

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 24 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22530788

研究課題名（和文） 視覚探索課題を用いたカテゴリ化の比較心理学的研究

研究課題名（英文） A Comparative Study on Categorization Using Visual Search Tasks

研究代表者

實森 正子（JITSUMORI MASAKO）

千葉大学・文学部・教授

研究者番号：80127662

研究成果の概要（和文）：人の顔画像を合成して作成した人工カテゴリをハトに用いて、カテゴリ探索課題（標的刺激がカテゴリ事例，妨害刺激が非カテゴリ事例）と非カテゴリ探索課題（標的刺激が非カテゴリ事例，妨害刺激がカテゴリ事例）における視覚探索を比較した。カテゴリ化が探索効率に及ぼす促進効果，新たな刺激への効率的な探索の転移，探索効率に見られるカテゴリ事例の典型性効果，練習による探索の自動化，探索非対称性などが明らかになった。その知覚・認知的メカニズムについて，視覚探索とカテゴリ化の諸理論とを関係づけながら考察した。

研究成果の概要（英文）：The present study investigated visual search in pigeons, using an artificial category created by morphing of human faces. Search performances in one task in which pigeons were required to search for category members (targets) among category-unspecified nonmembers (distractors) were compared with those in another task where the roles of the targets and of the distractors were reversed. A series of experiments revealed facilitative effects of categorization on search efficiency, transfer of efficient search to novel stimuli, typicality effect of category exemplars, development of automatic processing by practice, and search asymmetry. Perceptual and cognitive mechanisms were discussed in the context of visual search and categorization theories.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：学習・行動分析，比較心理学

1. 研究開始当初の背景

ヒトと同様に視覚が優れているハトを用

いた視覚的注意に関する比較心理学的研究は，1970年代頃から D. Blough や P. Blough

らによって精力的に行われるようになった。こうした研究では、ヒトにおける注意研究で開発された視覚探索課題と類似した課題でハトを訓練し、ヒトにおける多くの研究と同様に比較的単純な図形やアルファベットが標的刺激や妨害刺激として使用された。探索効率に及ぼす標的刺激と妨害刺激の類似性効果など、ヒトと同様の注意処理過程が明らかにされると同時に、ヒトで見出されている探索非対称性がハトでは見られないなど、ヒトとの相違も明らかにされた。

一方、動物における視覚的カテゴリ化に関する研究は、伝統的な学習心理学や行動研究で開発された弁別実験法（例えば go/no-go 法）をハトに用いて多数行われた。近年では自然物の画像のみならず、自然カテゴリの構造を模した人工カテゴリを用いて、ハトのような動物にみられる効率的かつ柔軟な視覚的（非言語的）カテゴリ化のメカニズムが明らかにされつつある。

人や動物は日常的な自然場で、ある特定の事物だけではなく、例えば動物にとっての様々な天敵や様々な餌のように、ある特定のカテゴリに含まれる多様な事例を素早く検出し、適応的に行動することが求められる。しかし、視覚探索とカテゴリ化の実験室的研究はごく最近までそれぞれ別個に進められてきた。ヒトにおける研究でも同様で、自然物の画像をヒトが効率的に探索できることなどが、ごく最近になって報告されるようになった。しかし、カテゴリ内類似性などを操作できる人工カテゴリを用いてカテゴリ特性が探索にどう影響するかなどを見た研究は現在でもいくつか散見されるだけで、ヒトにおいてもカテゴリ探索のメカニズムはまだよくわかっていない。

2. 研究の目的

本研究は、視覚探索とカテゴリ学習の両方の分野で多くの知見が蓄積されているハトを用いて、視覚的カテゴリ探索のメカニズムを明らかにしようとするものである。ハトのような動物を用いることの利点は、カテゴリの学習過程を厳密に統制でき、ヒトにみられるような言語的処理からフリーな知覚学習の効果を検討できることにある。本研究では主として、1) カテゴリ探索訓練に用いられなかった新しいカテゴリ事例への探索の転移、2) 新しい事例のカテゴリ典型性効果、3) 練習による探索効率促進効果（自動化）、4) 標的刺激と妨害刺激の連続逆転学習、5) カテゴリ事例を標的刺激とし非カテゴリ事例を妨害刺激とする条件と、その逆の条件における探索非対称性などに焦点を当てた。

また、本研究と密接に関連する研究として、運動カテゴリを用いた視覚探索の予備

実験を、本研究と同一の行動実験法を用いて行った。ハトのように高速で飛行する動物にとって、運動情報はきわめて重要な刺激特性だと考えられる。カテゴリ探索の研究を将来的には運動情報を含む動画にまで発展させるための基礎研究として、運動刺激を用いた探索実験を計画した。

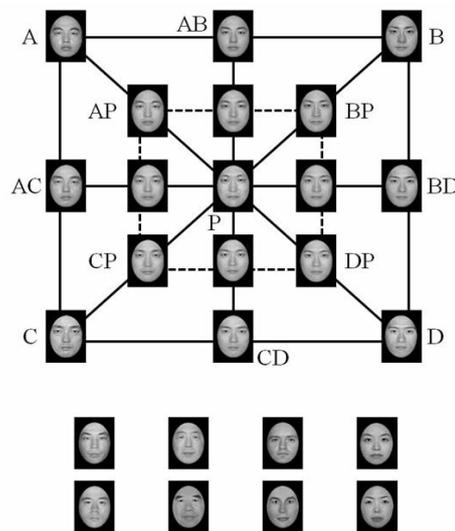


Fig. 1. Upper part: Grayscale reproduction of an artificial category. Lower part: Category-unspecified nonmembers.

3. 研究の方法

1) カテゴリ刺激と非カテゴリ刺激

研究代表者らがカテゴリ研究で既にハトに用い、ハトの反応特性がよくわかっている人の顔合成画像をカテゴリ刺激として用いた。Fig. 1の上段に示されるように、5名の顔画像からハトごとに任意に選んだ一つの顔をP（共通成分）とし、Pとそれ以外の顔（A, B, C, D, それらの50%合成画ABやCDなどの事例特異的成分）をMorphing合成した。図中において、点線で結ばれている顔はPを50%の合成率でもっているカテゴリ事例である。Fig. 1の下段は、カテゴリ作成に用いなかった原画からなる非カテゴリ事例である。

研究代表者らのこれまでの研究（例えば Jitsumori et al., 2011）では、P合成率が50%（以後、 $P\%=50$ と表記）の合成画をカテゴリ化するように訓練したハトに対して、P合成率が0~100%のさまざまな新奇事例を呈示すると、カテゴリ反応はP合成率に従って変化し、 $P\%=50$ の訓練刺激より100%の原画（すなわち共通成分として用いた原画）に最も高い転移が生じた。こうしたプロトタイプ効果を含むテスト結果は、共通成分Pを重みづけたGCMモデル（Generalized Context Model）によって統一的に説明することができた。

2) 視覚探索課題の手続き

タッチパネル上に呈示された複数の妨害刺激の中に1つだけ標的的刺激を呈示し、標的的刺激への反応を求める視覚探索課題を用いた。試行開始と同時に✚がタッチスクリーン中央に呈示され、ハトがこれに反応すると探索画面(標的1つ、妨害刺激4つ)が呈示された。妨害刺激の中から標的的刺激を見つけ出して突けば正反応で、餌による報酬が一定の確率で与えられた。妨害刺激に反応(エラー)した場合は、試行が直ちに終了し、正しく標的的刺激を選ぶまで矯正試行が繰り返された。

3) 実験

実験1: 非カテゴリ事例(妨害刺激)の中からP%=50のカテゴリ事例を見つけ出して反応するように、4羽のハトを訓練した。訓練完成の後、探索画面上の4つの妨害刺激がすべて同一のHomogeneous条件(試行間で妨害刺激が変化)と探索画面上の4つの妨害刺激のそれぞれが異なるHeterogeneous条件で、妨害刺激数を2, 4, 6, 8に変化して、各条件における探索効率を比較した。探索効率は、正しく標的に反応したときの反応時間を妨害刺激数に対してプロットして得た関数の傾きとして定義された。

実験2: Homogeneous条件のみを用い(以後の実験もすべて同様)、新たな事例特異的成分顔E, F, G, HのそれぞれをPと50%合成して得た新奇なカテゴリ事例への探索の転移を測定した。また、転移テストを継続して繰り返すことで、探索効率に練習効果が見られるかを検討した。なお、転移テスト中、新奇なテスト刺激でも、それを正しく選べれば訓練刺激と同様に餌で強化した(以下の転移テストでも同様)。

実験3: P合成率を0%(原画A, B, C, D)から100%(原画P)までの数段階に変化し、それらの新奇事例への探索効率を比較し、探索効率にカテゴリ学習で見られたようなプロトタイプ効果が生じるか検討した。また、実験2の転移テストと同様に、練習効果もあわせて見た。

実験4: 実験1~3で用いられたハトに対して、標的的刺激と妨害刺激を逆転する逆転課題を訓練した(これまで妨害刺激だった非カテゴリ事例が標的的刺激になり、標的的刺激だったカテゴリ事例が妨害刺激になる)。逆転完成の後、同様の逆転を連続して繰り返し、ハトが柔軟に注意焦点を切り替えられるかテストした。

実験5: 実験経験のないハト8羽を、カテゴリ探索群(実験1~3の探索課題と同様)と非カテゴリ探索群(実験1~3の探索課題の標的的刺激と妨害刺激を逆転)の2群各4羽に分け、学習経験を均一に統制しながら探索効率を比較した。

実験6: 実験5の2群のハトで、実験3と同様のプロトタイプ効果や練習効果を比較した。

運動カテゴリを用いた実験: 上記のカテゴリ探索の研究と並行して、運動カテゴリを用いた探索課題でヒトとハトを比較した。探索課題の基本的な手続きはカテゴリ探索実験の手続きに準じた。

4. 研究成果

実験1では、Homogeneous条件とHeterogeneous条件のいずれでも妨害刺激数に従って反応時間が線形的に長くなった(serial search)。しかし、関数の傾きは後者でより急峻だった(探索効率はHeterogeneous条件の方が低い)。この結果は、比較的単純な図形やアルファベットを用いてヒトやハトで得られている結果と一致した。

実験2では、テスト初期から新奇なカテゴリ事例へ探索の転移が生じた。この結果は、訓練に用いられた標的的刺激をハトがそれぞれ独立に探索することを学習したのではなく、標的的刺激のカテゴリを学習したことを示唆した。また、訓練刺激と新奇なテスト刺激で継続して転移テストを行うと、訓練刺激に対する探索関数の勾配がほぼゼロ近くにまで減少し、pop-outと同様のきわめて効率的な探索が得られるようになった(練習効果)。

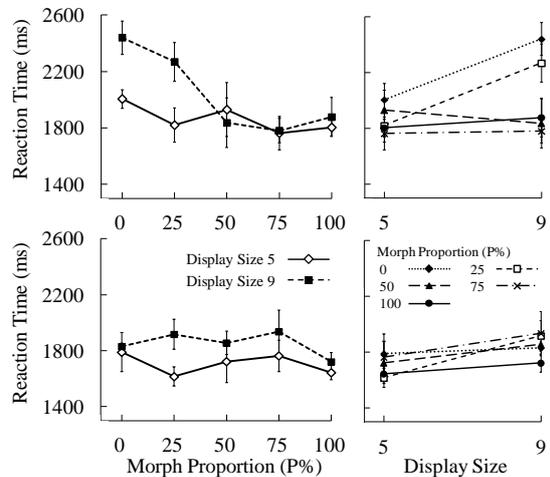


Fig. 2. Mean reaction times as a function of the proportion of the common component with the display sizes of 5 and 9 in the first two 2-session blocks (top-left panel) and the last two 2-session blocks (bottom-left panel). The same data plotted as the function of the display size in the first two 2-session blocks (top-right panel) and the last two 2-session blocks (bottom-right panel). The error bars show standard errors.

実験3では、訓練刺激(P%=50)で得られた効率的な探索が、P合成率が75%や100%の

新奇事例に転移したが、P 合成率が 50%より小さくなると、探索効率の顕著な低下が見られた (Fig. 2 の上段)。この結果は、カテゴリ特性 (共通成分 P に由来する特性) に基づく探索が行われたことを支持した。方法の項で述べたように、5つの原画から任意に選んだ顔をそれぞれのハトの P として用いた。また、どの画像が P でどの画像が A や B や C や D なのかは、個々のハトがカテゴリを学習しなければ同定できない。従って、P%=0 と P%=100 の原画が標的刺激として用いられたときの探索効率の顕著な差異は、標的刺激と妨害刺激の類似性 (bottom-up 効果) では説明できず、カテゴリ学習に基づく top-down 処理を反映していると結論づけられた。

また、テストセッションを繰り返す行くと、実験 2 と同様の練習効果が生じ、遂には P 合成率が 25%や 0%の標的刺激にも効率的な探索が見られるようになった (Fig. 2 の下段)。

実験 4 で標的刺激と妨害刺激を逆転すると、正答率はほとんど 0%にまで減少した。すなわち、ハトは探索画面上に 1つだけある他とは異なる異質な項目 (標的刺激) ではなく、カテゴリ事例を非カテゴリ事例の中から探索することを学習していた。しかし、ついには逆転を学習した。こうした逆転学習を何度も繰り返すと、少数の試行で逆転を経験しただけで、ハトは柔軟に探索を逆転できるようになった。すなわち、訓練によって、注意焦点の柔軟な切り替えが可能になった。

実験 5 では、実験経験のないハトからなる 2 群を設け、カテゴリ探索課題と非カテゴリ探索課題における群間比較を行った。比較的単純な図形を用いた視覚探索におけるこれまでの知見では、相互に類似性が低い複数の標的刺激の探索効率は低くなるのがヒトやハトでよく知られている。また、ある特徴をもつ妨害刺激の中から、それをもたない標的刺激を探索する効率は、その逆の場合より低くなることもよく知られている。こうした知見から、カテゴリ特性をもたず、それぞれが類似していない非カテゴリ事例の探索は、カテゴリ事例の探索に比べて効率が悪いことが予想された。しかし結果は逆で、非カテゴリ探索群はきわめて効率的な探索を示し、探索に要する時間もカテゴリ探索群に比べて有意に短かった。

実験 6 では、実験 5 の 2 群のハトに、実験 3 と同様のテストを行った。カテゴリ探索群の結果は、基本的に実験 3 の結果と同じで、カテゴリ学習による top-down 効果と練習効果が確認された。一方、非カテゴリ探索群は、最初のテストセッションから、妨害刺激の P 合成率や妨害刺激数にかかわらず、きわめて効率的かつ高速な探索を示した。カテゴリ

探索群は、練習の結果、すべてのカテゴリ刺激に対して効率的な探索を示すようになったが、それでもなお、非カテゴリ探索群の探索の方が有意に速かった。

実験 5 と実験 6 の結果から、非カテゴリ探索課題で妨害刺激として用いられたカテゴリ事例の類似性が、それらとは類似していない標的刺激 (非カテゴリ事例) の探索を促進すると考えられた。すなわち、妨害刺激として呈示されるカテゴリ事例が試行間で相互に類似しているため、こうした妨害刺激によって形成される文脈的な背景の下で、標的である非カテゴリ事例の顕著性が対比的に増大したといえる。妨害刺激の試行間類似性効果は、動物のみならずヒトでの研究でもこれまで見落とされてきた。しかし本研究によって、探索効率に影響を与えるきわめて重要な要因の 1 つであることが明らかになった。

実験 1 ~ 4 までの成果と、これらの実験を計画するために行った予備研究の成果は、学会発表するとともに英文論文として公表した。実験 5 ~ 実験 6 の成果は、以下の論文として学術誌に投稿予定である。

Ohkita, M., and Jitsumori, M. Efficient visual search for multiple targets among categorical distractors: Effects of distractor-distractor similarity across trials.

また、本研究でハト用に開発された探索課題で、運動刺激を標的刺激や妨害刺激として用いた実験によって、ハトにおける運動の検出メカニズムがヒトのそれとは異なることなど、興味深い結果が得られた。これらの結果から、動画を用いたカテゴリ探索の研究の可能性が拓かれた。成果は、学会発表するとともに、その一部を英文論文として公表した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

① 実森正子, 動物の認知プロセスの理解と学習・行動研究—短期記憶, カテゴリ化, 等価性, 視覚探索をめぐって— 動物心理学研究, 2013 (掲載決定, 招待論文). 査読有

② Jitsumori, M., Nakamura, N., & Wasserman, E. A. Discrimination of coherent and incoherent motion by pigeons: An investigation using a same-different motion discrimination task. *Behavioural Processes*, 2013, 93, 116-124. 査読有
DOI: 10.1016/j.beproc.2012.10.004

③ Ohkita, M., & Jitsumori, M. Pigeons show

efficient visual search by category: Effects of typicality and practice, *Vision Research*, 2012, 72, 63-73. 査読有
DOI: 10.1016/j.visres.2012.09.013

④ Nakamura, N., & Jitsumori, M. Search asymmetry for expansion and contraction motion in pigeons. *The Japanese Journal of Psychonomic Science*, 2012, 31, 87-88, 優秀発表賞抄録. 査読有

⑤ Jitsumori, M., Ohkita, M., & Ushitani, T. The learning of basic-level categories by pigeons: The prototype effect, attention, and effects of categorization. *Learning & Behavior*, 2011, 39, 271-187. 査読有

DOI: 10.3758/s 13420-011-0028-4

⑥ Ushitani, T., & Jitsumori, M. Flexible learning and use of multiple-landmark information by pigeons (*Columba livia*) in a touch-screen-based goal search task. *Journal of Comparative Psychology*, 2011, 125, 317-327. 査読有

DOI: 10.1037/a0023044

⑦ Sekiguchi, K., Ushitani, T., & Jitsumori, M. A slowing effect on visual search by advance information in pigeons (*Columba livia*): A comparison with humans (*Homo sapiens*). *Behavioural Processes*, 2011, 86, 81-87. 査読有

DOI: 10.1016/j.beproc.2010.09.004

⑧ 関口勝夫・牛谷智一・実森正子. 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*, 2011, 61, 95-105. 査読有
DOI: 10.2502/janip.61.1.2

[学会発表] (計 11 件)

① 実森正子. 動物の認知プロセスの理解と学習・行動研究—短期記憶, カテゴリ化, 等価性, 視覚探索をめぐって—. 第 72 回日本動物心理学会. 関西学院大学, 5 月 13 日, 2012 年. (チュートリアル講演)

② 大北碧・実森正子. 妨害刺激のカテゴリ典型性はハトの非カテゴリ探索を促進するか. 第 72 回日本動物心理学会. 関西学院大学, 5 月 12 日, 2012 年. 優秀発表奨励賞受賞

③ 中村哲之・実森正子. ハトにおける回転螺旋刺激を用いた視覚探索の逆転訓練—個体内比較による拡大・縮小運動の探索非対称性の検討—. 第 72 回日本動物心理学会. 関西学院大学, 5 月 13 日, 2012 年.

④ イドンユン・大北碧・実森正子. ハトにおけるカテゴリ探索/非カテゴリ探索の連続逆転課題における探索非対称性. 第 72 回日本動物心理学会. 関西学院大学, 5 月 13 日, 2012 年.

⑤ 大北碧・実森正子. ハトの視覚探索課題におけるプロトタイプ効果の検討. *Animal*

2011 (日本動物心理学会, 他 3 学会合同大会), 慶応義塾大学, 9 月 9 日, 2011 年.

⑥ 中村哲之・実森正子. ハトにおける回転螺旋パターン¹の知覚—拡大・縮小運動の非対称性—. *Animal 2011* (日本動物心理学会, 他 3 学会合同大会), 慶応義塾大学, 9 月 9 日, 2011 年. 優秀発表奨励賞受賞

⑦ イドンユン・大北碧・実森正子. ハトにおけるカテゴリ事例を用いた視覚探索の連続逆転訓練. *Animal 2011* (日本動物心理学会, 他 3 学会合同大会), 慶応義塾大学, 9 月 9 日, 2011 年.

⑧ 牛谷智一・牧野公貴・実森正子. ハトのゴール探索課題におけるランドマークの利用: 位置関係の統合. *Animal 2011* (日本動物心理学会, 他 3 学会合同大会), 慶応義塾大学, 9 月 9 日, 2011 年.

⑨ 中村哲之・実森正子. ハトにおける拡大・縮小運動の探索非対称性. 日本基礎心理学会第 30 回大会, 慶応義塾大学, 12 月 4 日, 2011 年. 優秀発表賞受賞

⑩ 大北碧・実森正子. ハトにおけるカテゴリ探索課題—妨害刺激の効果と新奇標的刺激への転移について—. 日本動物心理学会第 70 回大会, 帝京大学, 8 月 27 日, 2010 年.

⑪ Ohkita, M., & Jitsumori, M. Visual search for exemplars of a human-face category by pigeons. *International Conference on Comparative Cognition*, Radison Hotel (USA), 3 月 5 日, 2011 年.

[図書] (計 1 件)

① Masako Jitsumori. Artificial categories and prototype effects in animals. In T. R. Zentall & E. A. Wasserman (Eds.), *The Oxford Handbook of Comparative Cognition*, 2012, 513-532.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

実森 正子 (JITSUMORI MASAKO)

千葉大学・文学部・教授

研究者番号: 80127662

(2) 連携研究者

牛谷 智一 (USHITANI TOMOKAZU)

千葉大学・文学部・准教授

研究者番号: 20400806