TITLE:

Higgs potential and naturalness after the Higgs discovery(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Hamada, Yuta

CITATION:

Hamada, Yuta. Higgs potential and naturalness after the Higgs discovery. 京都大学, 2016, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2016-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19499>

RIGHT:

許諾条件により要旨は2016-04-01に公開

(続紙 1)

京都大学	博 士 (理 学)	氏名	濱田 雄太
論文題目	Higgs potential and naturalness after the Higgs discovery		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>標準模型は1 TeV程度のエネルギー以下の現象を非常によく記述する模型として知られている。その中で、最後の未発見粒子であったHiggs粒子が4年前に、LHCにおいて発見された。本論文はHiggs発見を動機とするHiggs potentialや自然性問題についての申請者の研究成果に基づいている。</p> <p>LHCの稼働前は、TeVスケールにおいて超対称性を代表とする新物理が現れると期待されてきた。その期待に反してこれまでのところ、1TeV程度までに新物理は現れていない。本論文では、この結果に基づき、標準模型が電弱スケールに比べて非常に高い弦のスケールやプランクスケールまで正しいとしたシナリオを扱っている。</p> <p>本論文では、まず、標準模型が高いスケールまで有効だとした場合のbare parameterを計算することで電弱真空が安定であること、Landau poleが現れないことを確認している。さらに、トップクォークの質量によっては、Higgs potentialがプランクスケールにおいて非常に平坦になることを見出している。</p> <p>続いて、このような平坦なpotentialによって、Higgs粒子が宇宙初期のinflationを担う可能性を議論している。Higgs粒子と重力の非極小相互作用を導入することでHiggs inflationを実現できる。本論文において、必要とされる非極小相互作用定数の大きさが従来のものと比べて非常に小さくできることが示された。</p> <p>標準模型が高いスケールまで有効な場合、Higgs粒子の質量に関する自然性が深刻な問題となる。LHC実験の現状を考慮すると、TeVスケールでの新物理を伴わない解決法を模索することが有益である。本論文では、通常の局所作用ではなく、それを掛け合わせた多重局所的な作用から出発することで理論のパラメータの微調整が実現できることを示している。具体的には、宇宙項問題、Higgs質量の問題、strong CP問題に関する解決可能性を与えている。</p> <p>標準模型は優れた模型であるものの、説明できないいくつかの現象を持つ。そのひとつが宇宙に存在する暗黒物質の正体である。本論文では、様々な暗黒物質の候補となる粒子と、そのHiggs potentialへの影響を議論し、暗黒物質の質量に対する予言とその検証方法を与えている。Higgs粒子と暗黒物質の結合は量子効果によりHiggs potentialの構造に反映されるため、Higgs inflationを実現するために暗黒物質に関するパラメータに強い制限を与えることができる。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文では、プランクスケールでの標準模型の構造を調べるために、Higgsの質量のbare termに関して、新たに2ループの精度での計算を行い、それを用いてHiggs potentialを解析している。これにより、全ての計算が2ループの精度で行われたことになり、誤差を非常に小さくしたという点で有用である。

次に、Higgs inflationの可能性の議論として、模型によらない一般的議論、非極小相互作用を加えた具体的模型の2つを議論している。前者では、標準模型のカットオフスケールとトップクォークの質量に関する一般的制限を与えており、カットオフスケールの上限が 10^{17}GeV となる結果を得ている。後者においては、10程度の非最小相互作用を導入することでHiggs inflationが可能であることを示している。これはプランクスケールの一桁ほど下に新物理が現れることを示唆している。どちらの場合も弦のスケールに近いと考えられる 10^{17}GeV が登場していることが興味深く、得られた結果は、プランクスケールの物理をさらに考察していく上で有益である。

さらに、本論文は様々な自然性問題に対して、従来とは異なる解決方法を提案している。Coleman以来20年以上にわたって、多重局所的作用と自然性問題が関係していることが議論されてきたが、本論文では具体的な宇宙の歴史を精密に解いていくことで、実際にHiggs質量がなぜプランクスケールに比べて非常に小さいのか、という疑問を説明することに成功している。これは、LHCによって否定されつつあるTeVの新物理による解決法に変わる有望なシナリオとして意義がある。加えて、同じ機構によって宇宙項問題とstrong CP問題も解決可能であることを示している。宇宙項問題は通常の局所的場の理論の枠組み内では解決が非常に難しい問題であり、これを通常の場の理論を少し超えた所で解決可能性が見えてくるのは興味深い。Strong CP問題についても余分な自由度を導入しない解決方法により、アクシオンによる解決方法の有望な代替案を与えている。

加えて、本論文では、暗黒物質とHiggs potentialの関係を与えている。Higgs inflationの条件を課すことで暗黒物質の質量を预言している。この预言は将来観測において検証可能であり、観測されれば、プランクスケールと暗黒物質の物理との関連を与え、有益である。

以上のように、申請者は、標準模型が非常に高いスケールまで有効であるシナリオを考察し、電弱スケールとプランクスケールの関係を与えることに成功している。本論文の結果からプランクスケールの物理に関するさらなる考察を深めることができる。このような結果は、電弱スケールの物理とプランクスケールの物理の関係、およびその実験・観測的な側面に対して、より深い理解を与えるものと考えられる。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28年1月15日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 2016年 4月 1日以降