



Title	Non-perturbative Properties of Gluons in the Maximally Abelian Gauge
Author(s)	雨宮, 和久
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/41566">https://hdl.handle.net/11094/41566</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	雨宮和久
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 14360 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	Non-perturbative Properties of Gluons in the Maximally Abelian Gauge (最大可換ゲージにおけるグルーオンの非摂動論的性質の研究)
論文審査委員	(主査) 教授 土岐 博
	(副査) 教授 東島 清 教授 岸本 忠史 助教授 菊池 誠 助教授 若松 正志

### 論文内容の要旨

本研究は、双対超伝導体抽象に基づいたクォークの閉じ込め機構に関する研究であり、本論文では、グルーオンの非摂動論的性質およびアーベリアン・ドミナスの起源を格子QCDモンテカルロシミュレーションを用いて行なった。双対マイスター効果をQCD真空中で実現するためには、非可換ゲージ理論であるQCDが可換ゲージ理論として取り扱えること、及びQCDがモノポールを含み、そしてそのモノポールがボーズ凝縮すること、の2点がQCDに對して要請される。それら2つの要請を実現するゲージとして現在最も有力なのが最大可換(MA)ゲージである。MAゲージでは、QCDはQCDモノポールを含んだ可換ゲージ理論に還元される。MAゲージではグルーオン場の対角成分は光子のような中性ゲージ場として振舞うが、一方で非対角成分は荷電物質場として振舞う。特にMAゲージでは、対角グルーオンはカラーの閉じ込めやカイラル対称性の自発的破れのような非摂動論的な量に大きく寄与するが、非対角グルーオンは低エネルギーの物理に影響しない。このような現象はアーベリアン・ドミナスと呼ばれる。非摂動論的な量に対するアーベリアン・ドミナスはQCDシミュレーションを用いた多くの研究によって確認されてきている。しかしながら、赤外領域での物理に対してアーベリアン・ドミナスがなぜ起こるのか、言い換えれば、赤外領域でのアーベリアン・ドミナスの起源は何なのかといった問い合わせに対しては未解決のままである。

我々は、質量をもつ粒子は質量の逆数程度まで伝播するということを考慮して、赤外領域でのアーベリアン・ドミナスの起源に対して、次のような物理的解釈を与えた。

「MAゲージ固定をとることによって非対角グルーオンは有効質量を獲得し、それゆえその伝播領域は短距離間に限られ、非対角グルーオンは低エネルギーの物理に影響しない。」

我々はこのような推論の下、MAゲージでの長距離の物理に対するアーベリアン・ドミナスの起源を明確にするために、MAゲージにおけるグルーオン伝播関数及び非対角グルーオンの有効質量に関する研究をSU(2)格子QCDモンテカルロシミュレーションを用いて行なった。

その結果、MAゲージでは、 $r \gtrsim 0.4\text{fm}$ の赤外領域におけるグルーオン伝播関数に対してアーベリアン・ドミナスが成り立っていることがわかった。さらに、 $r \gtrsim 0.2\text{fm}$ の領域では、非対角グルーオンは $M_{\text{ch}} \simeq 0.94\text{GeV}$ の有効質量をもつベクトルボソンとして振舞うことがわかった。それゆえ、非対角グルーオンの影響は $r \gg M_{\text{ch}}^{-1} = 0.2\text{fm}$ といった長距離の物理に対しては無視できる。こうした事実は先の推論を支持する。すなわち、MAゲージでは非対角グルーオンが有効質量を獲得する、ということが赤外領域におけるアーベリアン・ドミナスの起源である。そして、

非体格グルーオンが有効質量を持つゆえにMAゲージでは長距離の物理に対するアーベリアン・ドミナンスは必ず起ると結論づけられる。

さらに、我々は非対角グルーオンが有効質量  $M_{\text{ch}} \sim 0.94 \text{ GeV}$  をもつことによって、如何なる領域でアーベリアン・ドミナンスが起こるのかということについて考察した。MAゲージでの非対角グルーオンがそうした有効質量をもつことは、 $r = M_{\text{ch}}^{-1} \simeq 0.2 \text{ fm}$  がアーベリアン・ドミナンスが起こるか起こらないかの境界であることを意味する。 $r \lesssim M_{\text{ch}}^{-1}$  ( $\sim 0.2$ ) fm の短距離領域での物理に対して対角グルーオンのみならず非体格グルーオンも影響を及ぼすことができ、それゆえMAゲージの下であってもこの領域では全カラー成分を考慮しなければならない。その一方  $r \geq M_{\text{ch}}^{-1}$  の長距離領域では、非対角グルーオンの影響は無視され、系は対角グルーオンのみで記述することができ、それゆえアーベリアン・ドミナンスは  $r \gg M_{\text{ch}}^{-1}$  の長距離領域においてのみ成り立つ。こうして  $r \gg M_{\text{ch}}^{-1}$  は非摂動論的な量に対するアーベリアン・ドミナンス現象の境界であることがわかった。

### 論文審査の結果の要旨

クォークやグルオンのダイナミックスを記述する量子色力学 (QCD) は短距離では力の大きさが小さく摂動論が使えるが、長距離では力の大きさが大きくなり非摂動論的になる。この長距離（低エネルギー）での物理を近似的に取り扱う方法として最近注目されているのが、ゲージの不定性を利用して低エネルギーの物理を見やすくする為に特別のゲージを採用する方法である。

雨宮君はその特別のゲージとして最大可換 (MA) ゲージを採用し、そこでの QCD の特徴を格子 QCD を用いる事により研究した。MA ゲージでは可換グルオンと電荷グルオンはその性質が異なってくる。その違いをそれぞれの相関関数を計算することにより示し、可換グルーオンは長距離までその相関が続くが、電荷グルオンではその相関が短距離にしか及ばないことを示した。定量的には電荷グルオンは約 1 GeV の質量を持つことを示した。従って、QCD では MA ゲージを採用することによりその長距離（低エネルギー）の物理の記述の為には近似的に、可換グルオンのみで記述できることを示したことになる。

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。