

課題名 (タイトル) :

超対称性場の理論の数値シミュレーション

利用者氏名 : 鈴木 博

理研での所属研究室名 :

和光研究所 仁科加速器研究センター 理論研究部門 初田量子ハドロン物理学研究室

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

素粒子物理学の標準模型を越えた枠組みでは、超対称性を持つ場の量子論が重要な役割を果たすと広く信じられている。しかし、驚くべき事に、この超対称性場の理論一般の数学的に満足いく定式化は未だ存在しないのである。従来、場の理論の非摂動論的研究を可能にする定式化としては格子場の理論が詳しく研究されて来た。この定式化は特に量子色力学への応用において華々しい成果をあげ、クォークの閉じ込め、ハドロンのスペクトラム、カイラル対称性の自発的破れなどの低エネルギー非摂動論的現象の第一原理からの研究を可能にした。そこで、格子定式化を超対称性場の理論に応用することが自然に発想されるが、これは容易ではない。理由は、超対称性の基本関係式は無限小並進を含み、一方時空を格子で近似する格子定式化には離散的な並進しか存在しないからである。つまり格子定式化は超対称性を必然的に壊す。この問題をいかに回避し、いかに系の非摂動論的な物理的性質を解析するか。これらが当研究の最終目標である。

2. 具体的な利用内容、計算方法

今年度は主として、2次元の $N=2$ Wess-Zumino 模型の数値シミュレーションに取り組んだ。この模型で質量項の無い理論は、低エネルギーの極限で非自明な超対称共形場理論になると考えられているが、それを解析的に証明することは未だできていない。ここでは、2次元の $N=2$ Wess-Zumino 模型に対して我々が以前提案した定式化に基づいた数値シミュレーションにより、この低エネルギーでの非摂動論的物理現象を検証することを試みた。この非摂動論的定式化は超対称性を厳密に保つ点に特徴があり、この点を利用して対称性と矛盾しない演算子の構成をすることができる。

また、定式化にいわゆる Nicolai 写像が存在し、この事実を利用することで、シミュレーションで生成される配位が統計的に完全に独立である (自己相関が全くない) 数値アルゴリズムを構成することができる。今回はこの Nicolai 写像に基づいたアルゴリズムを採用した。

3. 結果

今回は、最も単純な超ポテンシャルが3次式の場合を扱った。スカラー場の2点相関関数を数値的に測定し、その振る舞いの体積依存性からスカラー場のスケール次元を評価することができる。我々是对応が予想されている共型場理論での共型次元から予想されるものとよく一致する値を得た。また、超対称カレントの2点相関関数の振る舞いから中心電荷に対応する量を評価し、これも共型場理論から予想されている値をよく再現した。

4. まとめ

ここでの結果は、超対称共型対称性というこれまで数値計算が全く取り組めなかった問題に挑戦したもので、特に中心電荷の測定は、方法論も含めて世界ではじめての成果である。

5. RICC の継続利用を希望の場合は、これまで利用した状況 (どの程度研究が進んだか、研究においてどこまで計算出来て、何が出来ていないか) や、継続して利用する際に行う具体的な内容

今後、上のシミュレーションをより大きな体積で系統的に行うことで、スケール次元や中心電荷に対するより精度の高い評価を得たい。これにより超共型場の理論との対応がより堅固なものになるはずである。また、場の数を増やす、超ポテンシャルの形を一般化するなどして、最終的には超弦理論で重要な Calab-Yau 空間に対応した共型場理論を計算機上に実現してみたい。特に理論が marginal な変形のもとでどう振る舞うかに関心

が持たれる。



平成 23 年度 RICC 利用研究成果リスト

【論文、学会報告・雑誌などの論文発表】

S. Kamata, H. Suzuki, “Numerical simulation of the $N=(2,2)$ Landau-Ginzburg model,” *Nuclear Physics B* **854**, 552-574 (2012). [arXiv:0811.2851 [hep-lat]].□

【国際会議、学会などでの口頭発表】

鈴木博、Computer simulation of $N=(2, 2)$ Landau-Ginzburg model、日本物理学会 2011 年秋期大会□、2011 年 9 月 18 日、弘前大学（弘前市）

鈴木博、Computer simulation of $N=(2, 2)$ Landau-Ginzburg model、基研研究会「場の理論と弦理論」、2011 年 7 月 27 日、京都大学基礎物理学研究所（京都市）

【その他】

鈴木博、Numerical simulation of the $N=(2, 2)$ Landau-Ginzburg model、2011 年 11 月 18 日、□国立台湾大学（台北市）

鈴木博、Numerical simulation of the $N=(2, 2)$ Landau-Ginzburg model、2011 年 10 月 28 日、北海道大学（札幌市）

鈴木博、Numerical simulation of the $N=(2, 2)$ Landau-Ginzburg model、2011 年 9 月 27 日、大阪大学（豊中市）

鈴木博、Numerical simulation of the $N=(2, 2)$ Landau-Ginzburg model、2011 年 8 月 31 日、岡山光量子科学研究所（岡山市）

鈴木博、Computer simulation of $N=(2, 2)$ Landau-Ginzburg model、2011 年 6 月 29 日、京都大学（京都市）

鈴木博、Computer simulation of $N=(2, 2)$ Landau-Ginzburg model、2011 年 5 月 11 日、日本大学（東京都）