

氏 名	たか はし かず よし 高 橋 一 芳
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2983 号
学位授与の日付	平 成 18 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	D-brane Physics from QED (量子電磁気学から得られる D-ブレーンの物理)

論文調査委員	(主 査) 助教授 國 友 浩 教授 畑 浩 之 助教授 笹 倉 直 樹
--------	---

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、量子論的にも可解系である 2 次元 QED (シュインガー模型) においてよく知られた結果を用いて、不安定 D ブレイン系の典型である IIB 型超弦模型における D9-反 D9 ($D9-\overline{D9}$) ブレイン系の力学を解析したものである。また、空間一次元を円周にコンパクト化した場合、及び、この円周に沿って T 双対を取ることににより得られる D8-反 D8 ($D8-\overline{D8}$) ブレイン系の性質についても同様に解析している。

一般に D ブレイン系は、他の D ブレインをプローブとして用いることによって解析することができる。本研究では特に不安定 D ブレイン系の典型的な例である $D9-\overline{D9}$ ブレイン系の性質を D_p ブレインをプローブとして解析することを考えている。このときプローブである D_p ブレインは、その $(1+p)$ 次元世界体積上の場の理論により記述される。ここでは $D9-\overline{D9}$ ブレイン系を背景とする場合を考察し、まずこの世界面上の場の理論が零質量のフェルミオン (電子) を含む $(1+p)$ 次元 QED となることを示している。特に、 $p=1, 3$ の場合には、この QED が繰り込み可能な理論となることから詳しい量子論的な解析が可能となる。特に $p=1$ の場合に現れる 2 次元 QED (零質量シュインガー模型) は、ボソン化の方法などを用いて量子論的に完全に解けることが知られており、そこで得られている結果を用いて $D9-\overline{D9}$ ブレイン系を詳細に解析することが可能となる。

不安定 D ブレイン系には、その不安定性を反映したタキオン場が存在し、これが凝縮することにより、より安定な配位へと遷移すると考えられている。超弦理論を解析する上で、このような非摂動的過程を考察することは非常に重要であり、本研究はその一つの解析方法を与えるものである。ここでは $D9-\overline{D9}$ ブレイン系のタキオン場の真空期待値が電子に質量を与えることを示し、これに等価な、有質量スカラー理論を解析することにより、その遷移の最終状態が予想される、プローブ $D1$ ブレインと基本弦との束縛状態となっていることを示している。また同様に、タキオン場がキンクないし渦糸的な配位を持つ場合について考察し、最終状態が各々予想される $D1-D8$ あるいは $D1-D7$ ブレイン系となることを示している。

更なる応用として本研究では、空間を円周にコンパクト化した場合を考察している。 $D1$ ブレインプローブをこの円周に巻き付けることにより、世界面上の理論は円周上のシュインガー模型となる。このとき空間が非自明であることに起因して、ベクトルポテンシャル A_1 も円周に沿って非自明な値 (ウィルソン・ライン) だけ離散的にずらすことができるようになる。一方ウィルソン・ラインは非自明なゲージ変換によっても生じるが、この変換は同時に電子のフェルミ面をずらす効果も持っている。そこで本研究では、非自明なゲージ変換に対して不変な変数 $\tilde{A}$ で物理的なウィルソン・ラインの効果を測り、これが電子が対生成する効果と等価であることを示している。この現象を T 双対な描像で見ると、円周上に局在する $D8-\overline{D8}$ ブレインを、やはり局在する $D0$ ブレインが横切る際に、両者を繋ぐ基本弦が生成される、いわゆるハナニ・ウィッテン効果を記述していると解釈することができる。特に、弦の張力から生じる線形ポテンシャルのつなぎ合わせであった古典的なポテンシャルが、量子論的な補正により滑らかな二次関数で記述されるようになることを示している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、不安定 D ブレイン系の典型である IIB 型超弦模型における $D9-\overline{D9}$ ブレイン系のダイナミクスを、主に D1 ブレインをプローブとして詳細に解析したもので、超弦理論の非摂動的性質を解析する試みの一つとして非常に重要かつ興味深いものである。

不安定 D ブレイン系が、タキオン凝縮によりどのような安定状態に遷移するかを考察することは、超弦理論の非摂動的ダイナミクスを理解する上で非常に重要な問題である。本研究は世界で初めて、D ブレインプローブを用いてこれを解析する手法を考案し、適当な設定の元ではこれが大変強力な手法となることを示すことに成功している。ここで言う適当な設定とは、プローブ上の場の理論の性質が量子論的に十分に解析可能な場合を指し、ここでは特に $D9-\overline{D9}$ ブレイン系の D1 ブレインプローブによる解析を扱っている。このとき D1 ブレイン上の場の理論は、これまで多くの解析がなされており、その性質がよく知られた 2 次元シュインガー模型となり、特に本研究はボゾン化の手法による描像が $D9-\overline{D9}$ ブレイン系を記述するのに適していることを明らかにしている。この記述を用いた解析によると、タキオンの真空期待値はボソンの結合定数に対応する。この描像から、遷移の終状態に対応する真空期待値が無限大になった極限では、ボソンの揺らぎが凍結されて離散的な値をとる基底状態のみが許されることが示されている。これは予想通り D1 ブレインと基本弦との結合状態を記述しており、特に、基本弦の電荷に対応するブレイン上の電場の量子化を初めて正しく導くことに成功していることは特筆に値する。また円周上にコンパクト化した上で、T 双対な描像を考えた場合には、対応する $D8-\overline{D8}$ ブレインと D0 ブレインプローブの系において、直感的には理解しにくいハニ・ウィッテン効果を非常に見事な形で説明している。特に、D0 ブレインのポテンシャルが量子効果で調和振動子型にスメアされる現象を発見したことは、非常に興味深い結果で高く評価できる。

以上のように、本論文は D ブレインプローブの方法によって不安定 D ブレイン系を解析する手法を提案し、具体的に D1 ブレインプローブを用いて $D9-\overline{D9}$ ブレイン系の力学を詳細に解析したもので、本研究において初めて明快な記述を与えられた幾つかの結果を含んでいる。更に、本研究で提案された手法は広く応用が可能と考えられ、今後の関連分野の研究に大きなインパクトを与えるものである。

以上の理由により、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。