論文内容の要旨

論文題目:　Boundary states in the open string sector
(開弦セクターにおける境界状態)

氏名　礒野 裕

要旨

Ｄブレインは、その上に開弦が載ることができるような物体である。さらに超弦理論においてはRRチャージと結合する非摂動論的な物体である。非摂動論的物体であるにも関わらず、その上に開弦が載っているという性質によって、Ｄブレイン自体の性質を、Ｄブレイン上の開弦の摂動論によって解析することができる。
一方弦理論には、元々知られていた５つの理論だけでなく、さまざまな「双対性」といわれる性質により、はるかに膨大な数の真空が存在することがわかっており、往々にしてそれらの理論の中にはRRチャージを持つ物体が存在することが双対性により予想されている。よく知られている５つの弦理論やそれらにＤブレインを導入したような理論は、１０次元のミンコフスキー時空において定義されており、そのような場合Ｄブレインは時空内の超平面として幾何学的に定義できる場合もあれば、明確な時空描像ではとらえられないものが存在したりもする。こういう理論においてはもはや、Ｄブレインを超平面ととらえることは不可能である。

上記のような抽象的な弦理論においてもＤブレインが弦理論の枠内で記述できるような強力な方法として、「境界状態」を用いる方法が知られている。これは一般にどの真空にあらわれる弦理論も、弦が作る世界面上の共形場の理論により記述されると考えられている。Ｄブレインが存在しない閉弦のみからなる理論の世界面は、一般に２次元閉曲面で表されるが、Ｄブレインはその閉曲面に境界としての「穴」を導入する役割を果たす。この穴という見方から、Ｄブレインは閉弦を吸収する物体と定義することもできる。この穴に対応する２次元世界面上の共形場理論に存在する状態を「境界状態」と呼び、これがＤブレインを表す状態とする。境界状態は閉曲面に導入された穴に対応するので、閉弦の理論の状態空間に属している。

この博士論文では、このような閉弦の理論の状態空間に存在する境界状態が、Dブレイン上の開弦の理論の状態空間にも定義できる、ということを示す。以下この開弦における境界状態をOBS（Open Boundary State）と略すことにする。

一般にDブレインはRRチャージを持つ時空内のソリトン的な非摂動論的物体と見なすことができ、上記の通常の境界状態は時空内のソリトン的な励起を表す、世界面上の理論における状態ということもできる。このアナロジーとして、OBSはDブレイン上にあらわれるゲージ理論の非摂動論的な励起を表す状態と考えられる。そして閉弦での境界状態が閉弦の吸収放出を記述するのに対して、OBSは開弦の吸収放出を記述する、と特徴づけることが可能である (図1)。

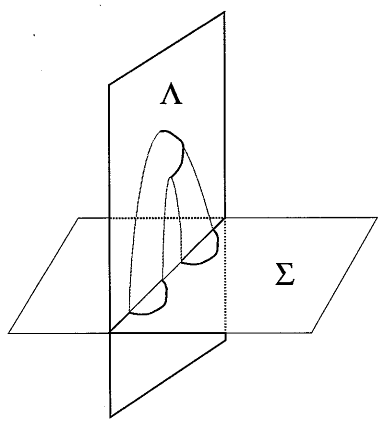

Figure 1: Dブレイン Λ 上の開弦が別のDブレイン Σ により放出吸収される過程

まずボソニックな弦理論においてOBSを、ボソン弦、共形ゴースト両方においてあらわに構成する。OBSを定義するには、まず2種類のブレインが必要である。それは、開弦を放出するブレインと、放出された開弦が載っているブレインである。そして3つの境界条件を用意する。開弦の両端に課される境界条件が2つあり、そして開弦放出に対応する境界条件が1つである。この3つの境界条件を組み合わせてOBSは定義される。この状態を用いてさまざまな特徴を明らかにする。まずOBSのもっとも基本的な特徴は、世界面の境界においてにおいて必ず「角」が存在する、ということである (図2)。そしてDブレイン間を開弦が伝播する過程に対応する世界面が長方形となる。この長方形振幅は、プロパゲータをはさんで2つのOBSの内積をとることで計算できる。

この角の存在により、この長方形振幅は、角に何の演算子を挿入していなくとも、固有の次元を持つ。これは通常の閉弦での境界状態にはない特徴であり、より一般に世界面の角のまわりに共形場の理論を解析することで由来が明らかになる。さらにOBSのひとつの傍証として、長方形世界面上のポリャコフ経路積分を直接実行した結果と、あらわに構成したOBSを直接用いた長方形振幅の計算が一致することを示す。　以上はボソニックな弦理論におけるOBSの構成とその性質の解明であったが、つぎにOBSを超弦理論においても、フェルミオン弦、超共形ゴースト両方においてあらわに構成する。基本的にはボソンのときと同様に、3つの境界条件を組み合わせればよい。しかし超弦理論の場合は、ボソン弦のときにはあらわにならなかった問題がいくつか登場する。ひとつは振動子表示

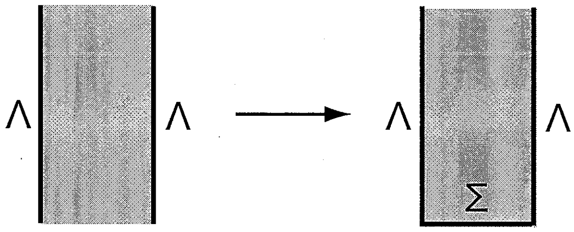

Figure 2: 左図は図 1 においてブレイン Σ がない場合のブレイン Λ 上の開弦の伝播を表し、右図は図 1 におけるブレイン Σ からの開弦の放出を表す。このブレイン Σ を表す状態が OBS であり、ブレイン Λ 上の開弦の状態空間に属しており、OBS には必ず角が伴うことがわかる。

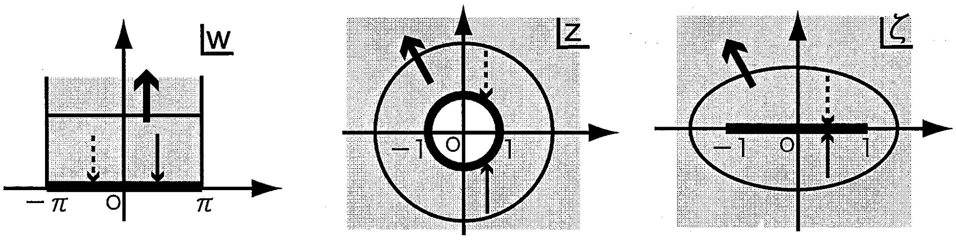

Figure 3: w 座標は図 2 に対応する。z 座標は振動子表示を用いない計算に適している。ζ 座標は角を持たず、$\zeta = \pm 1$ が w 座標における 2 つの角に対応している。

をする際にあらわれる無限次元行列の取り扱いに関する技術的問題であり、もうひとつは 3 つの境界条件を与えるだけではじつは OBS は一意に決定できない、という問題である。この博士論文では、ボソン弦のときのように直接境界条件を組み合わせて解くのではなく、いったん角を持たない別の座標系に座標変換して (図 3)、そこで OBS を含む相関関数を一般的に定義し、もとの角をもつ座標系における対応する相関関数と比較することで、OBS の解析的表示を得る。そのさい、場合によっては、新しい座標系において、もとの 3 つの境界条件を再現するために、角に対応する点に適切に演算子を挿入する必要がある。上記でふれた OBS の不定性は、この演算子の選択の仕方に対応するものである。この 2 つの座標を用いる方法では、新しい座標系においてこの演算子をあらわにひとつ指定する必要があるため、上記の不定性の問題は解消される。さらにこの方法を用いると、弦の振動子表示を用いずに OBS の解析的表示を厳密にもとめられるので、無限次元行列の問題も解消され、逆に解析的表示から対応する振動子表示にあらわれる無限次元行列を厳密にもとめることができる。

最後に以上のように構成される OBS が実際に D ブレイン上のゲージ理論にあらわれるインスタントン配位に対応していることや、弦の場の理論との関係等について議論する。