

早生樹利用による 森林整備手法ガイドライン (令和3年度改訂版)



令和4(2022)年3月

林野庁

目次

1. 背景と目的	1
2. 対象樹種	1
3. 植栽・保育の留意点	2
(1) センダン	2
① 需要	5
② 成林状況	6
③ 植栽適地と植栽後の成長	9
④ 植栽密度	17
⑤ 苗木の手配	18
⑥ 芽かき	19
⑦ 下刈り	20
⑧ 初期コスト	23
(2) コウヨウザン	25
① 需要	27
② 成林状況	28
③ 植栽立地	30
④ 苗木と生存率	32
⑤ 植栽密度	37
⑥ 苗木の手配	38
⑦ ノウサギ被害防除	40
⑧ 初期コスト	44

注：本ガイドライン中のグラフで示したエラーバーは全て標準偏差を表している。

注：文章中に記載した林齢（〇年生）は、調査を実施した時点のものである。

1. 背景と目的

国産材の利用が進み、木材自給率が上昇傾向で推移する中、森林資源の持続的な利用を確保していく観点から、伐採後の再生林が重要となっている。一方、造林においては初期作業である植栽と下刈りに多額の費用を要し、この費用の回収ができる主伐までの期間が非常に長いことが、所有者の関心を再生林に向きにくくしている。

そのような中、20～30年という比較的短い期間で木材としての利用が見込まれるセンダンやコウヨウザン等の早生樹が、造林樹種の選択肢として注目を集めつつあり、研究や実証調査も盛んになってきている。しかし、本格的な研究等の開始から日が浅いこともあり、育苗、植栽立地、施業体系等不明な点が未だ多く、試験研究情報等も一元的には整理されていない。

このため、平成 29（2017）年～令和元（2019）年にかけて、林野庁の「早生樹利用による森林整備手法検討調査委託事業」により、これまでの早生樹の植栽技術に関する情報の収集・分析及び既存の植栽地における生育状況の調査、実証的な植栽による試験等を実施した。さらに、令和 3 年度には実証植栽地の一部で追加的に調査を実施し、センダンやコウヨウザンのその後の生育状況についての知見を得た。本ガイドラインはこれらの結果に基づき、早生樹を植栽する際の参考となるよう作成したものである。

2. 対象樹種

本ガイドラインは**用材生産が可能な樹種のうち**、各地域で植栽が進んでおり、生産目標の参考となる既存植栽地がある**センダン、コウヨウザンの 2 樹種について記載した**。

センダンは、現在、天然木が加工され、家具材や住宅部材として流通しているが、製材業界や家具業界から材を求める声が徐々に大きくなってきている。

熊本県では、熊本県森林・林業・木材産業基本計画に基づきセンダンの植栽を推進しており、熊本県甲佐町に試験展示林を設けるなど、研究開発を進めている。

一方、センダンの植え方や植栽適地、保育管理等について明らかになっていない点も多いことから、本事業では、植栽密度や植栽立地、芽かきや下刈りに関する調査結果を基に、本ガイドラインをまとめた。

コウヨウザンは、中国から導入された早生樹であり、神社・仏閣等に単木的に植栽されているものが多いが、広島県庄原市には同一林齢のスギ以上の林分蓄積を有するコウヨウザン林分がある。コウヨウザンは材質試験でヒノキと同等の値を示すとの報告があるほか、萌芽再生力が強いなど、再生林の低コスト化にもつながる樹種として期待されている。現在は島根県、広島県、鹿児島県などで造林補助事業の対象樹種として指定され、植林が進められている。

一方、コウヨウザンについては、苗木の選択やノウサギによる被害について不明な点も多い。本事業では、現在流通している 1 年生苗と 2 年生苗の成長の比較や、ノウサギ被害防除に関する調査結果を基に、本ガイドラインをまとめた。

3. 植栽・保育の留意点

(1) センダン

センダンにかかる本ガイドラインは、実証植栽地3箇所（表1）及びその他13箇所の既存植栽地（表2）の調査等に基づき作成した。各調査地の位置を図1に示す。

なお、センダンのガイドライン中に示す林分No.は表1、表2、図1に対応している。

表1 センダン実証植栽地の概要

林分No.	場所	植栽年月	植栽密度 (本/ha)	植栽面積 (ha)		年平均気温 (°C) *
1	愛知県豊田市	平成 30 (2018) 年 12 月	400	0.42		12.9
2	熊本県天草市	平成 30 (2018) 年 1 月	400	0.16	0.45	16.4
			200	0.29		
3	宮崎県宮崎市	平成 29 (2017) 年 12 月	400	0.29	0.54	16.9
			200	0.25		

* 最寄りの気象観測所の平年値を基に、100mで0.6℃下がるとして算出

表2 センダン既存植栽地の概要

林分No.	若/壮	調査時 林齢	場所	植栽年月	植栽密度 (本/ha)	植栽面積 (ha)	年平均気温 (°C) *
4	若 齡 林	2	熊本県天草市栖本町	平成 29 (2017) 年 4・5 月	400	—	14.6
5		2	熊本県天草郡苓北町①	平成 28 (2016) 年	299	0.05	15.4
6		3	兵庫県宍粟市	平成 28 (2016) 年 4 月	400	0.3	13.5
7		3	熊本県天草郡苓北町	平成 30 (2018) 年 3 月	400	0.11	14.6
8		3	熊本県天草市天草町	平成 30 (2018) 年 3 月	400	0.42	14.6
9		3	熊本県上天草市	平成 30 (2018) 年 3 月	400	0.22	14.6
10		5	熊本県天草郡苓北町②	平成 25 (2013) 年	389	0.09	15.4
11	壮 齡 林	17	熊本県甲佐町	平成 13 (2001) 年 4 月	1,111	0.1	16.8
12		17	宮崎県高岡町(民有林)	平成 13 (2001) 年 3 月	2,500	2.86	16.7
13		18	宮崎県延岡市	平成 12 (2000) 年 3 月	3,500	0.14	14.0
14		21	宮崎県高岡町(国有林)	平成 8 (1996) 年	2,800	0.16	16.5
15		24	熊本県人吉市	平成 7 (1995) 年	3,000	0.8	14.8
16		30	宮崎県えびの市	平成元 (1989) 年 3 月	3,000	1.24	13.9

* 最寄りの気象観測所の平年値を基に、100mで0.6℃下がるとして算出

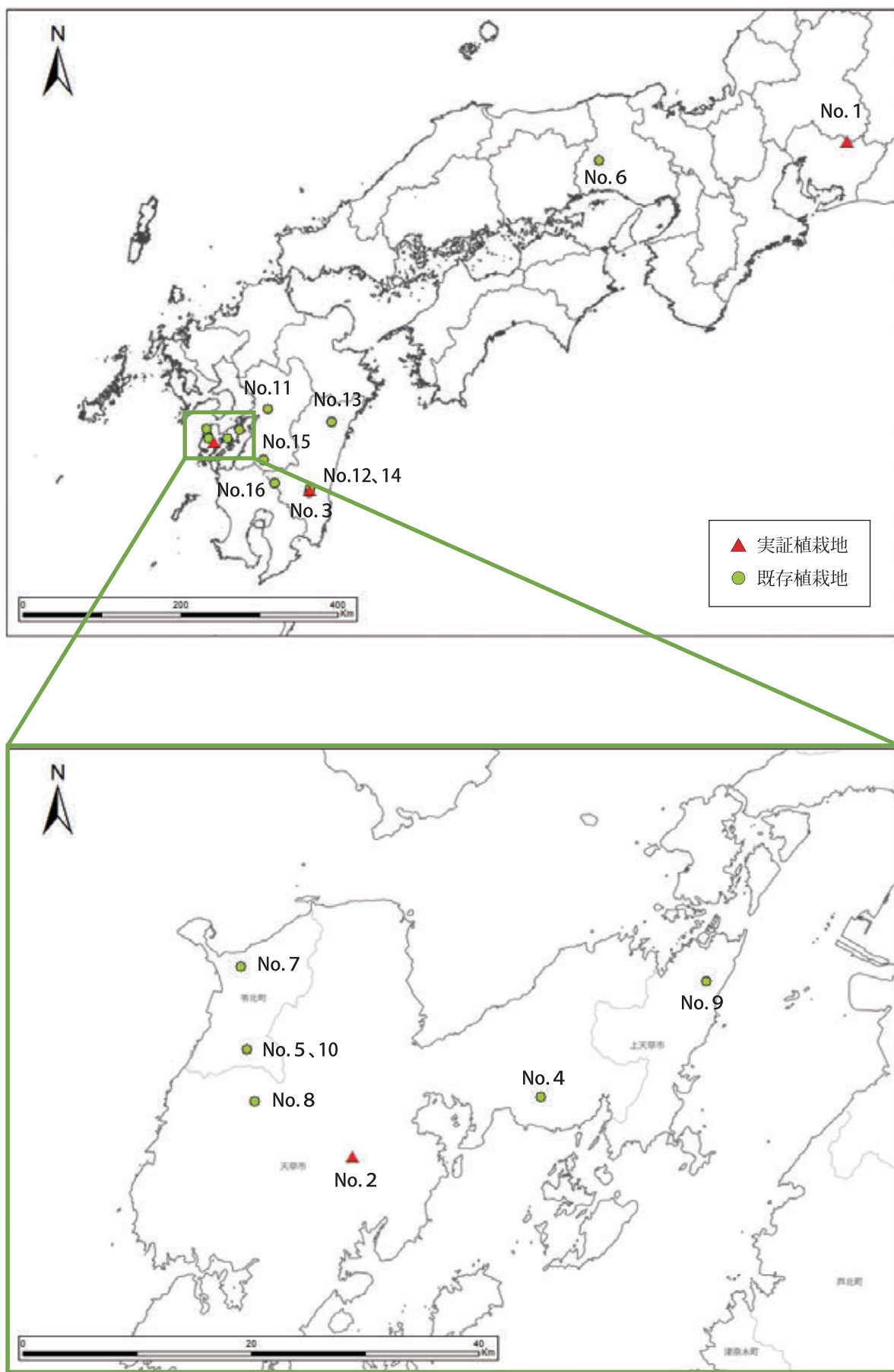


図1 センダンの実証植栽地及び既存植栽地
(図中のNo.は表1,2の林分No.に対応)

センダンを植栽する際の参考となるよう、ガイドラインとして以下の順に整理した。

Q 1. センダンの需要はあるの?いくらで売れるの?

A 1. 末口40cm、4mの直材は約4～5万円/m³で取引されている。
需要は高く、植栽面積も拡大している。 →詳しくは、① 需要 (P5)

Q 2. 将来どのような林分になるの?

A 2. 林齢17年生で平均樹高16.5m、平均胸高直径28.2cmの林分がある。
→詳しくは、② 成林状況 (P6)

Q 3. どこに植えれば良いの?

A 3. 山地では、乾いた斜面上部よりも下部での生育が良好である。
耕作放棄地では、畑跡地で生育が良好である。ただし、水田跡地でも水はけが良く滞水しない立地で生育が良好な事例もある。
→詳しくは、③ 植栽適地と植栽後の成長 (P9)

Q 4. どのくらい植えれば良いの?

A 4. 熊本県では植栽密度400本/haを推奨している。
肥大成長を促すため間伐を行い、最終的な立木密度は70本/haとされている。
→詳しくは、④ 植栽密度 (P17)

Q 5. 苗木はどこで手に入るの?価格は?

A 5. 生産量は熊本県が一番、次いで宮崎県であり、熊本県では苗長50～100cm、90～290円/本である。
→詳しくは、⑤ 苗木の手配 (P18)

Q 6. 「芽かき」とは?芽かきはどの程度やれば良いの?

A 6. 芽かきとは、枝の元となる芽を欠いて通直材を生産する最も有効な方法である。春芽かきと夏芽かきの最低年2回必要で、求める直材の長さ(高さ)まで実施する。
→詳しくは、⑥ 芽かき (P19)

Q 7. センダンは成長が早いため、下刈りをする必要がないのでは?

A 7. 下刈りは基本的に必要であり、特に耕作放棄地では雑草木の繁茂が激しく、徹底的に行う必要がある。
→詳しくは、⑦ 下刈り (P20)

Q 8. どれくらいの初期費用がかかるの?

A 8. 植栽から2年目の保育作業までで、山地では約64万円/ha(植栽密度400本/ha)である。
また、雑草木の繁茂が激しい耕作放棄地では114～152万円/ha(植栽密度200～400本/ha)が必要である。 →詳しくは、⑧ 初期コスト (P23)

① 需要

Q 1. センダンの需要はあるの?いくらで売れるの?**A 1. 末口40cm、4 mの直材は約4～5万円/m³で取引されている。
需要は高く、植栽面積も拡大している。**

センダンは、ケヤキの代替材として、「硬すぎず軟らかすぎず、加工性やデザイン性にも優れている」と評価が高く、イスやテーブル等の家具材に加え、住宅部材等にも利用されている（写真1～4；協同組合 福岡・大川家具工業会）。現在供給されているセンダンはほぼ天然木で、末口40cm、4 mの直材であれば約4～5万円/m³程度で取引されている。

近年の製材業界や家具業界からの需要の高まりに対し、熊本県ではセンダン人工林からの材供給を目指して植林を推進し、植栽面積は平成26（2014）年の1.21haから令和元（2019）年の43.53ha（用材生産を目的としたセンダン林のみ）に拡大している。また、全国的に見てもセンダンの植栽箇所は増加傾向にあり、平成25年度の熊本県等3県から、平成29年度には兵庫県、島根県、大分県、宮崎県等9県に増加しており、その後も愛知県、福井県、長崎県で新たに植栽されるなど、各地でセンダンの植栽が進められている。



写真1 無垢材を接ぎ合わせたテーブル



写真2 集成材

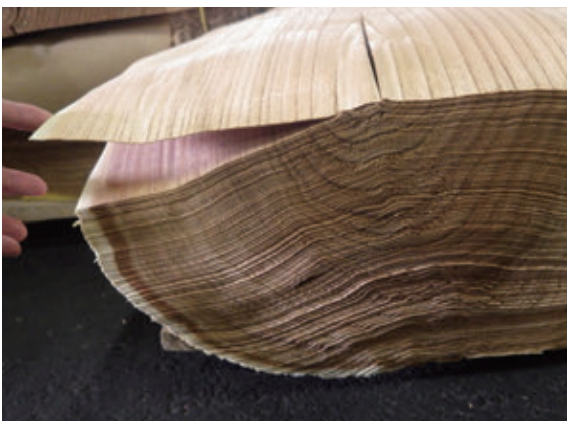


写真3 突板



写真4 スギ合板(12mm)の両面にセンダン挽板(4mm)を貼り合わせた国産早生広葉樹ハイブリットパネル(PLT)

② 成林状況

Q 2. 将来どのような林分になるの？

A 2. 林齢17年生で平均樹高16.5m、平均胸高直径28.2cmの林分がある。

本事業で調査したセンダン既存植栽地のうち、壮齢の6林分（No.11～No.16）の平均樹高、平均胸高直径、林分材積の結果を図2に示す。

成長良好な林分から成長不良な林分まで様々な林分が見られた。各林分の特徴について次ページ以降に示す。

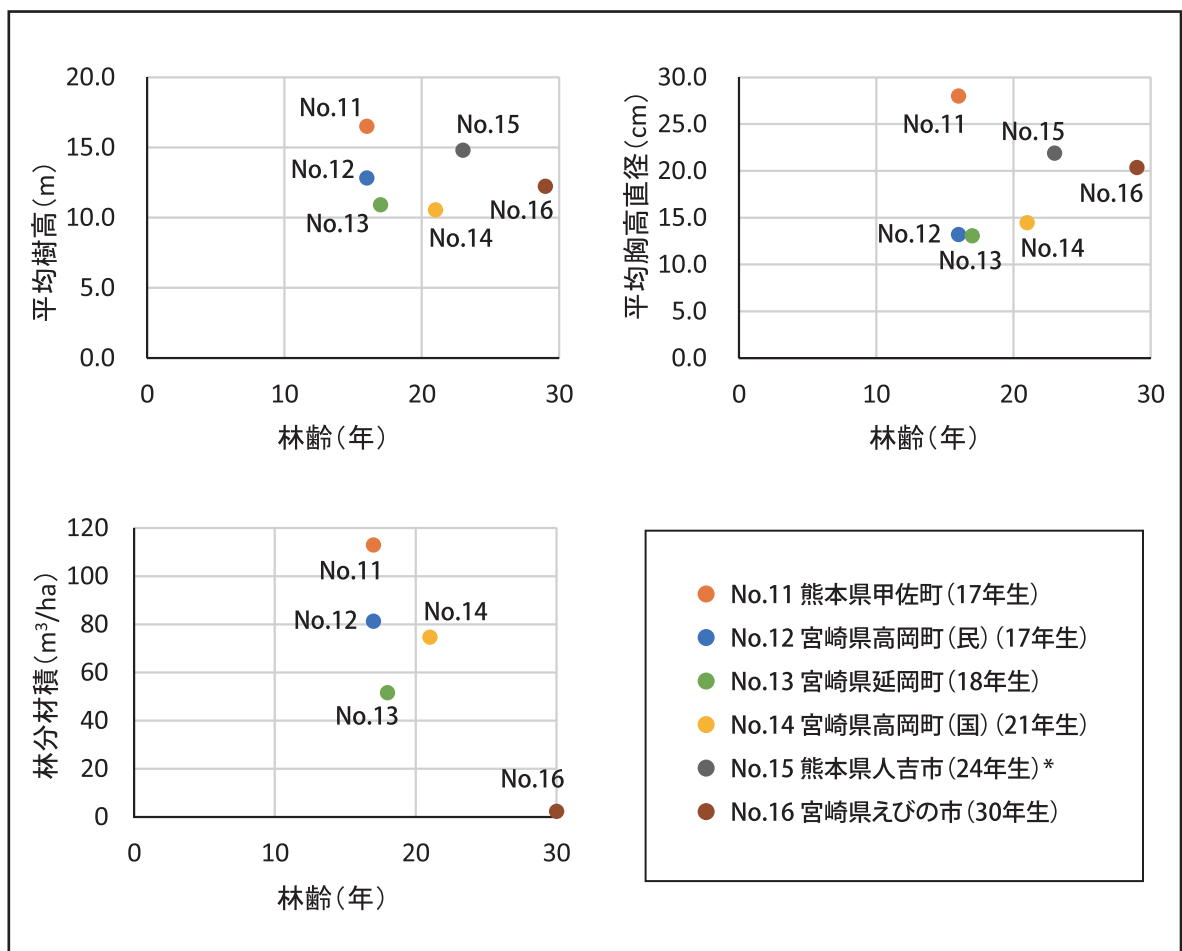


図2 センダン既存植栽地における林齢と平均樹高(左上)、平均胸高直径(右上)、林分材積(左下)

* No.15は調査プロットが狭く林分材積として適切に評価できないため、林分材積の記載は省略した。

◆ 成長良好な林分

No.11熊本県甲佐町のセンダン既存植栽地は、平成13（2001）年、密度1,111本/haで植栽された17年生の林分であり、調査を行ったセンダン既存植栽地の中で最も良好な林分として成林している（写真5 熊本県林業研究・研修センター舞の原試験展示林）。本林分では、下刈りが年2回、2年間行われ、4年生時及び11年生時に間伐が実施されるなど徹底した管理が行われている。

本林分では、33m×40mのプロットを設定し、30本のセンダンを調査した。

これらのセンダンは、平均樹高16.5m・平均胸高直径28.2cmに達し、胸高直径が最も太いものは39.2cmに達していた（図3）。また、植栽から2年目の夏までに芽かきを高さ4.5mまで2週間ごとに実施したことで、多くの個体が4m以上の直材を得られる立木に成長していた（図4）。

このように、理想的なセンダン林分を仕立てるには、**植栽後数年間の芽かきや下刈り、またその後の適切な時期における間伐等の徹底した保育管理が大切**であることが分かった。



写真5 No.11熊本県甲佐町17年生林分

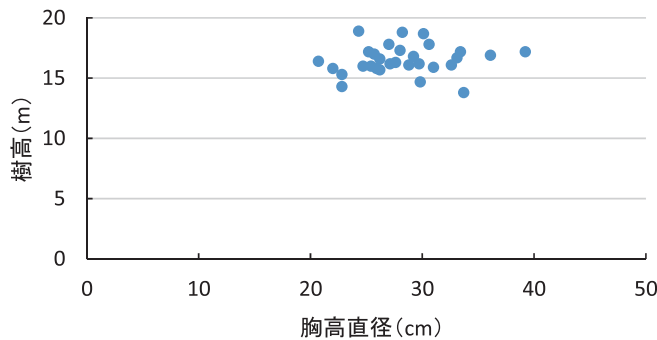


図3 No.11熊本県甲佐町17年生林分の胸高直径及び樹高の分布

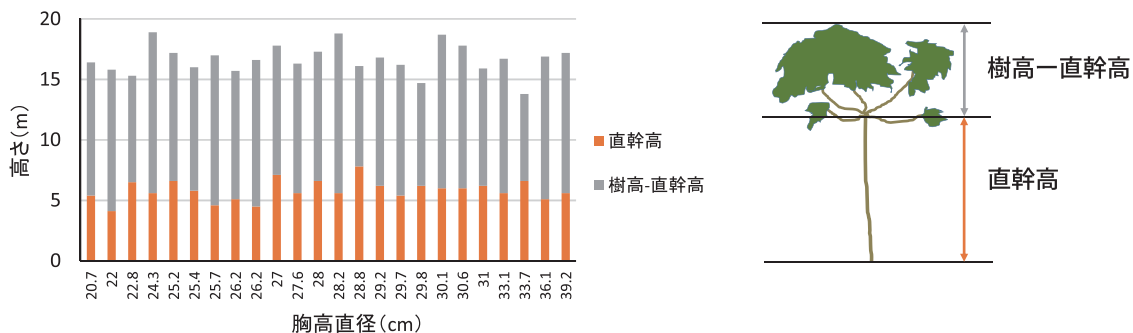


図4 No.11熊本県甲佐町17年生林分の直材が採れる高さの分布

◆ 成長が抑えられていた林分

No.13宮崎県延岡市のセンダン既存植栽地は、平成12（2000）年、密度3,500本/haで植栽された18年生の林分であり、成林していたものの成長が抑えられ、林分材積が51.7m³/haにとどまっていた（写真6）。本林分では、下刈りが年1回、平成14（2002）年～平成21（2009）年まで実施されているが、間伐の記録はない。

本林分では、13m×15mのプロットを設定し、15本のセンダンを調査した。

これらのセンダンは、平均樹高10.9m・平均胸高直径13.1cmと、成長が抑えられていた。

このように、センダンの成長を促進させるためには、間伐が不可欠であることが分かった。特にセンダンは成長が早く林冠閉鎖も早いいため、適した時期に間伐を行うことが大切である（本数管理についてはP17に記載）。



写真6 No.13宮崎県延岡市18年生林分

◆ 成林しなかった林分

No.16宮崎県えびの市のセンダン既存植栽地は、平成元（1989）年、密度3,000本/haで植栽された30年生林分であるが、成林していなかった（写真7）。本林分では、植栽後、年1回、4年間下刈りが実施されたが、11年生時の除伐以降、19年間保育間伐等が行われていない。

本林分では、植栽地1.24haに生存するセンダンを調査した。

その結果、植栽されたセンダンのほとんどが消失し、生存していたセンダンは15本のみだった。調査地には、樹高10mを超えるタブノキやウラジロガシ等が生育しており、再生してきたこれらの常緑広葉樹等にセンダンが被圧されるようになったと考えられた。

このように、数年経過したセンダン林分でも、定期的に見回り、状況に応じて雑草木を除去する等の保育管理が大切であることが分かった。



写真7 No.16宮崎県えびの市30年生林分（調査員が指差しているのはセンダンの枯死木）

③ 植栽適地と植栽後の成長

センダンは暖帯に自生し、谷筋や斜面下部、平地で成長が良いとされており¹⁾、養分、水分要求度が非常に高い樹種である²⁾。本事業で、山地の斜面中部～下部・平坦地、耕作放棄地にセンダンを植栽し、立地の違いによる成長を調査した。また、既存植栽地についても合わせて調査を行った。以下、植栽立地を山地と耕作放棄地の場合に分け、各立地における植栽後の成長をまとめた。

◆ 山地の場合

Q3-1. どこに植えれば良いの？ (山地)

A3-1. 山地では、乾いた斜面上部よりも下部での生育が良好である。

✓ 斜面別の比較その1 (実証植栽地, No.3 宮崎県宮崎市 5年生の若齢林)

宮崎県宮崎市のセンダン実証植栽地(写真8)は、平成29(2017)年12月に国有林の斜面に植栽した5年生の調査地である。前生林は66年生のスギ・ヒノキ・広葉樹で、平成28(2016)年～平成29(2017)年にかけて伐採されている。

本林分では、植栽地の斜面を中部(標高75m)と下部～平坦地(標高52m)の2つに分け、樹高及び根元径を植栽直後から5年間にわたって調査した。なお、令和2(2020)年度は調査を実施していない。

調査の結果、植栽から4年後の令和3(2021)年12月におけるセンダンの平均樹高は、斜面中部で2.3mだったのに対し、斜面下部～平坦地では4.9mと、斜面下部～平坦地で有意に高くなった(t検定:P<0.05)。また根元径についても、斜面中部で2.9cmだったのに対し、斜面下部～平坦地では8.0cmと、斜面下部～平坦地で有意に太くなる結果となった(t検定:P<0.05)(図5)。

このように、センダンは斜面中部よりも下部で生育良好であることが分かった。

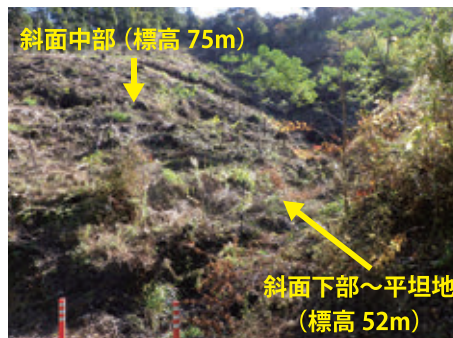


写真8 No.3 宮崎県宮崎市 5年生林分

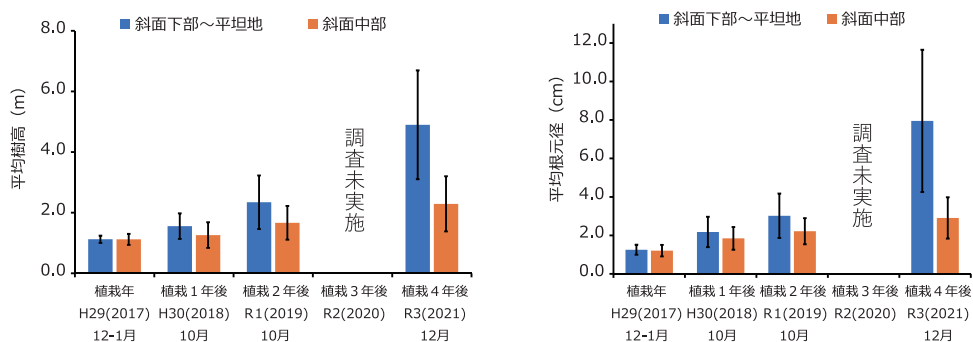


図5 斜面別の平均樹高及び平均根元径の経年変化(No.3 宮崎県宮崎市 5年生林分)

✓ 斜面別の比較その2（既存植栽地，No.15熊本県人吉市24年生の壮齢林）

熊本県人吉市のセンダン既存植栽地（写真9,10）は、平成7（1995）年に県有林の斜面に植栽された24年生の林分である。

本林分では、林分の斜面を上部（標高280m）と下部（標高260m）に分け、樹高及び平均胸高直径を調査した。

その結果、平均樹高は斜面上部で14.3m、斜面下部で15.0mと有意差はなかったものの、平均胸高直径は斜面上部の14.9cmに比べ、斜面下部は25.0cmと有意に大きかった（t検定：P<0.05）（図6）。

このように、センダンは**斜面上部よりも下部で生育良好**であることが分かった。

なお、熊本県が行った県内36林分（林齢6～20年生）のセンダン植栽地の調査によると、成林していた11林分は、土壌水分や養分が豊富な谷筋や平地に多く生育していたが、成林していない林分は斜面上部や尾根上に多く位置しているとしており³⁾、本調査の結果と同様の傾向を示していた。



写真9 No.15熊本県人吉市24年生林分
斜面下部(標高260m)の様子



写真10 No.15熊本県人吉市24年生林分
斜面上部(標高280m)の様子

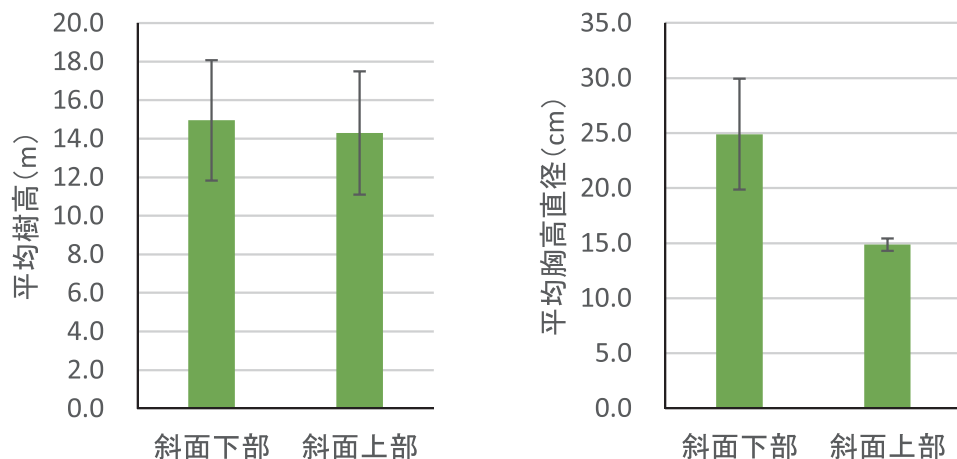


図6 斜面別の平均胸高直径及び樹高 (No.15熊本県人吉市24年生林分)
(平均胸高直径のみ有意差あり(t検定:P<0.05))

✓ その他生育良好な事例

植栽地の気候や土壌、斜面方位など様々な要因があるため、植栽適地を一律に判定することは容易ではないが、今回調査した既存植栽地には、山地に植栽され良好な成長を示す林分が見られたので、以下に紹介する。

No.4 熊本県天草市栖本町

熊本県天草市栖本町のセンダン既存植栽地は、平成29（2017）年、ほぼ平坦地の針葉樹伐採跡地に植栽された林分である。平均樹高は2年生で4.3mに達していた（写真11）。芽かきや下刈り等、管理が適切に行われていることが、良好な成長につながっていると考えられる。



写真11 No.4 熊本県天草市栖本町 2年生林分

No.7 熊本県天草郡苓北町

熊本県天草郡苓北町のセンダン既存植栽地は、平成30（2018）年、ヒノキ林の伐採跡地に植栽された林分である。平均樹高は3年生で3.6mに達していた（写真12）。植栽木の周囲に雑草木がそれほど繁茂しておらず、下刈り等の管理も適切に行われていることが、良好な成長につながっていると考えられる。



写真12 No.7 熊本県天草郡苓北町 3年生林分

◆ 耕作放棄地の場合

Q 3-2. どこに植えれば良いの？（耕作放棄地）

A 3-2. 耕作放棄地では、畑跡地で生育が良好である。ただし、水田跡地でも水はけが良く滞水しない立地で生育が良好な事例もある。

✓ 畑跡地と水田跡地の比較（実証植栽地，No. 1 愛知県豊田市 4 年生の若齢林）

愛知県豊田市のセンダン実証植栽地は、平成 30（2018）年 12 月に桑畑及び水田跡地に植栽した 4 年生の調査地である。センダンの植栽前は、耕作をやめてから約 20 年経過しており（写真 13）、クワノキが残るなどしていたため、重機による地拵えを行った。

本林分では、植栽地を、①畑跡地（写真 14）と②水田跡地に大きく分けた上で、水田跡地は、排水路を設けた箇所（写真 15）、設けない箇所に分け、さらに排水路を設けない箇所については、③畔（あぜ）の上に植栽した箇所（写真 16）と④田内に植栽した箇所（写真 17）に分類し、合計 4 プロットで調査を行った。

植栽から 3 年後のセンダンの生存率を植栽立地別で比較したところ、①畑跡地で 95%、②水田跡地（排水路あり）で 29%、③水田跡地（排水路なし：畔）で 53%、④水田跡地（排水路なし：田内）で 25% という結果となり、畑跡地と水田跡地の間に大きな差が生じた（図 7）。また、樹高及び根元径についても、水田跡地に比べて畑跡地で成長が良い結果となった（図 8、9、写真 18）。

水田跡地の中でも、特に②水田跡地（排水路あり）と④水田跡地（排水路なし：田内）のセンダンが生育不良だった。これらの箇所では水はけが悪く、ところどころで滞水が発生しており、土壌が過湿となる環境となっていた。なお、排水路の効果については、排水路から離れた箇所で滞水が発生するなど限定的だった。

このように、センダンは畑跡地で生育良好である一方で、水田跡地などの水はけが悪く過湿となる環境では生育不良となることが分かった。センダンのように早く成長する樹木は、光合成の際に多くの水を消費するため、根から十分な量の水を吸う必要がある。水はけが悪く過湿となる環境では、根が腐ってしまい水を十分に吸えなくなるため、生育不良となってしまう恐れがある。このため、センダンを植栽する時には、その土地がセンダンの根を腐らせてしまうような過湿な環境であるかどうかを見極める必要がある。



写真13 No. 1 愛知県豊田市地拵え前の様子(左:畑跡地、右:水田跡地)



写真 14 No.1-①愛知県豊田市畑跡地



写真 15 No.1-②愛知県豊田市水田跡地
(排水路あり)



写真 16 No.1-③愛知県豊田市水田跡地
(排水路なし：畔)



写真 17 No.1-④愛知県豊田市水田跡地
(排水路なし：田内)

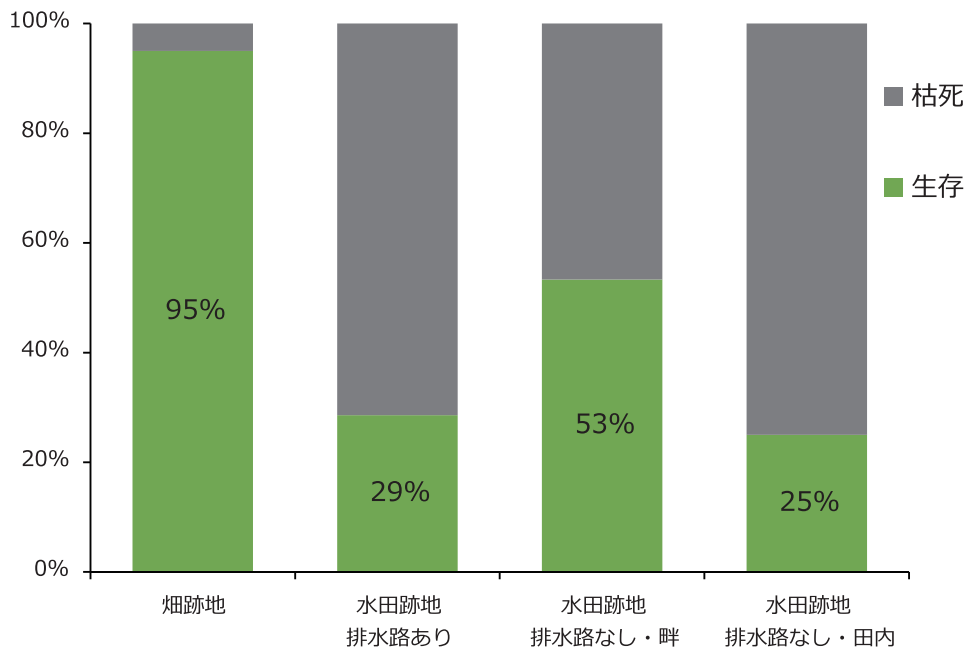


図 7 植栽立地別のセンダンの生存率 (No.1 愛知県豊田市 4年生林分)

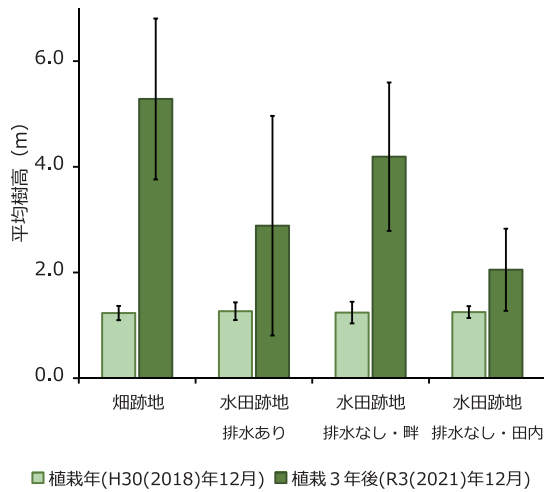


図8 植栽立地別の平均樹高
(No.1 愛知県豊田市 4年生林分)

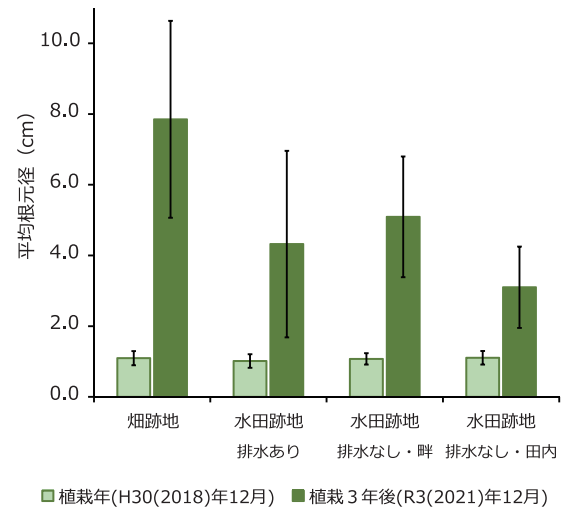


図9 植栽立地別の平均根元径
(No.1 愛知県豊田市 4年生林分)

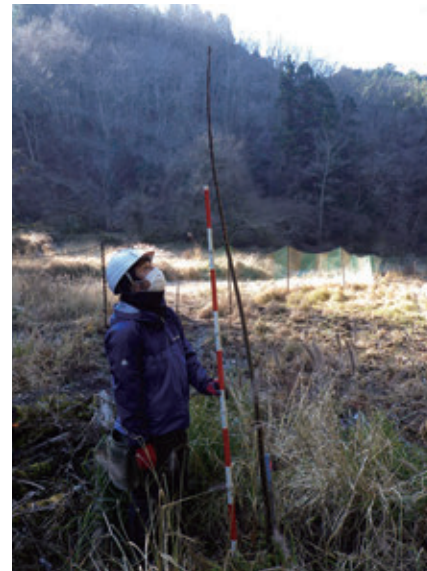


写真18 No.1 愛知県豊田市 4年生林分
(左：畑跡地、右：水田跡地(排水路あり))

✓ 水田跡地間での比較 (既存植栽地, その他の地域)

今回調査したセンダン既存植栽地には、水田跡地であっても良好な生育を示す林分が見られた一方、前述の No.1 愛知県豊田市の水田跡地と同様、成長不良な林分も見られたので、以下に紹介する。これらの事例から、センダンを植栽する場合には、**センダンが根腐れを起こすような滞水が発生する立地を避けることが非常に重要である**と考えられる。

～生育良好な事例～

No.6 兵庫県宍粟市

兵庫県宍粟市のセンダン既存植栽地は、稲作をやめてから30年以上経過していた棚田跡地（写真19）であり、植栽前はススキや雑木が生い茂っていた。この植栽地は、宍粟市早生樹活用研究会により平成28（2016）年に密度400本/haで植栽され、植栽後は芽かきを適期に実施し、下刈りを年2回行っている。

これらのセンダンの平均樹高は3年生で5.3mに達していた。

水田跡地であるが滞水しない立地にあり、下刈りや芽かき等の管理が徹底的に行われていることが良好な成長につながっていると考えられる。



写真19 No.6 兵庫県宍粟市3年生林分

No.5,10 熊本県苓北町①②

熊本県苓北町のセンダン既存植栽地は、平成25（2013）年及び平成28（2016）年に棚田跡地に密度約300～600本/haで植栽された調査地である（写真20,21）。テラス状に段々となっており、最上段である5段目（標高214m）に5年生、1段目（標高195m）に2年生のセンダンが植栽されていた。緩効性固形肥料を元肥として施肥し、芽かきを植栽後2年間実施し、下刈りも行っている。

これらのセンダンの平均樹高は2年生で3.8m、5年生で7.5mに達していた。

No.6 兵庫県宍粟市と同様、水田跡地であるが滞水しない立地にあり、適切な保育管理が良好な成長につながっていると考えられる。



写真20 No.5 熊本県苓北町① 2年生林分



写真21 No.10 熊本県苓北町② 5年生林分

～生育不良な事例～

No. 8 熊本県天草市天草町

熊本県天草市天草町のセンダン既存植栽地は、近くに沢が流れている水田跡地で、平成30（2018）年3月に植栽されたセンダンである（写真22）。

これらのセンダンの平均樹高は3年生で1.2mにとどまっていた。

下刈りは実施されたと思われるが、近くに沢が流れるなど、一時的に滞水する時期があることが推察され、生育不良につながっていると考えられる。

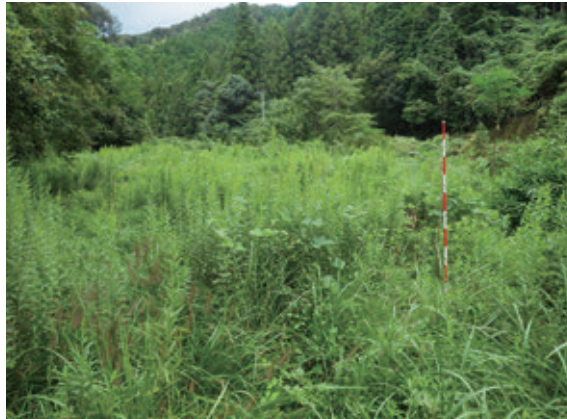


写真22 No. 8 熊本県天草市天草町 3年生林分

No. 9 熊本県上天草市

熊本県上天草市のセンダン既存植栽地は、近くに溜池がある水田跡地で、平成30（2018）年3月に植栽されたセンダンである（写真23）。

7月の下刈り前にはこれらのセンダンのほとんどが枯死しており、生存木も平均樹高0.7mとほとんど成長していなかった。

溜池のそばに立地し、地下水位が高いことが推察され、生育不良につながっていると考えられる。



写真23 No. 9 熊本県上天草市 3年生林分

④ 植栽密度

Q 4. どのくらい植えれば良いの？

A 4. 熊本県では植栽密度400本/haを推奨している。
肥大成長を促すため間伐を行い、最終的な立木密度は70本/haとされている。

センダンの施業については、熊本県が平成8（1996）年頃から育林研究を行っており、当初は植栽密度3,000本/ha、5,000本/ha、7,000本/haで植栽木の成長や曲がり等の樹形を比較する試験が行われた。これらの林分では、初期成長は良好だったものの、数年で林分閉鎖し、肥大成長が明確に減速しただけでなく、幹曲がりの矯正効果も不十分であった。

その後、芽かきの技術が開発され、低密度植栽でも通直な材の生産が可能となったことから、現在では、少ない間伐回数で持続的な直径成長を促すのに適していると考えられる植栽密度400本/ha（植栽間隔5m）を推奨している。具体的には、20年後に収穫することを目指し、植栽後に複数回間伐し、収穫時には70本/ha（12m間隔）まで立木密度を下げ、末口径30cm以上、直幹4mの丸太生産を想定している。

なお、林分閉鎖後の林分葉量は、一般的に立木密度に関わらず面積当たり一定になることから、高密度で植栽した場合には、単木当たりの葉量が減り、肥大成長が抑制される。このため、肥大成長を促すためには、単木の葉量が最大化されるよう適したタイミングで間伐し、立木密度をコントロールすることが重要である。

「センダンの育成方法（熊本県）¹⁾」の施業体系の一例では、図10に示す立木密度であれば、肥大成長に影響がないとしている。なお、植栽後2年目までに樹高4.5mに達することが理想的である。

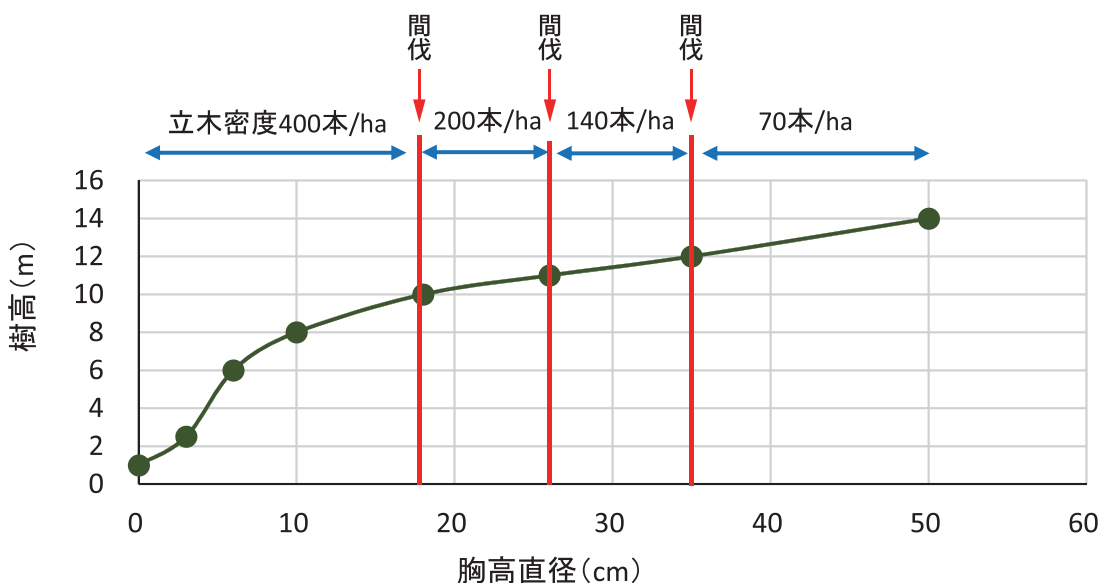


図10 肥大成長に影響がないと考えられる立木密度
(センダンの育成方法¹⁾の施業体系を基に作成)

⑤ 苗木の手配

Q5. 苗木はどこで手に入るの？ 価格は？

A5. 生産量は熊本県が一番、次いで宮崎県であり、熊本県では苗長50～100cm、90～290円/本である。

センダンの苗木生産は熊本県が一番多く（表3）、苗長は50～100cmで価格は90円～290円/本となっている（表4）。苗木には、個体選抜した母樹から採取した種子に由来するもののほか、山林等から採取した種子に由来するものもある。今後の用材生産に向けては、個体選抜した母樹から採取した種子で作った優良苗木を使うことが望まれる。なお、熊本県では、成長が良好で樹幹が通直な数家系を個体選抜している。

また、本事業におけるセンダンの苗木は「熊本県樹苗協同組合（電話：096-288-6722）」から購入した（写真24,25）。

表3 センダン苗木の生産地域と生産量※

地域	生産者数	生産量（本）：概算値					
		H24(2012)	H25(2013)	H26(2014)	H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)
島根県	1	試験栽培用のため、数量不明					
香川県	1						3,000
佐賀県	2	1,200	600	100	800	700	500
		1,000	1,000	1,000	2,000	2,000	2,000
熊本県	2				500	5,000	20,000
		10,000	10,000	10,000	10,000	22,000	32,000
大分県	1	4,000	4,000	4,000	7,000	7,000	7,000
宮崎県	2	0	0	6,900	5,400	0	3,000
		2,500	0	500	3,700	9,700	16,000

※ 全国山林種苗協同組合連合会及び日本植木協会へ平成29（2017）年度に照会した結果

表4 生産されているセンダンの規格と価格※

地域	規格（苗長）	金額	備考
熊本県	60 cm	90 円	裸苗
	100 cm	110 円	
	50cm	290 円	ポット苗
大分県	60 cm	100 円	裸苗
	100 cm	180 円	
	50 cm	240 円	ポット苗
	100 cm	420 円	
宮崎県	80 cm	65 円	裸苗

※ 全国山林種苗協同組合連合会及び日本植木協会へ平成29（2017）年度に照会した結果



写真24 本事業で植栽に供された裸苗



写真25 センダンの苗畑

⑥ 芽かき

Q 6-1. 「芽かき」とは？

A 6-1. 芽かきとは、枝の元となる芽を欠いて通直材を生産する最も有効な方法である。

「芽かき」とは、樹幹を通直にする最も有効な方法であり、頂芽以外の側芽を取り除くことである（写真26）。センダンは、数多く発生する側芽により低い位置で枝分かれするため、天然に自生しているセンダンから太い通直材を採ることは難しい。このため、通直な材を得るには、求める材の高さまで芽かきを行うことが非常に重要な作業となる。芽かきの具体的な手法等については、「センダンの育成方法¹⁾（https://www.pref.kumamoto.jp/kiji_20150.html）」を参照されたい。

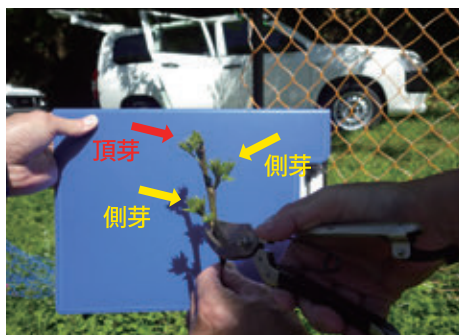


写真26 頂芽を残し、側芽を取り除く「芽かき」の様子

Q 6-2. 芽かきはどの程度やれば良いの？

A 6-2. 春芽かきと夏芽かきの最低年2回必要で、求める直材の長さ（高さ）まで実施する。

芽かきは、春（4～5月）及び夏（6～9月）の時期、最低年2回、枝下高が求める直材の長さになるまで行う必要がある。

芽の発生時期には個体差があるため、植栽地全ての個体の芽が出終わった時期にまとめて芽かきを行おうとすると、出芽の早かった個体からは既に枝が発生しており、立木の曲がりを生んでしまう（写真27,28）。特に、植栽後1年目に比べ2年目の方が、出芽量が比較的多く、出芽のタイミングも早いため、2年目の芽かきには特に注意が必要である。

価値の高い直材を多く収穫するには1～2週間に1回程度の頻度で見回り、側芽発生度に芽かきを行うことが求められる。自宅近くなどアクセスの良い場所にセンダンを標準木として一本植えて、その標準木の芽吹きを観察して芽かきの時期を判断するのも一つの方法である。



写真27 根元から95cm高で三又に分かれたセンダン



写真28 根元から130cm高で曲がったセンダン

⑦ 下刈り

Q 7. センダンは成長が早いため、下刈りをする必要がないのでは？

A 7. 下刈りは基本的に必要であり、特に耕作放棄地では雑草木の繁茂が激しく、徹底的に行う必要がある。

センダンは成長が早く雑草木の背丈をすぐに追い越すため、下刈りが不要であるとの考えもあったが、実際には競争相手となる雑草木がセンダンより早く成長する事例も見られ、つる植物による巻き付きの被害も発生することから、下刈りやつる切りは着実に実施する必要があることが分かった。

◆ 耕作放棄地での雑草木の強力な再生力

No.2 熊本県天草市のセンダン実証植栽地は、平成 30（2018）年 1 月に耕作放棄地に植栽した 5 年生の調査地である。耕作放棄前はサツマイモが作られており、植栽前はクズとともに樹齢 5～8 年生程度のアカメガシワやクサギ等が一部に侵入し、樹高 3～4 m 程度の藪状になっていた（写真 29）。なお、植栽地の周囲にはミカン畑が広がっている。

本林分では、重機により地拵えを行った上で植栽したが、同年 8 月下旬にはセイタカアワダチソウ等の雑草木がセンダンを追い抜くスピードで再生した。この雑草木によりセンダンの成長は大きく阻害され、植栽から 2 年後の令和元（2019）年の調査では、成長阻害をそれほど受けなかったプロット①（写真 30）の平均樹高 2.8m に対し、雑草木による成長阻害を受けていたプロット②（写真 31）の平均樹高は 1.7m と、1m 以上の違いが見られた。また、平均根元径についても約 1.1cm の成長差が見られた（図 11）。

さらに、植栽から 4 年後の令和 3（2021）年 11 月の調査では、植栽地の一部で一斉に繁茂したクズがセンダンに巻き付き、センダンの倒伏や折損などを引き起こして生育を大きく阻害している状況が確認された（写真 32,33）。

このように、耕作が放棄されてから長年経過しているような耕作放棄地では、雑草木の根系や埋土種子が地下部に大量に蓄積されており、地上部を刈っても強力な再生力で再度繁茂し、センダンの成長を阻害することが分かった。また、特に被害が甚大なのはセイタカアワダチソウによる被圧やクズの巻き付きであった。

このような林分では、年 1 回の下刈りでは不十分で、最低でも年 2 回が必須である。また、植栽前に除草剤を散布し、地下部に蓄積された雑草木の根系や埋土種子を除去しておくなどの除草対策を検討する必要がある。



写真 29 No.2 熊本県天草市でセンダン植栽前に定着していたクサギ（左）やクズ（右）等



写真30 No.2熊本県天草市5年生林分調査プロット①
左:平成30(2018)年1月下旬(地拵え後)、右:平成30(2018)年8月下旬(下刈り前)



写真31 No.2熊本県天草市5年生林分調査プロット②
左:平成30(2018)年1月下旬(地拵え後)、右:平成30(2018)年8月下旬(下刈り前)

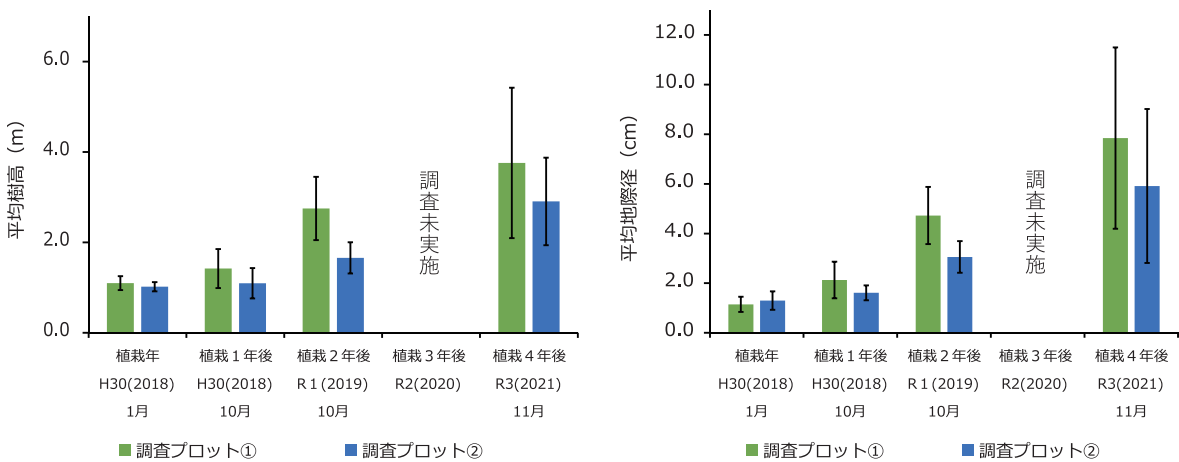


図11 植栽年から植栽4年後までの平均樹高と平均根元径の成長 (No.2熊本県天草市5年生林分)
調査プロット①: 植栽後、センダンの背丈を超える雑草木が周囲になく、成長阻害をそれほど受けなかった箇所
調査プロット②: 植栽後、センダンの背丈を超える雑草木に覆われ成長阻害を受けた箇所



写真32 クズに巻き付かれて変形した
センダン



写真33 クズに巻き付かれて被圧されている
センダン

◆ 雑草木が引き起こしたセンダンへの二次的被害

雑草木に覆われたセンダンは、被圧による直接的な被害だけでなく、その雑草木をすみかとする害虫（ゴマダラカミキリ、シャクトリムシ）による二次的被害を受けていた（写真34,35）。

センダンが雑草木の背丈を越えていたとしても、害虫による被害を避けるためには、雑草木の下刈りを一定程度継続することも必要である。



写真34 シャクトリムシにより葉の被害を
受けたセンダン



写真35 ゴマダラカミキリにより幹の被害を
受けたセンダン

⑧ 初期コスト

Q 8.どれくらいの初期費用がかかるの？**A 8. 植栽から2年目の保育作業までで、山地では約64万円/ha（植栽密度400本/ha）である。****また、雑草木の繁茂が激しい耕作放棄地では114～152万円/ha（植栽密度200～400本/ha）が必要である。**

No.2 熊本県天草市（耕作放棄地）のセンダン実証植栽地及びNo.3 宮崎県宮崎市（山地）のセンダン実証植栽地において（植栽履歴の詳細はそれぞれP20,9参照）、2年目までにかかる保育作業等についてコスト分析を行った。コストは、植栽、下刈り及び芽かきにかかった人工数のデータを基に算出した。植栽密度は、熊本県が推奨する400本/haに加え、さらに手間（コスト）をかけずに早く収穫することを目指し、末口径30cm以上・直幹2.5mの丸太生産を想定し、200本/ha（植栽間隔7m）の植栽試験も設計した。なお、直幹2.5mは、テーブル板等に用いることが可能な長さで、手の届く範囲での芽かきが可能な高さである。

No.2 熊本県天草市（耕作放棄地）では、植栽密度による影響以上に、雑草木の繁茂状況がコストに大きく影響した。このため、植栽後、センダンの背丈を超える雑草木が周囲になく、成長阻害をそれほど受けなかった200本/ha区をプロット①、センダンの背丈を超える雑草木に覆われ成長阻害を受けた400本/ha区をプロット②として区分した。なお、プロット①、②はP20,21と同じプロットである。

プロット①で、植栽から植栽後2年目までに約114万円/haのコストがかかり、プロット②では、152万円/haのコストがかかった（図12）。

このように、**雑草木の繁茂が激しい耕作放棄地では、山地以上に地拵え及び下刈りにかかるコストが多くなるケースがある**ため、植栽前の除草対策等、コストをいかに下げていくかを考えていく必要がある。

No.3 宮崎県宮崎市（山地）では、植栽密度400本/haで、植栽から植栽後2年目までに約64万円/haのコストがかかった。一方、植栽密度200本/haでは、植栽及び芽かきに必要な労力が抑えられ、約55万円/haのコストに抑えることができた（図12、表5）。

このため、**植栽密度200本/haでは、400本/haに比べ、苗木代、植栽労力、間伐にかかる手間（コスト）を軽減できる利点がある**。一方、**400本/haでは本数が多い分、枯死のリスクが軽減されるとともに、間伐時に成長の良好な植栽木を選抜して残せる利点がある**。これらを踏まえ、植栽密度を選択していく必要がある。

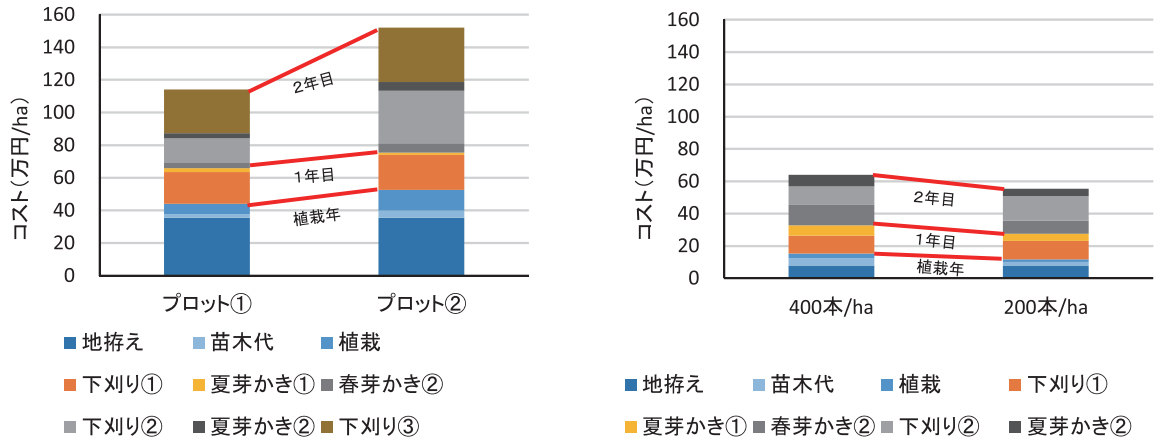


図 12 地拵え、植栽、芽かき及び下刈り（植栽後 2 年間）にかかったコスト
（左：No. 2 熊本県天草市（耕作放棄地）、右：No. 3 宮崎県宮崎市（山地））

表 5 地拵え、植栽、芽かき及び下刈り（植栽後 2 年間）にかかったコスト

（単位：万円/ha）

場所	区分	植栽年			1 年目			2 年目			合計
		地拵え	苗木代	植栽	下刈り①	夏芽かき①	春芽かき②	下刈り②-2	夏芽かき②	下刈り②-1	
No. 2 熊本県 天草市*	プロット① (植栽密度 200 本/ha)	35	2	6	20	2	3	15	3	27	114
	プロット② (植栽密度 400 本/ha)	35	4	13	21	1	6	32	5	33	154
No. 3 宮崎県 宮崎市	植栽密度 400 本/ha	8	4	3	11	7	13	12	7	—	64
	植栽密度 200 本/ha	8	2	1	11	5	8	15	5	—	55

* センダンの背丈を超える雑草木が周囲に無く、成長阻害をそれほど受けなかった200本/ha区をプロット①、センダンの背丈を超える雑草木に覆われ成長阻害を受けた400本/ha区をプロット②として区分した。なお、プロット①、②はP20,21と同じプロットである。

3. 植栽・保育の留意点

(2) コウヨウザン

コウヨウザンにかかる本ガイドラインは、実証植栽地8箇所（表6）及びその他3箇所の既存植栽地（表7）の調査等に基づき作成した。各調査地の位置を図13に示す。

なお、コウヨウザンのガイドライン中に示す林分No.は表6、表7、図13に対応している。

表6 コウヨウザン実証植栽地の概要

林分No.	場所	植栽年月	植栽密度 (本/ha)	植栽面積 (ha)	年平均気温* (℃)
1	富山県立山町	平成 29(2017)年 11月	1,600	0.45	9.8
2	静岡県小山町	平成 30(2018)年 10月	1,600	0.50	11.0
3	和歌山県上富田町	平成 30(2018)年 11月	1,600	0.50	14.3
4	広島県北広島町	平成 29(2017)年 12月	1,500	0.43	11.4
5	山口県周南市	令和元(2019)年 6月	1,600	0.46	12.5
6	徳島県三好市	令和元(2019)年 6月	1,600	0.50	9.6
7	熊本県水俣市	令和元(2019)年 7月	2,100	0.50	13.0
8	宮崎県宮崎市	平成 29(2017)年 12月	1,600	0.51	16.9

* 最寄りの気象観測所の平年値を基に、100mで0.6℃下がるとして算出

表7 コウヨウザン既存植栽地の概要

林分No.	調査時 林齢	場所	植栽年	植栽密度 (本/ha)	植栽面積 (ha)	年平均 気温* (℃)
9	55	広島県庄原市	昭和 38(1963)年	3,000	0.637	12.1
10	30	高知県 土佐清水市	昭和 7(1932)年植栽 昭和 63(1988)年伐採後、 萌芽再生	2,700	0.3	15.1
11	60	熊本県菊池市	昭和 34(1959)年	3,846	0.13	12.4

* 最寄りの気象観測所の平年値を基に、100mで0.6℃下がるとして算出

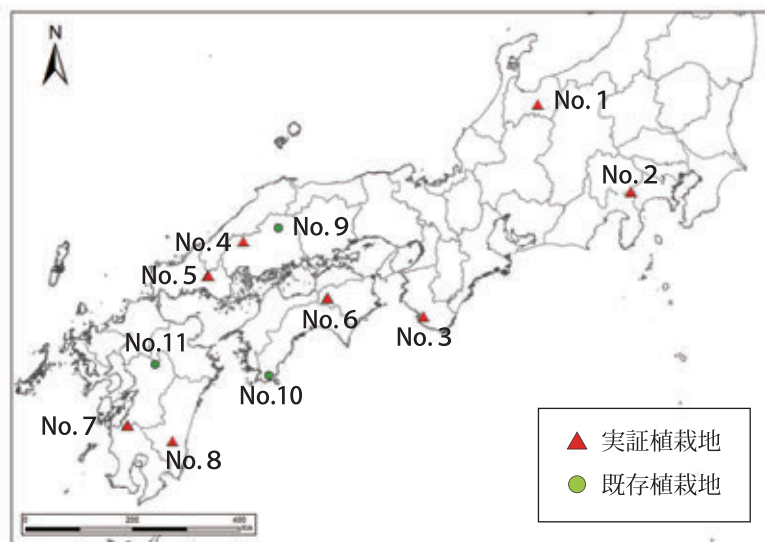


図13 コウヨウザンの実証植栽地及び既存植栽地(図中のNo.は表6,7の林分No.に対応)

コウヨウザンを植栽する際の参考となるよう、ガイドラインとして以下の順に整理した。

Q 1. コウヨウザンの材質は良い?どのような用途があるの?

A 1. 材質は基本的に良好で、構造材や集成材も含めた合板や建材としての利用を視野に入れた試験・研究が現在進められている。

→詳しくは、① 需要 (P27)

Q 2. 将来どのような林分になるの?

A 2. コウヨウザン林分のほとんどが同一林齢のスギの平均以上の林分材積を示した。

→詳しくは、② 成林状況 (P28)

Q 3. どこに植えれば良いの?

A 3. 生育適地は基本的にスギの植栽が可能な地域と考えられる。斜面別にみると、斜面下部で生育良好な事例があり、尾根部では風害に注意が必要である。

→詳しくは、③ 植栽立地 (P30)

Q 4. どんな苗木を何に注意して植えれば良いの?

A 4. 苗齢による生存率の差は大きくない。被害としては雪害、乾燥害、ノウサギ被害が確認され、特に乾燥害は枯死に至るケースがあるため注意が必要である。

→詳しくは、④ 苗木と生存率 (P32)

Q 5. ヘクタール当たり何本植えれば良いの?

A 5. 広島県では現在、造林補助事業により植栽密度1,500本/haで植栽されている。

→詳しくは、⑤ 植栽密度 (P37)

Q 6. 苗木はどこで手に入るの?価格は?

A 6. 主に広島県で生産されており、苗長30~70cmで90~248円/本となっている。

→詳しくは、⑥ 苗木の手配 (P38)

Q 7. ノウサギ被害の対策は?

A 7. ノウサギが多い所では単木防護の対策が有効だが、多くのコストが必要となる。また、資材が効果を発揮しているかどうか、定期的に確認する必要がある。

→詳しくは、⑦ ノウサギ被害防除 (P40)

Q 8. どれくらいの初期費用がかかるの?

A 8. 植栽から2年目の保育作業までで約100万円/haとなっており、特に1年生苗は誤伐防止のための印付け、2年生苗は苗木代で多くのコストがかかっている。

→詳しくは、⑧ 初期コスト (P44)

① 需要

Q 1. コウヨウザンの材質は良い?どのような用途があるの?**A 1. 材質は基本的に良好で、構造材や集成材も含めた合板や建材としての利用を視野に入れた試験・研究が現在進められている。**

広島県庄原市（52年生）の林分から採材したコウヨウザンの材質試験によると、曲げ、縦圧縮、せん断強度については、スギ、ヒノキの無等級材の基準強度を上回り、めり込み強度はスギを下回った。これらの結果から、コウヨウザンの材が建築用材として十分に利用できる材質である可能性が示唆されている⁴⁾。

一方、茨城県日立市（22年生）の林分から採材したコウヨウザンの材質試験によると、曲げ強度についてはスギにやや劣り、曲げヤング係数はスギとヒノキの中間程度であった⁵⁾。

コウヨウザンの材質は基本的に良好で、構造材や集成材も含めた合板や建材としての利用を視野に入れた試験・研究が現在進められている（写真36）。

また、コウヨウザン材を用いた机や椅子の試作も行われている（写真37）。



写真36 コウヨウザンの材質試験の様子(広島県提供)



写真37 高知県土佐清水市で萌芽更新したコウヨウザン林分から得られた材を用いた机、椅子

② 成林状況

Q 2. 将来どのような林分になるの？

A 2. コウヨウザン林分のほとんどが同一林齢のスギの平均以上の林分材積を示した。

No.9 広島県庄原市のコウヨウザン既存植栽地の斜面下部（写真38）では、55年生で林分材積1,449m³/haと、スギの平均の2倍以上の値を示した。また、斜面上部（写真39）でもスギの平均程度の値を示し、その他文献等による調査結果からもコウヨウザンは同一林齢のスギの平均以上の林分材積を示していた（図14、表8,9）。



写真38 No.9 広島県庄原市55年生林分
斜面下部 (標高310m)



写真39 No.9 広島県庄原市55年生林分
斜面上部 (標高373m)

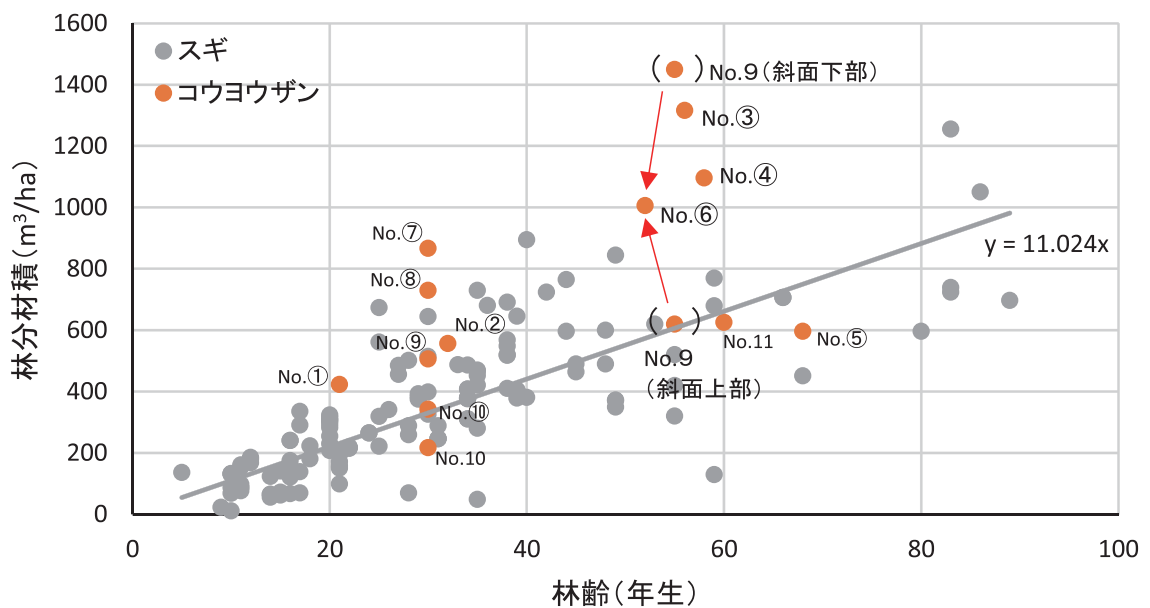


図14 コウヨウザン及びスギの林分材積の比較
(スギのデータは、森林総合研究所 宇都木玄 研究ディレクター提供)
(図中のNo.は表8,9の林分No.に対応)

表8 現地調査から得られたコウヨウザンの材積

林分 No.	場所	林 齢	材積 (m ³ /ha)	備考
9	広島県庄原市 (斜面下部)	55	1,449	材積は、森林総合研究所「幹材積計算プログラム」「熊本スギ」にて計算
	〃 (斜面上部)	55	620	〃
10	高知県土佐清水市 (萌芽更新)	30	217	〃
11	熊本県菊池市	60	626	〃

表9 文献調査から得られたコウヨウザンの材積

林分 No.	場所	林 齢	材積 (m ³ /ha)	文献名等
①	茨城県日立市	21	423	茨城県における21年生コウヨウザンの成長 ⁶⁾
②	千葉県鴨川市	32	557	東京大学千葉演習林におけるコウヨウザンの成長 ⁷⁾
③	千葉県君津市	56	1,316	〃
④	千葉県君津市	58	1,096	〃
⑤	静岡県南伊豆町	68	597	わが国におけるコウヨウザンの成長 ⁸⁾
⑥	広島県庄原市	52	1,006	〃
⑦	熊本県菊池市	30	867	コウヨウザン30年生林分の成長及び材質特性 ⁹⁾
⑧	地位：上	30	730*	コウヨウザンの暫定的な収穫予想表の作成 ¹⁰⁾
⑨	地位：中	30	506*	〃
⑩	地位：下	30	343*	〃

* 予想値

No.10高知県土佐清水市のコウヨウザン既存植栽地(写真40)は、昭和7(1932)年に最初のコウヨウザンが植栽された後、昭和63(1988)年に伐採され、萌芽再生した林分である。林分材積217 m³/haとスギの平均より劣るものの、萌芽更新による再生林の低コスト化の可能性を示している。No.11熊本県菊池市のコウヨウザン既存植栽地(写真41)は、林分材積626 m³/haとスギの平均程度の値を示した。



写真40 No.10高知県土佐清水市30年生
(萌芽更新)林分



写真41 No.11熊本県菊池市60年生林分

③ 植栽立地

Q3. どこに植えれば良いの？

A3. 生育適地は基本的にスギの植栽が可能な地域と同様と考えられる。斜面別にみると、斜面下部で生育良好な事例があり、尾根部では風害に注意が必要である。

◆ 斜面について

✓ 斜面別の比較その1（実証植栽地，No.8 宮崎県宮崎市 5年生の若齢林）

No.8 宮崎県宮崎市のコウヨウザン実証植栽地（写真 42）は、平成 29（2017）年 12 月に国有林の斜面に植栽した 5 年生の調査地である。前生林は 66 年生のスギ・ヒノキ・広葉樹で、平成 28（2016）年～平成 29（2017）年にかけて伐採されている。

本林分では、植栽地の斜面を上部（標高 103m）と中部（標高 70m）の 2 つに分け、生存率を調査した。その結果、植栽から 4 年後（令和 3（2021）年 11 月）の調査では、斜面中部では生存率 88.9%、斜面上部では生存率 70.3% となり、斜面上部に比べて斜面中部の生存率が有意に高かった（カイ二乗検定： $P < 0.05$ ）（図 15）。

ただし、本林分ではノウサギによる食害が頻発しており、斜面位置だけでなくノウサギの食害が生存率に影響している可能性がある。



写真 42 No.8 宮崎県宮崎市 5 年生林分（左：斜面中部、右：斜面上部）

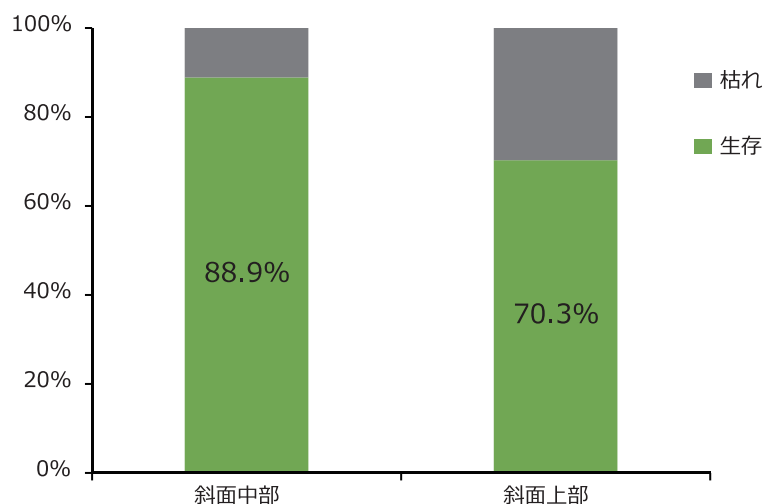


図 15 斜面位置別の生存率（No.8 宮崎県宮崎市 5 年生林分）

✓ 斜面別の比較その2（既存植栽地，No.9 広島県庄原市55年生の壮齢林）

No.9 広島県庄原市のコウヨウザン既存植栽地では、斜面上部よりも斜面下部で成長が良く、健全率、平均樹高及び平均胸高直径で斜面下部が斜面上部に比べ高い値を示した（図16）。

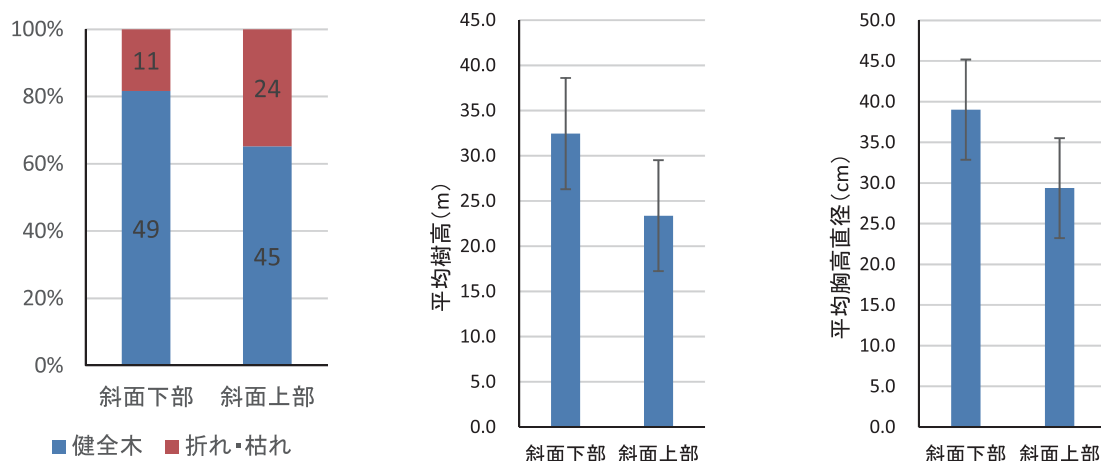


図16 斜面別の健全率、平均樹高及び平均胸高直径 (No.9 広島県庄原市55年生林分)
全て有意差あり((左)カイ二乗検定:P<0.05、(中・右)t検定:P<0.05)

◆ 風害等について

コウヨウザンに比較的多くみられる幹折れは風害や冠雪害に起因すると考えられる（写真43）。

No.9 広島県庄原市のコウヨウザン既存植栽地では、主幹の折れや枯れが、斜面下部で18%、斜面上部で35%と、斜面上部で有意に高かった（前述の図16左）。

また、No.11熊本県菊池市のコウヨウザン既存植栽地でも幹折れや風倒が発生している。

このようなことから、植栽に当たっては、風害の可能性についても留意して植栽地を選定する必要がある。



写真43 主幹上部の幹折れ

(左:No.9 広島県庄原市55年生林分、右:No.11熊本県菊池市60年生林分)

④ 苗木と生存率

Q 4. どんな苗木を何に注意して植えれば良いの？

A 4. 苗齢による生存率の差は大きくない。被害としては雪害、乾燥害、ノウサギ被害が確認され、特に乾燥害は枯死に至るケースがあるため注意が必要である。

植栽後のコウヨウザンがどのような成長を示すのか、どのような被害が発生するのか等を明らかにするため、8箇所の実証植栽地において1年生苗及び2年生苗のコウヨウザンを植栽し、調査を行った。

植栽したコウヨウザンの苗木は、平成29(2017)年度及び平成30(2018)年度に設定した5箇所の実証植栽地については裸苗(写真44)を、令和元(2019)年度に設定した3箇所の実証植栽地についてはコンテナ苗(写真45)を使用した。それぞれの苗木の植栽直後のサイズを表10に示す。



写真44 本事業で植栽に供された裸苗
(ポールより左1年生、右2年生)



写真45 本事業で植栽に供されたコンテナ苗
(ポールより左1年生、右2年生)

表10 植栽直後のコウヨウザンの苗木サイズ(植栽年度別)

植栽年度	苗種	苗齢	平均樹高	平均根元径	植栽された 実証植栽地
平成29 (2017) 年度	コウヨウザン 裸苗	1年生苗	18.4±5.3 cm	0.4±0.1 cm	No.1 富山県立山町 No.4 広島県北広島町 No.8 宮崎県宮崎市
		2年生苗	44.0±11.8 cm	0.8±0.1 cm	
平成30 (2018) 年度	コウヨウザン 裸苗	1年生苗	19.8±3.8 cm	0.4±0.1 cm	No.2 静岡県小山町 No.3 和歌山県上富田町
		2年生苗	44.2±7.9 cm	0.7±0.1 cm	
令和元 (2019) 年度	コウヨウザン コンテナ苗	1年生苗	25.1±7.3 cm	0.5±0.1 cm	No.5 山口県周南市 No.6 徳島県三好市 No.7 熊本県水俣市
		2年生苗	36.8±6.6 cm	0.7±0.2 cm	

8箇所の実証植栽地における、植栽から数か月～4年後までのコウヨウザンの生存率を表11に示す。生存率は、1年生苗が2年生苗よりわずかに低くなる場合も見られたものの、概ね良好であった。ただし、No.2静岡県小山町やNo.3和歌山県上富田町等、乾燥害等により生存率が著しく低下しているケースも見られた。

主な被害として、雪害等（No.1富山県立山町）、乾燥害（No.2静岡県小山町、No.3和歌山県上富田町）、ノウサギやシカによる被害（No.1富山県立山町、No.2静岡県小山町、No.4広島県北広島町、No.5山口県周南市、No.7熊本県水俣市、No.8宮崎県宮崎市）が確認された。これら3つの被害について、その被害状況を次に提示する。

表11 実証植栽地8箇所における苗齢別の生存率及び被害状況

林分 No.	場所	植栽後の 経過年数	生存率		受けた被害
			1年生苗	2年生苗	
1	富山県立山町	2年	64 %	78 %	雪害、寒害、シカ被害
		4年	58 %	72 %	
2	静岡県小山町	1年	16 %	71 %	乾燥害、ノウサギ被害
3	和歌山県上富田町	1年	32 %	11 %	乾燥害
4	広島県北広島町	2年	97 %	92 %	ノウサギ被害
		4年	97 %	92 %	
5	山口県周南市	4か月	91 %	100 %	ノウサギ被害
6	徳島県三好市	4か月	94 %	100 %	被害なし
7	熊本県水俣市	3か月	89 %	100 %	ノウサギ、シカ被害
8	宮崎県宮崎市	2年	86 %	—	ノウサギ、シカ被害
		4年	79 %	—	

◆ 雪害等を受けたケース

No.1富山県立山町のコウヨウザン実証植栽地は、傾斜17～26°で冬には1～2mほどの積雪がある山の斜面である。平成29（2017）年11月の植栽以降、コウヨウザンの主軸が雪圧により折れていたり、寒害によって枯れていたりといった被害が頻繁に確認されている（写真46）。このような被害を毎年受けているため、コウヨウザンはほとんど成長しておらず、令和3（2021）年10月の調査時点での平均樹高は1年生苗で約48.6cm、2年生苗で約53.7cmだった。

このように、積雪が深い地域におけるコウヨウザンの植栽に当たっては、雪圧による主軸折れや寒害による主軸枯れが発生して生育が大きく阻害される可能性があることに注意が必要である。



写真46 主軸折れ（左）や主軸枯れ（右）の被害を受けていたコウヨウザン

◆ 乾燥害と思われるケース

No.2 静岡県小山町及びNo.3 和歌山県上富田町のコウヨウザン実証植栽地では、植栽後の降水が少なく、乾燥枯死したと思われるコウヨウザンが多く見られた。

No.2 静岡県小山町

No.2 静岡県小山町のコウヨウザン実証植栽地（写真47）では、全体的に生存率が低かった。

この原因としては、平成30（2018）年10月下旬の植栽後、12月25日から1月30日の37日間での総降雨量が3mm（最寄りの気象観測所の降雨データによる）と、ほとんど雨が降らない日が続いたことに加え、植栽地の火山灰土壌が非常に軽く、サラサラしており、土壌表面が乾燥しやすい性質を持っていたことが考えられる。

また、植栽から1年経過後の生存率は2年生苗で71%、1年生苗で16%と、苗齢による生存率の違いが有意に認められた（カイ二乗検定： $P<0.05$ ）（写真48）。

1年生苗は2年生苗に対して相対的に根の量が少なく（写真49）、より厳しい状況下に置かれたのではないかと考えられる。

このように、乾燥しやすい土質におけるコウヨウザンの植栽に当たっては、乾燥が続く時期を避けるとともに、サイズの大きい苗木を用いる等の配慮が必要である。



写真47 No.2 静岡県小山町 2年生林分



写真48 枯死した1年生苗

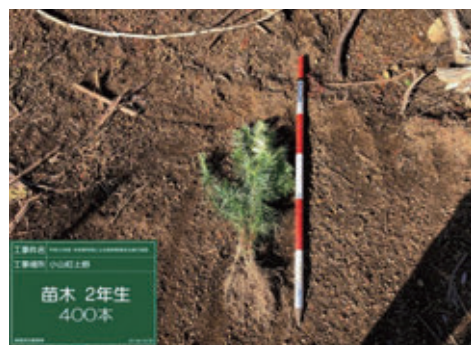


写真49 No.2 静岡県小山町で植栽したコウヨウザン(左: 1年生苗、右: 2年生苗)

No. 3 和歌山県上富田町

No. 3 和歌山県上富田町のコウヨウザン実証植栽地（写真50）では、植栽から1年経過後の生存率が2年生苗で11%、1年生苗で32%と、両苗齢とも生存率が低い結果となった（写真51）。

この原因としては、平成30（2018）年11月下旬の植栽後、12月23日から1月30日の39日間での総降雨量が9.5mm（最寄りの気象観測所の降雨データによる）と、ほとんど雨が降らない日が続いたこと、また本植栽地が南向き斜面で日当たりが良いこと等から深刻な乾燥害を受けたのではないかと推察される。

このように、**乾燥害を受けやすい季節、立地での植栽については注意が必要**である。



写真50 No. 3 和歌山県上富田町 2年生林分



写真51 枯死した2年生苗

◆ ノウサギ被害を受けたケース

実証植栽地8箇所のうち、ノウサギによる被害が確認されたのは、No. 2 静岡県小山町、No. 4 広島県北広島町、No. 5 山口県周南市、No. 7 熊本県水俣市、No. 8 宮崎県宮崎市の5箇所であった（表12）。そのうち1年以上経過した実証植栽地では、その被害率はいずれも100%だった。

苗齢によってノウサギ被害率に違いが認められたのは山口県のみで、2年生苗よりも1年生苗が被害を多く受けていた。その他の地域では苗齢によるノウサギの被害率に違いは見られなかった。

ただし、苗のサイズにより特徴的な被害が見られ、苗木サイズの小さい1年生苗は食害により盆栽状になっていた（写真52）。また、2年生苗では主軸切断の被害が発生していた（写真53）。

表 12 実証植栽地8箇所における苗齢別ノウサギ被害の状況

林分 No.	場所	植栽後の経過年数	ノウサギ被害率	
			1年生苗	2年生苗
1	富山県立山町	2年	被害なし	
2	静岡県小山町	1年	100 %	100 %
3	和歌山県上富田町	1年	被害なし	
4	広島県北広島町	2年	100 %	100 %
5	山口県周南市	4か月	41 %	14 %
6	徳島県三好市	4か月	被害なし	
7	熊本県水俣市	3か月	28 %	22 %
8	宮崎県宮崎市	2年	100 %	—



写真52 盆栽状になった1年生苗
(左:No.4 広島県北広島町3年生林分、右:No.8 宮崎県宮崎市3年生林分)



写真53 ノウサギによって主軸切断の被害を受けた2年生苗
(No.4 広島県北広島町3年生林分)

～萌芽による再生力～

No.2 静岡県小山町、No.4 広島県北広島町、No.8 宮崎県宮崎市では、調査した全ての植栽木でノウサギ被害が確認された。乾燥害を受けたと思われるNo.2 静岡県小山町を除くと、枯死したのはNo.4 広島県北広島町で76本中4本（枯死率5%）、No.8 宮崎県宮崎市で73本中12本（枯死率16%）と、その多くが枯死せず、萌芽により再生していた（写真54）。

このように、コウヨウザンではノウサギによる食害が枯死に直結することは少ないことが分かった。

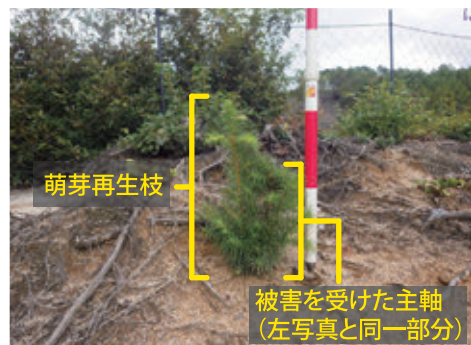


写真54 主軸切断の被害を受けたが(左)、萌芽再生枝が伸び回復したコウヨウザン(右)
(左:令和元(2019)年7月、右:令和元(2019)年10月)

⑤ 植栽密度

Q 5. ヘクターあたり何本植えれば良いの？

A 5. 広島県では現在、造林補助事業により植栽密度1,500本/haで植栽されている。

広島県では、中国湖南省のコウヨウザン人工林の樹高成長モデルパラメータを使用した樹高成長曲線をもとに、現在、造林補助事業により植栽密度1,500本/haで植栽されている。これらの林分は、30年後に400m³/haを収穫し、梱包材、バイオマスに加え、合板、LVL等の活用を想定している。

本調査の7箇所のコウヨウザン実証植栽地においても、広島県の植栽密度を基に、1,500本/ha～1,600本/ha（植栽間隔2.5～2.6m）で植栽した（写真55）。ただし、No.7 熊本県水俣市においては、保安林の指定施業要件に基づき、2,100本/haで植栽した。

適切な植栽密度については現在明らかとなっていない。このため、現在、「成長に優れた苗木を活用した施業モデル（体系）の開発」（戦略的プロジェクト研究推進事業，平成30（2018）年～令和4（2022）年）では、1,100，1,600，2,500本/haの植栽試験地において、植栽後の成長が調査されている。



写真55 植栽密度1,500本/ha（植栽間隔2.6m）で植栽されたコウヨウザン

⑥ 苗木の手配

Q 6. 苗木はどこで手に入るの? 価格は?

A 6. 主に広島県で生産されており、苗長30～70cmで90～248円/本となっている。

コウヨウザンの苗木は主に広島県で生産されている（表 13）。

従来は種苗生産者が裸苗を生産していたが、平成 29（2017）年から（一財）広島県森林整備・農業振興財団の「農林水産業みらいプロジェクト」によりコンテナ苗の生産が始まった（写真 56）。なお、生産技術の詳細については、「コウヨウザンコンテナ苗生産マニュアル 11」（<https://hsnz.jp/>）」を参照されたい。

苗木の規格は苗長 30～70cm、価格は 90～248 円 / 本である（表 14）。また、本事業におけるコウヨウザンの苗木は「広島県樹苗農業協同組合（電話：082-228-5437）」を通じて購入した。

表 13 コウヨウザン苗木の生産地域と生産量※1

地域	生産者数	生産量（本）：概算値							
		H25 (2013)	H26 (2014)	H27 (2015)	H28 (2016)	H29 (2017)	H30 (2018)	R1 (2019)	R2 (2020)
広島県 (裸苗)	3	200	500	11,000	2,400	22,828	14,125	10,821	8,040
広島県 (コンテナ苗)	2	0	0	0	0	22,337	53,232	79,454	46,576
広島県合計	5	200	500	11,000	2,400	45,165	67,357	90,275	54,616
大分県	1	300	300	500	2,000	3,000			

※1 広島県については、広島県樹苗農業協同組合及び（一財）広島県森林整備・農業振興財団へ令和 3（2021）年度に照会した結果。また大分県については、全国山林種苗協同組合連合会及び日本植木協会へ平成 29（2017）年度に照会した結果。



写真56 （一財）広島県森林整備・農業振興財団が生産するコンテナ苗

表 14 生産されているコウヨウザンの規格と価格（税抜き）

地域	規格（苗長）	金額	備考
広島県	30・ cm	99 円	裸苗（1年生苗）
	30-45 cm	111 円	裸苗（2年生苗）
	45-70 cm	166 円	
	20-30 cm	195 円	コンテナ苗
	30-50 cm	222 円	
	50・ cm	248 円	
大分県	30 cm	90 円	裸苗
	50 cm	120 円	
	30 cm	220 円	ポット苗
	50 cm	300 円	
	30 cm	220 円	コンテナ苗

※ 広島県については、広島県樹苗農業協同組合及び（一財）広島県森林整備・農業振興財団へ令和3（2021）年度に照会した結果。また大分県については、全国山林種苗協同組合連合会及び日本植木協会へ平成29（2017）年度に照会した結果。

⑦ ノウサギ被害防除

Q7. ノウサギ被害の対策は？

A7. ノウサギが多い所では単木防護の対策が有効だが、多くのコストが必要となる。また、資材が効果を発揮しているかどうか、定期的に確認する必要がある。

P35のとおり、コウヨウザン実証植栽地8箇所のうち、5箇所でノウサギによる被害が確認され、そのうち、植栽から1年以上経過した実証植栽地では、被害率はいずれも100%だった。また、ノウサギはコウヨウザンに対して嗜好性が高く、餌量が豊富であってもコウヨウザンを選好的に摂食することが確認されている¹²⁾。

そこで、実証植栽地においてノウサギ防除試験を実施し、ノウサギに対する防除の効果やコストを調査した。

◆ 防除の方法

現在、ノウサギに対して考えられる防除方法として忌避剤及び単木防護ネットを用いたノウサギ防除試験を実施した。なお、忌避剤としてコニファー水和剤（写真57）、単木防護ネットとしてジュウガードS（写真58）を使用した。



写真57 本実証植栽地で使用した忌避剤

コニファー水和剤

- ・原液1ℓが入っている4ℓのコンテナに水を加え希釈し、噴霧器にて植栽木に散布。
- ・希釈倍数：3～5倍
- ・使用液量：10～50ml/本
- ・価格：2,440円（税抜）/袋



写真58 本実証植栽地で使用した単木防護ネット

ジュウガードS

- ・植栽木のサイドに支柱を挿し、ネットをかぶせて結束バンドで支柱に固定し、地際をプラアンカーで打ち付ける。
- ・価格：620円（税抜）/1セット
- ・内訳：ネット（0.85m）、支柱（1.2m）、結束バンド、プラアンカー

◆ 防徐の効果

防除資材を設置して2～4か月後の令和元(2019)年10月における調査では、単木防護ネットは、ノウサギ被害を受けていた実証植栽地全5箇所で、ノウサギによる被害を0%に抑えることができた。

一方で忌避剤区では、忌避剤を散布した枝葉に食害は見られなかったが、散布後に新しく伸びた枝葉については被害が認められた(写真59)。No.2 静岡県小山町では、無処理区の被害率47%に比べ忌避剤区20%と被害軽減が確認されたものの、その他4地域では被害軽減された調査地はなかった(表15)。

さらに、No.4 広島県北広島町と No.8 宮崎県宮崎市において、防除資材を設置して約2年4か月後の令和3(2021)年12月に追跡調査を実施したところ、単木防護区においても被害が発生しており、特にNo.4 広島県北広島町では9割以上のコウヨウザンに被害が確認された。設置していた単木防護ネットが冬期の積雪などの影響でずり落ちていたほか、地面から約80cmの高さにも被害が確認された(写真60)ことから、積もった雪を足場にするによってノウサギが通常よりも高い位置まで摂食可能となっていたと考えられる。

以上から、**ノウサギ被害に対して単木防護資材は効果があるものの、効果が得られているかどうか定期的に確認する必要がある**ことが分かった。

表15 実証植栽地5箇所における防除手法別のノウサギ被害率

林分 No.	場所	防除検証 期間	被害率			忌避剤の効果 (無処理区との 比較(カイ二) 乗検定)
			単木防護区	無処理区	忌避剤区	
2	静岡県小山町	2か月	0%	47%	20%	被害軽減あり (P<0.05)
4	広島県北広島町	3か月	0%	97%	83%	被害軽減なし
		2年4か月	91%	100%	98%	被害軽減なし
5	山口県周南市	4か月	0%	27%	36%	被害軽減なし
7	熊本県水俣市	3か月	0%	25%*	25%*	被害軽減なし *シカ被害も含む
8	宮崎県宮崎市	3か月	0%	42%	31%	被害軽減なし
		2年4か月	15%	95%	64%	被害軽減あり (P<0.05)



写真 59 忌避剤散布後ノウサギによって主軸切断の被害を受けたコウヨウザン
(左：No.4 広島県北広島町 5年生林分、右：No.8 宮崎県宮崎市 5年生林分)



写真 60 地面から約 80cm の高さに被害を受けたコウヨウザン
(No.8 宮崎県宮崎市 5年生林分)

✓ 忌避剤散布時の注意点

No.6 徳島県三好市では、ノウサギ被害は確認されなかったが、ノウサギが生息する地域のためノウサギ防除を実施した。防除後、1年生苗では、無処理区の生存率94%に対し、忌避剤区の生存率58%であった。枯死した原因としては、忌避剤の施用量過多による呼吸阻害が考えられる(写真64)。このように、忌避剤は施用量以上を散布すると呼吸阻害を起こし成長に悪影響を及ぼすこともあるため、注意が必要である。



写真 61 忌避剤散布後に枯死した1年生苗 (左：6月、右：10月)
(No.6 徳島県三好市 1年生林分)

◆ 防除のコスト

人工数は忌避剤の0.5～2.4人工/haに比べ、単木防護ネットでは15～23人工/haかかった。コストでみると単木防護ネットは忌避剤に比べ約160～270万円/ha多くかかる結果となった（図17,18）。

単木防護ネットはノウサギによる被害を確実に防除できるが、より多くのコストがかかるため、状況に応じて植栽本数を減らすことも選択肢の一つとして考えられる。また、単木防護ネットを自作するなど工夫すれば費用を削減できる可能性はある。

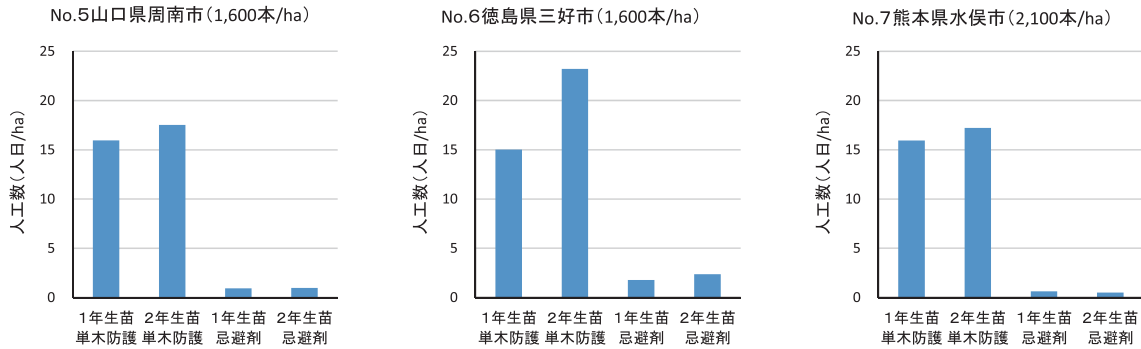


図17 植栽時にノウサギ防除を実施した3地域における防除にかかった人工数

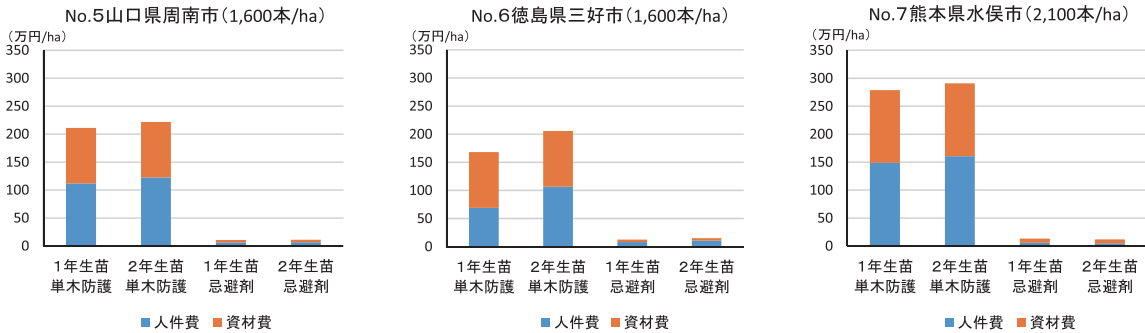


図18 植栽時にノウサギ防除を実施した3地域における防除にかかったコスト

⑧ 初期コスト

Q 8. どれくらいの初期費用がかかるの？

A 8. 植栽から2年目の保育作業までで約100万円/haとなっており、特に1年生苗は誤伐防止のための印付け、2年生苗は苗木代で多くのコストがかかっている。

苗齢別に植栽した実証植栽地7箇所において、2年目までにかかる保育作業等についてコスト分析を行った。その結果、苗齢によるコストの違いに影響を与える主な要素は、「苗木代」「印付け」の2つであった(図19)。苗木代は、2年生苗166円/本に対し1年生苗は77円/本であり、植栽密度1,600本/haの場合、2年生苗のほうが142,400円/ha割高となった。

下刈りの際の誤伐防止のための印付けは、2年生苗の場合は3万円/haだったのに対し1年生苗の場合は9万円/haを要し、1年生苗のほうが6万円/ha割高となった。

全体でみると、植栽密度1,600本/haの場合、1年生苗では100万円/ha、2年生苗では107万円/haと、1年生苗のほうが割安となった。一方、植栽及び下刈りにかかる人工数は、1年生苗の植栽と2年生苗の植栽とでほとんど差はなかった(表16,17、図19)。

このようなことから、苗木の価格、下刈り時の誤伐の可能性を踏まえ、1年生苗と2年生苗の選択をしていくことが望ましい。

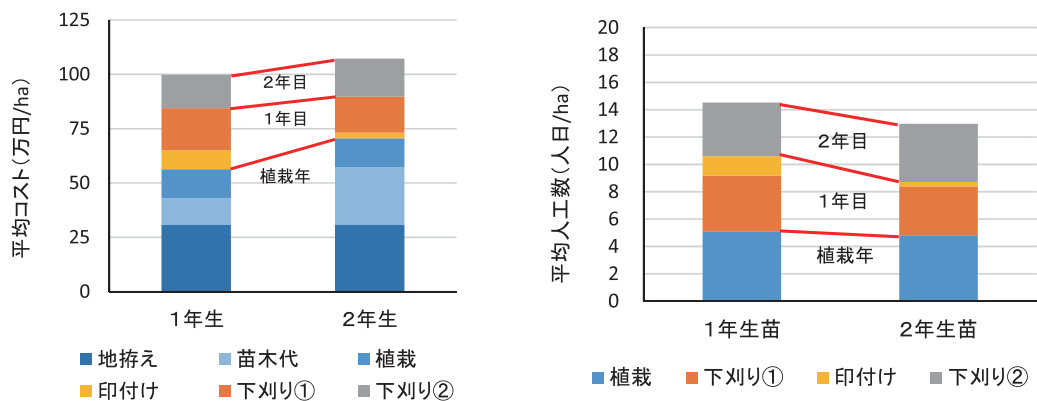


図19 実証植栽地の植栽から2年目の下刈りまでにかかった平均コスト及び平均人工数
※苗木代は1年生苗77円、2年生苗166円、諸経費等は除いて計算

表16 地拵え、植栽及び下刈り(植栽後2年間)等にかかった平均コスト(単位:万円/ha)

苗齢	植栽年			1年目		2年目	合計
	地拵え	苗木代	植栽	印付け	下刈り①	下刈り②	
1年生苗	31	12	13	9	19	15	100
2年生苗	31	27	13	3	16	18	107

表17 植栽及び下刈り(植栽後2年間)等にかかった人工数(単位:人日/ha)

苗齢	植栽年	1年目		2年目	合計
	植栽*	印付け	下刈り①	下刈り②	
1年生苗	5.1	1.4	4.1	3.9	14.5
2年生苗	4.8	0.3	3.6	4.2	13.0

* 地拵えは含まない

引用・参考文献

- 1) 熊本県 (2015) センダンの育成方法 (P 4,12) (https://www.pref.kumamoto.jp/kiji_20150.html)
- 2) 福山宣高 (1996) センダン幼齡人工林の成長について (日林九支論No.49,P83~84)
- 3) 横尾謙一郎 (2017) センダンの育成技術の開発・普及と材の利用について (山林2019・6,29)
- 4) 涌嶋智 (2017) 早生樹コウヨウザンの特徴と材質 (木材情報2017年10月号)
- 5) 涌嶋智 (2017) 52年生コウヨウザンの材質と製材品の強度について (現代林業2017.6)
- 6) 近藤禎二ら (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)
- 7) 近藤禎二ら (2017) 東京大学千葉演習林におけるコウヨウザンの成長 (関東森林学会68-2)
- 8) 近藤禎二ら (2017) わが国におけるコウヨウザンの成長 (日本森林学会第128回ポスター)
- 9) 森田正彦ら (1990) コウヨウザン30年生林分の成長及び材質特性 (日林九支研論集No.43)
- 10) 山田浩雄ら (2018) コウヨウザンの暫定的な収穫予想表の作成
(森林総合研究所林木育種センター平成30年版・126-128)
- 11) (一財) 広島県森林整備・農業振興財団・広島県樹苗農業協同組合 (2019)
コウヨウザンコンテナ苗生産マニュアル (農林水産業みらい基金)
- 12) 陶山大志ら (2018) コウヨウザンに対するノウサギの嗜好性と被害
(第129回日本森林学会大会 (抄録))

早生樹利用による森林整備手法ガイドライン（令和3年度改訂版）

林野庁

（発行）令和2（2020）年2月

（改訂）令和4（2022）年3月

（作成）一般社団法人 日本森林技術協会

〒102-0085 東京都千代田区六番町7番地

TEL (03) 3261-5281（代表）／FAX (03) 3261-5393

<http://www.jafta.or.jp>
