

トポロジカル秩序と奇妙な励起状態

コーヒーカップを連続変形すれば、穴が1つあいた浮き輪やドーナツ、つまりトーラスと同じだ、というのがトポロジーの見方である。連続変形しても変わらない穴の数は、トポロジカル不変量とよばれる。不思議なことに、トポロジーの概念は物理系の基底状態の構造と、それに付随する励起状態のあり方にも大きく関わる。鍵となるのは状態が生まれもつ電荷である。電子やニュートリノ、ハドロン、ゲージ粒子、ヒッグス粒子といった素粒子の電荷は、現在のところすべて電気素量 e の0または ± 1 倍に量子化された格好で自然界に現れる。

ところが、である。固体中に棲息する膨大な数の電子からなる系(多体系)の挙動を探索する凝縮系物理学においては、 e の分数倍の電荷をもつ励起状態(粒子)が出現する。分数量子ホール効果とよばれる現象で現れる励起状態がその代表だ。この分数化のメカニズムは、単なる要素分割という素朴な還元主義では汲みつくせない、多体系ならではの豊かな構造を秘めている。励起状態は基底状態にエネルギーを注入して生成される状態なので、基底状態の性質を直接反映する。ここにいたって、表題の「トポロジカル秩序」という概念が登場する。一般に、基底状態の縮重度が

系のトポロジー的な構造に依存する場合、そのような秩序をトポロジカル秩序とよぶ。たとえば球面上の系とトーラス上の系は、トポロジーが異なるので連続的につながりようがなく、結果として縮重度が変わる。電子状態のトポロジーと電子相関が、この秩序形成の要である。そして励起状態は分数電荷をもち、さらにはフェルミ統計でもボース統計でもない分数統計(粒子交換の際に ± 1 以外の位相因子が生ずる)にしたがうことが理論的に指摘されている。分数電荷については実験的に確認されたが、分数統計性はいまだ観測されておらず、挑戦的課題である。

このように、トポロジカル秩序自体は実験的に直視し難いのだが、そこからの励起に特徴が表れるのである。トポロジカル秩序と奇妙な励起の関係は分数量子ホール系以外にも、スピン液体やボース・アインシュタイン凝縮系で見られる。さらに最近では、トポロジカル超伝導体の非アーベル統計渦(粒子交換で非アーベル位相因子が現れる)の研究へと発展を続けている。非アーベル渦を用いた量子計算も脚光を浴びている。理論、実験、さらには工学的応用が組み合わせられた、大変豊かな研究分野となっている。

御領 潤(弘前大理工), 会誌編集委員会