

学位審査報告書

（ふりがな） 氏名	なかい ゆういちろう 中井雄一郎
学位（専攻分野）	博士（理学）
学位記番号	理博第号
学位授与の日付	平成 年 月 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科 物理学第二 専攻
（学位論文題目） New Aspects of Gauge Mediation （ゲージ媒介模型の新たな様相）	
論文調査委員	（主査） 井澤健一 准教授 青山秀明 教授 九後太一 教授

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	中井雄一郎
論文題目	New Aspects of Gauge Mediation		
(論文内容の要旨)			
<p>超対称性は、現時点での実験で到達できるエネルギースケールでは破れていなければならない。しかし、フレーバーを変える中性カレントなどの観測から最小超対称標準模型 (MSSM) における超対称性の破れ方には厳しい制限が課される。これに対し、MSSM 自体において超対称性が自発的に破れる模型を構築することがまず考えられるが、現象論的に望ましくない軽すぎる超対称パートナーの存在などの困難が生じる。そこで MSSM セクターとは別の、超対称性が破れる隠れたセクターを導入し、その破れの効果が標準模型のゲージ相互作用で MSSM セクターに伝わる模型が考えられた。これを超対称性の破れのゲージ媒介模型と呼ぶ。ゲージ媒介模型の大きな利点の一つは、標準模型のゲージ相互作用がフレーバーに依らないため、フレーバーを変える中性カレントを新たに生じないことである。</p> <p>本論文では、まず、ゲージ媒介模型の一般的な枠組みがレビューされている。これは、ゲージ媒介模型の一般的な性質、予言を把握するのに役立つ。例えば、標準模型の粒子の超対称パートナーであるスカラー粒子の質量の間に、和則が存在することがわかる。また、超空間への解析接続を用いた、超対称性を破る質量パラメータの計算法についてのレビューもなされる。この方法は、通常のループ計算よりも簡単に結果を得ることができる点で優れている。</p> <p>次に、本論文の主題の一つとして、隠れたセクターの模型構築について論じられる。すでに知られているゲージ媒介模型は、大きく分けると以下に説明する 3 つのタイプ (Ⅰ) minimal 型、(Ⅱ) direct 型、(Ⅲ) semi-direct 型に分類することができる。これらは、超対称性の破れを伝える messenger 粒子の、超対称性を破るセクターとの結合の仕方によって分けられている。(Ⅰ) は、messenger 粒子が隠れたセクターのゲージダイナミクスの下で singlet の場合、(Ⅱ) は、messenger 粒子が超対称性の破れのダイナミクスに直接関与する場合、(Ⅲ) は、singlet ではないのであるが、messenger 粒子は超対称性の破れのダイナミクスに関わらない場合である。</p> <p>この中でも、(Ⅱ)、(Ⅲ) の模型はシンプルで魅力的であるが、しばしば、ゲージ場の超対称パートナーであるゲージノの質量がスカラー質量に比べて軽くなるという問題が起こることが知られている。(Ⅱ) の模型に関して、最近、一定の仮定の下で、この問題が超対称性を破る真空のグローバルな構造と関係づいていることが指摘された。本論文では、さらに一般的な状況の下でのゲージノ質量と真空の構造の関係について論じている。特に、ケーラーポテンシャルがノンカノニカルな場合に、真空のモジュライ空間にタキオン方向が存在しないときでも、大きなゲージノ質量が得られることが示された。これは、ケーラーポテンシャルがカノニカルな場合では許されない。他方、(Ⅲ) の模型での小さなゲージノ質量の問題は、gaugino screening と呼ばれ、以前から知られている。本論文では、gaugino screening についてレビューす</p>			

(続紙 2)

るとともに、messenger セクターを強結合にとることで、この問題が回避できることが示された。このモデルでは、ゲージノ質量は非摂動効果によって生成される。最後に、本論文のもう一つの主題として、ゲージ媒介模型の枠組みにおける電弱対称性の破れについての考察がなされる。MSSM には、小さな階層性問題、 μ 問題と呼ばれる問題が存在することが知られている。本論文では、上で述べた一般的なゲージ媒介模型のパラメータ空間において fine-tuning が緩和される領域が調べられた。ここで得られた望ましい領域は、 μ 問題の解決に役立つものと期待される。

(論文審査の結果の要旨)

本論文において、申請者の新たな寄与として主張されている部分は、超対称性の破れのゲージ媒介模型の枠組みにおいて、大きく分けて二つの課題を考察し、その解決を探ることに取り組んだ成果を示している。

一つは、ゲージ場の超対称パートナーであるゲージノの質量がスカラー質量に比べて軽くなるという問題である。既存の関連研究を注意深くレビューした上で申請者は、ケーラーポテンシャルがノンカノニカルな場合など、先行研究に比べてより一般的な状況の下でのゲージノ質量と真空の構造の関係を調べることにより、真空のモジュライ空間にタキオニック方向が存在しないときでも、大きなゲージノ質量が得られることを示している。これは、既知であったケーラーポテンシャルがカノニカルな場合では許されない帰結であるので、新たに得られた有意義な指摘であると認められる。さらに、別の解決策として、messenger セクターを強結合にとることで、ゲージノ質量が非摂動効果によって生成されるモデルを考案し、実際にこの問題が回避できることも示している。このモデルとその解析も新たな試みとなっている。

もう一つの課題は、ゲージ媒介模型の枠組みにおける電弱対称性の破れの自然さの問題である。具体的には、最小超対称標準模型における、小さな階層性問題、 μ 問題と呼ばれる謎に関して、その解決を探る上で重要な基礎となるであろう fine-tuning の定量的な評価を包括的に実行している。即ち、一般的なゲージ媒介模型のパラメータ空間において fine-tuning が緩和される領域を調べ、望ましいパラメータ領域を特定することができた。このことにより、 μ 問題の解決を探るための有用な情報を得たことになる。この知見から、標準模型における電弱対称性の破れに関する研究に関して発展的な可能性を期待することができる。

以上の結果は、それぞれ単独で新たな成果となっていることに加え、両者合わせて、超対称性の破れのゲージ媒介模型について、その現実的な実現可能性を具体的に見定める研究内容を構成しており、申請者のまとまった独自の寄与と捉える事ができる。よって、本論文は、博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成24年1月13日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った。その結果合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降