

ニホンジカ(Cervus nippon)の色識別能力は2色覚のヒトと一致するか？

誌名	日本畜産學會報 = The Japanese journal of zootechnical science
ISSN	1346907X
著者名	中村,南美子 富永,輝 石井,大介 松元,里志 稲留,陽尉 塩谷,克典 赤井,克己 大島,一郎 中西,良孝 高山,耕二
発行元	Zootechnical Science Society of Japan
巻/号	92巻3号
巻号補足	
掲載ページ	p. 343-349
発行年月	2021年8月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



ニホンジカ (*Cervus nippon*) の色識別能力は 2 色覚のヒトと一致するか？

中村南美子¹・富永 輝²・石井大介²・松元里志²・稲留陽尉³・
塩谷克典³・赤井克己⁴・大島一郎⁵・中西良孝⁵・高山耕二⁵

¹ 鹿児島大学大学院連合農学研究科, 鹿児島市 890-0065

² 鹿児島大学農学部附属農場, 薩摩川内市 895-1402

³ 一般財団法人鹿児島県環境技術協会, 鹿児島市 891-0132

⁴ タイガー株式会社, 吹田市 565-0822

⁵ 鹿児島大学農学部, 鹿児島市 890-0065

(2021. 1. 22 受付, 2021. 5. 21 受理)

要 約 3 色覚であるヒトの色覚異常 (2 色覚) のうち, Protanopia (P), Deuteranopia (D) および Tritanopia (T) 型の場合にはそれぞれ赤と青緑, 赤紫と緑および青と緑の色が識別困難とされる. 本研究では生理学的に 2 色覚とされるニホンジカ (*Cervus nippon*; 以下, シカ) がこれらを識別可能か否かについてオペラント条件付けにより検証した. シカ 2 頭 (推定 3 歳: オス・メス各 1 頭) を試験に用いた. 1 セッションを 20 試行とし, 正刺激として提示した色パネルの選択率 80% 以上 (χ^2 検定, $P < 0.01$) が 3 セッション連続でみられた場合, シカは 2 つの色を識別可能と判定した. オスは 18, 5 および 3 セッション目, メスは 12, 14 および 4 セッション目でそれぞれの色の組み合わせを識別できた. 以上より, 供試したシカは P, D および T 型のヒトで区別し難い色の組み合わせをすべて識別可能であり, 行動学的手法によって導き出されたシカの色識別能力はヒトの 2 色覚と一致しないことが示された.

日本畜産学会報 92 (3), 343-349, 2021

キーワード: 色の識別能力, オペラント条件付け, 2 色覚, ニホンジカ, 野生鳥獣害

近年, ニホンジカ (*Cervus nippon*; 以下, シカ) の分布域の拡大と個体数増加に伴い, シカによる農林業被害が増加している (塩谷と松田 2015; 林野庁 2020; 農林水産省 2021). シカの個体数増加の背景には, 造林や草地造成などによる飼料資源の増加, 中山間地域の過疎化による林地や農地の利用率の低下, さらには狩猟者人口の減少による捕獲圧の低下など様々な要因が挙げられている (中央環境審議会 2014). 中でも, 草地については, そこで栽培される牧草のバイオマス量が極めて大きく, 侵入防止策が不十分な場合にはシカの個体数を増やす一因になることが指摘されている (高槻 2001). 実際, シカが草地を高密度で通年利用し (川村ら 2013; 中村ら 2019; 竹田ら 2019), それが牧草収量に甚大な影響を及ぼすことが明らかになっている (百瀬ら 2006; 亀井 2019). これに加えて, 最近では, 越境性動物疾病対策の観点から畜産バイオセキュリティの強化が求められており (津田 2012), 「飼養衛生管理基準」の中でも放牧家畜への接近・接触防止に向けた侵入防止策の構築が生産者の責務として位置付けられている (農林水産省 2020). シカについては, 口蹄疫への感染とその伝播リスクを孕んでおり (筒井と早山

2010), 草地への侵入防止策の構築は牧草の食害による“経済的な損失を防ぐ”だけでなく, “防疫”の面からみても極めて重要な課題になっている.

草地への野生動物の侵入防止策を検討する上で, 被害実態を明らかにすると同時に, 侵入防止の観点から加害獣の行動や生態を理解する必要がある (塚田 2019), その中でも, 柵や忌避剤などの認知に関わる感覚 (視覚, 聴覚および嗅覚など) と学習能力 (記憶や慣れなど) を解明することは極めて重要である. つまり, シカが草地の周囲に設置された金網柵や電気柵などを認識する際には, 感覚の中でも特に, 視覚が大きな役割を果たし, 柵への接近, 探索などその後続く行動が決定されるものと考えられる.

視覚, 特に色覚について, ヒトは基本的に分光感度が長波長から短波長域に位置する 3 種類の錐体細胞 (L, M および S 錐体) を持つ 3 色覚である (Hofmann と Palczewski 2015). それらの錐体細胞は長波長域 (約 560 nm), 中波長域 (約 530 nm) および短波長域 (約 420 nm) に最大感度を持ち, それぞれ L, M および S 錐体と呼ばれている (Jacobs 1983). 錐体細胞は約 400~700 nm の可視光線スペクトル内の光に対してそれぞれ異なる度合いで興

連絡者: 高山耕二 (e-mail: takayama@agri.kagoshima-u.ac.jp)

奮し、赤（長波長域）、緑（中波長域）および青（短波長域）の3色の混合割合が調節されることで様々な色を知覚することができる（HofmannとPalczewski 2015）。このことはYoung-Helmholtzの3色説（HurvichとJameson 1949）で提唱されているとおり、主要な3色（赤、緑および青）の適当な混合によって、あらゆる色を作り出せることを意味する。その一方で、L、MまたはS、いずれかの錐体細胞の機能が欠損することで、主要な3色（赤、緑および青）は識別できるものの、特定の色の組み合わせを識別できない場合がある（伊藤 2012；岡部と伊藤 2002b）。例えば、L錐体の機能が欠損している色覚タイプ（Protanopia：以下、P型）（市川 1982；伊藤 2012）においては、赤と青緑の識別が困難とされている（池田と中嶋 1982）。

シカの色覚については、同じシカ族（Cervini）に分類されるダマジカ（*Dama dama*）の網膜上に中波長域 542 nmと短波長域 454 nmにそれぞれ最大感度を持つM（緑）およびS（青）錐体が存在し、2色覚であることが生理学的な研究により明らかにされている（Jacobsら 1994）。これに対し、Takayamaら（2018）やNakamuraら（2018）は行動学的手法を用いることでシカがヒトの色覚における主要な有彩色である赤（色相、明度および彩度を 4.17R, 4.51/9.78 と示す。以下、同様）、緑（3.90G, 4.53/9.80）および青（3.16PB, 4.49/9.84）と無彩色である灰色（6.94B, 4.50/0.24）を明暗に関わらず区別するとともに、有彩色同士も識別できることを明らかにしている。しかしながら、これは必ずしもシカと3色覚であるヒトの色覚が一致することを示すものではない。シカの色覚に関する生理学的研究（Jacobら 1994）から考えると、シカの網膜上にはL錐体が存在せず、赤の知覚に関わる長波長域の分光感度が失われているという点から、その色識別能力はP型のヒトに類似している可能性がある。また、M錐体の機能が欠損しているDeutanopia（D型）においても、P型と同様に、赤～緑（長～中波長）の領域で識別し難い色の組み合わせがあることが知られている（岡部と

伊藤 2002b）。そのため、シカの色覚特性をより詳細に理解するには、生理学的な研究に加え、行動学的手法を用いた研究から色覚を導き出す必要がある。

そこで本研究では、シカの色覚解明に向けた基礎的知見を得ることを目的とし、ヒトにおけるP型に加え、D型およびS錐体の機能が欠損しているTritanopia（T型）で識別し難い色の組み合わせをシカに提示し、それらを識別できるか否かについてオペラント条件付けを用いることにより検討を行った。

材料および方法

本研究は2019年3月から同年10月にかけて、鹿児島市内の私有地に設けたシカ飼育舎内オペラント学習実験装置（縦600 cm×横400 cm×高さ230 cm）（以下、学習装置）で行われた（図1）。供試動物には、2016年10月に鹿児島大学農学部附属農場入来牧場（以下、入来牧場）で捕獲された（鳥獣の保護及び管理並びに狩猟の適正化に関する法律第9条第1項の規定による鳥獣捕獲許可、2016年10月鹿児島県より交付 第88号）推定年齢3歳のオス（以下、オスジカ）とメス（以下、メスジカ）のキュウシュウジカを各1頭用い、鹿児島大学動物実験指針に基づいて試験を行った。

学習装置には、赤外線カメラ3台（SC-701R；オーム電機、埼玉）とデジタルビデオカメラ1台（DCR-SX41またはSR300；SONY、東京）を設置し、シカが待機室（W）から出る状況、色パネル（P）を識別する状況、そして衝立の後方で飼料（F）を摂食する状況をそれぞれ観察・記録した（図2）。なお、学習装置内部の床は土で、壁は全面白色に統一された。供試した色紙の色相、明度および彩度は表1に示すとおりである。試験には、赤（4.9R, 5.0/8.1）、青緑（4.9BG, 5.0/8.0）、赤紫（5.4RP, 5.1/8.2）、緑（5.0G, 5.0/8.0）および青（4.7B, 5.0/8.1）の色紙がそれぞれ合板に貼り付けられた色パネル（75×52 cm）を用いた。色紙は日本色彩研究所（東京）で作製したものであり、いずれも無光沢とし、明度と彩度を統一した。な

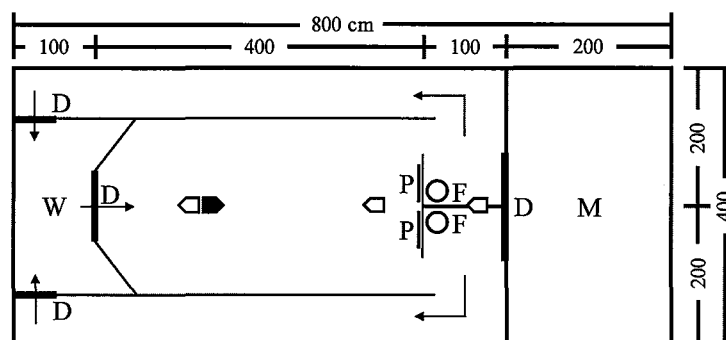


Figure 1 Schematic diagram of experimental enclosure.

W : Waiting room, D : Door, P : Color panel, F : Feed trough, → : Route for deer, M : Monitor room, ● : Digital video camera, ⊕ : Infrared camera

シカはヒトと同じ2色覚なのか？

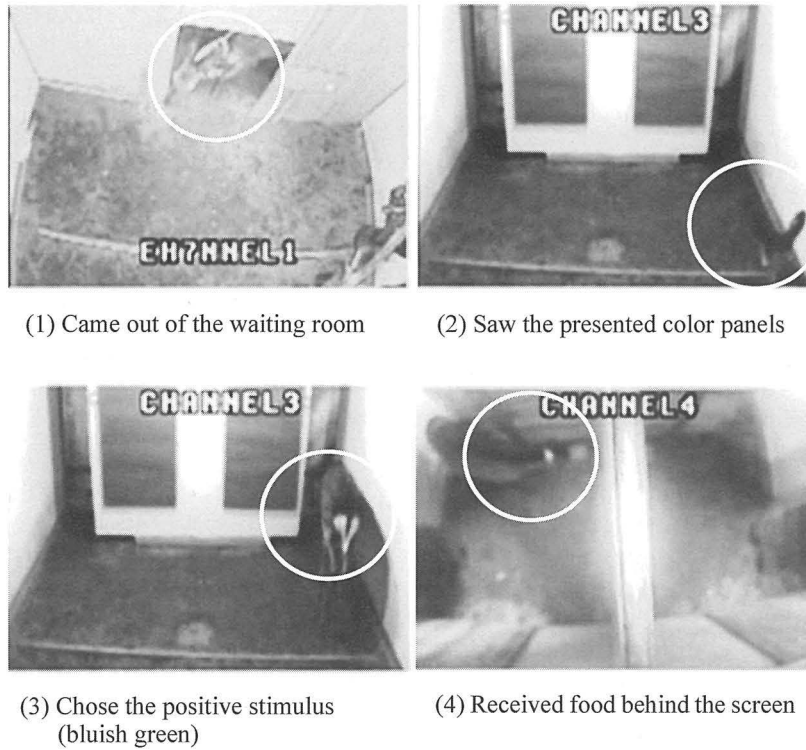


Figure 2 Sika deer in color discrimination test between bluish green (right side) and red (left side).

Table 1 Three pairs of colors corresponding to forms of dichromatism used in color discrimination tests for sika deer

Form of dichromatism	Color	Hue	Value	Chroma
Protanopia	Red	4.9R	5.0	8.1
	Bluish green	4.9BG	5.0	8.0
Deutanopia	Reddish purple	5.4RP	5.1	8.2
	Green	5.0G	5.0	8.0
Tritanopia	Blue	4.7B	5.0	8.1
	Green	5.0G	5.0	8.0

お、学習装置内では照明ランプを点灯させ、色パネル中央部の照度が 150~200 lux となるようにした。

試験に先立ち、供試シカに対してオペラント学習訓練を 2019 年 3 月 17 日から 5 月 29 日まで行った。訓練では、実験者が観察室 (M) から待機室前方のドアを上部に開くことにより、供試シカが待機室を出て、400 cm 先の T 字型衝立前方に掛けられた左右の色パネル (正刺激または負刺激) を選択し、正刺激の色パネルを選択した場合のみ衝立後方で報酬 (飼料) を得られるという、色パネルと飼料の関係を供試シカに連合学習させた。衝立より後方に供試シカの頭 (目) が入った時点で正または負刺激の選択を判定し、負刺激の色パネルを選択した後に自発的に待機室に戻らなかった場合には、強制的に待機室へ追い返し、正刺激側の飼槽に近付けないようにした。色パネルについては、Takayama ら (2018) が用いた青 (3.16PB, 4.49/9.84)

色パネルを正刺激、灰 (6.94B, 4.50/0.24) 色パネルを負刺激として訓練を行った。供試シカが待機室から出て、摂食後に再び待機室へ戻るまでを 1 試行とし、1 回の訓練ごとに試行数を徐々に増やしながら行った。1 セッションを 20 試行とし、1 セッション当たりの正刺激の選択率 (以下、正答率) 80% (χ^2 検定, $P < 0.01$) を基準値とした。そして、3 セッション連続で基準値以上に到達した時点で学習訓練を完了したと判断し、識別試験を実施した。なお、学習訓練において正答率が基準値に到達したセッションでの所要時間は 30~60 分であり、平均 40 分であった。識別時には、色パネルを目視した後、速やかに選択するあるいは待機室や学習装置内で時間を掛けて選択する状況が観察された。

識別試験は学習訓練と同様な手順で行われた。左右の色パネル後方の飼槽には、それぞれ市販のアルファルファペ

レットを原物で10g入れた。供試シカが正刺激を選択した場合を正解とし、衝立後方に飼槽の中に入れた一定量(10g)の飼料を摂食させた。一方、負刺激を選択した場合を不正解とし、衝立後方の飼槽には穴の開いた金網の蓋を被せて飼料を摂食できないようにするとともに、飼料の匂いの有無を手掛かりにパネルの選択が行われないようにした。なお、正刺激および負刺激の色パネルの左右交換は、サイコロによりランダムに行った。1セッションにおいて正刺激が右または左側で提示される確率は35~65%であり、最大で4試行連続で同じ位置(右または左側)で提示された。識別試験は1セッション20試行とし、1日1回連続した日に暴風時を除いて実施した。試験については、初めに赤と青緑(P型)、次に赤紫と緑(D型)、最後に青と緑(T型)の色の組み合わせを正刺激および負刺激として実施した(表1)。3通りの色の組み合わせにおいて、オスジカとメスジカでは正刺激および負刺激とする色パネルをそれぞれ逆に提示した。色識別については、1セッション当たりの正刺激の選択率(以下、正答率)80%(χ^2 検定, $P < 0.01$)を基準値とし、3セッション連続で基準値以上に到達することによりその供試色を識別できたと判定した。

結 果

オスジカにおける識別試験の結果は図3の上図に示すとおりであった。赤色パネルを正刺激、青緑色パネルを負刺激とした識別試験では、正答率は1セッション目から

15セッション目まで25~70%を推移し、基準値80%に到達しなかった。しかしながら、16セッション目では85%と基準値80%以上の値を示し、17および18セッション目ですれも80%と3セッション連続で同様な結果を示したことから、赤と青緑を識別できたと判定した。赤紫色パネルを正刺激、緑色パネルを負刺激とした識別試験では、正答率は1および2セッション目で60および65%と基準値80%に到達しなかった。しかしながら、3セッション目では85%と基準値80%以上の値を示し、4および5セッション目で85および90%と3セッション連続で同様の結果を示したことから、赤紫と緑を識別できたと判定した。青色パネルを正刺激、緑色パネルを負刺激とした識別試験では、正答率は1セッション目で80%と基準値80%に到達し、2および3セッション目ですれも85%と3セッション連続で同様の結果を示したことから、青と緑を識別できたと判定した。

メスジカにおける識別試験の結果は図3の下図に示すとおりであった。青緑色パネルを正刺激、赤色パネルを負刺激とした識別試験では、正答率は1セッション目から4セッション目まで60~75%を推移し、5セッション目で80%と基準値80%に到達したものの、6~9セッション目では35~75%を推移し、連続で基準値に到達しなかった。しかしながら、10セッション目で80%と基準値80%に到達し、11および12セッション目で90および85%と3セッション連続で同様な結果を示したことから、青緑と赤を識別できたと判定した。緑色パネルを正刺激、

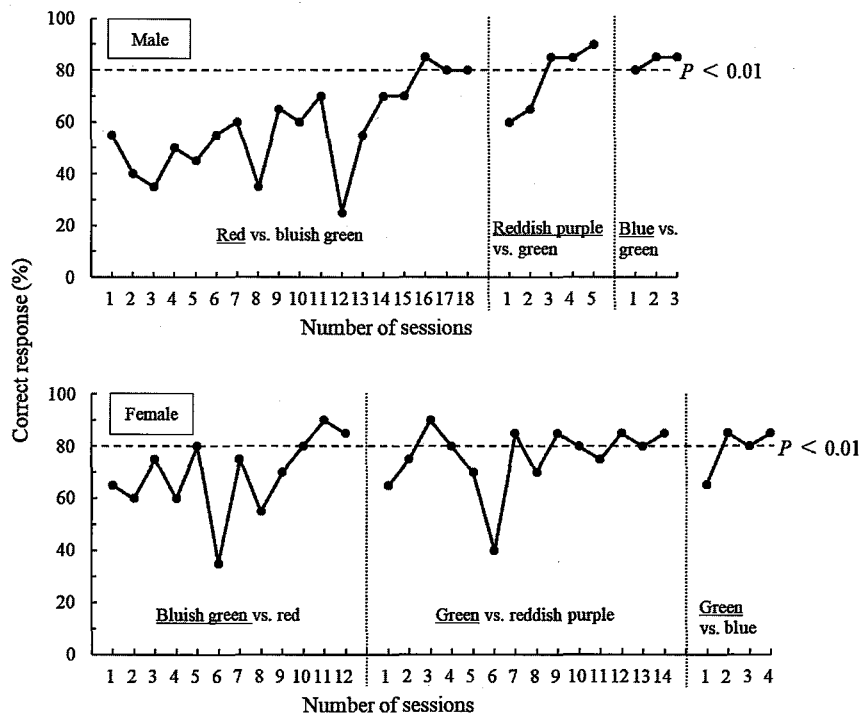


Figure 3 Correct response of sika deer in three pairs of color discrimination tests. Underlined color : positive stimulus

赤紫色パネルを負刺激とした識別試験では、正答率は1～11セッション目まで40～90%を推移したものの、3セッション連続で基準値80%に到達しなかった。しかしながら、12セッション目では85%と基準値80%以上の値を示し、13および14セッション目でいずれも80および85%と3セッション連続で同様の結果を示したことから、緑と赤紫を識別できたと判定した。緑色パネルを正刺激、青色パネルを負刺激とした識別試験では、正答率は1セッション目で65%と、基準値80%に到達しなかった。しかしながら、2セッション目では85%と基準値80%以上の値を示し、3および4セッション目で80および85%と3セッション連続で同様の結果を示したことから、緑と青を識別できたと判定した。

考 察

色覚とは、可視光線の各波長に応じて起こる感覚のことを言い(仁田 1977)、ヒトを含む多くの動物は特定の領域の電磁波を光として認識し(岡部と伊藤 2002a)、光を色情報に変換している(池田 2015)。光の受容には、網膜上の視細胞である桿体と錐体が関与しており、桿体は主に暗所で働き、光に対する感度が非常に高く、錐体は主に明所で働き、種々の色を認識する役割を担う(仁田 1977)。

ヒトは基本的に分光感度が長波長から短波長域に位置する3種類の錐体細胞(L、MおよびS錐体)を持つ3色覚であり(HofmannとPalczewski 2015)、光に対して3種類の錐体細胞がそれぞれ異なる度合いで興奮し、その反応により生じた差を検出することで波長の異なった色を区別できるとされる(岡部と伊藤 2002a, b)。その一方で、いずれかの錐体細胞の機能が欠損した2色覚の場合、2種類の錐体細胞による反応度の比が同じようになってしまう波長域あるいは錐体細胞の最大感度を中心とした対称的な波長(色)同士においては、同じ色として知覚してしまうために識別できない、あるいは識別し難くなることが明らかにされている(岡部と伊藤 2002a, b)。2色覚の中でも、L錐体の機能が欠損しているP型では赤と青緑、M錐体の機能が欠損しているD型およびS錐体の機能が欠損しているT型では赤紫と緑および青と緑の識別がそれぞれ困難であることが知られている(池田と中嶋 1982)。

シカ科の色覚に関するJacobsら(1994)の報告では、ダマジカおよびオジロジカ(*Odocoileus virginianus*)の両者が中波長域(542および537 nm)と短波長域(454および456 nm)に最大感度を持つ錐体細胞(MおよびS錐体)を有することが示されており、L錐体の機能が欠損したヒトにおけるP型色覚に類似する可能性が高いと考えられる。しかしながら、本研究で供したシカはヒトにおけるDおよびT型で識別困難とされる赤紫と緑および青と緑の組み合わせに加え、P型で識別し難い赤と青緑をオスで18セッション、メスで12セッション要しながらも、いずれも識別した。

Jacobs(1983)は生理学的にみて2色覚に分類される動物間においても、分光感度が類似しているにもかかわらず、わずかな最大感度のずれが色の知覚の違いにつながることを示唆している。本研究で用いたシカはダマジカと同じシカ族に属しており、両者の錐体細胞の分光感度が同様である可能性が高く、MおよびS錐体の最大感度は542および454 nmであり(Jacobsら 1994)、ヒトでの約530および420 nmよりもそれぞれ12および34 nmだけ長波長寄りの数値を示す。このことはL錐体の機能が欠損しているヒトとシカにおいても、同じ波長の光をそれぞれ別な色として知覚していることを意味する。つまり、本研究に供したシカはヒトにおけるP型で識別し難い色の組み合わせを別な色の組み合わせとして知覚し、その違いを見分けたものと推察された。

その一方で、本研究において、シカはP型で識別し難い赤と青緑をオスで18セッション、メスで12セッションと他の色の識別と比べても多くのセッション数を要し、特に赤を正刺激としたオスでその数が多かった。3色覚であるヒトでは、L錐体との関わりが深い赤は他の色よりも目立ち、そして識別し易い色とされるものの、2色覚の場合ではむしろ目立たず、他の色と識別し難いことが知られている(伊藤 2012)。Nakamuraら(2018)はオペラント学習装置を用いて主要な3色(赤、緑および青)に対するシカの色識別能力を検討した際、オスおよびメスともに赤を正刺激として提示した場合で他の色の組み合わせよりも識別の可否を判定するまでに多くのセッション数を要したと報告している。本研究での赤と青緑の識別試験に先立って実施された学習訓練では、有彩色である青を正刺激、無彩色である灰色を負刺激として提示し、有彩色を選択した際に報酬(飼料)を得られることをシカに連合学習させていた。L錐体が存在しないシカについてもヒトの2色覚(P型)同様に赤を暗い色として知覚すると考えると、正刺激として提示された赤を試験当初は負刺激(無彩色)として認識した可能性が高い。つまり、学習訓練において連合学習した内容を修正するのに時間を要し、その結果、多くのセッション数を要したものと推察された。

ウシ(*Bos taurus*)やヒツジ(*Ovis aries*)については、生理学的にはM(緑)錐体を持たない2色覚であるにもかかわらず(Jacobs 2009)、有彩色(赤、緑および青)と無彩色(灰色)を識別できることが明らかにされており(萬田ら 1989; Tanakaら 1989)、乳牛(植竹 1991)においては本研究のシカと同様な研究結果が得られている。しかしながら、ウシおよびヒツジにおける2つの錐体細胞の最大感度はそれぞれ552～555 nm(長波長域)および445～451 nm(短波長域)を示す(Jacobsら 1998)のに対し、ダマジカではそれぞれ542および454 nmと、特に、中～短波長域における分光感度が高いことが知られている(Jacobsら 1994)。このことは、シカは長波長域の光を色として知覚し難いことを示す一方で、緑～青付近

における色の識別能力に優れることを意味するものである。そのため、緑と赤を混ぜ合わせることで作り出される色同士（例えば、橙と黄または黄と黄緑）を識別し難く、青や緑と色相の類似した色同士については識別し易い可能性がある。今後、牧草（黄緑や緑）との間で識別し易い色や識別し難い色を詳細に追究すれば、電気柵の電線色を決める際など、草地でシカにとって視認し易い侵入防止柵を選定もしくは考案していく上で応用できると考えられた。

以上より、供試したシカはP、DおよびT型のヒトで区別し難い色の組み合わせをすべて識別可能であり、行動学的手法によって導き出されたシカの色識別能力はヒトの2色覚と一致しないことが示された。

謝 辞

すべての共同著者には、本研究を筆頭著者の博士（農学）学位論文の一部とすることで承諾頂いた。研究にご協力頂いた皆様に感謝申し上げます。

文 献

- 中央環境審議会. 2014. 鳥獣の保護及び狩猟の適正化につき講ずべき措置について 答申 [homepage on the Internet]. 環境省, 東京; [cited 12 November 2020]. Available from URL : <http://www.env.go.jp/press/files/jp/23818.pdf>
- Hofmann L, Palczewski K. 2015. Advances in understanding the molecular basis of the first step in color vision. *Progress in Retinal and Eye Research* **49**, 45-66.
- Hurvich LM, Jameson D. 1949. Helmholtz and the three-color theory : an historical note. *The American Journal of Psychology* **62**, 111-114.
- 市川一夫. 1982. 色覚異常, 色覚異常の遺伝. In : 三島濟一, 塚原 勇, 植村恭夫 (編), 眼科 Mook No. 16. pp. 161-170. 金原出版, 東京.
- 池田光男. 2015. 眼はなにを見ているか. 平凡社, 東京.
- 池田光男, 中島芳雄. 1982. 色覚異常, 色覚のメカニズムと色覚異常. In : 三島濟一, 塚原 勇, 植村恭夫 (編), 眼科 Mook No. 16. pp. 78-87. 金原出版, 東京.
- 伊藤 啓. 2012. カラーユニバーサルデザイン 色覚バリアフリーを目指して. *情報管理* **55**, 307-317.
- Jacobs GH. 1983. Colour vision in animals. *Endeavour* **7**, 137-140.
- Jacobs GH. 2009. Evolution of colour vision in mammals. *Philosophical Transactions of the Royal Society Bulletin* **364**, 2957-2967.
- Jacobs GH, Deegan JF, Neitz J. 1998. Photopigment basis for dichromatic color in cows, goats, and sheep. *Visual Neuroscience* **15**, 581-584.
- Jacobs GH, Deegan JF, Neitz J, Murphy BP, Miller KB, Marchinton LR. 1994. Electrophysiological measurements of spectral mechanisms in the retinas of two cervids : white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) and fallow deer (*Dama dama*). *Journal of Comparative Physiology A* **174**, 551-557.
- 亀井利活. 2019. 北海道におけるエゾシカ (*Cervus nippon yesoensis*) とヒグマ (*Ursus arctos*) による草地・飼料作物への食害の現状と今後の課題. *日本草地学会誌* **65**, 35-43.
- 川村貴志, 幸田良介, 立澤史郎. 2013. ヤクシカの牧場利用と利用個体の密度に影響する要因の把握. *哺乳類科学* **53**, 345-350.
- 萬田正治, 奥 芳浩, 足達明広, 久保三幸, 黒肥地一郎. 1989. 牛の色覚に関する行動学的研究. *日本畜産学会報* **60**, 521-528.
- 百瀬義男, 中山利明, 水流正裕, 渡辺晴彦, 岡田充弘, 小山泰弘, 山内仁人. 2006. ニホンジカは春に牧草地へ侵入し1番草へ大きな被害を与える [homepage on the Internet]. 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センター, 茨城; [cited 12 November 2020]. Available from URL : http://www.naro.affrc.go.jp/org/narc/seika/kanto17/04/17_04_52.html
- 中村南美子, 園田 正, 末野結実, 富永 輝, 柳田大輝, 石井大介, 飯盛 葵, 松元里志, 片平清美, 稲留陽尉, 塩谷克典, 赤井克己, 大島一郎, 中西良孝, 高山耕二. 2019. 牧場草地へのキュウシュウジカ侵入の日内, 季節ならびに年次変動. 鹿児島大学農学部農場研究報告 **40**, 13-18.
- Nakamura N, Tominaga A, Ishii D, Yanagita D, Isakari A, Matsumoto S, Katahira K, Inadome T, Shioya K, Akai K, Oshima I, Nakanishi Y, Takayama K. 2018. Color vision in sika deer (*Cervus nippon*) : color discrimination between the three primary colors (red, green, and blue) under light and dark conditions. *Animal Behaviour and Management* **54**, 158-164.
- 仁田正雄. 1977. 眼科学. 改訂版2版. 文光堂, 東京.
- 農林水産省. 2020. 『飼養衛生管理基準について』 [homepage on the Internet]. 農林水産省, 東京; [cited 12 November 2020]. Available from URL : https://www.maff.go.jp/j/syouan/douei/katiku_yobo/k_shiyou/
- 農林水産省. 2021. 鳥獣被害の現状と対策 [homepage on the Internet]. 農林水産省, 東京; [cited 9 May 2021]. Available from <https://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/attach/pdf/index-384.pdf>
- 岡部雅隆, 伊藤 啓. 2002a. 色覚の多様性と色覚バリアフリーなプレゼンテーション第1回 色覚の原理と色盲のメカニズム. *細胞工学* **21**, 733-745.
- 岡部雅隆, 伊藤 啓. 2002b. 色覚の多様性と色覚バリアフリーなプレゼンテーション第2回 色覚が変化すると, どのように色が見えるのか? *細胞工学* **21**, 909-930.
- 林野庁. 2020. 令和元年度 シカ被害対策普及加速事業報告書 [homepage on the Internet]. 林野庁, 東京; [cited 9 May 2021]. Available from URL : <https://www.rinya.maff.go.jp/j/hogo/higai/attach/pdf/tyouju-79.pdf>
- 塩谷克典, 松田裕之. 2015. 世界遺産屋久島におけるシカ管理計画 (特集 激増するシカ : 今, 日本の森林で何が起きているか). *日本の科学者* **50**, 474-479.
- 高槻成紀. 2001. シカと牧草—保全生態的な意味について—. *保全生態学研究* **6**, 45-54.
- Takayama K, Nakamura N, Sonoda A, Tominaga A, Ishii D, Yanagita D, Isakari A, Matsumoto S, Katahira K, Oshima I, Nakanishi Y, Inadome T, Shioya K, Akai K. 2018. Color vision in sika deer (*Cervus nippon*) : color discrimination between three colors (red, green, and blue) and gray. *Animal Behaviour and Management* **54**, 134-141.
- 竹田謙一, 遠山 育, 都築智佳, 亀井利活. 2019. ニホンジカ (*Cervus nippon*) による牧草地の利用実態と捕獲場所としての牧草地の活用. *日本草地学会誌* **65**, 55-63.
- Tanaka T, Asakawa K, Kawahara Y, Tanida H, Yoshimoto

- T. 1989. Color discrimination in sheep. *Japanese Journal of Livestock Management* **24**, 89-95.
- 筒井俊之, 早山陽子. 2010. 2010年に宮崎県で発生した口蹄疫について; 2000年の発生との比較から. *獣医疫学雑誌* **14**, 148-153.
- 津田知幸. 2012. 畜産におけるバイオセキュリティ. *日本暖地畜産学会報* **55**, 93-99.
- 植竹勝治. 1991. 牛の行動による色覚検査. *日本家畜管理研究会誌* **27**, 57-63.
- 塚田英晴. 2019. 草地・飼料作における獣害の実態と被害対策に向けての展望. *日本草地学会誌* **65**, 33-34.

Does the color discrimination capability of sika deer (*Cervus nippon*) correspond with dichromatism in humans?

Namiko NAKAMURA¹, Akira TOMINAGA², Daisuke ISHII², Satoshi MATSUMOTO²,
Takayasu INADOME³, Katsunori SHIOYA³, Katsumi AKAI⁴, Ichiro OSHIMA⁵,
Yoshitaka NAKANISHI⁵ and Koji TAKAYAMA⁵

¹ The United Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University, Kagoshima 890-0065, Japan

² Experimental Farm, Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Satsumasendai 895-1402, Japan

³ The Foundation of Kagoshima Environmental Research and Service, Kagoshima 891-0132, Japan

⁴ Tiger MFG Co. LTD., Suita 565-0822, Japan

⁵ Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Kagoshima 890-0065, Japan

Corresponding : Koji TAKAYAMA (e-mail : takayama@agri.kagoshima-u.ac.jp)

In this study, we used behavioral techniques to determine whether the sika deer (*Cervus nippon*) is dichromatic. In discrimination tests, we exposed two sika deer (male and female) to three pairs of colors (red vs. bluish green, reddish purple vs. green, and blue vs. green), which are difficult to discriminate, to represent the three forms of dichromatism (protanopia, deuteranopia and tritanopia) observed in humans. For each color combination, sika deer were simultaneously presented with pairs of color cards in an operant conditioning room, with each session consisting of 20 trials. For each test, the criterion used to define successful discrimination was to make 16 or more choices for color cards presented as positive stimuli out of 20 trials for three sessions in a row ($P < 0.01$, Chi-square test). In discrimination tests for each of the three pairs of colors, sika deer fulfilled the discrimination criterion in the 18th, 5th and 3th sessions in the male, and the 12th, 14th and 4th sessions in the female, respectively. In conclusion, from a behavioral perspective, it was suggested that the color discrimination capability of sika deer does not correspond with dichromatism in humans.

Nihon Chikusan Gakkaiho 92 (3), 343-349, 2021

Key words : animal injury, color discrimination, dichromatic, operant conditioning, sika deer.