

論文内容の要旨

氏 名 (青木匠門)	
論文題名	Curved Domain-wall Fermions on a Lattice Space (格子空間上の曲がったドメインウォールフェルミオン)
論文内容の要旨	
格子ゲージ理論は数学的に厳密な場の量子論の定式化の一つである。空間を正方格子で分割し、経路積分を多重積分に近似することで、数値シミュレーションによる非摂動的な解析を可能とする。しかしながら、空間の幾何学的な構造に起因する重力場をゲージ場と同じように扱うことはできない。曲がった空間上に正方格子を載せることが困難だからである。 この論文では曲がったドメインウォールによって背景重力を誘導する方法を考える。ドメインウォールとはフェルミオンの質量の正負が反転する境界のことである。Nashの埋め込み定理より、任意の曲がった空間は高次元の平坦な空間に埋め込めるが、我々は曲がった空間がドメインウォールと見做せる状況を解析した。Dirac演算子の固有状態として、ドメインウォールに局在し、法線方向を向くガンマ行列の固有値+1のものを発見した。さらに自然にSpin接続が誘導され、それを通じて重力を感じることを明らかにした。 我々は球状のドメインウォール質量を持つフェルミオン系を格子上で数值的に解析し、連続理論と同様に、局在する状態が重力を感じることを確認した。そして高次元の格子空間の連続極限によって、格子での結果が連続での曲がった空間の物理をよく再現することを示した。格子上では回転対称性が露わに壊れているが、自然な連続極限でそれが回復することも確かめた。 我々はさらに、円状のドメインウォールを持つ二次元のフェルミオン系にU(1)ゲージ場を加えて、アノマリーについて議論した。U(1)ゲージ場はAharonov-Bohm 効果によってエッジ状態の固有値スペクトルを変化させ、時間反転アノマリーを引き起こす。一方で円の内側の二次元空間にはカイラルアノマリーが生じる。系全体で考えるとカイラルアノマリーが時間反転アノマリーを打ち消すというアノマリー流入が起こる。これはAtiyah-Patodi-Singerの指数定理によって正当化されるが、我々の数値計算はこれをよく再現した。さらに磁束の量を保ったまま、一つの格子に収めた時を考えた。ドメインウォール上のAharonov-Bohm効果は不変なので時間反転アノマリーは変わらないが、バルクの構造は大きく変わる。格子上のUV領域を正則化するために用いたWilson項が、ゲージ場の特異点の周りに質量が正の領域を作り、バルクに穴を開ける。そこにエッジ状態とカイラリティが逆の状態が現れ、カイラルアノマリーの代わりにドメインウォールの時間反転アノマリーを打ち消していることがわかった。 我々はこれを物性系にも応用した。エルミート化したDirac演算子を1粒子フェルミオンのハミルトニアンとすれば、質量が負の領域はトポロジカル絶縁体(または超伝導体)と見做せる。磁束渦やモノポールが内部に入ると、分数電荷を獲得しダイオンとなる。我々はこれをWilson項によるドメインウォールの動的生成機構によって微視的な解釈を与えた。	