

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：32658

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K15951

研究課題名（和文）ニホンジカの色覚特性の解明と農業被害軽減への応用

研究課題名（英文）Characterization of color vision of the deer and application to agricultural damage control

研究代表者

大久保 倫子 (Okubo, Michiko)

東京農業大学・生物産業学部・助教

研究者番号：80761254

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ニホンジカにとって識別することのできる色の組み合わせ、および識別することのできない色の組み合わせを明らかにした。識別できない色の組み合わせはヒトの1型2色覚の色覚特性に類似しているものの、完全には一致しなかった。薄明期の試験では明期と比較して、色を識別することができなかった。また、学習を繰り返すことで色識別能は向上することが示唆された。しかし、色の視認性が採食や飲水といった基本的な行動とは結び付かず、色そのものに誘因性は認められなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

全国的に野生鳥獣による農作物被害が深刻化しており、その対策の1つとして有彩色の光や赤外線を利用したシカの忌避装置が利用されている。本研究結果はシカにとって視認性の良い色の組み合わせを明らかにした。シカの色覚特性を解明することによって、今後より有効な忌避対策の開発に貢献できる。

研究成果の概要（英文）：This study identified color combinations that are easily discriminated for the deer. The color combinations were similar to, but did not perfectly match, the color vision characteristics of humans with protanopia. One deer was unable to discriminate colors in the twilight trials compared to the light trials.

In addition, repeated learning suggested that the deer's color discrimination ability improved. However, color visibility was not linked to basic behaviors such as foraging or drinking. The color itself does not seem to be effective in attracting deer.

研究分野：動物生理・行動

キーワード：色覚 色識別 ニホンジカ 弁別学習 鳥獣害対策 エゾシカ

1. 研究開始当初の背景

全国的に野生鳥獣による農作物被害が深刻化しており、北海道では、鳥獣被害額の**8**割以上がエゾシカ (*Cervus nippon yezoensis*) による被害である。被害を防除する対策の1つに忌避装置がある。忌避装置は安価で設置に手間がかからない反面、慣れが生じると効果がない。現場では、導入しやすく持続的な効果が期待できる忌避装置の開発が求められている。市場では光を利用した忌避装置だけでも、赤、青、黄など様々な有彩色の光を発するもの、赤外線を発するものなど、多様な忌避装置が存在する。より効果的な忌避装置を開発するためには、シカがどのように色を認識しているのか、シカの持つ色覚特性についてより理解する必要がある。

解剖学的知見によると、シカ科動物であるオジロシカ (*Odocoileus virginianus*) の網膜には、ヒト同様、明るさを感知する桿体細胞と、色を感知する錐体細胞の**2**種類の視細胞が確認されている (**D'Angelo** ら **2008**)。錐体細胞の種類は、ヒトでは**S** 錐体、**M** 錐体、**L** 錐体の**3**種類であり、ヒトはすべての光の色を知覚することのできる**3**色型色覚である。しかし、電気生理学的研究では、オジロシカの錐体細胞は**456 nm**の短波長に最高感度を示す**S** 錐体と、**536 nm**の中波長に最高感度を示す**M** 錐体の**2**種類しか存在しない (**Jacobs** ら **1994**)。したがって、シカの色覚はヒトとは異なり、**2**色型色覚であると考えられる。しかし、シカが**2**色型色覚であると証明するためには、色知覚機構が実際に機能しているかどうか、またどの程度機能しているかを、個体レベルの反応による動物行動学的手法により明らかにしなければならない。

ヒトで知られている色覚異常の**1**つに、**3**種類の錐体細胞のうち**L** 錐体の感度が低い、または機能していない**1**型**2**色覚がある。**L** 錐体を持っていないシカはヒトの**1**型**2**色覚の色覚特性に類似しているのではないかという仮説を立て、本研究に取り組むこととした。

2. 研究の目的

本研究では、シカに対する農林業被害防除に効果的な忌避装置を開発するための基礎研究として、シカの色覚特性を解明することを目的とした。

そのために、**(1)**行動学的アプローチに基づく、エゾシカを用いた色の識別実験、**(2)**エゾシカにおける混同色線の作製 **(3)**エゾシカにおける色の認識性の調査という**3**つの課題を設定した。

3. 研究の方法

(1) 行動学的アプローチに基づく、エゾシカを用いた色の識別実験

学内で飼育しているエゾシカを使用し、色パネルをシカに提示し、どちらか一方を選択させる二者択一式の識別実験を行った。

実験に使用する色の組み合わせは、**1**型**2**色覚の混同線付近の**2**色を含み、マンセルカラーで表現される青色(**5B6/8**)と青紫色(**5PB6/8**)、赤紫色(**5PR6/8**)、赤色(**5R6/8**)、黄色(**5Y6/8**)、緑色(**10G6/8**または**5G6/8**)、青緑色(**5BG6/8**)の組み合わせ、ならびに緑色と青色、青緑色、赤紫色、赤色、オレンジ色(**5Y6/6**)、黄色の組み合わせとした。本学の家畜飼育施設内に、周囲の視覚刺激を遮断した実験区画を設けた。実験区画

内に 2 色の色パネルを置き、シカ自ら 2 色のうちどちらか一方を選択するように学習させた。正解した場合、成功報酬として餌を与え、12 回を 1 セッションとし、10 回以上連続で正解 ($p > 0.05$) できたセッションが 3 回連続したところで、提示した 2 色の識別が可能と判断した。

また、野生のエゾシカは日没前と日没後の薄明期に行動が活発になることが知られている。そこで照度が 0Lux 以下になる薄明期に同様の識別実験を行い、色の見え方などのような変化があるのか調査した。

(2) エゾシカにおける混同色線の作製

ヒトの 1 型 2 色覚において、識別できない色の組み合わせをマンセルカラーシステム上に表示した混同色カラーチャートを参考に、(1)の実験結果で得られたエゾシカが識別しにくい色の組み合わせを、カラーチャート上にプロットしヒトの 1 型 2 色覚と比較した。

(3) エゾシカにおける色の認識性の調査

ウマでは、水桶の色を視認性が良い青系統の色にすることで飲水量が増えると報告されている (Faith & Ahmet, 2020)。そこでエゾシカにおいても識別できる色の違いが飲水量や採食量に影響するのかを調査した。実験はエゾシカ 7 頭が飼育されている飼育施設内で実施した。プラスチックケースを緑色 (5G6/8)、青緑色 (10BG6/8)、青色 (5B6/8)、赤色 (10R4/14)、黄色 (5Y6/8) のペンキを用いて着色し、水桶および餌箱として利用した。通常の水、または餌の設置場所に、各色の水桶または餌箱を等間隔に設置し、およそ 1 カ月間の 1 日の飲水量と乾草の採食量を測定した。また 2 週間、2 分間の制限時間を設け、各色の餌箱からの濃厚飼料の採食量を測定した。

4. 研究成果

(1) 行動学的アプローチに基づく、エゾシカを用いた色の識別実験

青色を正刺激とした弁別実験では、計 4 頭のエゾシカ (オス 3、メス 1) を使用した。すべてのシカが青色と黄色および緑色の組み合わせは 6 セッション以内に 3 セッション連続で基準に達し、容易に識別できる視認性の良い色の組み合わせであることが明らかとなった (図 1)。青色と青紫色の弁別では、すべてのシカで 15 セッション経過しても基準に達することはなく、識別することができない色の組み合わせであった (図 2)。

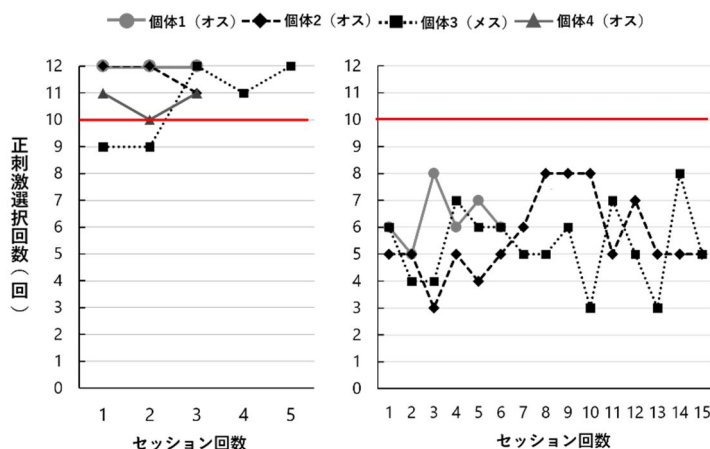


図1. 青色 (5B6/8) と黄色 (5Y6/8) の弁別結果

図2. 青色 (5B6/8) と青紫色 (5PB6/8) の弁別結果

一方で、青色と青緑色や赤紫色の弁別は、個体によって結果が異なっていた。青色と青緑色の弁別実験では、個体 2 は 9 セッション目に識別できたのに対し、個体 1、3、4 は 15 セッション経過しても識別することができなかった。したがってヒト同様シカにおいても、色覚は個体差が大きいことが示唆された（図 3）。

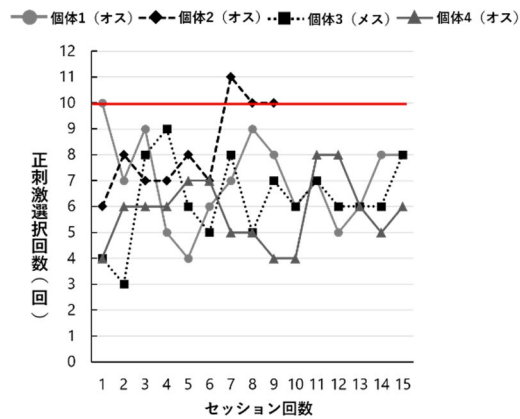


図3. 青色 (5B6/8) と青緑色 (10BG6/8) の弁別結果

緑色を正刺激とした弁別実験では、計 2 頭のエゾシカ (オス 1、メス 1) を使用した。すべてのシカが緑色と黄色、青色、青紫色の組み合わせを容易に識別したのに対し（図 4）、緑色とオレンジ色や赤色の組み合わせは識別することができなかった（図 5）。

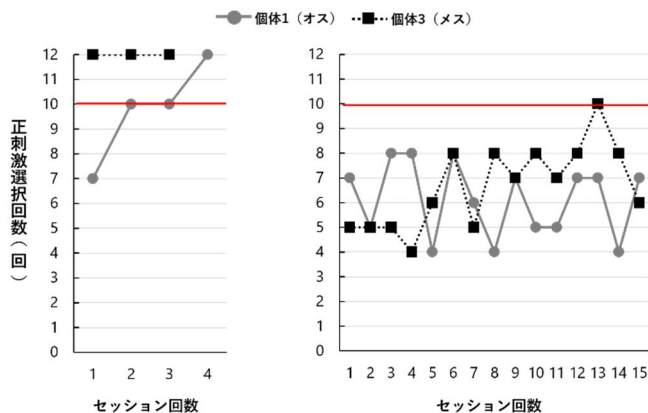


図4. 緑 (5G6/8) と黄 (5Y6/8) の弁別

図5. 緑 (5G6/8) と赤 (5R6/8) の弁別

日中は容易に識別できた青色と黄色の組み合わせを、日没後の薄明期にオス 1 頭を用いて弁別実験を実施した。その結果、9 セッション経過しても青色と黄色を識別することはできなかった（図 6）。よって照度の低下がエゾシカの色識別能力に影響を及ぼすことが示唆された。しかし、供試できた個体が 1 個体のみだったので、供試個体を増やして実験する必要がある。

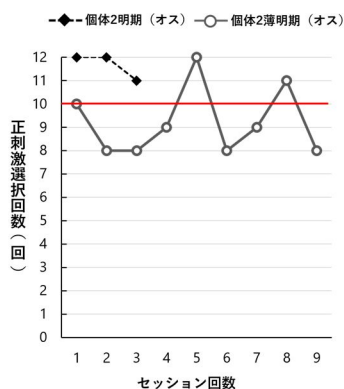


図6. 薄明期における青 (5B6/8) と黄 (5Y6/8) の弁別

(2) エゾシカにおける混同色線の作製

(1) の弁別実験の結果を基に、エゾシカが識別することのできなかった色の組み合わせを、ヒトでも用いられているマンセルカラーチャート上に、赤線で配置した(図7)。黒い点線で示したヒトの1型2色覚の混同色線と類似しているものの、完全に一致はしなかった。本研究からは、ヒトのような細かい混同色線をプロットすることはできなかった。シカはヒトの1型2色覚と比べて細かい色の違いが弁別できない可能性が示唆された。

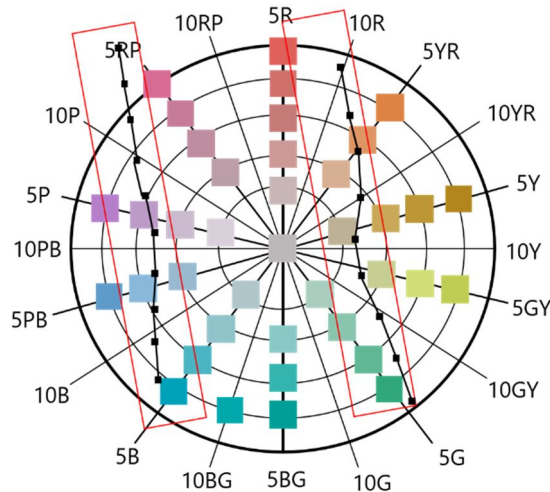


図7. 推定されるエゾシカの混同色の範囲
 明度V=6
 エゾシカが識別できない色の範囲を赤枠で示す
 ヒトの1型2色覚の混同色線を黒線で示す

(3) エゾシカにおける色の認識性の調査

5色の水桶、および餌箱を使用し、エゾシカが何色を利用するのか調査した。緑の餌箱は実験の途中で破損したため、濃厚飼料の採食量調査には使用しなかった。

1日の飲水量ならびに乾草の採食量、2分間の濃厚飼料の採食量ともに色における有意な差はみられなかった(図8~10)。よって、先行研究で報告された馬とは異なり、特定の色が採食量や飲水量に及ぼす影響は観察されず、色そのものの誘因性やシカにとっての色の好みは確認できなかった。

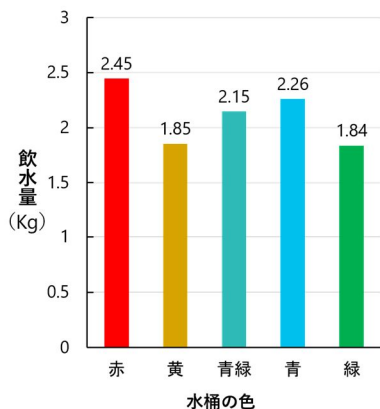


図8. 5色の水桶からの1日の平均飲水量

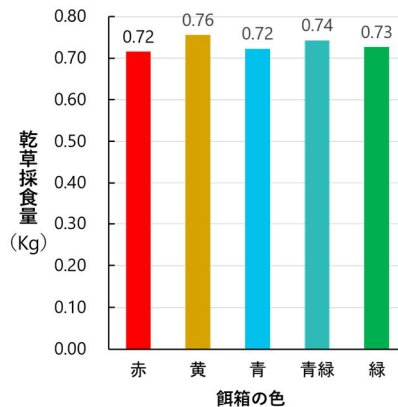


図9. 5色の餌箱からの1日の平均乾草採食量

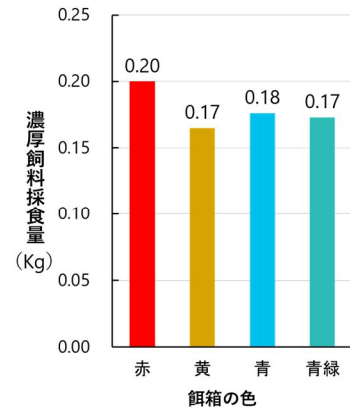


図10. 4色の餌箱からの2分間の平均濃厚飼料採食量

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Okubo Michiko, Sato Mizuho, Tamamura Wataru, Tsutsumi Saori, Morie Shinpei, Souma Kousaku	4. 巻 247
2. 論文標題 Discrimination between two chromatic colors in sika deer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Animal Behaviour Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.applanim.2021.105536	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 田内隼人・香取琴・安原大貴・大久保倫子・相馬幸作
2. 発表標題 混同色線を用いたエゾシカの色覚特性の推定
3. 学会等名 動物の行動と管理学会 2022年度研究発表会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------