

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 元年 6 月 11 日現在

機関番号：14601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K04688

研究課題名(和文)小・中学校間の理科学習の円滑な接続のための押さえておくべき基礎技能の究明

研究課題名(英文) Investigation of Basic Skills to Be Held for Smooth Connection of Science Learning between Elementary and Secondary School

研究代表者

石井 俊行 (ISHII, TOSHIYUKI)

奈良教育大学・理科教育講座・准教授

研究者番号：50636446

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：中学生になった途端に理科の内容が難しいと感じる生徒が多い。理科は特に基礎技能を必要とする。中学校の理科の学習を進めていく上で、小学生の理科や算数の何をしっかりと学ばせておけば、中学校に進学しても円滑に学習が進められるのであろうか。本研究の目的は小学生に重点的に指導すべき「押さえておくべき基礎技能」を特定することにある。この点を調査し分析した。その結果、電気分野では「電圧は水流モデルでの高さに当たることの導入」が、電熱線の発熱では「発熱をビー玉のボルトへの衝突で示したモデルの導入」が有効であり、濃度計算では「百分率を小数に変換する」の基礎技能の習得が最重要であることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

中学生になった途端に理科の内容が難しいと感じる生徒が多いため、小学生のうちに重点的に指導すべき基礎技能として、電気分野では「電圧は水流モデルでの高さに当たることの導入」が、電熱線の発熱では「発熱をビー玉のボルトへの衝突で示したモデルの導入」が有効であり、濃度計算では「百分率を小数に変換する」の基礎技能の習得が最重要であることが明らかになった。他の分野についても調査しなければならないが、これらの技能を小学生に重点的に指導すれば、小・中学校における円滑な接続がなされ、結果的に児童・生徒が理科に対して興味・関心が持て、学業不振や理科嫌いの児童・生徒が減少することが期待できる。

研究成果の概要(英文)： Many students feel that the content is difficult as soon as they become junior high school students. What do students learn when they are in elementary school? This point was investigated and analyzed. The following has become clear.1) In the field of electricity, "Introducing voltage to the height of a water flow model" is effective.2) For the heat generation of the heating wire, it is effective to introduce a model that shows heat generation as a collision of marbles with bolts.3) In concentration calculation, it is necessary to acquire basic skills of "convert percentage to decimal".

研究分野：理科教育

キーワード：基礎技能 小中接続 濃度計算 電圧 電熱線の発熱 てこ

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

小学校を卒業し中学校へ進学する際、学習内容の難しさや進度に対し不安を抱く児童は多い（中1ギャップ）。理科ではその傾向が顕著で、中学生になった途端に内容を難しいと感じる生徒が多い。特に、目に見えない現象、イメージし難い内容や数学的計算を必要とする内容を難しいと感じることが報告されている。具体的には、力、圧力、浮力、密度、電気、磁界、原子・分子、イオン、仕事、天体、飽和水蒸気量といった内容で、主に第1分野を敬遠する傾向にある。理科に限らず、生徒が中学校に入学し、教科内容を理解しようと思っても、必要な基礎技能を身につけていなければ理解することはできない。特に理科は基礎技能を必要とする学習が多い。理科と数学（算数）との関連が深い基礎技能には、「単位当たり量の大きさ（例えば密度の 1cm^3 あたりの質量）」「表・グラフの作成」「比の利用」等がある。これらの基礎技能は理科の学習を進めていく上で非常に重要である。仮に、生徒がこれらの基礎技能を身につけていないとしたならば、それらの基礎技能を訓練してでも身に付けさせなければ内容を理解させることは難しい。理科教師は、限られた授業時数で学習指導要領に定められた学習内容を完結せざるを得ず、生徒がたとえこれらの基礎技能を身につけていなくても授業を進めざるを得ないのが現状である。その結果、いわゆる「学業不振の児童・生徒」や「理科嫌いの児童・生徒」を増加させている。このため、今日の教育問題である、「学業不振の児童・生徒」や「理科嫌いの児童・生徒」を少しでも減らすためにも、小学生のうちから、「押さえておくべき基礎技能」をしっかりと習得させる方策を取る必要がある。しかし、小学校と中学校での理科と数学の接続の部分での中1ギャップを埋めるための取組に関する研究は、喫緊の課題にもかかわらずほとんど行われていないのが現状である。このため「押さえておくべき基礎技能」は未だに特定されておらず、小学生に指導すべき内容に関する研究報告は見られない。

そこで、中学校の理科の学習を進めていく上で、小学生の理科や算数の「押さえておくべき基礎技能」は何なのかを特定することにした。

2. 研究の目的

中学校の理科の学習を進めていく上で、小学生の理科や算数の中の何をしっかりと学ばせておけば、中学校に進学しても円滑に学習が進められるのかを究明し、小学生に重点的に指導すべき「押さえておくべき基礎技能」を特定する。

3. 研究の方法

(1) 電圧概念の導入

(a) 被験者

公立小学校第4学年の2学級（44人）を対象に行い、統制群に1クラス22人、実験群に1クラス22人を当て、プレテスト、ポストテスト、フォローアップテストおよび意識調査を実施した。

(b) 調査問題

(ア) 「プレテスト」

回路の理解を評価する問題、乾電池を逆につないだ回路の理解を評価する問題になっている。

(イ) 「ポストテスト」

プレテストと同一のものを使用した。

(ウ) 「意識調査」

ポストテストの実施後行った。

(エ) 「フォローアップテスト」

ポストテスト実施後の1ヶ月後、3ヶ月後のフォローアップテストを実施し、その内容はプレテストと同一のものを使用した。

(c) 実験群のみの電圧の特別授業（20分間）の内容

- ・電流を流そうとするはたらきの大きさのことを「電圧」ということ。
- ・乾電池の電圧の大きさは 1.5V であること。
- ・水流モデルを用いて電流は水の流れ、乾電池は水を汲み上げるポンプのようなもの、豆電球は水車であり、明るいということは水車の回転が速いこと。
- ・水流モデルの落差（高さ）が電圧を表していること。ここでの落差は、ポンプで水を上に汲み上げる際の高さに等しく、高さが高いほど電圧が高いことを意味している。そのため高さのある水が下に落ちる際の落差がその間での電圧に等しい。高さが高いほど水車は勢いよく回転することを説明した。
- ・乾電池を直列につなぐということは、乾電池を縦に積み上げていくこと。つまり、乾電池2個を直列につなぐことは、縦に乾電池を2つ積み上げることで、高さが乾電池1個のときの2倍の高さになるため、電圧は $1.5\text{V}+1.5\text{V}=3.0\text{V}$ となり水車が勢いよく回転し、豆電球はさらに明るくなること、同様に、乾電池3個を直列につなぐことは、縦に乾電池を3つ積み上げることで、高さが乾電池1個のときの3倍の高さになるため、 $1.5\text{V}+1.5\text{V}+1.5\text{V}=4.5\text{V}$ となり、高さが乾電池1個のときの3倍の高さになるために、乾電池2個のときよりも水車がさらに勢いよく回転するので、豆電球の明るさがさらに明るくなることを理解させた。したがって、「乾電池の直列つなぎは、乾電池を縦に積み上げていく」というイメージを持たせた。乾電池1個分の高さが 1.5V 、乾電池2個分の高さが 3.0V 、3個分の高さが 4.5V となり、4個分

の高さが6.0 Vとなり、1.5 Vずつ電圧が増えていくことを説明した。

・乾電池を並列につなぐということは、乾電池を横に並べること。つまり、乾電池2個を並列につなぐことは、乾電池を横に2つ並べて置くことで、高さは乾電池1個のとき（電圧は1.5 Vのまま）と変わらないために水車の回転は同じであるため、豆電球の明るさは変わらないこと。同様に、乾電池3個を並列につなぐことは、乾電池を横に3つ並べて置くことで、高さは乾電池1個のとき（電圧は1.5 Vのまま）と変わらないために水車の回転は同じであるため、豆電球の明るさは変わらないことを理解させた。したがって、「乾電池の並列つなぎは、乾電池を横に並べて置くこと」というイメージを持たせて理解させた。

・2個の乾電池の極を向い合せでつなぐと水流モデルでの高さが0となるため（電圧は1.5 V-1.5 V=0 Vになる）、水車は回転せず、豆電球は点灯しないこと。

・2個の乾電池の極を向い合せでつなぎ、そこに乾電池1個をつなぐ逆さつなぎでは、水流モデルの高さが1個分となるため（電圧は1.5 V-1.5 V+1.5 V=1.5 Vになる）、乾電池1個のときと明るさは変わらないこと。

・乾電池の直列つなぎでは、その向きによって、乾電池の電圧を足したり引いたりして計算できること。

(2) 電熱線の発熱でのモデルの導入

(a) 被験者

公立小学校第6学年の3学級（統制群に1クラス28人、実験群に2クラス59人）を対象に実施した。

(b) 調査問題

(ア) 「テストA」

「電熱線の太さ」と「発熱」の関係を問う「電熱線の発熱」で習得すべき内容の問題である。

(イ) 「テストB」

電熱線の太さと電流の大きさの関係性と、電流の大きさと発熱の大きさの関係性を問う問題である。

(ウ) 「テストC」

電熱線の太さ、発熱、電流の大きさのそれぞれと、電熱線の原子と電気の粒（電子）がぶつかる回数との関係を問う問題である。

(エ) 「意識調査」

電熱線の発熱についての理解の程度を、5件法を用いて尋ね、さらに電熱線が発熱する仕組みを自由記述で解答させた。

(c) 粒子概念を導入した特別授業の内容

(ア) アニメーションによる指導

「電熱線が発熱する仕組み」と「太い電熱線は細い電熱線に比べよく発熱する」ことについてのイメージをもたせるために、①電熱線は目に見えない小さな粒（原子）が集まってできていること、②電気の粒（電子）が原子の粒とぶつかり（こすれ）ながら移動していくこと、③太い電熱線は、細い電熱線に比べ一度に多くの電気の粒（電子）が移動し、電気の粒（電子）と原子とがぶつかる（こすれる）数（回数）が多いためよく発熱すること、を説明した。

(イ) ビー玉モデルによる指導

木の板の両長辺に壁を設け、その間に等間隔でネジを打ち込み原子を表現した2つの「ビー玉モデル」を作成した。片方は、太い方の電熱線を表した板の幅の広いモデルで、もう片方は、細い方の電熱線を表した板の幅の狭いモデルである。①ストッパーを取り除いて、上部からビー玉がネジにぶつかり（こすれ）ながら、下部へと転がる現象を児童に見せ、電気の粒（電子）が原子とぶつかる（こすれる）ことで電熱線が発熱する仕組みについて説明、②幅の広いモデルと狭いモデルの両方を用い、両ストッパーを同時に取り除いてビー玉を落とし、幅が広ければ、ビー玉とネジがぶつかる（こすれる）数（回数）が多くなることを観察させ、電熱線の幅が広ければ発熱の量も多くなること、を説明した。

(3) てこの学習における爪切りの導入

(a) 被験者

被験者は、公立小学校第6学年の2クラスで、統制群24名、実験群19名に実施した。

(b) 調査問題

(ア) 「てこ」と理科に関する意識調査

5段階評価で尋ねた8つの質問と記述式で構成されている。

(イ) 「てこの仕組みに関するテスト」

模式的なてこに関する知識が定着しているかを確認する問題、授業で取り扱わなかった道具について知識を活用して考えられるかを問う問題になっている。

(ウ) 「爪切りに関するテスト」

実験群のみに対し「爪切り」の学習に関してどれくらい理解できているのかを問う問題になっている。

(4) 濃度計算における基礎技能

(a) 被験者

被験者は、公立中学校3年生4クラス115人である。

(b) 調査問題

(ア) 「公式問題」

濃度問題を解く際に必要な濃度の公式に関する問題である。

(イ) 「総合問題」

既知の食塩水の濃度と全体の質量から、一定の濃度まで水分を蒸発させた際の食塩水全体の質量を求める問題である。

(ウ) 「中位問題」

「総合問題」を小問(問1)、(問2)をスモールステップ化させ、生徒がより解答し易くした問題である。

(エ) 「下位問題」

「中位問題」(問1)、(問2)に「百分率」や「濃度の公式」等のヒント与えた問題である。

(オ) 「計算問題」

濃度問題を解く際に必要な計算に関する数学的スキルをはかる問題である。

(カ) 「意識調査」

濃度問題に対しての苦手意識を見出すための調査である。

4. 研究成果

(1) 電圧概念の導入

電圧概念を導入した授業を行うことによって、実験群の平均値はポストテスト、1ヶ月後、3ヶ月後のフォローアップテストにおいても統制群に比べ有意に高く、長期にわたる学習の定着が認められた。このような指導の工夫により、小学生にも電圧概念をある程度理解させることができるものと考えられる。また、電流や乾電池のはたらきについての自由記述の問いに対して、実験群は統制群に比べ、科学的な回答が多いことが明らかとなった。現在の小学校学習指導要領では、電流概念のみで電圧概念は扱わないとしている。このため、豆電球は乾電池の直列つなぎでは明るくなり、乾電池の並列つなぎでは明るさは変わらないことについて説明することができず、結果を暗記せざるを得ない。これらを児童にうまく理解させるためにも水流モデルを用いて、電圧概念を導入することは有効である。

(2) 電熱線の発熱でのモデルの導入

太さの異なる電熱線の発熱量の違いの問題に半数程度の大学生が「細い電熱線の方が電熱線内部を電子が移動しづらいためによく発熱する」と誤答する。太さの異なる電熱線の直列つなぎにおける発熱量の比較ではこの考え方で良いが、並列つなぎや個々の回路で比較した場合にはそのまま適応することができない。また、「太い電熱線の方が細い電熱線に比べよく発熱する」と実験事実をただ暗記するだけの学習では、発展的な内容には繋げにくい。本研究は小学校第6学年理科「電熱線の発熱」に粒子概念を導入することで、児童の電熱線の太さによる発熱の違いや発熱の仕組みの理解が深まるのかを明らかにするために行った。その結果、粒子概念を導入した特別授業は、「電熱線が発熱する仕組み」とともに、「太い電熱線の方が細い電熱線よりもよく発熱する」ことを理解させるのに一定の効果があることが実証された。

(3) てこの学習における爪切りの導入

「爪切りの仕組みに着目させる特別学習」の実施の有無で児童の意識面と理解面を比較した結果、この特別学習は意識面のみ授業直後で児童にてこの有用性を実感させるのに一定の効果があった。また、てこの学習における興味・関心面や学力面での効果は認められなかった。しかし、「爪切り」は小学校第6学年の児童にとって家庭で使用しながら観察できる身近な道具であり、かつその仕組みについても概ね理解できる範囲内の内容なので授業で取り上げていくとよいと考える。理科を教えることを得意としない小学校教員にとって、普段使用している「爪切り」を教具として活用する理科授業は高度な専門的な知識を要せず実践し易いと考える。このため、理科を教えることの得意、不得意にかかわらず小学校教員が各学校で「爪切りの仕組みに着目させる特別学習」の授業実践を行うことで、児童がてこの学習で学んだことの意義や有用性について実感させることができると考える。

(4) 濃度計算における基礎技能

生徒を習熟の段階でⅠ～Ⅵの6グループに分け、そのグループ間で「公式問題」「計算問題」「意識調査」の正答・誤答者数を比較分析した結果、生徒が水溶液の濃度計算に関する問題を解決する際につまずく要因は、「食塩水の構造」「溶液の構造」「食塩水の濃度の公式」「濃度の公式」「百分率から小数への変換」「百分率の計算」「方程式の計算」「濃度の公式の変形」の知識・技能の不足によるものであることが明らかになった。以下に、水溶液の濃度計算における学習指導法について検討する。

(a) 食塩水(溶液)の構造の把握

グループⅢとⅥの差及びグループⅢとⅤの差から、最初に獲得させるべき概念は、「食塩水の構造」であると考えられる。これは濃度学習の基盤となるものである。小学校5年生の「もの」と

け方」から慣れ親しんでいる食塩水を題材に、「溶かす前の水と食塩の重さは、溶かした後の食塩水の重さに等しい」ことを理解させながら、「水の質量+食塩の質量が食塩水の質量である」といった「食塩水の構造」を把握させる必要がある。次に、「食塩」は「溶質」、「水」は「溶媒」、「食塩水」は「溶液」を示しているというように、教師は「食塩水の構造」を一般的な「溶液の構造」と対比させながら指導を行っていく必要がある。食塩水の濃度の公式を併せて指導していくと効果がある。

(b) 百分率の計算の技能の習得

グループⅢとⅥの差及びグループⅢとⅤの差には、「百分率から小数への変換」や「百分率の計算」があった。また、グループⅢとⅣの差にもあったように、「百分率を小数に変換して溶質を求める」解法など、濃度の問題を解決するには、百分率を小数に変換する数学的スキルが不可欠であることが分かる。中学校第1学年の理科教科書では、「濃さの表し方」において、欄外に「百分率の小数への変換」や「百分率の計算」について記載のある教科書も一部見受けられるが、小学校での既習事項であるため、中学校理科の授業中にあえて復習の時間を設けている可能性は低い。百分率は小数の数値に100倍掛けた数値であるので、逆に百分率の数値を小数の数値に戻すには、百分率の数値の小数点を左に2個移動させれば小数の数値が求められる等の数学的スキルの確認が必要である。

(c) 化学用語での濃度の公式把握

グループⅢからグループⅡに移行させるためには、「化学用語での公式」を理解させていく指導が必要である。現行の中学理科教科書では、「溶質、溶媒、溶液」の用語を用いた質量パーセント濃度の公式のみが記載され、「食塩、水、食塩水」を用いた、「(食塩の質量)×100/(食塩の質量+水の質量)」というような公式は記載されていない。一般的な「化学用語での濃度の公式」と「具体的な物質名を用いた濃度公式」とを並べて指導を行い、確実に「化学用語での濃度の公式」を理解させていく必要がある。特に、濃度の公式では、溶質が分母と分子の両方にあるため、分母にある溶質は、溶液に含まれている溶質であることを十分に指導していく必要がある。

(d) 方程式の計算技能の習得

グループⅢからグループⅡに移行させるためには、方程式の計算スキルが不可欠である。最初に濃度の公式における分母に当たる部分に水と溶質それぞれの質量を、分子に当たる部分に溶質の質量をそれぞれに代入して100倍した数値が濃度(%)であることを、十分に理解させていく必要がある。次に、方程式が解けるようにする必要がある。グループⅡとグループⅠの差にもあったように、グループⅡの生徒は方程式を解く際の「公式の変形」に苦手意識をもっていた。分母が「 $x+30$ 」の方程式、あるいは分母が「 x 」の方程式を解く際に、両辺に分母と同じ「 $x+30$ 」あるいは「 x 」を両辺にかけることで分母の項をなくし、方程式を解き易くする数学的スキルの指導を理科の授業中にも行っていく必要がある。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計5件)

- ① 石井俊行、高井成泰、森本弘一、物体と平面鏡に映る虚像の位置関係を捉えさせる教具の開発～ハーフミラーを導入した光の反射実験～、物理教育、査読有、日本物理教育学会、Vol.66、No.2、2018、87-92
- ② 石井俊行、寺窪佑騎、水溶液濃度計算におけるつまずきの要因と学習指導法の検討～小学校からのカリキュラムマネジメント～、科学教育研究、査読有、日本科学教育学会、Vol.42、No.1、2018、25-36
- ③ 石井俊行、八朝陸、電熱線の発熱の学習に粒子概念を導入することの効果～小学生に発熱の仕組みを理解させるために～、科学教育研究、査読有、日本科学教育学会、Vol.41、No.4、2017、438-448
- ④ 石井俊行、橋本美彦、理科・数学教師間の連携の強さが学習の転移に及ぼす影響：類推的問題解決能力の向上を目指して、科学教育研究、査読有、日本科学教育学会、Vol.40、No.3、2016、281-291
- ⑤ 石井俊行、八朝陸、伊東明彦、小学校理科に電圧概念を導入することの効果：電気学習の新たな試み、科学教育研究、査読有、日本科学教育学会、Vol.40、No.2、2016、222-233

[学会発表] (計11件)

- ① 石井俊行、橋本美彦、類推的問題解決能力向上のための理科・数学教師間の連携とは？、日本理科教育学会第66回全国大会論文集、2016、392、於信州大学
- ② Toshiyuki ISHII、Riku YATOMO、Koichi MORIMOTO、Akihiko ITO、A Study on the Effect of Teaching Electric Voltage to Elementary School Students on Their Understanding of electricity、2016 International Conference of East-Asian Association for Science Education (EASE 2016 TOKYO)、2016、43、於東京理科大学
- ③ 榎本有真、石井俊行、小学校理科「てこ」における科学の有用性に関する一考察～つめきりの学習を導入することの効果～、日本理科教育学会近畿支部大会(大阪大会)、2016、34、於大阪教育大学
- ④ 八朝陸、石井俊行、児童の電流の考え方の実態とその改善に向けた指導法の検討、日本理

- 科教育学会近畿支部大会（大阪大会）、2016、39、於大阪教育大学
- ⑤ 寺窪佑騎、石井俊行、中学校理科・数学における濃度学習を阻害する要因の究明～小・中連携を意識して～、日本理教育学会近畿支部大会（大阪大会）、2016、50、於大阪教育大学
 - ⑥ 石井俊行、橋本美彦、全国学力・学習状況調査B問題に対応する能力を高めるには？：類推的問題解決からのアプローチ、日本理科教育学会関東支部大会、2016、108、於埼玉大学
 - ⑦ 石井俊行、榊本有真、南口有砂、児童に科学の有用性を実感させる理科授業の試み～「てこの利用」につめきりを導入することの効果～、日本理科教育学会全国大会、2017、157、於福岡教育大学
 - ⑧ 石井俊行、寺窪佑騎、水溶液の濃度計算におけるつまずきの要因～小学校からの教科横断型カリキュラム・マネジメント～、日本科学教育学会年会、2017、14、於香川サンポート高松
 - ⑨ 石井俊行、榊本有真、南口有砂、小学校理科「てこの利用」に爪切りの学習を導入することの効果～てこの学習の有用性の実感と興味・関心を高めさせるために～、日本理科教育学会北陸支部大会、2017、41、於上越教育大学
 - ⑩ 石井俊行、寺窪佑騎、児童・生徒の水溶液濃度計算におけるつまずきの要因は？、日本理科教育学会第56回関東支部大会、2017、58、於千葉大学
 - ⑪ 石井俊行、大歳愛海、特異点のある比例グラフの読解に推論スキーマが与える影響、日本科学教育学会年会、2018、25、於信州大学

〔図書〕（計 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

○取得状況（計 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：南口有砂

ローマ字氏名：(MINAMIGUCHI, arisa)

研究協力者氏名：田中久之

ローマ字氏名：(TANAKA, hisayuki)

研究協力者氏名：石井麻里

ローマ字氏名：(ISHII, mari)

研究協力者氏名：高松千恵実

ローマ字氏名：(TAKAMATSU, Chiemi)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。