

## 今後の研究計画

### (I) 余剰次元の真空構造とクォーク・レプトンの世代構造<sup>1</sup>

2012年のヒッグス粒子発見により、素粒子標準模型はその地位を不動のものにした。しかし、標準模型には多くの謎や問題が残されており、最終理論とは考えられていない。たとえば、『なぜ、クォーク・レプトンは全く同じコピーが3つも存在するのか?』は、世代数問題とよばれる。また、『なぜ、クォーク・レプトンの質量は、世代が上がるごとに指数関数的に重くなるのか?』は、質量階層性問題とよばれる。標準模型の枠内では、これらの問題に答えることはできない。

本研究では、世代数問題と質量階層性問題を解決するため、余剰次元をもつ高次元理論を考察する。他の研究にはない本研究の独自性は、理論のパラメータを手で調整して問題の解決をはかるのではなく、量子補正を加えた真空エネルギーを最小化することによって、理論の真空構造からダイナミカルに世代数問題および質量階層性問題を解決することにある。

具体的には、「これまでの研究業績のまとめ」で述べた余剰次元模型を使って、その模型に対する真空エネルギー（カシミアエネルギー）を計算し、真空エネルギーを最小化する配位（＝真空配位）を求めることによって、クォーク・レプトンの世代構造を指定するパラメータをダイナミカルに決定することを行う予定である。

### (II) 連続極限を必要としない離散的確率過程量子化法の確立<sup>2</sup>

確率過程量子化は、正準量子化や経路積分法とは異なる第3の量子化の方法である。特にParisi-Wuらの方法は、連続的な仮想時間を導入してランジュバン方程式を考えることで、場の理論の量子化を実現している。この方法論のもつポテンシャルは高く、ゲージ理論を含む場の理論にも適用できる拡張性・発展性がある。

数値的な応用を考える際には、ランジュバン方程式の仮想時間を時間間隔 $\varepsilon$ で離散化する必要がある。しかし、通常は最終的に連続極限 $\varepsilon \rightarrow 0$ をとる必要があり、このことが格子計算の効率に対する障害となっている。 $\varepsilon \rightarrow 0$ の極限が不要な格子計算の定式化ができれば、今後の新しい発展の起点となる華々しい応用をもつと期待できる。

本研究は、従来不可欠とされてきた連続極限を必要としない、全く新しい離散的確率過程に基づく量子化法を確立し、それを場の量子論および格子理論の数値解析に応用することで、場と時空のダイナミクスを解明することを目的とする。そこで本研究では、(1) 格子ゲージ理論における定式化と効率的な数値計算手法の確立、(2) 離散確率過程に基づく量子アルゴリズムの構築、(3) 余剰次元理論や超対称性との関連性の解明、といった具体的課題に取り組んでいくつもりである。

### (III) 一様磁場のかかったトーラス模型

$n$ 次元トーラスに一様磁場のかかった系は、素粒子理論における余剰次元模型、あるいは、物性系の模型、さらには数学の観点からも非常に興味深い系である。この系に関して、これまでわかっている特徴的な性質は、1) 古典的に存在する並進対称性が量子論的に離散的並進対称性に破れる、2) 磁束の量子化、3) ゼロ質量のカイラルフェルミオンの出現、4) スカラー場のゼロでない真空期待値は必ず座標依存性を持つ、などである。

特に、1)と4)の性質は我々の研究によって明らかにされたもので、この系はトポロジカルに非自明な真空構造をもつ。実際、我々の研究によって系の真空は渦構造をもつことがわかっている。この真空構造の詳細についての理論的解明が、本研究の目的である。

<sup>1</sup>この研究課題は、基盤研究(C)「余剰次元の真空構造とクォーク・レプトンの世代構造」(研究代表者)として採択されています。

<sup>2</sup>この研究課題は、来年度基盤研究(C)「確率過程量子化における新奇なアプローチ」(研究分担者)として申請されたものです。