



**研究領域名** 対称性の破れた凝縮系におけるトポロジカル量子現象

**研究期間** 平成22年度～平成26年度（5年間）

京都大学・大学院理学研究科・教授

まえのよしてる  
前野悦輝

### 【本領域の目的】

本領域の目的は、超伝導体、超流動体、絶縁体などにおける、様々な対称性の破れに基づくトポロジカルに特徴付けられる新奇な現象を分野横断的に研究することで、「トポロジカル量子現象」としての普遍概念を創出し、「トポロジカル量子物理学」という新たな学術領域の形成を目指すことにあります。

研究対象は、凝縮体のかたまり「バルク」そのものの対称性破れに物理学の重要課題を含む超伝導体や超流動体、そしてトポロジカルな量子現象が発現する舞台として「エッジ」と名付けられるそれらの表面・界面です。「バルク」で創発する対称性の破れた量子現象に対する徹底的な理解と連動して、「エッジ」での量子現象の本質をトポロジーの観点から顕在化させる研究を進めます。

### 【本領域の内容】

本領域で対象にする主な物質系は、

- (A) 時間反転対称性の破れた超伝導体、
- (B) スピン三重項超流動体、
- (C) 空間反転対称性の破れた超伝導体・絶縁体で、それらに太い横糸を通す形で
- (D) トポロジカル凝縮体の量子現象の理論を展開します。このために計画研究 A01, B01, C01, D01 の各班を設けるとともに、公募研究によって研究の一層の進展を目指します。

トポロジカル量子現象の物理は、異分野交流・連携によって真のシナジー効果が最大限に発揮できるフェイズにあるため、特に以下の取り組みを行います。まず、連携による分野横断研究とアナロジー追求です。「スピン三重項対凝縮」、「エッジ流」、「スピン軌道相互作用」などについて、異なる物質系で個々の機構解明の問題として研究されてきた現象に「トポロジカル量子現象」という共通視点を植え付けるため、異分野間の共同研究や、「集中連携研究会」などの分野横断的連携活動を推進する研究体制を敷きます。また、「若手相互滞在プログラム」や「若手国際会議」などを通じて、分野横断型の研究視点と国際性をもった人材育成を通じた研究融合を進めます。

### 【期待される成果】

トポロジカル量子現象の物理構築にむけ、実証

的な研究成果及び普遍概念の構築を目指します。  
(A) ルテニウム酸化物超伝導のスピン三重項ベクトル秩序変数の確定。また奇周波数対形成に基づく近接効果の実証。  
(B) 超流動  $^3\text{He}$ -A 相の固有軌道角運動量とエッジ流の検証。また超流動  $^3\text{He}$  各相での表面アンドレーエフ束縛状態の解明。

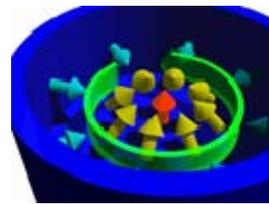


図1 超流動 $^3\text{He}$ の固有軌道角運動量

(C) 空間反転対称性を破る超伝導や電場誘起表面超伝導における、スピン一重項・三重項混合状態とスピン軌道相互作用の役割解明。またトポロジカル絶縁体でのスピン流を伴う表面金属状態の実証。

(D) 対称性の破れた量子凝縮体のエッジに自発する電荷、質量、スピンなどの流れを統一的に理解するとともに、マヨラナ型準粒子励起や反量子渦の理解を深め、トポロジカル量子現象に含まれる普遍的な数理構造を解明。

トポロジカル量子現象の物理は、純粋にアカデミックな研究対象としての価値に留まらず、スピントロニクスや量子コンピュータなど、将来の高度な応用科学にとっても重要な基礎となることが期待されます。

### 【キーワード】

**トポロジー**：本領域では波動関数の連続的な変形によって保存される性質の分類を指す。

**時間反転対称性の破れた超伝導体**：電子対の軌道運動やスピンの方向に揃うなどして、時間の反転に対して状態が異なる超伝導体。

**トポロジカル絶縁体**：電子のスピンと軌道運動の強い結合と電子状態のトポロジカルな性質によって、表面だけが金属状態になる絶縁体。

### 【ホームページ】

<http://www.topological-qp.jp>