

セキセイインコによる生物運動刺激の視覚弁別

MATSUNO, Toyomi / 松野, 響

(出版者 / Publisher)

法政大学多摩研究報告編集委員会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Bulletin of Hosei University of Tama / 法政大学多摩研究報告

(巻 / Volume)

31

(開始ページ / Start Page)

21

(終了ページ / End Page)

36

(発行年 / Year)

2016-05-30

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00013344>

セキセイインコによる生物運動刺激の視覚弁別

松野 響¹⁾

A study on visual discrimination of biological motion stimuli in a budgerigar (*Melopsittacus undulatus*)

Toyomi MATSUNO

概要

運動情報に基づく他個体の検出能や識別能は、ヒトに限らず多くの動物にとって等しく適応的な価値を持つと考えられる。しかしながら、過去の比較研究において、ヒト以外の動物は必ずしもヒトのように運動情報のみから生物身体を容易に表象できるわけではないことが指摘されている。本研究では、動画像に対してフィルタ処理をおこなって作成した生物・非生物映像をもちいて視覚弁別実験をおこない、セキセイインコがどのような視覚情報を手がかりとして生物刺激と非生物刺激を識別するのかを検討した。実験の結果、画像のフィルタ処理の程度が上がり画像中に含まれる形態情報の量が低下するにつれて弁別成績は低下するものの、弁別刺激が動画像であるか静止画像であるかは弁別成績に顕著な影響を及ぼさないことを示した。この結果は、セキセイインコが生物刺激を視覚弁別する際に刺激に含まれる動的な視覚特徴に大きくは依存しないことを示唆している。

1. 序論

生物にとって、同種他個体や異種の生物の身体運動の情報は、個体の生存および社会行動を制御する上で、必要不可欠である。その重要性ゆえに、我々の視覚情報処理経路には、身体形態や生物運動情報

の知覚ための特別な処理過程があるのではないかと考えられている (e.g. Downing, Jiang, Shuman, & Kanwisher, 2001; Puce & Perrett, 2003)。

社会的視覚研究の中でも特に、運動情報にもとづく生物刺激の知覚認識過程の研究はこれまで大きな注目を集めてきた (e.g. Thornton, 2005; Troje, 2008)。それら生物運動知覚研究の多くは、ポイントライトディスプレイと呼ばれる視覚刺激を用い、刺激に含まれる運動情報の寄与を形態情報から切り離して分析することで、ヒトの社会的視覚において運動情報の果たす役割の重要性を明らかにしてきた。

ポイントライトディスプレイは、身体座標上の複数の固定位置に参照点を配置し、その参照点の位置情報のみを動画刺激の連続するフレーム上に光点として表示することで身体の動作を表現した視覚刺激のことを指す (Johansson, 1973)。ポイントライトディスプレイは、もともとの身体画像から形態情報の大部分が除去された刺激であるため、各フレームを個別に取り出して観察すると一見複数の光点がランダムに配置されているように知覚され、身体の表象は喚起されにくい。しかし、各フレームを動画として連続的に観察すると、光点の運動がフレーム間で時空間的に統合されることによって容易に身体全体の動作として知覚認識される。これまでのポイントライト刺激を用いたヒトの視覚研究において、局所運動の時空間特徴とそれらの統合によって復元される全体的な身体形状の動きの情報のそれぞれが、生

1) 法政大学経済学部

物性の検出や動作の識別、性別や個性といった観察対象の属性情報の認識にどのように寄与するのかが明らかにされてきた (Hirai, Chang, Saunders, & Troje, 2011; Loula, Prasad, Harber, & Shiffrar, 2005; Mather & Murdoch, 1994; Thurman & Grossman, 2008; Troje & Westhoff, 2006)。

このような運動情報に基づいた同種他種の検出能や識別能は、ヒトに限らず多くの動物にとって等しく適応的な価値を持つと考えられ、ヒトとヒト以外の動物との間で進化的に共有されたメカニズムがあることが想定される。そのような生物運動知覚のメカニズムの系統発生について問うべく、ヒト以外の動物を対象にして、ポイントライト刺激や類似の刺激 (例えば、ポイントライトの光点間を線分で接続した線刺激) を用いた視知覚弁別研究が、複数の種を対象におこなわれてきている (e.g. Blake, 1993; Tomonaga, 2001)。しかしながら、それらの研究において、ヒト以外の動物は必ずしもヒトのように運動情報から生物身体を容易に表象できるわけではなく、むしろ、その認識には困難があることが繰り返し指摘されてきた。

例えば、ヒトに近縁の霊長類を対象とした研究では、運動情報のみから生物運動を表象することができるかどうかという問題について否定的な実験結果を報告する研究事例が複数ある。Parron, Deruelle, and Fagot (2007) によるギニアヒヒを対象とした研究は、ポイントライト刺激を用いた生物運動と非生物運動の弁別学習が他の生物運動刺激には般化しないことを示した。彼らは、ヒヒがポイントライト刺激を観察した際には全体の刺激構成にもつづいた生物運動の視覚認識が生じるわけではなく、より局所的な視覚特徴を利用した弁別をおこなう傾向があることを指摘している。また、Vangeneugden, Vancleef, Jaeggli, VanGool, and Vogels (2010) は、シリンダー状のヒト型生物運動刺激をもちいて歩行方向の弁別や身体の向きの弁別訓練をマカクザルを対象にしておこない、刺激の形態情報が手がかりにならない歩行方向の弁別には数万試行にわたる長期の訓練が必要であること、シリンダー状刺激の弁別学習がポイントライト刺激には般化しないことを示し、抽象化された生物運動刺激の知覚に関して必ずしもヒトとサル

性を仮定できないことを示唆した。

鳥類を対象とした研究では、ポイントライト刺激に対してヒヨコが感受性をもつことを示した研究事例があるものの、視覚弁別学習のパラダイムを用いた研究ではポイントライト刺激による生物運動知覚について否定的な結果を示す報告が多い。Vallortigaraらは孵化後まもなくのヒヨコにポイントライト刺激を呈示し、対象動物が正立の生物運動刺激に対して倒立刺激や非生物運動刺激に対した場合に比べてより頻繁に定位行動を示すことを報告した (Vallortigara & Regolin, 2006; Vallortigara, Regolin, & Marconato, 2005)。彼らの研究はヒヨコにもヒト同様にポイントライトに要素還元された生物運動に対する感受性がある可能性を示してはいるものの、孵化直後の鳥の視覚選好を基準にしていることから、早成性の鳥類の刷り込みに関わる種特異的かつ時間限定的なメカニズムが関与している可能性も否定できず、ヒトの視覚情報処理のメカニズムと相同の生物運動知覚の証拠であると言えるかどうかについては疑問の余地がある。一方、ハトを対象とした視覚弁別研究では、必ずしもポイントライト刺激による生物運動知覚の証拠はヒトの研究結果と一致していない。Dittrich, Lea, Barrett, and Gurr (1998) は、ハトの動作を撮影した動画刺激とポイントライト刺激をもちいて視覚弁別学習実験をおこない、そもそも動作の視覚弁別がハトには困難であり学習が成立した個体は実験参加個体のうちの一部であったこと、動画刺激からポイントライト刺激への弁別学習の般化は非常に限定的にしかみられず、ポイントライト刺激で学習訓練をおこなった個体は動画刺激の弁別への般化を示さなかったことを報告した。Qadri, Asen, and Cook (2014) も同様にハトによる生物運動動画の弁別学習が、同じ動作のポイントライト刺激に般化しないことを報告している。Troje and Aust (2013) は、ポイントライト刺激による歩行方向の弁別をハトに訓練し、大半の実験参加個体が、身体全体の構成ではなく局所的な運動情報に依存して弁別をおこなったことを報告した。また、Yamamoto, Goto, and Watanabe (2015) は、動画像刺激とポイントライト刺激をもちいて、ハトの視覚弁別学習が両生物運動刺激の共通性によって促進されるかどうかを検討し、そのよう

な効果がみられないことを示した。この結果から Yamamoto らは、ハトが動画像とポイントライトを同種の生物運動であるとは知覚認識していない可能性を指摘している。

このようなヒト以外の動物を対象としたポイントライト刺激の知覚に関する研究とヒトを対象とした研究との間の結果の不一致は、種間で生物運動知覚のメカニズムが根本的に異なっていることが原因で生じている可能性も考えうる一方、ポイントライトディスプレイやそれに類似した刺激の構成に由来するヒト以外の動物の知覚特性に固有の問題に起因して生じている可能性もある。刺激構成に由来するヒト以外の動物に固有の問題とは、すなわち、ヒト以外の動物の視知覚における時空間統合特性の問題と、抽象度の高い視覚情報の認識に関わる問題である。

第一の点について、これまでの比較研究において、ヒトとヒト以外の動物の間に、時空間的な知覚統合の特性に違いがあることが繰り返し指摘されている。ヒトは、局所的な情報を統合しより大域的なまとまりを知覚する傾向が強いのに対し、ヒトに近縁な霊長類を含むヒト以外の種においては、大域的な情報よりも局所的な情報が優先されて知覚される傾向があることが繰り返し指摘されている (Cavoto & Cook, 2001; Hopkins & Washburn, 2002; Spinozzi, De Lillo, & Salvi, 2005)。運動する刺激の時空間的な統合に関しても種差がある可能性が指摘されている (Imura & Tomonaga, 2013; Matsuno & Tomonaga, 2006, 2011)。先行研究 (Parron et al., 2007; Troje & Aust, 2013) の中でも指摘されているように、このような知覚統合特性の違い、局所情報への相対的な依存傾向の強さが、空間的に不連続な光点を統合して大域的な身体形状の知覚をおこなうための時空間統合のプロセスを阻害し、結果としてヒト以外の動物によるポイントライト刺激の知覚弁別を困難なものにしているかもしれない。

第二の点について、ポイントライトディスプレイやその類似刺激と、それらに対応する実際の身体形状との間には、視覚特徴上の大きな相違がある。空間的に不連続な複数の鮮明な点の運動や細線で表現された身体図像は抽象度が高く、動物にとっては不自然で新奇な視覚情報である可能性がある。ヒトは

写実性の低い視覚表現から容易に対応する対象を想起することができる一方、ヒト以外の動物では写実性の高い線画や写真であっても実物との対応づけが難しい場合があることを示す報告もある (Tanaka, 2007; Weisman & Spetch, 2010)。そのような抽象度の高い刺激を観察した際の記憶表象との対応づけの有無が、ヒトとヒト以外の動物におけるポイントライトディスプレイの知覚特性の違いに関わっている可能性もある。

これらのポイントライトディスプレイに固有の問題を回避しつつヒト以外の動物における生物知覚の特性を検討するための一つ的手段として、実際の生物の動きを撮像した動画刺激に対するフィルタリング処理 (Thornton, 2005; Kuhlman & Lappe, 2006) を利用するという方法が考えられる。Thornton (2005) は、ポイントライトディスプレイを用いた生物運動知覚研究を評価しつつ、その欠点を補う研究手法の一つとして、自然なビデオ撮影画像に対して局所的な形態手がかりを低減させるフィルタリング処理を施した刺激をもちいる方法を提案している。その有効性を示す例として、ぼかし処理をほどこした動画刺激と静止画刺激を用いた実験において、ポイントライトディスプレイを用いた研究同様、性別弁別における運動情報の寄与を明らかにすることができることを示した。また、Kuhlmann and Lappe (2006) は、ガウシアンフィルタによるぼかし処理のレベルを7段階で操作した動画および動画から切り出した静止画像を用いて動作弁別実験をおこない、動作認識における刺激の動的特性の重要性を示した。

このようなフィルタリング処理を施した動画を、ヒト以外の動物における生物運動知覚研究の刺激としてもちいる利点には、知覚統合の負荷の少なさ、刺激の抽象度の低さ、刺激作成上の優位性の3点が挙げられる。第1の点について、ポイントライトディスプレイとは異なり、そのような刺激は空間的に連続的な刺激特徴を保持するため、不連続な視覚断片を統合する負荷が少ない。第2に、自然な視覚情報を元にしてその変調の程度を連続的に操作することができるため、元となる自然な動画との見た目の乖離や刺激の抽象度はポイントライトディスプレイに比べて低く設定することが可能となる。3点目は、異

なる種のポイントライトディスプレイを等価に作成することの困難さについての問題である。例えば、鳥類などの動物の生物運動動画では、ヒトのように外観からの関節部の識別が容易ではないため光点を配置するための手がかりが少なく、また関節位置や関節可動性は種間で異なり、どのような光点の配置規則を適用すれば等価なポイントライトディスプレイを作成できるのかの判断が難しい。また、身体の縦横比や関節間の距離など身体プロポーションが種間で異なるため、身体を中心線を通る位置に配置された光点と元の身体画像の輪郭線との乖離度や、ポイントライトディスプレイの運動情報と元の動画の（主に輪郭部で生じる）局所的な運動情報との類似度は種によって均質ではない。フィルタリングの方法は、ヒト動画の加工の際と同等の画像操作を他の動物の動画に容易に適用できるため、このような問題を軽減し、種間比較をおこなうための生物運動刺激の作成がより容易になる。

そこで本研究では上記の先行研究に倣ったばかりの処理（実験1）と、刺激画像のドット密度を制限するランダムドットノイズ（実験2）によって自然画像を変調させ、セキセイインコによる生物・非生物画像の視覚弁別における運動情報の寄与の有無を検討した。実験3、4では、実験1、2においてセキセイインコがどのような課題解決方略をとっていたかを検討するための実験をおこなった。

セキセイインコは視覚弁別能が高く、これまでに多くの視知覚研究の対象となってきた（Brown & Dooling, 1992, 1993; Goldsmith & Butler, 2005; Lind, Karlsson, & Kelber, 2013; Lind & Kelber, 2011）。また、野生下においては群れで生活する社会性の高い動物として知られ、コンパニオンバードとしてヒトとの親密な社会関係を築くことでも知られており、鳥類の中でも社会的視知覚の種間比較をおこなうにあたり興味深い比較対象種である。

これまでにセキセイインコを対象にして生物運動刺激をもちいておこなわれた研究には、動作模倣の同期に関わる研究（Mottley & Heyes, 2003; Mui, Haselgrove, Pearce, & Heyes, 2008）や歩行方向の弁別（Mui et al., 2007）についての研究がある。Mottley and Heyes (2003) は、同種他個体が2種類の異なる方法

で食物の入った箱の止め具をはずしている動画をセキセイインコに見せると、観察した個体はモデルの動作と同種類の動作によって止め具をはずす行動を示す傾向があることを示した。また、Mui et al. (2007) は異種（ヒト・イヌ）の動画像を用いた前進運動と後退運動の視覚弁別学習が、被写体の体の向きを変えた視覚刺激に対して般化することを示した。これらの研究は、セキセイインコが同種・異種の生物運動に対して感受性があることを示している。一方、これらの先行研究では、自然な動画像が用いられており、どのような視覚情報が視覚弁別の手がかりとなっていたのかについてはさらなる検討の余地がある。本研究では、局所的な形態情報の低減した動画刺激と静止画刺激の弁別特性を比較する方法をもちいて、セキセイインコの生物運動知覚における運動情報の寄与を検討した。

2. 一般的方法

2.1. 実験参加個体

実験参加個体は、オスのセキセイインコ1個体であった。当該個体は、実験に先立つ約1年間一般家庭で飼育され、実験開始時およそ生後1年2ヶ月程度であると推定された。実験は参加個体の飼育家庭に、下記の装置を設置しておこなわれた。本研究は、動物研究に関するガイドライン（ASAB/ABS, 2012）に準拠しておこなわれ、実験参加個体に対する侵襲的な手続きは一切とられなかった。

2.2. 装置

幅305 mm x 高さ463 mm x 奥行き455 mmの亚克力板製のオペラント箱を用いた。黒色のフロントパネルには70 mm x 70 mmの開口部が左右に3箇所並べて設けられ、各開口部には透明の亚克力板とマイクロスイッチを組み合わせた反応パネルが取り付けられた。フロントパネルの外側、パネルから約85 mmの位置に21.5インチの液晶モニター（EIZO FlexScan EV2116W-ABK）が設置された。フロントパネルの内側には、パネルと平行に止まり棒が取り付けられていた（Figure 1）。



Figure 1. 反応パネルと実験参加個体

実験参加個体は、止まり棒上から透明の反応パネル越しに視覚刺激を観察し、反応パネルに対してベック応答することで課題における選択反応をおこなった。液晶モニタと反応パネルの間には、隣接する反応パネルの正面の画面に呈示された視覚刺激が横からのぞき見できないように、反応パネル間を区切る約 85 mm の黒い衝立が設置された。これにより実験参加個体は、各刺激を観察するために止まり棒上を左右に移動し、各反応パネルの正面から一度に一刺激を約 12 cm の距離から観察することとなった。

反応パネルの下部には、餌受け皿が左右に 2 つ並べて取り付けられ、オペラント箱の上に設置された 2 台の自動給餌装置 (松野, 2015) から、報酬が呈示された。

2.3. 刺激

2 種類の生物動画刺激を正刺激、4 種類の非生物動画刺激を負刺激として用いた。生物刺激は一方がヒト 1 名のダンスする様子、もう一方がセキセイインコの歩行の様子が撮影された動画刺激、非生物刺激は、4 種類ともにラジオコントロールカーの走行の様子が撮影された動画刺激であった。いずれの動画も Web 上の動画サイトで公開されているものを元に、運動主体の移動範囲の中心がほぼ画面中央に配置され、縦横の画像サイズが 306 x 256 ピクセル、再生フレーム数が 90 フレーム (30 fps での再生で 3000 ms の呈示時間) になるよう切り出しをおこなって作成した。いずれの刺激も 90 フレームを通じて、撮影位置および撮影画角は固定されており、ヒト正刺激および 2 種類の非生物刺激は対象の顕著な並進運動は

ともなわないもので (正刺激: その場での手足の運動、負刺激: 回転、岩への乗り上げに伴う車体方向変化)、残りの 3 刺激は対象の並進運動をともなう動画 (歩行、走行) であった。上記に加え、各動画刺激から中間の 1 フレーム (第 45 フレーム) を取り出し静止画刺激を作成した。

事前訓練における単純反応課題と弁別課題の前半部 (後述) でカラー画像を用いたのを除き、画像はグレースケールに変換して用いた。動画および静止画の画像処理および刺激呈示には OpenCV (ver. 2.4.1) と Microsoft DirectX (ver. 9.0) を利用した。刺激間およびフレーム間での平均輝度の均等化やコントラストの調整はおこなわれなかった。

2.4. 手続き

課題は 3 肢強制選択の視覚弁別課題であった。試行が開始されると、3 箇所の反応パネルの正面に、3 種類の刺激が同時に呈示された。3 種類のうち 1 刺激が、生物刺激、2 刺激が互いに異なる非生物刺激であった。刺激が静止画であるか動画であるかは 3 刺激間で一致していた。動画試行、静止画試行は、いずれの実験においても 1 セッション内で同数ずつ配置され、セッション内でランダムな順でおこなわれた。

刺激はベック反応が検出されるまで呈示された。動画刺激は第 1 フレームから呈示され、反応がないまま 90 フレーム (3000 ms) が経過した場合、インターバルなしで動画の第 1 フレームから再生が繰り返された。

生物刺激に対する反応を正答、それ以外の 2 刺激に対する反応を誤答として記録した。正答に対してはチャイム音と点滅する方形刺激 (200 x 200 ピクセル) および食物報酬 (粟玉もしくはカナリーシード 1 粒) が、誤答に対しては、ブザー音とタイムアウトが与えられた。装置の制約上、1 セッションあたりの最大食物報酬呈示可能回数は 192 回であり、試行数がそれを超えるセッション (事前訓練や実験 1 は 1 セッションが 240 試行) では、正答試行あたりの報酬呈示率が 80% (192/ 240 試行) に定められた。報酬呈示のない正答試行では、チャイム音と方形刺激のみが呈示された。試行間隔は 500 ms、タイムアウトは 3000 ms に設定された。実験は一日の給餌時間の

直前におこなわれ、実験に用いられた報酬には、通常の給餌（ペレット）とは異なるより選好性の高い種子が用いられた。

3. 事前訓練 1

実験に先立ち、実験参加個体のオペラント箱や給餌装置に対する馴致の手続き、および、逐次接近法による反応パネルに対する反応形成がおこなわれた。

反応形成時の初期には、各反応パネルの正面に円刺激もしくは方形刺激を呈示し、3段階の学習訓練をおこなった。第一段階では、同一の3刺激が呈示されいずれの反応パネルに対する反応も強化された。第二段階では、3つのパネル中1つにのみ刺激が呈示され刺激呈示のあったパネルへの反応のみが強化された。第三段階では、円の点滅の同期・非同期を弁別し、同期刺激が呈示されたパネルに対して反応することが求められた。

4. 事前訓練 2

ぼかし処理が施されていない静止画像および動画画像をもちいて、生物刺激と非生物刺激の弁別訓練がおこなわれた。負刺激の呈示されない単純反応課題と、負刺激が呈示され視覚弁別が必要となる弁別課題が、この順でおこなわれた。

4.1. 方法

4.1.2. 単純反応課題

生物刺激がいずれか一箇所の反応パネルに呈示される単純反応課題を3セッションおこなった。1セッションの試行数は240試行であり、画像の種類（静止画、動画）、および生物刺激の種（ヒト、セキセイインコ）が異なる4種類の刺激が各60試行ずつ呈示された。正答パネルの位置は試行間で擬似ランダムに決定され、セッション内（各条件内）でカウンターバランスが取られた。

4.1.2. 弁別課題

3箇所の反応パネル中一箇所に正刺激が、残りの2箇所に互いに異なる負刺激が1つずつ呈示された。1

セッションの試行数は240試行であった。

正刺激の呈示方法は、単純反応課題と同様であった。正刺激が静止画の場合は同時に呈示される負刺激も静止画であり、動画の場合は負刺激も動画から選択された。負刺激は、動画、静止画ごとに4種類の刺激を2刺激ずつの組にし、特定の正刺激が呈示される60試行中、それぞれの組の刺激が30試行ずつ負刺激として呈示された。

弁別課題はカラー画像をもちいる段階と、グレースケール画像をもちいる段階の2段階で実験がおこなわれた。各訓練段階の終了基準は、正答率が2セッション連続で80%を超えることとした。

4.2. 結果と考察

単純反応課題による訓練では、第1セッションから、誤答（視覚刺激呈示のないパネルへの反応）はほぼ見られなかった。正答率は、第1セッションから順に、95.8%、98.8%、100%であった。

弁別課題による訓練では、カラー画像を用いた訓練が3セッション、グレースケール画像の訓練が2セッションで終了基準に達した（Figure 2）。いずれの条件においても第1セッションからチャンスレベル（33.3%）を大きく上回る75%以上の高い正答率を示した。静止画条件での正答率が動画条件に比べて高い傾向が見て取れるものの、弁別課題5セッションを通じての比較では静止画条件と動画条件で正答率に有意な差は見られなかった（ $t(4) = 2.06, d = 0.92, p > .10$ ）。

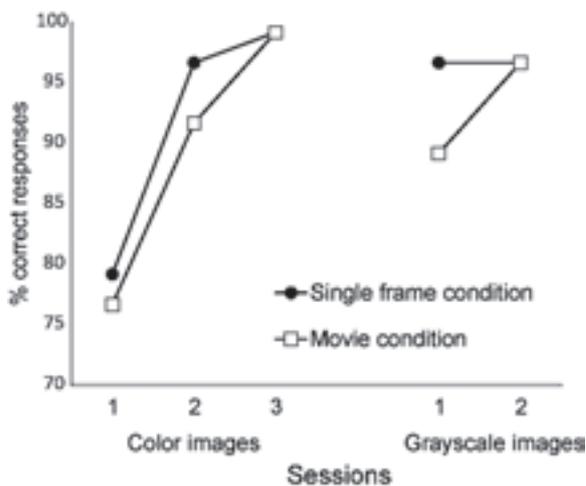


Figure 2. 事前訓練における弁別課題の正答率

5. 実験 1

事前訓練での画像の弁別学習が基準に達した後、ぼかし処理をおこなった画像をもちいてテストをおこなった。本実験の主な目的は、セキセイインコの生物/非生物刺激の弁別において、ヒトを対象とした先行研究 (Kuhlmann & Lappe, 2006) で見られたように、ぼかし処理のレベルが高い場合に動画刺激の識別の優位性が見られるかどうかを検討することにある。ぼかし処理のレベルが高い場合、単一のフレームに含まれる画像から高周波成分が除去されるため、静的な生物形状に依存した弁別は困難になることが予想される。一方、動画刺激ではぼかし処理のレベルが上がっても、運動情報や時空間的に統合された大域的な形態の情報が利用できる。セキセイインコの生物/非生物刺激の視覚弁別において、これらの動的な刺激特性にもとづいた情報をもちいることの優位性が見られるのかどうかを検討する。

5.1. 方法

事前訓練で用いたグレースケール画像に対し、フレームごとにぼかし処理を施した刺激をもちいた (Figure 3)。刺激のぼかし処理は、ガウシアンフィルタをもちいて 8 段階でおこなった。8 段階それぞれにおけるガウス関数の σ 値は 4-32 ピクセル (各レベル間は 4 ピクセル間隔) であった。以下、ぼかし処理

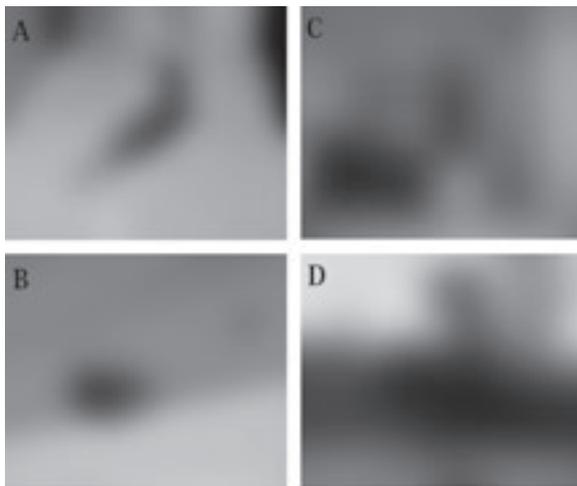


Figure 3. ぼかし処理を施した刺激 (静止画条件) . ぼかしレベル 4 の正刺激 (A: セキセイインコ) と負刺激 (B) およびぼかしレベル 6 の正刺激 (C: ヒト) と負刺激 (D: B とは異なる動画をもとにした負刺激) .

のない刺激をレベル 0、 $\sigma = 4$ ピクセルのぼかしレベルを 1、 $\sigma = 32$ をレベル 8、とし、ぼかし処理の程度の大きさをレベル値の大きさに対応させて表記することとする。

1 セッション 240 試行の課題を、20 セッションおこなった。前半 10 セッション (実験 1a) では、ぼかし処理のない刺激 (レベル 0) に加えレベル 1-4 の刺激をもちい、後半の 10 セッション (実験 1b) では、レベル 0 の刺激に加えレベル 5-8 の刺激をもちいて課題をおこなった。1 セッション 240 試行において、正刺激の被写体 (セキセイインコ/ヒト)、刺激のぼかしレベル、刺激の動的特性 (静止画/動画)、の異なる 20 条件の試行が、各 12 試行ずつおこなわれた。正答パネルの位置はその 12 試行内でカウンターバランスがとられた。各条件の試行は 240 試行の中で擬似ランダムな順になるよう配置された。上記以外の実験手続きについては、事前訓練の弁別課題と同様であった。

前半 10 セッション、後半 10 セッション、それぞれのデータに対し、各セッションの平均正答率を求め、正刺激の被写体、ぼかしレベル、刺激の動的特性の 3 要因に関する反復測定分散分析をおこなった。事前に Mauchly の球面性検定をおこなったところ、いずれの要因においても球面性の仮定は棄却されなかった。

5.2. 結果と考察

正刺激の被写体の種の違い、および、刺激が動画か静止画か、による正答率の顕著な違いは見られなかった (Figure 4)。ぼかし処理のない場合に比べて、ぼかし処理レベルが高い場合には、正答率の低下が認められるものの、いずれの条件でも、チャンスレベル (33.3%) と比べ正答率は高く、この傾向はぼかし処理を施した試行をもちいた最初のセッションから見られた (第 1 セッションでのレベル 0 の 12 試行を除いた正答率は 61.5%)。

前半 10 セッションのデータに関する分散分析の結果、ぼかしレベルの主効果が見られた ($F(4, 36) = 18.1, \eta_p^2 = 0.67, p < .001$)。正刺激の被写体 ($F(1, 9) = 0.04, \eta_p^2 = 0.00$) および刺激の動的特性 ($F(1, 9) =$

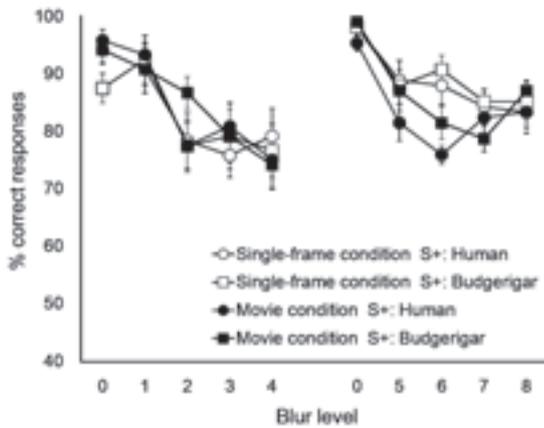


Figure 4. 実験1における正刺激の被写体およびぼかしレベル条件ごとの平均正答率。エラーバーは標準誤差を示す。

2.52, $\eta_p^2 = 0.22$) の要因の主効果、および、交互作用 (ぼかし x 被写体: $F(4, 36) = 1.04$, $\eta_p^2 = 0.10$, ぼかし x 動的特性: $F(4, 36) = 0.77$, $\eta_p^2 = 0.08$, 被写体 x 動的特性: $F(1, 9) = 0.25$, $\eta_p^2 = 0.03$, ぼかし x 被写体 x 動的特性: $F(4, 36) = 0.76$, $\eta_p^2 = 0.08$) は有意ではなかった。ぼかしレベルの違いに関して、Holmの方法により多重比較をおこなったところ、ぼかし処理のないレベル0とレベル2以上の各ぼかし条件との間 (level 0-2: $t(9) = 6.28$, $d = 1.99$, level 0-3: $t(9) = 4.54$, $d = 1.44$, level 0-4: $t(9) = 6.20$, $d = 1.96$, $ps < .01$)、および、レベル1とレベル2以上の各ぼかし条件との間 (level 1-2: $t(9) = 4.78$, $d = 1.51$, level 1-3: $t(9) = 6.37$, $d = 2.01$, level 1-4: $t(9) = 8.13$, $d = 2.57$, $ps < .01$) に有意な差が見られた。

後半10セッションについては、レベル0試行のデータをのぞいて分散分析をおこなったところ、刺激の動的特性の主効果 ($F(1, 8) = 17.3$, $\eta_p^2 = 0.68$, $p < .01$) と、動的特性とぼかしレベルの交互作用 ($F(3, 24) = 3.87$, $\eta_p^2 = 0.32$) が有意であった。被写体 ($F(1, 8) = 1.70$, $\eta_p^2 = 0.18$) やぼかしレベルの主効果 ($F(3, 24) = 1.07$, $\eta_p^2 = 0.12$)、その他の交互作用 (ぼかし x 被写体: $F(3, 24) = 0.41$, $\eta_p^2 = 0.05$, 被写体 x 動的特性: $F(1, 8) = 0.36$, $\eta_p^2 = 0.04$, ぼかし x 被写体 x 動的特性: $F(3, 24) = 0.61$, $\eta_p^2 = 0.07$) は有意ではなかった。動的特性とぼかしレベルの交互作用について、各ぼかしレベルにおける動的特性の単純主効果の検定をおこなったところ、レベル6 ($\sigma = 24$) においてのみ静止画試行の正答率が動画試行に比べて有意に高かつ

た ($F(1, 8) = 21.2$, $\eta_p^2 = 0.73$, $p < .01$)。

これらの結果は、ぼかしレベルが大きくなると動画刺激の識別が静止画刺激に対して優位になることを示したヒトの先行研究の結果と一致しない。セキセイインコの生物/非生物刺激の視覚弁別の成績は、ぼかし処理のレベルが高まるにつれ低下する傾向が見られたものの、静止画条件、動画条件によらず総じて正答率は高止まりし、両条件間で顕著な正答率の違いは見らず、特定のぼかしレベルにおいては静止画刺激弁別の成績が動画弁別を上回る結果すら見られた。これらの結果は、セキセイインコが実験で使用された生物刺激と非生物刺激の弁別において静止画と動画の双方に共通する弁別手がかりを利用し、動画刺激に含まれる動的特性は有効な手がかりとはなっていないことを示唆している。

6. 実験2

実験1において、ぼかし処理のレベルによらず課題成績が高止まりしたことから、本実験においては、さらに形態情報を低減させる刺激変調処理を加えた。本実験では、実験1で用いた刺激に対し、背景色と同色のランダムドット状のノイズを加え、観察可能な刺激のピクセル数を制限した (Figure 5)。例えば、有効ピクセル密度が10%の場合、弁別刺激の90%のピクセルが背景色と同じ黒いドットで遮蔽された。自然環境下での状況になぞらえて言うと、密に草木が生い茂った空間に空いたわずかな隙間を通して草木

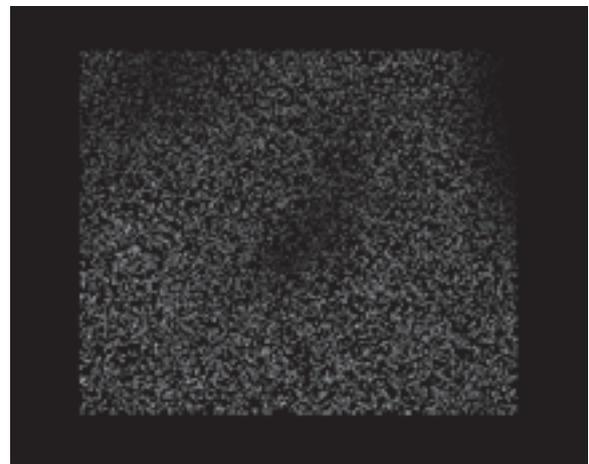


Figure 5. 実験2で用いられた視覚刺激。Figure 3のAの刺激を有効ピクセル密度16%で呈示した例

の向こう側の様子を眺めているような状況となる。このような刺激操作は、有効な刺激ピクセルの密度が低い場合、静止画における形態情報の知覚を阻害する一方、動的な刺激の場合には、時空間的な情報の統合によってそのような形態情報の復元が可能となることが知られている (Fujita, 2006; Shipley & Kellman, 1993, 1994)。本実験では、このような刺激をもちいることで、セキセイインコが生物・非生物刺激の弁別において、刺激の動的な特性をどのように利用しているのかをさらに検討する。

6.1. 方法

実験手続きは、用いた刺激に対してランダムドットの遮蔽マスクが付加されたことを除き、実験1の「方法」に記述した内容と同等であった。用いた静止画・動画刺激のぼかし処理のレベルは1, 4, 7 ($\sigma = 4, 16, 28$ ピクセル) の3種類であった。

1 試行内で同時に呈示される3刺激に対してかけられたランダムドットマスクは全く同一の空間配置のものであり、ドットの配置はフレーム間で変化せず試行内で固定されていた。試行間では異なるドット配置のマスクが用いられた。

1セッションの試行数は192試行であり、1セッション内で、正刺激の被写体 (セキセイインコ/ヒト)、刺激のぼかしレベル (3段階)、刺激の動的特性 (静止画/動画)、および有効ピクセル密度 (4段階) の異なる48条件の試行が、各4試行ずつおこなわれた。

実験開始後、最初の10セッションは、過半数以上の刺激ピクセルが呈示される条件 (50, 60, 70, 80%の有効ピクセル密度条件) で訓練をおこなった。その後の40セッションにおいては、有効ピクセル密度条件が、奇数セッションでは高密度 (10, 20, 30, 40%)、偶数セッションでは低密度 (2, 4, 8, 16%) に設定された。最初の訓練10セッションを除く、40セッションのデータを分析した。

6.2. 結果と考察

実験の結果、どのぼかしレベル条件においても、有効ピクセル密度が低下するにつれて正答率が低下する一方、ぼかしレベルによって多少の変動はあるものの静止画と動画の違いによるパフォーマンスの顕

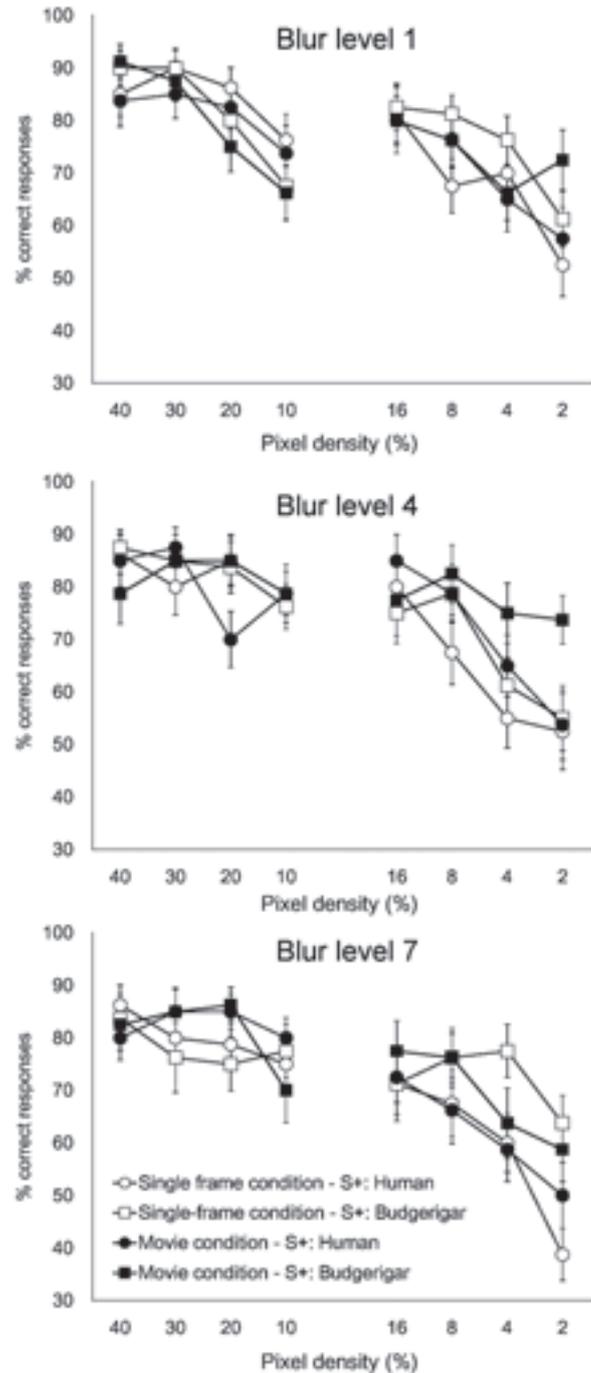


Figure 6. 実験2における条件ごとの平均正答率。エラーバーは標準誤差を示す。

著な違いは見られなかった (Figure 6)。

高密度セッションの正答率について分散分析をおこなった結果、ドット密度の主効果のみ有意であり ($F(3, 57) = 11.81, \eta_p^2 = 0.38, p < .001$)、刺激の動的特性の要因 ($F(1, 19) = 0.22, \eta_p^2 = 0.01$) を含むその他の要因の主効果および交互作用は有意ではなかった。

低密度セッションの正答率について分散分析をおこなったところ、ドット密度 ($F(3, 57) = 37.36, \eta_p^2 =$

0.66, $p < .001$)、被写体の要因 ($F(1, 19) = 30.23$, $\eta_p^2 = 0.61$, $p < .001$)、ぼかしレベル ($F(2, 38) = 6.53$, $\eta_p^2 = 0.26$, $p < .01$) の主効果に加え、刺激の動的特性とぼかしレベルの要因の交互作用 ($F(2, 38) = 4.78$, $\eta_p^2 = 0.20$, $p < .05$)、被写体とドット密度の要因の交互作用 ($F(3, 57) = 5.25$, $\eta_p^2 = 0.22$, $p < .01$) が有意であった。刺激の動的特性とぼかしレベルの要因の交互作用について、単純主効果検定をおこなったところ、ぼかしレベルが4のときのみ、動画試行の正答率が静止画試行での正答率よりも有意に高かった ($F(1, 19) = 11.57$, $\eta_p^2 = 0.38$, $p < .001$)。

本実験では、ぼかしレベルが中間的な場合 ($\sigma = 4$ ピクセル) のみ、有効ピクセル密度が低い条件で動画刺激の弁別の優位性が見られた。この結果は、生物/非生物刺激の弁別において、セキセイインコが動的な刺激特徴を利用していることを示唆している。しかしながら、そのような結果は他のぼかしレベル条件では見られず、頑健な結果であるとは言いがたい。

また、セキセイインコの弁別成績を有効ピクセル密度の変化の観点から見ると、有効ピクセル密度の低下にともない弁別成績の低下がみられたものの、密度が10%を切ってもチャンスレベルとの比較では高い正答率が維持されていた。刺激全体の輝度情報が大きく変化しても弁別成績に大きな影響がなかった、という本実験の結果は、実験参加個体の視覚弁別が、刺激全体の明るさの手がかりではなく、ドット密度の異なる刺激間で共通の、静的・動的な刺激形状にもとづいておこなわれていたことを示唆している。

7. 実験3

実験1、2における参加個体の課題解決方略をより詳しく検討するために、追加実験をおこなった。本研究では、正刺激に生物刺激、負刺激に非生物刺激を用いた3肢強制選択の手続きをとっている。この手続きでは、正刺激を知覚検出しなくとも、負刺激を回避する方略で、正反応をおこなうことができる。実験3では、実験参加個体が、実験1、2における課題解決に際して、正刺激である生物刺激の識別をおこなっていたのか、それとも非生物刺激の検出・識別のみおこないそれらを回避する戦略をとっていた

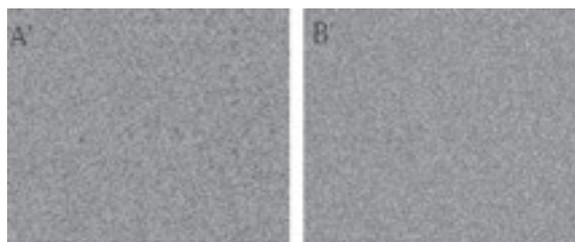


Figure 7. 実験3で用いられた刺激のピクセル位置をランダムに入れ替えた刺激。A': Figure 3のA刺激のランダム化画像, B': Figure 3のB刺激のランダム化画像

のかを検討するため、正刺激のみ新奇な刺激、もしくは負刺激のみ新奇な刺激が呈示される非分化強化のプロープ試行をもちいて実験をおこなった。

プロープ試行における新奇刺激には、元となる正刺激、負刺激の各画像ピクセルをランダムに入れ替えた刺激を用いた (Figure 7)。この操作により、新奇正刺激、新奇負刺激は、元々の正刺激、負刺激と刺激全体の輝度は変わらないものの、生物・非生物の形態情報が完全に失われた刺激となった。

もしも実験参加個体が、実験1、2において、正刺激を識別せず負刺激の知覚のみに依存して課題に正解していた場合、新奇負刺激をもちいたプロープ試行においては課題解決の手がかりがなくなる一方、新奇正刺激をもちいたプロープ試行においては、変わらずに課題を解くことができると予想できる。

7.1. 方法

プロープ試行における新奇刺激の使用とプロープ試行での正誤のフィードバックに関する手続きを除いては、実験2と同じ手続きで実験をおこなった。

ベースライン試行192試行、プロープ試行48試行の計240試行を1セッションとし、10セッションのテストをおこなった。ベースライン試行は、実験2の高密度セッションと同一であった。

プロープ試行は、負刺激は実験2と変わらず正刺激のピクセル配置がランダム化された新奇正刺激条件24試行と、正刺激は実験2と同等で2つの負刺激のピクセル配置がランダム化された新奇負刺激条件24試行から構成された。プロープ試行では有効ピクセル密度は20%に固定され、正刺激の被写体、刺激のぼかしレベルはベースライン試行と同じ条件の試行が24試行内で各条件同試行数(4試行ずつ)にな

るように設定された。

新奇正刺激、新奇負刺激のピクセル配置は、各刺激の種別ごとに固定されていた。よって、10セッションの実験中、同じ条件の刺激がもちいられる試行（例えば、「ヒトを被写体としたぼかしレベル4の動画刺激を元とした新奇刺激」）を使用する試行ではどの試行でも全く同一の刺激が用いられることとなった。動画刺激に関しては、どの位置のピクセルをどの位置に再配置するかのランダム化の規則はフレーム間で共通であった。

プローブ試行では、正誤のフィードバックは与えられず、500 ms の試行間隔の後にすみやかに次の試行が開始された。

プローブ試行での正刺激選択率について、刺激の動的特性（動画 / 静止画）とプローブ条件（新奇正刺激、新奇負刺激）の2要因の分散分析をおこなった。

7.2. 結果と考察

プローブ試行における正刺激選択率に、新奇正刺激条件と新奇負刺激条件間で顕著な差は見られず、いずれの条件でも正刺激の選択率は高かった (Figure 8)。

分散分析をおこなったところ、プローブ条件の違い ($F(1, 9) = 0.01, \eta_p^2 = 0.00$) を含む、主効果および交互作用は有意ではなかった（刺激の動的特性条件の主効果: $F(1, 9) = 1.45, \eta_p^2 = 0.14$, 交互作用: $F(1, 9) = 0.00, \eta_p^2 = 0.00, ps > .10$ ）。

どちらの新奇刺激条件においても比較的高い正刺激選択率が保たれていたことから、少なくとも実験

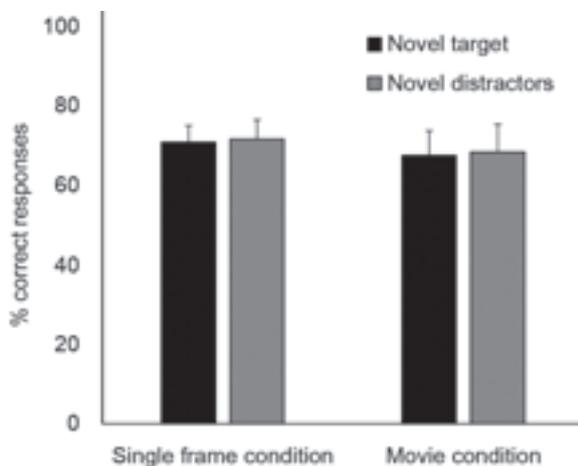


Figure 8. 実験3のプローブ試行における正刺激の選択率

参加個体は負刺激を回避する戦略のみに頼って課題をおこなっていたわけではないこと、正刺激である生物運動刺激、負刺激である非生物刺激のどちらも知覚的に識別し、正刺激の検出、負刺激の回避、両方の課題方略を状況によって使い分けていたことが示唆された。

8. 実験4

実験3において、実験参加個体は、正刺激もしくは負刺激のどちらかが新奇刺激であっても、刺激を弁別することができた。実験3で用いた新奇刺激は、もともとの正刺激・負刺激のピクセル配置をランダムに入れ替えたものであり、刺激全体の輝度は、もとの刺激と等しかった。よって、実験3で実験参加個体のパフォーマンスが顕著に低下しなかった理由は、そもそも実験参加個体が、生物刺激 / 無生物刺激に含まれる刺激特徴ではなく、刺激全体の輝度の相対的な差など、ランダム化した新奇刺激と元の刺激に共通して含まれる手がかりを用いていたからである、という解釈も可能である。そこで、実験4では、正刺激も負刺激もともに新奇刺激をもちいたプローブ試行によって、実験参加個体の課題解決方略についてさらに検討した。

8.1. 方法

プローブ試行の正刺激、負刺激をどちらも、実験3で用いたのと同じ新奇正刺激、新奇負刺激に変更したことを除き、1セッションの手続きは全て実験3と同じであった。1セッションは、ベースライン試行192試行、プローブ試行48試行の計240試行であった。5セッションのテストをおこない、プローブ試行での正刺激選択率が統計的にチャンスレベル(33.3%)よりも高いかどうかを分析した。

8.2. 結果と考察

プローブ試行全体の平均正刺激選択率は、34.2%であり、正刺激も負刺激も新奇刺激であった場合には実験参加個体は正刺激と負刺激の弁別ができなかった。

正刺激選択率がチャンスレベルよりも高いか否か

について片側一標本 t 検定をおこなったところ、静止画条件 ($M = 37.5\%$, $SE = 3.2$, $t(4) = 1.29$, $d = 0.58$, $p > .10$)、動画条件 ($M = 30.8\%$, $SE = 2.8$, $t(4) = 0.88$, $d = 0.40$, $p > .10$) どちらにおいてもチャンスレベルとの有意な差はみられなかった。

このような結果は、プローブ試行が非強化試行であったゆえに、正刺激選択率が実験3、実験4を通して連続的に低下したために生じたわけではない。実験3の最終セッションにおけるプローブ試行の正刺激選択率が72.9%であるのに対し、実験4の第1セッションの正刺激選択率が25.0%と、その低下は不連続的に生じていた。

この結果は、本研究における実験参加個体の視覚弁別が刺激全体の輝度の相対的な差に依存していたわけではなく、生物刺激・非生物刺激に含まれる静的・動的な刺激形状の知覚弁別に基づいていたことを示唆している。

9. 総合考察

本研究は、各フレームに含まれる形態情報を低減させた画像をもちいて、セキセイインコによる生物刺激と無生物刺激の視覚弁別特性について検討した。実験の結果、自然画像を用いた視覚弁別はすみやかに学習され、画像のフィルタ処理の程度が上がるにつれて弁別成績は低下したものの学習された視覚弁別は形態情報の低下に対して比較的頑健であること、正刺激となる生物刺激の被写体が同種であるか異種であるかは視覚弁別成績に影響しないこと、弁別刺激が動画像であるかその中の1フレームを切り出した静止画像であるかは弁別成績に顕著な影響を及ぼさないことが明らかとなった。

第一の点について、本研究では、視覚弁別の正答率は学習訓練の初期から一貫して高く刺激操作に対して頑健であった。これは、ヒト以外の動物を対象とした多くの先行研究 (Dittrich et al., 1998; Parron et al., 2007; Qadri et al., 2014; Vangeneugden et al., 2010) で、生物運動刺激を用いた視覚弁別の学習に多数の試行数が必要となることや、動画刺激からポイントライト刺激への学習の般化が生じにくいことが報告されていることとは対照的である。ポイントライト

ディスプレイの断片化された刺激構成や抽象度の高さは視覚弁別上の負荷が高く、また実動画からポイントライトディスプレイへの変更は不連続的であるため、般化のハードルが高くなる。一方、ぼかし処理や遮蔽の手続きは、元の動画刺激との違いを量的に操作可能であり、そのような段階的な刺激の変調がヒト以外の動物を対象とした実験における課題難易度の適切な操作に役立つ。また、自然動画のぼかし処理や遮蔽の操作は、視環境が悪化した際の自然環境下における動物の視覚条件と対応づけて考えることができることも、このような画像処理の方法をもちいることの一つの利点といえるかもしれない。そのような段階的な刺激変調や自然な視覚環境との類似性が、本研究における弁別課題の容易さにつながっていたのかもしれない。但し、本研究において学習が早く弁別成績が高く維持されたことに関しては、上記のような要因ばかりではなく、刺激構成の大きく異なる生物刺激と非生物刺激の弁別を課したことや、用いた刺激の数が限られていたことの影響も大きかったと推測される。先行研究の多くは、よく似た生物運動刺激同士の弁別を実験参加個体に課しているため、本研究との単純な比較は難しい。

第二に、本研究では、動画の被写体が実験参加個体と同種 (セキセイインコ) であるか、異種 (ヒト) であるかによって、弁別成績に顕著な違いは見られなかった。複数種の生物運動刺激をもちいた鳥類の先行研究 (Troje & Aust, 2013; Vallortigara et al., 2005) でも同様に、刺激の被写体による顕著な結果の違いは見られていない。生物運動の知覚が動物にとって同種・他種を問わず等しく重要な適応課題であることを考えると、これらの研究で検討された単純な生物運動の検出や弁別に対応したレベルでの知覚情報処理過程においては、自種と他種との差別化はなされていないのかもしれない。ただし、本研究では、用いた動画は各カテゴリーでわずか1種類であり、また、カテゴリー間で運動の種類 (並進運動の有無) や輝度の変化量等の刺激特徴量の統制もおこなわれていないため、この点については、統制のとれた刺激をもちいたより慎重な検討が必要である。

第三に、弁別刺激が動画像であるか、その中の1フレームを切り出した静止画像であるかは、弁別成

績に顕著な影響をおよぼさなかった。本研究で動画刺激の優位性が見られたのは、実験2における特定のぼかしレベル、特定の遮蔽レベルにおける限定された条件のみであった。この結果は、広範なぼかしレベルにおいて動画刺激からの動作の識別が静止画からの動作識別よりも容易になることを示したヒトを対象とした先行研究の結果 (Kuhlmann & Lappe, 2006) と一致しない。動画刺激からは、フレーム間の情報の差分を時空間的に統合することによって、局所的、大域的な運動の情報、大域的な形態情報や対象オブジェクトの領域区分の情報など、静止画刺激よりも多くの情報を得ることが可能である。Kuhlman and Lappe (2006) の結果は、ヒトがこのような刺激的動的な手がかりから得られる情報を生物の動作の効率的な識別に利用していることを示している。一方で、静止画像を用いた条件と動画像を用いた条件のほとんどで弁別成績に差が見られなかったという本研究の結果は、本研究の実験参加個体がヒトの研究で示されたのとは異なる視知覚手がかり、もしくは、異なる課題解決方略にもとづいて画像の識別をおこなっていたことを示唆している。セキセイインコがどのような知覚手がかり、課題解決方略にもとづいて弁別課題をおこなっていたかについては、2つの可能性を考えることができる。

一つの可能性は、セキセイインコはヒトほど動的な手がかりに対する感受性が高くなく、動画の識別がおこなわれる際にも、静止画、動画の両方に共通に含まれる、より静的な手がかりの知覚のみにもとづいて画像間の識別をおこなっていた、というものである。この場合、画像の変調によって静的な手がかりの利用が困難になったことにより、静止画条件、動画条件で同率に正答率が低下した、と考えられる。ヒトでは顕著性の高い動的な特徴が、セキセイインコでは、時空間的な統合過程の困難さなど、何らかの理由によりヒトほど顕著ではなく、静止画、動画の両方に含まれている局所的な形態情報の方が弁別手がかりとしてより顕著に知覚されたのかもしれない。あるいは、学習訓練の初期から、静止画と動画の両方が試行間でランダムに混在しているという今回の実験手続きが、共通の手がかりのみに依存し、その他の手がかりの利用を抑制するような課題解決方略

を促進した可能性もある。

もう一つの可能性として、実験参加個体はヒトと同じように、動画条件では、動的な手がかりを利用してはいたものの、そのような手がかりのもつ弁別成績への効果は、静的な手がかりに対して加算的なものではなく、静的な手がかりの利用との間でトレードオフの関係にあった、と考えることもできるかもしれない。Dittrich et al. (1998) は、ハトにとって動画弁別が難しい原因の一つとして、動画ではフレーム間で刺激の特徴が変化するため、複数の刺激特徴を同時に制御する処理過程がその弁別に必要となる点を指摘し、ヒトと比べた場合の注意処理資源の乏しさによってハトの動画弁別に困難が生じている可能性を議論している。本研究でも、動画刺激の弁別においては動的な手がかりが利用できるという利点がある一方、鳥類にはそのような変化を伴う手がかりの利用の難しさがあることによってヒトに比べアドバンテージは小さく、さらに静的、局所的な形態手がかりがフレーム間での形態変化にともない利用しにくくなることで、結果として動的手がかりが付加されることの利点が打ち消される結果となったのかもしれない。

本研究は、上記のとおり、セキセイインコによる生物刺激の視知覚特性についていくつかの示唆をもたらすものである一方、それらの議論をする上で慎重に考慮すべき実験手続き上の問題もいくつかある。一点目は、使用した視覚刺激が少ない点である。対象動物の知覚認知上の限界を考慮して、本研究では正刺激、負刺激ともに刺激のバリエーションは小さく設定されていた。ヒト以外の動物を対象とした先行研究においても、同様に刺激数を絞った研究が多い。しかしながら、少数刺激を用いた多数試行の実験では、生物運動か否かといったカテゴリー判断ではなく、刺激固有の局所的な視覚特徴に依存した課題解決方略を促進してしまいがちである。セキセイインコが本研究で示した画像弁別学習のはやさを鑑みると、より多様な刺激を用いた実験パラダイムを導入する余地があり、局所的な視覚特徴に依存しないよりカテゴリーカルな生物認識を指標とした知覚判断課題をもちいて検討をおこなう必要があると考えられる。二点目は、本研究では、上記のように刺激

数が少ないことに加え、正刺激と負刺激に互いに刺激構成が大きく異なる動画を用いた。そのため、刺激弁別の手がかりが多く、刺激弁別がどのような視覚特徴にもとづいておこなわれているのかの特定が困難であり、刺激弁別が刺激の生物性に依存しているのかどうか不明であった。より統制の取れた刺激をもちいて弁別手がかりとなる視覚特徴を限定するような実験をおこなったり、試行ごとに異なる刺激特徴をもった刺激をもちいて特定の視覚特徴に依存しない高次の自然概念にもとづいた行動制御が必要とされるような実験課題による検討をおこなう必要があるかもしれない。三点目は、実験参加個体が1個体に限られていた点である。より普遍的な結論を導くためには複数個体による研究が必要となる。

序論でも述べたとおり、生物運動の知覚は生物にとって非常に重要な知覚認知機構であると考えられている一方、ヒト以外の動物において、その基礎的な知覚のメカニズムはまだ十分に検討されているとは言いがたい。今後の比較認知研究では、従来多く検討されてきたポイントライトディスプレイの知覚や、今回の研究で用いられた動画刺激、より要素的な運動刺激などを用いた多様な条件で、多層的な生物運動視のメカニズムを複数の種で検討していく必要があるだろう。ヒトの生物運動視には、局所的な運動に依存した生物性の検出のレベルから、大域的な身体形態の運動の知覚のレベルまで、複数のレベルにまたがる階層性があることが示唆されている (Tremoulet & Feldman, 2000; Troje & Westhoff, 2006)。ヒトとは異なる身体形態や身体運動パターンをもちいる多様な動物種が存在することを考慮しつつ、ヒト以外の動物を対象とした比較研究においても、身体全体の運動情報に関する研究から、より要素的な運動情報から生物性を検出するメカニズムのレベル (Goto, Lea, & Dittrich, 2002) まで、複合的なアプローチによって、種間の比較をおこなうことが、社会的視知覚の進化の過程を明らかにする上では重要であろう。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金若手B (課題番号:

25870794) の助成を受けておこなわれた。

引用文献

- ASAB/ABS. (2012). Guidelines for the treatment of animals in behavioural research and teaching. *Animal Behaviour*, 83, 301-309.
- Blake, R. (1993). Cats perceive biological motion. *Psychological Science*, 4(1), 54-57. doi:10.1111/j.1467-9280.1993.tb00557.x
- Brown, S. D., & Dooling, R. J. (1992). Perception of conspecific faces by budgerigars (*Melopsittacus undulatus*): I. Natural faces. *Journal of Comparative Psychology*, 106(3), 203. doi:10.1037/0735-7036.106.3.203
- Brown, S. D., & Dooling, R. J. (1993). Perception of conspecific faces by budgerigars (*Melopsittacus undulatus*): II. Synthetic models. *Journal of Comparative Psychology*, 107(1), 48. doi:10.1037/0735-7036.107.1.48
- Cavoto, K. K., & Cook, R. G. (2001). Cognitive precedence for local information in hierarchical stimulus processing by pigeons. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 27(1), 3. doi:10.1037/0097-7403.27.1.3
- Dittrich, W., Lea, S., Barrett, J., & Gurr, P. (1998). Categorization of natural movements by pigeons: visual concept discrimination and biological motion. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 70(3), 281-299. doi:10.1901/jeab.1998.70-281
- Downing, P. E., Jiang, Y. H., Shuman, M., & Kanwisher, N. (2001). A cortical area selective for visual processing of the human body. *Science*, 293(5539), 2470-2473. doi:10.1126/science.1063414
- Fujita, K. (2006). Seeing what is not there: Illusion, completion, and spatio-temporal boundary formation in comparative perspective. In E. A. Wasserman & T. R. Zentall (Eds.), *Comparative Cognition: Experimental Explorations of Animal Intelligence*. USA: Oxford University Press.
- Goldsmith, T. H., & Butler, B. K. (2005). Color vision of

- the budgerigar (*Melopsittacus undulatus*): hue matches, tetrachromacy, and intensity discrimination. *Journal of Comparative Physiology A*, 191(10), 933-951. doi:10.1007/s00359-005-0024-2
- Goto, K., Lea, S. E., & Dittrich, W. H. (2002). Discrimination of intentional and random motion paths by pigeons. *Animal Cognition*, 5(3), 119-127. doi:10.1007/s10071-002-0139-6
- Hirai, M., Chang, D. H., Saunders, D. R., & Troje, N. F. (2011). Body configuration modulates the usage of local cues to direction in biological-motion perception. *Psychological Science*, 22(12), 1543-1549. doi:10.1177/0956797611417257
- Hopkins, W. D., & Washburn, D. A. (2002). Matching visual stimuli on the basis of global and local features by chimpanzees (*Pan troglodytes*) and rhesus monkeys (*Macaca mulatta*). *Animal Cognition*, 5(1), 27-31. doi:10.1007/s10071-001-0121-8
- Imura, T., & Tomonaga, M. (2013). Differences between chimpanzees and humans in visual temporal integration. *Scientific reports*, 3, 3256. doi:10.1038/srep03256
- Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception and Psychophysics*, 14(2), 201-211. doi:10.3758/BF03212378
- Kuhlmann, S., & Lappe, M. (2006). Recognition of biological motion from blurred natural scenes. *Perception*, 35(11), 1495-1506. doi:10.1068/p5500
- Lind, O., Karlsson, S., & Kelber, A. (2013). Brightness discrimination in budgerigars (*Melopsittacus undulatus*). *PLoS ONE*, 8(1), e54650. doi:10.1371/journal.pone.0054650
- Lind, O., & Kelber, A. (2011). The spatial tuning of achromatic and chromatic vision in budgerigars. *Journal of Vision*, 11(7), 2-2. doi:10.1167/11.7.2
- Loula, F., Prasad, S., Harber, K., & Shiffrar, M. (2005). Recognizing people from their movement. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(1), 210. doi:10.1037/0096-1523.31.1.210
- Mather, G., & Murdoch, L. (1994). Gender discrimination in biological motion displays based on dynamic cues. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 258(1353), 273-279. doi:10.1098/rspb.1994.0173
- Matsuno, T., & Tomonaga, M. (2006). Visual search for moving and stationary items in chimpanzees (*Pan troglodytes*) and humans (*Homo sapiens*). *Behavioural Brain Research*, 172, 219-232. doi:10.1016/j.bbr.2006.05.004
- Matsuno, T., & Tomonaga, M. (2011). Stream/Bounce Perception and the Effect of Depth Cues in Chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Attention, Perception, & Psychophysics*, 73(5), 1532-1545. doi:10.3758/s13414-011-0126-6.
- 松野響. (2015). Arduino と 3D プリンタ を利用した比較認知研究用落下型自動給餌装置の開発. *法政大学多摩研究報告*, 30, 29-39.
- Mottley, K., & Heyes, C. (2003). Budgerigars (*Melopsittacus undulatus*) copy virtual demonstrators in a two-action test. *Journal of Comparative Psychology*, 117(4), 363. doi:10.1037/0735-7036.117.4.363
- Mui, R., Haselgrove, M., McGregor, A., Futter, J., Heyes, C., & Pearce, J. M. (2007). The discrimination of natural movement by budgerigars (*Melopsittacus undulates*) and pigeons (*Columba livia*). *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 33(4), 371-380. doi:10.1037/0097-7403.33.4.371
- Mui, R., Haselgrove, M., Pearce, J., & Heyes, C. (2008). Automatic imitation in budgerigars. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 275(1651), 2547-2553. doi:10.1098/rspb.2008.0566
- Parron, C., Deruelle, C., & Fagot, J. (2007). Processing of biological motion point-light displays by baboons (*Papio papio*). *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 33(4), 381-391. doi:10.1037/0097-7403.33.4.381
- Puce, A., & Perrett, D. (2003). Electrophysiology and brain imaging of biological motion. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B:*

- Biological Sciences*, 358(1431), 435-445. doi:10.1098/rstb.2002.1221
- Qadri, M. A., Asen, Y., & Cook, R. G. (2014). Visual control of an action discrimination in pigeons. *Journal of Vision*, 14(5), 16. doi:10.1167/14.5.16
- Shipley, T. F., & Kellman, P. J. (1993). Optical tearing in spatiotemporal boundary formation: When do local element motions produce boundaries, form, and global motion? *Spatial Vision*, 7(4), 323-339. doi:10.1163/156856893X00478
- Shipley, T. F., & Kellman, P. J. (1994). Spatiotemporal boundary formation: boundary, form, and motion perception from transformations of surface elements. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123(1), 3. doi:10.1037/0096-3445.123.1.3
- Spinozzi, G., De Lillo, C., & Salvi, V. (2005). Local advantage in the visual processing of hierarchical stimuli following manipulations of stimulus size and element numerosity in monkeys (*Cebus apella*). *Behavioural Brain Research*, 166(1), 45-54. doi:10.1016/j.bbr.2005.06.043
- Tanaka, M. (2007). Recognition of pictorial representations by chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Animal Cognition*, 10(2), 169-179. doi:10.1007/s10071-006-0056-1
- Thornton, I. (2005). Biological motion: Point-light walkers and beyond. In G. Knoblich, I. Thornton, M. Grosjean, & M. Shiffrar (Eds.), *Human body perception from the inside out* (pp. 271-303): Oxford University Press.
- Thurman, S. M., & Grossman, E. D. (2008). Temporal "Bubbles" reveal key features for point-light biological motion perception. *Journal of Vision*, 8(3), 28-28. doi:10.1167/8.3.28.
- Tomonaga, M. (2001). Visual search for biological motion patterns in chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Psychologia*, 44, 46-59.
- Tremoulet, P. D., & Feldman, J. (2000). Perception of animacy from the motion of a single object. *Perception*, 29, 943-951. doi:10.1068/p3101
- Troje, N. F. (2008). Biological motion perception. *The senses: A comprehensive reference*, 2, 231-238.
- Troje, N. F., & Aust, U. (2013). What do you mean with "direction" ? Local and global cues to biological motion perception in pigeons. *Vision Research*, 79, 47-55. doi:10.1016/j.visres.2013.01.002.
- Troje, N. F., & Westhoff, C. (2006). The inversion effect in biological motion perception: evidence for a "life detector"? *Current Biology*, 16(8), 821-824. doi:10.1016/j.cub.2006.03.022
- Vallortigara, G., & Regolin, L. (2006). Gravity bias in the interpretation of biological motion by inexperienced chicks. *Current Biology*, 16(8), R279-R280. doi:10.1016/j.cub.2006.03.052
- Vallortigara, G., Regolin, L., & Marconato, F. (2005). Visually inexperienced chicks exhibit spontaneous preference for biological motion patterns. *PLoS Biology*, 3(7), e208. doi:10.1371/journal.pbio.0030208
- Vangeneugden, J., Vancleef, K., Jaeggli, T., VanGool, L., & Vogels, R. (2010). Discrimination of locomotion direction in impoverished displays of walkers by macaque monkeys. *Journal of Vision*, 10(4), 22-22. doi:10.1167/10.4.22
- Weisman, R. G., & Spetch, M. L. (2010). Determining when birds perceive correspondence between pictures and objects: a critique. *Comparative Cognition & Behavior Reviews*, 5, 117-131. doi:10.3819/ccbr.2010.50006
- Yamamoto, E., Goto, K., & Watanabe, S. (2015). Pigeons (*Columba livia*) fail to connect dots in learning biological motion. *Animal Cognition*, 18(5), 1187-1191. doi:10.1007/s10071-015-0880-2