

# 1 物性理論

## 1.1 青木研究室

青木研では一貫して、超伝導に代表される多体効果や、トポロジカル系の理論を主眼に研究を行っている。これらの現象では、電子相関（電子間斥力相互作用のために生じる量子効果）によりゲージ対称性が自発的に破れたり、トポロジカル系特有な新奇現象が起きる。面白い物質構造から面白い物性物理を探る物質設計も目指している。さらに、強相関係やトポロジカル系において、非平衡で生じる顕著な物性を探ることを最近の大きな柱としている。

### 1.1.1 超伝導

#### 銅酸化物高温超伝導体 — 物質依存性

鉄系など、高温超伝導のファミリーが増えているが、いまだに最高の  $T_C$  をもつのは銅酸化物であり、これを現在の視点で探索するのは意味が大きい。銅酸化物には様々な化合物があり、実験的に  $T_C$  は大きな物質依存性をもつ。特に、良くネストしたフェルミ面をもつ物質が理論的には高い  $T_C$  をもつはずなのに、実験事実は逆であるという矛盾が長年の謎となっていた。榊原、臼井、黒木（阪大）、有田（東大工）と青木等は、銅酸化物を、通常考えられている  $dx^2 - y^2$  軌道に加え  $dz^2$  軌道をあらわに考慮した 2 軌道模型として捉えた。これにより、超伝導を有利化するには単一バンド性が強いことが重要であり、これがネスティングの効果を凌駕し、物質依存性を説明することを明らかにしてきた。本年度は、さらにこれを、1 層および 2 層構造の多種の銅酸化物に適用し、上記の描像が成立し、多種の銅酸化物の実験的  $T_C$  と驚くほどよく一致することを系統的に示した。[2]。このような「軌道純化」により、現存の銅酸化物以上に高い転移温度を持つ物質の設計につながる可能性も探っている。

#### 強相関係に対する DMFT+FLEX 法の提案と Hubbard 模型への応用

銅酸化物高温超伝導体の相図で最も顕著な特徴の一つは、電子の band filling に対して  $T_C$  が上に凸 (dome 状) になることであるが、満足行く説明はあまりない。2次元斥力 Hubbard 模型における d 波超伝導に対しては、従来しばしば用いられてきた揺ら

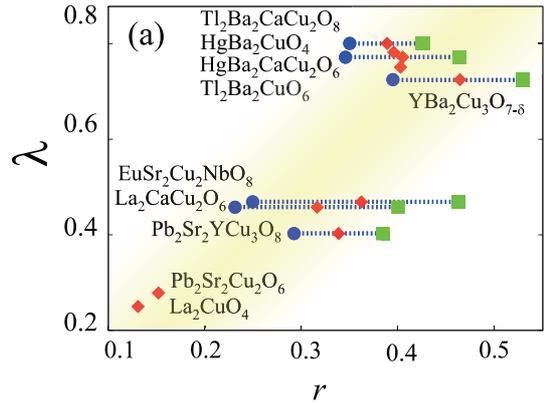


図 1.1.1: 超伝導  $T_C$  の指標 (Eliashberg 方程式の固有値  $\lambda$ ) と、nesting の悪さの指標 ( $r$ ) の関係を、様々な高温超伝導銅酸化物に対してプロット [2]。

ぎ交換 (FLEX) 近似は、反強磁性的なスピン揺らぎに媒介されるペアリング相互作用など運動量依存の相互作用を記述できるが、母物質の Mott 絶縁相を記述できず、 $T_C$  ドームも記述できない。他方、Mott 絶縁相を記述できる動的平均場理論 (DMFT) を出発点としたクラスター拡張により Hubbard 模型が調べられているが、そこでは非常に小さなクラスターしか扱えない。そこで北谷、辻、青木は、DMFT の新しい拡張として DMFT と FLEX を組み合わせて、自己無撞着なループを構成することにより、局所的なダイアグラムの寄与を DMFT で、非局所的なダイアグラムの寄与を FLEX で取り込む方法を新たに提案した [32, 33, 34, 35, 49]。この手法を 2 次元 Hubbard 模型に適用した結果、 $T_C$  のドーム構造が得られた。これは、FLEX で overestimate されていた自己エネルギーが DMFT で補正される際の filling 依存性から生じる。

#### 電子・格子相互作用系における超固体と量子臨界点

強い電子間斥力と強い電子・格子相互作用が共存する系では多彩な量子相が実現され得る [14]。後者の電子・格子 (フォノン) 相互作用だけを考えても固体物理の基本的問題であるが、その相図の全貌は意外にもあまり明らかでなかった。村上、Werner (Fribourg 大)、辻、青木は、電子・格子相互作用をもつ最も単純なモデルの一つである Holstein 模型の秩序相 (反強磁性、電荷秩序、超伝導) の性質を、秩序まで考慮した DMFT により初めて扱った。これにより、電子が half-filling からずれた場合には、相図のかなり広い領域で超固体 (supersolid; 超伝導のような非対角長距離秩序と、電荷秩序のような対角長距離秩序が共存する状態) が現れることを見出した。[4, 27]。しかも、超固体相と超伝導相の境目は絶対零度で量子臨界点となることも見出された。興味深いことに、超固体相は、電子・格子相互作用が弱い BCS 極限と、それが強い BEC 極限の間のクロスオーバー領域に

存在する。直感的には、この領域では、多フェルミオンが同時に移動する高次プロセスが超固体発現に寄与する。

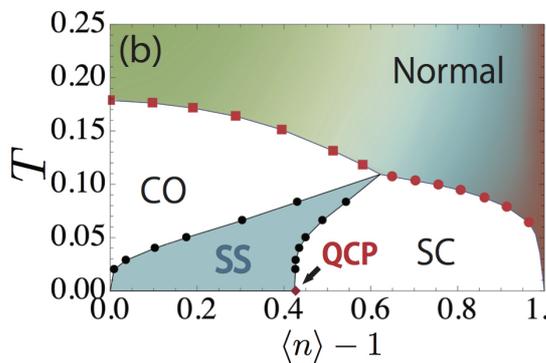


図 1.1.2: 電子・格子相互作用系における、電子 band filling  $n$  と温度  $T$  に対する相図 [4]。記号は、SC (超伝導)、SS (超固体)、CO (電荷秩序)、QCP (量子臨界点)。

### 1.1.2 トポロジカル系

#### 光学格子上の冷却原子系に対する 第一原理バンド計算とトポロジカル相

近年、強相関電子系の物理と冷却原子系 (特に光学格子) の物理が啓発し合い発展している。前者に対しては電子状態計算法は確立しているが、冷却原子系に対する第一原理計算法の構築が望まれる。北村等は、この観点から、前者が長距離クーロン相互作用系に対するものであったのに対し、原子間短距離相互作用に対する定式化を、特にスピン構造について制限の無い場合に拡張し、これを様々な格子構造に適用した。[8, 36, 37, 38, 39] これにより、checkerboard 格子等、トポロジカル Mott 絶縁体 (電子相関のために自発的にトポロジカルになる相) を発生させるためにはどのような条件が必要であるかを、第一原理的に同定し、これに要するレーザーの当て方を与えた。

#### グラフェンの量子ホール効果とカイラル対称性

グラフェンの蜂の巣格子は massless Dirac 粒子のバンド分散 (Dirac cone) をもつために興味深い [15, 16]。Massless Dirac 粒子特有なことから、磁場中では丁度ディラック点に  $N = 0$  ランダウ準位が存在し、これがグラフェン量子ホール効果の特徴となる。河原林 (東邦大)、初貝 (筑波大)、青木等は、不規則性を入れたときにも、不規則性がカイラル対称性を尊重すれば、この準位はデルタ関数的にシャープであり、この性質はトポロジカルに保護されている

ことを示してきた。本年度は、この解析を、さらに一般的な、ディラック・コーンが傾いており、かつ質量をもつ (ギャップがある) 場合に拡張した。その結果、問題のランダウ準位は質量項のために分裂するにもかかわらず、デルタ関数的なままでいることが、数値的および解析的に示された [6, 51]。物理的には、質量項はカイラル対称性を崩すが、 $N = 0$  ランダウ準位の部分空間内では波動関数はカイラル演算子の固有状態であり続け、質量ゼロの場合とは或る非ユニタリ変換で結ばれている。

#### グラフェンにおける第二トポロジカル量子数

グラフェンは、ディラック粒子特有のトポロジカルな Chern 数 (量子ホール効果) をもつのが最大の特徴の一つである。一般に、格子構造を反映した量子ホール系を記述する TKNN 方程式には、量子ホール Chern 数以外に第二のトポロジカル量子数が現れ、その意味は Středa 等により、或る種の分極を表すことが示されていた。青木、初貝は、このトポロジカル量子数が、グラフェンにおいて特徴的に振る舞うことを見出し、分極トポロジカル量子数は Dirac cone 当たり  $1/2$  (K 点と  $K'$  点をもつ蜂の巣格子全体として 1) であることを示した [5]。

#### シリセンのバンド構造のトポロジカルな解析

グラフェンのシリコン版であるシリセンのバンド構造においては、 $sp^2$  混成軌道が支配するグラフェンと異なり、 $sp^3$  軌道が混じり、これがフェルミ面付近に多軌道性をもたらす。初貝、白石 (名古屋大)、青木は、3 次元の  $sp^3$  混成バンドを記述する基本的な模型である Weaire-Thorpe 模型を拡張することによりシリセンの電子構造を解析的に記述した [7, 52]。Weaire-Thorpe 模型は平坦バンドをもつが、これはシリセンでも幅の狭いバンドとして名残り、ディラック・コーンをもつバンドと共存する。この意味で、シリセンのバンド構造の全体をトポロジカルにとらえることが可能であり、実際 Takeda-Shiraishi により最初に求められた第一原理バンド構造と、バンドの幅や順序を含めて、定性的に整合する。

### 1.1.3 非平衡

非平衡現象は、強相関電子系やトポロジカル系において特に興味深い。本年度は以下を行った。

#### 非平衡動的平均場、動的クラスター理論

非平衡動的平均場理論は、強相関量子多体系の非平衡ダイナミクスを解析する有力な理論手法として確立してきている。強相関系の格子モデルを 1 サイトの不純物問題に置き換えることでシステムサイズ無限の熱力学極限を扱うことができ、弱結合から強

結合の系まで、また長時間の時間発展を計算できるのが特徴である。青木、辻は、Eckstein (Hamburg 大)、Kollar (Augsburg 大)、岡、Werner と、最近の非平衡動的平均場理論の進展をまとめたレビュー論文を出版した [9]。

非平衡動的平均場理論の限界は、空間的に非局所的な相関効果を見逃すことにある。これは格子モデルの次元が大きいときは妥当であるが、次元が下がるにつれて無視できなくなる。そこで辻、青木は、Barmettler (Genève 大)、Werner と、非局所相関を取り込める**非平衡動的クラスター理論**を提案した [12, 42]。これにより、2次元系では波数空間で非一様に熱平衡への緩和が起こることを示した。

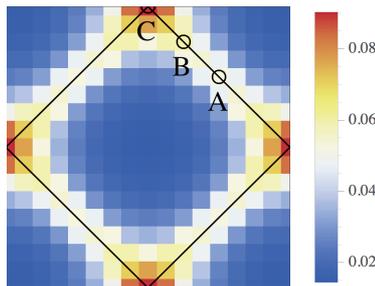


図 1.1.3: 斥力 Hubbard 模型における、運動量で分解した非平衡緩和時間。実線はフェルミ面。[12]

### フロケ・トポロジカル相転移

グラフェンに円偏光を当てるとトポロジカル絶縁体状態がダイナミカルに発現することが岡、青木により示されて以来、**フロケ (Floquet) トポロジカル絶縁体**が注目を集めており、最近ではトポロジカル絶縁体の表面に存在するディラック分散や蜂の巣光学格子上の冷却原子系において観測されている。外場が十分弱い領域では有効ディラック模型を使ってよく理解されているが、外場が強い場合、および電子間相互作用がある場合にどうなるかは分かっていなかった。見上、安田、辻、北村、岡、青木は Floquet 動的平均場理論を用いて、様々な格子模型に円偏光を印加したときの電子状態を計算した [50, 53, 54]。その結果、外場の振幅を増加させていくとトポロジカル状態を特徴付ける Chern 数が増え、トポロジカルトポロジカル相転移が起きることがわかった。この現象は、外場の周波数  $\Omega$  に関して  $1/\Omega$  展開を系統的に行うことで統一的に理解することができる。また、相互作用を導入すると Floquet トポロジカル絶縁体からモット絶縁体に転移する。これらの相転移の様子を、外場の振幅と相互作用の強さを軸にとった相図を作ることで明らかにした。

### 非平衡電子・格子相互作用系における電子の緩和とフォノンの緩和

電子・格子相互作用系を非平衡にして、その後の時間発展を追ったときに、電子とフォノンがそれぞれどのように緩和するかは、基本的な問題である。特に、電子に対する非平衡自己エネルギーと、フォノンに対する非平衡自己エネルギーは自己無撞着に結合しているはずであり、このフィードバックが緩和に影響すると考えられる。この観点から、村上、Werner、辻、青木は、電子・格子系の最も基本的なモデルである Holstein 模型の相互作用クエンチ後の緩和現象を非平衡動的平均場 (DMFT) を用いて解析した。その結果、電子・格子相互作用を弱結合から中間結合に増やすにつれて、フォノンの方が速く緩和する領域から、電子の方が速く緩和する領域へのクロスオーバーが見出された [3, 28, 29, 30, 31, 55, 56]。この**熱化クロスオーバー**の原因は、電子・格子結合への依存性が電子とフォノンの自己エネルギーにおいて異なることから来ており、良く用いられる 2 温度モデルは不適といえる。

### 超伝導体における Higgs モード共鳴

超伝導体は、秩序パラメーターの振幅 (すなわち超流動密度) の集団的な振動モードである **Higgs モード** をもつ。Higgs モードは電荷、分極、磁荷などをもち、線形応答の範囲では電磁場と結合しないため、実験による観測が困難であった。辻、青木は、非線形応答まで考慮するとヒッグスと電磁場が結合することに注目し、周波数  $\Omega$  の光を照射すると周波数  $2\Omega$  で s 波超伝導体の秩序パラメーターを強制振動させられることを見出した。また、 $2\Omega$  が Higgs モードの固有周波数である  $2\Delta$  (超伝導ギャップ) と一致するときに共鳴が起こり、秩序パラメーターの振動の振幅および三次高調波が共鳴的に発散することを示した [11, 40, 41, 58]。これらの Higgs モード共鳴の現象は、島野、松永、藤田、杉岡 (東大理) 等によるテラヘルツ光の実験により観測された [10, 23, 43]。さらに、d 波超伝導体の Higgs モードを平均場近似的な範囲で理論的に調べ、アンチノードでのギャップの最大値付近に幅の広い Higgs モードの共鳴ピークが存在することを示した [24, 40, 57]。

### 非平衡量子スピン系

光誘起相転移は、従来は殆ど電子系に対して研究されてきた。一方、量子スピン系においては、直接スピンをレーザー光照射によってコヒーレントに制御する方法については未開拓であった。高吉 (物材機構)、青木、岡は、円偏光レーザーを量子スピン系 (異方的な  $S = 1$  反強磁性 XXZ 模型) に照射すると、その磁場成分 (回転磁場) が  $xy$  面内のときに、 $z$  方向に磁化が誘起される、という新現象を見出した [13]。この磁化誘起の機構は、多体 Floquet 法を量子スピン系に初めて適用することにより、基底状

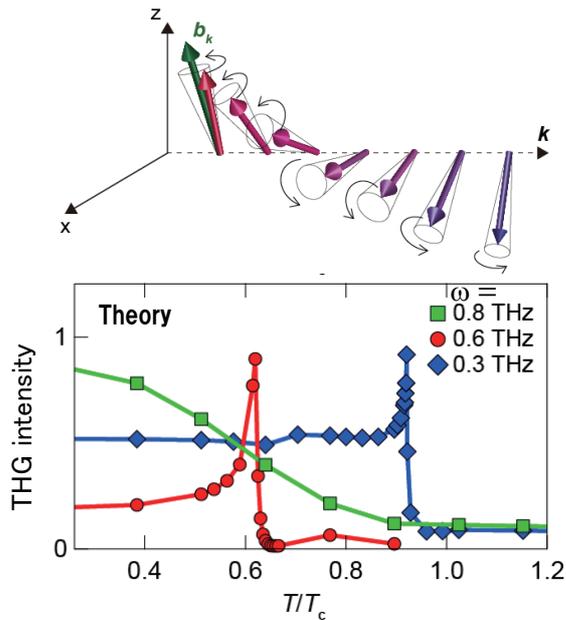


図 1.1.4: (上) 超伝導体を記述する Anderson 擬スピンの歳差運動。(下) ヒッグス共鳴により発生する三次高調波の強度を温度に対してプロット [10]。

態と磁化状態の Floquet 準位がレーザー照射によって共鳴するためであることが示された。これは、量子力学的スピン系に新たな非平衡物理の可能性を拓くと期待され、必要なレーザーは THz 領域と見積られる。

#### 1.1.4 その他

青木研助教の辻直人氏は 2014 年度末をもって理化学研究所に転出した。青木研で理論演習を行った山田昌彦氏が理学部学修奨励賞を受賞した。青木が M. S. Dresselhaus と共に編集したグラフェンの本が出版された [15]。青木は細野 (東工大) と鉄系超伝導体についての解説を執筆した [17]。青木は、国際会議招待講演で、超伝導 [18]、超伝導体におけるヒッグス・モード、[19, 21]、非平衡誘起トポロジカル系 [20, 22] について解説し、セミナー講演も行った [44, 45, 59, 60, 61, 63, 64, 65]。また、辻は超伝導体におけるヒッグス・モード等について講演を行った [24, 25, 26, 46, 47, 48, 62, 66, 67, 68]。

##### <受賞>

- [1] 辻直人、第 9 回日本物理学会若手奨励賞、日本物理学会 (2015 年 3 月)。

##### <報文>

(原著論文)

- [2] Hirofumi Sakakibara, Katsuhiko Suzuki, Hidetomo Usui, Satoaki Miyao, Isao Maruyama, Koichi Kusakabe, Ryotaro Arita, Hideo Aoki, and Kazuhiko Kuroki: Orbital mixture effect on the Fermi surface- $T_C$  correlation in the cuprate superconductors — bilayer vs single layer, *Phys. Rev. B* **89**, 224505 (2014).
- [3] Yuta Murakami, Philipp Werner, Naoto Tsuji and Hideo Aoki: Interaction quench in the Holstein model: Thermalization crossover from electron- to phonon-dominated relaxation, *Phys. Rev. B* **91**, 045128 (2015).
- [4] Yuta Murakami, Philipp Werner, Naoto Tsuji and Hideo Aoki: Supersolid phase accompanied by a quantum critical point in the intermediate coupling regime of the Holstein model, *Phys. Rev. Lett.* **113**, 266404 (2014).
- [5] Hideo Aoki and Yasuhiro Hatsugai: Polarization as a topological quantum number in graphene, *Phys. Rev. B* **90**, 045206 (2014).
- [6] Yasuhiro Hatsugai, Tohru Kawarabayashi and Hideo Aoki: Survival of sharp  $n = 0$  Landau levels in massive tilted Dirac fermions — Role of the generalized chiral operator, *Phys. Rev. B* **91**, 085112 (2015).
- [7] Y. Hatsugai, K. Shiraishi and H. Aoki: Flat bands in Weaire-Thorpe model and silicene, *New J. Phys.* **17**, 025009 (2015).
- [8] S. Kitamura, N. Tsuji and H. Aoki: An interaction-driven topological insulator in fermionic cold atoms on an optical lattice: A design with a density functional formalism, arXiv:1411.3345.
- [9] Hideo Aoki, Naoto Tsuji, Martin Eckstein, Marcus Kollar, Takashi Oka and Philipp Werner: Nonequilibrium dynamical mean-field theory and its applications, *Rev. Mod. Phys.* **86**, 779 (2014).
- [10] Ryusuke Matsunaga, Naoto Tsuji, Hiroyuki Fujita, Arata Sugioka, Kazumasa Makise, Yoshinori Uzawa, Hirotaka Terai, Zhen Wang, Hideo Aoki, and Ryo Shimano: Light-induced collective pseudospin precession resonating with Higgs mode in a superconductor, *Science* **345**, 1145 (2014).
- [11] Naoto Tsuji and Hideo Aoki: Theory of Anderson pseudospin resonance with Higgs mode in a superconductor, arXiv:1404.2711.
- [12] Naoto Tsuji, Peter Barmettler, Hideo Aoki and Philipp Werner: Nonequilibrium dynamical cluster theory, *Phys. Rev. B* **90**, 075117 (2014).
- [13] Shintaro Takayoshi, Hideo Aoki and Takashi Oka: Many-body Floquet theory of laser-induced phase transition in quantum magnets, *Phys. Rev. B* **90**, 085150 (2014).

(国際会議録 (一般発表))

- [14] Yuta Murakami, Philipp Werner, Naoto Tsuji, Hideo Aoki: Dynamical mean-field analysis of ordered phases in the half-filled Holstein-Hubbard model, *Proc. Int. Conf. Strongly Correlated Electron Systems (SCES2013)* [*JPS Conf. Proc.* **3**, 016023 (2014)].
- (編著書)
- [15] Hideo Aoki and Mildred S. Dresselhaus (eds.): *Physics of Graphene* (Springer-Verlag, 2014).
- [16] Yasuhiro Hatsugai and Hideo Aoki: Graphene — topological properties, chiral symmetry and their manipulation, in H. Aoki and M. S. Dresselhaus (eds.): *Physics of Graphene* (Springer-Verlag, 2014), Ch.7.
- (国外雑誌)
- [17] Hideo Aoki and Hideo Hosono: A superconducting surprise comes of age, *Physics World*, Feb. 2015, p.31.
- < 学術発表 >
- (国際会議)
- 招待講演
- [18] Hideo Aoki: Some topics in s-wave superconductors — QCP in the BCS-BEC crossover regime, Higgs modes, (*LEMSUPER Workshop*, Osaka, Apr 2014).
- [19] Hideo Aoki: Nonequilibrium physics in electron-phonon superconductors — thermalisation crossover and Higgs mode (*LEMSUPER Workshop*, Ushimado, 8 Nov 2014).
- [20] Hideo Aoki: Photo-induced Floquet topological insulator (*Int. Workshop "Topology in the New Frontiers of Materials Science"*, Tsukuba, Apr 2014).
- [21] Hideo Aoki: Nonequilibrium superconductors and topological systems (*Cooperation in Physics Workshop: Today-LMU*, Munich, 27 Oct 2014).
- [22] Hideo Aoki: Nonequilibrium in electron and cold-atom systems — thermalisation and topological properties (*Workshop on Nonequilibrium phase transitions in diverse physical systems*, Tokyo, 9 Dec 2014).
- [23] Ryo Shimano, Ryusuke Matsunaga, Yuki Hamada, Arata Sugioka, Hiroyuki Fujita, Kazumasa Makise, Yoshinori Uzawa, Hirotsugu Terai, Zhen Wang, Naoto Tsuji, and Hideo Aoki: Higgs Mode and Terahertz Nonlinear Optics in Superconductors, *19th Int. Conf. on Ultrafast Phenomena (UP2014)*, Okinawa, Jul 2014.
- [24] Naoto Tsuji: Higgs mode in conventional and unconventional superconductors, *A workshop on "Nonequilibrium phase transitions in diverse physical systems"*, Tokyo, Dec 2014.
- [25] Naoto Tsuji: Anderson pseudospin resonance with Higgs mode in superconductors, *New Horizon of Strongly Correlated Physics*, Kashiwa, Jul 2014.
- [26] Naoto Tsuji: Higgs mode and Anderson pseudospin resonance in superconductors, *Higgs modes in condensed matter and quantum gases*, Kyoto, June 2014.
- 一般発表 (会議録掲載以外)
- [27] Yuta Murakami, Philipp Werner, Naoto Tsuji and Hideo Aoki: Supersolid state and quantum critical point in the intermediate-coupling regime of an electron-phonon system, *SCES2014*, Grenoble, July 2014.
- [28] Yuta Murakami, Philipp Werner, Naoto Tsuji and Hideo Aoki: Non-equilibrium DMFT study of thermalization in an electron-phonon system *Ushimado Int. Workshop on Novel Superconducting Materials*, Okayama, Nov 2014.
- [29] Yuta Murakami, Philipp Werner, Naoto Tsuji and Hideo Aoki: Non-equilibrium DMFT study of thermalization in an electron-phonon system, *Int. Symposium on Compuitics: Quantum Simulation and Design*, Tokyo, Dec 2014.
- [30] Yuta Murakami, Philipp Werner, Naoto Tsuji and Hideo Aoki: Crossover in the thermalization process after an interaction quench in the Holstein model, *YKIS2014*, Kyoto, Dec 2014.
- [31] Yuta Murakami, Philipp Werner, Naoto Tsuji and Hideo Aoki: Dynamical mean-field analysis of non-equilibrium relaxation processes in an electron-phonon coupled system, *DSCS2015*, Tokyo, Mar 2015.
- [32] M. Kitatani, N. Tsuji, and H. Aoki, DMFT+FLEX approach to unconventional superconductivity, *American Physical Society March Meeting*, San Antonio, March 2015.
- [33] M. Kitatani, N. Tsuji, and H. Aoki, DMFT+FLEX approach for the phase diagram of d-wave superconductors, *Novel Quantum States in Condensed Matter 2014*, Kyoto, Nov 2014.
- [34] M. Kitatani, N. Tsuji, and H. Aoki, DMFT+FLEX approach to unconventional superconductors, *Int. Symposium on Compuitics: Quantum Simulation and Design*, Tokyo, Dec 2014.
- [35] M. Kitatani, N. Tsuji, and H. Aoki, DMFT+FLEX approach to anisotropic pairing superconductivity, *Int. Workshop on New Frontier of Numerical Methods for Many-Body Correlations*, Tokyo, Feb 2015.
- [36] Sota Kitamura, Naoto Tsuji, and Hideo Aoki: A density functional study of an interaction-driven Chern insulator realized on optical lattice systems, *Novel Quantum States in Condensed Matter 2014 (NQS2014)*, Kyoto, Nov 2014.

- [37] Sota Kitamura, Naoto Tsuji, and Hideo Aoki: A density functional design of an interaction-driven topological insulator in cold atoms on an optical lattice, *Int. Symposium on Computics - Quantum Simulation and Design*, Tokyo, Dec 2014.
- [38] Sota Kitamura, Naoto Tsuji, and Hideo Aoki: A density functional design of an interaction-driven Chern insulator for an optical lattice system, *Int. Conf. on topological quantum phenomena 2014 (TQP2014)*, Kyoto, Dec 2014.
- [39] Sota Kitamura, Naoto Tsuji, and Hideo Aoki: A density-functional design of an interaction-driven Chern insulator for an optical lattice system, *American Physical Society March Meeting*, San Antonio, Mar 2015.
- [40] Naoto Tsuji: Light-induced Higgs-mode resonance in s-wave and d-wave superconductors, *Dynamics of Strongly Correlated Systems, ISSP-MPIPKS Joint Workshop*, Kashiwa, Mar 2015.
- [41] Naoto Tsuji: Light-induced Anderson pseudospin resonance with Higgs mode in superconductors, *Nonequilibrium phenomena in novel quantum states (YKIS 2014)*, Kyoto, Dec 2014.
- [42] Naoto Tsuji: Nonequilibrium dynamical cluster approximation: non-local correlation and real-time dynamics, *Int. Symposium on Computics: Quantum simulation and design*, Tokyo, Dec 2014.
- [43] Ryusuke Matsunaga, Naoto Tsuji, Hiroyuki Fujita, Arata Sugioka, Hideo Aoki, and Ryo Shimano: Collective pseudospin precession in a superconductor NbN driven by sub-gap THz electric fields, *Low Energy Electrodynamics in Solids (LEES2014)*, Loire Valley, France, June 2014.
- (国内会議)
- 招待講演
- [44] 青木秀夫: 超伝導 — 理論的展望 (CMRC 研究会「超伝導研究の新展開」, KEK, 18 Nov 2014).
- [45] 青木秀夫: 非平衡強相関係に対する量子シミュレーション (ImPACT プロジェクト「量子人工脳を量子ネットワークでつなぐ高度知識社会基盤の実現」研究会、東京、2015年3月)。
- [46] 辻直人: 強相関電子系の非平衡相転移の理論的研究 (日本物理学会領域5 若手奨励賞受賞講演、東京、2015年3月)。
- [47] 辻直人: 超伝導体における「ヒッグス粒子」(第3回統計物理学懇談会、東京、2015年3月)。
- [48] 辻直人: 超伝導体における「ヒッグス粒子」の理論 (CMRC 研究会「超伝導研究の新展開 (鉄系+銅酸化物系+非平衡系)」、筑波、2014年11月)。
- 一般発表
- [49] 北谷基治、辻直人、青木秀夫: QMC ソルバーを用いた DMFT+FLEX 法による超伝導相図 (日本物理学会、愛知、2014年9月)。
- [50] 北村想太、辻直人、青木秀夫: 光学格子上の冷却原子系に対する密度汎関数法とトポロジカルモット絶縁相の設計 (日本物理学会、愛知、2014年9月)。
- [51] 河原林透、初貝安弘、青木秀夫: 傾いたディラック電子系における  $n=0$  ランダウ準位の異常性と staggered ポテンシャル (日本物理学会、愛知、2014年9月)。
- [52] 初貝安弘、白石賢二、青木秀夫: 拡張した Weaire-Thorpe 模型による silicene バンド構造解析—平坦バンドとディラックコーン (日本物理学会、東京、2015年3月)。
- [53] 青木秀夫: トポロジカル系における多体効果 — Floquet トポロジカル絶縁体, トポロジカル超伝導 (「トポロジカル相におけるバルク・エッジ対の普遍性: 固体物理から冷却原子まで」ワークショップ、筑波、2014年5月)。
- [54] 青木秀夫: 非平衡トポロジカル系 (「トポロジカル相におけるバルク・エッジ対の普遍性: 固体物理から冷却原子まで」ワークショップ、筑波、2015年2月)。
- [55] 村上雄太、Philipp Werner、辻直人、青木秀夫: 非平衡動的な平均場によるホルスタイン・モデルの解析—フォノンの非平衡緩和現象への役割 (日本物理学会、愛知、2014年9月)。
- [56] 村上雄太、Philipp Werner、辻直人、青木秀夫: 電子・格子系における非平衡超伝導の動的な平均場理論による解析 (日本物理学会、東京、2015年3月)。
- [57] 辻直人、青木秀夫: d波超伝導体におけるヒッグスモード: 平均場理論からのアプローチ (日本物理学会、東京、2015年3月)。
- [58] 辻直人、青木秀夫: 超伝導体におけるヒッグスモード共鳴の理論 (日本物理学会、愛知、2014年9月)。
- (セミナー (国外))
- [59] Hideo Aoki: Nonequilibrium — photo-induced topological insulator, Higgs mode in superconductors (Paul-Scherrer-Intitut, Villigen, 10 July 2014).
- [60] Hideo Aoki: Transition-metal vs carbon-based superconductors — a theoretical outlook (Paul-Scherrer-Intitut, Villigen, 11 July 2014).
- [61] Hideo Aoki: Transition-metal and carbon-based superconductors — their comparison and a Higgs amplitude mode (University of Fribourg, 17 July 2014).
- [62] Naoto Tsuji: Anderson pseudospin resonance with Higgs mode in superconductors (University of Fribourg, May 2014).
- [63] Hideo Aoki: Novel phenomena in nonequilibrium — photo-induced topological insulator and Higgs mode in superconductors (Heidelberg University, 30 Oct 2014).
- [64] Hideo Aoki: Nonequilibrium superconductors — thermalisation crossover and Higgs mode (Hamburg University, 3 Nov 2014).
- (セミナー (国内))

- [65] 青木秀夫: 超伝導 — 理論からの perspective (「超伝導コロキウム」, 25 Sept 2014).
- [66] Naoto Tsuji: Terahertz laser-induced Higgs-mode resonance in superconductors (物質材料研究機構セミナー、筑波、2015年1月)。
- [67] 辻 直人: 超伝導体におけるヒッグスモードと擬スピン共鳴 (新潟大学物性理論コロキウム、新潟、2014年8月)。
- [68] 辻 直人: 非平衡強相関係・超伝導理論の最近の進展 (光 FORUM 平成 26 年度第 2 回セミナー、東京、2014 年 6 月)。