

はじめに

本書は理工系学生を対象とする統計熱力学の教科書・参考書である。前半は熱力学を、後半は統計力学を論ずる。熱力学と統計力学を初めて基礎から学ぼうとする人、すでにこれらの学問を学んだ研究者にとっても、その先にどのような学問があるかを見通すことができるよう配慮した。巨視的（すなわち熱力学的）視点と微視的（すなわち統計力学的）視点にバランスの良い架け橋が与えられる。主に、平衡熱力学とGibbs集団（マイクロカノニカル集団、カノニカル集団、グランドカノニカル集団）の統計力学および量子統計力学の標準的なものの詳しい解説をする。

統計熱力学とは、多粒子（ $N \approx 10^{23}$ ）からなる系（例えば、気体、流体、固体、プラズマ等々）を記述する理論である。これら物質の状態は、多数の原子・分子からなる系の示す性質である。まったく異なって見える現象や系が、実は共通の非常に一般的な物理法則に従っている。その詳細を本書で扱う。ここでは多粒子系の、特に熱平衡と呼ばれる状態における性質を議論する。その際、多粒子系の性質に対する統計力学的な見方、すなわち、一つ一つの粒子から見る微視的な見方に重点を置く。

本書では、最初に熱力学を導入する。熱力学ではまず、物質の巨視的状态を特徴付ける物理量（状態量）を曖昧さのないように定義する。そしてこうした量の関係を普遍的な方程式（状態方程式）で記述する。熱力学の第一歩は、身近な現象の観察から出発し、考えている一つ一つの系それぞれに限られたものではなく一般的に成立する関係を探ることである。こうした関係から熱力学の公理とも言える基本法則が得られる（例：エネルギーに関する法則、エントロピーに関する法則、...）。そこでは、法則を記述するために必要な状態量を定義することから始める。これらの法則に加えて、特別な系で成立する状態量の間になり立つ経験則（状態方程式）が確立される。基本法則と状態方程式とを使うと、系の巨視的状态は少数の状態量（状態変数と呼ばれる）だけで記述することができる。すなわち、状態変数以外のすべての性質、例えば比熱は、状態変数の値によって決まってしまう。

熱力学だけでは、こうした法則によって、なぜ系の状態が記述できるのかという疑問に答えることはできない。熱力学の持っている一般性は、ほんのいくつかの経験則のみに基づいているために、大きな制約を伴っている。状態量はどのようにしてすれば測定される量かという測定方法に依存して定義された巨視的で現象論的な量である。熱力学は巨視的な振る舞いに対す

る理論である。微視的な描像に基づいた究明や解釈を与えるものが、統計力学である。

この本で扱うのは主として熱平衡状態である。この「平衡状態」という基本的な用語の正確な定義と、定常状態や非平衡状態との違いについて理解しておくことが重要である。また、熱平衡状態だけを扱うため、熱力学は系の状態の時間変化を記述することはできない。けれども、想定している変化が実現するか否かは、平衡状態どうしを比較することによって熱力学の枠内で判別できる。その際、状態の微小変化という考え方をよく使う。熱力学では二つ以上の変数を持つ関数を扱う。このため、偏微分や線積分を扱わなくてはならなくなる。

次に、本書の特徴を述べたい。熱力学視点と統計力学視点の両方が身につくよう、熱力学に関する議論が最初の第1章と第2章でなされる。これらの章の内容の一部は、学部1年、2年生の熱力学の講義に用いてもよい。無論、熱力学に興味のない人はスキップし、統計力学の基礎と応用を論じた残った章に進んでよい。本書で取り上げた題材は、著者らが学部3、4年生の統計力学および大学院修士課程の特別講義で用いた内容を加筆したものである。それらの内容についてはその物理的概念が理解できるように深く掘り下げて議論した。その結果厚い本になってしまったが、読めば一応わかるくらいに懇切丁寧に、ページ数にこだわらずに、数式が物理的概念を理解するのに助けとなる場合は遠慮なく使い、式の導出や変形は途中をできるだけ省略せず、計算過程を丁寧に書き下した。必要な数学的道具立てはすべて本書(付録)で説明している。読者が根気よく数式を実際に計算し、斜め読みはせずにきちんと読めば、まったくの初学者にも統計熱力学の基礎と応用が十分理解できると思う。また読者が、さらに英語で書かれた文献を読む助けとなるように、技術・専門用語には英訳をつけた。

最近、固体電子理論の発展が著しい。よくFermi面を使った議論が見られる。電子は相互にCoulomb作用し、また格子イオンともCoulomb作用している。それなのに、1電子近似であるFermi面がどうして存在し、しかも有用なのであろうか。Landauは、電子系は通常の金属(常伝導体)がFermi液体になっていることに注意した。この理論の基礎付けを金属の自由電子論(第18章)の後半で扱った。固体のFermi面は、主としてde Haas - van Alphen振動効果を利用して決められる。これには静磁場中の自由電子の理論が必要である(第19章)。鉛(Pb)は、7.19 K以下で超伝導状態になり、不純物やフォノン(格子振動量子)による抵抗が消えてしまう。これは液体ヘリウムが2.2 K以下で超流動状態になるのに似ている。超伝導、超流動はともにBose-Einstein凝縮によると考えられる。自由粒子のBose-Einstein凝縮は、第20章で取り扱う。超伝導は電子-フォノンの相互作用によることが、Bardeen, Cooper, Schriefferにより解明された。この相互作用は、第2量子化を使わないと表すことができない。第21章で、生成・消滅演算子の現れる第2量子化の基礎を詳述した。これは場の量子論にも必須である。

すべての節は、順を追ってゆけば、他の参考書を見なくとも一応わかるように書かれているので、独立心の強い学生および研究者に対する独習書としても、本書は役に立つと思う。また、最近の研究を含む面白いトピックスを含むので、教室外の研究課題、または大学院学生向

きの勉強材料にもなるであろう。各章末にある演習問題には、その章で扱った題材に直接関係した素直な問題だけではなく、もっと一般的な性格の問題や、もっとチャレンジングな問題もある（解答へのヒントが、~~鉛筆~~マークで記されている）。これらの問題を自分でこつこつ解くことにより、物理がわかり、物理をやる面白味が湧いてくる。これはよく聞くことだが、物理を学ぶにはこの手しかない。

この本の執筆作業に際して、熱力学の章（第1～3章）を藤田が、統計力学に関する残りの章と付録は鈴木が担当した。全体を通して文体や用語の統一をはかりながら、全体の推敲を重ねて行った。なお、記述や内容に不完全なところがあると思う。ご意見、ご助言を賜れば幸いである。

著者の一人（藤田）は、1950年前半に九州大学で原島鮮先生と田中友安先生に統計力学の懇切丁寧な講義を受けて勉強した。ハミルトニアンから出発してすべての現象を解明するとはすばらしい理論であると思った。衣食住に不自由な時期であったが、紙と鉛筆さえあれば、問題はいくらでもあるし、貧乏でも研究できる。これに限ると思って統計力学を専攻することにした。この選択は良かったと今でもつくづく思う。原島先生は他界におられるが、ここで両先生に感謝の意を表したい。最後になったが、教科書の薄さを競う昨今において、共立出版編集部の吉村修司氏はこのような厚い本の出版を推進してくださった。この場を借りて感謝したい。また、講義やゼミの際にコメントをいただいた多くの学生さんたちに感謝する。

本書が多くの方々のお役に立てればと、願ってやまない。

東京、そして Buffalo
著者記す