

機関番号：32612

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20740141

研究課題名（和文）場の理論における位相的ソリトン

研究課題名（英文）Topological Solitons in Field Theory

研究代表者

新田 宗士（NITTA MUNETO）

慶應義塾大学・商学部・准教授

研究者番号：60433736

研究成果の概要（和文）：超対称ゲージ理論において、BPS非アーベリアン渦のモジュライ空間の計量の漸近形、渦が同じ位置にある場合のモジュライ空間の分類を行った。また、ゲージ群の一般化を行った。高密度QCD（カラー超伝導相）において、非アーベリアン渦の解と内部モジュライと有効理論の構成、渦間相互作用の計算、グルーオンやフォノンとの相互作用の導出を行った。またフェルミオンゼロモードの構成、渦の非可換統計を調べた。さらに、閉じ込められたモノポールの構成を行った。多成分のボース・アインシュタイン凝縮において、非可換渦、ドメイン壁（Dブレーン）、ノットソリトンなどを構成した。

研究成果の概要（英文）：I have studied the asymptotic form of the moduli space metric for BPS non-Abelian vortices in supersymmetric gauge theories, and have classified moduli space for coincident vortices. I have also generalized gauge groups of vortices. I have constructed solutions of non-Abelian vortices, their internal moduli and the effective field theory for those moduli, calculated the interaction between two vortices, and derived the interaction of a vortex with gluons and phonons. I have also constructed the fermion zero mode and investigated the exchange statistics of vortices. Moreover I have constructed non-Abelian vortices, domain walls (D-branes) and knot solitons in multi-component Bose-Einstein condensates.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：素粒子論および物性論

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：位相的ソリトン，渦，ドメイン壁，モノポール，カラー閉じ込め，カラー超伝導，ボース・アインシュタイン凝縮，超伝導

## 1. 研究開始当初の背景

超対称ゲージ理論の非アーベリアン渦について様々な性質がわかってきていた。カラー超伝導にも非アーベリアン渦があることがわかっていて、ボース・アインシュタイン凝

縮のトポロジカルな性質が調べられつつあった。

## 2. 研究の目的

ソリトンが物理学の様々な分野で重要な役

割を果たすことが、ここ 20 年程で認識されてきている。素粒子物理、物性物理、原子核・ハドロン物理、宇宙物理、流体力学、光学、反応拡散系などに登場し重要な役割を果たしている。本研究の課題は、様々な分野のソリトンの研究を通して、分野を越えて共通する原理の解明を行うことにある。特に超対称ゲージ理論のソリトンにおける解析的手法（解の構成法）の発展、高密度 QCD における渦糸と中性子星への応用、冷却原子気体および超伝導・超流動において実際に観測されている渦糸他のソリトンの研究を行いそれぞれの分野に共通の理解を目指す。

### 3. 研究の方法

場の理論と位相幾何学特にホモトピー論、微分幾何学を用いる。

### 4. 研究成果

超対称ゲージ理論の非アーベリアン渦、カラー超伝導における非アーベリアン渦、ボース・アインシュタイン凝縮における渦やドメイン壁の詳細な構造を解明した。

### 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 38 件)

すべて査読有

#### 素粒子論に関する論文

Muneto Nitta, Walter Vinci, Non-Abelian Monopoles in the Higgs Phase, *cl.Phys.B848*:121-154,2011

Minoru Eto, Toshiaki Fujimori, Sven Bjarke Gudnason, Yunguo Jiang, Kenichi Konishi, Muneto Nitta, Keisuke Ohashi, Group Theory of Non-Abelian Vortices, *JHEP* 1011:042,2010

Toshiaki Fujimori, Giacomo Marmorini, Muneto Nitta, 他 2 名 The Moduli Space Metric for Well-Separated Non-Abelian Vortices, *Phys.Rev.D82*:065005,2010

Pravabati Chingambam, Hironobu Kihara, Muneto Nitta, Gauge symmetry breaking in ten-dimensional Yang-Mills theory dynamically compactified on  $S^6$ , *Phys.Rev.D81*:085008,2010

Minoru Eto, Muneto Nitta(6 番目)他 6 名, Fractional Vortices and Lumps, *Phys.Rev.D80*:045018,2009

Minoru Eto, Muneto Nitta(6 番目)他 6 名, Non-Abelian Vortices in  $SO(N)$  and  $USp(N)$  Gauge Theories, *JHEP* 0906:004,2009

Minoru Eto, Toshiaki Fujimori, Takayuki Nagashima, Muneto Nitta 他 2 名, Multiple Layer Structure of Non-Abelian Vortex, *Phys.Lett.B678*:254-258,2009

Minoru Eto, Muneto Nitta(4 番目)他 4 名, Dynamics of Strings between Walls, *Phys.Rev.D79*:045015,2009

Minoru Eto, Toshiaki Fujimori, Sven Bjarke Gudnason, Muneto Nitta, Keisuke Ohashi,  $SO$  and  $USp$  Kahler and Hyper-Kahler Quotients and Lumps, *Nucl.Phys.B815*:495-538,2009

Hironobu Kihara, Muneto Nitta, 他 3 名, Dynamical Compactification and Inflation in Einstein-Yang-Mills Theory with Higher Derivative Coupling, *Phys.Rev.D80*:066004,2009.

Hironobu Kihara, Muneto Nitta, Generalized Instantons on Complex Projective Spaces, *J.Math.Phys.*50:012301,2009

T.E. Clark, S.T. Love, Muneto Nitta, T. ter Veldhuis, Chi Xiong, Brane Vector Dynamics from Embedding Geometry, *Nucl.Phys.B810*: 97-114, 2009.

T. E. Clark, S.T. Love, Muneto Nitta, T. ter Veldhuis, C. Xiong, Brane vector phenomenology, *Phys.Lett.* B671: 383-385, 2009

Toshiaki Fujimori, Muneto Nitta, Kazutoshi Ohta, Norisuke Sakai, Masahito Yamazaki, Intersecting Solitons, Amoeba and Tropical Geometry, *Phys.Rev.D78*:105004,2008

Minoru Eto, Toshiaki Fujimori, Muneto Nitta, Keisuke Ohashi, Norisuke Sakai, Domain walls with non-Abelian clouds, *Phys.Rev.D77*:125008,2008

Minoru Eto, Muneto Nitta(5 番目)他 5 名, Constructing Non-Abelian Vortices

with Arbitrary Gauge Groups, Phys.Lett.B669:98-101,2008

Minoru Eto, Muneto Nitta(3 番目)他 4 名, Statistical mechanics of vortices from D-branes and T-duality, Nucl.Phys.B788:120-136,2008.

Hironobu Kihara, Muneto Nitta, A Classical solution in six-dimensional gauge theory with higher derivative coupling, Phys.Rev.D77:047702,2008.

T.E. Clark, S.T. Love, Muneto Nitta, T. ter Veldhuis, C. Xiong, Colliders and Brane Vector Phenomenology, Phys.Rev.D78: 115004,2008

#### ハドロン物理に関する論文

Minoru Eto, Muneto Nitta, Naoki Yamamoto, Confined Monopoles Induced by Quantum Effects in Dense QCD, Phys.Rev.D83:085005,2011.

21 Yuji Hirono, Takuya Kanazawa, Muneto Nitta, Topological Interactions of Non-Abelian Vortices with Quasi-Particles in High Density QCD, Phys.Rev.D83:085018,2011.

22 Shigehiro Yasui, Kazunori Itakura, Muneto Nitta, Majorana meets Coxeter: Non-Abelian Majorana Fermions and Non-Abelian Statistics, Phys.Rev.B83:134518,2011

23 Shigehiro Yasui, Kazunori Itakura, Muneto Nitta, Fermion structure of non-Abelian vortices in high density QCD, Phys.Rev.D81:105003,2010

24 Minoru Eto, Muneto Nitta, Naoki Yamamoto, Instabilities of Non-Abelian Vortices in Dense QCD, Phys. Rev. Lett. 104:161601,2010

25 Minoru Eto, Eiji Nakano, Muneto Nitta, Effective world-sheet theory of color magnetic flux tubes in dense QCD, Phys.Rev.D80: 125011,2009

26 Minoru Eto, Muneto Nitta, Color Magnetic Flux Tubes in Dense QCD, Phys.Rev.D80:125007,2009

27 Minoru Eto, Eiji Nakano, Muneto Nitta,

Non-Abelian Global Vortices, Nucl.Phys.B821:129-150,2009

28 Eiji Nakano, Muneto Nitta, Taeko Matsuura, Interactions of non-Abelian global strings, Phys.Lett.B672: 61-64, 2009

29 Eiji Nakano, Muneto Nitta, Taeko Matsuura, Non-Abelian Strings in Hot or Dense QCD, Prog.Theor.Phys.Suppl. 174: 254-257,2008.

30 Eiji Nakano, Muneto Nitta, Taeko Matsuura, Non-Abelian strings in high density QCD: Zero modes and interactions, Phys.Rev.D78: 045002, 2008

31 Muneto Nitta, Noriko Shiiki, Skyrme Strings, Prog.Theor.Phys. 119: 829-838, 2008

#### 物性論に関する論

32 小林未知数, 川口由紀, 新田宗土, 上田正仁, 「スピノル・ボース・アインシュタイン凝縮で実現する非可換量子渦と, その衝突ダイナミクス」日本物理学会誌 65(8), 625-628,595, 2010-08.

33 Shun Uchino, Michikazu Kobayashi, Muneto Nitta, Masahito Ueda, Quasi-Nambu-Goldstone Modes in Bose-Einstein Condensates, Phys.Rev.Lett.105:230406,2010.

34 Kenichi Kasamatsu, Hiromitsu Takeuchi, Muneto Nitta, Makoto Tsubota, Analogues of D-branes in Bose-Einstein condensates, JHEP 1011:068,2010

35 Yuki Kawaguchi, Michikazu Kobayashi, Muneto Nitta, Masahito Ueda, Topological Excitations in Spinor Bose-Einstein Condensates, Prog.Theor.Phys.Suppl.186: 455-462,2010

36 Michikazu Kobayashi, Yuki Kawaguchi, Muneto Nitta, Masahito Ueda, Collision Dynamics and Ring Formation of Non-Abelian Vortices, Phys.Rev.Lett. 103:115301,2009

37 Kenichi Kasamatsu, Hiromitsu Takeuchi, Muneto Nitta, Makoto Tsubota, Connection of Vortices Between

Spatially Different Phases in Two-Component Bose-Einstein Condensates, J.Low Temp.Phys.158: 99, 2009

- 38 Yuki Kawaguchi, Muneto Nitta, Masahito Ueda, Knots in a Spinor Bose-Einstein Condensate, Phys.Rev.Lett.100: 180403, 2008

[学会発表](計 33 件)

広野雄士, 金澤拓也, 新田宗土, カラー超伝導における非可換渦と準粒子との相互作用, 日本物理学会, 2011年3月28日, 新潟大学  
安井繁宏, 板倉数記, 新田宗土, カラー超伝導における非可換統計とコクセター群, 日本物理学会, 2011年3月28日, 新潟大学  
新田宗土, Walter Vinci, ドナルドソン有理写像によるモノポール構成法の物理的解釈, 日本物理学会, 2011年3月28日, 新潟大学  
内野瞬, 小林未知数, 新田宗土, 上田正仁, スピン2ネマティック凝縮体における擬南部-ゴールドストーンモード, 日本物理学会, 2011年3月25日, 新潟大学  
竹内宏光, 笠松健一, 新田宗土, 坪田誠, ボース・アインシュタイン凝縮におけるドメイン壁の対消滅における量子渦の生成; D-プレーンと反D-プレーンの対消滅におけるストリングの生成, 日本物理学会, 2010年9月25日, 大阪府立大学  
小林未知数, 川口由紀, 新田宗土, 上田正仁, 非可換量子乱流, 日本物理学会, 2010年9月25日, 大阪府立大学  
吉井涼輔, 土屋俊二, MarmoriniGiacomo, 新田宗土, スピン偏極したFermi原子ガス超流動におけるBogoliubov-de Gennes方程式の厳密解, 日本物理学会, 2010年9月24日, 大阪府立大学  
板倉数記, 新田宗土, 安井繁宏, QCDポータックスにおけるマヨラナフェルミ粒子系の新しい非アーベリアン統計, 日本物理学会, 2010年9月14日, 九州工業大学  
新田宗土, 物性物理におけるソリトン, 日本物理学会, 2010年9月11日, 九州工業大学  
衛藤稔, 藤森俊明, 新田宗土, 大橋圭介, Group theory on Non-Abelian Vortices, 日本物理学会, 2010年9月11日, 九州工業大学  
M. Kobayashi, Collision Dynamics of Non-Abelian Vortices in Spinor Bose-Einstein Condensates, QFS2010: International Symposium on Quantum Fluids and Solids, 2010年8月6日, Grenoble World Trade Center, Grenoble, France  
H. Takeuchi, Vortex formations from domain wall annihilations in two-component Bose-Einstein condensates, QFS2010:

International Symposium on Quantum Fluids and Solids, 2010年8月5日, Grenoble World Trade Center, Grenoble, France

K. Kasamatsu, Analogue of D-branes in Bose-Einstein condensates, QFS2010: International Symposium on Quantum Fluids and Solids, 2010年8月5日, Grenoble World Trade Center, Grenoble, France

S. Kobayashi, Classification of topological excitations with influence of vortices, QFS2010: International Symposium on Quantum Fluids and Solids, 2010年8月5日, Grenoble World Trade Center, Grenoble, France

小林伸吾, 小林未知数, 川口由紀, 新田宗土, 上田正仁, スピノルBECにおけるトポロジカル励起とトポロジカルチャージの対応と一般化, 日本物理学会, 2010年3月21日, 岡山大学

衛藤稔, 藤森俊明, Sven Bjarke Gudnason, 小西憲一, 長島崇行, 新田宗土, 大橋圭介, Walter Vinci, Fractional Vortices and Lumps, 日本物理学会, 2010年3月21日, 岡山大学

大橋圭介, 衛藤稔, 藤森俊明, Giacomo Marmorini, 新田宗土, 坂井典佑, Moduli Space Metric for Well Separated U(N) Vortices, 日本物理学会, 2010年3月21日, 岡山大学

新田宗土, 衛藤稔, 仲野英司, 高密度QCDにおけるカラー磁場フラックス: 内部構造と有効理論, 日本物理学会, 2010年3月21日, 岡山大学

板倉数記, 新田宗土, 安井繁宏, Bogoliubov-de Gennes方程式によるCFL相におけるnon-Abelian vortexの内部構造の解析, 日本物理学会, 2010年3月21日, 岡山大学  
笠松健一, 竹内宏光, 新田宗土, 坪田誠, 2成分ボース・アインシュタイン凝縮におけるD-プレーン, 日本物理学会, 2010年3月20日, 岡山大学

- 21 笠松健一, D-branes in Bose-Einstein condensates, PSM2010: International Symposium on Physics of New Quantum Phases in Superclean Materials, 2010年3月9日, 横浜

- 22 新田宗土, D-branes in Bose-Einstein Condensates, Condensed Matter Physics Meets High Energy Physics, 2010年2月10日, 数物連帯宇宙研究機構

- 23 小林伸吾, 小林未知数, 川口由紀, 新田宗土, 上田正仁, 新しいホモトピーによるトポロジカル励起の分類, 日本物理学会, 2009年9月25日, 熊本大学

- 24 笠松健一, Connection of Vortices between Bos Spatially Different Phases in

- Two-Component  $e$ -Einstein Condensates, QFS2009: International Symposium on Quantum Fluids and Solids, 2009年8月5日, Northwestern University
- 25 衛藤稔, 藤森俊明, Sven Bjarke Gudnason, 小西憲一, 長島崇行, 新田宗土, 大橋圭介, Walter Vinci, ポーテックスのモジュライ空間へのループ群の作用と表現論, 日本物理学会 第64回年次大会, 2009年3月28日, 池袋, 立教大学
- 26 衛藤稔, 藤森俊明, Sven Bjarke Gudnason, 小西憲一, 長島崇行, 新田宗土, 大橋圭介, Walter Vinci, 任意ゲージ群のヒッグス相におけるモノポールとポーテックス, 日本物理学会 第64回年次大会, 2009年3月28日, 池袋, 立教大学
- 27 衛藤稔, 藤森俊明, 長島崇行, 新田宗土, 大橋圭介, 坂井典佑, Domain walls and vortices in  $U(1) \times SU(N)$  gauge theory with different coupling constants, 日本物理学会 第64回年次大会, 2009年3月28日, 池袋, 立教大学
- 28 小林未知数, 川口由紀, 新田宗土, 上田正仁, 非可換量子渦, 日本物理学会 第64回年次大会, 2009年3月28日, 池袋, 立教大学
- 29 衛藤稔, 藤森俊明, 長島崇行, 新田宗土, 大橋圭介, 坂井典佑, Composite solitons of domain walls, vortices and monopoles, 日本物理学会 2008年秋季大会, 2008年9月23日, 山形大学
- 30 衛藤稔, 藤森俊明, Sven Bjarke Gudnason, 小西憲一, 新田宗土, 大橋圭介, Walter Vinci, 任意ゲージ群の非アーベリアン・ポーテックス, 日本物理学会, 2008年秋季大会, 2008年9月23日, 山形大学
- 31 衛藤稔, 藤森俊明, Sven Bjarke Gudnason, 小西憲一, 新田宗土, 大橋圭介, Walter Vinci, 任意ゲージ群のポーテックスとそのモジュライ空間について, 日本物理学会 2008年秋季大会, 2008年9月23日, 山形大学
- 32 Toshiaki Fujimori, Constructing Non-Abelian Vortices with Arbitrary Simple Gauge Groups, The 16th International Conference on Supersymmetry and the Unification of Fundamental Interactions (SUSY08), 2008年6月20日, Seoul, Korea, The COEX Center
- 33 Takayuki Nagashima, Dynamics of Strings between Walls, The 16th International Conference on Supersymmetry and the Unification of Fundamental Interactions (SUSY08), 2008年6月19日, Seoul, Korea, The COEX Center

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

新田 宗土 ( NITTA MUNETO )  
慶應義塾大学・商学部・准教授  
研究者番号: 60433736