

資料

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

——類推的問題解決事態での目標の因果性・制約条件の因果性・対象の関係構造の検討——

仮屋園 昭彦¹

KNOWLEDGE ACQUISITION OF PROBLEM STRUCTURE IN PROBLEM SOLVING

——Investigation of goal causality, constraint causality, object relation in analogical problem solving——

Akihiko KARIYAZONO

The present study was to investigate the knowledge of problem structure acquired by solving a problem. Materials were the modified Duncker's radiation problems. Subjects solved the basic problem first and then solved the target problem. Whether or not the structural features of the problem were the same between base and target problem was manipulated as the experimental factors. The manipulated experimental factors were as follows; ① goal-causality: the reason why goal state must be realized; ② constraint-causality: the reason why the constraint occurs in the problem state; ③ object relation in the problem. The following results were obtained; the sameness of the constraint-causality between two problems had an effect on target problem solving only when either the goal-causality or the object relation was the same between base and target problem. These results suggested that the knowledge of problem structure involved the goal-causality and the object relation as well as the constraint-causality and solution plan.

Key words: the knowledge of problem structure, goal-causality, the object relation.

問 題

日常の学習場面で問題を解くことのねらいの1つに、ある問題を解くことで、解決者にその問題構造に関する知識を獲得させることがあげられる。そしてさらに、解決者は問題を解くことで、問題構造に関するどのような内容の知識を獲得するのかを同定することができる。知識の獲得方法としての問題解決活動の利点や特徴を明確にすることができる。

現在のところ、問題解決によって獲得される、問題構造に関する知識は、主として制約条件(ルール)と解

法プランであると考えられている。そして、従来の問題解決における知識の獲得研究の焦点は、問題を反復的に解いていく間に解法プランが非効果的なものから効果的なものへ変遷していく過程、あるいは初心者と熟達者で用いられる解法プランの違い、というように問題に関する知識が増すに従って制約条件(ルール)に対する解法プランがいかに変わるかという面に絞られていた(Gick, 1986)。

問題構造に関して獲得される知識に制約条件(ルール)と解法プランが含まれるということは、ほぼ定着した知見であると思われる。しかし、人間の知識の特性を考えた場合、問題構造に関する知識が、制約条件と解法プランのみで成り立っているとは決して断定できない。

¹ 広島大学教育学研究科 (Department of Psychology, Faculty of Education, Hiroshima University)

人間の知識とは、第1に、ある目的のもとに集まった情報の集合体とみなすことができる(和多田, 1986)。すなわち、「どのような場面で、何のために利用するか」という、利用目的に関する情報が含まれてはじめて、ある情報の集合体は「知識」と呼べるものになる。制約条件(ルール)と解法プランは、「もし〜であれば(制約条件)、〜という方法をとれ(解法プラン)」という内容になっているが、これらの情報には、こういった場面で、何のために使われるのかという利用目的に関する情報が含まれていない。第2に、人間の知識は、環境の意味に決定的に依存している(大須賀, 1987)。すなわち、人間が獲得する知識の内容は、人間が解釈した環境の意味に基づいたものになる。問題解決の場合、人間は環境としての問題の具体的内容に基づいて問題の意味を解釈する。従って、問題の目標、制約条件(ルール)、解法プランといった知識は、問題の内容に即した形で獲得されると考えられる。従来、問題構造に関する知識の獲得過程では、問題構造が抽象化されることが指摘されている(Holyoak, 1985)。制約条件と解法プランのみの知識は非常に抽象化された内容であると言えるが、あまりにも抽象化された知識は、本当の意味で知識として機能しないように思われる。

上記のような知識の特性、および従来の研究からの知見を踏まえて、問題解決での知識の獲得を捉えると以下ようになる。第1に、人間は、問題解決の過程でその問題の意味を解釈する。その際、最も重要なのは、問題の目標である。なぜなら、問題に意味を付与するのは目標であり、目標があってはじめて問題構造に含まれる制約条件(ルール)や解法プランといった様々な部分は意味をもつようになるからである。さらに目標には、問題構造に関する知識が、どのような場面で、何のために使われるのかという、知識の利用目的に関する情報が含まれている。以上のことを考えれば、問題構造に関する知識には、まず、目標に関する知識が含まれると考えられる。第2に、第1の問題とも関連するが、人間が問題の意味を解釈し、問題の内容に即した形で知識を獲得していると仮定すれば、問題の具体的な意味内容、あるいは目標に関する情報を記述する、その問題内の対象(数字、記号や問題に出てくる物体、人物)、対象間の関係構造(対象の大小関係や物体の位置関係)に関する情報が必要になる。そこで、問題構造に関する知識の中には、目標や制約条件、解法プランに関する情報とともに、それらを記述する対象の関係構造に関する知識が含まれていると予測することができる。このように問題解決による知識の獲得活動を、

知識の特質という視点から捉えた場合、問題の目標および対象の関係構造の重要性を指摘することができる。

さて、このような問題構造に関する知識の獲得を検討する際の有効な手段は、類推的問題解決を調べることであろう。類推的問題解決は、過去に解いた問題に関する知識を、現前の問題に適用するという形の問題解決である。問題間の構造が同一であれば、解決者に既知の問題であるという認識が生まれ、類推的問題解決が生じる。従って、ベースとなる知識の獲得用問題とベース知識の適用のための問題の間で、問題構造を実験的に操作し、問題構造の中のどの部分(例えば、目標と目標など)が一致していれば類推的問題解決が生じるかを調べることで、問題構造の中のどの部分が知識として獲得されているのかがわかる。このような理由から、本研究では、類推的問題解決事態を用いて実験を行う。

従来の類推理論の中で、問題の目標および対象の関係構造に言及しているのは、Holyoak の実用論的アプローチ(1985)およびGentner(1983a, 1983b, 1986)の構造写像理論である。Holyoakの理論は問題解決場面を扱ったものである。一方、Gentnerの理論は、何らかの新しい概念や領域の知識を得る際の、類推の働きに関するものであり、必ずしも問題解決を扱ったものではない。

これら2種類の類推に関する理論の中で、問題の目標を重視しているのはHolyoakの理論である。Holyoakは以下のような考え方をとる。まず、人間はSchemaという知識の集合体をもつ。問題解決で言うと、Schemaとはある問題のタイプに関する表象であり、1つの抽象的な問題カテゴリーを表わしている。問題や事例の抽象的なカテゴリーであるSchemaには、事柄の継起に関する何らかの因果関係が含まれる。そして、ある問題を解く際、その問題に適用可能なSchemaを検索するための検索手がかりとして最も重要なのは、問題の目標と因果的に関連した手がかりなのである。

対象の関係構造を重視する理論としては、Gentnerの理論があげられる。Gentnerによれば、類推とは、対象(数字、記号や問題に出てくる物体、人物)間の関係の類似性のみを表わすものであって、対象自体の属性の類似性を表わすものではない。従って、既知の領域から新しい領域へと移行するのは、対象自体の属性ではなく対象間の関係構造なのである。

次に、問題の目標と対象の関係構造という視点から過去の類推的問題解決研究を捉えてみたい。類推的問題解決の研究は、従来、主として、Gick & Holyoak

(1980, 1983)らによって行われてきた。彼らが用いた課題は、一貫して Duncker (1945) の「放射線問題」である。彼らは、ベース問題として「放射線問題」の変形課題である「要塞問題」(ベース知識獲得用課題)、ターゲット問題として「放射線問題」(ベース知識の適用課題)という2つの問題を用いている。

Holyoak & Koh (1987) は、類推に影響を与える要因は、問題構造中に含まれる因果関係であるという考えのもと、実験を行った。彼らは、「放射線問題」中の、「大きな力を直接適用できない(制約条件)のは、標的の周囲に悪影響を及ぼすため(理由)である」という、制約条件(ルール)が生じる因果性(理由)を操作した。その結果、ベース問題とターゲット問題の間で制約条件(ルール)が生じる因果性(理由)を同じにした場合は、類推的問題解決が促進されることが明らかになった。このことは、問題解決によって獲得される知識の中に、制約条件が生じる因果性が含まれることを示していると言える。

さらに、問題の目標という視点から Holyoak & Koh (1987) らの研究を検討した場合、以下のことが言える。すなわち、彼らの研究で扱われた問題構造中の因果性は、制約条件に関するものであった。しかし、問題の目標という視点からみると、「放射線問題」には、さらにもう1つの因果性が含まれている。それは目標が生じる因果性である。すなわち、「ある力によって標的を破壊する」という目標がなぜ生じてきたのかという因果性である。Holyoak は目標と関連する因果性を重視している。また、目標となるある行動がなぜ生じてきたのかという目標の因果性は、問題全体を意味づける働きをしていると考えられる。そこで本研究では、第1の要因として、問題構造中に含まれる目標の因果性をとりあげ、問題解決によって獲得される知識には、目標の因果性に関する知識が含まれているであろうという第1の仮説を検討する。

また、対象の関係構造、および Gentner の見解から、従来の類推的問題解決研究で使用されている「要塞問題」と「放射線問題」の2つの問題を捉えると以下のようなだろう。すなわち、Gick & Holyoak (1980, 1983) でベース問題となっている「要塞問題」には、問題場面の説明部分に、「要塞は国の中央部分にあり、要塞からは、周囲に小さな道が放射状にのびている。」という記述がある。この問題場面の説明部分は、資源(軍隊)とその通路(道)が、標的(要塞)に対してどのような位置関係になっているかについての記述、すなわち Gentner 理論における対象の関係構造についての記述

と考えることができる。一方、ターゲット問題である「放射線問題」では、この部分に対応する記述はない。このように、従来使われていたベース問題とターゲット問題は、問題間で、対象の関係構造の対応性が一致していない。そのため、従来、問題解決においてこの部分は検討されないままになっている。従って、現段階では、問題解決活動によって対象の関係構造についての知識が獲得されるか否かは不明確であると言わざるを得ない。

ただし、幼児と児童を対象に、問題解決ではなく物語材料を使って、対象の関係構造を検討した研究は Gentner & Toupin (1986) によって行われている。この研究では、物語場面では対象の関係構造が一致している場合に物語理解の転移効果が示されている。この結果は、物語を理解する際には、対象の関係構造が知識として獲得されることを示唆している。

そこで本研究では、第2の要因として問題構造中に含まれる対象の関係構造の対応性をとりあげ、問題解決によって獲得される知識には、問題内の対象の関係構造に関する知識が含まれるであろうという第2の仮説を検討する。

また、本研究では制約条件の因果性を第3の要因として加える。これは以下の理由による。すなわち、制約条件の因果性は、Holyoak & Koh (1987) の研究からすでに知識として獲得されることが示されている。しかし、本研究では、目標の因果性と対象の関係構造の要因を新たに検討するため、これらの要因と制約条件の因果性との関係がどのようになっているのかを明確にする必要がある。なぜなら、目標は問題全体を意味づける働きがあると考えられるので、「放射線問題」での「ある理由のため1か所から十分強い力を適用できない」という制約条件の因果性は、問題の目標があつてはじめて知識としての意味(すなわち、どのような場面で、どのように適用されるべき知識なのか)が生じてくると考えられるからである。そこで、目標と制約条件の因果性に関しては、以下のような第3の仮説を検討する。すなわち、類推的問題解決事態で、制約条件の因果性の一致が解決を促進するのは、ベース問題とターゲット問題の間で目標の因果性が一致する場合に限られるであろう。

なお、本研究では、ターゲット問題の解決過程を、「ベース問題の解決方法が役に立つ」というヒントを挿入することで2つの段階に分ける。ヒントを挿入する目的は以下のとおりである。従来の類推的問題解決研究の多くは、本実験と同じようにターゲット問題の段

階でヒントが与えられていた。こうした過去の研究では、ヒント前の段階をベース知識の自発的な検索・適用の段階、ヒント後をベース知識の適用の段階と捉えてはいる。しかし、ヒントがターゲット問題の解決段階でどのような働きをしているのかという点には触れていない。そこで、本実験では、まず、ヒント前の解決成績で、ベース問題を解くことで問題構造に関するどのような知識が獲得されたのかを明らかにする。そしてさらにヒント後の解決成績から、ヒントを使うことで、ヒントが問題構造に関する知識の中のどの部分の役割を果たすのかを同定する。

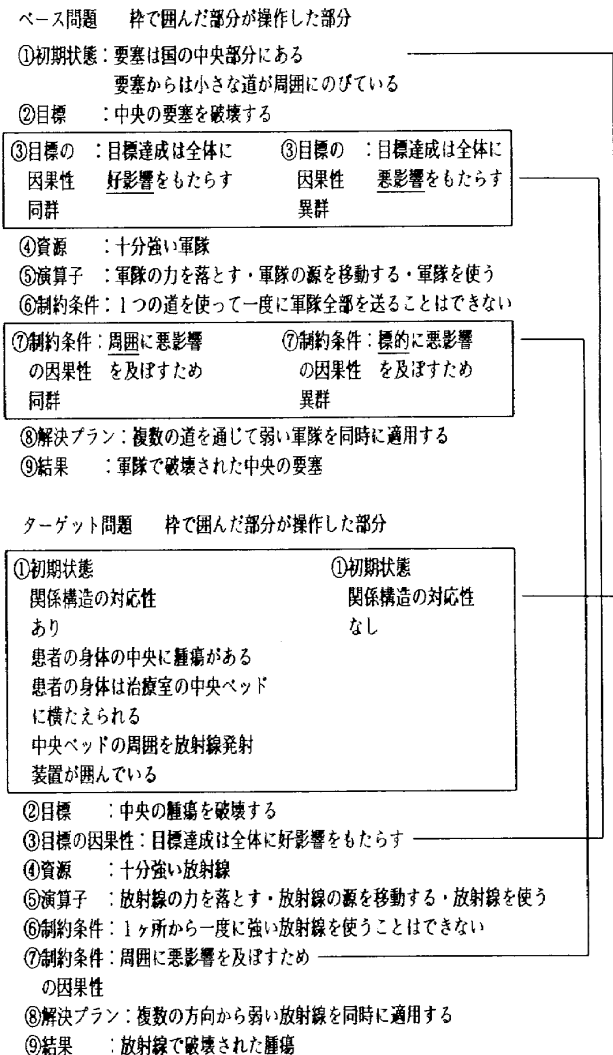
実験 1

方法

課題および問題構造の説明：実験課題は、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」であった。これらの問題は、すべて Gick & Holyoak (1980, 1983) で使用された問題であった。元来、この問題のオリジナルは、Duncker (1945) がプロトコル分析用に使った問題である。「要塞問題」は、Gick & Holyoak (1980, 1983) が、「放射線問題」の変形問題として作成したものである。実験 1 で操作した要因を含めたベース問題とターゲット問題の問題構造を FIGURE 1 に示す。このような「放射線問題」の問題構造は、元来、Gick & Holyoak (1980, 1983) が提出したものである。従って、FIGURE 1 は、彼らが提示した問題構造に本実験で操作する要因の構造を加えるという形になっている。以下に目標行動と制約条件(ルール)という 2 つの因果性要因の作成基準と、3 つの要因の各水準の実際の問題記述の内容を説明する。要因操作の基準は、目標行動の因果性については、ターゲット問題をもとに影響の仕方(好影響と悪影響)、制約条件(ルール)の因果性については、ターゲット問題をもとに影響を及ぼす対象(周囲と標的)であった。(1)目標行動の因果性要因：ターゲット問題である「放射線問題」の目標行動の因果性は、「ある力(放射線)を標的(腫瘍)に適用するという目標行動は、標的(腫瘍)の破壊が全体(身体)に好影響をもたらす(病気が治る)ためである」である。従って、「標的の破壊が全体に好影響をもたらすか、悪影響をもたらすか」という基準で目標行動の因果性要因の水準を設け、2 種類のベース問題を作成した。ベース問題となる「要塞問題」の目標行動の内容は「軍隊が中央の要塞を破壊する」となっている。従って、ベース問題における目標行動の因果性の内容は、ターゲット問題と因果性同群で「要塞の立て直し

をするため」(好影響をもたらす)、ターゲット問題と因果性異群で「要塞を陥落させるため」(悪影響をもたらす)というものにした。以下に目標行動の因果性の各群の問題の記述を示す。ターゲット問題：患者の身体を直すため、腫瘍を破壊する(標的の破壊は全体に好影響をもたらす)。(1)ベース問題の因果性同群：要塞が老朽化し、新しい要塞を立て直すため、今の要塞を破壊する(標的の破壊は全体に好影響をもたらす)。(2)ベース問題の因果性異群：隣国の将軍がこの国を征服するため、今の要塞を破壊する(標的の破壊は全体に悪影響をもたらす)。(2)対象の関係構造の対応性要因：ベース問題と対応する対象の関係構造の記述がターゲット問題にあるか否かで、2 種類のターゲット問題を設けた。対象の関係構造は、問題場面の記述という形で操作した。まず、ベース問題(要塞問題)では、資源(軍隊)の通路(道)が標的(要塞)の周囲に配置されている。従って、ターゲット問題(放射線問題)の対象の関係構造をベース問題と完全に対応させるには、ベース問題(要塞問題)の資源(軍隊)の通路(道)に相当する何らかの対象を、ターゲット問題での標的(患者の腫瘍)の周囲に配置する必要がある。そこで、ターゲット問題の対象の関係構造の記述あり群では、新たに資源(放射線)の通路として「放射線発射装置」という対象を設定し、資源(放射線)、資源の通路(放射線発射装置)、標的(患者の腫瘍)の位置関係の記述を問題場面の記述としてターゲット問題に入れた。以下に対象の関係構造の各群の問題の記述を示す。ベース問題：要塞は国の中央部分にある。要塞からは小さな道が周囲にのびている。(1)ターゲット問題の記述あり群：患者の身体は、治療室の中央ベッドに横たえられる。中央ベッドの周囲を放射線発射装置が囲んでいる。(2)ターゲット問題の記述なし群：関係構造の記述なし。(3)制約条件の因果性要因：ターゲット問題である「放射線問題」の制約条件の因果性は、「周囲(周囲の健康な細胞を)に悪影響(破壊する)を及ぼすため、1 か所から十分強い資源(放射線)を適用できない」という、周囲に悪影響が出るため制約条件が生じるという内容である。従って、「何に悪影響を及ぼすのか」という基準で制約条件の因果性要因の水準を設け、2 種類のベース問題を作成した。すなわち、ベース問題における制約条件の因果性の内容は、ターゲット問題と因果性同群で「周囲に悪影響を及ぼすため制約条件が生じる」、因果性異群で「標的に悪影響を及ぼすため制約条件が生じる」というものにした。以下に制約条件の因果性の、各群の問題の記述を示す。ターゲット問題：周囲の健康な細胞を破壊するため、1 か所から十分強

い放射線を適用できない(周囲に悪影響を及ぼすため制約条件が生じる)。①ベース問題の因果性同群：人や車の交通麻痺が生じ、周囲の都市機能に悪影響を及ぼすため、1つの道から軍隊全部を送ることができない(周囲に悪影響を及ぼすため制約条件が生じる)。②ベース問題の因果性異群：軍隊の後半の到着が遅れ、必要な人数が全部そろわないに時間がかかり、一度に要塞を破壊できないため、1つの道から軍隊全部を送ることができない(標的に悪影響を及ぼすため制約条件が生じる)。このように、目標行動の因果性要因については、全体に好影響か悪影響かという影響の方向について基準を設定し、制約条件の因果性については、悪影響が及ぶのが周囲か標的かという、悪影響を及ぼす対象について基準を設定した。



注1：枠で囲んだ部分が操作した部分 注2：野線はベース問題とターゲット問題の間で操作した問題構造の要素の対応

FIGURE 1 実験1で操作したベース問題とターゲット問題の問題構造

実験計画：2 (ベース問題の目標行動の因果性要因：ターゲット問題と同群・異群の2水準)×2 (ターゲット問題の対象の関係構造の対応性要因：ターゲット問題に問題場面の記述があり・なしの2水準)×2 (ベース問題の制約条件の因果性要因：ターゲット問題と同群・異群の2水準)の実験計画であった。要因は、すべて被験者間要因であった。

被験者：大学生が被験者であった。各群の人数は、以下のとおりであった。目標行動の因果性同・問題場面の対応性あり・制約条件の因果性同群に19名、目標行動の因果性同・問題場面の対応性あり・制約条件の因果性異群に19名、目標行動の因果性同・問題場面の対応性なし・制約条件の因果性同群に23名、目標行動の因果性同・問題場面の対応性なし・制約条件の因果性異群15名、目標行動の因果性異・問題場面の対応性あり・制約条件の因果性同群19名、目標行動の因果性異・問題場面の対応性あり・制約条件の因果性異群10名、目標行動の因果性異・問題場面の対応性なし・制約条件の因果性同群26名、目標行動の因果性異・問題場面の対応性なし・制約条件の因果性異群15名。被験者合計は、146名であった。

手続：実験は集団的に実施された。まず、被験者全員に問題と解答欄、およびその正解が印刷された冊子を配布した。被験者は、問題を読み、答を解答欄に記入するという形で実験問題を解いた。問題と解答欄は同じページに印刷されており、問題の下に解答欄があった。実験にあたり、被験者には、人間の推論過程の調査であると教示した。実験は、以下の3段階から構成された。

(1)ベース問題の解決段階(ベース知識の獲得段階)

ベース問題として Duncker (1945) の放射線問題の変形問題で、Gick & Holyoak (1980, 1983) によって用いられた「要塞問題」を、本実験の要因によってさらに変形した「要塞問題」を被験者に解かせた。解決時間は、約10分間であった。約10分経過後、次のページに印刷してある正解を読んでもらい、内容を理解してもらった。

(2)フィルター問題の解決段階

ベースとターゲットの問題の解決段階の間に、Wason の演繹推論問題を2題、フィルター問題として解かせた。解決時間は、1題10分で、2題で20分であった。この問題は、「Wason の4枚カードの問題」として、従来、演繹推論の研究で用いられてきた課題である。この課題は演繹推論の課題であり、本研究課題とはタイプが異なる。本研究は、人間の推論の研究として被験者に教示してあるので、タイプが異なる複数の

課題が含まれる必要があった。また、タイプが異なるのでベースとターゲットの問題解決にも影響はなく、本実験のフィラー問題として適格であると判断した。

(3)ターゲット問題の解決段階（ベース知識の適用段階）

①ヒント前の段階：ターゲット問題として、実験要因によって操作された内容の「放射線問題」を解いてもらった。解決時間は約10分間であった。この段階では、被験者は解決に際し、何もヒントは与えられなかった。

②ヒント後の段階：約10分経過後、次ページに移ってもらった。次ページには、ヒントが書いてあり、新しい解答欄が設けてあった。ヒントは、「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。」というものであった。このヒントを与えた後、約5分間、さらに解決活動を行ってもらった。

結果

1. 解の得点化

ターゲット問題は、Gick & Holyoak (1980, 1983) に従って基準を設け、次の3つの表現が記述されている場合を完全正解とした。①腫瘍を破壊しない程度の弱い強度の放射線を、②多方向から、③一斉に放射する。これらの基準表現の3つをすべて満たしている場合に3点、2つを満たしている場合に2点、1つを満たしている場合に1点、いずれも満たしていない場合に0点を与えた。また、ベース問題の解も、同様な基準で得点化した。

解の得点化の作業は実験者が1名で行った。正答が含まれている場合、被験者の解答は上記の基準表現とほぼ一致しているものが多かった。しかし、必ずしも基準表現と同じ表現をとっていないが、同じ意味を表わしていると思われる表現があった。このような表現は基準表現を満たしていると判断し、得点を与えた。ただし、得点化は実験者が1名で行ったため、得点化の処理過程を示す必要があると判断し、基準表現と一致していないが得点を与えた表現をFIGURE 2に示した。

2. ターゲット問題の得点の分析

(1) ヒント前の分析

まずヒント前における各群のターゲット問題の平均得点の分析を行った。実験計画で設定した各群のヒント前のターゲット問題得点について、2（目標行動の因果性要因）× 2（関係構造の対応性要因）× 2（制約条件の因果性要因）の分散分析を行った。各群の平均得点をTABLE 1（(1)～(3)）に示す。分析の結果、関係構造の対応性要因の主効果（ $F=10.56$, $df=1/138$, $p<.01$ ）がみられ、ターゲット問題に関係構造の記述がある群の得点が、ない群に比べ有意に高かった。また制約条件の因果性要因

基準表現	同一意味内容の表現
①小人数に分けた軍隊を分割して(小さく分けて)	1. 軍隊を何人かずつに分けて 2. いくつかのグループに分けて 3. 多くの小さな道に軍隊を振り分けて 4. 軍隊をすべての小道に同じ人数に分けて 5. 軍隊を各々の道に分散させる 6. 多くの小さな道に一度軍隊を均等に分け 7. 道の本数分均等に分け 8. すべての道の数だけ分かれて 9. 軍隊をその道その道に配置し 10. 軍隊をいくつかの隊に分けて 11. 何人かずつ振り分けて
②多方向の道から 国境のすべての道から 数ヶ所の道で それぞれの道から	1. できるだけ多くの道をとるようにして 2. いくつかの(複数の道)道に分かれ 3. 各々の小さな道から 4. 多くの小さな道をすべて使って 5. いろいろな道から 6. 扇状にある道からそれぞれ 7. 方々の道を通して 8. それぞれが違う道を通して 9. 周囲のすべての道から 10. 様々な道から
③一斉に進める 同時に 同じ時刻に 一度に	1. 要塞に集合する時間を決めて 2. 集合時間に集まるようにする 3. 同時(同時に)に要塞に着くことができるように 4. 要塞にあつまる時間を決め、その時間に間に合うように 5. 要塞までの時間をあらかじめ調べておいて一度に要塞に到着するようにする

(注)「道の数だけ分割(分散)して」という解答は、①、②を同時に含むと考えられたので2点を与えた。表中①欄の「3」～「9」に相当する。

FIGURE 2 ベース問題における基準表現、および各基準表現と同一の意味を表わしているとみなし得点を与えた表現

基準表現	同一意味内容の表現
①周囲の正常な細胞(組織)を破壊しない程度(ような)の弱い(強度の)放射線を	1. 低い強度の放射線を 2. 弱い放射線を 3. 健康な細胞には害のない程度の放射線
②多方向から いろいろな方向から さまざまな方向から いくつかの方向から いくつもの方向から 異なった方向から 多(それぞれの)角度から	1. 数ヶ所(複数の場所)から 2. 腫瘍のまわりをとりまくように 3. 全体の角度から 4. あらゆる違った角度から 5. 放射線発射装置をできるだけ多く利用して 6. 前後左右から、四方八方から、いろんな側から
③一斉に放射する 同時にあてる 一度にあてる	1. 腫瘍の部分は強い強度の放射線を受けたことになり 2. 腫瘍にあたる放射線は強度の高い放射線を1方向から当てたのと同じことになる 3. 腫瘍の部分に全ての放射線が集まって 4. 腫瘍にあたる時は各々の放射線が集まって強くなる 5. 腫瘍の部分で十分な強度になるようにする 6. 腫瘍の部分で強くなるようにする 7. 複数の放射線は患部で重なった時強い強度になるように 8. 各方面からの放射線が集まって腫瘍が直せるくらい大きな放射線になる 9. 1点(肺)に集中させる 9. 腫瘍部分で集中するように

FIGURE 2 ターゲット問題における基準表現、および各基準表現と同一の意味を表わしているとみなし得点を与えた表現

の主効果 ($F=3.93, df=1/138, p<.05$) がみられ、ターゲット問題とベース問題の間で、制約条件の因果性が同じ群の得点の方が、異なる群に比べ有意に高かった。さらに、目標行動の因果性要因と制約条件の因果性要因の交互作用 ($F=4.27, df=1/138, p<.05$) がみられた (TABLE 1-(2))。交互作用の下位検定として単純主効果の検定を行ったところ、目標行動の因果性が同じ条件では、制約条件の因果性が同じ群の方が異なる群よりも有意に得点が高かった。目標行動の因果性が異なる条件では、制約条件の因果性の同異による違いはみられなかった。

また、関係構造の対応性要因と制約条件の因果性要因の交互作用の傾向 ($F=3.15, df=1/138, p<.1$) がみられた (TABLE 1-(3)) ため、試みに下位検定である単純主効果の検定を行ったところ、関係構造の対応性がある条件では、制約条件の因果性が同じ群の方が異なる群よりも有意に得点が高かった。関係構造の対応性がない条

件では、制約条件の因果性の同異による違いはみられなかった。

また、制約条件の因果性が同じ条件では、関係構造の対応性がある群の方が異なる群よりも有意に得点が高いという結果が得られた。

(2) ヒント後の分析

次に、ヒントを与えた後の、ターゲット問題の各群の平均得点について、ヒント前と同様に分散分析を行った。各群の平均得点を TABLE 2 に示す。その結果、制約条件の因果性要因の主効果が有意であり ($F=9.35, df=1/138, p<.01$)、ターゲット問題とベース問題の間で制約条件の因果性が同じ群の得点の方が異なる群に比べ有意に高かった。

考察

実験 1 では、問題を解くことで、問題構造に関し、どのような知識が獲得されるのかを類推的問題解決を通して検討した。考察では、まず因果性に関する要因の検討を行い、次に対象の関係構造の対応性に関して検討する。

因果性の要因に関して、新たに明らかになったことは、目標行動と制約条件の両因果性の交互作用である。交互作用の下位検定より、目標行動の因果性が同じ条件では、制約条件の因果性が同じ群の方が異なる群よりも有意に得点が高かった。一方、目標行動の因果性が異なる群においては、制約条件の因果性の同異による違いはみられなかった。また、実験 1 での TABLE 1-(2) より、制約条件の主効果は、目標行動の因果性が同じ群での、制約条件の同異による得点差から生じたことがわかる。

TABLE 1-(1) 実験 1 でのターゲット問題におけるヒント前の各群の平均得点 () 内は SD

関係構造の対応性							
あり				なし			
目標行動の因果性				目標行動の因果性			
同	異	同	異	同	異	同	異
制約条件の因果性	制約条件の因果性	制約条件の因果性	制約条件の因果性	制約条件の因果性	制約条件の因果性	制約条件の因果性	制約条件の因果性
同	異	同	異	同	異	同	異
1.421	0.368	0.842	0.700	0.435	0.200	0.231	0.400
(1.389)	(0.930)	(1.039)	(1.005)	(0.876)	(0.400)	(0.421)	(0.800)

TABLE 1-(2) 実験 1 でのターゲット問題におけるヒント前の得点の目標行動の因果性と制約条件の因果性の交互作用の単純主効果

		制約条件の因果性	
		同	異
目標行動の因果性	同	0.928	0.284
	異	0.536	0.550

TABLE 1-(3) 実験 1 でのターゲット問題におけるヒント前の得点の関係構造の対応性と制約条件の因果性の交互作用の単純主効果

		制約条件の因果性	
		同	異
関係構造の対応性	あり	1.132	0.534
	なし	0.333	0.300

TABLE 2 実験 1 でのターゲット問題におけるヒント後の各群の平均得点 () 内は SD

関係構造の対応性							
あり				なし			
目標行動の因果性				目標行動の因果性			
同	異	同	異	同	異	同	異
制約条件の因果性	制約条件の因果性	制約条件の因果性	制約条件の因果性	制約条件の因果性	制約条件の因果性	制約条件の因果性	制約条件の因果性
同	異	同	異	同	異	同	異
1.947	1.316	1.842	1.300	2.478	1.677	2.004	1.533
(1.234)	(1.216)	(0.987)	(1.100)	(0.878)	(1.247)	(1.170)	(1.254)

上記の結果は、目標の因果性が同じ場合にはじめて制約条件の因果性の効果がでて、目標の因果性が異なる場合は、制約条件の因果性の効果は薄くなることを意味している。この知見から過去の研究を捉えと、

制約条件の因果性の効果を見いだした Holyoak & Koh (1987) の研究では、目標の因果性の要因は操作されていない。彼らの実験課題は、ベース問題、ターゲット問題ともに目標の因果性は同じであった（因果性は、「目標達成は、全体に好影響をもたらす」というもの）。従って、彼らの結果は、目標の因果性が同じ場合に限っての、制約条件の因果性の効果と言えるかもしれない。

以上の交互作用の結果から、なぜ目標となるある行動（標的を破壊する）を行う必要性が生じたのかという記述が、ベース問題とターゲット問題で一致していた場合に、解決は促進されることが明らかになった。

上記の交互作用の結果を、問題構造に関する知識の獲得という目的に照らして解釈すると以下になるだろう。類推的問題解決事態において、目標の因果性が同じ場合にはじめて制約条件の因果性の効果がでるといことは、問題構造の知識として、目標の因果性に関する知識が獲得されているということを意味する。知識は環境の意味に依存し、何らかの利用目的のもとに集まった情報の集合体である。目標の因果性には、問題構造に関する知識（主として制約条件と解法プラン）が、どのような場面で、何のために用いられるのかという、知識の適用場面や適用理由に関する情報が含まれる。そして、知識を適用する場面や理由に関する情報は、環境の文脈として捉えることができる。さらに、目標の因果性に関する知識は、問題構造に関する他の部分の知識全体を意味づけ、知識そのものの利用目的（何に役立つ知識なのか）を明確にする働きをもつ。以上のように、知識の特性および目標の因果性の働きを考えるならば、問題構造に関する知識は、目標の因果性を頂点として全体が意味づけられた階層的構造になっていると考えられる。

次に因果性に関するヒント後の結果の解釈に移る。ヒント後の分析から、制約条件の因果性要因の主効果がみられ、ベース問題とターゲット問題の間で、制約条件の因果性が同じ群の方が異なる群に比べターゲット問題の得点が高かった。このことは、ヒントによって適用すべきベース知識が指定された場合、ターゲット問題の解決の成否は、ターゲット問題の制約条件の因果性がベース問題と同じか否かにかかっていることを示している。上記の考察で、目標の因果性に関する知識は、問題構造の知識全体を意味づける働きをもつと述べた。ヒントがない場合、解決者は問題に含まれる意味内容を理解し、それに基づいてベース知識を検索する。問題の意味は問題の目標によって付与されている。従って、ベース知識の検索の際は、問題構造の

知識全体を意味づけている目標の因果性の知識が重要になる。しかし、ヒントが与えられると、ターゲット問題の解決の成否がベース問題との制約条件の因果性の同異にかかるようになるということは、ヒントによって問題の意味内容を理解する必要がなくなったということを意味する。すなわち、ヒントによってベース知識が指定された場合、ターゲット問題の制約条件（ルール）に対して解法プランを適切に適用できるか否かが問題になるのである。解法プランとは制約条件をクリアするための手段であるから、ヒントが与えられた場合重要なのは、制約条件がベース知識と一致しているかどうかについての解決者の認知である。従って、ターゲット問題の制約条件の因果性がベース知識のものと同一であればベース知識は適切にターゲット問題に適用され、違っていれば適切に適用されないということになるだろう。

上記の解釈をヒント挿入の目的に照らして述べるなら以下になる。すなわち、ヒントを使うことで、問題の意味内容の理解、特に、制約条件や解法プランがどのような目的や理由のもとで行われるのかという目標の因果性に関する知識は不必要になると言える。換言すれば、ヒントは問題構造に関する知識の中で、問題構造の知識全体を意味づける目標の因果性の部分の役割を果たしていると言える。

さらに、本研究から対象の関係構造（問題場面）の記述の主効果が確認された。また、TABLE 1—(3)より、制約条件の因果性の主効果は、目標の因果性の同群と同様、関係構造の対応性あり群での制約条件の同異による得点差からも生じたことがわかる。これは、関係構造の対応性がある場合にはじめて制約条件の因果性の効果がでて、関係構造の対応性がない場合には、制約条件の因果性の効果は薄くなることを意味している。

TABLE 1—(2)と TABLE 1—(3)の結果から、ベース問題とターゲット問題で制約条件の因果性が一致していることの効果は、目標行動の因果性が同じか、または関係構造の対応性がある場合に限って生じることが明らかになった。これらの結果を目的に照らして解釈すれば、解決者は、ベース問題を解くことで、対象の関係構造に関する知識を獲得していたと判断することができる。

ただし、対象の関係構造に関して獲得される知識には次のことが言える。すなわち、対象の関係構造についての知識は、①「ある対象の周囲を別の対象が取り囲んでいる」といった、対象が問題内で形成する単なる位置関係についての知識、あるいは、①に加え、②

「資源（軍隊）」、「資源の通路（道）」といった、関係を形成する対象自体が問題内で果たす役割についての知識、の2種類に区別することができる。この点を調べるには、両問題間で単に対象間の位置関係のみが同じ場合でも関係構造の効果があるのか、あるいは関係を形成する対象自体が両問題間で同じ役割を果たしている場合にはじめて効果があるのかを検討する必要がある。そこで、この点の検討を実験2において行う。

実験 2

問題

実験2では、解決者が獲得する対象の関係構造についての知識は、①対象が問題内で形成する単なる位置関係についての知識なのか、あるいは、①に加え、②関係を形成する対象自体が問題内で果たす役割についての知識も含まれているのかを検討することを目的とする。検討は、実験1と同様、類推的問題解決事態を通して行う。

方法

課題の説明：「標的の周囲をある対象が取り囲んでいる」という、ベース問題に含まれる関係構造をターゲット問題に移行させる。その際、ターゲット問題の関係構造を形成している対象の役割がベース問題と同じ群（関係構造あり・役割同群）、および異なっている群（関係構造あり・役割異群）、さらに、Gick & Holyoak (1980, 1983) で用いられた、一般的な形の「放射線問題」（関係構造なし群）の3群を設けた。対象の役割が同じ群では、「放射線発射装置」（資源の通路）が標的の周囲を囲んでいるというものであり、役割が異なる群では、「照明装置」が標的の周囲を囲んでいるというものであった。

役割同群の対象である「放射線発射装置」は、資源の通路という点で、ベース問題の「道」と問題内で果たす役割が同じである。役割異群では、「ある対象が標的の周囲を取り囲んでいる」という位置関係のみをベース問題からターゲット問題へ移行させ、ターゲット問題で標的を取り囲んでいる対象は、「照明装置」という、問題内で果たす役割がベース問題とは異なる対象を新たに設定した。

ベース問題の構造は、上記の関係構造以外の点ではすべてターゲット問題と同じ課題にする必要がある。そのため、ベース問題は、実験1での、目標の因果性同・制約条件の因果性同群の問題を用い、対象の関係構造の部分だけ操作した。FIGURE 3 にこれらの問題構造をまとめた。

肺に悪性の腫瘍（しゅよう）をもった1人の患者がいる。
この腫瘍は、周囲を正常な組織に取り囲まれた身体の奥深くにある。
しかも患者の身体が衰弱しているため、手術で取り除くことはできず、投薬も不可能である。

今、貴君は医者であり、この腫瘍を破壊し、患者の身体を直さなければならない。
ただし、腫瘍を破壊するには、ある種の放射線を使用することができる。

①関係構造あり・役割同群で使われた放射線発射装置の配置の記述

患者の身体は、治療室の中央ベッドに横たえられる。
この部屋では、中央ベッドの周囲を数多くの放射線発射装置が囲んでいる。

②関係構造あり・役割異群で使われた照明装置の配置の記述

患者の身体は、治療室の中央ベッドに横たえられる。
この部屋では、中央ベッドの周囲を数多くの照明装置が囲んでいる。
この照明装置は周囲の壁から中央のベッドを照らしている。

③関係構造なし群：上記①②の記述がない

さて、この放射線を十分な強度で腫瘍に放射すると、腫瘍を破壊することができる。
しかし、この強度では、放射線が腫瘍に到達するまでに通過する周囲の正常な組織細胞までが破壊されてしまう。周囲の正常な組織細胞を破壊しないような低い強度の放射線では、腫瘍を破壊することはできない。

さて、腫瘍の周囲の正常な組織細胞を破壊せず、この放射線を十分な強度で腫瘍に放射し、腫瘍を破壊するためにはどのように放射線を使ったらよいだろうか。

FIGURE 3 実験2で使用した3種類のターゲット問題の記述と問題構造

実験計画：上記の、ターゲット問題の違いによる1要因3水準実験計画であった。

被験者：関係構造あり・役割同群に21名、関係構造あり・役割異群に23名、関係構造なし群に20名の合計64名の大学生をランダムに割り振った。

手続：実験1と同じであった。

結果

1. 解の得点化

実験1と同じ方法でターゲット問題の得点化を行った。得点を与えた表現をFIGURE 2に示す（FIGURE 2は、実験1と実験2の両方の解答が含まれている）。

2. ターゲット問題の得点の分析

(1) ヒント前の得点の分析

ヒント前のターゲット問題の各群の得点に対し1要因分散分析を行った結果、有意な差がみられた（ $F=14.17$, $df=2/61$, $p<.01$ ）。多重比較（Ryan's method）を行ったところ関係構造あり・役割同群が、関係構造あり・役割異群、関係構造なし群よりも、得点が有意に高かった。

各群の平均得点をTABLE 3に示す。

(2) ヒント後の得点の分析

ヒント後のターゲット問題の各群の得点に対し、1要因分散分析を行った結果、有意な差はみられなかった。

各群の平均得点をTABLE 4に示す。

TABLE 3 実験2でのターゲット問題におけるヒント
前の各群の平均得点 ()内はSD

関係構造あり 役割同群	関係構造あり 役割異群	関係構造なし群
1.619 (1.253)	0.522 (0.580)	0.300 (0.458)

TABLE 4 実験2でのターゲット問題におけるヒント
後の各群の平均得点 ()内はSD

関係構造あり 役割同群	関係構造あり 役割異群	関係構造なし群
2.286 (0.983)	1.826 (1.049)	2.250 (1.043)

考察

実験2から、対象の関係構造についての知識は、対象が問題内で形成する位置関係だけでなく、関係構造を形成する対象自体が問題内で果たす役割についての知識が含まれることが明らかになった。

以下に、2つの実験を通して従来の研究のどのような側面が明らかになったのか、および本研究の意義を述べる。まず、従来の類推的問題解決の知見については以下のようなことが言える。従来からの、「要塞問題」から「放射線問題」への自発的類推は生じにくいという知見は、本研究から明らかになったように、ベース問題で目標の因果性や対象の関係構造に関する知識が獲得されていたにもかかわらず、ターゲット問題でこれらの側面が操作されていなかったために、解決者がこれらの知識をターゲット問題に適用せず、その結果、自発的類推が生じにくくなったとみることができるのではない。

問題解決による知識の獲得については次のようなことが言える。従来の知見では、問題解決によって獲得される問題構造上の知識は、制約条件(ルール)と解法プランに関するものであるという見方がされていた。しかし、本研究から、問題解決後、目標行動の因果性、および対象の関係構造に関する知識が獲得されることが明らかになった。目標の因果性は、制約条件(ルール)と解法プランが、どのような場面で、何のために使われるかという、知識の適用の場面や理由に関する情報であり、問題構造に関する知識全体を意味づける働きをもつ。対象の関係構造は、問題場面を記述することで知識の具体的な適用場面に関する情報になっている

と言える。このことは、問題構造に関する知識が、問題という環境の具体的な文脈(適用場面)に基づいた内容で獲得されることを意味している。問題構造はある程度抽象化された形で獲得されることが従来から指摘されているが、仮に制約条件と解法プランに関する知識を、「もし〜であれば(制約条件)、〜せよ(解法プラン)」という抽象命題の形で獲得しても、その知識が、どのような場面で、何のために使われるのかという、知識の利用目的、あるいは環境の文脈との関連づけが行われていないならば、その知識は有効に生かされることはないであろう。

これまで、問題構造に関する知識は、主に制約条件(ルール)と解法プランとから成り立つとする知見が多かったが、本研究から、問題構造に関する知識は、従来考えられていたよりも、もっと具体的な内容で獲得されていると判断することができる。すなわち、問題を解くことで知識を獲得する場合、その知識は抽象命題の形ではなく、問題内容という環境の具体的内容に基づいた形で獲得され、その知識の意味づけもなされた形で獲得されるということが出来る。

引用文献

- Duncker, K. 1945 On problem solving. *Psychological Monographs*, 58, 1—112.
- Gentner, D. 1983a Structure-mapping: A Theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7, 155—170.
- Gentner, D., & Gentner, D.R. 1983b Flowing waters and teeming crowds: mental models of electricity. In D. Gentner and A.L.Stevens (Eds.), *Mental models*. Hillsdale, NJ: Erlbaum. (淵一博監修 1986 メンタル・モデルと知識表現 共立出版株式会社)
- Gentner, D., & Toupin, C. 1986 Systematicity and surface similarity in the development of analogy. *Cognitive Science*, 10, 227—300.
- Gick, M.L., & Holyoak, K.J. 1980 Analogical problem solving. *Cognitive Psychology*, 12, 306—355.
- Gick, M.L., & Holyoak, K.J. 1983 Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, 15, 1—38.
- Gick, M.L. 1986 Problem solving strategies. *Educational Psychologist*, 21, 99—120.
- Holyoak, K.J. 1985 The pragmatics of analogical

transfer. *The Psychology of Learning and Motivation*, **19**, 59—87.

務教育出版

謝 辞

Holyoak, K.J. & Koh, K. 1987 Surface and structural similarity in analogical transfer. *Memory & Cognition*, **15**, 332—340.

研究を御指導いただきました広島大学教育学部 羽生義正教授、森 敏昭助教授に感謝いたします。

大須賀節男 1987 知識の獲得と学習 オーム社
和多田作一郎 1986 人工知能の理解を深める本 実

(1994.5.20受稿, 7.23受理)