

Title	Analysis of a Discrete and a Continuous Broken Symmetry in Particle Physics
Author(s)	田中, 実
Citation	大阪大学, 1991, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/37222
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

【4】

氏名・(本籍)	たなかみのる 田中実
学位の種類	理学博士
学位記番号	第 9630 号
学位授与の日付	平成 3 年 3 月 26 日
学位授与の要件	理学研究科 物理学専攻 学位規則第 5 条第 1 項該当
学位論文題目	Analysis of a Discrete and a Continuous Broken Symmetry in Particle Physics (素粒子物理における離散および連続対称性 の破れの解析)
論文審査委員	(主査) 教授 高杉 英一
	(副査) 教授 吉川 圭二 教授 長島 順清 教授 江尻 宏泰
	助教授 静谷 謙一

論文内容の要旨

この論文では、素粒子物理における 2 種類の破れた対称性について議論する。1 つは CP の破れで、もう 1 つは電荷非保存である。 CP の破れは、観測されている破れた離散対称性であり、電荷非保存は観測されていない連続対称性の破れである。

CP の破れについては、自発的に CP が破れる左右対称ゲージ模型を中心に議論する。その際、軽い W_R ボソンの可能性についても探っていく。自発的に CP を破り軽い W_R ボソンの存在を許す 2 つの模型を構成する。これらの模型では 400 GeV 程度の軽い W_R ボソンの存在が実験データと矛盾しないことが示される。我々の模型では、 CP の破れは主に右巻き相互作用によって生じる。 W_R ボソンの質量が適当な領域にあれば、2 つの模型のうちの 1 つは、数 10% 程度のかかなり大きな CP 非対称性を、 B_s 中間子のセミレプトニック崩壊とノンレプトニック崩壊において予言する。標準模型ではこれらの CP 非対称性は非常に小さい。またこの模型は、同じ W_R ボソンの質量領域で、標準模型に比べて小さな $B_s - \bar{B}_s$ 混合を予言する。これらの模型は $10^{-27} \sim 10^{-26} e \cdot \text{cm}$ ぐらいの中性子の電気双極子能率を予言する。

電荷非保存については、3 つの可能性がある。第 1 のものは、電荷保存が電子の電荷の単位で破れる、すなわち、 $|\Delta Q| = 1$ の場合である。このような電荷非保存理論は、縦波の光子の放出を伴った電子の崩壊、たとえば $e \rightarrow \nu + \gamma_L + \gamma_L + \dots$ のような崩壊によって、電子が極端に不安定になるという困難、あるいは非常に軽い荷電 Higgs 粒子 ($|\Delta Q| = 1$) が現れるという困難が起こる。現在まで、これらの困難を克服した模型は作られていない。第 2 の可能性は、小さな電荷を持った Higgs セクターでのみ電荷非保存が起こるような場合である。標準的なシナリオでは、 $SU(2)_L \times U(1)_Y$ ゲージ対称性が $U(1)_{em}$ に破れ、それから小さな電荷を持った Higgs 場が真空期待値を得ることによって $U(1)_{em}$ が破れる。光子の

質量および縦波光子の相互作用がこの種の模型の兆候である。Higgs 粒子の電荷の大きさは 10^{-13} e 程度以下でなければならない。第 3 の可能性は、フェルミオンの左巻きと右巻きの成分がそれぞれ異なる電荷を持つような場合である。このような場合には、中性子とニュートリノが電荷を持つことがある。この電荷の大きさは、 10^{-23} e 程度以下である。この種の模型では、 $SU(2)_L \times U(1)_Y$ 対称性は一度に完全に壊れてしまう。

この論文では 3 番目の可能性について考える。この場合には、電荷が量子化されていると電荷非保存は起こらない。従って、ここでの電荷非保存についての議論は標準理論における電荷非量子化の可能性に基づくものである。最小のフェルミオン構成の標準模型においてさえも、アノマリーからの制限は電荷を量子化するのに十分でないことが示される。従って、電荷非量子化が起こり、それによって、電荷非保存が引き起こされることが考えられる。この場合、上で述べた中性子の電荷は光子の質量と関係付けられる。理論に現れる小さな電荷に対する制限は、光子の質量に対する観測的制限からではなく、中性子の電荷に対する実験から制限されることを示す。それゆえ、中性子の電荷を検出する可能性が残されている。右巻きのニュートリノを含む場合についても議論する。さらにゲージ群を拡張した模型として、左右対称ゲージ模型と余分な $U(1)$ ゲージ群を持つ模型についても考える。

論文審査の結果の要旨

素粒子物理において対称性は大変重要な役割を演じている。これには離散的なものと同連続的なもの（ゲージ対称性）とがある。離散的対称性の中でも重要なものは、パリティ（ P ）変換と荷電共役変換（ C ）の積に関する CP 対称性で、この破れの起源はいまだによく理解されておらず、素粒子物理学の基本的問題として、実験的また理論的な観点から多くの仕事が成されている。また、連続的な対称性をもつ大変重要な例は電磁相互作用である。この対称性が自発的に破れると、光子は質量をもつことになる。光子の質量の上限は 3×10^{-36} GeV で、この対称性は破れていたとしても大変小さくなければならない。このゲージ対称性が破れているかどうかは、さらに、基本的な問題である。

田中君はこれらの 2 つの問題に関し新しい模型を提唱し、それらと実験データとの比較、模型の予言、予言の実験的検証の可能性等について調べた。

CP の破れに関しては、左巻だけでなく右巻の弱い相互作用もあるゲージ理論で自発的に CP が破れる模型を構築した。特に、比較的軽い右巻相互作用を媒介するゲージボソン (W_R) が存在するとすれば、どのようなことが予測されるかを調べ、右巻相互作用に現れるクォーク混合行列が 2 つの型に限定されることを見いだした。

これらの 2 つの場合を詳しく解析したところ、500 GeV ぐらいの軽い W_R が許されることがわかった。この程度の質量だと、フェルミ国立研究所の陽子・反陽子衝突器（テバトロン）で発見できる可能性がある。また、 CP の破れは、標準模型と異なって、おもに右巻相互作用で起こっていることが分かった。この結果として、この模型は 10^{-26} e · cm もの大きな中性子の電氣的 2 重極子モーメントを、また、ある

模型の場合には、大変大きな CP の破れによる非対称性が B_s 中間子の崩壊で現れることが分かった。これらは、標準模型では考えられない効果で、近い将来実験可能であり、大変興味深い結果である。また、軽い W_R が発見されれば、 CP の破れの起源は右巻相互作用にあることになるだろう。

電荷保存則はゲージ対称性により保証されている。この対称性を破る模型として、田中君はニュートリノが小さな電荷をもち、クォークや電子は量子化された電荷から僅かにずれた電荷をもつ模型を構築した。この種の模型としては最初のものである。一般に、光子の質量に関する上限を考慮するとこの“小さな電荷”は大変小さく、実験不可能と予想されるが、この模型では、光子の質量を小さく保ったままニュートリノや中性子の電荷はかなり自由な値をとらせれることが分かった。現在の中性子の電荷の上限は $10^{-21}e$ で、さらに精密な実験をすれば、中性子の電荷が発見されるかもしれない。この模型の構築の一般的かつ基本的な意義は、理論的に矛盾のない模型が構築されたことから、電荷保存則が破れる可能性があることを示唆した点と、実験可能な予言を通じて理論の検証の可能性を示した点である。この意味で大変興味のある模型である。

以上の内容を検討した結果、この論文は博士論文として十分な価値があるものと認める。