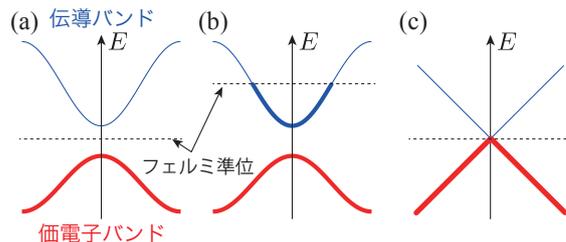


金属と絶縁体のはざまに広がる豊かな物性

物性分野で取り扱われる物理量のなかで、電気抵抗ほど劇的に変化する量はほかにない。物質によって電気抵抗率は、絶縁体 ($10^6 \Omega \text{ cm}$ のオーダー) から金属 ($10^{-4} \Omega \text{ cm}$ のオーダー) まで実に10桁以上も変化する。この違いは固体物理のバンド理論によってよく説明される。固体中の電子は原子核がつくる周期的ポテンシャルの影響により、バンドを形成する。もしフェルミ準位がバンド間のエネルギーギャップ中にあるならば (図 (a)) 物質は絶縁体となり、そうでなければ (図 (b)) 金属になる。電気抵抗率の劇的な違いは、絶縁体のエネルギーギャップ (数 eV のオーダー) が室温 ($300 \text{ K} \approx 0.03 \text{ eV}$) に比べて、十分に大きいことによる。

バンド理論は大きな成功をおさめたが、破綻する場合もある。たとえば図 (b) でバンドのちょうど半分を電子が占めたとき (half-filled という)、バンド理論は金属を予想する。しかし、電子間のクーロン反発力がある程度強くなると、電子は互いを避けようとして身動きがとれなくなり、各原子に局在して物質は絶縁体となる。この状態はモット絶縁体とよばれるが、その記述には電子の遍歴性と局在性にまつわる多体問題をよく考える必要がある。モット絶縁体では、局在した電子が磁性の源になるほか、化学組成や外場



のわずかな変化によって物性が大きく変わり、超伝導や巨大磁気抵抗、外場誘起金属絶縁体転移などのおもしろい物性を示す。また新しい秩序相や量子凝縮状態が現れる可能性も秘めている。

最近になり、絶縁体でも金属でもない新しいカテゴリの物質系が注目されている。たとえば、グラフェン、分子性導体、トポロジカル絶縁体の表面状態などでは、図 (c) のようにフェルミ準位付近でバンドが線形分散をもち有効質量がゼロとなる状態が実現されている。この状況では、スピン・軌道相互作用により電子の運動とスピンの強く相関し、電場による磁化制御や光のカイラリティとの結合など、新しい物性が現れる。これらが物質にどのような新機能を与えるか、今後の物質開発の指針となる可能性がある。

会誌編集委員会