

実験から振り返る物理の授業再考

山本 明利 北里大学理学部・教職課程センター 252-0373 神奈川県相模原市南区北里 1-15-1

物理の授業で観察・実験が重要視される事情は昔も今も変わらない。戦後の高等学校学習指導要領の変遷を追うと、各時代の要請により物理教育が質的に変化していったようすがわかる。しかし、物理教育の理念を最も真剣に考えていたのは、一番最初の学習指導要領だったのではないか。30年間の「ゆとり教育時代」に型崩れしてしまった物理教育を再考し、再構築すべき時期が来ている。

キーワード 学習指導要領, 観察・実験, 探究活動, 教科書

1. はじめに

物理教育における観察・実験の重要性は論を俟たない。自然現象を注意深く観察し、対象に働きかけて実験し、そこから法則性に気付くという過程こそが物理の学びだからである。科学の歴史はそのようにして積み上げられてきた。

「科学的なものの考え方、探究の方法を身に付けること」こそが教育目標であって、一部で行われている、法則や公式を「覚えて」問題が解けるようになるための指導は物理教育の本来の目標とはかけはなれている。世に言う「脱ゆとり」の流れの中で、「詰め込む」ことを是とする知識偏重の考え方が復活することを恐れる。

本稿では、物理の授業における実験の位置づけという視点から物理教育の戦後史を振り返り、時代背景と共に変遷し屈折してきた原因を探ると共に、今求められている物理教育の方向性を再考する。

2. 学習指導要領に見る実験の扱い

昔はどんな物理教育が行われていたのか。わが国の物理教育の黎明期の様子は、最初の小学校物理教科書である「物理階梯」¹⁾や、一般啓蒙書としての「訓蒙窮理圖解」²⁾に垣間見ることができる。すでにこの時代から実験を伴い、実物を見ながら学ぶことが行われていたようである。しかし、あまりに昔のことは憶測になってしまうので、ここでは筆者の生きてきた戦後の時代に限って、学習指導要領と教科書を頼りに分析を進めたい。

ご承知のように、学習指導要領はおよそ10年ごとに改訂される。改訂は数十年から百年ぐらい先までの時代の流れを読んで、国策を反映して行われているはずである。1957年までは法的拘束力はなく参考として示されていたが、1958(昭和33)年以降は「告示」の形を取るようになった。

次ページの表1は、国立教育政策研究所の「学習指導

要領データベース³⁾から抜き書きした各時代の高等学校物理の「目標」である。2018(平成30)年告示の新学期学習指導要領に関しては文献4)によった。

施行年は検定を経た教科書が実際に現場で使われ始めた年を表し、科目名は物理の内容を含む主な必修/選択科目である。備考欄にはその時期の時代背景の参考となる出来事やキーワードを追記した。

表を一見してわかるように、どの時代にも観察・実験は目標の冒頭近くに掲げられ、重視されている。実験を軽視して詰め込み教育を推奨した時代などない。

表の一番上、1956(昭和31)年の記事はまことに示唆的である。この時代はわが国の戦後復興からの高度経済成長の始まりの時期である。工業立国、科学技術立国をめざした政府は、理科教育振興法(理振法)を制定し、実験機材の整備による理科教育の強化を図る。中学校理科の「第1分野」「第2分野」の格付けでもわかるように、当時は物理・化学が特に重点とされた。物理教育が国策として重視され、その効果的な教育法が真剣に議論された時期でもあった。

折しも、米国では人工衛星の打ち上げ競争でソ連に先を越された「スプートニクショック」からの挽回を期して、国を挙げて「科学教育現代化運動」が巻き起こった。米国が当時の物理学者・物理教員の総力を結集して作り上げたのが、かの名著「PSSC物理」である。この本は直ちに邦訳され、わが国の物理教育にも大きな影響をおよぼすことになる^{5), 6)}。

ともかく、この時代ほど物理教育が真剣に検討された時代は後にも先にもなかった。当時の学習指導要領⁷⁾から引用してみよう。

まず、上の表1にもある物理の「目標」では、「現象を的確にはあくすることは、物理の学習に第一に必要なであるから、選んだ事物・現象は、実物や実験によって体験

表1 高等学校学習指導要領・物理の目標 国立教育政策研究所「学習指導要領データベース」(文献3)から 備考は筆者追記

西暦	告示年	施行年	科目名	物理の目標	備考
1956	昭和31		物理	現象を的確にはあくすることは、物理の学習に第一に必要であるから、選んだ事物・現象は、 実物や実験 によって体験させなければならない。こうして、現象を理解し、その経験・知識を抽象して概念を明確にさせたり、測定をしてその量の間の関係を見発させたりして、科学的な考え方、知識のまとめ方、処理の仕方を会得させ、 科学的な能力を高めることが必要である。	1954 理科教育振興法(理振法)制定 1954 高度経済成長始まる。 「試案」の文字とれたがまだ拘束力なし。 1957 スポートニクショック 1957 米科学教育現代化運動
1960	昭和35	昭和38	物理A 物理B	(1) 生活に関係の深い物理的な事象についての関心を深め、すすんでこれらを探しようとする態度を養う。 (2) 物理的な事象を 実験・観察 などを通して 考察し処理する能力と態度を養う。	1961 米で「PSSC 物理」刊行。 1962 「PSSC 物理」初版邦訳本出版。 1967 「PSSC 物理・第2版」邦訳本出版。 「詰め込み教育」の批判
1970	昭和45	昭和48	物理I 物理II	(1) 自然の事物・現象の中に物理的な立場から問題を見だし、 観察や実験 を行ない、情報を集め、推論し、仮説をたて、検証を行なうなどにより、 科学の方法を習得させ、創造的な能力を育てる。	1974 教員人材確保法 「受験戦争」「落ちこぼれ」の批判
1978	昭和53	昭和57	物理	自然の事物・現象のうち、力と運動、波動、電気と磁気及び原子について 観察、実験 などを行い、原理・法則を理解させ、 物理学的に考察する能力と態度を育てる。	1979 共通一次試験始まる(5教科7科目) 「理科I」必修 「ゆとりある充実した学校生活の実現」
1989	平成元	平成5	物理IA 物理IB 物理II	(物理IB) 物理的な事物・現象についての 観察、実験 などを行い、 物理学的に探究する能力と態度を育てるとともに基本的な概念や原理・法則を理解させ、科学的な自然観を育成する。	1990 大学入試センター試験始まる。 1992 四週五休始まる。 「フリーター」「理科離れ」
1999	平成11	平成15	理科総合A 物理I 物理II	(物理I) 物理的な事物・現象についての 観察、実験 などを行い、自然に対する関心や探究心を高め、 物理学的に探究する能力と態度を育てるとともに基本的な概念や原理・法則を理解させ、科学的な自然観を育成する。	2002 学校週五日制完全実施。 2002 文科相「学びのすすめ」アピール 2003 学習指導要領一部改正はどめ規定撤廃
2009	平成21	平成25	物理基礎 物理	(物理基礎) 日常生活や社会との関連を図りながら物体の運動と様々なエネルギーへの関心を高め、目的意識を持って 観察、実験 などを行い、 物理学的に探究する能力と態度を育てるとともに、物理学の基本的な概念や原理・法則を理解させ、科学的な見方や考え方を養う。	「脱ゆとり」の動き。 2012 高校も理数先行実施 理科の授業時数回復 2016 中教審答申(アクティブラーニング)
2018	平成30	令和4	物理基礎 物理	(物理基礎) 物体の運動と様々なエネルギーに関わり、理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって 観察、実験 を行うことなどを通して、物体の運動と様々なエネルギーを科学的に探究するために 必要な資質・能力を次のとおり育成することを目指す。	「主体的、対話的で深い学び」 2021 大学共通テスト始まる。

させなければならない。」と言いつけている。そしてその到達点は「科学的な能力を高めること」である。現代のわれわれも肝に銘じたい目標ではないか。

これに先立って、同じ学習指導要領の冒頭「2. 各科目の内容について」には、次のようにも書いてある。

- (1) 知識偏重に陥らず、科学的な考え方、処理の方法が学習されるようにした。
- (2) 指導内容を精選し、必要な**実験・観察**等の学習活動を無理なく行いうるようにした。

次に、物理の「2. 指導上の留意点」に注目してみる。冒頭に生徒実験について次のような記述がある。

- (1) できるだけ広く**実験・観察**を通じて学習されるように指導する。特に、生徒自身が**実験**を行うことが必要であって、**実験・観察**を行わないで、単に知識にのみ偏することは、**厳に避けなければならない**。しかし、時間的な制限があるから、生徒実験については次のような方針で選択が行われることが望ましい。

続いて**実験**の内容も次のように例示されている。現代

に通じる物理教育の骨格がこの時期にすでに定まっていることがわかる。

- a. 重要な原理や法則と結びついた基本的な**実験**であること。
たとえば、外力と変形の関係、浮力に関する法則、振り子の等時性、熱膨張、光の反射・屈折、レンズによる結像、電流の諸作用、電磁誘導などの**実験**
- b. 全体としては「物理」の広い分野にわたるように各種の**実験**を含むこと。

しかし、当時の学校現場の態勢がこれを実現するに十分なものであったかは、はなはだ疑問ではある。設備整備や教育人材の養成は追いついていなかったであろう。田中角栄内閣が教員人材確保法を打ち出すのは1974(昭和49)年のことである。かなり後手に回った感がある。ちなみに筆者はこの法の成立に乗じて教職に就いたクチであるが。

第1次ベビーブームのいわゆる「団塊の世代」がこの時代を高校生・大学生として通り過ぎてゆく。筆者よりも5歳前後年上の世代である。高校も大学も十分な容量

のない時代だったから進学競争は激烈を極めた。

親が、教員が、競争をあおる。教育の理念は後回しで、目先の成果をとりあえず追っていく悪弊は、この頃にわが国の悪しき教育文化となった。ベビーブームという人口ピラミッドの歪みがなぜ生じたかを考えるとき、それはあの無謀な戦争の負の遺産であることに気付く。この時代を象徴する「受験戦争」という言葉があるが、戦後生まれの子どもたちも後始末の戦争（それも内戦）を戦わされていたのだ。

さて、話を元に戻そう。生活単元学習から系統学習へと切り替えて、効率化と現代化を図った戦後の理科教育は、子どもたちにとって過負荷であるとの指摘の中で改革を余儀なくされる。いわゆる「ゆとり教育」へ向かう転換点が高校では1978（昭和53）年におとずれた。同じ頃、大学入試改革の切り札としての「共通一次試験」がスタートしている。以後、およそ30年間にわたって、理科の内容や授業時間は減り続ける。物理は必修からはずされ、選択科目となった。当然、履修者は激減する。中小の教科書会社の物理からの撤退が相次いだ。

この縮小の過程で、物理教育の内容や教授法についての十分な検討はなされていただろうか。学習指導要領を組み立てる過程でどのような議論が行われたかは知らないが、ポリシーのはっきりしない、数合わせ的な項目の間引きによって系統性が損なわれた感は否めない。また、必修・選択の泣き別れで、本来同じ単元にあるべき項目が分散して、生徒にとってわかりにくくなってしまったものもある。高校物理の教育体系はこの時期に大きく後退したと思う。

理科の内容や授業時間を減らしすぎだとの経済・産業界や科学教育関連諸学会からの批判を受けて、2002（平成14）年文部科学大臣が発出した「学びのすすめ」緊急アピールをきっかけに、学習指導要領のはじめ規定が撤廃された。「学習指導要領は最低基準」との新解釈のもと、事実上の青天井となった。その結果、時間数は変わらないにもかかわらず、教科書は一気に分厚くなって、「発展」の記事だらけとなった。系統性はさらに損なわれ、パッチワークのような寄せ書きの教科書が増えた。場当たりのな国の指導が、教科書出版業界を混乱に陥れたのである。

その後、「脱ゆとり」の時代を迎え、理科の授業時間はある程度回復し、物理基礎だけとはいえ物理の履修者は増えた。しかし、手放しで喜べないのは、上で述べた教科書の問題である。次にこのことを検討してみよう。

3. 教科書の変遷と実験の位置づけ

手元に一冊の古い教科書がある。筆者が高校の時使っていた物理の教科書である。実教出版の「物理B」⁸⁾といえは知る人ぞ知る物理教科書の名著である。当時の一線級の錚々たる物理学者たちが著者に名を連ねていたことでも有名だ。半世紀経った今でも、筆者はこの教科書を座右の書として大切にしている。

今の教科書と比べると、紙質も悪く、巻頭カラー数ページを除くと、全編活版刷りのモノクロ印刷だから見栄えは悪い。しかし、この本が今読んでも面白いのは、文章が一つながりのストーリーで、読み物になっているからである。大学の専門書にも似た格調の高さを感じさせる文体もあこがれを誘った。

この本は、表1でいうと1960（昭和35）年改訂の学習指導要領に準拠している。正式に告示された最初の高等学校学習指導要領である。初版は1963（昭和38）年発行なので「PSSC物理」のコンセプトを反映できなかったかもしれないが、手元の三訂版は「PSSC物理」の影響を受けている。

生徒実験は本文中に囲み記事として埋め込まれている。タイトルは以下の通りである。（ ）内は筆者が加筆した。

第1章 力と運動

実験1. 自由落下の実験 p.49

実験2. 単振動 p.60

実験3. 重力加速度の測定（単振り子） p.64

実験4. 力学的エネルギーの保存（振り子） p.79

第2章 変形する物体

実験1. ゴムひもの変形 p.94

第3章 熱

実験1. ブラウン運動の観察（墨汁粒子） p.124

実験2. 比熱の測定（水熱量計） p.147

第4章 波

実験1. 水面の波の干渉 p.164

実験2. 気柱の共鳴によるおんさの振動数の測定 p.170

実験3. レンズの式を確かめる実験 p.193

第5章 電磁気

実験1. オームの法則 p.242

実験2. 乾電池の端子電圧の測定 p.247

実験3. 電流による発熱量の測定（水熱量計） p.252

実験4. 電流が磁場から受ける力を調べる実験 p.257

実験5. 電磁誘導の実験 p.266

実験6. 自己誘導を調べる実験 p.274

実験7. うず電流の実験 p.275

第6章 電子と原子

実験なし

項目だけ見ると、現行の教科書と大きく変わらないが、記事はずいぶんあっさりしている。ちなみに最初の「自由落下の実験」は

いろいろな高さから石または金属球を落として、その高さや落下時間をはかり、重力加速度を求めてみよ。

と、たったこれだけである。図もなければ測定のかたの説明もなく、あとは自分でやりなさいと言わんばかりである。その点、今の教科書は大変親切である。

生徒として振り返ると、当時は教員による演示実験が主体だったように思う。衝突球、オシロスコープ、ウィルソン霧箱など、珍しい物を見た印象は今も残っている。

筆者が教員になりたての頃使用した教科書、数研出版の「物理 I」⁹⁾は1970(昭和45)年の学習指導要領に準拠している。この時代以降の物理教科書は、図版や実験内容が前述「PSSC 物理」を強く意識したものになった。その影響は現行教科書にまで及ぶ。

当時の生徒実験は巻末にまとめられていた。項目は以下の10タイトルである。()は筆者が加筆した。

1. 速度・加速度の測定 (記録タイマー)
2. 運動の法則 (力学台車)
3. 運動量保存の法則 (力学台車)
4. 力学的エネルギー保存の法則 (振り子と水平投射)
5. 金属の比熱の測定 (水熱量計)
6. 単振動の速度と加速度 (作図による模擬実験)
7. 単振り子の周期の測定
8. おんさと振動数の測定 (気柱共鳴)
9. クーロンの法則 (電気振り子)
10. 電界と電位 (カーボン紙で等電位線)

教科書の構成が変わったのは、1989(平成元)年の改訂の時である。表1をご覧いただくと、この時から「探究」という言葉が学習指導要領に現れる。生徒による探究活動を單元ごとに入れるようにという文部省の指導があり、巻末から各章末に生徒実験を分散させたのである。この構成は今も踏襲されている。この年を境に、ただクックブック実験をやらせるだけでなく、単元のまとまりごとに生徒実験を行い、生徒自身に考えさせて理解の助けとするというトレンドがスタートしたのである。

当時の東京書籍版「物理 I B」¹⁰⁾は以下の項目を各章

末に分散して収録している。このころからコンピュータ計測やシミュレーションなど情報機器の活用もスタートする。項目数がぐんと増えていることがわかる。

1. 等加速度直線運動
2. 運動の第2法則
3. 運動量保存の法則
4. コンピュータを利用した力積と運動量
5. 位置エネルギーの測定
6. 力学的エネルギー保存の法則と仕事の関係
7. エネルギーの移り変わり
8. 弦の定常波と振動数
9. 気柱にできる定常波とおんさの共鳴
10. 簡易分光器によるスペクトルの観察
11. レーザー光源による回折じまの観察
12. 等電位線の観察
13. 表計算ソフトによる電位のグラフ
14. コンデンサーの電気容量
15. 導体の電気抵抗
16. ジュールの法則
17. 放射性崩壊のモデル実験

その後、オールカラーが許可され、前述の「はじめて規定」撤廃により、内容も青天井となって、教科書は大変分厚くカラフルになった。同時に、「発展」のようなコラム記事が増えて、本文が断片化していく。生徒にとっては目線が定まらず、かえって読みにくい教科書になっている。教科書出版各社にはぜひ改善をお願いしたい。

4. 授業の再構築を

およそ10年ごとの学習指導要領の改訂に伴い教育課程が変わる。「十年一昔」のたとえの通り、教育の世界もかなり速いペースで変化する。物理学自体の骨格はこの百年ほとんど変化していないから、教える内容はほぼ同じであっても、時代が要求するものがかなりのスピードで変化していくのである。教員は時代の先を読んで、それに対応できる子どもを育てなければならない。

筆者は教職課程の学生に、「自分が育てられたように子どもを育ててはいけない」という話をよくする。親の世代と子の世代は30年前後の時間差がある。激しく変化するこの時代にあって、30年の間に世の中が変わらないはずはない。自分が子どもだったときの体験や記憶に頼って、今の子どもにそのまま当てはめて判断すると子育てをしくじるといふ話である。同様に、教員は自分が受けてきた教育のコピーを今の学校現場でそのまま実践してはいけない。時代の要求が違うのである。しかし、学生は自分が

教わってきた授業のイメージからなかなか抜け出せない。

教職課程の履修を希望する学生に、中学・高校時代の授業における実験体験の実態を毎年アンケート調査している。それによると、中学校レベルの実験を、中高の6年間にほとんど体験しないまま、大学に、それも理学部に入学してくる学生が少なからずいるのである。さらに、そのような学生も理科教員を志望する現実がある。

学校が高校・大学の受験指導に力を入れるあまり、実験を体験させてもらえないまま大学に入学してきた学生は、模擬授業を組み立てさせても、演示実験をイメージできず、入試問題の解法のような座学の授業しか作れない。もし、彼がそのまま教壇に立つことになれば、再び好ましくない再生産が行われることになるだろう。それだけは避けたいと思う。

学生ばかりではない。現職の教員も何十年も同じ内容を同じ教え方で教え続けてはいけない。時代の要求が変わっていくからである。新学習指導要領が求める「主体的、対話的で深い学び」への対応は、年配の教員の方がストレスを感じるだろう。自分の授業スタイルを変えることに対する抵抗感はベテラン教員ほど強いはずだ。

物理教育界では、ILD'sやピア・インストラクション型の授業がトレンドになりつつあり、教師による効率の良い演示実験が再び脚光を浴びている。一方で探究型の生徒実験の実践もSSHでのノウハウなどが蓄積されて充実してきた。生徒に発表の機会を与えることの絶大な教育効果は、それを実践している学校では確信している。

ICT 機器やデータロガーなどの普及も物理教育の変革に大きく寄与していこう。東京都は、安全のために小中学生の学校へのスマホ持ち込みを許可する方針だという。まして高校は言うに及ばない。そういう時代である。これを授業に使わない手はない。生徒のスマホを活用した授業実践は大いに推奨されるべきだろう。こうしたツールが時代を変えていくのである。教育はむしろ時代を先取りして変わっていかねばいけない。

5. 物理の授業再興

第2節で取り上げた、表1の一番上、1956(昭和31)年の学習指導要領の目標は大変よくできている。科学をよく理解している人が作文したのだと思う。この段階から物理教育における実験は重視されていた。そしてこの時代の教育を受けた人たちによって高度経済成長は達成され、日本は科学先進国に昇格し、この時代に育った人たちの中からノーベル賞受賞者が次々と輩出した。

この時代の物理教育の理念はしっかりしていた。今一度この原点に帰って物理教育の構成を見直してみるこ

は有意義だろう。今の教科書構成は決して好ましいものではない。学習指導要領そのものも10年ごとの小手先の修正ではなく、根本的に見直すべきではないか。

物理のカリキュラム構成を再考し、長く低迷した物理教育を再興する。当学会の主導でそれが実現することを期待している。

6. やはり授業は最高

最後に本論とはあまり関係のないつばやきをひとつ。

ものの有難味というのはそのものを失ってみないと実感できないものかもしれない。親の有難味、健康の有難味、金の有難味…何でもそうだが、その存在が身近であればあるほど、あるのが当たり前で気づきにくい。私の場合、物理実験室と準備室がそうだった。

高校の教壇を降りて十年以上、現場を離れて6年が経つ。今は大学の教職課程の教壇に立ってはいるが、高校のような環境はない。広いスペースと機材が自由に使える実験室・準備室環境は得がたいものなのだ。中学や高校の理科教員はそうした環境がタダで使える大変恵まれた職である。現職にある方はぜひその環境を大切に、実験の舞台、工作場所として有効に使ってほしい。

もう一つ、得がたいものは「生徒」である。授業や実験を楽しみにしてくれている生徒がいればこそ、教員は研鑽に励むのである。たくさんの生徒との良い出会いが私を育ててくれたと思う。特に生徒は実験を喜んでくれたので、演示実験も生徒実験もたくさん身に付け、あるいは開発した。自分自身が授業を通じて学んだことは数多くある。授業は教師にとっても学びの場だ。本企画の定番のフレーズになるが「授業最高！」なのである。

引用文献

- 1) パーケル著、片山淳吉訳：「物理階梯(巻之上、中、下)、文部省(1872)。
- 2) 福澤諭吉：「訓蒙 窮理圖解」、慶應義塾(1868)。
- 3) 学習指導要領データベース(2014年12月26日：最新訂正) 国立教育政策研究所、<https://www.nier.go.jp/guideline/>(2019年8月22日参照)。
- 4) 文部科学省：「高等学校学習指導要領」(平成30年3月30日)。
- 5) 山内恭彦、平田森三、富山小太郎翻訳監修：「PSSC 物理第2版(上)・(下)」、岩波書店(1967)。
- 6) 山内恭彦、富山小太郎翻訳監修：「PSSC 物理 別冊」、岩波書店(1968)。
- 7) 文部省：「高等学校学習指導要領理科編」(昭和31年度改訂版)、<https://www.nier.go.jp/guideline/s31hn/index.htm>(2019年8月22日参照)。
- 8) 「物理B 三訂版」、実教出版(昭和45年)。
- 9) 「改訂版 高等学校 物理I」、数研出版(昭和52年)。
- 10) 「新編 物理I B」、東京書籍(平成9年)。

(2019年9月2日受付)