

洞察問題解決への制約論的アプローチ†

鈴木宏昭・開一夫
青山学院大学 東京大学

Constraint approach to insight problem-solving

Hiroaki SUZUKI and Kazuo HIRAKI

Aoyama Gakuin University The University of Tokyo

Recent research on insight problem-solving has developed various conceptual frameworks. A theoretical review of these frameworks demonstrated that it is important for theories of insight not to involve insight-specific mechanisms, to explain time-sensitivity, and to incorporate a feedback mechanism from problem-solving attempts. Next, we reviewed the dynamic relaxation constraint theory of insight developed by Suzuki and Hiraki. This theory involves three constraints, *object-level*, *relational*, and *goal*. The object-level and relational constraints present people's natural preferences of how objects and relations in a given problem are represented. The goal constraint evaluates a degree of match of the current state to the goal, and gives feedback to the object-level and relational constraints responsible for the current state. The object-level and relational constraints initially operate jointly to produce impasses, but are gradually relaxed by the feedbacks that goal constraint computes. This relaxation produces more frequent constraint violations, which result in insight. Next, we showed empirical evidence supporting the theory obtained from a series of experiments using a geometric puzzle. Finally, we described further issues regarding theories of insight.

Key words : insight, problem-solving, constraint, relaxation

キーワード : 洞察, 問題解決, 制約, 緩和

1. はじめに

洞察は、人間の創造的認知をもっともよく体现する心理現象の1つである。この現象は Gestalt 心理学によってはじめて体系的に取り上げられたが、現象の再現可能性や、分析方法などが十分に発達していなかったため、その後の行動主義においても、また 80 年代までの認知心理学においても十分な形で研究されることはなかった。しかしながら、90 年代にはいると Sternberg や Finke

らのグループを中心にして、洞察やその他の創造的認知の研究は科学的な探求の対象として多くの研究者の注目を集めることになった (Finke, Ward, & Smith, 1992; Smith, Ward, & Finke, 1995; Sternberg & Davidson, 1995; Ward, Smith, & Vaid, 1997)。

本研究では洞察問題解決の研究動向を概観し、洞察の理論の構築のための要件を明らかにする。そしてここで明らかにされた要件を満たすべく提案された制約の動的緩和理論に基づく研究の展開を報告する。そして、今後この分野における研究の方向について検討する。

2. 洞察問題の性質と解決の特徴

洞察研究では非定型的な解法が必要とされる問

† 本研究の遂行にあたって科学研究費補助金基盤研究 C (2) (課題番号: 10610082, 代表: 鈴木宏昭), および同補助金特別推進研究 (課題番号: 14001003, 代表: 吉野一) の援助を受けた。

題が用いられる。これらの問題は、通常の解法では解決することができないため、問題解決の初期段階において行き詰まり＝インパスが見られる。一般に、このインパスを抜け出すことは容易ではなく、問題解決者は何度も同じタイプの誤りを繰り返したり、解決を諦めたりする。その後、ある時点において突然解が「ひらめく」。このひらめきを得るためには、問題状況の内的モデル＝問題表象を別のものに構成し直すことが必要となる。これらのことから、洞察問題解決の過程は初期のインパスに始まり、新たな問題表象を作り出すことで洞察に至る過程と捉えることができる¹⁾。

洞察問題とそれ以外のいわゆる困難な問題は区別されねばならない。心理学実験で用いられる洞察問題は、高々数ステップ程度の解決手順を用いるものが大半であり、答を聞けば子どもでも理解可能なものであることが多い。したがって、洞察問題の難しさは、解決に至るまでのステップ数や、複雑な演算に起因するのではなく、新たな問題表象を作り出すという点にあると考えられる。

さて、洞察問題解決にはいくつかの特徴的な現象が観察される。第1に、なぜインパスに陥るかという問題である。前述したように、心理学の実験で用いられる洞察問題は、答を聞いてしまえば即座に理解が可能である。にもかかわらず、成人の被験者がインパスの状態をなかなか抜け出せないのはなぜなのだろうか (Ohlsson, 1992)。これと関連するが、第2の特徴として固着、すなわち同じ失敗の繰り返しが挙げられる。通常の問題解決の場合、あるやり方ではうまく行かないことがわかれば、別のやり方を試す。これは問題空間の探索による問題解決の基本である。しかしながら、洞察問題解決においては問題解決者は何度も

類似した誤りを繰り返す。これはなぜなのだろうか。第3の特徴として、有効な情報の無視を挙げることができる。問題解決者はインパスの段階において、偶然に有効な情報を発見することがある。しかし、この発見がいつでもすぐさま洞察につながるわけではない。有効な情報を発見してもそれを利用せずに、また初期の突りのない問題解決を続けることがいくつかの研究で報告されている (Kaplan & Simon, 1990; MacGregor, Ormerod, & Chronicle, 2001)。第4に、解は突然にひらめくという特徴が挙げられる。通常の問題解決の場合は、問題解決者は自らの問題解決状態のモニターを適切に行なうことができるが、洞察問題においてはこうしたモニターが働かず、突然解に至ることが報告されている (Davidson, 1995; Metcalfe, 1986)。

このように洞察問題の解決には通常の問題解決には見られない特徴が存在している。洞察の理論は、これらがいかなるメカニズムにより生み出されているのかを説明する必要がある。

3. 従来のアプローチ

本章では、標準的問題解決アプローチ、活性拡散アプローチ、問題空間探索アプローチ、機会論的アプローチ、制約論的アプローチの5つを検討し、その問題点を明らかにするとともに、これらのアプローチに含まれる、新しい理論の構築にとって重要な要件を抜き出す。

3.1 標準的問題解決アプローチ

Weisberg and Alba (1981) は、過去に遭遇した類似問題の解決への固着が洞察を阻んでいるわけではないこと、そして洞察問題の解決が通常の問題解決と何ら変わることがないことを9点問題を用いた実験から主張した。9点問題とは図1に示した9つの点を一筆書きで4本の線で結ぶというものである。正解は次の通りである。直線1-4-7と8-6の交点、および8-6と1-2-3の交点に仮想的な点(各々p, q)とする。そして1→4→7→p→8→6→q→3→2→1→5→9の順に線を引く。

彼らの実験のあるグループの被験者たちははじめに9点問題を10試行行ない、その後「四角

1) 一部の研究者によれば、インパスからひらめきに至る過程において、あたため (incubation) の段階が存在するという (Seifert, Meyer, Davidson, Patalano, & Yaniv, 1995; Wallas, 1926)。あたためとは、当該の問題解決を中断し、別の活動に従事する(あるいは休息する)時期を指す。洞察の逸話的な報告においては、このあたための段階が非常に重要であるかのように述べられる。しかし、多くの心理学実験ではあたための時期は含まれないことが多く、またそうした実験状況下でもひらめきは観察される。このことからすれば、この段階を洞察における必須のプロセスと見なすことはできない。よって、本論文では洞察は初期のインパスから、ひらめきに至る過程とする。

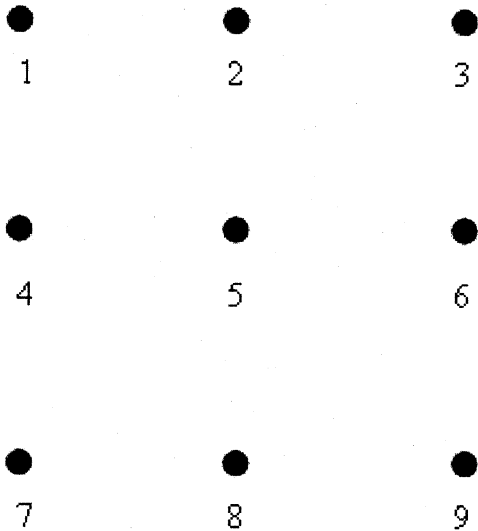


図1 9点問題。上の9つの点を4本の線を用いて一筆書きで結ぶ。なお、点の下の数字は本論文中で解説するために入れたものであり、実際の問題解決においては表示されない。

形の中で問題を解こうとしても解けません。線を外に延長する必要があります」というヒントを受けた。もし、よく言われるように枠内への固着が洞察を阻む唯一の要因であるとすれば (Newell & Simon, 1972; Ohlsson, 1992), このヒントは大きな促進効果を持つはずである。このグループの被験者のほとんどは確かに線を四角形の外に延長しはしたが、その後の10試行で問題を解決することができたのは高々20%の被験者に過ぎなかった(15名中3名)。この結果を統計的に分析すると、ヒントを与えられない統制群の成績と何ら変わることはなかった(実験1)。また、事前の試行を100試行にし、ヒント後の試行を20試行にした場合も同様の結果が得られた(実験1a)。彼らは、9点問題が解けないのは、問題空間の探索が尽きてしまったときに、新たな問題空間を見つけ出すことができないためであると主張している。そして9点問題と類似した解法を用いる問題についての経験があれば、これを利用して通常の問題解決と同じように人は問題を解決できることを彼らは示している(実験2)。

この知見は、被験者が不当な仮定を用いるためにインパスが生じるというわけではないこと、そしてこの仮定への固着を捨て去ることにより、あ

たかも見えが反転する知覚のように洞察が現れるわけではないことを示しており、Gestalt心理学的な洞察の定式化 (Ellen, 1982) とは著しい対照をなしている。WeisbergとAlbaたちは、いわゆる「洞察」問題の解決は、類似経験の検索、仮説検証、試行錯誤などを利用する通常の問題解決と何ら変わることなく、洞察、固着などの概念は不要であるとまで述べている。彼らの主張は大きな反響を呼び、その後 *Journal of Experimental Psychology* 誌に反論、再反論が掲載されることになった (Dominowski, 1981; Ellen, 1982; Weisberg & Alba, 1982)。

彼らの研究がもたらした重要な点は以下の3点にまとめられる。第1に、洞察研究の脱神秘化である。洞察は、歴史上の傑出した科学者の回顧録や伝記などでのみ扱われ、実験的な検証が十分に行なわれてきたわけではなかった。また、Gestalt学派の理論は独自の概念体系を背景にしたものであったため、それが実証的な科学研究の俎上で検討されることはなかった。WeisbergとAlbaらは、問題解決研究で標準的に用いられる方法論によって、この神秘化されていたプロセスの実態を明らかにする可能性を示し、その後の研究の展開のきっかけを作り出したと言える。これと関連するが、第2の重要な主張は、洞察の理論は洞察に固有なメカニズムをできるだけ排除した方が望ましいというものである。一部の特殊なケースを除けば、問題解決者は、問題を解く際に、それを洞察問題と見なして解いているわけではない。また、我々の認知機構の中に、洞察を行なうために特化された部分が存在するとは思えない。第3に、彼らは固着から脱却できれば、また固着を解除するようなヒントさえ与えられれば、即座に洞察に至るという見解が誤っていることを示した。実際に、他の題材を用いたその後の研究でもこの点は繰り返し確認されてきており (Kaplan & Simon, 1990; MacGregor et al., 2001; 鈴木・開, 1997), 彼らの知見はインパスとその後の洞察の間のより複雑な関係を最初に示したものである。

しかしながら、彼らのアプローチはいくつかの困難な問題を抱えている。第1に、過去の類似経験が存在しない場合でも洞察が生み出されることが説明できない (Dominowski, 1981)。こうし

た反論について、本当は過去に経験していたのだと反論することも可能である。しかし、これは何を類似経験とするかを明らかにしなければ無意味な反論となる。第2の問題は、洞察が単に過去の類似経験の有無に帰されているという点である。確かに、Weisbergらは事前の経験を与えることにより、9点問題の解決が促進されたことを報告している。しかし、単に類似の経験を与えただけでは解決に至らないという証拠、類似経験が逆に解決を阻むという証拠は、類推や転移研究の分野では数多く挙げられている (Gick & Holyoak, 1980; Gick & McGarry, 1992; Holyoak & Koh, 1987; Reed, Dempster, & Ettinger, 1985; 鈴木, 1996)。第3に、類似経験による洞察問題解決の促進というデータは、必ずしも洞察問題が類似経験を用いて解決されるということを意味するわけではない、ということが挙げられる。彼らの実験で類似問題を事前に与えられたグループは、9点問題を自発的に解決した人とは異なるタイプの問題解決を行っていたという可能性も存在する。第4に、記憶検索に関わる問題が挙げられる。WeisbergとAlbaは洞察問題が解決できない被験者は、単に類似問題の経験を検索できなかったためであると述べている。しかし、こうした記憶検索に依存した説明には問題点が存在する。これについては、次節で取り上げる。

3.2 活性拡散アプローチ

前節で示したように、インパスの原因を記憶検索に帰着させる可能性が存在する。Ohlsson (1992) にしたがえば、問題が与えられ、問題表象が構成されると、その表象中に含まれる要素から、それと関連するオペレータに活性が拡散するということになる。しかしながら、洞察問題においては、不適切な表象が構成されてしまうので、問題の解には無関係なオペレータが活性化され、インパスが生じてしまう。すなわち、不適切な問題表象によるオペレータの検索の失敗がインパスの原因ということになる。

また、AndersonはACT*理論を用いて固着を説明しようとしている (Anderson, 1987)。ACT*は、プロダクションシステムに宣言記憶と学習機構を組み込んだものである。プロダクションシステムでは、ワーキングメモリ内の情報

と一致する条件部を持つプロダクションが適用される。しかし複数のプロダクションがワーキングメモリ内の情報と一致する場合がある。ACT*ではこうした競合を解消するメカニズムとして、プロダクションに強度を付与し、この大きさに応じてプロダクションを選択するようになっている。また、仮に強度が同じであっても、条件部がより詳細なものの方を優先的に適用するという競合解消メカニズムもある。

こうした競合解消メカニズムが洞察におけるインパスを生み出すというのが、Andersonの考えである。つまり、本来はそれ以外のプロダクションを適用すべき状況でも、それまでによく使われていた強度の高いプロダクションが用いられてしまう。また学習によって結合されたプロダクションは一般的に元のプロダクションよりも条件部により多くの情報が含まれているので、こうした結合されたプロダクションが不適切に働いてしまうこともある。その結果インパスが生じるということになる。Andersonの説明は、いわゆる記憶検索や活性化の拡散とは言えないが、記憶中に存在する記憶事項の検索と適用という点ではOhlsson同様のものと見なすことが可能である²⁾。

しかしながら、洞察問題解決においては、検索、活性拡散説からは説明できない現象もよく観察される。これは、解決の一手手前までいきながら、それを放棄して、また最初の段階に戻ってしまうという現象である。つまり、洞察に必要な情報を得て、それを用いてかなりの段階まで達しているにもかかわらず、それを完全には利用できないのである。たとえば、Kaplan and Simon (1990)の実験のあるグループの被験者たちは、問題解決にとってきわめて重要な情報に初期の段階で言及しているにもかかわらず、そこから解決までには平均で10分以上もの時間がかかっていることが報告されている。また、3.1節で取り上げたヒントの問題についても同様である。ヒントは適切なオペレータへの活性化の拡散を促し、その結果パフォーマンスの向上が観察されるはずである。

2) 実際にその後のACT-Rでは、プロダクションの条件部をノードとするネットワークへの活性拡散によって、プロダクションの適用が実現されている (Anderson, 1993)。

しかし、こうした効果はWeisberg and Alba (1981) では見られなかった。

これらの事実は、検索の失敗という説明は妥当ではないことを示している。むしろ、活性化が閾値を越えなかったのだということは可能である。しかし、こうした反論は詳細なモデルの上になされるべきことであり、Ohlsson (1992) ではそうしたモデルを提案していないのであるから、この反論は実質的な意味を持たない。また、記憶検索アプローチでは、インパスは検索失敗に起因させることができるが、洞察に至るメカニズム自体は明確にはされない。前述したようにOhlsson (1992) では不適切な問題表象が適切なものへと変化することにより、有効なオペレータへの活性拡散が生じ、洞察が生み出されるとされる。だとすれば、洞察研究にとってより重要なテーマは、問題空間の変更ということになる。次節ではこうしたアプローチを紹介する。

3.3 問題空間アプローチ

Kaplan and Simon (1990) は問題空間の概念を拡張し、洞察問題解決の研究を行なった。通常の問題解決はある特定の問題空間内をヒューリスティクスを用いて探索することになる。しかし、洞察問題解決においては、人がふつうに構成する問題空間の中には解は存在しない。そこで、別の問題空間を探索する仮定が洞察には必要となり、それゆえ解決が困難になるという。彼らは、mutilated checkerboard パズル (MC パズル) を用いて、解決過程における被験者のプロトコルを詳細に分析した。このパズルでは、まずピンクと黒の正方形のマスが縦8、横8に並べられたボードから、その対角上にある2つのマス(両方もピンク)を取り除いたものが与えられる。そして、このボードのマスちょうど2つ分を覆う長方形のドミノ板を用いて、このボードすべてを覆い尽くすことができるか、もしできないのならばなぜかを明らかにすることがこのパズルのゴールである。このパズルを与えられると、ほとんどの被験者はボードをドミノで覆い尽くそうと試行を重ねる³⁾。Kaplan と Simon によれば、これは

「覆う (covering)」という問題空間内での探索となる。しかし、覆い方のパターンは75万通りもあり、この方法では問題は解けない。そこで、マスのペアに注目した問題空間に移行することが必要になる。この空間に移動してしまえば、ピンクのマスが30、黒のマスが32個あり、ドミノ板は必ずピンクと黒のペアのマスのペアを覆うのだから、ボード全体をドミノ板で覆い尽くすことは不可能であることが証明できる。

こうした問題空間それ自体の探索と移行に関する要因として、Kaplan and Simon (1990) は問題の特徴、ヒントという外部情報と、領域知識、ヒューリスティクスの内部情報の4つを挙げている。外部情報については、問題の記述を変更することの効果、ヒントを与えることの結果が実際に検証されている。内部情報の中で、彼らが特に注目したのは、試行によって得られるパターンから不変項を抽出するヒューリスティクスである。ここで重要な不変項とは、覆い尽くそうとすると、いつでも同じ色のマスが残ること、そしてそのマスの色は取り去られたマスの色とは異なること(つまり黒)などの、盤面から直接与えられる知覚的情報である。実際、問題を早期に解決できた被験者たちは、そうでない被験者に比べて、知覚的な不変項の抽出が問題解決の早い段階から行なわれていることが明らかになった。

MacGregor et al. (2001) は、問題空間のヒューリスティック探索の観点から、9点問題を用いた実験を行ない、9点問題とそのバリエーションに関するデータをうまく説明できることを示している。彼らによれば、人はまずヒューリスティクスと先読みを用いて9点問題の解決にあたるという。ここでのヒューリスティクスとは、できるだけ多くの点を結ぶという人間の傾向性を表す。先読みとは、当該の段階から何ステップ先(何本先の線)まで考慮に入れるかを表す。このストラテジーを用い、かつ先読みが1だとすると、1番最初の線は3つの点を結ぶものとなる(たとえば、図1の1→2→3や1→4→7)。2番目の線は2つの点を結ぶものとなる(最初の先が1→2→3の場合は、6→9あるいは5→7)。先読みが2の場合は、2つの線で5つの点を結ぶも

3) 彼らの実験ではドミノは実際には与えられなかったもので、被験者は鉛筆を用いてマスを消すという作業を行なったよう

ある。

のがこのヒューリスティクスによって選択される(たとえば $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 9$)。

しかし、問題解決の後半、3つめ、4つめの線を引く段階になるとこのヒューリスティクスではうまくいかなくなる。そうするとこの基準を満たすような枠外の仮想的な点への探索が始まる。この探索を促す要因をMacGregorらはインパルスと呼び、このインパルスの値の大きさに応じて別の問題空間の探索が行なわれるとしている。インパルスは達成基準値と現状の差を達成基準値で標準化したものと定義される。達成基準値とは残っている点と線の数の比となる。たとえば、最初の線が $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ で、2番目の線が $3 \rightarrow 5 \rightarrow 7$ と引かれた場合、残された点の数は4、線の数は2なので、達成基準は $4/2$ で2となる。この時点で4を選ぶと1つの点しか結ぶことができない。したがってインパルスは $(2-1)/2$ で0.5となる。一方、 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 9$ とひいた場合のインパルスは $(4/2-2)/2$ で0となり、別の問題空間の探索を行なう可能性は前者に比べて低くなる。実際、このモデルにより、補助線を入れた9点問題間に見られる反直観的な難易度の差について合理的な説明を与えることができる。

問題空間とその探索によるアプローチは、通常の問題解決研究で用いられている概念枠組みに、いくつかの仮定を付け加えることで洞察問題解決を説明しようとしている。この意味で、前二者と同様、洞察が何ら神秘的な過程ではなく、科学的な探求が十分に可能であることを主張しており、このアプローチは3.1節で述べたアプローチと親近性が高い。しかし、両者には大きな違いが存在する。WeisbergとAlbaはインパスと洞察を単に関連した知識の利用の有無に帰属させたのに対して、KaplanとSimon、そしてMacgregorらは新たな問題空間の探索を含む、質的に不連続な過程としてインパスと洞察を捉えた。洞察研究にとってのより実質的な示唆は、彼らのインパスに対する意味づけに端的に現れている。Kaplan and Simon (1990)は、洞察にとって重要な知覚的な不変項はインパス時の失敗の中から帰納されることを主張しているし、またMacGregor et al. (2001)においても失敗の度合いを表現するインパルスが別の問題空間の探索を促す鍵となっている。このように両者とも、初期のインパスが

洞察にとって積極的な意味を持つことを主張している。洞察は、初期のインパスからの突然の飛躍であり、失敗は何ら意味を持たないかのように考えられることが多い。しかし、実際にはインパスの段階において(言語化可能であるかどうかは別にして)内部的な変化が生じていることが、彼らの研究からわかる。

このアプローチの問題点は3つある。このアプローチでは、初期のインパス時における誤った問題空間の探索の結果が不調に終ることにより、問題空間の移行が生じるという仮定を採用している。実際、MacGregorらはあるオペレータの適用が失敗に終ると、そのオペレータは用いないという仮定をモデルに組み込んでいる。しかし、問題空間が大きくなれば、可能な選択肢の数は莫大なものとなり(前述したようにMCパズルの場合は75万通り)、到底その空間を探索し尽くすことは不可能である。また、人間の記憶はかなり限定されているので、何度も試行を重ねるうちに、どのオペレータを用いたかを正確に記憶しておくことは困難になる。つまり、ある空間内の探索を打ち切ることが原理的には難しいのである。第2の問題は、別の空間の探索についてである。仮にある空間の探索を打ち切っても、別の空間が事前に与えられているとは限らないので、何を探索すべきか自体が被験者にはわからないことも多いだろう。仮に過去経験の類推的利用なども考えれば、潜在的には無限の問題空間が存在するはずであり、これを行なうことはきわめて困難である。第3の問題は、3.2節で取り上げた、有効な情報の無視に関わる問題である。実際に、Kaplan and Simon (1990)の実験の一部の被験者は、問題解決にとって重要なマスの色のペアに関わる発言をしたにもかかわらず、そこから解決までに20分程度もの時間がかかっている。また、MacGregor et al. (2001)の行なった9点問題でも、最初から枠外まで線を延長する被験者の数は10%程度もいるが、彼らが即座に洞察に至るわけではない。これらの結果は、問題空間の移行がデジタルなものではないことを示している。適切な問題空間に移行しても(あるいは、しつつかって)、それを中断し、元の実りのない問題空間に戻ってしまうという事実について、問題空間アプローチでは適切な説明を与えることは難しい。

3.4 機会論的アプローチ

Seifert et al. (1995) は、機会論的同化仮説 (opportunistic assimilation hypothesis) を提案し、特にあたための段階の持つ意味についての検討を行なっている。この仮説にしたがえば、洞察は次のようなプロセスとなる。問題解決初期において大事なことは、まずインパスがそこで認知されるということである。その結果、そうした経験は、failure index という特別な記憶表象とともに保存される。この記憶表象は通常の記憶とは異なり、かなりの期間アクティブな状態にあるとされる (Seifert & Patalano, 2001)。あたための時期においては、他の活動を通して、さまざまな情報を得るが、そこで当初の問題にとって重要な情報と遭遇することもある。すると、failure index によって、元の問題のインパスが想起されることになり、それによって問題が解決される。彼女らは、想起が比較的困難な単語を用いた記憶実験を行ない、この仮説についての支持的な証拠を得ている。また、Gick and McGarry (1992) は前述した MC パズルを用いて、洞察における失敗経験の重要性を指摘している。

このアプローチについての批判はかなり単純なものとなる。第1に、すべての洞察が外部から与えられる情報によってもたらされるわけではないことが挙げられる。実際、特に心理学実験の場合には、こうした状況は実験者が意図しない限りまずあり得ない。第2に、実験で用いた課題が根本的なレベルでの問題表象の変化を伴わない、なぞなぞに近いものであるという問題を指摘することができる (たとえば、「航海用の計測器で、特に太陽、月、星の高度を測るものは何か」という質問の答となる単語を言わせる)。これは解決前後の非連続性を第1基準とする Weisberg (1995) の分類法にしたがえば、洞察問題とは到底見なしえないものである。

こうした問題点はあるが、Seifert らの指摘をより一般的に解釈し直すと、いくつかの重要な示唆が得られる。1つは外界との関係である。多くの洞察問題解決では、実際なんらかの行為がなされる。たとえば、9点問題について言えば、被験者は正方形上に配置された9つの点を記した紙が与えられ、これに線を書き込んでいくし、試行の成否は外に見える形で現れる。このような意味で

の外界との相互作用は問題解決にきわめて重要な情報をもたらす。この重要性は、実際に線を引くことなく9点問題を解く状況を思い浮かべれば明白であろう。もう1つの重要な点は、失敗の役割である。3.3節で見てきたように、失敗は問題空間の変更にとって重要な意味を持つ。Seifert らは失敗を failure index にのみ関係づけていたが、これ以外の内的状態も失敗によって何らかの変化を受けている可能性がある。以上、彼女らの研究から得られる重要な示唆は、失敗による内的状態の変化の特定が必要である、ということになる。

3.5 制約論的アプローチ

洞察への制約論的アプローチを論じる前に、まず制約の概念について簡単に触れる。制約は、潜在的に無限の情報の中から不要なものを排除し、適切なものを選択するフィルタとして、また計算の過程で生じる膨大な仮説群の中からもっともらしいものを選び出す基準として、知覚 (Marr, 1982; Waltz, 1975) から、ストラテジー学習 (Siegler & Crowley, 1994)、類推 (Holyoak & Thagard, 1995) にいたるまで、さまざまな認知活動のモデル化の基盤に据えられてきた。また、認知発達研究では発達初期におけるきわめて迅速な学習を説明するために、領域に応じた制約 (あるいは原理 (principles)) を仮定する場合も多い (Carey, 1985; Gelman & Gallistel, 1978; 波多野・稲垣, 1997; 今井, 1997; Markman, 1989; Spelke, 1991)。また制約は特定の処理の流れを仮定せず、処理の時点で利用できる情報を最大限利用するという意味で、柔軟な処理を可能にする知識表現である点も重要である (橋田・松原, 1994)。

制約論的アプローチにしたがえば、通常は認知を円滑に行なうために働く制約が洞察問題解決においては逆にインパスを生じさせるということになる。そしてインパスを脱するためには、制約を緩和させることが重要になる。前述したように Ohlsson (1992) は、問題の特徴から構成される初期の問題表象が不適切であるため、問題解決には役立たないオペレータへの活性拡散が生じ、その結果インパスが生み出されるとしている。そして、インパスを脱するためのメカニズムとして、精緻化 (elaboration)、再符合化 (re-encoding)

に加えて、制約緩和を挙げている。彼の主張する制約緩和は、主に問題のゴールに対する不適切なイメージを緩和させることにある。たとえば、9点問題では「枠内の4本の線」というゴールのイメージが解決を阻むと言う⁴⁾。

Knoblich, Ohlsson, Haider, and Rhenius (1999) は、チャンク分解 (chunk decomposition) というアイデアとともに、Ohlsson の制約緩和を拡張し、マッチ棒課題 (図2) を用いて洞察プロセスの研究を行なっている。彼らにしたがうと、マッチ棒課題には数字制約、演算子制約、符号制約の3つの制約が存在するという。数字制約は数字の変更に関わる制約 (IV→VI) であり、演算子制約とは演算子の変更に関わる制約 (+V→-IV) であり、等号制約とは等号の変更に関わる制約 (=→+) である。これらの制約はスコープを持つ。スコープの大きい制約とは、より多くの問題表象中の要素に関連し、緩和されにくい。一方、スコープの小さな制約は、単一あるいは少数の要素にのみ関連し、容易に緩和される制約であるとされる。たとえば、演算子の変更は、その演算子が結びつける数字にも影響が及ぶ。さらに、等号記号の変更は数字や演算子を含む右辺、左辺全体に影響を及ぼす。ここからわかるように、これらの制約のスコープは数字制約、演算子制約、等号制約の順に大きくなる。また、チャンクとは1つの単位として表象される問題中の要素に対応し、これには堅固性という分解の容易さに関連するパラメータが想定されている。堅固なチャンクは分解されにくく、堅固でないチャンクは分解されやすい。たとえば、VI は堅固性の低いチャンクであり、容易に IV に変更可能である。一方、X は堅固なチャンクを形成し、ここから V を作り出すことは相対的に難しい。こうした仮定から、次の2つの問題を考えてみる。

たとえば、問題1は右辺の VII の I を左辺に移すことで解決可能である。VII はそもそも堅固性

$$1. \quad VI = VII + I$$

$$2. \quad III = III + III$$

図2 マッチ棒課題：マッチ棒を1本だけ動かして、等式が成立するようにする。

の低いチャンクであり、かつ両辺の数字の値を変えるだけであるから、ここで緩和されるべき制約はもっともスコープの小さな数字制約である。したがってこれはきわめて容易な課題であることが予測できる。一方、問題2は右辺の+を=とすることで解決可能である。しかし、ここで緩和されるべき制約は数字制約よりもスコープの大きい、演算子制約、等号制約である。したがって、この問題は1に比べて解決困難であることが予測できる。実際に実験を行なうと、これらの間にははっきりとした難易度の差がある。問題1は1分以内で20名中15名、5分以内となると19名が解決可能である一方、問題2は各々3名、8名となる。Knoblich らはさまざまなマッチ棒課題、そして転移課題のパフォーマンスをこの枠組みから合理的に説明できることを示している。

制約論的アプローチは、問題表象を作り出す要素の選択に特定の制約、バイアスがかかるために不適切な問題表象が生成され、その結果インパスが生み出されると考える。Ohlsson (1992) の場合はそれが問題のゴールであり、Knoblich et al. (1999) の場合は問題中の可変な要素の選択であった。そして、この制約が緩和され、はじめにふるい落とされていた情報を取り込むことにより、インパスが解消される。

問題空間アプローチは問題空間 (問題表象) を所与のものとして扱っていた。一方、制約論的アプローチは問題表象に取り込まれる情報が制約によって決定されると考えるので、問題空間 (表象) の構成をも含む洞察理論の構成が可能である。この意味で、制約論的アプローチは問題空間アプローチと対立するものではないが、より根源的なレベルでの理論化が可能であるといえる。また制約の緩和という観点を導入することにより、問題空間のデジタルな移行という無理な仮定をおくことなく、洞察のメカニズムを明らかにする可能性を秘めている。また前述したように、記憶検索は問題表象に依存するのであるから、制約論的アプローチにより問題表象の構成の基本原則が明らかになれば、洞察における記憶検索の問題についても重要な示唆が得られると考えられる。このように、制約論的アプローチはインパスと洞察のメカニズムを詳細なレベルで統一的に説明することができる。さらに、制約の概念を用いることで、同

4) ただし3.1節で述べたように、これは支持されない。

様の理論が構築されている類推、概念変化を含む認知発達など他の創造的思考との関連も明確になり、創造的思考一般の理論化の可能性も含んでいると言えよう。

しかしながら、制約論的アプローチにはいくつかの問題が残されている。第1に、何を制約と見なすかという点である。制約が課題に固有であるとすると、単に問題の難しい部分を制約ということだけで言い替えただけに過ぎないことになり、洞察の科学的研究にとって実質的な意味はほとんどない。たとえば、上述の Knoblich et al. (1999) における数字制約、演算子制約、等号制約などは、彼らの扱ったマッチ棒課題に固有であり、数字を用いた等式の形になっていない大多数の洞察問題の説明に用いることはできない。つまり、制約の置き方に対する制約が必要となるのである。第2に、制約は緩和とペアにならなければ洞察を説明することはできないが、従来のモデルではこのメカニズムがほとんど全く提案されていない。Knoblich らの制約緩和は、上述の制約の中で緩和されやすいものと、そうでないものを区別したに過ぎず、緩和のメカニズムそのものについては何も述べていない。

3.6 従来のアプローチからの示唆

以上、Weisberg and Alba (1982) の標準問題解決アプローチ、記憶検索アプローチ、問題空間アプローチ、機会論的アプローチ、制約論的アプローチの5つを概観した。いずれのアプローチも現時点では完全とはいえないが、これらを支える実証的な研究の成果がもたらしたものは多い。ここからの重要な示唆は、以下の3点にまとめられる。

第1に、神秘的と思われていた洞察プロセスは心理学の通常概念装置（問題空間、探索、検索、制約）を用いることにより、科学的な探求が十分に可能であるということが挙げられる。固着や再構造化は洞察に固有な神秘的な心理現象ではなく、通常認知プロセスを支えるさまざまなコンポーネントの組み合わせにより理解可能なのである。この意味で、固着が生成され、解消されるメカニズムをより一般的な機構から解明する必要がある。このことは、洞察に固有なメカニズムの導入や、あまりに問題に固有な理論の定式化の排

除を意味する。

第2に、有効な情報の利用の時間依存性が挙げられる。Kaplan and Simon (1990) や MacGregor et al. (2001) で示されているように、問題解決者は洞察のかなり前から解決にとって重要な情報を生み出したり、かなりの程度解に近づく試行を行なっている。しかしながら、こうした情報は有効に利用されることなく、問題解決者は初期の爽りのない固着の状態に戻ってしまうことが観察される。しかし洞察を得る時点が近づく、初期には無視されていた情報がなぜか利用される。このことは、これらの情報の利用はその時々の内面的な状態に依存して利用されたり、されなかったりすることを示している。

第3に、失敗、あるいは経験からのフィードバックの重要性が挙げられる。確かに、行動的な指標のみを用いれば、洞察は何も思い浮かばない0の状態から、突然ひらめきの状態が訪れるというように思われる。しかし、今まで述べてきた洞察プロセスの詳細な科学的研究から明らかのように、さまざまな試行からのフィードバックにより内部的には確実に変化が生じている。また、こうした経験からのフィードバックを洞察理論に取り込むことは、外界との相互作用を取り扱うことにもつながると考えられる。問題解決者は沈黙思考して洞察に至るのではなく、環境から、他者から、そして自らの試行の結果から、さまざまな情報を受けとり、それを内面的な情報（たとえば過去の類似経験やヒューリスティクス）と組み合わせることにより、洞察問題解決を行なっている。

これらの知見は、洞察の理論の構築のための条件を提供している。以下に、これらを要件として簡単にまとめておく。

要件1 一般性：洞察だけに特殊な、また特定の問題に固有なメカニズムを想定しない。

要件2 時間依存性：有効な情報の利用の時間依存性を説明する。

要件3 経験からのフィードバック：失敗を含むさまざまな経験からのフィードバックによる内的状態の変化を説明する。

4. 制約の動的緩和理論

本章では、従来の制約論的アプローチの問題点を克服し、3. 6節で述べた3つの要件を満たすために構築された、制約の動的緩和理論についての解説を行なう。4. 1節では、この理論の基本的な構成要素である対象レベル、関係、ゴールの制約、及び制約の緩和の概念について論じる。4. 2節では制約選択と緩和のアルゴリズムを示し、4. 3節ではこの理論の検証のために行なわれた一連の実験の結果を報告する。

4. 1 理論の概要

被験者は与えられた問題が洞察問題とわかっているわけではないので、初期の洞察問題の表象は、通常のものとは何ら変わることがないはずである。一般に問題表象は、対象 (object)、関係 (relation)、ゴール (goal) からなるシステムをなしていることは多くの問題解決研究の前提となっている (Gentner, 1983; Riley, Greeno, & Heller, 1983)。したがって、制約はこれらに対応したものが考えられる。各々を対象レベル制約、関係制約、ゴール制約と呼ぶ。

対象レベル制約：この制約は問題で与えられる対象のカテゴリー化のレベルを表現している。問題中の対象はさまざまなレベルでカテゴリー化可能である。たとえば、「イヌ」は「ペット」、「ホニウ類」、「脊椎動物」、「動物」、「チワワ」などさまざまなレベルのカテゴリーの事例と見なせる。しかし、人は、対象を表象する際、それが属するカテゴリー階層の中の基礎レベルでカテゴリー化することが知られている (Rosch, 1978)。また、図形に関していえば、基本的な置き方があることが知られており、三角形であれば、そのいずれかの辺を基準線 (あるいは地面) と平行になるように置く。こうした人間の自然な傾向性を対象レベルの制約と呼ぶ。この制約により、人は逐一すべてのカテゴリー化の可能性を考慮する必要がなくなり、認知的負荷が軽減される。ただし、制約は単一ではない。対象レベルの制約においても、複数の制約が存在し、それがその強度に応じ、確率的に選択される。

洞察研究においては、Finke (1995) 及び Isaak and Just (1995) らが、この制約がインパスの主要な原因となることを指摘している。彼らによれば、洞察問題は問題中の情報を不適切な形でカテゴリー化してしまうように作られており、これがひらめきを阻害しているということになる。たとえば、ろうそく問題 (Duncker, 1945) では、重要な意味を持つ画鋸のはいった箱は「物体」、「人工物」、「画鋸の箱」、「白い箱」などさまざまな形でカテゴリー化可能であるが、通常は単に「箱」とカテゴリー化され、これが洞察を阻むことになる。

関係の制約：この制約は問題で与えられる対象間のデフォルトの関係を表現している。ものにはその性質に応じてさまざまな機能があるが、基本的とみなされるような少数の機能が存在し、主にそれらの機能を通して他の対象と関係し合う。たとえば、鉛筆を考えると、「書く」、「載せる」、「投げる」、「刺す」など、その特性に応じていくつもの機能を持つ。しかし鉛筆は、それが相互作用する別の対象との関係に応じて、優先的に選択される機能があり、たとえば紙のような対象に対しては「書く」という機能が選択される。図形パズルに関していえば、きれいな形を形成するように、複数の図形を接続することに対応する。対象レベル制約同様、関係制約も単一ではなく、複数存在し、これが各々の強度に応じて確率的に選択される。

通常、関係制約は、潜在的には多様な関係を持ち得る対象に対して、特定の関係に焦点化させ、認知的負荷を低減する働きを持つ。しかし、洞察問題においてはこれがゴールの達成を阻むことになる。たとえば、ろうそく問題では画鋸のはいった箱は他の対象とさまざまな関係を持ち得るが、箱の基本機能は「何かを中に入れる」ということであるため、解決にとって重要な「何かを載せる」という関係は考慮されなくなってしまふ。

ゴール制約：問題のゴールに対するイメージであるとともに、現在の状態とそのイメージの間の適合の度合を評価する関数も含んでいる。この制約は、対象の制約と関係の制約を調整する役割を持つと考えられる。対象レベル制約、関係制約は

ある程度まで課題と独立な人間の傾向性を表しているのに対して、ゴール制約は定義上問題、あるいは問題のタイプに固有である。なおこの制約はすべての洞察問題に明示的な形で存在するわけではない。たとえば、9点問題では人は明示的なゴールのイメージを持っているわけではない。このような場合でも、ゴール制約が存在しないというわけではなく、一筆書きをするという問題の条件に対応したゴール制約が存在し、これを逸脱するような行為に対しては抑制がかけられる。

制約の緩和：初期には対象、関係の制約が作用し、問題解決にとって不適切なオペレータが用いられることになる。しかし、試行を重ねるにつれて、ゴールの制約からフィードバックがかかり、徐々に初期の制約の強度が変化し、制約が緩和されていく。その結果、初期制約を逸脱したカテゴリー化や関係づけの相対的頻度が高まり、ある時点で特定の形の逸脱が対象、関係について生じたときに、確率的に洞察に至ることになる。

これは ACME (Holyoak & Thagard, 1989) や ARCS (Thagard, Holyoak, Nelson, & Gochfeld, 1990) で行なわれていたような、相互結合型のネットワークによる緩和とは異なる。彼らの制約緩和は内的制約間の協調と競合に基づいており、一度ネットワークが作られ、サイクルが始まると、このネットワーク内の活性伝播のみにより緩和が達成される。しかし、我々のモデルにおいては、ゴールの制約を媒介とした外界との相互作用によって緩和が生み出されることが特徴である。初期の内的制約は一致して不適切なオペレータの選択を促してしまう。しかし、失敗や部分的成功を含む経験という外部からのフィードバックによって、内部的な制約の強度が動的に変化する。その結果、初期には支配的であった制約の強度が減少する一方、初期にはあまり用いられなかった制約の強度が上昇する。この点において、我々のモデルにおける緩和は内部的な制約の調和に基づくものではなく、外界との相互作用に基づく動的緩和であると言える。

4.2 アルゴリズム

前述したように、対象レベル、関係、ゴール各々について制約は複数存在し、これらは固着の

程度を表す強度 h^t を持っている（なお t は問題解決中の時刻を表す）。時刻 t における、ある特定の制約 (c_i) の選択は、式 (1) のアルゴリズムにしたがう。なお、制約選択は、対象レベル、関係、ゴール各々について独立に行なわれるが、アルゴリズムは同じなのでここではまとめて説明する。

$$P(c_i) = \frac{e^{\beta * h_i^t}}{\sum_j^N e^{\beta * h_j^t}} \quad (1)$$

ここで用いた $e^{\beta * H_i} / \sum_j^N e^{\beta * H_j}$ は softmax (Bridle, 1989) と呼ばれるものであり、winner-take-all を確定的でなくソフトにしたものである。ここで β は正の定数で、 $\beta \rightarrow 0$ のときは全ての値が $1/N$ に近づき、すべての制約が等確率で選択される。一方、 $\beta \rightarrow \infty$ のときは一般の winner-take-all と同様にもっとも大きな h に対してその値は 1 に漸近する (図 3 参照)。このアルゴリズムを用いることにより、問題解決初期においてもある確率でデフォルトの制約を逸脱した試行が行なわれることになる。また、ここで $\sum_i^N \frac{e^{\beta * H_i}}{\sum_j^N e^{\beta * H_j}} = 1$ であること、つまり各制約の選択確率の和は常に 1 となることに注意されたい。

問題解決過程のある時刻 t において選択されたある特定の制約 (c_i) の強度が h_i^t であったとする。ここでこれにしたがったオペレータが適用されたあとの強度 h_i^{t+1} は以下のように更新される。

$$h_i^{t+1} \leftarrow h_i^t + \Delta h^t \quad (2)$$

$$\Delta h^t = \gamma \frac{e^{\beta * H_i}}{\sum_j^N e^{\beta * H_j}} \text{Error} \quad (3)$$

式 (3) は学習率 γ 、選択確率 $\left(\frac{e^{\beta * H_i}}{\sum_j^N e^{\beta * H_j}}\right)$ 、及び現状とゴールの差を検知する評価関数 *Error* からなっている (図 4 参照)。学習率 γ は経験による変更の割合に対応するパラメータ ($0 < \gamma < 1$) である。たとえば、この値が大きい被験者は一度の失敗により制約強度を大きく変化させることになり、結果として異なるタイプの試行を行なうことにつながる。一方、この値の小さな被験者はいざ保守的な人に対応し、失敗が検知されてもな

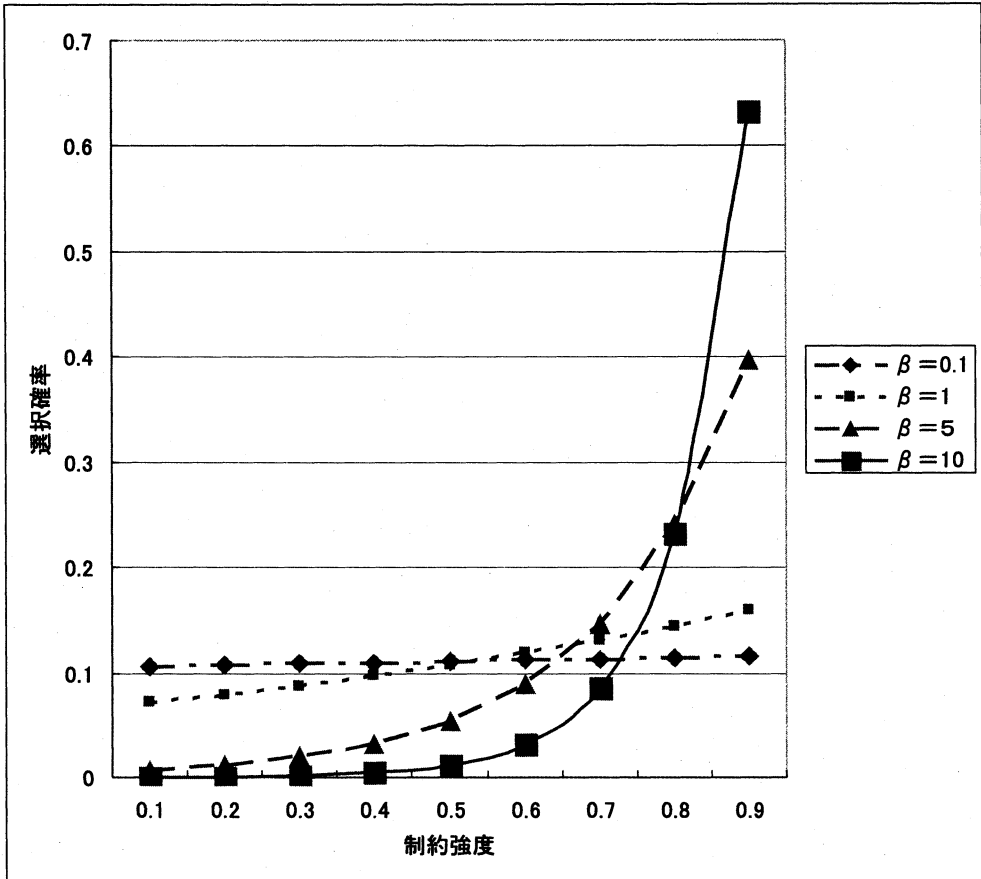


図3 softmax アルゴリズム。 β の値により、制約選択が異なる。横軸は制約の強度であり、縦軸は制約の選択確率を示す。たとえば、右上の黒い四角で表された点は、その強度が0.9の制約が $\beta=10$ のときに選択される確率を示す。

なかなかその試行パターンを変えないことになる。選択確率は式(1)で示したものである。この値が意味するのは、選択確率が高いものほど制約強度の更新値が大きくなるということである。*Error*は与えられた問題に依存して定義される評価関数となる。この関数は、失敗時においては負の値を返し、失敗の程度が大きいと判断されればその絶対値が大きくなり、制約強度は大きく更新されることになる。またこの関数は人によって、あるいは制約の緩和状態に応じて変化する可能性も存在する。評価が適切な被験者は、早期に洞察に至り、そうでない場合にはなかなか洞察には至らないということになる。

なお、ここでは時刻*t*で選択されていない制約の強度は*t*において更新されない。しかし、前述

したように $\sum_j^N \frac{e^{\beta * H_j}}{\sum_j^N e^{\beta * H_j}} = 1$ である。したがって、ある制約の強度が変化することにより、その制約が属する集合内の他の制約の選択確率は式(1)によって非線形に変化する。仮に制約強度が0.2, 0.3, 0.4, 0.8のものが1つずつあったとする。そして強度0.8の制約が5回連続して用いられ、その失敗の結果毎回0.1ずつ強度が減少し、最終的に0.4になったとする。このとき、実際には用いられていない、強度0.2, 0.3, 0.4の制約の選択確率は図5のようになる(ここでの β は仮に5としてある)。

このように、問題解決が進むにしたがって徐々に各々の制約の強度が変化していく。この結果、問題解決過程において選択される制約が変化し、たとえ類似した状態であったとしても、問題解決

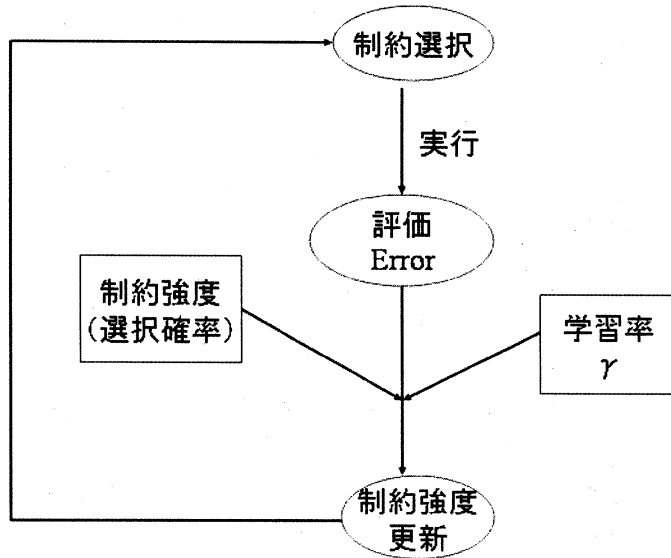


図4 制約更新の図式

の時間に応じて異なるカテゴリー化や関係づけが選択される。

4.3 理論の検証

このような理論が、洞察に特徴的な現象、及び3.6節で確認されてきた洞察理論のための要件を満たすかが問題となる。そこで、以下ではTパズルという図形パズルを用いた鈴木らの一連の研究を概観する。このパズルは図6に示したものである。この図の右側の4つのピースを用いて、左側のようにTを作ることがこのパズルのゴールである。

このパズルは一見すると単純そうに見えるが、実際にはきわめて難しい。これまでに行なったヒントを含まない実験群の被験者で5分以内に解決可能だったのは多くても10%以内であり、ふつうは15分から30分程度の解決時間を必要とする。この課題は従来の洞察研究で用いられることはなかったが、洞察問題に固有な多くの特徴を持っている。第1に、固着が存在する。被験者の大半は5角形の長辺を机の端などの基準線に平行、あるいは垂直に配置し、凹の部分を他のピースで埋めることに大半の時間を費やす。図6から明らかのように、5角形をこのように用いては解決不可能であるが、被験者は何度もこのような試行を行ない、固着の状態に陥る。第2に、洞察前後に行動

上の非連続性が見られる。洞察前には前述したような試行が行なわれるが、洞察時にはこれとは全く異なる試行、すなわち斜め置きされた5角形を中心にして左右、及び下方にこれを延長する形で試行が行なわれる。第3に、2章で述べた有効な情報の無視の問題がある。その頻度は少ないが、洞察前であっても、5角形を正しい向きに置いたり、凹部分を埋めずに他のピースを接続するなどの試行が観察される。しかし、これらを破棄して、元の不毛なアプローチに戻ることがよく観察される。

制約：このパズルにおける各制約は以下のようになる。問題中の単一の要素についての制約である対象レベルの制約は、1つのピースの置き方に関わるものである。図形の置き方は回転や反転により無限のパターンが存在する。しかし、人には図形を安定した形で置こうとする強い制約が存在する。すなわち、できるだけ多くの辺が基準線と垂直、平行になるように置こうとする。これがこのパズルにおける対象レベルの制約となる。三角形、2つの台形に対してこの制約が作用することは課題の達成を促進するが、5角形にこれが適用された場合にはインパスをもたらすことになる。ただし、4.1節で述べたように、より詳細に見れば制約は単一ではない。基準線と平行、あるいは

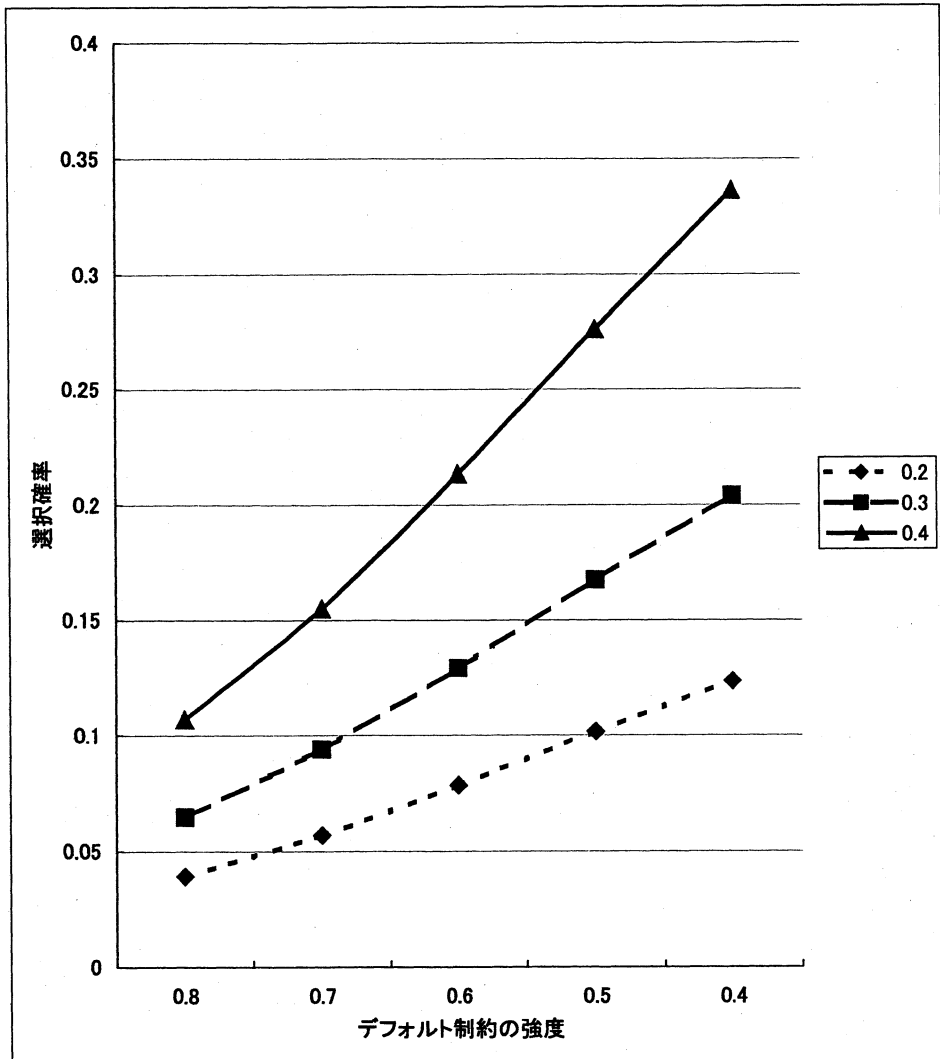


図5 制約の選択確率の変化。X軸はもっとも支配的であるデフォルト制約の強度変化を示し、Y軸は選択確率を示す。この制約が用いられ、その失敗がフィードバックされると、用いられなかった制約の選択確率が（グラフ上の各線）上昇する。

垂直に置く置き方は多数存在するし、5角形の正しい置き方においても3つの辺が基準線と平行になる。こうしたさまざまな制約は、各々の強度 h に応じて、式(1)にしたがって確率的に選択されると考えられる。実際の解決過程において、この制約を遵守した試行が全体の60~90%程度を占めることが明らかにされている(鈴木・開, 1997)。またこの制約を働かせないようなヒントを与えると解決が促進されることから(宮崎・鈴木・開, 1999)、この制約がインパスの生成に強く関与していることがわかる。

複数の対象間の関係に関わる関係の制約は、こ

のパズルの場合、2つのピースの接続の仕方に対応する。対象と同様、接続にも無限のパターンが存在する。しかし、人は接続の結果構成される形ができるだけ角の少ないものにする傾向が存在する。簡単に言えば、出っばりの少ない、きれいな形を作ろうとする傾向である。この制約を遵守したピースの配置は全試行の60~80%程度となること(鈴木・開, 1997)、またこの制約を働かせないようにするヒント(五角形の凹を他のピースで埋めないように、というヒント)を与えると、パフォーマンスが劇的に改善される(宮崎ら, 1999)。このことから対象レベル制約同様、

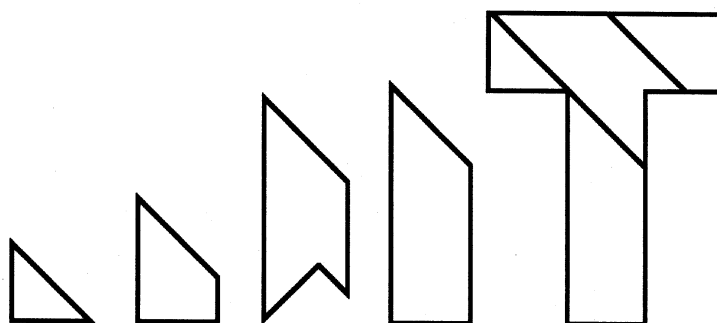


図6 Tパズル。左側の4つのピースを用いてTの形を作る。正解は右のように配置する。

この関係制約もインパスの主要な原因となっていることがわかっている。

このパズルにおけるゴール制約は、Tのイメージ及びこれと現状との間の差を評価する関数となる。ゴール制約はTのイメージと現状との間のマッチをとることにより、対象レベル、関係の両制約の強度を調整する働きを持つ。このことから、ゴール制約を働きやすくすることにより問題解決が促進されることが予測される。実際、完成時のTと同寸のTをプリントした紙を与え、これを覆い尽くすようにという教示の下では、はっきりとしたパフォーマンスの改善が見られた(Suzuki, Miyazaki, & Hiraki, 1999)。

これらの制約は問題表象の一般的な構成要素である対象、関係、ゴールに基づいたものであり、同種の制約はARCSやACMEなどの類推の多重制約理論(Holyoak & Thagard, 1995)においても用いられている。この意味で、これらの制約の存在はなんら特殊なものではない。したがって潜在的には多様な種類の洞察問題に拡張することが可能である。前述したように、ろうそく問題における対象レベル制約は画鋏の箱を「箱」とカテゴリー化することに対応するし、関係の制約は箱が「何かを中に含む」という形で他の対象と関係するという傾向性を表す。ろうそく問題におけるゴールの制約は明確なイメージを形成していない。しかし、「不安定であってはならない」、「壁を焦がしてはならない」などの条件は、ゴールが満たすべき条件を表しているとともに、これに違反する試行を抑制するという意味でゴール制約と考えることができる。また9点問題への拡張は、駒崎(2000)が行なっている。彼らによれば、開

始点と終点は与えられた9つの点のいずれかであること、そしてできるだけ多くの点を結ぶことが対象の制約、つまり線という対象の持つべき制約となる。特に後者はMacGregor et al. (2001)と同様のものである。また関係の制約は、線と線の接続に関わっている。図1で2→5→8を結ぶ線は選択されにくいことが示されている。理由は、このように線を引きると、その前後に引かれる線が対象制約を逸脱するからであるという。

また、注意すべきことは、対象レベルの制約、関係制約ともに、その逸脱は初期から見られるという点である。60～90%に及ぶこれらの制約の遵守率は裏を返せば、10～40%の試行が制約を逸脱したものであることを意味する。こうした変動は、式(1)に示される制約選択の確率的性格に由来すると考えられる。また、制約逸脱がおきてもすぐに洞察に至らないのは、緩和すべき制約の種類が1つではなく、対象レベル、関係の2つであることに関係していると考えられる。仮に関係制約の逸脱が適切な形で起きたとしても、対象レベル制約においても同時に適切な逸脱が生じなければ洞察には至らない。初期には、インパスを生み出すデフォルトの制約の強度が十分に高いため、両方の制約を同時に適切な形で逸脱する確率はかなり低くなる。こうしたことが、有効な情報の利用の時間依存性に関係していると考えられる。

失敗と制約緩和：初期には対象レベル制約、関係制約が一致してインパスを生成するが、支配的なこれらの制約は、失敗を含む経験によりその強度を減少させる。問題解決の過程において、徐々に制約を逸脱した試行が増加することが制約の動

的緩和理論から予測できる。実際、被験者の問題解決過程を試行回数に基づき4分割し、各々における制約逸脱を比較すると、第3、4段階あたりから急激に逸脱頻度が増加することが確かめられた (Suzuki, Abe, Hiraki, & Miyazaki, 2001)。また理論の想定通り、制約の緩和はゴールの制約と密接に関連しており、上述した型紙を用いて問題解決を行なったときのみ、逸脱頻度の有意な上昇が見られた。

有効な手がかり情報の無視と利用についても、制約の動的緩和理論からは合理的な説明が可能である。前述したように、問題解決者は洞察の直前にのみ制約を逸脱するわけではない。その頻度は少ないものの、問題解決初期からゴール達成に重要な情報を生み出す試行を行なう。しかしながら、制約が緩和されていない状態では、これらの情報を有効に利用することができない。一方、試行を重ね、制約が緩和された状態になると、偶然行なわれた適切な試行のもたらす情報をうまく利用できる確率が高くなる。これを確認するため、Tパズルの5角形のピースとその他のピースのうちの1つを組み合わせた評定刺激を用意した。これらは、対象レベル制約、関係制約をシステマティックに逸脱することにより作成した。この刺激をそれぞれ1分だけTパズルを行なったグループと5分行ったグループに提示し、ゴール達成の観点から評価させた (いずれの被験者も解決には至っていない)。理論からすれば5分間問題解決を行なった被験者はより多くの失敗を経験し、制約がより緩和されているので、試行の評価が適切であることが予測できる。実験の結果はこの予測を支持するものであった。5分グループは両方の制約を逸脱した刺激を高く評価したが、同じ刺激に対して1分グループは解決には至らない他のタイプの刺激と同等の評価を行なった。また、前述の制約逸脱と同様、この差は型紙を用いて問題解決を行なったときのみ現れた (Suzuki et al., 2001)。

この節の最後に、2章で述べた洞察の4つの特徴について、我々の理論からの説明を行なう。第1の特徴である「簡単なのにすぐに解決することができない」という現象は、主に制約の初期値に関係すると考えられる。問題解決初期においては、

有効な制約の初期値が弱く、かつ不適切な制約の初期値がかなり高い。したがって、解自体は単純であっても、解決を促すオペレータの選択はきわめて稀にしか起こらない。また逸脱すべき制約が複数あるため、たまたま片方の制約を逸脱しても、もう片方の制約が逸脱しない限り、洞察を得ることはできない。このようなことから、解自体は単純であるにもかかわらず、すぐに解決することが困難になっていると考えられる。

第2の特徴である「類似した失敗の繰り返し」については、制約初期値、制約選択の確率的性格、評価の問題が関わっていると考えられる。前述したように、そもそも失敗を導く制約の強度はかなり高い。このため何回かの失敗により、制約強度がある程度減少したとしても、その制約は依然高い強度を持つと考えられる。また、式(1)で示したように、制約の選択は確率的に行なわれるため、初期の不適切な制約の強度がかなり低くてもなおその制約が用いられる可能性がある。さらに、式(3)で示したように、制約強度の更新にはその試行の評価が関与する。前節の最後で示したように、制約の緩和が不十分な場合には、試行の評価は適切に行なえない。これらの要因があいまって、類似の失敗の繰り返を生み出すと考えられる。

第3の特徴である「有効な情報の無視」は、主に制約緩和と評価の相互作用に基づくと考えられる。制約の緩和の程度と試行の評価は密接な関係にある。前述したように1分程度しか問題解決を行っていない、つまり緩和が十分に進んでいない場合には、適切な配置をたまたま行なっても、それが適切であるという評価ができない。これが有効な情報の無視の原因であると考えられる。

第4の特徴である「突然のひらめき」は、制約選択(逸脱)の確率的性格に起因している可能性がある。制約の動的緩和理論の立場からすれば、対象、関係の両レベルでの逸脱が偶然に適切な形で起きたときに、ひらめきが得られる。制約選択の確率的な過程を問題解決者がコントロールしているわけではないので、この瞬間はまさに「突然」訪れたかのように感じられるのではないだろうか。しかし、よく考えてみれば、「突然のひらめき」はある意味で主観的な幻想の可能性もある。確かに意識レベルでは「突然に解がひらめく」の

かもしれないが、意識化では制約の緩和が着実に生じている。実際、前述したように、問題解決の後半になると制約逸脱の割合が飛躍的に上昇する。しかしこの変化を多くの被験者は意識していない。このような意識的処理、無意識レベルの処理の乖離は、多くの心理学的研究が明らかにしてきたことであり (Nisbett & Wilson, 1977; 下條, 1996), また神経科学においてもよく報告されていることである (Ramachandran & Blakeslee, 1998)。洞察もまたこうした心理現象の1つである可能性も高いと考えられる。

4.4 まとめ

本章では、制約の動的緩和理論の概要と、この理論の仮定する3種類の制約、緩和についての検証結果について述べてきた。制約の動的緩和理論にしたがえば、洞察のプロセスとメカニズムは次のようになる。初期には、対象レベル、関係の制約が協調して、不適切なオペレータの利用を促し、初期のインパスを生み出す。しかし試行を重ねるにしたがい、ゴールの制約がこれらの制約の強度を弱める。これによって初期に支配的であった対象レベル制約、関係制約を逸脱した試行の頻度が相対的に増加する。そしてある時点において、両方の制約を適切な形で逸脱した試行がなされることにより洞察が生み出される。

本章を終えるに当たって、この理論と3.6節で述べた3つの要件との関係をまとめる。この理論は、洞察に固有なメカニズムを導入しないという第1の要件を満たしている。3つの制約は問題対象の基本要素に対応したものであり、洞察問題に固有なものではない。緩和のメカニズムも強化学習をベースにしたものであり、失敗や成功を含む経験により行動を修正するという生物の基本的な学習機構を用いている。また、これらの制約と基本的に同等なものは、類推の研究 (Holyoak & Thagard, 1995) においても用いられていることを付け加える。

第2の、有効な情報利用の時間依存性は、複数の制約を想定することにより説明可能である。洞察のためには対象レベル、関係の2つの制約の逸脱が適切な形で起こる必要があり、単一の制約の逸脱が生じても洞察には至らない。制約逸脱は問題解決初期から見られるが、対象レベル、関係の

両方の制約が適切な形で逸脱する確率は初期にはきわめて低い。こうしたことが有効な情報の無視に関係している。一方、制約が緩和された状態であれば、両方の制約の逸脱が共起する可能性は高くなり、これが有効な情報の利用、すなわち洞察につながることになる。

制約の動的緩和理論は、制約緩和を洞察の基本メカニズムとして組み込むことにより、第3の要件である経験からのフィードバックの意味を明らかにしたと言える。この理論では、単に失敗が意味を持つというだけではなく、それがゴール制約と評価関数との関係で、より明確な形で意味づけがなされている。またこの理論は自らの試行とその評価を含むという形で外部との相互作用を扱っている。なお制約は必ずしも内部的にのみ表象されている必要はないということは、特に支援を考えた場合には重要な事柄である。Zhang and Norman (1994) や、三宅・波多野 (1991) が指摘するように、ある種の制約は外化が可能であり、これによって問題解決が大きく変化する。たとえば、本節で紹介した実験で用いられた型紙は、ゴール制約を外化したものと考えられる。これによって、問題解決者は自らの試行について、より適切な評価が可能になると考えられる。そして適切な評価によって制約緩和が起りやすくなり、解決時間の減少につながると考えられる。

5. 今後の課題

以下では洞察研究、特に制約の動的緩和理論にとっての今後の課題と方向について述べる。

他の創造的認知との関係：制約の動的緩和理論の直接的な証拠は、主に図形パズルを用いた実験から得られたものである。したがってこの理論を他の課題や、洞察が関与すると考えられる心理機能へと拡張する必要があることは論を待たない。ただし、この理論は洞察に固有なメカニズムを組み込んでおらず、また課題に固有な要請が最小限であるので、潜在的にはさまざまな分野に拡張可能である。実際、この理論をベースにしたモデルは、9点問題における固着と洞察を説明するために用いられている (駒崎, 2000)。また地村・松岡・駒崎・中川・楠見 (1999) は固着と洞察が見

られる漢字の記憶検索過程を、対象、関係、ゴールの制約と、それらの緩和により説明している。ただし、駒崎や地村らの研究は、制約の緩和に加えて、さらにカオス的遷移を行なうための評価関数を組み込む必要性を指摘している。

洞察は科学的発見とも密接な関係がある (Gruber, 1995)。近年の研究は、逸話的な報告を越えて、より厳密な方法により、科学者の実際の発見の過程についての研究が進められている (Dunbar, 1995; 植田, 2000)。また科学的発見における帰納推論のメカニズムについてもカーネギーメロン大学の Simon や Klahr らを中心に、科学的発見についての研究を通じた創造的認知研究も盛んに行なわれるようになった (Klahr, 2000)。これらの研究が扱う対象は、本論文で取り上げた洞察問題に比べて格段に複雑である。たとえば、科学的発見においては当該問題の経験や知識だけではなく、他問題の知識を用いた類推が行なわれたり、研究者間の社会的相互作用が重要な意味を持ったりしている。このため、現時点で洞察研究と直接的な対応をとることはできない。しかし、実際の科学者の発見ではないが、発見的な課題に制約とその緩和の概念を拡張することは可能かもしれない。実際、三輪・松下 (2000) では発見的課題における制約の緩和が検討されている。この研究では、関係制約の緩和に与える失敗の程度がコントロールされており、失敗経験の度合と緩和との間についての考察が行なわれている。こうした課題における制約とその緩和を明らかにすることにより、創造的思考全体のモデル化へさらなる一步を踏み出すことが可能になると思われる。

洞察と意識：次の問題は洞察と意識の問題である。洞察は「気づき (realization)」すなわち今までに気づけなかったことを意識化するという意味で用いられる場合がある (Schooler, Fallshore, & Fiore, 1995)。実際、洞察についての逸話的な報告では、洞察直後に洞察が意識的の把握可能であるかのような記述がなされることがある。一方制約の動的緩和理論は、言語的な把握の可能性については言及しておらず、明確な形ではないが、初期制約の適用についても、また緩和についても無意識的な過程であると仮定している。これは、特

に既存の知識を持たない状況での自然な洞察過程を研究対象としたためであり、意識的、言語的な制御が洞察過程において働くことを否定するためのものではない。ただし Schooler, Ohlsson, and Brooks (1993) は問題解決過程において言語報告を行なうことにより、洞察が妨げられることを指摘している。また Siegler (2000), Siegler and Stern (1998) は、子どもの計算問題のストラテジーの分析から、洞察 (新しいストラテジーの発見) はまず潜在的なレベルで、言語化不可能な形でなされ、その後に言語報告が可能になるというデータを提出している。今後、初期制約を言語化、意識化することがパフォーマンスに与える影響を分析、検討する必要があるだろう。

洞察の個人差：洞察を含む創造的思考の個人差については相関的研究の流れで古くから研究者の関心を集めてきた [近年のレビューとしては、Plucker and Renzulli (1999)]。洞察に直接関わる研究としては Schooler and Melcher (1995) を挙げることができる。彼らは洞察問題と相関が高く、洞察を必要としない問題とは相関の低いテスト課題を探索した。その結果、out-of-focus 課題 (Bruner & Potter, 1964) と embedded figure 課題を挙げ、洞察プロセスには知覚的な再体制化と脱文脈が関与するという主張を行なっている。他にも Davidson は流動性知能と洞察問題解決能力との間に相関を見出している (Davidson, 1995)。これらの研究の探索的価値は否定されるべきではないが、多くの場合単に共通の認知的要素が含まれる問題群が見つかるに過ぎず、認知プロセスの解明に果たす役割は限定されている。制約論的アプローチからすれば、個人差は4.2節で示した制約の初期値、試行の評価、及び制約更新率のいずれかに関与している可能性がある。実際4.3節で述べた課題を使う限り、個人差は制約初期値と試行の評価に関わっていることが示されている (鈴木・宮崎・開, 2003)。今後、さまざまな課題を用いて、この見解の一般性を明らかにする必要がある。

洞察の神経的基盤：最後に、非侵襲的なイメージング技術により近年飛躍的な発展を遂げている認知神経科学との関連について考察する。問題解

決、特に洞察のような複雑な心理過程を現時点で直接的に脳と対応づけることはほぼ不可能である。しかし、いかに複雑な過程といえども、結局は脳の活動に起因するわけであり、脳の構造や機能を全く無視したモデル化は妥当性を欠く。洞察は、通常は協調して適切な認知や行動をなかば自動的に生み出す複数の系がインパスを生成し、それがゴールを表現する系から抑制される過程として捉えることが可能である。このように考えれば、坂上らがサルを被験体とした Stroop 課題同様の課題で明らかにした前頭連合野腹外側部による、運動前野の自動的な行為遂行の抑制というモデルが利用できる可能性がある(坂上, 2001; Sakagami et al., 2001)。T パズルに関して言えば、半ばルーチン化された、自動的な認知や行為を生成する頭頂野からの信号が初期の制約として働き、それが腹側経路からの入力を受ける前頭連合野、特に腹外側部の抑制により緩和がなされるというモデル化の可能性もあるかもしれない。

ただし、これは対象レベル、関係、ゴールの制約が脳内の単一の部位に限定されるということをも主張するわけではないことに注意されたい。T パズルにおける対象レベル制約と、9点問題、MC パズルなど他の洞察課題における制約は機能的には同一であるが、同じ部位が関与している可能性は低いと考えられる。重要なことは、脳内の何らかの部位からの信号が不適切な行動を誘発するが、それがゴール制約を表現する他の部位により徐々に抑制され、その働きが緩和されるということである。各々の部位は課題により異なるであろうが、機能的研究から明らかにされた処理を受け持つ部位を特定し、その部位についての認知神経科学的な知見を取り込むことにより、洞察研究は新たな展開を迎えると考えられる。

文 献

- Anderson, J. R. (1987). Skill acquisition: Compilation of weak-method problem solutions. *Psychological Review*, 94, 192-210.
- Anderson, J. R. (1993). *Rules of the mind*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Bridle, J. (1990). Probabilistic interpretation of feedforward classification network outputs with relationships to statistical pattern recognition. In F. Fogelman-Soulie & J. Herault (Eds.), *Neurocomputing: Algorithms, architectures, and applications* (pp. 227-236). Berlin: Springer-Verlag.
- Bruber, J. S., & Potter, M. C. (1964). Interference in visual recognition. *Science*, 144, 424-425.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press. 小島康次・小林好和(訳) (1994) 子どもは小さな科学者か ミネルヴァ書房.
- Davidson, J. E. (1995). The suddenness of insight. In R. J. Sternberg & J. E. Davidson (Eds.), *The nature of insight* (pp. 125-156). Cambridge, MA: MIT Press.
- Dominowski, R. L. (1981). Comment on "An examination of the alleged role of 'fixation' in the solution of several 'insight' problems" by Weisberg and Alba. *Journal of Experimental Psychology: General*, 110, 199-203.
- Dunbar, K. (1995). How scientists really reason: Scientific reasoning in real-world laboratories. In R. J. Sternberg & J. E. Davidson (Eds.), *The nature of insight* (pp. 365-396). Cambridge, MA: MIT Press.
- Duncker, K. (1945). On problem-solving. *Psychological Monographs*, 58 (5, Whole No. 270). Washington, DC: American Psychological Association.
- Ellen, P. (1982). Direction, past experience, and hints in creative problem solving: Reply to Weisberg and Alba. *Journal of Experimental Psychology: General*, 111, 316-325.
- Finke, R. A. (1995). Creative insight and pre-inventive forms. In R. J. Sternberg & J. E. Davidson (Eds.), *The nature of insight* (pp. 255-280). Cambridge, MA: MIT Press.
- Finke, R. A., Ward, T. B., & Smith, S. M. (1992). *Creative cognition: Theory, research, and applications*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1978). *The child understanding of number*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Gentner, D. (1983). Structure-mapping: Theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7, 155-170.
- Gick, M. L., & Holyoak, K. J. (1980). Analogical problem solving. *Cognitive Psychology*, 12, 306-355.
- Gick, M. L., & McGarry, S. J. (1992). Learning from mistakes: Inducing analogous solution failures to a source problem produces later successes in analogical transfer. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory,*

- and Cognition*, 18, 623-639.
- Gruber, H. E. (1995). Insight and affect in the history of science. In R. J. Sternberg & J. E. Davidson (Eds.), *The nature of insight* (pp. 397-432). Cambridge, MA: MIT Press.
- 橋田浩一・松原 仁 (1994) 知能の設計原理に関する試論: 部分性・制約・フレーム問題 認知科学の発展, 7, 159-197.
- 波多野誼余夫・稲垣佳世子 (1997) 領域と制約 児童心理学の進歩, 36, 222-246.
- Holyoak, K. J., & Koh, K. (1987). Surface and structural similarity in analogical transfer. *Memory & Cognition*, 15, 332-340.
- Holyoak, K. J., & Thagard, P. (1989). Analogical mapping by constraint satisfaction. *Cognitive Science*, 13, 295-355.
- Holyoak, K. J., & Thagard, P. (1995). *Mental leaps: Analogy in creative thought*. Cambridge, MA: MIT Press. 鈴木宏昭・河原哲雄(監訳) (1998) アナロジーの力: 認知科学の新しい探求 新曜社.
- 今井むつみ (1997) ことばの学習のパラドックス (認知科学モノグラフシリーズ 5) 共立出版.
- Isaak, M. I., & Just, M. A. (1995). Constraints on thinking in insight and invention. In R. J. Sternberg & J. E. Davidson (Eds.), *The nature of insight* (pp. 281-325). Cambridge, MA: MIT Press.
- 地村弘二・松岡隆史・駒崎久明・中川正宣・楠見 孝 (1999) カオスニューラルネットワークによる漢字記憶検索のプロセスのダイナミカルなモデル化 認知科学, 6, 44-54.
- Kaplan, C. A., & Simon, H. A. (1990). In search for insight. *Cognitive Psychology*, 22, 374-419.
- Klahr, D. (2000). *Exploring science: The cognition and development of discovery processes*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Knoblich, G., Ohlsson, S., Haider, H., & Rhenius, D. (1999). Constraint relaxation and chunk decomposition in insight problem-solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25, 1534-1555.
- 駒崎久明 (2000) 創造的思考の認知過程における制約緩和と表象変換 教育工学関連学協会連合第6回全国大会発表論文集, 279-282.
- MacGregor, J. N., Ormerod, T. C., & Chronicle, E. P. (2001). Information processing and insight: A process model of performance on the nine-dot and related problems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 27, 176-201.
- Markman, E. M. (1989). *Categorization and naming in children*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Marr, D. (1982). *Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information*. San Francisco: Freeman. 乾 敏郎・安藤広志(訳) (1987) ビジョン——視覚の計算理論と脳内表現 産業図書.
- Metcalfe, J. (1986). Premonition of insight predict impeding error. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 12, 623-634.
- 三輪和久・松下正法 (2000) 発見における心的制約の緩和過程 認知科学, 7, 152-164.
- 三宅なほみ・波多野誼余夫 (1991) 日常的認知活動の社会文化的制約 認知科学の発展, 4, 105-132.
- 宮崎美智子・鈴木宏昭・開 一夫 (1999). 洞察問題解決における制約間の協調 日本認知科学会第16回大会論文集, 1144-1146.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Nisbett, R. E., & Wilson, T. D. (1977). Telling more than what we can know: Verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, 84, 231-259.
- Ohlsson, S. (1992). Information processing explanations of insight and related phenomena. In M. T. Keane & K. J. Gilhooly (Eds.), *Advances in the psychology of thinking: Vol. 1* (pp. 1-44). Hertfordshire, UK: Harvester.
- Plucker, J. A., & Renzulli, J. S. (1999). Psychometric approaches to the study of human creativity. In R. J. Sternberg (Ed.), *Handbook of creativity*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Ramachandran, V. S., & Blakeslee, S. (1998). *Phantoms in the brain: Probing the mysteries of the human mind*. New York: William Morrow. 山下篤子(訳) (1999) 脳の中の幽霊 角川書店.
- Reed, S. K., Dempster, A., & Ettinger, M. (1985). Usefulness of analogous solutions for solving algebra word problems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 11, 106-125.
- Riley, M. S., Greeno, J. G., & Heller, J. I. (1983). Development of children's problem solving ability in arithmetic. In H. P. Ginsburg (Ed.), *The development of mathematical thinking* (pp. 153-196). New York: Academic Press.
- Rosch, E. (1978). Principles of categorization. In E. Rosch & B. Lloyd (Eds.), *Cognition and categorization* (pp. 27-48). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- 坂上雅道 (2001) 前頭連合野と行動決定 日本認知科学会「学習と対話」研究分科会 研究報告 2001-1,

- 1-5.
- Sakagami, M., Tsutsui, K., Lauwereyns, J., Koizumi, M., Kobayashi, S., & Hikosaka, O. (2001). A code for behavioral inhibition on the basis of color, but not motion in ventrolateral prefrontal cortex of macaque monkey. *The Journal of Neuroscience*, *21*, 4801-4808.
- Schooler, J. W., Fallshore, M., & Fiore, S. M. (1995). Epilogue: Putting insight into perspective. In R. J. Sternberg & J. E. Davidson (Eds.), *The nature of insight* (pp. 559-587). Cambridge, MA: MIT Press.
- Schooler, J. W., & Melcher, J. (1995). The inefability of insight. In S. M. Smith, T. B. Ward, & R. A. Finke (Eds.), *The creative cognition approach* (pp. 97-134). Cambridge, MA: MIT Press.
- Schooler, J. W., Ohlsson, S., & Brooks, K. (1993). Thoughts beyond words: When language overshadows insight. *Journal of Experimental Psychology: General*, *122*, 166-183.
- Seifert, C. M., Meyer, D. E., Davidson, N., Patalano, A. L., & Yaniv, I. (1995). Demystification of cognitive insight: Opportunistic assimilation and the prepared-mind perspective. In R. J. Sternberg & J. E. Davidson (Eds.), *The nature of insight* (pp. 65-124). Cambridge, MA: MIT Press.
- Seifert, C. M., & Patalano, A. L. (2001). Opportunism in memory: Preparing for chance encounters. *Current Directions in Psychological Science*, *10*, 198-201.
- 下條信輔 (1996) サプリミナルマインド：潜在的人間観の行方 中央公論社。
- Siegler, R. S. (2000). Unconscious insights. *Current Directions in Psychological Science*, *9*, 79-83.
- Siegler, R. S., & Crowley, K. (1994). Constraints on learning in nonprivileged domains. *Cognitive Psychology*, *27*, 194-226.
- Siegler, R. S., & Stern, E. (1998). A microgenetic analysis of conscious and unconscious strategy discoveries. *Journal of Experimental Psychology: General*, *127*, 377-397.
- Smith, S. M., Ward, T. B., & Finke, R. A. (Eds.). (1995). *The creative cognition approach*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Spelke, E. S. (1991). Physical knowledge in infancy. In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *Epigenesis of mind: Essays on biology and knowledge* (pp. 133-170). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Sternberg, R. J., & Davidson, J. E. (Eds.). (1995). *The nature of insight*. Cambridge, MA: MIT Press.
- 鈴木宏昭 (1996) 類似と思考 (認知科学モノグラフィーズ 1) 共立出版。
- Suzuki, H., Abe, K., Hiraki, K., & Miyazaki, M. (2001). Cue-readiness in insight problem-solving. *Proceedings of the Twenty-Third Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 1012-1017.
- 鈴木宏昭・開 一夫 (1997) 制約緩和プロセスとしての表現変換—洞察プロセスの理論化へ向けて 日本認知科学会「学習と対話」研究分科会 研究報告, 97 (1), 33-42.
- Suzuki, H., Miyazaki, M., & Hiraki, K. (1999). Goal constraints in insight problem-solving. *Proceedings of the Second International Conference on Cognitive Science*, 159-164.
- 鈴木宏昭・宮崎美智子・開 一夫 (2003) 制約論から見た洞察問題における個人差 心理学研究, *74*, 336-345.
- Thagard, P., Holyoak, K. J., Nelson, G., & Gochfeld, D. (1990). Analog retrieval by constraint satisfaction. *Artificial Intelligence*, *46*, 259-310.
- 植田一博 (2000) 科学者の類推による発見 人工知能学会誌, *15*, 609-617.
- Wallas, G. (1926). *The art of thought*. New York: Harcourt Brace Jovanovich.
- Waltz, D. L. (1975). Understanding the drawing of scenes with shadows. In P. H. Winston (Ed.), *The psychology of computer vision* (pp. 19-91). New York: McGraw-Hill. 白井良明・杉原厚吉(訳) (1979) コンピュータビジョンの心理 産業図書。
- Ward, T. B., Smith, S. M., & Vaid, J. (1997). *Creative thought: An investigation of conceptual structures and processes*. Washington, DC: American Psychological Association.
- Weisberg, R. W. (1995). Prolegomena to theories of insight in problem solving: A taxonomy of problems. In R. J. Sternberg & J. E. Davidson (Eds.), *The nature of insight* (pp. 157-196). Cambridge, MA: MIT Press.
- Weisberg, R. W., & Alba, J. W. (1981). An examination of the alleged role of "fixation" in the solution of several "insight" problems. *Journal of Experimental Psychology: General*, *110*, 169-192.
- Weisberg, R. W., & Alba, J. W. (1982). Problem solving is not like perception: More on Gestalt theory. *Journal of Experimental Psychology: General*, *111*, 326-330.

Zhang, J., & Norman, D. A. (1994). Representations in distributed cognitive tasks. *Cognitive Science*, 18, 87-122.

— 2002. 3. 4 受稿, 2003. 5. 22 受理 —