

『就実教育実践研究』第12巻 抜刷  
就実教育実践研究センター 2019年3月31日 発行

# 心理学教育のための教材研究Ⅷ

— 心的回転 —

**A study of teaching materials for psychology education Ⅷ:  
Mental rotation task.**

堤 幸 一

# 心理学教育のための教材研究Ⅷ

## — 心的回転 —

堤 幸一（教育心理学科）

A study of teaching materials for psychology education Ⅷ:  
Mental rotation task.

Koichi TSUTSUMI (Department of Educational Psychology)

### 抄録

心理学教育のための教材研究の一環として、知覚・認知心理学分野において多く取り上げられる心的回転課題を用いて、収集してきたデータに基づき典型的な本現象例を提示した上、併せて本課題を教材として用いる際の測定試行数や個人差の問題など、学生指導への重要な考察点をいくつか提案・指摘した。

キーワード 心理学教育、学習教材、心的回転

### I 背景と目的

#### 1. 「認知」領域における心的回転の学修の意義

Shepard & Metzler (1971) が初めて報告した心的回転現象は、当時始まったばかりの認知心理学の躍進を大きく支援した。「言語を典型とする概念や記号の処理の総体として、思考を捉える」という行動主義の教義がまだ濃厚に残っていた時代に、少なくともこの現象については、外在する物理的物体に対応する心的な表象を操作していること、すなわち「記号処理以外の方法で操作を行う過程が、思考に含まれる」ことを示唆する彼らの解釈は強烈なインパクトがあったという (Nigel, 2018)。

心的回転について体験的に学修することは、このような心理学史上の重要な知見の概要を知る上でも、また日常的には意識されることが少ない思考過程に注目させる意味でも、初学者には非常に意義深い。

また心的回転現象は反応時間を測度にとるために、多くの個人差を生み出す剰余変数が関連しており、反応時間そのものにおける個人差、尚早反応、集中度、正確さと速度のトレードオフについての参加者の態度、課題理解度、習熟度、受験態度（動機づけ）等が想定できる。これらを自分が参加するときに意識化することも、初学者には意味がある。さ

らに反応時間の反復測定を通じて、これらが「確率事象」の性質を持つことも体験的に把握される。そしてデータ分析を経験しながら、これらへの対処をすることおよび対処法を身に着けることの重要性も確認される。

これらのことから、心的回転現象の測定を教材として使用することには、多くの利点があるといえるであろう。

## 2. 本研究の目的

本研究の目的は、1) 個人差によるデータ不安定性を低減するために、これまで収集してきた心的回転課題におけるデータを統合して、典型的な心的回転現象を明示すること、2) 適正な測定試行数を確認・提案し、3) 心的回転を心的表象に関する教材とする際の重要な考察点や改善点等の情報を提供することである。

## II 方法

### 1. 実験参加者

2014～2018年度の認知心理学を受講した大学生（男9人、女118人、平均年齢19.5歳）、合計127人が測定に参加した。測定試行数と正反応率の関係を検討するために、総試行数が96、144と異なる2群にそれぞれ39人、88人ずつを配当した。

### 2. 実験装置

1) 参加者を各一台デスクトップPC（富士通製K556/P）に配当し、刺激提示・試行間隔などのスケジュール、反応時間測定、データ収集には、HSP3.4により製作された自作の制御プログラムを用いた。作成に当たり、森田ら（2010）の実験プログラムルーチンを参考にした。

2) 刺激材料として、Cooper & Shepard（1973）を参考にして、図1に示したような、アルファベットF（正立文字）およびその鏡映文字を標準刺激・比較刺激に用いた。標準刺激としては、正立文字・鏡映文字（回転0度）を、比較刺激としては、2種の文字に6種の回転を掛けた12種類を用いた。

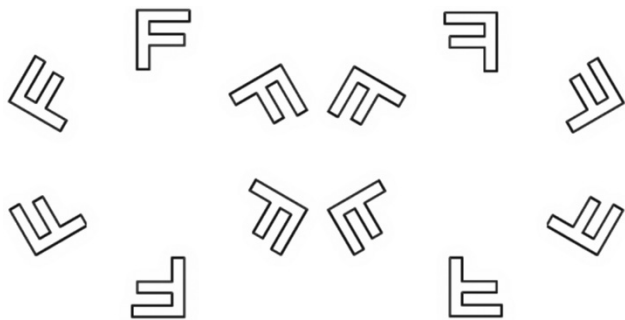


図1 刺激文字（左：正立文字；右：鏡映文字）

3) 実験デザイン 2種類  
の試行数×2種の標準刺激（正立文字 or 鏡映文字）×6回転角度（時計回りに0、60、120、180、240、300度回転したもの）の参加者間1要因参加者内2要因（2×2×6水準）の

混合要因の実験計画であった。

### 3. 手続き

1) 実施前の教示と練習：実験目的を教示したのちに、課題内容と判断へのキーボード（テンキー）による反応方法の練習を実施した。予備調査によると、「回転して同じであること」に、紙に書かれた文字を裏返して重ねるような回転も含めてしまう者が散見されたため、回転は文字が描かれた平面上のみの回転を意味しており、正立文字と鏡映文字はこの平面上の回転によっては一致しないことを強調して説明した。

2) 本試行：測定は継時弁別課題形式であり、試行内のスケジュールを述べると、試行間間隔3秒を取った後、標準刺激として、回転角度0度の正立文字または鏡映文字を1秒提示し、1秒画面消去後、比較刺激として、6種類の回転を掛けた正立文字または鏡映文字を提示し、これが標準刺激を平面回転させた同一の文字であるか否かの異同の判断をできるだけ正確に、かつ素早く決定し、同じならばテンキーの「1」を、異なるならばテンキーの「3」のキーを叩くことで記録させた。なお、教示では、正確さと素早さの比率を均等に意識するように教示した。反応時間は、比較刺激提示からキー反応があるまで1m秒単位で計時した。各試行での反応時間制限は設けなかった。

これを1セッション48試行繰り返させた。標準刺激と比較刺激のペアは全24種類の組み合わせがあるが、これを各ペア2回ずつ合計48試行分を並べて、あらかじめランダム化された順に提示した。試行間間隔3秒+標準刺激提示1秒+消去1秒+反応時間（予備調査から平均1秒ほど）であるので、1試行最大8秒以内を想定し、1セッション6分程度（最速で約5分）で終わるように教示した。またセッション終了時には閉眼して60秒間目を休めたら、次のセッションを各自のタイミングで開始させた。なお測定試行数の影響を検討するために、2セッション（合計96試行）群と3セッション（合計144試行）を実施する群とが設けられた。

## Ⅲ 結果

### 0. データの予備処理

反応時間の分析前に、まず収拾された全反応時間データについて、外れ値の検定と除外を、Smirnov-Grubbs検定によって実施した。結果として除外した外れ値は429個、全測定データの2.6%であった。次に本研究では、異同判断に成功した試行の反応時間のみを分析対象とした。平均正反応率は外れ値除外後で86.7%であった。さらに、個人の正反応率が外れ値と見なされる8人を参加者単位で分析から外した。除外した8人の平均正反応率は46.7%、全体の平均正反応率は8人を除外後、88.9%になった。

最初に、測定試行数、標準刺激種および文字回転角度の要因の効果を検討するために、参加者間1要因（測定試行数、96試行と144試行の2水準）×参加者内2要因（標準刺激

2種×文字回転角度6通りの計12水準)の分散分析を行うことにしたが、それに先立ちMendozaの多標本球面性検定を実施したところ、球面性が満たされなかった( $\chi^2(131) = 438.22, p < .01$ )ため、Greenhouse-Geisserの $\varepsilon = 0.61$ によって補正を行い、その上で分散分析\*を実施した。

### 1. 測定試行数による群差

参加者間要因である試行数の主効果には、有意差はみられず( $F(1, 117) = 0.37, ns$ )、また試行数×標準刺激種、試行数×文字回転角度、試行数×標準刺激種×文字回転角度のすべての試行数を要素に含む交互作用効果にも、同様に有意差がみられなかった。

すなわち、試行数水準の平均反応時間間には有意差はなく、水準数要因の含まれる交互作用にも有意差がみられなかったことから、2セッション96試行でも、3セッション144試行と変わらない反応時間データが得られることがわかった。

### 2. 標準刺激(正立文字) vs 標準刺激(鏡映文字)に対する反応時間の差

引き続き、参加者内要因について検討した(該当する平均反応時間の様子を図2に示した)。分散分析では標準刺激種、文字回転角度およびそれらの交互作用には、有意差がみられた(それぞれ、 $F(1, 117) = 73.94, p < .001$ ;  $F(3.32, 388.6) = 253.34, p < .001$ ;  $F(4.17, 487.62) = 3.76, p < .01$ )。すなわち標準刺激(正立文字)の異同判断に要する平均反応時間は対応する標準刺激(鏡映文字)の反応時間に比して、0.1%水準で有意に短かった。

また文字回転角度要因の主効果に有意差がみられたため、引き続きHolm法による多

重比較を実施して各水準間の差異の検討を行った。それによると、回転角度が0度<60度<300度<120度<240度<180度の順に有意に反応時間は増加していた(差がみられなかった60-300度および120-240度以外の組み合わせは、どれも $t(117) = 7.73 \sim 23.9$ , すべて $p < .001$ )。

さらに、標準刺激種×回転角度の単純交互作用の分析も、標準刺激種内の角度間の差異分析に球面性の補正をGreenhouse-Geisserの $\varepsilon = 0.78, 0.76$ によって行い、その上で分析を実施した。すると、どの回転角度においても、標準刺激(正立文字)の反応時間は標準刺激(鏡映文字)の反応時間に比して、有意に短かった(それぞれ $F(1, 117) = 32.87, 42.72, 51.35, 31.57, 7.60, 15.09$ ;  $p < .001, .001, .001, .001, .01, .001$ )。

また標準刺激(正立文字)内と標準刺激(鏡映文字)内で、回転角度間には、0.1%水準

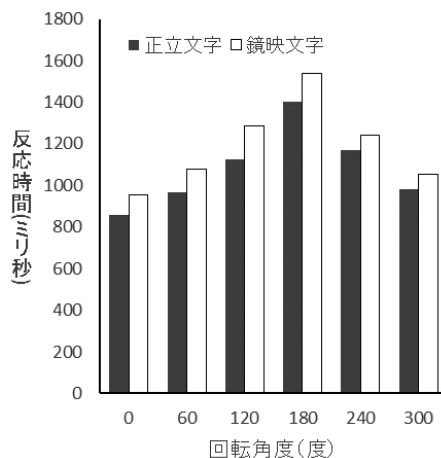


図2 標準刺激×回転角度

で有意差がみられた（それぞれ  $F(3.88, 453.78) = 157.23$ ,  $F(3.81, 446.2) = 174.60$ ; どちらも  $p < .001$ ）。引き続きHolm法による多重比較を実施して各標準刺激内での各水準間の差異の検討を行った。それによると、どちらの標準刺激内においても、回転角度が0度<60度=300度<120度=240度<180度の順に有意に反応時間は増加していた（差がみられなかった60-300度および120-240度以外の組み合わせは、標準刺激（正立文字）で、どれも  $t(117) = 6.88 \sim 20.52$ , すべて  $p < .05$ ; 同様に標準刺激（鏡映文字）で、どれも  $t(117) = 5.79 \sim 21.05$ , すべて  $p < .05$ ）。

### 3. 心的回転としての合併後の分析

結果Ⅲ-2から、標準刺激種によって異同判断への平均反応時間が有意に異なることが明示されたが、より詳細にみれば、どちらの刺激種においても、回転角度が0度<60度=300度<120度=240度<180度の順に有意に反応時間は増加していた。これを心的回転のモデルに沿って解釈すると、本研究でいう回転角度は「時計回り」の角度であり、180度以上の240、300度は、「反時計回り」の角度に換算すれば、それぞれ120、60度になる。

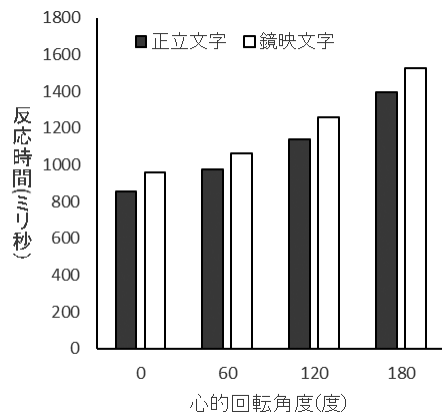


図3 心的回転角度と反応時間

前項の分散分析の結果からも時計回りの240、300度回転は、反時計回りの120、60度回転と有意差はなかったといえる。

そこで、180度を境に時計回りと反時計回りで等価とみなせる回転角度を、心的回転角度として、統合・合併した上での分析を試みる。この方針で算出した平均により作図したものを図3に示した。また合併後のデータに対しても、標準刺激種×心的回転角度の参加者内2要因（2×4水準）の分散分析を実施するために、Mendozaの多標本球面性検定を実施したところ、やはり球面性が満たされなかった（ $\chi^2(118) = 277.52$ ,  $p < .001$ ）ため、Greenhouse-Geisserの  $\epsilon = 0.56$  によって補正を行い、その上で分散分析を実施した。

この分散分析では、試行数群および回転角度合併前に行った分散分析の下位分析と類似の結果が得られた。すなわち標準刺激種、文字回転角度には、有意差がみられた（それぞれ、 $F(1, 118) = 83.95$ ,  $p < .001$ ;  $F(1.84, 217.34) = 420.05$ ,  $p < .001$ ）が、この2要因間の交互作用には有意差がみられなかった（ $F(2.49, 293.81) = 2.11$ ,  $ns$ ）。具体的には標準刺激（正立文字）の異同判断に要する平均反応時間1090m秒は対応する標準刺激（鏡映文字）の反応時間1200m秒に比して、0.1%水準で有意に短かった。

また文字回転角度要因の主効果に有意差がみられたため、引き続きHolm法による多重比較を実施して各水準間の差異の検討を行った。それによると、回転角度が0度<60度<120度<180度の順に有意に反応時間は単調増加していた（各角度間の平均差は順に、 $t$

(118)=9.73, 17.27, 15.43, すべて  $p < .001$ )。そして交互作用が有意でなかったことから、回転角度の増加に伴う反応時間の単調増加傾向は、標準刺激種による違いがなかったといえる。

#### 4. 標準刺激種ごとの回帰分析

心的回転角度を説明変数、異同判断の反応時間を目的変数として、標準刺激種ごとに、回帰分析を実施した。その結果の要約として、参加者全員をプロットした上に、直線回帰式および決定係数を掲載し、回帰直線を点線で描き込んだ散布図を図4、図5に示した。

まず標準刺激（正立文字）の場合について、心的回転角度と反応時間の関係の回帰分析を行った。その結果、相関係数  $r = 0.59$ （決定係数  $R^2 = 0.35$ ）であり、中程度の正の相関がみられ、またこの値は0ではなく、意味のある回帰式が得られた（ $F(1,478) = 251.79$ ,  $p < .01$ ）。さらに角度からの反応時間への偏回帰係数は2.96であり、これも有意に0ではなかった（ $t(478) = 15.87$ ,  $p < .01$ ）。反応時間 =  $2.96 \times$  心的回転角度 + 824.02の関係が導けた（図4）。

次に標準刺激（鏡映文字）の場合についても同様に、心的回転角度と反応時間の関係の回帰分析を行った。その結果、相関係数  $r = 0.61$ （決定係数  $R^2 = 0.37$ ）であり、中程度の正の相関がみられ、またこの値は0ではなく、

意味のある回帰式が得られた（ $F(1,478) = 283.83$ ,  $p < .01$ ）。さらに角度からの反応時間への偏回帰係数は3.19であり、これも有意に0ではなかった（ $t(478) = 16.85$ ,  $p < .01$ ）。反応時間 =  $2.96 \times$  心的回転角度 + 824.02の関係が導けた（図5）。

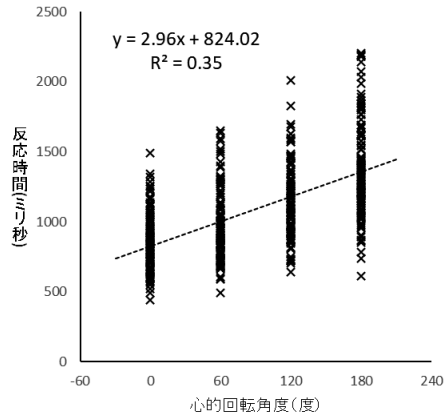


図4 標準刺激（正立文字）への反応時間

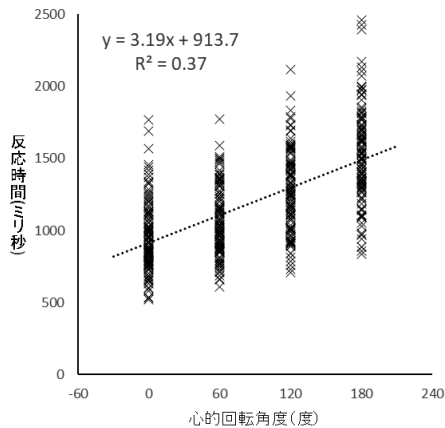


図5 標準刺激（鏡映文字）への反応時間

## IV 考察

### 1. 典型的な心的回転と教材としての意義について

序でも述べたように、本研究の第一の目的は、典型的「心的回転」のデータを提供することであったが、結果Ⅲ-2、3、4に示したように、①実測した0度から300度までの

回転角度と反応時間の間には、時計回り60度と300度、時計回り120度と240度のように、逆回転操作に起因すると推定される等価な「心的回転」に伴う測定値が得られたこと、②等価とみなせる回転角度のデータを合併して再分析すると、0度から180度までの心的回転角度の増加に伴う反応時間の単調増加傾向が明確に存在すること、③標準刺激種（刺激文字の違い）間にはこの単調増加傾向に有意な違いがないこと、がわかった。これらの成果から、典型的なデータの提供の意味は十分に果たせたといえよう。

もっともデータから推定される法則性という面をより詳しくみると、本研究の回帰分析によって得られた統計量は、相関係数  $r = 0.59 \sim 0.61$  で中程度の正の相関、 $R^2$ （決定係数） $= 0.35 \sim 0.37$  であって、回帰式への一致度も1/3程度と決して高くない。これは堤（2014）が教材研究の一環として報告したマグニチュード推定法による面積比判断での回帰分析で得られた統計量（相関係数  $r = 0.996$  で非常に強い正の相関、 $R^2$ （決定係数） $= 0.993$ ）と比較すると、同じように再現性の高い頑健な実測データであるとは言い難い。

しかしながら、マグニチュード推定法を用いた課題はStevensのベキ法則がほぼ該当する精神物理学的な尺度評定課題であるのに対して、本研究の心的回転課題では、測度として「反応時間」を用いている。再現性や頑健性が低下する大きな原因がここにある。目に見えない心的な法則性（心的表象を操作することで異同判断する際に働いている仕組み）を検討するためには、直接的な測度ではない反応時間や正反応率を通じて推測することが必要であり、確立された技法だけでなく、新たな分析方法のアイデアを考察することも大切になる。心理学において、反応時間と正反応率は重要な測度であり、そこに含まれる個人差を主とする剰余変数群の扱いを学ぶための格好の教材にもなる。その点で、心的回転課題を教材に用いることは、理論的にも実用的にも意義深い。

## 2. 適正な測定試行数について

結果Ⅲ-1-1) で示されたように、96試行群と144試行の平均反応時間は、試行数が多い条件の方が短くなる傾向（総平均反応時間はそれぞれ1152m秒と1124m秒、有意ではないがその差は28m秒）があったが、提示刺激種および回転角度による有意差はみられなかった。本研究で実施した測定は、1セッション48試行で、平均5～6分を要するが、連続して集中を求められるため決して楽な課題ではない。したがって、少しでもセッション数を減らせるのは疲労による集中力や動機づけの低下を防ぐという意味でも望ましい。本結果から、144試行（3セッション×48試行）でなくとも96試行（2セッション×48試行）でも同等のデータを得られると判断できる。

## 3. 今後の課題

本研究の第一の目的は、典型的「心的回転」のデータを提供することであったが、結果Ⅲ-2、3、4・考察Ⅳ-1で述べたように、典型的なデータの提供の意味は十分に果たせたといえよう。しかしながら、本研究データには、いくつかの不完全な点も指摘できる。



### 1) 性別比の不均等について

方法Ⅱ-1に示したように、本報告は、受講生の性別構成の関係で、参加者の男女比が大きく女性に偏っている(95%が女性)。これについては、心的回転の反応時間に性差(男性の方が女性よりも速い傾向)が見られるという報告もあるため(蒔苗・河西, 2017)、教材として典型的データを提供するためには、今後も可能な限り男女比率を均等へ近づける努力が必要だろう。

### 2) 個人差発生のさらなる要因分析と対策について

心理学史上、認知心理学発展の重要な論争を引き起こした心的回転研究であるが、結果でも示したように、そもそもデータの個人差も大きく、少人数の測定データからでは、ShepardやCooperの示したような、心的回転角度と反応時間の直線的な関数関係を例示するのは、かなり難しい。従って、実際にこれらの関数関係を参加者が実際に収集したデータも合併した上で、すでにまとめられている中規模のデータ処理に基づいて示範することも必要だろう。

また測定前の教示の時点で、どうしても正立文字と鏡映文字の関係について、印刷面を裏返しに「回転させる」と同一になるのだから、同じ文字だと判断してしまう参加者が散見された。そのような参加者の思い込みを改善させるには、A4大のボードに厚紙で切り抜いた正立文字および鏡映文字片の中央をピン止めして各自に回転させたり、あるいはPC上の3Dソフトウェアを用いてマウスで正立文字・鏡映文字を回転させ見せるといった、異同の意味を実体験させるイメージ訓練を取り入れるなどの工夫が求められる。

## 引用・参考文献

- 1) Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1973). The time required to prepare for a rotated stimulus. *Memory & Cognition*, 1 (3), 246-250.
- 2) 井関龍太. (2017). ANOVAKUN4.8.1 <http://riseki.php.xdomain.jp/index.php?ANOVA%E5%90%B>
- 3) 蒔苗詩歌、河西哲子. (2017). 心的回転における身体への類推と性差. *心理学研究*, 88.16053.
- 4) 森田徹、櫻井美幸、後藤友美、木藤恒夫. (2010). 心的回転実験のコンピュータ・プログラム. *久留米大学文学部紀要 情報社会学科編*, (5), 1-15.
- 5) R Core Team. (2015). R: A language and environment for statistical computing R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- 6) Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171 (3972), 701-703.
- 7) Thomas, Nigel J.T., "Mental Imagery", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring

2018 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/spr2018/entries/mental-imagery/>>.

- 8) 堤幸一. (2014). 心理学教育のための教材研究Ⅲ—マグニチュード推定法を題材とした心理統計演習— 就実教育実践研究, 8, 123-133.

---

\* なお統計分析は主に統計環境 R 3.4.1 を用いて行い、分散分析には ANOVAKUN4.8.1 (井関, 2017) を使用した。ANOVAKUN は R 上に提供された処理関数群である。また回帰分析には Microsoft 社 EXCEL2016 のデータ分析機能を使用した。