

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月 9日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22540286

 研究課題名（和文） Wilson流繰り込み群による非線形な対称性を持つ場の理論
の物理的描像の検証

 研究課題名（英文） Examination of the physical pictures of the field theories
with nonlinearly realized symmetries by the Wilsonian
renormalization group method

研究代表者

原田 恒司（HARADA KOJI）

九州大学・大学院理学研究院・教授

研究者番号：00202268

研究成果の概要（和文）：

強い相互作用の基本理論であるQCDの持つカイラル対称性を反映した核子系有効場理論の次数勘定ルールを決定する方法として、非摂動的なWilson流繰り込み群の解析から得られるスケール次元を用いる方法を提唱し、その解析の結果、Kaplan、Savage、Wiseらによって提案された次数勘定ルールに非常に近いものが得られることを示した。この結果に基づく核子-核子散乱の位相のずれを計算する現実的な方法を提案し、その方法に基づく計算を実行した。

研究成果の概要（英文）：

We propose a method of determining the power counting rule for Nuclear Effective Field Theory, which reflects chiral symmetry of QCD, the fundamental theory of strong interactions. The method is based on the scaling dimensions obtained by the nonperturbative, or Wilsonian, renormalization group analysis. We show that the resulting power counting rule turns out to be very similar to that proposed by Kaplan, Savage, and Wise. We also propose a practical scheme of calculating the nucleon-nucleon scattering phase shift on the basis of the analysis and perform the calculations.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：素粒子（理論）

1. 研究開始当初の背景

(1) 核子系有効場理論は、場の理論の一般的な原理に基づく、モデルではない原子核理論へのアプローチとして注目されているが、その基礎にある次数勘定ルールについては十分理解されているとは言えなかった。

(2) 我々は以前の論文で、パイオンを含まない核子系有効場理論の非摂動的繰り込み群による解析をおこなった。次数勘定ルールは非摂動的繰り込み群によって得られる演算子のスケール次元によって決定されるべきだと主張した。結果として、我々の次数勘定ルールは、Kaplan, Savage, Wise (KSW) らが提唱するものと非常によく似ているものとなった。この解析を、パイオンを含む系に拡張することを試みてはいたが、困難があって先に進めないでいた。

(3) KSW ルールではパイオンの交換は摂動的に取り扱われる。一方、パイオン交換のテンソル力は短距離で強くなり、摂動的な取り扱いはできないと考えられていた。実際、KSW ルールに基づく計算では有効場理論としての展開が破綻することが示された。しかし、パイオン交換を非摂動的に取り扱う次数勘定ルールは矛盾を含んでいることもよく知られていた。

2. 研究の目的

パイオンを含む核子系有効場理論の次数勘定ルールを、非摂動的繰り込み群を用いて決定し、それに基づく実際の計算手法を確立する。

3. 研究の方法

(1) 非摂動的繰り込み群を用いて、非自明固定点近傍における、演算子のスケール次元を計算することにより、それぞれの演算子の重要性を決定する。

(2) 非摂動的繰り込み群の結果に基づく、実際の計算を行うために hybrid 正則化法を開発し、それに基づいて核子-核子散乱の位相のずれを計算する。

4. 研究成果

(1) 非摂動的繰り込み群を矛盾なく行うためには、パイオンの寄与も短距離部分と長距離部分に分離する必要があることを指摘した。この分離のスケールが繰り込み群での floating cutoff となる。この分離の下で、短距離部分は局所的な演算子として現され

る。繰り込み群方程式を導き、非自明な固定点がパイオンを含まない理論のものと同視できることを示した。また、パイオンの寄与の長距離部分は irrelevant で、それゆえ摂動的に扱うことが可能であることを示した。

(2) 繰り込み群の計算では、理論の発散の構造のみを取り扱うが、実験値と比較するためには有限部分も含めて計算する必要がある。そのために hybrid 正則化法を開発した。この方法では、局所的演算子のみを含むダイアグラムに対しては PDS と呼ばれる次元正則化の一種を用い、パイオンの寄与の長距離部分に対してはガウス関数型の切断を用いる。この方法を用いて、核子-核子散乱の位相のずれの計算を行った。

(3) 非摂動的繰り込み群の手法を 3 体系に応用した。この研究は極低温に冷却された原子系の研究への応用の点でも重要である。3 体系は、従来 dimeron と呼ばれる 2 体の伝播を表す自由度を導入した形でしか議論されていなかったが、我々はそのような補助的な自由度を導入することなしに非摂動的繰り込み群を定式化することに成功した。この研究を通じて、従来の dimeron を用いた定式化のほとんどに誤りがあることを指摘した。また、新たな非自明固定点を見出したり、Efimov 効果と繰り込み群のリミットサイクルとの関係についての新しい知見を得た。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

① Koji Harada, Hirofumi Kubo, and Issei Yoshimoto, “Wilsonian renormalization group analysis of nonrelativistic three-body systems without introducing dimers”, Phys. Rev. D (査読有), D87 (2013) 085006-1 ~ 19, DOI:10.1103/PhysRevD.87.085006.

② Koji Harada, Hirofumi Kubo, Tatsuya Sakaeda, and Yuki Yamamoto, “Wilsonian RG Analysis of the P-wave Nucleon-Nucleon Scattering Including Pions”, Few-Body Syst. (査読有), (2013) DOI:10.1007/s00601-012-0541-9.

③ H. Kubo, H. Harada, T. Sakaeda, and Y.

Yamamoto, “Practical Computational Scheme Implementing the Wilsonian RG Results for Nuclear Effective Field Theory Including Pions”, *Few-Body Syst.* (査読有), 54 (2013) 245 ~ 249, DOI:10.1007/s00601-012-0349-7.

④ Koji Harada, Hirofumi Kubo, Tatsuya Sakaeda, and Yuki Yamamoto, “Pions in Nuclear Effective Field Theory: How They Behave Differently at Different Scales and How They Decouple at Very Low Energies”, *Few-Body Syst.* (査読有), 54 (2013) 239~243, DOI:10.1007/s00601-012-0348-8.

⑤ Koji Harada, Hirofumi Kubo, and Yuki Yamamoto, “Pions are neither perturbative nor nonperturbative: Wilsonian renormalization group analysis of nuclear effective field theory including pions”, *Phys. Rev. C* (査読有), C83 (2011) 034002-1 ~ 14, DOI:10.1103/PhysRevC.83.034002.

[学会発表] (計 12 件)

① 吉本一世, 原田恒司, 遠藤晋平, 「Wilson 流くりこみ群を用いた mass imbalanced Fermi 系の解析」日本物理学会第 68 回年次大会、2013 年 3 月 29 日、広島大学東広島キャンパス

② 原田恒司, 久保博史, 吉本一世, 「非相対論的な 3 体系と limit cycle」日本物理学会 2012 年秋季大会、2012 年 9 月 11 日、京都産業大学

③ 久保博史, 原田恒司, 柴田達也, 山本裕樹, 「パイ中間子を含む核子系有効場理論による二核子系の解析 – ウィルソン流くりこみ群の解析に基づいた計算 –」日本物理学会 2012 年秋季大会、2012 年 9 月 11 日、京都産業大学

④ Koji Harada, “Life without dimers”, The 6th International Conference on the Exact Renormalization Group, 2012 年 9 月 5 日、Centre Paul Langevin (Aussois), France.

⑤ Koji Harada, Hirofumi Kubo, Tatsuya Sakaeda, and Yuki Yamamoto, “Wilsonian RG

analysis of the P-wave nucleon-nucleon scattering including pions”, The 20th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics (FB20), 2012 年 8 月 20 日、福岡国際会議場

⑥ 原田恒司, 久保博史, 吉本一世, 「非相対論的な 3 体系の Wilson 流くりこみ群による解析」日本物理学会第 67 回年次大会、2012 年 3 月 25 日、関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス

⑦ 柴田達也, 原田恒司, 久保博史, 山本裕樹, 「核子系有効場理論を用いた核子-核子散乱のくりこみ群に基づく解析」日本物理学会第 67 回年次大会、2012 年 3 月 25 日、関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス

⑧ Koji Harada, “Wilsonian view on the nuclear effective field theory”, Workshop on Renormalization Group Approach from Ultra Cold Atoms to the Hot QGP, 2011 年 8 月 31 日、京都大学基礎物理学研究所

⑨ Kubo Hirofumi, Harada Koji, and Yuki Yamamoto, “Practical calculational scheme implementing the Wilsonian RG results for nuclear effective field theory including pions”, Asia-pacific Conference on Few-Body Problems in Physics 2011, 2011 年 8 月 22 日、Seoul, the Republic of Korea.

⑩ Koji Harada, Kubo Hirofumi, and Yuki Yamamoto, “Pions in Nuclear Effective Field Theory: How They Behave Differently at Different Scales and How They Decouple at Very Low Energies”, Asia-pacific Conference on Few-Body Problems in Physics 2011, 2011 年 8 月 22 日、Seoul, the Republic of Korea.

⑪ 原田恒司, 久保博史, 山本裕樹, 吉本一世, 「1 核子カイラル摂動論における外見上不変でない項 (ANTs)」, 日本物理学会 2010 年秋季大会、2010 年 9 月 12 日、九州工業大学戸畑キャンパス

⑫ 久保博史, 原田恒司, 山本裕樹, 「Wilson

流線り込み群を用いた pionful NEFT の解析」、
日本物理学会 2010 年秋季大会、2010 年 9 月
12 日、九州工業大学戸畑キャンパス

〔図書〕(計 1 件)

原田恒司 (共著)、朝倉書店、「素粒子物理学
ハンドブック」(山田作衛、他編集)、2012、
90~109

6. 研究組織

(1) 研究代表者

原田 恒司 (HARADA KOJI)
九州大学・大学院理学研究院・教授
研究者番号 : 00202268

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

山本 裕樹 (YAMAMOTO YUKI)
東北公益文化大学・公益学部・講師
研究者番号 : 20348816
久保 博史 (KUBO HIROFUMI)
佐賀大学・シンクロトロン光応用研究
センター・特命研究員
研究者番号 : 40573506