The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Topological Objects in the QCD Vacuum
Author(s)	福島, 昌宏
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/41895
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

【18】

氏　　名	福　島　昌　宏（ふくしままさひろ）
博士の専攻分野の名称	博　士（理　学）
学　位　記　番　号	第　15150　号
学位授与年月日	平成12年3月24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	Topological Objects in the QCD Vacuum （量子色力学真空に於ける位相幾何学的オブジェクトの研究）
論文審査委員	（主査） 教　授　土岐　　博 （副査） 教　授　岸本　忠史　　教　授　菊池　　誠　　教　授　東島　　清 助教授　若松　正志

論文内容の要旨

量子色力学（QCD）真空の低エネルギー領域における「カラーの閉じ込め」、「カイラル対称性の破れ」、「$U_A(1)$問題」といった非摂動論的性質の解明は、ハドロンをQCD真空の素励起として理解する上で必要不可欠である。そこで、QCD真空及びハドロンの構造を、クォーク・グルーオンという最下部の自由度から系統的に把握することを目的とし、以下の研究を進めてきた。

QCD真空でのカラーの閉じ込め描像に対して「カラー磁気的な凝縮によりカラー電荷を持つクォークがハドロンの内部に閉じ込められる」というシナリオが提唱された。しかしながら、QCD真空でこのモノポール凝縮が起こる機構は充分には解明されていない。そこでまず、異なるホモトピー群に属するインスタントン－モノポール間の非自明な局所相関を示すことで、モノポールの出現に対するインスタントンの重要性を指摘した。また、インスタントン－センター・ボルテックス間の微視的関係を示し、近年の閉じ込めに対するセンター・ボルテックス描像へのインスタントンの有効性を報告する。

従来これらのトポロジカルなオブジェクトによる非摂動論的性質の解明が独立に研究されていたのに対して、上の微視的な見解を受けて非摂動論的性質を系統的に理解していくことを行なう。特にカラーの閉じ込めに対して重要な自由度をQCD真空から抜き出すことを目的とし、インスタントン多体論を議論することで次のものを明らかにした。インスタントン多体系でのモノポールの大域的ネットワーク化及びクォーク・反クォーク間に閉じ込めを示唆する線形ポテンシャルが現れることを示し、インスタントンのカラーの閉じ込めに対する重要性を指摘した。

また、QCD真空中でのインスタントン自身の基本的性質を明らかにする為に、外場中でのインスタントン解の局所的作用の最小化を要請することで、インスタントンの安定解を抜き出すことを試みる。この研究で、外場中でインスタントンが非対称スケール変形に対して非自明な安定点を持ち、超球対称性を失うことを示し、QCD真空に於けるインスタントンの変形の自由度を指摘した。

また、クォーク・セクターに対するインスタントンの役割についても言及する。't Hooftにより示されたインスタントン起源によるクォークのゼロ・モードに着目し、インスタントン真空中での「カイラル対称性の破れ」の議論を行なう。この研究で、インスタントン多体系ではクォークはダイナミカルに質量を獲得し、カイラル対称性がダイナミカルに破れていることを示し、また、この様な対称性の破れの強さはインスタントンの赤外領域の振舞いと強く関わりを持っていることを指摘した。

論文審査の結果の要旨

量子色力学（QCD）の低エネルギーの現象としてクォークの閉じ込め現象は非常に重要な現象である。双対超伝導体としてのクォーク閉じ込めの描像は直感的である。最近の格子QCDの研究でのモノポールの出現はこの描像を強く支持している。しかし、QCDにおいてモノポールを作り出す原因は明らかにはされていなかった。

福島君はその原因はQCDの古典解であるインスタントンにあるとして、インスタントンとモノポールの関連を数値計算で調べた。インスタントンの集合体とした場合にはモノポールの凝縮を作り出すことを与え、さらに定量的にクォーク間の閉じ込め力を計算し、その半分くらいが簡単なインスタントンの系で再現できることを示した。更に、インスタントンの相関効果を盛り込むために背景場の中でのインスタントンの振る舞いを調べ、インスタントンが変形する可能性を指摘した。これらの研究はクォークの閉じ込めの原因を明らかにした研究として高く評価できる。

これらの研究内容は学術的内容が高く、博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。