

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500322

研究課題名(和文)主観的輪郭の比較認知研究から探る知覚的体制化のメカニズム

研究課題名(英文)Studies of the mechanisms of the perceptual organization through the comparative investigations of the subjective contour in non-human animals

研究代表者

牛谷 智一(Ushitani, Tomokazu)

千葉大学・文学部・准教授

研究者番号：20400806

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：ハトもヒトと同様にカニツツア錯視を知覚し、明るさを充填しているか明るさの弁別課題を用いて検討した。その結果、ハトはカニツツア図形の検査野をヒトとは異なり暗く知覚していることが示された。また、ハトが錯視的な輪郭を知覚するか視覚探索課題を用いて検討した。先行呈示された錯視図形の形状とターゲットの形状が一致していた場合、反応時間が短くなるか調べたところ、実輪郭図形によるプライミング効果自体が見られたセッションに限ってカニツツア図形による実輪郭図形探索の促進効果が見られた。ハトは、カニツツア錯視を知覚するが、ヒトとは明るさの充填の点においてヒトとは異なっていた。

研究成果の概要(英文)：Pigeons were investigated whether they perceived a Kanizsa illusion and a brighter surface in a Kanizsa display. The first experiment in which pigeons were trained to discriminate the brightness of the test patches revealed that the pigeons perceived a darker surface in a typical Kanizsa display, differently from humans. In the second experiment, we investigated whether pigeons perceived clear, subjective contour with Kanizsa displays in a visual search task. The index was a search time benefit, the reduced reaction time on trials in which a target was correctly predicted by the prime. The results shows that the reduction of the search time (an enhancement of the process) synchronously occurred in the conditions in which the target with real contours appeared as a prime and in which the target with illusory contours appeared. In summary, pigeons were suggested to perceive Kanizsa illusions, but in a different way from humans concerning the brightness filling-in.

研究分野：比較認知科学

キーワード：比較認知 種間比較 主観的輪郭 明るさの充填 カニツツア錯視 プライミング 視覚的注意 オブジェクト内利得

1. 研究開始当初の背景

図1aのように、一部欠けた円(パックマン図形)を適切に配置すると、物理的には存在しないが、背景より明るい図形(ここでは三角形)を知覚する(主観的輪郭)。観察対象の物体が、背景とよく似た色やテクスチャを持っていたり、強い光に照らされていたりすると、輪郭の一部が不明瞭になることはしばしば起こるが、主観的輪郭は、そのような場面で周囲の情報をもとに輪郭全体を復元する機能だと考えられている。また、図1bを観察すると、我々は六芒星が正方形の背後にあると知覚する(アモーダル補完)。我々が生活する3次元空間では、観察対象の物体の一部が別の物体に隠されることがしばしば起こるので、我々はその隠れた部分を補って知覚する必要がある。アモーダル補完も、主観的輪郭と同様に不完全な情報から物体形状の情報を再構成する重要な視覚機能だが、これら両機能の背景に同じメカニズムがあるか、それとも別個のメカニズムに支えられているか、議論が続いている。

研究代表者のこれまでの研究(例えば Ushitani et al 2001; Ushitani & Fujita 2005)は、ハトがアモーダル補完に困難を示すことを報告してきた。アモーダル補完と主観的輪郭が同じメカニズムに依存するならば、ハトは主観的輪郭も知覚しないはずである。一方、これまでの研究(例えば Cavoto & Cook 2001; 関口・牛谷・実森, 2011)から、ハトは全体的な特性よりも局所的な情報を優先して処理することが知られている。アモーダル補完が全体的な特性を処理するメカニズムに依存し、主観的輪郭はそれとは別の局所的特性を処理するメカニズムに支えられているならば、アモーダル補完しないハトも、主観的輪郭は知覚するだろう。

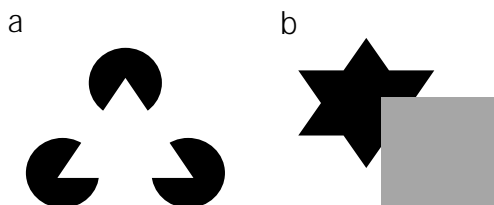


図1 (a) 主観的輪郭と (b) アモーダル補完

2. 研究の目的

本研究では、ハトが主観的輪郭をどのように知覚しているか、2つの実験を通じて明らかにする:(1)明るさの弁別課題を訓練し、主観的輪郭の図形内部がどのぐらいの明るさで知覚されているか測定する、(2)主観的輪郭で構成した図形をプライムとして先

行呈示し、実際の物理的な輪郭(実輪郭)をもつ図形の探索が促進されるか調べる。ハトが主観的輪郭を知覚することがわかれば、主観的輪郭の知覚を支えるメカニズムは、アモーダル補完を支えるメカニズムとは異なっていることが示唆される。

3. 研究の方法

(1)明るさ弁別課題による明るさの充填実験
被験体: 自由摂取時安定体重の85%に統制したデンシヨバト (*Columba livia*) オス8個体を用いた。いずれも過去にオペラント反応を用いた心理学実験の経験があった。

装置: ハト用スキナーボックスを用いた。前面パネルにあげられた窓のすぐ外側には、音響波照合方式のタッチパネル付き液晶モニターが設置されていた。床下にはフィーダーを設置した。実験装置の制御と実験データの記録には、パーソナルコンピュータを用い、Microsoft Visual Basic 6.0 を使用して書いたプログラムによって制御した。

刺激: スタート刺激として、黒の×印を使用した。弁別刺激には、 60×60 pixel の正方形の検査野の「手前」に誘導図形(中心角 270° の半径 20 pixel の黒色扇形)4つを配置して作成した。検査野の輝度は訓練試行では5種類($10, 20, 40, 80, 160 \text{ cd/m}^2$)、テスト試行では新奇の明るさ2種類を含めた3種類($28.28, 40, 56.57 \text{ cd/m}^2$)であった。訓練で用いた8通りの不規則配置は、1つの誘導図形のみが内側を向くよう配置したため、部分的にも主観的輪郭や明るさ充填が起こらなかった。テスト試行では、内向き配置1種類、外向き配置1種類を用いた。本実験での背景は一貫して 40 cd/m^2 であった。

手続き: ITI の後、出現したスタート刺激に被験体が3回反応すると、スタート刺激が消え、2つの比較刺激が左右に呈示された。高輝度群 Bird1, 3, 5, 7 の4個体は検査野の輝度が高い方を、低輝度群の Bird2, 4, 6, 8 は検査野の輝度の低い方を8回つついたときに強化子を与えた。高輝度群が暗い方、低輝度群が明るい方をつついたときには1000msのタイムアウトを与えた。タイムアウト中は両方の比較刺激が消え、餌が与えられず、次の試行が遅延された。その後には矯正試行が続き、被験体が正解するまで同じ試行が行われた。輝度の条件は、5種類の輝度の組み合わせ10種類 \times 左右の位置2種類 = 合計20条件あり、各々1セッションに2回ずつ出現する40試行から、訓練が進むに応じて8回ずつ出現する160試行へと増やした。その内40試行には強化が与えられたが、残り120試行には条件性強化が与えられた。検査野の輝度の組み合わせ全てにおいて正答率が75%を超えた個体は、テストへと移行した。

テストは、1セッション164試行で構成され、うち24試行がテスト試行、140試行が訓練試行であった。訓練試行のうち、強化子を

与えたのは 20 試行で、残りの 120 試行では正答に対して条件性強化子を与えた。テスト試行では、ハトがどちらを選択しても条件性強化子を与えた。テストでは、内向き配置と外向き配置の対が呈示され、輝度の組み合わせの条件は全部で 3 条件 (内向きが明るい, 外向きが明るい, 等しい明るさ) であった。全部で 4 セッション行い, 1 個体 96 試行分のテスト試行を分析に用いた。

(2) プライムを用いた輪郭知覚の実験

被験体: 自由摂取時安定体重の 85% に統制した, デンショバト (*Columba livia*) 4 個体を用いた。いずれも過去にオペラント反応を用いた心理学実験の経験があったが, 視覚探索課題, 本実験で使用したものに類似した刺激を用いた実験の経験はなかった。

装置: (1) と同じものを使用した。

刺激: ディスプレイの背景輝度は 28.28 cd/m² の灰色で, 全ての刺激はこの背景上に描かれた。ターゲットは, 四角形, 三角形, ディストラクタは, 正円と菱形であった。これらの刺激は明るい灰色で描かれ, 輝度は 56.57 cd/m² であった。プライム刺激は実輪郭条件が 2 種類 (三角形 / 四角形), カニツァ条件が 2 種類 (三角形 / 四角形), 十字条件が 2 種類 (三角形 / 四角形), ニュートラル条件が 1 種類であった。実輪郭条件のプライム刺激はターゲット刺激と全く同じものであった。カニツァ条件の刺激は, 誘導図形によって, ヒトでは三角形または四角形の主観的輪郭が生じるものであった。十字条件では, 幅一定の十字型誘導図形が用いられ, 主観的輪郭が知覚されないものであった。ニュートラル刺激は, 黒色の正円の中により小さな黒色の正円を描いたものであった。

探索場面は縦 3×横 5 に分割し, 15 箇所を刺激呈示箇所とした。刺激が整列しないように, 刺激は刺激呈示箇所内のランダムな位置に呈示した。スタート刺激とプライム刺激は常に画面の中央に呈示され, ターゲットとディストラクタは残り 14 つの刺激呈示箇所のいずれかに呈示された。

手続き: ストライプのスタート刺激, ターゲット両方への反応形成が完成した後, ディストラクタの中から正しくターゲットをつつく訓練を行った。最初にスタート刺激を呈示し, それに 1 回反応したら 8 個の同一のディストラクタと 1 個のターゲットが含まれた探索場面が呈示された。ターゲットに 1 回反応したら強化子を与えられ, ディストラクタに反応した場合, 10 秒のタイムアウトを与えた。タイムアウト中はハウスライトが消え, 画面には何も呈示されなかった。ターゲットとディストラクタの図形の組み合わせは 2(三角形, 四角形) × 2(円, 菱形) の計 4 種類であり, 1 セッション 56 試行から, 訓練が進むにつれ, 168 試行に増やし, その内 56 試行では正解すると強化が与えられ, 残り 112 試

行では正答に対し条件性強化子を与えられた。全条件合わせた平均正答率が 80% 以上各ターゲットとディストラクタの組み合わせにおける正答率が 2 セッション平均 70% 以上達成したあと, テストへと移行した。

テストでは, 被験体がスタート刺激をつつくと, プライム刺激 7 種類のいずれかが 500ms 呈示された後, プライム刺激が消え, 探索場面が呈示された。スタート刺激とプライム刺激の SOA は 100 ms, プライム刺激とターゲットの SOA は 100 ms であった。1 セッションは 168 試行で, 全部で 10 セッション行った。168 試行中, 56 試行では正解すると強化, 残り 112 試行では正解すると条件性強化が与えられた。強化を与える試行の, ターゲットとディストラクタの組み合わせとプライム刺激は, カウンターバランスをとり, どの組み合わせ, プライム刺激でも同数回ずつ餌が与えられるようになっていた。

プライム条件は実輪郭条件, カニツァ条件 (主観的輪郭によって形成される図形がプライムとなる), 十字条件 (カニツァ条件と同様の輪郭サポート比率の図形だが, 誘導図形が幅一定の十字図形で, 主観的輪郭を形成しない), ニュートラル条件の 4 条件であった。Blough (1989) の結果に基づいて予測すると, 実輪郭条件では, 一致条件の方が不一致条件よりも反応時間は短くなると考えられる。さらに, ハトがカニツァ図形を観察したときに錯視図形を知覚するならば, カニツァ条件においても一致条件の方が不一致条件よりも反応時間が短くなると考えられる。しかし, ハトが錯視図形ではなく, プライム刺激の局所的な手がかりを用いて探索課題を行ったならば, 十字条件でも同様に, 一致条件の方が不一致条件よりも反応時間が短くなると考えられた。

4. 研究成果

(1) 明るさ弁別課題による明るさの充填実験

図 2 は, テスト試行においてハトが内向き配置を明るいとして反応した選択率を示したものである。内向き配置を明るいとして反応した選択率は, 高輝度群の内向き配置選択率, 低輝度群の外向き配置選択率を平均することによって算出した。横軸は, 輝度比の対数であり, 高いほど内向き配置の方が物理的に明るいことを示している。被験体は内向き配置の検査野を外向き配置の検査野と比べ, 試行の多くで暗いと判断していた。この輝度比 0 条件で one-sample *t* 検定を行った結果, 被験体は内向き配置を暗いと判断することが有意に多かった ($t_7 = -7.079, p < .001, \text{Cohen's } d = 1.442$)。最小二乗法で累積正規分布を当てはめたところ, 対数輝度比 0.20 ($= \log_e 1.22$) であった。つまり, 内向き配置の検査野の輝度が外向き配置の検査野の輝度の 1.22 倍のときに, 2 つの検査野がちょうど同じ明るさに知覚されることが示唆された。

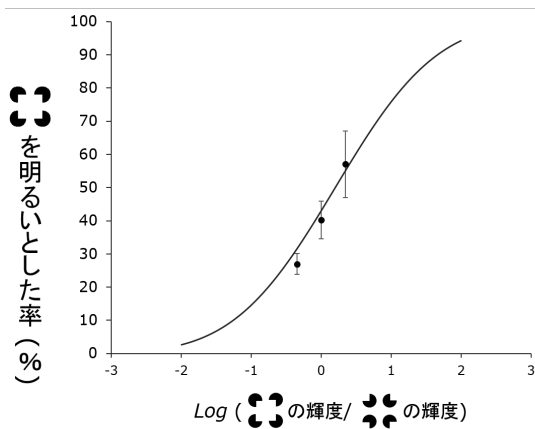


図2 外向き配置に対する内向き配置の輝度の関数で内向き配置を明るいと反応した率。曲線は、累積正規分布で近似したもの。

(2) プライムを用いた輪郭知覚の実験

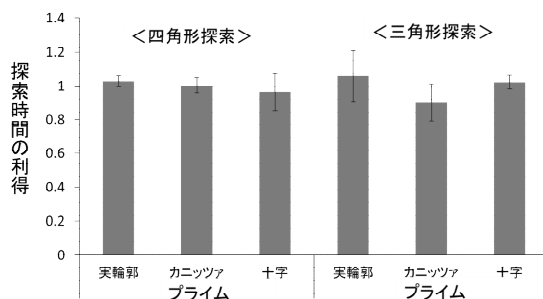


図3 各ターゲット条件，プライム条件ごとの反応時間の利得（不一致／一致）

図3は、ターゲット条件，プライム条件ごとに一致不一致条件の反応時間の利得（不一致条件の反応時間 / 一致条件の反応時間）を示したものである。比が1より大きい値になれば正のプライミング効果，1より小さい値になれば負のプライミング効果であることを示している。プライム条件間の違いのパターンは、ターゲット条件間で異なっており、実輪郭条件とカニツツア条件とでプライム効果が見られたとは言えない。

また、セッションごとの分析では、セッション間でパターンが一貫していなかった。しかし、プライム条件間の関係に注目すると、実輪郭条件とカニツツア条件間の反応時間の比の推移が、個体内で類似していた。そこで、個体ごとにカニツツア条件が他のプライム条件間と利得の推移に相関があるかどうかを調べた。もしハトがカニツツア図形のプライム刺激を観察したとき、錯視図形を知覚しており、それを実輪郭の四角形・三角形と同じように視覚探索課題に用いていたとしたら、カニツツア条件と実輪郭条件との間で推移に相関が見られると考えられる。一方、ハトがカニツツア図形の直線部分の輪郭などの局所的な情報を探索の手がかりとして用いていたとしたら、物理的に同じ局所手がかりを持つ十字条件との推移の相関が見ら

れると考えられる。その結果、Bird10を除く3個体でカニツツア条件と実輪郭条件との利得の推移に正の相関が示された (Bird9; $y = 0.941x + 0.087, r^2 = 0.146$, Bird10; $y = -0.477x + 1.509, r^2 = 0.141$, Bird11; $y = 1.192x + 0.081, r^2 = 0.782$, Bird12; $y = 0.4515x + 0.546, r^2 = 0.118$)。一方、カニツツア条件と十字条件においては、Bird12を除く3個体で負の相関が示された (Bird9; $y = -0.347x + 1.466, r^2 = 0.206$, Bird10; $y = -0.044x + 1.23, r^2 = 0.001$, Bird11; $y = -0.115x + 1.176, r^2 = 0.004$, Bird12; $y = 0.630x + 0.427, r^2 = 0.207$)。ただし、 y は予測変数(カニツツア条件における反応時間の利得)、 x は説明変数(実輪郭条件または十字条件における反応時間の利得)。

そこで、カニツツア条件の利得が他のプライム条件の利得とどの程度相関しているのを調べるため、被験体を変量効果とする一般線形混合モデルによる解析を行った。その結果、実輪郭条件の利得とカニツツア条件の利得との間の相関に有意差が見られた ($F_{1,27} = 4.45, p = .044$)。十字条件の利得とカニツツア条件の利得の間には有意差は見られなかった (十字条件: $F_{1,27} = 0.22, p = .224$)。また、各独立変数を用いてカニツツア条件の反応時間の利得を説明するモデルを作ったところ、十字条件の利得を用いて説明したモデルよりも、実輪郭条件の利得を用いたモデルの方が良いモデルであった (実輪郭条件: $AIC = -18.93$; 十字条件: $AIC = -15.66$)。このことから、実輪郭プライムによる反応促進効果が見られたときに限って、カニツツア条件でのプライム効果が出現していると言える。プライム効果自体が安定した効果ではないものの、ハトが実輪郭と同じ図形を、ヒトがカニツツア錯視を知覚する図形に知覚していた可能性が示唆された。またこのことから、主観的輪郭の知覚を支えるメカニズムは、アモダリ補完を支えるメカニズムとは異なっている可能性が高い。

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)

[学会発表](計3件)

Yurika KOMATSU and Tomokazu USHITANI, Perception of an Illusory Surface by Pigeons (*Columba livia*), 2013 Psychonomic Society Annual Meeting, 2013年11月15日(金), 加国オンタリオ州トロント

小松由梨果・生谷智一, 明るさ弁別課題を用いたハトのカニツツア型錯視の検討, 日本基礎心理学会31回大会, 2012年11月3日(土), 九州大学(福岡県・福岡市)

小松由梨果・生谷智一, ハトにおけるカニツツア型表面錯視の検討, 日本動物心理学

会第 72 回大会，2012 年 5 月 13 日(日)，関
西学院大学（兵庫県・西宮市）

〔 図 書 〕(計 1 件)

藤田和生(編著)・牛谷智一(著)ほか，技術
評論社，動物たちは何を考えている？：動
物心理学の挑戦，2015 年，303 (48-52,
166-176, 180-184, 284-289)

6．研究組織

(1)研究代表者

牛谷 智一 (USHITANI TOMOKAZU)

千葉大学・文学部・准教授

研究者番号：20400806

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし