

刺激の位置を含む複数属性と反応のマッピング学習

藤井 佑実子*・森田 昌彦**・森田 ひろみ***

* 筑波大学 大学院図書館情報メディア研究科

〒305-8550 茨城県つくば市春日 1-2

** 筑波大学 システム情報系

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

*** 筑波大学 図書館情報メディア系

〒305-8550 茨城県つくば市春日 1-2

yfujii@slis.tsukuba.ac.jp

(受付：2016年9月29日；受理2017年4月27日)

Learning to Map Combinations of Attributes Including Stimulus Location to Responses

Yumiko FUJII*, Masahiko MORITA** and Hiromi MORITA***

*Graduate School of Library, Information and Media Studies, University of Tsukuba

1-2 Kasuga, Tsukuba, Ibaraki, 305-8550 Japan

**Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

***Faculty of Library, Information and Media Science, University of Tsukuba

1-2 Kasuga, Tsukuba, Ibaraki, 305-8550 Japan

(Received 29 September 2016; Accepted 27 April 2017)

Location is considered to play a unique role in object perception, such that focusing attention on an object location combines features of various attributes. However, whether location plays a unique role in visuomotor mapping is unclear. Therefore, we compared stimulus location with other visual features in a multi-attribute stimulus-response mapping learning task. Participants were required to learn the mapping of four sets of stimuli to four response keys. Four objects made by combining two colors and two shapes appeared left or right to the center of the display. These eight stimuli were categorized into four sets: identical color and shape, identical shape and location, identical color and location, and a non-identical feature set. Consequently, participants could learn to map combinations of location and other features to responses, though it was relatively difficult to learn, suggesting that location and other features are combined equivalently in the visuomotor mapping.

1. はじめに

我々は日常的に様々な物体を知覚し、それを基に適切な行動を選択することを繰り返しながら生活している。例えば、青信号を見て進み、赤信号を見て一時停止することがこれにあたる。この

ような視覚手がかりと運動反応との結合は哺乳類の行動の中でも最も柔軟性のある能力の一つであり、条件付き運動学習と呼ばれてきた¹⁾。より最近では、この学習のことを Wise & Murray²⁾ は、任意の視覚運動マッピングと呼んでいる。「任意の」とは、あらゆる検出可能で弁別可能

な刺激からあらゆる運動反応へのマッピングが可能であることを意味する。それゆえにマッピング関係は多様で可変性があるが、長期的に学習することにより行動選択が自動的に行えるようになる。

視覚運動マッピングの学習は、信号あるいはシンボルに導かれた行動獲得の基盤となる能力である。中でも、複雑な刺激と運動のマッピングは、ヒトの高度な認知的行動や社会的行動に必要な不可欠なメカニズムである。これまで、このようなマッピングを脳がどのように計算しているかについて様々な研究が行われており、視覚運動マッピングに関与する神経回路の基本的構成要素の特定などが行われてきたが³⁻⁶、これらの研究において用いられた視覚刺激は、単一属性または、パターン図形や日常的なパターンであった。一方で、日常生活にあふれる物体やシンボルは様々な属性の視覚特徴を統合することによって表現されており、我々はその中の反応に関連する視覚特徴の組み合わせに注目して適切な行動を想起していると考えられる。人間の視覚系は物体認知の際に、まず属性ごとに特徴処理をして、その後それらを統合している⁷とされることから、視覚運動マッピングでは、関連特徴の統合表現と適切な行動の連合関係が学習によって長期的に記憶されると考えられる。そのように考えると、このときに属性同士がどのような表現で結合して適切な行動と連合するのかが問題となる。しかし、先行研究³⁻⁶のように単一属性から成る視覚刺激を用いて検討すると、他の属性とどのように組み合わせられて行動と連合するのかが検討することができない。また、複数の特徴が統合されたパターン図形を用いて検討すると、どの属性の特徴が行動と連合したのか特定することができない。

この問題に対して、Ishizakiら⁸は、色、形およびテクスチャの3属性の排他的組み合わせを用いた刺激反応マッピング学習課題を用い、その学習が可能であることを示した。さらに、彼らは3属性の視覚特徴の組み合わせと反応のマッピング学習が、2属性の視覚特徴の組み合

わせと反応のマッピング学習と比較して困難であることを示した。この結果は、3属性の視覚特徴を結合した表現が脳内につくられるには、かなり長期にわたってその組み合わせを経験する必要があるのに対し、2属性の視覚特徴の結合の場合には、比較的素早く獲得できる表現形が存在するとする対属性仮説⁹を支持する。すなわち、2属性の特徴の組み合わせと反応のマッピング学習は1個の属性対と反応の連合であるため学習成績が良いのに対し、3属性の場合には2個以上の属性対と反応を対応させる必要があるため、学習が困難であると考えると妥当な結果である。

3属性の特徴の組み合わせが、属性対の集合によって表現されるという考え方は、Hommel^{10,11}も述べている。彼は、Kahnemanら¹²のプレビュータスクを拡張した実験を行い、特徴の結合関係は2特徴の結合から成るゆるいネットワークとして表現されると考えた。Kahnemanら¹²の実験では、プレビュー画面において数個のアルファベット文字を短時間提示し、遅延時間後にターゲット文字を提示し、実験参加者にそれを答えさせ、その反応時間を測定した。このとき、プレビュー画面において、後のターゲット提示位置にターゲットと同一の文字が提示されていた場合に反応時間の利得が生じたが、プレビュー画面において別の位置にターゲットと同一の文字が提示された場合は利得が生じなかった。しかし、別の位置にターゲットと同一の文字が提示された場合でも、その文字を囲んでいた枠が遅延時間中に移動し（遅延時間中、文字はすべて消えるが、枠は見え続ける）、その移動先にターゲットが提示された場合には利得が生じた。これらのことから、この利得は単なるプライミング効果ではなく、プレビュー画面で提示された個々の物体に対して作成されたオブジェクトファイルの中から、ターゲットが提示された時点から遡ってターゲットに対応するものにアクセスしたとき、その内容が一致していれば素早く認知できるために生じたと考えられた。彼らはこの利得をプレビュー効果と呼

んでいる。Kahnemanら¹²⁾のオブジェクトファイルモデルでは、物体の持つすべての特徴がまとまって、その位置に紐づけられて記録されると考える。一方、Hommel^{10,11)}は、このプレビュー効果をより詳細に調べることで、イベントファイルモデルを提案している。彼らが行った実験では、プレビュー刺激として1個の刺激(S1)を提示し、遅延後にもう1個の刺激(S2)を提示して、実験参加者にS2の形が「○」か「×」かを答えさせた。このときS1とS2の間で、色、形、位置のいずれかの特徴、あるいはそれらの組み合わせが繰り返されるか、変わるかをシステムティックに操作して、繰り返されたときの利得を調べた。その結果、刺激の特徴に関して色、形、位置のどれか1特徴が繰り返された場合には、利得(すべての特徴が変わってしまった場合と、どれかの特徴が繰り返された場合の反応時間の差)は生じなかったが、形と色がそろって繰り返された場合、および形と位置がそろって繰り返された場合には、利得が生じた。しかし、形と色に加えて位置も繰り返された場合に利得が増すことはなかった。これらの結果から、Hommel^{10,11)}は、刺激特徴の結合表現は、オブジェクトファイルのようにすべての特徴が結合してできた1個の統合的な表象ではなく、複数の局所的結合、すなわち形と色のバインディングや、形と位置のバインディングに分散して記憶されると考えた。彼は、このような結合表現を、2特徴のバインディングからなる分散型ネットワークと表現している。この考えは、Ishizakiら⁸⁾の3属性の特徴の組み合わせが属性対の集合によって表現されるというモデルと一致する。

ここで、Ishizakiら⁸⁾が実験において用いた属性は、色、形およびテクスチャの3種類であった。これらの視覚属性は、その物体が何であるかという、物体認識に関わる性質に密接に関係する。一方、物体が持つ性質にはほかに、3次元空間内の位置や運動がある。これらの空間属性の中でも位置は、視覚情報処理や視覚作業記憶において特別な属性として考えられることが

多い。Kahnemanら¹²⁾は、視覚情報処理や視覚作業記憶に関して物体の時空間的位置情報を基盤としてオブジェクトファイルが生成され、物体のもつ属性値が記録されるとしている。そして、物体が移動してもそれを追跡し続けることができればその同一性は保たれ、その他の属性値が変化した場合にはそれらが書き換えられるとした。したがって、位置を物体の同一性を保持するための特別な属性とする。また、Treisman⁷⁾の特徴統合理論では、位置を要として特徴を統合すると考えることからして、位置を特別な性質としている。一方で、Hommel^{10,11)}のイベントファイルの考えでは、知覚や視覚作業記憶における位置情報を特別な属性と捉えてはおらず、他の特徴と全く同様にその物体の同一性に寄与すると考えている。

それでは、視覚運動マッピングにおける属性同士の結合関係の表現において、位置は特別な性質を持つのだろうか。そこで、本研究では、色と形と位置の3属性の組み合わせや形と位置、色と位置の2属性の組み合わせと反応のマッピングが学習可能かどうかについて検討した。また、脳内の視覚情報処理において、物体認識に関わる属性と空間内位置に関わる属性は異なる経路で処理されることから考えると^{13,14)}、異なる処理経路で処理される属性の組み合わせは、同じ処理経路で処理される属性同士の組み合わせよりも属性間の結合や反応との連合形成が難しい可能性がある。そこで、もし上記のマッピングの学習が可能とすれば、色と形の属性対と反応のマッピングと形と位置の属性対や色と位置の属性対と反応のマッピングの学習難易度に違いがあるのかについて検討した。

2. 実 験

2.1 実験参加者

正常な視力(矯正視力を含む)で正常な色覚を有する18~28歳までの28名の実験参加者(男性12名、女性16名、平均年齢20歳)が実験に参加した。実験参加者は全員、過去に同様の実験に参加したことがなく、実験の目的を知

らなかった。実験は、筑波大学図書館情報メディア系における研究倫理審査を受け、実験参加者への十分な説明と、書面による同意の上で行われた。

2.2 実験環境

実験は、簡易暗室内で行った。コンピュータ(DELTA社製 Precision 390)とCRTディスプレイ(TOTOKU社製 CV921X)を使用し、刺激の提示はMATLABとPsychophysics Toolbox¹⁵⁻¹⁷⁾で制御した。入力装置としては、テンキーパッド(ELECOM社製 TK-UFHBK)を使用した。このテンキーパッドは暗室の中でも間違わずにキーを押せるようにするために、実験で使用する縦並び4つのキー(「7」キー、「4」キー、「1」キー、「0」キー)にシールを貼り、その他のキーにカバーをかけて使用した。実験参加者はCRTディスプレイの正面に置かれた椅子に座り、顔面固定器具に頭部を固定して実験を行った。なお、観察距離は114.5cmであった。

2.3 刺激

実験で使用したアイテムは8種類であり、色、形、位置属性の特徴を組み合わせで作成した。色属性は赤か緑(どちらも 5.7 cd/m^2)、形属性は三角形と四角形(視角が約1.4度)、位置属性は画面中央から見て左に提示されるか右に提示されるかという特徴を使用した。位置は、提示アイテムの中心座標が、ディスプレイ中央を中心とする半径が視角約3.7度の仮想円上の90度と270度の点上に位置するようにした。なお、アイテム提示画面の背景は黒色(0.0 cd/m^2)であった。

2.4 手続き・デザイン

8種類のアイテムと4つの反応キーの対応関係を学習する刺激反応マッピング学習課題を行った。1試行の流れを説明する(図1)。まず、中央に注視点が提示されるブランク画面が1秒間提示された後、8種類のアイテムからランダムに選ばれた1つのアイテムが提示される。実験参加者はこのアイテムを見て、反応としてテンキーの4つのキーのうち1つを選んで押す。この反応が正解であれば試行が終了し、次の試行に進む。不正解の場合は、400Hzのブザー音が0.15秒鳴って次の試行に進む。また、反応には制限時間が設定されており、制限時間内に反応できなければ900Hzのブザー音が0.15秒鳴った後に次の試行が始まる。制限時間は初期設定が2秒で、その後10試行ごとの平均正答率が70%を超える場合には5%縮め、70%未満である場合には5%延ばした。これは、学習が進んだときにじっくりと考えて反応してしまうことを防ぎ、素早い反応を学習させるためである。

本実験で設定したアイテムと正解キーの対応関係の一例を表1に示す。刺激の提示位置と4つの反応キーの間に元々の対応関係がないように、反応キーには縦に並んだ4つのキーを割り当てている。この対応関係通りに反応キーを押すことができれば正解ということになるが、実験参加者には事前にこの対応関係を教示せず、試行を重ねる中で試行錯誤して学習してもらった。対応関係の種類としては、2つの属性が反応と関連する2属性アイテムと3つすべての属性が反応と関連する3属性アイテムがあ

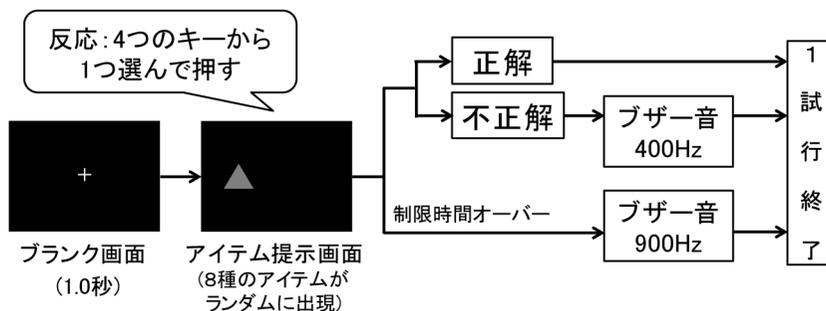


図1 1試行の手続き。

表1 アイテムと反応キーの対応関係の一例。

2属性アイテム				
色-形アイテムセット(位置特徴は反応と無関連)				
アイテム	色	形	位置	反応キー
	赤	三角形	左	Aキー
	赤	三角形	右	
形-位置アイテムセット(色特徴は反応と無関連)				
アイテム	色	形	位置	反応キー
	緑	四角形	右	Bキー
	赤	四角形	右	
色-位置アイテムセット(形特徴は反応と無関連)				
アイテム	色	形	位置	反応キー
	緑	三角形	左	Cキー
	緑	四角形	左	
3属性アイテム				
3属性アイテムセット(全ての特徴が反応と関連)				
アイテム	色	形	位置	反応キー
	赤	四角形	左	Dキー
	緑	三角形	右	

る。2属性アイテムは、色と形属性が反応キーに対応づけられる「色-形アイテムセット」と、形と位置属性が反応キーに対応づけられる「形-位置アイテムセット」と、色と位置属性が反応キーに対応づけられる「色-位置アイテムセット」がある。例えば、表1に示した色-形アイテムセットの例であれば、赤い三角形なら左右どちらの位置に提示されてもAキーを押すのが正解となる。一方、3属性アイテムは、3つの属性を考慮しなければ正解キーを導き出すことができない。表1の例であれば、赤い四角形が左に提示されたとき、または緑の三角形が右に提示されたときにはDキーを押すのが正解となる。このような方法で、2種類のアイテムに対して1つの反応キーを対応づけた^{*1}。なお、この対応関係は、実験参加者ごとにアイテムの特徴の組み合わせを変えてカウンターバランスをとった。また、各アイテムセットに対する4つの反応キーの割り当てについても、実験参加者ごとにカウンターバランスをとって割り当てた。

実験は、練習として8試行（各アイテムにつ

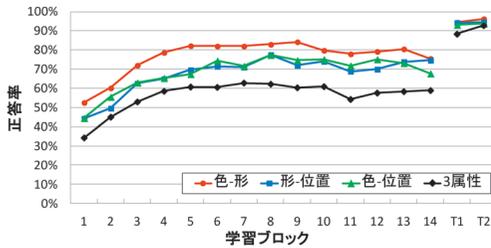


図2 正答率の推移。

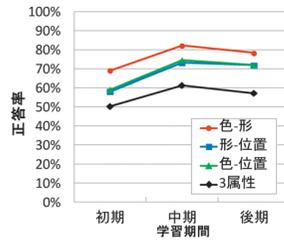


図3 学習期間ごとの正答率。

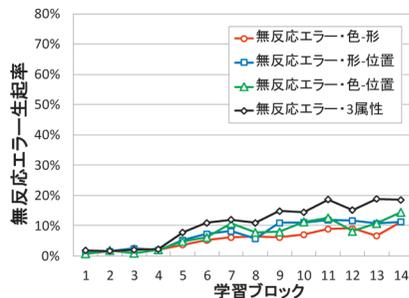
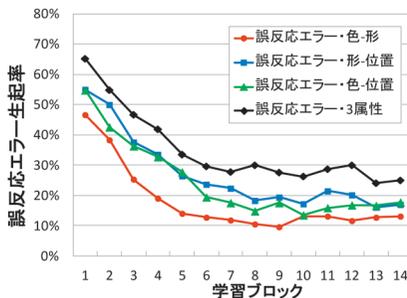


図4 誤反応エラーと無反応エラーの生起率。

き1試行)行った後に学習ブロックを14ブロック行った。その後、学習が十分にできた後の反応時間を計測するために、反応に制限時間のないテストブロックを2ブロック行った。1ブロックは80試行からなる。この80試行には、8種類のアイテムが各10試行ずつ提示されるが、提示順番はランダム化される。なお、学習ブロックにおける制限時間は、ブロックを越えて連続的に扱われる。

2.5 結果

28名の実験参加者のうち、1名は学習ブロック全体の平均反応時間が全実験参加者の平均値から標準偏差の3倍以上離れていたため、結果から除外した。また、反応時間はアイテムが提示されてからキーを押すまでの時間のことで、この値は対数変換を行った上で平均をとっている。

2.5.1 学習ブロックの正答率

学習ブロックからテストブロックにかけての正答率の推移を図2に示す。学習ブロックにおける正答率の推移について統計的検討をするために、学習ブロックの初期、中期、後期にあたる3つの期間に分けて、期間ごとの平均値を比較した(初期:1~5ブロック, 中期:6~10ブロック, 後期:11~14ブロック)。この学習期間ごとの正答率を図3に示す。まず、3属性アイテムと2属性アイテムにおける学習難易度の差を検討するため、3属性アイテムの正答率と3種類の2属性アイテムの平均正答率を比較した。正答率について、アイテム条件(3属性アイテムと2属性アイテムの2水準)と学習期間(初期, 中期, 後期の3水準)を要因とする被験者内2要因の分散分析を行うと、Mauchly検定で球面性が仮定できなかったため、Greenhouse-

Geisser法により自由度を修正して検定した。その結果、アイテム条件の主効果($F(1, 26)=100.153, p<.001, \text{partial } \eta^2=.794$)と学習期間の主効果($F(1.481, 38.496)=27.648, p<.001, \text{partial } \eta^2=.515$)が共に有意であり、それらの交互作用も有意であった($F(2, 52)=3.319, p<.05, \text{partial } \eta^2=.113$)。交互作用が有意であったので、下位検定を行ったところ、3つの学習期間のすべてにおいて、アイテム条件の単純主効果が有意であった(初期: $F(1, 26)=36.568, p<.001, \text{partial } \eta^2=.584$, 中期: $F(1, 26)=94.567, p<.001, \text{partial } \eta^2=.784$, 後期: $F(1, 26)=71.496, p<.001, \text{partial } \eta^2=.733$)。つまり、全期間で3属性アイテムの正答率は2属性アイテムよりも低かったと言える。そして、2属性アイテム, 3属性アイテムの両者において、学習期間の単純主効果が有意であった(2属性アイテム: $F(2, 52)=40.511, p<.001, \text{partial } \eta^2=.609$, 3属性アイテム: $F(2, 52)=11.749, p<.001, \text{partial } \eta^2=.311$)。そこで、2属性アイテムにおいてBonferroni法による学習期間の多重比較を行うと(これ以降もBonferroni法を用いる)、初期と中期の間($p<.001, d=1.99$), 初期と後期の間($p<.001, d=1.72$)に有意差が見られたが、中期と後期の間($n.s., d=0.67$)には有意差は見られなかった。3属性アイテムにおいて学習期間の多重比較を行ったところ、すべての学習期間の間に有意差が見られた(初期と中期の間: $p<.01, d=1.08$, 初期と後期の間: $p<.05, d=.68$, 中期と後期の間: $p<.05, d=0.53$)。

次に、3種類の2属性アイテムの学習難易度の差を検討するために、色-形アイテム, 形-位置アイテムおよび色-位置アイテムの正答率を比較した。正答率について、アイテムセット(色-形アイテム, 形-位置アイテム, 色-位置アイテムの3水準)と学習期間(初期, 中期, 後期の3水準)を要因とする被験者内2要因の分散分析を行ったところ、Mauchly検定で球面性が仮定できなかったため、Greenhouse-Geisser法により自由度を修正して検定した。その結果、アイテムセットの主効果($F(2, 52)=4.730$,

*1 本実験では、8種類のアイテムを2個ずつのグループに分けて、各グループに対して異なる反応キーを割り当てている。この4グループのアイテムは等しい確率で生じ、それにしがたい4通りの正解キーも等確率で発生する。したがって、実験参加者が特定のグループに対して構えを持つことが課題全体として有利に働くことがないデザインである。

$p < .05$, $\text{partial } \eta^2 = .154$)と学習期間の主効果 ($F(1.523, 39.605) = 40.511, p < .001$, $\text{partial } \eta^2 = .609$)が共に有意であったが、それらの交互作用は有意ではなかった ($F(2.350, 61.098) = 0.522, n.s.$, $\text{partial } \eta^2 = .020$)。アイテムセットについて多重比較を行うと、色-形アイテムと形-位置アイテムとの間に有意差が見られ ($p < .05, d = 0.89$)、色-形アイテムと色-位置アイテムの間には有意傾向が見られたが ($p < .06, d = 0.79$)、形-位置アイテムと色-位置アイテムの間には有意差が見られなかった ($n.s., d = 0.08$)。このことから、形-位置アイテムと色-位置アイテムは色-形アイテムよりも正答率が低いことがわかる。また、学習期間についての多重比較は、先述の2属性アイテムの正答率の統計的検定の結果の通りである。

2.5.2 誤反応エラーと無反応エラー

不正解試行には、反応キーを押して不正解になった場合(誤反応エラーと呼ぶ)と制限時間オーバーで反応キーを押すことなく不正解になった場合(無反応エラーと呼ぶ)の2パターンを含む。誤反応エラーと無反応エラーの頻度を比較するために、不正解試行を対象としてアイテム条件間で両者の生起率を比較した(図4)。

まず、エラー生起率について、エラーの種類(誤反応エラーと無反応エラーの2水準)、アイテム条件(3属性アイテムと2属性アイテムの2水準)、学習期間(初期、中期、後期の3水準)の被験者内3要因の分散分析を行ったところ、Mauchly検定で球面性が仮定できなかったため、Greenhouse-Geisser法により自由度を修正して検定した。その結果、エラーの種類の主効果 ($F(1, 26) = 60.162, p < .001$, $\text{partial } \eta^2 = .698$)、アイテム条件の主効果 ($F(1, 26) = 67.556, p < .001$, $\text{partial } \eta^2 = .722$)、学習期間の主効果 ($F(1.479, 38.446) = 25.930, p < .001$, $\text{partial } \eta^2 = .499$)がすべて有意になり、それらの間の2次の交互作用も有意であった ($F(2, 52) = 3.989, p < .05$, $\text{partial } \eta^2 = .133$)。そこで、下位検定を行った(詳細な結果は付録1を参照)。まず、学習初期と中期にそれぞれ注目すると、エラーの種類とアイテム

条件の単純主効果がともに有意であり、それらの単純交互作用も有意であった。この単純交互作用が有意であったため、下位検定を行うと、2属性アイテムと3属性アイテムの両方において、エラーの種類と単純主効果が有意であった。また、学習後期に注目すると、エラーの種類とアイテム条件の単純交互作用は有意ではなく、エラーの種類と単純主効果は有意であった。これらのことから、学習期間全体を通して誤反応エラーに比べて無反応エラーの生起率が有意に低いと言える。次に、誤反応エラーに注目すると、アイテム条件と学習期間の単純主効果がそれぞれ有意であったが、それらの単純交互作用は有意でなかった。アイテム条件の単純主効果が有意なため、誤反応エラーの生起率は2属性アイテムに比べて3属性アイテムで高いことがわかる。そして、学習期間の単純主効果が有意であったので多重比較を行うと、初期と中期の間と初期と後期の間には有意差が見られたが、中期と後期の間には有意差が見られなかった。このことから、誤反応エラーは学習初期から中期にかけて減少していくことがわかる。一方、無反応エラーに注目すると、アイテム条件と学習期間の単純主効果がそれぞれ有意であり、それらの単純交互作用も有意であった。この単純交互作用が有意であったため、下位検定を行うと、まず、学習初期、中期、後期のすべての期間において、アイテム条件の単純・単純主効果が有意となった。このことから、学習期間全体を通して無反応エラーの生起率は2属性アイテムに比べて3属性アイテムで高いことがわかる。そして、無反応エラーの2属性アイテム、3属性アイテムの両者について、学習期間の単純・単純主効果が有意となった。そこで、多重比較を行うと、両アイテム条件においてすべての学習期間の間に有意差が見られた。このことは、無反応エラーは学習初期から後期にかけて増加することを示す。

次に、エラー生起率について、エラーの種類(誤反応エラーと無反応エラーの2水準)、アイテムセット(色-形アイテム、形-位置アイテム、

色-位置アイテムの3水準), 学習期間 (初期, 中期, 後期の3水準) の被験者内3要因の分散分析を行ったところ, Mauchly検定で球面性が仮定できなかったため, Greenhouse-Geisser法により自由度を修正して検定した. その結果, エラーの種類の主効果 ($F(1, 26)=80.591, p<.001, \text{partial } \eta^2=.016$), アイテムセットの主効果 ($F(2, 52)=4.575, p<.05, \text{partial } \eta^2=.150$), 学習期間の主効果 ($F(1.532, 39.835)=39.777, p<.001, \text{partial } \eta^2=.605$) がすべて有意になったが, それらの間の2次の交互作用は有意ではなかった ($F(2.528, 65.726)=1.602, n.s., \text{partial } \eta^2=.058$). 付録2に下位検定の詳細な結果を示す. 2次の交互作用が有意でなかったことから, 学習期間によってエラーの種類によるアイテムセット間のエラー生起率の差があるとは言えないため, 学習期間によらない, エラーの種類とアイテムセットの交互作用を見ると有意であった. そこで, 下位検定を行うと, 誤反応エラーにおけるアイテムセットの単純主効果が有意であったが, 無反応エラーにおけるアイテムセットの単純主効果は有意ではなかった. 誤反応エラーにおけるアイテムセットの単純主効果が有意であったので, 多重比較を行うと, 誤反応における色-形アイテムと形-位置アイテムの間と色-形アイテムと色-位置アイテムの間に有意差が見られたが, 形-位置アイテムと色-位置アイテムの間には有意差が見られなかった. これらのことは, 誤反応エラーの生起率は色-形アイテムよりも形-位置アイテムと色-位置アイテムで高いが, 無反応エラーの生起率は3種類のアイテムセット間で異なることを示す. また, アイテムセットによらない, エラーの種類と学習期間の交互作用を見ると有意であった. そこで, 下位検定を行うと, 学習初期, 中期, 後期のすべてにおいて, エラーの種類単純主効果が有意であった. このことは, 学習期間全体を通して誤反応エラーに比べて無反応エラーの生起率が有意に低いことを示す.

2.5.3 テストブロックの反応時間

テストブロックの平均反応時間を図5に示す.

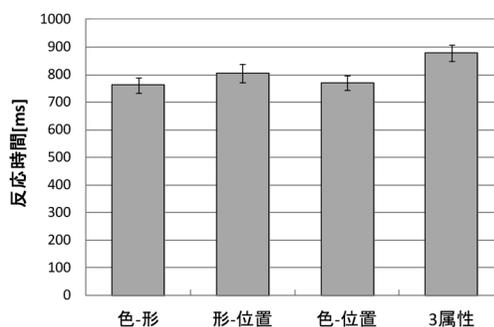


図5 テストブロックにおける反応時間 (エラーバーは標準誤差を示す).

まず, 3属性アイテムと2属性アイテムの反応時間の差について検討するために, 3属性アイテムの反応時間と3種類の2属性アイテムの平均反応時間の比較を行った. 反応時間について, アイテム条件 (2水準) の間で繰り返しのある t 検定を行ったところ, その差は有意であり ($t(26)=4.950, p<.001, d=0.690$), 3属性アイテムは2属性アイテムよりも反応時間が長かった. 次に, 2属性アイテムである色-形アイテム, 形-位置アイテムおよび色-位置アイテムの反応時間の差を検討するために, 2属性の3つのアイテムセットの反応時間を比較した. 反応時間についてアイテムセット (3水準) を要因とする被験者内1要因の分散分析を行ったところ, 主効果は有意ではなく ($F(2, 52)=1.38, n.s., \text{partial } \eta^2=.051$), 2属性アイテムのアイテムセット間で反応時間に差はなかった.

2.5.4 学習ブロック後半の誤反応の傾向

学習がある程度成立しつつある学習ブロック後半の8~14ブロックにおいて特定のエラーの傾向が見られるかどうかを検討するため, 誤反応がどの属性の特徴が原因となって生成されたのかを次のようにして検討する. 例えば, 図6aのように3属性アイテムの「赤・四角形・左」のアイテムが提示されたときに, 「四角形・右」の特徴を持つアイテムが提示されたときに押すBキー (形-位置アイテムセットの反応キー) を誤って押してしまったとする. この場合, 本来であれば実験参加者はアイテムを構成するすべての特徴から判断してDキーを想起しなけれ

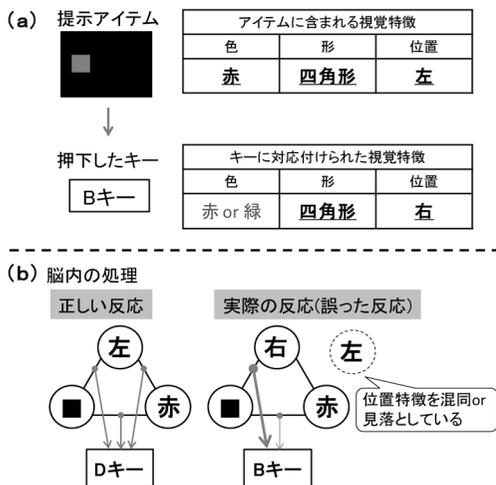


図6 誤反応の例。

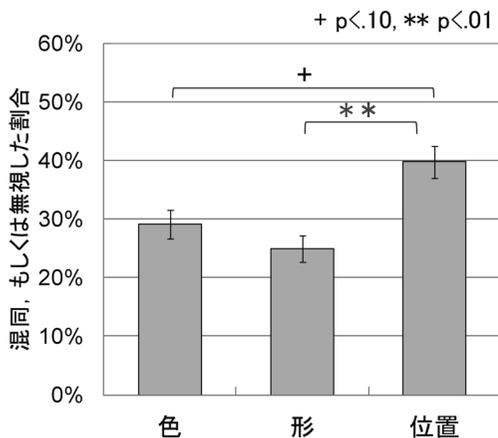


図7 誤反応における混同, または無視した属性の割合 (エラーバーは標準誤差を示す)。

ばならない。しかし、このときに位置属性「左」という特徴を「右」と混同すると、形-位置反応連合の「四角形-右」から「Bキー」を想起してしまう可能性がある。または、位置属性を無視することによって、色-形属性対の「赤-四角形」から「Bキー」を想起してしまう可能性も考えられる (図6b)。このように、提示アイテムに含まれている特徴と押下した反応キーに割り当てられた特徴を比べることで、誤反応の原因となったと考えられる属性を導き出した。図7に、学習ブロック8~14ブロックにおけるすべての誤反応においてどの属性の特徴を混同、

または無視した割合が多かったのかを比較した結果を示す (2つ以上の特徴を混同, または無視した割合は全体のエラーのわずか6%程度であったため, グラフには1つの特徴を混同, または無視した割合のみを表す)。混同, もしくは無視した割合について, 属性を要因とする被験者内1要因3水準の分散分析を行ったところ, 主効果が有意であった ($F(2,52)=6.163, p<.01, \text{partial } \eta^2=.192$)。多重比較をすると, 形と位置の間に有意差があり ($p<.01, d=1.13$), 色と位置の間には有意傾向が見られたが ($p<.09, d=0.80$), 色と形の間には有意な差がなかった ($n.s., d=0.34$)。このことから, 他の属性に比べて位置が原因となって誤反応が生成されることが多いことがわかる。

2.6 考察

2.6.1 正答率の推移とテストブロックにおける反応時間

2属性アイテムと3属性アイテムにおける正答率の推移について, 2属性アイテムにおいて学習初期と中期の間と初期と後期の間有意差が見られ, 3属性アイテムにおいてすべての学習期間の間に有意差が見られた。また, 3種類の2属性アイテムにおける正答率の推移について, 初期と中期の間と初期と後期の間有意差が見られた。学習初期よりも中期, 後期の方が正答率が高かったことから, どのアイテムセットにおいても学習がなされたと言える。ただし, 3属性アイテムでは, 中期よりも後期の方がわずかではあるが有意に正答率が低下した。この理由は, 後述するように, 後期は学習が進んだ結果として制限時間がぎりぎりまで短縮されたことによると考えられる。また, 学習後期には色-形アイテムの正答率がおおよそ75%以上であるのに対し, 3属性アイテムの正答率は60%程度とやや低い。しかしこれは, 3属性アイテムの学習が十分に行われていないのではなく, 10試行ごとの平均正答率が70%となるように制限時間を制御しているため, 特に学習後期になると制限時間が非常に短く調整され, その影響が3属性アイテムの正答率に最も顕著

に表れたためと考えられる。それを裏づける点として、学習後期には誤反応エラーが減少して30%以下の生起率であるのに対し、制限時間が短くなることによって、無反応エラーの生起率が増加して10~20%となっていることが挙げられる。また、制限時間をなくしたテストブロックでは平均正答率が3属性条件の場合にも90%に達していることも挙げられる。以上の点から、最終的には3属性アイテムにおいても色と形と位置の組み合わせと反応のマッピングが学習されたと考えられる。

そして、学習ブロック全体を通して3属性アイテムの正答率が2属性アイテムの平均正答率に比べて有意に低いことから、3属性アイテムは2属性アイテムよりも学習が困難であると考えられる。ただ、このときの不正解試行には、ボタンを押して不正解になった誤反応エラーと、制限時間オーバーでボタンを押すことなく不正解になった無反応エラーが含まれる。そのため、もしも3属性アイテムの無反応エラーが極端に多ければ、3属性アイテムはマッピング学習が難しかったのではなく、反応に時間がかかるために正答率が低かった可能性がある。しかし、不正解試行に関する分析から、学習期間全体を通して、誤反応エラーに比べて無反応エラーの生起率が有意に低いことがわかった。さらに、誤反応エラーにのみ注目した場合にもその生起率は2属性アイテムに比べて3属性アイテムの方が高かった。無反応エラーにのみ注目した場合の生起率も、2属性アイテムに比べて3属性アイテムの方が高かったが、誤反応エラーの生起率が、学習が急速に進む初期から中期へと減少していくのに対し、無反応エラーの生起率は最初少なく、学習が収束して制限時間がぎりぎりまで短縮される後期において増加していくというパターンであった。このことから、特に学習の進み具合に関係がある初期と中期における3属性アイテムと2属性アイテムの正答率の差は、制限時間内に反応できなかったためではなく、正しい反応キーを想起することができなかったために生じたと考えられる。また、テ

ストブロックにおける反応時間は2属性アイテムに比べて3属性アイテムの方が長く、学習が成立した後では3属性アイテムは反応と結びつくのにより時間を要することがわかる。これらのことは、Kahneman¹²⁾が提案したオブジェクトファイルモデルのような、(課題に関係するか否かにかかわらず)すべての特徴を一つの統合表現にまとめて表現するという仮説では、うまく説明がつかない。なぜなら、このオブジェクトファイルの考えに基づくと、2属性アイテムも3属性アイテムも、同様に色と形と位置の3特徴が統合された1個の表象と反応の連合が形成されると考えられるため、アイテム条件間で学習の困難さや反応時間に違いは見られないはずだからである。一方、Moritaら⁹⁾やHommel^{10,11)}が提案するような、2特徴が結合した属性対が結合表現の基礎をなし、それらをネットワークでつないだ分散的な表現として統合が表現され、特殊な場合を除き、3個以上の特徴をまとめ上げた単一の統合表現は存在しないという仮説に従うと説明可能である。つまり、2特徴から反応すべきキーが特定される2属性アイテムは、2特徴が結合した表現である属性対1つと反応が連合するのに対し、3特徴の組み合わせでキーが特定される3属性アイテムは、複数の属性対を併せて反応と連合しなければならないため学習がより困難で、誤反応エラーが多く生じ、反応に時間を要すると説明できる。

また、3種類の2属性アイテムの正答率を比較すると、2属性アイテムの中でも色-形アイテムに比べて形-位置アイテムや色-位置アイテムの正答率が低かった。そして、不正解試行に関する分析から、学習期間全体を通して、誤反応エラーの生起率に比べて無反応エラーの生起率が低いことがわかった。また、誤反応エラーに注目すると、学習期間全体として色-形アイテムよりも形-位置アイテムや色-位置アイテムの生起率が高かった。一方、無反応エラーに注目すると、学習期間全体としてそのような差は見られなかった。これらのことから、色-形アイテムと形-位置アイテムや色-位置

アイテムの正答率の差は、誤反応エラーの生起率の差を反映していると言え、2属性アイテムの中では、色-形アイテムに比べて形-位置アイテムや色-位置アイテムの学習が難しいと考えられる。以上より、物体認識に関わる属性のみが含まれる色-形の属性対よりも、位置が含まれる属性対である色-位置と形-位置の属性対のほうがマッピング学習の成立が困難であることが示唆される。ただし、学習成立後、反応に要する時間は各2属性アイテム間で差がなかった。このことから、位置を含む属性対と反応とのマッピング学習は成立が遅いが、いったん学習が成立すれば、色-形の属性対と同程度の時間で反応できると言える。

2.6.2 エラーの傾向

誤反応を、提示アイテムに対する正反応との関係から分析して、どの属性を混同、または無視する割合が多かったのかを検討したところ、位置の割合が高かった。このことは、色、形、位置の3属性の排他的組み合わせと反応の連合反応において、位置を混同することが原因で誤った刺激反応連合関係を想起したり、位置を無視することが原因となり本来注目すべきではない属性対から反応を想起してしまう傾向があることを示唆する。したがって、刺激と反応の連合関係の想起において、位置属性は、無視される傾向や本来の入力信号とは異なるノイズ特徴からの影響を受けやすい可能性があると考えられる。ここでいうノイズとは、信号伝達の際にある程度の割合で混入する誤った信号のことを示す。

3. 総合考察

これまでの研究では、視覚特徴の組み合わせがどのような表現で反応と連合するかという問題に対して、属性対表現を基本として反応と連合するという仮説が提案されている⁸⁾。しかし、Treisman⁷⁾の特徴統合理論やKahnemanら¹²⁾のオブジェクトファイルモデルでは、物体のもつすべての特徴が一つの総合体に統合されると考えている。その際に、位置はそれらの特徴の

アンカーとして特別な役割をもつとされる。一方、Moritaら⁹⁾の対属性仮説やHommel^{10,11)}のイベントファイルモデルでは、物体のもつ特徴は、2個ずつ結合対を形成し、それらが分散型のネットワーク構造で統合関係を表現していると考えており、このとき位置は物体のもつ特徴の一つと考えている。

本研究では視覚運動マッピングにおける属性同士の結合関係の表現において、位置が特別な性質を持つのかを調べた。具体的には、色と形と位置の3属性の組み合わせや位置を含む2属性の組み合わせからなる刺激と反応のマッピングが学習可能か、また、学習可能とすれば、色と形の属性対と反応のマッピングと位置を含む属性対と反応のマッピングの学習難易度に違いがあるのかについて検討した。検討方法として、刺激反応マッピング学習課題を用い、反応と関連する視覚特徴の数や組み合わせを変えて正答率の推移や反応時間、誤反応の傾向を比較した。

実験の結果、まず、色と形と位置の排他的組み合わせと反応のマッピング学習が可能であることがわかった。そして、2特徴に基づき反応が特定される2属性アイテムに比べて、3特徴に基づき反応が特定される3属性アイテムに対する反応の学習が困難で反応時間も長いことがわかった。これらはIshizakiら⁸⁾の結果と同様の結果であり、物体のすべての特徴を一つに統合して表現するオブジェクトファイル型の結合方式よりも、2特徴ずつの結合対を単位とする属性対型の分散型結合方式により良く説明できることから、後者のモデルを支持する結果と言える。

また、位置は特徴統合において特別な役割を果たすと考えられていることや、色や形とは異なる視覚情報処理経路で処理されることから、学習により形成される色-位置属性対や形-位置属性対と反応の連合は、色-形属性対と反応の連合と異なるメカニズムで実現される可能性があるのではないかと考えた。しかし、実験の結果、学習後の色-位置属性対や形-位置属性

対に対する反応と、色-形属性対に対する反応の間に反応時間の差がなかったため、異なるメカニズムであるという証拠は得られなかった。この点からも、本研究の結果は、Kahnemanら¹²⁾のモデルよりもHommel^{10,11)}のモデルに適合する。

ただし、色と形からなる2属性アイテムに比べて、位置を含む2属性アイテムのマッピング学習が遅かった。また、位置を混同もしくは無視することによると考えられるエラーが相対的に多く生じた。これらの結果は、結合対の形成過程において色と形に比べて位置の扱いが何らかの点で異なる可能性を示唆する。しかしそれが、脳内の情報処理経路の違いを反映するのか、あるいは視覚運動マッピングの学習において刺激の位置にあまり注意が向けられない、または位置の区別が明確に表現されにくいといった可能性を示唆するのか、それとも他の理由があるのか、本研究の結果からは明らかでない。

以上のことから、刺激の色や形が同じであっても場所に応じて反応し分けるということが可能である。それは、視覚運動マッピングを長期的に保持する場合、位置は他の特徴と同等に属性対表現の形で運動と連合されるためと考えられる。しかしながら、位置と他の属性との結合表現と反応の連合は学習が困難で、位置の混同が起きやすいことから、その記憶表象における表現は色や形属性に比べると曖昧である可能性が考えられる。結果から、視覚手がかりの位置と他の特徴の組み合わせに応じて特定の行動をし分けるといったシンボルやサインは、誤った行動を導きやすい可能性が指摘される。

謝辞 本研究はJSPS科研費26590173, 25330166の助成を受けたものである。

文 献

- 1) R. E. Passingham: *The frontal lobes and voluntary action*. Oxford University Press, 1993.
- 2) S. P. Wise and E. A. Murray: Arbitrary

associations between antecedents and actions. *Trends in Neurosciences*, **23**, 271–276, 2000.

- 3) M. Petrides: Motor conditional associative-learning after selective prefrontal lesions in the monkey. *Behavioural Brain Research*, **5**, 407–413, 1982.
- 4) R. E. Passingham: Premotor cortex and preparation for movement. *Experimental Brain Research*, **70**, 590–596, 1988.
- 5) M. P. Deiber, S. P. Wise, M. Honda, M. J. Catalan, J. Grafman and M. Hallett: Frontal and parietal networks for conditional motor learning: A positron emission tomography study. *Journal of Neurophysiology*, **78**, 977–991, 1997.
- 6) S. P. Wise and E. A. Murray: Role of the hippocampal system in conditional motor learning: mapping antecedents to action. *Hippocampus*, **9**, 101–117, 1999.
- 7) A. Treisman: The binding problem. *Current Opinion in Neurobiology*, **6**, 171–178, 1996.
- 8) T. Ishizaki, H. Morita and M. Morita: Feature integration in the mapping of multi-attribute visual stimuli to responses. *Scientific Reports*, **5**, 9056, 2015.
- 9) M. Morita, S. Morokami and H. Morita: Attribute pair-based visual recognition and memory. *PLoS ONE*, **5**, e9571, 2010.
- 10) B. Hommel: Event files: Evidence for automatic integration of stimulus-response episodes. *Visual Cognition*, **5**, 183–216, 1998.
- 11) B. Hommel: Event files: Feature binding in and across perception and action. *Trends in Cognitive Sciences*, **8**, 494–500, 2004.
- 12) D. Kahneman, A. Treisman and B. J. Gibbs: The reviewing of object files: Object-specific integration of information. *Cognitive Psychology*, **24**, 175–219, 1992.
- 13) L. G. Ungerleider and M. Mishkin: Two cortical visual systems. Ingle, D.J., Goodale, M.A. and Mansfield, R.J.W. (Eds.): *Analysis of visual behavior*. MIT Press, 549–586, 1982.
- 14) M. A. Goodale and A. D. Milner: Separate visual pathways for perception and action.

Trends in Neurosciences, **15**, 20–25, 1992.

- 15) D. H. Brainard: The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, **10**, 443–446, 1997.
- 16) D. G. Pelli: The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies. *Spatial Vision*, **10**, 437–442, 1997.
- 17) M. Kleiner, D. Brainard, D. Pelli, A. Ingling, R. Murray and C. Broussard: What’s new in Psychtoolbox-3. *Perception*, **36**, 1–16, 2007.

付 録

付録1. エラー生起率を対象とした、エラーの種類（誤反応エラーと無反応エラーの2水準）、アイテム条件（3属性アイテムと2属性アイテムの2水準）、学習期間（初期、中期、後期の3水準）の3要因被験者内分散分析の結果

	主効果・2次の交互作用	
	エラーの種類の主効果： $F(1, 26) = 60.162, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .698$ アイテム条件の主効果： $F(1, 26) = 67.556, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .722$ 学習期間の主効果： $F(1.479, 38.446) = 25.930, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .499$ 2次の交互作用（エラーの種類×アイテム条件×学習期間）： $F(2, 52) = 3.989, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .133$	
	単純主効果・交互作用	下位検定
1-1 学習初期	エラーの種類単純主効果： $F(1, 26) = 195.246, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .882$ アイテム条件単純主効果： $F(1, 26) = 38.989, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .600$ エラーの種類とアイテム条件の単純交互作用： $F(1, 26) = 30.184, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .537$	【無反応エラー】 アイテム条件の単純・単純主効果： $F(1, 26) = 6.368, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .197$ 【誤反応エラー】 アイテム条件の単純・単純主効果： $F(1, 26) = 35.567, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .578$ 【2属性アイテム】 エラーの種類単純主効果： $F(1, 26) = 198.145, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .884$ 【3属性アイテム】 エラーの種類単純主効果： $F(1, 26) = 165.031, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .864$
1-2 学習中期	エラーの種類単純主効果： $F(1, 26) = 16.844, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .393$ アイテム条件単純主効果： $F(1, 26) = 57.882, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .690$ エラーの種類とアイテム条件の単純交互作用： $F(1, 26) = 8.663, p < .01, \text{partial } \eta^2 = .250$	【無反応エラー】 アイテム条件の単純・単純主効果： $F(1, 26) = 22.892, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .468$ 【誤反応エラー】 アイテム条件の単純・単純主効果： $F(1, 26) = 31.974, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .552$ 【2属性アイテム】 エラーの種類単純主効果： $F(1, 26) = 15.895, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .379$ 【3属性アイテム】 エラーの種類単純主効果： $F(1, 26) = 15.482, p < .01, \text{partial } \eta^2 = .373$
1-3 学習後期	エラーの種類単純主効果： $F(1, 26) = 7.597, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .226$ アイテム条件単純主効果： $F(1, 26) = 53.424, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .673$ エラーの種類とアイテム条件の単純交互作用： $F(1, 26) = 1.724, n.s., \text{partial } \eta^2 = .062$	
2-1 誤反応エラー	アイテム条件単純主効果： $F(1, 26) = 43.888, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .628$ 学習期間単純主効果： $F(2, 52) = 92.542, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .781$ アイテム条件と学習期間の単純交互作用： $F(2, 52) = 0.313, n.s., \text{partial } \eta^2 = .012$	学習期間の多重比較： 初期と中期 ($p < .001, d = 1.83$), 初期と後期 ($p < .001, d = 2.30$), 中期と後期 ($n.s., d = 0.23$)

	単純主効果・交互作用	下位検定
2-2 無反応エラー	<p>アイテム条件の単純主効果： $F(1, 26) = 33.572, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .564$</p> <p>学習期間の単純主効果： $F(2, 52) = 89.914, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .776$</p> <p>アイテム条件と学習期間の単純交互作用： $F(2, 52) = 11.64, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .309$</p>	<p>【2属性アイテム】 学習期間の単純・単純主効果： $F(2, 52) = 74.830, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .769$ 多重比較： 初期と中期 ($p < .001, d = 1.79$), 初期と後期 ($p < .001, d = 2.82$), 中期と後期 ($p < .01, d = 0.94$)</p> <p>【3属性アイテム】 学習期間の単純・単純主効果： $F(2, 52) = 58.45, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .700$ 多重比較： 初期と中期 ($p < .001, d = 1.67$), 初期と後期 ($p < .001, d = 2.38$), 中期と後期 ($p < .01, d = 0.71$)</p> <p>【初期】 アイテム条件の単純・単純主効果： $F(1, 26) = 6.368, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .197$</p> <p>【中期】 アイテム条件の単純・単純主効果： $F(1, 26) = 22.892, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .468$</p> <p>【後期】 アイテム条件の単純・単純主効果： $F(1, 26) = 23.110, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .471$</p>
3-1 2属性アイテム	<p>エラーの種類の単純主効果： $F(1, 26) = 80.591, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .756$</p> <p>学習期間の単純主効果： $F(2, 52) = 39.777, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .60$</p> <p>エラーの種類と学習期間の単純交互作用： $F(2, 52) = 150.06, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .857$</p>	<p>【無反応エラー】 学習期間の単純・単純主効果： $F(2, 52) = 74.830, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .769$ 多重比較： 初期と中期 ($p < .001, d = 1.79$), 初期と後期 ($p < .001, d = 2.82$), 中期と後期 ($p < .01, d = 0.94$)</p> <p>【誤反応エラー】 学習期間の単純・単純主効果： $F(2, 52) = 103.02, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .798$ 多重比較： 初期と中期 ($p < .001, d = 2.16$), 初期と後期 ($p < .001, d = 2.80$), 中期と後期 ($n.s., d = 0.27$)</p> <p>【初期】 エラーの種類の単純・単純主効果： $F(1, 26) = 198.145, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .884$</p> <p>【中期】 エラーの種類の単純・単純主効果： $F(1, 26) = 15.895, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .379$</p> <p>【後期】 エラーの種類の単純・単純主効果： $F(1, 26) = 11.721, p < .01, \text{partial } \eta^2 = .311$</p>
3-2 3属性アイテム	<p>エラーの種類の単純主効果： $F(1, 26) = 47.583, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .647$</p> <p>学習期間の単純主効果： $F(2, 52) = 10.391, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .286$</p> <p>エラーの種類と学習期間の単純交互作用： $F(2, 52) = 80.95, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .758$</p>	<p>【無反応エラー】 学習期間の単純・単純主効果： $F(2, 52) = 58.45, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .700$ 多重比較： 初期と中期 ($p < .001, d = 1.67$), 初期と後期 ($p < .001, d = 2.38$), 中期と後期 ($p < .01, d = 0.71$)</p> <p>【誤反応エラー】 学習期間の単純・単純主効果： $F(2, 52) = 52.88, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .672$ 多重比較： 初期と中期 ($p < .001, d = 1.42$), 初期と後期 ($p < .001, d = 1.74$), 中期と後期 ($n.s., d = 0.19$)</p> <p>【初期】 エラーの種類の単純・単純主効果： $F(1, 26) = 165.031, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .864$</p> <p>【中期】 エラーの種類の単純・単純主効果： $F(1, 26) = 15.482, p < .01, \text{partial } \eta^2 = .373$</p> <p>【後期】 エラーの種類の単純・単純主効果： $F(1, 26) = 5.420, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .1721$</p>

付録2. エラー生起率を対象とした、エラーの種類（誤反応エラーと無反応エラーの2水準）、アイテム条件（2属性アイテムのうち、色-形アイテム、形-位置アイテム、色-位置アイテムの3水準）、学習期間（初期、中期、後期の3水準）の3要因被験者内分散分析の結果

	主効果・2次の交互作用	下位検定
	<p>エラーの種類の主効果： $F(1, 26)=80.591, p<.001, \text{partial } \eta^2=.016$ アイテムセットの主効果： $F(2, 52)=4.575, p<.05, \text{partial } \eta^2=.150$ 学習期間の主効果： $F(1.532, 39.835)=39.777, p<.001, \text{partial } \eta^2=.605$ 2次の交互作用（エラーの種類×アイテムセット×学習期間）： $F(2.528, 65.726)=1.602, n.s., \text{partial } \eta^2=.058$</p>	<p>アイテムセットの多重比較： 色-形と形-位置 ($p<.05, d=0.86$), 色-形と色-位置 ($p<.06, d=0.80$), 形-位置と色-位置 ($n.s., d=0.20$) 学習期間の多重比較： 初期と中期 ($p<.001, d=1.84$), 初期と後期 ($p<.001, d=1.57$), 中期と後期 ($p<.10, d=0.57$)</p>
1次の交互作用	交互作用	下位検定
エラーの種類とアイテムセットの交互作用	<p>エラーの種類とアイテムセットの交互作用： $F(1.514, 39.372)=4.423, p<.05, \text{partial } \eta^2=.145$</p>	<p>誤反応エラーにおけるアイテムセットの単純主効果： $F(2, 25)=5.115, p<.05, \text{partial } \eta^2=.29$ 多重比較： 色-形と形-位置 ($p<.05, d=0.76$), 色-形と色-位置 ($p<.05, d=0.74$), 形-位置と色-位置 ($n.s., d=0.20$) 無反応エラーにおけるアイテムセットの単純主効果： $F(2, 25)=1.515, n.s., \text{partial } \eta^2=.108$ 色-形におけるエラーの種類の単純主効果： $F(1, 26)=50.61, p<.001, \text{partial } \eta^2=.661$ 形-位置におけるエラーの種類の単純主効果： $F(1, 26)=39.87, p<.001, \text{partial } \eta^2=.605$ 色-位置におけるエラーの種類の単純主効果： $F(1, 26)=80.94, p<.001, \text{partial } \eta^2=.757$</p>
エラーの種類と学習期間の交互作用	<p>エラーの種類と学習期間の交互作用： $F(1.687, 43.856)=150.060, p<.001, \text{partial } \eta^2=.852$</p>	<p>誤反応エラーにおける学習期間の単純主効果： $F(2, 52)=74.83, p<.001, \text{partial } \eta^2=.861$ 多重比較： 初期と中期 ($p<.001, d=2.15$), 初期と後期 ($p<.001, d=2.38$), 中期と後期 ($n.s., d=0.01$) 無反応エラーにおける学習期間の単純主効果： $F(2, 52)=103.02, p<.001, \text{partial } \eta^2=.819$ 多重比較： 初期と中期 ($p<.001, d=1.79$), 初期と後期 ($p<.001, d=2.60$), 中期と後期 ($p<.010, d=0.70$) 初期におけるエラーの種類の単純主効果： $F(1, 26)=198.15, p<.001, \text{partial } \eta^2=.884$ 中期におけるエラーの種類の単純主効果： $F(1, 26)=15.89, p<.001, \text{partial } \eta^2=.379$ 後期におけるエラーの種類の単純主効果： $F(1, 26)=11.72, p<.01, \text{partial } \eta^2=.311$</p>
アイテムセットと学習期間の交互作用	<p>アイテムセットと学習期間の交互作用： $F(2.220, 57.725)=0.418, n.s., \text{partial } \eta^2=.016$</p>	