



Title	Lattice QCD Study for Monopole Condensation in the Dual Gauge Formalism
Author(s)	田中, 孝典
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/41599">https://hdl.handle.net/11094/41599</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">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	たなか あつ のり 田 中 孝 典
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 1 4 3 7 3 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 11 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	Lattice QCD Study for Monopole Condensation in the Dual Gauge Formalism (格子量子色力学における双対ゲージ形式とモノポール凝縮の研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 土 岐 博
	(副査) 教 授 高 杉 英 一    教 授 大 坪 久 夫    教 授 阿 久 津 泰 弘 教 授 佐 藤 健 次

### 論 文 内 容 の 要 旨

量子色力学 (QCD) によるカラーの閉じ込め現象の直接的解明は、ハドロン物理において残された重要な課題である。QCD 真空におけるカラーの閉じ込め機構に関しては、モノポール凝縮の結果、双対ヒッグス機構が起こり、カラー電束が一次的に絞こまれるという双対超伝導体描像が近年注目されつつある。QCD は 't Hooft のアーベリアン・ゲージ固定によってモノポールを含むアーベリアン・ゲージ理論に還元される。さらにこのアーベリアン・ゲージ場は電流を含まず磁流だけを含むモノポール・パートと、その逆に電流だけを含むフォトン・パートに分けることができる。最近の格子 QCD 計算は、カラーの閉じ込め等の QCD の低エネルギー領域での物理が、最大アーベリアン (MA) ゲージの下では、グルーオン自由度の中のモノポール自由度のみを用いて再現されるという興味深い事実を呈示している。そこで我々は MA ゲージにおいて、双対グルーオン場をモノポール・パートに導入し、通常の電流のみを含む電磁気学の双対バージョンとして理論を記述することを提唱した。双対超伝導描像においてはこの双対グルーオンが有効質量を獲得すること (双対ヒッグス機構) が重要である。

本研究では、格子 QCD モンテカルロ・シミュレーションによって QCD 真空のグルーオン配位を生成した後、非摂動的 QCD の本質を担うこのモノポール自由度の抽出を行い、双対グルーオン場の有効質量獲得について調べることによって、非摂動的 QCD 真空の双対超伝導体としての性質の解明を試みる。特に、モノポール間ポテンシャルと双対ゲージ場の伝播関数の 2 つの観点から双対グルーオンの有効質量獲得について調べた。

第 1 に、我々はこの双対ゲージ場を用いてモノポール間の相互作用を表わす双対ウィルソン・ループを計算し、これよりモノポール間のポテンシャルについて調べた。その結果、モノポール間のポテンシャルは遠方で平らな湯川型であることが示された。格子 QCD シミュレーションにおける格子の有限性の効果を考慮して、双対ゲージ場の有効質量を評価すると約 0.5 GeV であることが分かった。また、モノポールのサイズの効果を取り込んだ湯川型のポテンシャルでモノポール間のポテンシャルのフィットを試みた結果モノポールのサイズは 0.2 fm 程度であると見積もることが出来た。

第 2 に、我々は双対グルーオンの伝播関数について調べた。格子 QCD 計算の結果、双対グルーオンの伝播関数は質量を持たないボソンの伝播関数よりも、遠方において急激に減少することが分かった。このことは双対グルーオンが低エネルギー領域において有効質量を獲得しているのを表わしている。そしてこの場合の双対グルーオンの有効質量は約 0.4 GeV であると評価できることが分かった。

このように2つの観点から、双対ゲージ場が有効質量 $0.4\sim 0.5\text{GeV}$ を持つことを示した。この値はQCDの低エネルギー有効理論である双対ギンツブルグ・ランダウ理論と矛盾しない。そして低エネルギー領域における双対ゲージ場の質量獲得は、QCD真空においてモノポールが凝縮し、クォークの閉じ込めを引き起こしていることを示唆している。

#### 論文審査の結果の要旨

量子色力学(QCD)の自由度であるクォークやグルーオンは、ハドロン内に閉じ込められている。これまでにその閉じ込めのメカニズムとして超伝導的シナリオが提案されている。すなわち、通常の超伝導では電荷を持ったクーパー対が凝縮することによりマイスナー効果が引き起こされ量子電磁力学(QED)のゲージ粒子である光子が質量を得ることにより、磁場を嫌う物質となる。閉じ込めの超伝導的シナリオでは通常の超伝導の双対(dual)な現象が起こっていることを主張している。

田中君はQCDを数値的に取り扱う方法である格子QCD計算を行うことにより超伝導的シナリオの検証を行うことを考えた。その為に(1)SU(2)のゲージ理論を採用し、最大アーベリアン(MA)ゲージ変換を行った。(2)長距離ではそのアーベリアングルーオンだけが重要であることを使って、その中から特にモノポールパートを抽出した。(3)そのモノポールパートだけを使って双対グルーオン場を導出した。(4)双対グルーオンが質量を持っていることをモノポール間の力及び双対グルーオンの相関関数を計算することにより示した。これらの膨大な数値計算を通してQCDの真空では双対グルーオンが質量(約 $0.5\text{GeV}$ )を持つ事を示し、その事により双対超伝導体になっていることを決定づけた。

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。