

# 論文審査の結果の要旨

氏名 渡利 泰山

周知のように、 $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$  ゲージ群に基づく素粒子の標準模型は、数々の精密な実験結果を説明する理論として、疑う余地のない成功を納めてきた。さらにこの模型に超対称性を組み込んで拡張した理論においては、各ゲージ群の結合定数がおよそ  $10^{16} \text{ GeV}$  という超高エネルギースケールにおいて非常によく一致することが知られており、何らかの大統一理論 (GUT=Grand Unified Theory) の存在を強く示唆している。

結合定数の自然な統一を実現する最も簡単な方法は、標準模型のゲージ群を  $SU(5)$  や  $SO(10)$  といった単純群に埋め込むことであり古くから盛んに研究されてきたが、このシナリオには幾つかの未解決の問題が存在する。一つの重要な問題は、標準模型に現れる  $SU(2)$  二重項に属するヒッグズ粒子の質量がなぜ GUT スケールに比して  $\sim 10^{14}$  倍も小さいかという問題であり、また今ひとつの実験とより密着した問題は、大統一理論で起こり得る陽子崩壊の確率を観測と矛盾しない程度に小さく抑えるメカニズムの解明である。とくに前者の問題は、単純群をゲージ群とする限りその解決は非常に難しい。

これらの問題を解決する自然で有力な考え方は、何らかの対称性のためにヒッグズ二重項に対する質量項及び陽子崩壊を引き起こす次元 5 を持った相互作用項が抑制されるというものである。そして近年このアイデアを実現する、単純群  $G$  に新たなゲージ群  $H$  を直積  $G \times H$  の形で加えた超対称モデルが幾つか考案された。これらのモデルでは、新たなゲージ対称性及び超対称性に関する R 対称性を用いて、ヒッグズ質量の問題と陽子崩壊の問題を同時に解決することができる。

本学位論文は、 $G \times H$  として  $SU(5) \times U(3)$  及び  $SU(5) \times U(2)$  を用いるモデルにおいて予言される陽子崩壊の寿命の精密な解析を行いモデルの実験的検証に不可欠な情報を導くとともに、最近の超弦理論の発展を踏まえてモデルの持つ高い対称性を自然に導く高次元理論を提案している。論文は 4 章からなる。第 1 章で動機付けが述べられた後、第 2 章では、問題の所在及び考察するモデルの基本的構造が述べられている。本論文で得られた新しい結果は第 3 章及び第 4 章で詳細に記述されている。

第3章では陽子崩壊の寿命の精密な考察が行われている。最も注目すべきは、2ループまでの繰り込み群の計算を用いて、すべての結合定数が理論に現れる最も重い粒子の質量スケールまで有限にとどまる条件を解析し、それによって理論に存在する連続パラメーターがとり得る範囲を確定し、未知のパラメーターが存在するにも拘わらず陽子の寿命の上限値を得ることに成功した点である。しかも得られた値は次世代実験で観測し得る大きさであり、非常に興味深い。またこの繰り込み群の解析を通じて、許容されるパラメーターの領域において、モデルに内在する  $N = 2$  の超対称性が良く成り立っているという結果を得ており、これが第4章における高次元モデルの提唱に強い動機を与えている。

第4章では、モデルの要である幾つかの対称性、とりわけ上で言及した  $N = 2$  の超対称性を自然に実現するアイデアとして、超弦理論に触発された高次元模型を提唱している。以下では  $SU(5) \times U(3)$  モデルを例にとる。超弦理論の最近の発展の成果として、 $p + 1$  次元の  $U(N)$  超対称ヤン・ミルズゲージ理論が空間  $p$  次元、時間1次元の拵がりをもつ  $N$  枚の重なった  $D_p$  ブレーン上の開弦の自由度で自然に記述されることが発見されたが、本論文ではこれを利用して、 $SU(5)$  ゲージ理論を8次元の  $D7$  ブレーン上で、また  $U(3)$  ゲージ理論をこれと重なった4次元の拵がりを持つ  $D3$  ブレーン上で実現するアイデアを提唱している。そして観測される4次元以外の6次元部分を適当なオービフォルドと呼ばれるコンパクトな空間にとり、ブレーンの内部空間における位置を工夫することによって、 $U(3)$  ゲージ理論の部分にのみ  $N = 2$  の高い超対称性が残るようにすることができるが示されている。さらにこの理論には量子異常がなく、クォークとレプトンを除いて望ましいスペクトルを出すことができることが示されている。この提案は、クォーク・レプトンの自由度を出すことがまだできていない点で現象論的には未完成ではあるが、高次元理論における幾何学の立場から、必要とされる対称性を理解しようとする野心的な試みであると言える。

以上述べたように、本論文は、直積群を用いた統一理論のモデルを検証する上で実験的に最も重要な陽子崩壊の寿命を精密に検討し特にその上限を導いたこと、及び超弦理論の最近の発展を取り入れてそれらのモデルの対称性を自然に導く興味深い高次元理論を提唱した点において高く評価される。よって審査員一同博士(理学)の学位を与えるに十

分なものと認める。

尚、本論文の一部は共同研究に基づくが、その部分についても論文提出者が十分な寄与をしたことを確認した。