

鳥獣防除柵の構造的な違いが植栽木への食害や成長および 林床植生に与える影響

誌名	九州大学農学部演習林報告 = Bulletin of the Kyushu University Forest
ISSN	04530284
著者名	中村, 琢磨 長, 慶一郎 山内, 康平 緒方, 健人 鍛冶, 清弘 佐々木, 寛和 扇, 大輔 井上, 幸子 村田, 秀介 山内, 耕司朗 菱, 拓雄 田代, 直明 市橋, 隆自
発行元	九州大学農学部附属演習林
巻/号	103号
巻号補足	
掲載ページ	p. 29-39
発行年月	2022年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

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



鳥獣防除柵の構造的な違いが植栽木への食害や成長および林床植生に与える影響

中村琢磨^{*1}, 長慶一郎², 山内康平³, 緒方健人³, 鍛冶清弘⁴,
佐々木寛和¹, 扇 大輔⁴, 井上幸子¹, 村田秀介⁴, 山内耕司朗¹,
菱 拓雄⁵, 田代直明⁶, 市橋隆自⁶

動物防除柵としての防除ネットや電気柵の防除効果を比較するため、5 cm 目ネット区、10 cm 目ネット区、電気柵区、対照区の調査区にアセビ、ヒノキ、ミズナラの苗を植栽し 2015 年から 2020 年まで植栽木の樹高成長や生存率を記録した。また、これら調査区の草本層の植物相を 2016 年と 2021 年に記録し、防除柵内に定着する草本や樹木実生の変化を比較した。アセビは対照区で成長が良く、ほとんどの個体が生存していた。ヒノキは電気柵区で最も樹高が高く、生存率は 5 cm 目ネット区で 9 割を越えていた。ミズナラは樹高成長も生存率も 5 cm 目ネット区で優れていたが、草本による被陰のため平均樹高は 87 cm に留まり生存率も 33 % に過ぎなかった。草本層の植生は 2016 年には合計 52 種の草本と樹木実生が確認されたが、2021 年には 81 種に増加した。また、アカマツ、ミズナラ、ノリウツギなど陽樹の実生が多数定着したことから、防除柵で開放地を開くことで地域の代償植生へと誘導できる可能性がある。

キーワード：ニホンジカ、ノウサギ、食害、林床植生、動物防除柵

To compare the performance of synthetic fiber nets and electric fences as wildlife prevention fences, we planted seedlings of *Pieris japonica*, *Chamaecyparis obtusa* and *Quercus crispula* in the 5 cm mesh net, 10 cm mesh net, electric fences, and control plots. Seedlings height and survival rate were recorded from 2015 to 2020. We also recorded the flora of these experimental plots in 2016 and 2021 to compare the changes of forest floor vegetation in the plots. *Pieris japonica* grew well in the control plot and most of the individuals survived. Tree height of *Chamaecyparis obtusa* was highest in the electric fence, and the survival rate was over 90 % in the 5 cm mesh net. The average height of *Quercus crispula* was only 87 cm and the survival rate were only 33 % due to shade by herbaceous plants. A total of 52 herbaceous species and tree seedlings in the forest floor were observed in 2016, and this number increased to 81 in 2021. In addition, seedlings of *Pinus densiflora*, *Quercus crispula*, *Hydrangea paniculata* and other pioneer species became established, suggesting that enclosing the floor of forest gap with fences may lead to the regional compensatory vegetation.

Key words: Sika deer, Japanese hare, feeding damage, forest floor vegetation, fencing

1. はじめに

2019 年のニホンジカ (*Cervus nippon*, 以下シカとする) による全国の森林被害面積は約 3.5 万 ha で野生鳥獣による森林被害の約 7 割を占め、2014 年のピーク時には 1978 年以来の 36 年間でシカの分布域は 2.5 倍に拡大した (林野庁 2021)。シカを筆頭に鳥獣に対する防除無くして人工林の成立は困難な状況が続いている。九州南部では 1990 年代から造林木に対するシカ食害が報告され始め (谷口 1992, 1993a, b, 1994; 岩切ら 1995)、九州大学農学部附属宮崎

演習林 (以下、宮崎演習林) では 1985 年頃に人工林でのシカ食害が目撃され始めた (村田ら 2009)。1990 年代初めから人工林に設置された 5 mm 目の防風ネットはシカに対して一定の防除効果を示したが強風で損傷し補修に多大な労力を要するため実用的ではなかった (鍛冶ら 2010)。やがて宮崎演習林内でスズタケや立木へのシカ食害がより鮮明に認識されるようになった (井上・小泉 1996; 猿木ら 2004)。ついに 1997 年から 15 cm 目の防除ネットが針葉樹人工林に施工されるようになった (村田ら 2009; 鍛冶ら

Takuma Nakamura*, Keiichi Cho, Kouhei Yamauchi, Taketo Ogata, Kiyohiro Kaji, Hirokazu Sasaki, Daisuke Ougi, Sachiko Inoue, Shusuke Murata, Koshiro Yamauchi, Takuo Hishi, Naoaki Tashiro, Ryuji Ichihashi: The performance of different fencing on growth, survival rate of plantation tree and forest floor vegetation

* 責任著者 (Corresponding author): E-mail: takuma-n@forest.kyushu-u.ac.jp 〒 883-0402 宮崎県東臼杵郡椎葉村大河内 949

1 九州大学農学部附属演習林宮崎演習林

Shiiba Research Forest, Faculty of Agriculture, Kyushu University

2 九州大学キャンパス計画室

Kyushu University Campus Planning Office

3 九州大学農学部附属演習林北海道演習林

Ashoro Research Forest, Faculty of Agriculture, Kyushu University

4 九州大学農学部附属演習林福岡演習林

Kasuya Research Forest, Faculty of Agriculture, Kyushu University

5 九州大学大学院農学研究環境農学部門森林環境科学講座流域環境制御学分野

Laboratory of Forest Ecosystem Management, Division of Forest Environmental Science, Department of Agro-environmental Sciences, Faculty of Agriculture, Kyushu University

6 九州大学大学院農学研究環境農学部門森林環境科学講座森林生産制御学分野

Laboratory of Forest Production Control, Division of Forest Environmental Science, Department of Agro-environmental Sciences, Faculty of Agriculture, Kyushu University

2010)。現在に至るまで防除ネットによる鳥獣害対策は継続しているが、防除柵の設置や維持に多くの経費を要することは以前から指摘されている(鍛冶ら 2010; 長ら 2016)。長ら(2016)は宮崎演習林内に5 cm 目ネット、10 cm 目ネット、電気柵を用いた調査区を設け防除柵の構造の違いによる防除効果の違いを比較し、5 cm 目ネットの防除効果が高いこと、電気柵はウサギへの対策を追加する必要がある事を指摘した。長ら(2016)は調査区設置から約1年後の経過を報告しているが、新植地では造林木がシカの食害を受けにくくなる個体サイズに成長するまで防除柵を維持することが一般的である。そこで本研究は長ら(2016)を含む2015年から2020年までの5年間の植栽木の成長や生存率と防除柵の効果を比較した。

また、シカ食害による林床植生の荒廃や変質は森林における種多様性の低下や後継樹の減少による更新の停滞など森林生態系に強い影響を与えることが危惧されている(湯本・松田 2006; 榎木ら 2017; Harada *et al.* 2020)。これらのことから、防除柵内に定着する草本や樹木実生の変化について比較を行い、防除柵を用いた多様な林床植生の復元や後継樹育成の可能性を検討した。

2. 調査地と方法

2.1 調査地

宮崎演習林は九州山地の脊梁に近い宮崎県椎葉村大河内地区に所在し森林面積は2916 haである。年平均気温は10.8℃、年間降水量は3207.9 mm(宮崎演習林広野地区気象観測サイト、標高1058 m、北緯32度22分15.639秒 東経131度10分30.709秒)であり、標高660 mから1607 mにまでおよぼ標高差が大きく、気候帯としては暖温帯、中間温帯、冷温帯におよぶ。宮崎演習林の地質は白亜紀から古第三紀にかけての四万十帯に属し、東部は強い変成を受けた砂岩や泥岩の互層からなるが、西部には津野岳など花崗岩が貫入して形成された山地も見られる(田中・岩松 1993)。このように様々な気候帯、複雑な地形・地質により多様な植生が成立しており、稜線に近い斜面上部はブナ、ミズナラ、ヒメシャラを主とする冷温帯落葉広葉樹林が分布する。標高1000 m前後の中間温帯はモミ、ツガ、アカマツなど針葉樹とアカガシ、ウラジロガシ、クリ、イヌブナなど広葉樹が混交した森林が分布し、さらに低標高地では暖温帯の常緑広葉樹林が成立している。なお、宮崎演習林の総面積の約18%が人工林であり、主にスギとヒノキが植栽されている(DEIMS-SDR 2021)。

2.2 方法

2.2.1 調査区の設定

図1に調査区の平面図を示した。調査区は宮崎演習林内24林班の沢沿いの緩傾斜の開放地に位置し、2015年4月に5 m × 5 m (0.025 ha)の大きさで5 cm 目ネット区を1区画、10 cm 目ネット区を1区画、電気柵区を3区画、何も施工しない対照区を3区画の合計8個設置した。ネットはステンレス線入りPE(ポリエチレン)製で、地上高1.7 m

となるよう施工した。また、電気柵の発電装置にはファームエイジ製パワーボックス SXJ ソーラーを使用し、通電する索を地上高10, 25, 45, 85, 135 cmになるように設置した。これらネットまたは電気柵の施工が完了した2015年5月13日に苗木を植栽した。植栽した樹木は有毒で動物に食べられない樹種としてアセビ、代表的な針葉樹造林木であるヒノキ、演習林内に広く分布する広葉樹としてミズナラを選定した。植栽に際し、それぞれの区を4等分した小区画にアセビ、ヒノキ、ミズナラをそれぞれ12本ずつ植え、残る1小区画は無植栽区とした。アセビは調査地周辺から山引きで採取し、ヒノキは1号苗(地上部45 cm以上)を購入して用いた。ミズナラは2014年に宮崎演習林内で採取した堅果を育成した苗を用いた。対照区を中心に活着不良や動物による食害が発生したため、2015年5月20日と6月2日に生育不良なミズナラ苗の植替を行った。調査区内は試験開始から草本の刈払いは行わないものとした。なお、調査区に接近する鳥獣類の観察のため自動撮影カメラ(センサーカメラ FieldnoteDUO 麻里府商事製, Truth Cam Ultra 46. PRIMOS 社製)を5箇所設置し撮影した。

2.2.2 植栽木および草本層の観測

調査区内の植栽木の樹高と食害の状況を定期的に調査した。植栽後2年間は樹高成長や食害の状況を高頻度に把握

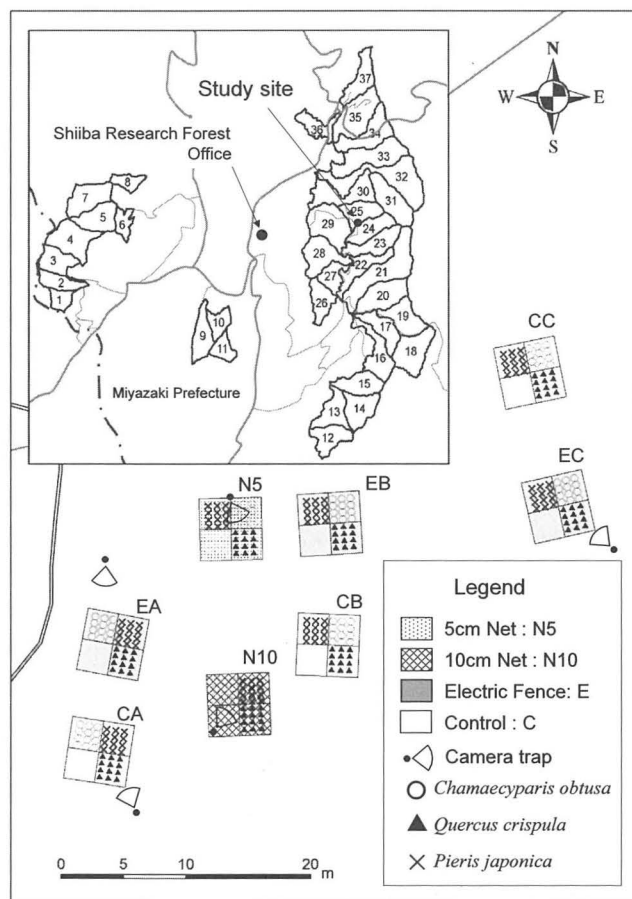


図1 調査地の位置図

Fig.1 Location of the Shiiba Research Forest and the study site.

するため 2015 年は 6 月 29 日, 8 月 11 日, 2016 年は 5 月 18 日と 10 月 11 日の年 2 回計測を行い, 2017 年からは植栽木の成長がおちつく晩秋から初冬に 1 回計測を行った。植栽木は位置によって個体識別されており, 標尺または測竿を用いて地際から梢端部までの高さを樹高とした。4 種の調査区について 2020 年の平均樹高の差を比較するため, ANOVA (一元配置分散分析) と Tukey の HSD 検定を行った。また, 植栽木に食害やその他傷害が確認された場合は可能な限り加害動物や原因を記録した。野生鳥獣による加害のうち, ウサギの食痕が見られる苗木はウサギ食害, シカとウサギ両方の食痕がある苗木をシカ・ウサギ食害と判定した。植え付け時に活着できずに枯死した苗木は活着不良, 食葉性の昆虫により枯死した苗木は虫害と判定した。被陰による衰弱, 樹病, 土砂による埋没, 枯死要因が判然としない事例はまとめてその他とした。また, 2016 年から草本類が生えそろう 8 月から 9 月に調査区内の草本層の平均植生高を計測した。平均植生高は植栽木 (アセビ, ヒノ

キ, ミズナラ, 無植栽) の小区画それぞれの中心に標尺を立て最も高い草本の高さを計測し平均したものとした。さらに, 2016 年 8 月 18 日, 2021 年 6 月 21 日および 8 月 25 日に植栽木以外の樹木実生および草本を含む林床の植物相を記録した。各調査区の植物群集の特徴や 5 年後の変化を明らかにするため, これら林床植物の存在データを用いて NMDS (Non metric multidimensional scaling) を用いて序列化を行った。NMDS は複数地点の生物群集データから 2 地点の種組成の (非) 類似度を全ての組み合わせについて計算することで類似度距離の行列を作成し, 地点のペアが他の組み合わせと比べて種組成が相対的に近いか遠いかといった順序尺度を用いて二次元平面に生物群集を位置付ける方法である (佐々木ら 2015)。NMDS では主成分分析 (PCA) や除歪対応分析 (DCA) のように環境傾度に対する種の分布を線形や一山型と仮定しないため, 環境傾度が複雑な場合や種の応答モデルが無い場合に有効な手法とされている (長谷川 2006)。解析には R ver.3.6.3 (R Core

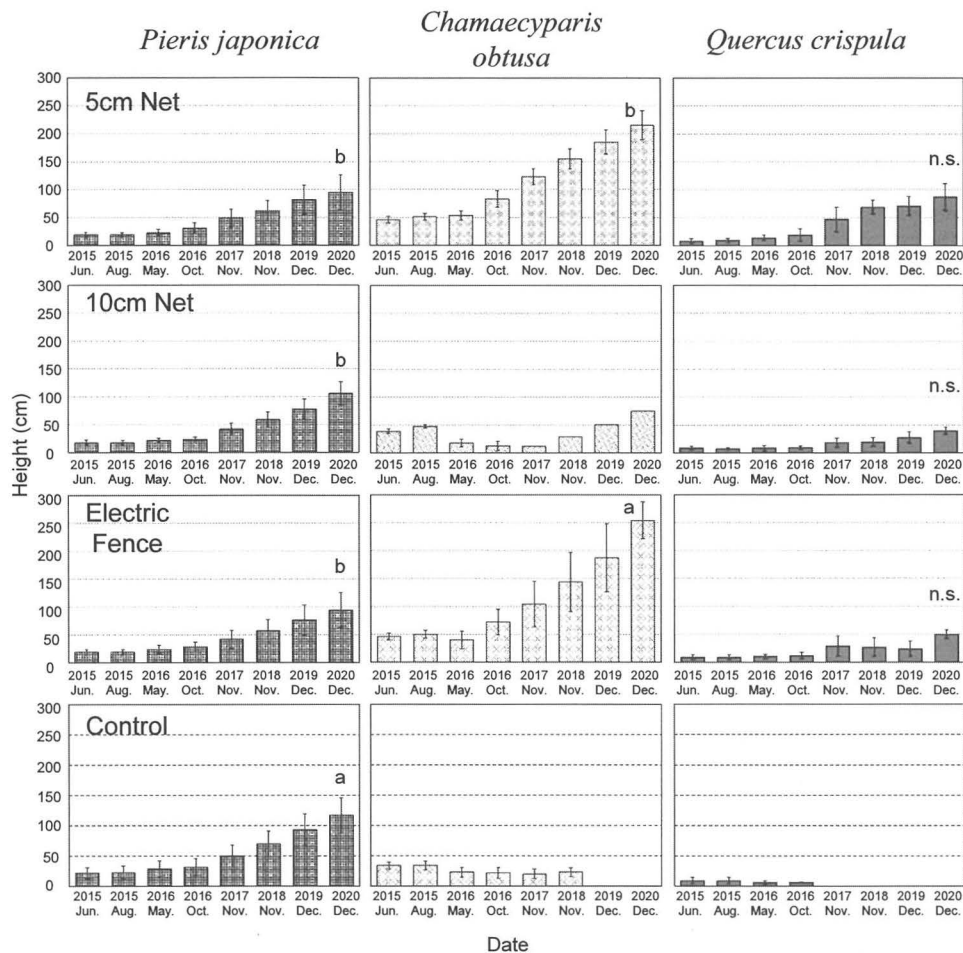


図2 2015~2020年にかけての植栽木アセビ, ヒノキ, ミズナラの樹高

2020 年の樹高について検定を行い (Tukey's HSD test), 有意差がある調査区には異なるアルファベットを示した。また n.s. は有意差が無いことを意味する。

Fig.2 Tree height of *Pieris japonica*, *Chamaecyparis obtusa* and *Quercus crispula* during 2015 to 2020.

Tree Height in 2020 were compared using Tukey's HSD test. Letters shown in figure represent significance. "n.s." represents no significance.

Team 2020) および R パッケージ *vegan*2.5-6 (Oksanen *et al.* 2019) を用いた。

3. 結果

3.1 樹高成長

2015 年から 2020 年にかけて植栽木のアセビ、ヒノキ、ミズナラの平均樹高の変化を図 2 に示した。2020 年のアセビの平均樹高は対照区で 117 cm と最も成長が良かったが (補正 p 値 = 0.009), 10 cm 目ネット区, 5 cm 目ネット区および電気柵区の平均樹高に有意差は認められなかった。ヒノキの平均樹高は電気柵区が 250 cm に達し, 次いで 5 cm 目ネット区も 200 cm を越えていた。一方, 10 cm 目ネット区のヒノキは 75 cm にとどまり, 対照区のヒノキは 2019 年 12 月までに全ての個体が枯死した。ミズナラの平均樹高は 5 cm 目ネット区で 87 cm を記録したが, 電気柵区, 10 cm 目ネット区との有意差は認められなかった (補正 p 値 = 0.054)。対照区のミズナラは 2017 年 10 月までに全ての個体が枯死し計測できなかった。

3.2 生存率と枯死要因

図 3 に 2020 年の植栽木のアセビ、ヒノキ、ミズナラの

生存率を示した。アセビは全ての調査区にわたり 2020 年にいたるまでほぼ全ての個体が生存していた。ヒノキは 5 cm 目ネット区で最も生存率が高く 92 % (11 個体) を示した。次いで電気柵区では 39 % (14 個体) の生存率を示し, 10 cm 目ネット区は 8 % (1 個体) と生存率が低かった。対照区のヒノキは 2019 年に全ての個体が枯死した。ミズナラは 5 cm 目ネット区で最高 33 % (4 個体) の生存率を示したが, 10 cm 目ネット区で 25 % (3 個体), 電気柵区で 6 % (2 個体) と概して生存率が低く, 対照区では 2017 年に全ての個体が枯死した。

図 4 にアセビ、ヒノキ、ミズナラの枯死要因の内訳を示した。まず, アセビはいずれの区でも高い生存率を示し, 枯死したのは電気柵区の 1 個体だけだった。ヒノキは 5 cm 目ネット区では 1 個体がその他の理由で枯死したのみだったが, 10 cm 目ネット区ではほとんどの個体がウサギ食害によって枯死した。電気柵区ではその他とウサギ食害によって 6 割が枯死し, 対照区ではシカ・ウサギ食害とウサギ食害が 9 割以上を占め, 残る個体も虫害で枯死した。ミズナラは 5 cm 目ネット区では過半数がその他の要因, 1 個体だけ活着不良によって枯死した。10 cm 目ネット区ではミズナラの半数がその他の要因, 四分の一がウサギ食害で

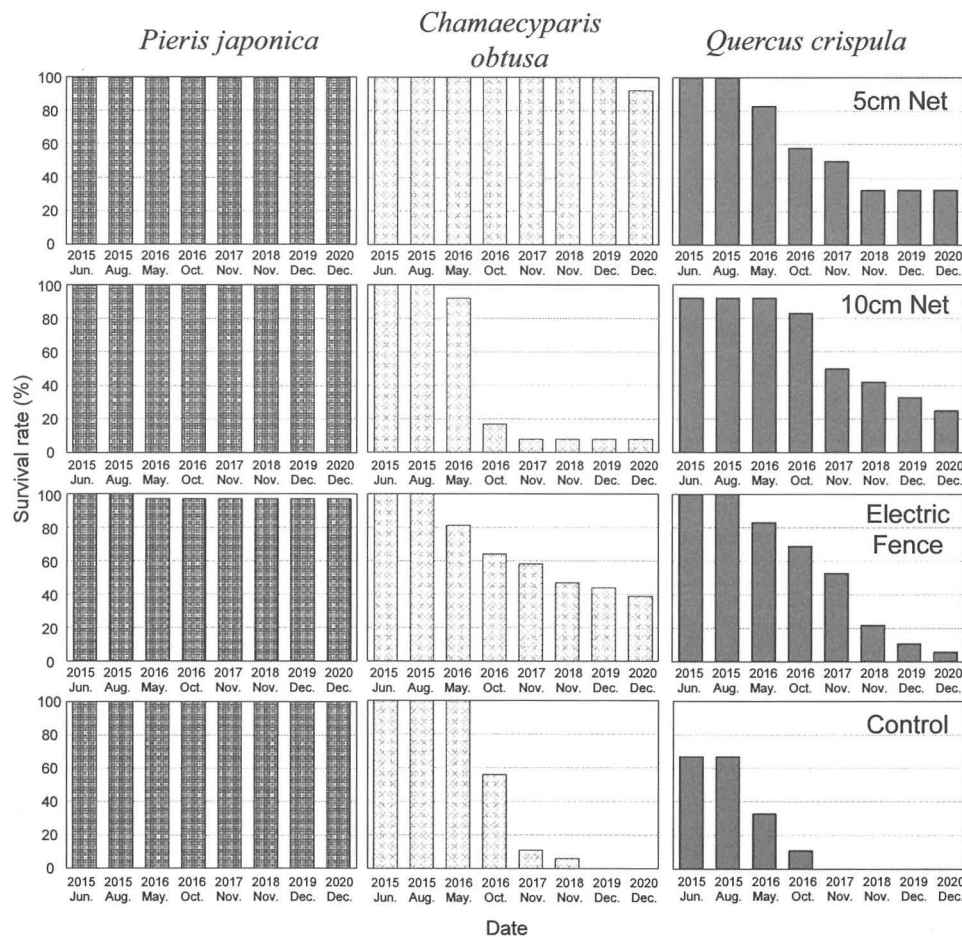


図3 2015~2020年にかけての植栽木アセビ、ヒノキ、ミズナラの生存率

Fig.3 Survival rate of *Pieris japonica*, *Chamaecyparis obtusa* and *Quercus crispula* during 2015 to 2020.

枯死した。電気柵区ではミズナラの大半がその他の要因で、一部はウサギ食害や虫害で枯死した。対照区では全てのミズナラ植栽木にシカ・ウサギ食害が認められた。作業記録によると5 cm 目ネット区、電気柵区BとCは2018年から2020年の豪雨時に土砂が斜面上方から調査区に流入する攪乱が数回発生した。この攪乱の影響は3区で異なり、流路の最上流に位置する電気柵区Cは有機質の表土が流亡したのに対し、その下流の電気柵区Bでは堆積土砂が面積の四分の一程度を被覆し苗木が複数回埋没した。最も下流に位置する5 cm 目ネット区ではネットの辺縁に土砂の堆積がある程度だった。また、電気柵区では積雪や草本の繁茂、電線の弛みなどから複数回にわたり漏電により電圧の低下が発生した。

3.3 自動撮影カメラの結果

自動撮影カメラの撮影期間は機材によって異なり最短で2015年5月15日から2015年5月24日、最長で2015年7月23日から2017年2月27日であった。撮影された動物はニホンジカ、キュウシュウノウサギ、ニホンイノシシ、ハシボソガラス、コジュケイ、ホンダヌキであった。ニホンジカの撮影頻度が最も高く、対照区やネット周りで採食の様子が確認された。なお、調査区周囲の食痕を目視確認するとシカが草本を摂食する範囲が異なっていた。10 cm 目ネット区では口吻を突き出しネットの内側20 cm 程度まで摂食していたが、5 cm 目ネット区ではネットから外側に5 cm まで、電気柵区では索から外側に20～30 cm の距離をとって草本を食べ残していたことが判明した。

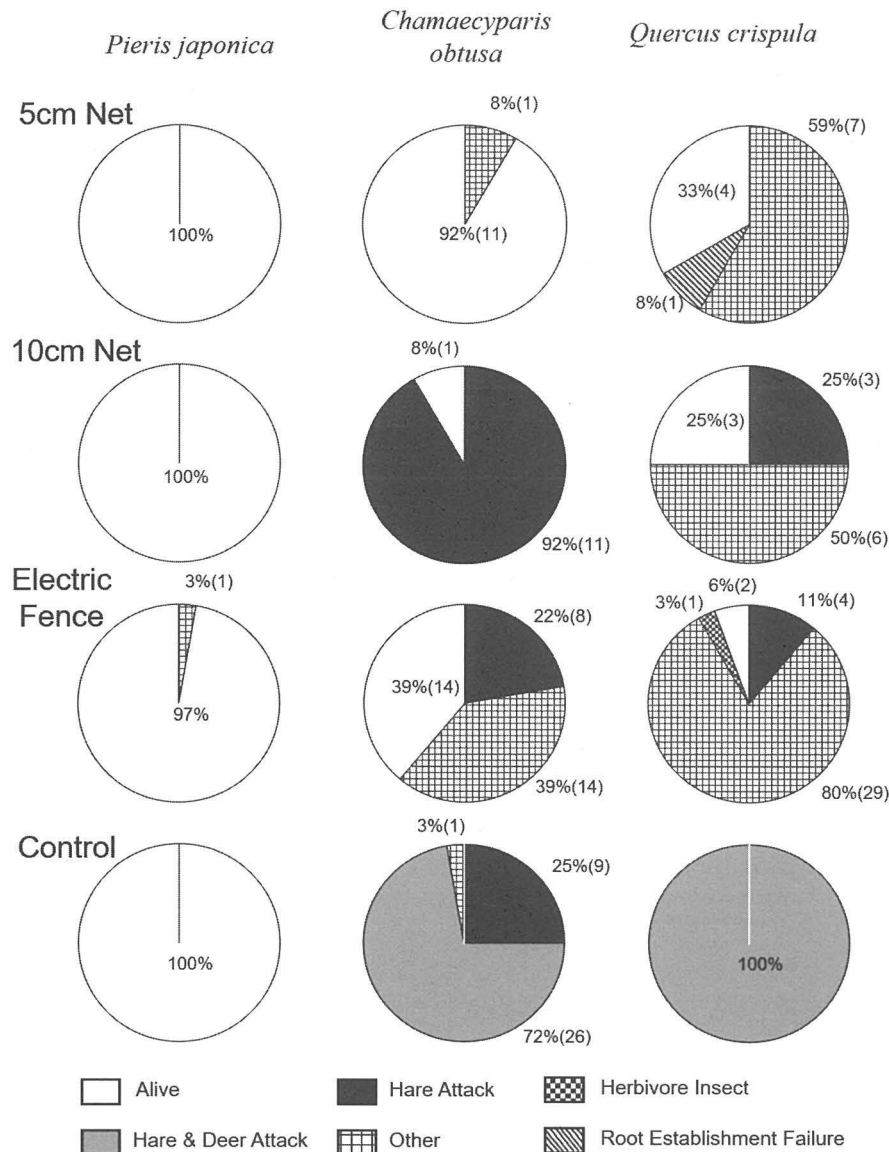


図4 2015～2020年にかけての植栽木アセビ、ヒノキ、ミズナラの枯死要因
()内の数値は植栽木の個体数を示す。

Fig.4 Cause of seedling death of *Pieris japonica*, *Chamaecyparis obtusa* and *Quercus crispula* during 2015 to 2020.
Figures in the bracket represent number of seedlings.

3.4 草本層の植生高と種組成

図5に2016年から2020年にかけての草本層の平均植生高を示した。対照区を除きいずれの調査区でも草本層の平均植生高は増加傾向にあった。電気柵区では2019年に土砂流入や電圧低下が発生しウサギ害害により平均植生高が半減したが、2020年には再び増加した。2020年の平均植生高については、10 cm目ネット区ではトダシバやスキの繁茂が著しく208 cm、5 cm目ネット区では166 cm、電気柵区では136 cmだった。対照区は最も植生高が低く、2020年の平均値は14 cmと5年間で植生高の増加は認められな

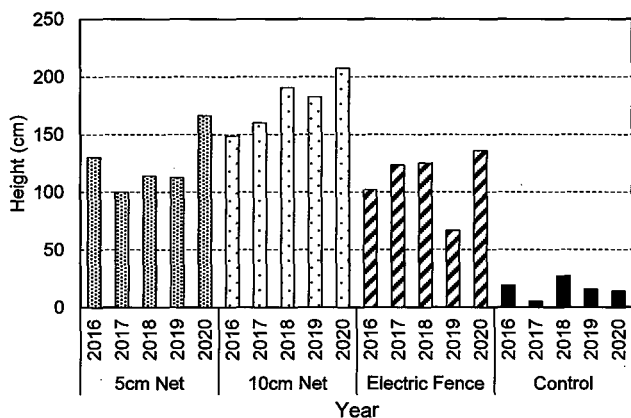


図5 2016～2020年にかけての試験区における草本層の平均植生高の変化

Fig.5 Change of average height of the herbaceous layer in experimental plots during 2016 to 2020.

かった。

表1に2016年と2021年に確認された植物の一覧を示した。また、表2に各調査区で確認された植栽木以外の植物種数を示した。2016年には調査区全体で合計52種の草本と樹木実生が確認された。処理区間では大きな差は無くいずれも20種前後、対照区はそれよりやや少なく8～17種であった。2016年時に大半の調査区の優占種はトダシバだったが、対照区Cではイワヒメワラビ、電気柵区Cではヒメアシボソが優占するという違いがあった。2021年には調査区全体で草本が増加し合計81種の植物が確認された。2021年においても処理区間では29～36種とあまり差が認められず、対照区はやや種数が少なく15～24種であった。5年間で電気柵区Cの優占種はヒメアシボソから藓苔類に変化した。他の調査区で優占種の変化はなかった。トダシバ、カリマタガヤ、ヒメアシボソ、スキなどイネ科草本は最も出現頻度が高く2016年も2021年も優占種となるほど生物量が多かったが、対照区ではこれらが食害によって著しく矮小化して生育していた。また、ミツバツチグリ、ツボスミレ、ハシカグサなど地上高が低く這うような生活形の広葉草本は多くの調査区に共通していたが、大半の草本およびシダ植物は一部の区画に偏在していた。

全ての調査区において植栽苗以外の木本実生が確認され、2016年には14種、2021年には25種に増加した。2021年に5 cm目ネット区、10 cm目ネット区、電気柵区においてアカマツ、アカシデ、クリ、ミズナラ、ヌルデ、ノリウツギ、コシアブラ、ツクシヤブウツギなどの木本実生および低木が確認されたが、これらは調査地近隣の森林や林縁

表1 調査区の植物相
Table 1 Flora of experimental plot.

科名	和名	Latin Name	区分	2016								2021							
				N5	N10	EA	EB	EC	CA	CB	CC	N5	N10	EA	EB	EC	CA	CB	CC
コバノイシカグマ	コバノイシカグマ	<i>Dennstaedtia scabra</i> (Wall. ex Hook.) T.Moore	シダ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-
	イワヒメワラビ	<i>Hypolepis punctata</i> (Thunb.) Mett. ex Kuhn	シダ	○	-	○	-	-	-	-	○	○	-	○	○	-	-	-	○
	ワラビ	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	シダ	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-
ヒメシダ	ヤワラシダ	<i>Thelypteris laxa</i> (Franch. et Sav.) Ching	シダ	-	○	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ハリガネワラビ	<i>Thelypteris japonica</i> (Baker) Ching	シダ	-	-	-	-	○	-	-	-	-	○	○	-	○	○	○	-
シシガシラ	シシガシラ	<i>Blechnum niponicum</i> (Kunze) Makino	シダ	-	○	○	-	○	-	○	-	-	○	○	-	○	○	○	-
メシダ	ヤマイヌワラビ	<i>Athyrium vidalii</i> (Franch. et Sav.) Nakai	シダ	-	-	-	-	○	-	-	-	-	○	-	-	○	-	-	-
マツ	モミ	<i>Abies firma</i> Siebold et Zucc.	木本	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○
	アカマツ	<i>Pinus densiflora</i> Siebold et Zucc.	木本	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-	○	○	-
ヒノキ	ヒノキ	<i>Chamaecyparis obtusa</i> (Siebold et Zucc.) Endl.	木本	-	-	○	○	-	-	○	-	-	○	○	-	-	-	○	-
クスノキ	カナクギノキ	<i>Lindera erythrocarpa</i> Makino	木本	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	シロモジ	<i>Lindera triloba</i> (Siebold et Zucc.) Blume	木本	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-
サトイモ	カラスビシャク	<i>Pinellia ternata</i> (Thunb.) Breitenb.	草本	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-
ユリ	サルトリイバラ	<i>Smilax china</i> L.	草本	-	○	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	-	-	-	○
	ヤマホトトギス	<i>Tricyrtis macropoda</i> Miq.	草本	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
イグサ	イグサ	<i>Juncus decipiens</i> (Buchenau) Nakai	草本	-	-	○	-	-	-	-	-	○	-	○	-	-	-	-	-
	ヤマズメノヒエ	<i>Luzula multiflora</i> (Ehrh.) Lejeune	草本	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-
カヤツリグサ	アオスゲ	<i>Carex leucochlora</i> Bunge	草本	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-
	ヒメスゲ	<i>Carex oxyandra</i> (Franch. et Sav.) Kudô	草本	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	○	-
	ヒメシラスゲ	<i>Carex mollicula</i> Boott	草本	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-
	ヒメクグ	<i>Cyperus brevifolius</i> (Rottb.) Hassk. var. <i>leiolepis</i> (Franch. et Sav.) T.Koyama	草本	○	○	○	-	-	○	-	○	-	○	○	-	-	-	-	-
イネ	ヤマスカボ	<i>Agrostis clavata</i> Trin. var. <i>clavata</i>	草本	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	-	-
	トボシガラ	<i>Festuca parvigluma</i> Steud.	草本	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-	○
	トダシバ	<i>Arundinella hirta</i> (Thunb.) Tanaka	草本	○	○	○	○	-	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	-
	カリマタガヤ	<i>Dimeria ornithopoda</i> Trin. var. <i>tenera</i> (Trin.) Hack.	草本	○	○	○	○	-	○	○	-	○	○	○	○	-	○	○	-
ヒメアシボソ	<i>Microstegium vimineum</i> (Trin.) A.Camus f.		草本	○	-	-	-	○	-	○	○	○	○	-	-	○	○	○	○
	<i>willdenowianum</i> (Nees) Osada		草本	○	-	-	-	○	-	○	○	○	○	-	-	○	○	○	○

科名	和名	Latin Name	区分	2016								2021							
				N5	N10	EA	EB	EC	CA	CB	CC	N5	N10	EA	EB	EC	CA	CB	CC
アカネ	ヘクソカズラ	<i>Paederia foetida</i> L.	草本	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-
リンドウ	アケボノソウ	<i>Swertia bimaculata</i> (Siebold et Zucc.) Hook.f. et Thomson ex C.B.Clarke	草本	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-
シソ	キランソウ	<i>Ajuga decumbens</i> Thunb.	草本	-	-	○	-	○	-	-	-	-	○	○	○	○	-	-	-
	ツルニガクサ	<i>Teucrium viscidum</i> Blume var. <i>miquelianum</i> (Maxim.) H.Hara	草本	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-
	イヌトウバナ	<i>Clinopodium micranthum</i> (Regel) H.Hara var. <i>micranthum</i>	草本	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-
ハマウツボ	シコクママコナ	<i>Melampyrum laxum</i> Miq. var. <i>laxum</i>	草本	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○
	ニガナ	<i>Ixeridium dentatum</i> (Thunb.) Tzvelev subsp. <i>dentatum</i>	草本	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ハナニガナ	<i>Ixeridium dentatum</i> (Thunb.) Tzvelev subsp. <i>dentatum</i> var. <i>albiflorum</i> (Makino) Tzvelev	草本	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	○	-	-	-	-
	イワニガナ	<i>Ixeris stolonifera</i> A.Gray	草本	-	-	-	-	○	-	-	○	-	-	-	-	○	-	-	○
ウコギ	コシアブラ	<i>Chengiopanax sciadophylloides</i> (Franch. et Sav.) C.B.Shang et J.Y.Huang	木本	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-
	ハリギリ	<i>Kalopanax septemlobus</i> (Thunb.) Koidz.	木本	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
レンブクソウ	ヒメチドメ	<i>Hydrocotyle yabei</i> Makino	草本	○	-	○	-	○	-	-	○	○	-	○	○	○	-	-	○
	ガマズミ	<i>Viburnum dilatatum</i> Thunb.	草本	○	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-
スイカズラ	オトコエシ	<i>Patrinia villosa</i> (Thunb.) Juss.	草本	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-
	ツクシヤブウツギ	<i>Weigela japonica</i> Thunb.	木本	-	○	-	○	-	-	-	-	○	○	-	○	-	-	-	-
-	不明木本実生	-	木本	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○

和名と学名は大橋ら（2017）および海老原（2016, 2017）に準拠した。
Japanese and Latin name are based on Ohashi et al. (2017) and Ebihara (2016, 2017)

表2 2016年および2021年における調査区内の植栽木以外の植物種数
Table 2 Number of plant species in plots except planted species in 2016 and 2021.

Year	Number of plant species								Total number of species
	5cm Net (N5)	10cm Net (N10)	Electric Fence A (EA)	Electric Fence B (EB)	Electric Fence C (EC)	Control A (CA)	Control B (CB)	Control C (CC)	
2016	22	20	20	16	25	8	13	17	52
2021	35	32	31	36	29	15	20	24	81

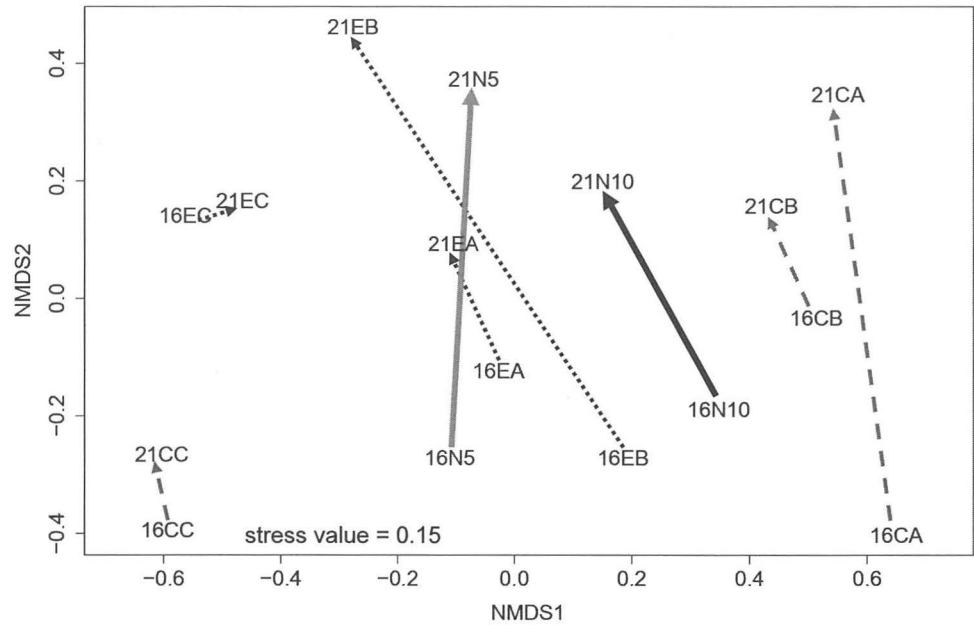


図6 2016年と2021年におけるNMDSを用いた試験区の林床植生の序列化
NMDSではBray-curtis指数を非類似度の指標に用いた。
Fig.6 NMDS ordination biplot of forest floor vegetation of experimental plots recorded in 2016 and 2021.
Bray-curtis index is used as dissimilarity index for NMDS ordination.

に一般的な樹種だった。また、2021 年に対照区で確認された種は主に成長したアセビの傍にまぎれるように生育しており、特にモミ、アカマツ、ヒノキなど樹木実生が増加していた。

図 6 に 2016 年と 2021 年における各調査区における植栽木以外の植物の在不在データを NMDS (Non metric multidimensional scaling) で序列化した結果を示した。図中の stress 値とはデータを序列化する際に求められる統計量であり、種数 n の数だけ多次元のデータを任意の次元に表現する際の歪みの程度を表している。本研究では stress 値は 0.15 であり分析の信頼性を損なうほど高い値ではなかった (McCune & Grace 2002)。電気柵区 C を除き全ての調査区の群集は 2016 年から 2021 年にかけて NMDS2 軸の正の方向に移動していた。電気柵区 C や対照区 C は 2016 年の時点でそれぞれ電気柵区 A と B、対照区 A と B から離れていた。5 cm 目ネット区、電気柵区 B、対照区 A は 2016 年と 2021 年の群集が大きく離れている一方、電気柵区 C や対照区 C では 2016 年と 2021 年の群集が近接しており種組成の変化が小さかったことを示唆した。

4. 考察

4.1 植栽木の成長と生存率

植栽した 3 種のうちアセビは有毒植物でありシカやウサギなどに食害されにくい (橋本・藤木 2014)。対照区では競合するヒノキ、ミズナラ、草本類がシカやウサギに摂食されるためアセビは日照を十分に受けて成長が促進されたと考えられた (図 2)。2020 年の調査によると、ヒノキの平均樹高は電気柵区で 254 cm を示し 5 cm 目ネットの平均樹高 215 cm よりも成長が優れていた (図 2)。10 cm 目ネット区、5 cm 目ネット区、電気柵区の順に草本層の植生高は高く (図 5)、ススキなどの草本がヒノキを被陰していた可能性が高い。また、2020 年のヒノキの生存率は 5 cm 目ネット区で 92 % (11 個体)、電気柵区で 39 % (14 個体)、10 cm 目ネット区で 8 % (1 個体) と大きな差があった (図 3)。電気柵区は完全ではないものの 10 cm 目ネット区に比べて多少はウサギに対する防除効果があったため食害があまり深刻化しなかったと考えられた (図 3)。このように草本による被陰と防除ネットと電気柵の効果の違いがヒノキの樹高成長に影響を与えたと考えられた。2020 年のミズナラの樹高はアセビと同等かやや劣る程度にとどまった。ヒノキの苗は 3 年生であるのに対しミズナラは 1 年生実生であることも考慮する必要があるが、スギ、ヒノキに比べるとミズナラは陽樹の傾向が強い (橋本・青木 1995)。ミズナラの生存率の推移は 5 cm 目ネット区、10 cm 目ネット区、電気柵区で類似しており、ウサギによる食害だけでなく草本の繁茂による被陰の影響が大きかったことが示唆された。なお、電気柵区のミズナラ生存率が 10 cm 目ネット区よりも低かったことは電気柵の電圧低下による防除効果の低下や土砂流入による地表攪乱の影響と考えられた。

4.2 防除柵の種類と効果

5 年間にわたる樹木成長と生存率の 2 点から評価すると 5 cm 目ネットが最も防除効果に優れていた。また、電気柵はウサギに対して脆弱であるとする長ら (2016) の結果を追認することになった。資材の種類や施工場所の環境によるものの、電気柵の方がネットの防除柵よりも設置経費の点で費用対効果に優れている (富永ら 2017)。電気柵区では漏電により一時的な電圧低下が複数回発生したが、シカが恒常的に電気柵内に侵入している形跡は確認されなかった。また、シカは電気柵の外縁 20 ~ 30 cm の幅を食べ残しており、これらの事はシカが電気柵を危険物として学習していることを示していた。高山ら (2017) は電気柵に忌避反応を示さずすり抜けることを学習したシカ個体を報告している。また、非通電状態の電気柵を放置することは電気柵への忌避反応を弱めシカの侵入を助長することが指摘されている (中村ら 2019)。下草の刈払や電圧の確認など適切な管理を行うことで、シカの電気柵への忌避反応を維持することが電気柵の防除効果を担保していると考えられた。ネットや電気柵による面的な防除を除くと、日本国内でのウサギ食害への防除は忌避剤の散布 (道総研 2011; 片平 2018; 鶴川ら 2020)、ツリーシェルターの設置による単木防除 (山田・井鷲 1989; 谷口・小松 2003; 鶴川ら 2020) で効果が認められている。電気柵の欠点を補うために忌避剤散布を併用することで、シカとウサギから林地を防御できる可能性がある。また、近年では林地を全て覆うゾーンディフェンスではなく、鳥獣類の獣道を遮断しないように防除柵を設置するブロックディフェンスの考え方も提唱されている (片平 2018; 三枝 2019)。鳥獣による森林被害が長期化し防除に係る経費と労力が増大しているため、一つの手法にこだわらずに状況に応じて複合的に防除対策を講じる必要がある。

4.3 調査区の林床植生の変化

調査区の草本層は 2016 年に比べ 2021 年に全ての処理区と対照区で草本および樹木実生の種数が増加した (表 1, 2)。また、2016 年の時点で電気柵区 C や対照区 C は他の電気柵区や対照区とは異なる種組成であったことが示唆され、この傾向は 2021 年にも継続していた (図 6)。本研究では環境要因の計測は行っていないが、調査での観察に基づく、日照量や土壌の乾湿、攪乱の有無、食害といった要因が調査区の種組成の推移に影響したと考えられる。日照量については 5 cm 目ネット区、10 cm 目ネット区、電気柵区および対照区の A と B は開放空間に位置するが、電気柵区および対照区の C は立木の陰に位置し相対的に日照が少なかった。また、土壌の乾湿も概ね日照量と同調すると考えられ、電気柵区 C には湿った半日陰を好むシダ類の種類と個体数が多く、対照区 C はイワヒメワラビが優占していた事と整合的である。さらに、5 cm 目ネット区、電気柵区 B、C では豪雨時に土砂流入が発生したが、この攪乱の影響は 3 区で異なっていた。土砂流入は植物を埋没させるなど破壊的な影響がある一方、有機物や埋土種子を供給し

優占するススキやトダシバによる被陰を中断する効果もあり、結果的に電柵区 B の種多様性が高まった可能性がある。対照区 A と B の種組成はトダシバ、ヒメアシボソ、カリマタガヤ、ススキなど他の調査区と共通する種が矮小化し優占的に分布していたが、試験開始前は電気柵区 C と対照区 C を除いていずれの調査区も対照区と類似した種組成だった可能性が高い (図 6)。対照区は繰り返しシカやウサギによる食害を受けるため採食されない不嗜好性植物または食害に耐えられる種だけが生残する偏向遷移の状態にあったと考えられる。やがて、防除柵や電気柵の設置により、採食圧が低減したことで土壌中の埋土種子、風散布および鳥散布の種子が定着し種数が増加したと考えられた。このように採食圧の低減に加えて各調査区の日照量や地表攪乱の差異が草本層の種組成の分化をもたらしたと考えられた。2021 年に防除ネット区または電気柵区で確認された木本はアカマツ、アカシデ、クリ、ミズナラ、ヌルデ、ノリウツギ、コシアブラ、ツクシヤブウツギなど陽樹が多く、植栽木を除くと柵内にこの地域の代償植生が成立することが予想された。なお、従前の林床植生の優占種であるスズタケが回復することは無かった。吉川ら (2014) は長期間にわたるシカ食害によって本来の林床植物が消滅しシカの採食圧に適応した植物に置き換わることを指摘しており、仮にシカの個体数が減少し採食圧が十分に低下してもシカが増加する以前の植生に必ずしも復帰しないことに注意する必要があるだろう。宮崎演習林では土壌 A 層の流亡した林床、森林が破綻しアセビの繁茂する荒廃地など既に不可逆的な森林の変化が起きている。演習林全体をシカから防除し草本や樹木実生の定着を促すことは不可能だが、本研究では小面積の防除ネットや電気柵を適切に用いて鳥獣害を防除または軽減できるならば、局所的に林床植生の復活や樹木実生の更新の可能性が示された。また、山内ら (2014) は高さ 1.7 m, 10 cm 目ネットを基本に地際 1 m まで 5 cm 目ネットを併用した防除柵内にスズタケを移植し 3 年間の成長を観測した。長ら (未発表) は本研究の調査地の隣に 5 cm 目の防除柵を設置しスズタケやブナ実生を移植し 2021 年現在も健全に生育している。さらに表層土壌の撒き出しによる埋土種子の発芽促進 (中村ら 2002; 福本 2015) など森林再生の積極的な手法も提案されている。これらを参考にして荒廃した森林での後継樹の育成、林床植生の保全など、森林再生のための基礎資料の蓄積が期待される。

5. 謝辞

調査区の草本層の調査では宮崎県総合博物館の斉藤政美氏に種同定でご協力いただいた。ここに篤く御礼申し上げる。

6. 引用文献

- 長慶一郎・鍛冶清弘・山内康平・緒方健人・佐々木寛和・田代直明・菱 拓雄 (2016) 宮崎演習林におけるシカ防除柵処理が苗木 3 種の生存と成長に与える影響. 第 19 回演習林研究発表会
- DEIMS-SDR (2021) Dynamic Ecological Information Management System - Site and dataset registry. URL: <https://deims.org/5a5e3c04-2ed0-42f8-910e-bc41e540248c> (2021 年 8 月 10 日閲覧)
- 道総研 (2011) 地域特性に応じた獣害対策の手引き. 北海道立総合研究機構 森林研究本部林業試験場森林資源部保護グループ
- 海老原淳 (2016) 日本産シダ植物標準図鑑 I 学研プラス, pp450
- 海老原淳 (2017) 日本産シダ植物標準図鑑 II 学研プラス, pp450
- 榎木 勉・久保田勝義・鍛冶清弘・長慶一郎・山内康平・椎葉康喜・緒方健人・菱 拓雄・田代直明 (2017) 九州山地におけるモミ・ツガ林の長期動態にシカが及ぼす影響. 九州大学農学部演習林報告 98: 17-24
- 福本浩士 (2015) 暖温帯域の再造林放棄地における埋土種子の種構成. 三重県林業研究所研究報告 6: 13-18
- 井上 晋・小泉 透 (1996) 九大宮崎演習林の天然林における野生シカが及ぼす植生被害について. 日本林学会九州支部研究論文集 49: 105-106
- 岩切裕司・讀井孝義・黒木逸郎 (1995) ニホンジカによる森林被害調査. 日本林学会九州支部研究論文集 48: 143-144
- Harada K, Ann JAM, Suzuki M (2020) Legacy effects of sika deer overpopulation on ground vegetation and soil physical properties. For Ecol Manag 474: 118346
- 長谷川元洋 (2006) 土壌動物群集の研究における座標付け手法の活用. Edaphologia 80: 35-64
- 橋本良二・青木亨宏 (1995) 林床に成育する 2 種のコナラ属 (*Quercus*) 稚樹の環境整理特性. 生物環境調節 33: 175-183
- 橋本佳延・藤木大介 (2014) 日本におけるニホンジカの採食植物・不嗜好性植物リスト. 人と自然 25: 133-160
- 鍛冶清弘・井上幸子・久保田勝義・椎葉康喜・壁村勇二・馬淵哲也・内海泰弘・榎木 勉・熊谷朝臣 (2010) 形状の異なる三種の獣害防除ネットにおけるスギ苗木保護効果の比較 九州大学農学部演習林報告 91: 19-23
- 片平篤行 (2018) 人工林における防除柵の効果調査と簡易防除柵の開発. 群馬県林試研報 21-22: 36-46
- McCune B, Grace JB (2002) Analysis of Ecological Communities. MJM Software Design
- 村田育恵・井上幸子・矢部恒晶・壁村勇二・鍛冶清弘・久保田勝義・馬淵哲也・椎葉康喜・内海泰弘 (2009) 九州大学宮崎演習林におけるニホンジカの生息密度と下層植生の変遷. 九州大学農学部演習林報告 90: 13-24
- 中村彰宏・衣笠斗基子・陣門泰輔・谷口伸二・佐藤治雄・森本幸裕 (2002) 埋土種子密度, 種数, 多様度指数・面積曲線による森林表土撒き出し緑化の評価. 日本緑化工学会誌 28: 79-84
- 中村南美子・園田 正・富永 輝・石井大介・柳田大輝・飯盛 葵・松元里志・片平清美・稲留陽尉・塩谷克典・

- 赤井克己・大島一郎・中西良孝・高山耕二 (2019) 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するか? 日本暖地畜産学会報 62: 125-128
- Oksanen J, Blanchet FG, Friendly M, Kindt R, Legendre P, McGlinn D, Minchin PR, O'Hara RB, Simpson GL, Solymos P, Stevens MHH, Szoecs E, Wagner H (2019) *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-6. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- 大橋広好・門田裕一・木原 浩・邑田 仁・米倉浩司 (2017) 改訂新版日本の野生植物 平凡社
- R Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- 林野庁 (2021) 森林における鳥獣害対策について. URL <https://www.rinya.maff.go.jp/j/hogo/higai/tyouju.html> (2021年8月13日閲覧)
- 三枝道生 (2019) シカによる森林被害の対策に関する研究. 岡山県森林研報 34: 25-42
- 猿木重文・井上 晋・椎葉康喜・長澤久視・大崎 繁・久保田勝義 (2004) 九州大学宮崎演習林においてキュウシュウジカの摂食被害を受けたスズタケ群落の分布と生育状況. 九州大学農学部演習林報告 85: 47-54
- 佐々木雄大・小山明日香・小柳知代・古川拓哉・内田 圭 (2015) 植物群集の構造と多様性の解析. (生態学フィールド調査法シリーズ 3. 占部城太郎・日浦 勉・辻和希編, 共立出版, 東京)
- 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・塩谷克典・赤井克己 (2017) 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
- 田中健一・岩松 暉 (1993) 九州四万十日向大河南地域の地質. 九州大学農学部演習林報告 69: 31-53
- 谷口 明 (1992) シカによる造林木の被害防除に関する研究 (I) —スギ植栽当年生林の被害実態—. 日本林学会九州支部研究論文集 45: 111-112
- 谷口 明 (1993a) シカによる造林木の被害防除に関する研究 (II) —ヒノキ及び広葉樹幼齢造林木の被害—. 日本林学会九州支部研究論文集 46: 153-154
- 谷口 明 (1993b) シカによる造林木の被害防除に関する研究 (III) —スギ・ヒノキ造林木の剥皮被害—. 日本林学会九州支部研究論文集 46: 155-156
- 谷口 明 (1994) シカによる造林木の被害防除に関する研究 (IV) —鹿児島県における生育の分布状況と剥皮被害木の発生時期と形態—. 日本林学会九州支部研究論文集 47: 149-150
- 谷口真吾・小松輝弘 (2003) 不織布でつくられたノウサギ食害防止資材の被害軽減効果とその利用法. 日本緑化工学会誌 28: 501-506
- 富永 輝・片平清美・松本里志・石井大介・柳田大輝・飯盛 葵・大島一郎 (2017) シカ侵入ダメ・ぜったい!! 鹿児島大学農学部農場技術調査報告書 18: 3-4
- 鶴川 信・藤澤義武・大塚次郎・近藤禎二・生方正俊 (2020) ニホンノウサギによる食害とその防除がコウヨウザン1年生苗の生残および生長に与える影響. 日本林学会誌 102: 317-323
- 山田文雄・井鷲裕司 (1989) ノウサギによる広葉樹苗木への食害に対する防止例. 野兎研究会誌 16: 21-26
- 山内康平・久保田勝義・壁村勇二・長慶一郎・緒方健人・宮島裕子・椎葉康喜・榎木 勉 (2014) 九州大学宮崎演習林におけるスズタケの移植試験. 九州大学農学部演習林報告 95: 16-20
- 吉川正人・今福寛子・星野義延 (2014) 特集「シカの採食圧による植生被害防除と回復」奥日光千手ヶ原におけるササ消失後の林床植生の分布. 日本緑化工学会誌 39: 368-374
- 湯本貴和・松田裕之編 (2006) 世界遺産を鹿が喰う—シカと森の生態学. 文一総合出版, 東京

(2021年10月20日受付: 2022年2月3日受理)