

論文の内容の要旨

論文題目

M(membrane)-theory on 11-dimensional supergravity backgrounds

(11次元超重力背景場の中での M(membrane) 理論)

氏名 澁佐雄一郎

弦理論が最近、非常に興味を持って研究されているのは、唯一知られた重力を含んだ、有限の理論だからです。今のところ他に11次元超重力理論が場の理論として数ループのオーダーまで繰り込み可能性が議論されてもいますが、弦理論の中のM理論が有効理論として11次元超重力理論を含んでいますので、その優位性は確かなものと言えます。

そしてここ数年、DブレーンというBPS状態の発見により非摂動的な取り扱いが可能になってきました。すなわち重力の非摂動的性質を知る手がかりができたのです。M理論には、このDブレーンに対応するBPS状態としてsupermembraneがあります。

しかし、実際のブレーンの研究はまず平坦な時空の上で行われてきました。平坦でない時空上のブレーンは、まずBosonicな1枚のブレーンのslow varyingの有効作用としてDirac-Born-Infeldの作用が知られています。この一般化としては、複数枚のブレーンのNonabelian化というものと超対称化というものが考えられます。前者の方は、D0ブレーンに関してはmembrane理論がその第2量子化を与えるという予想があります。一方後者の方は、超対称化は実は抽象的な意味ではすでに作用が与えられています。ここでの抽象的と言う意味は、それが超空間の超空間場形式で与えられているということです。すなわち具体的な超重力理論の物理的な場との相互作用はまだ完全には知られていません。また先に述べた11次元超重力理論を含むと思われるM理論の基本的な物体である

supermembrane の理論も一般 11 次元背景場中での作用は抽象的に超空間の超空間場形式で与えられているのです。よって私はこの 11 次元超重力背景場の中の membrane 理論を研究しました。

この論文において私は、特に 2 種類の背景場を考えます。1 つ目は超空間場形式で記述されるもっとも一般的な質量殻上の 11 次元超重力背景場で、2 つ目は 11 次元超重力理論の中に存在する 3 階反対称場の定数背景場です。前者は上で述べたように超対称化の問題に関係があり、後者は最近活発に議論されている非可換幾何と関係があります。

まず最初に一般の 11 次元超重力背景場ですが、前述の通り重力の非摂動的性質を知るための一般背景場中のブレーンの物理を知る上で、特に 11 次元の超空間の構造を調べることがとても重要となってきます。今までは、超空間場として平坦時空の解は知られていましたが、一般には反交換座標の低次の成分のみ知られていました。その他にわかっている解としては、ある特別な対称性のある時空を剰余空間と同一視し、Maurer-Cartan 方程式で解ける場合などです。これの例としては、AdS 空間などです。

そこで私は、超空間場形式における一般の背景場の知られていない非自明な成分のいくつかを ‘Gauge Completion’ という方法を使って計算しました。そもそも 11 次元の超空間は反交換座標の 3 2 次まで存在し、非常に大きな自由度を含んでいます。それらを物理的な場である、多脚場、gravitino 場、3 階反対称場の汎関数として記述しなくてはなりません。‘Gauge Completion’ とは、通常の 11 次元超重力理論に存在する一般座標変換、局所 Lorentz 変換、3 階反対称場をゲージ場とする $U(1)$ 変換が形成する代数を、超空間に存在する一般座標変換、局所 Lorentz 変換、3 階反対称場をゲージ場とする $U(1)$ 変換が形成する代数の中に埋め込み、その部分代数と同一視する方法です。具体的には、まず超空間の超空間場と変換の超パラメーターの 0 次の成分をそれぞれ通常の超重力理論の場とその変換パラメーターに同定する。そしてその上に超空間の変換を作用させて、それが通常の超重力理論における変換と同じになるように超空間場の 1 次の成分を決定していく。さらに、各々の変換の代数が求まった成分の上で同じになるように超空間の変換の超パラメーターの 1 次の成分を決定していく。次に 1 次の成分に同様の操作をして超空間場と超パラメーターの 2 次の成分を決定する。このようなことを繰り返し、高次の成分を決定して行くのが ‘Gauge Completion’ であります。

原理的には、これによって全ての超空間場の成分は反交換座標の 3 2 次まで全て求まると信じられていますが、実際には求まっていません。11 次元超重力理論では、E. Cremmer らによって超空間場の 1 次の成分まで求められていて、B. de Wit らによって超空間場の 2 次の成分の一部が

求められていました。しかしそれ以上は求まっておらず、例えば4次元超重力においても全く同じような状況で止まっていました。私はこの論文において今まで自明と信じられていた自由度が非自明な作用を起こすことを示し、それによって今まで求まっていなかった2次の成分を超接続の1つの成分を除き全て求めました。そもそも今までも、求まっていた1次の成分において解はある種の任意性があることが知られていました。しかしこの自由度とは超空間における1次の一般座標変換によって表現できる自由度であり、それは **supermembrane** 理論の作用がもつ対称性なので自明な解にゲージ固定して一般性を失わないと信じられていました。しかしこの論文で、真に通常の11次元超重力理論の変換と同定するには、この自由度に条件が課されることを見つけ、超重力理論と同定できる一般解を求めました。この手法はさらに高次の成分を求める際にも必要であり、有効であると思われます。

一方、3階反対称場の定数背景場についても研究しました。3階反対称場はM理論仮説では‘**dimensional reduction**’の方法によって弦理論のNS-NS 2階反対称場と関係がつかます。最近、NS-NS 2階反対称場の定数背景場中の弦理論が盛んに研究されています。すなわち非可換時空のことです。その自然な拡張として非可換M理論すなわち11次元の3階反対称場の定数背景場の研究が為されるようになりました。そこでは非可換時空では『点』が非可換的構造を持ったようにM5ブレーン中の **membrane** の端である『弦』が非可換的な構造を持ちます。私はこのような状況を拡張して非可換的な構造を持つ **p** ブレーンを導入しました。これは $(p+2)$ ブレーン中の **p** ブレーンの多体系でトポロジカルな作用で記述されていますが、**p** ブレーンから作る流体力学における渦度のような量が $(p+2)$ ブレーンの **volume preserving diffeomorphism** をうまく表現するという面白い性質を持っています。私は具体的にトポロジカルな作用から導かれる、拘束系の正準量子化を行い、ディラック括弧を計算し、予想される非可換の交換関係を **p** ブレーンが満たすことを **static** ゲージで示し、その渦度が $(p+2)$ ブレーンの **volume preserving diffeomorphism** の代数の表現を満たすことを示しました。もともと一般の **super p-brane** はライトコーンゲージにおいて **volume preserving diffeomorphism** を対称性とするゲージ理論で記述できることは知られていたため、この結果は低い次元のブレーンの多体系で高い次元のブレーンを作るというブレーンの第2量子化という面でもさらなる研究が期待でき、また超対称化や、そもそもの非可換性の一般的な性質など様々な発展が期待できます。