

別紙 4

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 **Model-specific predictions and testability in realistic supersymmetric grand unified models**

(現実的な超対称大統一模型における模型特有の予言とその検証可能性)

氏 名 重 神 芳 弘

論 文 内 容 の 要 旨

素粒子物理学における標準模型は、2012年にヒッグス粒子が発見されたことにより確立したと言える。一方で、標準模型の枠組みでは説明できない現象が実験により確認されており、標準模型を超える新物理が必要となっている。

そのような新物理の有望な候補として、超対称大統一理論がある。この理論では、超対称性粒子と呼ばれるパートナー粒子の存在が予言される。さらに、標準模型の3つの力の統一と物質場の統一が予言され、この2つの統一それぞれに実験からの支持があることが知られている。しかし、最小に拡張した模型には解決すべき問題がある。例として、超対称性粒子などの新たな粒子により生じるフレーバーや CP を破る過程の予言が一般には増大し、実験結果と矛盾する問題が挙げられる。また、物質場の統一により測定されているフェルミオン質量や CKM 行列の再現が困難になることも1つの問題として知られている。特に SO(10)対称性に基づく最小の大統一模型では、クォーク・レプトンの湯川結合が大統一スケールで1つに統一され、非現実的なフェルミオン質量スペクトラムが予言される。このため、SO(10)大統一理論では新たな物質場やヒッグス場の導入などによる模型の拡張が必要となる。

そこで本論文では、SO(10)大統一理論に新たな物質場を導入した模型に着目した。この模型の特徴は、既存の場と新たに導入した場とが混合し、いくつかの標準模型物質場がこれらの場の線形結合で書かれることである。この混合に関わる混合行列と高次元演算子の効果を考慮に入れることで、現実的なフェルミオン質量スペクトラムを再現できる模型となっている。さらに場の混合は、SO(10)大統一理論で予言

される新たなゲージボソンとの結合にも影響する。興味深い点は、混合が起こる場とこの新たなゲージボソンとの結合のみがフレーバーや CP を破る結合となることであり、従ってこの模型に特有の予言が期待される。私たちは、測定されているフェルミオンの質量などを用いてフレーバーや CP を破る結合を計算し、この模型におけるフレーバー物理に対する予言を調べた。これにより、特定の崩壊過程でこの模型に特有の予言が得られることや、各予言の間に相関があることを示した。さらに、新たなゲージボソンの質量が $O(10-100)$ TeV の重い場合においても、この模型の検証が将来実験で間接的に可能であることがわかった。

これに加えて本論文では、現実的なフェルミオン質量や CKM 行列を再現できる模型として、E6 対称性に基づく超対称大統一理論にも着目した。特に、SU(2)世代対称性とアノマラス U(1)対称性を課した E6 超対称大統一模型では、自然な仮定のもとで超対称大統一理論に生じるほぼ全ての問題を解決できる。この模型では、標準模型フェルミオンの超対称性粒子であるスフェルミオンの質量スペクトラムがほぼ縮退する構造となり、超対称性粒子により生じるフレーバーを破る過程を抑制することができる。しかし、超対称性理論で生じる D 項がスフェルミオン質量に対して世代ごとに異なる寄与となるため、D 項の大きさはフレーバー物理から制限される。私たちは最も厳しい制限を与えるフレーバー物理から D 項の大きさを見積もり、この模型では比較的大きな D 項が許されることがわかった。さらに、スフェルミオン質量間に模型特有の関係式を見つけ、将来実験でスフェルミオン質量が測定された時にこの模型が検証可能であることを示した。

この E6 超対称大統一模型では、ストップの質量を比較的軽くすることでヒッグス質量の微調整を小さくすることができる。しかし、その場合には電気双極子モーメントなどの CP を破る過程への寄与が一般には増大し、実験からストップ質量の下限が制限されることが知られている。そのため、私たちは模型から予言される電気双極子モーメントの値を数值的に計算し、現在の制限から 7 TeV より重いストップ質量が必要となることを示した。この場合はヒッグス質量の微調整が必要となる。その一方で、アップ型クォークの湯川結合が大統一スケールで実数の場合には、1 TeV 程度の軽いストップ質量で制限を満たすことがわかった。これにより、将来実験で軽いストップが見つかった場合、大統一スケールのアップ型湯川結合は実数になることが好まれることを示した。また E6 超対称大統一模型では、自発的な CP 対称性の破れを考えることでこのような湯川結合の構造を実現でき、1 TeV 程度の軽いストップ質量で現在の制限を満たすことも示した。