

5. 政策課題研究5 (5-PS5)

琵琶湖を育む森林の管理に関する研究

中川宏治・金子修一¹⁾・三井香代子²⁾・須永哲明³⁾

要約

- ① 県産のコンテナ苗の植栽試験を行った。活着率については裸苗と同程度を維持し、樹高および地際直径については、前生育期の裸苗と同程度で推移したことから、形状比は裸苗と同程度まで収束してきており、今後、両苗種の苗齢に伴う樹高と地際直径の差は解消されていくと考えられた。
- ② 防護柵を設置した場合の下刈り期間短縮の影響を検討した。第7生育期に入り、アカマツを中心とした競合種による側方被圧を受ける個体が増加傾向にあった。そのため、防護柵を設置した上で、下刈り期間を短縮する場合には、植栽木にとって有利な競合状態を維持するために、除伐の実施時期を早めるなどの対策が必要になると考えられた。
- ③ ヒノキ大苗を用いた下刈り省略の影響について検討した。防護柵を設置した上で、苗長 150cm 程度の大苗を植栽することにより、下刈り省略が可能であるが、広葉樹競合種による側方被圧の状況から、植栽木にとって有利な競合状態を維持するために、成長速度を速めるための樹種の選定や立地の検討が必要になると考えられた。
- ④ 植生タイプが異なる2か所の人工林択伐跡地において更新木の動態を分析し、天然更新の状況を検討した。上層木として広葉樹がほとんど生育していない試験地では、成林後に主林木となることが期待される高木性の更新木の個体数が少ないが、広葉樹が多い試験地では、高木性の更新木の個体数が多いこと、両試験地で共通して、鳥類などに種子散布を依存する周食型の樹種の個体数が多いことなどを確認した。天然更新を促進するためには択伐時に周食型の母樹を残すなどの取り組みが有効であると考えられた。
- ⑤ 防護柵の維持管理手法を検討するために、まず、防護柵の破損や変形の現状を把握した。その結果、スカートネットの使用や、毎年秋季の集中的な点検と補修が有効であると考えられた。また、防護柵の維持管理の期間を短縮するために柵撤去時期について検討したところ、植栽木が剥皮被害を受けやすい樹種かどうか評価した上で、シカの可食高を樹高が上回った段階で撤去することで省力化が図れると考えられた。
- ⑥ アセビとシキミ、イワヒメワラビを用いて緑化試験を行った。土壌保全で有効な高い植被率を実現するためには、30%以上の高い相対照度を維持することが求められる。また、アセビ群落内のコナラの生育状況を検討したところ、アセビ群落内ではコナラの生存率や樹高が維持されたことから、アセビによる土壌緑化を図る場合、アセビ群落の形成後であれば、コナラの生存率を維持する効果があると考えられた。

1. はじめに

琵琶湖の水源に位置する滋賀県の森林は、水源涵養機能を中心とした多様な機能の発揮が求められてきた。また、本県の森林面積の約43%はスギやヒノキからなる人工林であり、適切に管理して、同機能を維持・向上させていくことが求められている。

近年、本県の人工林を適切に管理していく上で重要な法制度が整備された。まず、「琵琶湖の保全及び再生に関

する法律」が2015年9月に施行され、国および関係地方公共団体の役割として、琵琶湖の水源の涵養を図るため、森林の整備や保全などに努めることが明記された。また、2019年4月から始まった森林経営管理制度では自然的条件などが林業経営に適した森林で林業的利用を積極的に展開し、一方で林業経営に適さない人工林については、多様な機能の発揮に向けて針広混交林などに誘導していく仕組みが整備された(林野庁 2020a)。

1) 現自然環境保全課、2) 現西部・南部森林整備事務所、3) 現滋賀県造林公社

このように、近年、森林管理を進めるための法律や制度が整備されてきた一方で、本県の人工林が抱える課題に対応した、具体的な森林管理の方策については、十分に検討できていない。

本県の人工林は大きく二つの課題を抱えている。

一つ目は、更新の問題である。本県の人工林の約半分は 50 年生以上の主伐期にあり、これらの森林では適切に主伐を行い、その後、確実に更新を行うことが不可欠である。人工林のうち、資源の循環利用を図っていく森林（以下、「経済林」という）においては主な更新手法は再造林（人工造林）である。この場合、地拵えや植栽、下刈りから除伐、間伐までを含めた 40 年生までの保育経費は約 380 万円/ha であり、このうち植栽や下刈りなどの造林初期費用に要する経費はその約 70%を占める（和歌山県 2007）。特に、造林初期費用の約 4 割を占める下刈りにおいて、その経費の抑制が課題となっている（近藤・袴田 2017）。

また、資源の循環利用を所有者が断念したが、森林の多面的機能の発揮が求められる人工林（以下、「環境林」という）についても、適切に整備していくことが重要である。近年、人工林を省力的に混交林化もしくは広葉樹林化するために、強度の抜き伐り（択伐）と天然更新の取り組みが各地で進められている（田内 2010）。そのため、環境林においても天然更新の手法を活用しながら、森林の更新を図ることが求められている。

二つ目は、ニホンジカ（以下、「シカ」という）の問題である。近年、シカの増加による森林への深刻な影響が拡大しており、特にシカが高密度で生息する地域の森林では、シカの採食による下層植生の衰退が著しく、土壌流亡や土砂崩壊の発生も懸念されている。そのような地域では、再造林した後に防護柵などを設置して植生を保護したり、防護柵を設置して下層植生の回復を図るといった対策が必要になる。

しかし、再造林は前述したように経費の抑制が課題となっている。また、防護柵についても、一度動物が侵入すると、造林木に大きな被害が及ぶことがあり、適切に作設し、維持管理を行っていく必要があるが、作設から撤去までの作業に多大なコストがかかる（外柳ら 2015; 大分森林管理署 2013）。そのため、これらの維持管理コストを抑制していくことが森林を更新する上での課題となっている。さらに、土壌流亡などの発生が懸念される森林では、土壌保全機能を保つための対策が求められる。

以上の背景を踏まえ、本研究では、琵琶湖を育む森林のうち、適切な管理が強く求められる人工林に着目し、省力的な森林管理の方策に関して、森林の更新手法とシカ対策の観点から次の点を検討することを目的とする。

i) 本研究ではまず、経済林において省力化が求められる再造林手法を取り上げる。季節を選ばず植栽が可能で、近年全国的に導入が進められているコンテナ苗の活着と成長を把握する。また、経費の抑制が課題となっている下刈り作業の省力化について検討する。

ii) 天然更新を取り上げ、択伐跡地における更新木の生育状況を分析し、天然更新の方策を検討する。

iii) シカ対策に関して、対象地を柵で囲って特定の動物の物理的に排除することを目的として設置される防護柵に着目し、その維持管理手法について検討する。

iv) シカ対策の課題の一つである土壌の保全に関して、シカの不嗜好性が高いと考えられ、表土流出抑制効果が確認されているアセビ、シキミ、イワヒメワラビに着目し、それらを用いた土壌保全手法について検討する。

v) 以上の結果を総合し、経済林と環境林のそれぞれにおける省力的な森林管理の方策について検討する。

2. コンテナ苗の活着と成長の検討

2.1. はじめに

近年、再造林費用を低減するために、植栽木としてコンテナ苗を活用することが全国的に検討されている。通常用いられる裸苗と比較し、コンテナ苗は育苗の利便性と植栽の効率性の点で優位であり（壁谷 2016）、九州などでは通年の植栽が可能であることが報告されており、伐採から植栽までの作業を一貫して行う「一貫作業システム」で用いることも検討されている（山川ら 2013）。本県においても、コンテナ苗の導入を検討するために、県産のコンテナ苗の活着と成長を把握する必要があることから、コンテナ苗と裸苗を用いた植栽試験を行った。

2.2. 方法

調査は、甲賀市信楽町（信楽試験地）と東近江市永源寺（永源寺試験地）にある皆伐跡地で行った。両試験地には、ポリエチレン製の防護柵が設置されている。

信楽試験地では 2018 年 2 月、13m×10m のプロットを 4 つ設置し、各プロットにスギコンテナ苗（2 年生）と同裸苗（3 年生）、ヒノキコンテナ苗（2 年生）と同裸苗（3 年生）をそれぞれ植栽した（密度: 3,000 本/ha）。同試験地で生育する高茎の競合植生は、ネザサやアカメガシワ、ヌルデ、クリなどであり、それらが構成する草本層の高さは約 100cm である。

永源寺試験地では 2017 年 3 月、20m 四方のプロットを設置し、ヒノキコンテナ苗（2 年生）と同裸苗（3 年生）を植栽した（密度: 3,000 本/ha）。同試験地で生育する高茎の競合植生は、イチゴ類やクサギなどであり、それらが構成する草本層の高さは約 80cm 程度である。

両試験地の測定項目は植栽木の活着率と樹高、地際直径、食害の有無であり、毎年9月から10月に調査した。

2.3. 結果と考察

各苗種の活着率の推移について、両試験地の結果を図1、図2にそれぞれ示す。両試験地において、両樹種とも、コンテナ苗は裸苗と同等の約90%以上の活着率を維持しており、活着状況は良好である。

各苗種の樹高と地際直径の推移について、両試験地における各樹種の結果を図3から図5に示す。コンテナ苗の樹高は、両樹種ともに、植栽した時点で裸苗と同程度かそれ以下であり、その後は前生育期の裸苗と同程度で推移した。また、地際直径についても樹高と同傾向で推移した。

各苗種の形状比（樹高を地際直径で除した値）の推移を図6、図7にそれぞれ示す。植栽時には両樹種でコンテナ苗の数値が裸苗を大きく上回った。裸苗では形状比の適値が50から70程度であり（宮崎 1966）、2年生コンテナ苗は植栽時の形状比が80以下では3年生の裸苗と同等以上の成長を示すことが報告されている（八木ら 2016）。そのため、本県では形状比のより低いコンテナ苗を育苗することが課題であると考えられる。

その後、両試験地のコンテナ苗の形状比は低下し、第2生育期の時点では両樹種で同等の値に収束した。両試験地のコンテナ苗は、調査期間を通して伸長成長よりも肥大成長を優先させたといえる。コンテナ苗は、形状比が裸苗と同等の値（60付近）に収束したあと、植栽3年目になって伸長成長を開始したという報告（渡邊 2017）があり、本試験地でも今後、苗齢による両苗種の樹高および地際直径の差は解消されていくと推測される。

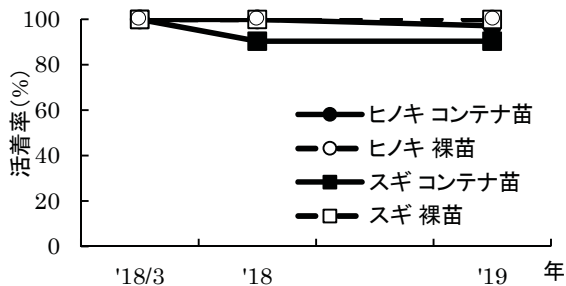


図1 各苗種の活着率の推移（信楽試験地）

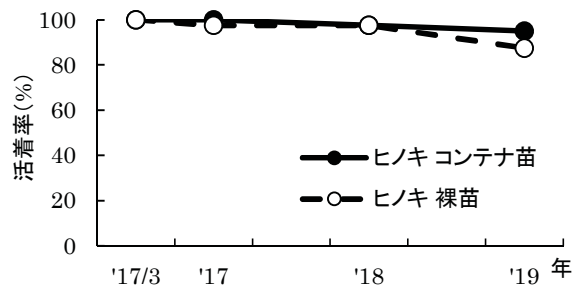


図2 各苗種の活着率の推移（永源寺試験地）

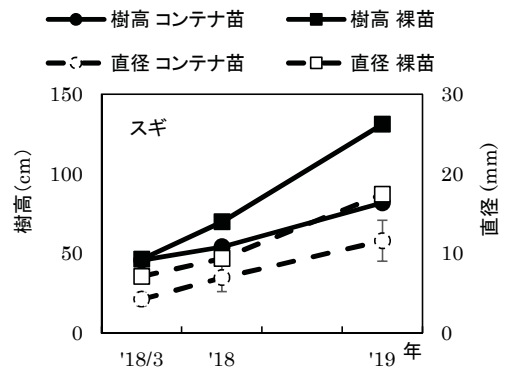


図3 樹高と地際直径の推移（信楽試験地／スギ）

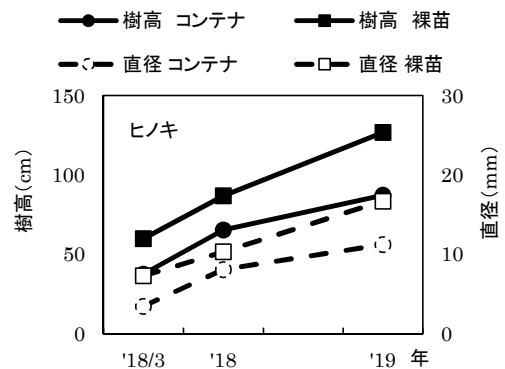


図4 樹高と直径の推移（信楽試験地／ヒノキ）

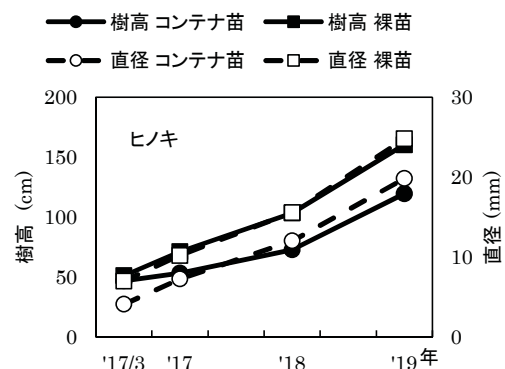


図5 ヒノキの樹高と地際直径の推移（永源寺試験地）

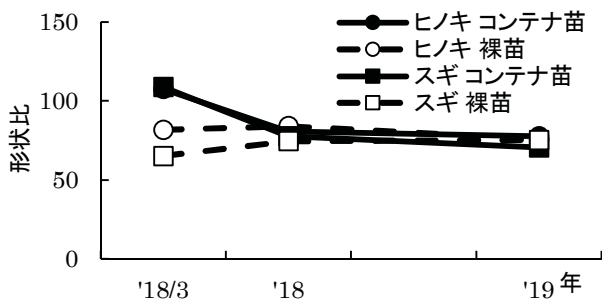


図6 各苗種の形状比の推移（信楽試験地）

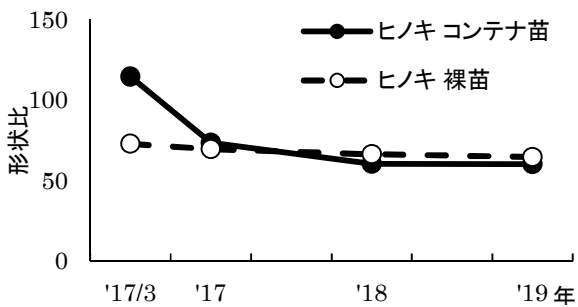


図7 各苗種の形状比の推移（永源寺試験地）

2.4. まとめ

コンテナ苗の活着と成長について検討したところ、信楽試験地と永源寺試験地のいずれの試験地においても、活着率は裸苗と同程度を維持し、形状比は裸苗と同程度まで収束してきている。そのため、コンテナ苗の活着と成長は良好であり、今後、両苗種の苗齢に伴う樹高と地際直径の差は解消されていくと考えられる。

3. 下刈り作業の省力化の検討

3.1. はじめに

下刈りは、前述したように、その経費の抑制が大きな課題となっている。第四期中期計画の成果から、下刈りは植栽木の樹高が、競合植生の高さよりも大きくなるまでの期間には確実に実行する必要があるが、その後は省略できる可能性があると考えられた（三井ら 2018）。ただし、下刈りを省略した施業では、競合植生の高さがより高くなっており、競合植生により植栽木が被圧され、それらの除伐が必要になることが多く（長谷川・川崎 2004）、特に防護柵を設置した場合には植栽木と同様に競合種もシカの採食の影響を回避することができるため、被圧が問題になると考えられる。そこで、本研究ではまず、防護柵を設置した上で、下刈り省略後の植栽木の樹高成長、競合植生による被圧の状況を分析し、下刈り期間の短縮が植栽木の生育に及ぼす影響について検討する。

また、下刈りを省略するためには、植栽時の苗高が高い大苗を用いることが有効であると考えられる。大苗は

下刈りの省略に加え、ニホンジカによる梢端の食害を防除できるものと期待されている（近藤・袴田 2017; 桑野ら 2020）。そのため、本研究では、ヒノキの大苗を用いて植栽試験を行い、各個体の樹高や競合植生による被圧の状況を記録し、大苗を植栽した場合の下刈り省略が植栽木の生育に及ぼす影響について検討する。

3.2. 方法

3.2.1. 下刈り期間の短縮試験

高島市朽木麻生のアカマツ二次林の伐採跡地に試験地を設定した。調査時の主な競合植生はワラビやススキなどであり、それらが形成する草本層の高さは約 150cm である。本試験地では 2013 年に 20m 四方のプロットを設定し、防護柵を設置した上で、クヌギの苗木を 1,000 本/ha の密度で植栽し、下刈りの有無が植栽木の成長に及ぼす影響について調査を行ってきた（三井ら 2018）。本研究ではこれらの試験地で第 3 生育期（2015 年）まで下刈りを行った 20m×10m のサブプロットについて、第 4 生育期（2016 年）以降、下刈りを継続する区（以下、「下刈り継続区」という）、下刈り期間を短縮する区（以下、「期間短縮区」という）に分けて調査した（図 8）。

植栽木の活着率、樹高などを、毎年 9 月から 10 月にかけて測定した。また、第 7 生育期（2019 年）には、競合植生による被圧の状況を確認するため、各個体に対して樹冠級を区分した。樹冠級は、横井(2001)に準じ、樹冠が大きく直射光は十分（優勢）、直射光を受けているが隣接する樹冠から被圧（準優勢）、被圧されて直射光を受けることができない（被圧）に区分した。

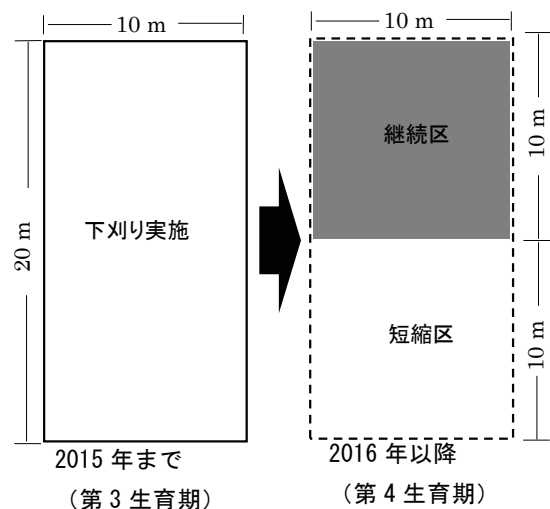


図8 下刈り期間の短縮試験のプロットの概要（朽木麻生）

3.2.2. 大苗を用いた下刈り省略試験

大津市仰木町大久保地先にある皆伐跡地に試験地（標高：約 290m、土壌型：乾性褐色森林土）を設定した。当該試験地では、2010 年 9 月から 10 月にかけて皆伐が行われ、2016 年 3 月には、地拵え、ヒノキ大苗(平均樹高：約 150 cm、密度：1,000 本/ha)の植栽を行った。主な競合植生はススキであり、高さは約 160 cm である。2016 年 4 月、防護柵を設置したプロット（以下、「柵設置区」という）と、防護柵を省略したプロット（以下、「非設置区」という）を設置した（各 200m²）。植栽木の活着率、樹高、食害の有無などを毎年 9 月から 10 月に調査した。なお、柵設置区では、2016 年 9 月から 12 月の時期に、防護柵が破損し、シカの侵入に伴う梢端部の折れ（以下、「先折れ」という）が確認された。そのため、一部の結果では先折れの個体を除いた。

3.3. 結果と考察

3.3.1. 下刈り期間の短縮試験

下刈り継続区および期間短縮区の植栽木の生存率は、第 3 生育期以降、いずれも 100%であり、両区で生存率の差は認められなかった。

第 3 生育期（2015 年）以降の植栽木の樹高の推移について図 9 に示す。期間短縮区において、第 4 生育期（2016 年）以降の下刈りを省略したにも関わらず、植栽木の樹高は下刈り継続区と同様に増加しており、競合植生による成長阻害は確認できなかった。クヌギは陽樹であり、第 7 生育期までは年 1 回以上の下刈りが奨励されている（愛媛県農林水産部林政課 1984）。したがって、下刈り作業を省略するかどうかの判断は、それぞれの造林地における競合植生の状態を踏まえて行うことが求められる。

期間短縮区において第 7 生育期の植栽木の樹冠級を測定した結果を図 10 に示す。優勢が全体の 50%以上を占めていたが、準優勢も 30%以上を占めており、競合植生による横方向からの被覆（以下、「側方被圧」という）を受ける個体が増えつつあると考えられる。

同時期の主な木本性競合種の平均樹高について図 11 に示す。アカマツ、リョウブ、クリといった陽樹が多く、特に本試験地を生育適地とするアカマツは個体数と平均樹高が植栽木を上回った。本試験地では下刈りを省略してから既に 4 生育期が経過しているが、植栽密度が 1,000 本/ha と低密度であり、競合種からの被圧が植栽木の樹高成長に及ぼす影響は限定的である。今後、アカマツなどによる被圧の影響が強まると考えられることから、防護柵を設置した上で、下刈り期間を短縮する場合には、植栽木にとって有利な競合状態を維持するために除伐の実施時期を早めるなどの対策が必要である。

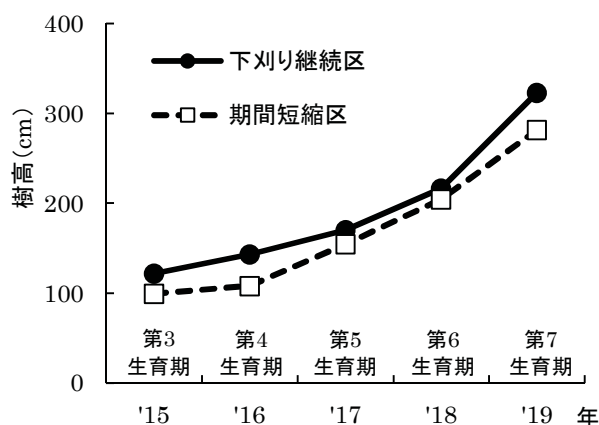


図 9 両区における植栽木の樹高の推移

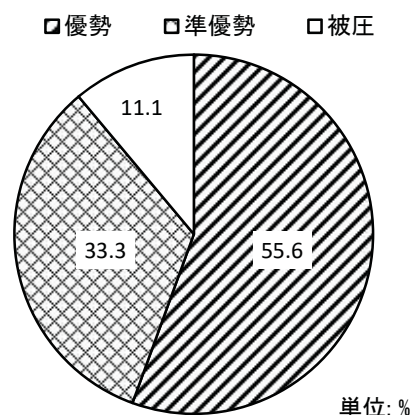


図 10 第 7 生育期の植栽木の樹冠級

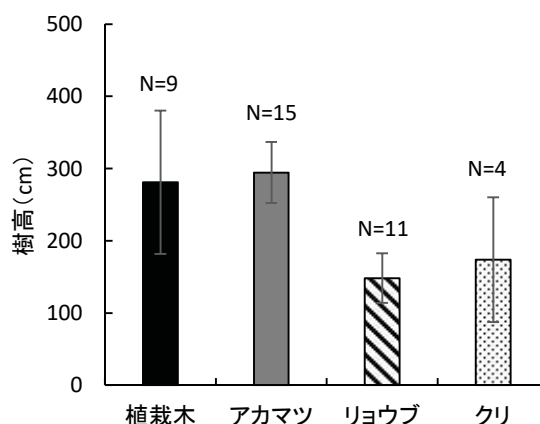


図 11 第 7 生育期の主な競合植生の平均樹高（平均値±標準偏差）

3.3.2. 大苗を用いた下刈り省略試験

柵設置区では、植栽木を観察した結果から、倒伏や活着不良は確認されなかった。大苗は風の影響で倒伏しや

すいことなどが指摘されているが（渡辺ら 2015）、本試験地ではそのような傾向は確認されなかった。

両プロットにおける植栽木の生存率の推移について図 12 に示す。柵設置区では高い生存率で推移し、第 4 生育期末である 2019 年 9 月時点においても 90% の生存率を維持した。一方で、非設置区では生存率が低下し、第 4 生育期末には 60% となった。

植栽木の食害状況について、梢端部や枝葉の摂食や幹の皮剥が確認されたことから、非設置区ではシカの摂食が生存率の低下を招いていると考えられた。シカのディアラインの高さに関しては、140cm（大分森林管理署 2016）、150cm 以下（池田 1998）、160cm 程度（上山 1990）などと地域差があり、同プロットでは、苗長 150cm 程度では先折れを防除することができなかったが、本試験地では植栽木の苗長が不足していたと考えられる。さらに、非設置区では皮剥の被害も確認されていることから、ヒノキ大苗を用いる場合には防護柵が必要であると考えられた。

両プロットにおける植栽木の平均樹高の推移について、先折れした個体を除いた結果を図 13 に示す。いずれのプロットにおいても平均樹高は増加傾向であり、非設置区において生存個体の樹高成長が柵設置区を上回った。

柵設置区における第 4 生育期における植栽木の樹冠級について図 14 に示す。「準優勢」と「被圧」がそれぞれ全体の約 35% を占めており、一方で「優勢」は約 25% と割合が小さくなっていった。

本試験地で確認されたススキ以外の主な競合種は、柵設置区では木本性の樹種が多く、非設置区ではタラノキが数本のみ確認された。柵設置区における第 4 生育期の主な競合植生の平均樹高を図 15 に示す。エゴノキの個体数が多く、同種の平均樹高は植栽木と同等に高かった。5 年間の無下刈り処理がヒノキ苗の初期成長に及ぼす影響を調査した先行研究の結果から、側方被圧による樹冠量低下に伴い、生産量が減少する可能性が示唆されている（平田ら 2012）。前述したように本試験地では柵設置区で非設置区よりも樹高成長が抑制されていたことも踏まえると、柵設置区ではこれらの競合種による被圧の影響を受けている可能性が示唆される（図 16）。

本研究ではヒノキ大苗を植栽し、少なくとも下刈りは省略できることを示した。同種の成長はスギやカラマツに比べ遅いため、低密度植栽する場合は、斜面上部など成長が良好な立地環境を選ぶことが重要である（林野庁 2020b）。また、大苗による植栽においては、複数の樹種を用いた植栽試験の結果から、周りの雑草の生育状況を考慮した適正な樹種と苗木の大きさを検討することが重要であることが指摘されている（竹内・金澤 2011）。

本研究では、第 4 生育期の段階で既に広葉樹競合種による被圧の影響が見られたが、競合種による側方被圧の影響を回避するためには、成長速度がより速い樹種の選定や立地の検討が必要になると考えられる。

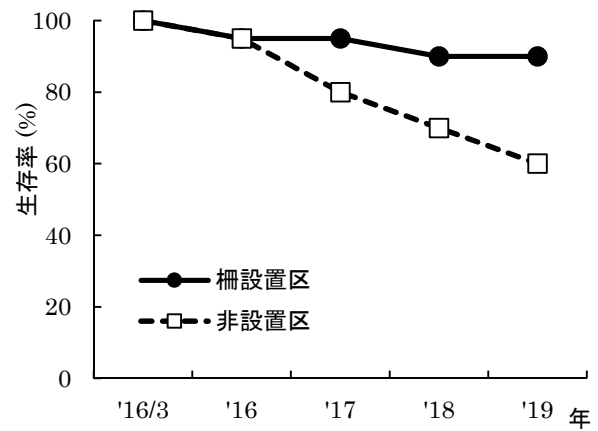


図 12 両プロットにおける植栽木の生存率の推移

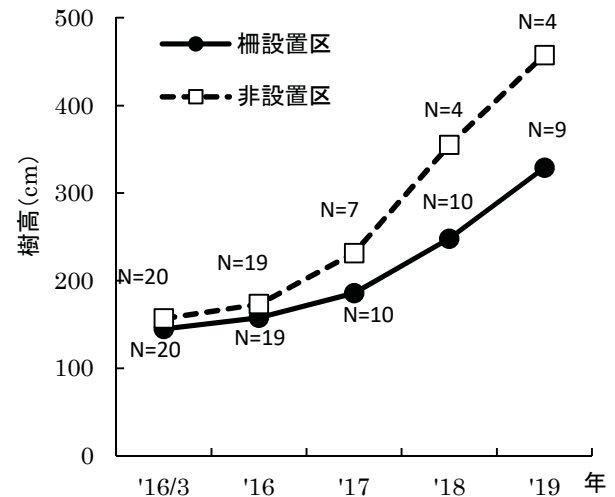


図 13 両プロットにおける植栽木の平均樹高の推移

※ 先折れした個体を除く。

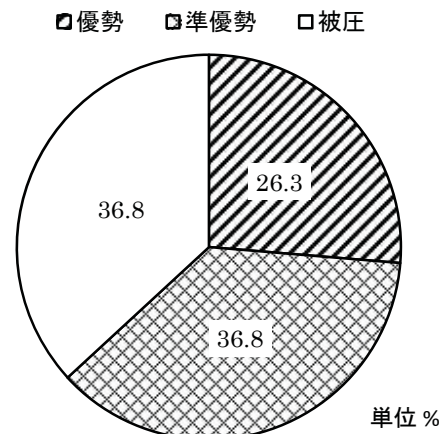


図 14 第 4 生育期の植栽木の樹冠級

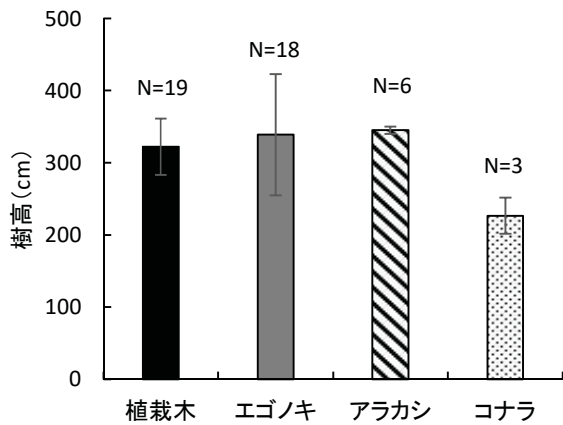


図 15 第 4 生育期の主な競合種の平均樹高 (平均値±標準偏差)



図 16 両区の競合種の生育状況
左奥が設置区、右手前が非設置区

3.4. まとめ

クヌギを用いて下刈り期間の短縮試験を行ったところ、第 7 生育期の段階で、アカマツを中心とした競合種による側方被圧が植栽木の樹高成長に及ぼす影響は確認されなかった。今後、被圧の影響が表れると考えられるため、防護柵を設置した上で、下刈り期間を短縮する場合には、除伐の実施時期を早めるなど、植栽木にとって有利な競合状態を維持する対策が必要になる。

大苗の活用について検討したところ、防護柵を設置した上で、苗長 150cm 程度のヒノキの大苗を植栽することにより、下刈りを省略することが可能であることが示された。しかし、広葉樹競合種による側方被圧の影響を回避するためには、成長速度を速めるための植栽木の選定や立地の検討が必要になると考えられる。

4. 人工林択伐跡地における天然更新

4.1. はじめに

本研究では、人工林択伐跡地における天然更新について検討するため、周囲の広葉樹林の割合など環境条件が異なる 2 か所の人工林択伐跡地に試験地を設定し、実生 (高さ 30cm 未満) と稚樹 (高さ 30cm 以上、直径 5cm 未満) からなる更新木の生育状況を分析し、天然更新の方策を検討する。

4.2. 試験地と方法

4.2.1. 試験地

伊香立試験地

大津市伊香立にあるスギ人工林の択伐跡地で調査した。標高は 370m から 390m に位置し、土壌タイプは適潤性褐色森林土である。試験地の周囲一帯が針葉樹人工林であり、下層にはイワヒメワラビが群生している。本試験地では 2014 年 6 月に択伐が実施された。スギの本数密度は伐採前は約 1,600 本/ha であり、択伐後は約 470 本/ha である。

天然更新の初期段階における更新木の動態を分析するため、2016 年 5 月、防護柵を設置した区 (以下、「柵設置区」という) と防護柵を設置しない区 (以下、「非設置区」という) の 2 つのプロット (各々 20 m × 10 m) を設置した。

土山試験地

甲賀市土山町大河原大川筋にあるスギ・ヒノキ林で調査した。標高は 560m から 620m に位置し、土壌タイプは適潤性褐色森林土である。本試験地では、2017 年 9 月に択伐が実施された。スギ、ヒノキの本数密度は、伐採前は約 1,100 本/ha であり、伐採後は約 660 本/ha である。伐採範囲では、谷筋にミズキを中心とした広葉樹群落、尾根筋にかけてはアカシデやミズキ、アカマツなどの群落がみられる。また、下層にはアセビやマツカゼソウなどが点在している。2017 年 12 月、傾斜や相対照度、広葉樹種の個体数などの条件に応じて、5m×5m の 8 つのプロットを設置し (図 17, 表 1)、各プロットにポリエチレン製ネットを用いた防護柵を設置した。このうち、P3 および P7 のプロットでは、防護柵を設置しない 5m×5m の対照区を併置した。

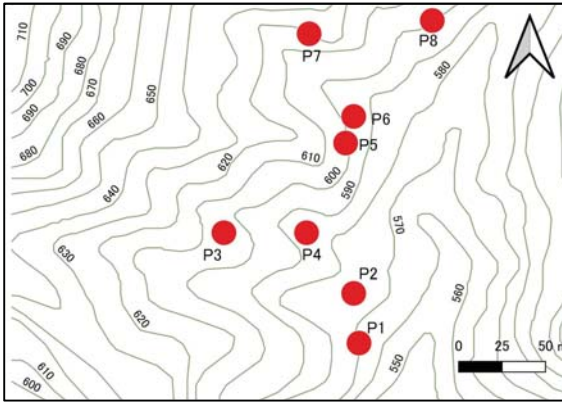


図 17 試験地の概要（土山試験地）

表 1 各プロットの概要（土山試験地）

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
プロット内 傾斜(度)	38	14	42	42	34	35	42	32
相対照度(%)	13.0	17.5	31.2	30.6	35.5	28.4	37.1	29.1
プロット周辺 アカシデ 個体数(n/ha)	14	11	21	12	11	5	37	68
ミズキ 個体数(n/ha)	4	10	37	19	11	24	26	23
アカマツ 個体数(n/ha)	2	2	19	3	1	3	64	53

4.2.2. 方法

各プロットにおいて毎年 9 月から 10 月に植生調査を行った。植生調査では、出現した全ての更新木について各個体の樹種を同定し、樹高、樹冠幅、食害の有無などを計測した。

更新木について、生活型、種子散布型および遷移上の位置づけによって類型化した。このうち、遷移上の位置づけについては、森林総合研究所（2010）に基づき、先駆種、二次林種および遷移後期種に分類した。生活型については、牧野（1988）に基づき低木、亜高木（小高木）、高木に分類した。種子散布型については、野間（1997）に準じ、風散布型、貯食型（発芽の時の栄養として種子の内部に多量のデンプンを含んでいる種子を動物が冬の餌として地中に蓄える）、周食型（液果の果肉を動物が採食し、糞とともに散布される）に分類した。

プロットから 50m 以内にある胸高直径 5cm 以上の立木を上層木と定義し、それぞれの種を同定した。プロット内の相対照度について、2019 年 9 月、曇天日の正午頃、デジタル照度計（LX-1000、カスタム）により、0.1% 単位で算出した。照度の測定は米田ら（1992）に基づき、地上 1m で瞬間照度を 3 回測定し、基準点の照度に対する相対値で示した。なお、プロット内の相対照度は伊香立試験地が 31.2%、土山試験地は表 1 のとおりである。

土山試験地において、各プロットで確認された先駆種を除く周食型の樹種の個体数を目的変数、各プロットの傾斜と相対照度、各プロット周辺の優占種の本数密度を

説明変数として、ステップワイズ法を用いた一般化線形モデルにより分析した。

4.3. 結果

4.3.1. 伊香立試験地

柵設置区と非設置区における更新木の総個体数と種数の推移について図 18（カラー図表参照）に示す。柵設置区では、種数および総個体数のいずれも増加した。一方、非設置区では 2016 年の時点ではこれらの数値は柵設置区と同等であったが、その後、いずれの数値も減少した。

調査期間に確認された更新木の本数密度と類型化の結果を表 2 に示す。更新木の多くは広葉樹種であり、上層木の大部分を占めるスギについては実生の密度は 150 本/ha と極めて少なかった。遷移上の位置づけをみると、イチゴ類やタラノキ、クサギといった先駆種が上位を占めており、二次林種ではヒサカキの密度が高い以外は、アオハダ、シキミ、ヤマザクラなどが一定数確認できた。また、生活型をみると、更新木の多くは、低木種か亜高木種であり、高木種はアオハダ、アカメガシワ、スギ、ヤマザクラの 4 種のみと出現種数が限られていた。さらに、同様に上位種の多くは鳥などが種子を散布する周食型の種子散布型であった。

両区の個体数を比較すると、非設置区ではアセビ、シキミといったシカの不着好性が高い樹種の個体数が柵設置区と比べて多かった。

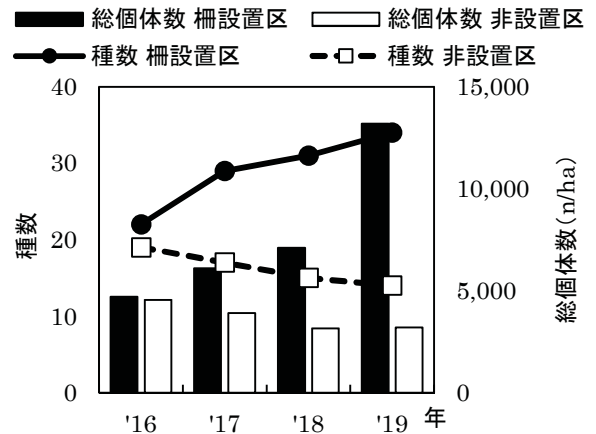


図 18 更新木の総個体数と種数の推移（伊香立試験地、カラー図表参照）

表 2 更新木の本数密度と類型化の結果（伊香立試験地）

樹種	本数密度(本/ha)		累積割合 (%)	遷移上の位置づけ	生活型	種子散布型
	柵設置区	非設置区				
ヒサカキ	4,000	2,100	23.0	二次林種	亜高木	周食
イチゴ類	4,550	-	40.2	先駆種	低木	周食
コアジサイ	3,350	-	52.8	-	低木	風
クロモジ	1,200	750	60.2	-	低木	周食
タラノキ	1,100	200	65.1	先駆種	低木	周食
ムラサキシキブ	800	150	68.7	-	低木	周食
コバノキ	750	150	72.1	-	低木	-
クサギ	500	300	75.1	先駆種	低木	周食
アオハダ	550	50	77.4	二次林種	高木	周食
アカメガシワ	400	200	79.6	先駆種	高木	周食
アセビ	100	450	81.7	-	低木	風
スギ	150	350	83.6	遷移後期種	高木	風
シキミ	150	300	85.3	二次林種	亜高木	貯食
ヤマザクラ	450	-	87.0	二次林種	高木	周食
リョウブ	150	200	88.3	二次林種	亜高木	風
キブシ	350	-	89.6	-	低木	周食
エゴノキ	100	200	90.8	二次林種	亜高木	周食
その他23種	1,850	600	100	-	-	-
計	20,500	6,000				

注：各プロットの数値を合計し、本数密度に換算

4.3.2. 土山試験地

プロット周辺で確認されたスギ・ヒノキを除く上層木の本数密度と類型化の結果について表 3 に示す。個体数ではアカシデとミズキ、アカマツの 3 樹種で全体の過半数を占めた。遷移上の位置づけでは、ミズキやアカマツといった二次林種が多いが、アカシデ、イヌブナ、アワブキといった遷移後期種も一定数確認された。

また、種子散布型は風散布型（以下、「風」という）と周食型（以下、「周食」という）が大部分を占め、両者の割合が同程度であった。

プロット内で確認された更新木の種数と総個体数の推移を図 19（カラー図表参照）に示す。柵設置区では、種数および総個体数のいずれも増加した。一方、非設置区では 2018 年の時点でいずれの数値も柵設置区よりも低く、2019 年も同程度の数値にとどまった。

更新木の本数密度と類型化の結果を表 4 に示す。遷移上の位置づけをみると、ヒサカキやシキミ、エゴノキ、カナクギノキといった二次林種が多く含まれていた。また、生活型をみると、低木種や亜高木種に加え、カラスザンショウ、アカメガシワ、スギ、アカシデといった高木種が比較的多く含まれていた。種子散布型をみると、多くは「周食」の種子散布型を有していた。

柵設置区と非設置区の間で各種の個体数密度を比較すると、上位種では柵設置区でイチゴ類やカラスザンショウ、アカメガシワが多く、非設置区でシカ不嗜好性植物であるアセビやシキミが多かった。

次に、上層木と更新木のそれぞれの優占種に着目すると、上層木で累積割合が 70% を占めた上位 6 種のうち、アカマツとクマシデを除いた 4 種は更新木で確認された。また、上層木のうち最も本数密度が高いアカシデは、柵

設置区よりも非設置区で密度が高かった。一方、更新木で累積割合が 70% 以上を占めた上位 14 種のうち、先駆種であるカラスザンショウとアカメガシワは上層木に含まれていなかった。上層木と更新木の間で、高木・亜高木の種子散布型の割合の違いについて χ^2 乗検定により分析したところ、更新木では上層木と比較して、「周食」の割合が高かった ($\chi^2=214, df=2, p<.01$)。

各プロットで確認された主な二次林種・遷移後期種の樹高の推移を図 20 に示す。ミズキとヤマザクラで樹高成長が大きい傾向があり、2019 年の両種の平均樹高は 50cm 以上に達した。一方で、ヒノキやスギといった針葉樹は樹高成長が低調であった。

各プロットで確認された先駆種を除く周食型の更新木の個体数に対して、各プロットの傾斜や相対照度、プロット周辺の優占順位が上位の樹種の密度にどのように影響するのか検討した。まず、優占順位で上位 3 種のアカシデ、ミズキ、アカマツについて、各プロット周辺の各種の密度の相関を確認するため、Spearman の順位相関係数を算出した結果を表 5 に示す。アカマツとアカシデ ($r=0.72, p<.05$)、アカマツとミズキ ($r=0.78, p<.05$) の間に有意な相関が確認された。次に、多重共線性の影響を回避するためアカマツを除いたアカシデとミズキの個体数と、プロットの傾斜、相対照度を説明変数として、一般化線形モデルを構築した結果を表 6 に示す。変数選択にはステップワイズ法（変数減少法）を用いた。表に示したように、説明変数としてミズキの個体数が選択された。

表 3 広葉樹上層木の本数密度と類型化の結果（土山試験地）

樹種	本数密度 (本/ha)	累積割合 (%)	遷移上の位置づけ	生活型	種子散布型
アカシデ	29	22.0	遷移後期種	高木	風
ミズキ	25	40.9	二次林種	高木	周食
アカマツ	23	58.9	二次林種	高木	風
カナクギノキ	7	64.3	二次林種	亜高木	周食
ヤマザクラ	4	67.4	二次林種	高木	周食
クマシデ	4	70.3	二次林種	高木	風
フサザクラ	4	73.0	二次林種	高木	風
イヌブナ	3	75.5	遷移後期種	高木	貯食
ユクノキ	3	77.7	-	高木	-
シロモジ	2	79.4	-	低木	周食
アワブキ	2	81.0	遷移後期種	高木	周食
コナラ	2	82.6	二次林種	高木	貯食
ケヤキ	2	83.9	遷移後期種	高木	周食
エゴノキ	2	85.2	二次林種	亜高木	周食
ウリハダカエデ	1	86.1	二次林種	高木	風
オオバアサガラ	1	87.1	二次林種	高木	風
ホオノキ	1	88.0	二次林種	高木	周食
ミズメ	1	88.8	二次林種	高木	風
モミ	1	89.7	遷移後期種	高木	風
ヤマモミジ	1	90.6	遷移後期種	高木	風
リョウブ	1	91.4	二次林種	亜高木	風
その他24種	11	100	-	-	-
計	130				

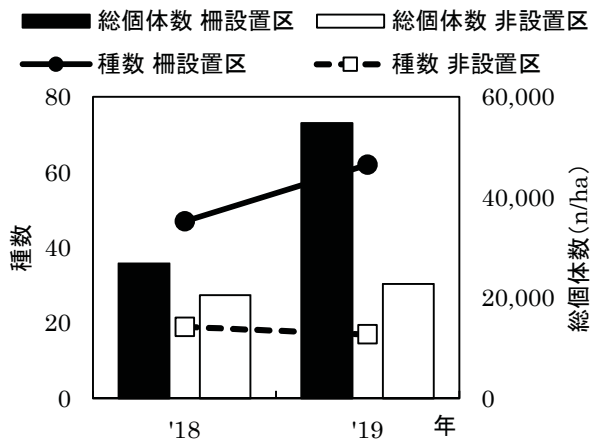


図 19 更新木の総個体数と種数の推移（土山試験地、カラー図表参照）

表 4 更新木の本数密度と類型化の結果（土山試験地）

樹種	本数密度(本/ha)		累積割合 (%)	遷移上の位置づけ	生活型	種子散布型
	柵設置区	非設置区				
ヒサカキ	3,900	7,000	11.9	二次林種	亜高木	周食
イチゴ類	6,550	200	19.3	先駆種	低木	周食
アセビ	350	5,800	26.0	—	低木	風
コアジサイ	3,400	2,200	32.1	—	低木	風
カラスザンショウ	4,150	400	37.1	先駆種	高木	周食
アカメガシワ	4,450	—	41.9	先駆種	高木	周食
シキミ	1,300	3,000	46.6	二次林種	亜高木	貯食
エゴノキ	2,800	1,200	51.0	二次林種	亜高木	周食
タラノキ	3,350	—	54.7	先駆種	低木	周食
カナクギノキ	3,200	—	58.2	二次林種	亜高木	周食
ムラサキシキブ	2,800	400	61.7	—	低木	周食
クロモジ	1,800	1,200	64.9	—	低木	周食
スギ	2,500	400	68.1	遷移後期種	高木	風
アカシデ	650	2,000	71.0	遷移後期種	高木	風
シロモジ	1,300	800	73.3	—	低木	周食
ヤブムラサキ	1,750	—	75.2	—	低木	周食
ソヨゴ	600	1,000	77.0	二次林種	亜高木	周食
タニウツギ	1,600	—	78.7	—	低木	風
ヒノキ	1,400	200	80.4	遷移後期種	高木	風
ヤマザクラ	1,600	—	82.2	二次林種	高木	周食
ヌルデ	1,500	—	83.8	先駆種	亜高木	周食
ミズキ	1,400	—	85.4	二次林種	高木	周食
モミ	100	1,200	86.8	遷移後期種	高木	風
アオハダ	1,000	—	87.9	二次林種	高木	周食
コナラ	800	200	89.0	二次林種	高木	貯食
スノキ	50	800	89.9	—	低木	周食
ヤブツバキ	450	400	90.8	遷移後期種	高木	重力
リョウブ	800	—	91.7	二次林種	亜高木	風
その他39種	6,000	1,600	100	—	—	—
計	61,550	30,000				

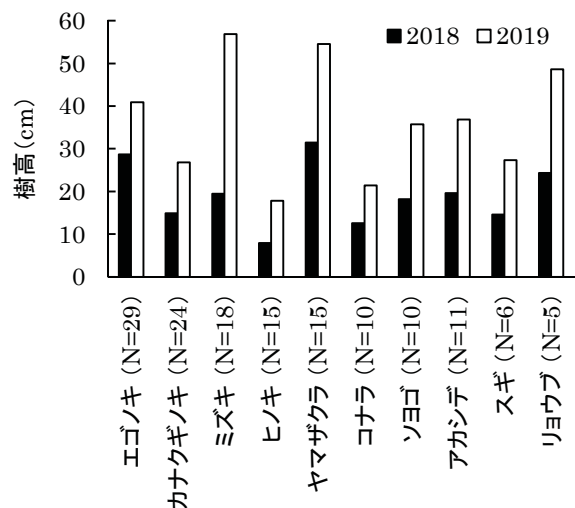


図 20 主な二次林種・遷移後期種の樹高の推移

表 5 上位 3 種における個体数の相関係数

	アカシデ	ミズキ	アカマツ
アカシデ	1	—	—
ミズキ	0.35	1	—
アカマツ	0.72 *	0.78 *	1

注: * $p < .05$

表 6 先駆種を除く周食型の更新木の個体数に影響する要因に関する一般化線形モデルの結果

説明変数	回帰係数	回帰係数 ステップワイズ	Pr (> z)
傾斜	4.26×10^{-3}	—	—
相対照度	-1.03×10^{-2}	—	—
アカシデ個体数	3.43×10^{-3}	—	—
ミズキ個体数	2.79×10^{-2}	2.71×10^{-2}	$1.55 \times 10^{-6} *$
切片	3.16	3.12	$2.0 \times 10^{-16} *$

注: * $p < .001$

4.4. 考察

主要な上層木であるスギについては、伊香立試験地で土山試験地と比較して更新木の個体数が少なかった。スギ当年生実生の生残率は A_0 層上で低くなると考えられており（富沢・丸山 1993）、林業的にスギ林を更新させるためには林床をかき起こして鉱物質土壌を露出させることが必要である（中静 2004）。伊香立試験地では群生するイワヒメワラビが供給するリターが林床に堆積しており、そのために種子の発芽率が低くなっていることが少ない個体数に影響していると考えられる。

一方、下層植生が疎らである土山試験地においては、一定数のスギやヒノキに実生が確認できたが、他の広葉樹種と比べて樹高成長が低調であり、針葉樹による天然下種更新は困難であると考えられる。

上層木の中で広葉樹種の本数割合が低い伊香立試験地は、同割合が高い土山試験地と比較して広葉樹種の更新木の本数密度が低かった。伊香立試験地では、個体数が少ないながらも、高木性の二次林種であるヤマザクラ、アオハダなどの実生が確認されたが、これらの個体による更新を実現するためには、防護柵の維持管理を徹底し、シカによる更新木の採食を最小限に抑える必要がある。

一方、土山試験地では、多くの更新木が確認され、その本数密度は 61,000 本/ha に及んだ。広葉樹林の稚樹の本数密度は 48,000 本/ha にのぼることが報告されているが（米田ら 1992）、本試験地で確認された密度はこれよりも高い。周食型の更新木のうち、ヤマザクラやミズキといった高木の樹高成長は良好であり、今後は、これらの樹種が上層木を形成する可能性がある。

天然更新を検討する際には、周囲の上層木の樹種構成を評価することが重要であると考えられ、土山試験地ではアカシデ、ミズキ、アカマツが優占していた。一般化線形モデルを用いて分析した結果から、周囲に上層木の中でミズキの個体数が多いほど、プロット内で先駆種を除く周食型の更新木の個体数が増える傾向が確認された。更新木は周囲の上層木と比較して「周食」の種子散布型の割合が高く、主な高木性の二次林種に関しては多くが同種子散布型であった。鳥による種子の散布距離は数百メートル程度であると報告されていること（中西 1994）、周囲の上層木の中で最も優占度が高く、風散布型であるアカシデでは、ミズキのような傾向は確認できなかったことなどから、鳥類が採餌場所としてミズキの本数密度が高い森林を利用することで他の樹種の種子散布も同時に行い、更新木の侵入が促進されていると推察される。そのため、ミズキのような周食型の上層木を人工林内に残存させることが重要であると考えられる。

4.5. まとめ

伊香立試験地では、周囲の林分に広葉樹上層木がほとんど見られず、成林後に主林木となることが期待される高木性の更新木の個体数が少ない。一方で、更新木のうち主な高木性二次林種の更新木については樹高の平均値が増加傾向であり、防護柵の維持管理を徹底し、シカの摂食を確実に阻止することが重要である。

一方で、周囲の広葉樹上層木が高密度で生育している土山試験地では、高木性の更新木の個体数が多い。また、伊香立試験地と同様に、鳥類などに種子散布を依存する周食型の樹種の個体数が多かった。さらに、成林後に上層木の構成樹種となることが期待される二次林種および遷移後期種のうち、個体数の多い周食型の更新木については、周囲の上層木におけるミズキの本数密度が多いほ

ど個体数が増える傾向があった。これらの結果から、天然更新による更新は、周囲の広葉樹上層木が高密度で生育している人工林で早期の実現可能性が高く、更新木の侵入を促進するためには、ミズキなどの周食型の母樹を残しておくことが有効であると考えられた。

5. 防護柵の維持管理手法

5.1. はじめに

防護柵の設置においては、前述したように、その維持管理コストを抑制していくことが森林更新の課題となっている。本研究では立地や柵の種類といった条件の異なる防護柵の破損や変形（以下、「破損等」という）の状況を調査し、防護柵の侵入防止機能を維持するための省力的な手法を検討する。さらに、防護柵の維持管理期間の短縮策として、適切な柵撤去時期を検討する。

5.2. 方法

5.2.1. 侵入防止機能の維持手法の検討

大津市上仰木、東近江市永源寺、甲賀市信楽にある再造林地（以下、「上仰木試験地」、「永源寺試験地」、「信楽試験地」という）で調査した（表 7）。2017 年から 2019 年にかけて定期的に防護柵外周を踏査し、ネットを持ち上げた場合の隙間（以下「下開き」という）、ネット中央部の破損（以下「穴開き」という）、ネットのたるみに伴う柵高の低下（以下「たるみ」という）を各支柱間ごとに調査した（図 21）。防護柵外周におけるシカの行動を把握するため、採食痕、シカ糞、足跡といったフィールドサインを記録したほか、破損箇所を中心にセンサーカメラを設置し、シカの行動を記録した。防護柵内の植栽木の食害の状況を、池田（2001）の被害程度区分（「被害なし」「1～2か所の葉先」「数か所の葉先」「50%以下の枝」「50%以上の枝」）に準じ、調査区を設け記録した。

表 7 試験地および防護柵の概要

試験地	設置時期	延長 (m)	植栽樹種	網目 (cm)	支柱 (m)	スカートネット
上仰木	2014年3月	338	ヒノキ	10	1.8	あり
永源寺	2017年3月	659	ヒノキ	15	2.4	なし
信楽	2018年2月	885	ヒノキ	10	2.4	あり

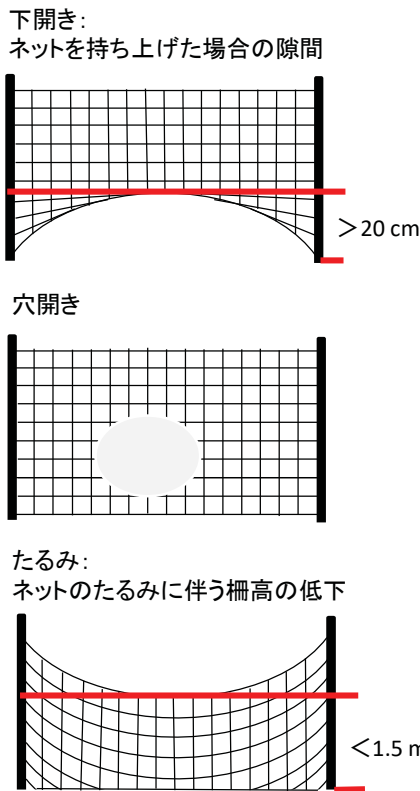


図 21 防護柵の破損と変形の定義

5.2.2. 維持管理期間の短縮策の検討

高島市朽木麻生、同岩瀬および栗東市観音寺の伐採跡地（以下、「麻生試験地」、「岩瀬試験地」および「観音寺試験地」という）で調査した（表 8）。これらの試験地では 2013 年に防護柵を設置した上で、クヌギ、スギおよびケヤキの苗木を植栽し、下刈りの有無によりそれぞれ 2 つのプロットを設置し、植栽木の成長に及ぼす影響について調査した（三井ら 2018）。本研究では、2016 年 3 月に各試験地で下刈りを行ったプロットをさらに、防護柵を維持するプロット（柵維持区）と撤去するプロット（柵撤去区）に分け、植栽木の活着率、樹高などを、毎年 9 月から 10 月にかけて測定し、防護柵の撤去が植栽木の成長に及ぼす影響について分析する。

5.3. 結果と考察

5.3.1. 侵入防止機能の維持手法の検討

上仰木試験地

上仰木試験地における防護柵の各支柱間で発生した各破損等の割合について図 22 に示す。上仰木試験地では 2014 年に防護柵を設置後、2017 年 7 月までの間、維持管理が十分に行われていなかった。そのため、図に示すように調査開始時点で「下開き」と「たるみ」の発生割合がいずれも 50%以上と高かった。その後、所有者によ

り 2017 年 11 月にかけて補修が行われ、「下開き」の発生割合が低下した。

また、「下開き」と「穴開き」については、2019 年の夏期以降に微増したが、約 10%までの発生割合にとどまった。なお、当試験地では、2019 年 2 月に 2 件、同年 11 月に 2 件、2020 年 3 月に 1 件の倒木による破損が発生した（図 23）。本試験地の植栽木は第 6 生育期に達し、樹高がシカの可食高（ディアライン）を上回っており、被害程度区分は「被害なし」であった。

表 8 試験地の概要

試験地	設置時期	植栽樹種	植栽密度 (本/ha)	平均苗長 (cm)
麻生	2013年3月	クヌギ	1,000	40.3
岩瀬	2013年4月	スギ	1,000	55.4
観音寺	2013年3月	ケヤキ	1,000	57

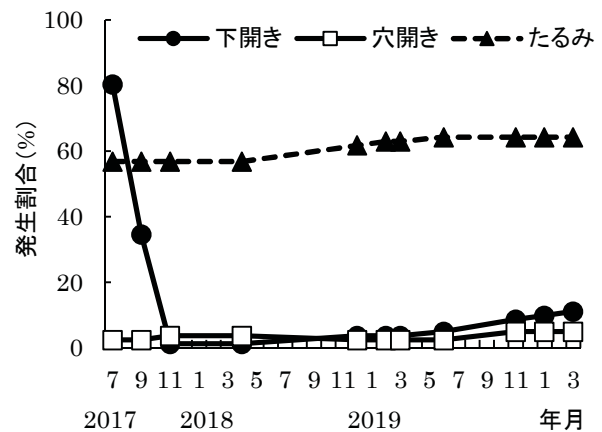


図 22 破損等の発生割合（上仰木試験地）



図 23 倒木による破損個所の状況（上仰木試験地）

永源寺試験地

永源寺試験地における防護柵の各支柱間で発生した各破損等の割合について図 24 に示す。「下開き」は設置当初から増加し、最終的には 30%以上の発生割合となった。

また、「たるみ」は毎年秋季に増加し、2019 年以降は約 20%以上の発生割合となった。同時期の観察結果から倒木や落枝が確認された。「たるみ」があった箇所のうち、高さが 100cm の地点において、シカが柵を飛び越えて侵入していることがセンサーカメラで確認された。「穴開き」は 1 年目の秋季に増加した。

永源寺試験地における「下開き」の発生とシカの引っ掛かりの関係について表 9 に示す。本試験地では、センサーカメラの記録から、2018 年 8 月以降、恒常的にシカの侵入が確認された。表に示したように、2018 年は「下開き」の発生件数に対して同様の比率でシカの引っ掛かりが確認されたが、2019 年では前者に対して後者の発生割合が高かった。「下開き」(=なし) でシカの引っ掛かりが見られた箇所のうち、2019 年の 1 か所は「穴あき」による破損が確認されたが、他の箇所では破損等は確認されなかった。なお、当試験地の被害程度区分は、「被害なし」または「1~2 か所の葉先」であった。

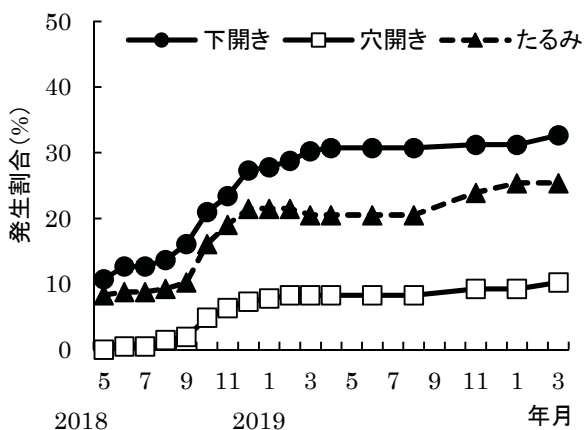


図 24 防護柵の破損等の発生割合 (永源寺試験地)

表 9 「下開き」の発生とシカの引っ掛かりの関係

	2018		2019	
	発生件数	シカ 引っ掛かり	発生件数	シカ 引っ掛かり
下開き あり	56	1	67	3
下開き なし	149	3	138	1
計	205	4	205	4

信楽試験地

信楽試験地における防護柵の各支柱間で発生した破損等の割合について図 25 に示す。いずれの破損等についても、2018 年に秋期から冬期にかけて増加傾向を示した

が、2019 年 2 月から 4 月にかけて減少した。これは、2019 年 1 月と 3 月に補修作業が行われており、その結果発生割合が低下したと考えられる。また、調査期間を通していずれの割合も 10%未満と低かった。

なお、2018 年 9 月に倒木による破損個所を確認し、同箇所に設置したセンサーカメラの記録から、ニホンジカの複数の個体が頻繁に造林地内に侵入していることを確認した。さらに、同年 12 月以降、植栽木の食害が増加し、2019 年 3 月の被害程度区分では「50%以下の枝」の割合が過半数を占めた。

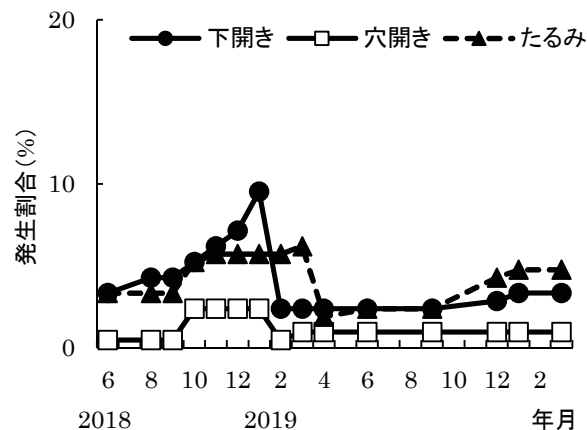


図 25 防護柵の破損等の発生割合 (信楽試験地)

以上の結果から防護柵の侵入防止機能の維持手法について検討する。

「下開き」については、スカートネットを設置した上仰木試験地と信楽試験地では約 10%までの発生割合に抑制されていた。一方で、スカートネットを設置しない永源寺試験地では、「下開き」は設置当初から増加し、最終的には 30%以上の発生割合となり、スカートネットを設置することにより、「下開き」の発生を抑制することができると考えられる。

永源寺試験地における「下開き」の発生とシカの引っ掛かりの関係の分析結果から、2019 年では「下開き」の発生箇所でシカの引っ掛かりが多い傾向が確認された。シカの引っ掛かりは、防護柵の補修が必要になり、そのコストが大きくなることから、引っ掛かりの発生要因の一つと考えられる「下開き」を防ぐためにも、スカートネットの設置が重要である。

「穴開き」の発生割合はいずれの試験地でも低く抑えられていた。また、いずれの試験地においても「穴開き」の発生割合が増加する時期が秋期であった。シカは 7cm 角以上の網目サイズであれば奥歯のある位置まで口を差し込むことができ、網の噛み切りが可能になると考えられており (佐野 2015)、スカートネットを設置してお

らず、網目サイズも大きい防護柵を設置した永源寺試験地では「穴開き」の発生割合が高くなる危険性があった。しかし、本研究の結果から、「穴開き」の発生割合は、他の試験地と同程度であった。いずれの試験地でもステンレス入りの防護柵を使用しており、このことが「穴開き」の発生割合を抑制する要因になっていると考えられる。

永源寺試験地でシカの侵入を確認した「たるみ」の高さは 100cm であった。牧場で飼育したシカの飛び越え能力を検討した先行研究の結果から、高さ 100cm 以下の防護柵の場合、シカは容易に飛び越えることが報告されている（高山ら 2012）。

「たるみ」に関して、上仰木試験地と永源寺試験地で発生割合が高かった。その理由として、上仰木試験地では維持管理が不十分であったことに加え、調査開始時点の支柱の高さが約 171 cm とやや低かったことが考えられる。また、永源寺試験地では、上張りロープを支柱に固定するための支柱キャップを用いておらず、ロープを直接支柱に巻き付けており、上張りロープと支柱の結束位置が下方に移動してしまったためであると考えられる。

また、「たるみ」が増加した 2018 年 9 月の気象状況を見ると、降水量は 313mm（月平均: 132 mm）、最大風速は 16.5 m/s（月平均: 9.6 m/s）となっており（彦根地方気象台ウェブサイト）、このような気象状況が「たるみ」の発生に影響していると考えられる。大島ら（2015）は、防護柵の変状調査の結果から、防護柵の変状が土砂の移動が原因で発生したものが多かったことを指摘しており、同時期には「たるみ」以外の防護柵の変状が発生する可能性がある。さらに、永源寺試験地では同時期に倒木や落枝が発生していたことを確認しており、倒木による破損を確認した信楽試験地では冬期の植栽木の被害が顕著であった。これらの点を踏まえると、破損等の発生頻度と食害の程度の両方の観点から、秋期から冬期に集中的な見回りを行うことが重要であると考えられる。

5.3.2. 維持管理期間の短縮策の検討

麻生試験地の柵維持区と柵撤去区におけるクヌギ苗木の樹高の推移を図 26 に示す。柵撤去時の平均樹高は両区で約 120cm であった。その後、柵撤去区では樹高成長が抑制され、2017 年以降は柵維持区との間で有意な差が確認された。特に、柵撤去直後の 2016 年から 2017 年にかけては、148cm から 107cm、145cm から 110cm に樹高が低下した個体が確認された。シカのディアラインの高さに関しては、前述したように 140cm（大分森林管理署 2016）、150cm 以下（池田 1998）、160cm 程度（上山 1990）などと地域差があるが、本試験地の柵撤去時の樹高はこれらと比べても低い。したがって、本試験地に

おいては柵撤去時の樹高が低過ぎたためシカによる食害を受け、樹高が低下したと考えられる。なお、両区で調査期間を通じて全個体が生存していたが、シカによる皮剥被害がないことがその要因の一つであると考えられる。

岩瀬試験地の柵維持区と柵撤去区におけるスギ苗木の生存率の推移を図 27 に示す。柵撤去区では 2016 年以降、生存率が低下傾向で推移した。枯死個体はいずれも皮剥被害を受けており、このことがやや低い生存率に影響したと考えられる。当試験地は採食痕、シカ糞などの状況からシカの生息密度が極めて高いと考えられたが、生存個体の多くは皮剥被害を受けていなかった。前述したように、スギはヒノキと比べてシカによる剥皮嗜好性が小さいと考えられており、このことにより同試験地では極端な生存率の低下が抑えられたと考えられる。

次に、同試験地における植栽木の樹高の推移を図 28 に示す。柵撤去後、両区で樹高成長に明瞭な差は認められなかった。柵撤去区において生存個体では皮剥や枝葉の摂食の被害が少なく、このことが柵維持区と同様に樹高成長が良好であったことの要因であると考えられる。シカによる剥皮嗜好性と防護柵の維持管理期間の短縮化を図る観点からは、ヒノキよりもスギを植栽する方が望ましいと考えられる。

観音寺試験地の柵維持区と柵撤去区におけるケヤキ苗木の生存率の推移を図 29 に示す。両区の植栽木はともに高い生存率を維持しており、両区の間で大きな差は認められなかった。次に、同試験地における植栽木の樹高の推移を図 30 に示す。柵撤去後、両区で樹高成長の差は認められなかった。同試験地のケヤキでは第 3 生育期（2015 年）には樹高が 200cm を超えており、シカの可食高を上回ったことから、第 4 生育期以降の防護柵の撤去が可能であると考えられる。

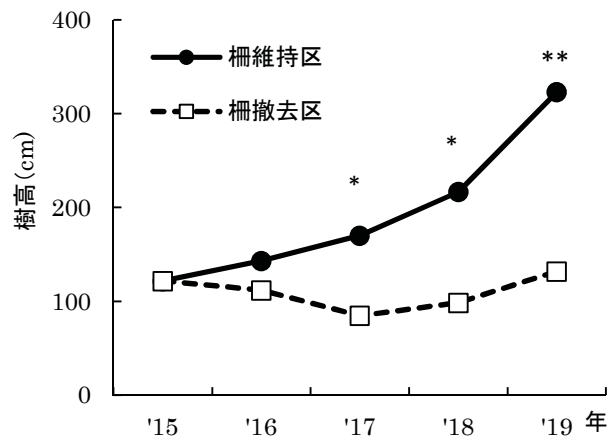


図 26 クヌギ苗木の樹高の推移（麻生試験地）

注: ** $p < .01$, * $p < .05$

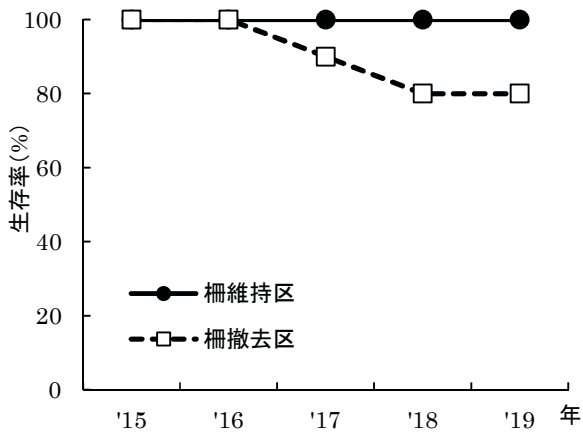


図 27 スギ苗木の生存率の推移 (岩瀬試験地)

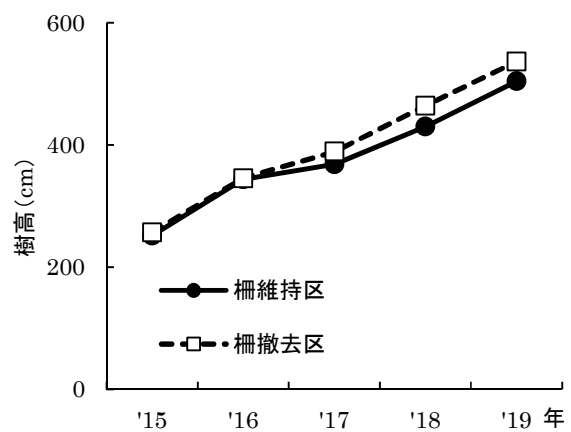


図 30 ケヤキ苗木の樹高の推移 (観音寺試験地)

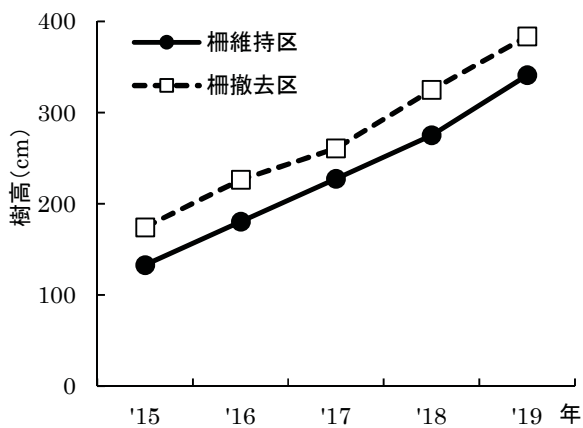


図 28 スギ苗木の樹高の推移 (岩瀬試験地)

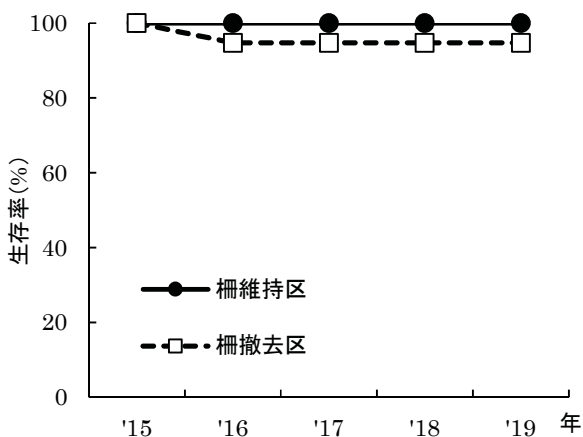


図 29 ケヤキ苗木の生存率の推移 (観音寺試験地)

5.4. まとめ

防護柵の破損等のうち、「下開き」「穴開き」「たるみ」に着目して、維持管理のあり方を検討した。「下開き」については、スカートネットを設置しない防護柵で設置当初から増加した。「穴開き」については、1年目の秋季に増加しており、イノシシなどの動物の行動が影響していると考えられた。これらの対応としては、スカートネットの使用により発生を抑えることが求められる。また、「たるみ」の発生時期などから、秋季の集中的な点検と補修が有効であると考えられる。

次に、防護柵の維持管理期間を短縮するために、柵撤去時期について検討した。クヌギを植栽した麻生試験地では、柵撤去時の樹高が低すぎたためシカの食害を防止できなかったことから、シカの可食高を樹高が上回った段階で撤去することで省力化が図れると考えられる。

また、岩瀬試験地と観音寺試験地では、柵撤去後も、柵を設置し続けた場合と同程度の樹高成長と高い生存率が確認された。いずれの試験地においても、柵撤去後の皮剥被害が少なかったことから、防護柵の維持管理期間を短縮する上で、シカによる剥皮嗜好性が小さい樹種を選択することが重要であることが示唆された。

6. シカ不嗜好性植物を用いた土壌保全手法

6.1. はじめに

土壌流亡などの発生が懸念される人工林においては、土壌保全機能を保つための対策が求められる。本研究では、シカの不嗜好性が高いと考えられ、三井ら (2018) で表土流出抑制効果が確認されている植物種のうち、木本種としてアセビおよびシキミ、草本種としてイワヒメワラビに着目し、緑化試験を行った。また、シカが高密度で生息する森林では、これらの種が優占することで植生が単純化することが危惧されることから、アセビ群落内におけるコナラの生育状況についても調査した。

6.2. 方法

6.2.1. 木本種を活用した緑化試験

調査は、滋賀県大津市仰木町の約 40 年生ヒノキ林で行った。目撃情報や、糞塊密度などの生息密度指数調査の結果から、この試験地周辺では、比較的高い密度でシカが生息していると推測される。本研究で用いたアセビおよびシキミはともに挿し木が容易であることから（関西地区林業試験連絡協議会育苗部会編 1980）、林内での直挿しについて調査した。

2016 年 3 月と 6 月に、5m×2.5m のプロットに計 50 本の直挿しを行った。直挿しの処理条件は、①春挿し・梅雨挿し、②相対照度（約 30%、約 80%）、③浸漬処理の有無、④Indole-3-butyric acid(IBA)による発根処理の有無の 4 区分とし、2 種で合計 16 プロットを設置した。

第 4 生育期である 2019 年までの間、各プロットで個体の生存率や植被率を測定した。また、効果的に土壤被覆を行うための条件を検討するため、第 4 生育期後の植被率を目的変数、挿し木の時期、相対照度、浸漬処理の有無、IBA 処理の有無、傾斜をそれぞれ説明変数として、ステップワイズ法による重回帰分析を行った。

6.2.2. 草本種を活用した緑化試験

調査は滋賀県大津市坂本町のヒノキ林内で行った。目撃情報や、糞塊密度などの生息密度指数調査の結果から、この試験地周辺では、比較的高い密度でシカが生息していると推測される。2016 年 12 月、相対照度が異なる、5m×5m のプロットを 10 か所設置し、各プロットに 100 本ずつの根株を約 5cm の深さに植栽した。移植した根株は試験地周辺で採取したものを利用した（図 31）。植栽後、生存率や植被率を測定した。生存率の測定では、葉身が一度消失した後、葉身が再び萌芽した個体については生存していると判断した。



図 31 イワヒメワラビの根株

6.2.3. アセビ群落内におけるコナラの生育状況の把握

調査は高島市朽木麻生にあるアセビ群落において行っ

た。2018 年 3 月、試験地周辺の二次林の代表的樹種であるコナラの苗木（苗高：約 110cm）を用いて、平均樹高が約 100cm（A 区）と 200cm（B 区）のアセビ群落およびアセビ群落外（対照区）の中に 10 本ずつ植栽した（図 32）。各プロットにおいて、第 2 生育期末までの間、植栽木の生存率および樹高を測定した。

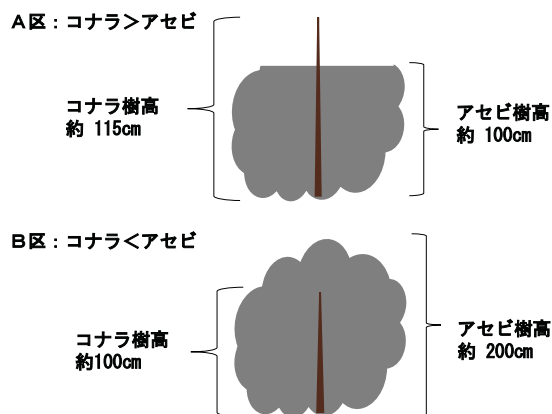


図 32 各プロットにおけるアセビとコナラの関係

6.3. 結果と考察

6.3.1. 木本種を活用した緑化試験

アセビを植栽したプロットにおいて、第 4 生育期後の植栽木の生存率と植被率の計測結果を表 10 に示す。各プロットにおいて、生存率で 4.0%から 56.0%、植被率では 0.2%から 6.0%までと各プロット間で差が認められた。

次に、土壤保全で重要な指標である植被率に着目する。同プロットのアセビの植被率を目的変数としてステップワイズ法により重回帰分析を行った結果を表 11 に示す。分析の結果、季節、浸漬処理、相対照度の 3 つが独立変数として選択された。アセビの植被率は、季節（=春）、浸漬処理（=あり）の条件が満たされ、相対照度が高いほど大きくなる傾向が確認された。

シキミを植栽したプロットにおいて、第 4 生育期後の植栽木の生存率と植被率を計測した結果を表 12 に示す。表で示したように、各プロットにおいて、生存率は 2.0%から 50.0%、植被率では 0%から 27.6%までとプロット間で差が認められた。

シキミを植栽した各プロットの植栽木による植被率を従属変数としてステップワイズ法により重回帰分析を行った結果を表 13 に示す。分析の結果、表に示したように、IBA 処理、季節、相対照度の 3 つが独立変数として選択された。シキミの植被率は、IBA 処理（=あり）、季節（=梅雨）の条件が満たされ、相対照度が高いほど大きくなる傾向が確認された。

同試験地で行われた先行研究の結果から、アセビ群落

では、豊富なリターが地表面を被覆し、常緑低木であるため通年展葉しているため、雨滴侵食を軽減し、表土保全効果を発揮していると考えられる（三井ら 2018）。そのため、高い植被率を維持することは表土保全を促進する上で重要である。本研究の結果から、アセビとシキミで高い植被率を維持するためには、両樹種に共通して林分の相対照度が高いことが条件として挙げられた。また、植栽時期については、アセビでは春挿しが、シキミでは梅雨挿しが望ましいと考えられた。さらに、アセビについては浸漬処理、シキミについてはIBA処理により植被率を高めることができると考えられた。これらの点を踏まえながら、アセビとシキミを使い分けて植栽し、土壌保全を図ることが求められる。

表 10 各プロットにおける第 4 生育期後のアセビの生存本数と植被率

処理条件				生存率 (%)	植被率 (%)
時期	相対照度	浸漬処理	IBA処理		
春挿し	約 30%	あり	あり	44.0	2.4
			なし	56.0	4.1
		なし	あり	44.0	1.4
			なし	50.0	2.2
	約 80%	あり	38.0	3.5	
		なし	34.0	3.3	
梅雨挿し	約 30%	あり	あり	42.0	1.4
			なし	16.0	0.5
		なし	あり	8.0	0.3
			なし	8.0	0.2
	約 80%	あり	あり	24.0	6.0
			なし	16.0	2.8
		なし	あり	22.0	2.8
			なし	4.0	0.7

表 11 アセビの植被率に影響する要因に関する重回帰分析の結果

変数	偏回帰係数	標準誤差	t 値
IBA処理[あり=0, なし=1]	-1116.8	774.4	-1.4
季節[春=0, 梅雨=1]	-1778.2	774.4	-2.3 **
浸漬処理[あり=0, なし=1]	-1451.1	774.7	-1.9 *
相対照度	43.3	15.0	2.9 **

注: **p < .05, *p < .1

表 12 各プロットにおける第 4 生育期後のシキミの生存本数と植被率

処理条件				生存率 (%)	植被率 (%)
時期	相対照度	浸漬処理	IBA処理		
春挿し	約 30%	あり	あり	4.0	0.4
			なし	2.0	0.2
		なし	あり	28.0	3.3
			なし	2.0	0.0
	約 80%	あり	あり	28.0	5.1
			なし	14.0	2.6
		なし	あり	2.0	1.1
			なし	12.0	4.3
梅雨挿し	約 30%	あり	あり	50.0	2.3
			なし	8.0	0.4
		なし	あり	40.0	2.6
			なし	10.0	0.4
	約 80%	あり	あり	48.0	27.6
			なし	12.0	6.3
		なし	あり	48.0	22.1
			なし	16.0	4.8

表 13 シキミの植被率に影響する要因に関する重回帰分析の結果

変数	偏回帰係数	標準誤差	t 値
IBA処理[あり=0, なし=1]	-7103.4	3769.2	-1.9 *
季節[春=0, 梅雨=1]	8424.9	3779.6	2.2 **
相対照度	177.9	69.8	2.5 **

注: **p < .05, *p < .1

6.3.2. 草本種を活用した緑化試験

各プロットにおけるイワヒメワラビの相対照度と生存率の関係を図 33 に示す。第 1 生育期には、相対照度が 30%未満のプロットでは生存率が 40%以上となったが、相対照度が 30%以上のプロットでは生存率が約 20%未満のプロットが確認された。第 2 生育期には、相対照度が 30%未満のプロットでは生存率が低下したが、相対照度が 30%以上のプロットでは生存率を維持した。第 3 生育期には、相対照度が 30%未満のプロットの多くでさらに生存率が低下し、相対照度が 30%以上のプロットでは生存率が上昇した。この生存率の上昇は、葉身の萌芽再生に伴うものであることを確認し、相対照度が高いほど萌芽しやすく、結果的に生存率が上がると考えられる。相対照度が約 30%未満のプロットの生存率は、3 生育期を通して低下傾向にあることから、低い照度では萌芽再生による生存率の維持は困難であると考えられる。

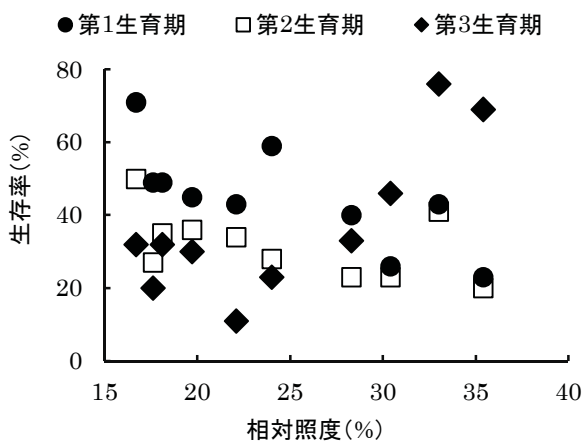


図 33 イワヒメワラビの相対照度と生存率の関係

次に、各プロットにおけるイワヒメワラビの相対照度と植被率の関係を図 34 に示す。第 1 生育期には、相対照度と植被率の間に明確な対応関係は認められなかった。その後、第 2 生育期から第 3 生育期にかけては、相対照度が約 30%以上のプロットでは植被率が上昇した一方、相対照度が約 30%未満のプロットでは、同時期の植被率はあまり変化しなかった。これらの結果から、約 30%以上の比較的高い相対照度で第 3 生育期まで植被率が増加すると考えられる。このことから、イワヒメワラビによる林床の緑化を図るためには、林内の光環境を明るく保つ必要があり、そのためには上層木の間伐などの対策が必要であると考えられる。

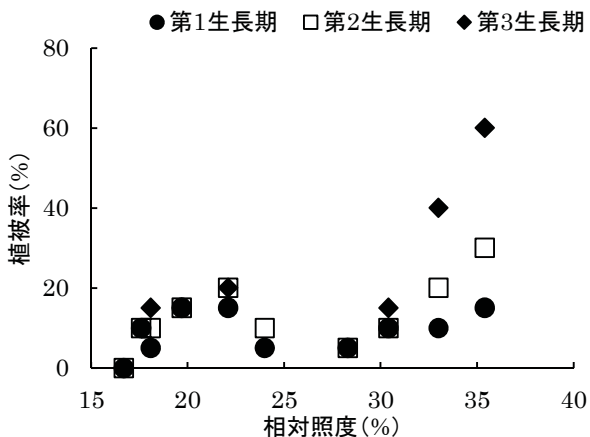


図 34 イワヒメワラビの相対照度と植被率の関係

6.3.3. アセビ群落内におけるコナラの生育状況

各プロットにおけるコナラの生存率の推移を図 35 に示す。対照区と比較して、A 区と B 区におけるコナラの生存率は高かった。アセビ群落の内側ではコナラがシカによる枝葉の摂食を受けにくく、生存率が高まると考え

られる。

各プロットにおけるコナラおよびアセビの平均樹高の推移の結果を図 36 に示す。ここで、アセビの平均樹高については、コナラの各個体を被圧している個体のうち、最も高い個体の樹高を計測し、それらの平均値を用いた。図に示したように、コナラの平均樹高は対照区では低下傾向であったが、A 区および B 区においては樹高の平均値はほとんど変化しなかった。両区においては、アセビ群落の高さを超える樹高成長は困難であると考えられる。

次に、各プロットにおけるコナラおよびアセビの地際直径の推移の結果を図 37 に示す。ここでアセビの地際直径の算出については、平均樹高を測定した個体の地際直径を用いた。図 37 に示したように、コナラの地際直径は各区で平均樹高と同様の推移を示した。対照区のコナラでは同化器官である樹冠部が摂食されたことで、肥大成長が阻害されていると考えられる。

コナラの平均樹高と地際直径の推移をみると、A 区では B 区と比べて光環境が良いと考えられるが、両平均値の値は B 区と同等にとどまっていた。このことから、コナラの成長に対してはアセビによる被圧よりも、シカによる枝葉の摂食が大きく影響していると考えられる。

これらの結果から、シカが高密度で生息する地域においてアセビによる土壌緑化を図る場合、同種の群落が形成されてからであれば、伸長成長と肥大成長は期待できないものの、他の広葉樹種の生存率を維持する効果があると考えられる。

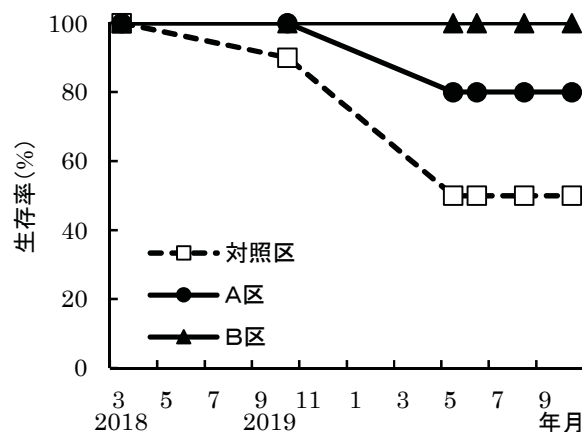


図 35 植栽木（コナラ）の生存率の推移

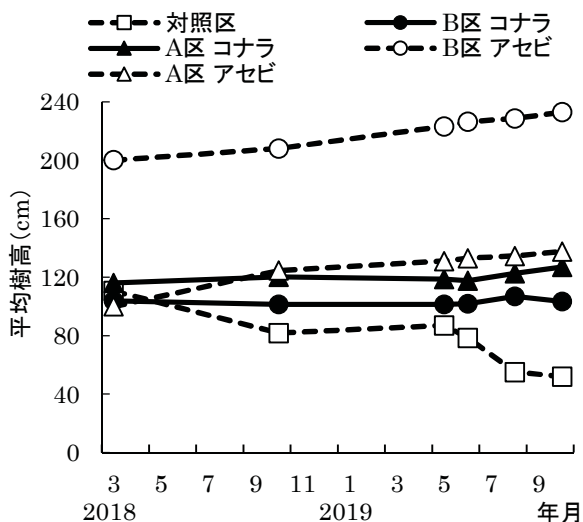


図 36 植栽木（コナラ）およびアセビの樹高の推移

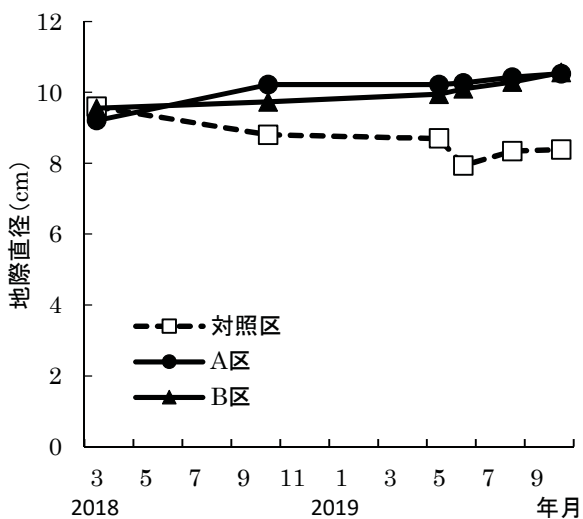


図 37 コナラの地際直径の推移

6.4. まとめ

木本種であるアセビとシキミを植栽した後、高い植生率を維持するためには、いずれの種においても林分の相対照度が 30%以上の高い値に保たれることが必要である。また、植栽の時期に関して、両樹種の植生率を目的変数とした重回帰分析の結果から、アセビでは春挿しが、シキミでは梅雨挿しが望ましい植栽時期であることが示された。この他にも両樹種で求められる処理条件が異なったことから、導入を図る森林の条件などに応じて、アセビとシキミを使い分けて植栽し、土壌保全を図ることが求められる。

一方、草本種であるイワヒメワラビを植栽した後、高い植生率を維持するためには、林分の相対照度が 30%以上の高い値に保たれることが必要であり、高い相対照度

が同種の生存率を高める効果も確認された。そのため、同種による緑化を図るためには、木本性の 2 樹種と同様に、相対照度を 30%程度以上に保つ必要がある。

また、アセビ群落内のコナラの生育状況を調査した結果から、アセビ群落内では群落外と比べて同種の生存率や樹高が維持されることが明らかとなった。そのため、シカが高密度で生息する地域においてアセビによる土壌緑化を図る場合、アセビ群落の形成後であれば、コナラの生存率を維持する効果があると考えられる。

7. まとめ：人工林における省力的な森林管理の方策

本県の森林面積の約 43%を占める人工林を適切に管理し、多様な機能を維持・向上させていくためには、経済林と環境林のそれぞれを適切に整備していくことが重要である。ここでは、これまでの結果を整理しながら、両森林における森林管理の方策について検討する。

7.1. 経済林における森林管理の方策

森林の更新を図るためにはまず、苗木を植栽する段階で、保育経費を抑制するために適切に苗種を選定することが重要である。本研究では、コンテナ苗が裸苗と同程度の高い活着率を有していること、大苗については、初期成長の早い樹種や植栽する立地を選定し、広葉樹競合種による側方被圧の影響を回避することにより、下刈りの省略が可能であることなどを示した。

次に、植栽後は下刈りや防護柵の維持管理の省力化を図ることが重要である。まず、下刈りについて本研究では、大苗の植栽による下刈りの省略のほか、大苗クヌギを植栽した場合には第 4 生育期以降の下刈りを省略できることを示した。このように下刈りの省力化を図る上で、前述した苗種を選定が重要になると考えられる。また、それぞれの造林地における競合植生の状態を踏まえて下刈り作業を省略する時期を検討することが求められる。

また、防護柵の維持管理の省力化については、防護柵の侵入防止機能を維持しながらも点検や補修のコストを抑制することに加え、維持管理期間を短縮することが重要である。前者について本研究では、スカートネットの設置など柵の種類や、秋期の集中的な点検と補修、倒木による破損を防ぐための対策などが有効であることを示した。後者については、植栽木の高さがディアラインを超えてから柵を撤去することが重要であることを示した。

一方、これらの手法や知見を組み合わせた総合的な対策も有効であると考えられる。より具体的には、コンテナ苗や大苗の植栽と防護柵の維持管理の省力化を組み合わせることが挙げられる。

本研究では、下刈りを省略することにより、広葉樹競合種が増加し、植栽木を被圧する可能性を指摘した。また、大苗植栽の結果から、防護柵を設置することにより、広葉樹競合種による被圧の影響がより強くなる可能性を指摘した。さらに、防護柵の維持管理期間の短縮策の検討結果から、柵撤去後にクヌギやスギ、ケヤキといったシカによる剥皮嗜好性が小さい樹種を選択することにより、皮剥被害を抑制できる可能性を指摘した。これらの結果を踏まえると、シカによる剥皮嗜好性が小さい樹種の苗木を用いた場合には、コンテナ苗や大苗といった苗種に関わらず、樹高がディアラインを超えた段階で防護柵を撤去することにより、競合種による被圧の影響を回避することと、防護柵の維持管理コストを抑制することのいずれも実現することが可能になると考えられる。

7.2. 環境林における森林管理の方策

環境林において多様な機能を維持していくためには、択伐後に天然更新を図ることに加え、土壌流亡や土砂崩壊の発生が懸念される場合には、林床を緑化することが重要であると考えられる。

まず、天然更新を行う場合、択伐の時点で種子供給源となる上層木の広葉樹を残すことが重要である。特に、ミズキのような周食型の広葉樹を母樹として残すことが求められる。また、択伐後の更新木の成長を促進する観点から、相対照度が少なくとも30%以上となるような択伐率で伐採することが必要である。

また、シカが高密度で生息する地域では、経済林で植栽した場合と同様に、防護柵を設置してシカの食害を防止することが不可欠であり、その維持管理の省力化が求められる。より具体的には、秋期に集中的な点検やスカートネットの設置などにより点検や補修の省力化を図ることと、高木性の更新木が成長し、樹高がディアラインを超えた段階で防護柵を撤去することにより、維持管理期間を短縮することが必要であると考えられる。

次に、林床の緑化を図る場合、本研究の結果から、シカ不嗜好性植物の活用が有効であると考えられる。シカ不嗜好性植物は、30%程度の相対照度で生育状態が良好であり、早期の被覆が期待できる。そのため、天然更新の場合と同様に、相対照度が少なくとも30%以上となるような択伐率で伐採することが必要である。

なお、多様な機能の発揮が求められる環境林においてシカ不嗜好性植物を導入する場合、生物多様性の保全に配慮することが不可欠である。本研究では天然更新の方策の検討結果から、防護柵を設置しない場合に、アセビやシキミの個体数が増加する一方、他の広葉樹種の個体数は減少し、植生が単純化していくことを示した。一方

で、アセビ群落内でコナラの生育状況を検討した結果から、アセビ群落内では、コナラの生存率や樹高が維持されることが明らかとなった。これらの結果から、シカ不嗜好性植物を用いて緑化し、群落を形成することにより、土壌保全に加え、広葉樹種の実生や稚樹の個体数が維持される効果が期待できると考えられる。

7.3. 課題

本研究では、コンテナ苗や大苗の生育状況の把握や防護柵の維持管理手法の検討など再造林後の保育期間の課題を取り上げた。一方で、全国的に経済林での長伐期化が進む中、高齢林を中心とした資源量の把握が課題となっていることから、高齢林の林分構造の分析などを行う必要がある。

また、人工林択伐跡地における天然更新の検討結果から、周囲の広葉樹林の有無やその樹種構成などが更新木の動態に影響していると考えられたことから、周囲の広葉樹林の状況が異なる森林での研究事例を蓄積していくことが必要である。

また、本研究では、滋賀県の森林を経済林と環境林に分けて、それぞれで求められる森林管理の方策を検討したが、今後はそれぞれの森林を県内でどのように配置していくかといったゾーニングに関する課題を検討していく必要がある。

さらに、本研究で扱った手法は、再造林（＝地球温暖化防止機能）、天然更新（＝生物多様性保全機能）、シカ不嗜好性植物による緑化（＝土壌保全機能）といったように、森林の機能の向上と密接に関係している。また、近年、台風に伴う風倒木や洪水の発生など災害が多発しており、森林においては災害を防止する機能の発揮が求められている。そのため、県民が森林に対して抱く多様な価値を整理しながら、森林の管理と機能変化の観点から、望ましい森林管理のあり方を検討していく必要があると考えられる。

8. 謝辞

本研究を行うにあたり、調査地を提供していただいたNPO 法人麻生里山センター、比叡山延暦寺、上仰木生産森林組合、金勝生産森林組合、生津生産森林組合、梅本健一氏に厚く感謝し、お礼申し上げます。

9. 引用文献

愛媛県農林水産部林政課（1984）：クヌギ林造成の技術指針，https://www.pref.ehime.jp/h35700/1461/5_guide/5_kunugi.html
長谷川健一・川崎圭造（2004）：下刈り省略試験地のヒノ

- キの成長. 日本林学会大会発表データベース 第 115 回 日本林学会大会, pp. P3029-P3029.
- 平田令子・伊藤哲・山川博美・重永英年・高木正博 (2012): 造林後 5 年間の下刈り省略がヒノキ苗の成長に与える影響. 日本森林学会誌, 94(3): 135-141.
- 池田浩一 (1998): 福岡県豊前市における夏と冬の植物利用可能量. 日林九支研論集, 51: 99-100.
- 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. 福岡県森林林業技術センター研究報告, 3: 1-83.
- 壁谷大介・宇都木玄・来田和人・小倉晃・渡辺直史・藤本浩平・田中浩 (2016) 複数試験地データからみたコンテナ苗の植栽後の活着および成長特性. 日本森林学会誌, 98(5): 214-222.
- 関西地区林業試験研究機関連絡協議会育苗部会編 (1980) 樹木のふやし方. 農林出版, 東京.
- 桑野泰光・野田亮・池田華優 (2020) スギ大苗植栽によるシカ食害軽減効果の検証. 日本森林学会大会発表データベース 第 131 回日本森林学会大会, p.630
- 近藤晃・袴田哲司 (2017): ヒノキの 3 年生コンテナ大苗の植栽工期と初期成長, 2 年生コンテナ普通苗との比較. 静岡県農林技術研究所研究報告, 10: 91-97.
- 牧野富太郎 (1988): 牧野 新日本植物図鑑. 北隆館
- 三井香代子・山本克巳・小島永裕・須永哲明 (2018): 琵琶湖を育む森林の適切な管理方策に関する研究. 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書, 13: 76-93.
- 宮崎紳 (1966): 苗木育成法, 高陽書院, 東京.
- 中西弘樹 (1994): 種子はひろがる. 平凡社, 東京.
- 中静透 (2004) 森のスケッチ. 東海大学出版会, 神奈川.
- 野間直彦 (1997): 種子散布をめぐる植物と鳥類・哺乳類の共生関係. 霊長類研究, 13(2): 137-147.
- 岡田充弘・大矢信次郎・清水香代・小山泰弘 (2015): シカなど獣類による森林被害に対する総合的対策に関する研究, 長野県林業総合センター研究報告, 29: 17-40.
- 大分森林管理署 (2013): シカに負けない低コストなスギ大苗造林方法確立への取組,平成 25 年度森林の流域管理システム推進発表大会
- 大分森林管理署(2016): 大苗植栽による低コスト造林方法確立への取組 2
- 大島千和・山田守・尾頭誠・西村和明・金子直樹 (2015): 治山事業におけるシカ被害対策の現状とシカ被害地での植栽木の生育経過及び防護柵の点検事例. 水利科学, 59(4): 84-105.
- 林野庁 (2020a) 令和元年度 森林・林業白書
- 林野庁 (2020b): スギ・ヒノキ・カラマツにおける低密度植栽のための技術指針
- 佐野明 (2015): シカの侵入を防ぐ効果的な柵とは? <http://www.pref.mie.lg.jp/ringi/hp/81384046125.htm>
- 森林総合研究所 (2010) 広葉樹林化ハンドブック 2010 ー人工林を広葉樹林へと誘導するためにー
- 外柳劍太・永瀬和・安藤菜穂 (2015): 防鹿柵によるニホンジカ防除対策. 森林・林業技術交流発表会.
- 高山耕二・中西良孝・赤井克己 (2012): 牧場採草地におけるシカ害防除. 畜産の研究, 662: 271-275.
- 竹内忠義・金澤好一 (2011): 伐採跡地における広葉樹大苗植栽. 群馬県林業試験場研究報告, 16: 51-58.
- 田内裕之 (2010): 人工林を広葉樹林にするー誘導する意義とその可能性ー. 森林科学, 59, 2.
- 徳島県森林林業研究所 (2001): 大苗造林による獣害軽減効果, 技術情報カード No30
- 富沢日出夫・丸山幸平 (1993): 佐渡島のスギ天然林における実生更新の可能性. 日本林学会誌, 75(5): 460-462.
- 當山啓介・龍原哲・白石則彦 (2012): 多様な条件下でのシミュレーションによるスギ人工林の伐期と間伐体系の検討. 日本森林学会誌, 94(6): 269-279.
- 上山泰代 (1990): シカの被害防除に関する試験 (VII), 下刈り省略による造林木のシカ被害軽減効果. 日本森林学会関西支部講演集, 41: 23-26.
- 八木橋勉・中谷友樹・中原健一・那須野俊・櫃間岳・野口麻穂子・八木貴信・齋藤智之・松本和馬・山田健・落合幸仁 (2016): スギコンテナ苗と裸苗の成長と形状比の関係. 日本森林学会誌, 98: 139-145.
- 山川博美・重永英年・久保幸治・中村松三 (2013): 植栽時期の違いがスギコンテナ苗の植栽後 1 年目の活着と成長に及ぼす影響. 日本林学会誌, 95: 214-219.
- 横井秀一 (2001): ケヤキ造林地における下刈りの省略が林分構造に及ぼす影響. 岐阜県森林科学研究センター研究報告, 30, 1-8.
- 米田吉宏・清野嘉之・柴田叡弼・和口美明・隅孝紀 (1992): 天然生広葉樹二次林における間伐後の稚樹の初期成立状況. 日本林学会関西支部論文集, 1:133-136.
- 和歌山県 (2007) 苗木の初期成長促進による下刈り省略造林手法の確立. 和歌山県研究成果情報
- 渡邊仁志 (2017) ヒノキ実生コンテナ苗の改良による低コスト再造林技術の開発. 森林科学, 80: 14-17.
- 渡辺直史・北原文章・酒井敦 (2015): 大苗低密度植栽、下刈り省力でコスト減 (1). 近畿・中国四国の省力再造林事例集, 38-39.