

『フォトニック結晶—光の流れを型にはめ込む—』

(J. D. Jannopoulos 他著, 藤井壽崇, 井上光輝共訳, 140 ページ,

コロナ社, 2000 年, 2300 円, ISBN 4-339-00727-7)

滋賀県立大学

松岡 純

Introduction of New Book

“Photonic Crystals –Molding the Flow of Light–”

Jun Matsuoka

Univ. Shiga Prefecture

フォトニック結晶という言葉を一度は耳にされた方も多いただろう。大きさが光の波長より少し小さい程度で誘電率（つまり屈折率）の異なる2種類の物質を規則的に繰り返し配列する（結晶格子を作る）ことで、結晶中の電子の動きがバンド構造で支配されるのと同様に、光の伝播を制御しようという考え（およびその考えで出来た材料）である。本書はこのようなフォトニック結晶に関する入門書（原著は1995年発行）である。

フォトニック結晶の概念の誕生前から、上記のような構造の光学特性は研究されてきた。誘電体多層膜（一次元フォトニック結晶）やオパールである。しかし従来の扱いでは、光が誘電率の異なる界面で反射（または散乱）され干渉し合うことを、長さの次元を持った実空間（正確には3次元実空間）で研究してきた。これに対してフォトニック結晶の概念では、長さの逆数の次元を持った逆空間（正確には3次元

逆空間）で考え、光の伝播特性を扱う。そのため扱いが普遍化され、結晶中の電子の挙動をシュレディンガー方程式とブロッホ定理（後者はフォトニック結晶でも成り立つ）で扱えるのと同様に、誘電体格子中の光の振る舞いをバンド構造として明快に記述できる。つまり、強力なアプローチ手段となる。（私（松岡）は不明にも本書を読むまでそれを理解していなかった。）

本書の構成は序章（1章）のあと、2章では誘電率分布のある媒体中での電磁波の挙動、3章では構造の対称性とバンド構造の生成、4～6章ではそれぞれ、一次元、二次元、三次元のフォトニック結晶が扱われ、7章で応用例が示される。各所で量子力学との対比（類似点と相違点）が示されている。また付録に逆格子とブリュアンゾーンの説明があり、光学には詳しいが逆空間には馴染みのない人への助けとなっている。一次元から三次元へと順に進む構成が、読者の理解を助けている。

2章では最初に、量子力学のシュレディンガー方程式に相当するものとして、磁場に関す

〒522-8533 滋賀県彦根市八坂町 2500

TEL 0749-28-8353

FAX 0749-28-8596

E-mail: matsuoka@mat.usp.ac.jp

る2階微分方程式が、マクスウェル方程式から導かれる。電磁波が電場成分と磁場成分を含む横波であるため、この方程式はシュレディンガー方程式より複雑である。その後、この方程式を満たすモードの特徴についての議論が、直交関係を含めて展開される。このあたりは私のように物理とは別分野で生活する者にとっては、はるか昔に習った電磁気学で頭を悩ませることになる。しかし、本当に理解したとは言えないだろうが、誘電率の高い部分に電場が集中するモードではエネルギーが低下するという一般論さえ覚えれば、とりあえず次の章へ読み進むことが出来る。

3章では並進対称性のある格子中で存在可能な電磁波モードの特徴が示され、バンド構造の生成が示される。このあたりは固体電子論の復習という感じであり、読みやすい。

4章は一次元フォトニック結晶(誘電体多層膜)であり、バンドギャップの生成(ある波長範囲の光は表面で完全に反射される)が示され、その物理的原因が2章での一般論に基づき説明される。さらに、多層膜に斜めに入射した電磁波の挙動、欠陥(1層だけ厚さか誘電率が異なる)への電磁波の局在化、表面モードの生成などが議論されている。

5章は二次元フォトニック結晶(円柱を何本も立てたような物)についてである。電磁波の横波としての特徴が現れ、ある偏光に対してはバンドギャップが生じるのに対し、それと垂直な偏光にはバンドギャップが生じない結晶が存在する。偏光フィルタが頭をよぎる。TMモードにギャップを持つ構造、TEモードにギャップを持つ構造と順に示され、両者の構造の特徴を合わせると、どちらのモードにもギャップのある構造が実現することが示される。4章と同じく、欠陥モードや表面モードも扱われている。

6章は三次元フォトニック結晶である。三次元では完全なフォトニックバンドギャップはまれであると書かれており一瞬躊躇するが、簡単な構造でギャップが実現できることがすぐに示され安心する。欠陥への電磁波の局在化の計算結果が、カラー写真(本の最初に口絵として纏められている)で示され、点欠陥への局在化(空洞共振器)、線欠陥への局在化(導波路)などについての記述のあとで、表面モードについても扱われる。

7章は応用の章である。6章で述べた空洞共振器と導波路について、その特性が詳しく述べられている。この本の筆者はバンドギャップ内の局在単位を利用したこれらの応用に注意を集中している(レーザーや記録材料の高効率化や、光を垂直に曲げられる導波路などが実現可能だろう)が、それ以外にも、フォトニック結晶構造をとることでその屈折率の波長分散の制御が容易なこと(光ファイバーの構造分散に相当する)も注目すべきであろう。他にも様々な可能性があるかもしれない。結晶ならぬアモルファスではなどと、余計なことまで考えてしまう。(理論屋さんにはランダム位相近似で扱うのだろうか?)本章の最後にも、「このテキストを書いた最終目的は……多くの研究者の夢をかきたて、それを実現する事である。」と書かれている。私は光の研究から現在は離れているが、ぜひ多くの人に、本書を活用して各人の夢の実現まで持って行ってもらいたい。

全体を通じて、きちんと勉強したい人のために基本的な式や引用文献が正確に記されていると同時に、概要を知りたい人のための読み物としても満足できるよう、注意深く親切に書かれている本であると感じた。一読を薦めたい本である。