

研究責任者名 Name	伊藤 悦子		所属機関 Affiliation	高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所 理論センター
受理番号 Proposal No.	大型 12/13-16	研究課題名 Program title	四次元非可換ゲージ理論における相互作用する共形場の理論の探究	

研究を終了しましたので、下記の通り報告します。

成果の概要

Abstract

(和文)

今期の我々は、これまでに発見した四次元非可換ゲージ理論の赤外固定点における、共形場の理論の性質を明らかにすることを目標とし研究を行った。そのために複合演算子に対する新しいくりこみスキームを提案し、固定点における擬スカラー演算子のくりこみ因子を測定することで、SU(3) Nf=12 理論の赤外固定点における質量の異常次元を求めた。

その結果、質量の異常次元はとても小さいことがわかった。

しかしながら、現状として他の手法を用いた結果と違うが見られる。この原因の一つは、他の研究において格子シミュレーションが固定点近傍でなされていないことがある一方、我々の手法でもまだ離散化誤差の見積が不十分であり、現在もシミュレーションを追加し最終的な結論を出すための研究中である。

(英文)

We propose a novel renormalization scheme for the hadronic operators. The renormalization factor of the operator in this scheme is normalized by the correlation function at tree level. If we focus on the pseudo scalar operator, then its renormalization factor is related to the mass renormalization factor of the fermion through the partially conserved axial-vector current (PCAC) relation. Using the renormalization factor for the pseudo scalar operator in our scheme, we obtain the mass anomalous dimension of the SU(3) gauge theory coupled to N<sub>f</sub>=12 massless fundamental fermions, which has an infrared fixed point (IRFP). The mass anomalous dimension at the IRFP is estimated as  $\gamma_m^* = 0.044_{-0.024}^{+0.025}$  (stat.)  $_{-0}^{+0.057}$  (syst.)  $_{-0.032}^{+0}$  (syst.).

The discrepancy between our result and the other results might come from an insufficient estimation of the systematic uncertainty coming from the continuum extrapolation in our analysis.

The future direction within our method is the simulation with the larger lattice size.

研究成果を公開しているホームページアドレス

研究成果の 公表	口頭研究発表 件数	査読つきの 学術論文数	プロシーディング 論文数	その他 (投稿中を含む)
	4	1	0	3

成果の公表リスト（それぞれの枠に番号をつけて記入願います。）

口頭研究発表 Presentations at scientific meetings concerning the program	
1. HPCI 戦略分野 5 全体シンポジウム 2013/03/07 「格子シミュレーションを用いた QCD を超えるゲージ理論に対する最近の研究」	
2. The 31st International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice2013), 2013/08/03 「The Twisted Polyakov Loop Coupling and the Search for an IR Fixed Point」(招待講演)	
3. 「離散的手法による場と時空のダイナミクス」2013/9/27 「Conformal window on the lattice」(招待講演)	
4. 日本物理学会 2013 年秋季大会, 2013/9/22 「SU(3) Nf=12 ゲージ理論の赤外固定点における擬スカラー演算子の異常次元について」	
査読付きの学術論文(雑誌名等には 巻、頁、発表年を記載) (*) 不足する場合には追加願います。	
Refereed Journal Articles (name of journal, volume, page, year)	
1	著者名 Author Etsuko Itou
	タイトル title Properties of the twisted Polyakov loop coupling and the infrared fixed point in the SU(3) gauge theories
	雑誌名 name of journal PTEP 2013 (2013) 8, 083B01
	URL <a href="http://ptep.oxfordjournals.org/content/2013/8/083B01">http://ptep.oxfordjournals.org/content/2013/8/083B01</a>
2	著者名
	タイトル
	雑誌名等
	URL
3	著者名
	タイトル
	雑誌名等
	URL
プロシーディング論文(雑誌名等には 巻、頁、発表年を記載) (*) 不足する場合には追加願います。	
International Conference Proceedings (name of journal, volume, page, year)	
1.	著者名 Author
	タイトル title
	雑誌名等 name of journal
	URL
2.	著者名
	タイトル
	雑誌名等
	URL
3.	著者名
	タイトル
	雑誌名等
	URL
その他 (学位論文、紀要、投稿中の論文を含む) (URL を記載)	
Others (thesis for a degree, bulletin, papers to be published, etc.)	
1. 投稿中 URL: <a href="http://arxiv.org/abs/arXiv:1307.6645">http://arxiv.org/abs/arXiv:1307.6645</a>	
2. 投稿中 URL: <a href="http://arxiv.org/abs/arXiv:1311.2676">http://arxiv.org/abs/arXiv:1311.2676</a>	
3. 投稿中 URL: <a href="http://arxiv.org/abs/arXiv:1311.2998">http://arxiv.org/abs/arXiv:1311.2998</a>	
特記 (本研究に関係した、新聞記事・著作、受賞など) (過去に遡っても構いません。)	
Special Notes (newspaper article, literary works, awards, etc. )	
1.	
2.	

# 実施報告書

- 格子シミュレーションを用いた共形場の理論の研究 -

## 1. 研究組織

研究責任者

伊藤 悦子 (いとう えつこ) 高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所 特任助教  
共同研究者

松古 栄夫 (まつふる ひでお) 高エネルギー加速器研究機構 計算科学センター 助教  
大野木 哲也 (おおのぎ てつや) 大阪大学大学院 理学研究科 教授

## 2. 当該期間の実施報告の詳細

本研究の目的は、4次元 large flavor 非可換ゲージ理論 ( $SU(N_c)$ ) の強結合領域の理論のふるまいを調べることである。このような理論は、摂動論的解析を行うと、赤外領域に非自明な相互作用を持つ固定点が存在する (Caswell, 1974)。その固定点近傍で大きな異常次元を持つオペレータが存在する場合、それが標準理論の Higgs セクターを与える理論の候補となったり、未知の複合粒子として低エネルギー領域の物理に影響したりする可能性が高く、標準模型を超えるモデルの候補の一つとして注目されている。また、場の理論としても、4次元で非自明な相互作用をもつ固定点の例は、あまり知られておらず、理論的にも興味深い対象である。

この固定点の存在は、ゲージ群と結合するフェルミオン場の表現や数に依存する。摂動論 2 ループの解析から、基本表現のフェルミオンが存在する  $SU(3)$  ゲージ理論の場合は  $8 < N_f \leq 16$  の領域に赤外固定点が存在することが示唆されている。しかし、この固定点での結合定数の値はフレーバー数によっては強結合領域にあり、固定点の存在と固定点近傍での場の理論の摂動論的解析は信頼できないため、非摂動論的な解析が非常に重要である。

昨年度までに行ったシミュレーションで、12個の massless fermion の結合した  $SU(3)$  ゲージ理論において、Twisted Polyakov loop (TPL) スキームという有限体積で定義される繰り込んだ結合定数の振舞いを調べ、この理論に繰り込み群の赤外固定点が存在することが分かった。当該期間中に、それらの成果をまとめ、論文 [1] として出版した。この研究は、それまで赤外固定点の存在について結論が分かれてたこの理論において、様々な系統誤差を見積もり、また格子上の相構造なども同時に調べた論文として評価され、Lattice 国際会議での招待講演に選ばれた [2]。

この結果を踏まえて、今年度は、赤外固定点上に実現される共形場理論の性質を調べることと、異なる繰り込みスキームの固定点における結合定数の関係を理解する事を行った。

前者については、複合演算子に関して新しい繰り込みスキームを提案し、TPL scheme で調べた固定点直上で擬スカラー演算子の異常次元を測定した。当該研究期間における SR16000 の  $q_4$  ノード、BG/Q におけるシミュレーションの多くはこの研究のための配位生成に用いた。

擬スカラー演算子の波動関数くりこみは、PCAC 関係式を通じてフェルミオンの質量のくりこみ因子と関係付けられる。我々は、この質量のくりこみ因子から、step scaling 法を用いて、赤外固定点での質量の異常次元を導出した。SU(3)  $N_f=12$  の理論に対して、step scaling 法を用いて異常次元を導出したのは、本研究が初めてである。この研究は、論文 [3] としてまとめ Lattice 国際会議でも発表した [4]。この結果を他の手法を用いて求めた異常次元の値と比較すると、SU(3)  $N_f=12$  では、図 1 となった。

非自明な相互作用をする固定点近傍における質量の異常次元の導出法は、これまでに幾つか提案されている。一つは、我々の行ったくりこみ群的な思想に基づく step scaling 法。他にも、固定点上の理論を質量変形して、ハドロンのスペクトルのフェルミオンの質量に対するスケーリング則から出す方法 [5]、また、Dirac 演算子の固有モード数に関するスケーリング則から出す方法 [6] などがある。本来なら、固定点近傍での臨界指数である異常次元は、全て同じ値になるはずだが、現状としては手法によって優位に異常次元の値に差が見られた。この理由は、他の研究での格子シミュレーションのパ

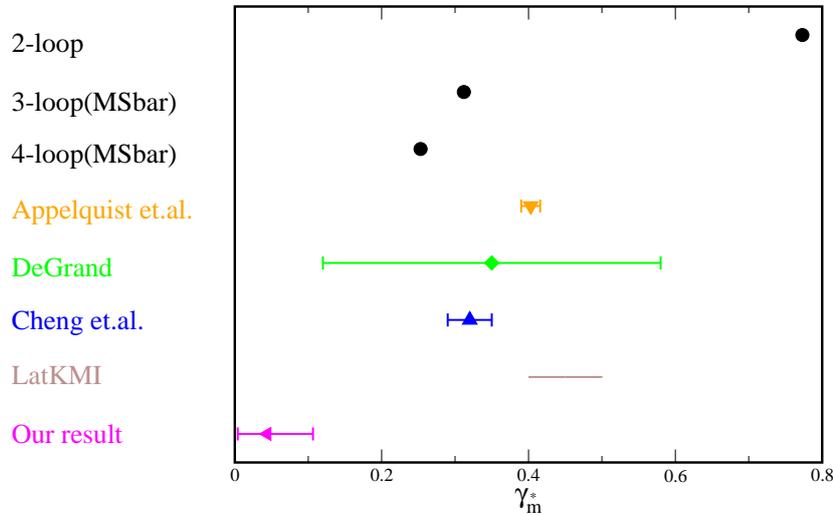


図 1: SU(3) Nf=12 理論における、質量の異常次元の予言値。上から摂動論 2 ループ、MS bar スキームにおける 3 ループ、4 ループ、mass deformed 理論による結果 [7], [8], Dirac 演算子のスケーリング則による結果 [9]、mass deformed 理論による結果 [10]。

ラメータが、固定点近傍を実現してしない可能性もある一方で、我々の研究でも離散化誤差の見積が不十分であることが懸念される。この問題を解決するため、現在でもさらに追加のシミュレーションを行い、さらに、他の手法による異常次元の導出も現在同時に行っている。そのために当該研究期間中には、論文 [6] で導入された Dirac 演算子の有効な測定法に関するコードの開発も行った。

もう一つの大きな目標として、固定点での異なる繰り込みスキームの結合定数の関係について調べた。これは主に SR16000 の q1 クラスを用いて行った。最近提案された Wilson flow を使い、結合定数に関する非摂動的な繰り込みスキームを提案し、TPL スキームと Wilson flow スキームでの固定点における理論の関係について調べた。解析した結果、データがやや不十分であったため、続く年度にも予算を獲得し、現在もシミュレーションを続けている。

## 参考文献

- [1] E. Itou, PTEP **2013**, no. 8, 083B01 (2013) [arXiv:1212.1353].
- [2] E. Itou, arXiv:1311.2676 [hep-lat].
- [3] E. Itou, arXiv:1307.6645 [hep-lat].

- [4] E. Itou, arXiv:1311.2998 [hep-lat].
- [5] L. Del Debbio and R. Zwicky, Phys. Rev. D **82**, 014502 (2010) [arXiv:1005.2371 [hep-ph]].
- [6] A. Patella, Phys. Rev. D **86**, 025006 (2012) [arXiv:1204.4432 [hep-lat]].
- [7] T. Appelquist, G. T. Fleming, M. F. Lin, E. T. Neil and D. A. Schaich, Phys. Rev. D **84**, 054501 (2011) [arXiv:1106.2148 [hep-lat]].
- [8] T. DeGrand, Phys. Rev. D **84**, 116901 (2011) [arXiv:1109.1237 [hep-lat]].
- [9] A. Cheng, A. Hasenfratz, G. Petropoulos and D. Schaich, JHEP **1307**, 061 (2013) [arXiv:1301.1355 [hep-lat]].
- [10] Y. Aoki, T. Aoyama, M. Kurachi, T. Maskawa, K. -i. Nagai, H. Ohki, A. Shibata and K. Yamawaki *et al.*, Phys. Rev. D **86**, 054506 (2012) [arXiv:1207.3060 [hep-lat]].