

原 著

17年生トチノキ人工林における個体サイズと生残に及ぼす植栽密度及び苗高の影響

Effects of planting density and seedling height on tree size and survival
in a 17-year-old *Aesculus turbinata* plantation

島田博匡¹⁾

SHIMADA, Hiromasa

要旨：異なる3段階の植栽密度（2500本/ha，1100本/ha，600本/ha）と苗高（大苗，中苗，小苗）で植栽された9プロットからなる17年生トチノキ人工林において，個体サイズと生残に及ぼす植栽密度，苗高の影響を解析した。各プロットにおける17年生時の平均樹高は8.0～10.4m，平均DBHは11.4～16.2cmであった。苗高が高いほど樹高が高く，大苗と中苗は小苗よりも生存期間が長い傾向がみられた。植栽密度が高いほど，生枝下高が高い傾向がみられたが，平均生枝下高は1.2～2.6mといずれのプロットにおいても低かった。これらのことから，植栽には中苗（苗高約0.9m）以上の苗木を用い，植栽密度は2,500本/haよりも多くすることが望ましいと考えられた。

キーワード：広葉樹人工林，広葉樹造林，植栽密度，トチノキ，苗高

Abstract: I analyzed the effects of planting density and seedling height on the tree size and survival in a 17-year-old *Aesculus turbinata* plantation, which comprised 9 plots planted at 3 different planting densities (2,500 trees/ha, 1,100 trees/ha, and 600 trees/ha) with seedlings of 3 different heights (large, intermediate, and small). The tree height in each plot ranged from 8.0 to 10.4 m and the diameter at breast height (dbh) of trees in each plot ranged from 11.4 to 16.2 cm at a stand age of 17 years. The trees with larger seedling heights were taller. The survival time was longer with large and intermediate seedlings than with small seedlings. Although the branch height was higher with high planting density, the branch height was low (range: 1.2-2.6 m) in each plot. On the basis of these results, I concluded that the use of seedlings with large or intermediate heights (over 0.9 m) at a planting density of more than 2,500 trees/ha was desirable.

Keywords: *Aesculus turbinata*, broad-leaved tree plantation, broad-leaved tree management, planting density, seedling height

はじめに

トチノキ (*Aesculus turbinata* Blume) は北海道南部から本州，四国，九州の主に冷温帯落葉広葉樹林に広く分布している落葉高木種で，樹高30m，胸高直径2m以上になる。やや湿気のある土壌層の深い

¹⁾ 三重県林業研究所

Mie Prefecture Forestry Research Institute

E-mail: shimah03@pref.mie.jp

肥沃地を好み、谷間または斜面下部の緩傾斜地によく成育する。材は狂いや腐りが出やすいことから建築材には向かないが、大径材は家具材、器具材、玩具材、楽器材などに用いられる。また、種子はデンプンを多量に含み、トチ餅などに加工される。花は大型でミツバチの蜜源植物としても重要である（橋詰ら，1993，谷口，2007）。このように多用途に用いられることから、林業の複合経営に適した有用広葉樹である（橋詰・江藤，1994）。

これまでトチノキの植栽については、街路樹、公園木として単木的に植えられることや、林地での広葉樹植栽において他樹種と混植されることが多く、林分としての造林事例は多くない。造林成績も数例（薬袋ら，1986；橋詰・江藤，1994；國崎ら，2007）しか報告されていないため、トチノキの人工造林における施業方法はほとんどわかっていない（谷口，2007）。

三重県林業研究所の実習林には1988年に植栽されたトチノキ植栽試験林があり、ここでは適切な苗木の苗高、植栽密度を明らかにする目的で、それぞれ3段階の植栽密度と苗高で植栽が行われている。本報告では17年生時の毎木調査結果、17年間の生残データから、トチノキ植栽木の個体サイズと生残に及ぼす苗高、植栽密度の影響を明らかにするとともに、これらを踏まえて用材生産を目的とした施業方法について検討を行った。

試験地と調査方法

1. 試験林の設定

1988年3月、三重県津市白山町の林業研究所実習林内にトチノキ植栽試験林が設定された。試験林の標高は約210m、メッシュ気候値2000（気象庁，2002）から求めた年平均気温、年間降水量はそれぞれ13.2°C、1,797.6mmである。吉良（1949）の暖かさの指数は103.5°C、寒さの指数は-4.6°Cである。試験林には植栽密度と苗高をそれぞれ3段階とした合計9プロットが設けられており、谷沿いの麓部斜面には植栽密度が中密度の2500本/ha区と低密度の1100本/ha区が、下部谷壁斜面には低密度の600本/ha区が設けられている。各密度区は大苗区、中苗区、小苗区に分けられており、2500本/ha区では2m間隔で各苗高区にそれぞれ36本の苗木が植栽された。1100本/ha区では3m間隔でそれぞれ16本、600本/ha区では4m間隔でそれぞれ12本植栽された（図-1，表-1）。植栽に用いられた苗木は林業研究所構内の圃場で育成されたものであるが、種子の産地と植栽時の樹齢は不明である。また、植栽後の7～8年間は下刈が実施されたが、それ以外の管理は行われていない（井面，私信）。

2. 調査方法

調査は、植栽直後の1988年4月、それ以降は1989年3月から8年生時の1996年3月まで、毎年11月下旬から3月中旬までの間に全生存木の樹高(m)、DBH(cm; H=1.2m)を測定した。17年生時の2005年1月には、全生存木に対して樹高、DBH、生枝下高(m)、樹冠面積(m²)の測定を行った。樹高、生枝下高の測定には測棒、DBHの測定には直径巻尺を使用した。1.2m以下で株分かれた個体については最大径の幹のDBHを測定した。樹冠面積については、山側、山側の正反対方向の谷側、山側と谷側を結んだ線



図-1. 17年生トチノキ植栽試験林（2500本/ha区）

に直交する左側と右側の計4方向の樹冠幅 (m) を巻尺で測定し,下記の式から算出した。

$$\text{樹冠面積 (m}^2\text{)} = \{ (\text{山側樹冠幅} + \text{谷側樹冠幅} + \text{左側樹冠幅} + \text{右側樹冠幅}) \div 4 \}^2 \times \pi$$

なお, 17年生時には隣接林分のヒノキによって被陰されている個体がみられ, これらについては生残の確認のみ行い, 諸測定は行わなかった。

3. 解析方法

各プロットにおける苗木の植栽時平均樹高の差を一元配置分散分析で検定し, そこで有意差がみられた場合, どのプロット間に差があるのかをみるためにHolmの多重検定を行った。解析に使用したソフトウェアはR (version2.8.1; R Development Core Team, 2008) である (以下の統計解析も同様)。

植栽木の生残経過, 生残に与える影響要因を明らかにするために生存時間分析をおこなった。まず, 生残経過の評価を行うために, プロットごとの生存曲線をカプラン・マイヤ法により推定した。次に, 植栽木の生存期間に対する植栽密度と苗高の影響をコックス比例ハザードモデルにより解析した。従属変数を各植栽木の1~8年生と17年生調査時の生残データ (0: 生存, 1: 死亡), 独立変数を植栽密度 (カテゴリカル変数; 2500本/ha, 1100本/ha, 600本/ha), 苗高 (カテゴリカル変数; 大苗, 中苗, 小苗), 植栽密度と苗高の交互作用とした。プロットの別をブロック因子とみなし, これがランダム効果を切片に及ぼすとした。解析には, Rのsurvivalパッケージに含まれるcoxph関数を使用し, エフロン法 (method="Efron") により計算した。また, AICが最小になるように変数選択を行った。

17年生時調査の樹高, DBH, 枝下高, 樹冠面積のそれぞれに対する植栽密度と苗高の影響を一般化線形混合モデル (GLMM) により解析した。従属変数は各測定値, 独立変数は植栽密度 (カテゴリカル変数; 2500本/ha, 1100本/ha, 600本/ha), 苗高 (カテゴリカル変数; 大苗, 中苗, 小苗), 植栽密度と苗高の交互作用とした。また, プロットの別をブロック因子とみなし, これがランダム効果を切片に及ぼすとした。誤差構造は正規分布, 連結関数は恒等関数とした。解析には, Rのnlmeパッケージに含まれるlme関数を使用し, 最尤推定法 (method="ML") により計算した。また, AICが最小になるように変数選択を行った。

表-1. 調査地の概況

植栽密度	苗高	植栽面積 (m ²)	傾斜 (°)	植栽時樹高* (m)	植栽本数 (本)	2005年1月		測定本数 (本)
						生存本数 (本)	生存率 (%)	
2500本/ha	大苗	144	11.7	1.32 ± 0.05 ^a	36	28	77.8	27
	中苗	144	14	0.90 ± 0.04 ^b	36	24	66.7	24
	小苗	144	19.7	0.56 ± 0.06 ^c	36	13	36.1	12
1100本/ha	大苗	144	19.9	1.26 ± 0.08 ^a	16	12	75.0	11
	中苗	144	14.4	0.93 ± 0.06 ^b	16	15	93.8	12
	小苗	144	5.9	0.43 ± 0.06 ^d	16	10	62.5	9
600本/ha	大苗	192	40.6	1.27 ± 0.11 ^a	12	9	75.0	9
	中苗	192	42.9	0.89 ± 0.06 ^b	12	11	91.7	11
	小苗	192	44.5	0.38 ± 0.08 ^d	12	7	58.3	6

* 平均値 ± 95%信頼区間。異なるアルファベット間には有意差があることを示す (Holm の多重検定; p<0.05)

結 果

1. 植栽木の17年間の生残

植栽時の平均樹高は、大苗区で1.26~1.32m、中苗区で0.89~0.93m、小苗区0.38~0.56mであった。各植栽密度区内のそれぞれの苗高区間で有意に苗高が異なることが確認された（Holmの多重検定、 $p < 0.05$ ；表-1）。

17年生調査時の生存率は大苗区75.0~77.8%、中苗区66.7~93.8%、小苗区36.1~62.5%であった（表-1）。プロットごとにカプラン・マイヤ法により推定した生存曲線を図-2に示す。いずれの植栽密度区でも大苗区、中苗区では徐々に生存率が低下したが、小苗区では3~6年生までの初期に大幅に低下し、その後は徐々に低下する傾向がみられた。表-2に植栽木の生存期間に及ぼす植栽密度と苗高の影響をコックス比例ハザードモデルにより解析した結果を示す。AICによる変数選択により、植栽密度と苗高の交互作用は変数から除かれた。生存期間と植栽密度の間には線形関係がみられなかった。600本/ha区と1100本/ha区、2500本/ha区との間に有意差はみられず、1100本区で最も生存期間が長かった。苗高は高いほど生存期間が長く、小苗区よりも中苗区、大苗区で有意に生存期間が長くなる傾向がみられた。

2. 17年生時の樹高、DBH、生枝下高、樹冠面積

植栽木の樹高とDBHについて17年間の成長経過を図-3に、17年生時の個体サイズの比較を行った結果を図-4に示す。また、表-3に一般化線形混合モデルにより個体サイズに及ぼす植栽密度と苗高の影響を解析した結果を示す。なお、AICによる変数選択により、植栽密度と苗高の交互作用は変数から除かれた。いずれのプロットの樹高、DBHも同様の成長経過を示し（図-3）、17年生時の樹高は平均8.0~10.4m（図-3a, 4a）、DBHは平均11.4~16.2cm（図-3b, 4b）であった。一般化線形混合モデルによる解析の結果、

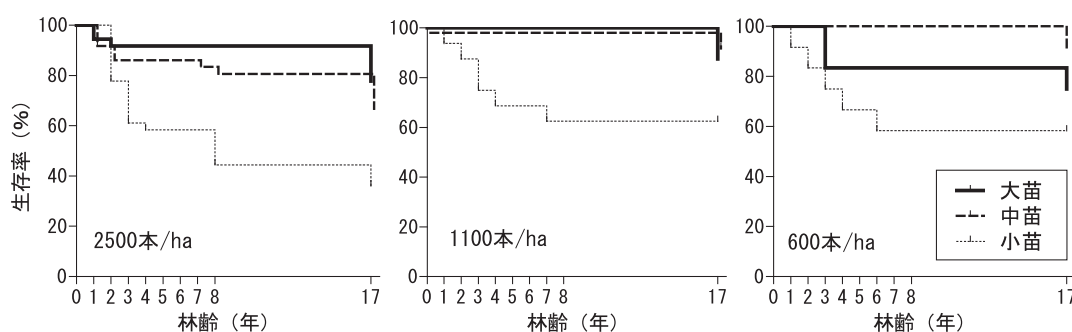


図-2. カプラン・マイヤ法により推定した生存曲線

表 -2. コックス比例ハザードモデルより推定した生存時間に影響する要因 (AIC が最小のモデルにおけるパラメータ値)

植栽密度 ^a		苗高 ^b	
2500本/ha	0.577 ^{ns}	大苗	-1.295 ^{***}
1100本/ha	-0.336 ^{ns}	中苗	-1.178 ^{***}

^a: リファレンスカテゴリは 600 本 /ha ; ^b: リファレンスカテゴリは小苗.

*** $p < 0.001$; ^{ns} $p \geq 0.05$

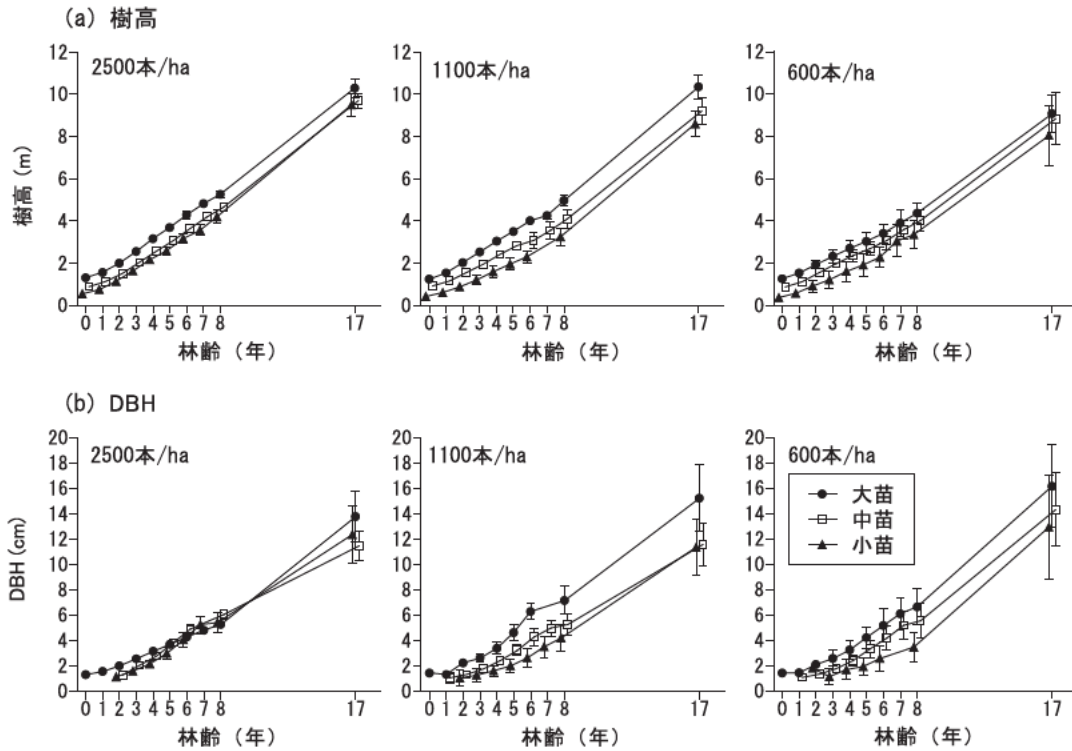


図-3. 樹高と DBH の経年変化. 誤差線は 95%信頼区間を示す.

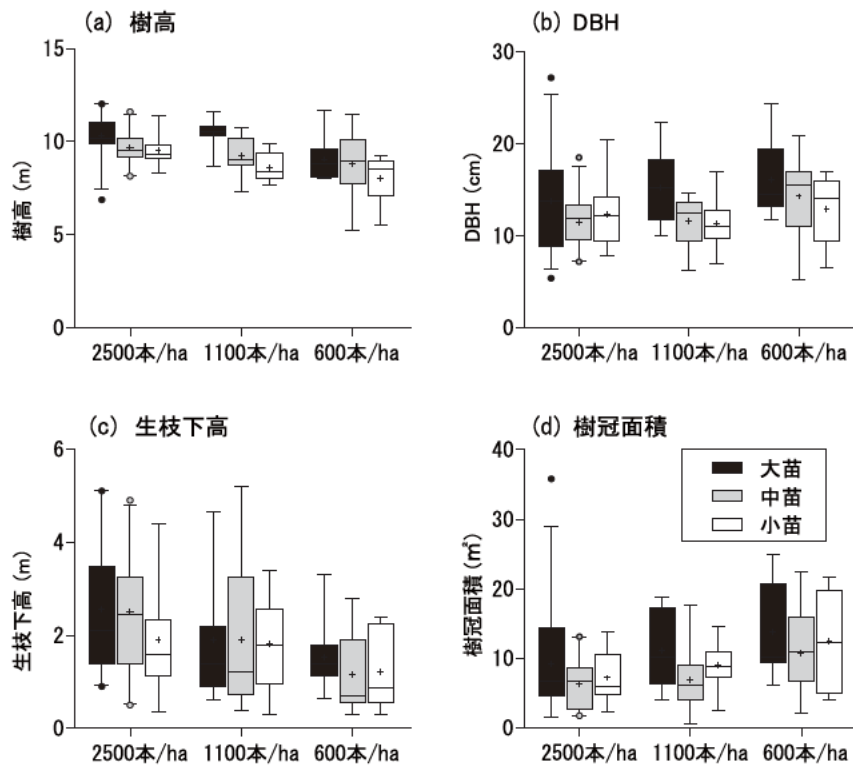


図-4. 17年生時の樹高, DBH, 生枝下高, 樹冠面積. 箱の上端は 75 パーセントイル, 下端は 25 パーセントイル, 箱中の横線は中央値を示す. 箱から上に伸ばしたひげは 95 パーセントイル, 下に伸ばしたひげは 5 パーセントイルを示す. + は平均値, ● は外れ値を示す.

表-3. 一般化線形混合モデルより推定したサイズに影響する要因
(AICが最小のモデルにおけるパラメータ値)

	(切片)	植栽密度 ^a		苗高 ^b	
樹高	8.143	2500本/ha	1.113 *	大苗	1.123 *
		1100本/ha	0.724 ^{ns}	中苗	0.477 ^{ns}
DBH	13.750	2500本/ha	-2.204 ^{ns}	大苗	2.519 ^{ns}
		1100本/ha	-1.855 ^{ns}	中苗	0.013 ^{ns}
生枝下高	1.047	2500本/ha	1.085 *	大苗	0.410 ^{ns}
		1100本/ha	0.587 ^{ns}	中苗	0.285 ^{ns}
樹冠面積	12.175	2500本/ha	-4.659 *	大苗	1.843 ^{ns}
		1100本/ha	-3.332 ^{ns}	中苗	-1.410 ^{ns}

^a: リファレンスカテゴリは 600 本 /ha ; ^b: リファレンスカテゴリは小苗。
* $0.01 \leq p < 0.05$; ^{ns} $p \geq 0.05$

樹高については、植栽密度が高いほど高く、600本/ha区と1100本/ha区に有意差はみられなかったが、2500本/ha区との間には有意差がみられた。苗高については、苗高が高いほど樹高が高く、小苗区と大苗区に有意差が認められた(表-3)。DBHについては、植栽密度が高いほど小さく、苗高が高いほど大きかったが、傾向は有意ではなかった(表-3)。生枝下高は平均1.2~2.6m(図-4c)で、植栽密度が高いほど、苗高が大きいほど高い傾向があった。植栽密度では600本/ha区と2500本/ha区に有意差がみられたが、苗高では有意な差異が認められなかった(表-3)。樹冠面積は平均6.3~13.8m²(図-4d)で、植栽密度が高いほど小さく、600本/ha区と2500本/ha区の間には有意差がみられたが、苗高との間には明確な傾向がみられなかった(表-3)。

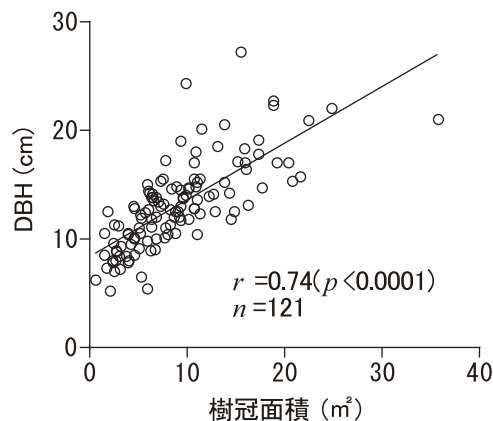


図-5. 17年生時の樹冠面積とDBHの関係

また、全測定木のデータを用いて、樹冠面積とDBHの関係をみたところ(図-5)、両者間には有意な正の相関が認められ(Pearson's $r=0.74, p<0.0001$)、樹冠面積が大きいほどDBHが大きくなる傾向がみられた。

考 察

1. トチノキ植栽木の成長

東京都の浅川実験林にある推定植栽密度3,000本/ha前後のトチノキ人工林では、33年生で平均樹高7.5m、平均DBH9.6cm、56年生時でそれぞれ15.0m、21.0cmであった(葉袋ら, 1984)。また、岩手県岩手大学滝沢演習林に植栽密度2,600本/haで植栽された人工林では18年生で平均樹高約7.3m、29年生で平均樹高14.7m、平均DBH18.9cm、平均生枝下高5.3mであり、29年生時の樹高は岩手県のコナラを主体とする広葉樹天然生林の林分収穫表の地位一等以上の成長を示していた(國崎ら, 2007)。これに対して、17年生の本試験林では平均樹高は8.0~10.4m(図-4a)、平均DBHは11.4~16.2cm(図-4b)、平均生枝下高は1.2~2.6m(図-4c)であった。いずれのプロットの樹高も浅川実験林の33年生時、滝沢演習林の18年生時の平均樹高を上回っていた。このことから、気象条件などの違いもあって単純には

比較できないものの本試験林の地位は比較的高いと考えられる。橋詰(1994)は広葉樹の成長型を3つに類型し、トチノキについては、良好な立地条件下では100年以上連続的に伸長成長と肥大成長を継続するタイプに分類している。また、國崎ら(2007)は前述の29年生トチノキ人工林の成長を連年成長量最大となる以前の段階で、今後の樹高成長、胸高直径成長が期待できるとしている。これらのトチノキの成長特性から、地位が高いと考えられる本試験林においては今後も良好な成長が期待できると考えられる。

2. 適切な植栽密度と苗高の検討

広葉樹造林に用いる苗木の苗高について、橋詰(1994)は陽樹では雑草木の被圧により枯死することがあるので100cm前後の大苗を植栽する方が造林後の成長が良いと述べている。本試験林においては植栽木の生存時間と17年生時の樹高に苗高が有意に関係しており(表-2,3)、小苗は初期の生存率が低く(図-2)、大苗と中苗は小苗よりも有意に生存期間が長い傾向がみられた(表-2)。また、苗高が高いほど平均樹高は高く、平均DBHでも有意ではないものの大きくなる傾向がみられた(表-3)。このことから、トチノキの植栽においても中苗(0.9m程度)以上の苗木を使用することが望ましいと考えられる。

植栽密度はトチノキの樹形や成長に関わる性質を踏まえて検討する必要がある。トチノキは筈状樹形で、太枝が低い位置から発生し、二叉以上の複幹木になりやすく、開放地に成育するものでは樹冠が横に広がり幹が曲がりやすいことも知られている(谷口, 2007)。また、トチノキを用材として利用するには大径木に育成しなければならない。筈状樹形の樹種は樹冠を十分に張らなければ大きくなれない性質を持つ(藤森, 2003)が、生枝下高が高くなりすぎると間伐を行っても樹冠が拡大しにくくなる(横井, 2000)ため、大径化させるためには、生枝下高(樹冠構成のメインとなる力枝の高さ)を6m程度までの単幹木とすることが望ましい(藤森, 2003)。また、枝下の部分を材として利用するため、最低4m以上の枝下高を確保する必要がある(谷口, 2007)。このため、若齢期には成長を促進することよりも将来の大径化が可能な樹形に整えること、つまり生枝下高4~6mの単幹木とすることを念頭に置きながら施業を行う必要がある。植栽密度は樹高、生枝下高、樹冠面積に対して有意に影響していた(表-3)が、生枝下高を基準に植栽密度を決定することが適切であると考えられる。本試験林では平均生枝下高が著しく低く、どの密度区でも4mを大きく下回り、1m以下で幹分かれした複幹木も少なからずみられた(図-4c)。しかし、植栽密度が高いほど生枝下高は高い傾向があり(表-3)、2500本/ha区の大苗区、中苗区では生枝下高が4mを超える個体もみられた(図-4c)。そのため、生枝下高を高くするには、密植区で植栽した2,500本/haよりもさらに植栽密度を高くする必要があると考えられる。藤森(2003)は、広葉樹用材生産では、通直性と枝下高を高めるためにできるだけ高密度で植栽することが望ましく、現実的にはコストを考慮して4,000本~6,000本/ha程度が良いと述べている。また、谷口(2007)は、トチノキの植栽では苗高1m程度の大苗を4,000~5,000本/haで密植するのが理想的と推測しているが、本試験林の調査結果はこれらを支持している。

3. 用材生産を目的とした人工林施業技術

本試験林における調査結果を踏まえて、トチノキの用材生産を目的とした人工林施業技術を検討したい。植栽にあたっては、谷底や斜面下部の緩傾斜地を植栽地に選定し、苗高0.9m以上の苗木を4,000本~6,000本/haで植栽することが望ましい。下刈は雑草木の繁茂状況にもよるが、樹高2mを超える5~

6年生程度まで毎年1回以上行う必要があるであろう。10年生以降には、状況に応じて枝打ちを行い、生枝下高を調整することも必要となる。この場合、枝打ち跡の癒合促進にはホルモン剤処理が有効である(橋詰・江藤, 1994)。間伐あるいは除伐の開始時期について、生枝下高が5m程度となる25年生から35年生の間とみられ(藤森, 2003), その下枝が枯れるまでに間伐を行う必要がある(横井, 2000)。このときの樹高は10m程度が多いと推測されているが(藤森, 2003), 地位の高い場所に植栽したトチノキでは20年生程度でこの段階となる可能性もある。この段階で大径化に向けた樹形は整ったといえる。

樹形を整えたのちには、大径化に向けて幹の肥大成長を促進させる段階となる。DBHと樹冠面積の間には有意な正の相関がみられた(図-5)。そのため、樹冠を拡大させる必要があると考えられるが、それには密度を下げなければならない。そこで、将来の主伐あるいは間伐時の収穫候補木である「立て木」を200本/ha程度選抜し(藤森, 2003), 「立て木」の成長を阻害する支障木(優勢木)を数回に分けて間伐していくことが望ましいと考えられる。このとき、支障木以外は後生枝の発達を抑制するために保残する必要がある(横井, 2000; 藤森, 2003)。なお、これまでにトチノキ人工林における間伐事例は報告されておらず、間伐期以降の管理について詳細は不明である。今後、本試験林でも間伐を実施し、その効果を確認していく必要がある

謝 辞

試験地の設定、調査や維持管理にご尽力された歴代の三重県林業研究所職員各位に謝意を表する。

引用文献

- 藤森隆郎(2003) 新たな森林管理. 428pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
- 橋詰隼人(1994) 主要広葉樹林の育成. (造林学. 堤 利夫 編著, 文永堂出版, 東京). 103-179.
- 橋詰隼人・江藤公則(1994) トチノキ人工造林に関する研究(I) 12年生人工林の生育について. 日林関西支論3: 123-126.
- 橋詰隼人・中田銀佐久・新里孝和・染郷正孝・滝川貞夫・内村悦三(1993) 図説実用樹木学. 214pp, 朝倉書店, 東京.
- 吉良竜夫(1949) 日本の森林帯. 36pp, 日本林業技術協会, 東京.
- 気象庁(2002) メッシュ気候値2000. CD-ROM, 気象業務支援センター, 東京.
- 國崎貴嗣・柴田真理・甲田朋子・渡部尚子(2007) 岩手県内に造成された落葉広葉樹8種の人工同齢単純林における林分成長特性. 森林計画誌41: 101-110.
- 葉袋次郎・石戸忠五郎・斉藤幹夫(1986) 浅川実験林内のトチノキ人工林の生長について. 日林関東支論38: 59-60.
- R Development Core Team(2008) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- 谷口真吾(2007) トチノキの自然史. (トチノキの自然史とトチノミの食文化. 谷口真吾・和田稜三 著, 日本林業調査会, 東京). 19-170.
- 横井秀一(2000) 用材生産に向けた広葉樹二次林の間伐, 山林1392: 37-44.