

問題解決における外的資源の利用効果についての検討 Effects of external resources on problem-solving

遠藤一樹[†], Kuangzhe Xu[†], 松香敏彦[‡], 清河幸子[‡]
Kazuki Endo, Kuangzhe Xu, Toshihiko Matsuka, Sachiko Kikyokawa

[†] 千葉大学, [‡] 名古屋大学
Chiba University, Nagoya University
matsuka.toshihiko@gmail.com

Abstract

The present study examined effects of external resources on problem solving. We compared performances of participants who have unlimited/active and limited/passive accesses to the external resources in solving a problem. Although there was no significant difference in the proportion of participants who were able to solve the problem, participants in Unlimited condition were able to discover the key idea that leads to the solution. The results suggest that simply manifesting and realizing internal constraints by external resources does not necessarily lead to solutions. Rather, being able to think and reflect on operabilities of external resources by actually manipulating and using the external resources is an important factor that leads to solutions.

Keywords — 問題解決、外的資源

1. はじめに

近年の認知心理学における問題解決研究では、問題解決は解決者の内的制約のみで行われるものでなく、環境との相互関係的によって解決に向かうとされている。Zhang & Norman [7]では、ハノイの塔問題を、基本的なルールを変えず、操作する輪をコーヒーカップに置き換えることで問題が簡単になることを指摘した。このように、問題の構造を変えずに、表現の仕方を変えるだけで、人間は容易に解決できるようになることが知られている。こうした研究から、問題や問題における道具などといった外的な環境には、問題解決を促進する効果があると考えられ、現在の認知科学における問題解決研究では、外的環境と被験者の心理の関わり方が注目されている。

外的環境と被験者の内的制約の関わり方を扱った研究のひとつに、類推課題を用いた外的資源の研究がある。外的資源とは、「人間から見て外界に存在し、人間が問題解決や推論などの認知課題を実行する際に利用し得る資源」のことである[5]。数学の問題で利用する計算式の書き込みや、図や絵を描くことで問題の理解を深くする行為は、経

験的に馴染みがあるだろう。

Visual representationを研究した Bevaridge & Parkins [1]では、Color Stripを外的資源として用いて類推課題解決を行わせていた。Color Stripとは長方形の板のことで、重ねた部分の色が濃くなるという性質がある。これを放射線に見立てることで収束解を求めやすくなり、成績が上がることを示した。

このような結果に対し、荷方・海保[4]では「知識の道具性」を唱え、知識を単に知っているだけではなく、実際に利用できるようにする外的資源化することが有効なのではないかと示唆した。Color Stripによる実験では、Stripを放射線に見立てることで、放射線に物理的操作可能性を与えることになり、本来触ることのできない放射線を自分の手で動かし、試行錯誤できるようになる。こうしたことが、問題解決を促進させたといえる。

これを受けて仮屋園[3]では、Stripを半透明と色つきという性質の違いと、操作の可能性の2要因をもちいて実験をおこなったところ、半透明で操作が可能であった実験群が有意に成績を高くするとわかった。Stripを利用する際には、重ねると濃くなる性質と、操作が可能な状況であることが必要であるという示唆を得た。

しかし、仮屋園の実験では、以下の点に疑問が生じる。

情報差の統制 仮屋園の実験では、Stripについて操作可能な群と、不可能でただ眺める実験群とで比較しており、この操作性の有無には情報の差が含まれていると考えられる。Stripが動くことで得られる情報を失うことなく、操作性の有無が影響している効果を調べたい。

類推支援の可能性 仮屋園では、類推課題解決において学習実験も行った。ベース問題解決時にStripを利用したところ、学習時のStrip操作に重ねると濃くなる性質と操作可能性を与えることで、ターゲット問題の解決率は上がった。ベース学習時にStripが操作可能であることで類推を支援したが、Stripのかたちや操作性に類推を想起する可能性が考えられる。例えば、定規を与え使い道を考

える際、定規を棒に見立てることで叩く道具にすることができると同時に、角をドライバーにすることができたり、紙を切ることに利用することができる。Stripは長方形で抽象的なかたちであるため、様々な道具に類推することが容易くなる。そのため、ベースとターゲットの類似性に気付きやすくなるのではないかと考えることができるのではないかと。

解決過程の解の生成 問題解決の促進に関わる要因については調べられているものの、解決過程における解の生成については述べられていない。

このような点を、複合的に検証することで、外的資源としてのStripの機能の新たな示唆を得ることを本実験の目的とする。

2. 実験

問題解決者が利用する外的資源の提示方法がどのように問題解決過程に影響するかを、仮屋園 [3] の手法を基に検証した。具体的には、放射線問題において用いられてきたColor Stripの利用の方法を操作することで、外的資源の問題解決過程への影響を検証した。本実験では2つのStrip利用条件をもうけた。一方は、Stripに触れ自由に操作できる操作群で、もう一方は、実際の操作を行わないが受動的に外的資源を利用できる非操作群であった。非操作群では、参加者にはStripが提示されるだけで実際に操作することできないが、モニタ上に用意された複数の動画を任意に選択し視聴することが可能であった。

外的資源の有効性が、この特定のStripの操作を誘発できるか否かという点のみに帰依するならば、特定のStripの操作を動画で見ても解答率は変わらないだろう。その一方で、実際のStripの操作は、解決促進的操作のアフォードのみならず、意図的な操作において、自発的な類推が行われているため、有効性があるとも言える。

本実験では、Beveridgeらや仮屋園といった先行研究に倣い、類推のベースになる問題として火事問題、実際の課題となるターゲット問題は放射線問題を用い、類推研究に沿った流れで実験を行った。

2.1 実験参加者

千葉大学の学部生33名が本実験に参加した。このうち、実験で用いた火事問題、放射線問題について過去に解いたことがある2名と放射線の問題の解答を導き出せなかった1名を除いた、操作群15名、非操作群15名の30名のデータを用いて分析した。

2.1.1 操作群

操作群で実際に操作する外的資源として、12cm×3cmのStripを用いた。従来の研究では青黒いものとされているが、今回は、外的資源の効果が顕著に現れることを避けるため、型紙に黒い色紙を張り付けたものを使った。

2.1.2 非操作群

非操作群では、動画再生をするシステムとして、常時14種類の動画が一覧でき自由に再生できるものを用いた。各動画は700×500 pixelであり、ホームポジション(横にした四枚のStripを縦に並べたもの)から始まり、約16秒間かけてStripを操作し、14種類の形を作るものであった。この14種類の形は操作群で参加者が操作したときに現れた形を参考にした。これらの動画は、一時停止することはできなく、クリックしてから16秒間流れる設定であった。ただし、途中で動画一覧から別の動画をクリックした場合は、その動画が再生される設定であった。

2.2 道具

火事問題、放射線問題には、日本人を対象に類推研究を行っている論文から引用した[6]。また、火事問題においては、物語として答えまでを含んだ文章であったため、筆者が解答部分と分けて書きなおしたものを使用した。

参加者には問題用紙と回答用紙(A4用紙の白紙)とボールペンが与えられ、自由記述で答えた。仮屋園 [3] に倣い、ベース問題とターゲット問題の間には、ディストラクタを2問(Wason 4枚カード問題とチェッカーボード問題)提示した。

両実験群とも、参加者実験終了時には口頭で以下の項目の内省調査を行った。

- 火事の問題を解いたことはあるか?
- 放射線の問題を解いたことはあるか?
- 初めの一読で答えはわかったか?
- 最後の問題が、最初の問題と似ていると気づけたか?
- または、どの時点で気付けたか?
- ヒントが与えられる前、道具(動画)は上手く使えたと思うか?
- 提示した実際にあるColor Stripは使用したか?(操作群)
- どの動画を利用したか?(非操作群)
- ヒントが与えられた後、道具(動画)は上手く使えたと思うか?

- 答えられなかった場合、その理由は何だと思うか？

2.3 手続き

操作群では、まず10分間ベース問題である火事問題課題が与えられた。課題終了後、模範解答を伝えた。次に2問のディストラクタ課題が与えられた。ディストラクタ課題終了後、放射線問題課題を与え、Color Stripを呈示し、「ここに4本の棒があります。この棒を放射線と考えて、自由に操作しながら問題を考えてください。問題が解けたら、その解決方法を解答用紙に記入してください。複数回答で構いませんので、思いついた解決方法を書き出してください」と伝えた。課題開始10分後に「最初に解いてもらった問題と解答が、この問題を解くのに役に立ちます。そのことには気づきましたか？」と尋ねた。気付いた場合には、そこで課題は終了した。気付いていない場合には、「もし新しい解答を思いついた場合は、解答用紙に記入してください」と伝え、さらに7分間を与えた。最後に口頭でアンケート形式の内省報告を行った。

非操作群は原則操作群と同じ手続きであったが、放射線問題課題が与えられた時に、「ここに4本の棒があります。この棒を放射線と考えて解いてもらいますが、実際に触っての操作は行ってはいけません。その代り、操作を行った動画を用意したので、こちらを活用して問題を解いてみてください。解決方法を思いついたら、自由記述で、複数回答で構いませんので解答用紙に記入してください。」と伝え、画面上の操作の説明をした。

3. 結果

今回の実験では、問題の正解をその問題の模範解答とした。火事問題および放射線問題の模範解答は「収束解」と呼び、3つのキーワードで成り立つ文章とした。このうちの1つでも回答に含まれていれば正解とした。この3つのキーワードはそれぞれ得点化した。得点に関しては、先行研究である仮屋園[2]に従った。キーワードは、(a)「破壊しない程度の弱い」(b)「多方から」(c)「一斉に」とした。1つのキーワードに対し、1点として計算した。

3.1 回答および内省アンケートについて

ベース問題（火事問題）に関しては、被験者30人全てがキーワードを1つ以上含んでおり、正解

であった。ターゲット問題（放射線問題）に関しては、ヒント前に解決した実験参加者は、操作群、非操作群ともに10名であった。ヒント後に関しては、分析対象である全員が正解した。

また、平均得点に関しては、操作群が2.73点、非操作群が2.40点であった。ヒント前解決群のみでは、操作群が2.90点、非操作群が2.40点であった。t検定を行ったところ、ヒント前解決群の得点に有意傾向がみられた($t = 2.060$, $df = 18$, $p = .054$)。

内省アンケートとして、ベース・ターゲット間の類似に気付いたかどうか尋ねた。このデータをカイ二乗検定したところ、有意な差はみられなかった($\chi^2 = .139$, $df = 1$, $p = .709$)。また、道具の利用について尋ねたアンケートでは、操作群では10名、非操作群が13名、利用して解決できたと答えた。

3.2 動画データ

被験者ごとに、各所作の秒数を時系列で並べた。タイムラインは、課題開始から、被験者が模範解答に添った回答を書き終えた時間と設定した。ここで、所作とは被験者の動作を指し名称したもので、ペンを持ち記述している「記述時間」、Stripに触らず記述もしていない「思考時間」と操作群でStripに接触し、非操作群で動画を見ている「操作時間」の3種類に分類し、それぞれの所作を比較・検討した。両群のそれぞれの所作と総合平均時間を表1に示す。

表1 所作の平均時間時間

	総合	記述	操作・視聴	思考
操作群	473.47	146.20	138.00	189.27
非操作群	595.93	155.07	200.40	240.47

3種類の所作の時間を比較する際は、所用時間を対数変換して分析した。以下では主に対数変換された所用時間の検定を主とし、変換していない所用時間で検定したものは特にそれを書くこととする。所用時間が0秒の場合は、0.1秒として分析した。

操作群、非操作群における、被験者の所作ごとの解決時間を比較した。両群における総合時間の比較したところ、有意な差がみられた($t = -2.085$, $df = 28$, $p = .046$)。また、所作ごとに分析したところ、思考時間に有意な傾向がみられた($t = -1.99$, $df = 28$, $p = .056$)。

より局所的に分析するために、得点化に利用したキーワードが回答で初めて出てきた時間までを用いた。つまり、解決に必要なキーワードをど

の時点で思いつくことができたのか調べること
で、問題解決としてではなく、アイデアが生まれ
る瞬間までの短い部分での分析ができるため、問
題解決過程を分析するには適切であると考えら
れる。 t 検定を行ったところ、思考時間のみに有
意な差がみられた($t = -2.090; df = 28, p = .048$)。
次に、ヒント前に解決した各群10名で検定をおこ
なったところ、同様に思考時間(t)に差が生じてい
た($t = -2.685, df = 18, p = .015$)。

さらに、所作の頻度を分析した(表2)。所作の
頻度とは、前述の各実験群で3種類の所作が何回
切り替わった回数である。 t 検定をおこなったとこ
ろ、群間に有意な差が生じていた($t = -2.575, df =$
 $28, p = .0016$)。また、頻度に関しても、ヒント前に
解決した両群10名で t 検定をおこなったところ、
有意な差が生じていた($t = -3.363, df = 18, p =$
 $.0034$)。

表2 所作の平均頻度

操作群	非操作群
12.93	20.27

4. 考察

本項では、Stripの類推支援の可能性、及び解決
過程について考察する。

4.1 Stripの操作が類推を支援するかど
うか

実験後、ヒント時に類似に気付いたかどうかを
被験者に内省報告で回答を求めたところ、類似に
気付いた被験者数は、操作群10名、非操作群8名と
いう結果であり、Fisherの検定では差が生じていな
かった。この結果から、外的資源としてのStripの
意図的な操作が類推支援を直接行っているわけ
ではないと考えられる。類推にはベース問題との類
似に気付く必要があり、被験者の積極的な働きが
なければ類推は起こりにくい。ベース問題とター
ゲット問題の類似に気付いた人数には差がみられ
なかったため、本実験の操作方法の違いはターゲ
ット課題においてベース問題を想起させるものでは
なかったといえる。

しかし、非操作群においては、解法を初めに思
いついてから類似に気付いたという被験者が若
干名いて、解法に至るまでの発想の差に類推の起
こりやすさが関わっている可能性は考えられる。
類似に気付いたことと実際にStripを触ったかたち
づくっていたかどうかについて、類似に気付かず
Stripも実際に触って解いた被験者は操作群に1名

いるのみで、他の被験者は類似に気付いていたか、
あるいはStripを利用していた。このとき、Stripを
触っていた被験者は類似にも気付いていた。Strip
に実際に触ることが類似に気づきやすくするとい
う示唆は本実験では得られなかったが、被験者の
解答までの探索方略の傾向に影響していることは
示唆された。

4.2 動画による解決過程について

タイムラインの分析によると、両群間に差とし
て生じていたのは主に思考時間であった。思考時
間とは、記述時間を除く、Stripを触っていない時
間、もしくは動画を見ていない時間である。また、
最終的な解決者(得点化の際のキーワードがひと
つでも出現した回答を解決したとみなした)は両
群とも10名ずつと変わらなかった。しかし、ヒン
ト前解決群の得点化に関して有意傾向があること
や、思考時間に差が生じた結果などから、解決過
程において差が生じていたと考えられる。加えて、
得点化におけるキーワードが初出したまでの時間
を分析した際、よりはっきりと差が生じており、非
操作群のほうが操作群よりも解決に導くキーワ
ードが発想しにくい傾向がみられた。

問題解決は内的制約と外的資源との相互作用に
より生じるという問題解決研究の見解に照らし合
わせると、外的資源の利用方法が相互作用による
解決の促進に影響することが示唆される。本実験
では、最終的な解決者の人数は変わらなかったが、
得点化による差、および思考時間に差が生じてい
た。これは、外的資源操作が動画ではないことで、
問題解決が出来た出来ないという結果的な差では
なく、むしろ解決過程における解決の質に差が生
じたのであるといえる。解決の質が高くなった操
作群では、比較的に解決後の回答の表現が豊かに
なり、解決時間は早くなったといえる。

では、このような解決の質の差が生じた本実験
における両群間の外的資源の差とはどのようなも
のであったろうか。内省報告によると、道具を上
手く利用できたと答えた被験者は、操作群では5
名、非操作群では13名であり、Fisherの検定では
有意な差が生じており($p = .0078$)、操作群が非操
作群よりも道具を利用せずに解けたと答える被験
者が多かった。非操作群において提示した動画は、
操作群で実際にStripを用いて解決した被験者が
つくったかたちを参考に作っており、その多くが
答えに導くだろうと予想されるかたちであった。
Stripの利用を考えつつかたちづくるという点にお
いて、思考しなければならなかった操作群よりも
動画は有利であったということは可能である。動

画視聴した非操作群が積極的に道具を利用し、利用したという意識に差が生じていた。

両群間の総合的な解決時間に差が生じ、言い換えれば発想が生じにくくなったことを上記の結果に加味して考えると、Stripを操作できる環境によって、被験者がただ単にStripの動きに対してアイデアを抽出することに積極的になるのではなく、Stripの操作に対して多角的な意味付けや実際の操作の方法を思考することが、解決の質において重要であるといえる。動画のような動きがStripにあるだけではなく、動きに対する考察、操作の反省、発想の展開といったような思考が、実際にStripを触ることで誘発され、利用方法についての思考をすることが解決の質に影響したと思われる。序論で示した外的資源の持つ情報の差のみが解決率を変えたのではなく、解決過程における被験者の情報取得の姿勢が変わったことで、解決率、および解決の質の差につながったのだろう。

5. 結論

荷方ら[4]の研究では、類推を支援する外的制約としてColor Stripを挙げていた。荷方らは初心者と熟練者による問題解決行動の違いから、知識として知っていれば利用できるのではなく、実際に知識が使える状態、いわゆる「知識の道具性」を獲得し内外に分散した対象を動かせるメンタルモデルを持つことが重要だと述べている。本実験におけるStripは内的制約を顕在化することで、初見の問題である放射線問題に対し、メンタルモデルを操作可能にする効果がある。つまり、問題解決過程にみられる熟達者のもつ「知識の道具性」を得やすい状況を作ることができ、知識を実際に問題解決へ利用することができるようになるのである。

本実験では「知識の道具性」の利用段階において、外的資源の実際の操作が解決の質を変えたことが示された。外的資源が被験者の問題解決に対する姿勢を変え、そのために外的資源の利用方法の差が問題解決の質の差につながったのである。つまり、ハノイの塔問題のオペレータをコーヒークップに変えることで問題を易化できるように、環境的な要因によって問題の難易度や解答の質、思考プロセスが変わったといえる。

しかし、ただ単に内的制約を顕在化させたオペレータとして外的資源を扱うだけでは、解決の質が高まるわけではないことが本実験でわかった。問題解決を促進させるためには、外的資源を操作する環境、もしくは外的資源の操作時に操作の反省や操作についての思考を得られる状況であることが必要になるのである。

操作や反省的な思考ができなかったと考えられる動画視聴した非操作群の被験者は、始めに提示されたStripを利用せずに、その後に提示された動画に気を取られていた。道具の提示手順が後であるほうがいざ問題解決となったときに印象に残りやすいだろうが、動画視聴という、モニタとマウスを利用した特殊な環境が強く思考に影響した可能性は否めない。こうした環境によって思考の傾向が変化する可能性は、例えば、気分を変えるために空間デザインを施された建築物や喫茶店などに立ち寄るといった、日常空間ですでに我々は経験的に理解しているだろう。道具の制約というものが具体的にどのように問題解決に関与しているかは、本実験では示唆のみに留まっているので、今後新たな実験を重ねて検証したい。

参考文献

- [1] Berveridge, M & Parkins, E. (1987). Visual representation in analogical problem solving *Memory & Cognition*, 15, 230-237.
- [2] 仮屋園 昭彦 (1994). 「問題解決場面での問題構造に関する知識の獲得に関する研究」 教育心理学研究 42, 59-69.
- [3] 仮屋園 昭彦 (2000). 「問題構造を表す外的資源が問題解決を促進する条件」 鹿児島大学教育学部研究紀要 Vol. 51, 131-149.
- [4] 荷方 邦夫・海保 博之 (1998). 「問題解決支援における制約がもたらす知識の道具性」 筑波大学心理学研究 Vol. 20, 69-75.
- [5] 植田 一博 (2002). 「外的資源」 認知科学辞典、共立出版、110.
- [6] 山崎 晃男 (1995). 「類推による問題解決と目標：プラグマティックなアプローチの必要性」 大阪大学人間科学部紀要 21 223-243
- [7] Zhang, J. & Norman, D. A. (1994). Representations in Distributed Cognitive Tasks. *Cognitive Science* 18, 87-122.