

## 吉永町南部地域のヒノキの樹冠構造と生産力

水 永 博 己

The crown structure and the productivity of *Chamaecyparis obtusa* in the south of Yoshinaga.

MIZUNAGA Hiromi

要旨：吉永町南部地域には樹冠の細いヒノキが分布する。このヒノキは正常な個体と比較して枝が細く短く葉が幹の中央に集中して分布したが、樹高成長量、葉の幹を作る能率に違いは見られなかった。このような樹冠構造を使ってシミュレーションモデルにより個体密度ごとの胸高断面積成長量を予測した結果、30年生前後で5000本 $\text{ha}^{-1}$ 前後の個体密度で管理すると有利であることが導かれた。

キーワード

ヒノキ 樹冠形状 着葉分布 吉永町南部

## I. はじめに

通常実施されている間伐や枝打ちなどの人工林の育林作業は、その結果として得られる材質や成長量をコントロールすることを目的としている。しかしそのコントロールは材質や成長量を直接制御するのではなく、樹冠や林冠をコントロールしながら間接的な効果として、目的とする個体成長及び材質を得ようとしている<sup>(2)</sup>。著者は、育林作業によって林冠構造に変化が生じ、個体の成長に影響を及ぼす過程をモデル化することで、その作業の効果を予測する研究を行ってきた<sup>(9, 10)</sup>。このモデルの中で個々の樹木の樹冠の形態は林冠を構成する重要な要素であり、幹の成長に深い関係があることが知られていることから<sup>(6)</sup>、樹冠形態や樹冠内部の構造に関する研究は重要である。

一般に樹冠は樹齢とともに先端部が丸くなることが知られている<sup>(5, 9, 17)</sup>。また、遺伝的な性質の違いによって樹冠形態が異なる場合もある<sup>(11, 14, 18)</sup>。このような樹齢や遺伝特性による樹冠形状の変異のみでなく、地域的な樹冠形状の変異の存在も考えられる。

岡山県の東南部に位置する和気郡吉永町の南部から備前市にかけての地域に（以下、吉永町南部地域と呼ぶ）樹冠幅が狭いネズミサシが分布する。このネズミサシはホウキネズ(*Juniperus utilis* Sieb. et Zucc. var. *obeliscea* Nakai)と呼ばれ、ネズミサシの変種と扱われていた。この地域にはネズミサシだけではなく、樹冠幅が狭いヒノキが分布する（図-1）。このような樹冠幅の狭いヒノキは当地域だけではなく、長崎県波佐見町<sup>(2)</sup>、佐賀県有田町<sup>(8)</sup>、霧島山麓地帯、静岡県富士川流域、岐阜県東南部<sup>(7)</sup>にも分布が確認されている。このヒノキは愛媛県でも自生しており、フデガタヒノキ(*Chamaecyparis obtusa* Endl. var. *columnaris* Uyeki)と名付けられているが、林<sup>(3)</sup>は変種として扱うことを疑問視している。西村<sup>(2)</sup>は樹冠幅が狭いヒノキが分布する長崎県波佐見町について特定のヒノキの種子供給体制があったわけではないことを指摘し、遺伝的要因ではなく立地的な原因による樹冠形態異常であろうと推測している。吉永町南部地域のヒノキも岡山県内で通常供給されている種子由来の苗木

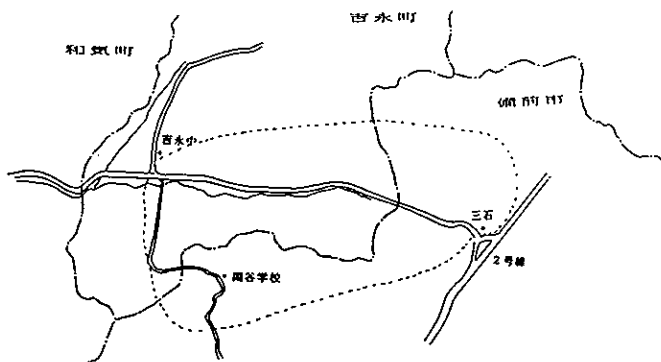


図-1 樹冠幅の狭いヒノキの分布地域

破線で囲まれた部分:樹冠幅の狭いヒノキの分布地域。

が使用されていること、ホウキネズと呼ばれるネズミサシを他の地域に移植したところ樹冠形態の異常がなくなったこと<sup>4)</sup>などから、本地域のヒノキ及びネズミサシの樹冠形態異常は遺伝的な要因であるとは考えにくい。しかし、こうした樹冠形態の異常がなぜ特定の地域で生じるかについては現在のところ明らかにはなっていない。本報告においてもこの原因についてはブラックボックスとして扱い、今後の問題点として残しておく。むしろ、本報告ではこのような異常な樹冠形態が幹の成長にどのような影響を及ぼしているか、育林作業上どのような取り扱いをしたらよいかなどについて考察してみたい。なおこの報告は単県試験研究「ヒノキ林育成技術のシミュレーション化」で測定を実施したものである。

## II. 材料と方法

### 1 材料

正常な樹冠形態を示す林業試験場内のヒノキ林（以下FESと呼ぶ）の中から、平均的な生育を示す個体と被圧個体を1本づつ選び伐採した。吉永町南部の35年生（以下YOS35と呼ぶ）では林分密度の影響を受けにくい林縁個体を1個体と林内の平均的な生育を示す個体を1個体を選び伐採した。9年生のヒノキ林（以下YOS9と呼ぶ）では平均的な生育を示す2個体を選び伐採した。「方法」で示すように伐採した個体は煩雑な手段で樹冠を解析し、1個体あたりの測定に多くの労力を要するため、数多くの個体を測定することはできなかった。そのため、測定個体及び測定森林の選定は慎重に行い、吉永町南部地域のヒノキの代表値とした。

YOS35とYOS9の両森林は瀬戸内気候帯に属し年降水量は1300~1400mmと比較的少ない。また土壌条件は石英粗面岩を母材とする受食土壌でせき悪な土壌条件にある。一方FESは津山盆地内に位置し年降水量は1600~1700mmである。土壌条件は淡黒色土壌である。

YOS9やYOS35の樹冠の形状の特異性や葉の能率の比較をするため、別の目的で津山盆地周辺のヒノキについて測定した樹冠の形状及び葉の幹を作る能率のデータを用いた。なお津山盆地周辺のヒノキの樹冠形状は岡山県の一般的なヒノキの樹冠形状と大きな違いはみられず、岡山県の標準的な樹冠形状とみなして差し支えないものと考えた。

### 2 方法

FESとYOS9及びYOS35の伐採個体について、梢端から60cmの材に玉切り、枝の直径と枝長と水平

からの角度を全ての枝について測定した。また、それぞれの材から枝を大中小3本選び葉と枝乾燥重を測定した。枝の直径は幹に付着する枝の直径を測定した(図-2)。枝隆が発達する枝では、枝隆を除

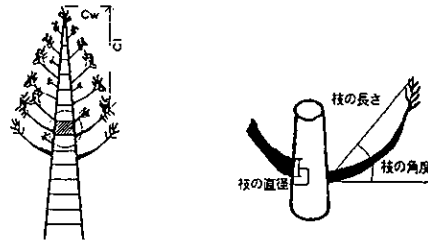


図-2 樹冠形状及び枝の測定方法

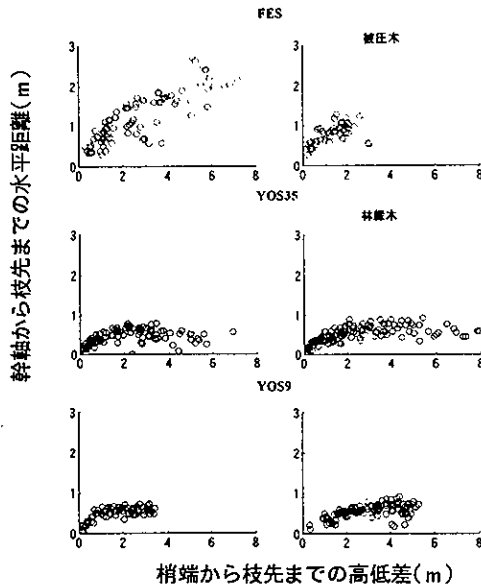
- 左 樹冠形状の測定項目 Cl: 梢端から枝先までの高低差, Cw: 幹軸から枝先までの幅。
- 右 枝の測定項目

いた部分で幹に最も近い部分を測定した。枝の長さは枝と幹が付着する部分から枝先までを結ぶ線分の長さで示した(図-2)。枝の角度は枝と幹が付着する部分から枝先までの直線と水平線の間に挟まれる鋭角を測定した(図-2)。さらに水永<sup>10)</sup>の方法で葉数指数を測定することで、樹冠内の0.2mの水平幅で0.2mの高さのドーナツ空間ごとの着葉密度(乾重 $\text{kg m}^{-3}$ )を解析した。さらに各材の年輪も調べた。

### III. 樹冠構造の測定結果

#### 1. 樹冠の形状

樹冠の形状は梢端からの枝先までの高低差Clと幹軸からの枝先までの水平距離Cwの関係で示すことができる(図-2)。YOS9及びYOS35はのFESに比べてあきらかに樹冠幅が狭かった(図-3)。た



梢端から枝先までの高低差(m)  
図-3 測定個体の樹冠形状

例えばFESでは被圧木でも幹軸から枝先までの水平距離 $Cw$ が1mに達するのに、YOS35では林縁木でも $Cw$ の最大値(一般に樹冠半径と呼ばれる)は1mに満たなかった。梢端からの高低差 $Cl$ が小さい位置においても両者の違いはみられた。スギ、ヒノキ、トドマツの樹冠について、 $Cl$ と $Cw$ の間には(1)式が成り立つことが認められている<sup>(4,9)</sup>。

$$Cl = aCwb \quad (1)$$

そこで今回測定した6個体について(1)式にあてはめて、パラメータについて津山盆地周辺のヒノキと比較した。パラメータ $b$ は大きな違いが認められなかった。パラメータ $a$ は樹齢とともに小さくなるが、YOS9とYOS35の個体のパラメータ $a$ は他の個体に比べて大きかった(図-4)。パラメータ $a$ が大きいほど細い樹冠をしていると言えるので、YOS9及びYOS35の樹冠は一般のヒノキにくらべて細いと考えて良い。

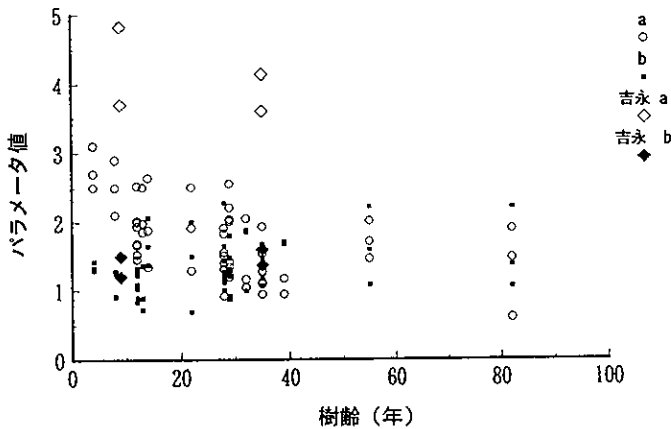


図-4 樹冠形状パラメータの比較  
最小自乗法で回帰した(1)式のパラメータ。

このような樹冠の形状の違いは、枝の大きさや枝の付着角度の違いに由来すると考えられるので、次に枝の直径、枝の長さ、枝の角度を解析した。

(1) 枝の直径

FESの枝の直径は梢端から枝の付け根までの高低差が大きくなるほど(言い換えれば、下方の枝ほど)大きくなった(図-5)。梢端からの枝の付け根までの高低差が2mの位置までの間ではYOS35とFESでは違いが見られなかったが、2mより高低差が大きくなるとYOS35の枝の直径は一定となり、最大値は20mmであった。YOS9の枝の直径は梢端からの高低差が1mより大きくなると6~8mmで一定になった。

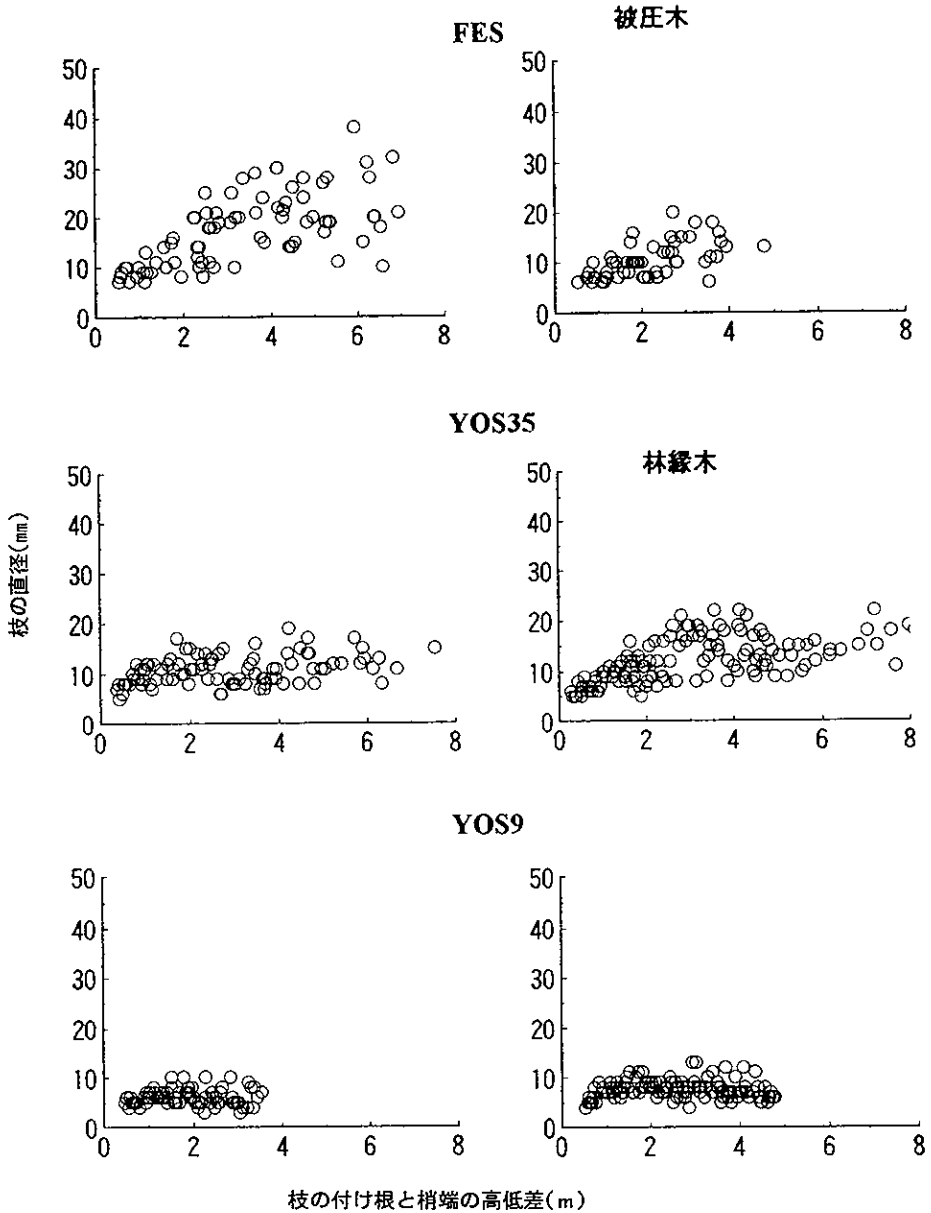


図-5 枝の付け根の位置と枝の直径

(2) 枝の長さ

YOS35はFESに比べて枝が全体的に短かった(図-6)。また、下方の枝ほど枝の長さは長い、YOS35では梢端から枝の付け根までの高低差が3より大きくなると枝の長さは一定となり、1.2mが上限であった。YOS9の枝の長さは2mより高低差が大きくなると一定となり、0.7mが上限であった。

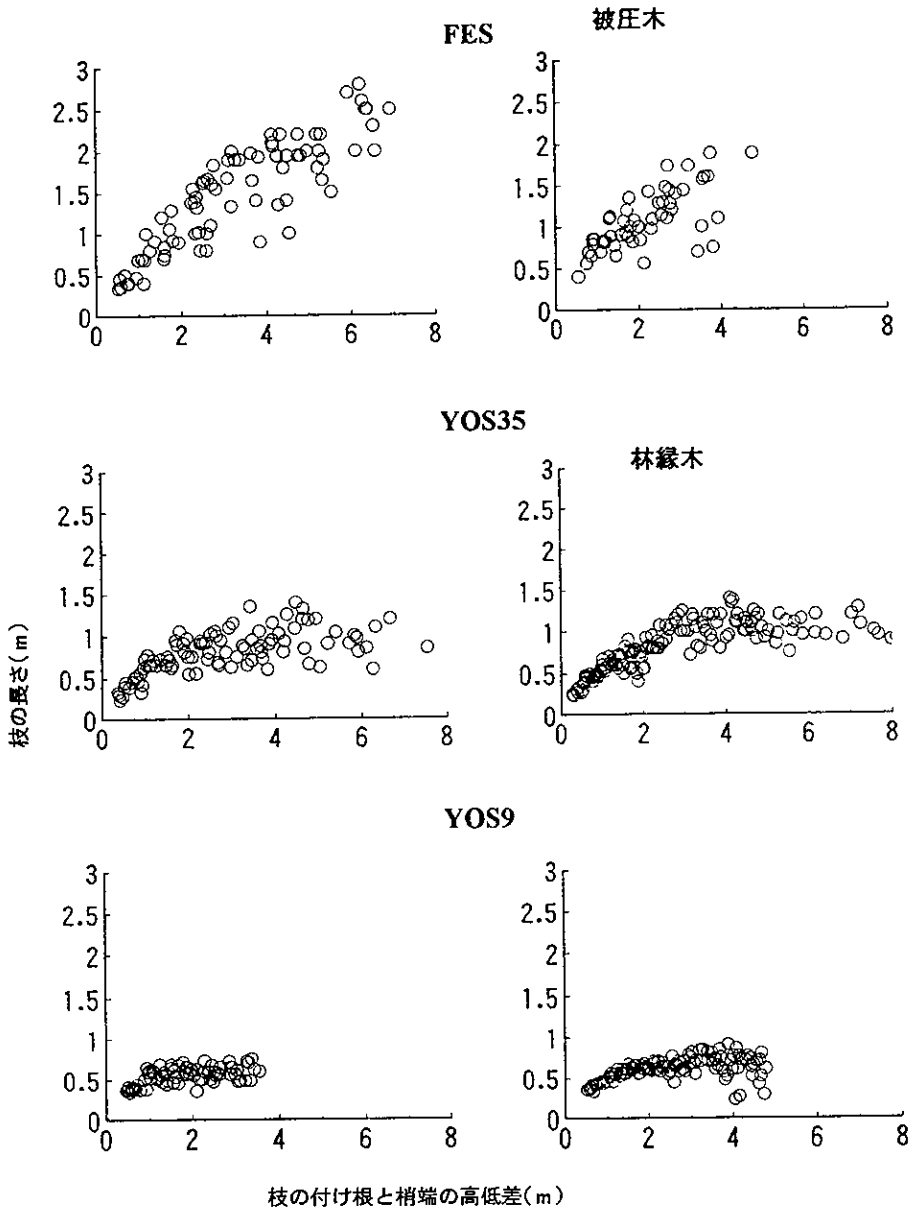


図-6 枝の付け根の位置と枝の長さ

(3) 枝の形状

枝の形状は枝の長さとの比で現すことができる。ここでは、枝の形状比 = 枝の長さ(mm) / 枝の直径 (mm) と定義してFESとYOS35, YOS9の違いを調べた(図-7)。YOS35の枝の形状比はFESよりやや小さかったが、YOS9とFESの違いは明らかでなかった。少なくとも吉永町南部地域のヒノキは細型のタイプではない。

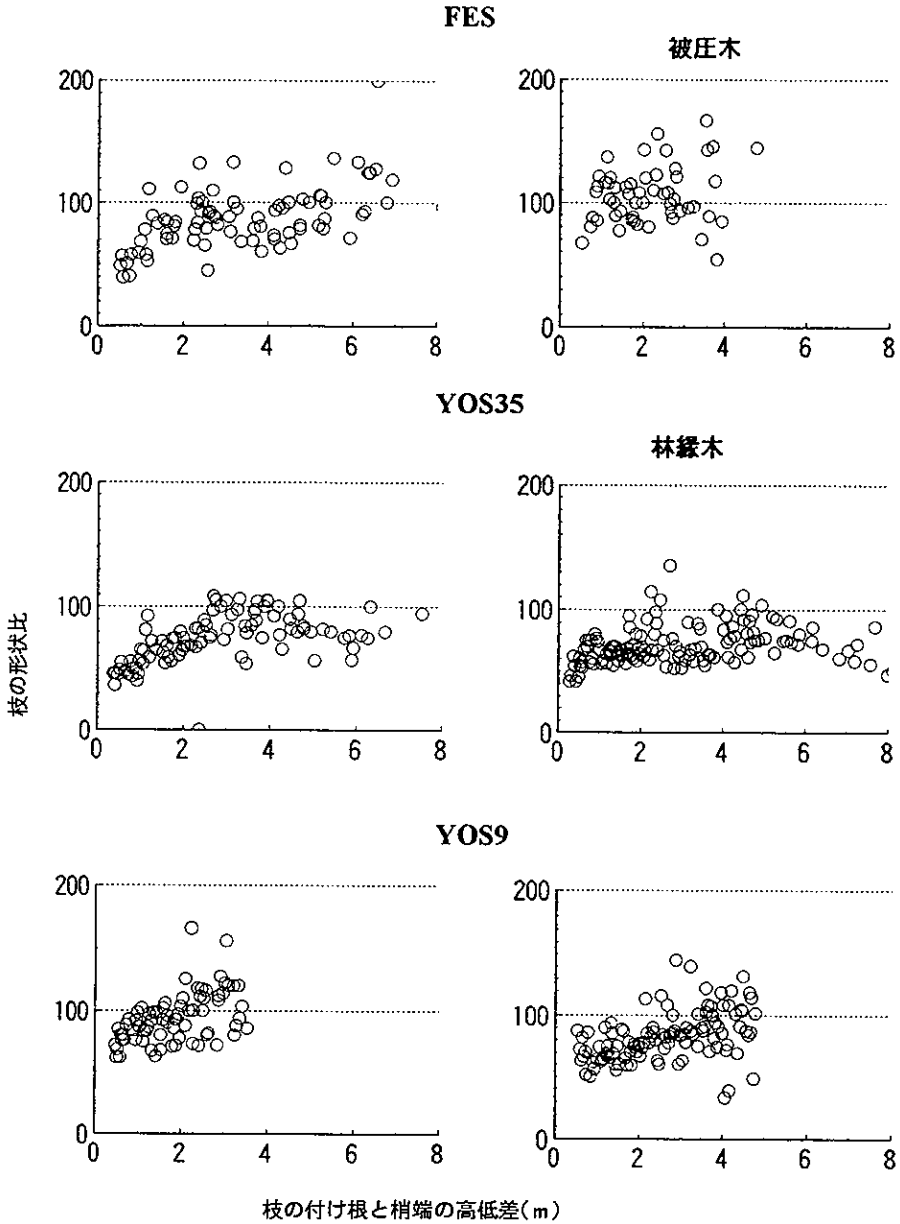


図-7 枝の付け根の位置と枝の形状比

(4) 枝の角度

YOS9の枝の角度は下方の枝ほど小さくなったが、他の林で枝の角度は梢端からの高低差に無関係であった(図-8)。YOS35はFESより95%レベルで有意に大きかった(Mann-Whitneyの検定による)。YOS35の枝の角度のtan値を平均したところ、1.54であった。

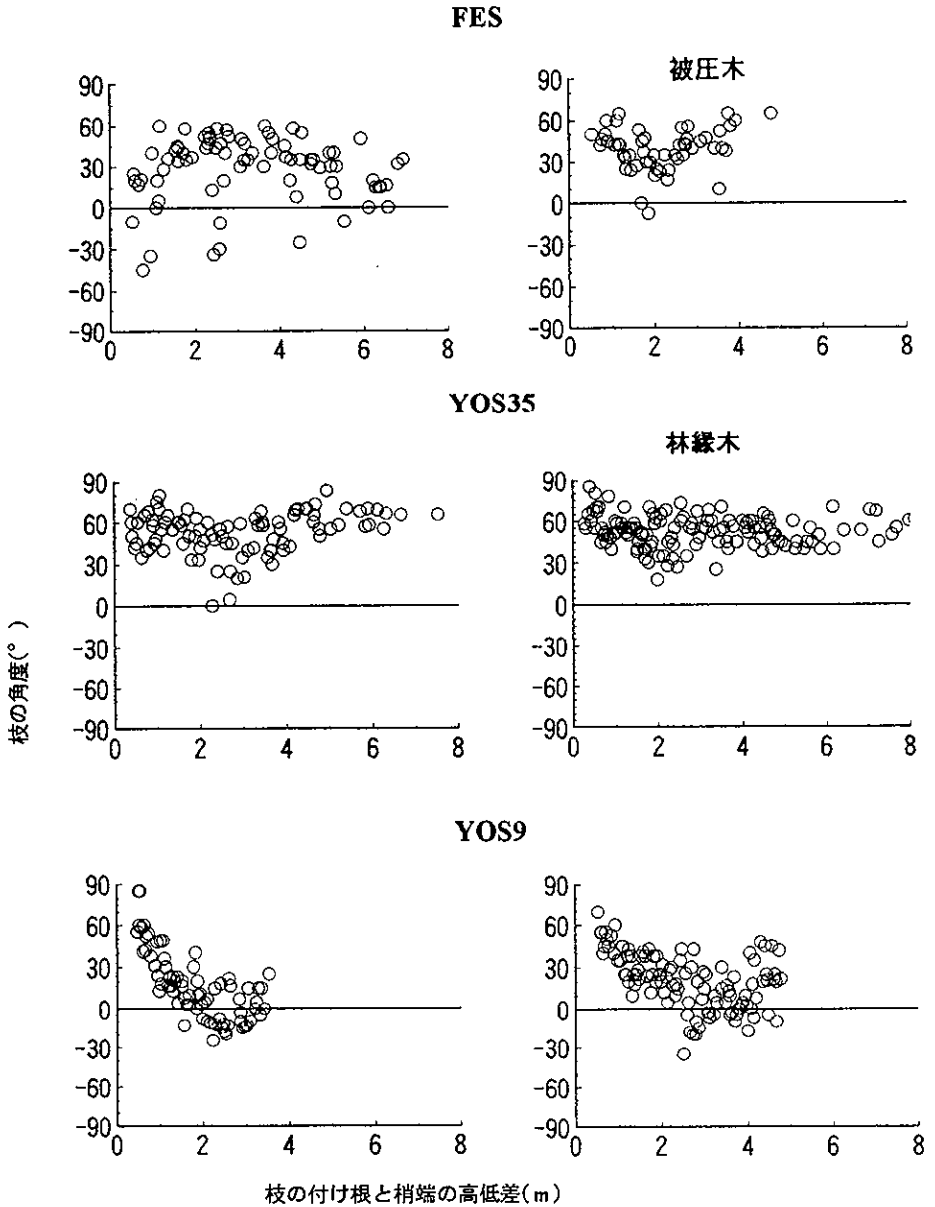


図-8 枝の付け根の位置と枝の角度

PULKKINEN<sup>14)</sup>は樹冠幅の狭いノルウェイスプルースの品種と正常個体との樹冠形態を比べて、樹冠幅の狭いノルウェイスプルースは枝径が小さく、枝の長さは等しく、枝の形状比は大きいやせ型で、枝の角度は小さく垂れ下がったタイプであると報告している。遺伝的な変異と考えられているしだれ型のヒノキ<sup>15)</sup>もこれに似た形状を示すと考えられる。一方、吉永町南部のヒノキはこれとは異なり、枝の径は小さく、枝の長さは短かく、枝の形状比はFESと比べて違いがないかむしろ小さくやせ型とはい



えない。枝の角度はむしろ大きく、垂れ下がるタイプではなかった。吉永町南部のヒノキは枝の伸長成長の制限が細い樹冠形状をもたらしている。したがって樹冠形態の異常原因を探る場合、枝の伸長成長を抑制しているものはなにかを特定することが必要である。たとえば、枝先部分でホルモン代謝、栄養生理、水分生理状態に異常は見られないか、これらの異常は何によってもたらされるかなどを知る必要があり、今後の課題としたい。

2. 葉の分布状態

葉は光合成を行い物質生産の機能を持ち、枝は葉を支持する機能を持つ。したがって葉と枝の重さの比はその枝の物質生産の効率と関係が深いと考えるので、これをFESとYOS35, YOS9で比較するのは意味があると考え。梢端からの高低差が大きいほど葉と枝の比は小さくなり(図-9)、下層ほど葉が少なく生産効率が悪い枝で構成されていることがわかる。YOS35はFESより比が大きい傾向にあった。すなわち、吉永町南部のヒノキは枝の生物量が小さい(枝径が小さく、短い)反面で、葉を相対的に多く付けているので枝の生産効率は高いことが予想される。

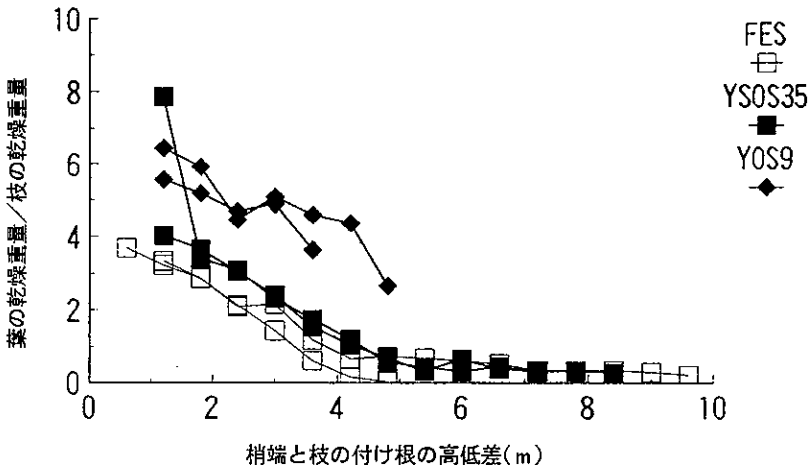


図-9 単位枝重量あたりの葉重量

白四角: FES, 黒四角: YOS35, 黒菱形: YOS9

著者は任意の空間位置の葉の密度が幹からの水平距離 $r$ と樹冠表面からの高低差 $d$ から推定できることを報告した<sup>10)</sup>。すなわち、幹からの水平距離が $r$ で、樹冠表面の位置と樹冠表面からの高低差が $d$ の位置までに分布する葉の単位面積当たりの葉乾燥重量を単位面積当たり積算葉重量密度 $Fd(r, d)$ (図-10)とすると、 $Fd(r, d)$ は(2)式であらわされる。

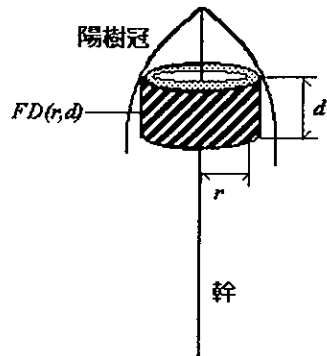


図-10 単位面積当たりの積算葉重量密度  $Fd(r, d)$  の説明

$Fd(r, d)$  = 図中のハッチ部分の単位面積当たり葉重量

$$d \leq -\frac{\gamma}{\beta} \text{ のとき, } Fd(r, d) = \exp(\kappa + \alpha r^2 + \beta d + \gamma \ln(d)) = d^\gamma \exp(\kappa + \alpha r^2 + \beta d) \quad (2)$$

$$d > -\frac{\gamma}{\beta} \text{ のとき, } Fd(r, d) = \left(-\frac{\gamma}{\beta}\right)^\gamma \exp(\kappa + \alpha r^2 - \gamma)$$

$\alpha, \beta, \gamma, \kappa$ ; (2)式のパラメータ。

$r, d$ の位置の体積あたりの葉の乾燥重量密度 $fd(r, d)$ は(2)式を $Fd(r, d)$ を $d$ について微分することで求めることができる。

すなわち

$$d \leq -\frac{\gamma}{\beta} \text{ のとき, } fd(r, d) = (\gamma + \beta d)d^{\gamma-1} \exp(\kappa + \alpha r^2 + \beta d) \quad (3)$$

$$d > -\frac{\gamma}{\beta} \text{ のとき, } fd(r, d) = 0$$

そこでFESとYOS35の個体の着葉分布状態を(2)式にあてはめた。この結果、曲線の適合状態は良好で推定値と実測値の決定係数(切片を0としたときの)は0.8以上と高かった(図-11)。樹冠表面からの高低差 $d$ を一定とすると、葉は幹の近くに多く幹から離れるほど少なくなった。この傾向はYOS35で著しかった。すなわちYOS35の個体は幹の近くに集中して分布した。YOS35の $\kappa$ と $\alpha$ の絶対値が大きかったことは葉の幹の近くの集中性を意味する。

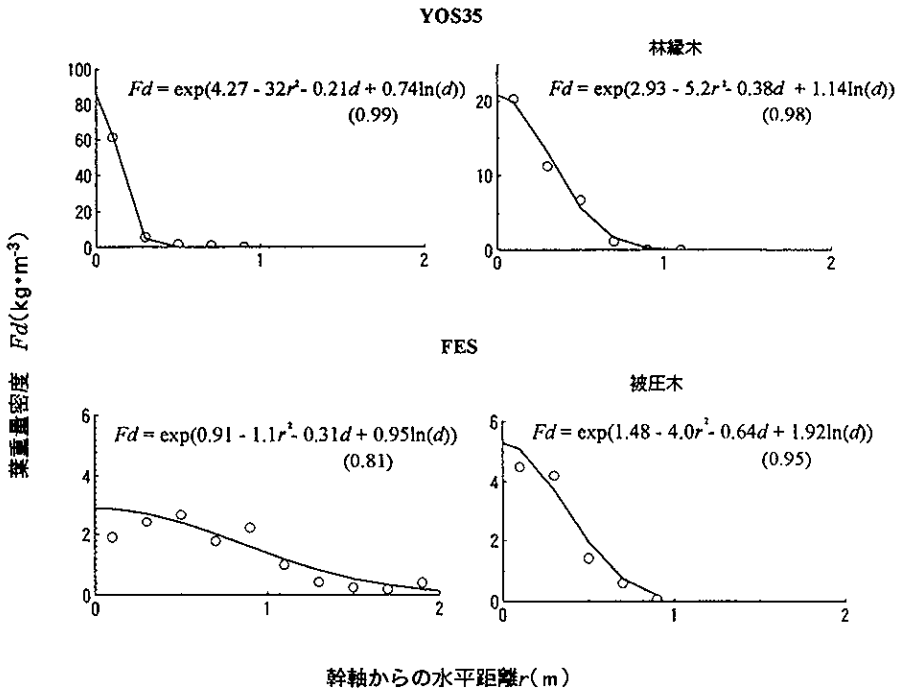


図-11 単位面積当たりの積算葉重量密度 $Fd(r, d)$ と幹軸からの水平距離 $r$ の関係式は各個体ごとに(2)式にあてはめたもの。( )内は決定係数。

幹からの水平距離 $r$ が一定であるとする $Fd(r, d)$ は $d$ とともに大きくなるが、 $d$ が3.5~4 mの位置で一定となった(図-12)。したがってほとんどの葉は樹冠表面から $d=3.5\text{m} \sim 4\text{m}$ の位置の間に分布し、 $d=4\text{m}$ より下方には葉が分布しないことを示す。

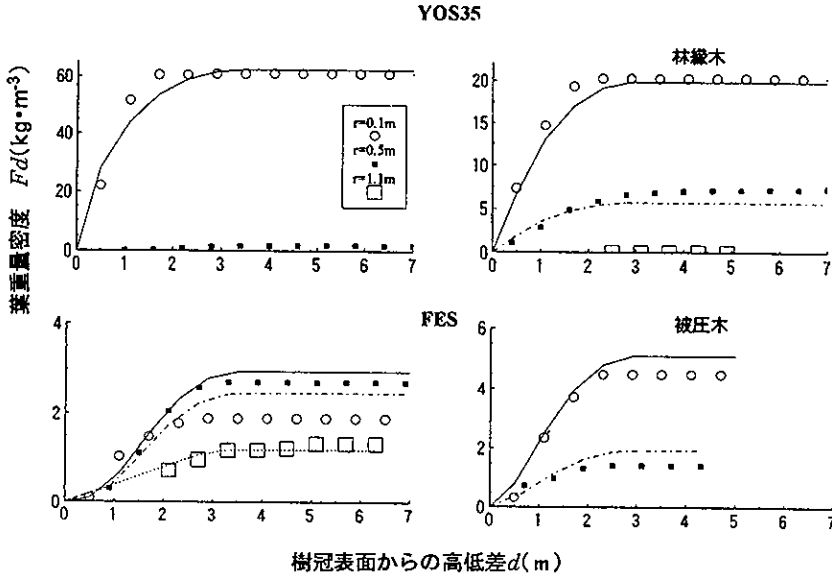


図-12 単位面積当たりの積算葉重量密度  $Fd(r,d)$  と樹冠表面からの高低差 $d$ の関係

3. 幹の成長と葉が幹を作る能力の比較

樹幹解析の資料を用いて樹高の経年変化を調べた。せき悪な土壌条件にもかかわらず、YOS35のヒノキの樹高成長過程はFESと比較して大きな違いは見られず、YOS9のヒノキはむしろFESの初期成長より大きかった(図-13)。YOS35の樹高成長を岡山県収穫表予想表<sup>13</sup>と比較すると、地位3~4(樹高成長量が平均よりやや小さい)に位置づけられた。すなわちこの地域のヒノキは樹冠形態に異常が見られるものの、樹高成長が著しく劣ることはなかった。樹冠幅が狭いヒノキが分布する他の地域においても、このヒノキは平均的な樹高成長を示すことが知られている<sup>14</sup>おり、ここで測定した結果と一致した。

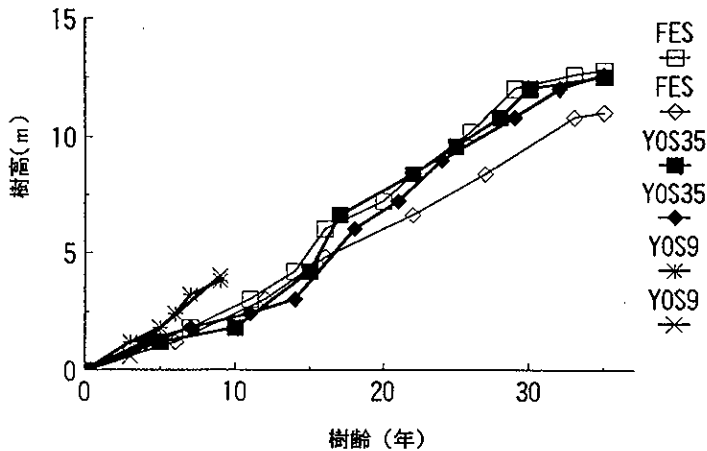


図-13 測定個体の樹高成長量

CHIBAらは樹木のプロフィール理論の中で、任意の位置の単位材長あたりの幹の成長量( $\text{kg yr}^{-1} \text{m}^{-1}$ )が、梢からその位置までに付着する葉の総重量に比例することを仮定した<sup>(1)</sup>。ここで、幹の容積重量が一定であると仮定すると(4)式が成り立つ。

$$\Delta v(z) = \mu v F(z) \quad (4)$$

$\Delta v(z)$ ;梢端からの高低差が $z$ の位置の単位長あたりの幹材積成長量( $\text{m}^2 \text{yr}^{-1}$ ),  $\mu v$ ;葉の幹を作る能率( $\text{m}^2 \text{yr}^{-1} \text{kg}^{-1}$ ),  $F(z)$ ;梢端から $z$ の位置までに付着した葉の総重量(kg)。

そこで $\Delta v(z)$ と $F(z)$ の関係を原点を通る直線で回帰して葉の幹を作る能率 $\mu v$ を求めた。

$\mu v$ は樹齢とともに小さくなった(図-14)。細い樹冠形態を持つYOS35とYOS9の $\mu v$ は他の森林と違いが見られなかった。このことは、細い樹冠形態を持つYOS35とYOS9の個体ごとの葉の重量が正常な樹冠形態を持つ個体とほぼ等しければ同程度の材積成長量は同程度であることを示す。

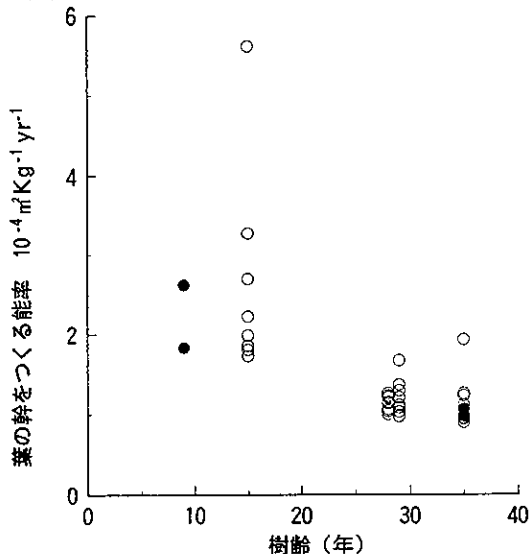


図-14 葉の能率の比較

白丸: 津山盆地周辺のアシタケの葉の能率, 黒丸: 吉永町のヒノキの葉の能率。

以上のように、吉永町南部のヒノキはなんらかの原因で枝の伸長成長は制限されているが、枝のわりに葉が多い。また樹冠が細く個体の占有空間が小さくても葉の着葉密度が高い。しかも、上長成長や葉の幹を作る能力の違いは認められなかった。このことから、個体の材積成長量は劣らず、むしろ高い密度での生育を可能にしていると考えられる。

#### IV. モデルによる個体数密度の検討

樹冠構造はその個体の物質生産と密接な関係にある。育林作業とは(間伐あるいは枝打ちになどよって)個体の物質生産をコントロールする作業であると言えるので、樹冠構造ごとに育林作業システムを検討する必要があると考える。特に本報告の樹冠が細い個体については通常と異なる育林作業方法が考えられて良いだろう。ここでは育林作業方法の中の個体数密度の効果について考えることにする。樹冠が細いヒノキの分布は一地域に限られており、多様な個体数密度の林があるわけではないので、個体数

密度と成長量の関係を現実の森林から調べることは困難である。そこで、コンピュータを用いたモデル<sup>(9,10)</sup>によりモンテカルロシミュレーションを実行することで、互いに異なる個体数密度の林を比較した。ここでは30年生から40年生の個体の取り扱いを中心に議論をすすめたい。

### 1 モデルの概要

モデルを構築する場合、次の各点を仮定した。

(1) 林内の個体の樹冠形状は式にしたがうものとし、パラメータは  $a=3.9$ ,  $b=1.4$  (図-3のYOS35の平均値)とする。

(2) 林内の個体の樹高は平均12.5mで、標準偏差1.3mの正規型乱数で表せるものとする。樹高成長量は平均0.5mで、標準偏差0.08mの正規型乱数で示されるものとする。

(3) 樹冠が隣接個体と接する部分より2m下の位置まで葉は分布する。また、樹冠は個体同士で交差しあわないものとする。

(4) 枝下高の最低値を5mとする(採材する場合一番玉のみ得られればよいと考えた)。すなわち隣接個体と樹冠が接しあわないときの枝下高が5mであるとする。また最下部の枝の角度は57度であるとする(図-8のYOS35の枝角度のtan平均値から求めた。)

(5) 樹冠内の着葉分布はYOS35の2個体をこみにして(2)式にあてはめて得られたパラメータを用いた。 $(\alpha=-7, \beta=-0.16, \gamma=-0.64, \kappa=2.75)$

(6) 葉が幹を作る能率 $\mu$ は $10^{-4}m^2kg^{-1}yr^{-1}$ 、であるとする(図-14のYOS35の平均値)。

(7) haあたり10000, 8100, 6400, 4900, 3600, 2500, 1600, 900本の個体数密度で、均一に個体が分布しているものと仮定した。

(8) モデルの実行は5年間として、5年間に個体の枯損はないものと仮定した。

この仮定にもとづき、各個体数密度の各個体の胸高断面積成長量を比較した。なおシミュレーションは各密度について10回繰り返した。シミュレーションモデルの詳細は水永<sup>(9,10)</sup>の方法に詳しい。

### 2 モデルの実行結果と考察

個体ごとの胸高断面積成長量の平均値は約3000本 $ha^{-1}$ 以下ではほぼ一定で、 $8.5cm^2yr^{-1}$ であった(図-15)。

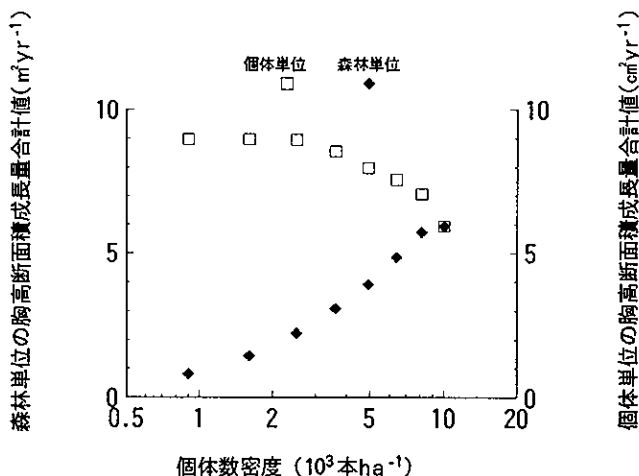


図-15 個体数密度と胸高断面積成長量(シミュレート値)の関係

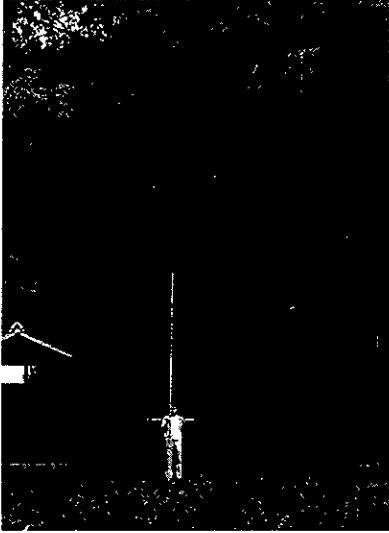
林縁個体で最大の樹冠幅が1mに達さなかったことから、約3000本 $ha^{-1}$ 以下では林冠が閉鎖しえないと考えられる。したがって3000本 $ha^{-1}$ 以下にすると、この地域のヒノキにとって不必要な空間が生じることになるため、成長量が変化しなかったものと考えられる。なお、林縁木の最近の胸高断面積成長量は $7.8cm^2yr^{-1}$ であり、今回推定された最大値とほぼ等しかった。個体ごとの胸高断面積成長量の平均値が著しく低下しはじめると個体数密度は6000本 $ha^{-1}$ であった。3000~6000本 $ha^{-1}$ のあいだでは個体ごとの胸高断面積成長量平均値の変化は小さかった（ほぼ $8.0m^2yr^{-1}$ ）。森林全体の成長量は1000~10000本 $ha^{-1}$ の間では、個体数密度が大きいほど大きいので、5000本 $ha^{-1}$ 前後で森林を管理することが有利であると予測した。仮に胸高直径12cm、地上5mの位置の直径が10cmの個体があるとすると（YOS35の平均個体、林縁個体ともに胸高直径が12cm、地上5mの位置の直径が10cmであった。）、5000本 $ha^{-1}$ で管理すればこの個体の年輪幅は2mmで、ほぼ10年後に胸高直径16cm、地上5mの位置の直径が14cmに達する計算になる。

ここで提唱した個体数密度は通常の密度管理図<sup>(9)</sup>上の最多密度曲線よりはるかに大きい。しかし樹冠形状が特殊なこの地域に特有の管理方法として許されるのではなからうか。肥大成長量が通常より小さすぎるという欠点はあるが、モデルで考察したように個体数密度を小さくして生育空間を十分に与えても肥大成長量は大きくならない。もしこのように肥大成長量が小さいことが経済的に大きなマイナスになるのであれば、この地域でのヒノキの造林は中止すべきであり、すでに生育している森林については経済的な観点を放棄すべきである。しかし一方で、この地域のヒノキ林では緻密な年輪幅の材を単位面積あたり多本数生産しやすいというメリットがある。年輪幅が緻密な材は良質材として好まれる傾向にあるので、年輪幅の緻密な材として商品化することは一つの有力な生産戦略であろう。したがって、この地域の森林が林業として成立するかどうかは、年輪幅が緻密な材を多く生産することの採算性を確かめなければ評価できない。しかし林業として成立するしないに関わらず、現在成立しているヒノキ林について、できるかぎり高密度で生育させ間伐せずに放置して、収穫可能なサイズに達した時に伐採するかどうかを伐出コストとの関係で判断すれば良いと考えた。

## おわりに

吉永町南部に分布するヒノキは枝の伸長成長がなんらかの原因で抑制されたために細い樹冠形状を呈している。しかし幹の樹高成長や葉の幹を作る能率が岡山県内で特に小さいということはなかった。樹冠幅が狭いことによる個体あたりの生育空間の小ささから、低個体数密度でも肥大成長量は小さいことが予想され、高密度での森林管理が有利であることが示された。本論で提唱した密度管理は従来の密度管理の考え方とは大いに異なるが、この方法でもし高年輪密度の優良材を商品化できれば、地域の特性を活かした育林システムとしてユニークな方法として位置づけられるであろう。

この調査について、東備地方振興局森林課の協力を得た。ここに深く感謝する。



吉永町南部のヒノキの樹冠

引用文献

- (1) CHIBA, Y., FUJIMORI, T. and KIYONO, Y. (1988) Another interception of the profile diagram and its availability with consideration of the growth process of forest trees. J. Jpn. For. Soc. 70: 245-254.
- (2) FUJIMORI, T., KANAZAWA, Y., KIYONO, Y., KAMO, K. and MORI, I. (1984) Crown development and stem growth in relation to stand density in even-aged pure stands. (I) Stand structure of young *Cryptomeria japonica*. J. Jpn. For. Soc. 66: 132-140.
- (3) 林 弥栄 (1960) 日本産針葉樹の分類. 農林出版株式会社, 東京.
- (4) 猪瀬光男 (1978) トドマツの単木成長モデル-樹冠形、葉量および成長量の関係-. 林試北支年報: 57-63
- (5) 梶原幹弘 (1975) スギ同齢林における樹冠の形態と量に関する研究 (I) 樹冠形. 日林誌 57: 425-431.
- (6) 梶原幹弘 (1982) スギ, ヒノキにおける樹冠量と幹材積成長量との関係. 京府大演報 26: 16-23.
- (7) 川尻秀樹 (1989) ヒノキのなかの変わり者. 林木の育種 152: 30.
- (8) 松尾保則 (1987) 佐賀県の林業と2~3の林業事例. 森林立地 29: 36-38
- (9) 水永博己 (1992) 林冠動態モデルによる間伐効果予測 (I) 間伐後の林冠表面形状の動態 日林誌 74: 314-324.
- (10) 水永博己 (1994) 林冠動態モデルによる間伐効果予測 (II) 着葉構造と材積成長量の予測と検証 日林誌 76: 329-337.
- (11) 水永博己・丹原哲夫 (1989) スギ精英樹の樹冠構造の遺伝変異 日林関西支講 40: 222-225.
- (12) 西村五月 (1987) 長崎県のヒノキ林と環境. 森林立地 29: 33-35.
- (13) 岡山県農林部林政課 (1984) 岡山民有林スギ、ヒノキ人工林収穫予想表及び林分材積表. 126 pp. 岡山県, 岡山
- (14) PULKKINEN, P. (1991) Crown structure and partitioning of aboveground biomass before the competition phase in a mixed stand of normal crowned Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and pendulous Norway spruce (*Picea abies f. pendula* (Lawson) Sylven). Tree Physiology 8: 361-370.
- (15) 林野庁 (1983) 北近畿、中国地域ヒノキ林分密度管理図. 29pp. 林野庁, 東京
- (16) 里見 薫 私信
- (17) 清水 晃・竹下敬司・西沢正久 (1984) 森林の水土保全機能に関する森林構造学的研究. 九大演報 54: 1-84.
- (18) 白川 正 (1988) シダレヒノキについて. 林木の育種 149: 20-21.