

問題と目的

高等学校における物理離れは、深刻な問題となっている（川村，1995；藤田・川村，1996）。この問題への対処として主に2つの流れがあるといえよう。1つは、授業内容を学習者にとってもっと身近な内容へと変えていこうという流れである。具体的には、学習者が日常生活を送る上で体験する種々の事象を教材として扱うことによって、学習者の物理や科学の他の分野への持続的な興味・関心を高め、学習者にとって有意義な学習にしていこうというものである。代表的な実践としては、STS教育があげられる（小川，1993）。もう1つの流れは、教育方法論に関するもので、教師中心主義的な授業から学習者中心的な授業へと変えていこうという構成主義的学習論である（子安ら，1992）。

物理教育を行うにあたって構成主義的学習論が依拠しているものの1つは、認知心理学の研究から明らかにされた素朴概念である。素朴概念とは、学習者が学校で理科学習を受ける以前から学習者なりに彼らの体験を通して構成している科学的な考え方である（村山，1989）。素朴概念は、彼らが信念をもって構成しているものであるため、従前からの理科学習によっては、克服されにくく、理科の学習障害を起こす原因の1つになっている。学習者は、学校で習う理科の学習内容を、学習者自身が既にもっている考え方と比較する中で放棄し、たとえペーパーテストには学校で習ったように解答しても実際にはそうは思っていないかったり、ペーパーテストの段階で正答できなかったりするため、理科嫌いに陥ってしまう。そこで理科の授業では、学習者の素朴概念を妥当な科学概念へといかに変容させるかということが重要になってくる。

筆者は、自身が開発した「慣性力実験器」を理科（物理）の授業に用いて、素朴概念の1つである「運動は力を内包する（MIF）」および「観測者の立場に関係なく、加速度運動をする車内では慣性力が作用する」を妥当な科学概念に変容することに成功した（川村，1995）。しかしその際に、2つの問題点が残された。1つは、個々の学習者にどのようなことが生じたため、素朴概念の改善が可能だったのかについてである。もう1つは、実際に実験器をみながら学習するのとビデオを用いて学習するのとで、学習効果に差が表れるのかどうかであった。そこで今回は、クラス授業のような集団実験の形態をとるのではなく、個別実験の形態をとることにより、個々の被験者にどのようなことが生じたのかを調査した。このとき、「慣性力実験器」をみながら実験を行う群を実験群とし、「慣性力実験器」で行う実験をビデオに収録したものをみながら実験を行う群を統制群とした。実験群と同じ内容の実験を行うが、実験前に実験結果について予想させたり、実験後に実験結果について確認させたり、わかったことを記述させたりする群を介入群とした。これらの実験から明らかになったことを報告する。

方 法

被験者

被験者は、K市の普通科高校の2年生で、理科系学部への大学進学を希望し物理を選択した生徒40人（男子19人、女子21人）であった。被験者は、事前テストの成績によって実験群17人（男子7人、女子10人）、統制群17人（男子7人、女子10人）、介入群6人（男子5人、女子1人）に分けられた。

手続き

最初に事前テストを行い、各群が等質になるように被験者を分けた。実験群では、慣性力実験器を用いて15分間の実験を行った。統制群では、慣性力実験器を用いて行う実験をビデオ収録したものをを用いて15分間の実験を行った。介入群では、実験群で行うのと同じ内容の実験を行うが、実験①の各実験段階で実験結果の予想を配布した用紙に記述させ、実験後実験結果を確認させた。その際、実験からわかったことや実験結果がそうなる理由を記述させた。介入群でも1人あたりの実験は25分以内に終了することができた。各群とも、実験終了直後に事

後テストを実施した。事前・事後テストは、筆者が作成した6問からなるアチーブメントテストを繰り返し出題した。

以下、各群で実施した実験の具体的内容を示す（詳しくは川村，1996を参照）。

実験①「慣性系・非慣性系での、飛行機に選ばれた落下物体の運動を比較する実験」

慣性力実験器内部の上方から約1/3のところと底部に、H Oゲージ幅のレールをカーテンレールを利用して作製し取り付け付けた。上方のレール上にはH Oゲージの車輪を取り付けた飛行機（プラモデルを利用）を走らせ、底部のレール上には、H Oゲージの車輪を取り付けた受け皿（空き缶を利用）を走らせる。飛行機が常に受け皿の真上に位置するようにし、これらを1つのモーターで引くようにした。モーターには一定の電圧をかけ、一定の回転数で回転させた。したがって、飛行機および受け皿は一定の速さで引かれ、等速直線運動を行った。上方のレールは、スタート位置から約70cmまでの部分は底を雨とい状にして、パチンコ玉が落下せず転がるようにした。したがって、飛行機が最初の約70cmを走行する間、飛行機はH Oゲージの前輪軸と後輪軸の間にパチンコ玉をはさんで運ぶ。飛行機の走行距離が約70cmを超えたところで、上方のレールの底が途切れ、その位置からパチンコ玉は落下し始める構造になっている。また、飛行機の走行開始および走行停止は、リモートスイッチング・システムとしたので、実験器本体が走行中も、飛行機・受け皿システムの走行をコントロールすることができる。

慣性力実験器を教卓に固定した場合、飛行機と受け皿は、慣性力実験器に対しても教卓（静止系）に対しても等速直線運動を行う。慣性力実験器を等速直線運動をさせた場合、慣性力実験器とともに運動する運動座標系は、慣性力実験器を教卓に固定して静止させた場合と同様に慣性系となり、飛行機から落下させた物体は「コン！」と音を響かせて受け皿の中に入る。ところが、慣性力実験器を正の加速度で等加速度直線運動をさせた場合には、慣性力実験器とともに運動する座標系は非慣性系となり、飛行機から落下させた物体は受け皿より後方に遅れて落下し、受け皿に入らない。本実験では、「コン！」と音が響く現象を実験場面に取り入れることにより、聴覚的により効果的な印象を学習者に与えることを意図した。

実験②「慣性系・非慣性系での、つり革の傾きを比較する実験」

本実験器内部に、つり革を取り付けた。実験器が等速直線運動をする場合には、つり革は鉛直下向きにまっすぐであるが、正の加速度で等加速度直線運動をする場合には、それが後方に傾くことを観察させた。

実験③「慣性系・非慣性系での、水槽の水面の傾きを比較する実験」

本実験器内部に自作の水槽を置き、等速直線運動をさせた場合の水面の傾きと、等加速度直線運動をさせた場合の水面の傾きを観察させた。水槽は、横幅20cm、奥行き8cm、高さ25cmの大きさで、水深が18cmになるようにした。水槽の前面には分度器と赤マジックで、角度目盛りを書き入れた。垂直に指針を取り付けた薄い板（4.1cm×4.6cm）を水面に浮かせ、この指針で水面の傾きを読みとれるように設計した。実験器が等速直線運動をする場合には、指針は鉛直下向きにまっすぐであるが、正の加速度で等加速度直線運動をする場合には、指針は後方へ傾くことを観察させた。なお、今回は定性的に理解させることを学習目標としたため、定量的な数値測定は行っていない。

以上の実験を、実験群・介入群では「慣性力実験器」を用いて行った。統制群では、これらの実験をビデオに収録したものをみせて行った。

結 果

事前テストから得られた素朴概念

被験者がもっている素朴概念をより鮮明なものにするために、調査対象者を、今回の被験者40人も含めてK市の普通科高校に通学する高校2年生171人とした。理科系進学希望の男子（以降理科系男子と呼ぶ）は66人、理科系進学希望の女子（以降理科系女子と呼ぶ）は57人、文科系・体育系・芸術系等に進学希望の男子（以降非理

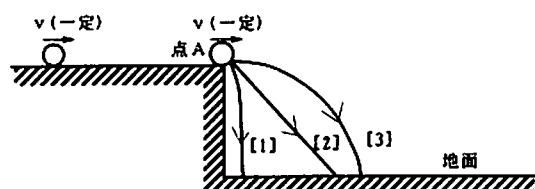
科系男子と呼ぶ)は20人, 文科系・体育系・芸術系等に進学希望の女子(以降非理科系女子と呼ぶ)は28人であった。また調査は, 4月中旬に行った。

問題 1

本問では, 一定速度で転がってきたボールが崖から落ちる場合のボールの落下軌道とボールに作用する力について尋ねた(図1)。以前に自由記述問題として行った調査(川村, 1996)では, 落下軌道では図1の[1]~[3], 作用する力では, 「重力」, 「進行方向へ作用する力」, 「それらの合力」で記述された[1]~[5]が得られたので, これらを選択肢として採用した。

1. 下図に示すように一定の速度 v で運動しているボールがあります。A点を通過した後のボールの軌道の様子を次の[1]~[3]から選んでマークして下さい。ただし, 空気抵抗は無視できるものとします。

(マーク回答番号1)



また, このときボールに作用する力を矢印で描くようになるでしょうか。次の[1]~[5]から選んでマークして下さい。

(マーク回答番号2)

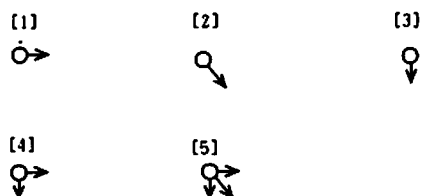


図1. 一定速度で転がってきたボールが崖から落ちる場合のボールの落下軌道とボールに作用する力について

表1. 問題1の回答の分布(%)

1	理男	理女	非理男	非理女
1-1,2	3.0	0.0	0.0	7.1
1-3	12.1	3.5	5.0	10.7
1-4,5	15.2	43.9	25.0	28.6
2-1,2	0.0	0.0	0.0	0.0
2-3	0.0	0.0	5.0	3.6
2-4,5	6.1	7.0	15.0	0.0
3-1,2	1.5	0.0	5.0	3.6
3-3	0.0	1.8	0.0	0.0
3-4,5	62.1	43.9	45.0	46.4

表1の回答の分布をみてわかるように, 正答率は理科系男子, 非理科系男女ともに0%, 理科系女子で1.8%と低かった。調査対象のそれぞれのグループで最も回答が多かったのが, 落下軌道は[3]としながらも作用する力は[4]か[5]であるとするものである。つまり落下するボールには, 重力以外にも進行方向へ作用する力が存在するというものである。特徴的な回答例としては, ボールの落下軌道を[1]と答えたもの

があげられる。この場合, 作用する力は[3]であると回答した者がみられた。しかしこの場合でも, 作用する力として[4]か[5]を回答した者が多数いた。以上をふまえて, 問題1から抽出できた素朴概念は, 「直落信念」と「進行方向へ作用する力が存在する」である。

本問での正答率および本問から抽出できた素朴概念は, 前回の調査結果(川村, 1996)と一致していた。

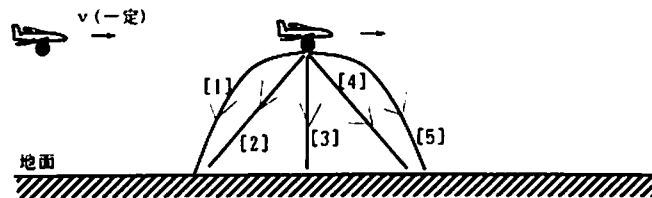
問題 2

本問では, 一定速度で運ばれてきた救援物資を途中で落下させる場合の救援物資の落下軌道と救援物資に作用する力について尋ねた(図2)。選択肢は, 問題1と同様に, 以前に行った自由記述での調査結果(川村, 1996)を参考に設定した。

本問の正答率も問題1と同様に低い。また本問から抽出された素朴概念は, 「落下物体は, 落下開始点からみて後方へ落ちる。そのとき作用する力は, 重力以外にも物体を後方へ飛ばす力が作用する([1-6,7]や[2-6,7]より)」, 「直落信念をもち, 作用するのは重力のみである([3-3]より)」, 「落下軌道は[5]としながらも, 進

行方向へ作用する力が存在する（[5-8,9]より）」であった。この結果も、前回の調査結果と一致した。

2. 上空を一定速度 v で飛行している飛行機があります。いま飛行機から地上に救護物資を投下します。救護物資はどのような軌道を描いて落下するでしょうか。次の[1]～[5]から選んでマークして下さい。ただし、空気抵抗は無視できるものとします。（マーク回答番号3）



また、このとき救護物資に作用する力を矢印で描くとどのようなようになるでしょうか。次の[1]～[9]から選んでマークして下さい。（マーク回答番号4）

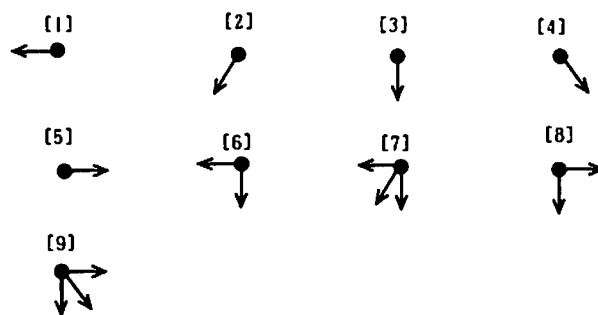


図2. 一定速度で運ばれてきた救護物資を途中で落下させる場合の救護物資の軌道と救護物資に作用する力について

表2. 問題2の回答の分布（％）

2	理男	理女	非理男	非理女
1-1,2	1.5	0.0	0.0	0.0
1-3	3.0	0.0	0.0	0.0
1-4,5	0.0	0.0	0.0	0.0
1-6,7	0.0	12.3	10.0	7.1
1-8,9	1.5	1.8	0.0	0.0
2-1,2	1.5	0.0	5.0	0.0
2-3	3.0	3.5	0.0	7.1
2-4,5	0.0	1.8	5.0	0.0
2-6,7	3.0	7.0	5.0	17.9
2-8,9	0.0	1.8	0.0	0.0
3-1,2	0.0	0.0	0.0	0.0
3-3	19.7	24.6	25.0	35.7
3-4,5	1.5	0.0	0.0	0.0
3-6,7	0.0	0.0	0.0	3.6
3-8,9	0.0	5.3	0.0	0.0
4-1,2	0.0	0.0	0.0	0.0
4-3	3.0	0.0	5.0	3.6
4-4,5	1.5	0.0	0.0	0.0
4-6,7	0.0	0.0	0.0	0.0
4-8,9	13.6	14.0	5.0	3.6
5-1,2	0.0	1.8	0.0	0.0
5-3	1.5	1.8	0.0	0.0
5-4,5	1.5	0.0	5.0	0.0
5-6,7	0.0	0.0	0.0	3.6
5-8,9	43.9	24.6	35.0	17.9

問題3

本問では、空中を飛んでいるボールに作用する力を尋ねた（図3）。選択肢は、以前に行った調査結果（川村，1995）から設定した。

問題1，2の結果と同様正答率は低かった。同じく「進行方向に作用する力」という素朴概念が抽出された。

3. 空中を矢印の方向にゴルフボールが飛んでいます。このときボールに作用する力を矢印で描くとどのようなようになるでしょうか。次の[1]～[3]から選んでマークして下さい。ただし、空気抵抗は無視できるものとします。（マーク回答番号5）

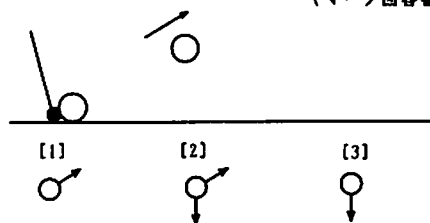


図3. 空中を飛んでいるボールに作用する力について

表3. 問題3の回答の分布（％）

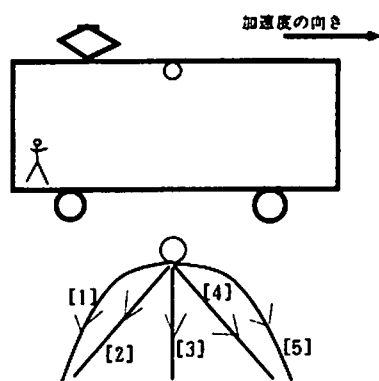
3	理男	理女	非理男	非理女
1	4.5	3.5	5.0	3.6
2	87.9	91.2	85.0	96.4
3	6.1	1.8	5.0	0.0
*	1.5	3.5	5.0	0.0

問題4

本問では、電車が加速度運動をしている最中に天井からボールを落下させた場合、電車内にいる人から見えるボールの落下軌道とそのときボールに作用する力について尋ねた（図4）。選択肢は、以前に行った調査結果

(川村, 1996) から設定した。

4. 電車が右向きに正の等加速度直線運動をしています。電車の天井からボールを落下させます。このとき電車内にいる人から見ると、ボールはどのような軌道を描いて落下するでしょうか。次の[1]～[5]から選んでマークして下さい。
(マーク回答番号15)



また、このときボールに作用する力を矢印で描くとどのようなようになるでしょうか。次の[1]～[9]から選んでマークして下さい。
(マーク回答番号16)

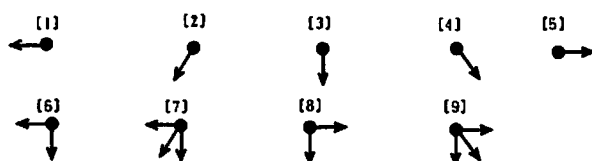


図4. 加速度運動中の電車の天井からボールを落下させた場合、電車内にいる人から見えるボールの落下軌道とボールに作用する力について

表4. 問題4の回答の分布 (%)

6	理男	理女	非理男	非理女
1-1,2	0.0	0.0	5.0	0.0
1-3	4.5	0.0	0.0	3.6
1-4,5	0.0	0.0	0.0	0.0
1-6,7	1.5	0.0	10.0	7.1
1-8,9	3.0	1.8	0.0	0.0
2-1	0.0	0.0	0.0	0.0
2-2	0.0	0.0	5.0	7.1
2-3	6.1	8.8	0.0	7.1
2-4,5	0.0	0.0	0.0	0.0
2-6	1.5	1.8	0.0	0.0
2-7	0.0	0.0	0.0	3.6
2-8,9	3.0	0.0	0.0	0.0
3-1,2	0.0	0.0	0.0	0.0
3-3	39.4	52.6	40.0	39.3
3-4,5	0.0	0.0	0.0	7.1
3-6,7	0.0	5.3	10.0	0.0
3-8,9	40.9	28.1	30.0	25.0
4-1,2	0.0	0.0	0.0	0.0
4-3	0.0	0.0	0.0	0.0
4-4,5	0.0	0.0	0.0	0.0
4-6,7	0.0	0.0	0.0	0.0
4-8,9	0.0	0.0	0.0	0.0
5-1,2	0.0	0.0	0.0	0.0
5-3	0.0	0.0	0.0	0.0
5-4,5	0.0	0.0	0.0	0.0
5-6,7	0.0	0.0	0.0	0.0
5-8,9	0.0	1.8	0.0	0.0

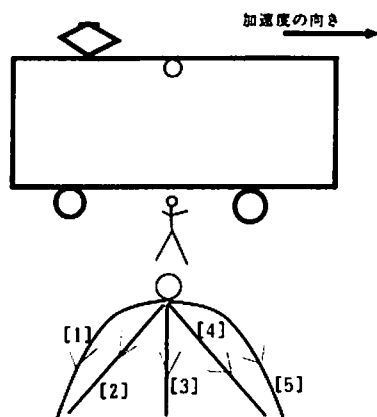
本問を回答するに当たって次のことを教示した。電車が発車するときにつり革が後方へ傾く現象を指摘し、このとき電車は加速度運動を行っているとした。また、つり革がまっすぐ下に垂れているときは、電車は等速直線運動を行っているとして教示した。正答は、[2-6]及び[2-2]であるが、ほとんどの者は、[3-3]、[3-8,9]を選んだ。つまり、電車内の人にはまっすぐ下方に落下するように見えるとしている。[3-3]は、ボールには重力しか作用せず、ボールは真下に落下するという考え方である。[3-8,9]は、ボールは真下に落ちるが、ボールには進行方向の力が作用するという考え方である。これらの考え方では、つり革が進行方向からみて後方に傾いている理由を説明できないことに、彼らは気づいていないと考えられる。

問題5

問題4が、物体の運動を電車内の人から見るとどのように見えるかを尋ねた問題であったのに対して、本問では電車外の人から見るとどのように見えるかを尋ねた(図5)。つまり、電車が加速度運動をしている最中に天井からボールを落下させた場合、電車外にいる人から見えるボールの落下軌道とそのときボールに作用する力を尋ねた。選択肢は、以前に行った調査結果(川村, 1996)から設定した。

正答は、[5-3]であるが、[5-8,9]や、また[4-8,9]を回答した者が多かった。これらに共通している考え方は、進行方向へ作用する力が存在するである。また、問題4と同様、[3-3]を回答した者がいたが、彼らは、ボールには重力しか作用せず、ボールは真下に落下すると考えている。

5. 電車が右向きに正の等加速度直線運動をしています。電車の天井からボールを落下させます。このとき電車外にいる人から見ると、ボールはどのような軌道を描いて落下するでしょうか。次の[1]～[5]から選んでマークして下さい。
(マーク回答番号17)



また、このときボールに作用する力を矢印で描くとどのようになるでしょうか。次の[1]～[9]から選んでマークして下さい。
(マーク回答番号18)

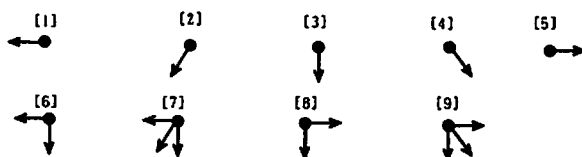


図5. 加速度運動中の電車の天井からボールを落下させた場合、電車の外にいる人から見えるボールの落下軌道とボールに作用する力について

表5. 問題5の回答の分布 (%)

7	理男	理女	非理男	非理女
1-1,2	0.0	1.8	0.0	0.0
1-3	4.5	1.8	0.0	7.1
1-4,5	0.0	0.0	0.0	0.0
1-6,7	3.0	8.8	10.0	7.1
1-8,9	1.5	1.8	0.0	3.6
2-1	0.0	0.0	0.0	0.0
2-2	0.0	0.0	0.0	0.0
2-3	6.1	5.3	10.0	0.0
2-4,5	0.0	0.0	0.0	0.0
2-6	4.5	10.5	0.0	7.1
2-7	0.0	1.8	5.0	0.0
2-8,9	1.5	0.0	0.0	3.6
3-1,2	0.0	0.0	5.0	3.6
3-3	15.2	10.5	10.0	25.0
3-4,5	0.0	0.0	0.0	0.0
3-6,7	0.0	1.8	5.0	0.0
3-8,9	1.5	3.5	0.0	7.1
4-1,2	0.0	0.0	0.0	0.0
4-3	6.1	7.0	15.0	0.0
4-4,5	1.5	0.0	0.0	3.6
4-6,7	0.0	0.0	5.0	0.0
4-8,9	16.7	10.5	15.0	7.1
5-1,2	0.0	0.0	0.0	0.0
5-3	4.5	10.5	0.0	3.6
5-4,5	0.0	0.0	0.0	0.0
5-6,7	0.0	0.0	0.0	3.6
5-8,9	33.3	24.6	15.0	17.9

6. 電車が右向きに正の等加速度直線運動をしています。風船にとりつけた糸の一端を下図のように車内の床に結びつけています。このとき風船はどのようになっているのでしょうか。次の[1]～[3]から選んでマークして下さい。
(マーク回答番号19)

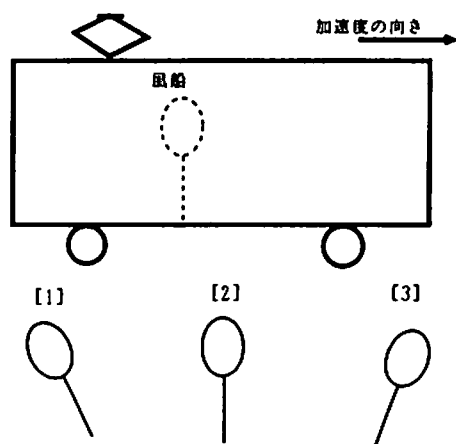


図6. 加速度運動中の電車の床にとりつけられた空中に浮いている風船の傾きについて

問題6

本問では、正の加速度で等加速度直線運動を行っている最中の電車内に置いた風船はどのように傾くかを尋ねた(図6)。選択肢は、以前に行った調査結果(川村, 1995)により設定した。

表6. 問題6の回答の分布 (%)

8	理男	理女	非理男	非理女
1	30.3	33.3	25.0	35.7
2	65.2	63.2	70.0	60.7
3	3.0	3.5	5.0	3.6
*	1.5	0.0	0.0	0.0

正答は[3]であるが、今回の結果でも正答率は低い。本問でみられる素朴概念は、

「電車が等加速度直線運動中であっても、つり革も傾かなければ、風船も傾かず、特別なことは起こらない」というものと、「等加速度直線運動中は、物体は後方へ力を受け、その結果後方へ傾く」というものである。以前

の自由記述の調査によると、前者の考え方の根拠は、日常生活の中で、電車が直線上を一定の加速度で走っていることがあるが、調査対象者の経験としては、何ら特別な力を受けなかったからというものであった。また、つり革が傾くのは、加速度の大きさが変化しているようなときであると考えている者もいた。一方、後者の考え方の根拠は、電車が加速度運動をしているときは、つり革も後ろの方へ傾き、自分も後ろの方に力を受けるから、風船も後方へ傾くというものであった。

アチーブメントに関する実験結果

慣性力実験器をクラス授業に用いた場合の学習効果に関しては、前回に調査済みである（川村，1996）。この実験器を用いてクラス授業を行った実験群は、伝統的な講義形式のクラス授業を行った統制群よりも高い学習効果がみられた。しかし前回の実験からは、個々の学習者にどのような変化がみられたのかについては明らかにできなかった。そこで今回は実験群・統制群・介入群とも、個別実験を実施することによって個々の学習者の変化を明らかにすることを試みた。実験群では、慣性力実験器を用いて手続きに示した3つの実験をその順に示した。統制群では、慣性力実験器を用いて行った3つの実験をビデオに収録したものを、同じく順に示した。介入群では、慣性力実験器を用いながら、実験①の各実験段階ごとに実験結果を予想させ、実験後、結果を確認させ、実験からわかったことや実験結果がそうなる理由を記述させた。

各群における事前・事後テストの正答を1点として得点化したものの合計点の平均得点を表7及び図7に示した。これをもとに2要因のうち1要因が繰り返しの分散分析を行った結果を表8に示した。

表7.各群の事前・事後テスト			
		平均	S D
実験群	事前テスト	0.18	0.38
	事後テスト	1.18	1.42
統制群	事前テスト	0.18	0.38
	事後テスト	0.71	1.18
介入群	事前テスト	0.50	1.12
	事後テスト	2.83	0.69

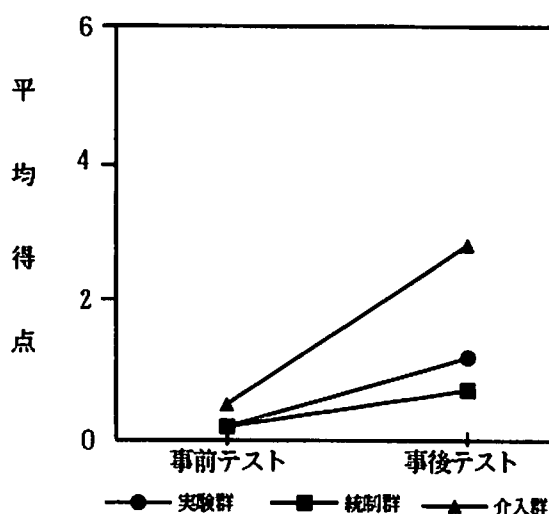


図7.条件群別，テスト時期別のアチーブメントテストの平均得点の比較

表8.2 要因の分散分析表						
変動源	SS	df	MS	F	p	
群 間	17.6836	2	8.8418	7.700	0.002	**
誤 差	42.4884	37	1.1483			
テスト間	26.2027	1	26.2027	31.490	0.000	***
交互作用	9.1972	2	4.5986	5.526	0.008	**
誤 差	30.7880	37	0.8321			

この結果、アチーブメントテスト全体としては、群差にもテスト間にも群差×テスト間にも有意差が認められた。そこで下位検定として、群差と群差×テスト間についてチューキーのHSD検定を行った。

群差について：

5%水準：HSD=0.58 1%水準：HSD=0.74
 | 実験群の平均値－統制群の平均値 | =0.24<0.58(ns)
 | 統制群の平均値－介入群の平均値 | =1.22>0.74(**)
 | 介入群の平均値－実験群の平均値 | =0.99>0.74(**)

群差×テスト間について：

各テストにおける群差

5%水準：HSD=0.69

1%水準：HSD=0.89

事前テストにおける群差

| 実験群の事前テストの平均値－統制群の事前テストの平均値 | =0<0.69(ns)

| 統制群の事前テストの平均値－介入群の事前テストの平均値 | =0.32<0.69(ns)

| 介入群の事前テストの平均値－実験群の事前テストの平均値 | =0.32<0.69(ns)

事後テストにおける群差

| 実験群の事後テストの平均値－統制群の事後テストの平均値 | =0.47<0.69(ns)

| 統制群の事後テストの平均値－介入群の事後テストの平均値 | =2.42>0.89(**)

| 介入群の事後テストの平均値－実験群の事後テストの平均値 | =1.95>0.89(**)

各群におけるテスト間の差

5%水準：HSD=0.57

1%水準：HSD=0.77

| 実験群の事後テストの平均値－実験群の事前テストの平均値 | =1.00>0.77(**)

| 統制群の事後テストの平均値－統制群の事前テストの平均値 | =0.53<0.57(ns)

| 介入群の事後テストの平均値－介入群の事前テストの平均値 | =2.33>0.77(**)

下位検定を行った結果から、次のことがわかった。事前テストでは3群の間に有意差は認められなかった。事後テストでは、介入群の成績は実験群及び統制群の成績よりも1%水準で有意に高まっていることがわかった。このとき、実験群の成績と統制群の成績の間には有意差は認められなかった。実験群と介入群の成績は、事前テストから事後テストにむけて1%水準で有意に高まったが、統制群の成績は有意に高まったとはいえなかった。

以上をまとめると、慣性力実験器の実物を示して実験を行った実験群とビデオを用いて実験を行った統制群とでは、学習効果に差がないことがわかった。介入群は、実験・統制の両群よりも高い効果がみられた。

考 察

今回は、個別実験を行うことにより個々の学習者の変化を明らかにしようと意図したが、いわゆる実験（ここでは、手続きに示した実験①～③を連続した1つの総体とみなした実験を意味する）を淡々と行っているのでは、個々の学習者の変化を明らかにできないことがわかった。個々の学習者の変化の実態を見るためには、それぞれの実験の各段階の前後で被験者に実験結果の予想や実験結果からわかったことを記述させる等の介入が必要で、記述された内容をもとに個々の学習者の変化を追う必要がある。以下に、介入群の被験者の反応を整理した。

実験終了後、介入群では問題1の正答率が83.3%、問題2の正答率が100%であるのに対して、実験群の問題1の正答率が29.4%、問題2の正答率が17.6%、統制群の問題1の正答率が11.8%、問題2の正答率も11.8%と低い。介入群では、実験①を行うにあたって、次のような介入を行った。まず「慣性力実験器」が静止しているとき、飛行機に運ばれたボールはどのように落下するか、落下の軌道の予想を配布した用紙に図示させた。そして、その後に実験演示を行い、その段階で、被験者の予想が正しかったかどうかのチェックをさせた。予想が正しかった場合、なぜそうなるかと考えるのかを用紙に記述させた。また、予想が間違っていた場合、正しい落下軌道に描き改めさせてから、なぜそうなるかと考えればよいかを用紙に記述させた。そのとき、実験者は被験者の考え方が正しいかどうかを判定はしなかった。

次に、「慣性力実験器」が等速直線運動をするとき、飛行機に運ばれたボールはどのように落下するか、落下の軌道の予想を配布した用紙に図示させた。そして、その後に実験演示を行い、その段階で、被験者の予想が正しかったかどうかのチェックをさせた。その後は「慣性力実験器」が静止しているときと同様に、その落下軌道になる理由を用紙に記述させた。その次に、「慣性力実験器」が正の加速度で等加速度直線運動をするときについて同様の作業を行わせた。

介入はこの段階までとし、以降実験②および実験③は実験者が介入することなく行った。

「慣性力実験器」が静止している場合、6人の被験者のうち、予想の段階で放物軌道を描いたのは3人であった。直落軌道を描いたのが1人で、残りの2人は斜め前方へ直線的に落下するとした。実験演示後、これらの6人は、全員が放物軌道をするを正しく認識したが、6人とも「進行方向へ作用する力」を考えていた。これに続いて行った「慣性力実験器」が等速直線運動をしている場合については、6人ともが「慣性力実験器」が静止している場合と同じ軌道となると記述した。まだこの段階でも、6人ともが「進行方向へ作用する力」を考えていた。続いて行った「慣性力実験器」が正の加速度で等加速度直線運動をしている場合については、5人はボールの方が受け皿よりも後方へ落下すると予想したが、1人は受け皿の中に入ると予想した。実験演示後、6人ともがボールの方が受け皿より後方へ落下することを確認した。この実験結果により、5人の被験者が進行方向へ作用する力が存在しないという考え方に変わった。1人は、進行方向へ作用する力の大きさが、空中を飛行しているボールでは、飛行機や受け皿に比べて小さくなっているから、受け皿より遅れて落下したと考えた。この不正解の1人を含め6人の被験者達は、これら3つの実験結果の間に整合性を持たせようとして、以上のように考え方を変えた。これは、実験者が学習指導したわけではないが、被験者が自分の考えを用紙に記述するなど常にゆっくりと考える機会を与えられながら、実験を受けた結果である。対して実験群では、同じ実験を同じ順で提示しているが、介入群で得られたほどの成績の改善はみられなかった。

最近、認知カウンセリング（市川、1993）という考え方がある。個別実験を淡々に行っているだけでは、実験群であっても高い学習効果が期待できないのに対して、介入群では実験中に実験者が被験者を学習指導したわけではないが、実験演示の要点をおさえているかどうかのチェックをいれながらの実験であったため、高い学習効果が得られた。特に、落下軌道の予想が正しくなかった被験者に正しい落下軌道を実験演示により認識させ、それから次の実験に移ったことは、被験者に認知カウンセリングを行いながら一連の実験を行ったとみることでもできよう。今回は、認知カウンセリングの考えのもとに行った実験ではないのでこれ以上の議論はしないが、認知カウンセリングをうまく適応すれば、素朴概念の改善に効果的であろうと考えられる。今後の課題としたい。

前回のクラスごとの実験では、統制群を伝統的な講義形式の授業にしたためと、実験群では教室内の学習者同士の考えや意見の交換が行われたために多くの学習者が学習刺激を受けたための2つの要素から、実験群の方が統制群より学習効果が高かったと考えられた。しかし今回の実験では、統制群で行った実験課題が実験群で行った内容と同じ物をビデオで映したものであったためと、個別実験であったためクラス授業のような社会構成主義的な学習者同士の考えや意見の交流がみられなかったため、実験群と統制群で学習効果に差がみられなかったと考えられる。今後は、教室の中で進むダイナミズムを具体的にしていかなければならないであろう。

文 献

市川伸一編著『認知カウンセリング』ブレーン出版、1993

小川正賢『序説STS教育—市民のための科学技術教育とは』東洋館出版社、1993

川村康文「高等学校物理における構成主義的アプローチをふまえた教授・学習過程に関する実践的研究」京都教育大学修士論文、1995

川村康文「慣性力実験器」の製作およびそれを用いての学習効果の測定」『日本理科教育学会研究紀要』Vol.36, No.3, pp.13-24, 1996

子安増生・田中俊也・南風原朝和・伊東祐司『ベーシック現代心理学第6巻教育心理学』有斐閣、1992

村山功「自然科学の理解」『教科理解の認知心理学』新曜社、pp.99-151, 1989

藤田哲雄・川村康文「大学生に見られる小・中・高等学校時代の理科学習の実態と問題点」『京都教育大学紀要 自然科学』第88号B, pp.15-32, 1996