

# 論文審査の結果の要旨

氏名 野村泰紀

本論文は7章からなり、第1章は序文、第2章はこの研究の基礎になっている Anomalous U(1) SUSY Breaking 模型の review、第3章は従来の理論を改良し vector-like な新粒子を導入する模型の提案とその模型が危険な Flavor Changing Neutral Current に関して大きな補正を生じず安全である事の証明、第4章は有限な補正の計算、第5章は実験から導かれる理論パラメーターに対する制限、第6章はこの模型の様々な観点からの議論、第7章は結論が述べられている。

素粒子の標準理論を越える理論として魅力のある有力な理論が超対称理論である。しかし、その超対称理論の危険な弱点の一つが Flavor Changing Neutral Current と呼ばれるものである。これは、輻射補正によって Flavor の保存側が壊れる現象で、K 中間子の振動現象の観察などからこの補正は大変に小さな補正であるべきなのだが、理論に適切な機構がないと、これは大きな補正になって観測と矛盾する。そこで、超対称理論では、この Flavor Changing Neutral Current が自然に小さくなる機構が必要になる。その一つの機構が、この論文で取り上げられている”decoupling”という解である。この解では、第1、第2世代の sfermion が第3世代のそれに比べて重くすることで、Flavor Changing Neutral Current の補正を小さくできる。また、この模型で、fermion は第3世代のみが重く、sfermion は第1、第2世代のみが重いという質量の構造を統一的に理解できる可能性がある。実際に、弦理論に現われる anomalous な U(1) ゲージ理論を用いた模型では、U(1) 対称性を flavor 対称性と同一視することにより、それが実現される。これらが”decoupling”という解の望ましい点である一方、この”decoupling”解には、繰り込みに対する不安定性の問題が存在した。即ちこのシナリオでは、2-loop の輻射補正から、第3世代の squark の質量自乗項に大きな負の寄与が生じ、それによってカラー対称性が壊れるという困難が生じ、またはそれを避けるために第3世代の squark に大きな裸の正の質量自乗項を導入すると、今度は、ヒグス粒子の質量自乗項が大きな 1-loop 補正を受け、ヒグス場の真空期待値が実験値よりはるかに大きくなるという矛盾を生じる。これは、電弱相互作用の破れのスケールが量子補正のもとで不安定であることを意味する。

申請者らは、このシナリオに、ゲージ群の実表現(5、及び 5\* 次元)に属する数 TeV の質量を持つ新粒子(エキストラ粒子)を導入すると、真空の不安定性を回避できることを発見した。エキストラ粒子は、

$$\sum_r T_r^A m_r^2 = 0$$

$$\sum_r Y_r^A m_r^2 = 0$$

$$\sum_r Y_r^A C_r^A m_r^2 = 0$$

という関係式を満たすように導入する。ここで、 $A$  はゲージ群 ( $A = 1, 2, 3$ ) を表し、 $T_r$ 、 $Y_r$ 、 $C_r$  はディンキン指数、ハイパー電荷、カシミア係数を表す。また、和は第1、2世代の squark, slepton とエキストラ粒子についてとる。これらの条件

のもとでは、第3世代の sfermion の質量自乗項に対する 2-loop 繰り込み群の寄与は、第1,2世代の sfermion からの負の寄与とエクストラ粒子からの正の寄与が相殺する。また、相殺は非可換ゲージ相互作用を通じて生じる部分については、摂動論の全てのオーダーで成り立つことが証明された。そのため、第3世代の squark の質量自乗項への主な寄与は有限繰り込み効果の部分からくる。

申請者らはさらに、anomalous U(1) ゲージ理論を用いて、この機構が有効に働く具体的な素粒子の統一モデルを提案し、現象論的な解析を与えた。さらに有限な繰り込み効果の 2-loop までの完全な式を与え、解析を行い、実際に、カラー対称性が壊れることなく、正しい電弱ゲージ対称性の自発的破れが起こることを数値的に示した。具体的には、実験的に最も強い制限を与える  $K^0 - \bar{K}^0$  振動を考え、以下の4通りの典型的な質量パターン

Model	I	II	III	IV
$Q_{10_1}^X$	1	2	2	2
$Q_{10_2}^X$	1	1	1	1
$Q_{10_3}^X$	0	0	0	0
$Q_{5_1^*}^X$	1	1	1	2
$Q_{5_2^*}^X$	1	1	1	1
$Q_{5_3^*}^X$	0	1	0	1
$Q_{5_{ex}}^X$	-4	-6	-6	-6
$Q_{5_{ex}^*}^X$	-4	-6	-5	-7

について解析を行った。ここに  $Q^X$  は anomalous U(1) 電荷である。その結果、Model (IV) を除く全ての場合について、 $K_L$  と  $K_S$  の質量差  $\Delta m_K$  から生じる制限と矛盾せずに、正しく電弱ゲージ対称性の破れのスケールが導かれることを示した。また、モデルに複素位相が存在する場合に、CP の破れを表すパラメータ  $\epsilon_K$  についての制限を Model (I) はオーダー 1 の複素位相に対しても満たし、Model (II) 及び (III) は、 $10^{-2}$  以下であれば満たす事も解った。

以上、この論文で、エクストラ粒子を含むモデルでは真空の不安定性が回避され、"decoupling" が従来心配された困難なく Flavor Changing Neutral Current の問題を解くことができることが示された。この結論は大変有意義なものであり、また、ここで導いた 2-loop の有限繰り込みの表式は "decoupling" 解を採用するモデル一般に適用できる有益なものである。

本論文第3章は、久野純治氏、黒澤毅一氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

従って、博士(理学)の学位を授与できると認める。