

スギ大苗植栽によるニホンジカ食害軽減効果の検証

桑野泰光*・佐々木重行¹⁾・野田 亮²⁾

スギ大苗を植栽することで、シカによる主軸の食害を回避または軽減して樹高成長を継続できるか検証を行った。苗高の異なるスギ大苗を植栽し、6年間の成長経過および主軸の食害状況を調査・解析した。その結果、苗高155cm以上のスギ大苗のうち98%が、主軸の食害を全く受けないか(78%)、主軸の食害を受けても伸長した側枝が新たな主軸に置き換わることで樹高成長が回復した(20%)。そこで、平均苗高155cm以上のスギ大苗を3箇所の実証試験地に植栽(300本=100本/箇所×3箇所)した結果、60%が主軸の食害を受けなかった。7%の大苗が主軸の食害を受けたが、すべて芯変わりによる回復により樹高成長は継続した。一方、2箇所の調査地で主軸の先端部分に対する折損被害が発生した。折損被害は、全体の27%で発生し、最も被害が多かった試験地では77%の発生率だったが、被害個体の61%は、主軸の食害同様、芯変わりにより樹高成長は回復した。しかし、主軸の食害を受けなかった個体と比較して、樹高成長が1~2年程度遅れる傾向があったため、今後の成長経過を確認する必要があると考えられた。

[キーワード: ニホンジカ, 大苗, スギ, 食害, 食害軽減効果]

Effect of Planting Large-Seedlings of Sugi (*Cryptomeria japonica*) on Damage due to Feeding by Sika Deer (*Cervus nippon*). KUWANO Yasumitsu, Shigeyuki SASAKI and Ryo NODA, (Fukuoka Agriculture and Forest Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. For. Res. Cent.* 9: 1-7 (2023)

We tested if sugi (*Cryptomeria japonica*) seedlings grow vertically tall to avoid or reduce damage to the leader shoot due to feeding by sika deer (*Cervus nippon*). We investigated the growth of large-seedlings of different height (80–250 cm) and their damage status due to feeding by deer for six years after planting in a deforested site inhabited by deer. Larger seedlings (height: > 155 cm) were not seriously damaged (98%); no damage was observed on the leader shoots (78%), and they recovered from the reduction in height growth by the elongation of lateral shoots (20%) (i.e., alternative to damaged main shoot due to feeding by deer). Following this investigation, to further verify if large-seedlings are less susceptible to damage due to feeding by deer, we checked the height growth and damage status of 300 seedlings (average height: > 155 cm) that were planted in three other sites. Sixty percent of the seedlings escaped serious damage to the leader shoots due to feeding by deer and 7% of the seedlings recovered height growth by lateral shoot elongation, although the leader shoots were fed upon. On the other hand, damage due to stem breakage by deer was also observed in two out of three sites. “Stem breakage” percentage was observed in seedlings (27%), and particularly reached 77% in the most serious damaged site. However, 61% of these damaged seedlings also recovered height growth by lateral shoot elongation, as observed in the seedlings damaged due to feeding by deer. However, seedlings with stem breakage seemed to grow slower than non-damaged seedlings for one to two years. Thus, it is necessary to track the growth of damaged seedlings as part of sustainable forest management.

[Key words: *Cervus nippon*, *Cryptomeria japonica*, damage reduction method, feeding damage, large-seedlings]

緒言

2050年カーボンニュートラルに寄与する「グリーン成長」を実現していくために、林野庁では2021年6月に新たな「森林・林業基本計画」を策定した(林野庁2022)。この計画では、森林資源の持続的な利用を推進して成長産業化に取り組みながら、再造林等により森林の適正な管理を図るとしている。ニホンジカ(*Cervus nippon*) (以下、シカ)が生息する地域において、主伐・再造林による持続的な森林資源の利用を実現していくためには、シカによる植栽木の食害を防止する対策が必要不可欠である。

シカによる植栽木への食害対策は、造林地の周囲を囲む防鹿柵や、筒状の資材を植栽木にかぶせて単木的に保護するツリーシェルターの利用が一般的である(国研森林研究・整備機構森林整備センター2020)。しかし、防鹿柵では、谷などの地形によってシカが飛び越えやすい場所、あるいは柵が破損した箇所からシカが侵入する

事例が多数報告されており、コストの割に被害防止効果が十分でない場合がある(酒井2018)。ツリーシェルターでは、資材の破損により十分な効果が発揮できていない、あるいは内部で植栽木が枯損する事例が多数報告されている(Nomiya *et al.* 2022, Yoneda *et al.* 2022)。いずれにおいても、持続的な防除効果を発揮させるためには、設置後の定期的な見回りや破損箇所の修復などのメンテナンスが必要不可欠である。また、このような資材の使用は造林コスト(手間と費用)の増大や、素材によっては自然分解しにくいことなど、いくつかの問題も指摘されている(北原・野宮2021)。

一方で、造林手法を改良することで被害を軽減する方法がいくつか提案されている(平岡ら2009, 野宮2019)。シカによる植栽木への食害において、梢端部の被害(主軸の食害)は苗木の樹高成長を抑制し、その後の樹形にも問題が生じるため、側枝の食害に比べて影響はより深刻となる(池田2001)。シカによって継続的に主軸の食害を

*連絡責任者(企画部): kuwano-y4329@pref.fukuoka.lg.jp)

受付2022年7月20日;受理2022年10月31日

1) 前 森林林業部

2) 現 福岡県朝倉農林事務所

受けた植栽木は、盆栽状となり樹高成長が抑制されたままの状態が続くため、成林することさえ困難な状況となる(尾崎 2001, 野宮ら 2013, 酒井 2018, 酒井ら 2022)。このような状況では、木材生産機能のみならず森林の持つ公益的機能の発揮さえも期待できない(北原 2002, 加治佐ら 2011)。シカによる主軸の食害を回避して樹高成長を続けるためには、シカが採食可能な高さの範囲を早期に超える必要があり、そのひとつの方法として、大苗植栽が各地で試行されてきた。

野宮ら(2019)は、苗高 160cm を超えるスギ(*Cryptomeria japonica*)大苗を植栽して 1 年間シカによる枝葉採食(食害痕)の高さを測定した結果、100cm 前後(75~110cm)が最も採食されやすい高さ(危険高)であることを示し、斜面傾斜を考慮すると、少なくとも苗高 140cm 以上の大苗を使う必要があることを示した。また、大苗植栽によるシカ食害軽減効果について検証が行われた各地の事例では、およそ 120cm から 150cm 以上の大苗であれば主軸の食害を回避できる可能性が示唆されている(川村ら 2003, 大塚ら 2008, 佐々木ら 2013)。しかし、いずれも 2 年以内の短期間での試験結果であることから、その後の成長経過について検証されていない。さらに、シカは体重や体高など体格に関する種内変異が大きい(高槻 2006)ため、ある地域での結果が他地域においても適用可能であるとは限らない。

そこで本研究では、苗高の異なるスギ大苗を植栽した試験地(佐々木ら 2013)を利用して、6 年間の成長経過および主軸の食害状況から主軸の食害を回避できる苗高について解析を行った。さらに、この解析結果を基に、現地実証試験地を設定して、スギ大苗植栽によるシカ食害軽減効果の検証を行った。

材料および方法

1 シカによる主軸食害を回避できるスギ大苗サイズの検証

シカによる主軸の食害を回避して樹高成長が可能なスギ大苗の苗高を明らかにするために、佐々木ら(2013)が設定したスギ大苗の苗高別植栽試験地において追跡調査を行った。

試験地は、福岡県朝倉郡東峰村小石原鼓地内の人工林伐採跡地(平均傾斜 25° の南向き斜面)で、2012 年 2 月に苗高 80~250cm のスギ大苗 329 本(すべて実生苗)が植栽されている。このうち、追跡調査が可能であった 272 本(佐々木ら(2013)の 128 本と未発表の 144 本)を調査対象とした。使用したデータは、2012 年 2 月(植栽直後)、2012 年 10 月(植栽 1 年後)、2014 年 2 月(植栽 2 年後)および 2018 年 2 月(植栽 6 年後)に調査されたスギ大苗の樹高と主軸の食害状況である。樹高はすべて検測桿を用いて、地際から主軸先端までの自然高を 1cm 単位で測定した。主軸が食害を受けていた場合は、被害位置までの高さを測定した。主軸の食害状況は、目視で確認された食害履歴から個体ごとに 4 つの食害タイプに分類した。すなわち、すべての調査で主軸の食害が確認されな

かった個体を T1、主軸の食害を受けたものの 2 年以内に樹高成長が回復した個体を T2、2 年目以降に回復した個体を T3、6 年後の時点でも主軸の食害を受けていた個体を T4 と分類した。なお、「樹高成長が回復した個体」とは、主軸の食害履歴がある個体のうち、当該調査で主軸の食害が確認されないかつ主軸の伸長が明確に確認できた個体を指す。

データ解析は、予測や分類、判別による意思決定を目的としたデータマイニング分野で広く用いられる決定木分析で行った(豊田(編著)2008)。これは、観測された変数の中で注目する属性(目的変数)に影響する属性(説明変数)を樹木構造によるルールの組み合わせで表現し、注目する属性を分類・推定するモデルである。本研究では、食害タイプを目的変数、植栽時の樹高、植栽位置の傾斜角を説明変数として解析を行った。佐々木ら(2013)や野宮ら(2019)の調査によると、植栽位置の傾斜が急なほど食害高が高くなる傾向が示唆されているため、説明変数に植栽位置の傾斜角を加えた。決定木分析は R-3.4.3 (R Core Team 2017)の rpart ライブラリ(Breiman *et al.* 1984)を用いて行った。

2 スギ大苗植栽によるシカ食害軽減効果の実証試験

1 の試験で明らかにしたスギ大苗サイズのシカ食害軽減効果を検証するために現地実証試験を行った。

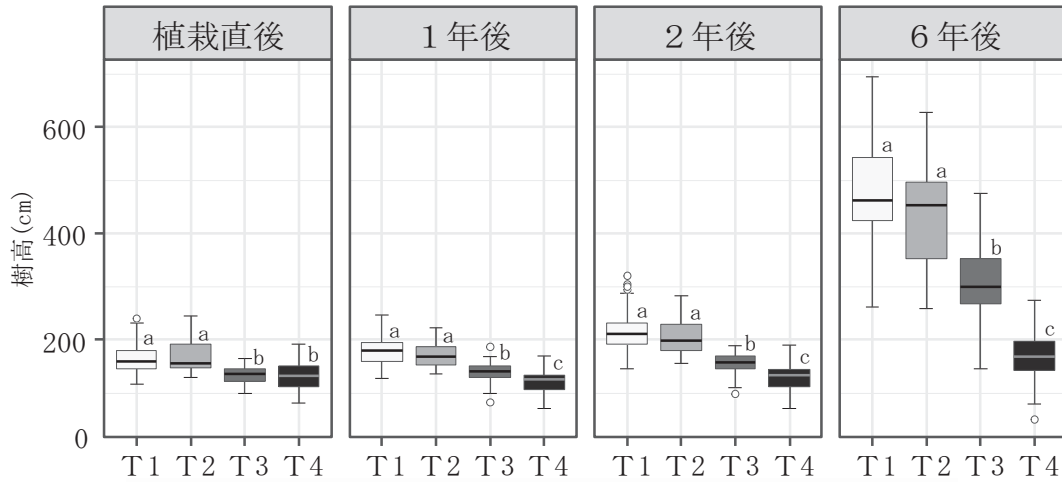
実証試験地は、福岡県朝倉郡東峰村内の人工林伐採跡地 3 箇所(Site1~Site3)に設置した。Site1 は、ヒノキ伐採跡地で、平均傾斜 40° の西向き斜面である。Site2 は、Site1 から西に約 250m 離れたヒノキ伐採跡地で、平均傾斜 20° の北西向き斜面である。Site3 は、Site1 から南に約 7.5km 離れたスギ・ヒノキ伐採跡地で、平均傾斜 35° の西向き斜面である。

各試験地には、苗高ができるだけ同じになるようスギ大苗(すべて実生苗)を 100 本ずつ配分し(平均苗高±標準偏差 Site1: 156.5±14.1cm, Site2: 156.2±13.5cm, Site3: 156.9±12.1cm)、1,600 本 ha⁻¹の密度(2.5m 間隔)で 2017 年 2 月に植栽した。植栽されたスギ大苗の成長経過およびシカによる食害状況を把握するために、樹高と主軸の食害状況について記録した。樹高は、2017~2020 年までの 4 年間、成長休止期に 1 の試験と同様の方法で計測した。主軸の食害状況は、植栽後、2~4 ヶ月おきに確認し記録した。また、食害状況の確認と合わせて植栽木の倒伏や幹曲がりなどの樹形異常についても記録した。この際、倒伏は幹の傾きが概ね 10° 以上、幹曲がりは幹に明瞭な屈曲が観察されるもの(野宮ら 2016)と定義して目視で判定し、特に今後の成長が期待できない個体(45° 以上の倒伏や 90° 近い幹曲りなど)を重度の樹形異常、それ以外を軽度の樹形異常として分類した。

結果

1 シカによる主軸食害を回避できるスギ大苗サイズの検証

植栽直後から植栽 6 年後までに計 4 回計測されたスギ

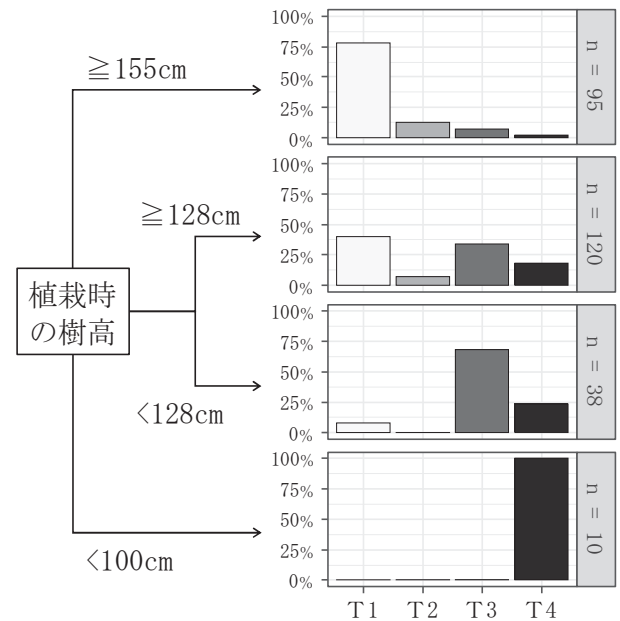


第 1 図 苗高別植栽試験における食害タイプ別の樹高成長経過

- 1) T1：調査期間を通して主軸の食害がなかった個体，T2：植栽後 2 年以内に主軸の樹高成長が回復した個体，T3：主軸の樹高成長回復に 2 年以上要した個体，T4：主軸の食害を受け続けた個体を示す
- 2) 箱ひげ図は箱中の横線が中央値，箱の下端が第 1 四分位 (25%)，箱の上端が第 3 四分位 (75%)，ひげの両端が箱の長さの 1.5 倍内にある最大値または最小値，ひげの外側にある白丸が外れ値を表す
- 3) 異なるアルファベットは同じ樹高測定年の中で有意な差があることを示す (Steel-Dwass の多重比較， $P < 0.05$)

大苗における食害タイプ別の樹高成長経過を第 1 図に示す。植栽直後における食害タイプ別の平均樹高は，T1 が 166cm (117～240cm)，T2 が 171cm (128～245cm)，T3 が 133cm (100～164cm)，T4 が 128cm (80～192cm) で，T1 と T2 が T3 と T4 より有意に大きく，この傾向は植栽 6 年後まで継続した。主軸の食害を受け続けた T4 の個体は，植栽 6 年後においても樹高成長が抑制され，一部の個体は盆栽状の樹形を呈した。

決定木分析の結果，4 つの食害タイプは植栽時の樹高のみで分類され (第 2 図)，植栽位置の傾斜角は食害タイプ間で有意な差が認められなかった (Tukey HSD, $P = 0.89$)。スギ大苗の苗高が 100 cm 未満の場合，すべての個体が主軸の食害を受け続ける食害タイプ T4 に分類された。一方，155 cm 以上のスギ大苗は，78% が主軸の食害を全く受けなかった食害タイプ T1 に分類され，主軸の食害後に樹高成長が回復した T2 または T3 を含めると 98% であった。苗高が 100 cm 以上 155 cm 未満であるスギ大苗の 63% が主軸の食害を回避 (T1) または主軸の食害後に樹高成長を回復 (T2 または T3) した。



第 2 図 決定木分析によるスギ大苗サイズの評価

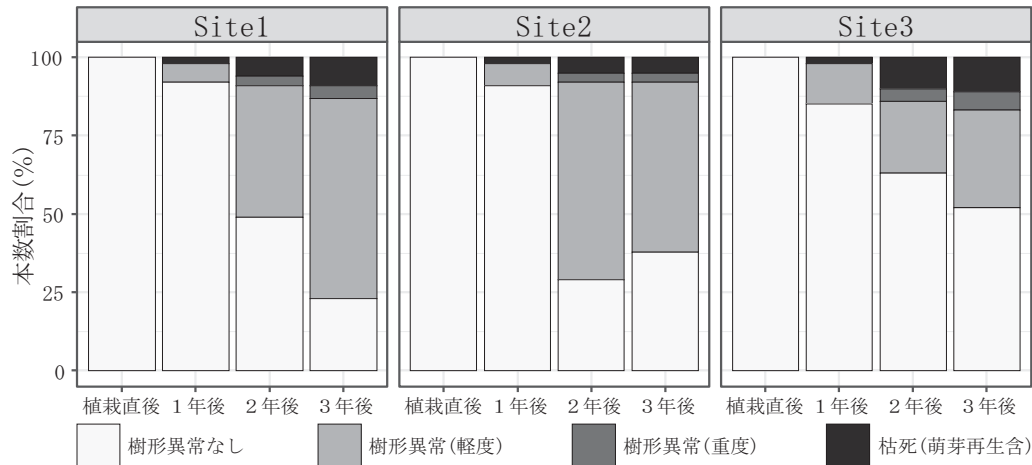
2 スギ大苗植栽によるシカ食害軽減効果の実証試験

スギ大苗植栽実証試験の結果を第 1 表に示す。Site1 では，植栽 3 年後も 86 個体 (D00) が主軸の食害を受けることなく樹高成長した。主軸の食害を受けた 2 個体 (D10) は，いずれも 1 年以内に伸長した側枝が主軸に置き換わること (芯変わり) により樹高成長が回復した。3 年間で 3 個体 (D20) が，主軸の先端部分を折られる折損被害 (野宮ら 2020) を受けたが，いずれの個体も主軸の食害同様，芯変わりにより樹高成長が回復した。3 年間で 2 個体 (D31) が枯死し，7 個体が枯れ下がり後に萌芽再生 (D30) した。枯死した個体はすべて枯れ下がりや

- 1) T1～T4 の各カテゴリは第 1 図と同じ
- 2) 各カテゴリの標本数は T1 (n=125)，T2 (n=21)，T3 (n=74)，T4 (n=43)
- 3) 決定木分析は調査期間中に枯死した 9 個体を除く 263 個体で行った

動物による樹幹部の剥皮害によるものと推察された。

Site2 では，90 個体 (D00) が主軸の食害を受けることなく樹高成長した。主軸の食害を受けた 5 個体 (D10) はすべて 2 年以内に樹高成長が回復し，顕著な樹高成長の遅れは確認されなかった。Site2 において折損被害は，確認されなかった。枯死した 4 個体 (D31) は，すべて枯れ



第3図 実証試験地に植栽されたスギ大苗における樹形異常の発生状況

1) 各カテゴリは樹高調査時点の状態を示す

第1表 実証試験地におけるスギ大苗主軸の食害状況と樹高成長の経過

Site1	植栽直後		1年後		2年後		3年後		Site2	植栽直後		1年後		2年後		3年後	
	カテゴリ ¹⁾	個体数	樹高(cm)	個体数	樹高(cm)	個体数	樹高(cm)	個体数		樹高(cm)	カテゴリ ¹⁾	個体数	樹高(cm)	個体数	樹高(cm)	個体数	樹高(cm)
D00	100	156.5	96	166.4	90	191.6	86	224.5	D00	100	156.2	94	171.6	90	207.5	90	276.4
D10	0	—	2	157.0	2	197.0	2	226.5	D10	0	—	1	159.0	5	184.8	5	225.4
D11	0	—	0	—	0	—	0	—	D11	0	—	3	164.7	0	—	0	—
D20	0	—	0	—	2	180.5	3	170.7	D20	0	—	0	—	0	—	0	—
D21	0	—	0	—	0	—	0	—	D21	0	—	0	—	0	—	0	—
D30	0	—	1	45.0	4	93.5	7	86.3	D30	0	—	0	—	1	65.0	1	90.0
D31	0	—	1	—	2	—	2	—	D31	0	—	2	—	4	—	4	—

Site3	植栽直後		1年後		2年後		3年後	
	カテゴリ ¹⁾	個体数	樹高(cm)	個体数	樹高(cm)	個体数	樹高(cm)	個体数
D00	100	156.9	15	160.9	4	179.3	4	209.3
D10	0	—	0	—	12	192.9	15	225.3
D11	0	—	16	153.1	3	152.3	0	—
D20	0	—	0	—	23	149.1	46	182.2
D21	0	—	67	116.0	48	125.7	24	123.4
D30	0	—	0	—	4	67.0	3	84.3
D31	0	—	2	—	6	—	8	—

1) D00:主軸食害なし, D10:主軸食害後に樹高成長回復³⁾, D11:主軸食害後に樹高成長なし, D20:折損被害後に樹高成長回復³⁾, D21:折損被害後に樹高成長なし, D30:枯れ下がり後に萌芽再生, D31:枯死

2) 表中の樹高は各カテゴリの平均値を示す

3) 「樹高成長回復」とは主軸の食害または折損被害を受けた個体のうち、芯変わりにより樹高成長が回復した個体のことを示す

下がりや樹幹部の剥皮害が原因と考えられ、1個体(D30)が枯れ下がり後に萌芽再生した。

Site3では、他の2つの調査地と異なり、主軸の食害を受けずに樹高成長した個体(D00)は4個体のみで、衰弱(D30)または枯死(D31)した7個体を含む77個体で折損被害が発生した。主軸の食害を受けた15個体すべて(D10)と折損被害を受けた個体の60%(D20:46/77個体)が芯変わりにより樹高成長が回復した。

Site1およびSite3で発生した折損被害は、94%(75/80個体)が植栽後1年以内に、93%が8月から12月にかけて発生した。折損被害の折損高(地際から折損部までの自然高)は平均119cm(80~151cm)、折損部径は平均8.7mm(5.0~12.8mm)であった。

各試験地で発生した樹形異常の発生状況を第3図に示す。植栽されたスギ大苗300本のうち、59%(枯死した25個体を除く)で、樹形異常が観察され、時間経過とともに発生割合が高くなる傾向があった。しかし、今後の成長が見込めない重度の樹形異常は13個体(全体の5%)のみで、その他の個体はいずれも軽度であった。

考察

本研究において、苗高の異なるスギ大苗植栽試験および実証試験の結果から、苗高155cm以上のスギ大苗は、シカによる主軸の食害を回避または軽減しながら樹高成長が可能であることが示された(第2図,第1表)。試験地である東峰村は、福岡県で初めて生息調査が行われた1978年から継続してシカの生息が確認されており(池田2001,環境庁1978)、県内で最もシカ密度の高い地域(31頭km²以上)のひとつ(福岡県2022)で、しばしば植栽木に対する激害が発生する(池田2005)。このような地域において、高い割合で主軸の食害を回避または軽減しながら樹高成長できた結果(第1図,第1表)は、シカが生息する県内全域(福岡県2022)で適用可能であることを示す。

スギは、分枝しながら樹高成長するため、生育初期に主軸の被害を受けても、伸長した側枝によって回復すること(芯変わり)が経験的に観察されている。古野・渡辺(1989)は、摘芯による被害模型試験から、樹高約70cm

のスギ主軸を10~30cm切断しても、1年後の樹高成長量に差がないことを確認した。本研究の実証試験において、主軸の食害を受けた22個体(第1表のD10)はすべて2年以内に側枝が主軸に置き換わった。植栽3年後の樹高は主軸の食害を受けなかった個体(D00)と差がなく(第1表)、一般的にシカが採食できる最大高とされる200cm(三浦1999)以上に成長した。つまり、苗高155cm以上のスギ大苗であれば、仮に主軸の食害を受けたとしても、樹高成長を継続できると考えられた。

しかしながら、実証試験のSite3で主軸の先端部分に対する折損被害が高い割合で発生した(第1表のD20とD21)。このような折損被害は、高密度でシカが生息する自然林の広葉樹において確認された事例は多い(古林・丸山1977, 梶ら1980, 浅田ら1991, 森2013)ものの、針葉樹人工林での被害報告事例(池田2001, 野宮ら2016)は少ない。野宮ら(2016)による大分県の事例では、主軸の折損被害は植栽1~2年後に集中して発生すること、折損高は120cm前後、折損部の直径は6.5~15.8mm(中央値12.2mm)で、直径が16mmを超えると折損されにくいことが報告されている。本研究の実証試験地で発生した折損被害も、植栽後1年以内に集中(94%)しており、折損部位のサイズも同程度であったことから、野宮ら(2016)と同じ発生形態であると考えられた。具体的にどのような個体属性(性別, 年齢など)を持つシカが主軸の折損被害を引き起こすか特定することはできなかったが、池田ら(2010)の研究では、発情期にその地を利用したシカの性比によって被害発生率が異なることが指摘されている。自動撮影カメラによる解析結果から、折損被害が多発したSite3では、Site1やSite2と比較して、シカ撮影頻度(特にメスジカの撮影頻度)が高く、日中に撮影される頻度が高いといった特徴があった(桑野ら未発表)。また、折損被害はシカの繁殖期にあたる8月から12月にかけて集中的(93%)に発生していたことから、シカの繁殖行動に起因する被害であると推察された。いずれにせよ、折損被害は植栽後3年以内に収束し、被害を受けた80個体のうち49個体(61%)が、主軸の食害を受けた個体同様、芯変わりにより樹高成長が回復した。折損被害を受けなかった個体と比較して樹高成長が1~2年程度遅れる傾向がある(第1表)ものの、樹高成長が続く可能性は十分あると考えられる。

一方、このような折損被害を受けた個体は、材質の劣化、元玉のA材率低下および材の腐朽などの経済的ダメージが懸念される(野宮ら2020)。古野・渡辺(1989)は、主軸の食害を受けたスギ幼齢木(2~6年生)の樹形への影響について追跡調査を行った。その結果、主軸の食害部分直下の側枝が1本だけ芯変わりにより伸長した場合には、3~4年以内に幹形が通直に回復し、食害の痕跡はほとんど残らなかったと報告している。この結果は、前述の摘芯による被害モデル試験の追跡調査でも同様であった。しかし、被害木の約10%において複数の側枝が伸長し、二又や三又になるものが確認されている。本研究において、主軸の食害や折損被害を受けた個体がどのような樹形で成長するか、材の変色や腐朽状況も含めて今後追

跡調査する必要があるだろう。

大苗植栽をシカ食害対策として実用化する上で懸念される問題点として、倒伏発生リスクの高さと植栽コストの高さの2点が挙げられる。

大苗はその特性上、形状比の高い徒長苗になりやすく(竹内1987)、さらに、シカの採食により側枝の葉量が少なくなることで相対的に梢端部の葉量割合が高くなるため苗の重心が高くなる。このような樹形は風の影響を受けやすいため、根系が定着していない植栽初期に倒伏のリスクが高くなる(渡辺ら2015, 野宮ら2016)。しかし、一時的に大きく倒伏したとしても、多くの場合1年以内に自力で起き上がる(平田ら2014, 新保ら2016, 三樹2019)ため、成長に伴い回復可能な特性だと考えられた(野宮ら2016)。本研究においても、樹高成長途中の緑枝の時点で30°以上の倒伏が観察された個体の多くが、成長休止期には問題ない程度の傾き(10°前後)に回復し、樹高成長の遅れも特になかった。したがって、風当たりの強い立地や極端に高い形状比(概ね140以上)である場合(野宮ら2016)を除き、大苗における倒伏は、実用上大きな問題ではないだろう。

大苗の植栽コスト(苗木代や苗の運搬, 植栽手間など)は、普通苗の2倍以上かかる(鹿又ら2010)ため、植栽密度が高くなるほど不利になる。北原・野宮(2021)の試算によると、造林地の面積が1haの場合、植栽密度が900本ha⁻¹以上では、防鹿柵による対策よりも林業採算性(収益-費用)が低かった。また、ツリーシェルターとの比較では、植栽密度に関わらず常に林業採算性が低かった。よって、大苗植栽は、苗木代などのコストの面や植栽労力を考慮すると、防鹿柵やツリーシェルターを代替するシカ食害対策として、造林地全体に適用することは現実的でないと考えられる。採算性を考慮した上で、大苗植栽をシカ食害対策として実用化するためには、防鹿柵やツリーシェルターと組み合わせることが必要だろう(野宮ら2021)。防鹿柵は、造林地の面積が大きいほど相対的に柵の総延長が短くなるため、単位面積あたりの設置コストが下がる一方、造林地の形状や地形が複雑になるほどそのコストメリットは小さくなる。したがって、防鹿柵は造林地の形状や地形を考慮して、尾根上の管理しやすい(破損しにくい)場所に施工延長が最短となるように張り、防鹿柵で囲えなかった区画はツリーシェルターを設置、防鹿柵が破損しやすい谷筋やツリーシェルターが倒壊しやすい急傾斜地に大苗を植栽すれば最小の費用で最大の効果を得られると考えられる。さらに、効率的かつ効果的なシカ食害対策を実現するためには、捕獲による個体群管理と一体的に取り組むことが重要である。

謝辞

本研究を行うにあたり、福岡森林管理署ならびに森林所有者の皆様には試験地を提供いただいた。福岡県朝倉農林事務所の皆様には、スギ大苗植栽に尽力いただいた。森林総合研究所九州支所の野宮治人研究員ならびに八木貴信研究員には本研究を行うにあたり有益な助言をいた

だいた。ここに心から謝意を表す。本研究の一部は、森林総合研究所運営費交付金プロジェクト（課題番号：201703）の支援を受けて実施した。

引用文献

- 浅田正彦・蒲谷 肇・山中征夫(1991)房総丘陵におけるニホンジカによるアオキの採食状況. 森林防疫 40(11): 206-210.
- Breiman L, Friedman JH, Olshen RA, Stone CJ (1984) Classification and Regression Trees. Routledge, New York, p.1-368.
- 福岡県(2022)福岡県第二種特定鳥獣(ニホンジカ)管理計画(第6期). 福岡県農林水産部農山漁村振興課, 福岡, p.2.
- 古林賢恒・丸山直樹(1977)丹沢山塊札掛におけるシカの植生. 哺乳動物学雑誌 7: 55-62.
- 古野東州・渡辺弘之(1989)ホンシュウジカ・ニホンカモシカに食害されたスギ若齢木の生育について. 京大演報 61: 1-15.
- 平岡裕一郎・藤澤義武・松永孝治(2009)ニホンジカ被害地における森林造成技術の確立—下刈り省力施業による被害軽減とそれに適した品種の開発. 森林防疫 58: 28-37.
- 平田令子・大塚温子・伊藤 哲・高木正博(2014)スギ挿し木コンテナ苗と裸苗の植栽後2年間の地上部成長と根系発達. 日林誌 96: 1-5.
- 池田浩一(2001)福岡県におけるニホンジカの生息および被害状況について. 福岡県森技セ研報 3: 1-83.
- 池田浩一(2005)福岡県におけるニホンジカの保護管理に関する研究. 福岡県森技セ研報 6: 1-93.
- 池田浩一・小泉 透・桑野泰光(2010)福岡県におけるニホンジカによる人工林剥皮被害発生要因の解明. 福岡県森技セ研報 11: 21-32.
- 加治佐 剛・吉田茂二郎・長島啓子・村上拓彦・溝上展也・佐々木重行・桑野泰光・佐保公隆・清水正俊・宮崎潤二・福里和朗・小田三保・下園寿秋(2011)九州全域の再造林放棄地における侵食・崩壊および植生回復阻害の状況評価. 日林誌 93: 288-293.
- 梶 光一・小泉 透・大泰司紀之(1980)洞爺湖中島におけるエゾシカの個体群構成. 哺乳動物学雑誌 8: 160-170.
- 環境庁(1978)第2回自然環境保全基礎調査 動物分布調査報告書(哺乳類)福岡県. p.1-41.
- 鹿又秀聡・矢部恒晶・重永英年・野宮治人・齋藤英樹・荒木眞岳(2010)スギ大苗植林のコスト分析. 日本森林学会大会学術講演集 121, L27.
- 川村英人・塚 俊彰・吉村武志(2003)大苗造林によるシカ被害対策に関する研究. 徳島県森林研報 2: 1-4.
- 北原文章・野宮治人(2021)シカ被害対策を考慮した林業の採算性. 西日本の若齢造林地におけるシカ被害対策選択のポイント—防鹿柵・単木保護・大苗植栽—. (国研)森林研究・整備機構森林総合研究所九州支所, 熊本, p.34-35.
- 北原 曜(2002)植生の表面侵食防止機能. 砂防学会誌 54(5): 92-101.
- (国研)森林研究・整備機構森林整備センター(2020)シカ害防除マニュアル—防護柵で植栽木をまもる—(令和2年3月版). (国研)森林研究・整備機構森林整備センター, 東京, p.2-31.
- 三樹陽一郎(2019)宮崎県におけるコンテナ苗の現状と研究事例. 森林遺伝育種 8: 178-182.
- 三浦慎悟(1999)「野生動物の生態と農林業被害 共存の論理を求めて」林業改良普及双書 132. 全国林業改良普及協会, 東京, p.52-79.
- 森 生枝(2013)岡山県東部の自然保護地域におけるニホンジカによる採食の記録—痕跡が見られた植物から. 岡山自然保護セ研報 20: 7-20.
- 野宮治人・重永英年・矢部恒晶(2013)無下刈りによるシカ食害の軽減とスギ苗の成長低下. 九州森林研究 66: 54-56.
- 野宮治人・山川博美・重永英年・平田令子・伊藤 哲・園田清隆(2016)スギポット大苗植栽後1年間の主軸の傾きと活着に対する支柱の効果. 日林誌 98: 20-25.
- 野宮治人(2019)シカ被害対策としての大苗植栽の可能性. 農村と都市をむすぶ 69(11): 55-58.
- 野宮治人・山川博美・重永英年・伊藤 哲・平田令子・園田清隆(2019)植栽したスギ大苗に対するシカ食害痕の高さ分布は斜面傾斜に影響される. 日林誌 101: 139-144.
- 野宮治人・山川博美・重永英年・伊藤 哲・平田令子・引地修一(2020)キュウシュウジカによるスギ幼齢木の折損被害の特徴. 日林誌 102: 202-206.
- 野宮治人・八木貴信・山川博美・大谷達也・米田令仁・北原文章(2021)どの被害対策を選択すべきか?. 西日本の若齢造林地におけるシカ被害対策選択のポイント—防鹿柵・単木保護・大苗植栽—. (国研)森林研究・整備機構森林総合研究所九州支所, 熊本, p.36-37.
- Nomiya H, Abe T, Kanetani S, Yamagawa H, Otani T, Sakai A, Yoneda R. (2022) Survival and growth of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) planted in tree shelters to prevent deer browsing; a case study in southwestern Japan. Journal of Forest Research 27(3):200-205.
- 大塚明宏・塚越剛史・山田利博・佐々木潔州・山本博一(2008)スギ, ヒノキ大苗によるシカ食害防止の試み. 関東森林研究 59: 235-238.
- 尾崎真也(2001)兵庫県におけるニホンジカによる幼齢造林被害とその防除. 兵庫県森林技研報 49: 19-23.
- R Core Team. (2017) R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, <http://www.R-project.org>.
- 林野庁(2022)森林・林業白書令和3年度版. 全国林業改良普及協会, 東京, p.53-90.
- 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(1) : 23-29.
- 佐々木重行・宮原文彦・大塚英隆・野田 亮・今村勝明 (2013) スギ大苗植栽によるシカ食害対策の事例. 九州森林研究 66 : 147-149.
- 新保優美・平田令子・溝口拓朗・高木正博・伊藤 哲 (2016) スギコンテナ苗は夏季植栽で本当に有利か? - 植栽時の水ストレスから1年後の活着・成長・物質分配までの比較 -. 日林誌 98 : 151-157.
- 高槻成紀 (2006) ニホンジカを俯瞰する. シカの生態誌. 東京大学出版会, 東京, p. 331-379.
- 竹内郁雄 (1987) 密仕立て大苗養苗の実際. 林業技術 546 : 11-12.
- 豊田秀樹 (編著) (2008) データマイニング入門-R で学ぶ最新データ解析. 東京図書, 東京, p. 1-320.
- 渡辺直史・北原文章・酒井 敦 (2015) 事例 18. 大苗低密度植栽、下刈省力でコスト減(2). 近畿・中国四国の省力再造林事例集. (独)森林総合研究所四国支所, 高知, p. 40-41.
- Yoneda R, Otani T, Abe T, Nomiya H. (2022) Microclimate for *Cryptomeria japonica* seedlings in treeshelters - Mitigation of severe condition by seedling transpiration. Journal of Forest Research 27:214-221.