

I 表面におけるスピン-軌道相互作用

Spin-Orbit Interaction at Surfaces

島 信幸・馬越健次・坂井徹
Shima, N., Makoshi, K., Sakai, T.

固体表面においては、空間反転対称性が破れているため、スピン-軌道相互作用により、エネルギーバンドのスピン縮重が解ける場合（Rashba効果・Rashba分裂と呼ばれる）がある。Bi表面は大きなRashba分裂を示すが、特にAg(111)表面に吸着した場合には更に大きな分裂（巨大Rashba分裂）を示す事が観測されている。巨大Rashba分裂の起源については実験・理論面から研究されているが、完全に解明されているとはいえない状態である。我々はタイトバインディングモデル及び第一原理計算に基づいてRashba分裂をいくつかのプロセスに分けて分類し、Ag(111)、Ag(111)/Bi、Bi(111)、Gray As(111)の各モデル系に適用することで、巨大Rashba分裂の起源を解明し、新しい物質の探索の指針を得る事を目指している。

II 自発磁化超伝導の磁場による安定化

Stability of chiral superconductivity by magnetic field

兼安 洋乃
Kaneyasu, H.

金属/超伝導接合面近くで超伝導転移温度が高く、距離変化した D_{4h} 点群 E_u 、 E_g 既約の超伝導状態について、自発磁化軸に平行な外部磁場による自発磁化状態の安定化と、これに伴う常磁性電流とchirality変化との関係をGinzburg-Landau理論により説明した。結果として、磁場による自由エネルギーの減少が自発磁化状態を安定化させて、同時に常磁性電流と距離におけるone-nodalなchirality変化をもたらす。この距離におけるone-nodalなchirality変化は、自発磁化状態を安定化させるエネルギーの減少が接合面からの全距離において保たれるように生じている。これらの機構を秩序変数と自由エネルギーの距離依存性の数値解析から説明した。又、one-nodalなchirality変化に対応した秩序変数の距離における符号変化を、自由エネルギー-磁場依存項に関係した式として導出することで説明した。

III 低次元磁性体の異常量子現象

Anomalous Quantum Phenomena in Low-Dimensional Magnets

坂井 徹
Sakai, T.

一次元量子スピン鎖や、スピンの梯子状に並んだスピンラダー系、チューブ状に並んだスピナノチューブ等の低次元磁性体では、強い量子効果を反映して、さまざまな異常量子現象が起きることが知られている。朝永・ラッティンジャー液体・スピンギャップ・磁化プラトーなどの注目される量子現象のメカニズム解明や、まだ知られていない異常量子現象の理論予測を目指して、数値シミュレーション・共型場の理論・有限サイズスケールリング等の手法を用いて理論的に研究している。

IV フラストレーション系の新現象

Novel Phenomena of Frustrated Systems

坂井 徹
Sakai, T.

隣接する量子スピンを反平行にそろえようとする反強磁性交換相互作用が三角格子・カゴメ格子・ジグザグ鎖格子などにはたらくとき、スピンの安定構造が一意的には決まらないフラストレーションが生じる。このようなフラストレーション系では、いくら低温にしても磁気秩序を伴う相転移が起これず、絶対零度ですら量子ゆらぎのために秩序が融解した量子スピン液体が実現する。また、外部磁場をかけることにより、スピンの対角成分と非対角成分が同時に凝縮するスーパーソリッド相や、隠れた秩序とも呼ばれるスピン・ネマティック相などのエキゾティク現象が起きることもわかってきた。これらのフラストレーション系の新現象を、大規模数値シミュレーションにより理論予測し、量子ビームによる観測法を検討している。

V 銅酸化物高温超伝導体の理論的研究

Theoretical Study on the High-Tc Cuprates

坂井 徹
Sakai, T.

銅酸化物高温超伝導体の超伝導発現機構においては、スピン間に働く反強磁性交換相互作用に起因した量子スピン液体が重要な役割を果たすことが知られている。このスピン間の相互作用を取り入れた電子系の理論模型に対する数値シミュレーションを用いて、擬ギャップ現象・電荷ストライプ現象等のエキゾティク現象のメカニズムを理論的に研究している。

発表論文 List of Publications

- I-1 藤原聖基 学位論文 固体表面におけるラッシュバ効果の解析（兵庫県立大学、2019年6月）
- I-2 M. Fujiwara, N. Shima, K. Makoshi and T. Sakai : Analysis of Rashba Effect on Au(111) Model Surface, J. Phys. Soc. Jpn. 88 (2019), 034604-1-5.
- II-1 H. Kaneyasu, Y. Enokida, T. Nomura, Y. Hasegawa, T. Sakai, and M. Sigrist : Properties of H-T-phase diagram of the 3-K phase in eutectic $\text{Sr}_2\text{RuO}_4\text{-Ru}$ - Evidence for chiral superconductivity, Physical Review B 100 (2019) 214501-1-9.
- II-2 H. Kaneyasu, Y. Enokida, T. Nomura, Y. Hasegawa, T. Sakai, and M. Sigrist : Features of chirality generated by paramagnetic coupling to magnetic fields in the 3K-phase of Sr_2RuO_4 , JPS Conference Proceedings 30 (2020) 011039-1-6.
- II-3 兼安洋乃 : 【依頼】研究報告「共晶系 $\text{Sr}_2\text{RuO}_4\text{-Ru}$ の3-Kelvin相における界面超伝導の磁場誘起カイラル転移」, 大阪大学サイバーメディアセンター HPC ジャーナル No.9 (2019) 25-28.
- II-4 H. Kaneyasu : 【招待講演】Superconductivity in the eutectic $\text{Sr}_2\text{RuO}_4\text{-Ru}$, Directionally Solidified Eutectics Conference -DSEC VI, 10-13 September, 2019, University of Salerno, Italy.
- II-5 H. Kaneyasu : The 3-Kelvin phase in the eutectic $\text{Sr}_2\text{RuO}_4\text{-Ru}$, Workshop; Strontium Ruthenate, May 9-11, 2019, ETH Zurich, Switzerland.
- II-6 H. Kaneyasu, Y. Enokida, T. Nomura, Y. Hasegawa, T. Sakai, and M. Sigrist : Magnetic-field-induced chiral stability of interface superconductivity in $\text{Sr}_2\text{RuO}_4/\text{Ru}$, Oxide Superspin Workshop 2019 (OSS2019), 24-28 June 2019, Hoam faculty house at Seoul National University, Korea.
- II-7 H. Kaneyasu, Y. Enokida, T. Nomura, Y. Hasegawa, T. Sakai, and M. Sigrist : Features of chirality generated by paramagnetic supercurrents in a magnetic field in the 3K-phase of Sr_2RuO_4 , International Conference on Strongly Correlated Electron Systems(SCES2019)(岡山コンベンションセンター、2019年9月)
- II-8 兼安洋乃, 野村拓司, 長谷川泰正, 坂井徹, シグリスト マンフレッド : 磁場中における距離依存性を持つ超伝導の電流と chirality 変化, 日本物理学会 2019年秋季大会 (岐阜大学、2019年9月)
- III-1 T. Sakai, K. Okamoto and T. Tonegawa: Magnetization plateau of the $S=2$ antiferromagnetic Heisenberg chain with anisotropies, Phys. Rev. B 100 (2019) 054407-1-6.

- III-2 R. Yamamokuchi, K. Okamoto and T. Sakai: Field-Induced Spin Nematic Phase in the $S=1$ Anisotropic Spin Ladder, Proceedings of 2018 16th International Conference on Megagauss Magnetic Field Generation and Related Topics (MEGAGAUSS) (2019) 8722674-1-4.
- III-3 T. Sakai: Spin Nematic Phase of the Quantum Spin Nanotube, JPS Conference Proceedings 29 (2020) 014004-1-5.
- III-4 H. Nakano, N. Todoroki and T. Sakai: Haldane Gaps of Large- S Heisenberg Antiferromagnetic Chains and Asymptotic Behavior, J. Phys. Soc. Jpn. 88 (2019) 114702-1-4.
- III-5 T. Sakai and K. Okamoto: Spin Nematic Liquids of the $S = 1$ Spin Ladder in Magnetic Field, JPS Conference Proceedings 30 (2020) 011083-1-6.
- III-6 K. Okamoto, T. Tonegawa, M. Kaburagi and T. Sakai: Ground-State Phase Diagram of an Anisotropic $S = 1$ Ferromagnetic-Antiferromagnetic Bond-Alternating Chain, JPS Conference Proceedings 30 (2020) 011024-1-6.
- III-7 Y. Tachibana, Y. Ueno, T. Zenda, K. Okamoto and T. Sakai: Quantum Phase Transition of the Twisted Spin Tube, JPS Conference Proceedings 30 (2020) 011082-1-5.
- III-8 T. Zenda, Y. Tachibana, Y. Ueno, K. Okamoto and T. Sakai: Quantum Phase Transitions of the Distorted Diamond Spin Chain, JPS Conference Proceedings 30 (2020) 011084-1-5.
- III-9 Y. Ueno, T. Zenda, Y. Tachibana, K. Okamoto and T. Sakai: Magnetization Plateau of the Distorted Diamond Spin Chain, JPS Conference Proceedings 30 (2020) 011085-1-5.
- III-10 上野雄熙、岡本清美、坂井徹：歪んだダイヤモンド型スピン鎖の磁化プラトー、日本物理学会 2019 年秋季大会（岐阜大学、2019 年 9 月）
- III-11 善田知佑、岡本清美、坂井徹：歪んだダイヤモンド型スピン鎖における almoklyuchevskite 型歪み II、日本物理学会 2019 年秋季大会（岐阜大学、2019 年 9 月）
- III-12 橋祐汰、岡本清美、坂井徹：三本鎖スピントーブルの量子相転移、日本物理学会 2019 年秋季大会（岐阜大学、2019 年 9 月）
- III-13 利根川孝、岡本清美、鏑木誠、坂井徹：強磁性桁相互作用をもつ異方的 $S=1$ 2 本脚梯子の基底状態相図、日本物理学会 2019 年秋季大会（岐阜大学、2019 年 9 月）
- III-14 坂井徹、岡本清美、利根川孝：異方性のある $S=2$ 反強磁性鎖の磁化プラトー、日本物理学会 2019 年秋季大会（岐阜大学、2019 年 9 月）
- III-15 中野博生、轟木義一、坂井徹：大きい S に対するハルデンギャップの計算科学的研究、日本物理学会 2019 年秋季大会（岐阜大学、2019 年 9 月）
- III-16 橋祐汰、坂井徹、岡本清美：リング交換相互作用のある三本鎖スピンラダーのスピンネマティック相、日本物理学会第 75 回年次大会（名古屋大、2020 年 3 月、新型コロナウイルス拡散のため現地開催は中止、講演資料の配信）

- III-17 上野雄熙、岡本清美、坂井徹：歪んだダイヤモンド型スピン鎖の磁化プラト
ーの機構交代、日本物理学会第 75 回年次大会（名古屋大、2020 年 3 月）
- III-18 善田知佑、岡本清美、坂井徹：alumoklyuchevskite 型歪を持つダイヤモンド
型スピン鎖の磁化プラトー、日本物理学会第 75 回年次大会（名古屋大、2020
年 3 月）
- III-19 岡本清美、利根川孝、野村清英、坂井徹：異方的 $S=1/2$ 梯子系におけるネマ
ティック TLL 相：摂動論、日本物理学会第 75 回年次大会（名古屋大、2020
年 3 月）
- III-20 野村清英、岡本清美、利根川孝、坂井徹：異方的 $S=1/2$ 梯子系におけるネマ
ティック TLL 相：対称性、日本物理学会第 75 回年次大会（名古屋大、2020
年 3 月）
- III-21 利根川孝、岡本清美、野村清英、坂井徹：異方的 $S=1/2$ 梯子系におけるネマ
ティック TLL 相：数値計算、日本物理学会第 75 回年次大会（名古屋大、2020
年 3 月）
- III-22 坂井徹、岡本清美、利根川孝、野村清英：リング交換相互作用のある 3 本鎖
スピンチューブのスピンネマティック相、日本物理学会第 75 回年次大会（名
古屋大、2020 年 3 月）
- III-23 T. Sakai: Spin Nematic Liquid of Low-Dimensional Quantum
Antiferromagnets, 国際会議 Frontiers of Correlated Electron
Science(東大小柴ホール、2019 年 5 月)
- III-24 坂井徹：低次元磁性体のスピンネマティック相、J-Physics 地域研究会（東
大本郷、2019 年 6 月）
- III-25 T. Sakai: Spin Nematic Liquid of the Spin Nanotube, J-Physics 2019
International Conference(神戸大百年記念館、2019 年 9 月)
- III-26 T. Sakai and K. Okamoto: Spin Nematic Liquid of Low-Dimensional
Magnets, International Conference on Strongly Correlated Electron
Systems(SCES2019)(岡山コンベンションセンター、2019 年 9 月)
- III-27 K. Okamoto, T. Tonegawa, M. Kaburagi and T. Sakai: Ground-State
Phase Diagram of an Anisotropic $S = 1$ Ferromagnetic-Antiferromagnetic
Bond-Alternating Chain, International Conference on Strongly
Correlated Electron Systems(SCES2019)(岡山コンベンションセンター、
2019 年 9 月)
- III-28 Y. Tachibana, Y. Ueno, T. Zenda, K. Okamoto and T. Sakai: Quantum
Phase Transition of the Twisted Spin Tube, International Conference on
Strongly Correlated Electron Systems(SCES2019)(岡山コンベンションセ
ンター、2019 年 9 月)
- III-29 T. Zenda, Y. Tachibana, Y. Ueno, K. Okamoto and T. Sakai: Quantum
Phase Transitions of the Distorted Diamond Spin Chain, International
Conference on Strongly Correlated Electron Systems(SCES2019)(岡山コ
ンベンションセンター、2019 年 9 月)

- III-30 Y. Ueno, T. Zenda, Y. Tachibana, K. Okamoto and T. Sakai: Magnetization Plateau of the Distorted Diamond Spin Chain, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems(SCES2019)(岡山コンベンションセンター、2019年9月)
- III-31 坂井徹：低次元量子スピン系のスピンネマティック相、神戸大学分子フォトサイエンス研究センター共同利用・共同研究・研究会「スピン系研究の開拓前線－理論的挑戦と新物質開拓」（神戸大学理学部、2019年11月）
- III-32 坂井徹：低次元量子磁性体のスピンネマティック相、第13回物性科学領域横断研究会（東大小柴ホール、2019年11月）
- III-33 T. Sakai: Symmetry Protected Topological Phase of S=2 Quantum Spin Chain in Magnetic Field, International Conference on Topological Materials Science（京大百周年時計台記念館、2019年12月）
- III-34 T. Sakai: Spin Nematic Liquids of Low-Dimensional Quantum Spin Systems、J-Physics 多極子伝導系の物理 令和元年度領域全体会議（神戸大百年記念館、2020年1月）
- III-35 坂井徹：低次元量子スピン系のスピンネマティック相、量子スピン系研究会（あきた芸術村温泉ゆぼぼ、2020年1月）
- IV-1 R. Shirakami, H. Ueda, H. O. Jeschke, H. Nakano, S. Kobayashi, A. Matsuo, T. Sakai, N. Katayama, H. Sawa, K. Kindo, C. Michioka and K. Yoshimura: Two magnetization plateaus in the kagome fluoride $\text{Ce}_2\text{LiTi}_3\text{F}_{12}$, Phys. Rev. B 100 (2019) 8722674-1-4.
- IV-2 H. O. Jeschke, H. Nakano and T. Sakai: From kagome strip to kagome lattice: Realizations of frustrated S=1/2 antiferromagnets in Ti(III) fluorides, Phys. Rev. B 99 (2019) 140410(R)-1-6
- IV-3 中野博生、坂井徹：低次元ハイゼンベルク系の大規模並列シミュレーションによる研究、日本物理学会第75回年次大会（名古屋大、2020年3月）
- IV-4 T. Sakai and H. Nakano: Novel Quantum Phase Transition of the Shastry-Sutherland Model, アメリカ物理学会マーチミーティング（Denver, 2020年3月、新型コロナウイルス拡散のため現地開催は中止、講演資料の配信）
- IV-5 T. Sakai and H. Nakano: 【招待講演】 Numerical Diagonalization Study on Frustrated Quantum Spin Systems、国際会議 Frontiers of Statistical Physics（東大小柴ホール、2019年6月）
- IV-6 T. Sakai and H. Nakano: Numerical Diagonalization Study on Frustrated Magnets、ISSP International Workshop “Computational Approach to Quantum Many Body Problems”（東大物性研、2019年7月）
- V-1 坂井徹：放射光と計算物質科学、SPring-8 シンポジウム（岡山、2019年8月）
- V-2 坂井徹：SPring-8と京コンピューターの話、兵庫県立大学理学部オープンキャンパス（兵庫県立大播磨理学キャンパス、2019年8月）

大学院物質理学研究科

博士前期課程

- 上野雄熙 : 歪んだダイヤモンド型スピン鎖の磁化プラトー
橘祐汰 : 三本鎖スピン系の量子相転移
善田知佑 : 歪んだダイヤモンド型スピン鎖の量子相転移

科学研究費補助金等

- 1 文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究「J-Physics : 多極子伝導系の物理」公募研究
研究課題 フラストレーション系の量子スピンネマティック相と新奇伝導の理論的・計算科学的研究
研究代表者 坂井 徹
- 2 兵庫県立大学令和元年度特別研究助成金（先導研究 A）
研究課題 カゴメ格子反強磁性体の量子スピン液体とエキゾチック励起の理論的・計算科学的研究
研究代表者 坂井 徹
- 3 兵庫県立大学 令和元年海外における国際会議参加支援助成
研究代表者 兼安洋乃
- 4 兵庫県立大学 令和元年女性研究者研究活動助成金
研究課題 共晶系 $\text{Sr}_2\text{RuO}_4\text{-Ru}$ における磁場誘起 chiral 転移
研究代表者 兼安洋乃

受賞

Journal of the Physical Society of Japan誌の「2018 Highly Cited Article賞」
(受賞論文) H. Nakano and T. Sakai: Ferrimagnetism in the Spin-1/2
Heisenberg Antiferromagnet on a Distorted Triangular Lattice, J. Phys. Soc.
Jpn. 86 (2017) 063702
著者 : 中野博生・坂井徹