秋田大学教育文化学部研究紀要　教育科学部門　69　pp. 121 ～ 131　2014

数理パズル「タングラム」の洞察的問題解決における解決を予測する要因の探索

児　玉　佳　一[1]・中　野　良　樹[2]

Exploration of factors that predicts insightful problem solving in the puzzle game of “Tangram” .

Keiichi KODAMA[1] and Yoshiki NAKANO [2]

Abstract

“Tangram” is a puzzle game which is consisted of seven pieces of triangle and square. Problem-solvers of this puzzle are presented task of silhouette and required to make the same configuration using the 7 pieces. The puzzle game is often used to educate creative and geometrical intelligence of children in teaching of mathematics, drawing and crafts. The purpose of this study is to explore factors that predict the completion of insight problem solving of Tangram. Participants (*N* =139) were required to complete questionnaires for ability of diagrammatical problem solving and metacognition, and to arrange the pieces to the shape of the “lion.” A logistic regression analysis was conducted to examine the influence of predict factors to a completion of the task. The results indicated that “decrease in piece operation”, “long mediation time” and “expectation to solution” had an effect on insight problem solving of Tangram, but “ability of diagrammatical problem solving” and “metacognition” had no effect. The findings of this study generally supported previous study.

Key words : insight, problem-solving, diagrammatical problem solving ability, metacognition, logistic regression analysis

１．背景と目的

1-1．タングラムとは

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）。タングラムは亜種も含めて世界中に広く普及しており，その歴史も長い。また，タングラムは伝統的なパズルゲームである一方で，日本では算数・数学，図画工作の授業の教材として用いられることもある。例えば,小学校５年生の算数の教科書では,単元名“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ている（橋本他，2008）。また黒田・山田・愛木（2001）は，小学校２年生の図形の単元において,「活動の楽しさ」を大切にしながら図形についての基礎的経験を豊かにするために，タングラムを使用した実践を報告している。この報告では，タングラムが子どもたちに興味を抱かせるものであり，高まった関心・意欲が図形に対する基礎的経験を豊かにする源になると考察されている。図画工作では，土屋・丹（1993）は，発想を豊かにするトレーニングとしてタングラムを提案し，小学４年生と６年生にタングラム課題を解かせている。こうした実践報告からタングラムによる図形の作成は，娯楽性が高いために児童・生徒が意欲的に課題に取り組むことができ，楽しみながら図形学習の中で幾何学的思考や創造性を高めることができる教材として幅広く利用されている。

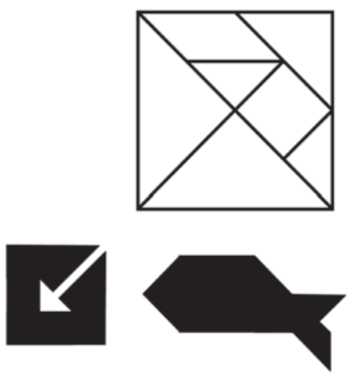


図１　タングラムを構成する７個のピース（上）と作成できる図形の例（下）

[1] 東京大学大学院教育学研究科院生
[2] 秋田大学教育文化学部

1-2. 洞察問題としてのタングラム

一方で，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数少ない。認知心理学の観点から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（2004b）によると，“その解決にひらめき，あるいは発想の転換が必要とされる問題（p.145）”とされている。洞察問題の特徴として，鈴木（2004b）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 あるやり方が上手くいかないことが分かっても，そこから抜け出せず，同じ失敗を繰り返す。

③ 問題解決に対して有効な情報が目の前にあっても，それを見過ごしてしまう。

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有力な理論として制約論アプローチがある（鈴木，2004a, b；鈴木・開，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，仮説を選び出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徴”である（鈴木，2004a, p.49）。問題解決における制約は，換言すると「常識の枠組み」と考えることもできるだろう。洞察問題の解決には，課題が内包する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パターン（制約）から逸脱し，全く別のアイディアを創造し，それを有効だと判断することが，洞察問題の解決において重要となる。

鈴木らは一連の研究で，タングラムと同じ幾何学的なパズルであるTパズル（図２）を用いて，制約論に基づく洞察問題の解決過程について検討した（開・鈴木，1998；鈴木，2004a, b；鈴木・開，2003；鈴木・宮崎・開，2003）。Tパズルは図２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。その中の，五角形のピースの置き方に制約があり，その制約を緩和・逸脱することで洞察に至る。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，Tパズルの問題表象はこれら３つを含んでいる。

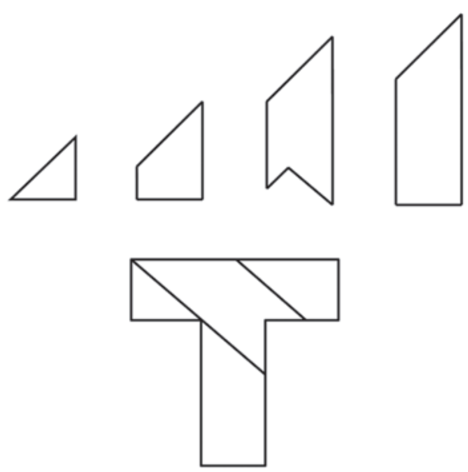


図２　Tパズルのピース構成（上）と正解の配置（下）

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上で，制約論を適用することは有効だと思われる。しかしそのためには，まずタングラムにおいて何が制約となっているか特定する必要がある。また制約論では制約とそこからの逸脱を対概念として洞察に至る過程を説明する。したがって，タングラムの解決において，いつ，どのようにして制約から逸脱するのかを明確にする必要がある。

そこで中野（2009）は，タングラムが洞察問題として制約論的アプローチを適用できるかについて，ライオンを課題図形（図３）として，作業中のプロトコルとピースの動きから調査した。その結果，課題完成の平均26.6秒前に，“AHA 体験”に特徴的な発話が９名中７名の参加者に確認された。“AHA 体験”のような発話は，洞察を得た際の指標になると考えられている（Kaplan & Simon, 1990）。さらに，洞察が生起した際には，図３の正解配置にグレーで示した２つの大きい三角形を操作していたため，全参加者のこの２つの三角形ピースの組み合わせを抽出したところ，作業過程の初期段階では正方形や平行四辺形などの既存の図形としてラベル付け可能な「きれいな形」を作る傾向があった。つまり，タングラムには，ピースの置き方や組み合わせについてきれいな形を作るという制約が存在し，その制約を逸脱することがタングラムの解決につながることが示唆された。

中野（2009）では，洞察の指標となる発話は，平均して完成の26.6秒前に現れていた。これは洞察問題の特徴（鈴木，2004b）の１つである，「少なくとも主観的には解が突然ひらめく」ということと一致している。しかし，制約論では，制約は徐々に緩和され逸脱することを想定しており，上記の特徴とは矛盾するように見える。そこで，渋谷・中野（2010）は，意識下では制約の緩和・逸脱が進行していると想定し，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を測定した。主観的評価は12段階のvisual analogue scaleを使用して測定した。潜在的な評価は，２つの三角形ピースを組み合わせた図形７種類を，一対比較によって，「どちらの図形が解決に役立つと思うか」を選択することで測定した。その結果，主観的な評価は作業開始前に比較的高く，時間の経過によってその評定値を下げ，開始５分以降はほぼ一定して３前後の

図３　タングラムのライオン課題のシルエット（左）と正解のピースの配置（右）

「ほとんどできそうにない」と評定し続けていた。潜在的な評価に関しては，完成群・未完成群のどちらも「きれいな形」の図形を選ぶ傾向から，時間の経過に伴い「ずれた配置」による図形を選ぶ傾向が強くなった。主観的な評価はほとんど上昇しなかった一方で，潜在的な評価は両群とも漸進的に正解へと近づいていたことから，解決へと至る制約の緩和は完成群・未完成群に関わらず潜在的には進行していることが示唆された。すなわち，タングラムの解決過程において，主観的評価と潜在的評価との間に乖離があることが考えられる。

渋谷・中野（2010）の内省報告の結果では，タングラムに取り組む上での方略には，①頭の中でピースを動かす，認識レベルで表象を操作し解決を導き出すトップダウン型の方略と，②とりあえずピースを動かし，解に近いと判断した場合にピースを固定して思考を展開させるボトムアップ型があるとされた。これらの方略は，主観的評価過程と潜在的評価過程とそれぞれ対応することが考えられる。すなわち，トップダウン処理は認識上で心的表象を操作するため，主観的評価が関与すると考えられる。一方，ボトムアップ処理は，制約とその逸脱が関与する潜在的評価過程として考えられる。それを踏まえて中野（2012）は，トップダウン情報を操作する目的で，課題のシルエットが原寸である「原寸条件」と，シルエットの面積を２分の１に縮小した「縮小条件」を設定し，実験を行った。その結果，原寸条件と縮小条件の課題の完成率には有意な差はなかったが，解決時間は原寸条件が縮小条件よりもかなり早かった。また，原寸条件の完成・未完成群や縮小条件の完成群は平均操作回数が時間の経過に伴って減少する傾向があった。一方，縮小条件の未完成群は平均操作回数の減少傾向は示されなかった。さらに，縮小条件の完成群よりも原寸条件の未完成群の方が，平均操作回数が時間の経過に伴って減少する傾向がわずかに強かった。このことから，原寸のシルエットからのトップダウン情報は，実際のピース操作に影響を与えていたと考えられる。しかし，完成率には両条件で差がないことから，トップダウン処理は洞察の生起そのものとは独立した過程もしくはシステムで，ピース操作の減少に代表されるようなボトムアップ処理に洞察との関連性があることが示唆された。

[3]「メタ認知」の概念を提唱したのはFlavell（1971, 1976）であり，1965年の時点では，まだ概念として浸透していないと考えられる。

1-3.　洞察問題の予測要因の検討

中野（2012）は，洞察研究の第一の目的は，どのようにして洞察が生じるのか明らかにすることであると述べている。この目的に対して，心的表象や知識の操作過程として上述の制約論アプローチや問題空間アプローチ（Kaplan & Simon, 1990）などの理論が提唱されてきており，その枠組みに沿った理解・解明がすすめられている。また近年では，田村・三輪（2013）や Thomas & Lleras（2007, 2009）のように，眼球運動を測定することによる身体性認知の研究や，脳機能イメージングの研究（寺井，2011）も進められている。これらの研究は，行為や心的表象の変化が，問題解決中のオンゴーイングな洞察に与える影響を検討できる利点がある。その一方で，これらの研究は個人がもつ特性を考慮していない欠点もある。

洞察問題における個人特性について Burke & Maier（1965）は，協力者のIQや創造性などの問題解決に関連することが示された18の変数を質問紙調査によって事前に求め，洞察問題の解決を予測する要因を探索した。解決―未解決と予測変数について相関係数を求めたところ，５％の有意水準を満たした変数は，観念的流暢性（ideational fluency）のみであり，その相関も弱かった（$r = .19$）。このことから Burke & Maier（1965）は，洞察を必要としない問題（以下，非洞察問題）の解決に関連する要因は，洞察問題ではほぼ関連しないであろうと結論づけている。しかし，この研究では１つの洞察問題に基づいて予測要因を検討しており，他の洞察問題については明らかにされていない。また，問題解決において重要だとされる能力の１つとしてメタ認知能力（三宮，2008）が挙げられるが，Burke & Maier（1965）の研究の時点では，この概念はまだ提唱されていないために，予測要因として検討されていない[3]。

メタ認知能力が非洞察問題解決を促進する効果は様々な研究によって指摘されているが，洞察問題解決においては解決に影響を与えるとする研究と，そうでないとする研究が存在する。例えば服部・柴田（2008）は洞察問題である９点問題について，「できるだけ今までのやり

方にこだわらず，色々な方法を考えてください」などといった新奇なアイディア生成を促す言語的な教示を与えた。その結果，教示群が統制群よりも解決率が高くなることが示され，洞察問題においてもメタ認知の効果は認められると考えられた。一方で Metcalfe（1986a, b）や Metcalfe & Wiebe（1987）は，メタ認知能力は洞察問題を上手く予測できないとしている。例えば Metcalfe & Wiebe（1987, Exp1）は，洞察問題と非洞察問題に対して warmth rating（解決への距離感：中野らの主観的評価に相当する）を問題解決中に 15 秒ごとに被験者に評定させた。その結果，非洞察問題は warmth rating が徐々に上昇し解決を予測することができていたが，洞察問題は warmth rating が解決前に突然上昇し，解決を予測することができなかった。また Metcalfe（1986b）は，洞察問題において解決前から warmth rating を高く評価している参加者は，問題を解決できない可能性が高いことを示した。さらに Metcalfe（1986b, Exp2）は，洞察問題へ取り組む前に５分間で問題が解けるかどうかの期待値を評定させているが，この評定も解決を予測することはできなかった。これらを踏まえると，洞察問題とメタ認知の関係は確実なものとは言い難い。しかし，服部・柴田（2008）の研究は実験的にメタ認知を活性化させていることや，また Metcalfe らの研究も解決中のオンゴーイングな評定であることから，個人特性として保持するメタ認知能力の高さが，洞察問題の解決にどのように寄与するかは明らかでない。

また，タングラムの解決に関する個人特性について考えてみると，幾何学的思考や創造性を高める教材として使用されていることから，図形的問題を解決する能力の高さが関連すると予想される。しかし，中野らの一連の研究は実験的検討を目的としており，こうした個人特性と洞察との関連については，まだ検討されていない。

1-4. 本研究の目的

上記のように，洞察問題研究において個人特性を考慮した研究は数少ないため，そうした解決を予測する個人特性を検討することは, 一定の意義があると考えられる。そこで本研究では，タングラムの課題解決を予測する個人特性として，図形的問題解決能力とメタ認知能力を想定する。また, 中野（2012）は, タングラムにおいてピース操作の減少が洞察に影響する可能性を指摘している。こうした解決中の行動の影響も検討するため，本研究は個人特性に加えて，タングラム課題中の行動として操作回数や長考時間，解決可能性の主観的評定も用いて，問題解決の予測要因を探索することを目的とする。

２．方法

2-1. 実験参加者

139 名の大学生が実験に協力した（男性 49 名, 女性 90 名, 平均年齢 20.15 ± 1.39 歳）。参加者はタングラム課題に取り組んだことがないことを事前に確認して決定した。参加者は個人条件と協同条件にランダムに分けられた。協同条件はペアとし，そのペアはサークルや研究室の同性の友人で構成された。さらに各条件において熟考群・説明群・観察群にランダムに分けられた。本研究では，これらの実験条件群による効果は統制するために，各条件群の実験中に得られたデータは標準得点を使用した。

2-2. 実験器具

タングラムは一般的な型である（図１上）「木製タングラム　ちえしぼり」（エド･インター製）を用いて行った。課題図形はライオン（図３）とし，参加者に提示したシルエットは７個のピースを正しく配置したときにできる形と同じ大きさとした（縦 12.6cm × 横 21.0cm）。また，参加者の主観的な解決可能性を評定するために渋谷・中野（2010）や中野（2012）を参考に，visual analog scale である「見通しメーター」を設置した。このメーターは左端から２段階ごとに「ぜんぜんできそうにない」,「あまりできそうにない」,「どちらかといえばできそうにない」,「どちらかといえばできそう」,「だいぶできそう」,「ほとんどできそう」と表記し，12 段階の目盛を設定した。参加者は３分ごとに，その時点でどれだけ完成に近づいていると感じるかを，備え付けてある矢印を移動させて示した。参加者は実験者の「評定してください」という合図を受けて評定を行った。作業の様子はデジタルビデオカメラ（Panasonic NV-GS100, HDC-TM90）で参加者の手元と見通しメーターのみが映るように，作業台の上方約 60cm から撮影した。また撮影に支障が出ないように，参加者の作業範囲を固定する A3 用紙を用意し，参加者は A3 用紙の上で課題を行うように教示された。

図形的問題解決能力とメタ認知能力の測定は質問紙を使用した。図形的問題解決能力の測定は自作のテストを使用した。問題①，問題②，問題③は中村･河野（2012）の公務員試験の数的推理問題を参考に，問題④は和田・岡田（2005）を参考に，問題⑤は小林（2005）を参考に作成した。なお，笹金（2012）で使用された問題は正答率がかなり低かったため（9.9%），分析から除外した。問題は全部で６問あり，前半最後の３問目と後半最初の４問目の間に白紙のページを挟み，休憩中はその白紙のページを開けて休憩できるようにした。

メタ認知能力の測定は，阿部・井田（2010）の成人用メタ認知尺度を使用した。この尺度は３因子 28 項目で

構成されている。第１因子（11 項目）は課題遂行中から課題終了後までの認知活動について，自らを振り返る「モニタリング因子」である。第２因子（９項目）は課題遂行前から課題遂行中の認知活動において，計画や方略を修正しより良く課題を達成しようとする「コントロール因子」である。第３因子（８項目）は方略についての知識や人間についての知識，課題についての知識である「メタ認知的知識因子」であった。回答方法には，１を「全く当てはまらない」から６を「とてもあてはまる」とした６件法を用いた。図形的問題解決能力調査の問題は資料を参照。

2-3. 手続き

タングラム課題を行う前に個人特性を測定した。個人特性の測定は，参加者の都合上問題のない限り，タングラム課題とは別の日に実施した。個人特性を測定する質問紙は，フェイスシート[4]，図形的問題解決能力尺度，メタ認知能力尺度で構成された。図形的問題解決能力尺度は１ページにつき１問の選択式問題で構成され，解答時間を前半の３問で８分，後半の３問で８分の計 16 分とした。参加者は１から５の選択肢のうち，正解だと思うものに１つだけ○をつけた。問題用紙には余白が十分にあり，参加者は余白に書き込みながら考えることができた。解答の順番は特に指定しなかったが，前半の時間に後半の問題を，また後半の時間に前半の問題を見たり解いたりすることは禁止した。また８分間で必ず前半なら前半の３問に，後半なら後半の３問にすべて目を通し，答えが分からない場合でも選択肢のどれかに○をつけるよう求めた。複数の参加者が同時に調査を受ける場合は，適度な距離を取って着席させ，話し合ったり見せ合ったりできないようにした。解答時間は実験者が口頭で参加者に伝えた。実験者は前半も後半も，４分と６分と７分が経過した時点で時間を通知すると説明し，この３つの時間以外にも伝えてほしい時間があるか確認を取った。要望があった場合は上記の３つの時間以外にも，要望のあった時間を通知した。最後に，この問題の正解数によって謝礼の質が変わるなどの不利益を被ることはないと教示した。前半と後半の間には，休憩を２分間とった。

図形的問題解決能力の調査が終了し次第，メタ認知能力の調査を行った。参加者は各質問項目について，自身が当てはまると思う数字を１つ選んで○をつけた。時間制限は設けず，参加者自身のペースで回答できるようにした。回答記入終了後に，質問紙について○の記入が抜けていないか，参加者自身に確認してもらった。すべての質問紙が終了した後は，後日行うタングラムを用いた実験の概要についての説明と，参加者からの要望があった場合は図形的問題解決能力調査の正解発表と解説を行った。

タングラムを用いた実験に際しては，７つのピース全てを使って課題の図形を作ってもらうこと，制限時間は 12 分であること，３分ごとに見通しメーターで評定を行ってもらうことを教示した。そして，個人条件では，無理にではないが頭に浮かんだことをできるだけ声に出すこと，協同条件では，参加者同士でお互い話し合うなどして協力して解決をすることを求めた。また，課題のシルエットを示した紙の上にピースを直接あてはめることは禁止した。また，個人条件では，参加者の利き腕によって課題を示した紙を右側に置くか左側に置くか選択できるようにした。実験は，参加者が課題図形のシルエットが印刷された用紙を表向きにした後で最初の評定を行い，評定終了後から課題作成を開始した。評定は０分，３分，６分，９分の最大４回行い，評定を行っている間はタイマーを止め，制限時間からは除外した。協同条件では，個人ごとに評定を行い，２名の間に衝立を置き，お互いの評定の様子が見えないようにした。作業中には，参加者の思考を妨害することを避けるため，実験者の方から発話を促すようなはたらきかけはしなかった。参加者が課題図形を完成させた，または 12 分が経過した時点で課題を終了した。課題作成終了後，参加者は答えを見ながら内省報告を行った。

３．結果

以下では，まず質問紙によって得られた図形的問題解決能力とメタ認知能力の分析結果を示す。次に，個人特性やタングラム課題中に得た行動と完成・未完成の相関関係の分析について示す。そして最後に，完成を予測する要因についてロジスティック回帰分析を使用した結果を示す。欠測値については，R 3.0.2 上において mi パッケージの関数 mi( ) を利用し，多重代入法により処理した。

表１　図形的問題解決能力の主成分分析結果

	Ⅰ	Ⅱ	平均正答率
数的推理因子			
問題①	.65	.00	0.43
問題②	.72	−.24	0.54
問題③	.70	−.13	0.55
洞察因子			
問題④	.16	.66	0.26
問題⑤	.21	.77	0.63
累積寄与率（%）	29.36	51.25	

[4] 所属の学部・学科，学年・年齢を記入，結果の処理と扱い方についての注意を記載した。

表２　メタ認知能力の主成分分析結果

	成分負荷量	平均得点(*SD*)
課題が終わったら、自分が学んだことを要約している。	.66	2.70（1.26）
課題や問題が解決した後、全ての選択肢を考慮したかどうか、振り返っている。	.62	3.38（1.22）
課題の中の重要な関連性を理解しようと、繰り返し振り返っている。	.61	3.40（1.15）
意識的に立ち止まり、自分の理解を確認する。	.61	4.01（1.08）
課題が終わった時点で、できる限り学んだかどうか振り返っている。	.61	3.11（1.15）
学んだことを、どれくらい理解しているか、正確に判断できる。	.59	3.13（1.05）
課題に取り組んでいる最中も、自分のやり方がうまくいっているか、自分で分析している。	.57	3.91（1.13）
答える前に、問題に対する別の答えについても検討している。	.49	3.41（1.33）
問いに対して考えられる選択肢をすべて考慮したかどうか、自問している。	.48	3.58（1.24）

図形的問題解決能力尺度については，各問題の正誤を基に主成分分析を行った。その結果 .40 を下回る主成分負荷量は示されず，問題①，問題②，問題③の第１成分と，問題④，問題⑤の第２成分が抽出された（表１）。問題①，問題②，問題③は公務員試験の数的推理問題から作成され，正確な処理の下に答えを推理する問題であるため，この成分を「数的推理」成分とした。問題④，問題⑤はマッチ棒問題や一筆書き問題など，ある種の洞察を求める問題であるため，この成分を「洞察」成分とした。以降の分析では，各主成分の主成分得点を算出して使用した。

メタ認知能力尺度については，阿部・井田（2010）に基づいて，主因子法・プロマックス回転による因子分析を行った。その結果，３因子を抽出したが，質問項目の内容から阿部・井田（2010）の示した３因子構造とはかなり異なり，解釈も難しいと判断した。そこで各質問項目について主成分分析を行った。その結果，固有値の減衰状況（9.40, 2.14, 1.89, 1.76, …）および解釈可能性より１成分を抽出した。さらに負荷量 .40 を下回る項目または他の成分に同等の負荷量を示していた項目は除外し，最終的に９項目を採用した（表２）。この成分は阿部・井田（2010）のモニタリング因子の項目で構成されていたため，この成分を「モニタリング」成分と命名した。９項目に対して Cronbach の α 係数を調べたところ，α = .80 であった。以降の分析では，モニタリング成分の主成分得点を算出して使用した。

タングラム課題の完成者は 61 名だった（個人条件 17 名，協同条件 44 名）。なお，協同条件の参加者が完成した場合は２名とも完成とし，未完成だった場合は２名とも未完成とした。平均完成時間は個人条件では 264.35 ± 139.02 秒，協同条件では 360.14 ± 190.97 秒だった。タングラム課題中の行動は，ピースの操作回数と長考時間をビデオ映像よりオフラインで集計した。ピースの操作回数は中野（2012）を参考に，１つのピースに触れて離す行為を１回の操作とし，実際にピースを動かさない場合も１回にカウントした。長考時間は５秒以上操作が停止した時点から，操作が開始されるまでの時間とした。操作が停止しても，５秒以内に操作を開始した場合は長考時間として記録しなかった。また長考時間中に，ピースを触るのみで回転させたり移動させたりしない場合や，微少なズレを修正するために触るような場合は，長考時間の継続とみなした。また，１分ごとの操作回数と長考時間を元に，時間の経過に伴う変化の指標として操作回数と長考時間の回帰係数を求めた。また，見通しメーターの評定値は，開始から３分以内に完成する参加者も多かったため，全員が評定している初回（０分）の評定値のみを使用した。これらのタングラム課題中に得られたデータは，実験条件群の影響を統制するために標準化して使用した。

表３は各変数間の Pearson の積率相関係数である。完成・未完成と各変数の相関は点双列相関を用いている（完成＝１，未完成＝０）。結果は，完成・未完成は初回の評定値と正の相関を（$r = .14, p < .10$），操作回数の回帰係数（$r = -.23, p < .05$）や長考時間（$r = -.15, p < .10$）と負の相関を示した。個人特性である数的推理成分や洞察成分，モニタリング成分とは相関が認められなかった。

次にこれらの予測要因を独立変数に，完成・未完成を従属変数とした二項ロジスティック回帰分析（変数減少法：尤度比[5]）を行った。なお，操作回数と長考時間（$r = -.75, p < .01$），操作回数の回帰係数と長考時間の回帰係数（$r = -.61, p < .01$）はそれぞれ強い負の相関を示した。これは，操作と長考がそれぞれトレードオフの関係にあるためである。しかし，ロジスティック回帰分析を行うに当たって，これらの変数を同時に投入することは多重共線性の恐れがあるため，以降の分析では，完成・未完成と相関の強い長考時間と，操作回数の回帰係数を使用した。二項ロジスティック回帰分析の結果，操作数の回帰係数（$b = -.50$, OR = .61, 95%CI = .41―.

[5] 以降の分析も変数の選択でも，投入は $p < .05$，除去は $p > .10$ で行った。

表３　各変数間の相関係数

	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ
Ⅰ．完成・未完成	——							
Ⅱ．数的推理	.05	——						
Ⅲ．洞察	−.11	−.01	——					
Ⅳ．モニタリング	.13	−.02	.06	——				
Ⅴ．操作回数	−.02	−.09	.10	−.07	——			
Ⅵ．長考時間	−.15 †	−.06	−.09	−.04	−.75 **	——		
Ⅶ．操作回数回帰係数	−.23 *	−.07	.15 †	−.12	.14	.07	——	
Ⅷ．長考時間回帰係数	.06	.02	−.14 †	.07	−.13	.06	−.61 **	——
Ⅸ．初回評定値	.14 †	−.11	−.02	.16 †	−.01	.03	−.01	.07

90, $p <. 05$)，初回の評定値（b =. 32, OR = 1.38, 95% CI =. 96—1.97, $p <. 10$)，長考時間（b = −. 28, OR =. 76, 95%CI =. 55—1.05, $p <. 10$）が選択され，完成・未完成に有意に影響を与えていることが明らかになった（R^2 =. 12)。多重共線性の確認のために分散拡大要因（Variance Inflation Factor：VIF）を求めたところ，６変数とも 1.02 から 1.05 の範囲に収まり，多重共線性の可能性は低いと考えられる。

また，予測変数が完成時間に与える影響も調べるために，完成時間を従属変数とした多項ロジスティック回帰分析（ステップワイズ法：尤度比）を行った。完成時間のカテゴリーは，各条件群において中央値で２分化し，中央値以上を早い完成群（＝２），中央値以下を遅い完成群（＝１)，さらに未完成群（＝０）の３群を設定した。その結果，参照カテゴリーを未完成群とした場合，早い完成群でも遅い完成群でも操作回数の回帰係数のみがモデルに選択された（早い完成群：b = −. 68, OR =. 51, 95%CI =. 32—. 79, $p <. 01$；遅い完成群：b = −. 46, OR =. 64, 95%CI =. 40—1.01, $p <. 05$；R^2 =. 08)。また，遅い完成群を参照カテゴリーにして早い完成群と比較した場合，有意な変数の選択は認められなかった。

４．考察

本研究の目的は，洞察問題とされる数理パズル「タングラム」を題材に，その問題解決を予測する要因を，図形的問題解決能力やメタ認知的モニタリング能力といった個人特性や，解決中の操作回数や長考時間といった行動を基に探索することだった。その結果，解決を予測する要因にピースの操作回数の回帰係数，長考時間，初回（０分）の評定値が示された。また完成時間には，ピースの操作回数の回帰係数が影響を与えていることが示された。

ピースの操作回数の回帰係数が負であること，つまり時間の経過に伴って操作回数が減少するほど解決に近づくことが示された。これは中野（2012）が示した結果とも合致している。また本研究の結果では，ピースの操作回数自体は，解決に影響しないことが示された。これらのことを踏まえると，ピースの操作といったボトムアップ処理が多く行われるほど解決に近づくわけではなく，むしろ時間の経過に伴ってその処理は収束することが必要となることが示唆される。中野・児玉（2013）は操作性の影響について，実物のピースを操作するタングラムと iPad のアプリを使用したタングラムを比較した。こうした操作という身体的認知について，操作の収束性の観点からの研究が今後の課題となるだろう。

一方で，ピースの操作回数の減少，つまりボトムアップ処理の収束により，トップダウン処理である長考時間が増加することは相関係数が示すとおりであるが，この長考時間の増加自体は解決とほとんど関係がないことや，長考時間の長さ自体は，解決に負の影響を与えることも示された。このことはトップダウン処理が，完成時間には影響を与えるが，解決自体は促進しないことを示した中野（2012）とも一致する。さらには，長考といったトップダウン処理に比重が置かれた場合には，解決可能性が低くなることさえも示唆する結果となった。

今回の研究結果は，中野（2012）で示されたトップダウン処理は洞察の生起とは独立した過程もしくはシステムであり，ボトムアップ処理が洞察の舞台であるという見解に一致する。さらには，ピース操作の減少が解決を予測するという見解を裏付けると同時に，トップダウン処理の多さは洞察を抑制する可能性を示唆している。しかし，本研究の結果のみでは，なぜ操作回数の減少や長考時間の増加が解決につながるのかといった疑問までは解明することができず，あくまで要因としての可能性を提示するに留まる。

本研究では，作業開始前の初回の評定値も解決を予測する要因として示された。つまり作業開始前に高く解決可能性を見積もるほど，解決に近づくと考えられる。この結果は，渋谷・中野（2010）や Metcalfe（1986b, Exp2）の示した結果とは異なる。作業開始前の評定は，課題に対する認知的な情報は何もない状態で行われる。

したがって，この初回の評定は，心的表象を操作するトップダウン処理とは別の側面から情報を得た結果である可能性が考えられる。初回の評定は課題に対する認知的な情報がないことから，この評定値は課題に対する動機づけや，「解けそうだ」と思う有能感が関係していることが想定され，こうした個人特性が洞察問題の解決を予測しうる可能性もある。

また，有意となった行動の要因についても相関係数をみると，初回の評定値（$r = .14$），操作回数の回帰係数（$r = -.23$），長考時間（$r = -.15$）とその値は低い。このことは，こうした行動の要因が影響を与えていることを示している一方で，その影響は弱いことも示しているという点にも注意したい。

本研究では洞察を予測する個人特性として，各参加者の図形的問題解決能力とメタ認知能力を測定し，これらの変数がどのように影響するか探索した。しかし，どちらの特性も解決に影響する要因としては示されなかった。補足的な分析として，図形的問題解決能力やメタ認知能力について，完成群と未完成群の素点の平均値を比較したが，有意な差は示されなかった（図形：$t = 0.07$, $df = 137$, *n. s.*；メタ認知：$t = 1.51$, $df = 137$, *n. s.*）。また，図形的問題解決能力では１問ずつ完成群と未完成群の正答率も比較したが，有意な差は示されなかった。これらの結果について，図形的問題解決能力尺度はタングラム課題と関連する能力を測定できていなかったことが原因として考えられる。しかし，本研究の問題は数的推理問題や洞察性をもつ問題を参考に作成し，その内容も空間認知や操作的推理を要するものであり，ある程度の幅広さがあった。これらの調査のどの問題とも関連性を示さなかったことから，タングラムにおける洞察問題解決と図形的問題解決能力の関連はかなり弱いと考えた方が妥当だと思われる。このことは洞察問題の解決が，パズルであれば図形的能力，文章題であれば読解力といった問題の性質に関連する能力の高さに左右されないことを示唆している。鈴木（2004b）は，洞察問題の特徴の１つとして「問題解決に対して有効な情報が目の前にあっても，それを見過ごしてしまう」ことを挙げている。つまりこうした有効な情報は，問題の性質に関連する能力の高さによって認知されるものではないのかもしれない。

また，メタ認知的モニタリングの高さもタングラム課題の解決と関連しないことが示された。メタ認知的モニタリングはメタ認知的コントロールと併せて，メタ認知的活動と呼ばれている。気づきや予想，評価といったメタ認知的モニタリングと，目標設定，計画，修正といったメタ認知的コントロールが，メタレベルと対象レベルの間の情報の流れにおいて機能することで，メタ認知的活動が行われている（三宮，1996, 2008，図４）。問題解

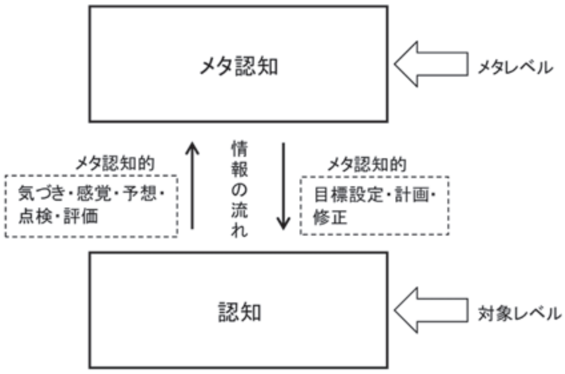


図４　メタ認知的活動のモデル（三宮，1996）

決においては，メタ認知的モニタリングとメタ認知的コントロールの両方が上手く機能することが必要であり，メタ認知的モニタリングのみでは問題解決に寄与しない。なぜなら，モニタリング能力のみが高い場合は，対象レベルからの情報の分析は上手くできるが，その分析を基にした対象レベルでの操作の計画や目標を上手く立てることができないことが想定されるためである。服部・柴田（2008）は洞察問題におけるメタ認知的コントロールについて，“固着からの解離と深い吟味の間の切り替えというおそらく最も高度な認知課題の１つを担うプロセスであろう（p.159）”と述べており，洞察問題解決におけるメタ認知的コントロールの重要性を示唆している。本研究では，メタ認知的モニタリングのみの測定であることから，メタ認知的コントロールも併せた検討が必要であるだろう。

最後に，本研究の限界と今後の課題について述べる。本研究で得られた結果は，洞察問題の解決に寄与する予測要因を示すまでが限界であり，それがどのような心理的メカニズムによって影響を与えているかまでは明らかとなっていない。本研究によって明らかになった要因に対して，実験的検討により心理的メカニズムを解明することが今後の課題である。また本研究で使用した個人特性は解決に影響を示さなかったが，タングラムの解決に影響を与える可能性のある他の個人特性として創造性がある。創造性の指標となる尺度には，TCT 創造性検査（久米，1993）や日本語版 Remote Associates Test（寺井・三輪・浅見，2013）などが挙げられる。これらを指標とした分析によって，個人特性と洞察問題解決の関連を示すことが今後の課題となるだろう。

５．引用文献

阿部真美子・井田政則　(2010)．成人用メタ認知尺度の作成の試み　立正大学心理学研究年報，**1**, 23-34.

Burke, R. J. & Maier, N. R. F. (1965). Attempts to predict success on an insight problem. *Psychological Reports,* **17**, 303-310.

Flavell, J. H. (1971). First discussant's comments: What is memory development the development of? *Human development*, **14**, 272-278.

Flavell, J. H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving. In L. B. Resnick(Ed.) *The nature of intelligence*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. pp.231-235.

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

服部雅史・柴田有里子　(2008)．洞察問題解決における潜在認知とメタ認知の相互作用：9 点問題の場合　日本認知科学会第 25 回大会発表論文集，156-159.

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**, 374-419.

小林みどり　(2005)．文科系の応用数学入門増補版　牧野書店

久米　稔　(1993)．TCT 創造性検査　上里一郎（監）心理アセスメントブック　西村書店　pp.94-106.

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**, 23-33.

Metcalfe, J. (1986a). Feeling of knowing in memory and problem solving. *Journal of Experimental Psychology*, **12**, 288-294.

Metcalfe, J. (1986b). Premonitions of insight predict impending error. *Journal of Experimental Psychology*, **12**, 623-634.

Metcalfe, J., & Wiebe, D. (1987). Intuition in insight and noninsight problem solving. *Memory & Cognition*, **15**, 238-246.

中村一樹・河野裕之　(2012)．2013 年度版公務員試験　すばやく解ける数的推理・判断推理・資料解釈クイック解法の法則 30　新星出版社

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.

中野良樹　(2012)．数理パズル「タングラム」の洞察的問題解決におけるトップダウン処理とボトムアップ処理の統合　秋田大学教育文化学部研究紀要教育科学部門，**67**, 33-41.

中野良樹・児玉佳一　(2013)．数理パズル「タングラム」における洞察問題解決（１）――解決過程におけるトップダウン処理とボトムアップ処理――　日本心理学会第 77 回大会発表論文集，582.

三宮真智子（編）(2008)．メタ認知――学習力を支える高次認知機能　北大路書房

三宮真智子　(1996)．思考におけるメタ認知と注意　市川伸一（編）　認知心理学４――思考――　東京大学出版会　pp.157-180.

笹金龍也　(2012)．数学的問題解決の「ひらめく」状態に推移する過程におけるメタ認知の働きを捉えるための素地的研究　上越数学教育研究，**27**, 133-142.

渋谷　宗・中野良樹　(2010)．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　秋田大学教育文化学部研究紀要人文科学・社会科学部門，**65**, 47-56.

鈴木宏昭　(2004a)．創造的認知から見た問題解決　大津由紀雄・波多野誼余夫（編）　認知科学への招待――心の研究のおもしろさに迫る――　研究社　pp.46-61.

鈴木宏昭　(2004b)．創造的問題解決における多様性と評価――洞察問題からの知見――　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**, 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**, 336-345.

田村昌彦・三輪和久　(2013)．眼球運動が洞察問題解決における固着形成・解消に与える影響の検討　心理学研究，**84**, 103-111.

寺井　仁　(2011)．洞察を対象とした脳機能イメージング研究に関する文献の紹介　認知科学，**18**, 547-553.

寺井　仁・三輪和久・浅見和亮　(2013)．日本語版 Remote Associates Test の作成と評価　心理学研究，**84**, 419-428.

Thomas, L. E., & Lleras, A. (2007). Moving eyes and moving thought: on the spatial compatibility between eye movements and cognition. *Psychonomic Bulletin and Review*, **14**, 663-668.

Thomas, L. E., & Lleras, A. (2009). Covert shifts of attention function as an implicit aid to insight. *Cognition*, **111**, 168-174.

土屋昌義・丹　進　(1993)．豊かなイメージを生みだす研究（Ⅰ）――小学生と大学生におけるタングラムの活用――　東京学芸大学紀要第５部門芸術・健康・スポーツ科学，**45**, 57-78.

和田秀樹（監修）・岡田光雄（著）（2005)．マッチ棒クイズ２　実業之日本社

６．謝辞

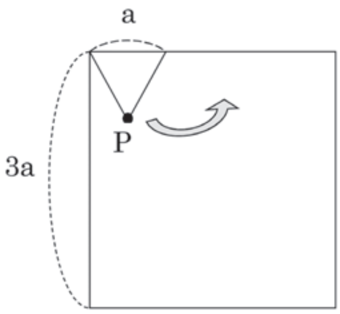
本研究は，多くの秋田大学の学生の皆さんのご協力によって実施することができました。本当にありがとうございました。記して感謝いたします。

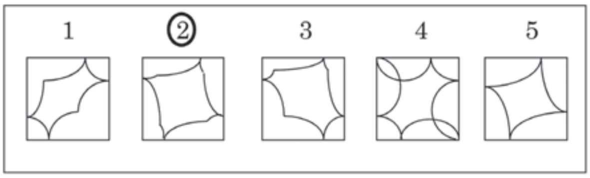
７．資料

正解には○をつけている。

問題①

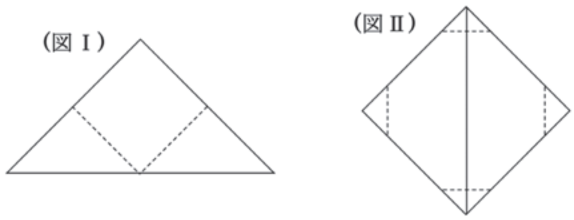
１辺が a の正三角形を，１辺が 3a の正方形の中で図の位置から矢印の方向へ滑らせないで１周ころがします。このとき，正三角形の頂点 P の軌跡として正しいものは，次のうちどれでしょうか。答えを１つ選んで○をしてください。

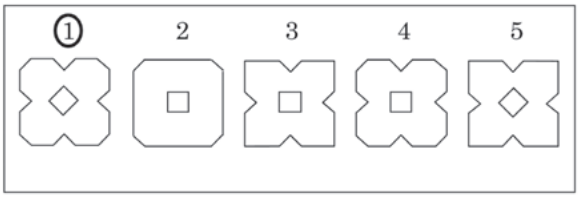




問題③

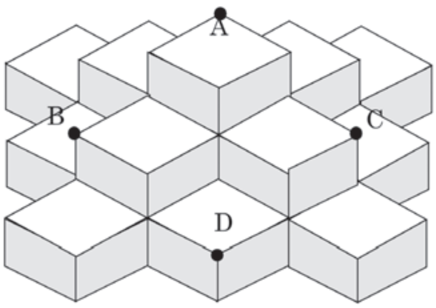
正方形の紙片を対角線の１つに沿って折り，図Ⅰのような直角二等辺三角形を作りました。これを同図の点線の部分で折って図Ⅱのようにしました。さらに図Ⅱの点線に沿って切断し，広げた時に最も大きい紙片の形として正しいものはどれでしょうか。答えを１つ選んで○をしてください。

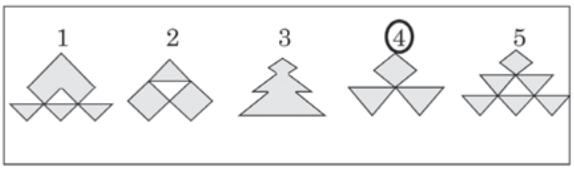




問題②

図のような 19 個の直方体からなる立体を，点 A ～ D の４点を通る平面で切断しました。その切り口の形として正しいのは次のうちのどれでしょうか。答えを１つ選んで○をしてください。

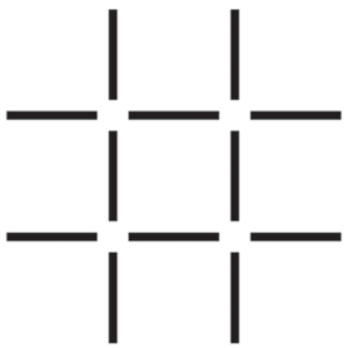




問題④

図Ⅰは12本の直線の組み合わせです。この状態から，３つの同じ大きさの正方形のみを作る時，最少で何本の直線を動かせばよいでしょうか。答えを１つ選んで○をしてください。ただし直線を余らせることはできません。

図Ⅰ

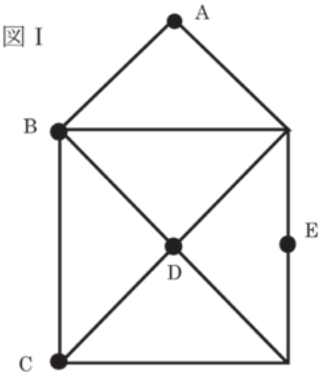


1	2	3	4	5
2本	3本	4本	5本	6本

問題⑤

図Ｉは一筆書きによって表すことのできる図形です。この図形の一筆書きの始点として正しいものは点Ａ～˜Ｅのどれでしょうか。答えを１つ選んで○をしてください。

図Ｉ



1	2	3	4	5
A	B	C	D	E