

機関番号：17501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20530598

研究課題名(和文) 科学的概念の転移を促進する学習教材の提案

研究課題名(英文) Study on the learning materials which promote transition of science concepts

研究代表者

藤田 敦 (FUJITA ATSUSHI)

大分大学・教育福祉科学部・准教授

研究者番号：80253376

研究成果の概要(和文)：既知の概念(知識)を未知の課題の解決に転移することには困難さが伴う。本研究では、まず、物理学の領域における法則などの科学的概念の構造を変換操作するスキルを獲得することが、その概念の転移可能性を高めるという仮説を実験的に検証した。次に、数学の公式について、変換スキルの獲得を促進する教授手段を提案し、その効果を検証した。また、授業において転移を促進すると予想される教授活動のリストを作成した。

研究成果の概要(英文)：It is difficult to transfer the already learned concept to solution of a strange problem. First, it was investigated that acquiring the skill which carries out conversion operation of the structure of science concepts such as a law in the domain of physics improve the transition possibility of the concepts. Second, the teaching methods which promote the skill which changes a mathematical formula were devised, and the effect was verified. Finally, the list of teaching activities in the classes which were expected to promote transition of the concepts was created.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・教育心理学

キーワード：教授法

1. 研究開始当初の背景

数学や理科などの自然科学領域において、学習者が問題の解決に必要な解法や公式などの知識は既に獲得しているにも関わらず、その知識を適切に使えずに課題解決に失敗するという例が、しばしば観察される。特に、特定の事例や練習問題を通じて学習した概念や知識を、異なる事例や課題文脈の下に設定された問題に対して応用することは、子どもや大人、初学者や熟達者に限らず非常に困

難であると言われている(ex. Novick & Holyoak, 1991; 工藤, 2003)。

このような現象は、従来「概念転移の困難性」として、教授-学習心理学の分野においても繰り返し研究の対象となってきた。ここでは、主に、概念転移が、どのような心理過程で成立しているのか、また、いかなる教授的介入が転移の困難さを軽減できるのかという問いについて検討されている。なぜなら、これらの問いに答えることは、応用性の高い

「生きて働く知識」を育成する教授—学習の
 手続きを構築するための有益な示唆をもたら
 すと予想されるからである。

転移が成立する際の心理過程に関しては、
 既に学習した事例や例題に関する記憶を、直
 接転移課題に適用しているとする説明（事例
 ベース理論 ex. Kolodner, 1993）や、複数の事
 例から抽象化した一般的な法則を転移課題
 に利用しているとする説明（抽象化理論 ex.
 Catrambone & Holyoak, 1989）などが、これ
 までの研究において理論化されてきた。また、
 これらの理論をベースとして考案された教
 授的な介入手続き（例；学習する事例数を増
 加させる、抽象化すべき一般法則を明示す
 る）の効果も実験的に検討されている。しか
 し、そこでは、既に学習した事例や例題と類
 似する転移課題（近転移問題）であれば教
 授手続きの効果が現れるが、類似性が低い遠
 転移問題にまでは、効果が拓がらないとい
 う現象も確認されている（適用範囲の縮小過
 剰 ex. 市川, 1997; 進藤, 2002）。つまり、遠
 転移問題への転移がどのような心理過程で
 成立するのか、また、それを促進するため
 には、いかなる教授的な介入が必要となる
 のかという問題については明らかではなく、
 これからの研究課題であるといえる。

そこで筆者は、過去に学習した概念を、
 現在直面している問題の構造に合わせて、
 新たな概念に再構成して利用するという転
 移過程を想定し、その際の転移を促進する
 要因を特定する研究を行ってきた。具体的
 には、類推的転移課題において、転移が成
 立する可能性と領域知識や専門的・経験
 的知識水準との関連性を実験的に検証し
 た。また、自然科学領域（物理学）にお
 ける概念学習場面に着目し、概念転移の
 成立に関わる新たな解法生成に必要な知
 識の特定や、その知識の獲得を促進する
 具体的な教授方略の提案とその効果の
 検証を行った。これらの研究の結果、遠
 転移の成立を可能にするためには、既に
 学習している概念の構造を、異なる構造
 へと変換・操作する知識やスキルが有効
 であり、その知識の学習を目的とした
 練習問題（事例）が効果的であることが
 明らかになった（藤田, 2005 等）。

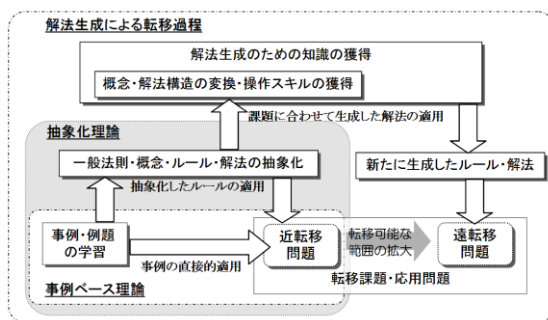


Fig.1 概念転移過程の説明モデル

以上の研究の結果を踏まえ、従来までの理
 論や「解法の生成を媒介した転移過程」を視
 野に入れた、包括的な概念転移過程の説明モ
 デルを Fig.1 のように仮説化した（藤
 田, 2006）。このモデルは、遠転移の成立過程
 において、いかなる情報処理や学習が行われ
 ているのかを説明することはできる。しかし、
 遠転移の成立可能性を高めるためには、ど
 の過程、もしくは要因が影響しているのかと
 いう点については、説明できない。また、現
 実の教育場面における教授—学習活動とど
 のような関係があるのかという問題につい
 ては答えることができない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、過去に学習した概念（解
 法や公式）が、多様な問題状況にも転移す
 る際の心理過程をモデル化する作業を通して、
 いかなる教授的介入によって、概念転移の困
 難さを克服できるのかという問いについて
 実証的に検討することである。

（1）転移を促進する要因の検証；これまで
 の研究で、①概念構造の変換・操作に関する
 知識の獲得以外にも、②一般化可能な概念情
 報の抽出（藤田, 2005）、③学習した概念に対
 する一般性の認識（工藤, 2003）、④領域知識
 等の事前知識の獲得や専門性の程度（藤
 田, 1999）、⑤学習事例への興味・関与の程度
 （藤田, 2007）など、転移課題の遂行や新た
 な解法生成を促進する要因として多くの変
 数が確認された。そこで、本研究では、まず、
 これら複数の要因が概念転移の成立可能性
 にどのように影響しているのかを、多変量解
 析の統計手法を用いて明らかにする。

（2）転移を促進する学習教材の提案；次に、
 上記の研究の結果を踏まえて、転移を促すた
 めの効果的な教授方略（学習教材）を提案し、
 その効果を測定する。具体的には、数学領域
 の概念（2次方程式の解の公式）を学習す
 る際の例題の構成の仕方に注目して、教授過程
 を構築する。特に、①概念構造の操作スキ
 ルの獲得、②一般的ルールとしての概念情報
 の認識、③領域的知識との関連性の理解など
 を目的とした例題による学習教材を提案する。

（3）転移を促進する教授学習活動の推定；
 学習した概念の転移可能性を高めると予想
 される要因が、実際の授業においては、い
 かなる教授的介入や学習活動の中に含まれ
 ているのかという問題について推定し、学習
 の転移を促進する授業について考察する。

3. 研究の方法

（1）転移を促進する要因の検証；文系大
 学生 123 名を被験者として、次の内容で実験を

実施した。①学習する科学的概念は、力学の法則「気圧が異なる複数の空間が存在するとき、空気分子数（運動量）が大きい高压の空間から、分子数が少ない低压の空間に向かって作用する力が生まれる」、凸レンズの性質「平行に進入した光はレンズ内で屈折して焦点に集まる（全ての光が一点に集約するのではない）」であった。②学習セッションでは、『マグデブルグの半球の実験』を具体事例とした気圧概念の説明教材、および『虫眼鏡による投影実験』を事例とした凸レンズ概念の説明教材を提示した。③事前・事後測定として、気圧や凸レンズの概念を用いることで説明可能な種々の現象に対し、なぜ、このような現象が生じるのかを説明する課題を実施した（現象説明問題）。その際、学習セッションで用いた実験事例と構造的に類似する問題を近転移問題、類似性が低い問題を遠転移問題として設定した。学習内容に関する測定では、④気圧と凸レンズ概念の理解度を測定する問題、⑤概念に対する操作水準の測定（気圧操作、実像操作問題）、⑥教材に対する評価（教材内容の面白さ、一般性に対する評価、情報量の不足感、有用性の評価、既知度の5段階評定）、⑦教材からの一般的概念情報の抽出（学習内容の要約）を行った。実験の実施手続きは、1）事前測定、2）概念の学習セッション、3）学習内容に関する測定、4）事後測定の順で行った。

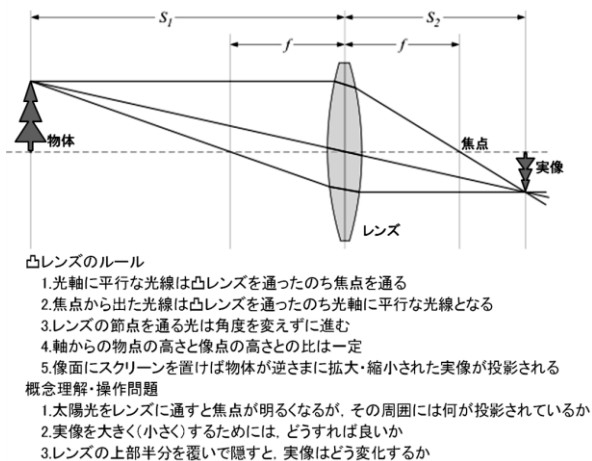


Fig.2 凸レンズ概念と概念操作問題

(2) 転移を促進する学習教材の提案；2次方程式の解の公式を学習領域とし、文系大学生34名を対象に、以下の実験を行った。まず、学習教材として、①2次方程式の解法の確認と解法を実際に直接利用して解を導く練習問題によって構成された教材、②解の公式を変換することで解答する例題の解説とその練習問題により、公式の変換操作を学習する教材、③解の公式を応用して、求積と比例の問題を解答する例題の解説と、その練習

問題により、公式の汎用性・一般性の認識を高める教材を作成した。被験者を3群に分け、それぞれ①のみ（解法練習群）、①と②（変換操作群）、①と③（汎用性確認群）の教材を提示して、異なる方法で2次方程式の学習を実施した。この学習の効果を測定するために、2次方程式の解を求める課題、および転移課題として求積、関数、因数分解の問題を実施した。

なお、転移の促進に関わると予想される変数として、①解の公式に関する事前の知識（公式の再生）、②解の公式の変換操作（等式の型の変換）、③数学領域への興味関心の程度、④事前の領域知識水準（求積・比例・因数分解等に関する理解）、⑤教材に対する評価（教材内容の面白さ、一般性に対する評価、情報量の不足感、有用性の評価、既知度の5段階評定）を測定した。

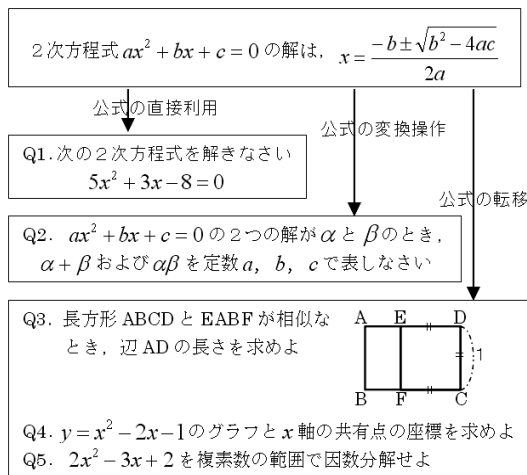


Fig.3 解の公式の操作・転移問題の例

(3) 転移を促進する教授学習活動の推定；小学校、中学校における授業の記録ビデオと指導案から、教師の指導行動と児童生徒の学習活動をテキスト化し、学習した知識の応用性や般化可能性の促進につながると予想される教授-学習活動を抽出した。

4. 研究成果

(1) 転移を促進する要因の検証；①学習セッションが、科学的概念の理解および転移可能性に及ぼす影響を調べるために、事前事後に実施した現象説明問題の成績を比較した（Fig.4）。その結果、近転移問題においては、有意な成績の上昇が確認できた。しかし、遠転移問題では、わずかな上昇はみられるが、統計的に有意な変化は生じなかった。つまり、科学的概念の内容自体の基本的な理解が形成されたとしても、その知識の遠転移が成立することは容易ではないことが、あらためて確認できたと言える。

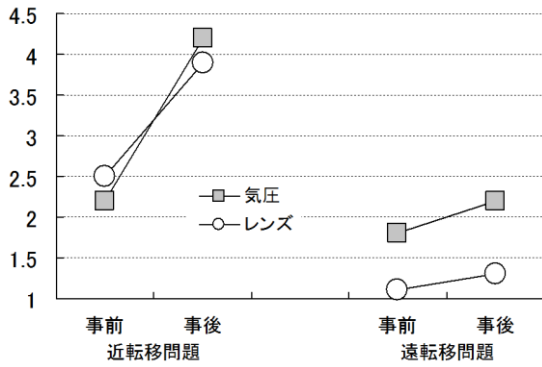


Fig.4 現象説明問題の成績

そこで、遠転移の成立には、いかなる要因が関わっているかを検討するために、遠転移問題の成績を従属変数、その他の各測度を説明変数として重回帰分析を実施した (Table 1)。

Table 1 遠転移問題成績に対する重回帰分析

説明変数	従属変数		気圧		凸レンズ	
	β	r	β	r	β	r
事前の概念理解度	.032	.323	.250*	.479		
概念構造の操作水準	.371**	.634	.444**	.658		
教材の面白さの評価	.051	.479	.185*	.537		
概念の一般性の認知	.295**	.616	.035	.192		
情報量に対する評価	.062	.399	.044	.273		
概念の有用性の評価	.103	.320	.102	.400		
概念に対する既知感	.081	.426	.044	.388		
一般情報の抽出水準	.132*	.554	.078	.304		
	$R^2 = .592$		$R^2 = .607$			
	$F_{(8,114)} = 20.68^{**}$		$F_{(8,114)} = 22.01^{**}$			

遠転移課題の成績に関わる要因として、有意な関連が確認された変数は、①概念構造の変換操作 (気圧操作・実像操作問題の成績)、②一般化可能な概念情報の抽出 (学習内容の要約)、③学習した概念に対する一般性の評価 (概念と多様な事例との関連性の認知)、④領域知識等の事前知識の獲得や専門性の程度 (気圧や凸レンズに関する事前知識・理解度)、⑤学習事例への興味・関与の程度 (説明教材の面白さ・関心の強さの評価) の5つであった。また、各変数の転移課題成績への影響の強さを比較すると、特に重要な要因は①であることがわかる。過去の研究 (藤田, 2007 等) において、気圧概念の転移に関して得られた結果と同様に、凸レンズ概念の場合も、学習した知識の転移可能性を高めるためには、その知識に対する操作スキルを有していることが重要であることが確認できたことになる。また、事前知識や理解度のように、学習内容に対する基本的な理解を形成していることは、遠転移を成立させる必要条件の一つであるが、必ずしも十分条件ではないということも推定できる。

(2) 転移を促進する学習教材の提案 ; 前項

(1) の結果として、概念操作に関する知識やスキルを有することが転移可能な知識を形成する上で、重要であることが示唆された。そこで、概念構造を変換する操作スキルを練習する問題を学習することが、転移の促進に与える影響を調べるために、学習内容の異なる3群間で課題成績を比較した (Fig.5)。

まず、全体的な成績 (方程式, 求積, 関数, 因数分解問題の総合点) は変換操作 > 汎用確認 > 解法練習の順となり、公式の変換の方法を学習することが、学習した解の公式の転移可能性を高めることが確かめられたといえる。ところで、求積問題に注目すると、汎用確認群の方が高成績であった。この結果は、公式変換の学習だけで転移を促進できる効果には限界があることを示している。

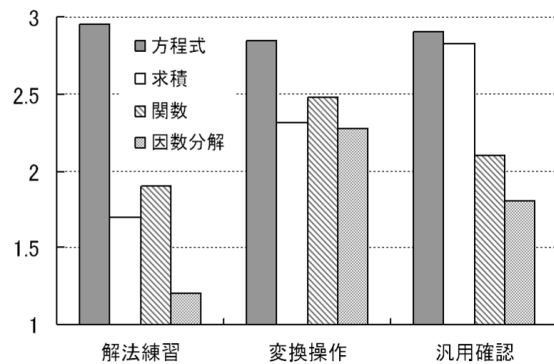


Fig.5 数学問題の成績

次に、関数問題と因数分解問題を、3群に共通する解の公式の転移課題とし、各問題の成績を従属変数、その他の測度を説明変数として重回帰分析を実施した (Table 2)。その結果、転移課題の成績の促進に関わると統計的に推定された変数は、①解の公式の変換操作水準、②解の公式に関する事前知識、③数学領域に対する面白さの評価、④数学領域の知識の獲得水準であった。特に、重要な要因となるのは①、②の両変数であった。この結果は、解の公式に関する基本的な理解を形成し、等式の構造を変換するスキルを有することが、転移可能性を高めることを示唆している。

Table 2 遠転移問題成績に対する重回帰分析

説明変数	従属変数		関数問題		因数分解問題	
	β	r	β	r	β	r
解の公式の事前知識	.310*	.531	.258*	.673		
公式の変換操作水準	.336*	.552	.336*	.606		
数学科目への関心度	.035	.320	.056	.428		
事前の領域知識水準	.276*	.224	.220*	.559		
教材の面白さの評価	.305*	.499	.209	.432		
公式の一般性の認知	.126	.355	.088	.302		
情報量に対する評価	.214	.455	.111	.396		
概念の有用性の評価	.212	.254	.010	.433		
概念に対する既知感	.189	.402	.153	.357		
	$R^2 = .646$		$R^2 = .701$			
	$F_{(9,24)} = 4.83^{**}$		$F_{(9,24)} = 6.25^{**}$			

数学における応用力を育成する手段としては、学校の現場では、練習問題・応用問題の繰り返しを行うことが一般的であろう。多様な練習問題を学習することは、解答可能な既知の問題のレパートリーを増加させる点では効果があるが、未知のタイプの問題に対しても、既知の概念を適用できる可能性を高めることには寄与しない。以上の結果は、問題解決に利用する公式（概念）の構造自体を変換する操作を学習することが応用力の促進に寄与する可能性があることを確かめた。

(3) 転移を促進する教授学習活動の推定；前項までの研究では、物理と数学の領域の中から学習課題を選び、学習した概念の転移可能性を高める要因を特定した。そこで明らかになった効果的な学習活動や教授的介入を構成する要因は、実際の授業場面の中では、どのような教授－学習活動の中で作用しているかについて推定することを試みた。

小・中学校で実践された授業のビデオ記録とその授業の指導案を分析対象として、教師による教授活動・教材・授業計画を構成する要素を細分した。さらに、その中で、学習内容の転移の促進に関わると予想される教授活動を以下のようにリスト化した。

- ①一般化可能な表現形式で概念構造を抽出する活動（テキストや具体事例、例題から学習した内容を、授業のまとめとして抽象的なルール形式で表現。前時の学習のまとめを再確認。タイプの異なる例題の比較。）
- ②学習した内容に対する一般性・応用可能性の認識を強化する活動（学習した解法・公式を利用できる領域や問題の種類・範囲の確認や問題練習。公式を利用する問題の作成練習。）
- ③概念構造の変換・操作に関するメタ知識の獲得を促す活動（応用問題の構造的な特性に応じて解法や公式の構造を変換する練習問題。等式の変換操作の指示。）
- ④学習内容への興味・関与の程度を強める活動（学習する領域の意味や価値の説明。子どもの生活世界からの具体事例の選択。学習内容と関連する生活世界の中の事象の想起。）
- ⑤異なる教科領域との関連性の理解（解法や公式を学習した領域とは異なる単元、教科、分野との関係を意識させる説明や発問。過去の関連する学習内容の想起。）

実際の授業における学習場面では、応用力を向上させる一般的な学習活動としては、応用問題の練習が多用されることが多かった。概念構造の変換スキルも、この応用問題の練習を通して学習する機会が多いと考えられる。以上のようにリスト化した教授的介入や

学習活動が、実際に学習した概念の転移可能性にどのような影響を与えているのかを検証していくことが今後の研究課題となる。

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）

〔図書〕（計 2 件）

①藤田 敦 2010 概念学習と授業 高垣マユミ編 授業デザインの最前線—理論と実践をつなぐ知のコラボレーションⅡ 北大路書房 88-103

②藤田 敦 2009 科学的概念の転移をうながす事例の学習 吉田甫・Erik De Corte 編 子どもの論理を活かす教育実践心理学 北大路書房 162-180

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤田 敦 (FUJITA ATSUSHI)
大分大学・教育福祉科学部・准教授
研究者番号：80253376

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし