



Title	Wall-Crossing Phenomena in String Theory and Gauge Theory
Author(s)	西中, 崇博
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/58610
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	にし なか たか ひろ 西 中 崇 博
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 2 4 3 2 3 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 23 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科物理学専攻
学 位 論 文 名	Wall-Crossing Phenomena in String Theory and Gauge Theory (超弦理論とゲージ理論における壁越え現象の研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 東 島 清 (副査) 教 授 細 谷 裕 教 授 窪 田 高 弘 准 教 授 山 口 哲 准教授 波 場 直 之

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は超弦理論における BPS 状態の壁越え現象に関して、私の携わった一連の仕事を、必要な基礎知識とともにまとめたものである。主な主題は、conifold における BPS な D4-D2-D0 束縛状態の壁越え現象を、Kontsevich-Soibelman 公式を用いて考察することであり、本論文ではこの主題に関する 3 つの仕事についてまとめた。ここで D4-D2-D0 束縛状態とは、10 次元で定義される超弦理論において 6 次元部分を resolved conifold とし、その 6 次元部分に巻き付いた D4, D2, D0-brane の束縛状態を意味する。これらは 6 次元空間では広がりを持つが、残りの 4 次元時空においては点粒子と見なされる。我々の興味は、このような束縛状態のうち BPS で安定に存在するものの「数」を数えることである。そのような「数」は理論に含まれるパラメータの変化に対して特異な振る舞いをし、その振る舞いを指して「壁越え現象」と呼ぶ。壁越え現象の研究は、超弦理論における非摂動効果の解明につながる重要なものである。

さてまず 1 つ目の仕事では、1 枚の non-compact D4-brane に束縛された BPS な D2-D0 状態の壁越え現象を調べ、large radius limits における場の理論の分配関数が、トポロジーの変化を含む壁越え現象により正しくつながることを示した。この結果は Kontsevich-Soibelman 公式がトポロジーの変化を含むような壁越え現象についても適用可能であることを示唆し、その他の Calabi-Yau 多様体などへのさらなる応用につながるものと期待される。なおこの仕事は大阪大学大学院理学研究科准教授の山口哲氏との共同研究に基づく。

また 2 つ目の仕事では、1 つ目の結果を再現するようなある種の統計模型を考案し、その模型が正しく壁越え現象を記述することを示した。この結果は、D6-D2-D0 状態の場合と同様に、D4-D2-D0 状態の壁越え現象も統計模型を用いて理解できることを意味し、統計模型という視点による壁越え現象の統一的な理解の可能性を示唆している。なおこの仕事は大阪大学大学院理学研究科准教授の山口哲氏との共同研究に基づく。

最後に 3 つ目の仕事では、1 つ目の結果を D4-brane が 2 枚存在する場合に拡張し、その場合にも large radius limits の結果が壁越え現象により結ばれることを示した。またそれと同時に、large radius limits においても 2 つの D4-D2-D0 状態の束縛状態が安定に存在することが示された。この点

は、Calabi-Yau 多様体に含まれる compact cycle の半径が大きくなる極限をとってもなお、非自明な BPS 束縛状態が存在することを意味しており、large radius limit と D-brane 上の場の理論の関係解明に向けた重要な情報を提示しているといえる。

以上 3 つの仕事において得られた結果は、これまでに行われてきた壁越え現象に関する研究、特に D6-D2-D0 状態の壁越え現象の研究とは一線を画し、また多様体のトポロジーの変化や 4 次元場の理論との関係という観点からも非常に重要なものである。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

量子力学や場の量子論において、状態のスペクトラムを求めることは、しばしば重要で興味深い問題である。特に 4 次元で $N=2$ の超対称性をもつ場の理論や弦理論においては BPS 状態の数（指数）はスペクトラムの重要な情報になっている。この量が本論の主題である。

しかしながら BPS 状態の指数は連続パラメーター（モジュライ）の変形に関して不変というわけではない。パラメーターの変形に対して指数が突然離散的に変化する「壁越え」と呼ばれる現象が起こる。従来はこの壁越え現象のために強結合領域での BPS 状態の指数の計算は特殊な場合を除いて困難とされてきた。

近年になって物理、数学の両面から研究が進み、BPS 状態の指数が壁越えによってどれだけ変化するかを表す「壁越え公式」が発見された。特に Kontsevich-Soibelman による壁越え公式は応用範囲も広く有用なものである。これらの壁越え公式を使って例えば IIA 型弦理論を Calabi-Yau 多様体でコンパクト化した理論において D6-D2-D0 プレーンの BPS 結合状態の指数（一般化された Donaldson-Thomas 不変量）が計算されたりしている。

これに対して本論文では、D6-D2-D0 結合状態の代わりに D4-D2-D0 結合状態を取り扱っている。特に IIA 型弦理論を Conifold と呼ばれる Calabi-Yau 多様体にコンパクト化した場合、フロップと呼ばれるトポロジー変化によって D4 プレーンのトポロジーが変化する。このようなトポロジーの変化を含むようなモジュライの変化に対しても BPS 状態の指数の壁越えを取り扱ったのが本論文である。

本論文の一つの主要な結果は Conifold での 1 枚の D4 といくつかの D2-D0 の結合状態の BPS 状態の指数をモジュライ空間のすべての領域で完全に決定したことである。特に特殊な領域においては従来知られていた結果と完全に無矛盾である。

さらにここで得られた BPS 状態の指数を出すような 2 次元の統計模型を作ることができることを新たに示している。これは単なる数学の公式としても非常に興味深いものであるが、さらに物理的に時空の離散的な描像へのアプローチにおいて重要な役割を果たすと考えられる。

このほかに本論文では Conifold で 2 枚の D4 といくつかの D2-D0 の結合状態を調べている。ここでも壁越え公式を用いた結果が従来の結果を再現する。さらに、ここでは有理数不変量が重要な役割を果たしていることをしめしている。この有理数不変量は最近の発展でブラックホールの統計力学的解釈において注目されている量であり、本論の結果が与えるインパクトは大きいと考えられる。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものとして認める。