

立教大学学術推進特別重点資金(立教SFR)

大学院学生研究

2017年度研究成果報告書

研究科名	立教大学大学院 理学 研究科 物理学 専攻		
研究代表者 (2018年3月現在のものを記入)	在籍研究科・専攻・学年	氏名	
	理学研究科・物理学専攻・博士課程後期課程3年次	長谷川 知香	印
指導教員	所属・職名	氏名	
	理学部物理学科・准教授	中山 優	印
自然・人文・社会の別	<input checked="" type="radio"/> 自然 ・ 人文 ・ 社会	個人・共同の別	<input checked="" type="radio"/> 個人 ・ 共同 名
研究課題	共形場理論を基礎とした場の量子論・超弦理論に基づく量子重力理論の構築に向けた研究		
研究組織 (研究代表者・共同研究者) ※2018年3月現在のものを記入	在籍研究科・専攻・学年	氏名	
	理学研究科・物理学専攻・博士課程後期課程3年次	長谷川 知香	
研究期間	2017 年度		
研究経費 (1円単位)	(支出金額) 200,686円 / (採択金額) 500,000円		

研究の概要 (200~300字で記入、図・グラフ等は使用しないこと。)

近年、2より高い次元の共形不変な場の量子論いわゆる高次元共形場理論に関して大きな進展があった。共形場理論は、共形仮説に基づく臨界現象やホログラフィー原理による量子重力理論ないし超弦理論等への応用が精力的に研究されているが、いずれも未証明・未完成である。本研究では、それらの応用に向けた基礎を築くために、高次元の平坦な時空間上での共形場理論を解くという文脈で発達してきた解析方法(共形ブートストラップの方法、 ϵ 展開等)を用いて、局所的に共形平坦な曲がった時空間の一例である実射影空間上での共形場理論を解くことを行った。

キーワード (研究内容をよく表しているものを3項目以内で記入。)

{ 共形場理論 } [共形ブートストラップ] { ϵ 展開 }

研究成果の概要 (図・グラフ等は使用しないこと。)

d 次元実射影空間上での共形場理論

4 - ϵ 次元実射影空間上での臨界 ϕ^4 模型を、1. 弱結合摂動論、2. 共形ブートストラップ、3. 共形対称性と Schwinger-Dyson 方程式との整合性に基づく ϵ 展開という異なる 3 つの方法で解き、それぞれの方法で得られる解とその精度の違いを明らかにしつつ、いずれの結果も互いに整合していることを示した (研究発表①[1])。

1. 弱結合摂動論

伝統的な弱結合領域での摂動論によって、 $\phi - \phi$ 2 点相関関数を ϵ の最低次において計算した。 ϵ の 2 次以上の補正を計算するためには実射影空間上でのくりこみを実行する必要があるが、 ϵ の最低次ではその必要は無い。なお、この方法では実射影空間上での共形対称性 $SO(d+1)$ をあからさまには用いていない点が、後述の 2. 及び 3. の方法と異なる点である。

2. 共形ブートストラップ

実射影空間上での 2 点相関関数が満たすべき共形ブートストラップ方程式いわゆるクロスキャップ・ブートストラップ方程式を解くことによって、 $\phi - \phi$ 2 点相関関数を ϵ の最低次において評価した。一般に、共形ブートストラップ方程式は無数個のプライマリー演算子の和を取ることによって成立するが、臨界 ϕ^4 模型の場合は最低次元のプライマリー演算子である ϕ の異常次元が ϵ の 2 次から始まるため、有限個のプライマリー演算子の和で打ち切られる。クロスキャップ・ブートストラップ方程式の解は、1 つの任意定数によって定められ、その任意定数として臨界 ϕ^4 模型の既知の値を仮定すると、1. の方法で得られた結果を完全に再現する。また、臨界 ϕ^4 模型の代わりに臨界 $O(N)$ ベクトル模型の既知の値を仮定しても結果に矛盾は無いため、この方法は、共形不変性 (及び交差対称性) はあからさまに用いているが模型を特定しない解法と言える。

3. 共形対称性と Schwinger-Dyson 方程式との整合性に基づく ϵ 展開

Wilson-Fisher 固定点は共形不変であり、 ϵ をゼロに取る極限の下で自由場理論に帰着すると仮定する。そして、Schwinger-Dyson 方程式を用いると、自由場理論におけるある特定のプライマリー演算子が、Wilson-Fisher 固定点においてはディセンダント演算子として振る舞う。この方法は、共形場理論の手法に基づく ϵ 展開と呼ばれる場合がある。この方法では、共形不変性を仮定していることに起因して、くりこみ群のベータ関数の零点を求めること無しに臨界結合定数を決定できる。そして、1. 及び 2. の方法では求められなかった、 ϕ の異常次元に対する ϵ の 2 次まで求められる。さらに、 ϕ^4 の異常次元を ϵ の最低次で評価できる。しかし、2. の方法で現れた $\phi - \phi - \phi^2$ 演算子積展開係数と ϕ^2 1 点関数係数との積の ϵ の最低次が求められない。その他の共形場理論データに関しては、1. 及び 2. の方法の結果と整合する。

以上

研究成果の概要 つづき

※この(様式2)に記入の成果の公表を見合わせる必要がある場合は、その理由及び差し控え期間等を記入した調書(A4縦型横書き1枚・自由様式)を添付すること。

研究発表 (研究によって得られた研究経過・成果を発表した①～④について、該当するものを記入してください。該当するものが多い場合は主要なものを抜粋してください。)

- ①雑誌論文 (著者名、論文標題、雑誌名、巻号、発行年、ページ)
- ②図書 (著者名、出版社、書名、発行年、総ページ数)
- ③シンポジウム・公開講演会等の開催 (会名、開催日、開催場所)
- ④その他 (学会発表、研究報告書の印刷等)

① 査読付き原著論文

[1] Chika Hasegawa and Yu Nakayama, ``Three ways to solve critical ϕ^4 theory on $4-\epsilon$ dimensional real projective space: perturbation, bootstrap, and Schwinger-Dyson equation,`` Int. J. Mod. Phys. A33 (2018) no. 08, 1850049 [arXiv:1801.09107 [hep-th]].

② 該当無し

③ 該当無し

④

[一般講演]

・ Yukawa Institute Conference: Strings and Fields 2017

2017年8月10日 京都大学基礎物理学研究所

``Crosscap Bootstrap and ϵ -Expansion from Conformal Field Theory in $4-\epsilon$ Dimensional Critical ϕ^4 -Theory``

・ 日本物理学会 2017年秋季大会

2017年9月12日 宇都宮大学

「 $4-\epsilon$ 次元臨界 ϕ^4 理論におけるクロスキャップ・ブートストラップと共形場理論の手法に基づく ϵ 展開」

・ Symposium: Bootstrap Approach to Conformal Field Theories and Applications

2018年3月22日 沖縄科学技術大学院大学

``Three ways to solve critical ϕ^4 theory on $4-\epsilon$ dimensional real projective space: perturbation, bootstrap, and Schwinger-Dyson equation``

[招待講演]

・ 埼玉大学素粒子論研究室セミナー

2017年12月22日 埼玉大学

「 d 次元実射影空間上での共形場理論：基礎と応用」