

# Aspects of Locally Non-geometric Branes in String Theory

分子科学専攻 量子物理学  
DS-18904 塩沢健太

素粒子間に働く基本相互作用は、電磁力、弱い力、強い力、そして重力の4つだけであることが知られている。現在、素粒子理論の標準模型では前者3つの力が量子化されて、同じ枠組みで記述できている。しかし、重力の量子化はいまだ達成されていない。自然界の成り立ちを深く知るためには、重力の量子化は必要不可欠である。超弦理論は、閉じた弦の励起状態に自然に重力子を含んでいるため、量子重力理論の候補と考えられている。弦理論の基本的な物体は点粒子ではなく、1次元的な拡張をもつ弦である。それだけでなく、弦理論はさらに空間的に拡張された「ブレーン」と呼ばれる物体を含んでいる。現在は、弦理論は弦だけの理論ではなく、すべてのブレーンを含めた理論であると考えられている。これらのブレーンは、弦理論の構造を調べるための物体として非常に重要である。

弦理論は無矛盾な理論が5つあり、そのそれぞれは双対性と呼ばれる量子論的な等価性によって関係付いている。特にT双対性は、弦が巻き付くことができるために現れる、弦理論に特有の双対性である。弦理論に現れる各ブレーンは、それぞれに対応する曲がった背景時空を持つ。T双対性は、異なる背景時空における弦理論を関係付ける。T双対性関係を詳しく調べることで、局所的非幾何学的ブレーン (locally non-geometric branes) と呼ばれる物体が存在することが知られている。「局所的非幾何学的」とは、物理的な空間を張る座標  $x$  だけではなく、弦の巻き付き数にフーリエ共軛な量 (巻き付き座標)  $\tilde{x}$  にも依存することを意味する。超重力理論は弦理論の低エネルギー有効理論であるが、巻き付き座標を扱えない。そのため、局所的非幾何学的ブレーンはその重力理論的な取り扱いができなかった。

最近になって、巻き付き座標を扱うことができる重力理論が開発された。これは Double Field Theory (DFT) と呼ばれ、 $(x, \tilde{x})$  の2つの座標を持つ倍化した空間上に定義される。DFTはT双対性を明白な対称性として持つ、超重力理論を拡張した理論である。本論文では、まずはDFTの理論構造について調べる。DFTは拘束条件が課せられた理論である。特に、このDFTの拘束条件の代数的な起源について議論する。

DFTは巻き付き座標を自然に含んでいるため、局所的非幾何学的ブレーンはDFTの解となる。すでに知られていたRブレーンと呼ばれる局所的非幾何学的ブレーン以外にも、新しいブレーンがDFTの解に含まれることを示す。これらの新しいブレーンも巻き付き座標依存性をもつ。この巻き付き座標依存性が、既存の超重力理論の解への弦の世界面インスタントン効果として解釈できることを説明する。また、この世界面インスタントン補正を計算するために有用なゲージ化線型シグマ模型を構築することができた。これらの解析により、すべての超重力理論の解に対して、弦の巻き付き補正を含むDFT解が存在することが明らかになった。

局所的非幾何学的ブレーンは超重力理論の解ではないためその解析ができなかった。しかし、DFTを用いることでこれらのブレーンの解析が行うことができる。本論文では、DFTの枠組みを用いて直接計算をすることで、局所的非幾何学的ブレーンの世界体積有効理論を構築する。ブレーンの世界体積理論はブレーン自体の動力学を記述する。特に局所的非幾何学的ブレーンは巻き付き空間をプローブできることが期待される。これらの研究はこれまでに超重力理論では調べられなかった弦の巻き付きに関する物理を与える。