

ICTを活用した森林被害管理手法の開発

2019年度～2021年度

狩場晴也・釜田淳志*・石田朗**

要 旨

ニホンジカの生息状況及びその被害実態について、県や市町村、森林組合の職員等へのWebアンケートにより調査した。その結果、被害調査では、スギ・ヒノキ林で剥皮による被害が多く報告されていた。生息状況調査では、2018年から2021年にかけて目撃情報が継続して毎年400件以上収集され、愛知県内におけるシカの生息分布の拡大状況や季節によるシカの活動性の変化を反映していた。このことから、Webアンケートによる調査は、従来の実地調査等を補完する低コストで省力的な調査手法として有用であると考えられた。被害管理手法の開発では、防護柵内におけるシカ等の侵入検知システムの開発を行った。カメラ調査等の結果から、シカ等による防護柵内への侵入及び苗木被害の危険性が高いのは、夏期～秋期における夜間であることが推定された。また、防護柵内の尾根筋や谷筋等の緩やかな地形、餌や水資源が豊富な地点で撮影頻度が高くなっており、それらの時期・地点においてセンサー機器を設置することで効果的に侵入検知が行えることが分かった。侵入検知に適したセンサー機器の検討では、人感（赤外線）及び磁石着脱式センサーを用いて調査を行った。その結果、人感（赤外線）センサーでは、シカ等による柵内侵入の危険性が高まる夏期～秋期の夜間において、感度を自動撮影カメラ程度に設定することで検知が可能であり、磁石着脱式センサーでは、テグスを高さ40～70cmで設置することで効果的に検知が可能であることが分かった。

I はじめに

愛知県内におけるニホンジカ（以下、シカ）の個体数は増加傾向であり（愛知県 2017）、皆伐再造林等を進めていくうえで森林被害対策が大きな課題となっている。当センターでは、これまで被害実態の調査や個体数推定手法の開発等を行ってきた（小林・熊川 2002、2005、江口・栗田 2013、石田ら 2016、2019）。しかしながら、今後も中長期的に継続していくシカ被害対策を進めるにあたって、より効率的にシカの生息状況及び森林被害を把握するモニタリング手法を確立することが肝要であり、森林内における被害管理手法について

も同様に求められる。そこで本研究では、低コスト・省力的な森林被害及びシカの生息状況のモニタリング手法の確立並びに被害管理手法の開発を目的とした。

II 方法

1. 森林被害モニタリング手法の確立

(1) 森林被害実態のモニタリング

2015年1月から開始しているWebアンケートを活用し、県内のシカ被害の内容（苗の食害、立木の剥皮等）及び被害を受けた樹種について、県や市町村、森林組合の職員等から情報収集を行った。

Haruya KARIBA, Atsushi KAMATA, Akira ISHIDA: Study of practical use for afforestation used by containerlised seedlings of *Cryptomeria Japonica* and *Chamaecyparis obtuse*

*現新城設楽農林水産事務所、**現東三河農林水産事務所

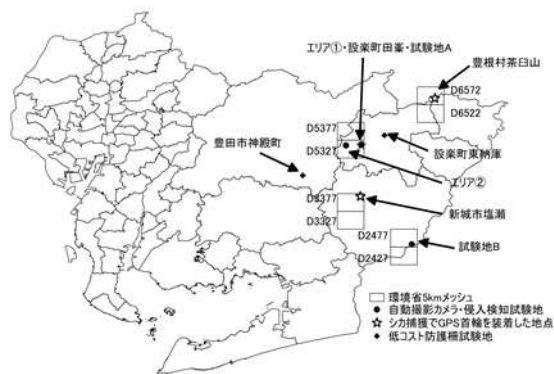
本論文の一部は、第9回中部森林学会大会で発表した。また、本研究の一部は、「戦略的情報通信研究開発推進事業（No.172306001）」、「農林水産省委託プロジェクト研究農林水産分野における気候変動対応のための研究開発」の支援を受けて実施された。

毎月のメールマガジンの発行、当センターHPでの掲載、県内の事業説明会等での依頼等、様々な機会にWebアンケートの周知・協力要請を継続した。

2. 生息状況モニタリング手法の確立

(1) 自動撮影カメラ調査

環境省5kmメッシュでD5327内（Dは、標準地域メッシュ第1次地域区画コード5237を示す、以下同様）の設楽町田峯の皆伐地（もしくは皆伐予定地）を含むエリア2ヶ所（以下、エリア①・エリア②）を設定し（図一1）、エリア①では、2019年12月から2020年12月まで、エリア②では、2020年1月28日から2020年12月までの期間において約500m間隔で格子状に自動撮影カメラ（TREL10J）を20台設置し、撮影された画像によりシカの頭数や成獣の性別と幼獣を集計した。撮影は、静止画で撮影間隔は10分とした。



図一1 調査位置図

(2) 区画法調査

2019年10月から11月までの期間に環境省5kmメッシュでD6522内及びD6572内の萩太郎山97.2ha及び津具牧場西側山林91.7ha（以下、豊根①・豊根②）、D5377内の段戸国有林75.7ha及び大多賀県有林105.4ha（以下、豊田①・豊田②）、D3377内及びD3327内の作手岩波136.0ha及び作手鴨ヶ谷128.3ha（以下、作手①・作手②）で実施した（図一1）。各調査エリアを8～9区画に分割し、一区画

あたり各2人ずつで同一時間内に踏査して、確認されたシカの頭数と位置をGPSを用いて記録した。

(3) ライトセンサス調査

2019年及び2020年の9月に、計8回実施した。コースは、環境省5kmメッシュでD2427及びD2477内の約24.1km（以下、上吉田）、D3327及びD3377内の約35.7km（以下、作手）、D5327及びD5377内の約14.7km（以下、豊田）、D5377内の約15.1km（以下、段戸）で（図一1）、自動車で5～10km/hの速度で走行しながら、スポットライトで両サイドを照射し、確認されたシカの頭数と位置をGPSを用いて記録した。

(4) GPS行動圏調査

イリジウム衛星を介してデータを取得するGPS首輪（Lotek社製Iridium Track M及びLitetrack Iridium420）を2017年1月から2021年3月31日までに合計6頭のシカ（以下、S1～2・C1～3・D1）に装着し、その位置情報を収集した（表一1）。得られた位置データのうち、測位状態が3D、かつ位置精度低下率が6以下、かつGPS首輪で得られた3Dデータの標高地と即位した水平座標における基盤地図情報の10mメッシュ標高地の差分が30m以下のものを高精度測位点として抽出し、固定カーネル法により、シカの行動圏（存在確率95%）及びコアエリア（存在確率50%）を算出した。

(5) Webシカ目撃情報調査

1. と同様の手法で、Webアンケートを活用し、シカの目撃地点の緯度経度、シカの頭数や性別の情報を収集した。

3. 被害管理手法の開発

(1) 捕獲効率化手法の開発

ICTを利用した効率的な捕獲を実現するため、わなが作動した際に動物を自動で判別する技術をMTGフォレスト（株）と共同開発した。県内7地域及び奈良県の奈良公園で2016年から2019年に収集した映像について、動画内で映っているシカや

表—1 GPS行動圏調査におけるシカ捕獲個体の概要

個体No.	捕獲地	性別	齢クラス	測位間隔	追跡期間	追跡日数
S1	新城市塩瀬	メス	亜成獣	2時間間隔 (一部15分間隔)	2017.1.18~2017.7.13	177
S2	新城市塩瀬	メス	成獣	2時間間隔	2018.10.26~2019.4.30	187
C1	豊根村茶臼山	オス	成獣	2時間間隔	2018.12.17~2019.8.30	257
C2	豊根村茶臼山	オス	亜成獣	2時間間隔	2018.12.17~2019.7.3	199
C3	豊根村茶臼山	メス	成獣	2時間間隔 (一部15分間隔)	2020.3.13~2021.3.31	384
D1	設楽町田峯	オス	亜成獣	2時間間隔 (一部15分・30分間隔)	2019.3.18~2020.8.8	510

その他の動物等の部分に矩形マーキングを施し、静止画（以下、フレーム）に分解した。転移学習を行うための学習済みモデルであるSSD inception V2 atrous cocoを用いて、シカの含まれるフレームについて深層学習を進めた。

（2）防護柵におけるシカ等侵入検知システムの開発

防護柵内に侵入したシカ及びニホンカモシカ（以下、シカ等）による造林地の被害の早期発見および防護柵見回りの省力化を目指し、エナジーワイヤレス（株）及びMTGフォレスト（株）と共同で防護柵内へのシカ等の侵入を検知し、通報するシステムの開発を行った。具体的には、柵内への侵入検知の効果的なセンサー設置位置の検討及び侵入検知に適したセンサー機器の検討及び開発を行った。

ア 効果的なセンサー設置位置の検討

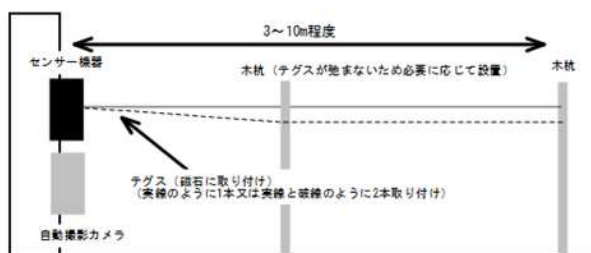
防護柵内に侵入したシカ等が利用しやすい場所を把握するため、2014年に植栽され防護柵が設置されている設楽町田峯のヒノキ植栽地（以下、試験地A）（図—1）約3haにおいて、2021年9月から2022年2月までの期間に自動撮影カメラ15台を柵内に設置し、撮影された画像からシカ等の撮影回数を集計し、各カメラの撮影頻度の違いからセンサー設置位置を検討した。撮影は、静止画で撮影間隔は10分とした。

イ 侵入検知に適したセンサー機器の検討

侵入検知に適したセンサー機器の開発を目指し、従来は、害獣捕獲検知機器として使用されるエナジーワイヤレス（株）社製のセンサー機器（ICT-300・ICT-300H）に搭載されている人感（赤外線）センサー及び磁石着脱式センサー（以下、センサー①・センサー②）について侵入検知への適性を検討した。試験地Aの柵周辺（外側）に2020年10月から2021年10月、試験地Aの柵周辺（外側）と柵内に2021年12月から2022年2月、当センター試験林（以下、試験地B）（図—1）の林内に2021年12月から2022年1月にかけてセンサー機器を各3台設置し、データを取得した。センサー①については、センサーの反応状況と併せて設置した自動撮影カメラから得られた映像とを比較し、センサーが何に対して反応しているか確認した。センサー②については、磁石にテグスを取り付け、一定の高さになるように水平に設置し、動物が横切るとテグスに磁石が引っ張られ、センサーが反応するようにし（図—2）、自動撮影カメラの映像からセンサーが反応した日時及び反応した原因を確認した。

ウ 侵入検知機器の開発

柵内に侵入した動物の種類を正確に判別するため、3.(1)の自動判別カメラの判別結果をLPWA通信で通知する機器の開発を行った。



図—2 センサー機器設置模式図

(3) 低コスト防護柵の実証試験

獣害対策の低コスト化に向けて、京都大学高柳氏が考案した従来の防護柵より安価な獣害防護柵（以下、低コスト防護柵）の実証試験を設楽町東納庫（以下、設楽）及び豊田市神殿町（以下、神殿）で行った。低コスト防護柵のネット部分には、園芸用防獣ネットのセフティー3アニマルネット目合16mm（以下、アニマルネット）を用いた。アニマルネットは、ステンレスが入っておらず、目合いが従来の防護柵で使用されるネット（50mm）と比較して細かいことが特徴である。低コスト防護柵の設置は、φ33mm・長さ2.4mの被覆鋼管支柱を概ね3mごとに設置し、アニマルネットを地上高1.8m、裾部0.2mのL字型となるように固定した。ネット下部及び裾の端部については、交互に概ね0.5m間隔でアンカー杭を打ち込んだ。設楽では、2020年8月に延長80.3m、神殿では、2020年8月と11月の2回に分けて延長221.5mの低コスト防護柵を設置した。低コスト防護柵の設置の際には、作業員（県林務職員又は森林所有者）が3名の区間について作業時間を記録し、算出した人工数から、防護柵の設置距離100m当たりの労務費を計算した。労務単価は、農林水産省・国土交通省（2021）の愛知県における普通作業員の単価を使用した。また、設置した低コスト防護柵によるシカ等侵入防止効果を検証するため、設楽では低コスト防護柵を設置した2020年8月から2021年10月まで、神殿では、柵内での苗木植栽が行われた2021

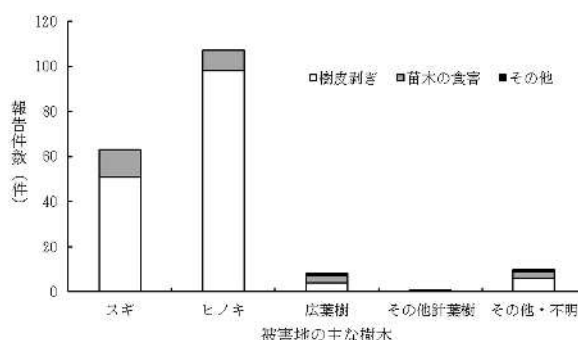
年3月から2022年2月までの期間において自動撮影カメラを柵沿い（外側）に設置し、柵周辺のシカ等の有無を確認するとともに、現地での柵破損状況と植栽木の被害の有無について確認した。

III 結果と考察

1. 森林被害モニタリング手法の確立

(1) 森林被害実態のモニタリング

Web アンケートが開始された2015年1月から2021年12月までに286件の森林被害情報が寄せられた。そのうち被害ありの情報が236件、被害なしの情報が50件であった。被害ありのうち、被害地点の主な樹種及び被害の内容が分かる報告189件について見ると、被害地点の樹種は、スギ63件・ヒノキが107件となりスギ・ヒノキが全体の約90%を占め、被害内容では、樹皮剥ぎ被害が159件と約84%を占め、苗木の食害28件、その他2件となり（図—3）、県内では人工林での樹皮剥ぎ被害が多いと推定された。ただし、Web アンケートでは、県や市町村、森林組合の職員等が主な報告者となっており、報告者が立ち入る頻度が高い人工林で多く報告されているとも予想される。また、被害内容についても、樹皮剥ぎ被害は、被害部位が大きく、発見しやすいことも報告件数が多い要因だと考えられる。

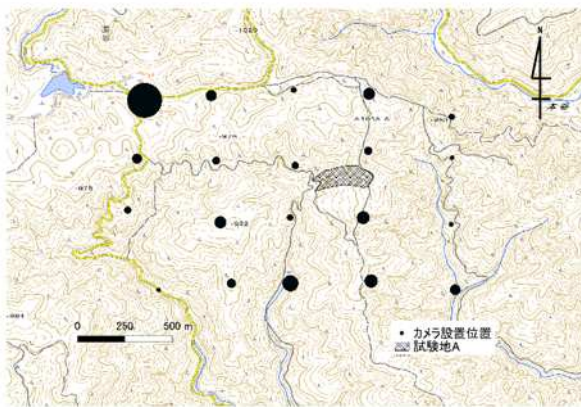


図—3 Webアンケートでの樹種・被害内容別の報告件数

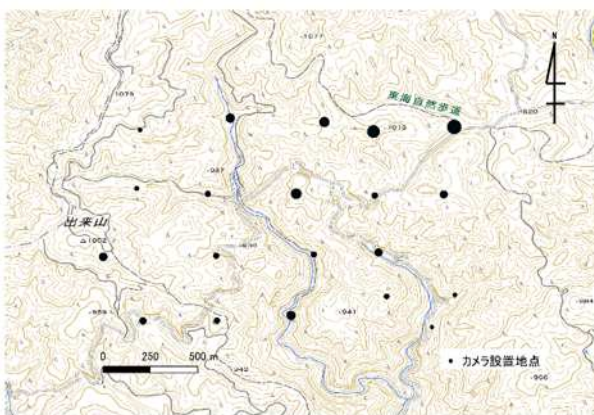
2. 生息状況モニタリング手法の確立

(1) 自動撮影カメラ調査

調査期間におけるエリア①の撮影頻度は、約 0.4～44.9 頭/30 日（平均 9.1 頭/30 日）であり、エリア②では約 0.3～14.9 頭/30 日（平均 5.4 頭/30 日）となった。自動撮影カメラの設置位置によって撮影頻度が大きく異なり、エリア①では、北西に位置する平らな地形で穏やかな小川のある広葉樹林地点が特に撮影頻度が高く、エリア②でも、北東に位置するなだらかな地形のブナ・モミ林地点において撮影頻度が最も高くなっており、なだらかな地形等がシカにとって生息に好適な環境であると考えられる（図—4、5）。



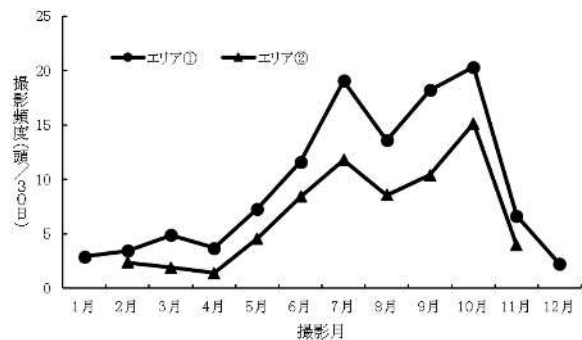
図—4 エリア①におけるシカ撮影頻度
（撮影頻度が高いと黒丸が大きい）



図—5 エリア②におけるシカ撮影頻度
（撮影頻度が高いと黒丸が大きい）

一方で、エリア①地内の再生林地（試験地 A）周辺に設置されたカメラの撮影頻度は高くはなかった。本来であれば、再生林地のような箇所は、草本類も繁茂し、シカの採食場所として好適な環境だと考えられる。試験地 A は、周囲に防護柵を設置しており、防護柵に一定の防除効果があることが示唆された。

また、2020 年 1 月から 12 月までの月ごとの撮影頻度の推移を見ると、両エリアとも冬期は低く、夏期にかけて増加し、10 月がピークとなり（図—6）、シカの季節による活動性の変化を示していると考えられた。特にエリア①の撮影頻度が最も高かった地点では、9 月までほとんど見られなかったオスが、10 月及び 11 月では全体の 30%・67% を占めており、繁殖期にオスの活動性が高まっていることが確認された。

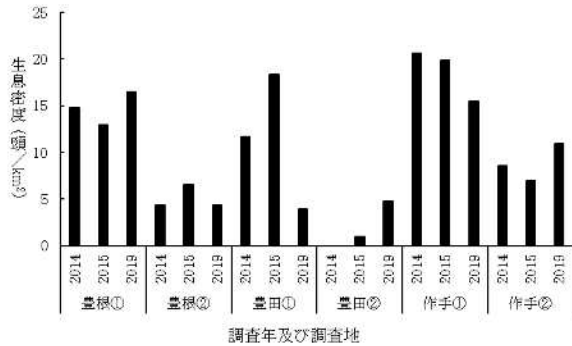


図—6 2020年における月ごとの撮影頻度

(2) 区画法調査

頭数密度は、豊根①・②で約 16 頭/km²・約 4 頭/km²、豊田①・②で約 4 頭/km²・約 5 頭/km²、作手①・②で 15 頭/km²・約 11 頭/km²であった（図—7）。2014、2015 年に行われた同じ箇所の結果（石田ら 2016）と比較したところ、概ね横ばい傾向であったが、これまで低密度であった豊田②では、2014 年・2015 年では約 0 頭/km²・約 1 頭/km²に対し、2019 年では約 5 頭/km²と増加傾向が見られた。また、2014 年・2015 年の調査と同様に近接

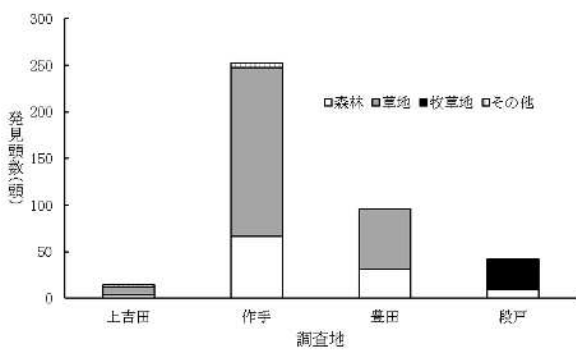
している場所でも生息密度の差が大きい場合が多く、豊根①、作手①のような牧場や休耕田等の草地といった好適な餌場周辺の森林で密度が高くなっていると考えられる。



図—7 区画法によるシカ生息密度

(3) ライトセンサス調査

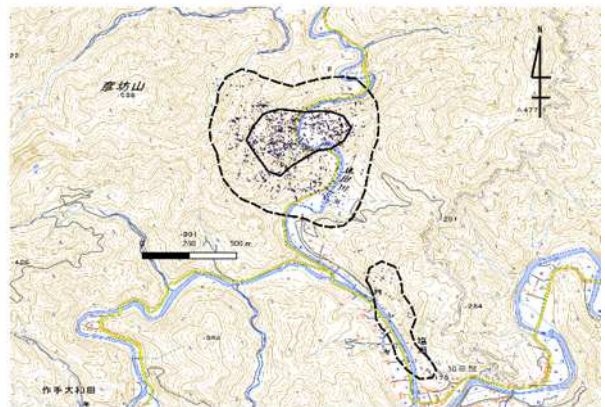
発見頭数は、上吉田約 0.3 頭/km、作手約 3.5 頭/km、豊田約 3.2 頭/km、段戸約 1.4 頭/km であった。上吉田及び作手は、2015 年夏季の約 0.1 頭/km・約 2.5 頭/km (石田ら 2016) と比較して増加が確認された。また、シカが確認された環境は、段戸では牧草地在約 76%、上吉田・作手・豊田では、休耕田や田畑の縁等の草地在約 53%・72%・68% を占めており (図—8)、シカの分布には 2. (2) の結果や石田ら (2019) と同様に牧草地や草地といった好適な餌場の有無が影響していると考えられる。



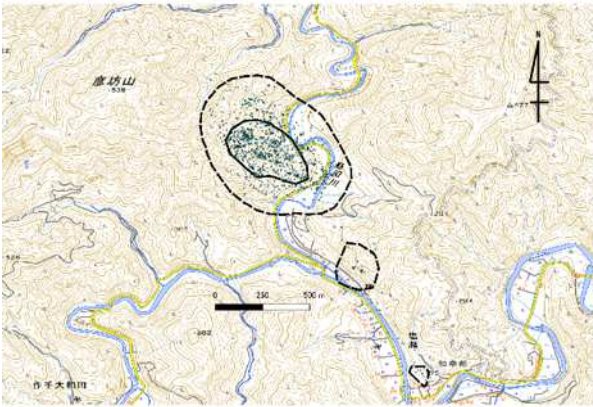
図—8 ライトセンサス調査における環境別発見頭数

(4) GPS 行動圏調査

メスジカの S1・2 は、追跡期間を通して季節移動はなく、定住性が高かった。一方でメスジカ C3 は、2020 年 3 月から 4 月までは、茶臼山の牧草地周辺の森林を利用し、4 月下旬から 10 月下旬までにかけて津具村の集落周辺の森林を利用していた。その後、茶臼山の牧草地周辺に戻り 11 月上旬に静岡県浜松市内の森林へ季節移動とみられる約 20km の移動を行い、2021 年 3 月末に再び茶臼山の牧場周辺に移動した。S1・2 の全追跡期間における行動圏とコアエリアは、S1 で 78.6ha・15.2ha、S2 で 57.5ha・11.6ha であった (図—9、10)。C3 の移動時を除いた期間の行動圏とコアエリアは、津具村周辺の森林では 54.6ha・11.8ha、浜松市の森林では 69.7ha・14.1ha であり (図—11)、S1・2 の個体と概ね同程度であった。

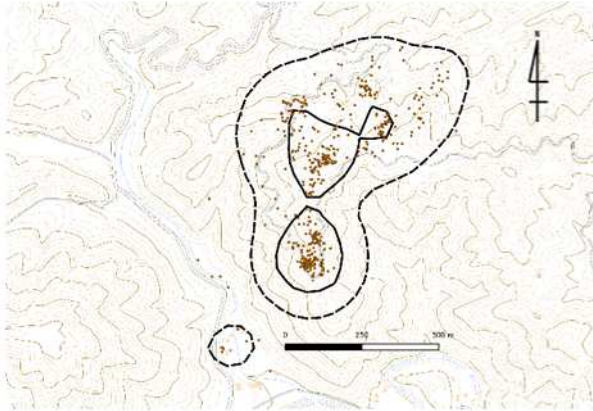


図—9 メスジカ S1 の行動圏 (破線) 及びコアエリア (実線)

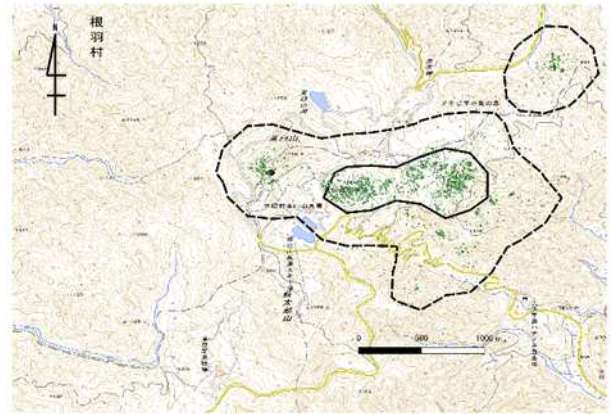


図—10 メスジカS2の行動圏（破線）及びコアエリア（実線）

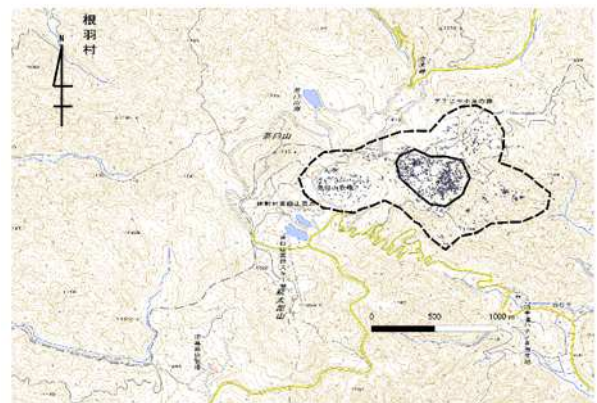
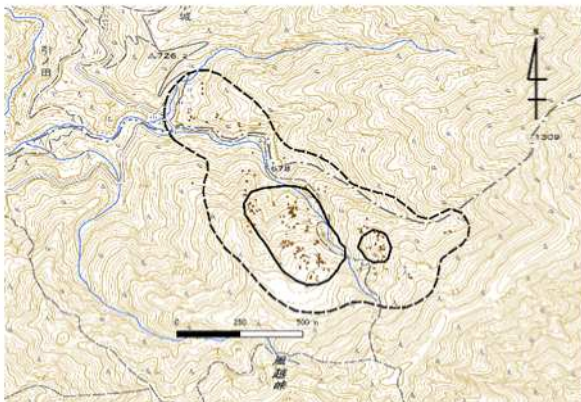
オスジカであるC1・2は、追跡間での季節移動はなく定住的であった。全追跡期間の行動圏・コアエリアは、C1で335.2ha・60.5ha、C2で140.0ha・21.3haであった（図—12、13）。D1は、追跡開始から3か月後の2019年6月上旬に段戸国有林から岐阜県恵那市内の森林への約30km程度の長距離移動をしており、生まれたと考えられる場所からの分散行動が確認された。長距離移動までの期間における行動圏・コアエリアは、83.2ha・20.5haであり、長距離移動後では501.2ha・74.2haであった（図—14）。



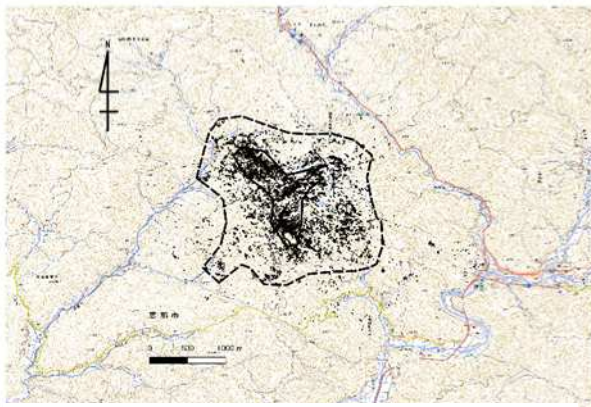
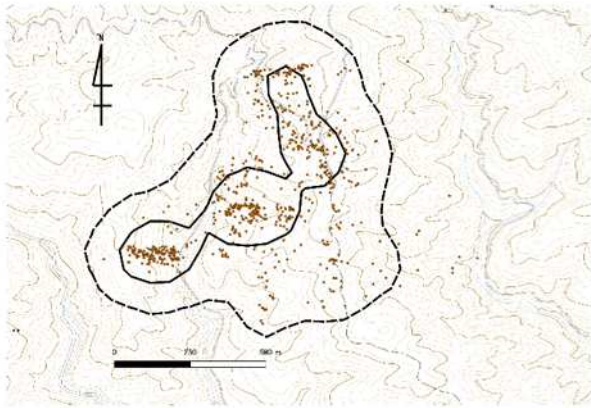
図—11 メスジカC3の津具周辺（上）及び浜松（下）での行動圏（破線）及びコアエリア（実線）



図—12 オスジカC1の行動圏（破線）及びコアエリア（実線）



図—13 オスジカC2の行動圏（破線）及びコアエリア（実線）



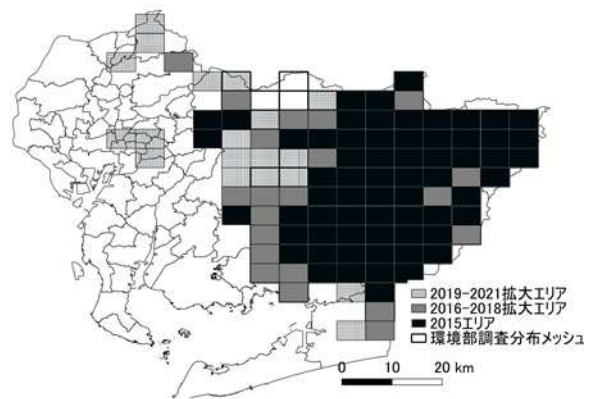
図一14 オスジカD1の段戸（上）及び恵那（下）における行動圏（破線）及びコアエリア（実線）

シカの利用する環境に着目すると、S1・2は、日中に広葉樹林を、夜間は河川敷・道路等を選択的に利用していた。前回の報告（石田ら 2019）でもあるように、人間活動が活発な日中については、森林を利用し、人間活動が低下する夜間に餌資源が豊富となる草本類が豊富な集落や河川敷等を採食場所として利用していると考えられる。また、牧草地周辺に生息するC1・2は、冬期において日中に森林を利用し、夜間には牧草地を利用しており、春・夏期になると日中・夜間ともに牧草地を利用していた。C3・D1の個体も牧草地やゴルフ場といった餌場に好適な場所を利用しており、牧草地やゴルフ場といった施設への依存度が高いと考えられる。

（5）Web シカ目撃情報調査

Web アンケートが開始された 2015 年 1 月から 2021 年 12 月までに 3,085 件の目撃情報があり、そのうちシカが 2,732 件、カモシカが 353 件だった。シカ目撃報告について発見年別に見ると、2015 年から 2017 年までは、161~362 件であったが、2018 年以降は年間 400 件以上の目撃報告が寄せられていた。

収集された目撃情報による生息分布について評価するため、2015 年時における県環境部（現環境局）が実施している聞き取り、アンケートによる生息分布調査（愛知県 2017）（以下、環境部調査）と Web アンケート結果を比較すると、環境部調査でシカの生息分布とされた 85 の 5km メッシュのうち Web アンケート調査では 61 メッシュと約 72% の充足率であり、環境部調査では生息分布とされていない 4 メッシュでも目撃情報が報告された（図一15）。また、Web アンケートについて 2016 年から 2018 年までの報告では、2015 年より 21 メッシュ、2019 年から 2021 年までの報告では更に 19 メッシュ増加し、2015 年における環境部調査結果と比較すると、充足率は約 96% になり、環境部調査では生息分布とされず、目撃報告のあったメッシュは 23 に増加した。これは、Web アンケー

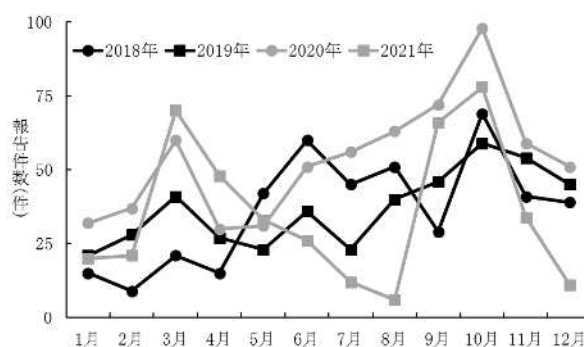


図一15 環境部調査（2015年）及びシカ情報マップでシカ目撃報告があった5kmメッシュ

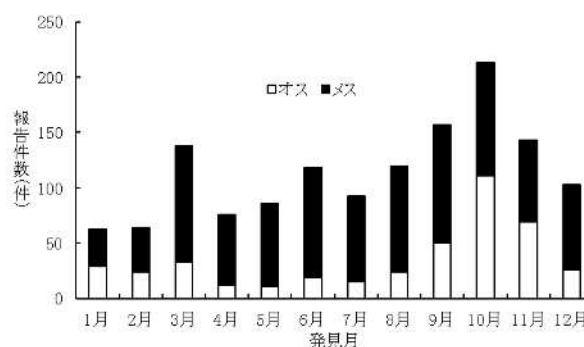
トへの報告件数増加に伴って精度が向上しつつ、シカの生息分布拡大状況を反映できているためだと考えられ、省力化やリアルタイムでの状況確認が可能なことに加え、従来のアンケート調査と同程度の精度であることから Web アンケート調査が有効であることが示された。

2018年から2021年までの月ごとの報告件数は、図一16のように推移しており、年毎に変動はあるものの2. (1)の自動撮影カメラ調査結果と同様に冬期は報告件数が少なく、10月がピークであり、10月、11月のオスの報告割合も高くなっていた(図一17)。また、2. (1)では、3月の撮影頻度も低かったのに対し、Webアンケートでは報告件数が多くなっていた。これは、2. (1)では標高が高くシカの活動性が低いままなのに対し、Webアンケートでは、低標高地のシカの活動性の高まりや、シカ情報マップでは2. (4)のように越冬地からの季節移動を行う個体の影響を反映している可能性があり、Webアンケート調査でも安定して情報収集ができれば、シカの生息分布の拡大やシカの季節による活動性の推移を把握できると考えられる。江口ら(2021)では、Webアンケートの目撃報告において、ニホンカモシカ目撃数/シカ目撃数(以下、カモシカ比)がシカ密度に負の相関があり、Webアンケートから得られるカモシカ比は、シカ密度評価に有用な情報とされている。

以上のことから、Webアンケート調査は、安定的に情報を収集することで、生息分布の拡大や季節による活動性の変化等を大まかに把握することが可能であり、調査範囲や調査時期に制約がある実地調査を補完する手法として有用であると考えられる。また、Webアンケートの目撃情報とシカ生息密度の関係が明確になれば、過去の実地調査の結果から生息密度の変化をリアルタイムで把握できる可能性がある。



図一16 Webアンケートでの月別シカ目撃報告件数の推移



図一17 2018年から2021年におけるWebアンケートでの雌雄別シカ目撃報告件数

3. 被害管理手法の開発

(1) 捕獲効率化手法の開発

収集した動画映像について、7,553(うちシカ3,607)の映像が得られ、シカが映っていた動画から634,452のフレームが得られた。これらのフレームの80%を用いて学習モデルを構築し、残り20%を用いてシカの検出精度を検証したところ、平均適合率は85.4%となった。また、本学習モデルを動物自動識別アプリとしてホームページ「<http://www.mtg-forest.com/index.php/works/adammmm>」において公開し、自動カメラにも搭載した機器を作製した。

(2) 防護柵におけるシカ等侵入検知システムの開発

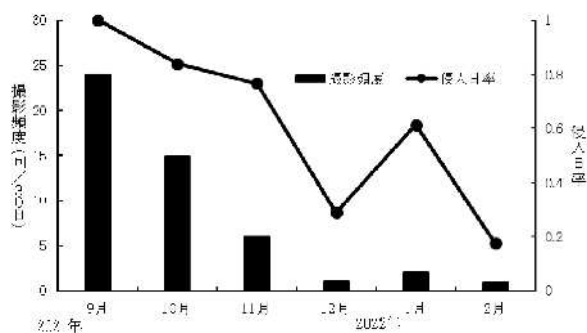
ア. 効果的なセンサー設置位置の検討

月ごとの全カメラにおける撮影頻度は、0.9～24回/30日となり、9月が最も高く10月、11月と冬期に近づくにつれ頻度が低くなった。また、シカ等がいずれかのカメラで撮影された日数をカメラ稼働日数で除した侵入日率は、0.2～1.0となり、特に9～11月、1月で高くなった(図一18)。このことから、柵内の苗木への被害の危険性は、シカ等の季節による活動性の変化と同様に推移すると考えられる。また、牧草地や草地と同様に、再生林地はシカ等にとっての好適な餌場になると考えられ、特に下草が繁茂する夏期から秋期にかけてシカ等を誘引しやすい状況にあることが予想される。以上のことから、防護柵内の苗木被害を抑えるためには、夏期から秋期の時期における侵入の早期発見が重要であると考えられる。

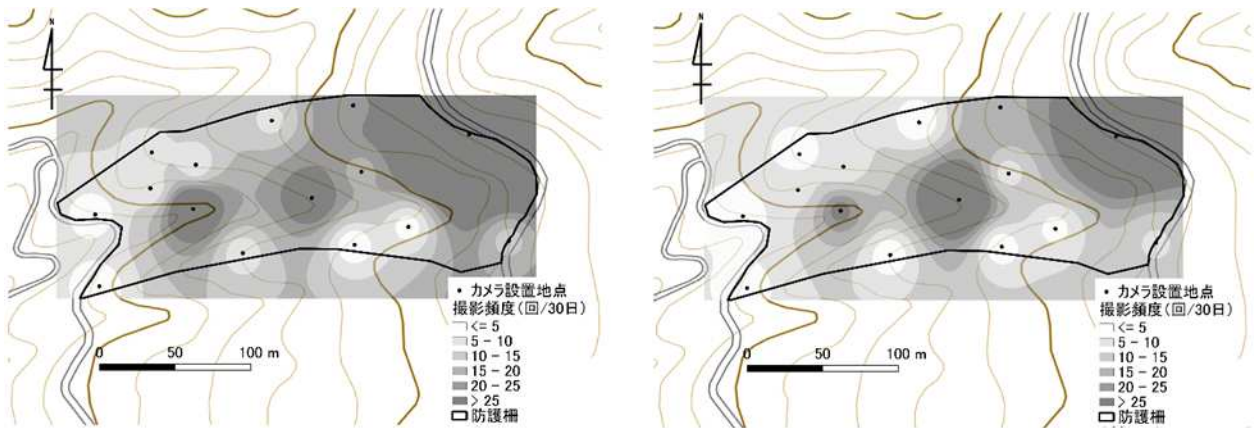
シカ等の撮影頻度の高かった9月、10月における各カメラの撮影頻度は、0～180回/30日、0～74.5回/30日となり、カメラごとに大きく異なっていた。また、各カメラでシカ等が撮影された日数をいずれかのカメラで撮影された日数で除した検知率は、9月0～67%、10月0～62%となり、撮影頻度と同様にカメラごとに差があり、センサー機器の設置位置によって侵入検知の効率に大きな影響があると

考えられる。また、各カメラの撮影頻度及び検知率を用いてIDW(逆距離加重内挿)法により空間補間を行うと図一19、20のようになり、北東側にある林道沿いのなだらかな地形、中央付近の谷筋(沢)の地点で撮影頻度及び検知率が高くなった。

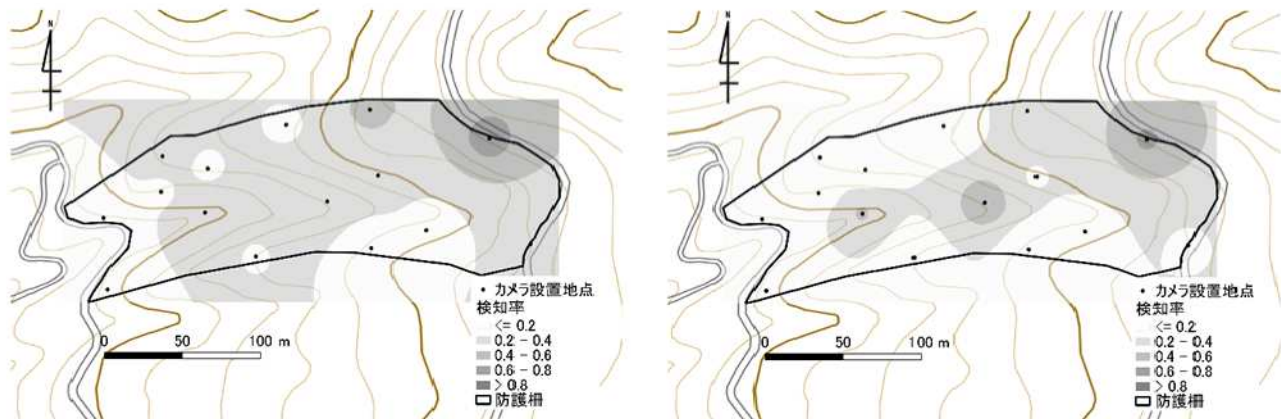
このことから、本調査地では、北東側にシカ等が防護柵内へ侵入しやすい地点があると予想され、侵入後に尾根部や谷筋といった傾斜が緩やかな場所や、餌や水分を摂れる地点を好んで利用していると予想される。以上により、まず防護柵を適切に設置するのが難しい又は乗り越え等のシカ等が侵入しやすい候補地を選定し、候補地近辺の傾斜が緩やかな地点、餌や水分を摂れる地点にセンサー機器を設置することで効果的に侵入検知が可能になると考えられる。また、本調査地の北側と南側のように防護柵内の再生林地が急傾斜等で複数の区域に分かれる場合は、シカ等が区域間の移動をしないことも予想される。そのため、それぞれの区域でシカ等が侵入しやすい候補地がある場合は、各エリアにセンサー機器の設置を検討することも必要である。



図一18 防護柵内15台カメラの撮影頻度(左軸)及び侵入日率(右軸)の月別推移



図—19 防護柵内におけるシカ等撮影頻度（IDW補間） 左が9月、右が10月

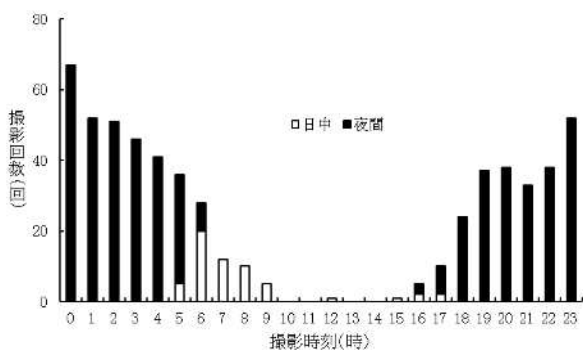


図—20 防護柵内におけるシカ等検知率（IDW補間） 左が9月、右が10月

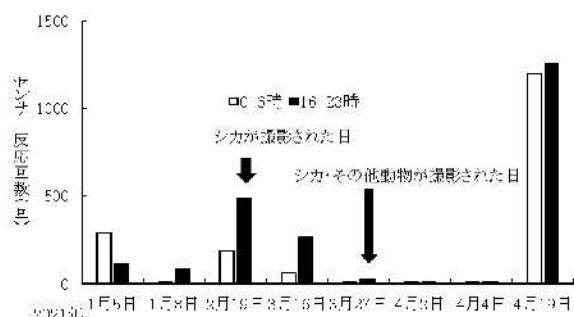
イ. 侵入検知に適したセンサー機器の検討

アの15台のカメラのシカ等撮影状況について、日中と夜間に分けて比較したところ、撮影回数は、日中で58回に対し夜間は529回と約9倍の差があった（図—21）。また、2.（4）でもあるように、シカ等は夜間に牧草地等を餌場として利用する傾向にあり、再生林地においても夜間に侵入の危険性が高いと考えられるため、センサー①については、夜間での反応状況を検討した。センサー①の反応状況は図—22に示すようになり、誤検知と思われるノイズが多く発生することやシカ等が往来した時の反応回数が少ないこともあり、センサー①の反応状況からシカ等の往来を検知することは難しいと考えられた。そこで、人感（赤外線）

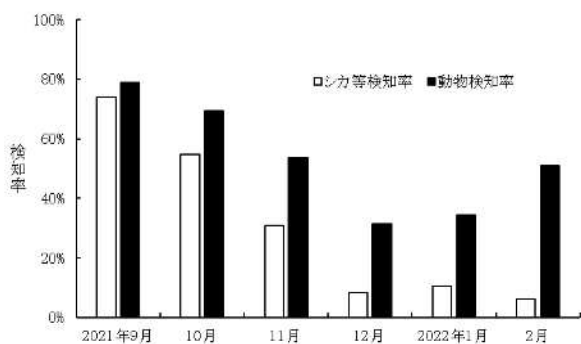
センサーの感度を自動撮影カメラのレベルに変更することを想定して、アの15台について、夜間に撮影されたもののうち、シカ等であった割合（以下、シカ等検知率）を月ごとに見ると、9月で74%、10月で55%（図—23）であり、シカ等またはその他の動物であった割合（以下、動物検知率）は、9月で79%、10月で69%とシカ等の撮影頻度が高い月では高い精度で防護柵内へ侵入した動物の検知が可能であることが分かった。



図—21 防護柵内のカメラでの時刻別シカ等撮影回数

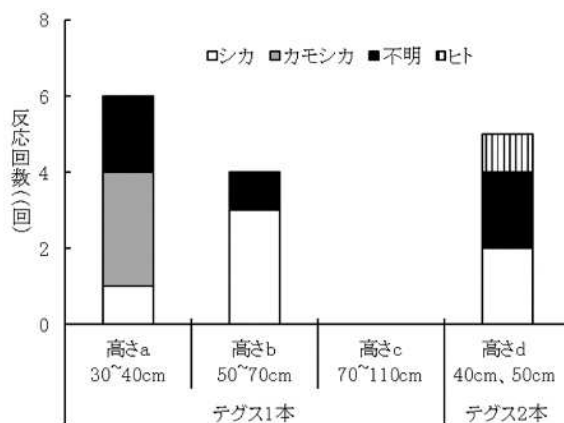


図—22 夜間における人感（赤外線）センサー反応状況の例
 (黒)がない日・時間帯は、動物が撮影されておらず全て誤検知)

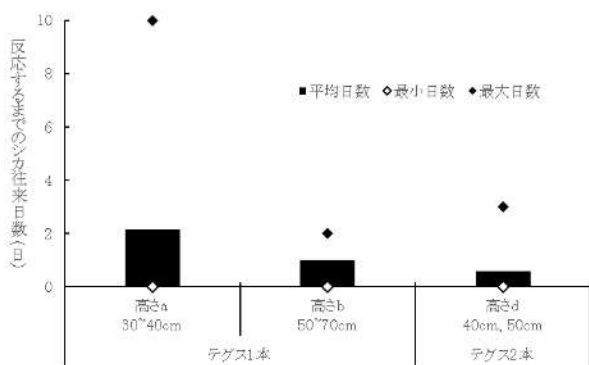


図—23 防護柵内15台カメラから得た夜間におけるシカ等検知率及び動物検知率

センサー②については、テグスを水平に設置する高さを、地上から、約30~40cm(以下、高さa)、50~70cm(以下、高さb)、約70~110cm(以下、高さc)、40cmと50cmに各1本(以下、高さd)の4条件で試験を行った。その結果、高さa・b・dで延べ15回反応があり、高さcでは反応がなかった。また、ヒトによる反応を除いた14回のうちシカ等による反応が9回、テグスの設置不良等が原因とみられる誤検知が5回であり、シカ等以外の動物による反応はなかった(図—24)。センサーが反応するまでにシカ等がセンサー付近に往来した日数は、高さaで0~10(平均2.2)日、高さbで0~2(平均1.0)日、高さdで0~3(平均0.6)日となり、高さb・dでは、シカ等が往来する2日目程度での検知が可能であることが分かった(図—25)。高さaだとシカ等がテグスを跨ぐ様子、高さcだとシカ等が頭部を下げて歩行してテグスに引っかからずに横切る様子が見られたことから、シカ等の体格と歩行姿勢を考慮し、テグスの設置高さは、40~70cm付近が検知に適していると考えられる。



図—24 高さ、内容別の磁石着脱式センサー反応回数



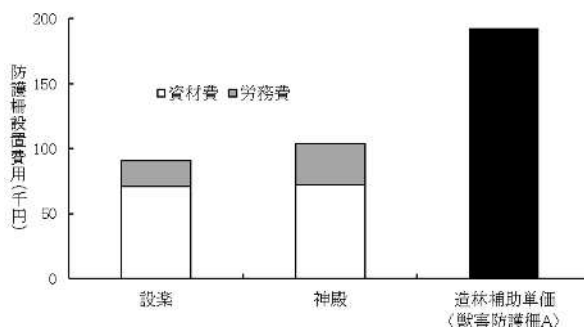
図—25 磁石着脱式センサーが反応するまでにシカ等がセンサー付近に往来した日数

ウ. 侵入検知機器の開発

自動判別カメラの判別結果を LPWA 通信で通知する機器の開発を行い、試作機を試験地 B に 2022 年 2 月の 1 ヶ月間設置した。その結果、期間内におけるシカ等の往来はなかった。防護柵内や防護柵沿いで撮影した映像での自動判別の精度を検証するため、2020 年から 2021 年に県内で収集した映像について、3. (1) の動物自動識別アプリを用いて判別し、実際の撮影状況と比較した。その結果、シカ等の適合率は、87~100% (平均 95%) となり、正確に判別できることが確認できた (表—2)。

(3) 低コスト防護柵の実証試験

設楽では、低コスト防護柵を設置した 67.9m について作業時間を測定したところ、休憩時間を除いた作業時間は 1 時間 48 分だった。設置費用の計算結果を図—26 に示す。人工数から労務費を計算すると設置距離 100m あたり 20,181 円だった。また、使用した資材の数量と購入価格から資材費を計算すると 100m あたり 70,645 円となり、労務費と資材費の合計が 90,826 円になった。神殿では、設置距離 10m の区間について 3 区間 (計 30m) の作業時間を計測した。3 区間の合計は 1 時間 15 分であり、労務費は 100m あたり 31,720 円だった。設楽と同様に資材費についても計算すると 100m あたり 72,390 円であり、労務費と資材費の合計が 104,110 円になった。県造林事業標準単価表 (愛知県 2021)における獣害防護柵 A の標準単価は、



図—26 低コスト防護柵の設置費用 (100m 当たり)

表—2 自動識別アプリで判別した映像の概要及び適合率

(映像数の内訳は、人が判別した結果を示す)

No.	撮影期間	撮影地	映像数 (本)				計	適合率
			シカ	カモシカ	其他動物	誤作動		
1	2020. 11. 4~2021. 10. 1	設楽町田峯	70	55	26	125	276	92%
2	2020. 10. 15~2021. 10. 6	設楽町田峯	83	12	18	85	198	100%
3	2021. 3. 17~2021. 9. 26	豊田市神殿町	155	6	24	100	285	97%
4	2021. 3. 14~2021. 10. 4	豊田市神殿町	83	2	16	84	185	87%
5	2020. 8. 20~2021. 6. 29	設楽町東納庫	115	66	40	113	334	99%
全体			506	141	124	507	1,278	95%

100mあたり193,000円であることから、本試験で設置した低コスト防護柵は従来の防護柵よりも低コストであることが示された。

設置した低コスト防護柵の侵入防止効果の検証では、設楽・神殿両試験地で柵沿いに設置した自動撮影カメラで柵外にいるシカ等が撮影され、柵の周辺にシカ等が生息していることが確認できた。設楽では、カメラでシカ等が柵内に侵入した様子はなく、現地での確認でも動物が原因と考えられる柵の破損や植栽木の被害は確認されなかった。一方、神殿では、2021年3月に倒木によるネット上部の垂れ下がり及び地上約50cm程度の位置に縦約10cm、横約25cmの穴被害を各1箇所ずつ確認し、補修した。また、2022年3月には、動物による引き上げが原因だと思われる裾浮きが見られた。裾浮き部分は、アンカー杭及び押さえロープには被害がなかったが、ネット本体が破損しており、結果的に動物が侵入できるサイズの裾浮き（穴）になっており、柵内に動物の足跡が見られたことから、シカ等が柵内に侵入した可能性が考えられる。従来の防護柵でも動物による穴あき被害はあるが、アニマルネットは、従来の防護柵より耐久性が低いため、弛み等の動物が噛みつける場所があると破損の危険性が高いと考えられる。確認された裾浮き部分では、本来は打込むべきアンカー杭が1本確認できず、設置不良による被害だと予想される。そのため、アニマルネットを使用する際には、従来の防護柵以上に弛み等がないように適切に設置する必要があると考えられる。また、本試験では、モニタリング期間が1年6ヶ月程度であり、長期的な検証は行っていない。設置期間が長くなると、ネットの劣化や弛み等が生じる危険性もあるため、今後においても定期的に防護柵の点検を行いながら、ネットの経年による劣化状況等を確認し、維持管理費の観点も踏まえて中長期的にシカ等の防除が可能かどうか検証し

ていく必要がある。

IV まとめ

森林被害及びシカの生息状況のモニタリングでは、従来の実地での調査とWebアンケートでの情報収集の2通りで実施し、低コスト及び省力的に実施可能なWebアンケート調査でも安定した情報収集を行うことで、大まかな森林被害状況やシカの生息状況の傾向を把握することができることを確認できた。従来の生息状況調査は、シカの生息密度等の森林被害対策を検討する上で重要なデータを取得できるが、人手や費用によって、実施箇所や実施時期が制限される。Webアンケートシステムは、県内全域及び常時データ収集が可能なのが利点であり、従来の実地調査を補完する手法として有用であると考えられる。また、シカ生息密度とWebアンケート調査の結果の関係性が明確になれば、過去の実地調査結果とWebアンケート調査の結果から生息密度の変化をリアルタイムで把握し、省力的に被害対策を検討できる可能性がある。

被害管理手法の開発では、低コスト若しくは省力化に資する技術の開発を行った。防護柵内で自動撮影カメラによる調査では、生息状況調査の結果と同様に活動性が高まる夏期～秋期にかけてシカ等が侵入する頻度が高くなり、特に夜間に侵入していることが明らかになった。また、防護柵内の尾根筋や谷筋等の緩やかな地形、餌や水資源が豊富な地点にセンサー機器を設置することで効果的に侵入検知が行えることが分かった。人感（赤外線）センサーでは、感度が高すぎるとノイズが多く発生し、検知が困難だが、シカ等による柵内侵入の危険性が高まる夏期～秋期の夜間において、感度を自動撮影カメラ程度に変更することで検知が可能であり、磁石着脱式センサーでは、テグスを高さ40～70cmで設置することで効果的に検知

が可能であることが分かった。また、人感（赤外線）センサーは、検知対象と接触しないのに対し、磁石着脱式センサーでは検知対象と接触する等異なった性質を持っている。そのため、開けた場所では人感（赤外線）センサー、柵沿い等のシカ等が通る方向が定まっている場所なら磁石着脱式センサーを設置する等、現場の地形や、動物の種類をより明確に確認したい等の使用者の求める精度によって使い分けることでより効果的な侵入検知システムを構築できると思われる。防護柵の実証試験では、設置に要する費用が従来の防護柵より安価であることを確認できたが、設置不良が原因と考えられる裾浮きがあり、従来の防護柵以上に適切な設置の徹底が必要だと分かった。今後においても、継続的に見回りを行い、ネットの劣化状況等を確認して長期的な侵入防止効果を検証する必要がある。

県内のシカの生息数は、劇的に減少するとは考えられず、被害対策が必須な再造林地は増加していくことが予想される。従来の防護柵においても穴や裾浮きといった被害が確認されており、適切な設置の徹底や定期的な見回り・補修作業は必須となっている。本研究で取組んだ侵入検知システムでは、検知結果を LPWA 通信を介してメールによる通知が可能となっており、見回り作業の労務費軽減や省力化に資する技術であるが、本県の民有林では、LPWA 通信網の整備が進んでいないのが現状である。通信網の整備・維持コストを踏まえると、シカによる被害対策だけでなく、林業における労働安全や作業の効率化に資する技術について併せて検討し、一体的な通信網の整備が必要である。このように、中長期的にシカ被害対策を行うためには、今後においても確実な防除を前提に林業の幅広い分野と一体となり、ICT 化等の低コスト・省力化技術について検討・取り組んでいくことが求められる。

引用文献

- 愛知県（2017）第2種特定鳥獣保護管理計画（ニホンジカ管理）
- 愛知県（2021）造林事業標準単価表
- 江口則和・狩場晴也・石田朗・竹内豊・寺田行一・早川雅人・佐藤亮介（2021）野生動物の目撃情報を用いたニホンジカ密度評価手法の検討．中部森林研究 69：93-96
- 江口則和・栗田悟（2013）ニホンジカ等による森林被害の効率的防除に関する研究．愛知林セ報 50：1-7
- 石田朗・江口則和・山下昇（2016）ニホンジカ等による森林被害の軽減化技術の確立．愛知林セ報 53：6-14
- 石田朗・釜田淳志・江口則和・栗田悟（2019）ニホンジカによる森林被害の防除手法の開発．愛知林セ報 56：19-29
- 小林元男・熊川忠芳（2002）ニホンジカによる被害実態と防除法の確立．愛知林セ報 39：1-8
- 小林元男・熊川忠芳（2005）ニホンジカによる樹木被害の生態的防除に関する研究．愛知林セ報 42：14-23
- 農林水産省・国土交通省（2021）令和3年3月から適用する公共工事設計労務単価表