

教科書あれこれ

黒 田 和 男

Textbooks of Optics

Kazuo KURODA

Among a lot of excellent textbooks of optics, I select and discuss several books of great significance.

Key words: education, textbook

光学教育特集号に因んで、これまで筆者が感銘を受けた光学の教科書や専門書を紹介したい。どうしても若いときに読んだ本が強く印象に残っているので、古い本が多くなるのをお許しいただきたい。それにしても、例外的なロングセラーを除き、専門書はすぐ品切れ、絶版になってしまうのは残念である。新しい本でも品切れになるとなかなか増刷されない。筆者は幸い伝統ある研究室に所属しているおかげで、先輩が買いためた貴重な本を手にする機会に恵まれた。その教訓は「専門書はあるときに買え」で、必要になってから探すのでは遅い。

光学といっても範囲は広いので、次の3つのカテゴリーに分けて議論したい。すなわち、第1は物理の一分科としての光学、第2は光学設計、第3は電子・情報系の光学である。これは、便宜的に光学を学科で分類したもので、ほかにも計測系、機械系、精密系、化学系、医学生理学系など、数え上げればきりが無いが、筆者に馴染みのある範囲に限った。

物理系の光学参考書の代表選手は M. Born & E. Wolf の *Principles of Optics*¹⁾ をおいてほかにはないであろう。この本のもとには Born の *Optik*²⁾ である。Born は、いうまでもなく量子力学における波動関数の確率的解釈でノーベル賞を受けた理論物理学者で、光学の専門家ではない。それがなぜ光学の教科書を著すに至ったか、有名なエピソード

が残されている。長い間、量子力学の研究に心血を注いだ結果、一段落がついた時点で心身ともに疲労困憊の状態に陥ってしまい、静養のために光学の講義を担当したというのである。光学の専門家としては、光学はリハビリの手段なのかと思うと複雑な気持ちになるが、確かに *Optik* は光学教科書のひとつのスタイルを確立した画期的なものであった。電磁波の理論から幾何光学の基礎に至る導入部分は、厳密な理論展開に終始し、難解な部分も少なくない。この後、干渉と回折の章が続く。後半は、*Kristaloptik*, *Metalloptik*, *Molekulare Optik* と続き、各種の材料中の光学が論じられる。これらの章は、物質の光学的な性質や、吸収、発光、散乱といった光学現象を、物質をミクロな双極子の集まりとする立場から論じたものである。物質の光物理に相当するのであろうが、あくまで古典論に基づく議論であって、バンド理論のような量子論的な考察はない。とはいえ類書にない貴重な部分である。Born & Wolf は Born をベースに、英語に訳すとともに、その後の発展を大幅に補足するという形式で出版されたが、その過程で後半の光物理の部分の多くを落としてしまったのは大変残念なことであった。Born & Wolf 初版の前書きには、第2巻「分子原子光学」と第3巻「量子光学」が続く予定と書かれているが、この予告は果たされずに現在に至っている。ただし Wolf は Mandel とともに量子光学の本³⁾ を著してい

るから、部分的には果たされたといえるか。そのために、あるいは、ドイツ人はやはりドイツ語で読みたいからか、*Optik* は今でも現役である。文学作品ならいざ知らず、自然科学の分野で70年間も読み継がれているというのは驚きである。さて、Born & Wolf であるが、今や最も権威ある光学書として君臨している。最新の第7版には散乱の章が追加されたが、その主要な方法が Born 近似であるというのも何かの因縁であろうか。

F. A. Jenkins & H. E. White の *Fundamentals of Optics*⁴⁾ は初版は1937年の出版であるが、第4版が今でも読まれている。幾何光学や波動光学を丁寧に説明した標準的な教科書である。大体、米国の学部の教科書には図や写真をふんだんに使って平易な説明を試みた絵本のようなものが多い。Jenkins & White がその走りとするれば、最近のものでは E. Hecht の *Optics*⁵⁾ が挙げられる。このようなスタイルは、学生にいかに関心させるか教育の効率を追求したときのひとつの到達点であるように思われる。典型的な米国文化という意味でハンバーガーによく似ている。口当たりがよく、万人に受け入れられる味覚に仕上がっている。確かにそれほど深みはないかもしれないが、要点は詳しく説明してあり、実用にも十分役立つ。日本にこれだけサービス精神に富んだ教科書が少ないのは、文化の違いなのだろうか。

鶴田匡夫の「応用光学」⁶⁾ は力作である。著者の博識ぶり、古今の文献に通暁していることは、O plus E 誌に連載され逐次単行本化されている「光の鉛筆」⁷⁾ をもって十分証明されている。「応用光学」の内容は相当に高度で、大学院の講義でも難しすぎるかもしれない。専門家向けの参考書である。筆者がこの本に感じるのは、内容の信頼度が高いということである。どんなに注意深く書かれた本でも完璧なものではなく、何かしら間違いはあるだろう。その点、「応用光学」に書いてあるのなら大丈夫という安心感を与えてくれる。

共立全書の石黒浩三著「光学」⁸⁾ は、小冊子ながら光学の広い範囲にわたる事実を簡潔にまとめた重宝な参考書である。ところで、この本が改版されたとき、まったく別の内容に変わってしまい、第2版に期待をかけていた多くのファンをがっかりさせた。筆者の恩師小倉磐夫教授などは、初版の在庫10冊ほどを出版社から直接まとめ買いしていたほどである。

辻内順平の「光学概論」⁹⁾ は、日本語で書かれた本の中で最も評価の高い教科書である。内容は豊富でありながら記述は平易で、バランスのよい教科書という印象である。これから光学を勉強しようという人にはぜひとも奨めたい

本である。永らく品切れで入手が難しかったが最近増刷された。

古い本は次々と品切れ、絶版になってゆくが、新たに出版される本も少なくない。最近出版された光学の教科書で筆者の気づいたものを列挙しておこう。左貝潤一「光学の基礎」¹⁰⁾、山口一郎「応用光学」¹¹⁾、大頭仁・高木康博「基礎光学」¹²⁾、大坪順次「光入門」¹³⁾、青木貞雄「光学入門」¹⁴⁾。どれも、講義用に書かれたもので、200ページ前後の手ごろな分量の中に必要な事項が要領よく収まっており、記述も平易で読みやすい。カバーする範囲はほぼ共通しているが、それぞれ著者の個性が滲み出ていて読み比べると面白い。最近の傾向として、読み手である学生の能力を考慮した書き方の教科書が増えている。講義を成立させるためのやむを得ない処置であるが、物足りなくはある。

物理学の範囲が広がり発散してしまったためか、書き手が忙しすぎるのか、最近みられなくなった種類の教科書に、1人または数名の著者が物理学の全般を解説したものがある。物理学を一貫した考え方で捉えた個性的な教科書が多い。そのシリーズの1巻に光学を充てたもので、すぐれた教科書も少なくない。なかでも A. Sommerfeld の *Optik*¹⁵⁾ は有名で、邦訳は絶版になっているが、原著や英訳は今でも入手できるようである。全体のほぼ半分を回折とその補足の章に費やしており、回折理論の記述が詳しく、マクスウェル方程式の厳密解など普通の教科書には出てこない記述が多数ある。

もうひとつここで採り上げたいのは、Landau & Lifshitz のシリーズである。光学とは銘打っていないが *Electrodynamics of Continuous Media*¹⁶⁾ が物理光学の特徴ある参考書になっている。特に結晶光学について、これ以上明快な解説を知らない。位相速度面と屈折率面について、前者は無用の長物であり、屈折率面を用いるべきであるとはっきり述べた教科書はこれが最初ではないかと思う。位相速度面が役に立たないことを確かめるのは簡単である。試みに、手もとにある結晶光学の教科書を調べてみればよい。位相速度面が何であるかの説明は多くの本にあるが、位相速度面を用いて何か現象を説明したという例はみつけられないであろう。位相速度面を用いて複屈折を説明せよ、と問われてすらすら答えられる人が何人いるだろうか。石黒浩三の「光学」にその記述があるが、屈折率面を用いる方法のほうがはるかに簡単である。また、最近光リソグラフィーの分野で話題になった立方晶に属する蛍石の真性複屈折についても、空間分散の観点から記述がある(詳しくは鶴田匡夫の解説¹⁷⁾を参照)。これも他の光学書には見当たらない。

第2のカテゴリー、幾何光学を基にした光学設計あるいはレンズ設計の教科書や参考書に移ろう。多くの光学設計の参考書は専門家向けであり、一般の教科書として使えるものは多くはない。このカテゴリーでも、個人により好き嫌いは分かれるようだが、Born & Wolf はすぐれた教科書である。

ここでまず採り上げたいのは、久保田広の「光学」¹⁸⁾と「波動光学」¹⁹⁾である。日本語で読める専門書としては間違いなく最上のものだと思う。とにかく役に立つ本である。実験でも、光学設計でも、何か疑問が生じたときにこの本を読むと、解答やヒントが見つかることが多い。あるいはそれまでもやもやしていたことが明確になる。もちろんすべての本がそうあるべきなのだが、筆者の経験では、「光学」や「波動光学」に対し強くそのような印象をもっている。その理由を考えると、まず第1に内容が豊富だということ。といって、記述が単にカタログの羅列ではなく、自らの言葉で解説されているので、理解しやすい。なんといっても説明が具体的で納得がゆく。第2に比較的各章各節が独立していて、どこからでも読めることもありがたい。光学について一通りの知識があれば、興味のある部分をいきなり読み始めてもわかるように書かれている。また、本書は啓蒙の書でもあった。波面光学やフーリエ光学などの章は、今でこそ多くの教科書に載っているが、発売当時は、特に和書に類書が少なく、これら新しい理論のわが国における普及に貢献した。著者は「波動光学」の原稿を入院中のベッドの中で仕上げたという。実際に出版されたのは著者が亡くなった後である。文字通り、骨身を削り、寿命を縮めてまで書き上げた傑作である。

岩波全書の久保田広著「応用光学」²⁰⁾は、「光学」や「波動光学」のダイジェスト、というよりは予告編ともいえるべき著作で、これも評判が高い。岩波全書や共立全書はほとんどがすでに絶版になっており、書店の出版リストには載っていない。ところが、最近の出版技術の進歩により、注文を受けてから1冊単位で印刷製本するオンデマンド出版(POD)が実用化された。この出版方式により、絶版となった良書が続々と復活しているのである。うれしいことにこの「応用光学」がオンデマンド出版で入手可能となっている。

洋書にはこのカテゴリーの専門書が非常に多い。専門家向けとして有名なものに A. E. Conrady の *Applied Optics and Optical Design*²¹⁾ や M. Herzberger の *Modern Geometrical Optics*²²⁾ がある。これらは本当の専門家向けであって、大学での一般教育に用いるには専門的すぎるであろう。Herzberger の本はハミルトンの特性関数を基礎に置

き、式の展開も丁寧に記述されていて、Conrady よりは読みやすい。もう少し学生や大学院生向けの教科書としては W. T. Welford の *Aberrations of Optical Systems*²³⁾ がよい。多くの教科書が収差係数の導出などで Welford を引用していて、ひとつのスタンダードになっている感がある。

ここではやや変わり種の本を紹介しよう。それは A. Walther の *The Ray and Wave Theory of Lenses*²⁴⁾ で、本誌の書評欄²⁵⁾にも採り上げられたことがある。この本の特徴は、近軸理論や収差論のような光線追跡に基づく理論ではなく、光学系を厳密に議論できるアイコナル理論(ハミルトン光学)に徹していることである。ある結像関係を満たすにはどのようなアイコナルが必要かという観点からの議論が本全体を貫いている。光学系の配置から光線追跡で収差などの結像特性を求める方法を analytic とよべば、本書は光学がもつべき機能から議論する synthetic な方法を採用している。また、アイコナルとはすなわち波面の光学であるから、回折理論に自然につながるが、逆に回折積分に定常位相法を適用して、波動光学から幾何光学を近似的に導いている。こうして、波動光学と幾何光学を関連づけて考えることにより、光学系をより深く理解することに成功している。

このカテゴリーでは、幻の名著 R. K. Luneburg の *Mathematical Theory of Optics*²⁶⁾ をはずすわけにはいかない。これは、Luneburg が 1944 年夏に Brown 大学で光学を講じたときの講義録である。ともかくこの本は始めから終わりまで独創的である。最初の章で幾何光学の基礎を論じているのだが、ここでまず驚かされる。通常は、マクスウェル方程式を満たす波動関数を振幅と位相に分け、波数が無限大の極限において位相項が幾何光学的な位相(波面)に一致するという論法をとる。これに対し Luneburg は不連続面をもつ波動関数の伝播を考える。不連続面とは、その面で囲まれた空間の外部には電磁場は存在せず、内部でのみ場が有限の値をとる面である。その不連続面の伝播が、幾何光学的な波面の伝播に等しいことを示すのである。相対論の説明に出てくる光円錐をイメージすればよい。ある時刻に点光源が突然光ったとすると、その信号は光速で伝わる。その最先端の面の伝播が、幾何光学の法則に従うというのである(Born & Wolf の付録に解説がある)。このほかにも、いわゆる Luneburg レンズ(球面から球面へ無収差で結像する球対称屈折率分布型レンズ)をはじめ、幾何光学から波動光学にわたる数々のテーマを著者独自の観点で論じてゆくのである。この本を読んでもただちに設計には役立たないかもしれないが、光学理論の奥の深さを感じさせる貴重な本であることは間違いなく。

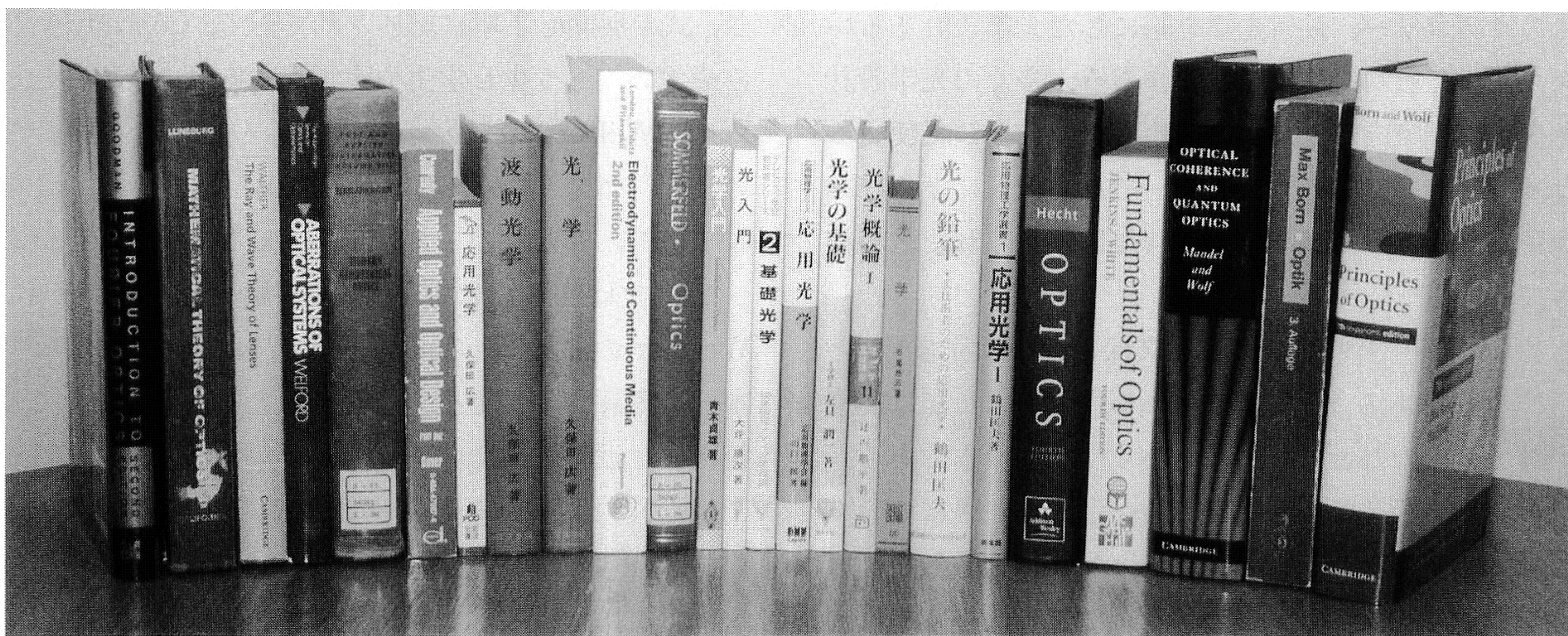


図1 本稿で採り上げた教科書。

最後に、第3の分類、電子・情報工学的な観点からの光学の教科書について簡単に触れよう。このカテゴリーはさらに2つに分けられる。1つは、通信理論の考え方を工学に適用したフーリエ光学である。この分野は、J. W. Goodmanの *Introduction to Fourier Optics*²⁷⁾ が非常にすぐれた教科書であるため、他に選択の余地がない。より専門的に Optical Information Processing を論じた本はいくつも出版されているが、教科書レベルでは Goodman に代わるものはない。この本の回折の章は、非常によく書けていて、他の光学の教科書よりずっとわかりやすい。

もう1つの分野は、レーザー工学や、光ファイバー通信に関連して光導波路などを扱う光学で、量子エレクトロニクス、光エレクトロニクス、光波工学、洋書であれば Photonics といったタイトルのついた教科書である。この分野には洋書と書とも多数あり、教科書として定評の高い本も1つや2つではない。なかには、基礎的な事柄を丁寧に解説したもので、第1のカテゴリーの「光学」の教科書として十分通用するものもある。残念ながら与えられた紙数も尽き、中途半端な紹介になってもいけないので、この分野についてはこれ以上触れないことにする。

筆者の手もとにある光学の教科書、専門書の中から個人的に気に入ったものを選んで紹介した(図1)。紙数の制限で、一部しか採り上げられなかったが、ほかにも良書の少なくないことをお断りしておく。今回改めて本棚をひっくり返して感じたことは、非常にすぐれた内容でありながら品切れや絶版となり若い人の眼に触れることができずにいる本がいかに多いかということである。このように埋もれてしまった財産をもう一度掘り起こし活用するには、PODのような電子出版技術の導入しかないであろう。著作権の問題を解決する必要があるが、採算を度外視して実行でき

るのは学会だけであり、消滅しかかっているすぐれた専門書の保存や販売を学会の事業として真剣に検討してよいのではないだろうか。

文 献

- 1) M. Born and E. Wolf: *Principles of Optics*, 7th expanded ed. (Cambridge University Press, Cambridge, 1999). 初版は Pergamon Press, London, 1959. 草川徹, 横田英嗣訳: 光学の原理 I, II, III (東海大学出版, 1974).
- 2) M. Born: *Optik* (Springer-Verlag, Berlin, 1933).
- 3) L. Mandel and E. Wolf: *Optical Coherence and Quantum Optics* (Cambridge University Press, Cambridge, 1995).
- 4) F. A. Jenkins and H. E. White: *Fundamentals of Optics*, 4th ed. (McGraw-Hill, New York, 1976).
- 5) E. Hecht: *Optics*, 4th ed. (Addison-Wesley, Reading, 2002). 最近邦訳が出た。尾崎義治, 朝倉利光訳: ヘクト光学 I, II (丸善, 2002, 2003).
- 6) 鶴田匡夫: 応用光学 I, II (培風館, 1990).
- 7) 鶴田匡夫: 光の鉛筆, 第1巻~第6巻 (新技術コミュニケーションズ, 1985, 1988, 1993, 1997, 2000, 2003).
- 8) 石黒浩三: 光学 (共立出版, 1953).
- 9) 辻内順平: 光学概論 I, II (朝倉書店, 1979).
- 10) 左貝潤一: 光学の基礎 (コロナ社, 1997).
- 11) 山口一郎: 応用光学 (オーム社, 1998).
- 12) 大頭 仁, 高木康博: 基礎光学 (コロナ社, 2000).
- 13) 大坪順次: 光入門 (コロナ社, 2002).
- 14) 青木貞雄: 光学入門 (共立出版, 2002).
- 15) A. Sommerfeld (Translated by O. Laporte and P. A. Moldauer): *Optics* (Academic Press, New York, 1954). 瀬谷正男, 波岡武訳: 光学 (講談社, 1969). 邦訳は絶版.
- 16) L. D. Landau, E. M. Lifshitz and L. P. Pitaevskii (Translated by J. B. Sykes, J. S. Bell and M. J. Kearsley): *Electrodynamics of Continuous Media*, 2nd ed. (Pergamon Press, Oxford, 1984). 井上健男, 安河内昂, 佐々木健訳: 電磁気学 1, 2 (東京図書, 1965). 初版の邦訳であるが絶版.
- 17) 鶴田匡夫: 第6・光の鉛筆 (新技術コミュニケーションズ, 2003) pp. 504-521.
- 18) 久保田広: 光学 (岩波書店, 1964).
- 19) 久保田広: 波動光学 (岩波書店, 1971).
- 20) 久保田広: POD 応用光学 (岩波書店, 2000). POD はオンデマンド出版の意味。たとえば、紀伊国屋書店のホームページ

で扱っている。原著は1959年出版。

- 21) A. E. Conrady: *Applied Optics and Optical Design I, II* (Dover, New York, 1957, 1960).
- 22) M. Herzberger: *Modern Geometrical Optics* (Interscience Publishers, New York, 1958).
- 23) W. T. Welford: *Aberrations of Optical Systems* (Adam Hilger, Bristol, 1986). および、これの前身の *Aberrations of the Symmetrical Optical Systems* (Academic Press, London, 1974).

- 24) A. Walther: *The Ray and Wave Theory of Lenses* (Cambridge University Press, Cambridge, 1995).
- 25) 田中一夫：光学，**25** (1996) 283.
- 26) R. K. Luneburg: *Mathematical Theory of Optics* (University of California Press, Berkeley, 1964).
- 27) J. W. Goodman: *Introduction to Fourier Optics*, 2nd ed. (McGraw-Hill, New York, 1996). 初版は1968年.

(2003年1月29日受理)