

Title	The Gribov problem beyond Landau gauge Yang-Mills theory(Abstract_要旨)
Author(s)	Gongyo, Shinya
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2015-03-23
URL	http://dx.doi.org/10.14989/doctor.k18789
Right	学位規則第9条第2項により要約公開
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	none

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	権業 慎也
論文題目	The Gribov problem beyond Landau gauge Yang-Mills theory		
(論文内容の要旨)			
<p>強い相互作用の基礎理論である量子色力学 (QCD) は、非可換ゲージ理論に特有の漸近的自由性のため、低エネルギー領域では非常に強結合な性質を示し、その結果、カラーの閉じ込めやカイラル対称性の自発的破れなどの興味深い非摂動現象が発現する。</p> <p>ランダウ・ゲージでの量子色力学 (QCD) においては、カラーの閉じ込め機構のシナリオの1つが、グリボフとツヴァンツィガーによって提案されている。そのシナリオでは、ゲージ固定の際に現れるグリボフ・ホライズンの影響により、グルーオンの伝播関数は大きく変化し、グルーオン運動量がゼロの極限で伝播関数はゼロに近づくと予想されている。近年、このシナリオの正否などをめぐり、ランダウ・ゲージでのヤン・ミルズ理論におけるグルーオンの伝播関数などが精力的に研究されている。</p> <p>申請論文では、最大可換ゲージのヤン・ミルズ理論とランダウ・ゲージでの非可換ヒッグス模型において、グリボフ・ツヴァンツィガー・シナリオの観点から、ランダウ・ゲージでのヤン・ミルズ理論を越えてカラーの閉じ込め機構を議論しようと試みている。なお、申請論文では、カラー数が2の単純化された非可換ゲージ理論のみを扱っている。</p> <p>申請論文では、最初に、SU(2)ヤン・ミルズ理論に基づいて、最大可換ゲージにおけるグリボフ・ツヴァンツィガー作用を構築し、tree レベルでの解析を行った。その結果、tree レベルのグルーオンの対角成分は、レーマン表示では well-defined には記述できないという示唆を得た。一方、グルーオンの非対角成分には、そのような問題は見られないとの結果も得た。</p> <p>次いで、最大可換ゲージにおけるグリボフ・ツヴァンツィガー・シナリオを吟味するために、2次元のSU(2)格子QCDシミュレーションを行い、最大可換ゲージにおけるグルーオンの対角および非対角成分の性質を調べている。ここで、2次元系を研究する理由は、2次元QCDのランダウ・ゲージでは、グリボフ・ツヴァンツィガーのシナリオが成り立つ可能性が示唆されているからである。(なお、最近の研究によると、グリボフ・ツヴァンツィガーのシナリオは、実は、3次元、4次元系の非可換ゲージ理論では成立していない。) 数値シミュレーションにより、グルーオンの伝播関数を計算し、この場合でも、最大可換ゲージにおけるグルーオンの対角成分が、レーマン表示では well-defined には記述できないという示唆を得た。また、グルーオンの非対角成分には、そのような問題は見られないとの結果も得た。</p> <p>最後に、格子シミュレーションを用いて2次元でのSU(2)ヒッグス模型でのグルーオンの伝播関数を調べている。数値計算の結果は、体積無限大で、グルーオン運動量がゼロの極限では、ランダウ・ゲージでのグルーオンの伝播関数がゼロに近づくことを示している。この振舞いは、グリボフ・ツヴァンツィガーのシナリオとconsistent であり、このシナリオが、2次元でのSU(2)ヒッグス模型に対しても有効かも知れないという可能性を示唆している。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

強い相互作用の基礎理論である量子色力学 (QCD) においては、非可換ゲージ理論に特有の漸近的自由性のため、エネルギー・スケールに応じて相互作用の強さが大きく変化し、それに伴い物理は多彩な様相を示す。特に、低エネルギー領域での QCD は、クォークとグルーオンの非常に強結合な系となり、その結果、カラーの閉じ込め、カイラル対称性の自発的破れ、非自明なトポロジーなど、真空自身の構造が、摂動的な場合と比べ大きく変化し、その解明は現代物理学の大きな基本的課題の 1 つになっている。

そして、非可換ゲージ理論においては、ランダウ・ゲージのようなゲージ固定の際に、グリボフ・コピーと呼ばれる、物理的に等価なゲージ配位のコピーが現れ、それが理論的な解析をさらに困難なものにしている。

申請論文では、その非可換ゲージ理論でのグリボフ・コピーの問題を、通常のランダウ・ゲージおよび最大可換ゲージにおいて考察している。ここで、最大可換ゲージは、“双対超伝導描像”でのクォークの閉じ込め機構と深く関連するゲージである。

申請論文の前半では、QCD を単純化した SU(2) ヤン・ミルズ理論に基づいて、最大可換ゲージにおけるグリボフ・ツヴァンツィガー作用を構築し、tree レベルでの解析を行い、グルーオンの対角成分が、レーマン表示では well-defined には記述できないという示唆を得た。

申請論文の後半では、最大可換ゲージにおけるグリボフ・ツヴァンツィガー・シナリオを吟味するために、より単純な、2次元の SU(2) 格子 QCD シミュレーションを行い、最大可換ゲージにおけるグルーオンの対角および非対角成分の性質を調べ、この場合でも、最大可換ゲージにおけるグルーオンの対角成分が、レーマン表示では well-defined には記述できないという示唆を得た。また、最後に、2次元での SU(2) ヒッグス模型に対しても、数値シミュレーションを行い、ランダウ・ゲージでのグルーオンの低エネルギー領域での振舞い等を分析している。

論文審査においては、研究の主たる動機であるクォークの閉じ込めなどの物理現象との関連性が不明確であるといった指摘がなされ、かつ、2次元系が題材の中心であり、現実の 4次元 QCD との関連性等が欠落し幾分不完全な印象も与えたが、申請論文で得られた結果の幾つかは新しい知見を与えるものであり、また、その研究内容は 2編の査読原著論文にも掲載されているので、最終的には、当該分野での一定の成果と評価された。

よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 27 年 1 月 13 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公表可能日： 年 月 日以降