



光波工学の基礎

井筒雅之 著

電子情報通信学会編・発行，2012年（ISBN 978-4-88552-261-1）

本書のタイトルから内容を判断すると間違ふかもしれない。光波工学は、マクスウェル方程式を起点とする光の波動性を扱うエンジニアリングであることは想像に難くない。その基礎であるならば、まさにマクスウェル方程式の初歩からスタートして、その延長上に光学に関連した波動現象を解説していると思いがちだ。ところが、そうではない。

本書を書くための動機を、著者は序文で「光波が電磁波としてどのように振る舞うかを正しく把握しておくことが、様々な光デバイスやシステムの動作原理を理解する上で不可欠」と力説している。特に、最近、コンピューター的能力が飛躍的に伸びて、さまざまな光学分野で電磁場を解析するのにシミュレーションソフトを使うことが多くなった。マクスウェル方程式から解析的に解くのは大変な場合も、少し時間とお金をかければ、それなりの解がビジュアルに求められる。しかしながら、そのシミュレーション結果が妥当なものであるのかについては、検証の術がないか、限られているのが現状である。それに対して、著者は「光波利用の新しい概念の着想を得るのに、光波の振る舞いを概念的に理解する力は極めて重要」と説き、本書をまとめた動機を明快に述べている。

本書は、そのような観点に沿って、光波のさまざまな振る舞いについてマクスウェル方程式からの解析解を求める過程を丁寧に、そして時には読者に言い含めるような語り口で迫ってくる専門書である。その特徴は、①これまでの光学の教科書にあるアプローチとは一味違った切り口と展開が随所にみられること、②光波の理解を非常に幅広い現象、話題、分野で最終的に光波モードへと繋げていること、③従来から、専門書の類は行間を読めと言われたものであるが、本書は式展開の行間がしっかり書かれているところが多いこと、などである。

まず第1章では、マクスウェル方程式はわかっているものとして、波動方程式、ポインティングベクトル、偏波などの基本を押さえて、以後の議論につなげている。続いて、平面波や多層構造の電磁波の反射と透過に進んでいる。これらの解析では、通常の間電界成分と位相による説明ではなく、波動インピーダンスを使った説明がなされている。最初は違和感をもつ読者もいるかもしれないが、多層構造の電磁波解析をする章に入ると級数演算がなく、波動

インピーダンスの見通しのよさを実感できる段取りとなつて、著者の意図するところとなるのである。

第4章以降は、周波数スペクトルあるいは空間スペクトルを議論する。その準備として、フーリエ解析の基礎知識を復習し、さまざまなシステムのインパルス応答や光波伝搬で出くわす群速度、コヒーレンスについてフーリエ解析を使いながら説明している。その後、物質中を伝搬する光波がどのように誘電性媒質と相互作用しながら応答するかを、簡単に説明している。フーリエ解析による光学現象の解釈の圧巻が、回折の部分である。一般的な光学の教科書では、ホイヘンスの原理から始まってフレネル・キルヒホッフの回折式を導出し、フレネル回折やフラウンホーファー回折を論じている。これに対して、本書では異なる波数ベクトルの平面波成分を重ね合わせ平面波展開することで、振幅分布と平面波成分のフーリエ変換の関係を導いている。また、回折現象の最後に、今話題の近接界をとりあげ、点波源から放射される光波の性質を回折理論から考察している。これは、近接場光学に関連して議論され、いわゆる古典光学によってナノフォトニクスを理解しようとするときの常套手段であるが、微小電気双極子の振動に伴う電磁波の距離依存性を議論しており、近接場を理解する上で、参考となる。

最後の話題として、9章以降で光波伝搬におけるさまざまな媒体での振る舞いを論じている。まずはじめに、ガウスビームの概念を近軸波動方程式の解から導き出し、その特性や高次モードへの展開を図っている。さらに、誘電体導波路における導波モードへの議論を展開し、放射モードの概念や種々の光導波路を議論して、本書を終えている。

本書が想定する読者層は、「電気系の大学卒業程度の知識を前提とし、大学院生、あるいは、技術分野で活躍する社会人」としている。確かにマクスウェル方程式をある程度理解した上でないと、本書を読み進めることはできないであろう。しかしながら、前述のように本書は、紙幅の制限がある中で式の展開をかなり丁寧に追っており、電磁気学の基礎を学習し、光学あるいはオプトエレクトロニクス分野の研究に取りかかろうとする学部3、4年生にも勧めたい良書である。

(東京農工大学 梅田倫弘)