

原著論文

防護柵内に侵入したニホンジカを磁気センサーで検知できるか？

Can magnetic sensors detect the presence of sika deer in a fence-enclosed protected area?

川島直通^{1)*}Naomichi Kawashima^{1)*}

要旨：防護柵内に侵入したニホンジカ等の大型動物を磁石脱着式の磁気センサーで検知可能か検証した。磁気センサー3台を防護柵で囲われた再造林地（0.32 ha）に設置し、各磁気センサーの磁石にPEラインを結びつけ、地上50 cmの高さで防護柵内にPEラインを張りテンションをかけた。シカ等の大型動物がPEラインに触れると磁石が外れ、磁気センサーが作動する仕組みとした。磁気センサーがニホンジカを正しく検知しているか確認するために、防護柵内に12台の自動撮影カメラを設置した。磁力やPEラインの設置方法を調整すると、誤検知はほとんど発生しなかった。また、シカが侵入した日には平均して4日に1回の割合で検知が記録された。これらの結果は、少数の磁気センサーで広範囲のニホンジカの侵入検知が可能であることを示唆しているが、今後は検知に適した磁力と張力のバランスを調整する方法を確立する必要がある。また、磁気センサーの設置や管理にかかる労力や作業性が、長期使用において実用的であるかどうか検証する必要がある。

キーワード：ニホンジカ，防護柵，野生動物検知，磁気センサー

Abstract: In this study, I aimed to investigate whether magnetic sensors with detachable magnets can detect large animals, such as the sika deer, in a fence-enclosed protected area. Three magnetic sensors were installed in a reforested area (0.32 ha) surrounded by a protective fence. A polyethylene (PE) line was attached to each magnetic sensor, stretched, and tensioned inside the protective fence at a height of 50 cm above the ground. When large animals, such as deer, touched the PE line, the magnet was released, triggering the magnetic sensor. Furthermore, I installed 12 automatic motion-activated cameras inside the fence to determine whether the magnetic sensors correctly detected the sika deer. Careful adjustments of the magnetic force and PE line installation method nearly eliminated false detections. On average, one detection was recorded every four days of deer encroachment. These findings suggest that a few magnetic sensors are sufficient to monitor the deer incursions in wide areas. However, further investigation is necessary to determine the optimal balance between the magnetic and tensile forces for reliable animal detection. Additionally, future studies should evaluate whether the labor and workload involved in their installation and management are practical for the long-term use of magnetic sensors.

Keywords: sika deer, protective fence, wildlife detection, magnetic sensor

はじめに

近年、ニホンジカ（*Cervus nippon*，以下シカ）の分布域や個体数が全国的に増加し、自然植生

¹⁾ 三重県林業研究所

Mie Prefecture Forestry Research Institute

*E-mail : kawasn00@pref.mie.lg.jp

に深刻な影響を及ぼしている（前迫ら 2020）。林業被害も多く発生しており（金森 2012）、特に再造林地におけるシカによる植栽苗木の食害は、林業経営上の損失となるだけでなく、シカによる採食圧が高い場合には土壌流出が生じ（山瀬 2017）、森林の持つ公益的機能が低下する懸念がある。これらのことから、シカが分布する地域の再造林地では、植栽苗木をシカの食害から保護するための対策が必要である。

シカの食害対策にはいくつかの方法があるが、林業ではポリエチレンネットや金網といった防護柵の設置による侵入防止対策が広く用いられている（酒井ら 2022）。しかし、強風や水害、落石、野生動物による破損などの影響で防護柵が損傷し、設置しているにもかかわらずシカが再造林地内に侵入することがある（藤堂・藤木 2017、酒井 2018）。実際に、三重県の再造林地においてもシカの防護柵内への侵入と植栽苗木の食害は発生しており、成林が見込めないほど被害が拡大することもある。シカの侵入直後に被害を発見できれば、被害を最小限に抑えることができると考えられるが、再造林地は人里から離れた遠隔地にあることが多く、早期発見が困難な場合が多い。通常、防護柵の破損確認のために定期的な見回りが行われているが（酒井ら 2022）、これには多大な労力がかかり、管理者の負担となる。そのため、被害の早期発見や見回り作業の省力化につながる技術が求められている。

近年、遠隔で野生動物をモニタリングするための技術が発達し、利用可能な機器が増えてきた（農林水産省 Web サイト 2025 年 1 月最終更新）。例えば、通信機能付きの自動撮影カメラは野生動物のモニタリングに活用できるが、スマートフォンなどで使用されるモバイルネットワーク（3G, 4G, LTE, 5G）の通信圏内でなければ使用できず、山林では市街地や集落の周辺など限られた場所ではしか利用できないことが多い。一方、近年では LPWA（Low Power Wide Area）とよばれる無線通信方式（総務省 2017）を利用することで、モバイルネットワークの通信圏外である山林においても、比較的 low コストで自営の通信環境を整備できるようになってきた。この通信方式は、モバイルネットワークと比較して低速なため、画像や動画などの大容量データの送信には不向きであるものの、小容量のデータを広域で送信するのに適しており、また、消費電力が小さい（総務省 2017）。そのため、電池交換の頻度を抑えられ、山林などアクセスが困難な場所での活用に適している。LPWA の通信網を山林に整備することで、シカの侵入情報を遠隔で把握できる可能性がある。

LPWA で使用できる小容量のデータを活用した野生動物の検知方法として、赤外線センサーや磁石着脱式の磁気センサーを用いる方法がある（狩場ら 2022）。赤外線センサーは、野生動物などの熱源の移動を感知して情報を送信する方法であるが、誤検知が多く、シカのみを正確に検知することは難しい（狩場ら 2022）。一方、磁気センサーは、磁石に取り付けたテグスなどのひも状資材を地上数十センチメートルの高さで地面に平行に張り、テンションをかけることで、大型動物がひもに触れると磁石が外れ、その情報が送信される仕組みである。ひも状の資材を長距離にわたって設置できれば、少数の磁気センサーで再造林地全体をカバーし、低コストで侵入検知を実現できる可能性がある。過去の報告では、地上 40～70 cm の高さにひも状資材を設置することで、シカなどの大型動物を検知できる可能性が示唆されている（狩場ら 2022）。しかし、実際の再造林地における実証事例はなく、その実用性については明らかになっていない。

そこで本研究では、磁石着脱式の磁気センサーを用いて、再造林地内に侵入したシカを LPWA 通信網を経由して正確に検知できるかを検証することを目的とした。また、調査結果をもとに、現地での適切な磁気センサーの活用方法について提案を行う。

材料と方法

1. 調査地

調査地は三重県津市白山町内に位置する、調査開始時点で6年生のセンダン造林地(0.32 ha)とした(図-1)。調査地の周囲にはシカ侵入防止のためにステンレス入りポリエチレンネットの防護柵が設置されている。調査期間のうち一定の期間、調査地に設置された防護柵のうち一部分(1箇所あたり幅3 m)を開放し、シカ等の野生動物が侵入できるようにした。2023年10月3日に調査を開始し、2023年10月31日に防護柵を2か所(斜面上部と下部)開放した。その後、2023年12月18日に防護柵を閉鎖した。2024年2月6日には防護柵1か所(斜面下部のみ)を再び開放し、2024年4月10日に調査を終了した(図-1, 表-1)。

2. 現地調査

調査地では磁石脱着式の磁気センサーを用いてシカ等の大型動物を検知可能か検証した。磁気センサーによる検知では、シカ等の大型動物が造林地内に張り巡らせたひも状の資材に触れ、その先に付いている磁石が引っ張られて磁気センサーから外れると検知情報が送信される(図-2)。磁石に取り付けるひも状の資材として、テンションをかけても伸びにくい素材である釣り糸用のPEライン(直径0.32 mm, 強度40 lb)を用いた。磁気センサーは防護柵内に3台(磁気センサーA, B, C)設置し、各磁気センサーの磁石に取り付けたPEラインを50~70 m程度、地面から50 cm前後の高さで防護柵に沿って張りテンションをかけた(図-2)。地面からPEラインの高さについては、事前に地面から30 cm, 50 cm, 70 cmの高さでPEラインを張り、シカ等の大型動物の往来を検知可能か(PEラインが引っ張られて磁石が外れるか)を予備試験により検証したと

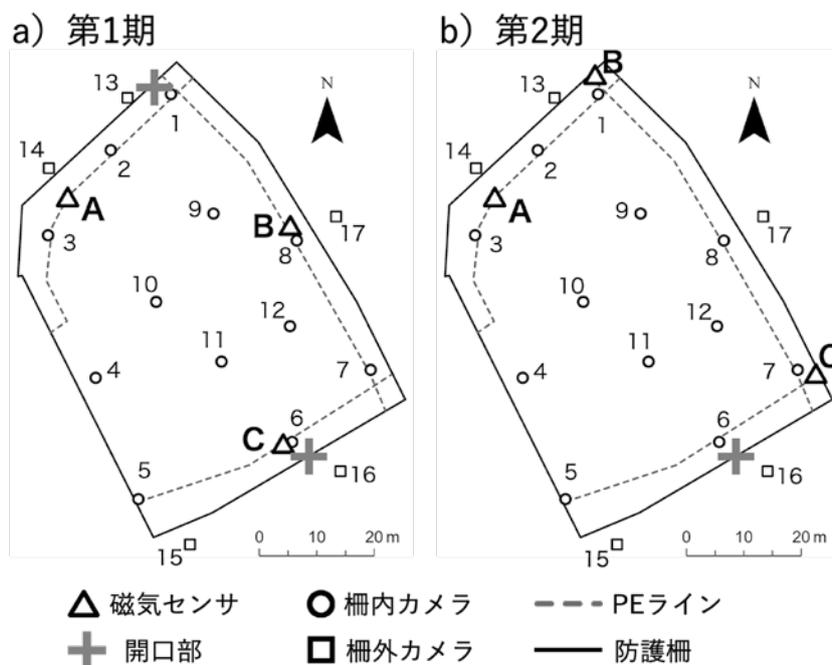


図-1. 調査地における磁気センサ, カメラ, PEライン, 開口部の位置. a) 第1期(2023年10月3日~2024年2月6日), b) 第2期(2024年2月6日~2024年4月10日). 2023年10月3日~2023年10月31日, 2023年12月18日~2024年2月6日の期間は開口部を閉鎖した。

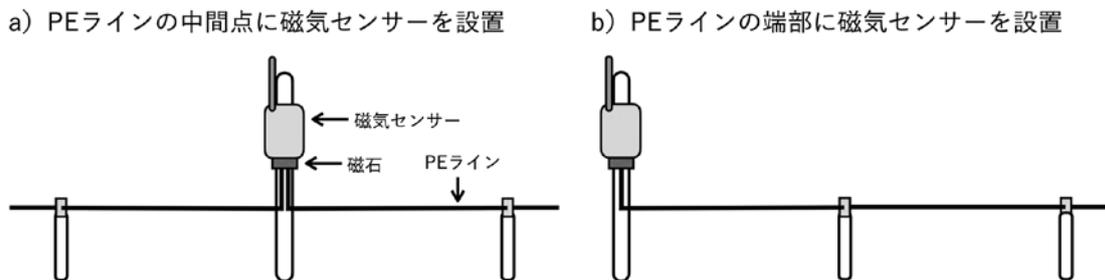


図-2. 磁気センサーと PE ラインの設置方法, a) PE ラインの中間点に磁気センサーを設置し、磁石に取り付けた PE ラインを 2 方向に分岐させてテンションをかけた場合, b) 磁気センサーを PE ラインの端部に設置し、PE ラインを分岐させずに 1 方向にテンションをかけた場合.

表-1. 防護柵の開閉スケジュール

日付	内容
2023/10/3	調査開始 (自動撮影カメラ、磁気センサー設置)
2023/10/31	防護柵を2か所開放 (斜面上部、斜面下部)
2023/12/18	防護柵を閉鎖
2024/2/6	防護柵を1か所開放 (斜面下部のみ)
2024/4/10	調査終了

表-2. 調査期間ごとの磁気センサーの設置位置と磁力調整

磁気センサー	PEライン 設置距離	第1期 (2023/10/3~2024/2/6)		第2期 (2024/2/6~2024/4/10)	
		センサー設置位置 ^{*a}	磁力 ^{*b}	センサー設置位置 ^{*a}	磁力 ^{*b}
A	約60m	中間点	弱	中間点	標準
B	約70m	中間点	弱	端部	標準
C	約50m	中間点	弱	端部	標準

* a 中間点：磁気センサーをPEライン設置予定線の中間点に設置し、磁石に取り付けたPEラインを2方向に分岐させてテンションをかけた。端部：磁気センサーをPEライン設置予定線の端部に設置し、PEラインを分岐させずに1方向にテンションをかけた。

* b 弱：磁気センサーの磁石設置部分にビニルテープを貼り、磁力を弱めた。標準：磁気センサーの磁石設置部分にビニルテープを貼らず、初期設定の磁力とした。

ころ、50 cm の高さではタヌキやアライグマといった小・中型動物は検知せず、シカ、イノシシといった大型動物のみを効率よく検知したため 50 cm を採用した。PE ラインの間には木杭を 3~5 m ごとに設置した。木杭には直径 4 mm の穴の空いた金具を取り付け、PE ラインはその金具の穴に通して設置した。

磁気センサーに設置する PE ラインの距離が長いほど広範囲を検知できるが、中間杭に取り付けた金具と PE ラインの間の摩擦が大きくなり、大型動物が PE ラインに触れた際に磁石が外れず検知されにくい (検出率が低下する) 可能性がある。また、磁石の磁力が強ければ強風等による誤検知を防ぐことができる (検出精度が向上する) 可能性があるが、検出率が低下する可能性がある。

これらの理由により、磁石から PE ライン端部までの距離や磁石の磁力によって、調査期間を 2 期に分けた (表-2)。第 1 期 (2023 年 10 月 3 日～2024 年 2 月 6 日) については、3 台の磁気センサー全てで磁気センサーを PE ライン設置予定線の間接点に設置し、磁石に取り付けた PE ラインを 2 方向に分岐させてテンションをかけた (図-2a)。これにより、磁石から PE ライン端部までの距離は PE ライン設置予定線の距離の半分となる。また、磁気センサーの磁石設置部分にビニルテープを貼り、磁力を弱めた (磁力弱)。概して、第 1 期では検出精度よりも検出率の向上を優先した。第 2 期 (2024 年 2 月 6 日～2024 年 4 月 10 日) については、B, C では磁気センサーを PE ライン設置予定線の端部に設置し、PE ラインを分岐させずに 1 方向にテンションをかけた (図-2b)。また、A, B, C の磁気センサーの磁石設置部分に貼ったビニルテープを剥がし、初期設定の磁力とした (磁力標準)。概して、第 2 期では検出率よりも検出精度の向上を優先した。また、磁石から PE ライン端部までの距離を大きくした際の検知への影響を確認した。

LPWA 通信基地局は三重県林業研究所 (三重県津市白山町内、調査地から直線距離で 5.8 km) の屋上に設置し、磁気センサーからの情報の受信に用いた。LPWA 通信基地局が受信した情報は、モバイルネットワークを介して随時電子メールにより送信された。LPWA 通信基地局と磁気センサーは (株) アイエスイー製の機材 (商品名: ほかパト) を用いた。なお、データの送受信に用いられる周波数帯は 150 MHz, 出力は 50 mW であった。

調査地である造林地の防護柵内外に自動撮影カメラを設置し、造林地周辺のシカ等の大型動物の出没状況や再造林地内への侵入状況を調査した。防護柵内には 12 台のカメラ (販売元: (株) GISupply, 商品名: SG-031) を設置した (図-1)。カメラの設定については、静止画, 3 連続撮影, 撮影インターバル 10 秒, スケジュール設定なし (24 時間稼働) とした。その他の設定については、「Night Mode」: Balanced, 「Flash LED」: High, 「PIR Sensitivity」: Middle とした。防護柵外には 5 台のカメラ (製造元: Zhuhai Ltl Acorn Electronics, 商品名: Ltl-Acorn 6210MC) を設置した (図-1)。カメラの設定については、防護柵内のカメラと同様に、静止画, 3 連続撮影, 撮影インターバル 10 秒, スケジュール設定なし (24 時間稼働) とした。その他の設定については、「Sens Level」: Normal, 「Side PIR」: On とした。シカの防護柵内への侵入をカメラで確実に把握できるように、造林地内のカメラのうち 2 台 (1, 6) については、防護柵の開口部の方向に向けて設置した。

3. 解析方法

自動撮影カメラ画像に写った大型動物の頭数をカウントした。なお、今回は大型動物としてシカしか撮影されなかった。カメラごと、期間ごとのシカ撮影頻度指数を下記により算出した。

$$\text{撮影頻度指数} = TN / D \quad (1)$$

ここで、 TN をある期間内におけるシカの延べ撮影頭数、 D をカメラ稼働日数とする。防護柵内に侵入したシカの時空間的な出没状況を把握するため、半月ごとに算出した撮影頻度指数を用いて ArcGIS Pro 3.3.1 (Esri 社) により IDW 法 (逆距離加重法) で空間補完を行った。また、日ごとの撮影頭数について、防護柵内の 12 台の平均と防護柵外の 5 台の平均を比較した。

各磁気センサーによる検知の正誤判定は、各磁気センサーに取り付けられた PE ライン上に位置する自動撮影カメラの撮影画像を基に行った。各磁気センサーで検知があった日に、その磁気センサーに取り付けられた PE ライン上に位置するカメラでシカが撮影されていた場合、正解検

知とみなした。一方、磁気センサーで検知情報が送信された日にシカが撮影されていなかった場合、誤検知とみなした。磁気センサーAの正誤判定はカメラ1, 2, 3により、磁気センサーBの正誤判定はカメラ1, 8, 7により、磁気センサーCの正誤判定はカメラ5, 6, 7により行った(図-1)。磁気センサーによる検知の検出率と検出精度を下記により算出した。

$$\text{各センサーの検出率} = Cd / ap \quad (2)$$

$$\text{各センサーの検出精度} = Cd / d \quad (3)$$

ここで、 ap は磁気センサー稼働中に PE ライン上のカメラで実際にシカが撮影された日数、 d は磁気センサーによる検知回数、 Cd は d のうち、PE ライン上のカメラ画像により正解検知と判定された回数である。なお、 ap はシカが撮影された日数であるため、1日に何度もシカが撮影された場合でも1としてカウントした。検出率と検出精度はセンサーごとに算出した。

また、再造林地全体における3台のセンサーによる検出率と検出精度を下記により算出した。

$$\text{全体の検出率} = TCd / Tap \quad (4)$$

$$\text{全体の検出精度} = TCd / Td \quad (5)$$

ここで、 Tap は全ての磁気センサーが稼働中に再造林地内のいずれかのカメラでシカが撮影された日数、 Td は全ての磁気センサーが稼働中にいずれかの磁気センサーで検知があった回数(例えば、A, B, Cの磁気センサー稼働中に、A, Bで同日に検知があった場合は1回とカウント)、 TCd は Td のうち、防護柵内の12台のカメラのいずれかでシカが写っており正解検知と判定された回数である。なお、 Tap はシカが撮影された日数であるため、1日に何度もシカが撮影された場合でも1としてカウントした。

結果と考察

1. 自動撮影カメラによるシカの出現傾向

防護柵内と防護柵外の1日ごとのシカ撮影頭数を図-3に示す。調査を開始した直後の10月は防護柵内においてシカの撮影は無く、防護柵外もシカの撮影は稀であった。2023年10月31日に防護柵の一部を開放し、11月は防護柵内でシカが撮影されるようになったが、その頻度は少なかった。また、防護柵外の撮影頻度も少なかった。12月に入ると防護柵内外ともにシカの撮影頻度が大幅に増加した。2023年12月18日から2024年2月6日までは防護柵を閉鎖したため、防護柵内ではシカは撮影されなかった。一方、防護柵外ではシカが撮影されたが、防護柵開放期間と比較してその頻度は減少した。2024年2月6日に再び防護柵の一部を開放して以降、2月半ばまでは防護柵内外ともに撮影頻度は少なかったが、2月後半以降は大幅に撮影頻度が増加した。全期間を通じた撮影頻度の推移は防護柵内と防護柵外で似た傾向を示した。防護柵内はシカの餌となる雑草木が多い環境である。防護柵外の撮影頻度が防護柵の開放に伴い増加したのは、シカが防護柵内の餌環境に誘引されたためである可能性が高い。

図-4に防護柵内におけるシカの半月ごとの撮影頻度指数の分布を示す。2023年11月、12月は防護柵に南側と北側の2か所の開口部を設けていたが、シカはほとんど南側からのみ侵入していた。11月は開口部を設けているにも関わらずシカの撮影頻度は少なく、わずかに南側の開口部付近で撮影されるのみであった。12月は撮影頻度が増加したが、シカは侵入場所である南側の開口

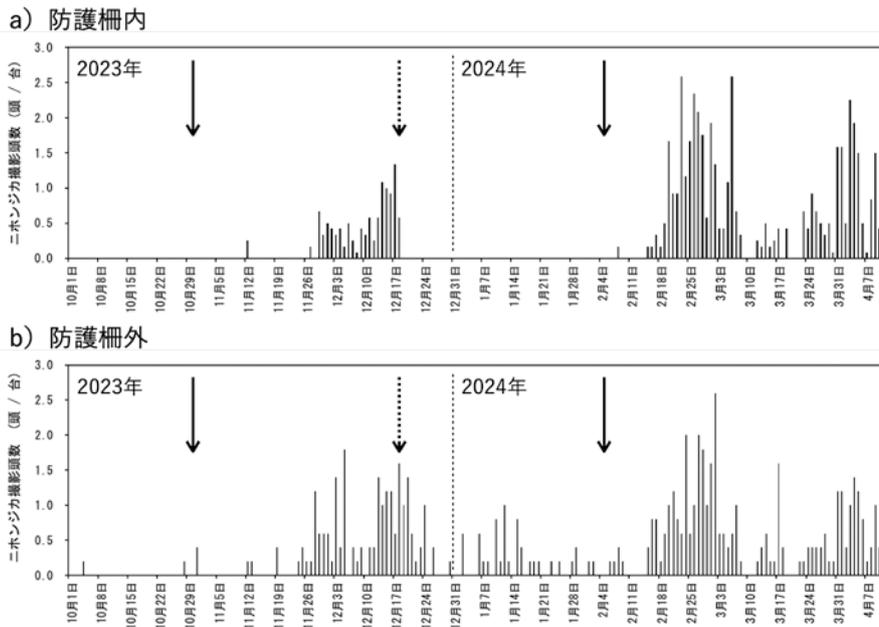


図-3. 自動撮影カメラの1日ごとのシカの撮影頭数. a) 防護柵内に設置された12台の自動撮影カメラのシカの撮影頭数の平均, b) 防護柵外に設置された5台の自動撮影カメラのシカの撮影頭数の平均. 図中の黒線矢印は防護柵の一部を開放したタイミング, 点線矢印は防護柵を閉鎖したタイミングを示す.

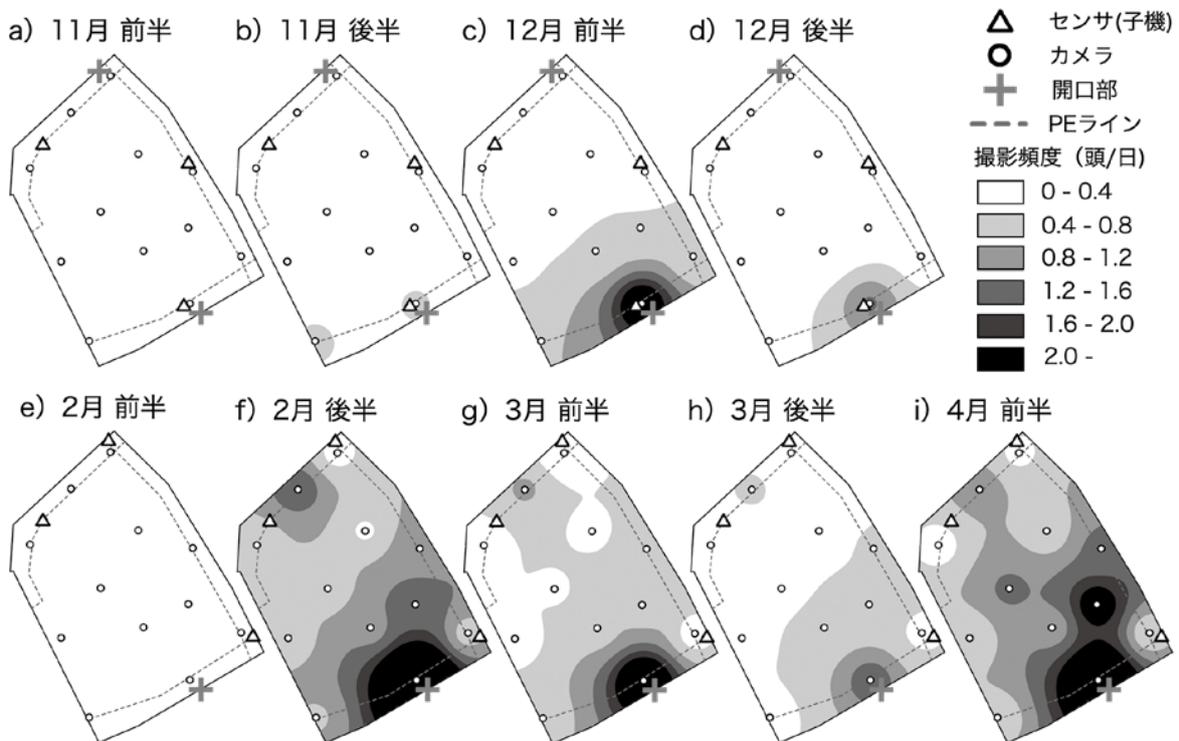


図-4. 防護柵内におけるシカの半月ごとの撮影頻度指数の分布. カメラごとに算出した半月ごとの撮影頻度指数をIDW法により空間補完した. 防護柵を閉鎖していた10月, 1月については防護柵内でシカの撮影がなかったため省略した.

部付近で多く撮影され、侵入場所から遠ざかるにつれて撮影頻度が少なくなった。1月は防護柵を閉鎖していたためシカの撮影はなかった。2月6日に防護柵に再び南側に1か所の開口部を設けると、2月前半はシカの撮影頻度は少なかったが、2月後半になると防護柵内全体でシカが撮影されるようになった。3月は撮影頻度が2月と比較すると低くなったが、4月では再び防護柵内全体でシカが撮影されるようになった。今回は1つの再造林地のみ結果であるため一般化はできないが、今回のようにシカの侵入初期では侵入場所付近でのみ稀に出没するような場合、初期の侵入（今回の調査結果ではおおよそ1か月以内）を検知できれば、再造林地全体への被害の拡大を防ぐことができると考えられた。

2. 磁気センサーによる侵入検知の検出率と検出精度

磁気センサーによるシカの侵入検知回数や検出率、検出精度を表-3に示す。全体の検出率、検出精度については、第1期では検出率は1、検出精度は0.44であった一方、第2期では検出率は0.27、検出精度は0.75であった。つまり、第1期では検出率は高いが検出精度が低く、第2期では検出率は低いが検出精度が高くなった。第1期では磁気センサーをPEラインの中間点に設置したため、PEラインの端部から磁石までの距離が第2期に比べて半分であった。また、磁石脱着部分にビニルテープを貼り磁力を弱めていた。そのため、シカがPEラインに触れた際に磁石が外れやすいことで検出率が高くなったと考えられた。一方、磁力を弱めていたために強風などシカ以外の原因でも磁石が外れやすくなり検出精度が低くなったと考えられた。第2期では磁気センサーB、CについてはPEラインの端部から磁石までの距離が長く、PEラインと金具の間で摩擦が生じる箇所が多くなったと考えられる。これにより動物がPEラインに触れても磁石が外れないことが多くなり、検出率が低くなった可能性がある。一方、磁石脱着部分にビニルテープを剥がして標準の磁力としたため、シカ以外の要因で磁石が外れることがほとんどなくなり検出精度が高くなったと考えられた。

磁気センサーごとの検出率と検出精度をみると、磁気センサーBの検出率が低いことがみてとれる（表-3）。磁気センサーBのPEラインは傾斜方向に張ったが、地面の凹凸によりPEラインの線形が上下方向に屈曲していた。これにより、PEラインと金具の間で摩擦が生じやすくなり、

表-3. 各磁気センサーおよび全体のシカに対する検出率と検出精度

磁気センサー	第1期 (2023/10/3~2024/2/6)					第2期 (2024/2/6~2024/4/10)				
	<i>ap</i>	<i>d</i>	<i>Cd</i>	検出率 (Cd/ap)	検出精度 (Cd/d)	<i>ap</i>	<i>d</i>	<i>Cd</i>	検出率 (Cd/ap)	検出精度 (Cd/d)
A	3	4	2	0.67	0.50	6	3	3	0.50	1.00
B	7	2	2	0.29	1.00	17	2	1	0.06	0.50
C	4	7	4	1.00	0.57	15	3	3	0.20	1.00
全体	<i>Tap</i>	<i>Td</i>	<i>TCd</i>	検出率 (TCd/Tap)	検出精度 (TCd/Td)	<i>Tap</i>	<i>Td</i>	<i>TCd</i>	検出率 (TCd/Tap)	検出精度 (TCd/Td)
	4	9	4	1.00	0.44	11	4	3	0.27	0.75

ap : 磁気センサー稼働中にPEライン上のカメラでシカが撮影された日数, *d* : 磁気センサーによる検知回数, *Cd* : *d*のうち正解検知回数, *Tap* : 全ての磁気センサーが稼働中に再造林地内のいずれかのカメラでシカが撮影された日数, *Td* : 全ての磁気センサーが稼働中にいずれかの磁気センサーで検知があった回数, *TCd* : *Td*のうち正解検知回数

シカが PE ラインに触れても磁石が外れないことが多くなり検出率が低くなったと推測される。一方、磁気センサーAのPEラインは多少水平方向に屈曲したが磁気センサーBほどではなく、PEラインの長さも短かったこと、磁気センサーCのPEラインは等高線に沿って比較的直線的に張ったことから、磁気センサーA、Cは摩擦が磁気センサーBほど生じなかったと推測される。また、磁気センサーBは磁石を標準の磁力とした後も誤検知が発生した。センサーBではPEライン上の摩擦が大きい分、無理に強いテンションをかけたため、磁石がわずかな力で外れる状態となり誤検知が発生した可能性がある。このように、磁気センサーBは設置方法が適切でなかった可能性がある。今後は磁石部にかかる適切な張力の大きさを検証する必要がある。

磁力センサーによる検知では、検知後に再稼働するためには現地に行き磁石を再設置する必要があることから、実用性を高めるためには誤検知の発生率をできる限り小さくする（検出精度を上げる）必要がある。第2期において磁気センサーBを除くと、全体の検出精度は1となるため、適切に設置をすれば誤検知はほとんど発生しない可能性がある。今回の調査終了時以降も調査地に磁気センサーA、Cを設置しているが、2024年11月時点では正解検知のみで誤検知は1度も発生していない（川島 未発表）。ただし、雑草木が成長しPEラインを押し上げるなど、不可抗力により誤検知が発生する可能性もあることから、今後も誤検知の発生について調査していく必要がある。一方、第2期の全体の検出率は0.27であり、検出精度を上げると検出率が低くなる傾向があった。検出率が0.27とは、平均して4日間のシカ侵入に対しておおよそ1回検知されたことを意味する。今回は1日あたりに何頭のシカが侵入したかということは考慮に入れず、1日あたりのシカの撮影の有無のみで検知の正誤判定を行っているため注意が必要ではあるが、植栽苗木は食害があっても直ちに枯死に繋がるわけではないことから、第2期の検出率（0.27）でも十分に実用性があると考えられる。

3. 侵入検知における磁気センサーの活用方法と課題

今回の調査結果から、大型動物の侵入検知における磁気センサーの適切な設置方法をまとめると以下の通りである。まず、磁気センサーに取り付けるPEラインは地面から50cmの高さでなるべく等高線に平行に、蛇行のないように直線的に張ることとする。また、磁石からPEライン端部までの長さは管理のしやすさと検出率を考慮しておおよそ50m程度までとし、さらに長さを伸ばしたい場合はPEラインの中間点に磁気センサーを設置する（最大100mをカバーする）。植栽苗木の被害は傾斜の大きな造林地で発生しやすいことから（酒井ら 2022）、PEラインを設置する場所は、急傾斜地などシカの侵入が発生しやすいと考えられる場所をカバーするように選定する。

これにより、少数の磁気センサーで広範囲をカバーしながらシカの侵入を高精度で検出でき、シカの侵入の早期の発見や見回りの省力化に繋がる可能性がある。しかし、磁石の磁力に対し磁石を引っ張る力（張力）が大きすぎると誤検知が発生し、逆に磁力に対して張力が小さすぎると検出率が下がると考えられるため、今後は磁力と張力の調整方法を確立する必要がある。また、磁気センサー、PEライン、木杭を設置する労力が初期にかかること、下刈り時に木杭やPEラインが障害となる可能性があること、下刈り時にPEラインを誤って切ってしまう可能性があること、長期間にわたりPEラインを設置していると雑草木の成長といった不可抗力により誤検知が発生する可能性があることが課題と考えられる。そのため、今後は磁気センサーの設置や管理にかかる労力や作業性が長期使用において実用的であるかどうかを検証する必要がある。

謝辞

本研究の実施にあたり，三重県林業研究所の浅井俊次氏および竹内春仁氏には，調査資材の準備や現地調査において多大なるご尽力をいただいた．ここに記し，感謝の意を表する．

引用文献

- 金森弘樹（2012）人工林におけるニホンジカの問題．森林科学 66: 36-40
- 狩場晴也・釜田淳志・石田 朗（2022）ICTを活用した森林被害管理手法の開発．愛知県森林・林業技術センター報告 59: 14-28
- 前迫ゆり・幸田良介・比嘉基紀・松村俊和・津田 智・西脇亜也・川西基博・吉川正人・若松伸彦 9・富士田裕子・井田秀行・永松 大（2020）シカの影響に関する植生モニタリング調査と地域の生物多様性保全研究－シカと植生のアンケート調査（2018～2019）報告－．自然保護助成基金助成成果報告書 29: 14-26
- 農林水産省（2025年1月最終更新）鳥獣被害対策に活用出来る機器情報．
<https://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/kikijouhou/kikijouhou.html>（2025年1月23日閲覧）
- 酒井 敦（2018）皆伐・再造林地におけるシカ防護柵の実態と被害対策．水利科学 359: 101-113
- 酒井 敦・大谷達也・米田令仁（2022）シカ防護柵を設置した四国のスギ・ヒノキ再造林地における植栽木の被害．森林立地 64: 23-29
- 総務省（2017）平成29年情報通信白書．
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/pdf/29honpen.pdf>（2025年1月23日閲覧）
- 藤堂千景・藤木大介（2017）植生保護柵としてのネット柵，金網柵の成績評価．兵庫ワイルドライフモノグラフ 9: 90-99
- 山瀬敬太郎（2017）ニホンジカ高密度地域の森林整備地に施工された土壌保全施設や植生保護柵の土壌侵食防止効果．兵庫ワイルドライフモノグラフ 9: 100-109