

放物運動学習におけるコンピュータ・シミュレーションの先行オーガナイザ的利用

川 村 康 文 ・ 子 安 増 生

(京都教育大学附属高校) (京都大学教育学研究科)

“USING COMPUTER SIMULATION AS AN ADVANCE ORGANIZER FOR THE LEARNING OF PARABOLIC MOTION IN PHYSICS”

Yasufumi KAWAMURA, Masuo KOYASU

1999年9月30日受理

抄録：高校物理の放物運動学習において、クラスごとに分けられた2クラスの生徒71人にコンピュータ・シミュレーションの生徒実習を行った。1つのクラス（男子20人、女子24人）では、著者らが従前から行ってきたように、コンピュータ・シミュレーション（2時間）を一連の学習（講義形式の授業4時間）の整理として与え、合計6時間の授業を行った（統制群）。もう1つのクラス（男子15人、女子12人）では、コンピュータ・シミュレーション（2時間）を先行オーガナイザとして与え、その後4時間の講義形式の授業を行い、合計6時間の授業を行った（実験群）。本実験授業の事前、事後にアチーブメント問題を行った。分析の結果、コンピュータ・シミュレーションを先行オーガナイザとして用いた実験群では、一連の学習の整理としてコンピュータ・シミュレーションを用いた統制群よりも、アチーブメントにおける学習効果が高いことがわかった。

キーワード：「先行オーガナイザー」「コンピュータ・シミュレーション」「放物運動学習」
「発見的学習」「構成主義」

I. 問 題

コンピュータを用いた学習指導は、つとにその重要性が指摘され、多くの実践事例が報告されている¹⁾²⁾。しかし、授業の中でコンピュータをどのように利用すればよいのかという議論は未だに十分に深められておらず、実証的なデータが不足している。

平成元年3月に公表された『高等学校学習指導要領』では、物理や数学等の教科・科目においてコンピュータの積極的な活用を目指している³⁾。例えば、物理IBでは「内容の取り扱い」の(1)に「イ 探究活動においては、各項目の学習活動と関連させながら観察、実験を行うとともに、観察、実験をとおして、仮説やモデルの設定、推論、条件制御、測定、数的処理、データの分析・解釈、法則性の発見など、物理学的に探究する方法を習得させ、創意ある研究報告書を作成させること。その際、多様な教材と組み合わせて、適宜コンピュータの活用を図るこ

と」とある。また数学 A では、「目標」として「数学 I」より広い内容として、数と式、平面幾何、数列又はコンピュータを用いる計算について理解させ、基礎的な知識の習得と技術の習熟を図り、事象を数学的に考察し処理する能力を育てるとしている。また、「内容」として「(4) 計算とコンピュータ」の単元が設定された。数学 A に続く、数学 B や数学 C でもコンピュータの活用を図るようにという記述がみられる。

これらは、コンピュータ・リテラシーに関する一定の方向性を示してはいるものの、コンピュータを学習ツールとして授業の中でどう効果的に用いればよいのかについてまでは示していない。また、コンピュータを用いた授業は、コンピュータ・リテラシーを学習するにしろ、コンピュータを学習ツールとして利用するにしろ、一部の先進的な学校での実践報告が行われているにとどまっているのが現状である。特に、統制群法を用いたコンピュータ授業の効果の検証や、教育方法としてコンピュータを用いた学習を授業理論の中にどう位置づけるかに関する提案はほとんどされていない。

ところで、理科学習の分野では、生徒の理科離れ、とりわけ物理離れが大きな問題となっている⁴⁾⁵⁾。この問題への対処の仕方として、理科学習において学習障害を生じる原因を認知心理学的アプローチによって明らかにし、学習障害を減少することにより理科離れに対処しようという構成主義学習論がある⁶⁾⁷⁾⁸⁾。理科学習における構成主義的見解では、Ausubel ら(1969)が述べた「学習を支配する最も重要な要因を学習者が現在もつ知識の、量、明瞭さ、および組織性とする。この現在の知識とは、学習者がいつでも使えるものとしてもっている、事実、概念、命題、理論および生の知覚的データより成り立っているが、この知識をその学習者の認知構造と呼ぶ」(吉田・松田訳, p.81)という考えを出発点にしている⁹⁾。例えば、放物運動学習での学習障害の原因として、「飛んでいる物体には進行方向の力が作用している」というアリストテレス的な力学観がある。このような考えは、学習者が学校で学習するよりも先に、学習者自身が日常生活の中からそれなりの根拠をもって学び、日常知を構成しているので、強く確信されている。一般にこのような考え方を素朴概念と呼んでいるが、多くの研究者は、この素朴概念こそが、理科学習の障害要因の中で最も強固に作用しているものであると考えている⁶⁾¹⁰⁾。その理由は、学習者の素朴概念へのコミットメントが強固であるため、学校での科学の体系に沿った伝統的な授業では、妥当な科学概念に容易には変容しないからである。学習者は、科学の体系に沿って学習した場合、その時は「なるほどそう考えるのか」という境地に一時的に至っても、「しかし、本当にそうかな。自分にはそう思えない」という心理的過程を経て、いったんは記憶の中に蓄えた科学的な考え方も、本人自身の心理的作用によって放棄されてしまう。このようなわけで素朴概念は、理科学習を進める上での学習障害の大きな要因となっている。

第1著者は、自身が開発したコンピュータ・ソフトウェア“parabola¹¹⁾”を用いて、指導者が、学習者のコンピュータ学習での操作を強く誘導するタイプの授業を行うのではなく、学習者にいくつかの課題を与え、学習者自身が発見学習的に課題解決を行っていくような授業を行い、素朴概念を妥当な科学概念へと有効に変容させる授業を試み続けてきたが、素朴概念の克服は難しく、高い学習効果は得られなかった。その理由の1つに、コンピュータ学習を、一連の放物運動学習において学習内容の整理として最後の授業に設定してきたことが考えられた。

今回は、本ソフトウェアを先行オーガナイザとして学習者に与えた場合に、高い学習効果が期待できるのではないかと仮定^{9) 12) 13)}のもとに実験群を設定した。

本研究では、コンピュータ・シミュレーションを授業で用いる場合、授業の中でどのように位置づけて用いることが効果的な学習につながるのかを明らかにすることをめざした。つまりコンピュータ・シミュレーションを先行オーガナイザとして用いる方が効果的なのか、一連の学習の後に学習内容の整理の場面に投入する方が効果的なのかを明らかにすることをめざした。

II. 方 法

1. 被験者と指導者

被験者は、K市の普通科高校の2年生で理科系の大学への進学を希望し、理科で物理を選択した者からなる2クラスの生徒計71人である。被験者は、所属するクラスにより、実験群（コンピュータを先行オーガナイザとして利用する群）として男子15人、女子12人の合計27人と、統制群（コンピュータを学習内容の整理に用いる群）として男子20人、女子24人の合計44人の二群に分けられた。また被験者は、高等学校に入学して以来本学習に至るまでの間にコンピュータを用いて学習をした経験はない。

事前テスト（付録参照）の71人全体での平均得点が2.1だったので、各群内で事前テストの成績が3点以上を成績上位群、2点以下を成績下位群としたところ、実験群上位群は9人（男子6人、女子3人）、実験群下位群は18人（男子9人、女子9人）、統制群上位群は12人（男子7人、女子5人）、統制群下位群は32人（男子13人、女子19人）となった。物理学学習の指導は、第1著者があたった。

2. 材料と装置

学習内容としては、高等学校物理IBの学習単元「放物運動」を用いた。実験群、統制群ともに、授業計画は全体で6時間（「1時間」は50分授業をさす）で構成し、そのうち2時間はコンピュータ学習をコンピュータールームで実施し、その他の4時間は教室でワークシートを用いて一斉授業を行った。コンピュータールームの収容人員数は44人で、コンピュータは学習者1人に1台を、プリンタは学習者2人に1台を割り当てた。使用したコンピュータは富士通FM-TOWNS32ビットマシンで、内蔵メモリは6メガバイト、ハードディスクの容量は120メガバイトであった。コンピュータ・ディスプレイに本ソフトウェアにより映し出された画面はモノクロームであった。コンピュータ・ソフトウェアは、前述の“parabola”を用い、コンピュータ学習を行う前に指導者がハードディスクにインストールしておいた。本ソフトウェアの機能は、次にあげるような内容を含む。

- (1) X座標の目盛り、Y座標の目盛りを生徒が数値入力することで空間の広がりやを自由に設定できる。
- (2) 斜方投射の初速度の大きさ、仰角、投射点の高度を自由に変えることができる。
- (3) 仰角を一定にして、初速度の大きさを変える場合、例えば初速度の大きさを徐々に大きくしていくと、投射物体の軌道は直線に近づくので、もし重力による落下がなければ、投射物体は初速度の向きに直線的に飛ぶことが、学習者に理解できる。
- (4) 初速度の大きさを一定にして、仰角を変える場合、同じ地点に落下する仰角が2つあり、

それらの仰角の和がちょうど 90° になることがわかる。

- (5) 上記(4)より、仰角 40° と 50° が同一地点に落下し、 41° と 49° が、同じく 42° と 48° が、そして 44° と 46° が、ついには 45° どうしが同じ地点に落下することがわかる。その結果、空気抵抗を無視する場合、仰角を 45° にしたとき一番遠くまで飛ぶことがわかる。
- (6) 実際の球技では、ゴルフのように地面から打つ競技もあるが、野球におけるバッターやテニスのサーバーの打ち方のように打点が地面よりも高い場合が多い。例えば打点の高さがある値にした場合、仰角を 45° よりも 44° や 43° にした方がより遠くまで飛ぶことがあることが本シミュレーション・ソフトウェアにより実感をともなう理解される。また、実際にそれぞれの競技では空気抵抗も考慮して、 $30\sim 40^\circ$ で投射するものが多いが、この事実を実感をともなう学習することができる。

またコンピュータ学習の際には、以下に示す5つの課題を与え、これらの課題解決を発見学習的に行うことができるように授業を計画した。

課題1：仰角を一定にし、初速度の大きさを変える場合について考察せよ。

課題2：初速度の大きさを一定にし、仰角を変える場合について考察せよ。

課題3：同じ地点に落下する2つの仰角のあいだの関係について考察せよ。

課題4：物体が最も遠くまで飛ぶ仰角について考察せよ。

課題5：地面から発射するのではなく、発射高度を与えた場合、物体が最も遠くまで飛ぶ仰角について考察せよ。

このソフトウェアを用いて行ったシミュレーションの出力結果の例を図1に示す。

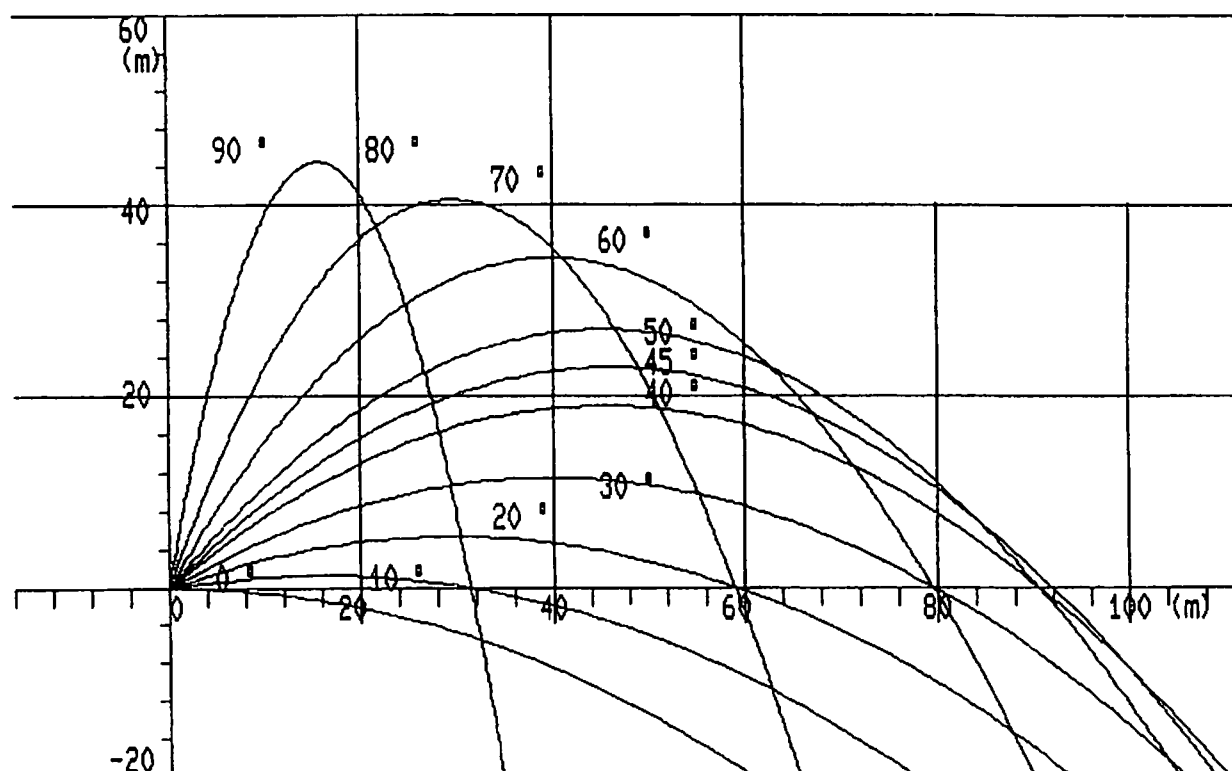


図1. 初速度を30m/sに固定し、仰角を変えた場合の出力結果

実験群、統制群ともに全6時間の授業のうちの4時間をワークシート（詳しくは、川村の報告¹¹⁾参照）を用いて行った。以下に、4時間の講義内容を示す。

「講義の1時間目」は、「水平投射」についての学習で、物体を水平に投げ出した場合に、それ以後その物体がどのような運動をするかについて学習した。具体的な学習内容の項目は次に示すとおりである。

- (1) 水平投射運動をさせた物体の軌道を作図する。
- (2) そのときどきの速度（大きさと向き）を作図する。
- (3) ホドグラフ（速度図）を作図する。
- (4) 変位・速度を数式を用いて考察する。
- (5) 軌道の式を求める。

「講義の2時間目」は、「斜方投射」についての学習で、物体にある仰角をもたせて投げ出した場合、それ以後その物体はどのような運動をするかについて学習した。具体的な学習内容の項目は上記の(1)~(5)と同様のものであった。

「講義の3時間目」は、同じく「斜方投射」についての学習であるが、モンキーハンティングという演示実験¹²⁾を取り入れて授業を行った。ここでの学習内容は次に示すとおりである。

- (1) 弾丸が猿に命中するまでに要する時間を求める。
- (2) その時の猿の位置を求める。
- (3) その時の弾丸の位置を求める。
- (4) 同時刻に、猿と弾丸が同じ位置にあることにより命中したと判断する。

「講義の4時間目」は、「斜方投射」について、斜方投射速度をさせた物体のふるまいについて数式を用いて理論的に考察をさせた。学習者が行う具体的な学習内容は次に示すとおりである。

- (1) 斜方投射中、最高点に達するまでの時間や水平到達距離について考察する。
- (2) 落下点に達するまでの時間や水平到達距離について考察する。またこのとき、水平到達距離を最大にする仰角を求める。
- (3) 同一落下点に達する仰角は2つあり、それらの仰角の和がちょうど 90° になることを証明する。

3. 手続

実験群・統制群での授業展開は表1に示す通りである。

実験群・統制群におけるコンピュータ学習による授業での学習者の活動は以下に述べる通りであった。まず、コンピュータールームに入室し、所定の座席に着席した。本体電源を入れ、Windows Ver.3.1を立ちあげ、「放物運動シミュレーション “parabola”」を起動した。メニュー画面が立ち上がった後に、学習者はプリンタの使い方の説明を口頭で受けた。それから本ソフトウェアの終了の仕方と、コンピュータの電源の落とし方についての注意と確認を行った。メニューでの操作事項を実行してから、シミュレーション学習に移った。このとき前述した「5つの課題」を与えた。

その後は、実験群・統制群ともども、これらの課題を発見学習的に解決するよう学習者に教示し、学習者の自主学習に委ねた。また、プリントアウトも適宜行ってよいものとした。

表1. 実験群・統制群における6時間分の授業展開

	実 験 群	統 制 群
第1時間目	事前テスト(10分) コンピュータ学習	事前テスト(10分) ワークシート「水平投射」
第2時間目	“parabola” (先行オーガナイザ)	ワークシート「斜方投射」
第3時間目	ワークシート「水平投射」	「斜方投射」 モンキーハンティングの実験
第4時間目	ワークシート「斜方投射」	「斜方投射」 数式での考察
第5時間目	「斜方投射」 モンキーハンティングの実験	コンピュータ学習 “parabola” (学習内容整理) 事後テスト(10分)
第6時間目	「斜方投射」数式での考察 事後テスト(10分)	

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4問を実施した。事後テストは、事前テストと同じ内容のアチーブメント問題4問を繰り返し実施した。アチーブメント問題の内容は、学習者が素朴概念を構成している可能性が高いと予想されるテーマを出題した。

4. コンピュータ・シミュレーションが先行オーガナイザを構成する条件

学習者が、指導者の誘導のもとにコンピュータ・シミュレーションを単に行っただけでは先行オーガナイザとしての機能を持つとはいえない。学習者が、自主的にコンピュータ・シミュレーションを遂行しながら与えられた課題解決を行う活動の中から、先行オーガナイザが構成されると考えられる。本研究では、実験群でも統制群でも発見学習的にコンピュータ・シミュレーションを遂行させた。統制群では、一連の講義による学習を終えてからコンピュータ・シミュレーションを用いた学習を行った。これに対して実験群は、一連の学習に先立ってコンピュータ・シミュレーションを用いた学習を行い、事前に与えた5つの課題の解決を行う中で、以下に示す3つの内容を発見学習的に学ぶことにより、先行オーガナイザを構成した。

- (1) 仰角を一定にし、初速度の大きさを変える場合、初速度が大きくなるにつれて、物体の軌道への重力による落下の影響は小さくなり、物体の軌道は直線に近づく。これは、もし重力が作用しなければ、物体は運動の第1法則に則って直線軌道をとるが、実際には重力が作用するので、放物軌道を描くことを意味する。
- (2) 初速度の大きさを一定にし、仰角を変えていくと、同じ地点に落下する2つの仰角がある。これら2つの仰角の間には、加えると90°になるという関係があり、このことから、物体が最も遠くまで飛ぶ仰角は45°になる。
- (3) 地面から発射するのではなく、発射高度を与えた場合には、45°で発射するよりもやや低い仰角で発射する方がより遠くまで飛ぶ。

実験群は、コンピュータ・シミュレーションを遂行する中で学習者が自主的に前述の5つの課題の解決を行い、体験的に学習を行ったので、このことにより先行オーガナイザを構成する条件を満たしている。

Ⅲ. 結 果

アチーブメント問題の各問各条件群ごとの正答率を表2に整理した。

表2. アチーブメント問題の各問各条件群ごとの正答率(%)

問	群	事前テスト	事後テスト
1	実験群 上位群	100.0	88.8
	実験群 下位群	50.0	77.8
	統制群 上位群	66.7	50.0
	統制群 下位群	34.4	50.0
2	実験群 上位群	77.8	100.0
	実験群 下位群	55.6	100.0
	統制群 上位群	100.0	91.7
	統制群 下位群	75.0	93.8
3	実験群 上位群	55.6	77.8
	実験群 下位群	22.2	50.0
	統制群 上位群	50.0	50.0
	統制群 下位群	18.8	53.1
4	実験群 上位群	100.0	66.7
	実験群 下位群	44.4	66.7
	統制群 上位群	100.0	66.7
	統制群 下位群	37.5	40.6
合 計	実験群 上位群	83.3	83.3
	実験群 下位群	43.1	73.6
	統制群 上位群	79.2	64.6
	統制群 下位群	41.4	59.4

まず、条件群別にアチーブメント問題の成績の結果について分析するため、測定した4問について1問1点で得点化して比較した。各条件群ごとに事前テスト、事後テストの結果を比較したものを図2に示した。

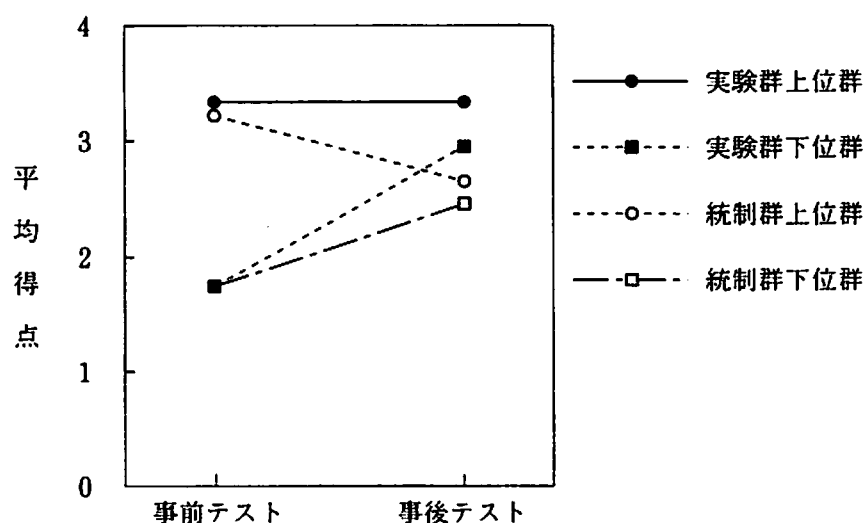


図2. 各群の事前・事後テストの平均得点

この結果について、群（実験、統制）×成績（上位、下位）×テスト時期（事前、事後）の1要因が繰り返しの3要因分散分析を行った結果を表3に示した。

表3. 図2についての分散分析表

変 動 源	SS	df	MS	F	
群	4.162	1	4.162	8.296	**
成 績	24.470	1	24.470	48.778	**
交 互 作 用	0.150	1	0.150	0.298	ns
誤 差	33.611	67	0.502		
テスト時期	3.240	1	3.240	6.732	*
群×テスト時期	2.112	1	2.112	4.389	*
成績×テスト時期	11.379	1	11.379	23.643	**
群×成績×テスト時期	0.014	1	0.014	0.030	ns
誤 差	32.247	67	0.481		

*;p<0.05, **;p<0.01

表3にみるように、群と成績の主効果ならびに成績×テスト時期の交互作用に1%水準で有意差が認められた。また、テスト時期および群×テスト時期に5%水準での有意差が認められた。そこで、群×テスト時期について単純主効果の検定を行い、その結果を表4に示した。

表4. 群×テスト時期についての単純主効果の検定

変 動 源	SS	df	MS	F	
事前テストにおける群差	0.770	1	0.770	1.601	ns
事後テストにおける群差	8.738	1	8.738	18.166	**
実験群におけるテスト時期	13.997	1	13.997	29.099	**
統制群におけるテスト時期	2.765	1	2.765	5.748	*
誤 差	32.247	67	0.481		

*;p<0.05, **;p<0.01

表4より、事前テストにおいては実験群と統制群の間に有意差が認められない。つまり実験授業前においては、実験群と統制群の間に成績の違いはなかったとみることができる。しかし、実験授業後は群の主効果に1%水準で有意差が認められ、かつ事後テストにおける群の単純主効果にも1%水準での有意差が認められたことと、実験群の平均得点の方が統制群の平均得点よりも高くなったことから、実験群の方が統制群よりも高い学習効果がみられたことがわかった。つまり全体としてはコンピュータ・シミュレーションを先行オーガナイザとして与えた実験群は、コンピュータ・シミュレーションを一連の学習の整理に用いた統制群よりも高い学習効果がみられた。

次に、成績×テスト時期について単純主効果の検定を行った結果を表5に示した。

表5. 成績×テスト時期についての単主純効果の検定

変 動 源	SS	df	MS	F	
事前テストにおける成績の差	51.917	1	51.917	107.935	**
事後テストにおける成績の差	2.323	1	2.323	4.830	*
成績上位群におけるテスト時期	2.323	1	2.323	4.830	*
成績下位群におけるテスト時期	17.280	1	17.280	35.925	**
誤 差	32.247	67	0.481		

*; $p < 0.05$, **; $p < 0.01$

表5より、成績の上位群にも下位群にもテスト時期による有意差が認められたことがわかる。成績上位群では、先行オーガナイザを与えた実験群は、平均得点が変わらなかったが、統制群では平均得点が下がったため、成績上位群にテスト間での有意差 ($p < 0.05$) がみられた。成績下位群では、先行オーガナイザとして与えた実験群も、統制群も、図2にみるようにテスト間に成績の上昇がみられた ($p < 0.01$)。群×成績×テスト時期の効果に有意差がみとめられなかったため、表2の結果をもとに下位検定を行わないが、事前テストから事後テストへの得点ののびについて1要因の分散分析を行ってみると、実験群上位群 ($F(1,8)=0.00$, ns)、実験群下位群 ($F(1,17)=30.25$, $p < 0.01$)、統制群上位群 ($F(1,11)=4.12$, ns)、統制群下位群 ($F(1,31)=20.94$, $p < 0.01$) であった。つまり、実験群・統制群とも、成績下位群には1%水準で成績の上昇がみられたが、実験群・統制群とも、成績上位群にはテスト間で成績の変化はみられなかった。したがって成績上位群の統制群で、平均得点が下がったと前述したが、統計的に有意に平均得点が下がったのではない。

以上を整理すると、コンピュータ・シミュレーションを先行オーガナイザとして授業に用いることは、全体として効果が認められた。詳しくみると、この効果は成績下位群において有効に寄与していたことがわかった。

IV. 考 察

アチーブメント問題の成績の結果を全体としてみると、図2にみられるように実験群の方が統制群よりも効果的に学習が進み、コンピュータ・シミュレーションを先行オーガナイザ的に利用する授業の有効性が示された。分散分析の結果から、この効果は成績上位群には実験群・統制群ともにみられなかったものの、成績下位群には有効に寄与したことが明らかになった。多鹿・川上(1988)では、小学校5年生の「花のつくり」の学習に先行オーガナイザの効果がみられるかどうかを調べている¹³⁾。彼らは、実験授業のあとの直後テストでは、「理科の成績の下位群においては、先行オーガナイザ有群の成績の方が先行オーガナイザ無群のそれよりも有意に高い傾向がみられた。上位群においては、先行オーガナイザ有無の条件群間に差はなかった」(p.34)と報告している。また、保持テストにおいても、この結果と同様の結果がみられたと報告している。今回の実験授業においても、先行オーガナイザの効果は成績の下位群において、有効であったといえる。

では先行オーガナイザが、どのように有効に寄与したかについて今回の実験における典型的

な例を用いて考察してみる。統制群においては、物体の飛距離が一番遠くなる仰角を学ぶ場合でも、数式を用いて、数式によって導かれた結果から、仰角が 45° のとき一番遠くまで飛ぶことを、コンピュータ学習で発見学習的学ぶのではなく、物理授業の講義の中で初めて知ることになり、数式展開が苦手の学習者にとっては苦しい授業となってしまう。しかしこれに対して、実験群ではコンピュータ・シミュレーションによって試行錯誤の後に体験的に仰角が 45° であることを学ぶことによって先行オーガナイザを構成し、仰角が 45° であることに対して実感や確信がともなっている。したがって、この体験の後に数式によって仰角を求める場合にも、見通しのたった数式展開ができ、無意味な数式学習と受けとめられずに、数式の持つ有意味さを実感していることがあげられる。

次に、事前および事後テストで用いたアチーブメント問題について各問ごとの考察を行ってみる。

1. アチーブメント問題1

本問は次の理由により設定した。第1著者の授業経験からも「重い物体ほど早く落ち、軽い物体ほど遠くまで飛ぶ」という学習者の素朴概念は強固で、自由落下、下方投射、上方投射の学習が終わった後の定期テストの問題として出題した場合でも、このように考えている学習者は毎年かなりいる。例えば、上方投射の問題において、質量が m の物体の落下方向の加速度の大きさ a を、 $a = mg$ とする例である。この場合、重力との書き間違いというケアレスミスも想定できるが、当該の生徒たちを呼びだし個別指導を行ったところ、彼らは、重力は mg (N) で、落下方向の加速度は mg (m/s^2) であると、単位で区別していたり、「重力は m (kg 重)としなければいけない」と中学校以来の重力単位系でとらえていたりした。前者の考え方を示す学習者の中には、「重力加速度を答えなさい」と単独で問うた場合には g (m/s^2) と答えられるものもいた。しかし質量の条件を提示して複雑な問題として質問すると、「質量が異なる物体は質量の大きさに応じて落下加速度が変わるので、その時の加速度は mg (m/s^2) である」と考えたわけである。

今回の実験授業の前には個別指導は行わず、本実験授業によって、この考え方を「斜方投射運動においては、空気抵抗を考えなくてよい場合は、質量に無関係に物体の加速度は、鉛直下方に g なので、飛距離は速度によってのみ決まる」という考え方に変容させることを目指した。なお被験者は、「速度」という用語を示された場合、「速度」を次のようにベクトルとして理解ができているものとした。つまり、「速度」はベクトル量であり大きさと向きを持つ。他方、「速さ」はスカラー量であり、大きさしかもたない。

実験群では、コンピュータ学習中に「斜方投射運動においては、空気抵抗を考えなくてよい場合は、質量に無関係に物体の加速度は、鉛直下方に g なので、飛距離は速度によってのみ決まる」という考え方を、指導者側から学習者側へ一度も積極的に与えていない。しかし、コンピュータ学習中に学習者から「いろいろな変数が自由に入力できるようになっているのに、質量を入力するところはないのですか?」という質問や「質量を変えてシミュレーションを行ってみたい」という要望が出た。これらの質問に対しては、「自由落下や上方投射のような投射運動のときに、質量が変わることによって、運動が変わったかな、どうだった」と問い返した。コンピュータ学習後に行う講義の中では、このことを強調するように授業を行った。

統制群では、「斜方投射運動においては、空気抵抗を考えなくてよい場合は、質量に無関係に物体の加速度は、鉛直下方に g なので、飛距離は速度によってのみ決まる」という考え方を、講義の中で強調しながら、投射運動の数式による説明を行った。その後、コンピュータ学習を行ったが、講義で説明をしたのにもかかわらず、実験群の場合と同様に「質量を変えてシミュレーションを行ってみたい」という要望や「質量を変えてシミュレーションを行う必要があるのではないですか」という質問が出された。これらの質問に対しては、「授業で強調したとおりですね」と返答した。

正答率について考察すると、統制群では、事後テストにおいても表2にみるように正答率が上位群・下位群とも50%と低く、今回の授業によってはあまり改善が進まなかった。一方実験群上位群は、最初から妥当な考え方をもっている者が多く、天井効果が生じたが、下位群では効果的に学習が行われた。

2. アチーブメント問題2

本問は次の理由により設定した。「投げ始めるときの角度は、少し高い目をねらった方が遠くまで飛ぶ」という考え方を学習者がしているのではないかと予想したからである。

実験群では、コンピュータ学習によって発見的に仰角が 45° であることが学習された（課題4）。その後、講義において数式を用いて仰角が 45° であることが学習された。統制群では、講義において仰角が 45° であることが学習された。その後、コンピュータ学習（課題4）を行った。コンピュータ学習では、課題解決の方法は発見学習的な形式をとっているとはいえ、既に学習者は講義で一度は「仰角は 45° である」ことを学んでいるので、講義において学習内容の理解が進んでいた学習者にとっては、課題解決の方法が発見学習的ではなかった。しかし、学習内容をまだ整理しきっていない学習者は、試行錯誤を繰り返しており、その課題解決の方法が発見学習的であることが確認できた。

実験群の事後テストでは、上位群・下位群ともに正答率は100%に高められた。同じく統制群下位群でも、正答率は93.8%にまで高められていた。

事前テストにおいて、「投げ始めるときの角度は、少し低い目をねらった方が遠くまで飛ぶ」という考え方をする学習者がいたが、彼らの数人に聞き取り調査を行ったところ、「そう考えた理由」は、例えば「ボールを打つとき、ライナーのような低い目の方がボールがのびるから」であった。

いずれにせよ、彼らは野球やソフトボールの実際の活動の中からこのような考え方を構成していたと思われる。

3. アチーブメント問題3

本問の設定は、学習者が問題2で回答したのと同じ考え方をして「ちょうど X （ここでは 45° ）で打つのがよい」という考え方をするのではないかと予想したからである。

本問に関する学習に相当するコンピュータ学習での課題は、課題5である。実験群でも、講義を受けた後の統制群でも、本問に関連する課題5の課題解決には、試行錯誤を繰り返していた。その意味で、両群とも本学習内容については、発見学習的に学んだといえる。

本問の正答率は問題1、問題2に比べると事後テストにおいても高いとはいえないが、概ね実験群上位群では約8割の正答率まで高められていた。また、各条件群の事前テストの正答率

の低さからみれば、実験群下位群でも統制群下位群でも学習効果がみられたといえる。

4. アチーブメント問題4

本問では、学習者に次のような2つの考え方があると予想した。「地球を1周してくるのだから、スピードは落ちているにちがいない」と考える学習者の場合は「2」を選び、「地球にそって物体は落下しているのだから、自由落下と同様に落下するにつれてスピードはどんどん増し、再び戻ってきたときには最初よりも速くなっているにちがいない」と考える学習者の場合は「1」を選ぶと予想した。

本問を解答するにあたって直接的に関連する、コンピュータ学習の課題は用意されていない。しかし、このコンピュータ学習および講義全体をとおして、重力加速度に対して垂直方向に速度をもって運動している場合、運動方向への外力の作用がないので、運動物体はその方向へ加速されないという概念構成ができた学習者には、学習効果が期待できる。

実験群上位群も統制群上位群も事前には正答していたが、本実験授業の後には両群ともとも正答率が約7割まで降下してしまった。実験群下位群には学習効果がみられたが、統制群下位群では学習が進まなかった。

物理IBでは、「等速円運動」や「万有引力」について学ばないことになっているため、学習者は「水平投射の際、初速度として第1宇宙速度を与えた場合、物体は途中で地面に落下することなく、地球を一周して戻ってくる」という感動的な内容についての学習をしないことになっている。第1宇宙速度とは、地球を完全な球体とみなした場合、地表面すれすれを周回し続ける人工衛星の速度で、約7.8km/sである。したがって、この速度を与えて水平投射をおこなうと、投射物体は地面に落ちることなく周り続けることになる。事後テストで本問に正答できなかった学習者にとって、このような考え方を学ぶことは、投射運動についての考えを深めるのに有効ではなかろうか。

以上各問題ごとの考察でみてきたように、実験群でも統制群でも、コンピュータ・シミュレーションを用いての学習はかなり発見学習的に行われた。実験群と統制群での条件の違いは、コンピュータ・シミュレーションの取り入れ方の違い、つまり先行オーガナイザとして利用するか、一連の学習内容の整理として利用するかにの違いである。この条件の違いによって学習効果に差が見られたことがわかった。以上のことから、本実験では、「コンピュータ・シミュレーションを先行オーガナイザとして用いた授業の方が、コンピュータ・シミュレーションを一連の授業の整理として利用するよりも全体として効果的である。この場合特に、先行オーガナイザは、成績上位群に対してよりも成績下位群に対して有効に機能する」という結論が導かれた。

文 献

- 1) 子安増生(1986)「教授・学習研究の動向——コンピュータ教育を中心に——」教育心理学年報, 第25集, pp.98-106.
- 2) 子安増生(1991)「コンピュータ教育」『児童心理学の進歩 1991年版』, pp.208-227.
- 3) 文部省(1989)「高等学校学習指導要領」大蔵省印刷局.
- 4) 産経新聞社会部編(1995)「理工教育を問う——テクノ立国が危ない——」新潮社.

- 5) 川村康文 (1996) 「高校生にみられる小・中学校時代の理科学習の実態と問題点」 物理教育, Vol.44, No.3, pp.340-343.
- 6) Osborne, R. & Freyberg, P. (1985) *Learning in science: The implications of children's science.* : Heinemann Publishers Ltd. (森本信也・堀哲夫訳 (1988) 『子ども達はいかに科学理論を構成するか——理科の学習論——』 東洋館出版社.)
- 7) Glynn, S., Yeany, R. & Britton, B. (1991) *The psychology of learning science.* Lawrence Erlbaum Associates, Inc. (武村重和監訳, 稲垣茂哲・中山迅・世波敏嗣・松原道男・吉田淳・中山玄三訳 (1993) 『理科学習の心理学』 東洋館出版社.)
- 8) 熊野善介 (1994) 「構成主義的立場に基づいたSTSアプローチの日本モデルの構築」 『日本理科教育学会第44回全国大会宮城大会要項』, p.151.
- 9) Ausubel, D.P. & Robinson, F.G. (1969) *School learning: An introduction to educational psychology.* Holt, Rinehart & Winston, Inc. (吉田章宏・松田彌生訳 (1984) 『教室学習の心理学』 黎明書房.)
- 10) 村山功 (1989) 「自然科学の理解」 鈴木宏昭・鈴木高士・村山功・杉本卓『教科理解の認知心理学』, 新曜社. pp.99-151.
- 11) 川村康文 (1986) 「コンピュータ実習実践報告および諸問題について」 京都教育大学附属高校研究紀要, 第39号, pp.139-183.
- 12) 川上昭吾・杉浦義徳 (1985) 「『3年花のつくり』における先行オーガナイザの効果に関する実証的研究」 日本理科教育学会研究紀要 Vol.25 No.3, pp.15-25.
- 13) 多鹿秀継・川上昭吾 (1988) 「理科教授における先行オーガナイザの効果 第2報——小学校第5学年, 花のつくりの学習において——」 日本理科教育学会, 研究紀要 Vol.29 No.1, pp.29-37.
- 14) 川村康文 (1994) 「エレガンス物理 Ver.2」 ルガール社.