

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2006～2009

課題番号：18540275

研究課題名（和文） 並進対称性の破れと相構造

研究課題名（英文） Breaking of Translational Invariance and Phase Transition

研究代表者

坂本 真人 (SAKAMOTO MAKOTO)

神戸大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号：30183817

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：素粒子物理

1. 研究計画の概要

(1) 一般の等質空間上における並進対称性の破れを引き起す機構の一般的枠組みを明らかにすること。

(2) 相転移の一般的な構造、及び、真空配位のトポロジカルな性質等を明らかにすること。

(3) 場の局在化に伴うカイラルフェルミオンの存在やゲージ対称性の破れの有無、ゲージ場の真空期待値の研究。

(4) 上記の(1)-(3)の研究では量子補正が考慮されていない。量子補正による tree レベルの結果の変更の有無を調べること。

(5) 上記の研究を踏まえて、高次元ゲージ理論に基づく現象論的模型への応用。特に、標準理論を超えた高次元（超対称性）模型の構築。

2. 研究の進捗状況

(1) 5次元ゲージ理論および重力理論の4次元スペクトラムに量子力学的N=2超対称性が隠れていることを明らかにし、この超対称性の起源は高次元ゲージ対称性/一般座標変換不変性であることを示した。次に、より拡張したKarch-Randall 5次元重力理論に対して解析し、2種類の量子力学的N=2超対称性の存在、ゼロモードの4次元宇宙定数依存性、場の2次の作用における大域的超対称的不変性の存在等を見いだした。また、4次元スペクトラムに現れた量子力学的N=2超対称性は、半無限の量子力学系の階層構造を背後に持つことが明らかになった。超対称性と余剰次元の境界条件の間の無矛盾性を詳しく考察することによって、高々3つの連続する量子

力学系が超対称性で結ばれうることを証明した。この結果は、質量を持たないスピン3以上の理論が存在しないという予想を裏付けるものとして興味深い。

(2) 有限温度での高次元ゲージ理論の解析を行った。一般的な物質場と結合した高次元ゲージ理論の1ループ近似での有効ポテンシャルを求め、3つの異なる表式に表すことに成功した。それぞれの表式は、高温近似、低温近似、数値解析に適しているものである。これらの表式を用いて、低温側と高温側での真空構造を解析した結果、低温側では温度 $T=0$ とした高次元理論の真空が実現され、高温側ではフェルミオンの寄与はなくなり温度方向の次元がなくなった1次元下がった理論での真空が実現されることがわかった。この結果から、高次元時空ではゲージ対称性の破れは予想に反して一般に高温でも起こりうることを、あるいは、高温でも対称性の回復が起こらない場合があることが明らかとなった。宇宙論への応用が期待できる。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(理由)

本研究計画に基づいた研究内容に関する論文が査読付きの雑誌に7+1編(1編は投稿中)掲載されている。また、当初の研究計画に含まれていなかったが、研究の進展につれて新たに加わった研究課題についての進展もかなりあり、研究は順調に進展していると考えている。

4. 今後の研究の推進方策

(1) 高次元ゲージ/重力理論における余剰次元構造の一般的考察：

余剰次元の可能性を拓げるために、余剰次元の境界条件に関する一般論を展開し、場の理論として許されるもっとも一般的な境界条件のクラスを明らかにしたい。このために、境界を持つ量子力学系を考察し、ハミルトニアンのエルミート性や、超対称性量子力学模型に拡張したときの超対称性との無矛盾性を要求することによって、余剰次元方向に課すことの出来るもっとも一般的な境界条件を求めたい。また、曲がった時空を背景場として取り入れた解析も行いたい。

(2) 高次元ゲージ理論における量子補正および有限温度効果の解析：

高次元ゲージ理論における量子補正については、まだ完全な理解がなされているとは言いがたい。高次元理論はくり込み不可能なため、一般に UV 発散が現れ多くの場合予言能力を失う。しかし、いくつかの例外が存在し、例えば、余剰次元方向のゲージ場のゼロモードに対する量子補正は有限であろうと期待されている。この性質は、ゲージ・ヒッグス統一模型のシナリオにおいて決定的な意味を持つ。しかしながら、発散の相殺のメカニズムが明確な形で理解されるには至っていない。より一般的な場合の UV 発散の構造について明らかにすることを目標としたい。

(3) 超対称性理論の非摂動論的定式化：

超対称性の役割は高次元理論においてますます重要になってきている。その一例が我々の見出した高次元ゲージ/重力理論に隠れた量子力学的超対称性である。これは、細谷機構における UV 発散の相殺を保証していると考えられている。超対称性の非摂動論的定式化はこれから重要性を増すことは確実である。我々のアプローチは超対称性を格子上にのせて超対称性格子理論として定式化することである。我々は無限個のフレーバーを入れることによって、量子力学系において超対称性格子理論の構築に成功した。有限自由度への reduction と高次元への拡張が今後の課題である。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

1. Mitsuhiro Kato, Makoto Sakamoto, Hiroto So, Taming the Leibniz Rule on the Lattice, JHEP 0805:057 1-15, 2008、査読有。

2. C.S. Lim, Tomoaki Nagasawa, Satoshi Ohya, Kazuki Sakamoto, Makoto Sakamoto, Gauge-Fixing and Residual Symmetries in Gauge/Gravity Theories with Extra Dimensions, Phys. Rev. D77: 065009-1 - 17, 2008、査読有。

3. C.S. Lim, Tomoaki Nagasawa, Satoshi Ohya, Kazuki Sakamoto, Makoto Sakamoto, Supersymmetry in 5d gravity, Phys. Rev. D77:045020-1 - 14, 2008.、査読有。

4. Makoto Sakamoto, Kazunori Takenaga, On Gauge Symmetry Breaking via Euclidean Time Component of Gauge Fields, Phys. Rev. D76:085016-1 - 21, 2007、査読有。

5. Makoto Sakamoto, Kazunori Takenaga, Large gauge hierarchy in gauge-Higgs unification, Phys. Rev. D75: 045015-1 - 21, 2007、査読有。

[学会発表] (計 8 件)

1. 大谷聡、Particle propagation on a circle with a point defect, 日本物理学会、2009年3月30日、立教大学

2. 宗博人、格子超対称性、ライブニッツ則および結合則、日本物理学会、2008年9月20日、山形大学

3. 竹永和典、高温極限での細谷機構の振る舞い、日本物理学会、2008年9月20日、山形大学

4. 大谷聡、Hierarchy of quantum mechanical supersymmetries and its application to compactified field theory, 日本物理学会、2008年9月20日、山形大学

5. 阪本和紀、Hidden SUSY Structure in 5d Gravity, 日本物理学会、2008年3月26日、近畿大学