

## 4次元超対称ヤンミルズ理論の数値的研究

### Lattice studies of 4D supersymmetric Yang-Mills theory

谷口裕介

筑波大学計算科学研究センター

#### 1. 研究目的

本研究の目的は、4次元  $N=1$  超対称ヤン・ミルズ理論(SYM)のダイナミクスを数値シミュレーションにより解明し、素粒子の現象論や超弦理論あるいは場の理論の解析的な理解など、幅広い目的で応用されてきた超対称理論の振る舞いを定量的に明らかにすることである。4次元  $N=1$  SYMは、超対称性の破れを示さず、ゲージノ凝縮によって離散的なカイラル対称性の自発的破れを示すモデルである。低エネルギーにおいてフェルミオンの束縛状態とボソンの束縛状態が、質量の縮退を伴って現れることが予測されている。これらの予測の正しさ（あるいは予測の誤り）を示すことは、当該分野の重要な課題となっている。いくつかの先行研究はあるものの、十分と言えるほどの定量性を伴った結果はいまだに示されておらず、本研究による解明が待たれている。

#### 2. 研究成果の内容

超対称ヤン・ミルズ理論の格子シミュレーションを実行するためにはマヨラナフェルミオンをゲージ群の随伴表現として格子上で定式化する必要がある。この内マヨラナフェルミオンとしての性質は、格子 QCD において奇数 flavor の数値計算に用いられている rational hybrid Monte Carlo (RHMC)法の技術によって実現可能である。実際には、マヨラナフェルミオンに対して必要となるのが Pfaffian であるのに対して、QCD で必要となるのは行列式(determinant)であるという違いがあるが、格子間隔が十分小さい時にはマヨラナフェルミオンの Pfaffian は正定値となることが知られており、行列式の平方根として与えることができるのである。一方、ゲージ群の随伴表現は新たにコーディングを行う必要がある。我々は QCD 共通コードプロジェクト Bridge++をベースとしてコード開発を行った。特に随伴表現の RHMC のコーディングを行い、これを完成させた。

しかしヨーロッパの競合グループの主張によると超対称ヤン・ミルズ理論を単純に格子化した Wilson 型の作用では格子間隔依存性が大きく、正しい結果を得ることができない。そのため我々はコード開発の次のステップとして、格子間隔依存性の  $O(a)$ 改良である clover 項を Wilson フェルミオンに加えた作用を採用して、その RHMC 法のコーディングに着手した。しかしこの時点で本研究に十分な研究時間を投入する事が出来ず、コードの開発を予定通り進める事ができなかった。しかし、コード開発について

ては問題点がはっきりとし、今後の開発につながるいくつかの知見を得ることができた。

### 3. 学際共同利用として実施した意義

本研究で進める超対称ヤン・ミルズ理論の数値計算は国際的な競走が激しく、現在ではドイツの DESY-Munster コラボレーションに先んじられ、日本の貢献度を高める必要がある。学際共同利用で大規模の計算を用いることで、コード開発の前半部分である随伴表現の Wilson フェルミオンにおける RHMC コードの作成を迅速に行う事ができた。その一方で、後半部分のコードの開発が予定どおりには進まず学際共同利用は低調な利用にとどまった。

### 4. 今後の展望

コード開発における技術的な問題点のいくつかがはっきり理解されたことで、プログラム完成のめどは立った。今後は、完成したプログラムを用いて超対称ヤン・ムル図理論のゲージ配位の作成とゲージノ凝縮の測定を進めていく。将来的には日本が世界を得リードする形での研究の進展を期待している。

### 5. 成果発表

#### (1) 学術論文

#### (2) 学会発表

- 浮田尚哉、加堂大輔, 超対称グラディエントフローが持つ紫外有限性に基づいた物理量の構成, 日本物理学会年次大会, 2019/3/14-17, 九州大学
- 浮田尚哉、加堂大輔, 超対称グラディエントフロー方程式を用いた4次元 N=1 超対称ヤン・ミルズ理論の超カレントの構成, 日本物理学会秋季大会, 2018/9/14-17, 信州大学

#### (3) その他

使用計算機	使用計算機 に○	配分リソース*	
		当初配分	追加配分
COMA	○		
Oakforest-PACS			
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。			

= 記入上の注意 =

※5.成果発表の項目をのぞいて、A4 二枚程度を目安にご記入ください。

※図表を含めて構いません。(他の文献から図版等を引用する際には、著作権法を遵守してください)

※1. から 5. の項目については、変更していただいても構いません。

※PDFでご提出ください(赤字を消してPDF化してください)

※課題名(和文)は14pt、課題名(英文)および代表者氏名・所属は12pt、その他の文字は10.5ptで作成してください。

※提出いただいたPDFは、[筑波大学計算科学研究センターのWebページにて公開](#)させていただきます。