

シカ食害防護資材の破損と積雪深の関係

矢部 浩

Relationship between damage to deer feeding protection materials and snow depth

Yabe Hiroshi

要旨

再造林の推進にあたっては、野生動物による食害対策が不可欠であるが、積雪地帯における食害防護資材の耐雪性能に関する情報が不足している。本研究では、鳥取県内の積雪地域において侵入防止柵およびツリーシェルターの耐雪性を調査し、その損壊要因を分析した。決定木分析の結果、ツリーシェルターの損壊には最大積雪深が最も強く影響することが示された。最大積雪深が 190 cm を超えると、侵入防止柵の損壊が顕著となり、ツリーシェルターでは、最大積雪深が 125 cm 以上で損壊発生率が高まり、160 cm 以上では甚大な損壊が発生する傾向が見られた。そこで得られた結果をもとに、積雪条件に応じた食害防護資材の設置基準を提案し、設置可能域図を作成した。

Keyword：侵入防止柵、ツリーシェルター、最大積雪深、設置可能域

1 はじめに

日本は豪雨などの自然災害が多く、森林整備には国土保全の観点が必要不可欠である。伐採跡地は確実に森林へと更新する必要がある、再造林の推進が求められる。鳥取県では、令和 2 年度に「とっとり森林・林業振興ビジョン」(鳥取県 2021¹⁾、以下ビジョンという)を策定し、資源の循環利用のため皆

伐再造林を推進している。ビジョンでは年間の皆伐再造林の目標面積を 320ha と定め、令和 5 年度の再造林面積は令和 2 年度に比べて 3.1 倍に増加した(鳥取県 2024²⁾³⁾。

一方で、近年、県内ではニホンジカ(Cervus nippon、以下、シカという)の生息数が増加し、特に東部地域で植栽木の食害が深刻化している。対策

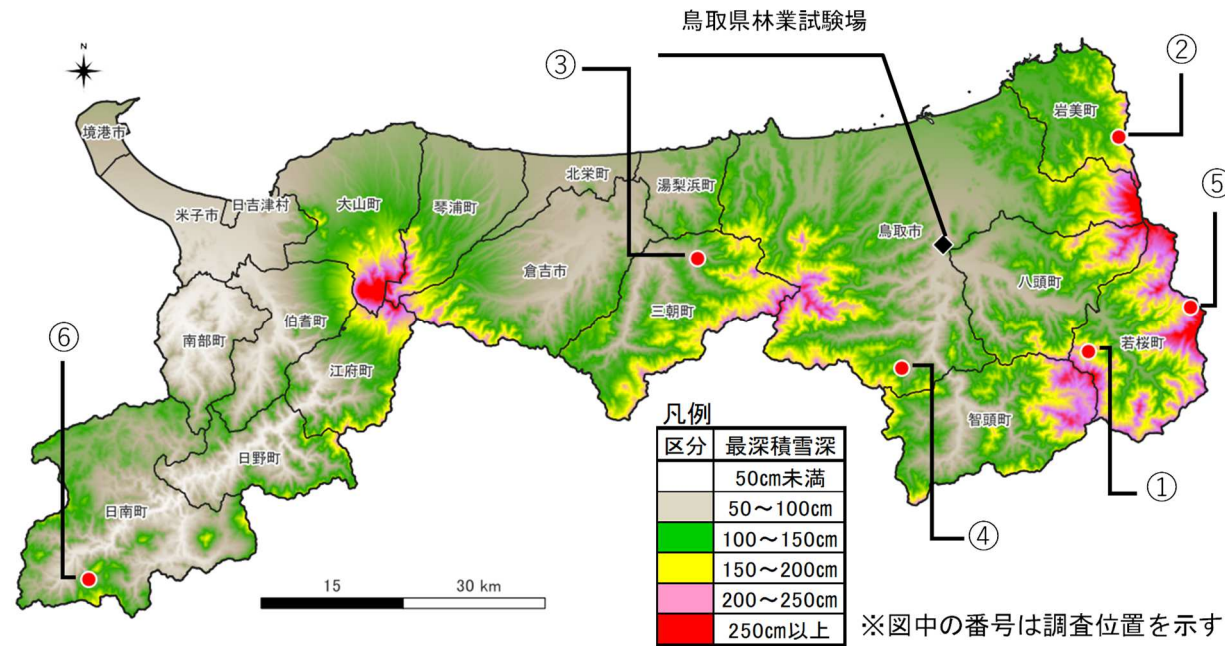


図1 前田の式(1999)による最大積雪深分布図と調査地の位置

表1 試験地の概要

試験地 番号	枝番	標高 (m)	最深積雪深 (平年値:cm)	斜面 方位	斜面勾 配(°)	植栽 樹種	調査時 林齢	調査年	供試資材			
									侵入防止柵		ツリーシェルター	
									区分	延長(m)	区分	総本数
1	1	655	183	南	3	スギ	2	2016～2017	A	70	—	—
1	2	665	183	南南東	10	スギ	2	2016～2017	A	258	—	—
1	3	650	183	南東	17	スギ	2	2016～2017	A	266	—	—
1	4	670	183	南西	20	スギ	2	2015～2017	C	449	—	—
1	5	715	183	南南西	34	スギ	2	2015～2017	C	330	—	—
2	1	325	180	西北西	15	スギ	2	2016～2017	B	630	—	—
2	2	325	180	西北西	10	スギ	2	2015～2017	—	—	A～E	75
3	—	320	123	北北西	20	広葉樹	5	2015～2017	—	—	A～E	125
4	—	330	110	北北西	37	スギ	2	2015～2017	—	—	A～E	295
5	—	950	244	西南西	30	広葉樹	2	2014～2015	—	—	A～E	125
6	—	670	134	北北西	18	スギ	3	2015～2016	—	—	A～E	125

として、造林地の周囲に柵を設置しシカの侵入を防ぐ「侵入防止柵」と、植栽木をプラスチック製資材等で単木的に覆い保護する「ツリーシェルター」がある。これらは高い防護効果を持つが、積雪による損壊や変形の報告があり(小谷 2001⁴⁾; 村瀬 2017⁵⁾)、多雪地域での利用には注意が必要である。しかし、現時点で食害防護資材の耐雪性能に関する情報は不足している。

本研究では、鳥取県内の複数地域で侵入防止柵とツリーシェルターに対する積雪の影響を調査したので、その結果を報告する。

2 試験地と調査方法

2.1 試験地の概要

試験地の選定にあたって、国土地理院発行の数値地図 50m メッシュデータを使用して、前田の式(1999⁶⁾)により鳥取県内の最大積雪深分布図(図1)を作成した。この図を基に最大積雪深が 100cm を越える地域の植栽地を 6 箇所選定した。試験地の概要は、表1のとおりである。試験地 4 は、採草地跡地、試験地 4 以外は皆伐跡地であり、試験区域内に樹高 5m を超える樹木は存在しない。いずれの試験地も林縁が近傍にあるため、倒木や落枝等による食害防護資材の損壊が懸念されたが、調査期間中は確認されなかった。6 箇所の試験地のうち、試験地 1 の侵入防止柵は民間事業体が独自

に整備し、他は全て当場の職員によって設置作業を行った。試験地には調査期間中の最大積雪深を把握するため、試験地斜面の上部と下部に高橋式積雪指示計(高橋 1968⁷⁾)を各 1 本設置した。

2.2 調査対象資材

2.2.1 侵入防止柵

調査対象は3種類(タイプ A、B、C)であり、概要を附表1、模式図を附図1に示す。タイプ A と B はステンレス線入りポリエチレンネットを使用し、張りロープと押さえロープを併用している。A の支柱は、固定用支柱にネット固定用軽量鉄パイプ支柱を被せる構造であり、B の支柱は樹脂被覆鋼管を、C の支柱は異形棒鋼を直接打ち込む方式である。3 種類とも支柱(A は固定用支柱)の埋め込み深さは 50cm である。3 タイプともスカートネットを併用しており、A と C はスカートネットと本体ネットをナイロン製結束バンドで固定し、B は専用留め具で支柱とスカートネットを固定している。

2.2.2 ツリーシェルター

調査対象は 5 種類(タイプ A、B、C、D、E)であり、概要を附表2、模式図を付図2に示す。設置方法は各ツリーシェルターの取り扱い説明書に従い、支柱の打ち込み深さは 40cm とした。試験地 2～6 で試験を行い、各試験地で種類ごとに 15～70 本を設置した。

2.3 調査方法

2.3.1 現地調査

調査は、2015 年から 2017 年にかけて、融雪後の春季に年 1 回実施した。調査にあたっては、食害防護資材を構成する各部材の変形・損壊を確認し、損壊等により侵入防止機能や食害防止機能が喪失した場合は「甚大な損壊」、食害防止機能が維持されている場合は「軽微な損壊」とした。例えば侵入防止柵では、植林地を囲うため、設置延長が長いが、1 箇所でもネット高が低くなりシカの侵入が可能な状態となっていれば、侵入防止効果は喪失したと判断できるので、損壊箇所の多寡に係わらず「甚大な損壊」とした。なお、「甚大な損壊」が生じた場合には、変形・損壊箇所を新たな部材と交換し、機能を回復させようとて調査を継続した。

2.3.2 解析方法

防護資材の損壊要因を解析するため決定木分析を用いた。決定木分析は、機械学習アルゴリズムの一つで、データの特徴に基づいてツリー構造を構築し、分類する手法であり(J.R.Quinlan 1984⁸⁾)、学習過程や結果の解釈が容易である等の利点が挙げられる。今回は、防護資材の破損と関係が強い要因を明らかにするため、目的変数は防護資材の損壊発生率、説明変数は防護資材タイプ、最大積雪深、傾斜、斜面方位とした。分岐回数は最大3回に設定した。解析は統計パッケージ R4.2.2(R

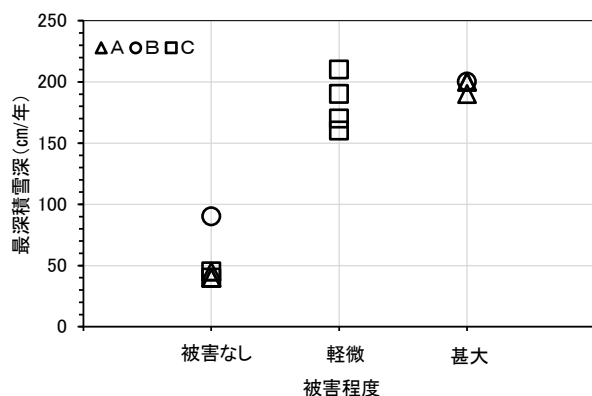


図2 侵入防止柵の損壊程度と最大積雪深の
関係

Core Team, 2024)を使用した。なお、侵入防止柵はサンプル数が不十分であったため、決定木分析は実施しなかった。

3 結果と考察

3.1 侵入防止柵における損壊



a) 侵入防止柵 A



b) 侵入防止柵 B



c) 侵入防止柵 C

写真1 積雪による侵入防止柵の損壊状況

侵入防止柵での調査結果を図2に示す。侵入防止柵 A 及び B では、最大積雪深が 190cm から 210cm の時に甚大な損壊が生じた。主な損壊内容は、支柱の著しい屈曲若しくは破断、ネット固定具の変形・損壊による本体ネット及びスカートネットの落下である(写真1)。支柱の屈曲・破断は、侵入防止柵 A では地表面近く若しくは高さ 70cm 前後、侵入防止柵 B では地表面近くで多く発生していた。侵入防止柵 A の支柱は、固定用支柱にネット固定用支柱を被せており、地表から高さ 70cm 程度まで 2 重構造となっている。積雪による荷重が 2 重構造の両端部に集中することで、破損が集中したと考えられた。侵入防止柵 B は、A のような 2 重構造はなく、支柱と地面との固定部に積雪荷重が集中することから地表面近くで破損が多発生したと考えられた。また、ネット固定具の変形・破断は、主に支柱との接合部に発生しており、ネットが引きずられるように沈降する際の負荷に耐えられなかったと推察される。積雪による損壊は支柱とネット固定具に集中して発生しており、ネット本体や張りロープに損壊はみられなかった。侵入防止柵 A・B の試験地は勾配 17°以下であり、緩斜面でも損壊が発生していることから、積雪の沈降に伴って鉛直方向に発生する荷重に支柱若しくは固定具が耐えきれず、損壊したと考えられた。

侵入防止柵 C では、最大積雪深が 160cm 以上となった時に軽微な損壊が生じた。損壊の内容は、支柱の屈曲及び本体金網の変形、スカートネットの脱落であり、最大積雪深が 190cm 以上の時はその変形程度が著しくなった。ただし、侵入防止柵の高さは 160cm 以上を維持しており、侵入防止機能は残っていると判断できたため、全て軽微な損壊とした。支柱や本体金網、支柱と本体金網との結束具では破断などの破壊を伴う損壊は生じていない。本体金網と支柱の変形は斜面下部に集中してい

たことから、これらの損壊は積雪の移動圧によって変形が生じたと考えられた。平均勾配が 20°の試験地より平均勾配 34°の試験地での変形程度が大きいたことが観察され、勾配が大きくなるにつれて積雪の移動圧による影響が強まることが示唆された。スカートネットの脱落は、本体金網とスカートネットを結束するポリエチレン製の結束バンドの断裂、若しくは結束箇所でのスカートネットの断裂によって生じており、部材の強度が積雪の沈降圧に耐えきれなかったものと考えられた。

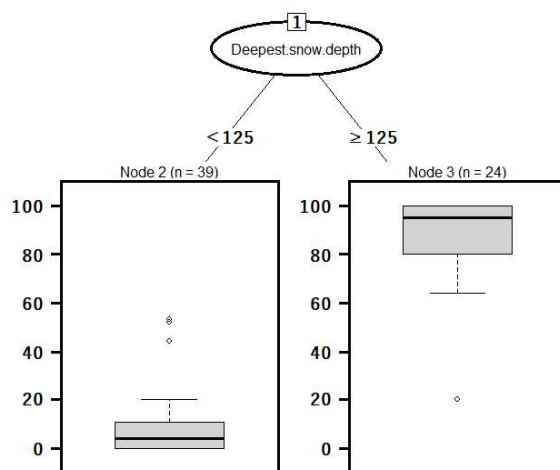


図3 ツリーシェルターの損壊発生率に係る決定木分析の結果

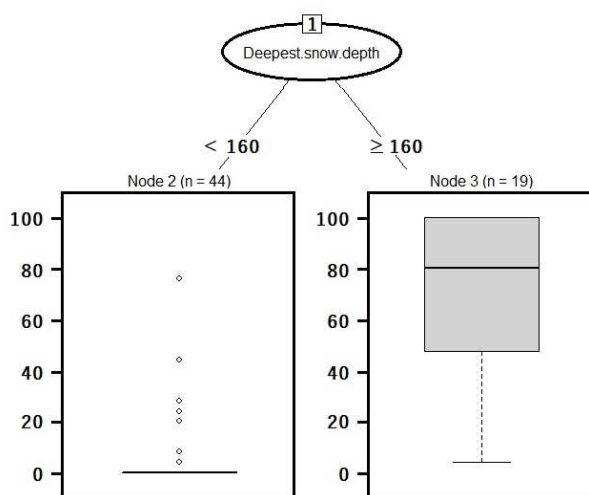


図4 ツリーシェルターの甚大な損壊の発生率に係る決定木分析の結果

3.2 ツリーシェルターにおける損壊

3.2.1 ツリーシェルターの損壊発生率と積雪深の関係

ツリーシェルターの損壊発生率に関する決定木分析の結果を図3に示す。この分析の結果、ツリーシェルターの損壊に寄与する主要な変数として最大積雪深が検出された。最大積雪深が 125cm 以上の場合、損壊発生率は概ね 80%以上となり、損壊が発生しやすいグループに分類された。一方、最大積雪深が 125cm 未満の場合、損壊発生率は概ね 20%未満となり、損壊が発生しにくいグループに分類された。ツリーシェルターのタイプによって損壊に対する耐性は異なるが、既往の研究(岡本ら 2015⁹⁾; 古澤ら 2024¹⁰⁾)では最大積雪深が 100～130cm 程度であれば損壊が少ないことが報告されており、本県における今回の結果は概ね妥当であると考えられる。

次に、「甚大な損壊」の発生率を目的変数にして同様に決定木分析を行った。その結果を図4に示す。この分析でも、最大積雪深が主要な変数として検出され、最大積雪深が 160cm 以上である場合、「甚大な損壊」の発生率は概ね 50%以上と高いグループに分類された。一方、最大積雪深が 160cm 未満では、「甚大な損壊」が発生しにくいグループ

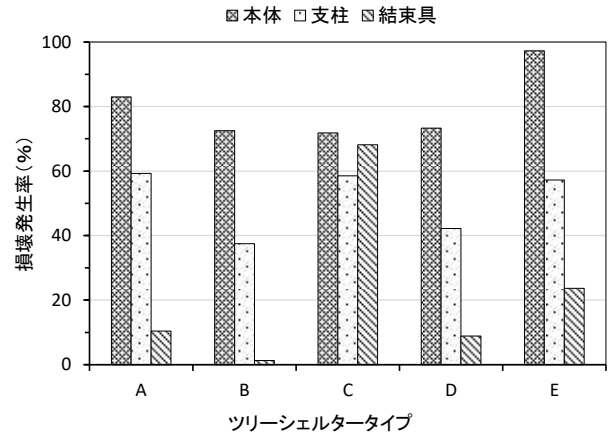


図5 ツリーシェルター毎の部材別損壊発生率に分類された。

3.2.2 部材別の損壊発生状況

「甚大な損壊」が発生しやすい最大積雪深 160cm 以上の調査年のデータを用いて部材別の損壊発生状況を分析した結果を図5に示す。ツリーシェルターのタイプに係わらず本体での損壊発生率が最も高くなった。C タイプは支柱、結束具、本体の順に損壊が多くなり、他のタイプは、結束具、支柱、本体の順となった。

各部材での損壊程度を図6に示す。ツリーシェルターのタイプを問わず、本体の損壊は「甚大な損壊」が 55～68%を占めた。支柱ではほぼ全てが「甚大な損壊」、結束具は全て「軽微な損壊」となった。

ツリーシェルターのタイプによる本体の損壊発生

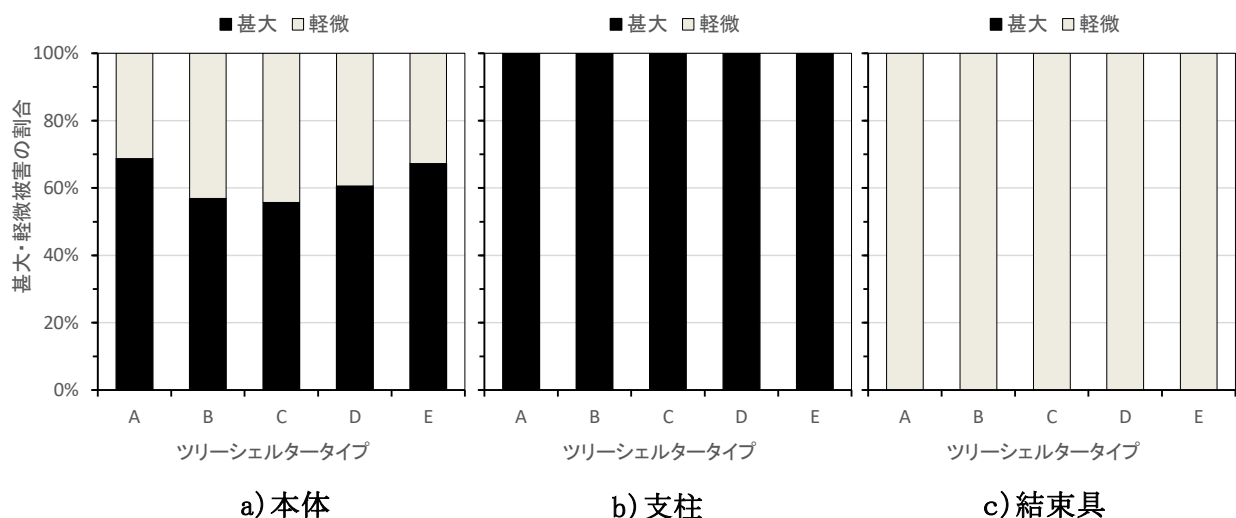


図6 ツリーシェルター部材別の損壊程度割合

率への影響を検証するために χ^2 検定を行った結果、有意な差が得られた($\chi^2(4)=32.708$, $p<0.001$)。残差分析の結果、損壊発生率は、Eタイプで有意に高く、Cタイプで有意に低かった。タイプ別に本体損壊の形態をみると、A・B・Cタイプでは、雪圧により押し潰された変形が多く見られた(写真2)。特に

Aタイプでは、本体の素材が他のタイプに比べて硬かったためか、変形に加えて亀裂が生じたものが多く観察された(写真3)。D・Eタイプでは、積雪の沈降に伴う鉛直方向の荷重により本体が結束箇所できちんと切られてずり落ちるケースが多かった(写真4)。タイプ別に損壊発生率に差がみられたとは



a) ツリーシェルターA



b) ツリーシェルターB



c) ツリーシェルターC

写真2 積雪によるツリーシェルターの変形



写真3 積雪によって生じたツリーシェルターAの亀裂



a) ツリーシェルターD



b) ツリーシェルターE

写真4 積雪によるツリーシェルター結束箇所の損壊

いえ、損壊発生率が最も低かった C タイプでも 71.2%であり(図5)、最大積雪深が 160cm 以上になると本体に損壊が生じる割合は非常に大きくなることが分かった。

ツリーシェルターのタイプによる支柱の損発生率への影響を検証するために χ^2 検定を行った結果、有意な差が得られた($\chi^2(4)=18.280$ 、 $p=0.001$)。残差分析の結果、B・D タイプは他のタイプに比べ損壊発生率が有意に低かった。A・B タイプの支柱はどちらも樹脂被覆鋼管で、管径も同じであったが、損壊発生率は B タイプが低かった。これは、樹脂被覆部分を除いた鋼管の厚みが、A は 1.8mm であったのに対し、B は 2.0mm と若干厚かったことが影響したと考えられる。また、D・E タイプの支柱はどちらも同一径の FRP 製であるが、損壊発生率は D タイプが低かった。これは、E タイプの本体表面積が D タイプよりも大きく、かつ表面が粗く着雪しやすい素材であったため、雪圧を受けやすかったと考えられる。C タイプの支柱も FRP 製で D タイプより直径も大きかったが、損壊発生率は D タイプが低かった。C タイプは、地表近くの部分で割れや破断が発生しており(写真5)、中空構造であったため、積雪の移動圧が 1 本支柱の根元部分に集中した際、押し潰されたと推察される。支柱の抜けに関しては、どのツリーシェルターでも発生率が低かった。支柱の



写真5 積雪によるツリーシェルターCの支柱の割れや破断

埋め込み深さを 40cm とした場合、支柱が抜けることは少なくなると考えられる。

ツリーシェルターのタイプによる結束具の損壊程度への影響を検証するために χ^2 検定を行った結果、有意な差が得られた($\chi^2(4)=195.52$ 、 $p<0.001$)。残差分析の結果、損壊発生率は C タイプで有意に高く、A・B・D タイプで有意に低かった。C タイプでの結束具の損壊は、支柱頂端と本体を結束しているナイロン製結束バンドの破断が大部分を占め、頂端より下の結束バンドの損壊はほとんど見られなかった。これは、頂端の結束バンドが支柱上部キャップの穴を通して本体を固定していたため、本体にかかる積雪の沈降圧が集中し、破断したと考えられる。A・B タイプは、本体と支柱をナイロン製結束バンドで結束しており、支柱側では上下に移動することが可能で、積雪による荷重は主に本体にかかるため、結束具への影響は小さいと考えられた。D タイプは、本体が結束箇所引き千切られる損壊が多発していることから、本体が先に破損することで結束具への影響が小さくなったと考えられた。

以上のように、ツリーシェルターのタイプにより、各部材での損壊傾向に差が見られた。本体での損壊が最も多く、硬い素材は変形や亀裂が生じ、布状の柔らかい素材は結束部での裂けが生じた。支柱は、鋼管の厚みや支柱の構造、本体の素材などにより損壊の発生に違いが生じ、損壊の程度はほとんどが甚大なものだった。結束具は固定されたものが破断したが、固定されていなければ損壊は少なく、ほとんどが軽微なものだった。

4 まとめ

本研究では、鳥取県内の積雪地帯における侵入防止柵およびツリーシェルターの積雪耐性を評価した。その結果、最大積雪深が一定の水準を超えると、資材の種類を問わず損壊のリスクが増大す

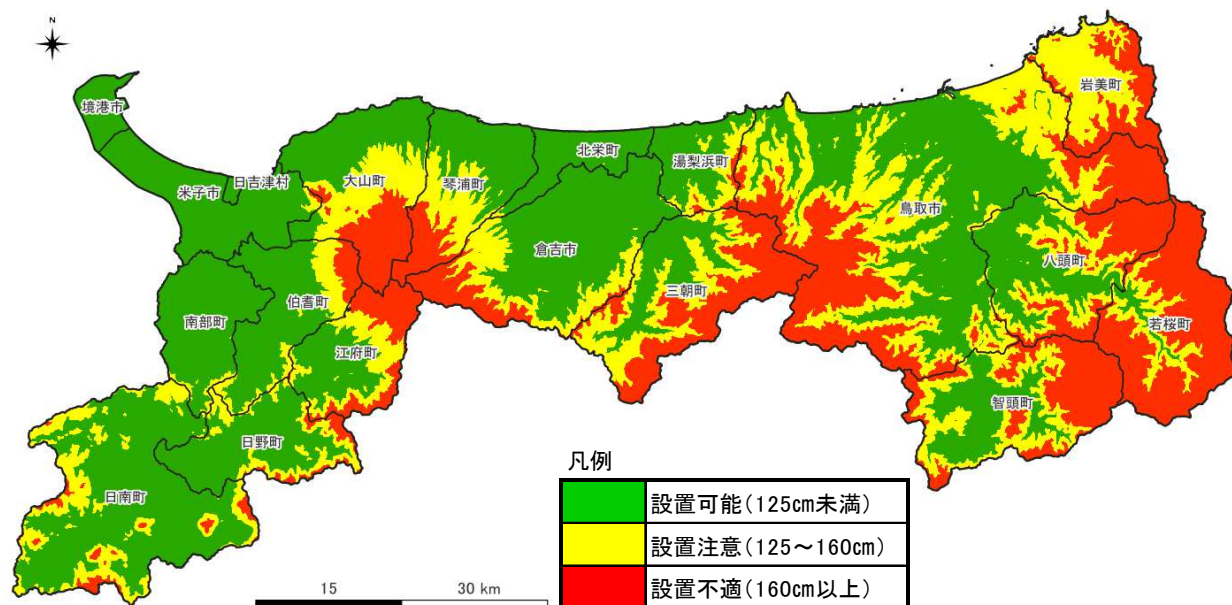


図7 最大積雪深分布に基づく食害防護資材の設置可能域図

ることが明らかとなった。侵入防止柵については、最大積雪深が 190 cm を超えると、柵 A および B では甚大な損壊が発生し、侵入防止効果が喪失することが確認された。一方で、柵 C では 160 cm 以上で損壊が発生し、190 cm 以上では変形が顕著となったが、侵入防止機能自体は維持されていた。ツリーシェルターでは最大積雪深が 125 cm を超えると損壊発生率が高まり、160 cm を超えると、甚大な損壊が集中して発生し、食害防止機能を喪失する可能性が高いことが示された。

これらの知見を踏まえ、積雪地帯における食害防護資材の設置基準を以下のように提案する。

1. 最大積雪深 160 cm 以上の地域では、侵入防止柵・ツリーシェルターともに甚大な損壊が発生する可能性が高いため、設置には適さない。
2. 最大積雪深 125 cm 以上 160 cm 未満の地域では、軽微な損壊が発生する可能性があるため、融雪後の巡視や補修を前提とした設置計画が求められる。
3. 最大積雪深 125 cm 未満の地域では、深刻な損壊のリスクが低く、資材の種類を問わず設置が可能である。

ただし、気候変動の影響により、山沿いでは短時間に降る大雪が増加する可能性が指摘されており(川瀬 2019¹¹⁾)、最大積雪深 125cm 未満の地域であっても、稀に発生する大雪によって損壊が生じるおそれがあるため、注意が必要である。

この基準をもとに、最大積雪深分布に基づく食害防護資材の設置可能域図を作成した(図7)。今後は、設置可能な地域から食害防護資材の導入を進め、造林の推進に寄与するとともに、最大積雪深が 160 cm を超える地域にも対応できるよう、大きな雪圧に耐え得る新たな資材の開発・改良を進める必要がある。

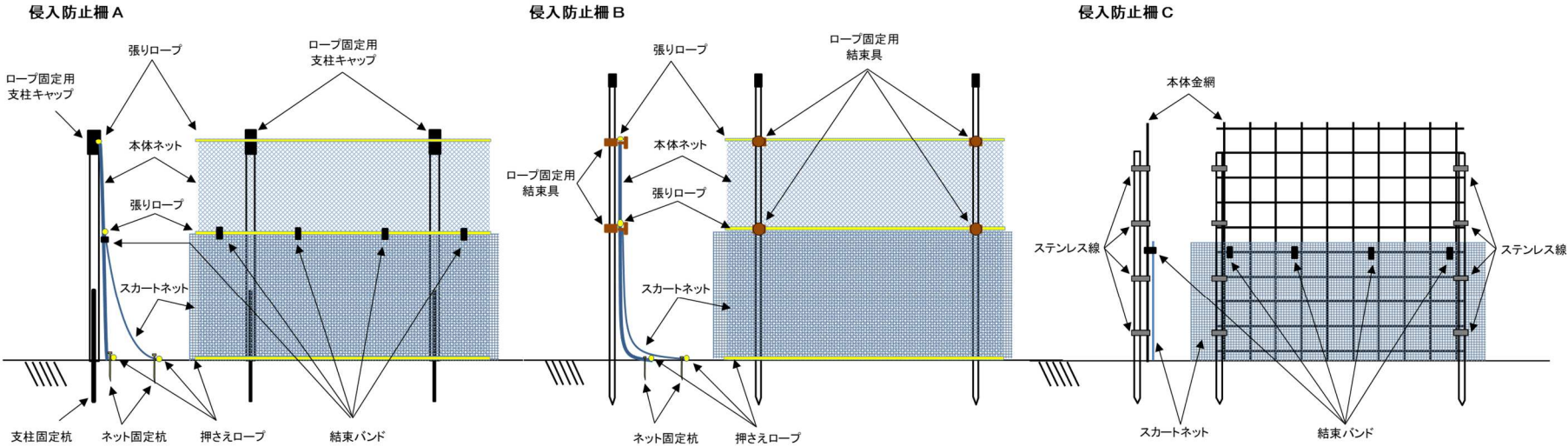
引用文献

- 1) 鳥取県(2021): とっとり森林・林業振興ビジョン: 鳥取県農林水産部森林・林業振興局、
<<https://www.pref.tottori.lg.jp/296997.htm>>、
2025 年 2 月 5 日。
- 2) 鳥取県(2021): 令和 3 年度鳥取県林業統計: 鳥取県農林水産部森林・林業振興局、
<<https://www.pref.tottori.lg.jp/315193.htm>>、
2025 年 2 月 5 日。

- 3) 鳥取県(2025):令和6年度鳥取県林業統計:
鳥取県農林水産部森林・林業振興局、
<<https://www.pref.tottori.lg.jp/100539.htm>>、
2025年5月13日.
- 4) 小谷二郎(2001):ヘキサチューブによる省力造
林試験(第3報). 石川県林業試験場業務報告
39:24
- 5) 村瀬祐司(2017):広葉樹植栽木が幼齢時に受
ける食害と雪害の低減対策. 技術開発ニュース
No.156:33~34
- 6) 前田雄一(1999):鳥取県における最大積雪深
分布とスギ人工林の成績について. 鳥取県林業
試験場研究報告 37号:9~24
- 7) 高橋喜平(1968):最深積雪指示計について. 雪
氷 30:111~114
- 8) J.R. Quinlan(1986) Induction of Decision
Trees. Machine Learning 1: 81~106
- 9) 岡本卓也・渡邊仁志・和多田友宏・田中伸治
(2015):多雪地域におけるツリーシェルター型資
材の融雪後の状況. 中部森林研究 No.63:27~
30
- 10) 古澤優佳・千葉翔(2024):積雪寒冷地域にお
けるツリーシェルターの破損と積雪深の関係. 日
本緑化工学会誌第49号第3巻:305~308
- 11) 川瀬宏明(2019):地球温暖化が日本の雪に及
ぼす影響. 農業及び園芸第94巻第4号:296
~304

附表1 試験に供した侵入防止柵の概要

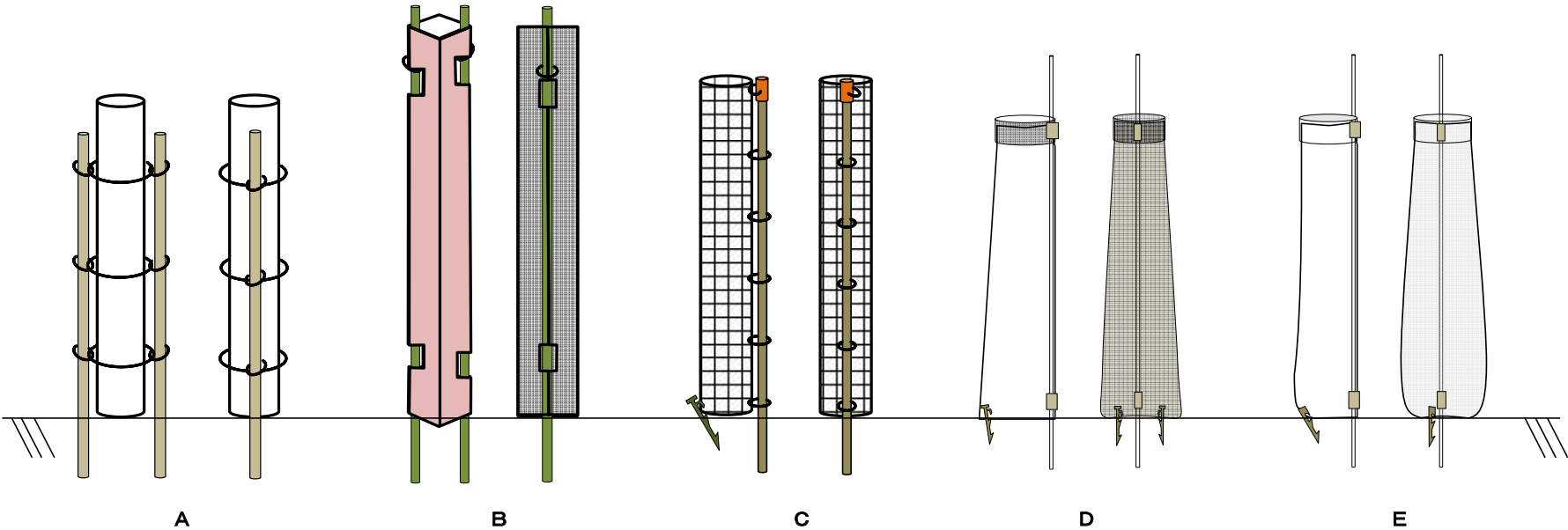
処理 区分	本体ネット			スカートネット			支柱					その他
	材質	目合 (cm)	設置高 (cm)	材質	目合 (cm)	設置高 (cm)	材質	直径 (mm)	長さ (cm)	設置間隔 (m)	埋設深 (cm)	
A	ポリエチレン (ステンレス線入)	10	180	ポリエチレン	5	60	軽量化鉄パイプ	38	180	3	50	支柱は打ち込んだ固定杭 (長さ120cm) に被せて使用
B	ポリエチレン (ステンレス線入)	6	180	ポリエチレン	2	90	樹脂被覆鋼管	33	270	3	50	一部立木に固定
C	溶接金網	20	200	ポリエチレン	20	100	異形棒鋼	17	250	1.5	50	一部立木に固定



附図1 試験に供した侵入防止柵の模式図

附表2 試験に供したツリーシェルターの概要

処理 区分	本体			支柱					結束具		
	材質	形状	設置高 (cm)	材質	直径 (mm)	長さ (cm)	本数	埋設深 (cm)	材質	形状	個数
A	ポリプロピレン	円筒状	140	樹脂被覆鋼管	20	170	2	40	ポリカーボネイト ナイロン	リング 結束バンド	3 6
B	ポリエチレン	角筒状	180	樹脂被覆鋼管	20	220	2	40	ナイロン	結束バンド	2
C	ポリエチレン	網筒状	160	FRP	17	180	1	40	ナイロン	結束バンド	6
D	ポリエチレン	布状	150	FRP	8	210	1	40	ステンレス	クリップ	2
E	ポリ乳酸繊維	布状	150	FRP	8	210	1	40	ステンレス	クリップ	2



附図2 試験に供したツリーシェルターの模式図