

# 論文内容要旨 (和文)

平成 14 年度入学 大学院博士後期課程 地球共生圏科学専攻 生態圏系遠科学講座

氏名 三浦 光



論文題目 BRST 対称なゲージオン形式による Higgs 模型

素粒子間に働く基本的な力はゲージ粒子によって媒介される。ゲージ粒子は、本来は質量ゼロであるが、ゲージ対称性の自発的破れにより質量を持つ粒子もある。いずれも、素粒子物理学で重要な役割を果たす。質量のあるゲージ粒子に対する理論として、最も基本的なものが Higgs 模型である。

ゲージ理論は古典的には、ゲージ変換と呼ばれる変換に対し不変である。このゲージ理論を量子論的に扱うには、ゲージ固定という操作が必要である。その操作の際にゲージ固定パラメーターというものが導入される。

ゲージ場の量子論の標準的な理論形式では、ゲージ固定パラメーターの値を、ゲージ変換で動かすことは出来ない。これに対し、横山のゲージオン形式では、ゲージ固定パラメーターの値を動かすことが出来る。この形式では、ゲージ固定パラメーターの値は、特殊なゲージ変換(これを  $q$  数ゲージ変換と呼ぶ)を導入することにより動かされる。 $q$  数ゲージ変換は、ゲージオン場と呼ばれる一組の場が導入されることにより構成される。

ゲージオン形式を扱う利点には、次のような理論的な点が挙げられる。1つは、物理的 S 行列がゲージ固定パラメーターに依存しないことを容易に確かめることが出来る点である。もう1つは、BRST 対称性を導入した場合に、ゲージ固定パラメーターに依存しない単一の物理的 Hilbert 空間を導入することが出来る点である。この物理的 Hilbert 空間の導入により、これまでのゲージ固定パラメーターの異なる種々の理論を1つの枠組みで扱えるのである；通常の形式では、ゲージ固定パラメーターの値の異なる理論の状態空間は、異なる Hilbert 空間に対応する。

本論文では、Higgs 模型に対する BRST 対称なゲージオン形式を扱う。Higgs 模型は、質量を持つゲージ粒子に対する最も基本的な模型である。Higgs 模型に対するゲージオン形式は、既に横山によって扱われているが、彼の理論は通常の共変ゲージ固定の理論に対応するものであり、非物理的なゴールドストーンボソンを、質量のないダイポール場として与える。従って、ゴールドストーンボソンが質量を持つようなゲージ固定 ( $R_\xi$  ゲージと呼ばれる) は扱えない。そこで我々は、通常の共変ゲージの他に、 $R_\xi$  ゲージも扱うことの出来るゲージオン形式の構成を目指した。これには、より一般的なゲージ固定項を持つラグランジアンが不可欠である。そこで本論文では、Higgs 模型に対し、ゲージ場、ゴールドストーンボソン場、中西ロートラップ場  $B$ 、横山のゲージオン場を1組、及びそれら全ての場に対応するファーフ・ポポフのゴースト場を含む一般的なゲージ固定項を構成した。この理論においては、ゲージ固定パラメーターを特定の値に選ぶことにより、通常の共変ゲージや、 $R_\xi$  ゲージを再現する。理論に含まれるいくつかのゲージ固定パラメーターは、 $q$  数ゲージ変換により動かすことが出来る。特に、 $\xi$  パラメーターと呼ばれる  $R_\xi$  ゲージにおけるゲージ固定パラメーターを  $q$  数ゲージ変換で動かせる可能性も探った。一般のラグランジアンでは、 $\xi$  パラメーターに多様性がある。この様々な  $\xi$  パラメーターの中のどの  $\xi$  パラメーターを選んだとしても、その  $\xi$  パラメーターを動かすことが不可能であることを証明した。

(10pt 2,000字程度 2頁以内)

# 論文内容要旨 (英文)

平成 14 年度入学 大学院博士後期課程 地球共生圏科学専攻 生物圏発達科学 講座

氏 名 三浦 光



論文題目 BRST Symmetric Gaugeon Formalism for the Higgs Model

In the standard formalism of canonically quantized gauge theories, we do not consider the gauge transformation on the quantum level. There is no quantum gauge freedom, since the quantum theory is defined only after the gauge fixing.

Yokoyama's gaugeon formalism provides a wider framework in which we can consider the quantum gauge transformation, q-number gauge transformation, among a family of Lorentz covariant linear gauges. In this formalism, a set of extra fields, so-called gaugeon fields, is introduced as the quantum gauge freedom. Owing to the quantum gauge freedom, it becomes almost trivial to check the gauge parameter independence of the physical  $S$ -matrix. Furthermore, we can define the gauge invariant physical Hilbert space by the help of the BRST symmetry in this formalism.

The purpose of the present paper is to reinvestigate Yokoyama's gaugeon formalism for the Higgs model. The gaugeon formalism for this model was first studied by Yokoyama, where the unphysical Goldstone boson mode appears as a massless dipole field; corresponding standard formalism is the theory of the usual covariant gauge. Thus, Yokoyama's gaugeon formalism for this model does not include other types of gauges, such as  $R_\xi$  gauge, where the Goldstone boson mode becomes massive. In this paper, within the framework of the covariant linear gauges, we give a general gauge-fixing Lagrangian which includes the gauge field, the Goldstone mode, the multiplier  $B$ -field, and Yokoyama's gaugeon fields (as well as Faddeev-Popov ghosts). As special choices of the value of the gauge-fixing parameters, our theory includes the usual covariant gauges and  $R_\xi$ -like gauges. Although some of the gauge-fixing parameters can be shifted by the q-number gauge transformation, the  $\xi$  parameter cannot be shifted in any of the  $R_\xi$ -like gauges.

(12pt シングルスペース 300語程度)

# 学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成 19 年 8 月 23 日

理工学研究科長 殿

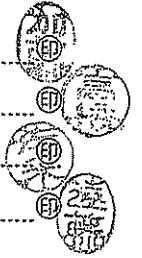
## 課程博士論文審査委員会

主 査 ..... 加藤 静吾

副 査 ..... 高橋 良雄

副 査 ..... 佐々木 実

副 査 ..... 遠藤 龍介



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

### 記

1. 論文申請者

専攻名 ..... 地球共生圏科学専攻  
氏 名 ..... 三浦 光

2. 論文題目 (英文の場合は、その和訳を併記すること。)

.....  
BRST対称なゲージオン形式によるHiggs模型  
.....  
.....

3. 学位論文公聴会

開催日 ..... 平成 19 年 8 月 22 日  
場 所 ..... 理学部27番教室

4. 審査年月日

論文審査 ..... 平成 19 年 7 月 25 日 ~ 平成 19 年 8 月 8 日  
最終試験 ..... 平成 19 年 8 月 8 日 ~ 平成 19 年 8 月 22 日

5. 学位論文の審査及び最終試験の結果 (「合格」・「不合格」で記入すること。)

(1) 学位論文審査 ..... 合格  
(2) 最終試験 ..... 合格

6. 学位論文の審査結果の要旨 (1,200字程度)

別紙のとおり

7. 最終試験の結果の要旨

別紙のとおり

## 別紙

専攻名	地球共生圏科学専攻	氏名	三浦 光
学位論文の審査結果の要旨			
<p>素粒子間に働く基本的な力はゲージ粒子によって媒介される。ゲージ粒子は、通常は質量ゼロであるが、ゲージ対称性の自発的な破れにより質量を持つ粒子もある。いずれも、素粒子物理学で重要な役割を果たす。質量を持つゲージ粒子に対する理論として最も基本的なものがHiggs模型である。本論文は、このHiggs模型の量子論を理論的に展開したものである。</p>			
<p>一般に、ゲージ粒子の量子論を扱うには、ゲージ固定という操作が必要である。この操作に付随して、二つの問題が生ずる。(1)ゲージ固定操作により理論に非物理的自由度が現れ、これを物理的自由度と分離する必要がある。(2)ゲージ固定操作には任意性があり、それに応じて(物理的には同等なはずの)無数の量子論が存在し得る。(1)の問題は九後-小嶋のBRST対称性を使うことで解決されている。(2)に関しては横山のゲージオン形式により、種々の理論を統一的に扱えるようになる。ただし、この形式は新たに非物理的な自由度を持ち込むため、これを分離するのにBRST対称性を利用することが望ましい。</p>			
<p>本論文は、Higgs模型に対して、BRST対称なゲージオン形式を構築したものである。論文の第1章は研究の背景と研究目的が述べられており、第2章と第3章は、ゲージ粒子の量子論についての概観であり、第2章は九後-小嶋のBRST対称性の紹介、第3章は横山のゲージオン形式の説明である。第4章は、本論文の研究対象であるHiggs模型の解説と、その量子論についての現状が述べられている。第5章で、これまでには行われていなかったHiggs模型に対するBRST対称なゲージオン形式を新に構築している。必要な場を含む最も一般的な形のラグランジアンから出発し、理論的な考察により、目指す理論の構築に成功している。これから得られた理論は、Higgs模型に対するこれまでの量子論はすべて含んでおり、更には、これまでにない新しい結果をも含んでいることが示されている。本研究の理論的成果は、査読付きの国際誌にすでに発表済みである。</p>			
<p>以上、理論的展開は適切であり、得られた新しい知見はゲージオン形式の適用範囲を拡げるもので意義深い。よって本研究は、博士論文としての水準に達しているものと認め、合格とした。</p>			
最終試験の結果の要旨			
<p>平成19年8月8日、8月17日に実施した面接試験、および8月22日の公聴会における口頭発表と質疑応答をもって最終試験とした。面接試験では、ゲージ場の量子論に関する基本的な知識、および、本研究の背景と意義等についてよく理解していることが認められた。また、公聴会での発表は、非専門家にはわかりにくい理論的な内容を、導入から丁寧に説明しており、適切なものであった。質疑応答も的確であった。以上より、申請者は、博士後期課程修了者としての能力を十分に備えているものと認められる。これにより、最終試験は合格とした。</p>			