

トポロジカル場の理論による新規量子現象の探索

田中 秋広 / 物質・材料研究機構 主幹研究員

統計力学で習う分配関数 $Z = \sum_{\text{配位}} W(\text{配位}) e^{-\beta E(\text{配位})}$ は、配位の重み因子 W が通常正の実数ですが、中には複素数値となって配位同士がふるいに掛け合う（ベリー位相効果）変わった量子系があります。所謂「トポロジカル秩序」を持つ系ではこの効果は顕著で、古くは反強磁性鎖の Haldane ギャップの核心がここにあることが知られています。この量子効果の原因となる「ベリー位相項(トポロジカル項)」を含む有効理論を以下ではトポロジカル場の理論 = TQFT と呼ぶことにします。TQFT が生み出す物理から、抽象的に見えがちなトポロジカル秩序の姿をとらえるのが私のテーマです。

トポロジカル絶縁体の電磁現象には、電磁場の他にアクシオン場と呼ばれる自由度が登場し、その TQFT がマクスウェル方程式に重要な修正をもたらします。(熱伝導現象もアクシオン型 TQFT に支配されることを早くに指摘しました。) 実際、この系は多彩な表面量子効果が予言されていますが、いずれも試料表面をアクシオン場のドメイン壁と見なすことで簡単に導かれます。一方アクシオンは位相(角度)場であるため、渦糸も形成できるはずですが、渦糸はトポロジカル絶縁体と通常絶縁体の積層構造(ワイル半金属)等において実際に出現すると予想されますが、性質は殆ど調べられていません。本領域の井村氏やポスドクの菊池氏とともに調べた結果、図1のように、バルク - 渦糸間の電流フローが関与する一種の量子ホール効果が実現する様子が詳しく見えてきました。なお、渦糸の凝縮相もトポロジーの観点から興味深い物性を示すと予想されます。

また、本来 TQFT で記述されない「通常」の系を TQFT で表されるトポロジカル秩序のある系に「変換」させる方法も検討してきました。一例として連携研究者の井上氏と、レーザー照射下の通常絶縁体(図2)が、トポロジカル絶縁体として振る舞うことを二次元系、三次元系の双方に対して確認しました。このようなトポロジカル秩序の人工創成は本領域でも研究が進行している冷却原子系の実験の進展と相まって世界的に活発化しています。



たなか・あきひろ

東京出身。1990年東大物工卒、原研特別研究生等を経て1999年博士(工学)。2000年科技厅金材技研(現物質・材料研究機構)入所。物性と異分野の交流に関心があります。

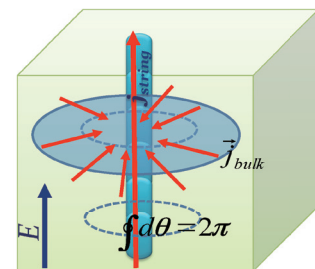


図1：アクシオン渦糸の量子ホール効果

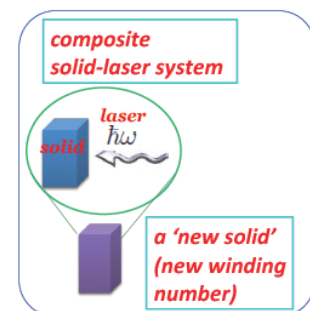


図2：トポロジカル物質の人工創成に向けて