

氏名（本籍・生年月日）	堀越 聖篤（埼玉県・平成元年11月12日）
学位の種類	博士（理学）
学位記番号	乙 第 16 号
学位授与の日付	平成29年 9月 30日
学位授与の要件	信州大学学位規程 第5条第1項該当
学位論文題目	Higgs ポテンシャルへの重力の量子補正とその影響
論文審査委員	主査 准教授 奥山 和美 教授 川村 嘉春 教授 小竹 悟 教授 竹下 徹 准教授 尾田 欣也（大阪大学）

## 論文内容の要旨

本論文ではHiggs ポテンシャルに対しての重力の量子補正を Einstein 重力と  $R^2$  重力の二つの重力理論で考察していく。

現在素粒子分野で最も有力とされている理論が標準模型である。この標準模型が预言する粒子 Higgs 粒子の発見によってすべて実験で確認されており、それぞれの質量の大きさもニュートリノといった非常に軽いものを除けば高い精度でわかってきている。特にトップクォークと Higgs 粒子の質量がわかってきたことにより、標準模型内で唯一のポテンシャルである Higgs ポテンシャルの高エネルギースケールでの振る舞いが良くわかってきた。

この Higgs ポテンシャルは 現在我々が観測しているような  $10^2$  GeV オーダーまでの低エネルギースケールではこのポテンシャルは安定な形を保っており、Higgs 場はこのポテンシャルの安定点に落ち着いている。このポテンシャルに対しての量子補正を考えることにより高いエネルギースケールでのポテンシャルの振る舞いも予測することができる。標準模型内での量子補正を考えていくと、トップクォークと Higgs 粒子の質量の値によっては Planck 質量を超えた非常に高いエネルギースケールまで安定性が保たれている可能性が示唆されている。

この Planck 質量のエネルギースケールでは重力の量子補正が無視できなくなっていると考えられる。そのため Higgs ポテンシャルの振る舞いを Planck 質量のエネルギースケールまで预言するにはこの重力の量子補正を考える必要がある。しかしながら重力の量子的な振る舞いは現在良くわかっておらず、それを記述する理論もわかっていない。

本論文ではまず古典的な重力理論である Einstein 重力を元に重力場の揺らぎを量子効果として扱い Higgs ポテンシャルに対する影響を考えていく。

Einstein 重力による Higgs ポテンシャルに対する 1-loop レベルの量子補正を考えていくと場の 6 乗や 8 乗といった Higgs 場の高次の項が生成されてくる。これらの項は標準模型内の量子補正では生成されない項であり、条件式の不足からこれらの項の係数の値を決定することができない。この問題を解決するためにカットオフスケールを導入し係数の決定と高エネルギー領域でのポテンシャルの振るまいを解析した。解析を行っていくと Higgs 場の 4 乗の項の係数は

Planck 質量近傍のスケールで重力の影響を強く受け負の値になってしまうが、Higgs 場の高次の項の影響でポテンシャル自体は安定となったことがわかる。しかしながら導入したカットオフの影響を解析してみると、そのカットオフの値への依存度が非常に強いことがわかる。このことからプランク質量近傍では重力の影響が非常に強く無視することができなくなることは予言できるがポテンシャルが安定かどうかの議論は非常に困難となっている。

次にこのカットオフの問題を解決を考えた。高エネルギー領域での重力場の振る舞いが良いと考えられている  $f(R)$  理論のひとつである  $R^2$  重力に着目し、カットオフへの依存性がどのようにになっているかを考えた。量子補正を計算していくと、 $R^2$  重力による量子補正は Einstein 重力同様 Higgs 場の 6 乗や 8 乗といった高次の項を生成するが、これらの項は発散せず有限量として現れることがわかった。これによりカットオフへの依存性は非常に小さくなることを確認した。

最後に Einstein 重力によるポテンシャルへの量子補正を基にして宇宙定数問題に関して考えた。素粒子理論と Einstein 重力理論を単純に組み合わせた際に定数項の大きさが理論と観測で大きくかけ離れてしまっている。本論文ではこの問題に対して、重力子の特性と物質場との関係性に関して大胆な仮定を立てることで真空エネルギーの大部分を宇宙定数から切り離し、重力の量子補正を主体とした宇宙定数を考えた。この仮定の下宇宙定数の大きさを観測値とあわせて考えていくことで TeV スケールでの物理が存在する必要があることを確認した。