

はしがき

… 万物は彼にあって成り立っている。
(新約聖書、コロサイ人への手紙、第 1 章 17)

磁性はおよそ 300 年に渡って研究されてきたテーマである。ロードストーン、すなわち磁鉄鉱はギリシャの哲学者達によって最初に注目され、コンパス（方位磁針）がその研究に基づく最初の工業製品となった。コンパスが 12 世紀の西欧ですでに知られていたことは間違いないが、コンパスの機能の現代的解釈らしきものが提案されたのは 1600 年頃のことである。また、この 2 世紀でその進歩は格段に加速し、その結果、磁性を他の物理現象に結びつける 2 大成果が得られた。1 つは、磁気と電気は表裏一体であり、その 2 成分が光、すなわち電磁波をつくるということである。もう 1 つは、磁気と電気のこの関係が相対論に基づくものであるということである。磁性は、観測者と（例えば導線や鉄原子中を動く）電荷の相対運動による純粋に相対論的な効果として記述される。さて、強磁性・スピングラス・低次元系等の凝縮系の磁性は、今日でも依然として大きな注目を集めている。巨視的な系は、それが原子・分子から構成されているにも関わらず、その磁気的なふるまいはそれらとは本質的に異なっている。これは磁性が集団現象であるためである。磁性は極めて多くの粒子の協力現象であり、その意味で超伝導や超流動さらには固体それ自身の現象と似通ったところがある。アカデミックな疑問に答えるという興味と永久磁石やセンサーあるいは磁気記録に用いられる新材料を発見するという応用上の動機は常に平行して進んでいる。

本書はオックスフォード大学で凝縮系物理学を選択した学部 3、4 年生向けの講義から生まれた。基礎的なことはもちろん、講義の中で扱えない参考資料や追加の話題を含む教科書が当然のことながら必要である。目標は、首尾一貫したテーマの下、有用で興味深い情報源になり、さらには読むのが楽しい本を作ることである。本書は凝縮系物理学のオックスフォードマスターシリーズの一部でもあり、このシリーズの他の巻は、電気的性質・光学的性質・超伝導・構造・ソフトマターを扱っている。

本書を読むには初歩的な量子力学と電磁気学の知識が必要であり、また原子物理学から得られる成果にある程度馴染んでいる必要がある。読者が簡単に参照できるように、また標準的な表記法を示すために、それらを付録にまとめた。

ii はしがき

凝縮系で見られる興味深い磁気現象においては 2 つの点の本質的に重要である。1 つは原子が磁気モーメントをもつということであり、もう 1 つはそれらが何らかの相互作用を及ぼし合うということである。これら 2 つのテーマをそれぞれ 2 章と 4 章で議論する。2 章では「原子が磁気モーメントをもつのはなぜか」という疑問に答え、磁気モーメント間に相互作用がないとき、磁気モーメントがどのようにふるまい、それをどのように調べるのかを説明する。3 章では結晶内の局所的な環境がこれら磁気モーメントにどのように影響するのかを説明し、その研究に応用できる実験手法を解説する。4 章では「異なる原子の磁気モーメントはどのように相互作用するのか」という問題に答える。以上の 2 つの因子がそろうと磁気秩序が起きるが、それが 5 章と 6 章のテーマである。5 章では固体状態で見出される様々なタイプの磁気秩序を扱う。6 章では再び磁気秩序を考えるが、対称性の破れの基本概念から出発し、相転移・励起・磁区を説明する。特に、磁気秩序と他のタイプの対称性の破れた基底状態、例えば超伝導、との関連を強調する。7 章は金属の磁気的性質を扱う。金属では、多くの場合、非局在化した伝導電子が磁性を担う。8 章は相互作用が競合する場合および低次元系での繊細で複雑な現象を説明する。これらトピックスは、現在、精力的に研究されているが、多くの未解決問題も残っている。全体を通じて物性と応用を議論するが、フェライトや永久磁石を含む実用材に対する考え方の意味や、近年応用上著しく重要になった種々の磁気光学効果や磁気抵抗効果の基礎となる物理を紹介する。物理を専門とする読者を念頭に、本書では全ての分野の基礎となる量子力学・対称性・電磁気学の基本的な物理的原理を強調している。しかし、本書は単なる机上の書ではなく、そのテーマを現実の測定や実験物理学者が実際に用いている実験技術と結びつけ、学部生向けの基礎的な物理と最近の研究で興味が持たれているトピックスとの溝を埋めることを意図している。

1-7 章には参考書と演習問題を加えた。演習問題には様々な難易度のものがあるが、本文中で取り上げた話題を理解する上で助けとなるように選んだ。8 章に演習問題はないが（この章で取り上げたテーマは全て現在の研究のトピックスである）、参考書を多めに加えた。

最後に本書の執筆中に援助してくれた人々に感謝の言葉を述べたい。オックスフォード大学出版の Sönke Adlung とスタッフ、またこのマスターシリーズの他の著者に感謝する。オックスフォードのマンスフィールドカレッジとオックスフォード大学物理学科の環境は仕事をするのによい刺激となった。理解していたと思っていたことについて深く考えさせる質問を時折してきた学生たちもいる。本書の様々な解釈を執筆するに当たって、以下の人々との議論から大いに啓発を受けた。Hideo Aoki, Arzhang Ardavan, Deepto Chakrabarty, Amalia Coldea, Radu Coldea, Roger Cowley, Steve Cox, Gillian Gehring, Matthias Gester, John Gregg, Martin Greven, Mohamedally Kurmoo, Steve Lee, Wilson Poon,

Francis Pratt, John Singleton, Candadi Sukumar. 様々な版の草稿を読んでもくれた友人や同僚に特に感謝する。彼らの批判や示唆に富んだ質問のおかげで最終版は著しく改善された。Katherine Blundell, Richard Blundell, Andrew Boothroyd, Geoffrey Brooker, Bill Hayes, Brendon Lovett, Lesley Parry-Jones, Peter Riedi. 出版後に見つかったミスは本書のウェブサイトに掲載予定である。

<http://users.ox.ac.uk/~sjb/magnetism/>

とりわけ、親愛なる妻・よきパートナーである Katherine に感謝する。彼女は誰よりもひらめき・助言・友情・愛情を与えてくれた。この本を彼女に捧げる。

オックスフォード

S.J.B.

2001 年 5 月

再版時の追記：

本書の初版の誤りを指摘してくれた以下の人々に感謝する。Michael Brooks, Jonathan Coe, Ted Davis, Jonathan Fitt, Lucy Helme, Tom Lancaster, Gavin Morley, Oscar Moze, Shoichi Nagata, Toby Perring, Christopher Steer, David Thouless.

オックスフォード

S.J.B.

2003 年 1 月

訳者序文

本書は Oxford Master Series in Condensed Matter Physics のうちの 1 巻である Magnetism in Condensed Matter の日本語訳である。その著者は Oxford University, Department of Physics の Professor Stephen Blundell である。日本にはすでに磁性関連の優れた書籍が多数存在するが、その事実を認めた上でも、Magnetism in Condensed Matter は初学者向けの優れた「教科書」といえるのではないだろうか。実際、世界のスタンダードな教科書の 1 つとしてすでに定着している。その最大の理由はバランスにあるように思われる。もちろん、学問分野によって教科書として求められるコンテンツは異なるが、少なくとも固体物理学の延長上で初めて磁性を学ぶ学生にとっては、著者のフィロソフィーを感じさせるオリジナルな展開になっているにもかかわらず、ストレスを感じさせない自然な磁性の導入になっている。基礎と応用をバランスよく網羅し、理論にも実験にも偏ることがなく、容易な事項を中心に知的好奇心をそそる仕掛けがあり、初歩から最先端の研究に至る過程がスムーズにコンパクトにまとめられている。また、言葉を尽くした丁寧な説明がなされている。そのため、Magnetism in Condensed Matter は磁性を初めて学ぶ人に「最初に」手にとってほしい本の 1 冊である。

まず想定される読者は固体物理学の初歩を学んだ直後の学部 3, 4 年生程度であろうと思われるが、専門知識をほとんど初めて学ぶ「一般の」日本人学生にとって、原書を読むというのはいささか酷な話である。そのため、(それがたとえ拙い訳であっても) 日本語訳が存在することに一定の意義があるのではないかと思われる。原書の初版の出版は 2001 年のことなので、もうすでに 10 数年の歳月が経過している。訳者は、学部学生・大学院生の教育を担当する教員の一人として、出版当時から Magnetism in Condensed Matter の日本語訳が出版されるのを密かに待ち望んでいたが、今日までそれが実現することはなかった。以上のような話を内田老鶴圃の内田学社長との会話で口にしたのが事のはずみで、自らが翻訳という不慣れな作業を担うことになった次第である。

訳者の理解不足・誤解やチェック不足が災いして、原書の価値が損なわれていないことを切に望む。また、出版後に見つかった誤りや適切でない表現は、機会があれば修正を加えたい。最後に本書の原稿を丁寧に読んでいただき貴重なコメントをいただいた恩師志賀正幸先生に深く感謝します。また、京都大学大学院工学研究科磁性物理学研究室の学生諸君

vi 訳者序文

には間違い探しに協力してもらいました。内田学社長をはじめとする内田老鶴圃のスタッフには原書出版社の Oxford University Press とのやりとりを含めて辛抱強くおつき合いいただきました。深く感謝しております。

2015年6月

訳者