

立教大学学術推進特別重点資金 (立教 S F R)個人研究費2010年度研究成果報告書

	所属・職名	氏名
研究代表者	理学部物理学科・教授	矢彦沢 茂明 印
研究課題	背景場上における超弦の場の理論とピー進行列理論の厳密構成	
研究期間	2010年度	
研究経費	599,962円	

研究の概要 (200~300字で記入、図・グラフは使用しないこと)

超弦理論において「超弦の場の理論」(SSFT)が重要であるため、SSFTが全て成立しているかどうかについて詳しく計算をして調べた。特に、複雑な背景場が登場しているとき、超重力場と低エネルギーのSSFTが正確に一致しているかどうかについて計算を行った。今回は、NS-NS pp-waveの背景場の場合に、超重力場の作用と低エネルギーのSSFTの作用が2次摂動展開までにおいて一致していることを証明した。更に、NS-NS pp-waveの背景場の場合に、超重力場のゲージ変換と低エネルギーのSSFTのゲージ変換が一致していることを証明した。NS-NS pp-waveの背景場における超弦理論の第一量子化の方法も使った。又、ピー進行列理論は進行中である。

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。)

[NS-NS pp-waveの量子化の構成]

[低エネルギーのSSFTと超重力場の作用の一致]

[低エネルギーのSSFTと超重力場のゲージ変換の一致]

研究成果の概要 (図・グラフ等は使用しないこと。)

全ての基本物質と四つの力をまとめあげる第一候補は超弦理論であり、この理論は、量子化も含めた高次元・余剰次元における理解を行っている。特に、背景場を持った超弦理論の量子化を行い、対称性の条件から時空次元や物理状態や分配関数を計算し、背景場上における超弦の場の理論の研究を行った。超重力波を背景場とし、超対称性を持った超弦理論を厳密に共変的量子化し、そこから時空次元数や物理状態や分配関数の物理量を求め上げ、超弦の場の理論と超重力場との関連を厳密に証明することを行った。超対称性や重力波については、実験や観測でも盛んに行われており、その観点からも理論構成が大切であった。

超弦理論や超弦の場の理論は、平坦な時空で定義されている場合が現在では中心的である。しかしながら、プランクスケールでは、重力が非常に強く時空が激しくゆらいているため、平坦な時空上の超弦理論や超弦の場の理論は、基礎的な観点から言って十分ではない。ここでは、重力や背景場が強く効く場合に超弦理論や超弦の場の理論を定義することを行った。ペンローズによれば、ヌル測地線近傍の時空は pp-wave 背景時空とよばれる扱いやすい時空になっており、一般的な時空上の超弦理論や超弦の場の理論もペンローズ極限においては、pp-wave 上の超弦理論および超弦の場の理論として理解される。したがって、まずこの時空上で定義できるかを調べる。すでに、背景に NS-NS 反対称テンソル場のフラックスがある場合の pp-wave 上で超弦理論の共変的な第一量子化には成功している。仕上げた重要な点は、従来の光円錐ゲージでの pp-wave 上の超弦理論の量子化とは異なり、すべての超弦座標およびマヨラナ・フェルミオン場を共変的に扱い、さらにすべての正準交換関係もみたすことができる一般解、すなわち一般演算子解を構成した点である。また、この解は自由モード展開が可能でありこれを自由モード表現と呼ぶ。新たな研究として、構成した第一量子化したモードを用いて NS-NS pp-wave 上の超弦の場の理論を定義し、同じ背景場中の超重力理論の 2 次展開作用との一致の証明を行った。

様々な背景場が存在している場合に、超弦の場の理論は矛盾することなく成立しているだろうか。調べた背景場は時空の曲がりによって表される重力場、NS-NS 反対称テンソル場、ディラトン場についてである。もし、一般の背景場中の超弦の場の理論について詳しい理解が得られれば、背景場が強く効くようなブラックホール内部の物理や AdS/CFT 対応に対して詳しい解析が可能となり非常によい。ここでは、背景場中の超弦の場の理論を理解する第一歩として、NS-NS フラックスを持つ pp-wave (NS-NS pp-wave) 上の共変的な超弦の場の理論を構成し、その NS-NS セクターを成分場展開した低エネルギー作用と NS-NS pp-wave 上の超重力作用を 2 次摂動展開した作用との一致を示した。超弦の場の理論の構成には、以前の研究で、NS-NS

研究成果の概要 (つづき)

pp-wave 上の超弦理論を第一量子化する際に構成し、一般解としての超弦座標やマヨラナ・フェルミオン場、および、それらを自由モードで表示する表現も用いた。超弦の場の状態を定義する必要なモードは、超弦座標やマヨラナ・フェルミオン場を直接フーリエモード展開して定義するが、すべてこの自由モードを用いて表示できる。具体的には、まず超弦の場として NS-NS セクターを成分場展開した低エネルギー状態を平坦な超弦の場の理論とほぼ同様な構成で定義した。すなわち、NS-NS セクターの真空に、左右の生成モードをかけて状態を定義し、それらのモードの係数として重力場、反対称テンソル場、二つのスカラー場および補助場を導入する。モードには自由モードの積としての相互作用が含まれるが、実はこの相互作用は期待値をとるとほとんど消えて、一部のモードに座標の一次の依存性だけが残る。この座標依存性が非常に重要であった。さらに 2 つのスカラー場のうちの一つをゲージ自由度によって消去し、もう一つをディラトン場と重力場のトレースに置き換えると、同じ背景場中の超重力場の 2 次展開作用と厳密に一致することを証明した。

超重力作用の NS-NS pp-wave 背景場における 2 次摂動展開作用と、低エネルギーの超弦の場の理論の NS-NS pp-wave 背景場における 2 次摂動展開作用は確実に一致していました。両方の作用が以下の式です。

$$\begin{aligned}
S = & -\frac{\alpha'}{4} \int d^{10}x \left\{ g^{\rho\sigma} h^{\mu\nu} (\partial_\rho \partial_\sigma h_{\mu\nu} - 2\partial_\rho \partial_\nu h_{\mu\sigma}) + 2h^{\mu\nu} \partial_\mu \partial_\nu h - g^{\rho\sigma} h \partial_\rho \partial_\sigma h \right. \\
& + 4\mu^2 h^{+\mu} (z \partial_- h_{\mu z} + z^* \partial_- h_{\mu z^*}) - 4\mu^2 h^{+\mu} (z \partial_z h_{-\mu} + z^* \partial_{z^*} h_{-\mu}) \\
& + 2\mu^2 (z^* h^{+z} + z h^{+z^*}) g^{\rho\sigma} \partial_\rho h_{-\sigma} + 4\mu^2 h^{++} g^{\rho\sigma} (z \partial_\rho h_{\sigma z} + z^* \partial_\rho h_{\sigma z^*}) \\
& - 4\mu^2 (h^{+z} h_{-z} + h^{+z^*} h_{-z^*}) + 4\mu^2 z^* z h^{++} h_{--} - 16\mu^2 h^{++} h_{zz^*} \\
& - 2\mu^2 (z h^{+z^*} + z^* h^{+z}) \partial_- h - 2\mu^2 h^{++} (z \partial_z h + z^* \partial_{z^*} h) \\
& + g^{\mu\alpha} g^{\nu\beta} g^{\rho\gamma} b_{\nu\rho} (\partial_\mu \partial_\alpha b_{\beta\gamma} - 2\partial_\mu \partial_\beta b_{\alpha\gamma}) + 4\mu^2 g^{\rho\gamma} b_{-\rho} (z \partial_z b_{-\gamma} + z^* \partial_{z^*} b_{-\gamma}) \\
& - 4\mu^2 g^{\rho\gamma} b_{-\rho} (z \partial_- b_{z\gamma} + z^* \partial_- b_{z^*\gamma}) + 4\mu^2 g^{\nu\beta} b_{\nu-} (z \partial_\beta b_{-z} + z^* \partial_\beta b_{-z^*}) \\
& - 16i\mu g^{\mu\nu} \left[h_{z^*\mu} (\partial_\nu b_{-z} + \partial_- b_{z\nu} - \partial_z b_{\nu-}) - h_{z\mu} (\partial_\nu b_{-z^*} + \partial_- b_{z^*\nu} - \partial_{z^*} b_{\nu-}) \right. \\
& \left. + h_{-\mu} (\partial_\nu b_{zz^*} + \partial_z b_{z^*\nu} - \partial_{z^*} b_{z\nu}) - \frac{1}{2} h_{\mu\nu} (\partial_- b_{zz^*} + \partial_z b_{z^*-} + \partial_{z^*} b_{-z}) \right] \\
& + 16g^{\mu\nu} \partial_\mu \phi \partial_\nu \phi + 8g^{\mu\nu} \phi \partial_\mu \partial_\nu h - 8\phi g^{\rho\mu} g^{\nu\sigma} \partial_\rho \partial_\sigma h_{\mu\nu} - 16\mu^2 \phi h_{--} \\
& - 16\mu^2 \phi (z \partial_- h_{-z} + z^* \partial_- h_{-z^*}) - 8\mu^2 \phi (z \partial_z h_{--} + z^* \partial_{z^*} h_{--}) \\
& \left. - 32i\mu \phi (\partial_- b_{zz^*} + \partial_z b_{z^*-} + \partial_{z^*} b_{-z}) \right\}.
\end{aligned}$$

NS-NS pp-wave 背景場上の超重力場と低エネルギーの超弦の場の理論のゲージ変換も計算によって完全に一致していました。ピー進行列理論は進行中です。

以上の研究結果は雑誌論文の International Journal of Modern Physics A に登録されています。

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)

雑誌論文：

YOICHI CHIZAKI and SHIGEAKI YAHIKOZAWA,

LOW ENERGY ACTION OF “COVARIANT” SUPERSTRING FIELD THEORY IN THE NS-NS pp-WAVE BACKGROUND,

International Journal of Modern Physics A, Vol.26, No.5 (2011) 809-848