Winding number and non-BPS bound states of walls in nonlinear sigma models

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（余剰次元模型）では，我々の４次元世界は高次元時空の中のブレーン上に存在し，標準模型の物質場はブレーン上に局在していると考える。一方，超対称性は標準模型を越える統一理論の構築にたいへん有用な理論である。そこで，ブレーンが超対称性を部分的に保存する BPS 状態であったとしよう。こうすると，ひとつのブレーンの上では近似的に超対称性が成り立つが，もうひとつ別のブレーンが別の超対称性を保存する場合に，全体として超対称性が破れる。このように，異なる超対称性を保つブレーンが共存していると，それだけで全体として超対称性は破れている。この結果，なかだちする粒子や場がなくても超対称性の破れがブレーン上に生じる。これを超対称性の破れの直接伝達と呼ぼう。この機構を用いると，超対称性の破れがブレーンの共存によって説明できる可能性がある。

ブレーンが共存しても全体として BPS 状態になっていれば，残っている超対称性のために配位のエネルギーは零なので，ポテンシャルが生じない。したがって，ブレーンの間に力は働かないので，準安定である。しかし，超対称性が破れた状態 (non-BPS 状態) では，エネルギーは一般に正になり，ポテンシャルが生じるので，力が働く。したがって，超対称性の破れを説明しようとする場合には，ブレーンの配位の安定化の機構を考える必要がある。

もしも巻き付き数のようなトポロジカルな量子数があると，ブレーンが互いに近づき過ぎれば運動エネルギーが大きくなって損をするので，斥力が得られる。その場合は，コンパクト化しただけで，周期的に配置されたブレーンの間の斥力によって，互いにもっとも遠い位置に落ち着く。これが巻き付き数がある場合の直観的な安定化の機構である。

以前に巻きつき数を持った厳密解を具体的に構成した ([hep-th/0107204])。今回はさらに進んで，この安定化の機構をより詳しく調べ，トポロジカルな量子数を導入する一般的な方法を得た。その結果，一般にトポロジカルな量子数を持った非線形シグマ模型を作ることができた。

場の理論でもブレーンと反ブレーンの系でも全体として巻きつき数というトポロジカルな量子数があると対消滅できず，場合によっては non-BPS 束縛状態ができる可能性がある。簡単な模型では束縛状態が存在しないことを示すことができる。一方，もう少し複雑な模型では，複数のブレーンの non-BPS 束縛状態として，超対称性を完全に破るものがあることを示した。

巻き付き数というトポロジカルな量子数を持った場の理論のもっとも簡単で有名な模型はサインゴルドン模型である。これを超対称化した場合は，複素サインゴルドン模型となる。我々は Wall 解が厳密に求まる模型から，解析性を保った場の変数変換を行い，サインゴルドン模型と同様の巻き付き数を持った模型を構成した。

$$\mathcal{L} = \frac{m^2}{g^2}\sin\Psi^\dagger \sin\Psi\Big|_{\theta^2\bar\theta^2} + \frac{m^3}{g^2}\left(\sin\Psi - \frac{1}{3}\sin^3\Psi\right)\Big|_{\theta^2} + \text{h.c.},$$

実数部分が周期変数なので， $\psi_R = \psi_R + 2\pi$, 場の変数のトポロジーは $S^1 \times \mathbf{R}$ となる。したがって，空間がコンパクトであれば，やはり写像 $y \to \psi_R$ の巻き付き数 $\pi_1(S^1)$ が定義できる。

この模型では，巻きつき数のある配位のエネルギーについて，BPS 型の下限が証明できて，巻き付き数を持った束縛状態が決して作れないことが分かった。一方，二つのカイラル場を導入して拡張した模型では，完全に超対称性を破る non-BPS 束縛状態が存在することを示すことができた。

内容の詳細については，我々の論文 (N.Sakai and R.Sugisaka, Phys.Rev.to appear, [hep-th/0203142]) を参照して下さい。