

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月18日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21540256

研究課題名（和文）クォーク閉じ込めに支配的な役割を果たす位相的配位の研究

研究課題名（英文）Study of topological configurations playing the dominant role for quark confinement

研究代表者

近藤 慶一（Kondo Kei-Ichi）

千葉大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：60183042

研究成果の概要（和文）：研究成果の概要（和文）：クォーク閉じ込めの双対超伝導描像において必要不可欠な磁氣的モノポールをゲージ不変に見出すための解析的及び数値的手法を確立し、それに基づいて磁氣的モノポールに関する新たな知見を得た。インスタントンは閉じ込めに寄与しないとする従来の見方に反して、4次元SU(2)ヤン・ミルズ理論ではJackiw-Nohl-Rebbi型の2インスタントンを起源としてループ状の磁氣的モノポールが生じることを発見すると同時に、その極限として得られる't Hooft型の2インスタントンや1インスタントンからはそれが生じない理由も明確にした。また、SU(3)ヤン・ミルズ理論では、従来の可換射影とは異なる、U(2)に基づく非可換磁気モノポールが閉じ込めに支配的な役割を果たしていることを示した。

研究成果の概要（英文）：We have established the analytical and numerical method for finding in a gauge-invariant manner magnetic monopoles which are indispensable for the dual superconductivity for understanding quark confinement, and have obtained new findings on magnetic monopole in the Yang-Mills theory. Although it was believed that instantons in the Yang-Mills theory do not contribute to quark confinement, we have discovered that a circular loop of magnetic monopole is generated from the 2-instanton of Jackiw-Nohl-Rebbi type in four dimensional SU(2) Yang-Mills theory, and confirmed simultaneously the preceding results that 1-instanton and 2-instanton of the 'tHooft type obtained in a certain limit do not generate such a magnetic monopole. In SU(3) Yang-Mills theory, we have shown that non-Abelian U(2) magnetic monopoles plays the dominant role in confinement, in sharp contrast to the conventional Abelian projection.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：クォーク閉じ込め、ヤン・ミルズ理論、磁気単極子、インスタントン、メロン

1. 研究開始当初の背景

双対超伝導を確立するために、第一に、解決すべき問題は、

「問題1：随伴表現に属す Higgs 場を含まない Yang-Mills 理論において、ゲージ不変性を損なわずに、磁気モノポール (magnetic monopole) や渦 (vortex) の位相的配位を定義できるのか。」

1990 年半ば以降、' tHooft (1981) の提唱したアーベリアン射影の考えに導かれて、非アーベリアンゲージ群 G をその部分群 H に破る部分ゲージ固定に伴う欠陥として、アーベリアン磁気モノポール (H =最大トーラス群) やセンターヴォルテクス (H =中心化群) が実現されるようになった。[随伴表現に属す Higgs 場を含まなければ、' tHooft-Polyakov 型の磁気モノポールは構成できない] 実際、最大アーベリアンゲージ (MAG) では、Wilson ループ期待値から求められた静的クォーク間ポテンシャルの弦張力においてアーベリアンドミナンスおよびモノポールドミナンスが数値シミュレーションで発見された。同様に、最大センターゲージにおいても、センタードミナンスが発見された。これらは特筆すべき進展である。しかし、これらのアプローチでは、アーベリアン磁気モノポールやセンターヴォルテクスはゲージ固定に依存して得られた配位であり、帰結のゲージ非依存性が保証できない上に、ドミナンスが得られる理由も原理的に理解できない。

最近、申請者達は、まず、Diakonov-Petrov 型の非アーベリアン・ストークスの定理を拡張して、Wilson ループ演算子自体が、ゲージ不変な磁気モノポールを内包しており、その変数を用いて厳密に書き換えられることを具体的に示した。

次に、Cho-Faddeev-Niemi-Shabanov 達が提唱した方法を発展させ、位相的自由度を表現する場の変数 $n(x)$ (カラー場と呼ぶ) を元々の Yang-Mills 場 $A(x)$ から変数変換によって直接構成し、それを独立変数 (の一部) とするような Yang-Mills 理論の新しい定式化を提唱し、 $G=SU(2)$ から始め、 $SU(N)$ でも完成させた [2]。これによって、アーベリアン射影を用いずに、ゲージ固定に依らずに、ゲージ不変な磁気モノポール (磁荷は Dirac 型の量子化条件を満たす) と同時に (センターヴォルテクスに等価な) ゲージ不変なヴォルテクスを構成できることが示された。これによって長年の懸案の問題1が解決された。

次の疑問は、

「問題2：導入されたゲージ不変な位相的配位は閉じ込めに支配的な役割を果たすのか。」

申請者達は、連続理論の定式化の格子ゲ-

ジ理論版を構成することを試み、 $G=SU(2)$ から始め、 $SU(3)$ の場合に到達した。 $G=SU(2)$ ではそれを用いて数値シミュレーションを実行し、弦張力において (ゲージ不変) 磁気モノポールのドミナンスを確認した。クォーク閉じ込めに磁気モノポールは支配的寄与を与える証拠を得た。アーベリアンドミナンスの説明も可能になった。この意味で、問題2も $SU(2)$ に限れば数値的には解決された。更に、 $SU(3)$ の場合に数値的解決を与えることが極めて重要である。また、この問題2に、解析的方法による解決を与えることも本研究の主たる目的のひとつである。

2. 研究の目的

「問題3：ゲージ不変な磁気モノポールは、アーベリアン磁気モノポールと異なるのか。」

新しい定式化で得られる結果は、従来のアーベリアン射影で得られた結果の単なるゲージ不変な言い換えではない。実際に、 $G=SU(3)$ では、基本表現の Wilson ループに付随するゲージ不変な磁気モノポールは、従来考えられてきた $H=U(1) \times U(1)$ のアーベリアン磁気モノポールではなく、非アーベリアン磁気モノポールであること (1999 年に申請者らによって予想されていた) が初めて示された。今後、基本表現の Wilson ループにおける非アーベリアン磁気モノポールのドミナンスを $G=SU(3)$ の場合に確立することが本研究の主たる目的のひとつである。

特に、 $SU(N)$ の場合に、Wilson ループから得られる弦張力の表現による違い (漸近領域での弦張力の N -ality 及び中間領域での弦張力の表現依存性、例えば Casimir スケーリングや Sine 則予想) を磁気モノポールで説明できるのか (それとも、ゲージ不変な他の位相的配位で説明されるべきか) を明らかにするのは重要な課題である。

「問題4：双対側で磁気モノポールが支配的な位相的配位であるとき、通常の Yang-Mills 理論側でそれに対応するゲージ場の配位 A は何であろうか。」

Yang-Mills 理論において、場の運動方程式の古典解であって作用積分を有限にする位相的ソリトンは、4次元ユークリッド空間のインスタントンしか存在しない。そのため、非摂動的現象においては、インスタントンが最も重要な役割を果たすことが予想され様々なアプローチがなされてきたが、経路 (汎関数) 積分子量子化の枠組みで、クォーク閉じ込めに支配的に効く位相的配位は未だ特定されていない。これを明らかにすることが本研究のもうひとつの目的である。

ちなみに、アーベリアン磁気モノポールはインスタントンと強い相関があることが既に数値的に示されており、磁荷と位相電荷（ポントリャーギン指数）との間の解析的表式も導出されている。実際、インスタントンの中心を貫くような磁気モノポールのループも数値的に見出されている。これらの結果は、通常側ではインスタントンが閉じ込めの支配的配位であることと示唆しているようにも一見みえるが、はたしてそうだろうか。

この点をはっきりさせるには、まず、4次元の磁気モノポールのループ解を位相的 Yang-Mills 背景場の上で解析的に構成してみせる必要がある。しかし、1 インスタントン背景場では磁気モノポールのループ解は排除される（構成できない）ことが既に示されているため、多インスタントン背景場を考えざるをえないが、これを直接扱うのは極めて難しいと考えられていた。

申請者達は、既に説明した Yang-Mills 理論の新しい定式化を用いて、1 インスタントンでは磁気モノポールループ解は存在しないことを解析的に示すと同時に、半整数の位相電荷を持つメロンの対（2メロン解）の背景場で、2つのメロンを通過する円状の磁気モノポールループ解を解析的に構成することに初めて成功した。これによって1995年以後の懸案の問題を統一的方法で解決した。メロンによる閉じ込めは、1978年に Callan, Dashen, Gross によって提唱されたが、メロン解を直接用いる彼らの近似的計算法では、Wilson ループ期待値の面積則を導くことには成功しなかった。我々は今やこの問題に双対側からアプローチすることができる。既に書いたように面積則は既に数値的には示されたが、そのメカニズムを探るために、新しい定式化と非アーベリアン・ストークス定理を用いて、Wilson ループ期待値を Wilson ループの張る面と磁気モノポールループの絡み数に書き直して、双対側から計算する。この方法を解析的及び数値的側面から追求する。

クォーク閉じ込めは、従来行われているような、アーベリアン射影で得られるアーベリアン磁気モノポールに起因すると仮定する必要はない、これを明らかにすれば、従来の常識を打ち破る成果となる。さらに、モノポールドミナンスが、閉じ込め以外の重要な非摂動現象（カイラル対称性の破れ等）にも見出されていることから、Yang-Mills 場のメロンに関連する配位が QCD の非摂動現象の統一的理解に導くことも予想外のことではない。数値シミュレーションの結果も従来インスタントンだと思われていたのは、精度（解像度）不足のためで、実はメロン対であったかもしれず、これまでの多くの研究の再検討を促す可能性もある。

3. 研究の方法

南部, 't Hooft, Mandelstam 達によって1970年代に提唱された（ゲージ理論の真空に対する）双対超伝導描像は、クォーク閉じ込めを理解する最も魅力的かつ有力なシナリオとして、これまで多くの研究がなされ、著しい成果が得られた。特に、随伴 Higgs 場を含まない Yang-Mills 理論や QCD において、双対マイスナー効果を引き起こすのは、ゲージ場の位相的（トポロジカルな）配位であると考えられる。しかし、従来のアーベリアン磁気モノポール (Abelian magnetic monopole) やセンターヴォルテックス (center vortex) は、特別なゲージ固定の方法を通じて抽出されたので、本当に物理的な対象なのかという批判は免れない。

申請者達は、この困難を解消すべく、クォーク閉じ込めに効くゲージ不変な位相的配位を特別なゲージ固定に依らずに抽出できるような新しい定式化を提唱した。実際、ゲージ群が SU(2) の場合には、格子版定式化も与え、ゲージ不変な磁気モノポール配位が閉じ込めに支配的な寄与をもたらすことを、格子上の数値シミュレーションによって明示した。

本研究の目的は、この新しい定式化を更に発展させ、特別な仮定を設けずに、SU(3) Yang-Mills 理論からゲージ不変な双対超伝導描像が得られることを立証することである。そのために、格子版定式化の SU(3) への拡張を行うと共に、いかなる位相的配位がクォーク閉じ込めに支配的に効くのかを精査する。

4. 研究成果

量子色力学 (QCD) において最も重要なクォーク閉じ込め/非閉じ込めとカイラル対称性の破れ/回復との2つの問題を、同時にかつ同等なレベルで QCD の第一原理から議論し得る枠組みを構築することは重要な課題である。従来のハドロンのモデルにおいては、カイラル対称性の破れか、閉じ込めのどちらか一方のみが正確に扱われ、両者を同時に有効に扱えるモデルは存在しない。我々が従来から発展させてきた新しい場の変数を用いる QCD の再定式化が原理的にこれを可能にし、事実この目的を果たすひとつの低エネルギー有効理論を導出できることが判明した。[論文②⑤]

(1) ゲージ群が SU(3) のヤン・ミルズ理論において、ウイルソンループの期待値を格子上でモンテカルロシミュレーションを用いて計算した。磁気モノポールを、カラー対称性を

破るような可換射影に依らずに、カラー対称性を保持する我々のグループが開拓した方法を用いた。[論文③]

その結果、ウイルソンループが面積則を示すようなSU(3)の基本表現に属する場合に、U(2)に制限された成分だけで、弦定数を再現することを示した。そのうちで、弦定数に効く最も支配的なトポロジカルな配位は、U(2)の非可換磁気モノポールであることを示した。[論文①]

さらに、伝播関数をU(2)に制限された成分とそれ以外に分けて計算し、長距離では、U(2)に制限された成分が支配的になることと、それ以外の成分は長距離では急速に減少することを示した。ちなみに、その減少率は質量1.1GeVに対応することを得た。[論文①]

これらの結果は、従来の可換射影に基づく通説[最大トラス部分群U(1)xU(1)に起因する可換磁気モノポールが閉じ込めに支配的である]とは異なる、新しい結果である。

(2) 次に、静的クォーク・クォーク対から生成するカラーフラックスは、両者を繋ぐ直線上にチューブ状に絞られ、その電場成分のみが消えないで残り、閉じ込めに支配的な寄与をもたらしていることを示した。

これにより、U(2)の非可換磁気モノポールを起源とする双対マイスナー効果を検証し、SU(3)のヤン・ミルズ理論において非可換磁気モノポールに基づく双対超伝導描像を裏付けることに成功した。

(3) クォーク閉じ込めの双対超伝導描像に基づけば、4次元ユークリッド空間では閉じたループ状の磁気モノポールの存在がクォーク閉じ込めに不可欠である。我々の提唱するゲージ不変な磁気モノポールの定式化を用いて、ヤン・ミルズ場の古典解のうち、従来調べられた位相的配位である1インスタントン解と2メロン解を越えて、Jackiw-Nohl-Rebbiの2インスタントン解として知られるSU(2)ゲージ場から、4次元ユークリッド空間でループ状の磁気モノポールカレントが存在することを実際に数値計算で示した。[論文④]

この結果は、インスタントンは閉じ込めに効かないという通説を覆す。この結果から、2インスタントン解は閉じ込めに効く位相的配位の候補と考えられる。

(4) 有限温度における閉じ込め/非閉じ込めとカイラル対称性の破れ/回復のクロスオーバー相転移をQCDの第1原理から導出することを目指し、そのための低エネルギー有効理論をQCDから出発して直接得るための理論的枠組みを与えた。実際、この有効理論は、元々のポリャコフループ拡張された南部-Jona

Lasinio模型 (PNJL模型) を改良することで最近提唱された非局所的PNJL模型を更に変更・拡張したものと等価であり、簡単な近似を用いるだけで両相転移を同時に対等に扱うことを可能にする。得られた新しい側面は、非局所的南部-Jona Lasinio結合定数がポリャコフループと温度にあらわに依存することであり、従来のPNJL模型において共変微分を通じて導入された交差項に加えて、閉じ込めとカイラル対称性の破れの絡み合いに影響を及ぼす。カイラル対称性の破れ/回復相転移が非局所的南部-Jona Lasinio相互作用によって制御され、閉じ込め/非閉じ込め相転移は最近得られたポリャコフループに対する非摂動的有効ポテンシャルで特定される。ここで用いられる基本的な方法は、新しい変数を用いるQCDの再定式化とウイルソン流くりこみ群におけるWetterich型方程式である。[論文⑤]

(5) これらの非摂動的問題を実際に解く上で最も重要なインプットとなるのはゲージ結合定数の(エネルギー)スケール依存性である。この10年来、九後-小嶋のカラー閉じ込め判定基準と両立すると信じられてきたグルーオンとゴースト伝播関数に対するスケーリング解の他に、デカップリング解がごく最近発見され、それが格子ゲージ理論の大規模数値計算等で支持されるに至り、赤外領域でのゲージ結合定数の振る舞いを再検討する必要が生じた。これに関して、赤外領域での伝播関数の振る舞いの違いはグリボフコピーを避けるために導入された非摂動的なゲージ固定処方箋に依存しており、グリボフホライズンを規定するホライズン関数の選択の違いに起因して、2つの解が導けることを厳密に示した。グリボフホライズンをシュウィンガーダイソン方程式に取り入れる方法を提唱し、2つの解がグリボフホライズンを考慮したシュウィンガーダイソン方程式の厳密解であることを示した。[論文⑥, ⑦] 今後、これらの方法論をQCD相図の解明などに適用できると期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

- ① K.-I. Kondo, A. Shibata, T. Shinohara and S. Kato, Non-Abelian Dual Superconductor Picture for Quark Confinement, Phys.Rev.D 83, 114016 (2011), 査読有, DOI: 10.1103/PhysRevD.83.114016
- ② K.-I. Kondo, A low-energy effective Yang-Mills theory for quark and gluon confinement, Phys.Rev.D, 84, 061702 (2011), 査読有, DOI: 10.1103/PhysRevD.84.061702
- ③ A. Shibata, K.-I. Kondo and T. Shinohara, The exact decomposition of gauge variables in lattice Yang-Mills theory, Physics Letters B 691, 91-98 (2010), 査読有, DOI: 10.1016/j.physletb.2010.06.020
- ④ N. Fukui, K.-I. Kondo, A. Shibata, T. Shinohara, Jackiw-Nohl-Rebbi two-instanton as a source of magnetic monopole loop, Physical Review D 82, 045015 (2010), 査読有, DOI: 10.1103/PhysRevD.82.045015
- ⑤ K.-I. Kondo, Toward a first-principle derivation of confinement and chiral-symmetry-breaking crossover transitions in QCD, Physical Review D, 82, 065024 (2010), 査読有, DOI: 10.1103/PhysRevD.82.065024
- ⑥ K.-I. Kondo, Kugo-Ojima color confinement criterion and Gribov-Zwanziger horizon condition, Phys.Lett. B 678, 322-330 (2009), 査読有, DOI: 10.1016/j.physletb.2009.06.026
- ⑦ K.-I. Kondo, Infrared behavior of the ghost propagator in the Landau gauge Yang-Mills theory, Prog. Theor. Phys. 122, 1455-1475 (2009), 査読有, DOI: 10.1143/PTP.122.1455

[学会発表] (計 30 件)

1. 柴田 章博, Dual superconductivity and non-Abelian magnetic monopoles in SU(3) Yang-Mills theory, 日本物理学会, 2012年3月2

7日, 関西学院大学,

2. 加藤 清考, Quark confinement and non-Abelian magnetic monopoles in SU(3) Yang-Mills theory, 日本物理学会, 2012年3月27日, 関西学院大学,
3. K.-I. Kondo, Quark confinement due to gauge-invariant magnetic monopoles in Yang-Mills theories: SU(2) vs. SU(3), 1st International workshop on "Theoretical Physics: Confinement and QCD vacuum"(招待講演), 2012年2月23日, APCTP, Pohang, Korea,
4. A. Shibata, Lattice study of non-Abelian magnetic monopoles and dual superconductivity for quark confinement, 1st International workshop on "Theoretical Physics: Confinement and QCD vacuum"(招待講演), 2012年2月23日, APCTP, Pohang, Korea,
5. K.-I. Kondo, Quark and Gluon Confinement from an Effective Model of Yang-Mills Theory, QCD-TNT-II(招待講演), 2011年9月9日, ECT*, Trento, Italy,
6. K.-I. Kondo, Understanding the entanglement between confinement and chiral-symmetry-breaking from QCD, RG Workshop(招待講演), 2011年8月29日, 基礎物理学研究所, 京都大学,
7. 近藤 慶一, A low-energy effective Yang-Mills theory for quark and gluon confinement, 場の理論と弦理論研究会, 2011年7月27日, 基礎物理学研究所, 京都大学,
8. A. Shibata, Dual Meissner effect and non-Abelian dual superconductivity in SU(3) Yang-Mills theory, Lattice 2011, 2011年7月15日, Village, Squaw Valley, Lake Tahoe, California, USA,
9. N. Fukui, The relationship between a topological Yang-Mills field and a magnetic monopole, Baryon 2010, 7 Dec., 2010, Osaka, Japan,
10. K.-I. Kondo, Non-Abelian magnetic monopoles responsible for quark confinement, The many faces of QCD, 4 Nov 2010, Ghent, Belgium,
11. 近藤 慶一, クォーク閉じ込めとカイラル対称性の破れを対等に扱うQCDの再定式化と非摂動くりこみ群による解析, 日本物理学会, 2010年9月13日, 九州工業大学,
12. K.-I. Kondo, Non-Abelian magnetic monopole dominance for SU(3) Wilson loop average, Quark Confinement and The Hadron Spectrum IX, 2 Sep 2010, Madrid, Spain,
13. 柴田 章博, 閉じ込め・非閉じ込め相転移における磁氣的モノポールの役割, 熱場の量子論とその応用, 2010年8月31日, 京都大学, 基礎物理学研究所, 京都,

14. K.-I. Kondo, Toward a first-principle derivation of confinement and chiral-symmetry crossover transition in QCD, Extreme QCD, xQCD, 22 June 2010, Bad-Honnef, Germany, (招待講演)
 15. A. Shibata, Gauge-independent 'Abelian' dominance and magnetic monopole dominance in SU(3) Yang-Mills theory, 28th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2010), 18 Jun 2010, Sardinia, Italy,
 16. 近藤 慶一, クォーク閉じ込めを招く位相的配位, 理研研究会, 2010年6月12日, 理化学研究所, (招待講演)
 17. 近藤慶一, グリボフ・ホライズンを持つヤンミルズ理論のゴースト・グルーオン伝播関数の赤外での振る舞いとカラー閉じ込め, 日本物理学会 第65回年次大会, 2010年3月22日, 岡山大学, 岡山県,
 18. 福井伸行, Yang-Mills場の位相的配位と磁氣的モノポールとの関係 II, 日本物理学会 第65回年次大会, 2010年3月22日, 岡山大学, 岡山県,
 19. 篠原徹, Gauge-independent Abelian dominance and non-Abelian magnetic monopole dominance in the SU(3) YM theory (I) theoretical framework, 日本物理学会 第65回年次大会, 2010年3月20日, 岡山大学, 岡山県,
 20. 柴田章博, Gauge-independent Abelian dominance and non-Abelian magnetic monopole dominance in the SU(3) YM theory (II), 日本物理学会 第65回年次大会, 2010年3月20日, 岡山大学, 岡山県,
 21. K.-I. Kondo, Toward a first-principle derivation of confinement and chiral-symmetry crossover transition in QCD, New Frontiers in QCD 2010 - Exotic Hadron Systems and Dense Matter --, 2010年3月4日, 京都大学, 基礎物理学研究所, 京都,
 22. K.-I. Kondo, Infrared behavior of ghost and gluon propagators compatible with color confinement in Yang-Mills theory with the Gribov horizon, Strong Coupling Gauge Theories in LHC Era, 2009年12月8日, Nagoya University, Nagoya, Japan, (招待講演)
 23. 柴田章博, クォーク閉じ込めにおけるモノポールループの果たす役割 (II), 日本物理学会2009年秋季大会, 2009年9月12日, 甲南大学, 兵庫県,
 24. 福井伸行, Yang-Mills場の位相的配位と磁氣的モノポールとの関係, 日本物理学会2009年秋季大会, 2009年9月11日, 甲南大学, 兵庫県,
 25. K.-I. Kondo, Gribov-Zwanziger horizon condition, ghost and gluon propagators and Kugo-Ojima confinement criterion, QCD Green's Functions, Confinement and Phenomenology, 2009年9月8日, ECT*, Trento, Italy, (招待講演)
 26. 柴田章博, 有限温度における閉じ込め・非閉じ込め相転移における磁氣的モノポールの役割 --Yang-Mills 場の新しい定式化による解析---, 熱場の量子論とその応用, 2009年9月5日, 京都大学, 基礎物理学研究所, 京都,
 27. S. Kato, Gauge-independent derivation of 'Abelian' dominance and magnetic monopole dominance in the string tension, XXVII International Symposium on Lattice Field Theory, 2009年7月31日, Peking University, Beijing, China,
 28. A. Shibata, Topological configurations of Yang-Mills field responsible for magnetic-monopole loops as quark confiner, XXVII International Symposium on Lattice Field Theory, 2009年7月31日, Peking University, Beijing, China,
 29. K.-I. Kondo, An exact result for the behavior of Yang-Mills Green functions in the deep infrared region, 12th Marcel Grossmann Meeting, 2009年7月17日, UNESCO, Paris, France,
 30. K.-I. Kondo, Gauge-invariant magnetic monopole dominance in quark confinement, 4th International Symposium on Symmetries in Subatomic Physics, 2009年6月3日, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, (招待講演)
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
近藤 慶一 (Kondo Kei-Ichi)
 千葉大学・大学院理学研究科・教授
 研究者番号：60183042
 - (2) 研究分担者
柴田 章博 (Shibata Akihiro)
 高エネルギー加速器研究機構・計算科学研究センター・研究機関講師
 研究者番号：30290852
 - (3) 連携研究者
加藤 清考 (Kato Seiko)
 福井工業高等専門学校・准教授
 研究者番号：50342564