

(論文内容の要旨)

本論文は、超対称性理論における、超対称性の破れを引き起こすモデルの性質、及び超対称性モデルの真空構造を、 R 対称性を課したモデル、及び R 対称性がわずかに破れているモデルの枠内で一般的に議論したものである。

超対称性の破れに関する一般論としては、 R 対称性が重要な役割を果たすことが知られており、例えば Nelson-Seiberg によって「 R 対称性の自発的破れが超対称性の破れの十分条件である」といったことが議論されている。実際、超対称性の破れを引き起こす、過去に議論されているモデルは R 対称性を持つことが知られている。しかしながら、その R 対称性の自発的破れを引き起こすためには、さらにモデルの条件を特定する必要があるが、本論文では、その破れを引き起こす R 対称なモデルの一般的特徴を議論している。

一方、 R 対称性の自発的破れは、観測されていない軽い R アクシオンを予言するので、完全に R 対称性をもつ理論を考えるのではなく、わずかではあるが陽に R 対称性が破れた理論を考えることが重要である。 R 対称性の破れの効果が無視できる領域では、上述のことから超対称性を破る（準安定な）真空が存在することが期待されるからである。このような目的のため、上述の R 対称理論にわずかにその破れの項を入れたときの真空の（準）安定性やその他の効果について解析をおこなっている。

また、そのようなわずかに R 対称性の破れた理論が場の理論のダイナミクスで実現されるシナリオを提案している。超コンフォーマル対称性には、 R 対称性が含まれるので、コンフォーマル対称がダイナミカルに実現されるようなモデルでは、近似的な R 対称性がダイナミカルに現れることが期待される。その具体的なモデルの一つとして、 $SU(N)$ ゲージ理論を考え、フレーバーの数をゲージ結合及び湯川結合が赤外固定点を持つようなモデルが議論されている。その結果、赤外領域で近似的なコンフォーマル理論が再現され、それは近似的な R 対称性が存在することを意味する。その赤外領域では、上で述べた準安定な超対称性の破れを引き起こす真空が再現されている。

上記の議論は重力相互作用を除いた大域的超対称性モデルにおける議論であり、本論文では、その重力効果も取り入れたモデルにおいても超対称性の破れ、及び真空の（準）安定性について議論がなされている。観測結果として、我々の住む宇宙の真空エネルギーは、ほぼゼロであるので、そのゼロ真空エネルギーを導くためには重力効果を取り入れる必要がある。本論文の解析では、その真空エネルギーの微調整によって、超対称性が破れた真空の準安定性が失われるかどうか議論している。

後半部分では、コンフォーマル・ダイナミクスにおける超対称性の破れの項への影響を議論している。上で述べたように、コンフォーマル・ダイナミクスは赤外領域で近似的な R 対称性の回復を導くが、これは超対称性の破れの項を加えた場合も同様であり、その振る舞いが具体的な $SU(N)$ ゲージ理論において議論されている。さらには、Duality cascade といった、より複雑なモデルにおいても、その回復が認められ、摂動計算によって具体的にくりこみ群方程式を評価することで、超対称性の破れの項の振る舞いが解析されている。

Duality cascade を応用したモデルとして、赤外領域で超対称性標準モデルが再現されるモデルが研究されている。そこでは電弱対称性の破れに対応したゲージ対称性の破れを引き起こすモデルも提案されている。

(論文審査の結果の要旨)

超対称性模型は、標準模型を超える TeV スケールの素粒子物理を記述する理論の候補の 1 つとして、近年活発に研究が為されている。超対称性は、電弱スケールを安定化し、暗黒物質の候補を提供するといった、非常に重要な性質を有する。その一方で、超対称性は現実には観測されていないために、超対称性は破れている必要がある。その破れの効果が実験結果と矛盾しないためには、超対称性の破れを引き起こすダイナミクス、及び超対称性の破れに伴う項をコントロールするメカニズムが必要である。本論文の前半で議論されている超対称性の破れに関する研究は、まず超対称性を引き起こす模型において、R 対称性がいかに重要な位置を占めるかを一般的に議論している。また、R アクシオンを回避するために、R 対称性をわずかではあるが陽に破った模型において真空構造の（準）安定性などについて解析がなされている。そのような解析が、大域的超対称理論、局所的対称理論（超重力理論）の双方についてなされている。特に、後者の超重力理論においては、観測事実を再現するように真空のエネルギーをほぼゼロに調整しながら、R 対称性の破れの項を導入した場合の真空構造の（準）安定性が議論されている。また、そのようなわずかに R 対称性の破れた理論が場の理論のコンフォーマル・ダイナミクスで実現されるようなシナリオが提案され、具体的な模型でコンフォーマル・ダイナミクスにより、赤外領域で R 対称性を破る項が指数関数的に減少していくようなくくりこみ群の解析結果が示されている。

後半部分では、超対称性が高エネルギーでソフトに破れている理論において、超対称性の破れの項へのコンフォーマル・ダイナミクスの影響を考察している。上述の R 対称性を破る項と同様に、(R 対称性を破る) ゲージノの質量やスカラーの質量項などが、赤外領域で指数関数的に減少し、近似的な R 対称性をもった超対称性が回復する傾向にあることを簡単な模型で示している。

さらに、その解析を Duality cascade といった、より複雑な模型に拡張して、同様な性質が見られことが示されている。現実的模型を導くにあたって Duality cascade を利用したシナリオも提示している。また、電弱対称性の破れに対応した、ゲージ対称性の破れを引き起こす模型も提案しており、このようなシナリオを応用した模型の構築が今後興味深い。

以上のように、申請者はこれまでに解析がなされていなかった超重力理論における超対称性の破れに関する議論を R 対称性の観点から展開した。また、大域的超対称性模型では、R 対称性と超対称性の破れとの関連について、より深い洞察と解析を行った。さらには、コンフォーマル・ダイナミクスによる近似的な R 対称性の回復の可能性を指摘し、超対称性の破れの項についてもコンフォーマル・ダイナミクスの興味深い性質を明らかにした。これにより、本論文は博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認める。また、論文とそれに関係した事項について試問を行った結果、合格と認めた。