（ 続紙 １ ）

| | | | |
|---|---|---|---|
| 京都大学 | 博 士（ 理 学 ） | 氏名 | 木村　裕介 |
| 論文題目 | Classification of the Landscape of F-theory Vacua over K3×K3 by Gauge Groups: Comparison of SO(10)-vacua and SU(5)-vacua as an Application | | |

（論文内容の要旨）

本博士論文は、IIB型超弦理論の強結合を記述するＦ理論のフラックス・コンパクト化を考察し、そのランドスケープ問題への応用を試みたものである。その際、特にコンパクト化する空間Yは数学的に構造の良く知られたK3空間の直積（K3×K3）として、より具体的な解析、及び考察を行っている。

コンパクト化する空間をK3×K3としても、依然4次元有効理論には多くの零質量スカラー粒子（モジュライ粒子）が存在してしまう。これら現象論的に好ましくない粒子に質量を与えるため、ここでは非自明な4形式フラックス$G^{(4)}$を導入する。素粒子現象論的要請から、4次元有効理論がN=1超対称性を保つと仮定すると、4形式フラックスはGukov-Vafa-Witten超ポテンシャル $W_{GVW}$を生成し、その極小条件が真空を決定する。その際4形式フラックスは (2,2)型、即ち$G^{(4)}\in H^{(2,2)}(Y,R)$でなければならない。またこの時、4形式が属するコホモロジー群が作る格子、$H^4(Y,Z)\cap H^{(2,2)}(Y,R)$の階数がより大きければ大きい程、より多くの複素構造モジュライが固定され、現象論的に、より好ましい。特にK3空間の場合、この格子の階数は曲面のピカール数に対応するため、ピカール数が大きい程多くのモジュライ粒子が質量を獲得することになる。一方ピカール数が最大のK3曲面はattractive K3曲面として知られおり、そのピカール数は20である。従って、今の場合、現象論的に理想のコンパクト化空間Yは attractive K3曲面の積となる。この時、Yの複素構造モジュライは完全に固定され、真空は離散化した点で実現される。K3曲面には、他にケーラーモジュライが存在し、対応する零質量モジュライ場にも質量を持たせる必要があるが、以下この論文ではこの問題には触れず、もっぱら複素構造モジュライに関する議論に話を限る。

このようにモジュライ（真空）が加算個の集合になると各真空の持つ性質を調べ、それが全体のどの程度の割合を占めるかを考える事ができるようになる。そこで本論文では、特に真空の性質として、実現される有効理論のゲージ対称性に着目し、真空全体の中に、どのようなゲージ対称性を持つものが存在し、それががどの程度の割合で含まれているかを調べることで、相対的にどのゲージ対称性を持つ有効理論がより実現されやすいか、その統計を考える。これを考える際、ある真空上（即ち複素構造モジュライ空間中ピカール数を最大にする点）で実現されるゲージ対称性は、K3空間の楕円ファイブレーションの構造、特にその特異

ファイバーの形から決まる。一般にK3曲面はその複素構造を固定しても、依然複数の楕円ファイブレーションを持つので、実現されるゲージ対称性を調べるためには、一旦複素構造を固定した上で、可能なファイブレーション構造を求め、可能な特異ファイバーの構造を調べなければならない。ここでは、Kneser-Nishiyama法として知られる数学的手法を用いてこれを決定し、様々な真空上で実現されるゲージ対称性について系統的に解析、分類した上で、真空全体（ランドスケープ）上の各ゲージ対称性を持つ有効理論の統計分布を調べる。また最後に、本博士論文独自の結果として、現象論的に興味深いと考えられるSO(10)対称性が実現される真空とSU(5)対称性が実現される真空の数を、実際具体的に計算し、その比率を計算する。

（続紙　２　）

（論文審査の結果の要旨）

本博士論文はＦ理論を用い、そのフラックス・コンパクト化およびランドスケープ問題への応用を考察したもので、内容の主要部分はA.P.Braun (King's College, London)、渡利泰山(Kavli IPMU, 東京大学)両氏との共同研究に基づくが、一部申請者独自の解析による結果も含むものである。

特徴としては、コンパクト化する空間Yを、数学的な構造がより単純で詳しく知られているK3×K3の場合に限る事で厳密に計算可能な模型とし、これまでに行われていなかった、具体的な計算に基づく考察を行っている事が挙げられる。コンパクト化空間YをK3×K3に制限すると、得られる4次元有効作用に随伴表現以外の物質場は現れない。従って、ここで扱っている模型は現象論的に満足のいくものとは言えないが、その代わりに種々の具体的な計算が実行可能で、不定性のない（少ない）議論をすることができる。今の場合、K3空間としてピカール数が最大のattractive K3曲面を選び、更に4形式フラックスを導入する事で、複素構造のモジュライを完全に固定し、関連する全てのモジュライ場に質量を持たせることができる。またこれまでタッドポール相殺条件(1/2)G・G≦24において等号の成り立つ場合にのみ知られていた複素構造の分類を、より一般の場合に拡張することに成功し、その完全な分類を与えていることも特徴（成果）として挙げることができる。

更に4次元有効理論で実現されるゲージ対称性を決定するには、K3空間のファイブレーション構造を決定し、可能な特異ファイバーを分類しなければならない。本論文では、数学で Kneser-Nishiyama法として知られていた方法を用いて、ある種の不定性を除いて、これを決定することに成功している。この論文では、この不定性を完全になくすまでには至っていないが、直感的には、これが真空の統計に関する結果に対して大きな影響は与えないと考えて良いように思われる。

最後に、特に現象論的には、低エネルギー4次元有効理論で実現されるゲージ対称性がSU(5)の場合とSO(10)の場合が興味深いと考え、それらが実現される真空の数を具体的に数え上げる事で、どちらがより実現されやすいかの評価をしており、この部分が今回申請者が独自に付け加えた内容となる。未だ現実的には満足がいくものとは言えない今回の模型において、この二つのゲージ対称性を特に取り上げて比較する事にどれだけの意味があるかは疑問は残るが、具体的に計算可能であるという模型の特性を生かして、より具体的な比較を行おうという発想は評価に値するものであり、申請者が実際にこれを具体化する能力を有する事を証明するものでもある。

最後に共著論文における申請者の果たした役割に関してであるが、研究の方向性など物理的な発想、及び考察は、ほぼ全て共同研究者の寄与によるものであるが、K3空間の位相的構造の解析方法を与え、それを具体的に計算するなど、数学的部分、特に代数幾何学的手法を用いた解析においては申請者の貢献が大きいと渡利氏から聞いており、博士の学位を与えるのに充分の貢献を果たしていると考える。

よって、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、平成２６年6月１１日、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。

要旨公表可能日：　　　　　　年　　　　月　　　　日以降