

まえがき

光は、私たちの暮らしに最も身近な物理現象のひとつである。私たち生物は太陽から光の恵み（エネルギー）を受けて生活しているし、私たちが外界から得る情報量の多くは、（目が不自由な方以外は）視覚すなわち光を通じて得るものである。私たちの暮らしは、光なくしてはあり得ないと言っても過言ではない。

また、光は、科学技術の発達にとっても不可欠なものであった。望遠鏡や顕微鏡は、人類が宇宙とミクロの両極の世界を探ることを可能としてくれたし、分光器や干渉計など、光の波としての性質を利用した計測装置は科学技術のさまざまな分野で活躍している¹⁾。さらには、光ファイバーを用いた光通信技術の発達により、より多くの情報をより速く、より遠くまで送ることが可能となり、現在のインターネット社会が構築されるようになった。

一方で光は、量子力学の原理に従う「量子的な」存在でもある。ここでは、光は「波（電磁波）」としての性質と「粒（光子）」としての性質を併せもつ「量子」として立ち振る舞う。このような、光の量子としての性質を積極的に用いることで、「量子コンピュータ」や「量子暗号」など、従来の古典的情報通信技術の枠を超える「量子情報通信」技術の実現を目指した研究が活発に行われている。また、計測・制御の分野においても、不確定性関係などの量子力学の原理に立脚した新しい「量子計測・量子制御」技術の発展が期待されており、そこでも光の量子としての性質が重要な役割を果たす。

本書は、このような、光の量子的性質を利用した新しい科学技術を志す際の礎となることを目指し、光の量子「光子」が示す性質とその応用技術について基本法則から説き起こすよう心がけたものである。本書の主な読者として想定し

¹⁾ 2017年ノーベル物理学賞を受賞した重力波の発見も、光の干渉を利用した重力波望遠鏡によって実現されたものである。

ているのは、量子力学と電磁気学の基礎を習得した学部学生、大学院生およびこの分野に興味をもつ研究者・技術者である。著者がこの道を志すようになった重要な契機のひとつが、恩師である池澤幹彦先生の研究室で R. Loudon 著の教科書 “The Quantum Theory of Light” (1973 年初版、現在は第 3 版、以下では Loudon 本と呼ぶ) [1] を輪講したことであった。当時は量子光学 (光の量子性を扱う研究分野) について系統的、網羅的に書かれた教科書が少なかったこともあり、Loudon 本からはたいへん多くのことを学んだ。現在では量子光学に関する教科書が多数出版されているが、Loudon 本はいまでも著者にとっての規範の書のひとつとなっている。本書は、Loudon 本ほど網羅的な内容を含んではないが、光の量子状態や光子の重要な性質について自然に独学できるよう、基礎から丁寧に説き起こすことを目指した。そのために、類書にはないであろう特徴として、初等量子力学で必ず学ぶ調和振動子の量子状態について少々深い理解まで到達したうえで、量子光学への橋渡しとすることを試みている。また、量子情報の最小単位 (量子ビット) としてよく用いられる光子の偏光状態については、古典的な光の偏光状態と関連づけて理解できるよう、やや詳しい説明を加えた。そして、本書を読み進むうちに、量子情報通信などの量子光技術において重要な、「単一光子」および「量子もつれ光子」の物理とそれらの応用技術までを自然に理解できるような構成としている。量子力学や古典光学をすでに学んだ読者にとっても、光の量子的性質の物理とその応用技術に関する理解への一助となれば幸いである。

本書の出版にあたっては、多くの方々のご協力をいただいた。本書で引用した著者の研究結果の多くは、多くの共同研究者、大学院生との共同研究から得られたものである。また、本書の執筆を勧めてくださいるとともに監修者として有益なご意見をいただいた須藤彰三先生 (池澤研究室での先輩でもある)、遅筆な著者の原稿をたいへん辛抱強く待っていただいた共立出版の島田誠、高橋萌子の両氏をはじめ、本書に関わっていただいたすべての方々に深く感謝したい。