

はしがき

結晶内を動き回る伝導電子が関与して発生する物質の磁性のことを、よく「遍歴電子磁性」と呼ぶ。量子力学の確立後、固体内に含まれる電子の量子力学的な取り扱いにより、固体物性を明らかにしようとする固体電子論に基づく研究がすぐに開始された。遍歴電子磁性に関する理論も、その頃の Bloch や Stoner の研究にまで遡る。初期の理論は、磁気秩序状態に関わる性質についての実験結果を比較的よく説明するように思われていたが、常磁性相で観測される磁化率のキュリー・ワイス則に従う温度依存性の説明に困っていた。この問題の解決に大きく貢献したのが、1973年に発表された Moriya と Kawabata による理論であった。その後 SCR 理論と呼ばれるこの理論の発展が 1980 年頃まで続き、関連する実験的な研究も大いに進んだ。

著者のひとりの高橋は、1970 年代の後半からこの分野の理論研究に加わるようになったが、その当初から理論に含まれている些細と思われる問題が気にかかっていた。有限温度だけを問題にし、温度がゼロの基底状態については別個に取り扱おうとする考えや、磁気秩序相で発生する磁気モーメントの温度変化を計算すると、臨界温度で不連続にゼロになるといった問題である。1980 年頃になり、理論の研究が一段落したと思われていた頃、何とかこの問題を解決しようと思立った。いろいろな試行錯誤の後、最終的に到達したのが、磁場効果、つまり磁化曲線の重要性についての認識であった。それまでは、磁化曲線の一部である磁化率の温度依存性だけに関心が向けられ、それ以外のことについてはほとんど問題にはならなかった。解決の糸口の見当がついても、それを実際に問題の解決につなげようとしたとき、それまでの理論とは違った考え方をする必要があると思うようになった。これらのことがきっかけで、新たな理論を構築するための研究を 1980 年の中頃から始めた。共著者の吉村は、新たな理論についての最初の論文が発表されたとき、真っ先にそれを検証するための測定に取り組み、理論を支持する結果が得られることを明らかにした。このことが、その後の理論の発展の大きな支えとなっている。これを機に生まれた両者の協力関係が現在まで続いている。

残された問題があるにも関わらず、1980 年以降は次第にこの分野の研究に対する関心が薄れていったように思える。しかしその後も研究は継続され、最初の頃の問題

点は現在ではほぼすべて解決されたと思っている。1980年頃と現在とを比較すると、遍歴電子磁性の理解には大きな隔りがある。例えば、基底状態と有限温度との間にあった垣根はなくなり、以前はほとんど無視されていた温度依存性や磁場依存性の示す微妙なふるまいが、現在ではそれなりの理由があることが明らかになった。そこで本書は、金属磁性に関心のある読者に対し、1980年中頃に始まる理論の研究と、それに関連する実験的な研究について解説し、遍歴電子磁性についての理解の現状を知ってもらうことを目的としている。また本書の大きな特徴は、「スピンゆらぎ」と呼ばれる磁気的なエネルギー励起の自由度が、磁気現象に対して支配的、かつ包括的な影響を及ぼすと考える点にある。ただし、内容については理論と実験との定量的な比較が容易であることなどを考慮し、熱力学的な性質だけに限ることにした。同様な理由から、強磁性体を主な対象としている。

本書の執筆に当たり、この研究分野に導きご指導いただいたことについて、著者の高橋は、守谷亨東京大学名誉教授に、また吉村は、故中村陽二京都大学名誉教授、安岡弘志東京大学名誉教授、志賀正幸京都大学名誉教授、目片守福井大学名誉教授に心より感謝致します。

これまで多くの磁性の分野の研究者の方々にお世話になり、議論していただいたことが本書に生かされています。鹿又武東北学院大学名誉教授、西原弘訓龍谷大学教授、瀧川仁東京大学教授、中村裕之京都大学教授、清水一明氏、田附雄一茨城大学教授、後藤恒昭東京大学名誉教授、小山佳一鹿児島大学教授、榎原俊郎東京大学教授、深道と明東北大学名誉教授、藤田麻哉東北大学准教授、出口和彦名古屋大学助教の方々に対し、深く感謝致します。研究室のスタッフや学生諸君についてもこの場を借りて感謝の意を表します。また、日本学術振興会による科学研究費、基盤研究(C)(21540341)の助成が、本書の執筆に役立てられています。

内田老鶴圃からの出版に当たり、長い執筆期間に渡り終始懇切な協力をいただいた社長の内田学氏と編集部の方々に深く感謝致します。

2012年3月

高橋 慶紀 吉村 一良

あとがき

本書を通じて読者に伝えたかったことは、最初のはしがきのところでも述べたように、遍歴電子磁性における磁化曲線の重要性である。ずいぶん長い間、実験、理論のどちらについても、磁化曲線の一部と見なせる磁化率や自発磁化などの温度変化に主な関心があった。より広い磁場領域における関数形の変化までは、なかなか問題にならなかった。1970年代に関心が持たれた物質の磁化曲線の Arrott プロットが、温度によらずどれもよい直線性を示すように見えたことも、これに影響したと思われる。ともかく、これが当たり前であるという思い込みが長く続いた。実際にはスピンゆらぎの影響を受けた磁化曲線は、温度領域の違いに応じた特徴的なふるまいを示す。したがってこの点では、局在スピンモデルの場合の磁化曲線と定性的には同じであると考えられる必要がある。遍歴電子磁性に関しては、状況によるこの特徴の違いが、はっきりと現れにくい場合がある。また外的な影響に覆い隠されるなどのため、注意しないと見過ごされてしまいがちである。本書で取り上げた磁気的性質のほとんどは、磁化曲線の温度や磁場による変化と関係がある。これらのほとんどは、理論によって初めて明らかにされた。第5章で示したように、これまでの多くの実験結果との比較によって、これらの成り立つことが確かめられている。

遍歴磁性の場合、磁性に関与する自由度の大半を磁気ゆらぎが占めることが多い。このために「ゆらぎ」が、理論による主な取り扱いの対象になる。局在スピンモデルの場合、発生する秩序を対象とする分子場近似を用いることによって、ある程度の理解が可能である。この違いのため、遍歴磁性の場合はスピンゆらぎに関する理論が必要となる。あまり馴染みのないゆらぎを相手にせざるを得ないことから、本書の内容もあまりとつきやすいものではない。しかし本書で説明した理論の基本的な考え方は、それほど難しいわけではない。ひとつは全スピン振幅の保存則であり、もうひとつは磁化曲線の温度や磁場依存性がこの保存則を満たすとする考えである。この後者、つまり磁化曲線の関数形を主な取り扱いの対象としたことが、本書の重要な特徴である。この考え方に基づいて、スピンのゼロ点ゆらぎを表立って問題にする必要が生じ、磁化曲線を取り扱うためには微分方程式が利用できるなどの考えが思い浮かぶ。これらのアイデアに基づいて、基底状態の磁化曲線へのスピンゆらぎの影響や、臨界磁化曲

線などの結果を初めて導くことができた。本文中にはあえて多くの式も示したが、実際に磁気的な性質がどのようにして導かれるのかを納得してもらうためである。

同じ目的の達成のために、いろいろの手段や方法を用いることが一般的には可能である。遍歴磁性の問題に関しても、当然、本書とは異なる観点からのアプローチや手法を用いることが可能である。比較的手軽な方法で多くの磁性体に対して共通に成り立つ性質を導くことができる本書で述べた考え方や手法は、それなりの存在意義があると思っている。この研究を始めたときの目標は、本書で述べた内容によってほぼ達成されたと思っているが、未だ不十分なところや見落としがあると思われる。今回触れることのできなかった多くの課題も残されている。しかし今後のこの分野の研究の発展のことを考えると、この時点でこれまでの研究によって得られたことをまとめ、整理した形で残しておくことに十分意義があると判断した。これが本書を執筆した動機である。最後に、本書で述べた内容がより広く受け入れられ、今後の遍歴電子磁性の研究の進展に少しでも役立つことができれば幸いである。