

不安定系の崩壊現象にも様々な形で用いられている。今回の研究では主に超対称性の無い系のブレインダイナミクスの解明に比重をおいて研究を行なった。超対称性を持ったブレイン系に関する議論も行なっている。

一角度で交差するDブレインは交差角度が0でない限り、必ずそのブレイン間をつなぐ弦の質量スペクトルにタキオンモードを含んでいることが知られている [4]。一般にスペクトルにタキオンモードを含む系は不安定であり、そのタキオンモードの凝縮現象により系の不安定性が解消され超対称性を回復した安定な真空へ遷移すると予想されている [5]。交差するDブレイン系においてもそのような現象が実現されているものと期待される。系全体の Ramond-Ramond チャージを保ったまま、系全体のエネルギーを最小にするような変形を考えたとき、必然的に交差するブレインの組み換え (Recombination) が起きるものと予想できる。

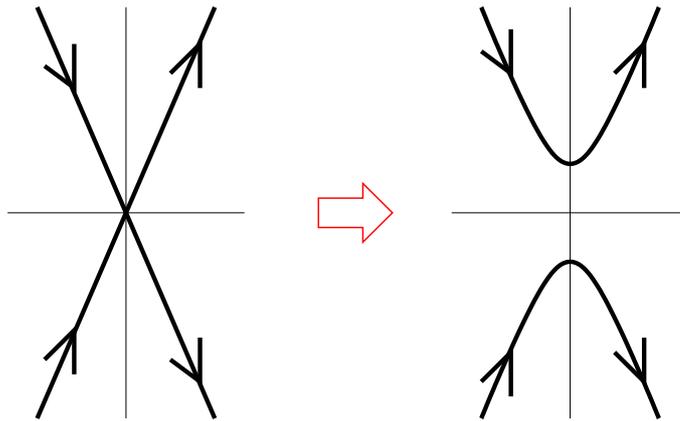


図 1: 交差するブレインの組み換え

Dブレインの組み換えはブレインを用いた現象論の研究において極めて本質的な役割を果たしている。この現象は交差するDブレインの上で構成される素粒子論の標準模型 (Standard Model) において Higgs 現象として理解されている。さらにはブレインワールドにおいてもインフレーション期の終了を導く現象として有力だと考えられている。しかし、これまでそこで行なわれていた議論は前述のチャージの保存とエネルギーの大小関係から導かれる遷移関係についてのみであり、組み換えはその遷移の途中で起きると予想されているに過ぎなかった。

この研究ではまずブレインの組み換えの弦理論による実現を目指した解析を行なった。タキオン凝縮の議論はこれまで、ブレイン反ブレイン系で主に議論されており、ここではタキオンモードを含んだ有効場の理論 (Tachyon effective field theory) が非常に大きな成果を挙げている。交差するブレイン系は交差角 $\theta = \pi$ という特殊な状況がブレイン反ブレイン系に対応しているため、ブレイン反ブレイン系の一般化になっていると考えられる。またタキオンモードをスペクトルに持っているため、組み換えの議論はタキオン凝縮の有効場の理論による記述が適切であるものと考えられる。一般に低エネルギー有効場の理論の自由度は短い開弦のモードに対応しているため、ブレインの直上かその付近の物理しか記述していないものと考えられる。そのため、交差するブレイン系は交差している一点、及びその付近のみが場の理論として記述できる領域であると考えられ (但しここでは対角成分のみで記述される現象については注目していない)、その点がこれまで交差するブレインの研究が場の理論によって十分になされていなかった一因ともなっている。しかしこの困難は、交差角を $\theta \sim 0$ 、又は $\theta \sim \pi$ に制限して2枚のブレインをほぼ平行にして、互いに十分に近い領域を増やすことによりある程度解消される。この時交差角 $\theta \sim 0$ の状況は、super Yang-Mills 作用により記述される。このアプローチにより以下のような解析を行なった [1]。

まず SU(2) Yang-Mills 理論を用いて非対角成分の揺らぎの解析を行ない、交点に局在化したタキオンモードの固有関数の一般解を求めた。質量の固有値は微小角の近似のもとで弦理論により直接求められているものと一致していた。さらにそのタキオンモードの凝縮によってブレインの組み換えが実際に起こっていることを示した。これは弦理論の立場からブレインの組み換えを示した初めての解析になっている。また交差角が π に近い場合はブレイン反ブレイン系の作用をもとにして同様の議論ができることを示した。さらに両者の解析の間にはタキオンの質量、波動関数等の間で対応が見られた。このことは Yang-Mills 作用の拡張によって従来のタキオン凝縮の議論を一般化して行なうことができる可能性を示唆している。

一方、Dブレインの多体系の有効作用の具体的な表式 (Non-abelian Born-Infeld 作用、以下 NBI 作用と略記) を求めることは非常に重要なことである。これにより例えば、前述の一般化されたタキオン凝縮の議論が可能になるものと思われる。一枚のDブレインは高次の微分を考慮しない近似のもとで Dirac-Born-Infeld (DBI) 作用として記

述することができる。これに対して、複数枚のDブレーンの有効作用を具体的に求めることは困難であることが知られている。この場合、共変微分 D と場の強さ F との間に等価関係が成り立ってしまうために、高次の微分を落とすという近似の意味が無くなってしまい、高次の微分も F と同等に取り扱わなければならないという点が問題である。またこれと関係して、 F が互いに交換しないため、作用を構成したときにその積の順序の取り扱い方も問題になってくる (Ordering ambiguity)。これまで知られている有効作用は場の強さ F の展開の4次までである。昨年 F の6次までの項が、BPS方程式の変形により F の低次の項から高次の項を逐次的に決めていくという方法で提案された [6]。この作用に対して以下のような検証を行なった [2]。

検証したい作用において交差するブレーンの間を結ぶモードのスペクトルを求め、弦理論により直接得られるスペクトルとの間の比較を行なった。比較の結果スペクトルは F の展開の6次に相当する補正まで一致していた。このことはこの有効作用がDブレーンの多体系を正しく記述する作用であることを強く示唆している。

交差する高次元のブレーン系は、その交差角の値によっては超対称性を部分的に保った配位となる。例えばD 2ブレーンが2成分の角度を持って交差する系は、その角度の値が等しい場合には超対称性を1/4保っている。このような系はブレーン間の垂直方向の距離を離す変形 (Coulomb ブランチ) 及び Calibration 方程式に従う多様体への変形 (Higgs ブランチ) が許されることが知られている。後者の変形は $U(1)$ のDBI作用で記述できることが知られており、他にNBI作用で記述される非可換な変形が存在するものと思われる。一方素粒子論の標準模型は三成分の角度でD 6ブレーンが交差するような状況で構成されている。以上のような理由から交差角を複数個持っている系での組み換えを調べることは非常に重要であり、以下のような解析を行なった [3]。

複数角度で交差するブレーンにおいても Yang-Mills 作用の解析により局在化したタキオンモードの凝縮とブレーンの組み換えが対応していることを示した。またタキオン凝縮後には、同時対角化不可能であり高次元的に拡がりを持った物体が現れることが判明した。さらに二つの交差角が等しい場合、超対称性が残るような微小変形が存在することを示した。

以上の研究により、Dブレーンの組み換えがタキオン凝縮によって引き起こされるこ

とが Yang-Mills 作用などの解析により明らかになった。この解析をもとにしてタキオン凝縮の議論が一般化されて行なわれることが期待される。また、応用例として NBI 作用が θ の展開における正しい高次の補正を出すことが必要であるという条件により提案されている NBI 作用の検証を交差するブレイン系で行ない、正しい補正が得られることを示した。

参考文献

- [1] K. Hashimoto and S. Nagaoka, “Recombination of Intersecting D -branes by Local Tachyon Condensation,” *JHEP* **0306** (2003) 034, hep-th/0303204.
- [2] S. Nagaoka, “Fluctuation Analysis of Non-abelian Born-Infeld Action in the Background Intersecting D -branes,” to appear in *Prog. Theor. Phys.*, hep-th/0307232.
- [3] S. Nagaoka, “Higher Dimensional Recombination of Intersecting D -branes,” hep-th/0312010.
- [4] M. Berkooz, M. R. Douglas and R. G. Leigh, “Branes Intersecting at Angles,” *Nucl. Phys.* **B480** (1996) 265, hep-th/9606139.
- [5] A. Sen, “Tachyon Condensation on the Brane Anti-Brane System,” *JHEP* **9808** (1998) 012, hep-th/9805170 ; “Descent Relations among Bosonic D -branes,” *Int.J.Mod.Phys.* **A14** (1999) 4061, hep-th/9902105 ; “Non-BPS States and Branes in String Theory,” hep-th/9904207 ; “Universality of the Tachyon Potential,” *JHEP* **9912** (1999) 027, hep-th/9911116.
- [6] P. Koerber and A. Sevrin, “The non-abelian D -brane effective action through order α'^4 ,” *JHEP* **0210** (2002) 046, hep-th/0208044.