

数理パズル「タングラム」の洞察的問題解決における 解決可能性への主観的評価と潜在的評価

渋谷 宗¹・中野良樹²

Overt and Covert Evaluations for the Possibility of Insightful Problem Solving in the Puzzle Game of “Tangram”

Soh SHIBUYA¹ and Yoshiki NAKANO²

Abstract

“Tangram” is a puzzle game which is consisted of seven pieces of triangles and squares. This puzzle game is often used to educate creative and geometrical intelligence of children in teaching of mathematics. The purpose of this study is to explore insightful problem-solving of Tangram, especially about overt and covert evaluations for the possibility of successful solving of the task. When participants try to complete a figure of “lion” consisted of the seven pieces, they were asked to evaluate how they can complete the task at the time. This subjective evaluation for the possibility of the problem solving was decreased with the time course of the task. Importantly, there was no difference in the evaluation between subjects who were succeeded in the task and those who could not complete it. In the purpose of measuring covert and unconscious evaluation of the subjects, we required them in a speeded reaction time task to assess the usefulness of particular configurations of two pieces of triangle involved in the 7 pieces to complete the task. Our previous study revealed that the configuration of the two pieces gave constraint to lead insight to complete the task. In this covert evaluation subjects who were successfully completed the task had evaluated more useful about the configuration of the two pieces which was involved in the correct configuration of the task. The findings of this study indicate that the covert and overt processes are independent of each other in the problem-solving of Tangram.

Key words : insight, problem-solving, constraints, covert and overt evaluation

1. 背景と目的

タングラムとは、正方形から切り取った7個の三角形や四角形のピースを組み合わせ、様々な形を作る数理パズルの一種である(図1)。日本以外にも中国や欧米にもタングラムの歴史があり、欧米のタングラムのなかには、日本や中国で見られるような正方形のものではなく、縦横の比が5:4の長方形のものもある。すなわち、タングラムは図1の構成のものだけを指すのではなく、1つ1つのピースの切り分け方が異なるものもある。タングラムとは、大きさや形の異なる複数のピースを用いて、特定の図形を作成するパズルと考えてよいだろう。

このようにタングラムは広く普及した伝統的なパズル

である一方、国内では算数・数学の授業の教材として用いられることも多い。例えば、小学校5年生の算数の教科書では、図形の「しきつめ」に用いる教材としてタングラムが利用される(橋本ら, 2008)。同様に、小学校2年生の図形の単元でもしきつめの形として利用されており、この授業実践では子どもたちが様々な図形に触れ、試行錯誤しながら特定の図形を完成させることを目的とした(黒田・山田・愛木, 2001)。小学校の算数には、学年が上がるにつれて授業で扱う図形の種類が増えていくが、タングラムは様々な大きさや形のピースで構成されており、その組み合わせによって複数の図形を作ることができる。こうした作業を通して辺の比や角度などを体験的に学び取ると同時に、楽しみながら図形への興味関心や創造性を高めることができる。タングラムは図形の基本を学ぶことに非常に適した教材だといえる。以上

¹ 秋田大学教育学研究科大学院生

² 秋田大学教育文化学部

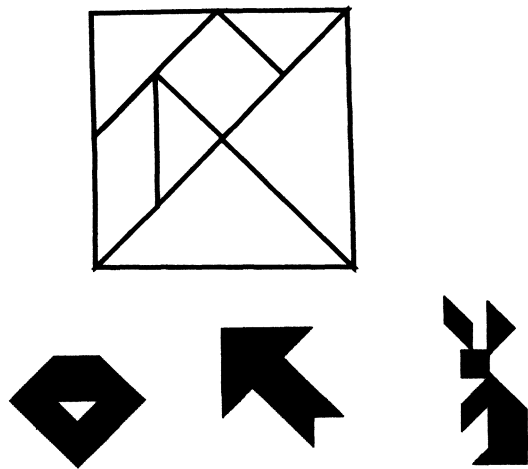


図1 タングラムを構成する7個のピース(上)と作成できる図形の例(下)。

のように、タングラムは娯楽性が高い伝統的なゲームとして、また、図形学習において幾何学的思考力や創造的な発想を高める教材として幅広く利用されている。

一方、認知心理学の分野では、タングラムの問題解決における思考過程について実証的にアプローチした研究はこれまでにない。認知心理学ではタングラムのようなパズル課題は、しばしば洞察問題の例として挙げられる。洞察問題とは鈴木(2003)によると、「定型的な知識によっては解決できず、発想の転換やひらめきが必要とされる問題」とされる。したがって、洞察問題を解決するには自ら解決法を創造しなければならない。

洞察問題の代表的な例としては、図2の「9点問題」が挙げられる。3×3の等間隔に並んだ9個の点すべてを通るように、直線による一筆書きで、かつ曲がる回数は3回以内で結ばなくてはならない。同じ点は何度通ってもよい。一見簡単そうに見えるが、枠の中だけで線を引いてしまうと、どのように通ってもすべての点を通ることはできない。解決するには9点の枠の外に延長して線を引く必要がある。しかし、概して解答者は9点の枠の内側に線を引こうとする傾向が強く、解決が困難になってしまう。

こうした洞察問題に共通する特徴として、鈴木(2003)は以下の4つを挙げている。

- ① 簡単そうに見えてなかなか解けない。しかし答えを聞けば即座に了解できる。
- ② あるやり方がうまく行かないことがわかって、そこから抜け出せず、同じ失敗を何度も繰り返す。
- ③ 問題解決に対して有効な情報が目の前にあっても、それを見過ごす。

- ④ 少なくとも主観的には解が突然ひらめく。

上記の特徴を説明するのに有力な理論として制約論がある(鈴木, 2003; 鈴木・宮崎・開, 2003)。制約とは、多様な情報、仮説の中から特定の情報、仮説を選びだす生体の内的傾向性、あるいは生体に特定の情報、仮説を選択させる外界の特性を指す。洞察問題の解決過程において、何らかの制約が緩和・逸脱され、その評価が適切に行われることが必要になる。つまり、問題解決の初期段階で陥りがちな思考から逸脱し、全く別のアイデアを創造し、それを有効だと判断することで、問題の解決に近づく。

鈴木らは一連の研究で、制約論に基づく洞察問題の解決過程についてタングラムと同じ幾何学的なパズルであるTパズル(図3)を用いて検討してきた。Tパズルは図3のように三角形が1つ、台形が大小1つずつ、五角形が1つの合計4つのピースで構成される。その中で、五角形のピースの置き方が制約に縛られており、その制約を緩和・逸脱することで洞察に至る(開・鈴木, 1998; 鈴木, 2003; 鈴木・開, 2003; 鈴木・宮崎・開, 2003)。一般に制約には、対象の制約・関係の制約・ゴールの制約の3種類があることが示されており、問題表象はこれら3つを含んでいる。

鈴木・宮崎・開(2003)はTパズルの解決過程で、被験者に解決可能性を問う図形評定を行わせた。Tパズルの中で最も強く制約のかかっている五角形のピースに、他のいずれかのピースを組み合わせた画像を12種類提示し、それがどれほど解決に近いかを被験者に10段階

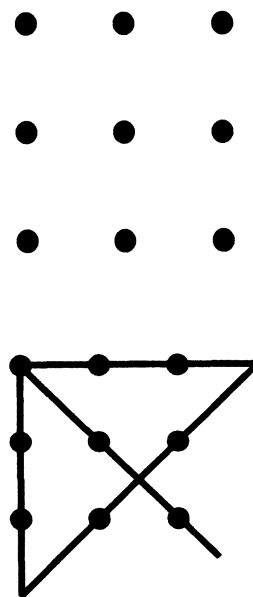


図2 9点問題の刺激(上)と正解例(下)。

で評価させた。この実験では、10分経過してもパズルが解決できない被験者に対して、五角形のピースを正しい向きに固定してヒントを与え、自力で10分以内に課題を解決できた被験者と、ヒントを与えられた被験者に分けた。その上で、制約がかかるピースの置き方への評価を比較したところ、時間内に解決できた被験者の方が評価は適切だった。また、自力で解決した被験者は作業の初期から制約を逸脱する傾向が強いことも明らかになった。

Tパズルとタングラムの類似性を考慮すれば、タングラムの問題解決過程を説明するのにも、制約論を適用するのは有効と思われる。しかし、そこにはいくつかの課題もある。まず第一に、何を制約とみなすかという点である。タングラムにおいては、Tパズルの五角形のピースのような他のピースに比べて複雑な形をしたピースがなく、また作成する図形も様々であるため、どのピースが制約に縛られているのか見通しが持てない。第二に、制約論では制約とそこから逸脱を対概念として洞察に到る過程を説明しようとする。このため、タングラムの解決過程でいつ、どのようにして制約からの逸脱が生じるのかを明らかにする必要がある。

中野(2009)は、図4にあるライオンのシルエットをタングラムの課題図形として、作業者のプロトコルとピースの動きを解析することで、タングラムのピースにかかる制約や、洞察が生じる際の思考内容について検討した。その結果、課題遂行中のプロトコルでは完成直前に“AHA体験”に特徴的な発話が、9名中7名の被験者に

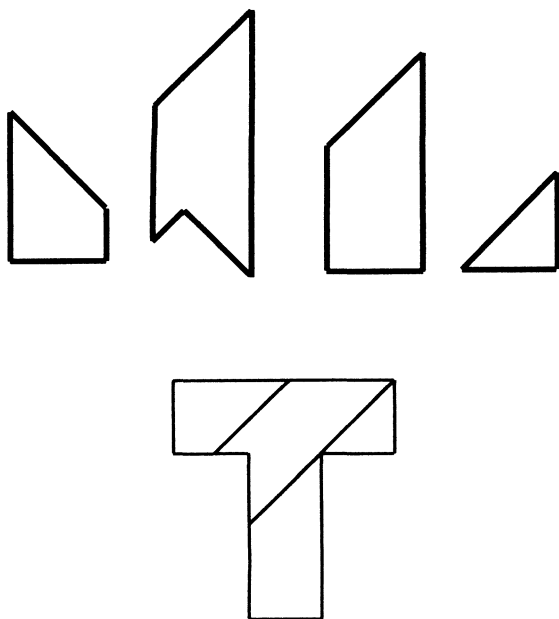


図3 Tパズルのピース構成(上)と正解の配置(下)。

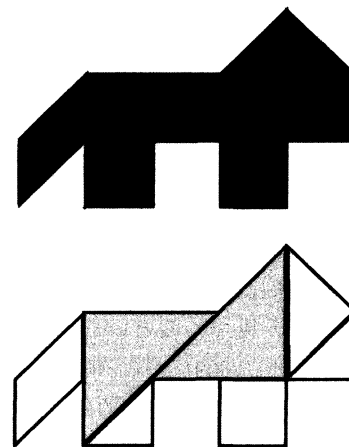


図4 タングラムのライオン課題のシルエット(上)と正解のピース配置(下)。

みられた。こうした発話は作業者がこの瞬間に洞察を得ていた証拠といえる(Kaplan & Simon, 1990)。この洞察時発話は平均して課題完成の26.6秒前に生起していた。すなわち、タングラムでは解決過程のほとんどは正解の見えない試行錯誤が続き、洞察が生じた後は極めて短時間のうちに完成にたどり着くことが分かった。

さらに、中野(2009)では洞察時発話が生じた際の作業者のピースの動かし方をビデオ画像から解析した。その結果、洞察時には図4の正解配置にグレーで示した2個の最も大きい三角形のピースを操作していた。さらに、全作業者についてこの2個の三角形ピースの組み合わせパターンを抽出したところ、作業過程の初期段階では平行四辺形や正方形、三角形といった既知の図形を作ったり、2個のピースを同方向や線対称に配置したりするなど、「きれいな形」を作るという制約が存在し、それが問題解決を阻害していることが示唆された。このことから、少なくともライオン課題においては、特定のピースの配置に制約がかかっており、そこから逸脱が問題解決への鍵になると考えられた。

先述したように、中野(2009)では洞察時発話が完成の直前になって表れたことから、こうした制約からの逸脱は作業者の認識下で潜在的に進行すると考えられる。また、そうであれば制約からの逸脱は主観的な解決可能性の見積もりとは独立している可能性が高い。それを裏付ける研究として、Metcalfe(1986)は洞察問題の解決過程で解が得られそうかどうかについて、主観的な評定を求めた。その結果、問題を解決できなかった参加者ほど、問題に取り組み始めた初期の段階で解決可能性を高く見積もっていた。個人内でも複数の洞察問題について難易度を評価させ、その後問題に取り寄せたところ、

解決できなかったり誤った解しか見出せなかったりした問題ほど、最初は解決しやすいと評定していた。この知見から、解決可能性を高く見積もるほど洞察が得にくくなる傾向は、個人の性格傾向などによるものではなく、洞察問題自体が内包する特質だといえる。

さらに重要な知見として、Metcalf (1986) は解決可能性に関する主観的な見積もりは解決途中の過程では一貫して低く、洞察の直前になって急激に上昇することを見出した。この結果は、洞察問題の解決は少なくとも主観的には突然に浮かんでくるという現象を裏付けている。さらには、中野 (2009) から示唆されたように、タングラムの解決過程では解が主観的には突然浮かぶにしても、意識下では制約の逸脱が進行し、洞察へと近づいているはずである。

本研究では、中野 (2009) と同じタングラムのライオン課題を用いて、解決可能性について被験者の主観的な評価と、意識下での潜在的な評価を並行して測定することを目指した。実験では、被験者は主観的な評価は「現時点でどれくらい解決に近づいているか」ということを visual analogue scale で示した。一方、潜在的評価については、ライオン課題において制約の対象であることが示された2つの三角形の配置について、作業者に正解にどれだけ見えそうかを瞬間的に判断させた。

2. 方法

被験者 実験にはタングラム課題に取り組んだことがない31名の学生（男性21名、女性10名：平均年齢22.3歳）が参加した。

評定作業 解決可能性を評定するために「見通しメーター」を設置した。このメーターには左端に「ぜんぜんできそうにない」、右端に「ほとんどできそう」と表記し、12段階の目盛を設定した。作業者は、その時点でどれだけ完成に近づいていると感じるかを矢印を移動させて示した。メーターでの評定を行う際は、実験者が「評定してください」という合図をした。解決可能性の潜在的評価については、CRT画面上で図形の対比較による評定を行なった。この評定では、2つの直角二等辺三角形を配置した評定図形を7種類用意し（図5）、そのうちの2つを左右に対提示し、より正解の配置に見えそうだと感じた側を選択するよう作業者に求めた。作業者は深く考えず、直感的に判断するよう教示した。7種類の評定図形は、すべての組み合わせで21通りを対提示した。実験に先だて、評定図形とは関係のない三角形や四角形の図形4種類を用いて、6試行の練習を行った。試行の始めに左右に四角形の注視枠を1つずつ1000ms間提示した。また同時に、純音の警告音を

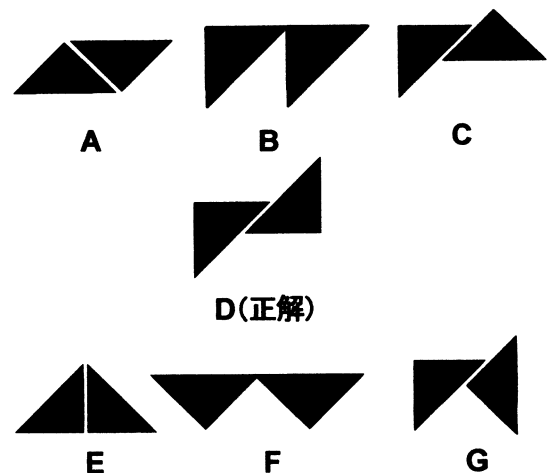


図5 一対比較の評定図形として用いた2つの直角二等辺三角形の配置

500ms間提示した。続いて、評定図形を左右に提示し、600msの後、注視枠と評定図形は消え、白い画面に戻る。作業者は、この間に正解により見えそうだと感じる側を、左手か右手のキーを押して示した。500msの試行間隔の後に、次の試行が始まった。21通りの評定図形の組み合わせは、作業者間でランダムな提示順になるように設定した。刺激の提示や反応の取り込みはSuperLab 4.0を使用し、パーソナル・コンピュータ（DEL Precision）で制御し、反応の入力はSuperLab付属のキーパッド（RB-530）を用いた。

手続き 作成する課題には中野 (2009) で用いた「ライオン」のシルエットを用いた。作業の開始前には、作業台の上に7個のピースが形ごとに並べて置いてあり、作業者はその前に着席する。作業者には、これから7つのピースすべてを使ってある形を作ってもらおうこと、その形が完成したら「出来ました」と報告し、それで作業が終了することを伝えた。また、作業中は「頭の中で考えていることをできるだけ声に出すように」と教示し、理解を促すために、実験開始前にはモデルがライオンとは別の課題を、声を出しながら作成しているビデオを視聴させた。

実験は、参加者にライオンのシルエットを印刷した紙を提示すると同時に始まった。シルエットは縦13cm×横21.5cmの枠にちょうど収まる大きさで、実際に作るタングラムの完成品と同じ大きさだった。作業の様子はデジタルビデオカメラ（Panasonic NV-GS100）で作業者の手元と見通しメーターだけが映るように、作業台の上方90cmから撮影した。それと同時に、口元から約15cmの位置に取り付けたピン・マイク（SONY ECM TS-125）から、発話内容を録音した。作業中、参加者

はタングラムに没頭し、しばしば発話することを忘れた。しかし、作業者の思考を妨害するのを避けるため、実験者からは発話を促すようなはたらきかけはしなかった。撮影した画像と録音したプロトコルから、作業中のピースの動かし方、時間経過、発話内容をオフラインで解析した。

ライオンのシルエットを提示した直後、タングラムのピースに触る前に、作業者は見通しメーターの評定を行い、続いて一対比較による図形配置の評定を行なった。評定が終了後、ピースを動かして課題の図形を完成させる。その後、見通しメーターの評定は2分30秒ごとに最大8回行い、図形配置の評定は5分ごとに最大4回行った。作業開始から20分が経過したら、実験者の指示で作業を終了した。作業終了後、作業者に内省報告を求め、実験は終了した。内省報告では、1) 正解の組み合わせの中で、最も気づきにくかった、あるいは難しかったピースの組み合わせはどの部分か、それに気づいたのはいつか、2) 作業中ひらめきや気づきがあったか、それはどのような場面か、3) 一対比較の評定図形は、どのピースの組み合わせだと思ったか、それをヒントにして実際に使ってみようと思ったか、などについて質問した。

3. 結果

制限時間の20分以内で完成した被験者（完成群）は17名で平均完成時間は11分26秒（SD= 4分28秒，Min= 4分25秒，Max=19分42秒）だった。完成できなかった被験者は14名だった。見通しメーターの評定値は、撮影した画像から12段階の目盛りの小数第1位まで値を読み取った。見通しメーターの評定は、開始時から制限時間の20分までは8回行う。未完成群は8回すべて行ったが、完成群は課題完成の時間によって評定した回数が異なった。このため、解決過程の推移に伴う評定値の変化を両群で比較するには、評定回数が少ない被験者は除外する必要がある。そこで、完成群で10分以内に完成した6名を見通しメーターと一対比較評定の分析からは除外し、完成群11名、未完成群14名の5回目（開始後10分）までの評定値を分析対象とした。図6には完成群と未完成群ごとに、見通しメーターの平均評定値を開始後10分までに示した。群(2)×測定時間(5)の2要因混合モデルの分散分析を行ったところ、測定時間の主効果 ($F[4,92]=16.22, p<.01$) に1%水準で有意差が見られた。群の主効果 ($F[1,23]=0.36$) および交互作用に有意な効果はなかった。

一対比較による評定で提示した7種類の評定図形について、図形A～Dが選択された回数（被選択数）を被験

者ごとに求めた。この数値は7種類の評定図形間で、被験者が正解に使えると評価した程度を相対的に表す。被選択数の最大値は6で、他のすべての評定図形に対して優位に評価されたことを意味する。評定図形ごとの被選択数について、完成群と未完成群ごとの平均値を作業開

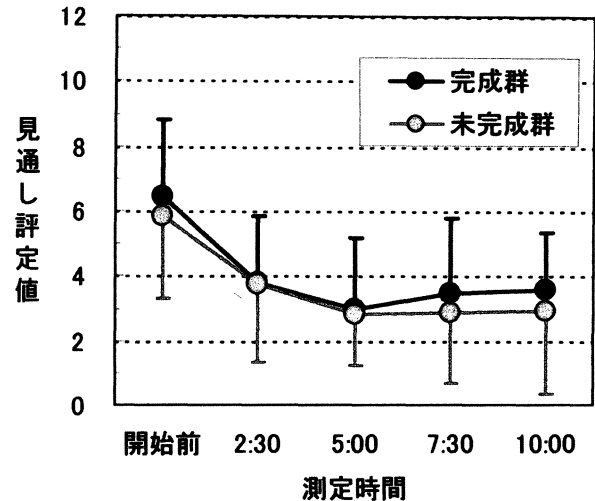


図6 作業時間ともなう見通しメーター評定値の推移 (完成群11名、未完成群14名)。

表1 評定図形ごとの平均被選択数および順位

完成群	A	B	C	D	E	F	G
開始前							
被選択数	4.18	3.55	2.82	1.64	4.36	2.27	2.18
順位	2	3	4	7	1	5	6
5分後							
被選択数	3.00	2.36	3.91	3.82	1.64	2.18	4.09
順位	4	5	2	3	7	6	1
10分後							
被選択数	2.18	1.82	3.91	4.82	0.91	2.36	4.91
順位	5	6	3	2	7	4	1
未完成群	A	B	C	D	E	F	G
開始前							
被選択数	4.5	1.86	2.64	2.29	4.71	2.79	2.21
順位	2	7	4	5	1	3	6
5分後							
被選択数	3.29	2.64	3.21	3.21	3.36	2.64	2.57
順位	2	5	3	4	1	6	7
10分後							
被選択数	2.93	2.29	3.86	3.93	2.50	2.36	3.00
順位	4	7	2	1	5	6	3

※ 図形Dは正解の組合せを示す。

始前、作業開始から5分後と10分後のそれぞれの測定時間ごとに示した(表1)。

評定図形ごとに、平均被選択数を従属変数として群×測定時間の2要因の分散分析を行なった。図形Aでは、測定時間の主効果が1%水準で有意であった($F[2,46]=18.50$)。LSD法を用いた多重比較によれば、開始前での被選択数が5分後と10分後よりも有意に高かった($MSe=1.10, p<.05$)。5分後と10分後の平均値に差はなかった。また群の主効果、交互作用ともに有意でなかった。

図形B(図7右上)では2要因分散分析の結果、群×

測定時間の交互作用が有意だった($F[2,46]=4.37, p<.05$)。群の単純主効果を検定したところ、開始前の測定では1%水準で有意だった($F[1,23]=8.70$)。5分後と10分後では群間に有意差はなかった(5分後 $F[1,23]=.14$, 10分後 $F[1,23]=1.17$)。また測定時間の単純主効果は、完成群においてのみ有意であり($F[2,46]=4.78, p<.05$)、多重比較によれば、開始前の平均被選択数が5分後および10分後よりも有意に高かった($MSe=2.01, p<.05$)。5分後と10分後の間で被選択数に差はなかった。

図形Cでは分散分析の結果、測定時間の主効果が1%

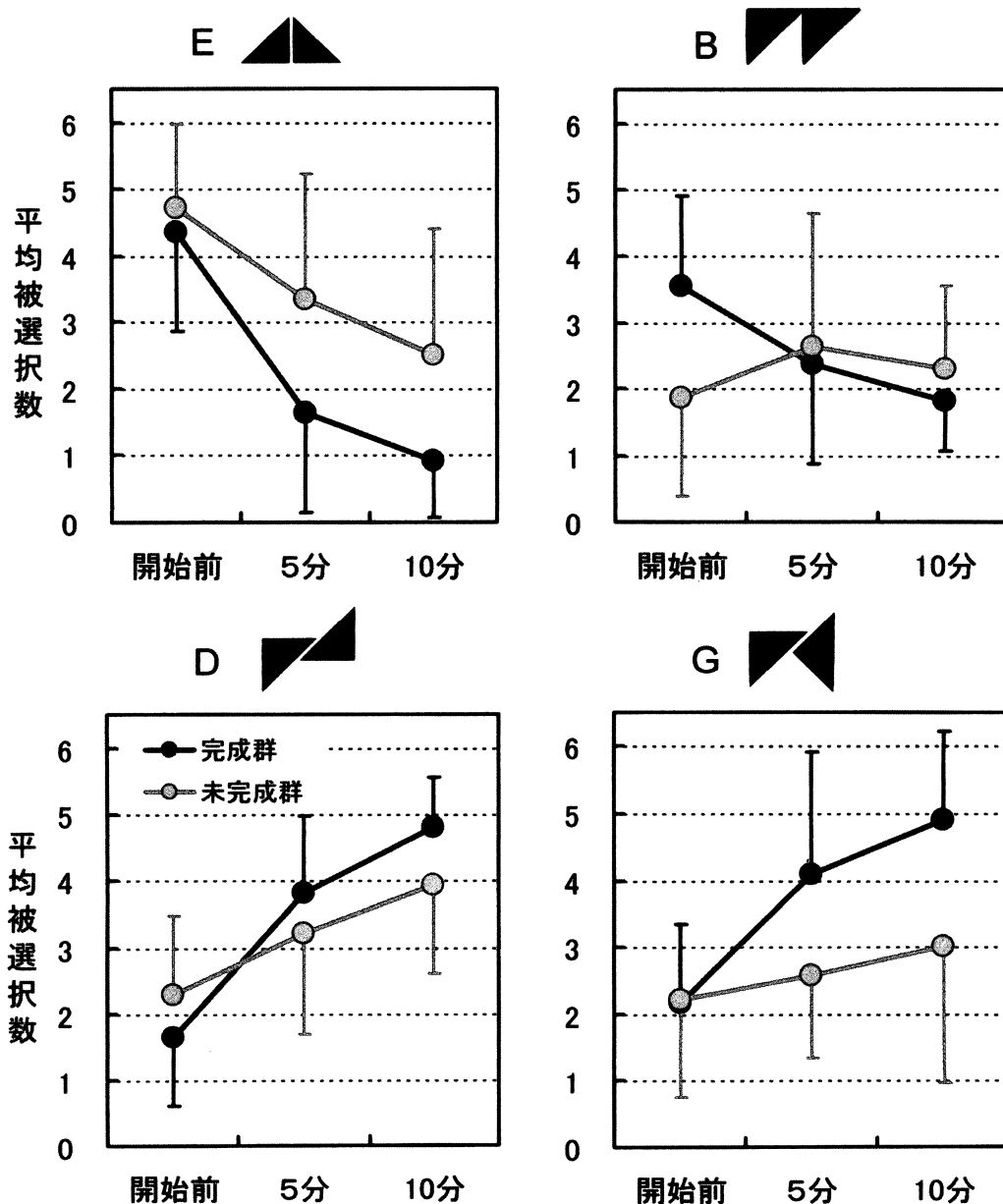


図7 一対比較評定における図形B(右上)、図形E(左上)、図形D(左下)、図形G(右下)の平均被選択数と標準偏差

水準で有意であった ($F[2,46]=7.48$)。多重比較によれば、開始前の測定における選択数平均が5分後と10分後よりも有意に低かった ($MSe=1.17, p<.05$)。5分後と10分後の間では平均値に有意な差はなかった。

図形D (図7左下) では群×測定時間の交互作用が有意だった ($F[2,46]=3.31, p<.05$)。群の単純主効果を検定したところ、開始前と5分後の測定時間では群間の被選択数に有意な差はなかったが(開始前 $F[1,23]=2.03$, 5分後 $F[1,23]=1.17$)、10分後では有意傾向が得られた ($F[1,23]=3.93, p<.10$)。

図形E (図7左上) では、群の主効果が5%水準で有意で ($F[1,23]=7.65$)、測定時間の主効果が1%水準で有意だった ($F[2,46]=29.28$)。多重比較の結果、いずれの測定時間の間にも5%以下で有意差があった。図形Fについては、群 ($F[1,23]=0.59$)、測定時間 ($F[2,46]=0.08$) の主効果、交互作用いずれにおいても有意差はなかった。

図形G (図7右下) では群×測定時間の交互作用が有意だった ($F[2,46]=3.87, p<.05$)。群の単純主効果を検定したところ、開始前の測定では有意差はなかったが ($F[1,23]=0.00$)、5分後と10分後の測定では5%水準で群間に有意差があった (5分後 $F[1,23]=6.25$, 10分後 $F[1,23]=7.28$)。また測定時間の単純主効果は、完成群において被選択数が有意に上昇しており ($F[2,46]=$

$14.37, p<.01$)、多重比較によれば開始前の平均被選択数が5分後および10分後の有意に低く ($p<.05$)、5分後と10分後の間では平均値に有意差はなかった。未完成群では有意な変動はなかった ($F[2,46]=1.14$)。

各評定図形について測定時間に伴う被選択数の変化を検討するために、開始前と開始10分後との間で被選択数の差分値を求めた。図8は完成群と未完成群ごとの、平均差分値を示す。正の値は被選択数が開始前より10分後の方が増加したことを表し、負の値は被選択数が減少したことを表す。評定図形ごとに対応のない t 検定 (両側検定) を行い、群間で平均差分値の差を検定した。その結果、図形G ($t(23)=2.49, p<.05$) と図形D ($t(23)=2.57, p<.05$) は完成群の方が未完成群よりも被選択数の増加が有意に大きかった。図形Bでは、完成群の方が未完成群に比べると被選択数が顕著に減少していた ($t(23)=-2.88, p<.01$)。

ライオン課題において制約の対象となっていると考えられる2つの三角形のピースについて、作業者の実際の操作を調べるため、これらのピースの配置の変化を被験者ごとにビデオ画像から抽出した。表2には、一対比較の図形評定に使用した図形配置について、各被験者が実際の作業過程で作っていたものをアルファベットで示した。表中のアルファベットは図5の図形配置に対応する。開始時から出現した順に図形配置を左から示した。分析

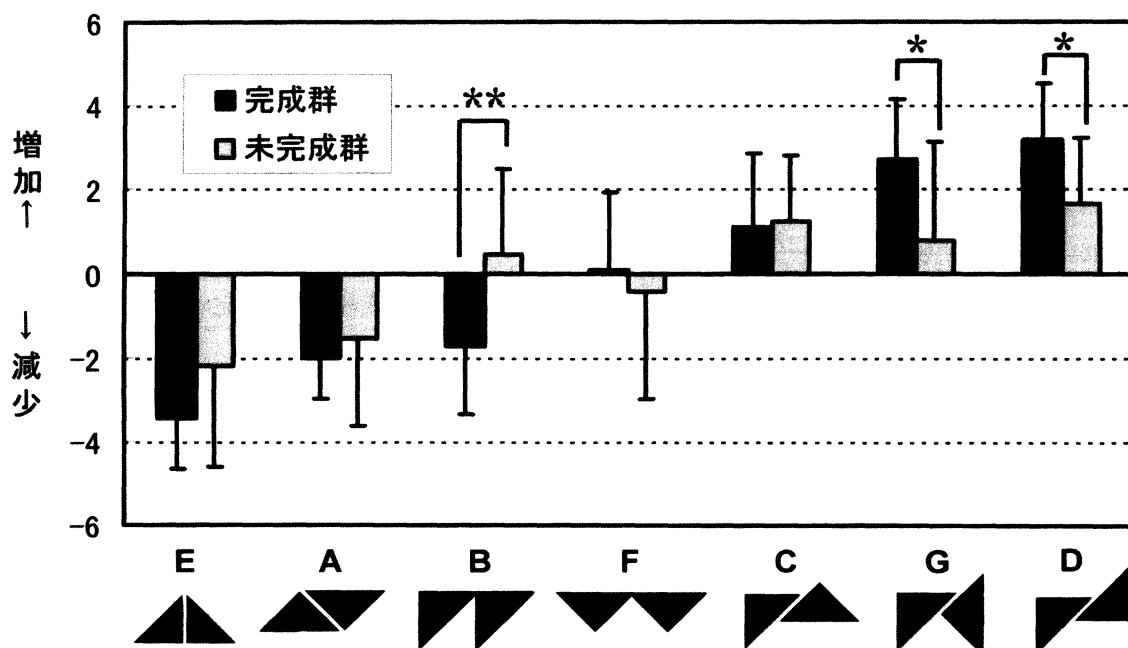


図8 各評定図形における開始前と10分後での被選択数の平均差分値および標準偏差。完成群において差分値が小さい順に左から評定図形を並べた。

表2 最も大きい2つの三角形ピースの作業過程における配置の推移

完成群	図形配置の出現過程	完成時間	未完成群	図形配置の出現過程
1	B→C→D	265	18	B
2	D	276	19	F→A
3	A→D	432	20	B→C
4	A→A→D→D→D	450	21	なし
5	E→D→C→G→G→D	546	22	A→A→F→F→D→D
6	A→A→B→B→B→D→B→D	573	23	G→G→G→G→G→C→G→G→G→C→C
7	B→B→B→B→C→C→B→B→C →C→G→G→B→C→D→B→D	618	24	A→A→B→B→B→G→D
8	D	620	25	なし
9	F→D→D	668	26	E→B→B→A→A→B
10	C→C→D	669	27	A→A→C→C
11	D	690	28	F→F→E→F→A→A
12	A→C→C→C→B→B→C→D	750	29	A→A→B→B→A→A→A→A
13	A→E→A→C→D→E→C→D	825	30	F→A→A→E→A→D→G→F→C→C→A→A →F→A→E→F→A→D→D→C→C→E
14	A→A→A→A→A→A→A→A→A →D	988	31	A→A→A→A→A→A→A→A→A→F→A→A →A→A
15	A→A→F→F→D	1004		
16	B→B→B→B→B→B→B→B→B →B→C→D	1108		
17	E→E→E→D	1182		

1) 1～6までの被験者は一対比較の図形評定の分析からは除外された。

2) 完成時間の単位は秒。

表3 タングラムのピースの操作中に各図形配置が出現した総数と人数比率

完成群	A	B	C	D	E	F	G
出現総数	19	25	16	24	4	3	4
人数比率	.41	.29	.41	1.0	.12	.18	.12
未完成群	A	B	C	D	E	F	G
出現総数	37	10	11	8	5	11	11
人数比率	.64	.36	.36	.29	.21	.36	.29

対象は全作業過程とし、作業者が当該の図形配置を作ってから崩すまでを1回とみなした。したがって、いったん1つの図形配置を作ってから崩し、また同じ図形配置を作ったときには、同じ示すアルファベットが連続する。正解の一部であるDの図形配置は太字で示した。また表

3には、一対比較評定で提示した図形配置について、全被験者が作った総数と、完成群と未完成群で各図形配置を作った人数の比率を示した。フィッシャーの直接法によって群間での人数比率の差を検定したところ、Dの図形配置のみで完成群の方が未完成群よりも出現人数の比率が高かった ($p < .001$)。

4. 考察

本研究は、数理パズルの一種であるタングラムを題材に、その問題解決における思考や洞察の過程を明らかにすることを目的とした。特に、洞察が生じる前の解決可能性に対する作業者の主観的・顕在的な評価と、意識下の潜在的な評価について検討した。主観的評価については「見通しメーター」を用いて、その時点でどれくらい解決に近づいていると感じるか、時系列的に作業者に評定を求めた。その結果、見通しメーターの評定値は作業

開始前では比較的高かったが、時間の経過に伴って漸進的に低下し、開始5分後以降は3前後の値を推移した。評定値が3の値は「ほとんどできそうにない」のラベルに対応しており、タングラムの思考過程で作業者は主観的には解決の可能性をかなり低く見積もっていたことが分かった。重要な点として、Metcalf (1986) では、後で洞察問題を解決できなかった被験者ほど解決可能性を高く見積もる傾向が示されたが、本実験では完成群と未完成群の間で評定値に差はなかった。すなわち本研究では、作業者が主観的に見積もった解決可能性の程度は、その後解決に到達するか否かとは無関連だった。

一方、解決可能性への潜在的な評価については、一対比較を求めた反応時間課題によって測定した。2つの二等辺三角形を配置した図形を7種類用意し、そのうちの2つを対提示し、被験者にどちらの図形配置が正解に使えるそうか瞬間的な判断を求めた。先述したように、ライオン課題では胴体部分で2つの大きな三角形のピース(図4)をずらして置くことが問題解決への鍵になる(中野, 2009)。被験者の内省報告でも、31名全員が課題のピース配置で最も難しかったのは、これらの三角形ピースをずらして組み合わせる箇所だったと回答した。このことからライオン課題のピース配置の中で、この2つのピースの配置に制約がかかっており、そこからの逸脱が洞察につながると考えられる。

一対比較による図形の評定を時系列的に分析することで、ピース配置にかかる制約の性質を特定し、そこからの逸脱過程を明らかにできる。例えば評定図形Eは、開始前は正解に使えると評価されていたものの、作業の経過とともに使えないという評価に変化した(図7左上)。評定図形Eの配置の特徴は、2つの三角形で直角二等辺三角形を構成する点だった。また、2つの三角形で平行四辺形を構成する評定図形Aについても、Eと同様に、被選択数は作業の経過に伴って低下した。評定図形EもAも、三角形や四角形など作業者が日常から接している既存の形である。このことから中野(2009)が示唆したように、タングラムの思考過程において特に初期の段階では、ピースを「きれいな形」に置く制約がかかったことは明らかである。

さらに、表2で図形Aが作られた推移を調べると、完成群では17名中7名がこの最低1度はこの配置を作り、合計で19回出現した。一方、未完成群では14名中9名が作成し、合計37回出現した。全体で、半数以上の被験者が、胴体部分として大きな三角形ピースを平行四辺形に配置したことになる。しかも、図形Aを作った人数比率は完成群と未完成群ともに差はなかった。この結果からも、多くの作業者は当初は制約に沿ったピース配置から、課題を完成させようとしていたことが分かる。

しかしモデルのシルエットと比べると、この配置では胴体の幅が太すぎることになる。こうした違和感の生起が、制約からの逸脱を動機づけるのだろう。図形AとEの双方に関して、被選択数の低下は完成群と未完成群で同様にみられたため、いずれの群でも初期段階での「きれいな形」に置く制約からの逸脱は進んでいたと考えられる。総合して考えれば、タングラムの解決過程において制約からの逸脱は洞察を得るための前提ではあるが、そこから直接洞察に到るのではないといえる。

評定図形AやEといった「きれいな形」の被選択数が減少する一方で、正解に含まれる配置である図形Dの被選択数は徐々に上昇した。この傾向は完成群でも未完成群でも見られた。しかし、開始10分後の被選択数は完成群で4.82、未完成群で3.93となり、完成群の方が高い傾向があった。さらに、開始前と10分後の被選択数の差分値を比較すると、明らかに完成群の方が上昇の程度が大きかった。このように、図形Dが正解に使えるという評価は、完成群でも未完成群でも作業の経過に伴って高くなったが、完成群ではその変化がより大きかった。重要な点として、完成群では図形Dだけでなく、それと類似した図形Gの被選択数も上昇した。開始10分後では、図形DとGの被選択数はほぼ同等で、他の評定図形に比べて著しく高かった。この結果は、完成群の被験者が図形Dの配置を正解に最も近い候補として明確に評価していたのではないことを表す。むしろ、作業者は図形DやGを包括する、斜辺をずらして組み合わせる「ずれた配置」という制約を新たに形成したと考えられる。さらに、実際の作業では完成群の被験者17名の中で図形Gと同じように2つの三角形ピースを配置した者は2人しかいなかった。おそらく、「ずれた配置」の制約に従ってピースを操作すると、2つの三角形ピースと他のピースとの関係性から、実際には図形Dの配置を模索することが多くなるのだろう。

一方、未完成群では図形DやGの被選択数は完成群よりも低い傾向があり、他の評定図形との差別化が十分ではなかった。図形AやEの被選択数も、完成群では開始10分後にそれぞれ2.18と0.91だったのに対して、未完成群ではそれぞれ2.93と2.50で比較的高い評価を与えていた。このことから、未完成群では初期の「きれいな形」の制約が十分に緩和されておらず、「ずれた配置」という新しい制約へ十分に移行できなかったと推測できる。

結論として、初期の「きれいな形」を作る制約を緩和・逸脱し、「ずれた配置」の制約を新たに形成することが、ライオン課題を完成させる過程に不可欠だった。しかも、一対比較による図形評定の結果をふまえば、完成群でも未完成群でも、潜在的には多くの作業者は着実に正解へと近づいていたといえる。このことは「見通

しメーター」による評価が開始5分後に最低になり、その後ほとんど上昇しなかった傾向とは対照的である。つまり、解決可能性に対する主観的な評価と潜在的な評価は、独立もしくは反比例することが示唆された。

Metcalf (1986) は、後で洞察問題を解決できた被験者ほど解決可能性を低く見積もる傾向があることを見出した。同様に認知神経科学の分野でも、Kouniosら (2006) は、洞察が生じる試行では問題を提示する前から前部帯状皮質 (anterior cingulate cortex) が活動していることを示した。帯状皮質は、前頭葉における意図的制御とは別に、制約や心的構えを打開するとき注意を転換させると考えられている (MacDonald et. al., 2000; Mai et al., 2004)。したがってKouniosら (2006) の知見は、主観的な評価とは独立で、洞察に到るための先行条件があることを示唆する。本研究では、Metcalf (1986) が示したように、開始前の主観的な見通しがその後の問題解決の成否を予測することはなかった。しかし一対比較による評価では、作業開始前から既に図形Bの被選択数は完成群の方が未完成群よりも高かった。つまり、完成群の被験者はすでに作業の開始前から「きれいな形」を作る制約がある程度緩和されていた可能性がある。

以上述べたように、タングラムにおける洞察的問題解決では、意識下で進行する潜在的な思考過程が重要な役割を担っていることが明らかになった。しかし、解決過程のすべてが意識下で進行することはない。内省報告を検討すると、作業者がタングラムに取り組む方略は2通りに大別できた。1つは、思考してからピースを動かす方略で、作業者はシルエットとピースの形を見比べたり、シルエットの上から線を引いたり、ピースの配置に見当をつけてから実際にピースを動かしていた。いわばトップダウン型の方略である。もう一つは、ピースを動かしてから思考する方略で、シルエットをあまり吟味せずにピースを動かす、正解に近いと判断したピース配置に固定して思考を展開させる。これはボトムアップ型の方略といえる。作業者はいずれかの方略に限定していたわけではなく、時間経過や作業の進度に応じて使い分けているのだろう。シルエットから正解のピース配置を模索す

るトップダウン的な思考過程と、実際にピースを動かしながら意識下で正解に近いかを評価するボトムアップ的な思考過程、両者は独立して進行し、2つの思考過程が一致したとき洞察が生じるのではないだろうか。

5. 引用文献

- 橋本吉彦他 (2008). 新版たのしい算数 5上 大日本図書株式会社
- 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.
- Kaplan, C. A. & Simon, H. A. (1990). In search of insight. *Cognitive Psychology*, 22, 374-319.
- Kounios, J., Frymaire, J. L., Bowden, E. M., Fleck, J. L., Subramaniam, K., Parrish, T. B., & Jung-Beeman, M. (2006). The prepared mind: Neural activity prior to problem presentation predicts subsequent solution by sudden insight. *Psychological Science*, 17, 882-890.
- 黒田桂子・山田雅博・愛木豊彦 (2001). 基礎的経験を豊かにするための図形教育の実践—タングラムを用いたしきつめ— 岐阜大学教育学部研究報告 (自然科学) 26 (1), 23-33.
- MacDonald, A. W., Cochem, J. D., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2000). Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science*, 288, 1835-1838.
- Mai XQ, Luo J, Wu JH, & Luo YJ. (2004). "Aha!" effects in a guessing riddle task: an event-related potential study. *Human Brain Mapping*, 22, 261-270.
- Metcalf, J. (1986). Promotions of insight predict impending error. *Journal of Experimental Psychology: Memory and Cognition*, 12, 623-634
- 中野良樹 (2009). 数理パズル「タングラム」における洞察的問題解決 秋田大学教育文化学部研究紀要—教育科学部門, 64, 65-72.
- 鈴木宏昭 (2003). 創造的問題解決における多様性と評価—洞察研究からの知見— 人工知能学会論文誌, 19, 145-153.
- 鈴木宏昭・開 一夫 (2003). 洞察問題解決への制約論的アプローチ 心理学評論, 46 (2), 211-232.
- 鈴木宏昭・宮崎美智子・開 一夫 (2003). 制約論から見た洞察問題解決における個人差 心理学研究, 74 (4), 336-345.