

Title	Hadronic Flux Tube in Dual Superconducting Vacuum of QCD
Author(s)	Koma, Yoshiaki
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3183814">https://doi.org/10.11501/3183814</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

氏名	こま 駒 よし 佳 あき 明
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学位記番号	第 1 5 9 4 8 号
学位授与年月日	平成13年3月23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	Hadronic Flux Tube in Dual Superconducting Vacuum of QCD (量子色力学における双対超伝導体の真空とハドロンのフラックスチューブの研究)
論文審査委員	(主査) 教授 土岐 博  (副査) 教授 細谷 裕 教授 菊池 誠 助教授 若松 正志 教授 中野 貴志

### 論文内容の要旨

低エネルギー（非摂動）領域における QCD の解析は、クォークの閉じ込めやカイラル対称性の破れの問題に代表される QCD 真空の非自明な性質、さらには実験で知られているハドロンの諸性質をクォークやグルーオンの観点から系統的に理解するうえで非常に重要である。この課題に対処するためには格子 QCD に基づくモンテカルロシミュレーションに加えて、非摂動領域における QCD の有効自由度から構築される解析的な有効理論を考察することも必要である。

本研究ではこれらを相補的に研究する有望なアイデアとして、最大アーベリアンゲージに基づく格子 QCD シミュレーションの数値結果が支持している「アーベリアン・ドミナンス」と「モノポール凝縮」という性質から結論される QCD 真空の双対超伝導体的描像に着目し、具体的に以下について調べた。まず (1)これを解析的に記述する双対ギンツブルグ・ランダウ (DGL) 理論の構築 (DGL 理論のパラメータ決定) を試みた。さらに (2)DGL 理論のフラックスチューブ解をハドロン (メソン、バリオン、グルーボール) の構造の理解に応用した。

- (1) QCD はアーベリアンゲージ固定を施し、その後でアーベリアン成分だけを抜き出すという操作 (アーベリアン射影) を施すことでモノポールカレントを含む可換ゲージ理論に還元することができる。ここで得られた理論に汎関数積分を通じて双対変換を施し、さらにモノポールが凝縮するとしてそのカレントを足し上げると DGL 理論を構築できる。このときモノポールカレント配位や量子効果などの QCD 側から解析的に言及することが難しい情報は、DGL 理論のパラメータに取り込まれていると考える。従って DGL 理論のパラメータを QCD から直接決定するためにはモノポールカレントから必要な情報を抽出する必要があると考えられる。この研究では格子 QCD モンテカルロシミュレーションを通じて実際にモノポールカレント配位を作りだし、そこから逆モンテカルロの方法を用いて、DGL 理論から解析的に導かれるモノポール作用を決め、最終的に DGL 理論のパラメータ決定するという過程を考察した。この過程の妥当性を確認するために、得られたパラメータのもとで DGL 理論のモンテカルロシミュレーションを行って量子効果を含むフラックスチューブのプロファイルとそのストリングテンションを調べ、それを格子 QCD の結果と比較した。その結果、フラックスチューブのプロファイルにはほぼ同様の振る舞いが観測された。またストリングテンションは格子 QCD の結果の86%を再現した。これはモノポールカレント配位から DGL 理論のパラメータを決定するという手法の妥当性を支持していると考えられる。
- (2) DGL 理論をワイル対称性 (カラー荷のラベルの入れ替えに対する対称性) が明白になるような形式に書き換

え、これを用いて DGL 理論のフラックスチューブ解を調べることでメソン、パリオン、グルーボールの構造を系統的に考察した。結果、このワイル対称な DGL 理論の形式を用いると、これらの状態を非常に見通しよく分類できることが示された。特にグルーボールに関しては、この状態がバレンクォークを含まないことから、端点を持たないフラックスチューブ、つまりフラックスチューブリングとして取り扱うことでその質量、サイズを計算した。これにより質量1.6GeV、サイズ0.5fm という値を得た。質量は格子 QCD で計算されている基底状態のグルーボールのそれとほぼ同じであり、このことはグルーボールに対してフラックスチューブリングという観点でアプローチできることを示唆しており非常に興味深い。

## 論文審査の結果の要旨

クォークはハドロン内に完全に閉じ込められている。最近そのメカニズムとして双対ヒッグス機構が注目を浴びており、強い相互作用の低エネルギーの有効理論として双対ギンツブルグランダウ理論 (DGL) が導入された。クォークの力学を支配する量子色力学 (QCD) においても、格子 QCD 計算でその様相が示されている。

駒君は有効理論の中に含まれるパラメータを格子 QCD 計算で得られた結果から導き出すことを研究の目的に据えた。格子 QCD 理論では QCD 真空は複雑なモノポール流で満たされているという結果が示されており、それを直接使用するために DGL 理論をモノポール流の自由度のものに書き換え、その解が格子 QCD のそれであるとして、DGL 理論の3つのパラメータを決定した。その上で、クォークの閉じ込めの強さや、カラー電場の強さなどを DGL 理論で計算し、格子 QCD の結果との比較を行いその良さを評価した。これらの計算はカラー SU(2)でなされたが、現実の SU(3)へも直接的に拡張できる定式化も行った。

この研究は粒子の閉じ込めという問題を QCD と直接比較しながら、定量的に強い相互作用の有効相互の形に表現する方法を開発したということで、この基本的な問題の研究に大きな貢献をしたと評価できる。この研究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。