

研究責任者名 Name	野秋淳一		所属機関 Affiliation	KEK 素核研
受理番号 Proposal No.	12/13-23	研究課題名 Program title	細谷機構の非摂動的な解明	

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)

本研究ではゲージ対称性を自発的に破る新たな可能性を探るため、細谷機構として知られる機構を数値シミュレーションによって非摂動的に調べた。ゲージ対称性の破れのパターンと相構造を調べるため、さまざまなセットアップのもとで数値シミュレーションを行った結果、過去に知られている結果を再現しつつ、摂動論による予言とシミュレーション結果とが完全に対応することを見いだした。この成果を論文にまとめ、現在投稿中である。

また、さらなるバリエーションの数値シミュレーションのためのコードを開発し、テストランも行った。

(英文)

In this study, we investigated the Hosotani mechanism non-perturbatively by a numerical simulation. Toward our final goal, namely the non-perturbative establishment of this mechanism, we examined the pattern of the symmetry breaking and the phase structure of the theory with a variety of simulation parameters. As a result, we found a perfect match between the perturbative prediction and the simulation data after confirming previous works. These achievements have been summarized as a paper which is under consideration to publish.

Also, we tested our code for our future runs.

研究成果を公開しているホームページアドレス

開催した国際研究会について：<http://www-conf.kek.jp/past/extra-dimensions/>

開発したシミュレーションコードについて：

http://suchix.kek.jp/guido_cossu/documents/DoxyGen/html/index.html

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)
	12	0	2	1

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. “[Hosotani mechanism on the lattice and its applications to EW](#)”, Extra Dimensions 2013 (Osaka University, March13), speaker: Y. Hosotani
2. “[Lattice study on the Hosotani mechanism - adjoint fermion](#)”, Extra Dimensions 2013 (Osaka University, March13), speaker: E. Ito
3. “[Lattice study on the Hosotani mechanism - fundamental fermion](#)”, Extra Dimensions 2013 (Osaka University, March13), speaker: J. Noaki
4. "Gauge Correlators and the Hosotani Mechanism on the Lattice", Extra Dimensions 2013 (Osaka University, March15), speaker: J. Hetrick
5. “細谷機構の非摂動論的解明(I)”, 日本物理学会第68回年次大会(広島大学、3月26日),
登壇者：細谷裕
6. “細谷機構の非摂動論的解明(II)”, 日本物理学会第68回年次大会(広島大学、3月26日),
登壇者：野秋淳一
7. “Hosotani mechanism on the lattice”, The 31st International Symposium on Lattice Field Theory - LATTICE 2013 (Mainz Germany, Aug.2), speaker: G. Cossu
8. "Lattice Investigations of the Hosotani Mechanism", he 31st International Symposium on Lattice Field Theory - LATTICE 2013 (Mainz Germany, Aug.2), speaker: J. Hetrick
9. 格子シミュレーションによる細谷機構の解明”, 基研研究会 素粒子物理学の進展 2013 (8月8日),
登壇者：野秋淳一
10. “SO(5)xU(1) gauge-Higgs unification”, in the international workshop "Scalars 2013", Warsaw, 16 September 2013, speaker: Y. Hosotani
11. "Non-perturbative study of the Hosotani Mechanism", Galileo Galilei Institute, Florence Italy, Sept 27 2012, speaker: J. Hetrick
12. 細谷機構の非摂動論的解明(III)”, 日本物理学会秋季大会(高知大学、9月22日),
登壇者：野秋淳一

査読つきの学術論文(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	
	タイトル title	
	雑誌名 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	
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	G. Cossu, H. Hatanaka, Y. Hosotani, E. Itou and J. Noaki
	タイトル title	Hosotani mechanism on the lattice
	雑誌名等 name of journal	The 31st International Symposium on Lattice Field Theory - LATTICE 2013
	URL	http://xxx.yukawa.kyoto-u.ac.jp/abs/1311.0079
2.	著者名	G. Cossu, J. Noaki, S. Hashimoto, T. Kaneko, H. Fukaya, P.A. Boyle, J. Doi
	タイトル	JLQCD IroIro++ lattice code on BG/Q
	雑誌名等	The 31st International Symposium on Lattice Field Theory - LATTICE 2013
	URL	http://xxx.yukawa.kyoto-u.ac.jp/abs/1311.0084
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. URL: http://xxx.yukawa.kyoto-u.ac.jp/abs/1309.4198 Authors: Guido Cossu , Hisaki Hatanaka , Yutaka Hosotani , Jun-Ichi Noaki Title: Polyakov loops and the Hosotani mechanism on the lattice Physical Review D 誌に投稿中		
2. URL:		
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. 国際研究会 “Extra Dimensions 2013” を大阪大学にて 3 月 13-15 に開催 URL: http://www-conf.kek.jp/past/extra-dimensions/		
2.		

平成 24–25 年度大型シミュレーション研究 「細谷機構の非摂動的な解明」実施報告書

KEK 素粒子原子核研究所
野秋淳一

2013 年 12 月 26 日

1 研究組織

当研究グループ sc-cmpct のメンバーは以下の通りである。

研究責任者	野秋淳一	KEK 素粒子原子核研究所 特任助教
共同研究者	伊藤悦子	KEK 素粒子原子核研究所 特任助教
	COSSU, Guido	KEK 素粒子原子核研究所 研究員
	HETRICK, James E.	Physics Department, University of the Pacific 教授
	細谷裕	大阪大学大学院理学研究科 教授

野秋・伊藤はゲージ配位生成とデータ解析の基礎的部分を担当した。Cossu はシミュレーションコードのチューニングと環境整備を行いつつ、進んだデータ解析を行った。Hetrick は主にゲージ場質量の計算に関する研究を行った。細谷機構の提唱者である細谷は素粒子現象論の立場から伊藤・野秋・Cossu とともに数値シミュレーションを立案し、得られた結果をまとめ上げた。将来に向けたコード開発および全体の統括を野秋が行った。

2 研究の内容

2.1 ねらい

ヒッグス粒子の発見をふまえ、標準理論の枠組みを改めて問い直す試みが、現在の素粒子物理学で最重要のトピックである。標準理論を越えた物理として現実味をもって議論されているアイデアのひとつ、“ゲージ-ヒッグス統合”は、我々の研究対象である細谷機構に基づいている。コンパクト化された余剰次元があると、ゲージ場の余剰次元でのアハラノフ・ボーム位相が力学的自由度となり、この位相のダイナミクスによってゲージ対称性が破れ得る。この位相の揺らぎがヒッグス場となる。これが細谷機構の骨子である [1]。

ゲージ-ヒッグス統合理論にはいくつかの解決すべき問題がある。特に 4 次元時空+余剰次元の高次元場の理論であり、量子場の理論として定義できているかどうか分からないこと、および、コンパクト

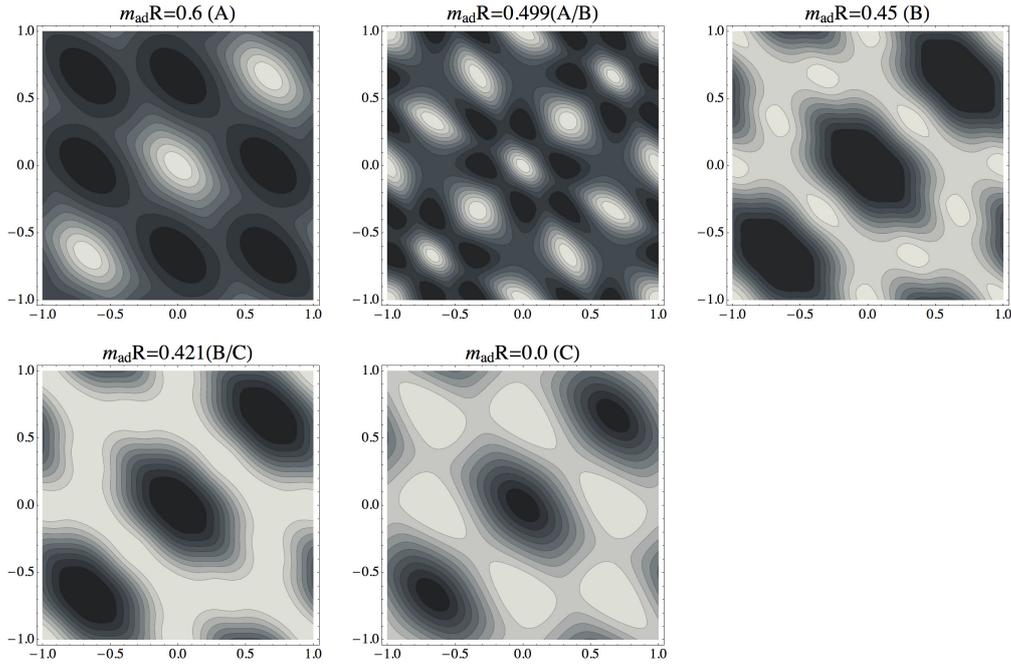


図 1: 摂動的に予言される有効ポテンシャルをアハラノフ・ボーム位相 (θ_1, θ_2) の平面で図示したもの。各相とそれらの転移点を各パネルに分け (上段左から A 相、A/B 転移点、B 相、下段左から B/C 転移点、C 相)、濃淡で値の大小を表している (白色が最小値)。

ト化がゲージ対称性を破り得ることが摂動論でしか確立されていないことがあげられる。これらはしばしば同列に議論されているが、本来高次元場の理論の困難と細谷機構とは独立である。これらを明確に切り離して議論するために、我々はくりこみ可能な時空 3 次元+余剰 1 次元 (すなわち 4 次元) のゲージ理論を考える。コンパクト化がゲージ対称性 ($SU(3)$ 対称性を考える) を破り、有限の質量を持つスカラー場が現れることを非摂動的に示すことによって、(広義の) 細谷機構がゲージ場の量子論に備わる基本的性質であることを確立するのが我々の狙いである。

2.2 数値シミュレーションとその成果

我々が行ったのは、4 次元 $SU(3)$ ゲージ理論のうち 1 次元がコンパクト化された理論の数値シミュレーションである。パラメータ空間を網羅するようなゲージ配位生成を行い、そのうえでコンパクト次元方向のポリヤコフループを計算した。ポリヤコフループの値とゲージ対称性の破れとの関連は細谷のアイデア [2] に依る。すなわちモデルの含むフェルミオンの存在によって、ポリヤコフループの値が QCD では生じないある位相をもつことが、3 つあるアハラノフ・ボーム位相に不均衡をもたらし、ゲージ対称性の破れに至る。我々はスタッガードタイプの格子フェルミオンを用い、単一の格子サイズ $16^3 \times 4$ を用いた。まずは随伴表現フェルミオンを含む場合について先行する研究 (ただし異なる動機による) [3] の結果を追試したのち、この場合と基本表現フェルミオンを含む場合についてより多様なパラメータ領域を調べた。ポリヤコフループのみならず、3 つのアハラノフ・ボーム位相の固有値の分布も詳細に測定した。初期の成果を携え、関連する研究者との交流を目的として、計算基礎

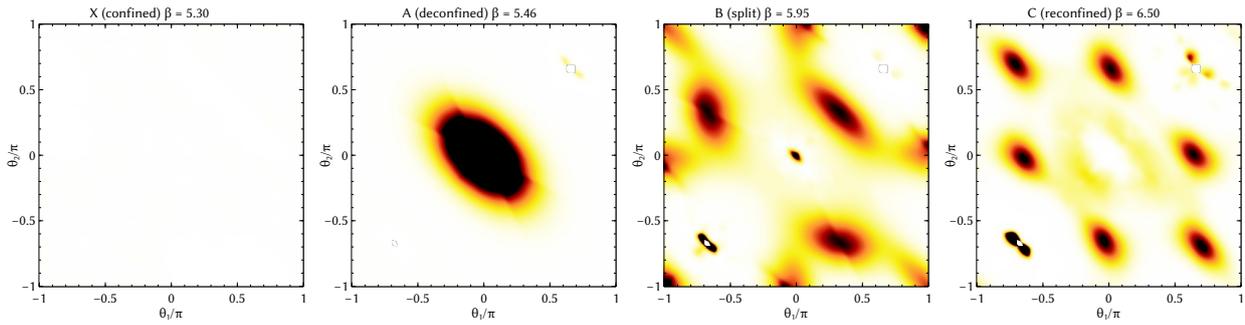


図 2: 格子シミュレーションの結果から 有効ポテンシャルの情報を引き出したもの。左から X, A, B, C 相に対応し、黒い部分が最小値を表す (図 1 との違いに注意)。

科学連携拠点の支援により国際研究会 [4] を開催した。

後期の結果として我々は、アハラノフ・ボーム位相のふるまいが摂動論により予言されるものと定性的に一致し、細谷機構が格子ゲージ理論でも実現されていることを見出した。特に随伴表現のフェルミオンのみが存在する場合は重要であるが、この場合について摂動計算では図 1 のように、相構造の変化に伴う有効ポテンシャルの変化が得られる。我々はこれと同種の情報を数値シミュレーションで得られたデータからいくつかの段階を経ることで得ることができた。図 2 がそれである。左端は摂動側で比較対象を得ることができない (X 相)。一方で残りのパネルにあるプロットでは、A, B, C の各相で特徴的な最小点が再現されている。最終的に図 phase-diagram にあるような相構造が確認できた。これらの成果を論文 [5] として纏め、現在 Physical Review D 誌に投稿中である。

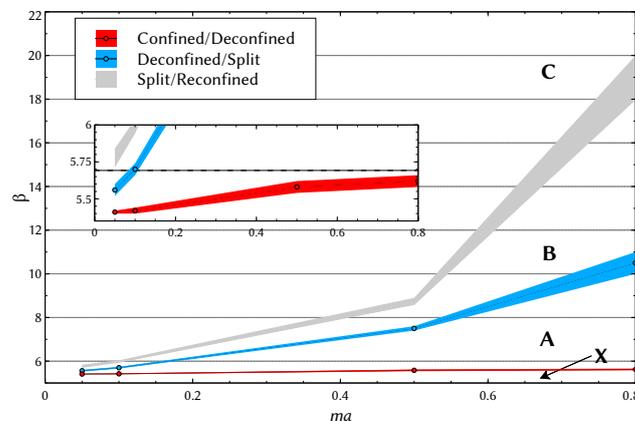


図 3: 随伴表現フェルミオンが存在する場合の、格子パラメータ空間における相構造。

なお、本研究で部分的に用いたシミュレーションコード IroIro++ [7, 8] は、いわゆる“共通コード”の性格を備えており、その開発プロジェクトと本研究との間に高い相乗効果があったことを付言しておく。

2.3 今後にむけて

本研究で得られた成果に立脚し、今後成さねばならないこととして、ゲージボソンの質量スペクトルを数値シミュレーションで調べることが挙げられる。さらにはこの枠内にとらわれずに、格子シミュレーションによるゲージ-ヒッグス統合の物理への貢献について、手法と実現可能性とを検討中である。

参考文献

- [1] Y. Hosotani, *Phys. Lett. B* **126**, 309 (1983); *Ann. Phys. (N.Y.)* **190**, 233 (1989).
- [2] Y. Hosotani, AIP Conf. Proc. **1467**, 208 (2012) [arXiv:1206.0552 [hep-ph]].
- [3] G. Cossu and M. D’Elia, *JHEP* **0907**, 048 (2009)
- [4] 国際研究会 EXTRADIM2013 (Toward Extra-Dimensions on the Lattice)
13-15 March 2013, Osaka University, <http://www-conf.kek.jp/extradim/>
- [5] “Polyakov loops and the Hosotani mechanism on the lattice”, G. Cossu, H. Hatanaka, Y. Hosotani and J. Noaki, [arXiv:1309.4198 [hep-lat]].
- [6] “Hosotani mechanism on the lattice”, G. Cossu, H. Hatanaka, Y. Hosotani, E. Itou and J. Noaki, [arXiv:1311.0079 [hep-lat]].
- [7] “JLQCD IroIro++ lattice code on BG/Q”, G. Cossu, J. Noaki, S. Hashimoto, T. Kaneko, H. Fukaya, P. A. Boyle, J. Doi, [arXiv:1311.0084 [hep-lat]].
- [8] http://suchix.kek.jp/guido_cossu/documents/DoxyGen/html/index.html