

中学校理科「力と運動」の指導法の改善に関する研究[†]

伊東 明彦*・吉原 智久**・熊坂 英明***・大谷 直之****

宇都宮大学教育学部*

栃木市立栃木南中学校**

國學院大學附属栃木高等学校***

下野市立国分寺小学校****

中学生の力に関する概念的理解を改善するための方策を考え、それに基づく実験授業を行った。授業のポイントは、1. 理科の授業で扱う力という語が一般生活における力とは違うことを意識づけること、2. 力がはたらいている状態を「押す／引く」という動詞で表すこと、3. 力を矢印で表記する際に作用点を明確に示すよう指導すること、の3点である。

実験授業の効果を事前調査と2回の事後調査によって評価した。その結果、日常生活における「力」と理科における「力」の用法の違いは、一度授業で指導すると長期にわたって生徒の記憶に残ること、「力がはたらく」という表現は生徒に多くの誤解を与えており、中学校理科では用るべきではないこと、力を矢印で表記することは中学生にとって困難な作業であること、などが明らかになった。

キーワード：中学校理科、力と運動、概念形成、教育方法

1. はじめに

中学校理科の学習内容の中で、力や運動に関する内容は物理学の基礎となるものである。にもかかわらず、力の概念を獲得することは子どもたちにとって極めて困難であることがこれまで繰り返し示されてきた。

力に関する誤概念のうち最も有名なものに、Clement(1982)が示した運動方向に力が働くという考えがある¹⁾。Clement(1982)はこうした考えを「Motion implies a force」と表現している。中山・猿田(1987)は、このような誤概念の一因は中高生が力を表す矢印を正しく理解していないことによる、と述べている²⁾。それによると、多くの中高生は、力は矢印の根元方向の物体から先端方向の物体にはたらくという捉え方をしているという。そして、力を表す矢印を考える際に作用点に注目するよ

う指導することが重要であると述べている。

伊東ら(2007)は、力に関する理解が十分でない状態は現在でも全く改善されておらず、中学校を終了した段階で慣性の法則を理解している生徒は10%に満たないとしている。その原因の一つは、生徒たちが理科における「力」とは何かを理解していないことであると述べている³⁾。同様の報告は、ここ数年宇都宮大学における様々な研究によりなされている。例えば、熊坂(2007)は、力とは押したり引いたりすることであること、力は2つの物体の相互作用であることを強調すべきであると述べている⁴⁾。また、水谷(2006)や伊東ら(2007)は、中学生が日常会話において使われる「力」のうち、理学的な力はどれかを指摘できないと報告している^{5)・3)}。

これらの報告はいずれも、現行のカリキュラムでは、力に関する学習の導入部分において「力」とは何かを全く教えていないことに問題があると指摘している。そこで本研究では、これらの問題を解決するため、力の学習の導入部分の指導法の改善をめざして実験授業を行った。

2. 研究方法

本研究では、力に関する導入部分において以下の3点を強調した指導することにより、生徒の力に関

[†] Akihiko ITO*, Tomohisa YOSHIHARA**, Hideaki KUMASAKA***, and Naoyuki OOTANI**** : A Study on Improvement of Instruction about “Force and Motion of Objects” in Science Class of Junior High School.

* Faculty of Education, Utsunomiya University

** Tochigi Minami Junior High School

*** Kokugakuin University Tochigi High School

**** Kokubunji Elementary School

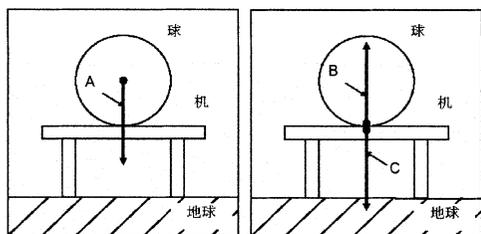


図1. 力を表す矢印A, B, C.

事前事後調査の設問1で用いた。

する概念的理解の向上が見られるかどうかを検証することとした。それは、

1. 日常的に用いる「力」という語と理科において扱う「力」とは異なること、
2. 「力がはたらく」とは、ある物体が他の物体に押されたり、引かれたりすることであること、
3. 力を矢印で表すときは、作用点に●を書きそこから力のはたらく方向に矢印を描くこと、

である。そのため、宇都宮大学教育学部附属中学校の協力を得て、中学校第1分野「(1)身近な物理現象 イ 力と圧力」の導入部分において、筆者の一人(吉原)が上記の3点を組み込んだ3時間の実験授業を行い、事前事後調査などを通してその効果を検証した。

具体的な授業の内容は以下のとおりである。1に関しては、力という語を用いた文章を作らせたり、力という語を用いた文例を示しその使い方は正しいかどうかを議論させたりした。2に関しては、物体に力を加えるとは物体を押ししたり引いたりすることであるということ、それによって力を加えられた物体の運動の様子が変わることを説明した。3に関しては、力を矢印で表現することを指導する際に作用点を強調した指導を行った。

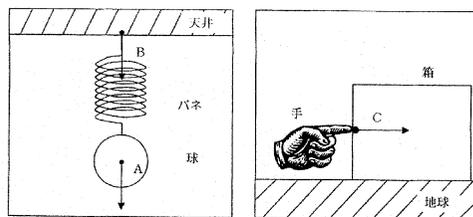


図2. 力を表す矢印A, B, C.

事後調査の設問2で用いた。

実験授業は1学年4クラスの内の2クラスにおいて実施した。生徒数はそれぞれ、37人と36人であった。他の2クラスでは現場の教員が通常の授業を行った。実験授業は2007年10月下旬に行った。以後、この実験授業を受講した73名を実験群と呼ぶ。また、実験授業を受けていないクラスの生徒79名を対照群と呼ぶことにする。

実験授業の効果を検証するために、事前事後調査を行った。事前事後調査では、図1を示しその中に描かれた矢印A, B, Cがそれぞれどんな力であるかを選択肢の中から選ばせる問題(以下これを設問1とする)、図1と同様だが力を示す矢印が描かれていない図を示し、球にはたらく重力、机から受ける垂直抗力、球が机を押す力の3つを図示させる問題(設問2とする)、図2を示しその中の矢印A, B, Cがどんな力であるのかを記述式で回答させる問題(設問3とする)、表1に示した10の文章を提示し、理科学的に正しい文章はどれかを選ばせる問題(設問4とする)の4つを組み合わせで用いた。

ところで、五十嵐(2006)は、図示した矢印がどのような力を表すのかを質問する際、表現方法によって回答が異なることを指摘している⁶⁾。そこで設問1においては、「はたらく」、「受ける」、「およぼす」、「押す／引く」そして「押される／引かれる」の

表1. 事後調査の設問4で用いた力の用法に関する問題

番号	設問
1	私たちに地球に引かれる力がはたらいている。
2	小学生より大人の方が大きな力を持っている。
3	力をつけるために、筋力トレーニングを行う。
4	みんなで力を合わせて、合唱コンクールで優勝した。
5	粘土に力を加えたらへこんだ。
6	壁に寄りかかったら、壁から力を受けた。
7	雑草には、踏まれても立ち直ろうとする力がある。
8	電気の力を使って走る車がある。
9	止まっている台車に力をはたらかせると動き始める。
10	太陽からの力によって、電気を作る。

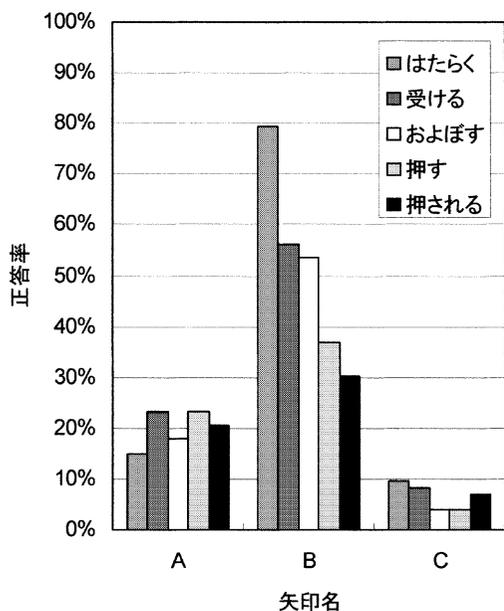


図3. 事前調査における矢印A, B, Cの意味の正答率。

設問文の表現方法による正答率の違いを色分けして示している。

5種類の表現方法で力を表すようにした。

事前調査は、設問1のみを用い実験群のみを対象として行った。実施時期は実験授業の直前である。

事後調査は2回行った。事後調査1は、実験授業の1週間後に行った。対象は実験群の生徒のみであり、内容は、設問2、設問3、及び設問4である。事後調査2は、実験授業の3ヶ月後に、実験授業の長期的な効果を検証することをねらった。調査内容は、設問1から4までのすべてとした。また、調査対象は実験群と対象群とした。さらに、設問4については、比較のため下野市内の公立中学校1校にも調査を依頼した。調査人数は50名であった。

ほとんどの調査において、SQSを用い分析作業の省力化を図った⁷⁾。

3. 調査結果

図3は、事前調査における設問1の正答率を示している。設問1は、図1に図示された3つの矢印A, B, Cが何を表すのかを、地球、机、球を主語および目的語として選択させ回答させるものである。対象者は力単元を全く学習していない中学校1年生である。正答は、例えばAの矢印であれば、

「地球から球にはたらく力」、「地球が球を引く力」のようになる。図3を見ると、A(重力)とC(球が机を押す力)の矢印については表現によらず正答率は極めて低い。Bについては、「はたらく」という表現の場合のみ80%に近い高い正答率が得られているが、「押す/引く」や「押される/引かれる」といった表現を用いた場合には30%程度の低い正答率になっている。なぜ、Bの矢印のみ表現によって正答率がこのように極端に異なるのだろうか。前述したように、中山・猿田(1987)によれば、力は矢印の根元方向の物体から先端方向の物体にはたらくという誤った解釈をしている生徒が多いという。ところが、Bはこのような誤った解釈をしても正答になってしまう問題である。すなわち、図3の「はたらく」を用いた場合の高い正答率は、生徒が正しく理解していることを示してはいない可能性が高い。

このように考えると、この事前調査によって、まだ力の学習をしていない中学生は、力を表す矢印を示されてもそれがどのような力なのかほとんど理解できないということが示されたといえる。そして、「はたらく」という表現を使った場合には、生徒の理解を正しく測定できない可能性が高いことが明らかとなった。

図4は、事後調査1および2における設問4の正答率を表している。ここで、対照群2は同時期に設問2の調査を依頼した下野市内の中学校における調査結果を表している。

この図からは、いくつかのことが読み取れる。まず、実験群においては事後調査1と2の間には大きな差が見られず、ほとんどの問題について正答率は80%以上である。また、対照群においても、2つの対照群の間には大きな差が見られない。しかし、実験群と対照群の間には明確な違いが見てとれる。対照群の回答は問題番号によって異なり、実験群と同様に80%以上の高い正答率を示す問題と、実験群とは異なり50%以下の低い正答率を示す問題に二分される。

このように、実験群と対照群の正答率に明らかな違いが見られる理由を考えてみる。対照群の生徒は力の用法に関する指導は受けていないと考えられる。表1に示したような文章に対して理科的な観点からの正誤を指摘できるようにするためには、授業の中でこの点を明示的に扱わなければならないのだろう。表1と図4を比較すると、力という語の用法

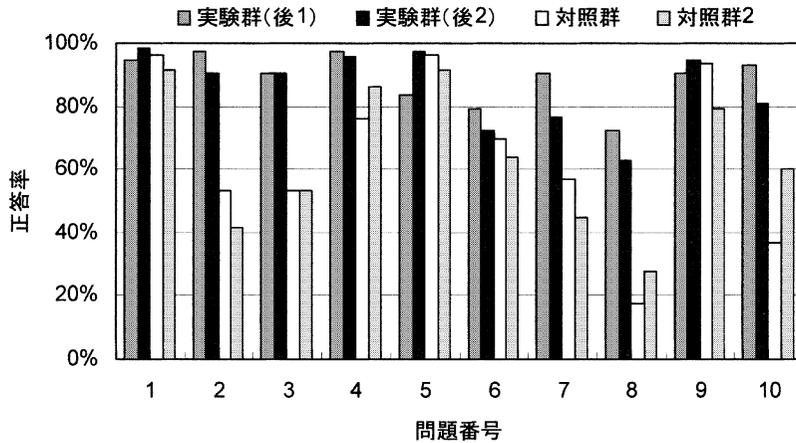


図4. 事後調査1及び2における、「力」という語の用法に関する設問4の正答率。

設問番号1~10は表1を参照されたい。実験群(後1)、実験群(後2)はそれぞれ事後調査1および2の実験群の正答率を表している。対照群2は下野市内の公立中学校における調査結果を表している。

が理科的に正しい文章については正答率が高く、正しくない文章については正答率が低いことが分かる。すなわち、通常の授業を受けただけでは、力とはどのようなものであるのかという概念的な知識が得られなかったのだと考えることができる。

これに対して、実験群の生徒は力という語の理科的に正しい用法がはっきりと理解できていると考えられる。しかも、その効果は3ヶ月たってもほとんど変わっていない点は特筆すべきである。

図5は、事後調査1における設問2の回答結果を、図6は、同じく事後調査2における設問2の回答結果を示している。設問2は設問1とは逆に、指定された力を図中に矢印で記入する問題である。

図5を見ると、重力(図1の矢印A)に関して

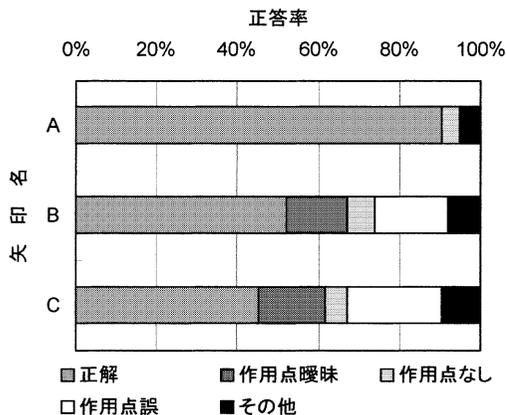


図5. 事後調査1における力の描画問題(設問2)の回答結果(実験群)。

は正答率は90%以上であるが、垂直抗力(同矢印B)と球が机を押す力(同矢印C)については正答率は50%程度である。作用点を強調し、作用点を描いてから矢印を描くよう指導したにもかかわらず、実験授業直後でも矢印を使って力を描画する作業は中学生には困難であることが分かる。特に、BとCは作用反作用の力であり作用点が互いに向かい合う物体の表面であるため、原理的には作用点を描画することができない。便宜的に力がはたらく物体の内部に作用点を描くよう指導したが、生徒には完全には伝わらなかったようである。そのこともB、Cの

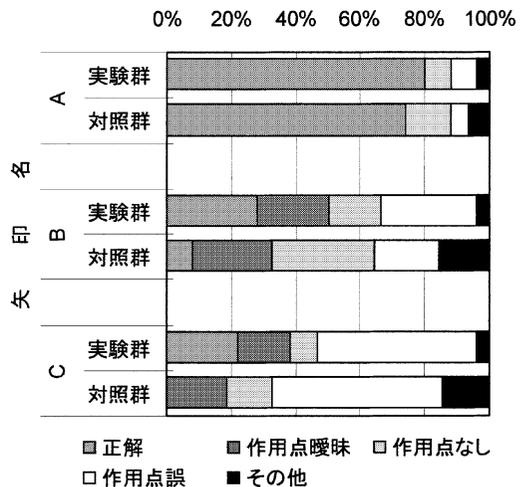


図6. 事後調査2における力の描画問題(設問2)の回答結果。

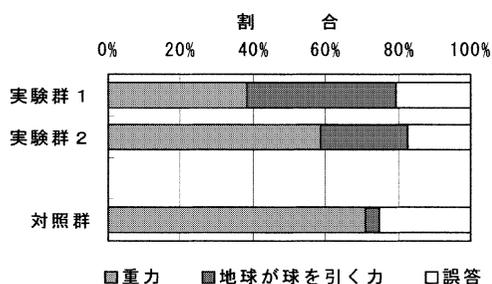


図 7. 事後調査 1 及び 2 における設問 3 の矢印 A についての生徒の説明.

実験群 1 は事後調査 1 (授業直後) の結果を、実験群 2 は、事後調査 2 (3 ヶ月後) の結果を表している。

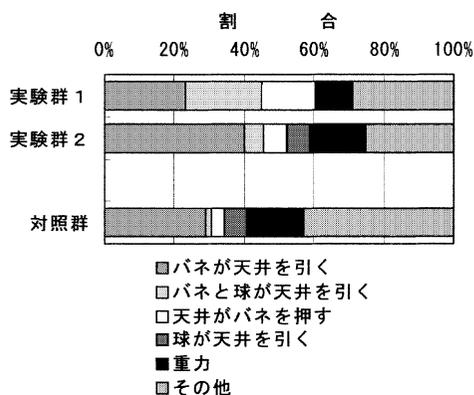


図 8. 事後調査 1 及び 2 における設問 3 の矢印 B についての生徒の説明.

実験群 1、2 は図 7 と同じ。

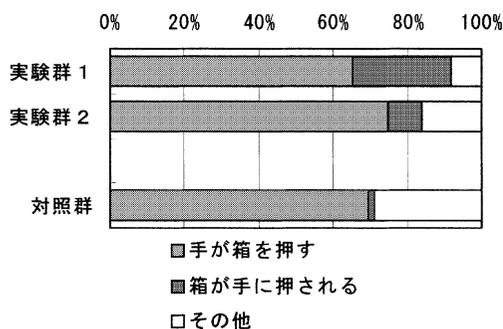


図 9. 事後調査 1 及び 2 における設問 3 の矢印 C についての生徒の説明.

実験群 1、2 は図 7 と同じ

矢印の描画を難しくしている原因かも知れない。この点については、さらに指導法の検討が必要であると考えられる。

図 6 を見ると、実験群の正答率は矢印 B、C に関しては図 5 よりさらに下がっており、時間がたつにつれて力の描画に関する理解がさらに低下していったことが分かる。日常生活の大部分の力は接触した面を通してはたらく B や C のような力であるので、このような面を通してはたらく力についての理解をより図る必要があるのかも知れない。

しかしながら図 6 を見ると、実験群と対照群の間には明確な違いが見られる。特に矢印 C に対しては対照群では作用点を明記して正しい矢印を描いた生徒は一人もいなかった。このことから、3 ヶ月後においても、わずかにではあるが今回の実験授業の効果が見られたと言うことができる。

図 7、8 および 9 は、事後調査 1 および 2 におけ

る設問 3 に対する回答結果を表している。設問 3 は図 2 の 3 つの矢印がどのような力を表しているのかを記述式で答える問題である。矢印 A に関する回答を図 7、B に関する回答を図 8、C に関する回答を図 9 にそれぞれ示した。それぞれの図で、実験群 1 は授業 1 週間後、実験群 2 は 3 ヶ月後の結果を示している。

まず、矢印 A についてみると、実験群、対照群共に正答率はほぼ 80% と良い結果が示されている。しかし、回答内容を見ると、実験授業直後のデータである実験群 1 では、「地球が球を引く力」と回答した生徒が 40% 程度いる。これは、実験授業の中で、「力とは、ある物体が他の物体を押したり引いたりすること」を強調したことが反映されていると考えられる。3 ヶ月後でもこのように回答した生徒は 20% 存在した。それに対して、対照群ではこのような答え方をした生徒はほとんどいなかった。実験授業における力の定義についての説明が 3 ヶ月後でも多少残存していることが伺われる。

図 8 に示されている矢印 B についての回答は極めて多岐にわたっていた。正解は「バネが天井を引く」である。授業直後の実験群 1 では、正答率は 20% 程度であり、3 群の中で最も低い。3 ヶ月後には正答率が 40% まで上昇している。このように正答率が良くなった原因は今回の調査では明らかにされていない。実験授業に続く理科授業の中で改善に結びつくような指導がなされたものと考えられる。実験群 1 では「バネと球が天井を引く」という回答が 20% と大変目立っている。正答と「バネと球が天

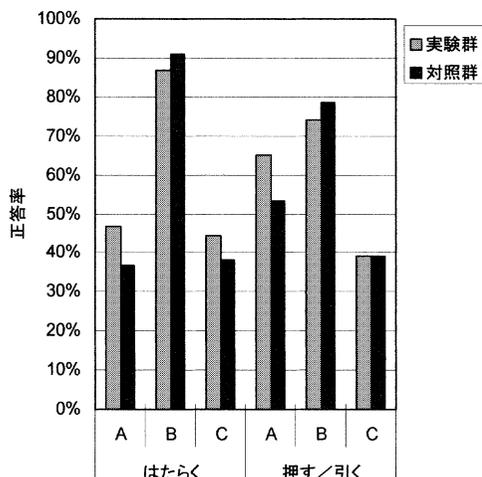


図 10. 事後調査 2 における力の表現方法による矢印の意味の正答率の違い。

A, B, Cは、それぞれ図 1 の矢印 A, B, Cの説明の正答率を表している。

井を引く」を足し合わせると実験群 1 と実験群 2 の回答はほぼ同率となる。対照群の回答は、実験群より多岐にわたっている。力に関する概念的な理解がより低いことを反映しているかも知れない。

矢印 C については、重力と同様に高い正答率が得られた。特に実験群の授業直後の調査では、正答率は 90%以上と非常に高かった。この問題は日常生活の経験と重なるため理解しやすかったものと考えられる。実験群、対照群共に正答率が高いが、実験群 2 と対照群の間には危険率 10%で有意な差があり、「押す/引く」という表現を強調した実験授業の効果が若干認められると言えよう。

図 10 は、事後調査 2 における、設問 1 に対する回答結果を示している。事前調査においては、設問 1 では 5 種類の表現で回答を求めたが、図 3 に見られるように、「はたらく」と「押す/引く」の間に大きな差が見られたので、事後調査 2 では「はたらく」と「押す/引く」の 2 つの表現に絞って調査を行った。

図 10 を見ると、矢印 A と C については事前調査より正答率が大きく改善されていることが分かる。表現による違いを見ると、矢印 A については「はたらく」より「押す/引く」の方が正答率が有意に高い。しかし、矢印 B に関しては逆に「はたらく」より「押す/引く」のほう为正答率が低くなっており、矢印

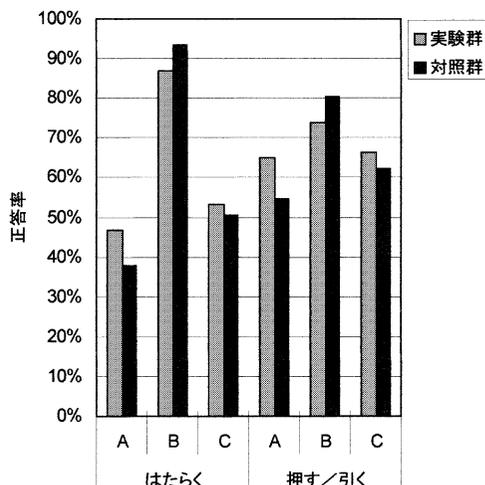


図 11. 事後調査 2 における力の表現方法による矢印の意味の正答率の違い-2

A, B については図 10 と同じであるが、矢印 C について、「机にはたらく重力」も正答とした。

C に関しては表現による正答率の違いは見られない。また、実験群と対照群の間には一見ただけでは明確な違いは見られない。

このような一件複雑な結果が得られた理由を考えてみる。矢印 A について、実験群対照群ともに「はたらく」より「押す/引く」の方が正答率が有意に高いのは、「押す/引く」という表現のほうが具体的だからであると考えられる。一方、矢印 B については「はたらく」という表現のほうが正答率が高いのは、矢印が「机から球に」向いているため、矢印の意味を正しく理解していなくても正答してしまうためであると考えられる。つまり、「はたらく」の矢印 B の高い正答率は見かけのものであると考えることができる。

しかし、それなら、矢印 C については、A と同様に、「はたらく」より「押す/引く」の方が正答率が高くなるはずである。実際にはそのようにはなっていない。これは、矢印 C を机にはたらく重力と考えてしまった生徒が少なからずいることによるのではないかと考えられる。そこで、矢印 C に関しては、机にはたらく重力を正解とみなして分析しなおしてみた。その結果を図 11 に示す。すると今度は、確かに矢印 C に関しても「はたらく」より「押す/引く」の方が正答率が高くなっていることが分かる。

次に実験群と対照群の違いについて考えてみる。

図 10 あるいは 11 は一見すると実験群と対照群との間に差がないように見える。しかし、「押す／引く」の表現を用いた場合に着目して図 11 を見てみると、実験群では矢印 A, B, C の間に正答率の有意な差は見られないのに対し、対照群では特に A と B の正答率に有意な差が見られる。対照群では「押す／引く」という表現で力を表す場合、文脈依存性が見られるということである。これは、実験群に対しては実験授業において意識的に「押す／引く」という表現で力を表した効果が現れているのではないだろうか。

4. 議論および考察

本研究では、力に関する概念的な理解の促進を図るため、力単元の導入部分で、力の用法、力の表現法、力の描画法の 3 点に工夫を凝らした実験授業を行い、その効果について事前事後調査を通して検証することを試みた。その結果、いくつかの重要な知見を得ることができた。

力の用法については、前節図 4 に見られたとおり、実験授業を受けたクラスと受けてないクラスの間大きな差が見られた。そしてその効果は、実験授業の 3 ヶ月後まで十分に残っていた。通常の理科授業においては、力の用法が問題にされることはほとんどない。教科書にもそのような説明は全く載っていない。しかし、日常生活での力という語の使われ方を検討してみると、「力を持つ」という用法が非常に多いことに気がつく。このような用法に疑問を持たずに力の学習を始めることが「運動する物体は力を持っている」という誤概念に結びついているのではないだろうか。

本研究では、力の用法に関する授業をわずか 1 時間行うことによって大きな効果が得られることが明らかにされた。このことは、本研究で行ったような授業が正しい力概念を形成する上で非常に効果的であるということを示唆している。

力の表現に関しては、「力がはたらく」という表現に大きな問題点のあることが明らかになった。「はたらく」という言葉は極めて抽象的であり、生徒によって様々な解釈がされているものと考えられる。中山・猿田 (1987) の矢印の解釈に関する問題提起も「はたらく」という言葉の持つあいまいさに起因すると考えることができる。すなわち、生徒たちは「A から B に力がはたらく」という表現を

「A から B に向かう方向に力がはたらく」と解釈しているのである。設問 1 で示されたように、「はたらく」を用いた表現では、生徒の理解を正しく評価できないという問題もある。今後中学校の力単元において「はたらく」という表現を止め、「押す／引く」あるいは「押される／引かれる」という表現を取り入れていくことが、力の概念的理解を促進する上で非常に大切であることを本研究は明らかにしたことができる。「押す／引く」あるいは「押される／引かれる」という表現は、同時に、力の主体と客体を意識させることもできる。このことは、後に作用・反作用の学習をするときにも生徒の理解を助けるであろう。

力を矢印で表示する際に作用点を強調することが力概念の獲得に効果的であるという仮説は、本研究においては直接的には検証できなかった。実験授業においても力を矢印で標記する方法についての指導は十分ではなかったと考えられる。本研究をとおして、多くの中学生が正しく矢印を使って力を描くことができていないという現実が明らかになった。今後、力の描画についてのより効果的な指導法の検討が必要であると考えられる。

5. おわりに

本研究で得られた結論は以下のとおりである。

1. 力の学習を始める前の中学 1 年生は力に関してほとんど知識がない。力の概念的な理解を促進するためには、まず力とは何かということの説明すべきである。その際、力という語を用いた文章を考えさせたり、力は相互作用であるということを繰り返して説明するなどの工夫が必要である。
2. 「力がはたらく」という表現はやめるべきである。「A が B を押す」のような表現にすべきである。
3. 力を矢印で標記することは中学生にはかなり難解な作業である。作用点の強調とともに十分な時間をかけて指導すべきである。同時に効果的な指導法についてさらに検討を行う必要がある。

本研究を遂行するに当たって、宇都宮大学教育学部附属中学校の中村靖之教諭には、実験授業の実施に関して大変お世話になりました。謹んで感謝の意

を表します。また、下野市立南河内中学校の教職員の方々にはデータの収集に際し格段の便宜を図っていただきました。ここに感謝します。

本研究の一部は、科学研究費補助金（課題番号19500723、研究代表者：伊東明彦）の補助を受けた。

参考文献

- 1) John Clement: Students' preconceptions in introductory mechanics, Am.J.Phys., 50(1), 66-71, 1982.
- 2) 中山迅・猿田祐嗣：学習者の「力」の理解に関する研究（1）－生徒のおかしやすい誤りの特徴－，日本理科教育学会研究紀要，28，No1, 35-39, 1987.
- 3) 伊東明彦・熊坂英明・水谷佳澄：中学生の力に関する理解度調査，宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要，30，483-490，2007.
- 4) 熊坂英明：力の理解を目指した中学校理科学習内容の改善に関する研究，宇都宮大学大学院教育学研究科修士論文，2007.
- 5) 水谷佳澄：中学生の力学的な力についての認識に関する研究，宇都宮大学教育学部卒業論文，2006.
- 6) 五十嵐靖則：中・高等学校理科教員志望の学生に見る科学概念の理解の実態：物体に働く力と作用反作用の関係及び釣り合いの関係の理解について，日本理科教育学会全国大会論文集，4，p130，2006.
- 7) 久保裕也・玉村雅敏・木幡敬史・金子郁容：カスタマイズ可能な調査スキーマの共有による学校評価支援，情報処理学会論文誌，46，No.1, 172-186, 2005.