



Title	Dual Higgs Theory for Color Confinement in Quantum Chromodynamics
Author(s)	市江, 博子
Citation	大阪大学, 1998, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/40837">https://hdl.handle.net/11094/40837</a>
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、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">＜a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"&gt;https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> >大阪大学の博士論文について</a>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	いち え ひろ こ 市 江 博 子
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 1 3 6 1 8 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 10 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科物理専攻
学 位 論 文 名	Dual Higgs Theory for Color Confinement in Quantum Chromodynamics (量子色力学における双対ヒッグス理論とカラーの閉じ込めの研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 土 岐 博  (副査) 教 授 大 坪 久 夫    教 授 東 島 清    教 授 岸 本 忠 史 助教授 菊 池 誠

### 論 文 内 容 の 要 旨

非可換ゲージ理論である QCD は、その非可換性により漸近的自由性という性質を有し、低エネルギー領域においては結合定数が大きくなり非摂動的な様相を示す。閉じ込め現象も、低エネルギーでの非摂動的性質の 1 つとして理解されるが、低エネルギー領域では摂動論が適用できず、それに代わる有効な解析的手法は、未だ確立されていない。ところが、その非可換ゲージ理論である QCD も、't Hooft の提案した「アーベリアン・ゲージ固定」を施すとモノポールを含む可換ゲージ理論に還元される。そして、もし QCD に現れるモノポールが凝縮をすれば、系は超伝導体と双対な性質を示し、QCD 真空におけるカラー電束の排除、及びそれに基づくカラーの閉じ込めの物理的説明等が可能になる。この閉じ込め機構を内包するのが双対ヒッグス理論である。我々は双対ヒッグス理論に基づき、カラーの閉じ込めを中心とする QCD 真空の諸性質を、格子 QCD 理論によるシミュレーションと QCD の赤外有効理論である双対ギンツブルグ・ランダウ (DGL) 理論双方を用いて考察した。

本論文の前半部では、格子 QCD を用い最大可換 (MA) ゲージにおいてグルーオンの配位を系統的に調べることによって「アーベリアン・ドミナンス」「モノポール凝縮」がどのような仕組みで起こっているか、閉じ込め現象に効いてくるのはモノポールのどのような性質なのか等、双対ヒッグス理論の基礎となる問題について研究した。MA ゲージにおいてはグルーオン場の揺らぎはアーベリアン部分に集中し、これがゲージ場におけるアーベリアン・ドミナンスの基になっていることが分かった。又この様なゲージ場のアーベリアン・ドミナンスを考慮し、グルーオンの非対角成分に対して平均場近似を施すことによって、閉じ込め力におけるアーベリアン・ドミナンスを解析的に示した。さらに共変微分で記述されるゲージ接続の数学的概念を用いてアーベリアン部分に射影された QCD (APQCD) におけるモノポールの出現を定式化し、グルーオン場とモノポールの相関を格子 QCD で調べることによってモノポールの出現機構を検証した。モノポールはグルーオン場の大きな揺らぎを担い大きな APQCD 作用をもたらすが、非対角成分の作用がそれを打ち消すことによって、QCD 全体においてはなんら特異な点とならず存在可能になっていることが分かった。そして、そのグルーオン場の大きな揺らぎが閉じ込めにも重要な役割をすることを示した。我々はこの状況を単純化し、モノポール密度と閉じ込め力の解析的な関係式を得た。又さらに多体モノポールカレント系について調べ、赤外領域においては QCD 真空が示す閉じ込めの諸性質を再現するという結果を得た。しかし、ある臨界スケールよりも短波長領域においては、モノポールのサイズの効果が見われ、双対ヒッグス理論を局所場の理論として記述できないことも分かった。

本論文の後半部では、DGL 理論に基づいて主として閉じ込めに関する性質を中心に有限温度における QCD 相転移、さらに、近年理論・実験の両面で注目されているクォーク・グルーオン・プラズマ (QGP) の物理に対しても適用を試みた。クエンチ近似の範囲内で有限温度における DGL 理論の有効ポテンシャルを求めた。その結果、温度が高くなると、モノポール凝縮は消失し、それとともに閉じ込め力も消失することを示した。即ち、DGL 理論は有限温度で非閉じ込め相転移を記述することを示した。さらに漸近的自由性を考慮してモノポール間の相互作用に温度依存性を導入すると、閉じ込め力を示すハドロンの弦張力の温度変化は格子 QCD の数値実験の結果をよく再現することが分かった。また、有限温度での素励起の質量を求め、それが相転移の臨界温度付近では、かなり減少するという理論的予測を得た。さらに、ここで得られた有効ポテンシャルを用い宇宙初期におけるハドロン泡の生成過程についても考察を加えた。最後に、高エネルギー重イオン衝突直後に重イオン間に形成されるカラー・フラックス・チューブの様相について、DGL 理論における多体フラックス・チューブ系を調べることによって考察した。フラックス・チューブの数密度の違いによって QGP 生成に関する描像がかなり異なることを指摘した。

### 論文審査の結果の要旨

物質の構成粒子であるクォークやグルーオンはハドロンに閉じ込められている。量子色力学 (QCD) はこの現象を記述するが、物理におけるどのようなメカニズムが働いてこの閉じ込め現象が起っているかは明かではない。市江さんは QCD の真空では超伝導体でみられるマイスナー効果の類似 (双対) の現象が起っているとし、双対マイスナー効果により閉じ込めが起こると考えた。数値的及び解析的に研究を行い、この現象解明に大きな成果を上げた。

双対ヒッグス機構が QCD で起っていることを確かめるには三つの疑問に答える必要がある。1. 閉じ込めはアーベリアングルオンで記述できる (アーベリアンドミナンス) 2. ゲージ固定でカラーモノポールが出現する (カラーモノポール) 3. モノポールが凝縮する (モノポール凝縮) これら三つの疑問に答える為に SU(2) のゲージ理論を例にとり大規模な格子 QCD 計算を行った上で特別のゲージ (MAゲージ) 固定を行い上の三つの点を確認した。さらに双対ヒッグス機構を取り込んだ双対ギンツブルグ・ランダウ理論についての考察も行った。

非可換ゲージ理論における閉じ込め現象が特別のゲージを採用することにより双対ヒッグス機構によることを明らかにしたことは素粒子・原子核物理の発展に重要な寄与をしたと評価できる。

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のあるものと認める。