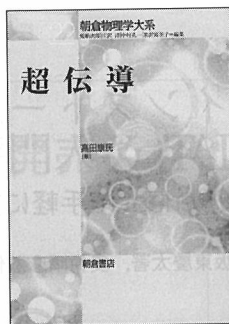


## 超伝導

高田康民著, A5判, 424頁, 本体7600円, 朝倉書店



超伝導は多電子問題の華として固体電子論の重要なテーマがすべて絡んだ問題であるとともに、電気抵抗が消滅するというその劇的な現象と豊富な物性・物質、応用への期待などから多くの研究者を惹き付けて已まない分野である。超伝導に対してはGL理論やBCS理論が基本的な枠組みとして存在しており、それを勉強するのが通常のコースであるが、本書はそのようなありきたりの記述ではなく、基本から説き起こして電子と原子の量子多体系としての側面を丁寧に吟味しながら近似の意味や限界をおさえつつ理論を構築していく醍醐味が味わえるようになっている。この手順を踏むことで、はじめてBCS理論の位置付けとそれを超えてゆく際に必要な要素が理解できるであろう。

本書は「1. 電子フォノン複合系」, 「2. 超伝導研究の歴史とBCS理論」, 「3. 超伝導機構の微視的機構とその転移温度の第一原理計算」の3部からなる。第1部ではまず水素原子、水素分子を例にとって、電子と原子の多体問題が「断熱近似」という観点から詳述される。断熱近似と一言と言ってもその内容は単純なものではなく、電子質量と原子質量の比  $m/M$  の展開として見たときにどのような補正項が現れるか、電子相関の役割は何か、など多くの非自明な問題が潜んでいる。この問題は水素分子における化学結合の本質は何かという重要な問題に直結しており、その描像が  $m/M$  の比に応じて変化していく様子が記述される。この議論の後に、結晶格子を組んだときの原子系の運動が格子力学として定式化され、次に電子フォノン相互作用が導入される。その上で、電子のポーラロン問題がかなりのページ数を割いて最近の成果まで含めて解説される。次に2電子のバイポーラロン問題に進み、束縛状態の有無が議論される。ここで、水素分子の問題との類似性が指摘されているが、同時にクーパー対の形成とも密接に関係している。第1部の1.5節では格子上の多ポーラロン問題として電子間斥力のハバード相互作用とオンサイトの電子格子相互作用の双方を含むハバード-ホルスタイン模型の解析を行い、電荷密度波とスピン密度波の中間状態としてポーラロン金属相が現れることが示されている。最後には軌道縮退系におけ

るヤーン-テラー効果のあるポーラロン問題が扱われている。このように超伝導の教科書でポーラロン問題をこれだけ詳細に検討しているのは類書にはない本書の特徴と言え、新しい知見を随所に得ることができた。続く第2部は超伝導の教科書として標準的な内容に対応しているが、重い電子系、分子性有機導体、銅酸化物、鉄系超伝導体、などの代表的な超伝導体が  $T_c/E_F$  の比をキーワードとして概観されている点が新しい。続く第3部では現在の研究の最前線が述べられている。まずミグダル近似が議論された後に強結合理論であるEliashberg理論が導入される。ここで電子間斥力を表す  $\mu^*$  の問題が基礎から説き起こされ相互作用する多電子・多原子の量子多体系としての扱いがどのような条件下でEliashberg理論へと帰着されてゆくかが丁寧に解説される。その上で、第一原理計算とEliashberg理論を用いた  $MgB_2$  の  $T_c$  研究が紹介されている。そして、Eliashberg理論とMacMillanの  $T_c$  公式の問題点が指摘され、続く  $G^0W^0$  近似に依る  $T_c$  の決定へとつながる。そしてワード-高橋恒等式を満たすように定式化されたGISC法と  $G^0W^0$  近似による  $T_c$  の計算がほぼ一致することが示される。さらに  $SrTiO_3$  やグラファイト層間化合物の超伝導に  $G^0W^0$  近似を適用し定量的にも良い一致が得られている例が示される。その後にグリーン関数法とは異なるアプローチとして密度汎関数法を超伝導状態へ拡張する試みについてその現状と展望が著者の視点からまとめられている。

本書を読み進むうちに読者は量子多体系の物理の豊富さ、難しさ、素晴らしさを堪能できるであろう。教科書は偏らずに客観的であることが要求される一方、著者の個性がおのずとにじみ出るものでないと魅力が半減するであろう。その意味で、本書は著者の長年の研究の歴史を色濃く反映しておりその哲学が静かにしかし強く伝わってくる良書である。特に若い人に著者のライフワークの集大成とも言える関連書『多体問題』、『多体問題特論』と本書を合わせて読んでいただきたいと思う。

永長直人 (理化学研究所, 東京大学大学院工学系研究科)