



### 第1回 PER とは何か



東京学芸大学理科教員高度支援センター(ASCeST)  
専門研究員・特命教授

新田 英雄

#### 1. はじめに

初等・中等教育の現場で、「研究」という言葉はよく使われている。授業で用いる教科書、参考書、資料、実験などを調べたり試したりすることは「教材研究」と呼ぶ。また、周到な準備をした授業を、校内あるいは校外の教員に公開することを「研究授業」と呼ぶ。教育実習のときに「研究授業」を経験した人も多いだろう。「研究授業」では、授業後に行われる検討会が重要である。そこでは実施された授業に対し、他の教員からさまざまな観点からの批評が行われる。また、大学教員などからの専門的な講演が設けられることも多い。このような授業後の検討会は「授業研究」と呼ばれる。

さて、表題についてであるが、PERはPhysics Education Researchの省略形で、「物理教育研究」のことである。そうだとすると、物理を教えている教員にとって、改めて「物理教育研究とは」について解説されても、今さらのような印象だろう。実際、上に述べたように、学校現場では「研究」という言葉はよく使われているし、教員にとって授業づくりの一環としての「教材研究」は日課のようなものである。教員として日常的に行っている授業改善や教材づくりとPERに違いはあるのだろうか。

#### 2. 研究とは

最初に、「研究」という言葉の意味を明確にしておく。大辞林によると、研究とは「物事を詳しく調べたり、深く考えたりして、事実や真理などを明らかにすること」である。この定義ならば、「教材研究」や「授業研究」も「研究」と呼んでよいことになるだろう。

しかし、より狭い意味の「研究」がある。それを上の「研究」と区別する必要がある場合は、「学術研究」と呼ぶ。「学術研究」は、研究によってこれまでに知られていなかった新たな事実や解釈を発見することで

ある。したがって、どんなに努力して素晴らしい発見をしたと思ったとしても、それが実はすでに知られていた内容であった場合は、学術研究としては無価値に等しいことになる。そのため、学術研究を行う場合、無駄な努力を行わないためにも、先行研究の徹底的な文献調査が極めて重要になる。また、学術雑誌に論文を発表して、新たな発見をしたことを他の研究者に知ってもらうことも必須である。信頼される学術雑誌に掲載される前には、査読者によって、その研究成果が確かに新しく正しい結果なのか、学術的な価値のある結果なのかを綿密に調べられる。査読を通過して論文が掲載されると、学問に新たな発見を加えた研究として認証されたことになる。このような学術研究の積み重ねによって、学問は発展しているのである。

#### 3. PER とは

PERは、「学術研究」に分類される物理教育研究を意味する用語である。しかし、新粒子の発見や新物質の合成、新薬の開発といった新規性が明確な自然科学の研究とは異なり、教科教育に関する「研究」で新規性を明確にすることは難しい面がある。実際、「新しい生徒実験を開発したと思っていたが、実は同様な実験はすでにあると指摘された」などということはよくある話である。これを、「車輪の再発明 (reinventing the wheel)」と言う。

教育には「車輪の再発明」が非常に多い。多くの生徒が間違えやすい問題とか、理解するのが難しい概念など、ベテランの教員が共通して知っていることを、若手の教員は授業の中で一つ一つ見つけていかなければならない。いくつもの「授業研究」に参加した人ならば、同じような議論があちこちで繰り返されていることに気づいているだろう。論文についても同様で、研究授業などの授業実践を論文としてまとめても、新

規性が明確でない限り、学術論文にはなり得ない。

では、「学術研究」としてのPER（物理教育研究）は、どのような条件を満たしているのだろうか。PERという略称が米国で広く用いられるようになったのは、1999年に米国物理学会（American Physical Society）が物理教育研究を素粒子物理学や物性物理学といった物理の各研究分野と同等の研究分野であることを認め、研究を推進することを宣言したことが背景にある。この影響は大きく、PERは米国で急速に発展していった。

PERが学術研究として物理の他の研究分野と同等の扱いを受けるからには、共通ルールを守らなければならない。すなわち、新規性に加えて、定量性、再現性、予言性があり、過去の研究に立脚しつつ、新たな発展が期待されるような研究でなければならない。これらの条件を満たす研究という意味をこめて、PERという略称が用いられているのである。

#### 4. PERの成果

##### 4-1. 素朴概念の検出

PERの初期の成果として挙げられるのは、物理を学んだあとでも、非常に多くの生徒が、物理法則に反する素朴概念を保持していることを明らかにしたことだろう。

典型的な素朴概念として、MIF（Motion Implies a Force）素朴概念がある。「運動を続ける物体には運動の向きに力が働いている」という、日常経験に基づいた強固な素朴概念である。

図1のように台車を押すときには、一定の速度であつても力を加え続ける必要がある。それは、タイヤの軸部分をはじめとした、さまざまな抵抗力（図1では全部をまとめて摩擦力としている）とつりあうだけ



図1 一定の速度で運動する台車に働く力

の力であるが、生徒は、

##### 台車を押す力 > 摩擦力

であると考え、日常経験上、台車は力を加え続けなければ進まない。したがって「台車を押す力」の方が「摩擦力」より大きくなければ、台車を動かし続けることはできないと多くの生徒は考えるのである。

もう一つ、MIF素朴概念の例として、投げ上げ運動を見てみよう。投げ上げられたボールに働いている力は重力だけである（空気抵抗は無視する）。しかし、多くの生徒は次のように考える。（図2）

- ① ボールを投げ上げた直後は、ボールが手から受け取った力が重力を上回るので上昇する。
- ② しかし、だんだん手からの力は消耗していき、最高点では重力と釣り合う大きさになる。
- ③ その後は重力の方が勝るので、落下していく。



図2 投げ上げられた物体に働く力の素朴概念

注意しなければならないが、MIF素朴概念を持つ生徒でも、計算問題は、公式に基づいて正しく答えられることが多い。このような生徒は、教科書や授業で習った運動と、現実の運動とは違うと考えている。

力学以外にも、多くの生徒に共通してみられる素朴概念は、例に事欠かない。

電気分野の例として、図3の電気回路を考えよう。この回路で「スイッチを入れたとき、抵抗1を流れる電流は変化するか」と問うと、多くの生徒は「減少する」と答える。これは、「電池から流れ出る電流は一定値だから、抵抗2に流れた分だけ減少する」と考えるからである。

なお、このような誤った回答をする生徒でも、数値を与えて具体的に抵抗1を流れる電流を求めさせると、オームの法則などを用いて正しく答えられる場合が多い。

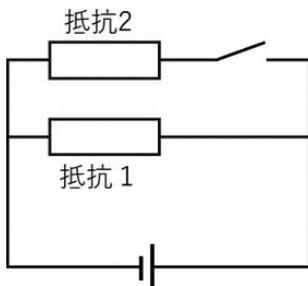


図3 抵抗1に流れる電流の変化

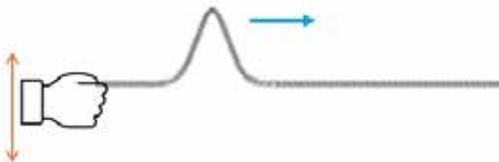


図4 波源の振動とパルス波の進む速さ

波動の分野でも素朴概念がいくつも見つかっている。典型的なのは、波の速さについての素朴概念である。図4のように、端をもったロープを一振りして、パルス波をつくる場合で、パルス波の伝わる速さをより速くする方法を尋ねると、「手をもっと素早く振る」と回答する生徒が多い。そして、手の振り方では変わらないと言うと、波の速さは媒質だけで決まることを学習した後にもかかわらず、意外に感じる生徒が多い。

中には、

$$\text{波の速さ} = \text{波長} \times \text{振動数}$$

の公式から、振動数が大きい方が波の速さが速くなるから、素早く振ると速くなるのではないかと考える生徒もいる。

波動分野でもう一つ、教訓的な例をあげておこう。図5は、気柱共鳴の基本振動を示すありふれた図である。図に描かれている波形は、気柱内部にできる定常波の概念図に過ぎない。しかし、生徒は、波そのものを表していると解釈し、「図の定常波の振幅は  $d/2$  だ」と思うことがある。授業で用いた図やグラフについて、教員の意図とは異なった解釈を生徒がしてしまう可能性はないか、常に警戒しておく必要がある。

#### 4-2. 概念調査紙の開発

PERによって、生徒がさまざまな素朴概念を持っていることが明らかになった。しかし、具体的にどのような素朴概念をどの程度の割合で保持しているのか

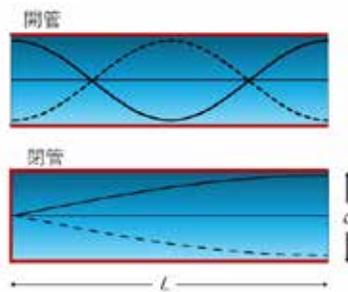


図5 気柱共鳴の基本振動の概念図

を定量的に明らかにするには、信頼でき、汎用性のある物理概念の調査紙（調査問題）が必要である。汎用性を持たせるためには、誰でも問題の意味がわかるように、なるべく専門用語を避け、日常的な言葉で設問を記述する必要がある。また、定量化しやすくするために、通常は多肢選択式の設問にする。

そのような調査紙の開発手順は以下の通りである。

- ① 記述式の設問を作成して試行し、生徒の回答記述を分析し、類型をまとめる。
- ② まとめた典型的な誤答から誤答選択肢をつくり、多肢選択式問題を作成する。
- ③ 作成した多肢選択式問題を、選択理由の記述をつけて回答させる形式で試行する。
- ④ 回答した選択肢と回答理由を精査し、設問や選択肢が意図したとおりに読み取られているかを調べる。
- ⑤ 何人かの生徒を対象に、面接形式で自分の考えを声に出しながら回答させる。適宜インタビュアーは質問を加え、生徒の考え方を把握する。
- ⑥ 記述や面接で問題点が見つかった設問は修正する。
- ⑦ ③～⑥のプロセスを繰り返して設問を完成させる。

なお、テスト理論、統計学に基づいた信頼性および一貫性のチェック、専門家による問題の確認も必要である。

上記のような作成過程を経て作成された概念調査紙が、米国を中心として多数開発されているが、日本の教育課程では使いにくい面があった。そこで、筆者らの研究グループである PEPPER (Physics Education Practice based on Physics Education Research) は、5年の歳月をかけて日本の高校生向けの概念調査紙として「物理基礎」および「物理」を完成させた。また、2023年度には延べ100校以上、1万人を超える生徒の協力で、大規模調査を行った。その結果、予想を上回る素朴概

念の保有が明らかになった。例えば、図3において「スイッチを入れた後、抵抗1に流れる電流は減る」と考える生徒が半数近くで、「変わらない」と考える生徒数（3割）を上回っていた。図4の波の速さについては、素早く動かすと速くなると考える生徒は7割に達していた。

概念調査で重要なのは誤答の分析である。誤答によって、生徒がどのような素朴概念をどの程度持っているのかを知ることができる。授業期間の開始時に概念調査を行い、生徒の素朴概念を把握しておくことは、授業づくりに大変役に立つ。

#### 4-3. 授業効果の定量的な比較

概念調査紙は、授業効果の定量化にも用いられる。授業期間の前後に、同じ調査紙を用いて調査を行い、平均点を比較するのである。事前調査、事後調査の平均得点率(%)をそれぞれ $\langle S_{pre} \rangle$ 、 $\langle S_{post} \rangle$ と置き、その授業の平均ゲイン $\langle G \rangle$ を

$$\langle G \rangle = \langle S_{post} \rangle - \langle S_{pre} \rangle$$

と定義する。しかし、事前調査の得点によって伸びる余地に差がある。そこで、通常は平均ゲインではなく、伸びる余地  $100 - \langle S_{pre} \rangle$  で割った、規格化ゲイン

$$g = \frac{\langle S_{post} \rangle - \langle S_{pre} \rangle}{100 - \langle S_{pre} \rangle}$$

を用いる ( $0 \leq g \leq 1$ )。規格化ゲインを用いれば、学校差を超えて、授業効果を比較することができる。

米国の、多くの講義型授業とアクティブ・ラーニング型授業との規格化ゲインを比較した研究で、前者の平均値が0.23、後者が0.48であることが示された。このことが契機となり、アクティブ・ラーニング型の授業が広く普及するようになった。また、規格化ゲインを指標として用い、さまざまなアクティブ・ラーニング型授業法が開発され、改良されていった。PERの発展には、規格化ゲインを用いた授業効果の定量的な比較が、決定的な役割を果たしたといつてよい。

#### 5. おわりに

最後に、PERで未解決となっている難しい研究課題について触れておこう。

一つ目は、「学習姿勢」についてである。アクティブ・ラーニング型授業によって、生徒の物理概念理解

が高められることはPERでわかっている。しかしながら、物理学習に対する態度や好感度は必ずしも向上しないことが、PERで開発された学習姿勢調査紙を用いた研究でわかってきた。さまざまなアプローチが試みられているが、学習姿勢を確実に向上させる授業法は未だ確立されていない。

二つ目は、ジェンダー差についてである。教員の多くは物理に対する態度に男女で差があることを感じているのではないだろうか。PERでは、力学の概念調査結果において、女子学生の方が男子学生よりも10%以上得点率が低いことが示されている。

また、2015年に国立教育政策研究所が実施した高等学校学習指導要領実施状況調査によると、「物理の勉強が好きだ」と思うかという問いへの男女別の回答分布は図6のようになっている。女子の8割が好きだと思わないと回答しているが、この数字はすべての教科の中でとびぬけて高い。「物理嫌い」の問題は、女子だけではなく、男子も半数以上の生徒が物理を好きではないと回答している。

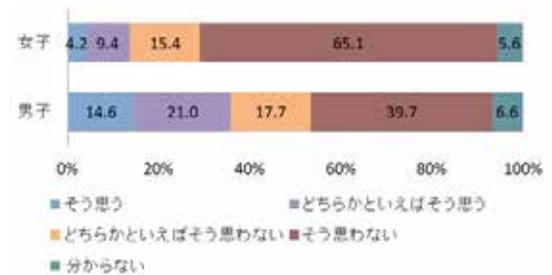


図6 「物理の勉強が好きだと思うか」の回答

PERの学習姿勢調査から、少なくない生徒が「物理は暗記した公式を当てはめて問題を解く科目であり、学習したことは役に立たない」と認識していることがわかっている。このような認識を払拭しない限り、生徒に物理を好きになってもらうことは難しいと思う。

かつて、知識や情報を得るためには、学校や図書館で勉強するしかなかった。しかし現代は、情報端末さえあれば、ウェブからあらゆる知識や情報に簡単にアクセスできる。この時代に公式を暗記する意義など感じられないのは当然である。今こそ、PERの研究成果をいかしつつ、時代にふさわしい新たな物理教育を創造すべき時期ではないだろうか。