

物理教育研究 (Physics Education Research, PER) に基づいた 小・中・高等学校理科 (物理分野) の授業評価・授業改善

◎堀井 孝彦 (東京学芸大学附属世田谷小学校)
○宮崎 達朗 (東京学芸大学附属世田谷中学校)
河野 広和 (東京学芸大学附属世田谷小学校)
小林 雅之 (東京学芸大学附属高等学校)
市原光太郎 (東京学芸大学附属高等学校)
新田 英雄 (東京学芸大学基礎自然科学講座物理科学分野)
松浦 執 (東京学芸大学基礎自然科学講座理科教育分野)
五十嵐敏文 (東京都稲城市立平尾小学校)

代表者連絡先: a873509y@u-gakugei.ac.jp

【キーワード】 物理教育 概念調査 素朴概念 授業評価 授業改善 教員養成 教育課程

1. はじめに ー研究の背景と目的ー

東京学芸大学附属世田谷小学校・附属世田谷中学校・附属高等学校 (以下、本校とする) は、平成 11 年度から 13 年度にかけて、文部科学省の指定を受け、「児童・生徒の認識と学習観を支える小・中・高一貫した教育課程の開発」という主題で、小・中・高一貫した教育課程についての開発研究を行った。物理分科会では、電磁気領域における小・中・高接続の改善に焦点を当てて授業実践研究に取り組んだ。電磁気に関わる諸現象は、直接目に見えないため、子どもにとって抽象的で難しく、多くの素朴概念・誤概念が見られるということがよく知られている。ところが、平成元年の小学校学習指導要領改訂以降、電磁気領域の内容が、第 5 学年で空白となった。そのためこの空白をなくすことにより、学習効果をもたらすのではないかという仮説を持って研究に取り組んだ。そこで、第 5 学年に「わたしたちの生活と電気」を特設して、「日常生活における電気の利用」「発電・送電・配電」を、本校の理科カリキュラムに組み込んで授業を試行した。その結果、「電流計の使用方法等、実験の技能・操作が向上したこと」「電気の利用についての児童の実感・認識が高まったこと」等の改善は見られたものの、同単元が日常生活との関連を図りながら総合的横断的に展開していくという性格ゆえ、「電流の働き (電磁石)」を第 5 学年に移行して、第 6 学年に配当する方が効果的ではないかという課題が残った。また、平成 20 年の改訂では、第 3 学年～第 6 学年で連続して、電磁気領域の内容が取り扱われるようになったものの、児童の素朴概念・誤概念の状況には、大きな改善は見られず現在に至っている。

一方、近年、世界中の大学や高等学校の物理授業において、伝統的な講義形式の授業からアクティブラーニングを採り入れた授業へと、大きな変革が見られる。特に、物理教育国際会議 (ICPE2006) が、東京で開催されて以来、物理教育研究 (Physics Education Research, PER) に基づいた授業は、日本の大学や高等学校でも積極的に採り入れられるようになった。物理教育研究 (PER) に基づいた授業の特性の 1 つとして、標準的な調査問題を用いて、プレテスト・ポストテストを行い、その調査結果を授業評価・授業改善に役立てるということが挙げられる。ここでは、物理教育研究の方法の中から可能なものを援用し、主として、小学校理科における物理分野の授業改善に活用するために標準的な調査問題を作成すること、そして、実際にプレテスト・ポストテストとして用いることにより、授業評価・授業改善に役立てるとともに調査問題自体を改善することを目指した。また、調査対象を中学生・高校生にも広げて、物理概念や知識の歩留まりの状況を調べることによって、小・中・高の物理カリキュラムの改善へと役立てたいと考えた。さらには、理科選修・専攻の学生を対象として世田谷地区理科部会で担当している大学講義「理科カリキュラム研究」、本学全学生を対象とした、任意参加型の「学芸カフェテリア講座」、教育実習における学生の指導等を通して、これからの理科教育、物理教育についての啓発活動を行っていきたいと考えた。

2. 本プロジェクトの実施

2. 1. 本プロジェクト実施の概要について

2. 1. 1. 1年目の取り組み

大学や高等学校における、学生・生徒の力学概念について調査するための標準的な問題として、Hestenesら（1992）によって作成された。Force Concept Inventory, FCIがある。FCIは、国際的に最も著名な物理概念調査問題の1つであり、世界各国の言語に翻訳、大学や高等学校で、幅広く利用されている。一方、小学生を対象とした調査には、「全国学力量習状況調査」「教研式学力調査」等があるものの、これらはFCIのように、日頃から簡便に使用できないので、小学校理科物理分野を中心とした多肢選択方式による調査問題を新たに作成した。そして、2015年12月から2016年7月にかけて、附属S小学校第6学年児童と、附属S中学校第1学年生徒を対象として、3度にわたって多肢選択方式による予備調査を実施した。これらの結果の分析や回答理由の記述等から問題と選択肢の改善を図り、「物理概念調査」を作成した。2016年12月から2017年1月にかけて、附属S小学校第6学年児童と、附属S中学校第2学年生徒を対象に調査を実施した。附属S小学校においては、「てこの規則性」の学習の前後に、プレテスト→ポストテストとして、同一問題で調査を行い、「てこの規則性」の学習が児童の物理概念形成にどの程度影響しているのか検討するとともに小学校第6学年児童と中学校第2学年生徒における概念獲得状況の比較を行った。

2. 1. 2. 2年目の取り組み

1年目の結果の分析や回答理由の記述から、さらに、問題と選択肢の改善を図るとともに、第5学年「振り子の運動」の問題を新たに加えて、30問による「物理概念調査」を作成し、2017年1月から同年3月にかけて、附属S小学校第6学年児童、附属S中学校第1学年～第3学年生徒、附属K中等教育学校第3学年生徒、附属G高等学校第2学年生徒を対象に、調査を実施した。附属S小学校においては、1年目と同様、「てこの規則性」の学習の前後にプレテスト→ポストテストとして調査を行い、学習が概念形成にどの程度影響しているのか検討した。同単元の授業においては、班での話し合い活動の充実を図った。また、小学校第6学年児童、中学校第2学年生徒に加えて、高等学校第2学年生徒を対象に調査を行い、小学校第6学年児童、および、中学校第2学年生徒との概念獲得状況との比較を行った。

2. 2. 結果

2. 2. 1. 1年目の結果

「物理概念調査」の1年目の調査結果を、表1、および、図1、図2に示す。

表1 「物理概念予備調査（力と運動）」の正答率（1年目）

問題番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	合計点
出題内容	シーソー	シーソー	シーソー	赤青球	赤青球	釘抜き	蛇口	栓抜き	ピンセット	さおばかり	プランコ	振り子	質量保存	風	ゴム	空気でつぼむ	速さ	速さ	第3法則	第3法則	
正答	2	1	2	1	1	2	3	3	1	4	4	4	4	3	4	1	2	2	3	3	
小6プレテスト	0.8	0.43	0.43	0.69	0.51	0.5	0.81	0.76	0.81	0.45	0.79	0.87	0.9	0.94	0.86	0.79	0.93	0.62	0.46	0.26	13.57
小6ポストテスト	0.82	0.4	0.41	0.75	0.47	0.62	0.91	0.9	0.86	0.54	0.71	0.88	0.9	0.91	0.91	0.78	0.85	0.63	0.43	0.29	14
中2	0.91	0.62	0.61	0.71	0.61	0.61	0.97	0.88	0.94	0.79	0.76	0.84	0.89	0.89	0.82	0.81	0.93	0.87	0.66	0.55	15.68
プレ→ポスト	↗	↘	↘	↗	↘	↗	↗	↗	↗	↗	↘	↗	→	↘	↗	↘	↘	↗	↘	↗	
小6中2	↗	↗	↗	↘	↗	↘	↗	↘	↗	↗	↗	↘	↘	↘	↘	↗	↗	↗	↗	↗	

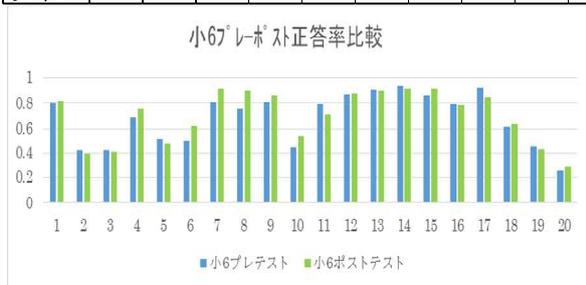


図1 小6プレテスト→ポストテストの正答率比較

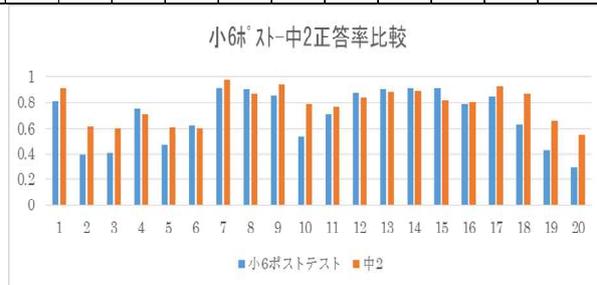


図2 小6プレテスト→中2の正答率比較

2. 2. 1. 1. 小6 プレテストと小6 ポストテストの正答率比較

①10ポイント以上の上昇が見られた項目

小6 プレテストとポストテストとの間で、10ポイント（10%）以上の正答率上昇が見られたのは、問6（12%）、問7（10%）、問8（14%）の3つの項目である。

②10ポイント以上の下降が見られた項目

小6 プレテストとポストテストとの間で、10ポイント（10%）以上の正答率下降が見られた項目はないが、問17（8%）がやや高い数値を示している。

2. 2. 1. 2. 小6 ポストテストと中2の正答率比較

①10ポイント以上の上昇が見られた項目

小6 ポストテストと中2との間で、10ポイント（10%）以上の正答率上昇が見られた項目は、問2（22%）、問3（20%）、問5（14%）、問10（25%）、問18（24%）、問19（23%）、問20（26%）の7項目である。

②10ポイント以上の下降が見られた項目

小6 ポストテストと中2との間で、10ポイント（10%）以上の正答率降下が見られた項目はないが、問15（9%）がやや高い数値を示している。

2. 2. 2. 2年目の結果

1年目の結果の分析等をもとに改善した、改訂版「物理概念調査」の調査結果を表2、図3、図4に示す。前年度に検討した問題の正答率の状況を見てみる。但し、1年目の問11～問20は、それぞれ、2年目の問21～問30に対応する。また、問8は問題の内容を変更した。

表2「物理概念調査（力と運動）の正答率（2年目）」

問題番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
出題内容	シーソー	シーソー	シーソー	赤青球	赤青球	釘抜き	蛇口	缶つぶし	ピンセット	きねばり	落下	振り子重さ	振り子重さ	振り子重さ	振り子重さ	振り子重さ	振り子重さ	糸の長さ	糸の長さ	振り子重さ	振り子重さ	振り子重さ	振り子重さ	振り子重さ	風	ゴム	速度	速度	第3法則	第3法則
正答	2	3	3	3	1	2	4	3	1	4	3	2	4	3	1	2	3	2	4	1	4	4	4	3	4	1	2	2	3	3
小6プレテスト	0.64	0.23	0.3	NR	0.41	0.45	0.88	0.93	0.84	0.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.68	0.68	0.84	0.86	0.87	0.32	0.82	0.55	0.3	0.23
小6ポストテスト	0.67	0.51	0.51	0.52	0.57	0.66	0.93	0.9	0.9	0.69	0.54	0.87	0.68	0.54	0.72	0.56	0.38	0.49	0.72	0.17	0.73	0.69	0.79	0.79	0.8	0.45	0.84	0.53	0.31	0.21
中2	0.69	0.67	0.62	0.51	0.57	0.58	0.84	0.86	0.8	0.55	0.44	0.54	0.43	0.67	0.55	0.51	0.22	0.36	0.6	0.14	0.45	0.68	0.79	0.72	0.74	0.61	0.79	0.65	0.46	0.38
高2	0.89	0.82	0.8	0.8	0.71	0.62	0.91	0.92	0.88	0.81	0.71	0.79	0.6	0.85	0.76	0.65	0.36	0.25	0.81	0.58	0.75	0.77	0.86	0.86	0.86	0.63	0.93	0.84	0.85	0.75
プレテスト	↗	↗	↗	-	↗	↗	↗	↘	↗	↗	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↗	↗	↘	↘	↘	↗	↗	↘	↗	↘
小6中2	↗	↗	↗	↘	↗	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↗	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↗	↘	↗	↗	↘
小6高2	↗	↗	↗	↗	↗	↘	↘	↗	↘	↗	↗	↘	↘	↗	↗	↘	↘	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
中2高2	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗

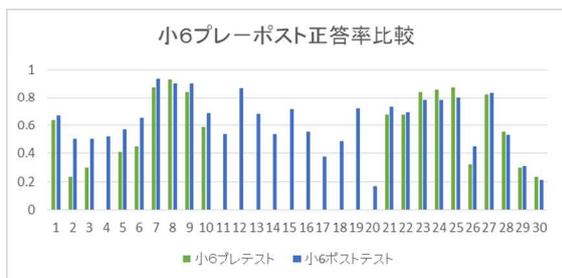


図3 小6 プレテスト-ポストテストの正答率

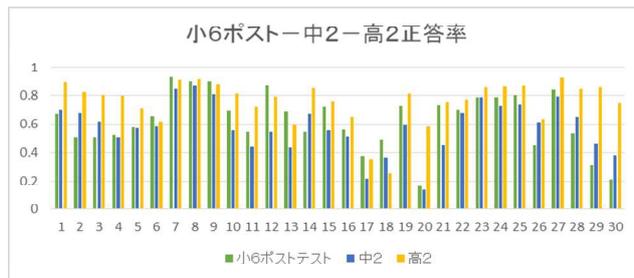


図4 小6 プレテスト-中2-高2の正答率比較

2. 2. 2. 1 小6 プレテストと小6 ポストテストの正答率比較

①1年目に10ポイント以上の上昇が見られた項目 ※問題を変更した問8を除く。

問6 1年目（12%）と比較して、2年目（21%）は、プレテスト-ポストテストの上昇幅が大きい。

問7 1年目（10%）と比較して、2年目（5%）は、プレテスト-ポストテストの上昇幅は小さいが、ポストテストの正答率は93%に達している。

②2年目に10ポイント近くの下降が見られた項目

問27 1年目は8%の下降が見られたが、2年目は逆に2%上昇している。

2. 2. 2. 2. 小6 ポストテストと中2の正答率比較

①1年目に10ポイント以上の上昇が見られた項目

問2 1年目（22%）と比較して、2年目（16%）は、小6-中2の上昇幅が小さい。

問3 1年目（20%）と比較して、2年目（11%）は、小6-中2の上昇幅が小さい。

問5 1年目は14%の上昇が見られたが、2年目は上昇も下降もしていない。但し、小6の正答率は、1年目(47%)と比較して、2年目(57%)は上昇している。

問10 1年目は25%の上昇が見られたが、2年目は逆に14%下降している。

問28 1年目(24%)と比較して、2年目(12%)は、小6-中2の上昇幅が小さい。

問29 1年目(23%)と比較して、2年目(15%)は、小6-中2の上昇幅が小さい。

問30 1年目(26%)と比較して、2年目(17%)は、小6-中2の上昇幅が小さい。

②1年目に10ポイント近くの上昇が見られた項目

問25 1年目には9%の上昇が見られたが、2年目は6%の上昇にとどまっている。

2. 2. 2. 3. 中2と高2の正答率の比較

①2年目に10ポイント以上の上昇が見られた項目 ※1年目に実施していない項目を除く。

中2と高2との間で、10ポイント(10%)以上の正答率上昇が見られた項目は、問1(20%)、問2(15%)、問3(18%)、問4(29%)、問5(14%)、問10(26%)、問21(30%)、問24(14%)、問25(12%)、問27(14%)、問28(19%)、問29(39%)、問30(37%)である。

②2年目に10ポイント以上の下降が見られた項目

1年目と2年目の両方で調査を実施した項目については皆無である。

3. 成果と課題(中期目標・中期計画の関連等を含め)

- ・小学校第6学年児童を対象とした「てこの規則性」の授業は、プレゼンテーションと授業応答装置を用いた方法は大きく変わらないが、1年目と比較して2年目では、仮説を立てたり考察したりする場面における話し合い活動を充実させ、児童の認知的葛藤を喚起することに努めた。プレテスト・ポストテストの上昇幅が、1年目より2年目の方が大きいことから、その効果が現れている可能性がある。
- ・1年目と2年目の小学校第6学年児童と中学校第2学年生徒に共通して、問5・問10の正答率に伸び悩みが見られ、てこの支点の位置に関する素朴概念が根強いことが分かる。高等学校第2学年生徒にも同様な素朴概念が見られる。
- ・小学校理科の内容を中心とした物理概念の多くは、中学校の段階においてはまだ脆弱さが残るものの、高等学校物理を学んだ後では、定着度が向上する。
- ・特に、「風の働き」「ゴムの働き」「振り子の運動」等においては、一部小6と中2の正答率に逆転も見られ、小学校の学習内容の歩留まりが課題である。
- ・「てこの支点の位置」「糸の長さ」と振り子の周期」「釘抜きの手ごたえ」「空気と水の性質」等、高校生でも詳細な理解が難しいものがある。
- ・1年目から2年目にかけて、結果の分析と回答理由記述から、調査問題と選択肢を改良したが、調査問題としての妥当性については、さらなる検証を要し、発展途上の段階にある。
- ・中期目標・中期計画上、教員養成と現職教員研修が、世田谷地区の大きな役割であり、2年間の取り組みを通して明らかになったことを、「理科カリキュラム研究」「学芸カフェテリア講座」「教育実習および事前事後指導」「現職教員研修会」「公開授業」等に反映させ成果を還元する。

4. 今後の展開(大学、附属学校及び公立学校の教育・カリキュラムへの応用等)

- ・1年目には、公立小学校2校の協力を得て調査を実施するとともに、附属S小学校においては、1年目、2年目と継続して「電気と磁石」の調査も行った。今回は、これらについての分析・検討を行うことができなかったが、引き続き分析・検討を行い、研究を継続していく。
- ・公立小学校における調査結果に基づいて、この調査方法が附属学校だけではなく、公立学校でも有用であるかどうか検証するとともに、古典テスト理論と現代テスト理論を併用しながら、分析・検討し、引き続き授業評価・授業改善のためのツールとして、調査問題の標準化を目指していく。
- ・小学校理科の内容で、中学校や高等学校でその歩留まりが課題となったものについては、物理教育研究に基づいた授業でしばしば行われている認知的葛藤を促す学習場面を積極的に採り入れ、小学校・中学校・高等学校のカリキュラム改善を図っていく。
- ・教員養成(講義・教育実習等)、現職教員研修(研修会・公開研究会等)を通して、これまでの研究の成果を、今後も継続して各方面へと還元していく。