

Title	Zero-mode Spectrum of Eleven-dimensional Theory on the Plane-wave Background
Author(s)	木村, 哲士
Citation	
Issue Date	
Text Version	none
URL	http://hdl.handle.net/11094/45124
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

氏名	木村哲士
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 18375 号
学位授与年月日	平成 16 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科物理学専攻
学位論文名	Zero-mode Spectrum of Eleven-dimensional Theory on the Plane-wave Background (プレーンウェーブ背景場における 11 次元理論のゼロモードスペクトル)
論文審査委員	(主査) 教授 東島 清 (副査) 教授 高杉 英一 教授 細谷 裕 教授 藤木 明 助教授 太田 信義

論文内容の要旨

重力の量子論を構築することは、我々が現在知っている全ての相互作用の統一理論を完成させるために重要な研究とされている。現在、この趣旨に沿う理論として、5つの 10 次元時空中における超弦理論が摂動論的に定義されているが、これらは非摂動論的にはあるひとつの理論で記述されると期待されている。その理論は 11 次元時空中で展開され、M 理論と呼ばれる。この M 理論は低エネルギー極限で 11 次元超重力理論となると目されているが、残念ながら未だきちんとした定式化がなされていない。この M 理論の定式化の候補として、行列模型が存在する。この行列模型は、低エネルギー領域において 11 次元平坦空間上の超重力理論を再現することが知られているが、M 理論が真に統一理論であるため、行列模型が M 理論を記述する模型であるためには、一般の曲がった時空中においても、低エネルギー領域では超重力理論と一致しなければならない。

この論文では、プレーンウェーブ背景場と呼ばれる曲がった 11 次元時空中に、行列模型と超重力理論をそれぞれ構成し、それぞれの理論で定義される粒子のエネルギースペクトル分布を比較する。

まず行列模型の構成を行う。行列模型は、10 次元 type IIA 超弦理論に存在する D0-brane と呼ばれる点粒子の多体系の非相対論的極限として定義される。Type IIA 超弦理論は、その強結合極限で M 理論になるが、D0-brane で記述する場合、この強結合極限とは非相対論的極限に対応する。D0-brane の作用積分から、超対称性、並進対称性、回転対称性それぞれの生成子を構成する。最後に、超対称性から読み取れるこの系の重心系のエネルギースペクトルを考察する。

次に、同じ背景場上での超重力理論を考察する。まず超重力理論の作用積分を与え、背景場の周りで展開される揺らぎの場(グラビトン、グラビティーノ、3階反对称テンソル場)の運動方程式を導出する。なお、エネルギースペクトルを考察するために、相互作用は無視する近似を行う。背景時空の回転対称性のため、3つの揺らぎの場はそれぞれお互いに混合して、新たな線形の場の方程式を与える。

これら2つの理論から得られるエネルギースペクトルを比較すると、自由度勘定まで含めて完全に一致することを見ることができる。平坦時空中での行列模型では、その重心系が粒子に相当することが知られており、そのエネルギー分布などは低エネルギー領域で超重力理論と一致することが知られていたが、プレーンウェーブ背景場においても、

同様に行列模型の重心系が超重力理論の粒子に対応することが、まずエネルギー分布の段階で示唆されたことになる。

この論文で得られたスペクトルの結果も重要であるが、相互作用まで含めたレベルでの比較を行う際に必要な道具、つまり行列模型から得られる自由度と、超重力理論における場の対応関係を完全に与えたという点で、この論文は今後特に重要な道具を提供していくことになる。

論文審査の結果の要旨

重力を含む統一理論の候補として、10次元時空における5種類の超弦理論が提案されているが、これらは11次元におけるM理論と呼ばれるもののさまざまな側面であると推測されている。M理論は低いエネルギー極限では11次元超重力理論にみえるはずであるが、M理論自身きちんとした定式化はされていない。M理論の候補として行列模型が考えられており、時空が平坦なときには超重力理論を再現するが、曲がった時空においても超重力理論と一致するかどうかは分かっていない。

この論文では、プレーンウェーブ背景場と呼ばれる曲がった時空上で、行列模型および超重力理論を構成し、それぞれの理論の軽い粒子のエネルギースペクトル分布を比較した。

行列模型はD0-braneと呼ばれる点粒子の多体系を記述する量子力学であり、プレーンウェーブ背景場の上では調和振動子の方法を用いて代数的に解くことができる。この論文では超対称性の代数を用いて、軽い粒子のエネルギースペクトルを求めた。

次に、プレーンウェーブ背景場のまわりで超重力理論を線形化することにより、背景場周りの揺らぎの場（グラビトン、グラビティーノ、3階反対称テンソル場）のエネルギースペクトルを求めた。

2つの理論から得られるエネルギーの値および状態の数が完全に一致することを示し、プレーンウェーブ背景場のように曲がった時空上でも、行列模型と超重力理論の軽い粒子のエネルギースペクトルが一致することを示した。更に、超重力理論を用いたことにより、それぞれのエネルギーを持つ揺らぎの場を同定することができた。

今後、相互作用まで一致することが示されれば、曲がった時空上においても行列模型と超重力理論の等価性が明らかになるであろう。この論文は今後の重要な発展の契機になると思われる。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。