

# わかりやすい光学教育

一岡芳樹

## Education of Optics

Yoshiki ICHIOKA

Importance of education of optics and optical engineering is described.

**Key words:** education of optics, optical engineering, fundamentals of optics

### 1. 光学教育の経験

大阪大学に奉職して30有余年、光学関連の教育にたずさわってきた。定年を迎え、現在、教育現場から遠ざかっているため、表題のような教育論を展開できる資格はないが、経験をもとに光学教育の大切さについてつねづね考えていたことを述べてみたい。

私が入学したのは大阪大学工学部で、1年半の教養教育の後、漠然と当時の最先端技術であった光学器械関連のことを専門的に学びたいという期待をもって精密工学科に進学した。学部の光学の講義は「応用光学」「応用分光学」「光電計測」などがあつた。光スペクトルのバルマー系列や、レーザー（レーザー）、光学系の主平面、光電変換の話などがかすかに記憶に残っている。光関連の実験は割合に多く、光テコ、屈折率測定、ハルトマンテストによる収差の測定、測長器、定性分光分析、定量分光分析、光電測光の実験などがあつた。古い実験装置ではあつたが、実践教育として今でも経験してよかったと思っている。卒研ではレスポンス関数測定器の光量安定化回路の作製、修論は結像光学系の高次収差論、学位論文は光学系の結像性能評価の研究で、いずれも鈴木達朗教授の指導のもとで行った。修論のとき、国産電子計算機NEAC2206の2号機が阪大に入り、近軸光線追跡、一般光線（skew ray）追跡に利用した。数回のデバッグの後、瞬時に演算が行われ、計算結果が初めてプリントアウトされたときの感激は今でも忘れる

ことができない。実践教育の大切さを身にしみて感じた瞬間でもあつた。

私が所属していた工学部応用物理学科は、昭和38年精密工学科の改組拡充で誕生した学科で光関連研究のメッカのようなところであつた。10講座中6つの実験講座が何らかの形で光の研究・教育に関係していた。「応用光学I」「応用光学II」「光学器械I」「光学器械II」「光電計測」「応用計測学」「応用分光学」「物性論」をはじめ、「応用物理学実験I」「同II」の中で光関連の基礎実験および応用実験は7～8項目にもものぼつた。当然、光関連教育はかなり充実していたといえよう。

### 2. 授業とは基礎事項のやさしい説明・反復、講義はカタログ紹介、教育から学育へ

教官になって4年目から「光学器械II」の講義を担当した。最初の1～2年間の授業は無我夢中で今考えても冷や汗ものである。こちらが、一生懸命に準備すればするほど学生の反応は悪くなっていく、さらに、講義前夜、準備に時間をとられると、朝一の講義の時間に遅刻する。よかったのは学生との年齢差が少なかったことぐらいであつただろう。

講義をするということがどういうものかとわかってきたのは10年ぐらい経ってからのような気がする。読者の方で学生時代、古ぼけた黄ばんだノートを持参して授業する



教官の講義を受けた経験がおありと思う。これはこれで理由がある。教官にとって授業とは毎年基礎事項の反復に徹するということが必要なのだ。なぜなら、先達が長年の英知を傾けて得た自然の法則、算法、技術の基礎、経験で得た技能はそう簡単に変わるものではないからである。マクスウェルの電磁方程式は変わらないし、授業を受ける学生は、昨年の学生でなく1学年下の学生で、習うのは初めてなのだ。

授業とは、「一番大切な基礎事項の紹介、その事項のやさしい説明・意義、それが“大切だ大切だ”という反復と念仏」「教官の人格・人生観」「当該分野でぜひ必要な事項のカタログ的紹介（内容を欲張らない）」「今ただちに必要なくとも将来必要になると思われる教科書・参考書（名著）、基本をなす重要文献の紹介」であると考えている。Born & Wolfの *Principles of Optics* は、光関連の研究者・技術者にとって必携の名著である。しかし、数式が多く式の導出がエレガントすぎて講義用には向かない。授業では名著の紹介（内容のよさ、発行所、価格、発注から入手するまでの期間）にとどめ、購入すれば一生役に立つ（枕にもなる？）ということと、実物をみせるだけで十分である。フーリエ変換は波動現象、振動現象の記述に必要な算法で、大学3年生のときにいろいろな講義で4~5回は立て続けに聴かされた。その結果これは大切なものだという認識を植えつけられ、後日になり波動現象の取り扱いに不可欠で、しかも光の回折現象を見事に記述できる算法であるということを実感することができた。

大学院博士前期（修士）課程の講義も長年受け持った。カリフォルニア州立大学サンディエゴ校（UCSD）に滞在したときに入手したProf. Lohmannの名講義ノート“Optical Information Processing”を参考に、講義ノートをつくった。講義ノートは180ページくらいで、講義のつど学生に配布、学生のノートをとる時間を節約し講義に集中させるようにした。フーリエ変換の扱い、応用、信号処理、波動方程式の扱いと解の解釈、波動光学の基礎（エバネセント波を含む回折波、干渉、偏光）等を重点的に講義し、最後までこの内容はほとんど変えなかった。教育（講義）という観点からすれば博士前期課程の講義も基礎重視で行うべきであると考えている。新しい事項の追加は研究室でのゼミや論文講読、学生の自主的な勉強にまかせ極力避けた。

教育を受けて得た知識が10年後にどの程度記憶に残っているかというデータがあり、「(受身の) 授業」→「OHP, PowerPoint, SCS等を駆使した(受身の) 授業」→「実験・実習・演習」→「講義体験」という順に記憶率が上がってい

くらしい。長年教官をやっていると、なるほどと納得できるものがある。教官は毎年1回、いやでも基礎事項を復習して講義する機会に恵まれているので幸せであるといえよう。数学の教官などが時々チョーク1本だけもってきて講義するのも別に驚くに値しない。現在、筆者は工業高専に在るが、大学工学部に比し実験・実習・演習の時間が多く、そのため高学年（4, 5年生, 専攻科1, 2年生）の学生はよく体が動く。これは当然といえば当然で、このような実践型教育は大学の理工系でも見習う必要がある。

大学等の高等教育機関での教育の目的は、教官が既知の普遍的知識をもとに徹底的に基礎の大切さを教えるとともに、学生に当該分野に関心をもたせ、自ら学ぶ動機づけを与え、将来、大きく羽ばたくための手助けをすることである。この意味でむしろ教育というよりは学育（自ら学び育つ）というべきものであるかもしれない。

くりかえすが、教育とは、基礎づくりである。木にたとえるならば、しっかりした根（基本：義務教育、人格）の上に、強靱な主幹（基礎）、幹（専門基礎）、枝（分野の基礎）をつくることの手助けをすることである。最先端の研究は繁れる木の葉のごとくである。木の葉は秋になれば散る。しかし、幹は一冬越せば年輪を一つ増やしたくましく育って、再び新しい命を芽吹かせ新たな葉を繁らせる。新しい研究や技術開発をしようとするれば、基礎（幹）がしっかりしていなければならない。立派な研究者をみるとなるほどと思わせるだけの基礎ができていているものである。

### 3. 光学教育から光工学教育へ

光の自然現象は身近にあり、人類もそれらに順応して進化してきた。太陽・月・星空、青空、夕焼け、虹などの色彩豊かな自然現象・風景、朝露による虫眼鏡の働き、めがねやコンタクトレンズ、カメラ、双眼鏡など日常的に身近に実感できる光学現象や光学機器は数えきれないほどある。したがって、光学は歴史的にも古くから研究されており、17世紀以降の近代文明の中でも物理学の中で重要な位置を占めてきた。物理学は自然現象の描写・認識を目的とし、量的に現象を解析して真理を探究し、普遍的な自然の法則を見出す学問である。20世紀初頭から急速に発展した近代物理学が、光学、分光学、電磁気学等をもとにして開花したことはよく知られている。現在、光学は物理学の最先端の研究分野とはいえないが、物理学の基礎として、また光関連先端技術の基礎となる光工学として、ますますその重要性を増している。2002年度の日本人のノーベル賞ダブル受賞の背後に、わが国が誇る先端光科学・技術が関与していたことは記憶に新しい。



わが国は科学技術立国をめざして科学技術基本法を制定したにもかかわらず、新学習指導要領の改訂で高校の物理で習得する光学関連の内容はずいぶん減ってきている。1957年と2002年の大学受験物理学参考書<sup>1,2)</sup>をもとに物理の教科項目の分布を調べてみると、表1の通りである。

表1からわかるように、最近の高校の物理では光学関連事項は波動現象の中で取り扱われている。以前に比べ、光線の概念で記述できる光の現象や光学器械関連の部分、色分散や光源の明るさ、照明などがなくなっており、この影響は大学の光学専門教育、ひいては産業界にまで尾を引いていると思われる。

#### 4. 光学の基礎として知っておきたいこと

光線 (ray) は、マクスウェルの波動方程式を定常状態で波長  $\lambda_0 \rightarrow 0$  の近似で導出するアイコナル方程式で記述される。任意の媒質中における光の経路、均質媒質での光の直進性、スネルの法則などが求まる。結像光学系の基礎となっている近軸光学の概念は先達の見事なまでの洞察力の賜物であり、理想光学系のモデルである。しかし、幾何光学のエッセンスである有名な近軸結像公式  $1/a + 1/b = 1/f$ ,  $m = b/a$  に潜む真髄に気づいている者はそう多くあるまい。コンピューターの驚くべき発展と小型化、ソフトウェア技術の進展により光学系の設計技術は飛躍的に進歩した。その一方で、ソフトそのものがブラックボックス化し、光学の基礎概念を知らなくても光学系の設計ができる時代になり、当然知っておくべき基礎を軽視する風潮ができてしまった。幾何光学は光学の基礎、光産業の基礎であり重要な領域であるにもかかわらず、大学等の教育機関でほとんど講義できるスタッフがいなく、そのため光学産業では、専門的な教育を企業内で行っているとのことである。

技術の進歩により、半導体レーザー、極短パルスレーザー、波長可変レーザーなどの新しい光源や非線形材料などが比較的簡単に利用できる時代になってきた。長い間定常状態の現象のみを扱っていた光学の世界にも、これからは時間の概念や非線形光学現象を考慮した新しい光の分野が加わり、光学の基礎の幅も広がってくるものと思われる。

#### 5. 新しい光技術創出に必要な光学教育

現在、光関連技術は最先端技術の一翼を担っている。光通信や、デジタルカメラ、DVD、液晶プロジェクター、カメラ付携帯電話など身近な先端的商品の急速な普及をみれば実感できるであろう。わが国の光関連産業は、第二次世界大戦以後、常に先端技術の先頭に立ってきた。現在、その生産高はすでに10兆円を超しており、日本の工業総

表1 高校物理の教科項目の比較。

	1957年 (%)	2002年 (%)
基礎	3	2
力学・エネルギー	35	35
電磁気	26	30
光学器械	15	—
波動・光	7	18
音	4	5
原子	10	10

生産額のほぼ1割を占めるまでになっている。

1980年代までは日本の技術も高度成長で順調に発展し、活力ある社会をつくってきた。この意味で戦後の教育が正しかったことになる。20世紀は経済性と効率を中心とした大量生産の工業化社会であった。しかし、20世紀の価値観である、技術者が努力してつくった生産性の高い技術開発は、機能が強く便利で安価な商品群を社会に提供したものの、商品そのものがブラックボックス化してしまい、理工系に関心をもつ若者の夢を奪ってしまった。このように、技術の進歩が逆に若者の知的好奇心の芽をつみとってきたことに対する反省と、これからどう対処していくかが21世紀の課題であろう。

21世紀は「知」を中心とした知識社会へ転換しなければならない。この転換には若者の創造性が必要になってくる。そして、そのとき最も大切なのは、教育の役割であり基礎教育の充実である。教育の効果が出るのにはずいぶん時間がかかる。おそらく、早くて20年はみておかねばなるまい。その間も、技術革新は相変わらず急ピッチで進むであろう。ただ、先達が築き上げた光学の普遍的な物理法則はそう簡単には変わるまい。変える必要があるのは、われわれの基礎教育の重要性に対する認識と、理工系の高等教育機関の組織の改変である。幸い、機械系、電気・電子系、化学・材料系、生物系、情報系という、20世紀的な縦割りの枠組みにとらわれずに分野融合、分野統合、分野新設に対するパラダイムシフトが起こりつつある。新しいパラダイムの構築には時間がかかると思われるが、避けて通れない課題である。光科学・技術は広範な領域で必要とされている。新たなパラダイムでしかるべき地位を築いてほしい。

#### 6. 魅力ある光学教育と電子ジャーナル

最近、若者の理系離れを食い止めるために、小・中・高校生など次世代を担う若者を対象に、科学技術の楽しさ、面白さを知ってもらうためのイベントが、学会や国・自治体などの公共機関が中心となって開催されるようになってきた。さまざまな実験やデモが行われているが、その中でも光の現象を使うデモはわかりやすいため一番人気があ



る。幸い日本光学会の会員は可視光を中心とした電磁波を対象とするあるいは利用する光科学・技術分野の専門家集団であるので、素材には事欠かない。すでに会員の中にはタッチされている方もかなりおられると思うが、この流れにのり学会として何か新機軸のプロジェクトが組めるのではないかと思われる。学会のすばらしいPRにもなり、また、光科学・技術に関心をもつ若者を増やせるという一石二鳥の役得もある。教育の原点は基礎といったが、それ以前に光の自然現象に対する好奇心、興味、関心をもった予備軍団を育てることがまず大切なのである。そして彼ら、彼女らを光科学・技術分野にどう取り込むかという知恵を出してほしい。

最近、日本光学会の国際誌 “OPTICAL REVIEW” (OR) の投稿論文が漸減しており、将来計画委員会から抜本的対策を至急立てるようお叱りを受けた。現在、責任者として魅力ある雑誌への変身を検討中である。まず、会員の皆様によい論文をぜひ、OR に投稿していただくようお願いしたい。Invited Paper を中心とする小特集の企画な

ども頻繁に行う予定である。特徴をもたせるために早急に取り組まねばならないのはORの電子投稿、電子配信ができる電子ジャーナル化と考えている。世界の趨勢として電子ジャーナル化は避けられない。電子化したとき、光関連論文の最大の利点としては、データそのものが光の現象や画像であることで、それらの動画配信ができる電子ジャーナルとして早急に検討してほしいというご意見もいただいている。情報通信システムの近未来の発展は急ピッチである。ぜひ電子ジャーナル化を早期に実現して、「わかりやすい光学教育・光学研究」に取り入れるとともに、世界から注目されるジャーナルに育てていきたいと考えている。会員各位のご協力をぜひお願いしたい。

## 文 献

- 1) 辰巳雄吉：東大受験生の物理学（文進堂，1957）。
- 2) 力武常次，都築嘉弘：チャート式 新物理 IB・II（数研出版，2002）。

(2003年1月8日受理)