



多次元Einstein-Yang-Mills理論に基づくKaluza-Klein型プレオン模型

西村, 治彦

(Degree)

博士 (学術)

(Date of Degree)

1985-03-31

(Date of Publication)

2008-10-22

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲0514

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1000514>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・(本籍)	にしむらはるひこ 西村治彦	(大阪府)
学位の種類	学術博士	
学位記番号	学博い第47号	
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当	
学位授与の日付	昭和60年3月31日	
学位論文題目	多次元Einstein - Yang - Mills 理論に 基づく Kaluza - Klein 型プレオン模型	
審査委員	主査 教授 小早川 恵 三	
	教授 位 田 正 邦	教授 永 井 旺二郎
	教授 宮 垣 盛 男	

論 文 内 容 の 要 旨

現在、実験的に確認されている物質の究極はクォークとレプトンであり、その振る舞いは、強い相互作用に対する量子色力学と電磁および弱い相互作用を統一するGlashow - Weinberg - Salam理論によって記述されている。これらの理論に基づく標準模型は、先ごろのCERN（欧州原子核機関）のP-P衝突型加速器実験による W^\pm , Z^0 ボソンの発見をはじめ、現在までのところすべての実験データをほぼ説明できるので、現象論的には満足のゆく模型である。しかしながら、素粒子の統一的な理解という観点からは次のような点で不満足である。

- (I) 現象論的に決定しなければならないパラメータが多すぎる。
- (II) クォーク・レプトンの世代数について答えられない。
- (III) クォーク・レプトンの電荷の量子化とその関係について説明できない。
- (IV) 電磁、弱、強の相互作用の統一性が十分でない。
- (V) Higgsメカニズムの起源が明らかでない。

これらの問題を解消し標準模型を有効理論 (effective theory) として導出できるより基本的な理論を造ろうと、現在までに様々な試みがなされてきた。そこには二つの流れがあるように思われる。一つは既知の対称性の拡大であり、もう一つはクォーク・レプトンの複合模型 (プレオン模型) である。前者の代表的なものとして、標準模型におけるゲージ対称性 $SU_c(3) \otimes SU_L(2) \otimes U_Y(1)$ をさらに大きな対称性 ($SU(5)$ や $SO(10)$) によって統一した大統一理論がある。これは上述の(III), (IV)を解決するものである。そしてその流れは、さらに超対称性の導入へとつながって

きている。一方、後者の複合模型においては、クォーク・レプトンがさらに基本的な構成子であるプレオンの複合状態だと考えることにより、標準模型でのパラメータをプレオンダイナミクスから計算しようと試みられてきた。

このような状況の中で、上の二つの流れを一つにすることによって標準模型の問題点を解消する可能性が考えられた。大統一理論の成果を取り入れたプレオン模型の試みである。第2章で述べた単純群に基づく統一プレオン模型は、そのような試みの一つとして我々が提出したものである。ところで、大統一理論の成果を取り入れようとする限り大統一理論が持つゲージ力の統一エネルギー・スケール $\sim 10^{15}$ GeVを理論内に持ち込まざるを得ない。そしてこのスケールは、Newton 定数が与える重力相互作用のスケール即ちPlanck 質量 $\sim 10^{19}$ GeVに迫るものであり、この段階では今まで素粒子物理においてほとんど無縁の存在と思えた重力の考慮も必要になってくる。すなわち、大統一理論とプレオン模型の結合を目指すならば、その基礎理論としての重力を含むプレオン模型の模索へと進むことになる。第3章以下では、この重力を含むプレオン模型の試みとして、本論文の主題である Kaluza – Klein 型プレオン模型を提案し、現実的模型の考察を行なった。以下、論文の構成に従って章ごとにその内容を紹介する。

第2章では、単純ゲージ群に基づく統一プレオン模型について述べる。これは、大統一理論とプレオン模型を融合させることで両者の長所を取り入れ欠点を除くことを意図し、大統一理論の成果を取り入れたプレオン模型の試みの一つとして我々が提出したものである。パラメータは統一ゲージ場の結合定数のみで、物質は質量ゼロ・プレオンのみというスケール不変な統一ゲージ理論として構成された。論文ではこの試みの考察を通して、第3章以下で述べたKaluza – Klein 型プレオン模型の有効理論である大統一理論の成果を取り入れたプレオン模型の性質を明らかにした。

第3章では、多次元の一般相対性理論が4次元の重力場とゲージ場を与えるというKaluza – Klein 理論を紹介するとともに、重力を含むプレオン模型の試みとしてKaluza – Klein 型プレオン模型の可能性を検討した。その中で、この模型が現実的であるためには、なによりもまず多次元時空から4次元時空への自発的コンパクト化とその後の質量ゼロ・カイラルフェルミオンの存在が保障されなければならない。そのためにはKaluza – Klein 理論に多次元Yang – Mills場を導入した多次元Einstein – Yang – Mills 理論を採用するのが適当であると判断した。

第4章では、第3章で位置づけられた多次元Einstein – Yang – Mills 理論に基づくKaluza – Klein 型プレオン模型を構成する際、模型が満たさなければならない条件を明らかにした。一つはフェルミオンのゼロモードに関するもので、そこでのAtiyah – Singer のIndex 定理の有用性を示した。もう一つは多次元アノマリーの存在に関するもので、理論が矛盾を持たないために必要なアノマリー相殺条件について述べた。

続く第5章では、第3、4章の議論を通して設定された現実的模型構成法に基づいて大統一理論につながる可能性がある簡潔な具体例を考察した。そこで我々は、Atiyah – Singer のIndex 定理を使うことにより、任意次元の複素射影空間の CP^N に対してフェルミオンのゼロモード公式を導くことができ、その結果モノポール配位を持つ M^4 (4次元Minkowski 空間) $\times CP^N$ (任意次元複素射影

空間)の模型を具体的に造ることができた。そして、さらに具体例として CP^4 の場合について述べた。

最後に第6章では、結論と今後の展望について述べた。大統一理論の成果を取り入れたプレオン模型の重力を含む基礎理論として、多次元Einstein – Yang – Mills 理論に基づくKaluza – Klein 型プレオン模型はその可能性を持っている。実際我々は、現実的模型構成のための条件を吟味するとともに、それに基づく具体的構成法を示すことができた。しかし、現状ではまだ模型としての自由度が大きく、今後さらに模型を特定していくためには模型に対してもっと厳しい選択則が必要である。そして我々は、真空解の安定性の問題、質量ゼロ・スカラー粒子の問題、宇宙定数の問題、それから超対称性の問題などの検討を通して、現実的模型に対する新たな選択則が見い出されるものと期待している。

論文審査の結果の要旨

本論文はクォーク・レプトンの統一複合模型を土台として、究極的理論を目指してKaluza – Klein 型複合模型の可能性を検討し、さらに一つの具体例を提示したものである。

電磁・弱相互作用に対するWeinberg – Salamの統一理論は強い相互作用を支配する量子色力学と共に標準模型と呼ばれている。この模型は1983年の W 、 Z^0 ゲージボソンの発見等に見られるように、幾多の成功をおさめたが理論的には必ずしも満足のゆくものではない。この欠点を除く試みは強い相互作用も統一する大統一理論があるが、他の試みとしてクォーク、レプトンをより基本的な階層のプレオンの複合粒子と考えるアプローチがある。

ここでは先づ大統一理論とプレオン模型を融合した統一プレオン模型によって理論の不定性を無くすことを試みた。基本粒子間のすべてのゲージ相互作用を単純ゲージ群で規定すると、その群は2つに絞られた。ニュートリノの質量を0とした場合それぞれ世代数が決ることが示された。

しかしこの理論には 10^{15} eV程度のエネルギースケールが導入されることになり、そこでは重力相互作用が無視できなくなる。重力をも含めた統一理論を考えねばならない。それは宇宙の開びやく(ビッグ・バン)後わずか 10^{-43} 秒までの間、すべての物質が 10^{-35} m程度におしこめられた世界を対象にすることでもある。ここでは時空の4次元でなく、内部空間を含んだ $(4+n)$ 次元になっている。この次元を取り扱うのにKaluza – Klein理論が良く知られているが、プレオンになりうる質量0のフェルミオンは、この理論から造り出せない。そこでこの論文では多次元ゲージ場を外から持ちこんだ枠組—多次元Einstein – Yang – Mills理論に基づくKaluza – Klein型を考え、以下の様にプレオン模型を組み立てた。

多次元ゲージ場群として $O(10+n)$ を、プレオンはそのスピノル表現とした。 $(4+n)$ 次元のうち n 次元の内部空間がコンパクト化された後、円滑に大統一理論につながるためには、ハイパーフレーバー群を $N(=n/2)$ 次元複素射影空間での等長変換群に、一方ハイパーカラー群を多次元ゲージ場群の部分群に対応させると良いことが示された。これからプレオンの+と-のカイラリティをもつ数の差が整数になること、またそれは $SU(N+1)$ の対称表現の数に等しい。このように望まし

い条件をみたく模型が得られた。また $(4 + n)$ 次元から 4 次元に移った際、宇宙定数が 0 になると仮定して、ハイパーフレーバーとハイパーカラーの結合定数間の関係を知った。

次に $N = 4$ は大統一理論 $SU(5)$ につながるものであるが、この場合について、プレオンからクォーク、レプトンを構成する一つの具体例が与えられた。

ここでの理論は外からゲージ場を持ちこんだために、グローバルな対称性が失われ、世代数が決らない。さらなる選択則が必要だろう。その他より現実的模型をつくる上で可能な例の追求、真空解の安定性の問題等、今後の課題として残されている。

以上のように本論文は、多次元ゲージ場を加えた Kaluza - Klein 型の新しいプレオン模型を提示した。今後の素粒子理論に一つの方向を切り開いたものとして、寄与する所が大きい。

よって論文提出者西村治彦は、学術博士の学位を得る資格があるものと認める。