

ノウサギが主軸を切断できるコウヨウザン植栽苗のサイズ*

鶴川 信^{*.1}・藤澤義武²・大塚次郎³・近藤禎二²・生方正俊⁴

ニホンノウサギが主軸を切断できるコウヨウザン植栽苗のサイズを明らかにすることを目的として、様々なサイズ（苗高 82～197 cm）のコウヨウザン苗を鹿児島県垂水市のスギ皆伐地に 60 本植栽し、ノウサギによる主軸の切断を 1 年間にわたり観察した。実験中に 15 本の苗木が枯死したが、そのうちの 1 本は枯死前に主軸の食害を受けていた。生残苗では、25 本の苗木で主軸の食害がみられた。苗木のサイズが大きくなるほど主軸の食害がみられなくなり、一般化線形モデルでは、植栽時の苗高が 140 cm 以上、または、高さ 60 cm の幹直径が 15 mm を超える苗木であれば主軸食害を受ける確率が 10% まで低下することが推定された。したがって、植栽した苗木が成長し、苗高や幹直径がこれらの数値を上回れば、ノウサギによる主軸の切断を受けにくくなると考えられた。

キーワード：コウヨウザン、ニホンノウサギ、食害、苗高、幹直径

Shin Ugawa,^{*,1} Fujisawa Yoshitake,² Jiro Otsuka,³ Teiji Kondo,² Masatoshi Ubukata⁴ (2023) Size of Chinese Fir (*Cunninghamia lanceolata*) Seedling with Mainstems Fed by Japanese Hare (*Lepus brachyurus*). J Jpn For Soc 105: 239–244 In this study, we aimed to elucidate the size of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) seedlings, of which mainstem is fed by the Japanese hare (*Lepus brachyurus*). We planted 60 seedlings of various heights (82–197 cm) in a stand in Tarumizu City, Kagoshima Prefecture, and observed the feeding of the mainstem for 1 year. We found that of the 15 dead seedlings, only 1 died after the feeding of the mainstem. Among the surviving seedlings, the mainstem of 25 seedlings was fed by hares. The probability of feeding on the mainstem decreased with the increasing size of the seedlings. Regarding the generalized linear model estimation, the probability of feeding on the mainstem was <10% for seedlings with an initial height of >140 cm or an initial diameter of >15 mm at the height of 60 cm. Therefore, we predict that Chinese fir seedlings are less likely to suffer feeding damage of the mainstem after they grow to be larger than the abovementioned values.

Key words: *Cunninghamia lanceolata*, *Lepus brachyurus*, feeding damage, seedling height, stem diameter

I. は じ め に

林業事業体の収入の安定化を図るため、成長が速く、短伐期で収益が見込める早生樹の導入が検討されている（林野庁 2018）。導入が検討されている早生樹は複数種あるが、その中で、常緑針葉樹であるコウヨウザン（*Cunninghamia lanceolata*）は、通直な材を形成することから、バイオマス利用だけでなく、用材利用も兼ねた融通性が着目されている。用材利用の観点において、コウヨウザンは、スギ（*Cryptomeria japonica*）よりも初期成長が速く（森田ら 1989, 1990；山田ら 2012；近藤ら 2016, 2017, 2018, 2020）、また、材の強度がヒノキ（*Chamaecyparis obtusa*）のそれに近いことから（藤澤ら 2015；涌嶋・渡辺 2017）、高い収益性が見込まれる。さらに、萌芽更新が可能であることから（福田 1954）、現在、西日本の各地でコウヨウザンの導入が進められている（林野庁 2022）。

一方、コウヨウザンの造林が進む中、ニホンノウサギ

（*Lepus brachyurus*：以下、「ノウサギ」と表記する）による植栽苗の食害が報告されるようになった（たとえば、鶴川ら 2020, 2021）。ノウサギの食害として幹や枝葉の摂食や剥皮被害が挙げられるが、とくに、スギやヒノキでは、主軸の切断（平岡ら 1978；豊島 1978；鳥居 1980；山田・桑畑 1984；谷口 1986；金森・扇 1997；八神 2010）が伸長成長の遅れ（平岡ら 1978；鳥居 1980；大津 1985）や苗木の枯死（谷口 1986；渡辺ら 1989；谷口 1998）に繋がり、材積成長を著しく低下させることが報告されている。コウヨウザン苗木についても、主軸の切断によって伸長成長が著しく低下することが確認されている（鶴川ら 2020）。

このような状況から、近年、ノウサギ食害への防除手法の検証や改良が行われている。今後も防除手法の改良が進むと思われるが、一方で、林業経営の視点では、「ノウサギの食害防除をいつまで続けるのか」を明らかにする必要がある。これを考える材料として、ヒノキ苗やブナ（*Fagus crenata*）苗のサイズが一定値よりも大きくなると主軸の切

*本内容の一部は、九州森林学会大会で発表した。

**連絡先著者（Corresponding author）E-mail: ushin@agri.kagoshima-u.ac.jp  <https://orcid.org/0000-0002-5364-0250>

¹ 鹿児島大学農学部 〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元 1-21-24 (Faculty of Agriculture, Kagoshima University, 1-21-24 Korimoto, Kagoshima, Kagoshima 890-0065, Japan)

² 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター 〒319-1301 茨城県日立市十王町伊師 3809-1 (Forest Tree Breeding Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Forest Research and Management Organization, 3809-1 Ishi, Juo, Hitachi, Ibaraki 319-1301, Japan)

³ 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター九州育種場 〒861-1102 熊本県合志市須屋 2320-5 (Kyushu Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Forest Research and Management Organization, 2320-5 Suya, Koshi, Kumamoto 861-1102, Japan)

⁴ 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター北海道育種場 〒069-0836 北海道江別市文京台緑町 561-1 (Hokkaido Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Forest Research and Management Organization, 561-1 Bunkiyodai-midorimachi, Ebetsu, Hokkaido 069-0836, Japan)
(2023 年 3 月 16 日受付；2023 年 5 月 17 日受理；2023 年 7 月 1 日発行)

©2023 一般社団法人日本森林学会：この著作はクリエイティブ・コモンズのライセンス CC BY-NC-ND（引用を表示し、改変せず、非営利目的に限定）の条件の元で再配布・二次利用が可能なオープンアクセスです。 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.ja>

断頻度が減ること（山田・桑畑 1984；鳥居 1984；谷口 1986；川井 1999）が挙げられる。つまり、ノウサギが主軸を切断できる苗木の高さや幹の太さには上限があるが、一方で、既往の報告を合わせると、幹の太さの上限値が樹種間で異なる可能性が窺われる（鳥居 1984；谷口 1998；川井 1999；八神 2010）。したがって、ノウサギが主軸を切断できる苗木のサイズをコウヨウザンについて明らかにすることで、当該樹種の食害防除を解除できるタイミングを示すことができる。

以上のことから、本研究では、ノウサギが主軸を切断できるコウヨウザン植栽苗のサイズを明らかにすることを目的とした。この目的を達成するために、鹿児島県垂水市のスギ皆伐地に様々なサイズ（苗高 82~197 cm）のコウヨウザン苗を植栽し、苗木の枯死、食害、苗木サイズを 1 年間観察した。併せて、ノウサギの食害可能な高さを裏付けるため、食害を受けた側枝の枝下高の記録も行った。

II. 調査地および調査方法

1. 調査地

本研究は、鹿児島大学農学部附属高隈演習林のスギ皆伐地（鹿児島県垂水市：北緯 31 度 31 分 53 秒，東経 130 度 45 分 47 秒，標高 610 m，皆伐面積 1.17 ha）にて行った。当該演習林は暖温帯に位置し、尾根にはスタジイ（*Castanopsis sieboldii*）やタブノキ（*Machilus thunbergii*）が優占する常緑広葉樹林が成立している。一方で、斜面や谷、平坦尾根には、スギとヒノキが植栽されている。当該皆伐地は、傾斜角 7 度のゆるやかな北東斜面に位置し、北側に一部保残帯の常緑広葉樹林が認められたが、他の 3 方位にはスギ林が配置されていた。高隈演習林管理事務所（北緯 31 度 31 分 20 秒，東経 130 度 46 分 30 秒，標高 541 m）では、調査期間となる 2020 年 3 月から 2021 年 2 月までの平均気温は 15.1℃であり、積算降水量は 3,555 mm であった（鹿児島大学農学部附属演習林 2022）。

2. 方法

コウヨウザン苗はサイズのばらつきが一定程度あるものを 2018 年より高隈演習林の苗畑にて育成し、これらの苗木のうち、82~197 cm までの様々な苗高をもつ苗木 60 本を実験に供試した。調査地のスギ皆伐地に、24 m×10 m の調査区を設置し、雑草木を刈り払ったのち、2020 年 2 月 19 日に上述の供試苗 60 本を植栽した。苗木の配置は苗高に関係なく任意に決定した。植栽密度は 2500 本/ha を想定し、2 m 間隔で苗木を植栽した。なお、当該調査区の位置する林分では、2018~2019 年にノウサギの出現やコウヨウザン苗の食害が確認されている（鶴川ら 2020）。また、植栽 1 か月後の 3 月 19 日時点で調査区内にノウサギの糞塊を 17 カ所確認した。

苗木の植栽時（2020 年 2 月 19 日）、植栽 1 カ月後（2020 年 3 月 19 日）、3 カ月後（5 月 20 日）、6 カ月後（8 月 20 日）、1 年後（2021 年 2 月 19 日）に、苗木の枯死、食害、苗木の傾斜の有無を記録し、主軸の高さ（主軸先端の地表面からの高さ；主軸が切断された苗木は切断部位の高さとなる）、地表面からの高さ 0 cm、20 cm、40 cm、60 cm、

80 cm、100 cm における幹直径（植栽時に主軸にマジックでマークした部分の幹直径；以下、それぞれ「 D_0 」, 「 D_{20} 」, 「 D_{40} 」, 「 D_{60} 」, 「 D_{80} 」, 「 D_{100} 」と記載する）、食害を受けた主軸の切断部位の幹直径を測定した。地上部全体が枯れた状態のものは、数ヶ月後に根株や幹の途中から萌芽したものも含め「枯死」とした。また、食害は「主軸の食害」と「側枝の食害」に分けて記録を行った。ここでは、主軸や側枝において鋭利な刃物で切り落とされたような切断面をノウサギによる食痕と判定した（大分県農林水産研究指導センター林業研究部 2015, 山田 2020）。なお、複数回の食害を識別するためには食痕へのマーキングが必要になるが、油性マーカー等に含まれるロジンに一部哺乳類への忌避効果が確認されていることから（折橋ら 1999）、本研究では、マーキングを行わず、食害の記録を累積値として取り扱った。また、食害を受けた主軸の切断部位の幹直径は、食害が初めて確認された時点で測定した。ただし、2 本の苗木については 2020 年 3 月 19 日に主軸の食害が確認されたが、その時点での切断部位の幹直径に測定漏れがあったため、これらの苗木についてはその次の測定時（2020 年 5 月 20 日）に測定を行った。さらに、苗木の傾斜では、植栽時にみられる程度の傾斜に比べて明らかに傾斜していると識別できるものを「傾斜」と判断した。加えて、食害を受ける側枝の高さの上限を明らかにするため、食害を受けた側枝の中で最も高いものの枝下高を 2020 年 11 月 26 日に測定した。また、雑草木がほとんど伸長していない 2020 年 3 月 19 日から 4 月 30 日までの 43 日間、当該調査区の西側と東側にそれぞれ 1 台ずつトレイルカメラ（Ltl-6210WMC Plus 940nm LED, Zhuhai Ltl Acorn Electronics Co., Ltd, Zuhai）を設置し、ノウサギの出現や食害の様子を記録した。なお、実験期間中、2020 年 7 月 14 日に、各調査区において下刈りを実施した。この際、1 本の供試苗を誤伐したため、該当の苗木は解析から除外した。

3. 統計解析

すべての統計解析には、R version 4.1.1（R Core Team 2021）を使用した。また、枯死前に主軸の食害を受けた苗木は解析の対象としたが、それ以外の枯死苗は食害のリスクにさらされた時間が生残苗よりも短くなるため、すべての統計解析から除外した。

まず、植栽時の苗木のサイズ（苗高と幹直径）が最終的な主軸食害に与える影響を、一般化線形モデルを用いて評価した。ここでは、主軸食害の有無（食害あり=1, なし=0）を目的変数とし、苗高、 D_{40} 、 D_{60} 、 D_{80} のそれぞれを説明変数とする四つの回帰モデル（モデル 1：苗高，モデル 2： D_{40} ，モデル 3： D_{60} ，モデル 4： D_{80} ）を比較した。幹直径 D_{40} 、 D_{60} 、 D_{80} を説明変数としたのは、高さ 42~90 cm で主軸の食害が観察されたためである。また、植栽後に傾斜した苗木は、主軸の傾斜により苗高が植栽時のものと変わることや幹直径 D_{40} 、 D_{60} 、 D_{80} が地表面から 40 cm、60 cm、80 cm の高さの幹直径ではなくなるため、これらの解析から除外した。誤差構造は二項分布を想定し、リンク関数には logit を使用した。これら四つのモデル（モデル 1~4）の中から、AIC が最小となる最良の回帰モデル

ルを選択した。

次に、主軸食害時の苗木の幹直径と最終的な主軸食害の有無の関係を調べるため、高さ 30 cm 以上 50 cm 未満で切断された部分の幹直径、高さ 50 cm 以上 70 cm 未満で切断された部分の幹直径、高さ 70 cm 以上 90 cm 未満で切断された部分の幹直径をそれぞれ主軸の食害を受けた苗木の D_{40} 、 D_{60} 、 D_{80} とみなし、主軸の食害を受けていない苗木の D_{40} 、 D_{60} 、 D_{80} と合わせて、一般化線形モデルを用いて解析を行った。ここでは、主軸食害の有無（食害あり=1、なし=0）を目的変数とし、幹直径 D_{40} 、 D_{60} 、 D_{80} のそれぞれを説明変数とする三つの回帰モデル（モデル 5： D_{40} 、モデル 6： D_{60} 、モデル 7： D_{80} ）を比較した。主軸の食害を受けていない苗木の D_{40} 、 D_{60} 、 D_{80} は、主軸食害のほとんどが確認された 2020 年 3 月 19 日の測定値を用いた。ただし、植栽後に傾斜した苗木の中で、主軸の食害を受けていないものは、主軸の傾斜により主軸食害時の幹直径 D_{40} 、 D_{60} 、 D_{80} が地表面から 40 cm、60 cm、80 cm の高さの幹直径ではなくなるため、解析から除外した。つまり、モデル 5 では、高さ 30 cm 以上 50 cm 未満で切断された苗木の切断部位の幹直径（高さ 50 cm 以上 90 cm 未満で切断された苗木のデータは含まない）と、調査期間の最後まで切断されなかった直立した苗木の 3 月 19 日時点の D_{40} を説明変数とした。同様に、モデル 6 では、高さ 50 cm 以上 70 cm 未満で切断された苗木の切断部位の幹直径（高さ 30 cm 以上 50 cm 未満、高さ 70 cm 以上 90 cm 未満で切断された苗木のデータは含まない）と、調査期間の最後まで切断されなかった直立した苗木の 3 月 19 日時点の D_{60} を説明変数とした。モデル 7 では、高さ 70 cm 以上 90 cm 未満で切断されたものの切断部位の幹直径（高さ 30 cm 以上 70 cm 未満で切断された苗木のデータは含まない）と、調査期間の最後まで切断されなかった直立した苗木の 3 月 19 日時点の D_{80} を説明変数とした。誤差構造は二項分布を想定し、リンク関数には logit を使用した。これら三つのモデル（モデル 5～7）では、扱ったサンプル数が異なり AIC での比較ができないため、説明変数の係数の有意性を Wald 検定によって評価し、それをもとに最良の回帰モデルを求めた。

III. 結 果

誤伐した苗木を除く 59 本の供試苗のうち、15 本の苗木が実験期間中に枯死した（図-1）。植栽 3 カ月後の 5 月までに 13 本の苗木が枯死し、その後、5～8 月に 1 本、8 月から翌年の 2 月にかけてさらに 1 本の苗木が枯死した。15 本の枯死苗の中で、主軸の食害を受けたあとに枯死したものは 1 本であった。

トレイルカメラでは、植栽 1 カ月後からの 43 日間で、ノウサギの出現が 12 日確認された。ノウサギの食害は、主に主軸と側枝で確認され、後ろ足で立ち上がって背を伸ばして側枝を採食する様子がトレイルカメラで撮影できた（図-2(A)）。一部の苗木では幹の剥皮もみられたが、ノウサギによるものか判断できなかった。主軸の食害では、幹が完全に切断されないものの、その部位より上の幹・枝葉

の重みによって幹が折れた苗木も観察された（図-2(B)）。実験終了時に生残していた苗木 44 本のうち、主軸の食害は 25 本の生残苗で確認された（図-1）。植栽 1 カ月後の 3 月に 24 本の苗木が主軸の食害を受け、その後、5～8 月にかけて 1 本の苗木が主軸の食害を受けたが、残り 19 本の苗木は主軸の食害を受けなかった。主軸の食害を受けた生残苗 25 本のうち 4 本の苗木、また、主軸の食害を受けていない生残苗 19 本のうち 3 本の苗木が植栽後に傾斜したものであった。側枝の食害は、植栽 1 カ月後の 3 月に、すべての生残苗で確認された。

主軸の食害を受けた苗木 26 本（主軸の食害後に枯死した苗木 1 本を含む）では、高さ 42～90 cm で主軸が切断された（図-3）。幹が直立していた苗木では、主軸の食害を受けた苗木の植栽時の苗高は最大 118 cm であり、主軸の切断は高さ 42～68 cm（平均 57 cm）で観察された。一方、植栽後に傾斜した苗木では、それよりも高い位置で主軸が切断された。主軸の切断部位が高い方から 3 番目（それぞれ高さ 90 cm、80 cm、76 cm で切断）までの苗木は植栽後に傾斜したものであった。主軸の切断部位の幹直径は 5.9～12.5 mm（平均 7.9 mm）であった。調査終了時に生残し、かつ、主軸の食害を受けていない苗木の中で、食害を受け

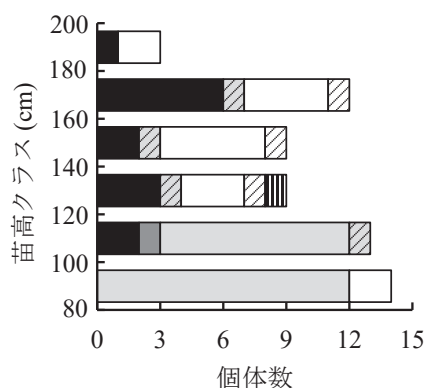


図-1. 各苗高クラスにおける枯死した苗、主軸の食害を受けた苗、主軸の食害を受けなかった苗の個体数

黒色が枯死した苗、濃い灰色が主軸の食害を受けたあとに枯死した苗、薄い灰色が主軸の食害を受けた苗、白色が主軸の食害を受けなかった苗を示し、斜線が入ったものは植栽後に傾斜した苗を表す。縦のストライプは誤伐した苗を示す。

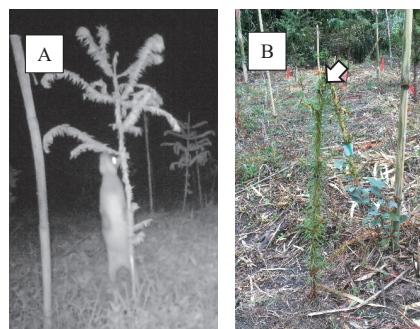


図-2. ノウサギの側枝食害の様子 (A) と一部食害により折れた主軸 (B)

側枝の食害 (A) は、調査区に設置したトレイルカメラによって 2020 年 7 月 22 日夜間に撮影された。また、主軸の一部食害 (B) は 2020 年 3 月 19 日の調査時に撮影し、白い矢印が食害を受けて折れた部分を示す。

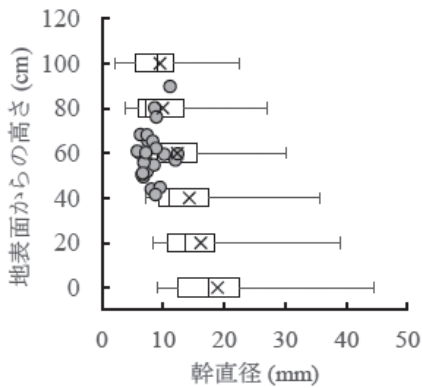


図-3. 主軸食害における切断部位の高さおよび幹直径と、植栽時の幹直径に対するそれらの位置付け

灰色の点が主軸食害により切断された部位の高さと幹直径を示す。箱ひげ図は、植栽時の幹直径 (D_0 , D_{20} , D_{40} , D_{60} , D_{80} , D_{100}) の最小値 (エラーバーの下端), 25%分位点, 中間値, 75%分位点, 平均値 (×の点), 最大値 (エラーバーの上端) を示す。ただし, 箱ひげ図の作成では, 植栽後に傾斜した苗木を除外した。また, 地表面から 100 cm の高さの箱ひげ図では, 植栽時の苗高が 100 cm に満たない苗木を除外した。

た側枝の枝下高は最大で 87 cm であった。

主軸の食害を受けた苗木の植栽時のサイズは全体的に小さい傾向がみられ (図-1), 植栽時の苗高や幹直径 D_{40} , D_{60} , D_{80} が小さい苗木ほど有意に主軸の食害を受けやすい傾向がみられた ($p < 0.05$: 表-1)。ここで扱った四つのモデル (モデル 1~4) では, モデル 1 の AIC が最も小さく, 植栽時の苗高によって主軸食害の発生が最もよく説明できることが示された (表-1)。当該モデルでは, 植栽時の苗高が 120 cm のときに主軸が食害を受ける確率が 50%, 植

表-1. 植栽時の苗高および幹直径から主軸食害の発生を説明する一般化線形モデル

説明変数	モデル 1		モデル 2		モデル 3		モデル 4	
	係数	SE	係数	SE	係数	SE	係数	SE
(切片)	12.40	3.71*	7.36	2.18*	7.19	2.11*	5.66	1.67*
植栽時の苗高	-0.10	0.03*						
植栽時の幹直径								
高さ 40 cm			-0.55	0.18*				
高さ 60 cm					-0.63	0.20*		
高さ 80 cm							-0.59	0.20*
AIC	25.09		26.51		25.23		27.62	

*: Wald 検定における p 値が 0.05 以下の係数を示す。

栽時の苗高が 141 cm のときに主軸が食害を受ける確率が 10%と推定された (図-4)。幹直径を説明変数とした三つのモデル (モデル 2~4) では, モデル 3 の AIC が最も小さく, 植栽時の幹直径 D_{60} が主軸の食害をよく説明できることが示された (表-1)。このモデルでは, 植栽時の幹直径 D_{60} が 11.5 mm のときに主軸が食害を受ける確率が 50%, 植栽時の幹直径 D_{60} が 15.0 mm のときに主軸が食害を受ける確率が 10%と推定された。

主軸の食害を受けた時点の幹直径を想定した解析では, 幹直径 D_{60} が大きいほど主軸の食害の発生確率は低下した ($p < 0.05$: 表-2)。ここで扱った三つのモデル (モデル 5~7) の中で幹直径が主軸食害の有無に有意に影響していたモデルは, 幹直径 D_{60} を説明変数としたモデル 6 のみであった。当該モデルでは, 主軸食害時の幹直径 D_{60} が 11.4 mm のときに主軸が食害を受ける確率が 50%, 主軸食害時の幹直径 D_{60} が 14.9 mm のときに主軸が食害を受ける確率が 10%と推定された (図-5)。

IV. 考 察

主軸の食害を受けた苗木は, 主軸の食害を受けていない苗木よりも, 植栽時の苗木サイズが小さい傾向がみられた (図-1)。一般化線形モデルでは, 植栽時の苗木のサイズが大きくなるとともに主軸食害の発生確率が低下することが示された (表-1, 図-4)。植栽時の幹直径では, D_{60} によって主軸の食害が最もよく説明できたが, これは主軸食害の多くが高さ 60 cm 付近で発生していたためと考えられる。一方, 植栽時の苗高の方が D_{60} よりも主軸の食害をうまく説明できたが, これは, 苗高が高さごとの幹直径を一定程度反映し, 高さ 40 cm や 80 cm 付近の主軸食害を含めた説

表-2. 主軸食害時の幹直径から主軸食害の発生を説明する一般化線形モデル

説明変数	モデル 5		モデル 6		モデル 7	
	係数	SE	係数	SE	係数	SE
(切片)	8.30	6.79	7.08	2.20*	0.70	1.69
食害時の幹直径						
高さ 40 cm	-0.89	0.76				
高さ 60 cm			-0.62	0.21*		
高さ 80 cm					-0.19	0.15

*: Wald 検定における p 値が 0.05 以下の係数を示す。

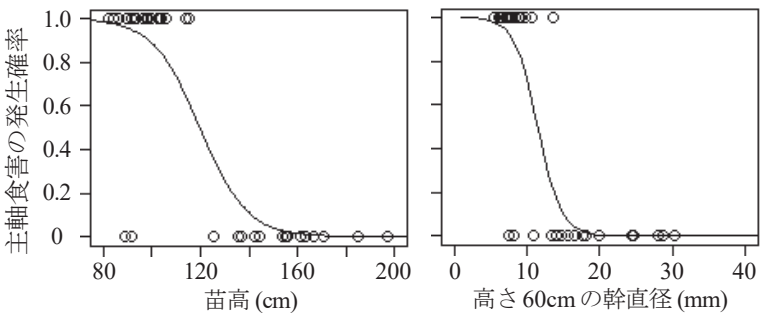


図-4. 植栽時の苗高および幹直径 (高さ 60 cm) にともなう主軸食害の発生確率の変化

白色の点が本研究で観察した苗木を示し, 実線は一般化線形モデルによって推定された主軸食害の発生確率を示す。

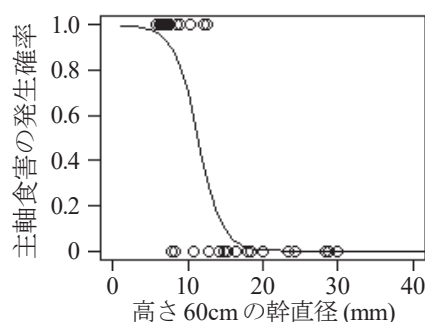


図-5. 主軸食害時の幹直径（高さ 60 cm）にともなう主軸食害の発生確率の変化

白色の点が本研究で観察した苗木を示し、実線は一般化線形モデルによって推定された主軸食害の発生確率を示す。

明ができたためと考えられる。また、主軸食害時の幹直径を想定した解析でも、 D_{60} において主軸食害の発生と有意な正の相関が確認された（表-2、図-5）。一般化線形モデルから推定された主軸食害の発生確率の推定値は、植栽時の D_{60} と主軸食害時の D_{60} でほぼ同じ数値であり、植栽から主軸食害までの1カ月間で幹直径の変化はほとんど起こらず、結果として、いずれの時点の幹直径でも同様の推定値が得られたと考えられる。

幹が直立していた苗木では、主軸の食害を受けた苗木の植栽時の苗高は最大で118 cmであり、モデル推定では、植栽時の苗高が141 cmのときに主軸が食害を受ける確率が10%となった（図-4）。このことから、苗高140 cm程度の苗木を植栽すれば、ノウサギによる主軸の食害を受けにくくなると予想される。また、主軸の食害部位（切断部位）の高さは、幹が直立していた苗木では最大68 cmであった（図-3）。主軸が切断される高さの上限について、積雪期に雪上に露出した部分を切断されるなどの特殊なケース（谷口 1998）を除けば、高さ70~80 cm以上で急激に切断の頻度が低下しており（山田・井鷲 1988；川井 1999；八神 2010）、高さ70 cmまでが主軸の切断を受けやすいものと考えられる。一方、幹が傾斜していた苗木では、高さ90 cmまで主軸の食害が確認されており、直立していた苗木よりも切断部位が高い位置にあった。また、食害を受けた側枝の中で最も高いものの枝下高（87 cm）もこれに類似していた。ノウサギは後ろ足で立ち上がって採食することが観察されている（山田 2020）。本研究では、さらに頭を上方に向けたまま口で側枝を挟むことが観察され（図-2（A））、このことが、傾斜した主軸や側枝で食害を受ける高さが直立した主軸よりも高くなる理由と推察される。

一般化線形モデルでは、食害時の幹直径 D_{60} が15 mm程度のときに主軸が食害を受ける確率が10%と推定された（図-5）。また、主軸の切断部位の幹直径は最大で12.5 mmであった（図-3）。実際の主軸の切断部位の多くは高さ70 cm近くまで確認されたが、高さ60 cmの幹直径が15 mmの苗木では、高さ70 cmの幹直径が12.5 mmを上回り、ノウサギによる主軸の食害を受けにくくなると考えられる。加えて、今回観察された切断部位の幹直径の最大値12.5 mmは、ブナ幼樹の主軸の食害部位の直径（最

大直径8 mm）（川井 1999）や広葉樹の枝の食害部位の直径（最大直径9 mm）（金森・扇 1997；谷口 1998；八神 2010；山田 2017）よりも、高い数値であった。コウヨウザン苗の主軸が一部のみ食害を受け、その後折れるケースも観察されており（図-2（B））、このことがより太い幹の切断に繋がったものと考えられる。同時に、このことは、主軸の食害を受ける主軸の太さが樹種間で異なることを示しており、コウヨウザンでは、他の樹種に比べてより大きなサイズの苗木まで食害を受ける可能性がある。

V. ま と め

本研究では、植栽時の苗高が140 cm以上、高さ60 cmの幹直径が15 mmを超える苗木であれば主軸の食害を受けにくくなることが示された。苗木の形状比が生育条件によって異なること、また、生息するノウサギの個体サイズが林分によって異なることを考えると一概に決めることはできないが、植栽した苗木が成長によって上述のサイズを上回れば、主軸の食害を受けにくくなると予想される。以上のことから、コウヨウザンの造林では、苗木を植栽し、それに何らかの食害防除を施し、上述のサイズにまで苗木を成長させたあとに、防除を解除することが一つの防除プロセスとして提案される。加えて、本研究において既往研究の報告値よりも太い幹が切断されたことは、コウヨウザン植栽苗の食害防除において注意すべきポイントといえる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、鹿児島大学農学部農林環境科学科育林学研究室の方々には、野外調査をはじめ、多大なご助力をいただいた。また、鹿児島大学農学部附属演習林の職員の方々には調査地の使用許可や管理についてご協力をいただいた。以上の方々に深く御礼を申し上げます。本研究は、農林水産省委託プロジェクト「成長に優れた苗木を活用した施業モデルの開発」の支援を受けて行われたものである。

本研究において、開示すべき利益相反は存在しない。

引用文献

- 藤澤義武・佐藤新一・山田浩雄・近藤慎二（2015）北関東で成育する19年生コウヨウザンの木材性質とその家系間変異。関東森林研究 66: 183-186
- 福田次郎（1954）高知の広葉樹。山林 844: 1-19
- 平岡誠志・渡辺弘之・寺崎康正（1978）ノウサギに加害されたヒノキ・スギの生長および樹形等の回復。京大演林報 50: 1-11
- 鹿児島大学農学部附属演習林（2022）環境観測情報 Field Information Server. YDK テクノロジーズ。東京。http://takakumal.aa0.net/volante.jp/ViewWeb/
- 金森弘樹・扇 大輔（1997）ニホンノウサギによる広葉樹造林木の被害例。森林応用研究 6: 143-146
- 川井裕史（1999）ブナ幼樹に対するノウサギ害の軽減について。大阪府立農林技術センター研究報告 35: 20-24
- 近藤慎二・山田浩雄・磯田圭哉・大塚次郎・飯田啓達・飯野貴美子・木下 敏・生方正俊・藤澤義武（2016）茨城県における21年生コウヨウザンの成長。関東森林研究 67: 113-116
- 近藤慎二・山田浩雄・磯田圭哉・大塚次郎・飯田啓達・生方正俊（2017）東京大学千葉演習林におけるコウヨウザンの成長。関東森林研究 68: 133-136
- 近藤慎二・山田浩雄・磯田圭哉・大塚次郎・中島章文・生方正俊・清野達之（2018）静岡県におけるコウヨウザンの成長。関東森林研究 69: 139-142
- 近藤慎二・山田浩雄・大塚次郎・磯田圭哉・山口秀太郎・生方正俊（2020）我が国におけるコウヨウザンの成長。森林遺伝育種 9: 1-11

- 森田正彦・冬野劭一・薮 正勝 (1989) コウヨウザン 30 年生林分についてのスギとの成長比較. 九州育種場年報 17: 91-98
- 森田正彦・冬野劭一・西村慶二・薮 正勝 (1990) コウヨウザン 30 年生林分の成長及び材質特性. 日本森林学会九州支部研究論文集 43: 49-50
- 大分県農林水産研究指導センター林業研究部 (2015) 早生樹を用いた短伐期林業の手引き (コウヨウザン, チャンチンモドキ編). 大分県農林水産研究指導センター林業研究部
- 大津正英 (1985) ノウサギによるスギ被害木の上長成長. 野兎研究会誌 12: 33-36
- 折橋 健・小島康夫・小澤修二・寺沢 実・夏目俊二・門松昌彦・梶 幹男・大賀祥治 (1999) エゾシカによるカラマツ食害の化学性防除—木酢液, 木タール, ロジンの忌避効果—. 日本森林学会北海道支部論文集 47: 83-86
- R Core Team (2021) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- 林野庁 (2018) 平成 30 年版 森林・林業白書. 農林統計協会
- 林野庁 (2022) 令和 3 年度低密度植栽技術の導入・早生樹利用による森林整備手法に係る追跡調査委託事業報告書. 一般社団法人日本森林技術協会
- 谷口 明 (1986) 鹿児島県におけるノウサギによる造林木の被害とその個体群生態に関する研究. 鹿児島県林試研報 2: 1-38
- 谷口真吾 (1998) 針広混交林の造成技術に関する研究(2). 兵庫県立森林・林業技術センター研究報告 45: 5-11
- 豊島重道 (1978) 優良人工林造成研究地区におけるノウサギによる造林木被害と生息数の推定について. 野兎研究会誌 5: 17-24
- 鳥居春己 (1980) ノウサギ被害木の生長と樹形への影響—予報—. 野兎研究会誌 7: 36-39
- 鳥居春己 (1984) ノウサギによるヒノキ造林木の被害と被害木の生長及び樹形の回復. 静岡県林験研報 12: 15-25
- 鶴川 信・藤澤義武・大塚次郎・近藤禎二・生方正俊 (2020) ニホンノウサギによる食害とその防除がコウヨウザン 1 年生苗の生残および成長に与える影響. 日林誌 102: 317-323.
- 鶴川 信・藤澤義武・大塚次郎・近藤禎二・生方正俊 (2021) コウヨウザン苗の食害に対するミカンネット被覆およびカブサイシン散布の効果. 九州森林研究 74: 19-23.
- 涌嶋 智・渡辺靖崇 (2017) コウヨウザンの材質. 森林遺伝育種 6: 148-154.
- 渡辺弘之・古野東洲・柴田毅次 (1989) ヒノキ植栽地におけるノウサギによる被害判定と被害量推定. 京大演林報 61: 16-24
- 八神徳彦 (2010) ノウサギ食害木の形態的特徴と施肥による食害軽減効果. 石川県林試研報 42: 25-28
- 山田浩雄・湯浅 真・阿部正信 (2012) 50 年生試植検定林におけるコウヨウザン 3 個体の成長経過. 平成 23 年版林木育種センター年報 74-76
- 山田文雄・桑畑 勤 (1984) ノウサギの食害機構に関する研究. I. ヒノキ造林木の食害に影響する諸要因. 野兎研究会誌 11: 19-30
- 山田文雄・井鷲裕司 (1988) 広葉樹苗木に対するノウサギ *Lepus brachyurus* の食害. 野兎研究会誌 15: 9-17
- 山田文雄 (2017) ウサギ学 隠れることと逃げることの生物学. 東京大学出版会
- 山田文雄 (2020) わが国のノウサギ 2 種の生態的特徴と被害およびその対策と管理. 樹木医学研究 24: 176-182

Data Availability Statement

コウヨウザン苗ノウサギ食害データ_苗サイズ効果

Feeding of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) seedling by Japanese hare (*Lepus brachyurus*)_Influence of seedling size

<https://doi.org/10.50853/data.jjfs.23256536>