

令和 2 年 5 月 23 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K05448

研究課題名(和文) 対称性とトポロジーの協奏が織りなす新奇量子輸送現象

研究課題名(英文) Transport phenomena induced by the interplay of topology and symmetry in topological superconductors

研究代表者

水島 健 (Mizushima, Takeshi)

大阪大学・基礎工学研究科・准教授

研究者番号：50379707

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：トポロジカル超伝導における新規な輸送現象を明らかにした。具体的には、ネマティック超伝導におけるネマティック秩序の揺らぎに対応するNambu-Goldstoneモードやchiral Higgsモードが存在することを明らかにし、電磁波吸収や動的帯磁率への寄与を定量的に議論した。超伝導分野で広く用いられている準古典輸送理論にはBerry曲率などの幾何学的位相の寄与は取り込まれていない。本課題において幾何学的位相の寄与を取り込むように準古典理論を拡張した。この理論をもとに、Weyl超流動・超伝導における「捻れ場由来のカイラル磁気効果」や「負の熱磁気抵抗効果」を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題の研究成果は大きく2つに分けられる：(1)トポロジカル超伝導に有効な準古典理論の拡張と(2)トポロジカルな物質観を中性子星へ展開したことである。本課題において(1)を用いて既に「捻れ場由来のカイラル磁気効果」や「負の熱磁気抵抗効果」など新しい輸送現象を見出したが、さらに今後のトポロジカル超伝導性に由来した新奇な交差応答やトポロジカル超伝導をプラットフォームとしたスピントロニクス研究などへの展開が期待される。また、トポロジカルな物質観を中性子星に展開することで、中性子星の異常な冷却機構や巨大磁場の起源、さらにはパルサーグリッチといった未解決問題への新たな切り口となると期待する。

研究成果の概要(英文)：In this work, we have unveiled novel transport phenomena in topological superconductors. We have found that there exist new bosonic modes, the nematicity mode and chiral Higgs mode, in nematic superconductors. It has been demonstrated that such bosonic modes play crucial roles in EM absorption and dynamical spin susceptibility. The quasiclassical transport theory provides a powerful and tractable tool for studying static and dynamical phenomena in superconductors and superfluids. However, it has been recognized that the theory does not incorporate the contributions of geometric phases such as Berry phase, which play key roles in transport in topological materials. In this work, we have succeeded in developing the quasiclassical theory to incorporate the contributions of geometric phases. Using the augmented theory, we have discovered the exotic transport in Weyl superconductors, such as torsional chiral magnetic effect and negative thermal magnetoresistivity.

研究分野：物性理論

キーワード：トポロジカル超伝導 超流動 集団励起

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

超流動 ^3He や重い電子系物質に代表される異方的超流動・超伝導はトポロジカル超伝導の典型例であり、表面にはギャップレス Andreev 束縛状態を伴う。1981 年に $^3\text{He-B}$ において初めてその存在が示唆されて以来、この奇妙な準粒子の研究が超伝導や接合系などで広く展開されてきた。 ^3He では、東工大奥田・野村グループが横波超音波分光によりこの特異な粒子に起因した表面状態密度の全貌を明らかとした。さらに、超伝導/強磁性等の接合系における電荷・スピン輸送を媒介する主役として、超伝導スピントロニクスへの応用を睨んだ研究が展開されている。Andreev 束縛状態とトポロジーとの対応関係は 1980 年代中頃から Volovik により指摘された。時間反転対称性を破った超流動 $^3\text{He-A}$ 相では、超流動ギャップノードがトポロジカル不変量で特徴付けられる Weyl 点に対応し、Weyl 準粒子の存在を保証する。このような先見性に富んだ概念が凝縮系全体へ拡がりを見せる契機となったのは 2008 年に提案されたトポロジカル周期表であろう。ハミルトニアンが保つ基本的な対称性とトポロジーとの密接な対応関係が認識され、その結果として Andreev 束縛状態の持つマヨラナ粒子としての性質が明らかになった。このような背景のもとで、我々は、制限空間中の超流動 ^3He において「磁気対称性によって守られたトポロジカル相」から「対称性が自発的に破れた非トポロジカル相」へと臨界磁場にて量子相転移することを明らかにしてきた。この 2 つの相は磁気対称性の自発的破れに伴うイジング秩序によって特徴付けられるが、この秩序はマヨラナ粒子の質量ギャップそのものである。すなわち、臨界磁場では対称性の自発的破れとトポロジカル相転移が同時に起こる。このような知見をもとに、対称性の自発的破れに伴う超流動秩序変数の動的揺らぎとトポロジカル不変量の揺らぎの協奏によって新奇な動的量子現象が存在し得るという着想に至った。

2. 研究の目的

本研究課題では、トポロジカル超伝導・超流動において、トポロジーと対称性が織りなす Andreev 束縛状態の多面性がどのように輸送現象に影響するのか明らかにすることを目的とする。具体的には以下を計画している。

1. 超流動 ^3He の表面近傍における横波音波やスピン波などの伝搬・減衰を調べ、表面マヨラナ粒子の役割を明らかにする。
2. 超流動 ^3He における有効理論である準古典 Keldysh Green 関数に秩序変数の集団励起やトポロジカル準粒子の寄与を取り込み、トポロジカル超伝導における新奇輸送現象を提案する。
3. 超流動 ^3He で培った経験と知見を基にトポロジカル結晶超伝導体の表面や界面における輸送現象を調べる。

3. 研究の方法

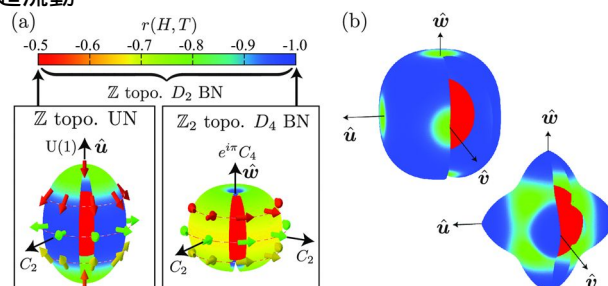
本研究課題ではトポロジカル超流動体及び超伝導体における輸送現象やダイナミクスを明らかにすることを目的としている。そのような系のダイナミクスには、トポロジカルな背景を持つマヨラナ・ワイル準粒子に加えて、内部自由度を持つ超伝導秩序変数の揺らぎも大きな影響を与える。本研究課題を効果的に遂行するためには、トポロジーと対称性に基づく解析に加えて、フェルミ液体理論を基盤とした準古典輸送理論を用いた。準古典理論は、超伝導・超流動研究全般によく用いられている定量的かつ扱いやすい理論であるが、トポロジカル超流体の輸送現象で鍵となる幾何学的位相の情報を無視している。本研究課題の成果の一つとして、幾何学的位相を取り込んだ拡張された準古典理論を構築し、その数値計算手法を確立したことが挙げられる。この成果は下で述べる「Weyl 超伝導体におけるカイラル異常に由来した負の熱磁気抵抗効果」の発見に繋がった。

4. 研究成果

本研究課題で得られた主な成果は以下のとおりである。

(1) 中性子星内部におけるトポロジカル $^3\text{P}_2$ 超流動

中性子星は超新星爆発によってできる天体の最終形態のひとつで、いわば宇宙空間に浮かぶ巨大な原子核である。内部は中性子による超流動状態で占められており、特に密度の高い中心部では $^3\text{P}_2$ 超流動状態が実現している。 $^3\text{P}_2$ 超流動ではネマティック相、サイクリック相、強磁性相という 3 つの異なる超流動相が存在し得る。本研究課題を通して、これらが DIII トポロジカル超流動、Weyl 超流動相であることを突き止めた。また、



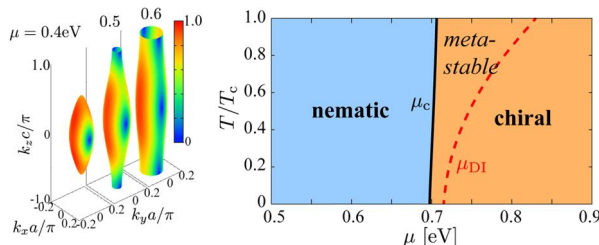
温度磁場相図を計算し、ネマティック相が最も安定であることがわかった。ネマティック相もさらに一軸性・二軸性ネマティック相が可能であり、磁場中ではそれらが競合する。温度磁場相図には臨界終点が存在し、その臨界指数が異常な振る舞いをするを明らかにした。

[参考文献]

T. Mizushima, S. Yasui, and M. Nitta, Phys. Rev. Research **2**, 013194 (2020).
 Y. Masaki, T. Mizushima, and M. Nitta, Phys. Rev. Research **2**, 013193 (2020).
 T. Mizushima, K. Masuda, and M. Nitta, Phys. Rev. B **95**, 140503(R) (2017).

(2) トポロジカル超流体の新奇な集団励起

トポロジカル超伝導体・超流動体のボソン励起を調べた。ネマティック超伝導であり DIII トポロジカル超伝導としても知られる $\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ (左図) の集団励起を調べ、ネマティック秩序の揺らぎモードや chiral Higgs モードという新規な低エネルギーボソン励起



の存在を明らかにした。また、これらのボソン励起の電磁波吸収や動的帯磁率などへの寄与を明らかにした。一方で、超流動 ^3He のボソン場に対する有効ラグランジアンを導出し、制限空間中の超流動 $^3\text{He-B}$ のボソン励起スペクトル構造を明らかにした。この有効理論を用いることで、制限空間中の超流動 $^3\text{He-B}$ において表面に局在したボソン励起が存在することを見出した。また、空間を狭くするにつれて、表面局在ボソン励起がソフト化し、その励起エネルギーが実値から準虚数値となる臨界点が存在することがわかった。このボソン励起のソフト化は $^3\text{He-B}$ 相の動的不安定化を表しており、表面に沿った並進対称性を自発的に破った「ストライプ相」と呼ばれる超流動結晶状態の存在を示唆する。これらのボソン励起スペクトルの特徴は超音波吸収スペクトルで捉えることができることを示した。

[参考文献]

H. Uematsu, T. Mizushima, A. Tsuruta, S. Fujimoto, and J. A. Sauls, Phys. Rev. Lett. **123**, 237001 (2019).
 T. Mizushima and J. A. Sauls, arXiv:1801.02277 (2018).
 J. A. Sauls and T. Mizushima, Phys. Rev. B **95**, 094515 (2017).

(3) Weyl 超伝導体におけるカイラル異常

Weyl 超伝導体の低エネルギー素励起である Bogoliubov 準粒子は Weyl 粒子として振る舞う。超流動 $^3\text{He-A}$ は典型例であり、ウラン系化合物は Weyl 超伝導の候補物質として知られる。通常の Weyl 粒子系では、電磁場が直接カイラリティと結合することで負の磁気抵抗効果やカイラル磁気効果など特異な応答・輸送現象が現れる。一方で、超流動・超伝導に現れる Weyl 粒子は電磁場と直接結合しない。我々は、超伝導秩序変数の実空間テクスチャ構造が創発的な電磁場として Weyl 準粒子のカイラリティに直接結合することで、カイラル異常に起因した特異な輸送現象が現れることを明らかにした。具体的には、超流動 $^3\text{He-A}$ に自然と現れるスキルミオン構造に由来した「torsional カイラル磁気効果」と、磁束渦における非自明な位相構造に由来した「負の熱磁気抵抗効果」を発見した。前者は秩序変数のテクスチャ構造が Weyl 準粒子にとって創発「torsion 磁場」として作用することで、ワイル準粒子の自発的流れを生み出す。後者では、磁束渦周りの秩序変数の $U(1)$ 位相の非自明な捻りはワイル準粒子のカイラリティと結合する創発磁場とみなされ、印加磁場の増大とともに熱伝導度が増大するという非自明な結果をもたらす。以上により、カイラル異常に起因したワイル超流動・超伝導固有の新奇な量子輸送現象が明らかとなった。

[参考文献]

Y. Ishihara, T. Mizushima, A. Tsuruta, and S. Fujimoto, Phys. Rev. B **99**, 024513 (2019).
 T. Kobayashi, T. Matsushita, T. Mizushima, et al., Phys. Rev. Lett. **121**, 207002 (2018).
 T. Matsushita, T. Liu, T. Mizushima, and S. Fujimoto, Phys. Rev. B **97**, 134519 (2018).

(4) 異方的超伝導体の対称性とトポロジー

Th をドーブした UBe_{13} に現れる多重超伝導相のトポロジカル超伝導特性について調べた。 UBe_{13} で実現している多重超伝導の各相がそれぞれ DIII トポロジカル超伝導, Weyl 超伝導, Dirac 超伝導相に対応している可能性を指摘した。「古典的」な重い電子系超伝導物質である UBe_{13} が現代物理の重要なトピックであるトポロジカル量子現象の格好の研究舞台であることがわかった。

[参考文献]

T. Mizushima and M. Nitta, Phys. Rev. B **97**, 024506 (2018).
 T. Mizushima and K. Machida, Phil. Trans. R. Soc. A **376**, 20150355 (2018).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Mizushima Takeshi, Yasui Shigehiro, Nitta Muneto	4. 巻 2
2. 論文標題 Critical end point and universality class of neutron P23 superfluids in neutron stars	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 013194-1-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevResearch.2.013194	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Masaki Yusuke, Mizushima Takeshi, Nitta Muneto	4. 巻 2
2. 論文標題 Microscopic description of axisymmetric vortices in P23 superfluids	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 013193-1-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevResearch.2.013193	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Uematsu Hiroki, Mizushima Takeshi, Tsuruta Atsushi, Fujimoto Satoshi, Sauls J.?A.	4. 巻 123
2. 論文標題 Chiral Higgs Mode in Nematic Superconductors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 237001-1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevLett.123.237001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Matsushita, T. Liu, T. Mizushima, and S. Fujimoto	4. 巻 97
2. 論文標題 Charge/spin supercurrent and the Fulde-Ferrell state induced by crystal deformation in Weyl/Dirac superconductors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 134519 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.97.134519	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Kobayashi, T. Matsushita, T. Mizushima, A. Tsuruta, and S. Fujimoto	4. 巻 121
2. 論文標題 Negative Thermal Magnetoresistivity as a Signature of Chiral Anomaly in Weyl Superconductors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Lett.	6. 最初と最後の頁 207002 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.121.207002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Ishihara, T. Mizushima, A. Tsuruta, and S. Fujimoto	4. 巻 99
2. 論文標題 Torsional chiral magnetic effect due to skyrmion textures in a Weyl superfluid $^3\text{He-A}$	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 024513 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.024513	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mizushima T., Machida K.	4. 巻 376
2. 論文標題 Multifaceted properties of Andreev bound states: interplay of symmetry and topology	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences	6. 最初と最後の頁 20150355 1-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsta.2015.0355	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Mizushima, K. Masuda, and M. Nitta	4. 巻 95
2. 論文標題 3P_2 superfluids are topological	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 140503(R)-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.95.140503	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Mizushima and M. Nitta	4. 巻 97
2. 論文標題 Topology and symmetry of surface Majorana arcs in cyclic superconductors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 024506-1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.97.024506	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Mizushima	4. 巻 14
2. 論文標題 Non-Local Manipulation of Local Tunneling Processes through Majorana Zero Modes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 JPSJ News Comments	6. 最初と最後の頁 14-1-2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJNC.14.14	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 J. A. Sauls and Takeshi Mizushima	4. 巻 95
2. 論文標題 On the Nambu fermion-boson relations for superfluid $^3\text{He-B}$	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 094515-1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevB.95.094515	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計33件(うち招待講演 18件/うち国際学会 23件)

1. 発表者名 Takeshi Mizushima
2. 発表標題 Fingerprints of Nematic and Weyl Superconductivity
3. 学会等名 EPiQS-TMS 3rd Alliance Workshop on Topological Materials Science (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeshi Mizushima
2. 発表標題 Fingerprints of Nematic and Weyl Superconductivity
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (SCES2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeshi Mizushima
2. 発表標題 Surface Bosonic Excitations in Confined Topological Superfluid $^3\text{He-B}$
3. 学会等名 International Symposium on Quantum Fluids and Solids (QFS2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeshi Mizushima
2. 発表標題 Higgs modes in topological superconductors
3. 学会等名 Superstripes 2019: Quantum physics in Complex Matter: Superconductivity, Magnetism and Ferroelectricity (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeshi Mizushima
2. 発表標題 Detecting Majorana Fermions in Topological Superfluids: Can Higgs Meet Majorana?
3. 学会等名 Erice Workshop 2018 "Majorana Fermions and Topological Materials Science" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takeshi Mizushima
2. 発表標題 Anomalous transport due to chiral anomaly in Weyl superconductors and neutron stars
3. 学会等名 International Symposium on Quantum Fluids and Solids (QFS2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水島健
2. 発表標題 マヨラナ・ワイル準粒子がもたらすトポロジカル現象～超流動 ³ Heを中心に～
3. 学会等名 研究会「超流動 ³ HeおよびスピノールBECにおけるトポロジカル相・励起」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水島健
2. 発表標題 超伝導体U1-xThxBe13における対称性の破れとトポロジー
3. 学会等名 日本物理学会2019年年次大会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeshi Mizushima
2. 発表標題 Chirality Fluctuation and Electromagnetic Response in Nematic Superconductors
3. 学会等名 12th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity and High Temperature Superconductors (M2S-2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水島健
2. 発表標題 微小機械振動子でみる超流動 $^3\text{He-B}$ の表面アンドレーエフ束縛状態と磁場誘起トポジカル相転移
3. 学会等名 日本物理学会2019年年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeshi Mizushima
2. 発表標題 Interplay of fermions and bosons near topological quantum phase transitions in superfluid ^3He
3. 学会等名 The 19th Int'l Conference on Present Progress in Many-Body Theories (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takeshi Mizushima
2. 発表標題 Interplay between massive bosons and topological fermions in superfluids ^3He
3. 学会等名 Quantum World-2017: From E=MC ² to Quantum Industry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takeshi Mizushima
2. 発表標題 Topological Quantum Criticality in Confined Superfluid $^3\text{He-B}$
3. 学会等名 International Conference on Topological Materials Science 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takeshi Mizushima
2. 発表標題 Chiral anomaly in superfluid $^3\text{He-A}$ with a skyrmion-vortex
3. 学会等名 ULT 2017 Frontiers of Low Temperature Physics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takeshi Mizushima
2. 発表標題 Interplay of topological fermions and bosons in confined superfluid $^3\text{He-B}$
3. 学会等名 ULT 2017 Frontiers of Low Temperature Physics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takeshi Mizushima
2. 発表標題 The stripe phase as the dynamical instability of the Higgs field in confined superfluid $^3\text{He-B}$
3. 学会等名 28th International Conference on Low Temperature Physics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takeshi Mizushima
2. 発表標題 Topological Quantum Criticality in Confined Superfluid ^3He
3. 学会等名 28th International Conference on Low Temperature Physics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takeshi Mizushima
2. 発表標題 Topology and symmetry in multiple superconducting phases of $UxTh1-xBe13$
3. 学会等名 American Physical Society March Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takeshi Mizushima
2. 発表標題 Topology and symmetry in multiple superconducting phases of $UxTh1-xBe13$
3. 学会等名 TMS-EPiQS 2nd Alliance Workshop: Topological Magnets and Topological Superconductors (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水島健
2. 発表標題 制限空間中の超流動 $3HeI$ におけるHiggsボソン場の動的不安定性とストライプ相
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 水島健
2. 発表標題 ネマティック超伝導体におけるカイラリティ揺らぎと電磁応答
3. 学会等名 日本物理学会2018年年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Mizushima
2. 発表標題 Topology, emergent Ising order, and spontaneous symmetry breaking in superfluid 3He-B
3. 学会等名 International Conference on Quantum Fluids and Solids 2016 (QFS2016) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Mizushima
2. 発表標題 Topology and Symmetry in Unconventional Superfluids and Superconductors
3. 学会等名 TOPO MAT Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Mizushima
2. 発表標題 Chiral Domain Walls in Superfluid 3He-B
3. 学会等名 Topological Materials Science: Intensive-Interactive Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Mizushima
2. 発表標題 Spontaneous symmetry breaking and Nambu's fermion-boson mass relations in topological superfluid 3He
3. 学会等名 Theory of Correlated Topological Materials 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 水島健
2. 発表標題 Numerical Methods for Eigenvalue Problems: Vortices in Fermionic and Bosonic Superfluids
3. 学会等名 Kyoto Meeting 2016 Winter (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 水島健
2. 発表標題 超流動体における対称性の破れとトポロジー：3Heから中性子星まで
3. 学会等名 核物理 x 物性セミナー (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 水島健
2. 発表標題 The coldest and hottest topological superfluids: From 3He to neutron stars
3. 学会等名 理研iTHES神戸量子物性研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Mizushima
2. 発表標題 Odd-frequency pairing in topological crystalline superconductors
3. 学会等名 新学術領域研究「トポロジカル物質科学」：第8回集中連携研究会「奇周波数クーパー対の物理」(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Mizushima
2. 発表標題 Topology and Symmetry of Unconventional Superconductors and Superfluids
3. 学会等名 EPIQS-TMS Trans-Pacific Conference on Topological Quantum Materials (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Mizushima
2. 発表標題 The stripe phase as a dynamical instability of the $J=2+, mJ=0$ Higgs field in confined superfluid ^3He
3. 学会等名 American Physical Society March Meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 水島健
2. 発表標題 サイクリック超伝導体のトポロジー
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 水島健
2. 発表標題 超流動 $^3\text{He-B}$ の集団励起モードにおける強結合効果と南部関係式
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----