

類題作成経験が類推的問題解決に与える効果

荷方邦夫* 島田英昭**

本研究は、類題作成経験が類推的問題解決に与える影響について、短大、大学生と大学院生らを対象に検討した。実験1 ($n=36$)では、放射線課題の同型問題を用いて検討を行った結果、事例の学習の際に類題作成活動を行った群は、統制群と比較して問題解決成績が高かった。実験2 ($n=76$)では、割合文章題を用いて検討した結果、類題作成群は同様に問題解決成績が高かった。また、複数の事例を提示した類題提示群と比較しても成績が高かった。以上から、類題作成経験は、問題解決を促進する効果的な教授介入方法であることが示された。また、あらかじめ作成された類題を吟味することではなく、主体的に類題を作成することが重要であることが示された。最後に、これまでの認知研究をふまえ、類題作成活動の認知プロセスが議論された。

キーワード：類推、類題、問題解決、問題作成、知識の利用可能性

問題と目的

新奇な問題に面したとき、われわれはしばしば既に知っている事例の中からその問題に類似したものを検索し、これを適用することによって解決を行う。このような問題解決のことを類推的問題解決といい、新奇な問題をターゲット、基底となる事例あるいは領域の心的表象をベースとよんでいる。類推はベースからターゲットへの知識の転移をもって成立する。類推的問題解決の研究は、学習した知識の構造や転移のプロセスといった認知心理学的問題と、どのような介入が学習の支援に有効であるのかといった教育心理学的な問題の両面から行われ、従来多くの研究が行われている。

本研究が扱うのは、類題の作成という活動が、類推的問題解決に与える影響である。類題の作成は、一般的に教育現場で用いられている手法である。たとえば、松川(1995)は、算数の授業における類題作成¹の具体的な授業展開の提案をしている。その中で、類題作成の意義として、問題の構造や仕組みが明確になること、既習の知識や技能を統合的・発展的に使えるようになる

ことなどを指摘している。しかし、多くの教育現場で類題作成による学習支援が行われているにもかかわらず、その効果の実験的な検証はいまだ行われていない。また類題作成活動の認知プロセスについても明らかにされていない。本研究では、類推的問題解決の枠組みから、類題の作成が問題解決を促進するという証拠を提出し、類題作成の認知プロセスについて検討することを目的とする。

類推的問題解決における従来の研究の枠組みで類題作成という活動をとらえた場合、この活動は第1に学習された知識の利用可能性を高める介入のひとつであり、第2に学習者の主体的な関わりに基づく、知識の再構成活動であることの2つの特徴をもつと考えられる。

はじめに、第1の特徴について、類題作成によって獲得されることが予測される知識の構造を中心に、関連するこれまでの研究を概観する。

まず、われわれがいう知識の利用可能性とは、類推や問題解決などの知識利用場面で、ある特定の知識が他の知識と比較して柔軟かつ容易に利用されうる性質をもつことをさしている。すなわち利用可能性の高い知識は、その検索性が高く、また課題がおかれている文脈の異なりに対しても柔軟な適用ができるという可塑性をもっている。

このことについて、問題解決や知識獲得に関する研究では、従来から利用可能性の高い知識の特徴や、それを獲得させるための方策が議論されてきた。たとえば演繹的思考における主題材料効果 (Griggs & Cox, 1982; Johnson-Laird, Legrenzi, & Legrenzi, 1972) は、解決

* 金沢美術工芸大学
〒920-8656 石川県金沢市小立野5-11-1
k-nikata@kanazawa-bidai.ac.jp

** 筑波大学 (現所属：産業技術総合研究所)
shimadahideaki@ni.aist.go.jp

¹ 松川(1995)の中では「問題づくり」という用語が用いられている。この中では、原題からの類似問題の作成を意図しているものであるから、ここでは類題作成という用語を用いることとした。

者にとって熟知した領域の知識が、その他の領域・文脈での知識と比較して高い利用可能性をもつことを典型的に示している。また湯沢 (1988) は光合成についての知識獲得に関する研究において、生徒が光合成の概念を理解するときに、生徒自身が持っている日常的な知識を利用しながら推論スキーマを構成することを指摘している。この推論スキーマは形式的推論規則と領域固有の規則の中間に位置すると考えられる知識構造で、学習者のこれまでの経験から形成されていると考えられる。湯沢はこのようなスキーマの形成を促すような介入を行うことで、理科の学習支援を効果的に達成している。

類推的問題解決の研究においても同様に、知識の利用可能性をめぐる議論が展開されている。たとえば Bassok & Holyoak (1989) は数列を使用した応用問題を用いた類推的問題解決において、物理と数学という異なる文脈で提示した場合、数学の文脈で学習を行った被験者は物理の文脈でも類推による解決が可能であるのに対し、物理の文脈における学習では、数学領域への転移が困難であることを指摘している。また荷方・海保 (2001) は収束的類推課題とよばれる課題を用いた検討の中で、放射線課題 (Duncker, 1945) と同型である4つのタイプの課題をそれぞれベース領域の課題として提示したとき、ベース領域で用いた問題によって、ターゲット問題の解決成績に違いがあることを指摘している。これらの研究に共通する点は、ベースとターゲットの間の構造的な要素の存在については条件間で違いがないにもかかわらず、転移の成否が異なることである。つまり類推は単にベース領域とターゲット間における要素の類似性の存在によって成否が決定するのではなく、その要素となる知識の利用可能性が異なっており、結果として転移に大きな影響を与えるのではないかと思われる。

一方、利用可能性の高い知識を獲得させるための介入方法についても検討されている。たとえば, Gick & Holyoak (1983) は、ベース領域の形成としてターゲットと同じ構造を持つ複数の事例を学習させた場合、単一の事例から学習した群よりも転移が促進されることを確認した。これはスキーマ帰納とよばれ、学習者が複数の事例から一つの抽象的な構造を帰納的に抽出したことによるものと説明している。また, Catrambone & Holyoak (1989) も、2つの事例からの抽象化を行わせることによって転移が促進されることを示している。その他ベース学習時の教訓帰納 (山崎, 2001), 図の利用 (Beveridge & Parkins, 1987 ; Gick & Holyoak, 1983 ; 荷方,

2001 ; Pedone, Hummel, & Holyoak, 2001) など、類推的問題解決を支援する学習の方法がいくつか提案されている。これらの研究に共通するのは、知識の利用可能性を高めるため、抽象的知識の抽出を支援していることである。鈴木 (1996) は準抽象化という概念でこのような抽象化された知識の性質の説明を試みており、学習者にとって実用的な水準で知識を構成することが、類推における知識獲得に重要であると指摘している。

以上の研究をふまえた上で、本研究の扱う類題作成について考えることとする。類題作成は上記のような介入のひとつであると考えられるが、その効果が存在するかどうかについては検討の余地がある。なぜなら、類題作成は、通常は複数のベース事例を提示しないため、この点でスキーマ帰納とは異なる認知プロセスを持つと考えられるからである。また、事例の抽象化を求める、あるいは教訓帰納といった介入では、抽象的な知識の獲得を直接的に教示するが、通常の種類作成は知識の抽象化を直接教示する介入ではない。以上の点を考慮したとき、単一のベース事例から、類題作成という活動によって自発的に利用可能性の高い知識を獲得することが可能であるのかについては検討の余地がある。本研究では、単一事例を用い、かつ知識の抽象化を教示しない状況において、類題作成による利用可能性の高い知識の獲得が可能であるかを検討する。

次に、先に挙げた類題作成活動の第2の特徴である主体的な活動とは、学習者自身が知識の再構成をする活動、あるいは個人が自己の知識を自身にとって利用しやすい形に最適化する活動として位置づけることができる。類題作成は、与えられた事例をもとに問題の特徴を考慮しながらもう1つの事例を作る。このため単なる複数事例の提示より知識に対してより深い処理が必要となる。また自己の裁量で構成を行うことは学習者にとって最も適した形での知識構成が行われ、自己に適した形の抽象化が行われるのではないかと思われる。結果として、このような主体的な活動によって、知識の利用可能性は高められるのではないかと考えられる。

たとえば仮屋園 (1994) はベース学習時に、学習した内容の生成活動を要求した。このとき、生成活動を行った条件は、行わなかった条件に比べてターゲットとなる問題の解決が促進されることが示された。また秋田 (1988) は説明文の理解の研究から生成活動が与える効果について検討するため、課題に対する学習者の質問作成を求めた。その結果、質問作りという活動が読み手の理解を支援することを指摘している。さらに荷方

(2001)はベース事例の学習時において、事例となる課題を説明するための図を作成する活動を学習者に行かせた場合、類推によるターゲットの解決が促進されていることを確認した。

上記のように、主体的な活動による知識の再構成は、利用可能性の高い知識の獲得を促すと考えられる。しかし、類題作成によって利用可能性の高い知識が獲得されたとしても、これが主体的活動の結果であるのかは問題が残る。なぜなら、類題を作成することは、自ら作成したもう一つの問題を見ることにもなる。これは、複数事例を学習することによるスキーマ帰納の効果と同様の効果が得られている可能性もある。すなわち、主体的な活動が重要なのではなく、結果的に複数事例を学習することになるための効果である可能性もある。本研究では、類題作成による認知プロセスを議論するために、利用可能性の高い知識の獲得が、主体的な活動によっているのかを検討することも一つの目的とする。

本研究では、以下のような2つの実験を行う。実験1では、これまでの類推的問題解決においてしばしば用いられている収束的類推課題 (Duncker, 1945; Gick & Holyoak, 1983; Holyoak & Koh, 1987) を用いて、類題作成が類推的問題解決を促進するかについて検討する。実験2では発見的な問題解決が求められる収束的類推課題のみならず、アルゴリズム的な問題解決が求められる割合文章題についても、実験1の知見が一般化できるかを扱う。従来の類推的問題解決を促進する介入に関する研究の多くは、単一の課題を対象に検討を行ってきた。このような研究手法は、その介入が領域の持つ固有の性質によらない普遍的な効果を持つ方法であるかという問題が残される。そこで、本研究は結論の領域普遍性をある程度確保するため、類題作成が発見的問題とアルゴリズムの問題という異なるタイプの知識獲得に対して効果を持つことをあわせて検討する。さらに、実験2においては、類題作成の一つの特徴である主体的活動が、利用可能性の高い知識の獲得に対して影響力を持つかについても検討する。

また、本研究では、類題作成は、従来の類推支援よりも利用可能性の高い知識を獲得させることが可能であると考えている。この仮説を検討するため、次の2つの手続きを実験上固定する。1つは、手続きの中でターゲット解決時にベースが利用可能であることを教示しない、つまりヒントを与えないことである。これは、仮説として類題作成が自発的な転移を可能にする知識形成活動であることに関連する。従来の研究(たと

えば, Gick & Holyoak, 1983) は、ヒントが与えられない時の転移は困難な場合が多いことを指摘している。日常生活における問題解決場面を考えると、以前の問題解決経験を思い出すという明示の手がかりが与えられることは極めて稀であり、自発的な転移が成立するような利用可能性の高い知識を形成することがより望ましい。

もう1つは、ベース解決の後に、数日の遅延をおくことである。従来の研究では、ベース解決のあとに遅延をほとんどおかないことが多かった(Gick & Holyoak, 1983; Pedone et al., 2001)。これも、日常生活における問題解決場面を考えると、獲得した知識を直後に使用することは稀である。本研究では従来よりもやや長い遅延時間を用いて検討することで、類題作成による知識の定着が頑健であることを保証する。

上記のようなヒントを与えない、かつ比較的長い遅延時間を用いた中で、類題作成活動によって問題解決が促進されれば、類題作成活動は自発的な転移を可能にし、かつ知識の定着が頑健である、すなわち利用可能性がより高い知識を獲得させることが可能であると思われる。

実験 1

目的

実験1では、従来の類推的問題解決研究で用いられてきた収束的類推課題における類題作成の効果について検討を行う。収束的類推課題とは、放射線課題 (Duncker, 1945) とその同型課題よりなる問題のことをさす。これは、ガンや火事などの対象に対して、放射線や放水などの制圧手段をいったん分割して投射するという解決を使用する課題であり、この解は一般的に収束解と呼ばれる。従来の類推研究で最も広く使用されているこの課題を用いて、類推的問題解決における類題作成の効果について検討を行う。

方法

被験者 短大、大学および大学院生36人。うち統制群に17名、類題作成群に19名を割り当てた。

材料 課題は冊子の形式で、ベース冊子、およびターゲット冊子の2種が作成された。ベース冊子は、さらにベース問題冊子とベース解答冊子に分けて作成された。冊子の具体的内容は Appendix 1 に示す。ベース問題冊子では、収束的類推課題の一つである Gick & Holyoak (1983) の軍隊問題が印刷された。またベース問題冊子には、フィラー課題として4枚カード問題 (Wason & Shapiro, 1971) が印刷された。ベース解答冊

子には、4枚カード問題と軍隊問題の解答が印刷された。ターゲット冊子は、収束的類推課題の一つである Holyoak & Koh (1987) の電球問題が印刷された。さらに、ターゲット冊子には、電球問題の次のページにフェイスシートが設けられた。

手続き 実験は1～3人の小集団で実施された。また手続きはベースセッションとターゲットセッションから構成された。まずベースセッションで、被験者にベース問題冊子を配布し、印刷された軍隊問題と4枚カード問題に解答するよう求めた。解答時間は2問合わせて15分以内にし、時間内に解決が終了した場合には、制限時間まで待つように教示した。なお、実際の解決には2問合わせて約10～15分の時間がかかった。解決後、ベース解答冊子が渡され、実験者が終了と指示するまで課題と解答・解説をよみ、理解できるよう熟読することを求めた。ベース解答冊子を読む時間は3分間とした。その後、類題作成群は、水を使用して火を消す状況をモチーフとして、軍隊課題と同様の例題を作成し、用紙に記入するよう求めた。また、統制群は、類題作成は行わず、ベース解答冊子を読むことでベースセッションの終了とした。以上のベースセッションが行われた3～10日後に、ターゲットセッションを行った。なお、各群の被験者のセッションのインターバルについては、偏りがないう配慮された。ターゲットセッションでは、ターゲット冊子を配布し、10分以内に解答を冊子に記入するよう求めた。最後に、フェイスシートの記入を求め、実験は終了した。

結果と考察

ベースセッションにおける軍隊問題、およびターゲットセッションにおける電球問題の解答は、実験者によって、冊子に記入された解答中の収束解の有無により正解・不正解に分類された。この中で、軍隊問題が正解であった被験者は、電球問題に必要な収束解の構造を、本実験の操作を行う以前に獲得しているとみ

なし、分析から除くこととした。これは、本研究が、新規に知識を獲得する場面における介入を検討するという目的をもつためである。その結果、統制群では7名、類題作成群では10名の被験者が分析から除かれた。

分析対象となった被験者の、電球問題に対する正解・不正解の度数を、群ごとにTABLE 1に示す。統制群と類題作成群に課題正答率の違いがあるかを検討するため、フィッシャーの直接確率計算を実行した(両側)。その結果、課題正答率には群間に有意な違いが認められた($p=.023$)。以上から、収束的類推課題に対して、類題作成活動はベースからターゲットへの類推を促進し、利用可能性の高い知識の獲得に十分に貢献していると考えられる。

さらに、類題作成の認知プロセスに対する知見が引き出されることを期待して、類題作成群で作られた類題の質についていくつかの事後的な分析を行ってみた。分析にあたり、荷方(2001)で使用された分析カテゴリーの一部を用いた。ここで用いた分析カテゴリー(TABLE 2)は、課題が持つ条件と、問題の解法・構造的関係に関する表現であった。これらは問題の状況や解法についての表現であり、与えられた課題の主たる要素や、解に至る制約を示している。これらを意味する表現が作成された類題の中に含まれているか否かを分析した。ターゲットの解決に成功した被験者と失敗した被験者ごとの度数と割合をTABLE 3に示す。ターゲットの解決に成功した被験者と失敗した被験者を比較して、特に顕著な違いがみられたカテゴリーは複数手段の表示、

TABLE 1 実験1におけるターゲットの成績

	正解	不正解	合計
統制群	2	8	10
類題作成群	7	2	9

TABLE 2 実験1での質的分析の基準

分析カテゴリー	分析基準 (括弧内は具体的な例)
制圧対象の表示	制圧されるものが明示されている (「火事」, 「火元」など)
強い手段の必要性	制圧のためには、制圧物にある程度の強度が必要であることの明示がされている (「火を消すには強い水の力が必要」など)
障害となる制約の表示	制圧物の妨害となる要素が明示されている (「弱い窓枠」, 「細いホース」など)
複数手段の表示	制圧物を分散できることを示す表現がある (「複数のホース」, 「バケツがある」など)
収束条件の表示	制圧物の分散を必要とする制約が文章で表現されている (「火を消すにはそれぞれの窓から放水する必要がある」など)

TABLE 3 実験1での質的分析の結果

カテゴリー	ターゲット	不正解 (2名)	正解 (7名)
制圧対象の表示		2 (100%)	7 (100%)
強い手段の必要性		1 (50%)	5 (71.4%)
障害となる制約の表示		2 (100%)	5 (71.4%)
複数手段の表示		0 (0%)	6 (85.7%)
収束条件の表示		1 (50%)	3 (42.8%)

つまり、制圧物を分散できることを示す表現があるかどうかであった。この複数手段の表現は、本実験で扱っている収束的類推課題では、転移されるべき最も重要な要素の一つであると考えられる。このことは、表出内容がターゲットの解決と関連している可能性を示唆している。

しかし、秋田 (1988) は、何らかの産出による介入を行った際に、その表出内容は介入効果に関連がないという結果を得ている。また、上記の分析では、事後的な分析であるためにサンプルサイズが小さいことがあるが、統計的に有意な差がみられていない。これらを考慮すれば、表出内容とターゲットの解決は無関連である可能性もある。

そこで、実験2において、表出内容とターゲットの解決の関係を再度検討することにする。特に、実験1で明確な結論が得られなかった背景として、類題作成群への要求が作成された類題自体を引き出すのみという実験手続き上の問題も関係していると考えられる。つまり、ターゲットの解決に成功した被験者が、内容の理解を反映してより多くの情報を表現することが可能であるにもかかわらず、実験上の制約により、その表現をしなかった可能性を考慮する必要があると思われる。そこで、質的な分析については、実験2で課題に対する要求を工夫する事によって、さらに検討をすることとする。

実験 2

目的

実験1により、類題作成活動は類推的問題解決を促進させることが明らかになった。実験2では、これをふまえ、以下の2点を検討する。

第1に、Bassok & Holyoak (1989)、Bassok (1990) および Novick (1988) が用いたような数学の問題においても、類題作成活動の効果がみられるのかについて検討する。ここでは割合文章題を作成し、類推的問題解決の促進効果がみられるのかを検討する。これは、実験1で示された発見的解決が求められる課題に対する知見に対して、アルゴリズムの解決が求められる問

題についての検討を行うことで、本研究の主張する類題作成の効果が、異なるタイプの問題に対して一般化可能であることの検証を意図している。

第2に、本研究の挙げている類題作成活動の一つの特徴である主体的活動が、類推的問題解決を促進する要因となるのかについて検討する。実験1の結果は、類題作成活動は主体的活動であり、その主体的活動を行うことが類推的問題解決を促進したと解釈できる。しかし、この効果は主体的活動の効果ではなく、複数の問題提示によるスキーマ帰納による効果である可能性を残している。類題作成の手続きは、ベースセッションで提示された問題と、類題作成活動により作成された問題の2つを結果的に見ることになる。このため、類題作成活動による類推的問題解決の促進効果に対し、類題を作成する主体的活動は何ら貢献をしないが、結果的に2つの問題を見ることによってスキーマ帰納が生じることによるとの解釈も可能である。

そこで、実験2では、実験1に加えて類題表示群を設定する。類題表示群では、類題作成活動は行わず、類題作成群で作成を指示される問題と同一の構造を持つ問題を提示する。この群では、主体的活動による類題作成は行われぬ。仮に実験1における類題作成の効果に、主体的活動の要因がなければ、あらたに設定される類題表示群と類題作成群は、スキーマ帰納によって類推的問題解決が同程度促進されると考えられる。一方、類題作成の効果に主体的活動の要因が大きく含まれているのであれば、類題作成群は類題表示群よりも問題解決が促進されると考えられる。

さらに、実験1において結論が保留された類題作成群における表出された問題の質と成績の関連について検討を行う。先に、明確な結論が得られなかった原因の一つとして、作成された類題自体を引き出すのみという課題要求にあった可能性を挙げた。特に、類推的問題解決の場合、課題の持つ構造的特徴が正しく理解されていること (Holyoak & Koh, 1987)、ないしは類題作成によって生成されたスキーマが適切であること (Gick & Holyoak, 1983) は、解決にとって重要である。実験2では、この内容を良く表現するものとして、解を導く式の導出に注目する。式は今回使用した2つの問題において同型の構造を持ち、この構造的特徴の共通部分の理解は、転移を左右する。そこで、実験2では問題文を作成するだけでなく、同時に式を作成させることを課題として求め、式が正しく導出されているかについても検討を行った。

方法

被験者 短大、大学および大学院生76人。うち統制群に24名、類題表示群に28名、類題作成群に24名を割り当てた。

材料 冊子の具体的内容は Appendix 2に示す。今回の実験のために新たに考案した課題は、いずれも割合を題材としたもので、食塩水問題、速さ問題、くじびき問題の3種である。いずれも、「割合＝比較量/基準量」という関係式を用いたものであり、基準量に着眼した不等式の立式が求められる。解答に示す不等式を得るためには、「基準量＝比較量/割合」という割合の第3用法を利用する必要がある。その上で、比較量を変数とした基準量の和が、問題で提示した基準量の最大値を超えないように立式する。用意した3種の問題は、この関係構造において同型である。

以下、実験1と異なる部分のみ述べる。ベース冊子には、食塩水問題とその解答が印刷された。さらに、類題表示群、類題作成群のそれぞれに、Appendix 2に示す速さ問題を用いた題材が印刷された。なお、フィルター課題は用いられなかった。ターゲット冊子には、くじびき問題が印刷された。また、その次のページにフェイスシートが設けられた。

手続き 手続きは実験1と同様で、2～18人の小集団実験で実施された。ベースセッションでは、被験者に対して食塩水問題に解答するよう求めた。解答時間は15分以内にし、時間内に解決が終了した場合には、他の被験者の解決が終了するまで待つように教示した。なお、実際の解決には約5～15分の時間がかかった。解決後、ベース解答冊子が渡され、実験者が終了と指示するまで課題と解答・解説をよみ、理解できるよう熟読することを求めた。解答冊子を読む時間は3分間とし、必要があればさらに時間を与えることとしたが、解答冊子を読む時間の延長を要求した被験者はいなかった。

次の手続きは、群ごとに異なる。まず、類題表示群の被験者には、食塩水問題との類似点、注目すべき関係について強調した速さ問題を提示した。類題作成群は、道のりと速さ、時間を用いるという制約の中で、食塩水問題と同様の問題を作成するよう教示した。この際、問題文および問題文から導き出す式や答えを用紙に記入するよう求めた。統制群は、類題作成は行わず、ベース解答冊子を読むことでベースセッションは終了した。

以上のベースセッションが行われた3～10日後に、ターゲットセッションが行われた。ターゲットセッ

ションでは、ターゲット冊子が配布され、12分以内に解答を冊子に記入するよう求めた。最後に、フェイスシートの記入を求め、実験は終了した。

結果と考察

食塩水問題とくじびき問題について、正しい数値の導出を基準として、正解・不正解が分類された。解答は、正解の数値を導出できた場合正解とみなした。食塩水問題に正解していた統制群2名、類題表示群10名、類題作成群8名が分析から除かれた。

分析対象となった被験者の、くじびき問題に対する正解・不正解の度数を、群ごとに TABLE 4 に示す。実験1と同様に、統制群と類題作成群の間に課題正答率の違いがあるかを検討した。その結果、統制群と類題作成群に有意な違いがみられた ($p=.008$)。これにより、実験1でみられた類題作成の効果が改めて確認され、類題作成の効果は領域普遍性のある程度持ちうることを示唆された。また、類題表示群と類題作成群の間にも有意な違いが認められた ($p=.037$)。これにより、類題作成の効果の背景には、類題作成が主体的活動を含んでいる活動であることが示された。

次に、分析対象となった類題作成群の被験者を対象として、作成された類題の質的分析を行った。目的でも述べたように、課題の持つ構造的特徴の理解およびスキーマの獲得の状況を知る上で、問題に共通した構造を持つ式の導出の有無は、転移を左右する理解の指標となる。そこで、作成された式について、比較量を変数とした基準量の和が問題で提示した基準量を超えないことを不等式によって表現しているかどうか分類し、転移の成否との関連を検討した。その結果を TABLE 5 に示す。フィッシャーの直接確率計算 (両側) を実行した結果、ターゲットの解決に成功した被験者は、失敗した被験者に比べ有意に式の導出に成功して

TABLE 4 実験2におけるターゲットの成績

	正解	不正解	合計
統制群	5	17	22
類題表示群	5	13	18
類題作成群	11	5	16

TABLE 5 実験2における類題の式の導出

	式の導出		
	成功	不成功	合計
ターゲット	9	2	11
解決	1	4	5

いた ($p=.036$)。これは、作成された類題の質は、類推的問題解決の成否にある程度の関連があることを示唆しており、課題の持つ知識の利用可能性を高めるような精緻な表現を含む類題作成をさせることが、より転移を促進させる可能性を示していると考えられる。

最後に、本実験の結果について、特に留意が必要と思われる2点を指摘しておく。

1つは、Gick & Holyoak (1983) の指摘する複数事例の提示によるスキーマ帰納の効果である。本実験では、統制群と類題表示群の間には正答率に有意な違いは認められなかった。これは、結果的にはスキーマ帰納の効果が再現されていないことになる。この点については、本研究が、スキーマ帰納よりも大きな効果が得られると期待される類題作成の効果を検討することを目的としているため、やや解決が困難な課題を用いたことによると考えられる。課題の解決を困難にした具体的な理由として、収束解が「手段の分散と収束」の写像を求めるのに対し、割合文章題は2種類の割合、道のり、時間などより多くの要素を写像する必要がある。このため、本実験の用いた割合文章題の認知的負荷がより高くなっていると考えられる。

もう1つは、比較の対象となった類題表示群と類題作成群に提示された教示の内容である。これらの教示は、本研究が検討対象とした類題表示の効果と類題作成の効果を引き出すための材料としては妥当であると考えられるが、教示内容をさらに吟味することで、類題表示群の成績をある程度改善することは可能であると考えられる。この点については類題作成群も同様で、教示内容を今後さらに吟味することで、より効果的な介入方法を提案できる可能性がある。

全体的考察

本研究の目的は、類推的問題解決において類題作成の与える効果を実験的に検証し、また類題作成という活動がわれわれの認知プロセスにどのような影響を与えているかについて議論することであった。以下に本研究において検討された類題作成の効果をまとめ、他の研究との関連について考察を行う。

類題作成による知識の利用可能性の促進

本研究では類題作成活動が類推的問題解決を促進することを示した。このことは、類題作成活動が利用可能性の高い知識の獲得に大きく貢献できる介入方法であることを示している。また、類題作成の効果は、収束的類推課題と割合文章題という2つの異なった特徴を持つタイプの問題に対して適用できることが示され

た。これは、類題作成が様々な領域に対して普遍的に適用可能な介入方法であることを示している。

また、この効果は、ベースとの関連性についてのヒントをターゲット解決時に与えず、かつベースとターゲットのセッション間に遅延を数日程度おいた手続きにおいてもみられた。ヒントなしに転移が成立した背景として、類題作成活動が、自発的な転移を可能にする、高い利用可能性を持つ知識獲得に貢献していることを示している。また、遅延がある程度ある条件でも転移が成立した背景として、類題作成活動が、より頑健な知識の定着を促す介入方法であることを示している。これらの結果は、従来提案されている介入方法と比較して、類題作成活動がより有効な方法であることを明らかにしているといえる。

本研究では、類題作成の効果をさらに検討するため、作成された類題の質を分析してみたが、実験2において、その質が成績にある程度の影響を与えていることが示唆された。これは、類題作成活動で類題の精緻な表現を保障することにより、より利用可能性の高い知識が獲得されることを示唆している。この点については、あくまで補助的な分析であり、影響の存在を断言するには今後のさらなる検討が必要であると思われる。しかし、より精緻な類題作成活動が可能となる条件設定を今後検討することで、利用可能性の高い知識獲得を支援することが可能になると思われる。

類題作成による知識獲得プロセス

類題作成活動における認知プロセスについて、本研究は実験2において類題作成活動に含まれる主体的活動が、転移の成立に大きく貢献することを示した。そしてこの活動が、従来のスキーマ帰納を促す介入に比べて、自発的な転移を可能にするような高い利用可能性を持つ知識を獲得させることが可能であることを示した。これは、自ら知識を再構成するという主体的活動が、単なるスキーマ帰納のもつ知識獲得メカニズムに加え、さらに異なるメカニズムをもつことを示唆している。本研究は、そのような違いが存在することを示したが、その一方でその違いが具体的にどのようなものかといった問題も残されている。ここでは、類題作成による主体的活動の効果の背景にある認知メカニズムとその特質について、これまでの研究を参照しながら論じる。

まず、類題作成によって得られる知識の構造について述べることにする。これまでに提案された知識の利用可能性を高める介入方法を概観すれば、抽象的な知識構造の獲得を促すことが重要であると指摘されてい

ることは先に述べたとおりである。本研究で試みられた類題作成活動も、抽象的な知識構造の獲得を基礎としていることは同様であると思われる。その一方で、類題作成活動によって高い利用可能性を持つ知識が得られる背景には、類題作成活動によって獲得された知識が従来の介入方法により獲得された知識と比較して、抽象的な知識であることは一致するが、ややその構造が異なると考えられる。

様々な記憶実験において、被験者自らが生成した材料は、単に提示されただけの場合よりも成績がよいことが知られている。このような現象は、生成効果として広く知られている(レビューとして、高橋, 1986, 1997)。本研究が扱った類題作成による主体的活動の効果は、自らが学習する項目を生成するという点で、生成効果の一種と考えることができる。そこで、本研究が示した主体的活動の効果は、生成効果の認知メカニズムをめぐる議論の中で解釈を試みることにする。

高橋(1997)は、これまでに提唱された生成効果の様々な解釈を、生成操作そのものに原因を求める解釈と、生成操作による意味的符号化に原因を求める解釈に分類している。この2つの大きな違いは、学習者の既存の意味的な記憶表象、あるいは知識が生成効果に関与するかどうかという点である。その中で、本研究が扱った問題解決のような高次の知識レベルの材料を扱う場合を考えると、学習者の既存知識が大きく関与しているのではないかと考えられる。したがって、本研究により明らかにされた主体的活動の効果は、生成操作による意味的符号化にその原因を求めるのではないかと考えられる。

生成操作による意味的符号化に原因を求める生成効果の解釈の一つに意味的活性化説がある。この説は、生成操作が記憶項目による既存の知識表象の活性化を促進し、検索時の手がかりが増え、検索が容易になるという解釈である(高橋, 1997)。本研究が示した主体的活動の効果は、学習者の既存の知識の活性化が促進されることで、ベースの検索が容易になることによると解釈することができる。

また、主体的活動の効果が学習者の既存知識と関連を持つとすれば、個々の学習者の既存の知識構造の違いが関与するはずである。Pressley, McDaniel, Turnure, Wood, & Ahmad (1987) は、自己生成による情報の精緻化が、情報を学習者自身の知識構造に一致させる働きを持つと指摘している。この指摘から、本研究の示した主体的活動の効果は、個々の学習者に適切な知識構成を促していると考えられる。

以上の議論から、類題提示に比べ、類題作成によって得られる知識は、ターゲット解決時に利用できる手がかりが多いことにより検索が容易で、個々の学習者の既存知識に適合していると考えられる。このような認知メカニズムの結果として、類題作成により獲得された知識は、利用可能性が高い知識となるのではないかと考えられる。

類題作成による主体的活動が個々の学習者の既存知識に適合した知識構成を促すという解釈は、類題作成による介入が、従来の類推的問題解決の研究で開発された介入法と異なった側面を持つことを示唆している。従来の介入法の多く(Beveridge & Perkins, 1987; Gick & Holyoak, 1983; Pedone et al., 2001; 山崎, 2001)は、個人差を考慮しない、画一的な抽象的知識を獲得させることを意図するものであった。湯沢(1988)が学習者個人に最適化された知識の構成が行われることの重要性を指摘しているように、学習者個人の既存知識を重視した介入は、画一的な抽象的知識の獲得を意図する介入の限界を超えることができる可能性があると考えられる。

類題作成活動の教育的利用

本研究実施の動機の一つとして、教育現場において広く採用されている手法である類題作成活動の効果が、実験的に検証されていないことがあった。本研究によって示された類題作成活動の効果は、このような介入方法が非常に有効な手段であることを明らかにしている。ここでは、教育現場を念頭におき、類題作成を授業に取り入れることの利点と留意点を指摘しておくことにする。

まず、類題作成を行うことの利点は、類題作成が抽象的知識の獲得に貢献しているとした場合、この抽象化が自発的に行われることにある。知識の抽象化を直接教示する方法も一つの介入方略であり、その有効性は示されているが、「抽象化を行え」という教示はそれ自体が抽象的な指示で、特に具体的な知識の抽象化方略が思いつかない知識獲得者にとっては、非常にわかりにくく、具体的な行動に移すことが困難であると思われる。これに対して、本研究の扱った類題作成は、それ自体が具体的な指示であり、比較的行動に移しやすいのではないかと考えられる。この点を考慮すれば、類題作成活動を用いることで、抽象化された知識の獲得を容易に行わせることができる。

次に、留意点として、類題作成活動に関する支援が重要であることを挙げておく。先に述べたように、類題作成という行為は比較的理解が容易であると考えられるが、それは本研究が扱ったような成人や、少なく

とも小学校高学年程度でなければ困難であると思われる。特に年齢の低い対象に対して類題作成を求める場合には、より具体的な方法の指示にまで踏み込んだ支援が重要となる。このことから類題作成方略の獲得を促すことと、類題作成方略が不十分である場合の支援を行うことは重要であると思われる。特に、本研究においてみられたように、作成された類題の質が知識獲得にある程度の影響を及ぼすとなれば、より質の高い類題を作成できるような支援が求められる。算数の授業における類題作成の実践を提案している中川(1995)は、このような支援を行う方法として、問題の数値を変えてみることや、条件の付加を提案することなどを挙げている。類題作成活動の効果を生かすためにも、このような具体的方法の中でいずれが特に有効であるのかを含め、具体的な支援方法の開発と共有化が望まれる。また、類題作成が可能な段階になれば、次の段階として、類題作成活動を自発的に行えるように方向付けることが特に有効であるだろう。

引用文献

- 秋田喜代美 1988 質問作りが説明文の理解に及ぼす効果 教育心理学研究, **36**, 307-315. (Akita, K. 1988 The effects of self-questioning on comprehension of an expository passage. *Japanese Journal of Educational Psychology*, **36**, 307-315.)
- Bassok, M., 1990 Transfer of domain-specific problem-solving procedures. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, **16**, 522-533.
- Bassok, M., & Holyoak, K. J. 1989 Interdomain transfer between isomorphic topics in algebra and physics. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, **15**, 153-166.
- Beveridge, M., & Parkins, E. 1987 Visual representation in analogical problem solving. *Memory and Cognition*, **15**, 230-237.
- Catrambone, R., & Holyoak, K. J. 1989 Overcoming contextual limitations on problem-solving transfer. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, **15**, 1147-1156.
- Duncker, K. 1945 On problem solving. *Psychological Monographs*, **58** (Whole No. 270).
- Gick, M. L., & Holyoak, K. J. 1983 Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, **14**, 1-38.
- Griggs, R. A., & Cox, J. R. 1982 The elusive thematic-materials effect in Wason's selection task. *British Journal of Psychology*, **73**, 407-420.
- Holyoak, K. J., & Koh, K. 1987 Surface and structural similarity in analogical transfer. *Memory and Cognition*, **15**, 332-340.
- Johnson-Laird, P. N., Legrenzi, P., & Legrenzi, M. S. 1972 Reasoning and a sense of reality. *British Journal of Psychology*, **63**, 395-400.
- 仮屋園昭彦 1994 問題解決過程における解の生成活動の効果 教育心理学研究, **42**, 145-155. (Kariyazono, A. 1994 Generation effects in problem solving processes. *Japanese Journal of Educational Psychology*, **42**, 145-155.)
- 松川輝彦 1995 「なぜ、子供自らが問題をつくる必要があるのか」はっきりさせよう 片桐重男(監修) 楽しい算数科授業アイデア集成 8 明治図書 Pp.7-28.
- 中川慎一 1995 子供の問題づくりに働く課題の設定を工夫しよう 片桐重男(監修) 楽しい算数科授業アイデア集成 8 明治図書 Pp.29-55.
- 荷方邦夫 2001 図を伴う問題の理解が類推的問題解決に及ぼす効果 読書科学, **45**, 77-84. (Nikata, K., 2001 Effect of understanding a problem using a diagram in analogical problem solving. *Science of Reading*, **45**, 77-84.)
- 荷方邦夫・海保博之 2001 類推における領域間転移と検索の非対称性 筑波大学心理学研究, **23**, 59-66. (Nikata, K., & Kaiho, H. 2001 Asymmetries in inter-domain transfer and retrieval within analogy. *Tsukuba Psychological Research*, **23**, 59-66.)
- Novick, L. R. 1988 Analogical transfer, problem similarity and expertise. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, **14**, 510-520.
- Pedone, R., Hummel, J. E., & Holyoak K. J. 2001 The use of diagrams in analogical problem solving. *Memory and Cognition*, **29**, 214-221.
- Pressley, M., McDaniel, M. A., Turnure, J. E., Wood, E., & Ahmad, M. 1987 Generation and precision of elaboration : Effects of intentional and

incidental learning. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, **13**, 291-300.

鈴木宏昭 1996 類似と思考(認知心理学モノグラフ 1) 共立出版

高橋雅延 1986 生成効果の解釈をめぐる問題 心理学評論, **29**, 171-185. (Takahashi, M. 1986 Some issues in the interpretations of the generation effect. *Japanese Psychological Review*, **29**, 171-185.)

高橋雅延 1997 記憶における符号化方略の検討 北大路書房

Wason, P. C., & Shapiro, D. 1971 Natural and contrived experience in a reasoning task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **23**, 63-71.

山崎晃男 2001 「教訓」の提示または産出による類推的問題解決の促進 教育心理学研究, **49**, 21-30. (Yamazaki, A. 2001 Facilitation of analogical problem-solving by presentation or production of a "lesson." *Japanese Journal of Educational Psychology*, **49**, 21-30.)

湯沢正通 1988 問題状況の意味の理解と推論スキーマ 教育心理学研究, **36**, 297-306. (Yuzawa, M. 1990 Understanding the meaning of the situation of a problem and a reasoning schema. *Japanese Journal of Educational Psychology*, **36**, 297-306.)

謝 辞

本論文の作成にあたり、筑波大学心理学系教授海保博之氏には丁寧な御指導を賜った。また大阪学院大学流通科学部助教授山本博樹氏には、有益な示唆を受けた。これらについて、深い感謝と敬意を表するものである。

付 記

本研究の一部(実験1)は、日本教育心理学会第41回総会で発表されたものを加筆・修正したものである。
(2004.7.8 受稿, '05.3.17 受理)

Appendix 1. 実験1で使用された収束的類推課題

軍隊課題 (ベース)

ある小国が独裁者の冷酷な支配を受けていた。独裁者は堅固な城に立てこもり、そこから統治していた。城は国の中央に位置し、大きな堀に囲まれていた。そして城からは、四方に橋がかけてあり、攻撃するためにはそこを渡っていかねばならなかった。

さて、今一人の将軍がこの国を独裁者の手から解放するため兵を募り、十分な兵力を蓄えた。将軍は、一度に全ての軍をまとめて、城を攻めれば城が崩壊することを知っていた。しかし一つ一つの橋は非常に不安定で、一度に大軍を送ると橋が壊れてしまう。また彼らは、大砲・ミサイル・飛行機など、橋を渡らずに攻撃することのできる武器は持っていなかった。さらに、兵糧攻めや堀を埋める、スパイを送り込むなどの作戦は、資金に欠けていたため不可能であった。

しかしこの将軍はある方法によって、橋を壊すことなく城を攻撃することに成功した。ここで、この将軍が独裁者を打ち破るためには、どのように軍隊を使用すればよいか?

電球課題 (ターゲット)

ある有名な大学の物理学実験室で、実験のために高価な電球が使用されていた。ある日実験にその電球を使用していた学生が、電球のスイッチを切り忘れて帰宅した。電球は加熱し、中のフィラメント(電球の中で光る線の部分)が切れてしまった。フィラメントを覆う電球のガラス部分と金属部分は完全に密封されており、電球の中を開けて修理することは出来なかった。電球を修理する別の方法は、強力なレーザー光線を使って、切れたフィラメントを溶接してくっつけることであった。そしてそのために必要な装置は実験室に十分そろっていた。

しかしフィラメントの溶接に必要な強力なレーザー光線では、フィラメントを囲む電球のガラスや金属を壊してしまい、電球は使い物にならなくなってしまう。弱いレーザー光線を使用すれば電球を壊してしまうことはないが、中のフィラメントを溶接することができない。また弱いレーザー光線を長い時間フィラメントにあてても、溶接することは出来ない。

しかし実験室の教授は聡明で、ガラス部分を壊さずにフィラメントを溶接することに成功した。ここで、フィラメントを溶接するためには、どのようにレーザー光線をあてればよいか。

Appendix 2. 実験2で使用された割合文章題

食塩水問題 (ベース, 各群共通)

次の文を読んで、後の問いに答えて下さい。

食塩が300gあります。これを全て用いて、2%と7%の食塩水を作ることになりました。このとき、2種類の食塩水の重さの合計を10kg以内にし、かつ2%の食塩水の量をなるべく多くなるようにしたい。このとき、それぞれの濃度の食塩水に使う食塩の量は何gになるだろうか、考えてください。ただし、水は自由に使うことができます。

(問題) 上の問題を解決する方法について、できるだけ詳しく書いてください。

【解答】

2%の食塩水を最大にする食塩の量を x g とすると、全体の量が10000gなので、それぞれの濃度の式は次の式であらわされる。

$$\frac{x}{100} + \frac{300-x}{100} \leq 10000$$

つまり、(2%の食塩水の量) + (7%の食塩水の量) ≤ (全体の量) となりこれを解くと $x \leq 160$ なので

2%の食塩の量 160g 7%の食塩の量 140g となります。

類題表示群の速さ問題追加

このような割合の問題は (Aの割合) と (Bの割合), そして全体の量が必要です

例えば、P地点から y km 離れたQ地点まで、時速 a km の徒歩と時速 b km の自転車を使う道のりの問題で、なるべく徒歩の時間を最大にする式を考えましょう。

徒歩を最大にする距離を x , 全体でかかる距離を y とし、全体の時間が A , 徒歩と自転車の時速をそれぞれ $a \cdot b$ とおくと、それぞれの時間で走った距離の量は次の式であらわされる。

$$\frac{x}{a} + \frac{(y-x)}{b} \leq A$$

つまり

(時速 a km で歩く時間) + (時速 b km の自転車の時間) ≤ (全体の時間)

となります。2つの問題の間の関係を理解することが問題を解く時に重要です。

類題作成群の速さ問題追加

今解いた問題を学習するために、同じように解ける類題を作り、答えとなる式をたててください。時間は10分です。質問紙と配られた白紙は自由に使って結構です。

- (1) 課題のテーマは、速さを割合とする問題です。
- (2) 類題の解答に必要な式は、先ほど解いた解答の式と同じように、割合 a と b を使った一次不等式になるようにします。つまり
(速さ a を使う項) + (速さ b を使う項) ≤ (全体にかかる時間) となります。
- (3) 全体でかかる時間は3時間以内、2種類の割合は時速 5 km と 15 km。全体の道のりは 20 km になるようにします。
- (4) 時速 5 km の速さの時間を最大にするように問題を作ります。問題文は自由に考えてみてください。

くじびき問題 (ターゲット, 各群共通)

ある商店で、5月に福引きを行うことになり、1000個の景品を用意した。そこで、1000本の当たりくじを用意した。店主は当たりくじが、50本のうち1本の確率で出るように決めた。しかし、5月3日から5日は祝日なので、特別に確率を25本のうち1本が当たるように上げることにし、別にわけてくじを作ることにした。

さて、あなたはこの商店の店員です。ここで当たりくじを全部使い、また、出来るだけ平日用のくじの数が多くなるようにして、平日用・祝日用のくじの合計が40000枚以内になるようにして下さい。

そこで、平日用・祝日用それぞれのくじの、用意すべき当たり・はずれの数の内訳を教えてください。紙や鉛筆は自由に使ってかまいません。(平日・祝日の日数は関係ありません、平日用・祝日用の2種類に分けてください)

Facilitation of Analogical Transfer by Posing an Analogous Problem for Oneself

KUNIO NIKATA (KANAZAWA COLLEGE OF ART) AND HIDEAKI SHIMADA (UNIVERSITY OF TSUKUBA)
JAPANESE JOURNAL OF EDUCATIONAL PSYCHOLOGY, 2005, 53, 381–392

The present study examined the influence on analogical problem solving of posing a problem for oneself. In Experiment 1, 2 convergence problems isomorphic to Duncker's radiation problem were utilized. A total of 36 junior college, university, and graduate students participated. After solving a base problem, participants in the problem-posing group were required to pose an analogous problem for themselves. Subsequently, these participants solved a target problem better than did those in a control group with no intervening problem-posing. In Experiment 2, ratio word problems that were isomorphic to each other were prepared. Participants, 76 junior college, university, and graduate students, were divided into 3 groups. Participants in the problem-posing group solved a target problem better not only than the control group, as was found in Experiment 1, but also than a presentation group that had been presented an additional isomorphic problem after they had solved the base problem. These results suggest that posing a problem for oneself is an effective teaching method to promote problem solving. Moreover, self-generated problems were found to be more effective than prepared isomorphic problems.

Key Words : analogy, analogous problem, problem solving, problem posing, availability of knowledge