

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

所属 : 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、場の理論の非摂動的な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的な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。超対称性が実現するのは (実現すると仮定して)、格子の間隔を 0 に取る連続極限においてである。この問題をいかに理解し、さらに系の非摂動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

同研究課題の昨年度の主要な成果は、2次元の $N=2$ Wess-Zumino 模型の数値シミュレーションにより、低エネルギーでの超対称共型場理論の出現を検証したことであった。今年度は当初、4次元の $N=1$ 超対称 Yang-Mills 理論 ($4D N=1$ SYM) の数値シミュレーションに端緒を付ける予定であった。ところが、この理論の格子定式化の基礎に関する (他グループの) これまでの理論的研究に不完全な点を発見してしまい、今年度の研究は主に、数値シミュレーションを基礎付けるための

純理論的なものになってしまった。

3. 結果

1. で述べたように、超対称性理論の非摂動的な数値シミュレーションによる研究においてまず重要なのは、連続極限においてはたして超対称性が回復するか、どうかという点である。 $4D N=1$ SYM の格子定式化におけるこの問題に対して、従来の解析には不完全な点があり、まずこの点を解決することが必要となった。これは超対称性に付随した Ward-高橋関係式にある種の異常項が現れないことを示す、という技術的にかなり複雑な問題なのであるが、一般化された BRS 対称性という連続理論で知られていたテクニックを格子理論に援用し、対応する Wess-Zumino 無矛盾条件を定式化することで、摂動論の全次数での証明に成功した。これは、この理論の格子定式化の理論的基礎を与えたという意味で重要である。また、この研究の延長として、 $4D N=1$ SYM の格子定式化において、連続極限で保存則を満たすエネルギー運動量テンソルの構成法を示した。これもこの超対称性理論の将来の数値シミュレーションにおいて有用な物理量を測定する方法を与えるものである。

4. まとめ

今年度は、ほぼ純理論的研究に終始してしまったが、これらは、今後の数値シミュレーションの基礎を与え、また物理量の測定上も有用なものとなりうる。

5. 今後の計画・展望

今後は、 $4D N=1$ SYM の対する上の理論的研究、また 2次元の $N=2$ Wess-Zumino 模型に関するこれまでの数値シミュレーションの経験を活かす研究を続けたい。

6. 利用がなかった場合の理由

上で述べた理由により、今年度は計算機利用がほとんど無かった。が、研究自体は当初の研究課題に繋がっているものである。研究継続のため、来年度も簡易利用での使用をお願いしたい。

平成 24 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】

H. Suzuki, "Remark on the energy-momentum tensor in the lattice formulation of 4D N=1 SYM," Physics Letters B719, 435-439 (2013). [arXiv:1209.5155 [hep-lat]].

H. Suzuki, "Ferrara-Zumino supermultiplet and the energy-momentum tensor in the lattice formulation of 4D N=1 SYM" Nuclear Physics B868, 459-475 (2013). [arXiv:1209.2473 [hep-lat]].

H. Suzuki, "Supersymmetry, chiral symmetry and the generalized BRS transformation in lattice formulations of 4D N=1 SYM," Nuclear Physics B861, 290-320 (2013). [arXiv:1202.2598 [hep-lat]].

【国際会議、学会などでの口頭発表】

超対称性をもつ場の理論の格子定式化の基礎と応用、計算基礎科学レクチャー、2012 年 12 月 18 日、高エネルギー加速器研究機構（つくば市）

鈴木博、Ferrara-Zumino supermultiplet and the energy-momentum tensor in the lattice formulation of 4D N=1 SYM、New Frontiers in Lattice Gauge Theory、2012 年 9 月 27 日、The Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics（イタリア・フィレンツェ）

鈴木博、Can we define SYM on the lattice?、研究会「離散的手法による場と時空のダイナミクス」、2012 年 8 月 31 日、理化学研究所（和光市）

鈴木博、Supersymmetry, chiral symmetry and the generalized BRS transformation in lattice formulations of 4D N=1 SYM、基研研究会「場の理論と弦理論」、2012 年 7 月 24 日、京都大学基礎物理学研究所（京都市）

【その他】

鈴木博、Ferrara-Zumino supermultiplet and the energy-momentum tensor in the lattice formulation of 4D N=1 SYM、2013 年 1 月 28 日、Institute for Theoretical Physics, University of Muenster（ドイツ・ムンスター）

鈴木博、On numerical study of supersymmetric field theories、2012 年 7 月 3 日、名古屋大学（名古屋市）

鈴木博、Supersymmetry, chiral symmetry and the generalized BRS transformation in lattice formulations of 4D N=1 SYM、2012 年 6 月 14 日、北海道大学（札幌市）

鈴木博、Supersymmetry, chiral symmetry and the generalized BRS transformation in lattice formulations of 4D N=1 SYM、2012 年 5 月 22 日、愛媛大学（松山市）

鈴木博、Supersymmetry, chiral symmetry and the generalized BRS transformation in lattice formulations of 4D N=1 SYM、2012 年 4 月 26 日、新潟大学（新潟市）