

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 3 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25380874

研究課題名(和文) 教科学習における柔軟な知識の運用としての知識操作の効果と教材開発

研究課題名(英文) "Knowledge Operation" to Enable Flexible Rule Use in Subject Learning

研究代表者

進藤 聡彦 (SHINDO, Toshihiko)

山梨大学・総合研究部・教授

研究者番号：30211296

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：学習者が既習のルールを問題解決に適用できないことがある。本研究では、教授されたルールの多様な問題解決への適用を可能にする要因を知識の変形を意味する知識操作の観点から探った。主な成果は次の通りである。知識操作が不十分なために、学習済みのルールであってもそれを問題解決に適用できないことがある。知識操作の1つである外挿は、学習したルールの適用を促進する。文字式のような抽象的表現のルールは、知識操作を抑制する。ルールと事例の関係が不明確なために、ルールがその機能を果たしていない。3変数に関わる公式の知識操作の場合、それを視覚化することにより、当該の公式を問題解決に適用しやすくなる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to clarify the factors to make learners apply the rules taught in their school to problem solving from the viewpoint of "knowledge operation". The main results were as follows.) Even the rule that junior high students and university students have learned in their elementary school days, they might not apply the rule to problem solving. The cause is because "knowledge operation" is insufficient.) The extrapolation that is one of the "knowledge operation" promotes the application of the already known rule to problem solving.) The rule taught by abstract expression like symbol type formulas restrains "knowledge operation".) Because the relation of a rule and an example is uncertain for learners, a rule with generality does not perform its function.) When rules like formulas about a relation of three variables are operated, it becomes easy to apply the formula concerned to problem solving by visualizing the relation.

研究分野：教育心理学

キーワード：知識の適用 知識操作 問題解決 教科学習

1. 研究開始当初の背景

学校教育などで教授される知識をいかに学習者に理解させるか、その知識をさまざまな問題解決時に適用できるようにするにはどうすべきか、更には獲得した知識から新たな仮説の生成をいかに促すかといった問題は、教育心理学の中心的なテーマであり、また認知のメカニズムを解明する認知心理学の重要な研究対象となってきた。

そうした中、教授された知識の理解に関わる要因として、Mochon & Sloman (2004) は3変数の関係を示す法則 $X = YZ$ (例えば「力 = 質量 × 加速度」「電圧 = 電流 × 抵抗」) は数学的には $Y = X/Z$ と等価であるが、学習者は具体的な学習内容に応じて因果関係を把握しやすい表現形式を好むこと、その表現形式では変数間の関係を捉えやすいことを指摘した。これは「 $p \rightarrow q$ 」とルール命題で記述できる知識を柔軟に変形できること、すなわち知識操作が学習の促進要因として機能することを示唆している。

知識操作の機能として、例えばルールの確証度や適用範囲の確定の促進、既存のルールに対するメタ認知的なモニタリングの促進などが考えられる。そして、知識操作は、従来の研究で当該の知識の理解や保持に有効だとされている知識の構造化を媒介する機能をもたらすものとして捉えることが可能である。この点において、知識の柔軟な運用とよい知識操作のタイプや学習に及ぼす促進的影響を実証的に証明できれば、教育心理学や認知心理学に新たな知見をもたらすものとして位置づくと考えられた。

さらに、本研究では教育実践とのつながりから、学習者が知識操作を自律的に使用できるようにするための有効な学習方略の形成の方法について、この問題を取り上げた Ghatla et al. (1985) などを参照しながら探り、そこで得られた知見から知識操作の獲得のための教授原則を見出そうとした。これはメタ認知的制御や自己調整学習の研究に関わって、学習に有効な学習方略を具体的に提示しようとする点で、意義の見出せるものと考えられた。

2. 研究の目的

前述のように「電流 = 電圧/抵抗」と「電圧 = 電流 × 抵抗」は、表現形式は異なるが同値関係にある。しかし、学習者にとって前者の表現は電流を大きくするには電圧を上げる必要があるという事態として具体的な表象をつくりやすいのに対し、後者の電流と抵抗の積が電圧になるという事態の表象はつくりにくい。このように学習内容を表象化しやすい知識表現で教授することにより学習者の理解は促進されると考えられる。

本研究では知識を柔軟に変形して教授することが(以下、知識の変形を知識操作と呼ぶ)、教科学習において促進的役割を果たすことを示すことを目的とした。併せて、学習を

促進する知識操作の種類や学習者自身の知識の柔軟な運用、すなわち知識操作の自律化を可能にするための教授方略について明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

知識操作が教授されたルールの問題解決への適用に及ぼす効果や知識操作に影響を与える要因を探る調査や実験を中学生や大学生を対象に行った。本研究の成果を教育実践に還元すべく、取り上げたルールはいずれも学校教育で教授されている内容であり、算数・数学の領域では内包量に関わるもの、平行四辺形の求積公式に関わるもの、更には分配法則に関わるものであった。また、小学校の学習内容のうち、最も難しいといわれる割合についても取り上げた。理科の領域では、金属の通電性のルールを対象とした。

主な研究方法としては、分類された課題の遂行の違いから知識操作に影響を与える心理的要因を明らかにする方法や、教授介入によって知識操作を促進する教授要因を明らかにしようとする方法などを採用した。

なお、倫理的配慮として大学生を対象とした場合には実験・調査対象者本人の了解を得た。また、中学生の場合には校長および担当の教員の了解を得た。

4. 研究成果

(1) 速さや人口密度などの内包量は、一般に2つの量の商として表示される。この場合、「割る数」と「割られる数」を入れ替えても、当該内包量の「強さ」の程度を比較することが可能である(これは小学校の算数教科書でも扱われている基本的な内容である)。この研究では内包量の当該の性質を「変数の入れ替え原理の理解」と名づけ、変数の入れ替え原理の理解を、「任意性の理解」(どちらの変数を「割る数」「割られる数」にあてはめるかは任意であることの意味)・「逆転性の理解」(変数を入れ替えると得られる結果の大小関係が逆転することの意味)・「意味性の理解」(入れ替えた式で何が求まるかの意味)の3つの側面から、「人の混み具合」と「アルバイトの割のよさ」という2つの内包量を取り上げ、検討した。

まず、研究1では110名の大学生を対象にして、任意性の理解と逆転性の理解について調べた。研究2では133名の中学1年生を対象にして、意味性の理解、任意性の理解、逆転性の理解について調べた。

その結果、これらの理解が成立していた者の割合は研究1でも研究2でも非常に低く、学校で教えられる式(人数 ÷ 面積)や、日常生活で用いる式(賃金 ÷ 時間)のみが正しいと考えている学習者の実態が明らかになった。これらの結果を「硬直化した公式観」という観点と「知識操作」の観点から考察した。すなわち、「逆転性の理解」は「被除数は除数より大きいほど商は大きい」という命題を

「被除数が除数より小さいほど商は小さい」と変換することは、「知識操作」であり、それが可能であった割合は大学生で55%、中学生では35%であった。これは「知識操作」が不十分な実態を示すものである。

(2) 外挿と呼ばれる「知識操作」を取り上げ、外挿が問題解決に及ぼす効果について実験を通して検証しようとした。外挿とは、「ある変数の値を大きく、または小さくしてみ、それが他の変数の値をどのように変化させるか推理すること」である。外挿は「知識操作」の一種と位置づけることが可能であり、値の変化が小さいときにははっきりとは把握できなかった変数間の関係を把握しやすくする機能をもつと考えられ、その効果の検証が研究の目的であった。

137名の大学生を対象とした。標的課題は、いわゆる等周長問題(長方形の4辺の長さを維持したまま平行四辺形に変形し、元の長方形との面積の大きさを比較する問題)を取り上げた。等周長問題は、小学校で既習の公式を用いれば、容易に解決できるはずであるが、大学生においても適切な問題解決が行えない者が多いことが先行研究で報告されている。

対象者を実験1群と実験2群、統制群に振り分け、2つの実験群には、学習セッションとして力の合成と分解の法則に即して、外挿を説明した。このうち、実験1群にのみ外挿操作の有効性について言語的に教授した。統制群では、学習セッションはなかった。事後課題セッションでは、3群ともに外挿によって長方形から平行四辺形への変形する課題を課した。その後、事後テストとして等周長問題を出題した。

実験の結果は、等周長問題において、2つの実験群の成績は統制群よりも高く、外挿操作が問題解決を促進することが確認された。しかし、外挿操作の有効性の言語教授の効果は認められなかった。

(3) 地球の大円の周長より1m長い紐を均等に地球の周囲にまわした場合にできる「地球との隙間」の大きさについて、大学生でも答えられない者が多いことが報告されている(守屋, 2000)。この研究では公式を用いてこの問題を解決可能にするための条件を検討することを通して、文字式学習の問題点と、それを促進するための条件を「知識操作」の観点などから検討した。

研究1では、上記の問題を解決する場合の困難さとして、直径の具体的な数値が与えられていないこと、「直径の増加 円周の増加」ではなく、逆方向の「円周の増加 直径の増加」を考えなくてはならないこと、実感との乖離があること(地球の周囲を1m増やすだけで直径が30cm増加)の3点を指摘した上で、直径の具体的な数値が与えられていないという問題に着目した。

調査に用いた問題は、問題1として「2つの同心円がある。内側の円の直径をa cmとする。外側の円の直径は内側の直径より6cm長くなっている。外円の円周は内円の円周よりもどれだけ長いを求めることができるか」というものであり、問題2は、「できるとした者は、実際にどれだけ長くなるか式と答を記せ」というものであった。この問題自体は分配法則($6 \times$)を利用すれば、容易に解決可能である。大学生161名を3群に振り分けた。3群への処遇の違いは、上記の問題に添付された図の違いであった。無群は、直径の値や文字表示がない図が用いられ、文字群は直径が文字で表示されていた。また、数値群は直径が数値で表示された図が提示された。

その結果、問題1で数値がなくとも公式が使えると考えた者は、文字群と無群を合わせて55%に留まった。また、問題2での正答者は、数値群が73%であったのに対して、文字群では45%、無群で33%であった。分配法則を用いることができた者は、3群全体で4%に過ぎず、特に文字群で少なかった。この結果を元の公式を分配法則に変形する「知識操作」の観点から捉えれば、抽象表現である文字式は、「知識操作」を抑制する要因になることを示唆している。

(4) 事例と共にルールを教授しても、学習者がルール情報に着目せず、事例のみからの帰納学習が行われる場合がある。このことを指摘した工藤(2013)は、その原因として事例情報が与えられたことによってルール表象の形成が不十分になることを示唆した。しかし、これまでなぜルール表象の形成が不十分になるかについては解明されていない。

そこでこの点の解明を目指し、調査が行われた。研究1では42名の大学生が、研究2では87名の大学生が対象となった。「銅は電気を通す」という事例情報とともに「金属は電気を通す」というルール情報を与えて実験を行った結果、以下の点が明らかになった。

「一般・個別」という知識の枠組みを不十分にしか持っていない学習者は、与えられた2つの情報から「金属の銅は電気を通す」のようなイメージを形成していることが示唆された。すなわちルール情報中の「金属」という概念名辞が単に「銅」に係る修飾語としてイメージされてしまう。その結果、ルールとしての表象が形成されないこと、また、さらにその結果、当該のルールを後続の問題に対して適用できなくなることを示唆する結果を得た。

こうした概念名辞がその抽象性を失い単に事例の修飾語として位置づけられる現象を概念名辞の「まくら言葉化」と命名した。

(5) 小学校算数の割合に関わる単元の教授に際しては、数直線が用いられている。割合の学習では、実際の2つの量とそれに対応す

る割合の数値を対応させる必要があり、それらの関係性を視覚的に明示できることが長所として考えられているからであろう。

しかし、本当に小学生にとって数直線が割合の理解を促進する思考の道具になっているのかについては明らかになっていない。そこでこの研究では、小学5年生2クラスの45名を対象に数直線理解の実態を明らかにするために調査を行った。

割合に関する6つの問題が記載された2つの問題用紙(AとB)が用意され、1つのクラス(A群、N=22)には問題用紙Aが、もう1つのクラス(B群、N=23)には問題用紙Bが配布された。調査対象者には割合についての6問を解くように教示された。6つの問題のすべてが2つの問題用紙で共通であったが、問題用紙Aでは問題4～問題6で問題解決に際して、数直線を描くように指示されていた。一方、問題用紙Bでは問題ごとにその問題に該当する数直線が記載されていた。なお、問題1～問題3は数値のみを提示して解答を求める単純な型の問題であったが、問題4～問題6は日常の文脈に即して出題された文章題であった。

主な結果として、数直線を自ら描かなくてはならなかったA群と数直線が与えられたB群の比較において、問題1～問題3の単純な問題においては、両群で顕著な差は認められなかったが、文章題の問題4～問題6ではいずれの問題においてもB群の正答率が高かった。また、A群において、適切な数直線を描けた者の方が描けなかった者よりも当該の3つの問題の正答率は高い傾向にあった。これらのことから、数直線の提示は問題解決にとって有力な「知識操作」の道具となることが示唆された。

また、数直線を自ら描くことを求められたA群においては、適切な数直線を描けた者が少なかった。このことから、その自発的使用は5年生にとって難しいことが示された。このことは、数直線自体を十分に理解していない者が多いことを示し、数直線自体の有効な教授方略を考えることの必要性を示唆する。

なお、その後に行われた大学生を対象とした調査でも同様な傾向が示され、大学生においても数直線自体が描けない者が多く、その原因の1つが元になる量を1の割合と見なすことができないことにあった。

(6) 2013年に発刊された教授・学習過程の領域の研究を概観、評価する論文の中で、「知識操作」に関連する研究を紹介し、その教育実践上の意義や教育心理学上の研究の意義について述べた。

<引用文献>

Mochoon, D., & Sloman, S. A., Causal models frame interpretation of mathematical equations, *Psychonomic Bulletin & Review*, 11, 2004, 1099-1104.

Ghatala, E. S., Joel R. Levin, J. R., Pressley, M., & Lodico, M. G., Training Cognitive Strategy-Monitoring in Children, *American Educational Research Journal*, 22, 1985, 199-215

守屋慶子 知識から理解へ 新しい「学び」と授業のために 新曜社 2000

工藤与志文、ルール学習における知識表象の不十分な抽象化とその問題、*教育心理学研究*, 61, 2013, 239-250

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 6 件)

Shindo, T. & Moriya, S., 2016, Number Lines as an Instrument for Solving Problem on Relative Values, *Beiträge zum Mathematikunterricht 2015*, 査読無、856-859.

麻柄啓一・進藤聡彦, 2015, ルール表象はなぜ成立しにくいのか 概念名辞のまくら言葉化, *教育心理学研究*, 査読有、63, 267-278.

進藤聡彦・麻柄啓一, 2015, 外挿操作による問題解決の促進、*山梨大学教育人間科学部紀要*, 査読無、16, 275-282.

進藤聡彦・麻柄啓一, 2014, 内包量の公式における「変数の入れ替え原理」の理解、*教授学習心理学研究*, 査読有、10, 12-24.

進藤聡彦, 2014, 教授・学習研究と教育実践の結びつき - 10年前との比較を通して -, *教育心理学年報*, 査読無、53, 57-69.

進藤聡彦・麻柄啓一, 2014, 問題表現の具体性が数学公式の適用に及ぼす影響、*山梨大学教育人間科学部紀要*, 査読無、15, 329-337.

[学会発表](計 8 件)

Kato, T., Moriya, S., & Shindo, S., Improvement of Education Contents and Education Method about Relative Values Using Worksheets and Figure “FRQ”, 50th Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik, 2016年3月8日、Heidelberg (Germany).

進藤聡彦・守屋誠司、割合に関する問題解決の困難さ 数直線把握の観点から、*日本教育心理学会第57回総会*, 2015年8月28日、朱鷺メッセ(新潟県新潟市)。

進藤聡彦・清水 光、割合の学習における数直線指導の必要性、*日本教授学習心理学*

会第 11 回年会、2015 年 7 月 11 日、茨城大学（茨城県水戸市）。

Moriya, S., & Shindo, T., Number Line as a Tool of Problem Solving on Relative Value、49th Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik、2015 年 2 月 10 日、Basel（Switzerland）。

進藤聡彦・麻柄啓一、外挿操作による問題解決の促進、日本教育心理学会第 56 回総会、2014 年 11 月 7 日、神戸国際会議場（兵庫県神戸市）。

麻柄啓一・進藤聡彦、ルール表象はなぜ成立しにくいのか 概念名辞の「まくら言葉化」とその原因、日本教授学習心理学会第 10 回年会、2014 年 7 月 6 日、仙台白百合女子大学（宮城県仙台市）。

進藤聡彦・麻柄啓一、内包量の公式における「変数の入れ替え原理」の理解、日本教育心理学会第 55 回総会、2013 年 8 月 18 日、法政大学（東京都千代田区）。

進藤聡彦・麻柄啓一、数学公式の適用に及ぼす抽象・具体表現の影響、日本教授学習心理学会第 9 回年会、2013 年 6 月 22 日、九州大学（福岡県福岡市）。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

進藤 聡彦（SHINDO, Toshihiko）
山梨大学・総合研究部・教授
研究者番号：3 0 2 1 1 2 9 6

(2) 研究分担者

麻柄 啓一（MAGARA, Keiichi）
早稲田大学・教育総合科学学術院・教授
研究者番号：4 0 1 3 4 3 4 0

(3) 研究分担者

工藤 与志文（KUDO, Yoshifumi）
東北大学・教育学研究科・教授
研究者番号：2 0 2 3 1 2 9 3