

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：11501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23740226

研究課題名(和文)素粒子・宇宙・物性・数理物理の位相的側面に関する研究

研究課題名(英文)Topological aspects in particle physics, cosmology, condensed matter physics, and mathematical physics

研究代表者

衛藤 稔(ETO, MINORU)

山形大学・理学部・准教授

研究者番号：50595361

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は「素粒子・原子核・宇宙・物性・数理物理に共通する対称性とその自発的破れに着目し、特に位相的ソリトンを通じて極小から極大スケールの物理現象を分野横断的な新しい視点から理解することである。本研究を通じて、超対称ゲージ理論や高密度QCDにおけるソリトンの性質・ソリトンによる余剰次元模型の構成・新しい宇宙紐の理論的発見・超強磁場マグネターの磁場の起源のソリトン起源説の提案・多成分ボーズ・アインシュタイン凝縮系の渦分子の性質の解明・可解系ソリトン方程式の解析などを行った。この一見すると全く関係なく多岐にわたる研究テーマを「ソリトン」という統一的視点から捉えて上記の結果を得ることが出来た。

研究成果の概要(英文)：Figuring out symmetries behind various phenomena leads us to deeper understandings of the nature. In my research I focused on topological solitons in addition to symmetries. This allows us to study various phenomena among particle physics, cosmology, nuclear physics, and condensed matter physics in cross-cutting ways. In particular, my interest was put on vortex strings and domain walls. With universal understandings on them, I successfully clarified many properties of the solitons in supersymmetric gauge theories and in dense QCD. Furthermore, a nice mechanism for dynamical construction of the brane-world scenario was found, a possible explanation of extremely strong magnetic field of magnetars was proposed, and new interesting multi-vortex molecules were found in multiple Bose-Einstein condensates. These phenomena seem to be unrelated at all. However, my research shows that they are indeed closely related and we may acquire universal understanding of them.

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：素粒子物理学理論 対称性 位相的ソリトン 物性物理学理論 数理物理 国際研究者交流 国際情報交換 分野横断型研究

## 1. 研究開始当初の背景

「対称性」は現代物理学、すなわち物質と相互作用の起源を明らかにしようとする素粒子物理学、宇宙の起源や構造を明らかにしようとする宇宙物理学、物質の性質を理解しようとする物性物理学、また自然界の法則を記述する数式そのものが持つ数学的性質を理解しようとする数理物理学、の全てにおいて欠くことの出来ない重要なファクターである。実際、ある物理現象を理解しようとするとき、多くの場合、その系に内在する対称性を見抜くことが第一歩となる。素粒子物理学における対称性の役割は特に大きく、相互作用や素粒子は対称性を数学的に記述する群論によって整然とそして美しく理解される。また本研究開始当初には見つかっていなかったヒッグス粒子の存在も対称性の観点から必ず存在すると確信されていた。このように自然法則の整然さや美しさを理解する上で対称性が重要な役割を果たす一方で、しばしば自然は自身の対称性を自身で壊し、それが更に豊かな物理現象の発現に繋がっている。例えば、前述のヒッグス場はゲージ対称性を破ることでゲージボソンに質量を与える。また素粒子現象とは全く異なるエネルギースケールである金属を極低温にしたときに現れる超伝導現象も電子クーパ対の凝縮によりゲージ対称性が破れるため光子が質量を獲得するためと理解される。このように対称性とその破れを正しく理解することで、素粒子と物性という全く異なるスケールの物理が統一的に理解されることは特筆に値する。さらに対称性の破れは位相的ソリトン(位相欠陥)という安定で粒子的に振る舞うエネルギーの塊の存在を保証する。様々なソリトンが知られているが、素粒子物理学においては非可換ゲージ理論の強結合効果を理解するのに重要なインスタントンや磁気単極子(モノポール)が、宇宙論においては重力波源や重力レンズを引き起こす宇宙紐、物性系においては超伝導渦系や超流動渦系やポリアセチレンの電気伝導を担うソリトンなど、盛んに研究されている。

## 2. 研究の目的

上記の通り、対称性はエネルギースケールを超えた物理現象を統一的に理解する強力なツールであり、またその破れは位相的ソリトンの存在を保証する。この事実を踏まえ、本研究の目的は「素粒子・原子核・宇宙・物性・数理物理の全てに共通する対称性とその自発的破れに着目し、特に位相的ソリトンを通じて様々なエネルギースケールの物理現象を分野横断的な新しい視点から理解すること、またそのための新手法の開発と新分野を切り開く」ことである。現代科学は専門化・尖端化が進む一方であり、分野間の断絶が大きくなっていることが問題であるが、本研究では、対称性だけでなく更に位相的ソリトンに着目して、分野横断的な研究を行うことに特色がある。このような現代物理学の広範囲

を跨ぐ横断研究が可能なのは、位相的ソリトンの存在が対称性の自発的破れという単純な原理だけに依っているからである。素粒子・原子核スケールの現象から、実験室スケールの現象、さらに宇宙スケールの現象までを統一的に、位相的ソリトンという新しい視点から、理解することが本研究の目的である。

## 3. 研究の方法

本研究は位相的ソリトンという新しい視点で素粒子・原子核・宇宙・物性・数理物理にまたがる分野横断的な研究をすることが目的であり、かつ分野を超えた統一的な視点を活用することで研究を遂行していく。研究方法は3段階からなる。

1) 個々の分野(素粒子・原子核・宇宙・物性・数理物理)における個別の問題を位相的ソリトンの立場から解決していく。

2) 第1段階で得られた結果から系の詳細に依らないユニバーサルな性質を抽出し、エネルギースケールに依らない物理法則や数理構造を抽出する。

3) 第1, 2段階でえられた結果を合一し統一的な理解を得たら、それを各分野にフィードバックすることで、これまで未解決であった問題に対する新しい解決の糸口とする。

以上が、本研究の研究方法の構造である。具体的な手法としては、位相的ソリトンのダイナミクスを理解する上で、可能であれば解析的な手法を駆使する。特に、超対称ゲージ理論のように対称性が高い場合、ゲージ対称性が自発的に破れているヒッグス相では「モジュライ行列法」を用いることで広大な解の空間(モジュライ空間)をシステムチックに理解することが可能となる。また、超対称性のような性質の良い対称性が存在しないより現実的なモデルにおいては、解析的な手法が使えない場合があるが、必要に応じて数値計算を行うことでより複雑な現象を理解することが出来る。特に安定なソリトン解を得る方法として有用な数値計算としては虚時間発展法(リラクゼーション法)などを用いる。

## 4. 研究成果

本研究は「素粒子・原子核・宇宙・物性・数理物理」にまたがる分野横断形研究であるので、得られた研究成果を分野ごとに列挙する。

### 1) 素粒子分野

超対称 BPS ノンアーベリアン渦のダイナミクスに関する研究：一般に BPS ソリトン間には静的な相互作用が働かないが、いったん動き出すと速度に依存した力を受け始める。その運動を記述するためには無限次元の自由度をもつ場の理論の運動方程式を解く必要があるが、ソリトンが十分遅く動く場合は殆ど全ての自由度を無視することが可能となり、0 質量のモードだけを抽出して有限次元の量子力学で近似される(モジュライ近似)。本研究ではノンアーベリアン渦のダイナミクスをモジュライ近似を用いて詳細に調べ上げた。先行研究においてはより単純なアーベリアン渦のダイナミクスが調べられ

ていて渦同士の衝突が明らかにされているが、ノンアーベリアン渦は  $N-1$  次元複素射影空間  $CP(N-1)$  に対応する内部自由度を持つためその運動はアーベリアンに比べて非常に複雑になる。モジュライ近似の範囲で二つの渦がある有限時間捕われるようなレゾナンス現象などノンアーベリアン渦特有の運動が存在することを明らかにした。

超対称  $SO/USp$  ゲージ理論におけるノンアーベリアン渦とモノポールに関する研究：非可換ゲージ理論の強結合の理解に対して鍵となる可能性がある Goddard-Nuyts-Olive 双対性はノンアーベリアンモノポールが本誌的な役割を果たす。しかし、ノンアーベリアンモノポールのモジュライの中にある規格化出来ない非物理的モードの存在が GNO 双対性を確かめる上で大きな障害となっている。これを解決する方法としてモノポールをヒッグス相に入れることでモノポールのモジュライを渦系のモジュライに転嫁させることが試みられてきて、特にゲージ群が  $U(N)$  の場合には整合性があることが確認されている。更なるチェックのためより一般のゲージ群  $SO/USp$  に関してモノポールと渦紐の関係を調べ上げた。

BPS ノンアーベリアン渦の有効理論に対する高次微分補正に関する研究：BPS 渦紐の低エネルギーダイナミクスはモジュライ近似によって 0 モードのダイナミクスとして理解できるが、より高いエネルギーのダイナミクスを理解するためには高次の微分項による補正を考える必要がある。この高次補正を得るためにシステムチックな方法を開発し、最初の非自明な効果として 4 時の微分項の具体的な表現を得た。

5 次元時空中のドメインウォール上に 0 質量の非可換ゲージ場と物質場を局在させる機構に関する研究：標準模型を超える物理の候補として余剰次元模型がある。これは宇宙が 4 次元ではなくより高次元な時空間からなっていると考えるものである。しかしながら我々が日常的に感じるのは 4 次元だけであるから、残りの次元が見えない自然な理由が必要となる。その候補の一つがブレーンワールド・シナリオであり、高次元中に浮かんでいる 4 次元膜の中に物質や相互作用が閉じ込められていると考える理論である。余剰次元の必要性はそもそも超弦理論の整合性から要求されたものであるが、場の量子論の範囲においても、余剰次元を考えることで相互作用や物質の統一、またナチュラネス問題の解決など多くの利益があることが分かっている。一方で、場の理論におけるブレーンの正体は良く分かっていない。通常は手で局在化したエネルギーの塊とそこに物質が局在化することを仮定して議論が進められるが、この仮定を仮定ではなく場の理論のダイナミクスとして捉えるために、ブレーンの正体を位相的ソリトン（ドメインウォール）と同定した。しかし、この方法だと標準

模型に必要なゼロ質量のゲージ場の局在が容易には達成できないという問題が知られている。本研究ではこの問題を解決するために 5 次元超対称ゲージ理論で自然に要求される相互作用項にインスパイアされた時空に依存する誘電率を考えることで、これまで不可能であったゼロ質量非可換ゲージ場のドメインウォール上への局在させることに成功した。

超弦理論の D ブレーンと電弱理論のモノポールと電弱渦糸に関する研究：電弱理論には安定なソリトンが存在しないことが知られているが、標準模型のあるパラメータ領域では安定な電弱渦紐やそれに付随した南部モノポールが理論的に存在することが知られている。これを超弦理論の D ブレーンを使って再解釈する方法を開発した。ブレーンの面積を求めることで南部モノポールの質量を計算することが出来るようになった。

ドメインウォールによるブレーンワールド・シナリオの動的構成とその安定性に関する研究：上記で明らかにした非可換ゲージ場のドメインウォールへの局在化の機構は、ゲージ結合定数が虚数になるという不安定性を排除出来なかったが、本研究では、より単純な模型を考えることで、必要な要素はそのままに不安定性だけを解決する方法を明らかにした。これにより、ブレーンワールド・シナリオのダイナミカルな実現に向けて大きく前進した。また、ヒッグス機構が 5 次元時空の幾何学として解釈できることを指摘した。

カイラル対称性および軸性  $U(1)$  対称性の破れに伴うノンアーベリアン渦糸の生成とドメインウォールによる破壊に関する研究：現在の宇宙ではカイラル対称性と軸性  $U(1)$  対称性が破れているが、この破れに伴ってノンアーベリアン渦とドメインウォールが必ず生成されてしまう。ドメインウォールが生成すると宇宙のエネルギーの主要な部分を担うように発展してしまうが、これは観測に反するので、例えばドメインウォールが生成されてもそれが崩壊する機構がなければならぬ。本研究ではノンアーベリアン渦糸がドメインウォールに穴をあけることが出来て、そのためにドメインウォールが安定に存在できずに壊れることが出来ることを明らかにし、QCD 由来のドメインウォール問題が無いことを明らかにした。

## 2) 原子核分野

強磁場中に置かれたバリオン内部の異常電荷密度に関する研究：量子アノマリーは古典的な対称性が量子効果によって破れる現象であり、古くからその重要性が指摘されている。実際に中間子が 2 光子に崩壊する現象はこの量子アノマリーによる。QCD の有効理論であるカイラル摂動論の変形版であるスカーム理論においてはメソン場を作るソリトン（スカーミオン）によってバリオンを理解するというアイデアがあり、一定の成功

をおさめてきた。本研究では、このスカーム模型にアノマリー項を考慮にいれ更に外部強磁場を導入することで、アノマリー項からスカーミオン内部に非自明な電荷密度や多重極モーメントが発生することを指摘した。中性子が電荷を持つことは明らかに特異な結果であるので、今後の有効理論に依らない更なる解析や実験的な検証が待たれる。

中性子星内部に発現するドメインウォールによる中性子星の強磁性化に関する研究：中性子星の中にはマグネターと呼ばれる通常のパルサーよりも3桁程強い磁場を持つ星が存在することが知られている。なぜこのような強磁場が存在できるのかという問いに対する定まった答えはまだ存在しないが、我々はこの強磁場の源は中性子星が強磁性体になっているからであるという提案をした。強磁性体になる理由は中性子星内部のメソン場が凝縮しそれがドメインウォールを作り、その上にスピンのそろった中性子が局在していくことにある。これまでも中性子長流動渦系がパルサーグリッチ現象を説明し得るという提案があるが、それと同様に位相的ソリトンが天体内部で重要な働きをしている可能性に言及した画期的な試みでもある。

高密度 QCD における様々な位相的ソルトンの総合的な理解に関する研究：現在の宇宙は温度が非常に低く全てのクォークやグルーオンは核子内部に閉じ込められている。一方で宇宙初期のような高温状態やコンパクト星中心などの高密度状態ではクォークが解放される。特に超高密度状態では解放されたクォークがクーパー対を形成し凝縮する。つまりカラー超伝導状態になる。このときカイラル対称性や  $U(1)$  バリオン対称性も同時に自発的に破れるため、様々な興味深い位相的ソリトンが発生する。カラー超伝導相の物理を理解するためには素粒子・原子核・物性物理の総合的な知見が必要となるが、それらが全て集まって理解できる現象がソリトンである。本研究ではこれまでに詳しく調べられてきたカラー超伝導相におけるソリトンを、CFL 相におけるノンアーベリアン渦系を中心に様々な角度から見直し、かつ統一的に理解した。研究結果は PTEP に招待レビュー論文として掲載された。

### 3) 宇宙分野

宇宙 R 紐と R チューブの発見と真空の安定性に関する研究：標準模型を超える物理の有力な候補として超対称ゲージ理論があるが、超対称ゲージ理論には多くのスカラー場が必然的に必要となる。これらのスカラー場のポテンシャルの構造に依存するが、一般に真の真空と偽真空が現れ、同時にソリトンが生成される。本研究では特に筒状のチューブ紐ソリトンが生成される場合に着目し、ソルトンの安定性と真の真空の安定性について調べた。結果として、これまで知られていなかった二種類の筒が竹のようになってきた新し

いソリトンが存在することが分かった。

内部構造を持つ準安定な宇宙紐のダイナミクスと不安定性に関する研究：上記で調べた筒状ソリトンは静的には安定であるが、複数のソリトンが衝突した際には、内部に閉じ込められた真の真空バブルが拡散する可能性がある。このソルトンの衝突仮定を詳細な数値計算で調べ、ソルトンの衝突速度や衝突角度に依って、筒ソリトンが安定に振る舞える場合と、内部の真の真空が膨張してしまう不安定な場合があることを明らかにした。これは宇宙初期に偽真空にある場所があってもソリトンによって真の真空に発展するという過程があることを数値的に示したことになり、宇宙の真空状態の時間発展に新しい過程が存在することを示した。

### 4) 物性分野

3成分ボーズ・アインシュタイン凝縮系の3渦分子の形成に関する研究：冷却原子気体はフェッシュバハ共鳴を用いて原子間相互作用を自由にコントロールできるボーズ・アインシュタイン凝縮系の理想的な実験場である。特に多成分 BEC 系が実現できることから、有理数形渦系を実際に構成することが出来る。これまで2成分 BEC 系における成分渦分子が理論的に研究されてきた。本研究では Gross-Pitaevskii 方程式を3成分 BEC 系に拡張し、適切なラビ振動由来の渦間引力を導入することで、3渦分子を理論的に発見した。2渦分子と異なり、3渦分子は3角形の幾何学的構造を持つことから、うずかん相互作用と渦分子の形の間の相関を数値計算によって明らかにした。

N成分ボーズ・アインシュタイン凝縮系の多成分渦分子に関する研究：上記の研究を更に4成分以上に拡張することで、より一般の渦分子の性質を系統的に調べた。特に幾何学的性質を明らかにするためにグラフ理論を利用し、また3成分以上に特徴的なカイラリティフリップ、キャプチャ、準安定分子の存在など新奇な性質を発見した。

### 5) 数理物理分野

非可換ゲージ理論におけるインスタントンを利用した双曲面上の BPS ノンアーベリアン渦の解析解に関する研究：インスタントンや BPS モノポールの基本方程式は可積分系であり、解析解が存在する。一方で、低次元ソリトンである渦系の基本方程式は可積分では無く、解析解が知られていない。しかしこの状況は渦が存在する空間を平坦なユークリッド空間から双曲面にすることで劇的に改善されることが、アーベリアン渦の場合に知られている。本研究ではこれをノンアーベリアン渦に拡張し、これまで知られていなかった新しい解析解をインスタントン系を利用して求める方法を開発した。

渦輪上のドメイン紐による新しい組紐ソルトンの構成に関する研究：これまで知られていない新しい組紐ソリトンを渦輪ソリトン上に構成した。

## 6) 分野横断型研究としての成果

以上1)～5)で説明したように、本研究の目的である「素粒子・宇宙・原子核・物性・数理物理」の全ての分野において位相的ソリトンを中心に据えた研究を行い様々な成果が得られた。分野横断という意味では特に渦糸とドメインウォールに着目することで、分野の枠組みを超えた知見の共有から、多くの新現象を引き出すことが可能となった。例えば高密度 QCD 中に存在するノンアーベリアン渦糸は、先行研究で得られていた超対称ゲージ理論における BPS 形ノンアーベリアン渦糸と多くの類似性を持っている。特に内部モジュライ空間は  $CP(N-1)$  と共通していることから、高密度 QCD の CFL 相にもモノポールが存在することを予想し、実際にその存在を理論的に確かめることが出来た。また高密度 QCD のノンアーベリアン渦糸は超流動渦とも密接に関係している。この知識を十二分に生かすことで、多成分ボーズ・アインシュタイン凝縮系の渦分子の研究がスムーズに行うことが可能となった。又、ソリトンに着目したことで、超強磁場をもつマグネターの強磁性体化という新しいアイデアを提案することが出来た。このように位相的ソリトンに着目することで分野横断的な研究を実行し、その有機的な知見のネットワークを活用することで新しい結果が得られた。今後の展望としては、本研究で明らかにするには至らなかったノンアーベリアン渦の近接相互作用やモノポールの GNO 双対性などを明らかにし、未解決問題の解決に向けて前進していく必要がある。本研究において位相的ソリトンを基軸とした分野横断型研究が切り開く新しい可能性が見えてきたので、これを更に活用して一つの分野にとらわれない、スケールが大きく応用の幅が広い研究を続けてく。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 18 件)

衛藤 稔, 藤森 利明, 新田 宗土, 大橋 圭介, 坂井 典佑, Dynamics of Non-Abelian Vortices, *Physical Review D* 84,12,2011, 査読あり, DOI: 10.1103/PhysRevD.84.125030

衛藤 稔, 藤森 利明, S.B.Gudnason, Y.Jiang, 小西 憲一, 新田 宗土, 大橋 圭介, *Journal of High Energy Physics*,11,number 12,2011, 査読あり, DOI: 10.1007/JHEP12(2011)017

衛藤 稔, 橋本 幸士, 飯田 英明, 前沢 祐, 石井 貴昭, Anomaly-induced charges in baryons, *Physical Review D* 85,114038,2012, 査読あり, DOI: 10.1103/PhysRevD.85.114038

衛藤 稔, 新田 宗土, Vortex trimer in 3-component Bose-Einstein condensates, *Physics Review A* 85,053645,2012, 査読あり, DOI: 10.1103/PhysRevA.85.053645

衛藤 稔, 藤森 利明, 新田 宗土, 大橋 圭介, 坂井 典佑, Higher Derivative Corrections to non-Abelian vortex

Effective theory, *Progress of Theoretical Physics*,128,pp67-103,2012, 査読あり, DOI: 10.1143/PTP.128.67

新井 真人, F.Blaschke, 衛藤 稔, 坂井 典佑, Matter fields and non-Abelian gauge fields localized on walls, *Progress theoretical and experimental physics*,013B05,2013, 査読あり, DOI: 10.1093/ptep/pts050

新井 真人, F.Blaschke, 衛藤 稔, 坂井 典佑, Localization of matter fields and non-Abelian gauge fields on domain walls, *Journal of Physics: Conference Series*,411,12001,2013, 査読なし, DOI: 10.1088/1742-6596/411/1/012001

衛藤 稔, 小西 憲一, 新田 宗土, 大河内 豊, Brane realization of Nambu monopoles and electroweak strings, *Physical Review D* 87,045006,2013, 査読あり, DOI: 10.1103/PhysRevD.87.045006

衛藤 稔, Yuta Hamada, Kohei Kamada, 小林 達夫, 大橋 圭介, 大河内 豊, Cosmic R-string, R-tube and Vacuum Instability, *Journal of high energy physics*,1303,159,2013, 査読あり, DOI: 10.1007/JHEP03(2013)159

衛藤 稔, 藤森 利明, 新田 宗土, 大橋 圭介, All Exact Solutions of non-Abelian Vortices from Yang-Mills Instantons, *Journal of high energy physics*,1307,034,2013, 査読あり, DOI: 10.1007/JHEP07(2013)034

衛藤 稔, 橋本 幸士, 初田 哲男, Ferromagnetic neutron stars; dense neutron matter, and pionic wall, *Physical Review D* 88(R), 081701,2013, 査読あり, DOI: 10.1103/PhysRevD.88.081701

衛藤 稔, S.B.Gudnason, Knotted domain strings, *Physics letter B* 727,pp.260-264,2013, 査読あり, DOI: 10.1016/j.physletb.2013.09.062

新井 真人, F.Blaschke, 衛藤 稔, 坂井 典佑, Stabilizing matter and gauge fields localized on walls, *Progress of Theoretical and Experimental Physics*,2013,9,093B01,2013, 査読あり, DOI: 10.1093/ptep/ptt064

衛藤 稔, 新田 宗土, Vortex graphs as N-omers and  $CP(N-1)$  skyrmions in N-component Bose Einstein Condensates, *EuroPhysics Letters*,103,60006,2013 査読あり, DOI: 10.1209/0295-5075/103/60006

Takashi Hiramatsu, 衛藤 稔, Kohei kamada, 小林 達夫, 大河内 豊, Instability of colliding metastable strings, *Journal of High energy Physics*,1401,165,2014, 査読あり, DOI: 10.1007/JHEP01(2014)165

新田 宗土, 衛藤 稔, M. Cipigliani, Vortex molecules in Bose-Einstein condensates, *Journal of Low temperature physics*,

Vol175, Issue1-2, 2013, 査読あり, DOI:  
10.1007/s10909-013-0925-3

衛藤 稔, 広野 雄二, 新田 宗土, 安井 繁  
弘, Vortices and Other topological  
solitons in dense quark matter, Progress  
of theoretical and experimental physics,  
1, 012D01, 2014, 査読あり, DOI:  
10.1093/ptep/ptt095

衛藤 稔, 広野 雄二, 新田 宗土, Domain  
walls and vortices in chiral symmetry  
breaking, Progress of theoretical and  
experimental physics, 3, 033B01, 2014, 査読  
あり, DOI: 10.1093/ptep/ptu013

[学会発表](計 件)

衛藤 稔, カラー超伝導状態におけるトポ  
ロジカルソリトンの分析と高密度物質層の  
研究, 日本物理学会 2011年秋季大会, 2  
011年9月16日, 弘前大学

衛藤 稔, Matter fields and non-Abelian  
gauge fields on walls, KEK 理論研究会 20  
12, 2012年3月16日, 高エネルギー  
加速器研究機構

衛藤 稔, ドメインウォール上への物資場  
とゲージ場の局在機構について, 日本物理学  
会第67回年次大会, 2012年3月24日,  
関西学院大学

衛藤 稔, 素粒子論・宇宙論と量子流体の  
アナロジー, 日本物理学会 2012年秋季大  
会, 2012年9月19日 横浜国立大学

衛藤 稔, Brane realization of Nambu  
Monopoles and electroweak strings, 日本  
物理学会第68回年次大会, 2013年3月  
27日, 広島大学

衛藤 稔, 超対称 QCD の綴り込みと位相的  
側面, 日本物理学会第68回年次大会, 20  
13年3月28日, 広島大学

衛藤 稔, Knotted domain strings, 日本  
物理学会 2013年秋季大会, 2013年9  
月22日, 高知大学

衛藤 稔, Domain walls and vortices in  
chiral symmetry breaking, 日本物理学会第  
69回年次大会, 2014年3月28日, 東  
海大学

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

衛藤 稔 (ET0, Minoru )

山形大学・理学部・准教授

研究者番号: 50595361