The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Wilsonian Renormalization Group Approach to Three Dimensional Nonlinear Sigma Models
Author(s)	東, 建志
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/48763
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

【31】

氏　　名	東（ひがし）　建（たけ）志（し）
博士の専攻分野の名称	博　士（理　学）
学　位　記　番　号	第　２１７４６　号
学位授与年月日	平成 20 年３月 25 日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 理学研究科物理学専攻
学　位　論　文　名	Wilsonian Renormalization Group Approach to Three Dimensional Nonlinear Sigma Models （ウィルソンくりこみ群を用いた三次元非線形シグマ模型の解析）
論　文　審　査　委　員	（主査） 教　授　東島　　清 （副査） 教　授　細谷　　裕　　教　授　髙杉　英一　　教　授　阿久津泰弘 准教授　波場　直之

論　文　内　容　の　要　旨

本論文では、超対称性を持つ３次元時空の非線形シグマ模型を、ウィルソンくりこみ群の手法を用いて解析した。

場の量子論は、時空の各点に存在する場を力学変数とする、無限自由度の量子力学である。全ての力や粒子を場として扱い、量子化する事でそれらを統一的に扱うものである。これは場の量子論が粒子の生成消滅を記述する事を意味し、その真空でさえ無限の粒子が生成消滅を繰り返し絶え間なく揺らいでいる。そのため、場の量子論においてはこれらの揺らぎの寄与のくりこみが重要になる。その中で、結合定数の摂動論における場の量子論のくりこみは、許される理論を大変強く制限する。我々の研究は、この場の量子論のくりこみにおいて非摂動論的な手法を用いる事で、その非摂動論的なくりこみ可能性を追求するものである。

ここでは場の量子論の模型として、３次元時空の非線形シグマ模型を解析する。非線形シグマ模型は、場が曲がった空間上に値をとる模型で、その運動項の係数は場の依存性を持ち、場がその値をとる空間（ターゲット空間）の計量として解釈される。そして、３次元時空の非線形シグマ模型は摂動論ではくりこみ不可能であるが、非摂動論的な解析ではくりこみ可能ではないかと考えられている模型の一つである。そのため、我々はこの３次元時空の非線形シグマ模型に対してウィルソンくりこみ群を用いて解析する事で、その非摂動論的なくりこみ可能性を追求する。

ここで用いるウィルソンくりこみ群は、場の量子論における非摂動論的な解析手法の一つである。我々は３次元の非線形シグマ模型を、そのウィルソンくりこみ群方程式を用いて解析する。ウィルソンくりこみ群方程式は、ウィルソン有効作用が理論のカットオフスケール変えた時にどう変化するかを表すもので、その紫外固定点の存在が模型のくりこみ可能性を示すものである。つまり、ウィルソンくりこみ群では、その紫外固定点を用いる事で始めて連続極限をとる事ができ、その模型がくりこみ可能である事を示す事ができる。またそれゆえに、固定点がそのくりこみ可能な模型を特徴付ける事になり、特にその固定点からの湧き出しに対応する演算子がその模型を特徴付ける演算子となる。よって、我々は本研究において、３次元非線形シグマ模型のくりこみ群方程式における固定点と、その固定点近傍のくりこみ群の流れの解析を行う。

固定点の解析においては、方程式が場の異常次元によって大きくその形を変えるため、その異常次元 γ が、$\gamma=-1/2$ とそれ以外の場合に分けて解析を行った。異常次元が $\gamma=-1/2$ の場合は、ターゲット空間として、特定の半径を持

つ Kähler-Einstein 多様体を持つ模型が固定点の理論となっている事が分かった。その様な多様体としては CP^N 模型などが知られている。また場の異常次元が $\gamma=-1/2$ 以外の場合では、ターゲット空間を実２次元にして数値的な解析を行ったの結果、$-1/2<\gamma<0$ の場合に変形された球面が、$\gamma=0$ の場合には平面がターゲット空間である事が分かった。さらに固定点周りの解析では、異常次元が $\gamma=-1/2$ である CP^N 模型の固定点近傍のくりこみ群の流れについて解析を行った。この解析では、最初に固定点の計量からのずれに対して１次の線形化したくりこみ群方程式を導出した。そして、その方程式を用いた解析の結果、この揺らぎのトレース部分においては、等方的に揺らぎが成長するモードがこの固定点の湧き出しに対応する演算子である事が分かった。つまり、この固定点において連続極限を取るとき、その半径が最も重要なパラメータであり、その半径を適切にくりこむ事でくりこみ可能な模型となる事が分かった。

論文審査の結果の要旨

現在の素粒子論は摂動論的にくりこみができる場の量子論を使って組み立てられている。もし非摂動的にくり込みができる理論が存在することが分かれば、現在の素粒子論の枠組みは大きく変わる可能性がある。

場が球面などの曲がった空間に値をとる場の量子論は非線形シグマ模型と呼ばれているが、３次元時空における非線形シグマ模型は摂動論ではくり込むことができない。東君は、２種類の超対称性を持つ３次元非線形シグマ模型に対する非摂動的くりこみ群方程式の固定点、及びその性質を調べた。

場の異常次元が $-1/2$ の場合は、場が値をとる空間（ターゲット空間）がアインシュタイン・ケーラー多様体の場合に、固定点の理論になっていることを見いだした。非摂動くりこみ群では、理論の紫外カットオフを無限に大きくするにつれて、理論のパラメーターを紫外固定点に近づけることで、くりこんだ理論が得られる。従って、紫外固定点の存在がくりこみ可能性の証明にとって重要である。ターゲット空間がエルミート対称空間の場合に、多様体の大きさに対するくり込み群方程式を調べ、紫外の固定点であることを確かめた。

複素次元１のターゲット空間の場合に、線形化したくり込み群方程式を数値的に解析して、ゆらぎに対する安定性を調べた。また場の異常次元が $-1/2$ 以外の場合にも数値解を求めた。

この研究は、摂動論ではくり込むことのできない理論のくり込み可能性に関する新しい知見を加えるものである。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。