

令和 5 年 4 月 18 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K03235

研究課題名（和文）科学的ルールの学習を促す教師の発問と教材特性の解明：知識表現の抽象度に着目して

研究課題名（英文）Examination of Teachers' Questioning and Teaching Material Characteristics to Encourage Learning of Scientific Rules: Focusing on the Abstraction Level of Knowledge Representation

研究代表者

佐藤 誠子 (Sato, Seiko)

東北大学・教育学研究科・准教授

研究者番号：20633655

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,900,000円

研究成果の概要（和文）：教科の学習において、必要な知識（ルール）が教えられても実際の課題解決に適用できないことがしばしばみられる。本研究は、その要因として、使用する課題や提示教材の抽象度およびそれに関する学習者の認識の問題を想定し、いかなる教授活動が課題解決を促すかを検討した。大学生を対象とした一連の研究の結果、1）課題解決の失敗は、提示事例の具体的情報を手がかりとした判断に固執するために生じること、2）課題解決を促進するには、教授場面においてルールと多様な事例を提示するだけでなく、知識の道具的機能に関して一般的な認識を形成させることが重要となることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

科学的知識（ルール）の学習に関する教育心理学的研究では、これまで課題解決を阻害する要因として学習者のもつ誤概念や知識操作の不十分さが指摘され、誤概念修正のための教授ストラテジーやルールの操作練習の効果などが検討されてきた。本研究はそれらに加え、事例や課題のもつ具体的情報が知識の使用を阻害していることを指摘し、知識（ルール）のもつ機能的側面に着目した教授活動の重要性を指摘できたことに学術的意義がある。この知見は、実際の授業場面において、学習した知識を積極的に使用させる援助が必要であることを示唆するものである。

研究成果の概要（英文）： In learning of scientific rule, even if students are taught necessary knowledge, they often fail to apply it to actual problem solving. In this study, I hypothesized the abstraction level of the tasks and teaching materials and the learners' recognition of them as factors in the difficulties of problem solving, and examined what kind of instructional activities would encourage problem solving. The results of the study are shown as follows: 1) Failures in problem solving occur due to adherence to judgments based on the concrete information of presented cases. 2) To promote problem solving, it is important not only to present rules and various examples in teaching situation, but also to form a general awareness of the instrumental functions of knowledge.

研究分野：教育心理学

キーワード：知識学習 課題解決 具体的情報 知識の道具的機能

1. 研究開始当初の背景

現在学校教育において、思考力・判断力の育成が求められていることは言を俟たない。とりわけ科学教育においては、科学的ルールの獲得およびその課題への適用が重要な学習目標の一つになる。ところが、学習者はルールが明示的に教授されても、それを適用した課題解決は容易には達成されないことが先行研究により明らかになっている。これまでの教育心理学的研究では、その要因として学習者のもつ誤概念 (e.g. 麻柄他, 2006) や知識の操作的思考の低さ (e.g. 工藤, 2005) などが指摘され、それらを克服するための教授法が開発されてきた。しかしながら、それらの事後テストの結果をみると、同一のルールを適用することで解決できるはずの問題群の中に、正答率の高いものと低いものとが混在している。つまり、これまで考案された教授法の下で科学的ルールを学習した後でさえも、学習者は課題解決においてルールを一貫して適用することができないという問題がみられるのである。

ルールに対する理解は教師の教授法、学習者、教材の相互作用を通して形成されるものである。したがって、上記の問題に関しては、学習者要因のみならず、教授場面において取り上げた教材や教授法の特徴といった側面からも検討することが求められよう。そこで本研究では、ルール適用に影響を及ぼす要因として、教授学習場面における知識表現の抽象度に注目することとした。それは以下の理由による。学習目標となる科学的ルールは抽象度が高い。それゆえ、多様な文脈に一般化可能であるが、学習者にとってはその抽象度の高さゆえ、理解が難しいという側面がある。一方、教授場面において提示されるルールの事例や具体例は、学習者にとっては理解が容易であるが、それらは個別事例であることから、そのままでは問題解決は再生的にならざるをえない。知識表現の抽象度に注目すると、教授学習場面ではこのような教材特性のジレンマがあると考えられるのである。そこで、上記の問題を乗り越えルールの学習を成立させる教授法ならびに教材の条件について検討することとした。

2. 研究の目的

本研究の主目的は、上記のような教材特性のジレンマを克服しルールの学習を達成するには、どのレベルの抽象度をもつ教材が有効であるのか、そして、どのような教授活動が知識 (ルール) の適用を促すのかを明らかにすることである。そのために、具体的には次の 3 点について検討をおこなった。(1) 解決が困難な算数文章題課題を取り上げ、具体的レベルでの問題表象の形成と記号レベルでの演算選択に一貫性がみられるかどうかを検討する。(2) 課題のもつ具体的情報により、解決時に適用すべき知識の使用が阻害されることが想定される場面において、いかなる教授活動が課題解決における知識の使用を促進するかを検討する。(3) 学習場面で使用した事例 (教材) と課題状況の表面的類似性の高さにより、解決時に適用すべき知識の使用が阻害されることが想定される場面において、いかなる提示事例が課題解決を促進するかを検討する。

3. 研究の方法

(1) 具体的レベルでの問題表象の形成と記号レベルでの演算選択の一貫性に関して、割合文章題の問題解決を取り上げて検討する。割合文章題の中でも、とりわけ第 3 用法 (基準量 = 比較量 ÷ 割合) により解決が求められる問題は正答率が低い傾向にあることが指摘されている (小野, 2017; 吉田, 2003)。Mayer (2008) は文章題解決のプロセスとして、変換・統合からなる「理解過程」、プラン化・実行過程からなる「解決過程」があることを示している。割合文章題の理解過程では、問題文中に示されている既知の量および未知の量が、基準量・比較量・割合のうちいずれにあたるかを同定し、それらの量の関係構造を把握することが求められる。第 3 用法の割合文章題において比較量と基準量が部分 - 全体関係にある場合、文章題の問題状況を具体的にイメージすれば「求めたい基準量は比較量よりも大きい」という答えの見積もりは可能であると考えられる。ここで、答えの見積もりは具体的レベルでの問題表象である一方、立式で求められる演算選択は記号レベルの操作である。もし、答えの見積もりと演算選択に一貫性がみられない場合、これらの表象間の往還が困難である可能性が考えられる。そこで、比較量と基準量が部分 - 全体関係にある第 3 用法の割合文章題の問題解決において、具体的イメージとしての答えの見積もりと演算選択の整合性はどの程度みられるか、大学生を対象とした調査によりその実態を明らかにする。

(2) 佐藤・工藤 (2015, 2021) が用いた「三角型四角形」(Figure1) の図形分類課題を取りあげて検討をおこなう。三角型四角形とは 3 頂点が一直線上に並んだ特異な四角形のことであり、形態的には三角形にみえる図形であるが、四角形の定義ルールに基づく限り「四角形」に分類される図形である。しかしながら、大学生に分類判断を求めると「四角形でない」とする判断が優勢であり、四角形の定義ルールが教示されてもなおその初期判断を保持しようとする傾向が強くみられることが先行研究より明らかになっている。この傾向について、課題と知識表現の抽象度の観点から再考すると、課題のもつ形態的特徴 (具体的情報) が初期判断に影響し、解決時に使用すべき知識 (抽象的情報) の適用を阻害している可能性が考えられる。つまり、既知の

(親近性の高い)事例には知識を適用できるが、未知の(新奇な)事例には知識を適用しようとしにくい傾向があると想定される。このような知識適用の困難さには、「知識はすでに知っている事象を説明する表現である」とする認識が関与している可能性が考えられる(佐藤・工藤・進藤, 2021)。しかし、知識は未知の事柄を予測するための道具でもある。そのような知識の認識が形成されれば、三角型四角形のような特異な事例に対しても知識を適用できる可能性が高まると考えられる。そこで、上記のような知識の「道具的機能」を教授することが新奇な事例に対する課題解決を促進するかどうか、大学生を対象に実験授業をおこなう。

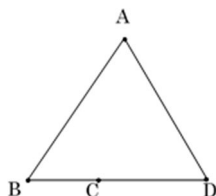


Figure1 三角型四角形(佐藤・工藤, 2015; 2021)

(3) 学習心理学で扱う「条件づけ」の判断課題(舩田, 2021)を課題としてとりあげて検討をおこなう。その課題とは、コイのオペラント行動(手叩き音にコイが近寄る行動)について、レスポナント条件づけとオペラント条件づけのうちどちらによる行動形成かをたずねる問題(コイ課題)である。先行研究では、このコイ課題に対して「レスポナント条件づけ」と判断する大学生が少なくないこと、それらがパプロフの犬の学習経験から「音とエサの対呈示」という状況の表面的類似性に注目しているために生じることが示されている。これは、事例のもつ具体的情報の類似性が、条件づけに関する知識の使用を阻害するために生じるものと想定される。条件づけの知識に基づく課題解決がなされるには、課題状況の表面的類似性ではなく、条件づけにおける反応形成メカニズムに着目する必要がある。そこで、条件づけの学習において、状況の類似性だけではどちらの条件づけが一義的に決まらない事例(あいまい事例)を用いて教授する。そのことが具体的情報の類似性に基づく判断を抑制し、反応メカニズムに着目した判断を促進するかどうかを検討する。

4. 研究成果

(1) 比較量と基準量が部分-全体関係にある第3用法の割合文章題の問題解決において、答えの見積もり(具体的イメージ)と立式の際の演算選択(記号レベル)の整合性はどの程度みられるものなのかを明らかにするため、大学生44名を対象に調査を実施した。「公園にある花だんの面積は 45m^2 です。これは公園全体の面積の60%にあたります。公園全体の面積は何 m^2 でしょう」という問題(蛭名・佐藤, 2017)を提示し、1)問題の答え(公園全体の面積)について「 45m^2 より小さいと思う/ 45m^2 より大きいと思う/計算しないとわからない」の3択から選択させた後、2)この問題の「式」の記入を求めた。調査の結果、1)の答えの見積もりを適切におこなった(基準量が比較量よりも大きいと判断した)のは34名(77%)にとどまった。2)の立式については、適切演算は15名(34%)、不適切演算が22名(50%)、無答が7名(16%)であった。答えの見積もりが適切であった34名を対象に、見積もりと立式の関係について検討したところ、演算結果が見積もりと合致しない立式を示した者が10名も存在した。これらの結果から、割合文章題の問題解決において具体的イメージと式の演算操作とが結びついていないこと、解決につまずく学習者の多くは場当たりの思考をおこなっていることが明らかになった。課題解決においても具体的イメージと抽象的な記号操作の往還が重要になることが示唆された。

(2) 知識の「道具的機能」(知識は未知の事柄を予測するための道具であること)を教授することで、「三角型四角形」(Figure1)の課題解決が促進されるかどうか、大学生192名を対象とした教授実験により検討した。教授実験は、心理学関連の授業において「知識と課題解決」のテーマ内で実施した。授業では、知識の学習の2タイプについて、知識を「まとめておしまい」タイプの学習と、知識を学んだら積極的に「使う」タイプの学習があることを提示し、より学習が進むのは後者のタイプであることについて、複数のルール学習(種子植物ルール、金属ルール、四角形の内角和ルール)を例に説明した。授業終了後、四角形の定義(4本の線分で囲まれた図形を四角形という。四角形には4頂点と4辺がある)とともに三角型四角形(Figure1)を提示し、四角形に分類するかどうかを3択(四角形に分類する/四角形以外の図形に分類する/判断できない)で求め、その判断理由もたずねた。その結果、先行研究(佐藤・工藤, 2021, 研究1)と比較して、課題解決時に定義ルールを適用し「四角形」と判断した割合が相対的に高かったことが明らかになった。さらに、授業後の感想として知識の道具的機能に言及した学習者は言及がなかった学習者よりも、三角型四角形を「四角形」と判断する割合が高く、7割を超えたことが示された。これらの結果から、課題解決を促すには、教授場面において従来のようなルール(抽象的情報)と事例(具体的情報)の提示だけでなく、知識の道具的機能に関する一般的な認識形成が重要となることが示唆された。

(3) 条件づけの学習において、状況の類似性だけではどちらの条件づけが一義的に決まらな

い事例（あいまい事例）を用いて教授し、それがコイ課題（「手叩き音に対してコイが近寄る」というコイの行動について、どちらの条件づけによる反応形成かを判断させる課題；舛田 2021）の解決を促進するかを検討するため、大学生を対象に授業研究を実施した。授業では2つの条件づけについて、パプロフのイヌの事例（レスポンド条件づけ）とスキナーのネズミの事例（オペラント条件づけ）を取り上げて説明した後、「あいまい事例」として次の事例を提示した。それは「A先生はとても素敵な先生で好印象だ。A先生は英語を教えてくれる。英語が好きになった」というものである（参考；佐藤，2008）。これは表面的な反応の内容（好感感情）から「レスポンド条件づけ」と直観的に判断されやすい事例であるが、反応形成のメカニズムに着目すれば「オペラント条件づけ」といえる。つまり、英語への好感反応が、例えば英語を自発的に勉強した結果（オペラント行動）、A先生から褒められた（報酬）ために生じた現象であると捉えれば、オペラント条件づけと判断できる。このように、あいまい事例を用いて教授することで、状況の表面的類似性では条件づけの種類を判別できないことが理解され、反応形成のメカニズムへの着目が促進されると予想した。実際に大学生22名を対象にあいまい事例を用いて授業活動を実施した結果、コイ課題に対して「オペラント条件づけ」と判断した者は3名（14%）であり、極めて低水準であった。そこで、他の条件づけ判断課題の結果と合わせて検討した結果、「音とエサ」のある問題状況（「飼育員が笛の音を鳴らしたら、イルカは飼育員のところに寄ってきて水面から頭を出した」）では同様に正答率が極端に低かった（18%）。授業場面におけるあいまい事例の使用はかえって学習者らの混乱をもたらし、むしろアクセスしやすい表面的な刺激情報が判断の手がかりとして使用されてしまったと考えられる。

コイ課題の解決の難しさは、「なぜその行動をしてしまうようになったのか」という行為の主体者としての視点を取りがちな点にある。そこで、後続の研究では、条件づけの学習において行動の制御者としての視点を強調することが、コイ課題の解決を促進するかどうかを検討した。その結果、コイ課題の正答率が前研究よりも上昇し、さらに行動形成のメカニズムについても適切な説明が増加したことが明らかとなった。このことから、状況の具体的情報にもとづく直観的判断を回避しメカニズムに着目した課題解決を促すには、知識学習において視点の変換を教授することが有効となることが示唆された。

以上、(1)～(3)の研究から、課題解決の失敗は、課題状況や提示事例の具体的情報を手がかりとした判断がなされその判断に固執するために生じること、ルールによる課題解決を促進するには、授業場面においてルールと多様な事例を提示するだけでなく、知識の道具的機能に関して一般的な認識を形成させる働きかけが重要となることが示唆された。このことは、実際の授業等の教授学習場面において、教師は概念の具体例提示を工夫するだけでなく、その知識を問題解決に使用させる積極的な援助が必要となることを示唆するものである。

<引用文献>

- 蛭名正司・佐藤誠子 (2017). 追跡調査問題の結果 第2部「割合」の授業実践 日本教授学習心理学会算数科授業研究会運営委員会（編）算数科授業研究会報告書 pp.82-87.
- 工藤与志文 (2005). 概念的知識の適用可能性に及ぼす知識操作水準の影響 平行四辺形の求積公式の場合 教育心理学研究, 53(3), 405-413.
- 麻柄啓一・進藤聡彦・工藤与志文・立木徹・植松公威・伏見陽児 (2006). 学習者の誤った知識をどう修正するか ルーラー修正ストラテジーの研究 東北大学出版会
- 舛田弘子 (2021). 不適切な問題解決に及ぼす講義内事例の影響 「どちらの条件づけでしょう？その理由は？」に対する回答の分析から 日本教授学習心理学会第17回年会予稿集, 8-9.
- Mayer, R. E. (2008). Learning Mathematics. In R. E. Mayer, *Learning and Instruction* (2nd Ed.) (pp.152-205). Pearson Prentice Hall.
- 小野耕一 (2017). 中学生における割合3用法の実態調査 第1部 中学生における割合の理解調査 日本教授学習心理学会算数科授業研究会運営委員会（編）算数科授業研究会報告書 pp.4-8.
- 佐藤淳 (2008). 第2章 学習の原理 本郷一夫・八木成和（編）シードブック 教育心理学 (pp.13-27) 建帛社
- 佐藤誠子・工藤与志文 (2015). ルールの適用を阻害する学習者の思考過程の検討 ルールによる仮説的判断の難しさ 教授学習心理学研究, 11(2), 54-65.
- 佐藤誠子・工藤与志文 (2021). 概念変化はなぜ生じにくいのか 仮説的判断を阻害する要因としての自己完結的推論 教育心理学研究, 69(2), 135-148.
- 佐藤誠子・工藤与志文・進藤聡彦 (2021). ルールの予測機能の教授が課題解決に及ぼす効果 金属ルールの学習を例に 日本教授学習心理学会第17回年会予稿集, 20-21.
- 吉田甫 (2003). 学力低下をどう克服するか 子どもの目線から考える 新曜社

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 佐藤誠子	4. 巻 31
2. 論文標題 ルール学習場面における学習者の質問生成とルール適用 種子植物ルールの学習の場合	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 石巻専修大学研究紀要	6. 最初と最後の頁 63-69
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 佐藤誠子	4. 巻 33
2. 論文標題 演算選択と見積もり回答の非整合性にみられる割合学習のつまずき 大学生を対象とした調査から	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 石巻専修大学研究紀要	6. 最初と最後の頁 57-63
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 佐藤誠子	4. 巻 17
2. 論文標題 知識の道具的機能の教授が自己完結的推論の抑制に及ぼす効果 四角形のルールによる図形分類課題を取り上げて	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 教授学習心理学研究	6. 最初と最後の頁 60-71
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 佐藤誠子
2. 発表標題 大学生の割合文章題第3用法の解決にみられる演算選択 見積もりおよび制限的乗法・除法観との関連
3. 学会等名 日本教育心理学会第62回総会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤誠子
2. 発表標題 条件づけ判断における自己完結的推論をいかにして脱却するか 「あいまい事例」を用いた条件づけの授業実践
3. 学会等名 日本教授学習心理学会第18回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤誠子
2. 発表標題 未知事例への知識使用を促す教授活動が自己完結的推論の抑制に及ぼす効果 「三角型四角形」問題を取り上げて
3. 学会等名 日本教育心理学会64回総会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------