

# 一人一人の概念変換を支援するワークシートの実証的研究

## — 力と運動のMIF的素朴概念を科学的概念へ導く指導法 —

河合信之

竹村静夫

### 1 教育課題

文部科学省(2018)が平成29年に告示した『中学校学習指導要領解説 理科編』では「主体的・対話的で深い学び」の実現に向けた授業改善(アクティブ・ラーニングの視点に立った授業改善)が求められている。澤井(2017)は、「主体的な学び」とは自分の学びの質と内容を自覚できるようにすることであり、「対話的な学び」とは他者の考えを手掛かりに自己の考えを広げ深めることである。また「深い学び」とは概念的な知識の獲得と読みかえることができる、と述べている。これらの学習観は、理科教育における構成主義的な子どもの学習観と方向性を等しくするものであり学校現場における構成主義的教授方法の推進を迫るものであると考えられる。例えば授業において子どもが持つ既存の概念(素朴概念)と新たな自然現象とを意味付け、関係付けがなされることによって科学的概念の構築が達成されるような教授方法の実践を意味している。

一方、科学的概念獲得を困難にするものとして、子どもは自然認識への領域固有性を持っていることが知られている。これについてM. コール&S. スクリプナー(1982)は、思考内容は人が生活している文化的な背景に強く依存して存在すると述べている。また、ヴィゴツキーは、生活的概念が子どもの個人的な経験の中で、体系性を欠いたまま発達するため、科学的概念と異なり、自覚性と随意性がないと述べている(中村, 2004)。この生活的概念は素朴概念とも言われ非常に強固で、自覚性と随意性を有する科学的な考え方とは異なる。特に「物体と運動」領域においてClement(1982)が指摘した「物体は運動方向に力を含んでいる」というMIF(Motion Implies a Force)(以下「MIF」)的素朴概念は、非常に強固であり、概念変換が困難と言われている。

### 2 活動の趣旨・目的

前述のように学校現場の授業者である教員の能力は均一ではないことを前提に教授・学習法を考えると、

授業者の能力の影響をできるだけ受けずに、子どもが素朴概念を科学的概念に変換できる教授・学習法が必要である。それはどの授業者でも行える簡便でかつ有効なものではなくてはならない。そこで本研究の目的を次のように定めた。

MIF的素朴概念の概念変換を、授業者の能力にできるだけ依存しない教授の必要性からワークシート(学習課題と調査問題)を使った教授・学習法を考案した。

これは生徒らがワークシートに解答する過程で、彼ら自身がMIF的素朴概念を能動的に科学的な考え方に変えることをねらいとしている。本教育実践研究ではこのワークシートの有効性や、科学的概念の定着性及び活用性について検証することを目的とする。

### 3 活動の示唆するものとその実践の可能性

本活動によって、より多くの子どもがワークシートによる「主体的・対話的で深い学び」を実現し、自然認識の領域固有性から抜け出し、自ら科学的な考え方を獲得することが可能となれば、他の素朴概念の概念変換に発展させたり、多くの学校で実践したりして、科学的な考え方を身に付けた子どもを増やすことが可能となる。そして彼らが将来、日本の科学技術の発展に貢献することが期待できる。

### 4 実践活動の記録

#### (1) 研究の方法

##### ① 期間・対象・題材

調査期間：令和元年7月～10月

対象：兵庫県内公立中学校 第3学年1クラス

(34名の内、すべての学習に参加した生徒は28名であった)

題材：「運動とエネルギー 2章 物体の運動」  
154-168. 『未来へ広がるサイエンス3』

##### ② 子どもの考え方の測定方法

生徒の「力の概念」を測定するため、調査問題を2種類作成した。調査1～5で実施する調査問題のねらいは、

MIF 的素朴概念をもっているのか、それとも科学的概念を獲得しているのかを測定することである。調査4B で実施する調査問題のねらいは、調査4までに獲得した科学的概念を活用できるかどうかを測定することである。

調査1～5の問題(図1a)は、Clement (1982) が用いたコインの投げ上げ問題を参考に再構成した問題で、鉛直上向きに投げ上げたボールが、①上昇中、②最高点、③下降中のそれぞれの位置にある時、ボールにはたらく力の有無を答えさせ、はたらく力を矢印で記入させた。問題数は全部で3問である。ただし調査4は、調査1～3の本人の解答結果を並べて提示し、それぞれの解答について、その力をどのように考えて答えたのかをそれぞれ記述させ、その後、自分をもっともらしいと思うものを選択させた。その時、選択肢以外の考え方があるときは別に記述させた。最後に、これまでの学習で自分の考えで何が変わったかを自由記述させた。

調査4B の問題(図1b)は、Watts&Zylbersztajn (1981) が用いた調査問題を援用した。大砲から球が斜め方向に発射された時のA 上昇中、B 最高点、C 下降中のそれぞれの位置の時に、球にはたらく力の向きを5つの選択肢から選ばせた。問題数は全部で3問である。斜方投射された物体にはたらく力は中学校の学習内容ではないが、「力の概念」を理解していれば、その活用として正解できるのではないかと考えた。

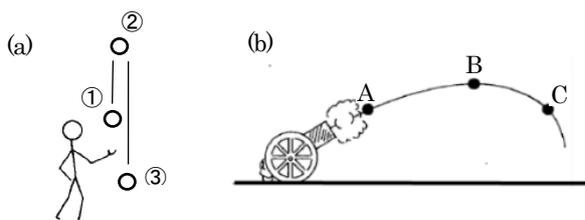


図1 調査問題 (a) ボールの投げ上げと (b) 斜方投射

## (2) 学習の概要とワークシートの考案

### ① 調査の流れ

調査問題と学習課題の実施の流れを図2に時系列で示した。調査1は事前調査としておこない、調査2と調査3はそれぞれ学習課題1と学習課題2に続けて実施した。調査5は、遅延調査として1か月後に実施した。調査1～4は、連続する授業でそれぞれ10分使って実施し、遅延調査は

「2章 物体の運動」の単元後の次の授業10分で実施した。「物体の運動」の単元は教科書に沿って授業を実施し、途中、教科書記載の「水平面上での台車の運動」および「斜面上の台車の運動」の実験を実験室で実施した。

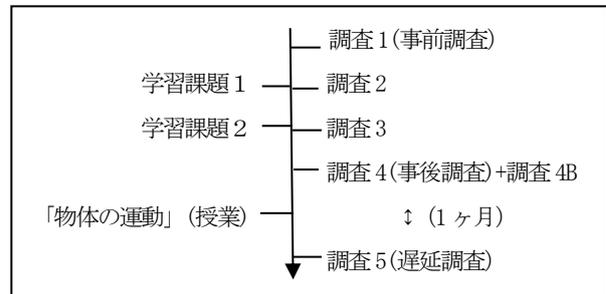


図2 本調査の流れ

### ② 学習課題の考案：「力の概念」の理解

学習課題は2枚のワークシート(学習課題1と学習課題2)に分けて実施した。その理由は、学習内容と概念変換との関係を測定する為で、学習課題1.2を実施後、それぞれ続けて調査問題2.3を実施した。

<学習課題1> MIF 的素朴概念は「物体に内在する力」、すなわち「物体は運動する方向への力を含んでいて、その力で運動を維持している」という考え方である。例えば、鉛直上向きに投げ上げたボールは上向きの力を持っていると考えてしまう。

このような誤りに対して三井(1992)は、力は「物と物との相互作用」であり、「相手のない力」は力とは言わないと述べている。換言すれば、力は「もの」から「もの」にはたらくのであり、「何が何から受ける力」と説明できないものは力学的力ではないということである。また、この2つの「もの」について川勝(1992)は、力は接触している「もの」から受けるという近接力の原則があるが、例外的に離れてはたらく力は磁力、重力(引力)、電気力の3力だけであると述べている。

本調査の対象者である中学3年生にとってこの3力は履修済みであるが、全員が十分理解できているかは不明である。これらを理解していれば、例えば手から離れたボールに「上がる力」をはたらく「もの」は存在しないのは明らかである。また、「もの」に接触していない運動中のボールには、離れてはたらく3力のうち重力のみがはたらいていると判断できると考えられる。

## 学習課題1

「もの」が「もの」に与える力 = 力は、「もの」から「もの」にはたらく

(慎重)力を与える「もの」と、力を受ける「もの」どうがはなれていてもはたらく力には、次の3つがあります。

A 磁石の力 (小学3年)

B 重力 (中学1年)

C 電気力(電気)の力 (中学2年)

問い1 上のA~Cはそれぞれ「何」が「何」にはたらく力でしょうか?  
 A ( ) が ( ) に はたらく力 B ( ) が ( ) に はたらく力 C ( ) が ( ) に はたらく力

<学習課題2> 物体が運動しているか静止しているかに関係なく、地球上のすべての物体に「重力」が常に鉛直下向きにはたらくことを理解していれば、投げ上げたボールはどの位置でどの向きに運動していても(又は静止していても)重力が鉛直下向きにはたらくと判断することから穴埋め形式の課題を考案した。

### 学習課題2 (子どもの課題の口内は空白)

問い 下の文の口にあてはまる語を入れなさい。

- ・重力は、地球上の すべての 物体にはたらくります。
- ・重力は、物体に 鉛直下 向き(地球) 中心 方向にはたらくります。
- ・重力は、物体が 静止 していても 運動 していても 常に はたらくります。

### ③ 授業者の技量に頼らない授業の進め方

まず授業者は、子どもに一連の学習が成績には関係しない事を伝えた後に始めた。授業者は調査4を除き、調査問題はすべて範読しながら子どもに解答させた。これは、子どもが十分に問題文を読まないで解答してしまうことを防ぐためである。学習課題は、範読しながら空欄を埋めさせ、読み終わったら、答えを入れて再び範読して答え合わせをさせた。子どもには解答する時間を十分に与えながら進めた。

### ④ 各ワークシートのねらい

調査1は「素朴概念の自覚」を目的に実施した。調査2と調査3は、学習課題1と学習課題2の「科学的概念の理解」ができたかどうかを測定するためにそれぞれの学習課題の後に続けて実施した。調査4は、「科学的概念と素朴概念の接続・照合」によって認知的葛藤を生起し科学的概念が選択されるかどうかを測定した。調査4に続けて実施した調査4Bは「科学的概念の活用」ができるか否かを測定するためである。その後「2章 物体と運動」の授業を実施し、調査4から1ヵ月後に遅延調査として調査5を実施した。この目的は多くの先行研究の遅延テストで正答率が低下しているという報告を踏まえ、本研究における「科学的概念の定着」ができているかを把握するためである。

## ワークシート ねらい

- 調査問題1 素朴概念 (MIF 的素朴概念) の自覚
- 学習課題1,2 科学的概念の理解
- 調査問題2,3 科学的概念の適用の測定
- 調査問題4 科学的概念と素朴概念の接続・照合
- 調査問題4B 科学的概念の活用の測定
- 調査問題5 科学的概念の定着の測定

## 5 結果

### (1) 調査1 (事前調査) の結果

調査問題1 (事前調査) は鉛直上向きにボールを投げ上げた時に、①上昇中、②最高点、③下降中の位置にあるボールにはたらく力の向きを矢印で図中に記入させた。表1はその結果である。①上昇中では、「上向き」の矢印が60.7%と最も多く、②最高点では、「力ははたらいっていない」と「下向き」の矢印が共に42.9%でもっとも多かった。また③下降中では「下向き」の矢印が71.4%と最も多かった。この結果から「力は物体の速さに依存している」ことや、「運動している物体には運動方向に力ははたらいっている」という MIF 的素朴概念を保持していることが認められた。

表1 調査1 (事前調査) の結果

矢印の向き(解答)	①上昇中	②最高点	③下降中
↑	17(60.7)	1(3.6)	0(0)
力ははたらいっていない	6(21.4)	12(42.9)	8(28.6)
↓ (正解)	5(17.9)	12(42.9)	20(71.4)
⇕	0(0)	2(7.1)	0(0)
その他	0(0)	1(3.6)	0(0)

人数(人), カッコは%, N=28

### (2) ①上昇中のボールにはたらく力の結果

図3は正解者の割合をグラフにしたものである。後の調査になるほど正解者の割合が高くなっている。特に、学習課題2に取り組んだあとの調査で正解者の割合が顕著に高くなっている。

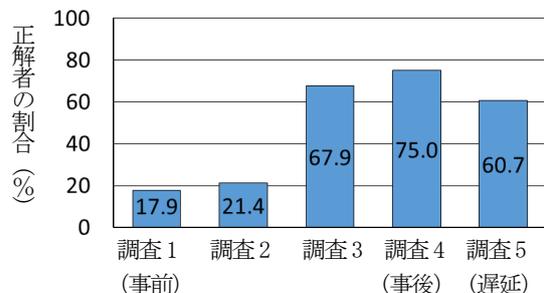


図3 「①上昇中のボールにはたらく力」の結果のグラフ

### (3) ②最高点のボールにはたらく力の結果

図4は正解者の割合をグラフにしたものである。後の調査になるほど正解者の割合が高くなっている。特に、学習課題2に取り組んだあとの調査で正解者の割合が顕著に高くなっている。

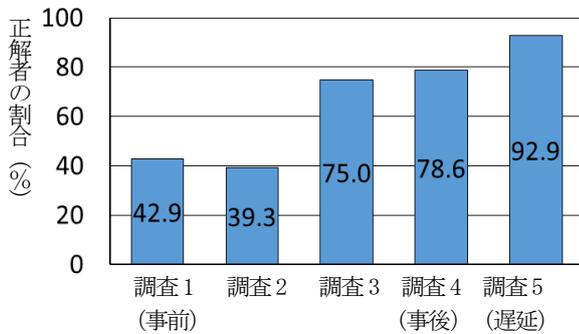


図4 「②最高点のボールにはたらく力」の結果のグラフ

### (4) ③下降中のボールにはたらく力の結果

図5は正解者の割合をグラフにしたものである。調査1(事前)から正解者の割合が71.4%あり、調査4(事後)で82%、調査5(遅延)で93%であったことを考慮すると、本研究のワークシートが概念変換に有効かどうかは、この調査からは判断できないが、前述の①上昇中のボールにはたらく力、および②最高点のボールにはたらく力の正解者の割合の変化や、後述する「学習前に考えていた重力に関する記述内容」(表3)から、重力に対する理解が深まったのではないかと考えられる。

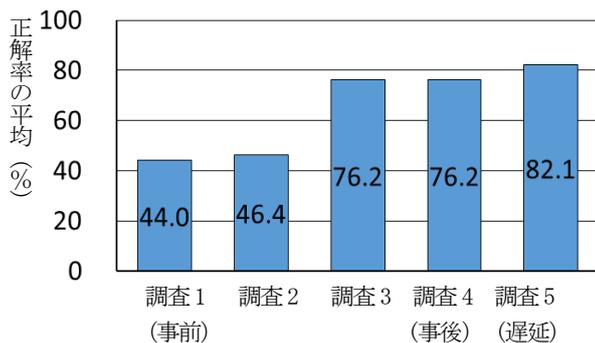


図5 「③下降中のボールにはたらく力」の結果のグラフ

### (5) 「斜方投射問題」：力の概念の活用の結果

表2は「調査4(事後)」と「調査4B(活用)」の正解率の平均および標準偏差を示したものである。調査4と調査4Bの正解率の平均の相関係数  $r=0.41$  であり有意であった ( $F(1, 26)=5.25, p<0.05$ )。説明率は16.8%であ

り、両変数の間には中程度の正の相関が認められた。すなわち、調査4の正解者は、調査4Bでも正解する傾向があることがわかった。

表2 「調査問題4と4Bの正解率」の平均と標準偏差 (N=28)

	調査4 (事後)	調査4B (活用)
正解率の平均	76.2	57.1
標準偏差	40.7	43.5

正解率は%

### (6) 「投げ上げ問題」に関する総合的な結果

図6は正解率の平均をグラフに示したものである。正解率は、調査問題3問の点数をそれぞれ1点とし、3点満点の素点を百分率(%表示)で表わしたものである。本実践により、ワークシートを使った学習によって、正解率が上昇し、「調査1(事前)・調査2」の正解率の平均と「調査3・調査4(事後)」および「調査5(遅延)」の正解率の平均との間に有意差が生じた。また、「調査3」の正解率の平均と「調査4」の正解率の平均との間に有意差は認められず、「調査3・調査4(事後)」から「調査5(遅延)」にかけて正解率の平均はわずかに上昇した。

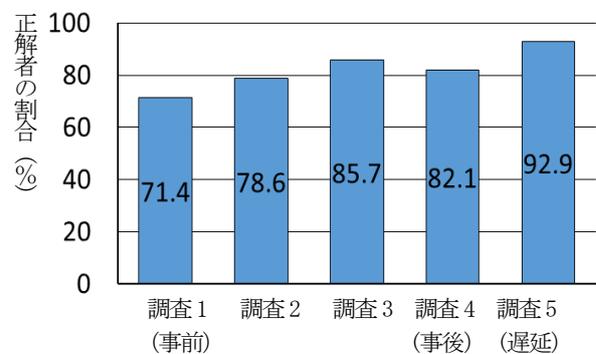


図6 「調査問題の正解率」の結果のグラフ

### (7) 学習前に考えていた重力に対する考え方の記述内容

調査4の最後に「自分の考えが変わったこと」を記述させたところ、記入者全員が「学習前に持っていた重力に対する考え方を述べた。表3はその内容を分類し集計した結果である。この結果から57.1%の生徒が、「物体の運動状態によっては重力がはたらかない」と考えていたことがわかった。

表3 学習前に考えていた重力に関する記述内容

記述内容		人数(人) (%) は%	
重 力 は…	はたらかない時がある	8	16 (57.1)
	上昇している時ははたらかない	1	
	静止している時ははたらかない	1	
	浮いている時ははたらかない	2	
	落下する時だけはたらく	2	
いろいろな方向にはたらく		2(7.1)	
考えは変わらなかった		1(3.6)	
その他		5(17.9)	
無回答		4(14.3)	
計		28(100.0)	

\*2: 複数回答した者が2名, N=28

(8) まとめ

授業者の力量に頼らないという条件から、授業者はワークシートを範読するだけで生徒一人ひとりの MIF 的素朴概念を科学的概念に変換することを促す本研究では、調査の結果、その有効性が認められた。概念変換によって獲得した科学的な考え方は、斜方投射の問題にも活用されたことから、高校で履修する物体の放物運動の理解にも効果があると考えられる。また、1ヶ月後の遅延調査においても科学的概念が保持され、その定着性が認められた。また、考案したワークシートによる学習は、一人ひとりが先哲の考え方を手掛かりに能動的に自ら

の考えを広げ深めていくことから、アクティブ・ラーニング的な授業を展開する知見の一つとなると考えられる。

(参考文献)

川勝 博 (1992) 「力学がわかるとはどういうことか」『学ぶ側からみた力学の再構成—物理教育「力学」の視点と実践』 新生出版, 12-96.

澤井陽介 (2017) 『授業の見方—主体的・対話的で深い学びの授業改善』 東洋館出版.

John Clement (1982) .Students' preconceptions in introductory mechanics, Am. J. Phys. 50(1), 66-71.

D M Watts and A Zylbersztajn (1981).A survey of some children's ideas about force. Physics Education, 16 (6), 362.

中村和夫 (2004) 『ヴィゴツキー心理学「最近接発達の領域」と「内言」の概念を読み解く』 新読書社.

M. コール・S. スクリプナー(若井邦夫訳) (1982) 『文化と思考—認知心理学的考察 (心理学叢書 10)』サイエンス社.

三井 伸雄 (1992) 「力学がわかるとはどういうことか」『学ぶ側からみた力学の再構成—物理教育「力学」の視点と実践』 新生出版, 97-154.

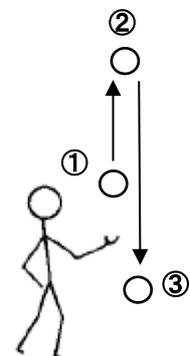
文部科学省 (2018) 『中学校学習指導要領解説 理科編』 学校図書.

資料

調査問題 1(事前調査), 2~3, 5(遅延調査)

右の図のように手でボールを矢印の方向に投げ上げると、ボールは①を通して②で向きを変え、③を通っていきました。

- (1) ボールが①の場所にあるとき、物体に力のはたらいていますか。( はい・いいえ )  
(はいと答えた人に) 物体にはたらいている力を矢印で右図に書き入れなさい。
- (2) ボールが②の場所にあるとき、物体に力のはたらいていますか。( はい・いいえ )  
(はいと答えた人に) 物体にはたらいている力を矢印で右図に書き入れなさい。
- (3) ボールが③の場所にあるとき、物体に力のはたらいていますか。( はい・いいえ )  
(はいと答えた人に) 物体にはたらいている力を矢印で右図に書き入れなさい。



調査問題 4 (事後調査)

質問 1

調査問題 1 と本人の解答

調査問題 1 について自分の回答を振り返ってみましょう。  
このとき、自分はボール①~③にはたらく力について、  
どのように考えて左のように答えたのか説明してください。

- ① \_\_\_\_\_
- ② \_\_\_\_\_
- ③ \_\_\_\_\_

調査問題 2 と本人の解答

調査問題 2 について自分の回答を振り返ってみましょう。  
 このとき、自分はボール①～③にはたらく力について、  
 どのように考えて左のように答えたのか説明してください。

① \_\_\_\_\_  
 ② \_\_\_\_\_  
 ③ \_\_\_\_\_

調査問題 3 と本人の解答

調査問題 3 について自分の回答を振り返ってみましょう。  
 このとき、自分はボール①～③にはたらく力について、  
 どのように考えて左のように答えたのか説明してください。

① \_\_\_\_\_  
 ② \_\_\_\_\_  
 ③ \_\_\_\_\_

質問 2

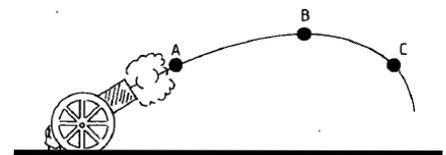
ボール①～③について、調査問題 1～3 に対する上の解答の中で、一番自分が納得できる(もっともらしい)考え方を調査問題 1～3 のいずれか一つ選んで○で囲みなさい。調査 1～3 の解答以外の場合は、その他の欄に考え方を書きなさい。

- |            |                               |           |
|------------|-------------------------------|-----------|
| ボール①にはたらく力 | ( 調査問題 1 調査問題 2 調査問題 3 ) の考え方 | その他 _____ |
| ボール②にはたらく力 | ( 調査問題 1 調査問題 2 調査問題 3 ) の考え方 | その他 _____ |
| ボール③にはたらく力 | ( 調査問題 1 調査問題 2 調査問題 3 ) の考え方 | その他 _____ |

質問 3 これまでの学習で、自分の考えが変わった人は、何がどのように変わったのか説明してください。

調査問題 4B (活用問題)

問い 大砲から球が飛び出し、A、B、C の各点を通過しました。  
 次の3つの問いに答えなさい。  
 下の図の矢印は球にはたらく力の向きを示しています。



(1) A 点で球にはたらく力の向きはそれぞれ①～⑤のうちどれだと思いますか。

① ② ③ (球に力にはたらいていない) ④ ⑤ (1)

(2) B 点で球にはたらく力の向きはそれぞれ①～⑤のうちどれだと思いますか。

① ② ③ (球に力にはたらいていない) ④ ⑤ (2)

(3) C 点で球にはたらく力の向きはそれぞれ①～⑤のうちどれだと思いますか。

① ② ③ (球に力にはたらいていない) ④ ⑤ (3)