



Title	樹下植栽されたトドマツ人工林の成長と現存量
Author(s)	渋谷, 正人; 酒井, 武
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 48(2), 293-306
Issue Date	1991-09
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/21342">http://hdl.handle.net/2115/21342</a>
Type	bulletin (article)
File Information	48(2)_P293-306.pdf



[Instructions for use](#)

# 樹下植栽されたトドマツ人工林の 成長と現存量

渋谷 正人\* 酒井 武\*

Growth and biomass of an artificial todo-fir  
(*Abies sachalinensis*) stand planted in the natural  
broad-leaved forest

By

Masato SHIBUYA\* and Takeshi SAKAI\*

## 要 旨

広葉樹天然林内に植栽されたトドマツ人工林において、1985年と1990年に調査を行ない、個体の成長経過と地上部器官の現存量および樹下植栽による植栽木への影響について検討した。

林分の密度はこの期間の除伐の影響もあり約2/3に減少した。平均胸高直径と平均樹高はともに増大し、モードも大きな階へ移動した。林分の密度と蓄積はIV等地の30年生林分と同等で、樹下植栽のため成長が遅れていた。今期間の年平均成長量は収穫予想表の約1/3であり、非常に小さかった。地上部現存量は64.8 t/haで、疎開地の林分に比べ枝量、葉量が少ない傾向がみられた。また現存量の増加分のうち90%以上は幹の増加量であった。個体葉量については、下層木の葉量が極端に少なく、階層の分化は認められないが、長期間の被圧による影響と考えられた。相対成長率は最小個体重階を除き個体の大きさによる差はみられなかったが、成長量は大きな個体ほどより大きく、また個体差は植栽直後から生じており、このことも樹下植栽の影響とみられた。

今後の林分の保育については、上層木を中心とすべきであると考えられた。

キーワード： トドマツ、樹下植栽、成長量、現存量

---

1991年3月30日受理 Received March 30, 1991.

\* 北海道大学農学部林学科造林学講座

\* Laboratory of Silviculture, Faculty of Agriculture, Hokkaido University

## はじめに

昭和30年代から始まった拡大造林政策により、北海道でも天然林が針葉樹人工林へ転換され、現在では森林面積のうちの1/4にあたる約150万haが人工林となっている。しかし造林方法として、一斉皆伐による単一樹種大面積造林が行なわれたため、様々な病虫害や気象害が発生し、多くの不成績造林地を生じている。トドマツは本道における代表的な造林樹種であるが、凍霜害を受けやすく、また多雪地においては枝枯病が蔓延し、成林が困難なところも多い。これらの害を回避する一手段として考えられるのが樹下植栽による造林で、一般に上木による保護効果は大きいものがある。また林相的にも複層林となるが、林冠のうっ閉度と植栽木の成長をどうコントロールするかという技術上難しい問題が残されている。そこで本報告では、この造林方法が植栽木へ及ぼす影響を検討するため、広葉樹林内へ植栽されたトドマツの成長経過と現存量について調査を行なった。そしてさらに林分の保育について若干検討を行なった。

調査対象とした林分は、北海道大学農学部附属苫小牧地方演習林（以下苫小牧演習林とする）にあり、1933年に植栽された林分である。調査は1985年5月と1990年5月に行ない、各々の年の成長期の前であるから、それぞれ林齢52年生、57年生の時の林況にあたる。

## I 調査地と調査方法

## i) 調査地

苫小牧演習林は、北緯42°40′、東経141°36′に位置し、総面積は約2740haである。標高は5～90mで、地形はおおむね平坦な丘陵状をなし、地質は支笏・樽前火山群の火山放出物に由来する。表土の厚さは5～10cmと極めて薄く、土壌条件はめぐまれない。

気象は夏期が冷涼であり、年平均気温は6.5°C、年降水量は約1450mmである。温量指数は、暖かさの指数は59.9、寒さの指数は-31.6で、冬期には深い土壌凍結が起こり、また初夏に晩霜害を生じ、造林上大きな問題となっている。

森林植物帯上は冷温帯林と亜寒帯林の移行帯にあたるが、ミズナラ、シナノキ、ヤチダモなどの広葉樹が優占する林分となっている。

調査林分は、演習林内303林班に位置し（Fig. 1）、無床替稚苗により広葉樹天然林を針葉樹林へ転換する目的で設けられた試験地で、

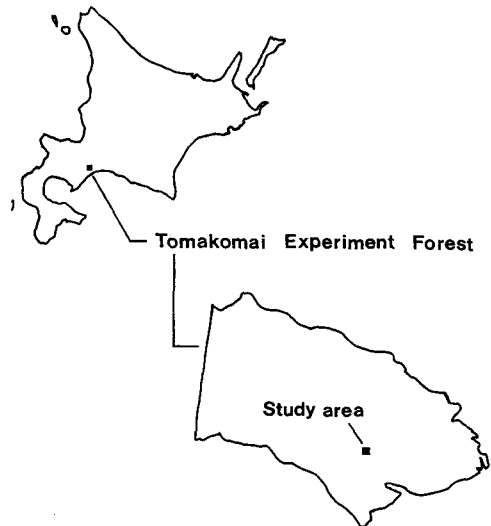


Fig. 1. Location of the investigated stand

植栽方法や施業経過は五十嵐ら<sup>3)</sup>に詳しい。設定当時の面積は 2.26 ha であったが、一部を除き 1981 年に風害を受け、現在は小面積に残存するだけとなっている。また 1985 年の調査後に風害により傾斜した植栽木の除伐が行なわれているが、伐採木の大きさや伐採量は不明である。

## ii) 調査方法

調査は、1985 年に 25 m×30 m の方形区を設定し行なっている。1985 年の調査では、トドマツと胸高直径 4 cm 以上の広葉樹を対象とし、位置、樹高、胸高直径、生枝下高、樹冠幅を測定した。1990 年の調査は、個体をナンバリングし、前回同様トドマツと胸高直径 4 cm 以上の広葉樹の樹高、胸高直径、生枝下高、樹冠幅を測定した。さらに今回の調査では樹冠下の照度を林床植生の上で測定した。また林分現存量を求めるため、胸高直径を対数変換し、サンプル個体が適当な間隔となるように 7 個体を選び採取した。これらは生枝下直径を測定した後、1 m の層別に分け、幹、枝、葉の生重量を求めた。一部のサンプル個体については野外で処理しきれなかったため、実験室に持ち帰り同じ処理を行なった。各個体からは絶対乾比を求めるため器官別のサンプルを少量ずつ持ち帰り、乾燥重量を決定した。さらにサンプル個体のうちの 6 個体と優占個体および被圧個体それぞれ 1 個体ずつの合計 8 個体から円盤を採取し、樹幹解析を行なった。

1985 年には個体識別は行なわなかったが、各個体の位置と大きさが分っているので、今回の調査データと照合した結果、167 個体中 158 個体が識別でき、データを比較することができた。

## II 結 果

### i) 林分の現況

1985 年と 1990 年調査時の林況を Table 1 に示した。植栽当時の密度は 9000 本/ha であったが、現在は天然更新した広葉樹も含めて 2227 本/ha である。密度は除伐と個体の枯死により前回調査のおよそ 2/3 に減少した。平均胸高直径と平均樹高はそれぞれ 8.6 cm から 11.0

Table 1. Outline of investigated stand condition

	1985	1990
Stand age (years)	52	57
Density (/ha)	3107	2227
Mean DBH (cm)	8.6	11.0
Mean height (m)	7.9	9.3
Stand stock (m <sup>3</sup> /ha)	89.5 (118.2*)	111.4 (151.3*)
Basal area (m <sup>2</sup> /ha)	20.6	23.5

\*calculated from the volume table for todo-fir like after IGARASHI et al.<sup>3)</sup>

cm, 7.9 m から 9.3 m へと増加した。これは下層木の枯死もひとつの要因であるが、頻度分布 (Figs. 2, 3) を比較すると、胸高直径も樹高もモードが大きな階へ移動しており、個体成長が進んだことが分かる。胸高直径の頻度分布型はほぼ正規型を保っているが、モードは 8 cm 階から 12 cm 階へ移り、樹高はやや高い層の方へ歪んだ形となり、7 m 階から 10 m 階へ移動した。樹冠深度図 (Fig. 3) によると、階層構造的には単層林で大きな変化はみられない。相対成長関係 (Fig. 4) から推定した林分蓄積は 111.4  $m^3/ha$  で、この 5 年間の純成長量は 4.4  $m^3/ha \cdot year$  であった。樹下植栽された林分のため単純な比較はできないが、松井<sup>2)</sup>によるトドマツの収穫予想表と比較すると、密度と蓄積はIV等地の 30 年生の林分に相当し、成長量は同じ時期の予想値の約 1/3 となっている。1982 年以前に比べると、最近 5 年間の成長量は増大しているが、一般の人工林に比較すると非常に小さいといえる。これには植栽方法やその後の取り扱い方の影響も考えられるが、本演習林では渋谷ら<sup>13)</sup>がトドマツ単植造林地で林分成長が悪いとし、また氏家ら<sup>21)</sup>がカラマツ人工林で林齢を経るにしたがって成長が悪化することを報告しており、土壌要因を主要原因とした環境条件の影響も考えられる。

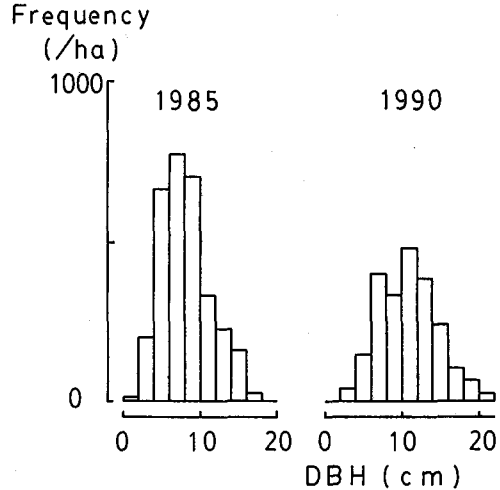


Fig. 2. Frequency distribution of DBH  
DBH: diameter at breast height

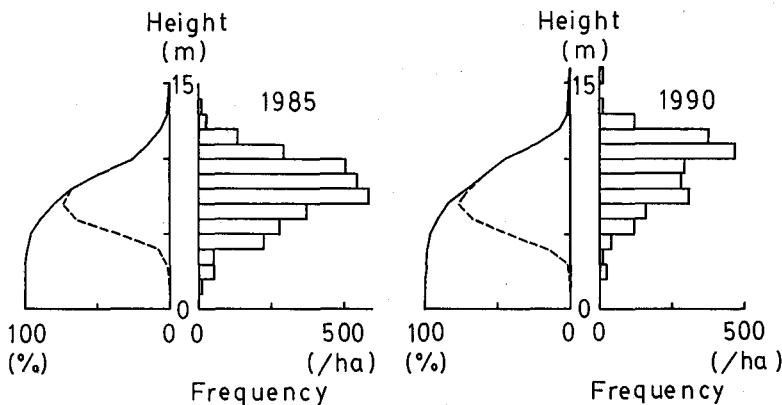


Fig. 3. Crown depth diagrams in 1985 and 1990

## ii) 林分の現存量

森林の現存量については、生産力の解明を主な目的とし、日本では四大学合同調査班<sup>23)</sup>以来

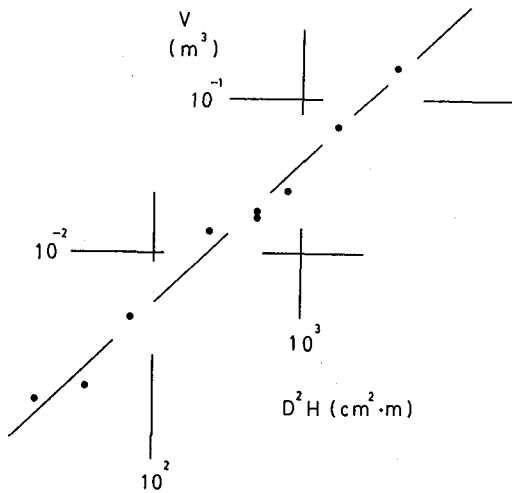


Fig. 4. Relation between  $D^2H$  and stem volume  
D: diameter at breast height  
H: height

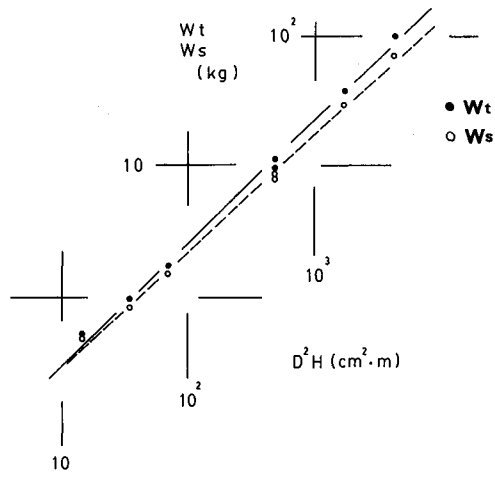


Fig. 5. Relations between  $D^2H$  and  $W_t$ , and  $D^2H$  and  $W_s$   
 $W_t$ : total dry weight of above-ground organs  
 $W_s$ : stem dry weight

研究が進められ、特に生産器官である葉量については閉鎖林分ではほぼ一定値となるという顕著な傾向が知られている<sup>16,18)</sup>。現存量の推定には通常サンプル木の胸高断面積と林分の胸高断面積の比から推定する方法と相対成長関係から推定する方法の2つが用いられ、サンプリング方法が適当であれば、それぞれの推定値には大きな差はない<sup>17)</sup>とされる。本報では相対成長関係を使って現存量を推定した。ただし根量の推定は行なわなかった。

まず個体重および幹重と  $D^2H$  (D: 胸高直径, H: 樹高) との関係を図5に示した。これらの関係は同一種内ではサイズ等による分離はなく、同一生活型内でも種に関係なくひとつの相対成長関係で近似することができる<sup>6)</sup>。求められた相対成長式は次の通りである。

$$\log(W_t) = 0.93 \log(D^2H) - 1.45 \quad (r^2 = 0.997) \quad (1)$$

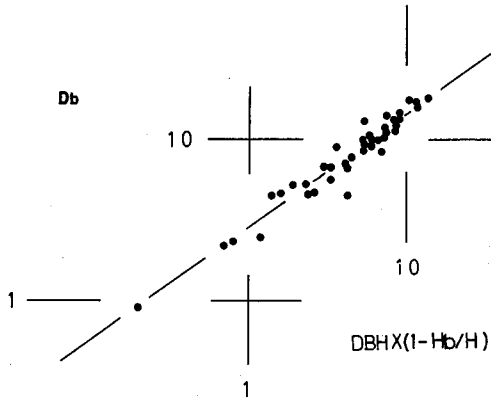
$$\log(W_s) = 0.89 \log(D^2H) - 1.43 \quad (r^2 = 0.997) \quad (2)$$

ここで  $W_t$  は個体重,  $W_s$  は幹重である。

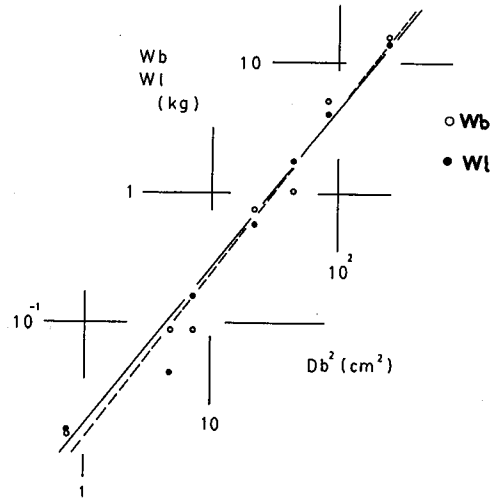
枝重, 葉重については一般に胸高直径や樹高あるいは幹重を因子とした推定では林分分離が起こるとされ<sup>4,11)</sup>, パイプ理論<sup>14)</sup>に基づき生枝下直径により推定されることが多い。この方法によっても林分分離がみられる例もあるが<sup>20)</sup>, それは林分葉量が最大となる時期の若齢林のみみられた特殊な例と考えられ, また分離の程度も小さい。生枝下直径は全個体について直接測定することはできなかったが, 調査地内の46個体で測定し, Fig. 6 および次式に示す相対成長関係をえた。

$$\log(D_b) = 0.70 \log(DBH \times (1 - H_b/H)) + 0.45 \quad (r^2 = 0.947) \quad (3)$$

ここで  $D_b$  は生枝下直径, DBH は胸高直径, H は樹高,  $H_b$  は生枝下高である。またサンプル個



**Fig. 6.** Relation between  $D_b$  and  $(DBH \times (1 - H_b/H))$   
 $D_b$ : Diameter at the height of the lowest branch  
 $H_b$ : height of the lowest branch



**Fig. 7.** Relations between  $D_b^2$  and  $W_b$ , and  $D_b^2$  and  $W_l$   
 $W_b$ : branch dry weight  
 $W_l$ : leaf dry weight

体からえられた枝重、葉重と生枝下直径の関係は Fig. 7 および次式のようなのである。

$$\log(W_b) = 1.26 \log(D_b^2) - 1.89 \quad (r^2 = 0.971) \quad (4)$$

$$\log(W_l) = 1.25 \log(D_b^2) - 1.88 \quad (r^2 = 0.973) \quad (5)$$

$W_b$ は枝重、 $W_l$ は葉重である。林分現存量は(2)式により幹重を、(3)~(5)式から枝重と葉重を各個体について求め、それらの合計値として決定した。また前回の1985年のデータに関しても、これらの関係が適用できるとして現存量を推定した。推定結果を Table 2 に示す。1990年の林分幹量は49.4 t/ha、枝量、葉量は等しく7.7 t/haで、地上部現存量は64.8 t/haであった。1985年に比べて現存量は10.2 t/ha増加し、そのうちの92%が幹の増加量であった。枝および葉の

**Table 2.** Biomass of above-ground organs of investigated stand

	1985	1990
Biomass of above-ground organs*		
Stem (t/ha)	40.0	49.4(49.7)**
Branch (t/ha)	7.3	7.7( 9.1)**
Leaf (t/ha)	7.3	7.7( 7.9)**
Total (t/ha)	54.6	64.8(66.7)**

\*dry weight

\*\*calculated from biomass of sample trees and frequency distribution of DBH, considering sample trees as typical trees of each DBH-class

増加量は各々0.4 t/ha, 0.4 t/haであった。一般に同齡林の葉量は林冠閉鎖直後に最大となり、その後やや減少して安定する<sup>9)</sup>とされ、このため林分成長が進むと現存量の中の葉量比は小さくなる。Table 2から各器官の現存量比を求めると、幹76%, 枝12%, 葉12%であった。加藤<sup>5)</sup>によるトドマツ人工林の現存量の調査例では、20000本/ha植栽の15~18年生林分では地上部現存量に対する葉量比は25~29%, 10000本/ha植栽の28年生林分では10%, 50000本/ha植栽の25年生林分で10%とされ、天然林の例としては、四大学合同調査班<sup>23)</sup>が密度約20000本/ha, 地上部現存量約64 t/haの2箇所の林分とともに11%としており、約2000本/ha, 104 t/haの林分では10%としている。四大学の例では枝量も葉量とほぼ同じであった。苫小牧演習林のトドマツ人工林については春木<sup>2)</sup>の調査例があり、林齢35年, 密度2437本/haの林分で地上部現存量は74.3 t/ha, 枝量, 葉量はそれぞれ13.9 t/ha, 13.7 t/haとされ、幹量は本林分とほぼ同じであるが、枝量, 葉量はおよそ2倍となっている。また葉量比は18%とやや高い。同じ成長段階で考えると、密度が高い林分ほど幹量の割合が高くなる傾向があり<sup>12)</sup>, 主に高密度林分を対象とした加藤や四大学の調査例では、中庸な密度の林分に比べ葉量比が小さい可能性が考えられ、それらと同じレベルである本調査林分の葉量比も小さいと考えられる。個体の葉量を春木<sup>2)</sup>のデータと比較すると、上層木の葉量は同等か本林分の方がやや大きく、これに対し下層木では極端に少なくなっている。このことが枝量, 葉量が少ない要因の一つと考えられる。

生産構造図をFig. 8に示した。林分の現存量は相対成長関係から求めたが、生産構造図は各サンプル木をそれぞれの直径階の標準的な個体とみなし、頻度分布との積の合計値として求めた。この方法による現存量推定値はTable 2に示してあるが、相対成長関係による推定値とおおよそ一致している。針葉樹林でも高密度な場合は葉は上層へ集中的に分布するが<sup>19)</sup>, この林分では極端な集中性はみられず、比較的広く分布している。ただし下層木の葉量が少なく、枯れ上がりも進んでいるため、6.3 m以下の層では葉量が少なくなっている。林内の平均相対照度は13%であったが、光量の減衰がBeer-Lambertの法則で近似できるとして求めた吸光係数は、葉重ベースで0.25 ha/tであった。

### iii) 個体の成長

前回の結果とデータが比較できた158個体の5年間の成長について検討した。成長量としては相対成長関係((2)~(5)式)から求められる個体重とFig. 4に示した関係から算出される材積を用いた。

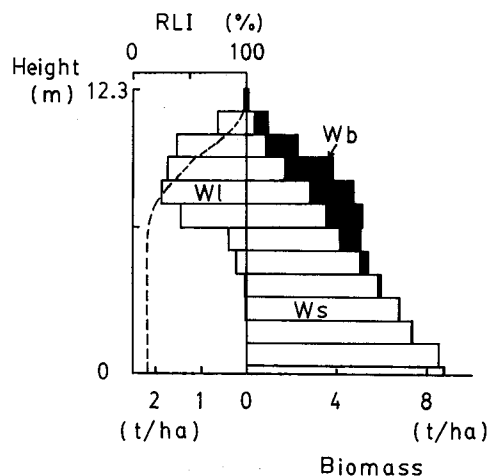


Fig. 8. Productive structure diagram



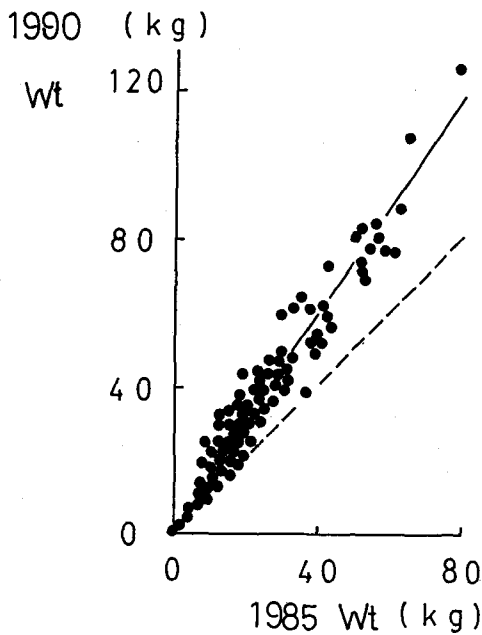


Fig. 9. Relation between Wt in 1985 and that in 1990

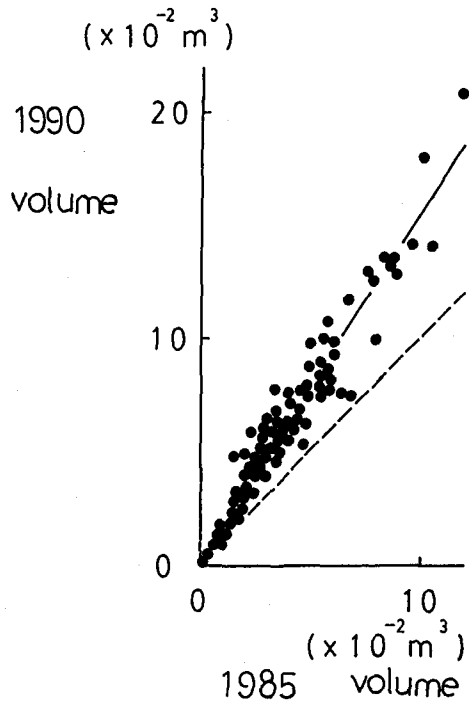


Fig. 10. Relation between stem volume in 1985 and that in 1990

Fig. 9, 10に、1985年と1990年の地上部個体重の関係および材積の関係を示した。1985年と1990年の個体の大きさには正の相関が認められ、回帰直線の傾きが個体重で1.45 ( $r^2=0.946$ )、材積で1.53 ( $r^2=0.949$ )であり、大きな個体ほどより成長量が多い傾向がみられる。

個体重の頻度分布を Fig. 11に示した。頻度分布型は1985年には典型的なL字型であり、1990年にも基本的には小さな階ほど個体数の多い傾向はみられるが、最小個体重階の突出度は弱くなり、極端に小さな個体の比率は低くなりつつある。階級数を同じにしてもこの傾向は変わらない。分布範囲は1985年の0~80 kgから1990年には0~130 kgへと拡大した。

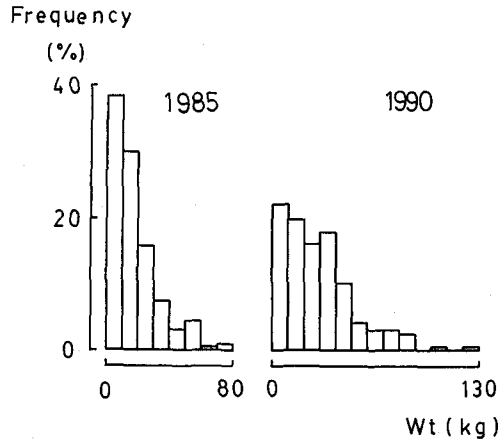


Fig. 11. Frequency distribution of Wt

個体重の相対成長率を Fig. 12に示した。相対成長率は次の式で算出した。

$$RGR \equiv \frac{1}{w} \frac{dw}{dt} = \frac{d \log w}{dt} \div \frac{\Delta \log w}{\Delta t} = \frac{\log w_2 - \log w_1}{t_2 - t_1}$$

1985年の個体重と5年間の成長率の関係をみると、大きな個体ではあまりばらつかないが、小さな個体ほどばらつきが大きい傾向がある。1985年の個体重が40 kg以上の個体では相対成長率は0.05~0.11/yearであるが、40 kg未満では-0.03~0.2/yearである。小さな個体ではマイナス成長を示すものもあるが、成長率が最も高い個体は5年間で約1.6倍に成長している。1985年の個体重を10 kg毎に分け、各階の平均相対成長率を求めると (Fig. 12), 個体重と成長率の間に明確な相関はみられず、最小階を除くとむしろ大きな差はないと言える。また小さな階ほど標準偏差が大きく、下層個体は個体間の差が顕著で、被圧による影響を強く受け

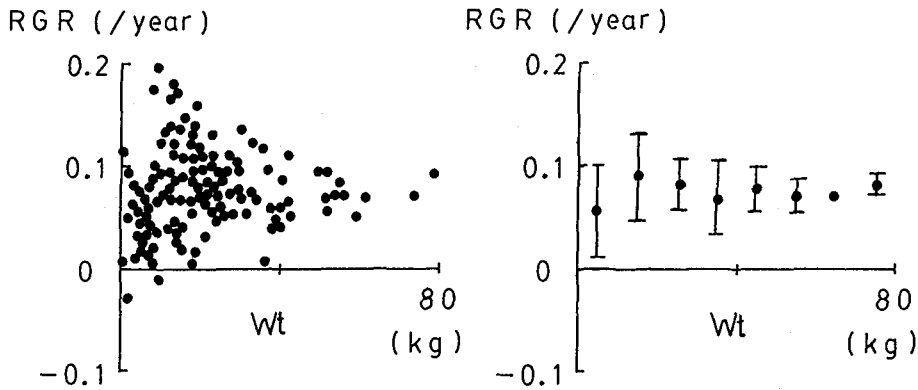


Fig. 12. Relations between Wt in 1985 and RGR, and Wt in 1985 and mean RGR in each 10kg-class of Wt in 1985  
In the right figure, vertical ranges indicate standard errors.

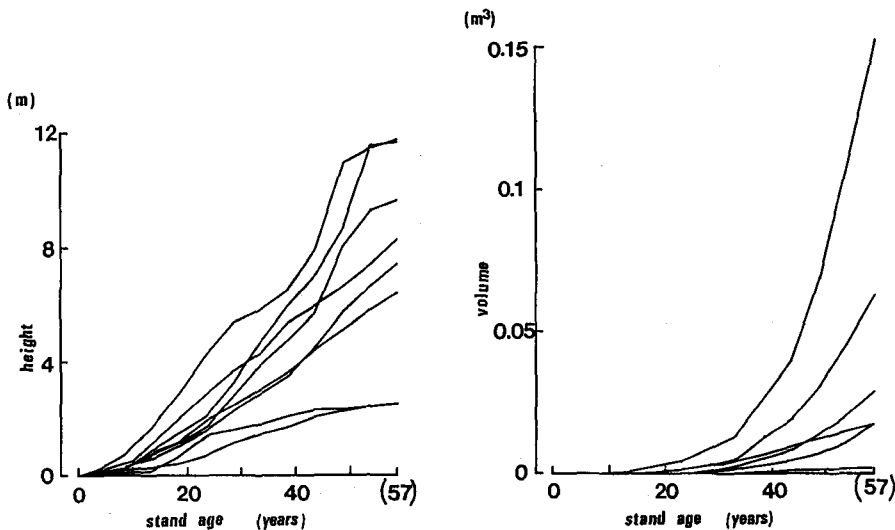


Fig. 13. Growth curves of height and stem volume of sample trees

ている個体とそうでない個体が分化しているようである。

Fig. 13 に樹冠解析からえられた樹高成長曲線と材積成長曲線を示した。上層個体と被圧個体では成長差が大きいことは明らかであるが、成長初期段階に生じた個体差がその後長期間にわたり影響を及ぼしていることが分かる。1966年にその当時上木であった広葉樹類を伐採したため成長が好転した個体もみられるが、特に材積成長については個体差が激しく今後も同じ傾向で推移するものと考えられる。また成長初期段階から明瞭な個体差が生じていることには、植栽方法の影響も大きいと考えられる。

### III 考 察

樹下植栽という造林方法の影響として、まず成長の遅延があげられる。この効果は、林分の取り扱い方によって変わり、一般的な論議はできないが、本林分は57年生でありながら蓄積などは30年生林分と同じ程度であり、明らかに保育作業が遅れていたと言える。同齡単純群落の場合主として個体差は初期個体重と相対成長率のばらつきと個体間競争によって生じる<sup>7)</sup>と考えられているが、Fig. 13から分かるように、この林分では成長初期段階から明らかな個体差が認められ、樹下植栽することにより早くから被圧木が生じたと言える。このため皆伐跡地に造林した場合に比べ下層個体の葉量が減少していると考えられる。前述したように通常  $W_1 - D_0$  関係は林分分離はおきないが、トドマツのような耐陰性の高い種では優占個体と被圧個体で分離することがあり、優占個体に比べ被圧個体の葉量が少なくなる<sup>15)</sup>。Fig. 7に示した回帰直線の傾きが1よりも大きいのは、本来異なる関係をもっている上層木と下層木を1本の直線で近似したためと思われる。樹冠深度図 (Fig. 3) などからは階層が分離しているとは判断できないが、個体の葉量から考えると、下層木は被圧の影響を強く受けていると考えられ、このこと

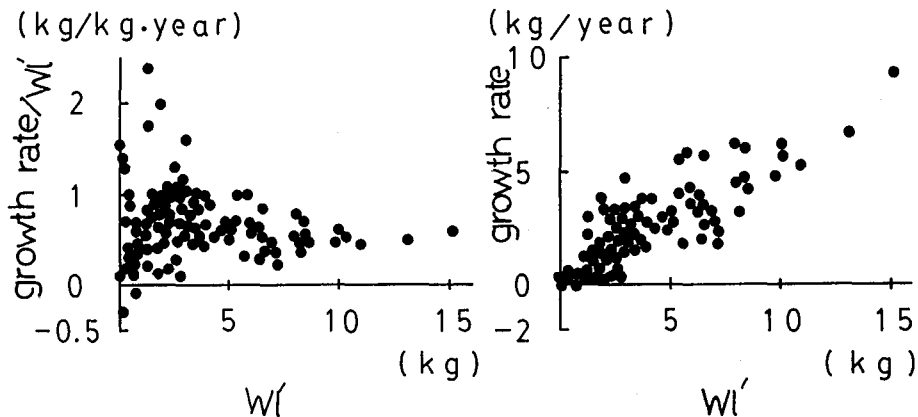


Fig. 14. Relations between  $W_1'$  and  $(\text{growth rate})/W_1'$ , and  $W_1'$  and growth rate  
 growth rate: mean growth rate from 1985 to 1990  
 $W_1' = (W_1 \text{ in } 1985 + W_1 \text{ in } 1990)/2$

は成長の遅延とともに樹下植栽がもつ特徴と言えるだろう。本林分における個体の成長経過から考えると、樹下植栽により造林する場合、密植は多くの被圧木を生じる可能性があるため、植栽密度をあまり高くする必要はないと思われる。

個体成長量は大きな個体ほど大きい、平均的な相対成長率は、最小個体重階を除きほぼ一定であった。生産構造図のように陽光量は下層ほど少なくなるが、最小階以外の個体は、下層個体でも大きさに見合った成長量を確保していると言え、トドマツの被圧下での生育能力の高さを示すものと考えられる。Fig. 14 に年平均成長量を5年間の平均葉重で割った値と平均葉重の関係を示した。(年平均成長量/平均葉重)値はこの5年間の葉の生産効率に関連する値である。点のばらつき方は Fig. 12 による類似し、葉重の小さい個体ほどばらつきが大きい、葉重毎の平均値には差はないようである。同じ図に平均成長量と平均葉重の関係を示してあるが、これら間には正の相関があり、成長量は葉の生産効率ではなく、葉量に強く影響されることが分かる。つまり平均的には下層個体の葉の生産効率は弱光下でも低下しないが、成長量は個体の大きさと相関があるので、上層個体と下層個体の差は大きくなる一方であり、下層個体は今後も被圧下におかれると考えられる。相対成長率の頻度分布 (Fig. 15) は正規型に近いがやや右に歪んでおり、歪度  $\alpha_3 = 0.3527$  であった。

真辺<sup>13)</sup>の密度管理図により林分の込み方をみると、Fig. 16 のように疎仕立てに近い収量比数 0.65~0.7 の間に位置し、またこの5年間に収量比数は減少している。密度管理図は疎開地に生育する同齡単純林を対象とし、サイズ構成が均一な林分に適用すべきものであるから、本林分の込み方の判断基準としては適当ではないかもしれないが、少なくとも込んだ状態とは言えないようである。しかし明確な階層化はみられないが、葉量などの面で上層木と下層木が分化していると考えられるような場合は、込み方を判断するには、密度と蓄積の関係だけではな

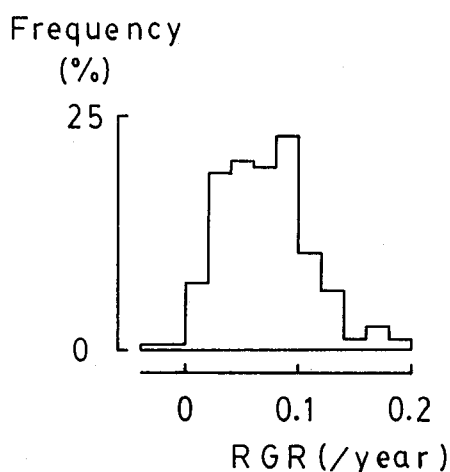


Fig. 15. Frequency distribution of RGR

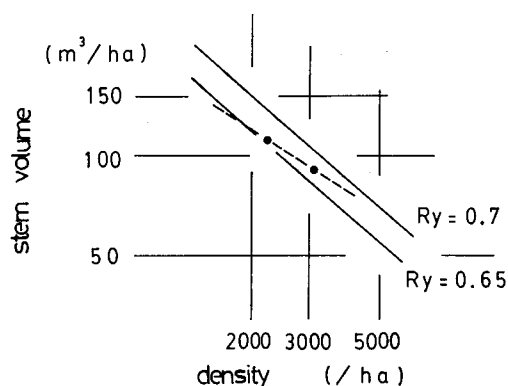


Fig. 16. Relations between density and stem volume in 1985 and 1990  
Ry: yield index determined by Manabe<sup>8)</sup>

く、林分構造を考慮する必要があると考えられる。1985~1990年における密度と蓄積の関係が最多密度線と平行にならないのは、除伐を含め個体数の急激な減少が影響していると考えられる。

植物群落のサイズ分布については、KOYAMA and KIRA<sup>7)</sup>の優れた研究以来、主として密度効果との関連で研究が進められている。同齡単純群落の個体重の頻度分布は、成長が進むにつれL字型または対数正規型に歪み<sup>7)</sup>、歪度 (skewness) も大きくなる傾向が認められている<sup>22)</sup>。これに対し FORD<sup>9)</sup>は対数正規型というよりむしろ対数バイモーダル型になるとし、MOHLER et al.<sup>10)</sup>は対数正規型が崩れるのは成長が進むにつれ階層化がおこるためとしている。トドマツのように耐陰性の高い種では同齡林でも階層が分化しやすく、今回のように小サイズ階への集中性が弱まるのは、除伐の影響とともに、上層木と下層木の分化が影響を与えていると考えられる。階層構造の単純な群落と異なり、階層化が進んでいる群落では、個体の死亡は安定的に起こるのではなく、ある時期に集中して起きる可能性も考えられ、その場合は小サイズ階での死亡率が高いと考えられる。またこのようなことが相対成長率の頻度分布の歪み方に影響を与えているのかもしれない。

今後の林分の保育については、収量比数がそれほど高くないので暫時間伐などの必要はないと考えられる。上層木に関しては通常の林分の個体に比較しても葉量は少なくないので、ある程度の成長量が期待でき、今後は上層木の保育を中心に考えるべきであろう。下層木は被圧により葉量が少なく、良好な成長は期待できない。これらについては積極的な保育を行う必要はないと考えられる。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり北海道大学農学部林学科造林学講座の五十嵐恒夫教授、矢島崇助教授には、原稿を校閲いただきご助言いただいた。また藤本征司助手をはじめ造林学講座の学生、大学院生の皆様には調査をお手伝いいただいた。厚くお礼申し上げる。

石城謙吉教授、船越三朗助手をはじめとする苫小牧演習林の職員の方々には、試験地の維持や調査に色々とお世話いただいた。感謝の意を表する。

## 引用文献

- 1) FORD, E. D. 1975. Competition and stand structure in some even-aged plant monoculture. *J. Ecol.* 63: 311-333
- 2) 春木雅寛 1979. トドマツ人工林の物質現存量に関する基礎的研究. 北大演研報 36: 147-254
- 3) 五十嵐恒夫・矢島崇・奥村日出雄・吉住琢二 1986. 播種・稚苗植栽による広葉樹林へのトドマツ導入試験. 北大演研報 43: 495-511
- 4) 菅 誠・斎藤秀樹・四手井綱英 1965. 常緑広葉樹林の物質生産力について. 京大演報 37: 55-75
- 5) 加藤亮助 1961. トドマツ人工林の解析の一例. 北方林業 13: 27-30
- 6) KIRA, T. and SHIDEI, T. 1967. Primary production and turnover of organic matter in different

- forest ecosystems of the western pacific. Jap. J. Ecol. 17: 70-87
- 7) KOYAMA, H. and KIRA, T. 1956. Intraspecific competition among higher plants VIII. Frequency distribution of individual plant weight as affected by interaction between plants. Jour. Inst. Polytech. Osaka City Univ. D7: 73-94
  - 8) 真辺 昭 1974. トドマツ密度管理図 (北方林業叢書 53), 65 pp. 北方林業会, 札幌
  - 9) 松井善喜 1966. 北海道の森林の取扱いに関する研究II 北海道における各樹種の植栽沿革とその造林成績に対する考察. 林試研報 189: 1-160+40 photos.
  - 10) MOHLER, C. L., MARKS, P. L. and SPRUGEL, D. G. 1978. Stand structure and allometry of trees during self-thinning of pure stands. J. Ecol. 66: 599-614
  - 11) 斎藤秀樹・四手井綱英 1973. スギ幼齢林の一次生産力とその推定法の検討. 日林誌 55: 52-62
  - 12) 佐藤大七郎・中村賢太郎・扇田正二 1955. 林分生長論資料 1. 立木密度のちがう若いアカマツ林. 東大演報 48: 65-90
  - 13) 渋谷正人・佐原治・矢島崇 1989. トドマツ集植え造林地における個体成長と根系について. 北大演研報 46: 511-528
  - 14) SHINOZAKI, K., YODA, K., HOZUMI, K. and KIRA, T. 1964. A quantitative analysis of plant form—The pipe model theory I. Basic analyses. Jap. J. Ecol. 14: 97-105
  - 15) —, —, — and —. 1964. Ditto. II. Further evidence of the theory and its application in forest ecology. *ibid.* 14: 133-139
  - 16) 只木良也 1963. 森林の生産構造に関する研究 (IV) 林分および単木の葉量についての若干の考察. 日林誌 45: 249-256
  - 17) — 1965. 森林の生産構造に関する研究 (VIII). 立木密度の高いモリシマアカシヤ林の生産力. 日林誌 47: 384-391
  - 18) TADAKI, Y. 1966. Some discussions on the leaf biomass of forest stands and trees. Bull. Gov. For. sta., Tokyo 184: 135-161
  - 19) TADAKI, Y., HATIYA, K. and MIYAUCHI, H. 1967. Studies on the production structure of forest (XII) Primary productivity of *Abies veitchii* in the natural forests at Mt. Fuji. J. Jap. For. Soc. 49: 421-428
  - 20) 玉井重信・大久保泰志・堤利夫 1983. 小径木間伐に関する研究 (VI) 間伐後12年間のスギ林の林況および現存量の変化について. 日林誌 65: 372-381
  - 21) UJIE, M. and MAEDA, Y. 1983. Properties of larch-plantation soils and larch trees grown in Tomakomai Experiment Forest. Res. Bull. Coll. Exp. For. Hokkaido Univ. 40: 463-490
  - 22) WHITE, J. and HARPER, J. L. 1970. Correlated changes in plant size and number in plant populations. J. Ecol. 58: 467-485
  - 23) 四大学 (北大, 東大, 京大, 大阪市大) 合同調査班 1960. 森林の生産力に関する研究 第1報 北海道主要針葉樹林について. 100 pp. 国策パルプ株式会社, 東京

### Summary

In forest stands, canopy trees protect seedlings and juveniles from various external damage (i.e. frost damage, insect attack, disease injury, etc.) very effectively. Todo-fir (*Abies sachalinensis*) is a suitable species for artificial planting in Hokkaido, though it suffers frost damage quite frequently. Although the method of planting todo-firs under canopy trees has been examined and forestations have succeeded in some cases, a technique to control the growth rate of the artificially planted trees has not been found. Accordingly, an artificial todo-fir stand was planted in a natural broad-leaved forest and examined mainly for individual growth and biomass

of its above-ground organs as a fundamental study to establish a stand tending technique.

The study stand is located in Tomakomai Experiment Forest of Hokkaido University, and was planted in 1933. In 1985 a study plot of 750m<sup>2</sup> was established, and examinations were carried out in May before the growth season in 1985 and 1990. Therefore the stand conditions investigated are those of 52- and 57-year-old of stand age.

Stand density decreased from 3107/ha to 2227/ha during the 5 years because of improvement cutting and natural thinning. The mean DBH and mean height increased remarkably: the former from 8.6cm to 11.0cm: the latter from 7.9m to 9.3m. In 1990 stand stock calculated by allometry was 111.4m<sup>3</sup>/ha and the mean growth rate over this period was 4.4m<sup>3</sup>/ha · year. Its density and stocked volume were approximately similar to those of a 30-year-old stand in site quality IV in the yield table for todo-fir, but its annual growth rate was very low; approximately one third that indicated in the yield table. Thus, stand growth was severely restricted, and it is thought that this low growth rate is due to the planting method.

The biomass of the above-ground organs was estimated from their allometry. Dry weights of the trunk (with bark), branches and leaves were 49.4t/ha, 7.7t/ha and 7.7t/ha, respectively; the total biomass of the above-ground organs was thus 64.8t/ha. More than 90% of the increase during this period was due to trunk growth. The ratios of leaf weight to  $D_b^2$  ( $D_b$ : trunk diameter at the height of the lowest living branch) for lower-layer trees were lower than for those in dominant trees. This seemed to be caused by suppression, and is also considered to be an effect of the planting method.

Although the speed of growth in both weight and volume in dominant trees was more rapid than that in suppressed trees, the relative growth rates were roughly consistent in all individual weight classes, except the minimum class. The growth rates in individual trees depended on the weight of their leaves, not on the production efficiency of the leaves.

The crowding degree in this stand was examined in relation to the stand density control diagram. Since the yield indexes in 1985 and 1990 were not high (approximately 0.65~0.7), thinning is not required at present. Hereafter, the dominant trees are expected to increase their growth rates, but the suppressed trees seem to be thinned naturally. Therefore the dominant trees should be mainly treated in stand care work.