

ふりがな	やまだ よしひさ
氏名	山田 義久
学位	博士(理学)
学位記番号	新大院博(理)第232号
学位授与の日付	平成17年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
博士論文名	赤外固定点を持つ強結合ゲージ理論のダイナミクスによる質量スケールの生成

論文審査委員	主査	教授	谷本	盛光
	副査	教授	田村	詔生
	副査	教授	金子	恒雄
	副査	教授	五十嵐	尤二
	副査	助教授	宗	博人
	副査	助教授	中野	博章

博士論文の要旨

重力を除く三つの基本相互作用のゲージ結合定数が 10^{16} GeV 程度の高エネルギースケールで統一する可能性が指摘されて以来、超対称模型は素粒子の標準模型を超える理論的試みの最有力候補として精力的に研究されている。しかし、物質粒子(クォーク・レプトン)と超対称粒子の世代構造については、「超対称フレーバー問題」と呼ばれる問題が知られており、それを解決する理論的模型を構築することは重要な課題である。本論文では、「超対称フレーバー問題」に対するアプローチの一つとして、赤外固定点を持つ強結合ゲージ理論を活用する可能性を取り上げ、このアプローチの諸問題を議論している。くりこみ群の赤外安定な固定点の直上では、スケール不変性さらには超共形不変性が実現するので、超共形場によるアプローチとも呼ばれている。

しかし、そのような超共形不変性は中間エネルギー領域で破れる必要がある。現象論的な解析によると、破れのスケール(離脱スケール)としては 10^{13} — 10^{16} GeV 程度の大きさが期待されている。本論文では、この離脱スケールを動力学的に実現する可能性を考察し、新たにゲージ重項場を導入すれば、赤外固定点を持つ強結合理論自身の性質により、望みの大きさの離脱スケールが実現できることを指摘している。また、その際のスカラーポテンシャルの性質をくりこみ群による改善の観点から考察し、離脱スケールが自己無矛盾に定義されるべきことを指摘している。

審査結果の要旨

現在までに、100 GeV 程度以下の十分低いエネルギー領域における素粒子現象は、 $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ をゲージ群とする標準模型によって非常に精度良く記述できることが確立している。しかしながら、標準模型には重力相互作用が取り込まれていないことや、理論を定義するのに必要なパラメータが十数個以上もあることなどから、標準模型の背後にはより基本的な理論が存在し、標準模型をその基礎理論の低エネルギー有効理論とみなすのが自然である。特にクォーク・レプトンなどのフェルミオン湯川相互作用を制御する理論的な指導原理を欠いていることは、素粒子の世代階層性の謎とも呼ばれている。

本論文では、素粒子の世代階層性を理論的に説明する試みとして、赤外固定点を持つ超対称強結合ゲージ理論に基づくアプローチを取り上げ、このアプローチで解決されるべき問題を検討している。

一つは、「超対称フレーバー問題」と呼ばれる問題である。ゲージ相互作用が統一する可能性が指摘されて以来、超対称模型は標準模型を超える理論的試みとして精力的に研究されてきた。超対称性を実験的に捉えるためには、超対称粒子であるスフェルミオンなどの直接探索のほか、量子補正を通じた間接的な効果として、世代混合（フレーバー混合）に対する新しい寄与が重要である。一般に、超対称粒子の質量行列は世代混合の新しい起源を与えるが、多くの模型ではこの効果が大きく出すぎる事が知られている。これが、本論文の背景となる「超対称フレーバー問題」である。この問題に対してはさまざまな解決策が提案されているが、本論文では、赤外固定点を持つ模型に基づいたアプローチを取り上げ、その妥当性を検討している。本論文でレビューされているように、赤外固定点が存在すると、物質場が1程度の大きな異常次元を獲得することで、フェルミオン湯川相互作用の階層構造を生成しつつ、スフェルミオンの世代混合を抑制することができる。

もう一つは、赤外固定点を持つ超共形場のセクターを如何に標準模型のセクターから離脱させるかという問題である。超共形場のセクターが中間エネルギー領域より低エネルギーまで残ると、湯川相互作用の階層性が大きくなり過ぎたり、また超対称粒子の質量が抑制され過ぎたりしてしまうという問題である。この問題に対して、従来は、超共形場セクターに適切な質量項を仮定していた。この問題に対して、「超対称フレーバー問題」を解決するために導入した強結合理論そのものが利用できることを指摘したのが本論文の新しい点である。

本論文の前半では、まず超対称ゲージ理論における赤外安定な固定点の性質を概観し、さらに、超対称性のソフトな破れをあらわすパラメータが満たすくりこみ群方程式の一般的構造、特に、超対称相互作用に赤外固定点が存在する場合のソフトパラメータの赤外収束性をレビューしている。これはここ数年の理論的発展の成果であり、本論文ではその広範な内容が要領よく整理されている。本論文の後半における申請者の着眼点は、強結合理論のセクターが離脱する機構をその強結合理論自身が持つ動力学的性質に求めることができるというものであり、それ自身として興味深い指摘である。さらに、異常次元が大きい場合に、くりこみ群によってスカラーポテンシャルがどのように改善されえるかを議論しており、それを踏まえた上で、離脱スケールの物理的定義を与えている。この点は、くりこみ群の方法についての深い理解が伺える。また、本論文で取り上げられたような超共形場理論は、電弱対称性の自発的破れを担うヒッグス場に関係した問題でも応用できる可能性が指摘されており、その文脈でも発展する可能性がある。

以上によって、本論文は博士（理学）の博士論文として十分であると認定した。