的要請その他から，カラビ－ヤウ空間を考えるだけでは十分でなく，これを色々と拡張する必要があることが分ってきた。一方，（拡張された）カラビ－ヤウ空間は一般に曲った空間であり，その上の超弦理論を解析することは一般に非常に困難である。しかし 4 次元有効理論のうち特にF－項と呼ばれる超対称性から非常に強い制限を受ける部分は，より簡単で実際に解析可能な位相的弦理論を用いて計算できることが知られている。そこで本論文では，この位相的弦理論を用いた解析を拡張されたカラビ－ヤウ多様体の場合に拡張することを目的とし，上記 2 種類の拡張に対して位相的弦理論あるいは位相的場の理論を構成し，これを解析している。

まず超多様体とは，可換な座標に加え，反可換な座標を持つ多様体である。従って，その上の弦理論は各々に対応する（ 2 次元の）スカラーボゾン場及びスカラーフェルミオン場によって記述される。超多様体上の位相的弦理論は，特に世界面上 N＝(2,2) 超対称性を持つシグマ模型をツイストして定義されるが，その際超共形対称性だけでなくカイラル対称性に対するアノマリーが相殺する条件が，超多様体の場合には一般化されたカラビ－ヤウ条件となることを示した。また別の拡張として平坦な超多様体上の弦理論を構成し，これを詳細に解析した。

次に一般化された複素多様体とは，複素構造とシンプレクティック構造の両方を同時に含む大きな枠組みで，物理的にはゼロでないNSNSフラックスHを導入するのに自然な枠組みを考えることができる。ここではこの上の位相的弦理論の一つの候補として， 2 次元BF理論を多項式ポテンシャルで変形した位相的場の理論を考えている。その際理論の整合性から変形に対して条件が必要となり，これが標的空間に対して一般化された複素構造の条件を導く仕組みとなっている。同様な模型は，これまでにも考えられていたが，それは複素構造をゼロにする極限で位相的弦理論（Ａ模型）に帰着する一方，シンプレティック構造の変形をゼロにする極限では位相的弦理論（Ｂ模型）には帰着しないものとなっていた。そこでここでは，これと相補的な，一般化された複素構造に基づくもう一つの位相的場の理論として，シンプレクティック構造の変形をゼロにする極限が位相的弦理論（Ｂ模型）となる新しい模型を構成している。またこれに加えて，より高次元の一般化された幾何学上の 2 次元位相的場の理論も同様に構成している。

論　文　審　査　の　結　果　の　要　旨

10次元の超弦理論から 4 次元理論を導くには，残りの 6 次元空間をコンパクト化する必要がある。このとき現象論からの

要請として4次元N＝1超対称性を要請すると，コンパクト空間は，最も簡単な場合，カラビ−ヤウ空間でなければならないことが知られている。本論文は，以下に述べる，より一般の場合に同様の考察を行い，それら拡張されたカラビ−ヤウ空間上の超弦理論ないし位相的弦理論について考察している大変興味深いものである。

最初に考察しているのは多様体を超多様体に拡張する一般化である。超多様体上の弦理論としては，超ツイスター空間上の位相的弦理論であるツイスター弦理論があり，より一般の超多様体上の超弦理論を考察するのは重要な問題と考えられる。本研究では，ゲージ化された線形シグマ模型を用いて，一般の超多様体上の超弦理論を構成している。その際，理論が矛盾なく定義できるためには，超共形対称性とカイラル対称性が必要であり，これらが量子論的にも成り立つ条件として，一般化されたカラビ−ヤウ条件を導いている。

後半で考察しているのは，一般化された複素多様体上を伝搬する位相的弦理論である。最近，より現実的な4次元理論を導くためには，6次元コンパクト空間上に様々の非自明なフラックスHが存在しなければならないことが分かってきた。特にNSNSフラックスHが存在する多様体を記述するのに最も適した数学的枠組みが，一般化された複素幾何学である。本研究では，一般化された複素多様体上の位相的弦理論を構成する最初のステップとして，2次元位相的ゲージ理論（BF理論）を出発点とし，これを（位相的）ゲージ対称性が保存される条件が丁度一般化された複素構造の満たすべき条件となるように多項式で変形した模型を構成している。このような定式化は，二通りの位相的弦理論（A模型とB模型）を包含する，ある意味でより基本的な模型であるが，これまで複素構造の変形を零とする極限でA模型に帰着する模型しか知られていなかった。ここでは，これと相補的なシンプレクティック構造の変形が零となる極限がB模型に帰着する模型の構成に初めて成功している。この模型は，一般化された複素幾何学上の位相的弦理論と等価であると期待されるもので，依然これを証明する必要が残されているが，ここで構成された模型は今後非自明なフラックスを持つコンパクト空間上の超弦理論を考察する上で重要な役割を果たすものと思われる。

以上の理由により，本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また，論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果，合格と認めた。