

トドマツ人工林の施業法に関する研究 (II)

道有林におけるトドマツ人工林の収穫予想表の作成

阿部 信行*

Studies on the management of *Abies sachalinensis*

MAST. planted forest (II)

Yield table of *Abies sachalinensis*
in Hokkaido Prefectural Forest

Nobuyuki ABE*

はじめに

本研究は作業法別生長予測の値を基に、自然的立地条件に応じた地域別の施業方法の探求を目指して着手したものである。前報(阿部, 1976)では、生長予測を行う時の基礎事項となる疎開木の相対生長関係について報告した。

従来の収穫予想は、収穫表、密度管理図共、平均直径の記載しかない。しかし、実際の林業経営を考えると、平均直径の表示だけでは不十分であり、生産目標を立てる場合、径級別本数の予測はさげられないといえる。西沢ら(1977b)は確率密度関数としてワイブル(Weibull)分布を用いて短期間の直径階別本数を推定している。ワイブル分布は林分の平均直径および変動係数が推定できれば簡単な計算で直径階別本数を求めることができ、現場でも十分活用できる利点があると考えられる。

一方、平均直径の予測は、既に樹高対直径の相対生長モデルがカラマツについて提示されている(小林, 1978)。そこで、本研究ではまずトドマツ人工林を対象に、相対生長モデルを適用するための基礎的条件について検討を加えた。その結果、十分に適用できることが確められたので、道有林のトドマツ人工林を対象に、相対生長モデルと確率密度関数を利用して直径階別本数を表示した収穫予想表を作成したので結果を報告する。

相対生長モデルは新潟大学農学部小林正吾助教授のご指導によった。また、直径階別本数の予測では、この方面で先駆的研究を行っている九州大学農学部西沢正久教授にワイブル分布の理論面のご指導を頂き、分布のあてはめに際しては、九州大学農学部山崎英祐氏のプログラム(TI 58 用)を借用させて頂いた。

こうした方々に心から感謝申し上げる次第である。また、調査、資料の収集にご協力頂いた道有林管理室業務課の各位に深く感謝の意を表す。

* 北海道立林業試験場 Hokkaido Forest Experiment Station, Bibai, Hokkaido 079-01

[北海道林業試験場報告 第18号 昭和55年10月 Bulletin of the Hokkaido Forest Experiment Station, No. 18, October, 1980]

調査林分と資料

- 1) 相対生長モデル関係
 - ① 疎開木の樹幹解析木
 - A：道有林池田経営区からの伐倒木，樹齢 42 年生
 - B：道有林池田経営区からの伐倒木，樹齢 43 年生
 - C：道有林雄武経営区からの伐倒木，樹齢 18 年生
 - ② 過密林分の樹幹解析木
 - D：道有林池田経営区からの伐倒木，樹齢 42 年生優勢木
 - E：上記林分と同じ，標準木
 - F：上記林分と同じ，劣勢木
 - G：道有林池田経営区 8, 000 本植栽試験地
 - ③ 無間伐林分の調査結果
 - H：道有林池田経営区 50 年生無間伐林分（北海道林務部 1974, 1979）
 - ④ 密植林分
 - I：松井（1958）の野幌試験林におけるトドマツ人工林の照査成績
 - ⑤ 疎植林分
 - J：道有林 18 経営区の人工林基本調査標準地調査結果からの疎植無間伐林分
- 2) ワイブル分布の検定
 - K：道有林池田経営区のトドマツ間伐試験林分（北海道林務部 1974, 1979）
 - L：道有林 7 林務署管内，IX 齢級以上で間伐が実行された 29 林分（阿部，1978 a）
 - M：第 1 回目の間伐実行林分，道有林 14 林務署管内 73 林分（阿部ら，1978 b）
- 3) 地位区分と収穫予想表の作成
 - N：道有林 18 経営区の人工林基本調査標準地調査結果計 1, 092 林分
 - O：一般施業林分の無間伐林分，道有林 6 林務署管内 79 林分，齢級Ⅲ～Ⅹ

トドマツ人工林に対する樹高対直径の相対生長モデルの検討

1. 疎開木と閉鎖木の樹高対直径の相対生長関係

小林（1975, 1976 a, 1976 b, 1977, 1978）はカラマツ人工林を対象に単木を単位とする林分生長モデルによる一連の研究を展開し，カラマツ人工林の林分収穫予測表を作成している。この生長モデルは疎開木の相対生長関係を基準に，閉鎖林分における立木の密度効果を枝の枯れあがりによって評価（閉鎖度として定義）し，その影響分だけ直径生長を割引くものである。このモデルは単木間の競争関係を基礎にしており，立木本数の変化に応じたキメの細かい情報を提供でき，非常に優れた手法といえる。

一方，トドマツは極陽樹のカラマツと異なり，特に幼齢時耐陰性が強い等，樹種特性を異にする，しかし，一斉人工林では，うっぺい後数年して壮齢期になると，枝の枯れあがりも早く陽樹的特性が強くなってくる。同時に，無間伐のまま放置しておくと，個体間の競争が激しくなり枯損を生じ始める。従って，トドマツ人工林の閉鎖過程は，基本的にカラマツ人工林と同様であり，相対生長モデルの適用が考えられる。

既に，前報（阿部，1976）でトドマツの疎開木について下記の相対生長式が得られている。疎開木の定義（小林，1975）は ① 十分な生育空間を有していて，隣接の立木と樹冠を交差することなく，太陽光を十分に受けて生育している立木 ② 幹の下部まで生枝が着生し，樹冠が正常な形を呈している立木

③ 風衝や冠雪などによる梢端部の損傷、その他の被害の跡が認められない立木としている。以下は、こうした条件に適合する疎開木を対象に調査したものである。

疎開木の樹高を H_T とすれば、胸高樹高 H_B は以下で定義される。

$$H_B = H_T - 1.3 \quad (1)$$

そこで、胸高樹高 (H_B) と胸高直径 (D_b) との相対生長式は

$$D_O = 2.0941 H_B \quad (2)$$

また、樹高 (H) と樹冠間の相対生長関係は樹冠幅 (W)、樹冠長 (L) とすれば

$$W = 0.6454 H_T^{0.8807} \quad (3)$$

$$W = 0.7423 L^{0.8807} \quad (4)$$

の相対生長式が得られた。

疎開木が立木密度の影響を受けると枝が枯れあがり、その分だけ直径生長が低下してくる。樹高対直径の相対生長モデルは、このような現象をモデル化したものである。そこで、こうした点を分析してみる。

i) 着枝状態

資料B, D, E, Fの伐倒木を用い、疎開木と過密林分木との着枝状態を調べた。結果は図-1に示す通りである。着枝の角度は伐倒時、数本の枝を対象に測定した角度に統一した。図-1から、疎開木でも自己庇陰および気象害等のため下部の枝に伸びの悪い例もみられる。資料D, E, Fから、過密林分木は樹高

の $\frac{2}{3}$ 程枝が枯れあがっているが、着枝部は疎開木とほぼ同じような状態を示している。過密林分木 (資料D, E, F) にみられるように、生育段階が進むと急速に枝が枯れあがり、陽樹的特性が強くなるといえよう。図-2に示したように梢頭からの長さや枝長との相対生長を調べてみると、図-3のような結果が得られた。資料Gは過密林分だが、林齢が若いので枝の枯れあがりやそれがそれ程進んでいないため負の生長を示すが、他は疎開木と同様な生長を示す。

ii) 枝と幹生長

樹幹解析木を対象に、枝の枯れあがりや5年間の直径生長量とを調べてみた。そうすると、図-4に示したように、疎開木では着枝部の直径生長は下部に至るまでほぼ一定である。これに対し、過密林分木 (資料D) の着枝部の5年間の直径生長はほぼ一定であるが、枝下部は下方ほど生長量は低下していることがわ

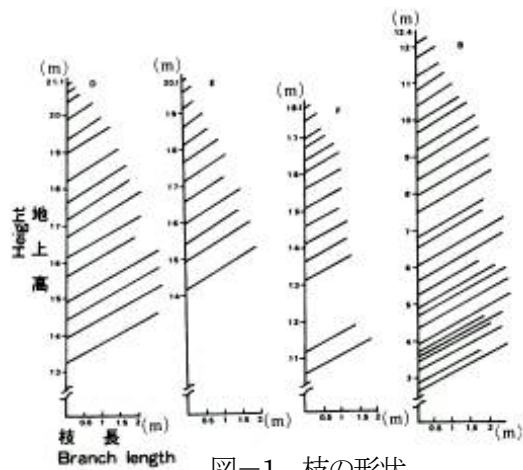


Fig. 1. Shape of branch

- D : Dominant tree in 42-year-old stand of excessively high density at Ikeda
- E : Co-dominant tree in the same stand
- F : Suppressed tree in the same stand
- B : Open-grown tree in 43-year-old at Ikeda

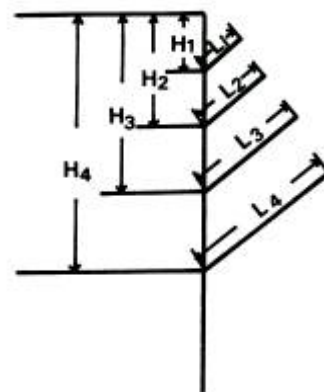


図-2 枝の区分

Fig. 2. Scheme illustrating branch length and length from tree top

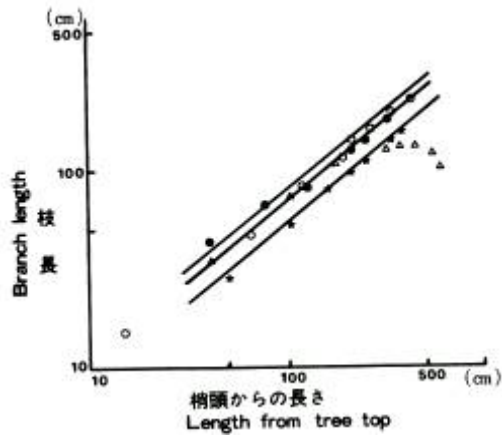


図-3 枝長と梢頭からの長さの相対生長

Fig. 3. Allometric relations between branch length and length from tree up

- : Open-grown tree in 43-year old at Ikeda (B)
- : Dominant tree in 42-year old stand of excessively high density at Ikeda (D)
- △ : Tree in 14-year-old stand of excessively high density at Ikeda (G)
- ★ : Open-grown tree in 18-year-old at Oumu (C)

かる。また、資料Gは、下部の枝はすでに生長を停止しており、直径生長も減少していることを表わしている (図-5)。

立木の葉層の垂直分布と幹の垂直配分の量的関係に森林の生産構造や枝打ち等の研究 (尾中, 1950; 細井ら, 1954; 四手井ら, 1960; 斎藤ら, 1968; 藤森, 1975) で幅広く行われている。そして、ある高さの層の幹材積生長量は、その層から上の積算葉量に比例するという関係が近似的に成り立つ (四手井ら, 1960; 蜂屋, 1967; 斎藤ら, 1968; 藤森, 1975)。

今回は葉量を測定していないが、密度の影響を受けて枝が枯れあがる閉鎖木では、その度合いに応じて直径生長が低下するといえよう。従って、立木密度の影響分だけ疎開木の直径生長を割引く相対生長モデルの適応は、トドマツ人工林においても成立するものと考えられる。

2. 無間伐林分の樹高対直径の相対生長モデル

小林 (1978) はカラマツを対象に、疎開木の相対生長関係を基に、閉鎖木の樹高と直径との増加率の関係式を以下のように表した。なお、記号は小林 (1978) に統一した。

$$\frac{dD_i}{D_i} = \frac{dD_0}{D_0} \{1 - P_i(H)\}, (H_{0i} \leq H \leq H_i^*) \quad (5)$$

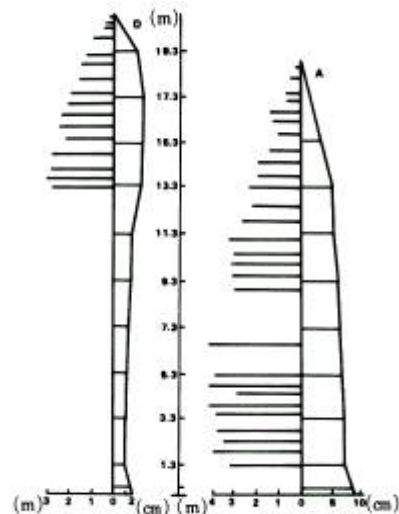


図-4 枝生長と直径生長量

Fig. 4. Relation between vertical distribution of the branch length and the diameter growth during the latest 5 years period
D : Dominant tree in 42-year-old stand of excessively high density at Ikeda
A : Open-grown tree in 42-year-old at Ikeda

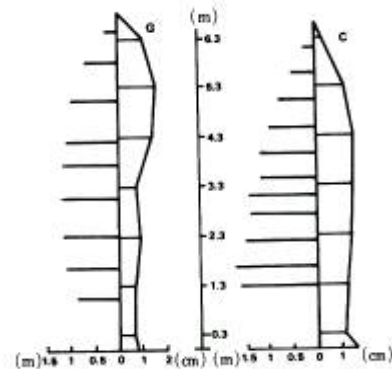


図-5 枝生長と直径生長量

Fig. 5. Relation between vertical distribution of the branch length and the diameter growth during the latest 5 years period
G : Tree in 14-year-old stand of excessively high density at Ikeda
C : Open-grown tree in 18-year-old at Oumu

ここで、 D_i は占有面積 \bar{S}_i をもつ樹高 H の閉鎖木の胸高直径、 H_B は閉鎖木と等しい樹高をもつ疎開木の胸高樹高、 $P_i(H)$ は樹高 H の閉鎖木の閉鎖度、 H_{oi} は疎開樹高、 H_i^* は閉鎖限界樹高

先の(2)式のパラメーターを代入し(5)式を解くと、

$$D_i = 2.0491 H_B \exp \left\{ - \int \frac{P_i(H)}{H_B} dH_B \right\}, (1.3 < H_{oi} \leq H \leq H_i^*) \quad (6)$$

がえられる。

ここで、(6)式を計算するために、閉鎖度 $P_i(H)$ を近似的に以下の式で求める(小林, 1978)。

$$P_i(H) = \frac{H - H_{oi}}{H_i^* - H_{oi}}, \quad (H_{oi} \leq H \leq H_i^*) \quad (7)$$

閉鎖限界樹高 H_i^* ,疎開樹高 H_{oi} はうっ閉比,占有面積との関係式から次のようにして求めた。閉鎖開始時の幹距を

$$\bar{S}_i^{0.5} = H_{oi}^{0.8807} \quad (8)$$

とし、(8)式より

$$H_{oi} = \bar{S}_i^{0.5677} \quad (9)$$

閉鎖林分では、閉鎖の進行によって立木の樹冠長比が低下してゆき、やがてそめ物質収支の平衡する樹冠長比 R^* に達して、その立木の生長は停止し、枯死するものと考えられる。カラマツでは閉鎖限界時の樹冠長比 R^* は0.16と定めている。

樹冠長比と生長の関係は細井ら(1954)もアカマツを対象に分析し、樹冠長比が0.18以下になると幹下部の直径生長が停止することが報告されている。トドマツでは資料Hを使い、45年生無間伐林分内における立枯木の樹冠長率を詳細に検討したところ、0.11~0.17の範囲に分散していたが、最頻値の0.14を閉鎖限界時の樹冠長比 R^* と定めた。そうすると、閉鎖限界樹高は

$$H_i^* = 10.0171 \bar{S}_i^{0.5677} \quad (10)$$

として求めることができる。

ここで、図-6に掲げたような樹高 H ,胸高直径 D とも全く同じ大きさの立木が方形に配列している単純な仮想林分を想定すると、(6)式で推定される直径は図-6の仮想林分の直径と考えることができる。また、カラマツとトドマツとの相対生長関係のパラメーターを一覧表にして表-1に示した。トドマツとカラマツのパラメーターの主な相違点は、限界樹冠長比がカラマツの0.16に比較して、トドマツは0.14とした点である。従って、閉鎖限界樹高 H_i^* は表-1に示すように、トドマツのほうが大きな値となっている。これは、トドマツのほうがカラマツよりも耐陰性が強く妥当性のある数値といえよう。疎開木の直径対樹高の相対生長係数はカラマツの2.032に対して、トドマツは式(2)に示したように、2.0941となりわずかに大きくなる。従って、同じ樹高であればトドマツのほうが

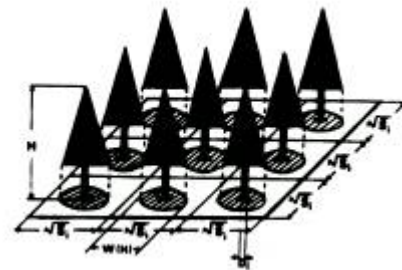


図-6 仮想林分の立木配置図 (小林 1978 原図)
Fig. 6. Arrangement of the tree in the hypothetical stand, where all the trees are homologous in dimension and spacing (After Kobayashi 1978 Fig. 2. 11)

表-1 仮想林分の閉鎖過程のパラメーター

Table 1. Parameters of closing process of the hypothetical stand

本数密度 Number of trees per ha i	占有面積 Mean area per tree \bar{S}_i	疎開樹高 Height begun to close H_{oi}		閉鎖限界樹高 Height at closing limit H_i^*		疎開樹冠幅 Crown width begun to close W_{oi}		閉鎖限界樹冠幅 Crown width at closing limit W_{ci}^*	
		トドマツ <i>Abies</i>	カラマツ <i>Larix</i>	トドマツ <i>Abies</i>	カラマツ <i>Larix</i>	トドマツ <i>Abies</i>	カラマツ <i>Larix</i>	トドマツ <i>Abies</i>	カラマツ <i>Larix</i>
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1, 000	10.00	3.70	3.61	37.06	29.39	2.04	2.01	3.16	3.16
2, 000	5.00	2.49	2.45	24.94	19.96	1.44	1.42	2.24	2.24
3, 000	3.33	1.98	1.96	19.83	15.92	1.18	1.16	1.83	1.83

算出式		トドマツ <i>Abies</i>		カラマツ <i>Larix</i>	
$\bar{S}_i = 10,000 / i$	$H_{oi} = \bar{S}_i^{0.5677}$	$H_i^* = 10.0171\bar{S}_i^{0.5677}$			
$W_{oi} = 0.6454\bar{S}_i^{0.5}$	$W_{ci}^* = \bar{S}_i^{0.5}$				
$\bar{S}_i = 10,000 / i$	$H_{oi} = \bar{S}_i^{0.558}$	$H_i^* = 8.1306\bar{S}_i^{0.558}$			
$W_{oi} = 0.636\bar{S}_i^{0.5}$	$W_{ci}^* = \bar{S}_i^{0.5}$				

Abies : *Abies sachalinensis* *Larix* : *Larix leptolepis*

直径は太いことを示している。また、樹高に対する樹冠幅の相対生長係数はほとんど変わらないといえる。

3. 無間伐林分の相対生長モデルの推定精度

式 (5) で示した樹高対直径の相対生長モデルは、立木の大きさ、位置とも全く均一な林分を想定したものである。従って、現実林分とは直接対応しないが、式 (6) で算出される数値は平均値と考えても良い。そこで、式 (6) を用いて、無間伐の場合の閉鎖開始時から閉鎖限界時に至るまでの胸高直径の推移を *ha* あたり立木本数 1, 000, 2, 000, 3, 000, 4, 000 本まで4段階について算出した。結果を図-7に示す。この図には同時に資料 I, および J から現在本数 1, 000 本以下と 3, 000 本以上の林分を求めてプロットした。

無間伐の資料の内、1,000 本以下は植栽本数 1, 000~1, 500 本の場合が多く含まれる。一方、3, 000 本以上は密植 3, 000~6, 000 本の林分例である。そうすると、図-7 に示したように、疎植の場合は相対生長モデル 1, 000 本のラインの下側に多くの点が分布する。初期本数が 1, 000 本より多いため、仮想林分の直径を下まわる林分が多いと考えられる。また、密植の場合も同様に、3, 000 本以上の植栽密度が多く、3, 000 本のラインの下側に点が分布する。

一方、資料Hを用いて無間伐試験区として5年間隔に測定してきた樹高と直径とをプロットした。この林分は植栽本数 4, 200 本/ha から、自然枯損のため現在 50 年生で 2, 200 本/ha まで自然減少している。平均直径の推移をみると、林齢 50 年時で初期本数 2, 000 本/ha の相対生長モデルの予測値に等しくなっている。初期の植栽密度を考慮すれば、相対生長モデルによる予測値はやや過小推定といえよう。現実林分では無間伐のまま推移すると、競争密度効果のため自然

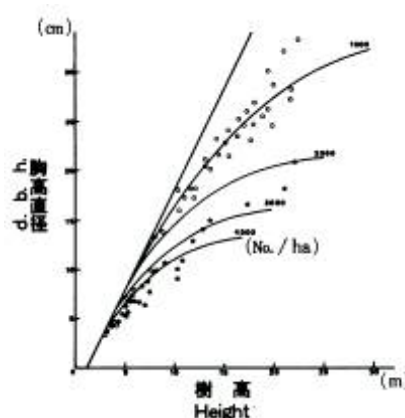


図-7 無間伐仮想林分の直径生長の推移

Fig.7. Diameter growth in relation to height in the hypothetical unthinned stands.

Where curve lines show d.b.h.computed by the eq. (6) and the dots represent mean d.b.h.in various observed thinned stands

- : Remaining under 1, 000 number of trees per ha in unthinned stands
- : Remaining over 3, 000 number of trees per ha in unthinned stands
- ★ : Unthinned experiment stand
Planting density : 4, 200 number of trees per ha

枯損を生じる。その結果、残存木は占有面積を拡大し生長量を増す。同時に小径木の枯損により、平均直径が上昇する。これに対し、図-6に示した仮想無間伐林分例では、本数を変えないので占有面積は最後まで変わらない。この影響のために、相対生長モデルによる予測値は過少推定と考えられる。

4. 間伐林分の樹高対直径の相対生長モデル

小林 (1978) は間伐林分の閉鎖モデルを以下のように組立てた。間伐が実行されると、各単木の占有面積は拡大され、それだけ閉鎖限界樹高が大きくなる。この場合、図-6の仮想林分と同様に、間伐後立木が自動的にそれぞれの位置を移動して、もとの方形配置に再配列するものとしておく。

いま、占有面積 \bar{S}_i の仮想林分が樹高 H_i' の生育段階で間伐されて占有面積が \bar{S}_j に変わったとする (\bar{S}_j 林分と呼ぶ)。そうすると、間伐直後の閉鎖度は

$$P_{ij}'(H_i) = \frac{H_i^*}{H_j^*} P_i'(H_i) \quad (11)$$

この閉鎖度は次の間伐まで

$$P_{ij}'(H) = \frac{1 - P_{ij}'(H_i')}{H_j^* - H_i^*} (H - H_i') + P_{ij}'(H_i'), \quad (H_i' \leq H \leq H_j^*) \quad (12)$$

により推移する。また間伐に伴ない、疎開係数 γ_{ij} を定義する。この疎開係数は葉の同化能率が樹冠層の疎開の度合いに比例するものと考えれば、 \bar{S}_{ij} 林分の同化能率を同じ生育段階の無間伐の \bar{S}_j 林分を基準にして

$$\gamma_{ij} = \left(\frac{C(H_i')_j}{C_{H_i-j}} \right) \quad (13)$$

ここで、 $C(H_i')$ は間伐直後の \bar{S}_{ij} 林分と同じ生育段階にある \bar{S}_i 林分のうっ閉比、

C_{H_i-j} は間伐直後の \bar{S}_{ij} 林分のうっ閉比

とする。うっ閉比というのは、たとえば樹高 H の立木の樹冠幅を $W(H)$ とすると、占有面積とは $W(H) = CH_i S^{0.5}$ の関係にある時の C_{Hi} をいう。そこで、疎開係数を算出する場合のうっ閉比は

$$C_{H_i-j} = C_{H_i} \left(\frac{\bar{S}_i}{\bar{S}_j} \right)^{0.5} \quad (14)$$

また、 \bar{S}_{ij} 林分のうっ閉比は閉鎖度と同じように、

$$C_{H_{ij}} = \frac{1 - C_{H_i-j}}{H_j^* - H_i^*} (H - H_i') + C_{H_i-j} \quad (15)$$

として求めることができる。疎開係数を (5) 式に組み入れて、新たに \bar{S}_{ij} 林分の樹高対直径の相対生長関係を

$$\frac{dD_{ij}}{D_{ij}} = \frac{dH_B}{H_B} \gamma_{ij} \{1 - P_{ij}'(H)\}, \quad (H_i' \leq H \leq H_j^*) \quad (16)$$

と表わした。

5. 間伐林分の相対生長モデルの推定精度

相対生長モデルでは間伐が実行されると、(13)式に示したように疎開係数が定義されており、直径生長は(16)式に示すように、疎開係数の数値分だけ、べき乗されるようになる。小林 (1978) は疎開係数を疎開にともなう立木の生理的効果を示すものと説明している。従って、間伐が行われると無間伐林分とは異なる胸高

直径の推移を示す。

一般の施業林分では、過去の本数管理および間伐内容等の施業経歴がはっきりしている林分例はきわめて少ない。また相対生長モデルでは間伐後、残存木を等間隔に並べかえることを仮想しており現実林分とは対応しない。そこで、現在広く使われている「道有林におけるトドマツ人工林収穫予想表」(1970)を用いて、収穫表通りの本数管理を行った場合の平均直径を求めてみた。道有林におけるトドマツ人工林収穫予想表は、全層間伐を採用しており、相対生長モデルによる仮想林分の内容に近い。収穫表の立木本数と樹高を式(16)に代入して平均直径を求め、表-2に示した。30年生までは相対生長モデルによる予測値の方がやや過大推定であるが、それ以降、両者の差は認められない。収穫予想表の平均直径は多数の現実林分の樹高と直径との回帰式より求めたものである。従って、収穫表の値は現実林分の平均値と考えることができ、相対生長モデルによる予測値が良くあてはまることから、疎開係数を定義した間伐モデルはトドマツ人工林において平均直径を予測する場合、妥当性のあるものといえる。

表-2 収穫表と同じ本数管理をした場合の相対生長モデルの精度
Table 2. Comparison of the diameter growth of the yield table (*A. sachalinensis* plantation in Hokkaido Prefectural Forest) with allometric model in the case of thinning stand in same manner

林 齢 Age (年)	収 穫 表 Yield table		本 数 No.of trees	相対生長モデル Allometric model
	平 均 Average			推定平均直径 Estimated average d.b.h. (cm)
	直 径 D.b.h. (cm)	樹 高 Height (m)		
20	9.8	7.5	2, 000	11.3
25	13.1	10.0	1, 512	14.5
30	16.4	12.4	1, 139	17.4
35	19.2	14.4	917	19.9
40	22.6	16.2	774	22.1
45	23.8	17.7	672	23.9
50	25.7	19.1	600	25.7
55	27.4	20.3	545	27.3
60	28.8	21.3	505	28.5

直径階別本数の予測

今までに、長期間にわたる直径階別本数の予測は菊沢(1979)が広葉樹を対象に収量-密度図を利用して予測した例がある。一方、西沢ら(1977b)は確率密度関数を用いて短期間の直径階別本数を予測している。小林(1978)は樹高対直径の相対生長モデルを基礎に、任意の生育段階にある林分の生長を、林分生長の構成単位である単木ごとに、樹高生長と直径生長の2因子から記述する林分生長モデルを作成し、シミュレーションを実行するためのプログラム(SMSGSL)を開発した。

ここで、西沢ら(1976a, 1976b, 1977a, 1977b, 1978)は確率密度関数としてワイブル分布を利用して、直径階別本数を推定する多くの研究を行っている。ワイブル分布のパラメーターを求める方法は、最尤法によるものが多かった(BAILEY他, 1973)が、西沢ら(1977b)の研究により林分の平均直径と変動係数とから簡単に推定できるようになった。シミュレーション・モデルのように大型電子計算機による長時間の計算が必要でなく、現場でも十分活用できる利点があると考えられる。

i) ワイブル分布

ワイブル分布の分布関数は次式で表わされるものである(真壁, 1966)。

$$f(x) = \begin{cases} \frac{m}{a} (x-r)^{m-1} e^{-\frac{(x-r)^m}{a}} & x \geq r \\ 0 & x < r \end{cases} \quad (17)$$

西沢ら(1977b)は $\alpha = b^c$ として以下の式を基本式としている。

$$f(x) = (c/b) \left\{ (y-a)/b \right\}^{c-1} e^{-\left\{ (y-a)/b \right\}^c} \quad (18)$$

$x=ya$ とおく

$$f(x) = (c/b) (x/b)^{c-1} e^{-\left\{ (x/b)^c \right\}} \quad (19)$$

ここで a : 最小直径限界 b : 直径累積分布の 63% の直径 c : 分布の形を表す

この場合の平均値 $E_{(x)}$, 分散 $V_{(x)}$ を西沢ら (1977b) により求めてみると,

$$E(x) = \int_0^{\infty} x \cdot f(x) = \int_0^{\infty} x \left(\frac{c}{b} \right) \left(\frac{x}{b} \right)^{c-1} e^{-\left\{ (x/b)^c \right\}} dx \quad (20)$$

$$\left(\frac{x}{b} \right)^c = y \text{ とおく}$$

$$cx^{c-1} dx = b^c dy$$

$$dx = \frac{b^c}{cx^{c-1}} dy \quad (21)$$

ここで (21) より $x = by^{\frac{1}{c}}$

$$\therefore x^{c-1} = b^{c-1} \left(y^{\frac{1}{c}} \right)^{c-1} = b^{c-1} y^{1-\frac{1}{c}}$$

(21) に代入する

$$dx = \frac{b^c dy}{cb^{c-1} y^{1-\frac{1}{c}}} = \frac{b^{\frac{1}{c}}}{c} dy$$

$$\begin{aligned} \therefore E(x) &= \int_0^{\infty} (c/b) \frac{x^c}{b^{c-1}} e^{-\left\{ (x/b)^c \right\}} dx \\ &= \int_0^{\infty} (c/b) \frac{b^c y}{b^{c-1}} e^{-y} y^{\frac{1}{c}-1} dy \\ &= b \int_0^{\infty} y^{\left(1+\frac{1}{c}\right)-1} e^{-y} dy \end{aligned}$$

ここで $\int_0^{\infty} y^{c-1} e^{-y} dy = \Gamma(c)$

$$\text{従って } E(x) = b \Gamma \left(1 + \frac{1}{c} \right) \quad (22)$$

一方, 平均値を μ とすると,

$$\begin{aligned} V(x) &= \int_0^{\infty} x^2 \left(\frac{c}{b} \right) \left(\frac{x}{b} \right)^{c-1} e^{-\left\{ (x/b)^c \right\}} dx - \mu^2 \\ &= \int_0^{\infty} (c/b) \frac{x^{c+1}}{b^{c-1}} e^{-\left\{ (x/b)^c \right\}} dx - \mu^2 \\ &= b^2 \int_0^{\infty} y^{\left(\frac{2}{c} + 1 \right) - 1} e^{-y} dy - \mu^2 \\ &= b^2 \Gamma \left(1 + \frac{2}{c} \right) - \mu^2 \end{aligned}$$

ここで $\mu^2 = b^2 \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{c} \right)$

$$\therefore V(x) = b^2 \left(\Gamma \left(1 + \frac{2}{c} \right) - \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{c} \right) \right) \quad (23)$$

ここで西沢ら (1977b) はワイブル分布のパラメーターを以下のようにして求める方法をみいだした。

$$\begin{aligned}
 x &= d - a \text{ とおくと} \\
 E(x^2) / E(x)^2 &= \Gamma_2 / \Gamma_1^2 \\
 E(x) &= \bar{d} - a
 \end{aligned} \tag{24}$$

x の分散を S^2_x とすると

$$S^2_x = E(x^2) - E(x)^2$$

$$S^2_x + E(x)^2 = E(x^2)$$

両辺を $E(x)^2$ でわると

$$\frac{S^2_x}{E(x)^2} + \frac{E(x)^2}{E(x)^2} = \frac{E(x^2)}{E(x)^2}$$

∴ 右辺と左辺とをかえて

$$\frac{E(x^2)}{E(x)^2} = 1 + \left(\frac{S_x}{E(x)} \right)^2 = 1 + CV_x^2 \tag{25}$$

CV_x は x の変動係数である。(24), (25) 式から

$$\Gamma_2 / \Gamma_1^2 = 1 + CV_x^2$$

直径の分散を S^2_d とすると、これは S^2_x に等しいので

$$\left\{ \frac{S_d}{E(x)} \right\}^2 = \left\{ \frac{S_x}{E(x)} \right\}^2$$

$$\therefore CV_x^2 = \{1 + a / E(x)\}^2 CV_d^2 \tag{26}$$

従って、平均直径 \bar{d} 、最小直径限界 a 、および直径の変動係数 CV_d がわかると (26) 式を用いて x の変動係数 CV_x が計算できる。 CV_x に応じる C の値は既に発表されている (木梨, 1978b) ので C に応じる Γ_1 を用いて $b = E(x) / \Gamma_1$ で b を求める。

以上の手順により、ワイブル分布のパラメーターを求めることができる。実際の計算にあたっては (18) 式に直径階の幅 2 を乗じて、直径階ごとの確率を算出し、全本数を乗じることにより直径階別本数を算出できる。

ii) ワイブル分布の適合度

既にワイブル分布は西沢ら (1977b, 1978)、柿原ら (1977)、木梨ら (1978a) により、スギ、ヒノキ、カラマツ、常緑広葉樹等でその適合度が調べられており、いずれも十分な適合をみせている。そこで、トドマツ人工林の現実林分の直径階別本数にワイブル分布をあてはめてその適合度を調べてみた。まず資料 L, M を用い、間伐前後の計 102 林分を対象にワイブル分布をあてはめ、 χ^2 検定を行ってみた。そうすると、表-3 に示すように、第 1 回目の間伐林分では 5% 水準で間伐前後共約 62% は有意差がなかった。

一方、高齢林分も約 65% は有意差がなかった。また、資料 H, K を用いて時系列的に変化する林分の場合を調べてみた。そうすると、無間伐林分では林齢 35 年時、間伐林分では 50 年生に有意差が生じる以外、よい適合を示した (表-4)。

以上の事実から、ワイブル分布はトドマツ人工林の一般施業林分における直径階別本数分布をよく表現できるといえる。

表-3 施業林分におけるワイブル分布の適合度

Table 3. Chi-square-test of application by the Weibull distribution in general management forests of Hokkaido Prefectural Forest
 χ^2 -検定 Chi-square-test

林分内容 Contents of stands	間伐 Thinning	有意差なし No significant difference		** Significant difference	計 Total
				5% level	
		1% level	5% level		
第1回目間伐林分 First thinning stands	前 Before	32 (44%)	15 (21%)	26 (35%)	73
	後 After	37 (51%)	8 (11%)	28 (38%)	73
高齢級林分 Advanced in years stands	前 Before	18 (62%)	2 (7%)	9 (31%)	29
	後 After	16 (55%)	3 (10%)	10 (35%)	29

数値はプロット数を表す Numerical value represents numbers of plots

表-4 間伐試験林分におけるワイブル分布の適合度

Table 4. Chi-square-test of application by the Weibull distribution in the thinning experiment stands of *A. sachalinensis*

		林齢 Stand age	\bar{d}	C.v.d.	a	b	c	χ^2	d.f.
無間伐林分 Non-thinning		20	8.8	32.23	1	8.7348	3.0	2.943	6
		25	10.7	31.32	1	10.8525	3.2	7.537	7
		30	12.8	31.86	1	13.0729	3.15	7.769	8
		35	14.9	29.12	3	13.2478	3.0	17.45*	9
		40	16.6	29.36	5	13.0109	2.55	16.54	9
		45	18.1	28.55	7	12.6875	2.3	10.44	9
		47	19.8	26.02	7	14.4274	2.7	13.05	10
		50	20.6	26.56	7	15.3383	2.7	9.332	12
間伐林分 Thinning	20	間伐前 Before thinning	9.0	30.29	1	8.9253	3.25	9.251	5
		間伐後 After thinning	9.7	26.34	1	9.6261	3.80	6.522	4
	25		11.9	25.61	3	9.9369	3.2	10.963	5
	30		14.7	27.66	3	13.0729	3.15	10.174	8
	40	間伐前 Before thinning	18.3	27.70	5	14.9260	2.85	13.709	9
		間伐後 After thinning	21.2	19.17	9	13.6005	3.3	6.461	6
50		26.7	18.75	13	15.3419	3.0	17.805*	7	

収穫予想表の作成

1) 作成方針

既に述べてきたように、樹高と直径の相対生長モデルを使用すれば、現行の収穫表通りの本数管理をした場合、平均直径の予測の精度のよいことが確かめられた。一方、林業上重要な因子である林分平均直径、変動係数の2因子からパラメーターの求まるワイブル分布は、現実林分の直径階別本数の予測に十分な適合をしめす。そこで、立木本数に対応した平均直径は相対生長モデルにより、また直径階別本数の推定はワイブル分布を利用

して求めることにした。そして、道有林のトドマツ人工林の生長実態を調べ、地位別の本数実態に即した収穫表を作成することとする。

2) 地位区分

トドマツは北海道全域に天然分布をしており、地域的な生長差もカラマツに比較して明りょうでなく、むしろ、標高等の立地的要因の影響が強い。しかし、実際には生長の地域差が論議の対象になることが多い。

林地の地位は、林分の密度の影響が少ない主林木の平均樹高で表わされることが多い。そして、樹高による地位区分には(1)相対的樹高地位(2)絶対的樹高地位の二通りがある。前者は既存の道有林トドマツ人工林収穫表にみられるように、年齢の函数として平均高を表わし、I, II, III……のように地位区分するものであり、後者は一定の基準年齢における林分上層高により地位区分をする方法である。この場合、基準年齢で主林木が到達する樹高を地位指数と呼んでいる。

道有林全体を対象に地位区分を検討する場合は、後者の絶対的樹高地位を使うほうが比較の基準としては便利である。そこで、地位指数曲線を作成して地位区分を試みた。

i) 地位指数曲線の作成

地位指数は樹高生長を基に決められるものであり、さまざまな樹高生長曲線式が提案されている(西沢, 1972)。こうした中でトドマツの樹高生長はロジスティック(Logistic)曲線の一種であるゴンペルツ(Gompertz)曲線がよい適合を示すことが指摘されている(小林, 1967; 阿部, 1976)。地位指数曲線は本来、長期間にわたる林分の樹高生長の観測値が必要である。しかし、こうした資料は樹高測定の高齢木も少なく、道有林にはほとんど存在しない。そこで、便宜的に広い年齢級にわたるプロット調査の資料で代用させた。用いた資料Nは人工林実態調査資料であり、表-5に示すように各経営区に分布する。地位判定の樹高は密度の影響を受けない上層木の平均樹高を使わなければならない。真辺(1971b)は樹高の上位の立木から順にhaあたり250本に相当する本数をとり、その平均樹高をもって林分の上層高とする方法を提案している。今回、資料の関係から単純にhaあたり250本の上層高を用いて地位指数曲線を作成することにした。

まず、表-5の資料を年齢別に分類し、個数を重みとして年齢に対する上層高の平均値を求め、ゴンペルツ式をガイドカーブとしてパラメーターを求めた。なお、最小二乗法はDEMING(1968)の方法による重みづけ

表-5 地帯別、経営区別プロット数
Table 5. Total number of plots classified for region and district

地帯別 Region	経営区別プロット数 District Forestry office in Hokkaido Prefectural Forest							計 Total	
道南及び日本海沿岸 Southern Hokkaido and the coastal region of the Japan Sea	函館 Hakodate	38	松前 Matsumae	47	倶知安 Kutchan	58	留萌 Rumoi	91	234
道央内陸 Central Hokkaido	岩見沢 Iwamizawa	26	当別 Toubetsu	13	滝川 Takikawa	21	旭川 Asahigawa	17	77
道東 Eastern Hokkaido	池田 Ikeda	80	浦幌 Urahoro	27	北見 Kitami	75	厚岸 Akkeshi	57	239
道北北部 Northern Hokkaido	雄武 Oumu	90	興部 Okkoppe	80	名寄 Nayoro	100	美深 Bifuka	100	370
太平洋沿岸 The coastal region of the Pacific Ocean	苫小牧 Tomakomai	90	浦河 Urakawa	82					172

を用いた。

$$H = 30.84(0.1384)^{0.9677t} \quad (27)$$

ここで、 $t=T-5$ T : 林齢 従って林齢5年生で $t=0$, 6年生以降 $t=1, 2, \dots$ を表す

こうして求めた式をガイドカーブとし、プロットの林齢を (27) 式に代入して求めた推定上層高と実際の上層高との差をもとに、各林齢の推定上層高標準偏差を計算する。この標準偏差は2次式により平滑化した。

$$\sigma = -0.000171t^2 + 0.0251t + 1.1645 \quad (28)$$

t : 林齢

ここで、地位指数を林齢30年のときの上層高と決める。そうすると、 x 年および30年の標準偏差をそれぞれ σ_x , σ_{30} とし、 x 年という林齢のガイドカーブの樹高を H_x とすれば、基準林齢で地位指数 SI を通る曲線の x 年での上層高 H は西沢ら (1966) によれば次式で求めることができる。

$$H = H_x + (SI - H_{30}) \frac{\sigma_x}{\sigma_{30}} \quad (29)$$

以上の手順で、地位指数8~21を求めた結果は表-6に示す通りである。真辺 (1971a) は国有林の収穫試験地の資料を使って、やはりトドマツの地位指数 (基準林齢30年) 曲線を求めている。これらの値と比較すると、道有林のⅢ齢級以下の樹高生長は同じ地位指数の樹高推定値に比べ、全般的に大きな傾向を示している。しかし、Ⅳ齢級以上になると、地位指数にかかわらず両者はほとんど変わらない樹高を示している。今回の資料中、Ⅲ齢級以下はその数も少なく、また生長のよい林分が集まったこともあり、15年生までの樹高生長はやや過大

表-6 道有林トドマツ地位指数曲線
Table 6. Site index curves of *A. sachalinensis* in Hokkaido Prefectural Forest

地位指数 Site index	林 齢 Age	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	8		3.24	4.75	6.36	8.00	9.61	11.19	12.69	14.08	15.37
9		4.09	5.66	7.31	9.00	10.65	12.27	13.79	15.21	16.52	17.71
10		4.94	6.56	8.27	10.00	11.69	13.34	14.90	16.34	17.67	18.88
11		5.79	7.47	9.23	11.00	12.73	14.42	16.00	17.47	18.82	20.04
12		6.64	8.38	10.18	12.00	13.77	15.49	17.10	18.60	19.97	21.21
13		7.50	9.28	11.14	13.00	14.81	16.57	18.21	19.73	21.12	22.37
14		8.35	10.19	12.09	14.00	15.85	17.64	19.31	20.86	22.27	23.54
15		9.20	11.09	13.05	15.00	16.89	18.72	20.42	21.99	23.42	24.71
16		10.05	12.00	14.00	16.00	17.93	19.79	21.52	23.12	24.57	25.87
17		10.90	12.91	14.96	17.00	18.97	20.87	22.63	24.25	25.72	27.04
18		11.76	13.81	15.91	18.00	20.01	21.94	23.73	25.38	26.88	28.20
19		12.61	14.72	16.87	19.00	21.05	23.01	24.84	26.51	28.03	29.37
20		13.46	15.62	17.82	20.00	22.09	24.09	25.94	27.64	29.18	30.54
21		14.31	16.53	18.78	21.00	23.13	25.16	27.05	28.77	30.33	31.70

推定を与えている傾向があるといえよう。

ii) 平均樹高と上層高との関係

樹高と直径の相対生長モデルは平均樹高を使用し、地位判定には上層高で判定する。そこで、資料Mを用い上層高から平均樹高を次式で推定した。

$$\bar{H} = 1.3501 + 0.9909HT - 0.7553 \frac{H_T \sqrt{\rho}}{100} \quad (30)$$

H_T : 上層高 ρ : ha 当り本数

iii) 道有林各経営区の生長実態

トドマツは北海道全域に天然分布をしている。しかし、育種的な観点からはトドマツの各種の形質発現に地域的な特性があるとされている。久保田 (1965) は精英樹球果の地域分類を道西低山 (西南渡島区, 日本海沿岸, 石狩雨竜区, 太平洋沿岸), 道央低山 (上川, 名寄区), 道東低山 (北見区, 十勝区), 道東霜害 (根釧区) のように4地域8区分している。こうした区分を参照して、道有林の18経営区を以下のように分類して生長実態を検討してみた。

- 1 道南及び日本海沿岸 函館, 松前, 倶知安, 留萌
- 2 道央内陸 岩見沢, 当別, 滝川, 旭川
- 3 道東 池田, 浦幌, 北見, 厚岸
- 4 道北北部 雄武, 興部, 名寄, 美深
- 5 太平洋沿岸 苫小牧, 浦河

地位指数曲線の作成に使用した表-5の全資料を地位指数曲線により地位判定を行った。結果は表-7に示す通りであり、各地域別とも、広範囲に地位指数 (林齢30年時のhaあたり250本の上層高の平均値) が分布しており、生長の格付けも地域によってはプロット数が少ないこともあり、顕著な傾向がでていいるとは必ずしも断定できない。従来の道有林における収穫表では各経営区別または2経営区別に収穫予想表が作成されていたが、

表-7 地帯別の地位別プロット数
Table 7. Numbers of plots by region and site index

地帯別 Region	地位指数 Site index																							
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24				
道南及び日本海沿岸 Southern Hokkaido and the coastal region of the Japan Sea	1			7	17	11	32	36	34	28	31	12	12	4	3	3	2				1			
道央内陸 Central Hokkaido					2	1	11	9	11	12	13	8	3	2										
道東 Eastern Hokkaido				2	32	35	31	38	36	31	21	15	9	4	2	2	1	1						
道北北部 Northern Hokkaido	2	3	3	31	25	41	46	57	45	31	29	16	21	19	8	5	6	1			1			
太平洋沿岸 The coastal region of the Pacific Ocean				4	10	19	21	26	22	12	14	3	4				1							
計 Total	3	3	5	74	89	103	148	164	143	104	102	48	44	27	14	9	9	1	1	1				
全体に対する比率 (%) Percentage	0.3	0.3	0.5	6.8	8.2	9.4	13.6	15.0	13.1	9.5	9.3	4.4	4.0	2.5	1.3	0.8	0.8	0.1	0.1	0.1				

今回は表-7の地位区分を検討し、地位指数 16, 14, 12, 10 の4段階において収穫予想表を作成することにした。生長実態から区分すれば、それぞれの地位指数は特I等地（特に生長がよく、道有林では最高位にランクされるとみなされる林分）、I等地、II等地、III等地を示していると判断される。

3) 本数管理の実態

「道有林におけるトドマツ高齢人工林の実態調査」及び「第1回目の間伐に関する実態調査」（阿部, 1978a ; 1978b）では道有林の収穫表の基準本数に満たない林分が多かった。地域別に今回使用した資料Nの立木本数を調べても同様のことがいえる。図-8に3地域の各生育段階別の立木本数の例を示した。いずれも相当広く分布し、一定の傾向は認められないが基準本数を下まわる林分が多くなっている。

こうした点を考慮し、現行の雄武・興部経営区の収穫表から上層高に対する立木本数に0.85を乗じ次式で平滑化し、各地位指数の上層高に応じる立木本数を算出した。

$$N = 3728.98e^{-0.09302H_T} \quad (31)$$

4) 変動係数の推定

直径階別本数の予測には変動係数が必要である。過去、トドマツ人工林の変動係数は山根（1971）、松井（1959）らがそれぞれ林分の平均直径から予測しているが、資料Oを用い、無間伐林分における胸高直径(D)と変動係数(C.V.)の間に次の帰回式をあてはめた。

$$C.V. = 72.2476e^{-0.0711D} \quad (32)$$

また、間伐内容による変動係数の動きを資料L, Mを用いて分析してみた。表-8には第1回目の間伐前後の変動係数の動き及び表-9には高齢林分の間伐前後の変動係数の動きを間伐内容に対応させて掲げた。間伐内容を示す尺度に間伐前平均直径(D)に対する間伐木の平均直径(d)の比-d/Dが用いられ、その比が0.75以下は下層間伐, 0.76~0.9は弱度の上層間伐, 0.91~1.0は強度の全層間伐, 1.01以上は択伐的間伐と区分されている（BRAATHE, 1957）。表-8の場合、下層間伐程、間伐後変動係数は減少する。一方、表-9の場合もほぼ

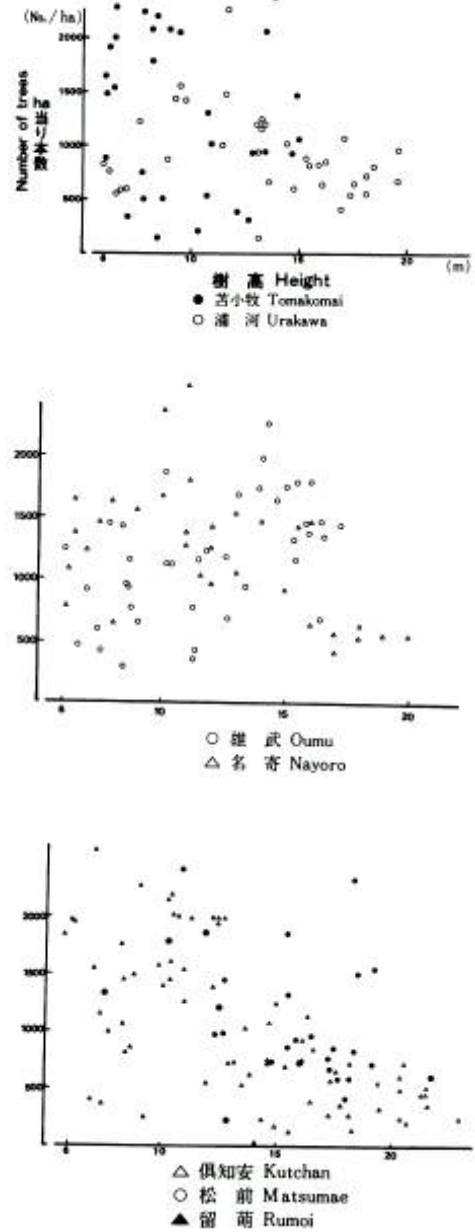


図-8 残存立木本数の現況

Fig. 8. Present state of reserved trees after thinning

表-8 第1回目間伐林分の間伐内容と変動係数との関係

Table 8. Relation between C.V. (coefficient of variation) of d.b.h. and content first thinning

d/D*比	間伐率		20%以下	21~30%	31%以上
	Thinning rate (%)		Under20%		Above 31%
0.75 以下 Under 0.75	変動係数の増減	Variation of C.V.	-1.87	-3.08	-10.46
	変動幅 (%)	Percentage	6	9.42	29.47
0.76~0.9	変動係数の増減	Variation of C.V.	-0.24	-0.4	-6.03
	変動幅 (%)	Percentage	2.07	6.46	19.81
0.91~1.0	変動係数の増減	Variation of C.V.	-0.1	-0.25	-0.29
	変動幅 (%)	Percentage	1.5	2.3	1.45
1.01 以上 Above 1.01	変動係数の増減	Variation of C.V.	1.2	1.32	3.9
	変動幅 (%)	Percentage	4.7	4.97	0.9

* d : 間伐木の平均直径 Mean d.b.h. of thinned trees.
D : 間伐前の平均直径 Mean d.b.h. of before thinning.

表-9 高齢林分の間伐内容と変動係数との関係

Table 9. Relation between C.V. (coefficient of variation) of d.b.h. and content thinning in old stands

d/D*比	間伐率		20%以下	21~30%	31%以上
	Thinning rate (%)		Under20%		Above 31%
0.75~0.9	変動係数の増減	Variation of C.V.	-2.31	-1.04	-5.47
	変動幅 (%)	Percentage	7.71	6.39	18.29
0.91~1.0	変動係数の増減	Variation of C.V.	-0.93	-0.62	0.32
	変動幅 (%)	Percentage	3.78	4.75	6.53
1.01 以上 Above 1.01	変動係数の増減	Variation of C.V.	-0.27	1.4	
	変動幅 (%)	Percentage	1.27	3.73	

* d : 間伐木の平均直径 Mean d.b.h. of thinned trees.
D : 間伐前の平均直径 Mean d.b.h. of before thinning.

同様な傾向をみせる。

以上の結果から、第1回目の間伐時の変動係数は式(33)により、林齢30年までは表-8からd/D比0.76~0.9間伐率20%の値である変動幅-2.07%を用い、35年では同表よりd/D比0.9~1.0、間伐率20%以下の値の-1.5%、40年以上では表-9のd/D比0.91~1.0、間伐率20%以下の変動幅-3.78%をそれぞれ用いて推定することにした。

5) 樹高分布

林分の平均樹高は地位別の上層高が決まると(30)式を用いて求めることができる。一方、ワイブル分布を利用することにより、図-6に示した均一な仮想林分に対し、現実林分の直径分布によく適合する形で直径階別本数を推定することができた。こうした直径階別本数に対応する樹高は相対生長モデルを逆説的に解釈すれば、直径の大きいものに対しては、樹高も高く推定されなければならない。そこで、以下の方法で各林齢別に樹高曲線のパラメーターを求め、直径階別に樹高を推定した。いま、林分の平均直径を \bar{D} 、haあたり250本に相当する上層木の平均直径を \bar{D}_T とし、これに対応して林分の上層高を \bar{H}_T とすれば、(30)式より林分の平均樹高は

\bar{H} となる。樹高曲線にネスランド (Näslund) 式を用いると、

$$\begin{cases} \alpha + \beta \bar{D} = \sqrt{\frac{\bar{D}^2}{(\bar{H} - 1.3)}} \\ \alpha + \beta \bar{D}_T = \sqrt{\frac{\bar{D}_T^2}{(\bar{H}_T - 1.3)}} \end{cases} \quad (33)$$

$$\quad (34)$$

のように表わされる。この連立方程式を解けば、直径階ごとに樹高は次式で推定される。

$$\hat{H} = \frac{D^2}{(\alpha + \beta D)^2} + 1.3 \quad (35)$$

上の手順で求めた樹高曲線のパラメーターを地位指数別に表-10にまとめて示した。

ここで、各林齢別のパラメーターを用い、直径階別に樹高を推定し、ワイブル分布で推定された直径階別本数を基に平均樹高を求めてみた。結果は表-10に示すように、ほとんど両者に差はなく、径級分布にうまく対応した樹高推定が得られたといえよう。

6) 材積計算

道有林におけるトドマツの材積計算は中島 (1943) の「北海道立木幹材積表」が広く使われている。そこで、材積計算は材積表と同様に樹高階別樹高樹幹形数の実験式

$$F_H = 0.61 - 0.00055H + 5.48e^{-1.025H} \quad (36)$$

また直径階胸高樹幹形数の実験式

$$F_D = 0.5 - 0.00008D + 0.421e^{-0.12D} \quad (37)$$

を用いた。胸高断面積を G とすれば、材積は次式で求めることができる。

$$V = \frac{1}{2}(F_H + F_D) \cdot G \cdot H \quad (38)$$

従って、直径階ごとに直径と推定樹高の形数を用いて単材積を算出し、本数を乗じて直径階の材積とした。これを直径階ごとに積算して林齢別の材積を求めた。

以上の手順で全層間伐を前提とした収穫予想表を作成し地位指数別に表-11にまとめて示した。なお、従来の収穫表と異なり、今回は直径階別本数を予測した。計算結果は2 cm 活約で算出したが、4 cm 毎に上位木による積算本数と積算材積として表示した (表-12)。

考 察

道有林のトドマツ人工林を対象に、すでに収穫表が調整されており、現場で広く用いられている。収穫表に関する定義は嶺 (1955) により詳述されているが、論争の焦点になるのは、基準収穫表と現実的収穫表との相違である。道有林の収穫表は基準収穫表として作成されているが実際の使用にあたっては、収穫表の本数管理を任意に変えた場合、それに対応して収穫量が予想できる方式が望ましい。密度管理図 (安藤, 1968) は任意の本数管理をした場合、立木本数、材積、平均直径の関係が得られるが、間伐方式は下層間伐であり、菊沢 (1980) は間伐効果の面から、密度管理図の問題点を指摘した。また、密度管理図は平均直径の表示のみで直径分布までの情報はない。しかしながら、多様化する林業経営において直径階別本数の予測は将来とも大きなウェイトをしめるだろう。そこで、直径分布の情報も含め、任意の本数管理による収穫予想を提供できるような方法論が望ま

表-10 樹高曲線およびワイブル分布のパラメーター

Table 10. Parameters of the Weibull distribution and height-diameter curve

地位指数	林齢	平均直径	平均樹高	上層木の 平均直径	上層木の 平均樹高	樹高曲線の パラメーター		径級別の 樹高推定 の平均値	ワイブル分布のパラメーター		
Site index	Age	D.b.h.	Height	D.b.h. of upper trees	Top height	Parameters of height curve		Average of estimated height	Parameters of the Weibull distribution		
	(年)	(cm)	(m)	(cm)	(m)	α	β		a	b	c
16	10	10.2	6.8	16.6	8.2	1.2033	0.30800	6.6	3	8.0728	2.10
	15	12.5	8.4	19.8	10.1	1.2390	0.2756	8.2	3	10.6638	2.35
	20	14.5	10.1	22.1	12.0	1.3618	0.2443	9.8	5	10.9381	2.05
	25	17.2	11.8	24.9	14.0	1.5397	0.2188	11.5	5	13.7598	2.30
	30	20.0	13.7	27.8	16.0	1.5541	0.2049	13.3	7	14.6678	2.15
	35	22.7	15.5	30.3	17.9	1.8057	0.1856	15.0	7	17.6602	2.35
	40	25.4	17.3	32.6	19.8	1.9873	0.1717	16.9	9	18.4593	2.25
	45	28.0	19.0	34.5	21.5	2.2515	0.1570	18.5	9	21.3578	2.50
	50	30.5	20.6	36.1	23.1	2.6796	0.1398	20.0	11	21.9541	2.45
	55	32.9	22.1	37.7	24.6	3.1322	0.1242	21.7	13	22.4596	2.40
60	35.1	23.4	39.0	25.9	3.7992	0.1043	23.2	13	24.8556	2.65	
14	15	10.2	6.8	16.6	8.4	1.2976	0.2988	6.6	3	8.0728	2.10
	20	12.2	8.2	19.3	10.2	1.5051	0.2574	7.8	3	10.3591	2.35
	25	14.8	10.2	22.1	12.1	1.3792	0.2421	9.9	5	11.0986	2.10
	30	17.3	11.9	25.1	14.0	1.4913	0.2209	11.6	5	13.9178	2.30
	35	19.8	13.6	27.7	15.9	1.5979	0.2043	13.2	7	14.4871	2.15
	40	22.2	15.2	30.0	17.0	1.7734	0.1882	14.7	7	17.1462	2.30
	45	24.7	16.9	32.1	19.3	1.8783	0.1771	16.5	9	17.7728	2.20
	50	27.0	18.4	33.7	20.9	2.1078	0.1637	17.9	9	20.3191	2.45
	55	29.2	19.8	35.4	22.3	2.3614	0.1516	19.2	11	20.5491	2.35
	60	31.1	21.0	36.5	23.5	2.8127	0.1348	20.4	13	20.4648	2.30
65	33.1	22.2	37.8	24.7	3.1826	0.1226	21.9	13	22.6540	2.50	
12	20	10.2	6.8	16.6	8.4	1.3290	0.2957	6.6	3	8.0728	2.10
	25	12.2	8.2	19.3	10.2	1.5051	0.2574	7.8	3	10.3591	2.35
	30	14.7	10.1	22.2	12.0	1.3712	0.2440	9.7	5	10.9607	2.10
	35	16.9	11.6	24.4	13.8	1.5986	0.2174	11.1	5	13.4663	2.30
	40	19.3	13.2	27.1	15.5	1.6542	0.2043	12.9	7	13.8987	2.15
	45	21.5	14.7	29.2	17.1	1.7398	0.1922	14.2	7	16.4158	2.30
	50	23.8	16.2	31.3	18.6	1.8630	0.1810	15.7	9	16.7116	2.20
	55	25.8	17.5	32.6	20.0	2.1133	0.1667	17.1	9	18.9287	2.45
	60	27.7	18.7	34.0	21.2	2.3327	0.1554	18.3	11	18.7942	2.35
	65	29.4	19.8	35.3	22.3	2.5315	0.1463	19.4	13	18.5068	2.30
70	31.0	20.8	36.2	23.3	2.8733	0.1337	20.3	13	20.3163	2.50	
10	25	10.2	6.8	16.6	8.3	1.2504	0.3034	6.6	3	8.0728	2.10
	30	12.0	8.1	19.2	10.0	1.3267	0.2702	7.8	3	10.2041	2.30
	35	14.4	9.8	21.6	11.7	1.4017	0.2452	9.5	5	10.5543	2.05
	40	16.6	11.3	24.2	13.3	1.4887	0.2267	10.8	5	13.0852	2.25
	45	18.7	12.7	25.7	14.9	1.7037	0.2048	12.4	7	13.1868	2.25
	50	20.6	14.0	28.5	16.3	1.7081	0.1980	13.6	7	15.3790	2.20
	55	22.6	15.3	30.1	17.7	1.8038	0.1872	14.7	9	15.3326	2.10
	60	24.3	16.4	31.4	18.9	1.9928	0.1751	16.0	9	17.2252	2.30
	65	26.0	17.5	32.9	20.0	2.0840	0.1681	17.2	11	16.9036	2.15
	70	27.5	18.5	34.0	21.0	2.2437	0.1597	18.2	13	16.4015	2.05

表-11 道有林トドマツ人工林収穫予想表

Table 11. The yield table of *A. sachalinensis* plantation in Hokkaido Prefectural Forest

地位指数 Site index	林齢 Age	上層高 Top height	主林木 After thinning					副林木 Thinned tree			主副合計 Before thinning			総収穫 Total yield		A/B ×100	
			平均樹高 Height	平均胸高直径 d. b. h.	ha当り立木本数 No. of trees	ha当り材積 Voln	ha当り平均年生長量 Mean annual volume increment	本数 No. of trees	材積 Volume	累計材積 Total volume	材積 Volume	通年生長量 Current annual volume increment	平均生長量 Mean annual volume increment	材積 Volume	平均生長量 Mean annual volume increment		
	(年)	(m)	(m)	(cm)	(本)	(m ³)	(m ³ /年)	(本)	(m ³)	A(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(%)
16	10	8.21	6.8	10.15	2,000	76.86	7.7					76.86		7.7	76.86	7.7	
	15	10.05	8.4	12.45	1,800	123.35	8.2	200	10.48	10.48	133.83	11.4	8.9	133.83	8.9	8	
	20	12.00	10.1	14.69	1,221	136.65	6.8	579	56.68	67.16	193.33	11.9	9.7	203.81	10.2	33	
	25	14.00	11.8	17.19	1,014	175.64	7.0	207	30.56	97.72	206.20	2.6	8.2	273.36	10.9	36	
	30	16.00	13.7	19.99	842	219.55	7.3	172	39.87	137.59	259.42	10.6	8.7	357.14	11.9	39	
	35	17.93	15.5	22.65	703	261.06	7.5	139	47.59	185.18	308.65	9.8	8.8	446.24	12.7	41	
	40	19.79	17.3	25.35	592	302.86	7.6	111	47.15	232.33	350.01	8.3	8.8	535.19	13.4	43	
	45	21.52	19.0	27.95	504	334.39	7.4	88	51.37	283.70	385.76	7.2	8.6	618.09	13.7	46	
	50	23.12	20.6	30.47	434	361.62	7.2	70	51.02	334.72	412.64	5.4	8.3	696.34	13.9	48	
	55	24.57	22.1	32.91	379	394.70	7.2	55	50.19	384.91	444.89	6.5	8.1	779.61	14.2	49	
	60	25.87	23.4	35.09	336	422.84	7.0	43	45.77	430.68	468.61	4.7	7.8	853.52	14.2	50	
14	15	8.35	6.8	10.15	2,000	77.58	5.2					77.58		5.2	77.58	5.1	
	20	10.19	8.2	12.18	1,800	115.25	5.8	200	10.48	10.48	125.73	9.6	6.3	125.73	6.3	8	
	25	12.09	10.2	14.83	1,221	137.80	5.5	589	57.66	68.14	195.46	13.9	7.8	205.94	8.2	33	
	30	14.00	11.9	17.33	1,014	179.33	6.0	197	29.08	97.22	208.41	2.6	6.9	276.55	9.2	35	
	35	15.85	13.6	19.83	854	218.03	6.2	160	37.09	134.31	255.12	9.3	7.3	352.34	10.1	38	
	40	17.64	15.2	22.19	723	255.99	6.4	131	38.84	173.15	294.83	7.9	7.4	429.14	10.7	40	
	45	19.31	16.9	24.74	619	293.51	6.5	104	44.17	217.32	337.68	8.6	7.5	510.83	11.4	43	
	50	20.86	18.4	27.04	536	320.00	6.4	83	42.97	260.29	363.47	5.2	7.3	580.79	11.6	45	
	55	22.27	19.8	29.21	470	351.03	6.4	66	43.16	303.45	394.19	6.1	7.2	654.48	11.9	46	
	60	23.54	21.0	31.13	417	369.04	6.2	53	41.16	344.61	410.20	3.2	6.8	713.65	11.9	48	
	65	24.67	22.2	33.10	376	396.52	6.1	41	37.42	382.03	433.94	4.7	6.7	778.55	12.0	49	
12	20	8.38	6.8	10.15	2,000	77.58	3.9					77.58		3.9	77.58	3.9	
	25	10.18	8.2	12.18	1,800	115.25	4.6	200	10.48	10.48	125.73	9.6	5.0	125.73	5.0	8	
	30	12.00	10.1	14.71	1,221	135.59	4.5	579	56.68	67.16	192.27	13.3	6.4	202.75	6.8	33	
	35	13.77	11.6	16.93	1,036	169.82	4.9	185	27.31	94.47	197.13	1.0	5.6	264.29	7.6	36	
	40	15.49	13.2	19.31	883	216.26	5.4	153	30.06	124.53	246.32	9.8	6.2	340.79	8.5	37	
	45	17.10	14.7	21.54	760	244.30	5.4	123	36.47	161.00	280.77	6.9	6.2	405.30	9.0	40	
	50	18.60	16.2	23.80	661	278.84	5.6	99	36.76	197.76	315.60	7.0	6.3	476.60	9.5	41	
	55	19.97	17.5	25.78	582	304.81	5.5	79	38.05	235.81	342.86	5.5	6.2	540.62	9.8	44	
	60	21.21	18.7	27.65	518	328.66	5.5	64	37.36	273.17	366.02	4.6	6.1	601.83	10.0	45	
	65	22.32	19.8	29.39	468	353.22	5.4	50	32.70	305.87	385.92	4.0	5.9	659.09	10.1	46	
	70	23.31	20.8	31.01	426	364.63	5.2	42	32.62	338.49	397.25	2.3	5.7	703.12	10.0	48	
10	25	8.27	6.8	10.15	2,000	76.86	3.1					76.86		3.1	76.86	3.1	
	30	10.00	8.1	12.04	1,800	113.07	3.8	200	10.48	10.48	123.55	9.3	4.1	123.55	4.1	8	
	35	11.69	9.8	14.35	1,257	132.95	3.8	543	46.89	57.37	179.84	11.3	5.1	190.32	5.4	30	
	40	13.34	11.3	16.59	1,078	165.94	4.1	179	24.36	81.73	190.30	2.1	4.8	247.67	6.2	33	
	45	14.90	12.7	18.68	932	195.49	4.3	146	28.68	110.41	224.17	6.8	5.0	305.90	6.8	36	
	50	16.34	14.0	20.62	816	231.91	4.6	116	29.53	139.94	261.44	7.5	5.2	371.85	7.4	38	
	55	17.67	15.3	22.58	721	258.97	4.7	95	30.67	170.61	289.64	5.6	5.3	429.58	7.8	40	
	60	18.88	16.4	24.26	644	284.22	4.7	77	28.59	199.20	312.81	4.6	5.2	483.42	8.1	41	
	65	19.96	17.5	25.97	582	311.32	4.8	62	29.86	229.06	341.18	5.7	5.2	540.38	8.3	42	
	70	20.95	18.5	27.53	531	331.94	4.7	51	29.77	258.83	361.71	4.1	5.2	590.77	8.4	44	

表-12 收穫表(表-11)の径級別の積算本数(N)と積算材積(V)

Table 12. The relation between summation (V) of individual volume from the maximum diametered tree to a certain boundary diametered one and number (N) of these trees at yield table (Table 11.)

地位 指数 Site index	林齢 Age	40 cm 以上	36	32	28	24	20	16	12	8	4
16	10					2	30	201	750	1,591	2,000
	15				2	0.43	4.94	21.50	51.95	73.64	76.86
	20			3	0.71	6.17	26.33	66.38	105.10	121.74	1,800
	25		3	1.71	8.20	25.88	59.90	100.21	127.82	136.25	1,221
	30	3	14	46	119	184	251	322	399	474	549
	35	12	36	89	146	210	274	338	402	466	530
	40	16.08	40.26	81.27	135.96	191.32	231.47	253.65	260.26	261.06	261.06
	45	30	68	134	230	346	460	546	588	592	592
	50	47.11	88.40	143.42	201.84	252.48	284.64	299.17	302.69	302.86(10)	302.86(10)
	55	48	98	172	262	356	434	484	503	504	504
	60	80.94	138.71	203.32	260.94	302.10	324.22	332.73	334.35	334.39(10)	334.39(10)
14	15					2	30	201	750	1,591	2,000
	20					0.43	4.94	22.22	52.67	74.36	77.58
	25			2	1.14	7.63	25.95	60.85	101.97	129.40	137.80(6)
	30		3	15	58	167	236	305	374	443	512
	35	3	14	45	116	177	246	315	384	453	522
	40	3.44	13.48	35.69	73.23	122.70	171.11	203.38	216.12	218.03	218.03
	45	11	34	84	175	266	357	448	539	630	721
	50	14.73	37.52	76.24	128.60	183.71	225.38	247.71	255.11	255.99	255.99
	55	25	61	125	221	343	468	566	615	619	619
	60	36.96	75.11	127.20	185.50	237.26	272.47	289.00	293.34	293.51(10)	293.51(10)
	65	38	84	157	253	357	447	508	533	536	536
12	10					2	30	201	750	1,591	2,000
	15					0.43	4.94	22.22	52.67	74.36	77.58
	20					1.14	7.63	25.95	60.85	101.97	129.40
	25		3	15	58	167	236	305	374	443	512
	30		14	45	116	177	246	315	384	453	522
	35	3	14	45	116	177	246	315	384	453	522
	40	3.44	13.48	35.69	73.23	122.70	171.11	203.38	216.12	218.03	218.03
	45	11	34	84	175	266	357	448	539	630	721
	50	14.73	37.52	76.24	128.60	183.71	225.38	247.71	255.11	255.99	255.99
	55	25	61	125	221	343	468	566	615	619	619
	60	36.96	75.11	127.20	185.50	237.26	272.47	289.00	293.34	293.51(10)	293.51(10)
10	10					2	30	201	750	1,591	2,000
	15					0.43	4.94	22.22	52.67	74.36	77.58
	20					1.14	7.63	25.95	60.85	101.97	129.40
	25		3	15	58	167	236	305	374	443	512
	30		14	45	116	177	246	315	384	453	522
	35		14	45	116	177	246	315	384	453	522
	40	3	14	45	116	177	246	315	384	453	522
	45	3.44	13.48	35.69	73.23	122.70	171.11	203.38	216.12	218.03	218.03
	50	11	34	84	175	266	357	448	539	630	721
	55	14.73	37.52	76.24	128.60	183.71	225.38	247.71	255.11	255.99	255.99
	60	25	61	125	221	343	468	566	615	619	619

()内は最小径級を表わす。

れる。小林(1978)は立木間の競争を基に、単木ごとに生長予測を行うシステムを開発した。しかし、現在の計算機の能力からも十分なプロット面積をとってシミュレーションを実行するには、まだ十分な体制が確立しているとはいえない面もあり、高齢級になると直径階別本数が少なくなってしまう可能性がある。

一方、確率密度関数としてのワイブル分布は多くの林分でよく適合することが確められており、トドマツでも同様であった。こうした点から直径分布の推定には確率密度関数を利用した。今回のように、相対生長モデルにより仮想林分の平均直径を予測し、ワイブル分布で直径階別本数を推定するシステムは、シミュレーションによる方法に比べ、大型電子計算機を使わなくても将来の林分構造をその都度容易に計算できるといえよう。しかし、単木の生長モデルは生態的な見地から得られた事項を検証する場としても利用できる。施業をおし進めていく時、例えば単木間の競争度、枝の枯れあがり、枯死条件等その樹種特性を適確にはあくしなければならぬ。こうした点から予測結果の精度だけからでなく、生態学的な知見に基づく生長予測が今後望まれる。

摘 要

1. トドマツ人工林を対象に、疎開木で得られた相対生長関係のパラメーターおよび樹冠長比 0.14 を枯死条件に、無間伐林分を対象に樹高対直径の相対生長モデルを検討したところ、良好な結果を得ることができた。
2. 間伐林分への相対生長モデルの適応として、既存の収穫表の本数管理を実施した場合、相対生長モデルによる平均直径の予測値は収穫表とほとんど等しい結果となった。
3. 平均直径、変動係数からパラメーターを求めることのできるワイブル分布は、トドマツ人工林の直径分布に良好なあてはまりを示した。
4. 相対生長モデルとワイブル分布を利用して、道有林トドマツ人工林の収穫予想表を作成した。
5. 収穫予想表の地位区分は、基準林齢 30 年の場合の地位指数 16, 14, 12, 10 別に作成し、従来の収穫表と異なり直径階別本数と材積を表示して利用の便をはかった。

文 献

- 阿部信行 1976 トドマツ人工林の施業法に関する研究 (I) 疎開木の相対生長. 北林試報 14 : 27-36
——— 1978 a 道有林におけるトドマツ高齢人工林の施業に関する実態調査. 北方林業 30 : 267-271
———・佐々木信悦 1978 b 道有林に於けるトドマツ人工林の第 1 回目の間伐に関する実態調査. 昭 53 年 道林業技術研究発表大会論文集 : 44-47
- 安藤 貴 1968 同齡単純林の密度管理に関する生態学的研究. 林試研報 210 : 153
- BRAATHE, P. 1957. Thinning in even-aged stands : a summary of European literature. Faculty of For., Univ. of New Brunswick. 92p.
- DEMING, W. E. 1943. Statistical adjustment of data. John Wiley & Sons. (邦訳 ; 1950 森口繁一, 推計学によるデータのまとめ方. 198 p. 岩波書店)
- 藤森隆郎 1975 枝打ちの技術体系に関する研究. 林試研報 273 : 1-74
- 蜂屋欣二 1967 葉群の垂直的配列と生産量. 78 回日林講 : 114-115
- 北海道林務部 1970 道有林におけるトドマツ・スギ人工林収穫予想表. 34 p
——— 1974 林業経営試験 — 道有林における実践例 — 第 II 報. 330 p
——— 1979 林業経営試験 — 道有林における実践例 — 第 III 報. 436 p

- 細井 守・山本久二雄 1954 強度の枝打ちによるアカマツ肥大生長の減退. 日林誌 36 : 42-44
- 柿原道喜・木梨謙吉・西沢正久・長 正道 1977 林分シミュレーションに対する生長モデルの研究 (VIII) - カラマツ幼齡林の林分構造の予測-. 88 回日林論 : 103-104
- 菊沢喜八郎 1979 収量-密度図を利用した収穫予測の試み. 日林誌 61 : 429-436
- 1980 間伐と大径木生産 (I). 林業統計研究会誌 5 : 33-36
- 木梨謙吉・西沢正久・柿原道喜・長 正道 1976 林分シミュレーションに対する生長モデルの研究 (V) 固定プロットによるモデルの検討. 87 回日林論 : 91-92
- . ————— . ————— . ————— 1977 林分シミュレーションに対する生長モデルの研究 (X) - ワイブル分布による生長モデルの成果について-. 88 回日林論 : 107-108
- 1978 a 人工林の直径分布について (I) - ワイブル分布のパラメーターと年齢-. 89 回日林論 : 59-60
- 1978 b 森林調査詳説. 660 p 農林出版
- 久保田泰則 1965 トドマツの地域性について. 76 回日林講 : 249-251
- 小林正吾 1967 トドマツ人工林の樹高生長型と林分樹高生長の解析について. 北林試報 5 : 1-16
- 1975 占有面積の推移によるカラマツ人工林の林分生長モデル (I) 閉鎖林分の樹高対直径の相対生長モデル. 86 回日林講 : 68-69
- 1976 a 占有面積の推移によるカラマツ人工林の林分生長モデル (II) 無間伐モデル林分の樹高対直径の相対生長モデル. 87 回日林論 : 95-96
- 1976 b 占有面積の推移によるカラマツ人工林の林分生長モデル (III) 間伐モデル林分の樹高対直径の相対生長モデル. 87 回日林論 : 97-98
- 1977 占有面積の推移によるカラマツ人工林の林分生長モデル (IV) - 立木の幹形と相対生長モデル -. 88 回日林学会 発表
- 1978 カラマツ人工林の林分生長モデルに関する研究. 北林試報 15 別刊 : 1-164
- 真壁 肇 1966 ワイブル確率紙の使い方 信頼性のための統計的解析. 81 p 日本規格協会
- 真辺 昭 1971 a トドマツ密度管理図. 69 p 北方林業叢書 53 北方林業会
- 1971 b 林分上層高について. 日林北支講 20 : 77-79
- 松井善喜 1959 トドマツ人工林の成長と間伐について. 林業試験場北海道支場年報 1958 : 86-102
- 嶺 一三 1955 収穫表調製に関する基礎的研究と信州地方カラマツ林収穫表の調製. 収穫表調製業務研究資料 12 : 201 p 林野庁林業試験場
- 中島広吉 1943 北海道立木幹材積表. 興林会北海道支部叢書 1 : 46 p 林友会北海道支部
- 西沢正久・真下育久・川端幸蔵 1965 数量化による地位指数の推定法. 林試研報 176 : 1-49
- . ————— 1966 地位指数による林地生産力の測り方. 53 p 林業科学技術振興所
- 1972 森林測定. 348 p 農林出版
- . 木梨謙吉・長 正道 1976 a 林分シミュレーションに対する生長モデルの研究 (II) - ワイブル分布のあてはめについて-. 日林九支論 29 : 47-48
- . ————— . 柿原道喜・長 正道 1976 b 林分シミュレーションに対する生長モデルの研究(III) ワイブルのパラメーターの推定による直径確率分布の予測-. 87 回日林論 : 87-88
- . ————— . ————— 1977 a 林分シミュレーションに対する生長モデルの研究 (VI) - 林分構造の推定と予測-. 日林九支論 30 : 55-56
- . ————— . ————— 1977 b 林分シミュレーションに対する生長モデルの研究 (IX) -

- 変動係数を用いた林分構造の予測— 88 回日林論 : 105-106
- ・砂川秀昭・平田永二 1978 亜熱帯地域における常緑広葉樹林の直径分布について. 89 回日林論 : 61-62
- 尾中文彦 1950 樹木の肥大生長の縦断的配分. 京大演報 18 : 1-53
- ROBERT L. BAILEY and T. R. DELL. 1973. Quantifying diameter distributions with the Weibull Function. Forest Sci 19 : 97-104.
- 斎藤秀樹・四手井綱英・菅 誠 1968 樹幹形についての考察 2, 3 の幹形の表わし方および幹における同化物質の垂直分布についての考え方. 京大演報 40 : 93-110
- 四手井綱英・只木良也 1960 材積生産構造図(仮称)の提案(2) —その利用方法と検討—. 70 回日林講 : 295-297
- 山根玄一 1971 道有林におけるトドマツ・スギ人工林収穫予想表の調整. 北方林業 23 : 325-329

Summary

Allometric growth was measured for open-grown trees in several plantations of *Abies sachalinensis* MASTERS. Allometric relations were found between height, diameter and crown sizes as shown in equations (2), (3) and (4) respectively. The parameters as shown in equations (2), (9) and (10) were inputted to Kobayashi's allometric model (1978) as follows :

$$\frac{dD_{ij \dots n}}{D_{ij \dots n}} = \frac{dH_B}{H_B} \quad \gamma_{ij \dots n} \{1 - P'_{ij \dots n}(H)\}$$

Where subscript $ij \dots n$ represents that area occupancy of the tree has been changed from S_i to S_j , ..., S_n according to the release by death or thinning of neighboring trees.

$P'_{ij \dots n}(H)$ shows the closing grade defined basically by equation (17) which indicates the amount of relative reduction of crown width of the close-grown tree to the open-grown tree at the identical growth stage in height H . $\gamma_{ij \dots n}$ is the opening coefficient defined by equation (13) which indicates an increase of assimilation rate of the tree according to the release by thinning of neighboring trees.

The estimated values of the average diameter of the hypothetical stand which was thinned in the same manner as a yield table of *Abies sachalinensis* in Hokkaido Prefectural Forest were well fitted to those of the yield table by using Kobayashi's allometric model (Table2).

On the other hand, frequency distributions of d. b. h. at observed forest stands were well described by the Weibull distribution (Table3). Therefore, the number and volume of each diameter class of a forest stand can be obtained by Kobayashi's allometric model and the Weibull distribution.

According to these calculations, a yield table of *Abies sachalinensis* plantation may be estimated as tables 11 and 12.