

実践論文

力学法則における高校生の関心・意欲と理解度を 高めるための実験演示法の開発

川 村 康 文 子 安 増 生

京都教育大学附属高校

京都大学教育学部

Developing an Experimental Presentation Method for Enhancing High School Students' Interest in and Understanding of The Laws of Mechanics

Yasufumi KAWAMURA*, Masuo KOYASU**

*Senior High school Attached to Kyoto University of Education

**Faculty of Education, Kyoto University

The aim of this study is to develop an experimental presentation method to change high school students' naive concepts regarding the laws of physics into scientific ones. The apparatus used was designed and constructed to teach students the principles of inertia both visually and auditorily. The subjects were seventy high school students. They were randomly assigned to one of two treatment groups. The subjects in the experimental group (20 boys and 23 girls) were taught physics using the apparatus, while the subjects in the control group (15 boys and 12 girls) were taught by the traditional teaching method of lectureing. An achievement test on inertia and a questionnaire on scientific views were administered to them as pretest and posttest. It was found that the experimental group showed more improvement in both the achievement test and the questionnaire than the control group. How the subjects in the experimental group changed their naive concepts into some scientific concepts is also discussed.

Key-words: naive concepts, experimental presentation method, students' interests in physics, inertia

1. 問題と目的

我々は、日常生活の中での経験から、科学的な考え方やものの見方を構成する。しかし、ここで構成された考え方やものの見方の中には、多くの人々に共通する考え方やものの見方ではあるが、科学的には必ずしも妥当でないものが存在することがわかってきた (Osborne & Freyberg, 1985)。このような考え方やものの見方は、様々な名称で呼ばれているが (alternative frameworks, children's science, lay theory,

preconceptions など)、ここでは、村山 (1989) にしたがって素朴概念 (naive concept) と呼ぶことにする。以下に、物理分野での素朴概念に関する研究例をいくつか見ることにする。

McCloskey, Washburn & Felch (1983) は、一定速度で歩いている運び手がある地点でボールを離した場合のボールの落下についての調査結果から、「物体はまっすぐ下に落ちる」という素朴概念が存在することを明らかにし、それを直落信念 (straight-down belief) と名づけた。McCloskey らが大学生を被験者

として行った実験では、ボールが自ら運動している傾斜路問題には被験者の6%にしか直落信念がみられなかったのに対して、歩行者問題で49%、コンベヤ問題で23%の被験者に直落信念がみられた。

Green, McCloskey & Caramazza (1985) は、コンピュータのディスプレイ上で様々なボールの運動のシミュレーションを示すことにより、動的な視覚提示 (dynamic visual display) が効果的かどうかを実験したが、その結果は否定的なものであった。この場合、物理学的には不可能な運動も被験者には実際に起こりうるようにみえたために、被験者の判断に何らの効果を与えることができなかったと解釈されている。

他方、直落信念を扱ったものではないが、動的提示が効果的であったとする研究が報告されている。Kaiser, Proffitt & Anderson (1985) は、ビデオを用いて、被験者に自然な軌跡と不自然な軌跡の弁別を行わせた結果、水平面上に置かれた螺旋状のチューブから投射されたボールは、外力が働かないのにカーブをした軌跡を描くとする「曲線運動力」(McCloskey, Caramazza & Green, 1980) に関する素朴概念の改善に効果があったと報告している。

廣瀬 (1995) は、「運ぶ問題 (McCloskey らのコンベヤ問題と同じもの)」、「転がる問題」及び「振り子問題」(2種)の合計4問について動的提示の効果に関する実験を行った。その結果、運ぶ問題において、大学生のみならず小学6年生にも動的効果がみられたと報告している。

また Clement (1982) は、「振動している振り子に取り付けられた物体に作用する力を記入させる振り子に関する問題」と「投げ上げたコインに作用する力を記入させる投げ上げ問題」について調査を行ったところ、実際にはそのような力は存在しないのに、振り子に関する問題では振り子が振れていく向きに力を書き、投げ上げ問題ではコインが上がっていく向きに力を書くという誤答が広くみられることから、「運動は力を含意する」(motion implies a force; 以下 MIF と略す) という素朴概念が存在することを明らかにした。また Clement は、力学の講義を受けることで投げ上げ問題にみられた素朴概念がどの程度改善されるかを調べたが、その結果、受講後の正答率は受講前の正答率12%よりは高いものの28%にすぎず、MIF のような素朴概念が従来の理科教育では変え難いことを示している。

本研究では、高校生を対象に素朴概念を妥当な科学概念に変容させることを直接の目的とする授業を計画し、その効果を検証する実験を行った。具体的には第1著者が開発した「慣性力実験器」を用いて、「放物運動をする物体に作用する力は重力のみである」ことや「非慣性系においては慣性力を体感するが、同一の現象であっても慣性系から観た場合には慣性力が存在しない」ことを学習者自身に非日常的な経験として与え、力学的なイメージを豊かにさせることにより、彼らが既にもっている素朴概念との間で認知葛藤を生じさせ、この過程を経て妥当な科学概念に変容させることを目指した。本実験器では、慣性系・非慣性系内での落下運動の実験を4つの方法で提示することができる。これらの提示法を用いて、素朴概念が棄却されるまで葛藤の場面を繰り返し与えることにより、妥当な科学概念に変容させることを目指した。

なお川村 (1996) では、「慣性力実験器」により、素朴概念が効果的に科学概念へと変容されることを報告した。しかしその際みられた学習効果は、通常この学習単元の授業が行われるのより長い時間数をかけて行った実験的環境下での授業における学習効果であった。それに対して本研究では、本学習単元の授業を通常行われると考えられる4時間で行い「慣性力実験器」による実験演示の効果調べた。

またあわせて、このような実験演示法の導入によって、数式を中心に展開する講義形式の授業と比べて、学習者の科学観がどのように変化するかを調べた。

Ⅱ. 方法

被験者と指導者

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者からなる2クラスの生徒計70人である。そのうち男子は35人、女子は35人であった。被験者は、所属するクラスにより、実験群として43人(男子20人、女子23人)、統制群として27人(男子15人、女子12人)に分けられた。物理学習の指導は、第1著者があたった。

装置と材料

学習内容としては、高等学校物理ⅠBの学習単位「慣性力」を用いた。授業計画は全体で4時間(「1時間」授業は50分で行われた)で構成した。

慣性力実験器：実験群では、「慣性力実験器」を用いて授業を行った。本体は、図1に示すように、横幅

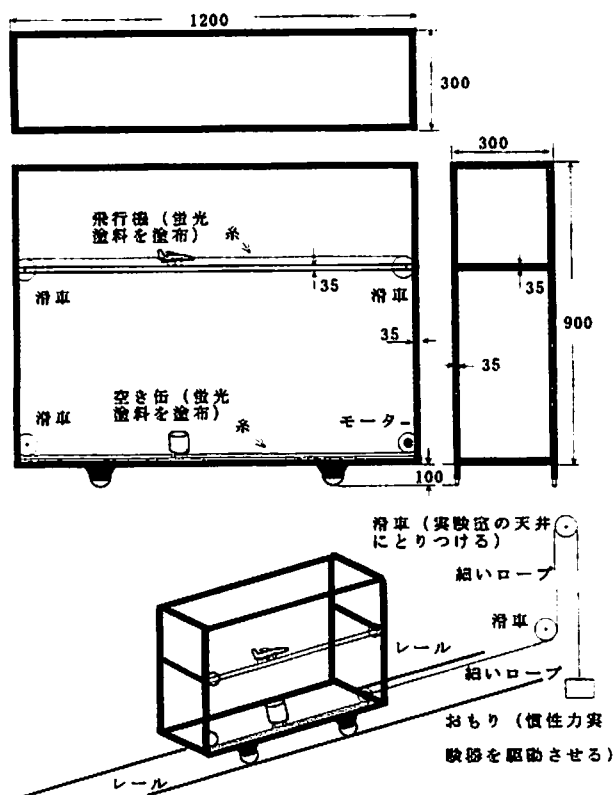


図1. 慣性力実験器の概要 (単位はmm)

120cm、奥行30cm、高さ90cmの大きな台車である。実験によって学習者に心的な感動を与えるためには、迫力をともなった実験を行う必要があると考え、教室で実施するものとしてはスケールの大きな実験器を設計した。また、実験を実施するにあたっては、学習者の視覚だけでなく聴覚にもうったえるように留意した(後述)。

慣性力実験器内部の飛行機や空き缶は取り外しが可能である。また、慣性力実験器は、おもりに作用する重力によって等加速度直線運動するように設計した。

本実験器の本体及び走行用レールは、数種類のアングルをボルト止めして作製した。車輪は溝付きの市販のものを用いた。実験器本体の駆動のため、図1に示したように、滑車を2個用意し、1個は教卓の一端に取り付け、もう1個は教卓に取り付けた滑車の真上の、実験室の天井に取り付けた。実験器の走行方向の前の端に細いロープを取り付け、教卓に取り付けた滑車を經由し、さらに天井に取り付けた滑車を経て、細いロープの他端におもりを取り付ける。このおもりが落下することにより、実験器本体が駆動する。おもりの質量を200gにしたとき、実験器に作用する摩擦力とつりあい、実験器は等速直線運動をした。等加速度直線運動をさせる場合は、おもりの質量は1kgにし

た。

本実験器を用いて、手続に示した4つの実験を実施した。

アチーブメント問題及び質問紙：素朴概念の科学概念への変容については、それを測定するためのアチーブメント問題6問(付録参照)を用意した。学習への動機づけの面での変化を探るために、生徒の科学観を調べる16項目からなる質問紙調査(表1参照)をあわせて実施した。この質問紙は、「大変よくあてはまる(5)」から「まったくあてはまらない(1)」までの5段階評価法で答える形式であった。

手 続

実験群では、学習单元「慣性力」の学習に先だって、事前テストを行った。その後、慣性力実験器を用いて、次に示す①～④の4つの実験を含む4時間の学習を行った。本学習单元の授業の最後に事後テストを実施した。

実験①「飛行機に運ばれた物体の落下実験」：慣性力実験器内部の上方から約1/3のところに飛行機(プラモデルを利用)走行用のレールを取り付け、また底部には受け皿(空き缶を利用)走行用のレールを取り付けた。上方のレール上の飛行機が、底部のレール上の受け皿の真上に常に位置するようにし、これらを1つのモーターで一定の回転数で引いた。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。飛行機が最初の約70cmを走行する間、パチンコ玉は飛行機に運ばれるが、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が落下し始める構造になっている。

本実験器を教卓上で静止させた場合、飛行機と受け皿は、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。実験器を等速直線運動をさせた場合、実験器とともに運動する運動座標系は、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。ところが本実験器を等加速度直線運動をさせた場合には、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、学習者の聴覚的注意を喚起することを意図した。さらに、この実験の視覚的印象性を高めるために以下の手順をふんだ。まず、暗幕を引いてから実験室の電灯を消灯した。次に、蛍光塗料を塗布した飛行機、受け皿、落下物体を、紫外線ランプで照らし、暗闇の中にそれらを浮かびあがらせ、落下物体の軌道をより鮮明に観察できるようにした。なお、蛍光塗料と紫外線ランプを用いて刺激を暗闇に浮かびあがらせる方法は、視知覚実験で時々用いられるものであり(例えば、Rock, DiVita, & Barbeito, 1981; Rock & DiVita, 1987; Rock, Wheeler, & Tudor, 1989)、これを援用した。

実験②「つり革の実験」:本実験器の天井部分に、つり革を取り付けた。実験器が等速直線運動をする場合、つり革は鉛直下向きであるが、等加速度直線運動をする場合には後方に傾くことを観察させた。

実験③「水槽の実験」:本実験器の床の上に、横幅20cm、奥行き6cm、高さ20cm、水深8cmの大きさの自作の水槽を置いた。水槽内の水面には、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観察しやすくした。実験器が等速直線運動をする場合には、指針は、下向きにまっすぐであるが、等加速度直線運動をする場合には後方へ傾くことを観察させた。

実験④「風船の傾きの実験」:ヘリウムガスを入れたゴム風船を、実験器の床に取り付けた。等速直線運動の場合には風船はまっすぐ上向きであるが、等加速度直線運動の場合には前方に傾くことを観察させた。

以上の実験を含めて、次に示した①～⑫の内容を4時間で授業展開した。

- 1 「バスに乗っているとき、バスが急ブレーキをかけたらどうなるか」を問うた。
- 2 「電車が加速しはじめるとき、つり革はどうなっているか」を問うた。
- 3 「電車内で観測されるつり革の傾きをどう説明するのか」を問うた。
- 4 みかけの力について確認した。
- 5 実験①で行うとしている操作について説明し実験結果を予想させた。
- 6 実験①を行い、予想した結果とあっていたかどうかをチェックさせた。

⑦実験①のチェックが一段落した段階で実験②を実験①と同様に行った。

⑧その後実験③、④を行うことで、慣性系・非慣性系・慣性力の学習について何度もフィードバックすることができるよう留意した。

⑨「実験②でつり革が切れたり、実験④で風船の糸が切れたりした場合、つり輪や風船はどうなるか」を問うた。

⑩みかけの重力について確認した。

⑪みかけの重力の傾きから、電車やバス等の乗り物の加速度を求めることができることを確認した。

⑫「エレベータの加速度の求め方」を問うた。

統制群でも、学習单元「慣性力」の学習に先だって、事前テストを行った。その後、次に示した①～⑫の内容を4時間で授業展開した。本学習单元の授業の最後に事後テストを実施した。統制群で行った授業は、次に示す通りである。

- ①新幹線のぞみ号が等速直線運動をしている場合、天井から落下させた物体の落下した位置を、車内にいる人からみた場合と、地上にいる人からみた場合の両方で、数式を用いて求めさせた。
- ②①の場合、両者の運動状態を記述する式が異なることを確認させた。
 - ・車内の人には、物体の落下運動が自由落下と観察される。
 - ・車外の人には、物体の落下運動が水平投射と観察される。
- ③①の場合、車内の人にとっても車外の人にとっても、運動方程式が同じになることを確認させた。つまり、作用している力は、車内の人でも車外の人と同じであることを確認させた。
- ④③のような運動座標系(静止座標系を含む)を慣性系と呼ぶことを説明した。
- ⑤新幹線のぞみ号が等加速度直線運動をしている場合、天井から落下させた物体の落下した位置を、車内にいる人からみた場合と、地上にいる人からみた場合の両方で、数式を用いて求めさせた。
- ⑥車外の人には、②の車外の人と同様に水平投射になることを数式により確認させた。
- ⑦車内にいる人にとっては、慣性力を考えないと運動方程式がたてられないことを数式により確認させた。

8)7)のような運動座標系を非慣性系と呼ぶことを説明した。

9)車内の人からみた場合、後方へ直線落下することを数式により確認させた。

10)次のような演習問題を2題行った。

- ・演習問題1：等加速度直線運動をしている電車内のつり革の傾きを求めさせた。

- ・演習問題2：等加速度直線運動をしているエレベータ内に置かれた体重計が示す値について考察させた。

事前テストは、学習内容理解を測定するアチーブメント問題6問と、科学観について尋ねた16項目の質問紙を与えた。事後テストは、事前テストと同じ内容のものを繰り返して用いた。

Ⅲ. 結 果

1. 代表的な素朴概念

事前テストとして行ったアチーブメント問題の各問ごとの解答にみられた代表的な素朴概念を以下に抽出してみる。なお、以下の()内の数値は、実験群・統制群、男子・女子を問わず混みにした場合の出現率(%)を示したものである。

問題1の(1)では、解答の分布は3項目に分かれた。正答率は両群とも高く(68.6%)、多くの学習者が正しい科学概念を獲得していると考えられた。しかし、一部には「ボールは直落するが、重力以外の力が作用している」という考え方(27.1%)や「ボールは落下開始点からみて後方へ直線軌道を描いて落下する」という考え方(4.3%)などの素朴概念をもっているものがいた。

問題1の(2)では、解答の分布はその他を含めて8項目に分かれた。正答率は両群とも低くわずかに2.9%であった。学習者にみられた素朴概念は、「ボールは水平投射軌道を描く」と考えているものの「ボールには進行方向の力が作用する」という考え方(41.4%)や、「ボールは前方へ直線軌道を描いて落下する」という考え方(25.7%)や、「ボールはそのまま直落する」という考え方(11.4%)であった。

問題1の(3)では、解答の分布はその他を含めて6項目に分かれた。前問と同様に正答率は低く1.4%であった。学習者にみられた素朴概念は、「ボールはそのまま直落する」という考え方(68.6%)や、「ボールは落下開始点より後方へ曲線軌道を描いて落下す

る」という考え方(21.4%)であった。

問題1の(4)では、解答の分布はその他を含めて8項目に分かれた。正答率はやはり低く、8.6%であった。学習者にみられた素朴概念は、「ボールは水平投射軌道を描く」と考えているものの「ボールには進行方向の力が作用する」という考え方(41.4%)や、「ボールは後方へ曲線軌道を描いて落下する」という考え方(12.8%)や、「ボールは直落する」という考え方(11.4%)や、「ボールは前方へ直線的に落下する」という考え方(10.0%)等多様であった。

問題2では、解答の分布はその他を含めて4項目に分かれた。正答率は低く1.4%であった。学習者にみられた素朴概念は、「加速中の電車に乗ったときの日常経験から判断すると、この場合風船は後方へ傾く」という考え方(60.0%)や「まっすぐそのままである」という考え方(37.1%)であった。

問題3では、解答の分布はその他を含めて4項目に分かれた。正答率は8.6%であった。学習者にみられた素朴概念による説明は、「毛利さんのスペースシャトルの映像等から判断すると、もともと何の力も存在しない空間だから」に代表される「何も力が作用していない」という考え方(22.9%)や「回る物体には遠心力が作用するから(2.8%)」などであった。本問では、その他(「わからない」や「無答」を含む)が65.7%であったが、これは解答がきわめて困難であったためといえよう。

2. アチーブメント問題の成績について

両群におけるアチーブメント問題の成績を比較するため、実施した6問について1問1点として得点化を

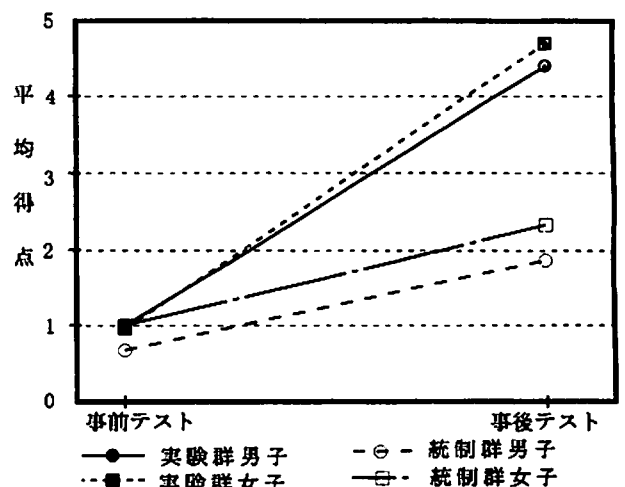


図2. 条件群別、性別、テスト時期別のアチーブメントの平均得点の比較

行った。実験群、統制群ごとに事前テスト、事後テストの平均得点の結果を比較したものを図2に示した。

この結果について、群×テスト時期×性別の3要因分散分析にかけたところ、群差 ($F(1,66) = 33.43, p < .01$)、群×テスト時期の交互作用 ($F(1,66) = 200.69, p < .01$) が有意であり、全体としては、慣性力実験器を用いた授業を行った方が伝統的な授業を行った場合よりも、学習効果が高いことが示された。また、事前テストから事後テストへの得点の伸びについての単純効果の検定を行ったところ、実験群男子

($F(1,19) = 107.67, p < .01$)、実験群女子 ($F(1,22) = 117.06, p < .01$)、統制群男子 ($F(1,14) = 36.00, p < .01$)、統制群女子 ($F(1,11) = 14.08, p < .01$) のすべての群で有意に上昇したことが明らかになった。

3. 科学観の変容について

事前テストで実施した、科学観に関する16項目について因子分析(主因子法、バリマックス回転)を行ったところ、第1因子として5項目、第2因子として4項目に分かれた(表)。第1因子を「物理学への興味・

表 生徒の科学観に関する調査の因子分析結果

項目番号	項 目 内 容	因子1	因子2
14	自動車の運転場面ひとつをとっても、物理学の知識は日常生活に役立つ。	0.71	0.19
15	学校などで物理学の実験をするのは好きである。	0.65	0.06
11	物理学は、文科系・理科系などの進路にかかわらず学んでおく方がよい。	0.60	0.16
13	物理学者の伝記やエピソードには興味がある。	0.40	-0.10
12	熱、光、音、電気、磁気、力学などの物理現象には興味がわからない。	-0.62	0.10
8	専門的な科学技術の知識を必要とする社会的問題にしろとうかがいをはさむのは危険である。	0.07	0.73
7	最新の科学技術を駆使した新製品は、できればまっ先に手に入れたい。	0.16	0.55
1	21世紀の社会では、科学技術の一層の発展が人類の幸福にとって重要となる。	0.20	0.54
9	テレビの科学番組には関心があるので、できるだけ見るようにしている。	0.33	-0.41
3	科学者や技術者の待遇(収入など)は、今よりももっと改善すべきである。	0.27	0.34
5	科学がいかに進歩しても、人間は結局自然の力に逆らうことはできない。	0.11	0.13
6	占いや超能力を信ずることは、ばかげたことである。	0.00	0.28
2	自分自身にとって科学技術を学ぶことよりも重要な学びたいことがらがある。	-0.03	0.16
4	科学者や技術者の行っている研究の多くは、必ずしも世の中の役に立たない。	-0.06	0.11
16	物理学の中で、数式や計算を扱う部分が苦手である。	-0.15	0.29
10	理工系の大学や企業の人気低下するいわゆる「理工ばなれ」の現象は、自分の進路を考えるとき、なっとくできる。	-0.28	0.21
寄 与 率		0.14	0.11

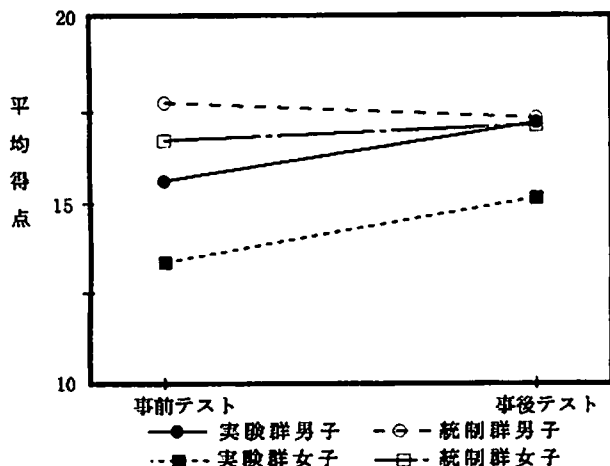


図3. 条件群別、性別、テスト時期別の物理学への興味・関心尺度の平均得点の比較

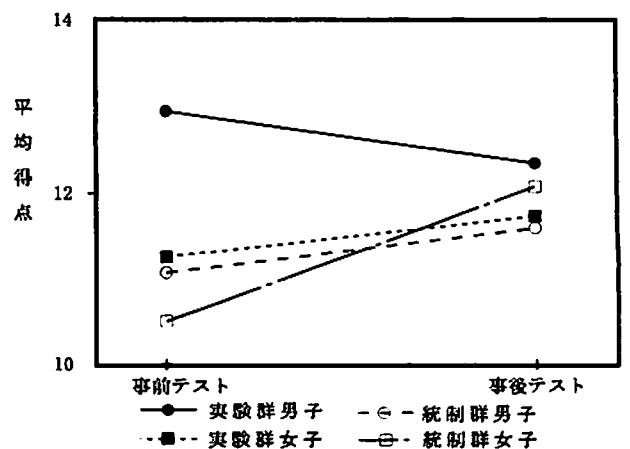


図4. 条件群別、性別、テスト時期別の科学技術至上主義尺度の平均得点の比較

関心」, 第2因子を「科学技術至上主義」とそれぞれ解釈した。

第1因子5項目の合計点について, 群別, テスト時期別の結果を図示したものが図3である。この結果について, 群×テスト時期×性別の3要因分散分析を行ったところ, 群差 ($F(1, 66) = 5.43, p < .05$), 群差×テストの交互作用 ($F(1, 66) = 5.57, p < .05$) が有意であった。また, 性差には有意差はみられなかった ($F(1, 66) = 2.83, ns$)。この結果から, 「物理学への興味・関心」得点は, 実験群の方が統制群よりも授業による変化量が大きかったことがわかった。事前テストから事後テストへの変化について単純効果の検定を行ったところ, 実験群男子 ($F(1, 19) = 5.50, p < .05$) と実験群女子 ($F(1, 22) = 12.11, p < .01$) では, 有意な変化がみられたが, 統制群男子 ($F(1, 14) = 0.24, ns$) と統制群女子 ($F(1, 11) = 0.23, ns$) では, 有意な変化はみられなかった。ただしその内容は図3からわかるように, 実験群で元々低かった物理学への興味・関心が, 統制群のそれに追いついたというものである。

次に, 第2因子4項目の合計点について, 同様の分析を行ったものが図4である。この結果を, 群×テスト時期×性別の3要因分散分析にかけたところ, 群差 ($F(1, 66) = 0.91, p < .05$) に有意差がみられたが, 性差 ($F(1, 66) = 0.56, ns$) と群差×テストの交互作用 ($F(1, 66) = 1.54, ns$) に有意差はみられなかった。この結果から, 「科学技術至上主義」得点は, 実験群・統制群の両群で改善されなかったことがわかった。また, 事前テストから事後テストへの変化について単純効果の検定を行ったところ, 実験群男子 ($F(1, 19) = 0.40, ns$), 実験群女子 ($F(1, 22) = 1.18, ns$), 統制群男子 ($F(1, 14) = 0.24, ns$), 統制群女子 ($F(1, 11) = 0.23, ns$) のすべての群で変化はみられなかった。

IV. 考 察

1. アチーブメント問題の成績の向上

学習者が授業以前に構成していた素朴概念は, 実験群, 統制群の両群の事前テストの解答の中にみられた。また, 両群間には事前テストの成績に関して有意な差はみられなかった。図2より, 実験群においても, 統制群においても授業の効果はみられたが, 実験群の方が統制群よりも一層効果的に学習が行われたこ

とがわかる。つまり, 授業前に学習者がもっていた素朴概念は, 慣性力実験器を用いた実験演示法によってより効果的に, より妥当な科学概念に置き換わったことがわかった。

以下, 各問の内容にふみこんでどのように統制群よりも実験群の方に高い学習効果がみられたかについて考察してみる。

問題1の(1)と(2): 両群の授業では, 「ボールに作用する力は重力だけで, その他の力は作用しない」ことを指導した。統制群の授業が従来からの数式による展開であったのに対して, 実験群では実験演示によって, 飛行機と受け皿と投射物体の水平方向の速度の成分が同じ場合には, 飛行機からみると受け皿へと直線的に物体が落下することを確認した。(1)では, 電車の天井と床とボールの関係ではあるが, 天井と床とボールの水平方向の速度成分が同じであることに気がつけば, 実験演示した内容が応用され正答へと導かれやすかったと考えられる。数式を用いて体系的に指導を行う方が応用力が身につくと考えられるが, 統制群の結果をみる限りその指導効果は大きくなかった。(2)でも, 電車の天井と床とボールの関係ではあるが, 天井と床とボールの水平方向の速度成分が同じで, その大きさは変化せず一定であること(つまり何らかの力を受けて加速されるのではないこと)に気がつけば, 実験演示した内容が応用され正答へと導かれることになる。この演示実験を経験することにより, MIFの考え方から脱却できることがわかった。

問題1の(3): 本問に関しては, 両群に有意な差がみられなかった。実験演示を行っても, 車内にいる人からは落下物体が後方へ向かって落下するのは確認できても, その軌道がはっきりした直線であったかどうかは確認できていない。一方統制群では, 慣性力が作用する必然性を導くため, 数式により慣性力の大きさを求め, ある時間内に落下する距離と後方へ遅れる距離の割合が等しいので, 落下軌道が直線であることを確認をしている。どちらの群でも, 授業による有意な学習効果がみられた。

問題1の(4): 演示実験において, 飛行機から投射物体が放たれた後は, 投射物体に作用する力は重力のみとなり水平投射運動となる。実験群では, 問題1の2と同様のことが生じていると認識され, ほぼ同様の正答率になった。しかし統制群では, MIFが根強く保持されていたのみならず, 慣性力が作用するという考

え方もみられ、慣性力の学習を行ったことにより新たな素朴概念を構成した学習者が現れたともいえる。机上の数式による学習が、このような問題を引き起こしている例といえよう。

問題2：従来の方式での授業では、授業後「風船は後方へ傾く」という考え方が強く支持されるという問題点があったが、本実験授業の統制群でも同様の結果がみられた。実験群では授業の結果、ほぼ全員が正答へと変化した。統制群では正答へと変化した者はほとんどみられなかった。統制群の授業で、落下物体が後方へ遅れるように直線的に落下することを学習していても、上昇物体が進行方向前方へ直線的に上昇することにまで考えが及ばず、つり革が後方へ傾くことから、風船も後方へ傾くと考えたわけである。問題1の4においても発現したが、新たな学習を行う事によって新たな素朴概念が構成された事例である。

問題3：スペースシャトルの中の物体に作用する力は、シャトル内の人にとっては、シャトルが加速度運動をするので、慣性力の一種である遠心力が作用する。地上の人にとっては、地球がシャトルや物体を引く引力しか存在しない。今回の授業では、両群共に万有引力の話はしていないが、何度も地上での重力を意識して問題を考察する指導を行った。実験群では「何も力が作用しない」から正答の「(万有) 引力のみ作用する」へと考え方が変化した者が現れた。数式で展開する統制群の授業では、イメージの広がりが見られず応用的な場面への転移が困難なようであったが、実験演示を行った群では、各学習者の力学的なイメージが豊かになっているため、このような応用的な場面においても、各学習者が構成した科学概念を用いての考察が可能になったと解釈される。

以上の理由により、実験群での学習が統制群での学習よりもより効果的に行われたと推察される。

2. 物理学への興味・関心の向上

生徒の科学観を調べる16項目について因子分析を行った結果、第1因子として「物理学への興味・関心」尺度と第2因子として「科学技術至上主義」尺度の2つの因子が抽出できた。各尺度について事前テストから事後テストへの変化をみたところ、「物理学への興味・関心」尺度では、統制群では変化がみられなかったのに対し、実験群では有意に上昇した。他方、「科学技術至上」尺度では両群とも変化しなかった。

このことから、学習者の興味・関心についても、知

識注入式の授業にはならないように考慮しながら行った講義形式の統制群での授業よりも、学習者の自然認識を高めるよう工夫して開発した実験器を用いて行った実験群の授業の方が、物理学への興味・関心を高める効果が高いことがわかった。現行の学習指導要領では、評価の観点として「関心・意欲・態度」を第1番目の項目にあげているが、この観点に照らし合わせても、実験群での授業を評価する事ができるのではなかろうか。

3. 今後の課題

本研究の結果から、「慣性力実験器」を用いた授業は伝統的講義形式の授業より高い学習効果を示すことが明らかになった。しかし、本研究で開発した方法を教育現場で応用するためには、さらに検討を要する問題が残された。

まず、実験演示法の開発という観点からは、「慣性力実験器」を他の教師が授業で利用する際に操作のしやすいものに改良していく必要がある。授業場面でこの実験器を用いる場合、1人の教師だけでは操作できないので生徒の協力を得るか、他の教師と協力して実施することが望ましい。また、飛行機と受け皿の運動(実験1)に関しては、リモートスイッチング・システムを採用することによってより少人数での扱いを可能にしたが、そのために幾分センシティブな実験器になってしまった点は否めない。さらに、ハンディタイプの紫外線ランプを1台ずつ3人の生徒に持ってもらって実験を行ったが、実験器内部に紫外線ランプを取り付けることによりさらに少人数で行えるタイプのものに改良していく余地がある。

次に、本研究では、研究目的を知る第1著者が授業の担当を行ったが、研究目的を知らない教師が担当する授業のブラインド分析によっても本研究結果と同様の結果が得られるのかどうかについて検討されなければならない。

さらに、学習者個々人の心の中でどのような変化が生じているかの分析について次の2つの観点からの研究が必要である。その1つは、学習者の認知過程のどの部分が変化しているのかという問題であり、もう1つは、実験のどの要素がそのような認知過程の変化をもたらしているのかという問題である。学習過程の個人差をとらえることによって、素朴概念の変容過程が一層明確になっていくものと考えられる。

新しい学力観の観点から「関心・意欲・態度」を積

極的に評価していくことが求められているが、指導者の教材の扱い方によって、学習者の興味・関心の向上にも差がみられることが本研究からも明らかにされた。今後は、学習者の「関心・意欲・態度」をより向上させることができるような授業実践やより客観性のある測定テストの改良を行っていく必要がある。

引用文献

- Caramazza, A., McCloskey, M., & Green, B.: Naive beliefs in "sophisticated" subjects: Misconceptions about trajectories of objects. *Cognition*, 9, 117 - 123. 1981
- Clement, J.: Students' preconceptions in inductive mechanics. *American Journal of Physics*, 50, 66 - 71. 1982
- Green, B., McCloskey, M., & Caramazza, A.: The relation of knowledge to problem solving, with examples from kinematics. In S. F. Chipman, J. W. Segal & R. Glaser (Eds.), *Thinking and learning skills. Vol. 2: Research and open questions*. Lawrence Erlbaum Associates. 1985
- 廣瀬直哉：落下運動についてのメンタル・モデル。京都大学大学院教育学研究科修士論文（未公刊）1995
- Kaiser, M. K., Proffitt, D. R., & Anderson, K.: Judgment of natural and anomalous trajectories of the presence and absence of motion. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 11, 759 - 803. 1985
- 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
- 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
- McCloskey, M., Caramazza, A., & Green, B.: Curvilinear motion in the absence of external forces: Naive beliefs about the motion of objects. *Science*, 210, 1139 - 1141. 1980
- McCloskey, M., Washburn, A., & Felch, L.: Intuitive physics: The straight-down belief and its origin. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9, 146 - 156. 1983
- Osborne, R. and Freyberg, P.: *Learning in science - The implications of children's science* - Heinemann Publishers Ltd. 1985（森本信也・堀哲夫訳：子ども達はいかに科学理論を構成するかー理科の学習論ー。東洋館出版社。1988）
- Rock, I., & DiVita, J.: A case of viewer-centered object perception. *Cognitive Psychology*, 19, 280 - 293. 1987
- Rock, I., DiVita, J., & Barbeito, R.: The effect on form perception of orientation in the third dimension. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7, 719 - 732. 1981
- Rock, I., Wheeler, D., & Tudor, L.: Can we imagine how objects look from other viewpoints? *Cognitive Psychology*, 21, 185 - 210. 1989

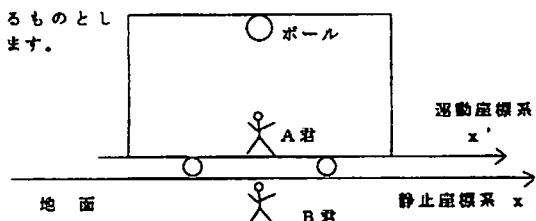
（受付日1996年12月10日；受理日1998年1月19日）

〔問い合わせ先〕

〒612-0037 京都市伏見区深草関屋敷町
京都教育大学教育学部附属高等学校
川村康文

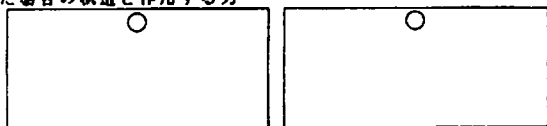
付 録 年 組 番 課 座 な ま え

1. A君は運動座標系とともに運動する観測者で、B君は静止座標系に固定された観測者です。ただし、空気抵抗は無視できるものとし
ます。

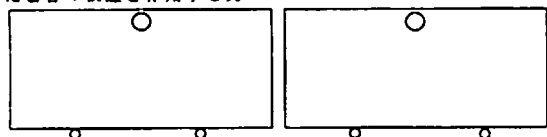


次の(a), (b)のそれぞれの条件においてボールを静かに落下させました。A君、B君にとってボールはどのように落下するように見えますか、その軌道を直線と曲線の区別がつくように描いて下さい。また、ボールに作用する力を矢印で記入して下さい。

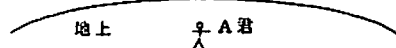
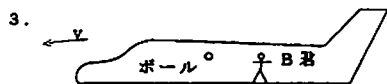
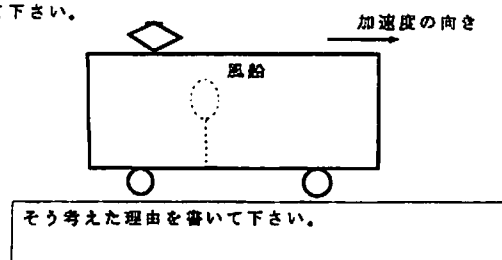
(1) (a)において、A君からみた場合の軌道と作用する力 (2) (a)において、B君からみた場合の軌道と作用する力



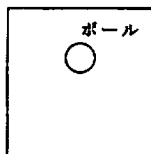
(3) (b)において、A君からみた場合の軌道と作用する力 (4) (b)において、B君からみた場合の軌道と作用する力



2. 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。車内にいる人から観測すると、風船はどのように見えると思いますか。図の中に描いて下さい。また、そう考えた理由を書いて下さい。



図のようにスペースシャトルが、地球の周りを一定の速さ v で円運動をしています。地上にいるA君からみた場合、スペースシャトル内のボールに作用する力を右図のボールに矢印で記入して下さい。また、そう考えた理由を書いて下さい。



そう考えた理由を書いて下さい。