

視覚的作業記憶における情報表現の研究
—位置属性に着目した属性間結合の検討—

筑波大学
図書館情報メディア研究科
2018年3月
城山 龍太郎

目次

図目次	i
表目次	i
論文の構成	1
第 1 章 序論	2
1.1 日常生活におけるオブジェクト認知	2
1.2 眼球光学系と視覚情報の伝達	2
1.3 低次視覚野における情報処理	3
1.4 記憶の構造と作業記憶の役割	6
1.5 作業記憶を担う脳の領野	9
1.6 腹側経路と背側経路	10
1.7 視覚的作業記憶における情報表現の仮説	11
1.8 オブジェクトの位置情報の役割	15
1.9 本論文の目的	17
第 2 章 本論	19
2.1 実験1	19
2.1.1 目的	19
2.1.2 実験方法	20
2.1.3 実験参加者	20
2.1.4 実験環境	20
2.1.5 手続き	21
2.1.6 視覚刺激	23
2.1.7 Center 課題におけるテスト刺激の変化条件	24
2.1.8 Location 課題におけるテスト刺激の変化条件	25
2.1.9 デザイン	28
2.2 実験結果	29
2.2.1 Center 課題における反応 1 の正答率	29
2.2.2 Center 課題における反応 1 の反応時間	29
2.2.3 Center 課題における反応 2 の正答率	30
2.2.4 Center 課題における反応 2 の回答の内訳	31

2.2.5	Location 課題における反応 1 の正答率	32
2.2.6	Location 課題における反応 1 の反応時間	32
2.2.7	Location 課題における反応 2 の正答率	34
2.2.8	Location 課題における反応 2 の回答の内訳	36
2.3.	実験 1 の考察	38
2.3.1	アイテム数増加による影響と属性間結合の強度	38
2.3.2	Center 課題と, Location 課題のアンダーバーなし条件の比較	38
2.3.3	色属性と位置属性, 傾き属性と位置属性の結合と記憶への影響	39
2.4	実験 2A	40
2.4.1	目的	40
2.4.2	実験方法	40
2.4.3	実験参加者	41
2.4.4	実験環境	41
2.4.5	手続き	41
2.4.6	視覚刺激	42
2.4.7	手がかり刺激の変化条件	44
2.4.8	デザイン	45
2.5	実験結果	46
2.5.1	実験 2A の正答率	46
2.5.2	実験 2A の反応時間	48
2.6	実験 2A の考察	49
2.6.1	実験 2A の結果に基づく属性間結合の検討	49
2.6.2	属性間における記憶想起の非対称性	50
2.7	実験 2B	51
2.7.1	目的	51
2.7.2	実験方法	51
2.7.3	実験参加者	51
2.7.4	実験環境	51
2.7.5	手続き	51
2.7.6	視覚刺激	53
2.7.7	手がかり刺激の変化条件	53
2.7.8	デザイン	56
2.8	実験 2B の実験結果	56

2.8.1	実験 2B の正答率.....	57
2.8.2	実験 2B の反応時間.....	59
2.8.3	ダミー特徴の出現位置に対する回答割合	60
2.9	実験2B の考察.....	62
2.9.1	実験 2B から考えられる属性間結合の検討	62
2.9.2	色属性と位置属性の組み合わせによる認知へのマスクング効果の検証	62
第 3 章	結論.....	64
3.1	総合考察.....	64
3.1.1	位置属性と傾き属性	64
3.1.2	位置属性と色属性	67
3.1.3	属性間結合の結合強度	68
3.2	今後の課題.....	69
3.2.1	他の属性と位置の関係	69
3.2.2	他属性間の想起の対称関係.....	69
3.2.3	色属性と位置属性の属性間結合による認知へのマスクングの再検討	69
3.2.4	長期記憶に対する検討	70
3.2.5	属性間の判断難易度による影響	70
3.2.6	コンテキスト, 空間分解能による影響	70
3.2.7	結合強度の再検討	71
3.3	まとめ	72
	謝辞.....	73
	参考文献.....	74
	付録一覧.....	76

図目次

図 1: 眼球と網膜の内部構造.....	3
図 2: 特徴統合理論 (Treisman(1986)より改変)	4
図 3: 視覚特徴の分類 (Cavanagh et al.(1987)より改変)	5
図 4: ポップアウト現象.....	6
図 5: 直列探索と並列探索の典型的な結果 (森田 (2014)より改変)	6
図 6: 二重貯蔵モデルの概念図.....	7
図 7: ワーキングメモリのモデル (Baddeley (1992)より改変)	8
図 8: 遅延見本合わせ課題 (花沢 (2007)より改変)	9
図 9: 腹側経路.....	10
図 10: 背側経路.....	11
図 11: Luck & Vogel (1997) の遅延比較課題の流れ.....	12
図 12: Lack & Vogel (1997) の課題における変化条件	12
図 13: Xu (2002,2006) の実験で用いた視覚刺激.....	13
図 14: 古徳ら (2004) の組み合わせ変化検出課題の流れ.....	14
図 15: 全属性仮説 (左) と対属性仮説 (右) のイメージ	14
図 16: 対属性仮説のニューラルネットモデル (古徳ら (2004)より改変)	15
図 17: Rajsic & Wilson (2014) の再生課題.....	16
図 18: 結合強度のイメージ	18
図 19: 結合間の想起関係のイメージ	18
図 20: 属性間結合による共通点の判断.....	20
図 21: 実験環境.....	21
図 22: Center 課題および Location 課題の1試行の流れ	22
図 23: Center 課題におけるテスト刺激の変化条件	25
図 24: Location 課題におけるテスト刺激の変化条件.....	27
図 25: 実験1の流れ	28
図 26: Center 課題 (アイテム数:4) における反応 1 の正答率.....	29
図 27: Center 課題 (アイテム数:4) における反応 1 の反応時間.....	30
図 28: Center 課題 (アイテム数:4) における反応 2 の正答率	31
図 29: Location 課題 (アイテム数:4) における反応1の正答率.....	32
図 30: Location 課題 (アイテム数:4) における反応1の反応時間.....	33
図 31: <u>S</u> 条件と S 条件, <u>C</u> 条件と C 条件における反応時間の比較 (アイテム数:4)	33

図 32:CS 条件, CS 条件, CS 条件における反応時間の比較(アイテム数:4)	34
図 33:Location 課題(アイテム数:4)における反応 2 の正答率	34
図 34:S 条件と S 条件, C 条件と C 条件における反応 2 の正答率の比較(アイテム数:4)	
.....	35
図 35:CS 条件と CS 条件, CS 条件における反応 2 の正答率の比較(アイテム数:4)	35
図 36:S 条件と C 条件の誤答内訳	37
図 37:実験 2A の 1 試行の流れ	42
図 38:実験 2A における手がかり刺激の変化条件	45
図 39:実験 2A の流れ	46
図 40:実験 2A の正答率	47
図 41:対象関係の正答率比較	47
図 42:実験 2A の反応時間	48
図 43:対象関係の反応時間比較	49
図 44:実験 2B の 1 試行の流れ	52
図 45:実験 2B における手がかりの変化条件	55
図 46:実験 2B の流れ	56
図 47:実験 2B の正答率	57
図 48:共通群内の条件における反応時間の比較	58
図 49:実験 2B の反応時間	59
図 50:共通郡内の条件における反応時間の比較	60
図 51:各課題におけるダミー特徴の出現位置への回答割合	61
図 52:傾き属性と位置属性の属性間結合による想起のモデル	66
図 53:色属性による想起のモデル	67
図 54:Center 課題(アイテム:5)における反応 1 の正答率	77
図 55:Center 課題(アイテム数:5)における反応 1 の反応時間	77
図 56:Center 課題(アイテム:5)における反応 2 の正答率	78
図 57:Location 課題(アイテム数:5)における反応 1 の正答率	79
図 58:Location 課題(アイテム数:5)における反応 1 の反応時間	79
図 59:S 条件と S 条件, C 条件と C 条件における	80
図 60:CS 条件, CS, CS 条件における反応時間の比較(アイテム数:5)	80
図 61:Location 課題(アイテム数:5)における反応 2 の正答率	81
図 62:S 条件と S 条件, C 条件と C 条件における反応 2 の正答率の比較(アイテム数:5)	
.....	81

図 63:CS_条件とCS_条件, CS 条件における反応 2 の正答率の比較(アイテム数:5) 82

表目次

表 1:実験1で用いた各属性の特徴.....	24
表 2:Center 課題における反応 2 の回答割合の内訳(上:アイテム数 4, 下:アイテム数 5)	31
表 3:Location 課題における反応 2 の回答割合の内訳(上:アイテム数 4, 下:アイテム数 5)	36
表 4:アイテム数増加による回答内訳の変動.....	37
表 5:実験 2A で用いた各属性の特徴.....	44

論文の構成

本稿は全 3 章で構成される。第 1 章では、視覚情報処理の基礎的な論説と、本稿で扱う分野において先駆けとなる仮説や、有力な仮説を提唱している先行研究を複数紹介し、それらが孕んでいる問題点の提起を行う。第 2 章では、実験の目的、内容の説明と実験結果を紹介し、結果を踏まえた考察を行う。第 3 章では総合考察を行い、本論文の結論と今後の課題を述べる。

第1章 序論

1.1 日常生活におけるオブジェクト認知

私たち人間は、視覚、聴覚、嗅覚、味覚、触覚などの感覚を利用して、外界のオブジェクトを知覚する。そして、知覚したオブジェクトに関する記憶と照らし合わせ、認知することの繰り返しにより、日常生活を成立させている。

感覚のなかでも、視覚の働きはとりわけ重要であり、外界からの情報の7割程度は視覚から得られた情報だと言われている。人間は外界を「見る」という行動から、膨大な光エネルギーを検出し、そこから外界のオブジェクトが何であるか、あるいはオブジェクトに対してどのような反応をすればいいのかを瞬時に情報処理し、安定的に認知を行うシステムを備えている。外界のオブジェクトに焦点を当てると、オブジェクトはそれぞれ様々な視覚的な属性に分解して考えることができ、それらの属性の特徴の複雑な組み合わせで表現されている。りんごを例にあげれば、「赤」という色属性の特徴、「丸」という形属性の特徴、「ツルツル」というテクスチャ属性の特徴が1つに組み合わせられて「りんご」というオブジェクトを表現している。驚くべきことに、人間の脳は、外界の複数のオブジェクトが持つ複数の視覚特徴を瞬時に処理し、処理した視覚特徴の対応関係を見出して特徴同士を結びつけていることになる。

オブジェクトが持つ各視覚属性の特徴において共通していることは、各特徴が存在している「位置」の情報である。そのことから、脳のシステムを紐解く鍵をオブジェクトの「位置」の記憶が担っているのではないだろうか。本研究では、オブジェクトの「位置」を視覚の基本的な属性として考える。そして位置属性の記憶に着目し、知覚した視覚特徴と位置の間の結びつきとその性質、そして、結びつきが高速で安定的なオブジェクト認知に対してどのように影響を及ぼしているのかについての検討を行った。

1.2 眼球光学系と視覚情報の伝達

オブジェクト認知の過程では、オブジェクトが持つ異なる波長の光エネルギーを網膜で受容し、電気信号などに変換する。そして、脳でそれらの電気信号を処理することで外界を再構築している。

まず、視覚の出発点となる眼球と網膜の仕組みを説明していく。視覚は、光が眼球内部の角膜で屈折する。そして水晶体で再度屈折し、屈折した光が硝子体を通り、網膜の神経細胞の層を透過して視細胞に到達することで成立する。網膜は、眼底に貼られた厚さ200～250マイクロメートルの薄い膜である。脊椎動物の視細胞は、光刺激の入力方向とは逆向きになっている。

網膜の中の視細胞は光の受容器であり、色覚に関与する錐体細胞と明暗に関与する桿体細胞の2種類が存在する。錐体細胞は600万個あると言われ、空間分解能が高いことが知られている。網膜の視神経乳頭の近くには黄斑というくぼみがあり、黄斑の中央を中心窩と呼ぶ。錐体細胞は

その中心窩に密に分布しており、感光する波長によって3種類に分類される。短波長を感じる錐体細胞をS錐体、中波長を感じる錐体細胞をM錐体、長波長を感じる錐体細胞をL錐体と呼ぶ。桿体細胞は1億個あると言われ、光感受性が高いことが知られている。錐体細胞のように中心窩部分には無く、その周辺部に広く分布している(鵜飼(2009))。

視細胞は特定の波長を吸収することで電位変化が生じる。この電気的な信号が集まり、視細胞から神経細胞に電気信号が伝達される。そして視神経乳頭から視神経を通り、視交叉、視索、視床の外側膝状体、視放線の順に経路して後頭葉の一次視覚野(V1)へと到達する。その後、階層的に視覚情報の処理がなされていくこととなる。眼球と、網膜の内部構造の略図を図1に示す。

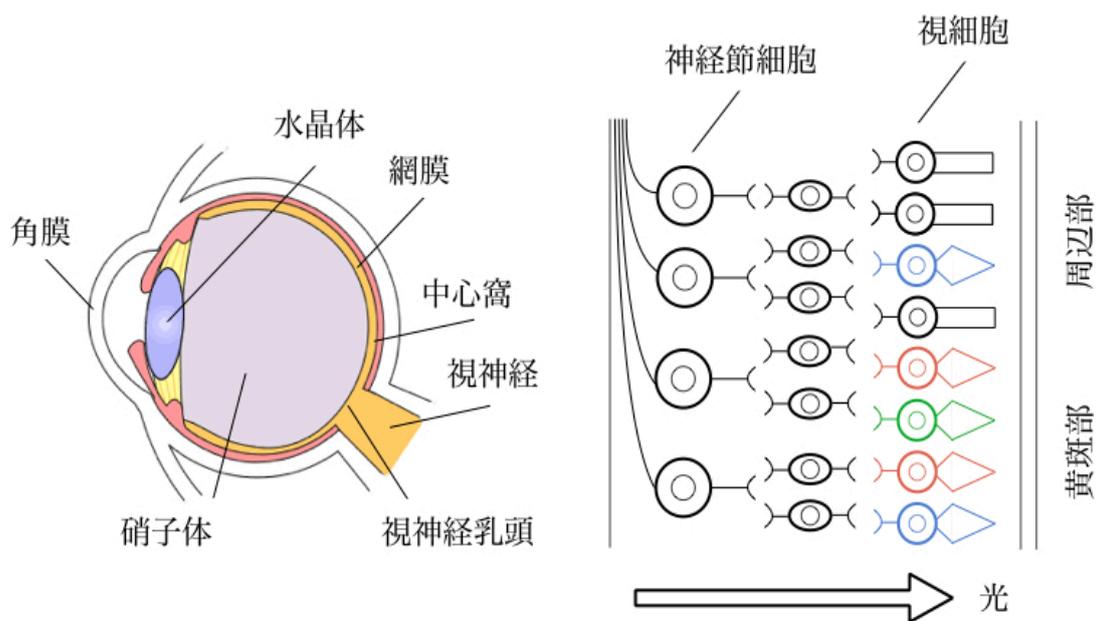


図 1: 眼球と網膜の内部構造

1.3 低次視覚野における情報処理

脳の視覚系は領野と呼ばれる性質の異なった領域が多数存在し、低次から高次までの階層的な処理機構を備えている。外側膝状体からの信号は、はじめに、V1 に到達し、そこから更に高次の領野に伝達されていく。これらの領野では色、線分の傾き、輝度などの異なる単純な属性ごとに専門的なモジュールによって独立に処理され、高次の階層では低次の処理結果をもとにオブジェクトの大局的な情報の抽出がなされていく。このように、視覚系の階層的な処理の中では、その段階に応じた形で表現されている。

Treisman(1986)は、V1 のような低次の処理段階の情報処理システムを説明する特徴統合理論を提案した(図 2)。この理論は、低次の処理段階において、視覚情報は色、線分の傾き、輝度などの異なる単純な属性ごとに抽出され、並列に処理されるという考えに基づいており、前注意過程と注意過程を説明している。目に映る視覚刺激から何種類もの属性を持つ視覚特徴を潜在的に符号化(前注意処理)し、処理された情報は特徴マップに書き込まれる。そのとき、それぞれの視覚属性が存在した空間的な位置情報も合わせて抽出される。オブジェクトの認識は、独立に処理した各属性の特徴を位置に基づいて統合する。その仕組みは、位置マップ内で注意をスポットライトのように働かせることにより、同位置にある特徴を検索し、特徴マップを統合することで実現していると考えられている。

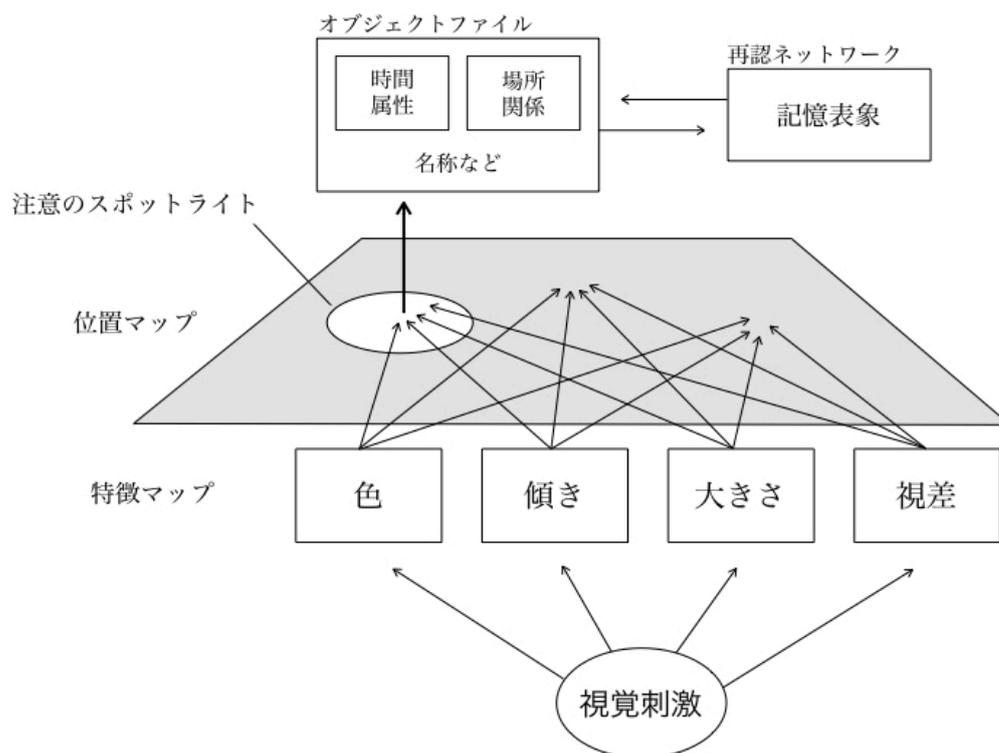


図 2:特徴統合理論(Treisman(1986)より改変)

また、Kahneman&Treisman(1992)は、このような位置ベースで統合された情報のことをオブジェクトファイルと呼び、視覚情報は脳の中でオブジェクトファイルとして管理され、記憶と照合されることによって、視覚オブジェクトを認知していると主張した。

低次の視覚情報処理段階では、属性ごとの視覚特徴に対して独立した処理を行う専門的なモジュールが存在するが、そのモジュールにはどのような特徴を処理するものが存在するのだろうか。

その疑問に対し Cavanagh et al(1987)は、輝度、色、テクスチャ、両眼視差、運動などの情報を処理するモジュールの存在を示唆している(図 3)。陰影と主観的な輪郭の処理は輝度を処理するモ

ジュールの出力によって行われ、形の表現は、輝度、色、テクスチャ、両眼視差、運動を処理するモジュールの出力から行われる。そして、それらの処理の出力結果を用いることによって奥行き及び表面方向の推定を行うと考えている。

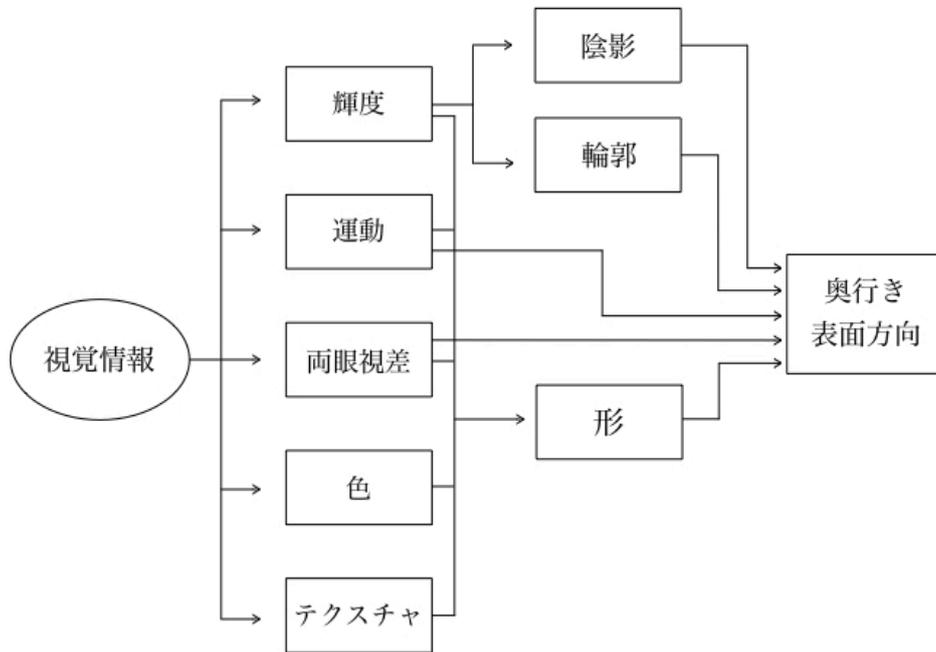


図 3: 視覚特徴の分類(Cavanagh et al.(1987)より改変)

また、モジュールについては、Treisman(1986)の行った視覚探索課題のポップアウト現象からも考察されている。視覚探索課題とは、実験参加者に画面内の多数の妨害物からターゲットとして指定されたアイテムを探索してもらい、その正答率や、反応時間などを調査する課題である。ポップアウト現象は、図 4 のような妨害物を緑色のバーとし、指定されたアイテムを赤色のバーとしたときの課題や、妨害物を斜めに傾いたバーとし、指定されたアイテムを垂直方向に向いたバーとしたときの課題において、妨害物が多く配置されていても指定されたアイテムが一目で飛び込んでくるような現象のことを言う。また、ポップアウト現象のように反応時間がアイテム数の増加に関わらず一定のままの探索を並列探索と呼び、一方で、反応時間がアイテム数の増加と比例する探索を直列探索と呼ぶ(図 5)。ポップアウト現象が生じるようなアイテムは、妨害刺激にはない単一特徴(輝度、色、傾き、カーブなど)を持っている点が共通している。そのため、これらの特徴は低次の視覚情報処理で独立したモジュールが処理していると考えられる。

そして、このような独立したモジュールで処理される特徴のことを視覚における基本的な属性として捉えることができる。

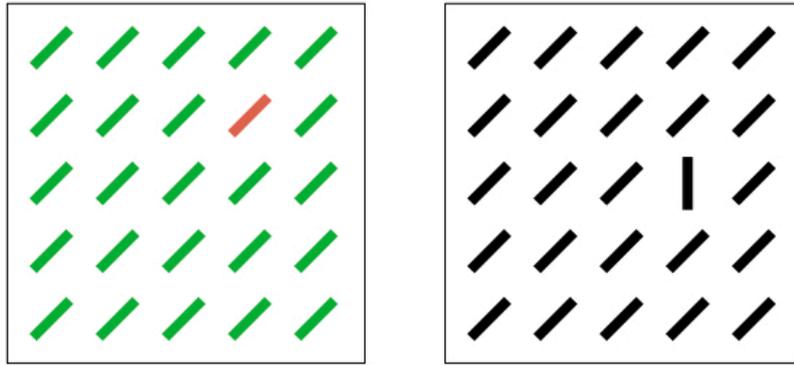


図 4:ポップアウト現象

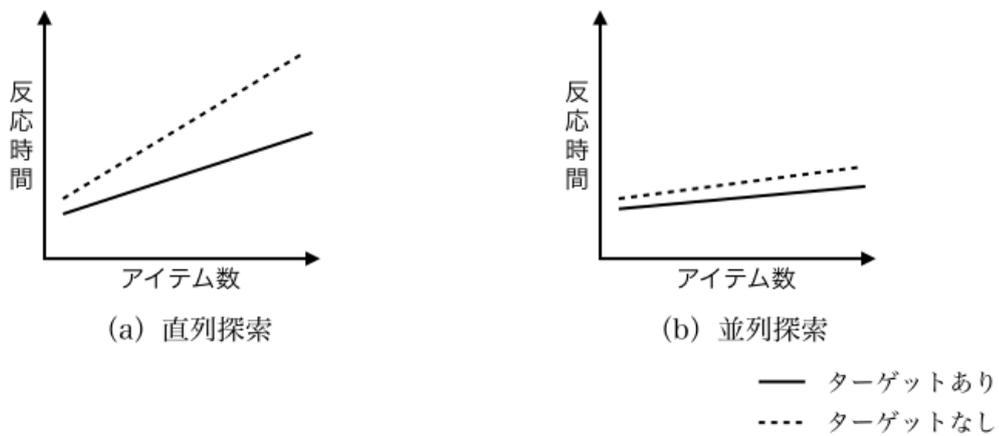


図 5:直列探索と並列探索の典型的な結果(森田(2014)より改変)

1.4 記憶の構造と作業記憶の役割

オブジェクトファイルとして登録されたものを認知するためには、蓄積された記憶を参照する必要がある。例えば、赤く、丸く、ツルツルしているものを見てりんごと認識できることや、青信号を見て道路を横断する判断をすることができるのは、オブジェクトに対応する情報を記憶しているからである。記憶にも、記憶してもすぐに忘れてしまうような暗算で一時的に数字を覚えておくような記憶や、一度覚えると忘れることのない自転車の乗り方の記憶など様々あるが、これらの記憶はどのような違いがあり、どのように蓄積されているのだろうか。

記憶の仕組みを説明する重要な仮説として、Atkinson & Shiffrin(1968)は、二重貯蔵モデルという記憶モデルを考案している(図 6)。このモデルでは、人間の記憶を大きく 3 種類のコンポーネン

トとして考えている。視覚情報にのみ焦点を当てて説明すると、網膜へ入力された外界からの刺激を、アイコニックメモリと呼ばれる感覚記憶(感覚レジスタ)として 500ms 以内のごく短時間だけ保持する。感覚記憶に貯蔵出来る情報の容量は相当大きいものと考えられているが、後の短期記憶の保持容量は制限がある。Miller(1956)は、短期記憶に貯蔵することができる情報の容量は 7 ± 2 チャンクであると報告している。保持容量には制限があるため、感覚記憶に入力された情報は取捨選択が行われ、選択的に注意を向けた情報のみが短期記憶として保持される。短期記憶での保持時間は 30s 程とされている。そして注意を向けられなかった情報は忘却していく。短期記憶に保持されている情報は、反復学習(リハーサル)を行うことにより、意味的な処理やコーディングなどの処理がなされ、永続的に保持される長期記憶として貯蔵される。アイコニックメモリはコンピュータで言うレジスタ、短期記憶はコンピュータで言うメインメモリ、長期記憶はコンピュータで言うハードディスクなどの記憶装置に例えられる。

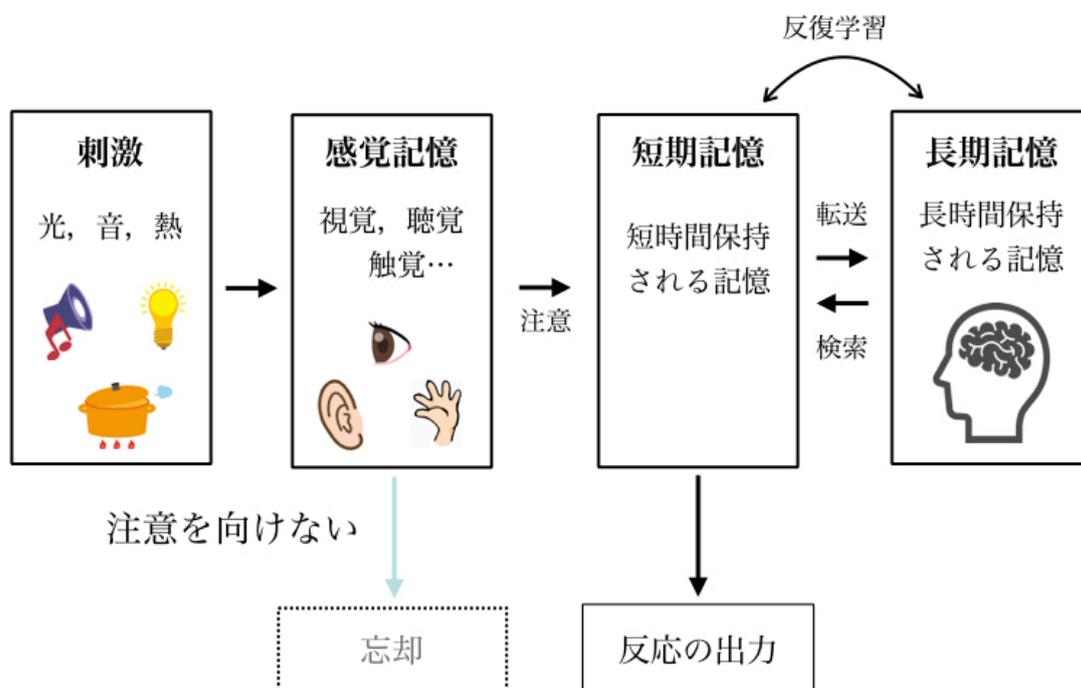


図 6: 二重貯蔵モデルの概念図

紹介した二重貯蔵モデルは、短期記憶と長期記憶との構造的区分への疑問や、認知活動の役割の不明確な点などの問題点が指摘されていた。これに対して、Baddely & Hitch(1974)は、言語理解、学習、推論のような複雑な認知課題を達成するために必要な情報を一時貯蔵や操作を提供し、様々な活動の要求に対処する性質を備えた作業記憶というシステムの問題点を提唱した。また、Baddely は作業記憶の機能を説明するため、会話や文章理解などの言語的な情報を処理する音韻ループ(phonological loop)、視覚イメージなど言語化できない情報処理に関わる視空間スケッ

チパッド (visuo-spatial sketchpad) の 2 つのコンポーネントと、これらを制御する機能を持つシステムである中央実行系 (central executive) をあわせた 3 つのプロセスから成るモデルを提案した (図 7)。

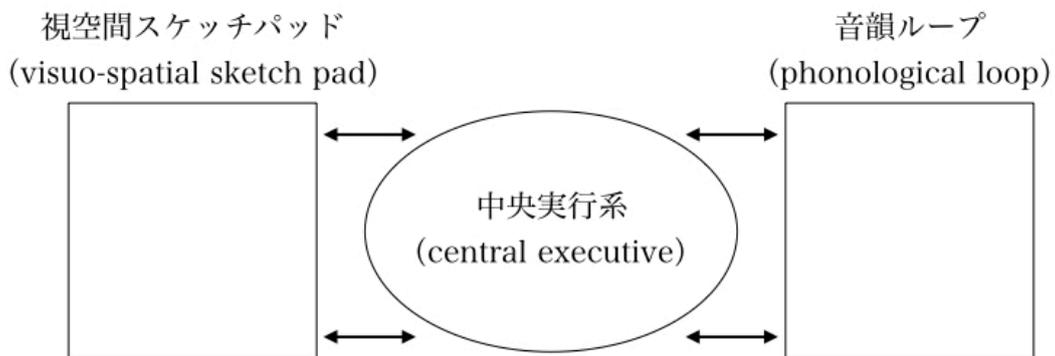


図 7:ワーキングメモリのモデル(Baddeley (1992)より改変)

我々は情報を言語化して保持することができる。そのような言語情報を保持するメカニズムを音韻ループとした。一方で、情報を視覚化したイメージとして保持することもできる。このような場合の視覚情報の保持メカニズムを視空間スケッチパッドとした。そして、目的とする作業が円滑に行われるように、全体を統括し、音韻ループと視空間スケッチパッドに適切な仕事を振り、活動のための記憶容量を確保する制御装置を中央実行系と考えた。この 3 つのプロセスからなるシステムを持つ作業記憶を定義することで、言語理解、学習、推論といった様々な認知機能が理解できることを提案している。

二重貯蔵モデルの短期記憶は、長期記憶に移す情報を選択する機能が付与されているが、作業記憶にはそのような機能は考えられていない。情報処理、判断や行動決定などの機能を短期記憶に付与すれば、短期記憶が作業記憶としても機能するとも考えられるが、これら二つは同じものなのだろうか。Baddeley は、二重課題法という実験を行い、短期記憶が作業記憶として使われているかどうかを確かめた。この実験は、実験参加者に 2 種類の課題を同時に行わせるもので、1 つ目の課題は、1~8 個の数字からなる数列の記憶を要求し、短期記憶に貯蔵される情報の容量を変化させた。同時に 2 つ目の課題として、文章の意味の理解力テストを行わせた。この結果、数列の長さを増やして、短期記憶の容量を限界に近づけても、文章理解テストの成績が低下することはなかった。そのため、短期記憶は作業記憶と異なるものであると結論づけている。

このように、認知活動に不可欠な情報の一時的な貯蔵には、情報の貯蔵や、処理のための制御システムを持つ作業記憶が用いられることがわかってきた。次に、作業記憶の中でも視覚に関わる視覚的作業記憶の働きを担う領野を調査した研究を紹介する。

1.5 作業記憶を担う脳の領野

特徴統合のされた情報は脳のどの領野に保持され、認知的な活動に用いられるのだろうか。その領野を特定することは、視覚的な特徴の対応関係を見出す仕組みを解明するために重要な役割を果たすと考えられる。視覚的作業記憶を使う際の脳活動を測定し、作業記憶の役割を担う領野を特定しようとした研究は数多く行われてきた。Miyashita & Chang(1988) はサルに対し、遅延見本合わせ課題を行い、ニューロン活動の解析を行った(図 8)。この課題は、サルがレバーを押すと見本となる刺激が提示され、ブランク画面が提示された後に別の刺激が提示される。そして、見本刺激と同じ刺激が出現したときにレバーを離すと報酬が貰える課題となっている。この課題は、課題遂行のために必要な情報をブランク画面の間保持する必要があるため、視覚的作業記憶が関わっている。ニューロン活動の解析の結果、前頭連合野が遅延反応課題の遂行に強く関わるということが明らかになった。

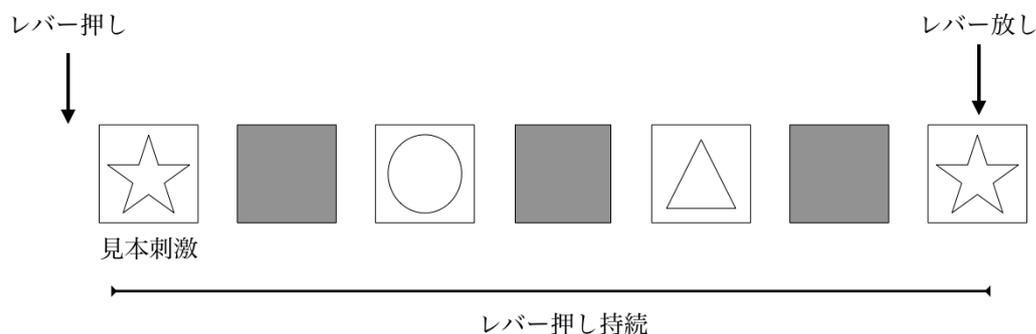


図 8:遅延見本合わせ課題(花沢(2007)より改変)

その後、Kawasaki ら(2005)は視覚的作業記憶を使用する課題中の脳活動を fMRI によって調べるニューロイメージングの手法で研究を行った。その結果、視覚的作業記憶の活動に関係している領野は前頭連合野に加えて、頭頂連合野も関わっていることを明らかにした。各領野は、それぞれ異なる働きをしていることも示唆されており、頭頂連合野は視覚情報そのものの保持に関わり、前頭連合野は保持すべき視覚情報から注意によって必要な情報を選択し、並列に処理されたオブジェクトの持つ複数の属性の視覚的特徴を統合し、保持する機能を持つことを明らかにした。

上記で説明してきた研究結果により、オブジェクトの特徴統合は、前頭連合野が担っていることがわかってきた。さて、視覚情報は網膜に受容し、はじめに後頭葉にある V1 に入力され、その後階層的な処理がなされると説明したが、前頭連合野で特徴の統合処理が行われるまでには、脳の中で一体どのような情報処理の経路を辿るのだろうか。

1.6 腹側経路と背側経路

視覚情報処理過程では、色や傾きなどの単純な視覚特徴ごとに独立した処理が行われる。そして、それぞれ異なる領野で処理されると考えられている。マカクザルを用いた侵襲実験などの知見から、脳の視覚情報処理機構は 30 程度のモジュールから構成され、処理領野をつなぐ脳の処理経路は大別して 2 種類存在することが明らかになった。後頭部の視覚領野に送られた情報が側頭部へ伝達されていく経路のことを腹側経路、頭頂部へ伝達されていく経路を背側経路と呼ぶ。各経路で処理される情報は異なり、前者の腹側経路は、色、形、テクスチャや顔などの“What 情報”を処理する。腹側経路は図 9 で示すように一次視覚野である V1 で処理された後、V2, V4, TEO から TE 野に至るという処理過程を経る。後者の背側経路は、位置情報や物体の動きなどの“Where 情報”を処理する。背側経路は図 10 で示すように一次視覚野である V1 で処理された後、V2, V3, MT から MST 野に至るという処理過程を経る(荳阪(2000))。

低次の処理段階における個々のニューロンの受容野は小さく、特定の単一物体などを表象するのに対し、高次の処理段階のニューロンの受容野は大きく、複雑な物体の形状を表象していると考えられている。しかし、両処理経路においては、順方向にのみ情報が伝達するわけではなく、逆方向に情報を戻す伝達や、前頭前野から側頭、頭頂、後頭にフィードバックするような情報伝達も存在すると言われている。このような領野の機能分化は、サルのみに見られるわけではなく、近年の PET や fMRI などを用いたヒトに対する研究事例や、脳損傷患者の臨床例からも確認されている(荳阪(2000), 森田(2014))。

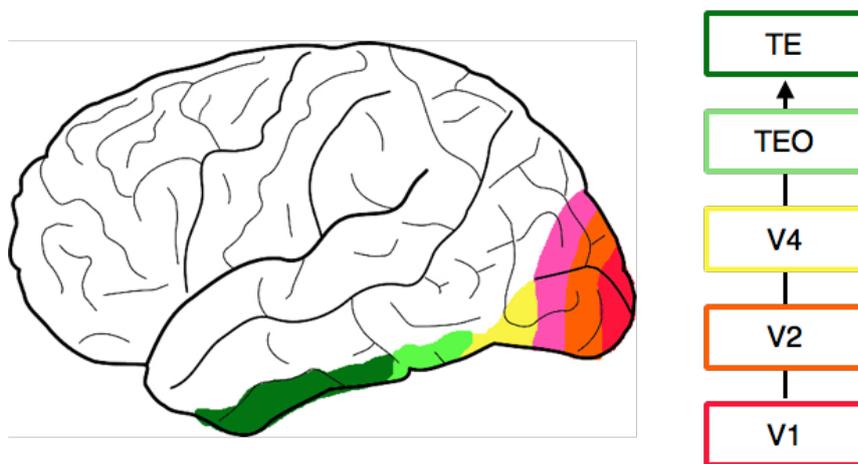


図 9:腹側経路

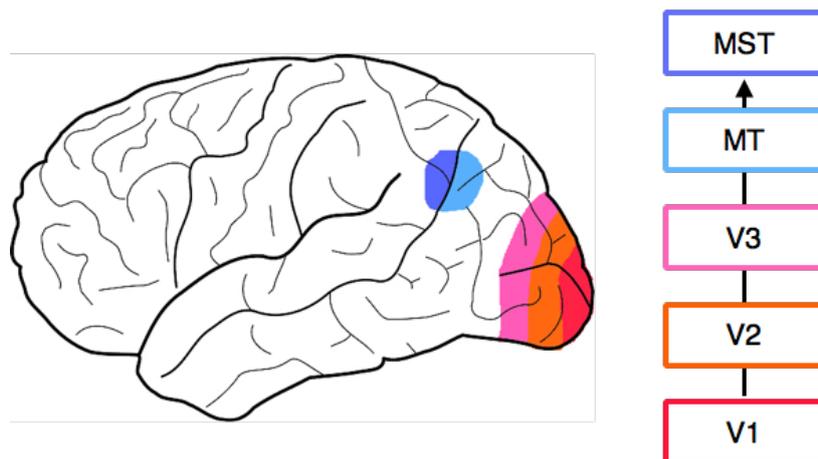


図 10:背側経路

1.7 視覚的作業記憶における情報表現の仮説

脳の各処理経路で処理された情報は、視覚的作業記憶においてどのように統合、保持されるのだろうか。Luck & Vogel(1997)は、視覚的作業記憶の保持容量や記憶表象を調べるために遅延反応課題を行った。

図 11 に遅延反応課題の 1 試行の流れを示す。この実験は、初めに 100ms という極短い時間視覚刺激(サンプル刺激)を提示する。その後何も表示されていないブランク画面を 900ms 提示し、その後、テスト刺激を提示する。サンプル刺激とテスト刺激に含まれる複数のオブジェクトは色属性や傾き属性といった特徴を持っており、実験参加者はサンプル刺激とテスト刺激で同じ位置にある各オブジェクトとを比較して、それぞれ同じ特徴を持っているかどうかを判断する。テスト刺激は、サンプル刺激と比べて 50%の確率でオブジェクトが変化するように制御されている。なお、実験ではサンプル刺激に対するテスト刺激の変化条件とオブジェクトの提示数を変え、正答率を比較することでオブジェクトファイルの表現方式や視覚的作業記憶の保持容量を調査している。視覚刺激の変化条件(図 12)は、(1)色属性の変化のみ、傾き属性の変化のみを検出する条件、(2)色、傾き属性両方の変化を検出する条件、(3)色、傾き属性の変化に加えて、オブジェクトの長さや仕切りの変化を検出する条件など複数の条件を設定し実験を行った。記憶すべき特徴の数を考えると、(1)では、4つのオブジェクトを記憶する場合、4特徴の記憶することになるが、(2)では、2倍の8特徴、(3)では、4倍の16特徴を記憶することになる。

実験の結果、視覚刺激を色属性のみ、傾き属性のみで構成した実験では、4個のオブジェクトまでならほぼ確実に答えることができたが、5つ以上にオブジェクトの個数を増やした場合、正答率が規則的に下がっていくことがわかった。それに対し、色属性、傾き属性を組み合わせたオブジェクトを提示する条件、色属性、傾き属性を組み合わせたオブジェクトに長さや仕切りなどを加えたオ

オブジェクトを提示する条件では、記憶しなければならない特徴の絶対数が増えているが、1種類の属性のみを判断する場合と同様に、4個のオブジェクトまでならほぼ確実に答えることができた。しかし、5つ以上にオブジェクトの個数を増やした場合、正答率が規則的に下がっていくことがわかった。

この結果から、Luck & Vogel は視覚的作業記憶の保持容量の限界はオブジェクトの特徴の総数ではなく、オブジェクトの数に依存して決定されるという仮説を提案した。しかし、これは属性の種類ごとに独立した個別の記憶システムがあるという仮説も考えられる。そこで、同一の属性からなる図12の(4)のような色付きの大きな正方形の中に別の色で彩色された小さな正方形を重ねたオブジェクトを用いて同様の実験を行った。その結果、記憶の容量は低下することなく、4個のオブジェクトまでならほぼ確実に記憶することができた。これらのことから、作業記憶では個々の特徴を個別に保持しているのではなく、オブジェクトの特徴を全てひとまとまりにした表現で記憶表象を作り上げており、その保持容量は4~5個である可能性を示唆した。また、オブジェクトファイルの情報表現は各特徴をひとまとめにして記憶していると考え、その情報表現により記憶容量を増加させるベネフィットも示した。

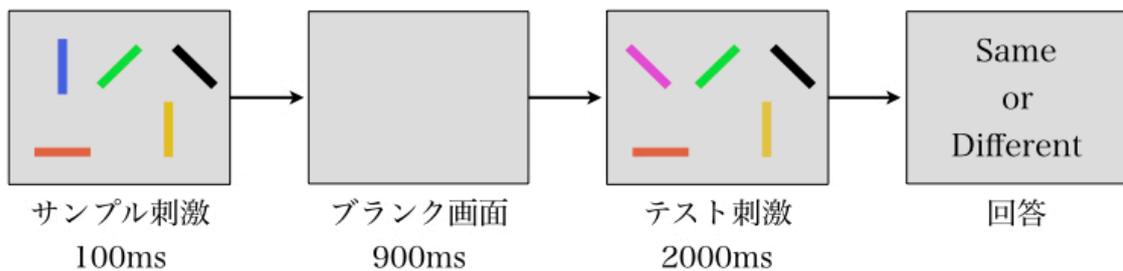


図 11: Luck & Vogel(1997)の遅延比較課題の流れ

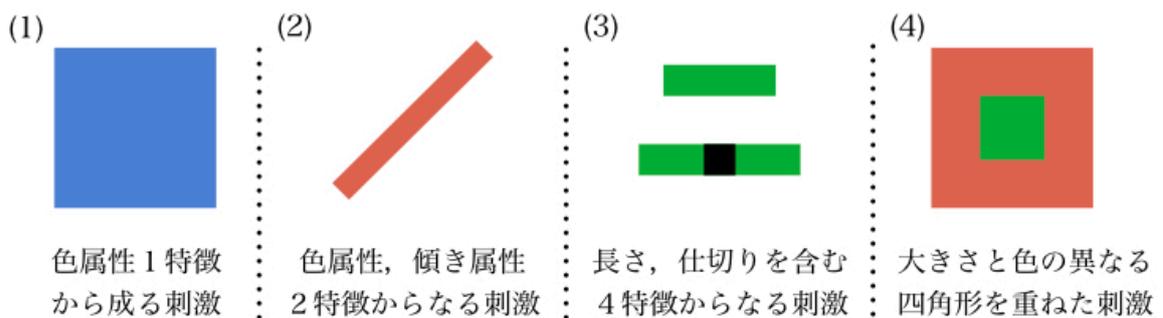


図 12: Luck & Vogel(1997)の課題における変化条件

Luck & Vogel の仮説を支持する研究として Xu(2002, 2006)の行った実験を紹介する. Xu は Luck & Vogel が行ったような遅延比較課題を実施した. テスト刺激として, 図 13 のような異なる色特徴と傾き特徴を組み合わせたマッシュルーム形の 5 つのオブジェクトを用いた **Conjunction** 条件と, オブジェクトに含まれる特徴を分離させた 10 個の特徴を用いた **Disjunction** 条件の成績比較を行った. その結果オブジェクトとして覚える方が, 特徴を分離させて覚えるよりも成績が良いことを示した. この結果はオブジェクトをひとまとめにして記憶する仮説によって証明できる.

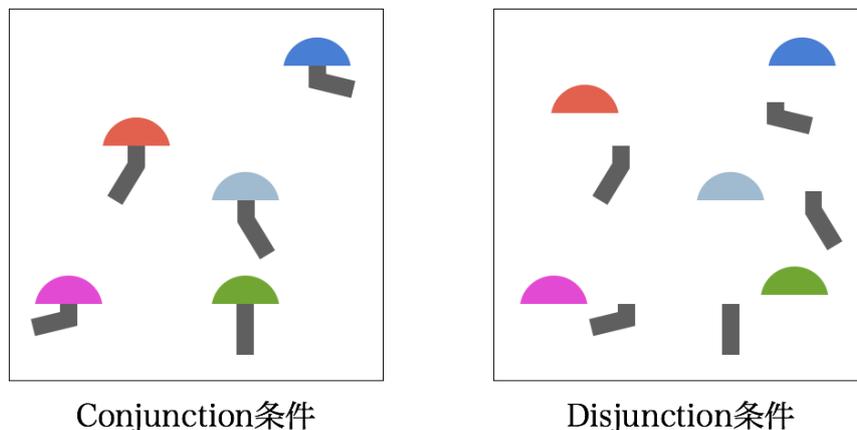


図 13: Xu (2002,2006) の実験で用いた視覚刺激

Luck & Vogel の実験は, オブジェクトベースの記憶表現を基にした研究の火付け役となった. しかし, 実験で用いられた特徴は, 色属性と傾き属性に関する特徴のみであり, これを色と傾き属性以外の属性を加えた 3 属性以上の場合に拡張した場合にも同様の結果が得られるかについては疑問が残る.

この疑問を解決するために古徳ら(2004)は, 色属性と形属性と運動属性を用いて Luck & Vogel の課題に変更を加えた組み合わせ変化検出課題を行った. 図 14 に実験の流れを示す. まず, サンプル刺激が 600ms 提示され, ブランク画面を 1000ms 挟んだ後, 1 つのオブジェクトをテスト刺激として提示する. テスト刺激は, サンプル刺激と変化がない条件, 色, 形, 運動属性のいずれかが変化する条件を設けた. 実験参加者は, テスト刺激のオブジェクトと同じ位置に提示されていたサンプル刺激内のオブジェクトを思い出し, 記憶の中で比較し 3 属性のうちどの特徴に変化があったのかを回答する.

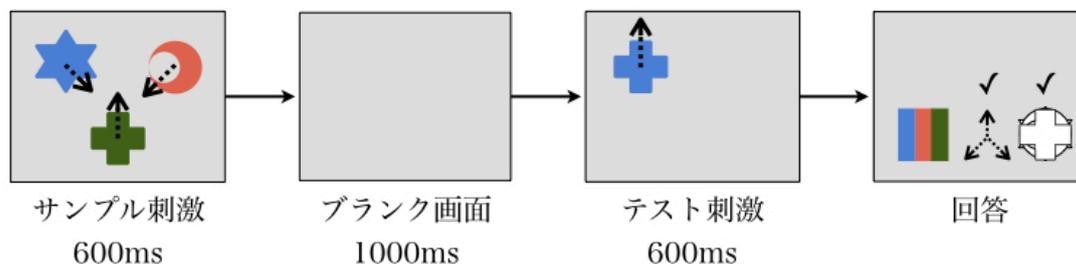


図 14: 古徳ら(2004)の組み合わせ変化検出課題の流れ

実験の結果, 変化した属性の数が 2 属性 のときに正答率が最も高かった. また, 1 属性の特徴しか変化していないにもかかわらず 2 属性の特徴が変化したと回答した誤答が多くみられた. 一方で, 2 属性が変化した場合の誤答として, 1 属性の特徴のみ変化したと回答する誤答がほとんど見られなかった. そこから, 古徳らは 2 つの属性の特徴を対にした表現を段階的に統合して記憶を保持しているという可能性を示唆し, その情報表現方式を対属性仮説(図 15)と呼んだ. 対して, Luck & Vogel が提案したオブジェクトは持つ全ての特徴をひとまとまりにした表現で記憶表象を作り上げるという情報表現方式を全属性仮説(図 15)と呼んだ.

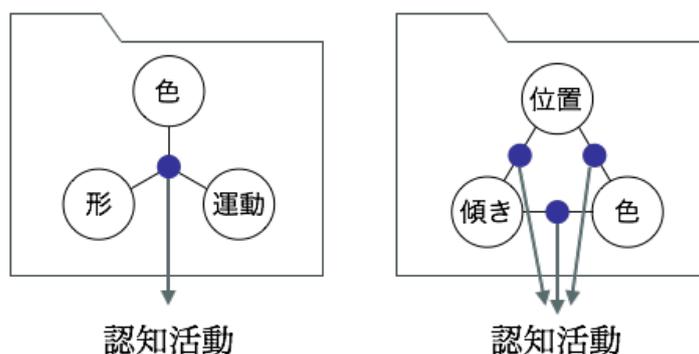


図 15: 全属性仮説(左)と対属性仮説(右)のイメージ

また, 古徳らは実験結果をもとにニューラルネットモデルを作成している(図 16). 入力層 の 3 つの記憶ユニットは 形・運動, 色・形, 色・運動の属性間結合に対応しており, 保持している情報と, 新たに提示された情報を比較して信号を送る. 入力ユニットの荷重和に基き, どの特徴に変化があったかを判定する出力が決定される. このニューラルネットモデルを元に, 自身の実験結果の数値的なシミュレーションを行ったところ, 実際の実験結果を反映する結果が得られた. この結果も対属性仮説を支持する根拠となっている.

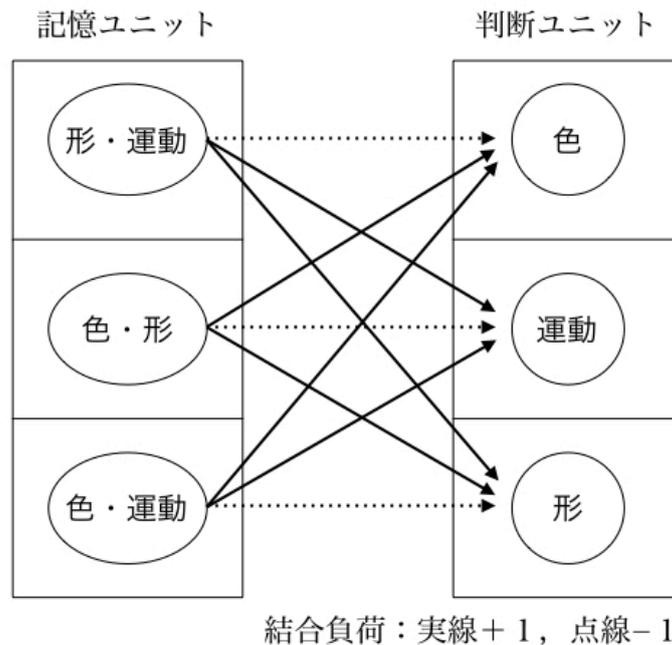


図 16: 対属性仮説のニューラルネットモデル(古徳ら(2004)より改変)

1.8 オブジェクトの位置情報の役割

ここまで、視覚的作業記憶の情報表現を扱った研究を紹介してきたが、それらの課題には以下に記述するような方法論的な問題が指摘されている。Luck & Vogel の実験では、ある一つのオブジェクトの特徴が変化するだけであるため、厳密に言えばオブジェクトの結合関係を記憶する必要はなく、新しく出現した色や傾きのみを検出を行えば事足りてしまう。特徴の結合関係の記憶容量や表象を正しく評価するためには、変化の前後で用いる視覚特徴の種類を不変とし、オブジェクトの組合せの変化を検出させる課題を行うことや、変化の前後で用いる視覚特徴を変化させるが、その後の回答で変化前のオブジェクトを回答させることなど、実験方法の変更が求められる。

一方で、古徳らの行った課題では、変化前後の特徴の種類を不変とし、いずれの特徴に変化があったのかを回答させる手法を用いたため結合関係の記憶を評価できていると考えられる。しかし、古徳らの対属性仮説は、実験手法と照らし合わせると疑問が残る点が存在する。古徳らの実験の問題点として、オブジェクトを記憶する場合、色、傾き、動きを記憶することでオブジェクト 1 つの記憶をしたことになっているが、各オブジェクトを全て記憶する場合、オブジェクトの相対的な位置情報も加えて記憶する必要がある。位置情報を記憶すると考える場合、対属性仮説に則って考えるならば、位置と各属性との属性間結合が存在することになる。だが古徳らは、位置情報を視覚の基本的な属性として考えておらず、対属性仮説が成り立つかを示す明確な実験が行われていない。

特徴統合理論において、特徴の結合に関し重要な役割を果たすと考えられる位置情報の記憶に着目した研究も数多く行われている。Theeuwes et al(2011)は、色特徴を持つ円形の視覚刺激を記憶させ、その視覚刺激の中に特定の色が存在するかを答えさせる実験を行った。記憶を保持している間に、報告すべき色のオブジェクトがあった位置にドットを提示することによって、成績が向上することを示した。そこから、位置が視覚特徴を想起させるための重要な役割を果たしていると主張している。また、Wang et al(2016)は、前節で紹介した Xu の実験で得られたオブジェクト表現による記憶容量増加のベネフィットを、記憶すべき位置情報を削減したことによる影響と仮定し、実験を行った。その結果、自身の仮説を支持する結果を示し、記憶容量増加のベネフィットを位置ベースのベネフィットであると考察した。

これらの研究成果から、オブジェクトを記憶する際には、位置の情報も合わせて記憶することが重要であることがわかる。そのため、位置情報はオブジェクトを構成する基本的な視覚属性の1つであると考えられる。オブジェクトの位置情報を、色属性などの視覚属性と同列の視覚属性と考え、位置属性および色属性の想起関係の性質に着目した興味深い研究として Rajsic & Wilson(2014)の研究を挙げる。Rajsic & Wilson は、色属性と位置属性を持つ複数の円形オブジェクトを用いて記憶しているオブジェクトの特定の特徴を報告する再生課題を行った。図 17 に実験の流れを示す。実験は、色再生課題と、位置再生課題に別れている。両課題ともはじめにサンプル刺激が 100ms 提示される。その後、ブランク画面を 900ms 挟んだ後にテスト刺激が提示される。位置再生課題では、再生の手がかりとなる色を画面中央に提示し、色に基づいてサンプル刺激の位置を答える。色再生課題では、手がかりとなる位置を提示し、位置に基づいてサンプル刺激の色を答える。実験の結果、位置から色を再生する色再生課題よりも、色から位置を再生する位置再生課題で成績が高かった。そこから、視覚的作業記憶では色属性と位置属性の想起関係において非対称性があることを導いた。

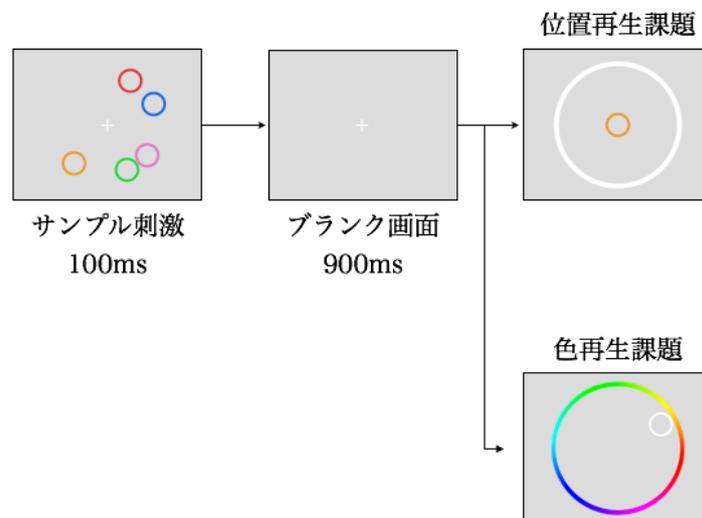


図 17: Rajsic & Wilson (2014) の再生課題

俯瞰的な知見として、位置属性の記憶は、視覚的作業記憶での情報保持、情報の参照に大きく関わっていることがわかった。また、位置属性と色属性の想起関係には非対称性があると示された。この結果を、古徳らが示した対属性仮説における属性間結合の枠組みで考えた場合、想起の非対称は、位置属性と他の視覚属性との属性間結合の特別な性質の影響など、視覚的作業記憶における情報表現の特性に起因するものとも考えられる。もし属性間結合に起因するのであれば、属性間結合には強度や指向性がある可能性が考えられる。このように、視覚的作業記憶の情報表現に迫るためには、属性間の結合関係や位置属性に着目して考えることが新たな切り口となるだろう。

1.9 本論文の目的

オブジェクト認知において、オブジェクトが持つ視覚特徴は、視覚情報処理過程で単純な属性ごとに抽出、処理がなされる。そして、処理された特徴が統合され、オブジェクトファイルとして視覚的作業記憶に保持し、認知活動が行われる。オブジェクトファイルとして保持することで、視覚特徴をバラバラに保持するより多くの記憶を保持できることも示されている。古徳らはオブジェクトファイルの表現形式について調査する研究を行い、オブジェクトファイルの中では 2 つの視覚属性の結合を統合して表現していることを示唆する対属性仮説を報告した。一方で、外界の様々なオブジェクトは、複数の属性の視覚特徴の多様な組み合わせで表現されている。このとき、脳が複数のオブジェクトが持つ複数の視覚特徴の対応関係をどのように見出しているのかが問題となる。対応関係を見出すためには、特定のオブジェクトに対して注意を向けることが必要となる。注意を向けられることで、位置を共通する特徴がオブジェクトファイルとしてまとめられ、保持される。このときオブジェクトの持つ位置情報を合わせて記憶していると考えられるが、古徳らの研究では位置情報を視覚の基本的な属性として捉えておらず、直接的な検討は行われていない。

オブジェクトの位置情報を扱った研究では、視覚的作業記憶のオブジェクトファイルを想起する際の有効な手がかりとなり、想起関係には非対象性があることが報告されている。また、オブジェクトファイルにより記憶容量の増加させるベネフィットは、位置情報をあわせて記憶することによりもたらされていることも示された。これらの結果から、位置情報の記憶はオブジェクトファイルを形成する上で必要な視覚の基本的な属性であると考えられる。

そこで、本研究ではオブジェクトの持つ位置情報を位置属性として捉え、古徳らの示した仮説が位置属性に対しても成立するかを検討する 2 つの実験を行った。実験では、位置属性に関して属性間結合の有無を確認し、結合による認知活動への影響、結合の強度、そして、属性間結合の相互アクセスの性質を検討することで、視覚的作業記憶の情報表現に迫ることを目指す。

実験 1 ではまず、特徴統合において重要な役割を担う位置属性が古徳らの実験で扱われた属性と同じような結合関係を持つのかを検討することを目的とし、色属性、傾き属性に加え、位置属性を用いて遅延比較課題を行った。視覚刺激の変化条件を制御することで、位置属性と色属性の

結合、位置属性と傾き属性の結合による認知活動への影響の検討し、提示数を制御して、属性間結合に負荷をかけることで、結合の強度を検討した(図 18)。

実験 2 では、色属性、傾き属性、位置属性を用いた再生課題を行った。実験 1 の結果から得られた仮説を検証するため、変化条件を制御し、位置属性と色属性、傾き属性の結合による認知活動への影響を更に細かく検討した。加えて、結合間の想起関係の対象性、非対称性の有無といった性質の違いを確認するため、属性間の再生成績を比較し考察を行った(図 19)。

これらの実験から、我々が当たり前のように行っている物体認知のプロセスがどのような表現で実現されているかを検討する。また、その知見を応用し、情報機器などで用いられる色、傾き、位置などの視覚特徴が組み合わされたオブジェクトについて、人にとって高速に認知でき、錯誤の少ない操作を行わせるようにデザインするための根拠の提案や、ユーザビリティの向上に用いることを目的とする。

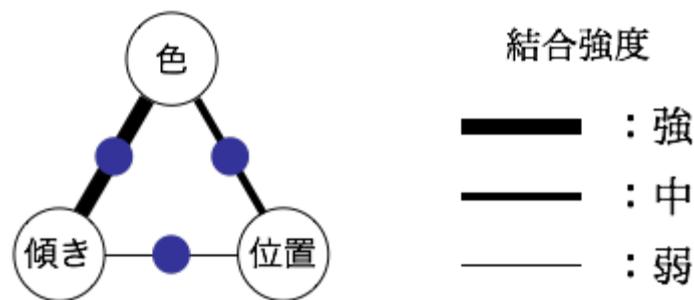


図 18: 結合強度のイメージ

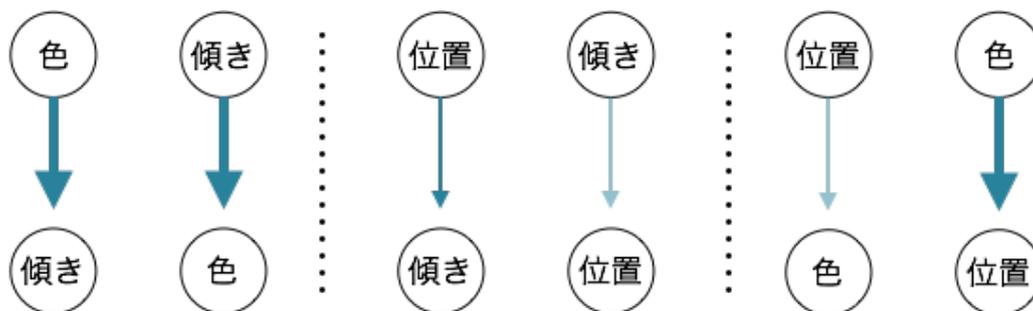


図 19: 結合間の想起関係のイメージ

第2章 本論

2.1 実験1

2.1.1 目的

視覚オブジェクトが持つ視覚特徴は、視覚情報処理過程で単純な属性ごとに別々に抽出、処理がなされる。処理された視覚特徴はオブジェクトファイルとして視覚的作業記憶に保持される。古徳らはオブジェクトファイルの表現形式について調査する研究を行い、オブジェクトファイルの中では視覚属性間の結合のまとまりとして表現されていることを示唆する対属性仮説を報告した。外界には様々なオブジェクトが存在するが、脳が複数のオブジェクトが持つ複数の視覚特徴の対応関係を見出すためには、オブジェクトの持つ位置情報を記憶する必要がある。古徳ら(2004)の研究では位置情報を視覚の基本的な属性として捉えておらず、直接的な検討は行われていなかった。そこで、本実験では位置情報をオブジェクトの持つ基本的な属性としてとらえ、位置属性に着目して、属性間結合の存在や、その性質といった情報表現を検討することを目的とする。

実験 1 では、オブジェクトの位置属性の役割や色、傾き属性との結合関係の有無、性質を網羅的に検討するために再認課題を行った。再認課題は、先行する視覚刺激(サンプル刺激)としてそれぞれ異なる色、異なる傾き、そして異なる位置の特徴を持った複数のオブジェクトを提示する。その後、特定の位置に 1 つだけ視覚刺激(テスト刺激)を提示する。テスト刺激の持つ特徴を変化させて、再認の正答率や反応時間、共通する特徴の回答内訳を調査する。実験 1 は、テスト刺激の提示位置によって、Center 課題と Location 課題の 2 つの課題に分かれる。Center 課題は、サンプル刺激のオブジェクトの出現位置と関係のない画面中央の位置特徴を持つテスト刺激を提示する。一方で、Location 課題は、サンプル刺激のオブジェクトの色、傾き、位置特徴それぞれの単位で考え、色と傾きと結合関係にある位置特徴、傾きと結合関係にある位置特徴、色と結合関係にある位置特徴、色、傾きと結合しない位置特徴を持つオブジェクトを提示する。もし、位置属性も他の属性と属性間結合を形成し保持しているのであれば、色属性と位置属性、傾き属性と位置属性による属性間結合を利用して判断すればいいので、傾き特徴や色特徴に加えて位置特徴を持ったテスト刺激を用いた試行の方が記憶の負荷を最小限に抑え、共通点を回答し易いはずである(図 20)。一方で、傾き特徴や色特徴のみを持ったテスト刺激は、複数の属性間結合で判断しなければならぬため、記憶の負荷も大きく、回答の難易度が高いと考えられる。

また、実験 1 はサンプル刺激のアイテム数を 4 つの場合と 5 つの場合を設けて実験を行うが、属性間結合に強度の概念が存在するのであれば、アイテム数が多くなり、記憶に負荷がかかった際に、その正答率や反応時間などの変化を調べることで、結合関係の強度を調査できると考える。

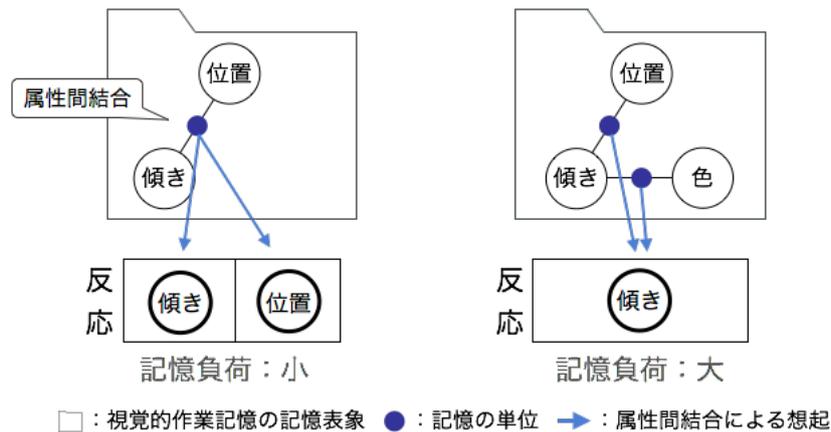


図 20:属性間結合による共通点の判断

2.1.2 実験方法

異なる色と傾きと出現位置を持つ二等辺三角形のオブジェクトを用いて再認課題を行った。再認課題とは、提示された情報が保持している記憶と同じものかどうかを判断する課題である。再認課題は、視覚的作業記憶を調査する研究手法として用いられる手法の1つである。以下に実験の内容を詳述する。

2.1.3 実験参加者

実験参加者は、正常な視力(メガネ、コンタクトレンズによる矯正視力を含む)と正常な色覚を有する18~25歳までの大学生及び大学院生20名であった。また、実験参加者は全員、過去に同様の実験に参加したことはなく、実験目的を知らなかった。この実験は2日を要するものであり、全ての実験参加者は両日実験に参加した。実験は、1日目に実験に用いる視覚刺激のアイテム数を4つで行った場合は、2日目に5つのアイテムを用いて実験を行う。1日目に5つのアイテムを用いて実験を行った場合は、2日目に4つのアイテムを用いて実験を行う。この内訳はカウンターバランスを考慮し、実験参加者を振り分けた。

2.1.4 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。実験には、コンピュータ(DELL, OPTIPLEX 9020)とCRTディスプレイ(TOTOKU, CV921X)を使用した。入力装置としてマウス(DELL OC8649)を使用した。実験参加者には、CRTディスプレイの正面に置かれた椅子に座って実験を行ってもらった(椅子の高さ、背もたれの傾きは自由に調節してもらった)。さらに、顔面固定器具に頭部を固定し、観察距離を固定して実験を行った。観察距離は110cmとした。実験環境を図21に示す。

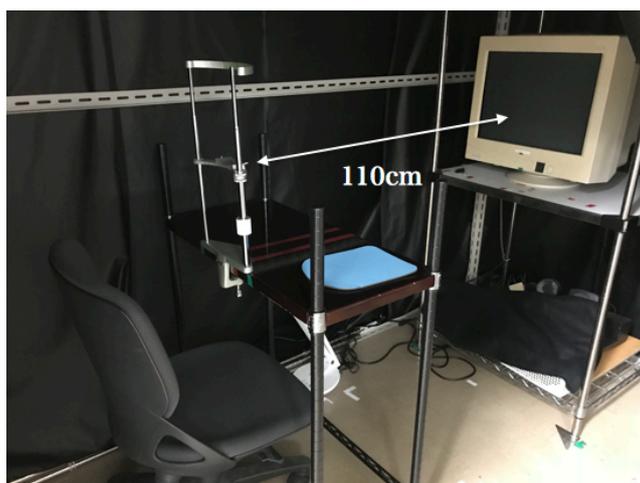


図 21:実験環境

2.1.5 手続き

異なる色と傾きと出現位置を持つ二等辺三角形のオブジェクトを用いて、Center 課題、Location 課題の 2 種類の再認課題を行った。例として、サンプル刺激のアイテム数が 5 つのときの 1 試行の流れを図 22 に示す。なお、サンプル刺激のアイテム数が 4 つのときの 1 試行の流れも同様である。

両課題の流れは、まず中央に注視点(灰色の十字マーク)が提示される。注視点は視線を中央に固定するために用いており、実験参加者には、試行が始まる前は注視点に目を向けるように指示している。注視点が出現した後にサンプル刺激が 200ms 提示され、次にブランク画面を 1000ms 挟み、テスト刺激が提示される。Center 課題では画面中央に、Location 課題ではサンプル刺激が出現したいずれかの位置に提示する。実験参加者はサンプル刺激を記憶し、記憶しているオブジェクトの中にテスト刺激のオブジェクトと全く同じものがあったかどうかをマウスクリックで答える。右クリックは、テスト刺激とサンプル刺激は異なるものという **Change** の反応を意味し、左クリックは、テスト刺激とサンプル刺激のいずれかのオブジェクトは同じものという **No Change** の反応を意味する。この回答を反応 1 とする。反応 1 で **No Change** と回答した場合は試行が終了し、次の試行に進む。一方で、**Change** と回答した場合は、テスト刺激のオブジェクトの持つどの属性の特性が、記憶しているサンプル刺激のオブジェクト群と共通していたのかを画面上の 4 つの選択肢のいずれかをクリックすることで回答する。この回答を反応 2 とする。

各選択肢の説明をする。**Both** 回答は色と傾きの組み合わせは一致しないが、サンプル刺激のオブジェクト群の異なる 2 つのオブジェクトと色と傾き特徴が一致することを意味する。**Shape** 回答はテスト刺激のオブジェクトの傾き特徴のみがサンプル刺激のオブジェクト群のいずれかの傾き特徴と一致することを意味し、同様に **Color** 回答は、色特徴のみがサンプル刺激のオブジェクト群のいずれかの色特徴と一致することを意味する。最後に **Neither** 回答は、テスト刺激のオブジェクト

の色と傾きの両特徴が、サンプル刺激のオブジェクト群のいずれにも含まれていないダミーの特徴であったことを意味する。反応の仕方は、マウスをテーブルに置いた状態で、利き手のみを使って回答するよう指示した。

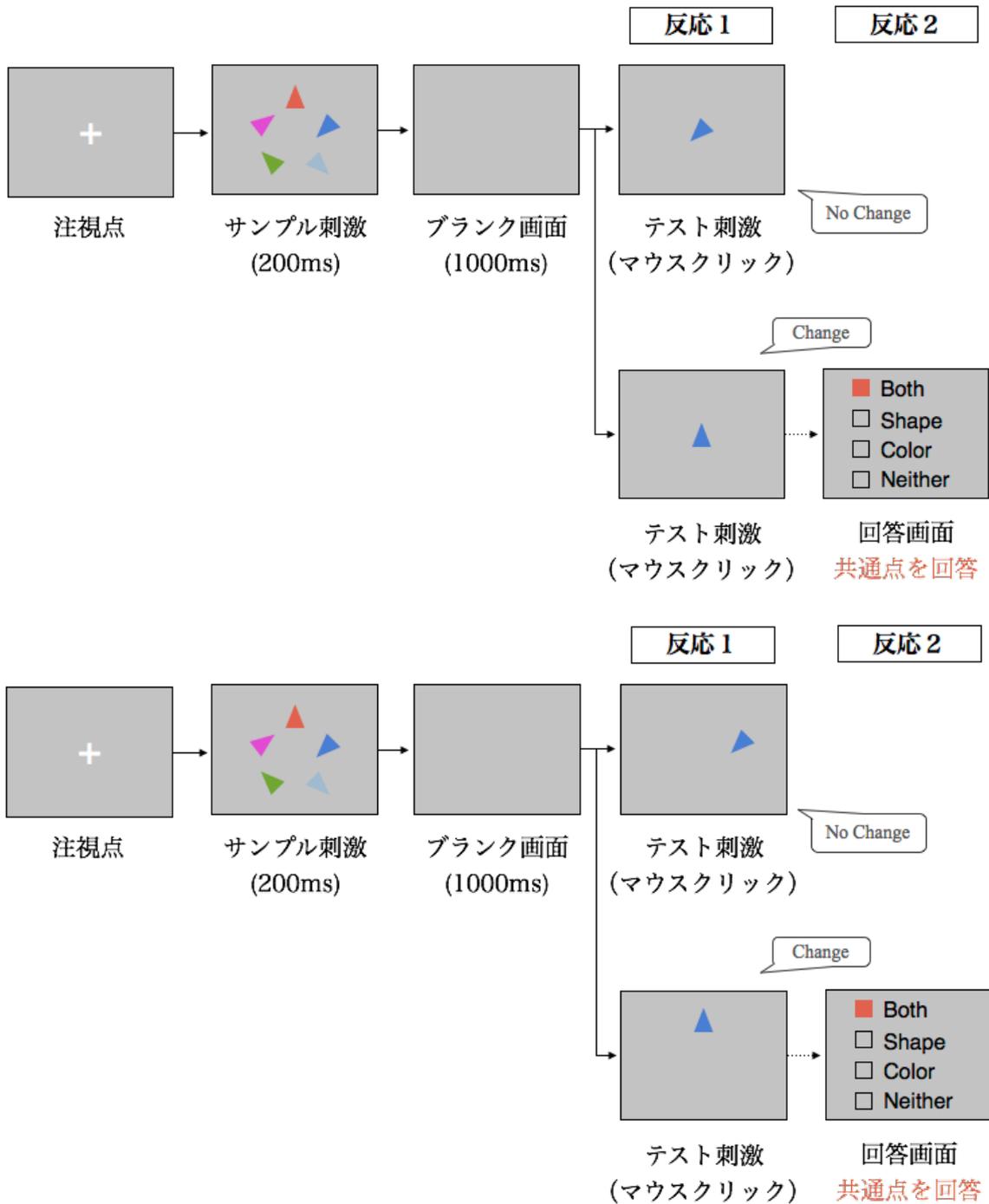


図 22: Center 課題および Location 課題の1試行の流れ
(アイテム数:5, 上:Center 課題, 下:Location 課題)

2.1.6 視覚刺激

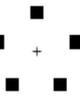
実験に用いた視覚刺激は、表 1 に示すような色属性、傾き属性、そして位置属性の 3 つの属性を組み合わせて作成した。サンプル刺激の数が 4 つのとき、サンプル刺激のオブジェクトの色属性は 5 色の色特徴から被りのないように 4 色ランダムで決定する、テスト刺激は変化条件によって、サンプル刺激として使用した 4 特徴の中からランダムで決定する。もしくは、ダミーとしてサンプル刺激で使わなかった残り 1 特徴を使用する。アイテム数が 5 つのときも同様に、サンプル刺激は 6 色の色特徴から 5 特徴をランダムで決定し使用する。テスト刺激は変化条件によってサンプル刺激として使用した 5 特徴からランダムで決定する。もしくは、ダミーとしてサンプル刺激で使わなかった残り 1 特徴を使用する。なお、全ての色の輝度はおよそ 3cd/m^2 に揃え、視覚刺激の違いによる影響をある程度均一になるように配慮している。この実験で用いた色は、輝度が 3cd/m^2 であって、それぞれの色の違いが容易に判断でき、言葉で色を表すことができるカテゴリカル色に近い配色になるような色を使用した。

傾き属性はサンプル刺激のアイテム数が 4 つのとき、色属性と同様に、サンプル刺激は 5 方向の傾き特徴の中から被りのないように 4 特徴をランダムで決定し、テスト刺激は条件によって、サンプル刺激として使用した 4 特徴からランダムで決定するもしくは、ダミーとしてサンプル刺激で使わなかった残り 1 特徴を使用する。アイテム数が 5 つのとき、色属性と同様に、サンプル刺激は 6 方向の傾き特徴の中から 5 特徴をランダムで決定し、テスト刺激は条件によって、サンプル刺激として使用した 5 特徴からランダムで決定するもしくは、ダミーとしてサンプル刺激で使わなかった残り 1 特徴を使用する。なお、全てのオブジェクトは特徴量を揃えるために、視角 1 度となるように大きさを調整し、かつ傾きの違いがわかりやすくなるように一律に二等辺三角形を使用した。それぞれの傾きは、アイテム数が 4 つのとき、 72° ずつ異なる 5 方向、アイテム数が 5 つのとき、 60° ずつ異なる 6 方向の傾きを使用した。

位置属性はサンプル刺激とテスト刺激で異なり、サンプル刺激は、画面中央から視覚 5° （人間の中心視野に相当）の同心円上に収まり、それぞれのオブジェクトの重心が画面中央からの距離と等しくなるように配置した。アイテム数が 4 つのときは、正四角形の頂点の位置に配置し、アイテム数が 5 つのときは、正五角形の頂点の位置に被りのないように配置した。Center 課題のテスト刺激は、サンプル刺激のオブジェクトが持つ位置属性の影響を受けないように、画面中央の位置に配置した。Location 課題のテスト刺激は、サンプル刺激のいずれかのオブジェクトの位置特徴を持つ。

視覚刺激が提示される際の画面背景は、視覚刺激の輝度の強さによる網膜への焼付きから生じる残像の影響を低減するため暗めの灰(輝度 0.95cd/m^2) を使用した。

表 1: 実験1で用いた各属性の特徴

	色属性	傾き属性	位置属性
アイテム数4	 青, 赤, 緑 紫, 灰	 72°ずつ異なる 二等辺三角形	 正四角形の頂点 または画面中央
アイテム数5	 青, 赤, 緑 紫, 橙, 灰	 60°ずつ異なる 二等辺三角形	 正五角形の頂点 または画面中央

2.1.7 Center 課題におけるテスト刺激の変化条件

Center 課題のテスト刺激の変化条件として 5 条件((CS)条件, CS 条件, S 条件, C 条件, N 条件)設けた(図 23). 以下に, それぞれの条件を詳述していく. 条件名の命名ルールは C が付くときサンプル刺激と色が共通することを意味する(Cは Color の頭文字). S が付くとき, サンプル刺激と傾き特徴が共通することを意味する(S は Shape の頭文字). N が付くとき, サンプル刺激のいずれにもない色, 傾き特徴が用いられることを意味する(N は Neither の頭文字). ()はサンプル刺激のいずれかと色, 傾きの特徴の組み合わせが全く同じであるときに付けられる.

(CS)条件では, テスト刺激として, 先に出現したサンプル刺激のいずれかのオブジェクトと色, 傾きの組み合わせが全く同じものを提示する条件である. この条件のみ, 反応1で No Change 回答をすることが正解となる試行である. そこで, No Change 回答と Change 回答の絶対数を揃えるために, 1ブロックの半数である 40 試行のテスト刺激が(CS)条件として提示される.

CS 条件は(CS)条件と異なり, 色と傾きの組み合わせが一致するオブジェクトは出現しない. しかし, サンプル刺激のオブジェクト群の異なる 2 つのオブジェクトと色と傾き特徴が一致する条件である. この条件の試行は, 反応 1 では Change 回答, 反応 2 では Both 回答をすることが正解となる.

S 条件は, テスト刺激のオブジェクトの傾き特徴がサンプル刺激のオブジェクト群のいずれかと一致し, 色特徴はサンプル刺激で用いられなかったダミー特徴が用いられる条件である. この条件の試行は, 反応 1 では Change 回答, 反応 2 では Shape 回答をすることが正解となる.

C 条件は, テスト刺激のオブジェクトの色特徴がサンプル刺激のオブジェクト群のいずれかと一致し, 傾き特徴はサンプル刺激で用いられなかったダミー特徴が用いられる条件である. この条件の試行は, 反応 1 では Change 回答, 反応 2 では Color 回答をすることが正解となる.

最後に N 条件は、テスト刺激のオブジェクトの色と傾きの両特徴が、サンプル刺激のオブジェクト群のいずれにも含まないダミー特徴で作られる条件である。この条件の試行は、反応 1 では Change 回答、反応 2 では Neither 回答をすることが正解となる。

反応 1 で Change 回答が求められる CS 条件、S 条件、C 条件、N 条件の各条件は、1 ブロック中の半数である 40 試行で出現する条件であり、それぞれ 10 試行ずつ割り振られている。なお、テスト刺激を構成する色特徴、傾き特徴はランダムで割り振られている。

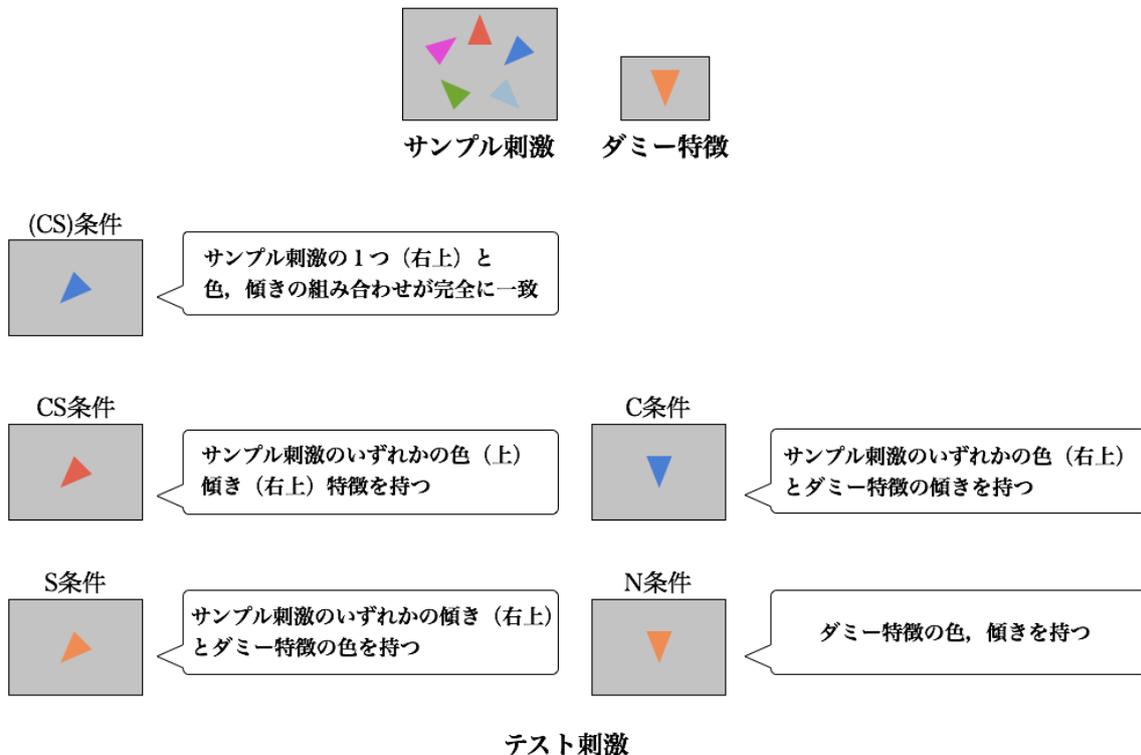


図 23: Center 課題におけるテスト刺激の変化条件

2.1.8 Location 課題におけるテスト刺激の変化条件

Location 課題のテスト刺激の変化条件は Center 課題のテスト刺激に対し、位置属性を考慮するため 10 条件に拡張される (図 24)。各条件をそれぞれ紹介していく。条件名の命名ルールは Center 課題と同じく、C が付くときサンプル刺激と色が共通することを意味する (C は Color の頭文字)。S が付くとき、サンプル刺激と傾き特徴が共通することを意味する (S は Shape の頭文字)。N が付くとき、サンプル刺激のいずれにもない色、傾き特徴が用いられることを意味する (N は Neither の頭文字)。() はサンプル刺激のいずれかと色、傾きの特徴の組み合わせが全く同じであるときに付けられる。Location 課題特有のルールとして、C や S にアンダーバーが付く場合、付いている色

特徴、傾き特徴の位置にテスト刺激が提示されることを意味している。アンダーバーが付いていなければ、色特徴、傾き特徴の位置と関係のない位置に提示される。

まず、Center 課題の(CS)条件は、(CS)条件と(CS)条件に分けられる。(CS)条件は、テスト刺激として、先に出現したサンプル刺激のいずれか1つのオブジェクトと色、傾き特徴の組み合わせが全く同じものであり、かつ、位置特徴もまた特定のオブジェクトと一致するオブジェクトが出現する条件である。(CS)条件は、テスト刺激として、先に出現したサンプル刺激のいずれか1つのオブジェクトと色、傾き特徴の組み合わせが全く同じものは同じものであるが、位置特徴は、色、傾き特徴の基になったサンプル刺激のオブジェクトとは別のオブジェクトの位置特徴を持つオブジェクトが出現する条件である。この2つの条件は、反応1で No Change 回答をすることが正解となる試行である。そのため、No Change 回答と Change 回答の絶対数を揃えるために、1ブロックの半数である40試行のうち、20試行を(CS)条件、残り20試行を(CS)条件のテスト刺激となっている。

CS 条件は、CS 条件、CS 条件、CS 条件に分けられる。CS の3条件はいずれも(CS)条件や(CS)条件と異なり、色と傾きの組み合わせが一致するオブジェクトは出現しない。しかし、サンプル刺激のオブジェクト群の異なる2つのオブジェクトと色と傾き特徴が一致する条件である。ただし、CS 条件は、色特徴が一致するサンプル刺激のオブジェクトの位置にテスト刺激のオブジェクトが出現する条件、CS 条件は、傾き特徴が一致するサンプル刺激のオブジェクトの位置にオブジェクトが出現する条件、CS 条件は、色特徴が一致するサンプル刺激のオブジェクト、及び傾き特徴が一致するサンプル刺激のオブジェクトと異なるオブジェクトの位置にオブジェクトが出現する条件である。これらの条件の試行は、反応1では Change 回答、反応2では Both 回答をすることが正解となる。

S 条件は、S 条件と S 条件に拡張される。S 条件は、テスト刺激のオブジェクトの傾き特徴がサンプル刺激のオブジェクト群のいずれかと一致し、色特徴はサンプル刺激で用いられなかったダミー特徴が用いられる。そして、位置特徴もまた傾き特徴が共通するサンプル刺激のオブジェクトの位置特徴を持つ条件である。S 条件は、テスト刺激のオブジェクトの傾き特徴がサンプル刺激のオブジェクト群のいずれかと一致し、色特徴はサンプル刺激で用いられなかったダミー特徴が用いられるが、位置特徴は傾き特徴が共通しないサンプル刺激のオブジェクトのいずれかの位置特徴を持つ条件である。これらの条件の試行は、反応1では Change 回答、反応2では Shape 回答をすることが正解となる。

C 条件は、C 条件と C 条件に拡張される。C 条件は、テスト刺激のオブジェクトの色特徴がサンプル刺激のオブジェクト群のいずれかと一致し、傾き特徴はサンプル刺激で用いられなかったダミー特徴が用いられる。そして、位置特徴もまた色特徴が共通するサンプル刺激のオブジェクトの位置特徴を持つ条件である。C 条件は、テスト刺激のオブジェクトの色特徴がサンプル刺激のオブジェクト群のいずれかと一致し、色特徴はサンプル刺激で用いられなかったダミー特徴が用いられるが、位置特徴は色特徴が共通しないサンプル刺激のオブジェクトのいずれかの位置特徴を持つ条

件である。これらの条件の試行は、反応 1 では Change 回答、反応 2 では Color 回答をすることが正解となる。

最後に N 条件は、Location 課題でも N 条件と呼ぶ。Location 課題での N 条件は、テスト刺激のオブジェクトの色と傾きの両特徴が、サンプル刺激のオブジェクト群のいずれにも含まないダミー特徴で作られ、サンプル刺激のいずれかのオブジェクトの位置特徴を持つ条件である。この条件の試行は、反応 1 では Change 回答、反応 2 では Neither 回答をすることが正解となる。

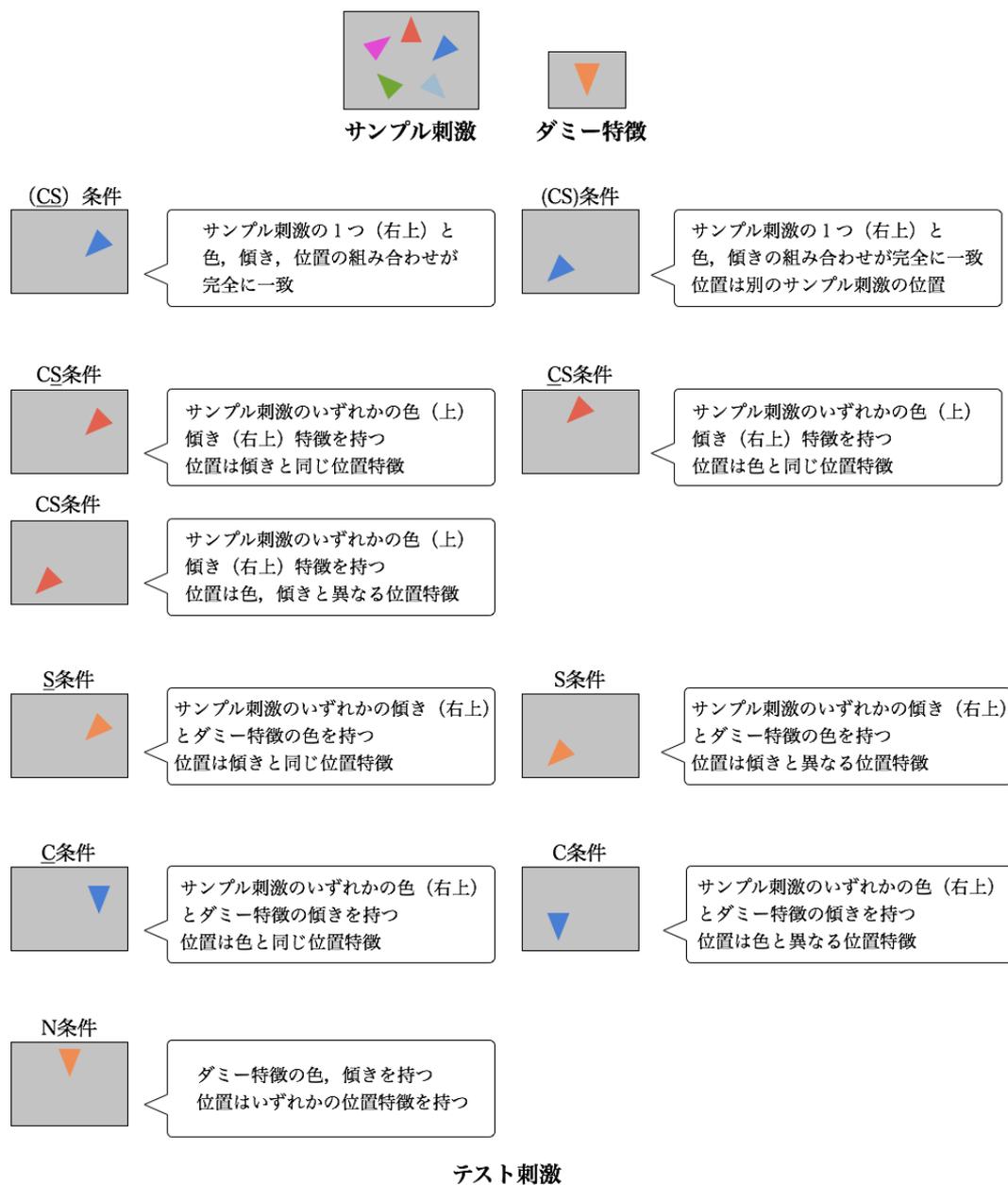


図 24: Location 課題におけるテスト刺激の変化条件

CS条件, CS条件, CS条件, S条件, S条件, C条件, C条件, N条件は, 1ブロック中の Change 試行 40 試行のときに出現する条件であり, それぞれ 5 試行ずつ条件が割り振られている. なお, テスト刺激を構成する色特徴, 傾き特徴, 位置特徴はランダムで割り振られている.

2.1.9 デザイン

図 25 に実験 1 の流れを示す. まず, Center 課題の練習を 10 試行(Center 課題の(CS)条件 5 試行, その他提示条を各 1 試行), 次に Location 課題の練習を 10 試行行う(Location 課題の各変化条件につき 1 試行). 両実験の練習終了後に Center 課題の本番ブロックを 2 ブロック行い, Location 課題を 4 ブロック行った. このとき, 1 ブロックは 80 試行から構成されており, Center 課題では(CS)条件を 40 試行, その他変化条件が各 10 試行ずつ出現するように構成されている. Location 課題では(CS)条件を 20 試行, (CS)条件を 20 試行, その他変化条件が各 5 試行ずつ出現するように構成されている. 条件の提示順番はランダム化されている. ブロックの開始前には, 暗順応させるために 30 秒の暗室の中で待機してもらい, 眼の疲労を和らげるために奇数ブロック終了後は 5 分間の休憩, 偶数ブロック終了後には 10 分の休憩を取っている. 1 日目と 2 日目で行う順番は同じだが, サンプル刺激のアイテム数が異なる. 全実験参加者には両日実験に参加してもらっており, 得られた結果は被験者内比較する.



図 25: 実験1の流れ

2.2 実験結果

実験参加者 20 名それぞれのデータが全実験参加者の平均値から標準偏差の 3 倍以内に収まっていたため全員分のデータ分析を行った。反応時間は、サンプル刺激が提示されてから反応 1 として右クリック、もしくは左クリックするまでの時間のことである。反応時間は、データの分布が正規分布にならないため、幾何平均を取っている。なお、実験結果はアイテム数が 4 つのときの結果全てと、アイテム数が 5 つのときの結果の一部を紹介する。ここで紹介しなかったアイテム数が 5 つのときの結果は付録に掲載する。

2.2.1 Center 課題における反応 1 の正答率

反応 1 では記憶しているサンプル刺激とテスト刺激を比較し、変化があったかどうかを答える。正しく記憶できているかを比較するために正答率を調べた。Center 課題(アイテム数:4)における反応 1 の平均正答率を図 26 に示す。縦軸は正答率、横軸は条件を表す。図 26 の左を見ると、サンプル刺激に対し同じオブジェクトが出現する(CS)条件は正答率が低いだが、図 26 右のように、サンプル刺激と異なるものが出現する条件ではほぼ確実に正解できた。

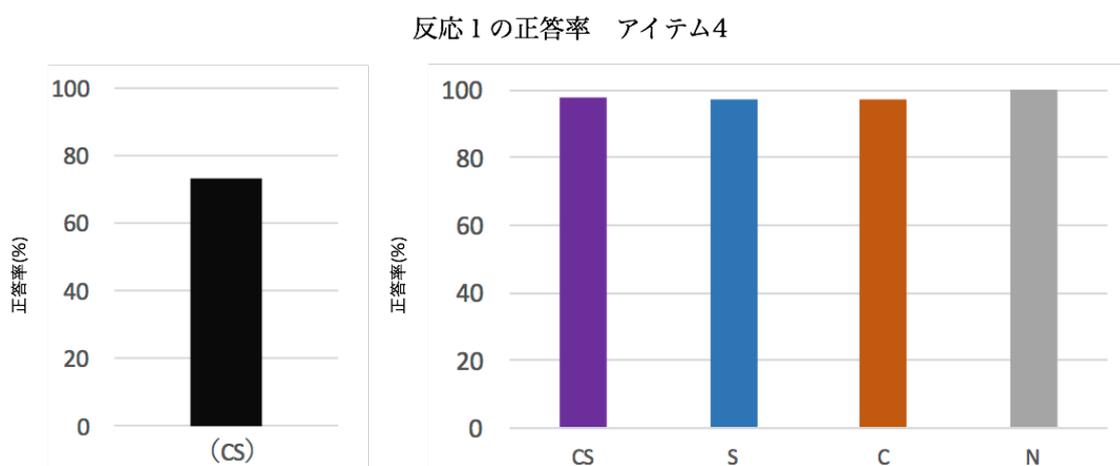


図 26: Center 課題(アイテム数:4)における反応 1 の正答率

2.2.2 Center 課題における反応 1 の反応時間

頑健に記憶することができていれば、短い反応時間で課題が遂行できると考えられる。そこで、反応 1 の反応時間を調べた。Center 課題(アイテム数:4)における反応 1 の平均反応時間を図 27 に示す。縦軸は反応時間、横軸は条件を表す。グラフを見ると、(CS)条件は正答率が低いのに対し、反応時間は短いことが見て取れる。一方で、C 条件は正答率が高いが、反応時間は長いことが見て取れる。反応時間について、反応の性質が異なる(CS)条件を除いた変化条件を要因とする被験者内 1 要因 4 水準の分散分析を行った。Mauchly 検定で球面性が仮定できなかったため、Greenhouse-Geisser 法によって自由度を修正して検定を行った。検定の結果、条件の主効果が有

意であった ($F(2.225,42.280)=5.777$ $p<0.01$). 多重比較をしたところ, CS 条件と C 条件, S 条件と C 条件に有意差があった (CS と C: $p<0.05$, S と C: $p<0.01$).

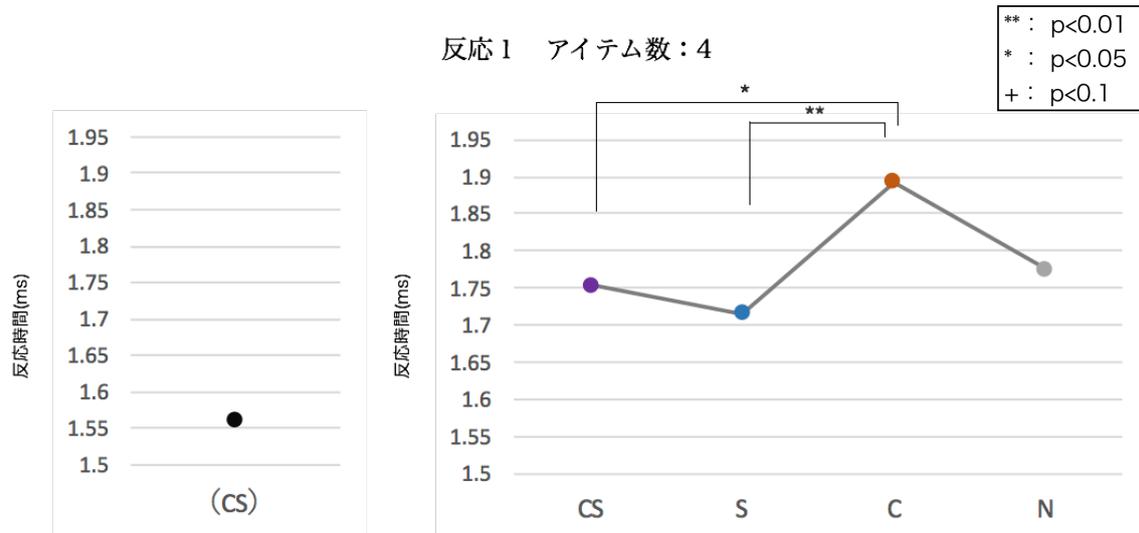


図 27: Center 課題(アイテム数:4)における反応 1 の反応時間

2.2.3 Center 課題における反応 2 の正答率

反応 1 でサンプル刺激とテスト刺激は同じものではないと答えた場合, 反応 2 に移行する. そして, 記憶を特徴レベルで思い出して, サンプル刺激との共通点を回答する. Center 課題(アイテム数:4)における反応 2 の正答率を図 28 に示す. 縦軸は正答率, 横軸は条件を表す.

サンプル刺激のオブジェクトと共通する特徴数が多い CS 条件では正答率が低く, サンプル刺激のオブジェクトと共通する特徴がない N 条件では正答率が高いことが見て取れる. 正答率について, 条件を要因とする被験者内 1 要因 5 水準の分散分析を行った. Mauchly 検定で球面性が仮定できなかったため, Greenhouse-Geisser 法により自由度を修正して検定した. その結果, 条件の主効果が有意であった($F(1.288,24.480)=41.412$ $p<0.01$). 多重比較をしたところ, CS 条件と S 条件, C 条件, N 条件の間, S 条件と N 条件, C 条件と N 条件の間に有意差が見られた(CS と S: $p<0.05$, CS と C: $p<0.01$, CS と N: $p<0.01$, S と N: $p<0.01$, C と N: $p<0.05$).

反応2 アイテム数：4

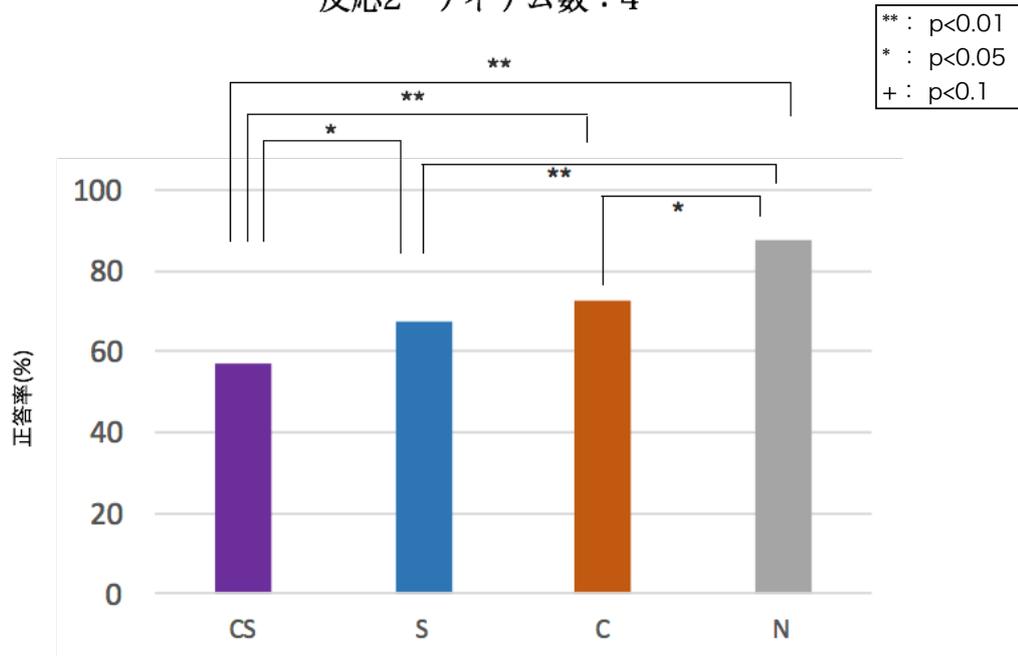


図 28:Center 課題(アイテム数:4)における反応 2 の正答率

2.2.4 Center 課題における反応 2 の回答の内訳

反応 2 では反応 1 に比べ正答率が落ち込んだ。そこで、条件ごとにどのような回答の傾向があるのかを調べた。(CS)条件は、反応 1 で Change と回答した場合は反応 2 に移るため、その際の回答の内訳も他の条件と同様に調査した。表に、Center 課題における反応 2 の各選択肢における回答割合の内訳を示す(表 2)。色づいているセルは正解の選択肢の回答率を表している。

表 2:Center 課題における反応 2 の回答割合の内訳(上:アイテム数 4, 下:アイテム数 5)

		選択肢				
		No Change回答	Both回答	Shape回答	Color回答	Neither回答
提示条件	(CS) 条件	73.56	3.50	6.88	12.88	3.19
	CS条件	2.00	57.00	15.50	23.00	2.50
	S条件	2.75	4.50	67.25	5.75	19.75
	C条件	3.25	6.75	6.50	72.50	11.00
	N条件	1.00	0.75	6.75	4.75	87.75

		選択肢				
		No Change回答	Both回答	Shape回答	Color回答	Neither回答
提示条件	(CS) 条件	59.75	7.06	9.75	17.44	6.00
	CS条件	4.50	47.25	16.50	26.00	5.75
	S条件	1.75	5.75	58.75	8.50	25.25
	C条件	3.50	16.25	8.00	57.25	15.00
	N条件	1.25	3.25	14.75	12.25	69.50

2.2.5 Location 課題における反応 1 の正答率

色, 傾き属性と位置属性の結びつきを調査する Location 課題では 10 の変化条件を設けて実験を行った. Center 課題と同様に, 反応 1 では記憶しているサンプル刺激とテスト刺激を比較し, 変化があったかどうかを答える. 正しく記憶できているかを比較するために正答率を調べた. Location 課題(アイテム数:4)における反応 1 の正答率を図 29 に示す. 縦軸は正答率, 横軸は条件を表す. 図 29 の左のグラフを見ると, Center 課題の(CS)条件の拡張である 2 条件は Center 課題同様に正答率が低い. 一方で, 図 29 の右のグラフが示すサンプル刺激と異なるものが出現する条件では位置の影響によらず, ほぼ確実に正解することができた.

反応 1 の正答率 アイテム数：4

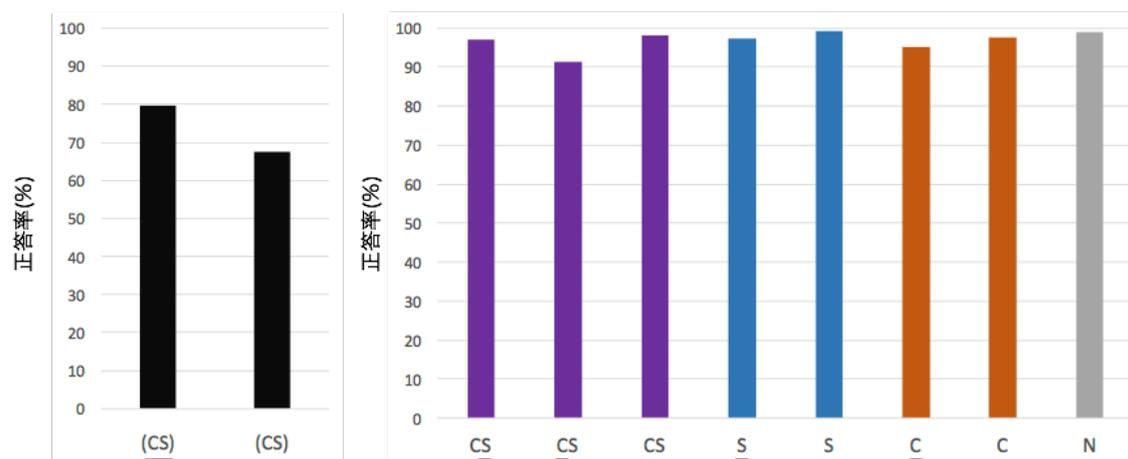


図 29: Location 課題(アイテム数:4)における反応1の正答率

2.2.6 Location 課題における反応 1 の反応時間

Location 課題(アイテム数:4)における反応 1 の反応時間を図 30 に示す. 縦軸は反応時間, 横軸は条件を表す. 俯瞰的に見ると, Center 課題の(CS)条件と同様に, (CS)条件, (CS)条件は正答率が低いのに対し, 反応時間は短いことが見て取れる. 一方で, C条件, C 条件の反応時間は長いことが見て取れる. 逆に, S条件, S 条件の反応時間は短いことが見て取れる. 詳細に見ると, S の 2 条件は, 位置特徴の有無によって反応時間に変化があったが, C の 2 条件では, 反応時間の大きな短縮は見受けられないことがわかる. そこで, 反応時間について, (CS)条件, (CS)条件を除いた変化条件を要因とする被験者内 1 要因 8 水準の分散分析を行った. Mauchly 検定で球形性が仮定できなかったため, Greenhouse-Geisser 法によって自由度を修正して検定した. 検定の結果, 変化条件の主効果が有意であった ($F(2.113, 40.144) = 5.068$ $p < 0.01$). 多重比較をしたところ, CS 条件と S 条件, C 条件と N 条件, C 条件と N 条件の間に有意差が見られた(CS と S: $p < 0.01$, C と N: $p < 0.01$, C と N: $p < 0.01$). また, CS 条件と S 条件の間に有意傾向が見られた($p < 0.1$).

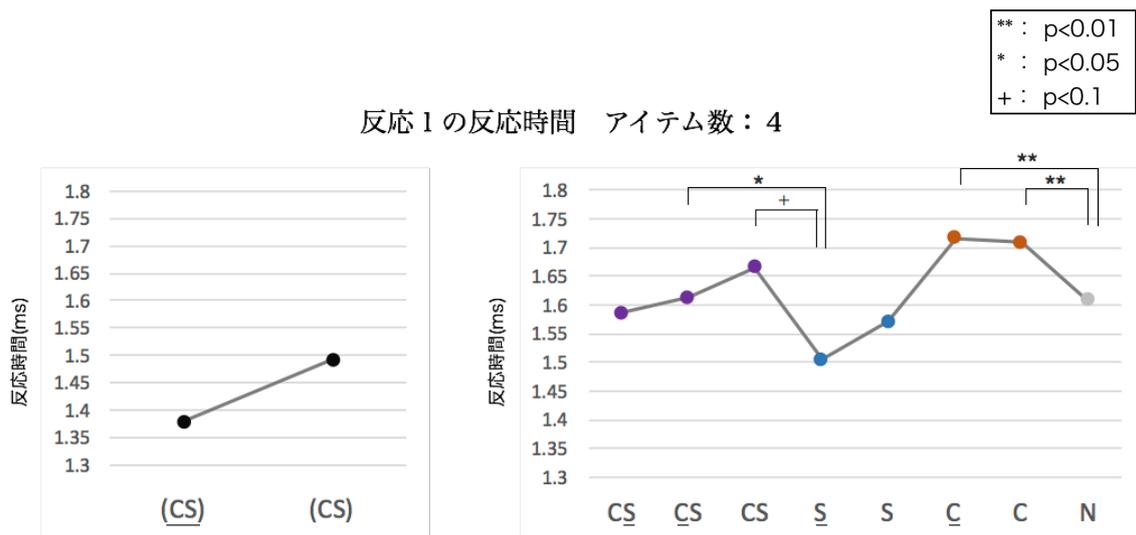


図 30: Location 課題(アイテム数:4)における反応1の反応時間

各属性の位置との結合による反応時間への影響について調査するために、傾きと位置の結合、色と位置の結合関係を最もシンプルに反映する条件である S 条件と S 条件、C 条件と C 条件の結果に対し、対応のある t 検定を行った (図 31)。その結果、S 条件と S 条件には有意傾向があった ($t(19)= 1.814$ $p<0.1$)。一方で C 条件と C 条件の間には有意差がなかった ($t(19)= .271$ n.s.)。

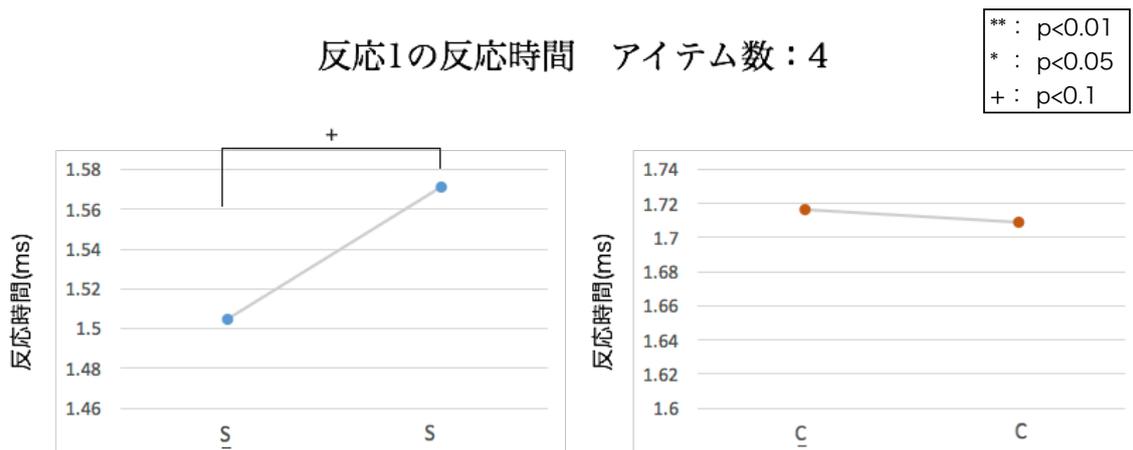


図 31: S 条件と S 条件、C 条件と C 条件における反応時間の比較(アイテム数:4)

また、CS 条件、CS 条件、CS 条件の反応時間の結果に対し、分散分析を行った(図 32)。Mauchly 検定で球面性が仮定できなかったため、Greenhouse-Geisser 法により自由度を修正して検定した。その結果、条件の主効果は有意でなかった ($F(1.264, 24.014)=2.106$ n.s.)。

反応1の反応時間 アイテム数：4

** : p<0.01
* : p<0.05
+ : p<0.1

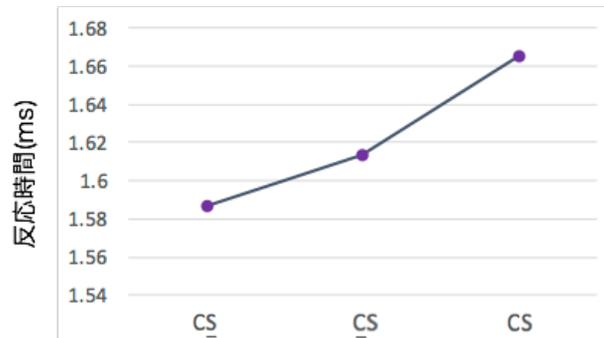


図 32:CS条件, CS条件, CS条件における反応時間の比較(アイテム数:4)

2.2.7 Location 課題における反応 2 の正答率

Location 課題(アイテム数:4)における反応 2 の正答率を図 33 に示す。縦軸は正答率、横軸は条件を表す。グラフを見ると、S条件は S 条件と比べて正答率が高いが、C条件は C 条件と比べて正答率が変わらないことが伺える。正答率について、変化条件を要因とする被験者内 1 要因 5 水準の分散分析を行った。Mauchly 検定で球面性が仮定できなかったため、Greenhouse-Geisser 法により自由度を修正して検定した。その結果、条件の主効果が有意であった ($F(3.348,63.606)=4.475$ $p<0.01$)。多重比較をしたところ、CS条件と N 条件、N 条件と CS 条件、S条件と S 条件の間に有意差が見られた(CSと N: $p<0.05$, CSと N: $p<0.05$, Sと S: $p<0.05$)。

反応 2 の正答率 アイテム数：4

** : p<0.01
* : p<0.05
+ : p<0.1

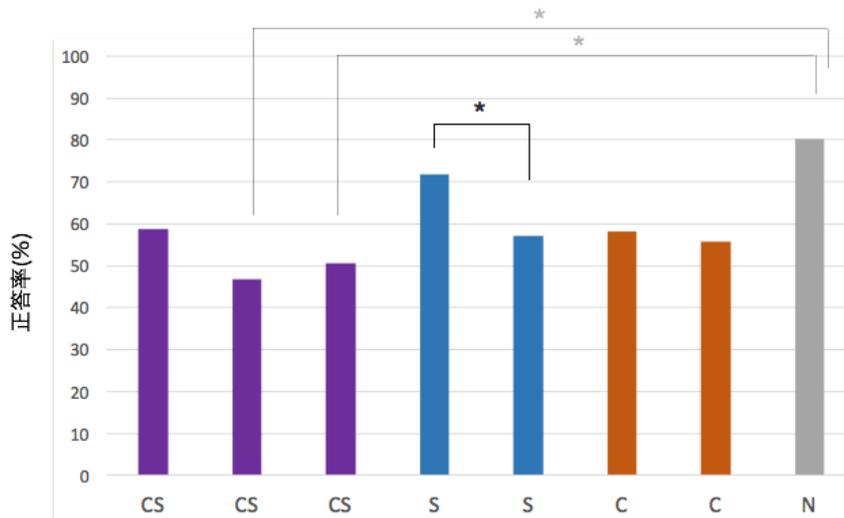


図 33:Location 課題(アイテム数:4)における反応 2 の正答率

反応時間と同様に、S条件とS条件、C条件とC条件の結果に対し、対応のあるt検定を行った(図 34)。その結果、S条件とS条件には有意差があった($t(19)=3.860$ $p<0.01$)。一方でC条件とC条件の間には有意差がなかった($t(19)=.750$ n.s.)。

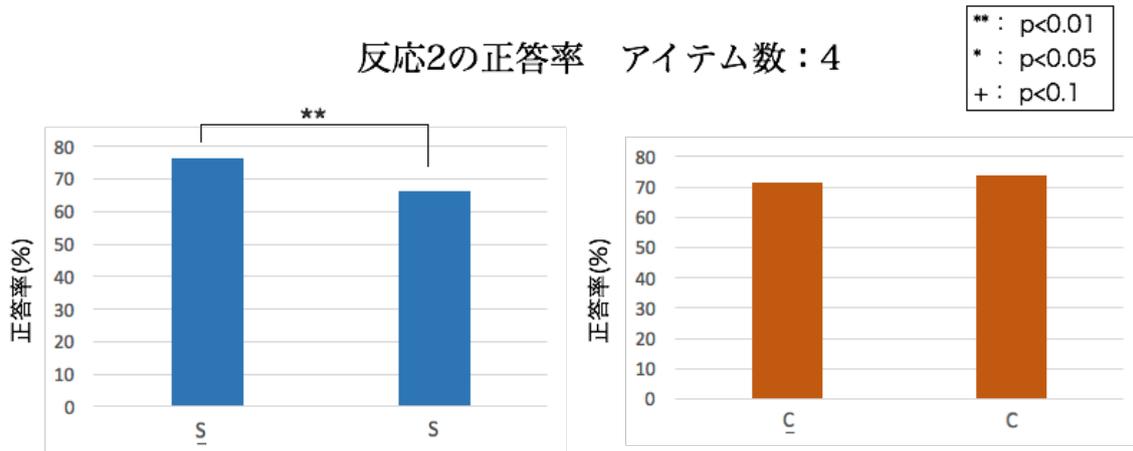


図 34: S条件とS条件, C条件とC条件における反応2の正答率の比較(アイテム数:4)

また、CS条件、CS条件、CS条件の反応時間の結果に対し、分散分析を行った(図 35)。その結果、条件の主効果が有意であった($F(2,38)=6.651$ $p<0.01$)。多重比較の結果、CS条件とCS条件の間に有意差があった($p<0.01$)。また、CS条件とCS条件の間に有意傾向があった($p<0.1$)。

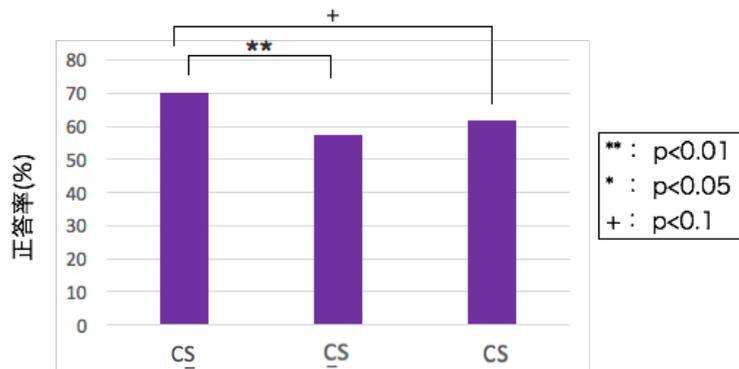


図 35: CS条件とCS条件, CS条件における反応2の正答率の比較(アイテム数:4)

2.2.8 Location 課題における反応 2 の回答の内訳

Center 課題と同様に, Location 課題でも反応 2 では反応 1 に比べ正答率が落ち込んだ. そこで, 条件ごとにどのような回答の傾向があるのかを調べた. 反応 2 の回答の内訳を表 3 に示す. また, アイテム数増加による回答内訳の変動を表 4 に示す. 黒文字は, アイテム数増加により, 回答率が増えたもので, 赤文字は, アイテム数増加により, 回答率が低下したものである. 橙色で色付けされたセルは, 両アイテム数ともに最も多い誤答選択肢を示している.

表 3: Location 課題における反応 2 の回答割合の内訳(上:アイテム数 4, 下:アイテム数 5)

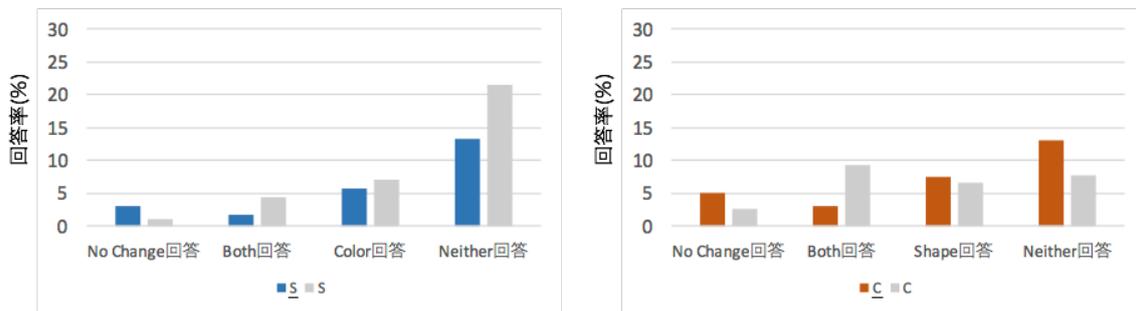
	選択肢				
	No Change回答	Both回答	Shape回答	Color回答	Neither回答
提示条件					
(CS) 条件	79.688	2.75	8.4375	7.375	1.75
(CS) 条件	67.563	9.813	4.6875	13.9375	4
CS条件	3.25	69.75	11	14.25	1.75
CS条件	8.75	57.25	10	19.25	4.75
CS条件	2	61.75	11.25	22.75	2.25
S条件	3	1.75	76.25	5.75	13.25
S条件	1	4.25	66.25	7	21.5
C条件	5	3	7.5	71.5	13
C条件	2.5	9.25	6.5	74	7.75
N条件	1	1	12.25	5.5	80.25
提示条件					
	選択肢				
	No Change回答	Both回答	Shape回答	Color回答	Neither回答
(CS) 条件	65.875	4.438	13.625	10	6.063
(CS) 条件	57.5	13.563	7.563	15.625	5.75
CS条件	5.75	58.25	14.25	17.25	4.5
CS条件	10.25	46.75	13.75	23.75	5.5
CS条件	3.25	50.5	17.75	22.5	6
S条件	3.25	6	71.75	8.25	10.75
S条件	1.75	6.75	57	9	25.5
C条件	10	10	7.25	58	14.75
C条件	2	21.25	6.25	55.25	15.25
N条件	1.5	2	17.5	7	72

表 4: アイテム数増加による回答内訳の変動

提示条件	選択肢				
	No Change回答	Both回答	Shape回答	Color回答	Neither回答
(CS) 条件	-13.813	1.688	5.1875	2.625	4.313
(CS) 条件	-10.063	3.75	2.8755	1.6875	1.75
CS条件	2.5	-11.5	3.25	3	2.75
CS条件	1.5	-10.5	3.75	4.5	0.75
CS条件	1.25	-11.25	6.5	-0.25	3.75
S条件	0.25	4.25	-4.5	2.5	-2.5
S条件	0.75	2.5	-9.25	2	4
C条件	5	7	-0.25	-13.5	1.75
C条件	-0.5	12	-0.25	-18.75	7.5
N条件	0.5	1	5.25	1.5	-8.25

傾きと位置の結合, 色と位置の結合関係を最もシンプルに反映する条件である S 条件と S 条件, C 条件と C 条件の誤答の内訳を可視化したものを図 36 に示す. 縦軸は回答率, 横軸は選択肢を表す. これらを見ると, S 条件と S 条件は, 位置の影響による回答内訳に大きな違いは見られず, アイテム数の増加によっても誤答の傾向は大きく変動していないことがわかる. 一方で, C 条件と C 条件は, 位置の影響による回答内訳の変化が目立ち, アイテム数の増加によって No Change 回答, Both 回答の誤答が増加していることがわかる.

アイテム数：4



アイテム数：5

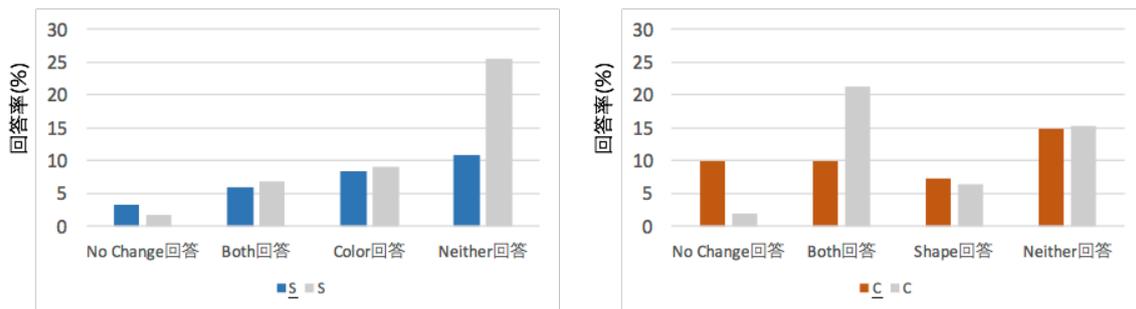


図 36: S 条件と C 条件の誤答内訳

2.3. 実験 1 の考察

2.3.1 アイテム数増加による影響と属性間結合の強度

アイテム数が増加することにより、成績の急激な低下や、反応時間の急激な増加、誤答傾向の変化が生じれば、記憶の保持が難しいことが考えられる。古徳らの仮説に基いて考えるならば、ある属性間結合においてのみ上記の成績悪化が見られる。または、ある属性間結合においてのみ成績悪化が見られないなどの傾向が見られれば属性間結合の強度を調査できると考えられる。

アイテム数増加による影響を調査するため、アイテム数を 5 つで行った実験の結果の図を付録 1,2 に示す。アイテム数を 5 つの場合の結果をまとめると、Center 課題、Location 課題ともに反応 1 の正答率は、(CS)条件を除き、アイテム数が増加してもほぼ正解することができた。反応時間については、アイテム数が増えることによって、有意差が生じにくくなったことが読み取れる。しかし、グラフから読み取れる全体的な傾向には大きな違いがなかった。一方で、表 4 より Location 課題の反応 2 の正答率はともにアイテム数が増加することで、全体的に 10%から 20%程度ずつ落ちていることがわかる。しかし、S_条件では、アイテム数増加による正答率の減少加減が最も少ない-4.5%となっていた。

ここから属性間結合の強度を考察すると、位置属性と傾き属性の結合は強く結びついている可能性が考えられる。しかし、CS_条件では、そのような傾向が見られていないので慎重な検討が必要である。

2.3.2 Center 課題と、Location 課題のアンダーバーなし条件の比較

表 2, 表 4 を見るとアイテム数によらず Center 課題と Location 課題のアンダーバーがつかない条件では、最も多い誤答の選択肢や回答内訳が類似していることが見て取れる。それらに対し、課題(2 水準), 変化条件(4 水準)における 2 要因の繰り返しのある分散分析をおこなった。その結果、変化条件の主効果が有意であったが(アイテム数:4 $F(3,57)=14.399$ $p<0.01$, アイテム数:5 $F(3,57)=8.244$ $p<0.01$), 課題の主効果は有意ではなかった(アイテム数:4 $F(1,19)=.147$ n.s., アイテム数:5 $F(1,19)=.073$ n.s.). そして、それらの交互作用も有意ではなかった(アイテム数:4 $F(3,57)=2.109$ n.s., アイテム数:5 $F(3,57)=.470$ n.s.).

Center 課題と Location 課題のアンダーバーがつかない条件は、グラフの傾向が類似しており、かつ両課題の主効果が有意でないことや交互作用が生じなかったことから、Center 課題のように、サンプル刺激のオブジェクトと関係のない位置にオブジェクトを提示する課題と、Location 課題のアンダーバーがつかない条件のように、テスト刺激の色、傾きと関係のないサンプル刺激のオブジェクトの位置に提示する課題は、同じ性質を持った課題であったと考えられる。そこから導かれることとして、Location 課題のアンダーバーがつかない条件のように、テスト刺激のオブジェクトと関係

のないサンプル刺激のオブジェクトの位置特徴は、Center 課題のテスト刺激の出現位置である画面中央への提示のように、記憶に対してマスキングするような影響は及ぼさないことが考察できる。

2.3.3 色属性と位置属性、傾き属性と位置属性の結合と記憶への影響

位置属性も色属性や傾き属性と属性間結合を作るのであれば、テスト刺激のオブジェクトはサンプル刺激の色や傾き特徴だけを共通させるアンダーバーがつかない条件よりも、色や傾き特徴に加えて位置特徴を共通させた条件の方は正答率が高くなり、反応時間も短縮すると考えられる。

Location 課題では、Center 課題の条件に対し、位置属性を考慮して 10 条件の変化条件を設けている。属性間結合の有無を確認する結果として、反応 1 の反応時間は、アイテム数が 4 つの場合のみ、S条件と S 条件の間に有意傾向が見られた。また、C条件と C 条件の間には有意差は確認できなかった。CS条件、CS条件、CS 条件に関しては、有意差は確認できなかったが、CS条件が最も反応時間が短かった。反応 2 の正答率については、S条件は S 条件よりも有意に正答率が高いが、C条件は C 条件との間に有意差が見られなかった。CS条件、CS条件、CS 条件についても、CS条件と CS 条件には有意傾向があるが、CS条件と CS 条件には有意差は見られない。

これらの結果から、位置属性と傾き属性の間には属性間結合が形成され記憶保持されているが、位置属性と色属性の間には属性間結合は形成されていないと考えられる。しかし、誤答の内訳をみると、C条件と C 条件は傾向が異なっている。アイテム数を増加させたところ No Change 回答が増加していることなどを考えると、位置と色には属性間結合を形成するなどして、サンプル刺激のオブジェクトと共通する位置と色が合わさることで、色による認知を優先してしまい、傾き属性の参照をマスキングするといった悪影響を及ぼす可能性が考えられる。一方で、S条件と S 条件について誤答の内訳をみると、Neither 回答を除き、全体的な傾向が似ており、傾き属性と位置属性との属性間結合を利用できるため、正答率の上昇に貢献していると考えられる。また、位置が利用できない S 条件は Neither 回答の誤答がもっとも多く、対照的に、位置が利用できる S 条件では Neither 回答の誤答が減少していることから位置の情報無く傾きの情報を認知することは難しいと考えられる。そのため、属性間結合が存在し、属性間結合を利用できる場合に、記憶の想起に対してベネフィットを及ぼす可能性が考えられる。

ただし、実験 1 の課題の性質を考えた場合、S条件や CS条件は、傾き属性と位置属性が結合する位置に提示されているが、課題を遂行するためには位置属性の手がかりなしに色属性の想起も行わなければならない。S条件や CS条件の高い正答率は、サンプル刺激のオブジェクトと共通する色特徴が位置特徴を合わせて提示されずとも、位置の連想を容易に行えると仮定すれば説明できる。逆に、C条件や CS条件では、位置属性の手がかりなく傾き属性の想起を行うことになるが、傾き属性は位置属性への連想が難しいため、正答率が増加しなかったとも考えられる。実験 2A、実験 2B では、これらの点について更なる検証をしていく。

2.4 実験 2A

2.4.1 目的

実験1の網羅的な実験を通じて、傾き属性と位置属性は結びつくことにより記憶の想起の精度が向上するといったベネフィットが生じることがわかった。一方で、色属性は位置属性と結びついても記憶想起のベネフィットが生じにくかった。更には、サンプル刺激のオブジェクトと共通する色属性と位置属性が合わさることによって、傾き属性の想起がマスキングされる可能性が確認された。しかし、実験1は反応1、反応2と回答が段階的に分かれており、回答画面も回答枠の上にならなくて書かれている文字列を読んで判断しなければいけないため、直感的に回答することができず、その影響があった可能性も考えられる。また、課題遂行には、位置属性と結びつかない属性の想起も行わなければならないため、得られた結果の解釈が変わる可能性がある。そこで、実験2では、より直感的な課題を用いて、上記の仮説を検証し、属性間結合の更なる性質を調査する。

実験2は実験2Aと実験2Bの二つの実験を行った。実験2Aでは、サンプル刺激の5つのオブジェクトを記憶してもらい、後に提示されるサンプル刺激のいずれかオブジェクト1つのオブジェクトの特徴の一部を持った手がかり刺激をもとに、それと共通するサンプル刺激を思い出し、特定の特徴を回答するといった再生課題を行う。変化の前後で用いられる視覚特徴の種類を不変とし、実験1のように異なるオブジェクトの特徴やダミーの特徴を組み合わせることのない課題を行った。手がかり刺激のオブジェクトにおいて、サンプル刺激のオブジェクトと共通する特徴を変化させることによる正答率の変化や、反応時間の変化を調査する。

また、1.8で紹介したように、Rajsic & Wilson(2014)は、色属性と位置属性を持つオブジェクトを使い、再生課題を行った。そして、色属性と位置属性の想起関係には非対称性があることを示している。しかし、外界に存在するオブジェクトは、より多くの種類の視覚属性を持っているため、属性数が増えた場合にも同様に非対称性が見られるのかについては疑問が残る。また、想起の非対称性は他の属性間でも見られるのだろうか。実験2Aではこれらの疑問を検証することを目的とする。

2.4.2 実験方法

異なる色と傾きと出現位置を持つ二等辺三角形のオブジェクトを用いて、3種類の再生課題を行った。再生課題とは、提示された情報をそのまま思い出し答える課題のことであり、実験1の再認課題と異なる。再生課題も視覚的作業記憶についての研究手法として用いられる手法である。実験2Aでは、色再生課題、傾き再生課題、位置再生課題がブロック内混合になっている。再生課題を用いた実験の内容について以下に詳述する。

2.4.3 実験参加者

実験参加者は、正常な視力(メガネ, コンタクトレンズによる矯正視力を含む)と正常な色覚を有する 18~25 歳までの大学生, 大学院生, 及び社会人を合わせた計 20 名であった。また, 実験参加者の内, 2 名は過去に実験 1 に参加したことがあり, その他の実験参加者は同様の実験に参加したことはなかった。また実験参加者は全員, 実験目的を知らなかった。

2.4.4 実験環境

実験 1 と同様で, 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。実験には, コンピュータ(DELL, OPTIPLEX 9020)と CRT ディスプレイ(TOTOKU, CV921X)を使用した。実験の制御プログラムは Matlab を用いて作成した。入力装置としてマウス(DELL OC8649)を使用した。実験参加者には, CRT ディスプレイの正面に置かれた椅子に座って実験を行ってもらった(椅子の高さ, 背もたれの傾きは自由に調節してもらった)。さらに, 顔面固定器具に頭部を固定し, 観察距離を固定して実験を行った。観察距離は 110cm とした。なお, 実験環境は図 21 で示したものと変わらない。

2.4.5 手続き

異なる色と傾きと出現位置を持つ二等辺三角形のオブジェクトを用いて, 3 つの再生課題を行った。それぞれの課題はブロック内混合で実施しており, 実験 1 の結果を踏まえ, 実験の難易度を高めるためにサンプル刺激のアイテム数を 5 個に固定して実験を行った。課題の 1 試行の流れは図 37 の通りである。

3 つの課題の流れは途中まで共通している。まず中央に注視点(灰色の十字マーク)が提示される。注視点は視線を中央に固定するために用いており, 実験参加者には, 試行が始まる前は注視点に目を向けるように指示している。注視点が出現した後にサンプル刺激が 200ms 提示され, ブランク画が出現する。ブランク画面の出現から 400ms 経過後に, 高さの異なる 3 種類のブザー音から 1 種類のブザー音が 200ms 鳴る。ブザー音の高さの違いによって行う課題が異なる。

高音(1000Hz)が鳴った場合, 後に手がかり刺激と共通するサンプル刺激のオブジェクトの色特徴を再生する色再生課題を行う。中音(650Hz)が鳴った場合, 後に手がかり刺激と共通するサンプル刺激の傾き特徴を再生する傾き再生課題を行う。低音(300Hz)が鳴った場合, 後に手がかり刺激と共通するサンプル刺激の位置特徴を再生する位置再生課題を行う。

ブザー音の後には, サンプル刺激のいずれかの 1 つのオブジェクトの特徴のうち, 1 つあるいは 2 つの特徴を持ったオブジェクトが手がかり刺激として出現する。合わせて, ブザー音に基づく回答画面が出現する。

実験参加者は, 手がかり刺激と共通するサンプル刺激のオブジェクトを記憶の中で検索し, 各課題で指定された特徴を回答画面の選択肢をクリックすることで回答する。色再生課題では, 回答

画面の5色の色を持った四角形のうち、相応しいものをクリックする。傾き再生課題では、回答画面の5方向の傾きを持った二等辺三角形のうち、相応しいものをクリックする。位置再生課題では、回答画面のサンプル刺激が出現した位置を示す5つの四角形のうち、相応しいものをクリックする。反応の仕方は、マウスをテーブルに置いた状態で、利き手のみを使って反応するよう指示した。

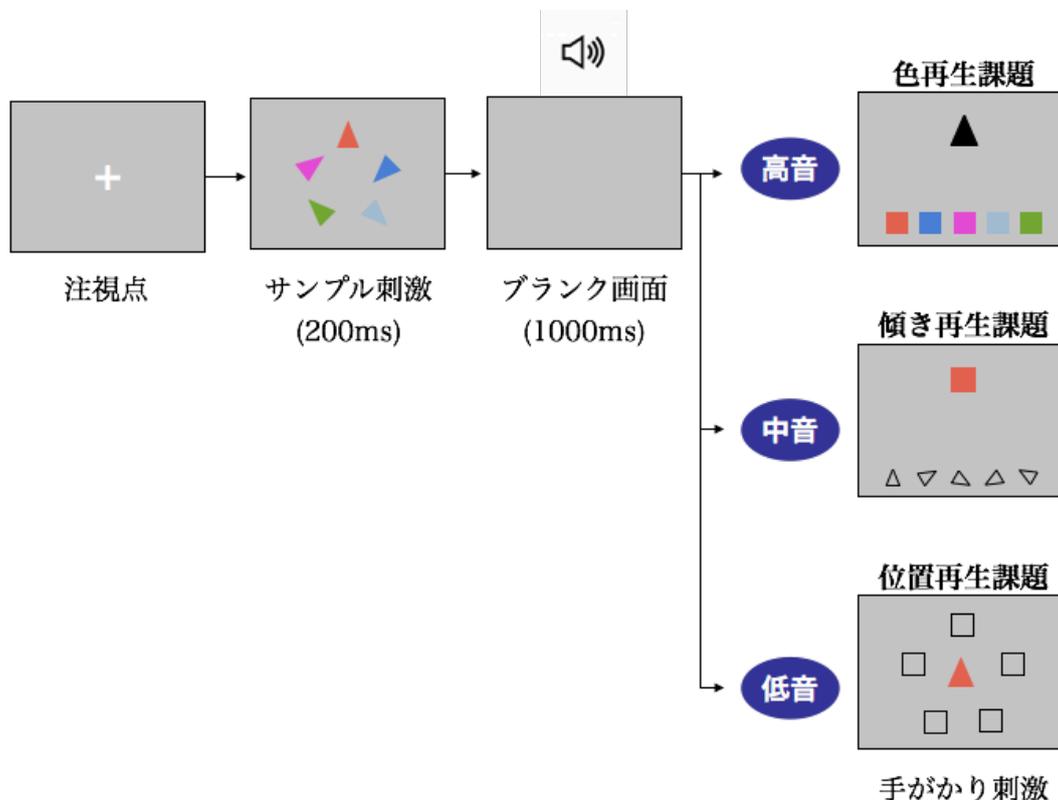


図 37: 実験 2A の 1 試行の流れ

2.4.6 視覚刺激

実験 2A に用いた視覚刺激を紹介する。実験に用いたサンプル刺激は、表 5 に示すような色属性、傾き属性、そして位置属性の 3 つの属性の特徴を組み合わせた二等辺三角形を 5 つ用いた。まずサンプル刺激の各オブジェクトについて説明する。

色属性は 5 色の色特徴を 1 試行の中で重複のないようにランダムで決定した。この実験で用いた色特徴は、輝度が 3cd/m^2 であって、それぞれの色の違いが容易に判断でき、言葉で色を表すことができるカテゴリカル色に近い配色になるような色を使用した。

傾き属性は 5 方向の傾き特徴を 1 試行の中で重複のないようにランダムで決定した。この実験で用いた傾き特徴は、傾いていない二等辺三角形を基準として 72° ずつ傾きを変えた 5 方向を使用した。これは視覚刺激の違いによる影響をある程度均一にするようにするためである。また、全て

のオブジェクトは視角 1 度となるように大きさを調整し、オブジェクトの特徴量を揃え、かつ傾きの違いがわかりやすくなるように一律に二等辺三角形を使用した。

位置属性はサンプル刺激とテスト刺激で異なり、サンプル刺激は、画面中央から視覚 5° の同心円上に収まり、それぞれのオブジェクトの重心が画面中央からの距離と等しくなるように配置した。また、正五角形の頂点の位置に配置した。

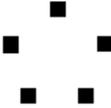
手がかり刺激は各課題によって異なる。色再生課題は、手がかりとして、答えるべきいずれかのサンプル刺激の位置特徴を意味する黒い四角形($0\text{cd}/\text{m}^2$)、傾き特徴を示す黒い二等辺三角形($0\text{cd}/\text{m}^2$)、位置特徴と傾き特徴を意味する黒い二等辺三角形($0\text{cd}/\text{m}^2$)の 3 つの手がかりのうち 1 つが手がかり刺激として出現する。手がかり刺激の大きさの違いによる影響を減らすため、四角形と二等辺三角形の面積は等しくなるように調整した。位置特徴を持っていない手がかり刺激は画面中央に出現する。また、サンプル刺激の色を答える回答画面が出現する。回答画面には異なる 5 色の色を持つ 5 つの四角形が配置されており、それらはサンプル刺激の色特徴の輝度と対応する。

傾き再生課題は、手がかりとして、答えるべきいずれかのサンプル刺激の位置特徴を意味する黒い四角形($0\text{cd}/\text{m}^2$)、色特徴を意味する色のついた四角形、位置特徴と色特徴を意味する色のついた四角形の 3 つの手がかりのうち 1 つが手がかり刺激として出現する。位置特徴を持っていない手がかり刺激は画面中央に出現する。手がかり刺激の大きさの違いによる影響を減らすため、四角形の面積は二等辺三角形の面積と等しくなるように調整した。また、サンプル刺激の傾きを答える回答画面が出現する。回答画面にはそれぞれ異なる 5 方向に傾いた 5 つの二等辺三角形が配置されており、それらはサンプル刺激の傾き特徴の傾きと対応している。なお、傾きが見やすいように明るみの灰色を使用している。

位置再生課題は、手がかりとして、答えるべきいずれかのサンプル刺激の色特徴を意味する色のついた四角形、傾き特徴を意味する黒い二等辺三角形($0\text{cd}/\text{m}^2$)、色特徴と傾き特徴を意味する色のついた二等辺三角形の 3 つの手がかりのうち 1 つが手がかり刺激として出現する。手がかり刺激は全て画面中央に出現する。手がかり刺激の大きさの違いによる影響を減らすため、四角形と二等辺三角形の面積は等しくなるように調整した。また、サンプル刺激の位置を答える回答画面が出現する。回答画面にはサンプル刺激の出現位置に対応する 5 つの四角形の枠が配置される。

色再生課題及び傾き再生課題の回答画面は、手がかり刺激と被らないように画面の下側に配置した。位置再生課題の回答画面に関しては、手がかり刺激が画面の中央に出現する手がかり刺激と被らないように枠の大きさを調整した。また、枠の色は見やすいように明るみの灰色を使用した。視覚刺激が提示される際の画面背景は、視覚刺激の輝度の強さによる網膜への焼付きから生じる残像の影響を低減するため暗めの灰(輝度 $0.95\text{cd}/\text{m}^2$)を使用した。

表 5:実験 2A で用いた各属性の特徴

色属性	傾き属性	位置属性
 <p>青, 赤, 緑 紫, 灰</p>	 <p>72°ずつ異なる 二等辺三角形</p>	 <p>正五角形の頂点</p>

2.4.7 手がかり刺激の変化条件

手がかり刺激の変化条件は色再生課題, 傾き再生課題, 位置再生課題の 3 つの課題に対し, それぞれ 3 つの条件を設けている(図 38). 以下に詳述する.

色再生課題では, サンプル刺激のいずれか 1 つのオブジェクトの位置が手がかりとして出現する位置→色条件, 傾きが手がかりとして出現する傾き→色条件, 位置と傾きを組み合わせたものが手がかりとして出現する位置+傾き→色条件の 3 条件用意した. 記憶しているサンプル刺激のオブジェクト群と手がかり刺激を比較し, 共通しているオブジェクトの色を回答することが正解となる.

傾き再生課題では, サンプル刺激のいずれか1つのオブジェクトの位置が手がかりとして出現する位置→傾き条件, 色が手がかりとして出現する色→傾き条件, 位置と色を組み合わせたものが手がかりとして出現する位置+色→傾き条件の 3 条件用意した. 記憶しているサンプル刺激のオブジェクト群と手がかり刺激を比較し, 共通しているオブジェクトの傾きを回答することが正解となる.

位置再生課題では, サンプル刺激のいずれか1つのオブジェクトの色が手がかりとして出現する色→位置条件, 傾きが手がかりとして出現する傾き→位置条件, 色と傾きを組み合わせたものが手がかりとして出現する色+傾き→位置条件の 3 条件用意した. 記憶しているサンプル刺激のオブジェクト群と手がかり刺激を比較し, 共通しているオブジェクトの位置を回答することが正解となる.

色再生課題, 傾き再生課題, 位置再生課題の 3 つの課題はブロック内混合であり, 1 ブロック中にそれぞれ 30 試行ずつ出現する. さらに各課題の中の 3 条件については, それぞれ 10 試行ずつ条件が割り振られている. なお, 手がかり刺激を構成する色特徴, 傾き特徴, 位置特徴は, 答えとなるサンプル刺激をランダムで決定したのから割り振られている.

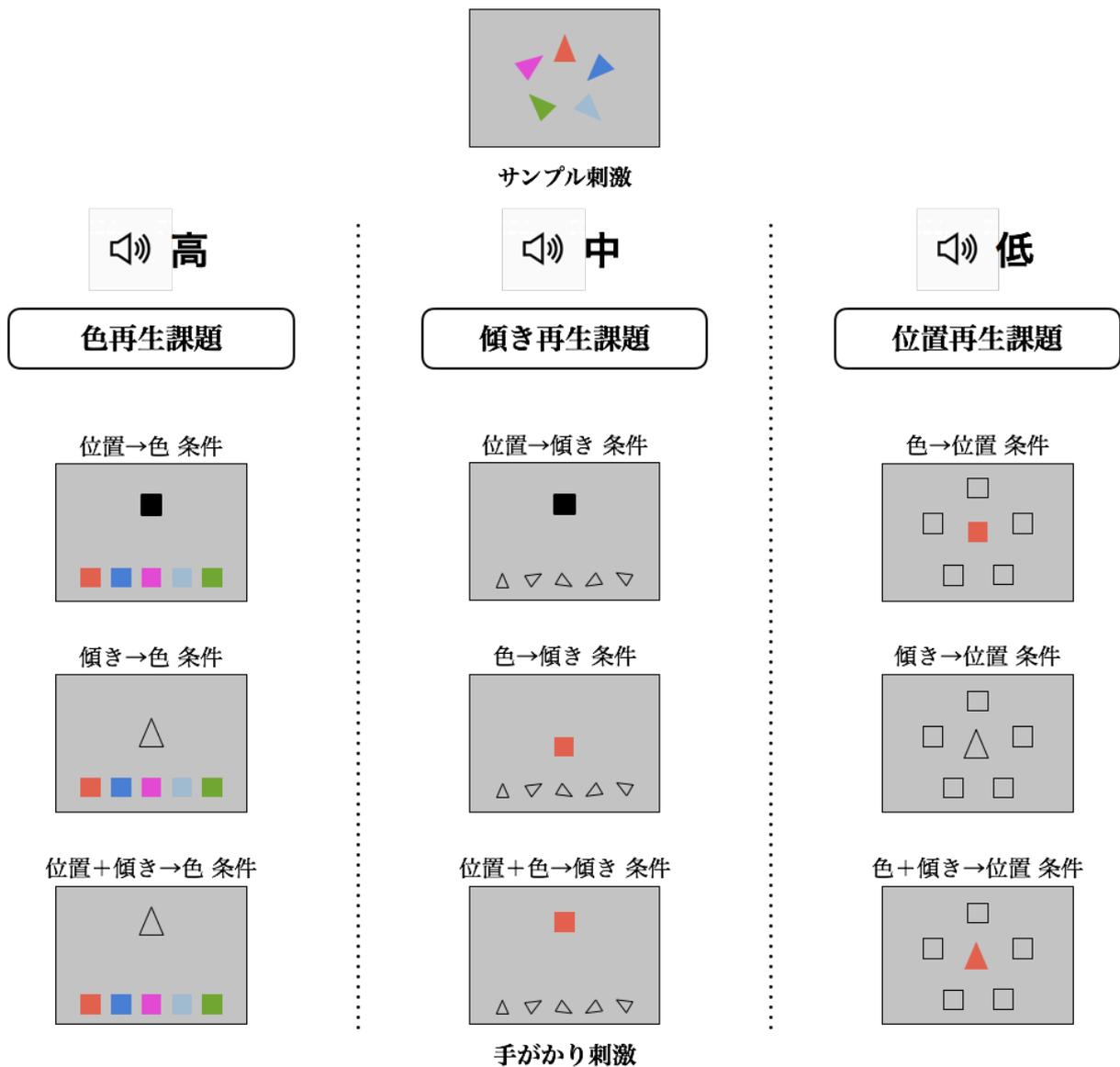


図 38: 実験 2A における手がかり刺激の変化条件

2.4.8 デザイン

図 39 に実験 2A の流れを示す。まず、実験 2A の練習を 9 試行(2.4.7 で紹介した各条件につき 1 試行)行う。練習終了後、本番ブロックを 2 ブロック行った。このとき、1 ブロック は 90 試行から構成されており、9 条件の各条件につき 10 試行ずつ出現するように構成されているが、条件の提示順番はランダム化されている。なお、ブロックの開始前には、暗順応させるために 30 秒の暗室の中で待機してもらい、眼の疲労を和らげるためにブロックとブロックの間には 5 分間の休憩を取っている。実験 2A ではブザー音を課題に用いるが、用いるブザー音は、課題の内容を教示する際に聴かせている。なお、実験 2B は実験 2A が終了した後に行うため、実験 2B の詳しいデザインはここでは省略し、後述する。

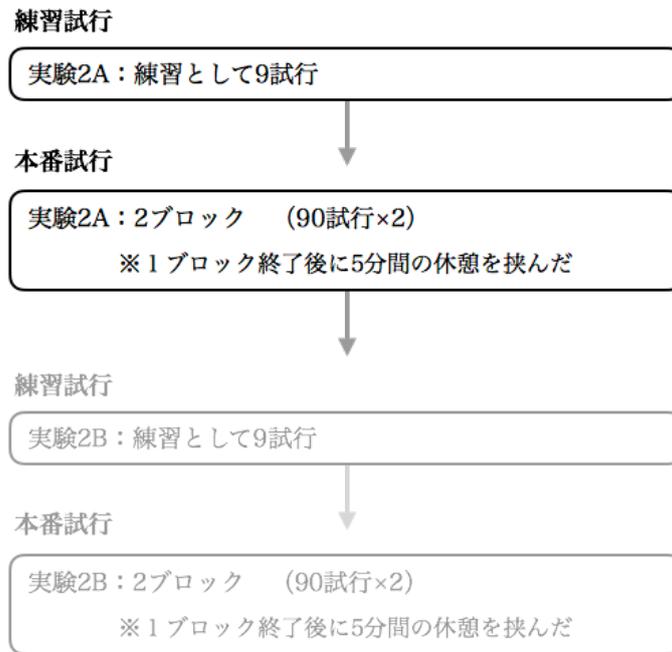


図 39:実験 2A の流れ

2.5 実験結果

実験参加者 20 名それぞれのデータが全実験参加者の平均値から標準偏差の 3 倍以内に収まっていたため全員分のデータ分析を行った。反応時間は、サンプル刺激が提示されてから回答を選択するまでの時間のことである。反応時間は、データの分布が正規分布にならないため、幾何平均を取っている。

2.5.1 実験 2A の正答率

実験 2A で行った各課題の正答率を図 40 に示す。縦軸は正答率、横軸は条件を表す。グラフを見ると、位置再生課題の中の色→位置、色+傾き→位置の正答率が高いことがわかる。一方で、色再生課題、傾き再生課題では、特定の 1 つの属性から想起することに比べて、手がかりが増えても想起の正答率に大きな変化は見られないことがわかる。正答率について、各課題に対して変化条件を要因とする被験者内 1 要因 3 水準の分散分析を行ったところ、位置再生課題のみ主効果が有意であった ($F(2,38)=8.468$ $p<0.05$)。多重比較をしたところ、色→位置、色+傾き→位置と傾き→位置の間にそれぞれ有意差があった(色→位置と傾き→位置: $p<0.01$, 色+傾き→位置と傾き→位置: $p<0.05$)。

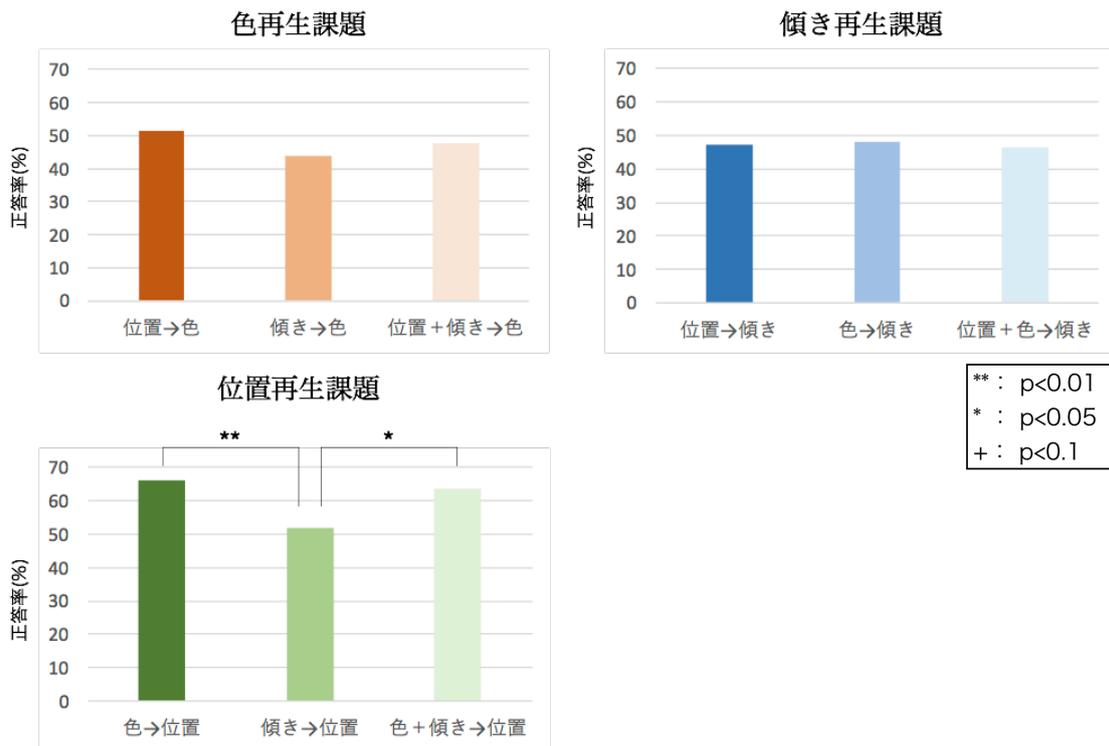


図 40: 実験 2A の正答率

また、対象の想起関係にある条件の正答率について直接比較するために、t 検定を行った(図 41)。縦軸は正答率、横軸は条件を示している。結果、位置↔色の条件間に有意差があり、傾き↔色の条件間に有意傾向があった(位置↔色:t(19)=1.731, p<0.01)。

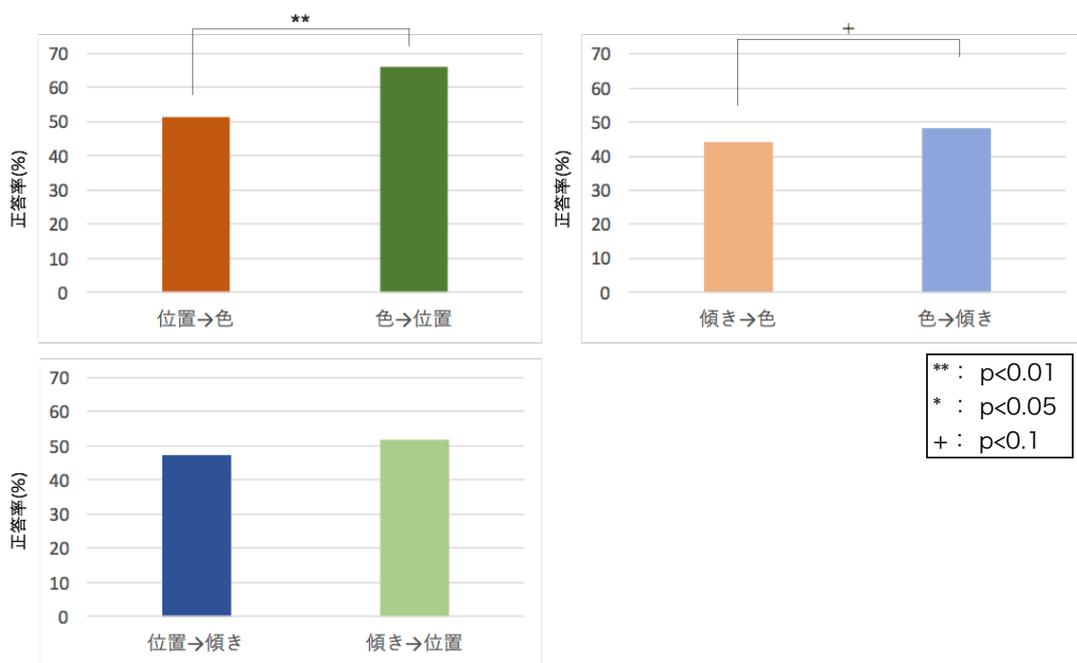


図 41: 対象関係の正答率比較

2.5.2 実験 2A の反応時間

実験 2A で行った各課題の反応時間を図 42 に示す。縦軸は反応時間、横軸は条件を表す。グラフを見ると、位置再生課題の中の、色→位置、色+傾き→位置の反応時間が特に短いことがわかる。一方で、色再生課題、傾き再生課題では、特定の 1 つの属性から想起することに比べて、手がかりが増えても反応時間に大きな変化は見られないことがわかる。反応時間について、各課題に対して変化条件を要因とする被験者内 1 要因 3 水準の分散分析を行ったところ、位置再生課題のみ主効果が有意であった ($F(2,38)=8.468$ $p<0.05$)。多重比較をしたところ、色→位置、色+傾き→位置と傾き→位置の条件間にそれぞれ有意差があった(色→位置と傾き→位置: $p<0.01$, 色+傾き→位置と傾き→位置: $p<0.05$)。

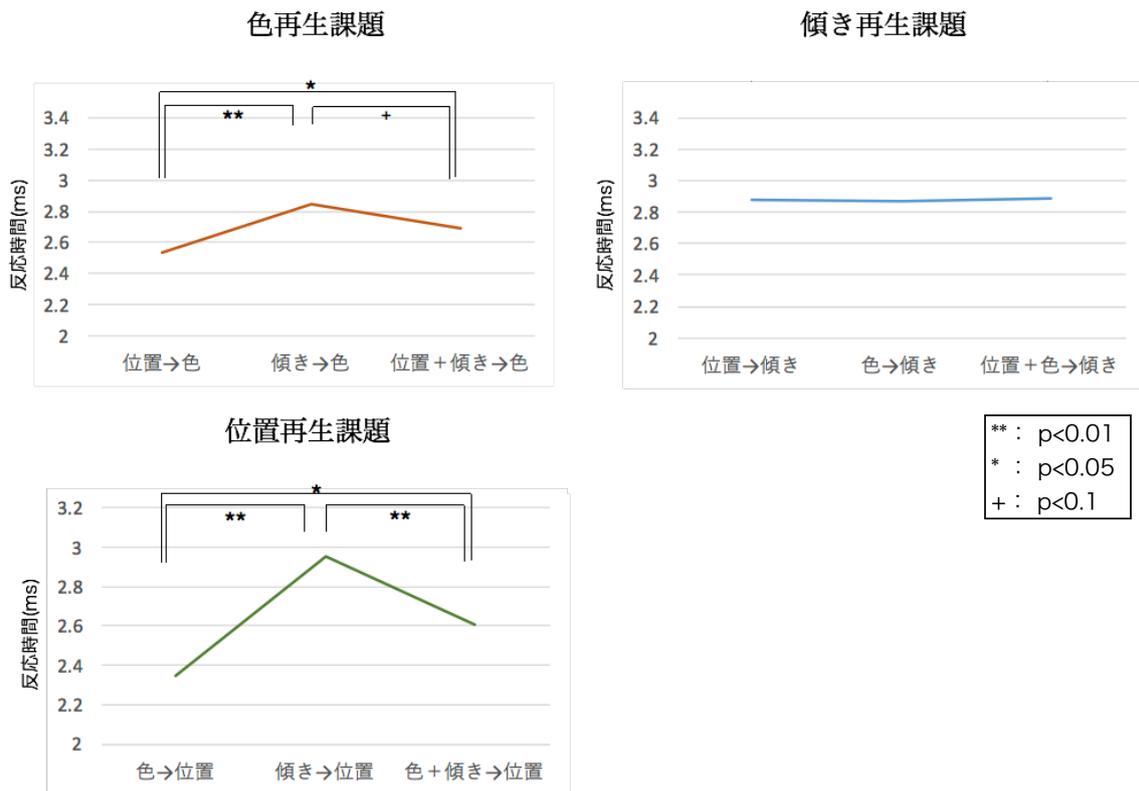


図 42: 実験 2A の反応時間

また、対象の想起関係にある条件の反応時間について直接比較するために t 検定を行った (図 43)。縦軸は反応時間、横軸は条件を示している。結果、位置↔色においてのみ有意差があった (位置↔色: $t(19)=2.389$, $p<0.05$)。

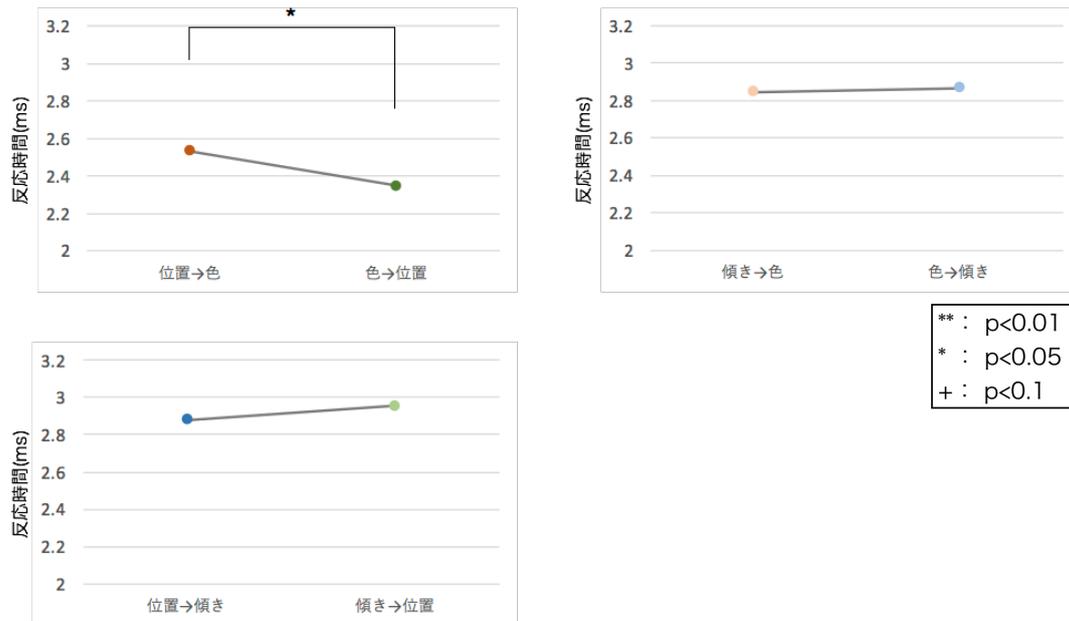


図 43:対象関係の反応時間比較

2.6 実験 2A の考察

2.6.1 実験 2A の結果に基づく属性間結合の検討

実験 1 では、サンプル刺激の傾き属性と位置属性を組み合わせたテスト刺激の変化条件で正答率が上昇し、色属性と位置属性が組み合わせた変化条件では、正答率に影響がないという結果が見られた。しかし、実験 2A 色再生課題の中の位置+傾き→色の条件は、傾き→色条件、位置→色条件に比べ正答率に有意な差が生じず、サンプル刺激のオブジェクトと共通する傾き特徴と位置特徴が合わさることによって、正答率に寄与するという結果は得られなかった。反応時間に関しては、位置+傾き→色条件は、傾き→色条件よりも有意に反応時間が早かった。一方で、傾き再生課題の中の位置+色→傾き条件は、位置→傾き条件、色→傾き条件に比べて正答率、反応時間ともに有意差が生じなかった。この結果は実験 1 の結果と一致している。また、位置再生課題の中の色+傾き→位置の条件は、傾き→位置条件に比べて正答率が高く、その差は有意であった。しかし、色→位置条件との間には有意差がなかった。

この結果は、色属性は位置属性と属性間結合を作らず、記憶している色属性から記憶している位置属性を効率的に連想していると考えれば、色属性と位置属性の両方を手がかりとする場合と比べて正答率に差が生じなかったことを説明できる。実験 1 の考察でも述べたように、実験 1 の課題遂行には、色、傾き属性両方の想起が必要となる。そのため実験 1 において C 条件と C 条件が同等の正答率を示したのは、色属性による位置属性への連想が精度良く行えるためではないだろうか。

また、実験 2A の再生課題では、サンプル刺激のオブジェクトと共通する傾きと位置の特徴が合 わさることで色の再生にベネフィットをもたらすことは確認できなかった。これは、傾き属性と位置属 性の属性間結合が傾きや位置の想起のみに利用される、もしくは、他の属性間結合を想起するの に用いられると考えれば、色を想起できなかったことや実験 1 の結果である傾き属性と、位置属性 両方から記憶を参照できる S条件や CS条件が S条件や CS条件、CS条件に比べて高い正答率 を示したことと整合性が取れる。

2.6.2 属性間における記憶想起の非対称性

Rajsic & Wilson の研究から、色属性および位置属性の間には想起関係に非対称性があること がわかっている。そこで、オブジェクトが複数の属性を持つときであっても、色と位置の間に非対称 性があるのか、また、他の属性間の想起関係にもそのような非対称性があるのだろうか。

図 41, 図 43 のように、対象の想起関係にある条件の正答率や反応時間について比較した結 果を見ると、オブジェクトが 3 つの属性を持って再生課題を行っても、先行研究で示されたような位 置⇔色置間で再生成績に大きな偏りを確認でき、色→位置の再生成績が特に高かった。ただし、 位置→色についても、他の想起関係に比べ悪い成績では無いため、特に色から位置を想起する 際に効果的に連想することができるための結果であることが考えられる。

一方で、属性間結合を形成すると予想していた位置⇔傾き間には位置⇔色置間のような偏った 再生成績の違いは見られなかった。また、位置との結びつきではないが、傾き⇔色間には正答率の 差に有意傾向が見られており、色→傾きへの再生成績が高かった。この結果をまとめると、記憶の 参照には色から各属性を効率的に連想し、想起に用いていることが伺える。そのため、色属性は 各属性の想起に対し、起点となる役割を担っているのではないだろうか。また、属性間結合を作る 場合は、想起の関係は対象性が見られるのではないだろうか。

2.7 実験 2B

2.7.1 目的

実験 2B では、実験 2A とは異なるアプローチから属性間結合の有無や性質を調査する。加えて、実験 1 で確認された、サンプル刺激のオブジェクトと共通する色特徴と位置特徴が合わさることによる傾き属性の想起へのマスキング効果の影響を検証することを目的とする。実験 2B では、サンプル刺激の 5 つのオブジェクトを記憶してもらい、後に提示される手がかり刺激の色、もしくは傾きをもとに共通するサンプル刺激の位置を回答する再生課題を行う。手がかり刺激の位置を細かく設定した条件を設け、正答率の変化や、反応時間の変化を調査する。

2.7.2 実験方法

実験 2B では、異なる色と傾きと出現位置を持つ二等辺三角形のオブジェクトを用いて、色に基づく位置再生課題と傾きに基づく位置再生課題をブロック内混合で行った。実験の内容について以下に詳述する。

2.7.3 実験参加者

実験 2A と同様である。実験 2A 終了後に引き続き参加してもらった。

2.7.4 実験環境

実験 2A と同様である。

2.7.5 手続き

異なる色と傾きと出現位置を持つ二等辺三角形のオブジェクトを用いて、2 つの位置再生課題を行った。それぞれの課題はブロック内混合で実施しており、実験 1 の結果を踏まえ、サンプル刺激のアイテム数は 5 に固定した。課題の 1 試行の流れは図 44 の通りである。

2 つの課題の流れは途中まで共通している。まず中央に注視点(灰色の十字マーク)が提示される。注視点は視線を中央に固定するために用いており、実験参加者には、試行が始まる前は注視点に目を向けるように指示している。注視点が出現した後にサンプル刺激が 200ms 提示され、ブランク画面が出現する。ブランク画面の出現から 400ms 経過後に、高さの異なる 2 種類のブザー音から 1 種類のブザー音が 200ms 鳴る。ブザー音の高さの違いによって行う課題が異なる。

高音(1000Hz)が鳴った場合、後に出現する手がかり刺激の色特徴のみに着目し、記憶しているサンプル刺激のオブジェクトと比較し色特徴が共通するオブジェクトの位置を再生する課題を行う。以後、この課題を色に基づく位置再生課題と呼ぶこととする。低音(400Hz)が鳴った場合、後に出現する手がかり刺激の傾き特徴のみに着目し、記憶しているサンプル刺激のオブジェクトと比較

し傾き特徴が共通するオブジェクトの位置を再生する課題を行う。以後、この課題を傾きに基づく位置再生課題と呼ぶこととする。

色に基づく位置再生課題を行う場合、ブザー音の後にはサンプル刺激のいずれかのオブジェクトと共通する色特徴と傾き特徴を持ったオブジェクトが出現する。そのオブジェクトは、サンプル刺激が出現した 5 つの場所のどこか 1 箇所に出現し、手がかり刺激が出現していない残り 4 箇所には位置を答えるための回答画面が出現する。

傾きに基づく位置再生課題を行う場合、ブザー音の後にはサンプル刺激のいずれかのオブジェクトと共通する色特徴と傾き特徴を持ったオブジェクトが出現する。そのオブジェクトは、サンプル刺激が出現した 5 つの場所のどこか 1 箇所に出現し、手がかり刺激が出現していない残り 4 箇所には位置を答えるための回答画面が出現する。

実験参加者は、ブザー音の高さの違いから課題を把握する。そして、各課題で注目するように指示された手がかり刺激の持つ特徴とサンプル刺激を記憶の中で比較する。そして、共通するサンプル刺激のオブジェクトを検索し、そのオブジェクトの持つ位置特徴の場所を回答画面の枠内をクリックすることで回答する。手がかり刺激が出現した場所の位置を回答する場合は、手がかり刺激のオブジェクトをクリックすることで回答を受け付ける。反応の仕方は、マウスをテーブルに置いた状態で利き手のみを使って反応するよう指示した。

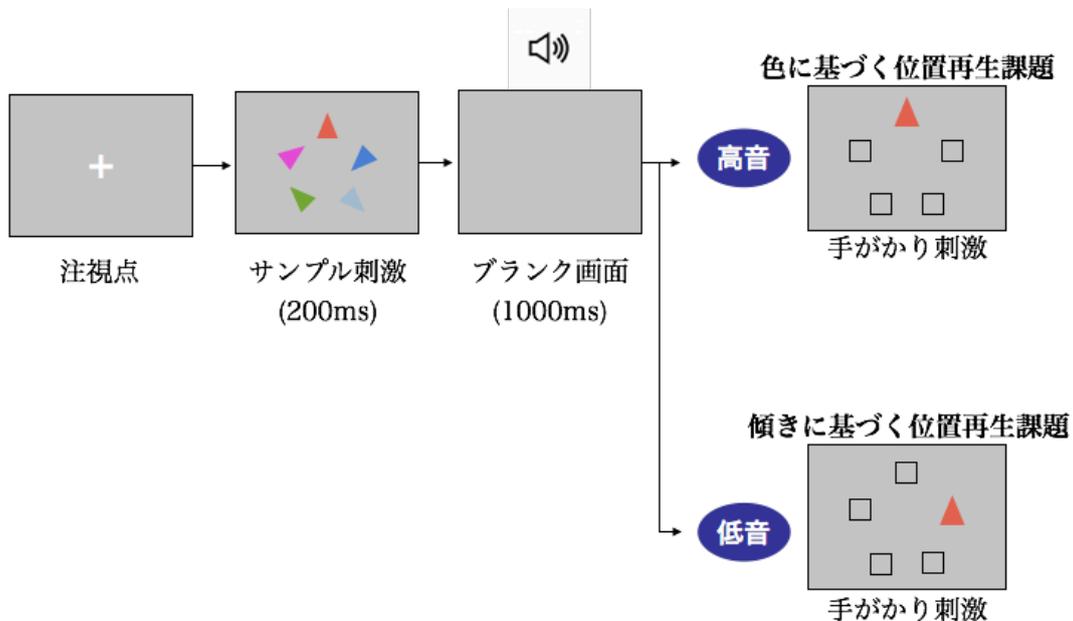


図 44: 実験 2B の 1 試行の流れ

2.7.6 視覚刺激

実験 2B に用いた視覚刺激を紹介する。サンプル刺激は実験 2A と同様であるため割愛する。実験 2B では、各課題によって着目する特徴が異なるが、手がかり刺激として出現するオブジェクトには違いがない。手がかり刺激は、サンプル刺激のいずれかのオブジェクトの色特徴、傾き特徴、そして位置特徴を備える。ただし、各特徴は同じサンプル刺激のオブジェクトと共通するとは限らない。どのサンプル刺激のオブジェクトと各特徴が共通するかは後に紹介する変化条件ごとに細かく制御している。また、手がかり刺激はサンプル刺激のオブジェクトが出現した 5 つの場所のどこか 1 箇所に出現するが、手がかり刺激が出現しなかった残り 4 箇所には、位置を答えるための四角形の枠が回答画面として出現する。

回答画面は、手がかり刺激と被らないように、四角形の枠の大きさを調整した。また、枠の色は見やすいように明るみの灰色を使用した。刺激提示時の画面背景は、視覚刺激による網膜への焼付きを低減するため灰色(輝度 0.95cd/m^2) とした。

2.7.7 手がかり刺激の変化条件

手がかり刺激の変化条件は色に基づく位置再生課題、傾きに基づく位置再生課題の 2 つの課題に対し、それぞれ 5 つの条件を設けている(図 45)。以下に詳述する。

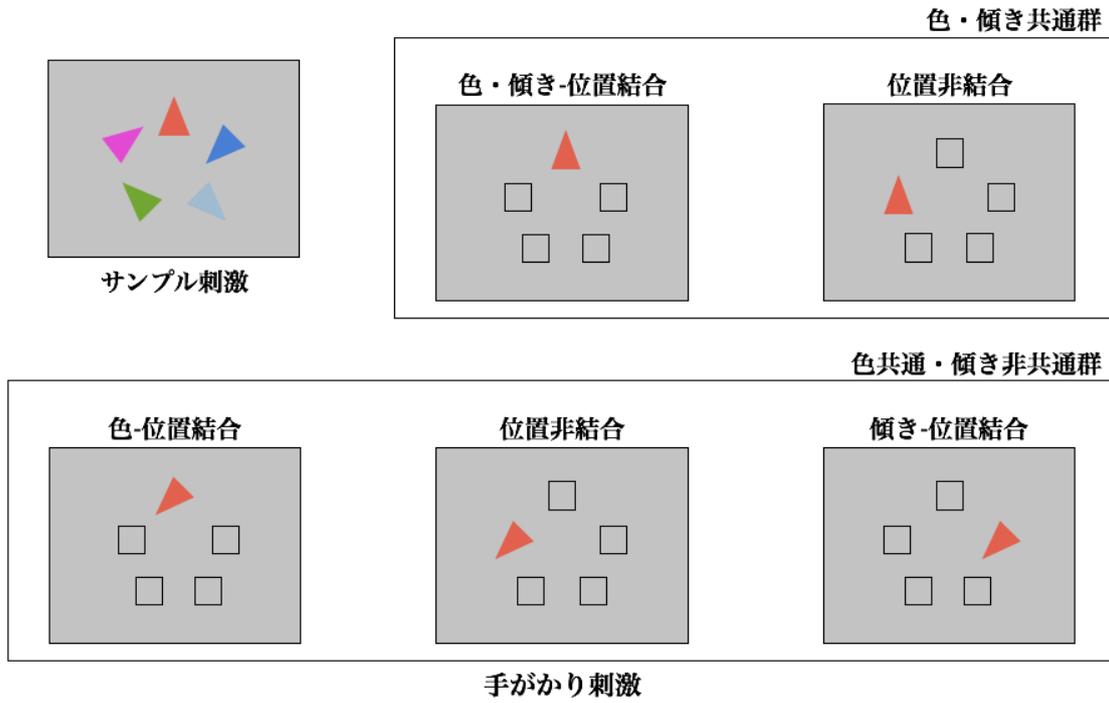
色に基づく位置再生課題では、手がかり刺激がサンプル刺激のいずれか 1 つのオブジェクトと、色、傾き特徴が全く同じオブジェクトが提示される色・傾き共通群と、手がかり刺激がサンプル刺激のいずれか 1 つのオブジェクトと色が同じだが、傾きが異なるオブジェクトが提示される色共通・傾き非共通群に大別される。このときの傾きをダミー傾き特徴とする。色・傾き共通群は、手がかり刺激の位置特徴によって条件が 2 種類に分類される。それぞれの条件は、色と傾きが共通するサンプル刺激のオブジェクトの位置特徴を持つ色・傾き-位置結合条件と、色と傾きが共通するサンプル刺激のオブジェクトが出現した位置以外の他の 4 つの位置特徴のいずれかを持つ位置非結合条件である。色共通・傾き非共通群に関しては、色が共通するサンプル刺激のオブジェクトの位置特徴を持つ色-位置結合条件、色、傾きが共通するサンプル刺激のオブジェクト以外の位置特徴を持つ位置非結合条件、傾きが共通するサンプル刺激のオブジェクトの位置特徴を持つ傾き-位置結合条件の 3 条件を設けた。色に基づく位置再生課題の変化条件は上述した 5 条件から構成される。

傾きに基づく位置再生課題では、手がかり刺激がサンプル刺激のいずれか 1 つのオブジェクトと、色、傾きが全く同じオブジェクトが提示される色・傾き共通群と、手がかり刺激がサンプル刺激のいずれか 1 つのオブジェクトと傾きが同じだが、色が異なるオブジェクトが提示される傾き共通・色非共通群に大別される。このときの色をダミー色特徴とする。色・傾き共通群は、手がかり刺激の位置特徴によって条件が 2 種類に分類される。それぞれの条件は、色と傾きが共通するサンプル刺

激のオブジェクトの位置特徴を持つ色・傾き-位置結合条件と、色と傾きが共通するサンプル刺激のオブジェクトが出現した位置以外の他の 4 つの位置特徴のいずれかを持つ位置非結合条件である。傾き共通・色非共通群に関しては、傾きが共通するサンプル刺激のオブジェクトの位置特徴を持つ傾き-位置結合条件、色、傾きが共通するサンプル刺激のオブジェクト以外の位置特徴を持つ位置非結合条件、色が共通するサンプル刺激のオブジェクトの位置特徴を持つ色-位置結合条件の 3 条件を設けた。色に基づく位置再生課題の変化条件は上述した 5 条件から構成される。

色に基づく位置再生課題、傾きに基づく位置再生課題の 2 つの課題は、ブロック内混合であり、1 ブロック中にそれぞれ 50 試行ずつ行われる。色に基づく位置再生課題の場合、色・傾き共通群の色・傾き-位置結合条件は 5 回、位置非結合条件は 20 回実施する。色共通・傾き非共通群の色-位置結合条件は 5 回、位置非結合条件は 20 回、傾き-位置結合条件は 5 回実施する。傾きに基づく位置再生課題の場合、色・傾き共通群の色・傾き-位置結合条件は 5 回、位置非結合条件は 20 回実施する。傾き共通・色非共通群の傾き-位置結合条件は 5 回、位置非結合条件は 20 回、色-位置結合条件は 5 回実施する。なお、手がかり刺激を構成する色特徴、傾き特徴、位置特徴は、答えとなるサンプル刺激をランダムで決定したものから割り振られている。

色に基づく位置再生課題



傾きに基づく位置再生課題

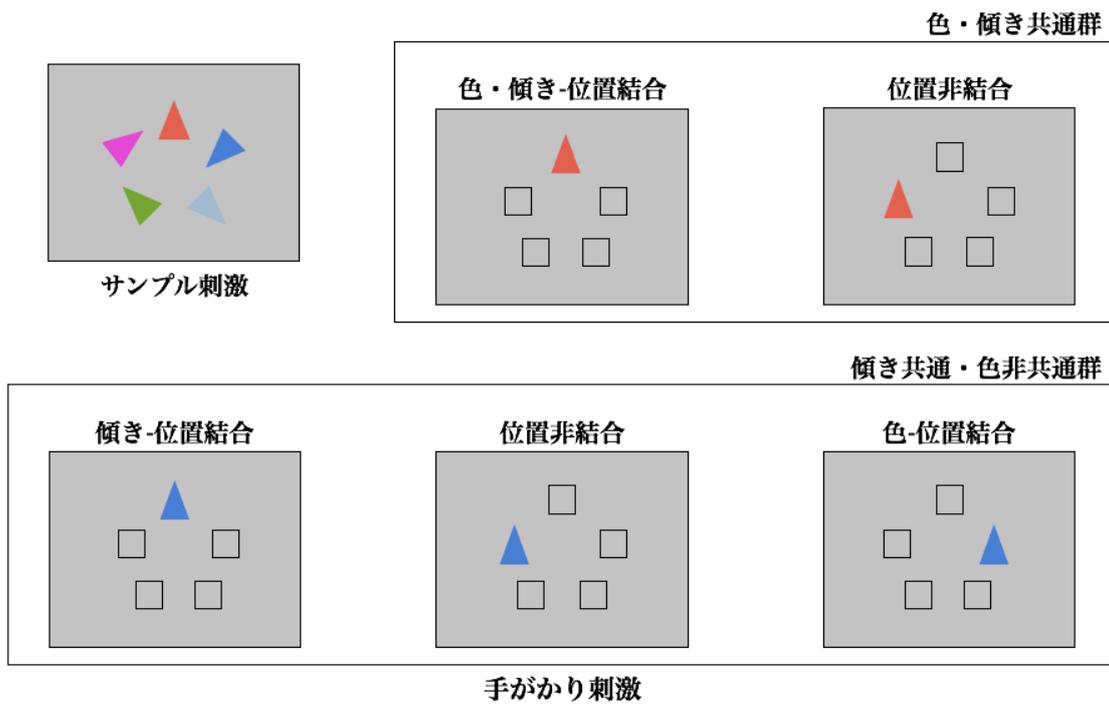


図 45: 実験 2B における手がかりの変化条件

2.7.8 デザイン

実験 2B は実験 2A 終了後に行われる。図 46 に実験 2B の流れを示す。まず、実験 2B の練習を 10 試行行う(2.7.7 で紹介した各条件につき 1 試行)。練習終了後、本番ブロックを 4 ブロック行った。このとき、1 ブロックは 100 試行から構成されており、10 条件の各条件につき 10 試行ずつ出現するように構成されているが、条件の提示順番はランダム化されている。なお、ブロックの開始前には、暗順応させるために 30 秒の暗室の中で待機してもらい、眼の疲労を和らげるためにブロックとブロックの間には 5 分間の休憩を取っている。なお、実験 2B ではブザー音を課題に用いるが、用いるブザー音は、課題の内容を教示する際に聴かせている。実験 2B はブザー音の高さと着目する特徴の対応を記憶しなければ課題を正確に答えることができないが、教示する際に、課題中に対応関係がわからなくなった場合は、質問するように求めた(実際に対応関係が分からなくなり課題遂行中に質問した実験参加者はいなかった)。

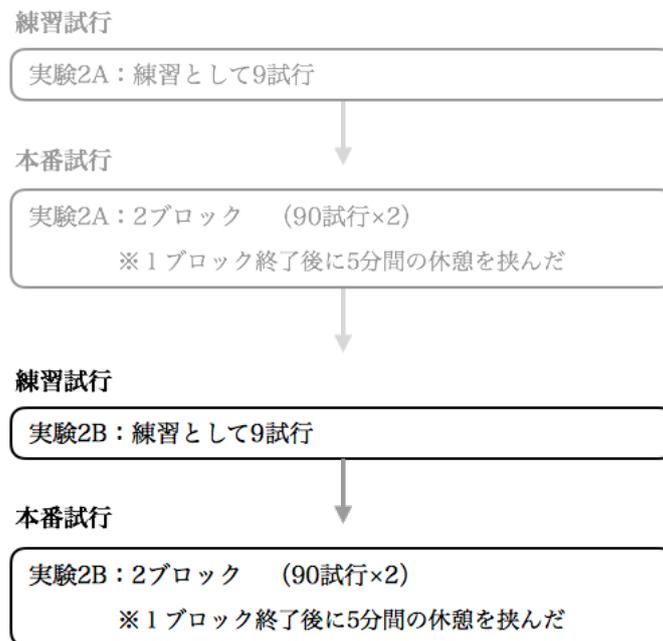


図 46: 実験 2B の流れ

2.8 実験 2B の実験結果

実験参加者 20 名それぞれのデータが全実験参加者の平均値から標準偏差の 3 倍以内に収まっていたため全員分のデータ分析を行った。反応時間は、サンプル刺激が提示されてから反応 1 として右、もしくは左クリックするまでの時間のことである。反応時間は、データの分布が正規分布にならないため、幾何平均を取っている。

2.8.1 実験 2B の正答率

実験 2B で行った各課題の正答率を図 47 に示す。それぞれ縦軸は正答率、横軸は条件を表す。色に基づく位置再生課題では、サンプル刺激のオブジェクトと共通する色と位置が合わさることにより、結びつかない条件に比べ正答率が落ちていることが見て取れる。一方で、傾きに基づく位置再生課題ではサンプル刺激のオブジェクトと共通する傾きと位置が合わさるにより、結びつかない条件に比べ正答率が増加するが見て取れる。正答率について、各課題に対して変化条件を要因とする被験者内 1 要因 5 水準の分散分析を行ったところ、両課題とも条件の主効果が有意であった（色に基づく位置再生課題： $F(4,76)=2.560$ $p<0.05$ ，傾きに基づく位置再生課題： $F(4,76)=2.560$ $p<0.01$ ）。多重比較をしたところ、色に基づく位置再生課題では、色・傾き共通群の位置非結合条件と、色共通・傾き非共通群の色-位置結合条件に有意差があった($p<0.05$)。位置に基づく位置再生課題では、色・傾き共通群の位置非結合条件と、傾き共通・色非共通群の位置非結合条件に有意差があった($p<0.05$)。

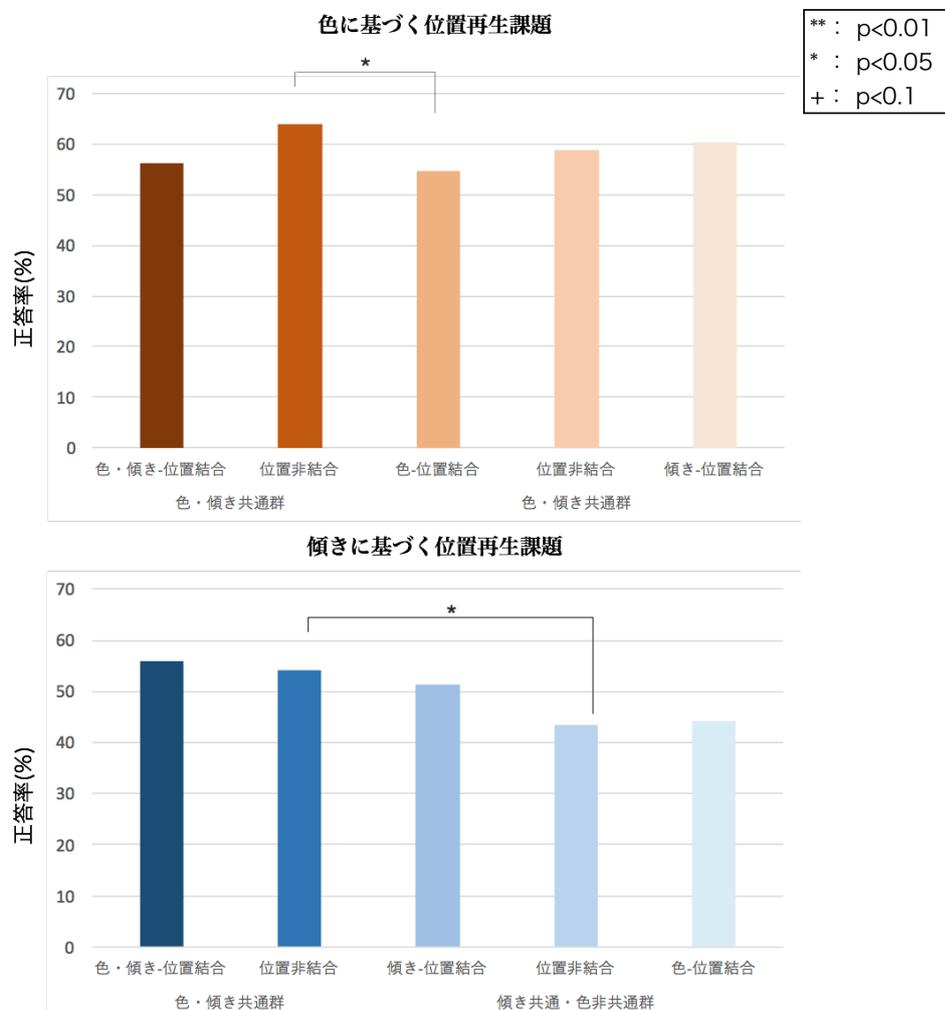


図 47: 実験 2B の正答率

また、各群の条件間の正答率について比較するために、t 検定、条件を要因とした 1 要因分散分析を行った (図 48). 縦軸は正答率、横軸は条件を示している. その結果、色に基づく位置再生課題では、色・傾き共通群の条件間に有意差があった($t(19)=2.121$ $p<0.05$). 色共通・傾き非共通群では主効果は有意ではなかった ($F(2,38)=1.660$ n.s.). 傾きに基づく位置再生課題では、色・傾き共通群の条件間に有意差は見られなかった($t(19)=.408$ n.s.). 傾き共通・色非共通群では主効果は有意ではなかった ($F(2,38)=3.127$ n.s.).

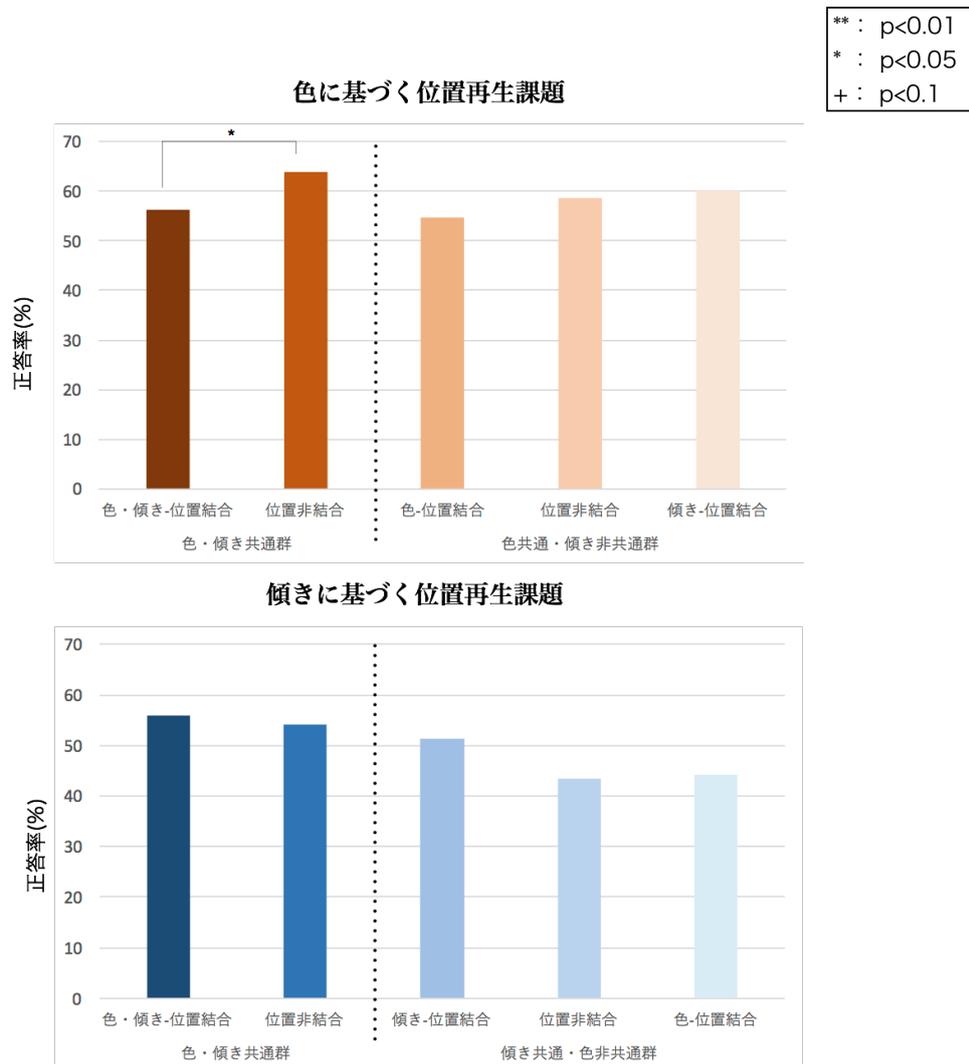


図 48: 共通群内の条件における反応時間の比較

2.8.2 実験 2B の反応時間

実験 2B で行った各課題の反応時間の結果を図 49 に示す. それぞれ縦軸は反応時間, 横軸は条件を表す. 色に基づく位置再生課題では, 群ごとにみると, 色と位置が結び着くことにより, 結びつかない条件に比べ反応時間が長くなることを見て取れる. 一方で, 傾きに基づく位置再生課題では, 群ごとに見ると, 傾きと位置が結び着くことにより, 結びつかない条件に比べ反応時間が短くなることを見て取れる. 反応時間について, 各課題に対して変化条件を要因とする被験者内 1 要因 5 水準の分散分析を行ったところ, 色に基づく位置再生課題では, 条件の主効果は有意でなかった ($F(4,76)=.599$ n.s.). 一方で, 傾きに基づく位置再生課題では, 条件の主効果が有意であった ($F(4,76)=6.980$ $p<0.01$). 多重比較をしたところ, 色・傾き共通群の色-傾き位置結合条件と, 傾き共通・色非共通群の各条件に有意差があった(傾き-位置結合 : $p<0.05$, 位置非結合 : $p<0.01$, 色-位置結合 : $p<0.05$).

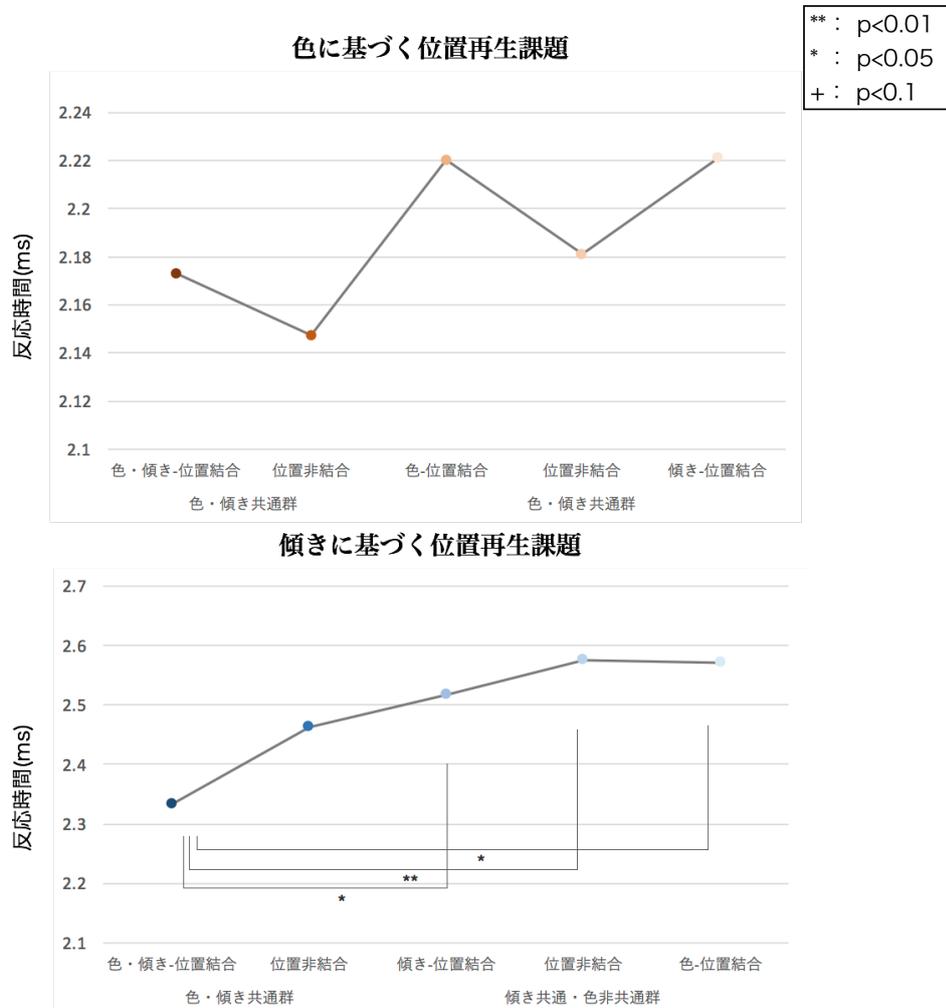


図 49: 実験 2B の反応時間

また、各群の条件間の反応時間について比較するために、t 検定、条件を要因とした 1 要因 3 水準の分散分析を行った (図 50)。縦軸は正答率、横軸は条件を示している。その結果、色に基づく位置再生課題では、色・傾き共通群の条件間に有意差は見られなかった($t(19)=.645$ n.s.)。また、色共通・傾き非共通群では主効果は有意ではなかった($F(2.38)=.396$ n.s.)。傾きに基づく位置再生課題では、色・傾き共通群の条件間に有意差が見られた。($t(19)=2.635$ $p<0.05$)。傾き共通・色非共通群では条件の主効果は有意ではなかった($F(2.38)=.836$ n.s.)。

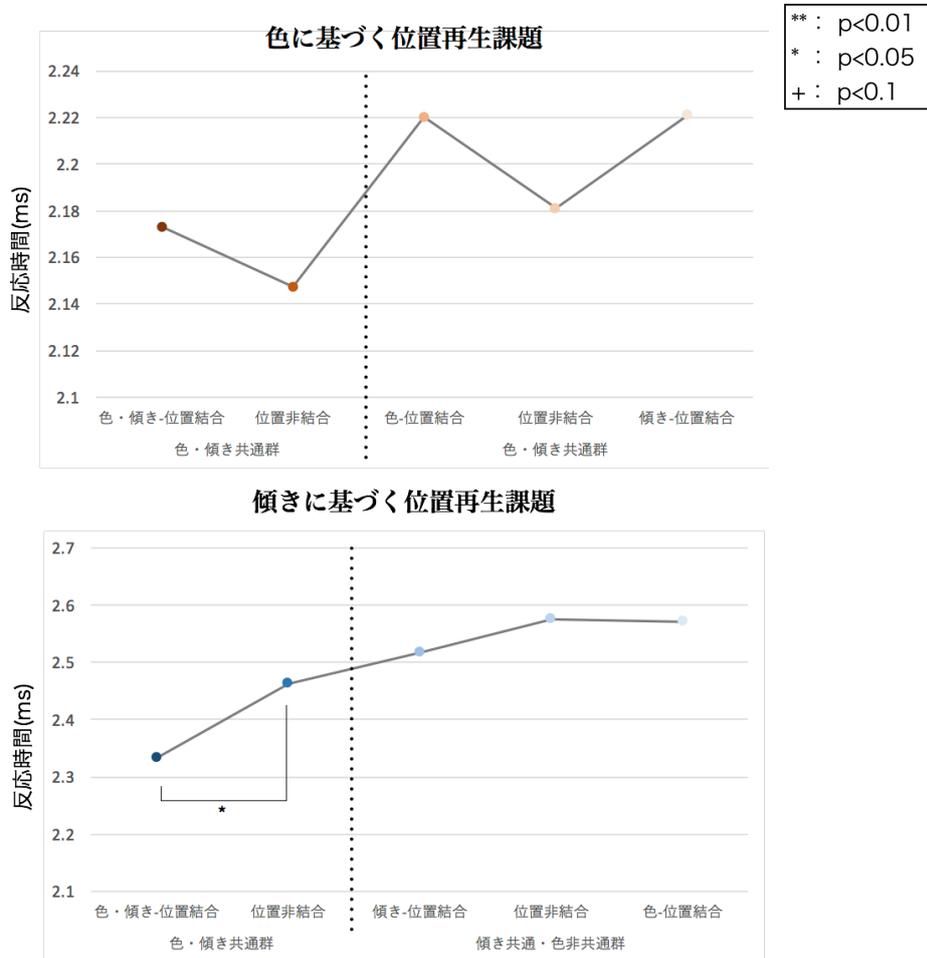


図 50: 共通群内の条件における反応時間の比較

2.8.3 ダミー特徴の出現位置に対する回答割合

実験 1 で見られた、色特徴と位置特徴が一致する場合に、傾き特徴の想起にマスキングがなされることを確認するために、傾きに基づく位置再生課題の中の傾き共通・色非共通群の色-位置結合条件と位置非結合条件のダミー色特徴への回答割合を調べた。ダミー色特徴への回答とは、本来テスト刺激の傾き特徴に基いて位置再生を行うが、手がかり刺激の色特徴の位置を回答してしまう回答のことである。また、比較のために、傾き特徴と位置特徴が一致する場合の影響があるか

を調べるため、色に基づく位置再生課題の中の色共通・傾き非共通群の傾き-位置結合条件と位置非結合条件のダミー傾き特徴への回答割合を調べた。ダミー傾き特徴への回答とは、本来テスト刺激の色特徴に基づいて位置再生を行うが、手がかり刺激の傾き特徴の位置を回答してしまう回答のことである。

その結果を図 51 に示す。縦軸は回答率、横軸は条件を表している。両課題とも、色共通・傾き非結合群の位置非結合、傾き共通・色非結合群の位置非結合の方がダミー特徴位置への回答が多いことが伺える。回答率について、各課題に対して t 検定を行ったところ、色に基づく位置再生課題の色共通・傾き非共通群の条件間に有意差はなかった ($t(19)=.190$ n.s.)。傾きに基づく位置再生課題の傾き共通・色非共通群の条件間に有意があった ($t(19)=3.007$ $p<0.01$)。

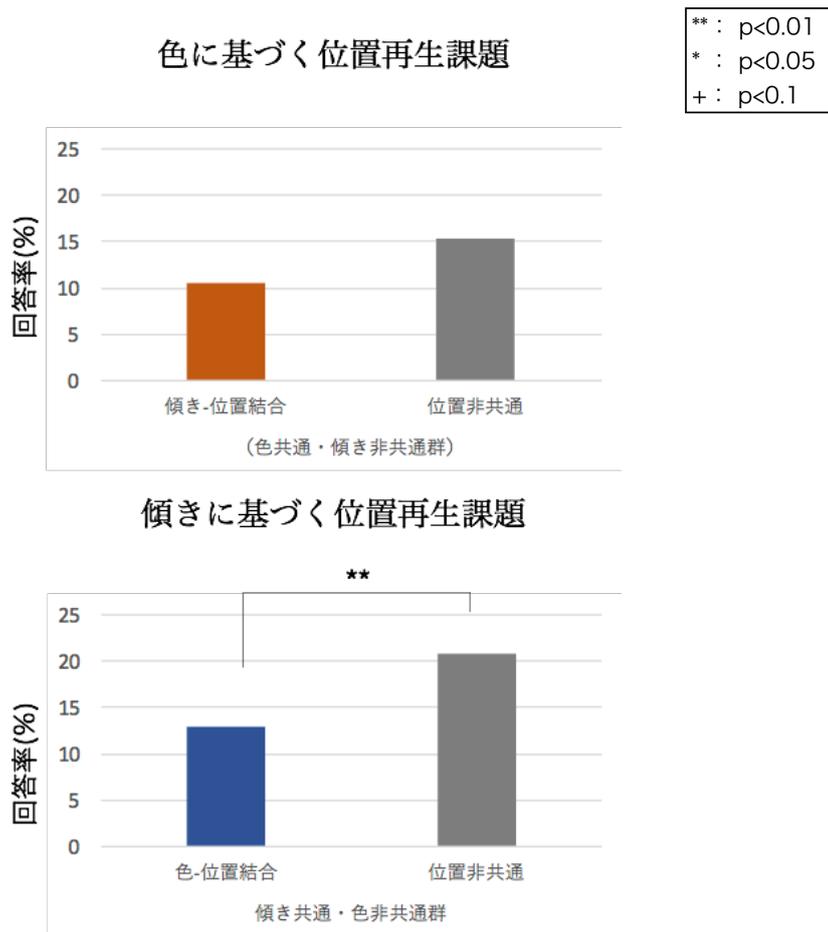


図 51:各課題におけるダミー特徴の出現位置への回答割合

2.9 実験2Bの考察

2.9.1 実験2Bから考えられる属性間結合の検討

色に基づく再生課題では、各群ともに色属性が共通するサンプル刺激のオブジェクトの位置特徴を持つ場合に、正答率が落ち込んでいるのがわかった。特に、色・傾き共通群では、色・傾き-位置結合条件と、位置非結合条件の間に有意差が見られた。反応時間に関しては、実験1や実験2Aと同様に、色属性と位置属性の属性間結合によると考えられる反応時間の短縮は見られなかった。一方で、傾きに基づく再生課題では、各群ともに、傾き属性が共通するサンプル刺激のオブジェクトの位置特徴を持つ場合に、正答率が上がっていることがわかる。特に、色・傾き共通群では、色・傾き-位置結合条件と、位置非結合条件の間に有意差が見られた。反応時間に関しては、実験1や実験2Aと同様に、傾き属性と位置属性の属性間結合によると考えられる反応時間の短縮が見られた。

まず、色属性と位置属性の関係については、属性間結合を確認できる結果とならなかった。実験1、実験2Aで考察したように、色属性が位置属性を効率的に連想する性質を持っていると仮定すると実験結果を上手く説明できる。色・傾き共通群では、色・傾き-位置結合条件と、位置非結合条件の正答率の間に有意差が見られた。これは、色属性が位置属性を効果的に連想する働きがあり、位置属性から色属性を想起することと合わさることによって想起にマスキングが見られたことが原因ではないだろうか。このマスキングは実験1でも確認されている。

一方で、傾き属性と位置属性の関係については、正答率に関して、サンプル刺激のオブジェクトと共通する位置特徴と傾き特徴が合わさることによるベネフィットがグラフの全体的な傾向として見て取れるが、有意差は出ていない。しかし、反応時間に関してはベネフィットの存在が確認できる。実験2Bでも位置属性と傾き属性は属性間結合を作っているため、記憶の参照と提示された特徴に対する判断を効率的に行えたことを示唆する結果となった。

2.9.2 色属性と位置属性の組み合わせによる認知へのマスキング効果の検証

2.3.3, 2.9.1で見られた、サンプル刺激のオブジェクトと共通する位置属性と色属性が合わさることによる傾き特徴の想起へのマスキング効果を確認するために、各課題について、ダミー特徴の出現位置に対する回答割合を調べた。その結果、傾きに基づく位置再生課題の中の傾き共通・色非共通群に属する色-位置結合条件と位置非結合条件のダミー傾き特徴への回答割合に有意差があり、位置非結合条件の方が回答割合は高かった。もし、色属性と位置属性が一致し、傾きの想起にマスキング効果を及ぼすのであれば、傾き共通・色非共通群の色-位置結合条件でのダミー傾き特徴への回答割合の方が高いと考えられるため、実験1で確認できた傾向を検証する結果とはならなかった。

この原因としては、実験 1 と異なり、傾きに基づく位置再生課題では色特徴を考えず傾きだけに着目して行う課題であることが考えられる。実験 1 では、両特徴をそれぞれ記憶と参照する必要があった。しかし、実験 2B の傾きに基づく位置再生課題では、色特徴は確かに手がかり刺激として提示されているが、傾き特徴のみに着目すれば解くことができる。そのため、色と位置が合わさることの影響を受けずに課題を遂行することができたのではないかと推測する。

また、共通・色非共通群に属する色-位置結合条件と位置非結合条件の 4 ブロック通じての試行数は 60 回と 20 回になっている。その中のダミー傾き特徴への回答率を比較しているため、母数の違いから正確な検討ができなかった可能性がある。

第3章 結論

3.1 総合考察

我々は「見る」という行動から外界の視覚オブジェクトを知覚する。そして、知覚した情報を記憶と照合し、オブジェクトの認知や適切な反応を瞬時に実行することで生活している。外界のオブジェクトはそれぞれ様々な属性の視覚的特徴の組み合わせで表現されている。人間の脳の情報処理過程において、視覚的特徴は属性ごとに並列に処理される。その後、オブジェクトファイルとして統合される。オブジェクトファイルは視覚的作業記憶の中で保持され、様々な認知活動に利用されると考えられている。処理した特徴の対応関係を見出すためには、特定のオブジェクトに対して注意を向けることが必要となり、注意を向けることによって位置を共通する特徴がオブジェクトファイルとしてまとめられると考えられている(Treisman(1986))。そのため、オブジェクトの持つ位置情報も合わせて処理し、記憶していると考えられる。古徳ら(2004)はオブジェクトファイルの表現形式について調査する研究を行い、オブジェクトファイルは2種類の属性の特徴をひとまとまりにして表現しているとする対属性仮説を報告したが、古徳らの研究では位置情報を視覚属性として捉えておらず、位置情報について明確な検討が行われていなかった。そこで、本研究ではオブジェクトの持つ位置情報を位置属性として捉え、位置属性についても古徳らの示した対属性仮説が成り立つのかを中心とした検討を行うため2つの実験を実施した。そして、色属性や傾き属性と位置属性の属性間結合の有無、認知活動への影響、結合の強度、属性間の想起の性質を調査した。

実験1では、特徴統合において重要な役割を担う位置属性が、古徳らの実験で示された結合関係を持つのかを検討することを目的とし、色属性、傾き属性に加え、位置属性を用いて再認課題を行った。視覚刺激の変化条件を制御して、位置属性と色属性の結合、位置属性と傾き属性の結合による認知活動への影響を検討した。また、提示するアイテム数を制御して、属性間結合に負荷を変化させ、結合の強度を検討した。

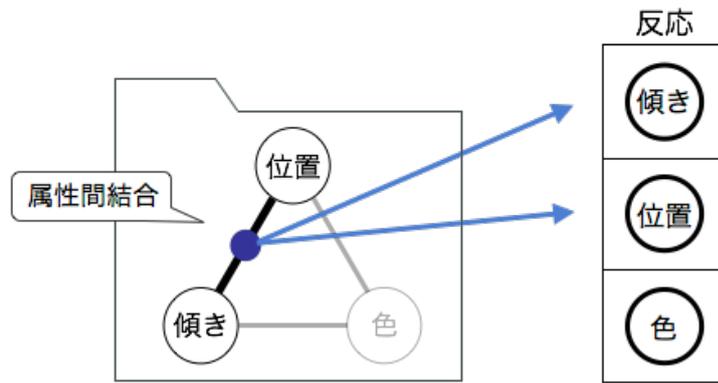
実験2A, 2Bでは、実験1の結果から得られた仮説を再度検討することを主目的とし、色属性、傾き属性、位置属性を用いた再生課題を行った。視覚刺激の変化条件を細かに制御し、位置属性と色属性、傾き属性の結合による認知活動への影響を調査した。加えて、属性間の想起における非対称性の有無などの性質の違いを確認するため、属性間の再生成績の比較を行った。

3.1.1 位置属性と傾き属性

視覚的作業記憶におけるオブジェクトファイルの情報表現について、先行研究では2つの属性をひとまとまりにした属性間結合を基本表現とする対属性仮説が提案されている。本研究では、位置属性についても対属性仮説が成り立つかを検証した。そして、実験1, 実験2A, 実験2Bから次のような結果が得られた。

実験 1 の再認課題では、テスト刺激としてサンプル刺激のオブジェクトと共通する傾き属性の特徴と位置属性の特徴が合わさることでサンプル刺激の想起に関する正答率の増加が見られた。一方で、テスト刺激としてサンプル刺激のオブジェクトと共通する色属性の特徴と位置属性の特徴を合わせてもサンプル刺激の想起に関する正答率の増加や反応時間の短縮は見られなかった。また、アイテム数を増加させた場合、位置属性と傾き属性が手がかりとして提示される条件のみ、正答率の下落が少なかった。実験 2A の再生課題では、傾き属性と位置属性の両手がかりに基づく色属性を再生成績は、傾き属性単体、位置属性単体から色属性を再生する成績と比べ、正答率の増加は見られないが反応時間の短縮は見られた。また、色属性と位置属性の両特徴に基づく傾き属性の再生成績は、色属性単体、位置属性単体から傾き属性を再生する成績と比べ、正答率の増加や反応時間の短縮は見られなかった。想起の対称関係については、位置属性と傾き属性の間に対称性が見られた。実験 2B の傾きに基づく位置再生課題では、ダミー特徴の有無に関わらず、手がかり刺激に傾き属性と位置属性が含まれる場合で反応時間が短縮されることが確認できた。正答率について有意差は確認できなかったが、傾き属性と位置属性を基に回答する条件の方が、正答率が高いことが見て取れた。一方で、色に基づく位置再生課題では、手がかり刺激にサンプル刺激のオブジェクトと共通する色特徴と位置特徴が含まれる場合で正答率が低下する結果が確認できた。反応時間については、有意差は確認できなかったが、傾きに基づく位置再生課題と異なり、サンプル刺激のオブジェクトと共通する位置特徴を色特徴と合わせて提示する条件で反応時間が増加することが見られた。

上記の結果を踏まえ、傾き属性と位置属性の属性間結合を考察すると、位置属性との属性間結合を作成し、両属性の想起を行って、反応に用いていると考察できる(図 52)。傾き属性の特徴と位置属性の特徴を合わせて提示した試行では、回答の判断に対し、傾き属性と位置属性の属性間結合で想起を行い 2 特徴の判断ができたため、正答率や反応時間にベネフィットが生じたと考えられる(図 52 の青線)。この結果は、古徳らの対属性属性を支持する結果と考えられる。



□：視覚的作業記憶の記憶表象 ●：記憶の単位 →：属性間結合による想起

図 52:傾き属性と位置属性の属性間結合による想起のモデル

3.1.2 位置属性と色属性

3.1.1 で紹介した結果に加え、実験 2A では、傾き↔色、位置↔色、位置↔傾きという想起の対象関係にある条件に対して再生課題の正答率の比較を行った。先行研究である Rajsic & Wilson の研究結果では、位置↔色に対して想起の非対称性が確認された。しかし、Rajsic & Wilson が実験で用いた視覚刺激は色属性と位置属性のみであった。実験 2A で用いた視覚刺激は、色属性、位置属性に加え傾き属性も組み合わせているため、より外界のオブジェクトの認知に近い条件と考えられる。実験の結果、先行研究と同様、位置↔色の間に非対称性が見られ、特に色→位置の再生条件での正答率が高かった。ただし、位置→色の再生成績は他の再生成績と同等であった。加えて傾き↔色の間に非対称性が見られた。こちらも、色→傾きの再生条件での正答率が高かった。

ここから、色属性と位置属性の間には属性間結合は形成されず、2 つのコネクションで連想を行い、想起に用いるという情報表現をとっていると考えられる。想起関係には非対称性があり、色→位置に対する強い結びつきがあると考えられる。そこで、色と位置の 2 つのコネクションの間には連想の難易度が異なっており、色から位置への連想の難度は易しく、記憶負荷がかかりにくい情報表現をしており、図 53 の赤線のように色属性から位置属性への想起を行っているのではないだろうか。この仮説は、Rajsic & Wilson (2014) の非対称性の結果を説明できるものである。また、色→傾きへの再生成績が高かったことから、色属性と傾き属性の間にも想起の難度が異なる 2 つのコネクションで想起を行っている可能性がある。このように色属性は、記憶している各属性への想起に対し、起点となる役割を担っている可能性も考えられる。しかし、本実験では色属性と属性間結合を形成すると知られている属性の特徴を用いていない。そのため、属性間結合を作る属性に対しては非対称性が確認できないという可能性も考慮する必要もあるだろう。

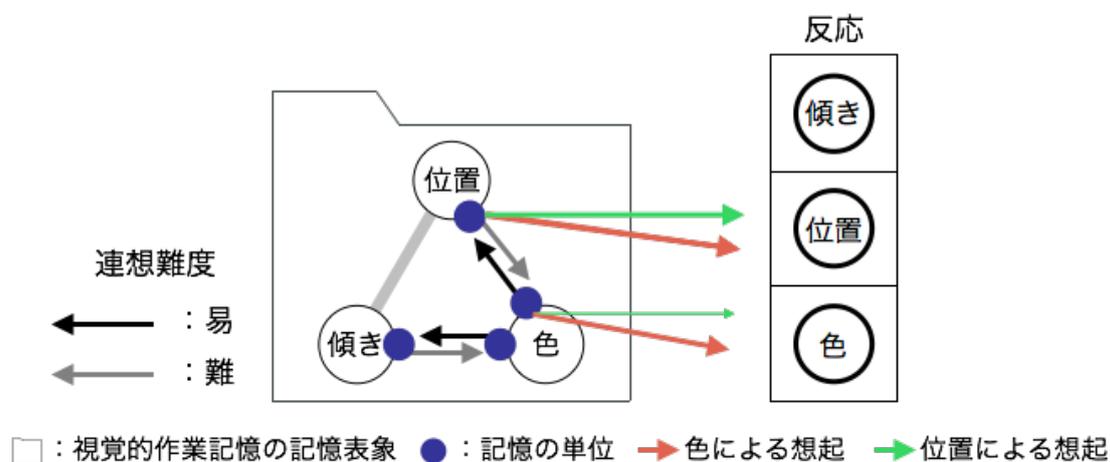


図 53: 色属性による想起のモデル

また、実験 1 の C 条件と C 条件の誤答傾向の変化及び実験 2B の結果であるサンプル刺激のオブジェクトと共通する色属性と位置属性が合わさることでの正答率の悪化は、サンプル刺激のオブジェクトと共通する色特徴と位置特徴を合わせて提示したことにより想起関係の非対称性から生じたマスキング効果である可能性が考えられる。実験 2B でマスキング効果の検討を行ったが、明確な結論を導くことができなかった。この点については今後の課題とするが、図 53 のモデルでマスキング効果が起きてしまう理由を考えると、色属性は、他の属性への想起の起点であるため、記憶負荷をかけずに連想を行い他の属性の想起を助ける(図 53 の赤線)。位置属性からも知覚している位置特徴の判断が行われる(図 53 の緑線)。その結果、判断すべき色特徴と位置特徴は強い結びつきが生じ、その結果傾き特徴の判断に対しマスキング効果が生じたと考えられる。

3.1.3 属性間結合の結合強度

実験 1 の再認課題では、サンプル刺激で用いるアイテム数を変化させることによる課題への影響を調べた。実験 1 の各条件についてアイテム数を増やした場合、増やす前と比べて全体的に 10%～20%程度ずつ正答率が落ちていたが、サンプル刺激に対し、テスト刺激のオブジェクトとして傾き属性と位置属性を共通させたオブジェクトを提示した条件(S 条件)のみ、アイテム数増加による正答率の減少がとりわけ少ないことが確認できた。

この結果は、傾き属性と位置属性の属性間結合の強度が強く、記憶に負荷がかかっても積極的に属性間結合を利用して認知活動を行っている可能性を示すものではあるが、比較対象であった、色と位置属性の属性間結合は形成されないと結果となったため、強度の比較にはならなかった。アイテム数増加による正答率の減少がとりわけ少ないという結果は、属性間結合の性質によるものという解釈もできる。

3.2 今後の課題

3.2.1 他の属性と位置の関係

本実験では、傾き属性は位置属性との属性間結合を形成するが、色属性は位置属性との属性間結合は形成しないという結論を導いた。古徳ら対属性仮説に基いて考えると、オブジェクトが持つ特徴が 4 属性に増えれば 6 つの属性間結合が形成され、5 属性に増えれば 10 個の属性対が形成されることになる。このような記憶構造は強力に記憶を保持することができる一方で、冗長であるように思われる。本研究においては、色属性は位置属性と属性間結合は形成されず、独立で保持していることが示された。一方で古徳の実験では色に関する属性間結合は見つけられているため、選択的に属性間結合が作られるなどして冗長性を回避している可能性も考えられる。他の属性についてもこのような冗長性の回避や、選択的な属性間結合の形成がなされているのかを調べることには意義があるだろう。

3.2.2 他属性間の想起の対称関係

色属性と位置属性、色属性と傾き属性の間に属性間の想起の非対称性が見られた。そこから、色属性が他の属性への連想に大きく関わっていると結論づけた。それら以外の属性間には非対称性は見られるのだろうか。この点についても、検討すべき課題だと考えられる。

3.2.3 色属性と位置属性の属性間結合による認知へのマスキングの再検討

実験 1 では色属性と位置属性を合わせて提示することによる認知活動への悪影響を確認できた。実験 2B でその悪影響を確認しようとしたが、明確な結果を得ることができなかった。実験 2B の手法的な問題として、共通・色非共通群に属する色-位置結合条件と位置非結合条件それぞれの 4 ブロック通じての試行数は 60 回と 20 回になっている。その中のダミー傾き特徴へ回答率を比較しているため、母数の違いから正確な検討ができなかった可能性がある。また、実験 1 と異なりブザー音に基いて片方の 1 つ属性の特徴にのみ注意すれば課題を遂行できたことも原因の一つだと考えられる。結論付けたように、色属性が位置属性に対して効率的に連想する働きがあるとなれば、色属性だけでなく位置属性を合わせて提示することで、記憶に対して錯誤を与えやすくなる可能性は十分に考えられる。複数の属性に着目することが求められる課題を行い、色属性と位置属性を合わせて提示することによる影響を確認することで検討できるだろう。

3.2.4 長期記憶に対する検討

本実験で行った課題は、課題視覚的作業記憶を利用するものであった。そのため、本実験で示唆された位置属性の性質が長期記憶においても確認できるかどうかについては疑問が残る。長期記憶の活動を調査するために連合学習課題などを用いて位置属性の検討をしていく必要もあるだろう。

3.2.5 属性間の判断難易度による影響

本実験で用いた各属性の特徴は属性内で輝度や大きさなどを揃えている。しかし、属性間で比較した場合、認知しやすさに偏りがあった可能性が考えられる。実験後アンケートを見ると、色特徴よりも、傾き特徴の判断が難しいという意見も見受けられた。そのため、実験結果に対して何かしらの影響があった可能性が考えられる。特に、色属性は、傾き属性に比べてオブジェクトのアイデンティティとして働いたため、位置属性との結びつきが強く見られたという解釈も考えられる。色属性と位置属性の属性間結合が見られなかったのに対し、古徳らの実験では形属性など色属性と同様にオブジェクトのアイデンティティになり得る印象の強い特徴を用いたために属性間結合が見られた可能性も考えられる。実験で用いる属性に対し、個別に弁別課題を実施し、属性間の判断のしやすさを揃える工夫も必要であろう。

3.2.6 コンテキスト、空間分解能による影響

本実験では、サンプル刺激の複数のオブジェクトに対し、テスト刺激や手がかり刺激のオブジェクトは 1 つだけ提示される。このコンテキストの違いが、サンプル刺激として保持していた記憶に対し影響を与えている可能性が考えられる。コンテキストの違いを減らした場合の実験結果を検討することで、より確かな位置属性の影響を考察することができるだろう。

また、今回の実験では、色属性が位置属性に対して効率的な連想を行えること、傾き属性は位置属性と属性間結合を形成し保持されていることにより、傾き属性と位置属性が合わせて提示された場合に正答率の増加や反応時間の短縮が見られたと考察した。サンプル刺激が提示されている視覚 5° の範囲における各属性の空間分解能の違いによる影響も考えられる。色属性の空間分解能が高く、傾き属性の空間分解能が低かったことにより、色属性は位置属性に効率的な連想をし、傾き属性は位置属性という補助的な手がかりを用いて課題を遂行していた可能性も考えられる。この点についても慎重な議論が必要であろう。

3.2.7 結合強度の再検討

本実験ではサンプル刺激で用いるアイテム数を変化させることによる課題への影響を調べ、認知的負荷をかけた場合に、属性間結合が見られる条件の正答率の減少を調査し、属性間結合の強度を調査した。その結果、傾き属性と位置属性間の結合強度が強いという考察を行ったが、比較対象であった色属性と位置属性に関する属性間結合は見られない結果となっていたため、相対的な検討ができていない。先行研究で示された属性間結合と比較を行って結合強度の再検討していきたい。

3.3 まとめ

本研究では、視覚的作業記憶における情報表現において、古徳らが提案した視覚的な属性間の結合のまとめとして表現しているとする対属性仮説に対し、位置属性についても同様の表現がなされているのかを主な検討対象として色属性、傾き属性、位置属性の視覚特徴を組み合わせた視覚刺激を用いて再認課題および再生課題を行った。

実験の結果、傾き属性は、位置属性と結びつき属性間結合を形成し、両属性の想起を行うことが示唆された。そして、傾き属性と位置属性の属性間結合は認知的な負荷がかかっても崩壊しにくいことがわかった。一方で、色属性は位置属性との間には属性間結合が形成されていないことがわかった。また、位置属性や傾き属性から色属性を想起することに対し、色属性からその位置属性や傾きを想起するのは容易であるという非対称性が見られ、オブジェクト認知における起点となる役割を担うことがわかった。そこから、連想難易度の異なるコネクションを用いて想起を行うとするモデルを提案した。

最後に、実験から得られた結論をデザインの根拠や、ユーザビリティの向上に応用することを考える。オブジェクトの高速で錯誤の少ない操作を行わせるための考察として、傾き属性に意味を持たせるようなデザインをする場合は、傾き属性単体に意味を持たせるのではなく、位置属性を組み合わせることで意味を与えるようなデザインすれば、記憶しやすく、素早く適切な反応を取れるのではないだろうか。同一の傾き特徴を複数利用する際も、異なる位置属性を組み合わせることで認知への悪影響を低減できるだろう。一方で、色属性に意味を持たせるようなデザインをする場合は、色属性は位置を連想しやすいため同一の色属性複数利用する際に、複数の位置属性と組み合わせても錯誤が生じるなど認知への悪影響を及ぼすことが考えられる。そこで、色自体に意味を持たせるのであれば、必要に応じて複数の色属性を用いることがユーザビリティの向上につながると考えられる。

謝辞

本研究を行うに際し、指導教員として懇切丁寧なご指導、ご鞭撻を頂いた筑波大学図書館情報メディア系森田ひろみ准教授に謹んで感謝いたします。また、活発な議論を通じて、多くの知識、着眼点をくださり、実験協力にも積極的に力を貸して下さった研究室の皆様に御礼を申し上げます。ときにおかしな冗談を言い合えた時間に何度も心が救われました。

難しい性格をしてる私ですが、いつも立派だと言ってくれた家族にも感謝したいです。本当に立派な大人になって少しずつ恩を返していきたいと思っています。

そして、苦悩した日々に優しい声をかけ、いざというときには暖かく接し、励まし、支えとなってくださった情報メディア創成学類出身、知識・情報図書館学類出身の親友の皆様。弱い人間である私に対し、入学のときからずっと尊敬と信頼の意を持って接し、元気、笑顔、そして本物をくれた日本語・日本文化学類、人文学類、心理学類の自慢の後輩であり親友の皆様。かけがえのない楽しい思い出と、私の人生において自信を持てるものをくれた筑波大学写真部の皆様。元気で可愛らしい仕草で常に癒やしを与えてくれたペットのハムスターに最大の感謝と友愛の気持ちを示し、謝辞に代えさせていただきます。

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. (1992). Working memory. *Science*, 255, 556-559.

Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. G.H.Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation*, 8, 47-89.

Cavanagh, P (1987). Reconstructing the third dimension: Interactions between color, texture, motion, binocular disparity, and shape. *Computer Vision , Graphics, and Image Processing*, 37, 171-195.

花沢明俊(2007). 神経生理Ⅱ-高次の視覚領野- 内川恵二・篠森敬三(編) 視覚Ⅰ 視覚系の構造と初期機能(pp.45-63) 朝倉書店.

荻阪直行(2000). 視覚的ワーキングメモリとその高次構造 荻阪直行(編) 脳とワーキングメモリ(pp.117-137) 京都大学学術出版会.

Kahneman, D., Treisman, A., & Gibbs, B. (1992). The reviewing of object files: Object- specific integration of information, *Cognitive Psychology*, Vol.24, pp.175–219.

川崎真弘, 奥田次郎, 坂上雅道, 渡邊正峰(2005). fMRI を用いた視覚的ワーキングメモリにおける特徴統合の研究. 第1回横幹連合コンファレンス, pp.275-280.

古徳雅史, 諸上茂光, 森田昌彦 (2004). 複数の属性を持つ視覚作業記憶の情報表現に関する研究. *Technical Report on Attention and Cognition*, No.21.

Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390.6657, 279-281.

Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, Vol.2. 63, 81–97.

Miyashita, Y., & Chang, HS. (1988). Neuronal correlate of pictorial short-term memory in the primate temporal cortex. *Nature*, 331, 68-70.

森田ひろみ(2014). 視覚的特徴の統合 綾部早穂・熊田孝恒(編) スタンダード感覚知覚心理学(pp.1-13) サイエンス社.

Rajic, J., & Wilson, DE. (2014). Asymmetrical access to color and location in visual working memory. *Atten Percept Psychophys*, 76, 1902-1913.

Theeuwes J, Kramer A. F., & Irwin D. E. (2011). Attention on our mind: The role of spatial attention in visual working memory. *Acta Psychologica*, 137, 248–251.

Treisman, A. (1986). Features and objects in visual processing. *Scientific American*, 255, 5, 114-115.

鵜飼一彦(2009). 脳と眼の仕組み 内川恵二(監修) 視覚心理入門(pp.135-153) オーム社.

Wang, B., Cao, X., Theeuwes, J., Olivers, CN., & Wang Z. (2016). Location-based effects underlie feature conjunction benefits in visual working memory. *Journal of Vision*, Vol.16, 12.

Xu, Y. (2002). Encoding color and shape from different parts of an object in visual short-term memory. *Perception & Psychophysics*, 64, 1260–1280.

Xu, Y. (2006). Understanding the object benefit in visual short-term memory: The roles of feature proximity and connectedness. *Perception & Psychophysics*, 68, 815–828.

付録一覧

付録1：実験1におけるCenter課題（アイテム数：5）の結果.....	77
付録2：実験1におけるLocation課題（アイテム数：5）の結果.....	79
付録3：実験1の教示文.....	83
付録4：実験1の提示資料.....	91
付録5：実験2A, 2Bの教示文.....	94
付録6：実験2A, 2Bの提示資料.....	104

付録 1: 実験 1 における Center 課題 (アイテム数: 5) の結果

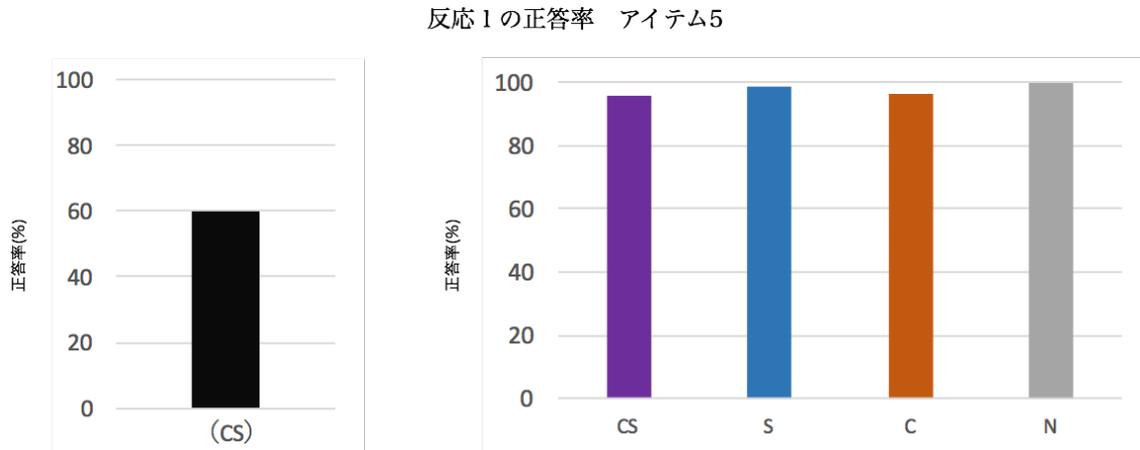


図 54: Center 課題 (アイテム: 5) における反応 1 の正答率

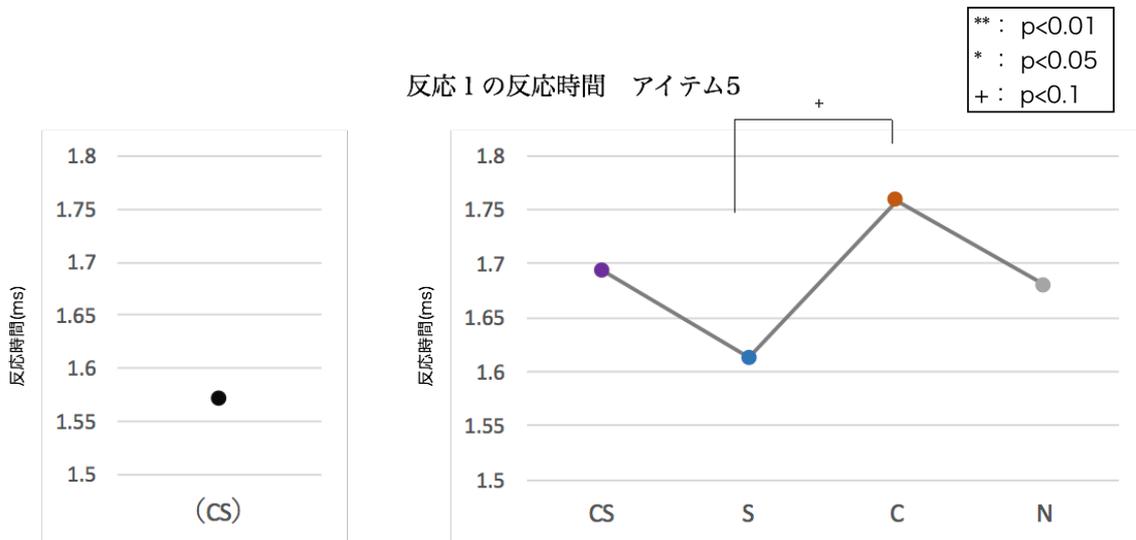


図 55: Center 課題 (アイテム数: 5) における反応 1 の反応時間

反応2の正答率 アイテム数：5

** : $p < 0.01$
* : $p < 0.05$
+ : $p < 0.1$

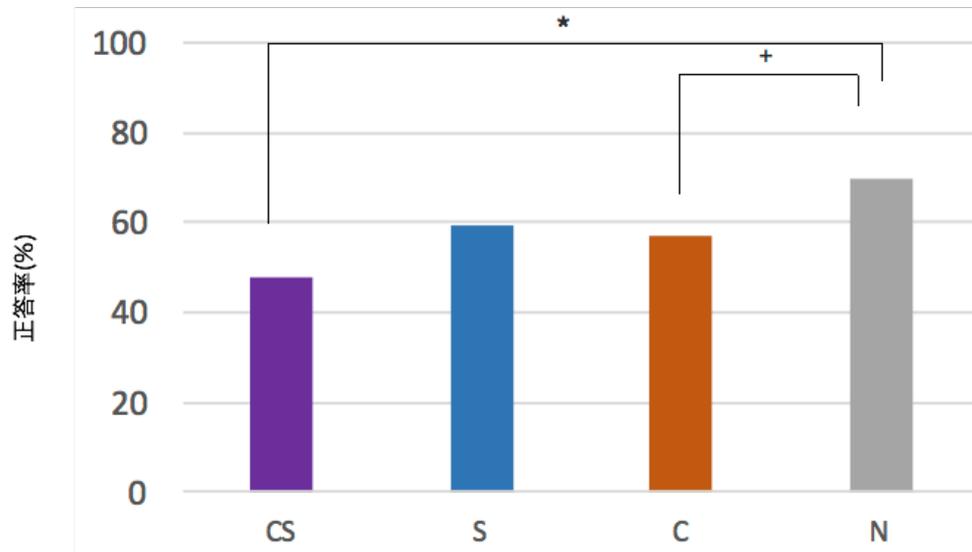


図 56: Center 課題(アイテム:5)における反応 2 の正答率

付録2: 実験1におけるLocation課題(アイテム数:5)の結果

反応1の正答率 アイテム数:5

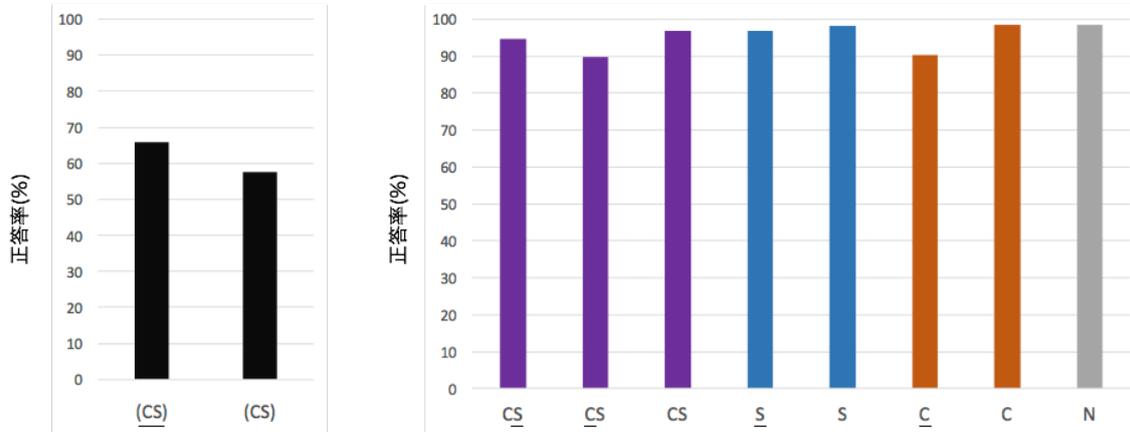


図 57:Location 課題(アイテム数:5)における反応1の正答率

反応1の反応時間 アイテム数:5

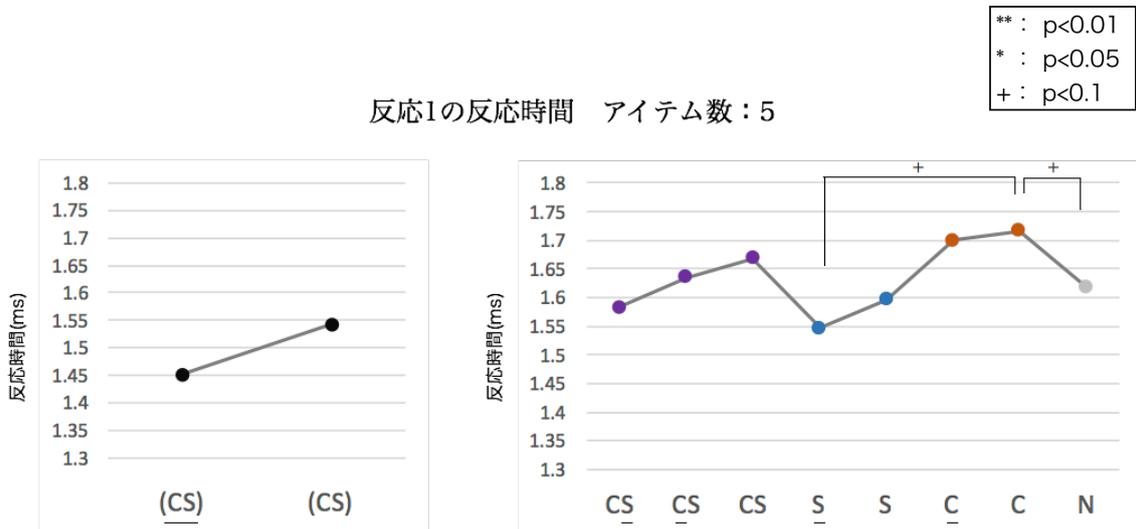


図 58:Location 課題(アイテム数:5)における反応1の反応時間

反応1の反応時間 アイテム数：5

** : p<0.01
* : p<0.05
+ : p<0.1

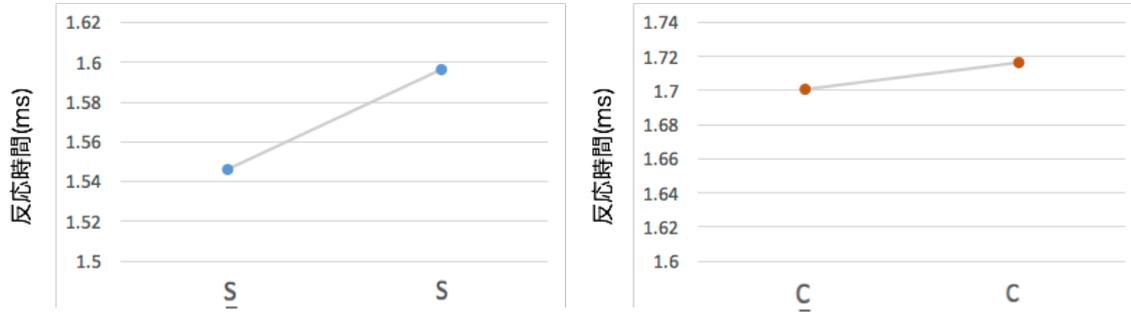


図 59: S条件とS条件, C条件とC条件における
反応時間の比較(アイテム数:5)

反応1の反応時間 アイテム数：5

** : p<0.01
* : p<0.05
+ : p<0.1

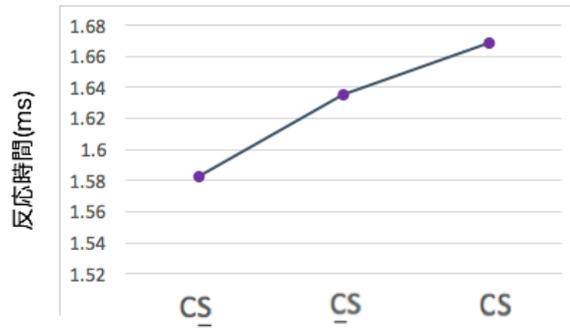


図 60: CS条件, CS, CS条件における反応時間の比較(アイテム数:5)

反応2の正答率 アイテム5

** : p<0.01
* : p<0.05
+ : p<0.1

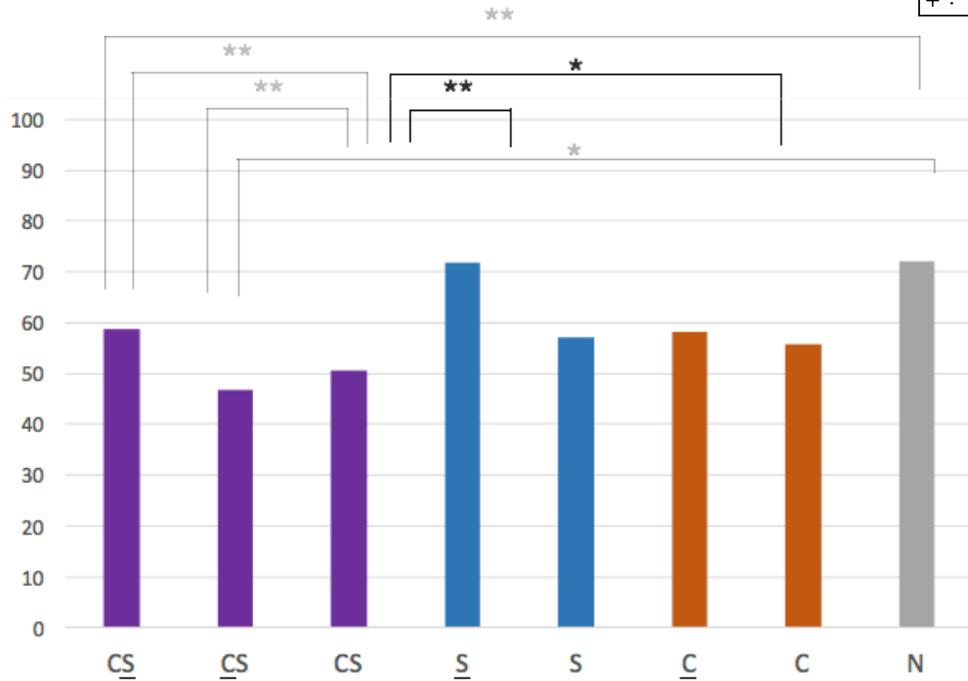


図 61: Location 課題(アイテム数:5)における反応2の正答率

反応2の正答率 アイテム数:5

** : p<0.01
* : p<0.05
+ : p<0.1

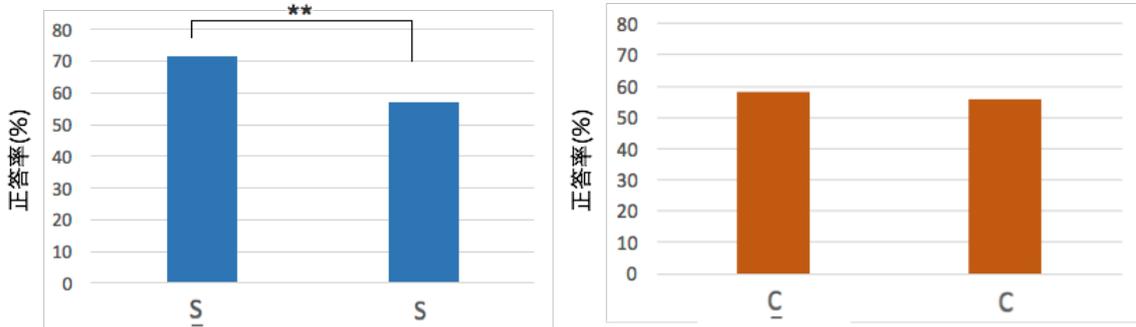


図 62: S条件とS条件, C条件とC条件における反応2の正答率の比較(アイテム数:5)

反応2の正答率 アイテム数：5

** : p<0.01
* : p<0.05
+ : p<0.1

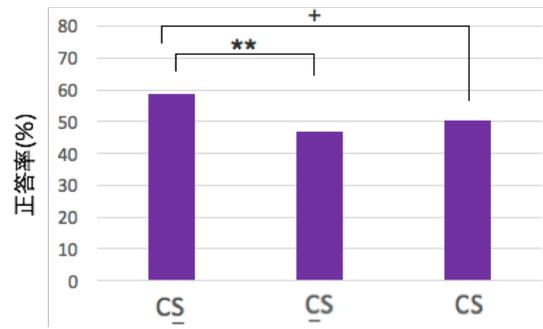


図 63:CS_̄条件とCS_̄条件, CS条件における反応2の正答率の比較(アイテム数:5)

付録3:実験1の教示文

1. 事前準備

- PC を起動する
- 30分前にディスプレイの電源を入れる(マウスの接続, ディスプレイの位置確認, 顎台確認)
- 実験参加者 ID の確認
- 「実験記録表」に ID を記入
- 「実験予定表」を参考に, 提示パターンの組み合わせを「実験記録表」に記入する
- 実験用プログラムの被験者 ID を確認する.
- テーブルの位置を確認する
- matlab の起動
- 実験用プログラムを「実験記録表」を元に起動する.
- 「中にお入りください」の掲示をドアに設置する.
- プリンタの電源を落とす.
- 参加者用のボールペンを用意しておく.
- 書類の記入や説明をするデスクを片付けておく.
- 謝金を準備する.
- 色覚検査の本を用意する.
- 「同意書」, 「実験前アンケート」, 「実験資料」を置いておく.
- 実験参加者が訪れたら, 「中にお入りください」の掲示を「実験中」の掲示に貼り替える.

2. 自己紹介

(記録表に日付と開始時間を書く)

はじめに実験を担当します, 知覚・認知心理学研究室の城山です. 本日は実験に参加していただきありがとうございます.

今回行う実験ですが, 再認課題という実験を行ってまいります. これらの課題の方法については, 後ほど詳しく説明させていただきますが, 簡単に説明すると, 経時的に提示される2つの画面に映る図形が同じものか異なるものか, 異なる場合は2つの画面の図形の共通点はなにかを答えていただきます. なお, この実験は2日とも2時間15分程度で終わる予定です. あくまでも目安ですので, 前後する可能性もございます.

3. 同意書と事前アンケート

それでは、これから実験を開始するにあたってこちらの「同意書」(2枚)の内容をご確認いただき、同意していただける場合は署名をお願いします。(口頭でも説明)

<記入後の「同意書」を受け取り、必要事項が記入されているかを確認する> 自分もサインする。1枚は実験参加者に渡し、もう1枚は保管する。(ここで ID を記入)

ありがとうございます。では、続いてこちらの「実験前アンケート」という欄の質問にご回答ください。(視力の欄は、めがねやコンタクトを着用されている方は、矯正視力とかかれた横のめがね/コンタクトレンズのどちらかに丸をつけていただき、裸眼の場合は裸眼に丸をつけてください。その下の左目視力、右目視力、両眼視力という欄にはそれぞれの視力をご記入ください。おおよその視力で構いません。矯正有のかたは矯正した状態での視力をご記入ください。)

<記入後の「実験前アンケート」を受け取り確認する>

<「実験前アンケート」に ID を記入。>

→眼鏡、コンタクトを不使用の場合、普段眼鏡やコンタクトを着用しているかを尋ねる。
ご協力ありがとうございました。

4. 実験参加者の準備

それでは、実験を始める前に、携帯電話をお持ちでしたらマナーモードにするか電源をお切りください。よろしくお願いいたします。

<「実験記録表」に開始時刻を記入する>

5. 色覚の検査

本実験では色を扱うため、色覚の検査を行わせていただきたいのですが、よろしいでしょうか。なお、本色覚検査は簡易的なものであり、責任を負いかねますので、色覚の異常ありなしに関わらず結果をお伝えすることはできません。

<石原色覚検査表を使用し検査をする、記録表に書き込む>

※このとき、本人からの色覚異常の申告が無い限り実験は執り行う。

これで終了です。

6. 実験内容の説明

次に実験内容について説明させていただきます。実験資料も合わせて御覧ください。

今回行う再認課題について説明致します。経時的に提示される2つの画面に映る図形が同じものか異なるものか、異なる場合は、2つ画面の図形の共通点はなにかを答えていただく実験です。実験資料の【1試行の流れ】にあるように、この実験では、目の前のディスプレイの中央に十字が表示された後に、色、傾きの異なる三角形が4つあるいは5つだけ一瞬提示されます。これらの図形をサンプル刺激と言います。サンプル刺激提示後、ブランク画面を挟んだ後に、画面に図形が一つ提示されます。この図形をテスト刺激と言います。テスト刺激が出た段階で、テスト刺激で出た図形が、サンプル刺激に出てきた図形のどれかと全く同じ色、傾きの組み合わせだったかどうかを答えていただきます。この回答が反応1に当たります。反応1で、同じ図形はなかったと判断した場合には、サンプル刺激の図形と、テスト刺激の図形との関係性を答えていただきます。この回答が反応2に当たります。ここまでで1試行となり、この試行を80回繰り返したものを1ブロックとします。テスト刺激が出てくる位置はブロックによって異なり、第1、第2ブロックはテスト刺激が中央に出現し、第3～第6ブロックではテスト刺激はサンプル刺激の図形が出た位置のいずれかに出現します。例で言えば、サンプル刺激の4つの図形の場所のどこかに出てくるということです。資料では右上に出ています。

次に、実験の回答方法を説明します。実験資料の【反応1の回答方法】を御覧ください。テスト刺激が出た後、テスト刺激の図形とサンプル刺激の図形が同じものであったか異なるものであったかをマウスのクリックで答えていただきます。このテスト刺激の画面で反応してください。左クリックするとサンプル刺激とテスト刺激の図形は同じものであった、右クリックするとサンプル刺激とテスト刺激の図形は異なるものであったと回答できます。資料にある例では、上の例のテスト刺激は、右下方向に傾いた三角形と赤色が組み合わさっています。これはサンプル刺激の右上にある図形と完全一致するため反応1で同じものと、つまり左クリックが求められます。下の例のテスト刺激は上方向に傾いた三角形と紫色が組み合わさっています。サンプル刺激では紫色の三角形も、上方向に傾

むいた三角形もありますが、これらが組み合わさったテスト刺激の図形は無く、異なるものであるため右クリックが求められます。なお、図形の位置が異なっても色の特徴と三角形の傾き特徴が一致していればテスト刺激と異なる位置であっても同じものであるとみなします。反応1は、間違っ
てしまってもどることはできません。ここまでで質問はありますか？

反応1で左クリックした場合は次の試行に進みますが、右クリック、つまりサンプル刺激とテスト刺激の図形が異なっていると判断された場合は、実験資料の次のページにある【反応2の回答方法】の右図のような画面に遷移して、どの特徴が一致しているのか、あるいはどのように特徴が一致しているのかを答える画面になります。実験資料の【回答パターンの説明】に移ります。Shape をクリックしたのであれば、サンプル刺激の図形に比べてテスト刺激の図形は傾きの特徴のみが、サンプル刺激で出てきた傾きのいずれかと一致するという回答になります。例で言えば、Shape のテスト刺激では右下方向に傾いた黄色い三角形が提示されています。サンプル刺激を見ると、サンプル刺激の形の1つには提示された右下方向に傾いた図形が提示されています。一方で、色に関しては、サンプル刺激では、赤、青、紫、緑の図形がありますが、テスト刺激のような黄色図形はありません。そのため、傾きのみサンプル刺激で出てきた図形のいずれかの傾きと一致するという Shape を選択することになります。同様に、Color をクリックしたのであれば、サンプル刺激に比べてテスト刺激の図形は色の特徴のみサンプル刺激の図形で出てきた色と一致するという回答になり、Neither をクリックしたのであれば、サンプル刺激に比べてテスト刺激の図形は色と傾きの特徴両方がサンプル刺激の図形のいずれとも一致しない色、傾きが出現したという回答になります。最後に、Both、これをクリックしたのであれば、サンプル刺激に比べてテスト刺激は異なるものではあるがサンプル刺激で出てきた色特徴と傾き特徴の組み合わせだったという回答になります。また、反応2の回答画面をクリックするとクリックした箇所は赤色に点灯します。反応1で誤って右クリックを押してしまった場合には戻ることのできないので、いずれかの回答をして次の試行に進んでください。これらの内、一つをクリックした後に Answer ボタンが出現し、Answer を押すことで次の試行に進みます。なお、20回ごとに一度「Please click to Restart」という画面が出てきます。その画面では休憩を取ることができますので、準備ができ次第クリックをして次の試行に進んでください。

注意事項の説明に移ります。次のページをご覧ください。図形が表示される前には、必ず中央に表示される十字に目を向けるようにしてください。マウスはテーブルにおいた状態で、片手でクリックするようにしてください。左右どちらの手を使用していただいてもかまいませんが、右手を使う場合は左クリックは人差し指、右クリックは中指で押すようにしてください。左手を使う場合は、逆でお願いします。なお、反応時間には制限時間はありませんが、はじめの、反応1の時間は測定しますので、なるべく早く、正確に答えるようにしてください。ただし、テスト刺激が異なっていると回答した後の、反応2では反応時間を測定しておりませんので、ゆっくり答えていただいても構いません。押し間違えた際は戻れないため、次の試行に専念してください。なお、反応1で誤ってクリックしてしまい、反応2に進んだ際は、いずれかの回答をして次の試行に進んでください。ここまでで何か質問はありますか？

7. 練習

それでは、実験はあちらの暗室の方で行いますので移動をお願いします。

〈暗室に移動してもらおう〉

本実験に入る前に練習を行いたいと思います。実験では目の前のあご台に顔を固定した状態で行います。まず、椅子の高さをあご台に合うように調節してください。高さを調節したら、あご台にあごをのせ、マウスを押しやすい位置に置いてください。練習では、テスト刺激が中央に出る場合と、テスト刺激がサンプル刺激の図形位置に出る場合で、それぞれ8試行行いますので、**Please Start to click**の画面が出たら、画面をクリックして開始してください。ここまでで何か質問はありますか？それでは練習を開始しますので、暗幕をセットします。はじめに、中央に図形が出てくる場合の練習を行います。準備をするのでしばらくお待ち下さい。

〈暗幕をセットし、光漏れがないか確認する〉

〈PC:クリックをし、練習用プログラムを開始する〉(暗順応のため30秒くらいかける)

お待たせしました。では、練習を始めます。好きなタイミングで始めてください。

〈終了〉

つづいて、テスト刺激がサンプル刺激の図形位置に出る場合の練習を行います。

〈PC:クリックをし、練習用プログラムを開始する〉(暗順応のため30秒くらいかける)

では、練習を始めます。好きなタイミングで始めてください。

以上で練習は終了ですが、実験について何か質問はありますか？

(本番前に休憩を挟むか確認する、休憩で暗室から出る際は光漏れを確認する)

8. 本番の説明&注意

では、これから本番を始めます。椅子の高さをあご台に合うようになっているか確認してください。先ほどの繰り返しですが、図形提示から反応を行うまでを1試行とし、今回は80試行からなるものを1ブロックとします。20回ごとに>Please click to restart と書かれた休憩画面がでてきて、そこで一時休憩することができます。好きなタイミングでクリックして次の試行に進んでください。本日は、テスト刺激が中央に出る条件のものを2ブロック行っていただき、その後に、テスト刺激がサンプル刺激の図形が出た位置のいずれかに出るブロックを4ブロック行っていただきます。小休憩はブロックとブロックの間にとることができます。繰り返しになりますが、正しく反応するだけではなく、できるだけ素早く反応するようにしてください。ここまでで何か質問はありますか?それでは、本番試行を始めます。準備をいたしますのでしばらくお待ち下さい。

〈暗幕をセットし、光漏れがないか確認する〉

〈PC:クリックする→本番用プログラムが開始〉(暗順応のため30秒くらいかける)

それでは、お好きなタイミングで始めてください。

9. 本番

～課題スタート～

○奇数ブロック終了後

暗室から出て休憩にしてください。5分休憩を取っていただいた後に次のブロックを始めます。

<テーブルの位置確認>

○偶数ブロック終了時

暗室から出て休憩にしてください。10分休憩を取っていただいた後に次のブロックを始めます。
お手洗いに行っていたりしても構いません。

<テーブルの位置確認>

～ 休 憩 ～

それでは、実験を再開したいと思います。暗室の方に移動をお願いします。

<暗幕をセットし、光漏れがないか確認する>

<PC:クリックする→次のブロックのプログラムを起動する> (暗順応のため30秒くらいかける)

好きなタイミングで実験を開始してください。

～6ブロック終了後～

おつかれさまでした。以上で1日目(2日目)の実験は終了です。

(2日目の実験であれば)

では、続いてちらの「実験後アンケート」の質問にご回答ください。

<受け取った後、IDを記入する。>

10. 最後に

本日は実験に参加していただき、誠にありがとうございました。

(1日目であれば)次回の日時を確認する。

次回の日程は〇〇ですが大丈夫ですか？またよろしくお願ひします。

(2日目であれば)謝礼を渡す。

ありがとうございました。

11. 片付け

<「実験中」の掲示を回収する>

<「実験記録表」に終了時刻を記入する>

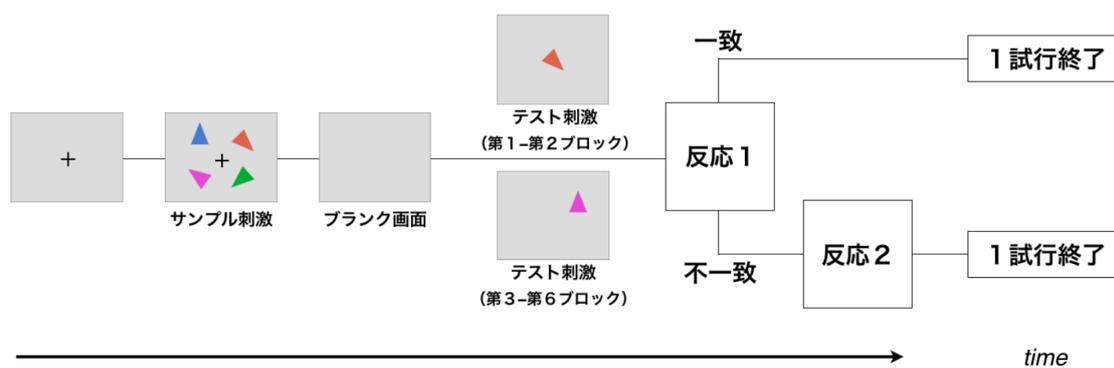
<ディスプレイの電源を落とす>

<「実験時間管理表」に実験実施時間と謝礼金支払額を記入する>

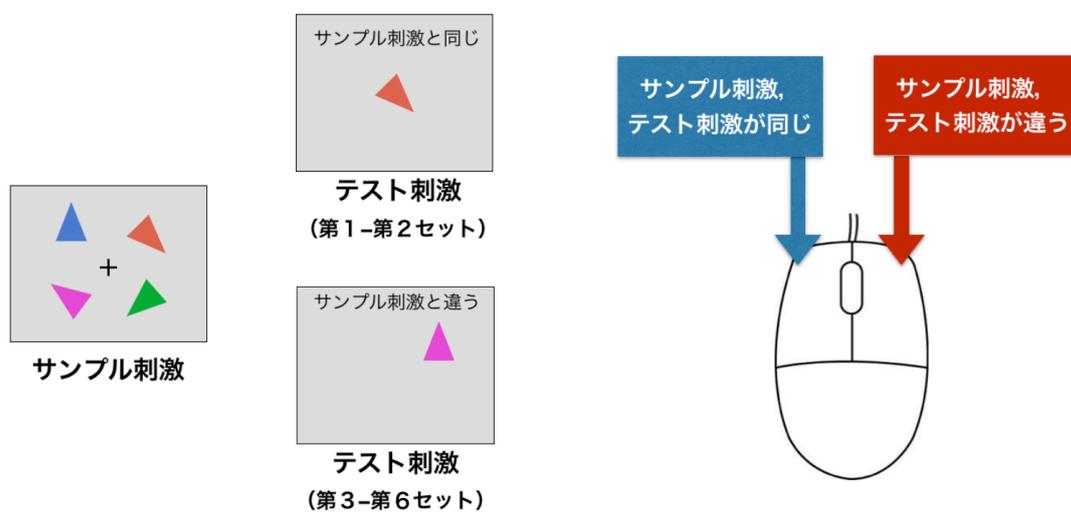
付録4: 実験1の提示資料

実験資料

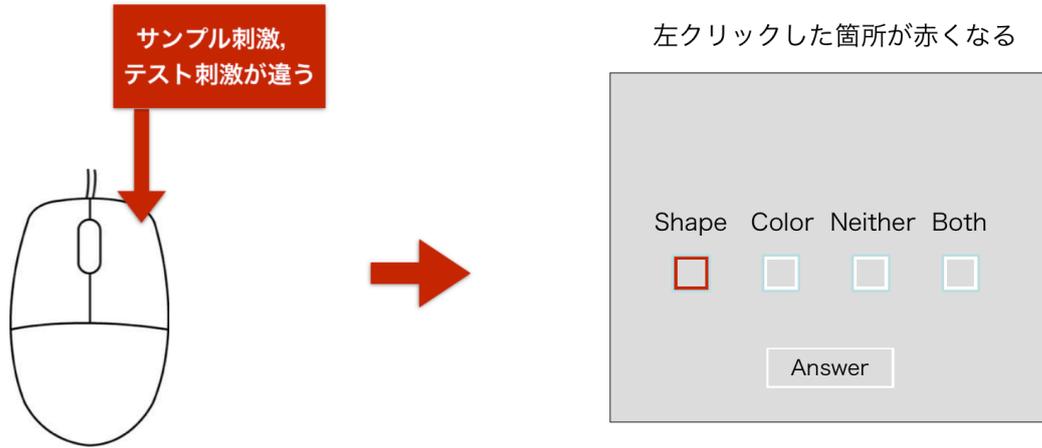
【1 試行の流れ】



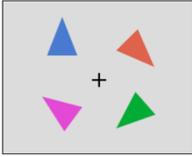
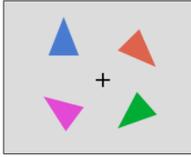
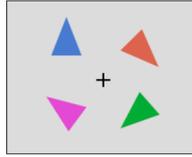
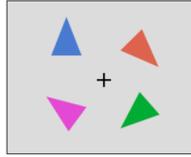
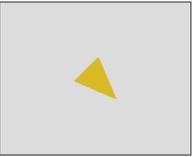
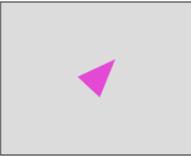
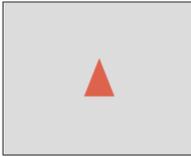
【反応1の回答方法】



【反応2の回答方法】



【回答パターンの説明】

Shape	Color	Neither	Both 田
 サンプル刺激	 サンプル刺激	 サンプル刺激	 サンプル刺激
 テスト刺激 (第1-第2セット)	 テスト刺激 (第1-第2セット)	 テスト刺激 (第1-第2セット)	 テスト刺激 (第1-第2セット)
形は一致するものがある	色は一致するものがある	色、形の両方とも一致するものはない	色、形が一致するものがあるが 色、形の組み合わせが完全に一致するものはない

【注意事項】

- ・図形が表示される前には、必ず中央に表示される十字に目を向けるようにしてください。
- ・マウスはテーブルにおいた状態で、片手でクリックするようにしてください。
左右どちらの手を使用していただいてもかまいませんが、右手を使う場合は左クリックは人差し指、右クリックは中指で押すようにしてください。左手を使う場合は、逆でお願いします。
- ・反応時間には制限時間はありませんが、反応1のテスト刺激とサンプル刺激が同じものであったか異なるものであったかをマウスのクリックで答えていただくまでの時間は測定していますので、なるべく早く、正確に答えるようにしてください。
- ・テスト刺激が異なっていると回答した後の、反応2である、サンプル刺激とテスト刺激の図形の共通点を答えていただく際は反応時間を測定していないため、ゆっくり答えていただいても構いません。
- ・押し間違えた際は戻れないため、次の試行に専念してください。なお、反応1で誤ってクリックしてしまい、反応2に進んだ際は、いずれかの回答をして次の試行に進んでください。

付録5:実験 2A, 2B の教示文

1. 事前準備

- PC を起動する.
- スピーカーの準備をする(本体音量 60).
- あご台をアルコール除菌する.
- ディスプレイの電源を入れる(マウスの接続, ディスプレイの位置を確認, 顎台の確認).
- 実験参加者 ID の確認.
- 「同意書」, 「実験前アンケート」, 「実験後アンケート」, 「実験記録表」に ID 記入 .
- 実験用プログラムの被験者 ID を確認する.
- テーブルの位置を確認する.
- matlab の起動.
- 実験用プログラムを「実験記録表」を元に起動する.
- 「中にお入りください」の掲示をドアに設置する.
- プリンタの電源を落とす.
- 参加者用のボールペンを用意しておく.
- 書類の記入や説明をするデスクを片付けておく.
- 色覚検査の本を用意する.
- 「同意書」, 「実験前アンケート」, 「実験資料」を置いておく.
- 実験参加者が訪れたら, 「中にお入りください」の掲示を「実験中」の掲示に貼り替える.

2. 自己紹介

はじめに実験を担当します, 知覚・認知心理学研究室の城山です. 本日は実験に参加していただきありがとうございます.

今回は2種類の実験を行っていただきます. これらの課題の方法については, 後ほど詳しく説明させていただきますが, 簡単に説明すると, 前半の実験では, 異なる色と傾きが組み合わされた三角形のオブジェクトが5つ出現し, その後一つだけ手がかりとなるオブジェクトが出現しますので, その手がかりを基に, はじめに出現したオブジェクトの特徴を選択していただきます. 後半の実験は1つ目の実験とは異なり, 手がかりとなるオブジェクトの色もしくは傾きに基いて, はじめに出現した5つのオブジェクトのうち, 色もしくは傾きが共通するオブジェクトの位置を選択していただきます.

なお, この実験は1時間30分程度の本実験と色覚検査やアンケートなどの時間を合わせて2時間15分程度で終わる予定です. あくまでも目安ですので, 前後する可能性もございます.

それでは、はじめにメールで持参をお願いした、振込先登録依頼書の提出をお願いできますでしょうか？(忘れている場合は、このタイミングで記入いただく)

3. 同意書と事前アンケート

次に、これから実験を開始するにあたってこちらの「同意書」の内容をご確認いただき、同意していただける場合は署名をお願いします。(同意書の内容を読む)

<記入後の「同意書」,「登録依頼書」を受け取り、必要事項が記入されているか確認>

ありがとうございます。では、続いてこちらの「実験前アンケート」の質問にご回答ください。(視力の欄は、めがねやコンタクトを着用されている方は、矯正視力とかかれた横のめがね/コンタクトレンズのどちらかに丸をつけていただき、裸眼の場合は裸眼に丸をつけてください。その下の左目視力、右目視力、両眼視力という欄にはそれぞれの視力をご記入ください。おおよその視力で構いません。矯正の方は矯正状態の視力をご記入ください。)

<記入後の「実験前アンケート」を受け取り確認する>

→ 眼鏡、コンタクトを不使用の場合、普段眼鏡やコンタクトを着用しているかを尋ねる。
ご協力ありがとうございました。

4. 実験参加者の準備

それでは、実験を始める前に、携帯電話をお持ちでしたらマナーモードにするか電源をお切りくださいようお願い致します。

<「実験記録表」に開始時刻を記入する>

5. 色覚の検査

本実験では色を扱うため、色覚の検査を行わせていただきたいのですが、よろしいでしょうか。なお、本色覚検査は簡易的なものであり、責任を負いかねますので、色覚の異常ありなしに関わらず結果をお伝えすることはできません。

<石原色覚検査表を使用し検査をする、記録表に書き込む>

※このとき、本人からの色覚異常の申告が無い限り実験は執り行う。

これで終了となります。

6. 実験内容の説明

～前半実験～

次に実験内容についての詳しい説明をさせていただきます。実験資料も合わせて御覧ください。

まず、前半実験の課題について説明致します。前半の実験では、まず、異なる色と傾きが組み合わされた三角形のオブジェクトが5つ一瞬だけ出現します。そのオブジェクトのことをサンプル刺激と呼びます。その後、何もないブランク画面が1秒ほど提示されます。ブランク画面が出現している間に、高さの異なる3種類のブザー音から1種類のブザー音がなります。後に答えるべき特徴によりブザー音の高さが異なります。高い音になった場合は、後にサンプル刺激に関する色を答えていただきます。同様に、中くらいの高さの音になった場合は、後にサンプル刺激に関する傾き、低い音になった場合は、後にサンプル刺激に関する位置を答えていただきます。ブザー音の後には、サンプル刺激のいずれかのオブジェクトの一部の特徴を共有した手がかりとブザー音に基づく回答画面が出現します。その手がかり刺激と共通点のあるサンプル刺激のオブジェクトを思い出し、ブザー音により指示された特徴を答えます。ブザー音はこの様な音になります。

例をあげながら説明していきます。実験資料の高音の項目では、手がかりが指示するオブジェクトの色を答えてもらいます。(高音の項目の)左上の手がかり刺激はサンプル刺激の位置が手がかりとして表示されています。(高音の項目の)右上の手がかり刺激はサンプル刺激の傾きが手がかりとして表示されています。(高音の項目の)下の手がかり刺激は、サンプル刺激の位置と傾きを組み合わせたものが手がかりとして表示されています。手がかり刺激と共通点のあるサンプル刺激のオブジェクトは、サンプル刺激5つの中の丸の付いている赤色で上を向いた三角形であり、高音のブザー音は色を答える試行になるので、赤色を選択していただくことが正解となります。

同様に、中音の項目では、手がかりが指示するオブジェクトの傾きを答えてもらいます。左上の手がかり刺激はサンプル刺激の位置が手がかりとして表示されています。右上の手がかり刺激はサンプル刺激の色が手がかりとして表示されています。下の手がかり刺激は、サンプル刺激の色と位置を組み合わせたものが手がかりとして表示されています。先ほどと同様に、これらの手がかりと共通するオブジェクトは、サンプル刺激5つの中の丸の付いている赤色で上を向いた三角形であり、中くらいの高さのブザー音は傾きを答える試行になるので、上方向を向いた三角形マークを選択していただくことが正解となります。

低音の項目では、手がかりが指示するオブジェクトの位置を答えてもらいます。左上の手がかり刺激はサンプル刺激の色が手がかりとして表示されています。右上の手がかり刺激はサンプル刺激の傾きが手がかりとして表示されています。下の手がかり刺激は、サンプル刺激の色と傾きを組み合わせたものが手がかりとして表示されています。先ほどと同様に、これらの手がかりと共通するオブジェクトは、サンプル刺激5つの中の丸の付いている赤色で上を向いた三角形にあたり、低音のブザー音は位置を答える試行になるので赤い、上を向いた三角形があった上の位置を選択していただくことが正解となります。

この様に、ブザー音の高さによって課題が変わりますが、手がかり刺激が出現するときの回答画面によって何を答えるべきか一意に定まります。色のみ、傾きのみ、位置のみを覚えるのではなく、オブジェクトとして覚え、課題に回答してください。サンプル刺激の出現から、回答までを1試行として、90試行を1ブロックとし、5分の休憩を挟み、計2ブロック行っていただきます。

ここまでで何か質問はありますか？

注意事項の説明に移ります。図形が表示される前には、必ず中央に表示される十字に目を向けるようにしてください。マウスはテーブルにおいた状態で、片手でクリックするようにしてください。なお、反応に制限時間はありませんが、反応時間は測定していますので、なるべく早く、正確に答えるようにしてください。回答をすると、すぐに次の試行が出現します。回答画面で止まらずに、次の試行に進んでください。なお、20回おきに「Please Click to Restart」と書かれた休憩画面が出てきますので、そこで一時休憩することができます。質問がなければ、前半実験の練習に進みたいと思います。(7へ)

～後半実験～

続いて後半実験の説明をさせていただきます。実験資料も合わせて御覧ください。

後半の実験でも、前半実験と同様に、まず、異なる色と傾きが組み合わされた三角形のオブジェクトが5つ一瞬だけ出現します。そのオブジェクトのことをサンプル刺激と呼びます。その後、何も無いブランク画面が1秒ほど提示されます。ブランク画面が出現している間に、高さの異なる2種類のブザー音から1種類のブザー音がなります。ブザー音の後、サンプル刺激の一部の特徴を共有した手がかり刺激が出現しますので、今回は前半実験とは異なりサンプル刺激の位置についてのみ回答していただきます。ただしブザー音の高さの違いによって、手がかり刺激で着目する点が異なります。ブザー音が高音だった場合は、手がかり刺激の色に着目し、手がかり刺激の色と同じ色を持つサンプル刺激のオブジェクトの位置を思い出して、手がかり刺激が提示されているこちらの画面で、その場所をクリックして頂きます。ブザー音が低い音だった場合は、手がかり刺激の傾きに着目し、サンプル刺激のいずれかのオブジェクトの傾きと手がかり刺激の傾きが同じサンプル刺激を思い出して、その場所を手がかり刺激が提示されているこの画面でクリックして頂きます。ブザー音はこの様な音になります。例をあげて説明していきます。ブザー音が高音で、手がかり刺激の色を元に回答する場合、手がかり刺激が課題の答えとなる赤色のサンプル刺激と傾きも同じである場合と異なる場合の2パターン出現します。傾きの違いにとらわれず、色に着目して回答するため、両条件とも上の出現場所をクリックすることが正解となります。次に、ブザー音が低音で、手がかり刺激の傾きを元に回答する場合には、手がかり刺激が課題の答えとなる上方向に傾いたサンプル刺激と色も同じである場合と、異なる場合の2パターン出現します。色の違いにとらわれず、傾きに着目して回答するため、両条件とも上の位置をクリックすることが正解となります。この例では、たまたま手がかり刺激の位置がサンプル刺激の位置と全く同じだったこととなります。5つの場所のどこにでも出てくる可能性がありますので、ご注意ください。

この様に、音声によって着目する特徴が変わります。音の高さを記憶しておかなければ、課題を正しく解くことができないので、注意してください。高音では色、低音では傾きに着目します。前半の課題と同様に、色のみ、傾きのみ、位置のみを覚えるのではなく、オブジェクトとして覚えて、課題に回答してください。サンプル刺激の出現から、回答までを1試行として、100試行を1ブロックとし、5分の休憩を3回挟みつつ、計4ブロック行っていただきます。

ここまでで何か質問はありますか？

注意事項の説明に移ります。前半実験と同様の内容になりますが、図形が表示される前には、必ず中央に表示される十字に目を向けるようにしてください。マウスはテーブルにおいた状態で、片手でクリックするようにしてください。なお、反応に制限時間はありませんが、反応時間は測定していますので、なるべく早く、正確に答えるようにしてください。回答をすると、すぐに次の課題が出現します。回答画面で止まらずに、次の試行に進んでください。なお、25回おきに「Please Click to Restart」と書かれた休憩画面が出てきますので、そこで一時休憩することができます。質問がなければ、後半実験の練習に進みたいと思います。(7へ)

7. 練習

～前半実験～

それでは、実験はあちらの暗室の方で行いますので移動をお願いします。

<暗室に移動してもらおう>

前半の実験に入る前に練習を行いたいと思います。実験では目の前のあご台に顔を固定した状態で行います。まず、椅子の高さをあご台に合うように調節してください。高さを調節したら、あご台にあごをのせ、マウスを押しやすい位置に置いてください。練習として9試行行いますので、ディスプレイに「Please click to start」という文章が提示されたら、画面の中央付近をクリックして開始してみてください。ここまでで何か質問はありますか？

それでは練習を開始しますので、暗幕をセットします。

準備をするのでしばらくお待ち下さい。

<暗幕をセットし、光漏れがないか確認する>

<PC:クリックをし、練習用プログラムを開始する>

お待たせしました。では、練習を始めます。好きなタイミングで始めてください。

以上で練習は終了ですが、実験について何か質問はありますか？(8へ)

(本番前に休憩を挟むか確認する、休憩で暗室から出る際は光漏れを確認する)

～後半実験～

それでは、後半の実験もあちらの暗室の方で行いますので移動をお願いします。

<暗室に移動してもらう>

後半の実験に入る前に練習を行いたいと思います。練習として10試行行いますので、「Please click to start」という文章が提示されたら、画面の中央付近クリックし開始してみてください。ここまでで何か質問はありますか？それでは練習を開始しますので、暗幕をセットします。準備をするのでしばらくお待ち下さい。

<暗幕をセットし、光漏れがないか確認する>

<PC:クリックをし、練習用プログラムを開始する>

お待たせしました。では、練習を始めます。好きなタイミングで始めてください。

以上で練習は終了ですが、実験について何か質問はありますか？(8へ)

(本番前に休憩を挟むか確認する、休憩で暗室から出る際は光漏れを確認する)

8. 本番前の説明&注意

～前半実験～

では、これから前半実験の本番を始めます。サンプル刺激提示から反応を行うまでを1試行とし、90試行からなるものを1ブロックとし、2ブロック行っていただきます。20試行毎に休憩画面が出てきますので、その間に暗室内で一時的に休むことができます。暗室から出られる休憩としてブロックとブロックの間に小休憩を5分取ることができます。繰り返しになりますが、正しく反応するだけでなく、できるだけ素早く反応するようにしてください。それでは、本番試行を始めます。準備をいたしますのでしばらくお待ち下さい。

<暗幕をセットし、光漏れがないか確認する>

<PC:クリックする→本番用プログラムが開始>

それでは、お好きなタイミングで始めてください。(9へ)

～後半実験～

では、これから後半実験の本番を始めます。サンプル刺激提示から反応を行うまでを1試行とし、100試行からなるものを1ブロックとし、4ブロック行っていただきます。1ブロック中の、25試行目、50試行目、75試行目に休憩画面が出てきますので、暗室内で一時的に休むことができます。暗室から出られる休憩としてブロックとブロックの間に小休憩を5分取ることができます。繰り返しになりますが、正しく反応するだけでなく、できるだけ素早く反応するようにしてください。また、高音は色、低音は傾きの特徴に着目して頂きますが、実験中にわからなくなってしまった場合は、お気軽に声をかけてください。ここまでで何か質問はありますか？それでは、本番試行を始めます。準備をいたしますのでしばらくお待ち下さい。<暗幕をセットし、光漏れがないか確認する>

<PC:クリックする→本番用プログラムが開始>

それでは、お好きなタイミングで始めてください。(9へ)

9. 本番中

～前半実験スタート～

1ブロック終了後

暗室から出て休憩にしてください。5分休憩を取った後に次のブロックを始めます。

<テーブルの位置確認>

～2ブロック終了後～(終わったら6へ)

以上で、前半実験を終了します。5分休憩をとった後に、後半の実験に移っていきます。

～後半実験スタート～

ブロック終了後

暗室から出て休憩にしてください。5分休憩を取っていただいた後に次のブロックを始めます。

<テーブルの位置確認>

～4ブロック終了後～

以上で、実験を終了となります。最後に「実験後アンケート」の質問にご回答ください。

10. 最後に

本日は実験に参加していただき、誠にありがとうございました。

謝金に関しては、後日振り込まれるので、ご確認ください。

11. 片付け

<「実験中」の掲示を回収する>

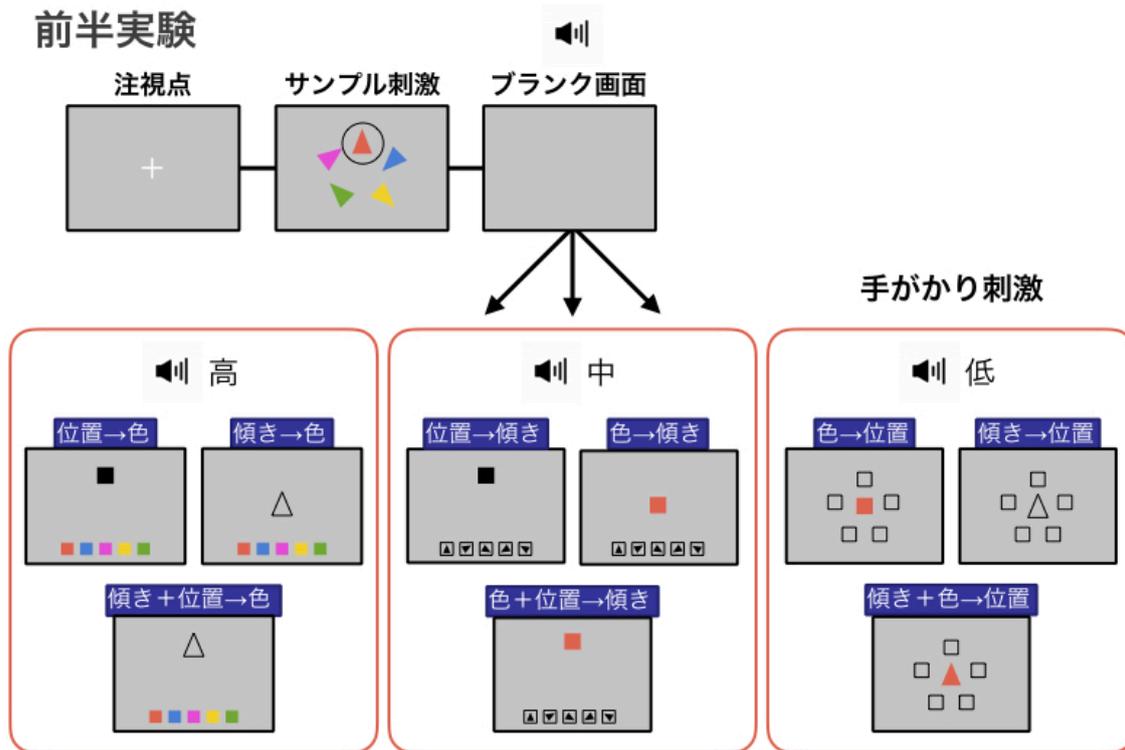
<「実験記録表」に終了時刻を記入する>

<ディスプレイの電源を落とす>

<「実験時間管理表」に実験実施時間と謝礼金支払額を記入する>

付録6:実験 2A, 2B の提示資料

前半実験



後半実験

