統計物理学

需要全本请访问 www.ertongbook.com

岩波講座 現代物理学の基礎〔第2版〕 5

統計物理学

F140/24 (日 2-3/150)
統計物理学

© 湯川秀樹，戸田盛和，久保亮五 1978

岩波講座 現代物理学の基礎〔第2版〕5 統計物理学(全11巻・第4回配本) ¥2600
1978年4月26日 第1刷発行
発行所:〒101 東京都千代田区一ツ橋2-5-5 株式会社 岩波書店 電話03-265-4111
振替 東京6-26240／印刷:精興社／製本:牧製本

初版への序

物質の成立ちを追求すれば，分子から原子，原子核と電子，核子，さらにさまざまの素粒子へと進んでゆく．窮極の謎はいまだ深い闇に閉ざされているとはいえ，物理的世界の根元をさぐるこの努力は，今世紀初頭から今日まで真に驚嘆すべき自然の整序をわれわれに示した．その成果の華々しさにおおわれがちではあるが，近代物理学におけるもう1つの力強い流れを見逃してはならない．それは根元へと溯る方向とは逆の方向を目指し，分析された要素を組み立て，現実に，日常にわれわれが直面する世界の物理を再び構築しようとするものである．分析と綜合の2つの過程は，科学の発展の両面であり，科学のどの分野でも絶えず錯綜しているから，単純にこれを分けることは必ずしも適当ではないが，この巻で取り扱う主題である統計物理学を一言にして特徴づければ，それは上に述べた第2の方向の物理学の方法論である．

ミクロのレベルでの分析を踏まえて，ミクロからマクロを再構成することは何も物理学には限らない．ミクロな構造，ミクロな動力学からマクロなものがつくり出されるといえば，生物学でも，社会科学でも，心理学でも同じようなことはあるであろうし，それがすべてではないにしても科学的認識の最も有効な方法にちがいない．しかしそれが最もよく組織化され，最も豊かに，精細に，かつ広汎に発展しているのはやはり物理学であろう．それはもちろん，物理学の対象がほかの科学におけるものよりも具体的かつ明確であり，理論的な分析と実験によるその検証に耐えるものであるからである．ミクロからマクロへの綜合は，単にミクロのかけらを寄せ集めることではない．マクロの世界には，ミクロの世界とは異質の統一があり，異なるレベルでの法則が存在する．その代表的な例は熱力学の第2法則であろう．ミクロの力学は可逆であるのに，マクロの現象は不可逆であり，エントロピーはつねに増大する．

よく知られているように，エントロピー増大の法則は確率的に解釈される．極めて多数のミクロの要素の集りであるマクロの体系を，マクロのレベルで把握す

るには，複雑きわまるミクロの動きを少数のマクロの変数に投影しなければならない．この投影は必然的に確率的，統計的な性格をもつ．この意味で，ミクロをマクロに綜合するものが統計物理学である．熱力学を統計物理学的に構成する統計熱力学，もしくは狭い意味の統計力学，その拡張としての不可逆過程の統計力学，また気体分子運動論の流れを汲む分子運動論などをも含めて，統計物理学のおおう範囲は非常に広い．この1巻の限られた紙数でこれを説きつくすことはもとより不可能であるが，幸いこの講座には『物性 I, II』の2巻があり，そのかなりの部分はいわば統計物理学の具体的な問題を取り扱うことになる．さらに『量子力学II』，『生命の物理』の巻などにも統計物理学と接触するところがあるであろう．その意味でこの巻は具体的な問題をそれじたいとして取り扱うよりも，方法論的な面に主眼をおくことになる．

本年は L. Boltzmann がかの Boltzmann 方程式を提出してからちょうど 100 年になる．希薄な気体の分子の速度分布関数が，分子間の衝突のために時間とともにどのように変化するか，その変化を規定するのがこの方程式である．その定常解として Maxwell-Boltzmann の速度分布則が導かれ，気体の統計熱力学がこれで基礎づけられるわけではあるが，この方程式の価値は，それよりも，非平衡の気体の性状，挙動を決定する方法を提供するところにある．ミクロの対象に関する確率分布関数の時間変化を考えてゆく方法を一般に運動論的方法 (kinetic method) というが，Boltzmann 方程式はその原型である．

運動論的方法はきわめて有力ではあるが，密度が小さい粒子系以外へのその一般化はむつかしい問題であって，これを統計熱力学の一般的基礎とすることはできない．Boltzmann はここでも偉大な貢献をなし，統計力学の創始者となった．すなわち，熱平衡状態とは力学系のミクロ状態がいわば公平にすべて実現されるものであるとすれば，統計熱力学の一般的体系がその上に築かれることを彼は見抜いた．ウィーンの郊外，中央墓地にある Boltzmann の墓碑に刻まれた1行の式 $S=k\log W$ は，Boltzmann 自身のやや晦渋な表現を M. Planck が集約したものであるが，統計力学はこの1行から生まれたといってもよかろう．統計力学の論理体系は，少しくおくれた W. Gibbs によって美事に整理し直された．両者の考え方に相違はあるが，今日から見ればそれはさほどの問題ではない．

ミクロの世界の力学は正しくは量子力学であるから，古典力学の上に立った

需要全本请访问 www.ertongbook.com

Boltzmann, Gibbs の統計力学が実際の物理的問題で矛盾を露呈したのは当然である．本講座『量子力学 I』にも述べられているように，輻射の古典統計力学の破綻が量子の発見に導いたことは周知であるが，そればかりでなく，そもそも熱力学の基本的な構成にさえ自然の量子的構造は反映しているのである．たとえば示量変数の存在は，Gibbs のパラドックスに見るように古典的自然像では解し難いであろう．仮に自然が違った構造をもっていたならば，熱力学はまったく違ったものであったろう．量子力学の誕生とともに，統計力学は量子統計力学に発展したが，統計力学の論理構造は，あたかも量子力学を予期していたかのようにそのままの形で新しい酒を受け入れたのである．ミクロとマクロの間の架橋じたいは，ミクロの力学にはよらない．ここにも統計物理学の方法の一般性がうかがえよう．

量子統計力学は，少なくとも熱力学的性質に関する限り，実際のマクロの物質をそのミクロの構造から出発して解明する一般的な処方箋である．1930 年ごろから現在に至る近代的な物性物理学の発展は，その理論的な柱としては，量子力学と量子統計力学によって支えられている．この巻でも，当然その基礎的な諸問題に触れるが，物性物理学としての面はこの講座の『物性 I, II』の 2 巻にゆだねなければならない．しかし物性物理学と統計物理学は実際分かち難く，方法論も具体的な物理とからみ合って発展してきた．統計力学が統計熱力学の範囲を越えて非平衡の状態を含む量子統計物理学に脱皮したのはここ十数年来のことであるが，それもまた固体物理学やそれに関連する諸分野の著しい進歩と相俟つものであった．

この巻では，そのような最近の発展を含めて統計物理学の基礎を説く．その全般をおおうことはもとより望むべくもないが，一方では初学者のための入門の手引とし，他方では現在の問題ばかりでなく将来の発展の方向を指し示すものとしたいと考えた．その意図は満足に果たされてはいないが，数多い現存の教科書のリストに敢えて本書を加えるだけの多少の特色はもたせえたと思う．

第 1 章から第 3 章までは，統計熱力学すなわち熱平衡系の統計力学の入門で，初学者が取り付きやすいよう心掛けたつもりである．古典力学としては Hamilton の運動方程式，量子力学としては量子状態というものの基礎概念はもちろんであるが，ごく基本的な知識を前提としているだけである．第 1 章にはそのよう

な力学の多少の準備とともに統計力学への序説として単に平均という考え方で導かれるマクロな問題の例を述べる．これらは，平均の内容にかかわらない一般性をもつもので，その意味ではなはだ教訓的である．第2章は，統計力学の骨組を概観する．さきに述べたように，統計力学はミクロの状態についてのある確率の仮定，すなわちこの章で述べる等重率の原理の上に導かれる．この原理そのものの基礎づけについては最後の第10章で振り返ることとし，ここではこの原理を要請として受け取り，その上に熱力学に対応する統計熱力学の体系がどう構成されるかを見る．このような立場は，統計力学の教科書のほとんどがとっているわけであるから，ここの叙述にはさほど変わったものはないが，初めて統計力学を学ぶ読者はこの章を十分に理解して頂きたい．

第2章を受けて第3章には統計熱力学の具体的な応用の例を述べる．統計力学として，また物性物理学，あるいは化学として興味がある問題はそれこそ数限りないが，紙数も限られているし，この章の入門的な性格からしても，ここではごく基本的なふつうの問題に限らなければならなかった．さらにいろいろの方面の具体的な問題に進む準備としては一応足りることと思う．

第4章は相転移の問題を取り扱う．ここに述べるのは統計熱力学の範囲で，相転移の動的な側面には触れないが，統計物理学の現在および将来の問題として，相転移は動的なものを含めて解明しなければならない．しかし，ここに述べる範囲に限っても，相転移は統計物理学の最大の難問題である．いわゆる秩序無秩序転移の最初の理論は，強磁性体に関する Weiss の理論であり，それから多くの近似理論が生まれたが，1次元，2次元のいくつかのモデルを除いては，相転移の厳密な理論は存在しない．この章では格子気体，Ising モデルをおもな例として，これらの厳密解を説明し，さらに3次元の近似論をも述べる．厳密解の例はここに述べたもののほかにも最近いくつか見出されている一方，それらを統一的に取り扱う理論も発展した．これらは高度に数学的である．ここに述べた例題もかなり数学的であって，初学者には多少困難があるであろうから，必ずしも最初から本章を読破する必要はない．2次相転移点付近の特異性は，最近数年，統計力学の中心問題となっていて非常に興味があり，かつ統計物理学のいろいろな問題に関係する重要性をもっている．臨界指数の問題としてこれに触れたがあまり深入りすることはできなかった．

第5章，第6章は物理現象を確率過程として把握する見方を説く．第5章は最も簡単な Brown 運動を例とした確率過程論の入門である．確率過程論は数学の重要な1部門であるが，ここでは物理的な見方を主とし，数学的な構成にはほとんど触れない．Brown 運動は，単に花粉の運動ではなく，広くいえばマクロの系のマクロな変数の確率的な行動である．実際の気体を理想気体として単純化するのと同様に，それらを理想化したのがいわゆる Brown 運動であり，その意味でこの章は統計物理学全体に関係している．特に揺動散逸定理は物理としての Brown 運動論の核心であり第7章以下への布石ともなる．

物理的過程を確率的にとらえるとき，根元的なミクロのレベルから出発して，マクロのレベルに到達するには，ものの見方の粗さ (coarse graining) のさまざまの段階がある．それぞれの段階でインフォメーションが失われ，それに応じた確率化が行なわれる．これはまさに統計物理学の基本的な問題であるが，このプログラムを一般的に遂行することは容易ではないから，第6章では簡単な例についてこのような考え方を進め，マスター方程式の導出までを論じた．Boltzmann 方程式はこの章の線からやや外れるところがあるが，ごく基本的なことがらをここに含めた．Boltzmann 方程式じたいはさきにも述べたように統計物理学として歴史的にも重要であり，新しい発展としてはその導出と一般化という難問題があるが，そうとう複雑な問題なのでそこまで立ち入ることはできなかった．

第7章から第9章までは非平衡系の統計力学であってここ十数年の間の発展を説く．第7章はその導入で，物理的な系がその平衡状態から少しずらされた場合，平衡に近づく緩和過程と，平衡状態にある系に弱い外力が働いたときにその系が示す応答に関する現象論を述べる．これらは線形不可逆過程とよばれるが，熱平衡ではない系の一般論としてまず最初に近づきうるカテゴリーの物理である．そのような緩和過程の緩和関数，外力への応答を記述する応答関数，またはアドミッタンスを統計力学として系のミクロな構造からどうして導くのか，という理論的方法が第8章の線形応答の統計力学である．

第9章は第8章を受けて量子統計力学の新しい発展を述べる．これは場の量子力学において用いられた Green 関数とその摂動法の応用であって，この10年ほどの間のめざましい進歩の1つである．この方法は，限られた範囲ではあるが運動論的方法と熱平衡の統計力学を巧みに接合することができる．これにはミクロ

の力学が量子力学であることが本質的に幸いしている．この章の内容はかなりに高度であり，叙述も圧縮されているので，これだけでその全貌をつかむことはむつかしいが，量子統計力学の新しい発展への入門としては十分であろう．

第2章で述べるように，統計力学の確率論的な基礎は等重率の原理であるが，これをミクロの力学の段階で考えるのが第10章の課題である．しかし，これを量子力学として実行することは大へんむつかしいので，ここでは古典力学をミクロの力学とする古典的なエルゴード理論の範囲を主とし，量子力学的な系の問題はその簡単なスケッチに止めた．本当の物理の問題としてはそれだけではすまないが，古典論にはそれなりの意義があり，エルゴード論の意味もつかみ易い．ここでもその物理的な面にかなりの重点をおいた．統計物理学の土台そのものが，あまりすっきりしないままに残されているのは情けないといえばそのとおりである．将来この読者の中からこの難問を解決する人がでるかも知れない，という期待がこの章を設けた理由の1つでもある．

この巻の第1，第2，第3章は戸田，第4章は戸田と斎藤，第5，第6章は久保，第7，第8，第9章は橋爪，第10章は斎藤が執筆した．全体の編集には戸田，久保が当たったが，必ずしも全体としての統一は十分ではない．それぞれの分担の部分は，相互に関連しあいながらも，一応かなりの独立性をもっているので，結果としてそれぞれの持味が出ている，という面を見ていただければ幸いである．

巻末には参考書，参考文献を掲げた．不十分ながら解題をも兼ね，かつ，本文に関連して参照すべきものをも示した．この巻は全体として予定ページ数をはるかに越えたが，出版者の寛容には著者として感謝に堪えない．にもかかわらず，意をつくさなかったところ，割愛した問題はあまりにも多い．読者が，これらの文献によってさらに好学の志を伸べられることを望みたい．

1972年初夏

久保亮五

第2版への序

この巻の初版の執筆に当たっては，予定の紙数を大幅に越えたため，多くの事項を割愛し，あるいは叙述を圧縮せざるを得なかった．今回の改版に際し，多少の余裕を得たので，気になるところを少しく書き加えることとした．すなわち，§4.6の臨界現象の節を改め，§6.7には量子的なBrown運動を，§9.10にはGreen関数の応用例を加え，また，§10.5，§10.6もかなり書き改めた．

特に臨界現象について一言述べておきたい．この数年間における統計力学の最大の収穫の一つは，K. G. Wilsonによるくりこみ群の方法の成功である．2次相転移が示す数学的異常性が，物質によらない一般性をもつことは極めて注目に値する．完全な解決は未だし，ともいえるが，それ以前のスケーリング理論の上に発展されたこのアプローチは，基本的な理解をめざましく前進させた．この考え方は，元来，場の理論から生まれたものであるが，相転移理論での成功はまた，物理学の種々の分野に大きな影響を与えるかもしれない．この新発展を詳述するには別に一冊を要するので，ここに書き加えたものはほんの序説にすぎない．志ある読者は巻末にあげた参考文献をお読みいただきたい．

1978年1月

久保亮五

目　次

初版への序
第2版への序

第1章　一般的な予備的考察 1

§1.1 はじめに 1
a) 統計力学の対象(1)　b) 平衡への近接(4)

§1.2 平　均 6
a) 確率分布(6)　b) 平均と熱力学的なゆらぎ(12)　c) 力学系の平均 —— ビリアル定理(14)

§1.3 Liouville の定理 20
a) 密度行列(20)　b) 古典力学の Liouville の定理(23)　c) Wigner 分布関数(26)　d) 古典力学と量子力学の対応(29)

第2章　統計力学のアウトライン 33

§2.1 統計力学の原理 33
a) 等重率の原理(33)　b) ミクロカノニカル集合(36)　c) Boltzmann の原理(37)　d) 微視的状態の数，熱力学的極限(39)

§2.2 温　度 44
a) 温度平衡(44)　b) 温度(47)

§2.3 外　力 48
a) 圧力平衡(48)　b) 断熱定理(51)　c) 熱力学的関係式(58)

§2.4 部分系(1) —— 温度が与えられた体系 59
a) カノニカル集合(59)　b) Boltzmann-Planck の方法(62)　c) 状態和(66)　d) 密度行列と Bloch 方程式(67)

§2.5 部分系(2) —— 圧力が与えられた体系 70

§2.6 部分系(3) —— 化学ポテンシャルが与えられた体系 72

需要全本请访问 www.ertongbook.com

a) 化学ポテンシャル(72) b) 大きな状態和(74)
§2.7 ゆらぎと相関 75
§2.8 熱力学の第3法則, Nernst の定理 77

第3章 具体的応用 81

§3.1 量子統計 81
a) 多粒子系(81) b) 振動子系(光子とフォノン)(83) c) Bose 分布と Fermi 分布(87) d) 詳細釣合と平衡分布(92) e) エントロピーとゆらぎ(94)
§3.2 理想気体 98
a) 理想気体の準位密度(98) b) 理想気体(100) c) Bose 気体(103) d) Fermi 気体(105) e) 相対論的気体(108)
§3.3 古典的体系 110
a) 量子効果と古典統計(110) b) 圧力(114) c) 表面張力(117) d) 不完全気体(117) e) 電子ガス(123) f) 電解質(125)

第4章 相転移 129

§4.1 相転移の模型 129
a) 強磁性の模型(129) b) 格子気体(131) c) 格子気体と Ising 系との対応(132) d) 格子気体の対称性(136)
§4.2 状態和の解析性と熱力学的極限 139
a) 熱力学的極限(139) b) クラスター展開(142) c) 大きな状態和の零点(142)
§4.3 1次元系 145
a) 最隣接相互作用の連続体模型(145) b) 格子気体(146) c) 長距離相互作用(148) d) その他(150)
§4.4 Ising 系の厳密解 150
a) Ising 系(150) b) 行列の方法(155) c) 温度平面の零点(161)
§4.5 近似理論 162
a) 分子場近似(162) b) Bethe 近似(164) c) 低温および高温展開(167)
§4.6 臨界現象 170

a) 臨界指数(170)　b) 現象論(173)　c) スケーリング(178)
§4.7 くりこみ群の方法 ・・・

§7.4 共鳴吸収 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・310
a) Van Vleck-Weisskopf-Fröhlich 型共鳴吸収(310)
b) 常磁性共鳴(312) c) 高振動数での破綻(315)
§7.5 波数に依存する複素アドミッタンス・・・・・・・・・・・・・・・316
a) 非 Markov 非局所的線形関係式(316) b) 拡散現象の
複素アドミッタンス(318)
§7.6 分 散 式・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・320
a) 分散式の証明(320) b) 分散式と因果律(322) c) 複
素平面への拡張(322)
§7.7 総和則と内挿式・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・323
a) モーメント総和則(323) b) 非 Markov 的拡散法則
(326)

第8章 線形応答の統計力学 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・331

§8.1 外力に対応する応答・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・331
a) 静アドミッタンスとカノニカル相関(332) b) 密度行
列の時間的変化(334) c) 久保の公式(336) d) 応答関数
およびその導関数の初期値(339)
§8.2 対称性と分散式・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・340
a) スペクトル関数とその対称性(340) b) 流れの応答に関
する対称性(342) c) 変位の応答に関する対称性(343)
d) 分散式の証明(344)
§8.3 揺動散逸定理と総和則・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・346
a) 対称化積相関(346) b) 対称化積相関と応答関数または
緩和関数との等価性(348) c) 揺動散逸定理(349)
§8.4 誘電率に対する Nozières-Pines の式・・・・・・・・・・・・・・351
a) 外場の遮蔽(351) b) Nozières-Pines の式(352) c)
Kramers-Kronig の関係式と総和則(355)
§8.5 熱的な内力に対する応答・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・357
a) 拡散係数と複素アドミッタンス(357) b) Einstein の
関係式(361) c) Onsager の平均崩壊過程の仮説(363)
d) 局所平衡分布(367)
§8.6 2体相関による記述について・・・・・・・・・・・・・・・・・・372
a) Bogoljubov の予想(372) b) 2体相関による記述(373)

第9章　統計力学における場の量子論の方法 ・・・・・・・・・375

§9.1　2時間 Green 関数 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・375
a) 遅延 Green 関数(376)　b) 先進 Green 関数(378)

§9.2　運動方程式の連鎖と切断近似 ・・・・・・・・・・・・・・・・380
a) 運動方程式の連鎖(380)　b) プラズマの切断近似による複素誘電率(382)

§9.3　輸送方程式との関係 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・387
a) Klimontovich 演算子(387)　b) 自己無撞着場近似(389)
c) プラズマ振動(391)

§9.4　1体 Green 関数，因果 Green 関数 ・・・・・・・・・・・・・393
a) 1体 Green 関数(394)　b) 自由粒子の1体 Green 関数(395)　c) 因果 Green 関数(396)

§9.5　熱力学ポテンシャルの摂動展開 ・・・・・・・・・・・・・・・398
a) 平衡密度行列の摂動展開(398)　b) 熱力学ポテンシャルの摂動展開(400)

§9.6　温度 Green 関数 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・400
a) 温度 Green 関数(松原-Green 関数)(400)　b) 温度 Green 関数の Fourier 分解(401)　c) 自由粒子の1体温度 Green 関数(403)

§9.7　ダイヤグラム技法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・404
a) Bloch-De Dominicis の定理(404)　b) $\langle \hat{\omega}(\beta)\rangle_0$ の摂動展開(407)　c) Feynman 図形との対応(409)　d) 松原の公式(410)

§9.8　Dyson 方程式 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・412
a) 1体温度 Green 関数(413)　b) 質量演算子(415)　c) 結節部分(417)　*d) 熱力学ポテンシャルと温度 Green 関数の関係(421)

§9.9　2時間 Green 関数への解析接続 ・・・・・・・・・・・・・・422
a) Abrikosov-Gor'kov-Dzyaloshinskii-Fradkin の定理(422)　b) プラズマの0次の2体 Green 関数(424)

§9.10　Fourier 係数に対する Feynman 図形 ・・・・・・・・・・・426
a) 粒子間相互作用の Bose 場による表現(426)　b) Feynman の規則(428)　c) 分極演算子(432)　d) 電荷密度

Green 関数(433)

第10章 エルゴードの問題 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・439

§10.1 古典力学からの2,3の結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・440
a) Liouville の定理(440) b) 正準変換(440) c) 作用変数，角変数(440) d) 積分可能系(443) e) 測地線(445)

§10.2 エルゴード定理 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・448
a) Birkhoff の定理(450) b) 平均エルゴード定理(452) c) Hopf の定理(454) d) 測度可遷性(455) e) 混合性(455) f) Khinchin の定理(456)

§10.3 抽象力学系 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・458
a) Bernoulli 変換，パイの変換(458) b) トーラス面上のエルゴード性(461) c) K 系(Kolmogorov 変換)(463) d) C 系(465)

§10.4 Poincaré および Fermi の定理 ・・・・・・・・・・・・・・・467
a) Bruns の定理(467) b) Poincaré-Fermi の定理(468)

§10.5 第3積分 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・470

§10.6 Fermi-Pasta-Ulam の問題 ・・・・・・・・・・・・・・・・・481
a) 非線形格子振動(481) b) 共鳴条件(484) c) 誘導現象(487)

§10.7 Kolmogorov-Arnol'd-Moser(KAM) の理論 ・・・・・・・・・・492

§10.8 量子力学系 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・495
a) 量子力学系における諸定理(495) b) 断熱過程と感受率(501)

文献・参考書 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・505

索 引 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・517

第1章　一般的な予備的考察

この章では，まず統計力学で扱う対象を概観する．平衡状態に関しては第2章で述べる統計力学の原理が確立されている．一方で，分子の運動，衝突を追求して，そこから物質の巨視的な性質を導こうとする分子運動論があった．この章では分子運動論には触れない．しかし，統計力学の原理に立ち入る前に，分子の配置，運動に関する平均だけを用いることによって導かれる関係式を明らかにしておこう．

§1.1　はじめに

a) 統計力学の対象

物質の巨視的(マクロ的)状態は，これを構成する分子・原子・電子・原子核などの粒子，あるいは電磁場など一般に微視的(ミクロ的)な要素の性質と運動とによるものである．これらの要素の運動は力学(電磁気学を含む)の法則に従うわけであるが，要素の数あるいは自由度はきわめて大きく，力学の法則は物質の性質にそのままでは現われていない．この微視的世界とそれを反映する巨視的世界とを結ぶのが統計力学の観点である．

一方において，巨視的な物質の熱的な性質に対する考察から前世紀の後半に熱現象の一般的な法則を体系化した熱力学がたてられた．熱力学においては物質の微視的な構造は何も考慮されていない．しかし，統計力学は実際上物質の熱的な性質を問題にするのが普通であり，この場合には対象が同じであるから，熱力学における取扱いは統計力学にそのままで移すことができる．このように物質の構造を取り入れて熱力学的な一般論を扱う場合，これを**統計熱力学**(statistical thermodynamics)ということがある．

微視的には力学的な対象であるにしても，要素の数が莫大であるため，力学的

需要全本请访问 www.ertongbook.com