St 研究室

物性理論研究室
量子輸送理論グループ

John Wojdylo 教授（左），河野浩教授（中），山影相講師（右）

*河野　浩　教授　*Hiroshi KOHNO, Prof.*
山影　相　講師　*Ai YAMAKAGE, Lecturer*
John Wojdylo 教授　*John WOJDYLO, Prof.*

物性物理学は物質一般を対象とする広い分野ですが，当St研究室では，その中でもスピントロニクスやトポロジカル量子現象など，（量子）輸送現象に関係することを中心に理論的に研究しています．

物性物理学

物性物理学は，物質の示す多彩な性質を，物理学の法則，とくに量子力学と統計力学，に基づいて解明する分野です．水と氷の違いは？磁石の起源は？超伝導とは？自然界の呈示する現象を追究することにより，先人物理学者は，たとえば「対称性の破れ」という，多粒子系に特有の概念を獲得するに至りました．これは，物の理（ことわり）を追求するという意味で，物性物理学の純学問的な側面といえます．

物性物理学は，また，科学技術の進歩や私たちの日常生活の向上とも密接に関係していて，学問的に得られた知識をもとに，物質の機能を引き出し新技術へ橋渡しする側面をもっています．半導体の研究から生まれたトランジスタはその典型的な例ですが，物理学の観点からは，人間の創意工夫で新しい物理現象を創造するものといえるでしょう．

物性物理学のこれら2つの側面は，必ずしも明確に区別できるとは限りませんが，量子輸送理論研究室では，後者の側面に重心をおいた理論研究を行っています．前者が物性物理学の「本流」であるとすると，後者は物性物理学に「新しい流れ」をもたらすものといえるかもしれません．

量子輸送現象

金属と半導体，絶縁体の違いは，まず量子力学に基づいて理解されます．半導体の理解はトランジスタを生み，それは，集積回路に組み込まれてパソコンなど現代の私たちの生活に欠かせないものとなっています．一方，半導体技術の進展とともに物性物理学の対象も広がり，たとえばアンダーソン局在や量子ホール効果といった現象が見出されました．これらは，ともに電気伝導に関する現象，すなわち輸送現象，ですが，その理解には電子波の干渉など量子力学が本質的に重要であるため，量子輸送現象と呼ばれています．

近年，半導体分野で発達した微細加工技術を磁性体に応用することにより，磁性についても研究対象が広がり，スピントロニクスという分野が誕生しました．また，量子ホール効果を示す状態は，磁石や超伝導のような「対称性の破れ」ではなく「トポロジー」で特徴づけられることが認識され，トポロジカル絶縁体など，新しいクラスの物質群が存在することが浮かび上がってきました．

スピントロニクス

スピントロニクスは，電子のスピンと電荷の双方を巧みに利用して新たなエレクトロニクスの創成を目指す分野です．物理学の観点からは「スピン流の物理」と位置づけることができ，興味深い現象の宝庫となっています．2008年のノーベル賞の対象になった巨大磁気抵抗効果に続いて，スピン・ポンピング，スピン流による磁化の駆動（磁化反転や磁壁移動），スピンホール効果，スピンゼーベック効果といった現象が発見・実現され活発に研究されています．これらは，磁性体の微細加工技術の発達により，今までなかった現象を人間の創意工夫でデザインできるようになったことに負うところが大きく，更なる新現象の発見も期待されます．私たちは，量子統計力学や場の量子論の方法を用いて，これらの現象の微視的理論に取り組んでいます．

トポロジカル量子現象

電流が流れるかどうかによって物質は金属と絶縁体に分類されますが，絶縁体はさらに“トポロジカル不変量”によって分類されます．トポロジカルな観点から物質の状態を分類できるということは現代物理学における重要な発見であり，2016年にはノーベル物理学賞の対象にもなりました．さて，トポロジカルな（＝トポロジカルに自明でない）絶縁体の表面には，波動関数のトポロジカルな性質に由来して，ゼロギャップのディラック電子が現れます．これに起因して，表面には散逸の無いスピン流が存在するなど様々な特異な現象が起きます．加えて，トポロジカルな半金属や超伝導体も存在します．私たちは，このようなトポロジカル物質の探索や，それを舞台に起きる新しい量子現象の研究を行っています．また，新奇な性質をもつトポロジカル物質は，スピントロニクスの観点からも注目されています．

St研では，このように学際的（工学，数学）な分野に身をおいて，物理学として新しい側面を切り出して，物理学の立場から理論的に研究しています．研究手法は，紙と鉛筆を用いた解析計算や，計算機を用いた数値計算などです．

研究室における教育と研究

学部4年・大学院修士1年では，まず，研究に入るための基礎訓練として，量子統計力学の手法（第2量子化，グリーン関数，ファインマン図形）や，輸送現象，固体物理に関する事柄を輪講形式で学びます．研究については，4年生は後期から，大学院生は入学後間もなく，教員と話し合って研究テーマを決めて，研究活動を開始します．本格的な研究は大学院からになりますが，研究指導の基本的なスタンスとしては，修士課程（博士前期課程）の学生には懇切丁寧な指導を，博士課程（博士後期課程）の学生には，名古屋大学の自由闊達な学風を担ってもらえるような指導を心がけています．

最近の学位論文から

博士論文：「伝導電子に媒介されたジャロシンスキー・守谷相互作用の微視的理論および関連現象の理論」（2024年度）
「動的格子変形によるスピン流および軌道流生成の微視的理論」（2023年度）
「結晶対称性に保護されたマヨラナ準粒子の電気応答とスピン流の理論」（2022年度）

修士論文：「磁気スカーミオンのブラウン運動に対する内部自由度の効果」（2024年度）
「伝導電子を介したマヨラナ準粒子間の相互作用の理論と人工量子スピン系への応用」（2024年度）
「トポロジカル物質のバルク表面共存状態における強磁性共鳴変調の理論」（2024年度）
「カゴメ反強磁性体におけるスピントルクと異常ホール効果」（2023年度）
「多重縮退するワイル粒子における結晶対称性に基づいた有効モデルの構築と外場に対する応答の解析」（2023年度）
「ノンシンモルフィックトポロジカル結晶絶縁体におけるホール効果とマグノン誘起超伝導の理論」（2023年度）

St研のメンバー

メッセージ

当研究室では，学生諸君が好きなことを思う存分研究して，元気に巣立って行くことを願っています．物理の好きな人は，工学的応用といった言葉に抵抗を感じるかもしれませんが，物理学は，これまでもこのようにして幅を広げてきたのです．熱力学は，当時最先端の技術であった熱機関の研究により完成したことに思いを馳せてみてください．物理の好きな人，新しいことに挑戦する気概のある人，分野の壁や従来の枠組みにとらわれずに発想することの好きな人を歓迎します．

http://www.st.phys.nagoya-u.ac.jp/
*連絡先　kohno@st.phys.nagoya-u.ac.jp

教授：2／准教授：0／講師：1／DC：6／MC：6