

学位論文 博士（理学）

四つの超電荷を持つ四次元共形超重力理論の
統一的定式化

2018年2月

慶應義塾大学大学院理工学研究科基礎理工学専攻

横倉 諒

主 論 文 要 旨

報告番号	㊦ 乙 第 号	氏 名	横倉 諒
<p>主 論 文 題 名 :</p> <p>四つの超電荷を持つ四次元共形超重力理論の統一的定式化</p>			
<p>(内容の要旨)</p> <p>超重力理論は、超対称性と呼ばれるボソンとフェルミオンの入れ替え対称性を持った一般相対性理論である。この理論は暗黒物質の性質や量子重力理論の基本的自由度など、自然界の基本法則を探る素粒子論の抱える未解決問題を説明する有望な候補である。</p> <p>一方で、超重力理論は多数の超対称なボソンとフェルミオンの組を重力場中で扱うため、作用の構成が複雑である。これを解決する手法は大別して2つある。1つは超対称な組を統一して扱う「超空間」を用いる手法である。もう1つは共形超重力理論における「テンソル算法」で、スケール対称性を加えた超共形対称性で重力の自由度を拘束する。これらは等価であるが、両者の対称性が一見異なるため、その対応は複雑である。</p> <p>近年、2つの手法を統一した「共形超空間」が考案された。共形超空間は従来の超空間との対応は知られている一方、共形超空間にのみに作用する特別な制限があるという議論より、テンソル算法との具体的な関係は未知のままであった。</p> <p>本論文では、共形超空間とテンソル算法が等価な定式化であることを示した。まず、先行研究で議論された共形超空間にのみ作用する特別な制限を、超共形対称性の観点から注意深く調べた結果、その制限は存在しないことが分かった。次に、両定式化における物理的な力学変数である重力場、物質場、ゲージ場の対応を具体的に構成することで、物理的自由度を等価に扱えることを示した。そして、超重力理論の作用を構成するために用いられるカイラル射影と超共形不変な積分公式の両手法間の関係を具体的に示した。</p> <p>物理的自由度などの対応を示したのち、共形超空間からテンソル算法を得られることを、共形超空間上の非物理的自由度をゲージ固定することで示した。ここで非物理的自由度とは、超対称なボソンとフェルミオンの組を統一的に扱うために、共形超空間上に導入された余分な自由度のことである。一方で、この自由度は超空間を用いていないテンソル算法には現れていない。この余分な自由度は共形超空間上のゲージ自由度を用いて固定できることをあらわに示した。</p> <p>最後に共形超空間から超重力理論の作用を得るためのゲージ固定について議論した。このゲージ固定には、テンソル算法を経由するゲージ固定と、従来の超空間形式を経由するゲージ固定の2つがある。これらのゲージ固定の等価性を、具体的なゲージ固定条件の対応を提示することで示した。</p> <p>本論文で得られた結果から、超重力理論の作用の構成において、共形超空間とテンソル算法を統一的に扱うことが可能になった。この共形超空間とテンソル算法の間の具体的な対応とゲージ固定による関係を用いることで、従来の定式化では技術的に困難だった新たな相互作用の構成や、散乱振幅のような観測量の計算を、簡潔に遂行できることが期待される。</p>			

Thesis Abstract

No. _____

Registration Number	<input checked="" type="checkbox"/> "KOU" <input type="checkbox"/> "OTSU" No. _____ *Office use only	Name	Ryo Yokokura
Thesis Title Unified formulation of four-dimensional conformal supergravity with four supercharges			
Thesis Summary <p>In particle physics, supergravity (SUGRA) is a plausible candidate for a theory explaining unsolved problems such as the nature of dark matter and fundamental degrees of freedom in quantum gravity. Here, SUGRA is general relativity possessing supersymmetry which relates bosons and fermions.</p> <p>On the other hand, construction of SUGRA actions is complicated due to a large number of dynamical variables of bosons and fermions. Two methods are known to avoid such complexities. One is "superspace formalism," which describes a pair of bosons and fermions in a unified way using "superspace". The other is "tensor calculus" based on conformal SUGRA, which constrains gravitational degrees of freedom by superconformal symmetry. Here, the superconformal symmetry is realized by further imposing scale invariance on SUGRA. Though two formulations are equivalent to each other, the relation between them is not apparent because their symmetries differ by the scale symmetry.</p> <p>Recently, a new formulation of "conformal superspace formalism" was proposed. It simply unifies the above two methods. The relation of conformal superspace to the conventional superspace was revealed. However, such a concrete relation between conformal superspace and the tensor calculus has still remained unknown because of a special restriction acting only on conformal superspace.</p> <p>In this thesis, we show the equivalence between conformal superspace and the tensor calculus. We carefully examine the special restriction on conformal superspace in the viewpoint of the superconformal symmetry, and find that such a restriction is absent. We establish the concrete relations of physical variables of gravitational, matter and gauge fields between two formulations. We also investigate the correspondences of chiral projection and superconformally invariant integrations.</p> <p>We obtain the tensor calculus from conformal superspace by gauge-fixing unphysical variables in conformal superspace. Such variables are introduced to unify pairs of bosons and fermions, and do not appear in the tensor calculus without superspace. We explicitly show that the unphysical variables are fixed by gauge freedom in conformal superspace.</p> <p>Finally, we show in conformal superspace that the way to obtain SUGRA actions via the tensor calculus is equivalent to the way via the conventional superspace. The equivalence is exhibited by showing the explicit correspondence of the two gauge-fixing conditions.</p> <p>From the results of the thesis, we can use conformal superspace and the tensor calculus in a unified way to formulate SUGRA actions. These correspondences and the relations by gauge-fixing conditions allow us to construct new interactions and calculate physical observables like scattering amplitudes more simply than the previous formulations.</p>			