ウラジロエノキの育苗技術について　2

井口　朝道

1. はじめに

ウラジロエノキはアサ科ウラジロエノキ属の常緑高木で、日本では種子島以南に分布し、非石灰岩地の山地～低地の肥沃な場所に生え、大木も多くみられる（大川・林、2016)。

先駆種で沖縄を代表する早生樹種である本種は、木材としては、軽くて加工性が高いことから国頭村内の小学校では学童机として利用されるなど一定の需要がある樹種である（沖縄県農林水産部森林管理課、2019)。沖縄県の森林･林業アクションプラン（沖縄県農林水産部森林管理課、2017）では、環境に対する影響が少ない集落周辺の未利用造成地等を活用し、早生樹種による短伐期施業を行うことで、森林資源の循環利用を図ることとしている。こうした背景から、2017 年にハマセンダン、イイギリ等と併せて、造林樹種として新たに追加指定された。実際に令和 3 年度には、国頭村、石垣市および県営林（本島北部、八重山）において計 3.16ha が新植され（沖縄県農林水産部森林管理課、2022)、今後の収穫および利用が期待される。

これまで当センターにおけるウラジロエノキの育苗に関する研究としては、金城ら（2007）が、種子採取適期が 9 月上旬～10 月中旬であること、種子の保存については常温、低温を問わず 8 カ月までは発芽率 8 割を維持できること、ポット苗への鉢上げの際の用土としては赤土が適しており、活着率 8 割が期待できること等を明らかにしている。また、鉢上げについては、用土が赤土の場合においても活着率が 3 割以下となった報告もあり（金城・宮城、2008）、安定した苗木生産が求められる。育苗容器に関しては、普通ポット、ロングポットの 2 種類を使用し､鉢上げの際の用土を 3 種類替えて行った試験では、苗高成長量は、ロングポットが大きく、また用土としては、島尻マージ＞ジャーガル＞赤土の順となることが分かっている（金城、2012）。

一方で、近年、沖縄県内の造林樹種における苗木生産で主流となってきている M スターコンテナ苗（以下、コンテナ苗）の生産についての試験はほとんど実施されておらず、データの蓄積が不十分である。

そこで、本研究は、ウラジロエノキの成長の早さを生かして、当年生の苗木を生産するために必要な施肥量を明らかにすることを目的に育苗試験を行った。

また、試験を重ねていく中では、成長が旺盛なことから、一部に苗高や形状比が過大な苗が生産される事象が確認された。スギコンテナ苗では、高すぎる形状比が植栽後の樹高成長量に負の効果があることが報告されている（八木橋ら、2016）。そのため、ウラジロエノキ苗の形状比が、植栽初期の枯損や成長に与える影響について併せて評価を行うこととした。

さらに、苗高や形状比が大きくなりすぎた苗木を剪定し、出芽した芽を育てた苗（以下、剪定苗）の生産技術についても実証試験を行ったので併せて報告する。

2. 材料および方法

1）コンテナ苗施肥量別育苗試験（発芽試験）

供試した種子は、2020 年 7 月 15 日に、沖縄県名護市の森林資源研究センター内の樹木園に自生するウラジロエノキ 1 個体（No120）から、黒く熟したものを採種した。同日、採取し

た種子は、果肉を取り除いた後、用土（容積比、ココソイル９：パーライト１）を１本当たり約625ml 充填したＭスターコンテナ容器に１鉢２粒ずつ蒔き付けし、ガラス室内で 10 月 14 日まで約１週間毎に発芽率を測定した。

施肥量による影響を確認するため、基肥としてハイコントロール 700（ジェイカムアグリ社製、肥効期間 700 日、N:P:K=16:5:10）を用土 1ℓに対し 5g（N 換算値で 0.5g/鉢）（B 区）、10g（N:1.0g/鉢）（C 区）、15g（N:1.5g/鉢）（D 区）を施用した他、対照区として無施肥区（A 区）を設置した。なお、作成したＭスター苗は 180 鉢（各 45 鉢）で、計 360 粒を播種した。

2）コンテナ苗施肥量別育苗試験（成長量試験）

供試した稚苗は 1)発芽試験で得たものを用いた。当センターのガラス室内で、2020 年 10 月 14 日から 2021 年４月 15 日までの期間育苗し、その間、約１月毎に苗高を計測し（2021 年１月は未実施）、最終調査時は併せて根元直径についても測定し、形状比（苗高/根元直径）を算出した。

なお、発芽調査終了後には、成長量が大きいものから順次、コンテナ苗 1 鉢につき 1 本になるように整理した。

3）苗の形状比に関する試験

試験地は、当センター内の樹木園に設置した。この場所は過去に近隣から国頭マージを厚さ 60 ㎝程度客土した平坦な地形であり、植栽前にはトラクターにより耕耘した。2022 年４月６日に、当センターで生産した以下の３種類の苗木を配置に偏りがないよう 2,000 本/ha の密度で計 70 本を混植した。植栽時に初期苗高と根元直径を計測した後は、植栽後 2 年間となる 2024 年 4 月 3 日まで約 2 カ月毎に枯死・枯損の状況を確認し、苗高を計測した。ここで枯損とは、枯死個体に、主軸の先枯れや台風被害である倒伏等により植栽時の苗高より低下した個体を加えたものとする。また、最終の計測時は根元直径も測定した。

なお、2022 年９月、2023 年８月に台風の襲来があり、一部に根回りや倒伏等の被害があったことを確認している。

①ガラス室生産-コンテナ苗（以下、glass-c）

当センター内に自生するウラジロエノキ 1 個体（No.120）から完熟した黒い種子を採取（2020 年７月 15 日）し、果皮と果肉を取り除き、冷蔵庫で７ヶ月保存した種子を 2021 年２月 16 日に用土（容積比、ココソイル９：パーライト１）を１本当たり約 625ml 充填したＭスターコンテナ容器に播種した。基肥としてハイコントロール 700 を用土 1ℓに対し 10g（N 換算:1.0g/鉢）施用し、ガラス室内で生産した。

植栽時は、播種後 14 カ月となり、平均苗高が 80cm を超える比較的大きな苗木であり、植栽本数は 23 本である。

②ネットハウス生産-コンテナ苗（以下、net-c）

使用した種子、播種時期、用土および基肥については、①glass-c と同様であるが、ガラス室ではなく、天井部と側面をネットで囲われたネットハウス内で生産した。

植栽時は播種後 14 カ月となり、平均苗高は 50 ㎝程度の標準的な規格の苗木であり、植栽本数は 23 本である。

③ガラス室生産-ポット苗（以下、glass-p）

使用した種子は 2020 年 8～9 月に沖縄県名護市の名護城公園付近に自生するウラジロエノキ１個体（No5）から、黒く熟したものを採種し、果皮と果肉を取り除いた後、冷蔵庫で保存したものを使用した。約 10 ヵ月が経過した 2021 年６月４に日、用土（容積比、赤土４：堆肥１）を１鉢当たり約 600ml 充填したポットに直接蒔き付けし、ガラス室内で生産した。基肥の種類、および１鉢あたりの施肥量は他の２種と同様である。

植栽時は播種後 10 カ月となり、平均苗高は 50 ㎝程度の標準的な規格の苗木であり、植栽

本数は 24 本である。

4）剪定苗生産に関する試験

供試した苗木は、2019 年 9 月 4 日当センター内の樹木園に自生するウラジロエノキ 1 個体から、黒く熟したものを採種し、同日にＭスターコンテナに直接播種したものを供試した。なお、基肥としてハイコントロール 700 を用土 1ℓに対し 5g（N:0.5g/鉢）を施用した。

播種後 1 年以上経過した 2020 年 11 月 17 日に、地際から 5 cmの高さで剪定を行い（供試数：93 本、剪定時平均苗高 49.7cm）、2021 年 1 月 5 日に萌芽枝数を確認した。

その後、萌芽枝を各個体 1 本に整理し、剪定後約 1 年が経過した 2021 年 11 月 29 日までの期間、約 1 月毎に苗高を計測した。さらに、最終時には根元直径について測定し、形状比（苗高/根元直径）を算出した。

なお、試験期間中に基肥の肥効期間が迫ることから、約半数の苗木について 2021 年 7 月 16 日、9 月 24 日に IB 化成 S1（ジェイカムアグリ社製、N:P:K=10:10:10、肥効期間 70 日）を 1 鉢あたり 1.0g（N:0.1g/鉢）施用し（以下、追肥区、N=46 本）、追肥を行わない対照区（N=41 本）と比較することで、追肥の効果を確認した。

3. 結果および考察

1）コンテナ苗施肥量別育苗試験（発芽試験）

2020 年 7 月 15 日に採種、同日に播種を行った際の 2020 年 7 月 22 日～10 月 14 日までの施肥区分別の発芽率の推移を図-1 に示す。いずれも播種後約 2 月半が経過した 9 月 16 日の時点では、発芽率は 40%を超え、最終的には 50%程度となったが、既往のウラジロエノキの発芽試験と比較するとやや低い値を示した（金城ら、2007）。フィッシャーの正確確率検定の結果、発芽率に関しては施肥区分による有意な差は確認されなかった（表-1）。なお、本試験では、1 鉢に 2 粒ずつ蒔き付けしており、得苗率としては、全体平均で約 70%程度となった（表-2）。既往の研究で、鉢上げの活着率が安定しない（金城ら、2007；金城・宮城、2008）ことを踏まえると 1 鉢に 2～3 粒を直接蒔き付けることで、鉢上げにかかる労力を抑えつつ得苗率が安定した苗木生産が可能であると考えられた。

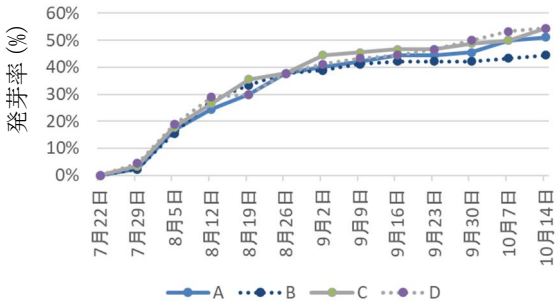


図-1　施肥区分別の発芽率の推移

表-1　施肥区分別の発芽の有無

発芽	施肥区分				
	A	B	C	D	総計
0	44	50	41	41	176
1	46	40	49	49	184
総計	90	90	90	90	360

＊数字は 0 は未発芽、1 は発芽を示す

表-2　施肥区分別の得苗率および生存率

施肥区分	播種本数（本）	得苗本数（本）	得苗率（%）	生存個体数（本）	生存率（%）
A（無施肥区）	45	28	62%	10	36%
B（N0.5g/本）	45	30	67%	28	93%
C（N1.0g/本）	45	35	78%	34	97%
D（N1.5g/本）	45	32	71%	31	97%
全体	180	125	69%	103	82%

2）コンテナ苗施肥量別育苗試験（成長量試験）

育苗期間中の生存率は、無施肥区 A については、40%を下回り非常に低くなったが、他の施肥を行った試験区では、いずれも 90%以上と高い値となった（表-2）。

生存個体の期間中の平均苗高の推移を図-2に示す。種後約 7 ヶ月が経過した 2 月の時点で、B は平均苗高が一般的に造林に供することが出来る苗高 30cm にようやく到達したが、C、D においては平均苗高が 40cm を超える結果となった（図-2）。

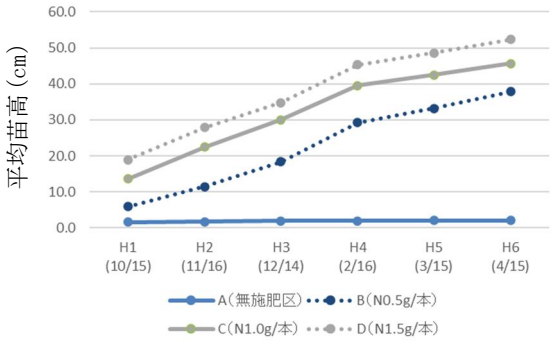
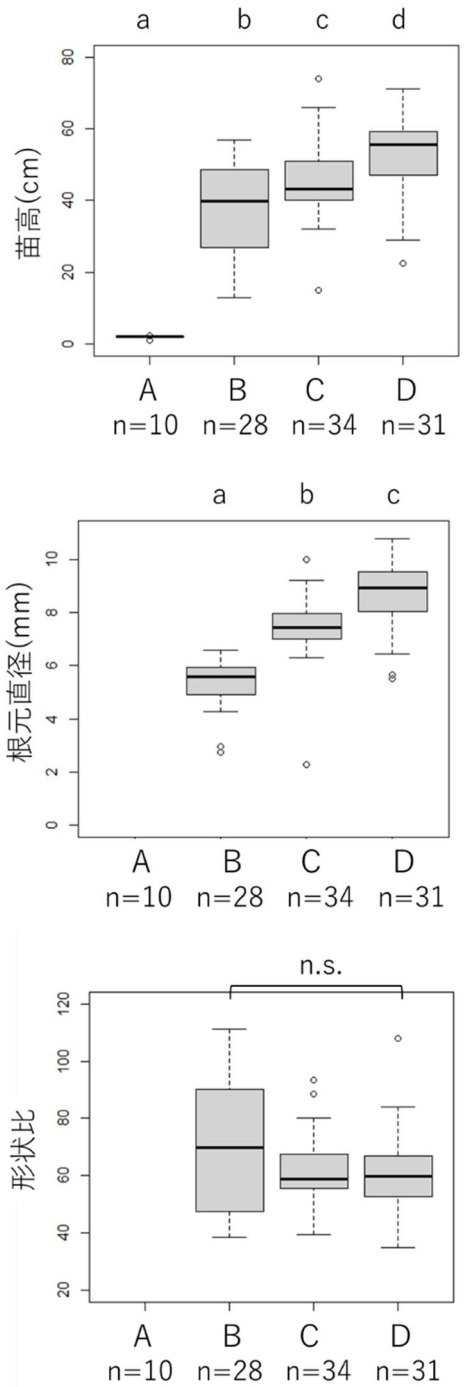


図-2　施肥区分別の平均苗高の推移

次に 2021 年 4 月時点の施肥区分別の苗高、根元直径および形状比を図-3 に示す。なお、A 区の根元直径は非常に小さいため測定できなかった。4 月時点の苗高および根元直径において施肥区分別に分散分析を行ったところ、いずれも有意差（$p<0.01$）が確認されたため、多重比較を実施した。その結果、苗高、根元直径のいずれも全ての施肥区分間で有意差（$p<0.05$）があり、施肥量の順と同じく A<B<C<D の結果となった（図-3、根元直径は A はなし）。一方で、形状比については、施肥区分間の多重比較の結果、有意な差は確認されなかったが（$p=0.086$）、B が C、D と比較して中央値がわずかに大きい値を示した（図-3）。

このことから、施肥量が 1 鉢あたり N0.5g の B 区では、苗高以上に根元直径の成長が抑制された可能性が考えられた。以上の結果から、苗高および根元直径の成長を踏まえると、7 月に採種・播種を行い、翌年 2～3 月での出荷を見据えた当年生のウラジロエノキのコンテナ苗を生産するには、施肥量は 1.0g/鉢（N 換算）以上が望ましいと考えられた。



異なるアルファベット（小文字）は区分間で有意差があることを示す（holm、$p<0.05$）、また n.s. は有意差がないことを示す

図-3　2021 年 4 月時点の施肥区分別の苗木の状況（上:苗高、中:根元直径、下：形状比）

3）苗の形状比に関する試験

植栽後 2 年が経過した 2024 年 4 月 3 日時点の、苗木種類毎の植栽木の枯死・枯損状況について表-3 に示す。枯死および枯損した本数は、いずれも植栽時の苗高および形状比の高かった glass-c 区で最も多くなった。

目的変数を枯損の有無（有り：1、無し：0）、説明変数を植栽時形状比とした一般化線形モデル（二項分布を仮定したロジスティック回帰）により解析したところ、形状比が大きい個体ほど有意に枯損の発生割合が高くなることが確認された（図-4、$p<0.01$）。なお、目的変数を枯死の有無にした場合においても同様な結果が得られた（$p<0.05$、図省略）。

さらに枯損の発生割合に着目すると、形状比 80 以下の苗木については、3 割程度に抑制されることが予測されるため（図-4）、造林の際には、このような苗木を積極的に使用することが望ましいと考えられた。

表-3　植栽 2 年後の苗木種類毎の枯死・枯損の発生状況

苗木種類	植栽本数（本）	植栽時平均苗高（cm）	植栽時平均形状比	枯死本数（本）	枯死割合（%）	枯損本数（本）	枯損割合（%）
glass-c	23	88.4	99.0	6	26%	10	43%
net-c	23	50.6	65.4	4	17%	6	26%
glass-p	24	46.4	62.8	4	17%	8	33%

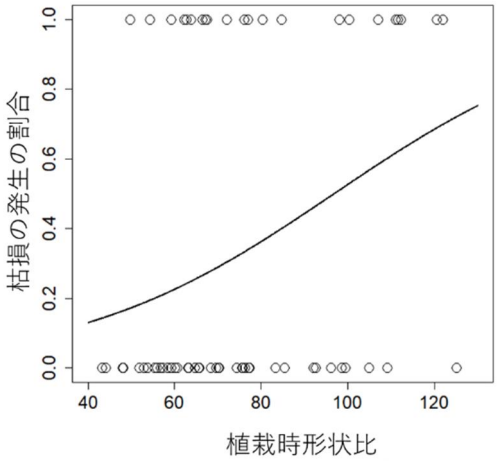


図-4　植栽時の形状比と枯損の発生割合の関係

次に、枯損個体を除外した計 46 個体を対象に、2 年間の苗高成長量または根元直径成長量と植栽時の形状比との関係を育苗容器別に示す（図-5）。ここで目的変数を苗高成長量または根元直径成長量、説明変数を形状比および育苗容器とした二元配置分散分析を行ったところ、形状比、育苗容器のいずれも苗高成長量または根元直径成長量に有意に影響を与えていることは確認されなかった。

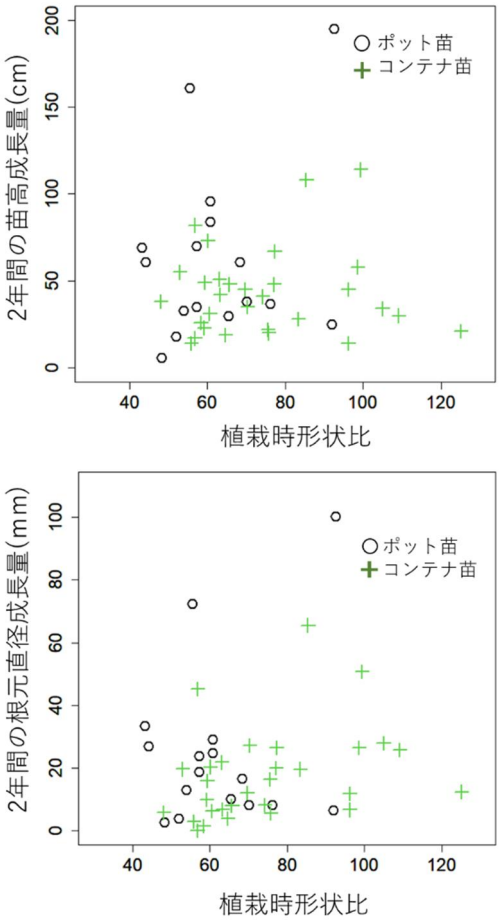


図-5　育苗容器毎の苗高成長量（上）または根元直径成長量（下）と植栽時形状比との関係

よって、今回の試験では、ウラジロエノキ苗の形状比は、根回りや倒伏等の台風被害の受けやすさから植栽初期の枯死や枯損の発生割合には影響を及ぼすが、それらの被害を免れた健全な個体における成長量には影響を与えないことが示唆された。

4）剪定苗生産に関する試験

はじめに、ウラジロエノキ苗の剪定後、約 50 日が経過した 2021 年 1 月 5 日時点での萌芽の状況について表-4 に示す。萌芽率は 95%と高く、剪定苗の生産は比較的容易であることが確認された。

また、1 個体あたりの萌芽枝数については、4～7 本程度が多くなる傾向にあり（図-6）、樹形や木材利用を考慮すると、早期に 1 本に仕立てる必要があると考えられた。

表-4　剪定後の萌芽の状況

剪定個体数（本）	萌芽個体数（本）	萌芽率(%)	萌芽個体の平均萌芽枝（本）	最終生存個体数（本）
93	88	95%	5.0	87

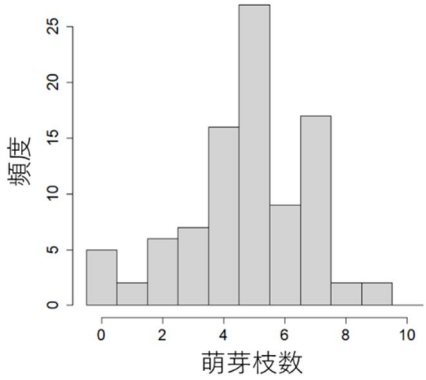


図-6　1 個体あたり萌芽枝数の頻度分布

次に剪定後 1 年間の苗高の推移を図-7 に示す。追肥区については、施肥の効果が顕著に表れ、最終的には平均苗高が 44 cmとなる一方で、対照区については、緩やかに成長を続け、最終苗高では平均で約 10cm の差が生じた。ここで、一般的に造林に供することが出来る苗高 30cm を基準とした場合は、対照区はおよそ 1/4 が下回ったが、追肥区では全て基準を満たす結果となり効率的な苗木生産に寄与していた。

また、剪定 1 年後の苗高、根元直径および形状比を図-8 に示す。苗高、根元直径については、いずれも追肥区で良好な成長を示し、分散分析の結果、追肥区-対照区間で有意な差がみられた（p<0.01、図-8）。

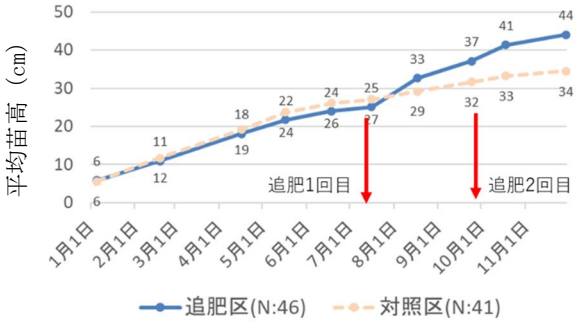


図-7　追肥区分毎の平均苗高の推移

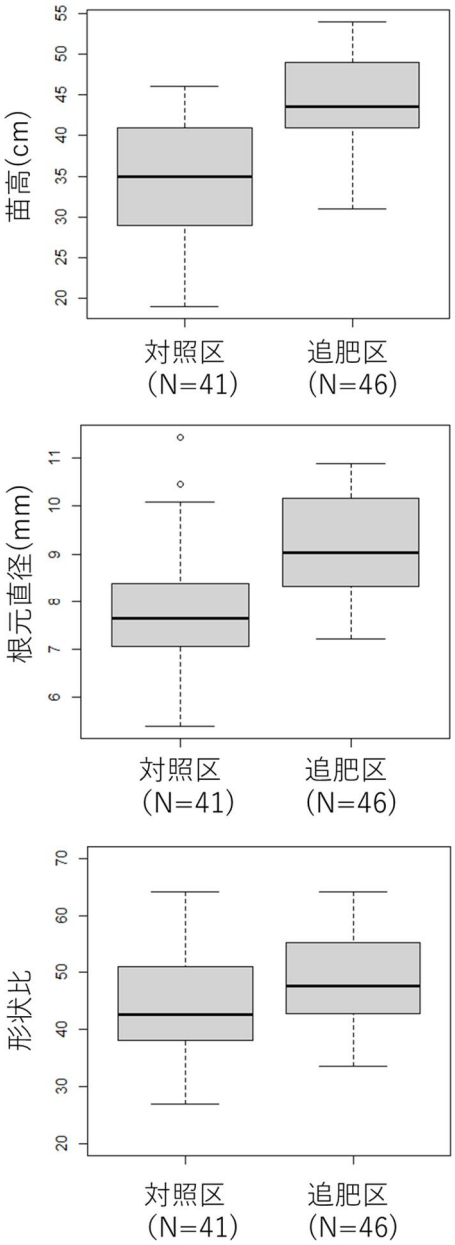


図-8　追肥区分毎の剪定 1 年後の苗木の状況
（上：苗高、中：根元直径：下：形状比）

一方で形状比については、苗高と根元直径の成長のバランスから、追肥区で有意に高い値を示した。しかし、全ての個体で70以下と低く、倒伏等の懸念は小さいものと考えられ、さらに根元直径自体は追肥区で大きくなっていることから（図-8)、最初の苗木生産時点から長期間経過し、当初の基肥の肥効期間が切れた場合には、追肥が剪定後の萌芽枝の育成において有効と考えられた。

4. まとめ

今回、沖縄県を代表する早生樹であるウラジロエノキを対象に、造林現場で近年生産量が増加傾向にあるコンテナ苗に着目して複数の育苗試験を行った。

その結果、既往の報告（金城ら、2007）にある採種適期とされる9月より早い、7月中に採種し、すぐに取り蒔きを行ったうえで、基肥としてN換算で1.0g/鉢以上を施肥することにより当年生の苗木の生産が可能であることを明らかにした。また、当初からコンテナ苗1鉢に2～3 粒を播種することで、稚苗の鉢上げに係る労力や枯損のリスクを回避し、効率的で安定した苗木生産が可能になると考えられた。

また、成長の早さから一部に苗高、形状比が大きくなりすぎた苗木が生産されることが確認されたが、このような苗木を実際に植栽した試験では、形状比が大きくなるにつれ、台風の襲来時に根回りや倒伏被害を受けやすく、植栽初期の枯死・枯損の発生割合が高くなることが判明した。

さらに、このような倒伏等のリスクの高い形状比の大きくなりすぎた苗木については、一度剪定し、萌芽枝を整理して育てる剪定苗とすることで適切な形状比に仕立て直すことが可能であることを示した。なお、その際に、当初の基肥の肥効期間が切れる場合には適切に追肥を行うことで効率的かつ根元直径の太い良質な苗木生産に寄与することが明らかとなった。

これまで述べてきたように、本研究と既往の研究を統合することで、ウラジロエノキの育苗に関する技術としては一定の成果が得られたと思慮される。

一方で、育林に関しては、沖縄県として早生樹の適地の選定や適正な植栽密度の設定について、より詳細に検証することが求められており、これらの育苗・育林体系を総合的に検討し、本県における早生樹造林の技術を向上させていくことが将来の沖縄県の林業・木材産業の発展には重要と考える。

引用文献

金城勝（2012）沖縄県林試業報 22：3-4

金城勝・伊藤俊輔・比嘉政隆（2007）沖縄県林試研報 50：43-45

金城勝・宮城健（2008）沖縄県林試業報 19：7-8

沖縄県農林水産部森林管理課（2017）沖縄県森林・林業アクションプラン【後期:平成29年度～平成33年度】:24

沖縄県農林水産部森林管理課（2019）おきなわの木　木のあるくらし編 2019:13

沖縄県農林水産部森林管理課（2022）沖縄の森林・林業　令和4年版:14

大川智史・林将之（2016）ネイチャーガイド琉球の樹木:152

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）日林誌 98:139-145

センダンの植栽初期の枝打ちの効果に関する研究

井口　朝道・久高　梢子・金城　智之*1・小菅　俊樹*1

1. はじめに

センダンはセンダン科センダン属の 2 回羽状複葉を持つ落葉高木で、日本では関東から先島諸島まで分布し、海岸から山地に生育する沖縄に自生する落葉樹としては有数の大木である（大川・林、2016)。

近年、全国的に有用な早生樹として認識され、関心が高まっているが、沖縄県においては古くから着目されてきた歴史を持つ。琉球王朝時代の蔡温の森林管理の思想と実践の内容をとりまとめた「林政八書」の１つで、1869 年に発行された「御差図扣」の中では、当時過伐から杣山が荒廃している状況を背景に、植栽後 7～8 年で利用できる成長の早さに着目し、適地にセンダンを造林し丁寧に保育するよう指導している（仲間、2017)。

このようにセンダンは古くから沖縄を代表する有用な早生樹種として認識されており、現在は 35 種ある造林樹種の１つとして指定されている。沖縄県の森林･林業アクションプラン（沖縄県農林水産部森林管理課、2017）では、環境に対する影響が少ない集落周辺の未利用造成地等を活用し、早生樹種による短伐期施業を行うことで、森林資源の循環利用を図ることとしている。記録の残る昭和 60 年から令和 4 年までの期間に 48ha（県営林除く）が新植され（沖縄県農林水産部森林管理課、2023)、7～8 齢級に達する人工林も現存し、今後の収穫および利用が期待される。

県産木材の利用については、沖縄県では、県産木材のブランド化を図り、家具や食器、さらに建築内装等、付加価値の高い用途である製材の利用拡大を目指している（沖縄県農林水産部森林管理課、2022)。また、日本有数の家具産地として知られる福岡県の大川家具工業会において、近年、センダンは、早期的循環型ビジネスモデルとしてブランド化されており、用材としての高付加価値な利用が進められている（協同組合福岡・大川家具工業会地域材開発部会ウェブサイト）。

そのような中、枝を四方に大きく広げ、傘系の樹形となりやすいセンダンを、人為的に通直に仕立てることで、歩留まりの高い用材生産を可能にする技術が求められている。

熊本県林業研究・研修センター（2023）では、センダンの樹幹を通直に仕立て、伐木・造材から製材までの歩留まりを向上させる手段として、芽かきによる樹幹形矯正法を推奨している。芽かきとは、頂芽だけを残し、側芽を取り除くことを指し、現在のところ成立本数に関係なく、センダンの樹幹を通直にする最も有効な手法としている（熊本県林業研究・研修センター、2023）。しかし、芽かきは春先の新芽の展開直後に、枝に成長する前に行う行為であることから実施可能期間が限られ、また個体ごとにその期間にずれが生じることから、高頻度での現地作業が求められる。

一方で、本県においては、これまで石垣市において既造林地で林業普及指導員が試験的に芽かき・枝打ちを実施した例はあるものの、その効果については科学的に検証されていない。

そこで本研究は、新芽の展開後にまとめて一度での作業が可能である枝打ちによるセンダンの樹幹形矯正効果を明らかにすることを目的に実施した。

2. 材料および方法

2.1　調査区

＊1：八重山農林水産振興センター　農林水産整備課

調査区は、石垣市字平得地内に位置する県営内林の造林地（2020 年 12 月植栽）に設置した。芽かき・枝打ちを実施する区（以下、実施区）と対照区を設け、各区 1 反復の繰り返し数を 3×4 の 12 本とし、4 反復（計 96 本）を配置した（図-1）。

なお、植栽密度は、現在沖縄県において早生樹造林の際に適用される 2,000 本/ha である。苗木は、2019 年 12 月に名護市内で採種し、森林資源研究センターのガラス室において直ちに育苗箱に播種したものを、2020 年 4 月にコンテナ苗に移植し、11 月までの期間育苗したものを使用した。

2.2　調査方法

現地調査は植栽後約 3 ヵ月が経過した 2021 年 2 月に初期の苗高を計測し、その後は 2021 年 11 月、2022 年 6 月、11 月、2023 年 6 月、11 月に樹高、枝下高、胸高直径（測定可能個体のみ）を測定した。また、2021 年 11 月調査時からは、実施区において側芽や枝が確認された場合には、脚立を用いずに人が手の届く範囲内である高さ 2.5m 程度まで枝打ちを行い、作業後には改めて枝下高を測定した。なお、枝がない個体の枝下高はその時点の樹高の値を採用した。また、実施区内の個体であっても、側芽や枝がないものについては、作業は行っていない。さらに、直材生産に着目し樹形の矯正効果を検証するため、2023 年 6 月の調査からは、採材長についても目視で判断し計測した。ここで、本研究における採材長は樹幹形が比較的通直で、用材として利用可能な元玉の長さとした。

なお、調査区内ではゴマダラカミキリによる虫害が一部にみられ、また 2022 年 9 月には、石垣市に大きな台風が接近したことにより主軸に折損被害が多数発生した。実施区においてこれらの折損や害虫被害が確認された場合は、根元から台切りを実施したが、枝打ち効果に着目するためにこれらの個体については成長量や樹幹形の評価の対象外とした。

また、枝打ちの効果を検証する際には、実施区においても側枝が発生せず枝打ちを行わない個体も一定数存在したため、実際に枝打ちを行った個体と対照区内の個体に実施区内で作業を行っていない個体を合わせた個体に区分して解析を行った。

3. 結果および考察

3.1　成長量に及ぼす影響

植栽後約 2 年が経過した 2022 年 11 月と、約 3 年後の 2023 年 11 月の樹高成長量と胸高直径について枝打ち実施区分別に図-2、3 に示す。それぞれ t 検定（ウェルチ）を行ったところ、2022 年 11 月、2023 年 11 月の両時期ともいずれも有意な差は確認されず（$p>0.05$）、現時点では、今回の枝打ちは成長そのものには影響を及ぼしていないと判断された。

枝打ちを行うことで葉量が減少し、その結果、光合成量が低下することで胸高直径の成長には負の影響が出ると想定していたが、そのような傾向は確認されなかった。熊本県林業研究・研修センター（2023）では、芽かきの作業範囲を高さ 4.5m と 2.4m で比較したところ、2.4m の場合で直径成長が大きいことを報告しており、本研究では高さ 2.5m と枝打ち範囲を低く設定したことで、胸高直径の成長の低下を抑えることができたと推察された。

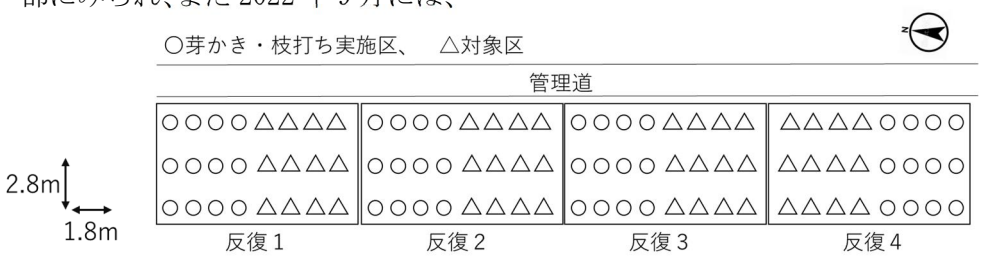


図-1　調査区の設置状況

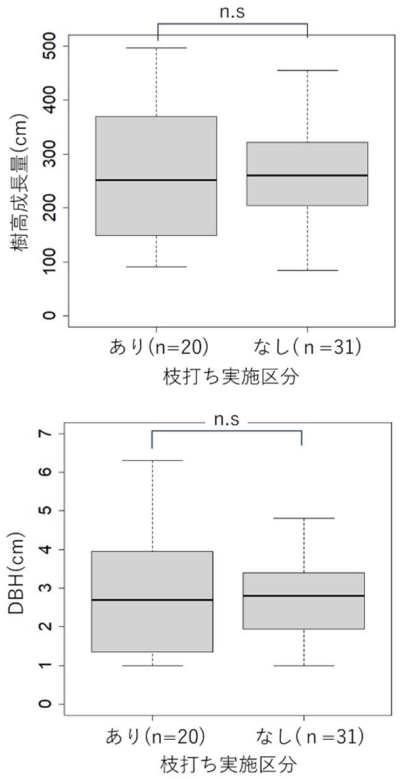


図-2　2022 年 11 月時点の枝打ち実施区分別の成長（上：樹高成長量、下：胸高直径）

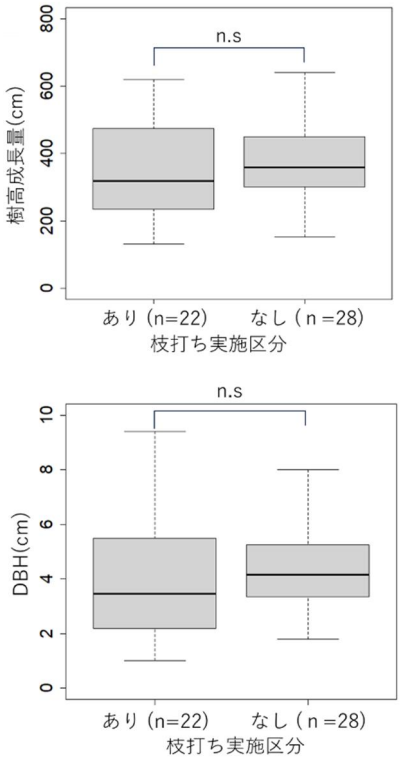


図-3　2023 年 11 月時点の枝打ち実施区分別の成長（上：樹高成長量、下：胸高直径）

3.2　樹幹の形状に及ぼす影響

次に、通直で枝下高の高い立木の育成を促すための枝打ちの効果を検証するため、実施区分別の枝下高を図-4（2022 年 11 月時点）、図-5（2023 年 11 月時点）に示す。なお、それぞれ調査時には、枝打ち作業の前後に枝下高を計測しているが、作業後は当然枝下高が高くなるため、ここでは作業前の枝下高を示している。それぞれ、t 検定（ウェルチ）により比較したところ、2022 年 11 月時点では、枝打ちありでわずかに高くなる傾向が確認されたものの有意な差はみられなかったが、2023 年 11 月では、その差がより顕著になり、有意な差が確認された（$p<0.05$）。

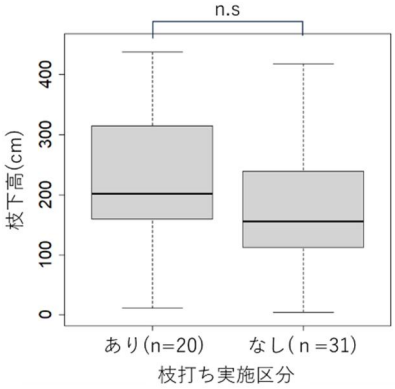


図-4　2022 年 11 月時点の枝打ち実施区分別の枝下高（作業前）

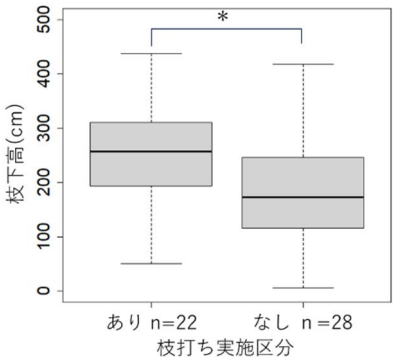


図-5　2023 年 11 月時点の枝打ち実施区分別の枝下高（作業前）

枝打ちは植栽後約 1 年が経過した 2021 年 11 月から植栽 3 年後の 2023 年 11 月までに年 2 回のペース（6 月、11 月）で計 5 回実施した。

2022 及び 2023 年 11 月の調査時点で、枝打ちありで枝下高が 2m より低い個体が多数存在する要因としては、その年の 6 月に枝打ちを行った個体において、幹の下部から後生枝が頻繁に発生したことが挙げられる。これにより、植栽後 2 年間では、枝打ち実施区分別で枝下高において有意な差が現れなかったと考えられた。

さらに、直材生産に着目するため 2023 年 11 月時点での採材長を実施区分別に比較したところ、枝打ちありでやや採材長の中央値は大きくなる傾向は見られたが有意な差は確認されなかった（図-6）。

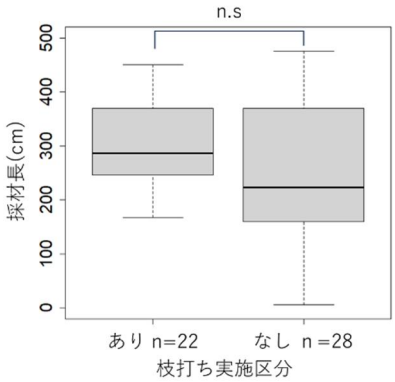


図-6　2023 年 11 月時点の枝打ち実施区分別の採材長

これは、枝打ちを一度も行っていない個体においても、下枝が大きく発達せず樹幹がまっすぐ伸びる個体が複数存在することに起因していた。なお、このような個体は、現時点で判断される採材長が枝下高を上回る状況にあった。さらに、枝打ちの有無が、直材として 2m の丸太が生産できる割合に与える影響について評価を行った（表）。

枝打ちありの場合は、18 個体中 17 個体とほぼ全てで採材長 2m の用材生産が可能であった一方で、枝打ちなしの場合においても、26 個体中 19 個体と約 7 割を超える個体で直材 2m の生産が可能であると判断された。ここで、枝打ち実施区分別に、2m 以上の採材可能割合をフィッシャーの正確確率検定を用いて解析したところ、有意な差は確認されなかった（$p>0.05$）。

これは前述したとおり、枝打ちを一度も行っていない個体においても、下枝が大きく発達せず樹幹がまっすぐ伸びる個体が一定数存在することが要因と考えられた。

センダンは、そもそもの樹冠の形状は枝が大きく広がる傘型であり、旺盛な直径成長を促すためには、今後は十分に枝張りができるスペースを確保することが必要となり、胸高直径 50 cm程度の収穫時には成立密度は 100 本/ha 以下となることが想定される（熊本県林業研究・研修センター、2023）。本県の現行の植栽密度が 2,000 本/ha であることを前提とすると、生育段階でかなりの本数割合で除伐や間伐が複数回入ることになり、その過程で樹幹形の悪い個体は優先的に間引かれることとなる。そのため、枝打ちをしない場合でも約 7 割の個体で、直材 2m が確保できる状況を踏まえれば、植栽初期に労力をかけて枝打ちを実施する必要性は小さいと考えられた。

しかし、これはあくまで 2,000 本/ha の植栽を想定した考えであり、熊本県のように当初の植栽密度を 400 本/ha とかなりの低密度とするのであれば、その有用性はあると考える。

表　枝打ち実施区分別の採材長 2m 以上の個体割合

枝打ち実施区分	個体数	採材長2.0m以上の個体数	2.0m以上の割合(%)	平均苗高(cm)	平均採材可能長(cm)
あり	18	17	94%	440.3	321.1
なし	26	19	73%	443.1	267.0
小計	44	36	82%	442.0	289.1

＊解析個体は生存個体のうち、これまで台切りを行っておらず、かつ2022年9月の台風により主軸折損被害が発生していない個体で調査時の樹高が2.5m以上のもの

4. まとめ

本研究では、センダン人工林において植栽3年後まで年2回（6月、11月）の枝打ちを行った場合の樹木の成長や樹幹形に及ぼす影響について検証し、枝打ちよる樹幹形矯正効果について評価を行った。

その結果、樹高および胸高直径には影響は確認されず、枝下高については、2年目までは有意差は無かったが 3 年目に枝打ちを行った個体で有意に枝下高が高くなることが明らかとなった。

また、直材生産に着目するため採材長による評価を行ったところ、枝打ちを行わずとも採材長が長くなる個体が多数存在することが確認され、沖縄県の現行の2,000本/haでの植栽を前提とした場合では、枝打ちの必要性は小さいと判断された。

しかし、採材長はあくまで現時点での目視による判断であるため、今後も適宜、経過観察を行い、最終的には収穫時に改めて計測し評価することが望ましいと考える。併せて、収穫時には、実際に製材を行い、節や腐れ等の材面の状態を評価基準に加えることが望ましいと思慮される。

さらに、沖縄県として早生樹の適正な植栽密度の設定について検証することが求められており、これらの育林体系を総合的に検討し、本県における早生樹造林の技術を向上させていくことが将来の沖縄県の林業・木材産業の発展には重要と考える。

引用文献

熊本県林業研究・研修センター（2023）センダンの育成方法　令和5年度改訂版：7-11、18

協同組合福岡・大川家具工業会地域材開発部会“SENDAN|早生広葉樹センダンを活用したライフスタイルを提案するブランド”URL:https://okawa-sendan.jp（2025年2月19日利用）

仲間勇栄 （2017）蔡温と林政八書の世界：237-238

沖縄県農林水産部森林管理課（2017）沖縄県森林・林業アクションプラン【後期:平成29年度～平成33年度】:24

沖縄県農林水産部森林管理課（2023）沖縄の森林・林業　令和5年版:17、40

大川智史・林将之（2016）ネイチャーガイド琉球の樹木:265

沖縄県におけるクスノキ人工林の密度管理手法の検討

久高　梢子・井口　朝道

１．はじめに

クスノキ（*Cinnamomum camphora* (L.) J.Presl）は、日本国内では、関東から南西諸島に分布する常緑高木であり、本来の自生は九州から屋久島といわれ（大川・林、2016）、奄美群島や沖縄島では旧時より伝来したものが植栽され、または野生化したとされる（天野、1989）。クスノキの材からとれる樟脳は、薬用、防虫用として古くから知られていたが、日本国内では元禄年間に薩摩藩で樟脳生産がはじまり、明治からはセルロイドの原料として海外需要が急増し（林野庁研究普及課、1981）、昭和20年代まで国有林や公社でクスノキの計画的な造林が行われた（日本林業技術協会、1997）。

一方、沖縄では琉球王朝時代から木造船用材として造林され（天野、1985）、近代では昭和はじめ頃まで樟脳製造原木として盛んに造林された（天野、1989）。近年では、木目の美しさや加工のし易さから家具材として利用されている（天野、1985）。

このように、クスノキは日本国内においても沖縄県内においても造林の歴史はあるが、沖縄県における密度管理についての明確な基準はない。復帰以降に植栽された本県の造林地の中には、間伐が必要な時期に到達している林分がでてきたが、適正な密度管理手法が示されていないことが課題となっている。

そこで、本研究では、クスノキの適正な密度管理の基準について検討を行った。

２．調査地および方法

(1) 調査地概要

調査地は、2021年時点で14年生のクスノキ人工林内に1箇所（調査区A：国頭村県営林内）、34年生林内に3箇所（調査区B～D：今帰仁村有林内）方形区を設置した。また、目視でクスノキの本数割合が多い天然林内（調査区E：今帰仁村有林内）で単木調査を行った。調査地の概要は表-1のとおりであった。

表-1　調査区と林齢

調査区	場　所	植栽年度	林齢	徐間伐履歴	調査区サイズ
A	国頭村奥	H19年度	14	なし	123㎡
B	今帰仁村今泊	S62年度	34	H17,29年度	225㎡
C	今帰仁村今泊	S62年度	34	H17,29年度	225㎡
D	今帰仁村今泊	S62年度	34	H17,29年度	400㎡
E	今帰仁村謝名	天然林	61	H29年度	単木

※林齢は、A～D：2021年時点、E：令和1年度森林簿より引用

(2) 密度管理手法の検討

日本国内におけるスギやヒノキの人工林の密度管理手法としては、林分密度管理図を用いて収量比数により評価する方法が多く用いられるが、林分密度管理図の調整には、林齢の散らばりが均等かつ十分な数の林齢の上層木平均樹高データに加え、自然枯死が発生している林分を含む多様かつ十分な数の林分における調査データが必要となる（林野庁、2024）。しかし、復帰後からリスタートを切った本県の広葉樹人工造林においては、十分な調査地点数を確保することは難しく、林分密度管理図の作成は困難である。

一方、広葉樹についてはミズナラ、コナラ、ブナについて樹冠幅（樹冠を見上げたときのその直径）が大きい時に胸高直径が大きい（岐阜県森林研究所、2009）こと、ケヤキについて

樹冠投影面積が大きいほど胸高直径が大きい（藤森・河原、1994）ことが知られており、本県で造林実績のある広葉樹については、アカギ(岡田ほか、2006)やイジュ(小多ほか、2016;井口・玉城、2020）において同じ傾向が確認されている。そこで本研究では、クスノキの胸高直径と樹冠の広がりの関係性に着目し、井口・玉城（2020）にならい、空間に占める樹冠面積（樹冠が互いに重なり合わない場合：78.5%）から立木密度を算出し密度管理基準の検討を行った。

調査区 A～D における調査は 2021 年 8 月、単木調査である E 区の調査は 2021 年 10 月及び 2023 年 10 月に実施した。調査対象は胸高直径 3cm 以上の健全な（先枯れや折損等のないもの）クスノキとし、毎木調査により、胸高直径、樹高を測定した。なお、同じ根株から萌芽している場合は、それぞれを 1 本として計測した。また、目視によって樹冠の一部が林冠層に到達している樹木を上層木と判定し、上層木について、樹冠を見上げた時に直交する 2 方向の樹冠幅を測定した。また、単木材積の算出には、イタジイを主体とする天然性広葉樹立木幹材積表による幹材積式を用いた（高江洲・玉城、1971)。

(3) 間伐シミュレーション

調査区 A～D について、作成した密度管理基準で間伐した場合の間伐率について検討した。また、今帰仁村内にクスノキの老齢林（令和 1 年度森林簿上で 70 年生）が存在していたことから、2024 年 3 月に 25m×25mの調査区を設け、毎木調査により胸高直径と樹高を測定し、現存するクスノキ老齢林の林況と密度管理基準の結果を比較した。

３．結果及び考察

(1) 調査地の林分構造

表-2 に全木の、表-3 に上層木の毎木調査結果を示した。調査区 A～D はいずれもクスノキの純林であった。調査区 A は、全木と上層木の本数が一致しており、階層構造になっていない個体間競争が顕在化していない状態であった。調査区 B～D においては、現況密度は全木では 500～800 本/ha、上層木では 400～600 本/ha であり、全木の約 8 割が上層木であった。

表-2　調査区ごとの毎木調査結果（全木）

調査区	全木				
	平均 DBH(cm)	平均樹高 (m)	調査区内本数	現況密度 (本/ha)	材積 (m^3/ha)
A	9.6	8.6	43	3496	146
B	24.0	17.6	17	756	308
C	27.2	19.7	12	533	319
D	27.7	17.9	21	525	320

※調査区 E は単木調査で調査対象は上層木のみであるため省略

表-3　調査区毎の毎木調査結果（上層木）

調査区	上層木				
	平均 DBH(cm)	平均樹高 (m)	調査区内本数	現況密度 (本/ha)	材積 (m^3/ha)
A	9.6	8.6	43	3496	146
B	27.2	19.3	13	578	288
C	29.0	20.1	10	444	299
D	30.5	19.0	17	425	307
E	40.8	18.5	18	－	－

※調査区 E は単木調査のため、密度・材積は省略

上層木の直径分布を調査場所ごとにみると、国頭村奥（調査区 A）では直径分布が小径木に偏った林分であった（図-1)。一方、今帰仁村今泊（調査区 B～D）は正規分布に近い形を示した（図-1)。

調査区 E は、意図的に直径の幅を確保するように調査木を選定した結果、25～65cm と直径分布の幅が広かった（図-1)。

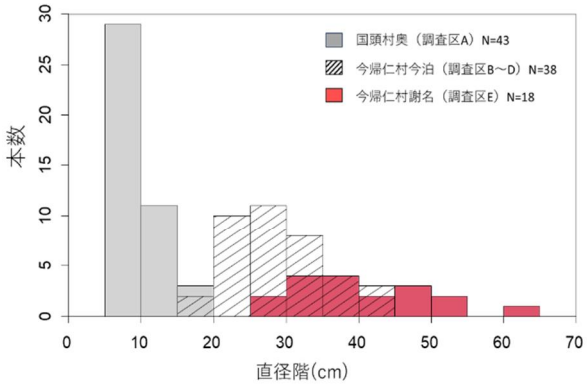


図-1　調査対象木の胸高直径階別本数分布

※調査区Bにおいて、癒合によりDBHの計測が不可能であった2個体については除外

(2) 密度管理手法の検討

図-2にクスノキの胸高直径と直行する2方向の樹冠幅の平均値（以下、平均樹冠幅）との関係を、図-3に胸高直径と2方向の樹冠幅の実測値から楕円の式により算出した樹冠投影面積の関係を示した。ピアソンの相関分析（$p<0.01$）の結果、胸高直径と平均樹冠幅又は平均樹冠投影面積には、イジュの結果（井口・玉城、2020）と同様に強い正の相関が確認され（各相関係数：0.92、0.86）、十分に樹冠を発達させた個体が、着葉量の増加に伴い、大きな直径成長を示したことが示唆された。

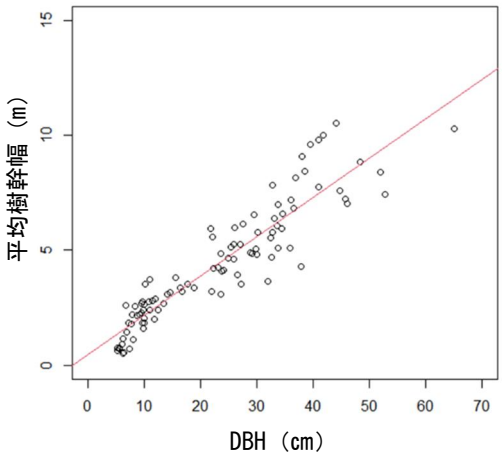


図-2 クスノキの胸高直径と平均樹冠幅の関係

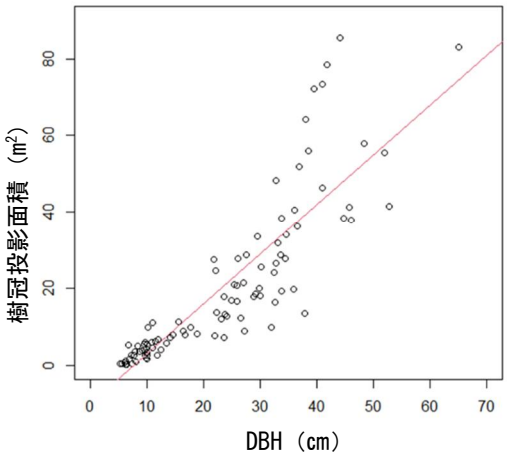


図-3　クスノキの胸高直径と樹冠投影面積の関係

ここで、回帰直線を求めるとそれぞれ次式となった。

$y_1 = 0.170820x + 0.468169$　…(1)

y_1：平均樹冠幅(m), x：胸高直径(cm)

$y_2 = 1.29917x - 10.07317$　…(2)

y_2：樹冠投影面積(m^2), x：胸高直径(cm)

これらの関係式を用いて平均胸高直径に対応した樹冠面積を推定し、空間に占める樹冠面積の割合を任意に設定することにより、その場合の立木密度が算出される。樹冠が真円と仮定したとき、樹冠が接して互いに重なり合わない場合の空間に占める樹冠面積の割合は78.5%であり、このときの密度を推定適正密度とし、式(3)及び(4)により推定適正密度を算出した。

$y=7850/((0.170820x+0.468169)^2/4*3.14)$

…(3)　（以下、樹冠幅モデル）

$y=7850/(1.29917x-10.07317)$

…(4)（以下、樹冠投影面積モデル）

y：推定適正密度(本/ha), x：胸高直径(cm)

図-4 にそれぞれの式から求めた胸高直径と推定適正密度の曲線を示した。胸高直径が30cm未満では樹冠幅モデルの方が、胸高直径に

対応する密度変化がより緩やかな曲線となり、樹冠投影面積モデルでは急となった。一方で、胸高直径が 30cm を超えると、両モデルに大差はなかった。

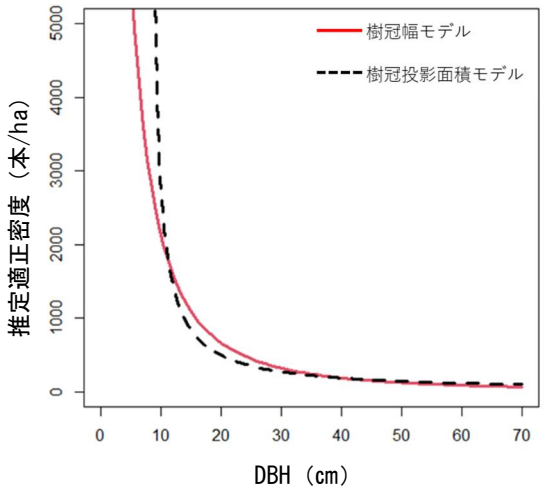


図-4　クスノキの胸高直径と推定適正密度の関係

また、両モデルから算出した胸高直径に対する推定適正密度を表-4 に示した。樹幹幅モデルは、平均胸高直径 5 cmまでは植栽当時の密度である 4,400 本/ha を上回るので、6 cm以降から適用可能であった。また、樹冠投影面積モデルは、式の性質上平均胸高直径 7 cmまでは値がマイナスとなり、8～10 cmの密度の変化が急激で、9 cmまでは植栽密度を上回ったことから、平均胸高直径が 10 cm未満の小径のとき当てはまりにくい結果となった。以上より、樹冠幅モデルから得られる推定適正密度をクスノキ人工林の密度管理基準として採用することが適当と考えられた。なお、推定適正密度を密度管理基準とする際、間伐前の平均胸高直径は間伐後も維持されていることが前提になっていることに留意する必要がある。

表-4　樹冠幅モデルによる胸高直径に対する推定適正密度のときの上層木密度

平均 DBH(cm)	樹冠幅モデル適正密度 (本/ha)	樹冠投影面積モデル適正密度 (本/ha)	平均 DBH(cm)	樹冠幅モデル適正密度 (本/ha)	樹冠投影面積モデル適正密度 (本/ha)
5	5,720	-2,194	23	517	396
6	4,486	-3,446	24	479	372
7	3,612	-8,019	25	445	350
8	2,971	24,517	26	415	331
9	2,486	4,848	27	387	314
10	2,111	2,690	28	363	298
11	1,815	1,861	29	340	284
12	1,577	1,423	30	320	272
13	1,383	1,152	31	301	260
14	1,223	967	32	284	249
15	1,089	834	33	268	239
16	976	733	34	254	230
17	879	653	35	241	222
18	797	590	36	228	214
19	725	537	37	217	207
20	663	493	38	206	200
21	608	456	39	197	193
22	560	424	40	188	187

(3) 間伐シミュレーション

上記の密度管理基準によって、上層木に対して間伐を行った場合のシミュレーションとして、調査区 A～D における現状密度及び推定適正密度のときの間伐率や相対幹距比を表-5 に示した。調査区 A はⅢ令級で、下刈り終了後に 1 度も保育が入っていない林分で、混み合い度を示す相対幹距は 16.3%であった。これを推定適正密度まで間伐すると相対幹距は 20.4%となる。安里ほか (2003) はⅢ令級のイジュ人工林で、施業後の状態が、平均胸高直径 8 cm、平均樹高 9m、ha あたり 3000 本程度を基準に、相対幹距 15%での本数管理が適当としており、調査区 A は現況でイジュの管理本数に近い状態であった。スギ人工林は一般的に相対幹距比 20%程度を適当とし、17%を下回ると混み過ぎ、14%以下は相当の混み過ぎとしている (岐阜県森林研究所、2013) ことから、Ⅲ令級のクスノキ人工林の管理は、スギ人工林の管理本数に近いことがわかった。

表-5　密度管理基準による間伐ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ

調査区	上層木平均DBH (cm)	現況立木密度 (本/ha)	樹冠幅モデル推定適正密度 (本/ha)	上層木5本の平均樹高 (m)	現況の相対幹距 (%)	適正密度の相対幹距 (%)	本数間伐率 (%)
A	9.6	3,496	2,245	10.4	16.3%	20.4%	35.8%
B	27.2	578	382	20.6	20.2%	24.8%	34.0%
C	29.0	444	340	21.3	22.3%	25.5%	23.5%
D	30.5	425	310	20.2	24.0%	28.1%	27.1%

また、このときの本数間伐率は 35.8%となったが、本県のように台風が頻繁に襲来する等、風害リスクの高い地域においては、強度間伐は避けた方がよいとされており、ヒノキの過密化した人工林におけるモデルシュミレーションにより風害リスク（根返り木発生委率）を評価した結果では間伐率 30%以下なら、風速 40m 程度までは比較的根返りが起きにくいとされている（森林総合研究所、2010）。よって間伐率が 30%を超えることから、風害リスクを考慮する必要がある。さらに台風来襲頻度、立地条件、林況等を含めてリスクを判断し、総合的に間伐率を決定する必要がある（森林総合研究所、2010）ため、推定適正密度によらず間伐率の上限を定める必要がある。

また、間伐後の林内が明るくなりすぎると、後生枝が発達し、下枝高が下がり、将来収穫する原木の質が低下する（岐阜県森林研究所、2009）ことを防ぐため、広葉樹の上層間伐において下層～中層の劣勢木を有用副木として残すことで、残存木の幹に陽光が差し、不定枝の発生を防ぐ（川名ほか、1986）が、調査区 A は階層構造にはなっていないため、後生枝の発達を抑えるため弱めの間伐にするという観点も重要である。

調査区 B～D は現況の相対幹距比が 20～24%で、これを推定適正密度に間伐すると相対幹距比は 25～28%となる（表-5）。これはスギ人工林の一般的な相対幹距比の目安（岐阜県森林研究所、2013）には当てはまらず。広葉樹と針葉樹の樹形が異なることを示唆している。また、推定適正密度にするときの間伐率は 23～34%となったが（表-5）、これは実行する上で、風害リスクが懸念される 30%をわずかに超えるが、概ね現実的な数値であり、過去 2 回の徐間伐保育が実施されて現況相対幹距比 20～24%だからこその数値と言える。段階的に密度を落とすため、計画的に間伐を計画することが重要である。

次に、今帰仁村内の老齢林の密度と密度管理基準の結果を比較検討する。当該林分の樹種構成は、中層木を含む全立木の 89%がクスノキを占めており、ほぼ純林となっていた（図-4）。当該林分は、令和 1 年度森林簿上で 70 年生の天然林とされていたが、クスノキは鳥類によって種子散布されることが確認されており（日本野鳥の会ウェブサイト）、また本県の天然林は皆伐後の萌芽更新であることから、天然でクスノキの純林が成立することは考えにくい。さらに、クスノキは旧時より伝来したもの（天野、1989）であり、もともと沖縄島に自生している樹種ではないことや、明治 45 年以降植栽されたという記録があること（今帰仁村史編纂委員会、1975）から考えて、人工林である可能性が考えられた。

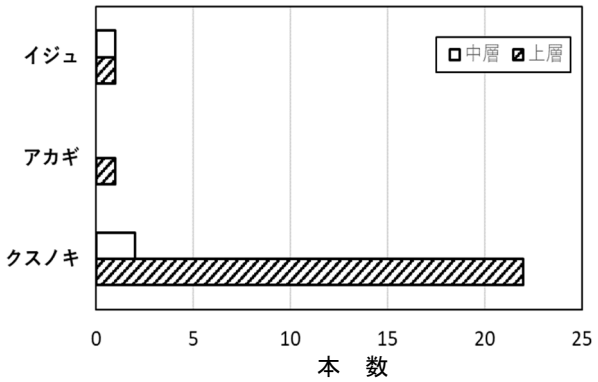


図-4　今帰仁村老齢林調査区域内樹種構成

毎木調査の結果、クスノキ上層木を対象とした老齢クスノキ林の現況密度 352 本/ha、平均胸高直径 61.2cm、平均樹高約 27m、ha あたり材積 1300m^3/ha で、非常に蓄積の高い林分となっていた（表-6）。

平均胸高直径 61.2 ㎝のときの推定適正密度を求めると 84 本/ha で、現況密度 352 本/ha は適正密度の 4 倍に達し、胸高直径に対して十分な樹冠が確保されている状態ではなかった。当該林分は施業履歴が不明で、クスノキの老齢林の成長曲線や自然枯死率に関する知見がないものの、当該林分が適正密度より込み合った密度であっても時間をかけることで成長したと考えられた。なお、胸高より高い計測不可能な位置で主幹が 2、3 本に分岐している個体については、1 本として胸高直径を計測しており、厳密に推定適正密度と比較する場合は、分岐をそれぞれ 1 本と見て樹冠数とするため、実際の平均胸高直径は 61.2cm より小さく、密度はさらに大きくなって 448 本/ha であった。

表-6 今帰仁村老齢林の林況（クスノキのみ）

調査区内本数		密度（本/ha）	平均胸高直径(㎝)	平均樹高(m)	ha材積	現況相対幹距(%)
全立木	24	384	59.0	27.3	1,303	19%
うち上層木	22	352	61.2	27.7	1,300	19%
上層木樹冠*参考	28	448	-	27.7	-	17%

次に、収穫伐採を想定したときの収穫材積について検討するため、調査区 D を例として、生沢ら（1982）が得たクスノキの直径と樹高の関係式（5）を用いて、収穫目標とする胸高直径を 40 ㎝としたときの樹高を求め、天然性広葉樹立木幹材積表による幹材積式（高江洲・玉城、1971）から調査区 D の収穫材積についてシミュレーションした。

$$H=4.498064+0.768726*D-(0.007378)D^2 \cdots (5)$$

H：樹高（m）

D：胸高直径（cm）

施業パターン a は無間伐で現況密度を維持する場合、パターン b は調査時点の平均胸高直径 30.5 ㎝に対する推定適正密度 310 本/ha に間伐する場合、パターン c はさらに 35 ㎝の時にもう 1 回間伐を行い、241 本/ha にした場合とし、自然枯死率は考慮しないものとした。目標収穫時の ha 材積は、パターン a で 586m³/ha、b で 472m³/ha、c で 332m³/ha となり（表-7）、間伐を行うほど収穫量が約 100～150m³/ha 減った。先述の老齢林のようにパターン b の密度以上で平均胸高直径 60 ㎝を超える林分となり得ることを考慮すると、今後は、間伐しない場合にどのくらい成長速度が変わるのか、また間伐効果はどのくらいの期間維持されるのか等、時間軸を伴う調査を行う必要がある。

以上の結果より、目標とする林分の平均胸高直径や、施業方針（長伐期施業なのか標準伐期で回転率を高めるのか等）、風害のリスク等に留意しながら本研究における密度管理基準を利用することが望ましい。

表-7　調査区 D が平均胸高直径 40 ㎝のときの施業パータン別収穫材積シミュレーション

施業パタン	現況立木密度（本/ha）	ha材積（m³/ha）
a（無間伐）	425	586
b（1回間伐）	310	427
c（2回間伐）	241	332

注）（5）式より、樹高：23.4m、幹材積：1.38m³/本

４．おわりに

本研究において、クスノキ人工林の間伐の指針となる胸高直径と推定適正密度の曲線を得た。本県において、ほぼ純林のクスノキ人工林でこのような調査を実施した事例はなく、非常に重要なデータを得た。

本県における広葉樹人工林の間伐については、復帰後から広葉樹中心の現在の造林が行われるようになって 30～40 年しか経っておらず、樹種が多様で、成林している造林地も少な

いため、調査地点数が確保できないこともあり、未知な部分が多いのが実態である。実際に間伐を実施する際には、残存木の今後の成長や収穫時の材積、また気象害の有無など様々な視点から間伐の効果を検証する必要があり、適宜、密度管理基準の見直しを図ることが求められる。

謝辞

本研究の調査にあたって、今帰仁村老齢林調査の際に情報提供に協力いただいた沖縄北部森林組合大城林業の大城幸男作業班長ほか今帰仁村謝名区の皆さまに感謝申し上げます。

引用文献

天野鉄夫（1985）沖縄産有用木材の性質と利用：53

天野鉄夫（1989）図鑑琉球列島有用樹木誌、472pp、沖縄出版、沖縄

安里練雄ほか（2003）琉球大学農学部学術報告 50：71-75

藤森隆郎・河原輝彦（1994）広葉樹林施業、175pp、全国林業改良普及協会、東京

岐阜県森林研究所（2009）木材生産のための落葉広葉樹二次林の除伐・間伐のしかた（改訂2版）：17pp

岐阜県森林研究所（2013）相対幹距比早見カード

井口朝道・玉城雅範（2020）沖縄県森林資源研究センター研究報告書　68：5-8

生沢均ほか（1982）沖縄県林試報 25：61-70

川名明ほか(1986)造林学－三訂版－、200pp、朝倉書店、東京

今帰仁村史編纂委員会（1975）今帰仁村史、760pp、今帰仁村役場、沖縄

日本林業技術協会（1997）林業技術 661：24

日本野鳥の会　種子散布者として期待できる野鳥 20 種
URL:https://www.wbsj.org/activity/conservation/research-study/greenfund-seed-dispersal/greenfund-20wildbirds/
（2024 年 11 月 21 日利用）

小多祥基ほか（2016）九州森林研究 69：27-33

岡田悠ほか（2006）九州森林研究 59：141-143

大川智史・林将之（2016）ネイチャーガイド琉球の樹木　奄美・沖縄～八重山の亜熱帯植物図鑑、487pp、文一総合出版、東京

林野庁（2024）森林情報の高度化に向けた条件整備等に関する調査委託事業報告書、94 pp

林野庁研究普及課（1981）広葉樹林とその施業、262pp、大日本山林会、東京

森林総合研究所（2010）間伐遅れの過密林分のための強度間伐施業のポイント、20 pp

高江洲重一・玉城（1971）琉球政府琉球林業試験場研究報告 14:1-26

イヌマキに発生するキオビエダシャクに対する2種の樹幹注入剤の効果

大石　毅・東江　賢次

1. はじめに

イヌマキ *Podocarpus macrophyllus* (Thunb.) Sweet *f. angustifolius* (Blume) Pilg. は、本州西南部から台湾にかけて分布するマキ科の常緑高木である（天野、1989)。イヌマキは風雨への耐久性や耐蟻性に優れ、木目や色艶もよく加工も容易であることから住宅建築や木工芸材として広く利用されている（天野, 1989・安里 2004)。沖縄県においてはイヌマキを含む 35 種が造林樹種に指定されており、その中でもイヌマキはリュウキュウマツに次いで植栽実績が多く（沖縄県農林水産部森林管理課、2023)、県産材の有望な樹種として認識されている。しかしながら、イヌマキは食葉性害虫であるキオビエダシャク *Milionia basalis pryeri* Druce（チョウ目）幼虫の加害のため生育は著しく阻害され、なかには壊滅した林分も確認されている（具志堅、1987)。その対策として散布薬剤による防除を実施しているが、一定の防除効果はあるもの、一般的に散布薬剤による防除効果の残効期間が数日から 2 週間程度と短く、虫の発生のたびに散布する必要があるため、散布時期を逸すると防除効果が安定せず、被害を十分に抑えることが難しい場合がある。そのような問題点を改善するために喜友名 (2007) は散布薬剤に比較して残効期間の長いアセタミプリドの樹幹注入処理の効果について検討し、薬剤処理からおよそ 200 日後においても防除効果が維持されることを確認したが、一部の薬剤処理区において落葉や枝枯などの薬害が確認された。また、樹幹注入の際の孔がイヌマキの材の品質の低下をまねく恐れがあるため、現時点においてキオビエダシャクの防除対策としてアセタミプリドの樹幹注入処理はほとんど実施されていない。

本試験においてはアセタミプリドに代わる薬剤としてチョウ目の害虫に対し防除効果が確認されている 2 種の樹幹注入剤（4%チアメトキサムと 1.9%エマメクチン安息香酸塩）についての防除効果および薬剤処理による材表面や内部への影響について検討した。

2. 材料および方法

防除効果に関する試験は農業研究センター名護支所の防風林として植栽されたイヌマキ 9 本を用いて行った。樹幹注入剤は 4%チアメトキサムと 1.9%エマメクチン安息香酸塩を用いた。試験区として各薬剤区および無処理区を設定し、各区の反復として胸高直径が 15～20 ㎝の試験木をそれぞれ 3 本ずつ供試した。薬剤の処理は 2023 年 5 月 25 日に行った。各薬剤処理区の木について地際から高さ 100～120 ㎝の位置にドリルにて直径 6 ㎜、深さ約 5 ㎝の穴 1～2 個あけ、その孔にガス加圧式の注入器を用いて薬剤を処理した。なお、各薬剤の処理量は各試験木の胸高直径の値に基づき算出した。薬剤処理から 2 週間後（6 月 8 日）と 5 週間後（6 月 29 日）に、地際から 150～200 ㎝の位置の長さ 15～20 ㎝の萌芽枝（葉のついた状態）を各木から 4～5 本採集し、0.3 ㎜目合いのナイロンゴース製（縦×横＝60×40 ㎝）の袋に採集した枝を木別に入れ、実験室に持ち帰った。その袋に国頭村または名護市内のイヌマキから採取したキオビエダシャク若齢幼虫（体長 1～3 ㎝）を 15 頭／袋入れ、5 日後に各袋の生存幼虫を数えた。防除効果の判定については新農薬実用化試験（一般社団法人

日本植物防疫協会、2024）に準じて、無処理区の生存幼虫数を 100 とした場合の密度指数＝（処理区の x 日後の生存虫数／無処理区の x 日後の生存虫数）×100 を用いて行った。薬剤処理による葉の変色や落葉などの薬害に関する調査は適宜、目視により実施した。なお、キオビエダシャクの野外における発生が 7 月以降にほとんど確認できなくなったため、調査期間は薬剤処理から 5 週間後で終了した。

樹幹注入処理による材の表面や注入孔の形状および内部の変色に関する調査は、無処理区の試験木および 2022 年 2 月 18 日に各薬剤区の試験木を約 1 年後の 2023 年 3 月 22 日に１本ずつ（合計 3 本）チェーンソウ（日立社製，CS35ED3（S））にて伐倒し、高圧洗浄機（丸山製作所製，MKW1290DX-H）にて加圧した水を噴霧することで剥皮し、十分に乾燥させた後に目視にて材表面の変色の有無について観察した。薬剤による材内部の変色を調査するために、薬剤処理区の試験木については樹幹注入孔を起点（0 cm）として 15 cm毎に-30～＋195 cmの範囲で水平にバンドソー（日立社製，CB18FA3）を用いて切断し、切断面の変色の有無を調査し、変色が見られた部分についてはその面積を測定した。

3. 結果及び考察

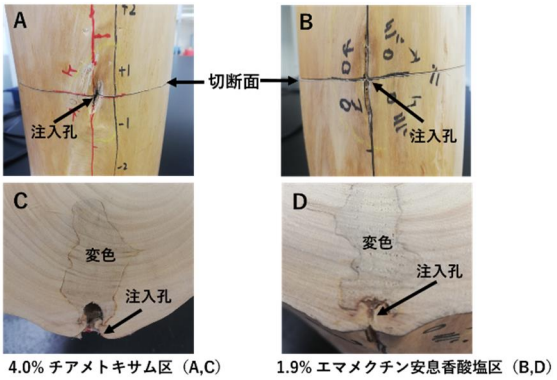
防除効果に関する試験結果を表に示した。4%チアメトキサム区では処理 2 週間後から効果が確認され、5 週間後においても生存幼虫は全く確認されず、密度指数は 0.0 であったことから、少なくとも残効期間は 1～2 ヶ月間は期待できると考えられた。一方、1.9%エマメクチン安息香酸塩区は処理 2 週間後には効果は確認できたが、5 週間後には生存幼虫数が 6.3 頭/区確認され、密度指数は 86.3 と高い値を示したことから、残効期間は 2 週間程度であり、薬剤処理から 5 週間後にはその防除効果はほとんど無いと考えられた。いずれの薬剤についても葉の変色や落葉や枝枯れ等の薬害は観察されなかった。

表. 薬剤による殺虫効果

試験区（サブグループ）注1	調査樹	生存幼虫数 処理2週間後	生存幼虫数 処理5週間後	薬害注2
4.0% チアメトキサム区（ネオニコチノイド系）	I	1	0	−
	II	1	0	−
	III	11	0	−
	平均値	4.3	0.0	
	密度指数注3	47.8	0.0	
1.9% エマメクチン区 安息香酸塩（アベルメクチン系）	I	2	8	−
	II	6	4	−
	III	5	7	−
	平均値	4.3	6.3	
	密度指数	47.8	86.3	
無処理区	I	9	7	
	II	7	9	
	III	11	6	
	平均値	9.0	7.3	
	密度指数	100.0	100.0	

注1：IRAC殺虫剤作用機構分類（ver.10.5）より引用
注2：薬剤処理後の葉や新芽の変色や落葉など外観的変化の有無を調査した　薬害有り＝＋、薬害無し＝－
注3：殺虫効果の指標のひとつ 密度指数＝（処理区のx日後／無処理区x日後）×100

樹幹注入による材表面の変色について試験木の切断した材片ごとに調査したところ、無処理区と比較していずれの薬剤についても変色等はとくに観察されなかった（図-1）。注入孔の形状については、いずれの薬剤の注入孔とも処理時の大きさ（直径 6 mm）より縮小しており、今後も時間の経過とともにさらに目立たくなると思われ（図-1）、とくに 1.9%エマメクチン安息香酸塩区では注入孔の外観や内部の空洞もほぼ閉じていた（図－１の C、D）。



4.0% チアメトキサム区（A,C）　1.9% エマメクチン安息香酸塩区（B,D）
上図：外側から観察した薬剤注入孔　下図：薬剤注入孔の水平断面

図-1. 薬剤処理後の注入孔の外観と切断面の変色

木材の内部の変色部分の面積と垂直分布についての結果を図-2 に示した。木材内部の変色はいずれの薬剤においても確認された（図-

1のCとD）。4%チアメトキサム区の変色は-15 cm～+90 cmの範囲で確認され、変色部分の面積が最も大きかったのは+15 cmの位置でその値は10.8 cm^{2}であった。1.9%エマメクチン安息香酸塩区の変色は-15～+180cm の範囲で確認され、変色部分の面積が最も大きかったのは 0 cm（注入孔の位置）の位置でその値は7.0ｃm^{2}であった。

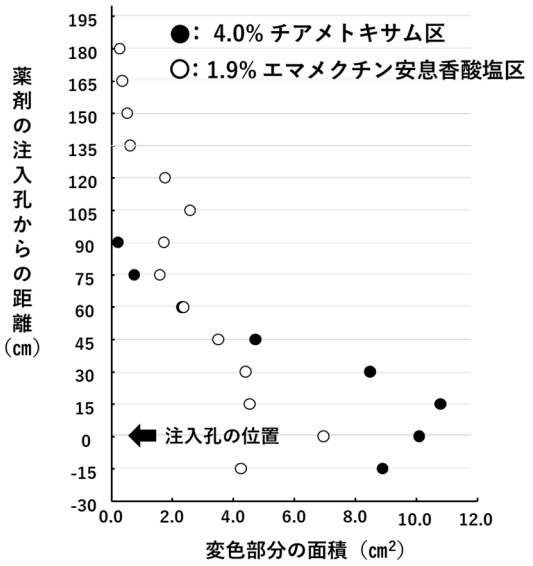


図-2. 変色部分の面積と垂直分布

4%チアメトキサムの樹幹注入処理は防除効果がおよそ 2 ヶ月程度確認され、材表面の変色が無く、樹幹注入孔が時間の経過とともに目立たなくなると考えられたことから、イヌマキに発生するキオビエダシャクの防除薬剤として有望であると考える。

しかしながら、欧州食品安全機関（EFSA）は、ネオニコチノイド系殺虫剤はミツバチの大量死とヒトの発達神経毒性への可能性があると報告し（FESA、2013）、その報告を受け欧州委員会は2018年にネオニコチノイドと呼ばれるクロチアニジン、イミダクロプリド、チアメトキサムを主成分とする薬剤についてすべての農作物への使用を禁止すると報告した（（独）農畜産業振興機構、2023）。近年、ネオニコチノイド系薬剤の使用については規制が強化される状況にある。日本国内においても2021年から農薬の再評価が開始され、2024年 4 月時点においてネオニコチノイド系のアセタミプリド、イミダクロプリド、クロチアニジン、ジノテフラン、チアメトキサムについて再評価中である（農林水産省、2023）。そのため、イヌマキに発生するキオビエダシャクの4%チアメトキサムの樹幹注入処理の農薬登録については、現在実施中の再評価の結果を待って判断する必要があると考える。

引用文献

天野鉄夫（1989）図鑑琉球列島有用樹木誌，479pp，沖縄出版，京都

安里練雄（2004）森林科学 41：14-20

独立行政法人農畜産業振興機構（2023）https://www.alic.go.jp/chosa-c/joho01_002218.html

EFSA（2013）EFSA Journal 11（12）：3471

具志堅允一（1987）沖縄県林試研報，30：16-23

一般社団法人日本植物防疫協会（2024）新農薬実用化試験 https://www.jppa.or.jp/wpsite/wp-content/uploads/2024/05/試験法2024.pdf

喜友名朝次（2007）沖縄県森林資源研報，50：15-22

農林水産省（2024）https://www.maff.go.jp/j/nouyaku/saihyoka/plan.html

沖縄県農林水産部森林管理課（2023）沖縄の森林・林業（令和５年度版），85pp，沖縄県

ハマセンダンの乾燥に関する研究

井口　朝道

1. はじめに

ハマセンダンはミカン科ゴシュユ属の対生の羽状複葉を持つ落葉高木で、低地から山地の林縁に生え、谷沿いの斜面など肥沃地に多く見られる（大川・林、2016)。方言名でヤマクルチ（ヤマグルチ）とも呼ばれ、琉球王朝時代の蔡温の森林管理の思想と実践の内容をとりまとめた「林政八書」の１つで、1751 年に法制化された「山奉行所公事帳」の中では、有用樹木として商売が禁止された 21 の樹木に指定され、生産地における伐木から消費地への運搬まで徹底した管理体制が敷かれていたことからも（仲間、2017)、ハマセンダンは古くから貴重な樹種として認識されてきたことが分かる。

沖縄県の森林･林業アクションプラン(沖縄県農林水産部森林管理課、2017）では、環境に対する影響が少ない集落周辺の未利用造成地等を活用し、早生樹種による短伐期施業を行うことで、森林資源の循環利用を図ることとしている。ハマセンダンはウラジロエノキ、イイギリと同様に早生樹種として位置付けられており、35 種ある造林樹種の１つとして 2017 年に新たに指定された。令和３年度には、本島北部地域の県営林において 0.2ha が新植され（沖縄県農林水産部森林管理課、2022)、今後の収穫および利用が期待される。

県産木材の利用については、沖縄県では、県産木材のブランド化を図り、家具や食器、さらに建築内装等、付加価値の高い用途である製材の利用拡大を目指しているが（沖縄県農林水産部森林管理課、2022）、一般に、広葉樹を製材利用する際は、針葉樹と比較した場合に、乾燥期間の長期化や、乾燥時のくるいや割れが生じやすい等、乾燥の困難性が大きな課題の１つとして挙げられる。

これまで県産広葉樹を対象にした木材乾燥に関する研究としては、天然乾燥試験は、イタジイ（嘉手苅、1992）、デイゴ（嘉手苅、1995）、モクマオウ・テリハボク・アカギ・タイワンフウ（嘉手苅、2007）やホルトノキ（井口・仲摩、2024）について行われているが、ハマセンダンの知見はない。また、それぞれ材厚や測定項目が異なっており、正確な樹種間の比較ができない状況にある。一方、人工乾燥試験は、リュウキュウマツ（嘉手苅、1987）、イタジイ（嘉手苅、1992）、ホルトノキ（井口・仲摩、2024）について実施されているのみであり、ハマセンダンを含め県産主要樹種に関するデータの蓄積は未だ不十分な状態である。

そこで､本研究は､ハマセンダンを対象に、乾燥特性を把握するとともに、乾燥スケジュールについて検討することを目的に実施した。

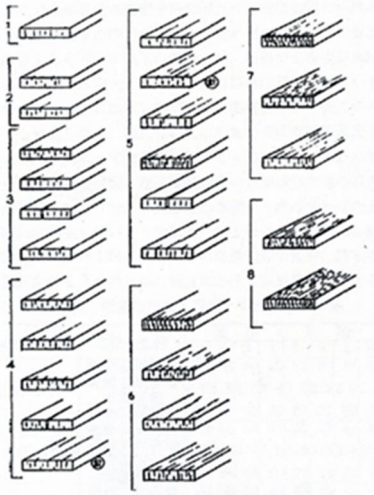
2. 材料および方法

1）供試材料

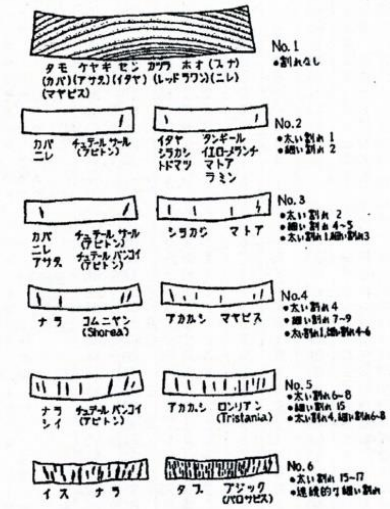
試験には 2021 年 10 月 27 日に名護市源河県営林内で伐採した 7 個体（No1,2、4～8）を供試した。長さ 1.5～2m で造材を行い、翌 28 日に企業組合キンモク（金武町）において材厚 40mm で製材した後に､以下の 3 種類の乾燥試験を行った。

2）急速乾燥試験

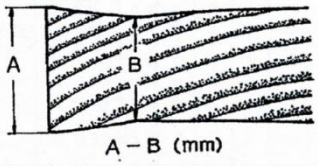
ハマセンダンの乾燥性の難易等を把握し、人工乾燥の適合性を評価するとともに人工乾燥の際のスケジュール条件を検討するため、



第3図　乾燥初期にあらわれる割れの段階
◉は針葉樹の意味，段階の分類は割れの最も甚だしい時の状態で行う



第4図　内部割れの段階
No. 1で（　）をしてあるものは材質によにて，No. 2～No. 3の割れの生ずる樹種



第5図　断面の糸巻状の変形の測定方法
かどの一番厚いAと1～2cm入つたところで一番薄くなつているBとの差

厚さの差	損傷の段階			
	1	2	3	4
A-B(mm)	0～0.3	0.3～0.5	0.5～0.8	0.8～0.2
	5	6	7	8
	1.2～1.8	1.8～2.5	2.5～3.5	3.5以上

図-1　初期割れ（上）、内部割れ（中央）、断面の糸巻状変形（下）の損傷の分類
（出典：寺澤（2004）による図表を一部抜粋）

無欠点小試験体を用いた急速乾燥による推定法（寺澤、2004）を行った。厚さ40mmで製材後、速やかに寸法を20mm（厚さ；半径方向）×100mm（幅；接線方向）×200 mm （長さ；繊維方向）とした正板目無欠点小試験体の製作を行った。105℃に調整した恒温乾燥機を用いて、生材から全乾状態まで急速乾燥を行い、その間、試験体に発生する初期割れ、全乾状態に至った時点での断面の糸巻状変形、内部割れを観察・計測し、図-1（寺澤、2004）に従い損傷の段階を評価した。なお、各原木から1枚ずつ計7枚を同時に試験し、2回繰り返し試験を行った後、評価は損傷の種類毎に最も損傷の段階が大きいものを採用した。

人工乾燥スケジュール条件（初期乾球温度、初期乾湿球温度差、終末乾球温度）は、この各損傷の段階から表-1（寺澤、2004）に準じて、損傷の種類毎に選択された各乾燥条件の中で最も緩やかな条件となる値を採用した。

表-1 損傷の種類と段階による乾燥条件
（出典：寺澤（2004）による表を一部抜粋）

損傷の種類	損傷の段階	乾燥条件		
		初期温度	初期温度差	終末温度
初期割れ	1	70	6.5	95
	2	65	5.5	90
	3	60	4.3	85
	4	55	3.6	83
	5	53	3.0	82
	6	50	2.3	81
	7	47	2.0	80
	8	45	1.8	79
断面の糸巻状変形	1	70	6.5	95
	2	66	6.0	88
	3	58	4.7	83
	4	54	4.0	80
	5	50	3.6	77
	6	49	3.3	75
	7	48	2.8	73
	8	47	2.5	70
内部割れ	1	70	6.5	95
	2	55	4.5	83
	3	50	3.8	77
	4	49	3.3	73
	5	48	3.0	71
	6	45	2.5	70

さらに、国産広葉樹の既往の文献値（寺澤、2004）を参考にして、乾球温度が 45～60℃となる、より緩やかな条件についても作成した。

決定した乾燥条件をもとに、初期乾球温度は含水率 35%まで一定とし、そこから含水率 15%時に終末温度になるように、また乾湿球温度差については、初期含水率の 2/3 まで一定とし、そこから最終の温度差が 15℃になるように調整し、乾燥経過中の含水率に応じた人工乾燥スケジュールを作成した。

3）人工乾燥試験①

ハマセンダンの急速乾燥試験の結果を基に作成した人工乾燥スケジュール①の妥当性および生材状態からの人工乾燥の適合性を検討するため、小板材を用いた人工乾燥試験を行った。ただし 7 個体のうち 2 個体（No1、No5）については、先に行った急速乾燥試験において、著しい収縮・変形を生じ、乾燥方法を問わず用材としての利用は見込めないものと判断し、残りの 5 個体を対象に解析を行った。なお、これは後述する人工乾燥試験②、天然乾燥試験についても同様である。

試験には、電気式木材乾燥機 HD74（ヒルデブランド株式会社）を使用し、試験体は、寸法を 35mm（厚さ）×150mm（幅）×600mm（長さ）とした板目材（1 枚）、追い柾目材（8 枚）の計 9 枚を用いた。両木口面には、木口からの乾燥を防ぐためシリコンコーティングを施した。供試体は試験体製作後、ラップに包み冷蔵庫内で保管した後、2022 年 7 月 25 日から試験を開始し、調湿処理を経て 8 月 3 日に終了した。

本試験での人工乾燥スケジュール①は、急速乾燥試験の結果を基に作成した乾燥条件を使用し、乾燥温度は 48～73℃とした。

目標含水率は家具や内装材での利活用を念頭に 8%とした。

試験中は、供試体の平均含水率に標準偏差を加えた含水率に該当する試験体 2 枚を含水率コントロール材としてスケジュール管理を行った。また、平均含水率相当の 2 枚を加えた計 4 枚について、およそ 24 時間毎に重量と寸法、割れを計測した。

終了時には、全ての試験体を対象に寸法、木材のくるいである、ねじれと幅そり（図-2）、木表、木裏両面の割れを測定した。さらに、試験体中央部から採取した 2cm 幅の小試験片を用いて、乾燥終了時点の含水率および厚さ方向の含水率分布を求めた（図-3）。また、試験体中央部を切断した際に、内部割れの有無についても確認を行った。

以上の測定した項目から、方向別の収縮率、木目毎のくるいや割れ、経過日数と含水率の推移について解析し、人工乾燥スケジュール①における人工乾燥の適合性を検討した。

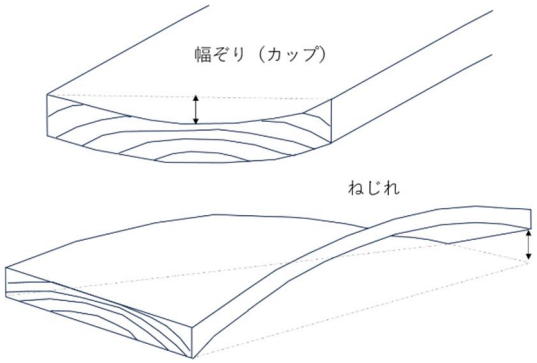


図-2　木材のくるい（幅そり、ねじれ）

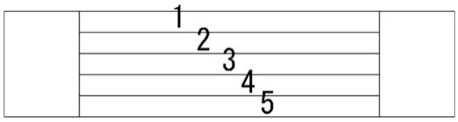


図-3　厚さ方向の含水率分布の試験片の位置の模式図

4）人工乾燥試験②

急速乾燥試験の結果と国産広葉樹の既往の文献値（寺澤、2004）を参考にして決定したより緩やかな乾燥条件（乾燥温度：45～60℃）

から作成した人工乾燥スケジュール②を用いて人工乾燥試験を行い、人工乾燥の適合性を検討するとともに、スケジュール①との比較を行った。

試験には、板目材（1 枚）、追い柾目材（9 枚）の計 10 枚を用いて、2022 年 4 月 5 日から試験を開始したが、3 日が経過した時点で乾燥機内の湿度が下がらない不具合が生じたため、一旦試験を中止し、再び冷蔵庫にラップを包んだ状態で保管した。その後、機器の修繕を経て 6 月 13 日から試験を再開し、調湿処理を経て 6 月 20 日に終了した。

試験体の寸法や目標含水率、測定項目等については、人工乾燥試験①と同様である。

5）天然乾燥試験

ハマセンダンの天然乾燥の適合性を評価するとともに、人工乾燥との効率的な組み合わせ方法について検討するため、小板材を用いた天然乾燥試験を行った。

試験には、板目材（3 枚）、追い柾目材（10 枚）の計 13 枚を用いて、森林資源研究センター木材実験棟の屋根のある半屋内空間に桟積みして行った（図-4）。なお、供試体の寸法や事前の処理は人工乾燥試験と同様である。

2021 年 11 月 8 日から試験を開始し、乾燥期間中は、開始約 1 ヵ月間は週に 2 回、その後は 1～2 週間に 1 回の頻度で重量、寸法および割れを計測し、全ての試験体の重量が平衡状態となった 2022 年 2 月 10 日に終了した。

図-4 天然乾燥試験の桟積み状況

終了時には、人工乾燥試験と同様に幅そり、ねじれを測定し、試験体中央部から採取した 2cm 幅の小試験片を用いて、乾燥後の含水率および厚さ方向の含水率分布を求めた。

以上の測定した項目から、乾燥後の方向別の収縮率、乾燥期間中の経過日数と含水率の推移、含水率と収縮率の関係について解析し、天然乾燥時の乾燥特性について検討を行った。

3. 結果および考察

1）　急速乾燥試験

試験を行った 7 個体のうち 2 個体（No1、No5）については、図-5 に示す通り著しい収縮・変形を生じた。これらの 2 個体については、乾燥方法を問わず用材としての利用は見込めないものと判断し、解析対象から除外した。

図-5 著しい変形・収縮が発生した個体
（左：No1 の断面、右：No5）

残りの 5 個体における急速乾燥試験によって確認された各損傷の程度は、初期割れ 2、断面変形 7、内部割れ 3 となった（図-6）。これらを評価することで得られた乾燥条件を表-2 に示す。また、乾燥初期から終期までの人工乾燥スケジュール①は表-3 のとおりとなった。

さらに、国産広葉樹の既往の文献値（寺澤、2004）を参考にしてより緩やかになるよう設定した人工乾燥スケジュール②は表-4 のとおりとなった。

図-6　各損傷の程度
（上：表面割れ、下：内部割れ・断面変形）

表-2 急速乾燥試験から求めた乾燥条件

損傷の種類	評価値	乾燥条件（単位：℃）		
		初期温度	初期温度差	終末温度
初期割れ	2	65	5.5	90
断面変形	7	48	2.8	73
内部割れ	3	50	3.8	77
総合評価		48	2.8	73

表-3　人工乾燥スケジュール①

含水率(%)	乾球温度(℃)	温度差(℃)	湿球温度(℃)
生材 to 110	48.0	2.8	45.2
110 to 100	48.0	3.3	44.7
100 to 90	48.0	3.9	44.1
90 to 80	48.0	4.5	43.5
80 to 70	48.0	5.3	42.7
70 to 60	48.0	6.2	41.8
60 to 50	48.0	7.3	40.7
50 to 45	48.0	8.6	39.4
45 to 40	48.0	9.3	38.7
40 to 35	48.0	10.1	37.9
35 to 30	48.0	10.9	37.1
30 to 25	53.0	11.8	41.2
25 to 20	59.0	12.8	46.2
20 to 15	66.0	13.8	52.2
15 to final	73.0	15.0	58.0
Conditioning	73.0	7.0	66.0

表-4　人工乾燥スケジュール②

含水率(%)	乾球温度(℃)	温度差(℃)	湿球温度(℃)
生材 to 110	45.0	2.8	42.2
110 to 100	45.0	3.3	41.7
100 to 90	45.0	3.9	41.1
90 to 80	45.0	4.5	40.5
80 to 70	45.0	5.3	39.7
70 to 60	45.0	6.2	38.8
60 to 50	45.0	7.3	37.7
50 to 45	45.0	8.6	36.4
45 to 40	45.0	9.3	35.7
40 to 35	45.0	10.1	34.9
35 to 30	45.0	10.9	34.1
30 to 25	48.0	11.8	36.2
25 to 20	52.0	12.8	39.2
20 to 15	56.0	13.8	42.2
15 to final	60.0	15.0	45.0
Conditioning	60.0	11.0	49.0

2）人工乾燥試験①

人工乾燥試験①（乾燥温度：48～73℃）における試験中の管理材の含水率の推移を図-7に示す。初期含水率120%を超える生材状態から9日間で調湿処理まで行うことができ、平均の最終含水率は追い柾目材、板目材のいずれも目標含水率とした8%程度に到達した（表-5）。

次に木目毎の乾燥特性を表-5に示す。収縮率について木目毎に見ると、木材の接線方向となる幅方向で、追い柾目材が7.6%（平均値、以下同じ）、板目材が 7.2%とより大きくなる

傾向がみられたが（表-5）、国産の主要な広葉樹材（3.9～8.9%）（信田・河崎、2020）と比較して特に大きな値ではなかった。一方で材番号 7-4-3（個体番号-製材位置-鉛直方向位置）の試験体では下半分に異常な収縮が発生し、ねじれや幅そり等もその影響を受け大きな値を示し、用材利用は困難と思われる欠点が確認された。

また木目を問わず、表面割れおよび内部割れは確認されなかった（表-5）。

くるいについては、追い柾目材では、ねじれ 5.1mm、幅そり 5.1mm となった一方で、板目材ではねじれ 1.0mm、幅そり 1.2mm と小さな値であった（表-5）。

次に、試験終了時の試験片の位置毎の含水率分布を図-8 に示す。追い柾目材である材番号 2-2-3 については、全体的に含水率が 9.6～13.7%と高い上に、材中央部（試験片の位置:2～4）と材表面（試験片の位置:1、5）との差も大きく、乾燥が不十分であった。この材は、人工乾燥開始時点の含水率が 230%を超えており、他の試験体（83～177%）に比べ初期含水率が非常に高かったことが要因と考えられた。それ以外の試験体については、材中央部と材表面との差については、材番号 7-4-3（含水率差 2.2%、初期含水率 177%）を除くと 1%程度に抑えられており、全体的には目標含水率の 8±2%の範囲内であった。

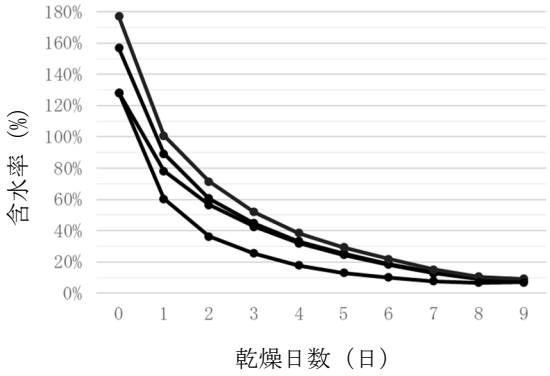


図-7 人工乾燥中の含水率の推移

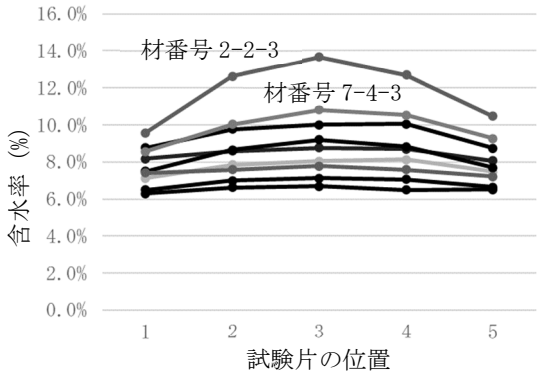


図-8 終了時の試験片の位置毎の含水率分布

3）人工乾燥試験②

人工乾燥試験②（乾燥温度：45～60℃）における試験中の含水率の推移を図-9 に示す。初期含水率 100%を超える生材状態から 10 日間で調湿処理を終了し、平均の最終含水率は追い柾目材、板目材のいずれでも 8.1%となり、目標含水率に到達した（表-6）。

次に木目毎の乾燥特性を表-6 に示す。収縮率について木目毎に見ると、木材の接線方向となる幅方向で、追い柾目材が 4.8%（平均値、以下同じ）、板目材が 3.7%と大きくなる傾向がみられたが（表-6）、人工乾燥試験①や国産の主要な広葉樹材（3.9～8.9%）（信田・河崎、2020）と比較して特に大きな値ではなかった。表面割れは 2 枚で確認されたが（表-6）、いずれも樹芯由来での割れであり、また、うち 1 枚は乾燥前の時点ですでに発生していた。

表-5　人工乾燥試験①における乾燥特性

木目	供試体数（枚）	乾燥後平均含水率（%）	平均収縮率(%) 長さ方向	厚さ方向	幅方向	平均ねじれ（mm）	平均幅そり（mm）	表面割れ（枚）	平均表面割れ（cm）	内部割れ（枚）
追い柾目	8	8.1%	0.2%	4.9%	7.6%	5.1	5.1	0	-	0
板目	1	7.7%	0.2%	5.0%	7.2%	1.0	1.2	0	-	0

くるいについては、追い柾目材では、ねじれ 3.8㎜、幅そり 1.7㎜、板目材ではねじれ 0.9㎜、幅そり 1.0㎜と木目を問わず特段大きい値を示さず、内部割れは発生しなかった(表-6)。

次に、試験終了時の試験片の位置毎の含水率分布を図-10 に示す。材番号 2-5-3 については、全体的に含水率が 10.8～15.4%と高い上に、材中央部と材表面との差も大きく、乾燥が不十分であった。この材は、人工乾燥開始時点の含水率が 170%を超えており、他の試験体（68～134%）に比べ初期含水率が大幅に高かったことが要因と考えられた。それ以外の試験体については、材中央部と材表面との差については、十分に乾燥が進んでいると判断される 1%程度に抑えられており、全体的に目標含水率の 8±2%の範囲内に収まった。

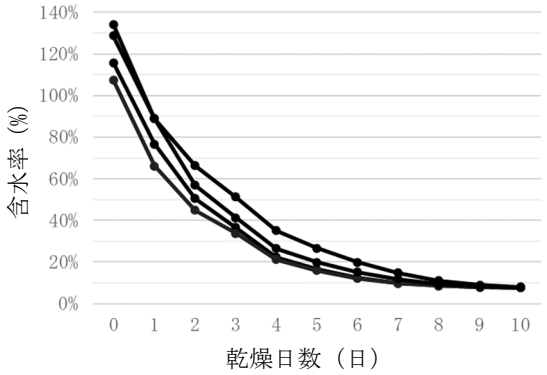


図-9 人工乾燥中の含水率の推移

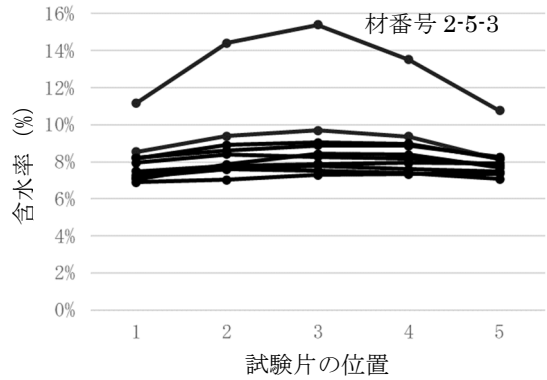


図-10 終了時の試験片の位置毎の含水率分布

4）人工乾燥試験①、②の評価

今回、人工乾燥スケジュールを変えて 2 回の人乾燥試験を行った。終末温度が高いスケジュール①では、乾燥終了までの日数は 9 日となり（図-7）、スケジュール②の 10 日（図-9）に対して 1 日間の短縮となった。また、いずれの試験でも初期含水率が他より大幅に高い供試体を除いて目標含水率に到達しており、日数としては 10 日前後での人工乾燥が可能と考えられた。

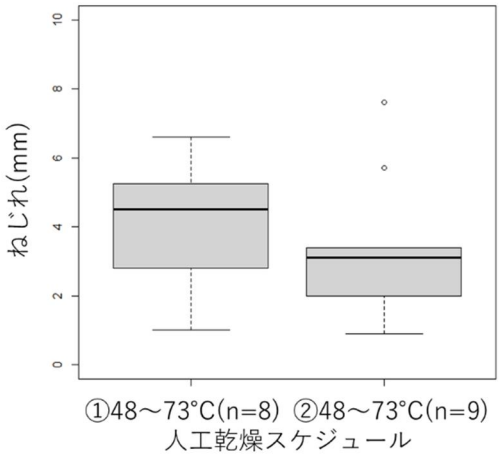
次に 2 つのスケジュールの違いによる木材のくるいについて比較したところ図-11 のとおりとなった。なお、含水率はくるいの発生に影響を与えると考えられるため、解析対象は含水率が目標含水率の 8±2%のものとした。ねじれ、幅そりのいずれも、終末の乾燥温度が高いスケジュール①のほうが、より緩やかな条件である②に対して中央値は高くなったが t 検定(ウェルチ)により比較したところ、有意な差は確認されなかった（$p>0.05$）。

表面割れは、スケジュール①では発生しなかったものの（表-5）、スケジュール②では 2 枚確認されたが(表-6)、これは前述のとおり、いずれも樹芯由来での割れであり、また、うち 1 枚は乾燥前の時点ですでに発生していたことから、乾燥条件によるものではないと判断された。

またスケジュール①では材番号 7-4-3 の試験体において、下半分に用材利用は困難と思われる異常な収縮が発生したが、長さ 60cm

表-6　人工乾燥試験②における乾燥特性

木目	供試体数 (枚)	乾燥後 平均含水率 (%)	平均収縮率(%) 長さ方向	厚さ方向	幅方向	平均 ねじれ (mm)	平均 幅そり (mm)	表面割れ (枚)	平均 表面割れ (cm)	内部割れ (枚)
追い柾目	9	8.1%	0.1%	3.9%	4.8%	3.8	1.7	2	12.15	0
板目	1	8.1%	0.2%	3.8%	3.7%	0.9	1.0	0	-	0



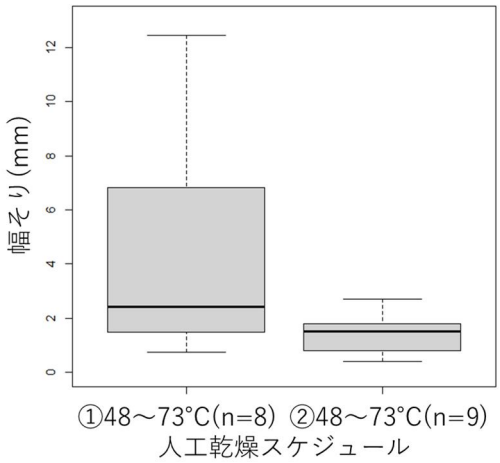


図-11 スケジュール毎のくるい
（上：ねじれ、下：幅そり）

の同じ供試体でも位置によって程度の差が著しく異なることや（図-12）、異常な収縮・変形により解析から除外した個体がある点を踏まえると、この欠点の発生は、乾燥条件によるものではなく、ハマセンダンの樹種特性として特定の個体や、また同一個体内に局所的に極度に大きな欠点が発現する部位を有することが要因である可能性が高いと考えられた。

また、内部割れについては木材の利用価値を大きく損なう上､材表面からは確認できず、木工事業者が乾燥板材を購入後、自身で製品製作のために加工する際に初めて明らかになるため、県産木材のイメージを大きく低下させる欠点であるが、いずれのスケジュールにおいても発生しなかった（表-5、6）。

図-12 材番号 7-4-3 で確認された部分的な異常な収縮（下半分）

5）天然乾燥試験

供試した 13 枚を木目毎に分けて､天然乾燥試験における乾燥特性を示す（表-7）。乾燥後の平均含水率はいずれも 14.7%で、一般的な気乾含水率とされる 15%に到達した。

平均収縮率は、木材の接線方向となる幅方向で追い柾目（2.2%）､板目（3.6%）となり（表-7）､人工乾燥時の平均収縮率より小さくなった。くるいについては、追い柾目材では、ねじれ 1.9㎜､幅そり 0.8㎜､板目材ではねじれ 2.7㎜､幅そり 1.4㎜ と木目を問わず特段大きい値を示さず（表-7）､人工乾燥時よりそれぞれ小さくなった。表面割れおよび内部割れはいずれの木目でも発生しなかった（表-7）。

図-13 に天然乾燥中の含水率の推移を示す。42 日目には初期平均含水率 130%程度だったものが 15%程度に低下しており、それ以降は概ね平衡状態であった。

含水率と収縮率の関係については図-14 に示すとおりである。含水率が高い状態から収縮が始まる供試体ほど、最終の収縮率が大きくなる傾向が見られた。

試験終了時の試験片の位置毎の含水率分布については､供試した 13 枚全てで材中央部と材表面との差については、十分に乾燥が進ん

表-7　天然乾燥試験における乾燥特性

木目	供試体数	乾燥後平均含水率	平均収縮率(%)			平均ねじれ	平均幅そり	表面割れ	内部割れ
	(枚)	(%)	長さ方向	厚さ方向	幅方向	(mm)	(mm)	(枚)	(枚)
追い柾目	10	14.7%	0.0%	2.4%	2.2%	1.9	0.8	0	0
板目	3	14.7%	0.1%	2.9%	3.6%	2.7	1.4	0	0

でいると判断される 1%程度に抑えられており、全体的に 13～15%の範囲内に収まった（図-15）。

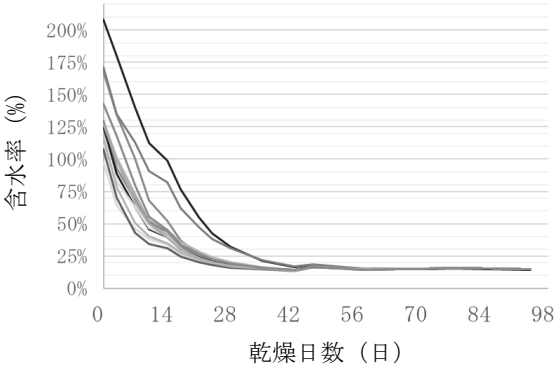


図-13 天然乾燥中の含水率の推移

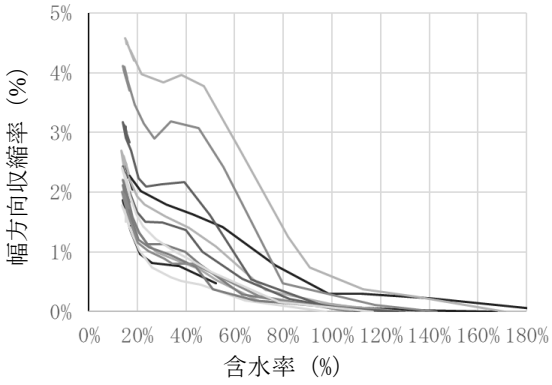


図-14 含水率と幅方向の収縮率の関係

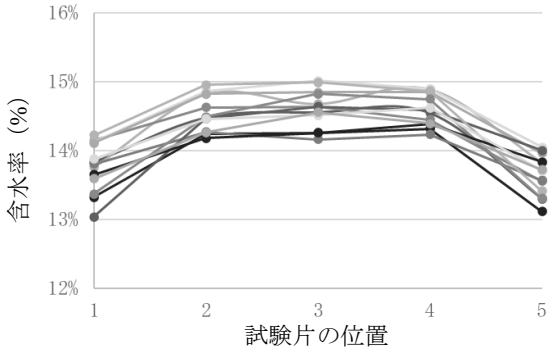


図-15 終了時の試験片の位置毎の含水率分布

4. まとめ

今回、ハマセンダンを対象に急速乾燥試験を経てスケジュールを変えた 2 回の人工乾燥試験および天然乾燥試験を行い、その際の小板材の材の収縮やくるい、割れの発生状況等、材の乾燥特性について評価を行った。

まず特筆すべきは、試験を行った 7 個体のうち 2 個体については、乾燥方法を問わず著しい収縮・変形を生じたことであった。よってハマセンダンは乾燥特性の個体差が非常に大きく、用材利用が見込めないものが一定程度混在することが明らかとなった。

天然乾燥は、大気中の湿度が下がりはじめた 11 月上旬から試験を開始したが、初期の平均含水率が 130%程度の厚さ 35㎜ の材は一般に気乾含水率とされる 15%の平衡状態に達するまでわずか40～50 日と 2 カ月を要しなかった。

生材から人工乾燥を行った場合は、乾燥温度の高い条件（48～73℃）のみならず、60℃以下に設定した緩やかな条件においても、10 日前後で目標含水率の 8±2%に到達することが確認され、乾燥が速やかに進み、また目立った割れや狂いも発生しにくいことから、従来の広葉樹材と比べて短期間かつ歩留まりの高い木材利用が可能な樹種であると判断された。

一方で、乾燥速度は材の厚さに逆比例し、乾燥に要する時間は材厚の比の 1.5～2 乗とも言われることから（信田・河崎、2020）、今回の結果はあくまで材厚 35㎜ の板材での結果であり、60 ㎜を超えるような厚みのある板材での適応は困難であると思われる。そのため、行政、事業者からの要望に応じて、今後

はより厚みのある板材での乾燥試験も検討する必要がある。

また、全体的に天然乾燥の材が人工乾燥のものと比較して、収縮やくるいが抑えられている結果となったが、これは試験終了時の含水率が異なっていることが大きく影響していると考えられ、今後は、天然乾燥後に仕上げの人工乾燥を行い、含水率を揃えた状態で乾燥特性を把握し、より損傷が少なく歩留まりが高い乾燥方法を検討することも求められる。

さらには、これまで沖縄県内で造林され、今後利用が期待される沖縄県産樹種は他にも多数存在しているため、これらの主要樹種を対象に、条件を揃えた同様の試験を行うことで､樹種間の乾燥特性の比較検証を可能にし、木材利用に適した沖縄県産樹種の選定を進めていくことが、将来の沖縄県の林業・木材産業の発展には重要と考える。

謝辞

本研究は、国立研究開発法人　森林研究・整備機構　森林総合研究所　木材研究部門　木材加工・特性研究領域　木材乾燥研究室の吉田室長および齋藤チーム長から調査手法についてご教授頂き実施しており、この場を借りて感謝申し上げる。

引用文献

井口朝道・仲摩和寛（2024）沖縄県森研セ研報 64：1-10

嘉手苅幸男（1987）沖縄県林試研報 30：111-115

嘉手苅幸男（1992）沖縄県林試研報 35：19-30

嘉手苅幸男（1995）沖縄県林試研報 38：55-58

嘉手苅幸男（2007）沖縄県林試研報 50：23-31

仲間勇栄　（2017）蔡温と林政八書の世界：198-201

信田聡・河崎弥生編（2020）木材科学講座 7 木材の乾燥　Ⅰ基礎編：70、91

沖縄県農林水産部森林管理課（2017）沖縄県森林・林業アクションプラン【後期:平成 29 年度～平成 33 年度】:24

沖縄県農林水産部森林管理課（2022）沖縄の森林・林業　令和 4 年版:14、40

大川智史・林将之（2016）ネイチャーガイド琉球の樹木:260

寺澤眞（2004）木材乾燥のすべてー改訂増補版ー：230-246、394-402