

Title	数値計算で迫る重力の量子論
Sub Title	Numerical approach to quantum theory of gravity
Author	松浦, 壮(Matsuura, So)
Publisher	慶應義塾大学
Publication year	2021
Jtitle	学事振興資金研究成果実績報告書 (2019. )
JaLC DOI	
Abstract	<p>現在、時空のダイナミクスを記述する基礎理論は一般相対性理論だが、その量子化は未解決の問題である。その解決方法の候補の一つに、いわゆる「ゲージ / 重力対応」がある。それによると、ある種の超対称ゲージ理論は重力理論と双対関係にあり、超対称ゲージ理論が時空の量子論的な記述になっていることを示唆している。本プロジェクトは、本来無限自由度を持つ超対称ゲージ理論を離散系の連続極限として定義し、理論とコンピュータによる数値シミュレーションの両面からこの双対性を検証することを目的としている。</p> <p>超対称性を持つゲージ理論を離散化する最もよく使われる方法は、正格子で近似した時空上に理論を定義するいわゆる「格子ゲージ理論」である。格子上に超対称性を残すような理論としては、構成方法の違いから、それぞれCKKU理論、杉野理論と呼ばれる2種類の理論が知られている。どちらの格子理論も、2次元までの低次元の超対称ゲージ理論に関しては数値計算から正しく連続理論の結果が得られることが理論的に予測されている。そして、2次元格子ゲージ理論の非可換球面解まわりで連続極限をとることで、4次元超対称ゲージ理論が実現されることが理論的に示唆されている。そして、この方法が量子論的にも安定して行える事は摂動論的な計算からも示唆されている。</p> <p>この目的を達成するためには、2次元理論の連続極限を取らなければならないが、超対称性を持つ理論はフェルミオンにゼロモードを持つ可能性があり、安直に連続極限を取るのは危険である。本年度の研究で十分な統計を溜めた結果、対称性の観点から素朴には成り立つべき恒等式が成り立っていないという現象が球面背景とトーラス背景の両方で観測された。そこで我々は、フェルミオンのゼロモードの寄与を排除するための新しい機構を開発し、理論・数値計算の双方からその効果を解析した。この成果は近く論文にまとめて公表する予定である。</p> <p>Currently, the fundamental theory describing the dynamics of spacetime is general relativity, but its quantization is an unsolved problem. One of the candidates for this solution is the so-called "gauge/gravity correspondence". According to it, a certain kind of supersymmetric gauge theory is dual to gravity, which suggests that the supersymmetric gauge theory can be a quantum description of spacetime. This project aims to define supersymmetric gauge theory, which has inherently infinite degrees of freedom, as a continuous limit of discrete systems, and to verify this duality by both of theoretical and numerical approach.</p> <p>The most commonly used method of discretizing gauge theory with supersymmetry is the so-called "lattice gauge theory," which defines a theory on a spacetime approximated by a square lattice. There are two known theories that leave supersymmetry on the lattice: the CKKU theory and the Sugino theory, respectively, due to the difference in their construction methods. Both lattice theories are theoretically predicted to give correct continuous theory results from numerical calculations for low-dimensional supersymmetric gauge theories up to two dimensions. It has been suggested that the 4D supersymmetric gauge theory can be realized by taking the continuous limit around the noncommutative spherical solution of the 2D lattice gauge theory. Perturbative calculations suggest that this method can be used stably in quantum theory.</p> <p>To achieve this goal, we must take the continuous limit of a two-dimensional theory, but it is dangerous to take the continuous limit naively because a theory with supersymmetry may have a zero mode in fermions. As a result of this year's study, it was observed that there is a phenomenon in both spherical and torus backgrounds that the identity of the symmetry does not hold. Therefore, we developed a new mechanism to eliminate the zero-mode contribution of fermions and analyzed its effects both theoretically and numerically. The results will be published in a paper in the near future.</p>
Notes	
Genre	Research Paper
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=2019000007-20190147">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=2019000007-20190147</a>



研究代表者	所属	商学部	職名	教授	補助額	300 (A) 千円
	氏名	松浦 壮	氏名 (英語)	So Matsuura		
研究課題 (日本語)						
数値計算で迫る重力の量子論						
研究課題 (英訳)						
Numerical Approach to Quantum Theory of Gravity						
1. 研究成果実績の概要						
<p>現在、時空のダイナミクスを記述する基礎理論は一般相対性理論だが、その量子化は未解決の問題である。その解決方法の候補の一つに、いわゆる「ゲージ/重力対応」がある。それによると、ある種の超対称ゲージ理論は重力理論と双対関係にあり、超対称ゲージ理論が時空の量子論的な記述になっていることを示唆している。本プロジェクトは、本来無限自由度を持つ超対称ゲージ理論を離散系の連続極限として定義し、理論とコンピュータによる数値シミュレーションの両面からこの双対性を検証することを目的としている。</p> <p>超対称性を持つゲージ理論を離散化する最もよく使われる方法は、正方格子で近似した時空上に理論を定義するいわゆる「格子ゲージ理論」である。格子上に超対称性を残すような理論としては、構成方法の違いから、それぞれ CKKU 理論、杉野理論と呼ばれる2種類の理論が知られている。どちらの格子理論も、2次元までの低次元の超対称ゲージ理論に関しては数値計算から正しく連続理論の結果が得られることが理論的に予測されている。そして、2次元格子ゲージ理論の非可換球面解まわりで連続極限をとることで、4次元超対称ゲージ理論が実現されることが理論的に示唆されている。そして、この方法が量子論的にも安定して行える事は摂動論的な計算からも示唆されている。</p> <p>この目的を達成するためには、2次元理論の連続極限を取らなければならないが、超対称性を持つ理論はフェルミオンにゼロモードを持つ可能性があり、安直に連続極限を取るのは危険である。本年度の研究で十分な統計を溜めた結果、対称性の観点から素朴には成り立つべき恒等式が成り立っていないという現象が球面背景とトーラス背景の両方で観測された。そこで我々は、フェルミオンのゼロモードの寄与を排除するための新しい機構を開発し、理論・数値計算の双方からその効果を解析した。この成果は近く論文にまとめて公表する予定である。</p>						
2. 研究成果実績の概要 (英訳)						
<p>Currently, the fundamental theory describing the dynamics of spacetime is general relativity, but its quantization is an unsolved problem. One of the candidates for this solution is the so-called "gauge/gravity correspondence". According to it, a certain kind of supersymmetric gauge theory is dual to gravity, which suggests that the supersymmetric gauge theory can be a quantum description of spacetime. This project aims to define supersymmetric gauge theory, which has inherently infinite degrees of freedom, as a continuous limit of discrete systems, and to verify this duality by both of theoretical and numerical approach.</p> <p>The most commonly used method of discretizing gauge theory with supersymmetry is the so-called "lattice gauge theory," which defines a theory on a spacetime approximated by a square lattice. There are two known theories that leave supersymmetry on the lattice: the CKKU theory and the Sugino theory, respectively, due to the difference in their construction methods. Both lattice theories are theoretically predicted to give correct continuous theory results from numerical calculations for low-dimensional supersymmetric gauge theories up to two dimensions. It has been suggested that the 4D supersymmetric gauge theory can be realized by taking the continuous limit around the noncommutative spherical solution of the 2D lattice gauge theory. Perturbative calculations suggest that this method can be used stably in quantum theory.</p> <p>To achieve this goal, we must take the continuous limit of a two-dimensional theory, but it is dangerous to take the continuous limit naively because a theory with supersymmetry may have a zero mode in fermions. As a result of this year's study, it was observed that there is a phenomenon in both spherical and torus backgrounds that the identity of the symmetry does not hold. Therefore, we developed a new mechanism to eliminate the zero-mode contribution of fermions and analyzed its effects both theoretically and numerically. The results will be published in a paper in the near future.</p>						
3. 本研究課題に関する発表						
発表者氏名 (著者・講演者)	発表課題名 (著書名・演題)	発表学術誌名 (著書発行所・講演学会)	学術誌発行年月 (著書発行年月・講演年月)			
松浦壮	球面上の超対称ゲージ理論の数値実験	離散的手法による場と時空のダイナミクス	2019 年 9 月			