

## 実施報告書

研究課題：「SU(2)カイラルゲージ理論のダイナミクスの数値的研究」

研究責任者：菊川芳夫（東京大学大学院総合文化研究科・准教授）

研究期間：平成 22 年 10 月—平成 23 年 1 月

### 研究組織

- 菊川芳夫（東京大学大学院総合文化研究科・准教授）：研究統括
- 松古栄夫（高エネルギー加速器研究機構計算科学センター・助教）：コード開発、チューニング、解析
- 山田憲和（高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所・助教）：解析、理論解析
- 長井敬一（名古屋大学素粒子宇宙起源研究機構・特認助教）：解析、理論解析
- 加堂大輔（理化学研究所川井理論物理学研究室・基礎特別科学研究員 **所属確認**）：解析、理論解析
- 河井博紀（東京大学大学院総合文化研究科・D3）：解析、理論解析
- 山本大輔（東京大学大学院総合文化研究科・D3）：解析、理論解析

### 研究目的

この研究課題では、素粒子標準模型の Higgs セクターの背後にある場のダイナミクスを探索するために、カイラル対称性を明白に保つ格子フェルミオンの枠組みを用いて、SU(2)格子ゲージ理論の数値的研究を行う。対象とするモデルは、

- (1) SU(2)ウォーキング・テクニカラーモデル
- (2) 超対称性の自発的破れをおこす N=1 SU(2)ゲージモデル  
(Izawa-Yanagida 模型、Intriligator-Seiberg-Shenker 模型)
- (3) SU(2)×U(1)電弱統一理論+大きな湯河結合をもつ世代を想定している。

特にこの研究期間には、(1) ウォーキング・テクニカラーモデルのシミュレーションを集中的に行った。

ウォーキング・テクニカラーモデルは、標準模型におけるヒッグス・セクターを、より基本的な粒子の持つカイラル対称性が自発的に破れた結果としての複合状態として説明するモデルであり、標準模型を超えた物理の候補として注目されている。稼働中の LHC 実験などの結果が、このような理論で説明できるかどうかを検証するためには、理論からの精密な予言が不可欠である。カイラル対称性の自発的破れは非摂動的な現象であるため、非摂動的手法である格子ゲージ理論のシミュレーションによる解析が近年盛んに行われている。候補となり得る理論のパラメータ領域は広いと、ゲージ群、フレーバー数、フェルミオン表現について、どのような値が現実的なモデルとしての条件に適合するかを調べるのが最初の課題となる。我々はカイラルダイナミクスの解析を通して、ウォーキング・テクニカラーモデルとしての条件を満たすかどうかを明らかにすることを目指している。このため、フェルミオン演算子として格子上の厳密なカイラル対称性を持つオーバーラップ演算子を採用し、基本表現及び随伴表現のフェルミオンを含む動的シミュレーションを行い、フェルミオン行列の固有値分布やメソン相関関数の振る舞いを通して、対称性の破れの構造を調べている。

### 実施報告

この研究期間で行った SU(2)ウォーキング・テクニカラーモデルについてのシミュレーションでは、カイラル対称性の自発的破れのフレーバー数依存性を検証することが目的である。カイラル凝縮を、 $\epsilon$ -領域においてフェルミオン演算子の固有値分布とランダム行列理論の結果を比較することで求め、南部-Goldstone ボソン崩壊定数を相関関数から計算することを目指している。オーバーラップ演算子を基本表現及び随伴表現のフェルミオンに適用し、ダイナミカルフェルミオンの効果を含まない格子を使って方法論の確立とシミュレーションコードの開発・改良を行った。ダイナ

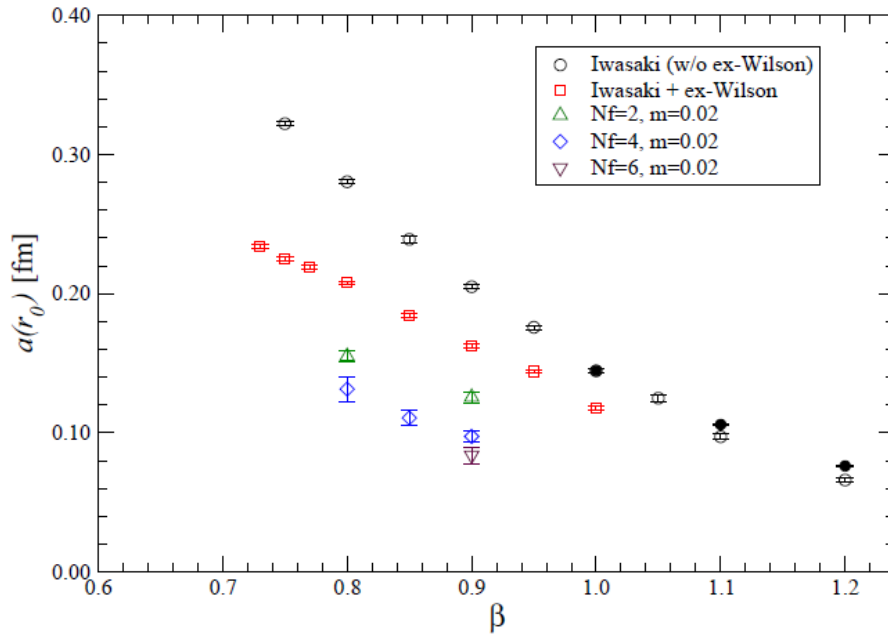


図1：基本表現のダイナミカル・シミュレーションの結果。 $8^3 \times 16$ 格子における格子定数の $\beta$ 依存性。

ダイナミカル・シミュレーションについては、基本表現のフレーバー数4,6に場合に対し、 $8^3 \times 16$ という比較的小さな格子サイズを用いて、システムの基本的な性質をサーベイした。図1は格子定数の $\beta$ 依存性（ $\beta$ は結合定数と関係するパラメータ）である。格子定数はクォーク間ポテンシャルの現象論的値を基に決めたものであり、正確な意味は持たないが、直観的にダイナミクスを理解するために便利である。フレーバー数が増加するに従って格子定数が減少する傾向を示している。系の典型的なダイナミクスのスケールは格子定数より大きい必要があるので、本格的な計算では格子定数が0.1程度になるパラメータ領域が適当である。

本格的なシミュレーションでは $\varepsilon$ 領域と呼ばれる条件（擬スカラーメソンのコンプトン波長が系のサイズより大きい）の下で、フェルミオン行列の固有値分布を調べることが必要である。その計算のターゲットとなる、パラメータ領域を決定した。この計算で必要となる大規模並列コードの高速化を行った。更に $16^3 \times 32$ の格子サイズでのダイナミカル・シミュレーションを $\varepsilon$ 領域で開始したが、研究期間の終了に伴い、十分な結果を得るには至らなかった。

動的なシミュレーションによる配位の生成にシステムB (IBM Blue Gene/L)の利用し、小さな格子サイズでのサーベイに32、128ノードクラス、 $\varepsilon$ 領域での大規模シミュレーションを512ノードクラスで行った。後者は研究期間の終了のため成果を得るには至らなかったが、今後の研究の準備として意義があった。