

特別寄稿

オビスギ密度試験地 40 年の成果

元飢肥営林署長 下山 晴平
宮崎南部森林管理署長 石神 智生

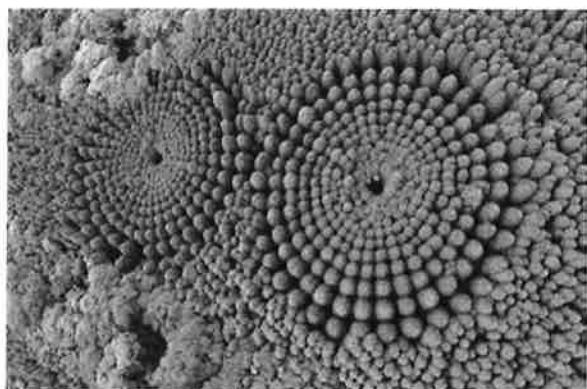


写真1 略正方形植え試験地の全景

はじめに～試験地設定と執筆の経緯

筆者（下山）は、1973年4月から2年間、宮崎県日南市で旧飢肥営林署の署長を務めていたことがある。

飢肥地方は、植栽本数1,000～2,000本/haの疎植・少間伐施業で大径の造船用材を生産するという、全国でも屈指の有名林業地であった。飢肥営林署は、所管する国有林面積約2万haの半数を部分林として地域に開放するなど、飢肥林業の中心的役割を担っていた。

しかし、昭和30年代後半（1960年～）ころから漁船のFRP（繊維強化プラスチック）化が急速に進み、造船用材の需要が著しく減少した。危機感を抱いた国有林は、一般建築用材生産に向けて、植栽本数を3,000～3,500本/haに変更した。

ところが、部分林造林者の理解を得るのが難しく、妥協案として部分林では2,500本/haとして造林事業を実行していた。

これで事業は支障なく進んでいたが、私としては何らかの技術的な根拠が欲しかった。思いついたのが、フランス海岸松の線形造林地で見たとネルダー型の系統配置による密度試験地であった。

そこで、中心から離れるにしたがって1本当たりの占有面積が大きくなるような円形の試験地を設けることにした。

円形にしたのは、とにかく分かりやすくという趣旨で、ネルダーが特定の形にこだわっていたわけではない。放射線状の列の数を10度間隔で36本としたのも同趣旨である。

設計は私を中心として、中村経営課長と小川造林係長が加わって進めた。

略正方形植えのプロット2個は1974年3月、営林署主催の植樹祭で植栽することにした。設計図の現地設定は亀甲郷之原担当区主任が当たった。当日は晴天に恵まれ、形の珍しさが参加者の興味を引いて、植樹祭は盛況のうちに終了した。私としては、植樹祭に「物語」を加えられたことに満足した。署の職員が準備した豚汁と握飯の味は格別だった。

また、これとは別に通常の造林事業として、2個のプロットを作った。こちらは略正三角形植えとし、富吉板谷担当区主任が実行した。

それから40年以上の歳月が流れた。ある日、宮崎南部森林管理署の石神署長から森林部門技術士会事務局を經由して、この試験地に関する資料が送られてきた。地元自治体の森林・林業担当者等を対象とした勉強会のた

めに作成・配布したものである。

冒頭の写真1は、UAVを使って最近撮影した略正方形植え試験地の写真であり、左が試験地1、右が試験地2である。

データをみると、40年で材積が800m³/haを超えた部分がある。すでに結果を出していると思うとうれしかった。この試験地を研究対象とした、いくつかの技術論文が公表されていることも分かった。

試験地設定の当事者として何か残すべき、との示唆を受けたようにも思った。根橋森林部門技術士会会長の勧めもあり、石神署長と相談してこの論文を共同執筆することにした。

40年以上昔の試験地設定責任者と、伐期を迎えた現在の管理責任者とが共同で結果をまとめるのは、非常に珍しいことであり、かつ、有意義なことだと思っている。

第1 密度試験地の設計と施業経過

1 飢肥林業とオビスギの特徴

飢肥林業は、この地方を治めていた伊東藩が財政立て直しのため造林を奨励し、藩有地に植林させ、伐採後に藩と造林者とで収益を分収したことから始まる。

植林方法は、2間の棒を振り回し、その先に挿し木をしたという話が残っているように、相当な疎植であった。この方法によれば、密度は0.77千本/haとなるが、実際には1.0～2.0千本/haで、間伐は弱度に止めて、大径材を生産していた。

丸太は、相対する2面をはつって「弁甲材」と呼ばれる造船用材に加工、国内はもとより、韓国や台湾にも出荷していた。また、シロアリや腐朽に強いことから、建築用材として沖縄に移出していた。

飢肥林業は、簡単にいえば 疎植——少間伐——大径材生産 というかなり粗放な施業体系をとっていた。これを支えたのは、独特の個性を持つオビスギの存在であった。表1は、その材質的特性を要約したもので、特性

のすべてが造船用材に求められる条件と一致している。

なお、これらの材質的特性は、現代の木材利用においても十分活かされる可能性を持っている。

表1 オビスギの材質的特性

特 性	関 連 事 項
成長が速く、年輪幅が広い。	施業体系とも関係結果的に比重が小さい。
比重が小さい。	運搬など、取り扱いが楽
弾力性がある。	曲げ強度が強い。
材にねばりがある。	気根が繊維を緊縛する。
樹脂成分を多く含む。	耐久性・耐水性に優れる。シロアリにも強い。
死節（抜け節）が少ない。	単板の補修が不要で、加工が楽である。

2 密度試験地設定の目的

大気、土地、水、光など、林業において必要なものはほとんど自然が与えてくれる。人の役割は自然の働きに力を貸すことであり、その中の最重要課題が密度管理である。

この密度試験地を設定した目的は、植栽密度による成長過程の相違、材質の変化等を実証的に試験し、オビスギの特性を踏まえた施業体系の確立に資することである。

3 設計方法

(1) 設計の考え方

一口に密度試験地といっても、考え方によってその方法や形状は多様である。この試験地については、設計に当たっての基本的考え方を次の3点に絞った。

- ① 試験地の形状は円形とし、ネルダー型の系統配置を採用する。
- ② 内縁から外縁に向けて拡大する同心円の円周（サークル）と、中心角10°の放射線状の列との交点に植栽する。
- ③ 最少密度0.5千本/ha、最多密度10.0千

本/ha 程度のデータが得られるようにする。

系統配置を採用する理由は、小面積で多様な密度をコンパクトに実現できること、そのため地力などの環境条件による影響を排除できること、効率よく連続的データが得られることである。

全体を円形にし、隣り合う列との中心角を 10° とするのは、視覚的に理解しやすく、かつ、設計・現地設定や後々のデータ処理が楽であると考えたからである。

密度を 0.5 千本/ha～10.0 千本/ha 程度としたのは、実態的にみて、この範囲のデータが得られれば十分と考えたからである。

(2) 拡大係数 (a) の決定

まず、外縁に向かって連続的に拡大する円の半径の拡大係数を決める必要がある。これは、単木が占有する平面の理論的形状と設定する密度 (説明変数) の数に係わってくる。

中心角 10° のとき、拡大係数の値は 1.1 か 1.2 か 1.3 であろう。それより大きくても小さくても、目的に合った形状は得られない。

重要なことは、最大植栽密度 10.0 千本/ha を確保するため、中心点から適当な距離で約 1m^2 の略正方形が得られること、外縁の 0.5 千本/ha 程度の密度をコンパクトに収めることである。

ここで、面積 1m^2 の略正方形がえられることを確認するため、図 1 をイメージしながら次のような試算をした。

サークル番号を C_i (設計の基準とする最内縁の緩衝帯は C_0 、最外円の緩衝帯は C_E)、 C_i に対応する半径を R_i 、拡大係数を a とする。

$10^\circ = 0.174\text{rad}$ であるから、弧の長さ L_i は、

$$L_i = 0.174\text{rad} \times R_i$$

となり、 $L_0 = 1\text{m}$ とすれば $R_0 = 5.75\text{m}$ となる。

半径方向にも R_0 から 1m の間隔をとって R_1 とすると、 $R_1 = R_0 + 1$ であるから、

$$a = R_1/R_0 = (5.75 + 1)/5.75 = 1.17$$

となるので、近似的に $a = 1.2$ として面積約

1m^2 の略正方形が実現できると考えた。

このとき、最低 0.38 千本/ha から最高 10.0 千本/ha までの 10 個の説明変数 (植栽密度 x_i) に対する目的変数 (枯損木本数、樹高 h 、直径 d) のデータが得られる。試験地の直径は約 70m となる。

(3) 基準円の半径の決定

次に、上記(2)の試算とは別に、配置の基準とする最内縁のサークル C_0 の半径 R_0 を決める必要がある。 a と C_0 は、以後の試験地設定作業を規定するものである。

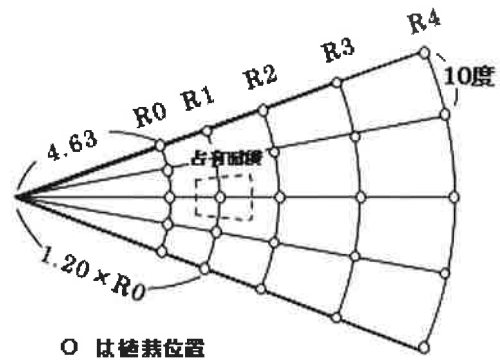


図 1 略正方形植栽位置配列イメージ図

一つの方法として、 R_1 と R_2 との中間の半径を持つ円面積から、 R_0 と R_1 との中間の半径を持つ円面積を引いて、そのドーナツ型の輪の面積を 36 本で除した面積が 1m^2 となればよいと考える。すなわち、

$$\frac{\pi}{36} \left\{ \frac{(R_1 + R_2)}{2} \right\}^2 - \frac{\pi}{36} \left\{ \frac{(R_0 + R_1)}{2} \right\}^2 = 1$$

として $R_1 = 1.2R_0$ 、 $R_2 = 1.2^2 R_0$ を代入すれば R_0 が得られる。

この試験地の諸元をまとめると、表 2 のとおりである。

表2 系統配置による密度試験地の諸元

サークル 番号	C_i の半径	苗間	単木の 占有面積	植栽密度
C_i	(m)	(m)	(m^2)	(千本/ha)
C_0	4.6	0.9	0.7	14.4
C_1	5.6	1.1	1.0	10.0
C_2	6.7	1.3	1.4	7.0
C_3	8.0	1.6	2.1	4.8
C_4	9.6	1.9	3.0	3.3
C_5	11.5	2.3	4.3	2.3
C_6	13.8	2.8	6.2	1.6
C_7	16.6	3.3	8.9	1.1
C_8	19.9	4.0	12.8	0.78
C_9	23.9	4.8	18.5	0.54
C_{10}	28.7	5.7	26.6	0.38
C_E	34.4	—	38.3	0.26

4 試験地の地況と施業経過

試験地は、「日南市北郷町郷之原大荷田国有林140ぬ4林小班」に、試験地1と試験地2の2個を隣り合わせに設定した。

① 土地の概要は次のとおりである。

標高320m、傾斜25度の北西向きの山腹平衡斜面

土壌型はBd(d)で、有効深度は45cm、地位は15等級

② 前生林は大正3(1924)年植栽のスギ人工林で、平均樹高20m、蓄積 $459m^3/ha$ であった。

③ 施業については、周辺の人工林と同様の施業を行うことを方針とした。ただし、試験の目的から、間伐は実施しないことにした。施業経過は次のとおりである。

植え付け：昭和49(1974)年3月、植樹祭においてトサアカ1年生挿木苗を耕耘植栽

下刈り：昭和49～56年(2年目、3年目は2回刈り)

つる切：昭和53～55年

除伐：昭和57年

施肥：昭和51年

選木枝打ち：昭和51年、平成12年

第2 調査結果の概要

1 試験地の現況

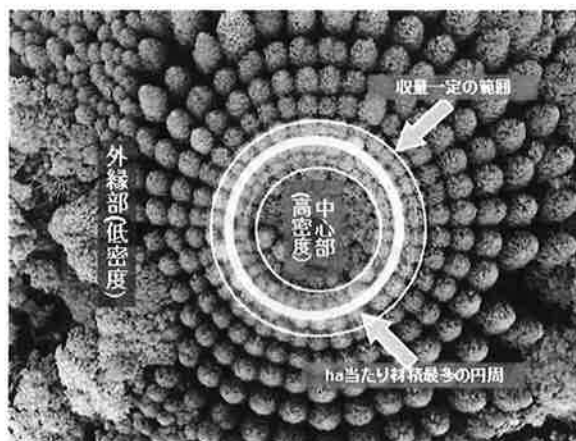


写真2 試験地1の現況

上の写真2は試験地1のUAV写真であり、中心付近の高密度区では過密状態になって個体が貧弱であり、低密度区の外縁に向かうほど疎開して個体がしっかりしてくる様子が一見して分かる。(注：「収量一定の範囲」については「7ヘクタール当たり材積」の欄で説明する。)

また、異常に大きい個体が含まれている様子、欠損木が生じている様子や左側と右下の溪流保残帯の広葉樹が外縁木を圧迫している様子が見てとれる。

溪流保残帯以外の周辺林分は、試験地とほぼ同時期に3.0千本/haで植えたスギ人工林で、平成27年度に行った標準地調査によれば、材積は $540m^3/ha$ である。

2 使用データと異常値の棄却

本稿において検討の対象とした試験地は、「140ぬ4林小班」の2つの試験地のうち、斜面下方の試験地1である。

使用したデータは、旧飢肥営林署と現宮崎南部森林管理署が行った林齢15年、31年、41年時点の毎木調査結果である。

データの分析に当たっては、緩衝帯としての

C₀・CEと枯損木を除外し、さらに樹高と胸高直径について林齢別・サークル別に「平均値±2σ(標準偏差)」の範囲から外れるデータを棄却した。表3は、これらのデータ数の一覧である。

なお、本稿において棄却前の原データを使用した場合については、その旨表記してある。

表3 データ数

林 齢 (年)	全データ (本)	使用 データ (本)	棄却 データ (本)	棄却率 (%)
15	359	339	20	5.6
31	337	319	18	5.3
41	307	285	22	7.2
計	1,003	943	60	6.0

(注) 緩衝帯 (C₀・C_R) と枯損木は除く

3 枯損木の発生状況

表4は、各林齢における累積枯損木本数をまとめたものである。この表は、次のことを示している。

- ① 全植栽本数360本に対し、41年では53本が枯損しており、枯損率は15%である。
- ② 植栽密度が高いほど枯損率が高く、最内縁のC₁で64%、C₂で42%に達している。
- ③ 樹木間の競合は、15年以上を過ぎてか

表4 林齢と累積枯損木本数

サークル 番号 (Ci)	植栽密度 (千本/ha)	15年 (本)	31年 (本)	41年 (本)	41年の 枯損率 (%)
C ₁	10.0		10	23	64
C ₂	7.0		6	15	42
C ₃	4.8		5	9	25
C ₄	3.3			2	6
C ₅	2.3			1	3
C ₆	1.6			1	3
C ₇	1.1				
C ₈	0.78				
C ₉	0.54				
C ₁₀	0.38	1	2	2	6
計	—	1	23	53	15

ら始まり、30年ではC₃(4.8千本/ha)付近まで、40年ではC₆(1.6千本/ha)付近まで拡大している。

なお、C₁₀の2本の枯損木は、外接林分による被圧等が原因で、密度効果とは関係ないものとする。

4 樹高

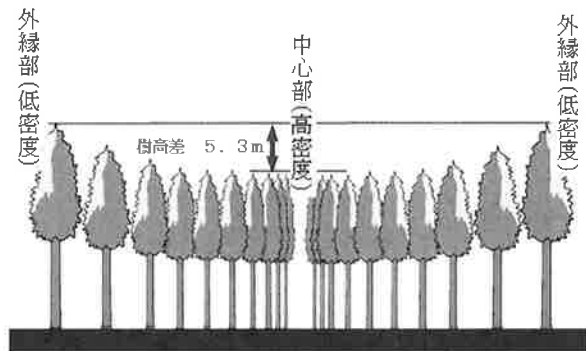


図2 樹高のイメージ

図2は、試験地の横断面を意識して、41年生時の樹高をイメージしたものである。樹高は高密度の中心部で低く、低密度の外縁部で高くなっており、その差は5.3mあることを示している。

図3は、各サークルの植栽密度と41年生時の平均樹高との相関関係を示すもので、Excelで求めた近似曲線を挿入してある。

全体では滑らかな曲線を描いており、相関係数を算出すると-0.33で、負の相関関係が認められるが、強いものではなかった。

ここで、高密度区と低密度区では密度による変化の傾向が著しく異なることに注目した。このことは、上記の現況写真でも明らかである。

そこで、各サークルの平均値をグラフ用紙に拡大してプロットしてみると、3.0千本/ha付近を境に高密度区(C₁~C₄)と低密度区(C₅~C₁₀)に区分して、それぞれ2本の直線を引くと、傾向がより鮮明になることが分かった。

単木のデータを2つのグループに分けて相関係数を再計算すると、高密度区で-0.59、

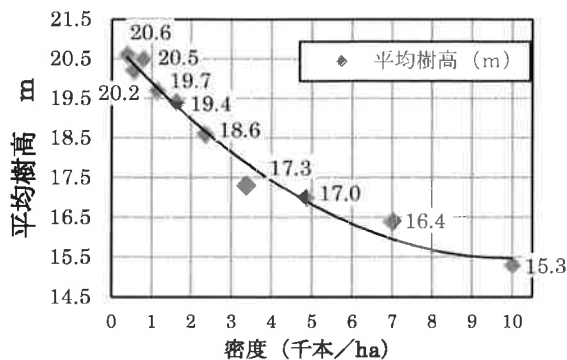


図3 植栽密度と平均樹高

低密度区で-0.54となり、相関関係がより強くなった。

また、樹高 h_i (m)を目的変数、密度 x_i (千本/ha)を説明変数として回帰直線を求めると、

高密度区 $h_i = -0.31x_i + 18.4$

低密度区 $h_i = -1.0x_i + 21.0$

となり、回帰係数の絶対値が低密度区では高密度区の3倍になった。このような傾向は他の林齢においても同様である。

表5は、樹高の平均成長量を林齢ごとにまとめたものである。この表は、次のことを示している。

- ① 樹高の平均成長量は、最多密度の C_1 で最低となり、低密度の $C_8 \sim C_{10}$ の範囲内で

表5 樹高の平均成長量

サークル番号 (Ci)	植栽密度 (千本/ha)	15年 (m/年)	31年 (m/年)	41年 (m/年)
C ₁	10.0	<u>0.52</u>	<u>0.41</u>	<u>0.37</u>
C ₂	7.0	0.53	0.45	0.40
C ₃	4.8	0.54	0.47	0.41
C ₄	3.3	0.56	0.50	0.42
C ₅	2.3	0.58	0.52	0.45
C ₆	1.6	0.59	0.55	0.47
C ₇	1.1	0.60	0.56	0.48
C ₈	0.78	<u>0.61</u>	<u>0.58</u>	<u>0.50</u>
C ₉	0.54	<u>0.61</u>	0.54	0.49
C ₁₀	0.38	<u>0.61</u>	0.57	<u>0.50</u>
max/min	—	1.2	1.4	1.4

最高となっている。

- ② 密度別の最高と最低の比は1.2～1.4である。
- ③ 林齢別にみると、どの密度でも若齢の15年生時が最高で、その後は減少している。
- ④ しかし、全体的に林齢による差が顕著であるとはいえない。41年生時においてもまだ伸長の可能性は残っている。

5 胸高直径

図4は、41年生時の各サークルの植栽密度と平均胸高直径との関係を示すもので、Excelで求めた近似曲線を挿入してある。

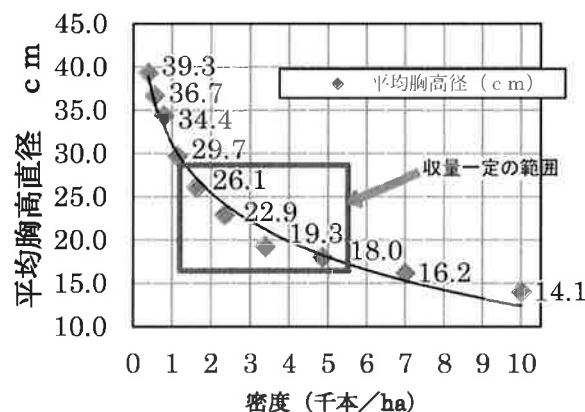


図4 植栽密度と平均胸高直径

全体では滑らかな曲線を描き、相関係数は-0.81で、相当に強い負の相関関係があることが分かった。

しかし、その内容をさらに検討すると、樹高の場合と同様の傾向があった。

そこで、単木データを高密度区と低密度区の2つのグループに分けて相関係数を再計算すると、高密度区で-0.84、低密度区で-0.88となり、相関関係がより強くなった。

また、直径 d_i (cm)を目的変数、密度 x_i (千本/ha)を説明変数として回帰直線を求めると、

高密度区 $d_i = -0.80x_i + 22.0$

低密度区 $d_i = -8.37x_i + 41.0$

となり、回帰係数の絶対値が低密度区では高密度区の10倍になった。他の林齢においても5倍以上の差が認められた。

表6は、胸高直径の平均成長量を林齢ごとにまとめたものである。この表は次のことを示している。

- ① 胸高直径の平均成長量は、すべての密度において15年で最も高く、続いて31年、41年の順になっている。
- ② すなわち、林齢15年の付近ですでに成長のピークに達しているのである。ちなみに、林野庁編熊本地方スギ林の林分収穫表地位中の主林木においては、10年から15年でピークとなっていることが読み取れる。
- ③ 密度別には、すべての林齢において低密度ほど平均成長量が多く、最高と最低の比は2.3～2.9となっており、樹高の場合よりも差が顕著である。
- ④ 平均年輪幅(直径の平均成長量の1/2)は、15年生の最外縁部で6mmである。各サークルの平均値としてはこれが最大である。

単木でみると直径23.6cmのものが最大であり、このときの平均成長量は1.6cm、年輪幅は8mmとなる。

表6 胸高直径の平均成長量

サークル番号 (Ci)	植栽密度 (千本/ha)	15年 (cm/年)	31年 (cm/年)	41年 (cm/年)
C ₁	10.0	<u>0.52</u>	<u>0.37</u>	<u>0.34</u>
C ₂	7.0	0.59	0.42	0.40
C ₃	4.8	0.67	0.49	0.44
C ₄	3.3	0.75	0.55	0.47
C ₅	2.3	0.87	0.62	0.56
C ₆	1.6	0.95	0.74	0.64
C ₇	1.1	1.07	0.87	0.72
C ₈	0.78	1.15	0.95	0.84
C ₉	0.54	1.20	1.00	0.90
C ₁₀	0.38	<u>1.20</u>	<u>1.07</u>	<u>0.96</u>
max/min	—	2.3	2.9	2.8

6 単木材積

単木材積を直接測定することはできないの

で、樹高と直径の測定結果を立木幹材積表に絡めて求めるのが一般的である。したがって、材積では樹高と胸高直径のそれぞれの傾向が複合され、上記4・5でみたように両者の傾向が同じであれば、結果的にその傾向がより強調されて現れることになる。

図5は、41年生時の各サークルの植栽密度と平均単木材積との相関関係を示すもので、Excelで求めた近似曲線を挿入してある。

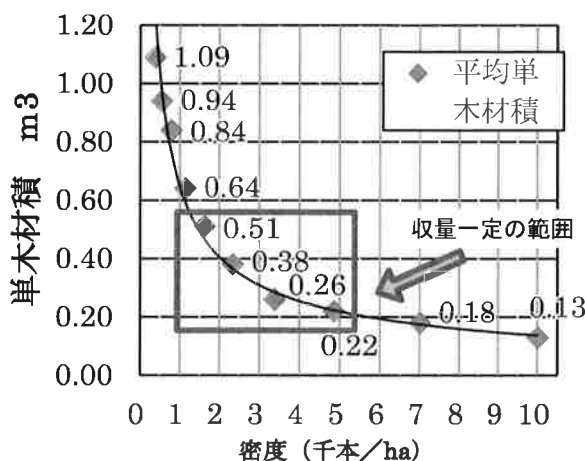


図5 植栽密度と平均単木材積

これを見ると、樹高や胸高直径の場合と類似の曲線とはなるが、密度による差がより端的に現れている。このときの相関係数は-0.75と相当に強い。

データを高密度区と低密度区の2つのグループに分けると、相関係数は高密度区で-0.63、低密度区で-0.83となり、低密度区の方は相関係数の絶対値がより強くなったが、高密度区では逆に弱くなった。

また、単木材積 v_i (m^3) を目的変数、密度 x_i (千本/ha) を説明変数として回帰直線を求めると、

$$\text{高密度区 } v_i = -0.021x_i + 0.33$$

$$\text{低密度区 } v_i = -0.35x_i + 1.13$$

となり、回帰係数の絶対値が低密度区では高密度区の16倍になった。他の林齢においても10倍程度の差が認められた。

しかしながら、材積の場合は、樹高や直径

の場合と異なって、関係する因子が複雑に作用しており、単純な直線による回帰推定値の信頼度は低いと考えるべきである。なお、相関の程度を示す相関係数については数値のとおりと理解してよい。

表7は、各林齢におけるサークルごとの平均単木材積をまとめたものである。この表は、次のことを示している。

- ① 平均単木材積は、すべての林齢において密度が低いほど大きい。
- ② すべての密度において高齢なほど大きい。
- ③ 同一林齢における最高と最低の比は、6.0~10.0で、その差が顕著である。

表7 平均単木材積

サークル番号 (Ci)	植栽密度 (千本/ha)	15年 (m ³)	31年 (m ³)	41年 (m ³)
C ₁	10.0	<u>0.02</u>	<u>0.07</u>	<u>0.13</u>
C ₂	7.0	0.03	0.10	0.18
C ₃	4.8	0.04	0.14	0.22
C ₄	3.3	0.05	0.18	0.26
C ₅	2.3	0.06	0.24	0.38
C ₆	1.6	0.07	0.35	0.51
C ₇	1.1	0.10	0.47	0.64
C ₈	0.78	0.11	0.57	0.85
C ₉	0.54	0.12	0.58	0.94
C ₁₀	0.38	<u>0.12</u>	<u>0.70</u>	<u>1.09</u>
max/min	—	6.0	10.0	8.4

7 ヘクタール当り材積

表8は、各林齢におけるサークルごとのヘクタール当り材積をまとめたものである。

ヘクタール当り材積は、サークル上に現存する立木本数に平均単木材積を乗じて、単位面積当たりに換算したものである。したがって、データとしては表8にサークルの平均値として示したもののみである。毎木の単木材積に対応した数値は、計算はできるが、意味のある数字ではない。

表8 ヘクタール当り材積

サークル番号 (Ci)	植栽密度 (千本/ha)	15年 (m ³ /ha)	31年 (m ³ /ha)	41年 (m ³ /ha)
C ₁	10.0	200	506	469
C ₂	7.0	<u>208</u>	579	730
C ₃	4.8	193	583	797
C ₄	3.3	167	<u>602</u>	822
C ₅	2.3	140	558	<u>859</u>
C ₆	1.6	113	566	801
C ₇	1.1	112	527	718
C ₈	0.78	86	444	662
C ₉	0.54	65	314	508
C ₁₀	0.38	44	248	387

図6は、今回は分析の対象にしなかった11・27・35年生時のデータ（資料の棄却検定はしていない）も含めて、各サークルの植栽密度とヘクタール当り材積との関係を示したもので、Excelで求めた近似曲線を挿入してある。

表8・図6は、次のことを示している。

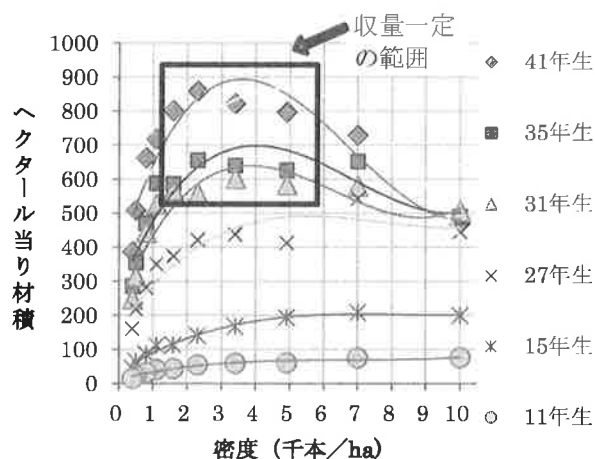


図6 植栽密度と ha 当たり材積の推移

- ① ヘクタール当り材積は、若齢の15年では単木材積よりも本数の多さが利いて、高密度ほど材積が多い。
- ② 林齢とともに単木材積の増大が利いてきて、41年ではC₅ (1.6千本/ha) で最高と

なる。

- ③ しかし、 C_7 (1.1 千本/ha) 以下の密度では依然として本数の少なさが利いて少なくなる。
- ④ 曲線の頂上部 C_3 (4.8 千本/ha) ~ C_6 (1.6 千本/ha) では、密度のいかんにかかわらず約 $800\text{m}^3/\text{ha}$ に達している。すなわち、41 年生時点のこの範囲では、高水準で収量が一定しているといえる。

表9 平均材積成長量

サークル 番号 (C_i)	植栽密度 (千本/ha)	15 年 ($\text{m}^3/\text{ha}, \text{年}$)	31 年 ($\text{m}^3/\text{ha}, \text{年}$)	41 年 ($\text{m}^3/\text{ha}, \text{年}$)
C_1	10.0	13.3	16.3	11.4
C_2	7.0	<u>13.9</u>	18.7	17.8
C_3	4.8	12.9	18.8	19.4
C_4	3.3	11.1	<u>19.4</u>	20.0
C_5	2.3	9.3	18.0	<u>21.0</u>
C_6	1.6	7.5	18.3	19.5
C_7	1.1	7.5	17.0	17.5
C_8	0.78	5.7	14.3	16.1
C_9	0.54	4.3	10.1	12.4
C_{10}	0.38	2.9	8.0	9.4
max/min	—	<u>4.8</u>	<u>2.42</u>	<u>2.2</u>

表9は、表8の数値を林齢で除して得たヘクタール当り平均材積成長量である。この表は、次のことを示している。

- ① 平均成長量最大の密度は、15年では C_2 (7.0 千本/ha)、31年では C_4 (3.3 千本/ha)、41年では C_5 (2.3 千本/ha) となって、林齢に伴って密度が低い方へ移行している。
- ② 最少の密度は、41年生時まで C_{10} (0.38 千本/ha) であり、最大との比は、15年では4.8と大きな値を示しているが、15年では半減し、41年ではやや小さくなる傾向にある。
- ③ その他、ヘクタール当たり材積について指摘した①~④の傾向は、平均材積成長量

についてもあてはまる。

第3 考察

1 枯損木の発生状況

今後は枯損木の発生が増加・拡大し、より密度が低いサークルにも及ぶことになる。その推移を観察することは、どの程度の密度であれば無間伐施業によっても林分の健全性が維持されるかを究明する上で重要である。その密度は、既往の林分収穫表等を勘案すれば、1,000 本/ha 程度以下であると考えるので、とくにその付近における変化に注意する必要がある。

2 樹高

(1) 樹高成長の差が及ぼす影響

樹高が材積に及ぼす影響は1次元的であり、2次元で作用する直径の場合よりも小さいといえる。しかし、樹高が高くなるほど形状比が大きくなるので、利用材積の歩留まりを考えるとその影響は重要である。

「九州国有林の展望 (熊本営林局、1957)」では、「成長量は30年までは肥大成長最も旺盛で、20年前後が最高の肥大をなすから著しい梢殺木であるが、30年前後より上部の幹が肥大して材積は急増する」ことを指摘している。

生産目標や伐期齢を検討する際は、樹高が材積や利用率に与える影響についても十分考慮する必要がある。

(2) 密度管理の見直しの必要性

「図2 樹高のイメージ」が示すように、41年生時の平均樹高は C_1 と C_{10} とで5.3mの差がある。これは C_1 の平均樹高15.3mに対しては35%、 C_{10} の平均樹高20.6mに対しては26%に相当する。

このような現象が普遍的に存在するとすれば、「樹高は密度に影響されない」という密度管理理論の前提を見直す必要がある。

(3) 低密度で樹高が高くなる理由

本試験地の調査結果では、密度によって無視できない差が生じ、しかも、一定の規則的關係が成り立っていることが分かった。

普通は樹冠閉鎖前とみられる林分であれば、どの密度でも単木が満度に光を受けられる状況にあると考えてよからう。しかし、その範囲内においても、密度がより低い方の樹高成長量が大きいという事実には、とくに注目する必要がある。

このような現象は、オビスギの、しかも系統的密度試験地という特殊な条件の下で発現したものなのか、それとも他地域・他樹種または品種の間でもありうる、より普遍的な現象であるのかという問題を提示している。しかし、この種のデータで使用可能なものが少ない現状では、この問題を論じて結論は得られない。

ただ、飼肥林業に携わった経験を有する筆者からすれば、オビスギの持つ品種特性が大きく影響している可能性に注目すべきと考える。

樹木の成長に影響する主な環境要因として、光、温度、水、栄養素があげられる。このうち、光と温度の影響は一般的であり、この問題に関与する要因ではない。年間降水量が3千～4千mmの飼肥地方で、水が制限要因となることも考えにくい。

一方、オビスギは成長が速い、樹脂成分を多量に含むといった特性があることを考えると、栄養素に対する要求度が格段に高いであろう。栄養素を巡る競合は根系の競合であり、単木の占有面積が多いほど栄養摂取は容易である。このことは、樹冠閉鎖前であっても樹高が植栽密度に反比例して成長する事実を説明する根拠になるであろう。また、樹高が地位の指標になることとも矛盾しない。

以上は、一つの仮説にすぎないが、今後の研究成果に期待して、このような考え方もあることをあえて述べた次第である。

3 胸高直径

胸高直径が植栽密度に大きく影響されることは、当然予測されたところである。事実、「表6 胸高直径の平均成長量」ですでにみたように、内縁の C_1 (10.0千本/ha)と外縁の C_{10} (0.38千本/ha)とで比較すると、林齢15年で2.4倍、31年で2.9倍、41年で2.8倍の開きがある。

また、平均成長量は41年生時でも相当高い値を示している。このことから、将来の生産目標や伐期齢の検討のため、今後の胸高直径成長を樹高成長とともに追跡調査していくことが必要である。

さらに、直径成長は、材積成長に強く関係することのほかに、木材の強度など材質を左右する年輪幅を決めるということに重要な意義がある。「表6 胸高直径の平均成長量」でみる限り大部分が年輪幅5mm以下で、一般用材としては特に問題ないと考える。

なお、材質の問題に関しては、福地らがこの密度試験地を対象にした研究を行い「低コスト林業に向けた植栽密度の検討——オビスギ植栽密度試験地の結果から——〈日林誌(2011)93:303-308〉」が報告されている。今後も、大学や研究機関等とも連携しつつこのような研究を進めていく必要があると考える。

4 平均単木材積

「表7 平均単木材積」については、最内縁 C_1 と最外縁 C_{10} とで6から10倍の開きがある。このことは、生産目標を決定または想定するに当り植栽密度が重要な要因になることを示している。

5 ヘクタール当り材積

「表8 ヘクタール当り材積」をみると、高密度区では15年で $200\text{m}^3/\text{ha}$ に、41年では広範囲の密度で $800\text{m}^3/\text{ha}$ 程度に達するところがあることなどは、オビスギの成長の速さを示すものである。

林齢が高いほどピークとなる密度の範囲が拡大し、その前後では減少している。このような複雑な線形となっているのは、本数が多いところでは単木材積が少なく、本数の少ないところでは単木材積が多くなっているためである。

しかし、この相関関係を理論的に求めるのは難しいので、試験の包括的な結果として表れた数値を検討材料にすることが現実的である。

また、材積を林齢で除したときに得られる平均成長量は、収量最大の時期を求めるために不可欠な因子である。

重要なのは各林齢間の量的な差異である。「表9 平均材積成長量」によると、すでに枯損木が多く発生している C_1 を除き、どの密度でも15年より31年が、31年より41年が大きな値を示している。

このことから、平均成長量最大の時期が40年生以降に来る可能性があると考え。とくに、低密度区の C_7 、 C_8 付近では今後も成長の可能性が高く、施業方法との関係もあって重要である。5年後、10年後の測定結果が期待される場所である。

6 収量比数 (Ry) の活用

次ページ「表10 収量比数(Ry)の推移」は、「図6 植栽密度と ha 当たり材積の推移」に見るような成長過程に伴って、収量比数 Ry がどのように変化したかを示すものである。

太線は間伐の目安とされる $Ry=0.85$ のラインである。例えば、密度が1.6千本/haであれば、林齢30年付近で間伐が必要になり、

それ以前の保育間伐は不要ということになる。

一方で、密度が4.8千本/haなら、林齢15年で $Ry=0.89$ となっているので、12年時ですでに間伐が必要になっている。

このように、密度試験の結果は、間伐の必要性を検討する際に役に立つ。

7 植栽密度と林業コスト、施業について

試験地の現況から、植栽密度が1.6～4.8千本/haの範囲であれば、標準伐期齢における収穫量はほぼ一定であることが明らかとなった。

近年、人工林資源の充実の一方で、主伐後に造林がされないという問題が顕在化している。

伐採跡地の再造林を推進していくためには造林・保育の低コスト化が一つの大きな課題となっている。

宮崎南部森林管理署管内の南那珂地区での民有林の植栽密度は、2.5千本/haが一般的で、国有林では2.0千本/haである。仮に2.5千本/haから1.5千本/haに変更すると、苗木代、植え付けに係る人工数が数値上は単純に約4割削減される可能性がある。

また、保育間伐を1回または2回実施しないとすれば、そのためのコストも大幅にカットできることとなる。

一方で、疎植すると他の植生が繁茂することにより、下刈や除伐が掛かり増しにもいわれている。

疎植により造林木以外の植生や下刈作業にどのような影響が出るのか、あるいは植え方の工夫により筋刈等でコストの削減はできないのか、また、無間伐が下層植生や林地保全、固体の形質や材質等にどのように影響するのかを検討していく必要がある。

8 試験地の設定と維持管理上の留意事項

この試験地については、設定後40年以上経過し、現在の標準伐期齢に見合う明確な結果を得たので、所期の目的は達成したといえる。

しかし、検討の過程で、生産目標をどこに

表10 収量比数(Ry)の推移

植栽密度 (千本/ha)	10.0	7.0	4.9	3.4	2.3	1.6	1.1	0.8	0.5	0.4
11年生時	1.0上	1.0上	0.84	0.72	0.62	0.52	0.42	0.35	0.3下	0.3下
15年生時	1.0上	1.0上	0.89	0.82	0.74	0.64	0.55	0.46	0.35	0.3下
27年生時	1.0上	1.0上	0.99	0.94	0.88	0.84	0.74	0.66	0.53	0.3下
31年生時	1.0上	1.0上	1.0上	0.96	0.95	0.88	0.85	0.73	0.60	0.51
35年生時	1.0上	1.0上	1.0上	0.98	0.95	0.89	0.83	0.73	0.62	0.48
41年生時	1.0上	1.0上	1.0上	1.0上	0.97	0.93	0.86	0.79	0.69	0.58

置くか、長伐期大径材生産の姿をどのように描くかなど、今後の継続調査に期待すべき事項が多数あることも分かった。

そこで、今後の維持管理と新たに類似の試験地の設定を検討しようとしている林業技術者のために、反省点を含めて、次に留意事項をまとめた。

(1) 試験の目的

試験の目的は、同一立地条件の下での植栽密度と林分成長との関係を解明することであって、間伐の効果や地力の差による成長への影響を直接的に求めることではない。

(2) 設計に当たっての留意点

- ① 列と列との中心角(α)と拡大係数(p)の範囲はかなり限定的である。 α は10度前後、 p は1.15～1.20程度がよからう。これらから離れるほど単木の占有面の形がいびつになっていく。
- ② 結果的に説明変数 x_i となる密度の数もかなり限定的なものとならざるを得ない。しかし、その欠点は連続的・効率的なデータが得られることによって補完される。
- ③ 円の直径は50mから100m、説明変数 x_i の数は10～12個程度となる。

(3) 現地設定に当たっての留意事項

- ① 維持管理や調査の利便性を考えると、林道から近い場所が望ましい。
- ② 試験地内での生育条件を一定にするため、できるだけ平坦な地形が望ましい。
- ③ 植栽は丁寧に行い、欠落を防ぐ。
- ④ サークル番号と列番号は、現地にしっかり表示する。

(4) 維持管理上の留意事項

- ① 間伐、枝打ちや施肥はしない。解析因子が増え、本質ではない(応用が利かない)ところで説明が複雑になるだけである。

もともと、この方法は間伐方法や地力の影響をみる試験には不適である。

- ② データ数を確保するため、除伐と若齢時の補植は不可欠である。
- ③ 最外縁部には十分な緩衝地帯を確保し、隣接林分の影響を最小限に抑える必要がある。状況次第では最外縁のデータも有効となる。
- ④ 調査事項(樹高、直径、枝張り、下層植生、外接林分の状況等)と、計測の単位(樹高0.5m、直径cm)、計測機器、野帳の様式等の調査方法をあらかじめ規定しておく。
- ⑤ また、材積表の補間(直径1cm、樹高0.5m単位)をしておく必要がある。

(5) 提言

以上とは別に、被陰するものがなく光を満度に受ける環境下で、単木の成長の様子を観察する試験が必要である。我々林業技術者は、ha当りのみを論じ、一本一本を軽んじてきたのではないか。

しかし、1haの林分は1本の樹木の集団である。本稿における分析でも、もし長期にわたる孤立した単木のデータがあれば、将来に向けて見通しを立てることができたと考える場面があった。

このような試験地の設定が単独では困難であれば、円形密度試験地の最外縁部分をさらに2周程度拡大しておくという方法もある。

第4 施業体系をめぐって

この試験地を40年以上にわたって維持管理してきた結果、植栽密度が樹高成長に相当程度の影響を与えること、単木材積に対しても最少と最大の比が10倍に及ぶような極端な差を生じさせること、材積については5千本/haでも1.5千本/haでも40年を過ぎればあまり変わらないことなどが明らかになって、貴重な成果を上げることができた。

これらの成果をどう生かすか、すなわち、

今後のオビスギの施業をどのように考えるかについて触れておきたい。

材積収穫量が「C₃ (4.8 千本/ha)～C₆ (1.6 千本/ha) の間では、密度のいかんにかかわらずほぼ一定」という結果には迫力がある。

また、平均成長量最大の密度が、林齢に伴って疎植の方向へ移行していることも分かった。これらに加えて、そもそも、オビスギや飢肥林業の本質は何であったかという技術的・文化的背景を踏まえると、疎植という選択肢が見えてくる。

具体的な植栽本数については、1.0 千本/ha 程度とする A 案と、1.5 千本/ha 程度とする B 案の二つを検討してみた。1.0 千本/ha も 1.5 千本/ha も、従来と比べれば相当な疎植には違いないが、この二つの案の間には、施業体系の基本的な考え方を巡って、大きな相違があると思うからである。論点は次のようなものだ。

(1) A 案 (1.0 千本/ha) について

- ① 生産目標は大径の多目的利用材とする。
- ② 施業体系は、皆伐—新植—無間伐—長伐期とする。
- ③ 技術的根拠としては、41 年生までの密度試験地のデータで十分実証されたとはいえない。

また、水源涵養保安林が大部分を占めているので、林地保全上の問題もある。

しかし、飢肥林業の歴史や林齢 138 年に達する三ッ岩林木遺伝資源保存林の成長経過と現況等を考慮すると、可能性は十分あると考える。

④ 背景の認識

国産材が外材との競争で優位に立ちにくい最大の理由は、径級の細さにある。このことは、大径の外材を扱う大規模工場の製材ラインをみれば一目瞭然である。大径材の有利性は、伐採から商品製造までの全工程に及ぶ。

また、現在の住宅建築においては、内装以外で木材が目に見える使い方は少ない。構造材としての木材利用は、今後 CLT(直交集成板) のような形態になり、役物の需要は限定的になると考えられる。

⑤ 問題点・課題

問題点は、事務的には 1.0 千本/ha 植えの場合、保安林の指定施業要件の変更が必要になる。

また、造林補助制度の運営上、造林者が疎植により不利になることのないような措置が必要である。

課題としては、大径木の大量かつ安定的供給の見込みが立たなければ、需要開発が進まないことである。このため、相当広域にわたる地域の意志をまとめて取り組むことが不可欠である。

(2) B 案 (1.5 千本/ha) について

- ① 生産目標は良質な一般建築用材とする。
- ② 施業体系は、皆伐—新植—少間伐—通常伐期とする。
- ③ 技術的根拠としては、2.5 千本/ha に比べれば大幅な減少となるが、すでに試験的な植栽も行われており、密度試験地の結果からみても疎植の有利性を確保しながら確実な更新を期待できる。

また、大径材の生産については、有利性が明確になった段階で途中から対応することも可能であろう。

④ 背景の認識

人工林の大径化が問題となっている今日、極端な疎植——長伐期大径材生産を目指すのは、当面の需要確保に問題が残る。保安林の機能維持という観点からも慎重な順応的対応が求められる。

⑤ 問題点・課題

この施業体系は従来の延長線上にあるともいえるので、特別な問題点はない。

課題としては、今後の中長期的木材利用

動向に対応できるかということがある。情勢が不利になった場合に備えて、育林過程で生産目標の変更が可能かどうか、具体的・技術的に検討しておくことも必要である。

(3) 結論

疎植の有利性は今回の密度試験の結果からも明らかになったといえよう。しかし、1.0千本/haがいいのか、それとも1.5千本/haがいいのか。具体的に何本が適当かについては、宮崎南部森林管理署管内で昭和20年代～30年代に1.0千本/ha～1.5千本/ha程度で造成された無間伐施業林分の現況等も含め検討はしたものの、結論を得るには至らなかった。また、ここで結論を求める必要もないであろう。それは、造林者が現場の状況に応じて決めるべき問題と考える。

今回の密度試験においては、そのために役立つ客観的資料を提供することができたと考えている。これを機会に、各方面でさらなる研究や議論が進むことを強く期待している。

おわりに

林業はもともと地域的なものである。我が国の有名林業地はそれぞれ地域の特性を活かしながら独自の施業体系を形成し、地域の林業を発展させた。今、それが曲がり角に来ていることも事実だが、対応策としてはやはり地域の特性を前面に押し出したものにしなければならない。このことは、我が国の林業のみならず、先進諸国の1次産業に共通な課題となっている。

例えば、フランスの田舎を旅行していると、放牧している牛の種類が地方ごとに異なっている。平地のノルマンデーの牛は眼のふちがぶちになっていて、眼鏡をかけたような顔をしている。山岳地のピレネーでは全身灰色で人懐っこい牛が近寄ってくれる。ヤギや羊にも特色があって、村の数よりも多いといわれている豊富な種類のチーズ生産を支えている。

このような多様性によってフランスのチーズは世界の市場に確固たる地位を占めている。

宮崎南部に行けば海岸から嶺の上までスギが生えている、どの沢を分け入っても大木にあふれているという、森林国日本の中でも独特の風景を描いてみるのもよいではないか。それこそが、飼肥林業が、オビスギという貴重な資産を守りながら、誇りをかけてその伝統を継承し、地域林業の形成に向けて進む姿の象徴であろう。

終わりにあたり、試験地の設定に当たって尽力された旧飼肥営林署の皆さん、試験地を良好な状態で維持し、度重なる調査を繰り返してこられた宮崎南部森林管理署職員の皆さん、この試験地を調査研究の対象とされた研究者・技術者の皆さん、執筆の契機となった調査資料を提供いただいた宮崎南部森林管理署の石神署長に心から感謝申し上げる。(下山)

これまで述べてきたとおり、試験地設定から40年以上を経て、多くのことを得ることができた。当署においては、今後も調査・分析・検討を継続して技術的合理性を追求し、今後の森林施業、林業の低コスト化、ひいては林業の成長産業化や新たな飼肥林業へ繋いでいければと考えている。

40年以上前に、この試験地設定に携わった当時の造林係長が、昭和49年発行の熊本営林局機関誌である「暖帯林」に次のような言葉を残している。

「(中略)～飼肥林業が疎植であったのは、台風常襲地帯での風倒防止、高温多湿という地理的条件と樹病との関係、オビスギの品種的特性、地理的条件等種々の因子が交錯する中で、総合的にみて有利な施業方法であったことによるものですから、単に素材の有利販売という面からのみの施業方法の変更はあってはなりません。」

これは国有林林業技術者としての想いの現

れと強く感じる。そしてこの言葉の後半部分を現在に置き換えるならば、「～単に低コスト化という面からのみの施業方法の変更はあってはなりません。」といえるのではないだろうか。

試験地の設定当時は高品質材生産のための疎植から密植へ、そして現在は低コスト化のための密植から疎植へと、わずか半世紀に満たない期間の中で、森林施業の考え方に真逆ともいえる大きな変化があった。

しかしながら、私たちは林業技術者として、公益性や経済性など様々な状況を見極め、我が国の森林・林業の再生・発展のため、総合的によりよいやまづくりを目指していく必要があると思う。

最後に、40年以上も前にこのような先見性のある林分密度試験地を設定し、後の世代に残してくれた下山署長始め、調査を続けてきた国有林林業技術者である先輩方に敬意と感謝を表したい。

また、この試験地について、平成28年度森林・林業技術交流発表大会での発表に当たり、調査・分析・検討に当たった当署の若き国有林林業技術者が今回の研究を契機としてさらに研鑽を積み、森林・林業の再生のため貢献していくことを期待する。(石神)

参考文献

- 1 小川晴雄 (1974)：系統配置によるオビスギの密度試験，暖帯林 11月号，熊本営林局，20～25
- 2 宮崎南部森林管理署 (2016)：林分密度試験地の経過と現状について，宮崎南部森林管理署業務資料
- 3 加藤忠安 (1985)：密度試験林調査について，熊本営林局，第16回業務研究発表集録
- 4 萩元繁光 (1990)：林分密度試験調査について〈第2報〉，熊本営林局，第21回

業務研究発表集録

- 5 森俊之・谷口慎吾 (2005)：林分密度試験地の経過と現状について〈中間報告〉，九州森林管理局，平成17年度森林の流域管理システム推進発表大会集録，48～50
- 6 福地晋輔・吉田茂二郎・村上拓彦・加治佐剛・太田徹志・長島啓子 (2011)：低コスト林業に向けた植栽密度の検討，日林誌 93，303-08
- 7 津島俊治ほか (2006)：スギさし木品種の成長と木材性質へ及ぼす植栽密度の影響，木材学会誌 Vol. 52, No. 4
- 8 砂野真・眞邊昭 (1989)：系統的配置による植栽密度試験，日林北支論 37
- 9 佐々木祐希子・竹内郁雄・寺岡行雄 (2009)：植栽密度の違いが植栽木の成長に及ぼす影響，九州森林研究 62，14～17
- 10 高橋正義・古家直行 (2013)：系統的配置による植栽密度試験と樹高成長，北森研 61，
- 11 熊本営林局 (1957)：九州国有林の展望，216
- 12 石崎厚美 (1960)：技術的に見た有名林業 その5 飢肥林業，林業技術 223，日本林業技術協会，38～43
- 13 四手井綱英 (1960)：林分密度の問題などについて，林業技術 223，日本林業技術協会，5～8

[著者]

下山晴平 (しもやま はるへい)／公益社団法人日本技術士会名誉会員／元熊本営林局飢肥営林署長／技術士 (森林部門・林業)・環境部門
 石神智生 (いしがみ ともお)／九州森林管理局宮崎南部森林管理署長／技術士 (森林部門・林業)