

シカの視覚特性を利用した草地への
侵入防止に関する研究

中村 南美子

2023

目 次

	頁
第1章 緒 論	1
第2章 草地におけるシカの侵入および被害実態	
緒 言	3
材料および方法	3
結果および考察	7
要 約	21
第3章 電気柵設置による草地へのシカ侵入防止効果	
緒 言	22
材料および方法	22
結果および考察	25
要 約	38
第4章 電気柵の認識に関わるシカの視覚	
緒 言	39
第1節 行動学的手法を用いたシカの色覚検査	
目 的	41
材料および方法	41
結 果	51
考 察	58
第2節 ランドルト環を用いたシカの視力測定	
目 的	67
材料および方法	67
結 果	72
考 察	76
第3節 要 約	78

第5章 電気柵を用いたシカ侵入防止

緒言	79
第1節 非通電状態の電気柵の放置はシカの通り抜けを助長する？	
目的	80
材料および方法	80
結果および考察	82
第2節 電気柵への通電の有無がシカの侵入防止効果に及ぼす影響	
目的	88
材料および方法	88
結果	92
考察	97
第3節 要約	100

第6章 電気柵と物理柵の併用によるシカ侵入防止

緒言	101
第1節 キュウシュウジカの発育と跳躍力	
目的	102
材料および方法	102
結果および考察	103
第2節 障害物の認識に関わるシカの前方視野	
目的	117
材料および方法	117
結果	125
考察	131
第3節 電気柵へのシカ通り抜け防止効果向上のためにネット柵の併用は有効か？	
目的	135
材料および方法	135
結果	139
考察	149

第4節 電気およびネット併用柵設置による草地へのシカ侵入防止効果

目 的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 151

材料および方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 151

結果および考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 154

第5節 要 約・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 162

第7章 総合考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 164

摘 要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 168

謝 辞・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 171

引用文献・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 172

第1章 緒論

農林水産省は農業の生産力向上と持続性の両立をめざす『みどりの食料システム戦略』を策定し、その中で、2050年までに耕地面積に占める有機農業の取り組みを25%、100万haに拡大することなどを目標に掲げている（農林水産省 2021a）。しかしながら、生産現場では農業従事者の高齢化が進み、これに伴う農業者人口の減少や耕作放棄地の増加が進んだ結果、中山間地域を中心に野生鳥獣による農作物被害が深刻化している（三浦 2008, 祖田 2016, 環境省 2021）。2019年度におけるわが国の野生鳥獣による農作物の被害金額は158億円に上り、獣類ではニホンジカ（*Cervus nippon*：以下、シカ）による被害金額が最も大きく、次いでイノシシ（*Sus scrofa*）およびニホンザル（*Macaca fuscata*）が挙げられ、鳥類ではカラス（*Corvus macrorhynchos*, *Corvus corone*）による被害が最も大きく、次いでヒヨドリ（*Hypsipetes amaurotis*）およびカモ（*Anas platyrhynchos*）が挙げられている（農林水産省 2020c）。野生鳥獣による農作物被害は、被害額として数字に表れる以上に、農業従事者の生産意欲減退や耕作放棄・離農の増加など深刻な影響を及ぼしており（農林水産省 2021b）、農地への野生鳥獣の侵入防止技術の確立は中山間地域の農業振興を進める観点からも緊要な課題となっている。

一方、畜産分野においても、草地でのシカによる牧草の盗食、畜舎でのイノシシやカラスによる穀物飼料の盗食が大きな問題になっている（高山と中村 2020）。これに加えて、草地や畜舎への野生動物の侵入は飼料の盗食による経済的な損失だけでなく、野生動物と家畜の接触による鳥インフルエンザ、豚熱、および口蹄疫といった越境性動物疾病の伝播という“防疫面でのリスク”が懸念されている（津田 2012）。高山ら（2017a, 2017b）は畜舎に侵入するイノシシやカラスに対して、前者については電気柵、後者については音声を利用することでその侵入を防げることを示している。

しかしながら、シカの草地への侵入実態と飼料作物の採食被害は明らかでない。また、シカ侵入防止策として物理柵と電気柵の設置が考えられるものの、いずれの柵も管理が不十分な場合には時間の経過とともに侵入防止効果が低下することが知られており、物理柵では柵の基部に生じた隙間、電気柵では架線間を通り抜けることでシカが侵入することが明らかにされている（高山 2008a, 高山ら 2017c）。シカは環境内を移動する際に視覚を利用するといわれており（VerCauteren と Pipas 2003）、侵入防止柵に接近したシカについてもその視覚により柵を認識すると考えられるものの、実際にどのように柵の高さ、奥行きや色などの情報を捉えているのかは明らかでなく、柵の仕様がその後続く行動反応へ与える影響についても定かでない。

本研究では、草地へのシカ侵入防止技術の開発に向けて、草地におけるシカ害の現状を把握した上で、柵の認識に最も重要な役割を果たすと考えられるシカの視覚特性について行動学的手法を用いて明らかにし、それを利用した侵入防止に関する研究を行った。すなわち、第2章で草地におけるシカの侵入と被害の現状、第3章で電気柵設置によるシカ侵入防止効果とその課題を明らかにした。続いて、第4章では電気柵の認識に関わるシカの視覚、特に色覚と視力をオペラント条件付けにより検討した。その一方で、第5章では電気柵設置によるシカ侵入防止効果の低下の原因はヒトによる柵の管理不足（ヒューマンエラー）であるとの仮説を立て、電気柵の通電の有無がシカの忌避反応に及ぼす影響を経時的に示し、通り抜けによる侵入の対策を検討した。これらの結果を踏まえ、第6章では改良型のシカ侵入防止柵として電気柵と物理柵の併用を考案し、提示された障害物（架線およびネット柵）に対するシカの行動反応から併用柵の適切な設置方法を検討するとともに、その侵入防止効果を長期に亘って調査した。最後に、第7章では併用柵による草地でのシカ侵入防止について、物理柵または電気柵単体での侵入防止効果、コストおよび維持管理の面から比較し、総合的に評価した。

なお、本研究における試験はすべて鹿児島大学動物実験指針に基づいて実施され、飼育シカについては学術目的による捕獲許可を得て捕獲された個体が用いられた。

第2章 草地におけるシカの侵入および被害実態

緒 言

近年、ニホンシジカ (*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 (農林水産省 2021b, 林野庁 2020, 塩谷と松田 2015). 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). なかでも, 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, 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 (亀井 2019, 百瀬ら 2006) .

鹿児島大学農学部附属農場入来牧場 (以下, 入来牧場) は鹿児島県薩摩川内市の山間部に位置し, そこでは黒毛和種の繁殖・肥育一貫生産を主体とした教育・研究が行われている. 入来牧場においても, 多数のキュウシュウジカ (*C. n. nippon*) が草地に侵入し (図 2-1), 自給飼料であるイタリアンライグラス (*Lolium multiflorum* Lam.) の生産に甚大な被害をもたらしていることが指摘されている (高山ら 2008a, 高山ら 2017c, 吉田ら 2012).

牧場草地へのシカの侵入について, 本州では草地周辺の飼料資源 (林床植物など) が減少する冬季にホンシュウジカ (*C. n. centralis*) の侵入が増加することが明らかにされている (Kamei ら 2010, 高槻 2001). 温暖な気候条件である屋久島では, 冬季でも林床の飼料資源が減少しないことから, ヤクシカ (*C. n. yakushimae*) による草地への侵入に季節変化がみられないことが報告されている (川村ら 2013). 一方, 本州と屋久島の間に挟まれた九州に生息するキュウシュウジカの牧場草地への侵入についての詳細は, まだ明らかにされていない.

そこで, 本章では草地におけるシカ侵入防止に向けた基礎的知見を得ることを目的とし, 九州における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について検討するとともに, キュウシュウジカ侵入による牧草の採食被害実態を明らかにした.

材料および方法

試験期間および試験地

本試験は入来牧場で行われた. 入来牧場は鹿児島県薩摩川内市の山間部に位置し (標高約 500 m : 31° 45' N, 130° 26' E), 黒毛和種の繁殖・肥育一貫生産を主体とした教育・研究



図 2-1. 入来牧場に侵入したキュウシュウジカの群れ（2015/5/28）

が行われている。牧場は 150 ha の面積を有しており、その大半を占める林地 (90 ha) や野草地 (20 ha) では繁殖牛の放牧が行われ、約 35 ha の人工草地では貯蔵飼料 (サイレージ) の生産を目的とし、夏草として飼料用栽培ヒエ (*Echinochoa utilis* Ohwi et Yabuno : 以下, ヒエ), 冬草としてイタリアンライグラスがそれぞれ栽培され、収穫時にはサイレージ調製が行われている。

調査項目

1. 入来牧場へのキュウシュウジカ侵入の季節および年次変動

ライトセンサスによる調査を 2009 年 6 月～2010 年 5 月, 2017 年 6 月～2018 年 5 月にかけて月に 1 回, 計 24 回実施した。日没前後 (17:30～20:00) に予め設定した入来牧場内の調査ルート (約 3 km) を自動車あるいは徒歩で移動し、草地ならびにその周辺で確認されたキュウシュウジカの頭数をカウントした。得られたデータは、上記と同様な方法で調査した 2005 年 6 月～2006 年 5 月 (高山ら 2008a) および 2014 年 6 月～2015 年 5 月 (高山ら 2017c) のデータとともに、季節 (夏: 6～8 月, 秋: 9～11 月, 冬: 12 月～翌年 2 月, 春: 3～5 月) と年次 (2005 年～2018 年のうち, 4 年間) を因子とする繰り返しのある二元配置分散分析を行った。

2. 入来牧場内採草地へのキュウシュウジカ侵入の日内変動および採食被害状況

入来牧場内の採草地 (2 ha) (図 2-2) にセンサーカメラ (SG560-12mHD, BMC 社製: 以下, カメラ) 3 台を設置し、キュウシュウジカおよび他の野生哺乳類の撮影頻度を 2017 年 6 月 6 日～2018 年 5 月 15 日にかけて調査した。ただし、2017 年の 8 月 30 日～10 月 10 日にかけては、飼料用栽培ヒエの収穫とイタリアンライグラスの播種作業のため、一時的 (41 日間) に草地内のカメラを撤去した。カメラについては、同一個体の重複撮影による過大評価を出来るだけ避けるため、撮影後に 30 分間の休止期間があるインターバル撮影を行った (關ら 2015)。センサーは 30 m 先まで検知可能とされ、カメラの画角は 60° であり、感度については中レベルに設定した。キュウシュウジカについては、個体数推定法の 1 つである RAI (Relative abundance index) の算出方法 (關ら 2015) を参考にして、撮影した画像から夏 (6～8 月), 秋 (9～11 月), 冬 (12 月～翌年 2 月) および春 (3～5 月) における各時刻での撮影頻度を求め、これを季節毎の総撮影頻度で除して、各時刻でのキュウシュウジカの撮影頻度割合を算出した。3 台のカメラから得られた撮影頻度割合については、対数変換を行った (Martin と Bateson 1990)。そして、日中 (6～17 時) と夜間 (18 時～翌朝 5 時) の 2 つの時間帯と季節を因子と



図 2-2. 試験地の概略

⇨: センサーカメラ（静止画撮影用） □: プロテクトケージ

する繰り返しのある二元配置分散分析を行った。なお、供試した採草地には、キュウシュウジカの侵入防止柵（物理的防護柵や電気柵）の設置は行わなかった。

キュウシュウジカによる牧草の採食被害状況を把握するために草地内にキュウシュウジカが侵入して牧草を採食できないプロテクトケージ（1.5×1.5 m；以下、ケージ）（図 2-3）を 3 ヶ所設置し、ケージ内（各ケージ 1 ヶ所、n=3）および処理区内（n=20）の草高をヒエでは播種後 60 日前後、イタリアンライグラスでは播種後 200 日前後にそれぞれ測定した。また、牧草の収穫時には、0.5×0.5 m のコドラートをケージ内（各ケージ 1 ヶ所、n=3）ならびに処理区内（n=10）に置き、枠内の牧草を地際で刈り取り、60℃で 48 時間通風乾燥した後、乾物重量を測定した。

得られたデータについては、ケージ内と処理区内の牧草の草高と乾物収量を t 検定により比較した。

結果および考察

ライトセンサスによって明らかにした入来牧場へのキュウシュウジカ侵入の季節および年次変動を図 2-4 に示した。2005～2006 年における平均侵入頭数は 58 頭/日であり、2009～2010 年、2014～2015 年および 2017～2018 年ではそれぞれ 72、177 および 205 頭/日であった。キュウシュウジカ侵入頭数に対する分散分析の結果、季節変動はみられなかったものの、有意な年次変動が認められた（ $P<0.01$ ）（表 2-1）。また、季節と年次による交互作用は認められなかった。

Kamei ら（2010）および塚田（2012）はホンシュウジカが放牧地を採食場所として利用していることを明らかにしており、川村ら（2013）は 420 頭/km²と極めて高い密度でのヤクシカによる牧場草地への侵入がみられたと報告している。本試験でも、2014～2015 年と 2017～2018 年には多数のキュウシュウジカによる牧場草地への侵入が確認され、その数は 2005～2006 年および 2009～2010 年に比べて大幅に増加していることが明らかになった。

川村ら（2013）はヤクシカについて、年間を通して牧場草地への侵入が確認され、季節変動がみられなかったと報告している。一方、ホンシュウジカでは明確な季節変動がみられ、林床植物などが減少する冬季に侵入が増加することが明らかにされている（Kamei ら 2010, 高槻 2001）。本試験では、入来牧場へのキュウシュウジカの侵入が年間を通して多数確認され、ヤクシカ（川村ら 2013）同様に季節変動がみられなかった。本州と異なり、屋久島や南九州地域では年間を通してほとんど降雪がみられず、冬季に林床植物などの飼料資源が少なから



図 2-3. 草地内に設置したプロテクトケージ (1.5×1.5 m)

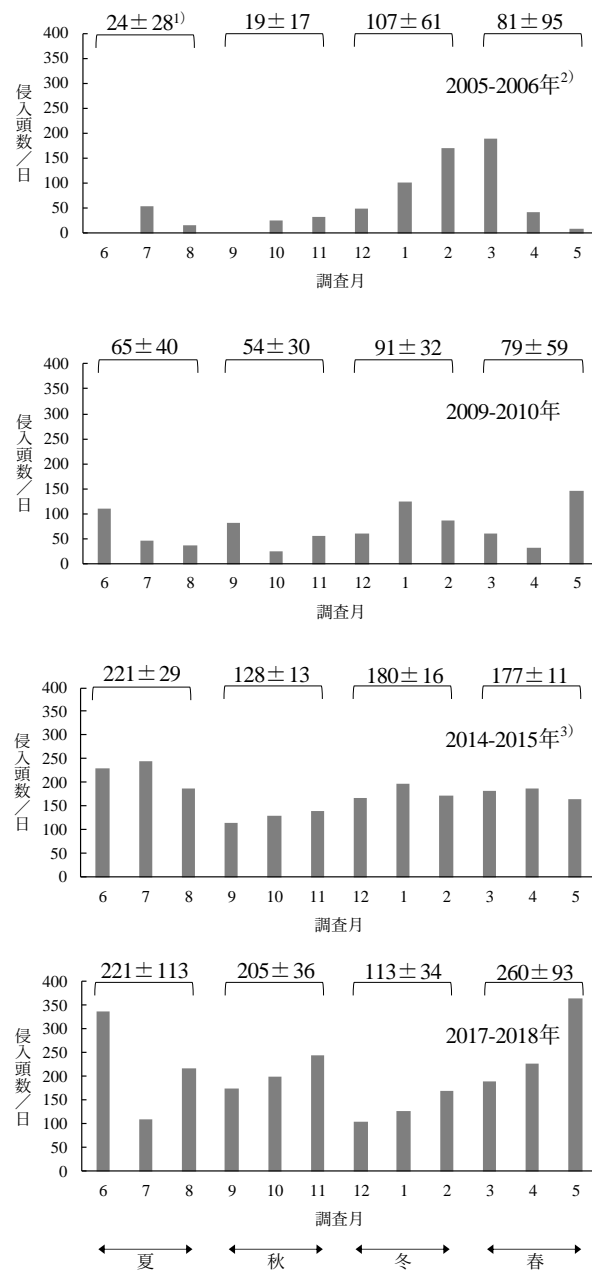


図 2-4. 入来牧場におけるキュウシュウジカ侵入頭数の季節および年次変動

- ¹⁾ 数値は各季節（3 ヶ月間）におけるキュウシュウジカ侵入頭数 の平均値±標準偏差（n=3）を示す.
- ²⁾ 高山ら（2008a）を一部改変.
- ³⁾ 高山ら（2017c）を一部改変.

表 2-1. キュウシュウジカ侵入頭数に対し，季節と年次を因子とする繰り返しのある二元配置分散分析表

要 因	自由度	平方和	平均平方	F 値
季節 (A)	3	13982.3	4660.8	1.6
年次 (B)	3	196170.3	65390.1	22.7 **
交互作用 (A×B)	9	43228.0	4803.1	1.7
誤 差	32	92024.7		

**P<0.01

ず維持されると推察されるものの、本試験ではキュウシュウジカが草地を餌場として利用し、これに強く依存する形で生活している可能性が示唆された。

2017年6月～2018年5月の1年間、カメラによって採草地で撮影された野生哺乳類を表2-2に示した。カメラ3台の設置期間は302日間であったが、カメラ②については8日間動作不良で撮影出来なかったため、稼働日数は294日となった。カメラ3台で1,100～1,500の静止画像が得られ、撮影された動物種ではキュウシュウジカが2,700～3,400頭と最も多く、その他にニホンイノシシ (*Sus scrofa leucomystax*)、ニホンアナグマ (*Meles anakuma*)、ホンダタヌキ (*Nyctereutes procyonoides viverrinus*)、そしてホンドキツネ (*Vulpes Vulpes japonica*) が観察された(図2-5)。塚田ら(2006)は栃木県内の放牧地にカメラを設置したところ、12種の哺乳類が撮影され、本試験では確認されなかったノウサギ (*Lepus brachyurus*) が最も多く、次いでキツネ、ホンシュウジカの順であったと報告している。本試験では撮影された哺乳類は5種類と少なく、撮影された静止画像のほとんどがキュウシュウジカで占められていた。上田ら(2008)はシカ以外にもニホンイノシシが牧場草地に侵入し、特に冬～春にかけて牧草の食害が甚大であることを明らかにしている。本試験でも6～7月にニホンイノシシの侵入が確認されたものの、牧草の採食は認められず、むしろルーティングによる地表面の掘り起こしが被害として大きかった(図2-6)。

カメラで撮影された採草地におけるキュウシュウジカの撮影頻度割合の日内変動を図2-7に示した。夏(6～8月)、秋(9～11月)、冬(12月～翌年2月)および春(3～5月)のいずれの季節においても、キュウシュウジカの出現は18時～翌朝5時の時間帯に集中しており、撮影頻度割合に対する分散分析の結果、季節変動はみられず、むしろ日中(6～17時)と夜間(18時～翌朝5時)の間に有意な変動が認められた($P<0.01$) (表2-3)。

塚田(2012)は牧場草地へのホンシュウジカの出没パターンは、日没および日の出前後の時間帯にピークを持つ二峰性の分布を示したと報告している。これに対して、本試験のキュウシュウジカは日没(18～19時)前後から翌朝の日の出(4～5時)前までの長時間に亘り、採草地内に滞在していること(一峰性)が明らかになった。実際、カメラには牧草を採食しているキュウシュウジカの静止画像だけでなく、草地内でリラックスした状態で休息や後肢の伸長を行う状況(図2-8)も観察された。

ヒエおよびイタリアンライグラス草地内に設置したケージの内側および処理区内の草高(図2-9)は、ヒエでケージ内の66.3 cmに対して処理区内が14.1 cm(2017年7月25日；播種後55日目)、イタリアンライグラスでケージ内の68.0 cmに対して処理区内が4.6 cm(2018

表 2-2. センサーカメラによる採草地でのキュウシュウジカおよび他の野生哺乳類の撮影頻度

	稼働日数	撮影枚数	キュウシュウ ジカ	ニホン イノシシ	ニホン アナグマ	ホンド タヌキ	ホンド キツネ
					— 撮影頻度 —		
カメラ①	302	1,460	3,393	15	4	4	3
カメラ②	294	1,408	2,754	13	7	0	0
カメラ③	302	1,118	2,925	1	8	1	1



キュウシュウジカ



ニホンイノシシ



ニホンアナグマ

図 2-5. 採草地において、センサーカメラで撮影された野生哺乳類



ホンドタヌキ



ホンドキツネ

図 2-5. 採草地において、センサーカメラで撮影された野生哺乳類（続き）



図 2-6. ニホンイノシシのルーティングによる採草地の掘り起こし跡
(2017/6/27)

丸円で囲われた部分は掘り起こし跡を示す。

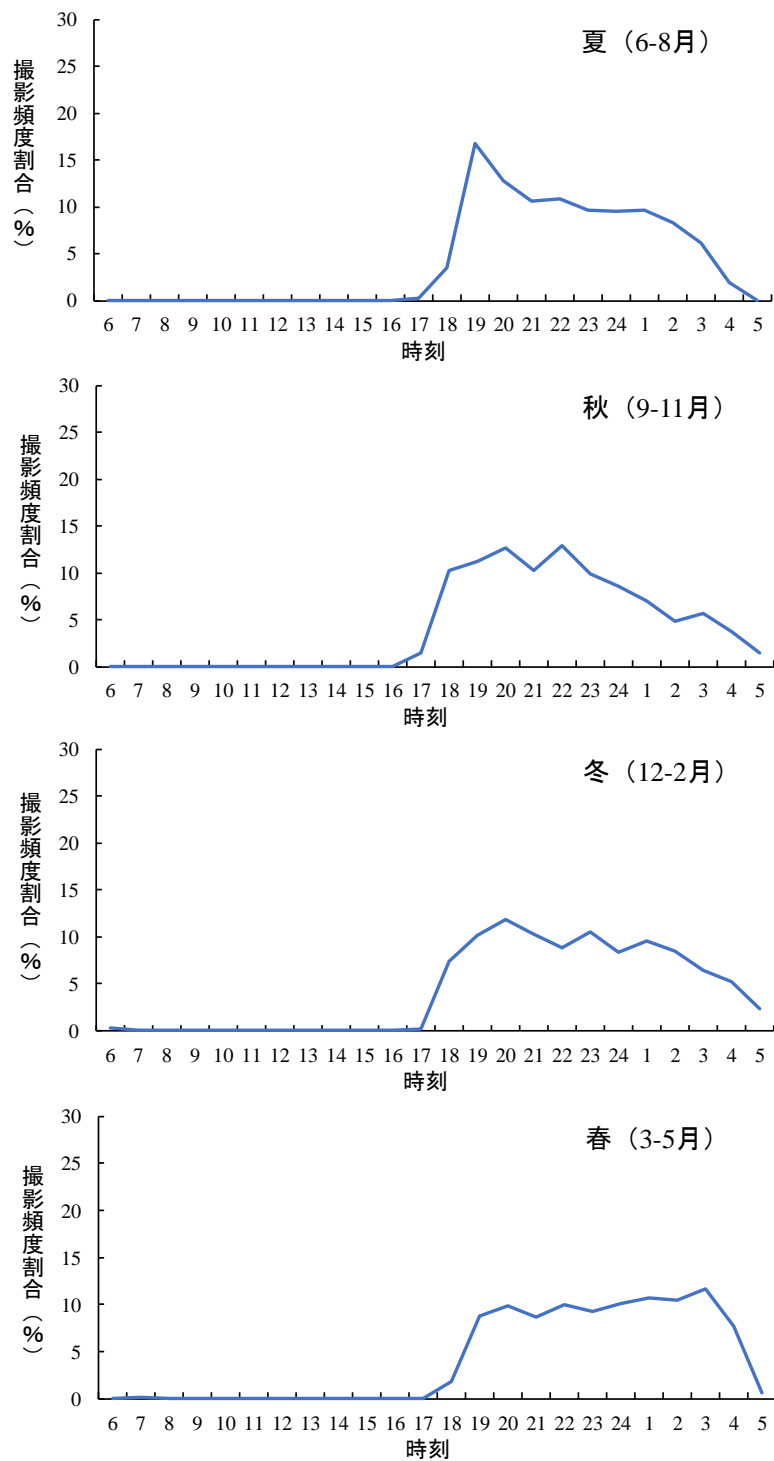


図 2-7. 入来牧場内の採草地におけるキュウシュウジカ撮影頻度割合の
日内変動

表 2-3. キュウシュウジカ撮影頻度割合に対し，季節と時間帯を因子とする
繰り返しのある二元配置分散分析表

要因	自由度	平方和	平均平方	F値
季節 (A)	3	0.04	0.01	3.85
時間帯 (B)	1	54.51	54.51	6.73 **
交互作用 (A×B)	3	0.02	0.01	3.85
誤差	280	13.56		

**P<0.01



図 2-8. 採草地内で休息や後肢の伸長を行うキュウシュウジカ

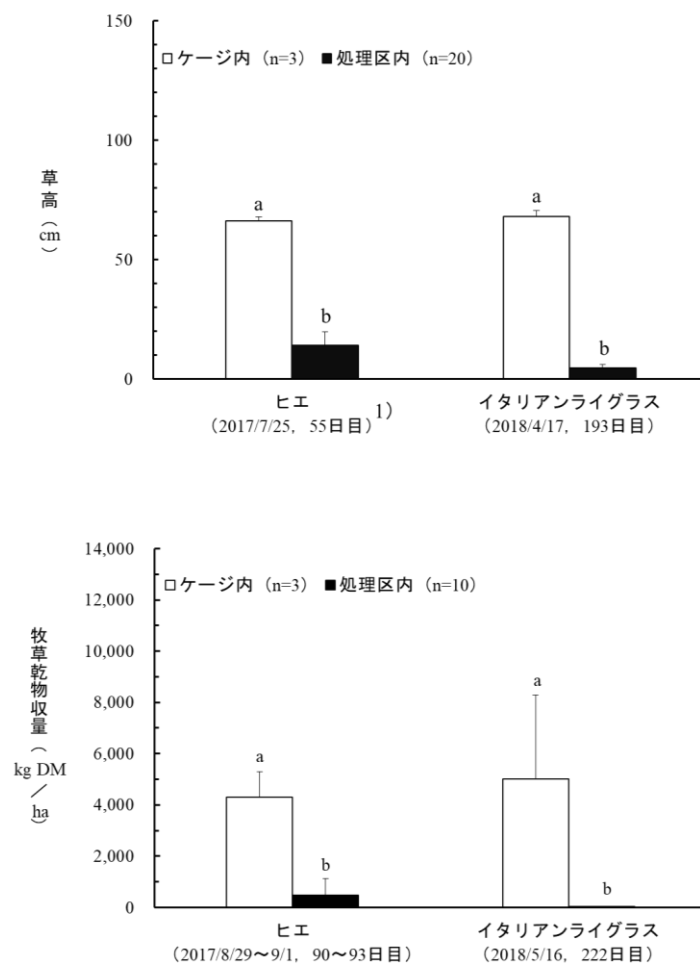


図 2-9. 採草地における牧草の草高ならびに収量

¹⁾ () 内は調査日および播種後経過日数を示す.

a, b : 同一調査日の異符号間に有意差あり (P<0.01)

年 4 月 17 日；播種後 193 日目）とキュウシュウジカによる採食被害が極めて大きく、いずれも有意差が認められた（ $P<0.01$ ）。各牧草の乾物収量については、いずれも出穂期に収穫が行われ、ヒエではケージ内で 4,312 kg DM/ha および処理区内で 480 kg DM/ha（2017 年 8 月 29 日～9 月 1 日；播種後 90～93 日目）、イタリアンライグラスではケージ内が 5,023 kg DM/ha、処理区内が 6.2 kg DM/ha（2018 年 5 月 16 日；播種後 222 日目）と処理区内でのキュウシュウジカによる採食被害が甚大であり、いずれも有意差が認められた（ $P<0.01$ ）。ケージ内の乾物収量を 100 とした場合の減収率はそれぞれ 88.9%および 99.9%であった。

侵入防止策を講じていない草地でのシカによる牧草の採食被害について、百瀬ら（2006）は長野県内の採草地でイタリアンライグラス 1 番草の減収率が 30%に達することを報告し、亀井（2019）も北海道における草地で平均 30%を超える減収が認められたと報告している。これに対し、侵入防止策を講じなかった供試草地でヒエおよびイタリアンライグラスの減収率は 88.9%および 99.9%と収穫が皆無に等しい値となり、キュウシュウジカによる牧草の採食被害は極めて甚大であることが示された。

以上より、本試験を行った入来牧場の草地はキュウシュウジカにとって安全かつ良好な餌場として年間を通して利用されていることが明らかとなり、牧草の採食被害は甚大であり、侵入頭数は年々増加していることが示された。

要 約

草地におけるシカ (*Cervus nippon*) 侵入防止に向けた基礎的知見を得ることを目的とし、牧場草地へのキュウシュウジカ (*C. n. nippon*) 侵入の日内、季節ならびに年次変動について検討するとともに、牧草の採食被害実態を調査した。鹿児島大学附属農場入来牧場（以下、入来牧場）におけるシカの侵入状況をライトセンサスにより定期的に調査したところ、2005～2006年における平均侵入頭数は58頭/日、2009～2010年、2014～2015年および2017～2018年ではそれぞれ72、177および205頭/日であり、年次変動が認められた ($P<0.01$)。2017年6月～2018年5月にかけて採草地 (2 ha) への野生哺乳類の侵入状況をセンサーカメラにより調査したところ、撮影された動物種の中ではシカが大半を占め、その出現は夜間 (18時～翌朝5時) に集中していた ($P<0.01$)。飼料用栽培ヒエ (6～8月) およびイタリアンライグラス (9月～翌年5月) の草高はプロテクトケージ内のそれらと比べていずれも著しく低下し ($P<0.01$)、それぞれ88.9%および99.9%の減収となり ($P<0.01$)、シカによる牧草の採食被害が深刻であることが示された。

以上より、本試験を行った入来牧場においてキュウシュウジカの侵入頭数は年々増加していることが示された。また、牧場内の草地はキュウシュウジカにとって安全かつ良好な餌場として年間を通して利用されており、牧草の採食被害は甚大であり、特に夜間に集中していることが明らかになった。

第3章 電気柵設置による草地へのシカ侵入防止効果

緒言

第2章において鹿児島大学附属農場入来牧場（以下、入来牧場）の草地はキュウシュウジカ（*Cervus nippon nippon*）にとって安全かつ良好な餌場として年間を通して利用されていることが明らかとなり、牧草の採食被害は甚大であり、侵入頭数は年々増加していることが示された。

電気柵はシカ（*Cervus nippon*）侵入防止柵の1つであり、物理柵に比べて設置が容易で低コストであることが知られている。高山ら（2013）は飼育ならびに野生キュウシュウジカに対して4段張り電気柵（30, 60, 100 および 140 cm）を提示した結果、顕著な忌避効果が得られたと報告している。また、塚田ら（2016）は最上段を 140 cm 以上とする高張力鋼線電気柵に高さ 45 cm の張り出し線を併設することでホンシュウジカ（*C. n. centralis*）に対して高い忌避効果が得られるとしている。その一方で、最近では草地周囲に設置した電気柵をシカが巧みに通り抜け、草地内に侵入する状況も報告されている（高山ら 2017c）。しかしながら、高山ら（2017c）の報告は2～3月にかけての短期間（40日間）での調査に基づく研究成果であり、年間を通じて草地に電気柵を設置した場合のシカ侵入防止効果は未だ明らかにされていない。

そこで本章では、電気柵設置による草地へのシカ侵入防止技術の確立に向けた基礎的知見を得ることを目的とし、電気柵設置によるシカ侵入防止効果を長期に亘って検討した。

材料および方法

試験期間および試験地

試験は2018年6月から2019年5月まで第2章と同じ入来牧場内の採草地（面積2 ha，周囲500 m）で行われた（図 3-1）。供試草地では、前章と同様に、夏草として飼料用栽培ヒエ（*Echinochloa utilis* Ohwi et Yabuno：以下、ヒエ）、冬草としてイタリアンライグラス（*Lolium multiflorum* Lam.）がそれぞれ栽培され、収穫時にはサイレージ調製が行われた。

調査項目

草地へのシカ侵入防止策を何ら講じなかった2017年5月～2018年5月までの1年間（前章の調査項目2）を対照区とし、2018年6月から2019年5月までの1年間は草地周囲への5段張り電気柵設置によりシカ侵入防止策を講じた電柵区とした。両区における牧草の栽培期間は表 3-1 に示すとおりであり、両区とも草地内にセンサーカメラ（10J-D，TREL 社製）（以下、



図 3-1. 試験地の概略

⇨ : センサーカメラ（静止画撮影用） ⇨ : センサーカメラ（動画撮影用）
 □ : プロテクトケージ --- : 電気柵

表 3-1. 各区における牧草の栽培期間ならびにセンサーカメラの設置状況

区 分	ヒ エ				イタリアンライグラス			
	栽培期間	カメラの設置状況			栽培期間	カメラの設置状況		
		台 数	日 数			台 数	日 数	
対 照	2017/5/31 ～ 2017/9/1	3	85		2017/10/6 ～ 2018/5/16	3	217	
電 柵	2018/6/1 ～ 2018/8/17	3	55		2018/10/19 ～ 2019/5/21	3	210	

カメラ)を3台設置し、静止画撮影を行った(図3-1)。カメラの設定については対照区と同様に、同一個体が繰り返し撮影される可能性をできるだけ排除するため、一撮影後に30分間の休止期間があるインターバル撮影を行った(關ら 2015)。センサーは30 m 先まで検知可能とされ、カメラの画角は60°であり、感度については中レベルに設定した。カメラで撮影された野生哺乳類については、種毎に頭数をカウントし、それをカメラの設置台数と日数で除して1日当たりの平均撮影頭数(頭/カメラ/日)を算出した。

電柵区に設置した5段張り電気柵については、ポリエチレン(白色)とステンレスを撚り合わせた2 mm 径の電線を地上から20, 40, 70, 100 および140 cm の高さで架線し、ソーラー式電柵器(4300DC2-SL, タイガー株式会社)から瞬間電圧4,000 V 以上のパルス電流(約1秒間隔)による通電を行った(図3-2)。電気柵の維持管理については、週に1回見回りを行い、電線の緩みや断線が見られた場合は補修し、2018年6~10月にかけては月に1回の頻度で計5回、刈り払い機を用いた電線下の除草を行った(周囲約500 m, 延べ16時間・名)。さらに、センサーカメラ3台を柵沿いに設置し、電気柵を通り抜けて侵入するシカを動画(30秒間, 5分間のインターバル撮影)で撮影した(図3-1)。撮影動画から1)侵入時におけるシカの電線への接触による感電の有無と2)侵入がみられた架線位置をそれぞれ調査した。

対照区と同様に、シカによる牧草の採食被害状況を把握するために草地内にシカが侵入して牧草を採食できないプロテクトケージ(1.5×1.5 m; 以下, ケージ)を3ヵ所設置し(図3-1)、ケージ内(各ケージ1ヵ所, n=3)および処理区内(n=20)の草高をヒエでは播種後60日前後、イタリアンライグラスでは播種後200日前後にそれぞれ測定するとともに、処理区内(n=20)に0.5×0.5 m のコドラートを置き、枠内の糞粒数も合わせて調査した。牧草の収穫時には、0.5×0.5 m のコドラートをケージ内(各ケージ1ヵ所, n=3)ならびに処理区内(n=10)に置き、枠内の牧草を地際で刈り取り、60°Cで48時間通風乾燥した後、乾物重量を測定した。

得られたデータについては、ケージ内と処理区内の牧草の草高と乾物収量をt検定により比較した。

結果および考察

カメラによって草地で撮影された野生哺乳類を表3-2に示した。対照区における野生哺乳類の平均撮影頭数(頭/カメラ/日)はヒエの栽培期間中で7.5頭であった。野生哺乳類の種類別にみた場合、シカが平均7.4頭と全体の98.2%を占めており、次いでニホンイノシシ(*Sus scrofa leucomystax*; 以下, イノシシ)で平均0.1頭(1.6%), ニホンアナグマ(*Meles*



図 3-2. 草地に設置した 5 段張り電気柵 (2018/6/13)

表 3-2. 草地における電気柵の設置が野生哺乳類の侵入に及ぼす影響

対照区				
	ヒエ		イタリアンライグラス	
	平均撮影頭数 (頭/カメラ/日)	割合 (%) ¹⁾	平均撮影頭数 (頭/カメラ/日)	割合 (%)
シカ	7.4 ± 1.1	(98.2)	11.1 ± 1.3	(99.7)
イノシシ	0.1 ± 0.1	(1.6)	0	(0)
中型哺乳類 ²⁾	0.02 ± 0.02	(0.2)	0.04 ± 0.02	(0.3)
計	7.5 ± 1.1	(100)	11.2 ± 1.3	(100)
電柵区				
	ヒエ		イタリアンライグラス	
	平均撮影頭数 (頭/カメラ/日)	割合 (%)	平均撮影頭数 (頭/カメラ/日)	割合 (%)
シカ	1.6 ± 0.5	(99.6)	6.1 ± 2.5	(99.8)
イノシシ	0	(0)	0	(0)
中型哺乳類	0.01 ± 0.01	(0.4)	0.01 ± 0.01	(0.2)
計	1.7 ± 0.5	(100)	6.1 ± 2.5	(100)

¹⁾平均撮影頭数の合計に占める各哺乳類の構成割合を示す。

²⁾ニホンアナグマ, ホンドタヌキおよびホンドキツネを示す。

anakuma), ホンドタヌキ (*Nyctereutes procyonoides viverrinus*) およびホンドキツネ (*Vulpes vulpes japonica*) など中型哺乳類で平均 0.02 頭 (0.2%) の順であった。イタリアンライグラスの栽培期間中においても、シカの撮影割合が 99.7%と最も多く、平均 11.1 頭が確認された。その他の野生哺乳類については、中型哺乳類で平均 0.04 頭 (0.3%) を示し、イノシシはみられなかった。電柵区における野生哺乳類の平均撮影頭数は、ヒエの栽培期間中で 1.7 頭であり、そのうち、シカが 1.6 頭と全体の 99.6%を占め、中型哺乳類が 0.01 頭 (0.4%) であった。イタリアンライグラスの栽培期間中では平均 6.1 頭の野生哺乳類が撮影され、そのうち、シカが平均 6.1 頭と 99.8%を占め、中型哺乳類が 0.01 頭 (0.2%) であった。対照区で侵入がみられたイノシシについては電柵区への侵入が確認されなかった。中型哺乳類についてはその数が多いものの、電気柵設置による撮影頭数の減少が認められなかった。一方、シカの撮影状況についてはヒエの栽培期間中、対照区の平均 7.4 頭に比べて電柵区で平均 1.6 頭とその侵入が77%減少したものの、イタリアンライグラスでは対照区の平均 11.1 頭から平均 6.1 頭と 46%の減少に止まった。

近年、畜産では、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)、家畜伝染病予防法に基づく「飼養衛生管理基準」の中でも放牧家畜と野生動物の接近・接触防止に向けた侵入防止策を講じることが生産者の責務として位置付けられている (農林水産省 2020a)。草地への侵入防止策の構築はシカによる牧草の食害 (亀井 2019, 百瀬ら 2006) 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。

電気柵による野生哺乳類の侵入防止について、高山ら (2017a) は肥育牛舎の周囲に 15 および 30 cm の高さで架線した電気柵を設置することでウシ用飼料を盗食するイノシシに対して顕著な侵入防止効果が認められたと報告している。本試験でも電柵区で電気柵に触れて逃避するイノシシの状況が確認され、その後は柵を回避しながら移動する状況がみられており (図 3-3), 草地でも同様な効果が得られることが示された。一方、中型哺乳類の侵入防止では、10 cm の高さに架線する必要があるとされている (農林水産省 2018)。本試験で設置した電気柵の最下段の架線高は 20 cm であり、対照区と電柵区との間で中型哺乳類の出現頭数に大差が認められなかったことから、20 cm の架線高は中型哺乳類の侵入防止に有効でないものと考えられた。

シカについては、高山ら (2013) は 30, 60, 100 および 140 cm に架線した 4 段張り電気柵を草地周囲に設置することで顕著な侵入防止効果が得られたと報告している。これに対し、5



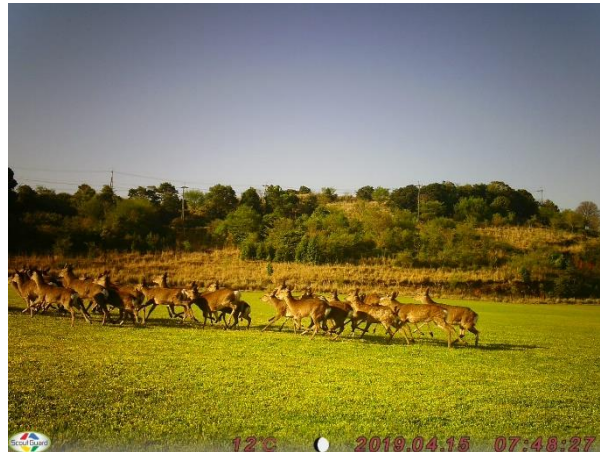
図 3-3. 電柵区においてイノシシが電気柵を回避しながら移動する状況

段張り電気柵を設置した本試験では、防止策を講じなかった対照区に比べてシカの侵入が減少したものの、侵入を完全に防ぐことができず、特に冬季のイタリアンライグラス栽培期間中には草地内に多数のシカが侵入する状況が観察された（図 3-4）。草地内で確認された 1 m² 当たりのシカの平均糞粒数（表 3-3）についても、対照区ではヒエで 9.2 粒（2017 年 7 月 25 日；播種後 55 日目）およびイタリアンライグラスで 109 粒（2018 年 4 月 17 日；播種後 193 日目）を示したのに対し、電柵区ではヒエで 0.6 粒（2018 年 8 月 1 日；播種後 61 日目）ならびにイタリアンライグラスで 56.0 粒（2019 年 5 月 7 日；播種後 200 日目）と後者で多くみられ、冬季におけるシカの侵入頭数の増加を裏付けるものであった。

ヒエおよびイタリアンライグラス草地内に設置したケージの内側および処理区内の草高の比較（図 3-5）では、対照区のヒエでケージ内が 66.3 cm、処理区内が 14.1 cm（2017 年 7 月 25 日；播種後 55 日目）、イタリアンライグラスでケージ内が 68.0 cm、処理区内が 4.6 cm（2018 年 4 月 17 日；播種後 193 日目）とシカによる採食被害が極めて大きかった（ $P<0.01$ ）のに対し、電柵区のヒエ（2018 年 8 月 1 日；播種後 61 日目）およびイタリアンライグラス（2019 年 5 月 7 日；播種後 200 日目）のいずれにおいても、シカの採食による草高の低下が認められ、ケージ内に比べて処理区内の草高は有意に低下し（ $P<0.01$ ）、イタリアンライグラスで両者の差が大きかった。各牧草の乾物収量については、いずれも出穂期に収穫が行われ、対照区のヒエではケージ内で 4,312 kg DM/ha および処理区内で 480 kg DM/ha（2017 年 8 月 29 日～9 月 1 日；播種後 90～93 日目）、イタリアンライグラスではケージ内が 5,023 kg DM/ha、処理区内が 6.2 kg DM/ha（2018 年 5 月 16 日；播種後 222 日目）と処理区内でのシカによる採食被害が甚大であり（ $P<0.01$ ）、ケージ内の乾物収量を 100 とした場合の減収率はそれぞれ 88.9% および 99.9% であった。これに対し、本試験の電柵区のヒエにおいては、ケージ内で 6,505 kg DM/ha および処理区内で 4,448 kg DM/ha（2018 年 8 月 17 日；播種後 77 日目）、イタリアンライグラスではケージ内が 7,700 kg DM/ha、処理区内で 590 kg DM/ha（2019 年 5 月 21 日；播種後 214 日目）といずれも処理区内の乾物収量が有意に低下し（ $P<0.01$ ）、減収率はそれぞれ 31.6% および 92.3% と採食被害はイタリアンライグラスで特に大きいことが示された。

侵入防止策を講じなかった対照区に対し、草地周囲に 5 段張り電気柵を設置した電柵区では、ヒエにおける減収率は 31.6% と対照区に比べ、被害程度は軽減されたものの、イタリアンライグラスでは 92.3% と対照区と大差なく、侵入防止効果が認められなかった。

ホンシュウジカについては草地外の飼料資源となる林床植物が減少する冬季に草地内への侵入が増加することが報告されている（Kamei ら 2010, 高槻 2001）。一方、キュウシュウジカ



群れとなり、草地内を移動（2019/4/15）



牧草を盗食（2019/4/11）

図 3-4. 電柵区に侵入した多数のシカが牧草を採食する状況

表 3-3. 草地における電気柵の設置がシカの糞粒数に及ぼす影響

区 分	ヒ エ		イタリアンライグラス	
	播種後経過日数 (調査日)	糞粒数 / m ²	播種後経過日数 (調査日)	糞粒数 / m ²
対照区	55 (2017/7/25)	9.2±11.5	193 (2018/4/17)	109±66.4
電柵区	61 (2018/8/1)	0.6±2.0	200 (2019/5/7)	56.0±64.4
平均値±標準偏差 (n=20)				

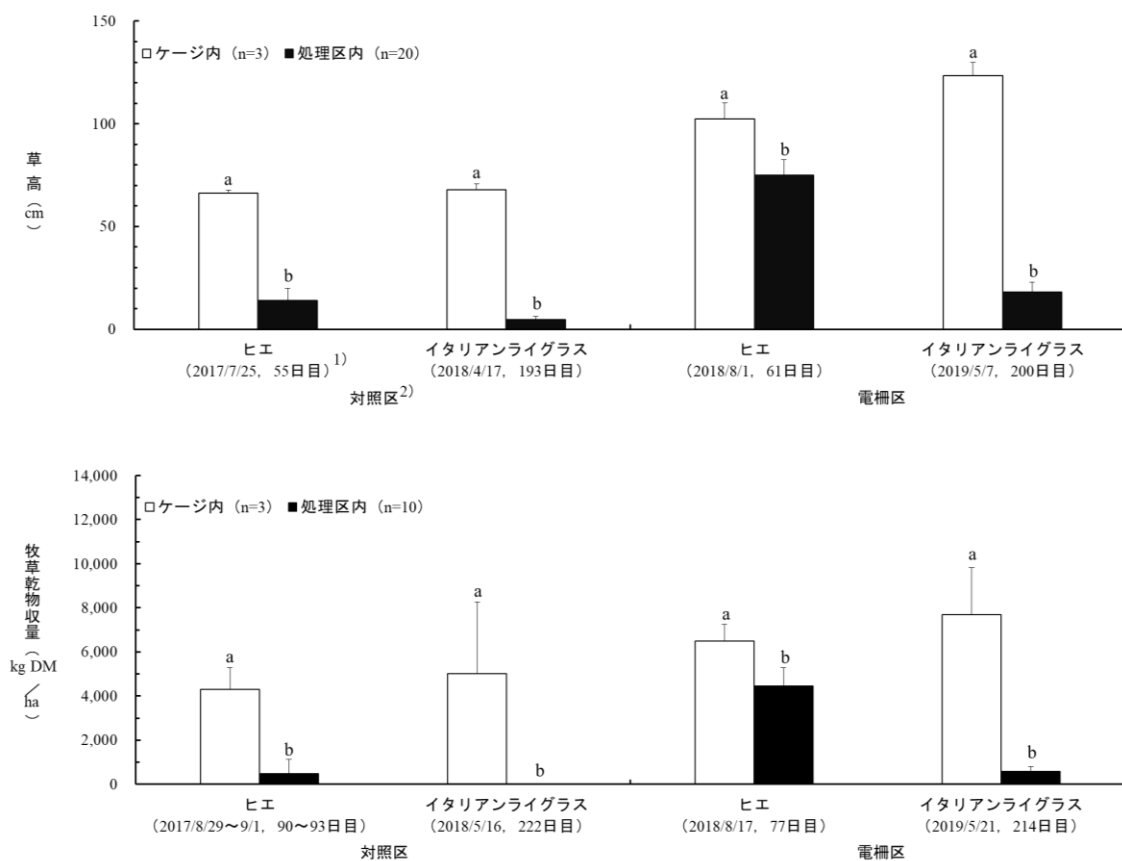


図 3-5. 採草地における牧草の草高ならびに収量

¹⁾ () 内は調査日および播種後経過日数を示す.

²⁾ 第 2 章のデータより引用

a, b : 同一調査日の異符号間に有意差あり (P<0.01)

に関する知見は見当たらないものの、本試験に供した草地についても冬季（12～3月）には草地外の野草が枯死する状況が観察され、対照区および電柵区における3月のシカの平均撮影頭数（頭/カメラ/日）は21.6および7.9頭と、それぞれの処理区で最多となった。このことから、本試験においてもヒエを栽培した夏季よりもイタリアンライグラスを栽培した冬季で草地外の飼料資源が不足していたものと推察された。深澤ら（2008）は電気柵を用いたウシの放牧管理において、放牧地内の草量が減少すると、柵外の可食物への欲求とそれに伴う脱柵のリスクが高まることを明らかにしている。本試験で設置した電気柵は柵外からのシカ侵入を防止するためのものであるが、草地外の飼料資源が不足した冬季にイタリアンライグラスに対するシカの採食欲求が高まり、これによりシカの草地内への侵入や牧草の採食被害が夏季のヒエ栽培時に比べて増加した可能性が示唆された。

電気柵は通電状態の電線に接触した家畜や野生動物に強力な電気（嫌悪）刺激を与え、忌避学習させるものであり、学習成立後、動物は再び電線に接触することを嫌い、避けるようになる（井上と金森 2006, 小針ら 2008）。シカの電気刺激の感受部位は、口唇に集中しており、新奇物として電気柵を視認後、口唇によって探索（接触）し、その際に電気刺激を感受することで電気柵への接近や通り抜けを忌避することが飼育シカや野生シカで観察されている（高山ら 2013）。その一方で、高山ら（2017c）は草地周囲に設置した電気柵に対し、シカが電線に触れることなく通り抜け、侵入するケースがあることを報告している。

電柵区において、電気柵を通り抜けたシカの行動反応を表 3-4 に示した。柵沿いに設置したカメラ3台によりヒエおよびイタリアンライグラスの栽培期間（55および210日間）でそれぞれ延べ1,926および2,116頭分のシカの行動が記録された。多くの場合、シカが電気柵を回避しながら周囲で野草の採食や移動する状況がみられたものの、ヒエの栽培期間中には8頭、イタリアンライグラスの栽培期間中には160頭が電気柵を通り抜けて侵入する状況が観察された。前者では8頭中3頭が口唇で電線に触れ、感電に驚きそのまま柵を通り抜ける状況がみられたのに対し、後方で電線に触れたのは1頭のみであった。その他の個体は頭部を体高程度まで下げながら電気柵に接近し、口唇で電線に触れることなく、架線間を通り抜ける状況がみられた（図 3-6）。

高山ら（2017c）は電気柵を通り抜け草地内に侵入するシカについて、電線に触れることなく架線間を通り抜け、後方でそれを視認したシカが追従して侵入する状況を報告している。本試験においても、特にイタリアンライグラスの栽培期間中に夜間、群れで接近し、先頭個体が架線間を通り抜けた後、後方の個体がそれに追従して侵入する状況が繰り返し観察され

表 3-4. 電柵区に侵入したシカの電気柵に対する行動反応

		ヒエ		イタリアンライグラス	
		撮影頭数	割合(%)	撮影頭数	割合(%)
侵入時における 電線への接触	有	3	(37.5)	1	(0.6)
	無	5	(62.5)	159	(99.4)
	計	8	(100)	160	(100)
侵入がみられた 架線の位置(cm)	140<	0	(0) ¹⁾	1	(0.6)
	100-140	0	(0)	7	(4.4)
	70-100	1	(12.5)	3	(1.9)
	40-70	7	(87.5)	147	(91.9)
	20-40	0	(0)	0	(0)
	0-20	0	(0)	0	(0)
	不明	0	(0)	2	(1.3)
	計	8	(100)	160	(100)

¹⁾ ()内は撮影頭数の合計に対して各項目の数値が示す割合を示す.



頭部を下げ、電気柵に接近



口唇での接触行動を示さず



侵入

図 3-6. シカが電気柵を通り抜ける状況（2019/2/8）

た。なお、侵入の際にみられた通り抜けは、40-70 cm の架線間で最も多く、ヒエの栽培期間中で全体の 88%、そしてイタリアンライグラス栽培期間中には 92%を占めた。シカが電線をしっかりと視認した上で隙間を選択して通り抜けているのか、あるいは視認できていないために口唇で触れることなく通り抜けているのかについては不明であり、低照度下におけるシカの視覚（色覚および視力）を検討する必要性が考えられた。また、通り抜けが多く観察された 40-70 cm の架線間（隙間 30 cm）については、電気柵に接近する際の目線の先に生じた隙間として通り抜けを誘発している可能性が示唆された。

電気柵に対する放牧牛の行動反応について、深澤ら（2008）は放牧地内の草量が減少することで脱柵リスクが高まるものの、漏電による電圧低下が起これなければ、草量が少なく、養分要求量を満たさない場合であっても脱柵を阻止できることを明らかにしている。これに加えて、小針ら（2008）は電気柵が一時的に非通電状態になり、通り抜けによる脱柵を学習したウシであっても、非通電から再通電状態に戻すことにより、大半の個体で脱柵の再発を防止できたと報告している。

一方、本試験では常に通電状態が維持されていたにも拘らず、シカの侵入を防止することができなかった。ただし、供試草地である入来牧場では、10 年以上に亘りシカ侵入防止策として電気柵を使用しており、その中で漏電や断線した電気柵が一時的に放置される状況があった。その際、一部のシカが電気柵を通り抜けることを学習し、これが本試験の電柵区で観察された通電状態の電気柵に対するシカの通り抜け、さらには侵入防止効果の低下につながった可能性もある。今後、“ヒューマンエラー”によって引き起こされる電圧低下が電気柵に対するシカの忌避学習に与える影響について検討すべきと考えられた。これに加えて、本試験で観察された架線間の通り抜けによるシカの侵入を防止するため、架線方法（段数や高さ）やシカにとって視認性の良い電線色の探索あるいは物理柵との併用などについて追究する必要がある。

以上より、周囲に電気柵を設置した草地においてもシカが侵入し、牧草を減収させる場合があることが明らかになり、侵入時にみられた架線間の通り抜け対策の開発が緊要な課題であることが示された。

要 約

電気柵設置による草地へのシカ (*Cervus nippon*) 侵入防止技術の確立に向けた基礎的知見を得ることを目的とし、夏季に栽培ヒエ (*Echinochloa utilis* Ohwi et Yabuno) および冬季にイタリアンライグラス (*Lolium multiflorum* Lam.) を作付ける体系の採草地において、1) 侵入防止策を講じない対照区 (2017 年 5 月～2018 年 5 月) と 2) 草地周囲に 5 段張り電気柵 (架線高: 20, 40, 70, 100 および 140 cm) を設置した電柵区 (2018 年 6 月～2019 年 5 月) を設け、両者におけるシカの侵入状況や牧草の生育の比較から電気柵設置によるシカ侵入防止効果を明らかにした。草地へのシカの侵入については、ヒエの栽培期間中、対照区の平均 7.4 頭に比べて電柵区で平均 1.6 頭とその侵入が 77% 減少したものの、イタリアンライグラスでは対照区の平均 11.1 頭から平均 6.1 頭と 46% の減少に止まった。そのため、電柵区で栽培した栽培ヒエとイタリアンライグラスの草高や乾物収量は低下し、特に後者への採食被害が甚大であった。侵入したシカの行動をみると、電気柵に接近し、口唇で電線に触れることなく、架線間を通り抜ける状況が多くみられた。

以上より、周囲に電気柵を設置した草地においてもシカが侵入し、牧草を減収させる場合があることが明らかになり、侵入時にみられた架線間の通り抜け対策の開発が緊要な課題であることが示された。

第4章 電気柵の認識に関わるシカの視覚

緒 言

電気柵はシカ (*Cervus nippon*) が電線を目視し、その後口唇で電線を探索する際に電気刺激を感受し、その痛みを忌避学習することで侵入を防止する効果がある (高山ら 2008b, 高山ら 2013) (図 4-1). しかしながら、第 3 章ではシカ侵入防止柵として草地に電気柵を設置したところ、夜間、口唇で電線に触れることなく、架線間を通り抜ける状況が繰り返し観察され、“シカが電気柵をどのように認識しているのか”というシカの視覚を検討する必要性が示された.

電線の色や形の視認には色覚および視力が関係すると考えられる. シカの色覚に関しては, Takayama ら (2018) および Nakamura ら (2018) は色覚において主要な有彩色 (赤, 緑および青色) 同士ならびに有彩色と灰色を区別できることを明らかにしており, 中村ら (2021) はヒトにおける色識別能力との比較から, シカ特有の色覚の存在を指摘している. 一方, 牧草の生育した草地の色を背景とした場合にシカが様々な電線色を識別可能か否かは不明であり, 視力に関する知見もほとんど見当たらない.

そこで本章では, 草地での電気柵によるシカ侵入防止に向けた視覚に関する基礎的知見を得ることを目的とし, オペラント条件付けを用いた行動学的アプローチによりシカの 1) 色覚および 2) 視力を解明した.



図 4-1. 口唇で電気柵に触れるシカ

第1節 行動学的手法を用いたシカの色覚検査

目 的

ヒトの色覚は基本的に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）、これらの働きにより様々な色を知覚・識別できるとされている（岡部と伊藤 2002a）。これに対して、シカ科は2種類（M および S 錐体）のみを持つ2色覚であることが生理学的研究により明らかにされている（Jacobs ら 1994）。その一方で、Takayama ら（2018）と Nakamura ら（2018）は行動学的手法を用いて、シカは明暗に関わりなく、3原色（赤、緑および青）と無彩色（灰色）ならびに3原色（赤、緑および青）同士の識別が可能であることを報告している。また、ヒトにおいては機能の欠損した錐体に応じて識別し難い特定の色の組み合わせが存在しており（池田 2015）、シカではその色が一致しなかった（中村ら 2021）ことから、シカ独自の色識別能力の存在が示唆されている。

これらを踏まえて、電気柵によるシカ侵入防止を考えると、シカにとって牧場草地（牧草）と識別し易い色や識別し難い色が存在している可能性が考えられるが、牧草と色の識別能力を詳細に検討した研究は見当たらない。そこで本節では、電気柵による草地へのシカ侵入防止効果を高めるための基礎的知見を得ることを目的とし、牧草（イタリアンライグラス：*Lolium multiflorum* Lam.）の茎葉色である黄緑（7.5GY）と識別し易い色および識別し難い色を行動学的に明らかにした。

材料および方法

試験期間および試験場所

2020年3月から2021年10月にかけて、鹿児島市郡山町のシカ飼育舎内の学習装置で試験を行った（図4-2）。

供試動物

2016年10月に鹿児島大学附属農場入来牧場（以下、入来牧場）で捕獲された推定年齢4歳のキュウシュウジカ（*C. n. nippon*）2頭（オス・メス各1頭）を供試した（図4-3）。

学習装置

試験には、シカの色覚を調査した Nakamura ら（2018）の方法を参考とし、『オペラント学習装置』（縦400×横800 cm）（以下、学習装置）を用いた（図4-4）。待機室（W）の前面のド



図 4-2. シカ飼育舎



図 4-3. 供試シカ（左：オス，右：メス）

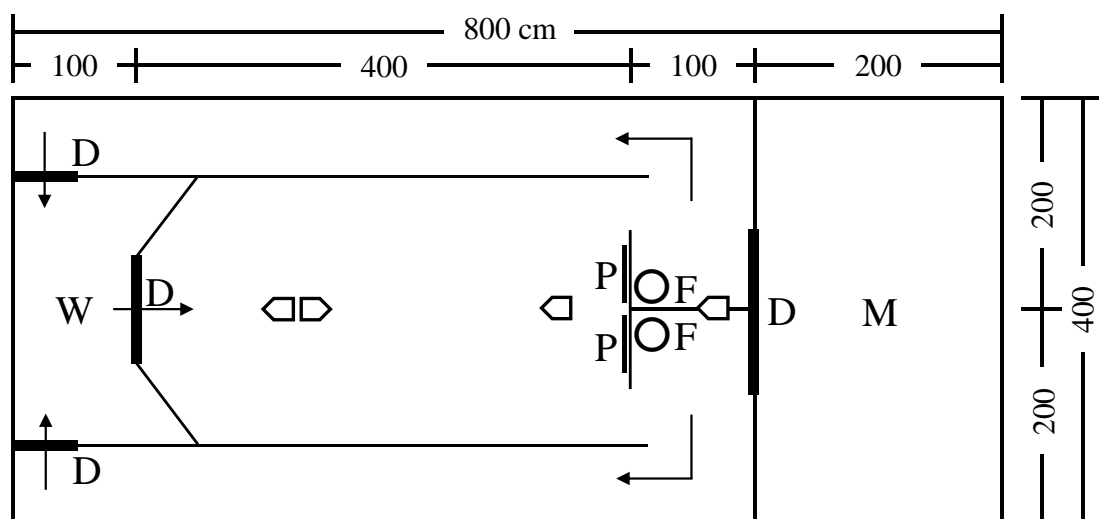


図 4-4. シカの色の識別能力を解明するためのオペラント学習装置

W : 待機室 D : ドア P : パネル F : 飼槽 → : シカの経路
M : モニター室 ◻ : 赤外線カメラ

ア (D) は上下に開閉できるようにした。待機室の 400 cm 前方に T 字型衝立を設置し、衝立の前方左右には、正刺激・負刺激のパネル (P) を設置し、実験者が左右を自由に交換できるようにした。衝立の後方左右には飼槽 (F) を置き、負刺激の色パネル後方の飼槽には金網の蓋を被せ、供試シカが摂食できないようにした。学習装置内部の照度を一定に保つため、上部に屋根を設けて暗室とし、色パネルの中央部の照度が照明ランプ点灯時に 150~200 lx 程度になるようにした。

また、学習装置内には赤外線カメラ 4 台 (NS-F201C; 日本セキュリティー機器販売株式会社) を設置し、待機室からシカが出て、色パネルを識別し、シカが飼料を摂食するまでの行動を観察・記録した (図 4-5)。なお、学習装置内の床は土で、色パネルから 1 m 間隔で角材を床に並べ、壁は全面白色に統一した。

色パネル

正刺激の色パネルについては、入来牧場内の採草地で栽培されていたイタリアンライグラスの茎葉色を視感測色法 (井内ら 1987) に準ずる形で目測し (図 4-6)、得られた結果からマンセルの表色系における黄緑 (色相, 明度および彩度を 7.5GY, 6.0/6.1 と示す。以下、同様) の色紙の作成を一般財団法人日本色彩研究所 (東京都) に依頼した。一方、負刺激の色パネルについては、一般に電気柵の電線の色として普及している白 (N, 9.5/0) をはじめ、正刺激の色パネル (黄緑, 7.5GY) と対比させるために、色相環 (図 4-7) を参考に明度と彩度を揃えた紫 (5P, 6.0/6.1), 青紫 (5PB, 5.9/6.0), 青 (5B, 6.0/6.0), 青緑 (5BG, 6.0/6.1), 緑 (5G, 6.0/5.9), 黄 (5Y, 6.1/5.9), 橙 (5YR, 6.0/6.1), 赤 (5R, 6.0/6.1), 赤紫 (5RP, 6.0/5.9) の計 10 種類の色紙の作成を一般財団法人日本色彩研究所 (東京都) に依頼した (表 4-1)。

各色紙のサイズは縦 420×横 297 mm で統一し、各色紙をフレーム (デジタルプリント対応フレーム; 大仙) (縦 420×横 297 mm) に挿入して、試験を実施した。

試験方法

(学習訓練)

供試シカに色パネルと飼料との関係を連合学習させるための訓練をオスで 2020 年 6 月 29 日から 7 月 20 日、メスで 4 月 5 日から 6 月 10 日にかけて行った。学習訓練では、赤 (5R) 色パネルをオスシカにおける負刺激、青 (5B) 色パネルをメスシカにおける負刺激とし、いずれも黄緑 (7.5GY) 色パネルを正刺激として同時に提示することにより学習させた。実験者が



(1) 待機室から出る



(2) 色パネルに向かう



(3) 色パネルを選択する



(4) 衝立後方で飼料を摂食する

図 4-5. 供試シカがオペラント学習装置内で色パネルを選択する状況
(2020/9/13)

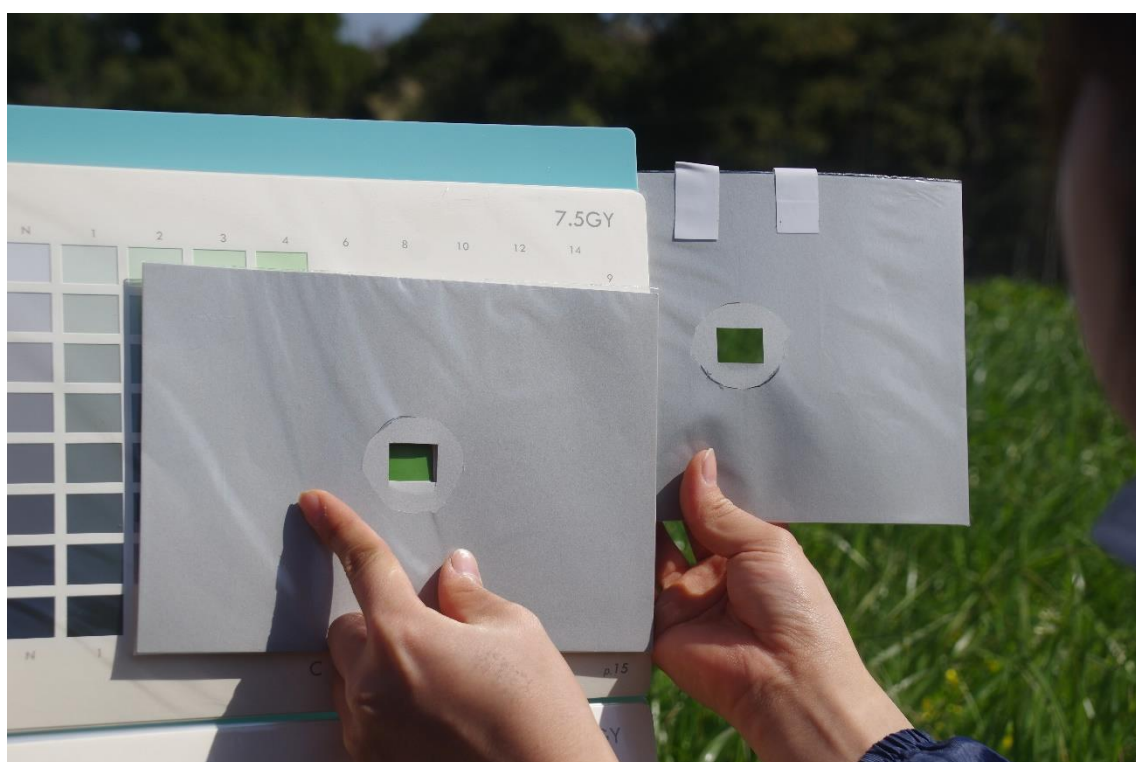


図 4-6. 視感測色の実施状況（2020/3/23）

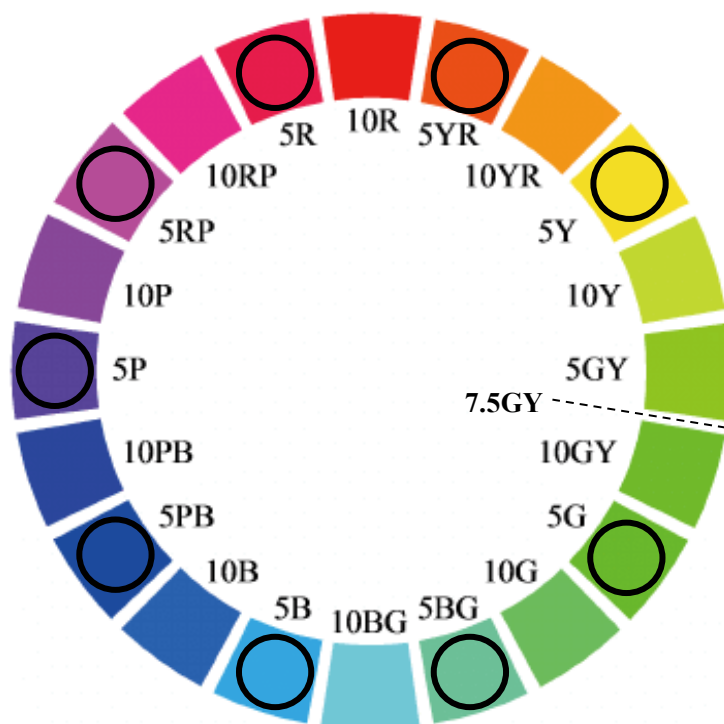


図 4-7. マンセル表色系の色相環（Nagano ら（2013）を一部改変）

○印は黄緑（7.5GY）と色相の異なる 10 色間の識別試験で用いた白（N）以外の 9 つの色を示す。

表 4-1. 正刺激および負刺激として供試した色

	色相	明度	彩度
正刺激			
黄緑	7.5GY	6.0	6.1
負刺激			
白	N	9.5	0
紫	5P	6.0	6.1
青紫	5PB	5.9	6.0
青	5B	6.0	6.0
青緑	5BG	6.0	6.1
緑	5G	6.0	5.9
黄	5Y	6.1	5.9
橙	5YR	6.0	6.1
赤	5R	6.0	6.1
赤紫	5RP	6.0	5.9

モニター室から待機室前方のドアを開けることにより、供試シカが前方 400 cm の T 字型衝立前方に掛けられた左右の色パネルを自由にかつ同時に選択できるようにした。左右の色パネルの後方の飼槽には誘因餌としてそれぞれ市販のペレット飼料（原材料：アルファルファミール、ふすま）を原物で 10 g 入れた。正刺激の飼槽はシカが摂食できるようになっており、正刺激を選択した場合には正解とし、飼槽内の飼料を摂食させた。一方、負刺激の飼槽には金網の蓋を被せ、負刺激を選択した場合には不正解とし、飼料を摂食できないようにするとともに、においの有無で色パネルを選択することがないようにした。なお、正刺激・負刺激の色パネルの左右交換は、ランダムに行った。待機室を出てから飼槽へ行くまでの行動を学習装置内に設置したカメラで撮影し、実験者はモニターを通して、その選択行動を観察・記録した。学習訓練では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 日 1 回の訓練毎に試行数を徐々に増やしながらオスおよびメスでそれぞれ 16 および 33 回行った。そして、1 セッション 20 試行とし、正解が 15 試行（正答率 75%）を超えた時点で識別できたと判定した。さらに、3 セッション連続で正答率 75% に到達した時点でそれぞれ学習訓練を完了した。

（予備試験①）

学習訓練終了後、供試シカが色パネルのみを手掛かりに識別していることを確認するため、予備試験①をオスで 2020 年 7 月 22 日から 24 日およびメスで 6 月 11 日から 13 日にかけて行った。予備試験①では 2 枚の同色（色相、明度および彩度は一定）の黄緑（7.5GY）色パネルを正刺激および負刺激として識別試験を行った。1 セッションを 20 試行とし、正解が 10 試行（正答率 50%）程度であることを確認し、オスおよびメスそれぞれ計 3 セッションで予備試験①を完了した。

（予備試験②）

再度、正刺激が黄緑（7.5GY）色パネルであることを供試シカに再学習させるため、オスで黄緑（7.5GY）色パネルと赤（5R）色パネル、メスで黄緑（7.5GY）色パネルと青（5B）色パネルを用いた予備試験②をそれぞれ 2020 年 7 月 26 日から 8 月 12 日および同年 6 月 15 日から 22 日に行った。オスで 15～17 セッション目およびメスで 5～7 セッション目に 3 セッション連続で正答率 75% に達したため、予備試験②を完了した。

（本試験）

本試験を学習訓練および予備試験②と同様の手順で行った。オスにおいては、負刺激の色パネルを紫（5P）、青紫（5PB）、青（5B）、青緑（5BG）、赤紫（5RP）、赤（5R）、橙（5YR）、

白 (N), 緑 (5G), 黄 (5Y), の順に提示し, その識別能力を評価した. メスジカにおいては, 負刺激の色パネルを紫 (5P), 青紫 (5PB), 青 (5B), 青緑 (5BG), 緑 (5G), 黄 (5Y), 橙 (5YR), 赤 (5R), 赤紫 (5RP), 白 (N) の順に提示し, その識別能力を評価した.

(色識別の判定)

実験者がモニター室から待機室前方のドアを開け, 供試シカが待機室を出て色パネルを選択後, 再び待機室に戻るまでを 1 試行とし, 1 セッションをオスで 15 試行およびメスで 20 試行とした. 学習装置内に設置したカメラの映像とそれを基に行動表に記録した供試シカの選択行動から各セッションでの正答率を算出した. χ^2 検定では 1 セッション 15 試行のオスの場合, 正解が 12 試行を超えた時に 5%水準で有意となるため, 正答率 80%を基準値とした. 一方, 1 セッション 20 試行のメスの場合, 正解が 15 試行を超えた時に 5%水準で有意となるため, 正答率 75%を基準値とした. そして, 各供試シカにおいて 3 セッション連続で基準値 (それぞれ 80 および 75%) に到達することにより黄緑 (7.5GY) と供試色を識別可能と判定した. 試験は 1 つの組み合わせにつき, 最大 20 セッション行い, 3 セッション連続で基準値に到達しない場合は黄緑 (7.5GY) とその供試色の識別が不可能と判定した. なお, オスについては学習訓練および予備試験ではメスと同様に 1 セッション 20 試行としていたが, 後半 (10 試行以降) で待機室の地面に座り込み出てこないあるいは飼料を摂食しないなどの行動が繰り返し観察されたため, 1 セッション 15 試行に変更し本試験を実施することとした.

結 果

オスジカの黄緑 (7.5GY) と色相の異なる 10 色間の識別試験における正答率の推移を図 4-8 に示した. 白 (N) 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 73 および 67%を示し, 基準値に達しなかった. 3 セッション目で 87%と基準値 80%以上の値を示したものの, 4 セッション目で 60%と連続で基準値に達しなかった. 5~11 セッション目でも 47~80%を推移し, 連続で基準値に達しなかった. しかしながら, 12 セッションで 87%と基準値以上の値を示し, 13 および 14 セッション目でも 87 および 80%と 3 セッション連続で同様な結果を示したことから, 黄緑 (7.5GY) と白 (N) を識別できたと判定した.

紫 (5P) 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 60%を示し, 基準値に達しなかった. 2 セッション目で 80%と基準値 80%以上の値を示したものの, 3 セッション目で 47%と連続で基準値に達しなかった. 4~6 セッション目で 60~80%を推移し, 連続で基準値に達しなかった. しかしながら, 7 セッション目で 80%と基準値に達し, 8 および

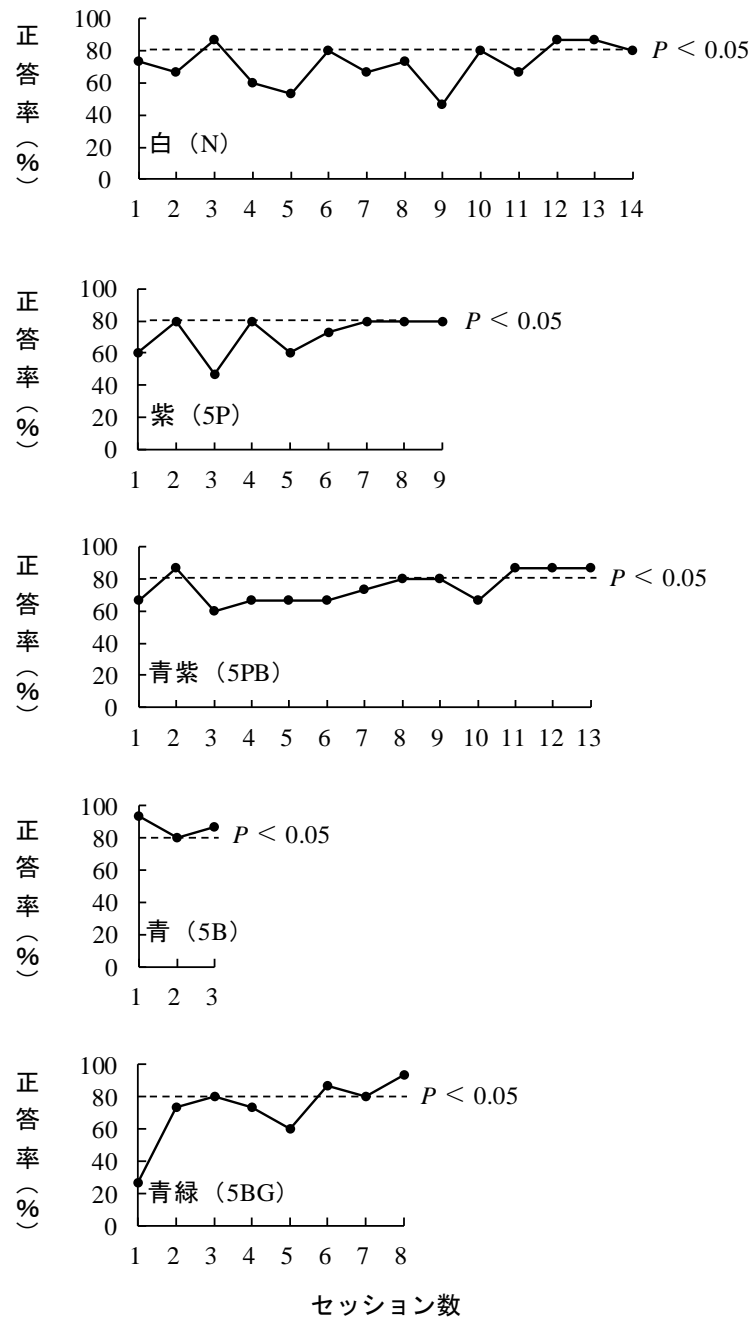


図 4-8. オスジカの黄緑と色相の異なる 10 色間の識別試験における正答率の推移

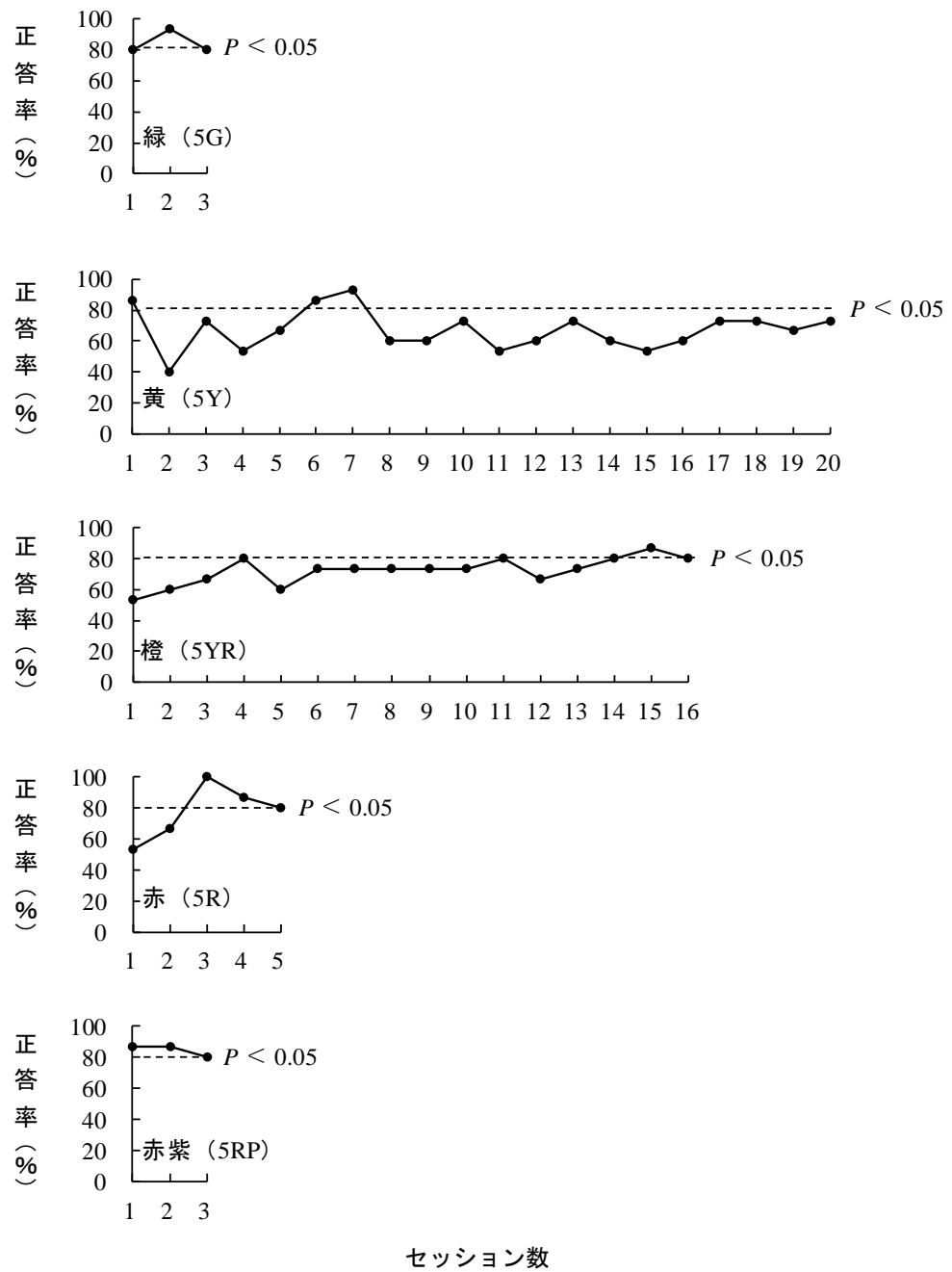


図 4-8. オスジカの黄緑と色相の異なる 10 色間の識別試験における正答率の推移 (続き)

9 セッション目もともに 80%と 3 セッション連続で同様な結果を示したことから、黄緑 (7.5GY) と紫 (5P) を識別できたと判定した。

青紫 (5PB) 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 67%を示し、基準値に達しなかった。続く 2 セッション目で 87%と基準値 80%以上の値を示したものの、3 セッション目で 60%と連続で基準値に達しなかった。4~10 セッション目で 67~73%を推移し、8 および 9 セッション目でもともに 80%と基準値以上の値を示したものの、10 セッション目で 67%と 3 セッション連続で基準値に達しなかった。しかしながら、11 セッション目で 87%と基準値に達し、12 および 13 セッション目もともに 87%と 3 セッション連続で同様な結果を示したことから、黄緑 (7.5GY) と青紫 (5PB) を識別できたと判定した。

青 (5B) 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 93%を示し、基準値 80%に達した。続く 2 および 3 セッション目も 80 および 87%と 3 セッション連続で同様な結果を示したことから、黄緑 (7.5GY) と青 (5B) を識別できたと判定した。

青緑 (5BG) 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 27%を示し、基準値に達しなかった。続く 2~5 セッション目で 60~80%を推移し、連続で基準値に達しなかった。しかしながら、6 セッション目で 87%と基準値 80%に達し、7 および 8 セッション目でも 80 および 93%と 3 セッション連続で同様な結果を示したことから、黄緑 (7.5GY) と青緑 (5BG) を識別できたと判定した。

緑 (5G) 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%を示し、基準値 80%に達した。続く 2 および 3 セッション目でも 93 および 80%と 3 セッション連続で同様な結果を示したことから、黄緑 (7.5GY) と緑 (5G) を識別できたと判定した。

黄 (5Y) 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 87%と基準値 80%以上の値を示したものの、2 セッション目で 40%と連続で基準値に達しなかった。3~5 セッション目で 53~73%を推移し、6 および 7 セッション目でもともに 87 および 93%と基準値以上の値を示したものの、8 セッション目で 60%と 3 セッション連続で基準値に達しなかった。それ以降、9~20 セッション目までは 53~73%を推移し、基準値に達しなかった。このことから、黄緑 (7.5GY) と黄 (5Y) を識別できなかつたと判定した。

橙 (5YR) 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 53%を示し、続く 2 および 3 セッション目でも 60 および 67%と基準値に達しなかった。4 セッション目で基準値 80%以上の値を示したものの、5 セッション目で 60%と連続で基準値に達しなかった。6~10 セッション目でいずれも 73%と基準値に達さず、11 セッション目では 80%と基準以上

の値を示したものの、12 および 13 セッション目で 67 および 73%と、連続で基準値に達しなかった。しかしながら、14 セッションで 80%と基準値以上の値を示し、15 および 16 セッション目でも 87 および 80%と 3 セッション連続で同様な結果を示したことから、黄緑（7.5GY）と橙（5YR）を識別できたと判定した。

赤（5R）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 53 および 67%と基準値に達しなかった。しかしながら、3 セッション目で 100%と基準値 80%以上の値を示し、続く 4 および 5 セッション目でも 87 および 80%と 3 セッション連続で同様な結果を示したことから、黄緑（7.5GY）と赤（5R）を識別できたと判定した。

赤紫（5RP）色パネルを負刺激とした識別試験では、1 セッション目で正答率は 87%と基準値 80%以上の値を示した。続く 2 および 3 セッション目でも 87 および 80%と 3 セッション連続で同様な結果を示したことから、黄緑（7.5GY）と赤紫（5RP）を識別できたと判定した。

メスジカにおける黄緑（7.5GY）と異なる色相間の識別試験の正答率の推移を図 4-9 に示した。白（N）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 70%と基準値に達しなかった。続く 2 セッション目で 75%と基準値 75%に達したものの、3 セッション目で 40%と連続で基準値に達しなかった。4 セッション目で 75%と基準値以上の値を示したものの、5 セッション目で 65%と連続で基準値に達しなかった。しかしながら、6 セッションで 80%と基準値以上の値を示し、7 および 8 セッション目でもともに 75%と 3 セッション連続で同様な結果を示したことから、黄緑（7.5GY）と白（N）を識別できたと判定した。

紫（5P）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 95%と基準値 75%以上の値を示した。続く 2 および 3 セッション目でもともに 85%と 3 セッション連続で同様の結果を示したことから、黄緑（7.5GY）と紫（5P）を識別できたと判定した。

青紫（5PB）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 75%と基準値 75%に達した。続く 2 および 3 セッション目で 80 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、黄緑（7.5GY）と青紫（5PB）を識別できたと判定した。

青（5B）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 75%と基準値 75%に達し、続く 2 および 3 セッション目もともに 85%と 3 セッション連続で同様な結果を示したことから、黄緑（7.5GY）と青（5B）を識別できたと判定した。

青緑（5BG）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 70%を示し、基準値に達しなかった。続く 2 および 3 セッション目でも 60 および 70%と基準値に達しなかった。しかしながら、4 セッション目で 80%と基準値 75%以上の値を示した。そして、5

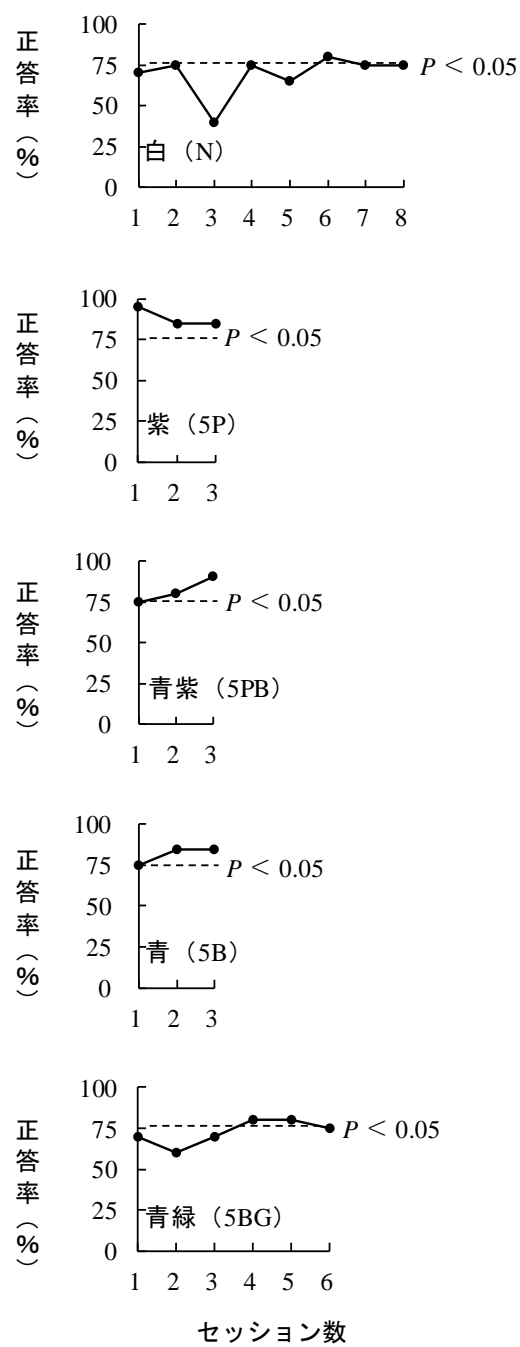


図 4-9. メスジカの黄緑と色相の異なる 10 色間の識別試験における正答率の推移

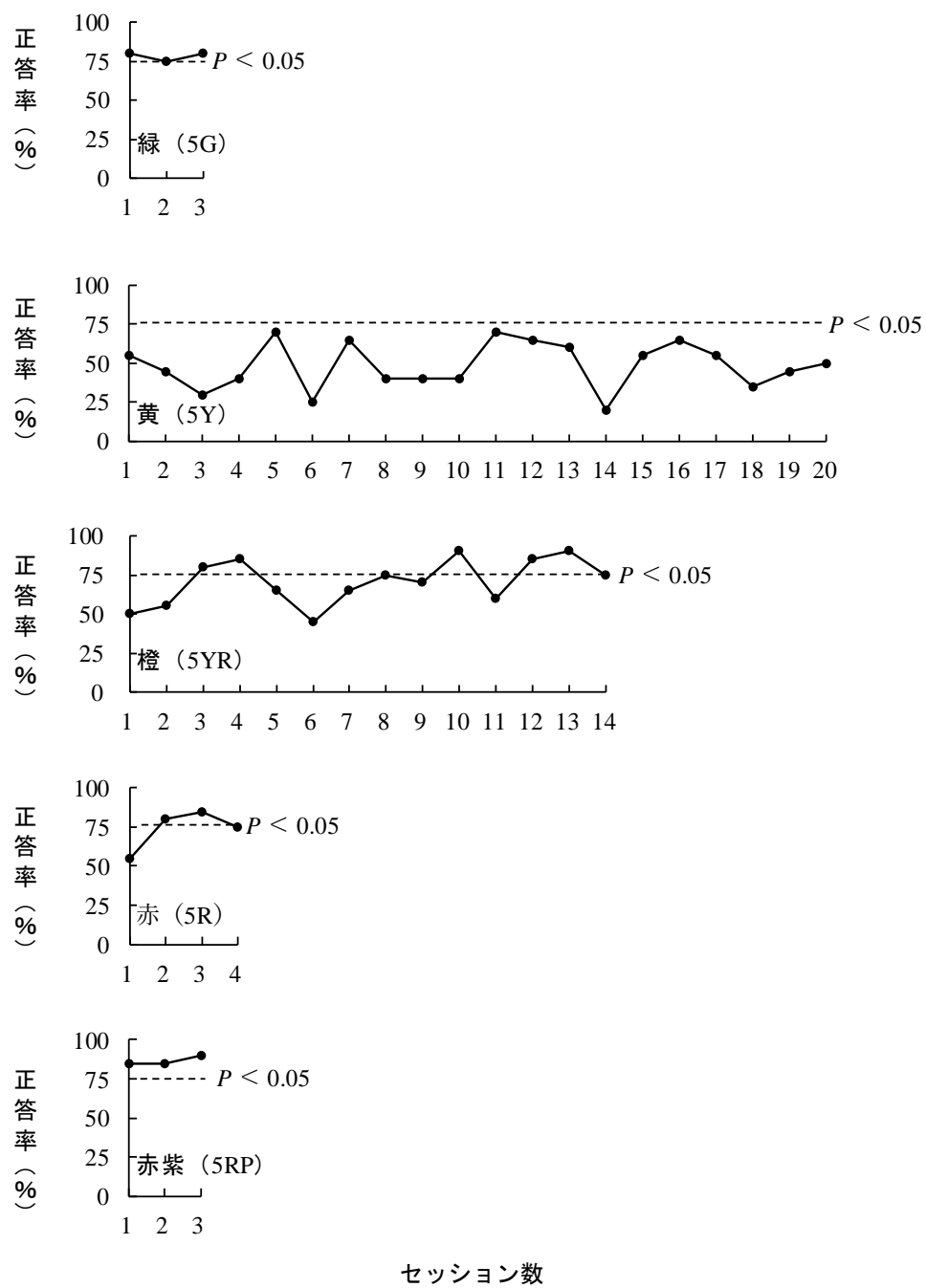


図 4-9. メスジカの黄緑と色相の異なる 10 色間の識別試験における正答率の推移 (続き)

および6セッション目も75および80%と3セッション連続で同様な結果を示したことから、黄緑(7.5GY)と青緑(5BG)を識別できたと判定した。

緑(5G)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75%以上の値を示した。続く2および3セッション目も75および80%と3セッション連続で同様な結果を示したことから、黄緑(7.5GY)と緑(5G)を識別できたと判定した。

黄(5Y)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55%を示し、基準値に達しなかった。それ以降、2~20セッション目まで20~70%を推移し、基準値に達しなかった。このことから、黄緑(7.5GY)と黄(5Y)を識別できなかつたと判定した。

橙(5YR)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50および55%と基準値に達しなかった。続く3および4セッションで80および85%と基準値75%以上の値を示したものの、5セッション目で65%と3セッション連続で基準値に達しなかった。6および7セッション目で45および65%と基準値に達さず、8セッション目で75%と基準値以上の値を示したものの、9セッション目で70%と連続で基準値に達しなかった。10セッション目では90%と基準値に達したものの、11セッション目では60%と基準値に達しなかった。しかしながら、12セッション目では85%と基準値以上の値を示し、13および14セッション目で90および75%と3セッション連続で同様な結果を示したことから、黄緑(7.5GY)と橙(5YR)を識別できたと判定した。

赤(5R)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55%と基準値に達しなかった。しかしながら、2セッション目で80%と基準値75%以上の値を示し、3および4セッション目で85および75%と3セッション連続で同様な結果を示したことから、黄緑(7.5GY)と赤(5R)を識別できたと判定した。

赤紫(5RP)色パネルを負刺激とした識別試験では、1セッション目で正答率は85%と基準値75%以上の値を示した。続く2および3セッション目で85および90%と3セッション連続で同様な結果を示したことから、黄緑(7.5GY)と赤紫(5RP)を識別できたと判定した。

考 察

黄緑(7.5GY)との識別において、オスで青(5B)、緑(5G)および赤紫(5RP)を最短の3セッション目で、白(N)、紫(5P)、青紫(5PB)、赤(5R)および青緑(5BG)を5~14セッション目で識別可能であった。また、および橙(5YR)についても識別可能であったが、16セッションと多くのセッションを要した。これに対し、黄(5Y)との識別は不可能であった。

メスでは紫 (5P), 青紫 (5PB), 青 (5B), 緑 (5G) および赤紫 (5RP) を最短の 3 セッション目で, 白 (N), 青緑 (5BG), 赤 (5R) および赤 (5R) および赤紫 (5RP) については 4~8 セッション目で識別可能であった。また, 橙 (5YR) についても識別可能であったが, 14 セッションと多くのセッションを要した。これに対し, 黄 (5Y) との識別は不可能であった。両者の結果から, シカにとって, 黄緑 (7.5GY), つまり牧草の色と識別し易い色は, 青 (5B), 緑 (5G) および赤紫 (5RP) であり, 橙 (5YR) については識別し難いことが示唆され, 黄 (5Y) は識別できないことが明らかとなった。

電気柵には, 電線に触れたシカに電気刺激を与え, その痛みを忌避学習させることでその侵入を防止する効果がある (高山ら 2008b)。電気柵を飼育シカに新奇障害物として提示し, その行動を調査した研究では, シカが最初に電気柵を目視し, 続いて口唇で電線に触れたことが報告されている (高山ら 2009)。このことから, 電気柵をシカに電線をしっかり視認させることが重要であると言える。電線には白や青, 橙および黄などの様々な色のものが用いられている (図 4-10)。ニホンイノシシ (*Sus scrofa leucomystax*) は青系統の色のみを他の有彩色 (赤や緑など) と識別可能であることが報告されており (Eguchi ら 1997), イノシシの被害対策においては, 青色の電線が最も視認性に優れた電線の色として普及している。シカにおいては, 本試験の結果をみると牧場草地で白, 橙および青の電線を識別することができると推察された。これに対し, シカは牧場草地で黄を識別できないため, 電線色として最も視認性に劣るものと推察された。

色覚とは波長構成の違いに基づいて光を識別する感覚のことであり (河村 2017), ヒトや動物は特定の波長の電磁波を光として認識し, 波長の異なる光は異なる色として知覚される (岡部と伊藤 2002a)。光受容器として視細胞には錐体細胞と桿体細胞があり, 錐体細胞が色覚に関係する (内川 2016)。

ヒトは約 400~700 nm の波長域を知覚できるとされ, 分光吸収特性の異なる 3 種類の錐体を持つ 3 色覚であると言われている (Hofmann と Palczewski 2015)。3 種類の錐体はそれぞれ長波長域 (約 560 nm), 中波長域 (約 530 nm), 短波長域 (約 420 nm) に最大感度を持ち, それらはそれぞれ L (赤) 錐体, M (緑) 錐体および S (青) 錐体と呼ばれている (Hofmann と Palczewski 2015)。Young-Helmholtz の 3 色説は赤, 緑, 青の 3 原色を適量に混合することによって, すべての色を作ることができるというものである (北原 2003)。つまり, 網膜上では 3 種類の錐体細胞がある波長の光に対して異なる度合いで興奮することでそれらの出力が適当に組み合わせられて, あらゆる色が知覚される (岡部と伊藤 2002b) (図 4-11 A)。



図 4-10. 市販されている様々な色の電線（上から白，青，橙および黄）

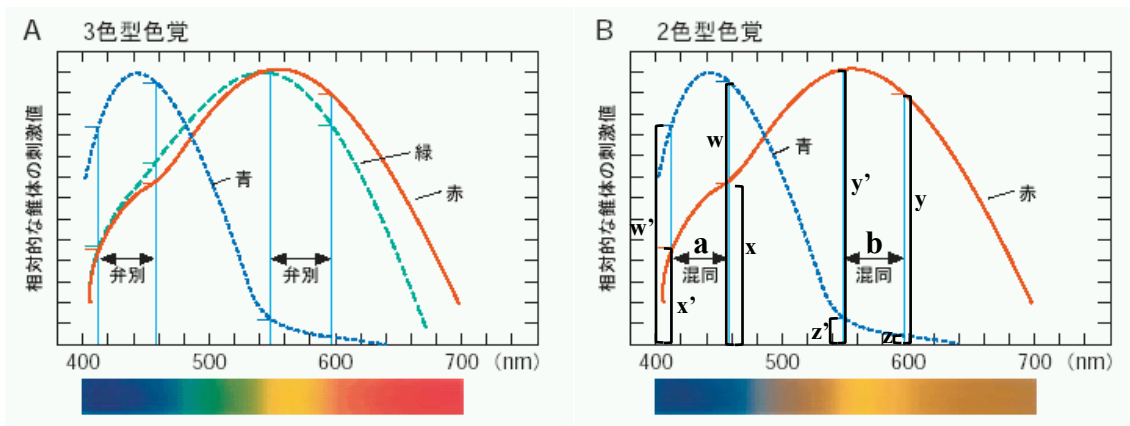


図 4-11. L, M, S 錐体の受光スペクトルと異なった波長の色の弁別
(岡部と伊藤 (2002b) を一部改変)

A : 3 色覚の場合, 3 種類の錐体細胞が, 異なる度合いで興奮することで様々な色を識別できる.

B : 2 色覚の場合, 2 種類の反応度の差を利用して, 広い波長域の色の識別が可能である. しかし, a および b の範囲では, L (赤) 錐体および S (青) 錐体の反応度の差が同じようになってしまい, 同じような色として混同される.

a の場合... $x'-w'=x-w$

b の場合... $y'-z'=y-z$

一方、霊長類を除く大多数の哺乳類は L もしくは M 錐体と S 錐体の 2 種類を有する 2 色覚である (河村 2017)。2 色覚の場合、L および S 錐体または M および S 錐体の反応度の差を検出することで広い波長域の色を弁別することができる (岡部と伊藤 2002b) (図 4-11 B)。しかし、L 錐体と M 錐体との反応度の差については色の知覚に用いることができないため、図 4-11 B において a および b のように 2 種類の錐体細胞による出力の比が同じようになる波長においては、M 錐体 (または L 錐体) および S 錐体のそれぞれの最大感度付近を中心とした範囲で左右の色が対称的に見えてしまうことが分かっている (岡部と伊藤 2002b) (図 4-12 C)。

Jacobs ら (1994) はオジロジカ (*Odocoileus virginianus*) およびダマジカ (*Dama dama*) の色覚について生理学的手法を用いて調査し、これらのシカが網膜上に視細胞を有し、中波長域と短波長域に感度が高い 2 種類の錐体を持つことから、2 色覚であることを報告している。オジロジカおよびダマジカの M 錐体の最大感度は 537 および 542 nm、また S 錐体では 456 および 454 nm であり、長波長域に感度が高い L 錐体を有していないことが分かっている (Jacobs ら 1994)。

本試験と同じ学習装置を用いた色識別試験で、シカは 3 原色 (赤、緑および青) と無彩色 (灰色) を識別でき (Takayama ら 2018)、3 原色 (赤、緑および青) 間の識別も可能であること (Nakamura ら 2018)、さらにはヒトにおいて 2 色覚の場合に識別困難とされている色の組み合わせ (赤と青緑、赤紫と緑および青と緑) をいずれも識別できること (中村ら 2021) が既に明らかになっている。これらの結果より、シカは L 錐体を有していない 2 色覚であるが、その色識別能力は L 錐体が欠損しているヒトの 1 型 2 色覚と一致せず、シカ特有のものである可能性が示唆された。

キュウシュウジカの持つ 2 種類の錐体細胞の最大感度がダマジカと同様に 542 および 454 nm であると考えた場合、M 錐体は約 650 nm から、S 錐体では約 550 nm から短波長側へ感度が広がり (Jacobs ら 1994) (図 4-13)、約 450~550 nm の範囲では M および S 錐体の 2 種類が顕著に働くことで色を知覚すると考えられる。これに対して、約 550~650 nm の範囲では S 錐体の感度は非常に低く、M 錐体の活性に頼っている。また、約 400~450 nm の範囲では M 錐体の感度は低下することが予想される。特に、M 錐体の感度はそのピークから 650 nm にかけて急に落ち込み (Jacobs ら 1994)、長波長域における可視光領域を制限している可能性がある。本試験で用いた色の数値を主波長に変換したところ、正刺激として用いた黄緑 (7.5GY) で 560 nm であり、負刺激として用いた色については青紫 (5PB) で 476 nm、青 (5B) で 485 nm、青緑 (5BG) で 493 nm、緑 (5G) で 515 nm、黄 (5Y) で 576 nm、橙 (5YR) で 587 nm、赤 (5

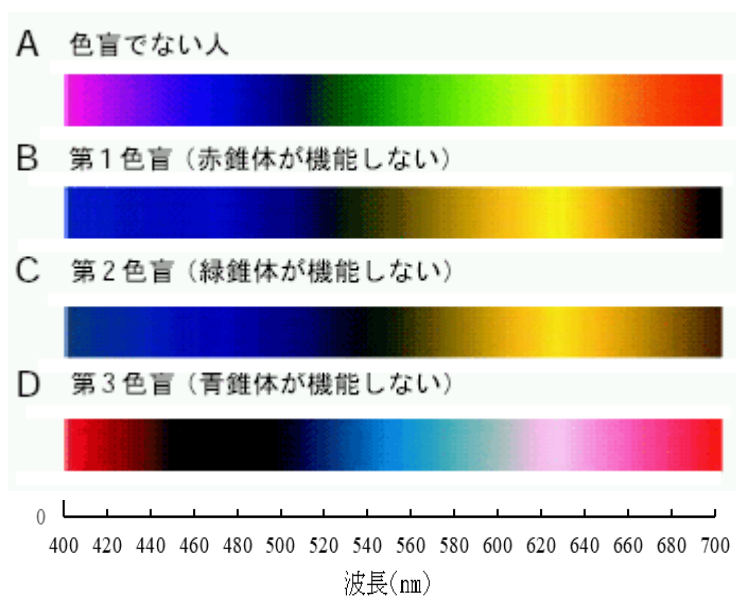


図 4-12. 2色覚の色の見え方のシミュレーション
(岡部と伊藤 (2002b) を一部改変)

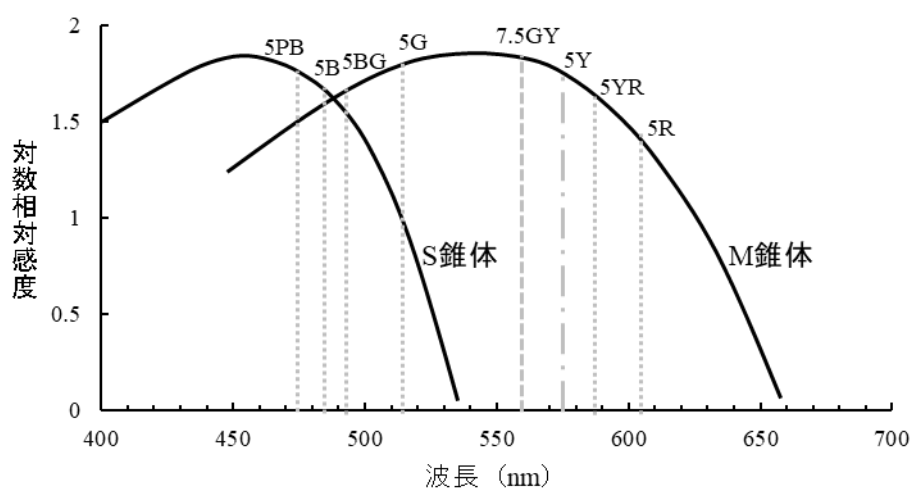


図 4-13. シカにおける錐体細胞の感度と供試色との関係

シカの感度曲線については Jacobs ら (1994) を参考に作成.

縦線は供試色の主波長を示す.

— — — : 正刺激として用いた色

..... : 負刺激として用いた色のうち, 正刺激 (黄緑) と識別できたもの

— . . . : 負刺激として用いた色のうち, 正刺激 (黄緑) と識別できなかったもの

R) で 606 nm であった (図 4-13). なお, 紫 (5P) と赤紫 (5RP) についてはそれらの色の性質により主波長が算出できないため図示していない. 黄緑 (7.5GY) を含み, それよりも長波長域の色を知覚する際には, S 錐体はほとんど反応せず, M 錐体が知覚および識別に大きく関与したと考えられる. しかしながら, 1 種類の錐体細胞の感度変化によって 2 つの色を識別する場合でも, 波長の差が大きくなると錐体細胞の反応度の差も大きくなり, 識別が可能になると推察される. また, シカと同様に長波長域での可視光領域が狭いヒトの 1 型 2 色覚 (Protanopia) においては, 長波長の感度が非常に低いため, 赤を暗くて目立たない色として認識し, その範囲の色同士を識別し難いことが知られている (岡部と伊藤 2002b).

シカが黄緑 (7.5GY) と黄 (5Y) を知覚する際には M 錐体の反応度が同程度となったことから, それらの色が似た色として知覚され, 識別できなかったと考えられた. これに対し, より長波長側に近づくと M 錐体の反応度の変化が徐々に大きくなったことに加え, 暗い色として知覚されるようになったために黄緑 (7.5GY) と橙 (5YR) および赤 (5R) の識別が可能であったと推察された (図 4-13). 一方で, 黄緑 (7.5GY) よりも短波長側にある青紫 (5PB), 青 (5B), 青緑 (5BG), 緑 (5G) を知覚する際には顕著に働く 2 種類の錐体細胞によって色が知覚されたと考えられる. 2 色覚のヒトの場合には, 2 種類の錐体細胞の感度曲線が交差する波長付近では波長の差が小さくても色の識別能力が高いことが分かっている (安間 1982). 本試験のシカにおいても, 2 種類の錐体細胞が重複する 490 nm 付近に位置する青や緑系統の色同士では色の違いが明確であったと考えられ, 黄緑 (7.5GY) との識別も容易であったと推察された. 一方, 白 (N) は無彩色の中で最も明度が高い色であり, 黄緑 (7.5GY) とは色相だけでなく, 明度および彩度がいずれも異なる色である. ヒトにおける 3 色覚では, 背景が白の場合に最も視認性に劣る有彩色は黄であるとされている (大島 1953, 城 2014). これはヒトが明条件下で最も明るく感じる, すなわち白に近い感覚が生じるのが黄であり (仁田 1977), L 錐体の機能しない 2 色覚の場合には短波長側にずれて黄緑に該当することが分かっている (安間 1982). 本試験の結果からシカにとって黄緑 (7.5GY) と黄 (5Y) は混同色であることが示唆され, 白 (N) との識別において橙 (YR) の次に多くのセッション数を費やしたのは, 両者が明るく感じられたことが関係している可能性が推察された. また, Takayama ら (2018) は本試験と同一個体を用いて有彩色 (正刺激) と無彩色 (負刺激) の識別試験を実施した際には, 有彩色と明度を統一した灰色 (無彩色) を供試しており, 特に緑色については明暗いずれも 3~4 セッションと容易に識別可能であったと報告している. 本試験では正刺激に黄緑を用いており, 直接的な比較はできないものの, 同じ無彩色 (黒, 灰および白) であっても

明度が違えば同一の有彩色との識別のし易さが異なることが示唆された。

以上より、キュウシュウジカは牧場草地（黄緑，7.5GY）において青（5B），緑（5G）および赤紫（5RP）など様々な色の電線を識別できることが示された。一方，黄（5Y）については識別できない可能性が示された。

第2節 ランドルト環を用いたシカの視力測定

目 的

動物の視覚は視野、色覚および視力から構成されている。ウシ (*Bos taurus*) やブタ (*Sus scrofa domesticus*) の視力は、ランドルト環を用いたオペラント学習実験装置を用いることでそれぞれ 0.04~0.08 および 0.017~0.07 であることが明らかにされている (萬田ら 1993, Tanaka ら 1998)。しかしながら、シカの視力に関する知見は見当たらない。

電気柵によるシカ侵入防止を考えると、前節の結果より一般に流通している電柵用電線の色については視認していることが推察されるものの、電線の存在や形をどの程度視認しているかは不明である。

そこで本節では、草地での電気柵によるシカ侵入防止に向けた視覚に関する基礎的知見を得ることを目的とし、前節で使用した学習装置で視指標としてランドルト環を用いてシカの視力を検討した。

材料および方法

試験期間および試験地

2018 年 6 月から同年 10 月にかけて、前節と同じ学習装置を用いて試験を行った (図 4-2 および 4-4)。

供試動物

2016 年 10 月に入来牧場で捕獲された推定年齢 2 歳のキュウシュウジカ 2 頭 (オス・メス各 1 頭) を供試した。いずれも前節で用いたものと同一個体であった。

学習装置

オペラント学習実験装置内の待機室 (W) 前面のドア (D) は上下に開閉できるようにした。その前方 400 cm に T 字型の衝立を設置し、衝立の中心から待機室に向かって 300 cm の中央仕切り (高さ 110 cm) を設けて、衝立の前方左右には、正刺激・負刺激のパネル (P) を掛け、左右を自由に交換できるようにした (図 4-14)。衝立の後方左右に飼槽 (F) を置き、負刺激のパネル後方の飼槽には、金網のフタを用意し、これにより供試シカの摂食行動を制御した。学習装置内部の照度を一定に保つため、上部に屋根を設けて暗室とし、視力パネル中央部の照度が照明ランプ点灯時に 150~200 lx となるようにした。また、学習装置内には赤外線カメ



図 4-14. 衝立前方左右の 2 枚の視力パネル（視力 0.01）と衝立の中心から待機室に向かって設けた 300 cm の中央仕切り

ラ 4 台 (SC-701R ; オーム電機) とデジタルビデオカメラ 1 台 (DCR-SX41 または SR300 ; SONY) を設置し, シカが待機室から出て視力パネルを識別し, 衝立の後方で飼料を摂食するまでの状況をそれぞれ観察・記録した (図 4-15). なお, 学習装置内部の床は土で, 壁は全面白色に統一した.

視力パネル

視力パネル (縦 800×横 600×厚さ 5 mm) の視標には, 国際基準であるランドルト環を用いた. 視力の測定はランドルト環の寸法を変えることにより行った. 各視力値におけるランドルト環の寸法を万国試視力表 (5 m) に基づき, 選択点までの距離 3 m で補正した (表 4-2). 正刺激にはランドルト環を用い, 負刺激には同寸法の円を用いた. このランドルト環・同寸法の円を印刷したポスター (縦 750×横 500 mm) をベニヤ板 (縦 800×横 600×厚さ 3 mm) に皺のよらないように張りつけ, またポスター表面の汚れや破損を防ぐために厚さ 2 mm の透明ビニールで表面を覆い, 視力パネルを作成した.

試験方法

(予備訓練)

供試シカを学習装置に馴致させるとともに, 供試シカが視力パネル (ランドルト環および同寸法の円) のみを手掛かりに識別していることを確認するため, 予備訓練を 2018 年 6 月 5 日から 10 日にかけて行った. 予備訓練では, 2 枚のパネルともに同様の同寸法の円を印刷したポスターを貼り付け, これを正刺激および負刺激として識別試験を行った. 1 セッション 20 試行とし, 正解が 10 試行 (正答率 50% 程度) 程度であることを確認し, オスジカ, メスジカ共に 5 セッションで予備訓練を完了した.

(学習訓練)

視力パネルと報酬 (飼料) との関係を連合学習させるための訓練をオスジカでは 2018 年 6 月 11 日から 7 月 20 日, メスジカでは同年 6 月 11 日から 6 月 16 日にかけて行った. 訓練では, 実験者が観察室から待機室前方ドアを開け, 供試シカが待機室を出て, 仕切り前で視力パネルを選択する際に, ランドルト環パネルを掛けている T 字型衝立後方の飼槽へ行くと, そこに飼料が置いてあるというランドルト環パネルと飼料の関係を学習させた. 一定量を摂食させた後は, 待機室へ誘導した. 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 試行とした. 学習訓練においては視力 0.01 のパネルを用い, 1 セッションにつき 20 試



(1) 待機室から出る供試シカ



(2) 選択点で視力パネルを識別



(3) ランドルト環パネルに向かう状況



(4) 衝立後方で飼料を摂食

図 4-15. 供試シカが装置内でランドルト環を選択する状況

表 4-2. 供試した各視力値におけるランドルト環の寸法

視力	万国試視力表 (選択点までの距離5 m)		補正值 (選択点までの距離3 m)	
	環の外径	太さと切れ目の幅	環の外径	太さと切れ目の幅
	—mm—			
0.01	729.1	145.5	437.4	87.3
0.02	364.5	72.7	218.7	43.6
0.04	182.3	36.4	109.4	21.8
0.08	91.1	18.2	54.7	10.9
0.16	45.6	9.1	27.3	5.5
0.24	30.4	6.1	18.3	3.6

行とし、オスジカは計 44 セッション、メスジカは計 6 セッション行った。

(本試験)

本試験を学習訓練および予備訓練と同様な手順で行った。実験者が待機室前方ドアを上部に開くことにより、供試シカが前方 400 cm の T 字型衝立前方に掛けられた左右の視力パネルから 300 cm の選択点の距離までに、視力パネルを自由に選択することができるようにした。待機室を出てから飼槽へ行くまでの行動を装置内に設置した赤外線カメラおよびデジタルビデオカメラで撮影し、実験者はモニターを通して、その行動を観察・記録した。左右視力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 10 g 入れた。正刺激の飼槽はシカが摂食できるようになっており、正解した場合には中に入れた一定量 (10 g) の飼料を摂食させた。一方、負刺激の飼槽には金網の蓋を被せ、不正解の場合には飼料を摂食できないようにするとともに、においの有無を手掛かりに正刺激のパネルを選択することがないようにした。また、供試シカが選択点より内側で視力パネルを選択した場合は、すべて不正解と判定した。正刺激・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。識別試験は 1 セッション 20 試行とし、1 日 1~2 セッション実施した。本試験は視力 0.02 より始め、0.04, 0.08, 0.16 および 0.24 まで行った。

(各視力のランドルト環識別の判定)

装置内に設置した赤外線カメラおよびデジタルビデオカメラの映像とそれを基に行動表に記録した供試シカの選択行動から各セッションでの正刺激パネルの選択率 (以下、正答率) を算出した。 χ^2 検定では、1 セッション 20 試行のうち、正解が 15 試行を超えた時に 5% 水準で有意となるため、正答率 75% を基準値とし、正答率 75% に 3 セッション連続で到達することによりその視力のランドルト環を識別できたと判定した。なお、1 つの視力につき最大 20 セッション行い、正答率 75% に 3 セッション連続で到達しない場合はランドルト環の識別は不可能と判定してその視力の試験を終了した。

結 果

オスジカの視力試験の結果を図 4-16 に示した。視力 0.02 の試験では、正答率は 1 セッション目で 70% を示し、基準値 75% に達しなかった。2 セッション目では 75% と基準値を示し、3 および 4 セッション目で 75 および 75% と 3 セッション連続で基準値に達したことから、視力 0.02 を有していると判断した。視力 0.04 の試験では、1 セッション目では 80% と基準値 75% 以上の値を示したが、2 セッション目では 55% と、基準値 75% に達しなかった。3 セッション

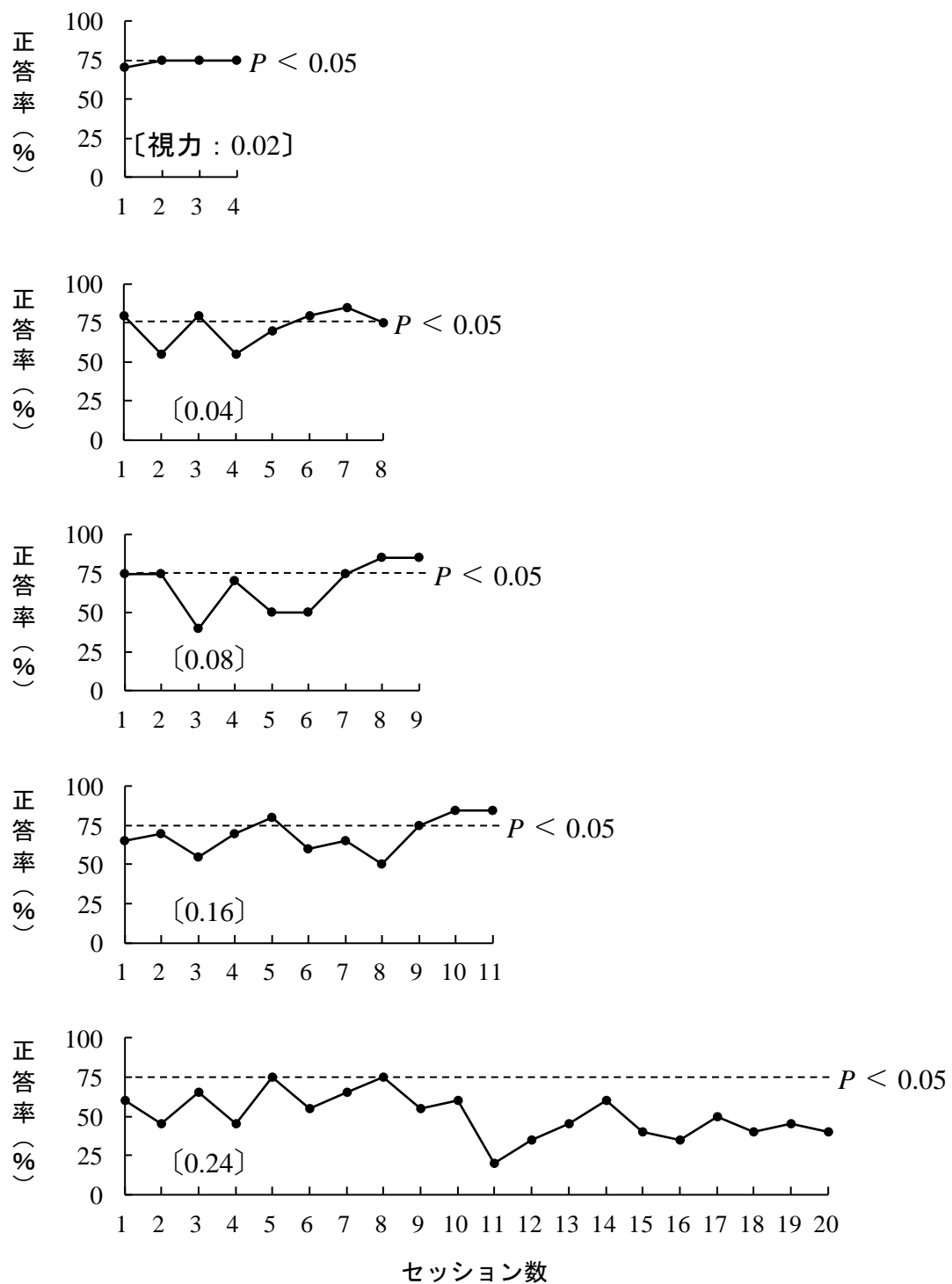


図 4-16. オスジカにおける視力試験の正答率の推移

目では 80%と基準値 75%以上の値を示したが、4 および 5 セッション目で 55 および 70%と基準値 75%に達しなかった。しかしながら、6 セッション目では 80%と基準値 75%以上の値を示し、7 および 8 セッション目で 85 および 75%と 3 セッション連続で基準値に達したことから、視力 0.04 を有していると判断した。視力 0.08 の試験では、1 および 2 セッション目でいずれも 75%と基準値 75%に達したが、3 セッション目で 40%と基準値 75%に達しなかった。続く 4、5 および 6 セッションでもそれぞれ 70、50 および 50%となり、基準値 75%に達しなかった。7 セッション目で 75%と基準値 75%に達し、8 および 9 セッション目でいずれも 85%と 3 セッション連続で基準値に達したことから、視力 0.08 を有していると判断した。視力 0.16 の試験では 1 セッション目で 65%と基準値 75%に達しなかった。さらに、2~4 セッションにかけてもそれぞれ 70、55 および 70%を示し、基準値 75%に達しなかった。5 セッション目では 80%と基準値 75%以上の値を示したが、6、7 および 8 セッション目でそれぞれ 60、65 および 50%と基準値 75%に達しなかった。9 セッション目では 75%と基準値 75%に達し、10 および 11 セッション目でいずれも 85%と 3 セッション連続で基準値に達したことから、視力 0.16 を有していると判断した。視力 0.24 の試験では 5 および 8 セッション目でいずれも 75%と基準値 75%に達した。しかしながら、20 セッションまで試験を行ったものの、5 および 8 セッション目以外では基準値 75%以上の値を示さなかったため、視力 0.24 は有していないと判断した。この結果から、オスジカの視力は 0.16 と判定した。

メスジカの視力試験の結果を図 4-17 に示した。視力 0.02 の試験では、正答率は 1 および 2 セッション目でいずれも 75%と基準値に達したものの、3 セッション目では 55%と基準値に達しなかった。4 セッション目では 80%と基準値 75%以上の値を示し、5 および 6 セッション目でいずれも 95%と 3 セッション連続で基準値に達したため、視力 0.02 を有していると判断した。視力 0.04 の試験では、1 セッション目で 90%と基準値 75%以上の値を示したものの、2~5 セッションにかけてそれぞれ 50、65、70 および 70%と基準値 75%に達しなかった。6 セッション目では 85%と基準値 75%以上の値に達したが、7~9 セッション目でそれぞれ 60、65 および 60%と基準値 75%に達しなかった。しかしながら、10 セッション目では 75%と基準値 75%に達し、11 および 12 セッションで 75 および 85%と 3 セッション連続で基準値に達したことから、視力 0.04 を有していると判断した。視力 0.08 の試験では、1~11 セッション目で 40~70%を推移し、基準値 75%に達しなかった。12 セッション目で 80%と基準値 75%以上の値に達したものの、13 セッション目で 55%と基準値 75%に達しなかった。14 セッション目では 75%と基準値に達したが、15 および 16 セッション目でいずれも 65%を示し基準値に達し

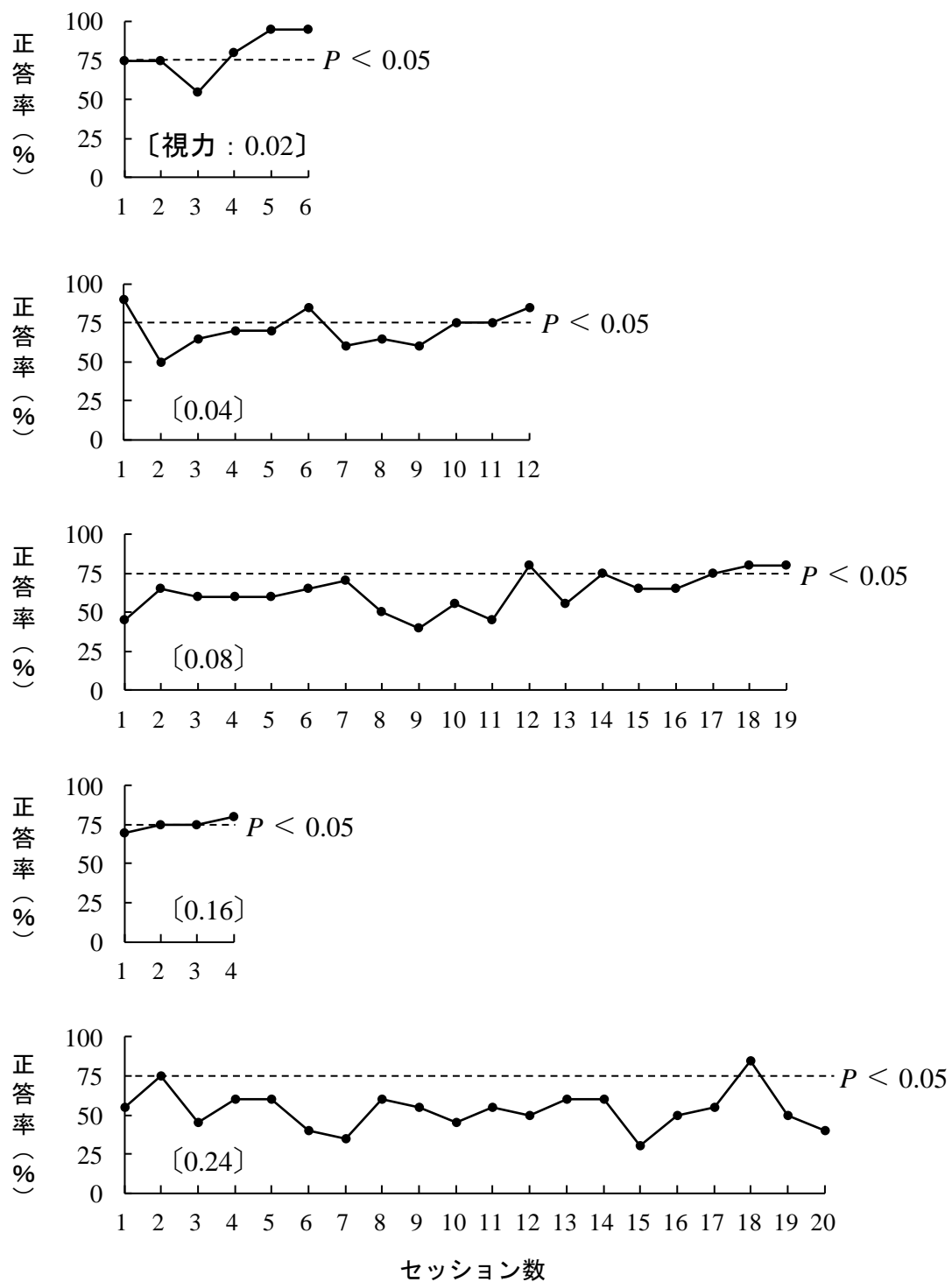


図 4-17. メスジカにおける視力試験の正答率の推移

なかった。しかしながら、17セッション目で75%と基準値75%以上の値を示し、18および19セッションでいずれも80%と3セッション連続で基準値に達したことから、視力0.08を有していると判断した。視力0.16の試験では、1セッション目で70%と基準値に達しなかったが、2セッション目では75%と基準値75%以上の値を示した。3および4セッション目で75および80%と3セッション連続で基準値に達したことから、視力0.16を有していると判断した。視力0.24の試験では、1セッション目で55%と基準値75%に達しなかったが、2セッション目では75%と基準値75%以上の値を示した。しかしながら、3～17セッションでは30～60%を推移し、基準値75%に達しなかった。また、18セッション目で85%と基準値75%以上に達したものの、19および20セッション目で50および40%を示し、基準値に達しなかった。この結果から、メスジカの視力は0.16と判定した。

考 察

視力とは、物体の存否や形状を認識する眼の能力のことであり、ヒトでは通常、ランドルト環が描かれた万国試視力表を用い、被検者が一定の距離の位置から試視力表を確認して判別し、口頭（あるいは指で指し示す）により応答することによって測定する（仁田 1977）。

家畜については、オペラント学習装置を用いた視力パネルの識別試験によりウシの視力が0.04～0.08（萬田ら 1993）やブタの視力が0.017～0.07（Tanaka ら 1998）であることが明らかにされているが、野生動物であるシカの視力に関する知見は見当たらない。本試験では、ウシ（萬田ら 1993）やブタ（Tanaka ら 1998）と同様に、オペラント学習装置を用いることでシカの視力が測定可能であることが示された。ウシやヒツジ（*Ovis aries*）などの草食動物はネコ（*Felis catus*）などの捕食動物と比べて両眼視野が狭く片眼視野が広いことが知られており（Houpt と Wolski 1982）、一般に視力も乏しいと考えられている。これらの草食動物の視力はウシで0.04～0.08、ヒツジで0.085～0.19であり、夜間でも活発に行動するイノシシを祖先とするブタについては0.017～0.07と低い値であることが明らかになっている（萬田ら 1993, Tanaka ら 1995, Tanaka ら 1998）。本試験で得られたキュウシュウジカの視力0.16という値は、先行研究であるウシおよびブタに比べて高く、むしろヒツジに近かった。

萬田ら（1989a）はウシの色の識別能力を明らかにした後、その視力（萬田ら 1993）や電線の色に対するウシの行動反応の違い（萬田ら 1989b）を解明し、電気柵を利用したウシの放牧管理では赤色かつ1.0 cm 幅のリボンワイヤーを使用することで脱柵防止につながることを明らかにしている。前節および本節の結果からキュウシュウジカは牧場草地（黄緑）におい

て黄を識別できないものの、青、緑および赤紫など様々な色を識別する能力を有し、その視力はウシの 2~4 倍と優れていることが明らかになった。このことから、一般に流通している 2 mm の電柵用電線（図 4-10）については黄を除いて、昼夜に関わらず、十分に視認している可能性が示唆された。それと同時に、高山ら（2017c）の報告および第 3 章では草地に設置した電気柵の電線間をキュウシュウジカが繰り返し通り抜ける状況がみられており、本試験で得られたキュウシュウジカの色覚や視力に関する知見はシカが電気柵を視認した上で通り抜けていることを裏付けるものであった。そのため、草地での電気柵を利用したシカ害防除では、通り抜けを学習したシカに再度、電気柵を忌避させるための手法開発が重要と考えられた。

動物の視覚は色覚、視力、そして視野で成り立っており、草食動物の視野は片眼視野が広く、両眼視野が狭い（黒崎 1997）。こうした草食動物の視野特性を利用した家畜の放牧管理方式の 1 つにテキサスゲートの利用が挙げられる（田戸ら 2009）。一般に、テキサスゲートは遠近感が乏しい草食家畜、特にウシの敷地外への脱走を防止するために柵が設置できない道路や通用路などに設置され、その効果は大きいことが経験的に知られている。その一方で、ウシやヒツジなどと同じ草食家畜であるヤギは傾斜地や崖も移動可能であり、このことは草食動物であっても遠近感や奥行き知覚は種類によって異なる可能性があることを示唆しており、キュウシュウジカの立体視能力について追究の余地が残された。

第3節 要 約

草地での電気柵によるシカ (*Cervus nippon*) 侵入防止に向けた視覚に関する基礎的知見を得ることを目的としてオペラント条件付けを用いた行動学的アプローチにより飼育キュウシュウジカ (*C. n. nippon*) を用いて 1) 色覚および 2) 視力を解明した。

1. 行動学的手法を用いたシカの色覚検査

牧草 (イタリアンライグラス) の茎葉色である黄緑と識別し易い色および識別し難い色を行動学的に明らかにした。試験はオペラント学習装置 (4×8 m) 内でシカ 2 頭 (推定年齢 4 歳: オス・メス各 1 頭) を用いて行った。正刺激として黄緑パネル、負刺激として黄緑と色相の異なる計 10 つの色パネルのいずれかを同時に提示し、その識別能力を調査した。1 セッションをオスで 15 試行およびメスで 20 試行とし、それぞれ 80 および 75% 以上 (χ^2 検定, $P < 0.05$) の正答率に 3 セッション連続で到達した場合、提示した色を識別可能と判定した。供試シカはいずれも黄緑と白、紫、青紫、青、青緑、緑、橙、赤および赤紫を識別でき、なかでも青、緑および赤紫については最少、橙については最多のセッション数であった。これに対し、黄については 20 セッション以内に識別不可能であった。したがって、シカは牧場草地 (黄緑) において様々な色の電線を識別できる一方、黄を識別できない可能性が示された。

2. ランドルト環を用いたシカの視力測定

ランドルト環を用いてシカの視力を測定した。試験はオペラント学習装置 (4×8 m) 内でシカ 2 頭 (推定年齢 2 歳: オス・メス各 1 頭) の前方左右に正刺激のランドルト環と負刺激の同寸法の円を印刷した 2 枚のパネルを同時に提示し、3 m 先から選択させた。また、パネル上のランドルト環の大きさを変えることで視力 (0.02, 0.04, 0.08, 0.16 および 0.24) を判定した。1 セッションを 20 試行とし、75% 以上の正答率 (χ^2 検定, $P < 0.05$) が 3 セッション連続でみられた場合、提示した視力のランドルト環パネルを識別可能と判定し、最大 20 セッション行った。視力 0.02, 0.04, 0.08 および 0.16 の試験では、供試シカはいずれも 4~19 セッション目で識別が可能であった。しかしながら、視力 0.24 の試験では、供試シカはともに 20 セッション以内に識別不可能であった。したがって、シカの視力は 0.16 であることが明らかとなった。

シカは牧場草地 (黄緑) において黄を識別できないものの、青、緑および赤紫など様々な色を識別する能力を有し、その視力は 0.16 とウシ (*Bos taurus*) の 2~4 倍優れていることが明らかになった。以上のことから、シカが電気柵を通り抜ける際には、電線をしっかりと視認した上で通り抜けていることが推察された。

第5章 電気柵を用いたシカ侵入防止

緒言

電気柵は通電状態の電線に接触した家畜や野生動物に強力な電気（嫌悪）刺激を与え、忌避学習させるものであり、学習成立後、動物は再び電線に接触することを嫌い、避けるようになることから、心理柵とも呼ばれている（井上と金森 2006, 小針ら 2008）。電気柵の設置は容易であり、資材が比較的低コストであることから、放牧家畜であるウシ（*Bos taurus*）やブタ（*Sus scrofa domestica*）などの脱柵防止や野生獣であるシカ（*Cervus nippon*）やイノシシ（*Sus scrofa*）などの農地への侵入防止に広く用いられている（家畜改良センター 2009, 塚田ら 2016, 高山ら 2018a, 高山ら 2018b）。

第3章では鹿児島大学附属農場入来牧場（以下、入来牧場）の草地に5段張り電気柵を設置したところ、常に通電状態が維持されていたにも拘らず、シカの侵入を完全に防止することができなかった。侵入する際には、シカが口唇で触れることなく架線間を通り抜ける状況が観察され、その原因としてシカが架線を十分に目視できていない可能性も考えられたが、むしろ第4章の結果からシカがしっかりと視認しているものと推察された。一方、供試草地である入来牧場では、10年以上に亘りシカ侵入防止策として電気柵を使用しており、その中で漏電や断線した電気柵が一時的に放置される状況がみられていた。これにより、一部のシカが電気柵を通り抜けることを学習し、第3章の電柵区で観察された通電状態の電気柵に対するシカの通り抜け、さらには侵入防止効果の低下につながった可能性がある。

そこで本章ではヒト側の要因、すなわち“ヒューマンエラー”によって引き起こされる電圧低下が電気柵に対するシカの忌避反応に与える影響を調査するため、1) 非通電状態の電気柵の放置がシカの通り抜け行動の発現に及ぼす影響を明らかにした上で、2) 電気柵への通電の有無と飼育シカの侵入防止効果の関係について検討した。

第1節 非通電状態の電気柵の放置はシカの通り抜けを助長する？

目 的

最近、畜産分野では草地へのシカ侵入が問題視されており（Kamei ら 2010, 塚田 2012）、高山ら（2013）は草地周囲に 30, 60, 100 および 140 cm の高さに架線した 4 段張り電気柵を設置することで高い侵入防止効果が得られることを明らかにしている。その一方で、第 3 章のように草地周囲に設置した 5 段張り電気柵に対し、シカが電線に触れることなく通り抜け、侵入することもあり、これについて高山ら（2017c）は電気を出力する本器の故障や漏電による電圧低下がシカの侵入を助長した可能性を示唆している。放牧牛における電気柵利用では、本器からの通電を非通電状態に切り替えることで、電気柵に対するウシの忌避レベルが急速に低下し、翌日には脱柵する個体が出現すること、さらには一部の個体で再通電した後も脱柵を繰り返すことが報告されている（小針ら 2008）。しかしながら、同様な条件下に置かれたシカが電気柵に対して示す行動反応は未だ明らかにされていない。

そこで本節では、電気柵による草地へのシカ侵入防止法の確立に向けた基礎的知見を得るために、本器からの通電の停止が飼育シカの電気柵の通り抜け行動の発現に及ぼす影響について検討を行った。

材料および方法

試験期間および試験地

試験は入来牧場において、2017 年 3 月から同年 5 月にかけて行われた。

供試動物

入来牧場内で捕獲された 2 頭のシカ（推定年齢 1 歳：オス・メス各 1 頭）を供試した。

試験方法

シカを飼育場（150 m²）（図 5-1）で放飼し、シカと飼槽を遮る形で、高山ら（2013）の報告により既に高い侵入防止効果が得られている 4 段張り電気柵（30, 60, 100 および 140 cm の高さに直径 2 mm の青色電線を架線）を設置した。1) まず、本器（アニマルキラー 4300DC2-SL, タイガー株式会社）から 1 秒間隔のパルス電流（約 3,500 V）を出力した状態の電気柵をシカに 24 時間提示（以下、通電区）し、その行動をセンサーカメラ 3 台（SG570-12mHD, BMC 社製）およびデジタルビデオカメラ（DCR-SX41, SONY 社製）1 台で記録し

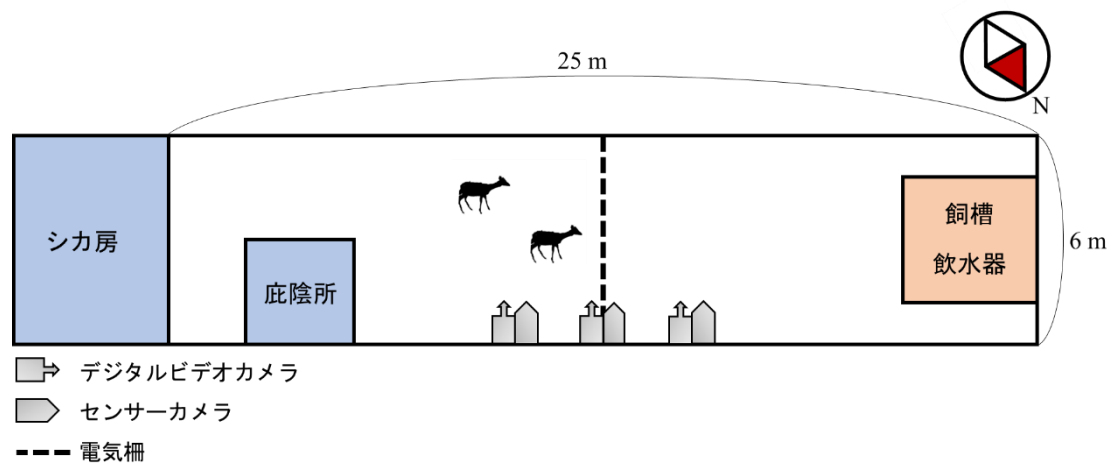


図 5-1. 試験地の概要

た．2) 続いて，本器から出力しない状態，つまり非通電の電気柵を 24 時間提示（以下，非通電区）する実験について，電気柵を提示しない期間（4 日間）を挟みながら，5 日おきに計 5 回（以下，非通電区①～⑤）行った（図 5-2）．3) 最後に，本器から出力した状態，つまり再度通電した電気柵を 24 時間（以下，再通電区）提示し，それぞれの行動を 1) と同様な方法で記録した．なお，試験の際，シカが飼槽側へ行った場合には，実験者が飼育場の外側から飼槽側にいるシカへ近付き，追い返すことにより庇陰所側へ毎回連れ戻した．また，シカの接触により電線の弛みや断線が生じた場合には，直ちに補修を行った．

撮影した動画からシカが電気柵の手前 1 m 以内に接近した回数（A）と電気柵を通過し，飼槽側に侵入した回数（B）を記録して侵入を阻止した割合 $((A-B) \times 100/A)$ を算出した（以下，侵入阻止率）．また，飼槽側に侵入した際には，口唇などで電線に接触することなく，電線間を通り抜けた回数（C）を記録し，その割合 $(C/A \times 100)$ を算出した（以下，通り抜け率）．なお，シカの行動解析に当たっては，2 頭続けて，すなわち先頭個体に後続個体が追従する形で電気柵を通過した場合には，先頭個体のみを解析対象とした．得られたデータについては， χ^2 検定により通電区と非通電区，あるいは再通電区との間で，シカの侵入阻止率および侵入個体の通り抜け率をそれぞれ比較した．

結果および考察

本器からの電気柵への通電の有無がシカの侵入阻止率ならびに通り抜け率に及ぼす影響を図 5-3 に示した．通電区では，電気柵の手前 1 m 以内に 20 回接近し，侵入阻止率は 60%（12 回），通り抜け率は 25%（5 回）を示した．これに加え，口唇で電線に接触・感電した後に前方へ飛び込む行動が 15%（3 回）みられた．非通電区における侵入阻止率は①で 25.0%，②で 26.9%，③で 14.3%，④で 11.1% および ⑤で 11.5% と徐々に低下し，いずれも通電区との間で有意差が認められた（ $P < 0.05$ ）．通り抜け率については①～②で 53～64%，③～⑤で 76～86% に上昇し，いずれも通電区との間で有意差が認められた（ $P < 0.05$ ）．最後に，再通電区の侵入阻止率は 36.1% と通電区よりも低い傾向を示し，通り抜け率は 55.6% と有意に高い値を示した（ $P < 0.05$ ）．

シカの電気刺激の感受部位は，口唇に集中しており，新奇物として電気柵を口唇によって探索（接触）し，その際に電気刺激を感受することで電気柵への接近や通り抜けを忌避することが飼育シカや野生シカで観察されている（高山ら 2013）．このことから，電気柵は“心理柵”とも呼ばれ，高山ら（2013）は高さ 30，60，100 および 140 cm の高さに架線し，常時 3，

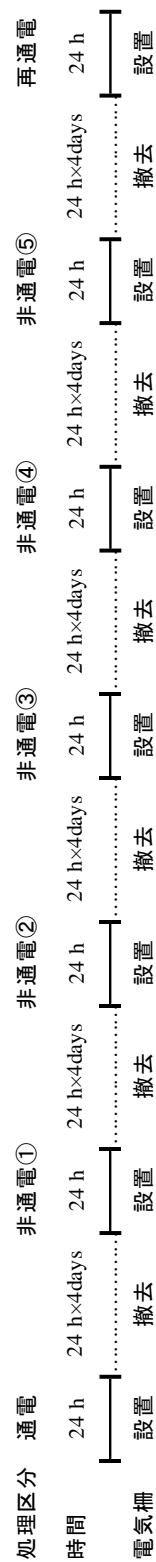


図 5-2. シカに対する電気柵（通電または非通電）の提示順序

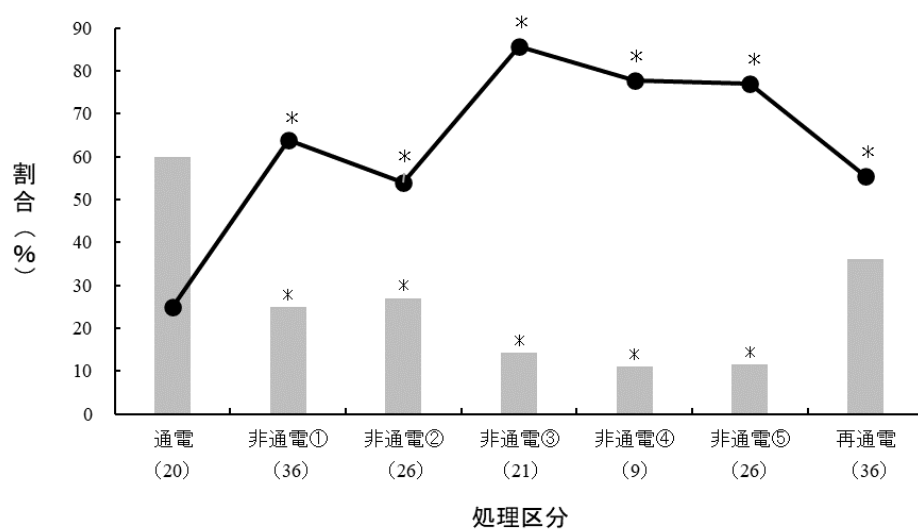


図 5-3. 電気柵への通電の有無がシカの侵入阻止率ならびに通り返け率に及ぼす影響

*通電区との間に有意差あり ($P < 0.05$)

() 内の数値は電気柵の手前 1 m 以内に接近した延べ回数 (A) を示す。

棒グラフはシカの侵入を阻止した割合を示す。

折れ線グラフは (A) の中でシカが電線に触れることなく侵入した割合を示す。

000 V 以上の通電を行うことで草地において顕著なシカ侵入防止効果が得られたことを報告している。本試験に供した飼育シカでも、通電区では電気柵に接近するものの、電線を目視した後、逃避する行動が最も多く観察された。この状況から、本試験で供したシカは牧場内で捕獲した個体であり、過去に草地周辺に設置された電気柵へ接触した経験があるものと推察された。その一方で、同じ草食動物であるウシでは、電気柵に対する馴致が完了した後も通電した電線に繰り返し接触し、本器からの通電を非通電状態に切り替えた翌日には、脱柵する個体がみられたことが小針ら（2008）によって明らかにされ、ウシにおいて電気柵の心理柵としての効果が絶対的なものではなく、電線への接触と感電が繰り返されることで脱柵が防止されていると考察している。本試験でも、通電区に比べ、非通電区でシカの侵入阻止率は大きく低下しており、ウシ（小針ら 2008）と同様な行動がみられた。これに加え、シカでは非通電状態の電気柵に対し、まず口唇で触れた後に電線間を通り抜ける状況が観察され、時間の経過とともに口唇で電線に接触するなど探索行動を示すことなく、通り抜け率が大幅に増加することが示された（図 5-4）。なお、再通電区ではシカが通り抜ける際、胴や脚などが電線に接触していたが、電気刺激を感受する状況は観察されなかった。

探索行動は動物が未知なものに対して注意を払い、それを見るあるいはその音を聞き、状況に応じて鼻や前肢などで触れたり、動かしたりする行動であり、対象となるものが自身に危害を及ぼすものでなければ、その行動は次第に減少する（田中 1997）。本試験でも、本器からの通電を非通電状態に切り替えたことで、シカによる探索を伴わない電線間の通り抜けは試行回数を経るごとに増加することが明らかになった。小針ら（2008）は通り抜けによる脱柵を学習したウシについて、非通電から再通電状態に戻すことにより、一部の個体を除いたほとんどの個体で脱柵の再発を防止できたと報告している。本試験では、通電区に比べて再通電区の侵入阻止率は低い傾向を示し、通り抜け率については有意に高い値を示した。このことから、シカはウシと違い、一度通り抜けを学習した個体は単に再通電を行うだけでは改めて電気柵を忌避することはなく、その侵入を阻止するのが困難である可能性が示唆された。

シカ侵入防止を目的とした電気柵の設置に当たっては、常に通電すること、そして必要としない時期には撤去することが重要とされている（農林水産省 2014, 高山ら 2013）。特に、常に通電することについては、本試験でみられたシカの行動から電線への下草接触による漏電、野生動物の接触による断線、そして本器の故障がないように定期的な見回りと管理作業が必要であることが示された。高山ら（2013）は飼育ならびに野生シカに対して 4 段張り電気柵を提示した結果、シカの侵入が皆無であったことから、顕著な侵入防止効果が得られたとする



電気柵を忌避することなく電気柵に接近する。



電気柵に対して口唇での接触行動を示さず，前進する。



電線間を通り抜ける。

図 5-4. 非通電状態の電気柵をシカが通り抜ける状況（非通電区）

一方で、草地周辺に設置した5段張り電気柵（20, 40, 70, 100 および 140 cm に架線）を野生シカが繰り返し通り抜けることで侵入阻止率が50%程度まで低下したケースもあったと報告している（高山ら 2017c）。第3章においても同様に、5段張り電気柵を設置した草地にシカが侵入し、特に冬季における侵入防止効果の低下と牧草の減収を引き起こしていたことから、架線間の通り抜け対策の開発が緊要な課題であることが示された。

以上より、非通電状態の電気柵の放置はシカの通り抜けによる侵入を助長し、再通電してもシカの侵入を防止することが困難になる可能性が示唆された。

第2節 電気柵への通電の有無がシカの侵入防止効果に及ぼす影響

目 的

電気柵は電線に触れたシカが感電し、その痛みを忌避学習させるものであり、草地に電気柵を設置することで高い侵入防止効果が得られることが明らかにされている（高山ら 2008b）。ただし、電気柵の効果を持続させるためには、電線に触れた草を定期的に除草するなどして常に通電状態を維持することが重要であり、5段張り電気柵を用いた第3章および4段張り電気柵を用いた前節の結果を踏まえると、これを怠った場合には“ヒューマンエラー”が生じて十分な侵入防止効果が得られないケースが生じることが示された。これに加えて、最近では、イノシシ対策も兼ねる形で低い位置に狭い間隔で 20, 40, 70, 100 および 140 cm の 5 段に架線するケースが多くみられるものの、2 段目（高さ 40 cm）と 3 段目（70 cm）の間隔が 0~1 段目、1~2 段目の 20 cm よりも広がっており、これがシカにとって目の前に広がる大きな隙間として認識され、通り抜けによる侵入を助長するリスクが指摘されている（江口 2013）。実際、高山ら（2017c）および第3章ではこれと同じ5段張り電気柵を草地に設置したところ、野生シカが架線間を通り抜ける状況を報告している。しかしながら、この野生シカの通り抜けが電線の架線方法に問題があるものなのか、あるいは前述のようなヒューマンエラーによるものなのか、明らかにされていない。

そこで本節では、実験条件を管理し易いシカ飼育舎内に5段張り電気柵を設置して、これを通電ならびに非通電状態（ヒューマンエラーを想定）にしたときのシカ侵入防止効果について調査し、5段張り電気柵の有効性とその適切な利用法について検討を行った。

材料および方法

試験期間および試験地

2019年5月から同年の10月にかけて、鹿児島市内のシカ飼育舎内の実験装置（400×600 cm）で行われた（図5-5）。

供試動物

2017年5月に入来牧場で捕獲され、これまで電気柵に対する視覚的・嗅覚的・触覚的経験のない成シカ2頭（2歳：オス・メス各1頭）を用いた。供試したシカの体重および体尺測定値については、雌（以下、個体A）の場合、体重 27.9 kg、頭部高 97 cm、目線高 94 cm および体高 71 cm であり、雄（以下、個体B）の場合、体重 34.2 kg、頭部高 106 cm、目線高 102 cm

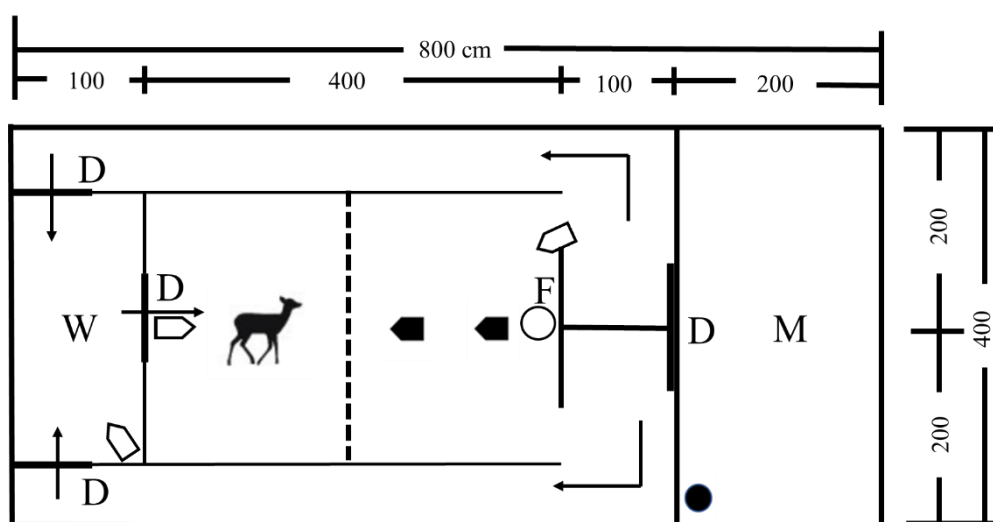


図 5-5. 実験装置の概略図

W : 待機室 D : ドア --- : 電気柵 M : モニター室 ◯ : デジタルビデオカメラ
 ■ : 赤外線カメラ ● : 出力器 → : シカの経路 F : 飼槽

および体高 76 cm であった。

試験方法

実験装置内においてシカと飼槽を遮る形で 5 段張り電気柵（20, 40, 70, 100 および 140 cm の高さに白色のポリエチレンとステンレスを撚り合わせた 2 mm 径の電線を架線）を設置し（図 5-6）、試験についてはいずれの個体もそれぞれ 3 日間隔で 3 時間実施した。

実験 1：通電状態の 5 段張り電気柵に対する飼育シカの侵入防止効果

初めに電気柵器（アニマルキラー 4300II, タイガー株式会社製）から 1 秒間隔のパルス電流（約 4,000 V）を出力した状態の電気柵をシカに 1 日 1 回当たり 3 時間提示し、その行動をデジタルビデオカメラ 3 台（SR300 および DCR-SX41, とともに SONY 製；GZ-R470-Y, JVC 製）および赤外線カメラ 2 台（SC-701R, オーム電機製；NS-F202C, 日本セキュリティー製）を用いて記録した。試験の際、シカが飼槽側に侵入した場合には、実験者がモニター室から出て、実験装置外側の通路から待機室に迫り返し、試験を再開した。また、電線の緩みや断線がみられた場合は、直ちに補修を行った。実験装置内の地面は土で、壁は白に統一した。試験中、照明は使用せずに自然光のみで行った。撮影した映像から電気柵の手前 1 m 以内に接近した飼育シカの行動を解析し、①電線に触れずに後退、②電線に触れた後、後退、③電線に触れた後、体の一部もしくは全体が電線を越えて飼槽側に侵入、④電線に触れずに侵入の 4 つに分類するとともに、各回数をカウントし、侵入阻止率（ $((①+②) \times 100 / ((①+②+③+④)))$ ）を算出した。なお、3 回連続で侵入阻止率が 100% に到達した時点で電気柵に対するシカの忌避学習が成立したと判断し、通電状態の 5 段張り電気柵の提示を終了し、実験 2 に移行した。

実験 2：非通電状態の 5 段張り電気柵に対する飼育シカの侵入防止効果

次に、本器から出力しない状態、つまり非通電状態の電気柵を 1 日 1 回当たり 3 時間提示した。上記 1 と同様に供試したシカの電線への接触状況や侵入状況を観察した。なお、前節において、非通電状態の電気柵の通り抜けを学習したシカに対する侵入阻止率は平均で約 18% であったことから、本試験では 3 回連続で侵入阻止率が 20% を下回った時点で電気柵の通り抜けを学習したと判断し、非通電状態の 5 段張り電気柵の提示を終了した。



図 5-6. 実験装置内に設置した 5 段張り電気柵

結 果

実験 1：通電状態の 5 段張り電気柵に対する飼育シカの侵入防止効果

新奇障害物として提示した通電状態の 5 段張り電気柵に対する飼育シカの行動反応を表 5-1 に示した。

個体 A については、試験 1 回目（1 日目）で試験開始直後に口唇で高さ 20 cm の電線に接触し、感電する状況が観察された。その際、電気刺激に驚き、高さ 20 cm と 40 cm の架線間から前軀を侵入させ、その後、後退する状況が観察された。続いて、試験開始 5 分後に口唇で再び高さ 20 cm の電線に接触する状況が観察され、感電後、後方に逃避した（図 5-7）。続いて、試験開始 33 分後に口唇で高さ 70 cm の電線に接触する状況が観察され、初めての感電時と同様、前軀のみが一瞬、飼槽側に侵入する状況が観察された。このように、試験 1 回目では電線に触れた後、侵入する状況が計 2 回、体を侵入させずに後退する状況が計 1 回観察され、侵入阻止率は 93% を示した。電線への接触は試験 1 回目でみられた 3 回のみであり、試験 2～4 回目（4～10 日目）では観察されず、試験開始から終了まで電線には接近するものの、それを視認するだけで後退、すなわち忌避する状況のみが確認され（図 5-8）、侵入阻止率は 100% を示した。

個体 B については、試験 1 回目（1 日目）で試験開始直後に高さ 70 cm の電線に口唇で触れ、感電する状況が観察された。その際、電気刺激に驚き、電線を緩ませながら高さ 100 cm と 140 cm の架線間を通り抜けた。続いて、試験開始 10 分後に電線を口唇で探索した際、再び感電する状況が観察され、電気刺激に驚いて前方に飛び込み、高さ 100 cm と 140 cm の架線間を通り抜ける状況が再び観察された。2 回の電線への接触後、電線を忌避する行動を示し始め、110 分後に口唇で高さ 70 cm の電線に接触する状況が観察されたものの、感電後は後方に逃避した。このように、試験 1 回目では電線に触れた後、侵入する状況が計 2 回、体を侵入させずに後退する状況が計 1 回観察され、侵入阻止率は 90% であった。試験 2 回目（4 日目）では、試験開始 46 分後に高さ 70 cm の電線に接触し、感電した後、後方に逃避する状況が観察された。その後は電線に接近するものの、接触はみられず、むしろ忌避する状況が観察され、侵入阻止率は 100% を示した。試験 3 および 4 回目（7 および 10 日目）においても、電線への接触は確認されず、試験開始から終了まで電線を忌避する状況が観察され、侵入阻止率は 100% を示した。

実験 2：非通電状態の 5 段張り電気柵に対する飼育シカの侵入防止効果

非通電状態の 5 段張り電気柵を提示した際の飼育シカの電線への接触および侵入回数、そして侵入阻止率を図 5-9 に示した。

表 5-1. 通電状態の電気柵に対する飼育シカの行動反応

個体A

シカの行動反応		試験回次（試験開始後日数）			
		1（1）	2（4）	3（7）	4（10）
		-回-			
通り抜け	電線に触れずに侵入	0	0	0	0
	電線に触れた後，侵入	2	0	0	0
	計	2	0	0	0
侵入阻止	電線に触れずに後退	25	1	11	33
	電線に触れた後，後退	1	0	0	0
	計	26	1	11	33
侵入阻止率（％）		93	100	100	100

個体B

シカの行動反応		試験回次（試験開始後日数）			
		1（1）	2（4）	3（7）	4（10）
		-回-			
通り抜け	電線に触れずに侵入	0	0	0	0
	電線に触れた後，侵入	2	0	0	0
	計	2	0	0	0
侵入阻止	電線に触れずに後退	18	16	1	1
	電線に触れた後，後退	1	1	0	0
	計	19	17	1	1
侵入阻止率（％）		90	100	100	100



電線に接触



感 電



後 退

図 5-7. 飼育シカが通電状態の電線に接触後、後退する状況
(個体 A : 試験 1 回目, 試験開始後 1 日目)



図 5-8. 飼育シカが通電状態の電気柵を忌避する状況
(個体 A : 試験 2 回目, 試験開始後 4 日目)

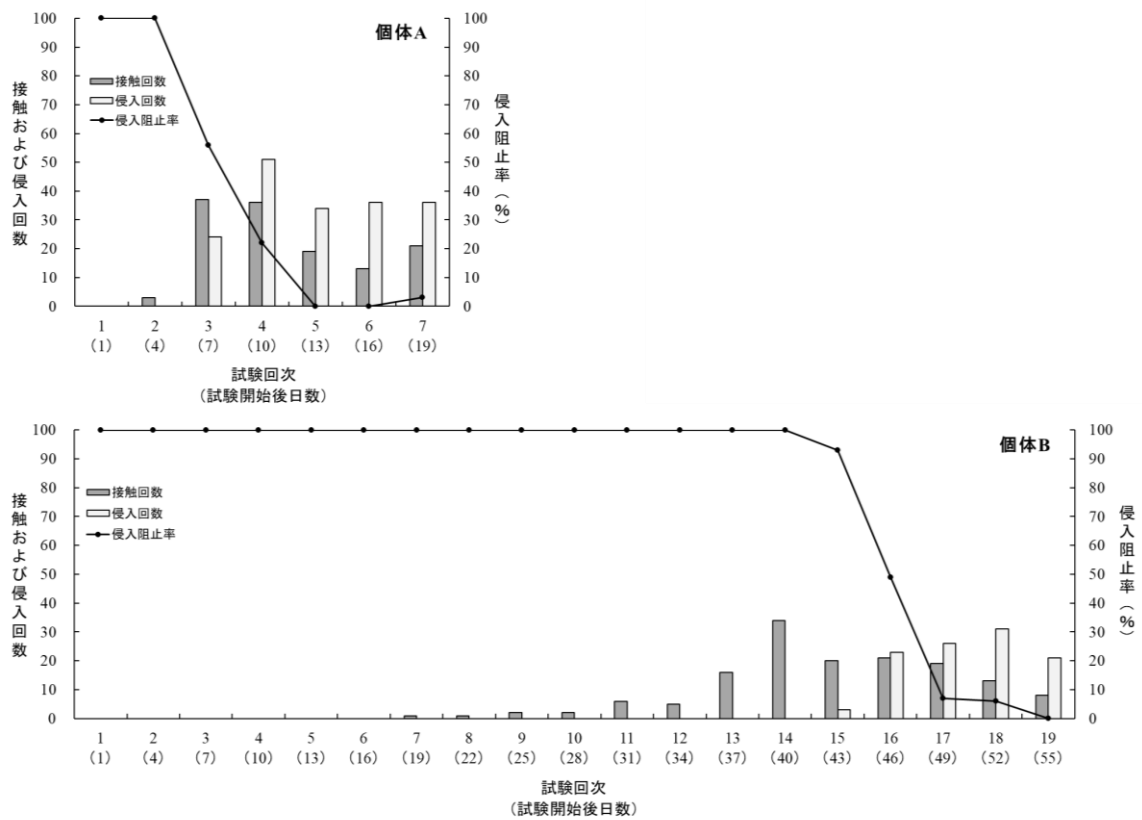


図 5-9. 非通電状態の電気柵の設置が飼育シカの電線への接触および侵入回数ならびに侵入阻止率に及ぼす影響

個体 A については、試験 1 回目（1 日目）で電線を忌避する状況が観察され、電線への接触や飼槽側への侵入は皆無であった。しかしながら、試験 2 回目（4 日目）で初めて口唇で電線に接触する状況が 3 回確認され、試験 3 および 4 回目（7 および 10 日目）で 37 および 36 回に急増したものの、試験 5～7 回目（13～19 日目）には 13～21 回に減少した。その一方で、試験 3 回目（7 日目）には高さ 40 cm と 70 cm の架線間を通り抜ける状況が確認され、試験 3～7 回目（7～19 日目）にそれぞれ 24, 51, 34, 36 および 36 回の通り抜けが観察された。その結果、侵入阻止率は試験 1 および 2 回目の 100% から 3, 4, 5, 6 および 7 回目（7, 10, 13, 16 および 19 日目）で 56, 22, 0, 0 および 3% と徐々に低下し、特に試験 5～7 回目（13～19 日目）では 20% 以下の値を 3 回連続で示した。試験 3～7 回目（7～19 日目）では計 181 回の通り抜けが確認され、通り抜けは高さ 40 cm と 70 cm の架線間のみで観察された。

個体 B については、試験 1～6 回目（1～16 日目）まで電線を忌避する状況が観察され、電線への接触は皆無であった。しかしながら、試験 7 回目（19 日目）で初めて口唇で電線に接触する状況が 1 回確認され、その後、増加傾向を示した。接触回数は試験 14 回目（40 日目）に 34 回とピークを示し、その後は徐々に減少した。試験 15 回目（43 日目）には高さ 40 cm と 70 cm の架線間を通り抜ける状況が確認され、試験 15～19 回目（43～55 日目）でそれぞれ 3, 23, 26, 31 および 21 回の通り抜けが観察された。その結果、侵入阻止率は試験 1～14 回目（1～40 日目）の 100% から 15, 16, 17, 18 および 19 回目（43, 46, 49, 52 および 55 日目）で 93, 46, 7, 9 および 0% と徐々に低下し、特に試験 17～19 回目（49～55 日目）では 20% 以下の値を 3 回連続で示した。なお、試験 15～19 回目（43～55 日目）では計 114 回の通り抜けが確認され、通り抜けは高さ 40 cm と 70 cm の架線間のみで観察された。

なお、本試験では電気柵の 2 m 後方が白色の壁であり、提示された電線と同色であったが、電気柵に対して示された個体 A および B による視認や接触などの行動反応を見る限り、それらの識別に問題は無いものと推察された。

考 察

電気柵は通電状態の電線に接触した家畜や野生動物にパルス状の強力な電気（嫌悪）刺激を与え、忌避学習させるものであり、学習成立後、動物は再び電線に接触することを嫌い、避けるようになる（井上と金森 2006, 小針ら 2008）。シカは新奇障害物に対し、口唇を使って探索行動を示すことが知られており、口唇は被毛で覆われた頭部や胴部などに比べ、電気抵抗が低く、電線に接触した際は電気刺激による痛みを感受し易いことが明らかにされている

(高山ら 2008b). 高山ら (2013) は飼育シカに対して通電状態の 4 段張り電気柵 (30, 60, 100 および 140 cm に架線) を提示したところ、直後から口唇で電線を探索した際に感電する状況が繰り返し観察されたと報告している。本試験でも、試験開始直後 (試験開始後 1~4 日目) に飼育シカが通電状態の電線に口唇で接触し、感電する状況が観察され、高山ら (2013) と同様な結果を示した。さらに、2~3 回の接触・感電を繰り返した後には、電線を忌避する状況が観察され、架線間の通り抜けを試みる状況は一度もみられなかった。

江口 (2013) はシカ対策のために高さ 20, 40, 70, 110 および 150 cm に架線した 5 段張り電気柵に関して、シカが地面から 60 cm 程度までの高さのくぐり抜けを好むことから、2 段目 (高さ 40 cm) と 3 段目 (高さ 70 cm) の隙間 30 cm が地面と 1 段目、1 段目と 2 段目の隙間 20 cm よりも広いことで、その隙間からの通り抜けによる侵入を助長する可能性を指摘している。一方、本試験では、通電状態の 5 段張り電気柵を 20, 40, 70, 100 および 140 cm に架線したところ、飼育シカの侵入防止効果は顕著であり、4 段張り (30, 60, 100 および 140 cm に架線) 電気柵の場合 (高山ら 2013) と同様な結果を示した。また、通電状態では、高さ 40 cm と 70 cm の架線間の隙間がシカの通り抜けを誘発することはなかった。このことから、20, 40, 70, 100 および 140 cm に架線した 5 段張り電気柵は十分なシカ侵入防止効果を有することが明らかとなった。

しかしながら、提示した 5 段張り電気柵を通電状態から非通電状態へ切り替えたことで、初めは供試したシカが電気柵を忌避する状況が確認されたものの、メスでは 4 日目、オスでは 19 日目に口唇で電線に触れる状況が観察され始め、最終的には前者で 7 日目、後者で 43 日目には架線間を通り抜けた。探索行動は動物が未知のものに対して注意を払い、それを見るあるいはその音を聞き、状況に応じて鼻や前肢などで触れたり、動かしたりする行動であり (田中 1997)、本試験ではシカが口唇を使って電気柵を探索する状況が確認された。その一方で、探索行動は対象となるものが自身に危険を及ぼすものでなければ、次第に減少する (田中 1997)。本試験でも、通電状態の電気柵を非通電状態に切り替えたことで、供試した 2 個体間には差がみられたものの、いずれも時間の経過とともに口唇による電線への接触回数は増加し、それがピークから減少傾向を示した時点で通り抜けによる侵入が増加する状況が観察された。つまり、電気柵に対する忌避学習が成立したシカであっても、口唇で電線に触れた際に電気刺激による痛みを伴わず、これを無害なものであると認識した場合には、探索行動が省略され、通り抜けによる侵入を試みることが示された。また、シカによる通り抜けは高さ 40 cm と 70 cm の架線間のみで認められたことから、非通電状態の電気柵に対しては江口

(2013) が指摘したとおり、電気柵の通り抜けが最も多いとされる架線位置と一致する結果となった。

電気柵は設置が容易かつ比較的安価であり、正しく設置することで顕著な侵入防止効果が得られる侵入防止柵であることが知られている (高山ら 2013)。本試験の結果はこれを裏付けるものであった。その一方で、高山ら (2017c) および第 3 章では草地周囲に 5 段張り電気柵 (20, 40, 70, 100 および 140 cm) を設置したところ、通電を行ったにもかかわらず、シカが架線間を通り抜ける状況を観察しており、その際、シカが頭部を下げて電気柵に接近し、口唇で接触することなく、目線の先の架線間に飛び込む状況を確認している。広大な面積の草地に電気柵を設置する場合には、下草刈りや断線の補修などの管理作業が十分に行き届かない、すなわち“ヒューマンエラー”が生じ易いことが知られている。前節では過去に電気柵に接触あるいは通り抜けによる侵入を経験したシカを牧場で捕獲し、4 段張り電気柵を用いて本試験と同様な試験を行ったところ、通電状態での侵入阻止率は 60% 程度に過ぎず、非通電に切り替えると侵入回数が増加し、侵入阻止率は 25% 以下を示したと報告している。過去に電気柵への接触経験を有していない個体を用いた本試験においても、供した個体数は少ないものの、非通電状態の電気柵に対してシカは 1 週間以内に侵入を試みることが示されたことから、高山ら (2017c) の報告および第 3 章における結果から得られた架線間の通り抜けによる侵入はヒューマンエラーによって誘発されたものと推察された。こうした状況に陥った農地では、再通電してもその侵入を再び防止することが極めて困難であることが前節において明らかにされており、通り抜け対策として物理柵を電気柵に併用するなど新たなシカ侵入防止策を追究していく必要がある。

以上より、5 段張り電気柵は通電状態で高いシカ侵入防止効果を示すが、非通電状態になると感電を経験して電気柵を忌避しているシカであっても、1 週間以内に架線間を通り抜けてしまうことが明らかとなり、電気柵の通電状態を保つための日常管理の重要性が示された。

第3節 要 約

電気柵による草地へのシカ (*Cervus nippon*) 侵入防止法の確立に向けた基礎的知見を得るために、通電ならびに非通電状態にしたときの飼育キュウシュウジカ (*C. n. nippon*) の電気柵の通り抜け行動の発現やシカ侵入防止効果に及ぼす影響について検討を行った。

1. 非通電状態の電気柵の放置はシカの通り抜けを助長する？

非通電状態の電気柵がシカの通り抜け行動の発現に及ぼす影響について検討した。飼育場 (150 m²) 内で 1) 通電した 4 段張り電気柵をシカ 2 頭 (推定年齢 1 歳：オス・メス各 1 頭) に提示したところ、侵入阻止率は 60%、通り抜け率は 25%を示した。次に、2) 非通電状態の 4 段張り電気柵を提示したところ、侵入阻止率の低下と通り抜け率の発現割合の上昇がみられ、いずれも上記 1) との間で有意差が認められた ($P<0.05$)。最後に、3) 再通電した 4 段張り電気柵を提示したところ、侵入阻止率は 36%と上記 1) よりも低い傾向を示し、通り抜け率は 56%と有意に高かった ($P<0.05$)。したがって、非通電状態の電気柵の放置はシカの通り抜けによる侵入を助長し、再通電してもその侵入を防止することが困難になる可能性が示された。

2. 電気柵への通電の有無がシカの侵入防止効果に及ぼす影響

電気柵を通電ならびに非通電状態にしたときのシカ侵入防止効果に及ぼす影響を検討した。実験装置内 (4×6 m) に通電状態の 5 段張り電気柵を提示したところ、2 頭のシカ (2 歳：オス・メス各 1 頭) は開始直後に警戒しながら口唇で電線に接触し、感電後、飼槽側に侵入または後退する状況が観察され、試験 4 日目には侵入阻止率が 100%に達した。次に、非通電状態の 5 段張り電気柵を提示したところ、開始直後には電気柵を忌避する状況が確認されたものの、口唇による電線への接触行動が確認されるようになり、7 日目には架線間を通り抜ける状況がそれぞれ観察された。侵入阻止率は徐々に低下し、最終的に 20%以下を示した。したがって、5 段張り電気柵は通電状態で高いシカ侵入防止効果を示すが、非通電状態になると感電を経験して電気柵を忌避しているシカであっても、1 週間以内に架線間を通り抜けてしまうことが明らかとなった。

以上より、非通電状態の電気柵の放置はシカの通り抜けによる侵入を助長し、再通電してもシカの侵入を防止することが困難になる可能性が示唆された。また、5 段張り電気柵は通電状態で高い侵入防止効果を示すが、非通電状態になると感電を経験して電気柵を忌避しているシカであっても、1 週間以内に架線間を通り抜けてしまうことが明らかとなった。これらは 4 および 5 段張り電気柵の両方で起こり得ることであり、通電状態を保つための日常管理の重要性が示された。

第6章 電気柵と物理柵の併用によるシカ侵入防止

緒言

第4章の結果から、シカ (*Cervus nippon*) は草地 (黄緑) において黄を識別できないものの、青、緑および赤紫など様々な色を識別する能力を有し、その視力はウシ (*Bos taurus*) の 2~4 倍と優れていることが明らかになり、シカが電気柵を通り抜ける際には、電線をしっかりと視認した上で通り抜けていることが推察された。また、第5章の結果から、5 段張り電気柵は通電状態で高いシカ侵入防止効果を示すが、非通電状態になると感電を経験して電気柵を忌避しているシカであっても、その通り抜けによる侵入を助長し、再通電してもシカの侵入を防止することが困難になる可能性が示された。

これらのことから、広大な草地でのシカ侵入防止を進めるには、電気柵の設置方法の改善、特に架線間の通り抜け対策が必要とされている。その一方策として、電気柵の内側にネット柵 (金属製もしくはプラスチック製) などの物理的防護柵を併用して設置する柵が考えられる。しかしながら、併用するネット柵の高さや電気柵との設置間隔などについて、シカの視覚特性を踏まえた検討例は見当たらない。

そこで本章では、シカの視覚特性を利用した電気柵と物理柵の効果的な設置方法を開発するため、1) 高さおよび奥行のあるネット柵に対する跳躍力、2) 障害物の認識に関わるシカの前方視野を調査した上で、3) 電気柵へのシカ通り抜け防止効果向上のためにネット柵を併用する際のその高さおよび設置間隔を明らかにし、4) 草地における電気およびネット併用柵を用いたシカ侵入防止効果を検証した。

第1節 キュウシュウジカの発育と跳躍力

目 的

牧場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ことは重要である（塚田 2019）。エゾジカ（*C. n. yesoensis*）は高さ 2 m の柵や 4 m の奥行きを跳ぶことが可能であり（エゾジカ協会 2003）、ホンシュウジカ（*C. n. centralis*）については幅 17.5 cm の縦長隙間や高さ 25.0～27.5 cm の横長隙間を通り抜けることが明らかにされている（堂山ら 2016）。しかしながら、キュウシュウジカ（*C. n. nippon*）の運動能力、特に跳躍力に関する知見は極めて乏しい。また、シカはエゾジカ（北海道）、ホンシュウジカ（本州）、キュウシュウジカ（九州、四国）、マゲシカ（*C. n. mageshimae*）（馬毛島、種子島）、ヤクシカ（*C. n. yakushimae*）（屋久島）およびケラマジカ（*C. n. keramae*）（慶良間列島）の 6 亜種に分類され（小泉 2006）、それらの体格が大きく違うことが知られている。そのため、侵入防止対策を検討する際には、亜種間の体格差を考慮する必要があるが、体格との関連から跳躍力を検討した研究は皆無である。

そこで本節では、シカの視覚特性を利用した電気柵と物理柵の効果的な設置方法を開発するための基礎的知見を得ることを目的とし、飼育下におけるキュウシュウジカの発育を明らかにするとともに、その跳躍力についても検討を行った。

材料および方法

試験期間および試験地

試験は 2017 年 5 月から 2020 年 6 月にかけて、鹿児島市内の私有地で行われた。

供試動物

鹿児島大学農学部附属農場入来牧場（以下、入来牧場）で出生直後に捕獲されたキュウシュウジカ 2 頭（オス・メス各 1 頭）を供試した。

試験方法

2 頭はほぼ同時期（2017 年 5 月）に捕獲され、0～2 ヶ月齢にかけてはウシ用代用乳を給与した。3 ヶ月齢以降は 2×1 m のシカ房内で単飼を行い、粗飼料（市販オーツヘイ、青刈りイタリアンライグラスおよび青刈り野草類）を不断給餌しながら、市販ルーサンペレットを補助飼料として制限給餌（200～300 g/頭/日）した。0～36 ヶ月齢にかけて、月に 1 回体重を測定

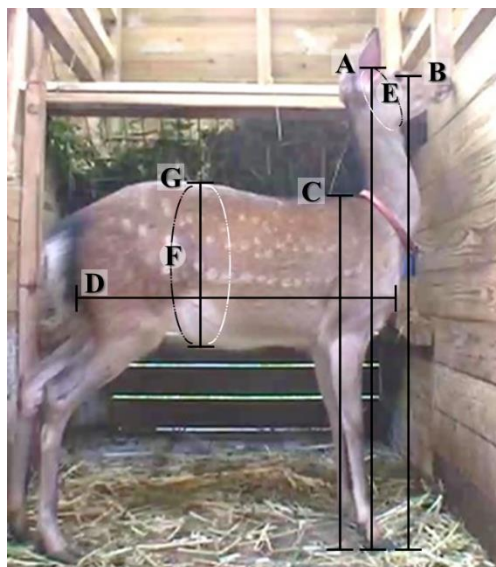
し、日増体量（以下、DG）を求めるとともに、18 および 36 ヲ月齡時には体尺測定（図 6-1）を行った。体尺測定部位に関しては、頭部高、目線高、体高、体長（肩端から坐骨端まで）および腹深をビデオカメラの撮影画像を基に計測し、頭囲および腹囲については巻き尺を用いて測定した。なお、試験期間中、供試した飼育シカは飼育舎（4×12 m）ならびにそれに併設した屋外運動場（4×13 m）で定期的に 1～2 時間の運動および日光浴を行った。

飼育シカが 34 ヲ月齡に達した 2020 年 3 月から同年 6 月にかけては、屋外運動場内に高さまたは奥行きが異なる障害物を設け、これらに対する跳び越えの成否からキュウシュウジカの跳躍力を評価した。まず、飼育シカと誘引餌の入った飼槽を遮る形で高さ 60, 90, 120 および 150 cm のネット柵（目合 1.5 cm, ポリエチレン製）を設置し、飼育シカを 25 回以上跳び越えさせ、その成否を調査した（図 6-2）。調査時には飼育シカの行動をビデオカメラ 2 台（JVC 社製、GZ-R470-Y および SONY 社製、DCR-SX41）で撮影し、その画像から跳び越える際の踏み切り位置（前肢とネット柵との距離）を計測した。調査には 1 回当たり 25～60 分を要し、統計処理については、個体毎にネット柵の高さが踏み切り位置に及ぼす影響を一元配置分散分析で検定した。なお、柵を提示してから 30 分間跳び越えがみられず、これが 3 回（1 回/日、計 90 分）連続した場合には、跳び越え不可能な柵の高さと判定した。

続いて、高さ 60 cm のネット柵を 1 枚設置（奥行き 0 cm）し、30 分間の跳び越え回数を計 3 回測定（1 回/日）するとともに、ビデオカメラによる撮影画像から跳び越えの際の地面から頭頂部までの最高到達位置（以下、頭頂部到達位置）を計測した。その後、別のネット柵を 30 cm 間隔で追加設置することで 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 および 240 cm の奥行きを有する障害物を飼育シカに提示し、同様な調査を行った。なお、統計処理については、個体毎に奥行きが跳び越え回数ならびに頭頂部到達位置に及ぼす影響を一元配置分散分析によって検定した。

結果および考察

飼育シカの体重を図 6-3 に示した。試験開始（0 ヲ月齡）時の体重はオスで 3.3 kg、メスで 2.3 kg であり、0～18 ヲ月齡の DG はオスで 0.05 kg/日、メスで 0.04 kg/日と緩やかな増体を示した。18 ヲ月齡時の体重はオスで 28 kg、メスで 25 kg とメスよりもオスが大きかった。18～36 ヲ月齡にかけてはメスの増体が停滞し、DG は 0.01 kg/日、36 ヲ月齡時の体重は 29 kg であった。これに対し、オスは 28 ヲ月齡まで緩やかな増体が継続し、42 kg に達した。しかしながら、29 ヲ月齡時に 4 kg の体重減少がみられ、その後、体重は横ばいで推移し、18～36 ヲ月齡



A: 頭部高 B: 目線高 C: 体高 D: 体長
E: 頭囲 F: 腹囲 G: 腹深

図 6-1. 飼育キュウシュウジカの体尺測定部位

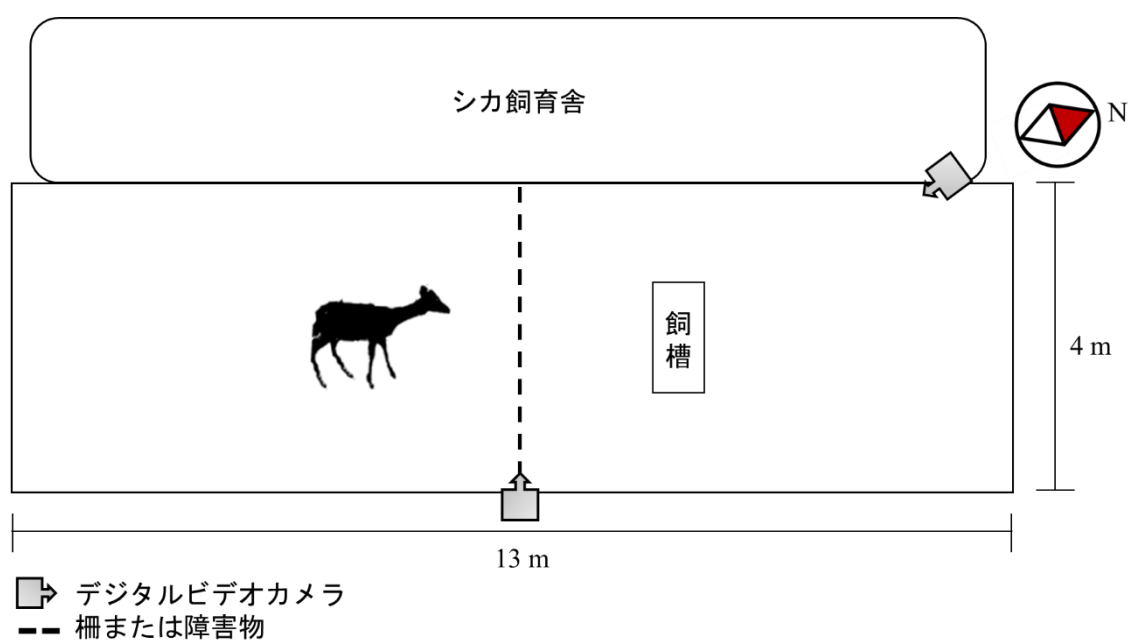


図 6-2. 屋外運動場の外観

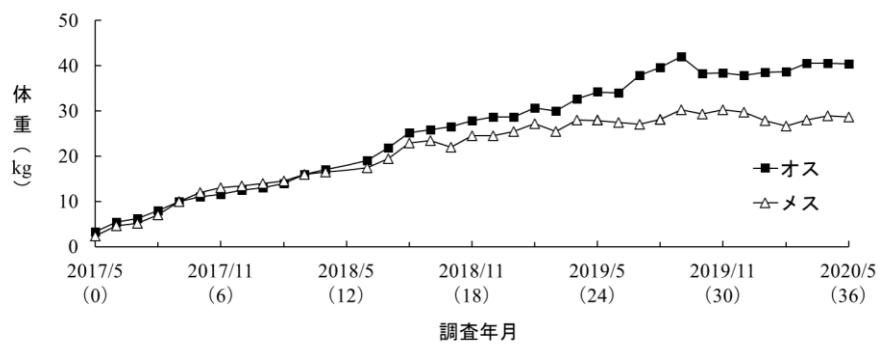


図 6-3. 飼育キュウシュウジカの体重の推移

() 内の数値は月齢を示す.

12 ヲ月齢時の体重は欠測値

の DG は 0.02 kg/日、36 ヲ月齡時の体重は 40 kg であった。

東南アジアからロシア沿岸地方南部にかけて生息するシカは中型であり、13 の亜種に分類されている（小泉 2006）。日本には、このうち、エゾジカ（北海道）、ホンシュウジカ（本州）、キュウシュウジカ（九州、四国）、マゲシカ（馬毛島、種子島）、ヤクシカ（屋久島）およびケラマジカ（慶良間列島）の 6 亜種が生息している（小泉 2006）。それらの体格は地理的変異が大きく、成獣オス（6 歳前後）の冬季における標準体重はエゾジカで 120 kg、ホンシュウジカで 100（東北）～60（近畿）kg、キュウシュウジカで 50 kg と北から南に行くほど小さくなることが知られている（大泰司 1986）。本試験で用いたオスの 36 ヲ月齡時（3 歳）における体重は 40 kg と大泰司（1986）の報告よりも小さい値を示した。その一方で、高槻（2006）はホンシュウジカの発育について、オスは 3～5 歳頃まで増体が続くことを報告している。本試験でも、18 ヲ月齡以降、オスのみで緩やかな増体がみられた点はホンシュウジカとキュウシュウジカが同様な発育を示すことを裏付けるものであり、本試験に供した個体については 36 ヲ月齡以降もさらに増体する可能性が示唆された。

エゾジカやホンシュウジカは冬季に採食量が低下し、発育の停滞や体重減少がみられることが知られている（小田島ら 1993、白石ら 1996、相馬ら 2015）。本試験では、採食量の測定を行っていないものの、28 ヲ月齡時（2019 年 9 月測定）の体重はオスで 42 kg、メスで 30 kg を示したのに対し、冬季を迎えた 33 ヲ月齡（2020 年 2 月）時にはそれぞれ 39 および 27 kg といずれも 3 kg の体重低下が認められた。このことから、キュウシュウジカにおいても、冬季にはエゾジカやホンシュウジカと同様に採食量の低下が生じるものと推察された。これに加えて、エゾジカやホンシュウジカの成オスでは、メスの発情期（9～11 月頃）に体重低下が引き起こされることが報告されている（小田島ら 1993、白石ら 1996、相馬ら 2015）。本試験では、オスとメスが隣接した房で単飼されており、このことが 29 ヲ月齡時（2019 年 10 月）におけるオスの大幅な体重減少に関与しているものと考えられた。

飼育シカの体尺測定値を表 6-1 に示した。18 ヲ月齡時におけるオスの頭部高、目線高、体高、体長、頭囲、腹囲および腹深は 95, 88, 73, 66, 42, 85 および 33 cm であり、メスで 92, 86, 68, 57, 41, 87 および 32 cm とすべての測定項目での両者の差は 10 cm 以内であった。36 ヲ月齡では、オスで 109, 104, 80, 75, 45, 93 および 38 cm、メスで 97, 92, 71, 65, 41, 87 および 32 cm を示し、頭部高、目線高および体長で 10 cm 以上の差が認められた。高槻（2006）はニホンジカの体重や体格について、前者の性差が大きく、後者の性差は見かけに反して小さかったと報告している。本試験のキュウシュウジカにおいても、36 ヲ月齡時のオ

表 6-1. 飼育キュウシュウジカの体尺測定値

	月齢	頭部高 (A)	目線高 (B)	体高 (C)	体長 (D)	頭囲 (E)	腹囲 (F)	腹深 (G)
オス	18	95	88	73	66	42	85	33
	36	109	104	80	75	45	93	38
メス	18	92	86	68	57	41	87	32
	36	97	92	71	65	41	87	32

スの体重はメスの 1.4 倍を示したのに対し、体尺測定値の中で差がみられた頭部高、目線高および体長については、1.1~1.2 倍と体重よりも性差が小さく、ホンシュウジカと同様な傾向を示した。

胴体部の横断面が縦長であるホンシュウジカは横長よりも縦長の隙間の方が通り抜け易く、成獣で幅 17.5 cm の縦長隙間または高さ 25.0~27.5 cm の横長隙間を通り抜けることが報告されている（堂山ら 2016）。一方、正方形または円形に近い中型哺乳類のハクビシン（*Paguma larvata*）では侵入口の形状による影響を受けることなく、8.0×8.0 cm の正方形枠や 20.0×7.5 cm の長方形枠を通り抜け可能であることが報告されている（Kase ら 2010）。このように野生哺乳類の侵入防止柵を開発する上で体格と各運動能力（跳び越え、通り抜けなど）の関係を把握することは重要である。しかしながら、侵入防止法の開発を目的としたシカの体尺測定値に関する知見はほとんどなく、本試験で得られた頭部高や目線高は侵入防止に必要なネット柵の高さに応用できると推察された。これに加えて、体高は新奇物に警戒しながら接近する際、頭部を下げながら歩行するキュウシュウジカの目線高に相当し、体長はテキサスゲートの開発、そして頭囲、腹囲および腹深は通り抜け不可能な隙間サイズの解明などにそれぞれ役立つものと考えられた。

ネット柵の高さが飼育シカの跳び越えに及ぼす影響を図 6-4 に示した。供試したオスおよびメスはともに高さ 60, 90 および 120 cm のネット柵を 1 分当たり 0.5~1.4 回跳び越えた。その一方で、150 cm のネット柵に対しては、30 分間の調査を計 3 回行ったものの、2 頭とも時間内での跳び越えが一度もみられなかった。60~120 cm のネット柵に対し、飼育シカは柵上部を視認しながら接近し、踏み切る状況が観察された（図 6-5）。その際の踏み切り位置は柵が高くなるにつれて柵から離れていく傾向が認められ（図 6-5）、オスでは 60 cm と 90 および 120 cm 間、メスではすべての高さ間で有意差が認められた（ $P<0.01$ ）。これに対し、150 cm の柵に対して、飼育シカは視認しながら柵に接近するものの、踏み切りを行わずにネット直前で柵上部を見上げるあるいは柵の基部を探索しながら何度も左右へ移動する行動が観察され、最終的に跳び越えを断念（回避）する状況がオスおよびメスともに観察された（図 6-5）。

奥行きのある障害物の提示が飼育シカの跳び越えに及ぼす影響を図 6-6 に示した。奥行き 0~90 cm の障害物に対し、飼育シカはそれらを容易に跳び越える状況が観察され、オスで 1 分当たり 1.1~2.0 回、メスで 3.2~3.5 回の跳び越えが確認された。その後、奥行きを 120 から 210 cm に拡大するにつれて、1 分当たりの跳び越え回数は減少傾向を示し、240 cm では跳び越えが皆無であった。飼育シカは頭を下げ、前方に突き出す形で障害物に接近し、そのすぐ

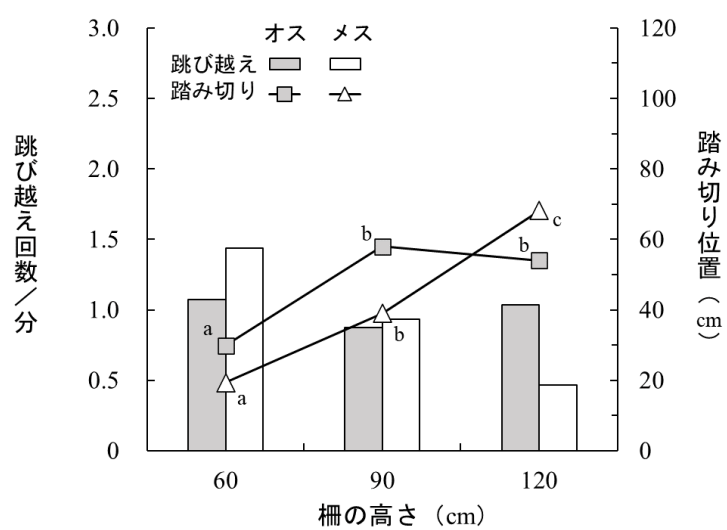


図 6-4. 柵の高さが飼育キュウシュウジカの飛び越えに及ぼす影響

棒グラフは飼育シカの 1 分当たりの飛び越え回数を示す.

折れ線グラフは飼育シカの踏み切り位置の平均値を示す.

^{a-c} 異肩文字間に有意差あり ($P < 0.01$)



図 6-5. 高さの異なるネット柵に対する飼育キュウシュウジカの行動反応

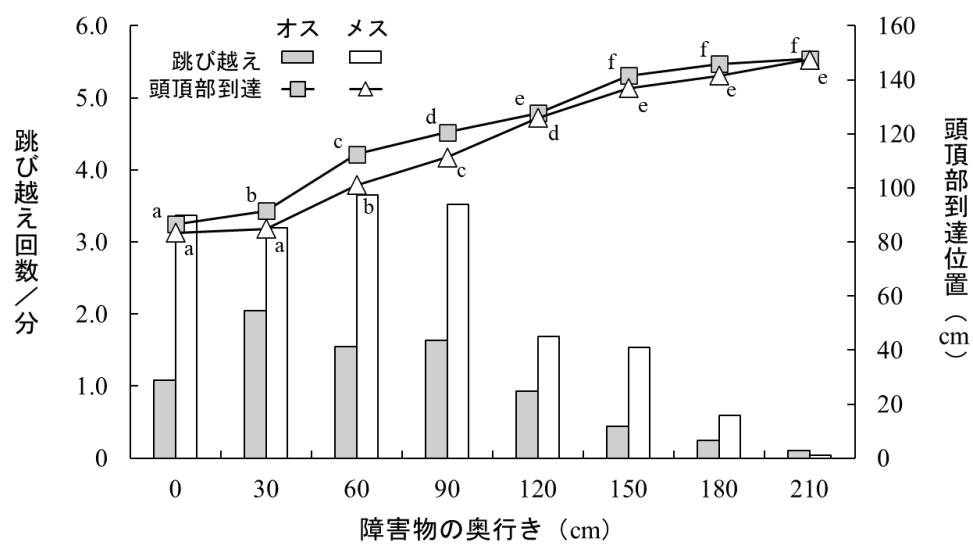


図 6-6. 柵の奥行きが飼育キュウシュウジカの飛び越えに及ぼす影響

棒グラフは飼育シカの 1 分当たりの飛び越え回数を示す.

折れ線グラフは飼育シカの頭頂部到達位置の平均値を示す.

a-f 異肩文字間に有意差あり ($P < 0.01$)

近くで踏み切り、跳び越える状況が観察された（図 6-7）。その際の映像を解析すると、障害物の上を跳び越える飼育シカの頭頂部到達位置は奥行きが大きくなるにつれて高くなっており（図 6-7）、オスおよびメスともに奥行き 0～210 cm の間で有意差が認められた（ $P<0.01$ ）。一方、奥行き 240 cm では、跳び越えを試みるものの、後肢が障害物に引っ掛かるあるいは跳び越えずに障害物として設置したネット間を跨いで通過するなどの行動が観察された（図 6-8）。

ホンシュウジカは高さ 200 cm 程度の防護柵を跳び越え可能であるとされている（井上と金森 2006）。キュウシュウジカについては、吉田ら（2012）が飼育ならびに野生個体に高さ 150 cm のネット柵を提示しても、柵基部から高さ 100 cm までのネットを口唇で探索するあるいは頭部を押し付ける行動が観察されるのみで、柵上部からの跳び越えはみられなかったと報告している。本試験でも同様な結果が得られ、体尺測定値との関係でみると、36 ヶ月齢時の頭部高（97～109 cm）や目線高（92～104 cm）の約 1.2 倍に相当する高さ 120 cm の柵を跳び越えることができ、1.5 倍に当たる高さ 150 cm の柵では視認しただけで跳び越えを断念する可能性が示唆された。一方、奥行きについては体長（65～75 cm）の約 3 倍に相当する 210 cm まで跳び越え可能であった。

ウシやウマ（*Equus caballus*）などの草食動物の視野は、目が顔の側方にあることで片眼視野が広く、死角が少ないために捕食者の発見に適している（黒崎 1997）。その反面、2 焦点視野は狭いため、障害物を立体視するのが困難で、遠近感に乏しいとされている（サイエンスウィンドウ編集部 2008）。こうした草食動物の視覚特性を利用した放牧家畜の脱柵防止技術の 1 つにテキサスゲートが挙げられる（Albright と Arave 1997）。テキサスゲートは牧場草地を牧柵で囲む際、車両や農業機械が通る道路を確保するために、柵を張る必要がある道路を掘削して溝を作り、そこに 10 cm 程度の隙間を空けて鉄骨などを並べることで放牧家畜の脱走を防止することが出来る。ウシはテキサスゲートを立体視するのが困難であり、鉄骨に脚を乗せて渡ることが出来ず、侵入を断念することが知られている（Albright と Arave 1997）。最近では、野生動物の被害やロードキル対策を目的としたテキサスゲートの導入が検討されており、原ら（1999）はエゾジカに奥行き 1～2 m のテキサスゲートを提示したところ、侵入がみられたものの、3 m では侵入回数が著しく減少したと報告している。本試験で飼育シカに提示した奥行きのある障害物は高さが 60 cm あったため、直接的な比較はできないものの、仮にキュウシュウジカ用のテキサスゲートを設置する場合、2.4 m 以上の奥行きが必要であると考えられた。その一方で、原ら（1999）はテキサスゲートに対するシカの行動について、跳び越える

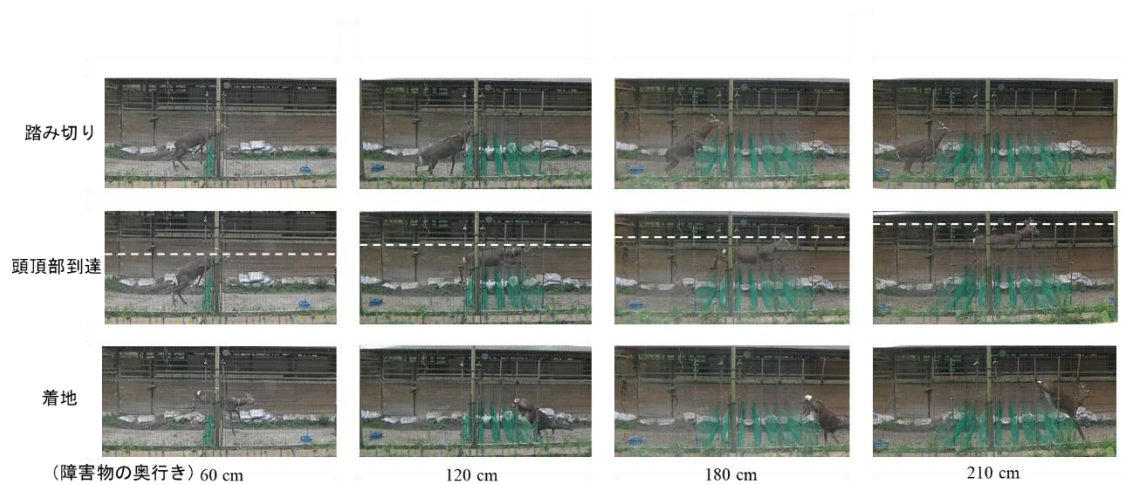


図 6-7. 奥行き異なる障害物に対する飼育キュウシュウジカの行動反応



図 6-8. 飼育キュウシュウジカが奥行き 240 cm の障害物を跨ぐ状況

だけでなく、ゲートの中央部に一度着地してから侵入する状況を観察しており、田戸ら（2009）は鉄骨間の隙間が狭いとその上を歩き、広いと隙間に脚を入れて通過したことから、ゲートの下に掘る溝を深さ 30 cm 以上にすることを推奨している。これらの結果をみる限り、シカに対するテキサスゲートの侵入防止効果は、ウシでみられる“視覚的”なものではなく、むしろ“物理的”なものであると考えられた。これを裏付けるように、本試験でも、供試した飼育シカが奥行きに応じて跳躍方法を変化させ、跳び越え不可能な奥行きに対しては歩行による侵入を選択しており、ウシに比べ、障害物を立体視する能力に優れ、遠近感を有している可能性が示唆された。ウシはグラミノイド（イネ科植物）を主食とする *grazer*、シカは木本の葉を主食する *browser* に分類される（高槻 2006）。ウシは周囲を見渡すことの出来る平坦な草原で草を食べ、移動しながら生活し、シカは木が生い茂り、起伏に富んだ森林内を視覚的に把握しながら移動し、樹葉などを採食して生活している。こうした生活環境の違いが両者の視野、さらには視覚に大きな違いをもたらしている可能性が示された。今後、シカの視覚特性について追究するとともに、それを踏まえた侵入防止策の開発を進めていくことが重要であると考えられた。

以上より、飼育キュウシュウジカの発育には性差がみられたものの、跳躍力には差がみられず、頭部高の約 1.2 倍に相当する高さ 120 cm の柵、体長の約 3 倍に相当する奥行 210 cm の障害物をそれぞれ跳び越えることが明らかになった。

第2節 障害物の認識に関わるシカの前方視野

目 的

草地におけるシカ侵入防止策として、電気柵や物理柵（ワイヤーメッシュ柵やネット柵など）の設置が挙げられ、それらの認識にはシカ感覚の中でも視覚が大きく関わり、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、特に視野に関して、シカやウマなど多くの有蹄類の眼球は垂直よりも水平方向の物体の認識に適応した構造を有しており（Walls 1942, Banks ら 2015, Douglas 2018）、さらに頭部の側方に配置されていることで自発的な眼球運動をせずとも水平方向を幅広く見渡すことができる視野を有している（Walls 1942, Müller-Schwarze 1994, 黒崎 1997）。一方、ウマの垂直方向の視野は眼球の高さから地面に向かっていていると考えられており（McGreevy 2012）（図 6-9）、前方に形成される両眼視野については幅が狭く（Walls 1942, Piša 1939）、物体を観察する際にはそれとの距離に応じて鼻の高さを上下に調節すると考えられている（Harman ら 1999）。また、両眼で同時に物体を捉えることは立体視に必須の条件とされており（池田 2015）、障害飛越競技用のウマは踏切直前に頭および鼻の垂直位置を高く保つことで両眼視野を上方に向けてその視覚情報（高さや奥行きなど）を獲得している可能性が高いことが明らかにされている（西山ら 2019, Jones 2021）（図 6-10）。

前節の結果からシカは優れた跳躍力を有していることが明らかになったが、実際、農地周囲に設置された物理柵に対して柵の上方から跳び越えるのではなく、基部に生じた隙間を潜り抜けて侵入する状況が確認されている（高山ら 2008a, 高山ら 2017c）。また、電気柵に対しても高山ら（2017c）の報告、第 3 および 5 章における結果から、シカは頭部を体高程度まで下げて柵に接近し、目線の先に生じた隙間に向かって集中的に跳び込み侵入する（通り抜ける）ことが明らかにされている。これらの行動にはシカの視野が関係していると考えられるものの、前方に提示された障害物をどのように認識し、跳躍を行うのかは未解明である。

本節では、侵入防止柵の認識に関わるシカの視覚特性を明らかにすることを目的とし、ネット柵を跳び越える際のキュウシュウジカの頭部および頸部の動作を解析することによりその前方視野について検討した。

材料および方法

試験期間および試験地

2021 年 6 月 26 日から同年 7 月 3 日にかけて、鹿児島市郡山町私有地内シカ屋外運動場内に

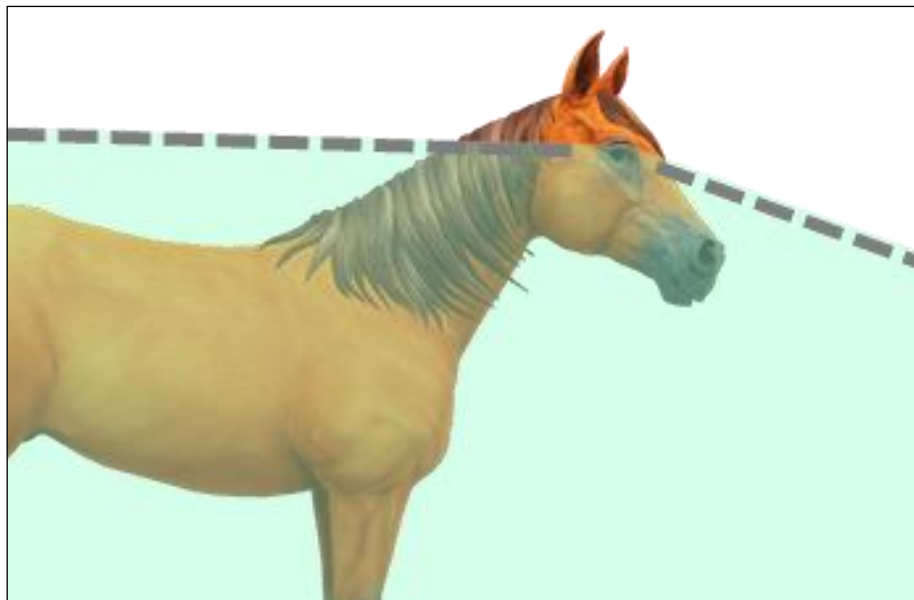


図 6-9. ウマの前進する際の垂直方向の視野（McGreevy 2012 を一部改変）

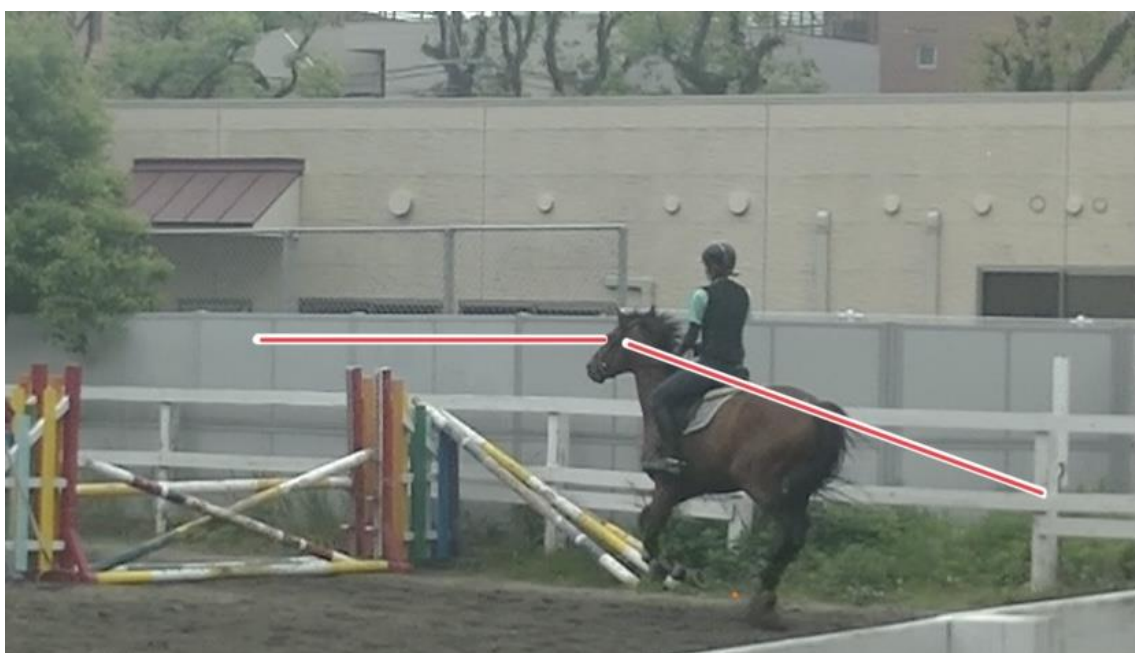


図 6-10. ウマの跳躍直前における鼻先を前方に出した体勢での視野
(2021/4/16)

設置した実験装置（1,030×262 cm）を用いて試験を行った（図 6-11）。

供試動物

供試動物として成シカ 2 頭（4 歳：オス・メス各 1 頭）を用いた（図 6-12）。供試したシカの体尺測定値については、オスで体重が 44 kg，頭部高が 106 cm，目線高が 102 cm，体高が 78 cm および体長が 73 cm であり，メスで体重が 29 kg，頭部高が 97 cm，目線高が 92 cm，体高が 70 cm および体長が 66 cm であった。

試験方法

西山ら（2019）のウマにおける頭部および頸部位置や角度の測定方法を参考に，飼育シカの鼻，目および肩甲骨と上腕骨の接合部をそれぞれ身体ポイント a，b および c として設定し，c にはスプレーを用いてマーカーを施した（図 6-13）。また，b の高さについては頭部位置，c の高さについては肩部位置として定義した。加えて a と b を結ぶ線を頭部セグメント，b と c を結ぶ線を頸部セグメントとし，それぞれのセグメントと垂直線のなす角度を頭部セグメント角度（X），頸部セグメント角度（Y）とした（図 6-14）。

試験では，実験者 A が実験装置外から飼槽 A に投入した誘因餌（市販のアルファルファペレットを原物で 5 g）を実験装置内でシカが採食後，走路を走行してポリエチレン製のネット柵（目合 17×17 mm）を跳び越え，実験者 B が実験装置外から飼槽 B に投入した誘因餌を採食するまでの行動をデジタルビデオカメラ 5 台（GZ-RY980-A，GZ-HH140-WB，GZ-R470-Y，GZ-R470-W，GZ-R470-H，J V C 社製）で録画し，記録した。飼槽 B の餌を採食したシカは幅 45 cm の通路を走行し，再び飼槽 A に周回する仕組みにした。ネット柵を提示しなかった場合，頭部を体高（70～80 cm）程度に下げながら飼槽 A から飼槽 B に接近する状況がみられたため，処理区についてはシカの視野にネット柵が確実に入ると考えられる高さのネット柵 60 cm 区およびネット柵 120 cm 区を設定した。1 処理区につき 9 回以上シカを跳躍させることとし，撮影画像から 1 回の跳躍毎にネット柵手前 30～360 cm に a（鼻）が到達した地点でのシカの各身体ポイントの位置（地上高），頭部および頸部セグメント角度（X および Y）をそれぞれ 30 cm 間隔で測定した。

統計処理

各処理区で得られた頭部および肩部位置，頭部および頸部セグメント角度については，ネ

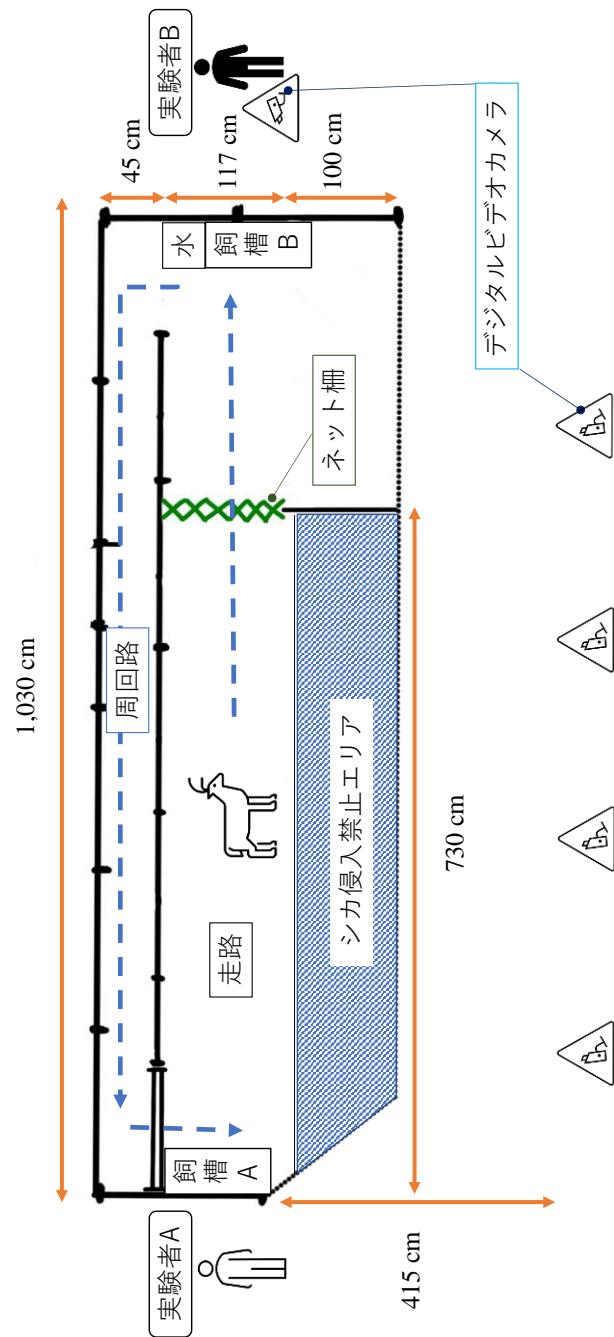


図 6-11. 実験装置の概略



図 6-12. 供試した飼育シカ（上：オス，下：メス）
（2021/5/22）

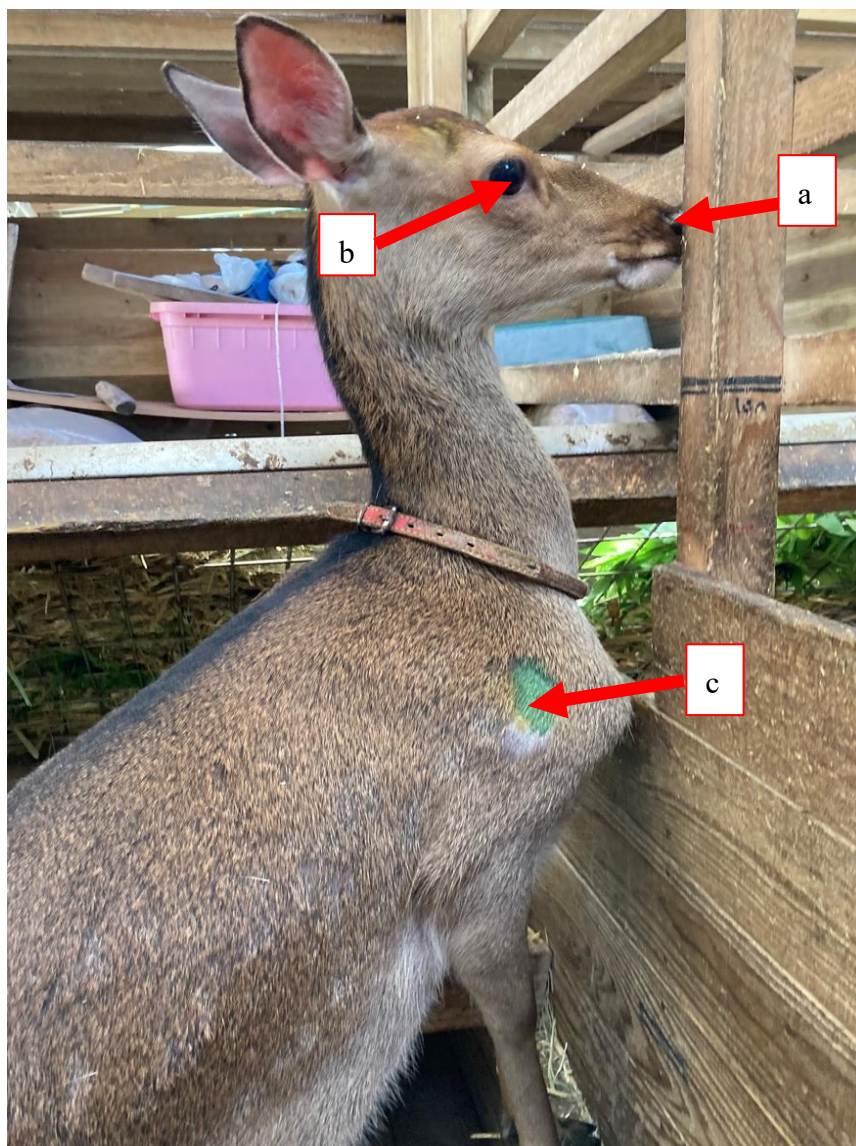


図 6-13. シカの身体ポイント a, b および c

a : 鼻 b : 目 c : 上腕骨の接合部

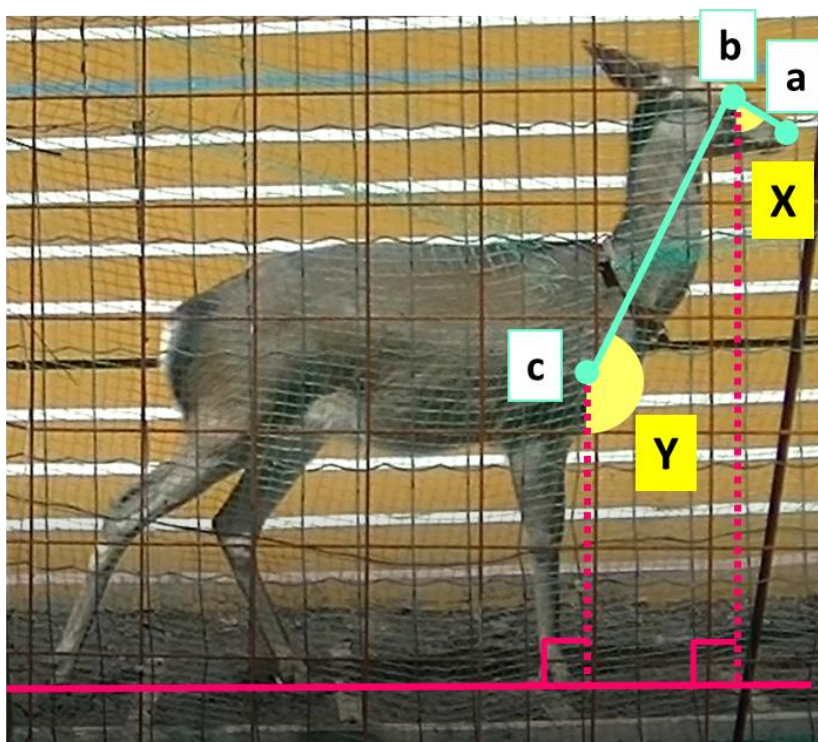


図 6-14. 頭部セグメント角度 (X) および頸部セグメント角度 (Y)

ット柵からの距離ごとの平均値を算出し、t検定によりネット柵 60 cm 区とネット柵 120 cm 区間で比較を行った。

結 果

ネット柵の高さが飼育シカの頭部および肩部位置に及ぼす影響を示した（図 6-15 および 16）。ネット柵 60 cm 区における頭部位置はオスで 63～67 cm，メスでは 61～68 cm の間で推移していた。ネット柵 120 cm ではオスで 67～79 cm，メスで 68～80 cm の間で推移しており，雌雄ともに，すべての地点でネット柵 60 cm 区よりもネット柵 120 cm 区で頭部位置は高くなっていた。オスではネット柵から 180 cm 以内の地点，メスではネット柵から 240 cm 以内の地点においてネット柵 60 cm 区との間で有意差が認められた（ $P<0.05$ ）。肩部位置については，オスではネット柵 60 cm 区で 45～49 cm，ネット柵 120 cm 区で 47～51 cm の間で推移しており，両区で類似した変動がみられ，ネット柵から 360 cm 離れた地点では有意差が認められた（ $P<0.05$ ）が，それ以降の区間差は認められなかった。メスにおいてはすべての地点でネット柵 120 cm 区はネット柵 60 cm 区より肩部位置を高くしており，ネット柵 60 cm 区で 38～42 cm，ネット柵 120 cm 区で 40～44 cm の間で推移し，ネット柵から 270，120 および 90 cm 離れた地点では有意差が認められた（ $P<0.05$ ）。

次に，ネット柵の高さが飼育シカの頭部および頸部セグメント角度に及ぼす影響を示した（図 6-17 および 18）。雌雄ともに，すべての地点でネット柵 60 cm 区よりもネット柵 120 cm 区で頭部および頸部セグメント角度は大きくなっていた。ネット柵 60 cm 区における頭部セグメント角度はオスで 45～51 度，メスで 51～56 度，頸部セグメント角度はオスで 106～110 度，メスでは 113～119 度の間で推移していた。一方で，ネット柵 120 cm 区における頭部セグメント角度はオスで 51～63 度，メスで 55～72 度，頸部セグメント角度はオスで 108～125 度，メスで 121～137 度の間で推移していた。頭部セグメント角度は，オスでネット柵から 360 cm 以内のすべての地点，メスではネット柵から 150 cm 以内の地点においてネット柵 60 cm 区との間で有意差が認められ（ $P<0.05$ ），頸部セグメント角度についてもオスで 210 cm 以内の地点，メスでは 270 cm 以内の地点において有意差が認められた（ $P<0.05$ ）。

また，ネット柵 60 cm 区より高いネット柵 120 cm 区では頭部位置や頭部および頸部セグメント角度を大きく保ち，頭部および頸部を上方に持ち上げながら柵に近付く状況が確認された（図 6-19）。

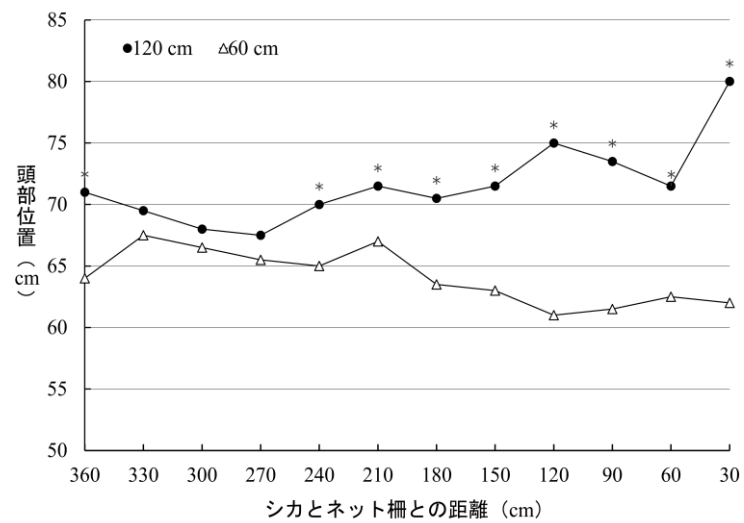
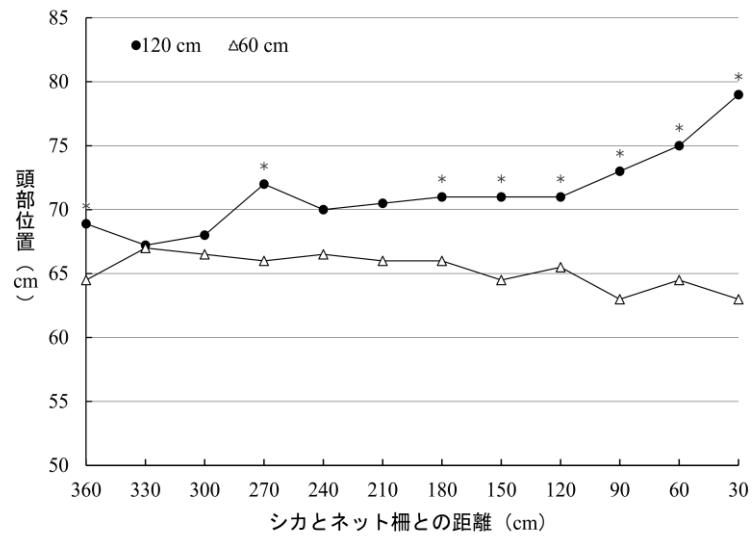


図 6-15. ネット柵の高さが飼育シカの頭部位置に及ぼす影響
(上：オス, 下：メス)

* : 60 cm 区との間に有意差あり ($P < 0.05$)

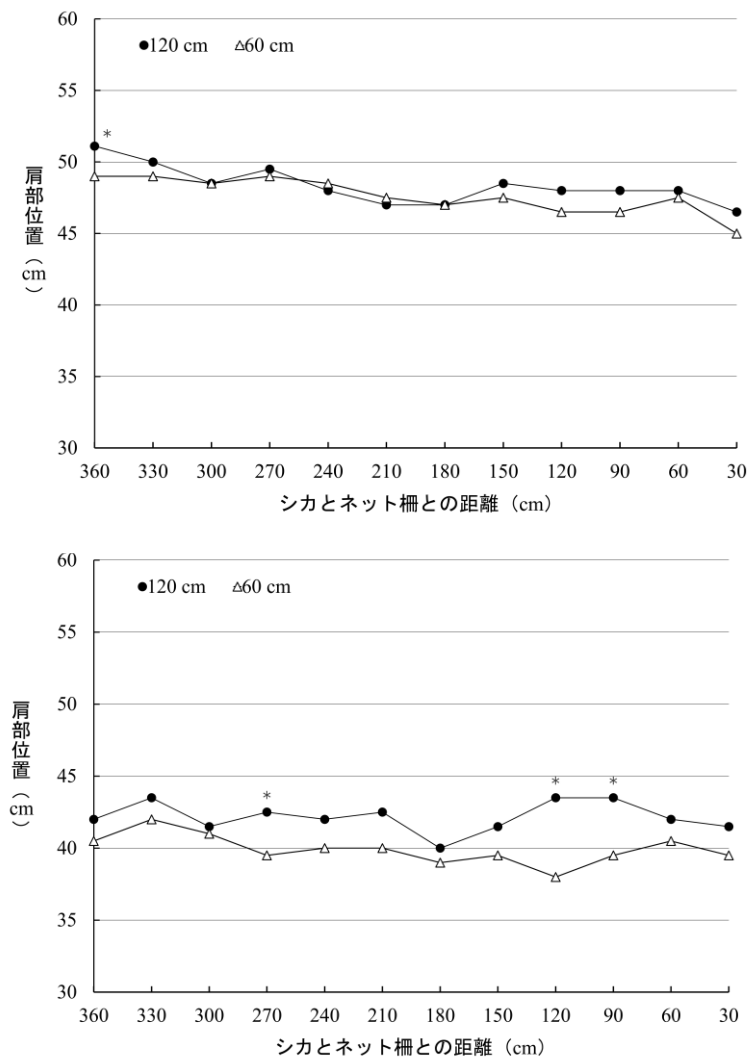


図 6-16. ネット柵の高さが飼育シカの肩部位置に及ぼす影響
(上：オス，下：メス)

*：60 cm 区との間に有意差あり (P<0.05)

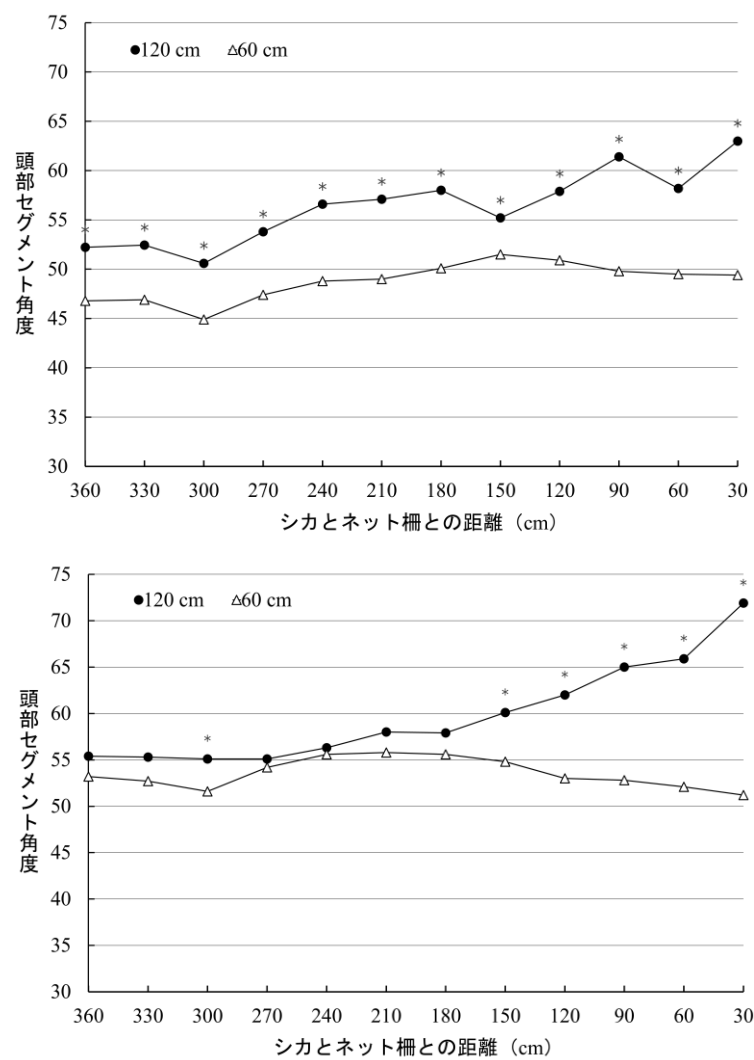


図 6-17. ネット柵の高さが飼育シカの頭部セグメント角度に及ぼす影響
(上：オス, 下：メス)

* : 60 cm 区との間に有意差あり (P<0.05)

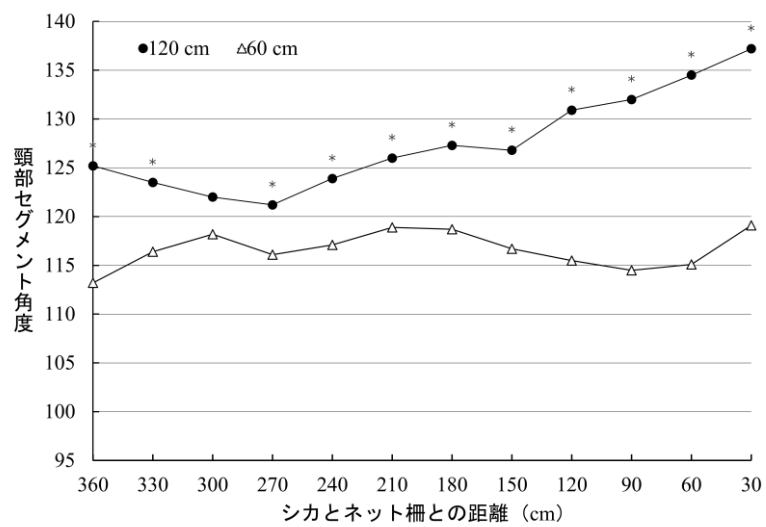
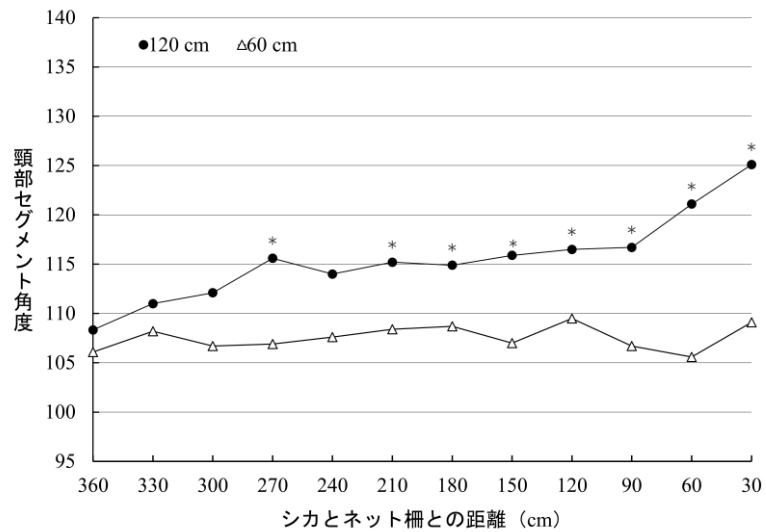
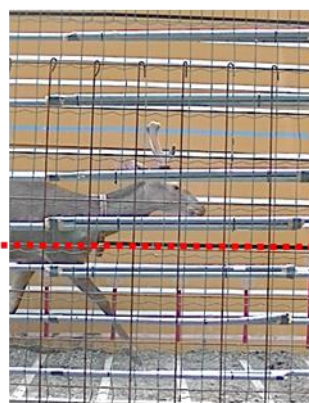


図 6-18. ネット柵の高さが飼育シカの頸部セグメント角度に及ぼす影響
(上：オス, 下：メス)

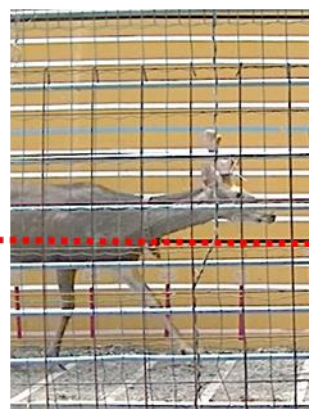
* : 60 cm 区との間に有意差あり (P<0.05)

シカとネット柵
との距離：

360 cm



180 cm



30 cm



ネットの高さ：60 cm

120 cm

図 6-19. ネット柵 60 cm 区および 120 cm 区における飼育シカ（オス）の
ネット柵跳躍前の状況

-----：地上高 50 cm を示す

考 察

西山ら（2019）は競技馬が 60 cm よりも高さのある 140 cm を跳躍する際には、項の高さを上方に保持し、頭部および頸部セグメント角度を大きくしていたと報告している。本試験においても、飼育シカはネット柵 120 cm 区を跳躍する際にはネット柵 60 cm 区と比べ、雌雄ともに頭部位置を高く保持し、頭部および頸部セグメント角度を大きくしていた。これらの差はネット柵からある程度離れた地点（120～360 cm）から認められ、ネット柵 120 cm 区では跳躍前に視野を確保できる体勢をとっていたと考えられた。また、ネット柵 120 cm 区では頭部および首を上方に持ち上げながら柵に近付く状況が確認され、体高よりも高さのある高い障害物を跳躍する際には頭部および首を上方に持ち上げ、視野を獲得する必要があることが示唆された。これらの結果は西山ら（2019）および Jones（2021）の報告とも一致しており、シカは前方の障害物に対してウマと同様な視覚情報の獲得を行なっていることが示された。

肩部位置については、オスでは両区で類似した変動を示したものの、メスではすべての地点でネット柵 60 cm 区よりもネット柵 120 cm 区で肩部位置を高くしており、ネット柵から 270、120 および 90 cm 離れた地点で有意差が認められたが、これはメスの体高がオスよりも低いため肩部位置を高くし、前駆を起こした上で高い柵を認識・跳躍する必要があるためと考えられた（図 6-20）。

高山ら（2008a, 2008b）は、3 段の有刺鉄線（高さ 45, 75 および 105 cm）に対して、野生のシカが頭を最下段の有刺鉄線の下に潜り込ませ、匍匐前進しながら通り抜ける状況や高さ 175 cm の物理的防護柵（金網・ネット併用柵）の柵基部に生じた隙間からシカが通り抜けにより侵入する行動が観察されたと報告している。また、高山ら（2017c）の報告、第 3 および 5 章における結果では、シカは頭部を体高程度まで下げて電気柵に接近した後、目線の先に生じた隙間を通り抜けて侵入することが明らかにされている。このようにシカは高い跳躍能力を有しているにもかかわらず、実際には上部からの跳躍による侵入よりも、下部からの侵入（潜り抜け）を選択すること知られている。シカ科の下腿骨は細長いために折れ易いことが知られており（Müller-Schwarze 1994）、Williams ら（2006）は、シカ類にとって柵を跳び越えることは自らを危険にさらすことであるため、地面を這うように侵入する可能性が高いと報告している。その一方で、本試験の結果からシカもウマと同様に垂直方向の視野は目線から地面に向かっていていること（図 6-21）が示され、このために潜り抜けを選択している可能性が示唆された。高山ら（2017c）はネット柵を設置する際には柵基部に隙間が生じないようにしっかりと裾部を固定する必要があるとしているが、今回明らかになったシカの視野を踏まえて

ネット柵
60 cm 区



ネット柵
120 cm 区



オス

メス

図 6-20. ネット柵 60 cm 区および 120 cm 区における飼育シカの肩部位置

----- : 地上高 50 cm を示す



図 6-21. 飼育シカ（オス）の前進する際の視野（推定）

も柵の裾部の固定は重要であると考えられた。

草食性有蹄類の瞳孔は、収縮時に横長であることで水平方向からの光をより多く取り込むのに役立っているのに加えて、ウマでは上方からの光の入射を遮るための防眩装置が瞳孔上縁に備わっている (Walls 1942, Banks ら 2015, Douglas 2018)。また、網膜には画像形成に関わる視細胞が分布しない領域が一部存在することで、その形と位置に応じて視野の中に盲点が生じ、ウマについては盲点がヒトより大きく、その多くが視線よりも上方に生じるため、これが物体の認識を妨げると考えられている (Walls 1942, Jones 2021)。その一方で、これらの眼球構造は開けた平地において水平方向から接近する捕食者に注意を払いつつ生活するウマにとって上方の視覚情報は必要性の低いことを示すものである。これに対して、シカ科の瞳孔形はウマと同様であるが、防眩装置の仕様はウマと異なっており (Duke-Elder 1958)、盲点は視線よりも下方で水平に細長く生じると考えられ、これは森林内で生活する種にとって垂直方向の視覚情報の妨げを最小限に抑えるのに役立ち、上方の視野の重要性を示すものと推察されている (Walls 1942, Duke-Elder 1958)。本試験ではシカおよびウマの障害物の認識に関わる前方視野が類似していることが示されたものの、両者の生活様式に由来する眼球構造は若干異なるため、シカの視野特性については検討の余地が残された。

一方、本試験の結果からシカが柵を跳び越えて侵入する際には、柵の高さに応じた垂直方向での視野獲得行動（頭部動作）が不可欠であることが示され、侵入防止という観点で見た場合には、その動作を制限することで跳躍を抑制できる可能性が示唆された。

以上より、障害物の認識に関わるシカの前方視野はウマと同様に、目線から地面に向かって広がっており、これが侵入防止柵の基部から侵入を試みる行動につながっていることやシカが高い障害物を跳躍する際には、跳躍前に頭部および首を上方に持ち上げて視野を獲得することが示唆された。

第3節 電気柵へのシカ通り抜け防止効果向上のために ネット柵の併用は有効か？

目 的

シカの侵入防止策の1つとして、電気柵の設置が挙げられる。本試験では、草地周囲に設置した電気柵の下部をシカが巧みに通り抜け、これはヒューマンエラーが要因で引き起こること、さらには通り抜け箇所が下部に集中していることについてはその視覚特性との関わりが深いことを示してきた。

シカによる架線間の通り抜け対策として、電気柵に物理柵を組み合わせる複合柵の利用が考えられ、ニホンザル (*Macaca fuscata*) やニホンイノシシ (*Sus scrofa leucomystax* : 以下、イノシシ) においては、電気柵と物理柵をそれぞれ単体利用した場合よりも高い侵入防止効果が得られる (農林水産省 2014, 佐渡と田戸 2017)。しかしながら、シカに対する複合柵の侵入防止効果を検討した例はほとんどなく、シカの通り抜けにより侵入防止効果の低下した電気柵に物理柵を併用した場合のシカの行動反応は明らかになっていない。

そこで本試験では、草地におけるシカ侵入防止技術の開発を目的とし、電気柵の効果向上のため、電線の代わりに非通电の紐を架線した柵を提示して、まず、電気柵を通り抜ける状況を再現した上で、その後方にネット柵を併せて設置することで、物理的に侵入を防止できる柵の高さならびに電気柵との設置間隔を検討した。

材料および方法

試験期間および試験地

試験は 2019 年 5 月から同年の 10 月にかけて、鹿児島市内のシカ飼育舎外の屋外運動場 (1,300×400 cm) で行われた (図 6-22)。

供試動物

2017 年 5 月の出生直後に入来牧場で捕獲された成シカ 2 頭 (3 歳 : オス・メス各 1 頭) を用いて試験を行った。供試個体の体重および体尺値については実測し、オス個体においては、体重 44 kg, 頭部高 109 cm, 目線高 104 cm, 体高 80 cm および体長 75 cm であり、メス個体においては、体重 29 kg, 頭部高 97 cm, 目線高 92 cm, 体高 71 cm および体長 65 cm であった。試験期間中、シカはいずれも幅 1 m×奥行 2 m のシカ房内で単飼され、粗飼料 (市販オーツヘイ、青刈りのイタリアンライグラス、ソルガムおよび野草類) が不断給与された。

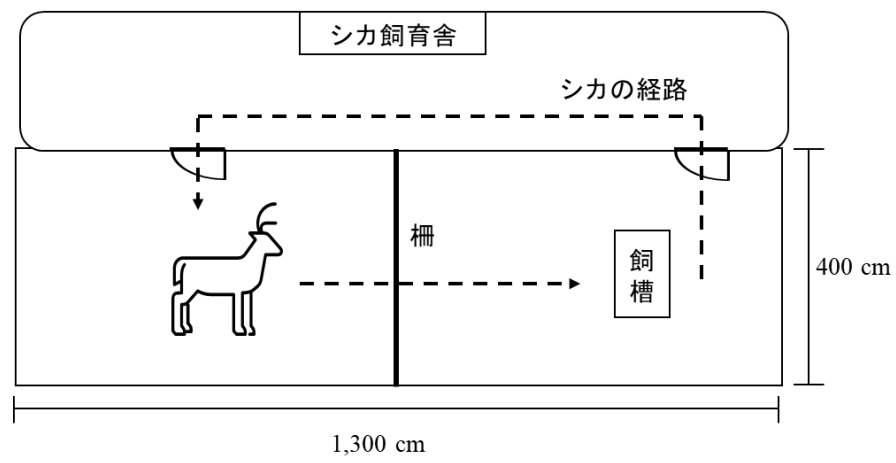


図 6-22. 試験地の概略

試験方法

1. 紐を架線した柵に対するシカの行動反応

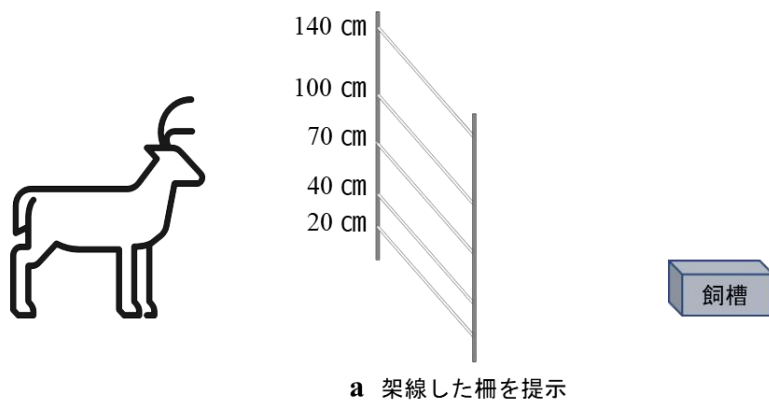
屋外運動場内に飼育シカと飼槽（誘引餌入り；市販のアルファルファペレットを原物で 5～10 g）を遮る形で電線の代わりに紐（ポリプロピレン製、直径 5 mm、白色）を 5 段（地上高 20, 40, 70, 100 および 140 cm）に架線した（以下、架線柵）（図 6-23a）。1 日（8：00～18：00）につき 30 分間、計 3 日間この非通电の架線柵を飼育シカに提示し、その行動をデジタルビデオカメラ 2 台（GZ-R470Y, JVC 製および DCR-SR300, SONY 製）で録画し、記録した。撮影画像からシカの行動を解析し、頭部と前肢が架線を越えて飼槽側に入った場合を「接近」と判断し、そのまま通り抜け、飼槽側へ侵入した場合を「侵入成功」、後退して引き返した場合を「侵入失敗」とし、後者を総接近回数で除して、100 を乗じることで侵入阻止率を算出した。加えて、侵入成功の場合には、侵入がみられた架線の垂直位置（地上高）をそれぞれ記録した。

なお、一般に電気柵に用いられる電線（ポリエチレンとステンレスを撚り合わせたもの）を非通电状態として設置するのではなく、紐を電線に模して設置した。これについては、本試験に供した個体と同一個体を用いて電気柵によるシカ侵入防止に関する実験を行っており（第 5 章 第 2 節）、既に成立している電気柵（電線）への忌避学習効果が本試験に影響すること、また、本試験で電線に対する通り抜けを学習してしまった場合、今後、電気柵の侵入防止効果を評価する際に影響する（通り抜けを学習し、忌避効果が低下したシカには、電気柵の再学習が困難となる）ことを避けるためである。

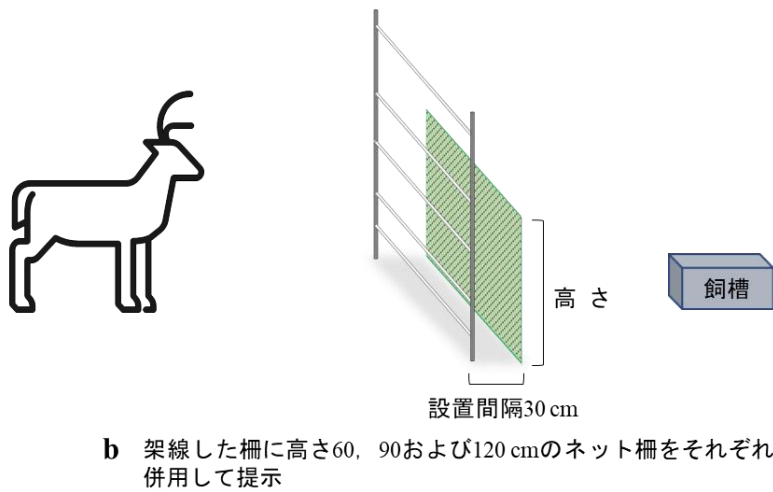
2. 併用するネット柵の高さの検討

続いて、架線柵からみて飼槽側に 30 cm の位置に高さ 60 cm のネット柵（ポリエチレン製、目合 1.5×1.5 cm、緑色）を併用し（以下、併用柵）（図 6-23b）、上記 1 と同様にシカの行動を 1 日（8：00～18：00）につき 30 分間、計 3 日間録画・解析した。ネット柵については、その後、90 および 120 cm と 30 cm 間隔で地上高を上げていき、それぞれ 1 日につき 30 分間、計 3 日間調査を行った。録画した画像を解析し、頭部と前肢が架線を越えて飼槽側に入った場合を「接近」と判断し、そのままネット柵を跳び越え、飼槽側へ侵入した場合を「侵入成功」、ネット柵を跳び越えずに後退して引き返した場合を「侵入失敗」とし、後者を総接近回数で除して、100 を乗じることで侵入阻止率を算出した。

1. 紐を架線した柵に対するシカの行動反応



2. 併用するネット柵の高さの検討



3. 併用柵の設置間隔の検討

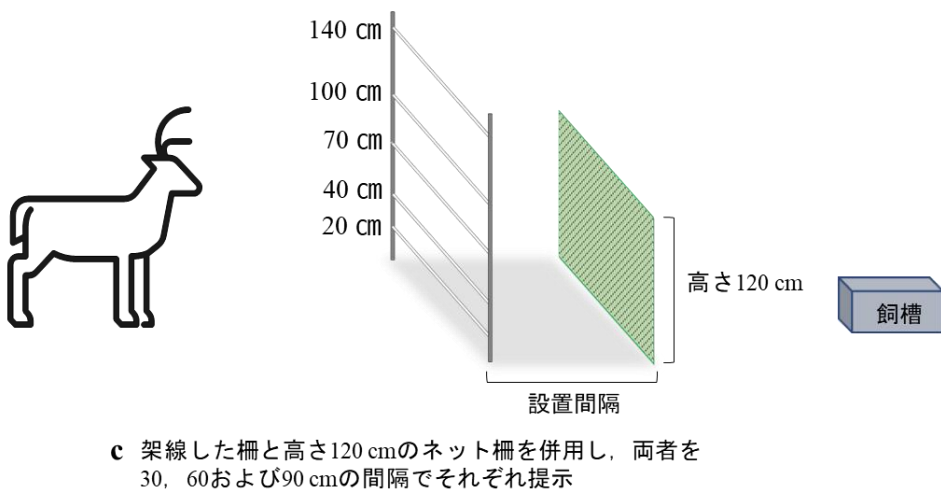


図 6-23. 試験の方法

3. 併用柵の設置間隔の検討

最後に、併用柵における架線柵と高さ 120 cm のネット柵の設置間隔を 30, 60 および 90 cm とし、シカの侵入に及ぼす影響を調査した（図 6-23c）。それぞれ 1 日（8:00～18:00）につき 30 分間、計 3 日間シカに提示し、上記 1 および 2 と同様な調査を行った。

なお、いずれの試験においても、飼育シカが誘引餌を完食した後は、飼育舎内の通路に沿ってシカを周回させ（図 6-22）、再度スタート地点へ戻った時点で飼槽に餌を追加することにより誘引を行った。試験中、水については不断給与とした。また、ネット柵についてはいずれの地上高においてもネットが地表に弛まないよう設置することとし、飼育シカの接触により架線柵やネット柵に弛みおよび破損が生じた際には一時中断し、直ちに補修を行い、試験を再開した。

得られたデータのうち、侵入成功および侵入失敗回数を基に 2×3 分割表（侵入の成否×処理区）によるカイ二乗検定を行い、2 属性変数間に有意な関連が認められた場合、各処理区間の総当たりで侵入阻止率の比較を行った。このとき、多重比較によるタイプ I のエラーを回避するために有意水準は 1% 以下とした。

結 果

1. 紐を架線した柵に対するシカの行動反応

架線柵への接近はオスで 72 回/90 分、メスで 80 回/90 分みられ、いずれも通り抜けにより侵入に成功し、侵入阻止率は 0% であった。架線柵に対する飼育シカの通り抜け位置を表 6-2 に示した。オスおよびメスにおける架線柵の通り抜けは、すべてが高さ 40 cm と 70 cm の間でのみ観察された。シカが通り抜けを行う際には、いずれも高さ 40 cm と 70 cm の架線間に頭部を入れた後、前肢で架線を跨ぎ、飼槽に向かう状況が観察された（図 6-24）。

2. 併用するネット柵の高さの検討

併用するネット柵の高さが飼育シカの侵入阻止率に及ぼす影響を表 6-3 に示した。高さ 60 cm のネット柵を併用した場合には、オスで 58 回/90 分、メスで 92 回/90 分の架線柵への接近がみられ、跳び越えによる侵入成功（図 6-25）がそれぞれ 55 および 92 回観察された。一方、ネット柵に接近したものの、跳び越えを躊躇するなどして侵入に失敗した場合はオスで 3 回、メスで 0 回に過ぎず、侵入阻止率はそれぞれ 5 および 0% であった。オスにおける架線柵で観察された全 58 回の通り抜けの内訳は、高さ 40 cm と 70 cm の間で 48 回、高さ 70 cm と 100 cm の間で 10 回であり、前者で高い割合を示した。メスにおける架線柵の通り抜け全 92 回につい

表 6-2. 紐を架線した柵に対する飼育シカの通り抜け位置

性 別	通り抜けがみられた架線の垂直位置 (cm)					
	0-20	20-40	40-70	70-100	100-140	140<
オ ス	0	0	72	0	0	0
メ ス	0	0	80	0	0	0

数値は 3 日間 (90 分間) の延べ回数を示す.



架線した柵に近づく



高さ 40 cm と 70 cm の架線間に頭部を入れ、
前肢で線を跨ぐ（接近）



架線間を通り抜けて飼槽に向かう

図 6-24. 飼育シカが架線間を通り抜けて飼槽側へ侵入する状況（試験 1）

表 6-3. 併用するネット柵の高さが飼育シカの侵入阻止率に及ぼす影響

性 別	ネット柵の高さ(cm)	回数(回/3日・30分)			侵入阻止率(%)
		接 近	侵入成功	侵入失敗	
オ ス	60	58	55	3	5 ^a
	90	26	14	12	46 ^b
	120	18	0	18	100 ^c
メ ス	60	92	92	0	0 ^a
	90	64	51	13	20 ^b
	120	57	0	57	100 ^c

^{a-c}: 同一列内の異肩文字間に有意差あり(P<0.01)



併用柵に近づく



高さ 40 cm と 70 cm の架線間を通り抜ける（接近）



ネット柵を跳び越えて飼槽側に侵入

図 6-25. 高さ 60 cm のネット柵を併用した際の飼育シカの侵入状況（試験 2）

ても、高さ 40 cm と 70 cm の間で 91 回、高さ 70 cm と 100 cm の間で 1 回とオスと同様に前者で高い割合を示した。高さ 90 cm のネット柵を併用した場合には、オスで 26 回/90 分、メスで 64 回/90 分の架線柵への接近がみられ、跳び越えによる侵入成功はそれぞれ 14 および 51 回であった。侵入失敗はオスで 12 回、メスで 13 回観察され、侵入阻止率はそれぞれ 46 および 20% であった。オスにおける架線柵の通り抜け全 26 回は、高さ 40 cm と 70 cm の間で 14 回、高さ 70 cm と 100 cm の間で 12 回それぞれ観察され、メスの通り抜け全 64 回は前者でのみ認められた。

これに対して、高さ 120 cm のネット柵を併用した場合には、オスで 18 回/90 分、メスで 57 回/90 分の架線柵への接近がみられたものの、いずれにおいてもネット柵の跳び越えに失敗し、飼槽側への侵入を断念する状況がみられた（図 6-26）。その結果、オスおよびメスともに侵入阻止率は 100% であり、高さ 60 および 90 cm のネット柵併用の場合と比べて有意に高い値を示した（ $P < 0.01$ ）。オスおよびメスにおける架線柵の通り抜け（全 18 および 57 回）は、いずれも高さ 40 cm と 70 cm の間でのみ観察された。

3. 併用柵の設置間隔の検討

併用柵における架線柵およびネット柵（高さ 120 cm）の設置間隔が飼育シカの侵入阻止率に及ぼす影響を表 6-4 に示した。併用柵の設置間隔 30 および 60 cm では、オスで 15 および 23 回/90 分、メスで 70 および 49 回/90 分の架線柵への接近がみられたものの、いずれにおいてもネット柵の跳び越えに失敗し、飼槽側への侵入を断念する状況がみられ、侵入阻止率はともに 100% であった。設置間隔が 30 および 60 cm のいずれの場合においても、オスおよびメスによる架線柵の通り抜けについては、すべて高さ 40 cm と 70 cm の間でのみ観察された。

設置間隔 90 cm ではオスで 20 回/90 分、メスで 45 回/90 分の架線柵への接近がみられ、いずれも架線柵の通り抜けは、高さ 40 cm と 70 cm の間でのみ観察された。オスではネット柵に前肢をかけて立ち上がり（図 6-27）、体勢を崩しながらネット柵を跳び越える状況が 2 回確認され、侵入阻止率はオスで 90%、メスで 100% であった。なお、いずれの設置間隔においても、シカが架線柵を通り抜けた後、視線を上方に向けることなく直進し、柵の手前で首を垂直方向に伸ばして柵上部を見上げ、最終的に跳躍を断念する状況が繰り返し観察された（図 6-28）。

併用柵の設置間隔の違いによる侵入阻止率に有意差は認められなかったものの、ネット柵に前肢をかけて立ち上がる行動については、3 日間（90 分）のうち設置間隔 30 cm ではオスで 0 回、メスで 1 回と観察頻度は少なかった。これに対し、60 cm ではオスで 7 回、メスで 5 回、90 cm ではオスで 18 回、メスで 4 回と設置間隔を 60 cm 以上にした際に多く観察された。



併用柵に近づく



架線間を通り抜ける（接近）



ネット柵を跳び越えることができず、飼槽側への侵入を断念

図 6-26. 高さ 120 cm のネット柵との併用が飼育シカの侵入に及ぼす影響
（試験 2）

表 6-4. 架線した柵とネット柵（高さ 120 cm）の設置間隔が飼育シカの侵入阻止率に及ぼす影響

性 別	併用柵の設置間隔 (cm)	回数(回/3日・30分)			侵入阻止率(%)
		接 近	侵入成功	侵入失敗	
オ ス	30	15	0	15	100
	60	23	0	23	100
	90	20	2	18	90
メ ス	30	70	0	70	100
	60	49	0	49	100
	90	45	0	45	100



図 6-27. 飼育シカがネット柵に前肢をかけ、立ち上がる状況（試験 3）



頭部を下げ、架線間を通り抜ける



目線を水平に向けたまま直進



ネット柵の手前で柵を見上げる

図 6-28. ネット柵（120 cm）手前の架線を通り抜けた飼育シカが跳躍による侵入を断念する状況

⇨目線の動きを示す

考 察

電気柵は設置が容易かつ比較的安価な侵入防止柵であり、正しく設置することで顕著な侵入防止効果が得られることが知られている（高山ら 2013）。その一方で、効果を持続させるためには、漏電防止を目的とした下草刈りや断線した際の補修など日常的な管理が不可欠であり、第 5 章では通電が不十分な場合には、シカが架線間の通り抜けを学習する機会を与えることとなり、その後、再度通電を行っても十分な侵入防止効果が得られない可能性が高いことが明らかになった。これに加え、江口（2013）はシカ対策のために地上高 20, 40, 70, 110 および 150 cm に架線した電気柵に関して、シカが地面から 60 cm 程度までの高さをくぐり抜けるを好むことから、2 段目（高さ 40 cm）と 3 段目（高さ 70 cm）の架線間隔（30 cm）が地面と 1 段目および 1 段目と 2 段目のそれぞれの間隔（20 cm）よりも広いことで、その隙間からの通り抜けによる侵入を助長する可能性を指摘している。また、高山ら（2017c）および第 3 章でも草地周囲に設置した 5 段張り電気柵（地上高 20, 40, 70, 100 および 140 cm：架線間隔 20～40 cm）で、シカの侵入阻止率は低く、シカが頭部を下げて電気柵に接近し、口唇で接触することなく、目線の先の架線間に飛び込み通り抜ける状況を確認している。架線の張設条件が同様の本試験の架線柵においても、成オスおよび成メスともに、体高（70～80 cm）程度まで目線を下げて架線柵に接近する状況がみられ、その通り抜け位置はいずれも高さ 40 cm と 70 cm の架線間に集中していた。これらを踏まえると、電気柵が心理的な侵入防止効果を持たない「単なる物理的な障害物」となった場合には、目線の先に位置する架線の隙間がシカの通り抜けを誘発することが推察され、本試験においても侵入防止効果が低下した電気柵と同様な状況が再現されたものと考えられた。

キュウシュウジカについて、本章の第 1 節では本試験と同一個体を用いた試験でいずれも高さ 120 cm まで跳躍可能であることが示されている。しかしながら、本試験ではネット柵の手前に紐を 5 段に架線した柵を設置することで、その際に跳躍できるネット柵の高さは 90 cm となり、跳躍可能な柵の高さが 30 cm 低下した。つまり、通り抜けによる侵入を防止するために電気柵と併用するネット柵の高さは 120 cm あれば、跳躍による侵入も合わせて防止できる可能性が示された。

一方、併用柵における架線柵およびネット柵の設置間隔については、30 および 60 cm で侵入阻止率が 100%、90 cm においても高い侵入阻止率を示したものの、60 および 90 cm と間隔が大きくなるにつれて、柵の間に侵入したシカの可動範囲が広くなり、ネット柵上部に前肢をかけて立ち上がる状況が多くみられた。電気柵の管理で不可欠となる電線に触れる下草の除

草では、柵の設置間隔が広いほど草刈り機の刃やナイロンコードが併用柵に触れることがないため作業効率が向上すると推察される。しかしながら、本試験でみられたようなシカが前肢をかけることによる柵の破損リスクを考慮した場合、30 cm に設定すべきと考えられた。これより、電気柵に併用するネット柵の高さは120 cm、設置間隔は30 cm が最適であると示された。ただし、設置間隔を30 cm とする場合の維持管理面への影響（草刈り機によるネット柵基部の切断やネット柵近辺の草本類の伸長による漏電の可能性など）については、実際に草地で電気柵とネット柵を併設することにより検討する必要がある。

ウマの垂直視野は目線から地面に向かって広がっていることが知られており、前方にある障害物の高さや奥行きをヒトにみられる自発的な眼球移動ではなく、頭部の上下動作によって認識し、跳躍するか否かを判断するとされている（Harman ら 1999, McGreevy 2012, 西山ら 2019）。前節においては、シカもウマと同様な前方視野を持っている可能性が示されている。加えて、本試験では、シカが架線柵に併用されたネット柵の跳躍を断念した際、架線柵を通り抜けた後、目線を上方に向けることなく直進し、ネット柵の手前で首を垂直方向に伸ばして柵上部を見上げる状況が観察された（図 6-28）。これらのことから、シカにとって跳び越えによる侵入に不可欠とされる頭部動作が架線の存在によって制限された可能性が考えられた。

以上より、5 段張り電気柵（20, 40, 70, 100 および 140 cm）の 30 cm 後方に高さ 120 cm のネット柵を併用することで既に通り抜けを学習したシカによる侵入を物理的に防止し、高い侵入防止効果が得られる可能性が示された。今後は草地において、電気および物理併用柵のシカ侵入防止効果を長期に亘って検証するとともに、その設置費用や維持管理面での労力を含めて総合的に評価していく必要がある。

第4節 電気およびネット併用柵設置による草地へのシカ侵入防止効果

目 的

前節では5段張り電気柵（20, 40, 70, 100 および 140 cm）の30 cm 後方に高さ120 cm のネット柵を併用することで既に通り抜けを学習したシカによる侵入を物理的に防止し、高い侵入防止効果が得られる可能性が示された。

山川（2008）は飼育イノシシの試験から、電気柵や物理柵であるワイヤーメッシュ柵およびボタン柵の侵入防止効果が比較的高いことを明らかにしたものの、いずれも時間の経過とともに侵入が認められ、複数の柵を組み合わせることによって侵入防止効果を高める必要性を指摘している。ニホンザルやニホンイノシシにおいては、電気柵と物理柵による複合柵を設置することでそれぞれ単体利用した場合よりも高い侵入防止効果が得られることが明らかにされており（農林水産省 2014, 佐渡と田戸 2017）、クマ類やニホンイノシシでは電気柵の手前に1〜2本電線を架線（トリップ仕様）することで侵入防止効果が高まることが経験的に知られている。しかしながら、シカに対する複合柵の侵入防止効果を長期に亘って検討した例はほとんどない。

そこで本節では、電気柵を用いた草地へのシカ侵入防止技術の開発を目的とし、5段張り電気柵と高さ120 cm の金属製ネット柵を草地で併用する形で設置し、その侵入防止効果について侵入防止策を何ら講じなかった場合（1年目：第2および3章）と5段張り電気柵のみを設置した場合（2年目：第3章）との間で比較した。

材料および方法

試験期間および試験地

試験は2019年6月から2020年5月まで第2および3章と同じ入来牧場内の採草地（面積2 ha, 周囲500 m）で行われた。供試草地では、第2および3章と同様に、夏草として飼料用栽培ヒエ（*Echinochloa utilis* Ohwi et Yabuno：以下、ヒエ）、冬草としてイタリアンライグラスがそれぞれ栽培され、収穫時にはサイレージ調製が行われていた。

調査項目

本試験では、電柵区において既に設置された5段張り電気柵の内側（草地側に約30 cm）に高さ120 cm の金属製ネット（以下、ネット）柵を併用し、併用区とした（図6-29）。牧草の栽培期間を表（表6-5）に示した。対照区および電柵区と同様に、草地内にセンサーカメラ



図 6-29. 電気柵と金属製ネット柵を併用したシカ侵入防止柵
(併用区)

表 6-5. 各区における牧草の栽培期間ならびにセンサーカメラの設置状況

区 分	ヒ エ			イタリアンライグラス		
	栽培期間	カメラの設置状況		栽培期間	カメラの設置状況	
		台 数	日 数		台 数	日 数
対 照	2017/5/31 ～ 2017/9/1	3	85	2017/10/6 ～ 2018/5/16	3	217
電 柵	2018/6/1 ～ 2018/8/17	3	55	2018/10/19 ～ 2019/5/21	3	210
併 用	2019/6/13 ～ 2019/8/23	3	71	2019/10/1 ～ 2020/5/20	3	218

(10J-D, TREL 社製：以下、カメラ)を3台設置し、静止画撮影を行った。カメラの設定については対照区および電柵区と同様に、同一個体が繰り返し撮影される可能性をできるだけ排除するため、一撮影後に30分間の休止期間があるインターバル撮影を行った(關ら 2015)。センサーは30 m 先まで検知可能とされ、カメラの画角は60°であり、感度については中レベルに設定した。カメラで撮影された野生哺乳類については、種毎に頭数をカウントし、それをカメラの設置台数と日数で除して1日当たりの平均撮影頭数(頭/カメラ/日)を算出した。

設置したネット柵については、PVC コートワイヤー(緑色)であり、目合いが縦10 cm×横5 cm で高さが120 cm のイノシシ対策用マルチフェンスを用いた。電柵区と同様に、カメラ3台を柵近くに設置し、併用柵に対するシカの行動反応を動画(30秒間、5分間のインターバル撮影)で撮影した。撮影動画から併用柵に対するシカの行動反応(侵入、柵を回避しながら移動または採食、柵に接近し、視認した後に回避または逃避および電線に接触後に感電し後退)を調査した。

対照区および電柵区と同様に、シカによる牧草の採食被害状況を把握するために、シカが侵入して牧草を採食できないプロテクトケージ(1.5×1.5 m；以下、ケージ)を草地に3ヵ所設置し、ケージ内(各ケージ1ヵ所、n=3)および処理区内(n=20)の草高をヒエでは播種後60日前後、イタリアンライグラスでは播種後200日前後にそれぞれ測定するとともに、処理区内(n=20)に0.5×0.5 m のコドラートを置き、枠内の糞粒数も合わせて調査した。牧草の収穫時には、0.5×0.5 m のコドラートをケージ内(各ケージ1ヵ所、n=3)ならびに処理区内(n=10)に置き、枠内の牧草を地際で刈り取り、60°Cで48時間通風乾燥した後、乾物重量を測定した。得られたデータについては、ケージ内と処理区内の牧草の草高と乾物収量をt検定により比較した。

侵入防止柵を設置した電柵区および併用区については、設置にかかった柵の資材費と時間を記録するとともに、週に1回、電圧測定器を用いて柵線における通電状況の確認を行った。また、定期的に行った電線下の草刈り(ナイロンコードカッターを使用)についても作業に要した人数と時間を測定した。

結果および考察

カメラによって草地で撮影された野生哺乳類を表6-6に示した。対照区および電柵区ではシカに次いでイノシシ、ニホンアナグマ(*Meles anakuma*)、ホンダタヌキ(*Nyctereutes procyonoides viverrinus*)およびホンドキツネ(*Vulpes vulpes japonica*)など中型哺乳類が観察

表 6-6. 草地における併用柵の設置が野生哺乳類の侵入に及ぼす影響

対照区 ¹⁾				
	ヒ エ		イタリアンライグラス	
	平均撮影頭数 (頭/カメラ/日)	割合 (%) ²⁾	平均撮影頭数 (頭/カメラ/日)	割合 (%)
シ カ	7.4 ± 1.1	(98.2)	11.1 ± 1.3	(99.7)
イノシシ	0.1 ± 0.1	(1.6)	0	(0)
中型哺乳類 ³⁾	0.02 ± 0.02	(0.2)	0.04 ± 0.02	(0.3)
計	7.5 ± 1.1	(100)	11.2 ± 1.3	(100)
電柵区				
	ヒ エ		イタリアンライグラス	
	平均撮影頭数 (頭/カメラ/日)	割合 (%)	平均撮影頭数 (頭/カメラ/日)	割合 (%)
シ カ	1.6 ± 0.5	(99.6)	6.1 ± 2.5	(99.8)
イノシシ	0	(0)	0	(0)
中型哺乳類	0.01 ± 0.01	(0.4)	0.01 ± 0.01	(0.2)
計	1.7 ± 0.5	(100)	6.1 ± 2.5	(100)
併用区				
	ヒ エ		イタリアンライグラス	
	平均撮影頭数 (頭/カメラ/日)	割合 (%)	平均撮影頭数 (頭/カメラ/日)	割合 (%)
シ カ	0	(-)	0	(-)
イノシシ	0	(-)	0	(-)
中型哺乳類	0	(-)	0	(-)
計	0	(-)	0	(-)

¹⁾対照区および電柵区については第3章のデータより引用.

²⁾平均撮影頭数の合計に占める各哺乳類の構成割合を示す.

³⁾ニホンアナグマ, ホンドタヌキおよびホンドキツネを示す.

されていたのに対し、併用区における野生哺乳類の平均撮影頭数は、ヒエおよびイタリアンライグラスの栽培期間中でいずれも 0 頭であった。

対照区で多数のシカが年間を通して草地に侵入していることが示され、イノシシや中型哺乳類もその数は少ないものの、草地に出現することが明らかになった。また、電柵区では冬季に多くのシカの侵入を許し、中型哺乳類についてもその侵入を完全には防ぐことが出来なかった。イノシシについては、高山ら（2017a）がその侵入防止を目的として 15 および 30 cm の高さに架線した電気柵を肥育牛舎に設置したところ、設置直後に幼イノシシが架線下を通り抜けて侵入したものの、時間の経過とともに、成イノシシだけでなく幼イノシシの侵入も完全に防いだことを報告しており、電柵区でも同様な状況がみられていた。これに対し、本試験における併用区では、シカの侵入は年間を通じて皆無であり、イノシシおよび中型哺乳類についても同様であった。このことから、5 段張り電気柵にネット柵を併用することでシカのみならず、他の野生哺乳類に対しても顕著な侵入効果が得られることが明らかになった。

併用柵に対するシカの行動反応を表 6-7 に示した。柵沿いに設置したカメラ 3 台によりヒエおよびイタリアンライグラスの栽培期間（71 および 218 日間）でそれぞれ延べ 803 および 1,176 頭分のシカの行動が記録された。いずれにおいても、シカが侵入する状況はみられず、シカが併用柵を回避しながら野草を採食または移動する状況が 70% 近くを占め、次いで柵に接近したものの、柵を視認した後、回避または逃避する状況が 32% 観察された（図 6-30）。電線に接触したのはイタリアンライグラス栽培期間中の 3 回のみであり、その他は視認しただけで侵入を断念する状況が確認された。

第 6 章の第 1 節ではキュウシュウジカの跳躍力が明らかになり、ネット柵で物理的にシカの侵入を防ぐ際には高さ 150 cm 以上の柵を設置することで跳躍による侵入を防げることが示されている（吉田ら 2012）。一方、本試験では、前節の結果を応用し、電柵区において 40 cm と 70 cm の架線間で集中してみられた通り抜けによる侵入を防止することを目的として、キュウシュウジカが跳躍可能な高さ 120 cm のネット柵を併用したものの、通り抜けおよび跳躍による侵入は一度もみられず、ネット柵の併用による侵入防止効果は極めて顕著であった。カメラで撮影されたシカは柵から 1~2 m 離れた地点から手前にある電気柵を警戒しながら視認し、続いてその後方にあるネット柵を視認することで柵にそれ以上近づくことなく、回避や逃避する状況（図 6-30）が認められており、併用したネット柵は物理柵としての効果に加え、視覚的に通り抜けを断念させる効果があったものと推察された。これに加えて、ネットなどの物理柵は隙間などから侵入を試みた野生動物がネットに絡まり、死亡するケースがある。本

表 6-7. 併用柵に対するシカの行動反応（併用区）

		ヒエ		イタリアンライグラス	
		撮影頭数	割合(%)	撮影頭数	割合(%)
侵 入		0	(0)	0	(0)
侵入阻止	併用柵を回避しながら野草を採食または移動	549	(68)	793	(67)
	視認後, 逃避または回避	254	(32)	380	(32)
	電線に接触後, 感電し後退	0	(0)	3	(1)
	計	803	(100)	1,176	(100)



併用柵を視認



侵入を断念



併用柵を回避

図 6-30. シカが併用柵を回避する状況（併用区，2019/7/28）

試験で用いた併用柵については、シカがネット柵に触れる状況が一度もみられなかったことから、野生動物における Animal Welfare を満たすという点でも高く評価できる結果となった。

草地で確認された 1 m² 当たりのシカの平均糞粒数を表 6-8 に示した。対照区ではヒエで 9.2 粒およびイタリアングラスで 109 粒を示し、電柵区ではヒエで 0.6 粒ならびにイタリアングラスで 56.0 粒と対照区に比べて減少したものの、冬季に増加がみられていた。これに対し、本試験の併用区ではヒエおよびイタリアンライグラスのいずれの栽培時においても糞粒は全く認められなかった。

ヒエおよびイタリアンライグラス草地内に設置したシカが侵入して牧草を採食できないケージの内側および各処理区内の草高を比較した（図 6-31）。対照区および電柵区ではいずれもシカの採食による草高の低下が認められ、ケージ内に比べて処理区内の草高は有意に低下していた（ $P<0.01$ ）。これに対し、本試験の併用区においては、ヒエ（2019 年 8 月 7 日；播種後 55 日目）およびイタリアンライグラス（2020 年 4 月 15 日；播種後 197 日目）のいずれにおいても、ケージ内と処理区内の草高は同等の値であり、シカの採食による草高の低下は認められなかった。

各牧草の乾物収量については、いずれも出穂期に収穫が行われ、対照区および電柵区ではケージ内に比べて処理区内で低下しており、減収がみられた（ $P<0.01$ ）。一方、本試験の併用区のヒエにおいてはケージ内で 2,756 kg DM/ha および処理区内で 3,268 kg DM/ha（2019 年 8 月 23 日；播種後 71 日目）、イタリアンライグラスではケージ内で 9,987 kg DM/ha および処理区内で 10,984 kg DM/ha（2020 年 5 月 20 日；播種後 232 日目）といずれも外側の乾物収量の低下は認められず、減収はみられなかった。

侵入防止策を講じなかった対照区でヒエおよびイタリアンライグラスの減収率は収穫が皆無に等しい値となり、シカによる牧草の採食被害は極めて甚大であることが示された。また、草地周囲に 5 段張り電気柵を設置した電柵区では、対照区に比べ、被害程度は軽減されたものの、イタリアンライグラスでは対照区と大差なく、侵入防止効果が認められなかった。一方、本試験の併用区では、ヒエおよびイタリアンライグラスの減収はいずれもみられず、表 6-7 で示した高い侵入防止効果を裏付ける結果となり、5 段張り電気柵の後方にネット柵を併用することで、牧草の採食被害を完全に阻止できることが示された。

以上より、5 段張り電気柵と高さ 120 cm の金属製ネット柵の併用は草地において高いシカ侵入防止効果を示し、野生動物を傷つけることなく、視覚的に侵入を防ぐことが示唆された。

表 6-8. 草地における併用柵の設置がシカの糞粒数に及ぼす影響

区 分	ヒ エ		イタリアンライグラス	
	播種後経過日数 (調査日)	糞粒数 / m ²	播種後経過日数 (調査日)	糞粒数 / m ²
対照区 ¹⁾	55 (2017/7/25)	9.2±11.5 ²⁾	193 (2018/4/17)	109±66.4
電柵区	61 (2018/8/1)	0.6±2.0	200 (2019/5/7)	56.0±64.4
併用区	55 (2019/8/7)	0	197 (2020/4/15)	0

¹⁾ 対照区および電柵区については第3章のデータより引用

²⁾ 平均値±標準偏差 (n=20)

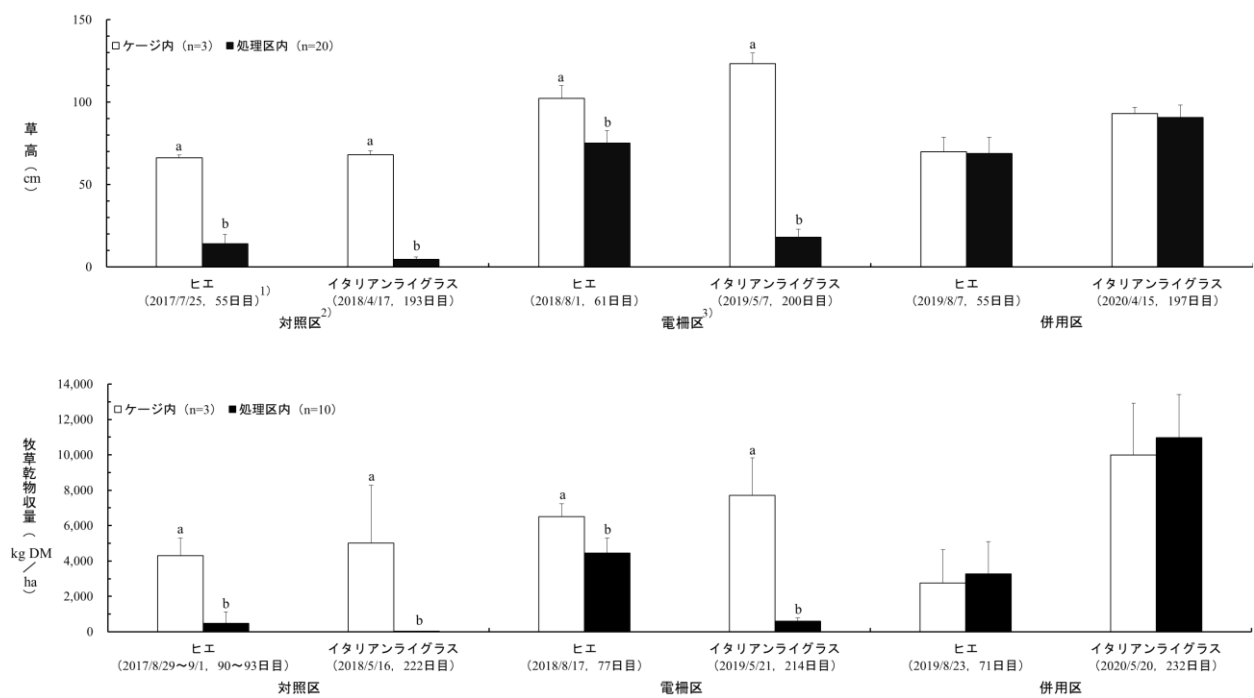


図 6-31. 草地における併用柵の設置が牧草の草高ならびに収量に及ぼす影響

¹⁾ () 内は調査日および播種後経過日数を示す.

²⁾ 第 2 章のデータより引用

³⁾ 第 3 章のデータより引用

a, b : 同一調査日の異符号間に有意差あり (P < 0.01)

第5節 要 約

草地へのシカ (*Cervus nippon*) 侵入防止策を開発することを目的とし、以下の試験を行った。

1. キュウシュウジカの発育と跳躍力

キュウシュウジカ (*C. n. nippon*) の発育ならびに跳躍力について検討を行った。シカ 2 頭 (オス・メス各 1 頭) を用い、0~36 ヶ月齢にかけての発育を調査したところ、体重はオスで 40 kg, メスで 29 kg を示し、頭部高は 109 および 97 cm, 体長は 75 および 65 cm に達した。34 ヶ月齢時には、その跳躍力について調査したところ、オスは高さ 120 cm のネット柵と奥行き 210 cm の障害物をそれぞれ跳び越え、メスも同様な結果を示した。したがって、本試験のキュウシュウジカの発育には性差がみられたものの、跳躍力には差がみられず、頭部高の約 1.2 倍に相当する高さ 120 cm の柵、体長の約 3 倍に相当する奥行き 210 cm の障害物をそれぞれ跳び越えることが明らかになった。

2. 障害物の認識に関わるシカの前方視野

ネット柵を跳び越える際のキュウシュウジカの動作を解析し、前方障害物の認識に関わるシカの視野について検討を行った。試験は鹿児島市内のシカ屋外運動場に設置した実験装置 (1,030×405 cm) 内でシカ 2 頭 (4 歳: オス・メス各 1 頭) を用いて行われた。飼槽とシカを遮る形で高さ 60 cm および 120 cm のポリエチレン製のネット柵を設置し、飼育シカがそれぞれの柵に接近して跳び越える状況をデジタルビデオカメラで録画した ($n \geq 9$)。柵からその手前 360 cm まで 30 cm 間隔でシカの静止画をキャプチャーし、跳躍前の頭部および肩部の地上高を測定するとともに、頭部セグメント角度 (目と鼻を結ぶ線と垂直線のなす角度) と頸部セグメント角度 (目と肩甲骨と上腕骨の接合部を結ぶ線と垂直線のなす角度) を計測した。シカは高さ 60 cm の柵では頭部位置を徐々に下げて接近したのに対し、高さ 120 cm の柵では頭部位置を保った後、さらに持ち上げて接近する状況がみられ、両柵間で有意差が認められた ($P < 0.05$)。一方、肩部位置については両柵間で顕著な差はみられなかった。それらの位置変化に伴い、頸部セグメント角度は 120 cm の柵に近付くにつれて大きくなり、両柵間で有意差が認められ ($P < 0.05$)、頭部セグメント角度についても同様であった ($P < 0.05$)。したがって、シカの両眼による前方視野は下方向に広がっており、そのため侵入防止柵に接近した際は柵基部の隙間などから侵入を試みるものと推察された。その一方で、柵を跳び越える際には、踏切直前に頭部位置を調節しながら接近することで障害物の跳躍に必要な視覚情報を獲得している可能性が示された。

3. 電気柵へのシカ通り抜け防止効果向上のためにネット柵の併用は有効か？

草地におけるシカ侵入防止技術としての電気柵の効果向上のため、物理柵の併用に向けた基礎的知見を得ることを目的とした。まず、飼槽とシカ2頭（3歳：オス・メス各1頭）を遮る形で電気柵の代わりにポリプロピレン製の非通電の紐を地上より20、40、70、100および140 cmの高さに架線した柵（対照区）を提示したところ、40 cmと70 cmの架線間のみを通り抜け、侵入阻止率は0%であった。次に、対照区の30 cm後方に高さの異なるポリエチレン製ネット（地上高60、90および120 cm）を併用したところ、高さ120 cmで100%の阻止率を示した。最後に、対照区と高さ120 cmのネット柵を30、60および90 cmの間隔で設置したところ、いずれも阻止率は高かったものの、間隔が広いほど前肢をかけて立ち上がるなど柵の破損につながる行動が認められた。したがって、電気柵の30 cm後方に高さ120 cmのネット柵を併用することで高いシカ侵入防止効果が得られる可能性が示された。

4. 電気およびネット併用柵設置による草地へのシカ侵入防止効果

5段張り電気柵と高さ120 cmの金属製ネット柵を草地で併用する形で設置し（併用区）、その侵入防止効果について侵入防止策を何ら講じなかった場合（1年目：対照区）と5段張り電気柵のみを設置した場合（2年目：電柵区）との間で比較した。試験は2017年6月～2020年5月にかけての3年間、鹿児島大学農学部附属農場入来牧場内の場内の採草地（2 ha）で行われ、夏季（6～8月）には栽培ヒエ（*Echinochloa utilis* Ohwi et Yabuno）、冬季（10～5月）にはイタリアンライグラス（*Lolium multiflorum* Lam.）がそれぞれ栽培された。夏季および冬季におけるシカの侵入頭数は対照区で7.4および11.1頭/日、電柵区で1.6および6.1頭/日であったのに対し、併用区でいずれも0頭/日であった。電柵区では冬季にシカの電線間の通り抜けがみられていたが、併用区では柵を視認後、回避もしくは逃避する状況が多く観察され、通り抜けは観察されなかった。採食被害は夏季および冬季でいずれも認められなかった。したがって、5段張り電気柵と高さ120 cmの金属製ネット柵の併用は草地において高いシカ侵入防止効果を示し、野生動物を傷つけることなく、視覚的に侵入を防ぐことが示唆された。

以上より、キュウシュウジカが優れた跳躍力を持つ一方で侵入防止策（電気柵や物理柵）の下部から侵入を試みるのは両眼視野が下方向に広がっていることが関与している可能性が示された。また、5段張り電気柵（20、40、70、100および140 cm）の30 cm後方に高さ120 cmのネット柵を併用することで既に通り抜けを学習したシカによる侵入を物理的および視覚的に防止し、野生動物に対する高い侵入防止効果が長期に亘って持続することが示された。

第7章 総合考察

本研究では、草地へのシカ (*Cervus nippon*) 侵入防止技術の開発に向けて、草地におけるシカ害の現状を把握した上で、柵の認識に最も重要な役割を果たすと考えられるシカの視覚特性について行動学的手法を用いて明らかにし、それを利用した侵入防止に関する研究を行った。

まず、第2章ではシカの侵入と被害の現状を鹿児島大学附属農場入来牧場（以下、入来牧場）において調査したところ、キュウシュウジカ (*C. n. nippon*) の侵入頭数は年々増加していることが示された。また、入来牧場内の草地はキュウシュウジカにとって安全かつ良好な餌場として年間を通して利用されており、牧草の採食被害は甚大であり、特に夜間に集中していることが明らかになった。草地や畜舎への野生動物の侵入は飼料の盗食による経済的な損失だけでなく、野生動物と家畜の接触による鳥インフルエンザや豚熱、そして口蹄疫といった越境性動物疾病の伝播という“防疫面でのリスク”が懸念されている（津田 2012）。そのため、シカの侵入が深刻である草地において侵入防止策を講じる必要性が示された。これらを踏まえ、第3章では入来牧場の草地周囲に5段張り電気柵を設置し（以下、電柵区）、シカ侵入防止効果を検証したところ、特に冬季においてシカ侵入防止効果の低下と牧草の食害が認められた。電気柵はシカが電線を目視し、その後口唇で電線を探索する際に電気刺激を感受し、その痛みを忌避学習することで侵入を防止する効果がある（高山ら 2008b, 高山ら 2013）。しかしながら、シカが草地に侵入する際には夜間、口唇で電線に触れることなく、架線間を通り抜けていることが明らかとなり、この対策の開発が緊要な課題であることが示された。そこで、第4章では電気柵の認識に関わるシカの視覚、特に色覚と視力をオペラント条件付けにより検討したところ、シカは牧場草地（黄緑）において黄を識別できないものの、青、緑および赤紫など様々な色を識別する能力を有し、その視力は0.16とウシ (*Bos taurus*) の2~4倍優れていることが明らかになった。これらのことから、シカが電気柵を通り抜ける際には、電気柵の形や色をしっかりと視認した上で通り抜けていることが推察された。次に、第5章では電気柵設置によるシカ侵入防止効果の低下の原因はヒトによる柵の管理不足（ヒューマンエラー）であるとの仮説を立て、その通電の有無がシカの忌避反応に及ぼす影響を経時的に調査したところ、非通電状態の4段張り電気柵の放置はシカの通り抜けによる侵入を助長し、再通電してもシカの侵入を防止することが困難になる可能性が示唆された。また、5段張り電気柵は通電状態で高い侵入防止効果を示すが、非通電状態になると感電を経験して電気柵を忌避しているシカであっても、1週間以内に架線間を通り抜けてしまうことが明らかとなった。

電気柵は設置が容易かつ比較的安価であり、正しく設置することで顕著な侵入防止効果が得られる侵入防止柵であることが知られている（高山ら 2013）。加えて、第 5 章の結果からも電気柵本来の侵入防止効果を維持するためには、通電状態を保つための日常管理（下草刈りや通電状況の確認）が必須であることが示された。一方、第 3 章でみられた架線間の通り抜けによるシカの侵入はヒューマンエラーによって誘発されたものと推察され、特に、広大な面積の草地に電気柵を設置する場合に生じ易いことが知られている。こうした状況に陥ってしまった入来牧場のような広大な草地においては、架線間の通り抜けに着目した新たなシカ侵入防止策を講じる必要がある。本研究では、電気柵の内側にネット柵（金属製もしくはプラスチック製）などの物理柵を併用して設置する柵を考案し、第 6 章ではシカの視覚特性に基づいた両者の効果的な設置方法を開発するための調査を行った。まず、高さおよび奥行のあるネット柵に対するキュウシュウジカにおける跳躍力、障害物の認識に関わるその前方視野を調査したところ、優れた跳躍力を持つ一方で侵入防止策（電気柵や物理柵）の下部から侵入を試みるのは両眼視野が下方向に広がっていることが関与している可能性が示された。そして、5 段張り電気柵（20, 40, 70, 100 および 140 cm）へのシカ通り抜け防止効果向上のためにプラスチック製ネット柵を併用する際の高さおよび電気柵との設置間隔を検討したところ、電気柵の 30 cm 後方に高さ 120 cm で設置することで既に通り抜けを学習したシカによる侵入を物理的および視覚的に防止できる可能性が示された。これを踏まえ、実際に入来牧場の草地に電気および金属製ネット柵を併用して設置（併用区）したところ、シカをはじめとする野生動物の侵入は皆無であり、電線間の通り抜けについては一切みられず、牧草の採食被害も認められなかった。これより、5 段張り電気柵と高さ 120 cm の金属製ネット柵の併用によるシカ侵入防止効果は電気柵単体を設置した場合に比べて極めて高く、長期に亘って持続することが示された。さらに、併用柵は野生動物を傷つけることなく、シカの侵入を視覚的に防ぐことが示唆された。

電柵区および併用区で使用した柵の資材費と設置に要した時間、そして定期的に行った電線下の草刈りに要した時間を表 7-1 に示した。供試した草地の周囲は 500 m あり、電柵区では資材費として 313,000 円、設置には 24 時間必要であった。これに対し、併用区では電気柵 313,000 円にネット柵の費用 209,000 円が加わった 522,000 円、設置には電柵区の約 2.5 倍の時間が必要であった。シカ侵入防止を目的とした物理柵の設置では、ワイヤーメッシュ柵やロールフェンス柵など高い強度を有する資材の設置が必要とされ、供試草地と同じ周囲 500 m の草地を囲むには約 1,000,000 円（2,000 円/m）かかる（井上と金森 2006, 農林水産省 2020b）。

表 7-1. 電柵区および併用区における資材費ならびに設置・維持に要した時間

資材費

区 分	電気柵(500 m)					金網柵(500 m)			合計
	ポール	電線	ゲートフック	本器	小計	支柱	金網柵	小計	
	- 円 -								
電 柵	190,000 (950×200) ¹⁾	35,000 (7,000×5)	4,000 (800×5)	84,000 (84,000×1)	313,000	-	-	-	313,000
併 用	190,000 (950×200)	35,000 (7,000×5)	4,000 (800×5)	84,000 (84,000×1)	313,000	84,000 (500×200)	125,000 (5,000×25)	209,000	522,000

¹⁾ () 内は単価と使用した数量を示す。

設置・維持に要した時間

区 分	設置に要した時間 (時間・名)	下草刈りに要した時間 (時間・名/年)
	- 時間 -	
電 柵	24	16
併 用	64	22

これに比べて併用柵は半分のコストで、電気柵単体で設置した場合よりも高い侵入防止効果を得られることが示された。しかしながら、併用区では柵の破損が一切みられなかったものの、草刈りについては、電気柵の後方にネット柵があることで電柵区に比べて 1.5 倍の時間を要する結果となった。その理由として、牧草がシカによる食害を受けずに順調に生育した一方で、牧草が柵の網目から外に一部突出して電線に触れる状況がみられ、それを刈り取る際には、草刈り機に装着したナイロンコードカッターを電気柵とネット柵の間（設置間隔 30 cm）に潜り込ませ、限られたスペースの中で垂直方向（40 cm 程度）に移動させて刈り取る必要が生じた点が挙げられた。なお、草刈り機による柵の破損も無かった。このことから、侵入防止効果だけでなく、設置後の管理のし易さという観点から電気柵とネット柵の設置間隔について検討の余地が残された。加えて、コストを下げるという観点から併用する電気柵の架線数やネット柵の材質や高さについても、追究すべきである。

以上より、電気柵を用いた草地へのシカ侵入防止において、シカにとって視認性に優れた青、緑および赤紫の電線を高さ 120 cm 以上の高さで 4～5 段架線することで十分な侵入防止効果を得られることが示された。ただし、電気柵設置後の管理が不十分な場合には、断線や非通電状態の放置などのヒューマンエラーが生じやすく、シカの架線間の通り抜けを誘発し、侵入防止効果を低下させることも明らかになった。架線間の通り抜けについては、シカの視野特性との関連が見出され、その特性を利用した通り抜け対策として、電気柵の後方に奥行を持たせて高さ 120 cm の金属製ネット柵を併用することでシカを傷つけることなく、視覚的に侵入を防ぎ、設置距離が長い草地においても従来の金網柵よりも資材費を低く抑えた上で高いシカ侵入防止効果を発揮することが示された。

摘 要

本研究は草地へのシカ (*Cervus nippon*) 侵入防止技術の開発に向けて、草地におけるシカ害の現状を把握した上で、柵の認識に最も重要な役割を果たすと考えられるシカの視覚特性について行動学的手法を用いて明らかにし、それを利用した侵入防止策を検討したものである。

1. 草地におけるシカの侵入および被害実態

鹿児島大学附属農場入来牧場におけるシカの侵入状況をライトセンサスにより定期的に調査したところ、侵入頭数は年々増加していることが示された ($P < 0.01$)。2017年6月～2018年5月にかけての採草地 (2 ha) における牧草収量についても、飼料用栽培ヒエ (*Echinochloa utilis* Ohwi et Yabuno; 以下, ヒエ) (6～8月) およびイタリアンライグラス (*Lolium multiflorum* Lam.) (9月～翌年5月) でそれぞれ 88.9% および 99.9% の減収となり ($P < 0.01$)、シカによる牧草の採食被害が深刻であることが示された。

2. 電気柵設置による草地へのシカ侵入防止効果

1. の採草地周囲に 5 段張り電気柵 (架線高: 20, 40, 70, 100 および 140 cm) を設置したところ、電気柵の設置によりシカの侵入が 77% 減少したものの、栽培したヒエとイタリアンライグラスの草高や乾物収量は採食被害により低下した。侵入したシカの行動をみると、電気柵に接近し、口唇で電線に触れることなく、架線間を通り抜ける状況が多くみられた。

3. 電気柵の認識に関わるシカの視覚

オペラント学習装置を用いて飼育キュウシュウジカ (*C. n. nippon*, オス・メス各 1 頭) の色覚および視力を検査したところ、牧草 (イタリアンライグラス) の茎葉色である黄緑と識別し易い色は青、緑および赤紫であり、識別し難い色は黄色であることを行動学的に示した。視力測定では、視力 0.02, 0.04, 0.08 および 0.16 のランドルト環を飼育シカは識別し、いずれも視力は 0.16 であった。

4. 電気柵を用いたシカ侵入防止

1) 飼育キュウシュウジカ (オス・メス各 1 頭) に通電した 4 段張り電気柵を提示したところ、侵入阻止率は 60%, 通り抜け率は 25% を示した。次に、非通電状態の 4 段張り電気柵を提示したところ、侵入阻止率の低下と通り抜け率の発現割合の上昇がみられ、いずれも通電

していた時との間で有意差が認められた ($P < 0.05$). 最後に、再通電した 4 段張り電気柵を提示したところ、侵入阻止率は上昇しなかった.

2) 飼育キュウシュウジカ (オス・メス各 1 頭) に通電した 5 段張り電気柵を提示したところ、開始直後に警戒しながら口唇で電線に接触し、感電後、飼槽側に侵入または後退する状況が観察され、試験 4 日目には侵入阻止率が 100% に達した. 次に、非通電状態の 5 段張り電気柵を提示したところ、開始直後には電気柵を忌避する状況が確認されたものの、7 日目には架線間を通り抜ける状況がそれぞれ観察された.

このように、非通電状態の電気柵の放置はシカの通り抜けによる侵入を助長し、再通電してもシカの侵入を防止することが困難になる可能性が示唆された.

5. 電気柵と物理柵の併用によるシカ侵入防止

飼育キュウシュウジカ 2 頭 (オス・メス各 1 頭) の 0~36 ヶ月齢にかけての発育を調査したところ、体重はオスで 40 kg, メスで 29 kg を示し、頭部高は 109 および 97 cm, 体長は 75 および 65 cm に達した. キュウシュウジカの発育には性差がみられたものの、跳躍力には差がみられず、頭部高の約 1.2 倍に相当する高さ 120 cm の柵、体長の約 3 倍に相当する奥行き 210 cm の障害物をそれぞれ跳び越えることが明らかになった.

前方障害物の認識に関わるシカの視野について検討を行ったところ、シカの両眼による前方視野は下方向に広がっており、柵を跳び越える際には、踏切直前に頭部位置を調節しながら接近することで障害物の跳躍に必要な視覚情報を獲得している可能性が示された.

飼槽とシカ 2 頭 (3 歳: オス・メス各 1 頭) を遮る形で電気柵の代わりにポリプロピレン製の非通電の紐を地上より 20, 40, 70, 100 および 140 cm の高さに架線した柵を設置し、その 30 cm 後方に高さ 120 cm のネット柵を併用することで高いシカ侵入防止効果が得られる可能性が示された.

これらの結果を踏まえ、1. の採草地で 5 段張り電気柵と高さ 120 cm の金属製ネット柵を草地で併用する形で設置し (併用区)、その侵入防止効果について侵入防止策を何ら講じなかった場合 (対照区) と 5 段張り電気柵のみを設置した場合 (電柵区) との間で比較したところ、電柵区では冬季にシカの電線間の通り抜けがみられていたが、併用区では柵を視認後、回避もしくは逃避する状況が多く観察され、通り抜けは観察されなかった. 採食被害は夏季 (ヒエ) および冬季 (イタリアンライグラス) でいずれも認められなかった. したがって、5 段張り電気柵と高さ 120 cm の金属製ネット柵の併用は草地において高いシカ侵入防止効果を示し、

視覚的に侵入を防ぐことが示唆された。

以上より、電気柵を用いた草地へのシカ侵入防止において、シカにとって視認性に優れた青、緑および赤紫の電線を高さ 120 cm 以上の高さで 4～5 段架線することで十分な侵入防止効果が得られることが示された。ただし、電気柵設置後の管理が不十分な場合には、断線や非通電状態の放置などのヒューマンエラーが生じやすく、シカの架線間の通り抜けを誘発し、侵入防止効果を低下させることも明らかになった。架線間の通り抜けについては、シカの視野特性との関連が見出され、その特性を利用した通り抜け対策として、電気柵の後方に奥行を持たせて高さ 120 cm の金属製ネット柵を併用することでシカを傷つけることなく、視覚的に侵入を防ぎ、設置距離が長い草地においても従来の金網柵よりも資材費を低く抑えた上で高いシカ侵入防止効果を発揮することが示された。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、終始多大な御指導、御教示を頂いた鹿児島大学農学部の高山耕二准教授に深く感謝する。また、本論文をとりまとめるに当たり、有益な御助言と御校閲の労を賜った鹿児島大学農学部の大島一郎准教授および琉球大学の伊村嘉美准教授に謝意を表す。そして、本研究を遂行するに当たり、多大な御指導と御教示を頂いた鹿児島大学農学部の中西良孝元教授および佐賀大学農学部の和田康彦元教授に心から感謝の意を表す。

本研究を実施するに当たり、多大な御協力を頂いた鹿児島大学農学部附属農場の松元里志技術専門職員、富永 輝技術専門職員、石井大介技術専門職員、飯盛 葵技術職員、片平清美元技術専門職員、柳田大輝元技術職員に深謝する。本研究の実施に当たり、多大な御教示を頂いたタイガー株式会社の赤井克己氏、株式会社九州自然環境研究所の塩谷克典氏および一般財団法人鹿児島県環境技術協会の稲留陽尉氏に深く感謝する。そして、本研究を遂行するに当たり、多大なご協力を頂いた家畜管理学研究室の卒業生、学生の皆様に心から感謝する。

引用文献

- Albright JL and Arave CW. 1997. The Behaviour of Cattle. pp. 154-185. CAB International. New York.
- Banks MS, Sprague WW, Schmoll J, Parnell JA, Love GD. 2015. Why do animal eyes have pupils of different shapes?. *Science Advances*. 1 (7) p.e1500391.
- 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. pp. 1-17. 環境省. 東京 [引用 2020 年 11 月 12 日].
URL: <http://www.env.go.jp/press/files/jp/23818.pdf>
- 大泰司紀之. 1986. ニホンジカにおける分類・分布・地理的変異の概要. *哺乳類科学*, 53 : 13-17.
- Douglas RH. 2018. The pupillary light responses of animals; a review of their distribution, dynamics, mechanisms and functions. *Progress in Retinal and Eye Research*. 66: 17-48.
- 堂山宗一郎・江口祐輔・上田弘則. 2016. ホンシュウジカが通り抜けられる隙間サイズの測定. *日本家畜管理学会誌・応用動物行動学会誌*, 52 : 171-179.
- Duke-Elder S. 1958. *System of Ophthalmology*. Vol. 1 The eye in evolution. pp. 1-843. Henry Kimpton. London.
- 江口祐輔. 2013. 最新の動物行動学に基づいた動物による農作物被害の総合対策. pp. 88-94. 江口祐輔監修. 誠文堂新光社. 東京.
- Eguchi Y, Tanida H, Tanaka T, Yoshimoto T. 1997. Color discrimination in wild boar. *Journal of Ethology*, 15: 1-7.
- エゾシカ協会・北海道開発技術センター. 2003. エゾシカの被害と対策～エゾシカとの共存をめざして～. pp.1-221. 北海道開発技術センター. 北海道.
- 深澤 充・小針大助・小迫孝実・笈川久美子・塚田英晴. 2008. 黒毛和種繁殖雌牛が電気牧柵から脱柵するまでの行動過程. *日本畜産学会報*, 79 : 535-541.
- 原 文宏・田辺慎太郎・阿部正明. 1999. エゾシカの交通事故対策に関する実験的研究. *環境システム研究*, 27 : 463-468.
- Harman AM, Moore S, Hoskins R, Keller P. 1999. Horse vision and an explanation for the visual behaviour originally explained by the 'ramp retina'. *Equine Veterinary Journal*, 31: 384-390.
- Hofmann L and 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.
- Haupt KA and Wolski TR. 1982. *Domestic Animal Behavior*. pp. 1-356, Iowa State Univ. Press, Ames.

- 池田光男. 2015. 眼はなにを見ているか. pp. 246-252. 平凡社. 東京.
- 井上雅央・金森弘樹. 2006. 山と田畑をシカから守る おもしろ生態と賢い防ぎ方. pp. 1-134. 農山漁村文化協会. 東京.
- 井内正直・斉藤 馨・古谷勝則・小林信治. 1987. 色彩輝度計による景観測色に関する基礎的研究. 造園雑誌, 51: 245-250.
- 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.
- 城 一夫. 2014. 色のしくみ 第2章 色が見えるしくみ. pp. 55-87. 新星出版社. 東京.
- Jones JL. 2021. 馬のこころ ― 脳科学者が解説するコミュニケーションガイド (尼丁千津子翻訳). pp.1-424. パンローリング. 東京.
- 家畜改良センター. 2009. 家畜改良センター技術マニュアル 20 未利用地を活用した放牧技術マニュアル. pp. 1-40. 家畜改良センター. 東京.
- 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.
- Kamei T, Takeda K, Koh K, Izumiyama S, Watanabe O, Ohshima K. 2010. Seasonal pasture utilization by wild sika deer (*Cervus nippon*) in a sown grassland. Grassland Science, 56: 65-70.
- 環境省. 2021. いま, 獲らなければならない理由 ― 共に生きるために ―. 環境省, 東京 [引用 2021 年 11 月 20 日]. URL: http://www.env.go.jp/nature/choju/docs/docs5/imatora_fin.pdf
- Kase C, Eguchi Y, Furuya M, Uetake K, Tanaka T. 2010. Sizes and shapes of gaps large enough for masked palm civets (*Paguma larvata*) to enter. Animal Behaviour and Management, 46: 89-96.
- 河村正二. 2017. 眼の起源と脊椎動物の色覚進化. 日本視能訓練士協会誌, 46: 1-25.
- 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.
- 北原健二. 2003. 色覚の成り立ちと色覚検査法. 視能訓練士協会第 18 回講演会, 32: 1-10.
- 黒崎順二. 1997. 改訂版家畜行動学 第4章 社会行動. pp. 57-97. 三村 耕編著. 養賢堂. 東京.
- 小針大助・小迫孝実・笈川久美子・深澤 充・塚田英晴. 2008. 放牧牛における電気牧柵の脱柵様式とその心理柵としての効果. 日本畜産学会報, 79: 73-78.
- 小泉 透. 2006. 強度の狩猟下にあるニホンジカ個体群にみられた齢比の変化. 哺乳類科学,

46 : 53-55.

萬田正治・奥 芳浩・足達明広・久保三幸・黒肥地一郎. 1989a. 牛の色覚に関する行動学的研究. 日本畜産学会報, 60 : 521-528.

萬田正治・佐藤充徳・黒肥地一郎. 1989b. 電牧用電線の色に対する牛の行動反応. 日本畜産学会報, 60 : 236-239.

萬田正治・山本幸子・黒肥地一郎・渡邊昭三. 1993. 行動学的手法で測定した牛の視力値. 日本家畜管理研究会誌, 29 : 55-60.

Martin P and Bateson P. 1990. 行動研究入門 – 動物行動の観察から解析まで (粕谷英一・近 雅博・細馬宏通訳). pp. 1-178. 東海大学出版会. 東京.

McGreevy P. 2012. Perception. In: McGreevy P (ed), Equine Behavior: A Guide for Veterinarians and Equine Scientists (2nd ed.) . pp. 37-53. Saunders Elsevier. Edinburgh.

三浦慎吾. 2008. ワイルドライフ・マネジメント入門 野生動物とどう向き合うか. pp. 1-119. 岩波書店, 東京.

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. 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 [引用 2021 年 11 月 3 日].

URL: http://www.naro.affrc.go.jp/org/narc/seika/kanto17/04/17_04_52.html

Müller-Schwarze D. 1994. The sense of deer. In: Gerlach D, Atwater S, Schnell J (eds), The Wildlife Series: Deer, pp. 58-65. Stackpole Books. Pennsylvania.

Nagano H, Okamoto S, Yamada Y. 2013. Visual and sensory properties of textures that appeal to human touch. International Journal of Affective Engineering, 12: 375-384.

中村南美子・冨永 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. 2021. 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?. 日本畜産学会報, 92 : 343-349.

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.

西山慶太・佐藤雅幸・尾縣 貢. 2019. ウマの視覚特性からみた障害飛越競技馬の飛越動作に関する研究. 専修大学スポーツ研究所紀要, 31 : 1-19.

- 仁田正雄．1977．眼科学．改訂版 2 版．pp.1-619．文光堂．東京．
- 農林水産省．2014．野生鳥獣被害防止マニュアルーイノシシ・シカ・サル（実践編）．pp. 1-77．エイエイビー．東京．
- 農林水産省 農村振興局 監修．2018．野生鳥獣被害防止マニュアルーアライグマ，ハクビシン，タヌキ，アナグマ（中型獣類編）．pp.1-96．農林水産省．東京．
- 農林水産省．2020a．飼養衛生管理基準について．農林水産省，東京 [引用 2020 年 11 月 20 日]．URL: https://www.maff.go.jp/j/syouan/douei/katiku_yobo/k_shiyou/
- 農林水産省．2020b．鳥獣被害防止総合対策交付金実施要領．農林水産省，東京 [引用 2021 年 11 月 20 日]．URL: <https://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/yosan/attach/pdf/yosan-81.pdf>
- 農林水産省．2020c．全国の野生鳥獣による農作物被害状況（令和元年度）．農林水産省，東京 [引用 2021 年 11 月 12 日]．URL: https://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/hogai_zyoukyou/attach/pdf/index-7.pdf
- 農林水産省．2021a．みどりの食料システム戦略～食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現～本体．農林水産省，東京 [引用 2022 年 10 月 14 日]．URL : <https://www.maff.go.jp/kanbo/kankyo/seisaku/midori/attach/pdf/index-7.pdf>
- 農林水産省．2021b．鳥獣被害の現状と対策．農林水産省，東京 [引用 2021 年 11 月 20 日]．URL: <https://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/attach/pdf/index-351.pdf>
- 小田島 守・中島功司・大友 泰・小田伸一・庄司芳男・加藤和雄・太田 実・佐々木康之．1993．群飼ニホンジカの採食量と体重の周年変化．日本畜産学会報，64：421-423．
- 岡部正隆・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．
- 岡部正隆・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．
- 大島正光．1953．色彩の生理，心理学．色彩調節．pp. 63-118．上田武人編．技報堂．東京．
- Piša Antonín. 1939. Über den binokularen Gesichtsraum bei Haustieren. Archive für Ophthalmologie, 140: 1-54.
- 林野庁．2020．令和元年度 シカ被害対策普及加速事業報告書．pp.1-215．林野庁，東京 [引用 2021 年 3 月 24 日]．URL: <https://www.rinya.maff.go.jp/j/hogo/higai/attach/pdf/tyouju-79.pdf>
- 佐渡靖紀・田戸祐之．2017．複合獣種対応型被害防護柵の開発．山口県農林総合技術センター研究報告，8：12-22．

- サイエンスウィンドウ編集部. 2008. Science Window 2008 September 特集 彼らは世界をどう
見ているか. pp. 1-28. 独立行政法人科学技術振興機構 科学技術理解増進部メディア課. 東
京.
- 關 義和・江成広斗・小寺祐二・辻 大和. 2015. 野生動物管理のためのフィールド調査法 哺乳
類の痕跡判定からデータ解析まで. pp. 1-443. 京都大学学術出版会. 京都.
- 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.
- 白石利郎・中口良子・羽山伸一・時田昇臣・古林賢恒・山根正伸. 1996. 飼育下における丹
沢産ニホンジカの体重と採餌量の季節変化. 日本野生動物医学会誌, 1: 119-124.
- 祖田 修. 2016. 鳥獣害 動物たちと, どう向き合うか. pp. 1-212. 岩波書店. 東京.
- 相馬幸作・林田まき・工藤博史・菅生和希・伊良部赳康・東條圭輔・増子孝義. 2015. 生体
捕獲エゾシカの飼育における飼料摂取量, 増体量および飼育成績の性別と年齢別差異. 日
本畜産学会報, 86: 367-374.
- 田戸裕之・細井栄嗣・岡本智伸・小泉 透. 2009. ニホンジカに対する改良型テキサスゲート
の通行制限効果. 山口県農業試験場研究報告, 57: 15-21.
- 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.
- 高槻成紀. 2006. シカの生態誌. pp. 1-480. 東京大学出版会. 東京.
- 高山耕二・原 裕・馬場和則・吉田拓人・石井大介・柳田大輝・松元里志・片平清美・大島一
郎・中西良孝・赤井克己. 2017a. 電気柵を利用した肥育牛舎への野生イノシシの侵入防止.
日本暖地畜産学会報, 60: 9-14.
- 高山耕二・東原 大・大島一郎・中西良孝. 2018a. 2 段張り電気柵で放牧豚の脱柵を防げる
か?. 日本暖地畜産学会報, 61: 143-145.
- 高山耕二・石井大介・内山雄紀・吉田美代・赤井克己・城戸麻里・伊村嘉美・中西良孝.
2009. 電気柵の設置方法 (高さ・段数) の違いが牧場草地内へのシカ侵入に及ぼす影響.
日本暖地畜産学会報, 52: 45-49.
- 高山耕二・中村南美子. 2020. 畜舎・牧草地での野生動物の被害対策. 最新農業技術 畜産
vol.12. pp. 197-206. 農山漁村文化協会. 東京.
- 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.
- 高山耕二・大島一郎・中西良孝・赤井克己. 2018b. 畜産現場におけるカラス, イノシシおよびシカ害防除. 農業および園芸, 93: 103-107.
- 高山耕二・笹山琢洋・石井大介・廣瀬 潤・松元里志・片平清美・大島一郎・中西良孝・赤井克己. 2017b. 畜舎におけるディストレスコールならびにアラームコールを利用したカラス害防除. 日本暖地畜産学会報, 60: 95-100.
- 高山耕二・園田 正・林田雄大・石井大介・柳田大輝・富永 輝・松元里志・片平清美・大島一郎・中西良孝・稲留陽尉・塩屋克典・赤井克己. 2017c. 牧場草地における野生シカの侵入実態. 日本暖地畜産学会報, 60: 21-26.
- 高山耕二・内山雄紀・赤井克己・花田博之・伊村嘉美・中西良孝. 2008a. 牧場採草地へのニホンジカ侵入に対する防護柵の影響. 鹿児島大学農学部農場研究報告, 30: 11-14.
- 高山耕二・内山雄紀・赤井克己・廣瀬 潤・片平清美・伊村嘉美・中西良孝. 2008b. 電気柵設置による牧場草地へのニホンジカの侵入防止効果. 西日本畜産学会報, 51: 33-38.
- 高山耕二・吉田美代・石井大介・廣瀬 潤・大島一郎・赤井克己・中西良孝. 2013. 4段張り電気柵による牧場採草地へのシカ侵入防止効果. 日本畜産学会報, 84: 81-88.
- 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.
- 田中智夫. 1997. 第3章 個体維持行動 第5節 探査行動および遊戯行動. 改訂版家畜行動学. pp. 52-56. 三村 耕編著. 養賢堂. 東京.
- Tanaka T, Hashimoto A, Tanida H, Yoshimoto T. 1995. Studies on the visual acuity of sheep using shape discrimination learning. Journal of Ethology, 13: 69-75.
- Tanaka T, Murayama Y, Eguchi Y, Yoshimoto T. 1998. Studies on the visual acuity of pigs using shape discrimination learning. Animal Science Journal, 69: 260-266.
- 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.
- 塚田英晴. 2012. シカ (*Cervus nippon*) による草地利用と被害の実態. 日本草地学会誌, 58: 187-192.
- 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 ―巻頭言―. 日本草地学会誌, 65: 33-34.
- 塚田英晴・深澤 充・小迫孝実・須藤まどか・井村 毅・平川浩文. 2006. 放牧地の哺乳類相調査への自動撮影装置の応用. 哺乳類科学, 46: 5-19.

- 塚田英晴・石川圭介・喜田環樹・清水矩宏・竹内正彦・福江佑子・南 正人・中村義男・花房泰子・深澤 充・須山哲男. 2016. 4 種類の電気柵による牧草地へのニホンジカ侵入防止効果の比較. 農作業研究, 51 : 39-49.
- 内川恵二. 2016. 色彩と色覚メカニズム. 日本香粧品学会誌, 41 : 28-35.
- 上田弘則・高橋佳孝・井上雅央. 2008. 冬期の寒地型牧草地はイノシシ (*Sus scrofa* L.) の餌場となる. 日本草地学会誌, 54 : 244-248.
- VerCauteren KC and Pipas MJ. 2003. A review of color vision in white-tailed deer. Wildlife Society Bulletin, 31: 684-69.
- Walls GL. 1942. The Vertebrate Eye and its Adaptive Radiation. pp. 1-785. The Cranbrook Press, Michigan.
- Williams SC, Ward JS, Ramakrishnan U. 2006. Deer damage management options. The Connecticut Agricultural Experiment Station Bulletin, 1005: 1-14.
- 山川 渉. 2008. イノシシ用侵入防止柵の評価 ―飼育イノシシによる試験―. 島根県中山間地域研究センター研究報告, 4 : 49-55.
- 安間哲史. 1982. 眼科Mook No. 16. 色覚異常, 先天色覚異常 1. 色覚異常の生理学的特性. pp. 88-101. 三島濟一・塚原 勇・植村恭夫編. 金原出版. 東京.
- 吉田美代・高山耕二・石井大介・廣瀬 潤・木山孝茂・松元里志・片平清美・伊村嘉美・中西良孝・赤井克己. 2012. ネット柵設置による牧場採草地へのシカ侵入防止効果. 日本暖地畜産学会報, 55 : 27-31.