

# まえがき

高い電気伝導度を持つ伝導体の特徴として、大きな熱伝導、表面での高い反射率、温度によらない磁性などが挙げられる。これらの性質は、伝導体の電子の性質により決まっている。フェルミ粒子である電子は、結晶格子がつくるエネルギーバンドの最もエネルギーの低い状態からその状態を占有する。電子の総数は物質により決まっているので、電子はエネルギーバンドのある一定の準位まで状態を占有し、そこがフェルミ準位として定義される。このフェルミ準位にある電子が、その伝導体の中で最も大きな運動エネルギーを持つ電子であり、伝導体の物性をほとんど決めることになる。

フェルミ準位にある電子状態は、伝導体の構成元素や構造などを反映して、固有のフェルミ面を形成している。フェルミ面およびそれを形成するエネルギーバンドには、物性を特徴づけるさまざまな微視的な情報が含まれている。この情報をいかに引き出せるのかが、伝導体の物性の起源を理解する上での重要な研究課題となっている。

一般に、通常の伝導体のエネルギーバンドは、構成する原子の持つ多くの原子軌道で形成されているために、フェルミ面の構造は大変複雑な形をしている。ところが、本書で主に例として挙げていく有機伝導体のフェルミ面は、大変簡単な構造を持っている。これは、有機分子のたった1つの分子軌道がエネルギーバンドを形成しているということ、さらにその層状構造から判断できるように、電子状態が極めて異方的、つまりある特定の方向や面でのみ電子状態が広がっているという低次元性を持つことによる。この簡単なフェルミ面構造のため、有機伝導体では、フェルミ面構造とその物性が比較的容易に対応し、それゆえフェルミオロジー（フェルミ面研究）が大きく進展してきたという経緯がある。

フェルミ面やエネルギーバンド構造を知る有力な手法としては、光電子分光測定と磁場中での電子状態のランダウ量子化により生じる量子振動測定が挙げられる。近年、前者は角度分解光電子分光法として技術的に大きな発展があった。角度分解光電子分光測定では、試料表面に光を入射し、試料表面から放出される電子のエネルギー・運動量を測定することで、エネルギーバンドを直接的に観測することができる。入射した光のエネルギーが大きいため、フェルミ準位まで

の広いエネルギー領域のバンド構造を決められるという利点を持つ。しかし、放射される光電子は試料の表面近傍の電子に限られることから、この手法は表面のごく近傍の電子情報しか得られないことや、清浄な表面を必要とするという制約がある。そのエネルギー分解能も高くない。一方、後者の量子振動測定では、フェルミ準位のごく近傍の電子の情報しか得られないという制約があるが、試料の電気抵抗や磁化などの測定で量子振動を観測することから、表面状態には左右されず、試料全体の電子の情報を得られるという利点がある。さらに、そのエネルギー分解能は、光電子分光に比べて高いため、より詳細なフェルミ面の構造を調べることができる。一方、フェルミ面の幾何学的な構造に起因して、磁場中では電子はフェルミ面上で特徴的な軌道を持つ。この軌道運動は、磁場方位の関数として抵抗に振動現象を起こす。この現象は角度依存磁気抵抗振動と呼ばれ、フェルミ面構造を詳細に決定できる手法として近年確立したものである。超伝導の発現機構や、電荷・スピン密度波、電子ネマティック転移などの電子相転移現象には、フェルミ面の詳細な構造が密接に関わっている。そのため、電子相転移の起源を見極めるためには、フェルミ面の詳細な構造を知ることが大変重要となっている。本書では、これらの測定手法に焦点を当て、フェルミ面構造をいかに詳細に決定できるかを見ていく。

本書では、まず第1章で、初歩的なバンド計算である自由電子近似や強結合近似からどのようなフェルミ面が形成されるのかを復習する。これらの計算手法は、大変簡便であるにも関わらず、多くの物質でそのフェルミ面を理解する上で大変良い近似となっており、現在でも物性解析モデルの出発点として頻繁に利用されている。フェルミ準位が変わると、どのようにフェルミ面が変化していくのか、長周期構造によるフェルミ面の再構築など、平易に説明していく。第2章では、量子振動を理解する上で必須のランダウ量子化とその基礎知識を得る。第3章と第4章がこの本の主題である。第3章では、量子振動を定式化し、どのような測定で量子振動が得られるのか、量子振動測定からどのようにフェルミ面構造が決定できるのか、どのような物理量が決定できるのか、実験データを紹介しながら具体的に見ていく。第4章では、電子の特徴的な軌道運動を起源とする角度依存磁気抵抗振動を解説する。この手法は、擬2次元、擬1次元伝導体の両方で威力を発揮し、実にさまざまなフェルミ面構造の情報を得ることができるため、量子振動と相補的に威力を発揮する。

本書の内容の多くは、簡単なフェルミ面構造を持つ低次元伝導体において導出

されるものであるが、複雑な3次元フェルミ面構造を持つ伝導体においても、十分応用できるものである。2章以後は、理論と対応する実験結果を比較して、なるべく式の物理的な意味をイメージしやすいように執筆したつもりである。一通り量子力学、統計力学を習熟した後、初等固体物理を勉強した学生を対象として執筆した。各章には、理解を深めるため多くの補足を付した。内容を一通り概観したい場合には、補足を読み飛ばして差し支えない。本書がこの分野の勉強を始めようとする方々の一助になれば幸いである。

本書執筆にあたり、長田俊人氏（東京大学）より第4章の内容に関してご教授いただきました。筑波大学出版会の方々には、執筆の構想の段階から多くの助言及び協力をいただきました。森定恭平氏（筑波大学）には丁寧に校正していただきました。ここに深く感謝いたします。

2020年6月

宇治進也