

概念的実体を構築することで比例的変量関係認識を高め

理科学習を改善する学習プログラムの開発

内田純一 鴻巣市立鴻巣西中学校

小倉康 埼玉大学教育学部自然科学講座理科分野

キーワード: 比例的変量関係認識、概念的実体、学習プログラム、理科学習における計算

1. 問題の所在

IEA 国際数学・理科教育動向調査(TIMSS2015)の結果から、理科を学ぶことに対する関心・意欲や意義・有用性に対する認識において改善が見られる一方で、諸外国と比べると肯定的な回答の割合が低い状況であり、小学校での「理科が好きな程度」「理科への自信の程度」は、中学校になると大きく減少する。この点は全国学力学習状況調査の質問紙結果も共通しており、「理科の勉強は大切」、「理科の勉強は役に立つ」についても同様の傾向である。

小中学校の学習内容の違いに着目すると、以下のことが考えられる。小学校理科の学習では、自然の事物・現象についての問題を科学的に解決していくため、観察・実験を通して、事象の性質やきまりを帰納的に理解していく。その中で計算を必要とする場面はほとんど見られない。一方、中学校理科の学習では、自然の事物・現象に対する概念や原理・法則の理解を図るために、計算は必要不可欠である。平成 25 年度中学校学習指導要領実施状況調査の質問紙調査から、計算を必要とする単元は、「分からない・きらい」と回答する生徒割合が高い。特に、電流の単元では、「よく分からない」(45.9%)、「きらいだった」(55.5%)、「役に立つとは思わなかった」(45.3%)、教師質問紙調査の結果から、「生徒にとって分かりにくい」(81.2%)、「生徒が興味を持ちにくい」(58.1%)などの結果、電流の単元は教師にとって指導しにくく、中学生にとっても理解しにくい内容であると考えられる。これらの調査結果から、中学校の理科が苦手になる要因の1つは計算分野にあると考えられる。この計算の多くは比例の関係にあり、密度、圧力、抵抗、のように実体として存在しないものの値を求めて比較することや、それらの規則性を見いだすことが学習内容である。

このことから、実体として存在しないものを定性的に理解し、その値を計算して求めたり、規則性を明らかにしたりすることの難しさから、理科に対する自己効力感を失い、理科を学ぶ重要性を感じることができないのではないかと考えた。

2. 比例関係に関する先行研究

藤村(1995)は、速度と濃度についての調査課題を用いて、定性推理と定量推理の関連を明らかにする研究を行っており、定性推理が不適切であれば定量推理の成績は低く、また低水準の誤答が多くなることを報告している。

小倉(1999)によれば、理科では、運動や電磁気事象に関して多くの量的変数を用いて自然事象を表現しており、これらの多くは、他のいくつかの変量と「比例的変量関係」を保っている。例えば、

[電力] = [電流] × [電圧] といった変量間の関係に対する理解を「比例的変量関係認識」としている。また、理科では、実体として存在しない数多くの概念的実体を変量として、実際の状況を記述する。先の [電流]、[電圧] など、理科で用いる多くの変量は、直接、実体を表現したものでなく、そのため、学習者のもつ概念的実体が理科におけるそれとは異なることが問題だと述べている。ここで、「概念的実体 (conceptual entity)」とは、Greeno (1983) が問題解決のための知識表現として、实在論 (ontology) の立場から用いた用語である。本研究では、Greeno と同様に、学習者にとって何らかの实在性をもって機能していると考えられる認識上の構成物であると捉えている。さらに小倉は、子どもの理科に関する「比例的変量関係認識」の特徴を明らかにするために、「比例的推理」を要する理科的問題状況に対し、子どもが自らの概念的実体に基づいていかに問題を理解するか、及びそれが形式操作的処理にいかに関結されているかの解明を目的とした研究を行い、全般的に「比例的変量関係」の理解度が低く、「密度」や「熱と温度」などの概念的実体が未発達で変量間の定性的関係が把握できない生徒が多いと述べている。また、教育上の示唆として、生徒たちが必要な概念的実体を構築できるよう、実際の経験を組み込み、課題事象を定性的に理解させ、計算処理を導入する必要性を述べている。(小倉, 1999)

これまで、「比例的推理」における研究や比例を扱う指導法の研究は行われてきたが、「概念的実体」と「比例的変量関係認識」に着目した指導法の研究は、殆どされていない。

3. 研究の目的

中学校理科において、概念的実体を構築することによって比例的変量関係認識を高め、理科学習を改善する学習プログラムの開発とその教育効果を実践的に検証することを目的とする。

なお、本研究で扱う用語を以下のように定義する。

(1) 概念的実体

「実在する何かに例えて物事を捉えている、内的イメージの構造物のこと」 例えば、学習者に対して「電流とはどのようなものですか」と質問したとき、「電池から導線へパイプの中を流れる水のようなもの」と答えたとする。この「水のように」が、学習者が持っている概念的実体である。

(2) 比例的変量関係認識

「自然事象を表現する際に、2つの変数が比例関係にあり、複合的な場面において、変量間の関係を理解し自在に操作できること」 例えば密度の異なる2つの物体があるとき、体積と質量が異なれば、直接比べることはできないが、体積もしくは質量の単位量当たりの大きさを求めて比較するなど、伴って変わる値について理解できていることである。

(3) 比例的変量関係認識が高い状態

「目に見える事物・現象を直接的に比較したり、表れている値のみで比較するのではなく、3つ目の変数の値を求め比較したり、比例の関係性を推測することのできる状態」

(4) 3つ目の変数

「電流の大きさと電圧から求めることのできる「抵抗」や、体積と質量から求めることのできる「密度」などが3つ目の変数にあたる」 本来、抵抗や密度はその物体固有の値であり、定数として考えるべきだが、異なる電熱線同士を比較する場面や、異なる物質同士を比較する場面では、それらを変数として捉える。

4. 学習プログラム

4-1 学習プログラムの構成

理科を学習する前に、「変数」、「値」、「関係」、「変数制御」の見方や考え方の基盤をつくる授業を、中学校理科のカリキュラムとは別に行う。時間的な制約があるなか、年間指導計画を工夫して4時間を確保した。この4時間分の授業を「特別授業」とする。特別授業により、比例的変量関係認識を高めた上で理科の単元を実施する。また、理科の単元にあたる部分は、スタートチェックシート（レディネステスト）を用いて、学習者がもっている概念的実体を把握した上で授業を計画する。計算処理については、定性的な理解をせずに、公式の暗記のみで計算処理を行うようなことにならないように、①～④の手順で導入する。

この学習の流れを本研究では、「学習プログラム」とし、その構成を図1に示す。

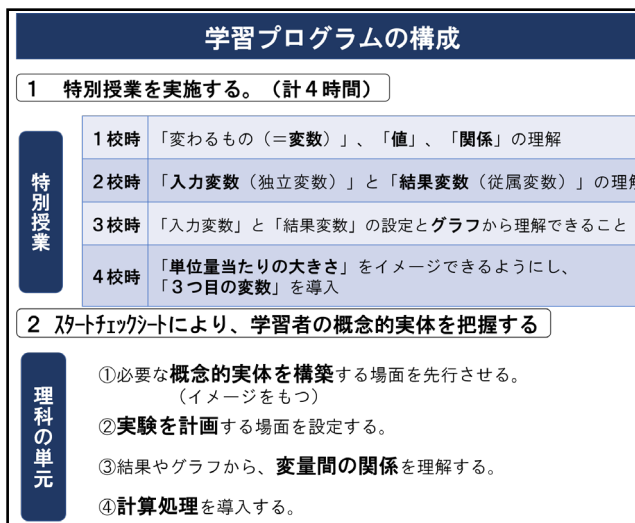


図1 学習プログラムの構成

4-2 特別授業について

平成30年度全国学力学習状況調査の結果から、課題の一つとして、「変化すること(従属変数)」以外に、「変える条件(独立変数)」に伴って「変わってしまう条件」について検討し、観察・実験を改善することが挙げられている。その指導改善・充実の視点として、観察・実験を生徒が計画する指導の充実が示された。小学校で培った問題解決の技能を活用し、さらに高めながら観察・実験の計画を立てさせるためには、「変数」についての理解が必要であると考え。現在の学習内容では、「変数」のみを取り扱う内容はなく、実験を実施する際に実験で変化させる条件(独立変数)と変化すること(従属変数)をその実験ごとに理解させていることが多い。この展開では、今後重視されている予想・仮説を立て、検証する実験を計画することは難しいと考える。そこで、特別授業において第1校時に「変数」についての理解を深めるために、英国でMichael ShayerとPhilip Adeyを中心として開発された、科学教育のための認知促進プログラム(CASEプログラム)の授業に「変数」についての扱いがあるため、授業に導入する(小倉, 2004)。2校時には、「2つの変数」として、独立変数と従属変数の関係について強化を図る。本授業では、生徒にとって混同しやすい独立変数と従属変数という言葉ではなく、笠(2004)を参考として「入力変数(独立変数)」と「結果変数(従属変数)」という言葉で取り扱う。第3・4校時では、1つの事象に対して、「入力変数」と「結果変数」を入れ替えて2回の実験を行い、「入力変数」と「結果変数」の理解を深めるとともに、グラフから分かることや、「単位量当たりの大きさ」の考えを導入する。さらに、「2変量から求まる変数(3つ目の変数)」を求めることによって、物体を正しく比較することができる体験を通して比例的変量関係認識を高めることをねらいとしている。

4-2-1 第1校時「変わるものは何か」

「変数」、「値」、「関係」について学ぶことを課題として授業を展開する。「科学者は何をしているのだろう」という問いから始まり、科学者は「(変わるもの) = 変数」同士の「関係」に注目していることを学ぶ。また、変数に対して「表せるもの」 = 「値」とする。様々な種類の本を15冊ほど準備し、変数と値について自由に発言させ、変数と値についての概念に慣れさせる。次に、3段階の大きさで、オレンジ色の三角形と赤色の正方形を準備する。それぞれ、変数と値をワークシートに記述させた後、「次に出てくる図形は三角形です。どんな三角形かな」と発問すると、多くの生徒は「オレンジ色の三角形」と考える。理由を問うと「三角形はすべてオレンジだから」という答えが返ってくる。これが変数同士の関係であり、規則性があると次を予想することが出来ることを学ぶ。次に、ビーカーに水を入れて質量を調整し、中を見えない状態にしたものを準備する。先ほどと同じように、変数と値をワークシートに書かせ、1番から順番に電子天秤で質量を測定する。1番が250gの場合、次に測定する2番の質量を予想させる。多くの生徒は先ほどの学習から、番号、色、大きさと規則性があるため、質量についても規則性があるだろうと考える。その結果、250gと予想する生徒が多いが、実際には中の水の量を少なくしているので、正解は200gである。このように、変数同士に着目して実験を行うと、関係がないことが明らかになる場合もある。多くの生徒は今まで経験してきた理科の授業で、実験をすれば必ず結果が出るもの(変化が出るもの)と考えている生徒が多いが、変化がないことが結果として出てくることの経験も大切であり、この実験によってそのことを生徒に気づかせる。

4-2-2 第2校時「2つの変数」

1校時で学習した「変数」は、実験で変化させるもの = 「入力変数」とそれにともない結果として表れるもの = 「結果変数」の2つに分けることが出来る。小学校第5学年で学習した「ふりこの実験」を例に、「入力変数」と「結果変数」を学び、正しい実験を行うためには条件をそろえて実験をしなければいけない「変数制御」についても復習する。これらを、具体物を準備した3つの体験から学んでいく。体験1は、「ゴムの本数を1本、2本、3本と増やしたときの車の移動距離を測りなさい」という課題で体験する。体験2は、木の葉の体験である。使用する葉については、筆者がいくつかの種類で予備実験を行ったところ、ツバキの葉が適していることが分かった。4枚の葉を1セットとして(A:ワセリンを塗らない、B:表のみワセリンを塗る、C:裏のみワセリンを塗る、D:両面にワセリンを塗る)準備する。気候にもよるが、観察しやすい変化がでるのは1週間ほどかかる。この体験の「入力変数」は、ワセリンを塗った面であり、「結果変数」は、乾燥具合である。体験3は、6名の架空の人物の身長と体重の情報をイラストとともに準備し、その情報から、班で入力変数を設定し、その入力変数に従って6人を順番に並べ替えるというものである。この体験は入力変数を身長・体重のどちらに設定してもよいことを経験するものである。

4-2-3 第3・4校時「3つ目の変数」

「入力変数」と「結果変数」の設定とグラフから理解できることを学ぶこと、3つ目の変数「2変量から求まる変数」を導入すること、単位量当たりの大きさをイメージできるようにすること、の3点がねらいである。「砂糖と食塩はどちらの方が重いのか」の課題に対して、入力変数を「体積」と「質量」にした場合で2回の実験を行う。実験で得られた結果をグラフに表し、単位をそろえて比較することで砂糖より食塩の方が質量は大きいことを結論づける。次に、銅・アルミニウム・木

を折り紙で包んで、3つの物体を準備し、手に持たせるなどの体感をさせた後、質量を測定する。結果は、銅：72.4 g、アルミニウム：75.7 g、木：30.3 gである。これで正しく比較できているかを問い、1 cm³の立方体を取り出して比較すればよいことを、実物（図2）を使って説明する。この1 cm³の立方体を取り出すということが概念的実体であり、密度を理解するために必要な概念的実体である。この「1」の値を求めることが「単位量当たりの大きさ」を求めることであり、2つの変数から求めることのできる値として、「3つ目の変数」であることを学習する。ここでは、密度が3つ目の変数にあたる。この具体物を使って概念的実体を構築した後であれば、密度などの実体のないものを考えることができると考えた。この学習後、再び作成したグラフに戻り、体積当たりの質量（密度）、質量当たりの体積を求め、比較を行う。

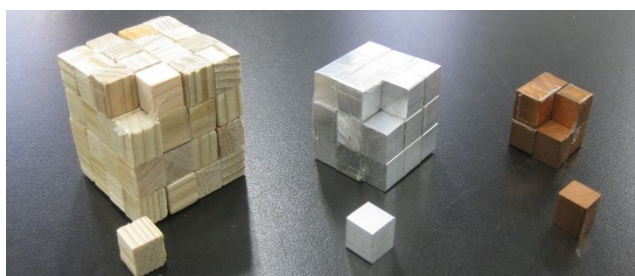


図2 3つの物体の中身

4-3 概念的実体の構築について

先行研究で述べたとおり、比例的変量関係認識を高めるためには概念的実体を構築する必要がある。また、電流などの目に見えない現象を理解するうえでも、概念的実体を構築することは有効だと考える。

電流については、水流モデルを用いたイメージが一般的であるが、本研究では、水流よりもさらに流れる量や速さなどの点で視覚的に優れている BB 弾を用いた粒子モデルの開発を試みた。この粒子モデルは、「電流」から「電力量」まで、単元を通して一貫したイメージで学習できる点が特徴である。以下、実際に用いたモデルと共に、構築していく実践を紹介する。

(1) 回路＝「チェーン」

自転車のチェーンを準備し、実験用スタンドにかける。手で回すことにはなるが、一点を移動させると全体が同時に移動する。この現象は回路に電流が流れるイメージに近いと考える。また、途切れていると回転しないことから回路の概念的実体の構築ができると考える。これ以降で用いる BB 弾では、1つ1つの動きが単発になってしまうため、その点を補う役割もある。

(2) 電流＝「流れる粒の量」

図3のように、筒の中を流れる BB 弾を電流とし、「流れる粒の量」を電流のイメージとする。



図3 「電流」「電圧」

(3) 電圧＝「高低差」

水平の台に置いた場合、筒の中にある BB 弾は移動しない。この BB 弾を移動させるには、図3のように、筒を傾ける必要がある。

BB 弾は高いところから低いところへ移動する。この「高低差」を電圧のイメージとする。

(4) 豆電球（抵抗）＝「水車」

図4に示したような、流量計を透明チューブに接続し、その中にBB弾を流すと水車が回転する。この「水車」を豆電球のイメージとする。このモデルにより、流れる粒によって水車が回っても、粒の量は変わらないことから、豆電球を通過しても電流の大きさは変わらないことを理解させることができる。



図4 「豆電球」

(5) 電流計＝「電流計の中を通過する粒の量をはかる」

図5のように、電流計の中をBB弾が移動することで、電流計の中を通過する粒の量をはかるものとイメージする。このモデルにより、電流計は測りたい部分に直列につなぐという操作をイメージすることができる。



図5 「電流計」

(6) 電圧計＝「高さ（長さ）をはかる」

図6のように、電圧計のモデルになるケースの裏にメジャーを取付け、矢印を貼り付ける。図7のように、メジャーを伸ばすことにより、高低差をはかるイメージとする。このモデルにより、電圧計は測りたい部分に並列につなぐという操作をイメージすることができる。

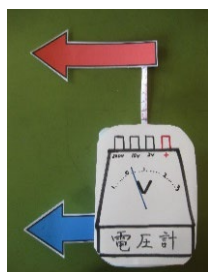


図6 「電圧計」

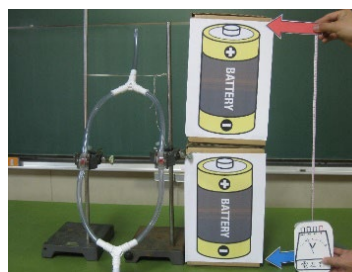


図7 「高さをはかる」

(7) 直列回路と並列回路のモデル

(1)～(6)のイメージを用いて、直列回路と並列回路の性質を理解するために、直列回路のモデル（図8）と並列回路のモデル（図9）を作成した。このチューブの中をBB弾が流れることにより、直列・並列回路の電流と電圧の規則性を可視化でき、イメージをもつことで性質を理解させることができる。予想の場面、考察する場面、規則性のまとめの場面で活用することができる。

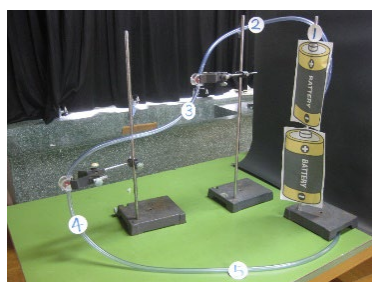


図8 「直列回路」



図9 「並列回路」

(8) 抵抗＝「クギ」

図 10 のように、チューブの中にクギを打つことにより、粒の流れを妨げることができる。この「クギ」が粒の流れをさまたげるものであり、「クギ」があることにより粒が流れにくくなる。この「クギ」を抵抗のイメージとする。

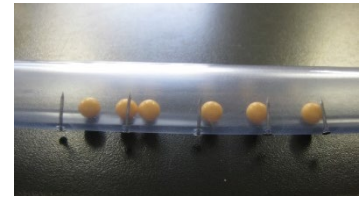


図 10 「抵抗」

(9) 直列の合成抵抗＝「渋滞」

クギを打つ場所(図 10)を 2カ所に分け、直列回路の中に 2カ所の抵抗が接続されていることをイメージさせる。そこに粒を流すと 2カ所で流れが遅くなる場所ができる。この流れが遅くなる状態を「渋滞」と例え、直列の合成抵抗のイメージとする。

(10) 電力＝「水車が回る力」

図 11 のように BB 弾を落とす高さを変えることで電力のイメージをもたせる。具体的には、電力は水車が回ることによって発生する力をイメージとし、左と右とでは高さが 4 倍になるので、そこから BB 弾を落とすと、水車が回る力はどうなるかを考えさせる(電圧について)。次に、同じ高さでも、BB 弾の数を 4 倍にすると水車が回る力はどうなるかを考えさせる(電流について)。この発問から「電力」＝「電圧」×「電流」をイメージから導き出すことができる。

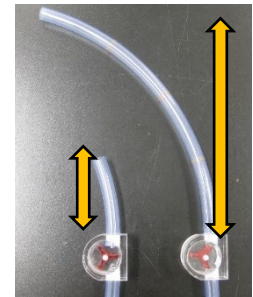


図 11 「電力」

(11) 熱量・電力量＝「水車がどれくらいはたらいたか」(何秒間回っているか)

電力で用いたイメージを熱量と電力量に適用させる際、「水車がどれくらいはたらいたか」をイメージさせる。さらに具体的に、水車が何秒間回っているのかを考えさせることにより、「電力量(熱量)」＝「電力」×「時間(S)」をイメージから導き出すことができる。

4-4 計算処理を導入するまでのサイクル

本研究では、計算処理を導入するまでのサイクルを次のように設定する。

- ① 必要な概念的実体を構築(イメージをもつ)する場面を先行させる。
- ② 実験を計画する。
- ③ 結果やグラフから、変量間の関係を理解する。
- ④ 計算処理を導入する。

①については、上述したように、1つ1つの課題事象について単元を通して実施する。電流以外の単元においても、1つの課題事象についての概念的実体を構築することで、定性的な理解につながると考える。②については、変数の理解を深め、入力変数、結果変数、変数制御について学習した特別授業と関連づける。実験を計画することで、結果を見通す力の育成や何を調べる実験なのかを明確にすることができ、結果を解釈・考察する力を高められると考える。また、実験を計画することで、③の結果を整理することや、グラフの作成を理解しながら進めることができる。グラフの作成は、変量間の関係を理解する上で不可欠である。このように、①から③の手順で、変量間の定性的な関係を把握した上で、④計算処理を導入する。

4-4-1 計算処理の導入までの実践 1 [課題 回路に加わる電圧と流れる電流には、どのような関係があるだろうか。]

この実験は、入力変数(独立変数)を「電圧」、結果変数(従属変数)を「電流」として実験を行

うことが一般的である。この展開だと、グラフを作成した際に、横軸に電圧、縦軸に電流となり、抵抗を傾きとして表すことができない。そこで、本研究では、横軸に電流、縦軸に電圧を設定し、単位量当たりの大きさと抵抗を関連づけて学習し、グラフから抵抗の概念を学び、計算処理を導入していくことをねらいとする。

実験を計画する際に、「電圧」と「電流」の「関係」に注目させ、入力変数と結果変数を各班で設定させる。次に、実験の説明をさせる。例えば、入力変数を「電流」、結果変数を「電圧」にした班は、「電流を 0.1A ずつ変化させたときの電圧を調べる」という説明になる。この説明を考えさせることにより、自分たちは何を調べるために、どのような実験を行うのかを理解させるねらいがある。このときに、教師が入力変数を設定するのではなく、班の中で話し合い、自分たちで決めることによって学習意欲を高める。入力変数を「電圧」にするか、「電流」にするかで実験方法が 2 種類になるため、結果も 2 種類出てくる。ワークシートには、あらかじめ 2 種類のグラフを作成するところを準備しておき、自分たちの実験結果はどちらのグラフを使用するのかを考えさせた後、結果をグラフに表す。教師は 2 種類の結果を板書する必要がある。各班で考察させる際に注意することは、「原点を通る直線のグラフから、(結果変数) は (入力変数) に比例する」と書かせることである。この点は、特別授業の第 3 校時で扱っているため、関連づけて指導する。この展開により、オームの法則を学習する。

次に、2 つのグラフを見比べ、抵抗器 a と抵抗器 b の結果の違いを考えさせる。このとき、数学で学習している 1 次関数と関連づけることが重要である。傾きの違いを考えていくと、電流の流れにくさを考えることにつながる。そして、1 A の電流を流すのに何 V の電圧が必要なのかを考えさせる。ここで、「単位量当たりの大きさ」と関連づけて考えさせる。抵抗の値は、1 A の電流を流すのに必要な電圧の値となる。また、「抵抗器 a と抵抗器 b の流れにくさを比べるにはどうすればよいか」問い、「3 つ目の変数」を求めて比較することを導き出す。この「3 つ目の変数」が「抵抗」にあたる。そして、抵抗の概念的実体を構築するために、「抵抗」= クギをイメージさせる。図 10 に示したモデルを用いて、クギ（抵抗）が BB 弾（電流）の流れを妨げる様子を確認することで抵抗の理解につなげる。これらの展開を通して、電圧と電流の変量間の定性的な関係を把握した上で、計算処理を導入する。

計算処理について、本研究では 3 つの計算方法を紹介する。①数学の考え方 ($y = a x$ のグラフ)、②比の値を用いた計算、③理科の公式、として自分の考えに合った計算方法を用いて計算する。①については、数学で行っている計算と同様であり、数学の考え方が理科でも適用できることを学習する。②については、比の値を用いる。例えば 2A の電流を流すのに、30V を必要とした。そのときの抵抗は何 Ω かを求めるとき、30V / 2A の状態から、○ / 1A にするには、2A を 2 で割れば 1 A になるので、30V も同じく 2 で割ると 15V となる。このときの抵抗は、1A の電流を流すのに 15 V の電圧が必要であるため、抵抗は 15 Ω と導くことができる。このように比の値を用いて抵抗、電流、電圧の計算を行う。③については、②の考えから理科の公式を導き出す。このように、公式のみを暗記して問題を解かせるのではなく、必要な概念的実体を構築し、実験を計画させ、グラフから変量間の関係を理解し、計算処理を導入する。

4-4-2 計算処理の導入までの実践 2 [課題 水の上昇温度は何によって決まるのか]

前時に「電力」についての学習を行っている。その際に図 11 で示したモデルを用いて、電力の理解に必要な概念的実体を構築する。本時は、探究の過程で大事にされる課題を設定することから

授業を始める。実験を計画させる場面で、入力変数と結果変数を設定する。結果変数は、実験で何を調べるのかが当てはまるため、本時の課題から、「水の上昇温度」となる。入力変数については、「電力、電流、電圧」の3つと、「時間」の計4つが出てくる。このうち、「時間」については全班で共通の入力変数とする。もう1つは自分たちで設定した入力変数で計画させる。さらに、変数制御についても考えさせる。この実験では、「水の量」になる。また、入力変数によって異なるが、電力と電流を入力変数に設定した班は、「電圧」が変数制御になる。電圧を入力変数にした班は、「電熱線」が変数制御になる。教師は班によって電熱線などの使用する器具が異なるため、対応できるように準備をする必要がある。実験は2回行い、その結果をグラフに表す。全班のデータを大きなグラフ用紙に書かせ、すべての班のデータを学級全体で共有する。この実験では、水の上昇温度を正しく測定することが難しく、誤差が生じる。そこで、より多くのデータから平均値をとり、正確なデータに近づける工夫を行う。この場面では、誤差についての理解とより多くのデータを平均することで、より確かな値に近付くことなどを指導する機会とする。

作成したグラフから、水の上昇温度は電力と時間に比例していることを理解する。この展開により、熱量について、変量間の関係を定性的に理解することができ、計算処理を導入する。熱量・電力量の計算は、電力で用いたイメージを熱量と電力量に適用させる。イメージは「水車がどれくらいはたらいたか」である。さらに具体的に、水車が何秒間回っているのかを考えさせることにより、「電力量(熱量) = 「電力」 × 「時間(S)」をイメージから導き出す展開を行う。

5. 検証授業 I

5-1 目的

4時間の特別授業によって比例的変量関係認識を高めることができたかを検証する。

5-2 方法

調査は2018年11月に、埼玉県内の公立A中学校第1学年3学級(80名)のうち、実験群2学級(52名)「特別授業を行う群」、統制群1学級(28名)「特別授業を行わない群」として行った。調査方法は、比例的変量関係認識を問う4問の正答率の比較を行う。調査問題(末尾の資料1、2に示す)は、3つの物体の質量と体積を表示し、体積をそろえて小さい順に並べる問題を①密度【体積】とし、質量をそろえて小さい順に並べる問題を②密度【質量】とする。次に、ドライヤーが1分間で乾かせる水分量と電気代を表示し、同じ電気代でより多くの水分を乾かすことができるかを問う問題を③単位量【1円】とし、1円当たりの乾かせる水分を求めてから、Aは15円分、Bは60円分使用したときに何倍の水分を乾かせるかを問う問題を④単位量【何倍】とした。調査問題の正答は、並び替えや数値が正答しており、正しい考え方が記述できているものを完全正答として1、それ以外を0として得点化している。実験群と統制群において、事前と事後の平均値の比較を、二元配置分散分析の交互作用に関して統計的解釈を行うこととした。なお、統制群については、調査終了後に実験群と同じ内容の特別授業を実施している。

5-3 結果と考察

検証授業Iでは、実験群および統制群の調査問題の正答率の変化を比較した。事前調査と事後調査を比べ、各群の得点の平均値に有意な差があるかを検証するため、対応ありの二元配置分散分析

を行った（統計プログラムは、「Excel 統計 2016」を使用した）。結果のグラフを図 12～15、分散分析表を末尾の資料 3～6 に示す。

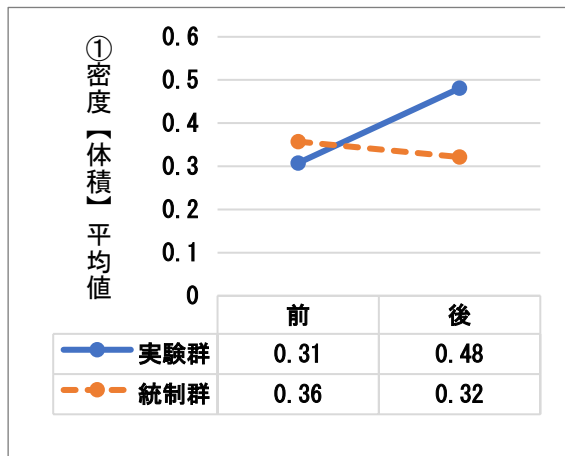


図 12 ①密度【体積】の平均値

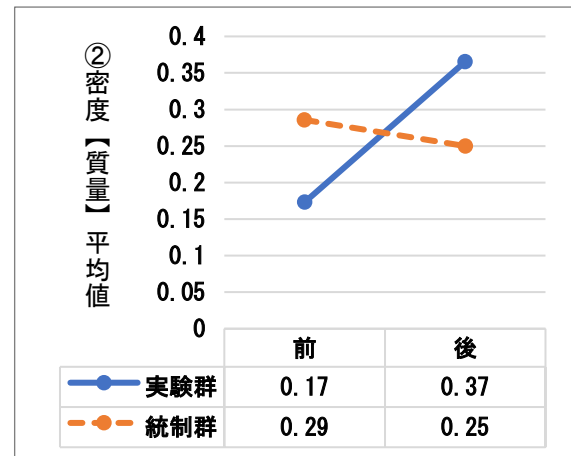


図 13 ②密度【質量】の平均値

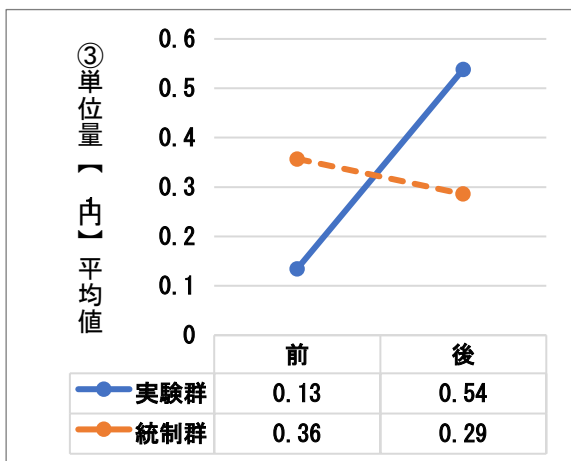


図 14 ③単位量【1円】の平均値

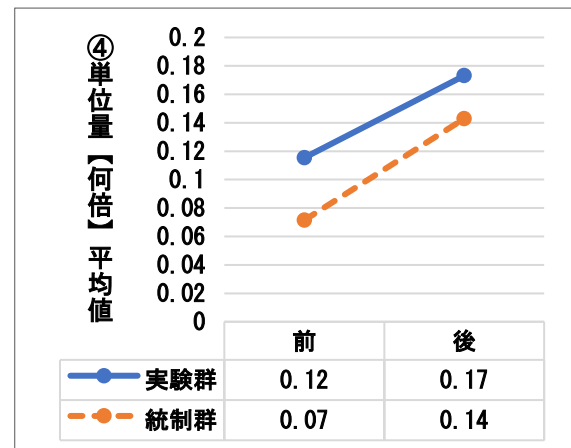


図 15 ④単位量【何倍】の平均値

結果より、①密度【体積】についての交互作用は、5%水準で有意ではないが、有意傾向 ($F=3.03$, $p=.086$) がみられた。②密度【質量】についての交互作用は、5%水準で有意 ($F=4.33$, $p<.05$) であり、特別授業の効果が認められた。③単位量【1円】についての交互作用は、1%水準で有意 ($F=14.33$, $p<.01$) であり、特別授業の効果が認められた。④単位量【何倍】については、交互作用に有意な差はみられなかった。

各群の事前と事後の平均値を Tukey 法により多重比較したところ、実験群は①②③の3問について、事後の平均値が5%水準で有意に上昇し、統制群においては4問全てにおいて統計的に有意な差はみられなかった。

以上の結果から、特別授業を実施した実験群では、実施しなかった統制群よりも、比例的変量関係認識の問題①～③の平均値に統計的に有意な上昇が認められ、特別授業において、比例的変量関係認識を高める効果が示唆された。

なお、統制群において、事前より事後の平均値が低下していることについては、密度などの学習を終えた後、時間が経過しているため、密度に関しての問題の正答率が低下したことが考えられる。

④単位量【何倍】についての問題は、特別授業で3つ目の変数を2変量から求めることの学習を適応することをねらいとした設問であったが、統制群も平均値が上昇していることから、本研究ではその原因が特定できなかった。

6. 検証授業Ⅱ

6-1 目的

開発した学習プログラムを実施し、概念的実体の変容、理科に対する態度の変容、概念的実体の変容と理科に対する態度の関連について教育効果を検証する。

6-2 方法

調査は2018年11月から12月にかけて、特別授業4時間と理科の単元「電流とその利用」19時間の計23時間の授業を実施した。被験者は、埼玉県内の公立A中学校第2学年2学級(74名)である。調査方法は次の通りである。

概念的実体の変容について、学習プログラムの事前と事後で「電流」、「電圧」、「抵抗」について調査を実施する。「〇〇とはどのようなものですか」という質問に対して、記述された内容を分類表(末尾の資料7)と照らし合わせて2点満点で得点化したものを、一対の標本によるt検定を行い、事前と事後の平均値を比較する。なお、〇〇の部分には「電流」「電圧」「抵抗」が入り、どのようなものにあたるものを概念的実体としてとらえている。

理科に対する態度の変容について、質問紙による調査を行う。質問項目は、小倉(2016)の研究で示された5項目の中から①理科の授業の内容はよく分かる【自己効力感】、②理科の勉強は大切だ【重要性】、に加えて、③理科の授業で行われる計算は好きだ【理科計算】の3項目について、4件法(4:当てはまる、3:どちらかといえば当てはまる、2:どちらかといえば当てはまらない、1:当てはまらない)にて量的な分析を行う。得られた値について、一対の標本によるt検定を行い、事前と事後の平均値を比較する。

概念的実体を構築できたことで、理科に対する態度が有意に向上したことを分析するため、「電流」「電圧」「抵抗」の3つの概念的実体の変容について、得点をA群(事前1点以下→事後2点:構築できた群)、B群(事前2点→事後2点:もともと構築されていた群)、C群(事後1点以下:構築できなかった群)の3群に分類した。分類した3群の事前と事後の「理科に対する態度」の平均値について、t検定で変化を分析する。

6-3 結果と考察

6-3-1 概念的実体の変容

概念的実体の変容に関する結果を表1に示す。生徒の記述を分類したものを末尾の資料7に示す。表1より、「電流」、「電圧」、「抵抗」の3項目すべてにおいて平均値が上昇し、「電流」については、有意水準5%、「電圧」と「抵抗」については、有意水準1%で有意な差があることが認められた。また、「電圧」「抵抗」については、学習前は概念的実体や科学的な概念を持っていなかった生徒が、学習後に概念的実体の構築や科学的な概念を習得できたと考えられる。記述内容を質的に

分析すると、学習前は3項目について、漢字をそのまま文にして答えている生徒が多かった。例えば、「電圧」については、「電気の圧力」といったものである。この状態は、意味は分からないが、漢字を並べているだけの状態、もしくは実体がなく、記号として捉えているのではないかと考えられる。この状況から、学習後は授業で用いたイメージを使って表現することや、科学的な概念として記述することができる状態となった。

このことから、単元を通して概念的実体を構築するために「イメージ」としてモデルを活用することは、科学的な概念を習得することや、概念的実体を構築することに効果があることが示唆された。

表1 概念的実体の変容 (t検定結果)

	平均	分散	自由度	t	p(T<t) 両側
前電流	1.59	0.38	73	-2.36	.021*
後電流	1.80	0.30			
前電圧	0.92	0.16	73	-11.96	.000**
後電圧	1.77	0.29			
前抵抗	0.95	0.52	73	-6.70	.000**
後抵抗	1.65	0.42			

* p<.05 ** p<.01

6-3-2 理科に対する態度の変容

理科に対する態度の結果を表2に示す。表2より、①自己効力感、②重要性、③理科計算の3項目全てにおいて平均値が上昇し、①については、有意水準5%、③については、有意水準1%で有意な差があることが認められた。②についてはp=.07から、有意傾向がみられた。

このことから、学習プログラムを実施することによって、理科学習への自己効力感や重要性への意識が高まり、理科における計算をより好きになる効果が示唆された。

表2 理科に対する態度 (t検定結果)

		平均	分散	自由度	t	p(T<t) 両側
①	自己効力感	2.97	0.55	73	-2.57	.012*
	事後	3.20	0.44			
②	重要性	3.05	0.52	73	-1.84	.070
	事後	3.20	0.47			
③	理科計算	1.78	0.80	73	-4.29	.000**
	事後	2.15	0.90			

* p<.05 ** p<.01

6-3-3 概念的実体の変容と理科に対する態度の関連

概念的実体の変容と理科に対する態度の関連についての結果を表3に示す。表3より、①自己効力感について、「電圧」のA群に有意水準5%で有意な上昇が認められた。「電流」のA群は $p=.082$ から、上昇に有意傾向がみられた。「抵抗」のC群に有意水準5%で有意な上昇がみられた。B群については統計的な有意差はみられなかった。②重要性について、「電流」「電圧」「抵抗」のA群のみ有意水準5%で有意な上昇が認められ、B群、C群については統計的な有意差はみられなかった。③理科計算について、「電流」「電圧」「抵抗」のA群に有意水準1%で有意な上昇が認められ、「電流」のB群と「抵抗」のB群に有意水準1%で有意な上昇が認められた。また、C群については統計的な有意差はみられなかった。

このことから、「電流」「電圧」の概念的実体を構築できたことが理科学習への自己効力感を高めることに効果があることが示唆された。また、「電流」「電圧」「抵抗」の概念的実体を構築できたことが理科学習への重要性への意識や理科における計算をより好きになる効果があることが示唆された。

表3 概念的実体の変容と理科に対する態度の関連 (t検定結果)

		電流					電圧					抵抗						
		平均	分散	自由度	t	p(T<t) 両側	平均	分散	自由度	t	p(T<t) 両側	平均	分散	自由度	t	p(T<t) 両側		
① 自己効力感	A	2.89	0.65	18	-1.84	.082	A	2.93	0.56	57	-2.21	.031*	A	2.95	0.55	40	-1.6	.118
	事後	3.21	0.51				3.16	0.45				3.15	0.48					
	B	3.02	0.48	44	-1.53	.132	B	3.33	0.33	2	a	a	B	3.00	0.62	13	-0.69	.499
		3.20	0.44				3.33	0.33				3.14	0.59					
	C	2.90	0.77	9	-1.15	.279	C	3.08	0.58	12	-1.3	.219	C	3.00	0.56	18	-2.11	.049*
	3.20	0.40				3.38	0.42				3.37	0.25						
② 重要性	A	2.74	0.65	18	-2.35	.031*	A	3.03	0.56	57	-2.35	.022*	A	3.00	0.50	40	-2.04	.048*
	事後	3.11	0.32				3.24	0.47				3.22	0.43					
	B	3.18	0.47	44	-0.81	.420	B	3.00	0.00	2	a	a	B	2.93	0.53	13	-0.56	.583
		3.27	0.56				3.00	0.00				3.00	0.62					
	C	3.10	0.32	9	0	1	C	3.15	0.47	12	0.322	.753	C	3.26	0.54	18	-0.27	.790
	3.10	0.32				3.08	0.58				3.32	0.45						
③ 理科計算	A	1.53	0.71	18	-3.02	.007**	A	1.69	0.74	57	-4.34	.000**	A	1.56	0.50	40	-3.43	.001**
	事後	1.95	0.72				2.10	0.90				1.98	0.82					
	B	1.84	0.82	44	-3.49	.001**	B	2.67	1.33	2	a	a	B	1.86	1.21	13	-2.46	.029*
		2.27	0.97				3.33	1.33				2.36	1.32					
	C	2.00	0.89	9	0	1	C	2.00	0.83	12	-0.43	.673	C	2.21	0.95	18	-1.14	.268
	2.00	0.89				2.08	0.58				2.37	0.69						

注 自由度が小さいため検定不可の部分をもとに a と示す

従来の学習では、電気の現象などの目に見えない事象や、抵抗などの実体として存在しないものを理解する場面で、学習者が困難を感じていたと考えられる。本研究で実施した学習プログラムにより、概念的実体を獲得したことで、何について学んでいるか明確になり、事象に対する理解が深まり、理科に対する自己効力感を高めることにつながったと考えられる。また、物事の仕組みが納得できたことにより、理科の事象を説明することができることで、理科に対する重要性を高めることにつながったと考えられる。さらに、概念的実体の獲得により、課題事象の定性的な理解につながり、苦手意識の高い電流の単元実施後も理科の計算がより好きになることにつながったと考えられる。

7. まとめと今後の課題

本研究は、中学校理科において、比例的変量関係認識を高め、理科学習を改善する学習プログラムの開発とその教育効果を実践的に検証した。検証の結果、開発した学習プログラムは、比例的変

量関係認識を高め、概念的実体を構築することができ、理科に対する態度を向上させるなど、理科学習の改善に有効であると示唆された。

今後の課題として、検証授業Ⅱでは、概念的実体の変容と理科に対する態度に関して教育効果を検証したが、さらに学習内容の理解度についての教育効果を検証する必要がある。また、教科横断的な視点から、理科だけでなく、数学科や総合的な学習の時間などで授業時間を設定し、中学校第1学年の早い段階で特別授業の4時間を実施していく必要があると考える。そして、電流の単元以外にも、中学生が苦手としている「圧力」や「イオン」の学習でプログラムを実施し、本研究の汎用性を検証していきたいと考える。

参考文献

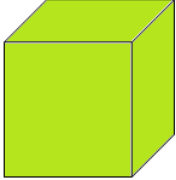
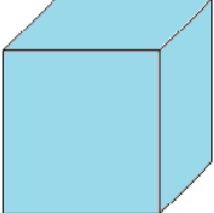
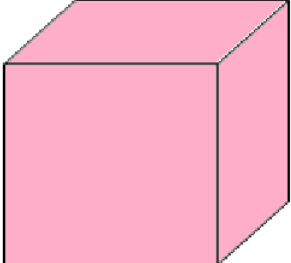
- 有馬朗人 他(2016)『新版 理科の世界 2』, 大日本図書
- 広島大学附属福山中・高等学校著(2007)『科学的な思考力を育むカリキュラムと教材開発―特色ある中学校・高等学校づくり』, 東洋館出版社
- 橋本美彦(2018)「算数と理科学習における「気づき」気づきと「関連づけ」に関する一考察」, 日本科学教育学会論文集 42, 115-116.
- 細谷治夫 他(2016)『自然の探究 中学校理科 2』, 教育出版
- 石井俊行, 橋本美彦(2013)「教科間における学習の転移を促す条件に関する考察とその提言―理科「光の反射」と数学「最短距離」の作図を通して―」, 科学教育研究, Vol. 37, No. 4, 290-291.
- 京都教育大学附属京都小中学校教育実践研究協議会(2014)『国際化社会に対応し自己実現を目指す生徒の育成―考えるプロセスに着目したし応力・判断力・表現力の育成』, 83-93.
- 国立教育政策研究所編(2016)『生きるための知識と技能―OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA) 2015 年調査国際結果報告書』, 明石書店
- 国立教育政策研究所編(2017)『TIMSS2015 算数・数学教育/理科教育の国際比較―国際数学・理科教育動向調査の 2015 年調査報告書』, 明石書店
- 国立教育政策研究所(2015)「平成 27 年度全国学力・学習状況調査 調査結果のポイント」Retrieved from <http://www.nier.go.jp/15chousakekkahoukoku/highlights.pdf> (accessed 2018.06.06)
- 国立教育政策研究所(2018)「平成 30 年度全国学力・学習状況調査 解説資料 中学校 理科」, 国立教育政策研究所教育課程研究センター, Retrieved from http://www.nier.go.jp/18chousa/pdf/18kaisetsu_chuu_rika.pdf (accessed. 2018. 6. 8)
- 国立教育政策研究所(2015)「平成 27 年度全国学力・学習状況調査 解説資料 中学校 理科」, 国立教育政策研究所教育課程研究センター
- 文部科学省(2018)『中学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説 理科編』, 学校図書
- 文部科学省(2018)『小学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説 理科編』, 東洋館出版社
- 文部科学省(2008)『中学校学習指導要領解説 理科編』, 大日本図書
- 岡村定矩 他(2016)『新編 新しい科学 2』, 東京書籍
- Philip Adey(2004)「思考に関する科学」の文脈としての「科学」, 小倉康 編『英国における科学的探究能力育成のカリキュラムに関する調査』(研究報告書), 国立教育政策研究所, pp. 155-179.
- 霜田光一 他(2016)『中学校 科学 2』, 学校図書
- 高橋宣子(2005)「電圧概念の理解を図る授業実践―一定電圧電源を模した水流モデルの提案―」, 宇

都宮大学教育学研究科，修士学位論文，18－27.
塚田捷 他(2016)『未来へひろがるサイエンス2』，新興出版社啓林館

引用文献

- 藤村宣之(1995)「児童の比例的推理に関する発達的研究 II：定性推理と定量推理に関して」教育心理学研究, Vol. 43, No. 3, 315－325.
- Greeno, J. G. 著, 小川裕訳(1986)「概念実体」淵一博監修『メンタル・モデルと知識表現』共立出版, 147-175.
- 国立教育政策研究所(2013)「平成 25 年度中学校学習指導要領実施状況調査 生徒質問紙調査結果(理科)」Retrieved from https://www.nier.go.jp/kaihatsu/shido_h25/02h25/04h25seito_rika.pdf, (accessed. 2019. 01. 18)
- 国立教育政策研究所(2013)「平成 25 年度中学校学習指導要領実施状況調査 教師質問紙調査結果(理科)」Retrieved from https://www.nier.go.jp/kaihatsu/shido_h25/02h25/04h25kyoushi_rika.pdf, (accessed. 2019. 01. 18)
- 小倉康(1999)「理科的問題解決における生徒の比例的変量関係認識」, 科学教育研究 Vol. 23, No. 5, 309-319.
- 小倉康(2016)『ふだんの授業で「活用力」をのばすー学習指導の工夫と入試問題の利用』, 東京書籍, 2-5.
- 笠潤平(2004)「CASE とは何か」, 小倉康 編『英国における科学的探究能力育成のカリキュラムに関する調査』(研究報告書), 国立教育政策研究所, 197-216.

【問題】 A, B, C の3つの物体があります。①、②の問いに答えなさい。

			
	A	B	C
体積	20 cm ³	30 cm ³	40 cm ³
重さ	35g	50g	65g

①3つの物体の体積を同じにしたときに、重さの重い順にA, B, Cを並べ替えなさい。

重い () > () > () 軽い

考え方

②次に、3つの物体の重さを同じにしたとき、体積の大きい順にA, B, Cを並べ替えなさい。

大きい () > () > () 小さい

考え方

*事後の調査では、物体の体積と重さを (A : 40 cm³ 35 g) (B : 50 cm³ 45 g) (C : 60 cm³

55 g) に変えて出題した。

【問題】 ドライヤーを使って髪を乾かしたいと思います。③、④の問いに答えなさい。

Aのドライヤーは、1分間に10gの水分を乾かすことができ、1分間で2.5円かかります。
Bのドライヤーは、1分間に9gの水分を乾かすことができ、1分間で1.8円かかります。



A



B

③同じ電気代で、より多くの水分を乾かすことができるのはA、Bのどちらのドライヤーですか。

答え _____ のドライヤー

考え方

④Aのドライヤーを15円分、Bのドライヤーを60円分使い続けると、BのドライヤーはAのドライヤーの何倍の水分を乾かすことができますか。

答え _____ 倍

考え方

*事後の調査では、問題文を次のように数値のみ変えて実施した。

Aのドライヤーは、1分間に18gの水分を乾かすことができ、1分間で4.5円かかります。
Bのドライヤーは、1分間に12gの水分を乾かすことができ、1分間で2.4円かかります。

④Aのドライヤーを20円分、Bのドライヤーを80円分使い続けると、BのドライヤーはAのドライヤーの何倍の水分を乾かすことができますか。

資料3 ①密度【体積】の分散分析結果

因子	Type III 平方和	自由度	平均平方	F値	p値
群	0.11	1	0.11	0.32	.570
事前事後	0.17	1	0.17	1.31	.255
群*事前事後	0.40	1	0.40	3.03	.086
誤差	26.39	78	0.34		
全体	37.50	159			

群	因子	平方和	自由度	平均平方和	F値	p値
実験群	事前事後	0.78	1	0.78	5.95	.017*
	誤差	10.20	78	0.13		
統制群	事前事後	0.02	1	0.02	0.14	.713
	誤差	10.20	78	0.13		

資料4 ②密度【質量】の分散分析結果

因子	Type III 平方和	自由度	平均平方	F値	p値
群	0.00	1	0.00	0.00	.988
事前事後	0.22	1	0.22	2.04	.157
群*事前事後	0.47	1	0.47	4.33	.041*
誤差	21.94	78	0.28		
全体	31.44	159			

群	因子	平方和	自由度	平均平方和	F値	p値
実験群	事前事後	0.96	1	0.96	8.80	.004**
	誤差	8.52	78	0.11		
統制群	事前事後	0.02	1	0.02	0.16	.687
	誤差	8.52	78	0.11		

資料5 ③単位量【1円】の分散分析結果

因子	Type III 平方和	自由度	平均平方	F値	p値
群	0.01	1	0.01	0.03	.857
事前事後	1.01	1	1.01	7.01	.009**
群*事前事後	2.06	1	2.06	14.33	.000**
誤差	19.94	78	0.26		
全体	35.44	159			

群	因子	平方和	自由度	平均平方和	F値	p値
実験群	事前事後	4.24	1	4.24	29.56	.000**
	誤差	11.19	78	0.14		
統制群	事前事後	0.07	1	0.07	0.50	.482
	誤差	11.19	78	0.14		

資料6 ④単位量【何倍】の分散分析結果

因子	Type III 平方和	自由度	平均平方	F値	p値
群	0.05	1	0.05	0.33	.565
事前事後	0.15	1	0.15	1.87	.176
群*事前事後	0.00	1	0.00	0.02	.884
誤差	11.69	78	0.15		
全体	18.24	159			

群	因子	平方和	自由度	平均平方和	F値	p値
実験群	事前事後	0.09	1	0.09	1.06	.305
	誤差	6.34	78	0.08		
統制群	事前事後	0.07	1	0.07	0.88	.352
	誤差	6.34	78	0.08		

資料7 概念的実体の分類表および生徒の記述内容

得点	2		1			0
分類	・科学的な概念	・今回の授業で示した概念的実体(イメージ) ・実体のあるものに例えている	・実体のあるものに例えているが、明らかに間違っている	・実体のないもの(感覚的なもの)	・記号として使っている(意味を持っていない) ・本人にしか分からない ・間違い	・無回答 ・わからないと回答
電流	電子の流れ	流れる粒(BB弾)の量 電気の流れ	・電気の通り道 ・早く流れる電気 ・出てくるエネルギー	・明るいもの ・ビリビリする	・動いているとき ・電気が伝わるはたらき	
電圧	回路に電流を流そうとするはたらきの大きさ	高低差	・電気によって発生する圧力 ・流れをたすけるはたらき ・電気をためるところ	・電気の強さ ・電気の圧力	・電流の厚さ ・電流の大きさ ・電気の重さ ・流れる速さ	
抵抗	電流の流れにくさの程度	水車、クギ 流れを邪魔するもの	・引っ張られても動かないもの ・おさえる力 ・十と十のように離れようとする力 ・電流のスピードを抑える力	・嫌がること ・反発すること ・密着する感じ ・力が引き戻される ・少しムリという感じ ・電気から逃げる	・電圧を調整するもの ・加えて力により起こる反応 ・漢字に市だけ ・電気に加わる力 ・電圧を弱める力	

(2022年9月30日提出)

(2022年11月7日受理)

Developing a Learning Program to Enhance Recognition of Proportional Relationship Between Variables by Means of Constructing Conceptual Entities and to Improve Science Learning

UCHIDA, Junichi

Konosu Nishi Junior High School, Konosu City

OGURA, Yasushi

Faculty of Education, Saitama University

Abstract

The purpose of this study is to develop a learning program which enhances students' recognition of proportional relationship between variables in lower-secondary school science by means of constructing conceptual entities and improves science learning, and to test the educational effect of the program in practice. Developed program is composed of two parts; the first is four-hours special lessons to enhance the recognition of proportional relationship between variables, and the second is science lessons of unit "electricity and its use" in the 2nd grade of lower-secondary school. Qualitative understanding of conceptual entities learning in the unit are constructed before introducing the calculation of proportional relationship in the program. Results of practice of the program at a lower-secondary school showed significant improvement of students' recognition of proportional relationship between variables, and effects in increasing self-efficacy, awareness of importance of learning science and liking of calculation in science among students who have successfully constructed the conceptual entities, suggesting the effectiveness of this program to improve science learning.

Keywords: recognition of proportional relationship between variables, conceptual entity, learning program, calculation in science learning