

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 山田 篤幸

論 文 題 目 ゲージ・ヒッグス統合モデルにおけるヒッグス・ポテンシャルの有限性とその予想に対する反証

論文審査担当者

主 査 名古屋大学素粒子宇宙起源研究所 教授 博士（理学）久野純治
委 員 名古屋大学大学院理学研究科 教授 理学博士 野尻伸一
委 員 名古屋大学大学院理学研究科 准教授 博士（理学）戸部和弘
委 員 名古屋大学素粒子宇宙起源研究所 准教授 博士（理学）市來淨與
委 員 名古屋大学大学院理学研究科 准教授 博士（理学）堀井泰之

論文審査の結果の要旨

素粒子物理学における標準模型は、ゲージ原理により強い力、弱い力、電磁力の3つの力を記述し、ヒッグス機構により素粒子の質量を説明する模型である。くりこみ可能性によりこの模型は高い予言能力を持ち、およそ 100GeV 以下の物理現象をほぼ矛盾なく説明する。2012 年にヒッグス粒子が Large Hadron Collider (LHC) 実験で発見され、ヒッグス機構の検証が進んでいる。その一方で、ヒッグス機構にはヒッグス場と呼ばれるスカラー場が導入されるが、そのポテンシャル（ヒッグスポテンシャル）を導く基本原理がわかっていない。

ゲージ・ヒッグス統合模型は、ヒッグスポテンシャルをゲージ原理から説明する、標準模型を超える模型である。最小のゲージ・ヒッグス統合模型では 4 次元より高い 5 次元の時空を考え、ヒッグス場はゲージ場の余剰次元成分として導入される。ヒッグスポテンシャルはゲージ相互作用による量子補正によって生成され、ヒッグス場が非零の真空期待値を持つことでヒッグス機構が働くことが知られている。これを細谷機構と呼ぶ。先行研究でヒッグスポテンシャルが評価され、余剰次元空間が円周である場合、1 ループ補正は有限、また 2 ループ補正も可換ゲージ群である場合には有限で、くりこみが必要ないことが示された。そのため、高次補正も有限で、発散を除去するためのくりこみが必要ないという予想がなされ、ヒッグスポテンシャルはより高エネルギーの理論に依存しないという期待があった。

申請者は、まずヒッグスポテンシャルへの 2 ループ補正を非可換ゲージ群において評価した。この評価にあたり、非可換ゲージ群の効果を正しく取り込むため「重ね合わせコンパクト化」という手法を導入した。この方法では、余剰次元空間の円周への異なる巻き付き数を持つ場の重ね合わせとしてループ積分を計算し、余剰次元方向の離散化された運動量に関する和を連続的な運動量の積分としてヒッグスポテンシャルを評価できる。これにより非可換ゲージ群の場合に 2 ループ補正を考慮してもヒッグスポテンシャルが有限であることを初めて示した。

次に、5 次元時空のゲージ理論はくりこみ不可能であることから、より高次のループ補正でヒッグスポテンシャルに発散が出るかを調べた。具体的には、可換ゲージ群において、4 体フェルミ相互作用への 2 ループの量子補正が発散することを明らかにし、その効果がヒッグスポテンシャルに 4 ループで発散を与えることを示した。これにより、ヒッグスポテンシャルが高次補正でも有限であるという予想の反証を初めて与えた。

以上のとおり、申請者は、最小のゲージ・ヒッグス統合模型のヒッグスポテンシャルにおいて、非可換ゲージ群でも 2 ループ補正は有限であるが、より高次の補正では発散することを示した。これらの成果は、素粒子標準模型を超える理論の候補であるゲージ・ヒッグス統合模型の予言能力の限界を明らかにしたものであり、高く評価される。よって申請者は博士（理学）の学位を与えるに相応しいと認められる。