

Development of Computer Graphics Based on Shifting Points of View in Science Learning

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/24770

理科学習における視点移動を重視した コンピュータグラフィックスに関する研究

松原 道男*

1 問題の所在

学校においてコンピュータの導入が盛んになっている今日、教育がコンピュータの利用を含めた情報科学の影響によって、大きな変革期を迎えているといえる。Disessaが指摘する⁽¹⁾ように、教育における情報科学の影響は、大きく次の3点をあげることができる。

- ①情報化社会や情報技術に関する知識の必要性……情報化社会に対応できる人間を育成するため、情報処理能力の育成やコンピュータの利用の仕方、情報化社会に関する一般的知識などが教育上必要になってきた。
- ②情報科学理論の教育への利用……情報科学や認知心理学の研究にともない、たとえば人工知能の開発などにみられるように、人間の知識、理解、思考、学習の解明やモデル化が進み、学習方法に大きな示唆を与えるようになってきた。
- ③情報技術の教育への利用……コンピュータの開発が進むことにより、学習にコンピュータを利用することができるようになってきた。

①は社会的要求、②は学習理論、③は学習手段としての教育への影響と考えられる。ここで問題になるのは、単に、学習手段としてコンピュータを用いれば、学習の効率化を図れるというような安易な考えで⁽²⁾、コンピュータが学習に導入されることである。特にコンピュータによ

っておもしろい表現ができるということで、学習に利用するのは、学習目的と方法を逆転した考え方である。このような場合におけるコンピュータソフト教材の開発は、内容がハードウェアによって制限されることになる。学習は、学習目的や学習者の認識に対応して考えるべきであり、教育機器等の性能によって制限されるべきものではない。

また、コンピュータ導入によって学習目的そのものが不明確になる場合がある。図1は、従来の教科の学習(A)にコンピュータを用いる場合(B)と、新しい教科としてコンピュータを用いる場合(C)について示したものである。「C」はこれまでの教科にない目的、たとえばコンピュータリテラシーやコンピュータによる情報処理能力、創造性を育成することなどがあげられる。「B」は、今までの教科の学習目的を達成するために、コンピュータを用いることが

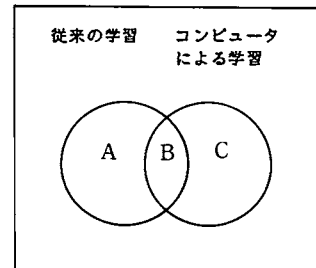


図1 従来の学習とコンピュータによる学習との関係

* 松原 道男 金沢大学教育学部

あげられる。しかし、コンピュータによる学習においては、この両者の区別が十分に行われていない場合が見られる。たとえば、理科の学習においては、子どもが自然を認識していくことが学習目的の重要な位置を占めるが、コンピュータを単に操作することで学習が終ったり、コンピュータの画像を理解するだけで学習が終る場合がみられる。これは「B」の学習が「C」の学習に置き換わってしまう例である。これらのことは、コンピュータ導入によって生じやすい学習目的に関する問題点である。

次に、学習にコンピュータを利用する場合、学習者の認識に対応した学習方法を考えることが必要である。学習者の認識については、②の研究によって明らかにされてきたことが、利用できるものと考えられる。コンピュータは、人間が利用しやすいように開発されてきたため、人間の認識研究との関係が大きい。コンピュータそのものが人間の思考表現に近付いてきており、言い換えれば人間にとっては自分の考えを投影しやすくなってきた。コンピュータを使用することによって、学習者は過去の学習を保存し、再び取り出すことによって、自分自身の思考プロセスを明白に確認することができる。⁽³⁾つまり、コンピュータによってメタ認知的効果を期待することができる。さらに、このことは教師側からすれば、学習者の認識過程を明らかにすることに利用できるものと考えられる。このように、認識理論に基づいたコンピュータの利用方法について考えていくことが、今後、必要であると思われる。

II 研究の目的

以上のことから、本研究においては理科学習の立場から、自然認識に基づいたコンピュータソフト教材の開発を行うとともに、そのソフト教材による学習を通して、学習者の自然認識過程を解明することを目的とした。特に、今回は物体の運動に関する教材をとりあげた。

III ソフト教材の開発

1. ソフト教材開発の視点

理科の学習においては、自然の事物・現象を抽象化し、自然科学の理論や法則を理解することが大きな目的の一つとしてあげられる。しかし、抽象化された知識をもっている、自然の事物・現象にあてはめて考えることができない場合が多い。⁽⁴⁾このことは、知識には外界の情報に対して敏感に作用するものとそうでないものがあり、知識をその人がどのように構造化しているかによるものと考えられる。⁽⁵⁾知識の構造化について Chi⁽⁶⁾は、物理教材を用いてエキスパートと素人の比較を行い、その構造の違いについて明らかにした。このことから、学習においては、適切な知識構造の形成や変換が必要になると考えられるが、それが容易に行われなことが指摘されている。⁽⁷⁾特に運動の認識について Clement⁽⁸⁾は、学習後においても学習者は、自然科学の理論や法則によって運動をとらえることが困難であることを明らかにしている。

知識構造の変換には、Rumelhart⁽⁹⁾のアナロジーによる変換や Reif⁽¹⁰⁾のメタ認知的方法を用いるものが考えられるが、運動については、上野⁽¹¹⁾が指摘するようにいろいろな視点から運動を捉えることにより、イメージ化を図る方法が考えられる。また、視点移動の重要性は、力についても中山⁽¹²⁾によって指摘されている。さらに、認識一般について、自分自身が対象になったつもりで視点を移動し、イメージ化を図ることの重要性が、佐伯⁽¹²⁾によって指摘されている。これらのことから、学習者にいろいろな視点から事物・現象を理解させ、イメージ化を図ることによって、適切な知識構造を形成することが期待できるのではないかと考えられる。そこで、本研究では、いろいろな視点から運動をみることができる教材を開発することにした。いろいろな視点から現象を見ることが、具体的には時間・空間的な制約を受け、困難な場合が多いことが考えられる。そこで、コンピュータに

よるグラフィックスを用いる方法が考えられる。また、コンピュータグラフィックスは、VTRのように一方的な情報伝達と違い、学習者側の必要とする情報をとり出すことができるという利点をもつ。

2. ソフト教材の内容

〔対象教材〕 以上のことから、本研究では、学習者がいろいろな視点から運動を見ることができグラフィックス教材を作成することにした。運動の中でも、特に回転系における相対運動についての内容を取りあげた。これについての内容は、中学校においては高気圧、低気圧の回転運動が関係しており、また、高校においては、地学におけるコリオリの力についての内容、物理における回転運動の内容が関係している。中学校では特に詳しく学習しないが、地球のように回転運動をしている系で見られる現象であり、そういう点では身近な現象である。さらに、学習が進むにつれて相対性理論とも関わりのある重要な内容であることから、本研究ではこの内容を取りあげることにした。

〔プログラミング言語〕 教材開発にあたってのプログラミング言語は、①3次元のグラフィックス作成が容易なこと、②視点移動が容易に行えること、③学習者のキー操作が簡単に行えることの3点を考慮し、この条件を満たすものとして3D-LOGOを用いることとした。⁽¹³⁾

〔ハードウェア〕 教材作成に使用したハードウェアは、NECのPC9801-VX21である。

〔教材の内容〕 グラフィックスの基本型は、図2に示すように円盤をその真上から見た状態になっている。円盤には同心円状の円をいくつか示すとともに、円盤の中心より放射線状に線を引くことによって座標を構成し、円盤上での物体の運動をとらえやすいようにした。そして、この円盤の中心にタートル1を位置づけ、また、円盤の端にタートル2を位置づけ、お互いに向かい合うようにした。さらに、ボールの中心が円盤の中心にくるように、タートル1がボール

を持つようにした。グラフィックスは、このような3次元空間を基本型とした。

ソフトを実行すると、円盤は時計と反対方向に等角速度で回転運動を始める。そして、ディスプレイの左右に見える矢印の線上に、タートル1とタートル2がくると、タートル1からタートル2に向かってボールを投げるようになっている。また、簡単なキー操作によって、視点をタートル1、タートル2、ボールに変えて、この運動を見ることができるようになっている。ボール投射後におけるそれぞれの視点から見えるグラフィックスは、図3から図5に示す通りである。

さらに、タートル1はタートル2の方向に向いたまま、「↑」「↓」のキーによって、連続的に前後に移動させることができる(図2)。そして、タートル1を任意の位置に設定し、同じく各視点からボールの運動を見ることができるようになっている。円盤の中心以外からボールを投げたときは、投げる瞬間の回転の速度が加わることから、ボールの進む方向が矢印からずれることになる(図6)。このことによって、回転系は慣性系と異なっていることの認識が図れるようにした。また、円盤の真上から見

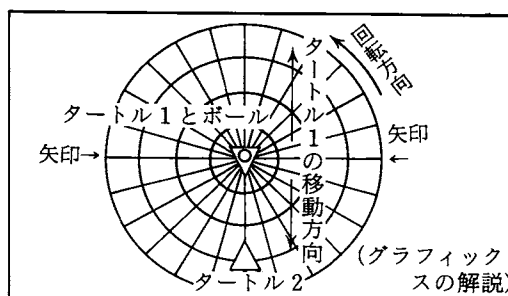
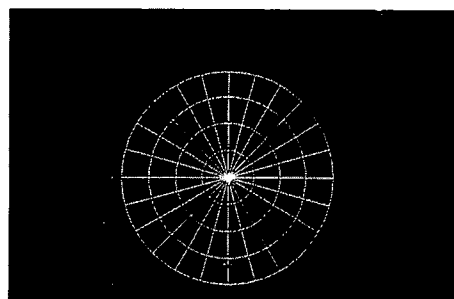


図2 グラフィックスの基本構成

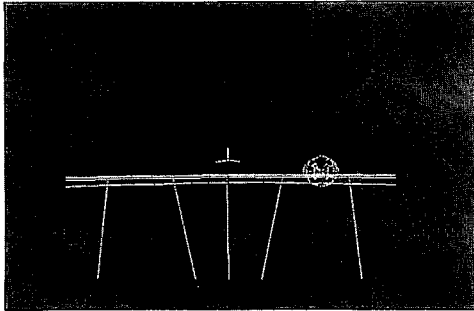


図3 タートル1から見たグラフィックス

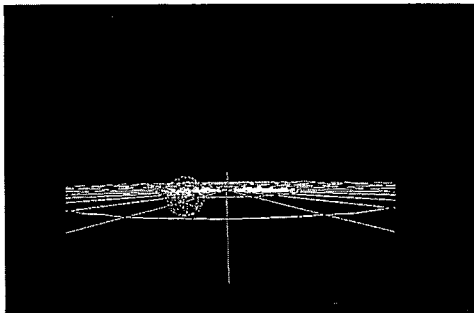


図4 タートル2から見たグラフィックス

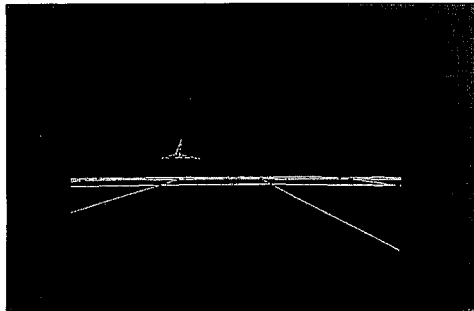


図5 ボールから見たグラフィックス

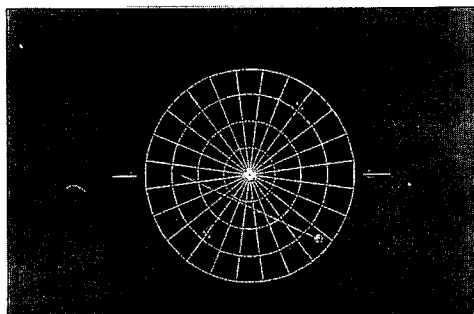


図6 円盤の中心以外からボールを投げた場合のグラフィックス

た時には、投げ出されたボールの運動方向にそって線を引くことによって、ボールの運動方向を学習者に理解しやすいようにした(図6)。

〔教材による学習方法〕学習者は、まず、「タートル1の位置を↑↓のキーを使って設定して下さい」というディスプレイの表示に従って、タートル1の設定を行う。設定後、スペースキーを押し、「どの視点でみますか？(円盤の真上：0、タートル1：1、タートル2：2、ボール：3)」というディスプレイの表示に従って、見ようとする視点の数字を入力すると円盤は回転し始める。初めは、円盤の真上の視点になっているが、ボールを投げると同時に設定した視点に自動的に切り替わるようになっている。また、ボールの視点については、ボールの進行方向に向くようにしてある。ボールは、円盤上の端まで進むと止まり、学習者は、これらのことを繰り返し何度も行えるようになっている。

IV ソフト教材による学習効果の調査

1. 調査方法

開発したソフトの有効性と学習者の運動の認識について明らかにするため、次のような調査を行った。

〔調査対象〕金沢大学教育学部女子3年生5人、4年生3人、大学院生2人、計10人を調査対象とした。全員、物理以外の理科を特に専攻している。また、コンピュータについては、特に利用を行っている学生ではない。

〔調査年月〕昭和63年3月に実施した。

〔調査方法〕まず、学習者の先行知識を明らかにするとともに、学習者に問題意識をもたせるために、図7に示した問1から問3の問題の解答を行わせた。問1から問3は、A1、A2、A3が、それぞれBに向かってボールを投げた時の運動に関するものである。A1は円盤の中心に位置しており、3問のいずれも(1)円盤の真上の視点、(2)A1、A2、A3のそれぞれの視点、(3)Bの視点、からボールの運動がどのように見えるかを解答させるものである。

なお、問2については、円盤の回転速度とボールを投げる速さによって見え方が異なってくるが、考え方を明らかにすることを目的として、この問題を行うことにした。

解答後、コンピュータの簡単なキー操作とグラフィックス教材の内容について、学習者に説明を行った。学習者が十分に納得した後、実際にタートル1の位置を自由に設定させ、自由な視点からの運動を観察させた。これらのことは、学習者に必要なだけ繰り返し行わせた。その際、試行ごとに運動の見え方について予想を立てさせた。

次に、学習終了後、学習効果をみるため、もう一度問1から問3の問題を解答させた。さらに、教材を評価するため、グラフィックスでわかりやすかった点と改善してほしい点について指摘させた。最後に、このグラフィックスで示した現象について、まだ理解できない点について指摘させた。

これらの調査は一人ひとり個別に行い、学習者のプロトコル等はVTRに収録し、分析を行った。

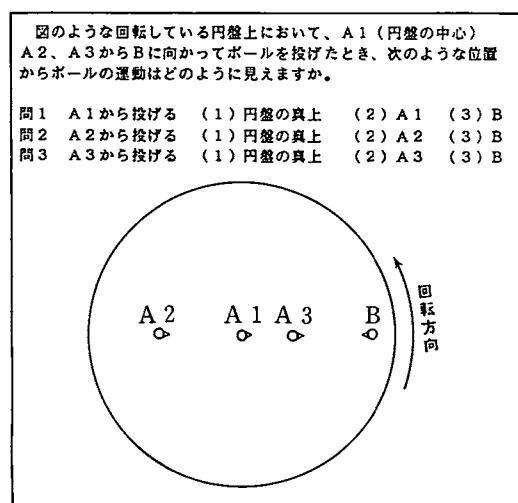


図7 先行知識に関する調査問題

2. 問1から問3の解答結果および考察

問1から問3の解答に対し、まず、各問の(1)の円盤の真上の視点から見た運動について、正答しているかどうかを分析した。ここで誤答している学習者は、(2)、(3)の解答も正しくないことになるが、(2)、(3)の解答については、(1)の解答に対して視点移動が適切に行われているかどうかについて分析を行うことにした。すなわち、(1)の正誤に関係なく、(1)の答の場合(2)の答のように見えるかどうか、また、(2)の答の場合(3)のように見えるかどうかの分析を行った。

まず、問1に対する学習者の解答結果を示したのが表1である。この表1の(1)の解答結果より、中心からボールを投げると、ボールはまっすぐに進むと正答した学習者は5人であった。誤った学習者の解答は、回転方向に曲がるとしている。つまり、円盤の真上から見た場合、回転の影響を受けるという学習者が半数いることになる。次に、この(1)の正誤に関係なく、答が(1)の場合、(2)の視点移動が正しいかどうかを同じく表1に示した。その結果、視点移動を誤っている学習者は4人であった。また、同じく(2)から(3)への視点移動を誤っている学習者は4人であった。このことから、(1)と(2)、(2)と(3)の少なくとも1つは、視点移動を誤っている学習者は5人であった。なお、解答が全て正しかった学習者は1人であった。

次に、問2に対する学習者の解答結果を示したのが表2である。表2の(1)の解答結果より、ボールの投射時の回転運動を考慮して正答している学習者は1人であった。投射後も回転の影響を受け左に曲がると考えたり、右や左に連続して曲がると考えたりして誤る学習者が5人、投射時の回転の影響を考えずまっすぐに進むとして誤る学習者が4人であった。(2)、(3)の見え方は、円盤の回転速度とボールの投射速度によって変わるが、そのことを考慮して(1)の解答に対して、(2)の視点移動を誤っている

学習者は6人であった。また、(2)から(3)への視点移動を誤っている学習者は4人であった。このことから、(1)と(2)、(2)と(3)の少なくとも1つは、視点移動を誤っている学習者は8人であった。

次に、問3に対する学習者の解答結果を示したのが表3である。表3の(1)の解答結果より、

表1 問1の解答結果

S: 真上からみて「→」の方向に進む F: まっすぐに進んで見える
 T: 真上からみて「↗」の方向に進む R: 右に曲がって見える
 U: 真上からみて「↘」の方向に進む L: 左に曲がって見える

問1 学習者	(1)	(2)	(3)	(1)の 正誤	(1)から(2)へ の視点移動	(2)から(3)へ の視点移動
①	T	F	F	×	○	○
②	S	F	L	○	×	×
③	S	L	F	○	×	×
④	S	L	R	○	×	○
⑤	S	F	L	○	×	×
⑥	T	R	L	×	○	○
⑦	S	R	L	×	○	○
⑧	T	L	F	×	○	×
⑨	T	F	F	×	○	○
⑩	T	F	F	×	○	○

表2 問2の解答結果(記号の意味は表1と同じ)

問2 学習者	(1)	(2)	(3)	(1)の 正誤	(1)から(2)へ の視点移動	(2)から(3)へ の視点移動
①	UT*	F	F	×	○	○
②	TU	LR	F	×	○	×
③	S	RL	F	×	×	×
④	S	F	F	×	×	○
⑤	R	?	L	○	×	×
⑥	TUT	LRL	RLR	×	○	○
⑦	S	F, L*	F, L	×	×	×
⑧	S	L	R	×	○	×
⑨	T	F	F	×	×	○
⑩	T	F	F	×	×	○

* 連続している記号は、記号に示された順序で運動が変化することを示す。
 ** カンマで区切られている記号は、場合によって、記号で示された運動のいずれかになることを示す。

表3 問3の解答結果

(記号の意味は表1、表2と同じ、「?」は解答不能)

問3 学習者	(1)	(2)	(3)	(1)の 正誤	(1)から(2)へ の視点移動	(2)から(3)へ の視点移動
①	T	F	F	○	○	○
②	S	R	L	×	○	○
③	S	F	F	×	×	○
④	S	L	R	×	×	○
⑤	T	?	?	○	×	×
⑥	T	F	L	○	○	×
⑦	S	F, R	L	×	×	×
⑧	S	L	F	×	×	×
⑨	T	F	F	○	○	○
⑩	T	F	F	○	○	○

正答している学習者は5人であった。しかし、正答は、円盤の回転方向と一致するため、問1、問2の結果も考慮すると、投射後にも回転方向に影響を受けると考えている学習者が多いのではないかと考えられる。次に、(1)の解答に対して(2)の視点移動を誤っている学習者は5人であった。また、(2)から(3)への視点移動を誤っている学習者は4人であった。このことから、(1)と(2)、(2)と(3)の少なくとも1つは、視点移動を誤っている学習者は6人であった。

以上の結果から、学習者は、円盤の外から見た場合、ボールを投げた後においても円盤の回転にともなって、円盤の回転方向に何等かの運動の影響を受けると考える場合が多いといえる。また、円盤上の各位置において、ボールを投げる瞬間における回転の影響について、理解ができていない学習者が多いと考えられる。さらに、回転系の運動に対して、いろいろな視点で見るといった視点移動の能力が、不十分であると考えられる。佐伯⁽¹⁴⁾などが指摘するように、視点移動は対象に依存していることが考えられる。そのため、他の事象では可能であっても、このような回転系の運動においては、視点移動が学習者にとって困難になると考えられる。

3. ソフト教材による学習結果および考察

10人の学習者について、タイトル1をどの位置に設定し、どの視点で観察したかを表4に示した。なお、タイトルの位置と視点は、表4の下に示した数字で表している。特にタイトルの位置については、この数字の位置に最も近いものを示した。この表4の結果より、学習者の試行回数は、4回から25回と学習者によって幅があり、学習に個人差がみられると考えられる。位置と視点について、それぞれ前の試行と同じ位置や視点で行った場合を枠で囲んだ。このことから、位置あるいは視点のどちらかを定めて、他の一つを変化させている場合が多く、学習者は、条件を設定しながら試行を行っていると考えられる。その中には、学習者②③⑥⑧⑨のよ

うに、タートルの位置を固定して視点をいろいろ変えていく学習者が多いが、学習者⑦のように視点を固定してタートルの位置を変えるという学習者もみられる。

の運動についても、観察している学習者は7人であり、いろいろな視点から観察していることがわかる。また、中心以外からボールを投げた場合、矢印からずれる角度について調べようとした学習者は、プロトコルの分

問1から問3にはなかったボールの視点から

表4 ソフトによる学習状況 (P: タートルの位置 V: タートルの視点)

学習者 試行回数	① PV	② PV	③ PV	④ PV	⑤ PV	⑥ PV	⑦ PV	⑧ PV	⑨ PV	⑩ PV
1	0 0	0 0	0 0	3 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
2	0 0	0 1	0 1	4 0	2 0	0 1	2 0	0 1	0 2	-2 1
3	2 0	0 2	0 2	2 1	-1 0	0 2	-1 0	0 2	0 1	2 2
4	-1 0	0 2	2 0	3 2	-2 0	2 0	0 1	0 3	2 0	-2 0
5	-2 0	0 3	2 3	3 3	0 1	2 1	0 2	0 3	2 3	
6	-1 0	0 3	2 1	0 0	0 2	0 1	2 0	2 0	-1 0	
7	4 0	0 1	2 1	-2 0	2 1	2 2	3 0	2 0		
8	0 1	0 3	2 2	0 1	2 2	-2 0	2 1	2 1		
9	0 1	3 0	2 0	2 1	-1 1	-2 1	3 1	2 2		
10	0 2	3 0	-1 0	0 2	-2 1	-2 2	2 2	-1 0		
11	0 2	3 1	-1 3	0 3	-1 2	2 0	3 2	-1 1		
12	0 3	3 0	-1 1	-2 2	-2 2	-2 0	2 2	-1 2		
13	0 3	3 2	-1 2	-1 3	-2 1	-2 0	1 2	-1 3		
14	2 3	3 3	0 1				0 2	-1 3		
15	2 1	1 0					-1 2	2 3		
16	2 2	-1 0					-2 2			
17	-2 1	-2 0					-1 1			
18	-1 0	-1 1					2 1			
19	-1 2	-1 2					0 3			
20	-1 3	-1 3					3 3			
21	0 0	1 0					1 3			
22	0 3	4 0					-1 3			
23							-2 3			
24							-1 0			
25							-2 0			

タートルの位置の番号	タートルの視点の番号
	<p>0 : 円盤の真上 1 : タートル1 2 : タートル2 3 : ボール</p>

析から、学習者①②⑤⑦の4人であった。このことから、観察された現象を数量化していこうとする学習者がいることがわかった。

一方、円盤の真上の視点から見た場合、その他の視点から見た運動を予測することができると考えられるが、試行ごとに予測させたプロトコルの分析からは、そういう考えはあまりみられなかった。また、タートル1とタートル2は、逆に見えるだけであるという考え方もあまりみられなかった。このことから、学習者はいろいろな視点から運動を観察しても、それぞれの視点を合わせ総合的に運動をとらえていないのではないかと考えられる。

4. 学習後のテスト結果および考察

学習後に、問1から問3についても再度解答を行わせた結果、正答した人数は表5に示す通りである。この結果から、ほとんどの学習者がソフト教材を使用して、正しい答を得ることができたと考えられる。しかし、解答時におけるプロトコルを分析すると、グラフィックスを見たときには理解できたが、解答時にそれを思い出すことが困難な場合が多いようであった(学習者①②⑤⑦⑧⑨)。このことは、ソフト教材を通して、個々の視点からの運動はとらえることができるようになって、各視点を関係づけ総合化することができず、それぞれの視点から見たグラフィックスを個々に記憶しているからではないかと考えられる。つまり、個々の現象を個別に記憶するため、記憶に負担がかかり、思い出すことが困難になるのではないかと考えられる。

表5 学習後における問1から
問3の正答者数(単位:人)

問1			問2			問3		
(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
7	9	10	10	10	10	9	10	10

5. 学習後のインタビューの結果および考察

グラフィックスについてわかりやすかった点について、特に指摘の多かったのは、次の内容

である。

- ・円盤の真上から見た場合、ボールの運動方向に線が引かれ、ボールの運動方向がわかりやすい(6人)。

- ・円盤に線が引いてあるので、ボールの運動がわかりやすい(4人)。

- ・いろいろな視点から見ることができてわかりやすい(4人)。

次に、グラフィックスの改善点について、特に多かったのは、次の内容である。

- ・円盤が回転を始めてから、ボールを投げるまでの時間を早くしてほしい(4人)。

- ・ボールからみた場合の動きが、ゆっくりになるようにしてほしい(3人)。

- ・ボールの形をもっとわかりやすくしてほしい(3人)。

なお、これらの内容は、プログラム上、改善の可能なものであった。

最後に、現象についてまだ十分に理解ができなかった点についての指摘は、次のようなものである。

- ・ボールが中心以外だとまっすぐに進まない原因(6人)。

- ・ボールの見え方はわかったような気はするが、実感がわからない(2人)。

この結果から、グラフィックスそのものからは、ボールが円盤の中心以外だと矢印の方へまっすぐに進まない原因の解明は、困難であったと考えられる。今回のグラフィックスでは、円盤の回転速度やボールの投げる速さは示さなかったため、どのくらいの角度曲がるのか、円盤上の線を観察する学習者が多かった。このことから、現象を数量化し、法則化しやすいうに工夫を行うことが必要であると考えられる。

V まとめおよび今後の課題

本研究においては、理科学習の立場から、物体の運動を認識するためのコンピュータソフト教材の開発とともに、運動に関する認識の解明

を行うことを研究の目的とした。今回作成した教材においては、学習者がいろいろな視点から物体の運動を観察できるように工夫を行った。その結果、個人差があるものの、学習者は条件を設定しながら主体的に学習を行い、各視点からの運動をとらえることができた。一方、各視点からとらえた運動を関係づけ総合化していくことは困難であった。そのため、今後、視点を総合化できるような工夫、たとえば、ウィンドウ機能等によって、一度にいろいろな視点からみたグラフィックスを提示し、学習者が各視点を比較しやすいようにすることなどが考えられる。

また、グラフィックスの内容を抽象化し、数量化しやすいようにしていくことが必要である。そのため、数量的な内容をグラフィックスに含めていくことなどが、今後の課題としてあげられる。

引用・参考文献

- (1) Disessa, A.A., The third revolution in computers and education, *Journal of Research in Science Teaching*, 24(4), pp.343-367, 1987.
- (2) 三宅なほみ、教室にマイコンをもちこむ前に、新躍社、1986。
- (3) Reif, F., Instructional design, cognition, and technology : applications to the teaching of scientific concepts, *Journal of Research in Science Teaching*, 24(4), pp.309-324, 1987.
- (4) 松原道男、理科問題解決における学習者の

手続きの知識と宣言的知識、中国四国教育学会教育学研究紀要、pp.296-301, 1988。

(5) 安西祐一郎、知識と表象、産業図書、pp.164-165、1986。

(6) Chi, M.H.T., Feltich, P.J. and Glaser, R., Categorization and representation of physics problem by experts and novices, *Cognitive Science*, 5, pp.121-152, 1981.

(7) Clement, J., A conceptual model discussed by Galileo and used intuitively by physics students, In Gentner, D. & Stevens, A.L. (Ed.), *Mental Models*, Lawrence Erlbaum Associates, pp.325-340., 1982.

(8) Rumelhart, D.E. & Norman, D.A., Analogical processes in learning. In Anderson, J. R. (Ed), *Cognitive Skills and Their Acquisition of Knowledge*, Lawrence Erlbaum Associate, pp.335-359, 1981.

(9) op cit., (3)

(10) 上野直樹、視点のしくみ、宮崎清孝、上野直樹、視点、東京大学出版会、pp.87-99、1985。

(11) 中山迅、学習者の力の理解に関する研究(3)、日本理科教育学会第37回全国大会発表資料、1987。

(12) 佐伯胖、イメージ化における知識と学習、東洋館、pp.15-32、1978。

(13) 安藤雅夫、石原敏秀、森幸男、視点移動を重視した理科CAI教材とLOGOの利用、日本科学教育学会年会論文集11、pp.71-72、1987。

(14) 佐伯胖、学力と思考、第一法規、pp.76-81、1982。