

教育学部における物理学実験

—— 反省と今後の課題 ——

三 仲 啓*

(1990年10月15日 受理)

Physics Experiments for Students in Faculty of Education

—— Problems so far and hereafter ——

Akira MINAKA

1. はじめに

1988年12月の教育職員免許法の改正に伴い、教員養成系大学のカリキュラムの大幅な変更が進行している。理科の実験関係の免許科目には、小学校の「理科教材研究」と中学・高校の「物理学実験」「化学実験」「生物学実験」「地学実験」があるが、前者は実験のみを行うものではない。この中では、中学校理科の免許に必要な実験の単位が、物化生地各1単位であったものが各2単位に引き上げられたことが、理科のカリキュラムへ一番大きな影響を与えている。

筆者が担当してきた物理学実験では、特に目新しい試みをしたわけではないが、教育学部のカリキュラムの改訂に際して、これまでの反省と問題点のまとめをしておきたい。本稿では、本学部の学生の実状・物理学実験の意義・採用し得る実験の条件などをまとめた後、実際に行ってきた物理学実験の内容を反省しながら、さまざまなレベルの問題点を整理し、今後の教育内容・教育方法改善の糧としたい。

2. 教員養成系大学での物理学実験

(1) 本学部のシステム

本学では、学生は入学後1年半を教養部で過ごし、2年次の後期から教育学部へ進学、3年次には教育実習がある。中学校教員養成課程の場合、物化生地の各実験は卒業単位として必修であり、また教育実習に参加するためにも必要なので、2年次の後期または3年次の前期にこれらの実験を履修する。小学校教員養成課程の学生のうち中学理科の教員免許を得たい者も同様である。ここで履修する実験は、「物理学基礎実験」などの基礎実験であるが、この他に卒業論文などで必要とな

* 鹿児島大学教育学部理科 (物理)

るより応用的・実用的な「物理学実験Ⅰ・Ⅱ」などが用意されている。

(2) 学生の物理学の素養

教育学部の学生の大多数は高校において物理を選択していない。そもそも1982年度からの高校の教育課程では、理科Ⅰと物化生地の中から1つを選択するようになっているが、物理の履修率は全国平均で30%前後に下がっており、高校物理教育の危機だと叫ばれてきている。¹⁾

理科Ⅰの中での物理の扱いは非常に軽いし、中学理科の免許を得ようとする学生であっても教養部で物理学を熱心に勉強してくる学生は少数派である。その結果大多数の学生は、基本的な放物運動の問題が解けるかどうかというレベルで学部に進学してくるのが実態である。

物理学の素養よりもっと深刻なのは、論理的な思考力が弱い学生や抽象的議論と具体的な物事・現象とを結び付けることができない学生が増加していることである。この傾向は全国的なものであり、また大学のみならず高校の教師からも同様の報告がある。

(3) 物理学実験の意義

物理学学生実験の一般的な目的としては、

- ① 講義の導入・動機付け
- ② 講義内容の実証・確認
- ③ 実験技術の習得

などが挙げられるが、(1)で述べたシステムのため本学部では、講義と実験の連携は時間的理由でなかなか実現が困難である。また学生の物理学の素養から考えると、教員養成系の大学での物理学実験は、

- ④ 新しい知識を得る
- ⑤ 実験のための工夫を知る
- ⑥ 具体的な操作を通して、能動的な思考法を身につける

という点に大きな意義があるように思われる。

すなわち、学生はこれまで学んだことがない現象について理論を勉強しつつ実験をすることになる。理論と実験が並行することは一見理想的だが、実際には実験の作業が先行し、レポートを書く段階ではじめて理論を勉強するということもあり得る。いずれにせよ、実験の時間は、個別指導ができる貴重な機会ではある。

また、各実験装置には、それぞれ先人の工夫があり、それらを知ることはよい刺激になる。さらに、学生自身が操作をするときには、何らかの気配りや工夫が必要となり、自ら考えることが要求される。

(4) 他大学との比較

他の教員養成系の大学における物理学実験の実態は、流動的なものでもあるので、なかなか把握しにくい。文献2に5年余りにわたって連載されたものがある。この連載では、紹介する事項は厳密に定められていないので、各執筆担当者により自由な形式で実験・演習の内容が紹介されてい

る。そのため、実験項目の詳細などがすべて掌握できるわけではないが、各大学での姿勢や雰囲気
をうかがい知ることができる。また、文献3にも実験関係の報告があり参考になる。

他大学と比較したとき、本学部の物理学実験の特徴は、

- 実験の受講者が約30名、担当教員が2名という最小規模であること
- 実験項目には、ボルダ振子のような「古典的」なものを多く行っていることなどであろう。

他大学では、実験項目から古典的実験を一掃し、教材研究に近いものを中心にしたり、独自の
実験を工夫したりしているところもかなりある。

3. 実験項目に採用するための要件

ここでは、数十名の受講者に対して、ある物理学実験を採用するか否かを決定するときに、考
えざるを得ない条件をまとめておく。

(1) 内 容

- ① あまり専門的な内容ではなく、中学校・高校の教育に関連があるもの
- ② 力学・熱学・光学など各分野のバランスをとること
- ③ 数学的な予備知識が少なくてもよいもの
- ④ 学生が興味を持つもの

直接感覚に訴えるもの（色・音など）も重要

(2) 器具・装置

- ① 入手しやすく安価な装置で実験できるもの

それでも、化学・生物学・地学実験に比べると特殊な器具・装置を必要とするものが多く、
学生の数だけ装置をそろえるのは不可能であるため、1つの時間に多数の実験を用意しておき、
学生は毎週ローテーション方式で別な実験を行うことが多い。特に古典的な実験を主体として
いる大学では、必ずこの方式になる。

- ② 装置の維持・管理・保守が容易なこと

学生実験では、かなりの確率で器具・装置が破損される。その修理に要する時間・労力・金
銭は無視できない。

(3) 時間・空間

- ① 実験の所要時間が適当であること

30分程度で終わるものや3時間以上かかるものは不適當である。

- ② 実験に必要な空間があまり大きくないもの

多数の実験を同時に行う場合、大きなスペースを要する実験の数は制限される。

(4) そ の 他

- ① 理論的なものだけでなく、基礎的な技術訓練を含むものも必要

- ② 測定原理がわかりやすく、実験装置がブラックボックス化しないもの

4. 「物理学基礎実験」の実験項目

本学部の物理学基礎実験は、中学校教員養成課程の理科専攻の学生と理科のテーマで卒業論文を書こうとする小学校教員養成課程の学生など、合計約30名が受講する。基本的にはローテーション方式で実験をしているが、それでもスペースの都合や各学生への対応が十分できなくなることにより、30名の同時受講は無理がある。そのため前・後期両方に開講し、中学校課程の学生中心の約10名と小学校課程の学生中心の約20名に分けて実験をしている。

実験項目は表1に示すように、古典的なものを中心としている。過去10年間（実際には1983年頃が中心）に約半数のものが入れ替わっている。

表1 「物理学基礎実験」の実験項目

[A] 1980年度前期 (○は現在も継続)	[B] 1990年度前期 ([A] にないもののみ)
<ul style="list-style-type: none"> ○オリエンテーション ○ガラス細工 (T字管の作製) ○Borda の振り子による g の測定 ○気柱の共鳴による音速の測定 ○Newton ring による曲率半径の測定 ○電子の比電荷 Melde の装置による電磁音叉の振動数測定 Wheatstone bridge による電気抵抗の測定 Jolly のばねばかりによる表面張力の測定 望遠鏡と虫めがねの倍率測定 球面計による凹面鏡の曲率半径の測定 三極管の特性曲線の測定 ○教材に関する基礎実験 (2回) ○期末試験 	<ul style="list-style-type: none"> モノコードによる音叉の振動数測定 金属の電気抵抗の温度係数の測定 回折格子によるレーザの波長測定 2次元の衝突 ダイオードとトランジスタの性質 パソコンによるデータ処理 [C] その他, 適宜行ったもの オシロスコープの利用法 等電位線の測定 Searle の装置によるヤング率の測定 Ewing の装置によるヤング率の測定 凹面鏡の焦点距離測定 日射計による直達日射量の測定 ビデオカメラによる運動の記録

テキストは、文献4のこれまた古典的なものを使用している。近ごろのテキストに比べると記述が硬い感じであるが、正確であること、実験項目数が多いこと、付録の物性データなどが充実していること、ガラス細工も扱っていることなどにより、これを採用している。

独自のテキストが作成できれば理想的だが、現在までのところその余裕も能力もない。テキストを補うものとして、予備実験の仕方、理論の補足説明、操作上の注意事項などを記したプリントを配布したり、カードケースに入れて実験装置のそばに置いたりしている。

以下、いくつかの実験項目について、日頃感じていることなどをまとめておく。

(1) オリエンテーション

実験室での注意事項、レポートの書き方などの指示に続き、時間が許す限り各実験の意図を説明するようにしている。通常行われる誤差の扱い方の説明などは省略し、レポートでも誤差の検討は要求していない。

(2) ガラス細工

大半の学生は軽いやけどをするし、物理学実験で扱うべき内容が少々疑問ではあるが、

- 実験に必要な器用さ・技の訓練
- ガラス物性の体験
- 現場教師になってからの必要性・実用性

などの意義は大きいと思われ、現在まで継続している。これを物理学実験として実施しているところだが、少ないながら他大学でもある。実演をしながら、熱放射やナトリウムの炎色反応の話しができるのも利点である。

(3) ボルダ振子

古典的物理学実験の代表格であり、現在でもほとんどの大学で実施されている。しかし、本学部では、学生の大半は慣性モーメントや角運動量をよく理解していない状態でこの実験を行うことになる。理論の式を完全に理解できるのは、ごく少数であろう。そこで、まず単振子と見る近似で簡単な予備実験を行うようにさせている。ノギスの使用法もここで習得する。

(4) 気柱の共鳴

理論としては、波長×振動数により音速を求めるところまででよいと考えており、オリエンテーションのときにその旨を話す。しかし、気圧計の読み方やその温度補正の考え方は有益であるので、理論は学生のレベルを超えてしまうが、テキストのとおり、 0°C ・1気圧・乾燥空気中での音速を求めるところまでをレポートとして提出させている。

(5) ニュートンリング

まず、太陽光でリングを確認させてからナトリウムランプで実験をする。ナトリウムランプの使用経験は、原子物理学で原子スペクトルやスピンの話しをするときに間接的に役立つ。

高々20番目のリングまでを2～4本おきにしか測定していないのだが、目が痛くなったと訴える学生が増えてきた。

(6) 電子の比電荷

この実験で見られる緑色の円は、ネオンレーザの赤色の回折パターン、ナトリウムランプのオレンジ色のニュートンリングとともに、色と形で学生の興味を引くことができる。あまり正確な測定結果は出ないが、内容は基本的で重要である。実験後に比電荷の定義が答えられない学生が多くいて、指導法を反省させられたこともあった。

(7) メルデの装置とモノコード

どちらも弦の線密度と張力から求めた横波の速度と、実測した波長とから音叉の振動数を求めるが、後者の方へ移行した。理由は、原理が簡単であること、“うなり”を体験できること、騒音が

出ないこと、接点などの消耗品が無いことなどによる。

(8) 2次元の衝突

これはPSSCの実験⁵⁾，すなわち高校程度の実験である。解説書の説明だけでは実験の意図が十分に理解できない者が多いが，そばで少し説明すると「100%理解できた」と喜んで実験する者が大半である。

(9) 望遠鏡・虫めがねの倍率／凹面鏡の焦点距離

前者は左目で見た実物と右目で見た虚像を重ね合わせて倍率を測定するもの，後者は凹面鏡の球心に置いた物体の実像がまた球心に出来ることを利用し，実物と実像の視差を見ながら球心の位置を求めるものである。いずれも，特別な装置を必要としない筆者好みの実験であるが，なぜか学生の反応は今一つで，最近では実施しないことが多い。もう一工夫が必要なのであろう。

(10) ダイオードとトランジスタ

ダイオードとLEDの特性の測定と最も原理的な光スイッチの実習を行う。生の部品を配線実験用ボード（商品名はプロトボード，ブレッドボードなど）に刺して配線する。

(11) パーソナルコンピュータの利用

1983年から採用したが，当初はシミュレーションプログラムの入力と実行，次にBASICによるデータ処理，最近では表計算ソフトによるデータ処理を行っている。これは，ローテーション実験とは別に，パソコンルームで一斉に実習し，その後の実験のデータ処理に少なくとも1回はパソコンを利用するよう義務付けている。実際には，約半数の学生が，ほとんどすべての実験のデータ処理を表計算ソフトで行っている。

(12) 教材に関する実験

各受講者にあらかじめ実験の計画書を提出してもらい，こちらでコメントを書き加えて返却した後に実施する。通常2名1組で2週にわたって実験を行っている。大多数の学生は，教科書や雑誌，その他の図書から実験を選んでくるが，まれに完全なオリジナルもある。

(13) 期末試験

実験に対して期末試験を実施しているのはめずらしいことであろう。しかし，簡単な試験をすることにより，立派なレポートを書いていた学生が実は基礎的な事項を理解していないことがわかったり，学生に共通する弱点からこちらの反省材料が得られたりで，指導上も大いに参考になる。

5. 「物理学実験Ⅰ・Ⅱ」の実験項目

物理学実験Ⅰ・Ⅱは，物理学基礎実験を履修した者のみが受講するが，必修ではなく，また教員免許取得のためにも必要ではないので，受講するのは物理のテーマで卒業論文を書こうとする3～6名になるのが普通であった。

まず，ローテーション方式の物理学基礎実験とは異なる点を列举してみる。

- ① 長時間を要する実験もできる
- ② 講義風の解説もできる
- ③ 学生自身に実験方法を考えさせることができる
- ④ こちらも未経験の実験を行うことができる

すなわち、時間に自由度があり、かつ受講者が少人数であるため十分な指導ができるので、実験テーマも比較的自由に選ぶことができる。

表2 「物理学実験Ⅰ・Ⅱ」の主な実験項目

水の波（表面波，長波）	自作センサー利用の計測
ばねの横波／ばね	ソフト開発・パソコン通信
の縦波	ストロボ（写真）
音波（室内共鳴など）	学生の企画
Millikanの実験	大学祭の展示物製作
Katerの振り子	エレベータの加速度
ねじれ振り子による	都市ガスの圧力
剛性率	etc.

そのため、実験項目も多様であるが、比較的頻繁に行ったもの表2に示す。この中のいくつかにつき、感想や反省を以下にまとめておく。

(1) 水の重力長波の速度

理論は簡単であるので、学生にも完全に理解できる。実験もごく簡単に、直方体の水槽やパンケースに水を入れ、水槽を水平にゆらすことによりできる波の速度を測る。水深が小さいときには、理論式とよく一致する結果が得られる。さらに、深さが途中で変化するように水中に物体を置いたり、容器を傾けたりして、波の屈折を観察する。

(2) ばね振子の周期

(1)とは対照的に、学生には理論がむずかしいので、ばね振子に対する波動方程式とその解法をかなりの時間をかけて解説する。実験は、ばねの自然長や弾性定数などばねに固有な量を測定した後、おもりを変化させながら基本振動数（周期）を測定する。理論式から基本振動数を求めるためには、数値計算を必要とするが、これは簡単で学生にも手ごろな練習となる。理論値と測定値の一致に感激する学生もあり、ニュートン力学のすばらしさを実感できるよい教材になる。ただし、微分法を知らないという学生には効果がない。

(3) マイコンの製作

マイコンや計測用周辺装置の製作は、しばしばハンダ付けの練習のみに終わってしまう。各自で回路を設計するのは無理としても、各回路の意味を考えるように仕向ける工夫が必要である。

センサーを利用した実験は、目的が明確なら有効で、センサー部やソフトの改良にも意欲がでる

ようである。

(4) パソコン用ソフトの開発

パソコンも8ビット時代には、プログラミングそのものに興味を持つ学生が多くいたが、最近では、すでに高機能のソフトを使用しているため、自分でプログラムを作る必要性を感じなくなっている。最初から出来の悪い自作ソフトを作らせるより、市販ソフトの活用やパソコン通信のオンラインソフトの利用などに重点を置き、その過程でどうしても自分で作りたいという動機が生じた場合のみソフト開発に進む方がよさそうである。

6. 問題点のまとめ

以上に物理学実験を行う上での問題点を個別的に示してきたが、ここでそれらを整理しておく。

(1) 学生の問題

学生の論理的思考力の弱体化や物理概念と具体物との思考上の遊離は、現在も少しずつ進行しているように思える。学生の実験レポートの感想の項には、「小中学生の感動」であるべきことが記されており、複雑な気持ちにさせられることもある。これには、高校での物理の履修率低下そのものよりも根が深い問題がありそうに思われる。

小中学校での理科教育では、実験・観察などの体験を重視することが定着しており、これ自体には異論はない。しかし、指導要領には「身近な現象の重視」が唱われ続けているにも関わらず、実際には物理学で扱うものと日常経験する現象が全く結びつけられない学生が多くいる。これには、過去数回にわたり行われた指導要領の「精選」が大きく関係しているように思われる。教師の間には「体験→法則化」という帰納型の教育が定着しており、このパターンをとりにくいものは「教えるににくい」「混乱が生じる」として捨てられてきたのではなかろうか。この帰納型の教育だけでは、論理的な思考力を育成するには片手落ちとなろう。また、「精選」により、例えば作用・反作用といった基本的な概念を理解していない教師が増えてしまい、児童・生徒に適切なコメントを与えられなくなっているのではないかとと思われる。

この議論は本稿の範囲を超えてしまうので、詳細は別な機会にゆずることにしたいが、これからも教員養成系の大学教員、小中学校・高等学校の教師の間で大いに議論しなければならない問題だと考える。

(2) 教養部との関係

教養部と教育学部の物理学教育に系統性を持たせるのは、さまざまな理由で困難な問題であるが、教育学部の入試制度の変更（小学校教員養成課程でも、ある程度理系・文系の区別をする）とも絡めて、改めて議論をする価値がある。また、教育学部の教育課程の改訂に伴い、実験など必修科目が増加したため、教養部に所属している間に学部の開設科目を履修できる「相互乗り入れ」方式の枠を拡大していく必要があるかもしれない。

(3) 実験指導上の問題

ローテーション方式の実験では、1・2名の教官と研究室配属の事務官が、同時に行われている10種類程度の実験を巡回して指導・補助することになる。2回目以降はすでにその実験を行った学生が近くにいるので、学生同士で教え合うこともできるが、初回は猫の手を借りても間に合わず、十分な指導ができないのが実状である。今後も、ローテーション方式は続けざるを得ないと思われるが、その回数を減らすことや事前指導の機会を増やすことなどを考慮しなければならぬ。

(4) 実験の項目

ローテーション方式の場合、3で述べた実験項目に対する制約はきびしく、新しい実験を採用するのは容易ではない。旧制高校以来行われている古典的実験は、所要時間が適当であることのみならず、内容や各測定法に見られる工夫など、古典と言うに値するすぐれたものも多く、これらを全廃するのは疑問に思う。しかし、一方では学生の実態に合わせることや、より現代的な素材やテーマを扱うことも必要であり、両者のバランスが問題であろう。

また、ローテーション方式の実験を減らすことを含めて、3の実験項目への制約を見直せば、新しい実験を取り入れる可能性が広がるであろう。

(5) 実験の時間当たり単位数

これは、形式的なことであるが、講義30時間が2単位であるのに対し、実験は45時間で1単位となっており、単位上は講義の3分の1の重みしかない。これは、教育効果や学生に強い努力という面からみると逆転しており、実験に対する意欲を弱める可能性もあるので、実態に合うよう改正した方がよいのではないかと思う。

7. お わ り に

本学部における新教育課程の物理学実験は、「物理学基礎実験」が廃止され、「物理学実験Ⅰ・Ⅱ」が中学校教員養成課程の必修となる。小学校課程の学生のうちのくわいが中学校理科の免許も得ようとするのが予測ができないので、実験項目の詳細もまだ確定していないが、当面はこれまでの基礎実験の内容をかなりの部分踏襲しながらスタートすることになるであろう。

また、中学校理科の実験については、教員免許法で「コンピュータの活用」が義務付けられた。ほとんどの大学では、すでに物理学実験の中に取り入れられていたものである。他の系列では大変迷惑なことであろう。物化生地の各実験で、それぞれコンピュータの初歩的な取り扱いから指導するのは不経済であるので、本学部では「理科情報処理」という講義を新設し、パソコンルームを利用して一斉に指導することになった。

最後に、現時点で教員養成系大学での物理学実験を考えるには、単に現代的なテーマや学生の実態に合わせた実験を考えるだけでは不十分で、6の(1)で触れた大きな問題を視野に入れておかねばならないであろう。現在の教育現場で欠如しているものを見きわめた上で、内容や指導法を工夫し

ていかねば、この問題は悪循環し深刻化の一途をたどるのではないかと危惧される。

参 考 文 献

- 1) 日本物理教育学会誌『物理教育』Vol.36 (1988), No.2 および Vol.37 (1989), No.2 での特集記事, Vol.38 (1990), No.3. これら以外にも、最近は頻繁に関連記事が見られる。
- 2) 日本理科教育学会編『理科の教育』Vol.32 (1983), No.4 から Vol.36 (1988), No.10 まで、「理科教員養成のための演習・実験」というタイトルで52回連載。
- 3) 『日本物理学会誌』Vol.45 (1990), No.6 からNo.9, シリーズ「大学物理教育を考え直す」
- 4) 吉田卯三郎他『六訂物理学実験』三省堂
- 5) 山内恭彦他翻訳監修『PSSC 物理—実験指導書』岩波書店