

物性研だより

BUSSEIKEN DAYORI

第60巻

第3号

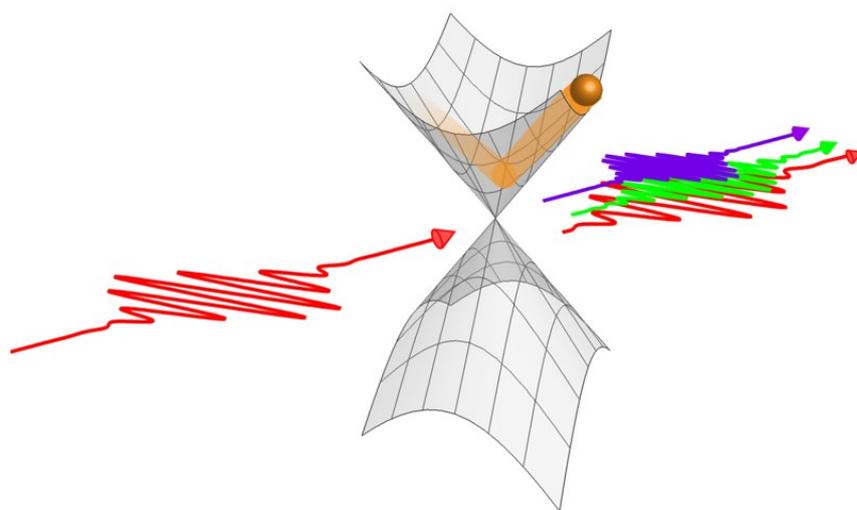
2020年10月

鉄系材料で室温・ゼロ磁場で世界最高の磁気熱電効果を実現

3次元ディラック半金属 Cd_3As_2 における
室温超高効率テラヘルツ高調波発生の観測

世界最強クラスの磁場により強相関絶縁体の金属化を発見

機械学習による物性理論の補強—機械学習交換相関汎関数の構築



東京大学 物性研究所

THE INSTITUTE FOR SOLID STATE PHYSICS
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright ©2020 Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo. All rights Reserved.

ISSN 0385-9843

contents

1 鉄系材料で室温・ゼロ磁場で世界最高の磁気熱電効果を実現

酒井 明人、中辻 知

3 3次元ディラック半金属 Cd₃As₂ における室温超高効率テラヘルツ高調波発生を観測

神田 夏輝、池田 達彦、松永 隆佑

6 世界最強クラスの磁場により強相関絶縁体の金属化を発見

松田 康弘、村岡 祐治

9 機械学習による物性理論の補強—機械学習交換相関汎関数の構築

永井 瞭

11 理学系研究科奨励賞を受賞して

小野 清志郎

12 物性研に着任して

中島 多朗

13 物性研を退任して

柴山 充弘

15 外国人客員所員を経験して

Woun KANG

17

Yogesh Singh

【物性研究所短期研究会】

19 ○量子多体計算と第一原理計算の新展開

24 ○中性子散乱研究の現状と JRR-3 再稼働後の展望

【ISSP ワークショップ】

27 ○量子物質研究の最近の進展と今後の展望

29 【物性研究所談話会】

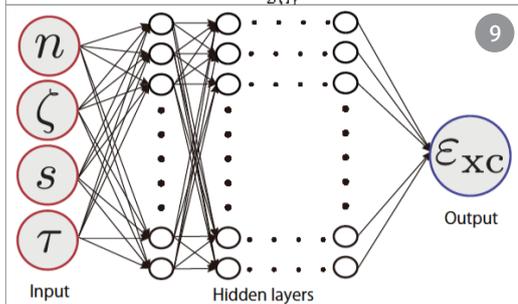
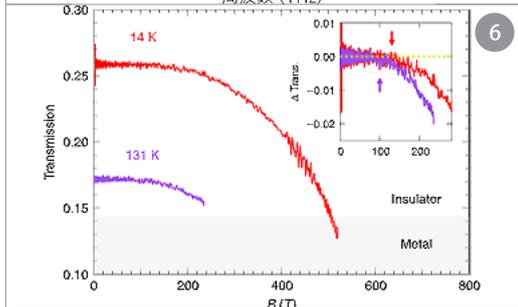
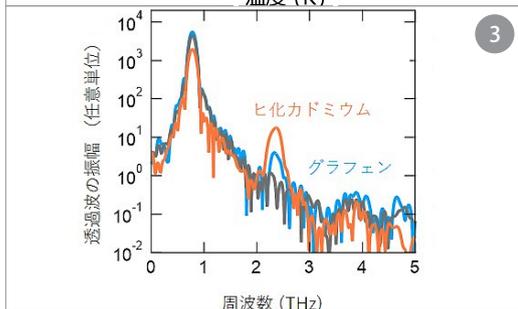
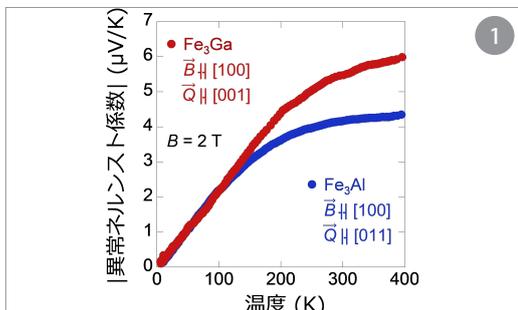
30 【物性研究所セミナー】

【物性研ニュース】

34 ○人事異動

編集後記

物性研だよりの購読について



鉄系材料で室温・ゼロ磁場で世界最高の磁気熱電効果を実現

量子物質グループ 中辻研 講師 酒井 明人、教授 中辻 知

(1) 研究背景

ディラック半金属やワイル半金属を始め、トポロジカルな電子構造を持つ物質への関心が近年高まっている。これらの物質はディラックコーンと呼ばれる線形バンド分散を持っており、ディラック(またはワイル)方程式に従う相対論的フェルミオンが存在すると見なすことができる。さらにディラックコーンの交点であるディラック点(ワイル点)はベリー曲率の湧き出しまたは吸い込みの特異点であり、波数空間の仮想磁場を生む。このベリー位相効果により、ホール効果やネルンスト効果が増強される等特異な現象を示す。

これまで中辻研究室では、カイラル反強磁性体 Mn_3Sn が微小なネット磁化にもかかわらず強磁性体に匹敵する異常ホール効果や異常ネルンスト効果を示すワイル磁性体であることを発見し[1-3]、さらにホイスラー型強磁性体 Co_2MnGa が巨大異常ネルンスト効果を室温で示すことを発見した[4]。これらの発見は物理として興味深いのに加え、応用上も大変重要である。実際、 Mn_3Sn はこれまで応用に向かないとされてきた反強磁性体において、電子やスピンによる物性制御を可能にし、トポロジカル反強磁性体スピントロニクスとして発展している[5-7]。また Co_2MnGa は異常ネルンスト効果を熱電応用に利用する可能性を開き、現在 NEDO 先導研究プログラムで行っている熱電モジュール及び熱流センサーの開発へと繋がっている。

環境の微小温度差から発電する熱電変換技術は IoT 機器の自立電源として最適であり、熱電材料の開発には半世紀以上の研究が費やされてきた。しかし、既存の非磁性半導体を用いる熱電変換素子は発電方向が温度差の方向と同じであるため(ゼーベック効果)、立体的で複雑な構造になり、大型化や高集積化に伴う製造コストに問題を抱えている。一方、磁性体の異常ネルンスト効果は温度差の方向に垂直に発電するため、立体構造は不要で、テープ化などにより熱源に沿った大面積の発電が容易である。

(2) 研究結果[8]

材料探索には多くの苦勞が付きものであるが、近年の計

算機及び計算技術の発展により候補を予め絞ることが可能になってきている。本研究では、東北大学是常准教授を中心に第一原理計算を高速かつ自動で行い(ハイスループット計算)、1400 の物質の電子状態および強磁性状態でのホール伝導率や横熱電係数の計算を行った。その中から鉄(クラーク数 4 位; 地球上に豊富に存在)を含む二元系に着目した。そのようにして見つかった化合物が Fe_3X ($X = Ga, Al$) である(図 1a)。結晶構造は立方晶 DO_3 型であり、 X を Fe に置き換えると $\alpha-Fe$ (bcc 構造) に一致する。

図 1b は異常ネルンスト係数の温度依存性である。 Fe_3Ga は室温で約 $6 \mu V/K$ 、 Fe_3Al は室温で約 $4 \mu V/K$ であり、過去最大値に匹敵する大きさである。また室温付近で高い性能を維持する。さらに薄膜化にも成功し、ゼロ磁場でバルクと同等の異常ネルンスト効果を示すことを確認した。

異常ネルンスト係数 S_{yx} は横磁気熱電係数 α_{yx} 、ホール伝導率 σ_{yx} 、電気抵抗率 ρ_{yy} 、ゼーベック係数 S_{xx} を用いて $S_{yx} = \alpha_{yx}\rho_{yy} - \sigma_{yx}\rho_{yy}S_{xx}$ と書き表せる。右辺第 1 項は α_{yx} によりキャリアの移動が曲げられる成分、第 2 項は σ_{yx} により曲げられる成分と解釈できる。実験的に各成分を求めると、 Fe_3X では右辺第 1 項が 8 割程度の寄与をしめており、 α_{yx} が非常に大きな値(Fe_3Ga では過去最高値 $5.2 A/Km$) になっていることがわかった。

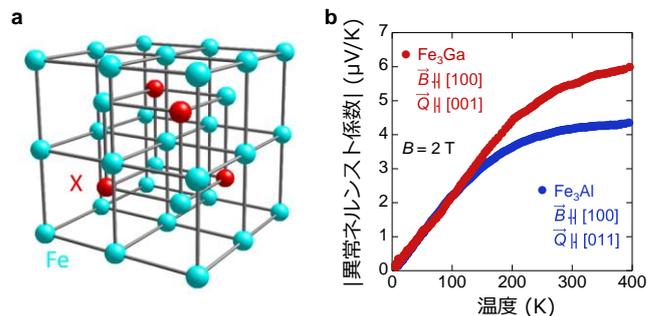


図 1 Fe_3X ($X = Ga, Al$) の (a) 結晶構造、(b) 異常ネルンスト係数の温度依存性。

α_{yx} はモットの関係式より、ベリー曲率 Ω と $\alpha_{yx} =$

$\frac{\pi^2 k_B^2 T e^2}{3 |e| \hbar} \sum_{n,k} \Omega_{n,z}(\mathbf{k}) \delta(E_F - \epsilon_{n,k})$ の関係があるため、ベリー曲率と状態密度を同時に大きくする必要がある。こ

3次元ディラック半金属 Cd_3As_2 における室温超高効率テラヘルツ高調波発生の観測

極限コヒーレント光科学研究センター 神田 夏輝
物性理論研究部門 池田 達彦
極限コヒーレント光科学研究センター 松永 隆佑

研究背景

高強度レーザーをガス中に絞り込むことによって生じる高次高調波は、レーザーベースでの軟 X 線パルス生成を可能にする手法として、アト秒科学や高分解光電子分光で強力な実験ツールとなっている。近年では固体からの高次高調波発生も報告され、固体ベースでのコンパクトかつ安定な軟 X 線光源の候補として、また非摂動論的非線形応答に対する基礎物理学的な観点から興味を持たれ、活発に研究が行われている。高次高調波発生の研究ではほとんどの場合近赤外から中赤外の光源が用いられるが、我々は中赤外域よりもさらに数十倍波長の長いテラヘルツ周波数帯の高次高調波発生に注目した。この帯域の光(電磁波)は既存のエレクトロニクスよりも周波数が 2、3 桁高いため、テラヘルツ帯における高効率な周波数変換素子を実現することは次世代の高速エレクトロニクスにおいて非常に重要だと考えられる。

松永らは 2014 年、超伝導薄膜から非常に強い第三高調波がテラヘルツ周波数帯で発生することを発見した[1]。これは超伝導体のテラヘルツ周波数帯における非線形応答が非常に大きいことを表しており、実際に宇宙・天文物理学観測における微少マイクロ波の検出素子としてその性質が活用されている。しかし超伝導状態を作るには極低温環境が必要であるため、もしテラヘルツ周波数の高効率な変換が室温で実現すれば非線形素子としての幅広い応用が期待される。

グラフェンをはじめとしたディラック電子系では、周波数の低い電場によりディラック電子をバンド内で加速することで大きな非線形電流が誘起されることが理論的に予測されており[2]、テラヘルツ帯で高効率な高調波発生を実現する物質として期待されていた。しかし実験上は長らくの間テラヘルツ高調波は観測されず、電子の散乱が速いことを懸念してバンド内加速モデルの妥当性が議論されてきた。最近になって巨大加速器ベースの高強度光源を用いた実験によりようやくグラフェンからのテラヘルツ周波数帯の高調波発生が室温で観測され[3]、非線形定数が他の物質と比べて体積当たり 7 桁ほど大きいことが判明した。しかしながら、相互作用長が原子一層に限られているため変換効率としてはそれほど高くなく、またその発生メカニズムについてもディラック電子とは本質的に無関係な解釈が報告されるなど議論が続いている。

そこで本研究では、高品質なヒ化カドミウム Cd_3As_2 薄膜[4]に注目した[5]。 Cd_3As_2 はディラック半金属と呼ばれ、電子が 3 次元的に質量ゼロのように振舞うことが 2014 年頃に発見されて以来、その性質に注目が集まっている(図 1(a))。バルクとしてディラック電子の性質を示す Cd_3As_2 を利用して、効率的に巨視的な非線形電流を発生させることを期待した(図 1(b))。

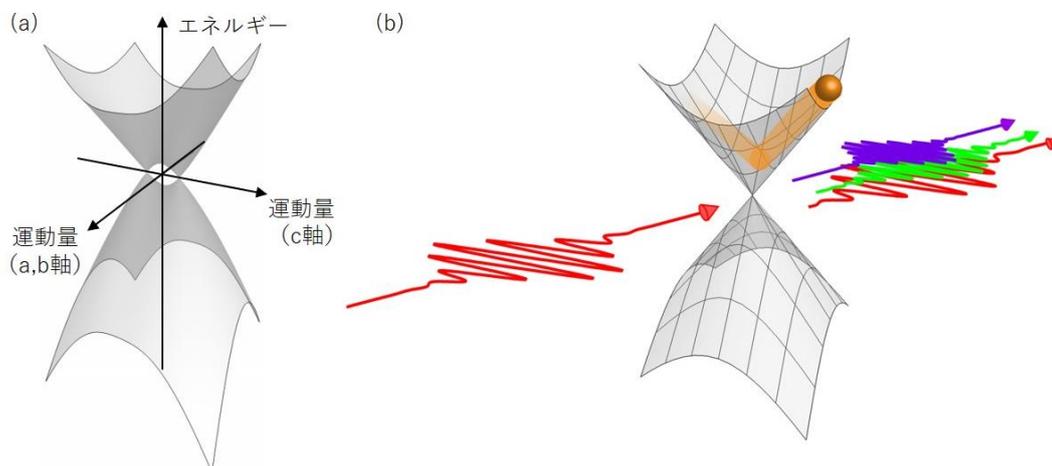


図 1 (a) Cd_3As_2 における電子のディラックコーンの模式図。(b) ディラック電子の加速によるテラヘルツ高調波発生の模式図。

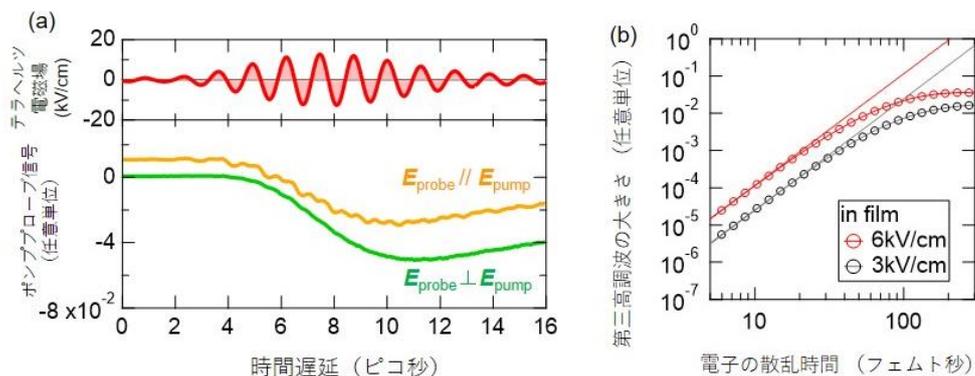


図3 Cd_3As_2 における時間分解観測と理論計算。(a) ポンププローブ分光法によって計測された、テラヘルツ電磁場が照射したときの Cd_3As_2 の超高速時間変化。第三高調波を生み出す非線形性の非等方性を示している。(b) 理論計算によって得られた第三高調波の大きさの電子散乱時間依存性。

このような加速モデル自体は理論的に 2007 年頃から予想されていたが[2]、実験的にはテラヘルツ周波数帯の高調波の観測が難しかったため、実際の物質ではテラヘルツ周波数帯においてこのモデルは成り立たないという解釈が広がりつつあった。本研究では電子の散乱時間を考慮した詳細な計算から、テラヘルツ周波数帯でもこのディラック電子の加速モデルがよく成り立つことを示し、高調波発生メカニズムがディラック電子の特異な非線形電流にあることを明らかにした。

今後の展開

本研究によって Cd_3As_2 薄膜が室温でテラヘルツ高調波を効率よく発生させることが見出され、テラヘルツ電磁場の周波数変換技術実現に向けた新たな指針が得られた。現在はテラヘルツ電磁場をそのまま Cd_3As_2 薄膜に照射しているが、 Cd_3As_2 薄膜は半金属であるため、電磁場のほとんどは表面で反射されてしまう。反射防止コーティングなどの表面加工や、電場を局部的に増強するメタマテリアル技術と組み合わせたり、あるいは電極から直接電場を印加したりすることで周波数変換を更に高効率化することが期待される。また、 Cd_3As_2 のようなディラック半金属と同様に質量ゼロの電子を持つものとして、ワイル半金属が知られている。空間反転対称性の破れたワイル半金属の場合は第二高調波が発生すると考えられ、これはディラック半金属が示す第三高調波よりもさらに高効率に周波数変換が可能になると期待される。ディラック半金属およびワイル半金属は、物質をトポロジーによって分類する現代物理学の最先端研究によって発見された物質群であり、総称してトポロジカル半金属と呼ばれている。本研究によって今後もトポロジカル半金属が示す巨大応答とその機能性についてさらに研究が深まることが期待される。

謝辞

本研究はジョーンズホプキンス大学の N. P. Armitage 教授及び Bing Cheng 博士課程学生(当時)、カリフォルニア大学サンタバーバラ校の Susanne Stemmer 教授及び Timo Schumann 博士、物性研究所の板谷治郎准教授、松田拓也研究員、夏沛宇博士課程学生(当時)との共同研究によるものである。なお本研究は、JST さきがけ(課題番号 JPMJPR16PA)、文部科学省光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP)(課題番号 JPMXS0118068681)、及び文部科学省科学研究費補助金(課題番号 19H01817、19K15462、18K13495)の支援を受けて行われた。

REFERENCES

- [1] R. Matsunaga, N. Tsuji, H. Fujita, A. Sugioka, K. Makise, Y. Uzawa, H. Terai, Z. Wang, H. Aoki, and R. Shimano, *Science* **345**, 1145 (2014).
- [2] S. A. Mikhailov, *Europhys. Lett.* **79**, 27002 (2007).
- [3] H. A. Hafez *et al.*, *Nature* **561**, 507 (2018).
- [4] T. Schumann, M. Goyal, H. Kim, and S. Stemmer, *APL Mater.* **4**, 126110 (2016).
- [5] B. Cheng*, N. Kanda*, T. N. Ikeda, T. Matsuda, P. Xia, T. Schumann, S. Stemmer, J. Itatani, N. P. Armitage, and R. Matsunaga, *Phys. Rev. Lett.* **124**, 117402 (2020). (*: equal contribution)
- [6] B. Cheng, T. Schumann, Y. C. Wang, X. S. Zhang, D. Barbalas, S. Stemmer, and N. P. Armitage, arXiv:1905.00309.

14 K では、透過光強度が 120 T 付近から減少をはじめ、およそ 500 T で金属相の透過強度に到達する。このことから、500 T において絶縁体から金属への転移が起こったと考えられる。131 K は転移温度に近いためゼロ磁場での透過光強度が低い。興味深いことに、14 K の場合と同様に 100 T までは磁場依存性はほぼ無く、金属化への変化は 100 T 付近からはじまる。挿入図には透過光の変化量をプロットした。金属化がある閾磁場 B^* ではじまり、 B^* はあまり温度に依存しない。

図 2 には、図 1 の結果を $\frac{\Delta\alpha}{\alpha_M - \alpha_I}$ として $x = 0.036$ ($T_{MI} \sim 200$ K)、 $x = 0$ ($T_{MI} \sim 300$ K) の実験結果と合わせてプロットした[4]。

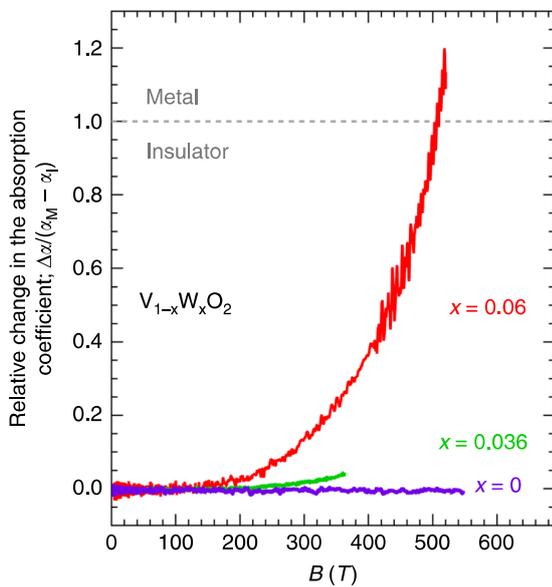


図 2 $V_{1-x}W_xO_2$ ($x = 0, 0.036, 0.06$) 薄膜における、吸収係数 α の相対変化量の磁場依存性。 α_M, α_I はそれぞれ、ゼロ磁場における高温金属状態と低温絶縁体状態の吸収係数。 $x = 0.036$ では、実験時の磁場発生装置の放電スイッチ同期不良により、最高磁場が 360 テスラまでに制限された。

ここで、 $\Delta\alpha$ は磁場による光吸収係数の変化、 α_M, α_I は高温金属相、低温絶縁体相それぞれでの光吸収係数である。 $x = 0.036$ では金属化は $B^* \sim 200$ T 以上で起こり、 $x = 0$ では 540 T でも金属化の兆候は観測できなかった。 T_{MI} が高いと金属化にはより強磁場が必要であることがわかる。

パルス磁場中では渦電流や磁気熱量効果によって試料温度が変化する可能性が高いが、本研究で用いた薄膜の厚みは 13~19 nm であるため、基板への熱緩和時間は 1 K あたり 0.1 ns 以下と見積もることができる。基板は厚み 0.5 mm であり 10^4 倍の熱容量があるため十分な熱浴とみなせ、マイクロ秒の磁場掃引時間において試料温度はほとんど一定であると期待できる。実験的にも、一巻きコイル法での予備実験で光透過強度変化によって発熱効果を評価したところ、温度上昇は観測されなかった。本研究で観測された磁場誘起金属化は等温条件下での現象であるといえる。

今回観測された磁場誘起金属化は、スピンの向きを揃えることで 2 量体の分子軌道が磁場で壊れ、 d 電子が遍歴的になったと考えることで説明できる。図 3 は磁場による 2 量体の崩壊を説明した模式図である。

このことから、 VO_2 の低温での絶縁体化のメカニズムにおいて、電子相関効果よりもバナジウムの 2 量体形成による格子変形の影響がより本質的であることが示唆される。ただし、スピンギャップに相当する分子軌道の結合-反結合軌道間のエネルギーギャップは 2.5 eV 程度あるため、単純な局所的ゼーマン効果では 500 T の磁場でも分子軌道のスピン-重項を壊すことは不可能である。電子相関効果が磁場効果の詳細を理解するためには重要になると考えている。

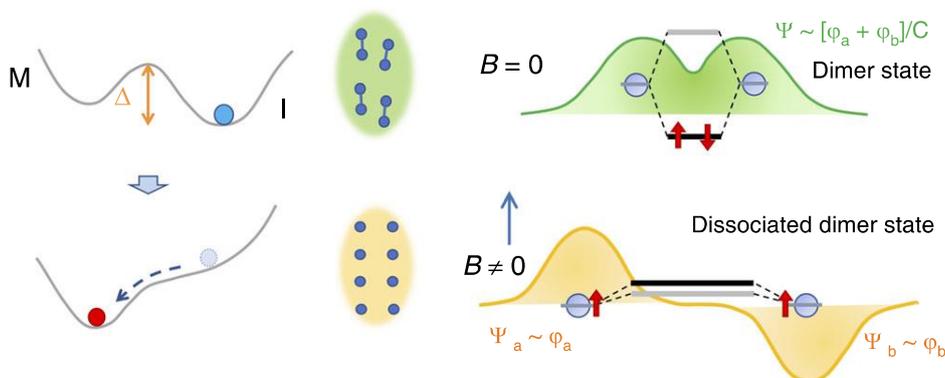


図 3 観測された磁場による金属化を説明する分子軌道崩壊の模式図。左図はポテンシャルエネルギーの変化の様子、中央の図はダイマーの分解を表す。右図は、ダイマーを形成する分子軌道が壊れる様子を示す。

機械学習による物性理論の補強—機械学習交換相関汎関数の構築

物性研究所 杉野研究室 永井 瞭

人の手では複雑過ぎて構築できないような複雑なデータ間の関係性に対し、大量のパラメータをもった学習モデルを用意し、機械の力で関係性を再現するようにパラメータ最適化を行うという、コンピュータの計算能力を活かした力技のような技術を機械学習という。この力技は様々な場合において非常に高い予測性能を示すことが示されたため、現在機械学習に関連した研究は非常に盛んに行われている。物性研究においても機械学習の技術を取り入れる動きは活発であり、学習させるべきデータを実験などで蓄積し、それを用いて多数の物質の中から有力な物性をもつ物質を探り当てる、などといった方法で応用が試みられている。

我々もこの流行りに乗り、機械学習を物性の第一原理計算手法の改善に応用する研究を行っている。一般の機械学習の応用では観測などによって蓄積されたデータを用いるが、本研究は訓練データを手元で生成する。しかし、このデータ生成に必要な理論は計算量が非常に大きく、実際にデータを生成できるのは小さい物質に限られる。そこで、データ生成に必要な理論を、機械学習モデルを組み込んだ計算量の低い理論に代替させることで、より広範な物質に対してデータを得られるようにする、というのが研究の大枠である。

電子状態の第一原理計算で扱っている問題は、結局3次元連続空間における量子多体問題であり、極論を言えば量子力学の教科書に必ず載っている Schrödinger 方程式から解を得ることができる。

$$H = \sum_n \left[-\frac{\nabla_n^2}{2} + V_{\text{ion}}(\mathbf{r}_n) \right] + \frac{1}{2} \sum_{m \neq n} \frac{1}{|\mathbf{r}_m - \mathbf{r}_n|} \quad (1)$$

$$H\Psi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots) = E\Psi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots) \quad (2)$$

しかし、Schrödinger 方程式の計算量は粒子数に対して指数オーダーで増加するため、小さい系でしか厳密に解くことができない。そこで、計算量を落として基底状態の情報を得られる次の Kohn-Sham 方程式が開発された[1]。

$$H_{\text{KS}} = -\frac{\nabla^2}{2} + V_{\text{ion}}(\mathbf{r}) + \int d\mathbf{r}' \frac{n(\mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} + V_{\text{xc}}([n]; \mathbf{r}) \quad (3)$$

$$H_{\text{KS}}\varphi_i(\mathbf{r}) = \varepsilon_i\varphi_i(\mathbf{r}), \quad n(\mathbf{r}) = \sum_i \theta(\mu - \varepsilon_i)|\varphi_i(\mathbf{r})|^2 \quad (4)$$

この方程式は粒子数に対して多項式時間で解くことができる。ただし、計算量を圧縮した代償として式(3)には V_{xc} という項が生じる。この項は(交換相関)汎関数と呼ばれ、電子密度の汎関数であるが、非常に複雑な形をしており厳密には書き下すことができない(もし厳密に書き下すことができるのであれば、それは Schrödinger 方程式の基底状態に対する厳密解に相当する)。実用計算ではこの項を近似して用いるが、精度が不十分であったり、近似の方法によって精度良く記述できる物質が限られるなどの問題がある。高精度かつ汎用性の高い汎関数の開発は物性理論において重要な使命である。

汎関数の厳密形は書き下せないが、ある系において先程の厳密な Schrödinger 方程式を解くことができれば、Kohn-Sham 方程式と照合することでその系における汎関数を数値的に知ることができる。そこで、いくつかの厳密解を解くことができるほど小さい系に対して電子密度分布と汎関数の値を求め、その間の写像を機械学習モデルで訓練し、その写像が訓練外の物質にも汎関数として実用的な精度で利用することができれば役に立つのではないかと考え、本研究が行われた。

実際に構築すべき写像は、電子密度から各地点の交換相関エネルギー密度という量である。

$$n(\mathbf{r}) \rightarrow \varepsilon_{\text{xc}}([n]; \mathbf{r}) \quad (5)$$

これは特微量・予測量のどちらも空間上で連続的に定義される量であり、機械学習するには工夫が必要である。我々はまず1次元のモデル系上で空間をグリッドに区切り、連続量を離散化されたベクトルとして扱った上で、ニューラルネットワークにこれらのベクトル間関係を学習させた[2]。結果として、構築された写像を Kohn-Sham 方程式(1)に代入し数学的操作を行っても十分な精度で取り扱いができることを示した。

その後、この手法を実際の物質に適用した[3]。水やアンモニアなどのいくつかの小分子に対し高精度な波動関数法で厳密な電子状態を求めることにより訓練データを生成し、それを分子の周りのグリッド上でベクトルデータとして扱い、汎関数を機械学習させ、訓練外の数百の分子系に適用して精度検証を行った。少数分子のデータしか用いて

理学系研究科奨励賞を受賞して

押川研究室 小野 清志郎

この度、理学系研究科研究奨励賞(修士課程)を受賞いたしました。この賞は、理学系研究科の修士課程を修了する学生のうち、優れた研究を行った者に贈られるものです。このような賞をいただくことができ、大変嬉しいです。修士課程の間指導してくださった押川正毅先生、受賞対象となった研究の共同研究者の皆様に変更して感謝いたします。

受賞対象となった研究は「全ての内部対称性と空間群に対する対称性指標とその超伝導体への応用」です。トポロジーによって特徴付けられる物質相は、対称性の破れでは記述できない新奇な相です。近年、非自明なトポロジーをもつ物質(トポロジカル絶縁体・超伝導体)の探索が精力的に行われています。ある物質がトポロジカル物質であるかどうかは、原理的にはトポロジカル不変量の値によって判別できますが、一般に物質中のトポロジカル不変量をその定義に則り計算することは容易ではありません。そのような中で、結晶対称性の存在下では、結晶対称性の情報を利用して、電子のバンド状態から比較的簡便にトポロジカル(結晶)絶縁体を判別する対称性指標が2017年に提案されました[1]。さらに、この方法はデータ駆動的物質探索と相性が良く、複数の海外グループにより膨大な数のトポロジカル(結晶)絶縁体候補物質が発見されました[2]。

本研究では、元々の理論が結晶対称性と時間反転対称性のみしか考慮していないことに着目し、対称性指標の理論をより一般の内部対称性について拡張しました[3-5]。特にこの拡張された理論は、マヨラナ粒子が発現し量子コンピューターに応用可能な、トポロジカル超伝導体を発見するための探索指針となっています。今後、近年活発に研究が行われているデータ駆動的な物質探索と組み合わせることで、トポロジカル超伝導体候補物質が発見され、将来的な量子コンピューターの実用化につながることを期待されます。

修士課程の間は幸運にも多くの出会いに恵まれ、様々な刺激を受けながら研究に専念することができました。この結果に満足せず、博士課程でもこれまで以上に精進してまいります。

- [1] H. C. Po, A. Vishwanath, H. Watanabe, *Nature Communications* **8**, 50 (2017).
- [2] T. Zhang, *et al.*, F. Tang, *et al.*, *Nature*, **566**, 475-479 (2019)., M. G. Vergoniry, *et al.*, *Nature*, **566**, 480-485 (2019)., F. Tang, *et al.*, *Nature*, **566**, 486-489 (2019).
- [3] S. Ono and H. Watanabe, *Phys. Rev. B*. **98**, 115150 (2018).
- [4] S. Ono, Y. Yanase, H. Watanabe, *Phys. Rev. Research* **1**, 013012 (2019).
- [5] S. Ono, H. C. Po, H. Watanabe, *Science Advances* **6**, eaaz8367 (2020).



物性研を退任して

柴山 充弘

2020年3月に物性研を退任してはや半年が過ぎ、現在、私は茨城県東海村の一般財団法人総合科学研究機構(名称が覚えにくいこともあり英語名の略称である CROSS と呼ばれることが多い)というところに勤めています。住まいも柏の葉の宿舎から東海村に変わり、今ではすっかり東海村民になりきっています。私は物性研に2000年9月に着任しましたので、19年7ヶ月物性研にお世話になったこととなります。慣例では3月中に退職記念講演会があり、その後のお別れ会などご挨拶することになっていましたが、今年は新型コロナウイルス感染症が蔓延しつつあったため、こうした公式行事は全て取りやめになってしまいました。そのため、皆様へのご挨拶もできず、柏を去ってしまいました。この紙面をお借りし、退任のご挨拶とともに失礼をお詫びいたします。

さて、2000年といえば、丁度、物性研が六本木から柏キャンパスに引っ越しをしてきた年でした。私の人事が決まった4月の第一木曜日の臨時所員会の、ちょうどその日、春休みを利用して京都から家族とともに物性研柏と東海の中性子散乱研究施設を訪問しました。何もない原っぱのようなところにそそり立つ真新しい物性研の偉容は今でも鮮明に覚えています。本館の5階にはすでに私のオフィスも用意されていたのに感銘を受けました。しかし、9月の物性研着任後、すぐに東海の中性子科学研究施設での業務が待っていたので、物性研の所員になった実感も味わう暇もない毎日が始まりました。週日・週末を問わず中性子散乱実験の共同利用業務に明け暮れる日が続き、柏の所員室を使うのは所員会などの会議で柏出張したとき程度でした。2001年1月号第40巻第5号の物性研だよりの「物性研に着任して」の中で当時の苦労話を、「ソフトマター屋としての孤立性、東海と柏の勤務地二重性、研究と装置管理と教育という3軸上での最適化問題など、いまだに山積する問題を抱える毎日です。」というぼやきで述懐しています。このままだと私の研究者人生は共同利用のお世話だけで終わってしまう、と落ち込んだ日もしばしばでした。

この我が人生の最大の危機(?)は古巣の京都に残してきた2人の博士課程の学生さんを柏に迎え、一緒に研究室の整備と研究の立ち上げをしたことで解決されました。幸いなことに、2001年度には東大での修士学生第一号も研究室に迎えることができました。その後は東海での共同利用推進と柏での研究が車の両輪のごとく動き始め、さらには東海と柏でのソフトマター研究に相乗効果も生まれてきました。毎年、学生の配属もあり、修士から博士課程まで広い研究者層が形成され、研究に幅も奥行きも出てきました。こうして、着任後、2~3年で物性研での研究スタイルを確立することができました。

2009年4月、吉澤先生のあとをうけて中性子科学研究施設長として施設運営を担うことになりました。何事もないければ施設運営も研究も順風満帆のはずでしたが、2011年3月の東日本大震災により、東海村にある日本原子力研究開発機構のホームグラウンドである研究用原子炉 JRR-3 が被災し運転ができなくなりました。東海村も大きな被害を受け、2週間ほどライフラインも止まりました。東海村在住の中性子科学研究施設スタッフの援助要請をうけ、同僚と二人で500Lの飲料水と沢山の食料を物性研公用車に積んで施設に運んだことも遠い昔のようです。震災直後は、JRR-3は半年ほどで復旧するだろうと見込まれていましたが、現場の復旧は終わっても原子力規制関連法令の改正や再稼働の審査、さらには関連施設の補強工事のため、度重なる再稼働予定の延期の末、ついに2021年2月末となってしまい、私の在任中の JRR-3 の再稼働は見果てぬ夢となりました。

JRR-3が稼働しなかった2011年からの9年間は、国や JAEA に対して一日も早い再稼働実現の要望をしたり、海外の中性子施設へ研究者を派遣したりすることで施設長としての役目を果たすとともに、ソフトマター研究を推進しました。新領域創成科学研究科物質系専攻と理学系研究科化学専攻の2つの専攻に協力講座として参加していたこともあり、2001年から毎年欠かさず修士の学生さんを迎えることができました。4人のポスドク、39人の修士課程学

生(うち 15 人が博士課程進学)と一緒に充実した研究生生活を送ることができました。

着任当初、大きな課題であった「ソフトマター屋としての孤立性、東海と柏の勤務地二重性、研究と装置管理と教育という 3 軸上での最適化問題」はそれぞれ、サイエンスの普遍性を再認識すること、今はやりのデジタルトランスフォーメーション(DX)を先取りしたこと、人のネットワークの活用などにより解決し、大きな成果に結実させることができました。研究や教育もさることながら、親しくしていただいた諸先生方、優秀で親切で献身的な事務職員の方々、日頃から苦楽をともにした中性子科学研究施設のスタッフのご協力、ご支援、励ましのおかげで、無事、職務を全うすることができました。イベント関係でも、2003 年と 2014 年に主催した国際ゲルシンポジウム、2013 年の中性子科学会年会、恒例行事の一般公開、ビアパーティ、音楽の夕べ、一般講演会、毎週末楽しんだテニス、お茶同好会などなど、私にとっての物性研の約 20 年は大変充実した期間でした。

3 月にできなかつた退職記念講演会を 2020 年 11 月 2 日にやっていただけることになりました。聴衆に向かつての講演に加え、3 密を避けるため ZOOM も使うというハイブリッド講演会とのことです。直接、多くの皆さんに話しかけることができないのは残念ですが、世界中どこからでも講演を聴いていただけるので、国内外の諸先生や友人、家族や親戚にも楽しんでいただける講演にしたいと、今から準備に余念がありません。物性研よりは 10 月に発刊されるとの事なので、この記事を読んでから私の退職講演を聴いてくださる方も多いと期待しています。最終講義「ポリマーネットワーク・ヒューマンネットワーク」の中で「ヒューマンネットワーク」を活かした研究人生を振り返ります。紙面の関係上、この記事に書けなかつたことの数々を講演でご紹介したいと思います。

冒頭にも述べましたが、現在、私は CROSS 中性子科学センターにて、J-PARC MLF で中性子散乱実験を行う人たちの実験支援や課題審査などの仕事に従事しています。中性子利用者から中性子研究支援者へと立場は変わりましたが、今年の年賀状にも書いた、Olds Be Ambitious! をモットーとし、東海村という新天地にて新たな人生を歩んでいきます。物性研では長い間、本当にお世話になりました。そして、今後ともどうかよろしくお願ひします。

外国人客員所員を経験して

Woun KANG

Ewha Womans University

wkang@ewha.ac.kr

I have enjoyed the visiting professorship at ISSP for eight months from July 2019 till February 2020. What I have benefited the most from were numerous seminars, symposiums, meetings in many different area of research. Somehow, my research area has never been popular in my country and I have always had more colleagues in Japan than in Korea. I haven't had a student for fifteen years, which deepened my isolation. In this sense, a long stay of eight months at ISSP was a precious experience to recover my enthusiasm, in particular the connection with the outside world.

ISSP is one of the nicest place to enjoy the flow of people and information, as was the laboratoire de Physique des Solides in Orsay, France, where I did my Ph.D. study. I think it is a really good atmosphere for young people who have to find the area of research to which they should devote their most active period of life.

I especially enjoy the discussions with Prof. Osada who has endless enthusiasm and a broad and deep understanding of not only organic conductors but also many recent hot topics such as topological insulators, Dirac electron systems, 2D systems, and so on.

I had planned to do some experiments combining my pressure apparatus with cryogenic instruments in the ISSP equipped with readily available liquid helium. Some technical glitches hampered the experiment which could not fully resolved until my departure. But, we will certainly continue to work on it. Throughout the experiments, Dr. Uchida's technical assistance was essential at every step to overcome endless problems, for which I sincerely appreciate.

Upon arrival, it was a pleasant surprise to meet Dr. Andhika Kiswandhi who started his postdoc at the ISSP on the same day as mine. He made my life in Kashiwa much easier. Dr. Uchida's fine taste also made life in Kashiwa easier. We often explored fine but hidden eating places around campus for lunch.

The stay at the ISSP was my last physical exchange. In this new world with Covid-19, it becomes almost impossible to travel all over the world either for conferences or for collaborative research. An open world suddenly turned into a closed world. Some news outlets used to introduce the most powerful passport in terms of number of countries one can enter without a visa. Now even the existing visa has become void for most of destinations.

Since the start of 2020, while I was still in Kashiwa, there was a suspicion of a global Covid-19 pandemic, which was not yet taken seriously at that time. The only visible sign was the general shortage of facial masks. As it is not uncommon to see people with masks in Japan in spring, the environments were not necessarily exotic and we were able to move around freely to any location without too much worry. Based on previous experiences with SARS and MERS, we were more or less optimistic to wait until summer to see full eradication of Covid-19. However, even six months after I returned home, there is no sign of complete recovery, but rather a grim prediction that the virus will stay on much longer or never go away completely. Most of lectures have been posted online. Almost all national and international conferences have been canceled or postponed. Some of them have survived some form of webinar.

Any plan to return to ISSP to complete unfinished work has to be postponed indefinitely. I again lost almost all personal exchange that I longed so much. We have to struggle to face a completely new world that we never dreamed of.

However, a good memory stays forever. I sincerely appreciate everyone at the ISSP for their hospitality, especially the ILO staffs whose warm support made my stay pleasant.



外国人客員所員を経験して

Yogesh Singh

Indian Institute of Science Education and Research Mohali

yogesh@iisermohali.ac.in

I spent half a sabbatical at ISSP from Nov. 2019 to May 2020. My hosts at ISSP were Prof. Sakakibara and Prof. Nakatsuji. Although I had never met them before, I had always been following their work and it was a pleasure to be able to visit ISSP to work with them. I was very impressed by the range of activities and experimental infrastructure at ISSP.

The project that I had written for my visiting professorship was on trying to synthesize single crystals of the Heavy Fermion material $\text{Yb}_2\text{Fe}_3\text{Si}_5$ and to study its low temperature properties as a function of field and pressure. I was able to grow the first ever single crystals of $\text{Yb}_2\text{Fe}_3\text{Si}_5$ and start a detailed low temperature study of its magnetic, thermal, and electrical transport properties. On this project I was able to start collaborations with Prof. Sakakibara's group and Prof. Uwatoko's group. This work is still continuing and I will keep collaborating with groups at ISSP to understand this fascinating material in as much detail as possible.

I also started working on a different topic of possible Topological and strong correlation superconductivity in the La-Ru-Si system. We grew high quality single crystals and started a detailed study of the anisotropic superconducting properties. I also started a collaboration with Prof. Y. Kohama's group to measure the high field quantum oscillations to unveil the Fermiology of electrons in this material. In addition, we started a collaboration with Prof. R. Arita's group at the Univ. of Tokyo to calculate the theoretical band structure of the material.

Thus it was academically a very fruitful stint for me personally. The second half of my stay however, was full of uncertainties and confusion as the world and Japan started tackling the challenge presented by the Corona virus which escalated into a global pandemic.

According to the demand of the unusual situation, only a restricted access to ISSP in the last part of my stay was possible, which limited the measurements we were able to do. However, I plan to continue working on the various projects we started at ISSP.

I must convey my heartfelt gratitude to the staff at the international liaison office for making my stay as convenient and pleasant as possible. I specially want to thank Yuko for her help in various matters and situations, many times going beyond the demand of her duties.

I also want to acknowledge the help of Kyoko Fujita for her help and administrative support during my stay.

I finally would like to thank the Nakatsuji group members who were always ready and eager to help me in whatever way they could. I thank Nan and Akito with whom I worked on some projects. A special mention must be made of Hiroto Nakamura, who I worked with almost every day. He was very patient in teaching me the use of various instruments and equipment that I used during my stay. I wish him all the best in his academic career.

I also must mention the company of Mayukh Ray and Dilip Bhoi (Uwatoko group) which made coffee sessions enjoyable. I particularly liked our discussions on physics, politics, and almost everything under the sun.

I enjoyed and appreciate the interactions with Prof. Nakatsuji, which were always interesting. I also enjoyed having dinner parties with Satoru and various group members on several occasions.

I also thank the other faculty at ISSP with whom I interacted. These include Prof. Sakakibara, Prof. M. Yamashita, Prof. Uwatoko, Prof. Y. Kohama, and Prof. Masashi Takigawa.

I had a wonderful stay at ISSP and I look forward to the opportunity to visit again.





※2019年11月撮影

物性研究所短期研究会

量子多体計算と第一原理計算の新展開

【会 場】 オンライン開催 (Webex Meetings、Slack)

【日 程】 2020年7月9日(木)、10日(金)

【世話人】 品岡寛(埼玉大・代表)、大久保毅(東大)、大槻純也(岡大)、川島直輝(物性研)、藤堂眞治(東大)、三澤貴宏(早大)、森田悟史(物性研)

【URL】 <https://fqcs2020.issp.u-tokyo.ac.jp/>

量子多体系の高精度計算に向けて、これまでに、動的平均場近似法、変分モンテカルロ法、テンソルネットワーク法といった様々な手法が開発され、一定の成功を収めてきた。また、第一原理計算との融合により、強相関物質の定量的物性予測を目指す試みも盛んになっている。さらに、近年、残された課題を解決するために、機械学習、量子コンピュータを使った新たなアプローチや、量子化学的手法との融合が興りつつある。計算物性物理で行われている、このような多彩なアプローチを背景に、異なる手法の研究者が一同に集い、情報を交換し、多角的な議論を行う機会が必要とされている。物性研究所は、スーパーコンピュータの共同利用を始めとして、計算物性物理学の重要拠点としての役割を果たしてきた。その拠点において、計算物性物理、量子多体計算、第一原理計算、量子化学、量子コンピューティングの専門家を集めた短期研究会を開催することは、今後のさらなる計算物性物理分野の発展において大きな意義があると考え、開催の提案に至った。

口頭講演(招待講演)は、若手世話人が中心となって候補者を推薦し依頼を行った。特に、研究会のテーマに沿って、量子多体系に関する第一原理計算、モデル計算の研究者に加え、量子コンピューティング、機械学習、情報理論の若手研究者を招待し、分野間の情報交換を狙った。最終的なプログラムは、口頭講演20件(内招待講演11件)、ポスター講演15件からなった。参加登録者は180名を数え、両日とも150名を超える出席者、リアルタイムでの同時参加者は最大120名程度であった。オンラインでの研究会は各自の興味・日程に合わせて柔軟に参加できるため、通常の物性研短期研究会に比べ多くの方にご参加いただけたと思う。

研究会の開催が決定した2019年度末から、新型コロナウイルスの国内での感染が広まり、当初の計画であるオフラインでの開催が危ぶまれる事態になった。世話人の中で、

延期、オンライン開催などの選択肢に関して議論が交わされ、研究会の新しい形を模索する意味でも、物性研短期研究会史上初めて、オンラインでの開催を行うことになった。Zoomの使用がセキュリティ上制約されている機関からの参加者が見込まれたため、口頭発表はCisco社のWebex Meetingsを使用し、質疑応答やポスター発表はSlackのワークスペースを活用することになった。

口頭発表については事前にリハーサルを開催し、マイク等のテストやWebexでの画面共有方法の確認などを講演者にいただいた。入念な準備により、当日は大きなトラブルなく進行することができた。Slack上では講演者から自主的に講演スライドが投稿されるなど、講演終了後も積極的な情報交換が行われていた点は、オンライン開催の利点であった。

ポスター発表は、一人一分のポスタープレビューをWebexで行った後、Slackワークスペース上に作成した個別のチャンネル上で質疑応答を行うという形式で開催した。YouTubeへの動画投稿や、WebexもしくはZoomを用いたオンライン説明会を各自の責任で認めることにしたが、多くの発表者が後者の形式を採用しリアルタイムで活発に議論を交わしていた。Slack上でも今後の共同研究の芽生えとなるような深い議論が行なわれていた。

研究会における情報交流の場になる懇親会は、オンライン会議システムRemoを使い開催した。Remoでは、Zoomと違い、幾つかのテーブル間で参加者が自由に行き来でき、音声等がテーブル内で共有できるため、通常の懇親会の雰囲気や少しでも再現できたように思う。一方、Remoでは、通信がZoomに比べ不安定で、再ログインを要するケースが見られた。今後、Zoomのブレイクアウトルーム間で参加者が自由に移動できるようになれば、Zoomでの懇親会開催も可能かもしれない。

会議の後、参加者からオンライン会議の利点・欠点に関してフィードバックを収集した。まだオンライン会議が一

般的ではなく、参加者が慣れていなかったにも関わらず、移動時間不要、旅費不要、日程の柔軟性、スライドの視認性などの点で概ね好評だった。その一方、情報がウェブサイト、Slack 上に分散したこと、Slack というまだ一般的ではないツールの利用など、幾つか改善を求める意見も頂いた。Zoom に比べ Webex はチャットや反応などコミュニケーションのための機能が不十分であり、どのウェブ会議システムを利用すべきかは今後も検討すべ

き課題である。ポスターセッションについては、多くの部分を発表者に一任してしまったが、発表時間にコアタイムを指定するなどもう少し形式を整えたほうが良かったと思われる。

最後に、本研究会を開催するにあたって、外来研究等委員を始めとする多くの方々にご助力いただきました。深く感謝申し上げます。

プログラム

7月9日

- | | | |
|-------|-------------|---|
| 9:55 | オープニング | 品岡 寛 |
| 10:00 | 越智 正之 (阪大) | 「多体波動関数を用いた電子相関効果の第一原理的記述：トランスコリレイティッド法の開発」 |
| 10:30 | 小谷 岳生 (鳥取大) | 「信頼性の高い独立粒子近似を与える QSGW 法とモデル化手法」 |
| 11:00 | 三澤 貴宏 (早大) | 「Pd(dmit) ₂ 系分子性導体に対する第一原理有効ハミルトニアン of 系統的導出と解析」 |
| 11:20 | 草部 浩一 (阪大) | 「+U の物理からみた弾性の謎」 |
| 13:00 | 物性研究所所長挨拶 | 森初果 |
| 13:05 | 水上 渉 (阪大) | 「変分量子固有値法による第一原理量子化学計算の展開」 |
| 13:35 | 上田 宏 (理研) | 「量子計算機に適合したテンソルネットワーク法」 |
| 14:0 | 後藤 慎平 (近大) | 「Minimally entangled typical thermal states 法における自己相関問題の解消」 |
| 14:25 | 飯高 敏晃 (理研) | 「Random Phase Product State for Canonical Ensemble」 |
| 15:15 | ポスタープレビュー | |
| 15:40 | ポスターセッション | |

7月10日

- | | | |
|-------|--------------|---|
| 10:00 | 是常 隆 (東北大) | 「第一原理計算に基づく磁性体物質探索」 |
| 10:30 | 前園 涼 (北陸先端大) | 「格子離散化法 (LRDMC) による全電子の第一原理量子モンテカルロ法」 |
| 11:00 | 河村 光晶 (東大) | 「スピン揺らぎおよびスピン-軌道相互作用を取り入れた超伝導密度汎関数理論の精度検証」 |
| 11:20 | 諏訪 秀麿 (東大) | 「有限温度の自己無撞着スピンドYNAMIX」 |
| 13:00 | 辻 直人 (理研) | 「機械学習・推定モデルを用いた量子モンテカルロ法と多軌道系への応用」 |
| 13:30 | 村上 雄太 (東工大) | 「非平衡グリーン関数法とその応用：励起子相の非平衡誘起」 |
| 14:00 | 段下 一平 (近大) | 「Bose-Hubbard 模型の量子クエンチ後の非平衡ダイナミクスに関する量子シミュレーションと数値計算の比較」 |
| 14:20 | 古賀 昌久 (東工大) | 「Kitaev 模型におけるスピン輸送」 |
| 15:00 | 鈴木 大慈 (東大) | 「深層学習の最適化と汎化誤差：非凸性の観点から」 |
| 15:30 | 吉岡 信行 (理研) | 「開放量子多体系ソルバとしての機械学習関数」 |
| 16:00 | 吉野 元 (阪大) | 「深層学習の情報統計力学：レプリカ理論とシミュレーション」 |

16:30 手塚 真樹 (京大) 「Sachdev-Ye-Kitaev 模型における多体局在の定量的解析」
16:50 クロージング 藤堂 眞治

ポスターセッション

加藤 岳生 (東大) 「二次元電子系におけるウィグナー結晶の変分モンテカルロ計算」
Wei-Lin Tu (東大) 「Exotic quantum phases of hard-core bosonic systems」
近藤 千尋 (東大) 「Replica Exchange Wang-Landau 法によるエンタングルメント・エントロピーの計算手法の改良」

中野 颯 (東大) 「非平衡環境下における非可積分量子多体系の熱平衡化現象」
松本 宗久 (高エネ研) 「LDA+DMFT におけるデータ統合の視点」
岡田 健 (東大) 「多変数変分モンテカルロ法によるツイスト二層グラフェンの研究」
稲吉 健 (東工大) 「二軌道 Penrose-Hubbard モデルにおける励起子凝縮」
近野 直也 (埼玉大) 「3 軌道ハバード模型における多極子秩序の理論的研究」
柿澤 文哉 (埼玉大) 「カゴメ格子上の J1-J2 古典反強磁性ハイゼンベルグ模型の有限温度相図」
井戸 康太 (東大) 「物質科学シミュレーションのポータルサイト MateriApps」
萩野 卓啓 (東大) 「スピンラダー系における Neel-VBS 連続相転移の数値的検証」
乾 幸地 (東大) 「2 チャンネル近藤格子模型が磁場中で示すチャンネル選択型非フェルミ液体状態と重い電子的挙動」

本山 裕一 (東大) 「二次元量子格子系テンソルネットワークソルバーパッケージ TeNeS」
品岡 寛 (埼玉大) 「温度グリーン関数の圧縮基底ライブラリ irbasis の紹介と実践」
大久保 毅 (東大) 「密度行列のテンソルネットワーク表現による有限温度キタエフ模型の解析」



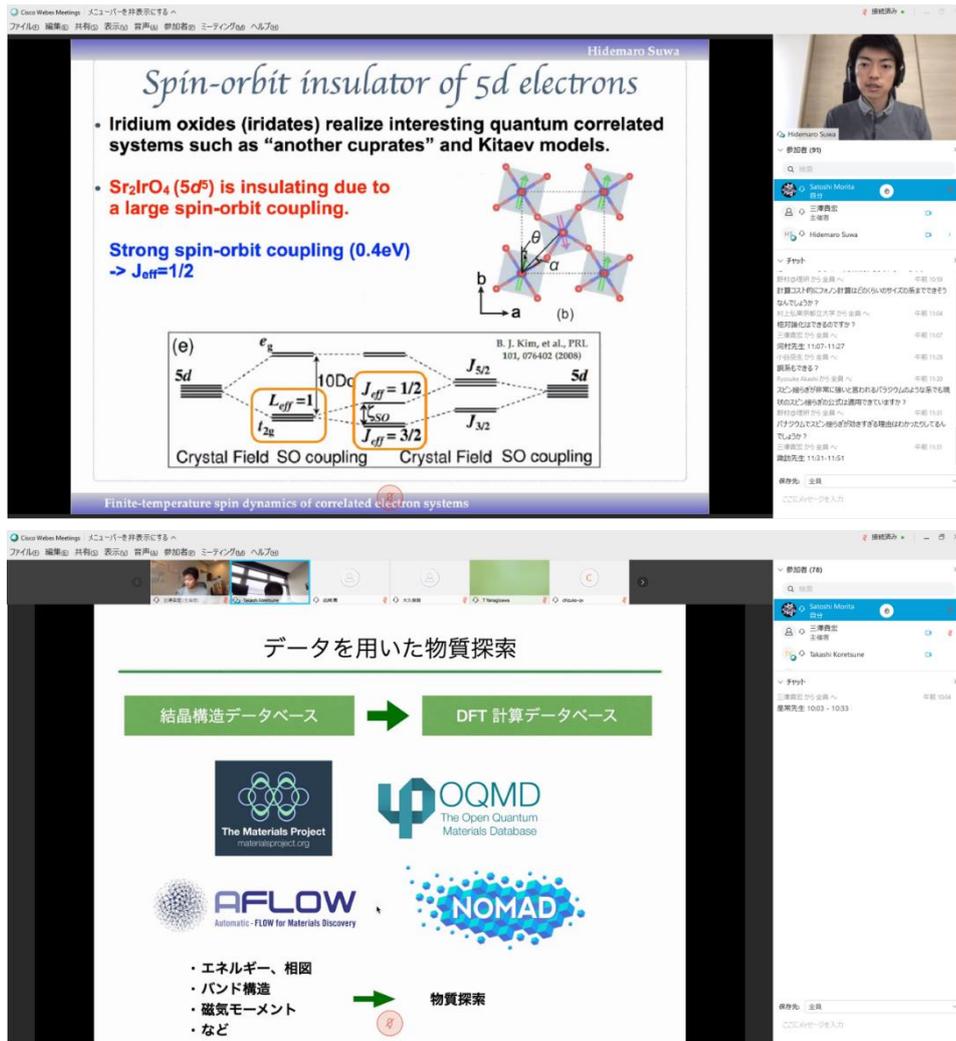


図 1: Webex Meetings での口頭発表



図 2: Slack ワークスペース



図 3: オンライン会議上での集合写真 (一部)

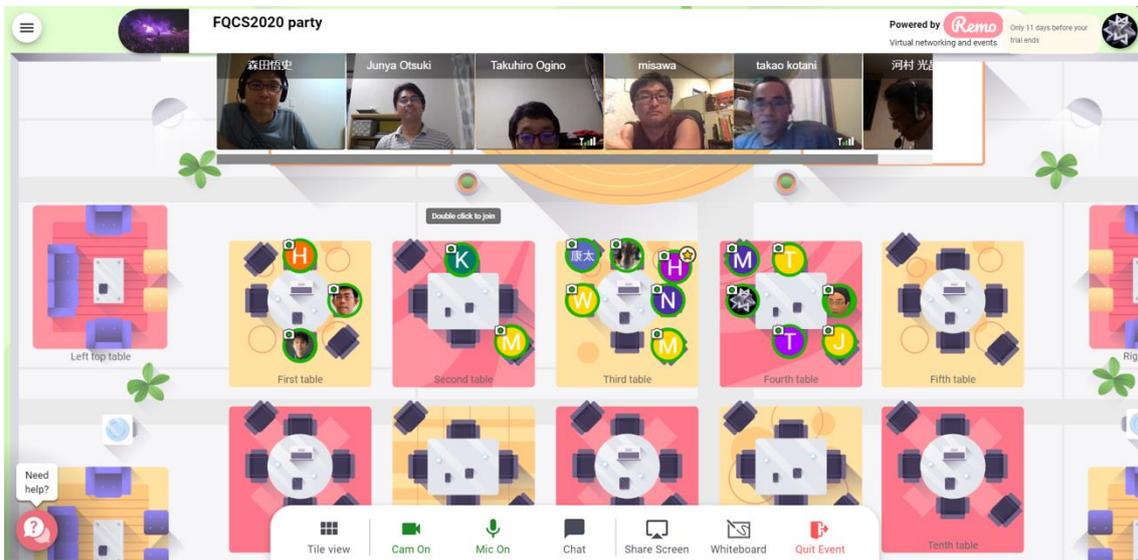


図 4: Remo を用いた懇親会

物性研究所談話会

標題：令和元年度 物性研究所 退職記念講演会

日時：2020年11月2日(月) 午後3時30分～午後5時20分

場所：Zoomにより配信

講師：柴山 充弘

講演題目：ポリマーネットワーク・ヒューマンネットワーク

要旨：

東京大学物性研究所 柴山 充弘 元所員は、令和元年度をもって東京大学を定年退職致しました。コロナ禍の影響により退職記念講演会が延期となっておりますが、下記の通り開催いたしました。

記

15：30-15：40 所長挨拶

15：40-15：50 柴山 充弘 先生 業績紹介

15：50-17：20 柴山 充弘 先生 ご講演

講演題目 「ポリマーネットワーク・ヒューマンネットワーク」



物性研究所セミナー

標題：理論セミナー：Twisted Schwinger effect

日時：2020年7月17日(金) 午後4時～

場所：Zoom 開催

講師：岡 隆史

所属：東京大学物性研究所、マックスプランク複雑系物理学研究所

要旨：

We study the nonperturbative pair production of particles induced by strong rotating electric fields [1]. The excitations by tunneling become strongly chirality dependent due to nonadiabatic geometric effects. The threshold, i.e., Schwinger limit, even vanishes for particles with an optically allowed chirality. We explain these phenomena through the twisted Landau-Zener model proposed by M. V. Berry, and provide a quantitative understanding in terms of the geometric amplitude factor. As a condensed matter application, we make a nonperturbative analysis on the optically induced valley polarization in 2D Dirac materials. Furthermore, in 3D Dirac and Weyl materials with spin-orbit coupling, we predict the generation of a nonlinear spin or charge current in the direction of the laser propagation.

[1] Takayoshi, Wu, Oka, arXiv:2005.01755

標題：理論セミナー：Investigation of quantum spin liquids with symmetric PEPS

日時：2020年10月2日(金) 午後4時～

場所：Zoom 開催

講師：Dr. Ji-Yao Chen

所属：Max-Planck-Institute of Quantum Optics

要旨：

Quantum spin liquid state can be represented and efficiently characterized within the symmetric Projected Entangled Pair State (PEPS) framework. A prototypical example is the nearest neighbor (NN) resonating valence bond (RVB) state, which has been thoroughly studied on various lattices with PEPS. Here I will show, through suitable deformation of the local tensor of NN RVB state on square lattice, we can introduce long-range singlets into the wave function and drive the state into a topological Z_2 phase. This approach turns out to be quite general for quantum spin liquid problem, which I will briefly explain. Then I will present our recent work about $SU(3)$ chiral spin liquid using this approach, where characteristic feature of $SU(3)_1$ chiral topological order is observed from PEPS entanglement spectrum.

標題：理論セミナー：Probing Floquet topological invariants with ultracold atoms

日時：2020年11月20日(金) 午後4時～午後5時

場所：Zoom 開催

講師：Prof. Andre Eckardt

所属：ベルリン工科大

要旨：

The classification of topological Floquet systems with time-periodic Hamiltonians transcends that of static systems. For example, spinless fermions in periodically driven two-dimensional lattices are not completely characterized by the Chern numbers of the quasienergy bands, but rather by a set of winding numbers associated with the quasienergy gaps [Rudner et al. PRX 3, 031005 (2013)]. I will present two schemes for probing these winding numbers in experiments with ultracold atoms in driven optical lattices. The first one relies on the tomography of band-touching singularities occurring when adiabatically connecting the driven system to a trivial high-frequency regime [1,2]. The second one is based on observing the far-from-equilibrium micromotion of the driven system over two driving periods after a sudden quench into the target Hamiltonian [3]. It relies on the identification of the winding numbers with an Hopf invariant characterizing the micromotion operator.

- [1] How to Directly Measure Floquet Topological Invariants in Optical Lattices, FN Ünal, B Seradjeh, A Eckardt, Phys. Rev. Lett. 122, 253601 (2019).
- [2] Realization of an anomalous Floquet topological system with ultracold atoms, K Wintersperger, C Braun, FN Ünal, A Eckardt, M Di Liberto, N Goldman, I Bloch, M Aidelsburger, Nat. Phys. 16, 1058 (2020).
- [3] Hopf characterization of two-dimensional Floquet topological insulators, FN Ünal, A Eckardt, RJ Slager, Phys. Rev. Research 1, 022003(R) (2019).



編集後記

今号には、4件の研究紹介記事が掲載されています。量子物質グループ、LASOR、強磁場施設、杉野研究室からと、内容も多岐にわたっています。また、新たに中性子科学研究施設に着任された中島先生の記事に加えて、長年中性子科学研究施設の施設長として活躍された柴山先生の記事も掲載されています。延期されていた柴山先生の退職記念講演会も先日開催されました。今号の記事に、「ヒューマンネットワーク」を活かした研究人生、と書かれているように、多くの方との出会いとそれをきっかけとした共同研究の発展が印象的な講演でした。JRR-3の運転再開に向けたご尽力も相当なものであったことは想像に難くありません。柴山先生の退職記念講演会は、大講義室で講演して頂き、それをzoomで配信するというハイブリッド形式で開催されました。開催報告も今号に掲載されています。他にも短期研究会、ISSP ワークショップ、セミナーの開催報告が掲載されていますが、コロナ禍の影響によってこれらもすべてオンラインでの開催となっています。開催方法を見ると、zoomを用いての開催が最も多いようですが、WebexやSlack、Remoなどを用いている例もあるようです。オンサイト開催とオンライン開催のメリット、デメリットなども考えさせられる昨今ですが、様々なシステムを利用してオンライン開催のデメリットを少しでも改善しようという試みも多くなされているようです。

岡崎 浩三

物性研だよりの購読について

物性研だより発行のメール連絡を希望される方は共同利用係まで連絡願います。

また、物性研だよりの送付について下記の変更がある場合は、お手数ですが共同利用係まで連絡願います。

記

1. 送付先住所変更（勤務先⇔自宅等）
2. 所属・職名変更
3. 氏名修正（誤字脱字等）
4. 配信停止
5. 送付冊数変更（機関送付分）
6. メール配信への変更

変更連絡先：東京大学物性研究所共同利用係

〒277-8581 柏市柏の葉 5-1-5

メール：issp-kyodo@issp.u-tokyo.ac.jp