Domain Wall Junction in $\mathcal{N} = 2$ Supersymmetric QED in Four Dimensions

東京工業大学理工学研究科　坂井典佑
E-mail: nsakai@th.phys.titech.ac.jp

ブレーンワールドの立場では、高次元時空の基本理論で、ドメーンウォールのような位相欠陥の上に、我々の 4 次元時空が実現する模型を考える。こうしたソリトン的な広がった物体を構成するためには、超対称な場の理論が有用である。超対称性を部分的に保存するソリトンは BPS 状態として、安定であり、超対称標準模型を低エネルギー有効理論として構成する可能性が生じる。

高次元の基本理論から出発するためには、ドメーンウォールでなく、それらのジャンクションを構成することが有用である。今までに、我々は、4 次元の $\mathcal{N} = 1$ 超対称理論で、ジャンクション解を厳密に構成することができた。ドメーンウォールは少なくとも二つの離散的な真空の間を結び、異なるウォールが一箇所で交わることでジャンクションができる。したがって、ジャンクションが生じるためには、少なくとも三つの異なる真空状態を持つ模型でなければならない。実際に構成された解は三つの真空状態が Z_3 対称になっている場合であった。

もしも基本理論が 4 次元よりも高い時空次元の理論であれば、超対称性は少なくとも 8 個必要となる。そこで、我々は超対称性を 8 個持つ 4 次元の理論、すなわち $\mathcal{N} = 2$ 理論を基本理論として、ジャンクションの厳密解を構成することを行った。この解は、すでに知られている解析的な解をより超対称性が高い場合に埋め込んだものになっている。

ウォールやジャンクションを与えるためには、離散的な真空を持つ模型でなければならない。具体的に採用したのは、$\mathcal{N} = 2$ 超対称性を持つ $U(1)$ ゲージ理論で、電荷を持つハイパー多重項が三つある場合を考えた。特に $U(1)$ ゲージ場が Fayet-Iliopoulos 項を持ち、ハイパー多重項が複素質量項を持つことが重要である。そのような理論の超対称な真空は、$U(1)$ ゲージ場の $\mathcal{N} = 2$ 超対称な相棒として登場するスカラー場 ϕ の値が、ハイパー多重項のどれかの質量と一致する場合であり、そのときハイパー多重項のスカラー場はその質量を持つ場だけが零でない値を持つ。この結果、超対称な真空はハイパー多重項の数だけ生じる。ジャンクション解が得られるとすれば、集まっているドメーンウォールのエネルギー密度 (張力) の釣り合いを実現するために、それらの真空は複素平面上で一直線に並んでいてはいけない。たとえば、すべてが実数質量であるという場合はジャンクションが存在できない。もしもこの真空の位置が複素面上で Z_3 対称になっていると、既に知られているジャンクション解を埋め込む可能性が生じる。実際に厳密解を得るためには、さらに Fayet-Iliopoulos 項の係数とハイパー多重項の質量の間に関係が必要となる。

超対称性が部分的に保存することを要求して、BPS 方程式を立てることが、解を構成するもっとも有用な方法である。この BPS 方程式の解として、ジャンクション解を得る。すべての超対称性を明白にする超場形式は調和超場を呼ばれ、複雑である。我々は、四つの超対称性だけを明白にする $\mathcal{N} = 1$ 超場を用いて定式化した。具体的には、ゲージ対称性を Wess-Zumino ゲージに固定することによって、物理的自由度が最も見やすくなる形を採用した。こうして得られたジャンクション解が残りの四つの対称性のうち、どれだけを保存するかを確定するために、Wess-Zumino ゲージで残る四つの超対称性を実現する新たな $\mathcal{N} = 1$ 超場形式を構成した。その結果、この解が八つの超対称性のうち、二つを保存していることが分かった。

本研究で用いた 4 次元時空の $\mathcal{N} = 2$ 超対称ゲージ理論は、5 次元・6 次元時空のゲージ理論から、非自明な次元簡約 (Scherk-Schwarz reduction) で得られる。この観点から 5 ・ 6 次元理論との関係を論じた。その結果、このままこの模型を 5 次元・6 次元に拡張しても、ジャンクションを得ることはできないことが分かった。詳しい内容は、hep-th/0306077, Phys.Rev. to appear を参照のこと。