

令和元年5月26日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00203

研究課題名(和文) 空間探索における冗長な情報の役割の解明：ナビゲーションの比較認知研究

研究課題名(英文) Contributions of Redundant Sets of Information to Spatial Searching Behavior: Comparative Cognition of Navigation

研究代表者

牛谷 智一 (USHITANI, Tomokazu)

千葉大学・大学院人文科学研究院・准教授

研究者番号：20400806

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、ヒトとハトとを比較することで、ハトの優れた帰巢能力を支える空間探索方略を明らかにすることであった。メインの実験では、ランドマークからの方向手がかりと複数のランドマークとゴールの配置手がかりが、冗長に1つのゴールを指し示す状況下で訓練した後、それらが矛盾する条件でテストし、ヒトとハトの空間探索における手がかり使用方略を検討した。ヒトがランドマークからの方向手がかりに固執する傾向が見られたのに対し、ハトはランドマークからの方向手がかりだけでなく、配置手がかりへの注意配分が見られた。補足実験により、ハトのランドマーク使用を支える視覚情報処理の基礎的な特性も明らかにすることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

メインの実験から、ハトの優れた帰巢能力を支えるランドマーク使用方略が明らかになった。すなわち、ハトの優れた帰巢能力は、ベクトル情報だけではなく、ランドマークの配置情報を使っていることに支えられている可能性が示唆された。これらのハトのランドマーク使用の集中的な検討は、比較認知研究領域での議論に一石を投じるものである。また、ハトと比較してヒトのナビゲーション能力の不足している点が明らかになったため、ナビゲーションソフトウェアの情報提示法の改良につながることを期待できる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the current research project has been to compare learning strategies of navigational cues between humans and pigeons to understand the underlying mechanisms of the well-known high performance of homing by pigeons. In the main experiment, we trained humans and pigeons to find a goal defined by redundant sets of spatial information (local vector cues and configuration of landmarks) and then tested them under a condition in which the landmarks were rearranged as if different goals were indicated by each cue. The results suggested that whereas humans tended to use local vector cues only, pigeons also attended to configural information in order to solve the inconsistency of the two sets of vector information. Other experiments revealed the characteristics of visual information processing that would support the suggested great performance of landmark use in pigeons.

研究分野：比較認知科学

キーワード：比較認知 種間比較 空間認知 ナビゲーション 冗長性 学習 ハト ヒト

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ヒトを含む多くの動物にとって、身の回りの空間を効率よく、かつ安全に移動することは重要な問題である。ところが、我々はしばしば道に迷う。ヒト以外の動物であれば、生命の危機に直結しかねない。我々は、一度訪れたことのある場所をもう一度訪れようとして、最初に訪れたときに利用した手がかりを見失って道に迷うことが多い。空間手がかりは、季節や天候などの自然要因や政治的・経済的要因により変化を受けやすく、また、出発地点が異なることもあるので、いつ、どこからでも既知の情報にアクセスできるとは限らない。安全な空間探索には、多くの冗長な空間手がかりを学習しておき、一部の手がかりが変化・消失したときに備えることが重要だ。

しかし、冗長な手がかりの学習は当たり前ではない。たとえば、音と光が冗長に食物の出現を予測させるとき、音と光の顕著な方（たとえば、音）だけで条件づけられ、音だけでも反応が生じるようになるが、もう一方の光だけでは反応が出現しなくなる。この「隠蔽」と呼ばれる現象は、空間探索場面でも見られ、ハトは、複数のランドマークのうち、餌場により近いもののみ頼って探索するようになった(文献)。どんな場面でもヒトやハトは冗長な空間手がかりを学習しないのか、それとも空間手がかりの種類によっては学習するのか、学習するならば、その要件にヒトとハトとで違いがあるのか？ この疑問に答えることが、ヒトの空間認識の特性やその進化的起源を理解することにつながり、ひいては、ヒトが空間移動の際の手がかりの適切な呈示法の提案にもつながるだろう。

2. 研究の目的

本研究では、ヒトとハトとを比較することで、ハトの優れた帰巢能力を支える空間探索方略を明らかにすることを目的としている。特に、空間の手がかりは変化が激しいため、その変化に対応できるよう、冗長な複数の手がかりをバックアップとして学習することが重要である。ヒトとハトを対象としたゴール探索実験を実施し、冗長にゴールを指し示す複数セットの手がかりをともに学習して、探索に利用するか調べた。研究(1)は、本研究課題のメイン実験であるアリーナ実験であり、ランドマークのローカルベクトルと配置が冗長にゴールを指し示す状況下で、ハトがいずれか、あるいは両方の手がかりを学習するか調べ、2次元の抽象的な場面にこの探索状況を再現した先行研究(文献)の結果と比較した。研究(2)は、同様の状況を撮影したリアリスティックな写真を用い、写真内のランドマークと背景情報が冗長にゴールを指し示す状況下で、ハトがこれら冗長な手がかりを学習するか調べた。研究(3)は、同様の状況を実空間ないしVR空間で再現して、ヒトを対象として実施した研究である。研究(4)は、基礎データとして、ハトの空間手がかり利用を支える視覚情報処理の解明を目指した。以下、メインの研究である(1)と(2)を中心に詳細を説明し、(3)と(4)については概略を説明する。

3. 研究の方法

(1) ハトの実空間探索における冗長な手がかりの利用

被験体 自由摂食時の85%に体重統制されたハト4個体を用いた。

装置・刺激 実験室(アリーナ)の床(284×314cm)中央(150×150cm)に25個のカップ(底面の直径4cm、高さ2cm)を5×5の格子状に配置した。実験室の天井付近にビデオカメラを設置し、セッション中の録画とモニタリングに用いた。ランドマーク(LM)には橙のシヨベルカーのモデルと緑の霧吹きを使用した。

手続き 最初の段階では、25個のカップ内に鉋物飼料を半分ほど入れ、その上のトウモロコシを採餌させた。次の段階では、2つのLMに馴化させるため、アリーナ上にある25個のカップのうち1つがゴールとなるようトウモロコシを入れ、その隣のカップ2つをLMに置換して採餌させた。ゴールとLMは、その相対的な空間関係は一定のまま、LMが4方向に均等に向き、ゴール位置が中央9カップに均等になるよう、試行間で移動した。ゴールは、片方のLMからの距離と方向による手がかり(ローカルベクトル手がかり;LV)と両LMとの配置による手がかりによって冗長に指し示されていたことになる。

実験室の出入口にケージを置き、被験体をケージからアリーナに放してから実験室のドアを閉じた。ゴールカップ内を採餌するまで試行を継続し、採餌後はケージに入るよう誘導した。1セッション9試行において中央の9カップをそれぞれ1回ずつゴールとした。4セッションおこない、探索時間が安定したら、9セッションかけてトウモロコシが隠蔽される割合を段階的に増加させた。トウモロコシが完全に見えない状態で最低16セッションおこない、最終セッションの平均誤選択数(ゴールカップを選択するまでに他のカップを選択した1試行あたりの平均回数)が、直前6セッション分の誤選択数の移動平均を2セッション連続して上回った時点で、餌を隠さない無強化試行を挿入する訓練に移行した。無強化試行では、訓練達成時点の直近8セッション分の平均探索時間+2SDの試行時間が経過すると試行を終了した。12セッションおこなった後、テストに移行した。

テストでは、LVと配置が矛盾する条件をテストした。配置が示す位置をCG(Canonical Goal)、LM配列に対してCGと反対側の位置をGE(Geometrically Equivalent)として、A・B条件(一方のLVがCG、他方のLVがGEを示す)、C・D条件(一方のLVがCG、他方の

LV が CG・GE 以外の位置を示す), E・F 条件 (一方の LV が GE, 他方の LV が CG・GE 以外の位置を示す) の 6 条件を無強化試行で訓練施行に挿入した。合計 12 セッション実施した。

(2) 2次元上に再現されたゴール探索課題における冗長な手がかりの利用

被験体 自由摂食時の 85% に体重統制されたハト 4 个体を用いた。

装置 オペラント箱の前面パネルに窓 (23 × 18 cm) があり, そこからタッチセンサー付き 15 インチモニタにアクセス可能であった。

刺激 【訓練】アリーナ (284 × 314cm) を用いた空間探索実験のセッティングを 8 箇所から撮影した 8 枚のカラー写真を使用した。セッティングは, 5 × 5 に配置した小カップのうち特定の 1 つをゴールとし, 緑の霧吹きと赤のシヨベルカー模型とで直角三角形をなすように配置したものであった。研究(1)のセッティングと異なっていたのは, 壁にポスター・タオルなどを貼付けていたことであった (背景手がかり)。カメラの高さは上下の 2 水準, 画面上のゴール位置は左上下, 右上下の 4 水準あり, 8 枚の写真でカウンターバランスを取った。

【テスト】訓練と同じ 8 角度だが, カメラの高さ, 画面上のゴール位置が異なる新奇 8 枚を導入した。

手続き 試行間間隔 3 秒後 探索画面が出現した。ゴールとなる小カップには黄色の枠をつけ, 枠内に 3 回反応すると報酬によって強化した。誤反応に対しては何も起こらなかった。1 セッションは, 探索画面 (8 種類) × 8 = 64 試行から構成されていた。ハトが, 安定してゴールのカップに反応できるようになったら, セッションを経るごとに, ゴールを示す黄色の枠をフェードアウトさせた。最終的に, ゴールに対し合計 3 回 (最終 2 回は連続で) 反応すると強化される事態で, ハトが安定してゴールに反応できることを確認してテストに移行した。

テストでは, 新奇の写真が呈示されるテスト試行を訓練試行 (ベースライン試行) に挿入した。テスト試行では, どこへの反応であっても 2 回目の反応以降, 制限時間後に探索画面が消失した (無強化) 5 セッション実施した。

(3) ヒトの実空間および VR 空間における冗長な手がかりの利用

研究(1) と同様の場面をヒトを実験参加者として実施した。実空間および実空間を仮想現実空間 (VR 空間) に再現した実験を実施した。

(4) ハトの空間手がかり利用を支える視覚情報処理の解明

ハトが, 空間手がかりを利用する際に, どのように視覚情報を処理しているか調べることは, 必要不可欠である。ハトが網膜に映らない情報をどのように補間しているか, 図形の弁別課題を用いて調べた。また, ランドマークにどのように注意をむけるかは, 高速で飛びながら空間認識するハトのナビゲーションにとって決定的な要素である。空間手がかり課題や視覚探索課題を用いて, ハトの視覚的注意過程を調べた。さらには, ランドマークの形状をどのように認識しているか調べるため, ハトにおける視覚刺激のカテゴリ化について調べた。

4. 研究成果

(1) ハトの実空間探索における冗長な手がかりの利用

ハトは, 訓練最終段階において, 1 試行あたりの誤反応が 1 回程度と高い遂行成績を示すようになった。

テストの結果 (図 1) は, ハトが, 2 次元上の抽象的な場面に探索状況を再現した研究 (文献) とは異なり, ハトが, LV より配置手がかりを利用した探索をしていることを示している。これは, 研究(3)のヒトで示された結果とも対照的であり, 配置手が

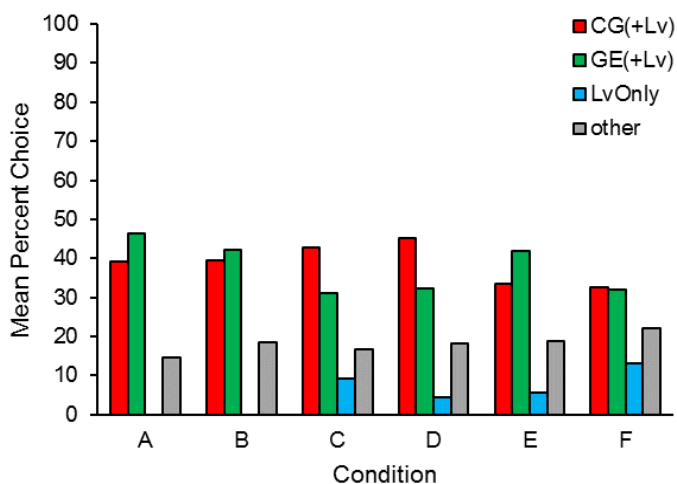


図 1 研究(1) のテストにおける平均反応確率

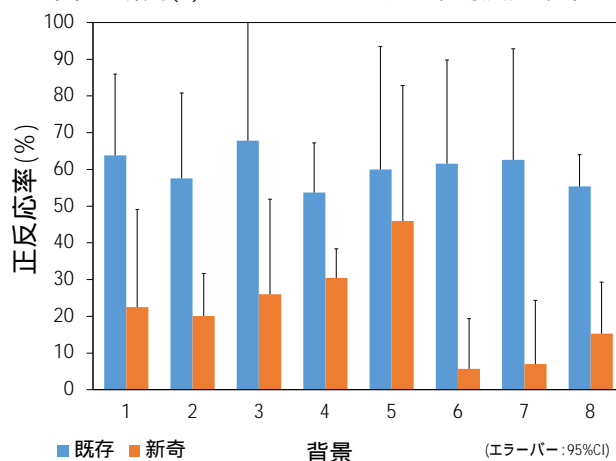


図 2 研究(2) のテストにおける平均反応確率

かりへの注意，特に配置的異方性 (configural sense) への注意は，ハトの優れた視覚的ナビゲーションを支えている可能性を示している。

(2) 2次元上に再現されたゴール探索課題における冗長な手がかりの利用

ハトは，訓練の最終段階において，高い正反応確率を示すようになったが，これと比較して，テスト刺激のゴール周辺への反応確率は低かった (図 2)。研究(1)でのハトの高い遂行成績を考慮すると，研究(2)において転移が完全でなかったのは，リアリスティックな写真から，ハトは奥行き情報を抽出することが難しく，空間認知に関する認知能力を反映させられなかったからかもしれない。

(3) ヒトの実空間および VR 空間における冗長な手がかりの利用

実空間および VR 空間上でハトと同様のゴール探索課題を，ヒト参加者に実施した結果，ヒトはいずれの空間においても，LV 手がかりを優先することがわかった。また，配置的異方性への注意もほとんど見られなかった。ヒトのナビゲーションは，配置的異方性へ注意を向けさせることで成績が向上する可能性がある。

(4) ハトの空間手がかり利用を支える視覚情報処理の解明

ランドマークの使用方略解明には，ランドマークの形状の認識やカテゴリ化，複数のランドマークへの注意様式などを理解する必要がある。一連の研究から，ハトが，網膜像から欠損した情報を補って形状や大きさを認識している可能性が示された。また，ハトは正確で十分な容量の記憶力を有しているが，2 つ以上の次元を使ってしか正確に遂行できない「統合的なカテゴリ」のカテゴリ化については，一方の次元を使用しないなど，節約的なカテゴリ化が見られた。ランドマークについても，複雑な類似性構造を持っている場合には，正しく認識できない可能性がある。さらに，オブジェクト間の相互弁別性を高めたところ，ハトにおいてもオブジェクトに基づく注意が見られたことから，空間内にあるランドマークを単位とする空間的注意の割り当てが行われている可能性が示された。

< 引用文献 >

- Spetch, M. L. (1995). Overshadowing in landmark learning: Touch-screen studies with pigeons and humans. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 21, 166–181.
- Ushitani, T., & Jitsumori, M. (2011). Flexible learning and use of multiple-landmark information by pigeons (*Columba livia*) in a touch screen-based goal searching task. *Journal of Comparative Psychology*, 125, 317-327.

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

- 関口勝夫・牛谷智一・澤幸祐 (2019). ヒトと動物の空間情報獲得と行動選択. *動物心理学研究*, 69, 印刷中. 査読有.
- Watanabe, A., Fujimoto, M., Hirai, K., & Ushitani, T. (2019). Pigeons discriminate shapes based on topological features. *Vision Research*, 158, 120-125. doi.org/10.1016/j.visres.2019.02.012. 査読有.
- Sekiguchi, K., Ushitani, T., & Sawa, K. (2018). Use of redundant sets of landmark information by humans (*Homo sapiens*) in a goal-searching task in an open field and on a computer screen. *Journal of Comparative Psychology*, 132, 178-188. doi: 10.1037/com0000097. 査読有.
- Jitsumori, M., & Ushitani, T. (2017). Rapid visual processing of picture stimuli by pigeons in an RSVP (Rapid Serial Visual Presentation) task. *Journal of Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition*, 43, 127-138. doi: 10.1037/xan0000132. 査読有.

[学会発表] (計 17 件)

- 鶴田皓大・眞鍋佳嗣・矢田紀子・牛谷智一・関口勝夫 (2018). VR を使用した 3 次元空間における視覚探索実験システムの構築. 映像情報メディア学会 2018 年冬季大会. 2018 年 12 月 21 日. 東京工業大学.
- 藤井香月・牛谷智一 (2018). ハトにおけるオブジェクトベースの注意は記憶を促進するか? 日本基礎心理学会第 37 回大会. 2018 年 12 月 1 日. 専修大学.
- 牛谷智一・森下理桜子・関口勝夫・國府文・渡辺安里依 (2018). ハトによるランドマークベースゴール探索: アリーナ実験の写真刺激を用いて. 日本基礎心理学会第 37 回大会. 2018 年 12 月 1 日. 専修大学.
- 関口勝夫・今岡尚子・牛谷智一・一川誠 (2018). ハトの視覚探索における文脈手がかり効果. 日本基礎心理学会第 37 回大会. 2018 年 12 月 1 日. 専修大学.
- Watanabe, A., Imamura, F., Shimada, K., & Ushitani, T. (2018). Use of position-matching memory task for testing metacognition in pigeons. 日本動物心理学会第 78 回大会. 2018 年 8 月 29 日. 東広島芸術文化ホール.

- Shimada, K., Ohkita, M., Watanabe, A., & Ushitani, T. (2018). Investigation of visual short-term memory in pigeons (*Columba livia*) using a change detection task. 日本動物心理学会第 78 回大会. 2018 年 8 月 30 日. 東広島芸術文化ホール.
- Kurimoto, R., Ushitani, T., & Matsuka, T. (2018). Does accurate memory predict the categorical learning in pigeons? 日本動物心理学会第 78 回大会. 2018 年 8 月 30 日. 東広島芸術文化ホール.
- 大坂間俊汰・眞鍋佳嗣・牛谷智一・矢田紀子. (2017). VR を用いた空間探索実験の検討. 映像情報メディア学会 2017 年冬季大会. 2017 年 12 月 12 日. 早稲田大学.
- 牛谷智一・今岡尚子・山田裕紀・一川誠. (2017). ハトの視覚探索における誘導探索モデルの検討. 日本基礎心理学会第 36 回大会. 2017 年 12 月 3 日. 立命館大学.
- 関口勝夫・廣川夏美・牛谷智一 (2017). 同一ランドマークを用いたハトにおける複数ゴールの空間探索. 日本心理学会第 81 回大会. 2017 年 9 月 21 日. 久留米シティプラザ.
- Ushitani, T., & Mochizuki, S. (2016). Perception of subjective contours in pigeons (*Columba livia*). 日本動物心理学会第 76 回大会. 2016 年 11 月 25 日. 北海道大学.
- Yamaguchi, M., Ushitani, T., Uechi, T., & Ichikawa, M. (2016). Perception of figure element size by pigeons is affected by element arrangements. 日本動物心理学会第 76 回大会. 2016 年 11 月 24 日. 北海道大学.
- Fujii, K., Hoshino, Y., Katsube, M., & Ushitani, T. (2016). Do differently colored objects enhance object-based attention in pigeons? 日本動物心理学会第 76 回大会. 2016 年 11 月 23 日. 北海道大学.
- Fujii, K., Hoshino, Y., Katsube, M., & Ushitani, T. (2016). Object-based attention in pigeons: Effects of enhanced independence between objects. Poster presented at the 39th European Conference on Visual Perception. 2016 年 8 月 31 日. L'Auditori of Barcelona, Spain.
- Ushitani, T., & Mochizuki, S. (2016). Perception of the Kanizsa illusion by pigeons when using different inducers. Poster presented at the 39th European Conference on Visual Perception. 2016 年 8 月 31 日. L'Auditori of Barcelona, Spain.
- Fujii, K., & Ushitani, T. (2016). Object-based attention in avian species, pigeons and hill mynas. Poster presented at the 31th International Conference of Psychology. 2016 年 7 月 29 日. パシフィコ横浜.
- Ushitani, T., Fujii, K., Katsube, M., Hoshino, Y., Goto, K., Imura, T., & Tomonaga, M. (2016). Object-based attention in evolution. Paper presented at the 31th International Conference of Psychology. 2016 年 7 月 27 日. パシフィコ横浜.

〔図書〕(計 1 件)

- Fujita, K., Nakamura, N., Watanabe, S., & Ushitani, T. (2017). Comparative visual illusions: Evolutionary, cross-cultural, and developmental perspectives. In J. Call, G. Burghardt, G. I. Pepperberg, C. Snowdon, & T. Zentall (Eds.) *APA handbook of comparative psychology: Perception, learning, and cognition*, Vol. 2, (Pp. 163-181). Washington: American Psychological Association. <http://dx.doi.org/10.1037/0000012-008>.

6 . 研究組織

(1)研究分担者

分担者なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名：澤 幸祐

ローマ字氏名：(SAWA, Kosuke)

研究協力者氏名：関口 勝夫

ローマ字氏名：(SEKIGUCHI, Katsuo)

研究協力者氏名：藤井 香月

ローマ字氏名：(FUJII, Kazuki)

研究協力者氏名：平井 経太

ローマ字氏名：(HIRAI, Keita)

研究協力者氏名：眞鍋 佳嗣

ローマ字氏名：(MANABE, Yoshitsugu)

研究協力者氏名：矢田 紀子
ローマ字氏名：(YATA, Noriko)

研究協力者氏名：渡辺 安里依
ローマ字氏名：(WATANABE, Arii)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。