

清水 明「統計力学の基礎 第I巻」の特徴

2024年9月23日

主要な特徴

1. **平衡状態の典型性**とボルツマンの公式を基本原理に採用しました（5章, 6章）。
 - 等重率も統計アンサンブル（Gibbs 状態）も基本原理ではなく、ひとつの計算手法に過ぎないことを明確化しました。
 - その実例として、Gibbs 状態が実際の平衡状態とは異なる例をいくつか挙げました（5.2.4 項, 5.3 節, 18.3.2 項など）。
 - それにもかかわらず、どのミクロ状態を採用しても、平衡状態だけを対象にする限りは、統計力学が保証する精度（項目 3 参照）の範囲内では同じ結果が得られることを説明しました（5.2.7 項, 12.4.3 項など）。
 - しかし、平衡統計力学と他の理論（量子力学や非平衡統計力学）を組み合わせる際には注意を要することも説明しました（18.3.2 項など）。

これらは、続巻で説明する Thermal Pure Quantum State や「拡張アンサンブル」に導くだけでなく、しばしば見かける混乱を解消する助けにもなるのではないかと思います。

2. **マクロ状態**を明確に定義し（4.3.3 項, 18.1.1 項）、それを用いて、平衡状態の定義を明確化しました（5.2.1 項, 18.1.1 項）。
3. **マクロに見る**、**マクロな精度**、**マクロに同じ**などを、明確に定義し（4.3 節, 18.1 節）、それを用いて、**統計力学の予言の対象と精度**を明確化しました（4.4 節, 4.5 節）。
 - 局所物理量の分布関数（Maxwell の速度分布など）が、等重率や統計アンサンブルとは無関係に、常に精度よく求まる理由も説明しました（12.4 節）。
 - 粒子数ゆらぎ（補足 4.4）や、一粒子状態の占有数の統計力学的意味（15.4 節）などの、混乱を生みがちな量についても明確化しました。
4. **アンサンブルの等価性**について、
 - **熱力学関数の等価性**（10.3.4 項など）に留まらずに、**状態についての等価性**（10.4 節, 11.1.4 節など）も説明しました。
 - 熱力学関数の等価性は常に成り立つのに対して、状態についての等価性は相共存があると破綻することを説明しました（10.4.2 項など）。
 - 相転移があると適切なアンサンブルを選択する必要があることを説明し、一例として、ボーズ・アインシュタイン凝縮をカノニカル分布で計算してみせました。
5. 統計力学が対象とする **ミクロ系の条件**を明記しました（5.1 節, 第 9 章）。
6. 特定の理論に依らない、物理学の基礎として、「**状態**」の**一般論**も説明しました（16.1 節）。
 - これを用いて、量子論や古典力学における **混合状態**を明確に説明しました（16.2 節など）。
 - さらに、続巻で扱う相共存状態や「**熱力学的純粋相への分解**」も、自然に理解できます。

- 古典同種粒子系の $N!$ の問題も、量子論を持ち出すまでもなく、この「状態」の一般論から当然であることを説明しました (8.2.2 項)。

その他の特徴

- 様々な計算結果の、**物理的・直感的理解**も、いたるところで説明しました。
 - 統計力学の基本原則を理解しやすくするために必須である**エントロピー表示 (UVN 表示) の熱力学**の概要を書きました (2 章)。
 - この章は、拙著「**熱力学の基礎 I**」の導入として読むのにも適しています。
 - また、相共存がある系の扱いにも適しています。
 - 本書の理解に必要な量子論の説明を書きました (13 章)。ul> - この章は、拙著「**量子論の基礎**」の導入として読むのにも適しています。
 - その一般原則を生かして、いわゆる「第二量子化」などの回り道をしないで、**最短距離で Fock 空間を説明**しました。
- 古典相空間の要点を書き (3 章)、**平衡緩和** (平衡状態への移行) についても (本書の主題である平衡統計力学の対象ではありませんが) 概要を書いておきました (3.5 節, 3.6 節)。
- 統計力学が**漸近理論であることを明確化**し (4.2 節, 5 章, 6 章)、よく行われる計算の正当化も説明しました (6.2.2 項)。
- 可積分系に統計力学を適用することの正当化も説明しました (8.6 節)。
- **Gibbs 集団を統合する公式**を与え、それがエントロピー表示では極めて自然に理解できることを説明しました (11.2 節)。
- 通常の教科書では説明不足と思われる、**テクニカルな事項も丁寧に説明**しました。
 - 本来の統計力学の予言の対象ではないはずの一粒子量である、フェルミ分布やボーズ分布の統計力学的な意味を明確化しました (15.4 節)。
 - 光子気体の、質量があるボーズ粒子系との違いを解説し、通常はずさんに扱われる赤外発散についても、高エネルギー物理と整合する扱い方を説明しました (15.2 節)。
 - 格子振動についても、一見すると発散をもたらすゼロモードの説明をきちんと行い (補足 3.4, 補足 15.4)、単位胞に複数個の原子を持つ系のフォノンの説明をわかりやすく解説し (15.3.1 項)、光学フォノンを持つ結晶における Debye モデルの意味も明確化しました (補足 15.3)。
 - 一粒子状態密度を、デルタ関数などを使わずに、数学的にも well-defined な形にきちんと定義しました (14.3.1 項)。

初学者や、授業に使われる教員の方へ

以上のように、本書は、研究者や大学院生のお役にも立てそうな内容を含んでいますが、[清水研 HP のサポートページ](#) (青字をクリックしてください) の中にある、拙著「**統計力学の基礎 I**」を教科書とする**初学者と教員の方のための御参考**に書きましたように使っていただければ、初めて統計力学を学ぶ際の教科書や、学部生向けの授業の教科書にもなるように、構成してあります。