

# これまでの研究成果

素粒子物理学の理論研究として、超対称性を持ったゲージ理論を研究してきた。超対称性は、統計性の異なるボソン粒子とフェルミオン粒子の交換に対応する対称性であり、素粒子標準模型を超えた物理の候補として多様な研究に応用されてきた。例えばゲージ理論と重力理論との深遠な関係を記述する AdS/CFT 対応では、 $\mathcal{N} = 4$  超対称 Yang-Mills 理論によって重力理論が記述される。そのため、超対称性理論を厳密に解くことができれば、量子重力理論へのアプローチも期待できる。超対称性理論を解明するために、以下の研究に取り組んできた。

## 1. 超対称性理論に対する超対称なグラディエントフロー

超対称性理論を厳密に解くために、格子ゲージ理論とフロー法の組み合わせが注目されている。格子ゲージ理論では離散化された格子時空上にゲージ理論を定義し、第一原理計算を実現する。しかしながら、エネルギー運動量テンソルという物理量や超対称性はどちらも並進対称性と密接であるため、並進対称性を陽に破る格子時空上に直接定式化することは困難である。

フロー法では作用の微分で与えたある種の熱拡散方程式、つまりグラディエントで得られるフロー方程式を用いて、ぼやかした場（フロー場）を考える。Yang-Mills 理論に対するフロー場の相関関数は、ぼやかす前の理論をくりこむだけで自動的に有限になる。このようなフロー場のくりこみ性を用いることで、格子量子色力学（格子 QCD）における物理量の定式化やスーパーコンピュータを用いた数値計算が進んでいる。また、フロー法を用いて超対称性理論を格子上に定義する方法論が指摘され、自然な応用として超対称なフロー方程式の構成も提案されている。

私は加堂氏・丸氏・浮田氏とともに、4次元  $\mathcal{N} = 1$  超対称 QCD における超対称なフロー法について研究し、摂動の1次レベルで2点相関関数の発散構造を明らかにした[1]\*。ベクトル多重項については発散が相殺し、カイラル多重項では波動関数くりこみに関する発散が共通で残るという結果を得た。また、[1]の結果を摂動の全次数に対して証明するために、4次元フロー理論と等価な  $(4+1)$ 次元作用を構成し、解析を続けている。

## 2. 混合マヨラナ・ディラック質量に拡張された最小超対称標準模型

素粒子標準模型に超対称性を持たせると、すべての素粒子に対して統計性が異なる超対称性粒子の存在が予言される。例えば、最小限の  $\mathcal{N} = 1$  超対称性を取り入れた最小超対称標準模型（MSSM）は、マヨラナ質量の随伴表現フェルミオン粒子を含んでいる。しかしながら、超対称性粒子の存在は実験で確認されておらず、自然界では超対称性が自発的に破れていなければならない。超対称性が破れる機構によって超対称性粒子の質量が決定されるため、超対称性粒子の存在を探索するという観点においても、超対称性の破れを解明することは重要である。

私は糸山氏・丸氏とともに、MSSMに含まれる随伴表現フェルミオンの質量を混合マヨラナ・ディラック型に拡張する研究をしており、特に  $\mathcal{N} = 2$  超対称性から  $\mathcal{N} = 1$  超対称性に自発的に破れる理論に着目している。超対称性が部分的に破れた後の  $\mathcal{N} = 1$  超対称性理論には、南部・ゴールドストンの定理から質量ゼロのフェルミオン粒子の存在が保証される。そのような  $\mathcal{N} = 1$  超対称性理論の一般的な構成に対して質量行列と相互作用を調べ、質量ゼロのフェルミオンが存在することを部分的に確認した（2023年9月の日本物理学会において発表）。質量行列と相互作用についてより精密な確認を進めており、物理的帰結についても議論中である。

\* [ ]は別紙『論文リスト』の論文番号。