

中学生及び高校生の力学概念の理解 に関する基礎的研究

放物運動の物体に働く力を事例にして

Basic Research on Understanding of the Concept of Dynamics
by Students in Lower and Upper Secondary Schools:
A Case Study of the Force on an Object in Parabolic Motion

中島 雅子*, 堀 哲夫**
Masako NAKAJIMA, Tetsuo HORI

要約:本研究は、主として高校生の力学概念形成における授業構成のありかたを検討する手がかりを得るために、独自に開発した調査問題を使って中学生・高校生を対象に物体の放物運動について調査・分析を行った。調査の結果、次の三点が明らかになった。

- (1) 生徒が使用する用語の混同に関しては、「速度」・「加速度」と「力」の区別が明確でない、「慣性」と「慣性力」の区別が明確でないことが明らかになった。
- (2) 力の働く向きに関わって、最高点という位置に依存した不適切な考えがみられる。
- (3) 教科書の内容構成から起因すると判断される不適切な考えに関しては、「速度」から「力」へという内容構成の順序性に関する問題点が存在する、「力」を最初に学習しないことによって生じる問題点が存在することが明らかになった。

これらはいずれも、力学概念の形成のために授業構成において当然考慮しなければならない重要な視点であると考えられる。

キーワード: 力学概念, 概念形成, 素朴概念, 理科学習, 科学的概念

はじめに

力と運動に関する子ども達のいろいろな考え方に関する研究は、これまでも数多く行われてきた¹⁾。その中に子ども達の「力」の概念形成に関しては、直感的な感覚に縛られており、それが科学的な考え方の学習の妨げになっているという研究報告がある²⁾。目に見えない「力」の概念を子ども達はどのように構成していくのだろうか、本稿ではその概念形成について検討してみたい。

そのために、中学生及び高校生が持っている「力」の概念について調査を行う。こうした調査はいままでも行われてきた。例えば、ボールを真上に投げたときの運動を扱った

* 山梨県立中央高等学校

** 理科教育講座

調査問題³⁾があげられる。

ここでは、物体の放物運動について調査することにする。同じ斜方投射物体に働く力に関する調査に関してはすでに行われたものはあるが⁴⁾、回答する際に選択肢を選ばせるに止まっており、選択理由を明記させる形にはなっていない。したがって、力に関係している用語などの不適切な使い方などは明らかにされていない。また、この中に出てくる選択肢も今回行った調査問題の予備調査では全く出てこなかったものが含まれている。

放物運動は、中学校では直接扱われていないが、高校教科書の「速度・加速度」の単元で落下運動の一つとして登場している。しかし、直接「力」と結びつけて考えることはあまり行われていない。したがって、放物運動に関しての「力」の概念について、高校生には科学的概念として形成されていないのではないかと考えられる。これが調査をおこなうきっかけである。

今回は放物運動の中でも斜方投射を事例として、高校生の持っている「力」の概念を中心に調査し、その認識状態を把握し、問題点を明確にしたい。ただ、あくまで高校生を中心とするのであるが、中学生に同一の内容がどれほど認識されているのかあわせて調査を行った。これまで、力学概念は高校生でもかなり難しいと言われてきているが、中学の教科書の中にも本研究で調査しようとしている力、すなわち重力についてはっきりと明記されており、そのため中学生に対して実施する意味もあると考えたのである。

・研究の目的

- (1) ボールの斜方投射を事例に、「力」に関する中学生及び高校生の認識状態を調査する。なお中学生は力学分野の「学習前」と「学習後」に調査を行う。
- (2) 調査結果をもとに、問題点を明確にし、力学概念の授業構成のあり方を検討する。

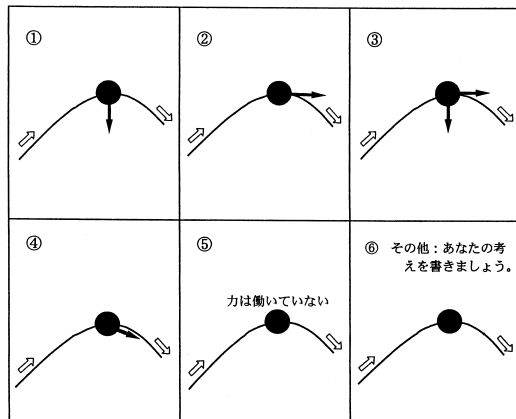
・調査の方法

(1) 図1に示した調査問題を中学生及び高校生に実施する。その際、問題の選択肢は教師が考えたものではなく、生徒の中から出てきた回答をもとにして類型化した。しかし、それが全てではない場合も考えられるので、「その他」も設けた。また、選択肢は適切であっても選択理由が不適切な場合も考えられるので、選択理由も同時に書かせた。この調査問題の中には空気抵抗に関する記述がないが、調査対象に中学生も含まれているので混乱を避けるため、

これはテストではありませんから、あなたの思っているとおりに書いて下さい。

2年 2組 番号24 名前 _____ (男)女

(問題) ボールを投げたら図のように(⇐)飛びました。今、ボールが黒丸(●)の位置にあるとき、ボールに働く力(⇒)は①～⑥のうちどれでしょう。次の①～⑥の中から、あなたがもっともよいと考えるもの一つえらびましょう。①～⑥にないときは、⑥にあなたの考えを書きましょう。



答 え	えらんだわけを書きましょう。
③	重力の力と投げるのに加えた力だから。

図1 力の働く向きを調べる調査問題と回答例

あえて記述しなかった。もし高校生の中に空気抵抗まで含めて考えた生徒がいたとしても、選択理由の中にそれを記述してくるだろうと考えたのである。

実施期日及び対象は1998年9月下旬～10月下旬、県内の県立K高校1,2,3年生333人及び山梨県甲府市立N中学校125人である。

(2)(1)の結果を分析し、考察を加える。

・調査の結果

1. 中学生の結果

中学校では当該内容を直接履修する内容とはなっていないため、たとえ力の内容を学習後といえども適切な回答は少ない。中学生の学習内容は「運動と力」及び「エネルギー」であった。ただし、物体の斜方投射については直接学習していない。それにもかかわらず、学習前後に適切な回答をしている2%の生徒については特筆すべきであろう。

中学生の中でもっとも多い不適切な回答は選択肢の である。これは学習前・後で中学生の半数以上を占めている。

2. 高校生の結果

(1) 履修済・未履修別の選択率

履修済・未履修（履修済みとは高校で物理を履修した者を指し、未履修とは高校で物理を履修していない者を指す。以下同様）別の選択率を図2に示す。適切な回答である の選択肢を選んだ割合だけから判断すると、その割合が14%から27%に増えていることから学習効果はあるようである。

(2) 選択肢別選択理由

適切な回答である を選択した理由を表2にまとめた。表2より、選択肢 を選んだ者の中で妥当と思われる選択理由を答えている生徒の割合は78.1%である。 を選択している生徒は、かなりの割合で理解していると考えてよいだろう。

表1 斜方投射物体の力の働きに関する中学生の回答(N=125)

回答類型	選択肢	人数(人)	割合(%)
適 適		2	2
		3	5
適 不		2	
		1	
不 適		9	11
		3	
		2	
不 不		55	44
		10	8
		8	6
		7	6
		7	6
		5	4
		4	3
		4	3
		1	2
		1	
		1	
		125人	100%

(注)「適」は適切な回答を、「不」は不適切な回答をそれぞれ示している。「」は学習前後の変容を表している。

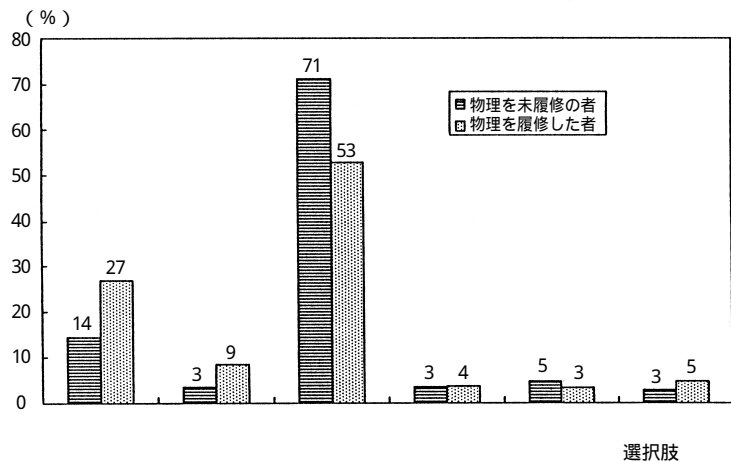


図2 高校生調査結果(N=333)

表2 の選択理由一覧(人)

回 答 理 由	未履修	履修済み
1. 重力が働く	18	39
2. 真下に重力が働き, 真横に加速度がかかる。	1	
3. 働く力は上にあがるように力がでるから。	1	
4. 空欄	1	1
5. ボールには初速度と重力が働く。初速度が0になったとき頂点にたつする。		1
6. 最高点だから速度も0になるため重力の他に働いていないから。		6
7. ボールに働く力は重力と加速度。頂点なので加速度は働いていないか		2
8. 横方向は等速直線運動, 上方向は頂点なので力は働いていない。		1
9. 頂点なので重力の向心力のみはたらく。		1
10. 最高点に達しているとき一瞬ボールは静止するから, そのとき重力が働く。		1
合 計	21	52

(注)「 」は, 該当者がいないことを示している。

しかし, 不適切な選択肢を選んだ生徒の選択理由の特徴を調べてみると, いくつかの特有な考えのパターンが浮かんでくる。これは を選択しながら不適切な選択理由を記述している生徒にも共通してみられる特徴である。その中で, 「速度」, 「加速度」, 「最高点」, 「慣性」, 「慣性力」という五つの用語及び力の働く向きを中心にして検討してみたい。

この五つの用語に着目したのは, その用語の使用に伴って典型的な不適切な考えが表現されているからである。

・考 察

1. 中学生の結果に対する考察

まず, 調査を実施したときの生徒の様子をみると, 調査を依頼した先生の話によれば, 学習前の調査の時は余り深く考えなかったのか, 短時間で答えを出さず生徒が多く見られた。しかし, 物体の運動についての学習をしてから調査を行ったときには, なかなか答えを出さず, よく考えてから答えを出そうとしていた生徒がほとんどであった。適切な回答をした生徒の中には, 「一日考えさせてください」と言って結局2日間考えてきた生徒もあり, このことからこの調査問題の意味は, 大いにあるのではないだろうかと考えられる。

中学校では放物運動については教科書で触れていない。中学校教科書における「重力」についての記述は以下の通りである。

「地球上のすべての物体には, 地球がその中心に向かって引っ張る力がはたらいている。この力を重力という。重力は離れている物体にもはたらく力である。」

(T社, p. 39, 平成9年度版)

上記のような記述があるだけで, 具体的な図などはない。このような内容だけしか学習しないで今回の調査問題において妥当な選択肢を選ぶのは難しいと思われる。しかし, 表1より「重力」を意識している生徒はかなり多く見られる。それは, 表1の学習前後において選択肢 を選んだ者が多いことである。選択肢 は不適切な考えなのであるが, 「 」が含まれていることから, 「重力」を意識していると判断されるのである。

このことから、もう少しいろいろな場面における「力の働き」についても学習内容として設定したほうがいいのではないかと考える。また、 を選択した者が多いということは同時に「速度」と「力」の混同をしている生徒が多いことも考えられる。つまり速度を示す「 」を「力」と混同していると考えられるのである。

その原因については、指導方法、内容構成、発達段階等いろいろ考えられるが、このあたりは高校生との共通点でもある。したがって、中学校、高等学校を含めて何が原因になっているのか、更に研究を深める必要があるだろう。

2. 高校生の結果に対する考察

(1) 用語の混同に関して

生徒が現象の説明に使用する科学用語の意味内容の混同に関しては、すでに多くの報告がある⁵⁾。しかし、物体の斜方投射に関して、どのような用語が混同され、認識しているのかについての指摘はない。以下調査問題の選択理由の中にみられる用語の混同について検討する。

(A)「速度」・「加速度」と「力」の区別が明確でない。

各選択肢の選択理由を見ると、「速度」・「加速度」を「力」と混同していると思われるものが多い。その例を表3に示す。教科書での放物運動を表す図をみると、どれも矢印によって「速度」が表されており、このことが「速度」と「力」とを混同する一因なのではないかと考えられる。

表3 「速度」・「加速度」と力を混同していると思われる選択理由一覧(人)

選択肢	回 答 理 由	未履修	履修済
	・最高点だから速度も0になるため重力の他に働いていない。		6
	・ボールに働く力は重力と加速度。頂点なので加速度ははたらいていないから。		2
	・横方向は等速直線運動、上方向は頂点なので力は働いていない。		1
	・頂点なので重力の向心力のみはたらく。		1
	・最高点に達しているとき一瞬ボールは静止するから、そのとき重力が働く。		1
	・ボールには初速度と重力が働く。初速度が0になったとき頂点にたつする。		1
	・ボールに働く力は重力と加速度。頂点なので加速度ははたらいていないから。		1
	・ボールには右向き速度しか加わっていない状態だから。		1
	・ボールは常に等速直線運動をするので常に横への力は加えられている。また最高値にあるので鉛直方向への速度は0。		1
	・投げたときに働く力と重力	28	29
	・重力と加速	1	
	・重力と初速度		2
	・加速はしているが重力はあるから。	1	
	・重力と加速度		2
	・重力と、投げるときに斜めに投げているから。		1
	・投げたときの水平方向への速度と、いまその時点で働いている鉛直方向の速度。		1
	・加速度の成分が働く力だから。		1
	・前に等速直線運動、下向きに重力。		2
	・重力と投げられたときの力の合力。		1
	・速度が0だから。		3
	・水平方向は加速度は0。垂直方向も $F = ma$ 。 $a = 0$ より0。		1
	・斜めに投げた力がだんだん弱くなって、ボールの重力より小さくなって落ちると思う。でも山なりだから斜めの力がなくなったわけではないと思う。	1	
	・下に落ちようとする力(重力) 横にとばされる力。上に飛ぶ力があると思う。	1	
	・重力と速度の合力が働いているから。		1
	・上向きに投げられたから。		1
	・重力が下向きにかかって、投げ出したときに上向きと横向きに力がかかるから。		1
	・下向きに重力がかかり、右側に押される力がかかる。圧力が全方向からかかる。		1
	合 計	32	62

(注)「 」は、該当者がいないことを示している。

すなわち、図3の教科書の図を見れば明らかのように、 v がボールの運動の方向とほぼ重なっているので、 v を力の働く向きと誤解しているからだと判断されるのである。

また、図3は選択肢を連想しがちであるのではないかと考えられる。つまり、選択肢のような図は、放物運動の場合、「速度」を表すときに使われることが多いからではないだろうかと考えられるのである。

また、「初速度」と「力」を混同しているものも多い。これも、表3を見れば明らかであると考えられる。例えば57名もの生徒が理由として上げた「投げたときに働く力と重力」などはその一例である。こうしたことが起こるのは次のようなことによるからであろう。物理の授業の中で放物運動を考えると、ボールを投げる「力」は問題にせず「初速度」を与えるといった言い方をする。それにもかかわらず、「初速度」を投げたときの「力」と混同して考えているのである。これもまた、「力」と「速度」の区別が出来ていないためではないかと思われる。

(B)「慣性」と「慣性力」の区別が明確でない(表4参照)

「慣性」と「慣性力」の区別がついていないと思われる生徒がいる。たとえば、表4の「重力と進行方向に進む力」などはその一例である。それ以外にも、「慣性」と「力」を混同しているものが多い。

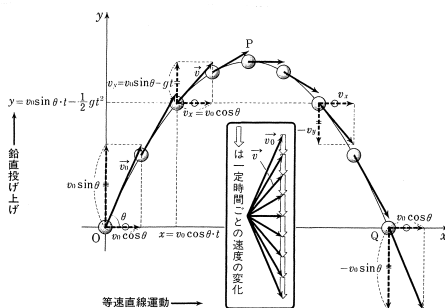


図3 斜方投射したボールの速度を示す教科書の例(S社, p.30, 平成9年度版)

表4 「慣性」,「慣性力」に関する選択理由一覧(人)

選択肢	回 答 理 由	未履修	履修済
	・上下の力は頂点にあるので±0。右に動いているので右方向に力が働いている。	2	11
	・ボールは常に等速直線運動をするので常に横への力は加えられている。また最高値にあるので、鉛直方向への速度は0。		1
	・重力と進行方向に進む力	45	26
	・前に進む力は重力の引っ張る力でまさつされ、頂点を達してからは徐々に弱くなり引っ張る力の方が徐々に強くなり最後にはボールは地面につく。	1	
	・重力と慣性力		1
	・ボールは右側に行こうとしている。しかし重力の関係から下に落ちようとする。それがなければ右へ行き続ける。	1	1
	・下の矢印は引力、右の矢印は、まだ飛ぼうとする力が働いているから。	1	2
	・ボールは落ちていっても前には進んでいるから。		2
	・重力がかかっていて、左から右へ動いているから。		1
	・前に等速直線運動、下向きに重力。		2
合 計		50	47

(注)「」は、該当者がいないことを示している。

これはつきつめると、「慣性」と「慣性力」の区別がついていないことに起因するのではないかと考えられる。なぜならば、「慣性力」をどんな場合にでも働いている「力」と考えてしまっているからである。

ここで、物理 Bの教科書には、「慣性」と「慣性力」がどのように記述されているのか検討することにする。教科書の中の「慣性」と「慣性力」に関する記述は下記の通りである。

(慣性): 物体は本来、静止の場合も含めて、その速度を保とうとする性質をもっている。
(S社, p. 49, 平成 10 年度版)
(慣性力): 加速する場所にいる人や物体に現れる見かけの力。
(S社, p. 56, 平成 10 年度版)

この説明から明らかなように「慣性」=「慣性力」ではないのである。「慣性力」とは見かけの力であって、実際に働いている力ではない。説明上、便宜的に考えられたことばなのである。しかし、生徒は「慣性」という性質を「慣性力」という「力」と思いこんでいるのではなかろうか。つまり頭の中に漠然とあった「慣性力」という字面だけを「慣性」と混同して考えてしまっていると考えられる。

ここで百歩譲って、「慣性」と「慣性力」の区別を生徒が出来ていると仮定して考えてみる。つまり、この場合は、純粋に「慣性」と「力」を混同していると考えてみるのである。そのとき考えられるのは、自分(人間)の動きを中心に考えているのではないかということである。以下にその例をあげてみる。いずれも原文のままである。

- ・ 投げたボールには投げたとき与えられた前向きの力と地球上にあるものは下向きの重力が働くので前向きと下向きの力。(H .Y 男: 物理履修済み)
- ・ ボール(物体)には地球では必ず重力が働き、そしてボールを投げたのだから前へ進む力が働いている。(G .K 男: 物理履修済み)
- ・ ラケットでボールを打ったとき、ボールが弧を描きながら図の のようにとび、もし の時のようになったらボールが飛んでいかないと思うから。(Y .S 女: 物理未履修)
- ・ は重力。 は成力(たぶん)。(K .N 男: 物理未履修)

このように、調査問題には記されていないそのボールを投げた(あるいはラケットで打った、あるいは足で蹴った)人間(自分)を頭の中で描き、そのときの投げた感触、投げるのに使った自分の力を考えているのではないだろうか。つまり日常的な経験からくる考え方、あるいは感覚で「力」をとらえているのではないかと考えられるのである。

このように考えている限り、いくら「投げた力は問題にする必要はなく、それは初速度を与えたのだ」と説明しても、なかなか理解できないのではないだろうか。初速度を与えるのは人間(自分)で、初速度を与えるためには力が必要である、つまり力を加えているという思考になってしまうのではないだろうか。

(2) 最高点(頂点)という位置に依存した不適切な考えに関して

今回の調査問題において、ボールが最高点(頂点)にあったために出てきたのではないかと思われるものがどの選択肢にもみられる(表5参照)。

表5より、最高点(頂点)という限定をつけたのが、履修済みの生徒に多くみられる。すでに述べたように、教科書で放物運動を表す図では矢印で「速度」を表しており(図3参照)、しかもその「速度」をあらわす矢印の長さは、物体(ボール)の位置が異なると

表 5 最高点という限定がついている選択理由一覧(人)

選択肢	回 答 理 由	未履修	履修済
	・最高点では速度が0になるから重力しか働かない。		6
	・ボールには初速度と重力が働く。初速度が0になったとき頂点に達する。		1
	・横方向は等速直線運動, 上方向は頂点なので力は働いていない。		1
	・最高点に達しているとき一瞬ボールは静止するから。そのとき重力が働く。		1
	・ボールに働く力は重力と加速度だけど, 加速度は最高点では0となるので重力のみ働く。		2
	・頂点なので重力の向心力のみが働く。		1
	・等速直線運動をしているので常に横への力は加えられている。また, 最高点にあるので鉛直方向への速度は0。		1
	・頂点にあるので力はどちらにも働いていない。	1	
	・力が頂点にまでいくと, 下に押す力と横に押す力が加わるから。	1	
	・ボールの位置が最高点になるのももし上向きに力が働いたら最高点はもっと高いところになるから上向きの力は働かない。だから重力と横向きの力。		1
	・横に進む力は変わらない。最高点なので鉛直の力が0になる。		1
	・鉛直方向はボールの重さと重力。最高点なので上へ進む力は0。水平方向は等速直線運動。		1
	・ボールが頂点にあり, あとは落ちていく方向。		1
	・頂点だから。	2	
	・中学の先生が頂点にきたときに一瞬だけ無重力の状態になるとか言っていたから。	1	
	・ボールは最高点に達し, 引力によって上向きの力から下の力へと変わる。また軌跡が残っているのでその方向にも力はある。		1
	・水平方向の力は変わらないが, 垂直方向は頂点にあるときは重力と上に押し上げようとする力でちょうど0になるが, それをすぎると重力によって下に行くから。		1
	合 計	5	19

(注)「 」は, 該当者がいないことを示している。

違ってくる。そこが「最高点だから」という限定条件につながって不適切な考えが導き出されてくるのではないだろうか。また, を選択した生徒の中では最高点(頂点)という限定をつけた生徒がみられるのは, 図3のような教科書の図をみたことがない生徒だからではないだろうか。

(3) 教科書の内容構成から引き起こされてくる不適切な考えに関して

(A)「速度」から「力」という内容構成の問題点

今回, 教科書会社のS社, D社, K社, T社, J社が発行している物理 Bの教科書について「力」に関わる内容の取り扱いの順序を調べてみた(表6参照)。

表6を見れば明らかのように, S, D, K社は「物体の運動」, 「力と運動」の順で取り上げている。

K社を例にとると, 第1章「物体の運動」の中では[速度], [加速度], [平面内の運動], [落下運動]について, 第2章「力と運動」の中では[力], [運動の法則], [慣性力], [剛体に働く力]について記述されている。出版社によって多少名称は異なるが, ほぼ同じ内容を取り扱っていると考えてよいだろう。

今回の調査問題で対象としている「運動」は, 第1章「物体の運動」のなかの落下運動

の1つ、「斜方投射」として登場している。この運動に関して教科書や問題集の中でよく問題とされているのは、「力」ではなく、運動を表す方法としての「速度」、「位置」、「時間」である。「力」は第2章で初めて登場するため、ここでは、「力」という言葉は登場しない。これらの教科書では放物運動について学習するときは、「力」についてはまったく触れないのである。したがって、放物運動をあらわす図に登場する「速度」の矢印がそのまま「力」に置き換わった形で、生徒に理解されていると考えられるのである。

表6 「力と運動」分野の教科書会社別内容構成一覧

S 出版 (平成10年度版)	D 社 (平成10年度版)	K 社 (平成10年度版)	T 社 (平成8年度版)	J 出版 (平成11年度)
物体の運動 1. 直線運動の速度 2. 直線運動の加速度 3. 落体の運動	第1節 物体の運動 1. 運動の表し方 平均の速さと瞬間の速さ 等速運動 直線運動の加速度 動等加速直線運動 速度の合成・分解 ベクトル 2. 落下運動 自由落下 鉛直投げおろし 鉛直投げあげ 水平投射 斜方投射	第1章 運動の法則 1. 速度 2. 加速度 3. 平面内の運 4. 落下運動	第1章 力の働き 1. 力のつりあい 2. ささまざまな力 3. 大きさのある 物体のつり合い	物体に作用する力 1. 力 2. 力のつり合い 3. 作用と反作用 4. 抗力 5. 物体の回転と力の つり合い
力とつりあい 1. 力とそのはたらき 2. 剛体にはたらく力の つりあい	第2節 力と運動の法則 1. 力のはたらきとつりあい 物体が受ける力 力の表し方 重量と質量 2. 力のつりあい 力の合成と分解 作用反作用の法則 2. いろいろな力 系の張力 ばねの弾性力 抗力 摩擦力 3. 運動の3法則 慣性の法則 運動の法則 運動方程式のたて方 空気抵抗と終端速度	第2章 力と運動 1. 力 2. 運動の法則 3. いろいろな運動 4. 大きさのある物体 に働く力	第2章 物体の運動 1. 変位と速度 2. 加速度 第3章 力と運動 1. 運動の3法則 2. 放物運動 3. 慣性力 第4章 運動量保存の法則 1. 運動量と力積 2. 運動量保存の法則	速度・加速度と力 1. 慣性の法則と等速 直線運動 2. 等加速度運動と力 運動の法則 1. 運動の法則 2. 運動の法則の適用 3. 落体の運動 4. 運動量の保存

今回調べた教科書の中で、内容を扱う順序が異なるJ社では、放物運動のところで「力」についても触れており、運動方程式にまで内容が及んでいる。そして、運動方程式から「速度」、「加速度」をとらえさせようとしている。もう少し詳しく見てみると、次頁の枠内の説明に見られるように、まず運動を水平方向と鉛直方向に分解し（これは他の教科書と同じ、しかし他では速度の分解としてとらえているのでこの場合とは異なる）、それぞれをx方向y方向とし、それぞれの運動方程式を求めている。

「空気抵抗が無視できるとき、ボールが受ける力は重力だけなので、ボールの加速度ベクトル x , y 成分をそれぞれ a_x , a_y [m/s^2] とすると x 方向, y 方向の運動方程式は

$$m a_x = 0 \quad \dots (1)$$

$$m a_y = -mg \quad \dots (2) \text{ である。}$$

(1) 式より $a_x = 0$ であり, x 方向の運動は等速直線運動であることがわかる。一方 (2) 式より $a_y = -g$ だから, y 方向の運動は加速度 $-g$ の等加速度運動である。」

(J社, p. 68 69, 平成 11 年度版)

つまり, この記述は, 「力」について先に学習した方が, 運動を全体的にとらえられるようになり, 少なくとも「力」と「速度」の混同を少しはさけられるのではないかと考えているとみなすことができるのである。教師側から考えると, ついつい慣れた「速度」「力」の順が良いと考えがちだが, 少なくとも今回の調査結果からは, 「力」を「速度」よりも先に学習した方がいいと言えるのではないだろうか。

(B) 「力」を最初に学習しないことによって生じる問題点

を選択した理由の中で, 「初速度」と「力」, 「慣性」と「力」の混同が考えられる「投げたときに働く力 (57 人)」, 「重力と進行方向に進む力 (71 人)」について考えてみる。先ほどの J 社の放物運動では, 「慣性」についても記述されている (下記 の記述参照)。

「ボールが重力を受けなかったときと比較して考えてみよう。重力の影響を受けなければ, 慣性の法則によって, ボールは初速度の向きに等速直線運動を続けるであろう。」

(J社, p. 70, 平成 11 年度版)

表 6 を見れば明らかのように「力」について「速度」より先に学習しているので, このような説明ができるのである。このような説明の優れていると考えられる点は, 運動を速度と力の両面から考えることが出来るということである。力の面からも放物運動をとらえることが出来るのである。 を選択した理由として「投げたときに働く力と重力」をあげた生徒は 57 人いた。このことより, 生徒は投げたときの「力」を問題にしていると考えられる。

先ほども触れたが, 通常この場合ボールを「投げる力」は問題にせず, 「初速度」を与えるといった言い方をする。しかし, 生徒はその「力」(投げる力)を, どうしても考えてしまうのではないだろうか。もし, その「力」がボールに働いているとしたらボールは水平方向にも等加速度運動をするはずである。つまり, そこを間違えるということは「等速運動」と「等加速度運動」の意味も正確に理解できていないことにはならないだろうか。

今回調べた中で, 「速度」, 「力」の順に取り扱っている教科書では, 「等速運動」, 「等加速度運動」についても「力」の記述はなく, 運動の法則を説明するところではじめて, 「速度」と「力」の両方についての記述が出てくる。そのあと「力」とそれらの運動を結びつけて論じているのであるが, 最初切り離して扱っているために, 「等速運動」と「等加速度運動」を「力」と結びつけて考えるのが難しくなっているのではないだろうか。

また, 物理の授業の中で矢印で表すものとして最初に学習する「速度」, 「加速度」のほう, 矢印としての印象が強いのではないだろうか。

・今後の課題

今回の調査は、斜方投射したボールの位置として最適だろうと考えた「頂点」を問題にした。しかし、今回の調査結果より判断すると、ボールの位置を斜方投射の3カ所（上昇中、頂点、下降中）くらいに分けて考えた方が、より適切に生徒の考え方を把握できると考えられる。次回はそのような調査問題を作成し、今回の結果とあわせて、授業への示唆、教科書の内容についても検討してみたい。

（謝辞）

本研究を遂行するにあたり、中学生の認識調査の実施に快く協力して下さった、甲府市立西中学校の幡野順先生、高校生の認識調査の実施に快く協力して下さった、甲府東高校の並木由貴子先生、都留高校の石原高裕先生、小野和子先生、甲府商業高校の秋山香江先生に心より感謝申し上げます。

（参考文献）

- 1) 例えば, Watts, D. M. and Zylberstejn, A. A survey of some children's ideas about force. *Physics Education*, Vol. 16, pp. 360 365, 1981.
- 2) R .オズボーン& P .フライバーグ編（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 理科の学習論』東洋館出版社, 1988
- 3) 上掲書, p. 70
- 4) Peter, W. Using free body diagrams as a diagnostic instrument. *Physics Education*, Vol. 31, No. 5, pp. 309 313, 1996.
- 5) 例えば, 次の文献を参照されたい。
日本理科教育学会編『理科教育学講座 5, 理科の学習論（下）』東洋館出版, p. 80, 平成4年
- 6) 『改訂版 高等学校 物理 B』数研出版株式会社（平成9年度版）
- 7) 『物理 B 新訂版』実教出版株式会社（平成11年度版）
- 8) 『高等学校 物理 B 改訂版』新興出版啓林館（平成10年度版）
- 9) 『物理 B』東京書籍株式会社（平成8年度版）
- 10) 『高等学校 改訂 物理 B』第一学習者（平成10年度版）
- 11) 『新編新しい科学1分野上』東京書籍（平成9年度版）

（附記）

本研究は下記の分担により行われた。中島が調査問題の構想及び調査の実施、結果の集計、論文の執筆を行った。堀が調査問題の定式化と論文の加筆修正を行った。