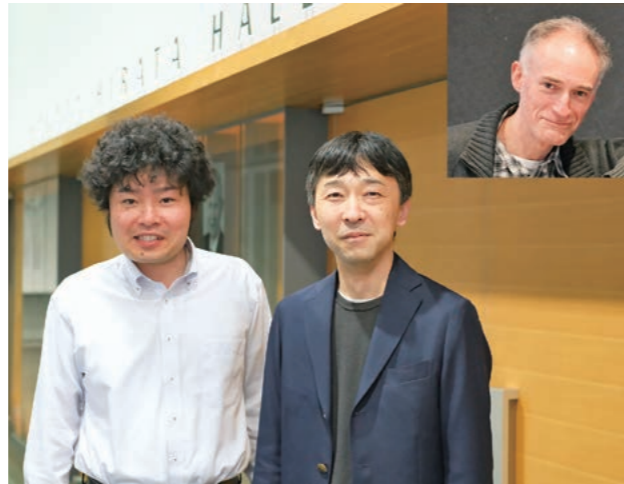


ナノ磁性・スピン物性研究室



谷山智康教授

*谷山智康 教授 Tomoyasu Taniyama, Prof.
Bernard Gelloz G30准教授 Bernard Gelloz, G30 Assoc. Prof.
井村敬一郎 講師 Keiichiro Imura, Lecturer
小森祥央 助教 Sachio Komori, Assist. Prof.



小森祥央助教, 井村敬一郎講師, Bernard Gelloz G30准教授

ナノスケール領域での磁性研究とスピントロニクス

電子は電荷に加えてスピン角運動量を持ちます。このスピン角運動量間の静的、動的な相互作用が織りなす多彩な現象は磁性と呼ばれ、物性物理学の中心的な話題として今なお多くの研究者を魅了してやみません。物質を単純なモデルで表現してその本質だけを抽出することで、多様な磁性の起源に迫り新奇物性を予測することは、正に物性物理学の真骨頂と言えるでしょう。一方で、単純なモデルで表現することが困難な場合も、現実の物質の世界では多々見受けられます。例えば、表面や界面などに代表されるナノスケール領域での磁性はその一例です。通常、大きな物質の中では電子は表面や界面の存在に気がつくことなく並進対称性を持つ結晶格子の中を運動しますが、薄膜やナノ粒子のように空間的に制限された領域に閉じ込められると、表面・界面、また領域のサイズを感じるようになり、大きな物質とは質的に異なる物性が発現します。表面・界面では空間的な反転対称性が破れ、スピン角運動量に加えて軌道角運動量が露になり、特殊相対論的な効果であるスピン-軌道相互作用が、大きな物質には現れない新たな現象を顕在化させることもしばしばです。このようなナノスケールにおける特異な磁性やスピン物性を見出し、その起源を探究するのが私たちの研究のターゲットになります。

一方で、ナノスケール磁性研究は、電子の環境を人工的に自在に制御し、作り出すことができるという点で、大きな物質ではアプローチできない新たな方法論を提供するという別の側面も持ち合わせています。上の例で言えば、界面を人工的に形成しスピン-軌道相互作用の大きさを制御することで、Dzyaloshinskii-Moriya相互作用に起因して発現するトポロジカル不変量を持つ微小なスピン渦（スカーミオン）やそれに伴う局所磁場が誘発するトポロジカルホール効果等が見出されます。このような磁性やスピン物性の物理に迫るための舞台を思いのままに設計するアプローチは、物性物理学の域に留まらず、新しい未知の磁性体や新機能の創出を通して工学的な研究の基礎を提供することにも繋がります。広くはスピントロニクスと呼ばれるこの研究領域は、物性物理学と工学とが両輪となって協奏曲のように掛け合いながら凄まじい勢いで現在進展しています。しばしばスピングラス磁性の物理と関連づけて議論されるニューロモーフイックの物理への展開も始まっています。ナノ磁性・スピン物性研究は、世界的に益々活況を呈していますが、現在、我々の研究室では、電子スピンと他の秩序変数、また、それに対応するゆらぎ・素励起の間の相互作用とその変換の物理に関する研究を推進しています。以下に研究室で取り組んでいるトピックスを紹介いたします。

マルチフェロイクスと交差相関

時間反転対称性の破れにより特徴づけられる磁化と空間反転対称性の破れにより特徴づけられる電気分極が一つの物質内に共存する物質が稀に見られ、磁化と分極の二つの強制的秩序変数の共存の意味でマルチフェロイクスと呼ばれています。マルチフェロイクスでは、磁化と電気分極が磁場、電場にそれぞれ応答することに加えて、磁化が電場に、電気分極が磁場に対して応答を示します。これは二つの強制的変数の間に交差相関が存在することに起因しています。複数の強制的変数の間の交差相関の発現機構を明らかにするためには、人為的に交差相関の発現の場を設計・創製することが必要です。私たちはこの発

現の場を物質の界面を利用して創出し、強制的秩序変数の間の交差相関のメカニズムの解明と磁化の巨大電気応答の創出を目指しています。この研究は、我々が研究代表として進めているプロジェクトの一環でもあり、シンガポール、インド、フィンランドなどの海外の研究機関や国内の研究機関の研究者と協力して進めています。

磁性/超伝導ナノ界面における電子相関

磁性体/超伝導体の界面では、電子間の相互作用を介して磁気秩序と超伝導秩序が影響を及ぼし合います。超伝導体にナノスケールで侵入する磁気秩序状態は、スピンの向きが揃った超伝導キャリアを有する非従来型の超伝導状態を誘起することができます。これによって電荷だけでなくスピン角運動量も発熱のない超伝導状態で輸送することが可能になります。逆に、磁性体に侵入する超伝導秩序状態によって、磁化の向きを制御することも可能です。これは、超伝導状態を維持するための超伝導体の凝縮エネルギーが磁性体へと輸送されることによって実現されると考えられています。私たちは、このような近年発見された磁性による超伝導の制御、あるいは超伝導による磁性の制御を可能にするナノ界面での微視的な電子間相互作用の詳細な解明に取り組み、また更なる新規現象の開拓を目指します。

マグノンの伝播挙動の解明と電場制御機能の構築

強磁性の低エネルギー励起状態にはスピン波と呼ばれる素励起があります。スピン波は原子スピンに加えられた熱的、磁気的な摂動が交換相互作用や静磁相互作用を介して強磁性体中を伝播する現象で、その量子化したものをマグノンと呼びます。マグノンは強磁性体中を減衰しながら伝播しますが、減衰の物理機構は未だ完全には解明されていません。例えば、トポロジカル欠陥の一つである磁気スカーミオンによる創発磁場がマグノンの減衰に与える影響も解明すべき課題の一つです。私たちはこのマグノン減衰機構の全容解明を目指した研究に取り組んでいます。また、人工マルチフェロイク構造を利用したマグノン制御を通して、マグノニクスと呼ばれる新たなエレクトロニクス分野への応用展開も狙っています。マグノンの強度や位相を電場のみで変調制御することができれば、極めて低消費電力でマグノンを干渉制御して演算する新たな機能の創出も可能になります。

異種トポロジカル欠陥の間の交差相関

磁気スカーミオン、強誘電極性スカーミオン、超伝導渦糸など、多様な物質・材料において普遍的に発現する秩序状態の特異点はトポロジカル・ソリトンと呼ばれ、近年、低消費電力情報記憶・演算デバイスへの応用が期待されています。私たちは、独自に構築してきた人工マルチフェロイク構造における磁気-電気交差相関に関する知見とデバイス形成技術を集約、展開することで、異種

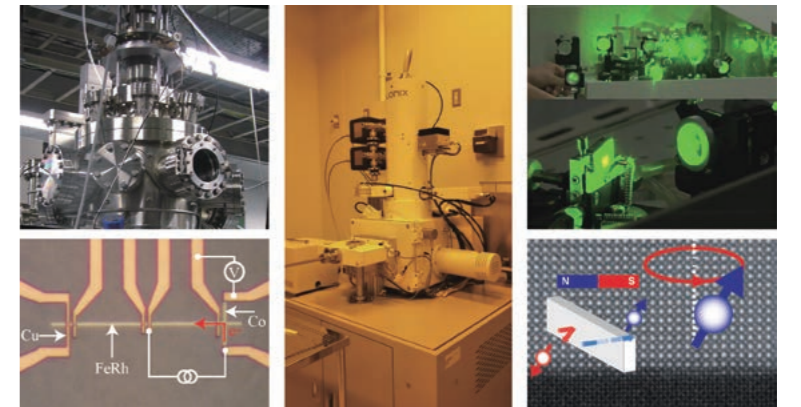


図1. MBE超薄膜成長装置、ナノ微細加工装置、フェムト秒レーザーなどを駆使して進めるナノスケール磁性・スピントロニクス研究

のトポロジカル・ソリトンの間の交差相関に関する学理の構築を目指しています。さらに、交差相関を利用したトポロジカル・ソリトンの従来にない生成・制御技術を確認すると共に、トポロジカル・ソリトンを基盤とする新原理に基づく革新的材料と低消費電力デバイスの実証を狙った研究を推進しています。これにより、スピントロニクス、強誘電体エレクトロニクス、超伝導エレクトロニクスを含む広大な研究分野における多様な電子デバイスの基本設計思想に格段の飛躍をもたらすことが期待されます。

最後に

研究室では、学生の皆さんがそれぞれ個別の研究テーマをもち、教員と共にアイデアを出し合いながら、電子、スピン、格子がダイナミックに絡み合う新奇現象の発現の舞台を創製し、物理現象の解明に取り組んでいます。アイデア次第では様々な新現象を発見できたり、未解明問題を解決するための糸口をつかんだりすることができます。研究を進めるためには、物質舞台を創製するMBE超薄膜成長装置、ナノ微細加工装置、静的・動的なスピン物性の評価装置などの設備が必要になりますが、全ての研究プロセスが研究室で完結できるよう十分な研究環境を整えています。研究室に配属されて1年以内で海外の国際会議で発表する学生もたくさんいます。進んで成果を出したいと考える意欲と熱意のある学生を歓迎します。



J研究室のグループメンバー

<http://www.j-group.phys.nagoya-u.ac.jp/>

*連絡先 taniyama.tomoyasu.v2@f.mail.nagoya-u.ac.jp

教授：1 / G30准教授：1 / 講師：1 / 助教：1 / DC：3 / MC：8