

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 : 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。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

超対称性理論を格子定式化する困難の根本的原因は、超対称性理論を特徴付ける超対称性代数が無限小並進を含む一方、格子構造が無限小並進を壊すという点にある。このことから、格子構造が壊す無限小並進、またより一般に時空対称性の実現に関心を拡げて研究を進めている。当該年度は昨年度と同様に、無限小並進対称性に付随したネーターカレントであるエネルギー運動量テンソルの格子ゲージ理論における実現について精力的に研究を行った。解析的研究の成果として、昨年度までに、フェルミオンを含まない純ゲージ理論に対して連続極限で自動的に正しいエネルギー

運動量テンソルに帰着する演算子を構成することに成功していた。これは、いわゆるウィルソンフロー/グラディエントフローという概念に基づく全く新しい構成法であり、従来の構成法に比べて多くの優位性が期待できる。当該年度は超対称性理論への応用も念頭に、この構成法をフェルミオンを含む系に拡張した。RICC においては、SU(2) ゲージ理論に対して通常モンテカルロ法 (pseudo-heat bath algorithm) を用いてゲージ場の配位を生成し、これに Runge-Kutta 法による Wilson flow を施した配位を多数構成した。これらを用いて、上の方法で構成したエネルギー運動量テンソルの 2 点相関関数を計算し、解析的に期待される各種性質を調べた。

3. 結果

様々な格子間隔、様々な flow time における相関関数の振る舞いから、我々の採用した格子間隔ではほぼ期待されるスケールリングが実現していることを確認できた。次に検証すべき重要な性質はエネルギー運動量テンソルの保存則であるが、これに関してはまだ確定的な結果は得られておらず、測定量の選択を改良するなど、今後さらなる研究が必要である。結果として、数値計算に基づく研究に関して、昨年度と同様の結果が得られたにとどまった。この点は猛省が必要である。

4. 今後の計画・展望

まず、これまでの数値実験を継承・改良し、エネルギー運動量テンソルの成分を空間的に積分した、エネルギー、もしくは運動量の時間方向相関関数の振る舞いから保存則を数値的に検証したい。また、超対称性理論への応用の観点からはフェルミオンを含んだゲージ理論を考えることが基本的であるが、フェルミオンを含んだ系でのグラディエントフローの数値計算コードを開発することで、格子エネルギー運動量テンソルの有用性をさらに検証したい。

平成 26 年度 RICC 利用研究成果リスト

【国際会議、学会などでの口頭発表】

鈴木博, 格子場の理論における Yang-Mills/Wilson gradient flow の応用, 日本物理学会 2014 年秋季大会・企画講演, 2014 年 9 月 18 日, 佐賀大学 (佐賀市)

鈴木博, gradient flow による格子上のエネルギー運動量テンソル, 研究会「離散的手法による場と時空のダイナミクス」, 2014 年 9 月 14 日, 慶應義塾大学 (横浜市)

鈴木博, Energy-momentum tensor on the lattice from the gradient flow, CERN Theory Institute "Conceptual advances in lattice gauge theory (LGT14)", 2014 年 7 月 21 日, CERN (スイス・ジュネーブ)

【その他】

鈴木博, Lattice energy-momentum tensor from the Yang-Mills gradient flow, 2014 年 12 月 4 日, 東北大学 (仙台市)

鈴木博, Lattice energy-momentum tensor from the Yang-Mills gradient flow, 2014 年 10 月 29 日, 京都大学 (京都市)

鈴木博, Lattice energy-momentum tensor from the Yang-Mills gradient flow, 2014 年 10 月 14 日, 名古屋大学 (名古屋市)