

制約論から見た洞察問題解決における個人差¹

青山学院大学 鈴木宏昭²・東京大学 宮崎美智子・開一夫

Constraint-based approach to individual differences in insight problem-solving

Hiroaki Suzuki (Department of Education, Aoyama Gakuin University, Shibuya, Shibuya-ku, Tokyo 150-8366), Michiko Miyazaki, and Kazuo Hiraki (Department of Systems Science, University of Tokyo, Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8902)

In this study, we explored individual differences in insight problem-solving. According to the dynamic constraint relaxation theory (Hiraki & Suzuki, 1998), there are three sources of individual differences in insight problem-solving: the initial strengths of constraints, the evaluation of problem-solving attempts, and the learning rate that updates the strength value of each constraint. In order to validate the theory's predictions, we compared the subjects who could solve a geometric insight problem within 10 minutes with those who could not. A microscopic analysis of the solution processes and rating task revealed that the initial strengths of the constraints and the adequacy of evaluation are different between the two, but their learning rates are not. These results suggest that insightful problem-solvers try non-standard attempts more often even in the initial phase of their problem-solving and evaluate their attempts more precisely. The results were discussed in contrast with other approaches to insight.

Key words: insight, problem-solving, constraint, individual difference.

洞察は人間の創造的側面をもっとも端的に表す心理的過程の一つである。ゲシュタルト心理学においては、様々な課題を用いた洞察研究が行われ、洞察過程を再構造化のプロセスととらえる重要な仮説が提出された (Wertheimer, 1945 矢田部訳, 1952)。しかしながら、必要な理論的、方法論的概念が整っていないことから、その後の行動主義心理学においても、また 80 年代までの認知心理学においても洞察問題解決は十分に研究されてはこなかった。

1990 年代に入ると、洞察や創造的問題解決一般についての実験的な研究を行うための萌芽の研究が数多く見られるようになってきた (Smith, Ward, & Finke, 1995; Sternberg & Davidson, 1995; Ward, Smith, & Vaid, 1997; Weisberg, 1995)。これらは創造的と考えられる様々な現象に対して、多様なアプローチを用いて接近をはかっている。

その中でも特に制約とその緩和という観点からの研究が近年特に盛んに行われている (開・鈴木, 1998; Knoblich, Ohlsson, Haider, & Rhenius, 1999; 三輪・松下, 2000; Ohlsson, 1992; 鈴木・開, 1997)。ここで制約とは、膨大な数の情報、仮説の中から特定のものを選び出す生体の内的傾向性を指す (三宅・波多野, 1991; 鈴木, 2001)。制約の概念は、70 年代から知覚研究において (Waltz, 1975)、また 80 年代には語意の獲得においても用いられ (Markman, 1989)、これらの研究分野を活性化した。通常、制約によって選択される情報や仮説は系統発生的、あるいは個体のそれまでの経験から見て、もっともらしい、妥当であるとみなしうるものである。したがって制約は人間の認知にとってポジティブな意味を持つと考えられている。

一方、洞察問題は、制約という、人間の持つ自然な傾向性に従っては解けない種類のものが多い。このため、洞察問題の解決のためには、制約を緩和・逸脱することの重要性が指摘されている (Issak & Just, 1995; Ohlsson, 1992)。

ここで問題となるのは、どのような制約が洞察に関与するかである。従来の研究では、問題の解についての誤ったイメージ (Lung & Dominowski, 1985; Ohlsson, 1992)、被験者が勝手に導入してしまう不適切なオペレータの選択傾向 (Isaak & Just, 1995)、あるいは問題に固有な困難な部分を制約とすること

¹ 本研究は科学研究費補助金基盤研究 (C) (研究代表者: 鈴木宏昭, 課題番号: 10610082)、科学研究費補助金特別推進研究 (研究代表者: 吉野一, 課題番号: 14001003) の補助を受けて行われた。なお、本研究の一部は日本心理学会第 65 回大会で発表された。

² 本研究の実施にあたって平岡康弘氏 (平成 11 年度青山学院大学卒業) の協力を得た。また関東学院大学、岩男卓実助教授、および査読者から丁寧なコメントをいただいた。ここに謝意を表します。

(Knoblich et al., 1999)が多かった。これに対して、鈴木・開 (1997)、開・鈴木 (1998) は、制約の動的緩和という観点から洞察をとらえるという提案を行っている。彼らは、問題表象の基本的な構成要素である、対象、関係、ゴールの各々についての制約を仮定する。対象の制約とは、問題表象に含まれる対象のエンコードの仕方についての人間の傾向性を表す。関係の制約は、対象と対象の間の関係についての人間の自然な傾向性を表現する。なお両制約とも単一ではなく、非標準的な制約も存在する（これらは後述するように制約の強度の違いとして表現される）。ゴールの制約は、問題のゴールのイメージおよびその達成に関わる表象要素とされる。初期には問題解決を阻害する対象と関係の制約が強く働き、有効な制約の作用が極めて限定されるため、インパス（問題がいかようにも解けなくなる状態＝袋小路）を生み出す不適切な問題表象が構成される。しかし、ゴールの制約によって失敗などの経験が評価され、初期の制約の強度が変更される。この結果、徐々に初期に支配的であった制約の作用が弱まると同時に、非標準的な制約の実行頻度が増加し、初期の制約を逸脱したカテゴリー化や関係づけがなされるようになる。そして、ある時点で特定の制約の逸脱が対象、関係のレベルで生じることにより、確率的に洞察に至る。

彼らはTパズルという洞察を必要とする図形パズルを用いてこれらの仮説の妥当性を検討してきた。このパズルでは Figure 1 の左側に示した四つのピースを用いてTの形を作ることが求められる。Figure 1 の右に示したように組み合わせることにより、この課題を達成することができる。このパズルは単純そうに見えるが一般的にいて極めて難しい。これまでに行った一連の研究において、ヒントや補助的な情報がない場合、5分以内で解決できる被験者は10%以内であり、多くの場合15分から30分程度を必要とする。また、途中で放棄する者も少なくない（鈴木・開, 1997）。

次にこのパズルの解決初期において支配的な制約について述べる。このパズルにおける対象の制約は、単一のピースの置き方に関わるものである。ピースを回

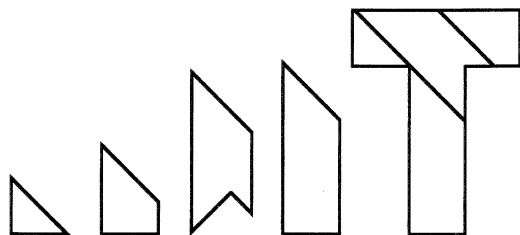


Figure 1. Tパズル。左の四つのピースを用いてTの形を作る。正解は右端のとおりの。

転することにより、理論的には無限の置き方の可能性が存在する。しかし、被験者はピースの辺、特に長い辺ができるだけ基準線（机の端）に平行、あるいは垂直に置こうとする。何のヒントも与えられない場合、被験者の試行³の60—90%程度がこうした置き方となる（鈴木・開, 1997）。こうした試行を促す対象の制約が、初期には支配的である。関係の制約は、複数のピースの接続方法に関わるものである。単一のピースの置き方同様、接続にも無限のパターンが存在する。しかし、被験者は接続の結果できあがる図形ができるだけきれいな形、つまり角の数が少なくなるように置く傾向がある。こうした試行を促す関係の制約が、初期には支配的である。この結果、角の数を減らすため五角形のへこみ（凹部分）を他のピースで埋めようとする試行が全試行の60—80%程度にもなることが確かめられている（鈴木・開, 1997）。

これらの制約は、ありとあらゆる可能性を逐一テストする手間を省くという意味では合理的である。しかし、これらの制約が五角形のピースに適用されるためインパスが生み出されることになる。実際、事前のヒントによりこれらの制約を働かないようにしてしまうと、パフォーマンスに劇的な改善が見られることが明らかにされている（宮崎・鈴木・開, 1999）。また、問題解決の中盤まではこれらの初期の制約が強く働き、被験者はインパスの状態に陥る。しかし、後半になると徐々に初期の制約を逸脱した置き方や接続の頻度が増加する。以上の結果から、制約の動的緩和説についてはある程度までの実証的なサポートが得られている。

本論文は、Tパズルを早く解ける被験者とそうではない被験者の解き方の差を同定し、その差を動的緩和理論によって説明可能かを検討する。開・鈴木 (1998) に従えば、個人差の源泉は大きく三つに分けることができる。第一は、制約の初期値およびそれに基づく特定の制約の選択メカニズムに関わるものである。制約は各レベルで単一ではなく、複数存在し、それらは各々強度 h を持つとされる。制約の選択メカニズムはこの強度 h に基づき確率的に行われる。したがって、早期に洞察に至る問題解決者はこの強度が低く、初期に支配的な、問題解決を阻害する制約の逸脱がはじめてから多いという可能性がある。

残る二つの個人差の源泉は、問題解決中に行われる学習に関わるものである。制約の強度は固定したものではなく、問題解決過程における様々な経験によって変化する。たとえば、ある制約に従った試行を行った結果がゴール制約に基づき失敗に至ったと判断されると、それを引き起こした制約の強度 h が減少するし、見込みのある試行を行った場合はその制約の強度は増

³ ここでいう試行の操作的定義については“方法”の節で詳しく述べる。

加する。開・鈴木（1998）からすると、強度 h の増加・減少の程度は、エラーの度合いの評価、および強度の更新率（学習率）に関係する。

すなわち個人差の第二の源泉はゴール制約に基づく試行の評価に関わる可能性がある。素早く洞察に至る被験者は、自らの行った試行の評価を適切に行い、それに応じて制約の強度を変更するが、そうでない被験者は評価が適切でないため、制約の強度の変更が正しい形で行われないという可能性である。個人差の第三の源泉は、評価後に行われる制約強度の更新率に関わるものである。開・鈴木（1998）では、試行の評価値はその試行を生み出した制約の強度更新にそのままの形で用いられるわけではなく、更新率（定数）を乗じた形で用いられる。更新率の値が1に近ければ一度の失敗によって制約の強度は大きく変化する。一方、0に近ければ強度の変化幅は小さくなる。洞察になかなか至らない問題解決者は、仮に適切な評価がなされても、更新率が低いため初期の制約を逸脱した試行を行う頻度が少ないという可能性が存在する。別の言い方をすれば、洞察に至らない問題解決者は経験を適切に評価しても、自らの制約の強さを大きく変化させることはない保守的な問題解決者なのかもしれない。

まとめると、洞察問題解決における個人差は、次のいずれか、あるいはそれらすべてに起因することが推測される。

1. 制約の初期値に関わる可能性：素早く洞察に至る被験者は、初期から問題解決を阻害する制約が緩和されている。
2. 失敗や成功の評価に関わる可能性：素早く洞察に至る被験者は、自らの試行の評価が適切である。
3. 制約強度の更新率に関わる可能性：素早く洞察に至る被験者は、試行の評価によって制約の強度を大きく変化させる。

本研究では、前述した T パズルを用いて、これらの可能性について探索的に検討を行う。この検討を行うため、本実験において被験者はパズル解決と評定の二つの課題を行う。実際には、パズル解決（2分あるいは7分）、評定課題、パズル解決の再開という形で実験が進められた。分析は10分以内に自力で解決できた被験者と、自力では解決できずヒントを受けた被験者との比較を中心に行う。もし、洞察の個人差が1の可能性、つまり制約の初期値の違いに関連するのなら、自力解決者は問題解決の当初から、問題解決を阻害する初期の制約を逸脱した試行を数多く行うであろう。もし個人差が2の可能性、すなわち評価の適切性に関わるのであれば、評定課題の成績において、自力解決者とヒント解決者の間に体系的な差が存在するであろう。もし個人差が3の可能性、すなわち制約強度の更新率の差異に起因するのであるとすれば、評定課題に含まれる適切な配置の刺激を見た後の試行

では、両者の制約逸脱頻度の変化に違いが予想される。ヒント解決者は仮に適切な評定を行っても、評定後の制約逸脱の頻度がさほど上昇しない可能性がある。

なお評定課題の実施をパズル解決開始から2分後、7分後の二つのタイミングで行った（被験者間）。これは評定課題で提示される適切な配置の図形に対する評価が、試行回数に関数と考えられる制約緩和の度合いによって変化する可能性を検討するためである（Suzuki, Abe, Hiraki, & Miyazaki, 2001）。7分群と2分群の間には評定前の試行数に大きな差があると考えられるので、両群では評定課題前の制約の緩和に大きな違いがあることが予測される。これによって評定値も異なってくる可能性がある。

方 法

被験者 文系系大学生31名が実験の被験者となった。被験者はランダムに2分群と7分群に分けられた。各々の群で、2分あるいは7分以内に問題を解決してしまった被験者、またビデオ機器のトラブルにより十分な記録がとれなかった被験者を除く、26名（2分群12名、7分群14名）を以降の分析の対象とした。いずれの被験者も T パズルを解いた経験はないと報告している。

課題 被験者の行う課題は、1. パズル完成課題、2. 評定課題の二つである。パズル完成課題では、前述の T パズルを用いた。評定課題で用いられた刺激は、T パズルの五角形のピースと他のいずれか一つのピースを組み合わせた図形の画像である。これら評定図形は、ピースの種類(3)×対象レベル制約の逸脱の有無(2)×関係レベル制約の逸脱の有無(2)となり、12種類存在する。どちらの制約も逸脱した図形を R+O+、関係レベル制約のみ逸脱した図形を R+O-、対象レベル制約のみ逸脱した図形を R-O+、どちらの制約も逸脱していない図形を R-O-と呼ぶ。

手続き 被験者にはパズルの四つのピースと、完成時にできる T の形を 1/4 に縮小して印刷した用紙をモデルとして与え、モデルと同じ形の図形を四つのピースを用いて作成するように告げた。なお、ビデオでの分析のため、横 50 cm×縦 30 cm の枠内で解決を行うこと、また空中での操作を行わないことを告げた。また、2分群には2分後（7分群には7分後）に一時的に別の課題を行ってもらうことを事前に告げた。

被験者は2分後、あるいは7分後に完成課題を中断し、別の机にあるコンピュータのディスプレイの前に移動し、評定課題に移行した。まず被験者に装置の操作の仕方、および各図形の提示時間は2秒であること、その後5秒以内に評定を行うこと、評定は10段階で行うこと（解決には全く近づいていない場合には1、解決に非常に近づいている場合は10）を告げた。

Table 1
2分群と7分群の解決時間とセグメント数

	平均	最小値	最大値	中央値
2分群	782.7 (358.4) 68.6 (26.5)	189 23	1206 108	963 71
7分群	768.6 (218.2) 72.1 (22.4)	445 30	1173 107	780.5 74

注) 上段は解決時間(秒), 下段はセグメント数を表す。()内は標準偏差。

Table 2
2分群と7分群の図形タイプごとの評定平均値(10段階評定)

	R+O+ ^{a)}	R+O-	R-O+	R-O-
2分群	3.6 (2.2)	2.6 (1.7)	3.5 (2.1)	2.3 (1.9)
7分群	4.9 (2.8)	2.7 (1.7)	3.9 (2.3)	2.6 (1.7)

注) ()内は標準偏差。

^{a)} R, Oは各々関係, 対象レベル制約を表し, +, -はそれらの制約の逸脱, 遵守を表す。

また, 提示時間が2秒であり, 評定時間が5秒であることから, あまり考え込まずに直感的に評定を行うよう指示した。なお, 評定図形の提示は同じタイプの図形が連続しないように配慮し, 固定した順序で行った。

評定課題終了後, 被験者はパズル解決課題を再開した。なお, 10分経過後もパズルが解決できない場合には“五角形の凹部分を他のピースで埋めないように”というヒントを与えた。このヒントの後さらに5分経過しても解決できない被験者には, 五角形ピースを正しい向きに固定するというヒントを与えた。

結果と考察

分析 解決課題の分析は解決に要した時間とセグメントにより行う。セグメントとは, 被験者があるやり方を試みるが失敗に気づき, 別のやり方を試すまでの, いわゆる一つの試行に対応する。操作的には, あるピースを別のピースと接続することによりセグメントが開始し, それらのピースを分離することによりセグメントが終了するものと定義する。したがって, ある二つのピースを接続した後にもう一つ付け加えてもそれは同一セグメントとみなす。このようにセグメントはピースの物理的接触と分離により定義されるものである。分析者の主観に基づくものではないことを付け加える。

以下では, まず2分群と7分群の解決, 評定課題についての結果を報告する。次に, 自力解決者とヒント解決者の解決, 評定課題における差について報告し, これら二つの間の違いが何によるものなのかについての検討を行う。

群間の比較 まず2分群と7分群のパフォーマンス

の比較を行う。解決課題のパフォーマンスに関しては個人差が極めて大きいため, 平均値に加えて, 最小値, 最大値, 中央値も記載した。Table 1はパズル解決課題における各群の成績である。解決時間の中央値を見ると二つの群に差が存在するかのようにも見えるが, 検定の結果この二つの群には差は見られない。またセグメント数に関しても同様で, 両群の間に有意な差は存在しない。なお2分群において10分以内の解決者は3名, 15分以内の解決者は2名, 15分以上の解決者は7名であった。一方7分群ではそれぞれ10分以内: 4名, 15分以内: 4名, 15分以上: 5名であった。

Table 2は評定図形タイプごとに2分群, 7分群の評定値をまとめたものである。図形タイプの間に最大で2.3の差が存在すること, また2分, 7分群の間にも最大で1.3の差が存在することから, 対象制約緩和の有無, 関係制約緩和の有無, 評定タイミング(2分, 7分)の3要因の分散分析を行った。その結果, 対象レベル制約の主効果のみが有意であった($F(1, 24) = 15.30, p < .001$)。

以上のように, 解決課題においては2分群と7分群の間に差は見られなかった。また評定課題においても被験者間要因の主効果, あるいはこれを含む交互作用が見られなかった。このことから, 評定課題のタイミングの操作は効果を持たなかったと言える。この結果は解釈を必要とするが, 詳しくは総合討論において行う。

自力解決者とヒント解決者の比較 自力解決者とヒント解決者(解決に10分以上かかった被験者すべて)のパフォーマンスをTable 3にまとめた。なお, ヒントなしで自力解決できた被験者の数は, 2分群3名,

Table 3
自力解決者、ヒント解決者の解決時間とセグメント数

	平均値	最小値	最大値	中央値
自力解決者	384.9 (150.0)	189	573	445
	42.7 (15.9)	23	70	39
ヒント解決者	918.8 (156.4)	629	1206	952
	80.7 (17.4)	50	108	76

注) 上段は解決時間 (秒), 下段はセグメント数を表す。()内は標準偏差。

Table 4
開始から 10 セグメント, および評価前までの全セグメントにおける制約逸脱比率

	対象の制約		関係の制約	
	開始から 10 セグ メント	評価前ま での全セ グメント	開始から 10 セグ メント	評価前ま での全セ グメント
自力解決者	29% (70)	26% (202)	40% (70)	36% (202)
ヒント解決者	18% (190)	16% (558)	33% (190)	30% (558)

注) ()内は開始 10 セグメントまでのセグメント数, および評価前までの五角形使用セグメント数。

Table 5
各図形タイプに対する自力解決者、ヒント解決者の平均評価値

	R+O+	R+O-	R-O+	R-O-
自力解決者	5.5 (2.7)	2.1 (1.3)	3.7 (2.4)	2.0 (1.5)
ヒント解決者	3.8 (2.5)	2.8 (1.8)	3.7 (2.2)	2.6 (1.8)

注) ()内は標準偏差。

7 分群 4 名であった。この表から明らかなように、自力解決者とヒント解決者の間には、解決時間、セグメント数に大きな違いがある。以降の分析では自力解決者 7 名と、ヒントによって解決した 19 名の違いに焦点を当てた分析を行う。前述したように、自力解決者とヒント解決者の違いは、1. 制約強度の初期値の違い、2. 試行の評価の違い、3. 制約強度の更新率のいずれか、あるいはすべてに関係すると考えられる。

なお、以降の制約逸脱についての分析は、ヒント前までのセグメントについてのみ行う。この理由は、ヒントは明示的に制約を逸脱することを告げており、ヒント後のセグメントにおける逸脱は自発的なものとは考えられないためである。また対象の制約の逸脱は五角形の最も長い辺が基準線 (机の端) に平行、あるいは垂直に置かれなかったセグメントとし、関係の制約逸脱は五角形の凹部分が他のピースと接続していないセグメントとした。

まず 1. の可能性を検討するために、パズル解決開始 10 セグメントまでにおける制約逸脱の比率の比較を行った。Table 4 に各々の制約逸脱の頻度と比率を

示した。 χ^2 検定を行った結果、対象の制約の逸脱比率について両群間に有意差が見られた ($\chi^2(1, N=249)=3.85, p<.05$)。一方、関係レベル制約については両群間に有意差は見られなかった ($\chi^2(1, N=260)=1.23, p>.05, ns$)。また、開始 10 セグメントではなく、評価課題前までの試行すべてについて同様の分析を行ったが、同様の傾向が見られた。以上のことから、自力解決者はヒント解決者に比べて、問題解決の初期から対象の制約を逸脱した試行を多く行うことが示された。

2. の可能性を検討するために、自力解決者とヒント解決者の評価課題の成績を分析した。各評価図形タイプに対する評価値の平均を Table 5 に示した。この表は、自力解決者は適切な図形に対して、高い評価を与えているのに対して、ヒント解決者はそうした図形に対しても見込みのない図形と同じような評価を行っている可能性を示している。そこで対象、関係の制約の逸脱の有無と、自力解決・ヒント解決の 3 要因の分散分析を行ったところ、対象レベル制約の主効果 ($F(1, 24)=21.17, p<.001$) が得られた。また関係レベル制

Table 6
評定課題前後の制約逸脱比率

	関係レベル制約		対象レベル制約	
	評定前	評定後	評定前	評定後
自力解決者	36% (133)	62% (58)	28% (133)	45% (58)
ヒント解決者	30% (558)	32% (608)	16% (558)	21% (608)

注) 自力解決者のうち、評定課題後1分以内にパズルを解決した被験者2名を除く。なお()内は評定前、後の五角形使用セグメントの総数。

約の主効果 ($F(1, 24) = 4.11, p = .054$)、および対象レベル制約-自力・ヒント解決要因の交互作用について有意な傾向が認められた ($F(1, 24) = 3.57, p = .071$)。

本論文の目的は、自力解決者とヒント解決者の違いを明らかにすることであるので、以下ではこの交互作用の傾向についてより詳細な分析を行う。自力解決者は対象レベル制約を逸脱した図形 ($R+O+$ 、 $R-O+$ 図形) の評定値が平均 4.6 であるのに対し、対象レベル制約を逸脱していない図形 ($R+O-$ 、 $R-O-$ 図形) についての評定平均は 2.1 点であった。一方、ヒント解決者についてはそれぞれ平均 3.8、2.7 であった。特に注目すべきは長台形と五角形の組み合わせである。Figure 2(b) から明らかなように、対象の制約を逸脱していない図形 ($R+O-$) は、一見すると非常に T に似た形をしている。実際、ヒント解決者の Figure 2(a)、(b) の評定値は各々 3.8、3.2 であり、わずかな違いしか存在していない。しかし、自力解決者の評定平均は各々 6.6、1.9 と大きな違いがある。この二つの図形と自力・ヒント解決の 2 要因の分散分析を行うと、交互作用が見られた ($F(1, 24) = 11.11, p < .01$)。このことから、自力解決者は対象レベル制約の逸脱が課題達成にとって重要であることをより明確に把握していることが示唆される。

第 3 の可能性、制約強度の更新率の違いを検討するために、まず評定課題前後の五角形についての制約逸脱の比率に注目して分析を行う。評定課題は $R+O+$

のような適切な配置の刺激を含んでいる。もし、制約強度の更新率に違いがあるのならば、評定課題後には制約の逸脱が増加するはずである。開始から評定課題直前まで、および評定課題直後からヒントを受ける直前までのセグメントにおける制約逸脱の比率を Table 6 に示した。全体的に評定課題前から評定課題後にかけて、初期に支配的な制約の逸脱比率が増加していることがわかる。特に自力解決群においては、初期の対象、関係の制約の逸脱比率がともにおよそ 2 倍に増加している。各群、各制約における評定課題前後の逸脱頻度の増加を χ^2 検定によって検討したところ、自力解決群においては、評定課題前後の対象、関係制約それぞれの逸脱頻度の増加が見られた (それぞれ $\chi^2(1, N=200) = 5.03, p < .05$; $\chi^2(1, N=191) = 11.06, p < .001$)。また、ヒント解決群に関しても、評定課題前後における対象制約の逸脱頻度の有意な増加が見られた ($\chi^2(1, N=1223) = 4.77, p < .05$)。また、自力解決群の 7 名のうち 2 名が評定課題後 1 分以内にパズルを解決しており、これは評定課題が解決に有効なヒントになり、それを被験者が学習した可能性を示唆する。残りの 5 名についても全体的に早く解決に至っている。解決までのセグメント数は最小 8、最大で 26 (中央値は 11) であった。一方、ヒント解決群における評定課題後からヒント教示までのセグメント数は最小 14、最大 63 (中央値は 33) であった。セグメント数について中央値を比較すると、自力解決群はヒント解決群に比べ試行数が約 1/3 になっていることがわかる⁴。両群が評定課題後に費やしたセグメント数 (ただしヒント解決群はヒント教示まで) に基づき各データを順位化し、 U 検定で比較した結果、有意な差が見られた ($U = 126, p < .01$)。

ただし、こうした違いは評価の適切性を反映しているものであり、更新率自体の違いを表しているのではない可能性もある。そこでヒント解決者の中で、評定課題を適切に行ったものと、自力解決者の制約逸脱を比較する。ヒント解決者の選択は、 $R+O+$ 図形の評定値平均が最も高く、 $R-O-$ 図形のそれが最も低いと

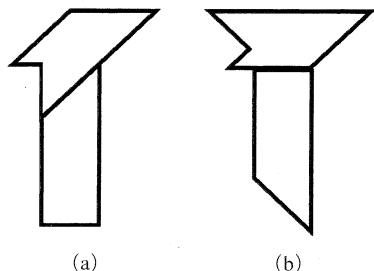


Figure 2. 評定刺激のサンプル。(a)、(b)ともに関係制約を逸脱している。ただし、(a)は対象制約を逸脱しているのに対し、(b)は対象制約を遵守している。

⁴ ヒント解決群の評定課題後の解決時間は、10分経過した時点でヒント教示に移行したため、2分群：480秒、7分群：210秒である。

いう基準によった。この基準に該当するヒント解決者は5名である。この5名の評定前後における制約逸脱頻度の変化について、前と同様の分析を行うと、対象、関係いずれの制約についても逸脱頻度の増加が見られた（対象制約： $\chi^2(1, N=293)=5.06, p<.05$ ；関係制約： $\chi^2(1, N=278)=6.46, p<.05$ ）。この結果は、適切な評定を行った場合には、ヒント解決者であっても制約強度の変更は自力解決者同様に行われることを示している。すなわち、両グループの被験者に見られた更新率の差は、評定課題の適切さを反映したものであると言える。

それでは、評定を適切に行い、また制約強度の更新も自力解決者と同様に行っているにもかかわらず、これらの被験者が洞察に至らないのはなぜであろうか。これは制約強度の初期値の差に関係すると思われる。この分析で用いたヒント解決者の評定後の、対象・関係レベル制約逸脱比率は、それぞれ30%、38%であり、自力解決者の評定前の対象・関係レベル制約逸脱比率は28%、36%であった。つまり、このヒント解決者の制約強度は確かに変更されはしたが、自力解決群における初期値レベルに達したに過ぎないことがわかる。

総合考察

本研究では、Tパズルという図形パズルの解決における洞察の個人差を制約とその緩和の観点から分析した。具体的には、自力で洞察に至る被験者とそうでない被験者の差を、問題解決の一般的図式に基づく対象、関係、ゴールの三つの制約とその緩和の過程として分析した。制約論の図式に従えば、洞察のプロセスは次のようなものと考えられる。まず初期には洞察を阻む制約の強度が大きく、制約を逸脱した試行はまれにしか起きない。しかし、制約を遵守した試行を繰り返し、それがゴールの制約に基づいた評価を受けることにより、初期の制約強度は徐々に低下していく。また、偶然に制約を逸脱した試行を行い、それがゴールの制約に適合したという評価が行われると、標準的ではない制約の強度が上昇する。これらが繰り返されることにより、対象レベルでも、また関係レベルでも制約を逸脱した試行がなされる確率が高まる。そして、ある時点で適切な形で制約の逸脱が起こると洞察に至ると考えられる。

こうした枠組みのもとでは、個人差の源泉は制約強度の初期値、経験の評価、制約強度の更新率の三つのいずれか、あるいはすべてに関係すると考えられる。実験の結果、自力で洞察に至る被験者は問題解決の初期から問題解決を阻害する制約を逸脱する割合が高いこと、また評定課題においてより適切な評価を行うことが明らかにされた。ただし、制約強度の初期値の違いは対象の制約においてははっきりと見られたが、関

係の制約についてはそうではなかった。また評価の適切さの違いは、両方の制約を逸脱した図形においてのみ見られ、制約を逸脱していない図形についての評価は自力、ヒント解決者ともに低かった。制約強度の更新率について検討するために、評定課題前後の制約逸脱率を比較した。一般に自力解決者はヒント解決者に比べて評定課題後に制約を逸脱した試行の頻度が増加する。しかし、自力解決者と同等の評定を行ったヒント解決者と比べると更新率自体には差がないことが明らかになった。したがって、自力・ヒント解決者の評定課題前後の制約逸脱の違いは、評価の適切さを反映したものである可能性が高いと考えられる。

これらのことから、個人差について次のような示唆が得られる。自力で洞察に至る問題解決者は、比較的初期から、問題解決を阻害する支配的な対象の制約を逸脱した試行を相対的に頻繁に行う。関係の制約の逸脱はまれにしか起こらないが、これらの問題解決者は、逸脱の起きた試行を適切に評価し、それによって初期の制約の強さを変化させると考えられる。特に本研究では評定課題において解決に有効な刺激図形が提示された。これによって、自力解決者においては初期に支配的な制約の強度が減少すると同時に、これらとは異なる制約の強度が増加したと考えられる。一方、洞察に至りにくい問題解決者においては、そもそもどちらの制約の逸脱もまれにしか起こらない。そして仮に逸脱が起きても、その価値を適切に評価できないため、初期の制約強度の更新がうまく行われな

い。以上のように、理論が仮定する制約強度の初期値と試行の評価については、直接的な証拠が得られた。一方、更新率については詳細な検討の結果、自力解決者と適切に評価を行ったヒント解決者の間には明白な違いは見られなかった。これは更新率という仮定自体の誤りを示すものではないと考える。更新率に関するこのような結果は、この要因が洞察の個人差を決定するものではないこと、別の言い方をすれば自力解決者とヒント解決者の間で更新率はほぼ同一の値をとるという知見を与えるものと考えるべきである。

本研究では、評定課題のタイミングを2分と7分の2種類用意した。制約の動的緩和論に従えば、7分群はより評定課題前に多くの失敗を重ねているので、2分群に比べてより適切な評価を行うことが予測されるが、実験の結果両者の間に差は存在しなかった。この理由は、ゴールの制約の作用に関わるものと考えられる。ゴールの制約は、対象、関係の制約緩和の鍵となる制約である。Suzuki, Miyazaki, & Hiraki (1999) は、ゴールの制約の機能を高めるため完成時のTと同寸のTが印刷された型紙を用いて、この型紙を与えられたピースで埋め尽くすようにという指示を与えた実験を行った。その結果、型紙を用いたグループの解決時間、セグメント数はそうでないグループに比べ

て大幅に減少した。これは型紙の存在により、失敗がどの程度のものなのか、また偶然になされた見込みのある配置がどの程度適当なものなのかを評価することが容易になるためであると考えられる。一方、本実験において被験者はゴール図形を1/4に縮小したものをプリントした用紙が与えられ、それを見ることは許されたが、重ねることは許可されなかった⁵。こうした状況ではゴールの制約が機能しにくくなるため、経験からのフィードバックが適切に行われず、制約の緩和が円滑に行われない可能性が高くなる。このことが、評定課題における2分群と7分群の同等のパフォーマンスの原因となっていると考えられる。実際、ほぼ同様の実験デザインであるが、上記の型紙を用いて課題解決を行わせた場合には、評定課題のタイミングによる評価の差が制約の動的緩和理論の予測する方向で見られた (Suzuki et al., 2001)。この研究の結果は、今回2, 7分群間の差が観察されなかった理由がゴール制約によるフィードバックに関係していることを示している。

本研究では、解決にとって重要な情報を含む評定課題をパズル解決の途中に挿入した結果、29名中7名が10分以内に自力解決可能となった。この自力解決率は従来の評定課題を含まない通常のTパズル解決課題と比べるとかなり高いものであり、評定課題刺激はかなりの程度の促進効果をもたらしたことを示している。前述したように、これによって一部の被験者（特に自力解決者）においては初期に支配的な問題解決を阻害する制約の強度が減少する一方、解決にとって有効な制約の強度が増加し、これが洞察を生み出す確率を高めたと考えられる。この事実は失敗により初期の制約強度が減少するだけでなく、ゴール制約とのマッチの度合いが高い試行を導いた制約の強度が増加する可能性をも示している。

しかし、こうした実験操作の結果、通常は自力では洞察に至らないはずの被験者も自力解決ができた可能性が高い。こうした問題は研究の目的、仮説の関係上やむを得ない部分もあるが、今後眼球運動などの非介入的指標を用いた研究による本実験結果のcross validationが必要になると思われる。

本研究の知見と他の研究との対比を行う。Schooler & Melcher (1995) は相関分析的アプローチを行い、洞察問題解決のみと関連の高いテストとして、out-of-focus pictures (Bruner & Potter, 1964) と embedded figure test (Witkin & Goodenough 1981) とを挙げている。彼らは、これらの結果から、洞察には知覚的な再体制化と脱文脈が深く関与するという指摘を行っている。本実験でパズルを解くためには、Tが横棒と縦棒からなるという知覚的な体制化を一度壊さなければな

⁵ 実際にはゴール図形は縮小してあるので、仮に重ねることができても、その効果は小さいと考えられる。

らない。また、こうした体制化が作り出す文脈、たとえばピースは四つあり、ちょうど縦、横二つずつとすることができる等、を克服する必要があるという見方もできる。この意味で、Schooler & Melcherの指摘は、本研究に直接的に関連すると考えられる。

しかし、詳細なレベルで考えれば、彼らの研究のインプリケーションは極めて限定されたものであるに過ぎない。out-of-focus課題や embedded figure testは、その解決にどのような認知的なプロセスが含まれているのかが明らかにされていない問題である。こうした問題との相関による分析を行っても、洞察の認知過程の解明に対する実質的な貢献は多くはない。また本研究で明らかにされたプロセス、メカニズムに関する知見は、彼らの枠組みに含まれていないため、そもそも説明や予測の対象とはならない。たとえば、知覚的な再体制化には、対象、関係両レベルの制約の緩和が関係しており、Tパズルを解く際にはまず対象の制約が緩和されやすく、自力で洞察に至る被験者は適切な配置の後には関係の制約も緩和させる傾向があることが明らかになった。しかしこうした知見は、Schoolerらのアプローチではまったく取り扱うことができない。また制約逸脱の時系列的変化や評価の適切性などについても同様である。

個人差を直接に扱ったものではないが、MacGregor, Ormerod, & Chronicle (2001) は、古典的な問題空間探索の枠組みに進行モニタ基準を用いて洞察プロセスのモデル化を行っている。この分析は、9点問題とその変形問題の間の困難度について妥当な予測を行うことができる。ただし、この枠組みでは、ある問題空間の中で適切なオペレータが見つけれなくなると、ある確率で別の空間を探索する行為が行われるという仮定がなされている。しかし、これはいくつかの点で認知的に見て不自然な仮定であり、また本研究のデータを正しく説明しない。第一に、被験者は自らが行ったことの履歴を正しく記憶しているわけではない。したがって、以前の試行において失敗したオペレータを用いること、つまり固着がかなり頻繁に観察されることを考慮していない。第二に、本実験からも明らかのように、たとえヒント解決者であっても問題解決の初期から、その頻度は低いものの、制約を逸脱した試行を行うことが挙げられる。これは単一の問題空間を探索し尽くした後、別の問題空間に移行するというMacGregorらの立場からは説明できない現象である。したがって問題空間の探索・移行のアプローチによっては、本研究と関連する研究で明らかにされた洞察プロセスについての知見を正しく説明することはできない。

本研究の立場は制約論の立場から、洞察の解明を目指すという意味で、Knoblich et al. (1999) のアプローチと同じものである。すなわち、初期の固着は人間

が自然に持つ制約の適用によるものであり、洞察にはこの制約が緩和される必要があることを両者とも認めている。大きな違いの一つは、Knoblich らの制約はマッチ棒課題に固有な制約であるという点である。値の制約（たとえば IV → VI）、演算子の制約（ $\rightarrow +$ ）、トートロジーの制約（ $+ \rightarrow =$ ）は、マッチ棒課題の様々なタイプの問題を統一的に説明するが、等式の形をしていない洞察問題には適用できないことは明白である。この意味で本研究で用いた対象、関係、ゴールの制約とは適用範囲が全く異なる。もう一つの違いは、制約緩和のメカニズムに関わるものである。彼らの実験では被験者はマッチ棒課題を実際にマッチ棒を操作することなく、心的に行うことが求められている。Kaplan & Simon (1990) が指摘するように、失敗は洞察、制約緩和の重要な条件であるが、このような実験方法では初期の制約がどのような試行を経て緩和に至るのかが不問に付されてしまう。実際、彼らの研究は問題間の難易度の予測と測定を行うのみであり、問題解決のプロセスを全く取り上げていない。最後の違いは、彼らは制約緩和とともにチャンク分割というメカニズムをも取り入れている点である。彼らによればチャンクにはゆるいものと強いものがあるという。たとえば、IV を VI に変更するのは比較的容易であるが、X を V にするのは困難である。これは IV が二つのパーツからなっており、これらを分割することが容易であるのに対して、X はそもそも一つの強い結合からなるチャンクであるからという。本研究の立場からすれば、チャンクの強度は対象制約として自然に表現可能である。これによって制約の緩和というメカニズムを統一的に用いることが可能になる。

以上述べてきたように、本研究では従来の研究の枠組みでは明確に説明できない現象を報告するとともに、それらを制約とその緩和という観点から分析することの可能性を明らかにしたと言える。制約論のアプローチは、洞察を伴う記憶検索 (Jimura, Komazaki, Matsuoka, Nakagawa, & Kusumi, 2000)、9 点問題 (Knoblich et al., 1999; 駒崎・奥村・中川・楠見, 2000)、発見的課題 (三輪・松下, 2000)、認知発達 (鈴木, 1998) など、表象変化を伴う様々な高次認知活動の基盤理論として用いられるようになってきている。今後、このアプローチを進めていく上で、さらに異なるタイプの洞察問題への拡張が必要とされとともに、眼球運動や脳機能画像などを用いたより詳細な研究も必要になってくると思われる。

引用文献

- Bruner, J., & Potter, M. C. 1964 Interference in visual recognition. *Science*, **144**, 424-425.
開 一夫・鈴木宏昭 1998 表象変化の動的緩和理論

——洞察メカニズムの解明に向けて—— 認知科学 **5**, 69-79.

- (Hiraki, K., & Suzuki, H. 1998 Dynamic constraint relaxation as a theory of insight: Toward a mechanism of insight. *Cognitive Studies*, **5**, 69-79.)
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*. Cambridge, MA: MIT Press. Pp. 281-325.
Jimura, K., Komazaki, H., Matsuoka, T., Nakagawa, M., & Kusumi, T. 2000 A dynamical model of insightful memory retrieval. *Proceedings of the Twenty-Second Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 711-716.
Kaplan, C. A., & Simon, H. A. 1990 In search for insight. *Cognitive Psychology*, **22**, 374-419.
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・奥村輝光・中川正宣・楠見 孝 2000 洞察問題解決における制約緩和プロセス——9 点問題を用了検討—— 日本認知科学会第 17 回大会発表論文集, 28-29.
(Komazaki, H., Okumura, T., Nakagawa, M., & Kusumi, T.)
Lung, C. T., & Dominowski, R. L. 1985 Effects of strategy instructions and practice on nine-dot problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **11**, 804-811.
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.
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**, 152-163.
(Miwa, K., & Matsushita, M. 2000 Processes of mental constraints relaxation using a discovery problem. *Cognitive Studies*, **7**, 152-163.)
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.
(Miyake, N., & Hatano, G. 1991 Socio-cultural constraints and beyond. *Advances in Japanese Cognitive Science*, **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.
(Miyazaki, M., Suzuki, H., & Hiraki, K. 1999 Cooperation among constraints in insight problem-solving. *Proceedings of the Second International Conference on Cognitive Science and the 16th Annual Meeting of the Japanese Cognitive Science*

- Society Joint Conference*, 1144-1146.)
- 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. Hertfordshire, UK: Harvester. Pp. 1-44.
- Schooler, J. W., & Melcher, J. 1995 The ineffability of insight. In S. M. Smith, T. B. Ward & R. A. Finke (Eds.), *The creative cognition approach*. Cambridge, MA: MIT Press. Pp. 97-133.
- Smith, S. M., Ward, T. B., & Finke, R. A. (Eds.) 1995 *The creative cognition approach*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Sternberg, R. J., & Davidson, J. E. (Eds.) 1995 *The nature of insight*. Cambridge, MA: MIT Press.
- 鈴木宏昭 1998 制約の動的緩和による表象変化 文部省科学研究費重点領域研究“心の発達——認知的成長の機構——”研究成果報告書, 16-25.
(Suzuki, H. 1998 Representation change by dynamic constraint relaxation. *Annual Report of Scientific Research in Priority Area by Grant-in-Aid for Scientific Research*, “Development of mind: mechanisms of cognitive growth,” 16-25.)
- 鈴木宏昭 2001 思考と相互作用 乾 敏郎・安西裕一郎(編) 認知科学の新展開 II “コミュニケーションと思考” 岩波書店 Pp. 163-201.
(Suzuki, H. 2001 Thinking and interaction. In T. Inui & Y. Anzai (Eds.), “Communication and thinking,” *New development in cognitive science*, Vol. 2. Iwanami Shoten. Pp. 163-201.)
- Suzuki, H., Abe, K., Hiraki, K., & Miyazaki, M. 2001 Cue-readiness in insight problem-solving. *Proceedings of the Twenty-Third Annual Meeting 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会 学習と対話 (Siglal 97-1), 33-42.
(Suzuki, H., & Hiraki, K. 1997 Representation change as processes of constraint relaxation: Toward a theory of insight. Siglal 97-1, 33-42.)
- Suzuki, H., Miyazaki, M., & Hiraki, K. 1999 Goal constraints in insight problem-solving. *Proceedings of the Second International Conference of Cognitive Science*, 159-164.
- Waltz, D. L. 1975 Understanding the drawing of scenes with shadows. In P. H. Winston (Ed.), *The psychology of computer vision*. New York: McGraw-Hill. Pp. 19-91.
- Ward, T. B., Smith, S. M., & Vaid, J. (Eds.) 1997 *Creative thought: An investigation of conceptual structures and processes*. Washington: APA.
- 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*. Cambridge, MA: MIT Press. Pp. 157-196.
- ウェルトハイマー M. 矢田部達郎(訳) 1952 生産的思考 岩波書店
(Wertheimer, M. 1945 *Productive thinking*. New York: Harper and Brothers.)
- Witkin, H. A., & Goodenough, D. R. 1981 Cognitive styles—essence and origins: Field dependence and field independence. New York: International Universities.

——2002. 2. 25 受稿, 2003. 3. 1 受理——