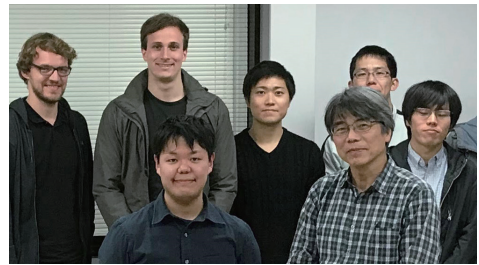


若手励起プログラム報告

吉岡 信行

東京大学 大学院理学系研究科 物理学専攻 博士課程 1年



指導教員：東京大学 理学系研究科 桂 法称 准教授 (D02)

受入研究者：京都大学 大学院理学研究科 川上 則雄 教授 (D01)

受入期間：2017年10月23日(月)～11月10日(金)

セミナー終了後、凝縮系理論グループメンバーの皆さんと。
手前左に筆者、手前右に受け入れ教員の川上則雄先生。

系の波動関数に内在するトポロジカルな性質が、不変量として相を特徴づける。そんな奇想天外な現象が、多くの物性物理の研究者の好奇心を駆り立てています。かく言う私もそのうちの一人で、特に乱れの存在下でのトポロジカル絶縁相・超伝導相の安定性や、量子相図に興味を持っています。たとえば、Bloch 関数で定義した Berry 曲率の積分である、第一 Chern 数を始めとして、並進対称性（もしくはさらに空間反転対称性）が存在する系では、トポロジカル不変量の計算手法は良く知られ、また比較的容易に計算できます。幾何学的な量を求める学問である、トポロジーから概念を援用したことを考えれば、不純物などの乱れに対し、頑強な性質を持つのだろう、と期待するのが自然でしょう。一方で、トポロジカル不変量の定義をどのように拡張し、相を特徴付けるのか、また数値的・系統的に調べられるのか、といった課題が多く伴います。このような問題意識のもとで、私はこれまで、機械学習により相を分類する試みを行ってきました [1]。乱れない極限での教師あり学習により、乱れの存在下での分類を行うことが目的となります。準粒子の空間分布を入力として、適当な特徴を抽出し、相分類を行う機械を構築します。乱れにより並進対称性が破れていても、準粒子分布の統計平均を取ることで、系の並進対称性の「統計的な回復」を使うことで、乱れのある系の量子相が精度よく分類できることを示しました。

現実的には、乱れの効果だけでなく、多体効果による影響も存在します。場合によっては、エッジ状態のギャップが開き、トポロジカルに自明な相となることが知られており、これはトポロジカル不変量による分類の reduction と呼ばれます [2]。もちろん、究極的には、乱れ・多体効果を包括的に扱う枠組みが必要となりますが、まず第一ステップとして、多体効果に限った場合に関し、深い知見を得ることを目的に、京都大学の川上則雄先生の元へ滞在することを決めました。

滞在中は、近年新たにトポロジカル絶縁体の拡張として提案された、高次トポロジカル絶縁体 / 超伝導体における多体相関について、PDの吉田恒也さんに議論して頂きました。従来のトポロジカル絶縁体 / 超伝

導体では、異なるトポロジカル不変量を持つバルクの境界にゼロエネルギー状態が現れますが、 n 次のトポロジカル絶縁体 / 超伝導体では、 n 個の境界の交差領域にゼロエネルギー状態が現れます。例えば、バルクエッジ対応により端状態の現れる、従来のトポロジカル絶縁体 / 超伝導体は 1 次に対応します [3, 4]。一方、2 次の場合に対応するゼロエネルギー状態は、二次元系では角に、三次元系では辺上に発現することになります [5]。このような特異な系において、reduction が起こるのか、そしてそれはどのような機構なのか、まだ殆ど理解されていません。滞在中に、角状態を発現させるモデルの構築を行いました。相互作用の影響の詳細な解析については、今後の課題となっています。

また、川上先生のご厚意により、凝縮系理論グループにて、機械学習と物性物理の橋渡しに関し、自身の研究紹介も兼ねたチュートリアルセミナーを行う機会を頂きました。多くの方々に興味を持って頂いたのみならず、物理的発想に基づいた深い質問も受け、さらなる融合と発展の可能性を感じました。同時期に基礎物理学研究所で開催された研究会での口頭発表の経験と合わせて、非常に身の引き締まる日々を過ごしたことが鮮明に思い出されます。

最後に、刺激と楽しみに満ちた空間に身を置く素晴らしい機会を与えてくださった、若手励起プログラムに感謝申し上げます。また、通常より長い期間にも関わらず滞在を快く受け入れてくださった川上先生、時間を厭うことなく議論頂いた吉田さん、そして暖かく接して頂いた凝縮系理論グループのみなさんに、この場を借りて深く感謝致します。どうもありがとうございました。

[1] N. Yoshioka, Y. Akagi, and H. Katsura, arXiv:1709.05790 (2017).

[2] L. Fidkowski and A. Kitaev, Phys. Rev. B **83**, 075103 (2011).

[3] A. P. Schnyder, S. Ryu, A. Furusaki, and A. W. W. Ludwig, Phys. Rev. B **78**, 195125 (2008).

[4] Y. Hatsugai, Phys. Rev. Lett. **71**, 3697 (1993).

[5] J. Langbein et al., arXiv:1708.03640 (2017).