

カンボジアにおける物理指導法の研究

安藤 雅夫 (物理学)、四家 明彦*

1. はじめに

カンボジア王国 (以下、カンボジア) は、長い内戦状態が続いたが、1993年のパリ協定に基づき UNTAC (国連カンボジア暫定機構) が総選挙を実施して以来、「新生カンボジア」が発足し、1999年の ASEAN 加盟を果たすなど、国際社会の仲間入りを達成し、経済的にも復興すべく努力を続けている。

教育に関しては、日本と同じ6-3-3制を取り、初等教育・前期中等教育の義務化、教科書配布などの教育改革により、一定の成果を上げている。しかしながら、例えば高等学校 (後期中等教育) 物理教科書を子細に調査すると¹⁾、その内容には物理用語、単元の配列、記述の誤りなどの課題を抱えており、教師自身が困惑しているのが現状である。また、教員養成体制は、これまで決して十分なものとはいえず、「教員の質」がたびたび問題となっている²⁾。

2. 理数科教育改善プロジェクト

JICA (Japan International Cooperation Agency、国際協力機構) では開発途上国での理数科教育支援プロジェクトがこれまでいくつか実行されているが³⁾、カンボジアにおいては1994年にプロジェクト形式調査が実施された。その後、一時政治情勢の不安定のため、調査延期もあったが、2000年8月より3年計画のカンボジア理数科教育改善計画プロジェクト (Secondary School Teacher Training Project in Science and Mathematics、以下 STEPSAM) が開始する運びとなった。この目標のひとつは、教員養成校 (Faculty of Pedagogy、以下 FOP) の中等理数科教育にかかる機能・能力を向上させ

ることにある。ここで、FOP とは、教育・青少年・スポーツ省の所轄する後期中等教育の教員養成機関であり、プノンペン大学 (4年制) の卒業生のうち教職希望者を受け入れ、1年課程の教育を実施している機関である。ちなみに2003年9月の物理学の卒業生は、26名である。

3. 物理学指導

3-1 事前調査

STEPAM 開始時に、教師・学生のおかれた学習経験などをさぐるベースライン調査が2001年に実施された⁴⁾。この調査は、FOP 教官だけでなく FOP 学生、プノンペン大学教官・学生も対象としているが、ここでは FOP 物理教官 (12名) だけを抽出し、考察する。

質量と重量、力の要素、仕事などカンボジアの教科書で扱っている項目30を設定し、それぞれについて学習経験の有無について尋ね、学んだことがあれば、その場所を1. 学校、2. 教員研修、3. 自習学習、から複数回答をさせた。その結果、30の質問項目のうち84%をすでに学校・大学で学んだことがわかった。この数字からは、多くの教官がこれまで学習経験が十分であると判断してよさそうであるが、ただ項目を単に言葉として知っているだけなのか、それとも原理・法則を理解していて、科学的思考能力が備わっていると判断していいのかは、実際の授業を通して見極める必要がある。

また、学んだ場所として、教育研修と自習はそれぞれ50%、37%と示した。これは、学校以外に研修できる機会があったことを示している。

次に、教授法については、どんな方法で各項目を教えたかを、1. 講義ノートで、2. 教科書

* JIA 日本国際学園高等部

で、3. 観察で、4. 実験をして、から選択させたところ (複数回答)、回答数の割合はそれぞれ30%、70%、32%、3%であった。無回答者が24%あることから考えると、教科書を使用している教官は多いと考えられる。「観察で」が、32%となっているが、ここでの観察は、黒板に書いた図や絵も含まれると推測できる。

3-2 授業内容

授業に参加した教員は、主に FOP 教官であるが、時期によっては前期中等教育養成校 (RTTC) の教員、高等学校教員などが参加した。

(1) 実験指導

STEPSAM 開始時点では、専用の物理学実験室はまだなく、他教科と共有する実験室があるのみであった (2002年8月、新たに物理学実験室・化学実験室・生物実験室・図書館などを中心とした教育棟が供与され、本格的な教育活動ができる態勢が整った)。

実験装置・器具については、アジア開発銀行 (ADB) の支援による実験器具が当初1セットあり、力学、電気回路、光の実験などの基礎的な実験をすることができる。しかし、ほこりをかぶったままで、利用した形跡はなく、使用方法も FOP 教官は十分に把握していなかった。さらに、教科書で詳しく説明している実験装置 (例えばオシロスコープ) は見あたらなかった。

実験指導では、ベースライン調査で判明したように、ほとんどの教官がこれまで実験の経験がないことと、実験設備の不足から、(7) 基礎的な実験ができる能力を身につける、(i) 現地で調達可能な材料を用い創意工夫して演示実験をすることができる、を目標とした。

(7) では、物理学の力学、電磁気学などの各領域で代表的な実験をいくつか選択した。この選択基準は、日本の高等学校で実施している実験を優先し、かつカンボジア教科書に記載しているオシロスコープなどの実験 (日本では、大学教養課程の実験に相当) を加えた。その際、ADS の器材では不足している実験装置・器具は日本から供与した。これらの実験を行うことにより、物理概念がより鮮明になると共に、FOP の授業や、高校での授業で、実験を取り

入れることにより授業計画の幅が広がることが期待される。

(i) に関しては、カンボジアでは、現状で本格的な実験装置が設備されていない学校がほとんどなため、マーケット等で入手可能な材料で演示実験ができる必要がある。その目的のために、日本で開発・工夫されたすぐれた実践、実験を参考にした⁵⁾。

実験指導 (表1の項目参照) では、原則としてグループ (3ないし4名) に分かれて、同一の実験を実施したが、実験装置が限られているときは (たとえばオシロスコープ)、異なる実験題目を行い交替するように工夫した。各実験の前には、背景となる概念の説明を行い、その後クメール語に翻訳した実験マニュアルをカウンターパートが読んで説明してもらった。

実験終了後には、各グループごとに結果の発表を行った。

3-3 理論指導

カンボジアでの授業は、物理に限らず教師が話しあるいは板書し、それを生徒・学生がノートにとるスタイルが一般的である。ノートは綺麗にとるのが美德とされている。

教師と生徒間、あるいは生徒同士の議論はしないのが普通である。

理論面での指導は、上記のことを考慮し、教官間で議論をすることを大切にした。そのため、実践例として表2に示すような授業を行った。

表2：授業例

「ソファに横になると、床に直接横になるのはどちらも同じ力を受けるはずなのに、ソファの方が快適なのはなぜか？」この問題を、参加者で議論したところ、ほとんどの参加者は、ソファと床とは、受ける力が異なるが、圧力はどちらも同じである、と考えていた。

この授業例は、力学の初等的な問題であったが、力と圧力の概念がうまく説明できず、それらの概念がまだ未分化であることを示している。

また、計算問題をしないで、物理学を身につ

表1：指導項目と内容

番号	項目	内 容
1	次元解析	すべての単位は SI 単位系で表せる。N, Wなどを SI で表す。次元解析の例をあげ、問題演習。
2	測定と有効数字	測定機器による精度の違いと有効数字の関連。有効数字の計算。
3	密度と原子量	ノギスとはかりを使って、直方体の密度を求め、同じ物質をさがす実験。原子量の違いと密度の違いから、同体積中の原子の個数を求める問題。
4	放物運動	水平投射と自由落下の時間が同じ事を示す演示。 速度ベクトルの独立合成関係。 等速で走っているバイクから石を落とす（慣性の法則）。 問題演習。
5	自由落下	重力加速度を求める実験。
6	最小二乗法	最小二乗法の理論導入。 実験データを最小二乗法で処理する。
7	力の表し方	近接作用の力と遠隔作用の力。 動いているものに働いている力（慣性の法則）。 力の分解。
8	相対速度	問題演習。
9	ニュートンの運動法則	力学台車と滑車を使った実験。
10	慣性と作用反作用の法則	作用反作用の関係とつりあいの力の違い。 大人と子どもの押し合いの例およびローラースケートを履いての演示。 ダルマ落とし。 重量保存の演示（浮かぶ磁石2例、水に浮かぶ木片）。
11	質量と重量	慣性と重力の関係。 月での自由落下。 無重量状態。
12	摩擦係数	摩擦と重量の違いの演示（人が座った箱を引っ張る）。 摩擦角。 問題演習。
13	等速円運動	ボールペンの外枠と糸、ナットを使った実験。 等速円運動の式をベクトルを使って求める。 等速円運動の式を放物運動の式から求める。
14	バネ振り子	バネ振り子の周期の実験（ $T^2 - m$ グラフを書く）。 フックの法則の確認。 次元解析から、周期を求める式を割り出す。 バネ振り子の運動（加速度、速度の変化）。
15	単振り子	次元解析から、周期を求める式を割り出す。 単振り子の周期の実験（ $T^2 - L$ グラフを書く）。
16	万有引力	公転周期と天体の質量の関係。 ニュートンの運動方程式からケプラー第三法則も導く。 問題演習。
17	慣性力	慣性系と非慣性系。 グランベールの慣性力（見かけの力）。 自由落下するペットボトルの水の演示。 遠心力の演示（バケツの中の水）。
18	運動量	プレバートにパチンコ球を落とす演示（高さを変える、下にスポンジを置く）。 問題演習。 運動量保存の法則の実験（台車を使って）。 運動量保存の法則とニュートンの第二、第三法則のつながり。 水ロケットの演示。
19	衝突	弾性衝突と非弾性衝突。 スーパーボールとアンチスーパーボールどっちの方が衝撃が大きい？ 反発係数の実験。 斜め衝突（摩擦なしと摩擦あり）。 問題演習。 バレーボールとテニスボールと重ねて落とす演示。
20	仕事とエネルギー、仕事率	摩擦、垂直抗力による仕事。 人間の仕事率の実験（階段のぼり、おもり巻き上げ）。 吹き矢を作ろう。 運動エネルギーと仕事。 力学的エネルギー保存則の応用。

21	力学的エネルギー保存則	力学的エネルギー保存則の確認の実験（水平投射の飛距離から）。
22	力のつりあい	バットをつりあいの位置で切ると、両側の重さは釣りあうか？（演示）。 日本の指でつりあいの位置を見つける。 質量中心とつりあいの位置。 やじろべい釣り合い。 問題演習。
23	剛体の回転運動	先端に錘がついている棒、何もない棒、短い棒どれが一番早く倒れるか？ 円筒、リング、球どれが一番早く転がるか？ 凍ったジュース缶と普通の缶どっちが早く転がるか？ 糸車と錘を使った慣性モーメントを求める実験。 滑車の慣性モーメントを考えたアトウッドの器具。 問題演習。
24	角運動量	回転運動の運動方程式。 並進運動と回転運動の式の類似性。 回転椅子をつかった角運動量保存の法則の演示。 問題演習。
25	縦波の横波表示	グラフを使って、疎密を説明。
26	定常波	定常波と進行波の違い。 同じ波が反対方向から来てぶつかるとうなるか？（重ね合わせの原理）。 入射波と反射波の合成。
27	光の屈折率	ガラスブロックとピンを使った屈折率を求める実験。
28	光速	レーマーの方法。 ブラッドリの方法。 フィゾーの方法。
29	オームの法則	テスターを使ってV-I グラフからRを求め、テスターによる抵抗値と比較する実験。
30	テスターの仕組み	検流計の仕組み。 バイパス（分流器）の役割。 テスターの抵抗値測定の実験。
31	メートルブリッジ	電流計と電圧計を使って抵抗値を求める方法とその誤差。 メートルブリッジを使った抵抗値の測定で導線の抵抗率を求める。
32	磁化と消磁	こなごなに砕いた磁石の性質の演示。 ネオジム磁石を使って、常磁体も磁石に引き寄せられる実験。 キューリー点の演示。 強磁性体、常磁性体、反磁性体と原子の構造。
33	電磁誘導	電磁誘導の法則の定性的確認実験。 地磁場での発電演示。 渦電流の演示（銅板の上でネオジム磁石をすばやく動かす）。 アルミ管を落下するネオジム磁石の説明。
34	ダイオード	p型とn型半導体。
35	トランジスタ	トランジスタの定性的説明。
36	オーダーの計算	物理量を近似計算する。
37	共鳴管	音波の共鳴の実験。
38	弦を伝わる波の速度	プラスチックバネを伝わる波の速さを求める実験。
39	直流による磁場	直流の導線のまわりの磁場を測定する。
40	反発係数の実験	様々な物体の反発係数を求める実験。
41	電池の起電力と内部抵抗	乾電池の内部抵抗を測定する実験。
42	コンデンサーの容量の測定	コンデンサーの放電から電気容量を測定する実験。
43	等電位面と電気力線	等電位面と電気力線を作図する。
44	光の回折	回折格子による光の干渉実験。
45	オシロスコープ	オシロスコープの基本的な取り扱い方。 電圧、電流の波形を表示する。
46	慣性モーメント	問題演習。
47	熱力学第1法則	熱と温度との違い。 演示実験。
48	地球の円周を測定する実験	春分の日の中高度をほぼ同一経度上の二点で測って、地球の大きさを推測。

けることは不可能であることを考慮し、問題演習として、アメリカの大学で広く採用されている教科書⁶⁾を使用した。その内容の程度は、日本の高校から大学1年生までのため、カンボジアの教員にとっては適切と判断した。

3-4 評価

(1) 小テスト

2002年8月19日に授業内容の確認のための小テストを行った。参加者は、FOP 教官10名、その他高校教員3名、計13名である。問題は、すべて授業の中で扱った演習問題の類題で10問とした。その一部を表3に示す。

表3：小テスト

問題4 $\theta=15^\circ$ の傾斜をもつ斜面の頂上からブロックが滑り降りる。斜面の長さが2mであるとき、次の量を求めよ。(a)ブロックの加速度、(b)ブロックが斜面の下端に到達したときの速さ
問題9 一様な板状スチール片が図(略)に示す形をしている。このスチール片の質量中心のxおよびy座標を求めよ。

この小テストの平均点は、67点であった。ただし、テストを受けたひとは、授業の参加回数が少ないため、除外すると平均点は70点となる。この結果は、基本的な問題とはいえよい結果が得られたといつてよい。

(2) アンケート

2003年9月にSTEPSAMプロジェクトに当初から参加しているFOP物理教官5名を対象にアンケートを実施した。調査項目は、表1の各項目に対し、表4にある質問をした。

表4：アンケート 質問と結果

- これまでの授業内容に対して、以前に(理数科教育改善プロジェクト前に)学習したことはありますか。
 - 学んだことはない。(27.5%)
 - 学んだことはあるがなじみがない。(19.6%)
 - 同じ授業を受けたことはあるが、実験、演習実験、演習をしたことはない。(50.4%)
 - 実験を含めて学習したことがある。(2.1%)
- 授業は役に立ちましたか。

- 非常に役に立った。(62.9%)
- かなり役に立った。(27.1%)
- 役に立った。(2.1%)
- あまり役に立たなかった。(0.4%)
- 全く役に立たなかった。(6.3%)

「実験を含めて学習したことがある」と答えた項目は、自由落下、ニュートンの法則、光の屈折率にとどまり、教員になるまでに実験をする機会、またその環境がとぼしかったことがわかる。このことは、「実験、演習実験、演習をしたことはない」が50.4%に相当することからも示唆される。逆に、「学んだことはない」「学んだことはあるがなじみがない」を選択した回答者が多くあげた項目は、次元解析、相対速度、角運動量、弦の振動、電気力線、オシロスコープなどである。この中には、相対速度や電気力線のように基本的概念が含まれており、獲得した知識は断片的であり体系的に学んだのではないことが窺える。

「授業は役に立ったか」に対しては、「非常に役に立った」「かなり役に立った」をあわせると90.0%に達した。なお、「全く役に立たなかった」が6.3%とあるのは、すべて同じ教官が回答したもので、「役に立つ」の意味を「カンボジアの高校で教えられる、すぐに利用できる」という観点からしたことが判明した。すなわち、「すぐに教えることができないから、役に立たない」と解釈したようである。

つぎに、表5に、FOP物理教官の感想の一部を示す。

表5：コメント

- 簡単な実験(演示)、例えば、ネオジム磁石をアルミ管の中に落とす実験などがかなり印象に残っている。
- 簡単だが、「何故か?」を説明するのは難しかった。一度やったものに関しては、自分は理解したと思うが、それを他の人に説明して、納得させるのはまだ難しい。
- 簡単な実験を見せる前に、どうなるかを考えて、何故そうなるかを議論させてから実験をやるという方法は、初めてだったが面白かった。

大学の時は、理由もあまり考えずに式を覚えるだけだった。

- もっといろいろな実験、レッスンを受りたい。ほとんどの実験や授業が初めて習うことで、とても役に立った。特に反発係数の実験は外国の教科書にもあまり見られないので、面白かった。
- とにかく、プロジェクトでもっといろいろな実験や授業を習いたい。
- 教え方もとても役に立った。特に科学的手法を理解することが出来た。
実験を使いながら、どうやって生徒・受講者に考えさせるかということを重視しているのが面白かったし、とても役に立った。カンボジアでは考えることをあまり重視しない。カンボジアでもやりたいがそれにはもっと先生たちを訓練する必要がある。
- レベルはちょうど良いぐらいだったが、微分方程式や積分を使う時など、ほとんど学習した機会がないので、難しいと感じた。
- 剛体の回転のところも難しかった。
- 力の書き方は、カンボジアの高校の先生でもはっきり分かっている人は少ないと思う。
- RLC回路とオシロスコープを使った実験を教えて欲しい。
- 講義はすべて良かった、もっと受けたいけど時間がないのが残念であった。
- この夏、3日間でやっていただいたレッスンはとても早かった。
- 太陽の大きさを求める実験や地球の円周を求める実験など天文学に関する実験はカンボジアでは全く知られていないので、とても役に立った。
- 慣性モーメントを求めるのは難しかった。
- はじめに考えさせて、議論させる教え方もとても参考になったが、高校で導入するには、先生がよく理解しなければいけないので、まだまだ、難しい。
- どのレッスンも良かったが、教科書には直接、結びつかない内容が多く(同じトピックでも議論している観点が違ったりする)、もっと多くの先生や教育関係者を講義に引きつけられなかったのが残念。
- 「自由落下」などは同じような公式を習ったが、その意味や成り立ちを全く考えていなかったなので、役に立った。

- 3) 例えば、千葉たか子編著『途上国の教員教育』国際協力出版会、2003。山田盛夫、日浦賢一：「フィリピンにおける物理実験に関する技術移転」、物理教育、第47巻、第4号、pp. 185-187,1999
- 4) カンボディア中等理数科改善プロジェクト(STEPSAM) ベースライン調査報告書、2002.3
- 5) 例えば、愛知・岐阜物理サークル編著：『いきいき物理わくわく実験』、日本評論社、1988。五十嵐靖則・後藤道夫他：『中・高校生と教師のための実験で学ぶ楽しい物理』、丸善、1999
- 6) Serway R. A., Beichner R. J., *Physics for Scientists and Engineers*, Harcourt College Publishers, 1996. Hewitt P. G., *Conceptual Physics*, Addison-Wesley, 1997

— 一般教養 —

参考文献

- 1) 安藤雅夫：「カンボジアにおける理科教育」、東海女子短期大学紀要、第28号、pp. 1-7,2002
- 2) 前田美子：「カンボジアー負の遺産を背負う教師たち」、千葉たか子編著『途上国の教員教育』、国際協力出版会、2003