

大学基礎教育としての光学教育

神谷 武志

Optics as Introductory University Subject

Takeshi KAMIYA

In view of the recent difficulty in attracting young students to science and technology field, various efforts are under way to renovate the introductory science subjects both at secondary and tertiary education levels. This article focuses on the problems of introductory physics education at university level. Starting from the issue of connecting the fundamental theories to the frontiers of science and technology, it is proposed to put special emphasis on the physical optics in order to make the students visually understand the relationship between fundamental theories and their applications to real world, because numerous examples of optics are available.

Key words: scientific education, optics, physics, information optics, laser science

21世紀の日本社会を設計するキーワードとして、高付加価値社会、科学技術立国などが大方の支持を得ており、国家科学技術政策の理由づけとされている。一方、若者のもつ興味が拡散し、いわゆる「理数離れ」現象が危惧され、各方面で対応する活動が始まっている。

大学レベルの教育については、「もっと独創性、闘争心の啓発を」という産業界識者の意見¹⁾を裏打ちするデータとして、米国と比較して国際競争力に貢献している程度が低く、産官学の連携による技術移転が遅れているという国際統計や、わが国の産業界から工学教育において実践的な知識・応用能力を高めるカリキュラムの充実を望むアンケート結果が報告されている²⁾。

ただし、真の意味の独創力を身につけるには既存技術の成果を詰め込むのみでは不十分で、基礎力の充実を図らなければならないことも明らかである。本稿では、物理科学分野での大学の初年級の基礎教育と科学技術の現代的展開の結びつけ方において、光分野をハイライトする意義に関し、私見を述べてみたい。

1. 物理科学への導入講義の現状と課題

日進月歩の自然科学分野において何を教え、何を省くか、は永遠の課題である。基礎重視という観点からは学問体系の最も基礎的な部分をまずしっかり教え、その上に応用的な部分を積み上げていくという途がある。一例として東京大学教養学部前期課程における物理学のカリキュラム^{*1}をみると、理工系進学者への必修科目は力学、電磁気学を中心とするもの各2単位のみである。このほか選択科目として、熱力学、量子力学、統計物理学、相対性理論現代物理学などと並んで「振動と波動」2単位があり、ここでは単振動、連成振動、フーリエ変換、回折と干渉、波束などの基礎概念が丁寧に教えられる。

ここで想定されている学習のパターンは、基礎の学習に続く応用的展開は専門学科講義でカバーすることとし、基礎と応用のかかわりにはあえて踏み込まないといういわば基礎から応用へのリニアモデルである。しかし各専門学科ではさらに細分化された専門性の高い科目が多く、上記の基礎科目とのギャップが大きい場合も少なくない。ギャッ

大学評価・学位授与機構学位審査研究部 (〒187-8587 小平市学園西町 1-29-1) E-mail: kamiyat@niad.ac.jp

*1 東京大学教養学部物理部 URL: <http://phys.c.u-tokyo.ac.jp/kyomu/>

プを埋めるには専門科目の中で専門基礎に相当の時間を割かなければならないのが現状である。

冒頭に触れた「理数離れ」への対応に奮闘されている岡部氏と鈴木氏の最近の著書³⁾を引用すると、理系教育の狙いには(1)蓄積された科学技術の体系を能率よく伝授すること(演繹的思考)、(2)自然への探求的態度、考え方を育てること(帰納的思考)、の2つの方向があり、近年初中段階では(2)に傾きすぎる傾向があり、そのよいバランスを目指すべきであるとしている。これに私見を加えさせていただくなら、学習者の能動的な態度を引き出すためには、(a)好奇心、(b)有用性の認識、(c)主体的な参加による達成感、を狙いとすべきであると思う。

基礎的な学問の伝達においてもこれらを増進することは可能であり、古くは朝永氏の「物理学とはなんだろうか」⁴⁾、また新しい例としては竹内氏の「物理学が苦手になる前に」⁵⁾などで(a)から(c)までを立体的に構成しておられ、また各大学における講義の現場で多くの先生方は生き生きとした雰囲気を保つため毎回腐心されていることも容易に想像がつく。

にもかかわらず、基礎から応用へのつながりを意図的に切り離れた形で教育するのがベストか、という疑問は残る。かたや大学修了後の現実社会では最先端科学技術への素早い取り組みが期待されている中で、応用とのつながりを早い段階で示し、具体的に物理学的な自然像に親しむことの有効性、発展性をみせることが教育上に有効である、という主張も成り立つのではないだろうか。

2. 光学の特徴：基礎から応用までの広がり

2.1 物理学の基礎教育における光学の役割

物理学の歴史の中で光は輝かしい役割をたびたび果たしてきた。天体望遠鏡がガリレオ・ガリレイからニュートンに至る近代物理学の基盤となったのははじめ、量子力学成立を準備した黒体放射や水素のスペクトル観測、特殊相対性理論の引き金となったマイケルソンの干渉実験などは物理教育の中でも重要視されている。20世紀の後半に出現したレーザーが現代科学のフロンティアをさらに広げたことは近年のノーベル物理学賞、化学賞^{*2}の対象に光を実験手段として用いている場合が多いことにも象徴的に表れている^{*3}。基礎物理学教育の必須分野を力学と電磁気学に絞り、光は電磁波の一種であるから省略可能とする論法で

は、失うものがあまりに多すぎるように思われる。光のもつ直観性、非接触観測の可能性、物質との相互作用の多様性を考えると、物理法則の発見過程において光が果たしてきた役割を積極的に知らせることで発見的な思考法が例示できる。また、朝永氏の啓蒙書⁴⁾にみられるように、科学者たちが成し遂げた発見の追体験は教育のよい題材となる。シャモス氏の「物理学における偉大な実験—ガリレオからアインシュタインまでを原著で—」という書物⁶⁾に収められている20人の科学者には、ヤング、フレネル、ヘルツ、レントゲン、アインシュタイン^{*4}が含まれている。新しくはレーザーの発明者の一人であるタウンズ氏の自伝「レーザーはこうして生まれた」が霜田氏の訳により入手できる⁷⁾。

2.2 光が関係する応用分野の広がり

光が現代の科学技術応用においてきわめて重要な役割を担っていることは周知の事実であるが、具体的にその根拠を示してみよう。レーザー応用を概観した書物として2002年10月にレーザー技術総合研究所の編集により「レーザーと現代社会」が刊行された⁸⁾。レーザーの基礎を要約したあと、応用分野として医療、情報、科学、核融合研究、加工、および基礎科学とのつながりが俯瞰されている。また光産業技術振興協会が毎年報告している日本の光産業動向調査によれば、レーザー応用を中心とした光機器・装置・部品の生産統計は平成12年度の実績額として7兆円を超え、うち3000億円以上の分野として、光入出力装置(1.4兆円)、光ディスク(1.2兆円)、光伝送(0.6兆円)、ディスプレイ装置(0.6兆円)、発光素子(0.4兆円)、レーザー応用生産装置(0.3兆円)があり、光ファイバー、受光素子、センシング機器などが続く⁹⁾。

われわれが身近な装置として利用しているCDやDVDの中で、小型のレーザーや偏光の制御が重要な役割を果たしていることを知ったら、光学がいつそう親しみやすくなるであろう。

「光の科学技術は広い」という表現は、またその学際的な性格をも指している。上記の光産業の諸分野は光を専門とする技術者だけでは成し遂げられるものではなく、電子工学、機械工学、応用化学、情報工学、医学などの専門家との協力が必須である。いいかえれば、光を主たる専門としない技術者にも、光の科学技術に関する素養が身につく機会を提供することが望ましい。

*2 ノーベル委員会のURL：<http://www.nobel.se>

*3 2002年にノーベル物理学賞を受賞された小柴氏のニュートリノ天文学実験では独自設計の大口径光電子増倍管が、化学賞を受賞された田中氏のタンパク質化学実験ではレーザーソフト脱離法(LSD法)が重要な役割を果たした。

*4 アインシュタインは理論物理学者であるが、光電効果の思考実験により光量子の存在を予言した。

3. 物理導入教育に光学を積極的に取り込む可能性

これまで述べてきた趣旨から、伝統的な基礎物理、光学の講義に併せて光学の現代的な展開を導入教育の段階から含ませることを検討し、速い展開をみせている社会情勢の変化に追随できる有能な専門的人材の育成に貢献することを狙いとして、平成13年度より光産業振興協会の内部に「光情報教育研究専門委員会」を設置した¹⁰⁾。平成14年3月には大学で光学関連の教育に関わっている教員を対象に光学教育の現状と改革の方向についてのアンケート調査を行い、また平成14年11月の日本光学会年次大会 (Optics Japan) において光情報教育シンポジウムを開催し、調査研究の中間報告を行うとともにパネル討論の形式で光学分野の教育改革について意見交換を行った¹¹⁾。本章では特に基礎と応用の結びつきについて、導入教育という観点から問題点を整理したい。

3.1 物理学・応用物理学で期待される講義内容

大学における技術教育の国際水準確保を目的に日本技術者教育認定機構 (JABEE) が設けられ、関連学会の協力を得て、分野別の要件が定められている*5。物理・応用物理分野では修得すべき知識・能力を基礎能力と専門能力に分け、基礎能力としては数学、物理学、基礎実験、情報科学に関する基礎知識・技術とそれらを駆使して問題を解決できる能力、としている。物理学の内容としては力学、電磁気学、熱物理学、量子物理学が、基礎実験としてはこれらのほかに光学が挙げられている。このほか、専門能力として選択して修めるべき領域のひとつである物理情報計測領域の中に、光学・応用光学が挙げられている。光物性および光デバイスについては、それぞれ物性材料領域、エレクトロニクス・素子領域の項目として挙げられている。

これらを見る限り、光学は物理学の立場からも専門技術の立場からも、系統的に伝授したり面白さを伝えることは必須とされておらず、筆者らの問題意識とかけ離れている。むしろ JABEE の要件リストは最小限を記述したものとみなし、より自由に教材を選択したほうがよいのかもしれない。

3.2 光学講義内容の分類

筆者らが上記の光情報教育研究専門委員会で行ったアンケートでは、光学の内容を次のように分類した¹⁰⁾。

1. 光概説 (歴史, 情報と光)
2. 光とは (電磁波, 色, 画像, コヒーレンス)
3. 光の伝搬 (光線追跡, ビーム波伝搬, 光導波路)
4. 波動光学 (回折, 干渉, 偏光, 光学薄膜)

5. レーザー光学 (レーザーの原理と物質, 非線形光学)
6. 光デバイス・装置 (光源, 受光, 変調, 画像入出力)
7. 光システム (画像機器, 光通信, 光記録, 光計測, 光エネルギー応用)

この中で1から4はより基礎的、5から7はより応用的な色彩が強い。これらを教授している学年について問うたところ、応用的な項目は大学3年次以上、基礎的な項目は1~3年次が多かった。学年進行とともに専門分化が進むため、光学を専門としない学習者にとっては応用的な項目を学ぶ機会は少ないものと推定される。

3.3 物理導入教育への波動・光学の組み込み

上記の傾向を確認するために、物理導入レベルの教科書について章構成を調べてみた。小出氏の教科書¹²⁾では力学と熱学、電磁気との間に振動波動、光が挟まっており、弾性体の力学から連続的に振動論、さらに音波から光波へと移行するように工夫されている。マクスウェル方程式から波動方程式を導くのは後ろのほうである。また木下氏らの教科書¹³⁾では身近な事例から物理法則へのアプローチをさらに積極的に取り入れており、1章「光の科学」、2章「波と音」、3章「運動と力」、4章「熱とエネルギー」、5章「電気と磁気」、6章「物質の構造」、7章「核エネルギー」と配列している。次に副読本的な性格づけで光に絞って導入教育を図る試みとして、大津氏の「光科学への招待」¹⁴⁾を紹介する。身近な光現象、不思議な光現象の話題に始まり、光の基本的な性質として波を導入し、反射、屈折、干渉、回折に話を進めながら、光トンネル現象、ホログラフィー、地殻移動測定など現代的なトピックスを紹介している。後半では物質の中の光を取り上げ、金属、半導体、光ファイバー、非線形光学と展開し、終章では光の量子論やレーザーの原理、近接場光について語っている。啓蒙書で光の話題からの導入を図っている他の例として、志村氏による「いやでも物理が面白くなる」¹⁵⁾を取り上げよう。ここでも音と光を身近な物理現象の代表選手として選び、豊富な話題、歴史的なエピソードを交えて法則性と具体性の関係を述べようとしている。そのかわり電磁気学、力学は体系的に記述していない。教科書ではないが、光ファイバーの歴史を第一人称で語った「光ファイバの歴史」¹⁶⁾もきわめて教育的な書物といえる。

以上のような教育実践の事例から浮かび上がることとして、力学と電磁気学の体系性のみで基礎教育段階を固めるよりも、体系性を重視しつつ、現象の豊富さと法則性のつながりをみせることがしやすい光、音、熱を初年級から交

*5 応用物理学会 JABEE 関連 URL : <http://www.jsap.or.jp/activities/education/jabee/index.html>

え、さらに肉づけとしてこれらが関与する物理学の最先端の話題や応用分野の話題とのリンクを示すことが、学習者の興味を増進するのに有効であると思われる。

よくいわれるように21世紀は情報ネットワークの時代であり、インターネットや各種電子媒体によって無尽蔵な情報にアクセスできる。問題は学習者が収集した情報を整理して頭に入れ、活用できるように導くことである。教育の題材にアクセントをつけることは好ましいが、限定することは好ましくない。題材の豊かさを活用するような工夫を期待する。

文 献

- 1) 桑原 洋：“技術者教育の将来”，日本工学会編，技術者の能力開発（丸善，2001）p. 21.
- 2) 吉海正憲：“我が国の技術者生涯教育の現状と今後の方向”，日本工学会編，技術者の能力開発（丸善，2001）p. 51.
- 3) 岡部恒治，鈴木敏史：理数力トレーニング（日本実業出版社，2003）p. 180.
- 4) 朝永振一郎：物理学とはなんだろうか 上下（岩波新書）（岩波書店，1979）.
- 5) 竹内 淳：物理学が苦手になる前に（岩波ジュニア新書）（岩波書店，2001）.
- 6) M. H. Shamos ed.: *Great Experiments in Physics* (Dover, New York, 1959).
- 7) C. H. タウンズ：レーザーはこうして生まれた（霜田光一訳，岩波書店，1999）.
- 8) レーザー技術総合研究所編：レーザーと現代社会（コロナ社，2002）.
- 9) 光産業技術振興協会：光産業の動向，14-002-1（2002）.
- 10) 光産業技術振興協会：平成13年度光情報教育研究専門委員会報告書，14-012-1（2002）.
- 11) 神谷武志：“大学における光情報教育：その現代的課題”，*Optics Japan 2002*, 2pES4（2002）p. 56.
- 12) 小出昭一郎：物理学（東京教学社，1992）.
- 13) 木下紀正，福山 豊，藤井光廣，吉田兼基：物理学の基礎—身近なアプローチ—（東京教学社，1996）.
- 14) 大津元一：光科学への招待（朝倉書店，1999）.
- 15) 志村史夫：いやでも物理が面白くなる（講談社ブルーバックス）（講談社，2001）.
- 16) 村田 浩，小泉 健，新関暢一：光ファイバの歴史—開拓者たちのメモワール（工業通信，2003）.

(2003年2月3日受理)