

視覚特徴の組み合わせと反応のマッピング記憶の長期保持

藤井佑実子*, 森田ひろみ**

Long-term retention of mapping between integrations of features and responses

Yumiko FUJII, Hiromi MORITA

抄録

我々は、日常生活において、物体が持つ視覚特徴の組み合わせと適切な反応の間の多様な連合関係を学習し、それに基づき行動している。このような視覚入力と運動の間の複雑な対応付けを視覚運動マッピングと言う。先行研究で提唱された対属性仮説によると、3属性以上の特徴の組み合わせは、2属性の特徴を結合した「属性対」の集合として反応と連合し、記憶に保持される。マッピング学習の過程や直後において、この仮説が成り立つことを示す実験結果が得られているが、より長期的にもこのような表現で保持されるかについては未検討である。

そこで本研究は、特徴の組み合わせと反応のマッピングを学習後、長期の遅延を挟んで記憶を調べた。実験では、参加者に色、形、位置の組み合わせの異なる8個の刺激アイテムと4通りの反応の関係を学習してもらい、約1週間後にテストしたところ、正答率や反応時間は学習直後と差がなく、学習時と同様に2属性の特徴の組み合わせで反応が決まる場合より3属性の特徴の組み合わせで反応が決まる場合の方が、反応の正確さが低く反応時間も長いという結果が得られた。結果から、特徴の組み合わせと反応のマッピング学習の結果が長期的に保持されることが示され、対属性仮説が長期記憶においても成り立つことが示唆された。

Abstract

In daily life, we learn a variety of associations between combinations of visual features of objects and appropriate responses, enabling us to act on the basis of these associations. Complex associations between visual input and movement are known as “visuomotor mappings.” According to the paired-attribute model, an integration of features of more than three attributes is represented as an assembly of multiple bindings of two features (attribute pairs) and connected to the response in memory. Experimental studies have shown that the model works for the process of learning mappings and retaining them immediately afterward, but no experiments have tested the model’s applicability to long-term retention.

The present study investigated the long-term retention of mappings between integrations of features and responses. Participants were required to learn the correspondences between eight items that were different from each other in color, shape, or location and four responses. Participants were tested immediately after learning. When tested again after 1 week, participants could respond as accurately and quickly as they did immediately after learning. Moreover, participants performed better when two features of items instructed correct responses than when three features instructed correct responses. Results reveal long-term retention of mappings between integrations of features and responses and suggest that the paired-attribute model is applicable to long-term retention of mappings.

* 筑波大学大学院図書館情報メディア研究科博士後期課程
Doctoral program
Graduate School of Library, Information and Media Studies
University of Tsukuba

** 筑波大学図書館情報メディア系
Faculty of Library, Information and Media Science
University of Tsukuba

1. 背景

我々は日常的に様々な物体を知覚し、それに応じた適切な行動をとることを繰り返しながら生活をしている。そして、物体は様々な属性の視覚特徴の組み合わせから成り、その中の反応に関連する特徴の組み合わせに注目して適切な行動が想起される。例えば、リンゴを収穫する場面を考える。「赤」という色属性、「大きな丸」という形属性、「一様」というテクスチャ属性の組み合わせを持つリンゴには、収穫という行動が結びつく。このとき、形属性が「小さな丸」だとしても、色属性として「赤」、テクスチャ属性として「一様」という特徴を持っているリンゴには、収穫という行動が結びつく。一方、色属性として「赤」、形属性として「大きな丸」という特徴を持っていたとしても、「しわしわ」というテクスチャ属性を持っているリンゴには、処分という行動が結びつく。我々はこのように、物体が持つ複数の視覚特徴の組み合わせと反応の間の複雑な対応規則を学習することにより、日常行動を習得している。このような刺激と反応の対応付けのことを刺激-反応連合という。これは、試行錯誤の結果、刺激と反応の結合（連合）が少しずつ強められることの繰り返しにより、刺激物体の知覚に関わる神経活動と運動反応に関わる神経活動の間のリンクが形成されることで成立する。

本研究は複数の刺激-反応連合の集合（視覚運動マッピング）の学習を研究対象とする。なお、一般に「学習」というと、言語的知識を蓄えることが思い浮かぶ。刺激と反応の関係でいえば、数学の問題とその解き方を記憶するなどがこれにあたるが、これは言語的に対象と反応の対応関係を整理して記憶するという点で、刺激-反応連合に基づく視覚運動マッピングの学習と異なることに注意を要する。

Wise と Murray¹⁾ は、ヒトはあらゆる検出可能で弁別可能な刺激をあらゆる運動反応へ対応づけることができると述べている。彼はこれを任意の視覚運動マッピングと呼んだ。視覚運動マッピングにおける刺激と反応の対応関係は複雑であり可変性があるが、学習することにより自動的に行動を生起できようになる。したがって、日常場面において、視覚運動マッピングを学習し、長期間にわたって保持することは、多様な行動を多様な場面で適切に行うことができるために重要である。そのため、視覚運動マッピングにおける刺激と反応の連合の記憶表象を明らかにすることは、ヒトの高度な認知的行動を解明するための重要なステップとなると考えられる。

視覚運動マッピングについて Ishizaki ら²⁾ は視覚特徴

の組み合わせがどのように表現されて反応と連合するかを調べている。一般的な視覚情報処理の説明モデルである特徴統合理論³⁾では、視覚系では物体認知の際に、低次の処理段階で単純な視覚特徴を基本的な属性ごとに、それらを専門に扱うモジュールで個別に処理⁴⁾、後にそれらを統合していると考えられている。そのため、視覚運動マッピングの学習過程では、反応に関連する特徴の統合表現と適切な行動の間の連合が獲得され、記憶に書き込まれると考えられるが、このときに属性同士がどのような表現で結合して行動と連合するのかは明らかではなかった。

これに関する仮説として、全属性仮説と対属性仮説が先行研究で提案されている（図1参照）。全属性仮説は、個々の特徴が反応に関連するか否かに関わらず、物体が持つ全ての特徴が一度に1つに統合された表現が作られ⁵⁾、反応と連合されるという仮説である。一方、対属性仮説は、反応に関連する属性を2属性ずつ結合した属性対表現が作られ⁶⁾、これを基本単位として反応と連合されるという仮説である²⁾。Ishizaki ら²⁾ は、色、形、テクスチャの3属性の特徴の組み合わせと反応のマッピングがどのような表現で記憶されるかを調べ、対属性仮説を支持する結果を得た。彼らは、この3属性の特徴の排他的組み合わせで表現される8種類の刺激と4種類のキー押し反応のマッピング学習課題（刺激-反応マッピング課題）を行い、反応に対応づける特徴の属性数や組み合わせを変えて学習難易度や反応に要する時間を比較した。結果は、3属性の特徴の組み合わせを反応に対応づける条件（3属性条件）は、2属性の特徴の組み合わせを反応に対応づける条件（2属性条件）よりも学習が困難であった。全属性仮説に従うと、図1に示すよう

	全属性仮説	対属性仮説
3属性条件 3属性(色, 形, テクスチャ)に基づき反応が決まる場合の刺激-反応連合表現		※1
2属性条件 2属性(色, 形)に基づき反応が決まる場合の刺激-反応連合表現		
条件間の学習難易度の差の予想	同程度	2属性条件の方が容易

※1: 3つの属性対のうち2つの属性対と反応の連合表現。どの属性対が用いられるかはここでは問題にしない。

※2: 「テ」は「テクスチャ」を示す

○ … 1つのオブジェクトとして反応との対応を記憶すべきまとまり

○ … 統合表象の基本単位

図1 全属性仮説と対属性仮説の概念図と各仮説から予想される条件間の学習難易度の関係

にどちらの条件でも同様の刺激-反応連合表現で記憶されるため学習の困難さに差はないと考えられ、結果と矛盾する。これに対し、対属性仮説に従うと、3属性条件では2個以上の属性対と反応の連合を記憶しなければならないのに対し、2属性条件では1個の属性対と反応の連合の記憶で済むため、2属性条件の方が学習が容易であることが説明できる。また、刺激を持つ特徴を色、形、テクスチャから、色、形、位置の3属性に変更して同様の実験を行った藤井ら⁷⁾も Ishizaki ら²⁾と同等の結果を得ている。

以上のように、これまでの研究では主に視覚運動マッピングの学習過程に注目し、刺激と反応の連合関係がどのような表現で記憶されるかを検討しており、学習後の記憶の長期的な保持については詳しく検討されていない。前述したように、日常的な行動を視覚運動マッピングの視点から考察するためには長期の保持について検討する必要がある。また、これまでに学習期間、学習目標達成直後において実験的に支持されてきた対属性仮説が、遅延期間後の記憶表現についても支持されれば、記憶の獲得期間、獲得直後、保持期間中において一通り支持されたことになるため、仮説の一般性を高めるという点で意義がある。

記憶が長期間を経て消失したり、変容したりすることは古くから知られている⁸⁾。その一方で、学習を中断している間に記憶が定着し、再開時に中断前より実行成績が良くなるという実験結果も数多く報告されている。例えば、Mettler と Kellman⁹⁾が行った、蝶の分類に関する知覚学習実験の結果では、学習直後に比べ、1週間の遅延後の正答率は低下し、反応時間は長くなった。一方、視覚的な課題(テクスチャ分離課題)を用いた実験において、試行を繰り返した後、2~4日程度の遅延期間後に記憶が向上したことが示されており、遅延期間中に記憶が定着したと考えられている¹⁰⁾。また、与えられた数字列をコンピュータのキーボードから打ち込むタイピング課題を用いた連続的運動学習実験でも、1昼夜後に正答率と反応時間の向上が見られたことが報告されている¹¹⁾。

これらの知見を踏まえると、特徴の組み合わせからなる視覚刺激と運動のマッピング学習により獲得された記憶が、遅延期間の間に失われて、遅延後の成績が低下する可能性も考えられるが、遅延期間中に記憶が定着し、遅延後の成績が向上する可能性も考えられる。また、学習直後に3属性の特徴の組み合わせが属性対の集合として表現されていたが、遅延期間中に3属性が結びついた単一の結合表現が形成される可能性や、逆に属性対が崩

壊して、個々の属性の特徴が別々に反応と連合するようになる可能性も否定できない。

以上のように、特徴の組み合わせと反応の間の複雑な対応関係の記憶が、十分な遅延期間においても学習直後と変わりなく保持されるのか、それとも記憶の強度が変化したり、記憶表象が変容したりするかは明らかではない。そこで、本研究では、色、形、位置の排他的組み合わせと反応のマッピングを一度学習した後、1週間程度の遅延を挟んで再生実験を行い、学習したマッピング関係をどのように覚えているか調べることで、視覚運動マッピングにおける長期保持について検討する。

2. 実験

2.1. ねらい

本実験は、視覚特徴の組み合わせと反応の連合関係の記憶が、長期遅延後にどうなるのか、具体的には学習時と同様の表現が維持されるか、異なる表現に変容するか、それとも消失するかを明らかにすることを目的とする。そのため、3属性の組み合わせからなる刺激と反応のマッピング学習と1週間後のテストを組み合わせた実験を行った。まず、学習を行い、この過程において獲得された連合表現が対属性仮説に従う性質を示すかを調べ、1週間後のテストでその連合表現が利用できるかどうか、また対属性仮説に従う性質を維持しているかどうかを検討した。

色、形、位置の組み合わせ刺激と反応のマッピング学習による記憶の保持がどの程度の時間保持されるかは明らかでないが、McGaugh (2000) ら¹²⁾による記憶の分類における数時間から数ヶ月にわたる長期記憶と考えると、1週間程度で記憶の固定化がある程度進み、変容や消失が(もし起こるのであれば)既に始まっている可能性があると考えられる。また、Mettler & Kellman (2014)⁹⁾が、知覚学習の1週間後にテストを行ったところ成績が低下したことを報告していることなどから、遅延期間を1週間とした。

実験刺激には、色、形、位置の全てに基づき反応が決定される3属性アイテムと色と形など2属性だけで反応が決定され、残る1属性の特徴によらない2属性アイテムが用いられた。学習過程で獲得された表現が対属性仮説に従うのであれば、図1に示すように3属性アイテムと2属性アイテムの間で学習難易度が異なることが予想される。遅延後の表現については、3通りの可能性、すなわち獲得された表現がそのまま保持される可能性、消失する可能性、変容する可能性が考えられる。そのまま

保持されるとすると、2属性アイテムの方が素早く正確に反応できることが予想されるが、変容するならば、これとは異なる結果となる可能性がある。例えば全属性仮説に従う表現に変容するならば、2属性アイテムと3属性アイテムの間の差は消失することが予想される。記憶が消失するならば、学習終了時に比較して正答率が大幅に低下することが予想される。

なお、本実験では刺激-反応連合に基づく学習を行う。そのため、アイテムと反応キーとの関係を実験参加者に明示的に与えず、試行錯誤しながら正解を学習していく課題設定とした。

2.2. 方法

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て、日本心理学会倫理規程に従い、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。

2.2.1. 実験参加者

正常な視力(矯正視力を含む)を有する24名の大学生、大学院生(男性13名、女性11名)が参加した。

2.2.2. 環境

実験参加者は、簡易暗室内で22インチのCRTディスプレイ(TOTOKU社製 CV921X)の正面に置かれた椅子に座り、テンキーパッド(ELECOM社製 TK-UFHBK)を使って反応した。このテンキーパッドは、暗室内でも間違わずに押せるように、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。観察距離は114.5cmであり、顔面固定器具に頭部を固定して実験を行った。なお、刺激の提示は、MATLABとPsychophysics Toolbox¹³⁻¹⁵⁾で制御した。

2.2.3. 刺激

実験で用いた刺激は、2つの色(輝度5.7cd/m²の赤または緑)と2つの形(おおよその大きさが視角にして1.4度の丸または三角形)を組み合わせて描いた4通りの図形を、画面の右側または左側(図形の中心が、画面中央から右または左に視角にして約3.7度の距離になるよう)に提示するという8通りであった(図2a)。これらの8通りの刺激を8個のアイテムとする。なお、画面の背景は黒色(輝度0.0cd/m²)であった。

2.2.4. 手続き

実験参加者は、8種類のアイテムと4つのキー押し反応の対応関係を学習する刺激-反応マッピング課題を行った。アイテムと反応の対応関係は図2bに示すように、8個のアイテムを色、形、位置の全ての属性において互いに異なる特徴値をもつ3属性セット(これを3属性アイテム条件とする)と、色と形が同じもの同士の色-形セット、形と位置が同じもの同士の形-位置セット、色と位置が同じもの同士の色-位置セットの3通りの2属性アイテムセット(これらを2属性アイテム条件とする)に分けて、それらを4個のキー押し反応に対応させた。8種類のアイテムがこのようなセットに分けられていることは実験参加者に教示しない。参加者はランダムな順序で提示される8種類のアイテムに対して反応を繰り返すなかで、アイテムと反応の関係を学習していく。

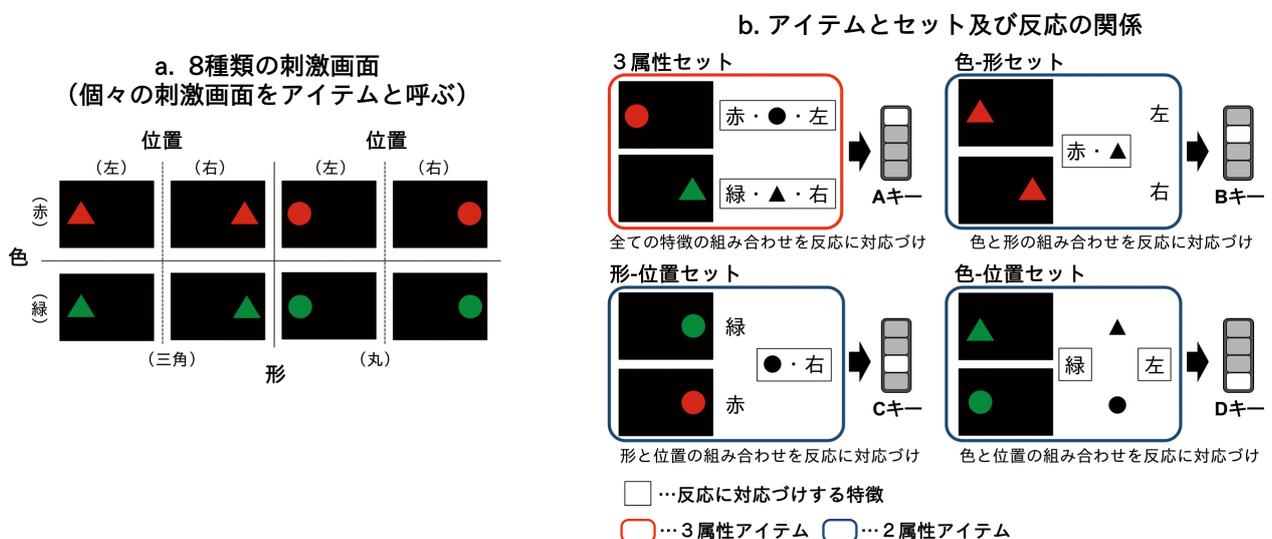


図2 8種類の刺激画面(個々の刺激画面をアイテムと呼ぶ)(a)とこれらのアイテムとセットの関係、そしてセットと反応の対応関係(b)

なお、図2bに示した対応関係は一例であり、どのアイテムセットに対してどの正解キーが割り振られるかは実験参加者間で異なり、カウンターバランスをとった。

刺激-反応マッピング課題の1試行の流れを図3に示す。まず、中央に注視点だけが提示されるブランク画面が1000ms提示された後、8種類の刺激アイテムから1個がランダムに選ばれて画面に提示される。実験参加者は、テンキーパッドの縦並び4個のキーから対応するキーをできるだけ早く正確に押すことを求められた。正解キーを押した場合は、刺激が消え、次の試行が開始する。誤ったキーを押した場合や、制限時間内にどのキーも押せなかった場合は、刺激が消えると同時に不正解であることを示す400Hzのブザー音またはタイムアウトを示す900Hzのブザー音が150ms鳴った後、次の試行が始まる。制限時間は初期設定が2000ms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、制限時間を3%短くし、70%未満である場合には3%長くした。なお、制限時間はブロックを越えて連続的に扱われる。ただし、1300msより短くならないようにした。このような正答率に応じた制限時間の制御は、刺激と反応の関係を言語的に整理する時間を与えず、刺激に対する素早い反応を繰り返して刺激-反応連合を形成する学習を促す目的で行った。なお、実験の全行程を通して、実験参加者は同じ側の手の人差し指で反応キーを押した。

2.2.5. デザイン

実験は2日行った。まず、実験1日目には、練習とし

て8試行（各アイテム1試行ずつ）行った後に、学習ブロックとして14ブロック行った（表1参照）。1ブロックは、1アイテムにつき10試行ずつを混合した80試行で構成されている。刺激の提示順序はランダムであるが、同じセットの異なるアイテム同士が連続して提示されないように制御された。これは、本実験の学習は試行錯誤により成立するものを対象にしているため、異なる2つのアイテムに対して連続して同じキーが正解にあたることで、実験参加者に対応関係に関する重要なヒントを与えることを避けるためである。学習ブロックの後には、学習を十分に終え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。また、実験終了後に参加者に、1日目の実験終了後から2日目の実験開始時まで1日目に学習したことを意図的に思い返したり、メモを取るなどして復習したりしないよう要求した。

2日目の実験は、1日目のおおよそ1週間後に実施した（1名は6日後、2名は8日後に行ったが、それ以外の参加者は1週間後に実施した）。2日目には、1日目と同様の刺激-反応マッピング課題を用いて、1日目に学習した内容を再生する実験を行った。まず、練習として8試行を行った後に学習ブロックとして2ブロック行い、その後、1日目と同様の理由で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日目の学習ブロックでは5ブロックごとに3分間の休憩を挟み、学習ブロック終了後、テストブロックの開始まで3分間の休憩を設けた。2日目では、学習ブロッ

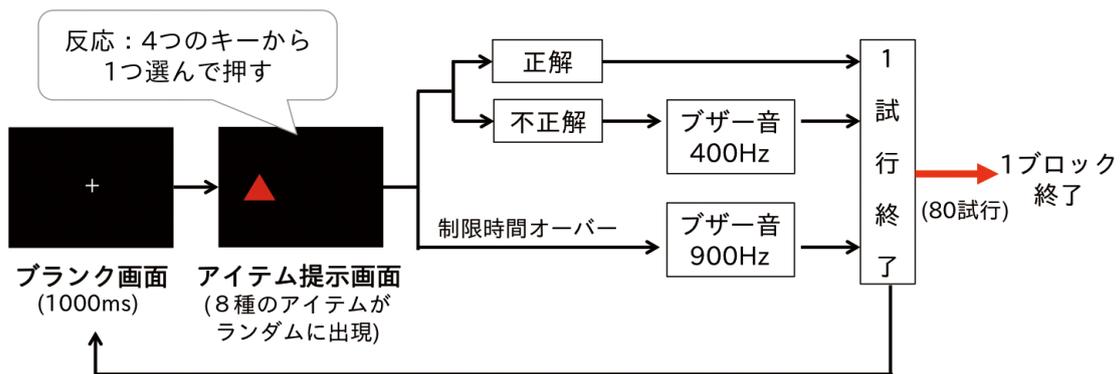


図3 刺激-反応マッピング課題の1試行の流れ

表1 実験デザイン

		ブロック数	1試行の反応にかかる制限時間	ブロック内の試行の構成
1日目	学習ブロック	14	あり(可変)	・1ブロック80試行 (各アイテムにつき10試行) ・8種類のアイテムがランダムに提示される
	テストブロック	2	なし	
2日目	学習ブロック	2	あり(可変)	
	テストブロック	2	なし	

ク終了後に3分間の休憩を設けた。

2.3. 結果

まず、24名の実験参加者のうち、1名は実験前に行った簡易型色覚検査（石原式）において正常色覚と判断する基準に満たなかったため分析から除外した。さらに、1日目の学習ブロックからテストブロックにかけて、4つのアイテムセットのいずれか1つでも、1ブロックの正答率が一度も80%を超えることがなかった2名に関しては、学習が不十分であると判断し、分析から除外した。なお、この2名は、実験後のアンケートにおいて睡眠不足などの理由により学習が困難であったと回答している。

また、本論文における反応時間はアイテムが提示されてから反応キーを押すまでの時間のことを指し、この値は対数変換を行なった上で平均をとっている。

2.3.1. 1日目における学習

1日目の学習ブロック（1～14）からテストブロック（T1, 2）にかけての正答率と学習ブロックにおける制限時間の推移を図4aに示す。図4aのグラフから、学習ブロックとテストブロック全体において、2属性アイテムより3属性アイテムの正答率が低いことが見てとれる。学習ブロックの学習について統計的検討をするために、学習ブロックを学習初期（1～5ブロック）、中期（6～10ブロック）、後期（11～14ブロック）という3つの期間に分けて、期間ごとの正答率の平均値を比較する。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について、学習期間（初期、中期、後期の3水準）とアイテム条件（2属性アイテムと3属性アイテムの2

水準）を要因とする実験参加者内2要因の分散分析を行うと、学習期間の主効果とアイテム条件の主効果が共に有意であり、それらの交互作用も有意であった（学習期間： $F(1.520, 30.407) = 243.530, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .924$ 、アイテム条件： $F(1, 20) = 26.682, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .572$ 、交互作用： $F(2, 40) = 4.250, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .175$ ）。なお、本論文では、Mauchly 検定で球面性が仮定できなかった場合には、Greenhouse-Geisser 法により自由度を修正して検定する。交互作用が有意であったため、下位検定を行ったところ、3つの学習期間全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： $F(1, 20) = 21.393, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .517$ 、中期： $F(1, 20) = 22.835, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .533$ 、後期： $F(1, 20) = 13.348, p < .01, \text{partial } \eta^2 = .400$ ）。このことから、全ての学習期間で2属性アイテムより3属性アイテムの正答率が低いことがわかる。そして、2つのアイテム条件の両方で学習期間の単純主効果が有意であった（2属性アイテム： $F(2, 19) = 122.301, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .928$ 、3属性アイテム： $F(2, 19) = 67.743, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .877$ ）。そこで、2属性アイテムにおいて学習期間の多重比較をしたところ（本論文の多重比較は全て Bonferroni 法を用いる）、全ての学習期間の間に有意差がみられた（初期と中期： $p < .001, d = 2.117$ 、初期と後期： $p < .001, d = 2.585$ 、中期と後期： $p < .05, d = 0.452$ ）。3属性アイテムにおいて学習期間の多重比較をしたところ、初期と中期（ $p < .001, d = 2.252$ ）、初期と後期の間（ $p < .001, d = 2.185$ ）には有意差がみられたが、中期と後期の間には有意差がみられなかった。これらのことから、2属性アイテムについては、初期、中期、後期と正答率が上がり続けており、学習が継続して進んだことがわかる。3属性アイテムにつ

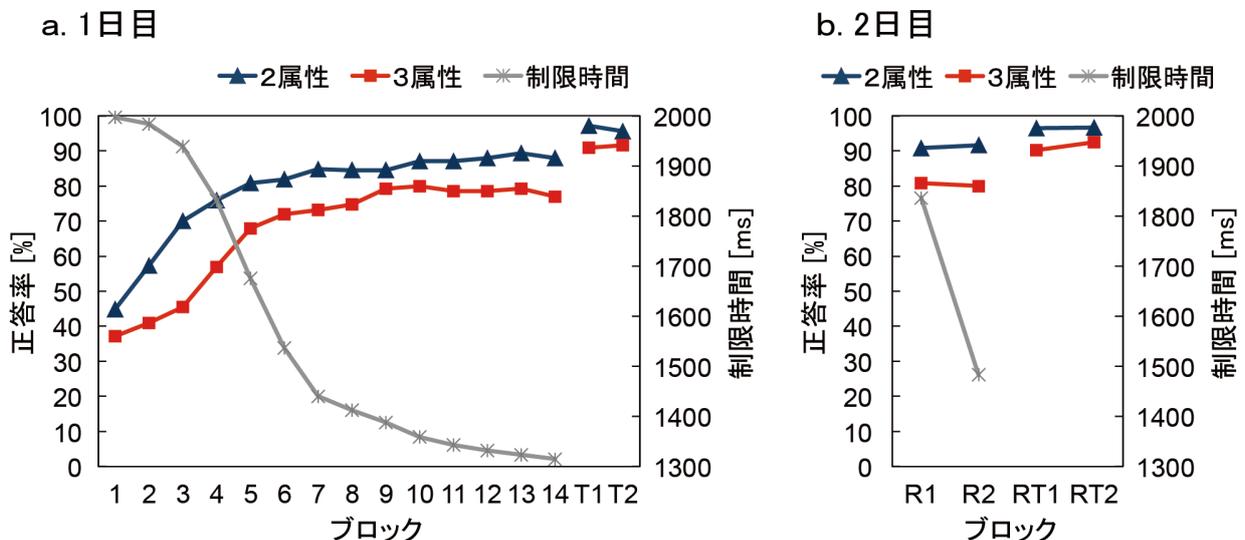


図4 1日目 (a), 2日目 (b) の正答率と制限時間の推移

いては、初期から中期にかけては正答率が上がっており、学習が進んだことがわかるが、中期から後期にかけては正答率が維持されており、学習が進まなかったことがわかる。

2.3.2. 遅延後の正答率

2日目の学習ブロック (R1, 2) からテストブロック (RT1, 2) の正答率と学習ブロックにおける制限時間の推移を図4bに示す。図4bから、2日目は第1ブロックから2属性アイテムでも3属性アイテムでも80%以上の正答率で反応しており、かなり正確に反応できていることが見てとれる。そこで、2属性アイテムと3属性アイテムの2日目第1ブロックにおいて、1日目の学習ブロック終盤の学習効果が残っているかを検討するために、2日目第1ブロックと1日目第14ブロック (学習最終ブロック) の正答率を比較する。もしも、1日目学習終盤の学習効果がそのまま保持されており、学習したマッピングの記憶を利用できるなら、2日目第1ブロックの正答率は1日目第14ブロックの正答率と変わらないはずである。一方、1日目学習終盤の学習効果がそのまま保持されておらず、学習したマッピングの記憶をあまり利用できないならば、2日目第1ブロックの正答率は1日目第14ブロックの正答率と比べて低下すると考えられる。表2に1日目第14ブロックと2日目第1ブロックの正答率と、比較のため、1日目第14ブロックに最も近い正答率であると考えられる1日目第13ブロックの正答率を示す。

正答率についてブロック (1日目第14ブロックと2日目第1ブロックの2水準) とアイテム条件 (2属性アイテムと3属性アイテムの2水準) を要因とする実験参加者内2要因の分散分析を行うと、アイテム条件の主効果が有意であったが ($F(1, 20) = 21.793, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .521$)、ブロックの主効果や交互作用は有意ではなかった (ブロック: $F(1, 20) = 1.924, \text{n.s.}, \text{partial } \eta^2 = .088$ 、交互作用: $F(1, 20) = 0.045, \text{n.s.}, \text{partial } \eta^2 = .002$)。交互作用がなく、ブロックの主効果がなかったことから、属性数によらず2日目第1ブロックの正答率は1日目第14ブロックの正答率から大きく変化していないことがわかる。また、有意差はみられなかったものの、数値として

は両アイテム条件ともに2日目第1ブロックの方が1日目第14ブロックよりも正答率が高かった。また、アイテム条件の主効果が有意であったことから、2日目第1ブロックでは1日目から継続して2属性アイテムよりも3属性アイテムで正答率が低いことがわかる。これらのことから、2日目において、1日目の学習効果が保持されたと考えられる。

2.3.3. テストブロックにおける反応時間と正答率

テストブロックでは、学習後の反応にかかる時間を測定するために反応に制限時間を設けなかった。この反応にかかる時間について、1日目と2日目の間で差があるかを調べる。図5に1日目のテストブロック (T1, 2) と2日目のテストブロック (RT1, 2) における反応時間を示す。グラフを見ると、2日目の方が1日目よりも反応時間が短くなっていることが見てとれる。

1日目と2日目のテスト第1ブロックにおける反応時間について、両日間で比較し、また、3属性アイテムと2属性アイテム間に差があるのかを検討する。反応時間について、ブロック (1日目テスト第1ブロック、2日目テスト第1ブロックの2水準) とアイテム条件 (2属性アイテムと3属性アイテムの2水準) を要因とする実験参加者内2要因の分散分析を行うと、ブロックの主効果とアイテム条件の主効果が共に有意であったが (ブロック: $F(1, 20) = 7.174, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .264$ 、アイ

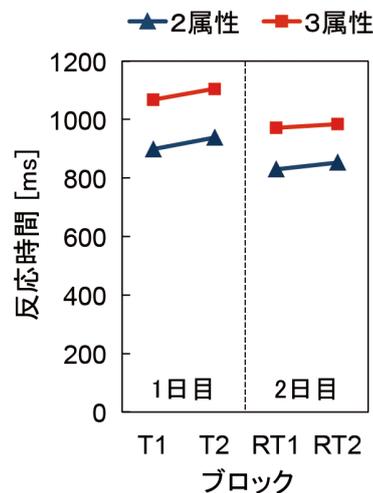


図5 1日目と2日目のテストブロックにおける反応時間

表2 1日目第13、14ブロック、2日目第1ブロックの正答率の平均値と標準偏差

	正答率の平均値 (%) (標準偏差 (%))		
	1日目第13ブロック	1日目第14ブロック	2日目第1ブロック
2属性アイテム	89 (9)	88 (8)	91 (5)
3属性アイテム	79 (18)	77 (16)	81 (13)

テム：F(1, 20) = 25.632, $p < .001$, partial $\eta^2 = .562$ ）、交互作用は有意ではなかった（F(1, 20) = 1.752, n.s., partial $\eta^2 = .081$ ）。このことから、反応にかかる時間は、2属性アイテムよりも3属性アイテムで有意に長く、1日目よりも2日目でも有意に短くなるのがわかる。

次に、1日目と2日目のテストブロックにおける正答率（図4a, b）について、両日間で比較し、また、3属性アイテムと2属性アイテムの間に差があるのか検討する。正答率について、ブロックとアイテム条件を要因とする実験参加者内2要因の分散分析を行うと、アイテム条件の主効果は有意であったが（F(1, 20) = 12.064, $p < .01$, partial $\eta^2 = .376$ ）、ブロックの主効果と交互作用は共に有意ではなかった（ブロック：F(1, 20) = 0.300, n.s., partial $\eta^2 = .015$ 、交互作用：F(1, 20) = 0.000, n.s., partial $\eta^2 = .000$ ）。このことから、テストブロックにおいても学習ブロックと同じように、2属性アイテムよりも3属性アイテムで正答率が有意に低いが、1日目と2日目の正答率には有意な差がないことがわかる。

2.4. 考察

2.4.1. 1日目の学習傾向

まず、1日目における学習の傾向をまとめる。1日目の学習ブロックの正答率に関して、2属性アイテムについては初期と中期、初期と後期、中期と後期の間に有意差がみられ、3属性アイテムについては初期と中期、初期と後期の間に有意差がみられた。すなわち、学習初期よりも中期、後期において正答率が高いため、両方のアイテム条件において学習がなされたと考えられる。ただし、学習曲線としてみると、2属性アイテムでは、初期、中期、後期と正答率が上がり続けており、学習ブロック全体を通して学習が進んだことがわかる。一方、3属性

アイテムでは、初期から中期にかけては正答率が上がっており、学習が進んだが、中期から後期にかけては正答率が変わらず、学習が進まなかったことがわかる。また、学習初期、中期、後期のどの期間においても2属性アイテムよりも3属性アイテムの正答率が低かった。これらのことから、3属性アイテムは2属性アイテムよりも刺激-反応マッピング学習が難しいことがわかり、より早く低いレベルで学習が収束することが示唆された。

また、学習直後に行った、反応に制限時間のないテストブロックの反応時間は、2属性アイテムよりも3属性アイテムで長かった。このことから、1日目の学習後では、2属性アイテムよりも3属性アイテムに対して反応により長い時間を要すると言える。

以上のことは、藤井ら（2017）⁷と同等の結果であり、実験結果を再現できたとと言える。この結果は、個々の特徴が反応に関連するか否かに関わらず、物体が持つ視覚特徴を全て統合して1個の表象を形成し、反応と連合するという全属性仮説では説明できない。なぜなら、図6aに示すように、全属性仮説に従うと、どのアイテムセットのアイテムについても、1個の統合表現と反応の連合が形成されるため、2属性アイテムと3属性アイテムの間に学習難易度の差は見られないはずだからである。一方、2属性が結合した属性対表現の集合として統合表現が作られ、属性対表現を基本単位として反応との連合が形成されるという対属性仮説を適用すると実験結果を説明できる。すなわち、図6bに示すように、2属性アイテムの場合は、同じセットのアイテム同士で反応に関連する2属性が共通しているため、それらの属性からなる属性対表現1個と反応の連合として記憶されるのに対し、3属性アイテムの場合は2つ以上の属性対と反応の連合をそれぞれのアイテムに対して記憶しなければならない

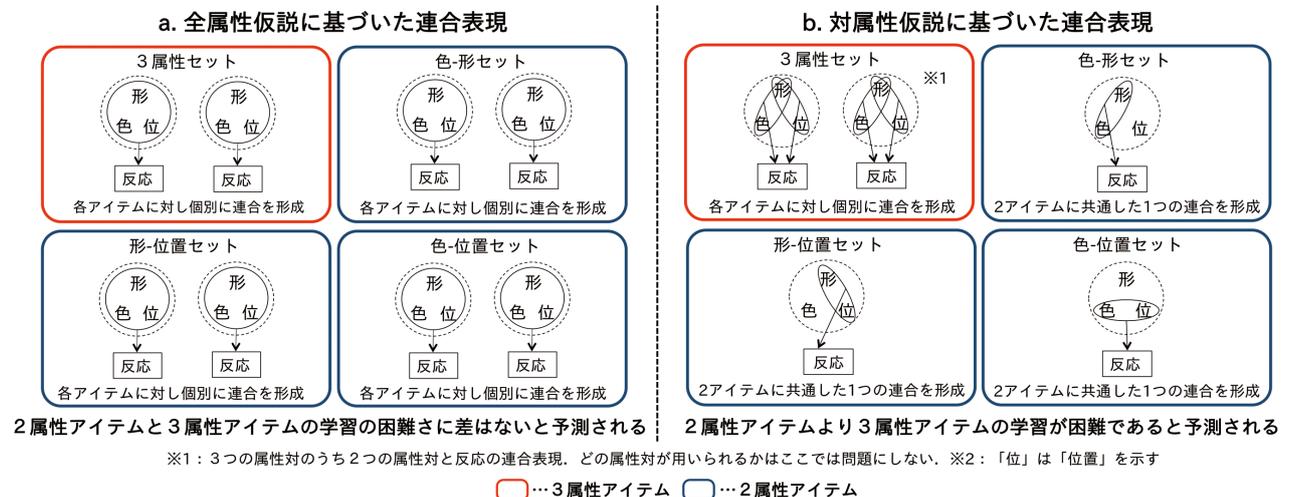


図6 全属性仮説 (a) と対属性仮説 (b) に基づいた色、形、位置の組み合わせと反応の連合表現

ため、より学習が難しく、反応にかかる時間が長いと説明できる。

なお、単純に処理する情報が多いほど反応が遅くなり、その結果3属性アイテムと2属性アイテムの間に学習の難易度の差が生じたという説明は妥当とは言えない。基本的属性の処理はモジュール間で並列的に行われるため、属性数の増加により処理時間が長くなるとは考えられないためである。実際に、Ishizakiら²⁾は刺激-反応マッピング課題と同様のアイテムセットを用いて検出実験も行っているが、次々に提示されるアイテムから事前に指定されたターゲットを見つけて素早く反応する課題では、3属性アイテムと2属性アイテムの間に反応時間の差は見られなかった。

2.4.2. 学習効果の持続性

2属性アイテムと3属性アイテムについて、1日目の学習最終ブロックと2日目の学習第1ブロックの正答率を比較したところ、両者に有意な差は見られなかった。また、学習ブロック全体の傾向と同様に、この2つのブロックにおいて、2属性アイテムよりも3属性アイテムの正答率が低かった。そして、2日目のテスト第1ブロックにおいても1日目のテスト第1ブロックと同様に2属性アイテムよりも3属性アイテムに対し、反応に時間を要した。これらのことから、両方のアイテム条件において1日目の学習効果が2日目にも残っており、3属性アイテムに対する反応が相対的に難しく、反応に時間を要するという傾向もそのまま維持されていることがわかった。これは、約1週間の遅延を挟んだ後でも、視覚特徴の組み合わせと反応のマッピングが、連合が減衰することなく、長期記憶に保持されていることを示唆する。そして、遅延を挟んだ後の記憶についても、対属性仮説のように、2属性ずつの結合対を基本単位として反応との連合が保持されている可能性が考えられる。

また、1日目と2日目のテストブロックでの正答率に有意な差はなかったが、反応時間を比較すると、2日目の方が有意に短いことがわかった。このことから、2日目の反応にかかる時間は1日目より短縮されたと考えられる。実験参加者には、1日目の実験終了後に、2日目の実験開始時までにその日の実験で学習したことを思い返したり、メモを取るなどして復習したりしないよう要求しており、2日目の実験終了後に回答してもらったアンケートでは、ほとんどの参加者が実験開始時までに学習内容を振り返ることはなかったと回答している。学習内容を振り返ったと回答した実験参加者も5名いたが、その参加者たちも、2日目の実験開始の数十分から数時

間前に頭の中でアイテムと反応キーの対応関係を少し思い返したただけであったと報告している。このことから、学習後約1週間ほとんど復習しなくとも、遅延期間中に学習が進んだ可能性が考えられる。このような、睡眠を含む遅延後の課題パフォーマンスの向上については、運動手続き課題や視覚的な課題などを用いた先行研究においても多数報告されており¹⁶⁾、睡眠が記憶の向上に関与することが示されている。ただし、2日目ではテストブロックを行う前に学習ブロックを2ブロック実施しているため、これによって、学習が進み、1日目の最終的な反応時間より早く反応できるようになった可能性も否定できない。この点に関する検討については、今後の課題とする。

3. 総合考察

我々は、日常生活において、物体が持つ視覚特徴の組み合わせと反応の様々な連合関係を学習し、必要に応じてそれを長期的に記憶し、利用している。このような学習は視覚運動マッピングと呼ばれ、日常行動の習得の基盤となるメカニズムである。そのため、視覚運動マッピングにおける刺激-反応連合の記憶表象を明らかにすることは、ヒトの高度な認知的行動を解明する上で重要である。

これまでの研究^{2),7)}においては、視覚特徴の組み合わせと反応のマッピングがどのような表現で記憶されるかという問題について、2属性ずつの特徴を結合した属性対表現を基本単位として反応との連合が形成され、記憶として保持されるというモデル(対属性仮説)が支持されてきた。しかし、これらの検討は学習過程や学習直後の記憶を対象としており、より長期に保持される記憶については検討されてこなかった。そこで本研究では、視覚特徴の組み合わせと反応のマッピングが、長期の遅延期間をおいた後でも学習直後と同様の表現で、減衰することなく保持されるか検討した。検討方法として、まず、色、形、位置の3属性の組み合わせと反応のマッピング学習課題を行い、その後1週間程度の遅延をおいて再生実験を行い、どの程度正確に反応できるかを調べた。

実験の結果、まず、約1週間の遅延期間をおいた後でも、学習終盤と同等の正確さで反応を生起することができた。また、学習時と同じく、遅延後も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正確さが低く、反応により時間がかかった。このことは、視覚特徴の組み合わせと反応のマッピングが、学習後、

復習を伴わない長期の遅延期間を挟んだ後でも、正確に再生できることを示し、学習直後と同等の表現で記憶に保持していることを示唆する。ただし、今回の実験では、遅延時間を1週間程度という一定の間隔に設定していたため、これよりも遅延時間を延長した場合にも同等の正確さで記憶が保持されるかは定かではない。より長期に及ぶ時間経過に伴い記憶がどのように変化していくかという問題については、今後の検討課題としたい。

また、学習直後の反応時間と遅延後の反応時間を比較すると、遅延後の反応時間の方が短いことがわかった。このことから、おおよそ1週間の遅延期間中に復習しなくとも、学習が進んだ可能性が考えられる。ただし、遅延後の反応時間計測ブロックまでには、数ブロックの試行を行っているため、これにより学習が進んだ可能性も否定できない。

以上のことから、色、形、位置の3属性の組み合わせと反応のマッピングを学習した後、1週間程度の遅延を挟んでも、学習効果が持続することがわかった。そして、この1週間の遅延の間に記憶表現が変化することはないことが示唆され、その表現について、全属性仮説が否定され対属性仮説が支持された。

結果から、視覚特徴の組み合わせに応じて特定の行動を仕分けるようなサインやアイコン（標識や情報機器における記号表現など）は、一旦適切な行動がとれるように十分に学習されれば、特に復習せずとも長期にわたって記憶される可能性が考えられる。

謝辞

本研究はJSPS 科研費17K00200の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) Wise, S. P.; Murray, E. A. Arbitrary associations between antecedents and actions. *Trends in Neurosciences*, 2000, 23, p.271-276.
- 2) Ishizaki, T.; Morita, H.; Morita, M. Feature integration in the mapping of multi-attribute visual stimuli to responses. *Scientific Reports*, 2015, 5, 9056, doi: 10.1038/srep09056. <https://www.nature.com/articles/srep09056>, (cites 2018-09-23).
- 3) Treisman, A. Features and objects in visual processing. *Scientific American*, 1986, 255, 5, p.114-115.

- 4) Livingstone, M. S.; Hubel, D. H. Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement, and depth. *Journal of Neuroscience*, 1987, 7, p.3416-3468.
- 5) Luck, S. J.; Vogel, E. K. The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 1997, 390.6657, p.279-281.
- 6) Morita, M.; Morokami, S.; Morita, H. Attribute pair-based visual recognition and memory. *PloS one*, 2010, 5, e9571, doi: 10.1371/journal.pone.0009571. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0009571>, (cites 2018-09-23).
- 7) 藤井佑実子, 森田昌彦, 森田ひろみ. 刺激の位置を含む複数属性と反応のマッピング学習. *VISION*, 2017, 29.4, p.129-144.
- 8) Loftus, E. F. *Eyewitness testimony*. Cambridge: Harvard University Press, 1979, 253p.
- 9) Mettler, E.; Kellman, P. J. Adaptive response-time-based category sequencing in perceptual learning. *Vision research*, 2014, 99, p.111-123.
- 10) Stickgold, R.; Whidbee, D.; Schirmer, B.; Patel, V.; Hobson, J. A. Visual discrimination task improvement: A multi-step process occurring during sleep. *Journal of cognitive neuroscience*, 2000, 12.2, p.246-254.
- 11) Walker, M. P.; Brakefield, T.; Morgan, A.; Hobson, J. A.; Stickgold, R. Practice with sleep makes perfect: sleep-dependent motor skill learning. *Neuron*, 2002, 35.1, p.205-211.
- 12) McGaugh, J. L. Memory-a century of consolidation. *Science*, 2000, 287, p.248-251.
- 13) Brainard, D.H. The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, 1997, 10, p.443-446.
- 14) Pelli, D. G. The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies. *Spatial Vision*, 1997, 10, p.437-442.
- 15) Kleiner, M.; Brainard, D.; Pelli, D.; Ingling, A.; Murray, R.; Broussard, C. What's new in Psychtoolbox-3. *Perception*, 2007, 36, p.1-16.
- 16) Stickgold, R. Sleep-dependent memory consolidation. *Nature*, 2005, 437, p.1272-1278.

(平成30年9月28日受付)

(平成31年1月5日採録)