

古崎物性理論研究室

Condensed Matter Theory Laboratory

主任研究員 古崎 昭 (博士 (理学))

FURUSAKI, Akira (Ph.D)



キーセンテンス :

1. 物質の普遍的な性質を理解する
2. 物質の多様性を理解する
3. 新しい物質相を見つける
4. 相転移現象を理解する

キーワード :

強相関電子系、磁性、超伝導、新奇量子秩序、量子相転移、トポロジカル絶縁体、アンダーソン局在

研究概要

当研究室では、物質の示すいろいろな性質を、物質中の電子に対する基礎理論（量子力学や統計力学）にもとづいて理論的に解明することを目指して研究している。多数の電子が相互作用しつつ運動している多電子系では、自発的に対称性の破れた秩序相が低温で現れ、温度・磁場・圧力などの変化とともに相転移が起きる。遷移金属・希土類酸化物や分子性導体などの強相関電子系における超伝導や磁性がその典型例であり、これらの量子現象の普遍性と物質に即した多様性を研究する。

三角格子、籠目格子、パイロクロア格子上の反強磁性体などのフラストレーションの強い量子スピン系では、磁気秩序の形成が抑えられて非自明な秩序状態が生じる。その一例であるスピン液体、スピン・ネマティック相やカイラル秩序相の性質について研究している。また、局所的秩序変数をもたないトポロジカル秩序相や、量子（スピン）ホール系などのトポロジカル絶縁体やトポロジカル超伝導体に関する研究も行っている。

1. 相互作用するトポロジカル絶縁体・超伝導体の分類（古崎, Mudry）

励起ギャップのある自由フェルミオン系のトポロジカル相の分類理論によれば、各空間次元において、 10 の対称類のうちで 3 つの対称類が整数(Z)のトポロジカル数で区別されるトポロジカル相を持ち、 2 つの対称類が Z_2 トポロジカル数で分類される。我々は、空間次元が奇数の場合には電子間相互作用によって Z が Z_n に制限されることを、非線形シグマ模型を用いた一般論によって説明した (n は空間次元と対称類によって決まる自然数)。

2. ランダム質量をもったディラック・フェルミオンのアンダーソン局在（古崎, Mudry）

トポロジカル絶縁体やトポロジカル超伝導体の有効模型であるディラック模型に対して、質量項をランダムにしたときのアンダーソン局在問題を研究した。1次元・2次元・3次元のトポロジカル絶縁体・超伝導体のアンダーソン局在の相図の概略を論じた。これは、2次元整数量子ホール系のプラトール間転移の一般化に相当する。

3. ノンシンモルフィック対称性に守られたディラック・ワイル半金属（Bojesen, 古崎）

強いスピン軌道相互作用の働く結晶中では、バンドギャップが閉じる点（ディラック点）は時間反転と空間反転対称性の下では不安定なので、ディラック点が安定に存在するためには付加的な対称性が必要である。我々は、Type-II ノンシンモルフィック対称性と我々の名づけた対称性によって、ディラック点やディラック線が安定に存在することを示した。さらに、表面状態についても研究した。

4. 二次元の鏡対称性により守られたトポロジカル相の分類（吉田、古崎）

近年、SnTeにおいて鏡対称性によって守られた topological crystalline insulators の発現が報告されている。一方、自由電子系で提案されたトポロジカル絶縁体の概念は対称性によって保護されたトポロジカル相 (symmetry protected topological phases)へと拡張され、強相関の bose 粒子系、spin 系においても発現する。本研究では、Chern-Simons 理論に基づき、鏡映対称性によって保護されたトポロジカル相の分類を行い、鏡映対称性によって保護された相を示す spin 系のモデルを構築した。さらに、fermi 粒子系では整数値でラベルされるトポロジカル相は強相関効果により Z_4 の代数をなす相に変化する事が知られているが、三次元系でも同様の結果を得た。

5. トポロジカル近藤絶縁体における有限温度効果（吉田）

ここ数年、近藤絶縁体の典型例として知られていた SmB_6 がトポロジカルに非自明な構造を持つトポロジカル近藤絶縁体の候補物質として注目されている。そこではトポロジカルに非自明な構造と強相関効果が絡み合った新たな物性の発現が期待されるため、実験・理論両面で集中的に研究がなされている。しかし、トポロジカル近藤絶縁体の理論的研究のほとんどは絶対零度に限られており、実験的に優位なパラメータである温度効果の解明が求められる。そこで本研究ではスピンホール絶縁体を示す重い電子系である Kane-Mele-Kondo lattice の温度効果の解析を行った。動的平均場理論による解析の結果絶対零度では近藤効果によりトポロジカルに非自明な構造が壊されている場合でも有限温度領域ではトポロジカルに非自明な性質を示し、温度効果によりトポロジカルな構造が修復されることを見出した。

6. 超伝導秩序と磁気秩序の共存系に現れる束縛状態（中河西）

従来型超伝導状態を示す電子に対して skyrmion 構造をもつ局所磁場の影響を調べた。磁気不純物周りに局在する状態としてよく知られる Shiba 状態に類似の状態が skyrmion の中心に現れることを明らかにした。ただし本研究で得られた状態は波動関数が冪的に減衰する点において両者は質的に異なることを示した。実験においてはスピン偏極 STM によってその状態を観測できることを指摘した。

7. Kitaev 梯子における超伝導位相の変調（中河西）

平行に並んだ 2 本の Kitaev 鎖中の相対的な超伝導位相を調べることで、Majorana 端状態がもたらす特異な Josephson 結合を議論した。Majorana 端状態がゼロエネルギーであることに由来して Josephson 結合は鎖間のトンネル結合の 1 次の効果として現れるため、通常の Josephson 結合と位相差が生じる。競合の結果として位相が変調することで有限系においても基底状態に縮退が現れうることを明らかにした。縮退した基底状態は量子情報への応用が期待される。

8. 三角格子量子反強磁性体 $\text{Ba}_3\text{CoSb}_2\text{O}_9$ の動的性質（紙屋）

$\text{Ba}_3\text{CoSb}_2\text{O}_9$ は Co^{2+} の有効スピン $S_{\text{eff}} = 1/2$ による三角格子量子ハイゼンベルクモデルのほぼ理想的な実現例で、ゼロ磁場では 120 度構造の磁気秩序が実現し、磁場中では 1/3 磁化プラトーに対応する

up-up-down 構造を始め、量子効果によって安定化された種々の秩序相が実現する。我々は共同研究グループによるゼロ磁場の非弾性中性子散乱実験と比較する目的で、マグノン間の相互作用を最低次で取り込んだ非線形スピン波理論の解析を行った。その結果、マグノンスペクトルのぼやけ等の新しい観測事実が擬古典的な枠組みであるスピン波理論では説明できないことが分かった。このことは、たとえ基底状態が磁気秩序化していても、低次元フラストレート量子磁性体のスピンドYNAMIXは擬古典的描像と定性的に異なる場合があることを示唆している。

9. フラストレート量子磁性体における磁氣的渦糸の3次元ネットワーク結晶 (紙屋)

体心立方格子や面心立方格子のフラストレート量子ハイゼンベルクモデルの飽和磁場近傍で誘起される磁気秩序を調べた。これらの格子モデルに次近接や次々近接の相互作用を追加すると、波数空間で非共面的な(同一平面上にない)複数の波数ベクトルのマグノンが飽和磁場でギャップレスになる。我々はマグノンを希薄ボーズ気体にマッピングすることによってどのような波数の組み合わせによって凝縮が起こるかを解析した。特に、3次元的な変調を伴うスピン構造が対応する非共面的な波数モードの多重凝縮が起こる条件を理論的に明らかにした。

10. 正方格子フラストレート強磁性体における order by disorder 効果 (桃井, Sindzingre, Shannon)

強磁性相互作用を持つフラストレートした磁性体に現れる新奇な磁性相を調べた。古典モンテカルロシミュレーションとスピン波展開を用い、磁場中の磁性相を調べた。その結果、フラストレート反強磁性体の場合とは異なる多くの新しい振る舞いを見出した。まず、ある特定の相互作用パラメータでは、磁場中の有限温度相図が、1/3 プラトール相も含め三角格子反強磁性体の磁場中相図とほぼ同じになることを示した。次に、相互作用パラメータをこの点から、古典基底状態が運動量空間の曲線上に縮退し存在するパラメータ点に移動すると、相図に二つの新しい相が出現することが分かった。一つは、有限温度におけるスピン液体になっており、スピン構造因子 $S(\mathbf{q})$ にリング構造が現れる状態である。もう一つは、渦結晶を持つ多重 Q 状態になっている。これらの振る舞いをエントロピー効果から議論した。

11. ボルボサイト $\text{Cu}_3\text{V}_2\text{O}_7(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_2$ のスピン模型の導出と解析 (桃井, 古川, Sindzingre)

フラストレート磁性体・ボルボサイト $\text{Cu}_3\text{V}_2\text{O}_7(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_2$ を、単結晶の結晶構造を用いて第1原理計算を行い、スピン相互作用を評価した。その結果、3つの隣接するスピンの強く相互作用し、トライマーを作る磁性体になっていることが分かった。このモデルからスタートして、低温におけるスピン有効模型を導出した。このスピン模型は、磁化 1/3 に広い磁化プラトールを持ち、実験で観測されている 1/3 磁化プラトールを良く再現する。磁化 1/3 以下の領域は、空間異方性を持つ正方格子上の $J_1\text{-}J_2\text{-}J_2'$ 模型で記述されることが分かった。この模型は、磁化 1/3 の磁場直下においてマグノン対の凝縮によるスピン・ネマティック相を持つ。実験で磁化 1/3 の直下に新奇な相が観測されており、この相がネマティック相であると予想した。

12. パイロクロアイリジウム酸化物の第一原理計算 (小野田)

相対論的ノンコリニア局所スピン密度汎関数に基づいた第一原理計算によって、パイロクロアイリジウム酸化物群 $A_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ (ただし、 A は希土類イオン Pr, Nd, Sm, Eu, および、Y) を解析した。構造最適化の後に、反強磁性磁気秩序モーメント、電荷ギャップ、Weyl 点の存在の有無について、オンサイトクーロン相互作用 U に対する依存性を詳細に調べた。どの物質においても、 U を大きくするにつれて、

常磁性半金属から all-in, all-out 反強磁性 Weyl 半金属、all-in, all-out 反強磁性絶縁体へ逐次相転移することを示した。Pr から Eu, Y と、イオン半径が小さくなるごとに、反強磁性転移、および、金属絶縁体転移が生じる U の値が減少する。これは実験で観測されている傾向を定性的に説明する。

13. スピネルイリジウム酸化物に対する第一原理計算 (小野田)

エピタキシャル薄膜 Ir_2O_4 を相対論的ノンコリニア局所スピン密度汎関数に基づいた第一原理計算によって結晶構造・電子構造を解析した。特に、仮想的な立方晶バルク物質の場合、正方晶の基板 $\text{MgO}(001)$ を用いた場合、六方晶の基板 $\text{LiNbO}_3(0001)$ を用いた場合について、構造最適化を行い、局所クーロン相互作用 U の効果を調べた。その結果、いずれの場合も 1.5eV 程度以上の U によって金属絶縁体転移が生じ、2-in,2-out に近い磁気構造を安定化する強磁性的相互作用が得られた。

14. モンテカルロ計算による量子スピンアイス系 $\text{Tb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ の磁氣的性質の解析 (小野田)

パイロクロア格子を構成する Tb^{3+} イオンの磁氣的非クラマース二重項に対して、一般的な最近接擬スピン $1/2$ 模型を量子モンテカルロ法によって解析し、実験的に観測された磁化率の温度依存性を説明する相互作用変数を見出し、比熱、磁化曲線などに対する古典モンテカルロ計算と実験値との比較などとともに、 $\text{Tb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ に対する相互作用変数を同定した。

15. 水素結合を含む分子性導体の第一原理計算による研究 (妹尾)

水素結合が電子状態と結合した、近年開発された新規分子性導体系に対する第一原理計算による研究を行った。従来の分子性導体と違い、絶縁層が存在しないため擬 2 次元ながら層間方向のバンド分散もある程度存在することがわかった。強束縛モデルを構築し、実験で観測されているモット絶縁体化の起源や、スピン液体的な振る舞いの背景を議論した。また、水素の変位と電荷密度変化が協調的に働く、水素結合に起因する特殊な相転移の可能性を指摘した。

16. 電荷フラストレーションと格子自由度の結合による光誘起相転移 (妹尾)

異方的三角格子上の相互作用するスピンレスフェルミオン系にホイルスタイン型古典格子自由度を結合させたモデルを用いて、電荷フラストレーションと格子自由度が織りなす光誘起ダイナミクスを調べた。パルスポンプ光を照射した後の系の実時間発展を、厳密対角化法を用いて解析した結果、ストライプ型電荷秩序が融解し、特徴的な過渡時間領域を経たのち 3 倍周期の電荷秩序状態へ変化する特異な光誘起相転移現象を見出した。

17. 非従来超伝導系・超流動系における自己無撞着ソリトン動力学 (高橋)

超伝導体中の準粒子励起や秩序変数の記述には、ボゴリューボフ・ドジャン方程式と自己無撞着条件としてのギャップ方程式が用いられる。ギャップ方程式まで含む厳密解を得るのは通常困難であるが、一次元系においては古典可積分系の技巧を拡張することで解が構成できる。特に最近、ソリトンの時間発展の厳密解が物性と素粒子の双方で注目を集めている。我々は解の構成理論を、トリプレット p 波等の非従来超伝導体・超流体や冷却原子気体系における $\text{SU}(n)$ -対称フェルミ粒子系を含む多成分系へと一般化した。そして、多成分系に特有のスピンダイナミクスや、ソリトンに付随するマヨラナ粒子の振舞いを明らかにした。

18. 位相フラストレーションを持つ複数バンド超伝導体における揺らぎの効果 (Bojesen)

複数の超流動成分を持つ超伝導体における成分間の位相のフラストレーションは、新奇なトポロジカル励起や相を生み出す可能性がある。この研究で、このような超伝導における揺らぎの効果を、ギンツブルグ-ランダウ模型を用い、平均場近似法、クラスター平均場近似、および大規模モンテカルロ計算により調べた。その結果、通常ゆらぎの効果は無視できると思われる 3 次元において、ゲージ場の揺らぎが新奇なカイラル金属状態を引き起こすことを発見した。

Key Sentence:

1. Understand universal properties of materials
2. Understand diversities of materials
3. Find a new state of matter
4. Understand phase transitions

Key Words:

strongly-correlated electron systems, magnetism, superconductivity, novel quantum orders, quantum phase transitions, topological insulators, Anderson localization

Outline

Main aims of our research are to discover theoretically novel properties of materials and understand them from microscopic theory (quantum and statistical physics). Many-electron systems go into ordered phases with spontaneous symmetry breaking at low temperatures. Typical examples are superconductivity and magnetism of strongly-correlated electron systems in transition-metal or rare-earth oxides and molecular conductors, and these are our major research subjects.

However, in strongly-frustrated quantum spin systems such as triangular, kagome, and pyrochlore antiferromagnets, exotic quantum states without conventional magnetic order are expected to emerge. For example, we have recently studied spin liquids, spin nematic states, and chiral ordered states. In addition, we study novel topological states of matter: topological insulators and superconductors, and other symmetry protected topological states.

1. **Classification of topological insulators and superconductors with quartic interactions** (Furusaki, Mudry)

According to the classification of gapped noninteracting fermions, at each spatial dimension, 3 symmetry classes have topological phases with an integer (\mathbb{Z}) topological index while 2 symmetry classes have topological phases with a \mathbb{Z}_2 topological index. Using nonlinear sigma models, we have shown that in general, at odd spatial dimensions, quartic contact interactions reduce \mathbb{Z} classifications to \mathbb{Z}_n classifications, where n is an integer depending on the spatial dimension and symmetry.

2. **Anderson localization of Dirac fermions with random mass** (Furusaki, Mudry)

We have studied Anderson localization of Dirac fermions with random mass, as a model for disordered topological insulators and superconductors and determined generic phase diagrams for one, two, and three dimensions. This problem is a generalization of plateau transitions in integer quantum Hall systems in two dimensions.

3. Dirac and Weyl semimetals protected by nonsymmorphic symmetries (Bojesen, Furusaki)

In crystalline systems with strong spin-orbit interaction, energy bands do not touch in the Brillouin zone under time reversal and inversion symmetries, and thus additional symmetries are needed for the band touching to be ensured. We studied the topological protection of point and line nodes in 3D Dirac and Weyl semimetals by nonsymmorphic symmetries. We have found that a special kind of nonsymmorphic symmetries, dubbed type-II nonsymmorphic symmetries, together with inversion and time reversal symmetry, plays a central role in protecting these structures, providing them with a nontrivial, integer topological charge. We also studied the surface states of such systems. This was done by analytical ($k \cdot p$ Hamiltonian analysis, K-theory) and numerical (tight binding modelling) means.

4. Classification of symmetry protected topological phases with reflection symmetry (Yoshida, Furusaki)

Topological crystalline insulators such as SnTe are protected by reflection symmetry. Recently, the concept of topological insulators is extended to a symmetry protected topological (SPT) phase which can be realized in correlated systems including boson and spin systems. In this study, by employing Chern-Simons approach, we have addressed classification of SPT phases with reflection symmetry and proposed a spin model having SPT phases with reflection symmetry. We have also analyzed instability of boundary gapless modes in topological crystalline insulators with reflection symmetry in the presence of electron correlations.

5. Finite-temperature effects on topological Kondo insulators (Yoshida)

In these years, SmB_6 , a representative example of Kondo insulators, has been proposed as a topological Kondo insulator. This system is expected to show novel phenomena due to electron correlations and topologically nontrivial properties and is extensively studied experimentally and theoretically. Most of these theoretical studies, however, are restricted to zero temperature, and temperature effects relevant for experiments have not been studied yet. We have analyzed the Kane-Mele-Kondo lattice model using dynamical mean field theory. Our study elucidates restoration of topological properties at finite temperatures which are destroyed due to the Kondo effect at zero temperature.

6. Bound state in magnet/superconductor system (Nakosai)

The effect of local magnetic field with a particular spatial structure such as a skyrmion on superconducting systems is discussed. We find that some of scattered states are trapped around the core of the skyrmion which are similar to well-known Shiba states. However, those two are different

in that wavefunctions of the newly found trapped states has power-law behavior. We point out that these states could be experimentally observed by using spin-polarized STM measurement.

7. Modulation in the phase of superconducting order parameter in Kitaev ladder (Nakosai)

We investigate the two Kitaev chains put in parallel, i.e., Kitaev ladder. The π -junction between the Majorana bound states at the ends of the chains competes with the usual Josephson coupling along the chain, and this frustration leads to the modulation of the phase difference of the superconducting order parameter. We show that this modulation gives doubly degenerate ground states, which can be manipulated by external electric and magnetic fields. They can probably be used as implementation of qubits.

8. Dynamical properties of the $S = 1/2$ triangular-lattice antiferromagnet $\text{Ba}_3\text{CoSb}_2\text{O}_9$ (Kamiya)

We employed the nonlinear spin-wave theory on the quasi-2D triangular-lattice XXZ Hamiltonian of the easy-plane type to be compared with the recent inelastic neutron-scattering experiments on $\text{Ba}_3\text{CoSb}_2\text{O}_9$ performed by our collaborators. This compound is an equilateral triangular-lattice pseudospin-1/2 compound without Dzyaloshinskii-Moriya interactions up to several lattice spacing, thus providing an ideal opportunity to investigate the triangular-lattice antiferromagnetic Heisenberg model, a paradigmatic frustrated quantum system. We found that the magnon spectrum is strongly renormalized by interaction effects. More importantly, we also found that the large- S approximation, which is conventionally employed to predict magnon decay in non-collinear magnets, is inadequate to explain the new experimental observation of spectral broadening. Thus, our results call for a new theoretical framework for describing excitation spectra in low-dimensional frustrated magnets under strong quantum effects.

9. Three-dimensional crystallization of vortex strings in frustrated quantum magnets (Kamiya)

We demonstrated that frustrated exchange interactions can produce exotic 3D crystals of vortex strings near the saturation field of body- and face-centered cubic Mott insulators. The combination of cubic symmetry and frustration leads to a magnon spectrum of the fully polarized spin state with degenerate minima at multiple non-coplanar \mathbf{Q} vectors. This spectrum becomes gapless at the saturation field and the induced magnetic ordering can be formally described as a condensate of a dilute gas of bosons. By expanding in the lattice gas parameter, we found that different vortex crystals span sizable regions of the phase diagrams for isotropic exchange and are further stabilized by symmetric exchange anisotropy.

10. Novel phases in a square-lattice frustrated ferromagnet (Momoi, Sindzingre, Shannon)

We explore some of the new phases which arise in a model with frustrated ferromagnetic interactions, the J_1 - J_2 - J_3 Heisenberg model on the square lattice. Using a combination of classical Monte-Carlo simulation and spin-wave theory, we uncover behavior reminiscent of some widely-studied frustrated antiferromagnets, but with a number of new twists. We first demonstrate that, for a suitable choice of parameters, the phase diagram as a function of magnetic field and

temperature is nearly identical to that of the Heisenberg antiferromagnet on a triangular lattice, including the 1/3-magnetisation plateau. We then examine how this phase diagram changes when the model is tuned to a point where the classical ground-state is highly degenerate. In this case, two new phases emerge: (i) a classical, finite-temperature spin-liquid, characterized by a "ring" in the spin structure-factor $S(q)$, and (ii) a vortex crystal, a multiple-Q state with finite magnetization, which can be viewed as an ordered lattice of magnetic vortices.

11. Magnetic behavior of volborthite $\text{Cu}_3\text{V}_2\text{O}_7(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_2$ determined by coupled trimers (Momoi, Furukawa, Sindzingre)

Motivated by recent experiments on volborthite single crystals showing a wide 1/3-magnetization plateau, we perform microscopic modeling by means of density functional theory (DFT) with the single-crystal structural data as a starting point. Using DFT+U, we find four leading magnetic exchanges: antiferromagnetic J and J_2 , as well as ferromagnetic J' and J_1 . Simulations of the derived spin Hamiltonian show good agreement with the experiment. The 1/3-plateau phase pertains to polarized magnetic trimers formed by strong J bonds. An effective $J \rightarrow \infty$ model shows a tendency towards condensation of magnon bound states preceding the plateau phase.

12. First-principles calculations of pyrochlore iridates (Onoda)

Pyrochlore iridium oxides $A_2\text{Ir}_2\text{O}_7$, with A being rare-earth elements like Pr, Nd, Sm, and Eu, and Y, were studied by first-principles calculations based on the relativistic noncollinear local spin density functional. Using the optimized crystal structure for each case, the dependence of the antiferromagnetic ordered moment, the charge gap, and the presence or absence of Weyl points in the Ir bands on the on-site Coulomb interaction U was examined in detail. It was found that with increasing U , all the above materials showed successive transitions from paramagnetic semimetal through all-in, all-out antiferromagnetic Weyl semimetal to all-in, all-out antiferromagnetic insulator. With decrease in the ionic radius from Pr to Eu and to Y, the critical U values of the antiferromagnetic transitions and the metal-to-insulator transitions decrease, in qualitative agreement with the experimentally observed tendency.

13. First-principles calculations of spinel iridates (Onoda)

The epitaxial thin film material Ir_2O_4 was studied by first-principles calculations based on the relativistic noncollinear local spin density functional. In particular, the stable crystal structures and the dependence of the electronic structure on the on-site Coulomb repulsion U were investigated in a hypothetical cubic bulk case and in the cases grown on the tetragonal and rhombohedral substrates of MgO (001) and LiNbO_3 (0001), respectively. It was found that a metal-to-insulator transition occurs at $U \sim 1.5$ eV and the Ir moments interact with each other by an interaction strength of a few to tens meV, depending on the value of U , so that they orient in a 2-in, 2-out like ordered structure.

14. Analysis of magnetic properties of $\text{Tb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ by Monte-Carlo calculations (Onoda)

A generic nearest-neighbor pseudospin-1/2 model for non-Kramers magnetic doublets of Tb^{3+} ions on the pyrochlore lattice was analyzed by means of the quantum Monte-Carlo method. We obtained exchange coupling parameters that explain the temperature dependence of the magnetic susceptibility. Together with comparison between classical Monte-Carlo calculations and experiments on the specific heat and the magnetization curve, a plausible set of exchange coupling constants was identified.

15. First-principles study of hydrogen-bonded molecular conductors (Seo)

We have studied a newly synthesized system of molecular conductors which contain hydrogen-bonding using first-principles calculations. In contrast with conventional molecular conductors, they do not have insulating layers, which is reflected in their quasi-two-dimensional electronic structure with relatively large interlayer dispersion. A tight-binding model is constructed whose parameter values are evaluated; relations with the observed Mott insulating and spin liquid behaviors are discussed. Moreover, we have pointed out a possible phase transition owing to the hydrogen-bonding, where a hydrogen displacement and charge disproportionation occur in a cooperative way.

16. Photo-induced phase transition due to charge frustration and coupling to lattice (Seo)

We have studied photo-induced dynamics of an interacting spinless fermion system on a triangular lattice coupled with Holstein-type classical lattice degrees of freedom. Real-time evolution of the system after irradiating a pump-photon pulse is analyzed by the exact diagonalization method. We find that a stripe-type charge order is melted and converted to a 3-fold charge ordered state, through a characteristic intermediate time domain.

17. Self-consistent soliton dynamics in unconventional superconductors and superfluids (Takahashi)

The order parameters and quasiparticle excitations in superconductors or fermionic superfluids are described by the Bogoliubov-de Gennes equation and the gap equation as a self-consistent condition. While it is generally a difficult task to obtain an analytical solution satisfying the self-consistency, in one-dimensional systems, we can construct a solution using the techniques of classical integrable systems. In particular, the time-dependent multi-soliton dynamics is a recent hot topic both in condensed-matter and high-energy physics. We generalized the theory to multi-component systems, including triplet p-wave superfluids and $SU(n)$ -symmetric fermions in ultracold atoms, and revealed various kinds of spin dynamics and behaviors of Majorana fermions localized around solitons.

18. Fluctuation effects in phase-frustrated multiband superconductors (Bojesen)

Superconductors with multiple superconducting components may experience inter-component phase frustration, which can lead to novel topological excitations and phases not found in conventional (single component) superconductors. In this work, we investigated the effect of

fluctuations in such superconductors by means of mean-field calculations, cluster mean field calculations and large scale Monte Carlo simulations on a Ginzburg-Landau model. We found that in 3 dimensions, where fluctuation effects are usually considered negligible, gauge field fluctuations are crucial in bringing about a novel chiral metallic state. Hence a conventional mean field (BCS) approach does not give the correct description of the physics in these systems.

Principal Investigator

古崎 昭 Akira Furusaki

Research Staff

桃井 勉 Tsutomu Momoi

小野田 繁樹 Shigeki Onoda

妹尾 仁嗣 Hitoshi Seo

Troels Bojesen

紙屋 佳知 Yoshitomo Kamiya

高橋 大介 Daisuke Takahashi

中河西 翔 Sho Nakosai

吉田 恒也 Tsuneya Yoshida

Assistant and Part-timer

網代 雅代 Masayo Ajiro

Visiting Members

古川 俊輔 Shunsuke Furukawa

引原 俊哉 Toshiya Hikihara

伊豆山 健夫 Takeo Izuyama

加藤 康之 Yasuyuki Kato

久保 健 Kenn Kubo

求 幸年 Yukitoshi Motome

二宮 正夫 Masao Ninomiya

野村 健太郎 Kentaro Nomura

笠 真生 Shinsei Ryu

坂井 徹 Toru Sakai

佐藤 正寛 Masahiro Sato

進藤 龍一 Ryuichi Shindou

堤 康雅 Yasumasa Tsutsumi

上田 宏 Hiroshi Ueda

Konstantin Matveev

Christopher Mudry

Nicholas Shannon

Philippe Sindzingre