

第1回早稲田物性セミナー開催のお知らせ

下記の通り、早稲田大学西早稲田キャンパスにおいて、物性物理学についての連続セミナーを開催いたします。今回は、早稲田大学高等研究所に所属し、物性理論および統計・情報理論を専門とする3人の先生方に講演をしていただきます。ご興味のある方はご参集頂けますと幸いです。最初から最後までのお聴講はもちろん、興味のある講演のみの聴講も歓迎します。

第1回早稲田物性セミナー「早大高等研の物性研究」

日時: 2017年5月11日(木)

場所: 早稲田大学西早稲田キャンパス 51号館7階06 共通ゼミ室

【プログラム】

10:40~12:10 中 惇氏(早稲田大学高等研究所助教)

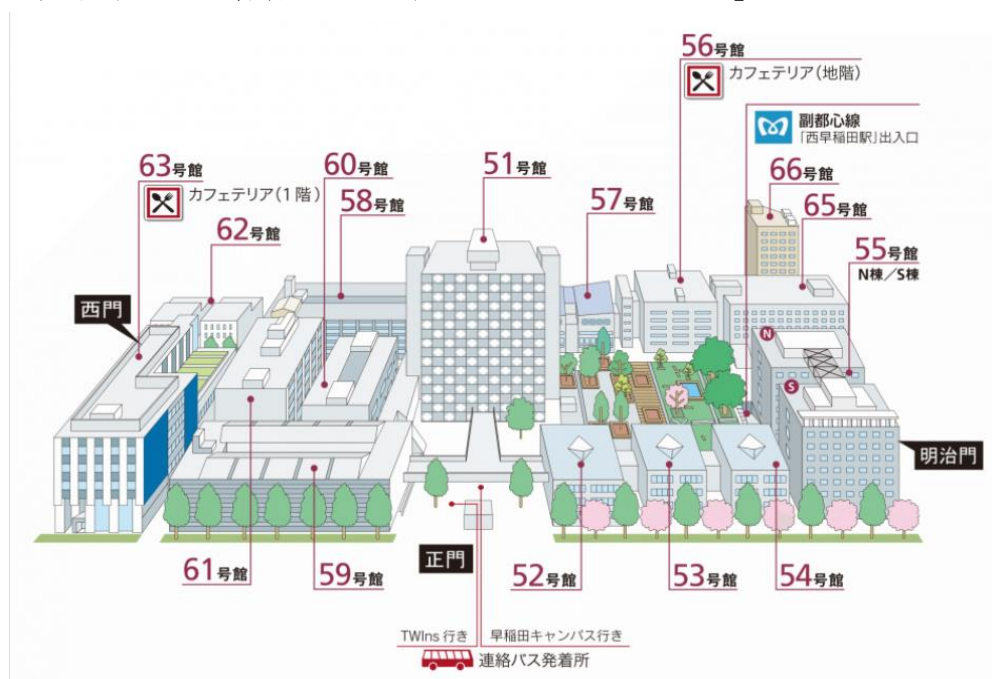
講演題目: 分子ダイマー自由度がもたらす新奇な誘電性と磁性

14:00~15:30 渡部洋氏(早稲田大学高等研究所助教)

講演題目: κ 型分子性導体の磁性と超伝導の理論: 銅酸化物高温超伝導体との類似点と相違点

16:00~17:30 田中宗氏(早稲田大学高等研究所准教授, JST さきがけ)

講演題目: 次世代量子情報処理技術「量子アニーリング」の基礎と応用



西早稲田キャンパス建物マップと51号館

問合せ先:

望月維人 早稲田大学理工学術院先進理工学部応用物理学科

TEL: 03-5286-2981, EMAIL: masa_mochizuki@waseda.jp

【講演要旨】

中 惇氏(早稲田大学高等研究所助教)

分子性固体は、多彩な分子構造によって一見複雑な結晶構造を持つ反面、電子構造は明快であることから、強相関電子系のモデル物質としてこれまで多くの研究がなされてきた。しかしながら近年、典型的なモット絶縁体とされる分子性固体において、分子内・分子ダイマー内の電荷自由度や水素結合中のプロトンの自由度といった非自明な内部自由度の存在が相次いで指摘された。これらの自由度の働きについて、過去数年間に渡り集中的に研究が行われ、その重要性が広く認識されたことで、分子性固体研究は特徴的な内部自由度による分子性特有の物性を開拓する方向へとその舞台を広げつつある。発端となったのは、分子ダイマー構造を持つ典型的なモット絶縁体 κ 型 BEDT-TTF 塩における誘電異常の発見である。これはダイマーの内部で一方の分子に電子が局在する電荷自由度に起因して生じることが指摘された。これは誘電性のみならず、量子スピン液体や超伝導といったこれまで単一軌道系の観点から考察されてきた性質にも深く関わると予想されるため、 κ 型塩をはじめとした分子性モット絶縁体の多くを多軌道・多自由度系として再考察する必要がある。このような背景の下、我々は分子性固体の誘電性と磁性に対するダイマー内の電荷自由度の働きを包括的に調べ、特異な電荷励起や電気磁気応答の可能性を見出したので、その結果を報告する。

【講演要旨】

渡部洋氏(早稲田大学高等研究所助教)

分子性導体 κ -(BEDT-TTF)₂X は、構成アニオン X を変えることで磁性・非磁性モット絶縁体や超伝導状態を示し、典型的なモット転移系として、しばしば銅酸化物高温超伝導体と比較される。この系を理論的に記述する際、2 量体を組む BEDT-TTF 分子(ダイマー)を一つのサイトと見なすダイマー近似が広く用いられてきたが、近年ではダイマー内で電荷が揺らぐことが本質となる現象が観測され、ダイマー近似を超える解析の必要性が示唆されている。そこで我々は、ダイマー内電荷自由度と分子間の長距離クーロン相互作用を考慮した 3/4-filled 拡張ハバード模型を用い、 κ -(BEDT-TTF)₂X 全般をカバーできるモデルの精密な基底状態相図を求めた。

解析には強相関効果を精緻に取り込める計算手法である変分モンテカルロ法を用いた。常圧超伝導物質 X=Cu[N(CN)₂]Br に対応するパラメータを用いた結果、電子相関の度合いによって常磁性金属、反強磁性ダイマーモット絶縁体、反強磁性電荷秩序、三倍周期電荷秩序、超伝導と様々な相が拮抗して現れることが分かった。超伝導秩序変数の対称性は extended-s+dx²-y² 的であり、ダイマー近似を超えた弱結合的なアプローチと合致する。超伝導相関は分子間のクーロン相互作用が有限の領域でのみ安定化し、電荷不安定性との関連を示唆する結果を得た。講演では銅酸化物高温超伝導体との類似点・相違点を明らかにしながら、分子性導体ならではの興味深い性質を議論する予定である。

【講演要旨】

田中宗氏(早稲田大学高等研究所准教授)

量子アニーリングと呼ばれる新しい量子情報処理技術が注目を集めている。量子アニーリングが対象とする問題は組合せ最適化問題と呼ばれる「膨大な選択肢からベストな選択肢を探索する」という問題である。組合せ最適化問題は、集積回路の最適デザインや宅配業者の最適配送ルート、膨大な工程が存在するプラントにおける最適計画などが挙げられる。最小のコスト、もしくは最大の利益を探索することから、多種多様な産業界におけるニーズが存在する。このような問題を解くことは困難であり、新しい情報処理技術の開発が求められている。

こうした背景の中、物理学の概念を用いた情報科学へのアプローチが注目を集めている。組合せ最適化問題を磁性体の基本的なモデルであるイジングモデルにマップし、組合せ最適化問題の最適解と、イジングモデルの基底状態を対応させる。それにより、組合せ最適化問題は相互作用のある多体系の基底状態を求める問題になり、物理学で培われてきた技術を用いることができる。最も有名なものとして、シミュレーテッドアニーリングと呼ばれる方法がある[1]。これは、温度(熱ゆらぎ)を表現するパラメータを導入し、これを徐々に弱めていくことにより基底状態を自然に得る方法である。

自然界には熱ゆらぎの他、もう一つ重要なゆらぎとして、量子ゆらぎが存在する。量子ゆらぎを導入し、これを徐々に弱めていくことにより、基底状態を探索する。これが量子アニーリングの基本的な思想である[2]。1998年に日本で理論的提案がなされた後、わずか10年程度で、商用の量子アニーリング専用機がカナダのベンチャー企業 D-Wave Systems 社により開発された[3]。この量子アニーリング専用機開発において、日本の超伝導エレクトロニクス技術が重要な役割を果たしている[4,5]。ある特定の組合せ最適化問題について、この量子アニーリング専用機を用いた場合、古典計算機を用いた場合に比べ1億倍の計算速度向上が報告されている[6]。

以上を踏まえ、本講演では、初歩的な部分から丁寧に量子アニーリングの原理を説明する[7]。また、量子アニーリングの現在の研究開発状況、さらに、量子アニーリングが拓く未来について私見を交えながら紹介する。また時間の余裕があれば、私自身が共同研究者とともに現在進めている、量子アニーリングに関する各種研究やその他の活動についても述べる[8-13]。

[1] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, M. P. Vecchi, *Science*, 220, 671 (1983).

[2] T. Kadowaki and H. Nishimori, *Phys. Rev. E*, 58, 5355 (1998).

[3] D-Wave Systems Inc. website, <http://www.dwavesys.com/>

[4] M. Hosoya, W. Hioe, J. Casas, R. Kamikawai, Y. Harada, Y. Wada, H. Nakane, R. Suda, and E. Goto, *Applied Superconductivity*, IEEE Transactions, 1, 77 (1991).

[5] Y. Nakamura, Y. A. Pashkin, J. S. Tsai, *Nature*, 398, 786 (1999).

[6] V. S. Denchev, S. Boixo, S. V. Isakov, N. Ding, R. Babbush, V. Smelyanskiy, J. Martinis, H. Neven, *Phys. Rev. X*, 6, 031015 (2016).

[7] S. Tanaka, R. Tamura, and B. K. Chakrabarti, “Quantum Spin Glasses, Annealing, and Computation”, Cambridge University Press, in press.

[8] I. Sato, K. Kurihara, S. Tanaka, H. Nakagawa, and S. Miyashita, *Proceedings of the 25th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI2009)*.

[9] I. Sato, S. Tanaka, K. Kurihara, S. Miyashita, and H. Nakagawa, *Neurocomputing*, 121, 523 (2013)

[10] http://www.shutanaka.com/papers_files/ShuTanaka_DEXSMI_10.pdf

[11] 次のサイトの slideshare に幾つかのプレゼンテーション形式ファイルを掲載しています:
<http://www.shutanaka.com/study.html>

[12] http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100602.html

[13] 科学研究費補助金基盤研究(B)「量子アニーリングが拓く機械学習と計算技術の新時代」
(代表:大関真之) Web サイト: <http://www-adsys.sys.i.kyoto-u.ac.jp/mohzeki/QL/>

【講師略歴】

中 惇 (なかまこと)

2017年4月-：早稲田大学高等研究所 助教

2015年4月-2017年3月：東北大学大学院理学研究科 物理学専攻 助教

2014年4月-2015年3月：芝浦工業大学工学部 非常勤講師

2013年3月-2015年3月：理化学研究所 創発物性科学研究センター 特別研究員

2013年3月：東北大学大学院理学研究科 物理学専攻 博士課程修了

渡部洋 (わたなべひろし)

2008 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻 博士(理学)取得

2008 - 2009 日本学術振興会 特別研究員 PD (東京大学)

2009 - 2013 理化学研究所 特別研究員

2013 - 2014 理化学研究所 創発物性科学研究センター 特別研究員

2014 - 2016 理化学研究所 創発物性科学研究センター 協力研究員

2016 - 早稲田大学高等研究所 助教

田中宗 (たなかしゅう)

2008 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻 博士(理学)取得

2009-2010 東京大学物性研究所 特任研究員

2010-2011 近畿大学総合理工学研究科量子コンピュータ研究センター 博士研究員

2011-2014 日本学術振興会 特別研究員 PD (東京大学)

2014-2015 京都大学基礎物理学研究所 基研特任助教

2015-2017 早稲田大学高等研究所 助教

2017- 早稲田大学高等研究所 准教授