

令和元年度 シカ被害対策推進調査事業報告書

令和2年3月

林 野 庁

目 次

1	事業の背景・目的	1
2	事業の実施内容・調査方法・分析方法	2
	(1) 事業の実施内容	2
	(2) 防護柵の破損及び植栽木の被害に影響を与える要因調査	2
	① 目的	2
	② 調査方法	2
	③ 分析方法	7
	(3) 防護柵の効率的な維持管理手法の検討	10
	① 幼齢造林地における UAV 撮影による防護柵の効率的な維持・管理手法の検討	10
	② 無人撮影カメラによる防護柵の効率的な維持・管理手法の検討	11
	③ スマートフォンアプリを用いた防護柵の効率的な維持管理手法の検討	12
	(4) その他の調査	13
	① 森林保険制度に関する調査	13
	② シカ被害発生地での成林事例調査	13
	(5) 検討委員会	14
3	防護柵の破損及び植栽木の被害に影響を与える要因調査の結果	15
	(1) 調査対象となった造林地の基本統計量データ	15
	① 調査データとサンプル数	15
	② 造林地の環境条件	15
	③ シカ対策の実施状況	20
	(2) 統計解析を行う上での変数の選択と修正	27
	(3) 防護柵の破損に影響を与える要因解析	28
	(4) 植栽木の枯死率に影響を与える要因解析	34
	(5) 兵庫県のシカ及びイノシシの目撃効率のデータとアンケート調査で得られたシカ、イノシシの結果との対応の検証	38
	① シカの回答結果との対応	38
	② イノシシの回答結果との対応	38
	(6) 考察	39
	(7) 今後の課題	40
4	防護柵の効率的な維持管理手法の検討結果	41
	(1) 幼齢造林地における UAV 撮影による防護柵の効率的な維持・管理手法の検討結果	41
	(2) 無人撮影カメラによる防護柵の効率的な維持・管理手法の検討結果	57

(3) スマートフォンアプリを用いた防護柵の効率的な維持管理手法の検討結果	59
5 その他の調査結果	60
(1) 森林保険制度に関する調査結果	60
① 森林保険センターへのヒアリング調査結果	60
② 興梠准教授へのヒアリング調査結果	61
③ 平成 20 年度に実施した調査事業の整理	62
(2) シカ被害発生地での成林事例調査結果	66
6 検討委員会の成果	67
(1) 検討委員会の議事内容	67
① 第 1 回検討委員会	67
② 第 2 回検討委員会	74
7 総括	75
(1) 幼齢造林地における防護柵の維持・管理に関する業務フロー	75
(2) シカ被害を受けた造林地の被害評価の基本的判断指標	76
(3) 防護柵の効率的な維持管理手法	77
(4) 森林保険制度にシカ被害を適用する場合の検討結果	77
(5) 本事業における今後の検討課題	78

1 事業の背景・目的

近年におけるシカの生息数の増加により広範囲に発生している食害等による森林への被害の深刻化は、人工林の主伐・再造林という森林所有者の経営意欲の低下を招くと同時に、被害を受けた森林では、本来有する公益的機能の発揮に影響を与える恐れが発生している。そのため、シカの生息数が多い地域では、伐採・更新された新植造林地の苗木を防護柵やツリーシェルター等を利用して防除を行っているところである。

平成 30 年度の本事業では、10 年生程度までの人工植栽もしくは天然更新された造林地（以下、「幼齢造林地」という。）を対象に、防除効果が低下し、被害が発生する原因とその確率、被害の評価等について調査・検討を行った。その結果、防除効果を維持するためには、造林地の見回りや防除資材の補修等の保全（以下、「維持・管理」という。）について、更に検討を加える必要があるとされたところである。

このため、令和元年度の本事業では、幼齢造林地における防護柵の維持・管理が防除効果に与える影響を中心に、調査・検討を行うとともに、併せてシカによる食害等の被害評価と防護柵の維持・管理の効率化を図るための技術の検討等を実施し、幼齢造林地におけるシカ被害のリスクについて、更なる検証を加えることを目的とした。また、これらの結果から、シカ被害の森林保険の対象としての課題について考察し、提言と課題を取りまとめた。

2 事業の実施内容・調査方法・分析方法

(1) 事業の実施内容

本事業の目的を達成するため、次の3つの調査を実施した。また、調査手法及び結果について評価を得るとともに、必要な助言を受けるため、検討委員会を開催した。

◇ 防護柵の破損及び植栽木の被害に影響を与える要因調査

◇ 防護柵の効率的な維持管理手法の検討

◇ その他の調査

- 森林保険制度に関する調査
- シカ被害発生地での成林事例調査

(2) 防護柵の破損及び植栽木の被害に影響を与える要因調査

① 目的

本調査は、幼齢造林地における防護柵の破損及び植栽木の被害に影響を与える要因とその影響の大きさを明らかにし、シカ被害を防除するために必要となる作業内容等について考察することを目的とした。

② 調査方法

調査方法に関するフローを図1に示す。各項目の具体的な内容は、以下のとおりである。

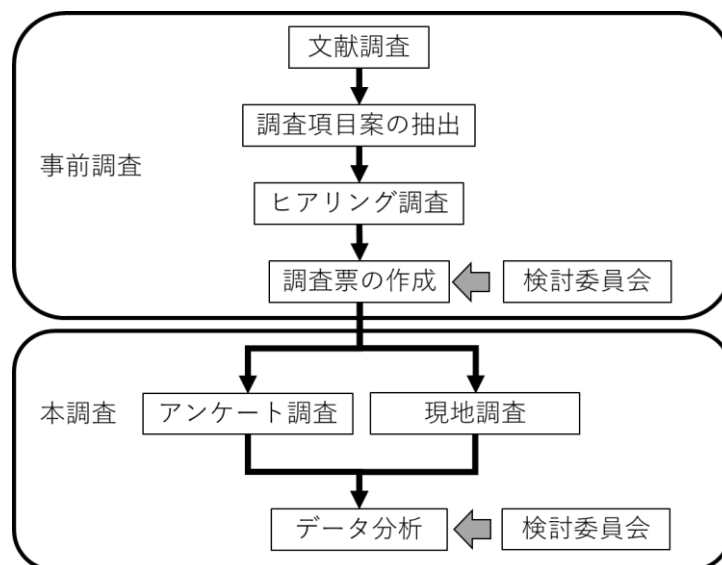


図1 調査方法に関するフロー図

● 事前調査

ア 調査項目案設定のための文献調査

防護柵の破損リスクや植栽木の被害に影響を与える可能性がある調査項目案を抽出するため、先行研究などの文献調査を実施した。また、兵庫県内のシカ及びイノシシの密度指標データ（最新データから過去 10 年間の 5 km メッシュの目撃効率）について、兵庫県森林動物研究センターに依頼し、データを収集した。

イ 調査項目設定のためのヒアリング調査

アで設定した調査項目案の妥当性や、データ収集の可能性を調査するため、兵庫県内の以下の関係 6 機関に対しヒアリング調査を実施した。

- ✓ 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林整備センター（以下、「森林整備センター」という。）神戸水源林整備事務所（令和元年 10 月 9 日、11 月 15 日実施）
- ✓ 兵庫県立農林水産技術総合センター 森林・林業技術センター（令和元年 10 月 9 日実施）
- ✓ 養父市森林組合（令和元年 10 月 8 日実施）
- ✓ 北但西部森林組合（令和元年 10 月 24 日実施）
- ✓ 中はりま森林組合（令和元年 10 月 31 日実施）
- ✓ 丹波市森林組合（令和元年 11 月 19 日実施）

ウ 調査票の作成

ア及びイの調査結果より、調査項目を設定し調査票を作成した（表 1）。調査票の作成にあたり、現場で作業をしている人が容易に回答でき、回答者によるバイアスができるだけ起きないように工夫した。そのため、調査票の回答方式は択一回答式もしくは数値による自由記入式を原則とし、択一回答式には間隔尺度を想定した選択肢を設定した。本調査では、植栽木のシカ被害の評価基準を枯死率と樹高（最小、最長、平均）とした。シカ被害の種類については、頂芽食害、樹皮剥ぎ、矮小化の 3 種類とし、その有無を調査した。

また、検討委員会において、調査票案及びデータ分析で想定する因果モデルを示し、助言を得た。検討委員会の詳細については、後述する。

表1 調査票の質問項目と回答方式一覧

設問項目	質問項目	回答方式
属性	機関名	自由記入
植栽木の詳細情報	樹種	自由記入
	植栽年度	自由記入
	植栽面積	自由記入
	苗木の樹高	自由記入
	中仕切り防護柵の有無	2者択一
造林地の環境条件	造林地の平均斜度	3者択一
	平年の最大累積積雪量	3者択一
	積雪による施業中断期間（単位：ヶ月）	自由記入
	台風による柵に対する影響の程度	4者択一
	シカを目撃頻度（10日のうち何日目撃するか）	自由記入
	1日あたりのシカを目撃頭数	自由記入
	2～3年のシカの増減傾向	3者択一
	イノシシの生息状況	3者択一
シカ対策の実施状況	防護柵の種類	4者択一
	網目の大きさ	4者択一
	設置延長（外周部）	自由記入
	設置延長（中仕切り）	自由記入
	柵の地上高	自由記入
	柵の支柱間隔	自由記入
	柵の設置時期	自由記入
	防護柵の年間点検回数	自由記入
	台風後などの臨時点検の年平均回数	自由記入
	1回の点検時に発見する破損や不具合の平均箇所数	自由記入
	補修の必要性の判断基準	3者択一
	点検から補修までの基本的な方針	4者択一
	点検時に発見した破損や不具合箇所のうち補修する割合	自由記入
	点検に必要な労力（単位：人日）	自由記入
	点検とは別に補修作業を行う際の必要な労力（単位：人日）	自由記入
	補修に必要な資材の年間経費	自由記入
シカ被害発生状況	枯死率	自由記入
	生存植栽木の樹高（最小）	自由記入
	生存植栽木の樹高（最長）	自由記入
	生存植栽木の樹高（平均）	自由記入
	シカ被害の内容	3者複数選択
	確認時期	自由記入

● 本調査

ア 調査地域

調査地域は、兵庫県内の森林整備センターの幼齢造林地 15 団地、兵庫県を除く全国の森林整備センターの幼齢造林地 12 団地、全国の国有林の幼齢造林地 68 団地の計 95 団地を対象に実施した。

兵庫県内の調査地域は、森林整備センター神戸水源林整備事務所と調査地となる幼齢造林地を管理する森林組合の協力を得て選定した。兵庫県以外の調査地域は、昨年度の本事業においてアンケート調査を実施した林野庁の森林管理署等及び森林整備センターの水源林整備事務所から選定した。選定条件として、

- ① 地域的な偏りが生じないこと
- ② 積雪条件がばらついていること
- ③ 防護柵を設置していること
- ④ 防護柵の点検補修の頻度を記録していること、

を主な条件とした。調査を実施した機関及び造林地の所在地の一覧を表 2 に示す。

イ 調査方法

調査は、原則としてアンケート調査とした。ただし、兵庫県内の調査地の調査項目のうち、防護柵の破損や不具合の箇所数及び植栽木の被害発生状況については、令和元年 11 月～12 月にかけて現地調査を行い、データを収集した。

アンケート調査に際し、森林管理署等及び森林整備センターのご協力を頂き、令和 2 年 1 月に調査票を配布し、2 月に回収を行った。兵庫県以外の調査地については、防護柵の破損や不具合の箇所数及び植栽木の被害発生状況について、既存の記録を確認していただき、記入を依頼した。

表2 調査を実施した機関及び造林地の所在地の一覧

区分	部局名	事務所名	造林地の所在
林野庁	東北森林管理局	盛岡森林管理署	岩手県盛岡市
		三陸中部森林管理署	岩手県陸前高田市、大船渡市、住田町、大槌町
		宮城北部森林管理署	宮城県気仙沼市、女川町、石巻市
	関東森林管理局	千葉森林管理事務所	千葉県勝浦市
		日光森林管理署	栃木県日光市、今市市、鹿沼市
		天竜森林管理署	静岡県浜松市
	中部森林管理局	飛騨森林管理署	岐阜県高山市
		東濃森林管理署	岐阜県中津川市、恵那市
	近畿中国森林管理局	三重森林管理署	三重県津市、松阪市、桑名市、いなべ市、大台町、紀北町、熊野市
		京都大阪森林管理事務所	京都府舞鶴市
		和歌山森林管理署	和歌山県田辺市
		広島北部森林管理署	広島県安芸高田市
	四国森林管理局	愛媛森林管理署	愛媛県新居浜市、内子町、宇和島市
		嶺北森林管理署	高知県本山町、土佐町
		高知中部森林管理署	高知県香美市
		安芸森林管理署	高知県奈半利町、北川村
		四万十森林管理署	高知県四万十町
	九州森林管理局	西都児湯森林管理署	宮崎県西都市、
		熊本森林管理署	熊本県南小国町、山都町
		福岡森林管理署	福岡県鞍手町
		長崎森林管理署	長崎県対馬市
森林整備センター	関東整備局	宇都宮水源林整備事務所	栃木県日光市
	関東整備局	静岡水源林整備事務所	静岡県浜松市
	中部整備局	岐阜水源林整備事務所	岐阜県本巣市
	中部整備局	津水源林整備事務所	三重県大紀町
	近畿北陸整備局	神戸水源林整備事務所	兵庫県香美町、養父市、神河町、丹波篠山市、三田市
	中国四国整備局	鳥取水源林整備事務所	鳥取県八頭町
	中国四国整備局	松江水源林整備事務所	島根県出雲市
	中国四国整備局	山口水源林整備事務所	山口県下関市
	中国四国整備局	松山水源林整備事務所	愛媛県宇和島市
	中国四国整備局	高知水源林整備事務所	高知県四万十市
	九州整備局	熊本水源林整備事務所	熊本県山江村
	九州整備局	宮崎水源林整備事務所	宮崎県美郷町
	九州整備局	鹿児島水源林整備事務所	鹿児島県さつま町

③ 分析方法

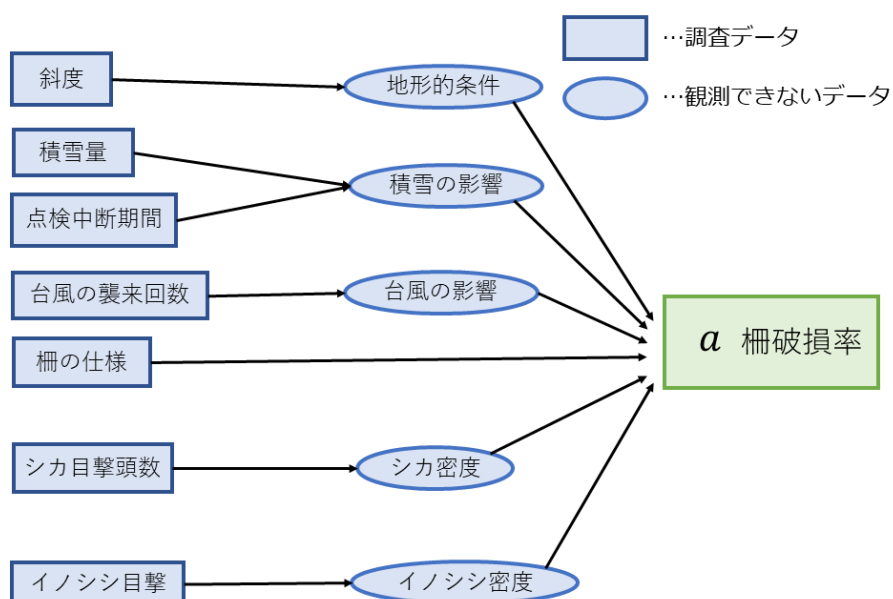
アンケート調査および現地調査から得られたデータを用いて、防護柵の破損および植栽木の被害に影響を与える要因の分析を行った。分析には、ソフトウェア『R (ver.3.6.0)』を用いた。

2つの分析はモデル推定によって行い、得られたデータの中から影響を与えていると考えられる要因を検討し、集計したデータの分布状況を考慮した上でモデルを構築した。以下に各分析における手法の詳細を示す。

- 防護柵の破損に影響を与える要因解析

分析に際し、設定した仮説を下図に示す。防護柵の破損に影響を与える要因として、地形的条件、積雪の影響、台風の影響、柵の仕様、シカ密度、イノシシ密度の6つの説明変数を仮定した。応答変数である柵破損率は、防護柵延長 100m・1年当たりの破損箇所数とし、以下の計算式で算出した。

破損箇所数＝定期的な点検の頻度（年）×1回の点検時に発見する破損や不具合の箇所数×100m/外周部の防護柵の延長（m）



分析は、3つのステップに分けて行った。最初のステップは、各説明変数から応答変数への影響の大きさを表すパラメータを推定することを目的に、一般化線形混合モデル（以下、「GLMM」という。）を用いて分析した。パッケージは、線形混合モデルへのあてはめ関数を提供する『lme4』を用いた。次に、モデルへの説明変数間の影響力の違いを検証することを

目的に、分散分析表を作成し、平均平方値の比較を行った。パッケージは、線形モデルの結果の分析に特化した関数群を含む『car』を用いた。これらの分析を行うことで、説明変数ごとの柵破損率への影響の大きさと説明変数間の違いを把握することが可能になると考えた。なお、応答変数はポアソン分布を仮定し、変量効果は、切片項が造林地ごとに異なると仮定した。

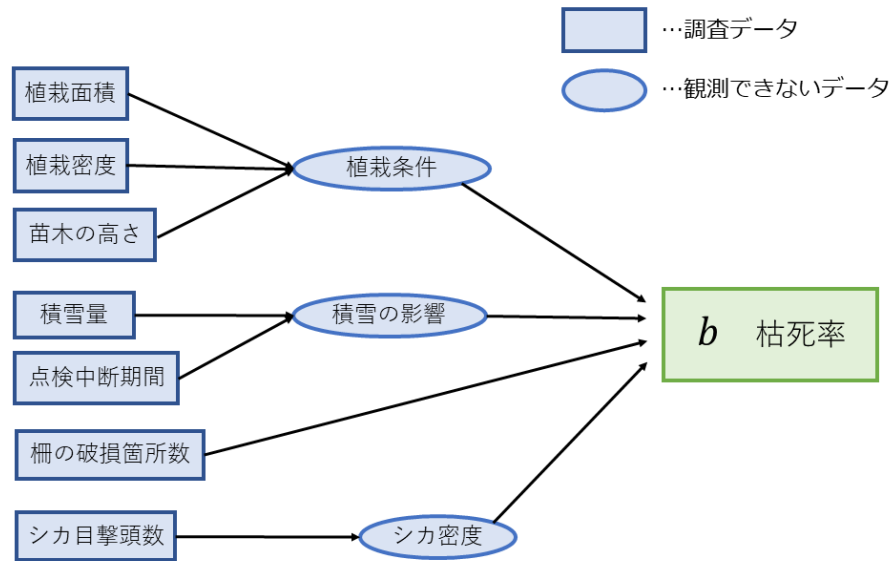
最後のステップは、防護柵の破損箇所数の推定値を算出した。算出の手順として、まず分散分析の結果から防護柵の破損に大きな影響を与えることが明らかとなった説明変数を抽出した。次に抽出した説明変数の選択肢ごとに、防護柵の破損箇所数の推定値の中央値と変化量を分析した。その際、抽出した説明変数以外の説明変数については、取りうる値を全て考慮し、総当たりで推定された値を平均化したものを変化量として図示した。パッケージは、データの視覚化に特化した関数群を含む『ggplot2』を用いた。この分析を行うことで、防護柵の破損に影響を与える要因を造林前に調査すれば、生じる可能性のある防護柵の破損の程度やその確率、及び防護柵の破損を抑えるために必要となる維持・管理の労力の予測につながると考えた。

- 植栽木の枯死率に影響を与える要因解析

分析に際し、設定した仮説を次図に示す。植栽木の枯死率に影響を与える要因として、植栽面積、植栽密度、苗木の高さ、積雪の影響、柵の破損箇所数、シカ密度の6つの説明変数を仮定した。応答変数は1年当たりの枯死率とした。調査票で回答のあった枯死率は、植栽後からの累積値であるため、1年当たりの枯死率は、下記の計算式で算出した。

$$1 \text{ 年当たりの枯死率} = 1 - (1 - \text{枯死率})^{1/\text{林齢}}$$

さらに、1年当たりの枯死率は0～1の間をとる変数であり、そのままでは線形として回帰できないため、ロジット変換をして全ての連続値を取りうる変数として補正し、これが正規分布に従うものと仮定した。



分析は3つのステップに分けて行った。最初のステップは、各説明変数から応答変数への影響の大きさを表すパラメータを推定することを目的に、一般化線形モデル（以下、「GLM」という。）を用いて分析した。パッケージは、R（ver.3.6.0）に既存で、線形モデルへのあてはめ関数を提供する『stats』を用いた。次に、モデルへの説明変数間の影響力の違いを検証することを目的に、残差逸脱度表を作成し、逸脱度を自由度で割った値の比較を行った。パッケージは前述の『car』を用いた。これらの分析を行うことで、説明変数ごとの枯死率への影響の大きさと説明変数間の違いを把握することが可能になると考えた。モデルはスギとヒノキ2樹種でそれぞれ作成した。

最後のステップは、柵の破損箇所数およびシカ密度に着目し、推定される枯死率を算出および図示した。パッケージは前述の『ggplot2』を用いた。手順として、着目した説明変数以外の説明変数に平均値を代入し、着目した説明変数を調査票から得られた値の範囲内で変化させ、枯死率の増減を描画した。

- 兵庫県のシカ及びイノシシの目撃効率のデータとアンケート調査で得られたシカ、イノシシの結果との対応の検証

兵庫県がモニタリング調査として実施している、シカ及びイノシシの目撃効率のデータと兵庫県内の森林整備センターの造林地について回答が得られたシカ及びイノシシの結果と比較を行い、造林地の現況をよく知る調査対象者に対するアンケート調査によって、シカおよびイノシシの生息状況の把握が可能か検証する。

(3) 防護柵の効率的な維持管理手法の検討

防護柵の効率的な維持管理手法を検討するため、次の3つの調査を実施した。それぞれの調査内容について、調査方法等を以下に記載する。

- ◇ 幼齢造林地における UAV 撮影による防護柵の効率的な維持・管理手法の検討
- ◇ 無人撮影カメラによる防護柵の効率的な維持・管理手法の検討
- ◇ スマートフォンアプリを用いた防護柵の効率的な維持管理手法の検討

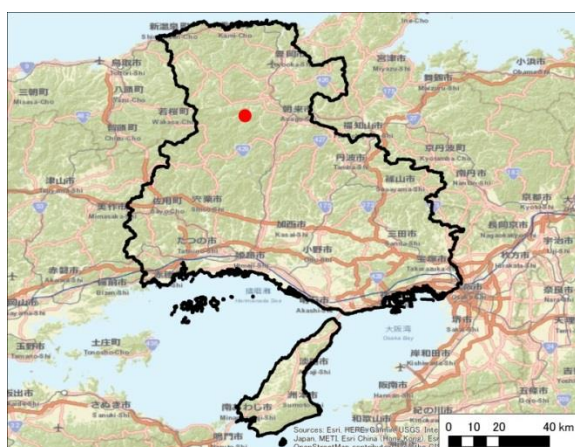
① 幼齢造林地における UAV 撮影による防護柵の効率的な維持・管理手法の検討

ア 目的

防護柵を効率的に維持・管理するために、UAV による撮影を行い、UAV が活用できる利用条件や UAV による維持・管理の実行可能性の検討、課題の把握を目的とした。

イ 調査地域

調査地域は、防護柵が設置されている幼齢造林地であり、かつ、シカの生息数が多く、シカ道が複数確認されている地域として、兵庫県養父市大屋町夏梅地区を設定した（図2）。この造林地は植栽木の林齢が多様で、樹高もおおよそ5mから0.5mと変化に富む。その周囲に設置されている防護柵も、林冠の下に隠れるものと、林冠から離れているものが存在する。加えて、新たに防護柵を設置した三宅地区についても撮影を行った。



調査地域位置図



調査範囲

図2 調査地域位置とその範囲

ウ 調査方法

調査地域全域を対象に撮影し、撮影に適する条件の検討を行ったほか、防護柵沿いを踏査し、防護柵の破損状況を把握した。

確認されたシカなどの痕跡及び防護柵の破損状況について、高度別に撮影し、判別可能な高さ（距離）の検討を行った。

防護柵の色の違いにより、判読できる距離に違いがあると考えられたことから、色のついた紐を高度別に撮影し、判読しやすい色の検討を行った。

なお、撮影に用いた機材は、比較的安価で、かつ、大きすぎない一般的な機材を使用した。使用した機材の詳細を表3に示す。

表3 撮影機材の詳細

機器名	Phantom 4 PRO	
会社名	DJI	
重量	1388g	
最大飛行時間	約 30 分	
自動飛行	可	
緊急時自動帰還	有	
最大静止画サイズ	5472 × 3648	

参照 : <https://www.dji.com/jp/phantom-4-pro>

エ 分析方法

撮影した画像は Agisoft 製 PhotoScan に取り込み、オルソ画像及び3次元モデルを作成した。作成したオルソ画像に、踏査で確認された防護柵の破損状況を重ね合わせ、判読できるか検討した。

痕跡及び防護柵の破損状況の判別、色のついた紐の判別においては、ピクセル等倍（100%）で表示し、判別できるか検討した。

② 無人撮影カメラによる防護柵の効率的な維持・管理手法の検討

ア 目的

防護柵の点検を効率化するため、IoT 技術を活用した維持・管理手法の検討を目的とした。

イ 調査方法

既存文献を収集し、通信機能を備えた無人撮影カメラによる、シカ等の生息状況の把握事例について、整理した。整理にあたっては、既存文献において対象としている動物の生息密度や生態等と手法の関係や、設置されたカメラの個数や配置、携帯通信網との関係、バッテリーの継続時間等に目し、情報を整理するとともに、IoT を活用した防護柵の維持・管理にあたっ

ての課題等を検討した。

③ スマートフォンアプリを用いた防護柵の効率的な維持管理手法の検討

ア 目的

防護柵の防除効果を持続的に発揮するためには、防護柵の点検や補修を確実に実施することが必要である。そこで、これらの作業の実施状況を効率的に確認するツールとして、防護柵の破損や不具合箇所の位置情報や写真などを記録できるスマートフォンアプリの有効性を検証した。

イ 調査方法

スマートフォンアプリは、(株)野生鳥獣対策連携センターが開発した「ディアナシステム」を使用した。ディアナシステムは、電波の届かない場所でも地形図を見ながら作業ができるほか、防護柵の点検者の位置情報が端末のGPS機能でログされ、現場で発見した破損箇所の位置情報や写真を保存できる機能を有している（図3）。これらの情報は端末のオンライン時にサーバに送られるため、管理者との情報共有や労務管理、作業実施状況の確認、安全管理などに有効だと考えられる。

そこで本事業では、実際に現場で防護柵の点検・補修を行っている森林組合の職員にディアナシステムを使用して防護柵の破損や不具合を記録してもらった。使用後にヒアリング調査を行い、その有効性を検証した。

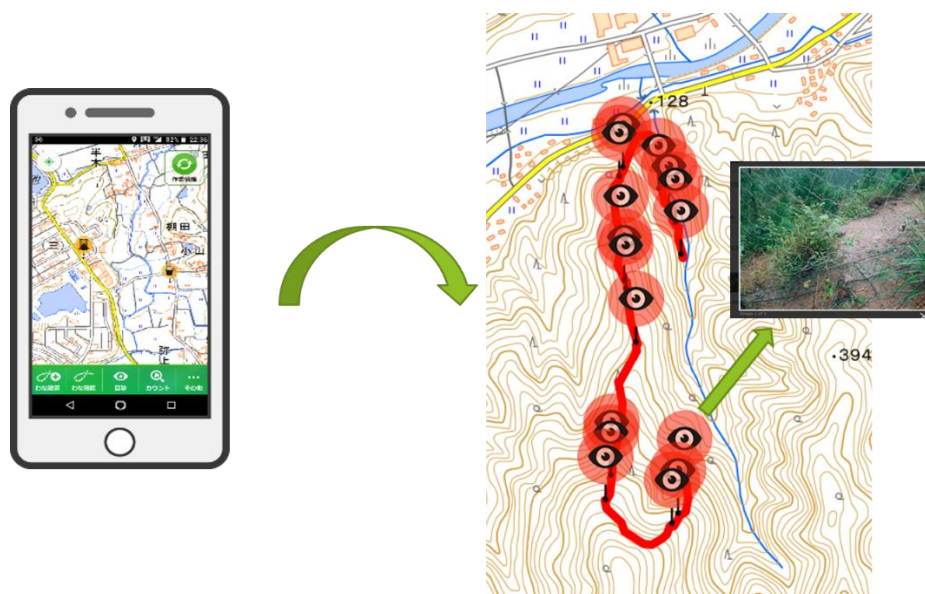


図3 ディアナシステムに入力された破損箇所の位置情報及び写真の出カイメージ

(4) その他の調査

① 森林保険制度に関する調査

シカ被害について、森林保険の対象としての課題を整理するため、国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林保険センター（以下、「森林保険センター」という。）と筑波大学の興梠克久准教授に対し、ヒアリング調査を実施した。森林保険センターへのヒアリング調査は、令和元年 10 月 25 日、興梠准教授へのヒアリング調査は、令和 2 年 2 月 26 日に実施した。

また、平成 20 年度に林野庁が実施した「獣害等の保険事故の対象拡大に関する調査事業」を参考に、検討の内容と課題を整理した。

② シカ被害発生地での成林事例調査

兵庫県内において、シカ被害を受けながら成林している 10 年生以上の造林地について森林調査を行い、材積ベースでのシカ被害の評価を行った。調査は、養父市内（旧関宮町）の平成 11 年植栽の林齢 21 年生のスギ・ヒノキ林において実施した。なお、調査地は平成 13 年にスギ及びヒノキの補植履歴（新規植栽本数に対し 30%を補植）のある造林地であり、森林簿上の地位級はⅢである。

森林調査は令和元年 12 月 9 日に実施し、幅 4 m、延長 200m、面積 0.08ha 内に生えている立木 50 本の胸高直径と樹高を計測した。

立木の材積は、大阪営林局作成（昭和 57 年 4 月）の立木幹材積表を用いて算出した。調査地はスギとヒノキの混交林であったので、本数によって面積を按分したうえで、ha 当たりの材積を算出した。また、兵庫県林務課作成（昭和 36 年度調整）の兵庫県内林分成長表を用いて、シカ被害がない場合の材積を推定した。この推定材積と、立木幹材積表を用いて算出した材積の値を比較し、材積ベースでのシカ被害を評価した。

(5) 検討委員会

林野庁担当官と調整の結果、以下の2名を検討委員として招聘し、検討委員会を設置した。検討委員会では、本事業の調査実施計画や調査結果の考察や取りまとめ、報告書の作成等について助言を得た。検討委員会を構成する委員は、シカの動態に詳しく、防除施策に関する調査研究で実績を有する人物、保険論の視点から被害に対する補償の仕組み等の知見を有する人物を選定した。

氏名	所属・職名
岡 輝樹	国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所 野生動物研究領域 領域長
興梠 克久	筑波大学生命環境系森林資源社会学研究室 准教授

3 防護柵の破損及び植栽木の被害に影響を与える要因調査の結果

(1) 調査対象となった造林地の基本統計量データ

① 調査データとサンプル数

調査を実施した機関ごとの団地数とサンプル数を表4に示す。団地数とサンプル数が合致しないが、同じ造林地内において防護柵を複数個所に分けて設置されているためである。

基本統計量データの集計に当たり、サンプル数が必ずしも260とはならないが、これは調査票の質問項目に対し無回答であった機関が含まれるためである。また、基本統計量の結果の記述に際し、注目すべき内容については考察を付け加えた。

表4 調査を実施した機関ごとの団地数とサンプル数

機関	団地数	サンプル数
森林管理署等	68	201
森林整備センター（兵庫県）	12	23
森林整備センター（兵庫県以外）	15	36
計	95	260

② 造林地の環境条件

ア 植栽木の詳細情報

植栽樹種は、スギ51.2%、ヒノキ47.7%、その他1.1%であった。地域や機関により、植栽樹種に大きな偏りはみられなかったが、東北地方の国有林では、植栽樹種はスギのみであった。

植栽年度は平成30年度が最も多く、植林後6年以内が89.2%を占めた（図4-1）。植栽面積は、1ha以下が42.3%と大半を占め、植栽面積の大きいもののほど頻度が少ない傾向がみられた（図4-2）。

植栽密度は範囲が1600～3000本/haであり、中央値は2100本/haであった。苗木高は範囲が25～95cmであり、中央値は45.0cmであった。

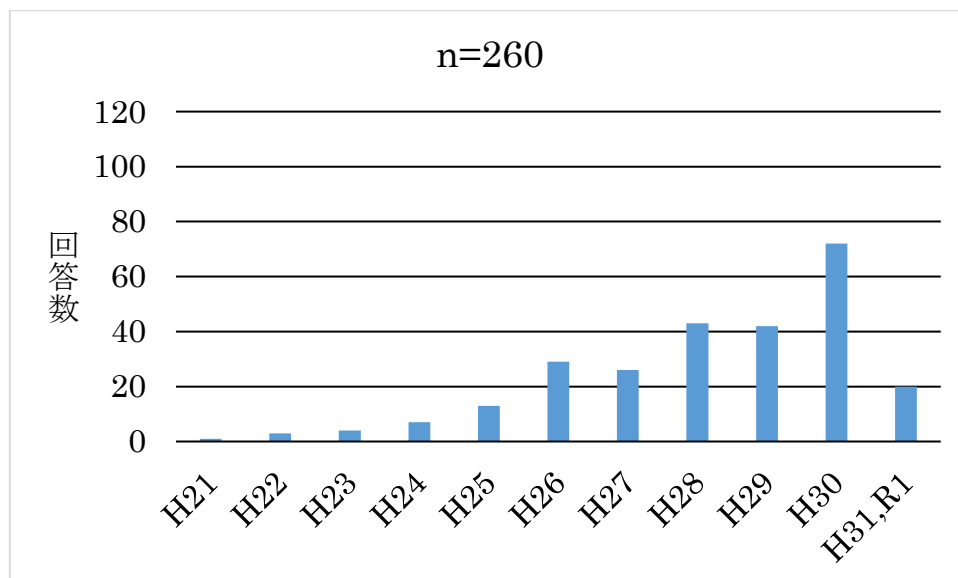


図 4-1 植栽年度についての回答数の分布

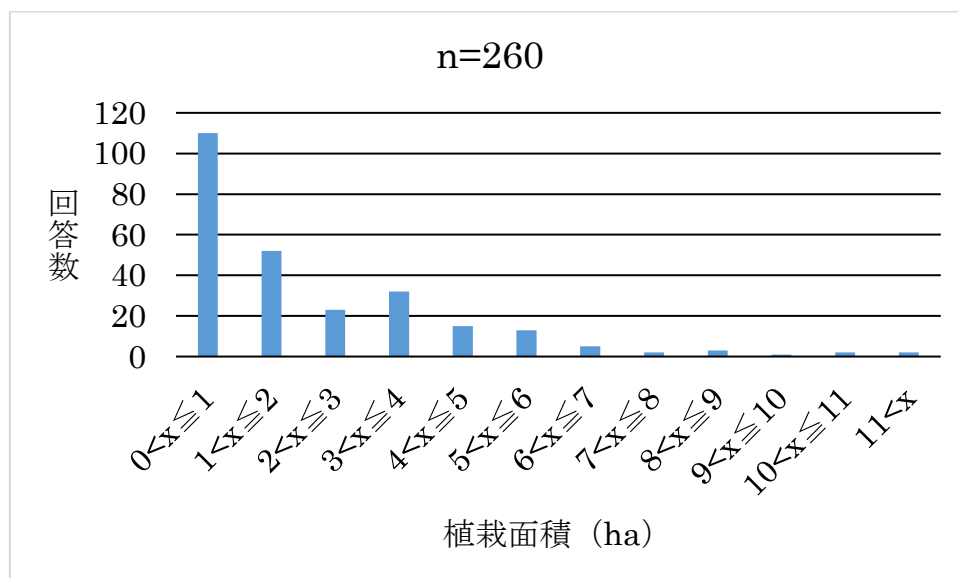


図 4-2 植栽面積についての回答数の分布

イ 造林地の傾斜・気象条件

造林地の平均斜度は、急峻（30 度以上）が最も多く（52.3%）、次いで中程度（20 度以上 30 度未満）（34.6%）、緩やか（20 度未満）（13.1%）の順となった（図 4-3）。

平年の最大積雪量は、少ない（1 m 未満）が最も多く（57.7%）、次いでない（31.9%）、多い（1 m 以上）は 10.4%と少なかった（図 4-4）。この結果から、シカが生息している多雪地帯そのものがまだ少ないことや、造林地があったとしても防護柵が設置されていない可能性が考えられた。

なお、積雪による施業中断期間は、0 か月が最も多く 61.9%、最長は 5 か月（1.2%）であった。

台風による柵に対する影響の程度は、影響を受ける年と受けない年がある、毎年必ず1回は影響を受けるが同程度で、それぞれ42.5%と40.2%であった（図4-5）。

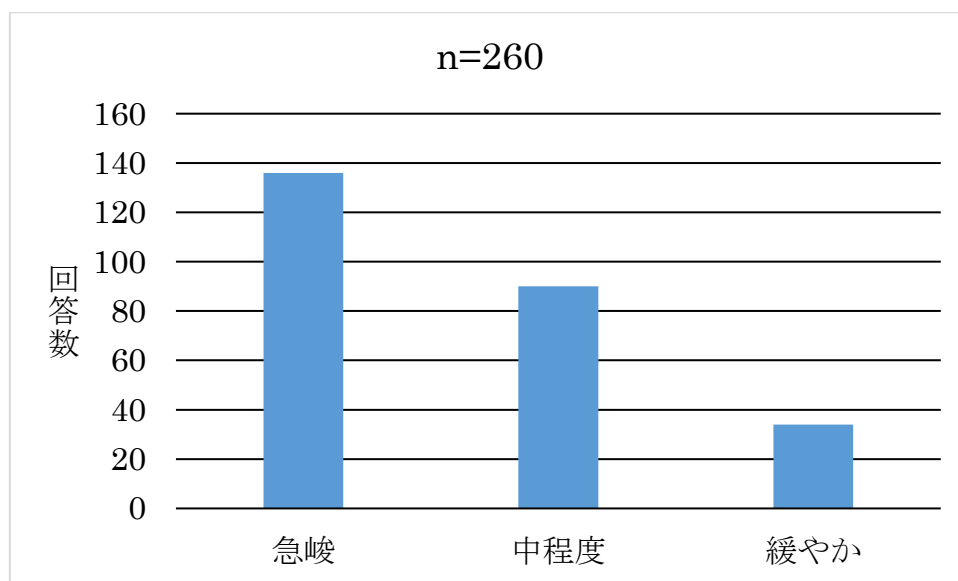


図4-3 造林地の平均斜度についての回答数の分布

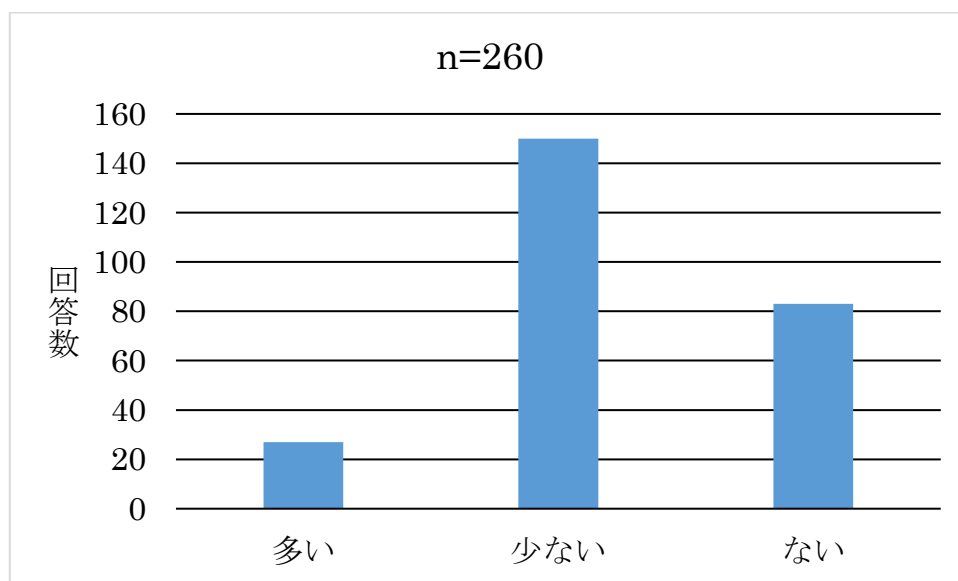


図4-4 平年の最大累積積雪量についての回答数の分布

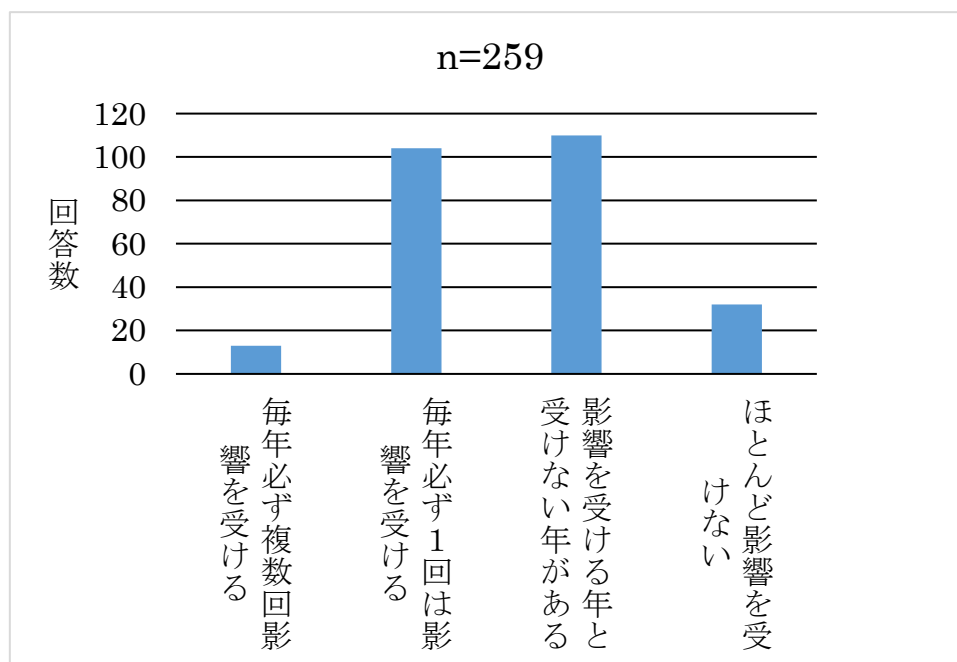


図4-5 台風による影響についての回答数の分布

ウ シカ・イノシシの生息状況

造林地におけるシカの10日あたりの目撃日数は、1日未満が最も多く、40.8%であった（図4-6）。また、造林地でシカを目撃した場合の1日あたりの目撃頭数は、最頻値が2頭で48.8%であった（図4-7）。ここ2～3年のシカの増減傾向は、変化なしが最も多く（65.8%）、次いで増えた（29.2%）、減ったは少数であった（5.0%）（図4-8）。イノシシの生息状況は、あまり目撃しないが生息している（80.0%）が最も多く、よく目撃する、あるいは、ほとんどいないかいないはそれぞれ（11.5%と8.5%）と少数であった（図4-9）。

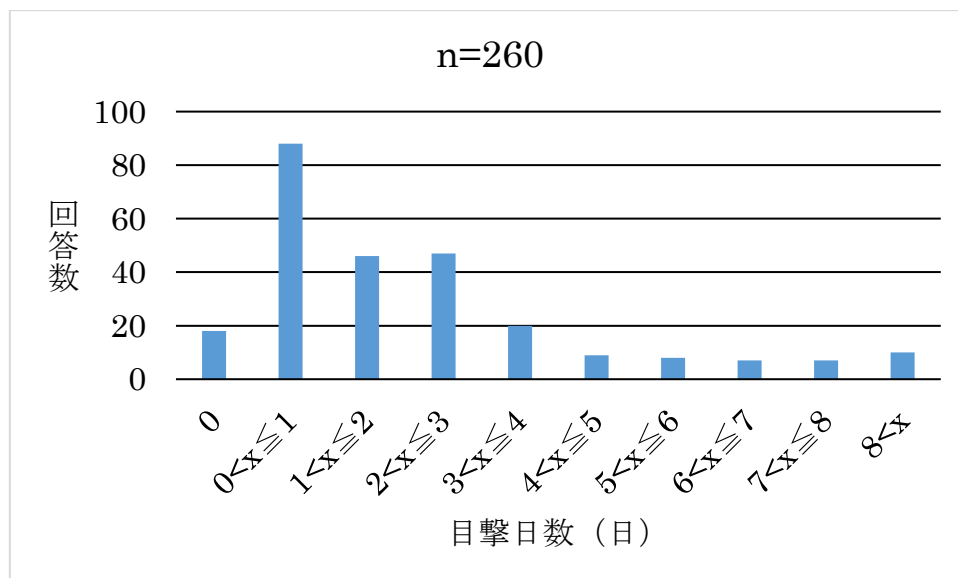


図 4－6 シカを目撃した日数についての回答数の分布

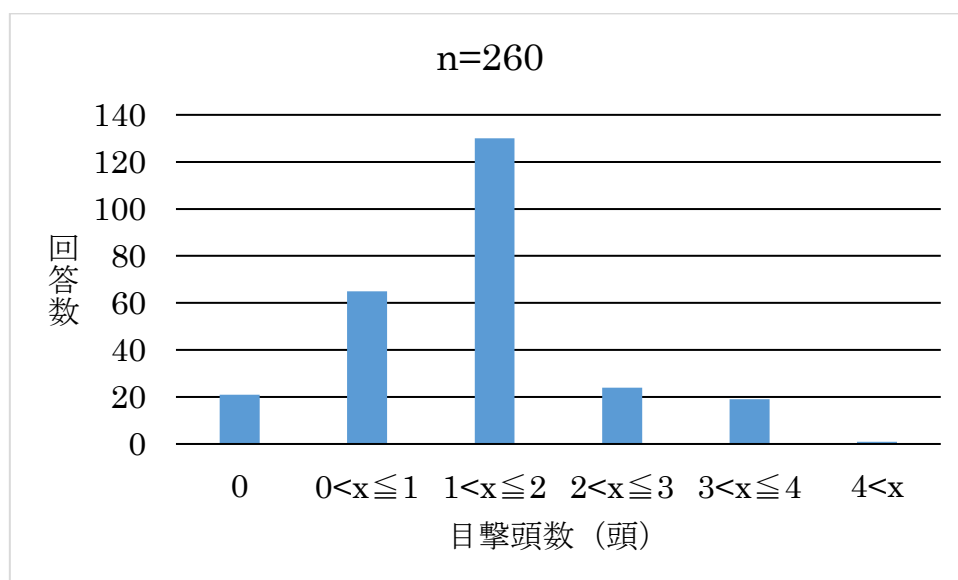


図 4－7 シカを目撃した頭数についての回答数の分布

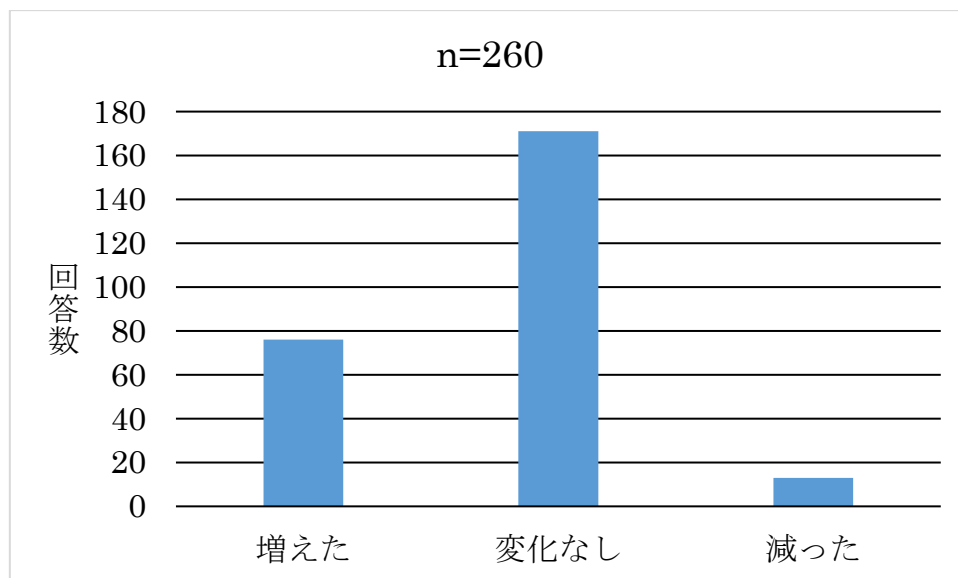


図4-8 シカの増減傾向についての回答数の分布

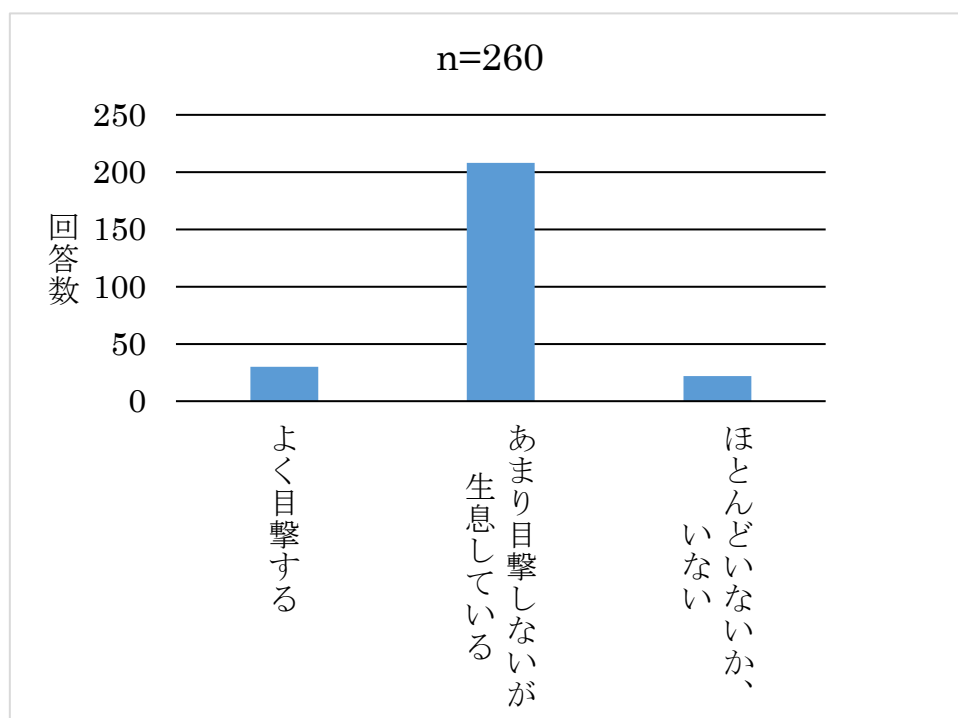


図4-9 イノシシの生息状況についての回答数の分布

③ シカ対策の実施状況

ア 防護柵の仕様

使用している防護柵の種類は、ほとんどがネット柵（スカートネットあり）で、ネット柵（スカートネットなし）を含めると、ネット柵が90.4%を占めた（図5-1）。防護柵の網目の大きさは、100mm角が最も多く

（53.8%）、次いで50mm角となった（37.7%）（図5-2）。防護柵の地上高は、ほとんどが1.6m以上2.0m以下であった（図5-3）。防護柵の支柱間

隔は、3.5m～4.0m が最も多かった（図 5－4）。

以上の結果から、調査地における防護柵の仕様は、ある程度標準化されていることが分かった。

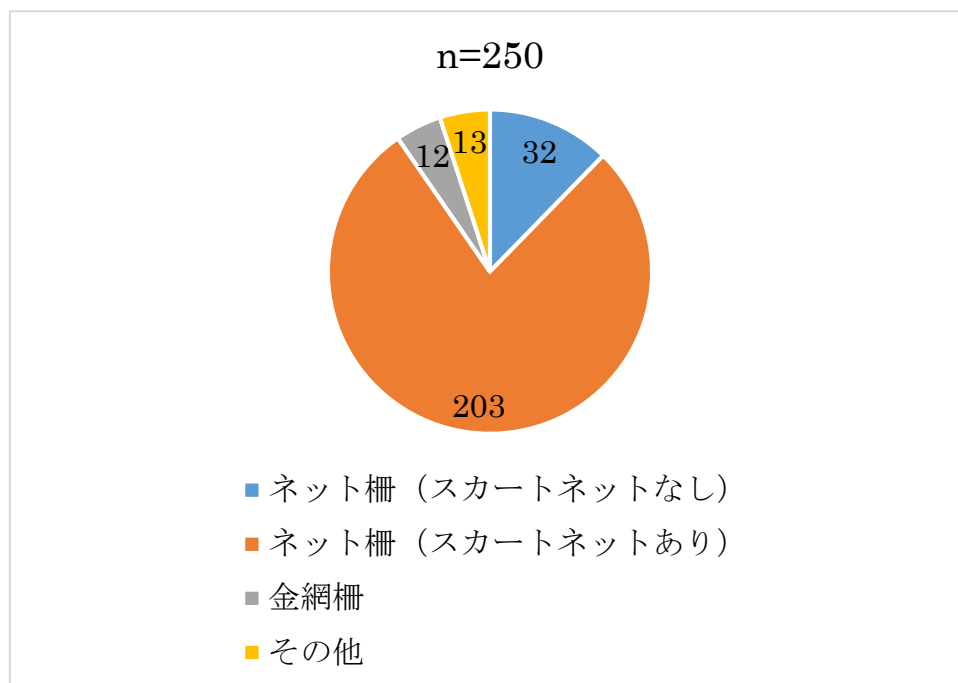


図 5－1 防護柵の種類についての回答数の分布

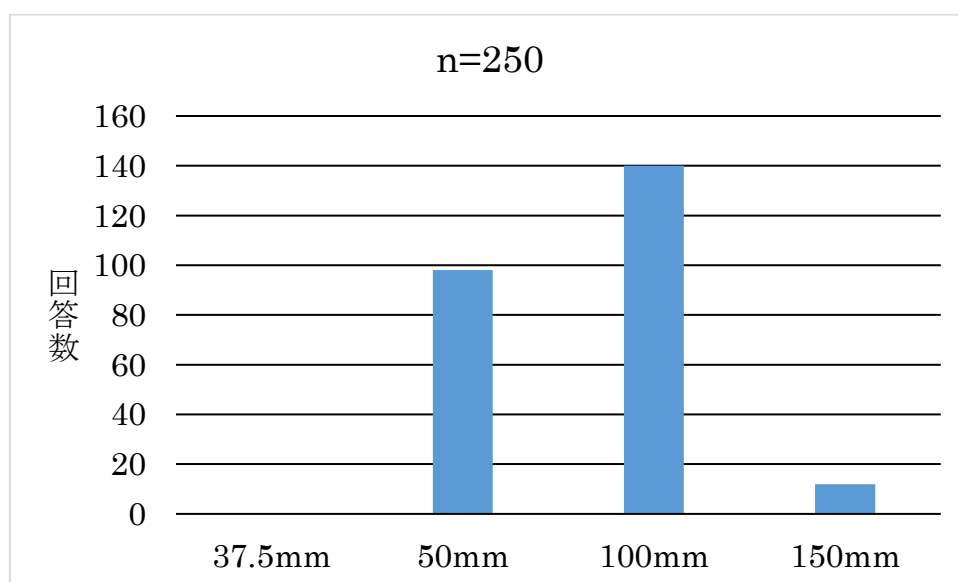


図 5－2 防護柵の網目の大きさについての回答数の分布

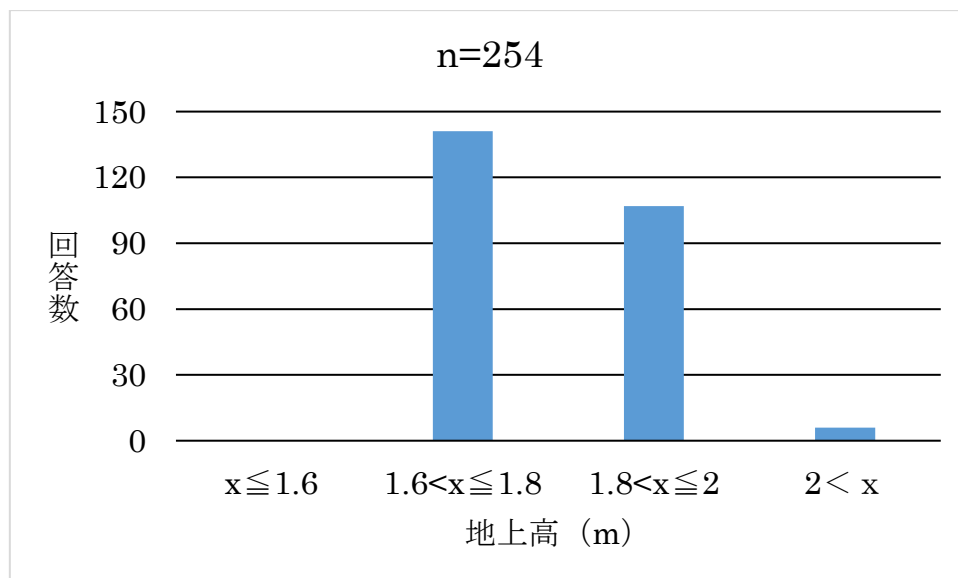


図 5 - 3 防護柵の地上高についての回答数の分布

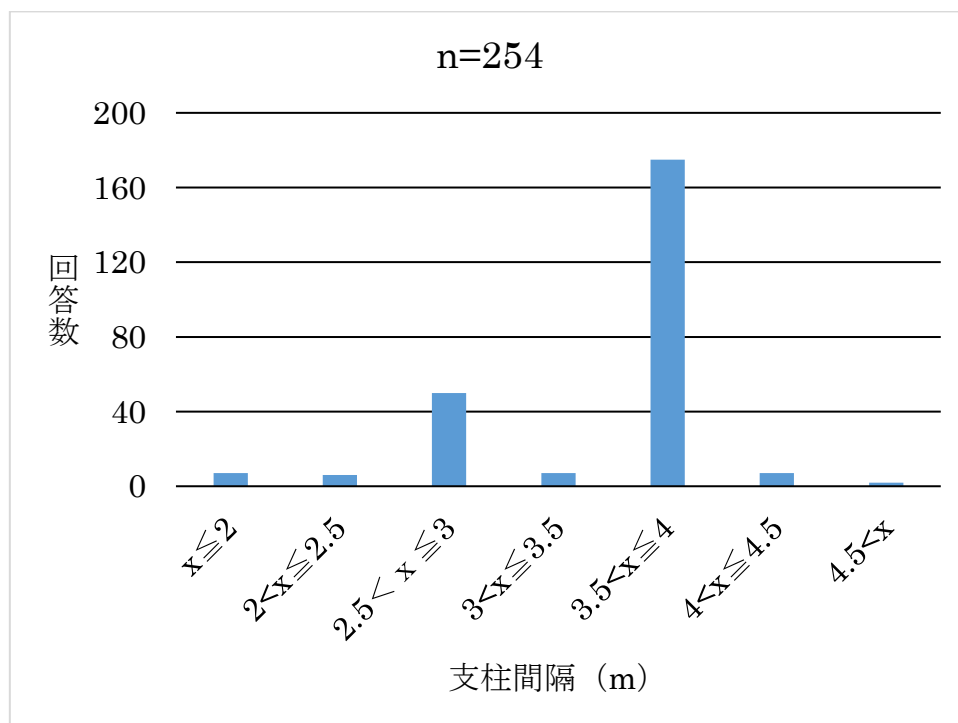


図 5 - 4 防護柵の支柱間隔についての回答数の分布

イ 防護柵の点検・補修

防護柵の定期的な点検頻度は、年 2 回が最も多く 35.8%、ほとんどが年 6 回以下 (81.2%) であった (図 6 - 1)。台風後などの臨時点検の頻度は、年 1 回が最も多く 57.1% であった。

1 回の点検時に発見する破損や不具合の平均箇所数は、0 ～ 5 箇所以下が最も多かったが (62.9%)、中には 30 箇所以上発見すると回答したところも見られた (14.3%) (図 6 - 2)。

補修の必要性の判断基準は、シカが侵入する可能性がある場合は、必ず補修している、が最も多く 74.6%であった。点検から補修までの基本的な方針は、点検時に破損箇所があれば、できるだけ点検日に補修している、が最も多く 57.2%であった。

点検時に発見した破損や不具合箇所のうち補修する割合は、100%との回答が最も多く 45.0%であった。

点検 1 回あたりの労力では、2 人日を要するとの回答が最も多く 46.4%であった。点検とは別に補修作業を行う際に必要な労力は、2 人日を要するとの回答が最も多く 54.3%であった。また、補修に必要な資材費として、回答の中央値は年間 10,000 円、最小は 0 円、最大は 30 万円であった。

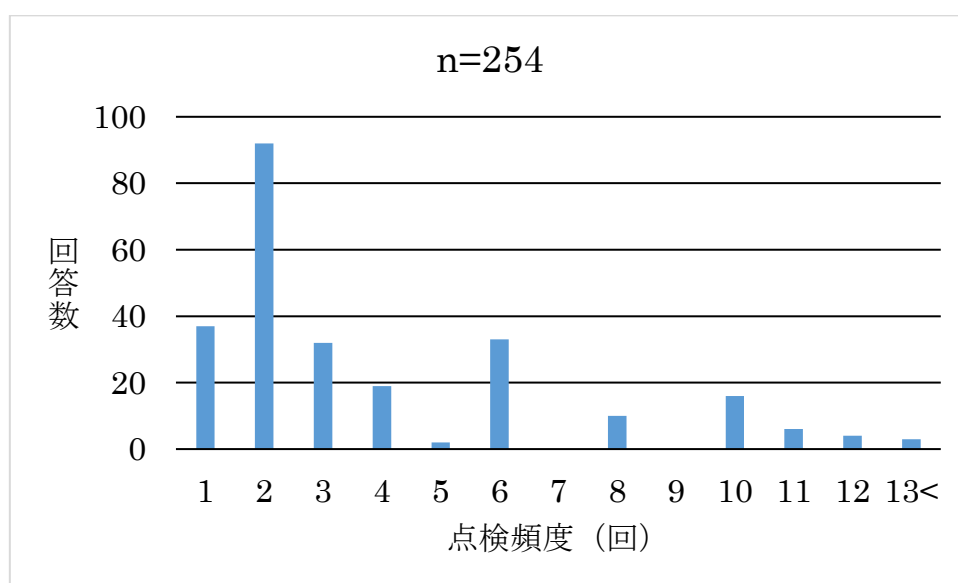


図 6 - 1 防護柵の定期点検頻度についての回答数の分布

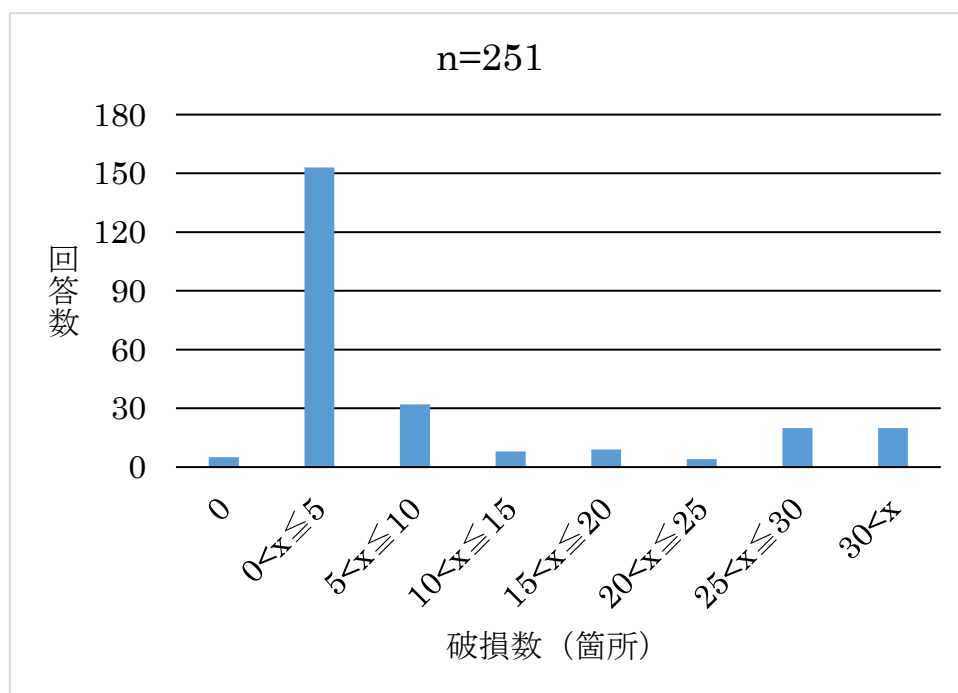


図 6 - 2 柵破損数についての回答数の分布

④ 植栽木のシカ被害発生状況

枯死率は、スギ、ヒノキ造林地ともに 0～10% が最も多く、特にヒノキ造林地の場合は 0～10% 以下がピークのパターンと、90～100% 以下がピークのパターンに二極化していた（図 7 - 1 および図 7 - 2）。発生しているシカ被害の内容は、頂芽食害が生じているものが 67.8%、樹皮剥ぎが生じているものが 33.6%、矮小化が生じているものが 20.6% であった（複数回答のため、合計は 100% にはならない）。生存植栽木の平均樹高は、範囲が 25～400cm、中央値が 70cm であった。また、植栽時の苗木高と調査票で回答のあった生存植栽木の樹高及び林齢から、年平均成長量を算出した結果を図 7 - 3 に示す。年平均成長量の範囲は -4～51.25cm/年で負の値をとるものもあり、平均値は 10.89cm/年であった。年平均樹高成長量が 0 以下である造林地は 13.4% であり、その中には最大で 6 年生までの造林地が存在した。

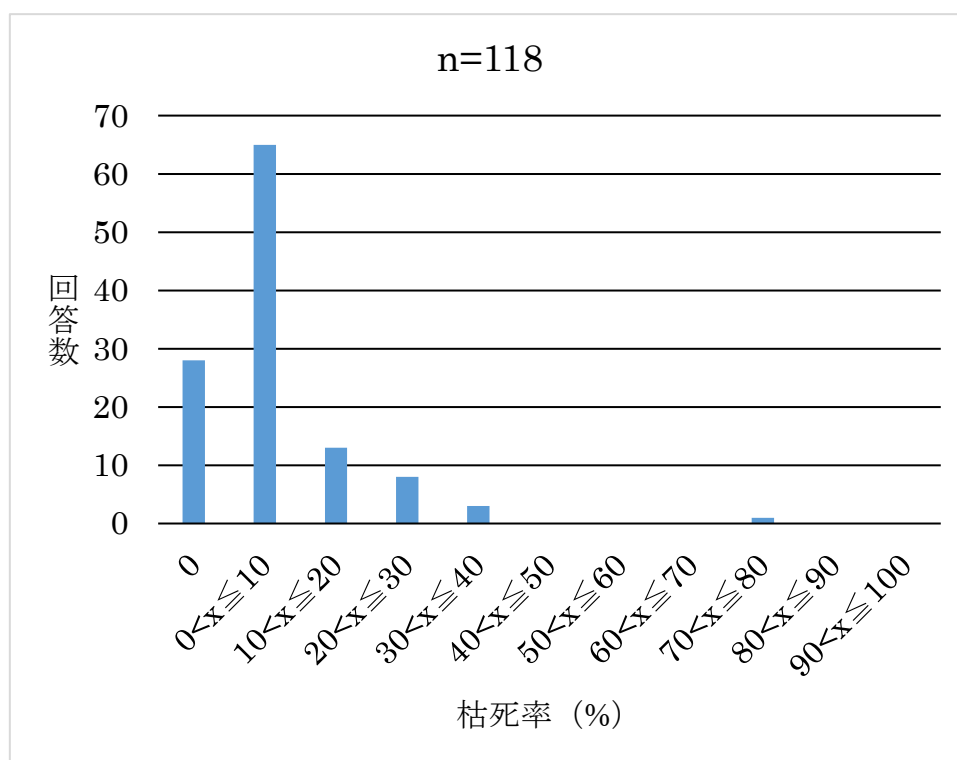


図 7 - 1 スギ造林地の植栽木枯死率についての回答数の分布

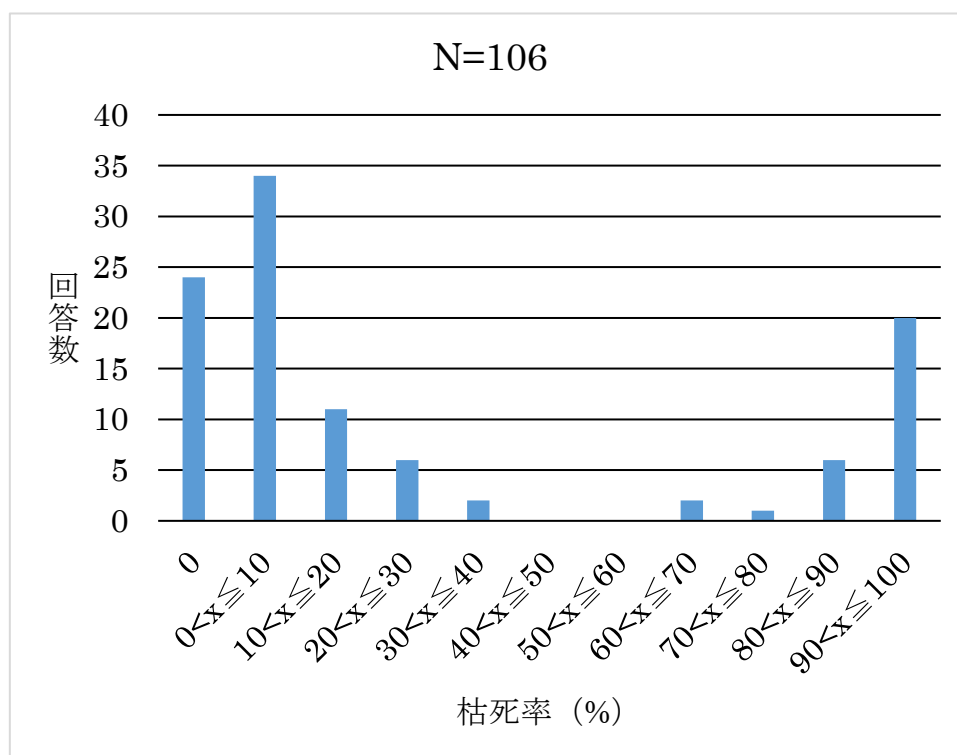


図 7 - 2 ヒノキ造林地の植栽木枯死率についての回答数の分布

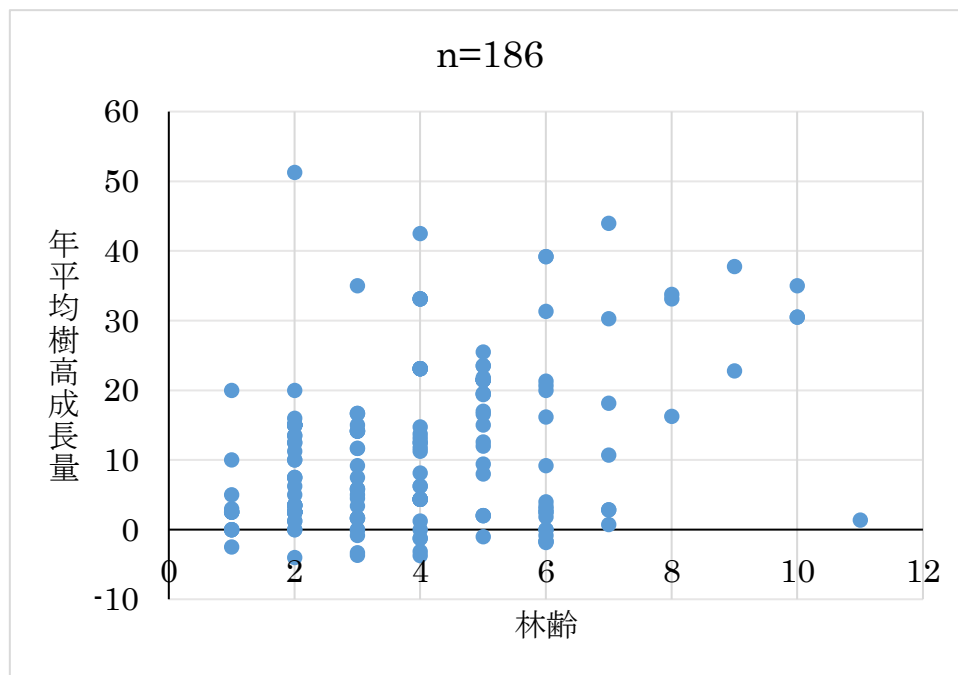


図 7 - 3 造林地の林齢と樹高成長の関係

(2) 統計解析を行う上での変数の選択と修正

本事業で設定したほとんどの質問項目は、3～4つの選択肢から択一式で回答を求める質問項目と、数値で回答を求める質問項目となっている。質問項目で設定した選択肢には、間隔尺度と名義尺度の2つがあり、間隔尺度は値の順序に意味があり、値の間隔が等間隔と仮定できる尺度、名義尺度は区別するために用いられる尺度である。

サンプル数が限られているデータの分析では、データのばらつき具合を分析に耐えうる程度に整理することが必要である。そこで統計解析に用いる説明変数について、その基本統計量の集計結果から、極端に回答が少なかった選択肢を他の選択肢と結合あるいは削除する等の修正を行った（表5）。なお、説明変数が名義尺度の場合には、各カテゴリーに当てはまるデータ数が30以上になるよう修正した。

表5 統計解析に用いた説明変数の処理内容

変数	集計時のデータ種類	処理内容
植栽面積	間隔尺度	処理なし
植栽密度	間隔尺度	処理なし
苗木高	間隔尺度	処理なし
造林地の平均斜度	名義尺度（3水準）	処理なし
最大積雪量	名義尺度（3水準）	・『積雪があり、中断期間がある』『積雪があり、中断期間がない』『積雪がない』の3水準の名義尺度に修正
積雪による中断期間	間隔尺度	
台風の影響	名義尺度（4水準）	・『1年に1回以上影響がある』と『影響は1年に1回未満』の2水準の名義尺度に修正
シカの目撃頭数	間隔尺度	処理なし
イノシシの生息状況	名義尺度（3水準）	処理なし
防護柵の種類	名義尺度（4水準）	・金網柵およびその他を除外
防護柵の網目の大きさ	名義尺度（4水準）	・37.5mmを除外 ・100mmと150mmを同一尺度に修正
防護柵の地上高	間隔尺度	・『1.8m以下』と『1.8mより高い』の2水準の名義尺度に修正
防護柵の支柱間隔	間隔尺度	・『3m以下』と『3mより大きい』の2水準の名義尺度に修正
点検1回当たりの 防護柵の破損箇所数	間隔尺度	処理なし

(3) 防護柵の破損に影響を与える要因解析

各説明変数の分散分析の結果を表6に示す。平均平方の値が大きいものほど、モデル推定への影響力が大きいといえる。

表6 防護柵の破損に影響を与える各説明変数の分散分析の結果

変数名	自由度	平方和	平均平方	F値
傾斜の大きさ	2	12.534	6.267	6.267
積雪の影響	2	2.791	1.396	1.396
台風の影響	1	71.388	71.388	71.388
シカの生息状況	1	0.026	0.026	0.026
イノシシの生息状況	2	3.678	1.839	1.839
防護柵の種類	1	5.262	5.262	5.262
防護柵の網目サイズ	1	1.422	1.422	1.422
防護柵の地上高	1	7.617	7.617	7.617
防護柵の支柱間隔	1	58.693	58.693	58.693

シカの生息状況は説明変数のうち唯一の連続変数であったが、防護柵の破損数に大きな影響を与えないと推定された。以下に、各条件における推定柵破損数（箇所/年・100m）の推定結果を示す（図8-1～図8-8）。グラフの縦軸は1年・100m当たりの柵の推定破損数を、グラフの横幅はその推定値をとる頻度を表す。最も横幅が大きくなる部分が最頻値を示している。グラフは、推定される破損数が多いものほど縦に伸びた形状となり、逆に少ないものは横に広がる形状となる。数的な比較を行うため、各カテゴリーにおける中央値を算出し、グラフ上に黒点として表示した。本来、破損数の推定値の取りうる範囲は0～∞であるが、描画の都合上、上限を10箇所/1年・100mとした。

傾斜の大きさによる影響は、急峻な造林地（中央値：1.205）と中程度の造林地（中央値：1.100）では大きな差がみられなかったが、それらと緩やかな造林地（中央値：0.452）の間では推定中央値に0.648の差がみられた（図8-1）。このことから、傾斜による破損数への影響は、ある一定の傾斜になるまで破損の増加量が大きく、一定の傾斜を超えると次第に破損の増加量が小さくなることが考えられた。

積雪による影響には大きな差がみられないが、積雪がない造林地で最も破損数が少ない（中央値：0.681）と推定された（図8-2）。積雪によって点検中断がある造林地（中央値：0.868）と点検中断がない造林地（中央値：1.011）では、差が0.143程度と小さかった。ただし、この解釈には注意が必要である。すなわち、応答変数は1年あたりに生じる破損数になるよう修正しているため、点検の有無に関わらず破損の可能性が一定であれば、積雪による中断の影響が表れない

可能性が考えられた。この影響を正しく評価するためには、年間の防護柵の破損発生数データを時系列で収集し、分析する必要がある。

台風による影響は、1年に1回以上影響を受ける造林地では大きく（中央値：1.393）、1年に1回未満しか影響を受けない造林地では小さい（中央値：0.521）と推定された（図8－3）。1年に1回以上影響を受ける造林地ではグラフ上部の横幅が大きかったため、台風は一度に多くの破損が生じる要因であると考えられた。

イノシシの生息状況による影響は、あまり目撃しない場合で最も大きい（中央値：1.194）と推定された（図8－4）。仮説ではイノシシをよく目撃する造林地で最も破損数が多くなると予想されたが、それに反して最も少なく推定され（中央値：0.659）、あまり目撃しない場合と比較して中央値に0.535の差があった。分散分析の結果からも、イノシシの生息状況がモデル推定に与えた影響力はそれほど大きくないものと考えられたため、今後の分析では考慮する必要性は低いと考えられた。

防護柵の仕様によっても推定破損数は異なっており（図8－5～図8－8）、特に差が大きかったものは、スカートネットの有無と支柱間隔であった。スカートネットの有無は、スカートネットがあるものの方が破損数は少なく、スカートネットがないものと比較して中央値に0.479の差があった。防護柵の支柱間隔は、3 m 以下であるものの方が破損数は少なく、3 m より大きいものと比較して中央値に1.273の差がみられ、説明変数のうち最も大きな差であった。このことから、支柱間隔によって柵の破損数が大幅に減少することが考えられた。

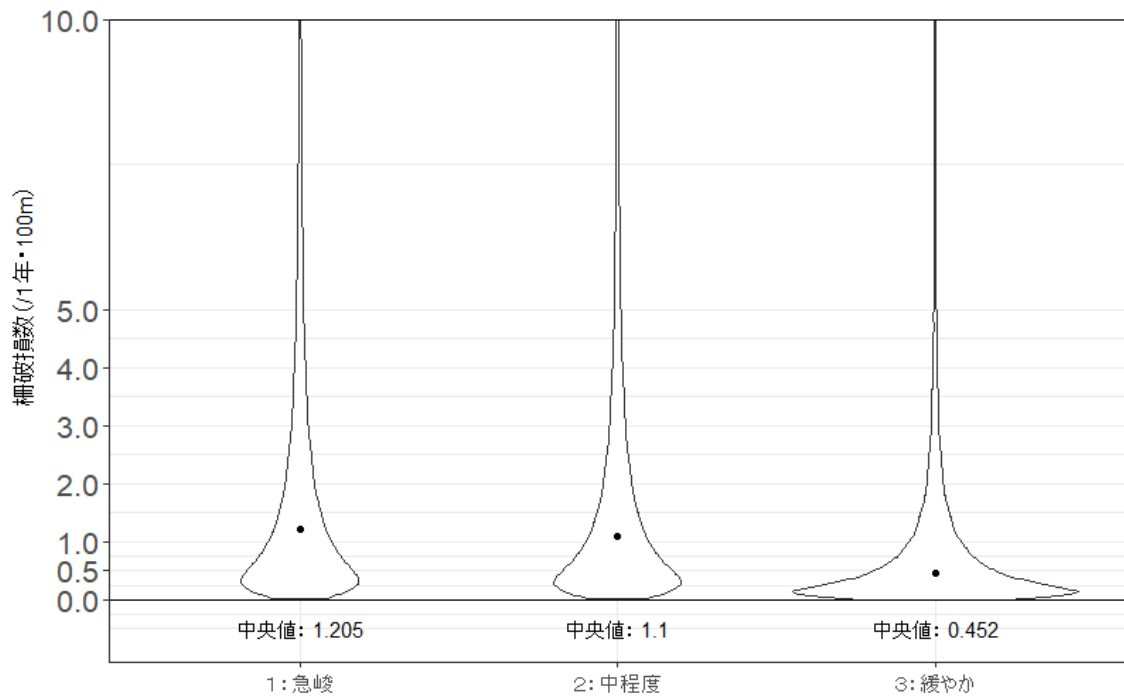


図 8 - 1 傾斜の大きさによる推定柵破損数の頻度分布の変化

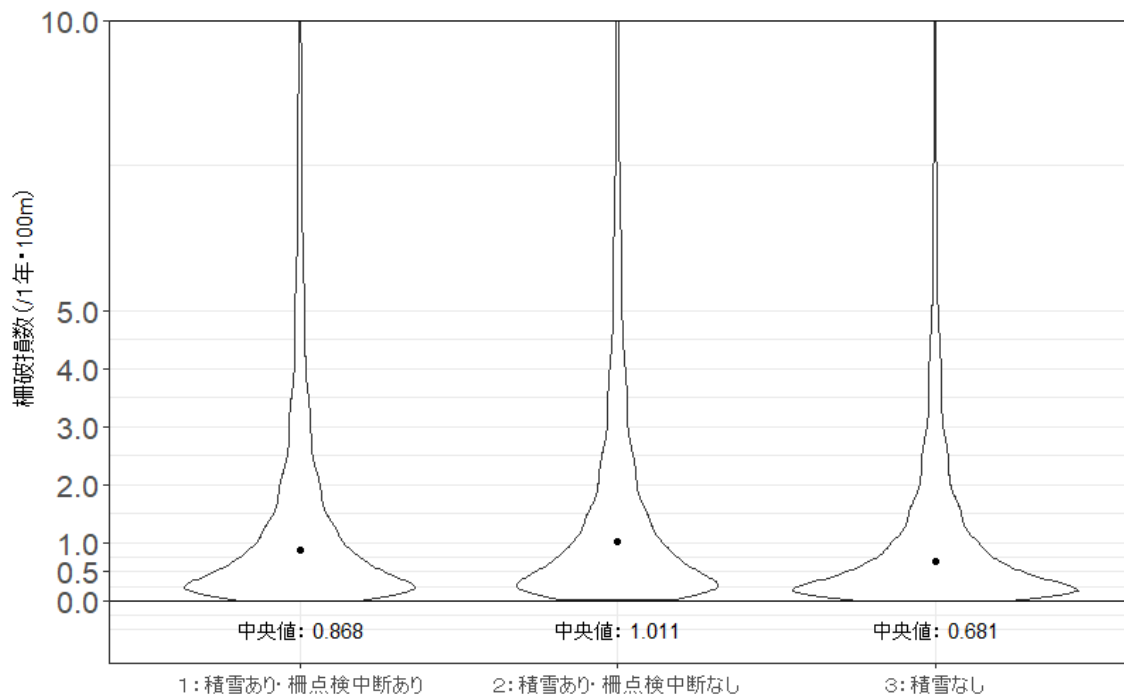


図 8 - 2 積雪の影響による推定柵破損数の頻度分布の変化

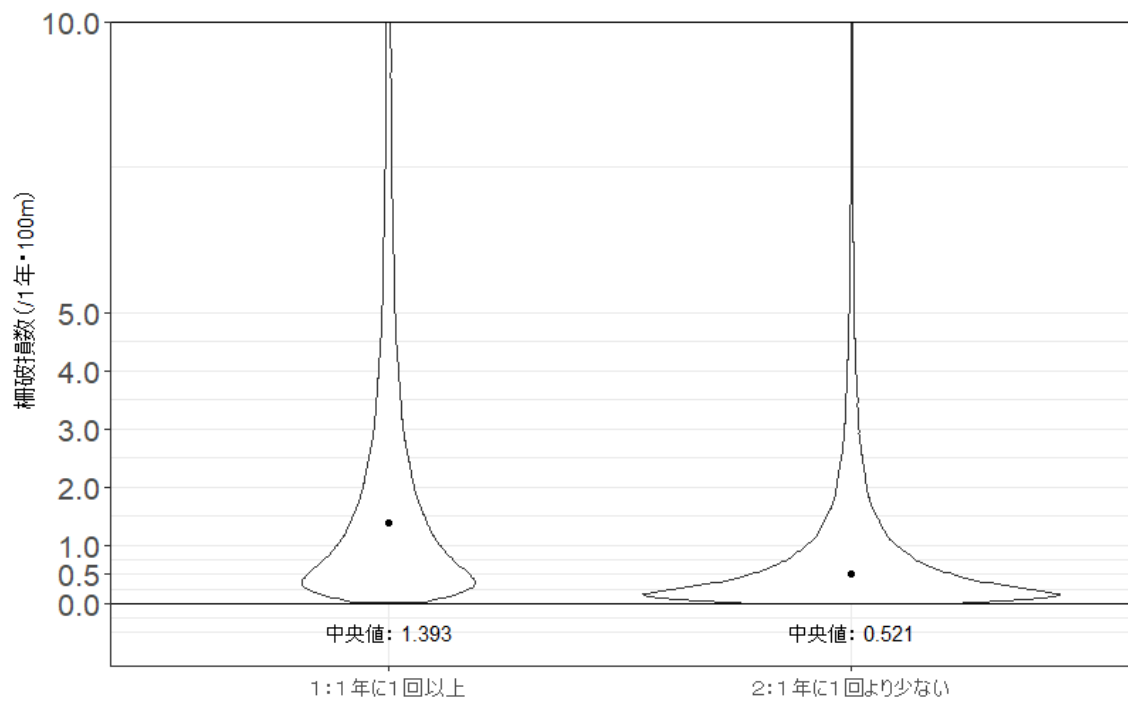


図 8－3 台風の影響による推定柵破損数の頻度分布の変化

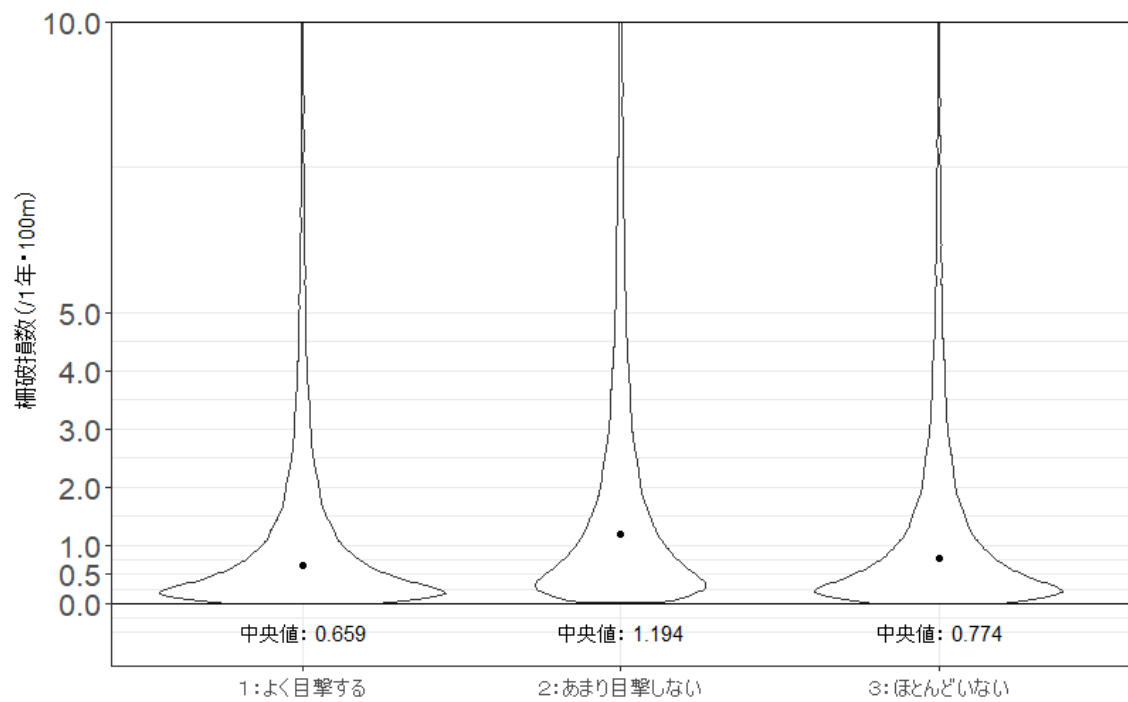


図 8－4 イノシシの生息状況による推定柵破損数の頻度分布の変化

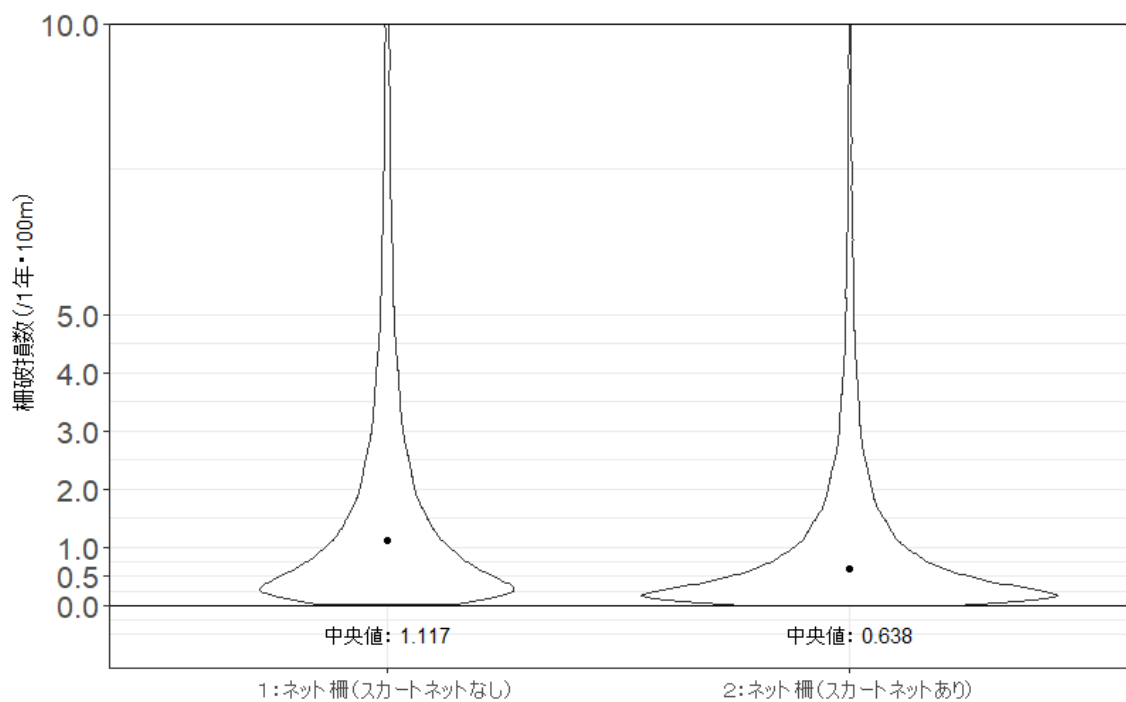


図 8 - 5 防護柵の種類による推定網破損数の頻度分布の変化

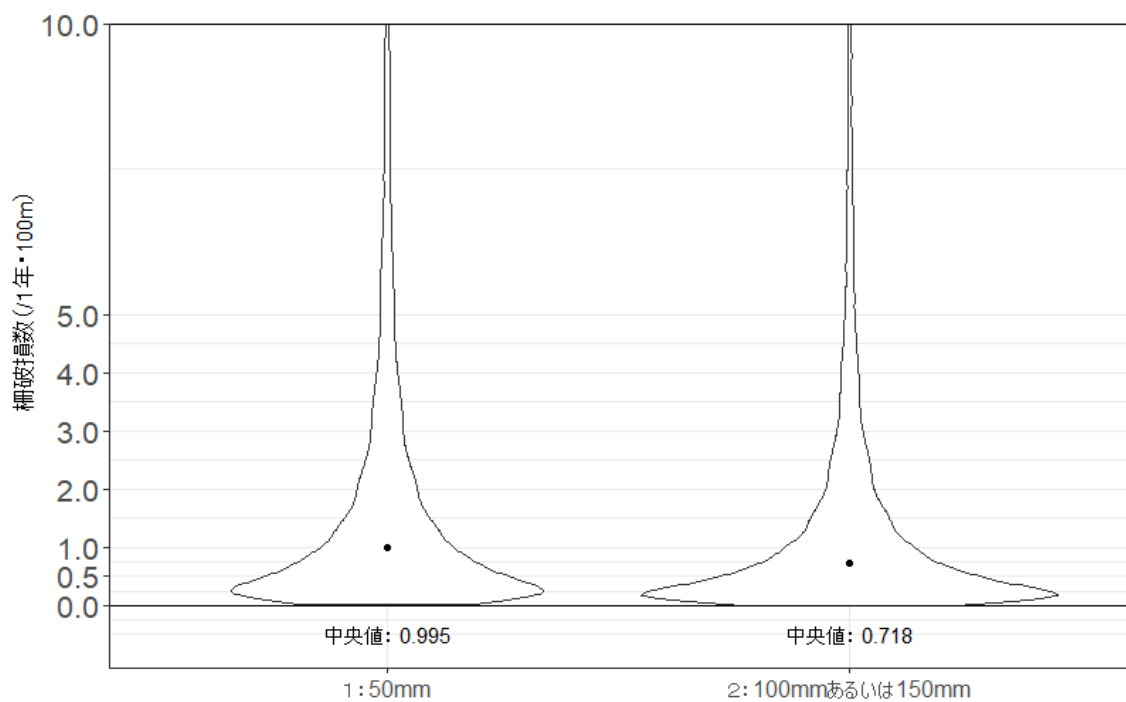


図 8 - 6 防護柵の網目サイズによる推定網破損数の頻度分布の変化

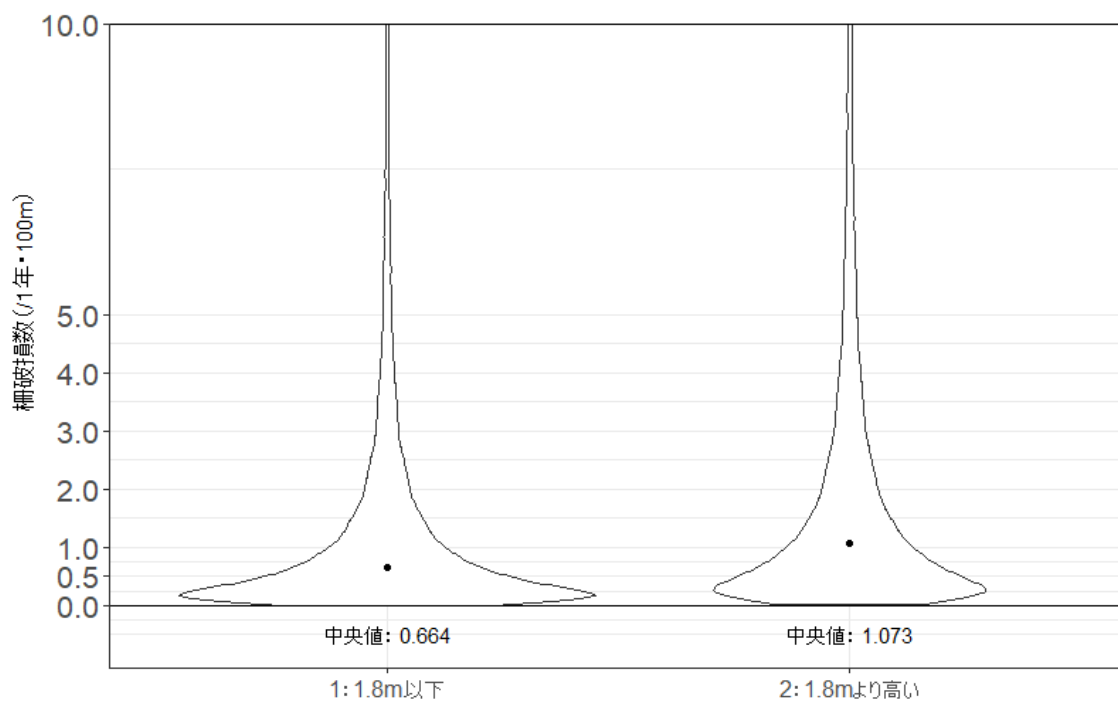


図 8－7 防護柵の地上高による推定柵破損数の頻度分布の変化

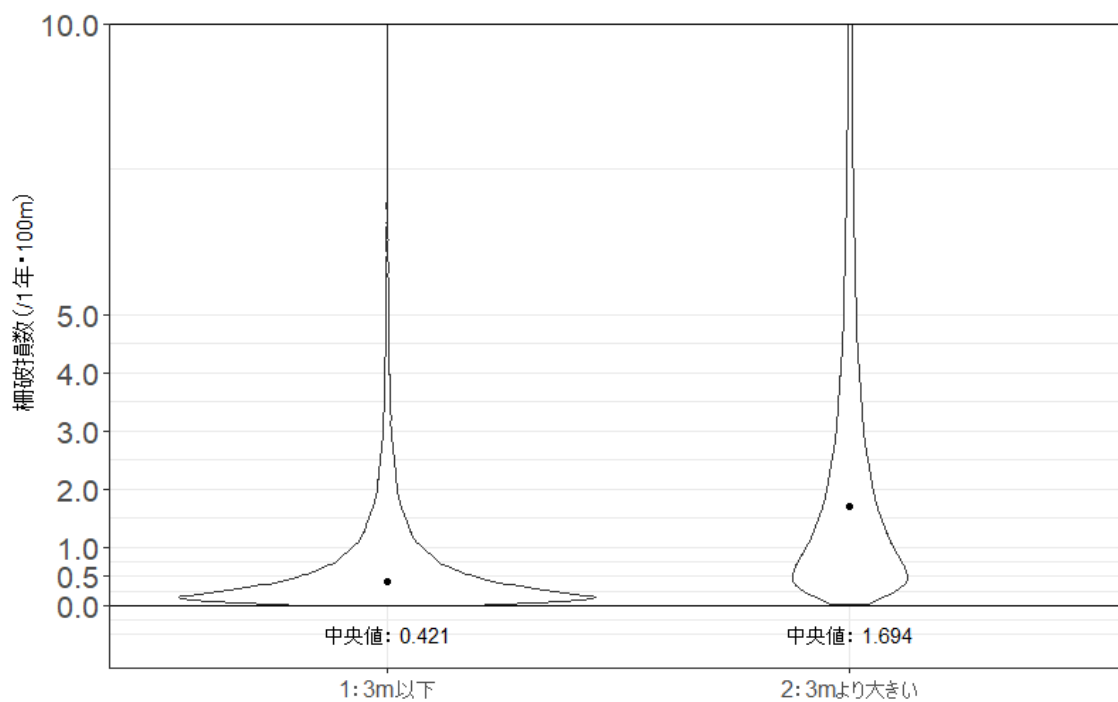


図 8－8 防護柵の支柱間隔による推定柵破損数の頻度分布の変化

(4) 植栽木の枯死率に影響を与える要因解析

各説明変数の係数推定および逸脱度の結果を表7および8に示す。

係数推定値が正の値をとっているものは、その値が増加するほど枯死率が増加し、負の値をとっているものは、その値が増加するほど枯死率が減少する要因であるといえる。ただし、積雪の影響はカテゴリ変数であるため、その回答が選ばれた際の推定値の変化量を示している。また、逸脱度/自由度の値が大きな説明変数ほど、モデル推定への影響が大きいと考えられる。

表7 植栽木（スギ）の枯死率に影響を与える各説明変数の GLM の結果

変数名	係数推定値	標準偏差	自由度	逸脱度	逸脱度/自由度
切片項	-5.3570	0.7068			
植栽面積	0.0474	0.0759	1	0.246	0.246
植栽密度	-0.0743	0.1423	1	2.662	2.662
苗木高	-0.0288	0.0156	1	0.373	0.373
積雪あり・点検中断なし	1.5896	0.4748	2	85.324	42.662
積雪なし	0.3057	0.3118			
シカを目撃頭数	0.7144	0.2009	1	26.711	26.711
点検1回・100m当たりの 防護柵の破損箇所数	0.1767	0.2043	1	1.446	1.446

表8 植栽木（ヒノキ）の枯死率に影響を与える各説明変数の GLM の結果

変数名	係数推定値	標準偏差	自由度	逸脱度	逸脱度/自由度
切片項	2.3985	1.0166			
植栽面積	-0.1913	0.0775	1	81.605	81.605
植栽密度	0.4359	0.2177	1	2.845	2.845
苗木高	-0.1434	0.0234	1	172.471	172.471
積雪あり・点検中断なし	-1.3346	0.4716	2	105.250	52.625
積雪なし	-2.633	0.5181			
シカを目撃頭数	0.5733	0.1903	1	35.178	35.178
点検1回・100m当たりの 防護柵の破損箇所数	0.2492	0.2164	1	4.370	4.370

これらの結果から、スギとヒノキでは説明変数ごとの影響力が異なっていた。スギでは積雪およびシカを目撃頭数が、ヒノキでは植栽面積、苗木高、積雪およびシカを目撃頭数が比較的大きな影響を与えていると考えられた。ヒノキの枯死率のモデル推定ではデータに過分散の傾向がみられたため、この結果からはモデルへの影響力の大きさを正確に判断できない可能性がある。しかしながら、過分

散によって係数推定値が大きく変化する可能性は低く、各説明変数の影響の傾向を知るには十分であると考えられる。

以下に、積雪条件ごとのシカ目撃頭数および防護柵の破損数による1年あたりの枯死率の推定結果を示す（図9-1～図9-4）。

シカ目撃頭数と推定枯死率の関係をスギーヒノキ間で比較すると、どちらも正の相関がみられるが、スギと比較してヒノキは、積雪条件による枯死率の変化が大きいことが示されている。また積雪条件に関わらず、スギの場合はシカ目撃頭数が一定以上になると枯死率が急増していた一方で、ヒノキの場合はスギと比較してシカ目撃頭数が少なくても枯死率が高くなる傾向が見られた。

なお、スギにおける積雪条件による枯死率のグラフでは、「積雪あり・点検中断なし」の方が、「積雪あり・点検中断あり」より枯死率が高くなる推定結果が出た。通常考えれば、点検中断があった方が枯死率は高くなると思われるため、この結果は理論的な説明が困難である。その原因の1つとして、積雪地でのデータ数の少なさが挙げられる。本事業では、積雪地のデータが少なかったため、表5に示したように間隔尺度の選択肢を3つ用意した「最大累積積雪量」と連続変数の「積雪による施業中断期間」を統合し、3水準の名義尺度に修正する処理を行ったうえで解析を行っている。この収集したデータの制約により、解釈が困難な結果が出た可能性が考えられる。今後は積雪地におけるデータ収集に重点を置くことが課題と考えられた。

点検1回100mあたりに発見する柵破損数と推定枯死率の関係をスギーヒノキ間で比較すると、どちらも正の相関がみられるが、スギと比較してヒノキの方が柵破損数の影響が大きいことが示された。

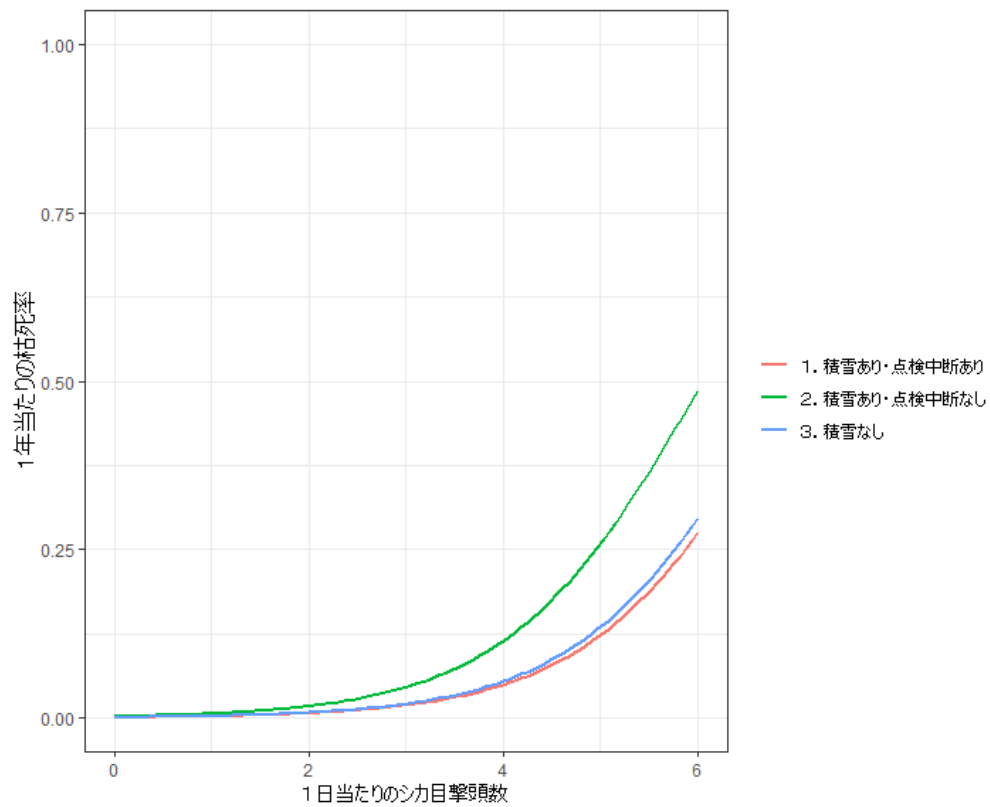


図 9－1 スギ造林地のシカ目撃頭数と推定枯死率の関係

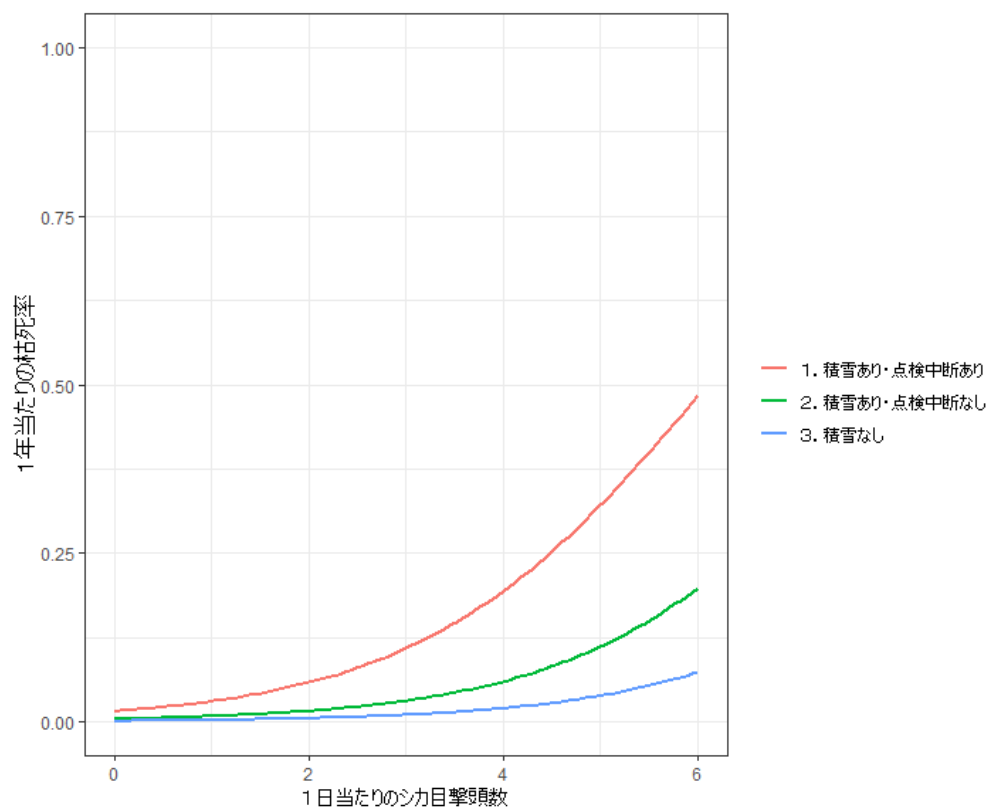


図 9－2 ヒノキ造林地のシカ目撃頭数と推定枯死率の関係

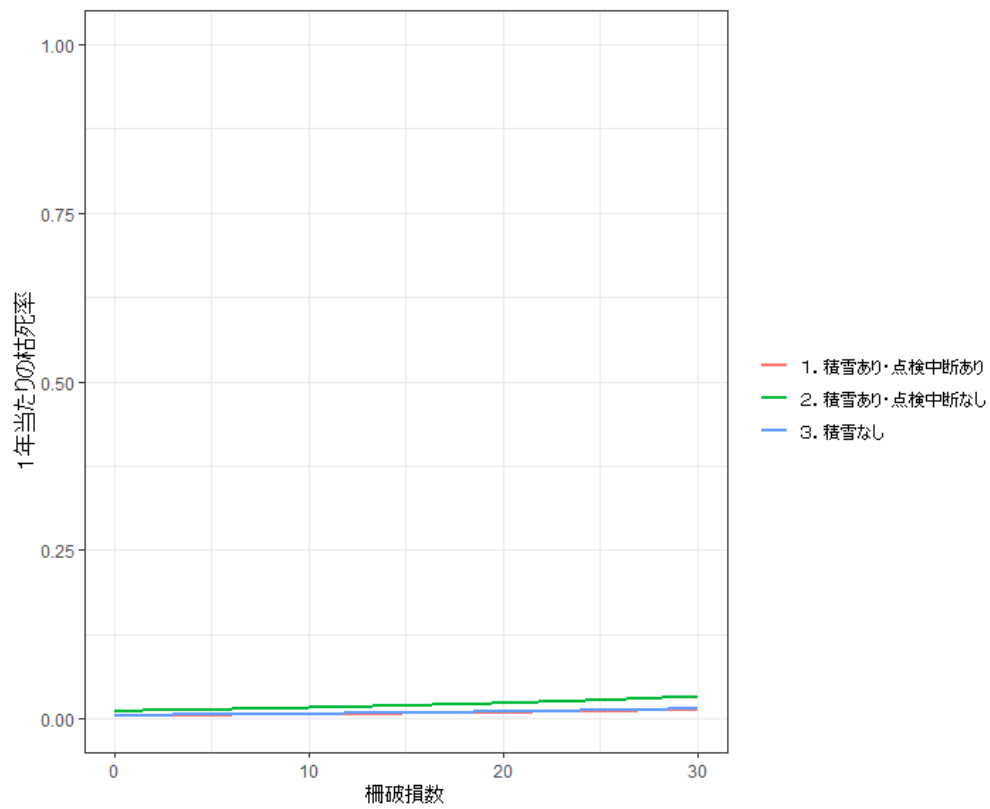


図 9－3 スギ造林地の柵破損数と推定枯死率の関係

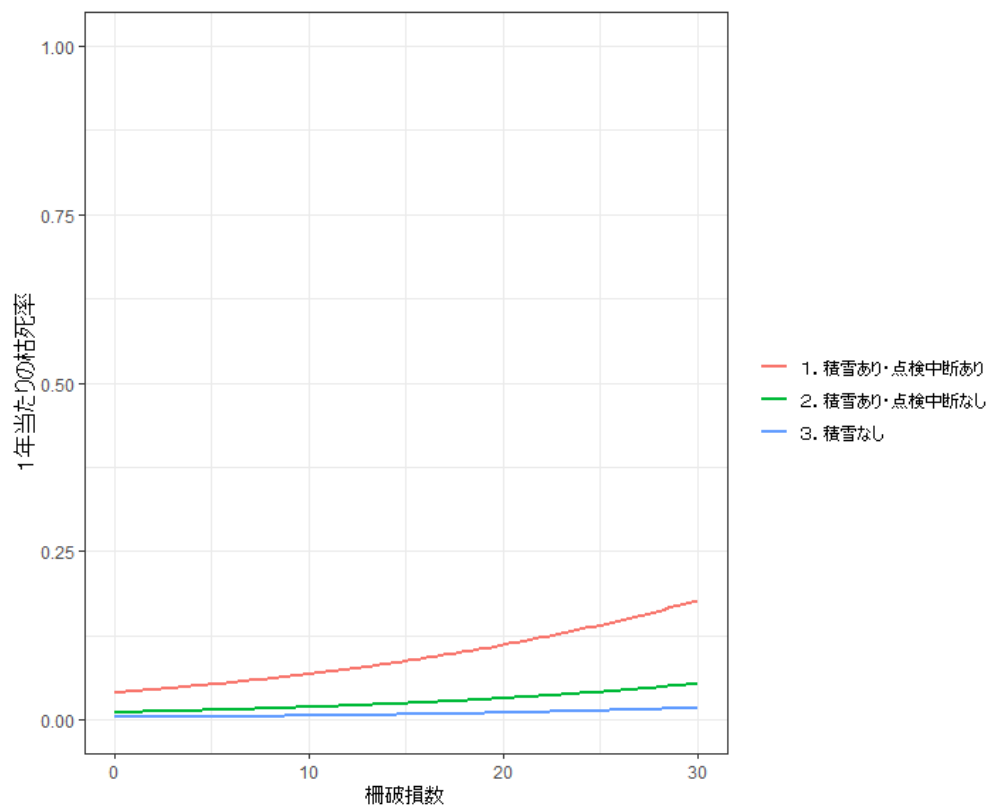


図 9－4 ヒノキ造林地の柵破損数と推定枯死率の関係

(5) 兵庫県のシカ及びイノシシの目撃効率のデータとアンケート調査で得られたシカ、イノシシの結果との対応の検証

① シカの回答結果との対応

図 10 に、兵庫県内の森林整備センターの造林地を対象に行った調査票によるシカ生息状況の回答結果と、兵庫県シカ目撃効率メッシュデータとの対応を示す。弱い正の相関が見受けられるものの残差は大きく、決定係数は 0.1528 であった。

以上の結果から、調査票による調査を実施すれば、兵庫県内の調査地の大まかなシカの生息状況を把握することが可能であることが分かった。

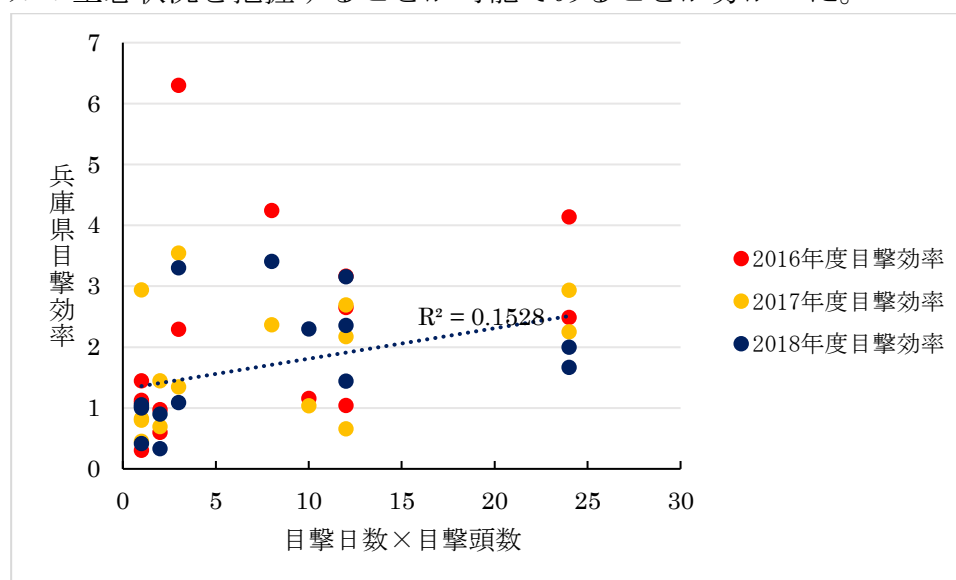


図 10 調査票によるシカ生息状況と兵庫県目撃効率の関係
回帰線は 2018 年度のものを表す

② イノシシの回答結果との対応

兵庫県内の森林整備センターの造林地を対象に行った調査結果では、『あまり目撃しないが生息している』に大きく回答が偏ったため（86.7%）、検証できなかった。

(6) 考察

- 造林地の環境条件を踏まえた防護柵の維持管理計画が重要

防護柵の破損箇所数は、シカの生息状況には大きく影響を受けておらず、台風等による気象要因の破損が圧倒的に多い可能性が考えられた。

また、傾斜が緩やかな造林地では柵の破損が少なく推定され、急峻な場所と中程度の場所では緩やかな造林地と比較して破損は増えるが、両者間で大きな差がなかった。これらのことから、傾斜は柵の破損に影響を与えるが、一定以上の傾斜がある造林地では、柵の破損リスクは大きく変化しないことが考えられた。

造林地の気象条件や傾斜条件等の環境条件は、造林前に入手可能である。防護柵の破損リスクを高める要因を把握したうえで、造林前に防護柵の維持管理計画を立てておくことが重要であると考えられた。

- 防護柵の破損リスクを踏まえた防護柵の施工が重要

防護柵のスカートネットの有無及び支柱間隔が柵の破損数に大きな影響を与えていた。このことから、特に破損リスクの高い環境条件で造林を行う場合には、スカートネットありの防護柵を選定し、支柱間隔をより狭くして施工することで、破損を減らす効果が期待できると考えられた。

- 特にヒノキ造林地では、防護柵の破損数をできる限り少なく保つことが必要

ヒノキ造林地において、1回あたりの点検時に発見する防護柵の破損数と枯死率の推定値の関係には、正の相関がみられた。この結果から、防護柵の点検をより頻繁に行い、1回あたりの破損数を低く保つことによって食害のリスクを低減させられることのほか、食害リスク低減を目的として、1回あたりの破損数を記録し、目標値として使用できる可能性が示唆された。

ただし、積雪地で施業の中断期間がある造林地では、破損数を一定以下に抑えることは非常に困難であるため、植栽樹種をヒノキ以外にする等の検討が必要である可能性が示唆された。

- ヒノキはシカが低密度の状態でも食害の影響を受けやすい可能性

スギおよびヒノキ造林地において、シカを目撃頭数と枯死率の推定値の関係には正の相関がみられた。シカを目撃頭数が多い造林地では、スギとヒノキで枯死率に大きな差がみられないが、スギと比較してヒノキでは、目撃頭数が少ないレベルでの枯死率の増加の傾きが大きかったため、ヒノキはスギよりもシカが低密度であっても食害による枯死が生じやすい樹種であることが考えられた。

(7) 今後の課題

- 枯死率については継続的なデータ収集が重要

本調査では、調査票から得られる枯死率は植栽後から現在までの累積の枯死率であるため、枯死率が毎年一定であるという仮定のもと、1年当たりの枯死率に変換して分析を行った。しかしながら、本来であれば植栽木の枯死率は樹高成長によってシカの食害を受けにくくなる等、時間とともに変化するものであると考えられる。枯死率について継続的にデータ収集を行い、時間的な影響をモデルに組み込むことで予測の精度を高めることが、主伐再生林を行う造林地の選定や施業計画策定につながる可能性がある。その際、特に積雪地に重点を置いてデータ収集することが必要であると考えられた。

- 柵破損数については破損の状況ごとのデータ収集が重要

本調査では、調査票から得られる柵破損数は、日常点検と災害等緊急時の点検を総合して平均をとったものである。しかしながら、本来であれば台風等による破損は短期間に集中的に生じるものであり、そうした破損と日常点検時に発見する破損では性質が異なると考えられる。本調査において、柵破損数が台風によって強く影響を受けている結果が得られたため、今後はこのような集中的な破損を生じさせる要因によって生じたであろう破損数については、日常的な破損と区別をしてデータ収集を行うことで、より精度の高い予測を行える可能性がある。

- 調査票によるシカ生息状況調査の汎用性の検証が必要

本調査では、兵庫県がモニタリングしているシカの生息密度指標値と、兵庫県内の調査票によるシカの生息状況の回答結果に相関が見られたため、兵庫県においては、調査票による簡便な調査でもシカの生息状況の把握が可能であることが分かった。今後は他地域でも同様の傾向が確認できるか調査し、調査票によるシカ生息状況調査の汎用性を検証する必要がある。