

平成 21 年 6 月 25 日現在

研究種目：基盤研究 (C)
研究期間：2007～2008
課題番号：19500723
研究課題名 (和文) 生徒の実態に基づいた中学校理科「力と運動」の指導法の改善に関する研究
研究課題名 (英文) A Study for the Improvement of Instruction about “Force and Movement” in Science Education of Junior High School based on the Students’ Understanding.
研究代表者 伊東 明彦 (ITO AKIHIKO) 宇都宮大学・教育学部・教授 研究者番号：70134252

研究成果の概要：

本研究では、中学生高校生を中心に彼らがどのような力概念を持っているのかを調査し、中学校や高校で行われている初歩の物理学の授業の問題点を洗い出すことができた。それらをまとめると次のようになる。

- 1) 中学校 1 年生において行われている力の学習において、力とは何かを明確に定義すべきである。少なくとも、「力とは押したり引いたりすることである」、ということを生徒に理解させる必要がある。さらに、付け加えるなら、力とは物体の速さを変える働きである、ということもとらえさせたい。
- 2) 中学生は日常生活で使っている力という語と、理科学習に置いて使われる力の区別ができていない。
- 3) MIF 的な力概念は現在でも広く中学生高校生に認められる。

以上の所見から、言葉による説明だけでは生徒に力とは何かを十分納得させることは困難であるといえる。

本研究ではこのような調査結果を受けて、物体に働く力を視覚的に表示できる教材「Fi-Cube」を開発した。Fi-Cube を用いた授業実践において、これまで習得することが困難であると思われていた慣性の法則に関する理解が大きく促進され、同時に MIF 的な力概念が押しよこされることが明らかとなった。Fi-Cube を効果的に利用することによって、これまで様々な方策が講じられながら決定的な改善策が見いだせていなかった力概念の獲得に大きく一歩踏み出すことができるものと考えられる。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,000,000	600,000	2,600,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：分科「科学教育・教育工学」・細目「科学教育」

キーワード：力表示器, Fi-Cube、科学教育, 中学校理科, 力学概念, 物理教育, 力と運動

1. 研究開始当初の背景

平成5年度版科学技術白書で指摘された日本における若者の理科離れの傾向については、その後の多くの研究によりその実態が議論されてきた。例えば、伊東（2000）は大学生の実態について調査し、科学的な見方考え方が培われていないことを指摘した¹⁾。また、伊東・賈（2003）は、中国と日本の中学生の理科および自然科学に対する意識調査を行い、日本においては中学生の3割程度しか理科を好きであると考えておらず、中国との間に大きな差があることを示した²⁾。

この問題を考える上で非常に重要と思われるのは、自然科学を本格的に学習し始める中学生頃から理科嫌いが増加することである。特に、物理関係の学習内容は他の分野と比較して際立って人気がない。このことは、中学校における物理関係の学習内容と理科嫌いの間に何らかの関連があることを示唆している。

物理分野は高校や中学校において生徒に理解されにくい分野であるという指摘が多くの研究者によってなされている。平成15年度に国立教育政策研究所が実施した教育課程実施状況調査においても、物体に働く力と運動の関係に関する問題において、設定通過率50%に対し正答率は21%であり、期待値を大きく下回っていることが見出されている。筆者らも、独自の調査より中学校の第1分野のうち「力と運動」に関する理解度が極めて低いということを示した³⁾。

以上を勘案すると、中学生から理科嫌いが増える一つの要因として、物理分野、特に、力と運動の学習が多くの中学生にほとんど理解されていないことが挙げられる。理解が不十分なために興味も湧かず嫌いになるのではないかと考えられる。本研究では、この仮説を検証すべく、次に述べるような調査研究を行った。

- 1) 伊東明彦, 宇都宮大学教育学部紀要, 50-2, 7-16, 2000.
- 2) 伊東明彦・賈海平, 日本理科教育学会全国大会発表論文集, 1, 250, 2003.
- 3) 遠藤浩介・伊東明彦, 日本理科教育学会全国大会発表論文集, 1, 245, 2003.

2. 研究の目的

本研究では、第1に、中学校理科の中でも際立って生徒の理解度が低いと思われる「力と運動」単元に関連し、生徒の力概念、慣性概念の理解度の実態を調査し、理解が十分に

ない理由を明らかにする。そして、その調査に基づいて、生徒の力概念の形成を支援する指導法や教材の開発を行い、開発した教材の有効性を検証する。さらに、新しい教材を用いることにより、生徒の物理に関する意識、好き嫌いがどのように変化するかを明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 中学生の力概念の調査と授業改善の試行

中学生の持つ代表的な「力」に関する素朴概念を明らかにするため、「力」という語の用法に関する調査、物体に働く力を正しく表記できるかどうかの理解度調査などを実施した。その結果、中学校の学習の初段階において、「力とは押したり引いたりすることである」、「力が働くと物体の速さが変わる」などの「力」の定義を明確にする必要があることが明らかとなった。また、「力」の表記法に関する指導の必要性、指導時の教師の言葉遣いの問題点などに関する多くの示唆が得られた。これらの知見をもとにしていくつかの試行授業を実践した。これらの成果については、発表論文①および②に詳述した。

(2) 生徒の力概念の獲得を支援する教材の開発

中学生や高校生にとって力概念の理解を困難にしているもうひとつの理由として、力という概念が加速度によって間接的に定義される抽象的なものであり、決して目で見ることはできないものであるということが考えられる。力の理解を促進するためには、物体に働く力の向きと大きさをダイレクトに認識できる教材が必要だと考えられる。

このような考えに基づいて、本研究では、力を可視化する装置である、力表示器「Fi-Cube」の開発を行った。

(3) 「Fi-Cube」を用いた授業実践

本研究で開発した力表示器「Fi-Cube」の有効性を検証するため、「Fi-Cube」を使った力と運動の授業を、中学生、高校生、大学生を対象に行い、生徒らの概念変容を調査した。そして、力を可視化させることが生徒の力概念の獲得にどのような影響を与えたかを検討した。

4. 研究成果

(1) 中学生・高校生の力概念の理解度

栃木県内の中学生を対象としたアンケート調査及び授業実践を伴う概念調査の結果については、論文①および論文②にまとめられている。それらの調査から以下のようなことが明らかとなった。

まず、力と運動について学習後の中学生であっても、力という語の用法についてほとんど正しく理解していないということがわかった。図1は、A: ゆっくり走っている車より、速く走っている車の方が大きな力を持っている、B: 壁を押したら、同時に壁から力を受けた、C: 投げたボールは、飛ぶ力がなくなったら落ちる、D: 同じ速さで走っていても、バイクより大きなトラックの方が大きい力を持っている、という4つの文章の中の「力」という語の用法が科学的に正しいかどうかを聞いた結果を示している。もちろん、正しい用法はBのみであり、その他は科学的には誤った用法である。図1をみると、しかしながら、力という言葉を経験的に正しく理解している生徒の割合は2割に過ぎないことが分かる。

また、慣性の法則についての理解度を調査するため、図2のような図を示しそれぞれの場合に箱にはどのような力が働いているかを質問した。慣性の法則について履修しているはずの高校1年生に関する調査結果を図3に示す。図3から、慣性の法則を理解している生徒は5%以下であることが分かる。

これらの結果は、力に関する理解が不十分であることは、これまでも多くの研究者によって示されてきたが、それら多くの研究結果が教育現場に生かされていないということがはっきり示されていると言えよう。

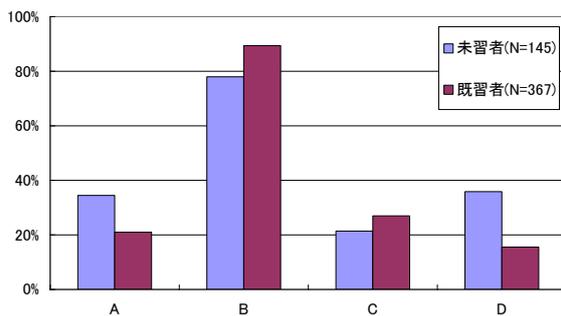


図1. 力の使用法の正答率

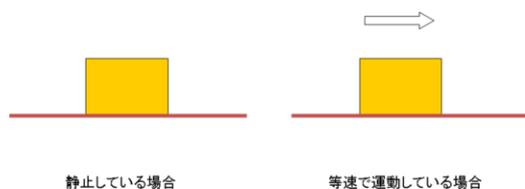


図2. 慣性の法則に関する質問に用いられた図

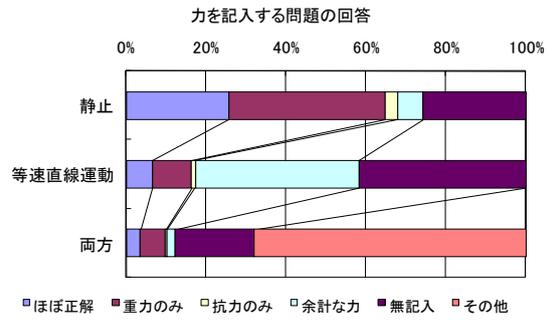


図3. 図2の問題に対する高校生の回答結果

(2) 力表示器「Fi-Cube」の開発

上術のように、力に関する正しい概念が獲得されていない理由の一つとして、力は2つの物体間に働く目に見えない相互作用であるということが挙げられる。そこで、本研究では、力を可視化する装置「Fi-Cube」の開発を行った。

① Fi-Cube の概要

力は $F=ma$ という運動方程式によって定義されている。したがって、物体の加速度を可視化すれば、力を可視化したことになる。本研究で開発した力表示器「Fi-Cube」はこの考えに従ったものであり、内部に装備された加速度センサーにより物体の加速度を測定して、これを力として3つの方向のLEDの点灯で表す装置である(写真1)。Fi-Cubeは内部に3次元加速度センサーを備えており、これによって計測した加速度をLEDに表示するようになっている。しかし、単に加速度をLEDで表示するだけでは、中学校や高校における指導内容に合致するような形で力を表示することはできない。そのため、Fi-Cubeではいくつかの工夫をしている。詳細については論文③を参照されたい。

② 製品版 Fi-Cube の試作

研究2年目には、Fi-Cubeを用いた様々な授業を行い、その有効性、効果的な使用法の検討を行った。それに先立って、Fi-Cubeの



写真1. 初期型 Fi-Cube

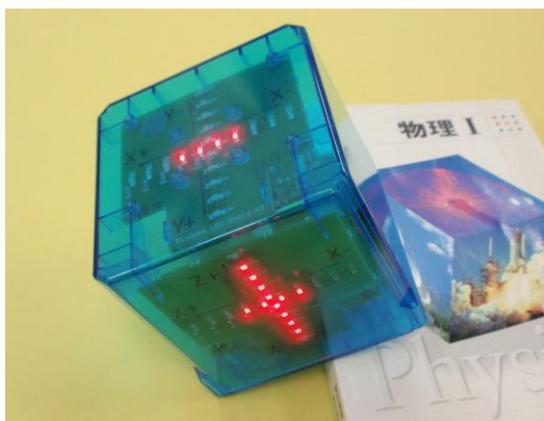


写真 2. 製品版 Fi-Cube

量産可能な製品の開発を行った(写真 2 参照)。

製品版では、初期型で用いていたアナログ加速度センサーをデジタルに変更し、ノイズの軽減、内部の処理プログラムの簡略化を図った。

開発した力表示器「Fi-Cube」は宇都宮大学から特許出願された。

(3) 「Fi-Cube」を用いた授業試行

本研究で開発した力表示器「Fi-Cube」の有効性を検証するため、「Fi-Cube」を使った力と運動の授業を、中学生、高校生、大学生を対象に行い、生徒らの概念変容を調査した。そして、力を可視化させることが生徒の力概念の獲得にどのような影響を与えたかを検討した。詳細については、研究協力者の渡辺一博の修士論文「理科教育における力概念の形成をめざした実践的研究ー力表示器「Fi-Cube」の開発と授業実践ー」を参照されたい。

図 4 は、中学生を対象として実施した Fi-Cube を用いた施行授業後に行った慣性の法則に関する理解度についての調査結果を示している。図 4 では、Fi-Cube を用いていないクラスにも同様の調査を行い、その結果を

対照群として示している。これをみると、実験群、対照群共に静止物体に働く力の正答率はほぼ同じで 80%以上と非常に高い値を示している。ところが、等速直線運動をする物体に働く力に対しては、実験群の正答率は 70%程度であるのに対して、対照群の正答率は 40%程度であり、その間に大きな差があった。検定の結果この差は有意であると判定された。すなわち、Fi-Cube を用いたクラスのほうが慣性の法則に対する理解度が高かったことを示している。実験群の授業は大学院生によって行われ、対照群の授業はベテランの現職教員が実施したことを考慮すると、Fi-Cube を用いたことが生徒の慣性の法則についての理解を大幅に向上させたといえることができる。

宇都宮大学教育学部では、高校性を対象としたサイエンス・パートナーシップ・プロジェクト(以下、SPP と呼ぶ)事業に積極的に取り組んでいる。SPP における実験講座を利用して、高校生を対象として Fi-Cube を用いた力と運動の授業を行った。対象は、公立高等学校の 2 年生 22 名であり、「物体の運動」の単元は物理の授業で学習済みである。

授業は「Fi-Cube」を用いて物体に働く力を目で見て確認するとともに、その運動の様子を調べることで、力と運動の実感することをねらいとした。授業時間は約 120 分とし、以下のような内容で構成した。まず、「Fi-Cube」の取り扱いについて、実際に生徒らが「Fi-Cube」を手にとり、力の表示を観察させながら説明した。次に、水平面および斜面において運動する物体に働く力を、「Fi-Cube」を使って観察させた。最後に、斜面を下る台車に働く力と運動の様子を、ニュートン計と打点タイマで調べる実験を行い、力と運動の関係についての定量的な考察を経て運動方程式を導いた。写真 3 は実験講座の様子を示している。



図 4 中学生に対して行った事後調査における回答結果。

授業の受講による生徒の力概念の変容を調べるため、授業の前と授業の 2 週間後に力の理解に関する質問紙調査を行った。また、授業終了直後に「Fi-Cube」の感想を自由に記述してもらった。

事前調査と事後調査の正答率を比較すると、いずれの質問に対しても授業実施後に正答率が上昇していることが分かる。慣性の法則についての変化は有意な差



写真3 高校生を対象とした試行授業の様子

ではないものの、授業による改善がみられる。すなわち、中学生だけでなく、高校生に対しても「Fi-Cube」を使った授業は、慣性の法則の理解の促進に効果的であると言えよう。また、「減速する物体に働く力」に関する設問では、授業後に事前に比べ有意に高い正答率が得られた。一般に、進行方向と反対の方向に力が働く運動は、生徒にとって難解であると考えられている。同様に「一定の力が働き続ける運動」に関する設問でも、事後が有意に高い正答率を示している。Fi-Cube を用いて、減速時に働いている摩擦力を視覚化したり、一定の力を加え続けた場合の運動を実験によって確かめたことにより、これらの設問に対する正答率が上がったものと考えられる。

大学生を対象とした実践においても同様に、Fi-Cube を用いることにより、慣性の法則に対する理解を向上させることができた。また、試行授業に参加した高校生、大学生からは、Fi-Cube を用いた授業が大変わかりやすいという多くの感想が得られた。

これらの試行授業の結果、Fi-Cube を授業で用いることにより、生徒の力概念の獲得を促進させることができるということが明らかにされた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① 熊坂英明・伊東明彦・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、査読無。
- ② 伊東明彦・吉原智久・熊坂英明・大谷直之、中学校理科「力と運動」の指導法の改善に関する研究、宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要、31、181-188、

2008、査読無。

- ③ 伊東明彦・渡辺一博、力の学習を支援する力表示器「Fi-Cube」の製作と授業実践、宇都宮大学教育学部紀要、59-2、2009、査読無。
- ④ 人見久城・伊東明彦、小中学校の理科指導に関する教員の意識、宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要、31、189-198、2008、査読無。
- ⑤ 南伸昌、中学校理科教育実習の事前指導とその効果(2)、宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要、31、199-204、2008、査読無。

[学会発表] (計 7 件)

- ① 熊坂英明・伊東明彦、中学生の力の認識の実態について—「力と運動」単元の改善の必要性、日本理科教育学会第 45 回関東支部大会研究発表要旨集、2006。
- ② 伊東明彦・熊坂英明、力の理解をめざした中学校理科指導の改善について、日本理科教育学会全国大会発表論文集、5、2G-05、2007。
- ③ 渡辺一博・伊東明彦・金子健治、「力表示器」を用いた中学生の力概念の育成をめざした授業実践、日本理科教育学会全国大会発表論文集、6、1M-04、2008。
- ④ 人見久城・伊東明彦、小中学校の理科指導に関する教員の意識(1)、日本理科教育学会全国大会発表論文集、6、2K-05、2008。
- ⑤ 伊東明彦・人見久城、小中学校の理科指導に関する教員の意識(2)、日本理科教育学会全国大会発表論文集、6、2K-06、2008。
- ⑥ 渡辺一博・伊東明彦、力のイメージを育てる「力表示器」の開発、日本理科教育学会全国大会発表論文集、6、WS-07、2008。
- ⑦ 渡辺一博・伊東明彦・金子健治、力表示器「Fi-Cube」を用いた力概念の育成をめざした授業実践、日本理科教育学会第 47 回関東支部大会研究発表要旨集、C11、2008。

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称：視覚的力表示装置並びに理科教材及び科学玩具

発明者：伊東明彦・渡辺一博

権利者：宇都宮大学

種類：特許

番号：P08-008

出願年月日：2008 年 9 月 12 日

国内外の別：国内

[その他]

- ① 渡辺一博、理科教育における力概念の形成をめざした実践的研究－力表示器「Fi-Cube」の開発と授業実践－、宇都宮大学大学院教育学研究科平成 20 年度修士学位論文、2008.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊東 明彦 (ITO AKIHIKO)
宇都宮大学・教育学部・教授
研究者番号：70134252

(2) 研究分担者

人見 久城 (HITOMI HISAKI)
宇都宮大学・教育学部・准教授
研究者番号：10218729
南 伸昌 (MINAMI NOBUMASA)
宇都宮大学・教育学部・准教授
研究者番号：80292572

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者

渡辺一博 (WATANABE KAZUHIRO)
宇都宮市立築瀬小学校・教諭