Non-BPS walls and their stability in 5D supersymmetric theory

衛藤 稔 (東工大)、丸 信人 (理研)、坂井 典佑 (東工大)
E-mail: meto@th.phys.titech.ac.jp, maru@postman.riken.go.jp, nsakai@th.phys.titech.ac.jp.

標準模型は素粒子物理を記述する理論として最も成功した理論であるが、自然さの問題や重力は無視している点においては満足のいくものではない。重力を含んだ量子論として有力な候補の一つとして、十次元時空における超弦理論がある。D(ディリクレ) ブレーンが発見されるに至り、高次元物理に新たな可能性が見出され、様々な研究がなされてきた。そのうちの一つとして、ブレーンワールド・シナリオがある。

多くの模型ではブレーンの存在をはじめから仮定していている。したがって、そのセットアップ自体を自然に説明することは、非常に重要な問題である。この問題を解決する一つの方法として、ブレーンを有限の厚みを持つソリトンと考えるというものがある。このように考えると高次元時空における場の理論の枠組みの中で、ブレーンワールド・シナリオの構成を自然に説明することが出来る。また、ソリトンは超対称性を自発的に破るので現象論にも適している。特に部分的に超対称性を破るソリトンを (anti-)BPS ソリトンと呼ぶ。また、ソリトンのスペクトルには大抵の場合、南部-Goldstone 粒子などのゼロモードが含まれる。これらゼロモードはソリトンの上で定義される低エネルギー有効理論に現れる場と考えられるので、ブレーンワールド・シナリオを考える上で大変都合が良い。

本研究報告では、5 次元時空超対称場の理論における non-BPS ソリトン (ドメインウォール) の存在及びその性質について調べたことを報告する。まず、5 次元時空における超対称性は少なくとも 8 個の超電化を必要とする。1/2BPS ドメインウォールによって、超対称性は半分になり、ウォール上 (4 次元時空) では、4 個の超電化を持つ $\mathcal{N}=1$ 超対称理論が実現する。超対称性は現在のエネルギースケールでは観測されていないので、残った超対称性も何らかの機構で自発的に破られていなければならない。我々は、BPS ウォールと anti-BPS ウォールが共存し、8 個の超電化を全て自発的に破るような解が存在することを発見した。この解は以前に研究論文 [1] で 4 次元時空における sine-Gordon 模型で発見した解を、5 次元に拡張したものである。我々は、$T^\star(\mathbf{C}P^1)$ 多様体をターゲット空間に持つ超対称性非線形模型を考えた。この模型には超対称性に無矛盾にスカラーポテンシャルを導入することが出来て、その真空は底空間 $(\mathbf{C}P^1)$ の北極と南極の 2 点である。ファイバー束を無視するとラグランジアンは次のようである。

$$\mathcal{L} = -\partial_m\Theta\partial^m\Theta - \sin^2\Theta\partial_m\Phi\partial^m\Phi - \mu^2\sin^2\Theta.$$

ここで Θ は $\mathbf{C}P^1 \simeq S^2$ の天頂角であり、Φ は方位角である。Φ の自由度を無視すれば、sine-Gordone 模型になることが重要である。BPS ウォールは北極から南極を結ぶ、anti-BPS ウォールは逆に南極から北極を結ぶ解である。解は次のように与えられる。

$$\Theta = \pm\mathrm{am}\left(\mu(y-y_0)/k, k\right) + \pi/2, \quad \Phi = \mathrm{const.}.$$

k は解のパラメータであり正の実数値をとる。$k=1$ の解が (anti-)BPS 解を表し、それ以外が non-BPS 解である。Θ に関しては、4 次元 sine-Gordone 模型における議論から $k>1$ の解は不安定であり、$k<1$ の場合が安定な解であることが知られている。今回我々は上記の解に摂動を加えて、Θ 以外の場から不安定さが発現しないかどうかを確かめた。結果は、$k<1$ の場合については安定であることが分かった。また、超対称性の自発的な破れのスケールは BPS ウォールと anti-BPS ウォールの間の距離 $L(k)$ を起源とするブリーザーモードの質量と同定され次のように与えられた。

$$m^2 = \mu^2(1-k^2)/k^2 \quad \to \quad \mu^2 \mathrm{e}^{-\pi\mu L(k)} \quad (1-k \ll 1).$$

2 枚のウォールが十分離れている場合には、超対称性の破れのスケールは L の指数関数として減少して行くので、ファインチューニングが必要ない。この講演の内容の詳細は論文 [2] にまとめられている。

1. N.Maru, N.Sakai, Y.Sakamura and R.Sugisaka, PLB496:98 and NPB616:47
2. M.Eto, N.Maru and N.Sakai, hep-th/0404114, to appear in NPB.