

研究責任者名 Name	岩崎洋一 <u>Iwasaki Yoichi</u>		所属機関 Affiliation	高エネルギー加速器研究機構 KEK
受理番号 Proposal No.	大型 12/13-17	研究課題名 Program title	Conformal Window と Conformal QCD の研究	

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)

近年、ヒッグス粒子の発見もあり、many flavor QCD における Conformal Theories が研究対象として注目されている。Many flavor QCD のアルゴリズムとして現存していた PHMC は、奇数のフレーバー数にたいして、beta が大きく、クォーク質量が極く小さい時、解けなくなるという根源的な欠点を持っていた。それを解決するために、岩崎により QQPHMC アルゴリズム、石川（広島大）により RHMC アルゴリズムが開発された。これらのアルゴリズムをフレーバー数 7 の系に適用し、その実効性を確認した。

その後、本格的に Conformal Theories の研究を開始することができた。理論的考察とともに、パラメーターを注意深く選択して、メソンの伝搬関数を計算した。

ことにより、Conformal Theories の特徴を新たに発見した。さらに、理論家と共同研究をすることにより、4次元の Conformal Theories の基本的構造を解明する方向に研究を進展させている。

今までの spectroscopy による Conformal Theories の研究全体に影響を及ぼすと考えている。

(英文)

Recently, much attention has been paid to the study of many flavors QCD due to the discovery of Higgs particle. To study many flavor QCD we need algorithm, which can be applied to odd number QCD. We have developed new algorithms to overcome the defects of the ordinal PHMC algorithm that it is not able to simulate QCD at small masses and strong coupling constant for odd number of flavors. We have verified that the new algorithms can be applied efficiently to the QCD with many flavors. Then we applied the new algorithms to the $N_f=7$ case, and tuned parameters carefully to get important results. Doing this, we have found new characteristics of conformal theories. We have been collaborated with a theoretical physicist who is specialist for conformal theories. We have obtained a new concept that conformal theories with an IR cutoff: Conformal theories with an IR cutoff. We believe this new concept has a significant effect for the study of Conformal Theories.

研究成果を公開しているホームページアドレス

<http://www.ccs.tsukuba.ac.jp/people/iwasaki>

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)
	3	1	0	0

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. SCGT 12 held in Nagoya on December 4-7.2012: -7,2012:arXiv:1212.4343. 2. the 31st International Symposium on Lattice Field Theory - LATTICE 2013, July 29 - August 3, 2013, Mainz, Germany,arXiv:1311.2966 3. KMI 2013 held in Nagoya on December 11-13. 2013									
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	<table border="1"> <tr> <td>著者名 Author</td> <td>K.-I. Ishikawa, Y. Iwasaki, Yu Nakayama, and T. Yoshie</td> </tr> <tr> <td>タイトル title</td> <td>“Conformal theories with an infrared cutoff”;</td> </tr> <tr> <td>雑誌名 name of journal</td> <td>PHYSICAL REVIEW D 87, 071503(R) (2013)</td> </tr> <tr> <td>URL</td> <td>http://prd.aps.org/abstract/PRD/v87/i7/e071503</td> </tr> </table>	著者名 Author	K.-I. Ishikawa, Y. Iwasaki, Yu Nakayama, and T. Yoshie	タイトル title	“Conformal theories with an infrared cutoff”;	雑誌名 name of journal	PHYSICAL REVIEW D 87, 071503(R) (2013)	URL	http://prd.aps.org/abstract/PRD/v87/i7/e071503
著者名 Author	K.-I. Ishikawa, Y. Iwasaki, Yu Nakayama, and T. Yoshie								
タイトル title	“Conformal theories with an infrared cutoff”;								
雑誌名 name of journal	PHYSICAL REVIEW D 87, 071503(R) (2013)								
URL	http://prd.aps.org/abstract/PRD/v87/i7/e071503								
2	<table border="1"> <tr><td>著者名</td><td></td></tr> <tr><td>タイトル</td><td></td></tr> <tr><td>雑誌名等</td><td></td></tr> <tr><td>URL</td><td></td></tr> </table>	著者名		タイトル		雑誌名等		URL	
著者名									
タイトル									
雑誌名等									
URL									
3	<table border="1"> <tr><td>著者名</td><td></td></tr> <tr><td>タイトル</td><td></td></tr> <tr><td>雑誌名等</td><td></td></tr> <tr><td>URL</td><td></td></tr> </table>	著者名		タイトル		雑誌名等		URL	
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.	<table border="1"> <tr><td>著者名 Author</td><td></td></tr> <tr><td>タイトル title</td><td></td></tr> <tr><td>雑誌名等 name of journal</td><td></td></tr> <tr><td>URL</td><td></td></tr> </table>	著者名 Author		タイトル title		雑誌名等 name of journal		URL	
著者名 Author									
タイトル title									
雑誌名等 name of journal									
URL									
2.	<table border="1"> <tr><td>著者名</td><td></td></tr> <tr><td>タイトル</td><td></td></tr> <tr><td>雑誌名等</td><td></td></tr> <tr><td>URL</td><td></td></tr> </table>	著者名		タイトル		雑誌名等		URL	
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.)									
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.)									

H25年度 KEK 大型シミュレーション研究 実施報告書

Conformal Window と Conformal QCD の研究

1 研究組織

岩崎 洋一 (いわさき よういち) 高エネルギー加速器研究機構・監事、
筑波大学・名誉教授、筑波大学計算科学研究センター・名誉フェロー

吉江 友照 (よしえ ともてる) 筑波大学計算科学研究センター・准教授

石川 健一 (いしかわ けんいち) 広島大学大学院理学研究科・准教授

2 当該期間の実施報告の詳細

研究の背景と長期目標

テクニカラー模型は、素粒子標準模型を越える理論の候補である。中でも、ゲージ結合定数のスケール依存性が極めて小さいウォーキングテクニカラー模型が注目されている。この模型は、非可換ゲージ理論に多フレーバのフェルミオンが結合した理論で実現される可能性がある。このカテゴリに属する理論を系統的に調べ、現象論的に望ましい性質をもつ理論を特定する事が課題となっている。

この方向の研究の最初のステップは、conformal window を特定する事である。これは、「ウォーキング」が、conformal window の「近辺」で実現できる、と考えられるからである。しかしながら、尤も単純な、SU(3)ゲージ理論に基本表現に属する N_f 個のフェルミオンが結合した系 (以降、QCD-like な理論とよぶ) に対してさえも、複数の研究グループが異なった結果を導いていて、混乱している。この様な背景のもとで、我々は、QCD-like な理論全体の理論構造を系統的に解明する事を長期目標として研究を推進している。

本年度の成果

QCD-like な理論で conformal window を特定する際の技術的困難の一つは、奇数フレーバのシミュレーションを従前のアルゴリズム (PHMC) を用いて実行した場合、結合定数が小さくクォーク質量が極めて小さい、物理的に興味のある領域で、計算が破綻する事である。我々は、まず、この様な領域でも安定してシミュレーションができるアルゴリズム (QQPHMC と RHMC) を開発・実装し、その有効性を確認した。

Conformal window を格子シミュレーションで調べる際は、(格子計算では必然的に有限の赤外 (IR) cutoff を導入するので、) IR cutoff が有限である場合の相構造を理解する事が重要である。我々は、『有限の IR cutoff を持つ conformal 理論』では、質量があるクリティカルな値より小さい時、「閉じ込め相」とも「非閉じ込め相」とも異なる「conformal region」が存在する事を、繰り込み群に基づく理論的考察から予言し、 $N_f = 7, 8, 12, 16$ の

Wilson fermion を用いた数値シミュレーションで検証した。conformal region の meson 伝搬関数 $G(t)$ は、time slice t が大きい時、指数関数 $G(t) \sim \exp(-mt)$ 的ではなく、冪数に変形した湯川型の減衰 $G(t) \propto \exp(-\tilde{m}t)/t^\alpha$ をするという大きな特徴がある。また、(非)閉じ込め相と conformal region 間の相転移は first order であることを理論的にも数値的にも示した。下図左上に相図を、右上に $N_f = 7$ の conformal region での pseudo-scalar (PS) effective mass の典型例を、左下に quark 質量 m_q と PS 質量 (m or \tilde{m}) を $1/K$ に対してプロットしたものを、右下に、その拡大図を、各々示した。これ等の結果は、QCD-like な理論の conformal window が $N_f = 7 \sim 16$ である事を、強く示唆する。

本研究では、さらに、1) 真空の構造を空間方向のポリアコフ・ループを用いて調べ、真空は非自明の $Z(3)$ twisted な構造を持っていること、(2) $N_f = 2$ QCD の高温相 ($T > T_c$) でも、IR fixed point を持つことを繰り込み群の考察から導き、クォーク質量が小さい時は、『有限の IR cutoff を持った conformal 理論』であることを数値的にも示した。

メソン伝搬関数 $G(t)$ を local mass $m(t)$ と local exponent $\alpha(t)$ を用いて、 $G(t) = c \exp(-m(t)t)/t^{\alpha(t)}$ とパラメトライズすると、系の力学的な特徴を調べることが可能になる。この様な local 解析を行い、 $N_f = 7 \sim 16$ の large N_f の系と $N_f = 2$ の $T \sim T_c$ から $T \gg T_c$ との間に対応関係があることを示した。これにより、一方の結果を他方の系に対応させることができる。特に、 $N_f = 7$ と $T/T_c = 1 \sim 2$ の対応関係が成り立ち、exponent が ~ 1.2 であることが導びかれた。他方、 $N_f = 16$ は $T/T_c \sim 100.0$ に対応する。メソンは自由なフェルミオンに近いが、真空が自明な真空でなく、非自明な $Z(3)$ twisted vacuum であることを示した。

