

本書は、量子論の、新しいスタイルの入門書である。読者として想定しているのは、第一には多くの初学者であるが、それだけではない。ほとんどの章は、量子論を既に学んだことのある読者が読んでも役立つと思うし、さらに、大学院生以上の読者が量子論を整理し直すのにも役立つと思う。一言で言えば、筆者自身が「自分はこういう本で量子論の勉強を始めたかった—そうすればずっと早く本質が判ったのに」と思うような本を書いたつもりである。また、進んだ量子論を学ぶときに、「判らなくなったらこの本のところまで戻ってくればよい」という原点のようなものも目指している。そして、物理的には（解りやすさを損なわない範囲で）最大限正しく、数学的には、脚注や補足を手がかりにして調べれば本書の物理的な記述との違いが判るように書いたつもりである<sup>\*1)</sup>。

入門書であるから、まったくの初学者—例えば大学の1年生や文科系の大学生、あるいは、向学心に燃える高校生—が読んでも判るように、必要な事は（複素数などの初等的な数学を含めて）全て書いたつもりである。実際、筆者は本書のもとになった講義ノートを用いて、東京大学教養学部の1・2年生（高校で物理を履修しなかった学生も含む）や、同学部の文科系の学生向けに量子論の講義を行い、好評であった。学生の到達度も、成績評価はレポートでなく計算問題の試験を（文科系の学生にも！）課したのだが、きわめて良好であった。講義を行う前は、仲間の物理学者達から「そんな高度なことをいきなり教えるのは無理だ」という心配が多く寄せられたが、丁寧に教えれば「高度」なことも理解してもらえることが実証されたと思う。

その一方で、初学者だけでなく、量子論をひととおり学んだ読者が「あの項目とこの項目との、論理的な繋がりはどうなっているのだろうか？」「いろんな事を習ったけれど、結局量子論とは何だろうか？」「古典論をどんどん拡張していったとすると、量子論との違いは残るのだろうか？」などという疑問を抱いた時に、読むと役立つ本でもある。このような多様な読者の便を考え、読者のレベルに応じた読み方の指針を♠で表現し、このマークの利用の仕方を0.2節で説明したので、参考にしたい。

具体的には、本書の最大の特徴は、およそ量子論と名の付く理論であればどんな理論でも有している一般的な枠組みを最初に（第2章で）提示する、という従来の入門書にはなかったスタイルを採ったことにある。これは、有限自由度・無限自由度、閉じた系・開いた系、純粋状態・混合状態、相対論的・非相対論的を問わずに成り立つ（現時点では）最も一般的な枠組みである。従来は、このような「高度」な事は、長年量子論を学んだ末にようやく到達する理解とされていた。しかし、実際に書き下してみると、さほどの基礎知識を要求されるようなものではなく、むしろ、何の先入観も持たない人なら（多少難しく感じることはあっても）無理なく理解できる内容であった。そこで、これを真っ先に教えることにした。この枠組みを理解することによって、量子論の具体的な定式化も「どうしてそんなふう考えるのか？」と悩まずにすむと思う。しかも、この量子論の一般的な枠組みと対比すべき「古典論」を、従来のように古典力学や古典電磁気学のような狭い意味の古典論に限定するのではなく（古典計算機を最も一般的に記述した）チューリングの計算機理論のようなもっと広い意味での古典論に選んで対比させている。このような対比のさせ方は、量子論の本質的な部分を浮き上がらせるものとして、特に近年その重要性が高まっているものである。

---

\*1) ただし、数学を志す人以外は、数学的厳密さに深入りせずに、物理的な正しさを身につけることの方に意識を向けることをお勧めする。

第2章で述べた基本的枠組みを具現化するひとつの定式化として、第3章以降で、量子論の最も基本的な形式である演算子形式の量子論を説明する。具体的には、まず第3章で、有限自由度系の量子論の、正準量子化によらない必要十分な公理系を提示する。不思議なことに、このように公理系をきちんと提示してある本はあまり多くないので、量子論をひととおり学んだ人が知識を整理するためにも役立つと思う。不確定性関係や測定後の状態に関する記述も、近年その重要性が高まっているにもかかわらず、混乱した記述の本が少なくないので、できる限り正確な記述に務め、混乱しやすい点に注意しておいた。第4章では、量子論を構成するのに最もよく使われる手続きである、正準量子化を説明した。一意性定理、正準量子化の曖昧さ、有限次元ヒルベルト空間との違いなど、あまり従来の入門書では強調されていない重要事項についても述べておいた。第5章は、第3章・第4章の簡単な応用である。初学者以外は読み飛ばしても良い（初学者は、必ず読んで、問題も解くこと）。第6章は、時間発展についての標準的な記述であるが、6.4節では、いわゆる「時間とエネルギーの不確定性関係」について注意しておいた。第7章は、第2章の一般的な枠組みで、場の量子論も自然に理解できることを説明したものである。そして、7.3節で、第3章の有限自由度系の論理構成のどこが場の量子論では変更されるかを述べた。第8章では、ベルの不等式を詳しく解説した。これは、いわば量子論の核心を見抜いた不等式であり、近年その重要性が広く認識され応用されるようになった不等式だが、従来の教科書ではあまり解説されなかった事項である。最後に第9章では、第2章で述べた一般的枠組みを、「物理量を基本的な変数から構成する」という物理の標準的な立場から書き直すとうなるかを述べた。これにより、第2章で述べた量子論の本質が、いっそうはっきり見えてくると思う。付録には、初学者の便のために、複素数、複素ベクトル空間、行列の必要な知識をまとめた。また、問題の解答例も記しておいた。

本書を教科書として講義を行う場合の指針を記しておく。本書は、筆者がそうしているように、まったくの初学者に対する量子論の講義の教科書として使用することができる。標準的な半年間の講義の場合には、♠が付いている項目を省き、場合によっては第8章も割愛すれば良いと思う。さらに、文科系の学生のように、将来量子論を直接利用する可能性が少ない学生に講義するときには、第3章の中程ぐらいまでをゆっくりと講義するのが良いと思う。経験上、それで充分、量子論という新しい世界観に触れさせることができ、新鮮な驚きを感じてくれる。他方、すでに量子論を学んだことのある学生に対する講義であれば、第0章・第1章・第5章を省略して全体を講義するなど、学生のバックグラウンドに合わせて取捨選択していただけると良いと思う。

なお、本書のミスプリントなどが出版後に見つかった場合には、筆者の研究室のホームページ <http://as2.c.u-tokyo.ac.jp> に公開してゆく予定なので、役立てて欲しい（将来アドレスが変わった場合には、検索エンジンなどで検索して欲しい。）また、参考文献は、ありふれた（例えば線形代数の）教科書以外は、洋書や原著論文になってしまうことが多く、本書の性格上割愛した。それに関する情報も、随時上記のホームページに公開してゆく予定なので、参考にして欲しい。

本書を執筆するにあたって、多くの方々に助けいただきました。特に、筆者と同世代の田崎晴明氏、若手研究者の宮寺隆之氏、学部学生の竹川敦氏は、年末年始のお忙しい時期にもかかわらず筆者の書きかけの原稿に目を通してくださり、三者三様の異なる視点から、大変多くのことを教えて下さいました。深く感謝をいたします。三氏だけでなく、北野正雄氏、筒井泉氏、小嶋泉氏、猪野和住氏、杉田歩氏、若山澄子氏、小澤正直氏、樋口三郎氏、加藤弘詔氏をはじめとする多くの物

理学者・数学者の方々にも様々なご教示をいただきました。また、筆者の講義を受けた学生諸君の質問や指摘も、大変有益でした。ただし、本書の内容にもしも誤りがあったとしたら、もちろん筆者一人の責任です。最後に、いつも筆者を支えてくれている家族に、この場を借りて感謝したいと思います。

2003年2月 清水 明