

刺激-反応連合における
視覚特徴の統合に関する心理学的研究

筑波大学

図書館情報メディア研究科

2019年4月

藤井 佑実子

刺激-反応連合における 視覚特徴の統合に関する心理学的研究

概要

本論文は、記憶において物体が持つ視覚特徴の組み合わせがどのように統合され、反応と連合するかに関する心理学的な研究について述べている。

我々は、日常生活において様々な状況で多様な物体に対して行動をとっている。物体は視覚特徴の組み合わせから成り、この組み合わせによって対応づけられる行動が異なる。例えば、「赤」という色属性、「大きな丸」という形属性、「一樣」というテクスチャ属性といった視覚特徴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。一方、「赤」という色属性、「大きな丸」という形属性を持っていても、「しわしわ」というテクスチャ属性を持つリンゴには、処分という行動が結びつく。我々は、このような物体が持つ視覚特徴の組み合わせと反応の間の複雑な対応づけを学習し、それに基づき適切な行動を取ることができる。自然界の物体に限らず、視覚的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）も視覚特徴の組み合わせから成り、その組み合わせに基づきユーザーは適切な行動をとることができる。このような、視覚特徴の組み合わせと反応の間の複雑な対応づけは、言い換えれば、任意の物体集合と任意の反応集合の間にある対応関係の規則の学習と言える。これを本論文では視覚運動マッピング（刺激-反応マッピング）の学習と呼ぶ。ここで扱う任意の物体集合とは、同種の複数属性を持つがその複数属性は互いに異なる特徴値の組み合わせを持つ物体の集合のことを言う。また、ここで扱う任意の反応集合とは、類似した反応の集合のことを言う。したがって、視覚運動マッピングの学習は、視覚的類似性の高い物体集合において、特定の視覚特徴の組み合わせを持つ物体とそれに対する適切な反応の対応を学習することとする。なお、一つ一つの刺激物体と反応の対応づけを刺激-反応連合という。刺激-反応連合の学習は、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。視覚運動マッピングでは、任意の刺激-反応連合を獲得でき、それを柔軟に変更することもできるが、長期的に保持されれば、いつでもその連合に従い素早く反応することができる。多様な行動の基盤となる視覚運動マッピングの記憶表象を明らかにすることは、ヒトの認知的行動を理解する基盤として重要である。

本研究は、刺激-反応マッピングにおける物体の視覚特徴の組み合わせと反応の連合の記憶表象について解明することを目指した。視覚特徴の組み合わせに注目するのは、

物体認知に関わるヒトの視覚情報処理がその初期段階で視覚の基本特徴を属性ごとに抽出し、個別に並列処理していることに由来する。低次の処理段階で並列処理された視覚特徴は、高次の段階で統合されて記憶に保持されると考えられているが (Treisman, 1986), 具体的にどのような表現で統合され、反応と連合するかについては明らかでない。刺激-反応マッピングでは、視覚特徴の組み合わせにより異なる反応が対応づけられるため、特徴統合のプロセスが反応を決定する上で重要となる。特徴統合の単純な方法として、物体が持つ全ての特徴の組み合わせをエンコードするニューロンが存在するという仮説が考えられるが、それでは物体の数と同じ数だけニューロンが必要となるため組合せの爆発的増加の問題を回避できない。したがって、他の何らかの方法でこの問題を解決し、多様な刺激と反応の連合を実現していると考えられる。その方法として考えられるのが属性対を単位とする統合方式である。

Ishizaki et al. (2015)は、色、形、テクスチャの3属性の特徴がどのような表現で反応と連合するかを検討した。彼らは、3属性の特徴を1つに統合した表現は長期にわたって経験されなければ作られないが、2属性の特徴を結合した表現(属性対表現)は比較的素早く脳内に形成されるとする対属性モデル (Morita et al., 2010) を支持し、3属性の特徴と反応の連合は、2つ以上の属性対と反応の連合の集合として記憶されるとした(対属性仮説)。一方で、全特徴がひとまとまりになり反応と連合するという仮説(全属性仮説)や個々の特徴がそれぞれ反応と連合するという仮説(単一属性仮説)を実験的根拠を基に否定している。

ただし、Ishizaki et al. (2015)の対属性仮説が一般に成り立つことを証明するためには、次に挙げるような問題が残っている。第一に、物体が持つ視覚特徴には、色や形などの物体識別属性と、位置や動きなどの時空間的属性があり、これらは異なる情報処理が行われる。解剖学的にも脳において物体識別属性と時空間的属性が別の経路で処理されることを考えると (Ungerleider & Haxby, 1994), 例えば、異なる経路で処理される属性同士の組み合わせは、同じ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が難しい可能性がある。第二に、時空間的属性の中でも位置は、視覚情報処理において統合表現を作るために特別な役割を担うと考えられているが (Treisman, 1986 など), 刺激-反応マッピングにおいてもその役割を持つかは明らかでない。第三に、Ishizaki et al. (2015)の研究では、刺激-反応マッピングの学習過程に焦点を当てており、学習が十分に行われた後の記憶保持については検討されていない。日常場面におけるマッピング記憶の働きを検討するために、十分な遅延後のマッピング記憶の性質を調べる必要がある。

そこで、本研究では、物体が持つ視覚特徴の中でも位置に注目し、学習過程、学習直後、長期遅延後の3つの記憶段階において、位置と他の属性の組み合わせがどのような表現で反応と連合するか検討した。なお、本研究の基本的な方法論は Ishizaki et al.(2015)に基づき、3属性の特徴の組み合わせで表現される刺激と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、検討を進めた。

本論文は5章から構成される。第1章では、研究の背景と目的、アプローチ方法、論文構成に関して述べた。まず、物体認知に関わる視覚情報処理の基本的な心理学的モデルを説明し、先行研究で提案された記憶における視覚特徴の統合表現に関するモデルを整理した。その中で Ishizaki et al.(2015)の対属性仮説について詳述した。そして、この研究において残されていた問題を指摘し、それに対する本研究のアプローチを述べた。

第2章では、物体識別属性と位置属性からなる視覚特徴の組み合わせと反応のマッピングの学習過程について検討した。実験1Aでは、位置と2種類の物体識別属性からなる3属性の組み合わせと反応のマッピングにおいても、対属性仮説を適用できるか検討することを目的とした。実験では、Ishizaki et al.(2015)が用いた属性（色、形、テクスチャ）のうちテクスチャを位置に変えた刺激-反応マッピング課題を行った。その結果、Ishizaki et al.(2015)と同等の結果が得られ、対属性仮説が支持された。ただし、2属性の組み合わせの中でも、色と形の組み合わせに比べて、色と位置や、形と位置の組み合わせは反応とのマッピング学習の進行が遅かった。そこでこの学習難易度の違いが、脳の処理経路をまたいで結合する必要の有無に依存するという可能性を考えた。そして実験1Bでは、実験1Aで用いた属性のうち形を動きに変えて刺激-反応マッピング課題を行い、位置と動きという脳の背側経路で処理される属性同士の組み合わせのマッピング学習について検討した。その結果、位置と動きの組み合わせは、色と形の組み合わせのように反応とのマッピング学習が容易になるということではなかった。したがって、2特徴の処理経路が異なることで刺激-反応マッピングの学習が難しくなるという可能性は支持されなかった。

第3章では、前章で色と位置あるいは形と位置の組み合わせのマッピング学習が難しかったことについて追求した。具体的には、位置がどのような方式で刺激-反応マッピングに関与するか検討した。実験2Aでは、位置が色や形と属性対を形成して反応と連合するか否かを検討した。実験では、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後、刺激特徴を2属性ずつ、もしくは2属性と1属性に空間的に分けて提示し、学習が転移するか調べた。その結果、色と形を空間的に分けて提示す

ると学習は完全には転移しなかったが、色と位置を空間的に分けて提示した場合にはほぼ完全に転移した。このことから、色、形、位置の組み合わせと反応のマッピングにおいて、色と形は属性対表現と反応の連合として記憶されるが、位置は単独の表現で反応との連合が記憶される可能性が示唆された。

実験 2B では、色、形、位置の各特徴と反応の連合の強固さを比較した。実験では、色、形、位置の組み合わせと反応のマッピングを学習後、3属性のうち1属性の特徴値を交換して再学習を行った。その結果、位置交換後の再学習は色や形交換後の再学習よりも容易であった。このことから、色や形の交換が刺激と反応の連合の根本的な変更を要するのに対し、位置の交換は柔軟な変更で済むことが示唆された。

第4章では、長期遅延後の刺激-反応マッピングの記憶表現について検討した。実験では、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後、1週間の遅延期間において学習した通りに正確に反応できるか調べた。その結果、遅延後でも学習直後と同様の正確さと素早さで反応でき、学習時と同様に2属性の特徴の組み合わせよりも3属性の特徴の組み合わせの方が課題成績が悪かった。さらに学習時と同様に色と形の組み合わせよりも、形と位置や色と位置の組み合わせの方が課題成績が悪かった。以上の結果から、遅延後でもマッピング記憶は記憶表現を変えることなく正確に保持できることが示された。

第5章では研究目的を再確認し、アプローチ方法と成果について議論した。そして、色、形、位置の組み合わせと反応の連合に関するモデルを提案した。本論文では、学習過程、学習直後、長期遅延後の3つの記憶段階において、全属性仮説より対属性仮説の方が妥当性が高いことが示された。一方で、視覚特徴の組み合わせに位置を含む場合は、対属性仮説の修正が必要であることが示唆された。この点に関して、物体識別属性（色や形）同士の2特徴は結合した表現（属性対）で反応と連合するのに対し、位置は物体識別属性とは結合せずに、単独の表現で反応と付加的に連合するモデル（位置シングルトンモデル）を提案した。この結論より、サインやアイコンのデザインに関して、位置と他の特徴の組み合わせに応じて複数の行動をし分けるようなものは、適切な反応を素早く取るのが難しい可能性があるため、緊急性や重要性の高い場面で用いることは避けるべきであると指摘される。

Psychological Study on the Integration of Visual Features in Stimulus–Response Association

Abstract

This thesis describes a psychological study of how visual features of an object are integrated, and how they are associated with a response.

In everyday life, we give out an appropriate response to an object based on its visual information, which comprises a combination of several features. This unique combination of features elicits appropriate actions in virtue of memory creating an association between a stimulus and a response.

Human beings can acquire memories for arbitrary stimulus–response associations through learning. Moreover, once acquired, the stimulus–response association can be maintained in memory for a long time, and it is possible to elicit a response based on these associations at any later time.

This study elucidated the memory representation of the association of combined visual features to a response in stimulus–response mapping. In this thesis, stimulus–response mapping refers to a set of multiple stimulus–response associations. As mentioned above, stimulus–response associations comprise the basis of diverse behaviors. Therefore, clarifying the representation mechanism in memory of stimulus–response mapping is fundamental to understanding human cognitive behavior.

The human visual system is understood to process visual features of an object separately within different modules for each basic feature dimension, such as color, shape, or texture. We call the basic feature dimension an attribute. According to feature integration theory, these features are integrated through attention directed toward the object's location (Treisman & Gelade, 1980). In previous studies, two hypotheses concerning integrated representation of features have been proposed: all features are integrated into a unified representation (all-attribute model), or features are integrated as a set of multiple distributed binding representations.

In regard to stimulus–response mapping, Ishizaki et al. (2015) refuted the all-attribute model and proposed a paired-attribute model in which only two

attributes are bound and the set of attribute pairs is associated with a response. They conducted a stimulus–response mapping task, in which participants were required to learn the mapping of eight stimuli consisting of a combination of color, shape, and texture to four key-pressing responses. Their results indicated that learning was more difficult when three stimulus attributes determined a correct response than when two attributes did so. Based on the paired-attribute model, the result can be explained as follows: while correspondence between two attributes and a response is stored as an association between one attribute pair and a response, correspondence between three attributes and a response is stored as an association between a set of attribute pairs and a response. However, according to the all-attribute model where all features are integrated into a unified representation and associated with a response regardless of the number of features related to the response, there should be no difference in learning difficulty.

In order to prove the paired-attribute model to be valid generally, the following issues need to be tackled. First, it is unclear how a combination of visual features including spatial attributes is associated with a response. Spatial attributes, such as location and motion, are believed to be processed via a different pathway in the brain than attributes for object identification (Ungerleider & Haxby, 1994). Ishizaki et al. (2015) investigated the mapping of only attributes for object identification (i.e., shape, color, and texture). Second, it is not clear whether a location plays a special role not only in forming an integrated representation but also in stimulus–response mapping. Third, although previous studies have shown that the paired-attribute model works in the process of learning, no studies have investigated the model’s applicability to long-term retention.

Therefore, this study examined how the combination of location and other attributes is associated with a response in three memory stages, namely, the learning stage, the retention stage immediately after learning, and the retention stage after a long delay.

This thesis consists of five chapters. In Chapter 1, the background and purpose of this study and the approach were described, and an outline of the thesis was provided.

Chapter 2 examined the stimulus–response mappings with not only the

identification attributes but also the location attribute. In Experiment 1A, the stimulus–response mapping task using stimuli consisting of a combination of color, shape, and location was conducted. As a result, equivalent results to Ishizaki et al. (2015) were obtained, and the paired-attribute model was supported in the mapping to a response of the combination of visual features, including location. However, among the three pairs of attributes, the mapping of the shape–location and color–location pairs to responses was more difficult to learn as compared to the mapping of the color–shape pair to a response.

Experiment 1B examined whether the difference in learning difficulty depends on the difference in the processing pathway in the brain. A stimulus–response mapping task using stimuli consisting of a combination of color, location, and motion was conducted. As a result, the map to a response based on the combination of two features processed via the same pathway (e.g., location and motion) was no less difficult to learn than the combination of two features processed via different pathways. Therefore, there is no evidence that the learning of stimulus–response mapping becomes more difficult when the features are processed via different pathways from each other.

Chapter 3 examined whether the location is involved in stimulus–response association in a different manner from color and shape are. In Experiment 2A, after learning the mapping to responses of stimuli consisting of a combination of color, shape, and location, the features of the stimuli were presented spatially separated in two stimuli for the test: two combinations of two features, or one combination of two features and one single feature. As a result, learning was not completely transferred when color and shape were presented separately; however, when color and location were presented separately, learning was almost completely transferred. This suggests that color and shape are bound to be associated with a response whereas location is associated with a response as a single representation.

In Experiment 2B, after learning the mapping of stimuli consisting of color, shape, and location to the responses, the feature value of one attribute was exchanged and a re-learning task was conducted. As a result, re-learning was not so difficult when the location was exchanged as when the color or shape was exchanged. This suggested that exchanging location would require only minor

modification in the stimulus–response association, whereas exchanging color or shape requires fundamental modification.

Chapter 4 examined memory representation of stimulus–response mapping after a long-term delay. In Experiment 3, one week after participants learned the mapping to the responses of the stimuli consisting of color, shape, and location, they learned the same mapping again. As a result, they could respond as accurately and quickly as they did immediately after learning. Moreover, they performed better when two features determined correct responses as compared to when three features determined correct responses. The results reveal long-term retention of mappings between the integration of features and responses, and suggest that the paired-attribute model is applicable to long-term retention of mappings.

Chapter 5 reconfirmed the research purpose and discussed the outcome of this study. In this study, it was suggested that the paired-attribute model is more valid than the all-attribute model for stimulus–response mapping during learning, immediately after learning, and after a long delay. However, it was suggested that the paired-attribute model needs to be modified for the mapping of visual features including location attribute to responses. Thus, a location-singleton model was proposed in which two features of attributes for object identification are bound and associated with a response, whereas the location attribute is not bound with other attributes, and is added to this association individually.

目次

概要

ABSTRACT

目次

図表目次

第 1 章 序論	1
1-1. はじめに	1
1-2. 物体認知と視覚の基本的特徴	6
1-2-1. 物体認知に関する心理学的モデル	6
1-2-2. 視覚情報処理における基本的特徴次元	7
1-2-3. 特徴処理に関わる 2 つの解剖学的経路	9
1-3. 記憶のメカニズム	12
1-3-1. 記憶機構	12
1-4. 記憶における視覚特徴の統合表現	14
1-4-1. 視覚作業記憶における視覚特徴の統合表現に関する実験と理論	14
1-4-2. 視覚情報処理および視覚作業記憶における位置の役割	19
1-4-3. 長期記憶における視覚特徴の統合表現	20
1-5. 本研究のアプローチ	25
1-5-1. 本研究の目的	25
1-5-2. 本論文の構成と本研究のアプローチ方法	26
第 2 章 物体識別属性と位置属性からなる刺激の刺激-反応マッピング学習に関する実験的検討	29
2-1. 実験 1A: 位置, 色, 形からなる刺激と反応のマッピング学習	31
2-1-1. 目的	31
2-1-2. 方法	33
2-1-3. 結果	39
2-1-4. 考察	44
2-1-5. まとめ	46
2-2. 実験 1B: 位置, 動き, 色からなる刺激と反応のマッピング学習	48

2-2-1. 目的	48
2-2-2. 方法	49
2-2-3. 結果	52
2-2-4. 考察	56
2-2-5. まとめ	58
2-3. 実験 1A と 1B のまとめ	59
第 3 章 刺激-反応マッピングにおける位置属性の関与方式に関する実験的検討	61
3-1. 実験 2A : 刺激-反応マッピング学習の転移	64
3-1-1. 目的	64
3-1-2. 方法	67
3-1-3. 結果	72
3-1-4. 考察	78
3-1-5. まとめ	80
3-2. 実験 2B : 刺激-反応マッピングにおける特徴変更後の再学習	81
3-2-1. 目的	81
3-2-2. 方法	81
3-2-3. 結果	85
3-2-4. 考察	93
3-2-5. まとめ	94
3-3. 実験 2A と 2B のまとめ	94
第 4 章 刺激-反応マッピング記憶の長期保持に関する実験的検討	96
4-1. 実験 3 : 刺激-反応マッピングの長期遅延後における再生	98
4-1-1. 目的	98
4-1-2. 方法	98
4-1-3. 結果	100
4-1-4. 考察	106
4-2. まとめ	108
第 5 章 本研究のまとめ	110
5-1. 実験結果のまとめ	110
5-2. モデルの提案	113
5-3. 総合議論	115

5-4. 今後の課題	122
5-5. まとめ	125
謝辞	127
参考文献	128
全研究業績リスト	132
付録	

図表目次

図 1.1 単純な条件付き運動学習と視覚運動マッピング	3
図 1.2 知覚プロセスと刺激と反応の連合プロセス	4
図 1.3 対属性仮説の概念図	5
図 1.4 特徴統合理論の概念図 (Treisman (1986) より改変)	7
図 1.5 視覚探索課題における刺激と一般的な実験結果	8
図 1.6 低次の視覚情報処理における特徴モジュール構造 (Cavanagh et al. (1990) より改変)	9
図 1.7 背側経路と腹側経路	10
図 1.8 脳における視覚情報処理経路 (Sakata et al. (1997) より改変)	11
図 1.9 二重貯蔵モデル	12
図 1.10 作業記憶モデル	13
図 1.11 Luck & Vogel (1997) の変化検出課題の一試行の流れ	14
図 1.12 Morita et al. (2010) の変化検出課題の一試行の流れと代表的な実験結果	16
図 1.13 Morita et al. (2010) の実験結果を対属性モデルに基づいて説明したニューラルネットモデル	16
図 1.14 Kahneman et al. (1992) のプレビュータスクの流れ	17
図 1.15 Hommel (1998) の実験手続きの概略の流れと実験結果の概念図	19
図 1.16 Ishizaki et al. (2015) の実験における刺激と反応の対応関係の一例	21
図 1.17 全属性仮説, 対属性仮説, 単一属性仮説の概念図	22
図 1.18 全属性仮説と対属性仮説に基づく Ishizaki et al. (2015) の実験における刺激と反応の連合表現	23
図 1.19 Unified 条件と Separate 条件の提示画面の例 (Ishizaki et al., 2015)	24
図 2.1 位置, 色, 形の組み合わせと反応の連合モデル	32
図 2.2 実験で用いた入力装置	33
図 2.3 実験環境の概略図	34
図 2.4 実験 1A で用いた 8 種類のアイテム	34
図 2.5 実験 1A 刺激-反応マッピング学習課題の手続き	35
図 2.6 刺激-反応マッピング学習課題のアイテムと正解キーの対応関係の一例	36
図 2.7 実験 1A 特徴弁別課題のアイテムと正解キーの対応関係の一例	38
図 2.8 実験 1A 刺激-反応マッピング学習課題の学習ブロックとテストブロックにおける	

正答率の推移.....	41
図 2.9 実験 1A 刺激-反応マッピング学習課題の学習ブロックの期間別正答率.....	41
図 2.10 実験 1A 刺激-反応マッピング学習課題のテストブロックの平均反応時間....	43
図 2.11 実験 1A 特徴弁別課題の正答率と反応時間.....	44
図 2.12 位置, 動き, 色の組み合わせと反応の連合モデル.....	49
図 2.13 実験 1B で用いた 8 種類のアイテム.....	50
図 2.14 実験 1B で用いた動き特徴.....	51
図 2.15 実験 1B 刺激-反応マッピング学習課題のアイテムと正解キーの対応関係の一例	51
図 2.16 実験 1B 刺激-反応マッピング学習課題の学習ブロックとテストブロックにおけ る正答率の推移.....	54
図 2.17 実験 1B 刺激-反応マッピング学習課題の学習ブロックの期間別正答率.....	54
図 2.18 実験 1B 刺激-反応マッピング学習課題のテストブロックの平均反応時間....	55
図 2.19 実験 1B 特徴弁別課題の正答率と反応時間.....	56
図 2.20 実験結果から想定される刺激-反応マッピング学習の難易度.....	60
図 3.1 刺激-反応マッピング記憶における位置の関与方式に関するモデル.....	62
図 3.2 実験 2A における刺激特徴の提示条件.....	65
図 3.3 仮説に基づいた実験 2A の結果予測.....	66
図 3.4 実験 2A の刺激特徴と正解キーの対応関係の一例.....	69
図 3.5 実験 2A 刺激-反応マッピング課題の手続き.....	69
図 3.6 実験 2A ターゲット検出課題の手続き.....	70
図 3.7 実験 2A 刺激-反応マッピング課題における学習ブロックの正答率の vincent 曲線	73
図 3.8 実験 2A 刺激-反応マッピング課題の学習最終ブロックと転移ブロックの正答率	74
図 3.9 実験 2A 刺激-反応マッピング課題の転移ブロックにおける正答率の変化量....	75
図 3.10 (a)実験 2A ターゲット検出課題の反応時間と (b) ターゲット検出精度 d' .	76
図 3.11 実験 2A 刺激-反応マッピング課題の学習最終ブロックと転移ブロックの反応選 択時間.....	77
図 3.12 実験 2A 刺激-反応マッピング課題の転移ブロックにおける反応選択時間の変化 量.....	78
図 3.13 刺激-反応マッピングにおける位置の記憶表現モデル.....	80

図 3.14 実験 2B の学習ブロックでの刺激特徴と正解キーの対応関係の一例	83
図 3.15 実験 2B の再学習ブロックでの特徴交換の一例	84
図 3.16 実験 2B の学習ブロックの正答率の vincent 曲線	86
図 3.17 実験 2B の学習最終ブロックから再学習ブロックの正答率と反応時間の推移	87
図 3.18 実験 2B の再学習ブロックの正答率の低下量	89
図 3.19 実験 2B の再学習ブロックの反応時間の増加量	90
図 3.20 実験 2B の再学習ブロックにおける正答率の変化	92
図 3.21 刺激-反応マッピングにおける位置の関与モデル	95
図 4.1 色, 形, 位置の組み合わせと反応のマッピングの長期遅延後の記憶表現に関する仮説	97
図 4.2 実験 3 の (a) 1 日目, (b) 2 日目の正答率と制限時間の推移	101
図 4.3 実験 3 の学習ブロックの期間別正答率	101
図 4.4 実験 3 の 1 日目学習終盤から 2 日目学習ブロックにかけての正答率の変化量	103
図 4.5 実験 3 の 1 日目と 2 日目のテストブロックにおける反応時間	105
図 5.1 Ishizaki et al. (2015) の対属性仮説に基づくニューラルネットモデル	114
図 5.2 色, 形, 位置の 3 属性の組み合わせと反応のマッピング記憶の説明モデル (位置シングルトン仮説に基づくニューラルネットモデル)	114
図 5.3 色と位置の組み合わせと反応の連合表現に (a) 形が含まれる場合と (b) 含まれない場合のモデル	123
表 2.1 実験 1A の実験デザイン	39
表 3.1 実験 2A の実験デザイン	71
表 3.2 実験 2B の実験デザイン	84
表 4.1 実験 3 の実験デザイン	100
表 5.1 実験における制限時間の制御方法	119
表 5.2 実験におけるデータの除外方法	121

第1章 序論

1-1. はじめに

ヒトや多くの動物は、日々様々な状況で外界環境から複雑な視覚情報を抽出し、それに対して行動をとっている。このとき、記憶に基づき、より適切な結果が得られるように行動を修正することで環境に適応することができる。例えば、目の前にたくさんのリンゴがなっている木があり、そこから実を収穫するという場面を考える。これまでにリンゴを収穫した経験がない場合は、たくさんのリンゴを手当たり次第収穫し、まだ成長途中で食べごろではない実まで収穫してしまう可能性がある。しかし、何度も収穫を経験するなかで、どのような色や大きさの実であれば食べごろであるかや、木のどの位置になっているものから早く熟すかなどといったことを学習し、効率良く収穫作業を遂行できるようになる。このような学習プロセスは、動物の行動の中で最も柔軟性のある能力の一つであり (Wise & Murray, 2000)、生存していく上で重要である。

心理学の「学習」に関する研究においては、ある刺激を受けた場合にどのような運動反応を返すべきかという刺激と反応の対応付けを学習することを**条件付き運動学習**と呼んできた (Passingham, 1993)。条件付き運動学習において刺激となり得る身の回りの物体は、色や形、テクスチャなどの単純な視覚特徴の組み合わせから成り、この組み合わせによって対応づけられた行動が異なっている。例えば、前述のリンゴの例であれば「赤」という色属性、「真ん丸」という形属性、「一様」というテクスチャ属性といった視覚特徴の組み合わせから成るリンゴには、収穫という行動が結びつく。この行動選択において色、形、テクスチャの3属性の特徴情報が全て重要というわけではない。例えば、形属性がどのような特徴値を持っていたとしても（例えば形属性が「歪な丸」の場合でも）、「赤」と「一様」という特徴を持つリンゴには、収穫という行動が結びつく。一方、たとえ「赤」と「真ん丸」という特徴を持つリンゴだとしても、「しわしわ」というテクスチャ属性を持つ場合には、処分という行動が結びつく。このように、我々の日常生活では特定の物体と特定の反応の単純な対応関係にしたがって行動するだけで済むということは少なく、物体が持つ**複数の視覚特徴の複雑な組み合わせと反応の間の対応付け**を学習し、それに基づき行動できることが重要となることが多い。なお、本論文では、物体が持っている視覚特徴の種類（色、形、テクスチャ、位置、動きなど）のことを「**属性**」と呼び、その属性がどのような値を

とるか（赤，三角，斑模様，右，上下運動など）を「**特徴**」と呼ぶ．自然界の物体に限らず，生活の中にあふれる視覚的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）も視覚特徴の組み合わせから成り，その組み合わせに基づきユーザーは適切な行動をとることができる．このように，ヒトの日常行動は，視覚特徴の組み合わせと行動の対応関係を学習することによる最適化を基盤としている．

視覚特徴の組み合わせと反応の複雑な条件付き運動学習のプロセスは，言い換えれば，**任意の物体集合と任意の反応集合の間にある対応関係の規則の学習**と言える．ここで扱う任意の物体集合というのは，複数の視覚特徴の組み合わせから成る物体の集合のことで，集合内の物体は同種の複数属性を持つが，その複数属性は互いに異なる特徴値の組み合わせを持つ．集合内の物体は視覚的類似性が高いが，それらは弁別可能である．一方，ここで扱う任意の反応集合とは類似した反応の集合のことである．本論文ではこのような学習を，単純な条件付き運動学習とは異なるものとしてとらえ，**視覚運動マッピング**（Wise & Murray, 2000）と呼ぶこととする（図 1.1）．単純な条件付き運動学習とは，例えば，右側の刺激に対して右側のボタンを押すというような刺激と反応の間で特徴を共有する対応付け学習であったり，あるパターン刺激に対してある反応を対応付ける学習のように，刺激，あるいは刺激の特定の特徴と反応の関係が 1 対 1 である対応付け学習のことを指す．なお，一つ一つの刺激物体と反応の対応付けを**刺激-反応連合**という．刺激-反応連合は，**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．単純な条件付き運動学習はこれまで心理学の学習研究の中で頻繁に取り扱われてきた．これに対し，我々が日々習得している視覚運動マッピングは，先に述べたような刺激の持つ視覚特徴の組み合わせと反応の対応づけ学習である．視覚運動マッピングでは，あらゆる刺激とあらゆる反応の刺激-反応連合を獲得でき，それを状況（例えば環境の変化や経験を積むことによる知識の変化）に応じて柔軟に変更することもできる．例えば，前述のリンゴの例であれば，「赤」という色属性，「真ん丸」という形属性の組み合わせを持つリンゴと収穫という行動の連合を，「緑」という色属性，「真ん丸」という形属性の組み合わせを持つリンゴと収穫という行動の連合に，再学習することで柔軟に変更することが可能である．このような多様で可変性のある視覚運動マッピングは一旦十分に学習され長期的に保持されれば，いつでもその連合に従い素早く反応を想起することができる．

視覚運動マッピングは多様な行動の基盤となるため，この記憶表象について明らかにすることは，ヒトの高度な認知的行動の解明において重要である．しかしながら，

視覚運動マッピングにおける記憶表象については、マッピングの規則が複雑であり実験として扱いにくいことなどから、これまで詳細に研究されてこなかった。そこで本研究では、視覚運動マッピングにおける視覚特徴の組み合わせと反応の連合関係が心的にどのように学習され、どのような表現で記憶されるか明らかにすることを目的とする。なお、実験に関する文脈などでは、刺激-反応マッピングという用語を用いる。視覚運動マッピングは日常行動の基盤となる、視覚情報と運動反応の複雑な対応づけと定義することができる一方で、刺激-反応マッピングは、入力刺激に基づいて適切な反応を返すために学習される、具体的な視覚特徴と反応の複雑な対応づけのことを指す。

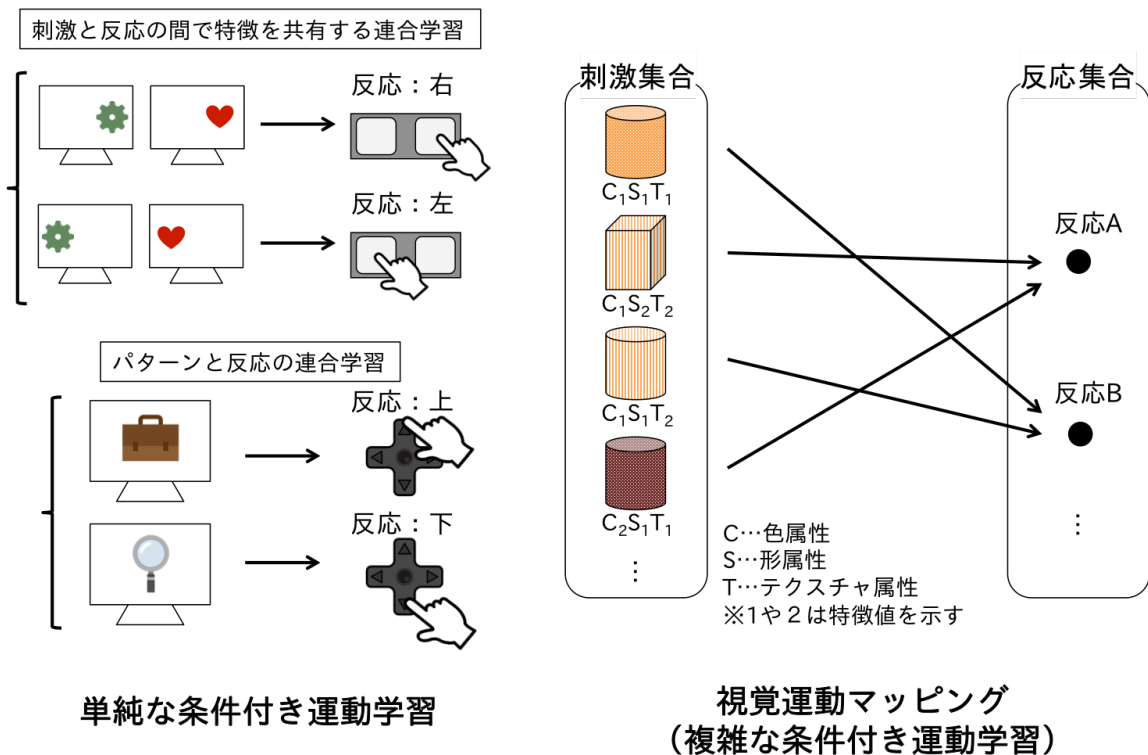


図 1.1 単純な条件付き運動学習と視覚運動マッピング

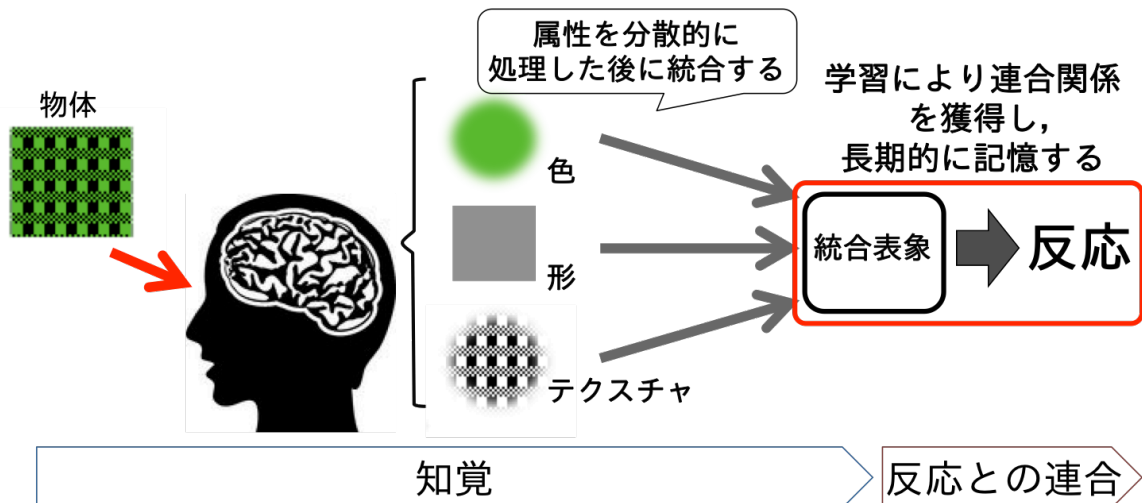


図 1.2 知覚プロセスと刺激と反応の連合プロセス

図 1.2 に示すように、物体が持つ個々の視覚特徴は、ヒトの視覚情報処理の低次の処理段階で属性ごとに抽出されて並列処理された後 (Livingstone & Hubel, 1987), 高次の処理段階で統合され、一時的に記憶していることが知られている (Treisman, 1986). 視覚運動マッピングでは、視覚特徴の組み合わせによって異なる反応が対応づけられるため、特徴統合のプロセスが反応を決定する上で重要となるが、複数の視覚特徴が具体的にどのような表現に統合され、反応と連合するかについては明らかになっていない. 特徴統合の方法として、例えば、物体が持つ全ての特徴の組み合わせをエンコードするニューロンが存在するという仮説が考えられるが、それでは物体の数と同じ数だけニューロンが必要となるため組合せの爆発的増加の問題を回避できない. したがって、他の何らかの方法でこの問題を解決し、多様な刺激物体と反応の連合を実現していると考えられる. この方法としてこれまでの研究で提案されたのが、属性対を基礎単位とする統合方式である (Morita, M., Morokami & Morita. H., 2010).

Morita et al.(2010)は、3 属性の視覚特徴を 1 つに統合した表現を記憶す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が、2 属性の視覚特徴を結合した表現は比較的素早く脳内に獲得できるとする分散型の特徴統合モデル (対属性モデル) を提案している. そして、Ishizaki, Morita, H. & Morita, M. (2015) は、この対属性モデルを支持し、3 属性の特徴の組み合わせと反応の連合は、2 つ以上の属性対と反応の連合の集合として表現されるが、2 属性の特徴の組み合わせと反応の連合は 1 つの属性対と反応の連合で表現できるという**対属性仮説** (図 1.3) を実験的根拠を基に提案した.

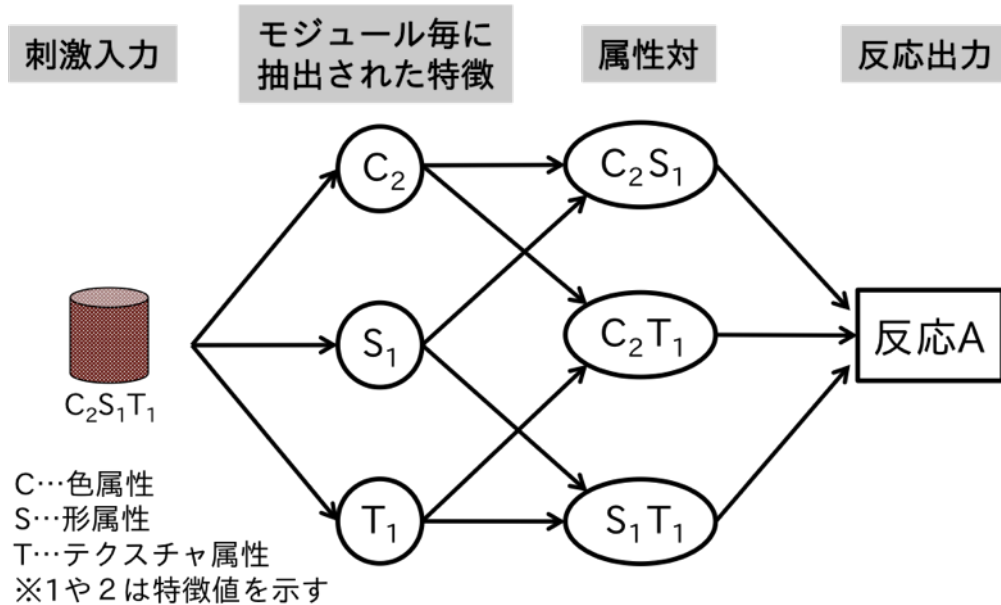


図 1.3 対属性仮説の概念図

ただし、Ishizaki et al.(2015)の実験で用いられた3つの属性は色、形、テクスチャであり、これらは全てその物体が何であるかという、物体識別に密接に関連した属性（物体識別属性）である。一方で、物体が持つ視覚特徴としては他に、3次元空間内の位置や動きといった時空間的属性がある。解剖学的にも、物体識別属性と時空間的属性が別々の脳の処理経路で処理されることを考えると、経路が異なる特徴の結合（色と位置の組み合わせなど）と経路が同じ特徴の結合（色と形の組み合わせなど）では、結合のしやすさが異なる可能性がある。また、時空間的属性の中でも物体の位置は、視覚情報処理や視覚的記憶の文脈において特別な役割や性質を持つ属性として考えられることが多い。例えば、視覚情報処理の基本的な説明モデルである Treisman の特徴統合理論（1986）では、物体の位置を要として物体が持つ複数の視覚特徴が統合されるとしている。しかし、視覚運動マッピングのような長期的な学習により獲得される長期記憶においても、位置が特別な役割や性質を持つかは現在までのところ明らかではない。なお、長期記憶は、意味記憶（一般的な事柄に関する知識）、エピソード記憶（個人的な経験に関する記憶）、手続き記憶（身体で覚えた手続きの記憶）に区分されるが、視覚運動マッピングの記憶は、意味記憶や知識、手続き記憶に関連する記憶だと考えられる。そして、位置には相対的位置（他の物体と比較した位置）と絶対的位置（他の物体とは比較しないそのものの位置）があるが、視覚運動マッピングに関与する位置属性は**相対的位置**である。日常生活における視覚運動マッピングを考えると、絶対的位置よりも、ある対象を中心とした相対的位置の表現で位置を記憶することが必要となる。例えば、ある特定の交差点に設置された信号機の上側のランプの位

置（絶対的位置）に基づいて反応を対応づけしていると、他の場所に設置された信号機に遭遇したときに、その都度その信号機の絶対的位置に対応した記憶表象を作る必要があり現実的ではない。我々は実際には、通常、どの場所に設置されたものでも信号機という対象における上側のランプの位置（相対的位置）に基づいて反応を対応づけしている。このように、長期の意味記憶や知識、手続きの記憶の情報は、学習段階で何度も反復して経験されるなかで、複雑かつ多様な情報が圧縮されて記憶にエンコードされるため、抽象化あるいはカテゴリー化された表現であると考えられる。そのため、本研究では相対的位置を研究対象とする。

以上より、本研究では、物体が持つ視覚特徴の中でも**（相対的）位置**に特に注目し、記憶において、位置と他の属性の組み合わせがどのような表現で反応と連合するか検討する。これにより、主要な視覚の基本的特徴の統合と反応のマッピングのメカニズムに関して説明することを目指す。

1-2. 物体認知と視覚の基本的特徴

1-2-1. 物体認知に関する心理学的モデル

ヒトは5感と呼ばれる感覚モダリティをはじめとし、様々な感覚を持つ。その中でも、外界環境について知る際には、視覚から得る情報が非常に多く、その情報の信頼性が最も高いと考えられている（佐藤ら 編, 2006）。我々が外界から得た情報をもとに行動を出力することを繰り返していることを考えると、我々の行動にとって、視覚情報を正確に認知することがまずは重要であると言える。

ヒトの視覚情報処理に関する基本的な心理学的説明モデルとして、Treisman(1986)の特徴統合理論がある(図 1.4)。このモデルでは、入力された視覚情報はまず低次の処理段階において色や線分の傾きなどの基本的な属性ごとに特徴が抽出され、属性ごとの独立した専門モジュールで並列的に処理されるとしている。このとき、視覚特徴の抽出は視覚的注意を必要とせず意識下で行われ、それぞれの特徴の由来する空間位置情報と併せて抽出される。この注意を必要としない処理のことを前注意的な処理と呼ぶ。そして、次の段階ではスポットライトのように特定の空間位置に視覚的注意を向けることによって、その位置にある各特徴が読み出されて統合される。すなわち、このモデルにおいて**位置は物体が持つ複数の視覚特徴を統合するための基盤となる属性**として扱われている。また、この位置をベースに統合された結果は、物体の一

次的な記憶表象である**オブジェクトファイル**に書き込まれる(Kahneman, Treisman & Gibbs, 1992). このオブジェクトファイルをすでに獲得されている記憶と照合することにより, その物体が何であるか認知することができる.

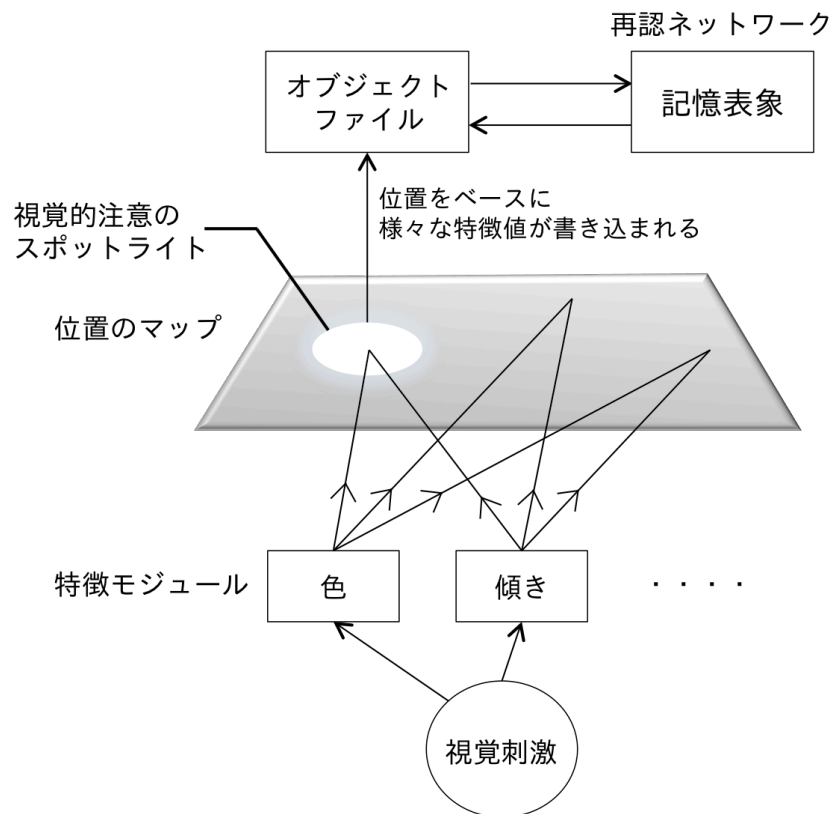


図 1.4 特徴統合理論の概念図(Treisman(1986)より改変)

1-2-2. 視覚情報処理における基本的特徴次元

ところで, 低次の視覚情報処理段階において, 前注意的に独立したモジュールで処理される基本的な特徴次元 (属性) とはどのような視覚的性質だろうか.

前注意的処理がされる視覚特徴については, 注意研究の代表的な実験パラダイムである視覚探索課題において, ポップアウト現象として確かめられることが知られている. 視覚探索課題とは, 実験参加者に複数の妨害刺激 (例えば, T という文字) の中に標的刺激 (例えば, L という文字) があるかないかを答えさせる実験である. 視覚探索課題では, 刺激図形の数の増加に伴う探索時間の増加の傾向を調べることにより, 刺激図形が視覚情報処理において逐次的に処理されるか並列的に処理されるかを調べ

ることができる。一般的な実験結果を図 1.5 に示す。刺激図形の数が増加するに伴って探索時間も比例して増加するならば、図形1つ1つに順番に注意を向けて探索していると考えられ、逐次処理がされていたと言える。これに対し、刺激図形が増加しても探索時間が一定である場合は、個々の図形を順番に探索しなくとも目標刺激を一目で見つけられていると考えられ、並列処理がされていたと言える。ポップアウト現象とは、この前注意的な並列処理により、標的刺激が即座に目に飛び込んでくるような現象のことを言う。ポップアウト現象が生じる標的刺激は妨害刺激にはない単一の特徴を持っている。例えば、妨害刺激が「緑色」で「右上がり」のバーであるときに、標的刺激が「赤色」で「右上がり」のバーであればポップアウトが生じる。このような視覚特徴は、低次の視覚情報処理過程において独立したモジュールで並列処理されているためにポップアウトすると考えられている。これまで、先行研究では色 (Treisman & Souther, 1985, Treisman & Gormican, 1988)、方位(Treisman & Gormican, 1988)、動き(Nakayama & Silverman, 1986)、明るさ (Treisman & Gormican, 1988)、空間周波数 (Sagi, 1988)、主観的輪郭 (Gurnsey, Humphrey & Kapitan, 1992) などの視覚特徴でポップアウト現象が見られることが報告されている。

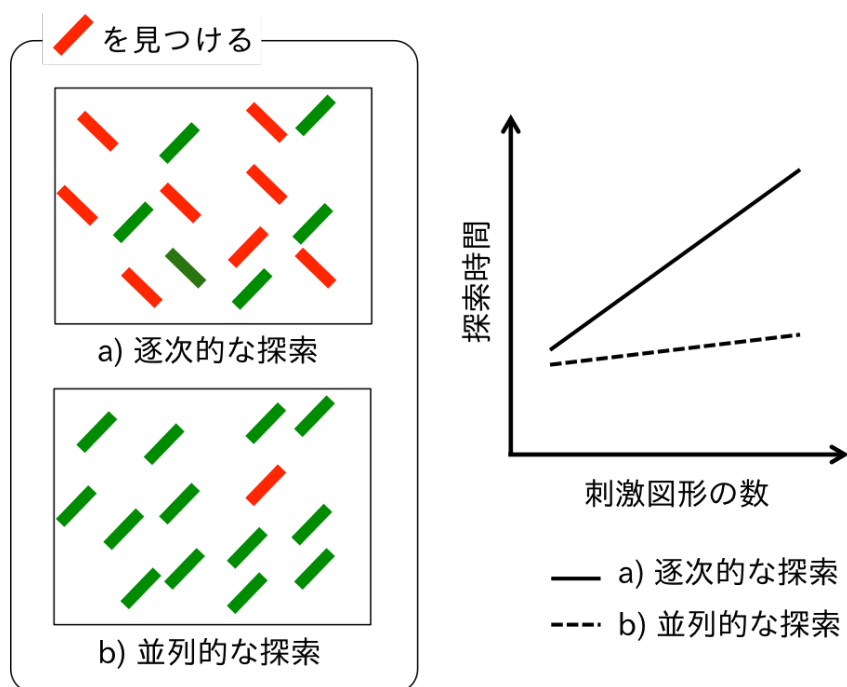


図 1.5 視覚探索課題における刺激と一般的な実験結果

これまでの研究を基に，最も基本的な視覚的特徴の次元をまとめたものが，Cavanagh, Arguin & Treisman (1990)の挙げた5つの属性である．彼らは，図 1.6 のように視覚刺激に含まれる色，輝度，テクスチャ，両眼視差，動きの特徴がそれぞれを専門的に扱うモジュールで処理され，各モジュールからの出力を基に形の特徴が抽出されるとした．

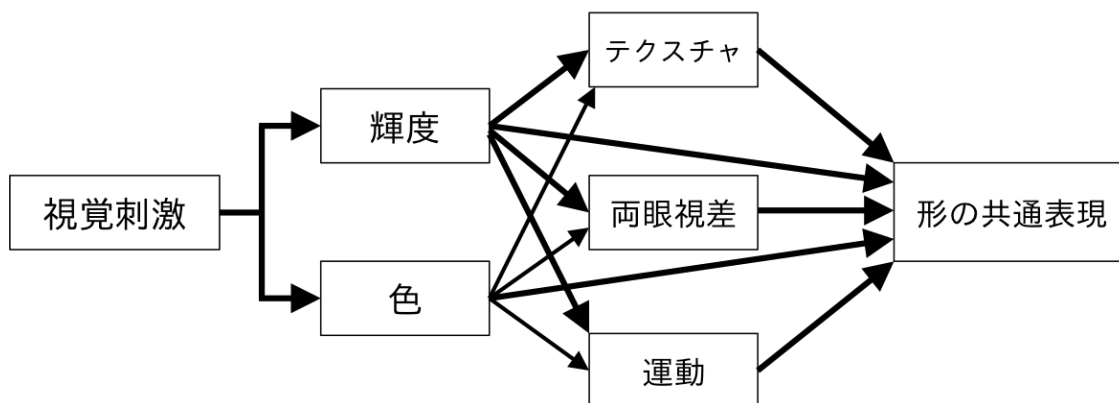


図 1.6 低次の視覚情報処理における特徴モジュール構造
(Cavanagh et al.(1990)より改変)

1-2-3. 特徴処理に関わる2つの解剖学的経路

基本的特徴が脳内で独立に処理されることを解剖学的に見る．外界から入力された光が伝える視覚情報は，網膜で電気信号に変換され，網膜から大脳に至るまでの神経系によって詳細に処理される．このプロセスの結果として脳内に知覚表象が形成され，記憶と照合することにより物体認知に至る．

ヒトの脳における視覚情報処理経路は次の通りである．まず，両眼の左側の網膜には右視野の視覚情報が，右側の網膜には左視野の情報が結像する．その後，網膜で電気信号に変換された情報は，視神経によって脳へと伝達される．両眼の視神経の束は眼球を出た後に一度中央に集まり，それぞれの網膜の鼻側の視神経は反対側へ，耳側の視神経は同側へというように交叉する．すなわち，外界視野の右半分は左脳に，外界視野の左半分は右脳へと伝達される．そしてこの後，視覚情報は LGN (外側膝状体) を通って，後頭葉の大脳皮質，V1 (一次視覚野) へと到達する．

LGN 以降の処理過程では，大細胞系と小細胞系という性質の異なる2つの処理経路に明確に分かれる (Livingstone & Hubel, 1988)．LGN は多層構造で，大別すると大

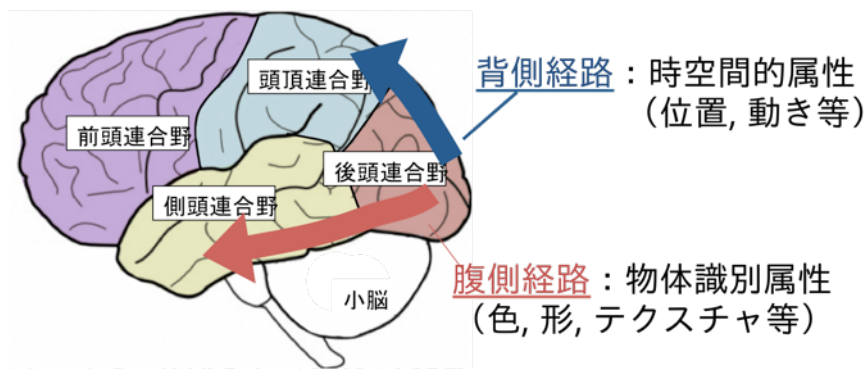


図 1.7 背側経路と腹側経路

細胞層と小細胞層に分かれる。そして、LGN から大細胞系の入力を受け、最終的に頭頂連合野へと投射される経路は背側経路と呼ばれる一方、LGN から小細胞系の入力を受け、最終的に下側頭連合野へと投射される経路は腹側経路と呼ばれる (図 1.7)。これらの経路は互いに異なる視覚的な属性の処理に寄与する (Ungerleider & Haxby, 1994; Goodale & Milner, 1992)。大細胞系は受容野が大きく空間解像度が低い、時間解像度が高いため、**背側経路は空間位置や動きなどの時空間的属性の検出**に関わる。また、背側経路は運動系への出力にも関与しており、頭頂連合野には体性感覚や腕の到達運動の処理に関連する神経細胞が存在する。これに対し、小細胞系は受容野が小さいため、高い空間解像度を持つが時間解像度が低い。そのため、**腹側経路は色や形状などの物体識別属性の検出**に関わる。

また、図 1.8 に示すように背側経路と腹側経路には複数の脳領域が含まれるが、その領域ごとに処理する属性に選択性を示す (Sakata, Taira, Kusunoki, Murata & Tanaka, 1997)。まず、動き属性については、背側経路の MT (五次視覚野) を経由して頭頂連合野の上方部の 7 野 (上頭頂小葉の後方領域) へと到達する経路で主に処理にされる。位置属性については、どこに受容野を持つニューロンが興奮するかということに基づき情報が特定されるが、背側経路の V3A (背内側野) を経て LIP 野 (外側頭頂間溝領域) や cIPS (頭頂間溝尾側部), AIP 野 (前部頭頂間溝領域) へと到達する経路で主に、対象の位置や 3 次元構造に関する情報などが処理される。一方、物体識別属性については、低次の処理領域である V1 や V2 (二次視覚野) に、色や、形を構成する線分の傾きなどに応答するニューロンが存在する。V1 や V2 のニューロンの受容野サイズは狭いため (Kastner, De Weerd, Pinsk, Elizondo, Desimone & Ungerleider, 2001)、ここで表現される情報は位置情報 (その受容野に存在するという

情報) と切り離されずに表現されていると考えられる。その意味で、この時点では色あるいは形と位置の特徴の処理が切り離されずに進むと言える。これに対し、腹側経路のより処理階層が進んだ脳領域である V4 (四次視覚野) 以降においては、恒常性を持つ色の知覚に関与するニューロン、丸や三角など特定の形を適刺激とするニューロンなどが存在するとされるが、このような領域のニューロンの受容野サイズは非常に広いため(Kastner et al., 2001), 表現される情報は位置情報とは切り離されて表現されると考えられる。そのため、高次の処理領域では、主に腹側経路で処理される色や形と、主に背側経路で処理される位置の表現は切り離されて独立に処理されると考えられる。そして、最終的には、腹側経路と背側経路で処理された情報は統合され、一時的な記憶としてエンコードされる。

以上のように腹側経路と背側経路では異なる性質の情報処理が行われていると考えられているが、これらは完全に独立しているわけではなく、相互に連結して情報のやり取りをしていることが知られている (Zeki & Shipp, 1988)。

これまで述べたように、ヒトの視覚系では、物体の視覚特徴を基本的な属性ごとに独立したモジュールで処理している。特に物体識別属性と時空間的属性は、脳において明確に分かれた処理経路で処理されている。このようなことから考えると、異なる経路で処理される属性の特徴同士の結合と、同じ経路で処理される属性の特徴同士の

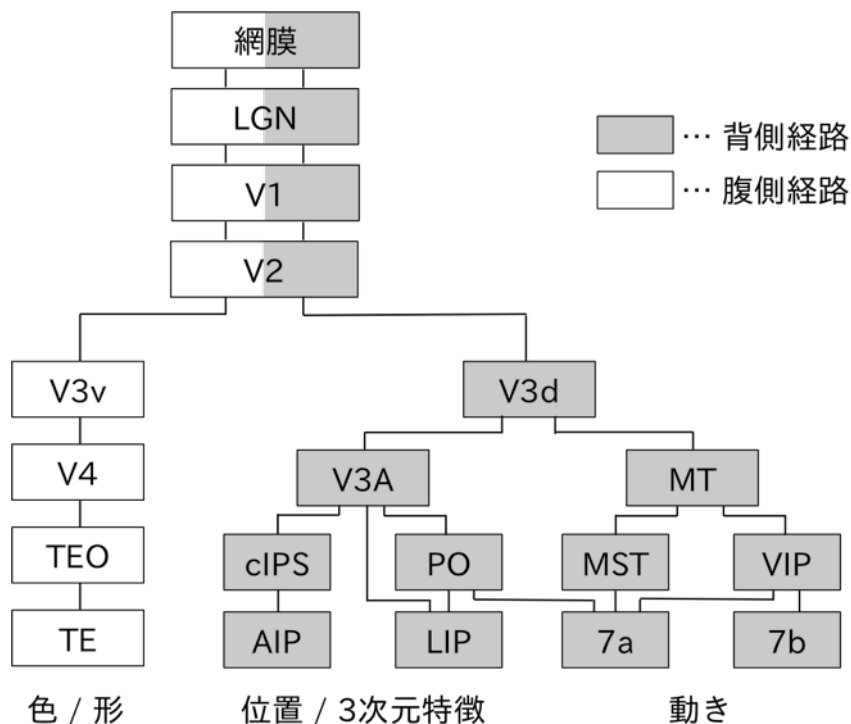


図 1.8 脳における視覚情報処理経路 (Sakata et al.(1997)より改変)

結合では結合のしやすさが異なり、それが刺激-反応マッピングの学習の困難さに影響する可能性が考えられる。つまり、脳の処理経路をまたいで特徴を結合する必要がある場合に、それぞれの処理経路内で結合する場合に比べて、刺激-反応マッピングが難しくなる可能性が考えられる。しかし、これまでの研究ではこのことについて詳しく検討されていない。

1-3. 記憶のメカニズム

1-3-1. 記憶機構

モジュールごとに抽出された特徴は視覚的注意を向けることにより統合され、記憶に保持される。記憶は一般に、記憶システムに情報をエンコードする過程、エンコードしたものを保持する過程、保持したものを検索する過程に分けることができる。

ヒトの記憶システムに関する古典的なモデルとして、Atkinson & Shiffrin (1968) が考案した二重貯蔵モデルがある。このモデルでは、図 1.9 のような 3 つのコンポーネントの存在を仮定している。まず、外界から取り入れられた感覚情報は、自動的に感覚レジスタ(感覚記憶とも呼ばれる)にごく短時間保持される。例えば、視覚情報であれば感覚レジスタに 500ms ほどしか保持されない。そして、感覚レジスタに入力された情報のうち、注意が向けられた一部の情報だけが短期貯蔵庫(短期記憶)にエンコードされる。短期貯蔵庫では情報を数秒間保持することができるが、保持できる情報量に限界がある。しかし、リハーサル(反復学習)することにより短期貯蔵庫により長く保持され、永続的な情報保持機構である長期貯蔵庫(長期記憶)にエンコードされやすくなるとされた。

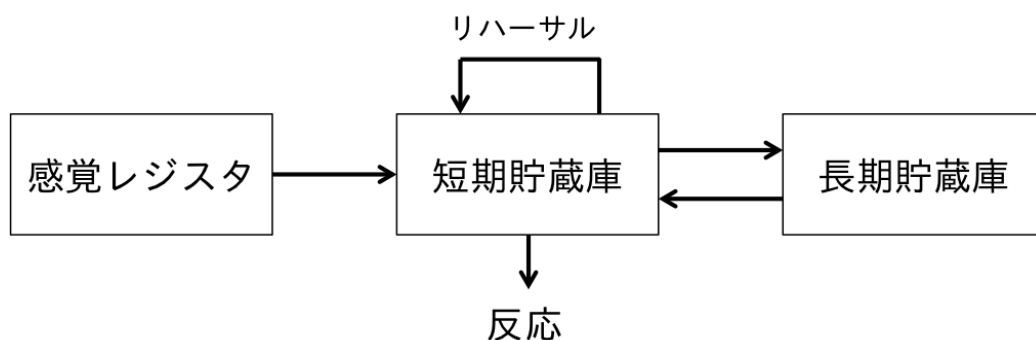


図 1.9 二重貯蔵モデル

二重貯蔵モデルは短期記憶と長期記憶という概念を区別したという点で今日までの記憶研究に大きな影響を及ぼしたが、問題点もいくつか指摘されている。最も代表的な問題の一つに、短期記憶の受動的な側面が強調されすぎていたということがある。短期記憶はリハーサルなどの動的な情報処理を行える場であるとされていたが、この点について深く検討されておらず、貯蔵庫と呼んでいることから分かる通り静的なコンポーネントであることが強調されていた。そこで、後に **Baddeley & Hitch (1974)** はこの短期記憶の概念を発展させた、作業記憶という概念を提案した。彼らは、短期記憶を単に情報を保持する静的なコンポーネントとしてではなく、認知的な課題を遂行するために必要な情報を一時的に保持したり、処理する動的な機能を持つコンポーネントとして捉え、**作業記憶**と呼んだ。作業記憶は、学習や思考を支えるメカニズムで、反応出力に役立つと考えられている。彼らが提案した作業記憶のモデルは、制御システムである中央実行系と2つの従属システム、視空間スケッチパッドと音韻ループという3つのコンポーネントからなる(図 1.10)。視空間スケッチパッドは視覚情報と空間情報を一時的に保持するシステムであり、音韻ループは発話ベースの音韻情報を一時的に保持したり、調音を制御するシステムであると仮定された。これらの従属システムは、リハーサルにより行動に必要な情報を一時的に保持することができる。中央実行系は入力情報に注意を配分したり、従属システムの働きを調整する役割を担うとされた。

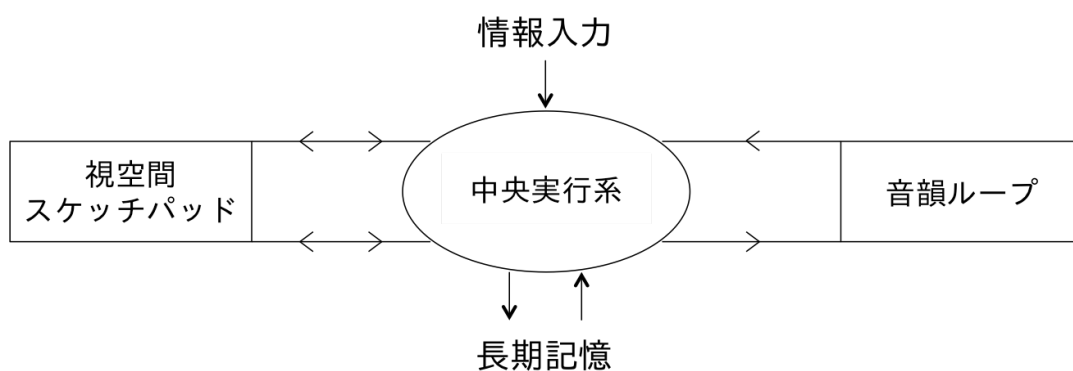


図 1.10 作業記憶モデル

1-4. 記憶における視覚特徴の統合表現

1-4-1. 視覚作業記憶における視覚特徴の統合表現に関する実験と理論

(a) 視覚作業記憶の物体仮説（全属性仮説）

視覚対象を認識し、その視覚情報を基に適切な運動反応を生起するには、適切な反応を選択するまで一時的に刺激対象に関する情報を記憶に保持する必要がある。それでは、記憶において物体の視覚情報はどのように表現されているのだろうか。前述した Treisman (1986) の特徴統合理論では、対象の位置に視覚的注意を向けることにより、低次の情報処理段階で特徴次元ごとに分散的に処理された視覚特徴が統合され、オブジェクトファイルに書き込まれるとしている。しかしながら、特徴統合理論は概念的なモデルであり、具体的に記憶システムの各段階において視覚特徴がどのような表現で保持されるかは明らかにされていない。

このことに関して、Luck & Vogel (1997) は、次に説明する変化検出課題を用いて、視覚作業記憶における視覚特徴の記憶表現や保持容量について検討した。変化検出課題の一試行の流れを図 1.11 に示す。この実験では、実験参加者は、初めに画面に提示される視覚刺激（サンプル刺激）と遅延を挟んで画面に提示される視覚刺激（テスト刺激）が同じか異なっているかを答える。サンプル刺激とテスト刺激には、複数の図形が含まれており、それらは色、傾きなどの単純な属性を組み合わせられて表現されている。参加者は、サンプル刺激とテスト刺激で同じ位置にある図形がそれぞれ同じ特徴を持っているかどうかを判断する。なお、全試行の 50% の試行で、テスト刺激の 1 個

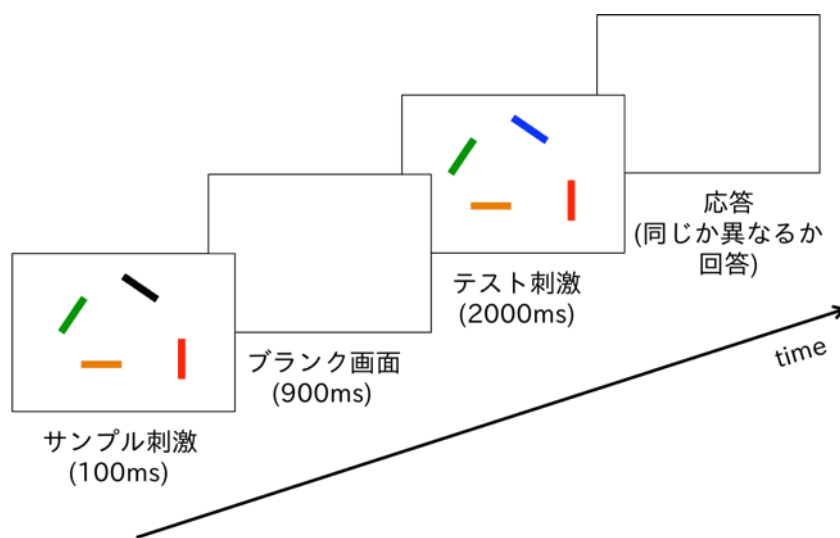


図 1.11 Luck & Vogel (1997) の変化検出課題の一試行の流れ

の図形がサンプル刺激から変化し、残りの 50%の試行では変化しない。彼らはこの実験において、視覚刺激に含まれる図形の数や図形が持つ特徴数を変化させ、実験参加者の変化検出率を調べることにより、作業記憶における物体情報の保持容量を推定した。実験の結果、色のみ、もしくは傾きのみで 1 属性を持つ図形を用いた実験では、図形を 4 個まで提示したときにはほぼ確実に答えることができた。しかし、それ以上記憶する図形の数が多くなると、正答率が規則的に下がった。また、図 1.11 のように色と傾きの 2 属性の組み合わせから成る図形を用い、どちらの属性の特徴が変化するか実験参加者に知らせずに行うと、記憶しなければならない特徴数が増えたにも関わらず、1 属性のみを記憶する場合と比べて正答率に差が見られなかった。このことから、彼らは作業記憶における保持容量の限界は図形が持つ特徴数ではなく、図形の数で決まると考えた。つまり、約 4 物体（この場合特徴 8 個）を保持容量の限界であるとした。そして、視覚作業記憶において、物体の持つ視覚特徴は特徴ごとに記憶されているという仮説（後述の**単一属性仮説**にあたる）を否定し、特徴を全てあわせ持つ物体として記憶されているという物体仮説（後述の**全属性仮説**にあたる）を支持した。また、Luck & Vogel (1997) は、3 属性以上の組み合わせ（色、大きさ、ギャップ、傾き）を用いた同様の実験も行い、物体仮説（全属性仮説）を支持しているが、これを支持しない追実験の結果も報告されている (Davis & Holmes, 2005)。

(b) 視覚認知と記憶における対属性仮説

Morita et al. (2010) は、Luck & Vogel (1997) の実験を拡張して、視覚作業記憶において 3 種類の属性（色、形、運動方向）を持つ物体がどのような表現で記憶されるかを検討した。彼らの実験の一試行の流れは次の通りである（図 1.12 左）。まず、複数の図形が含まれるサンプル刺激が画面に提示され、遅延を挟んだ後 1 つの図形がテスト刺激として提示される。その後、実験参加者はテスト刺激の図形とサンプル刺激で同じ位置にあった図形で、変化した属性を全て答えるよう要求された。

実験の結果、どの特徴も変化しない試行、1 属性のみ変化する試行、2 属性が変化する試行、3 属性が変化する試行が等確率で生じていたにも関わらず、2 種類の属性を答えることが最も多かった（図 1.12 右）。興味深いことに、実際には 1 種類の属性しか変化していないにも関わらず、2 属性が変化したと回答する誤答が多く、反対に 2 属性が変化した場合には、1 属性のみが変化したと回答する誤答はほとんど見られなかった。以上のような実験結果から、彼らは 2 属性の特徴を対にした表現（以降こ

れを**属性対**と呼ぶ) が段階的に組み合わさって記憶されているというモデルを提案し、これを**対属性モデル**と呼んだ。なお、このモデルと比較して Luck & Vogel (1997) が考えたモデル (物体に含まれる全ての属性をひとまとまりにして記憶している) を**全属性仮説**と呼んだ。Morita et al. (2010) は以上の実験結果を対属性モデルで説明する単純なニューラルネットモデルを作成している (図 1.13)。そして、彼らはこのモデルを用いて実験結果の数値的シミュレーションを行っており、実際の実験結果とほぼ一致する結果が得られている。一方で、全属性仮説に従ったモデルなど他のモデルでは、実験結果を再現できないことを報告している。

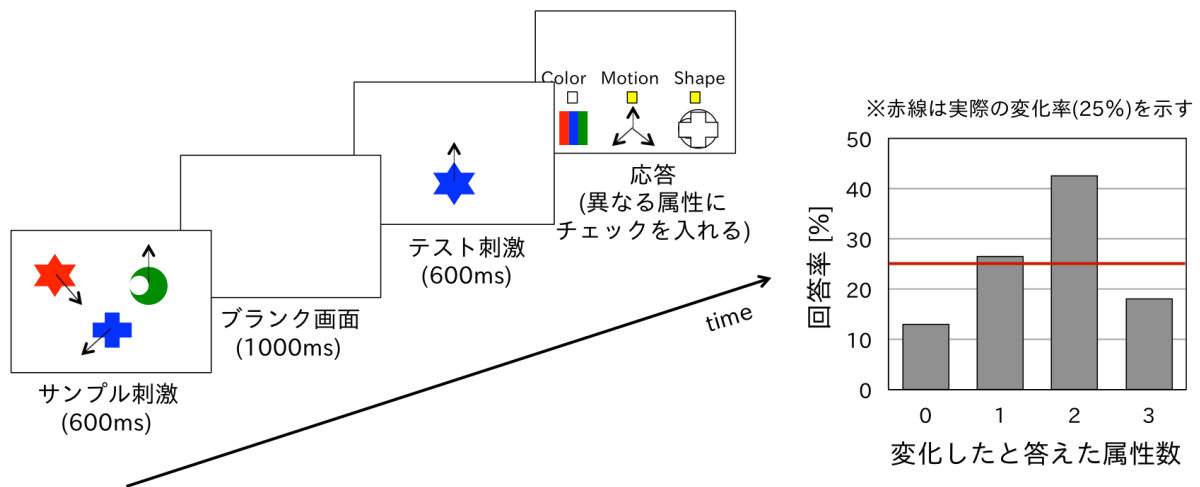


図 1.12 Morita et al.(2010)の変化検出課題の一試行の流れと代表的な実験結果

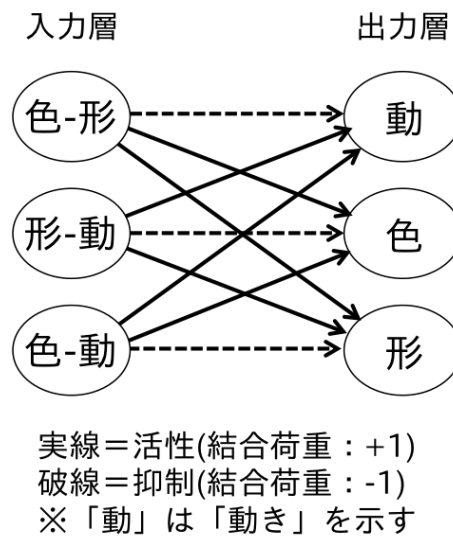


図 1.13 Morita et al.(2010)の実験結果を対属性モデルに基づいて説明したニューラルネットモデル

(c) 視覚認知と行動計画におけるイベントファイルモデル

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仮説は、Hommel (1998, 2004) もイベントファイルモデルとして提案している。彼は、オブジェクトファイルの記憶表現について調べた Kahneman, Treisman & Gibbs (1992) のプレビュータスクを拡張した実験を行っている。そこでまず、Kahneman et al. (1992) のプレビュータスクについて説明する。この実験では、まず画面に数個のアルファベット文字を短時間提示し(これをプレビュー画面と呼ぶ)、遅延時間を挟んで、ターゲットとなる文字を提示した。このとき、ターゲット文字を答えることが参加者の課題であった。実験の結果、プレビュー画面において後のターゲット位置にターゲットと同一の文字が表示されていた場合には、反応時間の利得が生じた(つまり、新規の文字が出現した場合よりも反応時間が短縮された)。この利得が単なるプライミング効果¹ではないことは、次の点から保証される。まず、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ていた場合には利得が生じなかった。しか

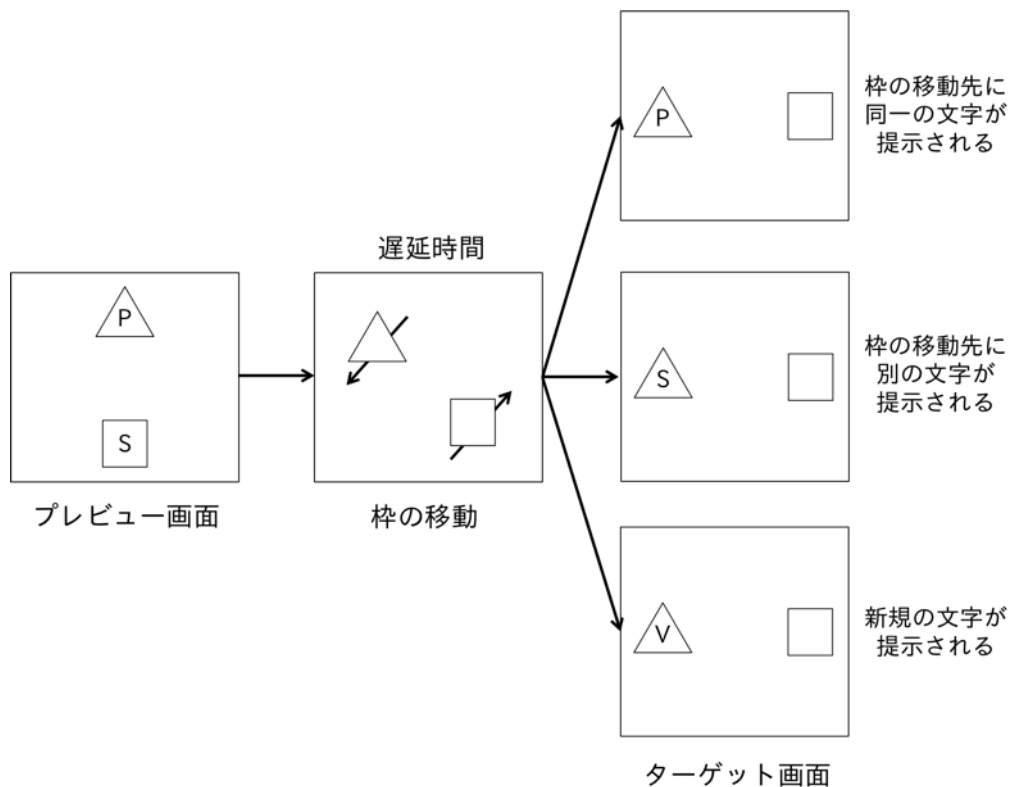


図 1.14 Kahneman et al.(1992)のプレビュータスクの流れ

¹ プライミング効果とは、先行する刺激に対する処理が、後に提示される刺激に対する処理を促進する現象のことをいう。

し、別の位置にターゲットと同一の文字が提示されていた場合でも、図 1.14 のようにその文字を囲んでいた提示枠が遅延時間中に移動し（このとき文字は全て消えている）、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、彼らはこの利得をプレビュー効果と呼んだ。つまり、ターゲットが提示された時点でプレビュー画面の同じ位置、あるいは提示枠に対して作成されたオブジェクトファイルにアクセスし、その内容が一致していれば素早く認知できるため利得が生じたと考えた。そして、Kahneman et al. は、物体が持っている全ての特徴がひとまとまりとなってオブジェクトファイルに記憶されていると考え（全属性仮説のアイデアと一致）、さらにこれらは位置情報に紐づけられて記録されると考えた（オブジェクトファイル理論）。

Hommel は、このプレビュー効果を詳細に調べた。彼らの実験の手続きを簡単に説明すると、まずプレビュー刺激として 1 個の刺激物体 (S1)（色付きの「○」か「×」が上の提示枠に提示されるか下の提示枠に提示されるか）を、遅延後にもう 1 個の刺激物体 (S2) を提示して、実験参加者に S2 の形が「○」か「×」かを回答させた（図 1.15 左）。このとき、S1 と S2 の間で、色、形、位置のうちいずれかの特徴、あるいはそれらの組み合わせを反復して提示するか、変更して提示するかをシステムティックに操作して、反復提示したときの反応時間における利得（全特徴を変更して提示した場合と、一部の特徴を反復提示した場合の反応時間の差）を調べた。実験の結果、刺激物体の色、形、位置のうちいずれか 1 つの特徴を反復提示しても反応時間に利得が生じなかったが、形と色の組み合わせや形と位置の組み合わせを反復提示すると、反応時間に利得が生じた（図 1.15 右）。しかし、形と色の組み合わせに加えて位置も反復して提示しても、利得は増加しなかった。以上のことから Hommel は、3 属性の特徴の記憶表現は、複数の局所的結合の組み合わせから成るという仮説を提案した。局所的結合というのは、彼の実験の場合、形と色の結合表現や、形と位置の結合表現といった 2 つの特徴の結合表現のことを意味する。このモデルは、Morita et al. (2010) の対属性モデルの基本的アイデアと一致する。

以上のように、視覚作業記憶における物体の視覚特徴の統合表現モデルは、全属性仮説と対属性モデルやイベントファイルモデルのような分散型の統合方式を仮定する説の間で意見が対立しており、結着がついていないのが現状である。

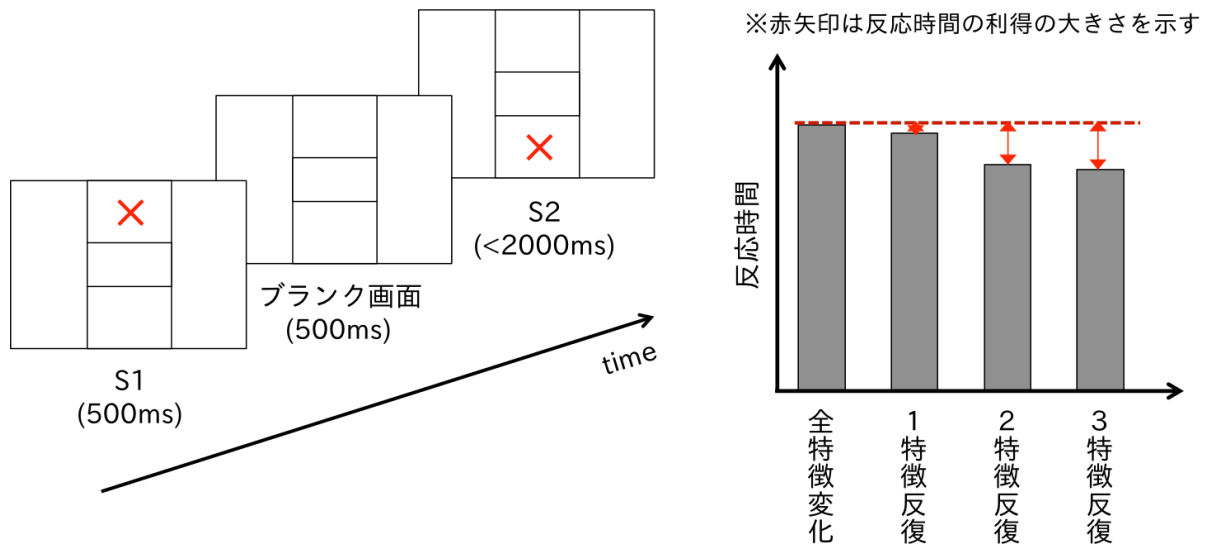


図 1.15 Hommel(1998)の実験手続きの概略的流れと実験結果の概念図

1-4-2. 視覚情報処理および視覚作業記憶における位置の役割

これまで述べた通り，視覚情報処理や記憶のプロセスにおいて，物体の視覚特徴がどのような状態で扱われているかについて様々な研究が行われてきた．これらの研究において，物体の位置属性が視覚情報処理や視覚的記憶において持つ役割についていくつかの考え方がある．

第一に，Treisman (1986) の特徴統合理論では，視覚的注意を向けた空間的位置を要に視覚特徴を統合するという点で，位置を特別な属性と考えている．また，Kahneman et al. (1992) も，物体の位置情報を基にオブジェクトファイルが作られ，そこに視覚特徴がひとまとまりになって記録されるとしている．これらの研究では，位置を視覚情報処理や視覚的記憶の基本となる重要な属性と仮定しているところが特徴的である．

第二に，Hommel (1998) のイベントファイルモデルで，視覚的記憶において位置が特別な役割を持つとは考えておらず，他の視覚的な属性と対等に結合するとしている．

第三に，比較的最近の研究においては (Logie, Brockmole & Jaswal, 2011; Saiki, 2016)，位置情報は知覚プロセスにおいて重要な役割を果たすが，視覚作業記憶にその結合表象がエンコードされた後はその役割を失うと報告されている．

以上のように，これまでの研究においては特に記憶における位置の性質について意見が分かれている．ただ，上述の通り，最近の研究では第三の一時的な記憶に物体表

象をエンコードする以前の低次の結合段階においては位置が重要な役割を担うが、記憶の保持期間においては他の視覚特徴と同様に扱われるとする実験結果が複数報告されている。

1-4-3. 長期記憶における視覚特徴の統合表現

1-4-1「視覚作業記憶における視覚特徴の統合表現に関する実験と理論」では視覚作業記憶における視覚特徴の統合表現に関して述べたが、長期記憶（数時間以上保持される記憶）において視覚特徴はどのように表現されるのだろうか。先行研究では、視覚作業記憶において保持された色と形の結合表現の記憶痕跡は、新しい表現に書き換えられない限り、その記憶に関係する長期的学習を助けるために長期間残り続けることが示されている（Logie, Brockmole, & Vandembroucke, 2009）。

長期記憶について検討するために、**試行錯誤**による学習を用いた実験が行われてきた。学習は、一般的に「一定場面でのある経験が、その後同一または類似の場面での行動もしくは行動の可能性に変容をもたらすこと」と定義される（藤永 編, 1981）。この説明からもわかる通り、学習プロセスには、これまで経験したことを長期的に記憶するシステム（長期記憶）が深く関わる。試行錯誤による学習に関する最初の実験は、アメリカの心理学者 Thorndike（1898）により行われた。彼の実験では、被験体のネコを空腹の状態の問題箱と呼ばれる箱に閉じ込めて、箱の外にエサを置いてネコの行動を観察した。問題箱は、例えば、天井から伸びた紐を引くことにより扉が開いて外に出ることができるように設計されていた。ネコはこの仕組みを予め知らないためすぐには外に出られず、箱の中から外にあるエサに手を伸ばしたり、壁を登ろうとするなど様々な行動を繰り返した。そのうち偶然、体に紐が引っかかるなどして扉が開き外に出ることができる。このようなことを繰り返しているうちに、箱に入れられてから外に出るまでの時間が徐々に短くなることが確認された。Thorndike（1898）は、このような行動様式を**試行錯誤**（trial and error）と呼んだ。そして、試行錯誤により生じた行動を**強化**することを繰り返して、刺激の知覚に関わる神経活動と運動反応の出力に関わる神経活動の間の結合が増強され、刺激-反応連合が成り立ち、学習が長期記憶に定着する。

本研究において研究対象とする視覚運動マッピングのような複雑な条件付き運動学習の記憶は試行錯誤を伴う長期的な学習により獲得される。長期記憶において視覚特徴がどのような表現で反応と連合するかについて Ishizaki et al. (2015)が検討している。彼らは、3種類の属性の排他的組み合わせで表現される刺激とキー押し反応のマッピング学習実験（刺激-反応マッピング課題）を行った。この実験において、実験参加者は3つの属性（色（赤か緑）、形（三角か四角）、テクスチャ（格子模様か斑模様））の組み合わせにより表現される8つのアイテムと4つのキー押し反応（上下左右の4つのキー押し）の対応関係を学習した。8つのアイテムは2つずつのグループに分けられ、各グループ（アイテムセット）に対して異なる反応キーが割り当てられた（図 1.16）。2属性の特徴が反応に関与する3種の2属性アイテムセット（色と形により反応が決まるアイテムセット、色とテクスチャにより反応が決まるアイテムセット、形とテクスチャにより反応が決まるアイテムセット）と3属性すべての特徴が反応と関与する1種の3属性アイテムセットに分けられた8つのアイテムは、混合されてランダムな順序で提示された。参加者は事前にこの対応関係を知らされず、試行錯誤によって各刺激と正解キーの対応関係を学習した。実験の結果、3属性の特徴の組み合わせと反応のマッピングは、2属性の特徴の組み合わせと反応のマッピングに比べて学習が困難であることがわかった。このことは、物体の特徴すべてをひとまとまりにして統合表現が形成され反応と連合するという全属性仮説（図 1.17 左）では説明でき

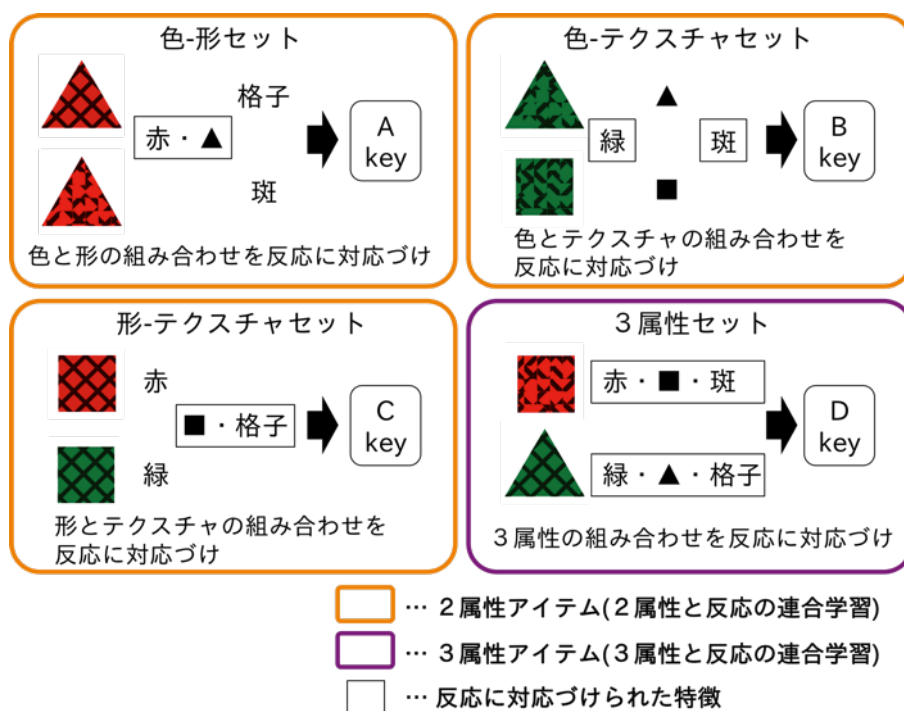


図 1.16 Ishizaki et al. (2015) の実験における刺激と反応の対応関係の一例

ず、**対属性仮説**（図 1.17 中央）により説明することができる。すなわち、全属性仮説に基づくと、図 1.18a に示すように、2属性アイテムでも3属性アイテムでも、各アイテムセットの2つのアイテムそれぞれについて、3属性をひとまとまりにした統合表現1個と反応が連合すると予測される。そのため、この仮説が正しければ2属性アイテムと3属性アイテムの刺激-反応マッピング学習の困難さに差はないはずである。これに対し、対属性仮説に基づくと図 1.18b に示すように、2属性アイテムでは各アイテムセットについて2つのアイテムに共通の属性対表現1個と反応の連合として記憶表現できるのに対し、3属性アイテムではセット内のアイテムそれぞれについて、複数の属性対を反応と連合しなくてはならないと予測される。そのため、対属性仮説が正しければ、3属性アイテムは2属性アイテムより、刺激-反応マッピング学習が困難になると考えられ、実験結果を説明できる。

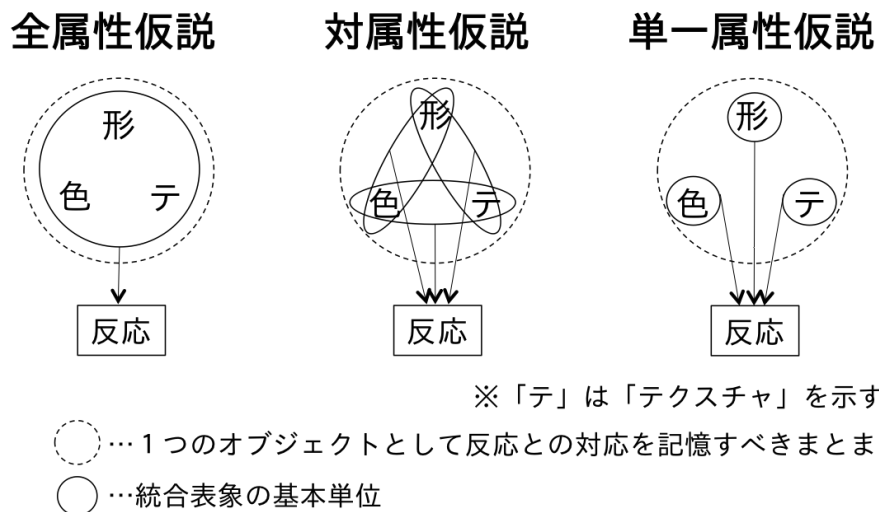
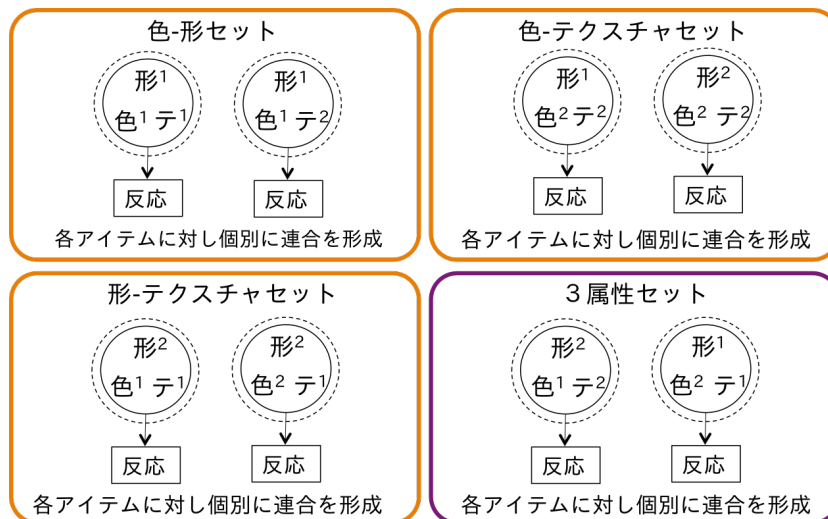
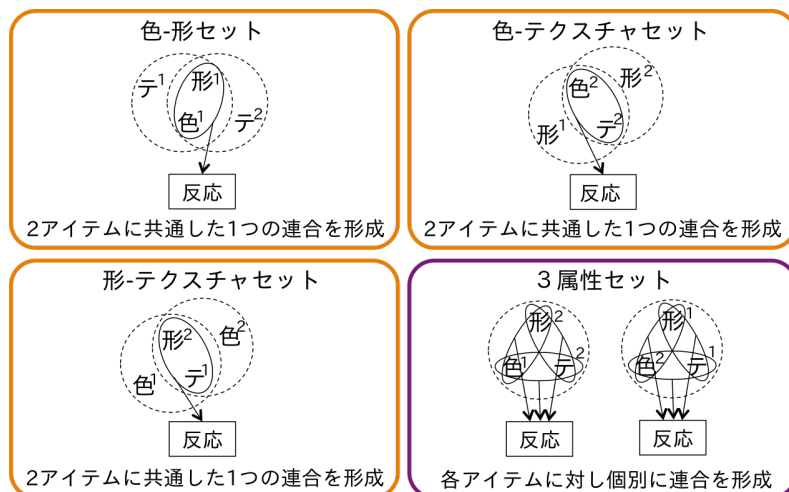


図 1.17 全属性仮説，対属性仮説，単一属性仮説の概念図



2属性アイテムと3属性アイテムの学習の困難さに差はない

a. 全属性仮説に基づいた記憶表象



2属性アイテムより3属性アイテムの学習が困難である

b. 対属性仮説に基づいた記憶表象

※1: 「テ」は「テクスチャ」を示す ※2: 各属性名の右上の数字は特徴値を示す

- ... 2属性アイテム(2属性と反応の連合学習)
- ... 3属性アイテム(3属性と反応の連合学習)

図 1.18 全属性仮説と対属性仮説に基づく

Ishizaki et al. (2015) の実験における刺激と反応の連合表現

なお、以上の結果からは、個々の特徴がそれぞれ反応と連合するという可能性も考えられるが（単一属性仮説，図 1.17 右），Ishizaki et al. (2015) では次のような実験も行ない，この可能性を検討している．実験では，アイテムが持つ属性を空間的に分離して提示する **Separate** 条件と，分離せずオブジェクトとして提示する **Unified** 条件の学習の困難さを比較している（図 1.19）．結果予測としては，個々の特徴がそれぞれ独立に反応と連合するならば，どちらの条件でも特徴と反応の連合関係を 3 種類学習するため，両条件間で学習の困難さに差がないと考えられる．一方，特徴の結合表現を基に反応と連合するならば，アイテムの属性が分離して提示される **Separate** 条件では，結合表現を作ることができないため学習が難しくなるはずである．実際の実験結果は，**Unified** 条件に比べて **Separate** 条件の学習が難しく，このことから刺激に視覚的注意を向けることにより個々の特徴は結合されて反応と連合することが示唆された．

また，彼らは，以上のような実験結果から対属性仮説にしたがったニューラルネットワークモデルを提案し，このモデルを基に数値的なシミュレーションを行うことで，実験結果を再現できることを報告している．

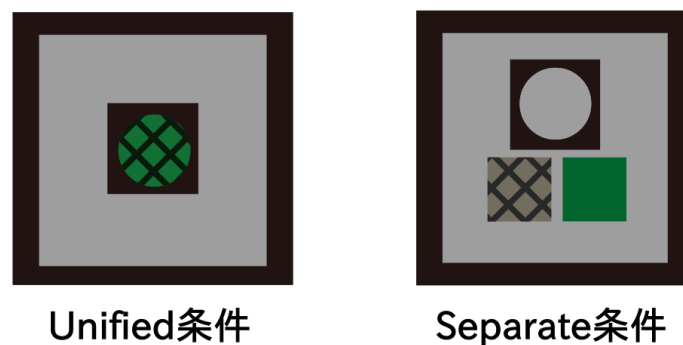


図 1.19 Unified 条件と Separate 条件の提示画面の例 (Ishizaki et al., 2015)

Ishizaki et al. (2015) の研究は，刺激-反応マッピングにおける視覚特徴の統合表現について初めて検討したという点で本研究にとって大きな意味を持つ．彼らの研究以前の条件付き運動学習の研究では，単一属性またはパターン図形や日常的パターンなどの視覚刺激に対する反応の連合学習の処理メカニズムに関して検討されてきた (Petrides, 1982; Passingham, 1988; Deiber, Wise, Honda, Catalan, Grafman & Hallett, 1997; Wise & Murray, 1999)．つまり，1-1（はじめに）で述べたような単

純な条件付き運動学習（ある視覚刺激あるいは視覚刺激の特定の特徴とある反応の単純な連合関係の学習）に関して調べていた。そのため、これらの研究では属性と属性がどのように結合されて反応と連合するかや、パターン刺激に含まれるどの属性が反応と連合するかを特定することができていなかった。

ただし、Ishizaki et al. (2015) の対属性仮説が一般に成り立つことを証明するためには、次に挙げるようないくつかの問題が残っている。第一に、彼らが実験において用いた視覚特徴は色、形、テクスチャという、物体識別属性のみであったという問題がある。脳において、色や形などの物体識別属性と位置や運動などの時空間的属性が異なる経路で処理されることを考えると、異なる経路で処理される属性の組み合わせは、同じ経路で処理される属性の組み合わせよりも属性間の結合や反応との連合学習が難しい可能性がある。第二に、位置は視覚情報処理や視覚的記憶において特別な役割や性質を持つと考えられているが、刺激-反応マッピングの記憶においても、位置属性がその役割や性質を継続して持つかは明らかではない。そして第三に、彼らの実験では、あくまで刺激-反応マッピングの学習過程にスポットライトを当てており、学習が十分に行われた後の記憶の保持については詳しく検討されていない。特に、日常における視覚運動マッピングについて考えると、一度学習すればその記憶を忘却しても問題ないという場面ばかりではなく、長期間に記憶を保持することが求められる場面も多いと予測される。日常場面におけるマッピング記憶の働きを検討するために、学習直後だけでなく、長期記憶として定着していると予測される十分な遅延期間後のマッピング記憶の性質を調べる必要がある。そこで、本研究では、以上の3つの問題点にアプローチすることを試みる。

1-5. 本研究のアプローチ

1-5-1. 本研究の目的

我々は、日常的に物体の視覚特徴の組み合わせと反応の間の複雑な連合関係を学習することを繰り返している。例えば、視覚的なサインやアイコンは視覚属性の特徴の組み合わせにより成り立っており、我々はそれに基づいて適切な行動を取る。このような視覚特徴の組み合わせと反応の連合関係を学習することを、本研究では視覚運動マッピング（刺激-反応マッピング）と呼ぶ。視覚運動マッピングを行う能力はヒトの高度な認知的行動の基盤となるメカニズムである。そのため、この学習過程や記憶の

性質について解明することは、ヒトの認知機能や行動獲得のメカニズムを理解する上で極めて重要であると考えられる。

視覚運動マッピングでは、視覚特徴の組み合わせにより、異なる反応を対応づけることができる。そのため、複数の特徴の組み合わせがどのように統合されて反応と結びつくのか調べることは、視覚運動マッピングの記憶メカニズムを解明する上で重要である。これまで、Ishizaki et al.(2015)の研究において、色、形、テクスチャの3属性の組み合わせがどのような表現で結合し、反応と連合するかが検討されている。その結果、2つの属性が結合された属性対が基本単位となり反応と連合するとする仮説（対属性仮説）が提案された。しかし、彼らが提案した仮説が一般に成り立つことを示すには、いくつかの問題が残されている。まず、実験で用いられた視覚特徴は物体識別属性のみであり、時空間的属性を含む視覚特徴と反応の刺激-反応マッピング学習については検討されていなかった（第一の問題点）。そして、時空間的属性の中でも物体の位置は、これまでの心理学的研究において、視覚情報処理や視覚的記憶において特別な役割を担うと考えられてきたが、刺激-反応マッピングの記憶においても特殊な性質や役割を持つかは明らかではない（第二の問題点）。また、先行研究で検討されたのは刺激-反応マッピングの学習過程であり、より長期の記憶過程においてマッピングがどのような表現で記憶されるかは明らかになっていない（第三の問題点）。

そこで本研究では、以上の3つの問題点を解決することにより、刺激-反応マッピングにおいて位置と他の属性の組み合わせが反応とどのように連合して記憶されるかを、時系列の記憶の処理段階に沿って明らかにすることを目的とする。研究対象とする記憶の処理段階は、学習過程、学習直後、長期遅延後の3つである。これらはそれぞれ、作業記憶を活用して長期記憶にエンコードする段階（学習過程）、長期記憶にエンコードされた直後の段階（学習直後）、安定した長期記憶への定着がある程度進んだ段階（長期遅延後）に相当する。実験 1A,1B では学習過程を、実験 2A では学習直後を、実験 3 では長期遅延後を検討している。なお、本研究の基本的な方法論は Ishizaki et al.(2015)に基づく。

1-5-2. 本論文の構成と本研究のアプローチ方法

本論文は5章から構成される。

第1章では、記憶における視覚特徴の統合表現に関する研究背景を述べ、その中で Ishizaki et al.(2015)が提案した、長期記憶における対属性仮説に関する次の3つの解

決すべき問題点をあげた。第 2 章以降では、ここであげた 3 つの問題点を解決することで、作業記憶を活用して長期記憶にエンコードする段階（学習過程）、長期記憶にエンコードされた直後の段階（学習直後）、安定した長期記憶への定着がある程度進んだ段階（長期遅延後）の 3 つの記憶段階の刺激-反応マッピング記憶の性質を検討している。なお、第 2 章では学習過程を、第 3 章では学習直後を、第 4 章では長期遅延後の記憶を調べた。

第 2 章では、解決すべき第一の問題点に対処するために、物体識別属性と位置属性からなる視覚特徴の組み合わせと反応のマッピングの学習について、2 つの心理学実験を用いて検討した。実験 1A では、位置属性を含む 3 属性の組み合わせと反応のマッピングにおいても、対属性仮説を適用できるか検討することを目的とした。実験では、Ishizaki et al.(2015)が用いた属性（色、形、テクスチャ）のうちテクスチャを位置に変えた刺激-反応マッピング課題を行った。その結果、Ishizaki et al.(2015)と同様の結果が得られ、刺激が持つ視覚特徴の組み合わせに位置属性が含まれた場合にも対属性仮説が支持された。ただし、2 属性の組み合わせと反応のマッピング同士を比較すると、色と形の組み合わせと反応のマッピングに比べて、位置を含む 2 属性の組み合わせと反応のマッピングは学習が難しかった。次に、実験 1B では、2 属性の組み合わせと反応のマッピングにおける学習の困難さが、それらの属性が脳の 2 つの処理経路の一方で処理されるか、それとも異なる経路で処理されるかに依存するという仮説を検証した。そのために実験 1B では実験 1A で用いた属性のうち形を動きに変えた刺激-反応マッピング課題を行い、位置と動きという脳の背側経路で処理される属性同士の組み合わせの学習の困難さについて検討した。その結果、位置と動きの組み合わせは、色と形の組み合わせのように反応とのマッピング学習が容易になるということではなかった。したがって、脳の処理経路が異なる場合に刺激-反応マッピング学習が難しくなるという仮説は支持されなかった。なお、第 2 章で紹介する実験は全て、博士前期課程で行ったものである。

第 3 章では、解決すべき第二の問題点に対処するため、位置属性がどのような方式で刺激-反応マッピングに関与するかについて、2 つの心理学実験を用いて検討した。実験 2A では、位置が色や形と属性対を形成して反応と連合するかを検討した。この実験では、色、形、位置の組み合わせアイテムと反応のマッピングを学習後、アイテムの特徴を 2 属性ずつ、もしくは 2 属性と 1 属性に空間的に分けて提示し、学習が転移するか調べた。その結果、色と形を空間的に分けて提示すると学習は完全には転移しなかったが、色と位置を空間的に分けて提示した場合にはほぼ完全に転移した。こ

のことから、色と形は属性対表現と反応の連合として記憶されるが、位置は単独の表現で個別に反応との連合が記憶されることが示唆された。

そして、実験 2B では、色、形、位置の各特徴と反応の連合の強固さを検討した。この実験では、色、形、位置の組み合わせと反応のマッピングを学習後、3属性のうち1つの特徴を変更して再学習を行い、変更した特徴が色、形、位置の場合の間で再学習の困難さを比較した。その結果、色や形を変更した場合に比べ、位置を変更した場合に再学習が容易であった。このことは、色や形の交換が刺激と反応の連合の根本的な変更を要するのに対し、位置の交換は柔軟な変更で済むことを示唆する。

第4章では、長期記憶への定着がある程度進んでいると想定される、長期遅延をおいた後の刺激-反応マッピングの記憶表現について、1つの心理学実験を用いて検討した。実験では、色、形、位置の組み合わせと反応のマッピングを学習後、1週間の遅延をおいて再生テストを行った。その結果、遅延期間後でも学習直後と同様の正確さと素早さで反応することができ、学習時と同様に2属性の特徴の組み合わせよりも3属性の特徴の組み合わせの方が成績が悪かった。この結果から、長期遅延後でも記憶表現を変えることなく正確に刺激-反応マッピングの記憶を保持できることが示された。

第5章では、研究目的を再確認し、アプローチ方法と成果について議論した。そして、学習過程、学習直後、長期遅延後の3つの記憶段階における、色、形、位置の組み合わせと反応の連合に関するモデルを提案した。最後に、本論文の総まとめをし、その中で実場面への応用についての提案をした。

第2章 物体識別属性と位置属性からなる刺激の 刺激-反応マッピング学習に関する実験的 検討

ヒトの視覚情報処理の初期段階では、物体の持つ基本的視覚特徴が属性ごとに抽出され、個別に並列処理される (Livingstone & Hubel, 1987). そして、個別に処理された視覚特徴は高次の処理段階で統合されると考えられているが (Treisman, 1986), このとき具体的にどのような表現に統合されるかについては明確なモデルが確立されていない. これまでの研究では、オブジェクトが持っている全ての特徴がひとまとまりとなって記憶されるとする全属性仮説 (Luck & Vogel, 1997; Kahneman et al., 1992) と 2 属性の特徴を結合した属性対表現の集合として記憶されるという対属性モデル (Morita et al., 2010) という対立する仮説が提案されている.

長期記憶において視覚特徴の組み合わせと反応の連合がどのような表現で記憶されるかについて、Ishizaki et al.(2015)は、実験的根拠に基づいて全属性仮説を否定した上で対属性モデルを支持し、色、形、テクスチャの3属性の組み合わせは、通常一度にひとまとまりに統合されず、複数の属性対表現が形成され、反応と連合するという対属性仮説を提案した. ただし、彼らの実験では、色、形、テクスチャという物体識別属性として分類される属性のみを扱っていた. 物体が持つ基本的な視覚特徴としては、物体識別属性の他に、位置や動きなどの時空間的属性がある. 時空間的属性を含めた視覚特徴の組み合わせと反応の連合表現を対属性仮説で説明できるかは明らかではない. 一つの可能性として、時空間的属性の中でも位置は、物体認知において視覚特徴の統合表現を作るために特別な役割や性質を持つと考えられてきたことから (Treisman, 1986; Kahneman et al., 1992), 視覚運動マッピングにおいても位置が同様に特別な役割や性質を持つことが考えられる. もう一つの可能性として、脳において物体識別属性と時空間的属性は異なる経路で処理されることを考えると (Ungerleider & Haxby, 1994; Goodale & Milner, 1992), 異なる経路で処理される属性同士の組み合わせは、同じ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が難しい可能性が考えられる.

そこで、本章ではまず、視覚特徴の組み合わせに位置を含んだ場合でも、刺激-反応

マッピングの説明モデルとして対属性仮説を適用できるかを調べる。そして、特徴同士の脳における処理経路が異なることが、刺激-反応マッピングの学習の困難さに影響を及ぼすかについて調べる。そのために、実験 1A では、Ishizaki et al.(2015)が用いた 3 属性のうちテクスチャを位置に変え、実験 1B ではさらに形を動きに変えることで時空間的属性から 2 属性を用いて、刺激-反応マッピング課題を行う。これらのことを調べることは、対属性仮説の検証および視覚運動マッピングのメカニズムを解明する上で重要である。

2-1. 実験 1A：位置，色，形からなる刺激と反応のマッピング学習

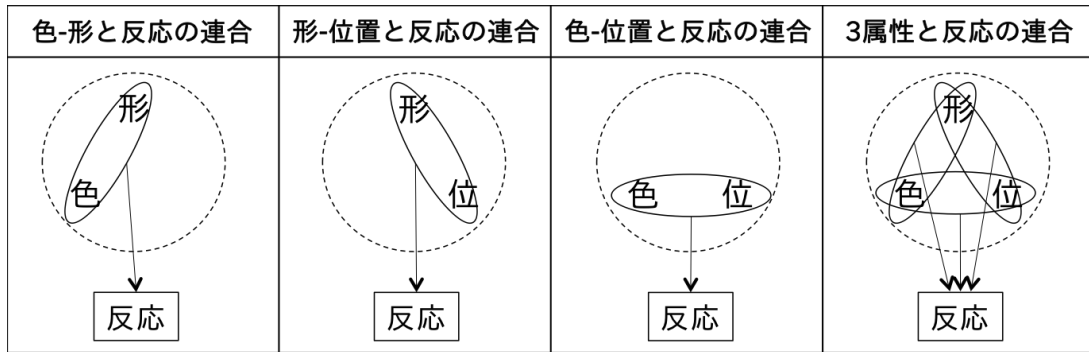
2-1-1. 目的

実験 1A の目的は，複数属性の組み合わせとして位置属性を含んだ場合に，どのような表現で統合され反応と連合するか検討することである．実験では，Ishizaki et al. (2015) の刺激-反応マッピング課題を用い，刺激を色，形，位置の 3 属性につき 2 特徴の排他的組み合わせからなるものに変更した．

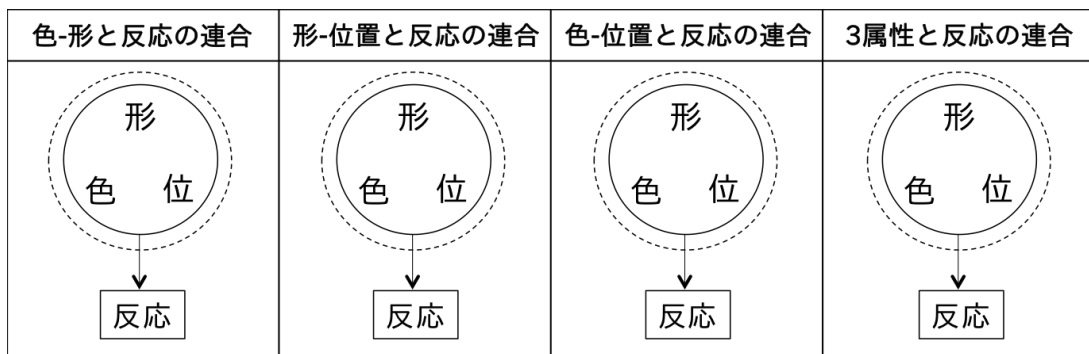
もしも，位置が色や形と同じように対属性仮説に従い，他の属性と属性対表現を形成して反応との連合が形成されるのであれば (図 2.1a)，Ishizaki et al. (2015) の結果を再現するような結果が得られるはずである．すなわち，3 属性の特徴の組み合わせを反応と連合することは，2 属性の特徴の組み合わせ (色-形，形-位置，色-位置) を反応と連合するよりも学習が難しいが，2 属性の特徴の組み合わせ同士の間では反応との連合学習の困難さに差がないと予測される．この，位置が物体識別属性と対等に結合するという考えは，Hommel (1998, 2004) のイベントファイルモデルと同様のアイデアである．

一方，Kahneman et al. (1992) のオブジェクトファイル理論で示されたような位置の特別な役割が，視覚運動マッピングのような長期的な記憶においても継続するのであれば，位置は統合表象の形成の基盤となり，課題に関係するかどうかに関わらず，何らかの形で統合表象に現れ，反応と結びつくことが推測される．そうだとすれば，オブジェクトファイル理論に基づく全属性仮説で説明されるように，いずれの特徴の組み合わせも，特徴がひとまとまりに統合されて反応と連合すると考えられ (図 2.1b)，3 属性の特徴の組み合わせを反応と連合することと，2 属性の特徴の組み合わせを反応と連合することの間に学習の困難さの差は見られないと予測される．

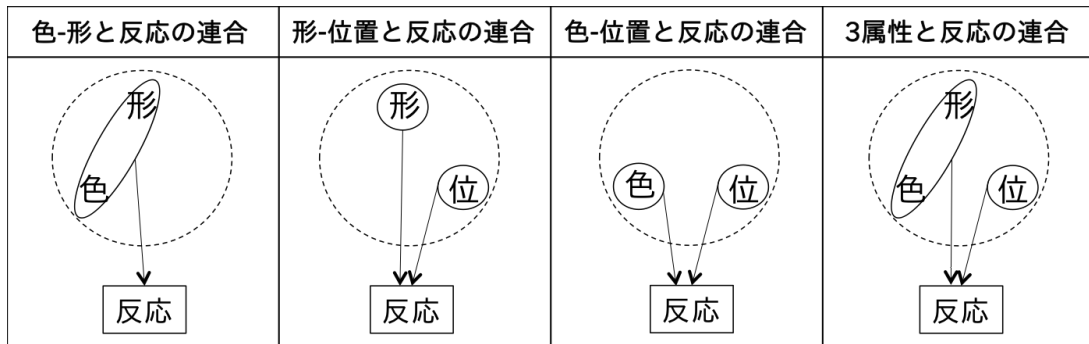
また，位置が統合表象の基盤となる特別な役割を失っているが，脳における処理経路が異なるため，色や形とは異なり単独で反応と連合する可能性もある．この場合，図 2.1c のように色と形の組み合わせは属性対として反応と連合するが，位置は単一の状態で個別に反応と連合すると考えられる (位置シングルトン仮説)．そのように考えると，色と形の組み合わせと反応の連合よりも形と位置の組み合わせと反応の連合，色と位置の組み合わせと反応の連合，3 属性の特徴の組み合わせと反応の連合の方が学習が難しいと予測される．



a. 位置が色や形と同様に属性対を形成して反応と連合する場合のモデル
(対属性仮説)



b. 位置が基盤となり統合表象が作られて反応と連合する場合のモデル
(全属性仮説)



c. 位置が単一の状態で個別に反応と連合する場合のモデル
(位置シングルトン仮説)

- ※「位」は「位置」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 2.1 位置, 色, 形の組み合わせと反応の連合モデル

2-1-2. 方法

2-1-2-a. 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 歳の 28 名が実験に参加した。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。なお，本論文で紹介する実験はすべて，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，日本心理学会倫理規程と世界医師会倫理規程（ヘルシンキ宣言）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。

2-1-2-b. 実験環境

実験は，外乱による影響が少ないように簡易暗室内で行った。コンピュータ（DELL 社製 Precision 390）と 22 型 CRT ディスプレイ（TOTOKU 社製 CV921X）を使用し，刺激の提示は MATLAB と Psychophysics Toolbox (Brainard, 1997; Pelli, 1997; Kleiner, Brainard, Pelli, Ingling, Murray & Broussard, 2007) 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図 2.2 に示すように，暗室内でも間違わずにキーを押せるように，実験で使用する縦並び 4 つのキー（下から「0」キー，「1」キー，「4」キー，「7」キー）にシールを貼り，その他のキーの上にはカバーをかけて押せないようにして使用した。縦並び 4 つのキーを使用したのは，後述する刺激の位置属性として用いた左と右という特徴に対して刺激反応適合性²の効果を発生させないようにするためである。また，下から 2 番目のキー（「1」キー）の中央に少しだけ凹みを入れ，反応キーの押し分けがしやすくなるようにした。



図 2.2 実験で用いた入力装置

²：刺激反応適合性の効果とは，刺激と反応で特徴が適合する場合に，適合しない場合に比べて反応がしやすくなることである。例えば，右側に刺激が提示されたときに左のボタンを押す場合に比べて，右側に刺激が提示されたときに右のボタンを押す場合は反応時間が短くなる。

実験環境の概略図を図 2.3 に示す。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。

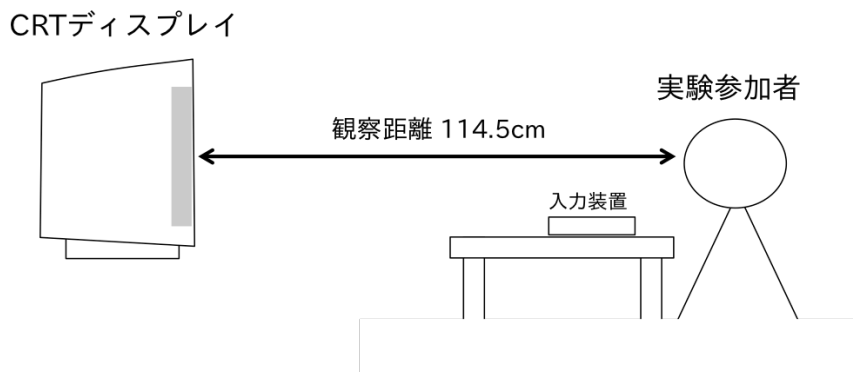


図 2.3 実験環境の概略図

2-1-2-c. 刺激

刺激は、色、形、位置属性の特徴を組み合わせることで作成した 8 種類のアイテムである (図 2.4)。色属性としては赤または緑 (輝度 5.7 cd/m²)、形属性としては三角形または四角形 (おおよその大きさが視角として 1.4°)、位置属性としては画面中央 (後述の注視点が中央の目安となる) から見て左に提示される、または右に提示されるという特徴を使用した。これらの特徴は、各属性の視覚における基本的な特徴として用いた (本研究では、これ以降の実験でも同様に視覚における基本的な特徴を用いている)。位置については、図形の中心が画面中央から左または右に視角にして 3.7° の距離とした。なお、アイテム提示画面の背景は黒色 (輝度 0.0 cd/m²) であった。

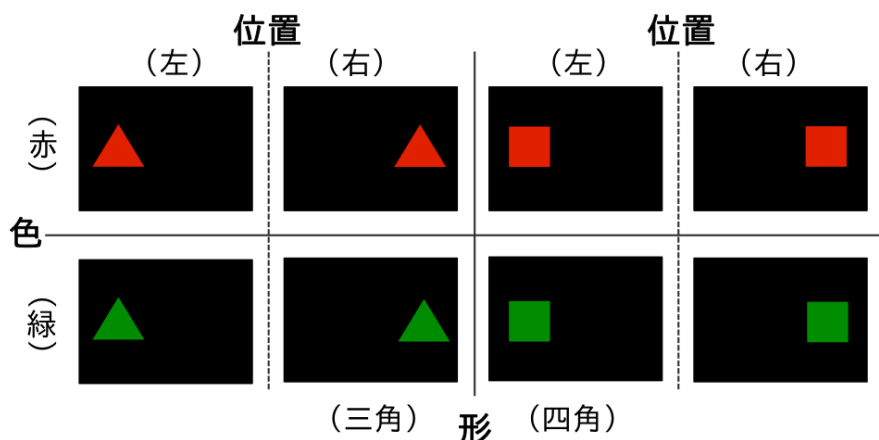


図 2.4 実験 1A で用いた 8 種類のアイテム

2-1-2-d. 手続き

本実験では2種類の課題を行った。まず、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**を行い、次に刺激-反応マッピング学習課題で用いたアイテムを刺激とする**特徴弁別課題**を行った。

刺激-反応マッピング学習課題：1試行の流れを図2.5に示す。まず、画面中央に注視点のみが提示されるブランク画面が1000ms表示され、その後、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。実験参加者には、アイテムが提示される前には必ず注視点に目を向け、アイテムが提示されたら、反応として4つのキーのうち1つをなるべく早く正確に片手の人差し指で押すように指示した。この反応が正解であれば試行が終了し、次の試行に進む。不正解の場合には、400Hzのブザー音が150ms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150ms鳴り、次の試行が始まる。制限時間は初期設定が2000msで、その後10試行ごとにその10試行の平均正答率が70%を超える場合は5%縮め、70%未満である場合には5%延ばした。このように制限時間を正答率に応じて制御することにより、学習が進んだときにじっくりと考えて正解にたどり着くことを防ぎ、できるだけ条件反射のような**素早い反応**を学習させるようにした。

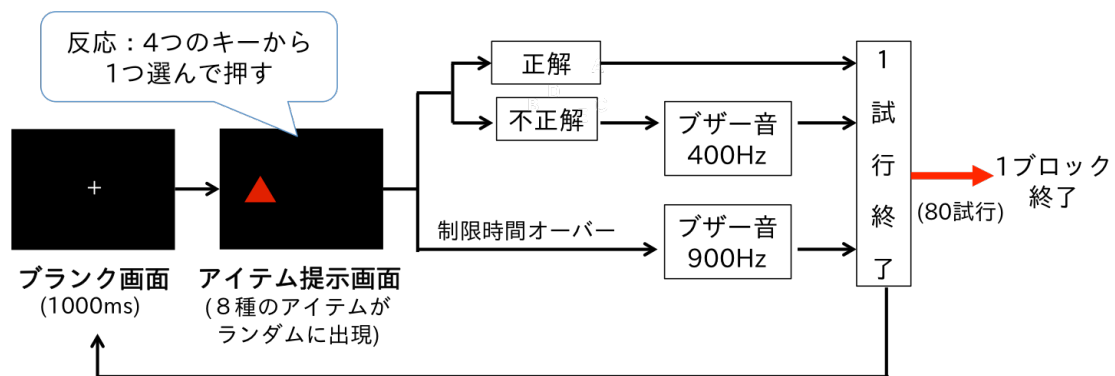


図 2.5 実験 1A 刺激-反応マッピング学習課題の手続き

アイテムと正解キーの対応関係は、8つのアイテムを2つずつのグループにわけ、各グループに対して反応キーを1つずつ割り振るように設定した。Ishizaki et al. (2015) にならい、図2.6のようにグループ分けを工夫することにより、2つの属性の特徴を反応と対応づけた2属性アイテムと、3つすべての属性の特徴を反応と対応づけた3属性アイテムを設けている。

2属性アイテムは、色と形が反応キーに対応づけられた「色-形セット」と、形と位置が反応キーに対応づけられた「形-位置セット」と、色と位置が反応キーに対応づけられた「色-位置セット」の3種類である。図 2.6 はアイテムと正解キーの対応関係の一例（後述の通り、実験参加者ごとにこの対応関係は異なるため一例を示す）であるが、例えば、色-形アイテムセットであれば、赤い三角形なら左に提示されても右に提示されても A キーを押すのが正解となる。一方、3属性アイテムは、3つの属性すべての組み合わせを考慮しなければ正解キーを導き出すことができない。図 2.5 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 D キーを押せば正解となる。なお、A, B, C, D キーがそれぞれ入力装置であるテ

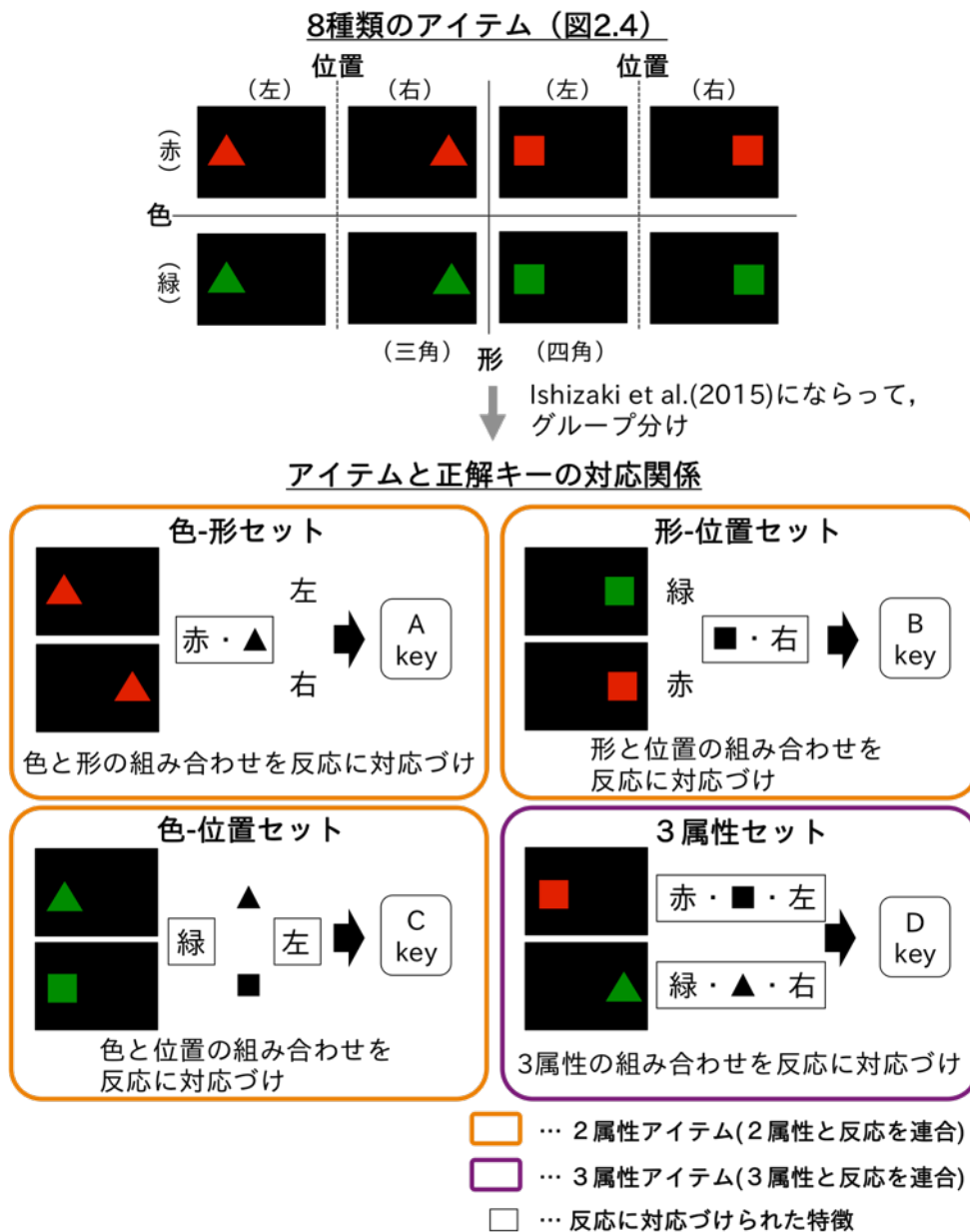


図 2.6 刺激-反応マッピング学習課題のアイテムと正解キーの対応関係の一例

ンキーパッドのどのキーに相当するかはここでは問題としない。以上のような方法で、各アイテムセットにおいて2種類のアイテムに対して1つの反応キーを対応づけている。なお、各アイテムセットにどのアイテムを割り振るかや、各アイテムセットにどの反応キーを割り振るかは実験参加者ごとに変えてカウンターバランスをとった。

以上のような対応関係通りに反応キーを押すことができれば正解になるが、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。

特徴弁別課題：刺激-反応マッピング課題で用いた刺激アイテムを用いて、アイテムが持つ3種類の属性それぞれの特徴を弁別する特徴弁別課題を行った。この課題を行う目的は、刺激-反応マッピング学習課題で用いたアイテムについて、色、形、位置の特徴の弁別の正確さや速さに違いがあるか調べるためである。

課題の最初に、色、形、位置の3属性のうちどの属性の特徴を弁別し、どの特徴に対してどの反応キーを押すかを、説明画面を用いて教示した。例えば、色属性の特徴弁別では、赤色のアイテムが提示されたら2つのキー（刺激-反応マッピング学習課題で用いたテンキーパッドの「0」キーと「1」キー）のうち上側のキーを押し、緑色のアイテムが提示されたら下側のキーを押しというように反応させた。なお、どの特徴に対してどちらの反応キーを押すかという組み合わせは、実験参加者間で異なり、カウンターバランスをとっている。

1 試行の流れを図 2.7 に示す。まず、中央に注視点のみ表示されるブランク画面が提示される。このとき、試行を繰り返す中で一定のタイミングでキーを押すように学習してしまうことを防ぐために、ブランク画面の提示時間は 1.4, 1.5, 1.6s の中から試行ごとにランダムに決定した。ブランク画面提示後には、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。実験参加者には、アイテムが提示されたら、できるだけ早く正確に特徴を弁別し、適切な反応キーを押して回答するよう要求した。誤った反応キーを押した場合、400Hz のブザー音が 150ms 鳴る。正しい反応キーを押した後、または誤った反応に対するブザー音が鳴り終わった後に刺激が消え、次の試行が始まる。

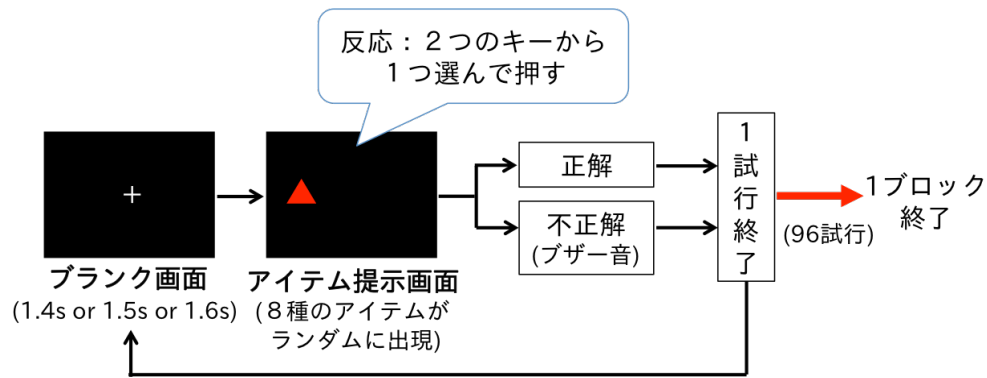


図 2.7 実験 1A 特徴弁別課題のアイテムと正解キーの対応関係の一例

2-1-2-e. デザイン

実験デザインを表 2.1 に示す. はじめに, 刺激-反応マッピング学習課題を行い, その後に特徴弁別課題を行った.

刺激-反応マッピング学習課題: 練習として 8 試行 (各アイテムにつき 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. なお, 1 ブロックは 80 試行からなる (8 種類のアイテムが 10 試行ずつ提示される). この 80 試行の提示順序はランダムである. ただし, 同じアイテムセット内の 2 つのアイテム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. 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 (例えば, 第 n ブロックの最終試行での制限時間が 1470ms の場合, 第 $n+1$ ブロックは制限時間 1470ms から開始する).

特徴弁別課題: 色, 形, 位置の 3 属性それぞれについて, 練習として 8 試行 (各アイテムにつき 1 試行) 行った後に, 本試行 1 ブロック行った. 1 ブロックは 96 試行からなる (96 試行には 8 種類のアイテムが 12 試行ずつ提示される). この 96 試行の提示順序はランダムである. なお, 3 種類の属性の弁別をどのような順番で行うかは, 実験参加者間で異なり, カウンターバランスをとった.

休憩の配置は次のとおりである. 刺激-反応マッピング学習課題の学習ブロックでは

第7ブロック終了後に15分間の休憩を挟み、終了後に5分間の休憩を設けた。その後、テストブロックを行い、終了後に5分間の休憩を設けた。その後、特徴弁別課題を行った。

表 2.1 実験 1A の実験デザイン

		ブロック数	1試行の反応にかかる制限時間	備考
刺激-反応マッピング学習課題	学習ブロック	14	あり(可変)	第7ブロック終了後に15分間の休憩
	休憩(5分間)			
	テストブロック	2	なし	
休憩(5分間)				
特徴弁別課題		3 (色, 形, 位置属性につき1ブロック)	なし	

2-1-3. 結果

28名の実験参加者のうち、1名は刺激-反応マッピング学習課題の学習ブロック全体における全アイテム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倍以上離れており、全体の反応傾向から大きく外れるため結果から除外した。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で、この値は対数変換を行なった上で平均をとっている。

2-1-3-a. 刺激-反応マッピング学習課題の学習の推移

刺激-反応マッピング学習課題の学習ブロックからテストブロックにかけての正答率と学習ブロックの制限時間の推移を図 2.8 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 2.9 に示す。

まず、3属性アイテムと2属性アイテムの間に学習の困難さの差があるか検討するために、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)を要因とする実験参加者内2要因の分散分析を行った(本論文ではこれ以降、分散分析において 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)。その結果、

アイテム条件の主効果 ($F(1, 26) = 100.15, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .79$) と学習期間の主効果 ($F(1.48, 38.5) = 27.65, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .52$) が共に有意であり、それらの交互作用も有意であった ($F(2, 52) = 3.32, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .11$)。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: $F(1, 26) = 36.57, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .58$, 中期: $F(1, 26) = 94.57, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .78$, 後期: $F(1, 26) = 71.50, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .73$)。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。また、2属性アイテムと3属性アイテムの両方において、学習期間の単純主効果が有意であった (2属性アイテム: $F(2, 25) = 32.69, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .72$, 3属性アイテム: $F(2, 25) = 10.32, p < .01, \text{partial } \eta^2 = .45$)。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 (本論文ではこれ以降も 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、中期と後期の間には有意差は見られなかった ($p = .10, d = 0.67$)。つまり、2属性アイテムの正答率は初期より中期、後期は有意に高いが、中期と後期の間では変わらないことがわかる。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、全ての学習期間の間に有意差が見られた (初期と中期の間: $p < .01, d = 1.079$, 初期と後期の間: $p < .05, d = 0.68$, 中期と後期の間: $p < .05, d = 0.53$)。つまり、3属性アイテムの正答率は初期より中期で有意に高くなるが、中期から後期で正答率は有意に下がったことがわかる。

次に、2属性アイテム間の学習の困難さの差を検討するために、色-形セット、形-位置セットおよび色-位置セットの正答率を比較した。正答率について、アイテムセット (色-形セット、形-位置セット、色-位置セットの3水準) と学習期間 (初期、中期、後期の3水準) を要因とする実験参加者内2要因の分散分析を行ったところ、アイテムセットの主効果 ($F(2, 52) = 4.73, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .15$) と学習期間の主効果 ($F(1.52, 39.61) = 40.51, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .61$) 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 ($F(2.35, 61.1) = 0.52, p = .10, \text{partial } \eta^2 = .02$)。アイテムセットについて多重比較を行うと、色-形セットと形-位置セットとの間に有意差が見られ ($p < .05, d = 0.89$)、色-形セットと色-位置セットの間には有意傾向が見られたが ($p < .06, d = 0.79$)、形-位置セットと色-位置セットの間には有意差はなかった ($p = 1.0, d = 0.08$)。このことから、形-位置セットと色-位置セットは色-形セット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前述の2属性アイテムの正答率についての統計的検定結果の通りである。

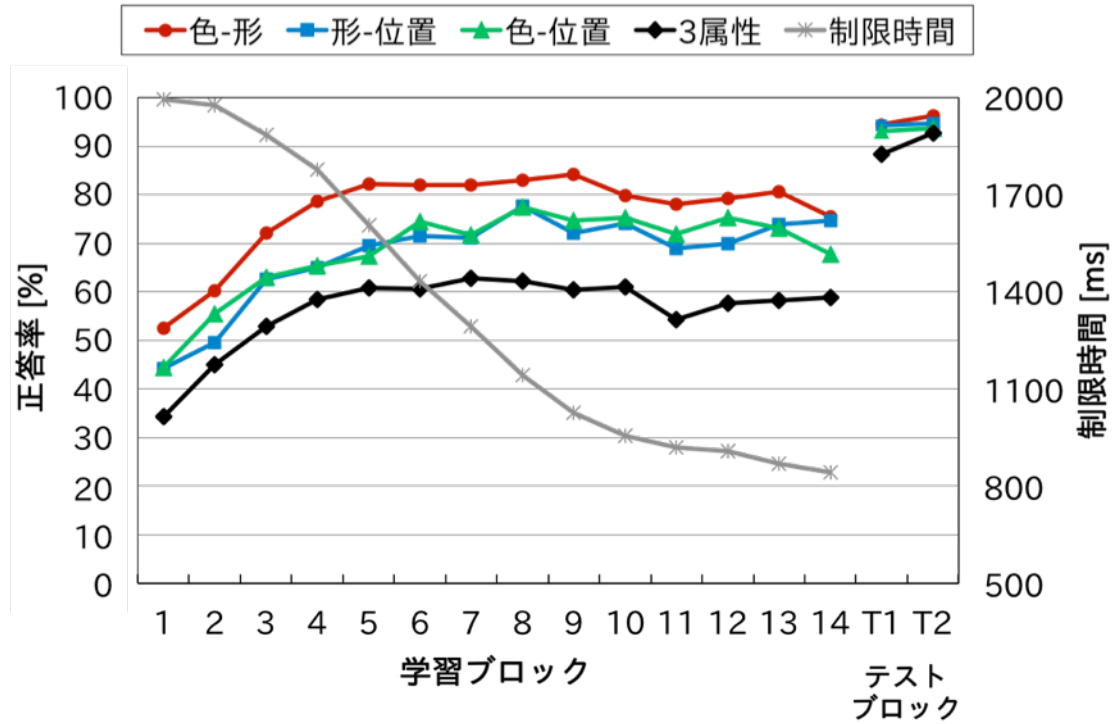


図 2.8 実験 1A 刺激-反応マッピング学習課題の学習ブロックとテストブロックにおける正答率の推移

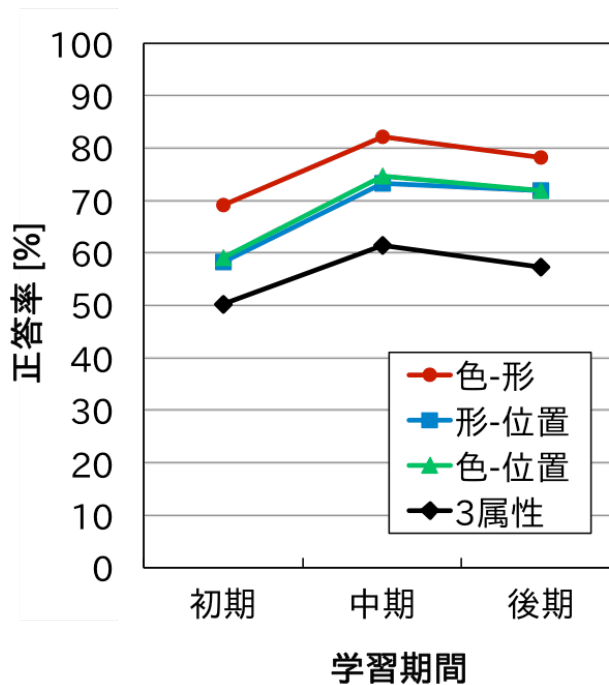


図 2.9 実験 1A 刺激-反応マッピング学習課題の学習ブロックの期間別正答率

2-1-3-b. 刺激-反応マッピング学習課題のテストブロックにおける正答率

刺激-反応マッピング学習課題のテストブロックにおける正答率(図 2.8)に関して検討する。まず、テストブロックにおける3属性アイテムと2属性アイテムの間の正答率の差について検討するために、テストブロック1～2ブロックの正答率について、3属性アイテムと3種類の2属性アイテムの平均値を比較した。正答率について、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 ($t(26) = 2.70, p < .05, d = 0.49$)、3属性アイテムは2属性アイテムよりもテストブロックにおける正答率が低いことがわかる。

次に、テストブロックにおける3種類の2属性アイテムセット間の正答率の差を検討するために、色-形セット、形-位置セットおよび色-位置セットのテストブロック1～2ブロックの平均正答率を比較した。正答率について、アイテムセット(3水準)を要因とする実験参加者内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 ($F(2, 52) = 0.79, p = .46, \text{partial } \eta^2 = .03$)、テストブロックでは2属性アイテムのアイテムセット間で正答率に差がないことがわかる。

2-1-3-c. 刺激-反応マッピング学習課題のテストブロックにおける反応時間

刺激-反応マッピング学習課題のテストブロックの正答試行の平均反応時間を図 2.10 に示す。なお、この値の標準誤差をグラフのエラーバーに示す。まず、3属性アイテムと2属性アイテムの間の正答試行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を比較した。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、その差は有意であった ($t(26) = 4.95, p < .001, d = 0.69$)。このことから、3属性アイテムは2属性アイテムよりも反応時間が長いということがわかる。

次に、3種類の2属性アイテム間の正答試行の反応時間の差を検討するために、色-形セット、形-位置セットおよび色-位置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)を要因とする実験参加者内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 ($F(2, 52) = 1.38, p = .26, \text{partial } \eta^2 = .05$)、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いことがわかる。

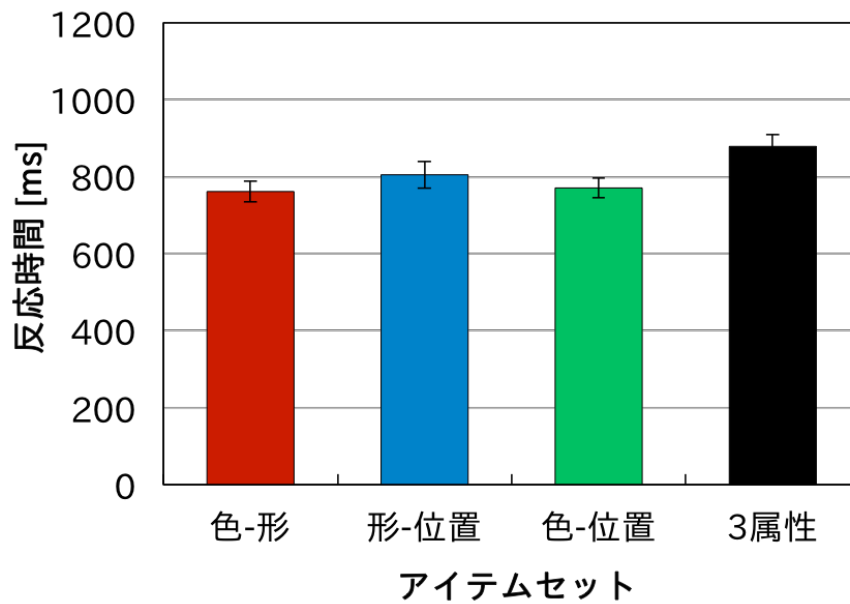


図 2.10 実験 1A 刺激-反応マッピング学習課題のテストブロックの平均反応時間

2-1-3-d. 特徴弁別課題の正答率と反応時間

刺激-反応マッピング学習課題で用いたアイテムについて、色、形、位置の各属性の弁別の正確さや弁別時間を調べた。

特徴弁別課題の反応時間と正答率を図 2.11 に示す。図 2.11 のグラフのエラーバーは標準誤差を示す。まず、3属性の弁別の正確さを比較するために、正答率について属性を要因とする実験参加者内 1 要因 3 水準の分散分析を行った。その結果、主効果は有意ではなかった ($F(1, 26) = 1.01, p = .33, \text{partial } \eta^2 = .04$)。

次に、3属性の弁別にかかる時間を比較するために、反応時間について属性を要因とする実験参加者内 1 要因 3 水準の分散分析を行った。その結果、主効果が有意であり ($F(1.51, 39.29) = 33.48, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .56$)、位置属性と色属性や形属性との間にそれぞれ有意な差があった(位置と色: $p < .001, d = 1.03$, 位置と形: $p < .001, d = 1.32$)。このことから、この実験で用いた刺激に関して位置属性は色属性や形属性に比べて特徴弁別(知覚)時間が短かったことがわかる。

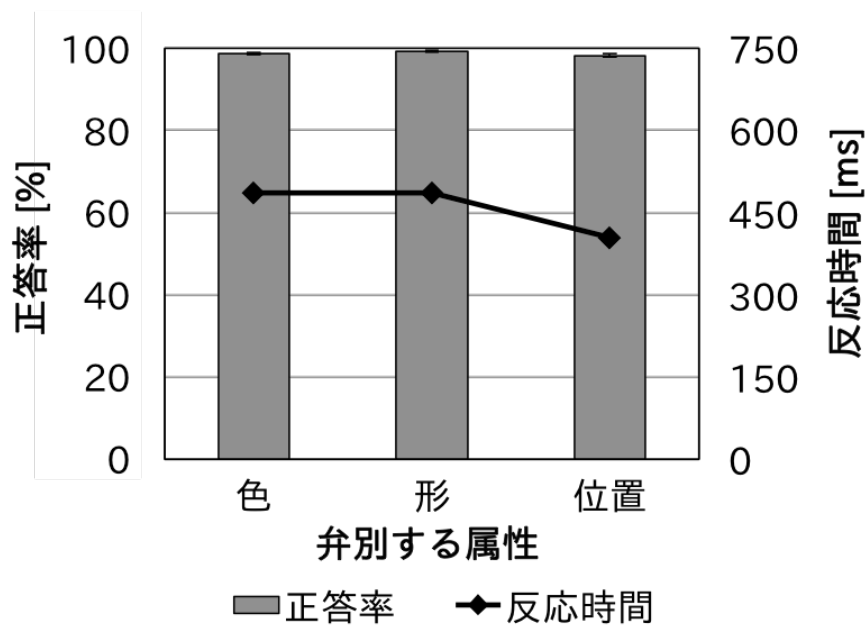


図 2.11 実験 1A 特徴弁別課題の正答率と反応時間

2-1-4. 考察

まず、刺激-反応マッピング学習課題の結果について考察する。2属性アイテムと3属性アイテムにおける学習ブロック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には有意差が見られ、3属性アイテムにおいて全ての学習期間の間に有意差が見られた。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正答率が低下した。この理由は、後期は全アイテムで学習が進んだ結果として制限時間が反応可能な時間ぎりぎりまで短縮されたことによると考えられ、特にその影響が3属性アイテムの正答率に顕著に表れたためと考えられる。しかし、反応の制限時間をなくしたテストブロックでの正答率が、3属性アイテムにおいても90%に達していることをみると、3属性アイテムにおいて学習が十分に行われなかったという訳ではないと考えられる。したがって、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。また、テストブロックにおける反応時間については2属性アイテムに比べて3属性アイテムの方が長く、学習が十分に行われた後も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、個々の特徴が反応に関連するか否かに関わらず、全ての特徴を一つの統合表現にまとめて表現し、1単位で反応と連合するという全属性仮説ではうまく説明がつかない。なぜなら、全属性仮説に基づくと、2属性アイテムも3属性アイテムも、同様に色、形、位置の3つの特徴が統合された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と考えられるからである。一方、Morita et al. (2010) や Hommel (1998, 2004) 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（かなり長期にわたって経験された場合など）を除き、3個以上の特徴をひとまとめでにした統合表現は作られないという仮説に従うと説明可能である。つまり、2特徴から正解キーが特定される2属性アイテムは属性対1つと反応の連合として学習されるのに対し、3特徴の組み合わせで正解キーが特定される3属性アイテムは、複数の属性対と反応の連合として学習されるため学習がより困難で、反応に時間を要すると説明できる。

また、学習ブロックにおける3種類の2属性アイテムの正答率を比較すると、形-位置セットや色-位置セットは色-形セットよりも正答率が低いことから、学習が難しいと考えられる。このことから、物体識別属性同士の色と形の組み合わせよりも、組み合わせに位置が含まれる色と位置あるいは形と位置の組み合わせの方が反応とのマッピング学習が困難であることが示唆される。ただし、テストブロックでの正答率や反応に要する時間には、3つの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2属性の組み合わせと反応とのマッピング学習は難しいが、一旦ある程度まで学習がなされれば、色と形の組み合わせと同程度の時間で反応できると言える。

次に、特徴弁別課題の結果について考察する。刺激-反応マッピング学習課題において、2属性アイテムセットでは形-位置セットや色-位置セットは色-形セットより学習が難しかった。この結果は、属性の組み合わせに位置が含まれる場合には、色や形よりも位置の弁別（知覚）に時間がかかる、もしくは弁別がしにくいため、他の属性と結合しにくくマッピングを学習するのが困難になったと説明できるかもしれない。そこで、この可能性を検証するために、各属性の特徴弁別の正確さと反応時間を比較した。その結果、正答率については属性間で有意な差は見られなかった。しかし、反応時間については、色や形に比べて位置の弁別反応時間が短いことがわかった。この

ことから、位置の弁別時間が遅いことにより、刺激-反応マッピング学習において色と形の組み合わせよりも、色と位置の組み合わせや形と位置の組み合わせを反応にマッピングすることが困難になるという説明は成り立たないことがわかる。ただし、位置と色や形の特徴の知覚時間が揃わないために、位置が他の属性と結合しにくくマッピングを学習するのが困難になったと説明できる可能性も考えられる。

2-1-5. まとめ

実験 1A では、色、形、位置の 3 属性の組み合わせと反応のマッピング関係がどのような表現で記憶されるかについて検討した。具体的には、2 属性の特徴の組み合わせと反応のマッピングと 3 属性の特徴の組み合わせと反応のマッピングの学習の困難さに違いがあるのか、また、物体識別属性同士の組み合わせである色と形の組み合わせと反応のマッピングと、位置属性と物体識別属性の組み合わせ（位置と形、位置と色の組み合わせ）と反応のマッピングの学習の困難さに違いがあるのかについて調べ、対属性仮説と全属性仮説を検証した。検討方法として、刺激-反応マッピング課題を用い、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を比較した。

その結果、まず、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 et al. (2015) の結果と同様の結果であり、2 特徴ずつの結合対（属性対表現）を単位とする分散型結合方式のモデルが位置属性を含めて成立することが示された。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 属性アイテムの刺激-反応マッピング学習の進行が遅かった。一方、特徴弁別課題の結果から、位置の特徴は色や形の特徴よりも弁別反応時間が長いということではなく、むしろ早く弁別されることがわかった。このことは、位置が色や形よりも知覚時間が遅れることにより、位置を含む 2 属性の組み合わせと反応のマッピング学習が困難になるわけではないことを示す。ただし、位置と他の属性の知覚にかかる時間が揃っていないために、属性間の結合や反応とのマッピング学習が困難になる可能性も考えられる。以上のような結果は、図 2.1c の位置シングルトン仮説のように、刺激-反応連合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、あるいは刺激-反応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位置属性特有の性質を示唆するのか、それとも他の理由があるのかということについては、本実験の結果からは明らかではない。ただし、学習後（テストブロック）の色と形の組み合わせに対する反応と、色と位置や形と位置の組み合わせに対する反応の間には、正答率や反応時間に有意な差が無かった。そのため、色と形の組み合わせと反応のマッピングと、色と位置あるいは形と位置の組み合わせと反応のマッピングが異なるメカニズムで働いているという証拠は得られなかった。

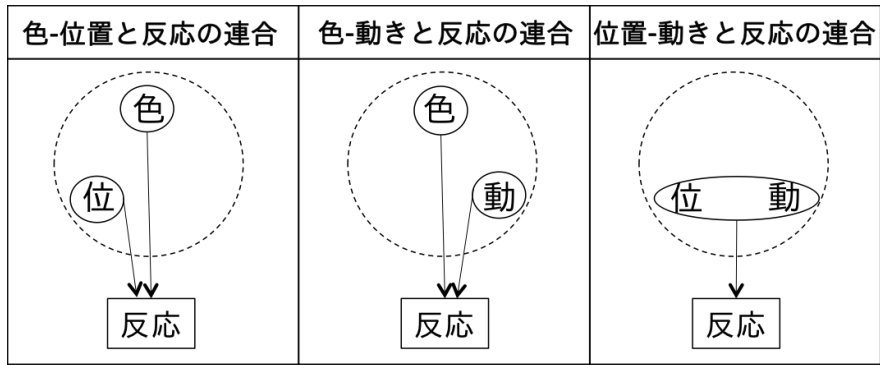
2-2. 実験 1B：位置，動き，色からなる刺激と反応のマッピング学習

2-2-1. 目的

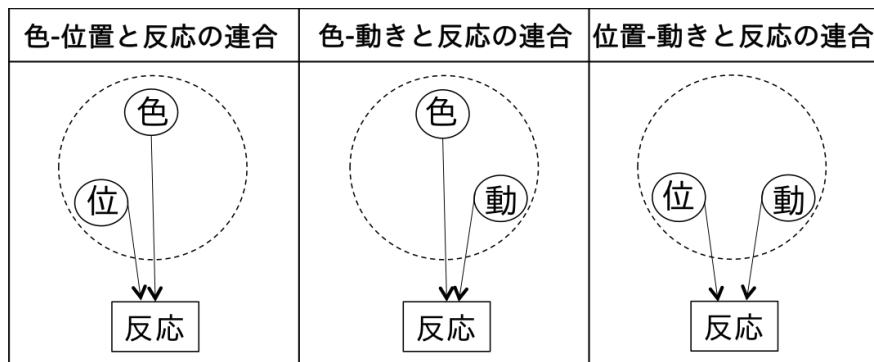
実験 1A では，物体識別属性同士の色と形の組み合わせと反応のマッピングと，位置と物体識別属性の組み合わせと反応のマッピングが異なるメカニズムで働くという証拠は得られなかったが，連合の形成過程において何らかの違いがあることが示唆された。

そこで，実験 1B では，2 属性の組み合わせと反応のマッピング学習の困難さが，それらの属性が脳における 2 つの処理経路の一方で処理されるか，それぞれ異なる経路で処理されるかに依存するか検討する。検討方法としては，実験 1A で用いた刺激が持つ特徴，色（物体識別属性），形（物体識別属性），位置（時空間的属性）のうち，形を動きに変えることにより，脳の腹側経路で処理される物体識別属性を 1 種類，背側経路で処理される時空間的属性を 2 種類とし，時空間的属性同士の 2 属性の組み合わせと反応の刺激-反応マッピング学習について調べた。

もしも，脳における処理経路をまたいで特徴を結合することにより，2 属性の組み合わせと反応の刺激-反応マッピング学習の成立が遅くなるのであれば，時空間的属性同士の 2 属性の組み合わせ（位置と動き）と反応のマッピングが，物体識別属性と時空間的属性からなる色と位置や色と動きの組み合わせと反応のマッピングよりも学習が容易になると予測される。この場合，図 2.12a のように，位置と動きの組み合わせは属性対として反応と連合するが，色は位置や動きとは結合せずに反応と連合すると考えられる。一方，脳における処理経路をまたいで特徴を結合する必要性がない 2 属性の組み合わせであることで，必ず刺激-反応マッピングの学習が容易になるわけではないならば，時空間的属性同士の 2 属性の組み合わせと反応のマッピングにおいて学習が容易にならない可能性がある。この場合，図 2.12b のように，色と位置と動きは互いに結合せずに反応と連合すると考えられる。



a. 属性が脳における同じ処理経路で処理される場合に刺激-反応マッピング学習が容易であるとするモデル



b. 属性が脳における同じ処理経路で処理されるかどうかによらず位置や動き属性を含む刺激-反応マッピング学習が困難であるとするモデル

※「位」は「位置」，「動」は「動き」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 2.12 位置，動き，色の組み合わせと反応の連合モデル

2-2-2. 方法

2-2-2-a. 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 18～24 歳の 29 名が実験に参加した。実験参加者は全員，これまで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。

2-2-2-b. 実験環境，手続き，デザイン

実験 1A と同様である。

2-2-2-c. 刺激

刺激となるアイテムは8種類であり、色、位置、動き属性の特徴を組み合わせることにより作成した（図 2.13）。形状は、大きさがおおよそ視角にして 1.4° の四角形であった。色属性と位置属性は実験 1A で使用した特徴と同じものを使用し、動き属性は左右に動くか上下に動くかのどちらかである。動きの移動範囲は、図 2.14 に示す通り、アイテムの初期提示位置の中心点から垂直もしくは水平方向に視角にして 2.2° の範囲とした。なお、60fps のフレームレートで1フレームあたりおおよそ視角にして 0.032° ずつ動き（移動速度：視角 1.89° /秒）、アイテムの提示時間中継続して動き続ける。アイテム提示画面の背景色は実験 1A と同様の黒である。

アイテムと正解キーの対応関係の一例を図 2.15 に示す。

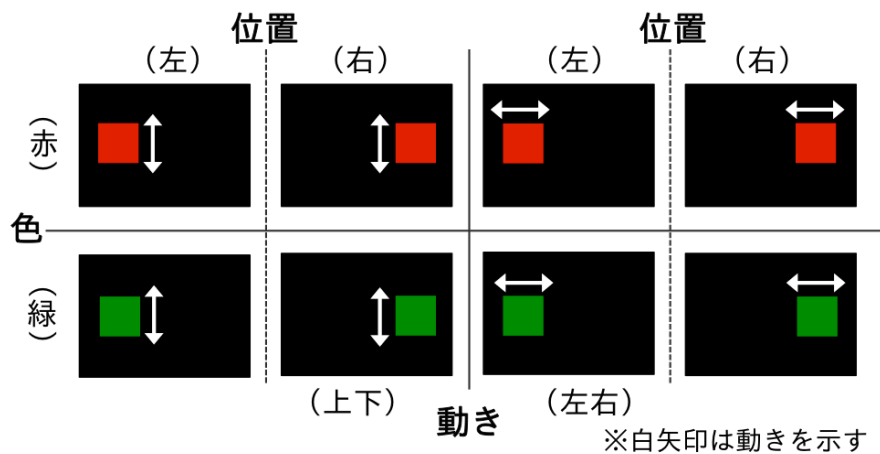


図 2.13 実験 1B で用いた 8 種類のアイテム

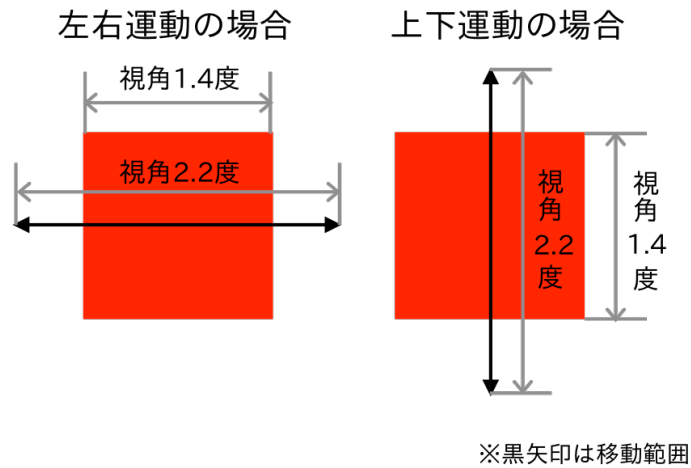


図 2.14 実験 1B で用いた動き特徴

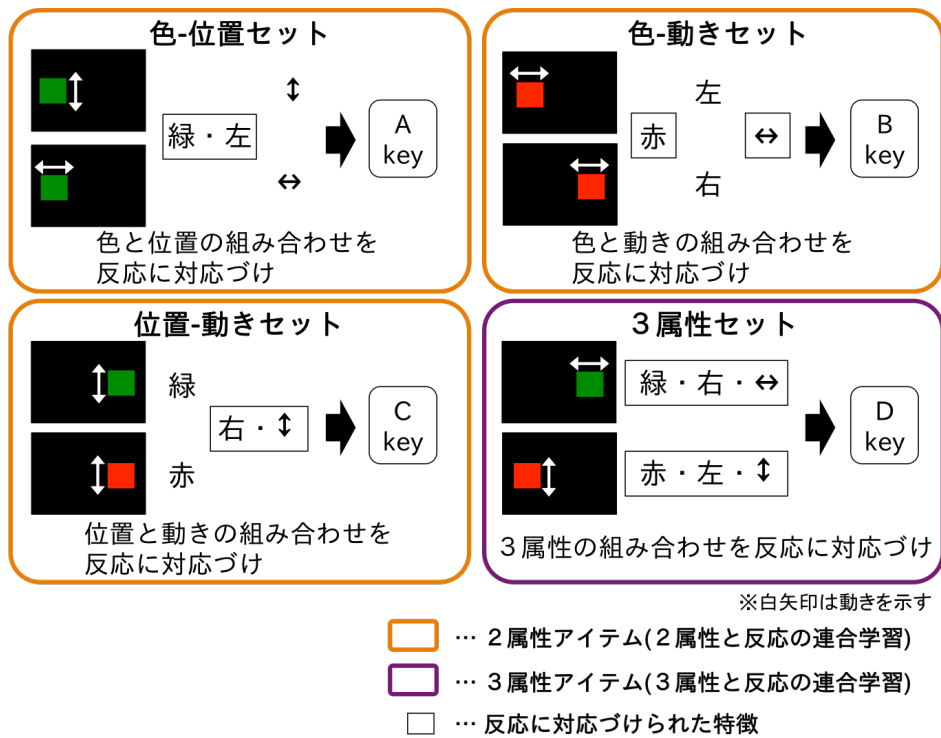


図 2.15 実験 1B 刺激-反応マッピング学習課題のアイテムと正解キーの対応関係の一例

2-2-3. 結果

29 名の実験参加者のうち、3 名は刺激-反応マッピング学習課題のテストブロックでの全アイテムの平均正答率が 65%を下回っており、学習が十分にできていないと判断されるため結果から除外した。なお、この 3 名は、実験後のアンケートにおいて全てのアイテムと正解キーの対応がわからなかったと回答した。

2-2-3-a. 刺激-反応マッピング学習課題の学習の推移

刺激-反応マッピング学習課題の学習ブロックからテストブロックにかけての正答率と学習ブロックの制限時間の推移を図 2.16 に示す。実験 1A と同じように、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 1～5 ブロックを初期、6～10 ブロックを中期、11～14 ブロックを後期とし、期間ごとの平均値を比較した (図 2.17)。

実験 1A と同様の方法で、まず、3 属性アイテムと 2 属性アイテムの学習の困難さに差があるか検討する。正答率について、アイテム条件 (3 属性アイテムと 2 属性アイテムの平均値の 2 水準) と学習期間 (初期, 中期, 後期の 3 水準) を要因とする実験参加者内 2 要因の分散分析を行ったところ、アイテム条件の主効果 ($F(1, 25) = 26.22, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .51$) と学習期間の主効果 ($F(2, 50) = 29.48, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .54$) が共に有意であり、それらの交互作用も有意であった ($F(1.32, 33.01) = 5.07, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .17$)。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: $F(1, 25) = 7.05, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .22$, 中期: $F(1, 25) = 19.80, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .44$, 後期: $F(1, 25) = 46.68, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .65$)。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。また、2 属性アイテムと 3 属性アイテムの両方において、学習期間の単純主効果が有意であった (2 属性アイテム: $F(2, 24) = 47.32, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .80$, 3 属性アイテム: $F(2, 24) = 6.35, p < .01, \text{partial } \eta^2 = .35$)。そこで、2 属性アイテムにおける学習期間の多重比較を行うと、初期と中期の間 ($p < .001, d = 1.56$), 初期と後期の間 ($p < .001, d = 1.90$) に有意差が見られたが、中期と後期の間には有意差は見られなかった ($p = 1.0, d = 0.14$)。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、同じように中期と後期の間以外のペア間に有意差が見られた (初期と中期の間: $p < .01, d = 0.96$, 初期と後期の間: $p < .05, d = 0.77$, 中期と後期の間: $p = .22, d = 0.31$)。つまり、2 属性アイテムも 3 属性アイテムも正答率は初期から中期にかけて高くなるが、中期から

後期にかけては有意な差がなかった。

次に、3種類の2属性アイテム間の学習の困難さの差を検討する。正答率について、アイテムセット（位置-動きセット，色-位置セット，色-動きセットの3水準）と学習期間（初期，中期，後期の3水準）を要因とする実験参加者内2要因の分散分析を行ったところ，学習期間の主効果（ $F(2, 50) = 51.55, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .67$ ）が有意であったが，アイテムセットの主効果（ $F(2, 50) = 1.58, p = .22, \text{partial } \eta^2 = .06$ ）と交互作用は有意ではなかった（ $F(2.88, 72.06) = 0.36, p = .77, \text{partial } \eta^2 = .014$ ）。なお，学習期間についての多重比較は，前述の2属性アイテムの正答率についての統計的検定結果の通りである。

2-2-3-b. 刺激-反応マッピング学習課題のテストブロックにおける正答率

刺激-反応マッピング学習課題のテストブロックにおける正答率に関して検討する。まず，テストブロックにおける3属性アイテムと2属性アイテム間の正答率の差について検討する。テストブロック1～2ブロックの平均正答率について，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（ $t(25) = 5.04, p < .001, d = 0.88$ ），3属性アイテムは2属性アイテムよりもテストブロックにおける正答率が低いということがわかる。

次に，テストブロックにおける3種類の2属性アイテム間の正答率の差を検討する。テストブロック1～2ブロックの平均正答率について，アイテムセット（3水準）を要因とする実験参加者内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（ $F(2, 50) = 0.28, p = .75, \text{partial } \eta^2 = .01$ ），テストブロックでも2属性アイテムのアイテムセット間で正答率に差がないことがわかる。

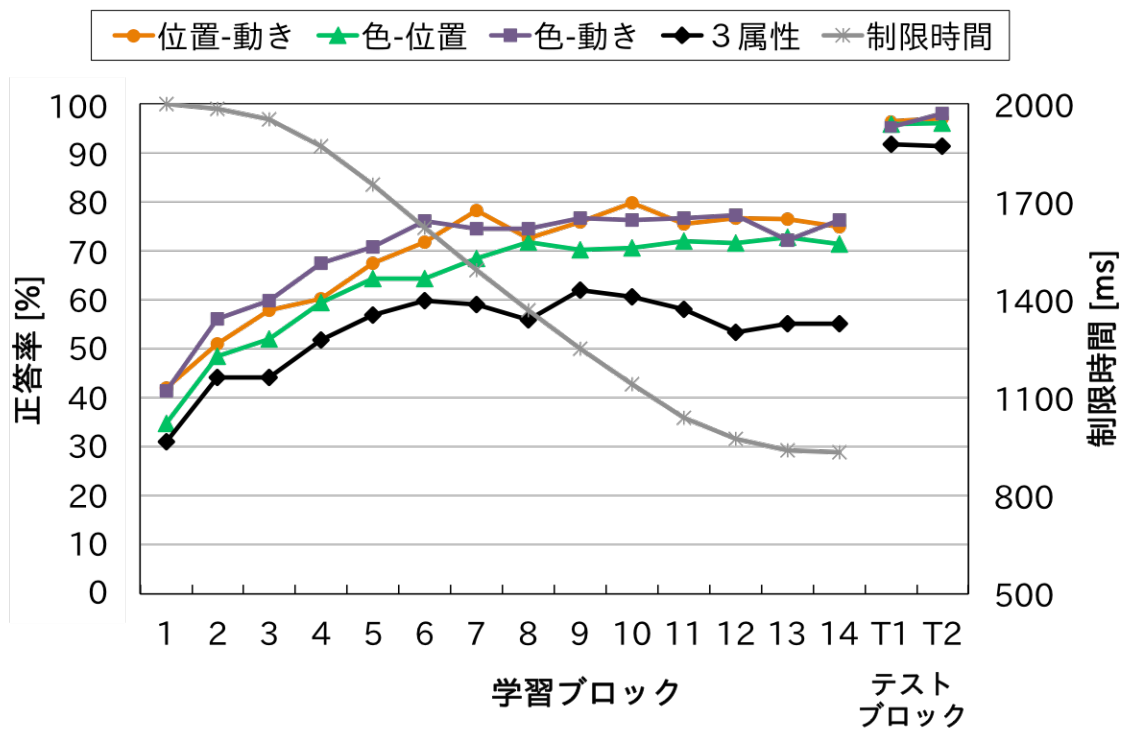


図 2.16 実験 1B 刺激-反応マッピング学習課題の学習ブロックとテストブロックにおける正答率の推移

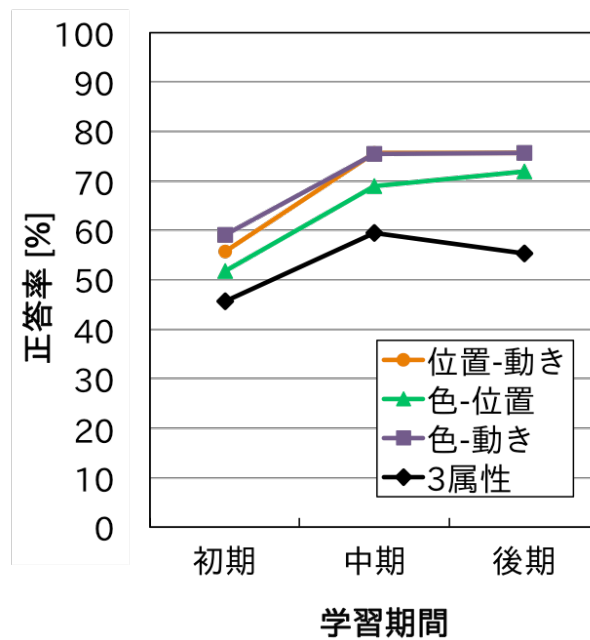


図 2.17 実験 1B 刺激-反応マッピング学習課題の学習ブロックの期間別正答率

2-2-3-c. テストブロックにおける反応時間

刺激-反応マッピング学習課題のテストブロックの正答試行の平均反応時間を図 2.18 に示す。なお、この値の標準誤差をグラフのエラーバーに示す。まず、3属性アイテムと2属性アイテム間の正答試行の反応時間の差について検討する。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、その差は有意であった ($t(25) = 4.37, p < .001, d = 0.58$)。このことから、3属性アイテムは2属性アイテムよりも反応時間が長いということがわかる。

次に、3種類の2属性アイテム間の正答試行の反応時間の差を検討する。反応時間について、アイテムセット（3水準）を要因とする実験参加者内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 ($F(2,50) = 0.90, p = .41, \text{partial } \eta^2 = .04$)、2属性アイテムのアイテムセット間で反応時間に差がないことがわかる。

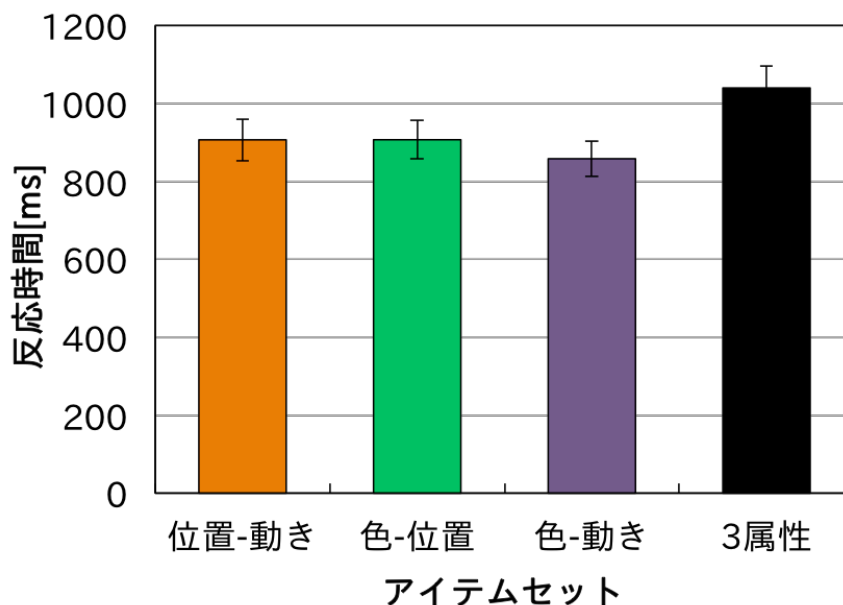


図 2.18 実験 1B 刺激-反応マッピング学習課題のテストブロックの平均反応時間

2-2-3-d. 特徴弁別課題の正答率と反応時間

色、位置、動きの3種類の属性間で、特徴を弁別（知覚）する困難さや反応時間に差があるかを調べた。

特徴弁別課題の反応時間と正答率を図 2.19 に示す。なお、この値の標準誤差をグラフのエラーバーに示す。まず、正答率について属性を要因とする実験参加者内1要因

3水準の分散分析を行ったところ、主効果が有意であり ($F(2, 50) = 5.78, p < .01$, partial $\eta^2 = .19$), 多重比較を行うと、動き属性と色属性や位置属性の間に有意差が見られた (動きと色: $p < .05, d = .48$, 動きと位置: $p < .05, d = 0.59$). ただし、これは、データの分散がかなり小さかったために (色: $SD = 0.01$, 位置: $SD = 0.01$, 動き: $SD = 0.02$), 微小な差でも有意傾向が見られたと考えられ、どの属性も98%以上の高い正答率であったため、この差は今回の議論上問題とするほどの差ではないと考える。

次に、反応時間について属性を要因とする実験参加者内1要因3水準の分散分析を行ったところ、主効果が有意であり ($F(1.47, 36.68) = 66.13, p < .001$, partial $\eta^2 = .73$), 全ての属性間に有意な差があった (色と位置: $p < .01, d = 0.64$, 色と動き: $p < .001, d = 1.20$, 位置と動き: $p < .001, d = 1.70$). このことから、動き属性は色属性や位置属性よりも特徴弁別 (知覚) 時間が長く、位置属性は色属性よりも特徴弁別 (知覚) 時間が短いことがわかる。

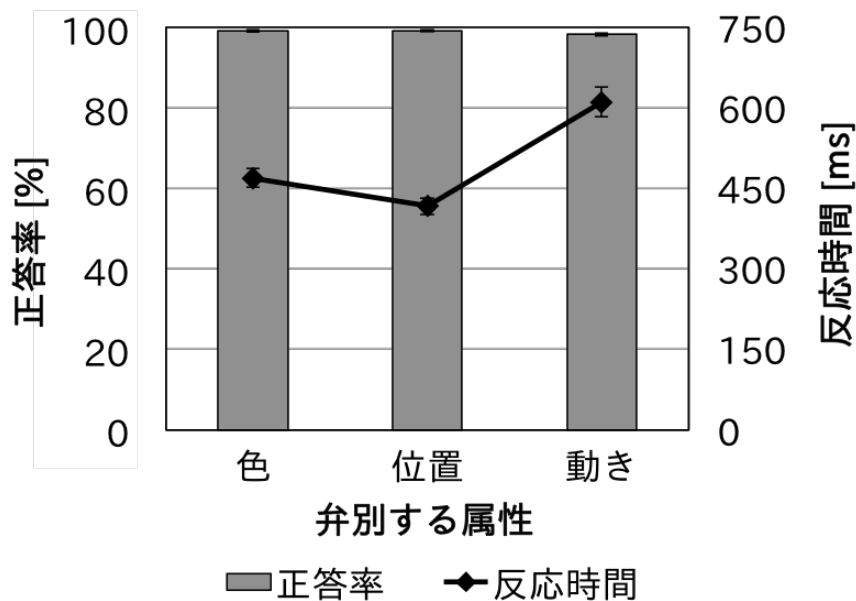


図 2.19 実験 1B 特徴弁別課題の正答率と反応時間

2-2-4. 考察

まず、刺激-反応マッピング学習課題の結果について考察する。2属性アイテムと3属性アイテムにおける学習ブロックにおける正答率の推移について、学習初期と中期の間と初期と後期の間とに有意差が見られた。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。さらに、反応の制限時間をなくしたテストブロックでの正答率を見ると、どのアイテムセットでも 90%に達しているため、最終的にはすべてのアイテムにおいて色と位置と動きの組み合わせと反応のマッピングが十分に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。また、テストブロックにおける反応時間については2属性アイテムに比べて3属性アイテムの方が長く、学習が十分に行われた後では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。これらの結果は、実験 1A と同様の結果であり、色、形、位置の組み合わせと同じように色、位置、動きの組み合わせにおいても、3種類の属性の特徴をひとまとめにした統合表現が作られるという全属性仮説では説明できず、2特徴が結合した属性対が結合表現の基礎をなすという対属性仮説に従うと説明可能である。

また、学習ブロックにおける3種類の2属性アイテムの正答率の間に有意な差はなかった。このことから、時空間的属性同士の組み合わせである位置と動きの組み合わせは、刺激-反応マッピング学習が特別容易であるということではなく、物体識別属性と時空間的属性の組み合わせである色と位置や色と動きの組み合わせと同等の難易度で刺激-反応マッピングが学習されることが示唆された。つまり、脳における処理経路が異なる属性の組み合わせは、刺激-反応マッピングの学習が困難であるという可能性を示す結果とはならなかった。また、テストブロックでの正答率や反応に要する時間にも各2属性アイテム間で差がなかったことから、これらのアイテムセットにおいて学習が十分になされた後、同程度の時間で反応できると言える。

刺激-反応マッピング学習課題において、2属性アイテムセットでは、位置-動きセットも色-位置セットや色-動きセットと同等の難易度で学習できることがわかった。この結果と実験 1A の結果を、二つの実験に共通して設定されていた色-位置セットを基準に比べると、色-形セットよりも、実験 1B で新たに調べた位置-動きセットや色-動きセットは学習が難しいと考えられる。上記の結果は、色、位置、動きの弁別（知覚）の困難さや、弁別（知覚）にかかる時間に差があるために、属性間の結合が困難でマッピング学習が困難であるという説明ができる可能性が考えられる。そこで、この可能性の検証のために、色、位置、動きの特徴弁別の正確さと反応時間を比較した。その結果、正答率については動きと色や位置との間に有意差が見られたが、どの属性も 98%以上の高い正答率で弁別されており、また、データの分散もかなり小さかった

ことから、今回の検討においては動きの属性の弁別の正確さが他の属性に比べて極端に劣っていたというわけではなかったと考える。反応時間については、色や位置に比べて動きの弁別反応時間が長いことがわかった。また、位置は実験 1A の特徴弁別課題の結果と同様に、色に比べて弁別反応時間が短かった。これらのことから、色、位置、動きの特徴の知覚時間が揃っていないために、知覚時間が同等であった色と形の組み合わせに比べて、色と位置、色と動き、位置と動きの組み合わせは属性間の結合が困難でマッピング学習が難しくなったと説明できる可能性が考えられる。

2-2-5. まとめ

実験 1B では、脳における処理経路をまたいで特徴を結合する必要性の有無が刺激-反応マッピングの学習に与える影響について調べるために、脳の腹側経路で処理される物体識別属性と背側経路で処理される時空間的属性の組み合わせである色と位置や色と動きの組み合わせと、時空間的属性同士の組み合わせである位置と動きの組み合わせとの間で、刺激-反応マッピングの学習の困難さに違いがあるのかについて検討した。検討方法としては、色、位置、動きの 3 属性からなる刺激と反応の刺激-反応マッピング課題を用い、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を比較した。

その結果、まず、実験 1A と同じように 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。この結果から、色、位置、動きの 3 属性の組み合わせにおいても、物体の全ての属性の特徴をひとまとまりにして反応と連合するという全属性仮説よりも、2 特徴を結合した属性対表現を基本単位として反応と連合するとする対属性仮説がよく当てはまると考えられる。

また、2 属性アイテムの中では、時空間的属性同士の組み合わせである位置と動きの組み合わせと、物体識別属性と時空間的属性の組み合わせである色と位置や色と動きの組み合わせは同等の難易度で刺激-反応マッピングが学習されることがわかった。このことから、脳における処理経路をまたいで特徴を結合する必要性がない 2 属性の組み合わせであれば、刺激-反応マッピングの学習が容易になるというわけではないことが示唆された。このことは、刺激-反応連合の形成過程において色、位置、動きの各属性の扱いが互いに何らかの点で異なる可能性を示唆する。ただし、特徴弁別課題の結果から、色、位置、動きの特徴弁別（知覚）時間に互いに差があることがわかった。

このことから、色と位置、色と動き、位置と動きの各組み合わせと反応のマッピング学習は、属性ごとに特徴の弁別（知覚）にかかる時間が揃っていないために、特徴の結合表現が作りやすく、マッピングを学習するのが困難である可能性が考えられる。

2-3. 実験 1A と 1B のまとめ

実験 1A と実験 1B で共通して設定されていた色-位置セットを基準として 2 つの実験の結果をまとめると、刺激-反応マッピング学習の難易度は図 2.20 のようになる (Ishizaki et al. (2015) の刺激-反応マッピング課題の学習ブロック後期の結果も併せて図示している)。すなわち、物体識別属性同士の組み合わせは反応とのマッピング学習が相対的に容易であるが、2 属性の組み合わせに時空間的属性が含まれると反応とのマッピング学習が難しくなった。

第 2 章では、まず、実験 1A で色、形、位置の組み合わせと反応のマッピング学習について、全属性仮説と対属性仮説の妥当性を比較した。その結果、2 属性の組み合わせと反応のマッピングよりも 3 属性の組み合わせと反応のマッピングの学習が困難であることがわかり、全属性仮説が否定され、対属性仮説の妥当性が高いことが示唆された。ただし、色と形の組み合わせに対して色と位置、形と位置の組み合わせは反応とのマッピング学習が難しいことがわかった。このことから、刺激-反応連合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が示唆された。

そこで、実験 1B では、2 属性の組み合わせと反応のマッピング学習の困難さが、それらの属性が脳における 2 つの処理経路の一方で処理されるか、それぞれ異なる経路で処理されるかに依存するか検討した。実験では、色、位置、動きの組み合わせと反応のマッピング学習の難易度を調べた。その結果、同じ処理経路で処理される時空間的属性同士の 2 属性の組み合わせ（位置と動き）は、反応とのマッピング学習が容易にはならなかった。この結果は、同じ経路で処理される属性同士は反応とのマッピング学習が容易であるという可能性を支持しない。同じ処理経路で処理されるにも関わらず、時空間的属性同士の属性対では刺激-反応マッピング学習が容易にならない理由については、背側経路を詳細に見ると、1-2-3（視覚情報処理における基本的特徴次元）で述べたように、位置と動きで処理経路が分かれることが関係する可能性も考えられる。

以上のことから、刺激-反応連合の形成過程において位置（や運動）は、特別な役割や性質を持つ可能性が考えられる。例えば、図 2.1c で示した位置シングルトン仮説の

ように、物体識別属性は属性対を形成して反応と連合するのに対し、位置（や運動）は他の属性とは結合せずに単独の表現で反応と連合するモデルが考えられる。

ただし、今回の実験では、色と形は知覚にかかる時間が同等であるが、色・形、位置、動きは互いに知覚にかかる時間が異なっていた。属性の知覚時間が揃わないために、属性間の結合が困難で反応とのマッピング学習の成立が遅くなる可能性も考えられる。

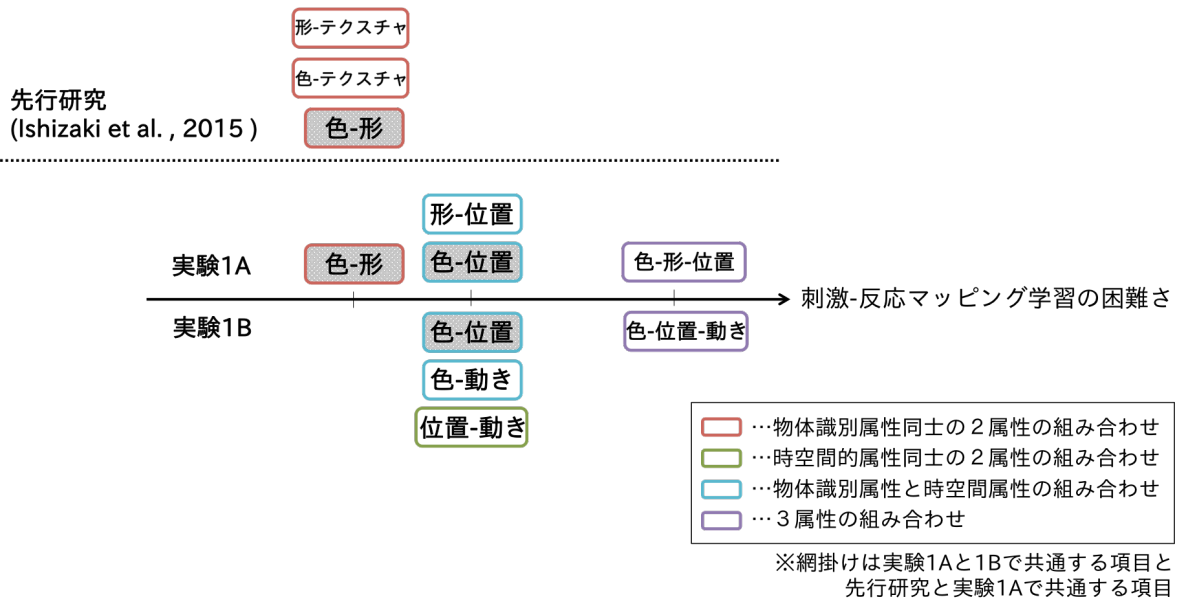


図 2.20 実験結果から想定される刺激-反応マッピング学習の難易度

第3章 刺激-反応マッピングにおける位置属性の 関与方式に関する実験的検討

実験 1A において、色と形の組み合わせと反応のマッピングよりも、色と位置、または形と位置の組み合わせと反応のマッピングは学習が難しいことがわかった。この難易度の差は、2属性の組み合わせが脳における2つの処理経路の一方で処理されるか、それぞれ異なる経路で処理されるかに依存しないことが示唆され、刺激-反応連合の形成過程において位置（や運動）は、特別な役割や性質を持つ可能性が考えられた。

しかし、これらのマッピングの学習直後における反応にかかる時間や反応の正確さを比較すると、色と形の組み合わせに基づく反応と、色と位置や形と位置の組み合わせに基づく反応では明確な差が見られなかった。この結果から、**学習成立後において**、「色と形の組み合わせと反応のマッピング」が、「色と位置、形と位置の組み合わせと反応のマッピング」と異なるメカニズムで働くという証拠は得られなかった。ただし、この一方で、同じメカニズムで成り立つことを証明するための明確な根拠はなく、反応にかかる時間や反応の正確さが同等だとしても、位置が色や形とは異なる方式や強固さで刺激-反応マッピングに関与する可能性も考えられる。そこで、本章では位置が具体的にどのような方式で刺激-反応マッピングの記憶に関与するか検討し、位置を含む視覚特徴の組み合わせと反応のマッピングは学習が困難なだけなのか、それとも**連合のメカニズム**が異なるのかを明らかにする。

視覚情報処理の基本的説明概念である特徴統合理論(Treisman, 1986)では、物体認知に関わる処理の初期過程において、物体の単純属性は、それぞれを専門に扱うモジュールで個別に抽出され、その**物体の位置**に視覚的な注意が向けられることで統合されるとされるように、一般に視覚情報処理において物体の位置は特別な役割や性質を持つ属性であると考えられている。しかし、視覚的記憶において、位置のこの特別な役割や性質が継続するか否かについては主に3つの仮説に分かれる(図 3.1)。第一の仮説として、Kahneman et al. (1992) のオブジェクトファイル理論がある。この理論では、物体の位置情報を基盤とし、その位置に由来する視覚特徴がひとまとまりになり記憶されるとしている。すなわち、位置属性が物体の一時的な記憶表象(オブジェクトファイル)にとって必要不可欠な情報であると考えており、このモデルに基づく、位置は課題に関係するかどうかに関わらず、何らかの形で統合表象に現れ、反

応と結びつくことが推測される。第二に、Hommel (1998, 2004)のイベントファイルモデルがある。このモデルでは、一時的な記憶において物体の複数の視覚特徴は全ての特徴をひとまとまりにした表現としてではなく、2特徴ずつ結合した表現（属性対表現）の集合として記憶されるとしている。これは、Morita et al. (2015)の対属性モデルと同様のアイデアである。そして、Hommel (1998, 2004)は、この統合表象において位置は特別な役割を持たず、他の属性と対等に結合して保持されるとしている。第三の仮説は、第一と第二の仮説の中間的な立場をとっており、位置は知覚プロセスにおいて重要な役割を担うが、視覚作業記憶にその結合表象がエンコードされた後はその役割を失うとしている (Logie, Brockmole & Jaswal, 2011; Saiki, 2016)。このような考えでは、視覚作業記憶において色と形の結合表象が位置に依存しない表現で保持されると考えられる。そうだとすれば、統合表象において、位置が色や形とは異なる性質を持つ可能性がある。例えば、位置シングルトン仮説のように、統合表象において色と形は結合して表現されるが、位置は単一の状態で表現される可能性が考えられる。

以上のように、現在のところ、一時的な視覚的記憶における位置の役割や性質に関するいくつかのモデルが考えられている。しかし、刺激-反応マッピングのように学習によって獲得される長期的な記憶における位置の役割や性質については明らかではない。そこで、第3章では、刺激-反応マッピングにおいて位置がどのような方式で関与するか明らかにすることを目的とする。これを検討することは、視覚運動マッピングのメカニズムおよび、視覚的記憶全般の性質を明らかにする上で重要であると考えられる。

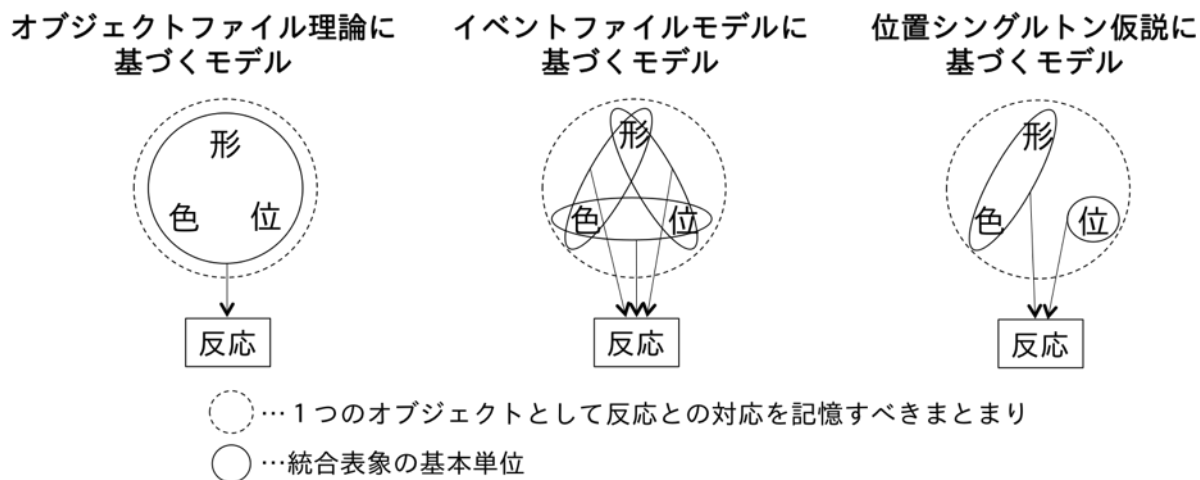


図 3.1 刺激-反応マッピング記憶における位置の関与方式に関するモデル

本章では次の2つの実験を示す。実験 2A では、色、形、位置の3属性の組み合わせで表現されるアイテムと反応のマッピングを学習した後、アイテムが持つ特徴を2属性ずつ、もしくは2属性と1属性に空間的に分けて提示し、学習が転移するか調べる。この実験により、位置が色や形と結合した表現で反応との連合が記憶されるか、それとも位置は単一の状態で反応との連合が記憶され得るかを検討する。実験 2B では、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後、3属性のうち1属性の特徴を変更し、どの属性を変更するかで再学習の困難さを比較する。この実験により、マッピング記憶における各特徴と反応の連合の強固さを比較する。

3-1. 実験 2A : 刺激-反応マッピング学習の転移

3-1-1. 目的

実験 2A の目的は、刺激-反応マッピングにおいて、位置と色や形が結合した表現で反応との連合が記憶されるかを検討することである。つまり、色と形の組み合わせと同じように、色と位置、形と位置の組み合わせについても、それぞれ結合されて属性対表現として記憶され、その表現と反応が連合されるかを調べる。実験では、色、形、位置の 3 属性の組み合わせで表現されるアイテムと反応の刺激-反応マッピングを学習し、その後行う転移テストで、学習段階で用いたアイテムの持つ特徴を 2 属性ずつ、もしくは 2 属性と 1 属性に空間的に分けて提示し、学習の転移の程度を調べた。このとき、転移テストにおいて学習段階で記憶された表現に合わせて視覚特徴が提示されれば、学習がよく転移するが、そうでなければ学習の転移が落ちると予測される。転移テストの提示条件は次の 3 つである(図 3.2 参照)。まず、**色-形・色-位置条件**では、色と形を組み合わせた刺激パターンと色と位置を組み合わせた刺激パターンが空間的に分けて提示される。この条件では、色-形の属性対と色-位置の属性対に基づき反応を引き起こすことができる。これに対し、**色-形・位置条件**では、色と形を組み合わせた刺激パターンと位置を表す刺激パターンが空間的に分けて提示される。この条件では、色-位置の属性対に基づき反応を引き起こすことができないが、色-形の属性対と位置単独表現に基づき反応を引き起こすことができる。そして、**形・色-位置条件**では、色と位置を組み合わせた刺激パターンと形を表す刺激パターンが空間的に分けて提示される。この条件では、色-形の属性対に基づき反応を引き起こすことができないが、形単独表現と色-位置属性対に基づき反応を引き起こすことができる。以上の 3 条件の学習の転移の程度を比較する。なお、これらの提示条件名の「-」は同じ提示窓内に提示される属性の組み合わせを、「・」は空間的に分離されることを示す。

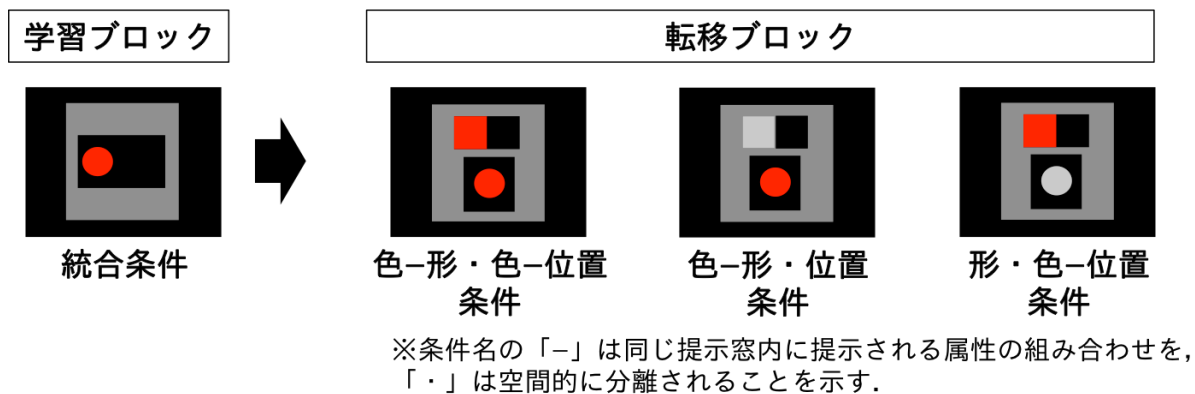


図 3.2 実験 2A における刺激特徴の提示条件

もしも、色、形、位置の組み合わせの刺激-反応マッピングにおける特徴の統合表象が、オブジェクトファイル理論のように、同じ位置に由来する特徴の集合として表現され、それを基本単位として反応と結びつくのであれば、上記の3つの刺激提示条件では、特徴が2つの刺激パターンに空間的に分かれて提示されるため、基本単位である全属性の統合表現を利用できず、あまり良く学習が転移しないと予測される(図 3.3a)。そして、条件間で転移の程度に差はないと予測される。

これに対し、イベントファイルモデルや対属性仮説のように、2特徴の結合表現(属性対表現)が反応との連合の基本単位となるのであれば、2つの属性対表現を基に反応を引き起こすことができる色-形・色-位置条件で転移の程度が高いと考えられる。これに対して、1つの属性対表現と単一の位置特徴の組み合わせを基に反応を引き起こす、色-形・位置条件と形・色-位置条件では転移の程度が落ちると予測される(図 3.3b)。ただし、対属性仮説に当てはまるとしても、位置が色や形と結合した表現を形成しないならば(位置シングルトン仮説)、色-形の属性対表現と位置単独から反応を引き起こす色-形・位置条件の転移の程度は良いが、色-位置の属性対表現と形単独から反応を引き起こす形・色-位置条件では転移の程度が落ちると予測される(図 3.3c)。

	学習時 (統合条件)	色-形・色-位置 条件	色-形・位置 条件	形・色-位置 条件
提示刺激				
a. 全属性仮説 に基づく結果予測	記憶表現 	結果予測 		
		学習の転移が悪い		
b. 対属性仮説 に基づく結果予測	記憶表現 			
		学習の 転移が良い	学習の転移が落ちる	
c. 位置シングルトン 仮説 に基づく結果予測	記憶表現 			
		学習の転移が良い		学習の 転移が落ちる

↓ ● ■ (黄色で着色した部分) … 提示刺激により活性化される表現や連合

○ … 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 3.3 仮説に基づいた実験 2A の結果予測

3-1-2. 方法

3-1-2-a. 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 19～27 歳の 24 名が実験に参加した。実験参加者は全員、これまで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。

3-1-2-b. 実験環境

実験 1A, 1B と同様である。

3-1-2-c. 刺激

アイテム提示画面の一例を図 3.2 に示す。黒色（輝度 0.0 cd/m^2 ）で塗りつぶされたディスプレイ画面の中央に、一辺の長さが視角にして 5.05° の灰色（輝度 0.5 cd/m^2 ）の正方形を配置し、その正方形の範囲内に刺激提示窓（内部は輝度 0.0 cd/m^2 の黒色で塗りつぶされている）を配置した。学習ブロックの刺激提示窓は、大きさが視角にして $1.65^\circ \times 3.45^\circ$ の長方形が 1 つで、転移ブロックの刺激提示窓は、大きさが視角にして $1.25^\circ \times 2.50^\circ$ の長方形 1 つとその下に大きさが視角にして $1.65^\circ \times 1.65^\circ$ の正方形 1 つが配置された。

学習ブロックで用いた刺激は、色属性が赤または緑（輝度 5.7 cd/m^2 ）、形属性が丸または三角形（おおよその大きさが視角にして 1.4° ）、位置属性が長方形の刺激提示窓の右または左に提示されるという特徴を排他的に組み合わせて作成した 8 種類のアイテムである。位置属性は、図形の中心が、提示窓の中央から右または左に視角にして 0.95° の距離とした。これを**統合条件**の刺激とする（図 3.4）。なお、本実験で用いた色属性の特徴は実験 1A, 1B と同じであるが、形属性と位置属性の特徴は異なる。

転移ブロックでは、学習ブロックで用いた 8 種類の刺激を、次のように変形して用いた。色-形・色-位置条件では、色と形を組み合わせた刺激パターンを正方形の提示窓中央に表示し、上の長方形の提示窓の左右どちらか半分を色特徴で塗りつぶすことにより、色と位置を組み合わせた刺激パターンを表示した。これと同じように、色-形・位置条件では、色と形を組み合わせた刺激パターンを正方形の提示窓に表示し、上の長方形の提示窓の左右どちらか半分を灰色（輝度 5.7 cd/m^2 ）に塗りつぶすことにより、位置を表した。また、形・色-位置条件では、灰色（輝度 5.7 cd/m^2 ）の形を正方形の提示窓に表示し、上の長方形の提示窓の左右どちらか半分を色特徴で塗りつぶすことによって色と位置を組み合わせた刺激パターンを表示した。

3-1-2-d. 手続き

本実験では、2種類の課題を行った。まず、8種類の刺激と4つの反応キーの対応づけをする**刺激-反応マッピング課題**を行い、次に刺激-反応マッピング課題で用いた刺激を用いた**ターゲット検出課題**を行った。

刺激-反応マッピング課題：1試行の流れ（図 3.5）は、実験 1A, 1B と比べてアイテムの提示方法や注視点の有無、フィードバックの与え方、制限時間の制御方法が異なる。まず、画面に提示窓のみが表示されるブランク画面が 1000ms 表示され、その後、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、学習ブロックでは1つの提示窓に、転移ブロックでは2つの提示窓に分けて提示される。実験参加者には、アイテムが提示されたら、反応として4つのキーのうち1つをなるべく素早くかつ正確に押すよう指示した。このとき、反応の制限時間は常に 2000ms であった。反応が正解であれば試行が終了し、次の試行に進む。不正解の場合には 400Hz のブザー音が、制限時間内に反応できなければ 900Hz のブザー音がそれぞれ 150ms 鳴り、正解キーを示すイラストが画面中央に表示される。このイラストでは、図 3.5 の「正答提示画面」に示した通り、入力装置の4つのボタンを表す4つの四角形を縦並びで配置し、そのうち正解ボタンだけを明るい灰色で着色することにより正答を示した。実験参加者は正解キーのイラストを見たらなるべく早く正解キーを押すように求められた。正解キーが押されると、イラストが消えて次の試行が始まる。なお、この1試行の流れは学習ブロックと転移ブロックで共通している。

アイテムと正解キーの対応関係は、8つのアイテムを2つずつのグループに分け、それぞれに対して反応キーを1つずつ割り振ることで設定した。この対応関係の4つのグループは、すべて実験 1A, 1B において3属性アイテムとされたものとした。つまり、3属性すべてにおいて互いに異なる特徴を持つもの同士が同じアイテムセットになるように分けている(図 3.4)。

統合条件の アイテム	特徴の組み合わせ			反応	統合条件の アイテム	特徴の組み合わせ			反応
	色	形	位置			色	形	位置	
	緑	円	左	A key		円	右	B key	
	赤	三角	右			三角	左		
	緑	円	右	C key		円	左	D key	
	赤	三角	左			三角	右		

図 3.4 実験 2A の刺激特徴と正解キーの対応関係の一例

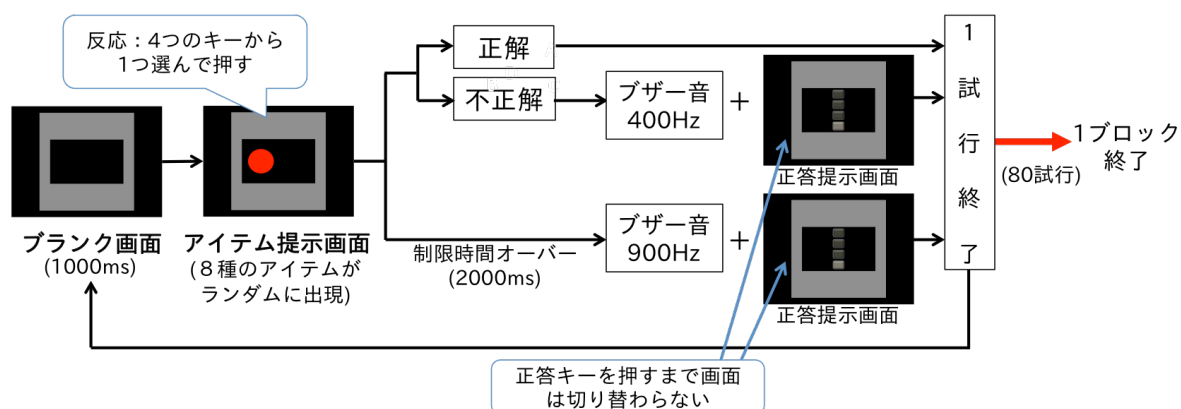


図 3.5 実験 2A 刺激-反応マッピング課題の手続き

ターゲット検出課題：刺激-反応マッピング課題の学習ブロックと転移ブロックにおける**全4つの提示条件**で用いた刺激アイテムを用いてターゲット検出課題を行った。課題の最初に、8種類のアイテムうち1つがターゲットとして指定され、反応キーのうち1つ（刺激-反応マッピング課題で用いたテンキーパッドの「1」キー）が反応キーとして指定される。どのアイテムがターゲットにな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ている。一試行の流れを、図 3.6 に示す。まず、1000ms のブランク画面が提示され、その後、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。実験参加者には、ターゲットが提示されたときのみ、できるだけ早く正確に反応キーを押すよう要求した。ターゲットではない刺激に対して反応キーを押した場合は 400Hz のブザー音が、ターゲットが提示されても 1000ms 以内に反応キーを押せなかった場合には 900Hz のブザー音がそれぞれ 150ms 鳴る。正しい反応をした後、またはブザー音が鳴り終わった後に刺激が消え、次の試行が始まる。

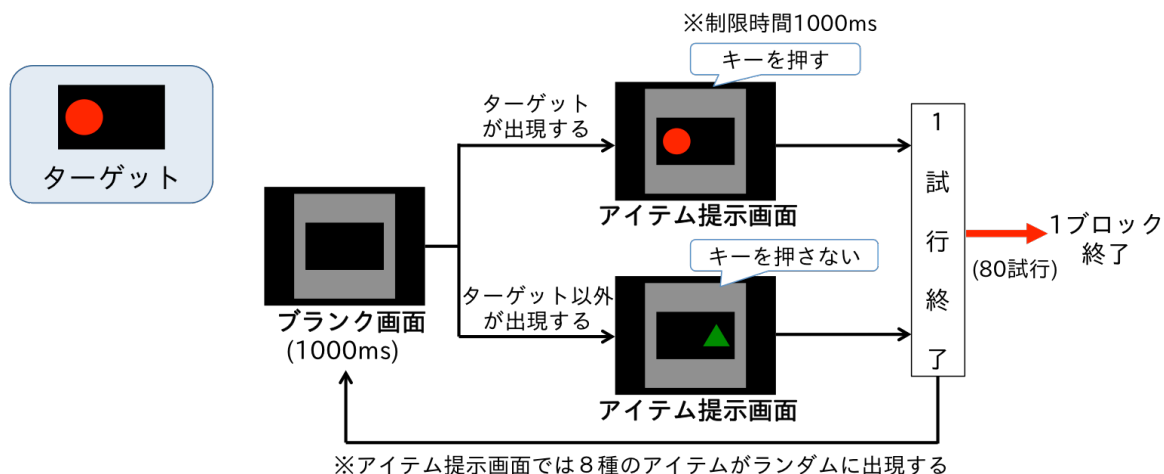


図 3.6 実験 2A ターゲット検出課題の手続き

3-1-2-e. デザイン

実験デザインを表 3.1 に示す。はじめに、刺激-反応マッピング課題を行い、その後ターゲット検出課題を行った。

刺激-反応マッピング課題：学習ブロックとして、統合条件の刺激を用いて 8 試行の練習試行（各アイテムにつき 1 試行）を行った後、最大 13 ブロックの本試行を行った。1 ブロックは、実験 1A, 1B 同様、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。刺激の提示順序については、実験 1A, 1B と同様の方法で擬似ランダムに並べ替えた。1 ブロックの正答率が 80% を超えるまでのブロックを試行錯誤段階とし、超えたブロックから繰り返し練習段階とした。この繰り返し練習段階を 5 ブロック行くと学習ブロックは終了となる。ただし、学習ブロックの総数を 13 ブロック以下としており、第 9 ブロックまでに正答率が 80% を超えなかった実験参加者は、繰り返し練習フェーズのブロック数が 5 ブロックに満たなかった。

学習ブロック終了後に行う転移ブロックは、色-形・形-位置条件、色-形・位置条

件、形・色-位置条件の各条件につき2ブロックずつ行った。各条件の第1ブロックの前に8試行の練習試行を行った。条件の順序は実験参加者間で異なり、カウンターバランスをとった。

ターゲット検出課題：刺激-反応マッピング課題の終了後、ターゲット検出課題を行った。この課題では、4通りの刺激条件（統合条件、色-形・色-位置条件、色-形・位置条件、形・色-位置条件）のそれぞれについて練習試行8試行と本試行1ブロックを行った。なお、1ブロックは刺激-反応マッピング課題と同じく、80試行で構成されている。

休憩の配置は次の通りである。刺激-反応マッピング課題の学習ブロックでは5ブロックごとに5分間の休憩を挟み、終了後に10分間の休憩を設け、転移ブロックでは2ブロックごとに3分間の休憩を挟み、終了後に10分間の休憩を設けた。ターゲット検出課題については2ブロックごとに3分間の休憩を挟んだ。

表 3.1 実験 2A の実験デザイン

		ブロック数	1試行の反応にかかる制限時間	備考	
↓	刺激-反応マッピング課題	学習ブロック	最大13 (統合条件)	あり (2000ms)	5ブロックごとに5分間の休憩
		休憩 (10分間)			
	転移ブロック	6 (転移ブロックの各提示条件につき2ブロック)	あり (2000ms)	2ブロックごとに3分間の休憩	
休憩 (10分間)					
	ターゲット検出課題	4 (すべての提示条件につき1ブロック)	あり (1000ms)	2ブロックごとに3分間の休憩	

3-1-3. 結果

24名の参加者のうち2名は、刺激-反応マッピング課題の転移ブロックの1つ以上のブロックにおいて、正答率が全実験参加者の平均値から標準偏差の3倍以上離れており、全体の反応傾向から大きく外れるため結果から除外した。

3-1-3-a. 刺激-反応マッピング課題の学習の推移

刺激-反応マッピング課題における学習ブロックの学習の推移について検討する。本実験のデザインは、実験参加者の学習の進み具合により学習ブロックの総ブロック数が異なっている。そのため、実験 1A のように単純にブロックごとの平均値を比較することができない。そこで、vincent 法を用いて学習の推移を調べた。vincent 法は、学習進度がそれぞれに異なる実験参加者の全体的な学習傾向を示すために用いられる分析手法である（心理学実験指導研究会, 1985）。vincent 法では、まず一律の学習達成目標をたて、その学習達成目標に達するまでの個々の実験参加者の学習曲線を一定数の期間に分け、期間ごとの平均値を求めることにより、vincent 曲線という学習曲線を作る手法である。これにより、学習進度の個人差に影響されることなく実験参加者全体の学習傾向を調べることができる。本実験では、学習達成目標を学習ブロック終了時とし、vincent 法により学習初期、中期、後期という3つの期間に分け、その平均値を比較する。図 3.7 に学習ブロックの vincent 曲線を示す。

学習ブロックの学習の推移について統計的検討をするために、vincent 法を用いて算出した期間ごとの平均正答率について、学習期間（初期、中期、後期の3水準）を要因とする実験参加者内1要因の分散分析を行ったところ、学習期間の主効果が有意であった（ $F(1.38, 29.02) = 206.78, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .91$ ）。そこで、多重比較を行うと、すべての学習期間の間に有意差が見られた（初期と中期： $p < .001, d = 2.27$ 、初期と後期： $p < .001, d = 3.68$ 、中期と後期： $p < .001, d = 1.13$ ）。つまり、初期、中期、後期と試行が進むにつれて、正答率が高くなったことがわかる。

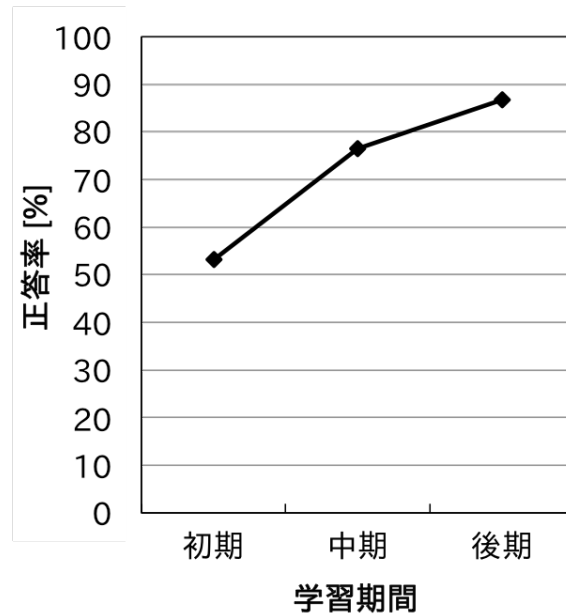


図 3.7 実験 2A 刺激-反応マッピング課題における
学習ブロックの正答率の Vincent 曲線

3-1-3-b. 刺激-反応マッピング課題の転移ブロックにおける正答率

図 3.8 に学習ブロックの最終ブロックと転移ブロックの正答率を示す。図 3.8 のグラフから、学習ブロックがおおよそ 88% の正答率であるのに対し、転移ブロックのどの提示条件でも第 1 ブロックの平均正答率が 80% を超えていることから、かなりよく学習が転移していることが見てとれる。

転移ブロックの正答率が提示条件間で異なるか検討するために、転移ブロックの正答率について、提示条件（色-形・色-位置条件，色-形・位置条件，形・色-位置条件の 3 水準）とブロック（転移第 1 ブロックと転移第 2 ブロックの 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った。その結果，提示条件の主効果が有意傾向で ($F(2, 42) = 2.58, p = .09, \text{partial } \eta^2 = .11$)，ブロックの主効果が有意であり ($F(1, 21) = 6.21, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .23$)，それらの交互作用も有意傾向であった ($F(1.48, 31.10) = 3.22, p = .07, \text{partial } \eta^2 = .13$)。交互作用が有意傾向であったため下位検定を行うと，色-形・色-位置条件，色-形・位置条件においてはブロックの単純主効果が有意ではなかったが(色-形・色-位置条件： $F(1, 21) = 1.35, p = .26, \text{partial } \eta^2 = .06$ ，色-形・位置条件： $F(1, 21) = 0.19, p = .67, \text{partial } \eta^2 = .01$)，形・色-位置条件においては有意であった($F(1, 21) = 9.27, p < .01, \text{partial } \eta^2 = .31$)。つまり，形・色-位

置条件のみ転移ブロックの2ブロック間で学習が進んだことがわかる。また、第1ブロックにおいて提示条件の単純主効果が有意であったが ($F(2, 20) = 5.42, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .35$), 第2ブロックにおける提示条件の単純主効果は有意ではなかった ($F(2, 20) = 0.28, p = .76, \text{partial } \eta^2 = .027$)。そこで、第1ブロックについて提示条件間の多重比較をすると、色-形・位置条件と形・色-位置条件の間に有意差が見られたが ($p < .05, d = 0.49$), 色-形・色-位置条件と形・色-位置条件の間や色-形・色-位置条件と色-形・位置条件の間には有意な差が見られなかった。つまり、転移第1ブロックにおいて形・色-位置条件は色-形・位置条件よりも有意に正答率が下がった。

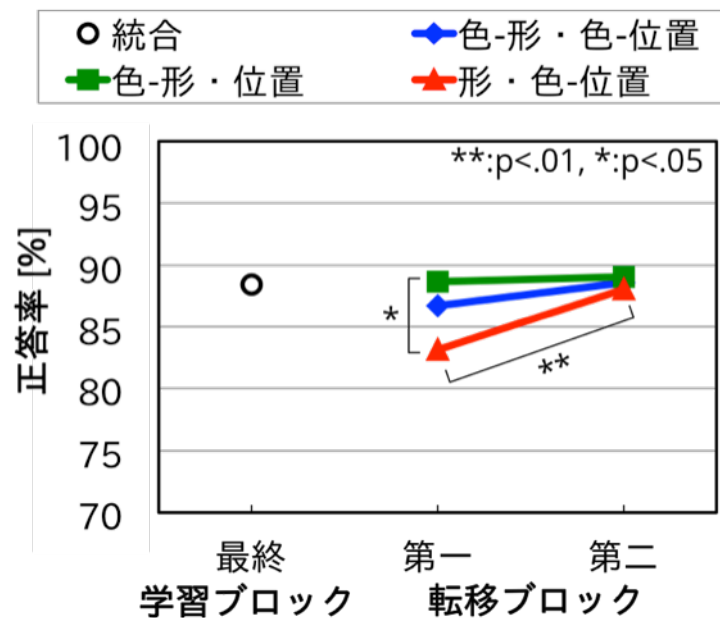


図 3.8 実験 2A 刺激-反応マッピング課題の学習最終ブロックと転移ブロックの正答率

3-1-3-c. 刺激-反応マッピング課題の転移ブロックにおける正答率の変化量

各提示条件における学習の転移が完全であったか不完全であったかを直接的に検討するため、各提示条件の転移第1ブロックの正答率から学習最終ブロックの正答率を引いた値を正答率の変化量として図 3.9 に示す。なお、この値の標準誤差をグラフのエラーバーに示す。

転移第1ブロックの各提示条件における正答率が学習最終ブロックから有意に低下したか調べるために、転移ブロックにおける3つの提示条件の正答率の変化量について

それぞれ0との1サンプルの t 検定を行う。この変化量が0ではなく、低下していることが認められれば、学習ブロックから転移ブロックにかけて有意に正答率が低下したと言える。

t 検定の結果、色-形・色-位置条件や色-形・位置条件は有意差が見られなかったが（色-形・色-位置条件： $t(21) = -0.8, p = .43, r = .17$, 色-形・位置条件： $t(21) = 0.15, p = .89, r = .03$ ）、形・色-位置条件のみ有意差が見られた（ $t(21) = -2.14, p < .05, r = .42$ ）。このことから、形・色-位置条件のみ、学習ブロックに比べて転移ブロックで正答率が下がったことがわかる。

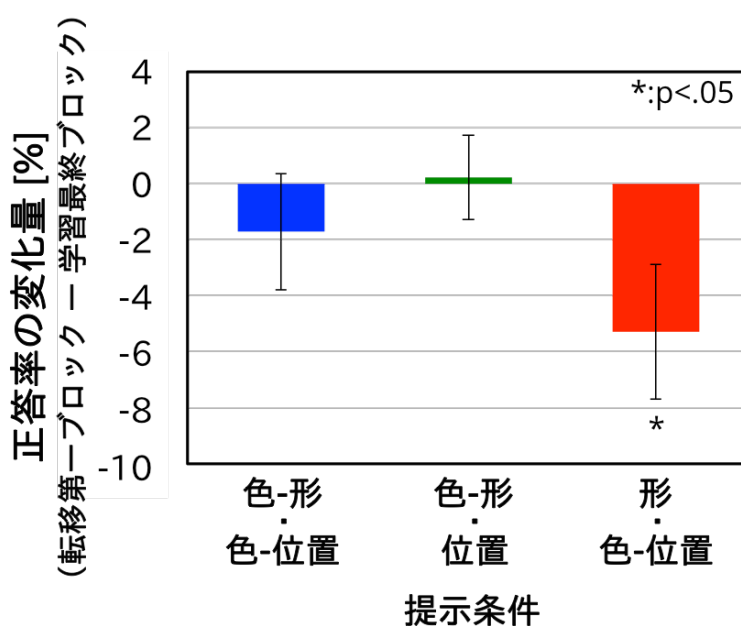


図 3.9 実験 2A 刺激-反応マッピング課題の
転移ブロックにおける正答率の変化量

3-1-3-d. ターゲット検出課題の反応時間とターゲット検出精度

本実験では提示条件ごとに（学習ブロックの統合条件，転移ブロックの色-形・色-位置条件，色-形・位置条件，形・色-位置条件）刺激特徴の提示形式が異なるため，刺激特徴の知覚にかかる時間に差がある可能性がある。そこで，提示条件間のターゲット検出課題の反応時間を比較した（図 3.10a）。なお，図 3.10a では，この値の標準誤差をグラフのエラーバーに示す。ターゲット検出課題の反応時間について，提示条件（統合条件，色-形・色-位置条件，色-形・位置条件，形・色-位置条件の4水準）

を要因とする 1 要因の分散分析を行った。その結果、提示条件の主効果が有意であった($F(1.99, 41.94) = 10.69, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .34$)。多重比較をすると、統合条件はその他の提示条件に比べて検出時間が有意に短かった(統合条件と色-形・色-位置条件： $p < .05, d = 0.74$, 統合条件と色-形・位置条件： $p < .05, d = 0.84$, 統合条件と形・色-位置条件： $p < .001, d = 1.07$)。

また、提示条件間で検出精度に差がなかったか確認するために、ターゲット検出課題の d' (図 3.10b) について、反応時間と同じように提示条件 (4 水準) を要因とする 1 要因の分散分析を行った。 d' とは、信号検出理論による、刺激の純粋な検出力の指標である(岡本, 2014)。分散分析の結果、提示条件の主効果は有意ではなく($F(3, 63) = 0.32, p = .81, \text{partial } \eta^2 = .02$)、どの提示条件でも同じ正確さでターゲット刺激を検出することができることがわかる。

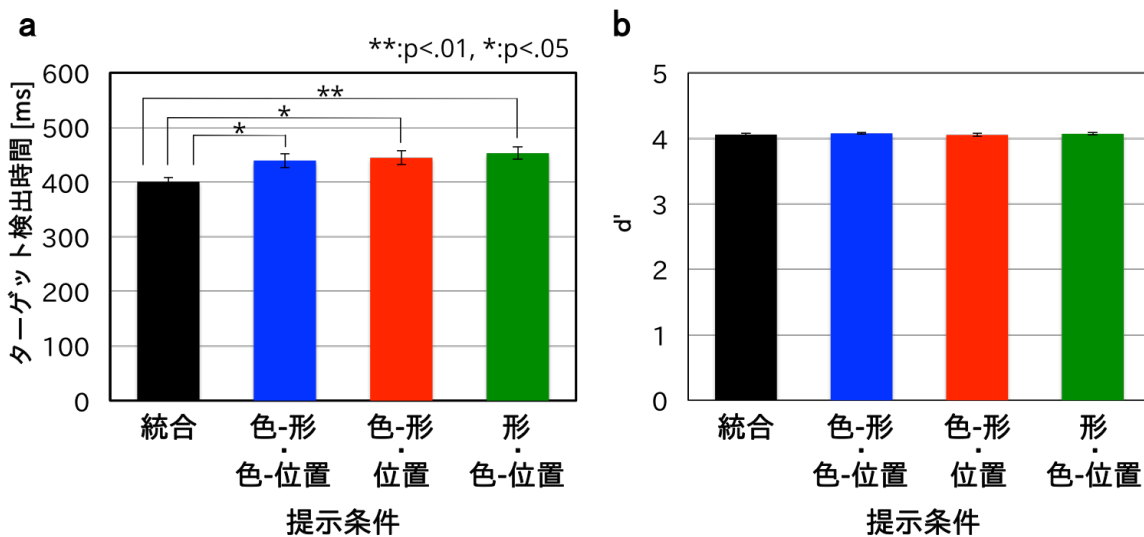


図 3.10 (a)実験 2A ターゲット検出課題の反応時間と (b) ターゲット検出精度 d'

3-1-3-e. 刺激-反応マッピングの転移ブロックにおける反応選択時間

3-1-3-d (ターゲット検出課題の反応時間とターゲット検出精度) で示した通り、提示条件間で刺激特徴の知覚にかかる時間に差があった。そこで、各実験参加者の刺激-反応マッピング課題の反応時間からターゲット検出時間を差し引いた時間を計算し、それを反応選択時間とした。

図 3.11 に学習ブロックの最終ブロックと転移ブロックの反応選択時間を示す。転移ブロックの反応選択時間が提示条件間で異なるか検討するために、転移ブロックの反

応選択時間について、提示条件（3水準）とブロック（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った。その結果、ブロックの主効果が有意であったが($F(1, 21) = 7.3, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .26$)、提示条件の主効果とそれらの交互作用は有意でなかった（提示条件： $F(2, 42) = 0.31, p = .73, \text{partial } \eta^2 = .02$ 、交互作用： $F(2, 42) = 0.36, p = .70, \text{partial } \eta^2 = .02$ ）。したがって、転移ブロックでは、2ブロック間で反応選択時間が短縮したが、提示条件間の差はないことがわかる。

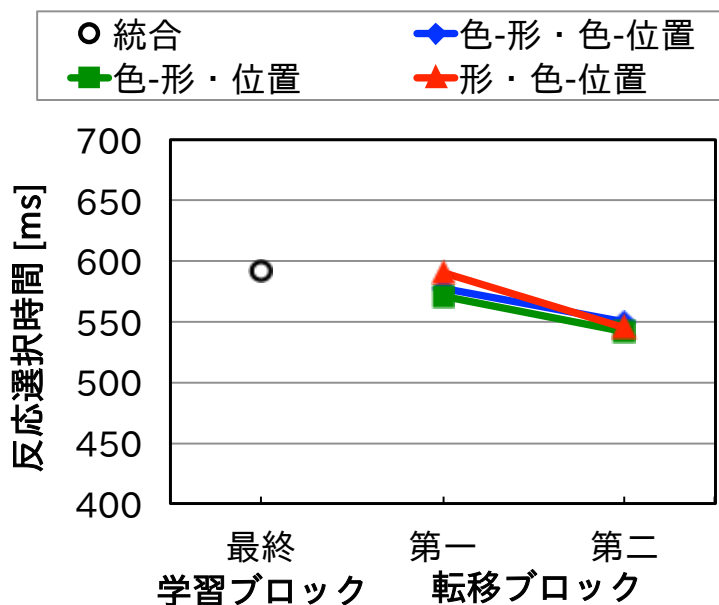


図 3.11 実験 2A 刺激-反応マッピング課題の学習最終ブロックと転移ブロックの反応選択時間

3-1-3-f. 刺激-反応マッピングの転移ブロックにおける反応選択時間の変化量

各提示条件の転移第1ブロックの反応選択時間から学習最終ブロックの反応選択時間を引いた値を、反応選択時間の低下量として図 3.12 に示す。なお、この値の標準誤差をグラフのエラーバーに示す。

転移ブロックにおける3つの提示条件の反応選択時間の変化量についてそれぞれ0との1サンプルの t 検定を行う。その結果、どの提示条件においても有意差がなかった(色-形・色-位置条件： $t(21) = -0.55, p = .59, r = .12$ 、色-形・位置条件： $t(21) = -0.83, p = .42, r = .18$ 、形・色-位置条件： $t(21) = -0.09, p = .93, r = .02$)。このことから、どの提示条件でも学習最終ブロックと変わらない速さで反応を選択できることがわかる。

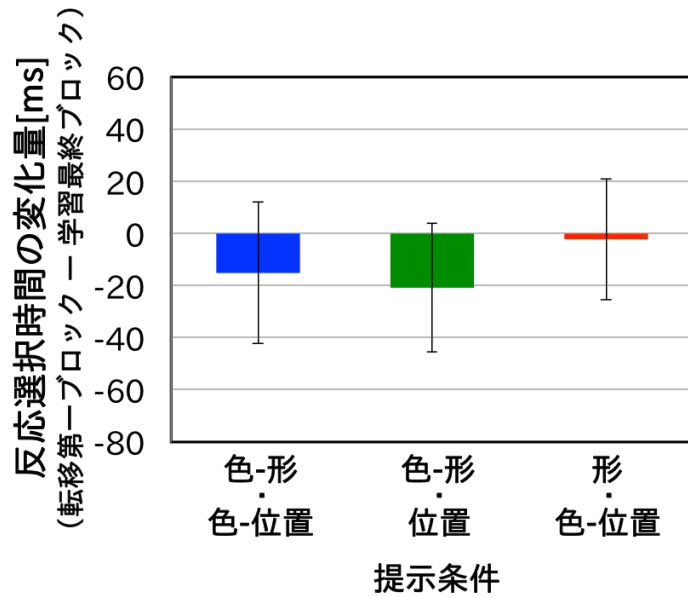


図 3.12 実験 2A 刺激-反応マッピング課題の
転移ブロックにおける反応選択時間の变化量

3-1-4. 考察

まず, vincent 法を用いて算出した学習ブロックの 3 つの期間の正答率を比較すると, 全ての期間の間に有意差が見られた. 正答率が, 学習初期よりも中期, 後期の方が高く, 中期よりも後期の方が正答率が高かったことから, 学習がなされたと言える.

そして, 学習ブロックの最終ブロックでは正答率がおおよそ 88%程度であるのに対し, 転移ブロックのどの提示条件においても, 第 1 ブロックから平均正答率がすでに 80%を超えていた. このことから, 学習ブロックで学習したことが, 転移ブロックのどの提示条件でも良く転移したと考えることができる. 転移ブロックでは, 3 つの特徴が 2 特徴ずつ, あるいは 2 特徴と 1 特徴に空間的に分けて提示されるため, 3 特徴をひとまとまりにした統合表現を基に反応を引き起こすことが難しいと予測される. しかし, どの提示条件でも転移がある程度良かったため, この結果は同じ位置に由来する視覚特徴がひとまとまりで一時的に記憶されるとするオブジェクトファイル理論では説明することができない. 一方で, この結果は 2 特徴の結合表現を基本単位として記憶されると考えるイベントファイルモデルや対属性モデルを支持する結果と言える. ただし, これらのモデルに基づく予想では, 位置は他の属性と対等に結合すると考えるため, 2 つの属性対表現を基に反応を引き起こすことができる色-形・色-位置

条件で転移の程度が高く，1つの属性対と単一の1特徴の組み合わせを基に反応を引き起こすことになる提示条件（色-形・位置条件と形・色-位置条件）では転移の程度が落ちると考えられた．しかし，実際の実験結果では，確かに形・色-位置条件では転移第1ブロックの正答率が学習最終ブロックに比べて有意に低下したが，色-形・位置条件では低下しなかった．つまり，形を単独で提示すると（形・色-位置条件），学習の転移の程度は落ちるが，位置を単独で提示しても（色-形・位置条件），学習の転移の程度は落ちないことがわかった．位置が単独でも学習ブロックと同様に反応を引き起こすことができるということから，学習段階において位置はもともと単独の表現で記憶されている可能性が示唆される．一方で，形については単独だと学習ブロックよりも反応想起の割合が落ちることから，もともと単独の表現では記憶されておらず，色と結合した属性対表現として記憶されることが示唆された．すなわち，色と形に比べて位置は刺激-反応マッピングへの関与の方式が異なると考えられる．

なお，位置属性の特徴に関しては，学習ブロックと転移ブロックで提示枠内における相対的位置は同じであるが，絶対的位置は異なって提示されたが，視覚運動マッピングでは，相対的位置で位置特徴が表現されると考えられるため問題ないと考えた．また，実験参加者には，実験前の教示として「位置は提示枠内の右か左かという特徴」と説明している．そして，実験後のアンケートにおいて，位置特徴の絶対的位置が異なることにより，転移ブロックにおいて位置特徴が学習ブロックと対応したものとして認識しづらかったという報告はなかった．実験結果を見ても，特に色-形・色-位置条件や色-形・位置条件で非常に良く学習が転移しており，位置特徴の絶対的位置が異なることで反応を生起しづらくなったという可能性は考えにくい．

形・色-位置条件では，転移第1ブロックで転移の程度が落ちたが，第2ブロックでは正答率が上がり，色-形・色-位置条件や形・色-位置条件と同等の正答率になった．このことから，形・色-位置条件では，学習ブロックで反応を引き起こす表現として学習された色と形の属性対表現ではなく，形単独の表現に基づいて反応を想起することが学習される可能性が考えられる．また，形・色-位置条件では，転移の程度が落ちたと言っても，転移第1ブロックから正答率が80%を超えていた．このことから，元々，形単独の表現と反応の連合もわずかに学習されており，この記憶痕跡を利用して転移ブロックで学習が進んだ可能性が考えられる．つまり，主要な連合経路として，色-形属性対と反応の連合や，位置単独表現と反応の連合が強固に学習されているが，この連合経路がノイズなどの影響で用いられない場合に使用される代替経路（今回の場合は形単独表現と反応の連合）が存在する可能性を否定することはできない．

3-1-5. まとめ

本実験では、刺激-反応マッピングの記憶において、位置が色や形と結合した表現として反応と連合するかを検討した。検討方法としては、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後、刺激特徴を2属性ずつ、もしくは2属性と1属性に空間的に分けて提示し、学習が転移するか調べた。

実験の結果、色と形を組み合わせた刺激パターンと、色と位置を組み合わせた刺激パターンを空間的に分けて提示した色-形・色-位置条件や、色と形を組み合わせた刺激パターンと、位置単独の刺激パターンに空間的に分けて提示した色-形・位置条件では非常に良く学習が転移したのに対し、形単独の刺激パターンと、色と位置を組み合わせた刺激パターンに空間的に分けて提示した形・色-位置条件では転移の程度が下がった。このことから、色、形、位置の組み合わせ刺激と反応のマッピングにおいて、色と形は結合した属性対の表現と反応の連合として記憶されるが、位置は単独の表現で反応との連合が記憶され得ることが示唆された。

ただし、本実験では転移ブロックにおいて色と位置を組み合わせた刺激パターンや色と形を組み合わせた刺激パターンを用いたが、形と位置を組み合わせた刺激パターンについては検討しなかった。そのため、厳密に言えば、本実験は形と位置の結合がされていないことを直接検証するデザインにはなっていないが、位置が単独で反応と連合し得ると考えられることから、図 3.13 のような連合で3属性からなる組み合わせと反応の連合が表現されるとするモデルが最も単純に結果を説明できると考えられる。ただし、位置を形から空間的に分離して提示しても転移が落ちないことを調べることを今後の課題とする。

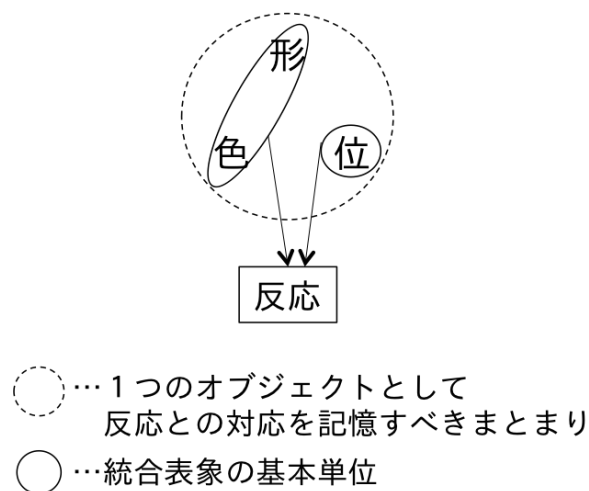


図 3.13 刺激-反応マッピングにおける位置の記憶表現モデル

3-2. 実験 2B：刺激-反応マッピングにおける特徴変更後の再学習

3-2-1. 目的

実験 2A では、色、形、位置の 3 属性の組み合わせと反応のマッピングにおいて、位置を色と形の組み合わせと分離して提示しても学習が転移したことから、位置は単独の表現で反応と連合し得る可能性が示唆された。しかし、転移ブロックのどの提示条件でも転移は比較的良く、条件間の差があまり大きくなかったことから、マッピングへの位置属性の関与についてさらに検討する必要がある。

そこで、本実験では色、形、位置の各特徴と反応の連合の強固さを比較することにより、色、形と位置の連合への関与の違いを検討する。実験では色、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後、刺激アイテムの色、形、位置のいずれかの**特徴値を交換して再学習を行い**、どの属性の特徴値を交換したかにより再学習の困難さに違いが見られるかを調べた。

もしも、オブジェクトファイル理論の基本的な考えのように、位置が基盤となり特徴の統合表現が形成されるのであれば、色、形、位置の 3 属性の組み合わせと反応のマッピングにおいて位置の特徴を交換すると、他の属性の特徴を変更した場合よりも再学習が難しいと予測される。一方で、位置シングルトン仮説のように、位置が付加的に特徴の統合表象に加わる場合は、位置特徴を交換した場合に、他の属性の特徴を変更した場合よりも刺激-反応マッピングの再構築が容易である可能性もある。

3-2-2. 方法

3-2-2-a. 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 60 名が実験に参加した。色交換条件は 18～28 歳の 20 名、形交換条件は 18～24 歳の 20 名、位置交換条件は 18～27 歳の 20 名が参加した。実験参加者は全員、これまで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。

3-2-2-b. 実験環境

実験 1A, 1B, 2A と同様である。

3-2-2-c. 刺激

実験 2A のような刺激提示窓は設けられず、実験 1A や 1B と同様に、黒色のディスプレイ画面上にアイテムが提示された。

刺激は、色、形、位置属性の特徴を組み合わせることで作成した 8 種のアイテムである。使用した特徴は、実験 2A と概ね同じであるが、本実験では実験 2A のような提示窓がないため、位置属性の特徴が異なり、画面中心から右または左に視角にして 2.45° の位置とした（相対的位置としては画面中央に表示される注視点の右か左という特徴）。

3-2-2-d. 手続き

実験 2A と概ね同じ手順の刺激-反応マッピング課題を行った。学習ブロックと再学習ブロックの 1 試行の流れは同じである。反応にかかる制限時間が正答率により変化する点とフィードバックの与え方が実験 2A とは異なる。制限時間の初期設定は実験 2A と同じく 2000ms であるが、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% 縮め、70% 未満の場合は 3% 延長するように制御した。ただし、制限時間は 1300ms よりは短くならないようにした。このような設定は、実験 1A の制限時間の制御方法よりも緩い制御である。なぜなら、実験 1A で明らかになったように、各アイテムセット間では学習の進行に差があるため、全体的な正答率が高くなり制限時間が短くなった場合に、学習の進行が遅いアイテムセットで特に制限時間内に反応をするのが難しくなる可能性を防ぐためである。なお、制限時間は学習ブロックと再学習ブロックで同じように制御しており、再学習ブロック第 1 ブロック目は初期設定 2000ms から開始される。また、刺激提示前に画面中央に注視点としてプラス記号が 1000ms 表示された。

また、実験 2A と同様の方法で不正解の場合と制限時間内に反応できない場合にはブザー音が 150ms 鳴り、正解キーを示すイラストが画面中央に表示され、実験参加者はこの正解キーのイラストを見たらなるべく早く正解キーを押すように求められた。実験 2A と異なる点として、このとき、正解キーのイラストは 500ms 間だけ提示し、イラストが提示されてから 2000ms 以内に正解キーを押せない場合には画面が切り替わり、次の試行が始まる。

アイテムと正解キーの対応関係は、実験 1A と同じ方法で設定しており、対応関係の種類は、2 つの属性の特徴の組み合わせを反応と対応づける 2 属性アイテム（色-形セット、形-位置セット、色-位置セット）と 3 つすべての属性の特徴の組み合わせ

を反応と対応づける3属性アイテム(3属性セット)を設けている。図3.14に、この対応関係の一例を示す。

再学習ブロックでは、色、形、位置の3属性のうち1つの特徴が交換される(図3.15)。例えば、色交換条件では、アイテムが持つ視覚特徴と反応の対応関係における赤と緑を交換する。それにより、色-形セットのアイテムは、赤の三角形から緑の三角形へと変わり、形-位置セットのアイテムは色を交換しても構成する図形は変わらない(このように学習ブロックと再学習ブロックでセット内のアイテムが変わらないセットを**不変セット**と呼ぶ)。そして、色-位置セットは、緑の図形が左という組み合わせから赤の図形が左という組み合わせに変わる。3属性セットのアイテムは、赤の丸が左という特徴組み合わせと緑の三角が右という特徴組み合わせから、緑の丸が左という特徴組み合わせと赤の三角形が左と言う特徴組み合わせに変わる。

なお、実験参加者は、再学習ブロックを行う前にアイテムと正解キーの関係が一部変更されることは知らされたが、どのように変更されるかという情報は一切知らされていなかった。

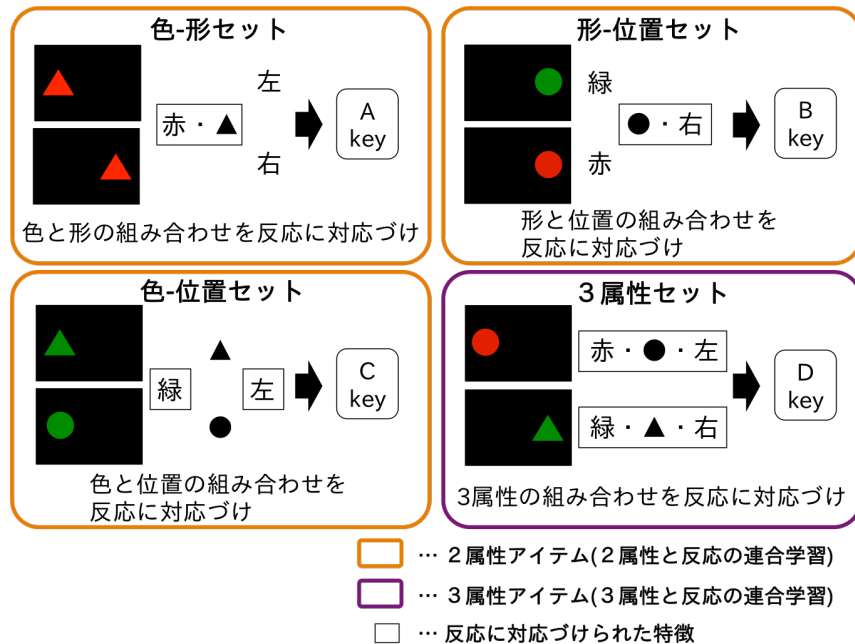


図 3.14 実験 2B の学習ブロックでの刺激特徴と正解キーの対応関係の一例

■ 元のマッピング (学習ブロック)

色-形セット	形-位置セット	色-位置セット	3属性セット
A key	B key	C key	D key



再学習ブロック

■ 色交換条件

色-形セット	形-位置セット	色-位置セット	3属性セット
A key	B key	C key	D key

■ 形交換条件

↑ 不変セット

色-形セット	形-位置セット	色-位置セット	3属性セット
A key	B key	C key	D key

■ 位置交換条件

↑ 不変セット

色-形セット	形-位置セット	色-位置セット	3属性セット
A key	B key	C key	D key

↑ 不変セット

図 3.15 実験 2B の再学習ブロックでの特徴交換の一例

3-2-2-e. デザイン

実験デザインを表 3.2 に示す。まず、**実験 2A と同じ要領**で学習ブロックを最大 13 ブロック行う。その後、10 分間の休憩を挟み、再学習ブロックを 4 ブロック行った。実験参加者は、色交換条件、形交換条件、位置交換条件のいずれか 1 つの交換条件に参加した。

表 3.2 実験 2B の実験デザイン

	ブロック数	1試行の反応にかかる制限時間	備考
学習 ブロック	最大13	あり (可変)	5 ブロックごとに 5 分間の休憩
休憩 (10分間)			
再学習 ブロック	4 (色, 形, 位置交換 条件のうちいづれ か 1 条件のみ)	あり (可変)	

3-2-3. 結果

60名の実験参加者のうち、学習ブロックで、1ブロックの平均正答率が80%を一度も超えなかった実験参加者と第13ブロックで初めて超えた実験参加者の合計3名(各交換条件で1名ずつ)は、学習が十分ではない可能性があるため分析から除外した。また、学習最終ブロックと比べた再学習ブロックでの正答率の低下量の累積値が全体の平均値から標準偏差の3倍以上離れていた1名の実験参加者(位置交換条件を行った実験参加者)については、再学習の進み具合が全体の結果の傾向から大きく外れるため分析から除外した。

3-2-3-a. 学習ブロックにおける学習の推移

60名の全実験参加者の学習ブロックにおける学習の推移について検討する。実験2Aと同じように、本実験では実験参加者の学習の進み具合により、学習ブロックの総ブロック数が異なる。そこで、実験2Aと同様にvincent法を用いて学習進度の個人差に影響されない形で学習の傾向を調べた。図3.16に学習ブロックのvincent曲線を示す。

まず、3属性アイテムと2属性アイテム間の学習の困難さに差があるか検討するために、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)を要因とする実験参加者内2要因の分散分析を行った。その結果、アイテム条件の主効果($F(1, 55) = 93.04, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .87$)と学習期間の主効果($F(1.59, 87.51) = 379.66, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .63$)が共に有意であり、それらの交互作用も有意であった($F(2, 110) = 3.57, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .06$)。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： $F(1, 55) = 42.07, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .43$ 、中期： $F(1, 55) = 62.87, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .53$ 、後期： $F(1, 55) = 71.79, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .57$)。すなわち、全ての期間で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。また、2属性アイテムと3属性アイテムの両方において、学習期間の単純主効果が有意であった(2属性アイテム： $F(2, 54) = 133.99, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .83$ 、3属性アイテム： $F(2, 54) = 263.75, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .91$)。そこで、2属性アイテムにおいて学習期間の多重比較を行うと、全ての学習期間の間に有意差が見られた(初期と中期の間： $p < .001, d = 2.62$ 、初期と後期の間： $p < .001, d = 3.52$ 、中期と後期の間： $p < .001, d = 0.76$)。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、同じく全ての学習期間の間に有意

差が見られた(初期と中期の間: $p < .001$, $d = 2.03$, 初期と後期の間: $p < .001$, $d = 2.92$, 中期と後期の間: $p < .001$, $d = 0.89$). つまり, 2属性アイテムでも3属性アイテムでも正答率は, 初期, 中期, 後期にかけて上がり続けたと言える.

次に, 3種類の2属性アイテム間の学習の困難さ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-形セット, 形-位置セット, 色-位置セットの3水準)と学習期間(初期, 中期, 後期の3水準)を要因とする実験参加者内2要因の分散分析を行ったところ, アイテムセットの主効果($F(2, 110) = 14.32$, $p < .001$, $\text{partial } \eta^2 = .21$)と学習期間の主効果($F(1.77, 97.57) = 361.05$, $p < .001$, $\text{partial } \eta^2 = .87$)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($F(2.63, 144.55) = 1.55$, $p = .21$, $\text{partial } \eta^2 = .03$). アイテムセットについて多重比較を行うと, 色-形セットと形-位置セットとの間($p < .001$, $d = 0.43$), 色-形セットと色-位置セットの間($p < .001$, $d = 0.40$)に有意差が見られたが, 形-位置セットと色-位置セットの間には有意差が見られなかった. このことから, 形-位置セットと色-位置セットは色-形セット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, 前述の2属性アイテムの正答率についての統計的検定結果の通りである.

3属性アイテムは2属性アイテムよりも学習が難しく, 2属性アイテムの中では色-形セットに比べて形-位置セットと色-位置セットの学習が難しいという結果は, 実験1Aを再現する結果であると言える.

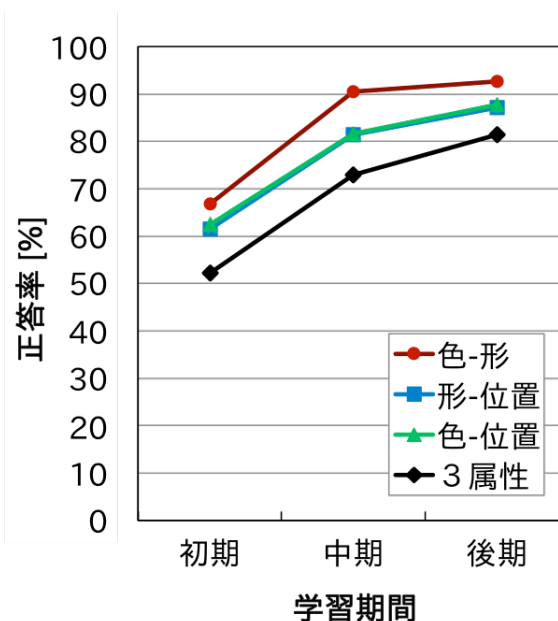
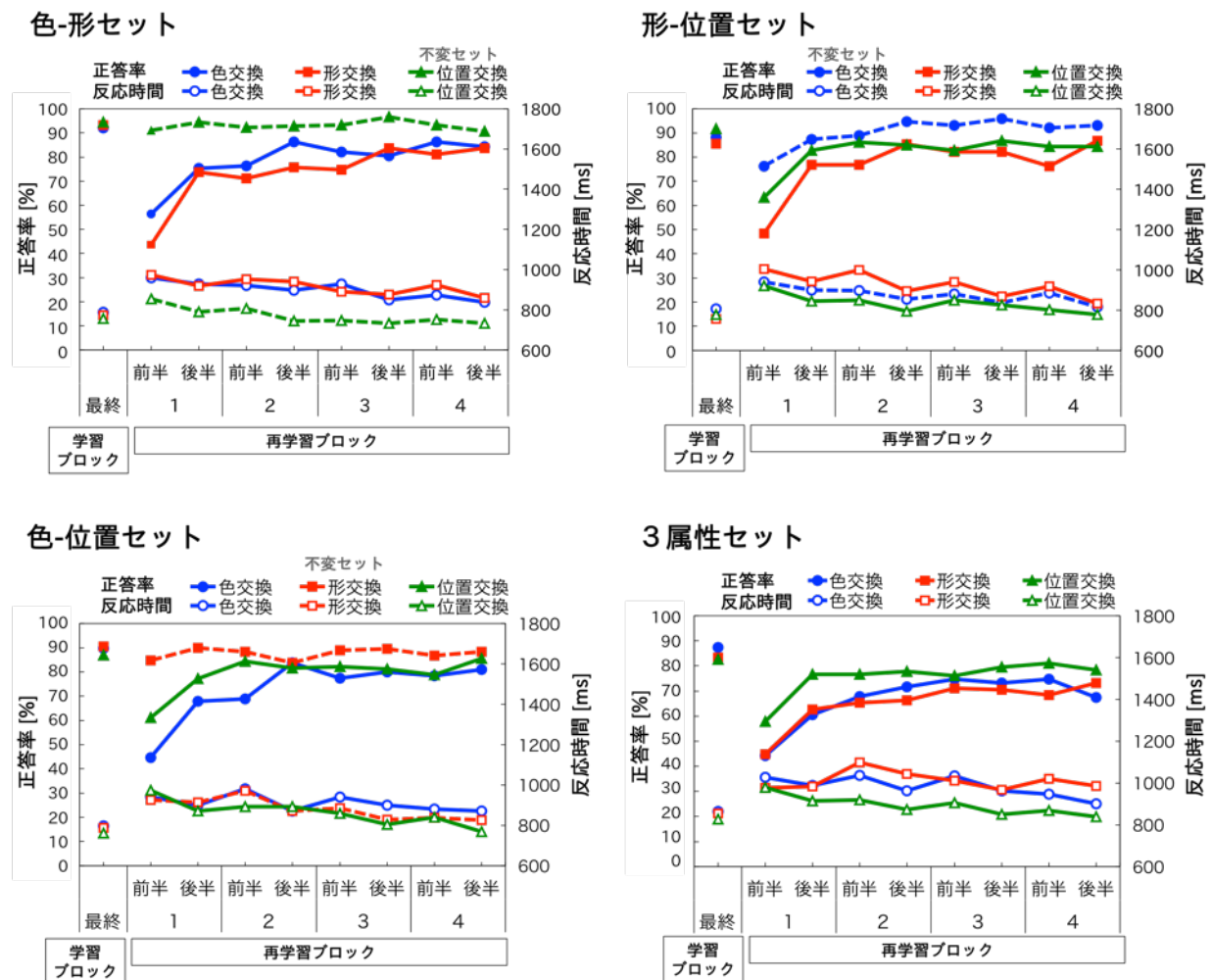


図 3.16 実験 2B の学習ブロックの正答率の vincent 曲線

3-2-3-b. 学習ブロックから再学習ブロックにかけての正答率の低下量

図 3.17 に、学習ブロック最終ブロックと再学習ブロックの正答率と反応時間の推移をアイテムセットごとに示す。この結果から、学習最終ブロックから再学習第 1 ブロックにかけての正答率の低下量を求めた (図 3.18)。なお、この値の標準誤差をグラフのエラーバーに示す。再学習ブロックで刺激の特徴値を交換することにより、刺激と反応のマッピング関係が変更される条件では、マッピングを一から構築し直すと考えられると、正答率が大幅に下がることが予測される。しかし、元の学習ブロックで学習した特徴と反応の連合関係の記憶痕跡が、再学習ブロックでも利用されるのであれば、正答率の低下量はその分小さくなると考えられる。そこで、この値を交換条件間で比較することにより、元の連合表現のどの部分が再学習で利用可能であったかを検討できると考えた。



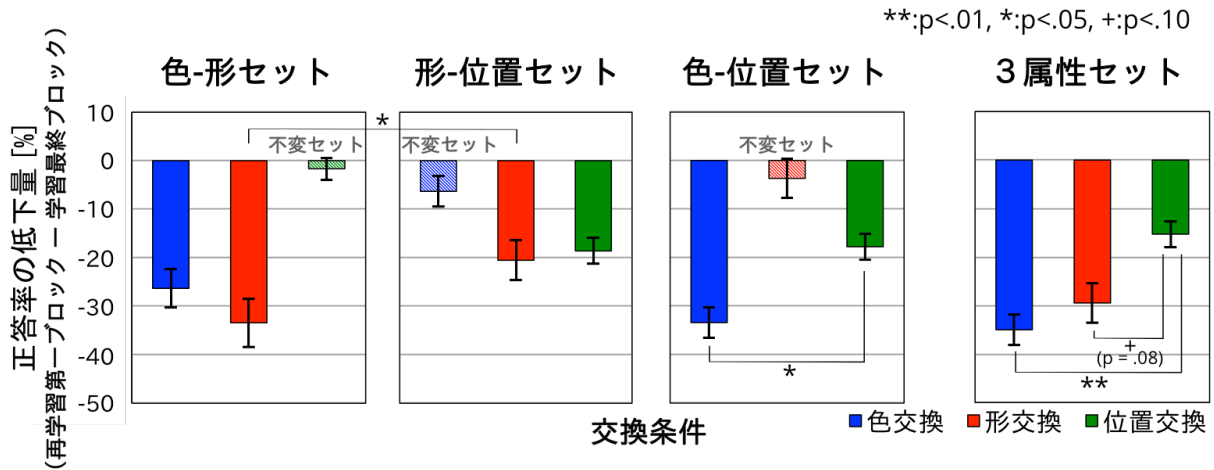
※破線は不変セットを示す

図 3.17 実験 2B の学習最終ブロックから再学習ブロックの
正答率と反応時間の推移

まず、3属性アイテムの正答率の低下量について、交換条件（色交換条件、形交換条件、位置交換条件の3水準）を要因とする1要因実験参加者間の分散分析を行ったところ、交換条件の主効果が有意であった($F(2, 53) = 4.94, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .16$)。多重比較をすると、位置交換条件と色交換条件の正答率の低下量の間には有意差が見られ($p < .01, d = 1.05$)、位置交換条件と形交換条件の間には有意傾向が見られたが($p = .08, d = 0.79$)、色交換条件と形交換条件の間には有意差が見られなかった。これらのことから、3属性アイテムについて、色交換条件や形交換条件に比べて、位置交換条件の正答率の低下量が小さい傾向があるとわかる。

次に、2属性アイテムの正答率の低下量について、交換条件（色交換条件、形交換条件、位置交換条件の3水準）とアイテムセット（色-形セット、形-位置セット、色-位置セットの3水準）を要因とする2要因混合計画の分散分析を行った。その結果、アイテムセットの主効果は有意ではなかったが($F(2, 106) = 2.12, p = .13, \text{partial } \eta^2 = .04$)、交換条件の主効果が有意傾向で($F(2, 53) = 2.71, p = .08, \text{partial } \eta^2 = .09$)、それらの交互作用は有意であった($F(4, 106) = 24.28, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .48$)。交互作用がみられたので下位検定を行うと、どのアイテムセットでも交換条件の単純主効果が有意であった(色-形セット： $F(2, 53) = 16.38, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .38$ 、形-位置セット： $F(2, 53) = 5.01, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .16$ 、色-位置セット： $F(2, 53) = 13.62, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .34$)。そこで、多重比較を行ったが、どの2属性アイテムの3通りの交換条件のうちどれか1つの条件で不変セットとなり、交換前後（学習ブロックと再学習ブロックの間）でセット内の2個のアイテムが全く変わらない。そのため、不変セットとなる条件と他の2条件との間には当然差があることが想定される。そこで、ここではその差の検定結果には触れず、残る2条件間の差の検定結果のみ記述することとする（以降の多重比較の結果も同様の考え方で記述する）。多重比較の結果、色-位置セットにおいては、色交換条件と位置交換条件の間には有意差が見られたが($p < .05, d = 0.86$)、色-形セットにおける色交換条件と形交換条件の間や、形-位置セットにおける形交換条件と位置交換条件の間には有意差が見られなかった。つまり、色-位置セットでは、色を交換した場合に比べ位置を交換した場合には正答率の低下量が小さいことがわかる。また、どの交換条件でもアイテムセットの単純主効果が見られた（色交換条件： $F(2, 52) = 22.31, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .46$ 、形交換条件： $F(2, 52) = 19.40, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .43$ 、位置交換条件： $F(2, 52) = 8.16, p < .01, \text{partial } \eta^2 = .24$)。多重比較の結果について、上記の理由から不変セットを除く2個のアイテムセット間の差の検定結果のみを記述すると、形交換条件において色-形セッ

トよりも形-位置セットの方が低下量が有意に小さかったが($p < .05$, $d = 0.65$), 色交換条件における色-形セットと色-位置セットの間や, 位置交換条件における形-位置セットと色-位置セットの間には有意差が見られなかった. つまり, 形-位置セットで形を交換しても, 色-形セットで形を変更した場合ほど正答率が大きく低下しないことがわかる.



※網掛けは不変セットを示す

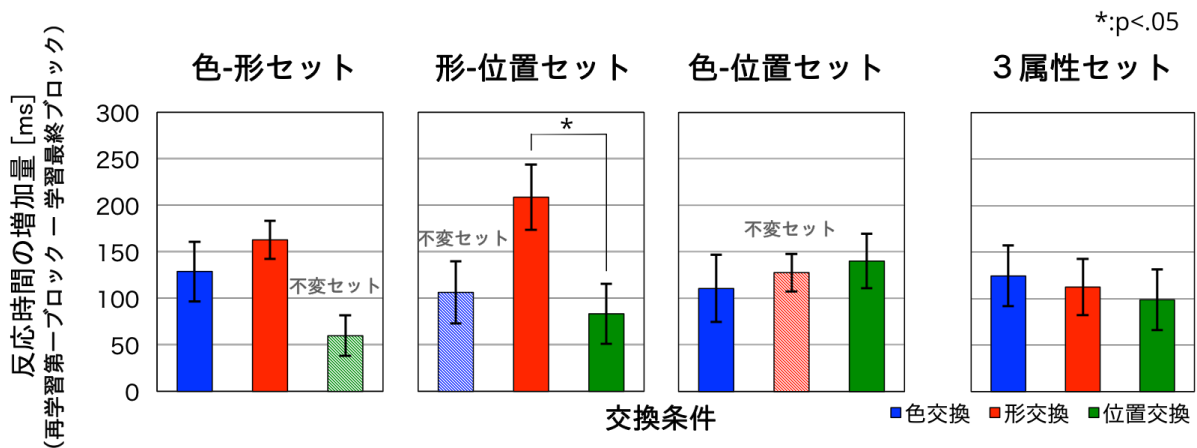
図 3.18 実験 2B の再学習ブロックの正答率の低下量

3-2-3-c. 学習ブロックから再学習ブロックにかけての反応時間の増加量

図 3.19 に, 学習最終ブロックから再学習第 1 ブロックにかけての反応時間の変化量を示す. なお, この値の標準誤差をグラフのエラーバーに示す. まず, 3 属性アイテムの反応時間の増加量について, 交換条件を要因とする 1 要因実験参加者間の分散分析を行ったところ, 条件の主効果は有意ではなかった($F(2, 53) = 0.15$, $p = .86$, partial $\eta^2 = .01$).

次に, 2 属性アイテムの反応時間の増加量について, 交換条件 (3 水準) とアイテムセット (3 水準) を要因とする 2 要因混合計画の分散分析を行ったところ, アイテムセットの主効果は有意ではなかったが ($F(2, 106) = 0.27$, $p = .77$, partial $\eta^2 = .01$), 交換条件の主効果や交互作用については有意傾向であった(交換条件: $F(2, 53) = 2.92$, $p = .06$, partial $\eta^2 = .10$, 交互作用: $F(4, 106) = 2.37$, $p = .06$, partial $\eta^2 = .08$). 交互作用が有意傾向となったので, 下位検定を行ったところ, 色-形セットと形-位置セットで交換条件の単純主効果が有意となった (色-形セット: $F(2, 53) = 3.97$, $p < .05$,

partial $\eta^2 = .13$, 形-位置セット : $F(2, 53) = 3.69, p < .05$, partial $\eta^2 = .12$). 多重比較を行ったところ, 形-位置セットにおいて, 形交換条件と位置交換条件の間に有意差が見られたが($p < .05, d = 0.86$), 色-形セットにおける色交換条件と形交換条件の間には有意差が見られなかった. また, 位置交換条件に関してアイテムセットの単純主効果が有意傾向であったが($F(2, 52) = 2.56, p = .09$, partial $\eta^2 = .09$), 多重比較をすると形-位置セットと色-位置セットの間には有意差が見られなかった.



※網掛けは不変セットを示す

図 3.19 実験 2B の再学習ブロックの反応時間の増加量

3-2-3-d. 再学習ブロックにおける正答率の変化

各アイテムセットの再学習ブロックの学習傾向について検討するために, 再学習ブロック第1ブロックと最終ブロックである第4ブロックの正答率を比較する(図 3.20). なお, この値の標準誤差をグラフのエラーバーに示す. 不変セットについては, 学習ブロックと再学習ブロックでセット内の2個のアイテムが全く変わらないため, 再学習の必要がないと想定される. そこで, ここでは不変セットを比較に含めないこととする.

まず, 3属性アイテムセットについて, 交換条件(色交換条件, 形交換条件, 位置交換条件の3水準)とブロック(再学習第1ブロックと第4ブロックの2水準)を要因とする2要因混合計画の分散分析を行ったところ, 交換条件の主効果とブロックの主効果が共に有意であったが(交換条件 : $F(2, 53) = 5.9, p < .01$, partial $\eta^2 = .18$, ブロック : $F(1, 53) = 40.4, p < .001$, partial $\eta^2 = .43$), 交互作用は有意ではなかった($F(1,$

53) = 0.528, $p = .59$, partial $\eta^2 = .02$). そこで、交換条件の多重比較を行うと、色交換条件と位置交換条件の間や形交換条件と位置交換条件の間には有意差がみられたが (色交換条件と位置交換条件 : $p < .05$, $d = 0.6$, 形交換条件と位置交換条件 : $p < .05$, $d = 0.69$), 色交換条件と形交換条件の間には有意差がみられなかった. このことから、3属性アイテムについては、位置を交換する場合より色や形を交換する場合で正答率が低く、全体的に再学習ブロックの序盤よりも終盤で正答率が増加していることがわかる.

次に、2属性アイテムの各アイテムセットについて検討する. まず、色-形セットについて、交換条件 (色交換条件, 形交換条件の2水準) とブロック (再学習第1ブロックと第4ブロックの2水準) を要因とする2要因混合計画の分散分析を行う. その結果、ブロックの主効果が有意であったが ($F(1, 36) = 54.04$, $p < .001$, partial $\eta^2 = .60$), 交換条件の主効果と交互作用は有意ではなかった (交換条件 : $F(1, 36) = 1.34$, $p = .26$, partial $\eta^2 = .04$, 交互作用 : $F(1, 36) = 0.51$, $p = .48$, partial $\eta^2 = .01$). このことから、色-形セットについては、色を交換する場合と形を交換する場合で正答率に有意な差はなく、全体的に、再学習ブロックの序盤よりも終盤で正答率が増加していることがわかる.

次に、形-位置セットについて、交換条件 (形交換条件, 位置交換条件の2水準) とブロック (再学習第1ブロックと第4ブロックの2水準) を要因とする2要因混合計画の分散分析を行ったところ、ブロックの主効果が有意であり ($F(1, 35) = 30.79$, $p < .001$, partial $\eta^2 = .47$), 交換条件の主効果に有意傾向が見られたが ($F(1, 35) = 4.09$, $p = .05$, partial $\eta^2 = .11$), 交互作用は有意ではなかった ($F(1, 35) = 1.91$, $p = .18$, partial $\eta^2 = .05$). このことから、形-位置セットについては、位置を交換する場合よりも形を交換する場合の方が正答率が低い傾向があり、全体として、再学習ブロック序盤よりも終盤の正答率が高くなることがわかる.

最後に、色-位置セットについて、交換条件 (色交換条件, 位置交換条件の2水準) とブロック (再学習第1ブロックと第4ブロックの2水準) を要因とする2要因混合計画の分散分析を行ったところ、ブロックの主効果が有意であり ($F(1, 35) = 40.57$, $p < .001$, partial $\eta^2 = .54$), 交換条件の主効果や交互作用に有意傾向がみられた (交換条件 : $F(1, 35) = 3.85$, $p = .06$, partial $\eta^2 = .10$, 交互作用 : $F(1, 35) = 3.28$, $p = .08$, partial $\eta^2 = .09$). 交互作用が有意傾向であったので、下位検定を行ったところ、第1ブロックにおける交換条件の単純主効果が有意であったが ($F(1, 35) = 5.65$, $p = .02$, partial $\eta^2 = .14$), 第4ブロックにおける交換条件の単純主効果は有意でなかった.

このことから、色-位置セットについては、位置を交換した場合よりも色を交換した場合の方が、学習序盤の正答率が低いことがわかる。また、色交換条件、位置交換条件の両方でブロックの単純主効果が有意であった（色交換条件： $F(1, 35) = 34.38, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .50$, 位置交換条件： $F(1, 35) = 10.12, p < .01, \text{partial } \eta^2 = .22$ ）。このことから、色交換条件でも位置交換条件でも、再学習ブロック序盤よりも終盤の正答率が高くなることがわかる。

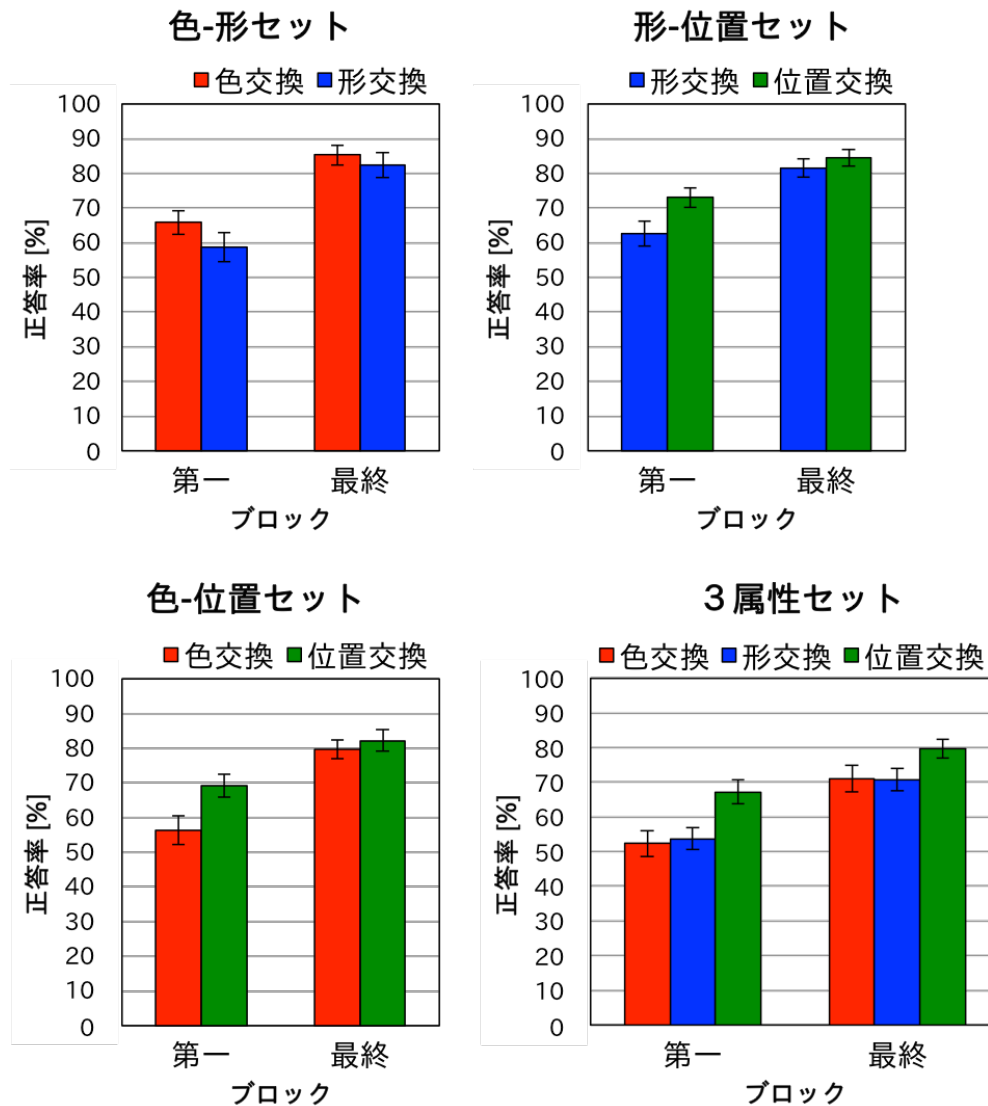


図 3.20 実験 2B の再学習ブロックにおける正答率の変化

3-2-4. 考察

まず, vincent 法を用いて算出した学習ブロックの3つの期間の正答率を比較すると, 3属性アイテムでも2属性アイテムでも, 全ての期間の間に有意差が見られた. 正答率が, 学習初期よりも中期, 後期の方が高く, 中期よりも後期の方が正答率が高かったことから学習がなされたと言える.

また, アイテムセット間の学習の困難さを比べると, 3属性アイテムは2属性アイテムよりも学習が難しく, 2属性アイテムの中では色-形セットに比べて形-位置セットと色-位置セットの学習が難しかった. この結果は, 実験 1A を再現する結果である.

そして, 再学習ブロックにおける成績の低下量を調べるために, 学習最終ブロックから再学習第1ブロックにかけての正答率や反応時間の変化量を調べた. 3属性アイテムに関しては, 位置の変更後にマッピングを正しく想起することが, 他の属性の変更後に比べて容易であることがわかった. このことは, 位置を変更したときに, 変更していない色と形の組み合わせに基づく反応の連合の記憶痕跡を用いることができるため, 再学習が容易である可能性を示唆する. 一方で, 元の色と位置の組み合わせや形と位置の組み合わせに基づく反応の連合の記憶痕跡を用いることができても, 再学習が容易にはならない可能性が考えられる. また, 2属性アイテムのうち, 形-位置セットについては反応時間に, 色-位置セットについては正答率において, 位置の交換の影響が形あるいは色の交換の影響に比べて小さかった. このことは, 元の位置と反応の連合の記憶痕跡を用いることより, 元の形や色と反応の連合の記憶痕跡を用いることが再学習を助ける可能性を示唆する. ただし, このときに反応に関連しない属性が(形-位置セットでは色属性, 色-位置セットでは形属性), 特徴の組み合わせと反応の連合の記憶痕跡になんらかの形で関わるかは明らかではない.

また, 各アイテムセットの再学習ブロックの序盤(再学習第1ブロック)と終盤(再学習第4ブロック)の正答率を比較すると, 全てのアイテムセットにおいて序盤より終盤で有意に正答率が高くなっていた. このことから, 再学習ブロックにおいて, 学習がなされたと言える. また, 3属性アイテムセットや形-位置アイテムセット, 色-位置アイテムセットでは, 色や形を交換する場合よりも, 位置を交換する場合で正答率が高く, 再学習が容易であったことがわかった. 一方で, 色-形アイテムセットでは, 色を交換する場合と形を交換する場合で正答率に有意な差はなく, 再学習の反応の難易度に差がなかったことがわかる.

以上のように, 位置を交換しても再学習が比較的早くできるということから, 色, 形に比べて位置は, 反応との連合に柔軟に関与しており, 連合の強固さがあまり強く

ないことが示唆された。

3-2-5. まとめ

本実験では、色、形、位置の各特徴の刺激-反応連合への関与の仕方の違いを検討するために、各属性と反応の連合の強固さを比較した。検討方法としては、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後、刺激アイテムの色、形、位置属性のうちいずれかの特徴を交換して再学習実験を行い、どの属性の特徴を交換したかによって再学習の困難さが異なるかを調べた。

その結果、色や形を交換するよりも位置交換後の再学習が容易であった。この結果から、位置は色や形に比べて反応との結びつきが弱く、刺激-反応連合への関与が付加的、あるいは柔軟であることが示唆される。一方で、オブジェクトファイル理論のように、位置が基盤となり特徴の統合表現が形成されており、その統合表象において位置が重要な役割を持つとするとこの結果は説明できない。

3-3. 実験 2A と 2B のまとめ

実験 2A と 2B では、学習後の刺激-反応マッピングにおける位置の関与の方式に注目し、色と形と位置の組み合わせと反応の連合がどのような表現で働くかを検討した。

実験 2A では色、形、位置を組み合わせでデザインされたアイテムと反応の刺激-反応マッピング学習を十分行った後に、2属性ずつあるいは2属性と1属性に分けて提示し、学習の転移を調べた。その結果、形については単独の表現だと正しい反応を引き起こしにくくなるが、位置については単独の表現でも学習ブロックと同様に正しい反応を引き起こすことができるということから、色と形と位置の組み合わせと反応のマッピングにおいて、色と形は結合した表現（属性対表現）で関与しているのに対し、位置は単独で関与し得ることが示唆された。

実験 2B では、この点についてさらに、学習後の各特徴と反応の連合の強固さを調べることにより検討した。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後、刺激アイテムの色、形、位置属性のうちいずれかの特徴を交換して再学習実験を行い、その難易度を調べた。その結果、位置を含む視覚特徴の組み合わせを反応に対応づけするアイテムセットでは、位置の交換後は色や形の交換後に比べて再学習が容易であることがわかった。このことから、位置は色や形に比べ、柔軟に反応と連

合することが示唆された。

以上の一連の実験結果は、色、形、位置の3属性の統合表現と反応のマッピング記憶において、位置の関与の方式が異なることを示唆する。図 3.21 のように色と形が結合した表現で反応と連合するのに対し、位置は単独の表現で、この連合に付加的に関与する可能性が示唆される。したがって、本章の実験結果は、位置シングルトン仮説を支持する。

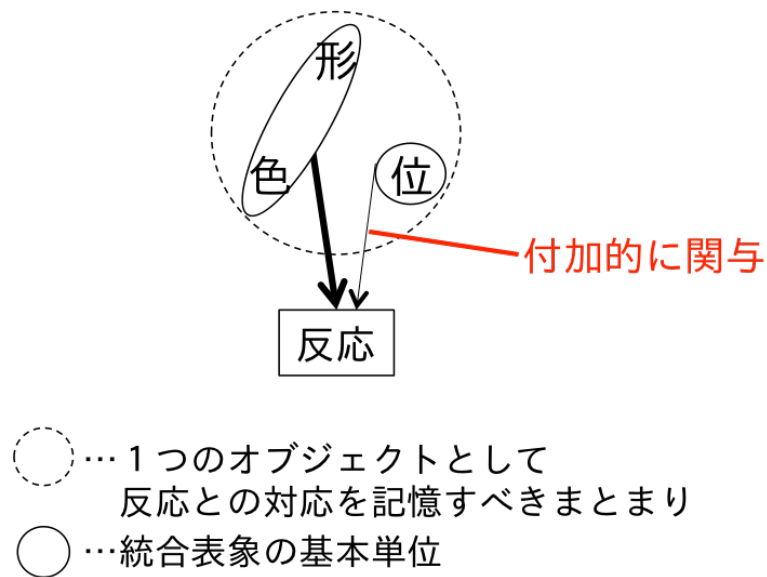


図 3.21 刺激-反応マッピングにおける位置の関与モデル

第4章 刺激-反応マッピング記憶の長期保持に関する実験的検討

日常における視覚運動マッピングについて考えると、一度学習すればその記憶をすぐに忘却してしまっても問題ないという場面ばかりではない。多様な状況で適切な行動を行うことができるためには、視覚運動マッピングを**長期にわたって保持**することが必要となる。

Ishizaki et al.(2015)の研究や本論文の第2,3章で述べた研究では、刺激-反応マッピングの学習過程や学習直後の記憶について検討された。しかし、先行研究ではヒトを対象とした複雑な視覚特徴の組み合わせと運動のマッピングの記憶が長期間どのように保持されるかについては検討されてこなかった。刺激-反応マッピング記憶の長期保持について検討することは、刺激-反応マッピングのメカニズムの一般性を検証する上で重要である。そこで、第4章では視覚特徴の組み合わせと反応のマッピング記憶が、長期遅延を挟んでどのように保持されるかについて検討する。

古くから様々な研究で、長期間を経て記憶が消失したり、変容したりすることが報告されている (Loftus, 1979)。例えば、Mettler & Kellman (2014) が行った、蝶の分類に関する知覚学習実験の結果では、学習直後に比べて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ことが報告されている。その一方で、学習を中断している間に記憶が定着し、学習を再開したとき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。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、試行を繰り返し行った後、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 (Stickgold, Whidbee, Schirmer, Patel & Hobson, 2000)。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 (Walker, Brakefield, Morgan, Hobson, Stickgold, 2002)。このような、睡眠を含む遅延期間後の課題実行成績の向上を報告した研究では、遅延期間後の課題実行成績の向上には睡眠が深く関わることを示唆されている (Stickgold, 2005)。

以上のような知見を踏まえると、特徴の組み合わせと反応のマッピング記憶についても、遅延期間の間に失われる可能性も考えられるが、反対に遅延期間中に記憶が定

着する可能性も考えられる。また、これまでの研究結果から学習直後には、位置属性の特徴は単独で反応と連合するが、基本的には3属性の特徴の組み合わせは属性対の集合として表現されていると考えられた。しかし、その表現が遅延期間中に変容する可能性も否定できない。例えば、遅延期間中に3属性がひとまとまりになった単一の結合表現が形成される可能性や、逆に属性対表現が崩壊して、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。

本章では、色、形、位置の3属性の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課題を行い、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(図 4.1)。遅延を1週間とした理由は、McGaugh (2000) の記憶分類による長期記憶は数時間から数カ月にわたるとされることから、1週間程度で記憶の定着がある程度進み、消失や変容が(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ためである。実験により、視覚特徴の組み合わせと反応のマッピング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、それとも記憶表現が変化し課題成績が低下したり向上したりするかを調べる。

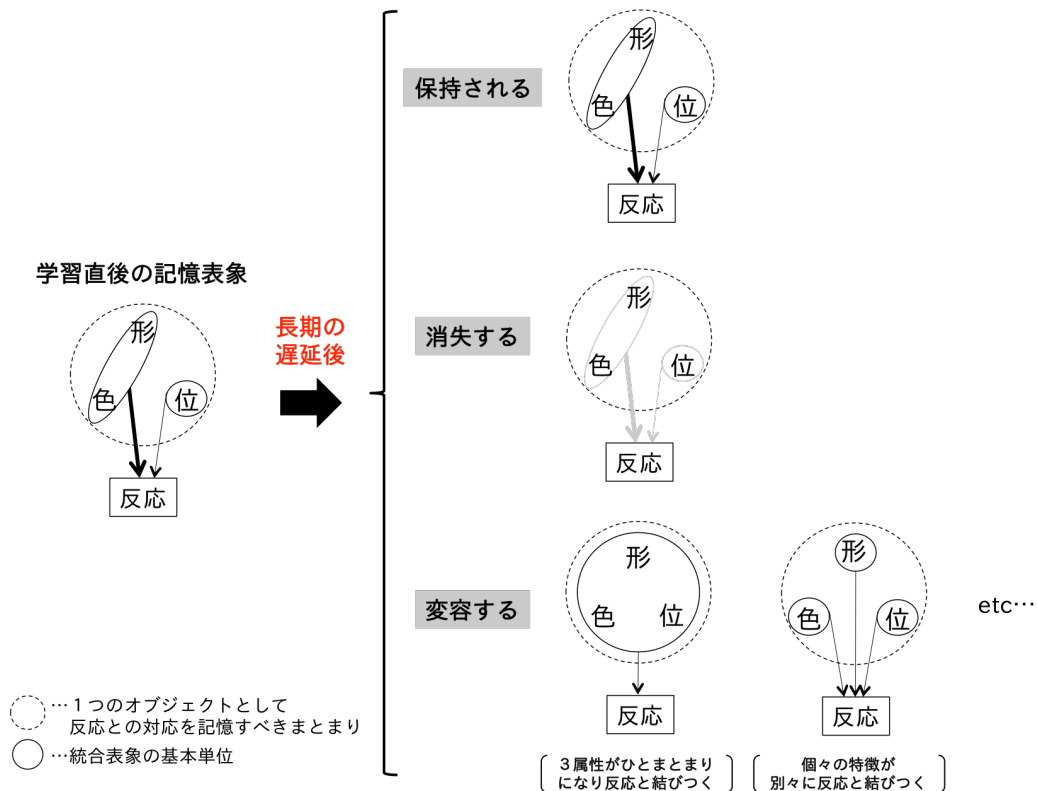


図 4.1 色、形、位置の組み合わせと反応のマッピングの長期遅延後の記憶表現に関する仮説

4-1. 実験 3：刺激-反応マッピングの長期遅延後における再生

4-1-1. 目的

実験 3 の目的は、色、形、位置の組み合わせと反応のマッピングの記憶が、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、それとも記憶表現が変化したり消失したりするかを検討することである。実験では、色、形、位置の 3 属性の組み合わせと反応のマッピングを十分に学習した後、1 週間程度の遅延期間において再生課題を行い、学習したマッピング関係をどのように覚えているかを調べた。

もしも、実験 1 日目の学習により形成された記憶表現が、遅延後にもそのまま保持されており、再生課題にその記憶を利用できるなら、再生課題において実験 1 日目の学習直後と同等の課題成績が得られることが予測される。一方、遅延期間中に実験 1 日目の学習により形成された記憶表現が消失してしまった場合には、実験 1 日目の学習直後と比べて遅延後の再生課題の成績は大幅に低下することが予測される。また、遅延期間中に実験 1 日目の学習により形成された記憶表現が変容した場合には、再生課題において実験 1 日目に得られた課題成績とは異なる傾向が得られることが予測される。色、形、位置の組み合わせと反応のマッピングは、学習直後には、色-形の属性対表現と反応の連合と、位置単独表現と反応の連合の集合として記憶されていると考えられる。これが遅延期間中に、もし、3 属性がひとまとまりになった単一の結合表現が反応と連合するように表現が変化したとすると、遅延期間後の再生課題では、3 属性の特徴の組み合わせから反応を想起する条件と 2 属性の組み合わせから反応を想起する条件の間に反応の正確さの差が見られないことが予測される。

4-1-2. 方法

4-1-2-a. 実験参加者

正常な視力（矯正視力を含む）を有する 18~34 歳の 24 名が実験に参加した。実験参加者は全員、これまで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。

4-1-2-b. 実験環境

実験 1A, 1B, 2A, 2B と同様である。

4-1-2-c. 刺激

実験 2B と同様である。

4-1-2-d. 手続き

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-反応マッピング課題を行った。1 試行の流れは、実験 1A と概ね同じであるが、反応の制限時間の制御方法が異なる。制限時間は実験 2B と同様の理由で実験 2B と同じように、初期設定が 2000ms で、その後 10 試行ごとの平均正答率が 70%を超える場合は 3%縮め、70%未満である場合には 3%延ばした。ただし、この制限時間は 1300ms よりも短くならないようにした。

なお、実験参加者は実験の全行程を通して、同じ側の手の人差し指で反応キーを押した。

アイテムと正解キーの対応関係は、実験 1A や 2B と同じ方法で設定しており、対応関係の種類は、2 つの属性の特徴を反応と対応づける 2 属性アイテム（色-形セット、形-位置セット、色-位置セット）と 3 つ全ての属性の特徴を反応と対応づける 3 属性アイテム（3 属性セット）を設けた。

4-1-2-e. デザイン

実験デザインを表 4.1 に示す。実験は 2 日に分けて行った。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。1 ブロックは、実験 1A, 1B, 2A, 2B 同様、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。刺激の提示順序についても、実験 1A, 1B, 2A, 2B と同様の方法で擬似ランダムに並べた。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、実験 1 日目の実験終了後から実験 2 日目の実験開始時までには実験 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。

実験 2 日目の再生課題は、実験 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）。実験 2 日目には、実験 1 日目と同様の刺激-反応マッピング課題を用いて、実験 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 試行行った後に学習ブロックとして 2 ブロック行い、その後、実験 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。

実験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、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。実験2日目では、学習ブロック終了後に3分間の休憩を設けた。

表 4.1 実験3の実験デザイン

		ブロック数	1試行の反応にかかる制限時間	備考
1日目	学習ブロック	14	あり(可変)	5ブロックごとに3分間の休憩
	休憩(3分間)			
	テストブロック	2	なし	
2日目	学習ブロック	2	あり(可変)	
	休憩(3分間)			
	テストブロック	2	なし	

4-1-3. 結果

24名の実験参加者のうち、まず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。次に、実験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されるため分析から除外した。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。したがって、残る21名の実験参加者のデータについて分析をかけた。

4-1-3-a. 実験1日目における学習

実験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4.2a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4.3に示す。

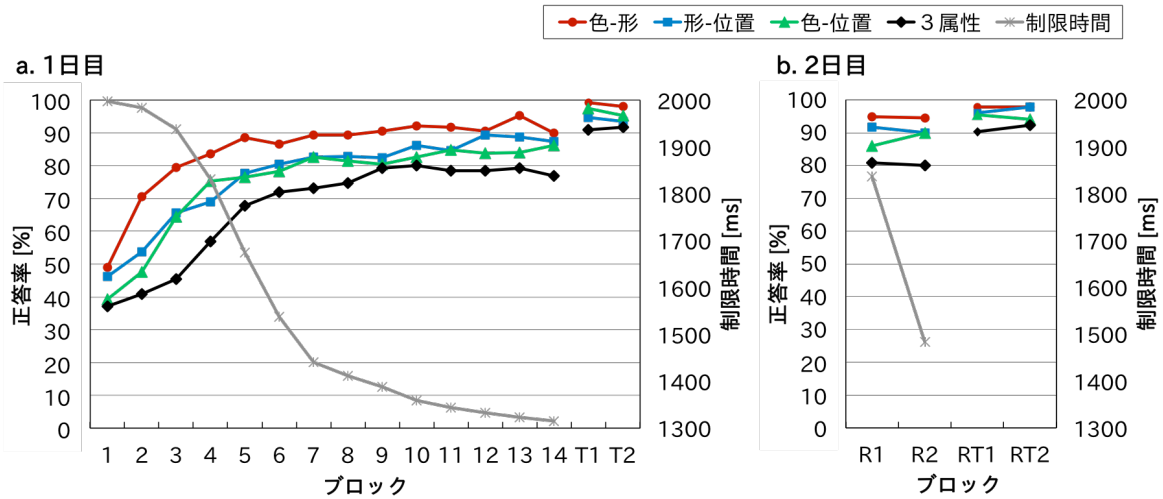


図 4.2 実験 3 の(a) 1 日目, (b) 2 日目の正答率と制限時間の推移

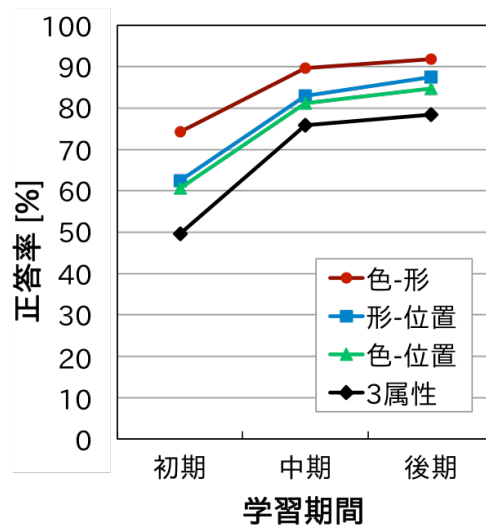


図 4.3 実験 3 の学習ブロックの期間別正答率

まず、3属性アイテムと2属性アイテムの間に学習の困難さの差があるか検討するために、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）を要因とする実験参加者内2要因の分散分析を行った。その結果、アイテム条件の主効果と学習期間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（アイテム条件： $F(1, 20) = 26.68, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .57$, 学習期間： $F(1.52, 30.41) = 243.53, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .92$, 交互作用： $F(2, 40) = 4.25, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .18$ ）。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： $F(1, 20) = 21.39$, $p < .001$, $\text{partial } \eta^2 = .52$, 中期： $F(1, 20) = 22.84$, $p < .001$, $\text{partial } \eta^2 = .53$, 後期： $F(1, 20) = 13.35$, $p < .01$, $\text{partial } \eta^2 = .40$). このことから、全ての学習期間で2属性アイテムより3属性アイテムの学習が難しいことがわかる。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： $F(2, 19) = 122.3$, $p < .001$, $\text{partial } \eta^2 = .923$, 3属性アイテム： $F(2, 19) = 67.74$, $p < .001$, $\text{partial } \eta^2 = .88$). 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、全ての学習期間の間に有意差がみられた（初期と中期： $p < .001$, $d = 2.12$, 初期と後期： $p < .001$, $d = 2.59$, 中期と後期： $p < .05$, $d = 0.45$). つまり、2属性アイテムの正答率は初期、中期、後期にかけて上がり続けたことがわかる。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（ $p < .001$, $d = 2.25$ ）、初期と後期の間（ $p < .001$, $d = 2.19$ ）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。つまり、3属性アイテムの正答率は、初期より中期で高くなるが、中期から後期では有意な変化がないことがわかる。これらの結果から、両アイテム条件において学習がなされたことがわかる。

次に、3種類の2属性アイテム間の学習の困難さの差を検討するために、色-形セット、形-位置セットおよび色-位置セットの正答率を比較した。正答率について、アイテムセット（色-形セット、形-位置セット、色-位置セットの3水準）と学習期間（初期、中期、後期の3水準）を要因とする実験参加者内2要因の分散分析を行ったところ、アイテムセットの主効果（ $F(2, 40) = 6.05$, $p < .01$, $\text{partial } \eta^2 = .23$ ）と学習期間の主効果（ $F(1.52, 30.32) = 158.33$, $p < .001$, $\text{partial } \eta^2 = .89$ ）が共に有意だったが、それらの交互作用は有意ではなかった（ $F(2.63, 52.60) = 1.14$, $p = .34$, $\text{partial } \eta^2 = .054$ ）。アイテムセットについて多重比較を行うと、色-形セットと形-位置セットとの間に有意傾向が見られ（ $p = .06$, $d = 0.5$ ）、色-形セットと色-位置セットの間には有意差が見られたが（ $p < .05$, $d = 0.59$ ）、形-位置セットと色-位置セットの間には有意差が見られなかった。つまり、形-位置セットと色-位置セットは色-形セット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、前述の2属性アイテムの正答率についての統計的検定結果の通りである。

4-1-3-b. 遅延後の正答率

実験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 4.2b に示す。

実験2日目の学習ブロック序盤において、実験1日目の学習ブロック終盤の学習痕跡が残っているかを検討するために、各アイテムセットの実験2日目学習ブロック(第1, 2ブロック)の平均正答率から実験1日目学習終盤(第13, 14ブロック)の平均正答率を引いた値を正答率の変化量として、図 4.4 に示す。なお、この値の標準誤差をグラフのエラーバーに示す。正答率の変化量が0ではなく低下していることが認められれば、実験1日目学習終盤から実験2日目学習ブロックにかけて有意に正答率が低下したと考えることができる。

図 4.4 のグラフから、どのアイテムセットでも変化量が正の値になっており、実験1日目学習終盤から実験2日目学習ブロックにかけて正答率が減少するどころか、増加傾向にあることが見てとれる。しかし、正答率の変化量についてそれぞれ0との1サンプルの t 検定を行うと、どのアイテムセットでも有意差が見られなかった(色-形セット: $t(20) = 1.03, p = .31, r = .23$, 形-位置セット: $t(20) = 1.22, p = .24, r = .26$, 色-位置セット: $t(20) = 1.1, p = .28, r = .24$, 3属性セット: $t(20) = 0.71, p = .49, r = .21$)。このことから、どのアイテムセットでも実験2日目の学習ブロックにおいて、実験1日目の学習ブロック終盤から正答率が変化していないことがわかる。

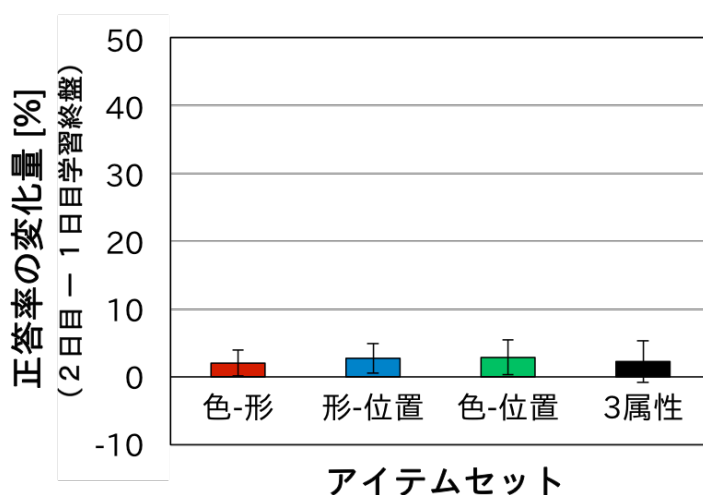


図 4.4 実験3の1日目学習終盤から2日目学習ブロックにかけての正答率の変化量

4-1-3-c. テストブロックにおける反応時間

テストブロックでは、反応に制限時間を設けないことで、学習後の反応にかかる時間を測定した。この反応にかかる時間について、実験1日目と2日目の間で差があるかを調べる。図 4.5 に実験1日目のテストブロック (T1,2) と実験2日目のテストブロック (RT1,2) における反応時間を示す。

実験1日目と2日目のテストブロックにおける平均反応時間について、両日間での比較、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検討する。反応時間について、実験日 (1日目テストブロック, 2日目テストブロックの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、実験日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 (実験日 : $F(1, 20) = 6.65, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .25$, アイテム条件 : $F(1, 20) = 25.56, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .56$), 交互作用は有意ではなかった ($F(1, 20) = 1.21, p = .28, \text{partial } \eta^2 = .06$)。このことから、反応にかかる時間は、両日を通して2属性アイテムよりも3属性アイテムで有意に長く、実験1日目よりも2日目で有意に短くなることがわかる。

次に、3種類の2属性アイテムについて同様の比較をする。反応時間について、実験日 (1日目テストブロック, 2日目テストブロックの2水準) とアイテムセット (色-形セット, 形-位置セット, 色-位置セットの3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、実験日の主効果とアイテムセットの主効果が共に有意であったが (実験日 : $F(1, 20) = 8.50, p < .01, \text{partial } \eta^2 = .30$, アイテムセット : $F(2, 40) = 8.48, p < .01, \text{partial } \eta^2 = .30$), 交互作用は有意ではなかった ($F(2, 40) = 0.27, p = .77, \text{partial } \eta^2 = .01$)。アイテムセットについて多重比較を行うと、色-形セットと形-位置セットの間と ($p < .05, d = 0.46$), 色-形セットと色-位置セットの間 ($p < .01, d = 0.6$) には有意差が見られたが、形-位置セットと色-位置セットの間には有意差が見られなかった。つまり、反応にかかる時間は、両日を通して色-形セットに比べて形-位置セットや色-位置セットで有意に長いことがわかる。

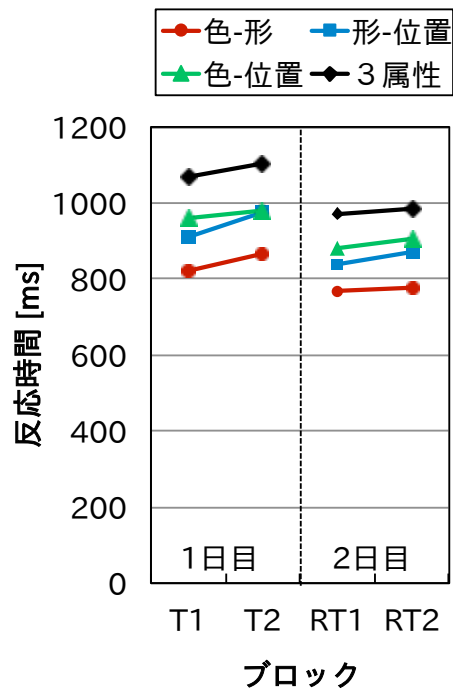


図 4.5 実験 3 の 1 日目と 2 日目のテストブロックにおける反応時間

4-1-3-d. テストブロックにおける正答率

まず，1 日目と 2 日目のテストブロックにおける平均正答率について，両日間での比較，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検討する．正答率について，実験日（1 日目テストブロック，2 日目テストブロックの 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 ($F(1, 20) = 17.44, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .47$)，実験日の主効果や交互作用は有意ではなかった（実験日： $F(1, 20) = 0.004, p = .95, \text{partial } \eta^2 = .00$ ，交互作用： $F(1, 20) = 0.008, p = .93, \text{partial } \eta^2 = .00$)．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，両日を通して 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．

次に，3 種類の 2 属性アイテムについて同様の比較をする．正答率について，実験日（1 日目テストブロック，2 日目テストブロックの 2 水準）とアイテムセット（色-形セット，形-位置セット，色-位置セットの 3 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、アイテムセットの主効果が有意であったが ($F(1.54, 30.70) = 4.70, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .19$), 実験日の主効果や交互作用は有意ではなかった (実験日 : $F(1, 20) = 0.02, p = .90, \text{partial } \eta^2 = .001$, 交互作用 : $F(1.30, 26.01) = 2.72, p = .10, \text{partial } \eta^2 = .12$). アイテムセットについて多重比較を行うと、色-形セットと形-位置セットの間と ($p < .05, d = 0.52$), 色-形セットと色-位置セットの間 ($p < .01, d = 0.69$) には有意差が見られたが、形-位置セットと色-位置セットの間には有意差が見られなかった。つまり、正答率は、両日を通して色-形セットに比べて形-位置セットや色-位置セットで有意に低いことがわかる。

4-1-4. 考察

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学習初期と中期、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。そして、学習初期、中期、後期のどの期間においても3属性アイテムは2属性アイテムよりも正答率が低く、マッピング学習が難しいと考えられる。また、2属性アイテムの中では、学習ブロック全体を通して形-位置セットや色-位置セットは色-形セットよりも正答率が低いことから、学習が難しいと考えられる。

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では、2属性アイテムよりも3属性アイテムで反応時間が長く正答率が低かった。このことから、1日目の学習後で、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し、反応の正確さが低いと言える。また、2属性アイテムの中では、形-位置セットや色-位置セットは色-形セットよりも反応時間が長く正答率が低かった。このことから、1日目の学習後では、色-形セットよりも形-位置セットや色-位置セットに対して反応により長い時間を要し、反応の正確さが低いと言える。

以上の結果は、概ね実験 1A を再現する結果と言え、実験 1A で考察したように、この結果は物体が持つ視覚特徴をすべて一度に統合して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ができないが、2属性ずつの結合対を基本単位として反応との連合を形成するという対属性仮説に基づくと説明ができる。また、対属性仮説を基にして作った位置シングルトン仮説(第3章参照)を支持する結果と言える。

なお、実験 1A の結果を再現しない結果も見られた。反応に制限時間のないテストブロックの反応時間や正答率の分析において、実験 1A では3つの2属性アイテムセット間では有意差が見られなかったが、本実験では前述したように、色-形セットと形-位置セットや色-位置セット間で差が見られた。この違いを生んだ原因の一つとして、制限時間の制御方法の違いが影響した可能性が考えられる。実験 1A では、制限時間が正答率に応じて無制限に短縮されるが、本実験では 1300ms よりも短くならないようにしていた。また、本実験は実験 1A よりも制限時間の変化率が緩やかであった（実験 1A では 10 試行ごとの平均正答率に応じて制限時間を 5% ずつ短縮したり延長したりしたが、本実験では 3% ずつ短縮したり延長したりした）。そのため、本実験では学習ブロック後半において、学習進度が一番早い色-形セットについて、実験 1A に比べてさらに学習が進みやすかった可能性が考えられる。

次に、実験 2 日目の学習ブロック序盤において、実験 1 日目の学習ブロック終盤の学習痕跡が残っているかを検討するために、実験 2 日目学習ブロックの平均正答率が実験 1 日目学習終盤の平均正答率から有意に低下したかを調べた。その結果、どのアイテムセットでも正答率は有意に低下しておらず、実験 2 日目学習ブロック序盤において、実験 1 日目の学習ブロック終盤の学習痕跡が残っていることが示唆された。また、実験 1 日目のテストブロックと同様に、実験 2 日目のテストブロックにおいても 2 属性アイテムよりも 3 属性アイテムの正答率が低く、2 属性アイテムの中では色-形セットよりも形-位置セットや色-位置セットの正答率が低かった。反応時間についても、3 属性アイテムに対する反応に時間を要し、2 属性アイテムの中では色-形セットよりも形-位置セットや色-位置セットに対する反応に時間を要した。これらのことから、全てのアイテムセットにおいて実験 1 日目の学習痕跡が実験 2 日目にも残っていることが示された。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において、連合が減衰することなく長期記憶に保持されることを示唆する。そして、遅延を挟んだ後の記憶についても、第 3 章で提案した、色や形が結合した表現で反応と連合するのに対し、位置は単独の表現でこの連合に付加的に関わるという位置シングルトン仮説で説明できる。

また、実験 1 日目と 2 日目のテストブロックの間に正答率の有意な差はなかったが、反応時間を比較すると実験 2 日目の方が有意に短く、実験 2 日目の反応にかかる時間は実験 1 日目より短縮されたと考えられる。実験参加者には、実験 1 日目終了後に、実験 2 日目の開始時まで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、実験 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は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、その参加者たちも実験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、睡眠を含む遅延時間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(Stickgold, 2005), 睡眠が記憶の向上に関わることが示唆されている。ただし、実験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、実験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。

4-2. まとめ

本実験では、視覚特徴の組み合わせと反応のマッピングが、長期遅延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課題を行い、その後1週間程度の遅延をおいて再生課題を行い、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。そして、学習時同様、2属性アイテムの中では、色と形の組み合わせに基づき反応が特定される色-形セットよりも、形と位置や色と位置の組み合わせに基づき反応が特定される形-位置セットや色-位置セットの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。これらのことは、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遅延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(位置シングルトン仮説に従う表現)で記憶に保持され得ることを示唆する。今回の実験のように、刺激-反応マッピングの記憶を1週間の遅延を挟んでもかなり正確に保持できる理由は明らかではないが、一つの可能性としてマッピングの記憶が手続き記憶として保持されるためである可能性がある。自転車の乗り方を覚えるのと同じように、身体で覚えた手続きの記憶であるために、刺激が提示されると、意識的な処理を伴わ

ず自動的に行動が想起される可能性がある。そのために、知識などの意味記憶やエピソード記憶よりも遅延後の想起に特別な認知的負荷を要さずにすぐに正確に思い出すことができるのかもしれない。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痕跡が持続すると言える。そして、この1週間の遅延の間には記憶表象が変化することがなく、安定した長期記憶として記憶が定着し、より早く反応を想起できるようになることが示唆された。

第5章 本研究のまとめ

5-1. 実験結果のまとめ

本研究では、記憶において物体が持つ視覚特徴の組み合わせがどのように統合され、反応とどのような単位で連合するかという問題について心理学実験を行い検討した。このことに関して、Ishizaki et al.(2015)は、色、形、テクスチャの組み合わせと反応の連合表現に関して、全ての特徴がひとまとまりに統合されて反応と結びつくという全属性仮説を否定し、2属性ずつ結合した表現（属性対表現）と反応の連合を組み合わせで連合表現が成り立つとする対属性仮説を支持している。そこで本研究では、物体が持つ視覚特徴の中でも、視覚情報処理や一時的な記憶において統合表現を作るために特別な役割を担うと考えられている位置属性に特に注目し、学習過程、学習直後、長期遅延後の3つの記憶段階において、位置と他の属性の組み合わせがどのような表現で反応と連合するか検討した。なお、基本的な方法論は、Ishizaki et al.(2015)に基づいており、3つの属性の排他的組み合わせで表現される刺激と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）を用いて検討を進めた。

博士前期課程で行った実験 1A, 1B（第2章）では、物体識別属性（色、形属性）と位置属性からなる視覚特徴の組み合わせと反応のマッピングの学習過程を調べ、このマッピングがどのような表現で記憶されるかについて検討した。実験 1A では、Ishizaki et al.(2015)の刺激-反応マッピング課題において用いられた刺激の視覚特徴、色、形、テクスチャのうち、テクスチャを位置に変えても対属性仮説を支持するか検討した。結果は、Ishizaki et al.(2015)の結果と同様に、2属性の特徴の組み合わせを反応にマッピングするよりも、3属性の特徴の組み合わせを反応にマッピングする方が学習が難しかった。これは、対属性仮説に基づき、2属性の特徴の組み合わせと反応の連合は、1つの属性対（2つの属性の結合表現）と反応の連合として記憶されるが、3属性の特徴の組み合わせと反応の連合は、2つ以上の属性対と反応の連合を組み合わせで記憶されると考えると妥当な結果である。一方で、全属性仮説に基づくとは、2属性の特徴も3属性の特徴もひとまとまりに結合されて反応と連合するため、2属性の特徴の組み合わせと反応の連合も3属性の特徴の組み合わせと反応の連合も学習の困難さに差はないと考えられ、本実験結果は説明できない。

ただし、実験 1A において、2属性の特徴の組み合わせでも、色と形の組み合わせと反応のマッピングに比べて、形と位置や、色と位置の組み合わせと反応のマッピン

グ学習の進行が遅かった。この学習の困難さが、脳の情報処理経路（Ungerleider & Haxby, 1994）をまたいで特徴を結合する必要性の有無に依存する可能性が考えられた。つまり、色と形は同じ処理経路（腹側経路）で処理されるために、結合表象を獲得しやすく、マッピング学習が容易であるが、形と位置や色と位置は互いに異なる処理経路で処理される属性であるために結合表象を獲得しにくくマッピング学習が困難である可能性がある。そこで、実験 1B では、実験 1A で用いた刺激の属性のうち形を動きに変えた刺激-反応マッピング課題を行い、脳の背側経路で処理される時空間属性同士の組み合わせである、位置と動きの組み合わせと反応のマッピング学習について調べた。その結果、位置と動きの組み合わせは、色と形の組み合わせと同程度に反応とのマッピング学習が容易になるということではなかった。したがって、脳の情報処理経路が異なる特徴の組み合わせであれば刺激-反応マッピングの学習が難しくなるという可能性は支持されなかった。ただし、位置、色・形、動きの順で特徴の弁別時間が遅かったことから、この特徴の知覚時間の差が刺激-反応マッピングの学習の困難さに影響を与えた可能性が考えられる。これらの結果から、位置や動きといった脳の背側経路で処理される属性は、刺激-反応マッピングにおいて個々に特殊な性質を持つ可能性が示唆される。この特殊性について、今後は位置属性と動き属性について別々に検討していく必要がある。

実験 1A でマッピングの学習の困難さに差が見られたことから、色、形、位置の組み合わせと反応のマッピングにおいて、位置が色や形とは異なる方式でマッピングに関与する可能性が考えられる。そこで、実験 2A, 2B（第 3 章）では、学習により形成された刺激-反応マッピング記憶において位置属性がどのような方式で関与するかを検討した。実験 2A では、位置が色や形と結合した表現で反応と連合するかを検討した。この実験では、他の実験とは異なり、全て色、形、位置の 3 属性の組み合わせと反応の対応関係となるようなマッピングを学習後、刺激特徴を 2 属性ずつ、もしくは 2 属性と 1 属性というように、空間的に 2 つの刺激パターンに分けて提示し、学習が転移するか調べた。その結果、色と形を組み合わせた刺激パターンと、色と位置を組み合わせた刺激パターンを空間的に分けて提示した条件や、色と形を組み合わせた刺激パターンと、位置単独の刺激パターンに空間的に分けて提示した条件では非常に良く学習が転移したのに対し、形単独の刺激パターンと、色と位置を組み合わせた刺激パターンに空間的に分けて提示した条件では転移の程度が下がった。すなわち、位置については単独でも、色と形の対と共に反応を引き起こすことができるが、形を色と位置の対と提示した場合には反応を引き起こしにくいことがわかった。このことから、

色，形，位置の組み合わせと反応のマッピングにおいて，色と形は属性対表現で反応との連合が記憶されるが，位置に関しては色や形とは結合せずに，単独の表現で反応との連合が記憶され得ることが示唆された．実験 2B では，この点をさらに検討するために，色，形，位置の各特徴と反応の連合の強固さを比較した．実験では，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後，3 属性のうち 1 属性の特徴値を交換し，再学習実験を行った．その結果，色や形を交換した場合にはマッピングの再学習が難しくなるが，位置を交換した場合には比較的容易であることがわかった．このことは，色や形の変更が刺激と反応の連合の根本的な変更を要するのに対し，位置の変更は付加的，もしくは柔軟な連合の変更で済むことを示唆する．以上の 2 つの実験から，色-形の属性対表現が形成され反応と連合するのにに対し，位置は単独の表現で，この連合に付加的に関わるという対属性仮説を基にした位置シングルトン仮説を提案した．

実験 3（第 4 章）では，安定した長期記憶への定着がある程度進んでいると想定される長期遅延後の刺激-反応マッピングの記憶表現について検討した．実験では，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後，1 週間程度の遅延期間において，学習した通りに正確に反応を想起できるかを調べた．その結果，まず 1 週間程度の遅延期間後でも学習直後と同様の正確さで反応できた．また，学習直後の反応時間と遅延期間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．そして，学習時と同様に遅延期間後も，2 属性の特徴の組み合わせと反応のマッピングよりも 3 属性の特徴の組み合わせと反応のマッピングの方が適切な反応を素早くとることが難しかった．これらの結果は，全属性仮説では説明がつかないが，対属性仮説で説明がつく．また，2 属性の特徴の組み合わせでは，学習時と同様に遅延期間後も，色と形の組み合わせに基づく反応よりも，形と位置や色と位置の組み合わせに基づく反応は，適切な反応を素早く生起することが難しかった．この結果は，長期遅延後の記憶表現についても，第 3 章で提案した，位置シングルトン仮説が成り立つ可能性を示す．

以上の 5 つの実験の結果から，学習過程，学習直後，長期遅延後の 3 つの記憶段階において，全属性仮説よりも対属性仮説が妥当であることが示された．ただし，物体識別属性（色や形）同士の 2 特徴は結合した表現で反応と連合するのにに対し，位置はこれらの物体識別属性とは結合せずに，単独の表現で反応と付加的に連合する可能性が示唆された．つまり，色や形には対属性仮説をそのまま適用することができるが，

位置に関しては仮説の修正（位置シングルトン仮説）が必要である。さらに、色、形、位置の組み合わせと反応のマッピングを一旦十分に学習し、1週間程度の遅延期間をおいた場合、遅延期間中に復習をしなくとも学習痕跡は保持されており、それどころか学習がさらに進み、より早く反応を想起できるようになる可能性が示唆された。

5-2. モデルの提案

Ishizaki et al. (2015)では、色、形、テクスチャの組み合わせと反応のマッピング記憶を説明するニューラルネットモデルが提案されている。図 5.1 に、色、形、位置の組み合わせに対してこのモデルを適用したものを示す。このモデルは実験 2A のように、3属性の組み合わせにより反応が対応づけられる連合関係のみで構成されるマッピングを表現している。まず、入力層の6つのユニットは、それぞれ2種類の色(C:Color)、形(S:Shape)、位置特徴(L:Location)に対応している（特徴ユニット）。例えば、実験 2A に当てはめると、「C₁」と「C₂」はそれぞれ「赤」と「緑」を、「S₁」と「S₂」はそれぞれ「三角形」と「丸」を、「L₁」と「L₂」はそれぞれ「左」と「右」のことを示す。中間層の12個のユニットは、色と形、色と位置、形と位置の属性対を表し（結合ユニット）、出力層の4個のユニットが4種類のキー押し反応に対応する（反応ユニット）。提示される刺激が持つ特徴の組み合わせに応じて、特徴ユニットや結合ユニットが選択的に活性化し、反応ユニット（4種類のキー押し反応に対応する）に向けて信号を出力する。

この対属性仮説のニューラルネットモデルに基づき、色、形、位置の3属性の組み合わせと反応のマッピング記憶において、位置が色や形とは異なる方式で連合に関与するとした場合のモデル（位置シングルトン仮説）に基づく簡単なニューラルネットモデルを考える。対属性仮説では、3属性が対等に属性対を形成すると考えているため、属性対を表現する結合ユニットは12個示されていたが、位置シングルトン仮説では位置が単独で連合に関与すると考えられるため、位置を含む結合ユニットを仮定しない。しかし、位置特徴ユニットから反応ユニットに直接入力すると考えると、位置特徴ユニット L₁ と L₂ の両方から全ての反応ユニットに連結をもつことになるため、位置属性に基づき反応選択することが不可能になる。そこで、位置特徴ユニットからの出力は、色形結合ユニットと反応ユニットの間の連結ゲートを開閉する形で働くと考える。そのように考えると、例えば、C₁, S₁, L₁ の特徴の組み合わせから成る刺激が提示された場合、特徴ユニット C₁, S₁, L₁ が活性化し、C₁ は C₁S₁ と C₁S₂ に、S₁

は C_1S_1 と C_2S_1 に信号を送り，結果として C_1S_1 が活性化される． L_1 からは C_1S_2 から Ra ， C_1S_1 から Rb ， C_2S_1 から Rc ， C_2S_2 から Rd の連結に抑制がかかる． 活性化される結合ユニット C_1S_1 から反応ユニット Rb ， Rd への連結のうち Rb への連結に L_1 から抑制がかかるため（図中の灰色部分）， Rb ではなく Rd が選択されて反応がなされる． なお，図 5.2 では，このとき活性化されるユニットや連結を黄色で着色している．

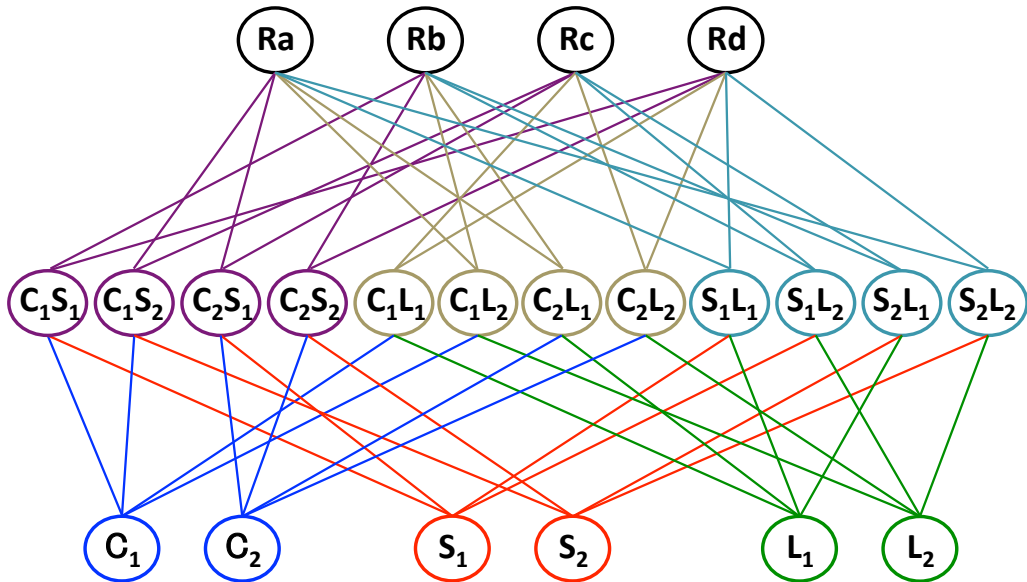


図 5.1 Ishizaki et al.(2015)の対属性仮説に基づくニューラルネットモデル
(Ishizaki et al.(2015)を改変)

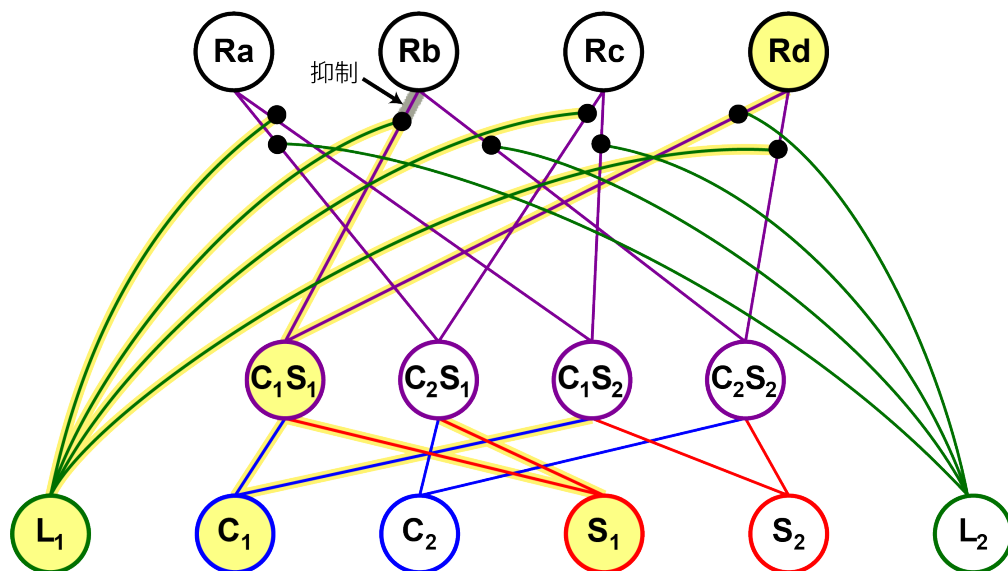


図 5.2 色，形，位置の3属性の組み合わせと反応のマッピング記憶の説明モデル
(位置シングルトン仮説に基づくニューラルネットモデル)

図 5.2 のモデルのように、色形結合ユニットと反応ユニットの間の連結に対し、位置特徴ユニットの出力が修飾して関連すると仮定すると、位置特徴が変更されたときには、色形結合ユニットを介するネットワークの基盤部分はそのまま利用できるため、再学習は柔軟に可能であると考えられる。一方、色や形の変更したときには、基盤となるネットワークを変更した上で、新たな連結に対して位置特徴ユニットからの修飾関係を構築する必要があるため、再学習が難しくなる。このように、本モデルは位置シングルトン仮説の特徴を反映している。

5-3. 総合議論

本研究では、学習過程、学習直後、長期遅延後の3つの記憶段階において、位置属性を含む物体の視覚特徴の組み合わせがどのような表現に統合し、反応と連合するかについて、Ishizaki et al. (2015)で提案された対属性仮説を拡張した仮説（位置シングルトン仮説）を用いて説明できることを提案した。これらの記憶段階はそれぞれ、作業記憶を活用して長期記憶にエンコードする段階（学習過程）、長期記憶にエンコードされた直後の段階（学習直後）、安定した長期記憶への定着がある程度進んだ段階（長期遅延後）に相当する。なお、本研究で研究対象とする位置属性とは、ある枠組みの中での相対的位置のことを指す。

これまでの研究では、視覚的記憶において物体の視覚特徴がどのような表現に統合されるかについて、複数のモデルが提案されてきた。その代表的なモデルとして、全属性仮説と対属性モデルがある。全属性仮説は、物体に含まれる全ての属性をひとまとまりに記憶しているという考え方で（Luck & Vogel, 1997; Kahneman et al., 1992 など）、対属性モデルは2つの属性の結合表現（属性対表現）の集合として記憶しているという考え方である（Morita et al., 2010; Hommel, 1998 など）。また、特徴統合プロセスにおいて、物体の空間位置が特殊な役割を担うか否かに関して積極的に議論されてきた。例えば、物体認知に関する基本的な説明理論であるオブジェクトファイル理論を提唱した Kahneman et al. (1992) は、物体の位置情報を基に一時的な記憶表象（オブジェクトファイル）が作られ、そこに視覚特徴がひとまとまりになって記録されるとしている。つまり、彼らは、位置を視覚特徴の統合表象を作るプロセスにおいて要となる属性だと考えている。比較的最近の研究（Kondo & Saiki, 2012; Treisman & Zhang, 2006）でも、位置が知覚の初期プロセスにおいて重要な役割を果たすと考えられており、位置は課題要求に関係なく、自動的に統合表象にエンコード

されることが示唆されている。これに対して、Hommel (1998)のイベントファイルモデルでは、視覚的記憶において位置が特別な役割を持つとは考えておらず、他の視覚的な属性と対等に結合するとしている。さらに、最近の研究においては、統合表象が記憶にエンコードされた後の位置の役割に注目しており、位置は知覚プロセスにおいてはオブジェクトファイル理論で考えられたような重要な役割を果たすが、視覚作業記憶に統合表象がエンコードされた後はその役割を失うことを示唆する実験結果が複数報告されている (Logie, Brockmole & Jaswal, 2011; Saiki, 2016)。

一方、Ishizaki et al.(2015)は、反応出力を伴う長期記憶における視覚特徴の統合表象について検討し、物体識別属性のみから成る視覚特徴の組み合わせは、2属性ずつ結合した属性対表現を組み合わせで統合され、この表現を基本単位として反応と連合するという対属性仮説を提案している。彼らの研究を基に本研究では、視覚特徴の組み合わせに位置属性が含まれた場合にも、対属性仮説を適用できるか検討した。その結果、物体の複数の視覚特徴は、基本的に2属性ずつ結合した属性対表現を組み合わせで統合されるが、位置属性に関しては他の属性（色や形など）とは結合せずに単独の表現で付加的に統合表象に加わるという位置シングルトン仮説を提案した(第3章)。このモデルは、Ishizaki et al.(2015)の対属性仮説を拡張する考え方である。Ishizaki et al.(2015)が報告したように、色や形などの物体識別属性には対属性仮説をそのまま適用することができるが、位置については前述の通り仮説を修正する必要があると考えられる。なお、位置の役割や性質に注目すると、位置は視覚作業記憶に統合表象がエンコードされた後、エンコード時に持っていた特別な役割や性質を失うとする先行研究で提案された仮説と本研究で提案するモデルの基本的な考えは一致する。すなわち、エンコード時には位置を基盤として視覚特徴の統合表象が記録されるが、記憶の保持段階では、位置属性は必ずしも他の属性の結合表象（例えば色と形の組み合わせ）の保持に必要ではなく、重要な役割を持たないと考える。さらに、本研究では位置が記憶の保持段階で「重要な役割を持たない」ことについて、実験 2B で具体的な実験的根拠を得た。そこから、色、形といった物体識別属性と位置属性からなる視覚特徴の組み合わせと反応のマッピングにおいて、物体識別属性の2特徴の属性対表現と反応の連合が基礎を成しており、これに対して位置の単独表現が付加的に関与するという位置シングルトン仮説が提案された。

本研究と先行研究における以上のような研究結果をまとめると、知覚から記憶のプロセスにおける視覚特徴の処理について次のように理解することができる。まず、視覚情報処理の初期段階において、視覚の基本的特徴は属性ごとに抽出され、個別に並

列処理された後、高次の処理段階で位置属性を基盤として統合されて一時的記憶にエンコードされる。このエンコードの際、位置属性は統合表象形成の要となるため、自動的に統合表象に付与される。一方、色や形といった物体識別属性は記憶にエンコードされる際、課題要求に応じて統合表象に追加される (Kondo & Saiki, 2012)。そして、視覚作業記憶において、複数の視覚特徴の組み合わせは2特徴ずつ結合した属性対表現を段階的に組み合わせて記憶される。この視覚作業記憶の保持段階では、位置はオブジェクトファイル理論で想定されたような特別な役割を持たず、特徴の統合表象に必要なに応じて存在する。さらに、視覚運動マッピングのような長期記憶においては、学習段階から安定した長期記憶として定着して保持されるまで、色や形といった物体識別属性同士の組み合わせは、2特徴ずつ結合した属性対表現の集合として記録され、この表現と反応が連合する。一方、視覚特徴の組み合わせに位置が含まれた場合、位置は他の属性とは（少なくとも色や形とは）結合されずに単独の表現で付加的に連合に関与し得る。視覚作業記憶において位置が他の属性と結合されて属性対表現を形成するのか否かなど、実験的検討が不足している点はいくつかあるが、以上のようにして我々が日常的に安定して物体を知覚し、それに対して適切な行動をとる基盤が構築されると理解することができる。

本研究の特色の一つは、単なる視覚的記憶ではなく、刺激-反応マッピングについて検討したところにある。つまり、これまでの先行研究では、単に位置を含む物体の視覚特徴の組み合わせの記憶表象について研究しているが、本研究では、その記憶表象がどのように行動に結びつくかを検討している。日常生活における視覚運動マッピングに基づく行動生起場面では、位置シングルトン仮説のように、位置が付加的に反応との連合に関与するという記憶表現であると考えれば、次のような特性が見られる可能性がある。まず、色と形など物体識別属性の組み合わせから素早く複数の反応を仕分けることは比較的容易に学習できるが、位置と他の属性の組み合わせから素早く複数の反応を仕分けることを学習するのは比較的難しい可能性がある。また、一旦学習した刺激と反応の対応関係について、位置が変更される場合は色や形が変更される場合に比べて柔軟に対応できる可能性がある。このような本研究で得られた示唆は、ヒトの高度な認知的行動を理解する基盤として重要である。

実際には例えば、日常的に、物体が何であるかという情報から物体を識別したり反応を想起する場面は多いが、その物体がどこにあるかという情報から物体を識別したり反応を想起する場面は比較的少ない。他にも、全く同じ色や形などの物体識別属性を持つ2つの物体について、位置が異なることから異なる反応をする場面は少ないだ

ろう。ただし、位置により手を伸ばす方向が異なる場合は、異なる反応とは考えない。ここでの異なる反応とは、白いミルが右側にあれば挽くが、左側にあつたら振るなどである。このようなことから、位置と他の属性の組み合わせから反応を仕分けることに比べて、物体識別属性の組み合わせから反応を仕分けること（白いミルは挽くが、黒いミルは引かないなど）を日常的によく経験することで慣れていているため、物体識別属性の組み合わせと反応の連合関係が行動想起の基盤となりやすいのかもしれない。ただし、刺激反応適合性の効果（右の刺激に対して、右のボタンを押す場合に左のボタンを押すよりも反応時間が早くなるというような、刺激と反応で特徴が適合する場合に適合しない場合に比べて反応しやすくなる現象）のように決まった関係にあるものは除き、ここではあくまで任意の視覚運動マッピングについて考える。

なお、本研究では色、形属性以外の視覚における基本的特徴が様々にある中でも、位置属性に注目して検討を行い、位置シングルトン仮説を提案したが、位置だけが特別に単独表現でマッピングに関わるのか、他の属性でも単独表現でマッピングに関わるものがあるかは明らかではない。例えば、動き属性に関しては、実験 1B から、背側経路同士の組み合わせである動きと位置の組み合わせと反応のマッピングが、異なる経路で処理される属性同士の組み合わせ（色と位置や色と動き）と同等の難易度で学習され、特に学習が容易になるわけではないことがわかっている。このことから、動きも位置と同様に他の属性と結合せずに、単独の表現で刺激-反応マッピングに関わるという可能性が考えられる。ただし、動きは、実験 1B の特徴弁別課題の結果から、色や位置よりも弁別（知覚）時間が遅いことがわかっており、このことが原因で刺激-反応マッピング学習が困難である可能性もある。今後は、対属性仮説やシングルトン関与型のモデル（位置シングルトン仮説のように、他の属性と属性対表現を形成せず、単独の表現で反応と連合する属性が存在するとするモデル）の一般性をより高めるために、動き属性をはじめとし、他の視覚における基本的特徴に関しても、これらの仮説で説明できるか検証する必要があると考えている。

本研究より、主要な視覚の基本特徴の統合と反応のマッピングについて、対属性仮説と、位置シングルトン仮説のようなシングルトン関与型のモデルを用いて説明できると考えられるが、これらの仮説についてはまだ検討しなくてはいけないことが残っている。例えば、3属性の特徴が結合した表現は学習により獲得されないことを示す研究結果が得られているが、より長期にわたる学習により、あるいは属性の組み合わせによっては、3属性の特徴を一度にひとまとまりに結合する表現が獲得される可能性も考えられる。先行研究においては、長期にわたる学習により多数の特徴の結合に

応答する神経細胞が出現することを示す生理学的データが報告されており (Booth & Rolls, 1998), 非常に親近性の高い刺激については, 3 属性の特徴が単一の表現に結合される可能性がある.

また, 本研究で行った程度の刺激-反応マッピング学習により, どの程度正確に反応できるようになるのかについて議論する. これまでの実験結果を見ると, まず, 反応に制限時間がかかっている学習段階の最終的なアイテムセット別の正答率は, 実験 1A, 実験 1B では 60~80%程度, それ以降の実験では 80~90%程度であった. 表 5.1 に示す通り, 実験 1A, 実験 1B では, 他の実験よりも厳しい制限時間をかけており, 10 試行ごとの正答率が 70%を超える場合には制限時間を 5%縮め, 70%未満の場合は 5%伸ばすというように制限時間を変化させた. このように, 全アイテムの平均正答率が 70%になるように制限時間が制御されているため, アイテムセット別の最終正答率が 60~80%程度でとどまると考えられる. これに対して, 実験 2A では 2000ms のまま不変, 実験 2B と実験 3 では制限時間の変動の度合いが小さく, 1300ms よりも短くならないというように, 実験 1A, 1B よりも緩い制限時間がかけられていた. そのため, 学習段階の最終的な正答率が 80~90%程度と少し高くなったと考えられる. そして, 十分に学習が終わった後, 制限時間を外したテストブロック (実験 1A, 1B, 3 で設けられている) のアイテムセット別の正答率を見ると, 90~100%程度になっている. このことから, 今回の実験のような制限時間を課して 14 ブロック (各アイテムにつき 140 試行) の学習を行った場合には, 10 試行中 1 回だけ間違いかどうかというくらいまで正確に反応できるようになることがわかる. ただし, 今回の実験からは, どのくらいの学習を行えば 100%正しく反応できるようになるかについては明らかではないため, このことについては今後の課題とする.

表 5.1 実験における制限時間の制御方法

実験	制限時間		
	初期設定	制御方法	下限
実験1A, 1B	2000ms	10試行ごとの平均正答率が70%を超える場合は5%短縮し, 70%未満である場合には5%延長	なし
実験2A	2000ms	不変 (常に2000ms)	なし
実験2B	2000ms	10試行ごとの平均正答率が70%を超える場合は3%短縮し, 70%未満である場合には3%延長	1300ms
実験3	2000ms	10試行ごとの平均正答率が70%を超える場合は3%短縮し, 70%未満である場合には3%延長	1300ms

次に、本研究の5つの実験におけるデータの除外方法について議論する。表 5.2 に各実験におけるデータの除外方法とその除外理由を示す。まず、実験 1A と実験 1B では①学習ブロック全体における全アイテムの平均反応時間・平均正答率が全参加者の平均値から標準偏差の3倍以上離れている場合と、②テストブロックでの全アイテムの平均正答率が 65%を下回る場合にその参加者のデータを外れ値とみなし分析から除外するという共通の基準を設けた。ただし、実際には実験 1A では①（正答率）と②、実験 1B では①（正答率、反応時間）の除外基準を満たす参加者のデータがなかった。このように除外基準を設定した理由は、実験 1A, 1B では学習時の反応傾向や学習後の反応の正確さ（学習の達成度にあたる）に注目したためである。実験 2A と実験 2B では、学習ブロックで1ブロックの平均正答率が 80%を一度も超えない、もしくは最終ブロックである第 13 ブロックで初めて超えた場合に、その参加者のデータを外れ値とみなし分析から除外するという共通の基準を設けた。ただし、実際には実験 2A においてはこの除外基準を満たす参加者のデータがなかった。実験 2A と 2B では学習ブロックの進行のデザインが共通していたため、このように除外基準を揃えた。これに加えて、実験 2A と 2B はそれぞれ十分に学習した後の転移と再学習を調べたため、各実験における個別の除外基準を設けた。この個別の除外基準は転移や再学習における反応傾向が全体から大きく外れる場合にデータを省くという目的で設けた。実験 3 では、実験 1 日目において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場合に、その参加者のデータを外れ値とみなし分析から除外した。これは、実験 3 では十分に学習した後の遅延後の記憶について調べたため、1日目で十分に学習できなかった参加者のデータを省くという考えのもと行った。以上のように、本研究では実験間の除外基準が揃っていない。これは、一つ一つの実験を個別の研究として論文等にまとめて発表する中で除外基準が異なってしまったためであるが、本来であれば一貫させるべきであった。また、本研究では反応時間の外れ値に関する処理として、標準偏差による選択をする方法と対数変換を行ってデータ分布を修正する方法の2つを用いたが、本来であればどちらか1つの方法を用いるべきであった。

表 5.2 実験におけるデータの除外方法

実験	データの除外方法	理由	除外人数	備考
実験1A	学習ブロック全体における全アイテム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倍以上離れている場合に除外	全体の反応傾向から大きく外れるため	1名(28名中)	実験1A,1Bの共通の除外基準： ①学習ブロック全体における全アイテムの平均反応時間，正答率が全実験参加者の平均値から標準偏差の3倍以上離れていること ②テストブロックでの全アイテムの平均正答率が65%を下回っていること
実験1B	テストブロックでの全アイテムの平均正答率が65%を下回っている場合に除外	学習が十分にできていないと判断されるため	3名(29名中)	
実験2A	転移ブロックの1つ以上のブロックにおいて，正答率が全実験参加者の平均値から標準偏差の3倍以上離れている場合に除外	全体の反応傾向から大きく外れるため	2名(24名中)	実験2A,2Bの共通の除外基準： 学習ブロックで，1ブロックの平均正答率が80%を一度も超えなかった，もしくは第13ブロックで初めて超えたこと
実験2B	学習ブロックで，1ブロックの平均正答率が80%を一度も超えなかった場合と第13ブロックで初めて超えた場合に除外(3名)	他の参加者に比べて学習が十分ではない可能性があるため	4名(60名中)	
	学習最終ブロックと比べた再学習ブロックでの正答率の低下量の累積値が全実験参加者の平均値から標準偏差の3倍以上離れていた場合に除外(1名)	再学習の進み具合が全体の傾向から大きく外れるため		
実験3	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場合に除外(1名)*	実験刺激の色の識別に影響を与える可能性があるため	3名(24名中)	
	実験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場合に除外(2名)	学習が十分にできていないと判断されるため		

※ 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いことはどの実験においても除外対象となる。

最後に，物に対する行動について考える上で，アフォーダンスについて考慮する必要がある．そこで，アフォーダンスと本研究で扱う視覚運動マッピングの違いについて整理する．まず，Gibson(1979)が提唱したアフォーダンスは，環境や物がヒトや動物に与える意味や価値として定義されており，物が行為を afford する（与える，提供する）情報を持っていて，その情報をヒトが受け取って実際に行動を取るという概念である．これに対し，Wise & Murray(2000)が提唱した視覚運動マッピングは，任意の刺激に対して任意の反応を自由に対応づけるというものである．また，学習した視覚運動マッピングは，状況に応じて（環境の変化や経験を積むことによる知識の変化など）柔軟に変更することもできるとされている．視覚運動マッピングでは，状況に応じて任意の刺激-反応連合を形成することができるため，誰にとってもいつも同じ行動が afford されるアフォーダンスとは異なり，本来の人間の能力とは異質の技能であり，能動的で高度な認知的行動と言える。

5-4. 今後の課題

(a) 視覚運動マッピングにおける空間属性の関与方法や性質

実験 1A, 1B の結果から、2 属性の特徴の組み合わせと反応のマッピングにおいて、脳の背側経路で処理される時空間的属性が 1 種類以上刺激特徴として含まれると、脳の腹側経路で処理される物体識別属性のみが含まれる場合に比べて学習が困難になることがわかった。このことから、位置や動きといった時空間的属性は、刺激-反応マッピングにおいてそれぞれに特殊な関わり方をする可能性が考えられる。例えば、色・形、位置、動き属性は、互いに弁別（知覚）時間に差があることから、この知覚時間の差が刺激-反応マッピングの学習の困難さに影響する可能性も考えられる。本研究においては、位置に注目してその性質を詳細に検討し、刺激-反応マッピングにおける記憶表現は対属性仮説とシングルトン関与型のモデルで説明されることを示したが、今後は、動き属性の性質についても詳細に検討し、仮説の一般性を高めていく必要がある。

(b) 視覚運動マッピングにおける代替経路の存在

実験 3 の結果から、色、形、位置の組み合わせと反応のマッピングは長期遅延後でも、記憶表現を変えることなくかなり正確に記憶に保持されることが示唆された。このことから、本論文で提案するような位置シングルトン仮説のような連合表現はある程度の安定性と強固さを持って記憶されることが考えられる。ただし、実験 2A の結果では、記憶の転移の程度が落ちると言っても、どの提示条件においても正答率が 80% 以上で非常に高かった。このことは、本研究で提案した位置シングルトン仮説が主要な反応選択過程であるが、これを用いることができない場合に、他に代替となる過程が存在し得る可能性を示唆する。あくまで可能性であるが、そのような代替過程では、例えば、長期にわたってよく学習することにより少しずつ 3 属性が集合した表現が一部形成されて反応と連合している可能性や、なんらかの理由で属性対と反応の連合が利用できない場合に、各属性と反応の対応関係から反応を選択している可能性も考えられる。このような、主要な反応選択過程が利用できない場合の代替過程の存在の有無について検討することで、視覚運動マッピングの柔軟な学習メカニズムを理解するための示唆が得られる可能性がある。

(c) 刺激-反応連合における形と位置の組み合わせの結合表現

実験 2A では、転移ブロックにおいて色と位置を組み合わせた刺激パターンや色と形を組み合わせた刺激パターンを用いたが、形と位置を組み合わせた刺激パターンについては検討しなかった。そのため、厳密に言えば、本実験は形と位置の結合がされていないことを直接検証するデザインにはなっていない。そこで、実験 2A の実験デザインで、位置を形から空間的に分離して提示しても転移が落ちないことを調べることを今後の課題とする。このことを検討することは、位置シングルトン仮説の妥当性を高めるために重要である。

(d) 刺激と反応の連合関係に関与しない物体特徴のマッピングへの影響

実験 1A, 1B, 2B, 3 において設定した、2 属性アイテムは、3 属性のうち 2 属性の特徴のみが反応との連合に関与する（例えば、色と位置の組み合わせと反応の連合関係（色-位置セット）に、形は直接関与しない）。このとき、反応との連合関係に直接関与しない属性がマッピングの記憶表象に含まれるか否かは明らかではない。特に、刺激-反応マッピングの記憶において、色と形は結合した表現（属性対表現）を形成して反応と連合するため、色もしくは形のどちらか一方が連合に関与しない場合にも、属性対を形成するかどうか(図 5.3)は興味深い問題である。このことを解明することは、記憶における特徴統合のメカニズムを理解する上で重要である。

色と位置の組み合わせと反応の連合表現(色-位置セット)

a. 形も連合に含まれる
(色-形の属性対が作られる)

b. 形は連合に含まれない



○ … 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 5.3 色と位置の組み合わせと反応の連合表現に
(a)形が含まれる場合と(b)含まれない場合のモデル

(e) 時間経過に伴う視覚運動マッピング記憶の変容

実験3では、色、形、位置の3属性の組み合わせと反応のマッピング記憶が1週間程度の遅延において、かなり正確に保持されることが示唆された。しかし、より長期に及ぶ時間経過に伴って、この記憶がどのように変容もしくは消失していくか、もしくはほとんど変化せず保持されるのかという問題については明らかではない。今後は、同様の実験方法を用い、遅延期間を独立変数として、この点について検討したい。長期の時間経過に伴う視覚運動マッピングの記憶変容について調べることは、より日常的な視覚運動マッピングの記憶メカニズムを検証する上で重要である。

(f) 刺激と連合する運動反応の様式の違いが視覚運動マッピングの学習に与える影響

本研究における実験では、画面に刺激物体を提示し、それに対してボタン押しを繰り返すという方法で、刺激-反応マッピング学習を行った。しかし、日常における行動を考えると、このように、刺激物体自体には触れず媒介物を通して反応するという場面だけではなく、物体そのものに直接作用するような行動を行うこともある(例えば、点灯したボタンを押すなど)。刺激-反応マッピングにおいて、このような様式の反応方法を刺激と連合する場合にも、位置シングルトン仮説が成り立つか否かを調べることにより、この仮説の一般性をより高めることができると考えられる。

(g) 様々な種類の特徴への一般化

本研究では、刺激-反応マッピングにおける色や形、位置などの属性の基本的性質について検討するために、各属性の視覚における基本的特徴(色属性:赤か緑,形属性:三角か四角か丸,位置属性:左か右,動き属性:左右運動か上下運動)を用いて実験を行った。また、視覚における基本的属性の中でも、色、形、位置、動きについてのみ検討した。対属性仮説や本研究で提案するシングルトン関与型のモデルがより一般に成り立つことを証明するために、今後は他の特徴(例えば、運動属性であれば回転運動の回転方向の特徴)や他の属性(例えば、傾き属性、両眼視差属性)も用いて本研究の実験結果が再現されることを示す必要がある。

5-5. まとめ

視覚運動マッピング（刺激-反応マッピング）とは、物体の持つ視覚特徴の組み合わせと反応の間の複雑な対応づけ学習のことをいう。例えば、視覚特徴の組み合わせから成る視覚的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）に対して、適切な行動を仕分けるように学習することがこれにあたる。このような視覚運動マッピングを行う機能は、ヒトの高度な認知的行動の基盤となるメカニズムである。

本研究では、視覚運動マッピングのメカニズムを解明するために、視覚特徴の組み合わせと反応の連合がどのような表現で記憶に保持されるかを明らかにすることを目指した。このことに関して、Ishizaki et al. (2015)の先行研究では、物体の視覚特徴は、2属性ずつ結合した表現（属性対表現）を基にして反応と連合するという対属性仮説が提唱されていた。しかし、この仮説は、色、形、テクスチャという3つの物体識別属性のみを扱った実験により導かれた説明であったため、時空間的属性（位置や動きなど）についても対属性仮説を適用できるかは定かではなかった。また、彼らの検討は刺激-反応マッピングの学習過程に焦点を当てていたため、学習が十分に行われた後の記憶の保持に関しては検討されていなかった。そこで、本研究では、刺激-反応マッピングの学習過程（作業記憶を活用して長期記憶にエンコードする段階）、学習直後（長期記憶にエンコードされた直後の段階）、長期遅延後（安定した長期記憶への定着がある程度進んだ段階）の3つの記憶段階において、位置と他の属性の組み合わせがどのような表現で反応と連合するか検討した。ここで、位置に注目した理由は、これまで多くの心理学研究の中で、物体の位置属性は、複数の視覚特徴を統合するための基盤となる属性と考えられており、刺激-反応マッピングに基づいて反応を想起する段階でも、位置と反応の連合が反応想起の要になるなど、位置が重要な役割や特殊な性質を持つ可能性が考えられたためである。

本研究の結果、3つの記憶段階のうちどの段階でも位置が刺激-反応マッピングの記憶において重要な役割を持つという証拠は得られず、色、形、位置の組み合わせと反応のマッピングにおいて、色-形の属性対と反応の連合が基盤となっており、位置は個別にそれを必要に応じて修飾するような形で関与することが示唆された。この結果は、Ishizaki et al. (2015)の対属性仮説を部分的に支持するものであった。つまり、物体識別属性同士の組み合わせに関しては、対属性仮説をそのまま適用できるが、位置属性を含んだ組み合わせに関しては仮説の修正を必要とする。

本研究で提案された、色、形、位置の組み合わせと反応の刺激-反応マッピングの記憶表現に関する対属性仮説とシングルトン関与型のモデルによる説明は、ヒトの高度

で複雑な認知的行動を理解するための基盤として役に立つ。すなわち、ヒトは物体が何であるかということに関する任意の情報に対して任意の行動をとることを学習することは得意であるが、その物体がどこにあるかという情報を含めた任意の情報に対して任意の行動をとることを学習することは比較的苦手であり、誤った行動の生起に結びつきやすい可能性が示唆される。さらに、今後、視覚の範囲に留まらず、異なる感覚情報の統合（例えば、視覚情報と聴覚情報の統合）と反応のマッピングについても研究を広げていくことができれば、人間の高次の行動をより広く説明することができると考えられる。本研究は、そのステップとしても意義があると考えている。

最後に、日常場面での応用について考えると、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仕分けるような視覚的なサインやアイコンは、誤った行動を導きやすい可能性が指摘される。一方で、他の反応とは区別させたい場合には、位置により行動を仕分けるようにデザインすると良い可能性が考えられる。例えば、複数の行動を誘導するサイン表現では、即座に対応しなければいけないような緊急性や重要性の高い行動は色と形の組み合わせで表現し、後でゆっくり判断しても良い副次的な行動は位置を異ならせることにより表現すると、サイン表現と適切な行動の対応関係をより記憶しやすくできる見込みがある。また、マッピングにおける位置の関与が柔軟であることから、サインなどのデザイン変更をする際に位置の変更であれば比較的早く新しい行動を獲得できる可能性がある。

謝辞

本論文は、多くの方々からのご支援、ご助言により完成させることができました。

本論文を仕上げるにあたり、ご指導いただいた森田ひろみ先生に深く感謝致します。大学院在籍中の5年間の研究生活において終始、懇切丁寧なご指導を賜り、研究に行き詰まった時にはお忙しい中でも、いつも熱心に相談にのっていただきました。また、研究以外にも進路のことなど様々のご助言をいただきました。厚く御礼申し上げます。

西岡貞一先生には、ご多忙にも関わらず研究指導教員を快く引き受けていただき、研究や学生生活に関する様々のご助言をいただきました。丁寧なご指導をして頂き、深く感謝致します。

平賀譲先生には、ご多忙にも関わらず副研究指導教員を快く引き受けていただきました。そして、日頃から研究に関する多くのご指摘やご助言を頂きました。丁寧なご指導をしていただき、深く感謝致します。

森田昌彦先生には、博士前期課程の頃から、研究を進める上で多くのご助言やご支援を頂きました。深く感謝致します。

井上智雄先生、鈴木佳苗先生、綾部早穂先生にはご多忙にも関わらず本論文の審査を引き受けていただき、多くのご指摘やご助言をいただきました。心より御礼を申し上げます。

そして、研究室のメンバーにも研究生活全体を通して大変お世話になりました。研究に関するご指摘やご助言は、いつも大変参考になりました。また、本論文の完成にあたり、たくさんの方が実験の参加者を引き受けてくださいました。お忙しい中、貴重なお時間をいただき心より感謝申し上げます。最後に、研究生活を常に支えてくれた家族に深く感謝します。

参考文献

- Atkinson, R. C. & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory : A proposed system and its control processes. In K. Spence & J.T. Spence (Eds.), *The psychology and motivation : Advances in research and theory*, Vol. 2. Academic Press. 89-195.
- Baddeley, A. D. & Hitch, G. J. (1974). Working memory. G.H.Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation*, 8, 47-89.
- Booth, M. C. & Rolls, E. T. (1998). View-invariant representations of familiar objects by neurons in the inferior temporal visual cortex. *Cerebral cortex*, 8(6), 510-523.
- Brainard, D. H.(1997). The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, 10, 443-446.
- Cavanagh, P., Arguin, M. & Treisman, A. (1990). Effect of surface medium on visual search for orientation and size features. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16.3, 479.
- Davis, G. & Holmes, A. (2005). The capacity of visual short-term memory is not a fixed number of objects. *Memory & cognition*, 33(2), 185-195.
- Deiber, M. P., Wise, S. P., Honda, M., Catalan, M. J., Grafman, J. & Hallett, M. (1997). Frontal and parietal networks for conditional motor learning: a positron emission tomography study. *Journal of Neurophysiology*, 78, 977-991.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston, Houghton Mifflin. (翻訳書 : 古崎敬, 古崎愛子, 辻敬一郎, 村瀬旻 訳 (1985). 『生態学的視覚論:ヒトの知覚世界を探る』, 東京, サイエンス社)
- Goodale, M. A. & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, 15, 20-25.
- Gurnsey, R., Humphrey, G. K. & Kapitan, P. (1992). Parallel discrimination of subjective contours defined by offset gratings. *Perception & Psychophysics*, 52(3), 263-276.
- Hommel, B. (1998). Event files: Evidence for automatic integration of stimulus-response episodes. *Visual Cognition*, 5, 183-216.
- Hommel, B. (2004). Event files: Feature binding in and across perception and action. *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 494-500.
- Ishizaki, T., Morita, H. & Morita, M. (2015). Feature integration in the mapping of

- multi-attribute visual stimuli to responses. *Scientific Reports*, 5, 9056.
- Kahneman, D., Treisman, A. & Gibbs, B. J. (1992). The reviewing of object files: Object-specific integration of information. *Cognitive Psychology*, 24, 175–219.
- Kastner, S., De Weerd, P., Pinsk, M. A., Elizondo, M. I., Desimone, R. & Ungerleider, L. G. (2001). Modulation of sensory suppression: implications for receptive field sizes in the human visual cortex. *Journal of neurophysiology*, 86, 1398-1411.
- Kleiner, M., Brainard, D., Pelli, D., Ingling, A., Murray, R. & Broussard, C.(2007). What's new in Psychtoolbox-3. *Perception*, 36, 1-16.
- Kondo, A. & Saiki, J. (2012). Feature-specific encoding flexibility in visual working memory. *PloS one*, 7, e50962.
- Livingstone, M. S. & Hubel, D. H. (1987). Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement, and depth. *Journal of Neuroscience*, 7, 3416-3468.
- Livingstone, M. & Hubel, D. (1988). Segregation of form, color, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception. *Science*, 240, 740-749.
- Logie, R. H., Brockmole, J. R. & Jaswal, S. (2011). Feature binding in visual short-term memory is unaffected by task-irrelevant changes of location, shape, and color. *Memory & cognition*, 39(1), 24-36.
- Logie, R. H., Brockmole, J. R. & Vandembroucke, A. R. (2009). Bound feature combinations in visual short-term memory are fragile but influence long-term learning. *Visual Cognition*, 17(1-2), 160-179.
- Loftus, E. F.(1979). *Eyewitness testimony*. Cambridge: Harvard University Press.
- Luck, S. J. & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390.6657, 279-281.
- McGaugh, J. L.(2000). Memory-a century of consolidation. *Science*, 287, 248-251.
- Mettler, E. & Kellman, P. J.(2014). Adaptive response-time-based category sequencing in perceptual learning. *Vision research*, 99, 111-123.
- Morita, M., Morokami, S. & Morita, H. (2010). Attribute pair-based visual recognition and memory. *PloS one*, 5, e9571.
- Nakayama, K. & Silverman, G. H. (1986). Serial and parallel processing of visual feature conjunctions. *Nature*, 320(6059), 264-265.

- Passingham, R. E. (1988). Premotor cortex and preparation for movement. *Experimental Brain Research*, 70, 590-596.
- Passingham, R. E. (1993). *The frontal lobes and voluntary action*. Oxford University Press.
- Pelli, D. G.(1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies. *Spatial Vision*, 10, 437-442.
- Petrides, M. (1982). Motor conditional associative-learning after selective prefrontal lesions in the monkey. *Behavioural Brain Research*, 5, 407-413.
- Sagi, D. (1988). The combination of spatial frequency and orientation is effortlessly perceived. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 43(6), 601-603.
- Saiki, J. (2016). Location-unbound color-shape binding representations in visual working memory. *Psychological science*, 27(2), 178-190.
- Sakata, H., Taira, M., Kusunoki, M., Murata, A. & Tanaka, Y. (1997). The parietal association cortex in depth perception and visual control of hand action. *Trends in neurosciences*, 20(8), 350-357.
- Stickgold, R. (2005). Sleep-dependent memory consolidation. *Nature*, 437, 1272–1278.
- Stickgold, R., Whidbee, D., Schirmer, B., Patel, V. & Hobson, J. A.(2000). Visual discrimination task improvement: A multi-step process occurring during sleep. *Journal of cognitive neuroscience*, 12.2, 246-254.
- Thorndike, E. L. (1898). *Animal intelligence: An experimental study of the associative processes in animals*. *Psychological Monographs: General and Applied*, 2(4), i-109.
- Treisman, A. (1986). Features and objects in visual processing. *Scientific American*, 255, 5, 114-115.
- Treisman, A. & Gormican, S. (1988). Feature analysis in early vision: evidence from search asymmetries. *Psychological review*, 95(1), 15.
- Treisman, A. & Souther, J. (1985). Search asymmetry: A diagnostic for preattentive processing of separable features. *Journal of Experimental Psychology: General*, 114(3), 285.
- Treisman, A. & Zhang, W. (2006). Location and binding in visual working memory. *Memory & cognition*, 34(8), 1704-1719.

- Ungerleider, L. G. & Haxby, J. V. (1994). 'What' and 'where' in the human brain. *Current opinion in neurobiology*, 4.2, 157-165.
- Walker, M. P., Brakefield, T., Morgan, A., Hobson, J. A. & Stickgold, R.(2002). Practice with sleep makes perfect: sleep-dependent motor skill learning. *Neuron*, 35.1, 205-211.
- Wise, S. P. & Murray, E. A. (1999). Role of the hippocampal system in conditional motor learning: mapping antecedents to action. *Hippocampus*, 9, 101-117.
- Wise, S. P. & Murray, E. A. (2000). Arbitrary associations between antecedents and actions. *Trends in Neurosciences*, 23, 271-276.
- Zeki, S. & Shipp, S. (1988). The functional logic of cortical connections. *Nature*, 335(6188), 311.
- 岡本安晴 (2014). 『心理学データ分析と測定』, 東京, 勁草書房.
- 佐藤達哉, 岡市廣成, 遠藤利彦, 大淵憲一, 小川俊樹 編 (2006).『心理学総合事典』, 東京, 朝倉書店.
- 心理学実験指導研究会 編 (1985). 『実験とテスト=心理学の基礎』, 東京, 培風館.
- 藤永保 編 (1981). 『新版 心理学事典』, 東京, 平凡社.

全研究業績リスト

(1) 学術雑誌等（紀要・論文集等も含む）に発表した論文、著書

（査読有り）

1-1. 藤井佑実子・野村典子, 神経衰弱ゲームにおける色と形の認知と学習, 武庫川女子大学紀要 自然科学編, 武庫川女子大学, 59, pp27-35, 2012.

1-2. 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, 日本視覚学会, 29.4, pp129-144, 2017.

1-3. Furutate, M., Fujii, Y., Morita, H. and Morita, M., Visual Feature Integration of Three Attributes in Stimulus-Response Mapping Is Distinct from That of Two. *Frontiers in Neuroscience*, 13, 35, doi: 10.3389/fnins.2019.00035, 2019.

1-4. 藤井佑実子・森田ひろみ, 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, 筑波大学図書館情報メディア系紀要 図書館情報メディア研究, 筑波大学, 16.2, pp17-26, doi: 10.15068/00154840, 2019.

(2) 国際会議における発表

（ポスター発表、査読無し）

2-1. Fujii Yumiko, Morita Masahiko, and Morita Hiromi, Integrated Representations of Shape, Color and Location in Stimulus-Response Mapping, APCV 2015, Nanyang Technological University (Singapore), July 2015.

2-2. Fujii Yumiko, Ayabe-Kanamura Saho, Morita Hiromi, Visual Search on Small Display Area by Scrolling or Moving Windows, APCV 2016, Esplanade Hotel Fremantle (Australia), July 2016.

2-3. Fujii Yumiko and Morita Hiromi, Mapping of combinations of spatial attributes to responses, ICP2016, PS26A-03-306, PACIFICO Yokohama (Japan), July 2016.

2-4. Fujii Yumiko, Morita Masahiko, Morita Hiromi, Transfer of Multi-Attribute Stimulus-Response Mappings, APCV 2017, National Cheng Kung University (Taiwan), July 2017.

(3) 国内学会における発表

(口頭発表、査読無し)

3-1 藤井佑実子・野村典子, 神経衰弱ゲームにおける色と形の認知とワーキングメモリ, ゲーム学会第 11 回合同研究会, 京都情報大学院大学, 2013 年 7 月.

(ポスター発表、査読無し)

3-2 藤井佑実子・森田ひろみ, 色, 形, 位置の組み合わせと反応の連合方式の検討, 日本視覚学会 2018 年冬季大会, 工学院大学, 2018 年 1 月.

(4) その他 (受賞歴等)

4-1 藤井佑実子・・・「平成 27 年度 筑波大学大学院図書館情報メディア研究科 研究科長表彰」, 2016 年 3 月

4-2 藤井佑実子・森田昌彦・森田ひろみ・・・「VISION 鶉飼論文賞 (論文題目: 刺激の位置を含む複数属性と反応のマッピング学習)」, 2018 年 1 月

付録

付録 1. 実験 1A の付表	ii
付録 2. 実験 1B の付表	iv
付録 3. 実験 2A の付表	vi
付録 4. 実験 2B の付表	ix
付録 5. 実験 3 の付表	xi

付録 1. 実験 1A の付表

(1) 実験 1A 刺激-反応マッピング学習課題の学習ブロックの学習期間別正答率の平均値と標準誤差 (2-1-3-a)

< 2属性アイテムと3属性アイテムの比較 >

アイテム条件	正答率[%] (標準誤差)					
	学習期間					
	初期		中期		後期	
2属性アイテム	62.2	(1.8)	76.7	(0.9)	74.1	(0.6)
3属性アイテム	50.3	(2.4)	61.4	(1.5)	57.3	(1.5)

< 3種の2属性アイテム間の比較 >

アイテムセット	正答率[%] (標準誤差)					
	学習期間					
	初期		中期		後期	
色-形セット	69.1	(3.2)	82.2	(1.8)	78.3	(1.8)
形-位置セット	58.2	(3.0)	73.3	(2.3)	71.9	(1.7)
色-位置セット	59.1	(3.5)	74.7	(2.0)	72.0	(1.6)

(2) 実験 1A 刺激-反応マッピング学習課題のテストブロック (第 1, 2 ブロックの平均) の正答率の平均値と標準誤差 (2-1-3-b)

< 2属性アイテムと3属性アイテムの比較 >

アイテム条件	正答率[%] (標準誤差)	
2属性アイテム	94.4	(0.8)
3属性アイテム	90.6	(2.0)

< 3種の2属性アイテム間の比較 >

アイテムセット	正答率[%] (標準誤差)	
色-形セット	95.4	(1.0)
形-位置セット	94.4	(1.1)
色-位置セット	93.4	(1.5)

(3) 実験 1A 刺激-反応マッピング学習課題のテストブロック (第 1, 2 ブロックの平均) の反応時間の平均値と標準誤差 (2-1-3-c)

< 2属性アイテムと3属性アイテムの比較 >

アイテム条件	反応時間[ms] (標準誤差)	
2属性アイテム	779.3	(30.3)
3属性アイテム	878.9	(30.3)

< 3種の2属性アイテム間の比較 >

アイテムセット	反応時間[ms] (標準誤差)	
色-形セット	761.6	(28.0)
形-位置セット	805.2	(34.7)
色-位置セット	771.1	(26.0)

(4) 実験 1A 特徴弁別課題の正答率と反応時間の平均値と標準偏差 (2-1-3-d)

< 正答率 >

属性	正答率[%] (標準誤差)	
色	98.7	(0.3)
形	99.3	(0.2)
位置	98.3	(0.5)

<反応時間>

属性	反応時間[ms] (標準誤差)	
色	485.7	(17.5)
形	486.1	(11.4)
位置	404.9	(12.3)

付録 2. 実験 1B の付表

(1) 実験 1B 刺激-反応マッピング学習課題の学習ブロックの学習期間別正答率の平均値と標準誤差 (2-2-3-a)

<2属性アイテムと3属性アイテムの比較>

アイテム条件	正答率[%] (標準誤差)					
	学習期間					
	初期		中期		後期	
2属性アイテム	55.5	(2.6)	73.4	(1.8)	74.4	(0.8)
3属性アイテム	45.6	(2.8)	59.5	(2.9)	55.4	(2.2)

<3種の2属性アイテム間の比較>

アイテムセット	正答率[%] (標準誤差)					
	学習期間					
	初期		中期		後期	
位置-動きセット	55.7	(3.5)	75.6	(2.5)	75.8	(1.7)
色-位置セット	51.8	(3.4)	69.0	(2.8)	71.9	(2.4)
色-動きセット	59.1	(4.9)	75.5	(2.8)	75.6	(2.7)

(2) 実験 1B 刺激-反応マッピング学習課題のテストブロック (第 1, 2 ブロックの平均) の正答率の平均値と標準誤差 (2-2-3-b)

< 2 属性アイテムと 3 属性アイテムの比較 >

アイテム条件	正答率[%] (標準誤差)	
2属性アイテム	96.3	(0.7)
3属性アイテム	91.5	(1.4)

< 3 種の 2 属性アイテム間の比較 >

アイテムセット	正答率[%] (標準誤差)	
位置-動きセット	96.6	(0.6)
色-位置セット	95.9	(0.9)
色-動きセット	96.5	(1.2)

(3) 実験 1B 刺激-反応マッピング学習課題のテストブロック (第 1, 2 ブロックの平均) の反応時間の平均値と標準誤差 (2-2-3-c)

< 2 属性アイテムと 3 属性アイテムの比較 >

アイテム条件	反応時間[ms] (標準誤差)	
2属性アイテム	890.6	(43.4)
3属性アイテム	1039.8	(57.2)

< 3 種の 2 属性アイテム間の比較 >

アイテムセット	反応時間[ms] (標準誤差)	
位置-動きセット	906.7	(53.8)
色-位置セット	906.9	(48.8)
色-動きセット	858.2	(45.2)

(4) 実験 1B 特徴弁別課題の正答率と反応時間の平均値と標準偏差(2-2-3-d)

<正答率>

属性	正答率[%] (標準誤差)	
色	99.0	(0.3)
位置	99.2	(0.2)
動き	98.2	(0.4)

<反応時間>

属性	反応時間[ms] (標準誤差)	
色	469.5	(17.3)
位置	416.6	(15.2)
動き	611.0	(27.9)

付録 3. 実験 2A の付表

(1) 実験 2A 刺激-反応マッピング課題の vincent 法を用いて算出した学習期間別正答率の平均値と標準誤差 (3-1-3-a)

正答率[%] (標準誤差)					
学習期間					
初期		中期		後期	
53.2	(2.2)	76.6	(2.2)	86.9	(1.7)

(2) 実験 2A 刺激-反応マッピング課題の転移ブロックにおける正答率の平均値と標準誤差 (3-1-3-b)

提示条件	正答率[%] (標準誤差)			
	ブロック			
	転移第1ブロック		転移第2ブロック	
色-形・色-位置	86.7	(2.1)	88.6	(1.9)
色-形・位置	88.6	(1.8)	89.0	(1.5)
形・色-位置	83.1	(2.9)	88.0	(2.2)

(3) 実験 2A 刺激-反応マッピング課題の学習最終ブロックから転移第1ブロックにかけての正答率の変化量の平均値と標準誤差 (3-1-3-c)

提示条件	正答率の変化量[%] (標準誤差)	
色-形・色-位置	-1.7	(2.1)
色-形・位置	0.2	(1.5)
形・色-位置	-5.3	(2.4)

(4) 実験 2A ターゲット検出課題の反応時間と d' (検出精度) の平均値と標準誤差 (3-1-3-d)

<検出反応時間>

提示条件	反応時間[ms] (標準誤差)	
色-形・色-位置	439.4	(12.9)
色-形・位置	444.5	(12.7)
形・色-位置	452.9	(11.5)
統合(学習ブロック)	400.8	(7.9)

<d' (検出精度) >

提示条件	d' (標準誤差)	
色-形・色-位置	4.08	0.02
色-形・位置	4.05	0.02
形・色-位置	4.07	0.02
統合(学習ブロック)	4.06	0.02

(5) 実験 2A 刺激-反応マッピング課題の転移ブロックにおける反応選択時間の平均値と標準誤差 (3-1-3-e)

提示条件	反応選択時間[ms] (標準誤差)			
	ブロック			
	転移第1ブロック		転移第2ブロック	
色-形・色-位置	577.1	(28.4)	549.8	(26.0)
色-形・位置	571.5	(22.5)	541.0	(25.1)
形・色-位置	590.0	(29.1)	544.8	(28.2)

(6) 実験 2A 刺激-反応マッピング課題の学習最終ブロックから転移第1ブロックにかけての反応選択時間の変化量の平均値と標準誤差 (3-1-3-f)

提示条件	反応選択時間の変化量[ms] (標準誤差)	
色-形・色-位置	-15.2	(27.2)
色-形・位置	-20.8	(24.6)
形・色-位置	-2.2	(23.2)

付録 4. 実験 2B の付表

(1) 実験 2B 刺激-反応マッピング課題の vincent 法を用いて算出した学習期間別正答率の平均値と標準誤差 (3-2-3-a)

< 2 属性アイテムと 3 属性アイテムの比較 >

アイテム条件	正答率[%] (標準誤差)					
	学習期間					
	初期		中期		後期	
2属性アイテム	63.6	(1.2)	84.5	(0.9)	89.2	(0.7)
3属性アイテム	52.3	(1.4)	73.0	(1.3)	81.5	(1.3)

< 3 種の 2 属性アイテム間の比較 >

アイテムセット	正答率[%] (標準誤差)					
	学習期間					
	初期		中期		後期	
色-形セット	66.9	(1.7)	90.6	(1.1)	92.7	(0.8)
形-位置セット	61.6	(1.9)	81.5	(1.3)	87.2	(1.2)
色-位置セット	62.5	(2.0)	81.5	(1.4)	87.8	(1.0)

(2) 実験 2B 刺激-反応マッピング課題の学習最終ブロックから再学習第 1 ブロックにかけての正答率の低下量の平均値と標準誤差 (3-2-3-b)

アイテムセット	正答率の低下量[%] (標準誤差)					
	交換条件					
	色交換		形交換		位置交換	
色-形セット	-26.3	(4.0)	-33.4	(5.0)	-0.5	(2.4)
形-位置セット	-6.3	(3.1)	-20.5	(4.1)	-18.6	(2.7)
色-位置セット	-33.4	(4.3)	-3.7	(3.4)	-17.8	(4.2)
3属性セット	-35.0	(4.8)	-29.5	(4.5)	-15.3	(3.8)

(3) 実験 2B 刺激-反応マッピング課題の学習最終ブロックから再学習第 1 ブロックにかけての反応時間の増加量の平均値と標準誤差 (3-2-3-c)

アイテムセット	反応時間の増加量[ms] (標準誤差)					
	交換条件					
	色交換		形交換		位置交換	
色-形セット	129.0	(32.2)	162.9	(20.5)	59.8	(21.6)
形-位置セット	106.5	(33.4)	208.8	(35.4)	83.4	(32.6)
色-位置セット	110.8	(35.9)	127.9	(20.4)	140.3	(29.2)
3属性セット	124.3	(32.7)	112.3	(30.3)	98.7	(32.7)

(4) 実験 2B 刺激-反応マッピング課題の再学習ブロック第 1, 4 ブロックの正答率の平均値と標準誤差 (3-2-3-d)

<色-形セット>

色-形セット	正答率[%] (標準誤差)			
	ブロック			
	再学習第1ブロック		再学習第4ブロック	
色交換	65.8	(3.4)	85.3	(2.9)
形交換	58.7	(4.3)	82.4	(3.7)
位置交換	92.8	(2.2)	91.9	(1.4)

<形-位置セット>

形-位置セット	正答率[%] (標準誤差)			
	ブロック			
	再学習第1ブロック		再学習第4ブロック	
色交換	81.8	(2.7)	92.6	(1.8)
形交換	62.6	(3.6)	81.6	(2.7)
位置交換	73.1	(2.9)	84.4	(2.4)

<色-位置セット>

色-位置セット	正答率[%] (標準誤差)			
	ブロック			
	再学習第1ブロック		再学習第4ブロック	
色交換	56.3	(4.1)	79.7	(2.7)
形交換	87.4	(2.8)	87.6	(2.0)
位置交換	69.2	(3.3)	82.2	(3.0)

<3属性セット>

3属性セット	正答率[%] (標準誤差)			
	ブロック			
	再学習第1ブロック		再学習第4ブロック	
色交換	52.4	(3.8)	71.1	(3.8)
形交換	53.7	(3.2)	70.8	(3.2)
位置交換	67.2	(3.5)	79.7	(2.8)

付録 5. 実験 3 の付表

(1) 実験 3 の 1 日目の学習課題の vincent 法を用いて算出した学習期間別正答率の平均値と標準誤差 (4-1-3-a)

<2属性アイテムと3属性アイテムの比較>

アイテム条件	正答率[%] (標準誤差)					
	学習期間					
	初期		中期		後期	
2属性アイテム	65.8	(2.1)	84.5	(1.7)	88.0	(1.6)
3属性アイテム	49.7	(3.0)	75.8	(2.0)	78.3	(2.7)

< 3種の2属性アイテム間の比較 >

アイテムセット	正答率[%] (標準誤差)					
	学習期間					
	初期		中期		後期	
色-形セット	74.2	(3.5)	89.6	(2.7)	91.8	(1.5)
形-位置セット	62.5	(2.9)	82.9	(2.1)	87.5	(2.2)
色-位置セット	60.6	(3.9)	81.1	(3.0)	84.7	(2.5)

(2) 実験3の1日目から2日目にかけての正答率の変化量(2日目学習ブロック(第1, 2ブロック)の平均正答率から1日目学習終盤(第13, 14ブロック)の平均正答率を引いた値)の平均値と標準誤差(4-1-3-b)

アイテムセット	正答率の変化量[%] (標準誤差)	
色-形セット	2.0	(1.9)
形-位置セット	2.7	(2.2)
色-位置セット	2.9	(2.5)
3属性セット	2.3	(3.1)

(3) 実験3の1日目(テストブロック第1, 2ブロックの平均)と2日目(テストブロック第1, 2ブロックの平均)の反応時間の平均値と標準誤差(4-1-3-c)

< 2属性アイテムと3属性アイテムの比較 >

アイテム条件	反応時間[ms] (標準誤差)			
	実験日			
	1日目テストブロック		2日目テストブロック	
2属性アイテム	918.4	(44.2)	840.9	(34.7)
3属性アイテム	1086.7	(67.8)	977.9	(40.1)

< 3種の2属性アイテム間の比較 >

アイテムセット	反応時間[ms] (標準誤差)			
	実験日			
	1日目テストブロック		2日目テストブロック	
色-形セット	842.4	(46.2)	772.5	(40.7)
形-位置セット	943.5	(48.0)	856.0	(37.5)
色-位置セット	969.3	(49.4)	894.3	(41.1)

(4) 実験3の1日目(テストブロック第1, 2ブロックの平均)と2日目(テストブロック第1, 2ブロックの平均)の正答率の平均値と標準誤差(4-1-3-d)

< 2属性アイテムと3属性アイテムの比較 >

アイテム条件	正答率[%] (標準誤差)			
	実験日			
	1日目テストブロック		2日目テストブロック	
2属性アイテム	96.4	(0.9)	96.5	(0.6)
3属性アイテム	91.3	(1.8)	91.3	(1.3)

< 3種の2属性アイテム間の比較 >

アイテムセット	正答率[%] (標準誤差)			
	実験日			
	1日目テストブロック		2日目テストブロック	
色-形セット	98.7	(0.5)	97.9	(0.7)
形-位置セット	94.2	(1.9)	96.9	(0.9)
色-位置セット	96.3	(0.9)	94.8	(1.2)