

人工カテゴリを用いた視覚探索に関する比較認知研究
2014年1月

千葉大学大学院融合科学研究科
情報科学専攻知能情報コース

大北 碧

(千葉大学審査学位論文)

人工カテゴリを用いた視覚探索に関する比較認知研究
2014年1月

千葉大学大学院融合科学研究科
情報科学専攻知能情報コース

大北 碧

要旨

ヒトと同様に視覚優位な鳥類であるハトに視覚探索課題を適用し、視覚的注意におけるカテゴリ化の効果について、人の顔の合成画からなる人工カテゴリを用いて検討した。訓練では、全てのカテゴリ事例で共通する顔画像（共通成分）と、事例ごとに異なる顔画像（事例特異的成分）を50%ずつもつ合成画を、カテゴリ事例として用いた。カテゴリ作成に使用しなかった顔画像を、非カテゴリ事例として用いた。研究1では、非カテゴリ事例（妨害刺激）の中からカテゴリ事例（標的刺激）を探すカテゴリ探索をハトに行った。テストでは、新しい事例特異的成分をもつ新しいカテゴリ事例や、共通成分合成率を0%～100%の数段階に変化した新しいカテゴリ事例を標的刺激として呈示した結果、カテゴリ事例の共通成分に由来する特性（共通成分特性）が注意を誘導することによって効率的なカテゴリ事例の探索を行うことが明らかになった。研究2では、実験経験のないハトを用いて、カテゴリ探索の標的刺激と妨害刺激を逆転させた、非カテゴリ探索を行った。非カテゴリ探索において、ハトが妨害刺激であるカテゴリ事例を学習し、共通成分特性をもたない標的刺激を探索する方略をとるならば、カテゴリ探索を行うハトよりも、探索の効率が低減すると予測されたが、逆の非対称性が確認された。また、非カテゴリ探索では、妨害刺激の共通成分合成率が探索に影響しないことなどから、ハトは非カテゴリ探索において、妨害刺激のカテゴリを学習していないことが示された。これらの

結果から、カテゴリ妨害刺激間の試行間類似性が極めて効率的な探索を促進すること（妨害刺激による文脈効果）が明らかになった。組織的に計画された一連の研究によって、視覚探索におけるカテゴリ化のトップダウン的効果が、ヒト以外の動物においても見られることが明らかになった。

1 研究の背景	7
1.1 研究 1 の背景概要	8
1.2 ヒトの視覚探索研究.....	10
1.3 ヒト以外の動物の視覚探索研究.....	25
1.4 カテゴリ探索.....	35
1.5 ヒト以外の動物のカテゴリ探索.....	55
1.6 研究 2 の背景	59
1.7 探索非対称性.....	60
2 研究 1	64
2.1 研究 1 の概要	65
2.2 実験 1	70
2.3 実験 2	93
2.4 実験 3	103
2.5 研究 1 の総合考察	115
2.6 研究 1 のまとめ	118
3 研究 2	119
3.1 研究 2 の概要	120
3.2 実験 4	124

3.3	実験 5	141
3.4	研究 2 の総合考察	156
3.5	研究 2 のまとめ	160
4	総合考察	162
4.1	研究 1 と研究 2 のまとめ	163
4.2	本研究の比較認知的意義	164
4.3	本研究の行動生態学的意義	165
4.4	研究のまとめ	167
5	文献	170

1 研究の背景

1.1 研究1の背景概要

我々の網膜には、絶えず外界からの入力がある。しかし、同時に処理できる容量には限界があるため、必要な情報を選択的に処理しなければならない。このような視覚情報を取捨選択する認知機能を視覚的注意（visual attention）という。例えば、日常生活において、本棚の中からある本を探すなど、視覚世界の様々な物体の中から、ある特定の物体や、物体の特徴に関する情報を選択的に処理することが求められる。こうした視覚情報の選択的処理は、必要な情報を効率的に処理するために不可欠な認知的機能である。このような視覚的注意の中でも、標的となる物体を探す時（Fig. 1, 左）の注意の特徴を解明しようとする試みが視覚探索研究である。視覚探索研究では、複数の刺激がディスプレイ上に呈示される。予め定められた特定の刺激（標的刺激）が標的刺激ではない刺激（妨害刺激）の中に存在するかの判断や、標的刺激を選択する課題を行う（例, Fig. 1, 右）。このような視覚探索課題を用いた視覚探索研究によって明らかになった、ヒトの視覚的注意の特性を 1.2 で紹介する。

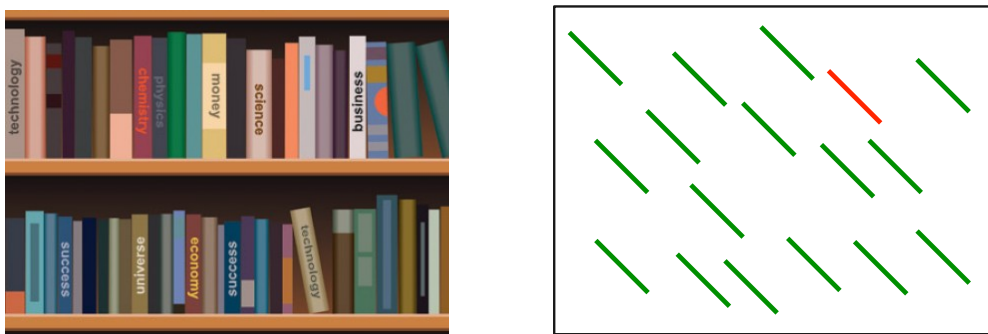


Fig. 1 (左)：日常場面でも頻繁に「もの」を探す（例、本棚の中から赤い本を探す）

(右)：視覚探索課題の一例。緑色の斜線の中から赤色の斜線を探す課題

また、ヒト以外の動物を被験体に用いた、視覚探索の比較認知研究も様々行われている。なぜ、ヒト以外の動物の視覚探索が検討されているのだろうか。視覚探索の比較認知研究には、2つの意義があると考えられる。1つめは、比較認知的な意義である。視覚的注意が、系統的発生史や生態学的環境が異なるヒトを含めた動物種間でどう異なるのか、また、動物種間で共通する視覚的注意の特徴があるのかを解明することを目的とする。2つめは、行動生態学的な意義である。動物が自然場面でどのように効率良く餌などを探索するのかを、刺激を統制した行動実験によって解明することを目的とする。そこで、1.3では、ヒト以外の動物を用いた視覚探索研究から明らかになった、ヒト以外の動物の視覚的注意の特徴を紹介する。

これまでの視覚探索研究では主に、ある「特定の物体」を探す課題が行われてきた（例、「赤色の斜線」を探す，Fig.1，右）。しかし、日常場面では、ある「特定の物体」を探すだけでなく、ある特定の「カテゴリ」を探索することが求められるだろう（Fig. 2）。

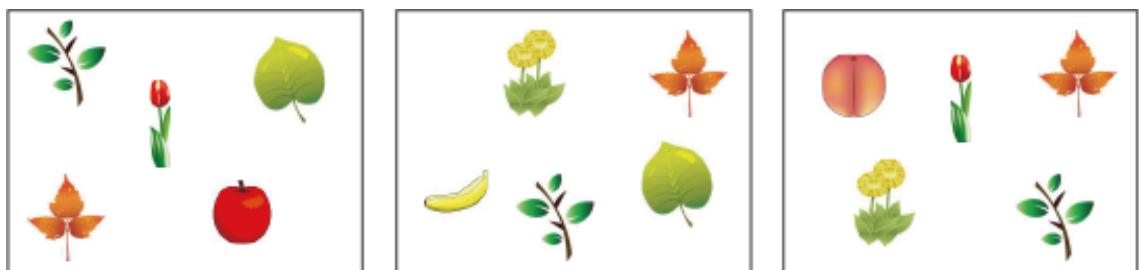


Fig. 2 日常場面では餌などの「カテゴリ」を探索することが求められる

上の3つの探索課題は「果物」カテゴリを探索する例である

例えば、「果物」を餌にする動物ならば、「リンゴ」だけ探索するのではなく、「バナナ」も「桃」も探索しなければならない。このような「カテゴリ」探索は、少数ながらもヒトでは検討されている。一方で、ヒト以外の動物ではこれまで検討されていなかった。そこで本研究では、ハトのカテゴリ探索を検討する。1章では、「カテゴリ」とはどのようなものなのか紹介する(1.4.1)。また、これまでに行われているヒトのカテゴリ探索研究を紹介する(1.4.3)。

1.2 ヒトの視覚探索研究

このセクションでは、ヒトの視覚探索研究によって明らかになっている、ヒトの視覚探索の現象を紹介する。また、それらの現象から考察される、ヒトの視覚的注意の特徴も併せて紹介する。

1.2.1 特徴探索と結合探索

ヒトの視覚探索における重要な現象の一つに、“ポップ・アウト”とよばれる現象がある。標的刺激が「飛びでて」見えるような現象であり、非常に効率良く標的刺激を見つけることができる。

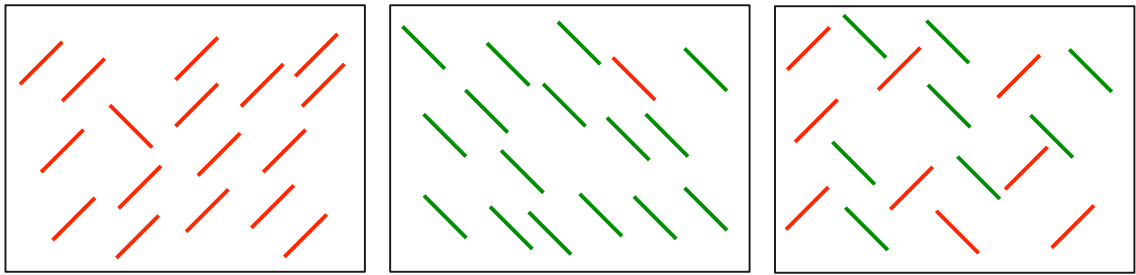


Fig. 3 (左・中央)：特徴探索の一例

(右)：結合探索の一例

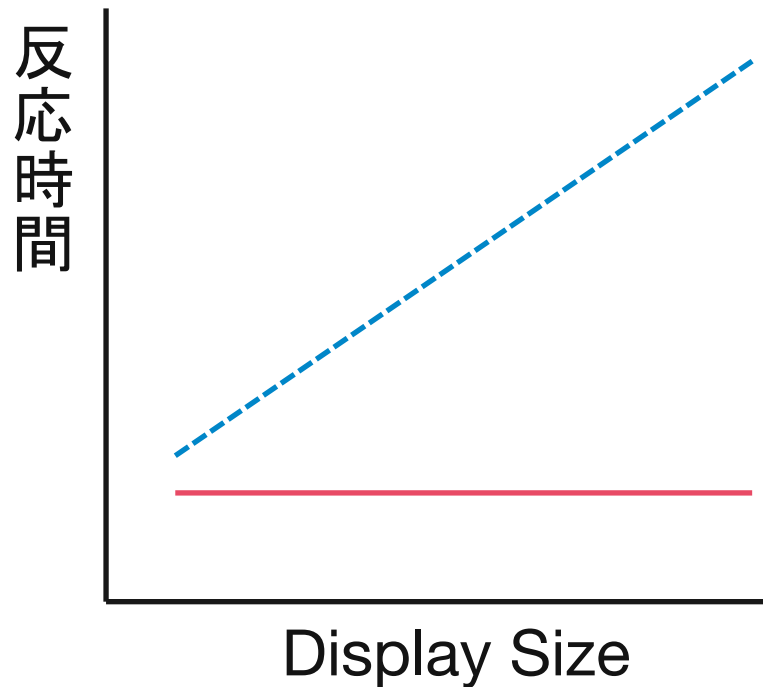


Fig. 4 妨害刺激数に依存しない探索（赤実線）と、

妨害刺激数に依存した探索（青破線）

Display Size は探索画面上に呈示された刺激の総数（標的刺激+妨害刺激数）である

例えば， Fig. 3 の 3 つの探索課題における標的刺激は，どれも「左上がりの赤斜線」である。 Fig. 3 の左と中央の探索課題では，標的刺激である「左上がり

の赤斜線」が「ポップ・アウトして（飛び出て）」見えることにより、すぐに見つけることができるだろう。一方、右の探索課題では、標的刺激である「左上がりの赤斜線」を探すのは難しい。Fig. 3（左）や Fig. 3（中央）のように、単一次元の特性によって標的刺激と妨害刺激を区別することができる探索は特徴探索と呼ばれる（Treisman & Gelade, 1980）。例えば、Fig. 3（左）は「傾き」、Fig. 3（中央）は「色」によって標的刺激と妨害刺激を区別することができる。特徴探索は妨害刺激数に依存しない、非常に効率良い探索になると考えられた（Fig. 4, 赤実線）。一方、Fig. 3（右）のように複数の特性次元の特性を組み合わせなければ標的刺激と妨害刺激を区別することができない探索は、結合探索と呼ばれる。例えば、Fig. 4（右）は「傾き」もしくは「色」だけでは、標的刺激と妨害刺激を区別することができず、「傾き」の特性（左斜線）と「色」の特性（赤）を組み合わせることによって、標的刺激と妨害刺激を区別することができる。結合探索は、妨害刺激の増加に従って反応時間が増加する、効率が悪い探索になると考えられた（Fig. 4, 青破線）。

それではなぜ、特徴探索と結合探索の探索効率に違いが生じるのだろうか。

Treisman & Gelade (1980)は、特徴統合理論（Feature Integration Theory）によって説明した（Fig. 5）。この理論では、注意を必要としない前注意的な処理過程（並列処理）と、注意を必要とする処理過程（逐次処理）が仮定されている。視覚探索が行われるとき、最初に探索画面内の各刺激について、形、色など複数の特性が独立して並列的に処理され、それら特性ごとのマップ（特徴マップ）が形成

される。逐次処理では、並列処理で形成された特性の結合がマスターマップ上で行われる。逐次処理で行われる特性の結合には、注意システムが必要であると考えられている。注意は特性同士を空間的に結合させる糊のようなものであり、個々の刺激に注意を逐次的に向けていくことで探索が遂行されると仮定されている。

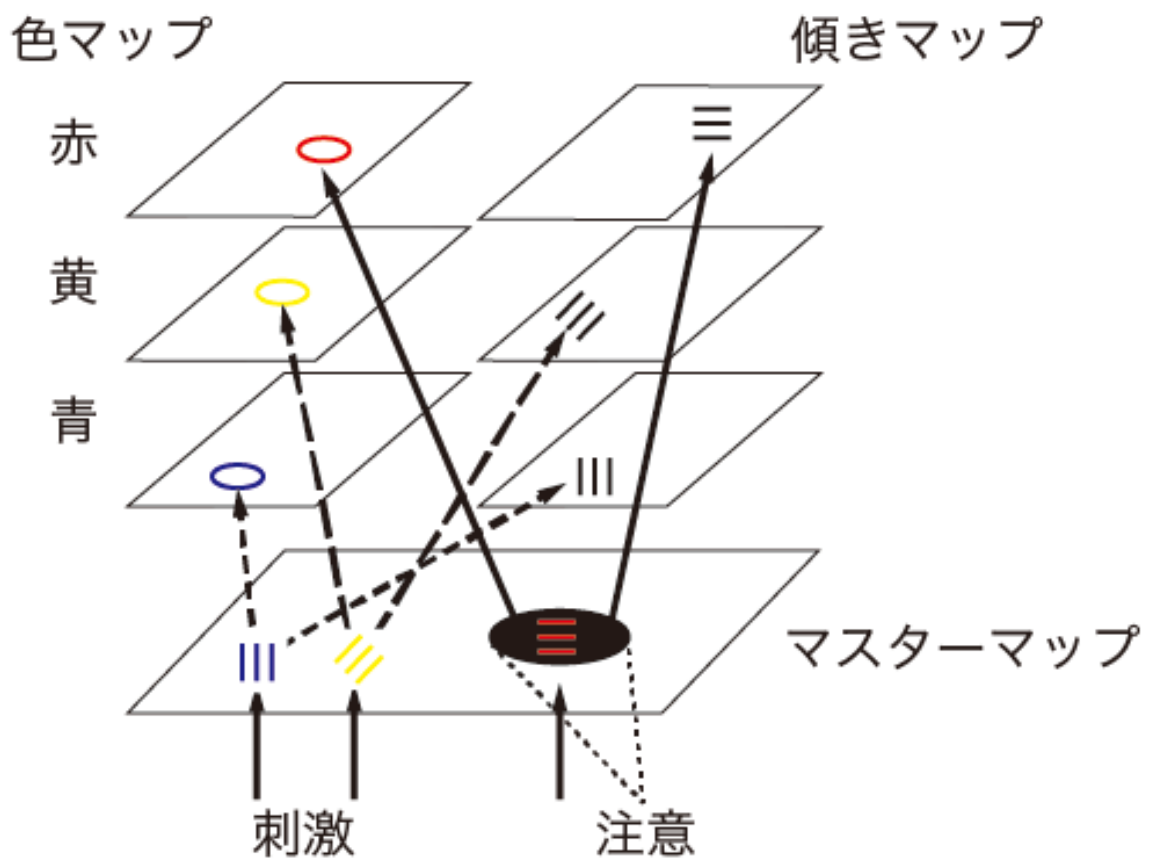


Fig. 5 特徴統合理論 (Treisman & Gelade, 1980 をもとに作成)

特徴統合理論によると、標的刺激と妨害刺激が単一次元の特性によって区別される特徴探索（例，Fig. 3，左・中央）では，前注意的な並列処理過程において，一つの次元の特性マップを探索すればよいので，ポップ・アウトが生じる非常に効率の良い探索になると考えられている。Fig. 3（左）は，標的刺激は「左上がり」赤斜線，妨害刺激は「右上がり」赤斜線なので「傾き」によって区別することができる。従って，「傾き」の特性マップのみを探索すればよいので，効率の良い探索になる。また，Fig. 3（中央）は，標的刺激は左上がり「赤」斜線，妨害刺激左上がり「緑」斜線なので「色」によって区別することができる。従って，「色」の特性マップのみを探索すればよいので効率の良い探索になる。一方，標的刺激と妨害刺激を，複数次元の特性を組み合わせなければ区別できない結合探索（例，Fig. 3，右）では，逐次処理段階で注意を向けて特性の統合をしなければならないため，効率の悪い探索になると考えられている。Fig. 3（右）では，標的刺激は「左上がり」「赤」斜線，妨害刺激は「左上がり」「緑」斜線と「右あがり」「緑」斜線なので「傾き」だけ，「色」だけでは区別することができない。逐次処理において，個々の刺激に注意をむけ特性を統合しなければ，標的刺激を探ることができない。また，Display Sizeが増えれば（妨害刺激数が増えれば），注意を向け特性を結合しなければならない対象が増えてしまう。そのため，Display Sizeの増加にともなって，反応時間も線形的に増加すると考えられた。

1.2.2 妨害刺激の斉一性

Treisman & Gelade (1980)が提案した特徴統合理論は、特徴探索と結合探索の探索効率の違いや探索非対称性 (Treisman & Gormican, 1988, 1.7.1 で詳細に説明) といった視覚探索における様々な現象の説明を可能にし、視覚探索研究において非常に大きな影響力をもった。しかし、特徴統合理論では単一次元 (例, Fig. 3, 左なら「傾き」次元) の特性だけで標的刺激と妨害刺激を区別できるか否かが、探索効率を決定するとしているが、それだけでは説明できない現象がある。その現象の一つが、妨害刺激の斉一性が探索効率に影響を及ぼす現象である (e.g., Duncan & Humphreys, 1989)。

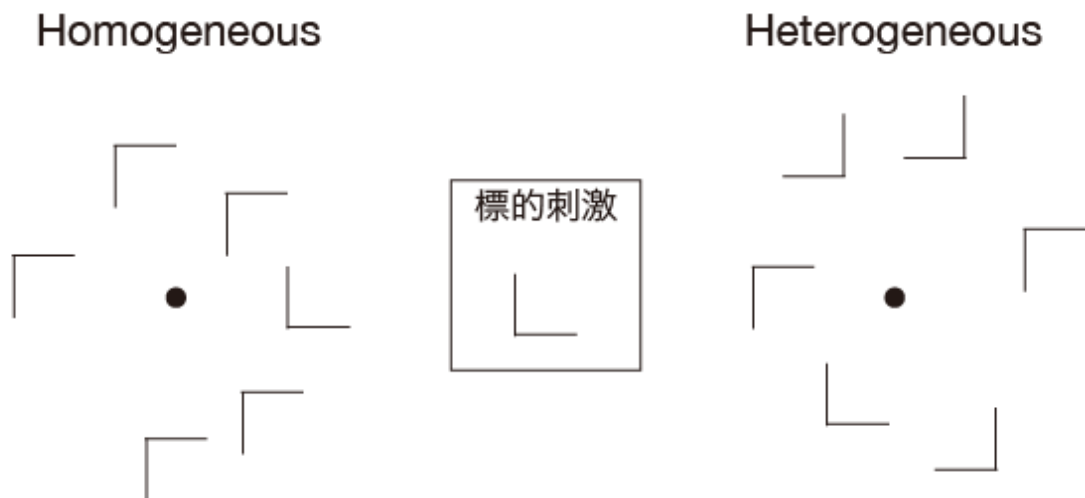


Fig. 6

左の探索課題も右の探索課題, どちらも標的刺激は「L」である。しかし、妨害刺激が全て同じ斉一条件 (Homogeneous) の方が非斉一条件 (Heterogeneous) よりも効率良く標的刺激を見つけられる (Duncan & Humphreys, 1989 をもとに作成)

Fig. 6 の左の探索課題と右の探索課題は、どちらも標的刺激は「L」である。また、両探索課題ともに、「L」を構成する垂直線分と水平線分の配置を変えた刺激を妨害刺激として用いている。しかし、左の探索課題では、探索画面上の妨害刺激が全て同じである（斉一条件；Homogeneous 条件）が、右の探索課題では、探索画面上の妨害刺激が異なる（非斉一条件；Heterogeneous 条件）といった違いがある。このような妨害刺激の斉一性が異なる、2つの探索課題を行った場合、Homogeneous 条件の方が、Heterogeneous 条件より探索の効率が良くなることが明らかになっている。この結果は、特徴統合理論では説明することができない。なぜならば、Homogeneous 条件も Heterogeneous 条件も、妨害刺激を構成している特性が、標的刺激と同じ「垂直線分」と「水平線分」だからである。特徴統合理論では、複数の特性を組み合わせなければ区別できない探索課題は効率の悪い結合探索になると予測されるため、Homogeneous 条件も Heterogeneous 条件も、同じくらい効率の悪い探索になると考えられるが、結果は、Homogeneous 条件の方が Heterogeneous 条件よりも探索効率が良かった。そこで Duncan & Humphreys (1989)は、この結果を説明するために、Attentional Engagement 理論を提唱した。Attentional Engagement 理論では、標的刺激と妨害刺激の類似性（標的刺激-妨害刺激類似性）と妨害刺激同士の類似性（妨害刺激-妨害刺激類似性）が探索効率を決定すると考えられている。Fig. 7 に Attentional Engagement 理論から予測される探索効率を示した。特徴は以下の4点にまとめられる。

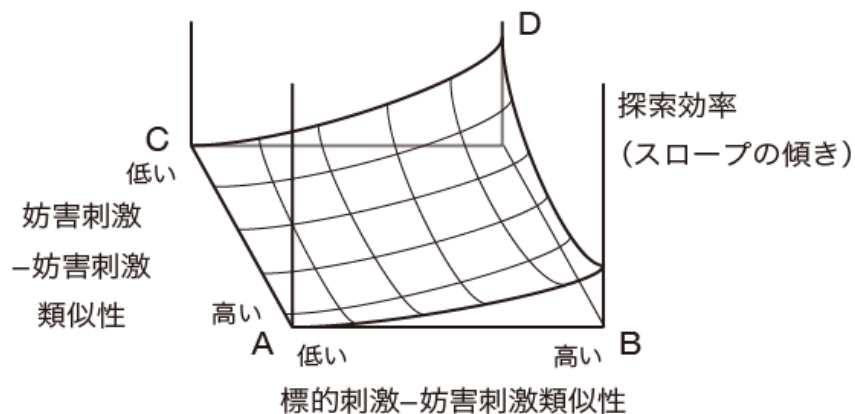


Fig. 7 Attentional Engagement 理論から予測される探索効率

縦軸は探索効率を示しており、縦軸の値が大きいほど探索効率が悪い

(Duncan & Humphreys, 1989 をもとに作成)

1. 標的刺激と妨害刺激の類似性が低いとき、妨害刺激の斉一性にかかわらず探索効率は良くなる。(Fig. 7 AC 間)
2. 標的刺激と妨害刺激の類似性が増しても、妨害刺激が斉一の時には、探索効率は少ししか悪くならない。(Fig. 7 AB 間)
3. 標的刺激と妨害刺激の類似性が高く、妨害刺激同士の類似性が低いとき、探索効率は最も悪くなる。(Fig. 7 D)
4. 上記3つの極端な場合の間では、探索効率は連続的に変化する。

それではどのような認知メカニズムが、Attentional Engagement 理論において仮定されているのだろうか。Attentional Engagement 理論では、“心的標的刺激テンプレートの形成”と“知覚的体制化”が考えられている。まず、“心的標的刺激テンプレートの形成”から説明する。探索者（被験者）は、最も「標的刺激らしく」

なるような心的なテンプレートを形成するとされている。標的刺激が常に一つの場合は、その刺激が心的標的刺激テンプレートになる。もし、複数の刺激が標的刺激になる場合は、複数の標的刺激との類似性の総和が最も高くなるような、心的標的刺激テンプレートが形成される。探索画面内において、この心的標的刺激テンプレートとの類似性が高い刺激ほど重み付けが多くなされる。重み付けがより多くされた刺激ほど、注意を誘導する刺激になると考えられている。従って、標的刺激と妨害刺激の類似性が低いときは、標的刺激にのみ重み付けがなされると考えられる。標的刺激に一番重み付けがなされることで、標的刺激に注意が誘導されるため、標的刺激と妨害刺激の類似性が低いときは、妨害刺激数に依存しない効率の良い探索になると考えられる。一方、標的刺激と妨害刺激の類似性が高いときは、妨害刺激にも重み付けがなされてしまうため、妨害刺激にも注意が誘導されてしまう。そのため、妨害刺激数に依存した効率の悪い探索になると考えられる。次に、視覚探索における“知覚的体制化”がどのように、探索効率に影響するのか説明する。妨害刺激同士の類似性が高いとき、妨害刺激同士が体制化（grouping）される。妨害刺激同士が体制化されたとき、ある一つの妨害刺激に対して負の重み付けがなされたならば、その負の重み付けは他の妨害刺激にも拡散する。妨害刺激へ負の重み付けがなされると、相対的に標的刺激への重み付けが一番なされることになる。一番重み付けがなされた標的刺激に注意が誘導されるため、効率の良い探索になると仮定されている。一方、妨害刺激同士が類似していない場合は、負の重み付けは妨害

刺激間で拡散しない。そのため、負の重み付けがなされていない妨害刺激がでてきてしまう。その場合、妨害刺激にも注意が誘導される可能性が高くなるため、効率の悪い探索になると考えられた。このような、“心的標的刺激テンプレート形成”と“知覚的体制化”といった認知メカニズムが、標的刺激-妨害刺激類似性、妨害刺激-妨害刺激類似性による探索効率の違いを生み出すと Attentional Engagement 理論では考えられた。

1.2.3 ボトムアップ的要因とトップダウン的要因による注意の制御

標的刺激と妨害刺激の類似性や、妨害刺激の斉一性といった、標的刺激と妨害刺激の特性量の差(ボトムアップ的要因)が、探索効率を決定することを 1.2.1, 1.2.2 では紹介した。しかしまた、ボトムアップ的要因だけではなく、標的刺激に関する知識を探索者がもつこと(トップダウン的要因)によっても探索効率が変わることが明らかになっている(e.g., Wolfe et al., 2004)。Wolfe et al. (2004) は、標的刺激は何かを知らせるキュー(例, Fig. 8; 「垂直」「赤」線)を、結合探索の探索画面(例, Fig. 8; 「垂直」「赤」線の標的刺激を「水平」「赤」線と「垂直」「緑」線の妨害刺激の中から探索)に先行して呈示したとき、キューを呈示しないときと比較して効率的な探索になることを明らかにした(Fig. 8)。標的刺激に関する知識を被験者が探索画面に先行してもつことで(トップダウン的要因)、探索効率が増加したと考えられる。

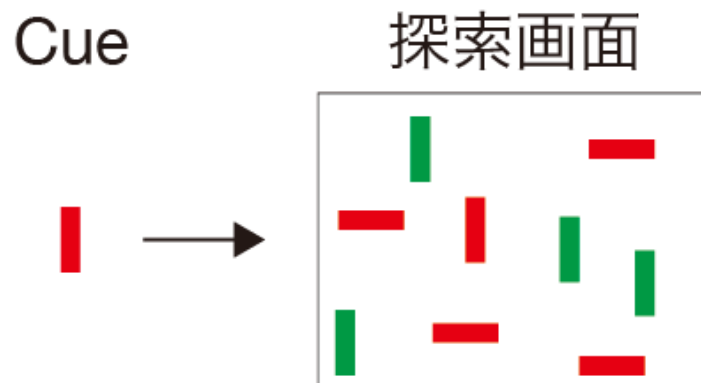


Fig. 8 探索画面に先行して標的刺激を知らせる Cue を呈示すると

探索の効率が良くなる

(Wolfe et al., 2004 をもとに作成)

このようなトップダウン的要因による探索の効率の違いを説明するために、Wolfe は誘導探索理論 (Guided Search model, Fig. 9) を提唱した (e.g., Wolfe, 1994, 2006)。

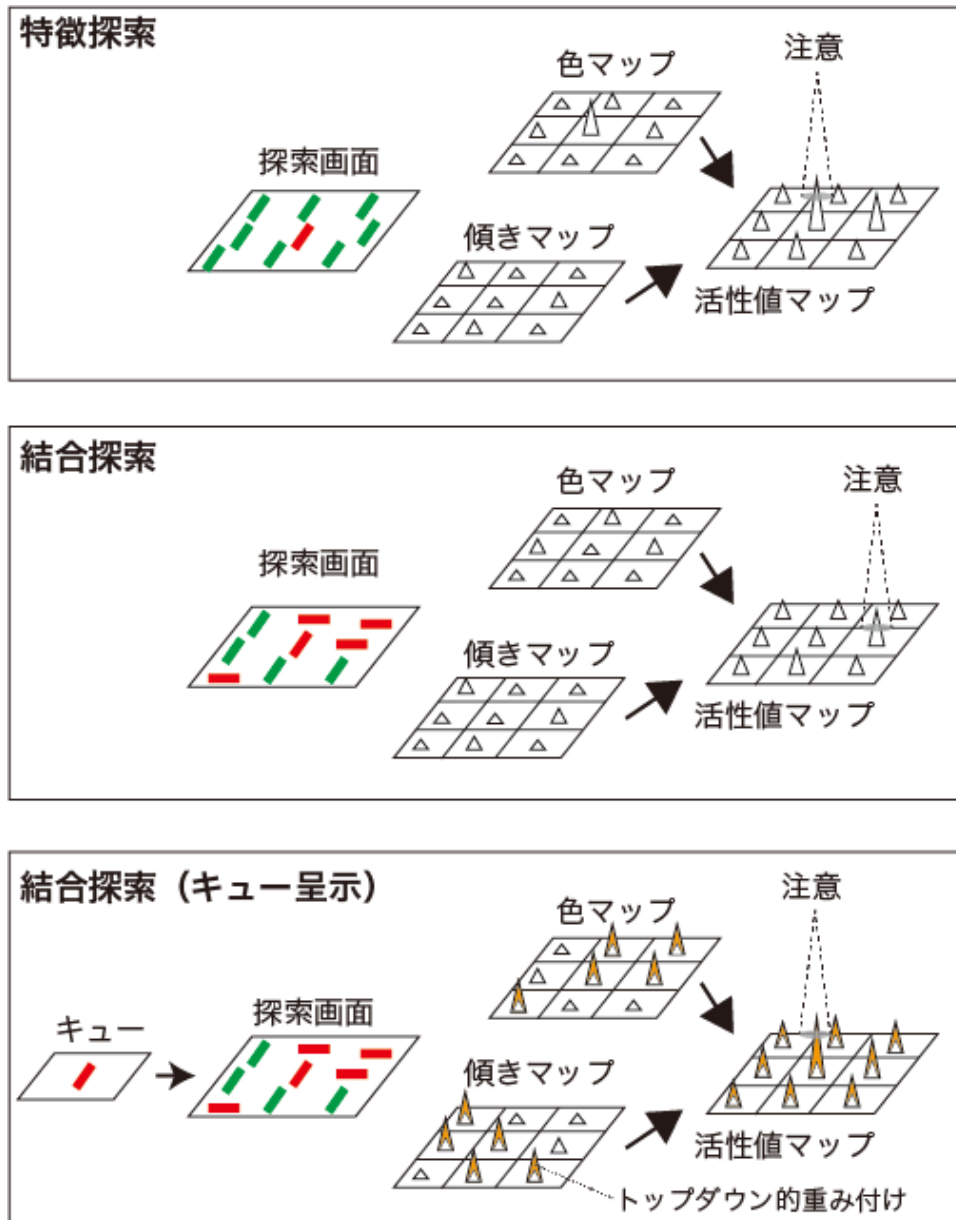


Fig. 9 誘導探索理論

各特徴次元においてボトムアップ的な顕著性が決定された後,

トップダウン的な重み付けがなされ活性値が決定する

(Wolfe et al., 1994, 2006 をもとに作成)

誘導探索理論では、特徴統合理論と同様に、並列処理と逐次処理が仮定されている。まず並列処理において、特性マップが形成された後、特性次元（例、「色」）ごとに顕著性が決定される。他の刺激と異なる特性をもつほど顕著性が高くなる。標的刺激に関する特性の知識を探索画面に先行してもつとき（例、Fig. 8；標的刺激は「垂直」で「赤」）、特性次元ごとに標的刺激の特性をもつ刺激の顕著性に対してトップダウン的な重み付けがなされる。トップダウン的要因によって重み付けがなされた顕著性を活性値と呼ぶ。次に、特性次元全て（例、「色」と「傾き」）の活性値の総和が、各刺激の活性値として算出される。逐次処理では、並列処理で決定された活性値が高い刺激から注意が向けられる。特徴探索（Fig. 9, 上）では、標的刺激（「赤」）が最も他の刺激（妨害刺激：「緑」）と異なる特性をもつため標的刺激のボトムアップ的な顕著性が妨害刺激と比べて高くなり、活性値も妨害刺激と比べて高くなる。標的刺激の活性値が一番高く、標的刺激に最初に注意が向くため、妨害刺激数に依存しない効率の良い探索になると考えられる。結合探索（Fig. 9, 中央・下）では、標的刺激のボトムアップ的な顕著性は妨害刺激と差はない。従って、トップダウン的な重み付けがない場合（Fig. 9, 中央）、標的刺激と妨害刺激の活性値に差はない。しかし標的刺激に関する知識をもち、トップダウン的な重み付けがある場合（Fig. 9, 下）、標的刺激への重み付けが最もなされるため、標的刺激の活性値は妨害刺激と比べて高くなる。活性値が一番高い標的刺激に最初に注意が向くため、効率の良い探索になると考えられる。このように誘導探索理論では、標的刺激の顕著性

といったボトムアップ的な要因と、標的刺激の知識といったトップダウン的な要因によって探索の効率が決定されると考えられた。

1.2.4 プライミング効果 (priming effect)

1.2.3 で紹介した、標的刺激を知らせるキューを呈示することで、探索の効率が良くなる現象は「プライミング効果」と呼ばれる。先行刺激の処理が後続刺激の処理を促進、もしくは抑制するプライミング効果は、Posner & Snyder (1975) の研究以降、視覚的注意の研究分野における重要な現象の 1 つとして数多く研究されている。視覚探索研究でもプライミング効果は数多く研究されており、手がかりプライミング課題 (1.2.3 で紹介, 例, Fig. 8) と系列プライミング課題を用いて検討されている。

系列プライミング課題では、繰り返し同じ標的刺激が呈示される条件 (ブロック条件) と、試行間で異なる標的刺激が呈示される条件 (ミックス条件) を行う。これら 2 つの条件で実験を行った場合、ブロック条件の方がミックス条件よりも探索の効率が良くなることが明らかになっている (e.g., Maljkovic & Nakayama, 1994; Hillstrom, 2000)。それでは、どのような認知メカニズムによって、系列プライミング課題においてプライミング効果が生じているのだろうか。2 つの認知メカニズムが考えられる。1 つ目は、手がかりプライミングと同様、トップダウン的要因による探索の促進が考えられる。繰り返し同じ標的刺激が呈示されるブロック条件では、標的刺激を予期することができるが、ミックス

条件では標的刺激を予期することができない。ブロック条件では、探索画面に先行して標的刺激を予期することができる（標的刺激に関する知識をもつ；トップダウン的要因）ため、標的刺激に注意が誘導されることで効率的な探索になると考えられた（e.g., Bravo & Nakayama, 1992）。2つ目は、ボトムアップ的な要因による探索の促進である。Mljkovic & Nakayama (1994)は、系列プライミングは被験者が標的刺激の繰り返しに気づかない場合も生じることや、数試行でプライミング効果が消失することから、トップダウン的要因以前の知覚レベル（ボトムアップ的要因）でも生じると考えた。Mljkovic & Nakayama は、標的刺激の特性が短期記憶内に符号化され、保持されると考えた。短期記憶に符号化され保持された特性と探索画面上の標的刺激の特性が一致する場合、標的刺激の顕著性が高くなり、標的刺激に注意が誘導されるとした。従って、先行する試行と同様の標的刺激が呈示される条件では、標的刺激の顕著性が高くなり、探索が効率的になると考えられた。以上のように、系列プライミングでは、トップダウン的要因だけでなく、ボトムアップ的要因によって、プライミング効果が生じると考えられた。

1.2.5 ヒトの視覚探索研究のまとめ

標的刺激と妨害刺激の類似性や、妨害刺激の斉一性といった、標的刺激と妨害刺激の特性量の差（ボトムアップ的要因）と、標的刺激に関する知識を探索者がもつこと（トップダウン的要因）によって、ヒトの探索効率は変化するこ

とが明らかになっている。このような視覚的注意の特徴は、ヒトだけに見られる特性なのだろうか。それとも、ヒト以外の動物でも見られる、視覚的注意の特徴なのだろうか。次のセクションでは、ヒト以外の動物を用いた視覚探索研究を紹介する。

1.3 ヒト以外の動物の視覚探索研究

このセクションでは、ヒト以外の動物を用いた視覚探索研究を紹介する。ヒト以外の動物を用いた視覚探索研究は、比較認知的な意義と行動生態学的な意義があると考えられる。そこで、まず 1.3.1 では、ヒト以外の動物を用いた比較認知的な視覚探索研究を紹介する。次に、1.3.2 では、行動生態学的な、ヒト以外の動物の探索行動研究を紹介する。

1.3.1 ヒト以外の動物の比較認知的な視覚探索研究

ヒト以外の動物を用いた視覚探索研究の、比較認知的な意義を説明する前に、比較認知研究について説明する。次に、ヒト以外の動物を用いた視覚探索研究を紹介し、ヒト以外の動物を用いた視覚探索研究の比較認知的な意義を説明する。

1.3.1.1 比較認知研究とは

心理学の領域の一つに、比較認知と呼ばれる研究領域がある。比較認知研究では、実験的行動分析によって、ヒトを含めた複数の動物種の認知機能を明らかにし、複数の動物種の認知機能を「比較」することによって、系統発生史や生態学的環境が異なる動物種で、共通する認知機能はあるのか、また種特有の認知機能があるのかを解明する。例えば、ヒトとヒト以外の動物がもつ認知機能を比較することによって、ヒトがもつ認知機能が、ヒト特有のものなのか、複数の動物種が共通してもつ認知機能なのか明らかにすることができるのである。

比較認知研究では、様々な動物種を用いた研究がなされているが、その中でも、ハトを用いた研究が多くなされている。それではなぜ、ハトを用いた比較認知研究が行われているのだろうか。

まず、ヒト（哺乳類）とハト（鳥類）の進化の歴史を説明する。哺乳類も鳥類も爬虫類から分岐したと考えられている。しかし、その分岐した時期は両類で異なる。哺乳類の方が爬虫類との分岐が早く、中生代の初期頃（2億5100万年前～2億年前）と考えられている。一方鳥類が爬虫類から分岐したのは、未だに明確にはなっていないが、恐竜としての特徴（歯や長い尻尾など）と鳥類としての特徴（羽毛）の両方を併せ持つ始祖鳥が存在していたのが、中生代のジュラ紀後期（1億6000万～1億4000万年前）と言われている。このように、哺乳類と鳥類は共通の進化の道筋を辿ったのち、遠い昔に異なる進化の道を歩み始めた種、つまり系統発生的に遠縁の種であるといえる（中村, 2013）。

また、ヒトとハトの生態学的環境(例, 移動様式)も大きく異なる(中村, 2013)。例えば移動様式に関して、ヒトは地上を歩いたり走ったりといった水平方向の運動をするのに対し、ハトは飛ぶことで垂直方向の移動も加わる。このようにヒトとハトは、系統発生的に遠縁の種であるだけでなく、生態学的環境も異なる種といえる。

このように、遠い昔に異なる進化の道を歩み始め、生態学的環境も異なるヒトとハトだが、共通点がある。それは、「視覚優位」な動物であるということである。ヒト及び鳥類であるハトの認知機能は視覚に依るところが大きい。従って、視覚優位な動物であるヒトと比較する上で、視覚優位なハトは適した動物種であるといえる¹。

それでは、なぜ鳥類の中でもハトなのだろうか。ハトを被験体として用いる理由として、ハトは鳥類の中でも、実験室的な行動的研究で古くから用いられ

¹ 系統発生的に遠縁の種であるヒトとハトの脳構造には違いが見られる(中村, 2013)。脊椎動物の脳は「前脳(大脳・間脳)」「中脳」「後脳」に分かれるが、哺乳類・鳥類ともに大脳が大きく発達している。ただし、鳥類は中脳もかなり大きいものに対して、哺乳類の中脳は小さい。本来、視覚処理は主に中脳が担っており、鳥類は進化の過程で中脳を発達させることで、優れた視覚機能を獲得してきた。一方で哺乳類の祖先は、恐竜が反映していた時代に彼らとの競合を避けるため、夜行性の道を歩んだと考えられている。その際、視覚に関わる中脳が退化したと考えられる。その後、昼行性の生活に戻った霊長類は、本来視ることを担っていた中脳ではなく、前脳の一部である間脳(視床)を視覚経路として発達させることにより、優れた視覚機能を獲得したとされる。鳥類・霊長類ともに視覚情報処理には2つの経路があるが、鳥類では中脳(視蓋)を解する経路(網膜→視蓋(中脳)→視床(間脳)→大脳)が主要なものであるのに対し、霊長類では中脳(上丘)を介さない経路(網膜→視床(間脳)→大脳)が主要なものになっている。また、大脳の構造にも両者で違いがみられる。大脳は、外側にある外套と内側にある基底核という2つの大きな構造に分けられるが、哺乳類(霊長類)の外套は細胞が積み重なった層構造(皮質)であるのに対し、鳥類の外套は細胞のかたまりからなる核構造となっている。ヒトも鳥類もともに優れた視覚機能をもつが、それを実現している脳神経構造には違いがある。

ている動物であり、その認知機能がよく知られていることが挙げられる。例えば D.Blough (1982, 1985)は、ハトにおけるアルファベット文字の弁別に関する研究を行い、ヒトと類似した傾向があることを明らかにした。D. Blough は、2種類のア​​ルファベットを計3つ呈示した。つまり、3つのうち1つだけ異なるアルファベットの文字があり、それに反応すると正答とした。このような方法でアルファベット文字の組み合わせ全てをハトにテストした。正答率のクラスター分析を行ったところヒトと類似した傾向が見られ、ヒトとハトで類似した形状の認知が見られることが明らかになった。一方、ハトとヒトで大きな違いが生じる例として、Navon 型の階層図形を用いた研究がある。例えば、小さい「S」によって大きい「H」という文字が形成されているとき、多くのヒトはそれを「H」の文字があると認識する。一方、ハトは「S」の文字があると認識する。このようにヒトは全体に選択的注意をむける傾向があり、ハトは部分に選択的注意をむける傾向があることが知られている（関口・牛谷・実森, 2011）。

まとめると、ハトを比較認知研究で用いる意義は以下の通りである。もしヒトとハトの、認知機能の類似点を明らかにすることができれば、系統発生的にも遠縁の種であり、また生態学的環境が異なる両種どちらにとっても、適応的意義がある認知機能であるということができよう。また、非常に異なる進化を遂げてきた両種の認知機能に類似点があるということは、多くの動物種がもつ認知機能であると推測することができる。一方、もし、両種の認知機能の相違点を明らかにすることができれば、系統発生的制約もしくは生態学的制約

がどのように認知機能に寄与しているのか推測することができるだろう。

1.3.1.2 視覚探索の比較認知的研究

本研究では、ヒトと系統発生的にも遠縁の種であり、生態学的環境も異なる動物種の視覚的注意を検討するため、ヒトと同様に視覚優位なハトを被験体とした視覚探索研究を行っている。そこで、これまでに行われているハトの視覚探索研究を紹介する。

1.3.1.3 ハトの視覚探索における標的刺激と妨害刺激の類似性の効果および

妨害刺激の斉一性の効果

P. Blough (1984)は、アルファベットを用いた視覚探索課題をハトに行った (Fig. 10)。

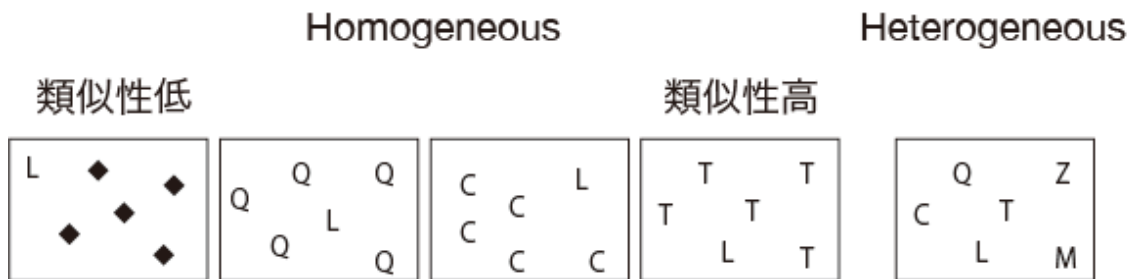


Fig. 10

ハトの視覚探索における標的刺激と妨害刺激の類似性の効果と

妨害刺激の斉一性の効果の検討 (P.Blough, 1984 をもとに作成)

標的刺激は、全ての探索課題で「L」であった。妨害刺激の斉一性が探索効率に影響を与えるか検討するため、探索画面上の妨害刺激が全て同じ Homogeneous 試行と、全て異なる Heterogeneous 試行で実験を行った。また、標的刺激と妨害刺激の類似性が探索効率に影響を与えるか検討するため、Homogeneous 試行において、標的刺激（「L」）と妨害刺激の類似性を、4段階に変化させた。標的刺激と妨害刺激のアルファベットの類似性は、D.Blough (1982) が行ったハトのアルファベットの類似性判断の結果に基づいて決定された。結果は、標的刺激と妨害刺激の類似性が高くなるほど、探索効率が悪くなることが明らかになった。このことから、ハトの視覚探索においても標的刺激と妨害刺激の類似性が探索効率に影響を与えることが明らかになった (D. Blough, 1988, D. Blough & Franklin, 1985)。また、標的刺激と妨害刺激の類似性が低い Homogeneous 試行 (Fig. 10 の左三つの探索課題) よりも、Heterogeneous 試行の方が探索効率は悪くなった。このことから、妨害刺激の類似性 (斉一性) も探索効率に影響を与えることが明らかになった。これらの結果から、ヒトと同様に、ハトにおいても、標的刺激と妨害刺激の類似性や妨害刺激の斉一性 (ボトムアップ的要因) が探索効率に影響することが示され、ヒトとハトが類似した視覚的注意の特徴をもつことが示唆された。

1.3.1.4 ハトの視覚探索におけるプライミング効果

手がかりプライミング課題と系列プライミング課題を用いて、ハトの視覚探索におけるプライミング効果が検討されている。

まず、手がかりプライミング課題を用いて行われたハトのプライミング効果研究を紹介する。P. Blough (1989)は、Fig. 11 のようなアルファベットを用いた視覚探索課題を行った。

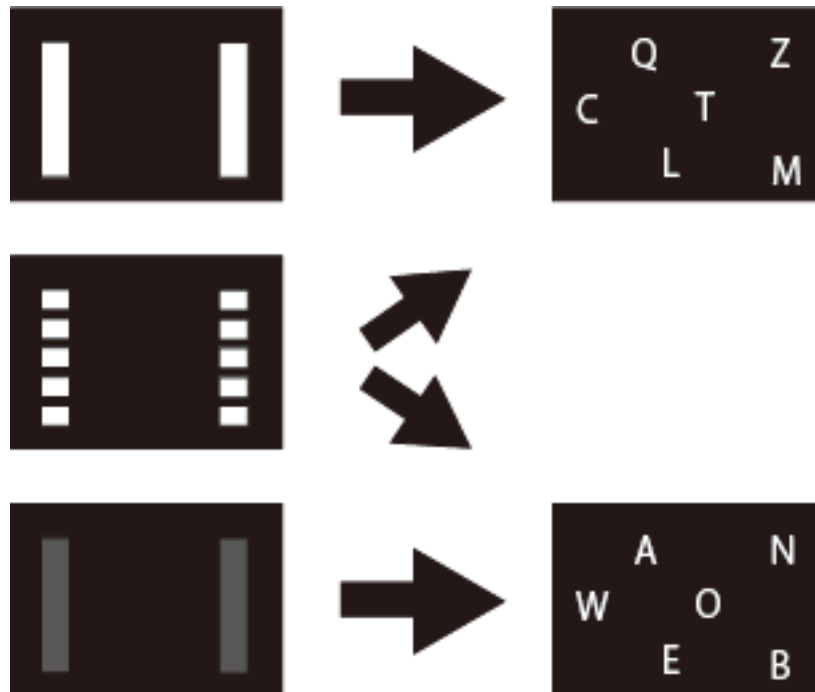


Fig. 11 ハトに行った手がかりプライミング課題 (P.Blough, 1989 をもとに作成)

標的刺激にはアルファベットの「A」と「L」、妨害刺激にはそれ以外のアルファベットを用いた。探索画面に先行してプライム刺激を呈示した。プライム刺激は「明るい白色の長方形」、「暗い灰色の長方形」、「ストライプ柄の長方形」の3種類であった。「白色の長方形」が呈示されると必ず標的刺激として「A」が、「暗い灰色の長方形」が呈示されると標的刺激として「L」が呈示された（プライム条件）。「ストライプ柄の長方形」が呈示されると「A」と「L」が50%ずつ標的刺激として呈示された（ニュートラル条件）。プライム条件とニュートラル条件、どちらの条件も十分に訓練（Display Sizeは固定）を行った後、テストではDisplay Sizeを変化させた探索課題を行った。テストにおける、プライム条件とニュートラル条件の探索時間を比較したところ、プライム条件の方がニュートラル条件よりも探索時間は短くなった。訓練を通して、「白い長方形」が呈示されたならば、標的刺激「A」が、「暗い灰色の長方形」が呈示されたならば、標的刺激「L」が呈示されることをハトは学習したと考えられる。プライム条件では、探索画面に先行して標的刺激を予期すること（トップダウン的要因）ができるが、ニュートラル条件では、探索画面に先行して標的刺激を予期することができないため、プライム条件の方がニュートラル条件よりも探索時間が短くなったと考えられる。この結果から、ハトにおいてもヒトと同様に手がかりプライミング課題においてプライミング効果が生じることが明らかになった。ヒトと同様に、ハトにおいても、標的刺激に関する知識を探索者がもつこと（トップダウン的要因）によって探索効率が変化することが示され、ヒトとハトが

類似した視覚的注意の特徴をもつことが明らかになった

次に、系列プライミング課題を用いた、ハトのプライミング効果研究を紹介する。P. Blough (1989)は、標的刺激にはアルファベットの「D」と「U」、妨害刺激にはそれ以外のアルファベットを用いた。「D」と「U」いずれかが標的刺激として繰り返し呈示されるブロック条件と、「D」と「U」どちらも標的刺激として呈示されるミックス条件を比較したところ、ブロック条件の方がミックス条件よりも探索時間が短くなった。この結果から、ハトにおいてもヒトと同様に系列プライミング課題においてプライミング効果が生じることが明らかになった。系列プライミング課題においても、ヒトと同様にハトも、標的刺激に関する知識を探索者がもつこと（トップダウン的要因）によって探索効率が変わることが示され、ヒトとハトが類似した視覚的注意の特徴をもつことが明らかになった。

1.3.1.5 ハトの視覚探索研究のまとめと視覚探索研究の比較認知的意義

ハトにおいても標的刺激と妨害刺激の類似性や、妨害刺激の斉一性といった、標的刺激と妨害刺激の特性量の差（ボトムアップ的要因）と、標的刺激に関する知識を探索者がもつこと（トップダウン的要因）によって、探索効率が変わることが明らかになっている。ヒトと遠縁の種であるハトにおいても、ヒトと類似した視覚探索における視覚的注意の特徴が見いだされたのである。このことから、ボトムアップ的要因およびトップダウン的要因によって探索が影響

を受けるといふ視覚的注意の特徴は、系統発生的に遠縁な種であり、生態学的環境も異なる、ヒトとハト両種が共通してもつ視覚的注意の特徴であることが明らかになった。また、この視覚的注意の特徴は、多くの動物種がもつ視覚的注意の特徴であることが推測される。

1.3.2 ヒト以外の動物の行動生態学的な探索行動研究

ヒト以外の動物の視覚探索研究を行う意義として、比較認知的な意義があるだけでなく、行動生態学的な意義もある。行動生態学とは、生物とその環境との相互作用を検討する生態学の一領域である。行動生態学は、動物行動を適応進化という観点から解明する分野であり、動物の認知を進化という観点から解明する比較認知研究と隣接した研究と言えるだろう。そのため、両研究領域で共通の動物行動が取り扱われることがある。しかし、行動生態学研究は主にフィールド研究、比較認知研究は実験室的研究という違いがある。

両研究領域で検討されている動物行動の一つに、「探索行動」がある。そこで行動生態学で行われている動物の探索行動研究を紹介する。

Tinbergen (1960) はヨーロッパカラの採餌行動を観察した。餌場にいる餌の種類と数、及び巣に持ち帰る餌の種類と数を記録した。その結果、餌場に多くいる餌を、その餌が餌場で占める割合よりも多く、餌場にあまりいない餌を、その餌が餌場に占める割合よりも少なく採ってしまうことが明らかになった。このような現象を Tinbergen は「過剰採餌効果」と呼んだ。それではなぜ、採餌

行動において「過剰採餌効果」が生じるのだろうか。Tinbergen は、餌場に多くいる餌を、「連続して」採餌することにより、その餌の「探索像 (search image)」が心的に形成されたと考えた。探索像と一致する餌場の餌 (餌場に多くいる餌) を効率良く検出することができるため、その餌が餌場で占める割合よりも多く採餌する (過剰採餌効果) と考えられた。

1.3.2.1 ヒト以外の動物を用いた視覚探索研究の行動生態学的意義

1.3.1.4 で紹介した、ハトの系列プライミング課題を用いた研究は、「標的が連続するとき、その標的を効率良く探索できる」ようになるのかを実験室的に検証した研究とも言える。自然場面では様々な要因が採餌行動に影響する。例えば、餌場に多く存在する餌が単に啄みやすかったなど、他の要因によって、過剰採餌効果が生じた可能性をフィールド研究では統制しきることはできない。一方、実験室場面では、「標的が連続する」要因以外の要因を統制し検証することができるため、「標的が連続するとき、その標的を効率良く探索できる」のかを明らかにすることができる。このように動物の視覚探索研究は、動物がどのような認知メカニズムを用いて、採餌行動を含めた探索行動を行っているのかを明らかにすることができるのである。

1.4 カテゴリ探索

これまでのセクションで見てきたように、視覚探索研究では、ある特定の物

体を探す課題が行われてきた。(例、「緑色の斜線」を探す, Fig.1, 右)。しかし、日常場面では、ある「特定の物体」を探すだけでなく、ある特定の「カテゴリ」を探索することが求められるだろう。カテゴリ探索は、少数ながらもヒトでは検討されている。一方、ヒト以外の動物では検討されていない。そこで本研究では、ハトのカテゴリ探索を検討する。本研究の目的を述べる前にまず、カテゴリとはどういうものなのか紹介する (1.4.1)。また、これまでに行われているヒトのカテゴリ探索研究を紹介する (1.4.3)。

1.4.1 ヒトのカテゴリ化

日常場面では、今までに経験したことのない新しい事物にも度々遭遇する。例えば、ある動物が車にぶつかったならば、バスやオートバイなど他の動く大きなものに等しく適応的な行動をとるだろう。そうでないならば、その動物は全ての乗り物にぶつかって危険なことを学習しなければならない。カテゴリ化はヒトを含む動物が環境に適応していく上で不可欠な学習である。

カテゴリ化とは、区別することができる個々の事物を、一つの「カテゴリ (グループ)」としてそれら事物をまとめることである。例えば、「スズメ」、「カモメ」、「インコ」それぞれを区別することができるが、ヒトはそれらを「鳥」としてまとめることができる。また、一度も見ただことのない「オウム」であっても「鳥」としてまとめることができるだろう。それではヒトはカテゴリ化によって、どのようなカテゴリを形成するのだろうか。次のセクションから説明し

ていく。

1.4.1.1 古典的カテゴリ

ヒトはカテゴリ化によってどのようなカテゴリを形成するのだろうか。アリストテレスの時代以来考えられていたカテゴリは、カテゴリを特徴づける必要十分属性によって定義できると考えられていた。例えば、あるカテゴリ（例、正方形）の事例ならば属性 A（例、4つの辺の長さが全て等しい）と B（例、4つの角の角度が全て等しい）をもつ（必要属性）、また、属性 A と B をもつならばあるカテゴリの事例（十分属性）である場合、属性 A,B はそのカテゴリの必要十分属性である。このような古典的カテゴリの場合、A（例、4つの辺の長さが全て等しい）と属性 B（例、4つの角の角度が全て等しい）を持つか否かによって、カテゴリ（例、正方形）に含まれるかが1/0的に決まるので、カテゴリ事例は等しくカテゴリを代表する（典型性が等しい）。またカテゴリの定義属性（この場合 A と B）はカテゴリ内で完全相関をもつ（Aをもつならば必ず B ももつ）。このようなカテゴリは古典的カテゴリと呼ばれる。

しかし、例えば先ほどの「鳥」カテゴリでは、カテゴリの事例となるための必要十分属性は存在しない。多くの鳥は飛ぶことができるが、飛ばないダチョウなども、鳥カテゴリの事例である。つまり、「鳥」カテゴリのような、自然カテゴリには必要十分属性は存在しないのである。

1.4.1.2 自然カテゴリ

それでは自然カテゴリとはどのようなものだろうか。自然カテゴリは「環境における事物の構造を反映した」カテゴリであると考えられており (e.g., Rosch, 1978), 以下のような構造をもつことが知られている (実森, 2012)。

1. カテゴリを定義する必要十分属性が存在しない。例えば、「飛ぶ」という属性は、その属性をもつ事物が「鳥」としてカテゴリ化されうる可能性を高めているに過ぎない。このような必要十分属性をもたないカテゴリを多型的 (polymorphous) カテゴリという。
2. 属性は、ある程度の正または負の相関をもつ。属性 A をもっていれば、かなりの確率で属性 B をもったり属性 C をもたなかったりする。例えば、羽毛をもっていればかなりの確率で飛ぶことができ、樹上に巣を造る。しかし、いずれの属性にも例外事例がある。
3. 多型的カテゴリの境界は、特定の属性や属性のセットの有無によって 1/0 的に決まらない。多くの自然カテゴリは、曖昧 (fuzzy または ill-defined) な境界をもつ開放系 (open-ended) カテゴリである。
4. カテゴリの事例は、等しくカテゴリを代表しない。他の事例と属性を多く共有する事例ほど典型性が高いと判断される。一方、属性をあまり共有しない事例は、典型性が低いと判断される。このように、自然カテゴリには典型性の勾配が見られる (プロトタイプ効果)。
5. 多様な事例は、家族的類似性によって構造化されている。まったく属性

を共有しない事例同士も、それぞれが多様な他の事例とある程度の属性を部分的に共有していれば、同一カテゴリの事例になることができる。逆に、「犬」と「猫」のように類似性が高くても、どんな「犬」も「猫」カテゴリの典型性が低い事例にさえなれないという意味で、カテゴリは家族的類似構造によって明確に分離することができる。

1.4.1.3 自然カテゴリの階層性

自然カテゴリは、抽象度のレベルによる階層性があると考えられている (Rosch, Mervis, & Gray, 1976)。抽象度が高い順に上位カテゴリ (例, 家具), 基礎カテゴリ (例, 椅子), 下位カテゴリ (例, 食卓椅子) となる。まず, 基礎カテゴリの特性から見ていこう。Rosch et al.は, 事物を命名するときに最も頻繁に用いられるのが基礎カテゴリであるとした。また事物の画像を呈示し, 画像の弁別をさせた場合, 「これは椅子か」のように基礎カテゴリで聞かれた場合の方が, 「これは家具か」「これは食卓椅子か」のように上位カテゴリ, 下位カテゴリで聞かれる場合よりも, 素早く弁別することができる。また, 基礎カテゴリは子供が最初に獲得するカテゴリであるとされている。このように, ヒトの認知プロセスにおける基礎カテゴリの優位性が示されている。

それでは, なぜ基礎カテゴリに優位性が見られるのだろうか。例えば, 基礎カテゴリである「椅子」カテゴリは, 多くの事例がもつ属性 (例, 座れる) があり, カテゴリ内の般化が生じやすい。また, 他の基礎カテゴリ (例, 机) の

事例は、「椅子」カテゴリの事例がもつ属性をもたないため、カテゴリ間の弁別が生じやすい²。一方、「椅子」の下位カテゴリである「食卓椅子」は、多くの事例がもつ属性があるが、他の椅子の下位カテゴリ（例、事務椅子）の事例も「食卓椅子」の事例がもつ属性をもつため、カテゴリ間の弁別が容易ではない。また、「椅子」の上位カテゴリである「家具」は、他の上位カテゴリ（例、乗り物）との弁別は容易であるが、「家具」カテゴリの多くの事例がもつ属性がないため、カテゴリ内の般化が生じにくい。まとめると、基礎カテゴリは、「カテゴリ内の般化」と「カテゴリ間の弁別」が容易であることから、ヒトのカテゴリ化において優位性が見られると考えられる。

1.4.2 ヒト以外の動物のカテゴリ化

カテゴリ化はヒト特有の認知機能なのだろうか。それとも、ヒト以外の動物ももつ認知機能なのだろうか。また、ヒト以外の動物もカテゴリ化を行うならば、ヒトのカテゴリ化の特徴と類似しているだろうか。これらの疑問を解明するために、ヒト以外の動物を用いたカテゴリ化研究が行われている。

ヒト以外の動物を用いたカテゴリ化の比較認知的研究では、ヒトの語彙カテゴリに対応する自然事物の写真画像や、ヒトの自然カテゴリの構造を模した人工カテゴリを用いる。これらの刺激を用いることで、ヒト以外の動物がヒトと

² 注意したいのは、基礎カテゴリの事例の多くがもつ属性（例、座れる）は、古典的カテゴリのような必要十分属性ではないということである。例えば、座面が壊れてしまい座れない椅子も、「椅子」カテゴリの事例である。

類似した自然カテゴリを形成するのか、ヒトと類似したカテゴリ化を行うのかを検討することができる。

1.4.2.1 ヒト以外の動物の自然事物の写真画像のカテゴリ化

Herrnstein & Loveland (1964)は、自然事物の写真画像の弁別課題をハトに行った。例えば、「人」が写っている写真へ反応したら餌を、「人」が写っていない写真へ反応しても餌を与えなかった。ハトはそれら写真の弁別を速やかに行うことができた(カテゴリ間の弁別)。また、「人」が写っている新しい写真、「人」が写っていない新しい写真を呈示したところ、それら新しい写真も弁別することができた(カテゴリ内の般化)。このようなカテゴリ間の弁別と、カテゴリ内の般化がカテゴリ化として定義される(Keller & Schoenfeld, 1950)。ハトはヒトの語彙カテゴリに一致する形で自然事物の写真画像をカテゴリ化することが明らかになった。また、「人」以外の「樹」、「魚」、「水」の写真画像を用いた弁別課題でも、語彙カテゴリと一致したカテゴリ化をハトが行うことが明らかになっている。このように、ヒトと遠縁の種であるハトが、ヒトと類似した自然事物の画像のカテゴリ化を行うことが示された。

1.4.2.2 ヒト以外の動物の人工カテゴリのカテゴリ化

ヒト以外の動物が、自然画像に含まれるどの視覚特性を用いてカテゴリ化を行ったのかを検討する研究が行われている(分析的アプローチ; e.g., Troje et al.,

1999)。しかし、自然カテゴリの画像自体が多型的であるため、多くの場合、動物がどのような刺激特性をカテゴリ化に用いたかを特定することは不可能である。これに対して、ヒトの自然カテゴリの構造を模した人工カテゴリを用いて、動物が（実験者が物理的に定義できる）視覚特性や特性間の関係をどのように利用してカテゴリ化したかを検討する方法を構成的アプローチという（実森, 2012)。次のセクションでは、構成的アプローチによって行った、ハトのカテゴリ化研究を紹介する。

1.4.2.3 ハトのカテゴリ化におけるプロトタイプ効果の検討

構成的アプローチでは、動物がどう視覚特性を利用しているのか検討するため、実験者が物理的に視覚特性を定義することができる人工カテゴリを用いる。ヒトの自然カテゴリのどの性質に焦点を当てるかによって、用いられる人工カテゴリの構造は異なる。多型的な構造をもつカテゴリ(Jitsumori, 1993)や、多型的であると同時に家族的類似性によって構造化されているカテゴリ(Makino & Jitsumori, 2007)をハトはカテゴリ化することができるか、またどの特性を用いてカテゴリ化を行うのか検討されている。

Jitsumori, Ohkita, & Ushitani (2011)は、ヒトの顔画像を合成して作成した、自然カテゴリの構造を模した人工カテゴリをハトに用い、ハトにおいてもヒトと同様に、カテゴリ化におけるプロトタイプ効果が見られるかを検討した (Fig. 12)。本研究では、Jitsumori et al.(2011)と類似した人工カテゴリを用いているた

め, Jitsumori et al.(2011)が用いた人工カテゴリを詳細に説明する (実森, 2012)。

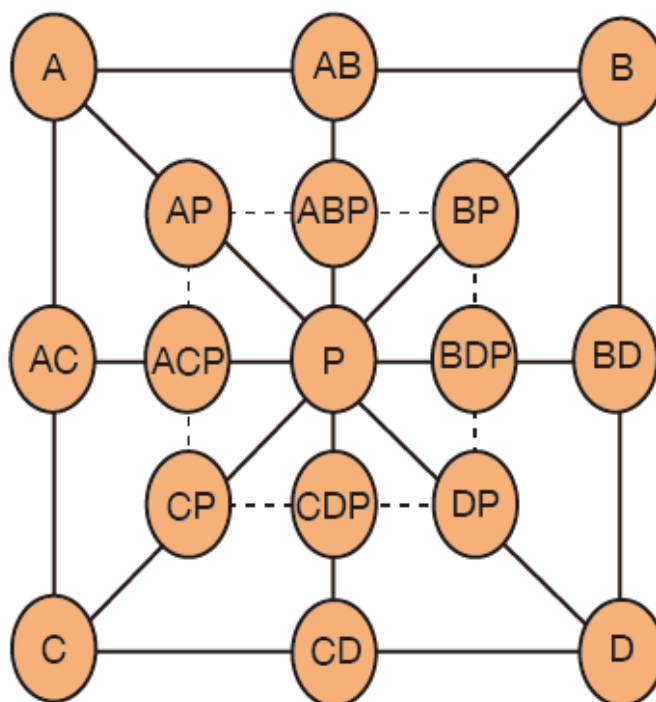


Fig. 12 Jitsumori et al. (2011) が用いた人工カテゴリの概略図

(Jitsumori et al., 2011 をもとに作成)

Fig. 12 で周辺にある A,B,C,D およびそれらの 50%合成画 AB, AC, AD, BC, BD, CD のそれぞれを, 中心にある P と合成した (AD と BC は Fig. 12 に含まれていない)。このようにして, 10 種 (AP, BP, CP, DP, ABP, ACP, ADP, BCP, BDP, CDP) の合成画を作成した³。ABP など 3 成分からなる合成画は, カテゴリ内の類似性を高めるために加えられた。例えば, ABP は AP にも BP にも類似しているので, ABP を加えることによって, これらの事例間の類似性の総和が増加する。以下では, P を共通成分, それぞれの合成画を作成するのに用いた A, B, C, D などを事例特異的成分と呼ぶ。

共通成分は, 古典的カテゴリのようなすべての事例がもつある特定の共通特性ではないことに注意する必要がある。合成によって物理的な刺激特性そのものが変化するので, 共通成分と事例特異的成分の 50%合成画は, 各成分の物理的特性を 50%ずつもっている画像ではない。Fig. 12 では, 共通成分がカテゴリの中心に図示されているが, 共通成分 (P の合成率 100%) と事例特異的成分 (P の合成率は 0%) は, それぞれの合成次元上で両極端に位置することになる。それぞれの合成画に含まれる P に由来する特性を物理的に定義することはできないが, P 合成率が上昇すると, それぞれの合成画と P との類似性が増加するため, 事例同士の類似性が増加する。P 合成率が減少すると, それぞれの事例は各々の事例特異的成分と類似してくるため, 事例同士の類似性が低くなる。すなわち,

³ 画像合成は 2 つの原画にプロットした多数の対応点に基づく wrapping と平均化によって行われる。ハトは合成画を 2 つの原画から弁別し, かつ, それらを類似したものとして知覚していることが確かめられている (牧野・実森, 2001)。

共通成分に由来する特性（以後、共通成分特性と呼ぶ）はカテゴリ内の類似性を増加し、事例特異的成分に由来する特性（以後、事例特異的成分特性と呼ぶ）はカテゴリ内の類似性を減少させるのである（実森，2012）。

Jitsumori et al. (2011) は、Fig. 12 のカテゴリと共通成分や事例特異的成分が重複しないカテゴリをもう一つ作成し、2つのカテゴリの合成画の go/no-go 継時弁別訓練を行った。すなわち、一方のカテゴリの訓練事例への反応は強化され、もう一方のカテゴリの訓練事例への反応は強化されなかった。訓練では、共通成分の合成率が35%の事例を用いた。テストでは、共通成分合成率を0%~100%の7段階に変化させた事例を用いた。実験の結果、共通成分合成率の変化に対して鋭敏に弁別率は変化し、訓練事例（共通成分合成率は35%）よりも共通成分顔（共通成分合成率は100%）で最も良い弁別が見られ、ヒトと同様にハトでも、カテゴリ化におけるプロトタイプ効果が見られることが明らかになった。この結果は、カテゴリ弁別訓練によって、共通成分特性への鋭敏化と事例特異的成分特性への非鋭敏化が生じたことを示している。各カテゴリの共通成分特性への鋭敏化は、カテゴリ内の類似性とカテゴリ間の非類似性を最大化する。一方、事例特異的成分特性の非鋭敏化は、カテゴリ内の多様な事例の類似性を増大させる。このように、ハトはカテゴリ弁別訓練によって、最も効率的なカテゴリ化を可能にする、注意の重み付けを行うことが明らかになった（実森，2012）。

1.4.3 ヒトのカテゴリ探索

1.4.1 で見てきたように、カテゴリは多様な事例から構成される。このセクションではヒトのカテゴリ探索研究を紹介する。それらの研究ではヒトは複数の事例からなるカテゴリをどのように効率良く探索するのかを検討されているため、カテゴリ探索研究を紹介する前に、複数の刺激を標的刺激として用いた探索研究について紹介する。簡単に概要を述べると、複数の標的刺激の探索は、標的刺激が一つのと看と比べ、探索が非効率的になることが知られている。それにもかかわらずカテゴリ探索は、効率的になることが知られている。なぜ、カテゴリ探索は効率的になるのかという点に注目してみていきたい。

1.4.4 ヒトの複数の標的刺激の探索

Menneer et al., (2007) は、複数の標的刺激を同時に探索する必要がある場合、一つの標的刺激を探索する場合よりも探索効率が悪くなるのかどうかを、2つの探索条件を用いて検討した。単一標的條件では、Target A, Target B どちらか一方が標的刺激になった。一方、複数標的條件では、Target A, Target B どちらも標的刺激になった。これら2条件で実験を行ったところ、単一標的條件の方が、複数標的條件よりも探索効率が良くなることが明らかになった。Menneer et al. は、複数の標的刺激の探索が、単一の標的刺激の探索より非効率的になる現象を dual-target cost と呼んだ。dual-target cost がなぜ生じるかについて、Menneer et al. は次のように説明している。探索において、標的刺激の特性からなるテンプレ

レートが形成され、その標的テンプレートとマッチする刺激に対して、注意が誘導されると考えられた。そのため、標的刺激が1つの場合、その刺激の特性からなるテンプレートが形成され、必ず標的刺激に注意が誘導される。一方、複数の刺激が標的刺激になる場合、テンプレートの形成には2つの可能性があると考えられた。1つ目は、複数の標的刺激をまとめて表すような、「general テンプレート」が形成される可能性である。2つ目は、複数の標的刺激それぞれのテンプレートが形成される可能性である。しかしどちらの場合も、dual-target cost は生じると考えられる。「general テンプレート」が形成された場合、複数の標的刺激の特性から「general テンプレート」は形成されるため、「general テンプレート」は妨害刺激ともマッチしてしまうかもしれない。その場合、妨害刺激に注意が誘導され、非効率的な探索になってしまう。また、複数の標的刺激それぞれのテンプレートが形成される場合、一度に標的テンプレートと探索画面上の刺激をマッチさせることはできないため、順番に複数ある標的テンプレートをマッチさせなければいけない。もし、複数の標的テンプレートを同時にマッチさせることができても、標的刺激が一つの時より認知資源を多く使ってしまうだろうし、標的テンプレートそれぞれが違う刺激へ注意を誘導してしまい、標的刺激への注意の誘導は減少すると考えられる。従って、複数の標的テンプレートが形成された場合でも、dual-target cost は生じると考えられた。

しかし、複数の標的刺激の探索であっても、効率的な探索になる場合（つまり dual-target cost が消失する場合）がある。どのような場合 dual-target cost が消

失するのか、以下のセクションで紹介していく。

1.4.4.1 dual-target cost の消失

–標的刺激と妨害刺激が線形的に分離できる場合–

標的刺激と妨害刺激が線形的に分離することができるとき, dual-target cost はなくなるとされている(e.g., D’Zmura, 1991, Menneer, Cave, & Donnelly, 2009)。

Menneer et al., (2009)は、空港での手荷物検査を想定し、X 線写真を用いて dual-target cost の消失を検討した。Experiment 1 では、標的刺激は銃とナイフの X 線写真を用いた。銃、ナイフの形は試行によって変化したが、「青色」によって定義することができた。一方、妨害刺激である他の手荷物は「緑色」によって定義することができた。銃（青色）のみもしくは、ナイフ（青色）のみが標的刺激となる条件と、銃（青色）とナイフ（青色）どちらも標的刺激となる条件の探索効率を比較した。結果は、どちらの条件も同じくらい探索効率は良かった（dual-target cost は確認されなかった）。Experiment 2 では、金属製武器（銃もしくはナイフ）と即席爆破装置（IED）を標的刺激として用いた。即席爆破装置は、「オレンジ色」によって定義された。金属製武器（青色）のみもしくは、即席爆破装置（オレンジ色）のみが標的刺激となる条件と、金属製武器（青色）と即席爆破装置（オレンジ色）どちらも標的刺激となる条件の探索効率を比較した。結果は、後者の条件が前者の条件よりも探索効率は悪かった（dual-target cost が確認された）。Menneer et al.は、標的刺激が特性を共有し類似しているとき、

その特性をもつ標的テンプレートが形成されると考えた。Experiment1 では、銃、ナイフともに「青色」の特性をもつため、「青色」特性をもつ標的テンプレートが形成される。標的テンプレートがもつ特性を標的刺激はもち、妨害刺激はもたない（標的刺激と妨害刺激を線形的に分離することができる）。そのため、標的テンプレートとマッチする標的刺激に注意が誘導されるため、dual-target cost は確認されなかったと考えられた。一方、Experiment 2 では、標的刺激同士が特性を共有しておらず（金属製武器は「青色」、即席爆破装置は「オレンジ色」）、標的刺激と妨害刺激を線形的に分離することができない。そのため、標的テンプレートが形成される際、妨害刺激の特性も含んだ標的テンプレートが形成されてしまう。標的刺激だけでなく、妨害刺激にもテンプレートがマッチしてしまうため、標的刺激への注意の誘導が生じにくい。そのため、dual-target cost が確認されたと考えられた。以上をまとめると、標的刺激同士が特性を共有し、標的刺激と妨害刺激を線形的に分離できる探索は、標的刺激にのみ注意が誘導されるため、標的刺激が複数の場合でも効率的になる（dual-target cost が消失する）と考えられた。

1.4.4.2 練習効果

Shiffrin & Schneider (1977), Schneider & Shiffrin (1977)は、繰り返し探索の練習をすることによって、複数の標的刺激の探索が効率良くなることを明らかにした。Shiffrin & Schneider は、標的刺激と妨害刺激が入れ替わる VM (Varied

Mapping)条件と、標的刺激と妨害刺激は入れ替わらないCM(Consistent Mapping)条件で実験を行った。VM条件では、アルファベット9字(C, D, F, G, H, J, K, L, M)が標的刺激にも妨害刺激にもなった。CM条件では、標的刺激には1~9の数字、妨害刺激にはアルファベット9字(C, D, F, G, H, J, K, L, M)を用いた。結果は、繰り返し探索練習を行うと、CM条件の探索時間がVM条件より探索時間よりも短くなった。また、CM条件では探索の練習を繰り返すことで、探索時間が練習初期の探索時間より短くなり、標的刺激が一つの探索と同じくらい探索効率が良くなることが明らかになった。それではなぜ、CM条件において、繰り返し探索練習を行ったことにより探索が効率的になったのだろうか。Shffrin & Schneiderは、探索の自動化が生じたと考えた。探索練習を繰り返すことによって、ある標的刺激が呈示されたとき、その刺激に対してどのように反応するかを含めた系列が学習され長期記憶内に保持される。標的刺激と妨害刺激が入れ替わるVM条件では、練習によって標的刺激の情報を獲得することができないため、練習を経ても探索効率は良くならなかったと考えられた。一方、標的刺激と妨害刺激が入れ替わらないCM条件では、練習によって獲得した長期記憶内の標的刺激情報によって効率的に探索を行うようになったと考えられた。以上をまとめると、標的刺激と妨害刺激が入れ替わらない探索課題では、探索練習を繰り返すことによって、探索の自動化が生じ、探索が効率的になったと考えられた。

1.4.5 ヒトのカテゴリ探索研究

ヒトは多様なカテゴリの事例が標的刺激となるカテゴリ探索を効率良く行うことができるのだろうか。Levin et al. (2001)では、上位カテゴリ(動物と家具)の事物のイラストを用いて、ヒトがどのように多様なカテゴリの事例を探索するのか(カテゴリ探索)を検討した。Levin et al.は2つの探索課題で実験を行った。動物探索課題では、動物カテゴリの事例を標的刺激として、家具カテゴリの事例を妨害刺激として用いた。家具探索課題では、家具カテゴリの事例を標的刺激として、動物カテゴリの事例を妨害刺激として用いた。動物探索課題を行うブロックと、家具探索課題を行うブロックで実験は構成された。結果は、複数の標的刺激であるにも関わらず、動物探索課題、家具探索課題どちらの探索課題も効率的な探索が確認された。Levin et al.は、動物カテゴリ、家具カテゴリ、それぞれのカテゴリの事例の輪郭が異なる「線分性」によって特徴づけられることによって、どちらの探索課題も効率的になったと考えた。動物カテゴリの事例は、「曲線性」によって特徴付けられる。一方、家具カテゴリの事例は、「直線性」によって特徴付けられる。どちらの探索課題も、一つだけ異なる「線分性」の刺激を探索すれば良いので、探索の効率が良くなったと考えられた。この結果から、カテゴリの事例がある「線分性」によって特徴付けられることによって、効率良くカテゴリ探索を行えることが明らかになった。

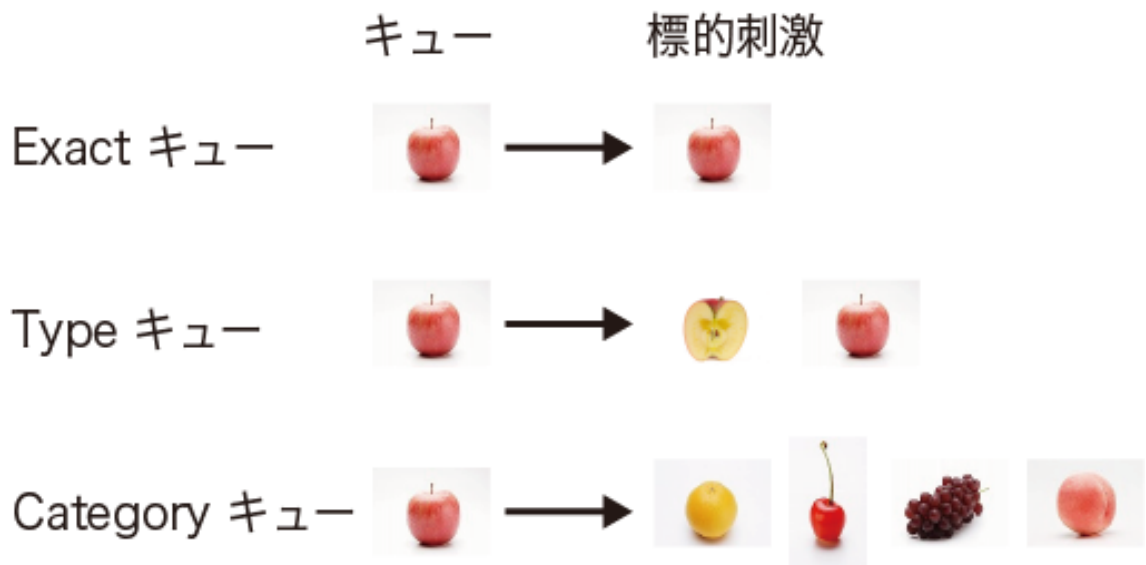


Fig. 13 Wolfe et al. (2004)

探索画面の前に、標的刺激を知らせるキューが呈示された

(Wolfe et al, 2004 をもとに作成)

Wolfe et al.(2004)は、カテゴリ探索におけるプライミング効果を検討した。自然事物のカテゴリの写真（動物、果物、道具）を用いた手がかりプライミング課題を行った（Fig. 13）。探索画面に先行して、標的刺激を知らせるキューが呈示された。探索課題は3条件あった（Exact キュー条件、Type キュー条件、Category キュー条件）。Exact キュー条件では、キューと同じ標的刺激が呈示された（例、キュー：赤リンゴ、標的刺激：赤リンゴ）。Type キューでは、キューと同じものだが異なる色のものが標的刺激として呈示された（例、キュー：赤リンゴ、標的刺激：半分に切ったリンゴ）。Category キュー条件では、キューと同じカテゴリの事例が呈示された（例、キュー：赤リンゴ、標的刺激：桃）。結果は、Exact

キュー条件>Type キュー条件>Category キュー条件の順に探索効率は良くなった。Wolfe et al.は、キューがもつ、標的刺激の特性に関する情報量の違いによってキュー条件間の探索効率の違いが生じると考えた。探索画面に先行して標的刺激の特性を知っていれば、その特性に対してトップダウン的な重み付けがなされ、標的刺激への注意の誘導が生じる。Exact キュー条件では、標的刺激と同じものがキューとして呈示されるため、標的刺激の色や形に関する情報をもつ。Type キュー条件は、標的刺激の色に関する情報はもたないが、形に関する情報をもつ。Category キューは標的刺激の色、形どちらの情報ももたない。標的刺激の特性に関する情報が多いキュー条件ほど、標的刺激へ注意が誘導されるため、探索効率が良くなると考えられた。また、Wolfe et al.は、Category キュー条件でも事例同士がより特性を共有するカテゴリを用いれば、キューが標的刺激に関する情報を多くもつことになるため、より効率的な探索になると示唆している。

Corneille et al. (2006)は、カテゴリを学習することによって、そのカテゴリの事例を効率良く探索することができるのか、またそのカテゴリを探索する際、どのような特性に注目し探索を行うのか検討した。Corneille et al.は、人の顔画像合成画によって作成した人工カテゴリを用いて視覚探索課題を行った。実験は、カテゴリ学習段階と視覚探索段階によって構成された。実験では、2つの人工カテゴリを用いた。2つのカテゴリは、2つのオリジナル顔 (Face1, Face8) の合成率を連続的に変化させた合成画によって作成した。Face1-4 を1つのカテ

ゴリ (カテゴリ 1), Face5-8 (カテゴリ 2) をもう一つのカテゴリとした。カテゴリ学習段階では, 刺激が一つずつ呈示された。被験者は, 「これから顔画像がでてきます。それら顔画像の半分は“あるクラブのメンバー”です。クラブのメンバーと思えばキーボードの Y キーを, クラブのメンバーでないと思えば, N キーを押してください。」と教示された。カテゴリ 1, カテゴリ 2 どちらが「クラブメンバー」になるかは, 被験者間でカウンターバランスがとられた。Corneille et al.は, 「あるクラブのメンバー」と反応するカテゴリを「参照カテゴリ」, 「あるクラブのメンバーではない」と反応するカテゴリを「非参照カテゴリ」と呼んだ。カテゴリ学習段階の後, 視覚探索課題を行った。視覚探索段階では, 新しい原画面の中から Face1-8 を探索する課題を行った。結果は, 参照カテゴリの事例を探索することは, 非参照カテゴリ事例を探索するよりも容易であることが明らかになった。Corneille et al.はカテゴリ学習段階において, 参照カテゴリのみカテゴリ化されたと考えた。参照カテゴリがカテゴリ化されることにより, 参照カテゴリがもつ特性が顕著になったと考えられる。カテゴリ化というトップダウン的要因により顕著になった特性をもつ参照カテゴリの探索は容易になり, その特徴をもたない非参照カテゴリの探索は難しくなったと考えられた。

また, 探索練習を繰り返すことによる, 探索の自動化が生じる場面において, カテゴリがどのように影響を及ぼすのかも検討されている。Shiffrin & Schneider (1977)では, 標的刺激と妨害刺激に異なるカテゴリの刺激を用いたとき (例, 標的刺激は数字, 妨害刺激はアルファベット) の方が, 同じカテゴリの刺激を用い

たとき（例、標的刺激も妨害刺激もアルファベット）よりも、すぐに練習による探索の自動化が見られた。Shffrin & Schneider は、個々の情報よりもカテゴリ情報（カテゴリ表象）が長期記憶内に迅速に保持されるためであると考えた。一方、Logan (1988)は、長期記憶内におけるカテゴリの表象よりも、個々のカテゴリ事例の表象が自動化処理に影響すると主張した。Logan の事例モデルでは、複数の事例が長期記憶に蓄えられた結果、探索画面の呈示によってそれらの事例が作業記憶内で活性化される。標的刺激とそれら活性化された事例との類似性の総和によって、多様な事例に自動化が起きると考えられた。

1.4.6 ヒトのカテゴリ探索研究まとめ

ヒトの視覚探索において、複数の刺激が標的刺激になるとき、探索効率は悪くなる。カテゴリ探索も、複数のカテゴリ事例が標的刺激となる探索である。しかし、カテゴリ事例が、ある「線分性」によって特徴付けられること (Levin et al., 2001)や、標的刺激カテゴリの学習(トップダウン的要因;Corneille et al., 2006)によって、ヒトは効率良くカテゴリ事例の探索を行うことができると考えられる。

1.5 ヒト以外の動物のカテゴリ探索

それでは、ヒト以外の動物も、多様な事例が標的刺激となるカテゴリ探索を行うことができるのだろうか。研究 1 では、ハトを用いて、カテゴリ探索につ

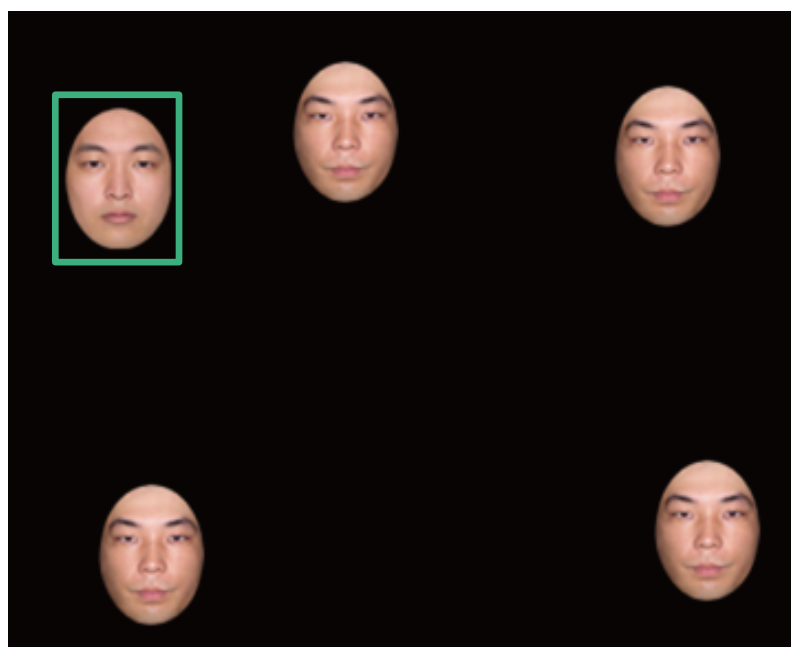
いて検討する。そこで研究 1 の前に、ハトが、複数の刺激が標的刺激となる探索をどのように行うのか検討した研究を 1.5.1 で紹介する。

1.5.1 ヒトの以外の動物の複数の標的刺激の探索

P. Blough (1984)はハトにアルファベットを用いた探索課題を行った。訓練初期段階では、標的刺激が2つ（例, H, L）セッション内で呈示される条件と、標的刺激が4つ（例, A, D, U, Y）呈示される条件では、前者の探索時間が後者よりも短かった。この結果から、標的刺激となる刺激が多いほどハトの探索効率が悪くなることが明らかになった。しかしまた、長期間探索練習を行うと、標的刺激が1つ（例, D）、2つ（D, L）、4つ（D, L, U, Y）、6つ（A, D, H, L, U, Y）のときの探索時間に差は見られなかった。また、Vreven & Blough (1998)では、標的刺激が一つだけ連続で呈示されるブロック条件の方が、複数の標的刺激がランダムなシーケンスで呈示されるミックス条件よりも探索効率が良くなる系列プライミング課題におけるプライミング効果が、長期間練習を行うことにより減少することを明らかにした。これらの結果から、ヒト以外の動物においても、標的刺激となる刺激が多いほど探索効率は悪くなることが明らかになった。また、長期間練習を行うことにより、探索の自動化が生じる（練習効果）ことがヒト以外の動物でも明らかになった。

1.5.2 研究1の背景まとめ

ヒト以外の動物が、多様なカテゴリ事例の探索（カテゴリ探索）を効率的に行うのか、これまでに明らかになっていない。そこで研究1では、ハトのカテゴリ探索を検討する（Fig. 14）。カテゴリ探索の標的刺激は、顔画像の合成画によって作成した人工カテゴリの事例を用いた。妨害刺激は、カテゴリ作成に用いなかった顔画像（非カテゴリ事例）を用いた。



： カテゴリ事例

Fig. 14 研究1 探索場面例

（緑枠は実際の探索画面には呈示していない）

カテゴリの事例は、顔画像の合成画を用いて作成した人工カテゴリの事例を用いた（詳細な人工カテゴリの説明は、p.66）。もし、ハトが標的刺激カテゴリを学習するならば（トップダウン的要因）、多様なカテゴリ事例を効率良く探索できると考えられる。一方、ハトが標的刺激カテゴリを学習しないならば、カテゴリカルでない標的刺激（例、アルファベット）を複数用いたときと同様に（e.g., P.Blough, 1984）、効率の悪い探索になるだろう。

1.6 研究 2 の背景

研究 1 では標的刺激にカテゴリ事例を用いて、多様なカテゴリ事例を効率良く探索することができるのかを検討した。研究 1 の結果を先に述べると、ハトは、標的刺激カテゴリを学習し、カテゴリ事例がもつ共通成分に由来する特性（共通成分特性）を探索の手がかりに用いることで、共通成分合成率が高く、典型性が高い事例を効率良く探索することが示された。カテゴリ事例の共通成分特性にトップダウン的な重み付けがなされ、共通成分特性が標的刺激に注意を誘導することで、典型性が高いカテゴリ事例を効率良く探索していたと考えられる。共通成分特性が標的刺激に注意を誘導するという、研究 1 の結果に基づいて、研究 2 ではハトのカテゴリ探索における探索非対称性を検討した。研究 2 では、研究 1 と同様の探索（標的刺激にカテゴリ事例、妨害刺激に非カテゴリ事例）を行うカテゴリ探索群と、カテゴリ探索の標的刺激と妨害刺激を入れ替えた探索（標的刺激に非カテゴリ事例、妨害刺激にカテゴリ事例）を行う非カテゴリ探索群で実験を行った（Fig. 15）。「探索非対称性」がどのような現象であるのかを次のセクションで紹介する。

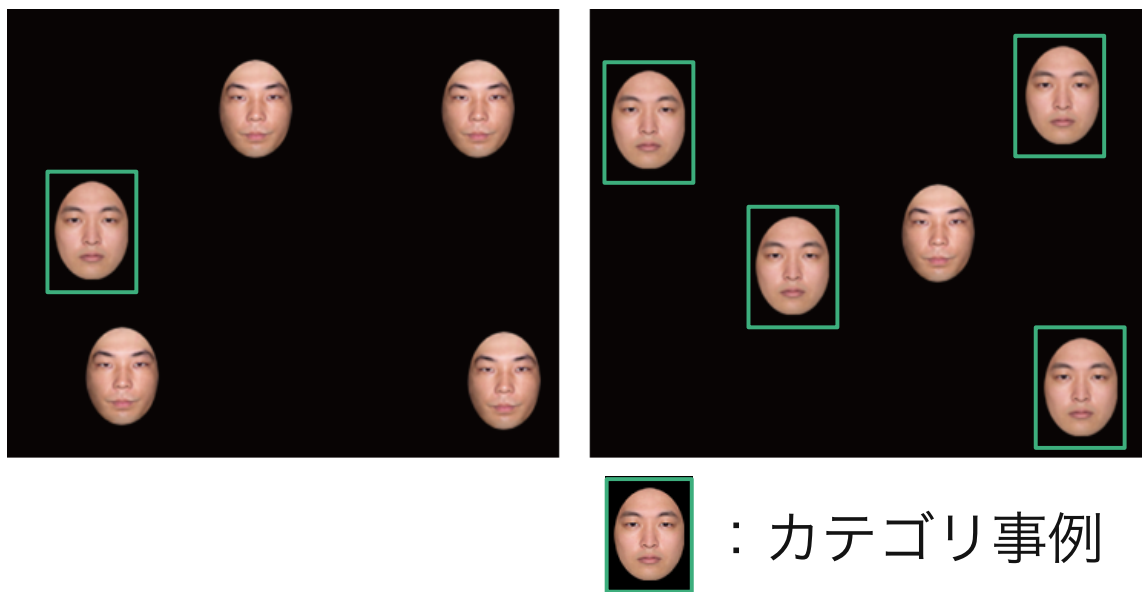


Fig. 15 研究2 探索場面例（緑枠は実際の探索画面には呈示していない）

（左）カテゴリ探索（標的刺激にカテゴリ事例，妨害刺激に非カテゴリ事例を用いた）

（右）非カテゴリ探索（標的刺激に非カテゴリ事例，妨害刺激にカテゴリ事例を用いた）

1.7 探索非対称性

1.7.1 ヒトの探索非対称性

標的刺激と妨害刺激を逆転しただけにも関わらず，探索の効率が変わる現象は「探索非対称性」として知られている。

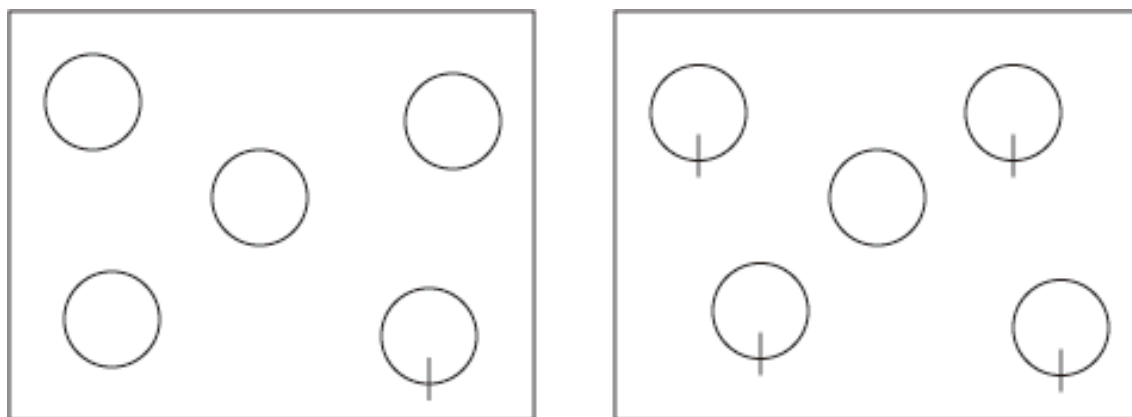


Fig. 16 探索非対称性例

(左) 「円」の中から「円に直線がついた刺激」を探す課題

(右) 「円に直線がついた刺激」の中から「円」を探す課題

例えば、Fig. 16 のように「円」の中から「円に直線がついた刺激」を探す場合と、「円に直線がついた刺激」の中から「円」を探す場合では、前者の探索の方が容易で、効率的になる。Treisman & Gormican (1988)は、標的刺激と妨害刺激を、ある特性をもつか否かによって明確に区別できるとき、ある特性 (Fig. 16 の例であれば直線) を「もつ」標的刺激を探索する方が、特性を「もたない」標的刺激を探索するより容易であると考えた。「円に直線がついた刺激」を探索する場合 (Fig. 16, 左)、特性マップの「直線」マップ上で一つだけ活性化しているものを探せばよいので、並列処理のみで探索を終了することができる (Fig. 5 も参照)。しかし、「円」を探索する場合 (Fig. 16, 右)、特性マップの「直線」マップ上で一つだけ活性化していないものを探さなければならない。その場合、注意を用いて円と直線の特性マップを照合する、逐次処理を行わなければならない

ない。標的刺激と妨害刺激を区別する特性を「もつ」標的刺激を探索する課題は並列処理で探索が終了し、「もたない」標的刺激を探索する課題では逐次処理を行わなければならないため、標的刺激と妨害刺激を逆転させた対称的な探索課題にも関わらず、探索効率に違いが生じると考えられた。

1.7.2 ハトの探索非対称性

ハトにおける探索非対称性の研究では結果が混在している。Allan & D. Blough (1989)は、Treisman & Gormican (1988) が用いた幾何学図形と類似した幾何学図形を用いて、ハトの探索非対称性について検討した。円の中から円に直線が付随した図形を探索する課題と、標的刺激と妨害刺激を逆転させた探索課題では、前者の探索課題の方がヒトは探索効率良い。しかし、ハトにおいては両探索課題の探索効率に差はなく、探索非対称性は確認されなかった。

一方、Pearce & George (2003)はドットパターンを用いて、ハトの探索非対称性を検討した。各刺激は48の小さい四角形から構成された。刺激は2タイプ用意され、刺激を構成する四角形すべてが「灰色」のタイプと、構成する四角形のうち半分が「灰色」、もう半分が「赤」のタイプであった（「灰色+赤」）。「灰色」の中から「灰色+赤」を探索する課題と、「灰色+赤」の中から「灰色」を探索する課題を行った。どちらの課題も標的刺激と妨害刺激を区別する特性は「赤色」となる。しかし、その特性を「もつ」標的刺激を探索する前者の探索課題の正答率が、「もたない」標的刺激を探索する後者の探索課題よりも良く、

ハトにおける探索非対称性が確認された。以上のように、ハトにおける探索非対称性に関する研究では結果が混在している。

1.7.3 研究2 背景まとめ

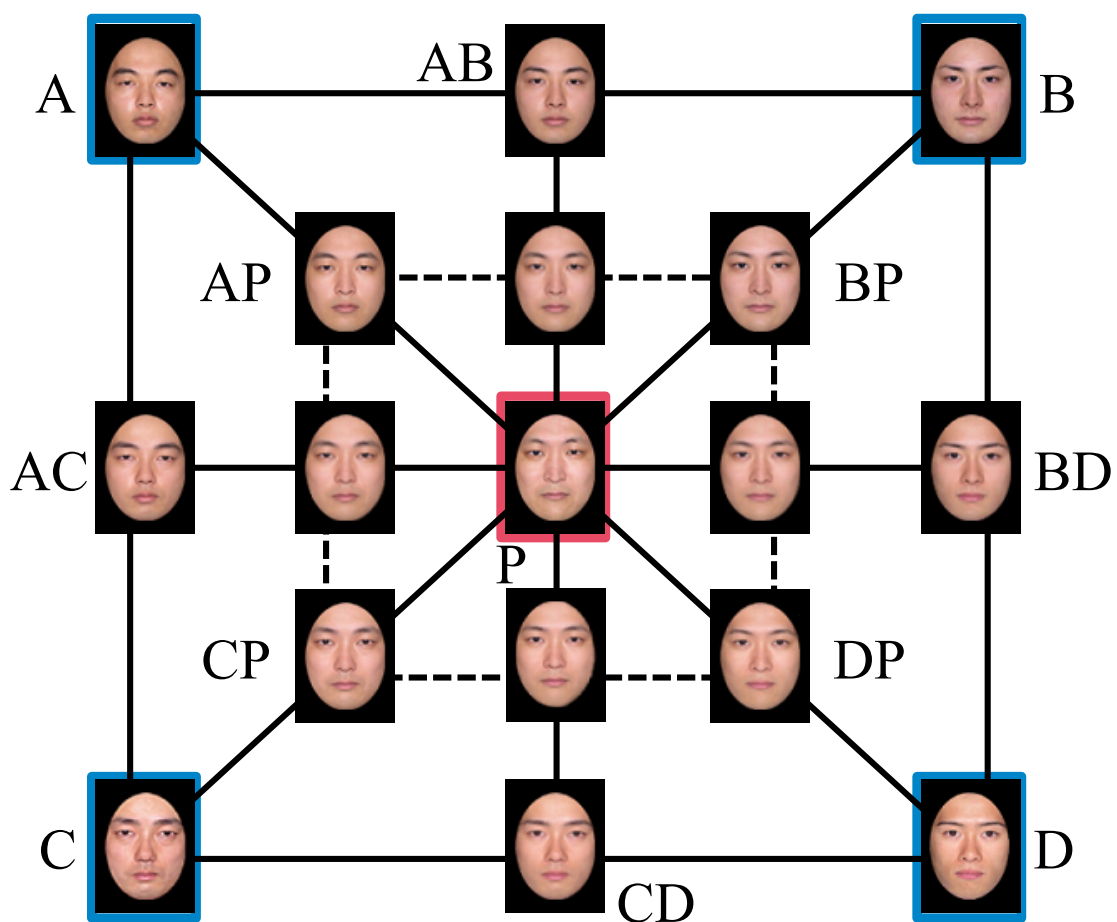
研究2では、標的刺激にカテゴリ事例、妨害刺激に非カテゴリ事例を用いた探索を行う群（カテゴリ探索群）と、標的刺激と妨害刺激を逆転した（標的刺激に非カテゴリ事例、妨害刺激にカテゴリ事例）探索を行う群（非カテゴリ探索群）の探索時間を比較し、探索非対称性を検討した。研究1の結果から、ハトは標的カテゴリの事例がもつ共通成分特性を探索の手がかりに、つまり標的刺激と妨害刺激を区別するために共通成分特性を用いていることが明らかになっている。もし、非カテゴリ探索でも、ハトが妨害刺激カテゴリの事例がもつ共通成分特性を探索の手がかりに用いるならば、共通成分特性を「もたない」標的刺激（非カテゴリ事例）をハトは探索することになる。その場合、共通成分特性を「もつ」標的刺激（カテゴリ事例）を探索するカテゴリ探索群よりも、共通成分特性を「もたない」標的刺激（非カテゴリ事例）を探索する非カテゴリ探索群の方が探索の効率は悪くなると予測される。

2 研究 1

2.1 研究1の概要

これまでの、ヒト以外の動物を用いた視覚探索研究では、標的刺激にはカテゴリカルでない刺激を用いていた (e.g., P.Blough, 1989)。しかし、日常場面においてヒトを含めた動物は、多様な事例からなるカテゴリを探索する (カテゴリ探索) ことが求められる。しかしこれまでのヒト以外の動物を用いた視覚探索研究では、カテゴリ探索について検討されていない。そこで研究1ではハトを被験体に用いて、ヒト以外の動物のカテゴリ探索を検討する。

それではまず、研究1で使用した刺激を説明する。研究1では、標的刺激として顔画像の合成画によって作成した人工カテゴリの事例を用いた (Fig. 17)。妨害刺激には、人工カテゴリ作成に用いなかった顔画像の原画を用いた (Fig. 18)。



- : 共通成分
- : 事例特異的成分

Fig. 17 カテゴリ探索の標的刺激として用いた人工カテゴリの事例

まず、標的刺激に用いた人工カテゴリの作成方法を説明する。日本人男子学生顔 5 名のうち 1 名の顔 (P) と、残り 4 名の顔 (A, B, C, D) をそれぞれ 50% ずつ合成し、合成画 AP, BP, CP, DP を作成した⁴。また、顔 A, B, C, D 同士の合成画 (AB, AC, AD, BC, BD, CD) を作成し、それらと P を 50% ずつ合成した (ABP, ACP, ADP, BCP, BDP, CDP)。ABP など 3 成分からなる合成画は、カテゴリ内の家族的類似性を高めるために加えられた。Fig. 17 の破線で結ばれた合成画は P を 50% の割合でもっており、これら 50%P 合成画 10 種を、訓練では標的刺激として用いた。従って、P はカテゴリ事例が共通してもつ成分のため、「共通成分」と呼ぶ。一方 A, B, C, D は事例が特異的にもつ成分のため、「事例特異的成分」と呼ぶ。このように標的刺激には、共通成分に由来する特性（共通成分特性）によって特徴づけられる人工カテゴリの事例を用いた。

一方、妨害刺激には、カテゴリ作成に用いていない 8 つの顔画像を用いた（日本人男子学生顔 2 名、日本人男性教授顔 2 名、外国人男子学生顔 2 名、日本人女子学生顔 2 名）。



Fig. 18 カテゴリ探索の妨害刺激として用いた非カテゴリ事例

⁴ ハトごとに異なる顔を P として用いた

研究 1 の前に予備実験を行い、ハトが非カテゴリ事例の中からカテゴリ事例を探索することが可能であるかを調べた。探索画面では 1 つの標的刺激と 4 つの妨害刺激が呈示された (Display Size は 5)。ハトは、探索画面上の斉一 (Homogeneous) な妨害刺激 (試行間では妨害刺激は変化した) の中から標的刺激を探索することを容易に学習した。次に、探索画面上の非斉一 (Heterogeneous) な妨害刺激の中から標的刺激を探索することを訓練した。Heterogeneous 訓練の最初から高い正答率が確認された。この結果は、Homogeneous 訓練において 1 つだけ違う物 (孤立項) を探索する方略 (D. Blough, 1989, 1993) をハトは行っていないことを示している。予備実験から約 9 月後、同様のハトを用いて研究 1 を行った。実験 1 では、カテゴリ探索におけるボトムアップ的要因の影響を検討するため、探索画面上の妨害刺激が斉一な Homogeneous 条件と、探索画面場の妨害刺激が非斉一な Heterogeneous 条件を同一セッションで行った。妨害刺激の斉一性といったボトムアップ的な要因がカテゴリ探索に影響するならば、Homogeneous 条件が Heterogeneous 条件よりも探索効率が良くなると考えられた。実験 2 では、新奇事例に探索反応が転移するか検討した。新奇事例には、共通成分と新奇な事例特異的成分を合成した合成画を用いた。ハトが共通成分特性を探索の手がかりに用いていたならば、新奇事例に探索反応が転移すると予測される。実験 3 では、共通成分合成率を変化させた多様な新奇事例を用いて、それら新奇事例に探索反応が転移するか検討した。ハトが共通成分特性を探索の手がかりに用いていたならば、トップダウン的な重み付けが共通成分特性になさ

れ, 共通成分特性をもつ標的刺激に注意が誘導されると考えられる。その場合, 共通成分合成率に従って, 探索効率は良くなると考えられる。

2.2 実験 1

実験 1 では、カテゴリ探索における妨害刺激の斉一性（ボトムアップ的要因）の効果について検討するため、探索画面上の妨害刺激が斉一な Homogeneous 条件と、探索画面上の妨害刺激が非斉一な Heterogeneous 条件で実験を行った (Fig. 19)。

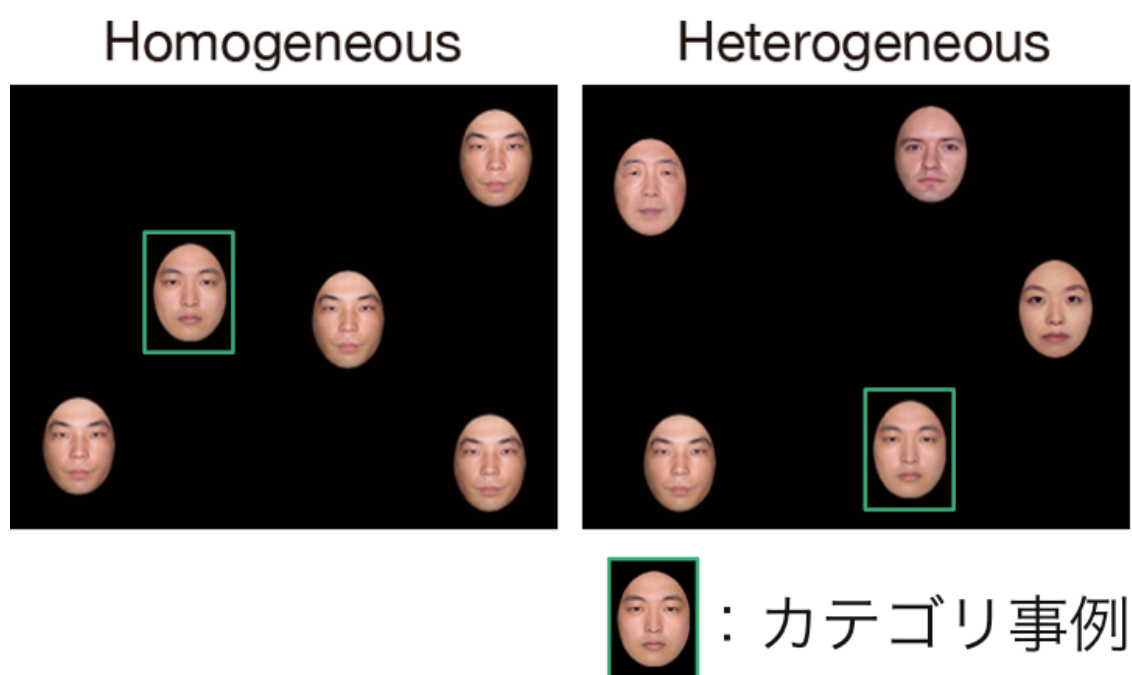


Fig. 19 実験 1 の探索場面例（緑枠は実際の探索画面には呈示していない）

（左）探索画面上の妨害刺激が斉一な Homogeneous 条件

（右）探索画面上の妨害刺激が非斉一な Heterogeneous 条件

誘導探索理論 (e.g., Wolfe, 2004) によると, 妨害刺激の斉一性といった, 標的
 刺激と妨害刺激がもつ特性の差 (ボトムアップ的要因) によって顕著性が決定
 される。標的刺激の特性に関する知識 (トップダウン的要因) を探索者がもつ
 と, その特性の顕著性に重み付けがなされる (顕著性に重み付けされたものは
 活性値と呼ばれる)。特性次元全ての活性値の総和が, 各刺激の活性値として算
 出され, 活性値の高い刺激から順に注意が誘導される。もし, ハトのカテゴリ
 探索においても, 以上のモデルがあてはまるならば, 結果に関して, 3つの予
 測がたてられる (Fig. 20)。

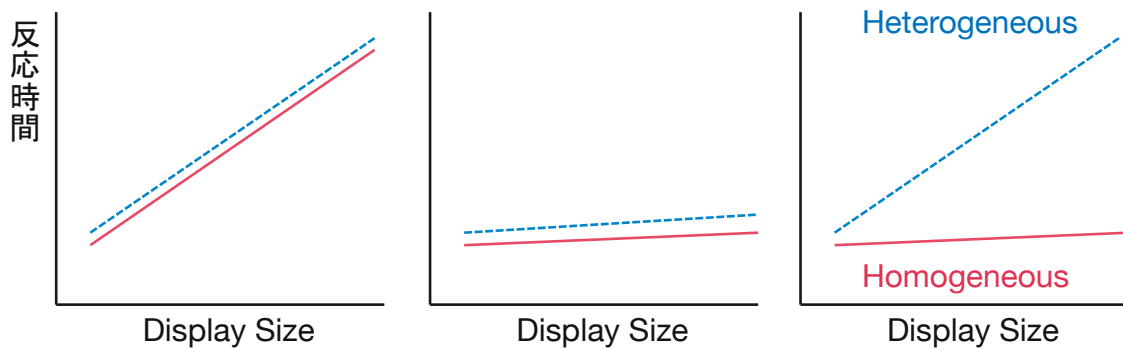


Fig. 20 実験 1 の結果予測

(左) 予測 1 : ボトムアップ的要因による注意の誘導も

トップダウン的要因による注意の誘導もなく, ランダムな探索を行う

(中央) 予測 2 : ボトムアップ的要因が影響しないほど,

トップダウン的要因による注意の誘導が生じる

(右) 予測 3 : ボトムアップ的要因が探索に影響する

1つ目は、「妨害刺激の斉一性（ボトムアップ的要因）は、標的刺激の顕著性に影響しない。また、ハトは標的カテゴリを学習しておらず、カテゴリ事例の共通成分特性を探索の手がかりに用いないため、トップダウン的な重み付けが標的刺激になされない」という予測である。(Fig. 20, 左)。この予測の場合、標的刺激の活性値は、妨害刺激の活性値と同じくらいであるため、標的刺激に注意は誘導されない。ハトは標的刺激を偶然見つけるまで、探索画面上にある刺激一つ一つにランダムに注意を向けると考えられる。この予測が正しいならば、妨害刺激の斉一性によって探索効率に差はなく、どちらも非効率的な探索になると考えられる。2つ目は、「妨害刺激の斉一性（ボトムアップ的要因）によって標的刺激の顕著性が影響しないほど、標的刺激にトップダウン的な重み付けがなされ、妨害刺激の斉一性に関わらず標的刺激に注意が誘導される」という予測である。(Fig. 20, 中央)。この予測の場合、妨害刺激の斉一性によって探索効率に差はなく、どちらも効率的な探索になると考えられる。3つ目の予測は、「妨害刺激の斉一性が標的刺激の顕著性に影響する」というものである (Fig. 20, 右)。標的刺激と妨害刺激が類似しているとき(Duncan & Humphreys, 1989), または標的刺激が単一の顕著な特性によって定義されないとき(Wolfe, 1994), 妨害刺激の斉一性は探索効率に影響すると考えられる。本研究では、カテゴリ事例は、共通成分に由来する特性によって定義することができるが、単一の「特性」もしくは「特性」の組み合わせによって定義することはできない。そのため、カテゴリ事例がもつ特性を、非カテゴリ事例ももつ可能性があり、妨

害刺激の斉一性が探索効率に影響するかもしれない⁵。この予測では、妨害刺激が非斉一な Heterogeneous 条件のとき、妨害刺激が斉一な Homogeneous 条件よりも探索効率が悪くなると考えられる。

また実験 1 では、標的刺激と妨害刺激の類似性効果（ボトムアップ的要因）についても検討するため、Homogeneous 条件における妨害刺激のクラスごとに分析を行った（Fig. 21）。

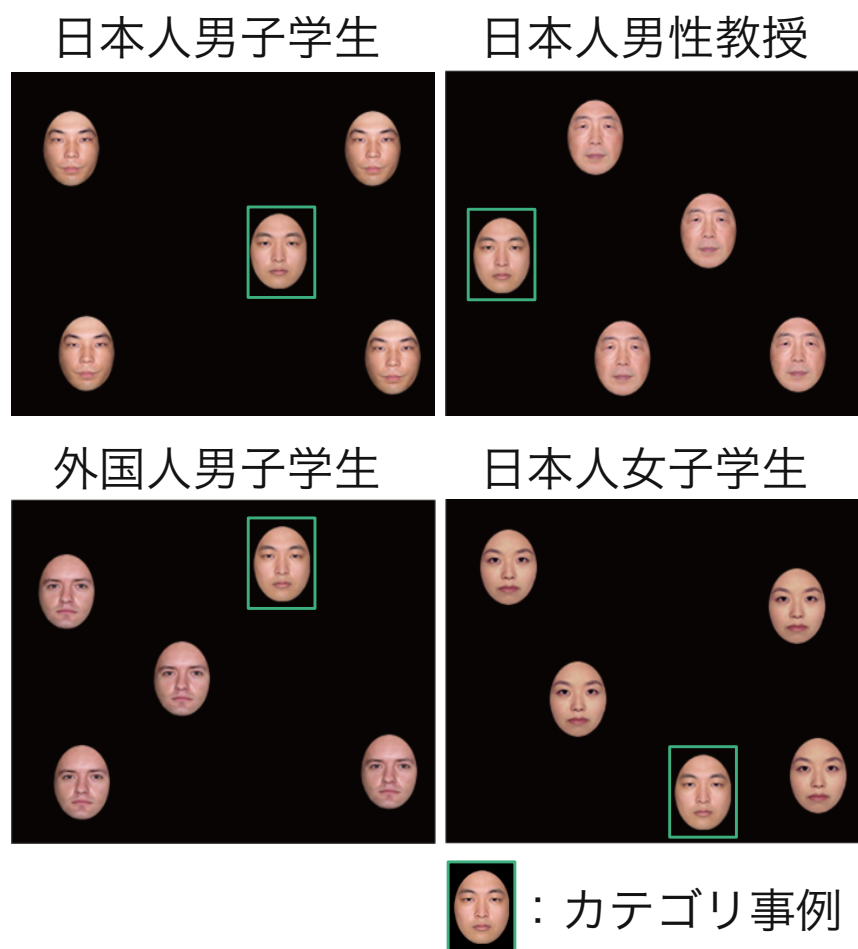


Fig. 21 妨害刺激クラスごとの探索課題例

（緑枠は実際の探索画面には呈示していない）

⁵ 標的刺激と妨害刺激はどちらも「顔画像」である。「目」や「肌のテクスチャ」といった単一の特性や特性の組み合わせによって定義することはできない。

標的刺激には「日本人男子学生顔」の合成画を用いた。一方、妨害刺激には4つのクラスの顔画像を用いた。1. 標的刺激と同じ「日本人男子学生」(ただし、標的刺激の合成画作成に用いていない原画)、2. 標的刺激と「性別」が異なる「日本人女子学生」、3. 標的刺激と「人種」が異なる「外国人男子学生」、4. 標的刺激と「年齢」が異なる「日本人男性教授」である⁶。ハトは、人の顔画像の「性別」を弁別するなど、ヒトと類似した人の顔画像の弁別を行うことが明らかになっている (e.g., Gibson et al., 2005)。つまりハトは、「性別」が同じ顔画像同士は類似性が高く、性別が異なる顔画像同士は類似性が低いと判断しているということである。従って、「日本人男子学生」クラスの妨害刺激は、他のクラスの妨害刺激よりも、「日本人男子学生」の合成画である標的刺激と類似性が高いだろう。カテゴリ探索において、標的刺激-妨害刺激類似性が影響するならば、「日本人男子学生」妨害刺激クラスの探索効率が、他の妨害刺激クラスの探索効率よりも悪くなると考えられる。

⁶ 本論文での「カテゴリ」は、共通成分特性によって特徴づけられる人工カテゴリを指す(人工カテゴリの詳細は、p.80)。顔画像が属する、性別、年齢、人種といった元々のカテゴリと、上記の人工カテゴリとの混同を避けるため、本論文では、性別、年齢、人種といったカテゴリは「クラス」と呼ぶ。

2.2.1 方法

2.2.1.1 被験体

予備実験で用いた、デンショバト 4 羽を用いた。自由摂食時安定体重の 85% に体重統制したが、水と鉱物飼料は個別飼育ケージで自由に摂食できた。個体飼育ケージは屋外に設置された十分な換気と太陽光が得られる鳩舎内に置かれ、明暗サイクルや温度は統制していない。

2.2.1.2 装置

同一仕様のハト用実験箱(幅 35×奥行 35×高さ 32cm)を 4 台用いた (Fig. 22)。各実験箱の前面パネル中央部の開口部 (15×20cm) に接して、反応検出用のタッチパネル (タッチパネルシステムズ社製 Carroll Touch) を装着した液晶モニター (EIZO 社製 FlexScan L367) を設置した。実験箱床下にある給餌器 (三双製作所社製 CJ-4) が作動し給餌器照明 (3W) が点灯すると、前面パネル中央から 4 cm 離れた床面開口部 (2.3×2.3 cm) に混合飼料が呈示された。天井中央に、箱内照明として白熱球 (3W) を取り付けた。実験制御とデータの記録はパーソナルコンピュータ (ドスパラ社製 Prime A Lightning M64, Windows XP) で行い、制御用プログラムは Visual Basic 6.0 (Microsoft 社製) で作成した。

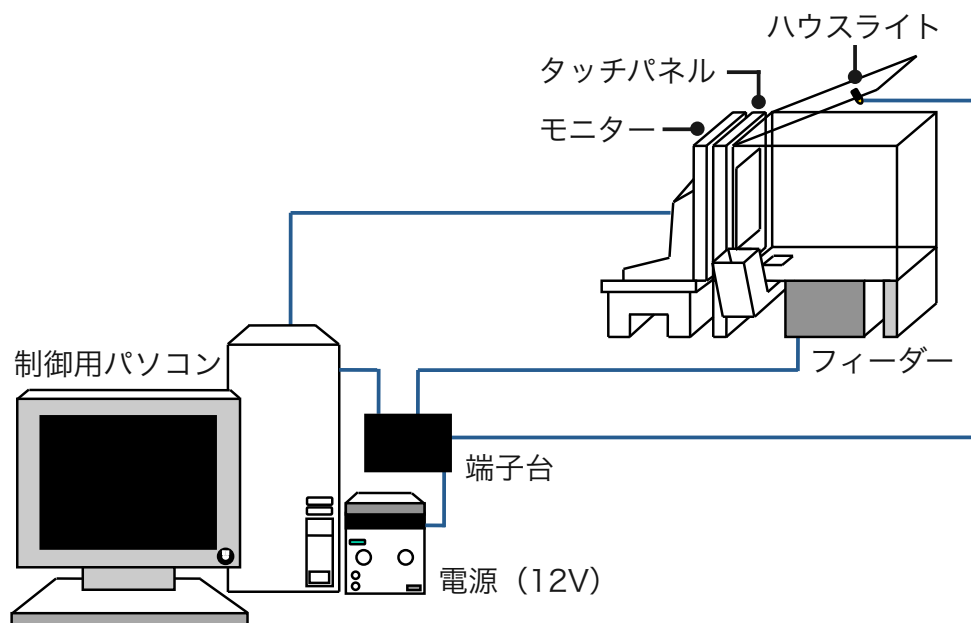


Fig. 22 実験で用いた装置の概略図

2.2.1.3 刺激

刺激は予備実験で用いたものと同様のものを用いた。デジタルカメラ (Olympus 社製 C-730) で 13 名 (日本人男子大学生 7 名, 日本人教授顔 2 名, 外国人男子学生顔 2 名, 日本人女子学生顔 2 名) の顔を正面から撮影した。撮影にあたっては, 表情のない真顔を作るように教示した。画像処理ソフト Photoshop (Adobe 社製) を用いて楕円形に顔の内側を切り抜き, 顔画像が同じサイズになるようにした。外国人男子学生顔の目は, 他の顔画像と異なり青色であったため, ハトの注意を誘導 (もしくは抑制) してしまう可能性が考えられたことから, 茶色に補正した。

7名の日本人男子学生顔のうち5名をカテゴリ事例の作成に用いた (Fig. 23 の A, B, C, D, P)。合成には合成ソフト (Gryphon software 社製 MORPH) を使用した。

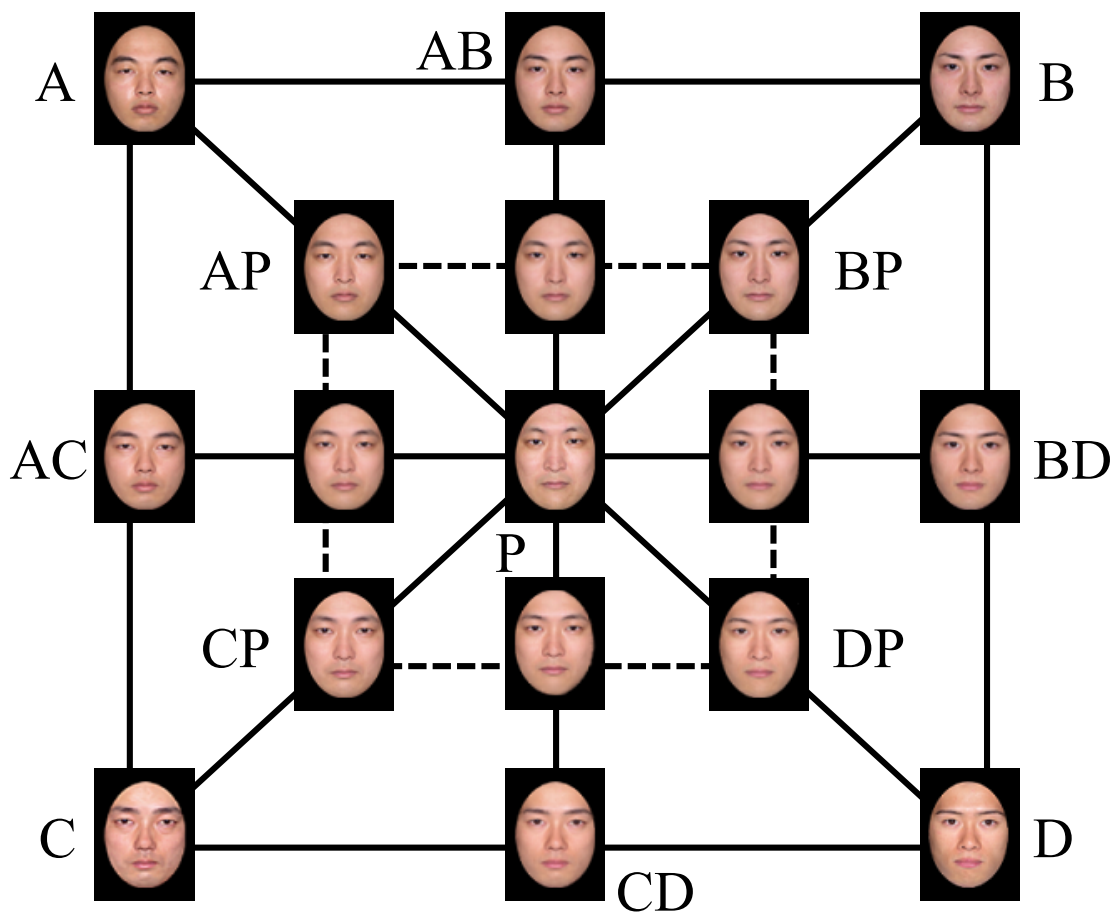


Fig. 23 4個体中1個体に標的刺激として用いた人工カテゴリ

記載していないが, AD, BC, ADP, BCP も作成した

日本人男子学生顔 5 名のうち 1 名の顔 (P) と、残り 4 名の顔 (A, B, C, D) をそれぞれ 50% ずつ合成し、合成画 AP, BP, CP, DP を作成した⁷。また、顔 A, B, C, D 同士の合成画 (AB, AC, AD, BC, BD, CD) を作成し、それらと P を 50% ずつ合成した (ABP, ACP, ADP, BCP, BDP, CDP)。ABP など 3 成分からなる合成画は、カテゴリ内の家族的類似性を高めるために加えられた。Fig. 23 の破線で結ばれた合成画は P を 50% の割合でもっており、これら 50%P 合成画 10 種を、実験 1 では標的刺激として用いた。従って、P はカテゴリ事例が共通してもつ成分のため、「共通成分」と呼ぶ。一方 A, B, C, D は事例が特異的にもつ成分のため、「事例特異的成分」と呼ぶ。

妨害刺激には、8 つの顔画像 (Fig. 24) を用いた。Heterogeneous 条件内における妨害刺激の多様性および、Homogeneous 試行間における妨害刺激の多様性を上昇させるため、日本人男子学生顔 2 名、日本人男性教授顔 2 名、外国人男子学生顔 2 名、日本人女子学生顔 2 名を用いた。



Fig. 24 妨害刺激として用いた非カテゴリ事例

左から日本人男子学生顔、日本人男性教授顔、外国人男子学生顔、日本人女子学生顔

⁷ ハトごとに異なる顔を P として用いた

Fig. 25 に探索画面を示した。顔刺激は幅 48 pixels, 高さ 64 pixels であった。刺激は 100 pixels あたり 29.7mm のモニタに呈示した。刺激は黒色背景上に呈示した。縦 3 個×横 4 個, 計 12 個の反応検出領域があった。各反応検出領域は幅 80 pixels, 高さ 100 pixels であった。各反応検出領域は垂直方向に 25 pixels, 水平方向に 20 pixels 離れていた。各刺激は反応検出領域内に呈示された。刺激は反応検出領域の境界から水平方向は 8 pixels, 垂直方向は 6 pixels 以上離して呈示した。従って, 各刺激は垂直方向に 41 pixels, 水平方向に 32 pixels 以上離されて呈示された。刺激同士が水平方向, 垂直方向に真っ直ぐ呈示されることはなかった。標的刺激はセッション間で, 各呈示領域に同頻度で呈示された。

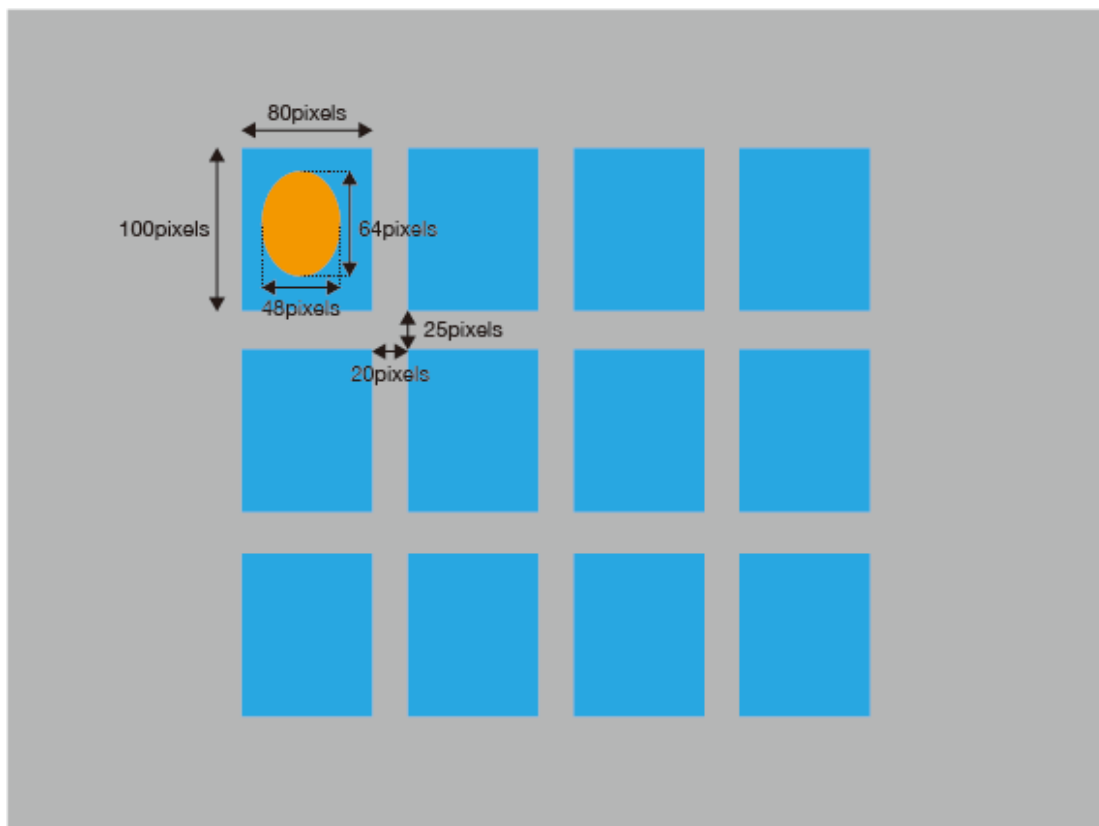


Fig. 25 探索画面 (実際の背景及び反応検出領域は黒色であった)

試行の始めに、白い十字を呈示した。白い十字は、幅 48 pixels, 高さ 48 pixels であった。

2.2.1.4 手続き

Fig. 26 に 1 試行の画面の流れを示した。

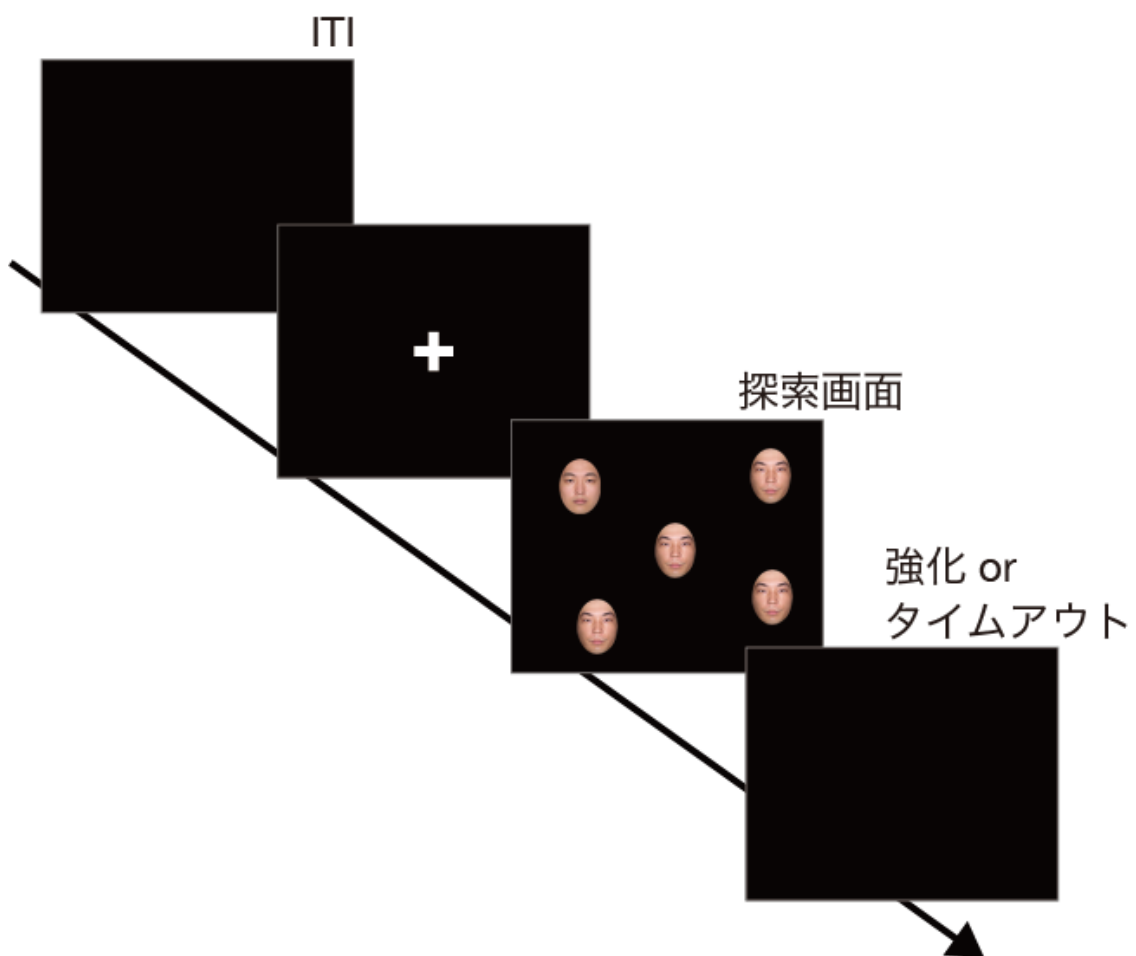


Fig. 26 1 試行の画面の流れ

訓練

試行が開始すると画面の中央に白い十字が呈示された。十字に対して反応すると十字が消え、探索画面が呈示された。探索画面には標的刺激が1つ、妨害刺激が4つ (Display Size = 5) が呈示された。探索画面上の妨害刺激が斉一な Homogeneous 条件と、探索画面上の妨害刺激が非斉一な Heterogeneous 条件があり、それぞれ1セッションで80試行行った (1セッション160試行)。標的刺激に対して反応すると、3秒間の強化が与えられた。1セッションで40試行は一次性強化 (餌：混合穀物摂取) が与えられた (各条件20試行ずつ)。一次性強化はセッション内、セッション間を通して、各標的刺激に同頻度に与えた。一次性強化が与えられない残り120試行では、フードホッパーが0.5秒だけ上がった (二次性強化)。妨害刺激に対して反応すると (誤反応)、2秒間のブラックアウトが与えられた。誤反応の後、標的刺激に対して正しく反応するまで同じ試行が繰り返された (矯正試行)。矯正試行は分析から除外した。3秒間の試行間間隔 (ITI) ではハウスライトが付けられた。

標的刺激は2つのセットに分けた。1つは AP, BP, ACP, BDP, CDP, 2つめは CP, DP, ABP, ADP, BCP であった。各セットが1セッションで呈示された。交互に各セットのセッションが行われたため、2セッションをセッションブロックとした。1セッションでは、Homogeneous 条件、Heterogeneous 条件がそれぞれ80試行行われた。1セッション内の Homogeneous 条件では40種の探索画面 (標的刺激5種 × 妨害刺激8種) が2回ずつ呈示された。Heterogeneous 試行では、試

行内で8つの妨害刺激のうち4つを呈示した。8つの妨害刺激はセッション内で同頻度に呈示された。1セッションは、16試行からなる10のブロックから構成された。それぞれのブロックはHomogeneous条件8試行、Heterogeneous条件8試行から構成された。試行順はブロックごとにランダムに決定された。完成基準は、最低6つのセッションブロック（12セッション）かつ連続する2セッションで90%以上の正答率とした。

テスト

テストでは、Display Sizeを3, 5, 7, 9に変化した。訓練と同様に、2つの標的刺激のセットを交互に呈示した。Display Size 3とDisplay Size 9が同一セッション、Display Size 5とDisplay Size 7が同一セッションで呈示された。1セッションは160試行であった。Homogeneous条件は320種の探索画面（標的刺激5種 × 妨害刺激8種 × Display Size 4種）があり、4セッション（640試行）で全ての探索画面が呈示された（Homogeneous条件320試行）。4セッションでHomogeneous条件の探索画面全てが呈示されたため、4セッションをセッションブロックとした。Heterogeneous条件は、各セッションブロックで20種の探索画面（標的刺激5種 × Display Size 4種）が16回呈示された（320試行）。8つの妨害刺激はセッション内、セッション間で同頻度に呈示された。

6つのセッションブロック（24セッション）を行った。セッションブロックの順番は、被験体及び被験体間でカウンターバランスをとった。強化、矯正試行

などの他の手続きは訓練と同様であった。

2.2.2 結果と考察

訓練

予備実験を行っていたため、訓練の最初から、Homogeneous 条件、Heterogeneous 条件ともに高い正答率であった (Fig. 27)。

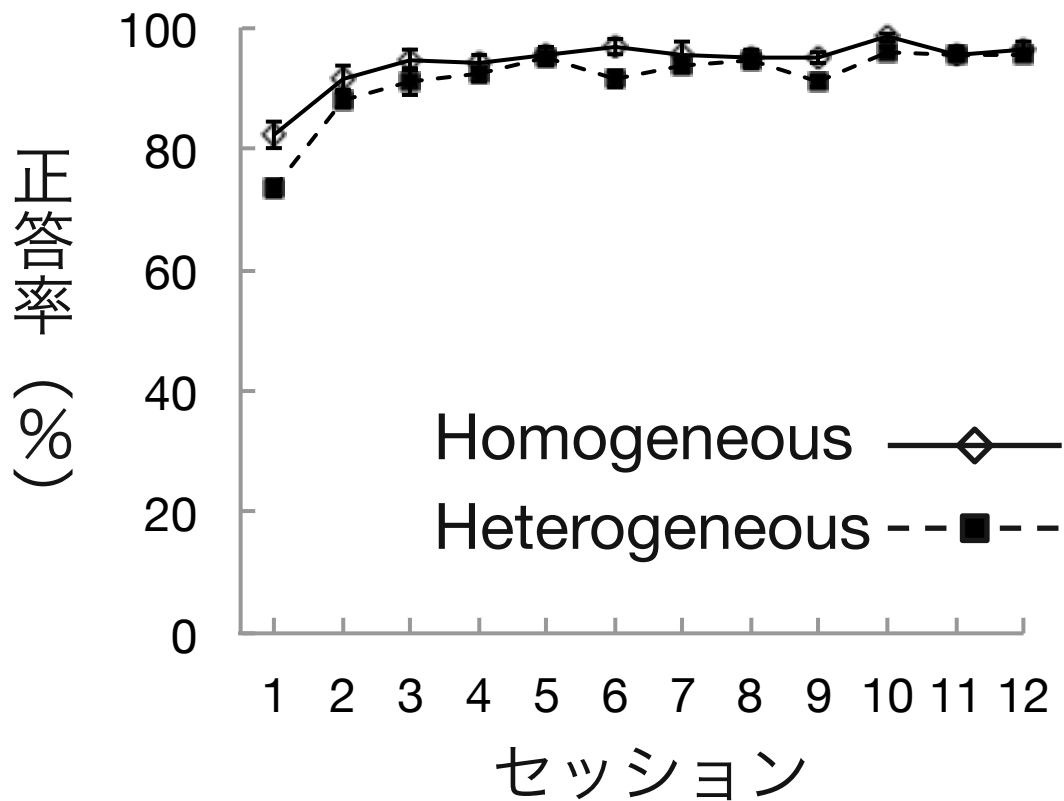


Fig. 27 実験 1 訓練の 4 個体平均正答率の推移

エラーバーは標準誤差を示す

最初の2セッションブロックの平均正答率は、Homogeneous条件は87% (range: 84-91%), Heterogeneous試行は81% (range: 78-84%)であった。平均4.0セッションで2セッション連続90%以上の正答率に達したが、12セッション行った。最終の2セッションブロックの平均正答率は、Homogeneous条件は96% (range: 95-98%), Heterogeneous条件は95% (range: 95-96%)であった。

訓練における正答率のデータに関して、妨害刺激斉一性 (Homogeneous vs. Heterogeneous) とセッションを個体内要因とする、個体内で対応のある二要因分散分析を行った。有意水準には.05を用いた ($\alpha = .05$, 以後の研究も同様)。分析の結果、妨害刺激斉一性 [$F(1, 3) = 336.46, p < .001, \eta_p^2 = .99$], セッション [$F(11, 33) = 22.63, p < .001, \eta_p^2 = .88$]それぞれの主効果は有意であった。有意な交互作用は確認されなかった [$F(11, 33) = 1.22, p = .310, \eta_p^2 = .29$]。訓練とともに正答率は上昇したが、常に Homogeneous条件の方が Heterogeneous条件よりも正答率は良いことが示された。

テスト

反応時間は探索画面が呈示されてから標的刺激に反応するまでの時間とした。100ms以下の反応時間は分析から除外した (除外した試行は、全体の0.16%であった)。反応時間は妨害刺激斉一性 (Homogeneous条件, Heterogeneous条件) の Display Sizeごとに求めた。セッションブロック (80試行) の中央値を算出し、被験体ごとに6つのセッションブロック (24セッション) の平均値を求めた。Fig.

28 に Display Size ごとの Homogeneous 条件と Heterogeneous 条件の正答率 (Fig. 28, 上) と反応時間 (Fig. 28, 下) を示した。図のデータポイントは 4 個体の平均である。

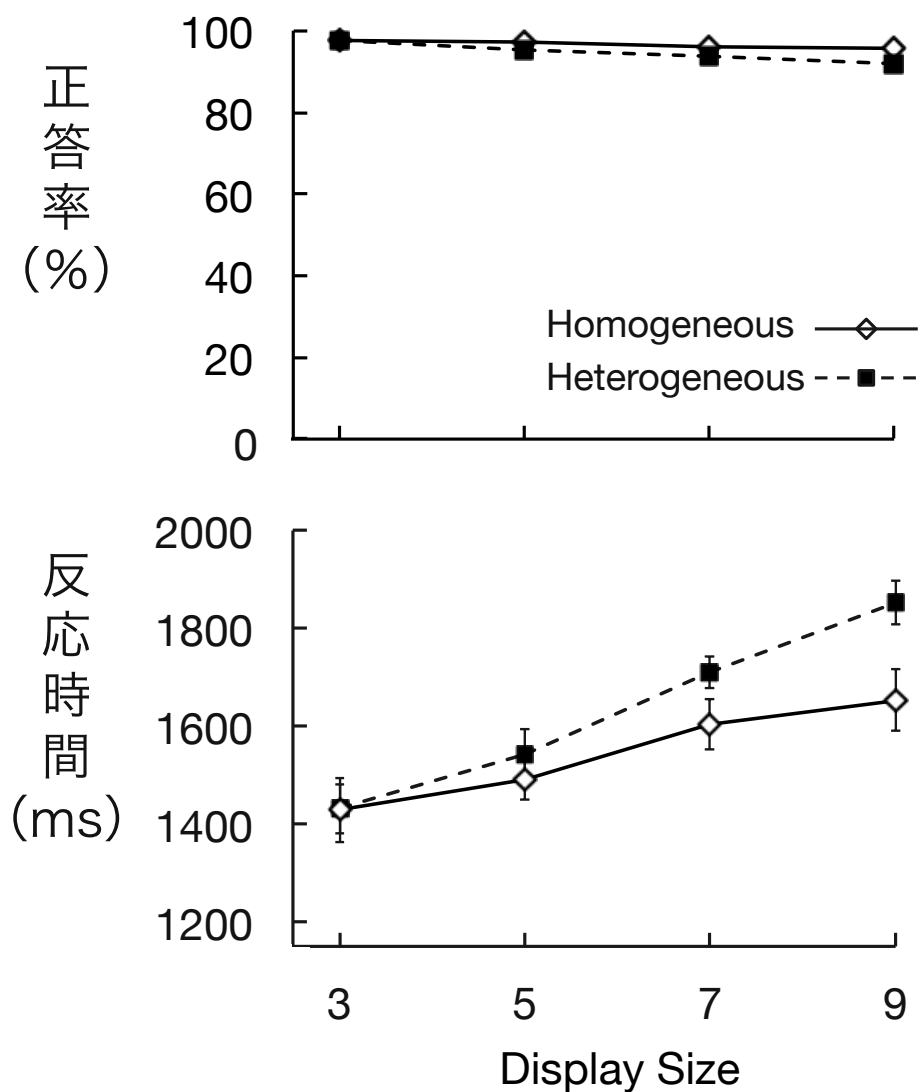


Fig. 28 Homogeneous 条件, Heterogeneous 条件における Display Size ごとの
4 個体平均正答率 (上) と 4 個体平均反応時間 (下)

エラーバーは標準誤差を示す

まず、テストにおける正答率のデータを分析した。90%以上の高い正答率が確認された。しかし、Display Size に従って、少しではあるが正答率の減少が確認された。そこで、正答率のデータに関して、妨害刺激斉一性（Homogeneous vs. Heterogeneous）と Display Size（3 vs. 5 vs. 7 vs. 9）を個体内要因とする、個体内で対応のある二要因分散分析を行った。分析の結果、妨害刺激斉一性 [$F(1, 3) = 14.29, p = .032, \eta_p^2 = .83$], Display Size [$F(3, 9) = 7.14, p = .009, \eta_p^2 = .70$] それぞれの主効果は有意であった。有意な交互作用は確認されなかった [$F(3, 9) = 1.54, p = .271, \eta_p^2 = .34$]。

次に、テストにおける反応時間のデータを分析した。Fig. 28（下）を見ると、Homogeneous 条件、Heterogeneous 条件ともに、反応時間は Display Size が増えるとともに増加していることがわかる。また、Heterogeneous 条件の方が Homogeneous 条件よりもスロープは急であった。反応時間の各条件のデータに回帰直線をあてはめ、1項目あたりの処理に要した時間を求めた（単位は ms / item）⁸。1項目あたりの処理に要した時間は、探索効率の目安とされ、1項目あたりの処理に要した時間が少ないほど効率の良い探索とされる。ヒトの視覚探索研究では、1項目あたり 10msec 以下であった場合、いわゆる「ポップ・アウト」が生じている非常に効率の良い探索とされている。

⁸ 1 アイテムあたりの処理に要した時間は、Excel 関数の Slope 関数（回帰直線の傾き）によって求めた。回帰直線の傾きは以下の式によって算出される。
相関係数 = 偏差積の平均 / (x の標準偏差 * y の標準偏差)
回帰直線の傾き = 相関係数 * (y の標準偏差 / x の標準偏差)

Table 1 実験 1 の Homogeneous 条件, Heterogeneous 条件における各個体の

探索効率

	Homogeneous 条件	Heterogeneous 条件
Bird 1	30 ms / Item	92 ms / Item
Bird 2	42 ms / Item	57 ms / Item
Bird 3	48 ms / Item	55 ms / Item
Bird 4	39 ms / Item	84 ms / Item

各被験体の Heterogeneous 条件と Homogeneous 条件のスロープを Table 1 に示した。全ての個体で、Homogeneous 条件の方が、Heterogeneous 条件よりも探索効率が良かった。

反応時間のデータに関して、妨害刺激斉一性 (Homogeneous vs. Heterogeneous) と Display Size (3 vs. 5 vs. 7 vs. 9) を個体内要因とする、個体内で対応のある二要因分散分析を行った。分析の結果、妨害刺激斉一性 [$F(1, 3) = 30.05, p = .012, \eta_p^2 = .91$], Display Size [$F(3, 9) = 184.39, p < .001, \eta_p^2 = .98$]それぞれの主効果は有意であった。交互作用は有意傾向であった [$F(3, 9) = 3.11, p = .081, \eta_p^2 = .51$]。被験体ごとの差が大きいため、Homogeneous 条件, Heterogeneous 条件の探索スロープに差が確認されなかったと考えられる。

妨害刺激の斉一性が探索にどのように影響するのか、3つの結果の予測が考えられたが (Fig. 20), 結果はどの予測と一致するだろうか。まず, Homogeneous 条件と Heterogeneous 条件ともに, Display Size の増加にともなう反応時間の上昇が確認されたため, 「妨害刺激の斉一性 (ボトムアップ的要因) によって標的刺激の顕著性が影響しないほど, 標的刺激にトップダウン的な重み付けがなされ, 妨害刺激の斉一性に関わらず標的刺激に注意が誘導される」という予測 2 とは一致しない (Fig. 20, 中央)。次に, Homogeneous 条件が Heterogeneous 条件よりも探索効率が良い傾向が示されたため, 「妨害刺激の斉一性 (ボトムアップ的要因) によって標的刺激の顕著性が変化する」という予測 3 と一致する (Fig. 20, 右)。しかし, Homogeneous 条件と Heterogeneous 条件の交互作用に統計的な有意差は確認されなかったため, 「妨害刺激の斉一性 (ボトムアップ的要因) によって標的刺激の顕著性は変化しない。また, 標的刺激であるカテゴリ事例の共通成分特性を探索の手がかりに用いないため, トップダウン的な重み付けが標的刺激になされない」という予測 1 (Fig. 20, 左) はこの段階で否定することはできない。

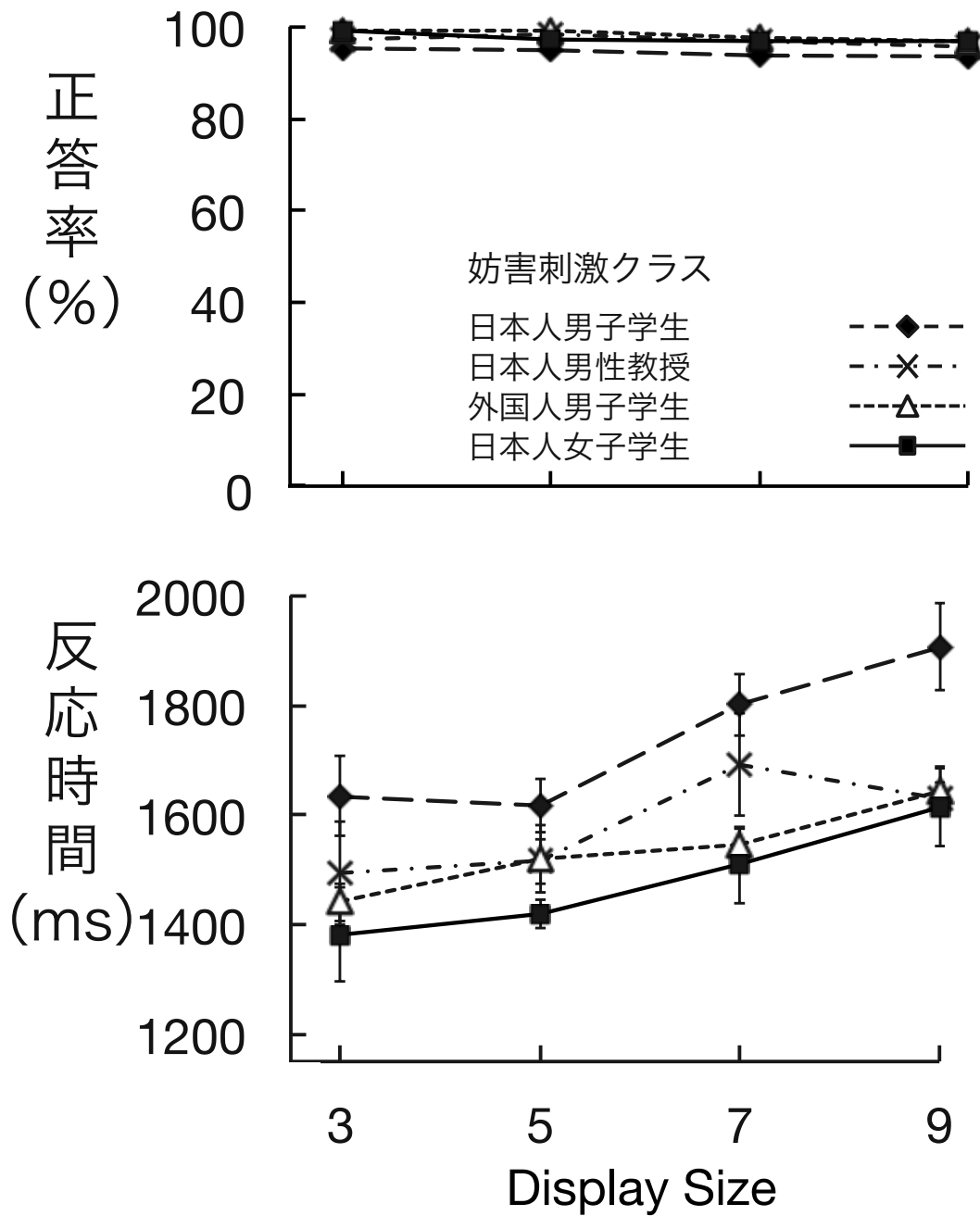


Fig. 29 各妨害刺激クラスにおける Display Size ごとの

4 個体平均正答率 (上) と 4 個体平均反応時間 (下)

エラーバーは標準誤差を示す

次に、標的刺激と妨害刺激の類似性による探索効率の影響を検討するため、妨害刺激クラスごとの正答率および反応時間を算出した。Fig. 29 に Homogeneous 条件における、Display Size ごとの各妨害刺激クラスの正答率 (Fig. 29, 上) と反応時間 (Fig. 29, 下) を示した。妨害刺激クラスに関わらず高い正答率であった。注目すべき点は、Display Size に関わらず日本人男子学生 > 日本人教授、外国人男子学生 > 日本人女子学生の順に反応時間が長いことである。そこで反応時間のデータに関して、妨害刺激クラス (日本人男子学生 vs. 日本人男性教授 vs. 外国人男子学生 vs. 日本人女子学生) と Display Size (3 vs. 5 vs. 7 vs. 9) を個体内要因とする、個体内で対応のある二要因分散分析を行った。分析の結果、妨害刺激クラス [$F(3, 9) = 20.00, p < .001, \eta_p^2 = .87$], Display Size [$F(3, 9) = 24.55, p < .001, \eta_p^2 = .89$]それぞれの主効果は有意であった。有意な交互作用は確認されず [$F(9, 27) = 0.83, p = .592, \eta_p^2 = .22$], 妨害刺激クラスによって探索スロープに差は見られなかった。

標的刺激には日本人男子学生顔の合成画を使用しているため、日本人男子学生妨害刺激クラスは、他の妨害刺激クラスよりも、標的刺激との類似性が高いと考えられる。しかし、妨害刺激クラスによって探索スロープに差が見られないことから、標的刺激と妨害刺激の類似性は探索効率に影響を及ぼさないことが明らかになった。この結果は、カテゴリカルでない刺激 (アルファベットや幾何学図形) を用いた視覚探索研究の結果 (ヒト; e.g., Duncan & Humphreys, 1989, ハト; e.g., P. Blough, 1984) と一致しない。標的刺激と妨害刺激の類似性が探索効

率に影響を及ぼさなかったという本実験の結果は、ハトが共通成分特性を探索の手がかりに用いており、共通成分特性をもつ標的刺激にトップダウン的な重み付けがなされ、妨害刺激クラスに関わらず標的刺激に注意が誘導されたことを示唆している。しかしまた、どの Display Size でも日本人男子学生妨害刺激クラスが、他の妨害刺激クラスよりも一様に反応時間が長かった。この結果から、標的刺激と妨害刺激の類似性は、標的刺激の検出には影響を及ぼさないが、標的刺激を検出したあと、標的刺激か否か同定する時間に影響を及ぼしていたと考えられる。

2.2.3 実験1のまとめ

Homogeneous 条件の方が Heterogeneous 条件よりも探索効率が良くなる傾向は見られたが、統計的に有意な交互作用が見られなかったことから、妨害刺激の斉一性（ボトムアップ的要因）が探索効率に影響を与えと言いきることはできない。また、妨害刺激クラスによる探索スロープの差は見られなかったことから、標的刺激と妨害刺激の類似性（ボトムアップ的要因）は探索効率に影響を与えなかったと考えられる。ハトがカテゴリ事例の共通成分特性を探索の手がかりに用いることで（トップダウン的要因）、共通成分特性をもつ標的刺激に注意が誘導されたことが示唆された。

そこで実験2では、ハトがカテゴリ探索において、カテゴリ事例の共通成分特性を探索の手がかりに用いていたのか、直接検討するために、共通成分と新

奇な事例特異的成分を合成したカテゴリ事例を標的刺激として用いた。

2.3 実験 2

ハトがカテゴリ探索において、共通成分特性を探索の手がかりに用いていたのか検討するために、実験 1 で用いたカテゴリ事例（訓練事例；AP, BP, CP, DP）と、新奇な事例特異的成分（E, F, G, H）と共通成分を 50% ずつ合成したカテゴリ事例（新奇事例；EP, FP, GP, HP）を標的刺激として用い、探索時間を比較した。4 つの新奇な事例特異的成分（E, F, G, H）のうち、2 つは日本人男子学生顔（E, F）、もう 2 つは日本人女子学生顔（G, H）であった（Fig. 30）。

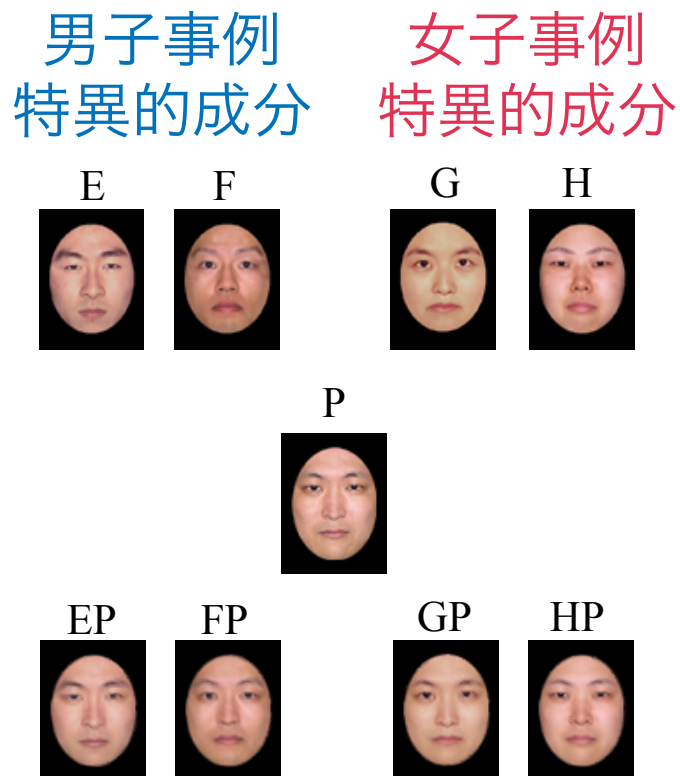


Fig. 30 新奇事例特異的成分（E, F, G, H）と共通成分を合成した新奇事例
(EP, FP, GP, HP)

4 個体中 1 個体に用いた刺激を例として示す

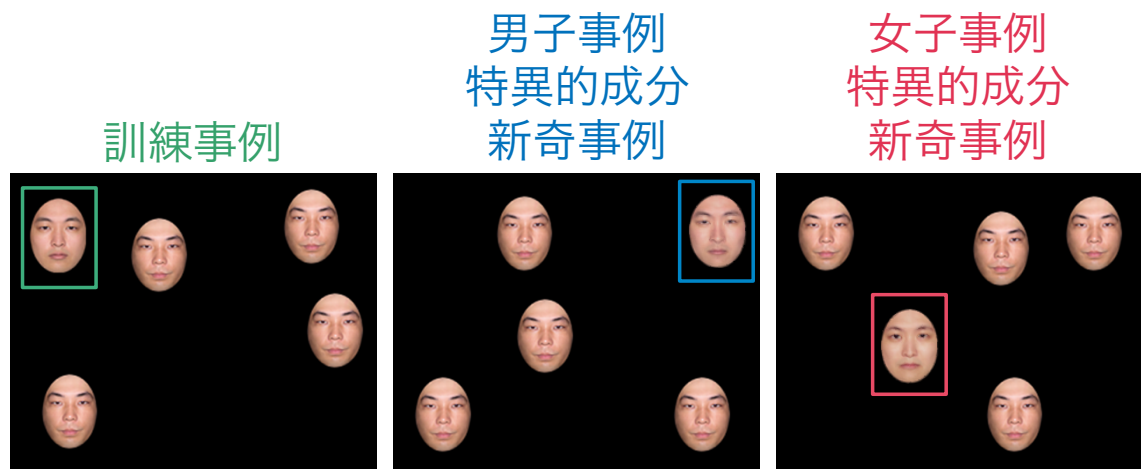


Fig. 31 実験 2 の探索課題例

ハトはどのようにカテゴリ事例の探索を行っていたのだろうか。3つの可能性が考えられる。1つ目は、「ハトがカテゴリ事例の共通成分特性を探索の手がかりに用いておらず、訓練事例を丸暗記し探索を行っていた」という可能性である。この場合、訓練事例 (AP, BP, CP, DP) よりも、新奇事例 (EP, FP, GP, HP) の探索効率は悪くなるだろう。2つ目は、「ハトがカテゴリ事例の共通成分特性を探索の手がかりに用いていた。また、事例特異的成分特性は探索の手がかりに全く用いていなかった」という可能性である。この場合、男子事例特異的成分新奇事例 (EP, FP)、女子事例特異的成分新奇事例 (GP, HP) どちらも、訓練事例 (AP, BP, CP, DP) と同じくらいの探索効率になると考えられる。3つ目は、「ハトは共通成分特性を探索の手がかりに用いるだけでなく、事例特異的成分特性も探索の手がかりに用いていた」という可能性である。男子事例特異的成分新奇事例の事例特異的成分 (E, F; 日本人男子学生) は、訓練事例の

事例特異的成分 (A, B, C, D; 日本人男子学生) と類似しているが, 女子事例特異的成分新奇事例の事例特異的成分 (G, H; 日本人女子学生) は訓練事例の事例特異的成分と類似していない。もしハトが, 共通成分特性だけでなく, 事例特異的成分特性を探索の手がかりに用いるならば, 男子事例特異的成分新奇事例 (EP, FP) は訓練事例 (AP, BP, CP, DP) と同じくらいの探索効率になるが, 女子事例特異的成分新奇事例 (GP, HP) の探索効率は, 訓練事例より悪くなると考えられる。

実験 2 では要因数が増えるため, Homogeneous 条件のみ行った。また, 実験 1 で, Display Size に従った線形的な反応時間の増加が確認されたため, Display Size は 5 と 9 のみ用いた。

2.3.1 方法

2.3.1.1 被験体と装置

実験 1 と同じハト 4 個体を用いた。飼育ケージや統制体重, 実験装置は実験 1 と同様であった。

2.3.1.2 刺激

4 つの新奇な顔画像 (E, F, G, H) を用いて新奇事例を作成した。2 つは日本人男子学生顔 (E, F), もう 2 つは日本人女子学生顔 (G, H) であった, P と新奇の顔画像を 50% ずつ合成し, 新奇事例 (EP, FP, GP, HP) を作成した (Fig. 30)。

訓練では、実験 1 で用いた 10 種のカテゴリ事例（AP, BP, CP, DP, ABP, ACP, ADP, BCP, BDP, CDP）を用いた。テストでは、4 種の訓練事例（AP, BP, CP, DP）と、4 種の新奇事例（EP, FP, GP, HP）を用いた。

2.3.1.3 手続き

訓練

1 セッションは 160 試行であった。探索画面は 160 種（標的刺激 10 種 × 妨害刺激 8 種 × Display Size 2 種）あり、1 セッションで全探索画面が呈示された。10 試行で各標的刺激が 1 回ずつ呈示されたため、10 試行を 1 ブロックとした。1 セッションは 16 ブロックで構成された。各妨害刺激は 4 ブロックで 5 試行ずつ呈示された。Display Size 5 と Display Size 9 は 1 ブロックで 5 試行ずつ呈示された。ある標的刺激と妨害刺激の組み合わせはセッション前半 8 ブロックで 1 回、セッション後半 8 ブロックで 1 回ずつ呈示された。Display Size は、前半 8 ブロックで Display Size 5 なら、後半 8 ブロックでは Display Size 9 であった。7 セッション行った。

テスト

訓練事例 4 種（AP, BP, CP, DP）と新奇事例 4 種（EP, FP, GP, HP）を標的刺激として用いた。1 セッションは、128 試行であった。探索画面は 128 種（標的刺激 8 種 × 妨害刺激 8 種 × Display Size 2 種）あり、1 セッションで全探索画面が

呈示された。8 試行で各標的刺激が 1 回ずつ呈示されたため、8 試行を 1 ブロックとした。セッションは 16 ブロック（128 試行）で構成された。各妨害刺激は 1 ブロックで 1 回ずつ呈示された。Display Size 5 と Display Size 9 は 1 ブロックで 4 回ずつ呈示された。ある標的刺激と妨害刺激の組み合わせはセッション前半 8 ブロックで 1 回、セッション後半 8 ブロックで 1 回ずつ呈示された。Display Size は、前半 8 ブロックで Display Size 5 なら、後半 8 ブロックでは Display Size 9 であった。12 セッション行った。強化、矯正試行などのその他手続きは訓練と同様であった。

2.3.1.4 結果と考察

最初のテストセッションから、新奇事例においても高い正答率が確認された。Fig.33 に Display Size 5 と Display Size 9 それぞれの平均正答率を標的刺激のクラス（訓練事例、男子事例特異的成分新奇事例、女子事例特異的成分新奇事例）ごとに示した。最初数セッションでは、Display Size 9 のときの、女子事例特異的成分新奇事例の正答率が、他の標的刺激クラスと比較して少し悪かった。しかし、後半セッションでは、標的刺激クラス間の正答率の差はなくなった。

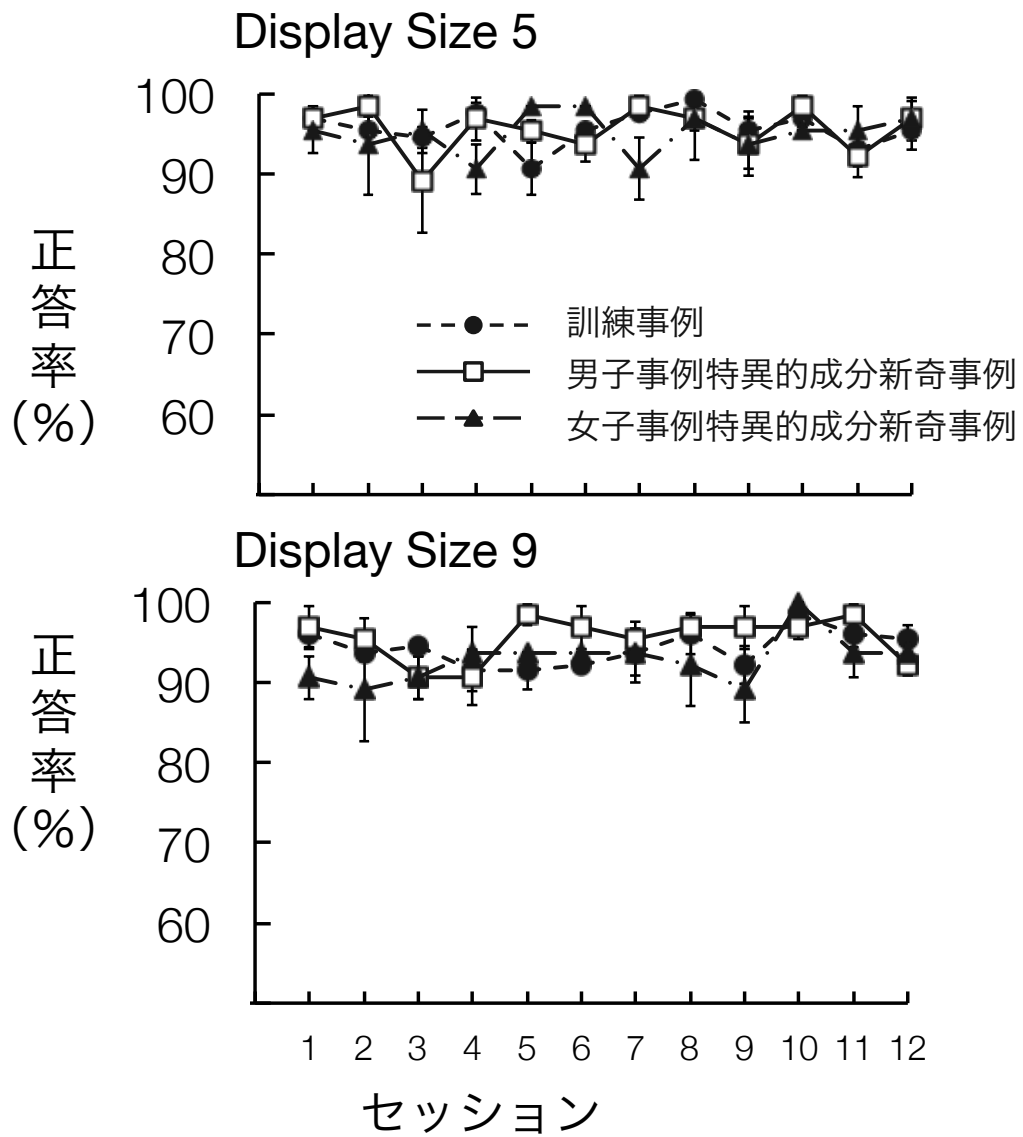


Fig. 32 実験 2 テストにおける標的刺激クラスごとの 4 個体平均正答率の推移

エラーバーは標準誤差を示す

テストにおいて正答率の上昇が確認されたため、反応時間は最初 3 セッションと最終 3 セッションにわけて分析を行った。

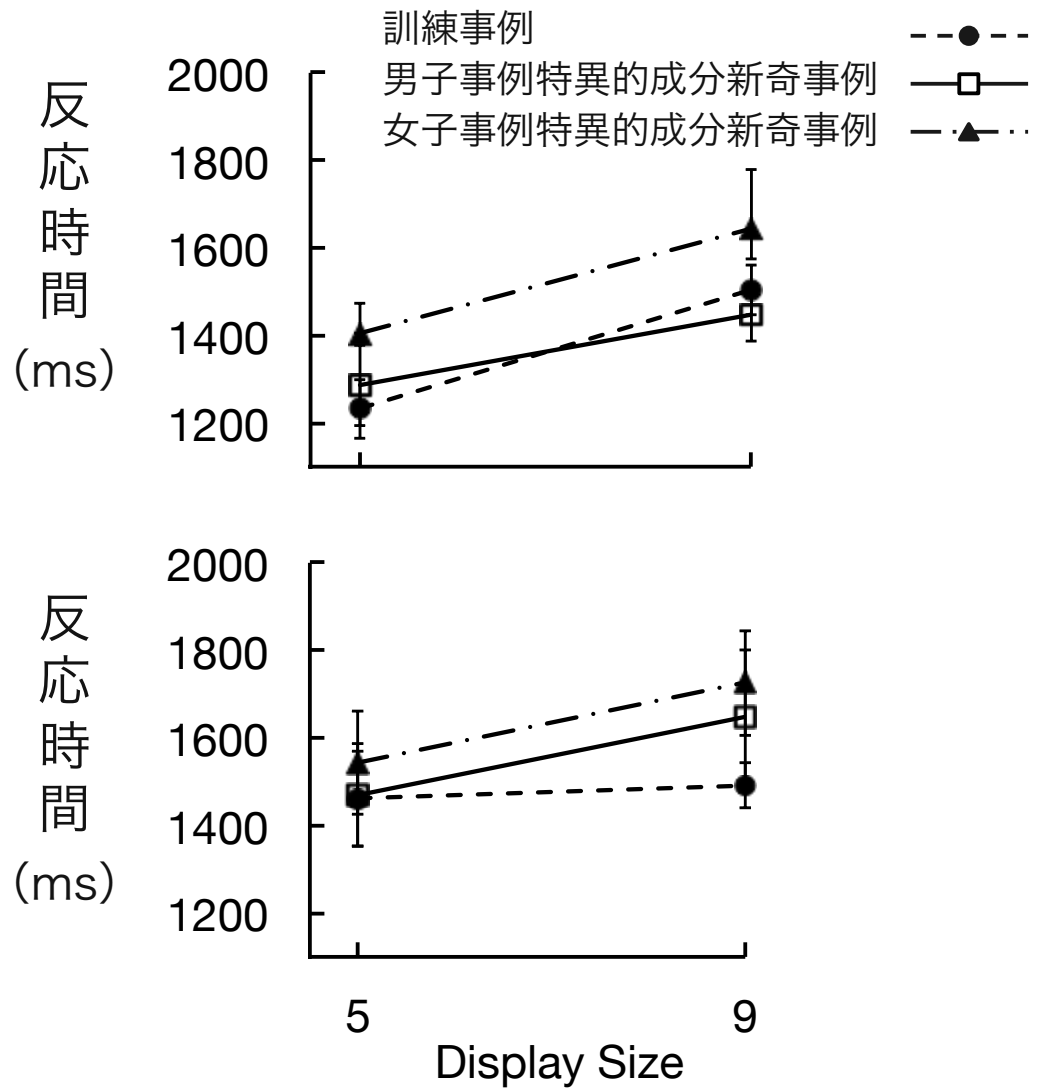


Fig. 33 実験 2 テストにおける標的刺激クラスごとの 4 個体平均反応時間

(上) 最初 3 セッション, (下) 最終 3 セッション

エラーバーは標準誤差を示す

まず、最初 3 セッションにおける、標的刺激クラスごとの反応時間を分析した (Fig. 33, 上)。反応時間のデータに関して、標的刺激クラス (訓練事例 vs. 男子事例特異的成分新奇事例 vs. 女子事例特異的成分新奇事例) と Display Size (5 vs. 9) を個体内要因とする、個体内で対応のある二要因分散分析を行った。分析の結果、Display Size の主効果は有意であった [$F(1, 3) = 54.26, p = .005, \eta_p^2 = .95$]。標的刺激クラスの主効果は有意傾向であった [$F(2, 6) = 3.75, p = .087, \eta_p^2 = .56$]。有意な交互作用は確認されず [$F(2, 6) = 0.20, p = .821, \eta_p^2 = .06$]、事例特異的成分によって探索効率に差は生じないことが示された。標的刺激クラスによって探索効率に違いが見られないことから、ハトは共通成分特性を探索の手がかりに用いていること、事例特異的成分特性は探索の手がかりには用いていない、用いていたとしても少しであることが明らかになった。共通成分特性にトップダウン的の重み付けがなされ、共通成分特性をもつカテゴリ事例に注意が誘導されることで、カテゴリ探索を行っていたと考えられる。

次に、最終 3 セッションの反応時間を分析した (Fig. 33, 下)。反応時間のデータに関して、標的刺激クラス (訓練事例 vs. 男子事例特異的成分新奇事例 vs. 女子事例特異的成分新奇事例) と Display Size (5 vs. 9) を個体内要因とする、個体内で対応のある二要因分散分析を行った。分析の結果、標的刺激クラス [$F(2, 6) = 1.86, p = .236, \eta_p^2 = .38$]、Display Size [$F(1, 3) = 4.01, p = .139, \eta_p^2 = .57$] の主効果はともに有意でなかった。有意な交互作用も確認されなかった [$F(2, 6) = 0.72, p = .526, \eta_p^2 = .19$]。最初 3 セッションとは異なり、Display Size に従った反応

時間の変化は確認されなかった。

最終3セッションでは、Display Sizeの増加にともなう反応時間の増加が確認されなくなった（探索効率が良くなった）。なぜ、カテゴリ探索の探索効率は良くなったのだろうか。1つの可能性として、カテゴリ事例の共通成分特性がより注意を誘導するようになったことが考えられる。テストセッションにおいて、新奇な事例特異的成分をもつカテゴリ事例を含めた探索練習を行うことで、事例特異的成分特性は探索の手がかりに用いにくくなるだろう。そこでハトは、より共通成分特性を探索の手がかりに用いるようになったのではないだろうか。共通成分特性にトップダウン的な重み付けがよりなされることにより、カテゴリ事例への注意の誘導がより生じ、探索効率が良くなったと考えられる。

しかし、どの標的刺激クラスでも最終3セッションの方が、最初3セッションよりも反応時間は長くなった（Fig. 33,上・下）。共通成分の合成率が少ない場合、新奇事例（特に女子事例特異的成分新奇事例）は訓練事例がもたない特性をもつことになる。従って、様々な新奇事例を含めて探索練習を行うことによって、標的刺激を検出した後の標的刺激か否か判断する同定の段階で、詳細に標的刺激の特性を見て判断するため、反応時間が長くなったと考えられる。

2.3.1.5 実験2のまとめ

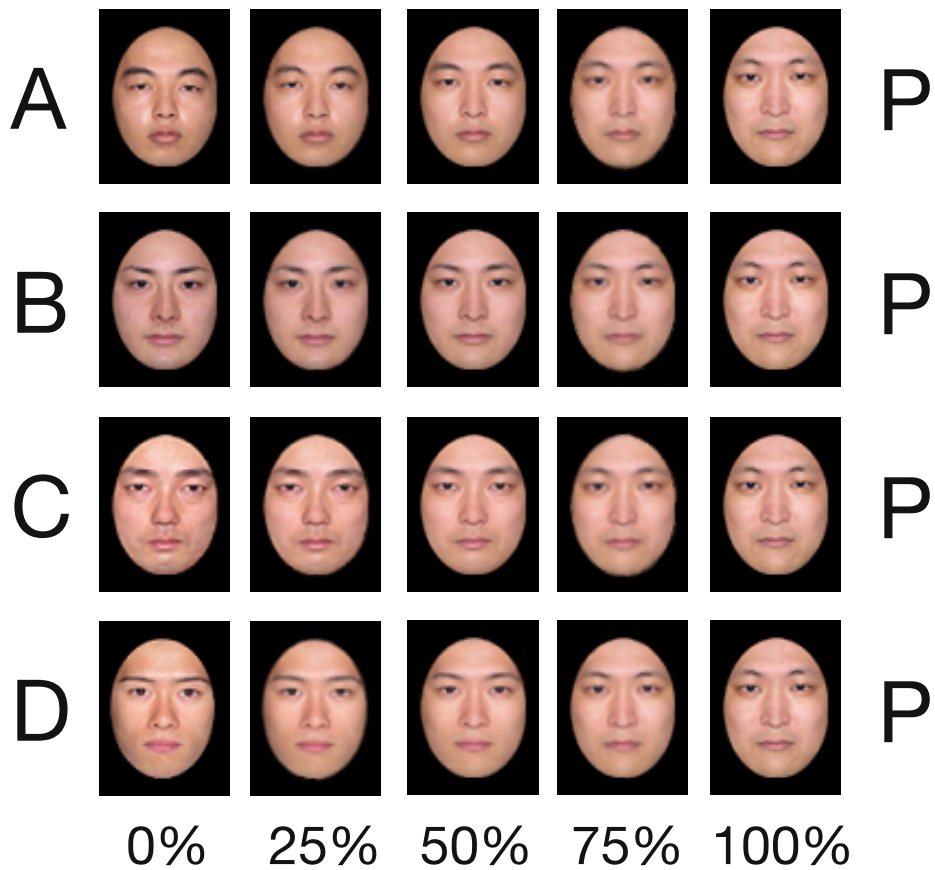
実験2では、ハトは共通成分特性を探索の手がかりに用いており、共通成分特性にトップダウン的な重み付けがなされることで、カテゴリ事例に注意が誘

導されることが明らかになった。また、新奇な事例特異的成分をもつ新奇事例を含めて探索練習を行うことで、ハトは、共通成分特性をより探索の手がかりに用いるようになったと考えられる。共通成分特性により重み付けがなされ、標的刺激により注意が誘導されることで、カテゴリ事例を効率良く探索するようになったと考えられる。

実験 2 より、共通成分特性が標的刺激に注意を誘導することが示唆されたため、実験 3 では、共通成分の合成率を変化させた新奇事例を用いて、共通成分特性が注意を誘導するのか直接検討した。

2.4 実験 3

共通成分の合成率を変化したカテゴリ事例を標的刺激として用いた。共通成分の合成率は 5 段階に変化した；共通成分 = 0%（事例特異的成分顔；A, B, C, D), 25%, 50%（訓練事例), 75%, 100%（共通成分顔；P）(Fig. 34)。



共通成分合成率

Fig. 34 実験 3 で用いた標的刺激

4 個体中 1 個体に用いた刺激を例として示す

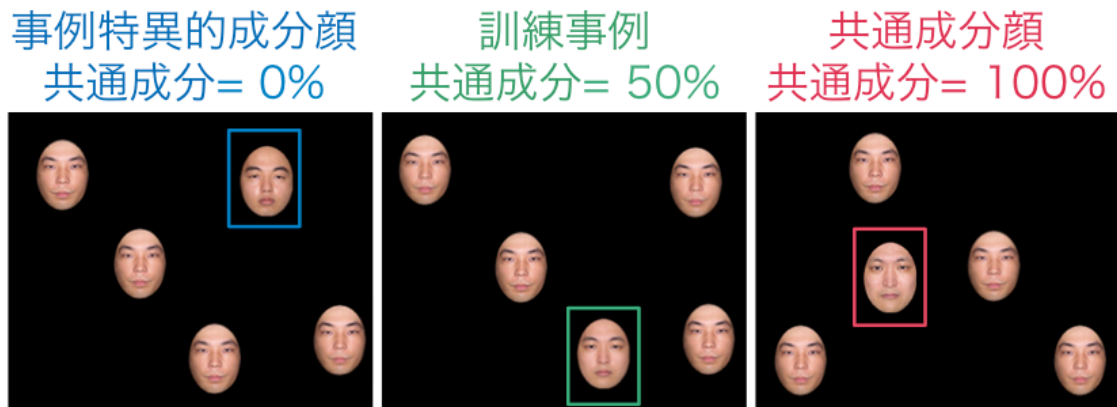


Fig. 35 実験 3 探索課題例

以下の結果が予測される。事例特異的成分顔（共通成分 = 0%），訓練事例（共通成分 = 50%），共通成分顔（共通成分 = 100%）を例に説明していく（Fig. 36）。

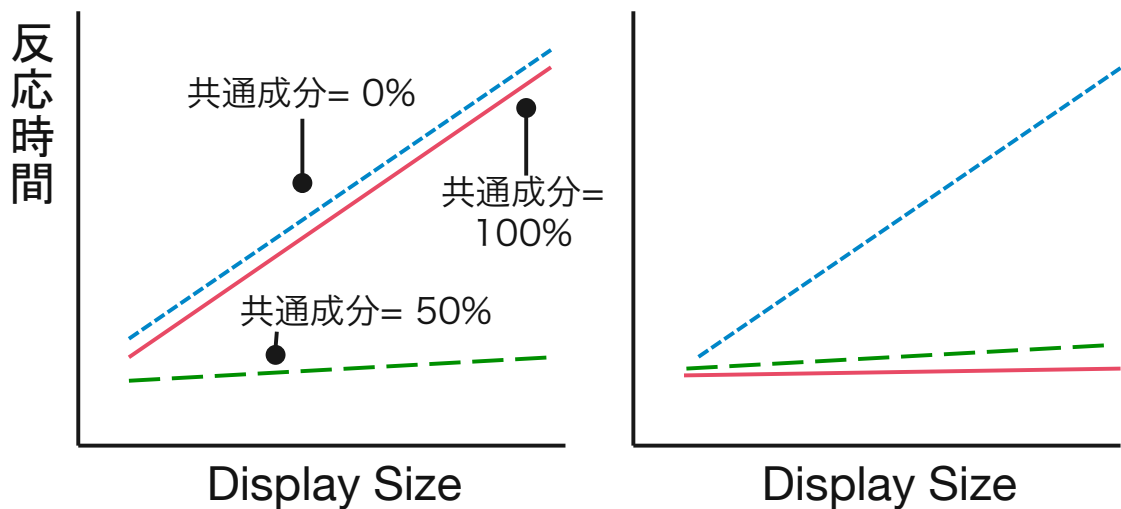


Fig. 36 実験 3 の結果予測

（左）ハトが共通成分特性を探索の手がかりに用いていなかった場合

（右）ハトが共通成分特性を探索の手がかりに用いていた場合

事例特異的成分顔（共通成分 = 0%）および共通成分顔（共通成分 = 100%）は、訓練事例（共通成分 = 50%）から 50% ずつ共通成分合成率が低いもしくは高い。従って、どちらの顔も訓練事例との物理的な類似性は同じである。もし、実験 2 で確認された効率良い探索が、訓練事例（共通成分 = 50%）に限定されるのならば、事例特異的成分顔（共通成分 = 0%）、共通成分顔（共通成分 = 100%）どちらも、訓練事例より探索効率は悪くなるだろう（Fig. 36, 左）。一方、もしハトが共通成分特性を探索の手がかりに用いており、共通成分特性が注意を誘導するならば、事例特異的成分顔（共通成分 = 0%）の探索効率のみ訓練事例より悪くなるだろう（Fig. 36, 右）。

共通成分顔（P）となる顔は被験体間でカウンターバランスがとられた。従って、共通成分顔（P；共通成分 = 100%）と事例特異的成分顔（A, B, C, D；共通成分 = 0%）の探索効率の違いは、標的刺激と妨害刺激の類似性（ボトムアップ的要因）では説明することができない。探索効率の違いは、ハトが共通成分特性を探索の手がかりに用いていたか否かのトップダウン的要因によってのみ生じるだろう。

2.4.1 方法

2.4.1.1 被験体と装置

実験 1, 実験 2 で用いた被験体と同様の 4 個体を用いた。飼育ケージや統制体重, 実験装置は実験 1, 実験 2 と同様であった。

2.4.1.2 刺激

共通成分の合成率を5段階に変化した；共通成分 = 0%（事例特異的成分顔；A, B, C, D），25%，50%（訓練事例），75%，100%（共通成分顔；P）。20種の標的刺激（事例特異的成分顔4種×合成率5種）を用いた（Fig. 34）。妨害刺激は実験1，実験2で用いたものと同様のものを用いた。Homogeneous条件の探索画面のみ用いた。

2.4.1.3 手続き

訓練

実験2の訓練と同様の訓練を12セッション行った。

テスト

1セッションは160試行であった。探索画面は320種（標的刺激20種×妨害刺激8種×Display Size 2種）あり，2セッションで全探索画面が呈示されたため，2セッションを1セッションブロックとした。20試行で各標的刺激が1回ずつ呈示されたため，20試行を1ブロックとした。1セッションは8ブロックで構成された。各妨害刺激は2ブロックで5試行ずつ呈示された。Display Size 5とDisplay Size 9は1ブロックで10試行ずつ呈示された。ある標的刺激と妨害刺激の組み合わせは1セッションで1回ずつ呈示された。Display Sizeは，前半セッ

セッションブロックの 1 セッション目で Display Size 5 なら、2 セッション目では Display Size 9 であった。強化や強制試行など他の手続きは訓練と同様であった。8 セッションブロック (16 セッション) 行った。

2.4.2 結果

Fig. 37 にテストにおける共通成分合成率ごとの正答率を示した。どちらの Display Size でも、最初数セッションでは、共通成分 = 0% (事例特異的成分顔) のとき、他の共通成分合成率条件よりも低い正答率が確認された。後半セッションになると共通成分合成率間の正答率の差はなくなった。

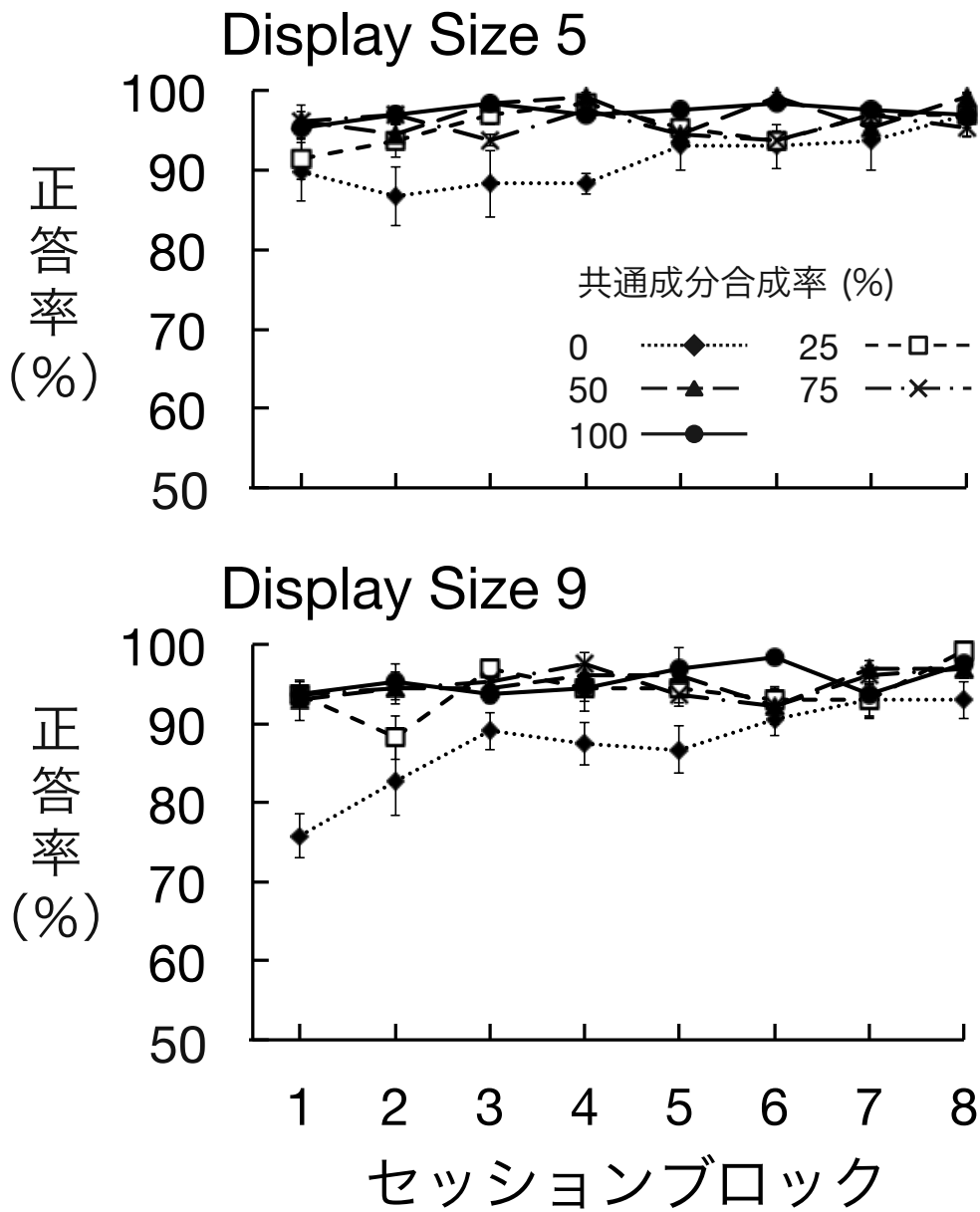


Fig. 37 実験 3 の Display Size 5 (上) と Display Size 9 (下) における,

共通成分合成率ごとの 4 個体平均正答率の推移

エラーバーは標準誤差を示す

テストで正答率の上昇が確認されたため、最初 2 セッションブロック（初期セッション）と最終 2 セッションブロック（後期セッション）にわけて反応時間を分析した。

まず初期セッションの反応時間の分析を行った。Fig. 38（左上）に Display Size 5 と Display Size 9 の平均反応時間を示した（横軸は合成率）。Display Size 9 のとき、共通成分合成率が高い条件（共通成分= 50%, 75%, 100%）よりも、共通成分合成率が低い条件（共通成分= 0%, 25%）の反応時間が長くなる傾向が見られた。Fig. 38（右上）に同様のデータを合成率ごとにプロットしたものを示した。共通成分 = 50%, 75 %, 100%の標的刺激の探索スロープはフラットに近かった。

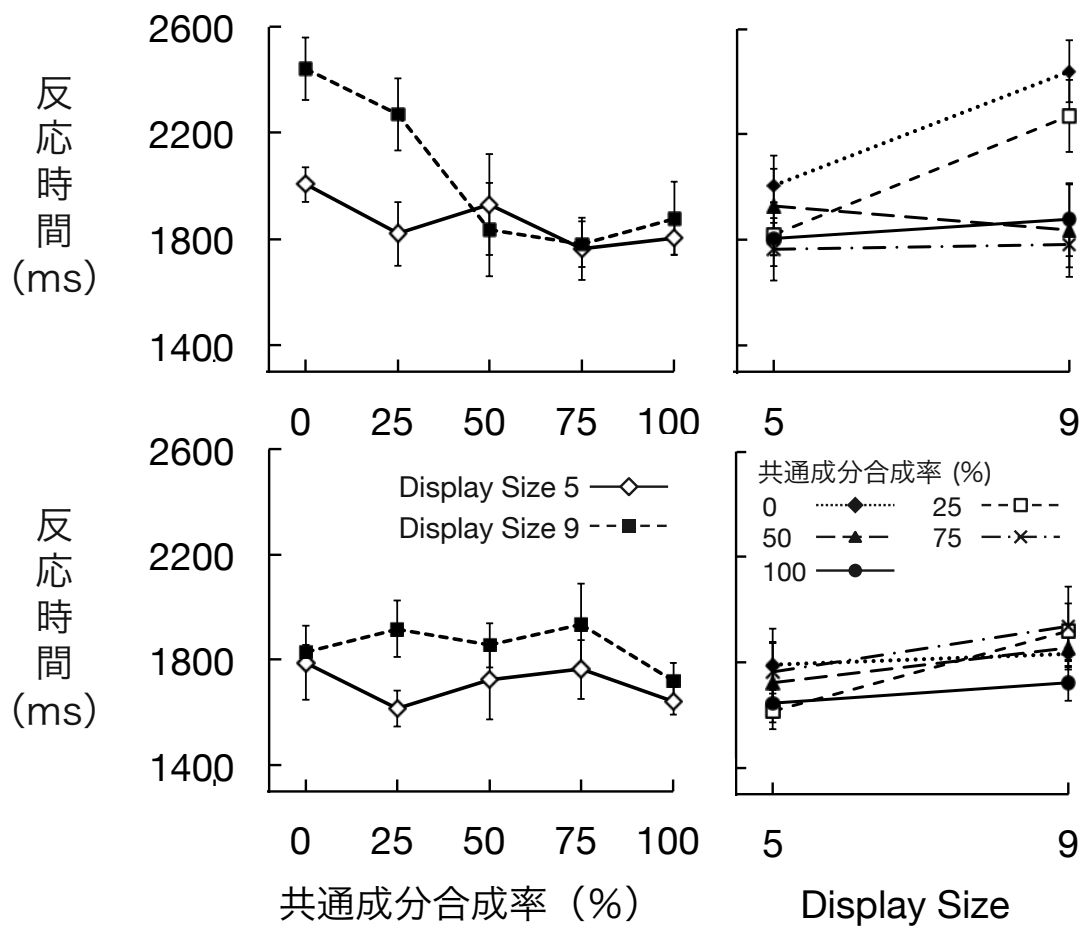


Fig. 38

上) 実験 3 テスト 最初 2 セッション ブロック における,

Display Size ごとの 4 個体 平均 反応 時間 (左) と

共通成分合成率ごとの 4 個体 平均 反応 時間 (右)

(下) 実験 3 テスト 最終 2 セッション ブロック における,

Display Size ごとの 4 個体 平均 反応 時間 (左) と

共通成分合成率ごとの 4 個体 平均 反応 時間 (右)

エラーバーは標準誤差を示す

初期セッションの反応時間のデータに関して、共通成分合成率 (0% vs. 25% vs. 50% vs. 75% vs.100) と Display Size (5 vs.9) を個体内要因とする、個体内で対応のある二要因分散分析を行った。分析の結果、共通成分合成率 $[F(4, 12) = 4.04, p = .030, \eta_p^2 = .57]$ では有意な主効果が確認された。Display Size の主効果は有意傾向であった $[F(1, 3) = 8.32, p = .063, \eta_p^2 = .74]$ 。有意な交互作用が確認された $[F(4, 12) = 7.45, p = .003, \eta_p^2 = .71]$ 。Display Size に関する単純主効果の検定を行ったところ、共通成分 = 0% $[F(1, 15) = 18.13, p < .001, \eta_p^2 = .55]$ と共通成分 = 25% $[F(1, 15) = 19.29, p < .001, \eta_p^2 = .56]$ のときのみ有意な主効果が確認された。共通成分合成率が高い標的刺激の探索効率は良く、共通成分合成率が低い標的刺激の探索効率は悪くなった。この結果は、ハトが共通成分特性を探索の手がかりに用いており、共通成分特性が標的刺激に注意を誘導していたことを示している。

次に後期セッションの反応時間を分析した。Fig. 38 (下) に最終2セッションブロックの反応時間を示した。注目すべき点は、共通成分合成率に関わらず、等しく探索スロープが緩やかな点である。共通成分合成率 (0% vs. 25% vs. 50% vs. 75% vs.100) と Display Size (5 vs.9) を個体内要因とする、個体内で対応のある二要因分散分析を行った。分析の結果、Display Size の主効果は有意傾向であった $[F(1, 3) = 9.06, p = .057, \eta_p^2 = .75]$ 。共通成分合成率 $[F(4, 12) = 0.87, p = .508, \eta_p^2 = .23]$ の主効果、交互作用 $[F(4, 12) = 0.34, p = .844, \eta_p^2 = .10]$ に有意な差は確認されなかった。この結果は、ハトは多様なカテゴリ事例の探索練習を繰り返すこ

とによって、多様なカテゴリ事例を効率良く探索できるようになったことを示している。

2.4.3 考察

実験3の初期セッションにおいて、共通成分を50%以上もつ標的刺激（共通成分 = 50%, 75%, 100%）の探索は非常に効率的であった。これは実験2の後期セッションで見られた訓練事例（共通成分 = 50%）の効率的な探索が、共通成分を50%以上もつ標的刺激に転移したことを示している。一方、共通成分 = 0%, 25%が標的刺激のとき、探索効率は非常に悪くなった。共通成分顔 (P) と事例特異的成分顔 (A, B, C, D) に用いた顔は、被験体間でカウンターバランスがとられたため、標的刺激と妨害刺激の類似性（ボトムアップ的要因）は統制されていた。従って、共通成分顔 (P) の探索と事例特異的成分顔 (A, B, C, D) の探索の効率の違いはボトムアップ的要因によって説明することはできない。つまり、共通成分顔 (P) と事例特異的成分顔 (A, B, C, D) の探索効率に違いが生じた初期セッションの結果は、ハトが共通成分特性を探索の手がかりに用いていた（トップダウン的要因）ことを示している。ハトがカテゴリ探索において、カテゴリ事例の共通成分特性を探索の手がかりに用いることで、共通成分特性にトップダウン的な重み付けがなされ、共通成分特性をもつ標的刺激に注意が誘導されていたと考えられる。トップダウン的な重み付けが、共通成分特性になされることによって、共通成分を多く持ち典型性が高い事例の探索

効率は良く、共通成分をあまり持たず典型性が低い事例の探索効率は悪かったのだろう。

しかしまた、初期セッションにおいて、事例特異的成分顔（共通成分 = 0%）の探索正答率もチャンスレベルをはるかに超えるものであった。この結果を説明する可能性は2つ考えられる。1つ目は、事例特異的成分特性もハトが学習しており、妨害刺激から弁別するためにそれら特性を用いていた可能性である。しかし、事例特異的成分特性への重み付けは、共通成分特性へのトップダウン的
重み付けよりなされていなかったため、事例特異的成分顔（共通成分 = 0%）への注意の誘導は生じなかったと考えられる。2つ目は、標的刺激だけでなく、妨害刺激も学習しており、回避していたという可能性である。これら可能性のどちらか、もしくは両方によって、事例特異的成分顔（共通成分 = 0%）の探索も行うことができたと考えられる。

初期セッションにおいて、共通成分の合成率が50%、75%、100%に上昇したとき、単調な探索効率の改良は見られなかったのはなぜだろうか。50%以上の共通成分合成率をもつとき、十分に効率的な探索をすることができたためと考えられる。実験2において、訓練事例において探索スロープがフラットに近い効率の良い探索が確認されていた。従って、訓練事例以上に効率的な探索は、プロトタイプ事例を含めたより典型的な事例でも生じなかったと考えられる。

後期セッションでは、ハトは共通成分合成率に関わらず効率的な探索を行うようになった。この結果は、どのような認知メカニズムによって生じたのだろう

うか。Wolfe の誘導探索理論 (e.g., Wolfe, 2004) によると、探索画面が呈示される前に標的刺激の特性に関する知識をもつと、標的刺激の顕著性にトップダウン的な重み付けがなされ、標的刺激に注意が誘導されることで、効率的な探索を行うことができると考えられている。実験 1, 実験 2, 実験 3 の訓練では全ての標的刺激が共通成分特性 (50%) をもっていたため、共通成分特性を探索の手がかりに用いていることができた。しかし実験 3 のテストでは、共通成分特性をもたない事例特異的成分顔も含めて、様々な共通成分合成率をもつ事例が標的刺激として呈示された。従って、探索画面に先行して、呈示される標的刺激の特性を知ることはできない。そのため、誘導探索理論では、事例特異的成分顔も含め、全ての共通成分合成率で探索効率が良くなった結果は説明することができない。

それではどのような認知メカニズムで、後期セッションの結果は説明できるだろうか。一つの可能性として、様々な共通成分合成率の事例の探索練習を行うことによって、探索の自動化が生じた (練習効果; Shiffrin & Schneider, 1977) ことが考えられる。つまり、様々な典型性のカテゴリ事例の探索を繰り返し練習することで、共通成分をあまりもたず典型性が低い事例も効率良く探索するようになったと考えられる。

また、後期セッションでは、少しではあるが、共通成分合成率の高い事例の探索効率が、初期セッションよりも減少した (Fig. 38, 左上・左下)。なぜ共通成分合成率の高い事例の探索効率が減少したのだろうか。1つの可能性としては、

個々の事例の自動化処理が進むことによって、特性への重み付けが変化したことが考えられる。つまり、共通成分特性への重み付けが減少し、事例特異的成分特性への重み付けが増加したのかもしれない。共通成分特性によるトップダウン的な注意の誘導が減少することで、共通成分合成率が高い事例の探索効率が減少したと考えられる。

2.4.4 実験3まとめ

初期セッションより、ハトはカテゴリ事例の共通成分特性を探索の手がかりに用いていることが明らかになった。トップダウン的な重み付けが共通成分特性になされることで、共通成分特性をもつ標的刺激に注意が誘導され、典型性が高い事例を効率良く探索していることが明らかになった。また、後期セッションでは、様々な共通成分合成率の事例の探索練習を行うことで、探索の自動化が生じ、典型性が低い事例も含めて効率良く探索できるようになったと考えられる。

2.5 研究1の総合考察

研究1では、非カテゴリ事例の中から、カテゴリの事例を探索するカテゴリ探索をハトは効率的に行うのか検討した。研究1より、標的刺激と妨害刺激類似性（ボトムアップ的要因）に探索効率が影響されない（実験1）、新奇な事例特異的成分特性をもつ事例に探索が転移する（実験2）、共通成分合成率が高い

事例の効率的な探索を行う（実験 3，初期セッション）ことが明らかになった。これらの結果から，ハトはカテゴリの共通成分特性を探索の手がかりに用い，トップダウン的の重み付けが共通成分特性になされることで，典型性が高いカテゴリ事例を効率良く探索していることが明らかになった。

しかしまた，事例特異的成分顔も含め，典型性が低い事例であっても高い探索正答率が実験 3 の初期セッションにおいて確認された（Fig. 37）。一方，Jitsumori et al., (2011)が行ったカテゴリ化研究では，事例特異的成分顔へのカテゴリ化の般化は見られなかった（正答率が低かった）。なぜ，視覚探索課題（妨害刺激の中にカテゴリ事例を呈示）を用いた研究 1 では事例特異的成分の正答率は高く，Jitsumori et al.が行った go/no-go 弁別課題（カテゴリ事例のみ呈示）では，正答率が低かったのだろうか。

研究 1 で，事例特異的成分顔でも高い正答率が得られたことを説明する可能性は 3 つ挙げられる。1 つ目は，事例特異的成分特性もハトが学習しており，妨害刺激から弁別するためにそれら特性を用いていた可能性である。しかし，実験 3 の初期セッションにおいて，共通成分合成率が低い事例（事例特異的成分の合成率が高い事例）の探索効率は悪かった。従って，事例特異的成分特性への重み付けは，共通成分特性へのトップダウン的の重み付けほどなされておらず，事例特異的成分顔（共通成分 = 0%）への注意の誘導は生じなかったと考えられる。

2 つ目は，ハトが妨害刺激を避けることを学習していた可能性である。研究 1

を通して同じ顔画像を妨害刺激として用いていた。そのため、ハトは親近性のある妨害刺激を避けることを学習していたのかもしれない(妨害刺激回避ルール; Katz & Cook, 2000)。実験1で見られた、妨害刺激クラスの違いによる探索時間の違いは、標的刺激が妨害刺激と類似しているとき、(それまで回避していた妨害刺激と類似している) 標的刺激への反応を躊躇したことで生じたのかもしれない。しかし、妨害刺激回避ルールだけでは、研究1の結果は説明できない。実験3で見られた、共通成分合成率の減少に伴って探索効率が悪くなった結果は、標的刺激であるカテゴリ事例を学習していたことを示している。実験1では、ハトが妨害刺激回避ルールだけを用いて探索を行っていた可能性は否定することができない。しかし、実験によってハトが探索の方略を変える可能性は低いため、本研究では標的刺激の共通成分特性を探索の手がかりに用いることと、妨害刺激を避けることによって探索を行っていたのかもしれない。

3つ目の可能性は、妨害刺激への注意が抑制された可能性である(ネガティブガイダンス)。ネガティブガイダンスが生じることで、標的刺激に注意が誘導され、事例特異的成分顔も探索することができたのかもしれない(Kristjánsson & Driver, 2008; Yang, Chen, & Zelinsky, 2009)。しかし、ネガティブガイダンスだけでは、共通成分合成率間の探索効率の違い(実験3)は説明することができない。本研究では、標的刺激の共通成分特性を探索の手がかりに用いることと、ネガティブガイダンスが生じることによって探索を行っていた可能性も考えられる。

2.6 研究1のまとめ

研究1における重要な示唆は、ハトはカテゴリを学習することによって（トップダウン的要因）、効率的に標的刺激カテゴリの事例を探索できるということである。この結果は、ヒトのカテゴリ探索の結果とも一致する（Corneille et al., 2006）。また、ハトは標的刺激のカテゴリを学習し、カテゴリ事例の共通成分特性を探索の手がかりに用いていた。共通成分特性にトップダウン的の重み付けがなされ、共通成分特性をもつ標的刺激に注意が誘導されることによって効率的なカテゴリ探索を行うことが明らかになった。

3 研究 2

3.1 研究 2 の概要

研究 1 では標的刺激にカテゴリ事例を用いて、多様なカテゴリ事例を効率良く探索することができるのかを検討した。研究 1 の結果から、ハトは、標的刺激カテゴリを学習し、カテゴリ事例がもつ共通成分に由来する特性（共通成分特性）を探索の手がかりに用いることで、共通成分合成率が高く、典型性が高い事例を効率良く探索することが明らかになった。カテゴリ事例の共通成分特性にトップダウン的な重み付けがなされ、共通成分特性が標的刺激に注意を誘導することで、典型性が高いカテゴリ事例を効率良く探索していたと考えられる。共通成分特性が標的刺激に注意を誘導するという、研究 1 の結果に基づいて、研究 2 では、研究 1 と同様の探索（標的刺激にカテゴリ事例、妨害刺激に非カテゴリ事例）を行うカテゴリ探索群と、カテゴリ探索の標的刺激と妨害刺激を入れ替えた探索（標的刺激に非カテゴリ事例、妨害刺激にカテゴリ事例）を行う非カテゴリ探索群で実験を行い、ハトのカテゴリ探索における探索非対称性を検討した。(Fig. 39)。

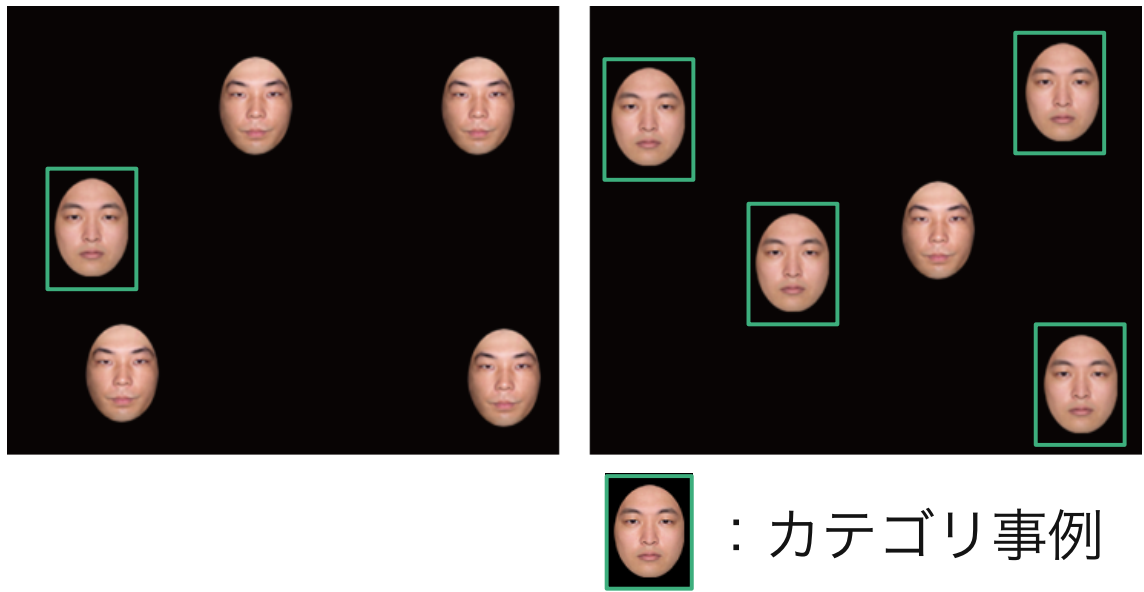


Fig. 39 研究2 探索画面例

(上) カテゴリ探索 (標的刺激にカテゴリ事例, 妨害刺激に非カテゴリ事例を用いた)

(下) 非カテゴリ探索 (標的刺激に非カテゴリ事例, 妨害刺激にカテゴリ事例を用いた)

カテゴリ探索と非カテゴリ探索は、標的刺激と妨害刺激を逆転した探索課題である。研究1より、ハトは標的刺激であるカテゴリ事例がもつ共通成分特性を探索の手がかりに用いていることが明らかになっている。つまり標的刺激と妨害刺激を区別するために、共通成分特性を用いているということである。もしハトが、非カテゴリ探索でも、妨害刺激であるカテゴリ事例がもつ共通成分特性を探索の手がかりに用いるならば、共通成分特性を「もたない」標的刺激 (非カテゴリ事例) をハトは探索することになる。標的刺激と妨害刺激を区別する特性 (探索の手がかりになる特性) を「もつ」標的刺激を探索する方が、「もたない」標的刺激を探索するよりも効率が良いことが知られている (e.g.,

Treisman & Gormican, 1988)。従って、共通成分特性を「もつ」標的刺激（カテゴリ事例）を探索するカテゴリ探索群よりも、共通成分特性を「もたない」標的刺激（非カテゴリ事例）を探索する非カテゴリ探索群の方が探索の効率は悪くなると予測される。

しかしまた、ハトが妨害刺激であるカテゴリ事例の共通成分特性を探索の手がかりに用いる場合、共通成分特性をもつ妨害刺激への注意が抑制され、標的刺激に注意が誘導される可能性も考えられる（ネガティブガイダンス；e.g., Kristjánsson & Driver, 2008; Yang, Chen, & Zelinsky, 2009)。非カテゴリ探索において、ハトが妨害刺激の共通成分特性を探索の手がかりに用いることで、ネガティブガイダンスが生じるならば、カテゴリ探索群と同じくらい効率の良い探索が、非カテゴリ探索群で確認されると予測される。

研究 2（実験 4, 実験 5）を通して、カテゴリ探索群と非カテゴリ探索群の探索の効率を比較し、上記 2 つの予測のうちどちらかの予測と一致するのか明らかにする。

また、実験 4 では、カテゴリ探索群と非カテゴリ探索群における、標的刺激と妨害刺激の類似性の影響も検討する。研究 1（実験 1）から明らかになったように、標的刺激にカテゴリ事例を用いたカテゴリ探索では、標的刺激と妨害刺激の類似性は探索効率に影響しなかった。ハトが標的刺激の共通成分特性を探索の手がかりに用い、共通成分特性が標的刺激に注意を誘導したため、標的刺激と妨害刺激の類似性が探索効率に影響しなかったと考えられる。そこで、実

験4のカテゴリ探索群でも、研究1（実験1）と同様に、標的刺激と妨害刺激の類似性は探索効率に影響しないと考えられる。また、妨害刺激にカテゴリ事例を用いた非カテゴリ探索でも、非カテゴリ探索群のハトが妨害刺激の共通成分特性を探索の手がかりに用いるならば、標的刺激と妨害刺激の類似性は探索効率に影響しないと考えられる。

次に、実験5では、共通成分合成率を変化させたカテゴリ事例（共通成分=0%、25%、50%、75%、100%）を、カテゴリ探索群では標的刺激、非カテゴリ探索群では妨害刺激として用いた。研究1（実験3）から明らかになったように、カテゴリ探索において、共通成分合成率が高い事例の探索効率は良く、共通成分合成率が低い事例の探索効率は悪かった。この結果からも、ハトはカテゴリ探索において、ハトが標的刺激の共通成分特性を探索の手がかりに用い、共通成分特性が標的刺激に注意を誘導していたことが示されている。実験5のカテゴリ探索群でも、研究1（実験1）と同様に、共通成分合成率が高い事例の探索効率は良く、共通成分合成率が低い事例の探索効率は悪くなると考えられる。また、非カテゴリ探索群のハトが、妨害刺激の共通成分特性を探索の手がかりに用いるならば、共通成分合成率が高い妨害刺激ほど、その妨害刺激への注意が抑制されるだろう。その場合、非カテゴリ探索群においても、共通成分合成率に従って標的刺激の探索効率は良くなると考えられる。

3.2 実験 4

実験 4 では、カテゴリ探索群と非カテゴリ探索群の探索の効率の比較を行った。両群ともに標的刺激 1 つと 4 つの同一な妨害刺激からなる探索画面 (Display Size は 5) で訓練を行った (Fig. 39)。テストでは Display Size は 5 と 9 に変化した。研究 1 の実験 1 において、Display Size を 3, 5, 7, 9 に変化したとき、線形的な探索時間の増加が確認されたため、研究 2 では、Display Size は 5 と 9 のみ用いた。

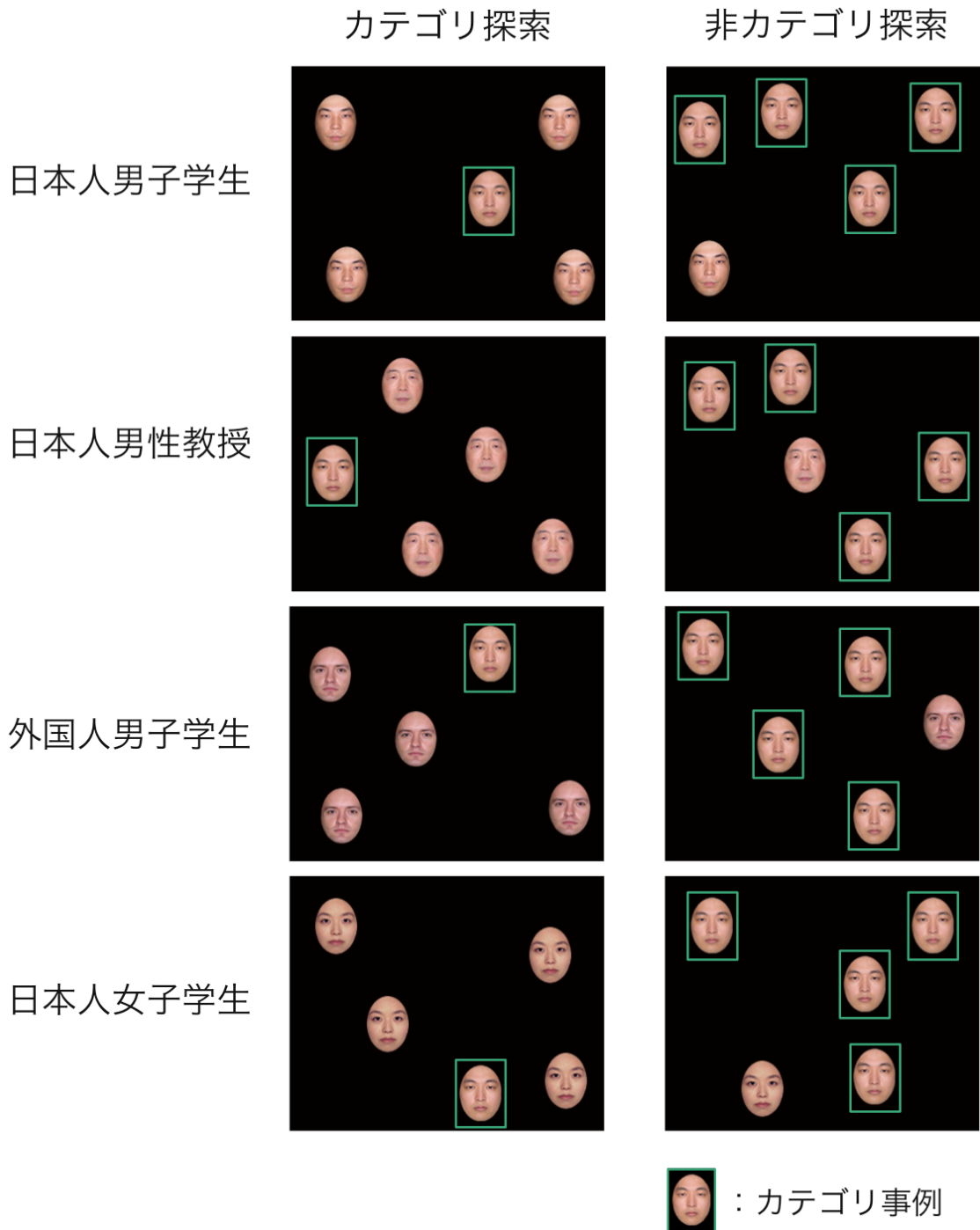


Fig. 40 カテゴリ探索, 非カテゴリ探索における非カテゴリ事例クラスごとの

探索課題例

(実際の探索画面では緑枠は呈示していない)

また、実験4では、カテゴリ探索と非カテゴリ探索における、標的刺激と妨害刺激の類似性効果も検討する (Fig. 40)。カテゴリ事例 (カテゴリ探索：標的刺激，非カテゴリ探索：妨害刺激) の作成には、日本人男子学生顔の合成画を用いた。一方、非カテゴリ事例 (カテゴリ探索：妨害刺激，非カテゴリ探索：標的刺激) には、4つのクラスの顔画像を用いている (日本人男子学生，日本人男性教授，外国人男子学生，日本人女子学生)。従って，日本人男子学生非カテゴリ事例クラス顔画像は，他の非カテゴリ事例クラスの顔画像よりも，カテゴリ事例との類似性が高いと考えられる。研究1 (実験1) より，カテゴリ探索において，妨害刺激クラス (日本人男子学生，日本人男性教授，外国人男子学生，日本人女子学生) によってカテゴリ探索の効率に差が生じないことが明らかになっている。従って，標的刺激と妨害刺激の類似性 (ボトムアップ的要因) に関わらず，共通成分特性が標的刺激に誘導していたと考えられる。もし研究1と同様に，カテゴリ探索群のハトが，標的刺激であるカテゴリ事例の共通成分特性を探索の手がかりに用いるならば，妨害刺激クラス間の探索効率の違いは見られないだろう。一方，非カテゴリ探索において，ハトが妨害刺激の共通成分特性を探索の手がかりに用い，共通成分特性を「もたない」標的刺激を探索する，もしくは，共通成分特性をもつ妨害刺激への注意が抑制される (ネガティブガイダンスが生じる) ならば，カテゴリ探索と同様に，非カテゴリ探索群でも妨害刺激クラス間の探索効率の違いは見られないだろう。もし，非カテゴリ探索群のハトが，妨害刺激の共通成分特性を探索の手がかりに用いないなら

ば、妨害刺激クラス間の探索効率の違いが見られると考えられる。

3.2.1 方法

3.2.1.1 被験体

実験経験のない新奇なデンショバト 8 羽を用いた。4 羽ずつカテゴリ探索群と非カテゴリ探索群に分けた。自由摂食時安定体重の 85% に体重統制したが、水と鉱物飼料は個別飼育ケージで自由に摂食できた。個体飼育ケージは屋外に設置された十分な換気と太陽光が得られる鳩舎内に置かれ、明暗サイクルや温度は統制していない。

3.2.1.2 装置

実験 1-3 で用いた装置と同様であった。

3.2.1.3 刺激

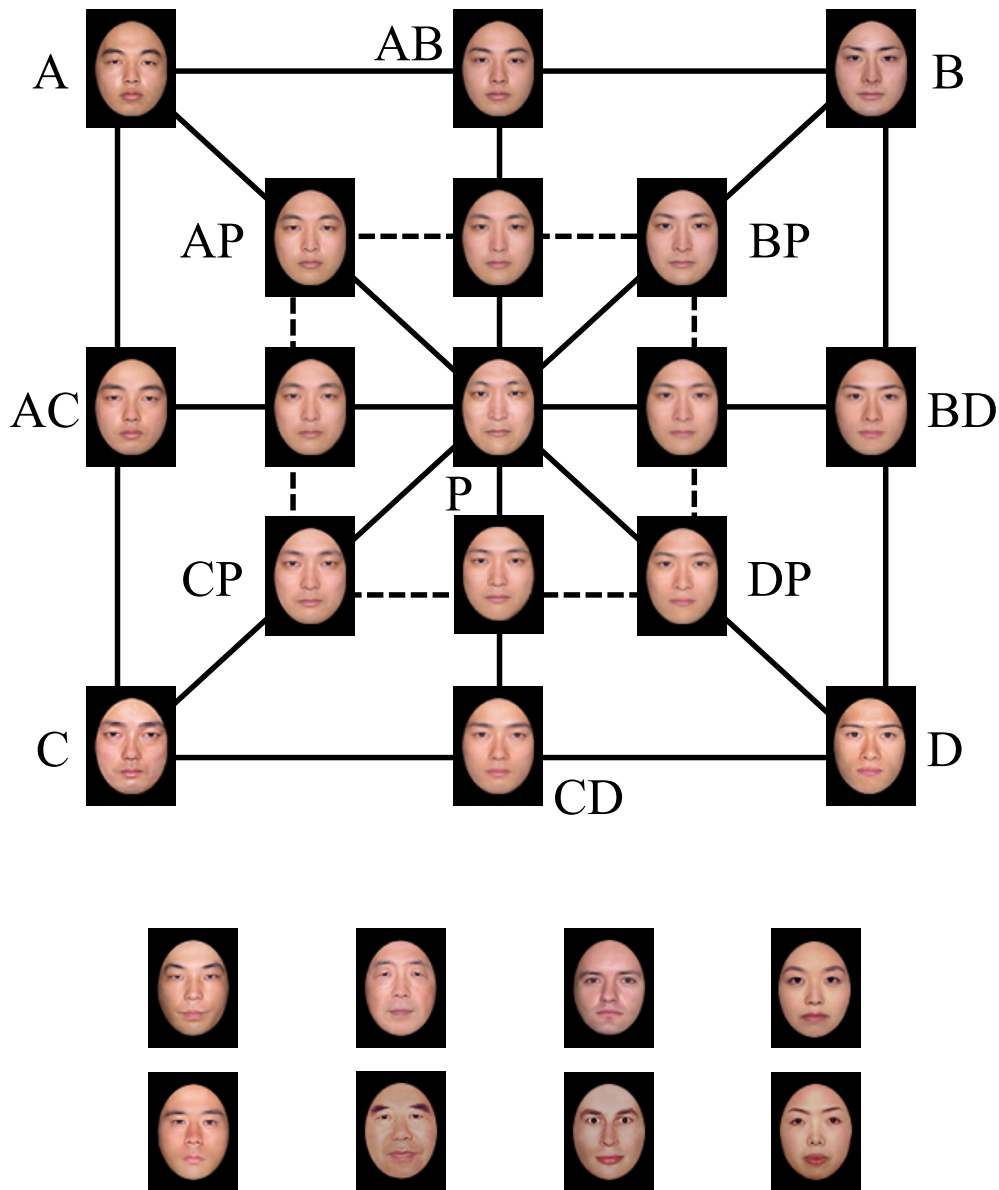


Fig. 41 研究 2 で用いた刺激

(上) カテゴリ事例

カテゴリ探索群では標的刺激, 非カテゴリ探索群では妨害刺激として用いた

(下) 非カテゴリ事例

カテゴリ探索群では妨害刺激, 非カテゴリ探索群では標的刺激として用いた

カテゴリ探索群では、実験 1-3 と同様に、カテゴリ事例を標的刺激、非カテゴリ事例を妨害刺激として用いた (Fig. 41)。非カテゴリ探索群では、カテゴリ事例を妨害刺激、非カテゴリ事例を標的刺激として用いた。共通成分を 50% もつカテゴリ事例 10 種 (AP, BP, CP, DP, ABP, ACP, ADP, BCP, BDP, CDP) を用いた。非カテゴリ事例は実験 1-3 と同様の 8 種の顔画像 (日本人男子学生, 日本人男性教授, 外国人男子学生, 日本人女子学生) を用いた。試行が始まる前に呈示される白十字は、実験 1-3 と同様のものを用いた。

3.2.1.4 手続き

反応形成

マガジントレーニングの後、白十字に対する反応形成を行った。白十字への反応形成の後、標的刺激への反応を訓練した。標的刺激のみ探索画面に呈示された。1 セッションは 40 試行からなり、各標的刺激 (カテゴリ探索群: 10 種, 非カテゴリ探索群: 8 種) がセッション内で当頻度に呈示された。標的刺激に反応すると探索画面が消え、餌が 3 秒間呈示された。3 秒の試行間隔 (ITI) 後、ハウスライトが点灯した。3 セッション行った。

初期訓練

反応形成の後、妨害刺激も探索画面に呈示した。白十字に反応すると、白十字が消え、標的刺激 1 つと同一な妨害刺激 4 つから構成される探索画面が呈示さ

れた。妨害刺激に対して反応してもなにも起こらず、標的刺激へ反応するまで探索画面が呈示された。標的刺激に反応すると、餌が呈示された。探索画面が呈示されてから、最初に標的刺激に反応した試行を正答試行として分析した。標的刺激に反応する前に妨害刺激に反応した試行は、誤答試行として分析した。1セッションは40試行であった。探索画面は80種（カテゴリ探索群：標的刺激10種×妨害刺激8種、非カテゴリ探索群：標的刺激8種×妨害刺激10種）あり、2セッションで全探索画面が呈示された。完成基準は、連続する2セッションで75%以上の正答率とした。しかし、ハトが基準に達しない場合は、28セッションで最終訓練に移行した。

最終訓練

妨害刺激に対して反応すると2秒間のタイムアウトが与えられた。また、標的刺激に正しく反応するまで同じ試行を繰り返した（矯正試行）。矯正試行は分析から除外した。1セッションあたりの試行数は40、80、120、160と増やしていった。各試行段階の完成基準は2セッション連続75%以上とし、基準を満たした個体から次の試行数の段階に進んだ。

最終訓練の最終段階では、1セッション160試行であった。探索画面は80種（カテゴリ探索群：標的刺激10種×妨害刺激8種、非カテゴリ探索群：標的刺激8種×妨害刺激10種）あり、1セッションで2回ずつ呈示された。カテゴリ探索群では、10試行で各標的刺激が1回ずつ呈示されるため、10試行を1ブ

ロックとした。各妨害刺激は 4 ブロックで 5 回ずつ呈示された。非カテゴリ探索群では、8 試行で各標的刺激が 1 回ずつ呈示されるため、8 試行を 1 ブロックとした。各妨害刺激は 5 ブロックで 4 回ずつ呈示された。標的刺激及び妨害刺激の呈示順は、カテゴリ探索群、非カテゴリ探索群ともに、ブロック内でランダムに呈示された。標的刺激に対して反応すると、3 秒間の強化が与えられた。1 セッションで 40 試行は一次性強化（餌：混合穀物摂取）が与えられた。一次性強化はセッション内、セッション間を通して、各標的刺激に同頻度に呈示した。一次性強化が与えられない残り 120 試行では、フードホッパーが 0.5 秒だけ上がった（二次性強化）。妨害刺激に対して反応（誤反応）すると、2 秒間のブラックアウトが与えられた。完成基準は、連続する 2 セッションで 90%以上の正答率とした。しかし、基準に達しない場合は 20 セッションでテストに移行した。

テスト

Display Size を 5 と 9 に変化した。探索画面は 160 種（カテゴリ探索群：標的刺激 10 種 × 妨害刺激 8 種 × Display Size 2 種、非カテゴリ探索群：標的刺激 8 種 × 妨害刺激 10 種 × Display Size 2 種）あり、1 セッション（160 試行）で全探索画面が呈示された。カテゴリ探索群では、10 試行で各標的刺激が 1 回ずつ呈示されるため、10 試行を 1 ブロックとした。各妨害刺激は 4 ブロックで 5 回ずつ呈示された。非カテゴリ探索群では、8 試行で各標的刺激が 1 回ずつ呈示されるため、8 試行を 1 ブロックとした。各妨害刺激は 5 ブロックで 4 回ずつ呈示

された。標的刺激及び妨害刺激の呈示順は、カテゴリ探索群、非カテゴリ探索群とともに、ブロック内でランダムに呈示された。Display Size5 と 9 は、カテゴリ探索群、非カテゴリ探索群ともに、ブロック内で等頻度に呈示された。他の手続きは、最終訓練の最終段階と同様であった。8セッション行った。

3.2.1.5 結果と考察

初期訓練

カテゴリ探索群は、4 個体中 2 個体が完成基準を満たした。それぞれ 8 セッション、14 セッションで基準を満たした。残り 2 個体は 28 セッション行った。2 個体の最終 2 セッション平均正答率は 60%であった。非カテゴリ探索群は、どの個体も素早く学習した。それぞれ 11, 14, 17, 17 セッションで完成基準を満たした。

最終訓練

1 セッション 40 試行の訓練では、カテゴリ探索群は、平均 7 セッション (range: 2-10 セッション) で完成基準を満たした (4 個体の平均正答率は 78%)。一方非カテゴリ探索群は、全ての個体が 2 セッションで完成基準を満たした (4 個体の平均正答率は 77%)。最終段階の訓練 (1 セッション 160 試行) では、完成基準を満たした個体は、カテゴリ探索群、非カテゴリ探索群ともに 2 個体であった。基準を満たさなかった個体は 20 セッション行った後、テストに移行した。基準

を満たさなかった個体の訓練最終 2 セッションの正答率は、カテゴリ探索群は平均 83% (range: 77–87%) , 非カテゴリ探索群は平均 85% (range: 83–88%) であった。

テスト

それぞれの群において、カテゴリ探索群では妨害刺激、非カテゴリ探索群では標的刺激に用いた非カテゴリ事例のクラスごとに正答率と反応時間を分析した。反応時間は、条件ごとに 8 セッションの中央値を算出した。Fig. 42 に、非カテゴリ事例クラスごとの正答率（上）および反応時間（下）を示した。データポイントは両群ともに 4 個体の平均である。

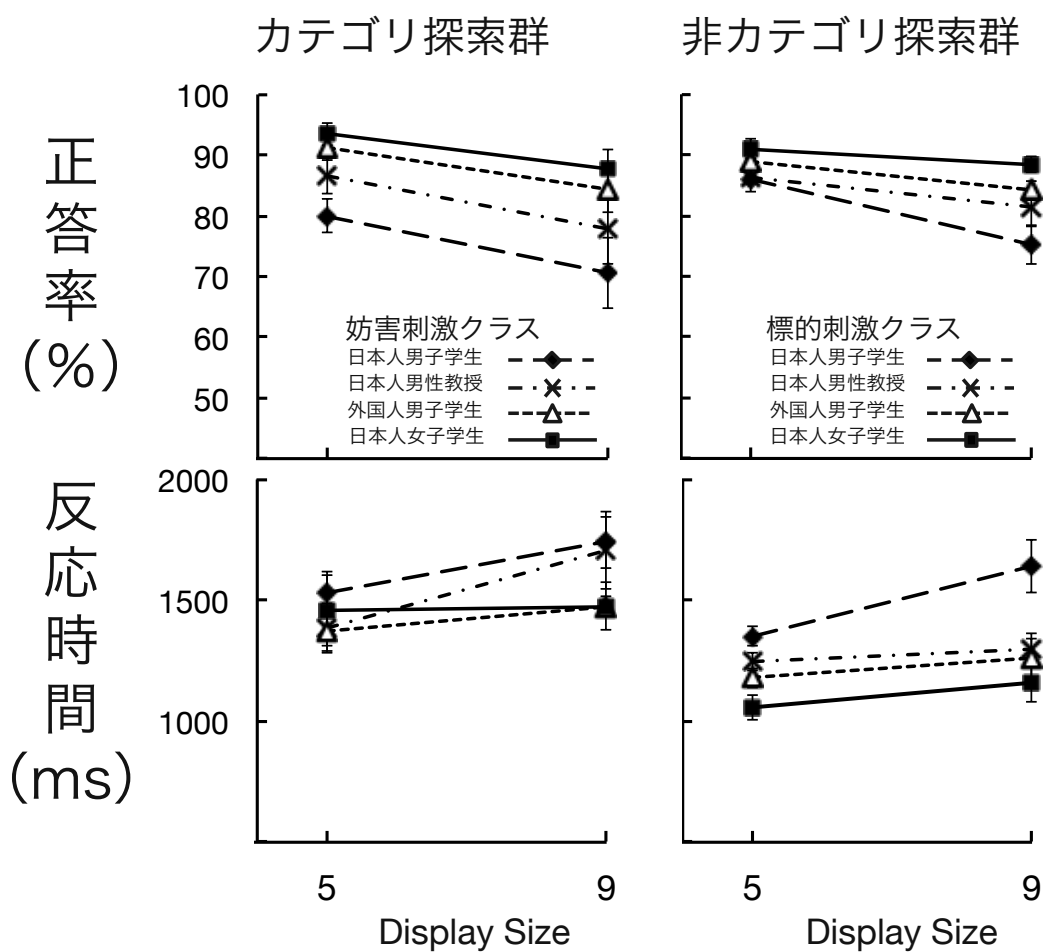


Fig. 42 (左) カテゴリ群における妨害刺激クラスごとの4個体平均正答率(上)と4個体平均反応時間(下)

(右) 非カテゴリ群における標的刺激クラスごとの4個体平均正答率(上)と4個体平均反応時間(下)

カテゴリ探索群

まず、カテゴリ探索群の正答率の分析を行った。日本人男子学生クラス、日本人男性教授クラス、外国人男子学生クラス、日本人女子学生クラスの順に、正

答率は低かった (Fig. 42, 左上)。正答率のデータに関して、妨害刺激クラス (日本人男子学生 vs. 日本人男性教授 vs. 外国人男子学生 vs. 日本人女子学生) と Display Size (Display Size 5 vs. Display Size 9) を被験者内要因とする、個体内で対応のある 2 要因分散分析を行った。分析の結果、妨害刺激クラスに有意な主効果が確認された [$F(3, 9) = 12.37, p = .002, \eta_p^2 = .81$]。Display Size の主効果は有意傾向であった [$F(1, 3) = 7.97, p = .067, \eta_p^2 = .73$]。有意な交互作用は確認されなかった [$F(3, 9) = 1.27, p = .341, \eta_p^2 = .30$]。妨害刺激クラスの多重比較を行ったところ、日本人男子学生妨害刺激クラスと日本人男性教授妨害刺激クラス ($p < .05$)、外国人男子学生妨害刺激クラス ($p < .01$)、日本人女子学生妨害刺激クラス ($p < .001$) に有意な正答率の差が確認された。また、日本人男性教授妨害刺激クラスと日本人女子学生妨害刺激クラスに有意な差が確認された ($p < .05$)。

次にカテゴリ探索群の反応時間の分析を行った (Fig. 42, 左下)。反応時間のデータに関して、妨害刺激クラス (日本人男子学生 vs. 日本人男性教授 vs. 外国人男子学生 vs. 日本人女子学生) と Display Size (5 vs. 9) を被験者内要因とする、個体内で対応のある 2 要因分散分析を行った。分析の結果、妨害刺激クラス [$F(3, 9) = 4.33, p = .038, \eta_p^2 = .59$]、Display Size [$F(1, 3) = 12.99, p = .037, \eta_p^2 = .81$]ともに有意な主効果が確認された。交互作用は有意傾向であった [$F(3, 9) = 2.97, p = .090, \eta_p^2 = .50$]。妨害刺激クラスの多重比較を行ったところ、日本人男子学生妨害刺激クラスと、日本人女子学生妨害刺激クラス ($p < .05$)、外国人男子学生妨害刺激クラス ($p < .01$) に有意な正答率の差が確認された。有意な交互作

用は確認されなかったことから、探索効率は妨害刺激クラスで差がないことを示している。この結果は、研究 1（実験 1）の結果とも一致しており、標的刺激と妨害刺激の類似性に関わらず、共通成分特性をもつ標的刺激に注意が誘導されていると考えられる。

非カテゴリ探索群

非カテゴリ探索群の正答率の分析を行った。Display Size 9 のときのみ、各標的刺激クラスの正答率に差が見られた (Fig. 42, 右上)。正答率のデータに関して、標的刺激クラス (日本人男子学生 vs. 日本人男性教授 vs. 外国人男子学生 vs. 日本人女子学生) と Display Size (5 vs. 9) を被験者内要因とする、個体内で対応のある 2 要因分散分析を行った。分析の結果、標的刺激クラスに有意な主効果が確認された [$F(3, 9) = 7.11, p = .010, \eta_p^2 = .70$]。Display Size の主効果は有意傾向であった [$F(1, 3) = 7.85, p = .068, \eta_p^2 = .72$]。有意な交互作用も確認された [$F(3, 9) = 4.57, p = .033, \eta_p^2 = .60$]。単純主効果の検定を行ったところ、日本人男子学生標的刺激クラスのみ Display Size の有意な主効果が確認された [$F(1, 12) = 18.63, p = .001, \eta_p^2 = .61$]。Display Size 9 のときのみ、日本人男子学生標的刺激クラスの正答率が、他の標的刺激クラスよりも悪くなったため、交互作用が確認されたと考えられる。

次に、非カテゴリ探索群の反応時間の分析を行った。日本人男子学生標的刺激クラスを除き、探索は効率的であった。反応時間のデータに関して、標的刺激

クラス（日本人男子学生 vs.日本人男性教授 vs. 外国人男子学生 vs.日本人女子学生）と Display Size（Display Size 5 vs. Display Size 9）を被験者内要因とする、個体内で対応のある 2 要因分散分析を行った。分析の結果、標的刺激クラスに有意な主効果が確認された $[F(3, 9) = 29.21, p < .001, \eta_p^2 = .91]$ 。Display Size の主効果は有意傾向であった $[F(1, 3) = 6.74, p = .081, \eta_p^2 = .69]$ 。有意な交互作用も確認された $[F(3, 9) = 5.53, p = .020, \eta_p^2 = .65]$ 。単純主効果の検定を行ったところ、日本人男子学生標的刺激クラスのみ Display Size の有意な主効果が確認された $[F(1, 12) = 20.62, p < .001, \eta_p^2 = .63]$ 。有意な交互作用が確認されたことから、標的刺激クラスによって探索効率に違いが生じることが明らかになり、妨害刺激にカテゴリ事例を用いた、非カテゴリ探索では標的刺激と妨害刺激の類似性（ボトムアップ的要因）が探索効率に影響を与えることが示された。このことから、カテゴリ探索群のハトは、妨害刺激の共通成分特性を探索の手がかりに用いていない可能性が示唆された。

カテゴリ探索群と非カテゴリ探索群の比較

カテゴリ探索群と非カテゴリ探索群の正答率を比較した。2 群の間に正答率の差はなかった（Display Size 5；カテゴリ探索群：88%，非カテゴリ探索群：88%，Display Size 9；カテゴリ探索群：80%，非カテゴリ群：82%）。次に両群の反応時間を比較した。反応時間では非カテゴリ探索群の方が、カテゴリ探索群よりも探索時間が短かった。両群の探索の効率を比較するために、反応時間のデー

タに関して、探索群（カテゴリ探索群 vs. 非カテゴリ探索群）を被験者間要因とする、対応のない両側 t 検定を行った⁹。群間に有意な差が確認された[Display Size 5: $t(30) = 3.42, p = .002$, Cohen's $d = 1.21$, Display Size 9: $t(30) = 2.96, p = .010$, Cohen's $d = 1.04$] (N = 16; 4 個体 × 非カテゴリ事例クラス 4 種)。非カテゴリ探索群の方がカテゴリ探索群よりも探索が効率的になることが明らかになった¹⁰。

共通成分特性を「もつ」標的刺激（カテゴリ事例）を探索するカテゴリ探索群よりも、共通成分特性を「もたない」標的刺激（非カテゴリ事例）を探索する非カテゴリ探索群の方が探索の効率は悪くなると予測されたが、非カテゴリ探索群の方がカテゴリ探索群よりも探索の効率が悪くなり、予測とは逆の探索非対称性が確認された。従って、非カテゴリ探索群のハトは、共通成分特性を「もたない」標的刺激を探索するという方略は行っていないと考えられる。

それではなぜ、予測とは逆の探索非対称性が確認されたのだろうか。一つの可能性は、非カテゴリ探索群において、ネガティブガイダンスが生じた可能性である。

⁹ 探索群（カテゴリ探索群 vs. 非カテゴリ探索群）、非カテゴリ事例条件（日本人男子学生 vs. 日本人男性教授 vs. 外国人男子学生 vs. 日本人女子学生）、Display Size（Display Size 5 vs. Display Size 9）を要因とする 3 要因の混合計画の分散分析は以下の理由から行わなかった。カテゴリ探索群の非カテゴリ事例は、妨害刺激であり、非カテゴリ探索群の非カテゴリ事例は、標的刺激である。従って、両群の非カテゴリ事例条件を同質のものとして扱うことはできない。そのため、群ごとに、非カテゴリ事例クラスと Display Size を要因とする 2 要因の分散分析を行った。同じ理由で、実験 5 においても 3 要因の混合計画の分散分析は行わなかった。

¹⁰ Display Size ごとに探索時間を比較したのは、Display Size が 2 点しかないため、回帰直線をあてはめることができないためである。回帰直線をあてはめることができないため、探索スロープ (ms/item) を算出することができない。そのため、Display Size ごとに探索時間の比較を行い、探索の効率を検討した。同じ理由で、実験 5 においても Display Size ごとに探索時間を比較した。

予測でも述べたように、非カテゴリ探索群のハトが、妨害刺激の共通成分特性を探索の手がかりに用いていたならば、共通成分特性をもつ妨害刺激への注意が抑制され（ネガティブガイダンス）、標的刺激を効率良く探索することができるだろう。その場合、カテゴリ探索群より非カテゴリ探索群の方が、効率良く探索を行うことができるかもしれない。しかし、非カテゴリ探索群では、標的刺激と妨害刺激の類似性効果が確認されたことから、非カテゴリ探索群のハトは、妨害刺激の共通成分特性を探索の手がかりに用いていなかったと考えられる。従って、共通成分特性をもつ妨害刺激への注意が抑制されるようなネガティブガイダンスは生じている可能性は低いだろう。

それではどのようなネガティブガイダンスが生じていたのだろうか。以下のような、ネガティブガイダンスが生じていた可能性がある。ハトは、妨害刺激である10種のカテゴリ事例（共通成分 = 50%）を丸暗記しており、丸暗記した妨害刺激への注意が抑制され、標的刺激へ注意が誘導されることで（ネガティブガイダンス）、非カテゴリ探索において効率良い探索が見られたのではないだろうか。

3.2.2 実験4のまとめ

カテゴリ探索群では、研究1と同様、標的刺激と妨害刺激の類似性は探索効率に影響しなかった。カテゴリ探索においてハトは、標的刺激であるカテゴリ事例の共通成分特性を探索の手がかりに用いていることが、本実験からも示唆

された。一方、非カテゴリ探索群では、標的刺激と妨害刺激の類似性は探索効率に影響した。非カテゴリ探索においてハトは、妨害刺激であるカテゴリ事例の共通成分特性を探索の手がかりに用いていないことが示唆された。

また、非カテゴリ探索群の方が、カテゴリ探索群よりも探索の効率は良くなった。一つの可能性として、10種のカテゴリ事例（共通成分 = 50%）を丸暗記することによってネガティブガイダンスが生じていた可能性が挙げられる。

そこで、実験5では10種のカテゴリ事例（共通成分 = 50%）を丸暗記することによってネガティブガイダンスが生じていたのか検討するため、共通成分の合成率が異なるカテゴリ事例（共通成分 = 0%, 25%, 50%, 75%, 100%）を非カテゴリ探索群では妨害刺激として用いた。もし、10種のカテゴリ事例（訓練事例；共通成分 = 50%）を丸暗記することで、ネガティブガイダンスが生じていたならば、共通成分の合成率が異なる新奇事例（共通成分 = 0%, 25%, 75%, 100%）を妨害刺激として用いた時の探索効率は、訓練事例（共通成分 = 50%）を妨害刺激として用いたときよりも悪くなると考えられる。

3.3 実験 5

実験 4 から、非カテゴリ探索群のハトは、妨害刺激として用いた 10 種のカテゴリ事例（訓練事例；共通成分 = 50%）を丸暗記しており、丸暗記した妨害刺激への注意が抑制され、標的刺激へ注意が誘導されることで（ネガティブガイダンス）、標的刺激を効率良く探索していた可能性が示唆された。

そこで実験 5 では、共通成分の合成率が異なるカテゴリ事例（共通成分 = 0%、25%、50%、75%、100%）を非カテゴリ探索群では妨害刺激として、カテゴリ探索群では標的刺激として用いた。それでは、両群の結果はどのようなになるだろうか。

カテゴリ探索群は、研究 1（実験 1）と同様、実験 4 において標的刺激と妨害刺激の類似性による探索効率への影響は確認されなかった。カテゴリ探索群のハトは、標的刺激の共通成分特性を探索の手がかりに用いることで、カテゴリ事例の探索を行っていたと考えられる。そのため、研究 1（実験 3）と同様に、実験 5 においても、カテゴリ探索群は共通成分の合成率が高い事例（共通成分合成率 = 50%、75%、100%）の探索効率は良く、共通成分の合成率が低い事例（共通成分 = 0%、25%）の探索効率は悪くなるだろう。

一方、非カテゴリ探索群は、妨害刺激として用いた 10 種のカテゴリ事例（訓練事例；共通成分 = 50%）を丸暗記することで、ネガティブガイダンスが生じた可能性が考えられる。その可能性が正しいならば、訓練事例（共通成分 = 50%）を妨害刺激として用いた探索の効率が最も良く、共通成分 0% の新奇事例と共通

成分 100% の新奇事例を妨害刺激として用いた探索の効率が最も悪くなると予測される。

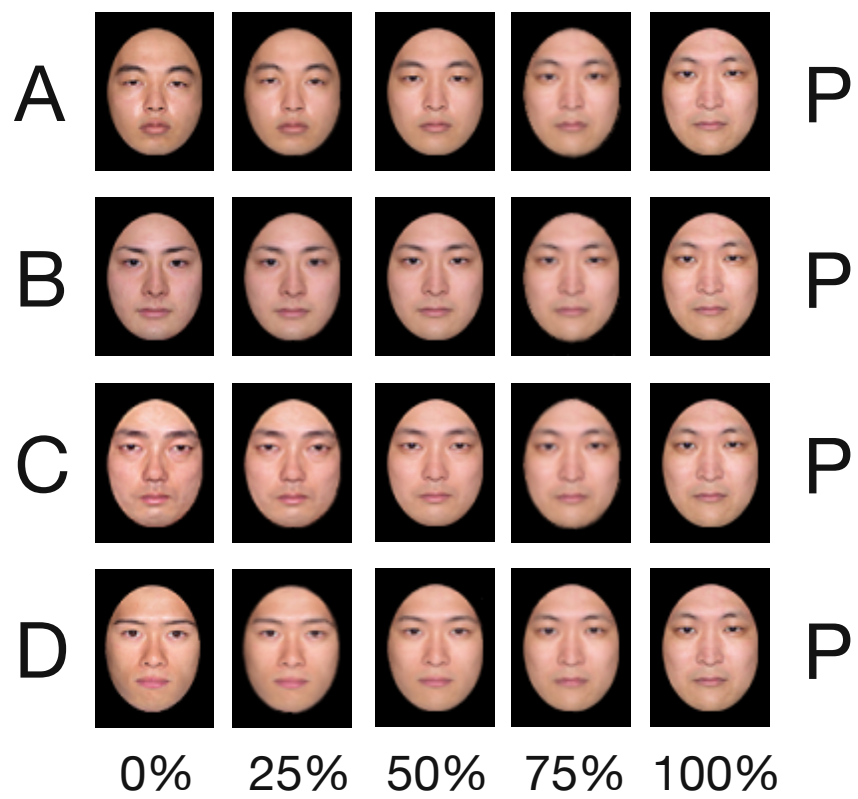
3.3.1 方法

3.3.1.1 被験体と装置

被験体及び装置は実験 4 と同様であった。

3.3.1.2 刺激

実験 3 と同様のカテゴリ事例を用いた。共通成分の合成率を 5 段階に変化した；共通成分 = 0% (事例特異的成分顔；A, B, C, D), 25%, 50% (訓練事例), 75%, 100% (共通成分顔；P)。20 種の標的刺激 (事例特異的成分顔 4 種×合成率 5 種) を用いた (Fig. 43)。非カテゴリ事例は実験 1-4 で用いたものと同様のものを用いた。



共通成分合成率

Fig. 43 実験 5 で用いたカテゴリ事例

カテゴリ探索群は標的刺激として、非カテゴリ探索群は妨害刺激として用いた

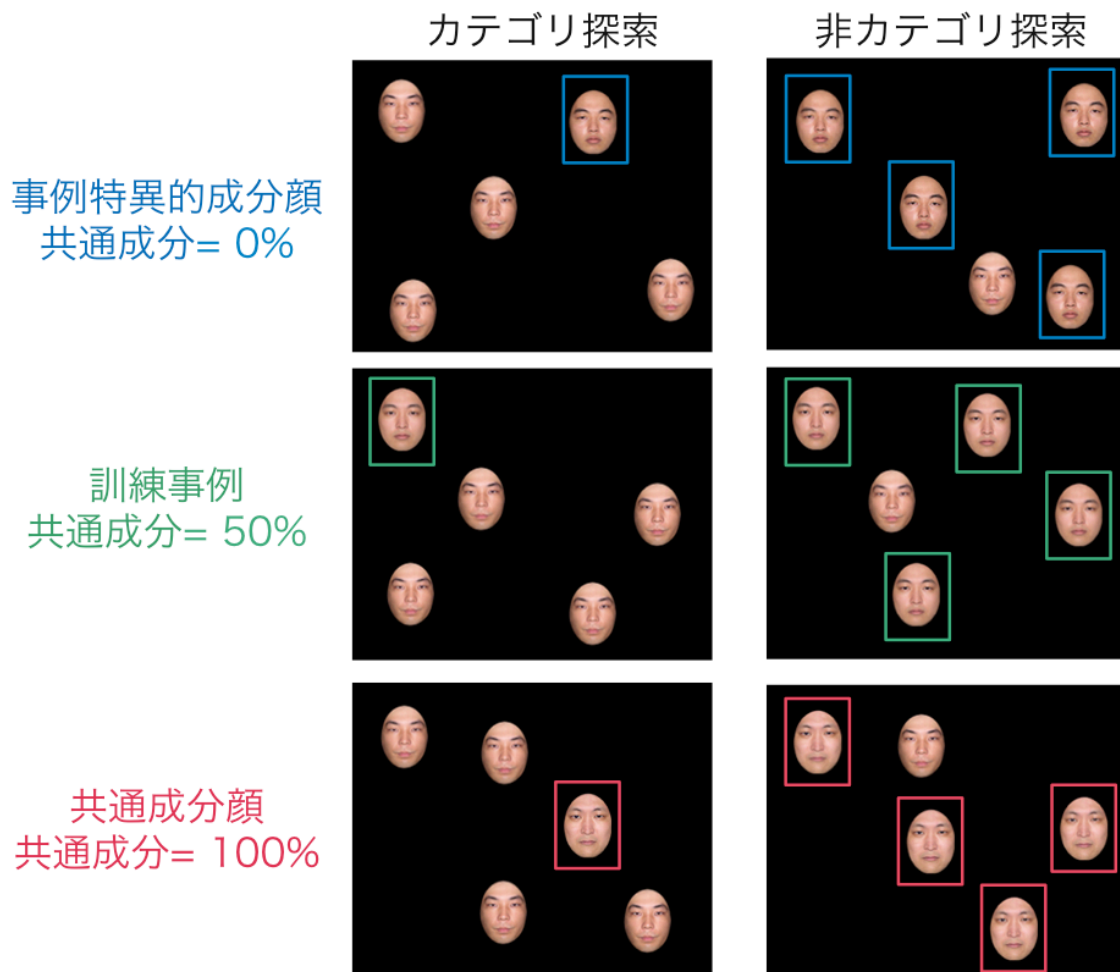


Fig. 44 実験 5 探索課題例

3.3.1.3 手続き

訓練

実験 4 のテストセッションと同様のセッションで訓練した。完成基準は 90% 以上の正答率とした。基準を満たさなかった個体は、12 セッション行った後、テストに移行した。

テスト

1セッション160試行であった。探索画面は320種（カテゴリ探索群：標的刺激20種×妨害刺激8種×Display Size2種, 非カテゴリ探索群：標的刺激8種×妨害刺激20種×Display Size2種）あり, 2セッションで全探索画面が呈示されたため, 2セッションをセッションブロックとした。カテゴリ探索群では, 20試行で各標的刺激が1回ずつ呈示されるため, 20試行を1ブロックとした。各妨害刺激は2ブロックで5回ずつ呈示された。非カテゴリ探索群では, 8試行で各標的刺激が1回ずつ呈示されるため, 8試行を1ブロックとした。各妨害刺激は5ブロックで2回ずつ呈示された。標的刺激及び妨害刺激の呈示順は, カテゴリ探索群, 非カテゴリ探索群とともに, ブロック内でランダムに呈示された。Display Size5と9は, カテゴリ探索群, 非カテゴリ探索群ともに, ブロック内で等頻度に呈示された。他の手続きは, 訓練と同様であった。8セッションブロック(16セッション)行った。

3.3.1.4 結果と考察

訓練

カテゴリ探索群では2個体, 非カテゴリ探索群では3個体が完成基準を満たした。完成基準を満たさなかった個体の最終セッションの正答率は, 73%, 88% (カテゴリ探索群), 85% (非カテゴリ探索群) であった。

テスト

テストにおける共通成分合成率ごとの両群の正答率を示した (Fig. 45)。両群ともに最初数セッションでは、共通成分 = 0% (事例特異的成分顔) のとき、他の共通成分合成率条件よりも低い正答率が確認された。特に、非カテゴリ探索群においてその傾向は顕著であった。後半セッションになるとその正答率の差はなくなった。

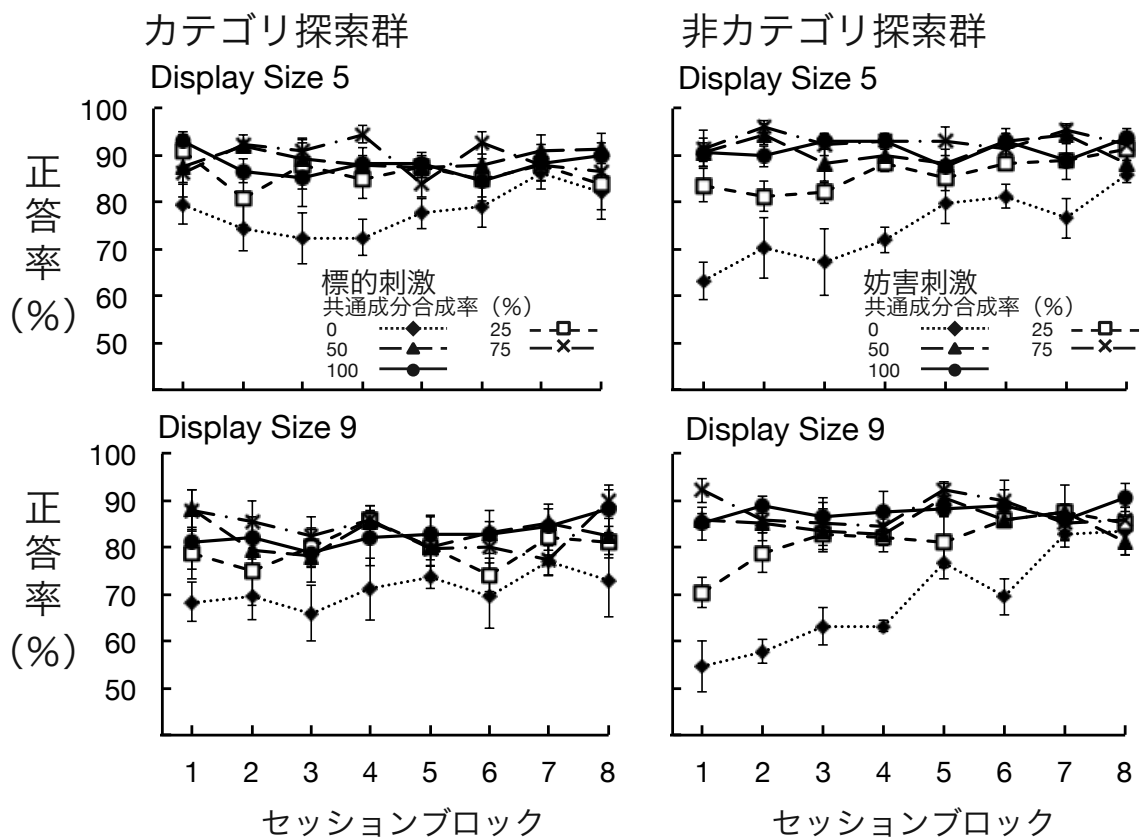


Fig. 45 (左) カテゴリー群における標的刺激の共通成分合成率ごとの
4 個体の平均正答率の推移 (上) Display Size 5 と (下) Display Size 9
(右) 非カテゴリー群における妨害刺激の共通成分合成率ごとの
4 個体の平均正答率の推移 (上) Display Size 5 と (下) Display Size 9

両群ともにテストにおいて正答率の上昇が確認されたため、最初2セッションブロック（初期セッション）と最終2セッションブロック（後期セッション）にわけて反応時間を分析した

初期セッション

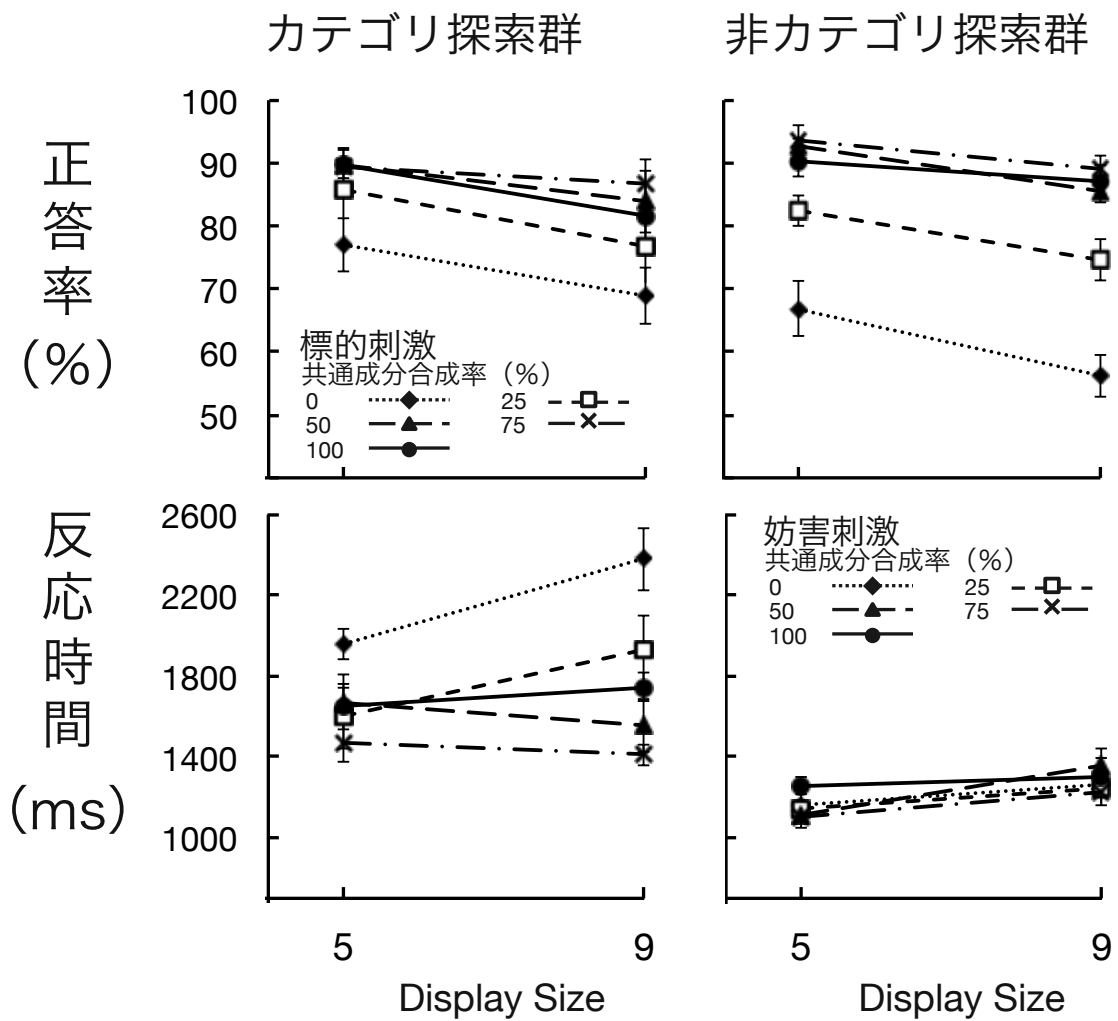


Fig. 46 初期2セッションブロックの共通成分合成率ごとの4個体平均正答率（上）と

4個体平均反応時間（下）

（左）カテゴリ探索群，（右）非カテゴリ探索群

エラーバーは標準誤差を示す

初期セッションカテゴリ探索群

まず、初期セッションにおけるカテゴリ探索群の正答率の分析を行った (Fig. 46, 左上)。共通成分 = 0%の標的刺激を除いて、高い正答率が確認された。共通成分合成率 (0% vs. 25% vs. 50% vs. 75% vs.100) と Display Size (5 vs.9) を個体内要因とする、個体内で対応のある2要因の分散分析を行った。分析の結果、共通成分合成率の有意な主効果が確認された [$F(4, 12) = 7.77, p = .002, \eta_p^2 = .72$]。Display Size の有意な主効果 [$F(1, 3) = 4.63, p = .120, \eta_p^2 = .61$]、有意な交互作用 [$F(4, 12) = 0.71, p = .601, \eta_p^2 = .19$]は確認されなかった。共通成分合成率の多重比較を行ったところ、共通成分 = 0%と共通成分 = 25% ($p < .05$)、共通成分 = 50% ($p < .001$)、共通成分 = 75% ($p < .001$)、共通成分 = 100% ($p < .01$) の正答率に有意な差が確認された。

次に、初期セッションにおけるカテゴリ探索群の反応時間の分析を行った (Fig. 46, 左下)。共通成分 = 0%と共通成分 = 25%の探索スロープは急であり、非効率的な探索であった。一方、共通成分の合成率が高い事例 (共通成分 = 50%, 75%, 100%) の探索スロープはフラットに近く、効率的な探索であった。共通成分合成率 (0% vs. 25% vs. 50% vs. 75% vs.100) と Display Size (5 vs.9) を個体内要因とする、個体内で対応のある2要因の分散分析を行った。分析の結果、共通成分合成率 [$F(4, 12) = 12.70, p = .038, \eta_p^2 = .81$]、Display Size [$F(1, 3) = 8.99, p = .001, \eta_p^2 = .75$]ともに有意な主効果が確認された。また、有意な交互作用も確認された [$F(4, 12) = 7.13, p = .004, \eta_p^2 = .70$]。単純主効果の検定を行ったところ、

共通成分 = 0% [$F(1, 15) = 23.13, p < .001, \eta_p^2 = .61$], 共通成分 = 25% [$F(1, 15) = 14.29, p = .002, \eta_p^2 = .49$]のときのみ, Display Sizeの主効果が確認された。この結果は研究1(実験3)とも一致しており, カテゴリ探索群のハトは, 標的刺激の共通成分特性を探索の手がかりに用いて, 探索を行っていたと考えられる。

初期セッション非カテゴリ探索群

非カテゴリ探索群の初期セッションにおける正答率の分析を行った (Fig. 46, 右上)。妨害刺激が共通成分 = 0%, 共通成分 = 25%のとき, 正答率は悪くなった。共通成分合成率 (0% vs. 25% vs. 50% vs. 75% vs.100) と Display Size (5 vs.9) を個体内要因とする, 個体内で対応のある2要因の分散分析を行った。分析の結果, 共通成分合成率 [$F(4, 12) = 25.27, p < .001, \eta_p^2 = .89$], Display Size [$F(1, 3) = 33.29, p = .010, \eta_p^2 = .92$]ともに有意な主効果が確認された。有意な交互作用は確認されなかった [$F(4, 12) = 0.66, p = .634, \eta_p^2 = .18$]。共通成分合成率の多重比較を行ったところ, 共通成分 = 0%と共通成分 = 50%, 75%, 100%の正答率に有意な差が見られた ($p_s < .001$)。また, 共通成分 = 25%と共通成分 = 50% ($p < .05$), 75% ($p < .01$), 100% ($p_s < .05$) の正答率に有意な差が見られた。

次に, 非カテゴリ探索群の初期セッションにおける反応時間の分析を行った (Fig. 46, 右下)。反応時間は共通成分合成率に関わらず速かった。共通成分合成率 (0% vs. 25% vs. 50% vs. 75% vs.100) と Display Size (5 vs.9) を個体内要因とする, 個体内で対応のある2要因の分散分析を行った。分析の結果, 共通成

分合成率 [$F(4, 12) = 0.52, p = .724, \eta_p^2 = .15$], Display Size [$F(1, 3) = 5.15, p = .108, \eta_p^2 = .63$] ともに有意な主効果は確認されなかった。有意な交互作用も確認されなかった [$F(4, 12) = 0.64, p = .642, \eta_p^2 = .18$]。すなわち、非カテゴリ探索群のハトは、事例特異的成分顔 (A, B, C, D, 共通成分 = 0%) が妨害刺激のときも含めて、非常に効率良く標的刺激である非カテゴリ事例を探索していた。もしハトが妨害刺激である訓練事例 (共通成分 = 50%) を丸暗記していたならば、訓練事例に負の重み付けがなされ、妨害刺激である訓練事例への注意が抑制されることで (ネガティブガイダンス)、標的刺激へ注意が誘導されると考えられた。その場合、訓練事例 (共通成分 = 50%) が妨害刺激のとき最も効率良く、共通成分 = 0% と 100% が妨害刺激のとき最も効率が悪くなると予測された。しかし、結果は妨害刺激の共通成分合成率に関わらず、非常に効率良かった。この結果はどちらの予測とも一致しない。従って、ネガティブガイダンスは、非カテゴリ探索群において生じていなかったと考えられる。実験 4 で確認された、非カテゴリ探索群の方がカテゴリ探索群よりも探索効率が良い探索非対称性は、非カテゴリ探索群におけるネガティブガイダンスでは説明できないことが示唆された。

後期セッション

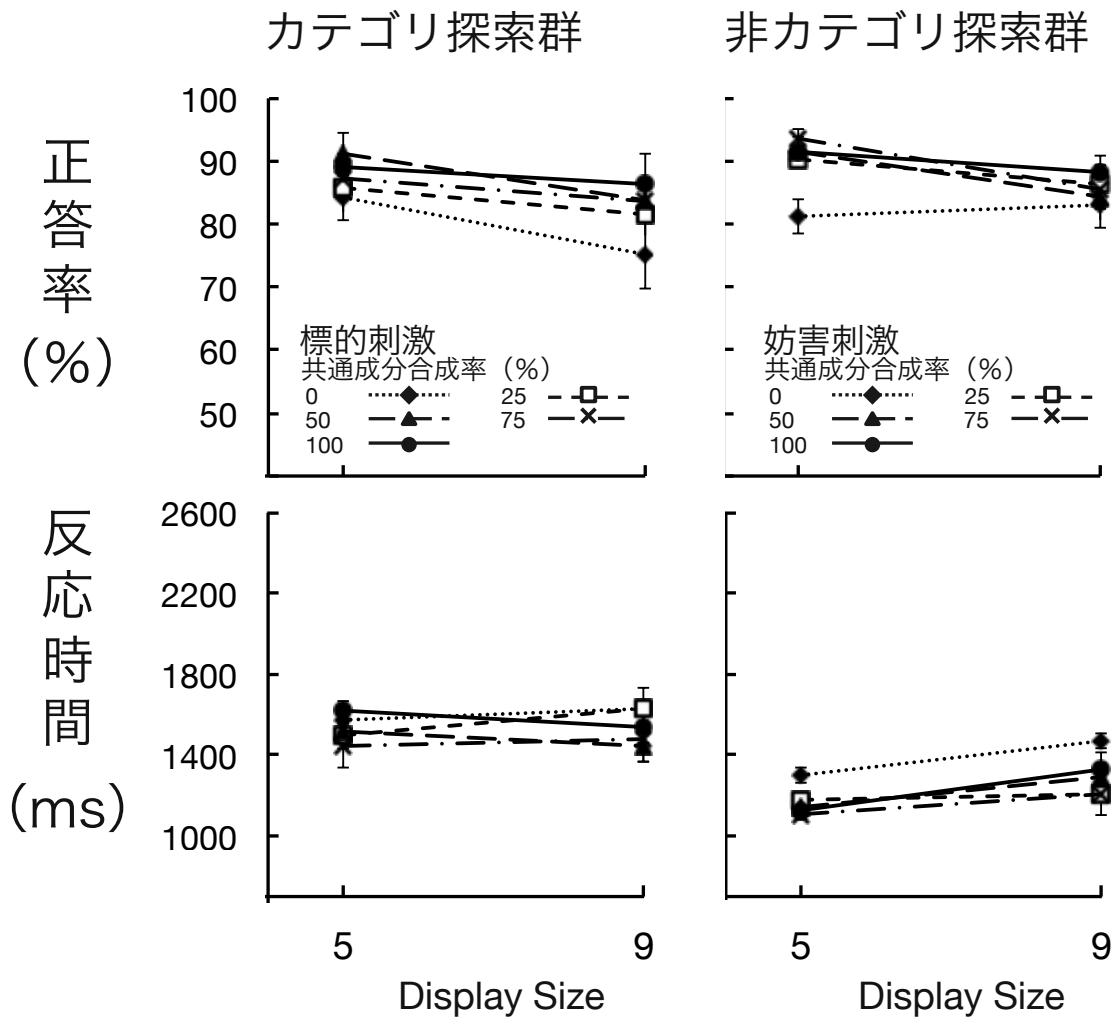


Fig. 47 後期 2 セッションブロックの共通成分合成率ごとの正答率 (上) と反応時間 (下)

(左) カテゴリ探索群, (右) 非カテゴリ探索群

エラーバーは標準誤差を示す

後期セッションカテゴリ探索群

後期セッションにおけるカテゴリ探索群の正答率を分析した (Fig. 47, 左上)。

Display Size 9 のとき, 共通成分 = 0% の正答率が, 他の共通成分合成率よりも少

し悪かった。共通成分合成率 (0% vs. 25% vs. 50% vs. 75% vs.100) と Display Size (5 vs.9)を個体内要因とする, 個体内で対応のある 2 要因の分散分析を行った。分析の結果, 共通成分合成率 $[F(4, 12) = 4.38, p = .015, \eta_p^2 = .62]$, Display Size $[F(1, 3) = 13.64, p = .035, \eta_p^2 = .82]$ ともに有意な主効果が確認された。有意な交互作用は確認されなかった $[F(4, 12) = 0.66, p = .633, \eta_p^2 = .18]$ 。共通成分合成率の多重比較を行ったところ, 共通成分 = 0%と共通成分 = 50% ($p < .01$), 共通成分 = 75% ($p < .05$), 共通成分 = 100% ($p < .01$) の正答率に有意な差が確認された。

次に, 後期セッションにおけるカテゴリ探索群の反応時間を分析した (Fig. 47, 左下)。共通成分合成率に関わらず, 探索スロープは緩やかだった。共通成分合成率 (0% vs. 25% vs. 50% vs. 75% vs.100) と Display Size (5 vs.9) を個体内要因とする, 個体内で対応のある 2 要因の分散分析を行った。分析の結果, 共通成分合成率 $[F(4, 12) = 1.83, p = .187, \eta_p^2 = .38]$, Display Size $[F(1, 3) = 0.04, p = .852, \eta_p^2 = .01]$ に有意な主効果は確認されなかった。有意な交互作用も確認されなかった $[F(4, 12) = 0.69, p = .613, \eta_p^2 = .19]$ 。研究 1 と同様に, カテゴリ探索群では, 様々な共通成分合成率のカテゴリ事例の探索を繰り返し練習することで, 探索の自動化が生じ, 共通成分の合成率が少ない事例も効率よく探索するようになったと考えられる。

後期セッション非カテゴリ探索群

後期セッションにおける非カテゴリ探索群の正答率を分析した (Fig. 47, 右

上)。妨害刺激が共通成分 = 0%、共通成分 = 25%のときの正答率は悪かった。共通成分合成率 (0% vs. 25% vs. 50% vs. 75% vs.100) と Display Size (5 vs.9) を個体内要因とする、個体内で対応のある 2 要因の分散分析を行った。共通成分合成率 $[F(4, 12) = 1.82, p = .177, \eta_p^2 = .39]$, DS $[F(1, 3) = 4.43, p = .126, \eta_p^2 = .60$ for DS]ともに有意な主効果は確認されなかった。有意な交互作用も確認されなかった $[F(4, 12) = 1.38, p = .297, \eta_p^2 = .32]$ 。

次に、後期セッションにおける非カテゴリ探索群の反応時間を分析した (Fig. 47, 右下)。後期セッションでも初期セッションとかわらず、非カテゴリ探索群の反応時間は短かったが、共通成分 = 0%が妨害刺激の時の反応時間は少しだけ長くなった。共通成分合成率(0% vs. 25% vs. 50% vs. 75% vs.100) と Display Size (5 vs.9)を個体内要因とする、個体内で対応のある 2 要因の分散分析を行った。分析の結果、共通成分合成率は有意な主効果が確認された $[F(4, 12) = 8.02, p = .002, \eta_p^2 = .73]$ 。Display Sizeの主効果は有意傾向であった $[F(1, 3) = 0.73, p = .081, \eta_p^2 = .69]$ 。有意な交互作用は確認されなかった $[F(4, 12) = 1.45, p = .277, \eta_p^2 = .33]$ 。共通成分合成率の多重比較を行ったところ、共通成分 = 0%と共通成分 = 25% ($p < .001$)、共通成分 = 50% ($p < .01$)、共通成分 = 75% ($p < .01$)、共通成分 = 100% ($p < .01$) の反応時間に有意な差が確認された。テストの初期セッションでは、共通成分合成率が低い事例 (共通成分 = 0%, 25%) が妨害刺激のとき、誤って妨害刺激に反応していたが、テストセッションを繰り返し練習することにより、共通成分合成率が低い事例が妨害刺激でも誤って反応しない

ようになったと考えられる。その代わり、共通成分をもたない妨害刺激（共通成分 = 0%）のとき、ハトはより時間をかけて正確に、標的刺激である非カテゴリ事例に反応するようになったと考えられる。

カテゴリ探索群と非カテゴリ探索群の反応時間の比較

後期セッションにおいて、カテゴリ探索群で探索の自動化が生じていたにも関わらず、非カテゴリ探索群（平均 1,235 ms）の方がカテゴリ探索群（平均 1,538 ms）よりも探索時間は短かった（Fig. 47, 下）。両群の反応時間を比較するため、反応時間のデータに関して、探索群（カテゴリ探索群 vs. 非カテゴリ探索群）を被験者間要因とする、対応のない片側 t 検定を行った。実験 4 の結果から、非カテゴリ探索群の方がカテゴリ探索群よりも探索時間が短くなることが予測されたため、片側検定を行った。また、非カテゴリ探索群において、共通成分 = 0% が妨害刺激のとき、慎重に反応を行うことで探索時間が他の共通成分合成よりも長くなっていたため、両群ともに共通成分 = 0% のデータは分析から除外した。分析の結果、群間の反応時間に有意な差が確認された [$t(30) = 8.54, p < .001, \text{Cohen's } d = 3.02 \text{ at DS} = 5; t(30) = 4.02, p < .001, \text{Cohen's } d = 1.42 \text{ at DS} = 9]$ (N = 16; 4 個体 × 共通成分合成率 4 種)。この結果からも、非カテゴリ探索群がカテゴリ探索群よりも探索の効率が良いという探索非対称性が示された。

3.3.2 実験5のまとめ

カテゴリ探索群では研究1と同様、共通成分の合成率が高く、典型性が高い事例の探索効率は良く、共通成分の合成率が低く、典型性が低い事例の探索効率は悪かった。このことから、カテゴリ探索群のハトは標的刺激であるカテゴリ事例の共通成分特性を探索の手がかりに用いていることが示された（初期セッション）。共通成分特性にトップダウン的の重み付けがなされ、共通成分特性をもつ標的刺激に注意が誘導されることで、共通成分特性を多くもち典型性が高い事例の探索を効率良く行っていたと考えられる。また、共通成分の合成率が低く、典型性が低い事例を含めて探索練習を行うことで、典型性が低い事例も効率良く探索することができる探索の自動化が生じることが明らかになった（後期セッション）。

一方、非カテゴリ探索群では、共通成分合成率によって探索の効率が変わらなかった。もし、ハトが妨害刺激カテゴリを学習しており、妨害刺激の共通成分特性を探索の手がかりに用いるならば、妨害刺激の共通成分合成率に従ってネガティブガイダンスが生じると考えられた。その場合、妨害刺激の共通成分合成率に従って、標的刺激への注意の誘導が生じるため、探索効率は良くなるだろう。しかし今実験の結果は、この予測とは一致しない。この結果から、ハトは妨害刺激カテゴリを学習しておらず、妨害刺激の共通成分特性を探索の手がかりに用いないことが示された。また、ハトが妨害刺激である訓練事例（共通成分 = 50%）を丸暗記し、丸暗記した妨害刺激への注意が抑制されていた可

能性が考えられた。その場合、訓練事例を妨害刺激に用いた探索で、最も探索効率は良くなるだろう。しかしこの予測も今実験の結果と一致しない。従って、ハトは妨害刺激カテゴリを学習していないことが示された。

非カテゴリ探索群のハトは、妨害刺激カテゴリを学習しておらず、ネガティブガイダンスが生じていなかった。それにも関わらず、なぜ非カテゴリ探索群の方がカテゴリ探索群よりも探索効率が良い探索非対称性が確認されたのだろうか。この点については、研究2の総合考察で議論する。

3.4 研究2の総合考察

カテゴリ探索群では研究1と同様、標的刺激と妨害刺激の類似性が探索効率に影響しないこと（実験4）、共通成分の合成率が高く典型性が高い事例の探索効率は良く、共通成分の合成率が低く典型性が低い事例の探索効率は悪くなることが明らかになった（実験5、初期セッション）。これらの結果から、カテゴリ探索群のハトは、標的刺激の共通成分特性を探索の手がかりに用いていたと考えられる。共通成分特性にトップダウン的の重み付けがなされ、共通成分特性をもつ標的刺激に注意が誘導されることで、共通成分を多くもち典型性が高い事例の探索を効率良く行っていることが明らかになった。また、共通成分の合成率が低く、典型性が低い事例を含めて探索練習を行うことで、典型性が低い事例も効率良く探索することができる探索の自動化が生じることが明らかになった（実験5、後期セッション）。

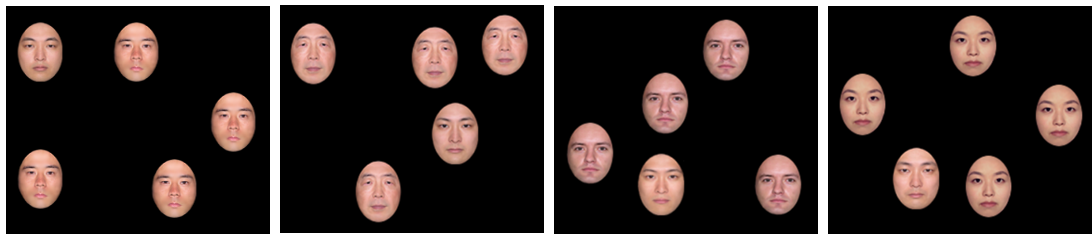
一方、非カテゴリ探索群では、標的刺激と妨害刺激の類似性が探索効率に影響すること（実験4）、妨害刺激の共通成分合成率によって探索の効率が変わらなかったことから（実験5）、非カテゴリ探索群のハトは、妨害刺激であるカテゴリ事例の共通成分特性を探索の手がかりに用いておらず、妨害刺激の共通成分特性への注意が抑制され標的刺激に注意が誘導されるという、ネガティブガイダンスが生じていないことが示された。また、ハトが妨害刺激である訓練事例（共通成分 = 50%）を丸暗記し、丸暗記した妨害刺激（共通成分 = 50%）への注意の抑制も生じていないことも示された。したがって、非カテゴリ探索群のハトは、妨害刺激カテゴリを学習しないことが明らかになった。非カテゴリ探索群のハトは、標的刺激である非カテゴリ事例を学習し、探索を行っていたと考えられる。

しかし、非カテゴリ探索群において妨害刺激カテゴリの学習に伴うネガティブガイダンスは生じていないにも関わらず、非カテゴリ探索群の方がカテゴリ探索群よりも探索の効率が良い探索非対称性が確認された。なぜ、非カテゴリ探索群の探索の効率は、カテゴリ探索群よりも良かったのだろうか。

非カテゴリ探索群の方が、カテゴリ探索群よりも探索の効率が良い探索非対称性が確認された原因として、2つのグループの探索が真に対称的ではなかった可能性がある(Rosenholtz, 2001)。非カテゴリ探索群の探索における妨害刺激（カテゴリ事例）の試行間での変動性は、カテゴリ探索群（妨害刺激は非カテゴリ事例）よりも小さい。言い換えると、非カテゴリ探索群の方が、カテゴリ探索

群よりも文脈全体（試行間）での妨害刺激の類似性が高い。探索画面内（試行内）の妨害刺激の類似性の高低によって、探索の効率が良くなることが明らかになっているが（ヒト：Duncan & Humphrey, 1989, ハト：P. Blough, 1989），本研究では妨害刺激の文脈全体（試行間）での類似性の高低が探索の効率に影響を与えたのではないだろうか（Fig. 48）。非カテゴリ探索群は、文脈全体（試行間）の妨害刺激の類似性が高く、それら文脈と類似していない標的刺激の顕著性が高くなる。一方、カテゴリ探索群は、文脈全体（試行間）の妨害刺激の類似性が低いため、標的刺激の顕著性は高くない。非カテゴリ探索群の標的刺激の顕著性の方が、カテゴリ探索群の標的刺激の顕著性より高いため、非カテゴリ探索群の方がカテゴリ探索群よりも探索の効率が良くなったと考えられる。このように、文脈全体（試行間）の妨害刺激類似性の高低の差により、カテゴリ探索群と非カテゴリ探索群で探索非対称性が生じたと考えられる。

カテゴリ探索：文脈全体の類似性低



非カテゴリ探索：文脈全体の類似性高

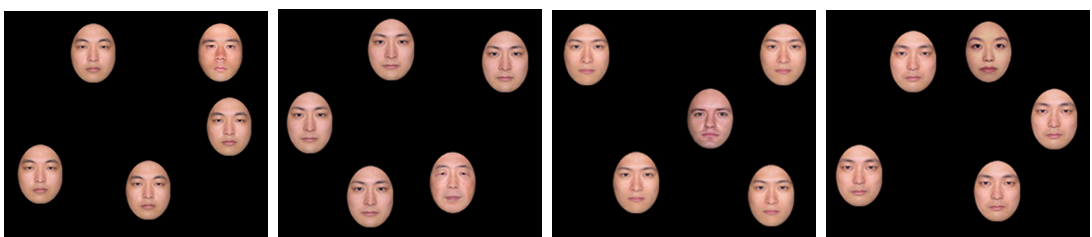


Fig. 48 カテゴリ探索と非カテゴリ探索の文脈全体の類似性の違い

文脈全体（試行間）の妨害刺激類似性の高低の差により、探索非対称性が生じたという説明は、Levin et al. (2001)のヒトで行ったカテゴリ探索の結果とも一致する。

Levin et al. (2001) は、動物・家具といった上位カテゴリのイラストを用いて視覚探索研究を行った。家具の中から動物を探索する場合も（動物探索）、動物の中から家具を探索する場合も（家具探索）、どちらも効率の良い探索が確認された。また、家具探索の方が動物探索よりも探索効率が良くなる探索非対称性が確認された。Levin et al.は、探索非対称性が生じた理由として、動物カテゴリの事例同士の類似性と、家具カテゴリの事例同士の類似性が異なることに注目した。Levin et al.は、画像解析によって動物カテゴリの事例同士の方が、家具カテゴリの事例同士よりも類似性が高くなることを明らかにした。家具探索では、探

索画面内（試行内）の妨害刺激同士（動物カテゴリの事例）の類似性は高いが、動物探索では妨害刺激同士（家具カテゴリの事例）の類似性は低くなる。探索画面内（試行内）の妨害刺激同士の類似性が高いほど、探索効率が良くなったと考えた。しかし、探索画面内の妨害刺激同士の類似性は、標的刺激と妨害刺激の類似性が低いとき、あまり影響しないことが知られている(Duncan & Humphreys, 1989)。従って、Levin et al.のカテゴリ探索で見られた探索非対称性は、探索画面内（試行内）の妨害刺激の類似性では十分に説明できないと考えられる。それではどのようなメカニズムで探索非対称性が生じたのだろうか。一つの可能性として、本研究のカテゴリ探索と同様に、文脈全体の妨害刺激類似性が影響したことが考えられる。事例同士の類似性が高い動物カテゴリが妨害刺激になる家具探索の方が、事例同士の類似性が低い家具カテゴリが妨害刺激になる動物探索よりも、文脈全体（試行間）の妨害刺激の類似性は高くなるだろう。文脈全体（試行間）の妨害刺激の類似性が高い家具探索の方が、文脈全体（試行間）の妨害刺激の類似性が低い動物探索よりも、標的刺激の顕著性が高くなるため、家具探索の方が動物探索よりも探索効率が良い探索非対称性が確認されたのではないだろうか。

3.5 研究2のまとめ

研究2から、カテゴリ探索群のハトは、標的刺激のカテゴリを学習しており、カテゴリ事例の共通成分特性を探索の手がかりに用いていることが明らかにな

った。共通成分特性にトップダウン的の重み付けがなされ、共通成分特性をもつ標的刺激に注意が誘導されることで、標的刺激であるカテゴリ事例の探索を効率良く行っていること明らかになった。一方、非カテゴリ探索群のハトは、妨害刺激のカテゴリを学習しておらず、妨害刺激の共通成分特性を探索の手がかりに用いていないことが明らかになった。しかし、非カテゴリ探索群では、ハトが妨害刺激の共通成分特性を探索の手がかりに用いないにも関わらず、非常に効率の良い探索が確認された。この結果は、妨害刺激の試行間類似性が、探索の効率に影響を与えることを示唆する。しかし、妨害刺激の試行間類似性の詳細について明らかにするためには、試行間類似性を操作するなどの検討が必要となるだろう。

4 総合考察

4.1 研究1と研究2のまとめ

研究1では、標的刺激にカテゴリ事例、妨害刺激に非カテゴリ事例を用いて、ハトのカテゴリ探索を検討した。研究2では、研究1と同様にカテゴリ探索を行うカテゴリ探索群と、標的刺激と妨害刺激を逆転させた課題（標的刺激に非カテゴリ事例、妨害刺激にカテゴリ事例）を行う非カテゴリ探索群を用いて、両群の探索の効率を比較し、探索非対称性を検討した。

ハトのカテゴリ探索において、標的刺激と妨害刺激の類似性が探索効率に影響を与えないこと（実験1, 実験4）、新奇な事例特異的成分をもつ新奇事例に探索が転移すること（実験2）、共通成分を多くもち典型性が高い事例を効率よく探索できること（実験3, 実験5初期セッション）が明らかになった。これらの結果から、ハトは、カテゴリ探索を行う場合、標的刺激であるカテゴリ事例がもつ共通成分特性を探索の手がかりに用いることが明らかになった。共通成分特性にトップダウン的な重み付けがなされ、共通成分特性をもつ標的刺激に注意が誘導されることで、典型性が高い事例を効率良く探索していたと考えられる。また、共通成分の合成率が低く、典型性が低い事例を含めて探索練習を行うことで、典型性が低い事例も効率良く探索することができる探索の自動化が生じることが明らかになった（実験3, 実験5後期セッション）。

一方、カテゴリ事例を妨害刺激に用いた非カテゴリ探索では、標的刺激と妨害刺激の類似性が探索効率に影響を与えること（実験4）、共通成分合成率に関わらず効率よく探索できること（実験5）が明らかになった。これらの結果から、

非カテゴリ探索においてハトは、妨害刺激カテゴリを学習しないことが明らかになった。非カテゴリ探索においてハトは、標的刺激（非カテゴリ事例）を学習し探索を行っていたと考えられる。

また研究 2 では、非カテゴリ探索群の方がカテゴリ探索群よりも探索の効率が良くなる探索非対称性が確認された。非カテゴリ探索は、文脈全体（試行間）の妨害刺激の類似性が高く、それら文脈と類似していない標的刺激の顕著性が高くなる。一方、カテゴリ探索は、文脈全体（試行間）の妨害刺激の類似性が低いため、標的刺激の顕著性は高くない。非カテゴリ探索における標的刺激の顕著性の方が、カテゴリ探索における標的刺激の顕著性より高いため、非カテゴリ探索群の方がカテゴリ探索群よりも探索の効率が良くなったと考えられる。

4.2 本研究の比較認知的意義

本研究より、ヒト以外の動物が多様なカテゴリ事例を効率良く探索することが初めて明らかになった。また、標的刺激カテゴリを学習すること（トップダウン的要因）により、標的刺激カテゴリの事例を効率良く探索できることが明らかになった。この結果は、ヒトのカテゴリ探索の結果とも一致する (Corneille et al., 2006)。このことから、標的刺激カテゴリの学習（トップダウン的要因）によって探索が促進されるという視覚的注意の特徴は、ヒトと、ヒトと遠縁の種であり、生態学的環境も異なるハトが共通してもつ特徴であることが明らか

になった。また、ヒトと遠縁の種であり、生態学的環境も異なるハトが共通してもつ特徴であることから、多くの動物種が共通してもつ視覚的注意の特徴であると推測される。この可能性を検討するためには、他の動物種での検討が今後期待される。

同様に、妨害刺激カテゴリを学習しない（研究 2，非カテゴリ探索群）、妨害刺激の文脈全体（試行間）の類似性が探索効率に影響する（研究 2）といった視覚的注意の特徴が、ハト特有の視覚的注意の特徴なのか、それとも動物一般に見られる視覚的注意の特徴なのかを今後検討するべきであろう。そのためには、ヒトや他のヒト以外の動物種を被験体とし、妨害刺激にカテゴリ事例を用いた視覚探索課題を行う必要があるだろう。

4.3 本研究の行動生態学的意義

本研究の結果により、行動生態学で検討されている「採餌行動」における視覚的注意の特徴を説明することができる。

まず、典型性が高い事例を効率良く探索するという結果（実験 3，実験 5 カテゴリ探索群初期セッション）は、採餌行動における「過剰採餌効果」を説明することができるだろう。過剰採餌効果とは、「餌場に多くいる餌」を、その餌が餌場で占める割合よりも多く、「餌場にあまりいない餌」を、その餌が餌場に占める割合よりも少なく採ってしまう現象である（Tinbergen, 1960）。「餌場に多くいる餌」は、ある時期ある餌場において、もっとも「典型性が高い」餌と言い

換えることができる。動物は、餌の多くがもつ特性を探索の手がかりに用いており、その特性にトップダウン的な重み付けがなされることによって、その特性を多くもつ典型性が高い餌を効率よく探索していると考えられる。典型性が高い餌を効率よく探索できるため、それら餌の過剰採餌が生じるのだろう。

また、本研究は採餌行動研究へ新たな知見を与えることができる。まず、共通成分の合成率が低く、典型性が低い事例を含めて探索練習を行うことで、典型性が低い事例も効率良く探索することができる探索の自動化が生じることが明らかになった（実験3、実験5後期セッション）。自然場面においても、過剰に典型的な餌を採餌しすぎて典型的な餌が減少したときに、典型性が低い事例も効率良く探索することができる探索の自動化が生じることは生存に不可欠であろう。本研究の結果から、動物が柔軟に採餌行動の方略を変化させる可能性が示された。

また、ハトは妨害刺激であるカテゴリ事例の共通成分特性は探索の手がかりに用いないことが明らかになった（研究2、非カテゴリ探索群）。これは、ハトが妨害刺激カテゴリを学習しないことを示している。自然場面では、多様なカテゴリが妨害刺激となるため（例、石・草・樹など）、妨害刺激のカテゴリを学習しては、認知資源の多くが消費されてしまうだろう。本研究の結果から、動物が妨害刺激のカテゴリを学習せず、標的刺激の学習に認知資源を割くという適応的な視覚的注意の特徴をもつことが示された。

最後に、本研究では非カテゴリ探索群の方がカテゴリ探索群よりも探索の効

率が良くなる探索非対称性が確認された（研究 2）。妨害刺激の文脈全体（試行間）の類似性が探索の効率に影響を与えたと考えられる。この妨害刺激の文脈全体（試行間）の類似性も「過剰採餌効果」が生じる要因の一端を担っているのではないだろうか。ある餌場、ある時期に採餌を行うとき、餌場の妨害刺激が採餌する度に変化する可能性は低い。従って、文脈全体の妨害刺激の類似性は高くなるだろう。標的刺激の共通成分特性を探索の手がかりに用いることに加え、文脈全体の妨害刺激の類似性により、典型性が高い餌の顕著性は非常に高くなるだろう。顕著性が高くなった典型性の高い餌を効率良く探索することができるため、過剰採餌効果が生じると考えられる。

本研究の結果から、自然場面の採餌行動における視覚的注意の特徴を説明することができた。しかし、自然場面においても、典型性が低い餌の探索の自動化が生じるのか、妨害刺激のカテゴリは学習しないのか、妨害刺激の文脈全体の類似性によって探索の効率が良くなるのか、今後フィールド研究を行い検証する必要があるだろう。

4.4 研究のまとめ

これまで述べたように、本研究ではハトを被験体として用いて、標的刺激にカテゴリ事例を用いたカテゴリ探索と、妨害刺激にカテゴリ事例を用いた非カテゴリ探索を検討した。研究 1 より、視覚探索におけるカテゴリ化のトップダウン的効果が、ヒト以外の動物においてもみられることを初めて明らかにした。

研究 2 では、妨害刺激カテゴリをハトは学習しないこと、妨害刺激の文脈全体（試行間）の類似性が探索効率に影響を与えることを明らかにした。本研究は、比較認知研究および行動生態学研究における新たな知見を与えることができただろう。

謝辞

研究や論文の執筆にあたり，指導教員である實森正子教授から，多大なるご指導，ご支援をいただきました。7年もの間，ご指導していただきましたことを，心より感謝申し上げます。また，終始適切な助言をくださった，牛谷智一准教授，中村哲之助教にも厚く御礼申し上げます。

大学院生，学部生，卒業生の皆様からも，たくさんのご協力をいただきました。特に，大林芳江さんには，実験の遂行に大きく貢献していただきました。心より感謝いたします。

最後に，応援，激励をしてくれた家族，友人に感謝いたします。

5 文献

- Allan, S. E., & Blough, D. S. (1989). Feature-based search asymmetries in pigeons and humans. *Perception & Psychophysics*, *46*, 456–464.
- Blough, D. S. (1982). Pigeon recognition of letters of the alphabet. *Science*, *218*, 397-398.
- Blough, D. S. (1985). Discrimination of letters and random dot patterns by pigeons and humans. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *11*, 261–280.
- Blough, D. S. (1988). Quantitative relations between visual search speed and target-distractor similarity. *Perception & Psychophysics*, *43*, 57–71.
- Blough, D. S. (1989). Odd-item search in pigeons: Display size and transfer effects. *Journal of Experimental Psychology: Animal behavior processes*, *15*, 14–22.
- Blough, D. S. (1993). Reaction time drifts identify objects of attention in pigeon visual search. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *19*, 107–120.
- Blough, D. S., & Franklin, J. J. (1985). Pigeon discrimination of letters and other forms in texture displays. *Perception & psychophysics*, *38*, 523–532.

- Blough, P. M. (1984). Visual search in pigeons: Effects of memory set size and display variables. *Perception & Psychophysics*, *35*, 344–352.
- Blough, P. M. (1989). Attentional priming and visual search in pigeons. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *15*, 358–365.
- Bravo, M. J., & Nakayama, K. (1992). The role of attention in different visual-search tasks. *Perception & Psychophysics*, *51*, 465–472.
- Corneille, O., Goldstone, R. L., Queller, S., & Potter, T. (2006). Asymmetries in categorization, perceptual discrimination, and visual search for reference and nonreference exemplars. *Memory & Cognition*, *34*, 556–567.
- D’Zmura, M. (1991). Color in visual search. *Vision Research*, *31*, 951–966.
- Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, *96*, 433–458.
- Gibson, B. M., Wasserman, E. A., Gosselin, F., & Schyns, P. G. (2005). Applying bubbles to localize features that control pigeons’ visual discrimination behavior. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *31*, 376–82.
- Herrnstein, R. J., & Loveland, D. H. (1964). Complex visual concept in the pigeon. *Science*, *146*, 549–551.

Hillstrom, A. (2000). Repetition effects in visual search. *Perception & Psychophysics*, 62, 800–817.

Jitsumori, M. (1993). Category discrimination of artificial polymorphous stimuli based on feature learning. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 19, 244–254.

実森正子 (2012). 動物の認知プロセスの理解と学習・行動研究—短期記憶, カテゴリー化, 等価性, 視覚探索をめぐって—. *動物心理学研究*, 63, 7–18.

Jitsumori, M., Ohkita, M., & Ushitani, T. (2011). The learning of basic-level categories by pigeons: The prototype effect, attention, and effects of categorization. *Learning & Behavior*, 39, 271–287.

Katz, J. S., & Cook, R. G. (2000). Stimulus repetition effects on texture-based visual search by pigeons. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 26, 220–236.

Keller, F., & Schoenfeld, W. (1950). *Principles of psychology: A systematic text in the science of behavior*. East Norwalk: Appleton-Century-Crofts.

- Kristjánsson, Á., & Driver, J. (2008). Priming in visual search: Separating the effects of target repetition, distractor repetition and role-reversal. *Vision Research*, *48*, 1217–1232.
- Levin, D. T., Takarae, Y., Miner, A. G., & Keil, F. (2001). Efficient visual search by category: Specifying the features that mark the difference between artifacts and animals in preattentive vision. *Perception & Psychophysics*, *63*, 676–697.
- Logan, G. D. (1988). Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review*, *95*, 492–527.
- Makino, H., & Jitsumori, M. (2007). Discrimination of artificial categories structured by family resemblances: A comparative study in people (*Homo sapiens*) and pigeons (*Columba livia*). *Journal of Comparative Psychology*, *121*, 22–33.
- Maljkovic, V., & Nakayama, K. (1994). Priming of pop-out: I. Role of features. *Memory & Cognition*, *22*, 657–672.
- Menneer, T., Barrett, D. J. K., Phillips, L., Donnelly, N., & Cave, K. R. (2007). Costs in searching for two targets : Dividing search across target types could improve airport security screening. *Applied Cognitive Psychology*, *21*, 915–932.

Menneer, T., Cave, K. R., & Donnelly, N. (2009). The cost of search for multiple targets: Effects of practice and target similarity. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *15*, 125–139.

中村哲之 (2013). 動物の錯視: トリの眼から考える認知の進化 京都大学学術出版会

Pearce, J. M., & George, D. N. (2003). Visual search asymmetry in pigeons. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *29*, 118-129.

Rosch, E. (1978). Principles of categorization. In E. Rosch & B. Lloyd (Eds.), *Cognition and Categorization* (pp. 27–48). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Rosch, E., Mervis, C., & Gray, W. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology*, *8*, 382–439.

Rosenholtz, R. (2001). Search asymmetries? What search asymmetries? *Perception & Psychophysics*, *63*, 476–489.

Schneider, W., & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological Review*, *84*, 1–66.

Shiffrin, R. M., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory.

Psychological Review, 84, 127–190.

関口勝夫・牛谷智一・実森正子 (2011). ハトにおける階層的複合刺激の部分優先処理効果. *動物心理学研究*, 61, 95–105.

Tinbergen, L., (1960). The natural control of insects in pine woods. I. Factors influencing the intensity of predation by song birds. *Archives Neerlandaises de Zoologie*, 13, 265-343.

Treisman, A., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97–136.

Treisman, A., & Gormican, S. (1988). Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetries. *Psychological Review*, 95, 15-48.

Troje, N. F., Huber, L., Loidolt, M., Aust, U., & Fieder, M. (1999). Categorical learning in pigeons: the role of texture and shape in complex static stimuli. *Vision Research*, 39, 353–366.

- Vreven, D., & Blough, P. M. (1998). Searching for one or many targets: Effects of extended experience on the runs advantage. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *24*, 98–105.
- Wolfe, J. M. (1994). Guided Search 2.0: A revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, *1*, 202–238.
- Wolfe, J. M. (2006). Guided Search 4.0: Current progress with a model of visual search. In *Integrated models of cognitive systems* (pp. 99–119). New York: Oxford.
- Wolfe, J. M., Horowitz, T. S., Kenner, N., Hyle, M., & Vasan, N. (2004). How fast can you change your mind? The speed of top-down guidance in visual search. *Vision Research*, *44*, 1411–1426.
- Yang, H., Chen, X., & Zelinsky, G. (2009). A new look at novelty effects: Guiding search away from old distractors. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *71*, 554–564.