

氏 名	ご 後 藤 生 也
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2593 号
学位授与の日付	平 成 15 年 3 月 24 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	S ブレインと時間依存する超重力ブレイン

論文調査委員 (主 査) 教 授 川 合 光 教 授 九 後 太 一 助 教 授 畑 浩 之

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、超弦理論の低エネルギー有効理論である超重力理論を考え、それにおける時間依存するブレイン古典解を構成し、その性質について議論した。時間に依存しないブレイン古典解はもっとも一般的な形ですでに知られており、この博士論文で構成された解は、その一般形の、時間依存する場合に対応するものである。またこの解は、すでに知られている時間依存する重力古典解である S ブレインを、その一部として含むものであった。構成された解のなかには、超重力 S ブレイン解における不備、すなわち裸の特異点を持たない解が存在し、それをブレインの生成・消滅の過程として解釈した。

まず最初に、スカラー場のソリトン解として S ブレインの超弦理論への導入の説明を行なった。S ブレインは、Gutperle と Strominger によって提唱された時間に依存する弦理論のブレイン解であるが、本論文ではまず S ブレインの単純な例として 4 次元のスカラー場の理論を考察し、その後、そのアナログとして「タキオン・ソリトン」としての S ブレインを議論した。具体例として、二重井戸型のポテンシャルを持つ 4 次元の実スカラー場を考え、この理論の持つ時間的なキネク解が S2-brane に対応することをみた。一方、Mexican hat 型のポテンシャルを持つ複素のスカラー場のケースにおいても、まったく同様に、この理論における vortex 解が S1-brane をあらわすことを見た。これらの S ブレイン解にはゲージ場の結合を導入することが可能で、これにより、タキオン場に対して、non-BPS branes が二重井戸型ポテンシャルを持ち、brane-antibrane 系が Mexican hat 型のポテンシャルを持つことから、このふたつの具体例の結果を弦理論に適用し、S ブレインが RR チャージを持つ超弦理論の解であることを説明した。

次に、S ブレインの重力古典解の性質について概観し、その解の抱える問題点について解析した。この古典解は、dS/CFT 対応の観点から、S ブレインの world volume 上のユークリッドな場の理論と holographic に対応すると期待される重力解であり、isometry  $ISO(p+1) \times SO(8-p, 1)$  を持つ幾何として定義される。解の漸近的振る舞いを調べ、無限遠方から観測したブレインの素描について触れ、ブレイン近傍の幾何について議論した。特に、無限遠方から見て素朴にブレインの位置と解釈される地点の前方にある特異点について詳細に述べ、すべての次元のブレイン解において、これが、裸の特異点としてあらわれるということを見、その裸の特異点のために超重力 S ブレインが、本来期待されていた物理的解釈、すなわちブレイン・反ブレイン系の生成・崩壊過程という解釈が困難であることを指摘した。

続いて、時間に依存しないブレイン解について、とくにタキオン凝縮の重力解からの記述について説明した。まず、isometry  $ISO(p, 1) \times SO(9-p)$  により定義される 3 パラメーターの時間に依存しないブレイン解を導入し、この解がこれらのパラメーターにたいして BPS scaling limit を持つことを説明し、この BPS limit が重力古典解によるタキオン凝縮の動的記述と解釈されるものであることを説明した。次に、3 パラメーター解からさらに拡張された、もっとも一般的な時間依存しないブレイン解を導入し、その解空間全体の性質について論じた。この解空間は非常に大きいものであり、その中に、圧力のない有限エネルギーのダストとして、tachyonmatter の重力古典解と解釈され得べき解が存在することを示した。

次に、この博士論文の主題である、時間に依存する超重力ブレイン古典解の構成を行なった。この解は S ブレインを極

限として含むものであり、時間に依存するブレイン解としてもっとも一般的なものである。その構成法としては Wick 回転の処方箋を用いた。本論文では、まず、時間に依存するブレイン解を、時間に依存しない3パラメーターのブレイン解より始めて、Wick 回転により構成した。その構成された解の isometry と解のパラメータ空間を、S ブレインのそれらと比較し、それにより両者が等価な解であることを示した。続いて、この構成法を拡張し、もっとも一般的な時間依存しないブレイン解である4パラメーター解に、S ブレインを再現したものと同一 Wick 回転を適用することで、さらに広いクラスの時間依存するブレイン解を構成した。そのようにして構成された解の集合は、S ブレイン解を部分として含むような、より大きな時間依存するブレインの解空間であった。その構成した解空間には BPS 極限が存在しないなど、時間に依存しないブレイン解とは異なる性質を持つことが解った。

続いて、構成したブレイン解の性質について議論した。その構成した解の中から、超重力 S ブレイン解の持っていた欠点、すなわち裸の特異点を持たない解を発見した。それはちょうど black p-brane 解、または dilaton が無い場合には Reissner-Nordstrom 解を Wick 回転したものに対応するもので、Schwarzschild 解を90度回転させたような因果構造を持ったものであった。これは、Wick 回転によりもとの解にあった特異点 (black p-brane においては horizon の内側の特異点、Reissner-Nordstrom 解においては inner horizon) が解消するということを意味する。またこの因果構造は、裸の特異点を持たない S ブレイン解として知られている、4次元の Einstein-Maxwell 理論の S0-brane 解と同一のものであった。このように、Reissner-Nordstrom 解などとは異なり、構成した解は charge を持ちながらも極めて単純な因果構造を持っており、そのために時空全体を、flat space 内におけるブレインと反ブレインの生成・消滅の過程と解釈することができた。つまり、RR 場の関数形から、事象の地平面の内側の時間的な特異点を RR 場の source、すなわちブレインであると解釈した。また、解を最大に拡張して得られる Penrose 図に現れるそのふたつの特異点が、それぞれ反対の charge を帯びていることを示した。

以上のように、S ブレイン古典解を拡張することにより大きなクラスの超重力理論の解空間を求め、そのなかに裸の特異点を持たない解を同定し、それをブレイン・反ブレイン系の生成・消滅と解釈したというのが、本論文の内容である。

## 論文審査の結果の要旨

申請者は、最近 Gutperle と Strominger により提唱された、S ブレイン解に着目し、超重力理論における時間依存するブレイン解について考察した。まず申請者は、S ブレイン古典解の持つ、ブレイン解釈を阻害する欠点を指摘し、続いて S ブレイン古典解の拡張を行なった。具体的には、Wick rotation の処方箋により、時間依存するブレイン解を構成した。この構成された時間に依存する重力古典解は、 $ISO(p) \times SO(1,8-p)$  対称性を持つものとしてはもっとも一般的な解であり、時間だけに依存するブレイン解としてもまたもっとも一般的な解である。また、このブレイン解は、その解空間の中に S ブレイン古典解や、他の様ざまな時間依存するブレイン解を含んでいるが、BPS 極限に対応するブレイン解は除外されることを指摘した。

続いて申請者は、その構成した解空間の中から、tachyon の background をある値に固定することにより、S ブレインの超重力古典解の持っていた欠点、すなわち裸の特異点を持たない解を発見した。その解はちょうど、時間依存しないブレイン解においては有限温度の black p-brane 解、または dilaton が無い場合には Reissner-Nordstrom 解を Wick rotation したものに相当し、それらのブレイン解と同様に charge を帯びながら、因果構造は Schwarzschild 解に類似したものになっている。これは、Wick 回転により、もとの解にあった特異点が解消するということを意味する。またこの因果構造は、裸の特異点を持たない S ブレイン解として知られている、4次元の Einstein-Maxwell 理論における S0-brane 解と同一のものである。

このように、Reissner-Nordstrom 解などとは異なり、構成した解は RR charge を帯びながらも、きわめて単純な因果構造を持っており、そのために時空全体を、flat space 内におけるブレインと反ブレインの生成・消滅の過程と解釈することができた。具体的には、通常のブレイン解のケースと同様に、RR 場の関数形から、事象の地平面の内側の時間的なふたつの特異点を、RR 場のソース、すなわちブレインであると解釈した。また、解を最大に拡張して得られる Penrose 図に現れるそのふたつの特異点が、それぞれ反対の charge を帯びていることを示し、この解が実際に brane-antibrane を記述す

ることをみた。

以上のように、申請者は、本博士論文において、超弦理論の低エネルギー理論である超重力理論を考え、それにおける時間に依存する一般的なブレーン解を構成し、そのなかに、ブレーン・反ブレーンの生成・消滅と解釈されるべき解を同定した。これは、弦理論における tachyon の rolling により生じるブレーンの崩壊過程の物理の解明をする上で、たいへん意義深い結果である。よって、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。

主論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。