



Title	Construction of higher dimensional field theory with dynamical boundary conditions
Author(s)	山本, 健吾
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	https://doi.org/10.18910/56085
DOI	10.18910/56085
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

論文内容の要旨

氏名 (山本 健吾)

論文題名

Construction of higher dimensional field theory with dynamical boundary conditions

(境界条件の動力学を含む余剰次元場の理論の構成)

論文内容の要旨

余剰次元模型は標準模型を超える理論の候補として広く研究がおこなわれている分野である。余剰次元模型とは通常の4次元時空に非常に小さなスケールでコンパクト化された次元を加えた時空上での場の理論である。この余剰次元模型では標準模型では説明することができない諸問題：Higgs粒子の質量のゲージ階層性問題、Yukawa couplingの世代間の階層性、flavor mixingの構造、などの問題に対して自然な理解を与えることができる。しかし余剰次元模型にもまた解決しなければならない幾つかの問題が存在する。その一つに境界条件の任意性問題がある。コンパクト化された余剰次元上で場の理論を定義する際、Lagrangian densityの値の一意性の要請から各場に対して境界条件を課さなければならない。しかしこの境界条件はLagrangianのゲージ対称性に起因してある任意性が存在することが知られている。異なる境界条件を持つ理論は低エネルギー4次元有効理論において異なるゲージ対象性、質量スペクトルなどを持つ異なる理論として認識しなければならないが、現在の余剰次元模型ではこの境界条件は理論の定義として手で作られているのが現状である。

本論文では境界条件の動力学を含む余剰次元模型を構成することにより境界条件の任意性問題を解決することを試みる。このモデルは S^1/Z_2 と呼ばれる余剰次元上でのSU(N)ゲージ理論において構成し、境界条件の動力学は分配関数の中で全ての可能な配意を積分する経路積分的な手法により定式化をおこなった。このモデルから物理的に実現される境界条件を決定するプロセスは以下の2段階によって構成される。

(i) 境界条件の積分測度からの制限

(ii) 各境界条件の持つ真空エネルギーの比較による境界条件の決定

第一段階において、境界条件の積分測度の性質を解析することにより境界条件のあるクラスは分配関数への寄与が実質的に0になることを示した。これにより物理的に実現される境界条件に対して制限を与えた。第二段階では各境界条件の間で最も低い真空エネルギーを持つ境界条件が物理的に実現されるとして境界条件を決定する。このために第一段階で制限された境界条件における有効ポテンシャルを計算し、各matter contentのために比較をおこなった。その結果として特にSU(5)ゲージ理論の場合に低エネルギー有効理論として標準模型のフェルミオンおよびゲージ対称性SU(3)×SU(2)×U(1)が自然に実現されることを示した。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (山本 健吾)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	細谷 裕
	副 査	教授	窪田高弘
	副 査	准教授	尾田欣也
	副 査	准教授	湯川 諭
	副 査	助教	深谷英則
論文審査の結果の要旨			
<p>素粒子物理学における標準模型 $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ ゲージ理論は、現在までの実験データを矛盾なく記述し、2012年にはヒッグスボゾンも発見された。しかしながら、ヒッグスボゾン質量の量子補正に対する不安定性（ゲージ階層性問題）、クォークレプトンの質量階層性、暗黒物質など未解決の問題が存在する。これらの問題を解決する一つのシナリオとして、近年、余剰次元模型が提唱され活発に研究されている。高次元で定義されたゲージ理論では、余剰次元における境界条件によってゲージ対称性が部分的に破れるが、境界条件の取り方に任意性が残る。本論文「Construction of higher dimensional field theory with dynamical boundary conditions（境界条件の動力学を含む余剰次元場の理論の構成）」では、境界条件そのものを力学的な変数に拡張し、経路積分の手法を用いて量子理論を定式化した。具体例としてオービフォルド（4次元ミンコフスキー空間）$\times (S^1/Z_2)$ 上で $SU(N)$ ゲージ理論を考察し、境界条件行列の積分測度を定義、かつ各境界条件が与えられたときの真空エネルギーを比較し、物質場が指定されれば、一意的にある特定の境界条件が選び出されることを見いだした。まず、境界条件の積分測度の性質から多くのクラスの境界条件は分配関数への寄与が実質的に零になることを示し、次に有効ポテンシャル（量子補正を入れたポテンシャル）を評価して最も低い真空エネルギーを持つ境界条件を決定した。その結果として特に $SU(5)$ ゲージ理論の場合、低エネルギー有効理論として標準模型のフェルミオンおよびゲージ対称性 $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ が自然に実現されることを示した。これまで、現象論的な要請として $SU(5)$ 対称性が $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ 対称性にまで破れるよう理論のパラメータが調整されていたが、本論文では、ダイナミックス（力学）によって、必然的に標準模型 $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ ゲージ理論が帰結しうること示した。これは世界初の結果である。斬新なアイデアで、今後、この分野の発展に大きく寄与すると予想される。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値のあるものと認める。</p>			