非アーベリアンウォール１，２[1]

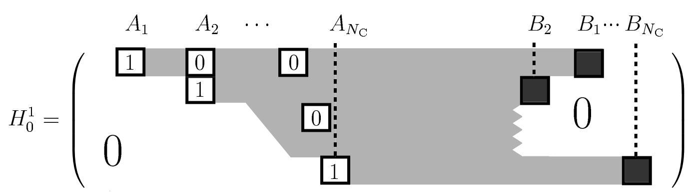
東京工業大学　理工学研究科　　五十棲洋一、新田宗土
E-mail: isozumi@th.phys.titech.ac.jp, nitta@th.phys.titech.ac.jp

Higgs 場と結合した非アーベリアン・ゲージ理論には、Bogomol'nyi-Prasad-Sommerfield (BPS) なトポロジカル・ソリトンとして、インスタントン、モノポール、ボーテックス、ドメイン・ウォールが存在する。任意のインスタントン解には Atiyah-Drinfield-Hitchin-Manin(ADHM) 構成法、モノポール解には Nahm 構成法が確立し、長年に渡って、その解の構成法や性質及びモジュライ空間の構造がかなり深く理解されてきた。また、ボーテックスの場合は、Hanany と Tong により最近やっと構築されつつある。ところが、ウォールに対する解の体系的構成法は未だ確立されておらず、そのモジュライ空間もアーベリアン・ゲージ理論の特別な場合にしかわかっていなかったのが現状であった。そこで我々は非アーベリアン・ゲージ理論におけるウォールのモジュライ空間の構成を行い、これらの性質を詳細に調べた。具体的には、基本表現に属する $N_{\rm F}$ 個のハイパー多重項を持つ $U(N_{\rm C})$ 超対称ゲージ理論 ($N_{\rm F} > N_{\rm C}$) における BPS 状態としての多重ウォール解及びそのモジュライ空間の構成を行った。ゲージ結合定数が無限大の極限において厳密解を構成することにより、モジュライ空間 $\mathcal{M}$ は $N_{\rm F}$、$N_{\rm C}$ で定まる有限次元の複素グラスマン多様体

$$\mathcal{M} = \frac{SU(N_{\rm F})}{SU(N_{\rm C}) \times SU(N_{\rm F} - N_{\rm C}) \times U(1)} \tag{1}$$

であることを明らかにした。このモジュライ空間は、理論に現れるすべてのトポロジカル・セクターを足しあげたものであり、トポロジカルに非同値な、ウォールの枚数の異なるセクターを含んでいる。インスタントンやモノポールなどの他のソリトンの場合は、無数のソリトンが許されるため、すべてのセクターを足したモジュライ空間は無限次元になってしまう。ところが、ウォールの場合は許される枚数が理論によって決められており（今の場合は $N_{\rm C}(N_{\rm F} - N_{\rm C})$）、すべてを足しても高々有限次元であるところが大きく異なる。

次にこのモジュライ空間中のどのような点がどのような多重ウォール配置を与えるかについて簡潔に説明しよう。まず超対称真空は $N_{\rm F}$ 個のフレーバーから $N_{\rm C}$ 個の期待値を持つフレーバーを選ぶ方法で $\langle A_1 A_2 \cdots A_{N_{\rm C}} \rangle$, $(1 \le A_r \le N_{\rm F})$ のようにラベルできる。よって可能な真空の数は ${}_{N_{\rm F}}C_{N_{\rm C}}$ である。この記法を用いるとモジュライ空間の一点は次のような $N_{\rm C} \times N_{\rm F}$ のモジュライ行列



で書くことが出来、対応する多重ウォール解は $\langle A_1 A_2 \cdots A_{N_{\rm C}} \rangle$、$\langle B_1 B_2 \cdots B_{N_{\rm C}} \rangle$ という二つの真空をつなぐものになる。上行列において、灰色の行列要素は複素数、黒色の行列要素はゼロでない複素数のモジュライパラメーターである。これらは、ウォールの存在によって自発的に破られた、時空の並進対称性やフレーバー対称性に対応する（擬）南部・ゴールドストーンゼロモードや多重ウォール間の相対距離などに対応するゼロモードである。

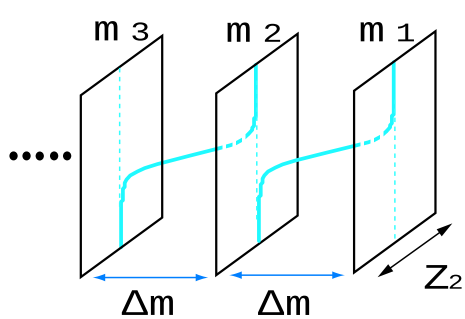
ドメインウォールは、コディメンジョンが１なために他のソリトンとは性質が著しく異なる。特に、位置が互いに交換出来るのか出来ないのかが問題になる。アーベリアン・ウォールの場合には二つの隣り合うウォールの位置を交換することができず、すべてのウォールは順序付け可能で

[1] 東工大の大橋圭介、坂井典佑との共同研究 [1, 2]、及び、衛藤稔、太田和俊 (理研) との共同研究 [3] に基づく。

ある。非アーベリアン・ウォールが持つ目新しい性質は、このような位置を交換できないウォールの組に加えて、位置を互いに交換することのできるウォールの組が出現することである。このことにより、モジュライ空間はかなり複雑な構造になっている。

我々はさらに、モジュライ行列に作用する $N_{\rm F} \times N_{\rm F}$ 行列の冪ゼロ演算子を定義する。これを真空に対応するモジュライ行列に作用させることによって、ウォールの構成要素となる基本的ウォールを生成することができる。さらにこれらを次々に演算することにより、一般の多重ウォール解を次々に構成していくことが出来る。非常に面白いことに、二つのウォールの位置が交換する場合は対応する演算子が交換し、位置が交換出来ない場合は対応する演算子も交換しない。さらに、後者の場合の交換子は、二つのウォールを圧縮して一枚にしたウォールの生成演算子になっていることがわかる。このようにして、ウォールのモジュライ空間の複雑な構造が、代数構造として表現できることがわかった。また興味深いことに、ハイパー多重項の質量行列が自然な Hamiltonian になっている。実際に、この行列とウォールの生成演算子の交換子をとると、対応するウォールのテンションを与える。我々はこの代数構造をウォール代数と名づけた。これは、ウォールの生成・消滅を扱う自然な体系であり、ソリトンの第二量子化に道をひらくものと思われる。

次に、ウォールの配置を、IIA/IIB ストリング理論に埋め込むことによって、Dp-D$(p+4)$ 系のブレーン配置として表すことができることを紹介する [3]。$N_{\rm F}$ 個の D$(p+4)$ ブレーン背景中の、$N_{\rm C}$ 個の Dp ブレーン上の理論を考える。さらに、Dp に垂直な D$(p+4)$ ブレーン方向を $\mathbf{Z}_2$ で割ることによりオービフォルドにすると、Dp ブレーン上に我々の考えている理論が得られる。ハイパーに質量のない場合は、理論の真空は $\mathbf{C}^2/\mathbf{Z}_2$ ALE 空間上のインスタントンによって与えられる。T 双対をとることにより、よく知られた D$(p+1)$-D$(p+3)$-NS5 の系になり、その系で知られている S 規則から可能な真空状態がわかり場の理論の結果を再現する。さて元の系で、ハイパーに質量を与えると D$(p+4)$ ブレーンが離れる。S 規則から、各 D$(p+4)$ ブレーンに最大一つまでの Dp ブレーンが乗れることがわかり、可能な真空の数は ${}_{N_{\rm F}}C_{N_{\rm C}}$ となり場の理論の結果を再び再現する。さらに、多重ウォールは図のようなキンク状の Dp ブレーンによって現される。



このブレーン配置を用いると、場の理論で発見した様々な非アーベリアンウォール特有の複雑な現象が、非常に簡単に理解できることがわかる。詳細は本論文を参照して欲しい。

参考文献

[1] Y. Isozumi, M. Nitta, K. Ohashi and N. Sakai, “Construction of Non-Abelian Walls and Their Complate Moduli Space”, to appear in Phys. Rev. Lett. [arXiv:hep-th/0404198].

[2] Y. Isozumi, M. Nitta, K. Ohashi and N. Sakai, “Non-Abelian Walls in Supersymmetric Gauge Theories”, to appear in Phys. Rev. **D** [arXiv:hep-th/0405129].

[3] M. Eto, Y. Isozumi, M. Nitta, K. Ohashi, K. Ohta and N. Sakai, in preparation.