

問題構造を表す外的資源が問題解決を促進する条件

仮屋園 昭彦

(1999年10月15日 受理)

The condition in which external resources presenting problem structure
facilitate problem solving

Akihiko KARIYAZONO

It has been gradually becoming clearer that external resources facilitate human problem solving. Nikata and Kaiho (1998) have explained this effect as external explicitness of problem structure and external operatability of problem object. The purpose of this paper is to investigate the effect of external explicitness and external operatability in more detail. In experiment, external explicitness and external operatability were operated as experiment factor and two kinds of strips were used. Radiation was represented by strips. In explicitness factor, transparent strips, which are overlapped eachother, color of ove rlapping part becoming deep, and non-transparent strips were operated. In operatability factor, whether subjects could operate strips or not was operated. The results indicated that it was important to take consideration into what external resources, and how to use those resources.

問題と目的

近年、認知心理学領域でのいわゆる「表象主義」は、さまざまな点で転換を迫られつつある。従来、人間の認知、思考活動は、頭という閉ざされた器の中に知識や表象が獲得、生成され、それらのある規則にしたがって、処理、操作する活動である、という見方がとられていた。そして、認知心理学では、主としてこうした知識の獲得や表象操作のメカニズムが研究対象となっていた。

こうした表象主義に対して、80年代の後半から様々な批判が起こり、新しい学習観、認知観が生まれてきたのは周知のとおりである。特に、人間の思考は、状況の中で生成されており、その時点での周囲の環境と思考活動とを切り離して考えることはできない、といった考え方が生まれた。さらに、人間の思考活動は、外の事物との相互作用として成立するものであり、頭という器の中で表

象し、操作するだけのものではなく、外の事物を必要に応じて利用しながら行われるものである、という考え方が生まれた。

上記のアプローチの大きな特徴は、外部情報を我々の認知が依存し、利用する資源として捉えている点にある。そして、こうした考え方を生み出したのが、アフォーダンス理論、状況論である（鈴木, 1995）。アフォーダンスとは環境が動物に提供する価値のことである（佐々木, 1994）。この理論では、すべての道具は人間の特定行動を誘発するような情報をもつ、と考える。また、状況論では、人間の具体的な行為のありようを決定づけているのは、知識や意志決定などの頭の中に存在する「表象」ではない（佐藤, 1996）、と考える。つまり、人間の認知活動は頭の中の表象操作だけから成り立つのではなく、常に外的環境、ローカルな状況と相互作用を繰り返しながらすすめられる、と考える。

こうした考えを背景に、人間の認知活動に対する外的資源の役割への関心が高まってきた。最初に認知活動に対する外的資源として検討されたのはいわゆる図の機能である（Larkin & Simon, 1987）。問題解決場面でも、本来内部の認知活動で処理される問題構造や解決ルールといった情報が、図という外的資源として外在化されることで、解決成績の向上が見られている（植田, 1995）。この結果については、本来内部で表象すべき内的制約（問題解決活動の場合、問題構造、ルール）が図という外的資源として外在化されることで、内的処理の負担が減り、解決が容易になった、という解釈がなされている。

このように、従来の研究では、外的資源の効果として、記憶と計算という認知活動の負荷の軽減があげられてきた。

しかし、近年、外的資源は単に認知負荷の軽減だけでなく、問題空間そのものを変え、したがって、課題の性質そのものを変える機能をもつ、という見方が現れている（Zhang & Norman, 1994; Norman, 1993; Norman, 1992）。Fig. 1-1とFig. 1-2のようなハノイ塔改造問題とコーヒーカップ問題は、問題構造、ルールといった制約は全く同じである。しかし難易度ではコーヒーカップ問題の方が易しい。ハノイ塔改造問題では、解決者はルール、問題構造を内的に保持しなければならない。一方、コーヒーカップ問題では、コーヒーカップの物理的構造が解決者の行為や問題解釈に自動的に制約を与えてくれる。すなわち、問題にルールを記述したり、解決者がルールを保持しなくても、ルールにしたがった行為しかできないようになっている。これは本来、解決者の内部だけで表象、保持されているはずの問題空間が外部にも存在することを意味する（村山, 1995）。Zhang & Norman (1994) は、こうしたコーヒーカップ問題の問題空間には、人間の内部（内部問題空間）と外部（外部問題空間）とのそれぞれに問題空間が存在していると考え、分散的問題空間と呼んだ。そして、問題空間を外部と内部に設定したうえで、外的資源の機能を明らかにする試みを行っている。

以上のように、問題解決場面では、図以外の様々な外的資源の効果を検討する試みが始まっている。時期的には前後するが、Beveridge & Parkins (1987) は、Fig. 2のようなColor Strip (Strip :

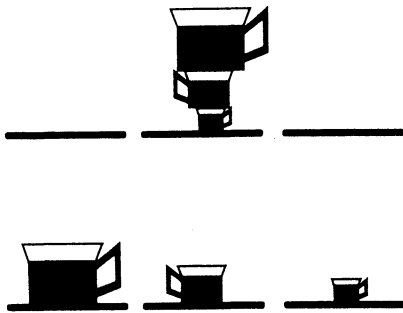


Fig. 1-1 コーヒーカップ問題
(Norman, D. A. 1993より引用)

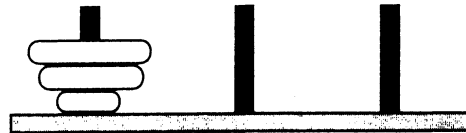


Fig. 1-2 ハノイ塔改造問題
(Norman, D. A. 1993より引用)

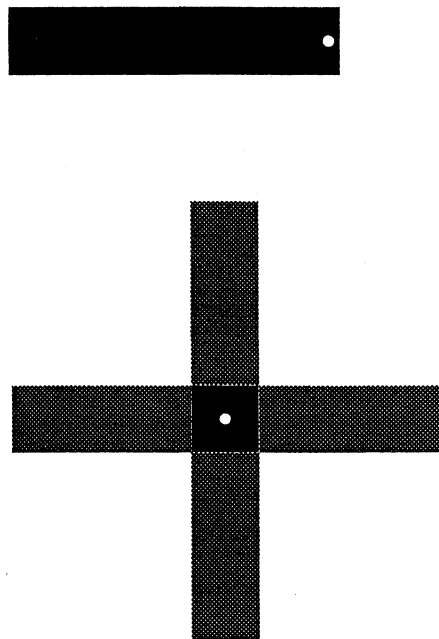


Fig. 2 Beveridge & Parkins (1987) で用いられた Color strip (荷方・海保 1998より引用)

細長い小片)と呼ばれる、実際に被験者が操作できる折りたたみ式の道具が放射線問題の解決活動に与える効果を確認した。この実験ではまず、放射線問題を解く前に、類似問題(火事問題)、イメージ・スキーマ(イメージ・スキーマ;対象がもっている本質的な特性を模式的、抽象的に表現したイメージ)、Color Stripのそれぞれを提示する。その後、放射線問題を解いてもらうが、この段階でColor Stripを提示された被験者群は、他を提示された群に比べ放射線問題に対する高い正答率を示した。

荷方・海保 (1998) は, Beveridge & Parkins (1987) の研究に基づき, 外的資源としての Strip の, どのような面に問題解決促進機能があるのか, という点について理論的に考察した。第一に, 外的資源は, 問題表象を構築する際に必要な問題構造, ルールといった内的制約を外に顕在化する機能がある (顕在性)。第二に, 外的資源は, 問題内の対象 (問題内に現れる物体, 人, 操作手段) の物理的な扱い方, 特性, 効果の理解を容易にさせる機能がある (操作可能性)。例えば, Duncker の放射線問題が困難な理由の 1 つは, 放射線の特性自体にあまりなじみがないからであろう。放射線を自らの手で操作できるように提示すれば, 問題構造の把握, 解決方法の発見はかなり容易になることが予想される。

このように, 問題解決場面での外的資源の機能は, 顕在性, 操作可能性にあることが指摘されている。そして Beveridge & Parkins (1987) の研究からは, 実際に道具として示すことの有効性が実証されている。

こうした状況のなかで, 今後解明されねばならない問題は以下のことがらであろう。まず第一に, Beveridge & Parkins (1987) の研究では, 外在化された道具の有効性は実証されているものの, より具体的, 詳細なレベルで, 外的資源が問題構造やルール, 問題内の対象などの, どのような面と対応していれば効果があるのか, あるいは問題構造の各要素の少なくとも最低どのような面が外在化される必要があるのか, という部分が明らかにされていない。すなわち, Beveridge & Parkins (1987) の研究では, Strip のどのような側面が効果的機能を果たすのか, という点が不明なままなのである。

第二に, 荷方・海保 (1998) の研究では, 外的資源の 2 つの機能が指摘されているが, これらはいくまで理論的な指摘にとどまり, 実証データが得られていない。

そこで本研究では, 放射線問題解決時, 外的資源としての Strip の, どのような面が有効なのか, を具体的に明らかにすることを目的とする。本研究で操作する外的資源の側面は, 顕在性と操作可能性である。まず実験 1 では, この 2 つの側面を要因として取り上げ, 問題解決に対する効果を検討する。問題解決での外的資源の有効性を提唱した Zhang & Norman (1994) の研究では, 課題としてハノイ塔問題が使用されている。したがって, 外的資源の有効性に関する考察も, ハノイ塔問題の問題構造に即した形で行われている。本研究で用いる放射線問題は, ハノイ塔問題と比較して問題構造が大きく異なる。したがって, 放射線問題を用いることで Zhang & Norman (1994) の考察の批判的検討が可能になる。以下に本研究でおこなう要因操作を具体的に述べてみたい。

1 つめの, 顕在性の要因操作は Strip を用いておこなう。Strip は問題の操作子 (放射線) が外的資源として外在化されたものである。ここで問題中の操作子との類似性によって 2 種類の Strip を準備する。1 つはカラー Strip で, もう 1 つは半透明 Strip である。この 2 種類の Strip を Fig. 3 に示す。半透明 Strip は, 半透明になっていて重ねると重ねた部分の色が濃くなる。したがって, 半透明 Strip は, 放射線問題の操作子 (放射線) の性質を正確なたちで外的に顕在化していることになる。その結果, 放射線問題の操作子との類似性は高くなる。一方, カラー Strip は色が付いていて透けることは

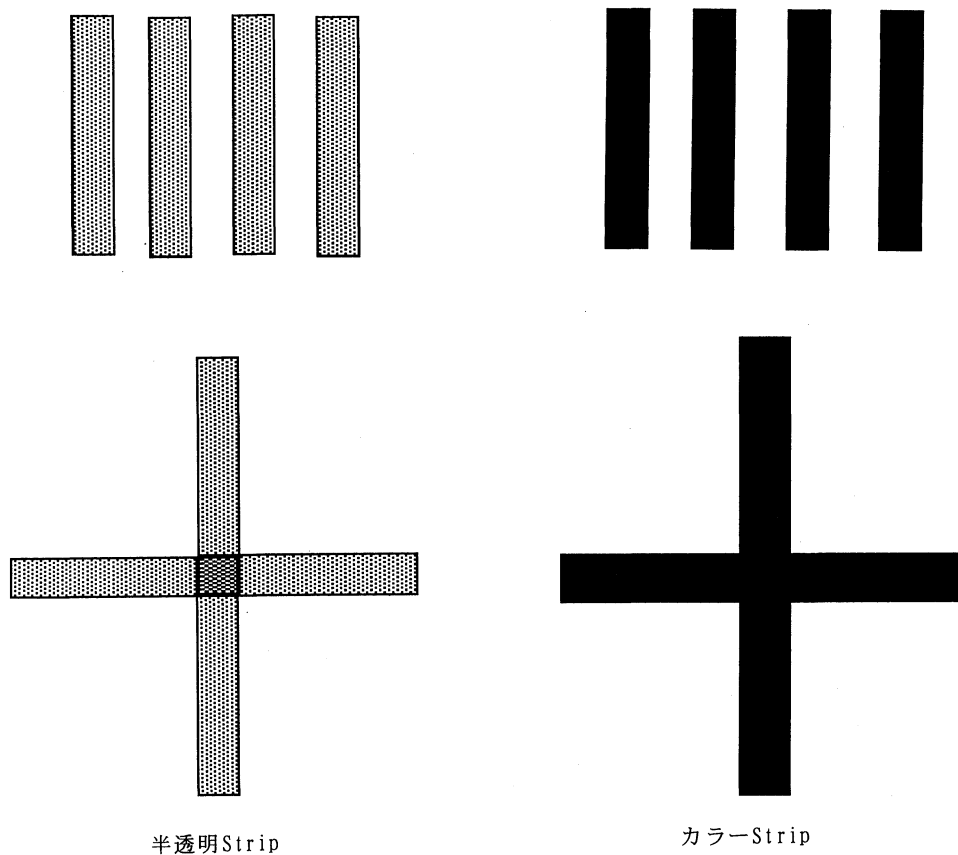


Fig. 3 本研究で用いた2種類のStrip

ない。したがって、重ねると物理的に重なるだけである。つまり、カラーStripは操作子（放射線）の性質を正確には反映していない。その結果、放射線問題の操作子との類似性は低くなる。以上のように、顕在性の要因では、外的資源のなかに操作子の性質が顕在化されているか否かを操作する。

2つめの、操作可能性の要因操作は、被験者がStripを実際に操作できるか否かで行う。すなわち、操作不可能群では、4本のStripを並列に並べた形で提示し、被験者はStripに触れることはできない。Stripの操作は被験者が頭の中で内行的に行うだけである。操作可能群では、並列に並べて提示された4本のStripを被験者が自由に操作する（扱う）ことができる。したがって、放射線状に並べることが可能であり、そのときの状態が完全に外在化される。以上のように、操作可能性の要因では、外的資源に対して被験者が操作を加えることができるか否かを操作する。

実験1では、この2つの要因に基づいた実験計画により、上記の外的資源の側面がどの程度問題解決を促進するかを検討する。

実 験 1

方 法

1. 被 験 者：大学生64名であった。
2. 課 題：放射線問題を用いた。
3. 実験計画：問題の解決形態によって下記の2要因を設定した。すなわち、顕在性要因（半透明 Strip と カラー Strip との2水準）×操作可能性要因（操作可能と操作不可能との2水準）の実験計画であった。要因はいずれも被験者間要因であった。この4群に被験者を16名ずつ振り分けた。
4. 手 続 き：実験は個別実験であり、各要因の被験者に、問題解決開始時に Strip 使用に関する以下の教示を与えた。

(1) 半透明 Strip ・ 操作可能群

- ① 半透明 Strip を並列に並べた形で提示：「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。」
- ② 10分経過後、実験者は半透明 Strip を用いながら解答を説明する。この4本の棒を放射線と考えて、このように4本の棒を組み合わせると真中の部分が濃くなります（このとき、実験者は Strip を実際に放射線状に重ねてみせる）。このことから分かりますとおり、周囲の細胞を破壊しない程度の弱い放射線を多方向から一斉に放射すると、真中で放射線が集まり、腫瘍を破壊するのに十分な強度になります。」
- ③ 内省報告：解決活動終了後、「実験者に提示された棒を利用しましたか。利用した場合は、棒のどのような側面が役に立ちましたか」という質問に紙面で答えてもらった。

(2) 半透明 Strip ・ 操作不可能群

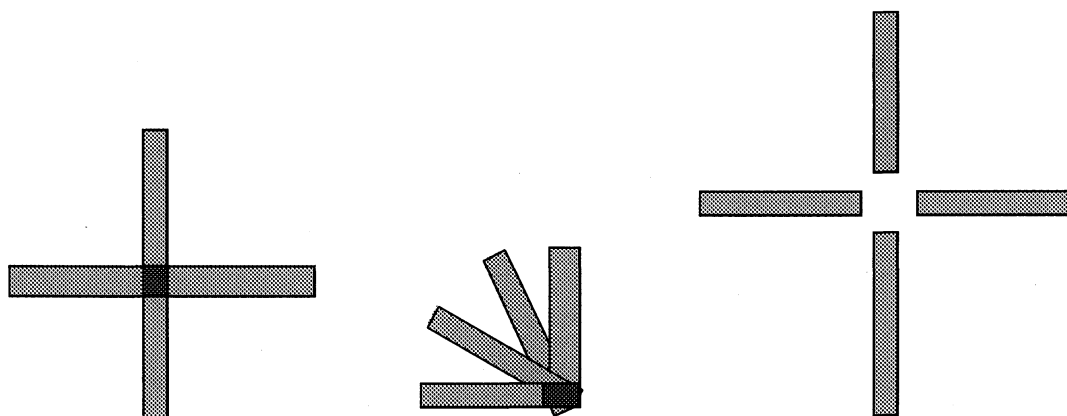
- ① 半透明 Strip を並列に並べた形で提示：「ここに4本の棒があります。この棒を放射線と考えて、この棒に触れず頭の中でこの棒を使って問題を考えてください。問題が解けたら、その解決方法を解答用紙に記入してください。」
- ② 10分経過後、実験者は半透明 Strip を用いながら解答を説明する。この4本の棒を放射線と考えて、4本の棒を組み合わせると真中の部分が濃くなります（このとき、実験者も Strip にはふれない）。このことから分かりますとおり、周囲の細胞を破壊しない程度の弱い放射線を多方向から一斉に放射すると、真中で放射線が集まり、腫瘍を破壊するのに十分な強度になります。」
- ③ 内省報告：解決活動終了後、「実験者に提示された棒をイメージとして利用しましたか。利用した場合は、イメージの中で棒をどのように操作しましたか」という質問をした。

(3) カラー Strip ・ 操作可能群

- ① カラー Strip を並列に並べた形で提示：「ここに4本の棒があります。この棒を放射線と考

Table 1 実験1の各群の平均問題解決得点 ()はSD

		操作性	
		操作可能群	操作不可能群
顕 在 性	半透明	2.69 (0.46)	0.88 (1.11)
	カラー	0.69 (0.85)	0.63 (0.99)



半透明・操作可能群	10名	4名	2名
半透明・操作不可能群	4名	0名	3名
カラー・操作可能群	1名	2名	3名
カラー・操作不可能群	0名	0名	4名

(注) 操作可能群は問題解決時のビデオから、操作不可能群は内省報告時のstripの利用状況に関する報告から作成した

Fig. 4 実験1での問題解決時のStripの使用状況

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。」

- ② 10分経過後、実験者はカラー Strip を用いながら解答を説明する。この4本の棒を放射線と考えると、このように4本の棒を組み合わせます。(このとき、実験者は Strip を実際に放射線状に重ねてみせる。) このことから分かりますとおり、周囲の細胞を破壊しない程度の弱い放射線を多方向から一斉に放射すると、真中で放射線が集まり、腫瘍を破壊するのに十分な強度になります。

- ③ 内省報告：解決活動終了後，半透明 Strip・操作可能群と同じ質問を行った。
- (4) カラー Strip・操作不可能群
- ① カラー Strip を並列に並べた形で提示：「ここに4本の棒があります。この棒を放射線と考
えて、この棒に触れず頭の中でこの棒を使って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。」
- ② 10分経過後，実験者はカラー Strip を用いながら解答を説明する。この4本の棒を放射線と
考えて、4本の棒を組み合わせます（このとき，実験者も Strip にはふれない）。このことから
も分かるとおり，周囲の細胞を破壊しない程度の弱い放射線を多方向から一斉に放射すると，
真中で放射線が集まり，腫瘍を破壊するのに十分な強度になります。」
- ③ 内省報告：解決活動終了後，半透明 Strip・操作不可能群と同じ質問をした。
また，Strip 使用状況を記録するため，解決の様子はすべてビデオに収めた。

結 果

1. 解の得点化

問題の解の得点化の作業は，すべて仮屋園 (1994) にならって行った。したがって0点～3点
の範囲で得点化した。

2. 解の得点の分析

各群の問題解決得点の平均値を Table 1 に示す。各群の得点について，実験計画にしたがい，顕
在性要因（半透明 Strip とカラー Strip との2水準）×操作可能性要因（操作可能と操作不可能との
2水準）の分散分析を行った。分析の結果，操作可能性要因の主効果 ($F(1/60) = 16.749, p < .01$)，顕
在性要因の主効果 ($F(1/60) = 24.12, p < .01$)，および両要因の交互作用 ($F(1/60) = 12.25, p < .01$) がみられた。

3. 内省報告の分析

解決活動を収録したビデオ（操作可能群），および内省報告からの Strip 利用の想起（操作不可能
群）からまとめた問題解決時の Strip 使用状況を Fig. 4 に示す。半透明 Strip・操作可能群の被験者
は，16名中14名が放射線状かまたは扇状に Strip を操作していることがわかる。他の群は，こうし
た形で Strip を使用，あるいはイメージしている被験者はわずかである。Table 1 の各群の平均点
は半透明 Strip・操作可能群が他の群に比べて突出している。内省報告の結果は，Table 1 の交互
作用の結果を裏づけるものであると言える。

考 察

Table 1 から半透明 Strip・操作可能群の得点が他の3群と比較して突出して高い，という結果が
得られた。Fig. 4 に示されている Strip 使用状況とともにこの結果を考察してみよう。

放射線というのは，非常になじみが薄い物質であるため，その扱い方の具体的イメージ化が困難

である。その大きな原因は、放射線が一種の光であることによる。ここで Strip を使うと、放射線という光を完全に個体として扱うことが可能になる。つまり、外的資源化によって問題の操作子（放射線）の性質が、解決しやすいかたちに変容するのである。

Zhang & Norman (1994) は、外的資源は被験者の内的表象とは別の問題空間（外的表象）を外部に作り出す、と考えた。そして、こうして作り出された外的問題空間は、もともとの問題空間とは異なったものになっている、とした。つまり、外的資源によって作られた問題は、もともとの問題とは異なった構造をなしているのである。

荷方・海保 (1998) は、放射線問題での外的資源の機能を顕在性と操作可能性にある、とみなした。このとき、外的資源によって解決者は、もはやもとの問題とは異なる問題空間を構築するのである。荷方・海保 (1998) は、外的資源となる Strip によって放射線は物理的に操作しやすくなる、と指摘している。こうしたことは、Strip が放射線を固体化することではじめて可能になる。そして、Strip は一見、問題の操作子を外在化し、物理的操作を可能にただけに見えるが、実は放射線を Strip 化することで操作子そのものの性質を変えている、と言える。

放射線は Strip 化されることによって光ではなく個体に変換される。そしてこのことによって解決者はもとの問題とは異なる問題空間を構築する、ということが明らかになった。では、放射線という操作子が手で扱える個体になることで、どのような利点があるのだろうか。つまり、Strip 化されることで、なぜ問題解決は促進されたのだろうか。荷方・海保 (1998) は先述のように、放射線の外的資源化の利点を、「放射線が物理的に操作しやすくなる」ことにある、と述べている。では「物理的に操作しやすくなる」とは、一体どういうことなのであろうか。個体のどのような性質が、解決を促進するような物理的操作を可能にするのだろうか。

こうした問いを考える際、本研究で用いた実験操作は有効な示唆を与えてくれそうである。Strip の使用状況からわかるとおり、半透明 Strip・操作可能群では、16名中14名が Strip を重ね合わせるという行為を行っている。ここで重要なのは、この群の被験者がこうした行為を自発的に行ったということである。操作可能群でも、カラー Strip・操作可能群では、重ねる行為を行った被験者は3名しかいない。つまり、半透明 Strip は重ねるといった行為を誘発する特徴をもっていると言える。つまり、アフォーダンス理論で言えば、重ねると重なった部分の外見が変わる半透明性という性質は、解決促進的操作をアフォードする働きをもつのである。したがって、外的資源によって物理的操作が可能になる場合、解決促進的操作をアフォードするような性質をいかに外的資源に組み込むか、という点がポイントになる。荷方・海保 (1998) は制約を顕在化することの重要性を指摘している。しかしこの場合、外的資源が制約を単に視覚的に顕在化（外在化）させる機能をもつという側面よりも、固体化された外的資源は解決者の特定の解決行動をアフォードする機能をもつようになる、という側面に着目する必要がある。

なぜなら、制約が単に視覚的に顕在化されただけでは、解決促進的操作は生じないからである。本研究結果からは、半透明 Strip を使った場合でも、操作不可能群では、Strip を重ねることをイメー

ジした被験者は4名にとどまっている。つまり、Stripを自由に操作できない状況では、重ねるという行為はイメージとしてわきにくいのである。このことは、外的資源に制約を顕在化する性質が備わっていても、被験者に外的資源からアフォードされる自由が与えられていなければ、被験者は外的資源によってアフォードされないのである。このことは同時に、人に道具を操作する自由が与えられてはじめて、アフォードダンスという現象が成り立つ、ということをも意味している（この点についての検討は、別の機会にぜひ行いたいと考えている）。

まとめると、外的資源の有効性は、外的資源が解決者の解決促進的操作をアフォードする機能をもつか否かにかかっている、とすることができる。したがって、有効な外的資源とは上記のことからの成立を満たす条件を備えていなければならない。そこで以下にこうした条件をあげてみることにしよう。この作業が結果的に実験1の結果の解釈につながるのである。さて、まず第一の条件としてあげられるのは、解決者が相互作用する対象は、光であるよりも固体であった方がアフォードダンス現象は生じやすい、ということである。外的資源が操作子を光から固体に変換することによって、この条件が満たされることになる。その際、その個体は放射線の性質を保持しておく必要がある。半透明性はこうした放射線の性質を表すものである。人は半透明なものを重ねると重なった部分は違う色になるという経験的知識をもつ。この知識が被験者に半透明Stripを重ねるという行為をおこなわせる、と考えられる。第二の条件は、そもそも被験者に個体を操作する自由が与えられていなければアフォードダンス現象は起こらない、ということである。被験者が半透明Stripをみて、重ねる操作をイメージすることをここでかりに内部表象的アフォードダンスと呼ぶとしよう。ところが実際に操作の自由がない状態では、こうした内部表象的アフォードダンスさえ生まれないのである。

実際に外的資源を自らの手で操作できるか否かという問題は、アフォードダンス以外の視点からもふれておかねばならない。Zhang & Norman (1994) で扱われたのは、ハノイ塔問題の変形課題であった。ハノイ塔問題では、ディスクを実際に動かすことそのものが解決活動である。したがって、問題空間を外在化しても、そこに何らかの操作を加えないと解決活動にはならない。結果的に、操作可能性といった問題を考慮する必要はなかった。しかし、放射線問題は頭の中だけの洞察で解決が可能である。しかも本研究のような外的資源を用いる場合、実際に外的資源を手で操作するかたち、およびイメージだけで内的に操作するかたち、の両方の操作のあり方が可能となる。このように、外的資源の操作の仕方に自由度がある場合、その操作のあり方が外的資源の有効性を左右する重要な要因となることが本研究から示されたと言える。

以上、主としてアフォードダンス理論に基づいて、実験1の結果を解釈してきた。問題解決場面での外的資源の効果を考えるうえで次に問題になるのは、学習効果についてであろう。

外的資源を用いることによって確かに当該問題の解決活動は促進されるかもしれない。しかし、このことと学習効果の問題とはまた別のものである。たとえば、一般的な問題解決の手法としてよく知られている手段—目標分析 (Means-End Analysis) を使った場合、解決者は目標状態と現在の状態との差を縮めることばかりに注意を奪われ、最終目標に到達することはできるが問題構造の学

習効果が薄いことは周知のとおりである（仮屋園，1990；Owen & Sweller，1985）。

また，外的資源とともに生じた外的問題空間によって，正答を容易に得られたとしても，学習することが課題になると，問題空間が変化することによって学習されるものも変化してしまう恐れがある（村山，1995）。こうした考えにもとづき，実験2では，外的資源を使った場合の学習効果について検討をおこなう

実 験 2

目 的

実験2では，類推的問題解決事態を用いて，外的資源とともに問題を解いた場合の学習効果について検討する。この問題解決事態では，ベース問題として要塞問題，ターゲット問題として放射線問題を用いた。これらはいずれも Gick & Holyoak（1980，1983）で使用された問題である。まず，実験1で用いた4種類の外的資源の提示方法を用いてベース問題を解いてもらう。次に外的資源のない状態で放射線問題を用いたターゲット問題を解いてもらう。

方 法

1. 被 験 者：大学生60名
2. 課 題：Gick & Holyoak（1980，1983）から，ベース問題として要塞問題，ターゲット問題として放射線問題を用いた。
3. 実験計画：ベース問題の解決形態によって下記の2要因を設定した。すなわち，顕在性要因（半透明StripとカラーStripとの2水準）×操作可能性要因（操作可能と操作不可能との2水準）の実験計画であった。要因はいずれも被験者間要因であった。この4群に被験者を15名ずつ振り分けた。
4. 手 続 き：実験は個別に以下の手続きで実施された。
 - (1) ベース問題（問題1）の解決段階：要因計画に沿った外的資源を提示したうえで要塞問題を解いてもらった。各群でのStripの提示方法は実験1と同一であった。解決時間は約10分間であった。
 - (2) デイストラクタ問題（問題2）の解決段階：Wasonの演繹推論問題を2題解いてもらった。解決時間は約10分間であった。
 - (3) ターゲット問題（問題3）の解決段階：外的資源は提示しない状態で放射線問題を解いてもらった。ここでの解決活動はヒントの前後によって2段階に分かれた。
 - ① ヒント前の解決活動：ここでは解決に際して何もヒントは与えられない。ヒント前の解決時間は10分間であった。
 - ② ヒント後の解決活動：ここでは「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」というヒントを提示し，そのうえで再度問題を考えてもらう。ヒント後に

も解決時間を約10分間設けた。

- (4) 内省報告：ターゲット問題の解決終了後、被験者から Strip 使用に関する内省報告をとった。また、Strip 使用状況を記録するため、解決の様子はすべてビデオに収めた。

5. 教 示：Strip 使用に関して、各要因の被験者に以下のような教示を与えた。

(1) 半透明 Strip ・ 操作可能群

- ① 問題1の教示：「問題1を解いてもらいます。問題を読んでください。」
- ② 半透明 Strip を提示：「ここに4本の棒があります。この棒を兵隊の列と考えて、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。」
- ③ 10分経過後、実験者は半透明 Strip を用いながら解答を説明する。この4本の棒を兵隊の列と考えて、このように4本の棒を組み合わせると真中の部分が濃くなります（このとき、実験者は Strip を実際に放射線状に重ねてみせる）。このことから分かる通り、少人数に分けた軍隊を分割して多方向の道から一斉に進めると、真中で全軍が集結したことになり、要塞を破壊することができます。他にもいろいろと解答はあると思いますが、この解答をこの問題の正答とします。」
- ④ 問題2の教示：問題2を解くように教示し、10分後正答を示した。
- ⑤ 問題3の教示：「最後に問題3を解いてもらいます。」という教示の後、ヒント前に10分間の解決時間を与えた。次に、「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。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」というヒントを与え、さらにもう10分の解決時間を与えた。
- ⑥ 内省報告：次のような質問を行った。ヒント前の活動について、「ヒント前、問題1で提示された棒をイメージし、それを利用しましたか。利用した場合は、棒のどのような側面が役に立ちましたか。」、という質問をし、さらに、ヒント後の活動について「ヒント後、問題1で提示された棒をイメージし、それを利用しましたか。利用した場合は、棒のどのような側面が役に立ちましたか。」、という質問に答えてもらった。

(2) 半透明 Strip ・ 操作不可能群

- ① 問題1の教示：同上であった。
- ② 半透明 Strip を提示：「ここに4本の棒があります。この棒を兵隊の列と考えて、この棒に触れず頭の中でこの棒を使って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。」
- ③ 10分経過後、実験者は半透明 Strip を用いながら解答を説明する。この4本の棒を兵隊の列と考えて、4本の棒を組み合わせると真中の部分が濃くなります（このとき、実験者も Strip にはふれない）。このことから分かる通り、少人数に分けた軍隊を分割して多方向の道から一斉に進めると、真中で全軍が集結したことになり、要塞を破壊することができます。他

にもいろいろと解答はあると思いますが、この解答をこの問題の正答とします。」

- ④ 問題2の教示：同上であった。
 - ⑤ 問題3の教示：同上であった。
 - ⑥ 内省報告：次のような質問を行った。ヒント前の活動については、「ヒント前、問題1で提示された棒をイメージし、それを利用しましたか。利用した場合は、実際にどのようにイメージしたかを被験者に操作してもらった。その場合、棒のどのような側面が役に立ちましたか。」、という質問をした。さらに、ヒント後の活動について「ヒント後、問題1で提示された棒をイメージし、それを利用しましたか。利用した場合は、実際にどのようにイメージしたかを被験者に操作してもらった。その場合、棒のどのような側面が役に立ちましたか。」、という質問に答えてもらった。
- (3) カラー Strip・操作可能群
- ① 問題1の教示：同上であった。
 - ② カラー Stripを提示：教示内容は半透明 Strip・操作可能群と同一であった。
 - ③ 10分経過後、実験者はカラー Stripを用いながら解答を説明する。解答の説明は半透明 Strip・操作可能群と同一であった。
 - ④ 問題2の教示：同上であった。
 - ⑤ 問題3の教示：同上であった。
 - ⑥ 内省報告：質問は半透明 Strip・操作可能群と同一であった。
- (4) カラー Strip・操作不可能群
- ① 問題1の教示：同上であった。
 - ② カラー Stripを提示：教示は半透明 Strip・操作不可能群と同一であった。
 - ③ 10分経過後、実験者はカラー Stripを用いながら解答を説明する。解答の説明は半透明 Strip・操作不可能群と同一であった。
 - ④ 問題2の教示：同上であった。
 - ⑤ 問題3の教示：同上であった。
 - ⑥ 内省報告：質問は半透明 Strip・操作不可能群と同一であった。

結 果

1. 解の得点化

ベース問題およびターゲット問題の解の得点化の作業は、すべて仮屋園（1994）にならって行った。したがって、両方の問題とも0点～3点の範囲で得点化した。

2. ターゲット問題の得点の分析

ヒント前の各群のターゲット問題の平均得点の分析を行った。この結果を Table 2-1 に示す。各群のヒント前のターゲット問題得点について、実験計画にしたがい、顕在性要因（半透明 Strip

Table 2-1 実験2の各群におけるヒント前のターゲット問題の平均問題解決得点 ()はSD

		操作性	
		操作可能群	操作不可能群
顕在性	半透明	2.00 (1.03)	0.87(1.02)
	カラー	1.07 (1.18)	0.47 (0.50)

Table 2-2 実験2の各群におけるヒント後のターゲット問題の平均問題解決得点 ()はSD

		操作性	
		操作可能群	操作不可能群
顕在性	半透明	2.47(0.62)	2.20(0.98)
	カラー	2.13 (0.81)	2.13 (1.09)

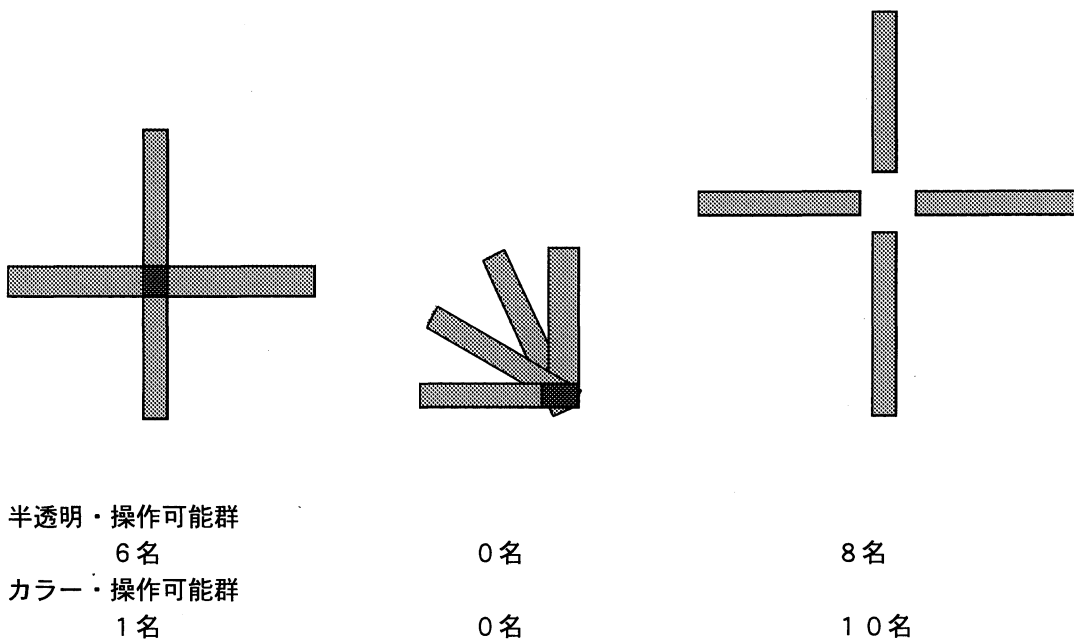


Fig. 5 実験2でのベース問題解決時のStripの使用状況 (操作可能群のみ)

ターゲット問題解決時にStripをイメージし、利用したか		
① 半透明Strip・操作可能群		
ヒント前に利用した 10名	ヒント後に利用した 3名	その他 2名
② 半透明Strip・操作不可能群		
ヒント前に利用した 2名	ヒント後に利用した 9名	その他 4名
③ カラーStrip・操作可能群		
ヒント前に利用した 3名	ヒント後に利用した 8名	その他 4名
④ カラーStrip・操作不可能群		
ヒント前に利用した 0名	ヒント後に利用した 13名	その他 2名

Fig. 6 ターゲット問題解決時にStripをイメージとして利用したか否かの結果

とカラーStripとの2水準) × 操作可能性要因 (操作可能と操作不可能との2水準) の分散分析を行った。分析の結果, 操作可能性要因の主効果 ($F(1/56) = 11.19, p < .01$), および顕在性要因の主効果 ($F(1/56) = 6.67, p < .05$) がみられた。

次に, ヒント後の各群のターゲット問題の平均得点の分析を行った。この結果をTable 2-2に示す。ヒント前と同様の分析を行った結果, いずれの有意差もみられなかった。

3. 内省報告の分析

(1) 操作可能群でのベース問題解決時のStrip使用状況

解決活動を収録したビデオから, 操作可能群でのベース問題解決時のStrip使用状況をFig. 5に示す。多くの被験者がベース問題解決時にStripを放射線状に並べていることがわかる。さらに, 半透明Strip群では中心を重ねたかたちで放射線状に並べ人数が, カラーStrip群に比べて多くなっていることがわかる。

(2) ターゲット問題解決時のStripの使用状況

内省報告より, ターゲット問題解決時に, 問題1で提示されたStripをイメージとして利用したか否かの結果を, ヒントの前後に分けてFig. 6に示す。ヒント前にStripを利用したと回答したのは, 半透明・操作可能群が, 他の3群よりずばぬけて多いことがわかる。そしてこの結果は, ヒント前のターゲット問題の解決成績に反映されていることがわかる。

考 察

実験2での, ヒント前のターゲット問題の成績は, 実験1と同様な結果であった。すなわち, ヒント前のターゲット問題の成績は, 半透明Strip・操作可能群が最も高いというものであった。

本研究で用いられた外的資源は、それ自体は意味をもたない、問題の抽象的な構造表現であり、植田(1995)の言うイメージ・スキーマに相当する。植田はイメージ・スキーマとして図を用いて、イメージ・スキーマが問題解決を促進することを見いだしている。

通常の類推的問題解決では、目標や制約の因果性(仮屋園, 1994)といった問題構造の意味づけ、解釈の部分が共通か否かが類推促進の鍵となる。本研究で用いた外的資源は2つの問題に共通する問題構造を表現(イメージ・スキーマ)をしているわけであるが、その意味づけ、解釈の仕方は、ベースとターゲットの両問題で異なっている。このように、それ自体では意味をもたない抽象的な構造表現(イメージ・スキーマ)が類推にとって有効な機能を果たす、ということが本研究から明らかになった。

植田(1995)は、こうしたイメージ・スキーマが問題解決に対して果たす役割について、可塑性をあげている。可塑性とは、1つのイメージ・スキーマが異なる対象(問題)についての多義的な解釈を与え得る性質を意味する。つまり、イメージ・スキーマは、問題という文脈から独立した、中立的性質を有するがゆえに、多義的な意味の付与が可能になる。さらに、ターゲット問題と視覚的に類似したイメージ・スキーマは、かりにターゲット問題がイメージとしてではなく、文章で表現されている場合でも、ターゲット問題の解を生成する手がかりを付与する場合がある(植田, 1995)。

本研究でも、たしかにベース問題で与えられたStripを、ヒント前のターゲット問題解決時にイメージした被験者は、Fig. 6から、半透明Strip・操作可能群では、15名中10名になっており、他の群に比べてずばぬけて多い。このことから、ベース問題解決時に適切な外的資源を提示し、それを被験者が適切に操作したという経験があれば、イメージ・スキーマとしての外的資源は、ターゲット問題に対しても有効に機能しうる、と言える。

植田(1995)は、問題構造の視覚的類似物であるイメージ・スキーマが、問題解決促進に値する可塑性をもつためには何が必要か、を実験的に検証した。その結果、彼は、①問題の初期状態に出現するオブジェクトとその関係、②工夫されたオペレータの適用とその効果、が抽象的に表現されている必要があると考えた。

このなかで、①に相当するのは顕在性であると考えられる。オブジェクトとは、問題中に出現する対象であり、ここでは軍隊と放射線を指す。特にこのオブジェクトがいかに対象の性質を捨象して表現されているかがポイントになる。同時に、本研究のように、具体物を外的資源として用いる場合は、図と違って、対象の性質の変化(すなわち光→個体)が生じる。この部分が解決促進の機能を有することは実験1の考察で指摘したとおりである。

②の部分に相当するのは、操作可能性であろう。工夫されたオペレータの適用とは、すなわち、弱い放射線を重ねて適用する、ということである。この工夫されたオペレータの適用、という発想は、自らが実際に操作する自由が与えられてはじめて生じることも、実験1の考察で指摘した。

イメージ・スキーマに備わっていない特徴に関する植田の指摘は、本研究にもあて

はまることである。ただ、植田の指摘はあくまで効果的なイメージ・スキーマを成立させるための条件列挙にとどまっているように思える。問題はこうした条件によって成立したイメージ・スキーマがなぜ、どのようなメカニズムによって類推を成り立たせるのか、という部分の考察であろう。

こうした部分の考察のためには、可塑性のどのような側面が類推を促進するのか、という面を考えねばならない。すなわち多義的解釈が可能である、ということのどこに類推を促進する力が備わっているのか、ということである。

実験1での考察でもふれたが、工夫する自由、およびその工夫によって問題の解が可視化可能となるような外的資源の性質、この2点があつてはじめて外的資源は有効に機能する。そして、外的資源を使って問題を解く際は、外的資源によって可視化されたイメージ・スキーマに、解となる意味が付与されるのである。このときの意味づけは、問題の解釈からなされる。次にこうした活動は、ターゲットとなるような問題を解く際にはどのように働くのだろうか。通常の問題解決では、解決者は問題を読み、そこからなんらかの解釈、意味をつくりあげる。そしてその解釈に基づいて問題構造、内容に関する表象を構築する。この表象が解決者が構築するイメージ・スキーマとなる。

一方、イメージ・スキーマが類推を促進する場合、特定の意味をもたない、あるいはベース問題で別の意味づけがなされたイメージ・スキーマが解決者の頭の中に最初から存在する。つまり、順序としては逆のかたちになる。

本研究では、ヒント前にStripをイメージとして利用した被験者が、半透明Strip・操作可能群で10名いた。このことは、彼らが放射線問題を読んだとき、軍隊問題でのイメージ・スキーマを思い出した（あるいは問題構造の類似性に気づいた）ことを意味する。つまりそこに付与される意味は異なるが、共通する部分があることに気づいたのである。共通する部分とは、「弱い力を一度にまとめると強くなる」(summative effect) という命題である。イメージ・スキーマはこの命題の可視化である。この命題を結果の部分と考えると問題は条件に相当する。さらにこの結果を導くような条件は他にも数多く存在するであろう。イメージ・スキーマがターゲット問題を解く前から頭にあったとすると、結果的にこの群の被験者は、問題がこの結果にうまく合致する条件か否かを考える作業をしたことになる。このように、あらかじめイメージ・スキーマをもっていた被験者はおそらく、問題構造に関するイメージ・スキーマを自ら構築しなればならなかった被験者と比べ、違ったかたちのプロセスを踏んでいたと考えることができる。

ただ、ここでもう1つ考えねばならない問題がある。ヒント前のターゲット問題の成績も、Stripの使用状態も、半透明Strip・操作可能群の被験者が最も高かったわけだが、ベース問題終了後、その解はStripを使って全群の被験者にフィードバックしてあった、ということだ。つまり、イメージ・スキーマは全群の被験者ももっていたにもかかわらず、それをターゲット問題に適切にあてはめることができたのは、半透明Strip・操作可能群だけであった。この事実をどう解釈したらよいか。

Fig. 5 には、ベース問題解決時の操作可能群でのStrip使用状況がまとめてある。Fig. 5 から、半

透明 Strip・操作可能群では、放射線状に Strip を並べた被験者が8名、放射線状にしてさらに中心を重ねた被験者が6名であった。特に半透明 Strip・操作不可能群のヒント前ターゲット問題での成績が低かったこと、および半透明 Strip・操作不可能群の被験者もベース問題終了時に正解のフィードバックを受けていることを考えると、外的資源そのものは同じでも、それを実際に操作したか否かの問題は重要であるように思える。実際に操作するということの意義はどのようなところにあるのだろうか。操作可能群と不可能群の最も大きな違いは、イメージ・スキーマを自分で生成したか否か、ということであろう。そして、最も重要なのは、放射線状に Strip を並べ替えるという作業の意味であろう。放射線状に Strip を並べ替えるという作業は、自分で問題のイメージ・スキーマを作成することである。外的資源を使って自らイメージ・スキーマを作成するという作業は、問題構造を抽象的なレベルで捉え直すということである。こうした経験によって、被験者は正解のフィードバックを受けた際、単に正解を現す Strip の並べ方の情報以上に、放射線問題の中心命題である「弱い力を一度にまとめると強くなる」(summative effect) という部分にも理解が及んだのではなかろうか。すなわち、ベース問題の正解というレベルではなく、もっと深いレベル、すなわち抽象性の高いレベルでフィードバックを捉えることが可能になったと言えるのではなかろうか。

本研究では、放射線の外的資源として Strip という道具を用い、その顕在性と操作可能性という2つの面を実験的に操作して、問題解決に対するその有効性を実証した。その過程のなかで、具体的に Strip というかたちで外的資源を提示した場合、どのような Strip を、どのように用いるのが有効であるのか、を実験操作と結果に即して考察した。特に外的資源の有効性が最大限に生かされる条件について考察した。こうした側面に関する考察は今後、別の問題解決事態、および学習に対する外的資源の効果的な使用、を考える際に有効に生かされるのではないだろうか。

引用文献

- Beveridge, M. & Parkins, E. 1987 Visual representation in analogical problem solving. *Memory & Cognition*, 15(3), 230-237.
- 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(4), 59-69.
- 仮屋園昭彦 1990 問題解決に及ぼす下位目標の提示形態の効果 教育心理学研究, 38(2), 145-150.
- Larkin, J. H. & Simon, H. A. 1987 Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science*, 11, 65-99.
- 村山 功 1995 外的資源による課題と認知主体の変化 認知科学, 2(4), 28-38.
- 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 20, 69-75.
- Norman, D. A. 1993 *Things that make us smart*. Addison-Wesley Publishing (岡本明・八木大彦・藤田克彦・嶋田敦夫 訳 1996 人を賢くする道具 新曜社)

- Norman, D. A. 1992 Turn signals are the facial expressions of automobiles. Addison-Wesley Publishing (佐伯 胖
監訳 岡本明・八木大彦・藤田克彦・嶋田敦夫 訳 1993 テクノロジーウォッチング 新曜社)
- Owen, E. & Sweller, J. 1985 What do students learn while solving mathematics problem? *Journal of Educational Psychology*, 77, 272-284.
- 佐々木正人 1994 アフォーダンス—新しい認知の理論 岩波書店
- 佐藤 公治 1996 認知心理学からみた読みの世界 北大路書房
- 鈴木 宏昭 1995 「特集—認知における内的, 外的資源」編集にあたって 認知科学, 2(4), 3-6.
- 植田 一博 1995 イメージスキーマによる問題解決とその支援の可能性 認知科学, 2(4), 76-92.
- Zhang, J & Norman, D. A. Representations in Distributed Cognitive Tasks. *Cognitive science*, 18, 87-122.