

# タテヤマスギ人工林の現存量と純生産量

嘉戸 昭夫・松浦 崇遠・相浦 英春・安田 洋

## Biomass and net production of Tateyama-sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) stands planted in Toyama Prefecture

Akio KATO, Takatoh MATSUURA, Hideharu AIURA, Hiroshi YASUDA

富山県内の14～96年生のタテヤマスギ人工林16箇所において現存量と純生産量を調査し、これらと林齢、樹高、立木密度等との関係について検討した。各プロットにおいて胸高直径を毎木調査し、樹高をサンプル調査したのち、4～12本の供試木を選んで伐倒し、層別刈取法により幹、枝、葉の重量を測定した。供試木を樹幹解析して材積成長量を算出した。単木の地上部重または $D^2H$ （胸高直径の二乗×樹高）と各部分重の間に相対成長式を適用して林分現存量を推定した。この結果、単木の地上部重と幹の現存量の相対成長関係は林分による差異が比較的小さかったが、地上部重と枝または葉の現存量との相対成長関係はプロットによって分離する傾向がみられた。林分の材積と幹の現存量は平均樹高が同じであれば立木密度が高いほど大きくなり、林分密度が同じ場合には平均樹高が高いほど大きくなる傾向を示した。枝の現存量は平均樹高が同じであれば立木密度が高いほど小さく、林分密度が同じ場合には平均樹高が高いほど大きくなる傾向が認められた。葉の現存量は立木密度や平均樹高に伴い増加するが、その上限は約27ton/haと推定された。葉の純生産量はその現存量の23%に相当し、平均で5 ton/ha・yrであった。地上部の純生産量は平均で14ton/ha・yrであった。林分の平均樹高と立木密度が既知であれば、密度効果の逆数式を用いることにより、幹、枝、葉の現存量を推定できる見通しを得た。

### 1. はじめに

森林の現存量や成長に関する調査は1950～70年代にかけて、森林生態系における物質循環の解明や林分の生産力の評価などを目的として、層別刈取り法などの生産生態学的手法を用いて盛んに行われた（四大学、1966；安藤ら、1966；Tadaki, 1977）。その結果、生産された有機物の各器官への分配率や各器官における現存量と環境、林齢、施業などとの関係が明らかにされてきた。

近年、再度、森林の部位毎の現存量や成長に関する資料が注目されるようになった。これは地球温暖化防止に対する森林の重要性が世界的規模で論議されるようになり、森林による二酸化炭素の吸収量を

より正確に評価することが求められるようになったためである。

当林業技術センターでは多雪地帯におけるスギ林の生産力を明らかにする目的で、富山県における主要スギ品種であるタテヤマスギ、ボカスギ、カワイダニスギ、マシヤマスギなどの人工林を対象として現存量や成長に関する調査を、1970年代後半から現在までに合計40数林分で実施している。

本報告では、富山県における全人工林面積の79%を占めるタテヤマスギ人工林を対象に既に報告済みの資料に未発表の資料を加えて、幹、枝、葉の現存量と生産量、現存量と林齢、樹高、本数密度の関係などについて検討を試みた。

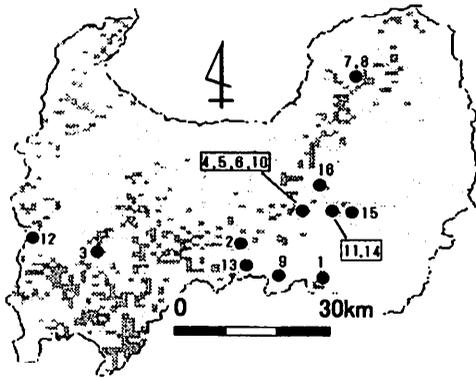


図-1 調査地の位置

2. 資料と方法

調査地は16箇所のタテヤマスギ人工林で、このうち報告済みの調査地が9箇所、未報告が7箇所である。各調査地の位置を図-1に、その概要を表-1に示す。調査プロットの面積は10×10m～30×30mであった。プロット内の全個体の胸高直径を測定し、樹高をサンプル調査した後、4～12本の径級が異なる供試木(平均7.4本)を根元から伐倒した。枝下高、当年伸長量を測定後、層厚1mとして、層別刈取りに準じた方法で、幹、枝、葉に切り分け生重量を測った。葉は緑色部としたので緑枝を含んでいる。16箇所中9箇所の調査地において、供試木の各層からサンプル枝をとり、新葉と旧葉に区別して重量を測定した。全供試木について層毎に、幹、枝、葉のサンプルを採り、研究室に持ち帰って80～105℃で乾燥し、含水率を求め、生重量を絶乾重量に換算した。以下、本報告では重量データをすべて絶乾重量で表記した。樹幹解析用に各層の下部から円板を採取した。また、林分材積と平均樹高および立木密度との関係を検討するため、374箇所のタテヤマスギ人工林の毎木調査資料(以下、毎木調査資料と呼ぶ)を用いた。この資料はタテヤマスギ密度管理図や長伐期施業のために富山県林業技術センターで収集されたもので、林齢は11～110年生であった。

3. 結果

3.1 現存量

3.1.1 相対成長関係

単木の全重量を $w$ 、幹重、枝重および葉重などの部分重を $x$ で表わすと、相対成長式は次式で示される。

$$\log x = h \cdot \log w + k \dots \dots (1)$$

ここで、 $h$ 、 $k$ は林分毎に決まる係数で、 $h$ は相対成長係数と呼ばれている。そして、林木のT/R率が密度、地位、林齢に関係なく一定ならば、全重量は地上部重(幹重+枝重+葉重)と比例関係にあり、全重量のかわりに、地上部重に対する相対成長係数を使ってもよいとされている(安藤、1966)。

そこで、一例として林齢が異なる調査地5, 11, 12および16における供試木の地上部重と幹重、枝重、葉重の関係を図-2に示した。また、調査地毎に地上部重( $w_T$ :kg)と部分重( $x$ :kg)の相対成長関係を検討し、その回帰式の係数を表-2に示した。

表-1 調査地の概要

調査地	所在地	標高	林齢	立木	平均	平均胸	測定者
		m	年生	密度	樹高	高直径	
		m	本/ha	m	cm		
1	大山町有峰	1,050	14	3,200	5.2	8.7	阪上(1984)
2	大沢野町布尻	350	14	2,500	5.9	9.4	安田・阪上(1984)
3	井口村丸山	200	14	2,150	6.9	12.6	安田・阪上(1984)
4	立山町吉峰1	228	14	4,706	9.1	11.9	嘉戸(未発表)
5	立山町吉峰2	228	14	2,798	9.3	13.4	嘉戸(未発表)
6	立山町吉峰3	228	14	1,500	10.1	16.7	嘉戸(未発表)
7	黒部市池尻1	250	16	1,500	11.9	17.7	阪上(1982b)
8	黒部市池尻2	250	16	1,425	9.1	15.2	阪上(1982b)
9	大山町長棟	1,100	17	3,200	6.6	11.6	阪上(1984)
10	立山町吉峰4	228	18	5,500	7.2	9.1	阪上(1982a)
11	大山町原1	500	25	2,484	12.6	17.5	相浦(未発表)
12	福光町小又	350	38	975	18.4	26.9	阪上(1986)
13	大沢野町東猪谷	450	42	1,511	19.4	23.6	阪上(1986)
14	大山町原2	500	48	1,725	18.1	24.8	嘉戸(未発表)
15	立山町葉女平	1,060	88	587	22.2	44.6	嘉戸(未発表)
16	上市町西種	450	96	766	28.2	38.3	嘉戸(未発表)

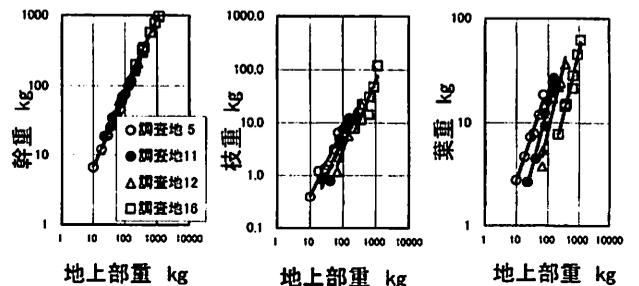


図-2 単木の地上部重と部分重との相対成長関係

表-2 地上部重と部分重の相対成長係数

調査地	平均樹高	幹重			枝重			葉重		
		m	$h$	$k$	$R^2$	$h$	$k$	$R^2$	$h$	$k$
1	5.2	0.937	-0.199	0.946	0.998	-0.968	0.727	1.098	-0.565	0.962
2	5.9	1.013	-0.288	0.985	1.166	-1.216	0.914	0.942	-0.369	0.987
3	6.9	0.955	-0.126	0.990	1.305	-1.477	0.928	0.987	-0.572	0.981
4	9.1	0.927	-0.043	0.999	1.389	-1.837	0.960	1.176	-0.883	0.998
5	9.3	1.001	-0.164	0.996	1.268	-1.647	0.938	0.930	-0.497	0.986
6	10.1	0.889	0.005	0.997	1.423	-1.832	0.988	1.158	-0.842	0.995
7	11.9	0.950	-0.049	0.980	1.336	-1.644	0.894	1.027	-0.798	0.819
8	9.1	1.002	-0.195	0.978	1.528	-1.848	0.951	0.875	-0.403	0.915
9	6.6	0.997	-1.227	0.987	1.351	-1.683	0.873	0.894	-0.589	0.899
10	4.7	0.989	-0.141	0.997	1.145	-1.458	0.825	0.992	-0.605	0.982
11	12.6	0.936	0.023	0.997	1.539	-2.308	0.923	1.186	-1.206	0.976
12	18.4	0.941	0.062	0.999	1.690	-2.875	0.970	1.301	-1.688	0.960
13	19.4	0.936	0.100	0.999	1.250	-2.004	0.959	1.060	-1.688	0.954
14	18.1	0.959	0.033	0.999	1.345	-2.040	0.833	1.320	-1.866	0.964
15	22.2	0.913	0.155	0.999	1.596	-2.688	0.982	1.241	-1.780	0.954
16	28.2	0.954	0.081	0.998	1.474	-2.624	0.818	1.238	-2.015	0.980
平均値		0.956	-0.123	0.990	1.363	-1.884	0.905	1.089	-1.024	0.957

表-3  $D^2H$ と部分重の相対成長係数

調査地	平均樹高		材積			幹重			枝重			葉重			地上部重		
	m	$h$	$k$	$R^2$	$h$	$k$	$R^2$	$h$	$k$	$R^2$	$h$	$k$	$R^2$	$h$	$k$	$R^2$	
1	5.2	0.852	-0.509	0.983	0.796	1.939	0.899	0.709	1.111	0.917	0.851	1.824	0.761	0.801	2.213	0.845	
2	5.9	0.846	-0.535	0.997	0.677	1.896	0.976	0.723	1.231	0.976	0.600	1.627	0.890	0.652	2.137	0.946	
3	6.9	0.906	-0.441	0.996	0.815	2.071	0.985	1.115	1.527	0.928	0.836	1.691	0.964	0.852	2.299	0.992	
4	9.1	0.988	-0.421	0.970	0.838	1.935	0.959	1.265	1.138	0.943	1.064	1.629	0.969	0.905	2.136	0.992	
5	9.3	0.972	-0.474	0.995	0.847	2.014	0.999	1.046	1.090	0.894	0.776	1.517	0.963	0.842	2.171	0.993	
6	10.1	1.018	-0.449	0.992	0.670	1.952	0.989	1.069	1.285	0.965	0.878	1.698	0.991	0.755	2.192	0.965	
7	11.9	0.949	-0.411	0.978	0.838	2.107	0.938	1.084	1.335	0.938	0.867	1.510	0.718	0.868	2.262	0.928	
8	9.1	0.946	-0.419	0.993	0.843	2.080	0.968	1.247	1.585	0.885	0.720	1.569	0.864	0.834	2.264	0.971	
9	6.6	0.825	-0.519	0.984	0.773	2.037	0.947	0.983	1.174	0.738	0.674	1.327	0.815	0.768	2.158	0.940	
10	4.7	0.859	-0.483	0.996	0.758	1.991	0.990	0.867	0.999	0.990	0.759	1.531	0.973	0.766	2.154	0.991	
11	12.6	0.954	-0.407	0.999	0.769	2.084	0.986	1.256	1.077	0.986	0.967	1.401	0.949	0.820	2.200	0.986	
12	18.4	0.940	-0.407	0.997	0.804	2.160	0.984	1.405	0.892	0.984	1.091	1.211	0.912	0.851	2.230	0.980	
13	19.4	0.972	-0.378	0.996	0.844	2.200	0.984	1.117	0.799	0.984	0.778	1.179	0.934	0.899	2.243	0.981	
14	18.1	0.936	-0.410	1.000	0.844	2.161	0.977	1.096	0.947	0.977	1.187	1.045	0.983	0.877	2.220	0.970	
15	22.2	0.967	-0.447	0.987	0.841	2.197	0.962	1.466	0.881	0.942	1.176	0.976	0.974	0.924	2.234	0.970	
16	28.2	0.944	-0.407	0.997	0.873	2.191	0.949	1.253	0.688	0.672	1.122	0.728	0.914	0.910	2.214	0.942	
平均値		0.930	-0.445	0.991	0.802	2.063	0.968	1.106	1.110	0.920	0.897	1.404	0.911	0.833	2.208	0.962	

この結果、地上部重と各部分重は両対数上において直線で回帰され、相対成長関係が成り立つことがわかった。幹の相対成長の回帰直線は、林齢が異なっても、互いに重なり合っており、 $h$ の平均値は1よりもわずかに小さい値であった。枝の回帰直線は、調査地毎に分離しており、加齢に伴って右方向に平行移動する傾向が見られた。この直線の傾き $h$ は平均値が1.36でありかつ平均樹高が増大するに伴って微増する傾向が見られた。 $h$ が1よりも大きいことから、大きい個体ほど地上部重に対する枝重が大きいといえる。葉の回帰直線も、調査地毎に分離しており、加齢に伴って右方向に平行移動する傾向が見られた。葉重の $h$ は平均値が1.09で、1より少し大きかった。したがって、大きい個体ほど地上部重に対する葉重が大きいといえる。このように、 $h$ の値が幹、枝、葉によって異なる傾向はスギ林のほかアカマツ林でも認められている(安藤、1966)。

一般に、各部位の単位面積当たりの現存量は $h < 1$ の場合に立木密度が大きいほど増大し、 $h = 1$ の場合には初期において立木密度の増加に伴って増大するが、その後は立木密度の増加にかかわらず一定となり、 $h > 1$ の場合には初期において立木密度の増加に伴って増大するものの、最大値に達した後は立木密度の増加に伴って減少傾向を示すことが知られている(安藤、1966)。したがって、タテヤマスギの場合も単位面積当たりの幹や葉の重量は立木密度に対して漸増する傾向があり、収量一定の法則性がおおむね成り立つのに対し、単位面積当たりの枝の重量は立木密度に対して最適密度があり、最適密度

を越えると立木密度が大きいほど減少する傾向があることが推測された。このように、地上部重と部分重の相対成長関係が、幹、枝、葉の部位によって異なるのは、幹重が成長に伴い年々蓄積されるのに対し、葉や枝は年々成長と枯死を繰り返しているためと考えられた。

一般に標本調査によって林分の現存量を推定する場合には、単木の部分重を求めて、それをさらに全林木について積算して得られる。そして、単木の部分重の推定には、 $D^2H$ (胸高直径の二乗×樹高)と部分重の相対成長関係が用いられている。

$$\log x = h \cdot \log D^2H + k \dots \dots (2)$$

そこで、調査地毎に、単木の $D^2H$ ( $m^3$ )と幹重( $w_s$ :kg)、枝重( $w_B$ :kg)、葉重( $w_L$ :kg)および幹材積( $v$ : $m^3$ )の相対成長式を求め、これらの式の係数 $h$ 、 $k$ を表-3に示した。

この結果、材積、幹重、地上部重の $h$ は1よりも小さく、林齢や平均樹高の増加に伴って少しずつ増加する傾向が認められた。また、 $k$ も林齢や平均樹

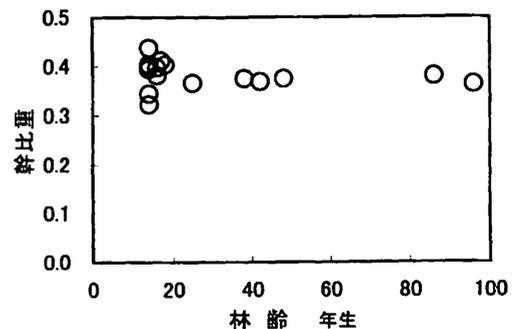


図-3 林齢と幹比重の関係

高の増加に伴って少し増加する傾向が認められた。一方、枝重や葉重の  $h$  は林齢や平均樹高の増加に伴って増加するのに対し、 $k$  は減少する傾向を示した。

各調査地における供試木の幹比重について分散分析した結果、 $F = 1.99$  ( $d.f_1 = 15, d.f_2 = 109$ ) となり、危険率 5% 水準で調査地間に有意な差異が認められた。したがって、タテヤマスギの幹比重は林分によって異なるといえる。そこで、各調査地における幹比重の平均値と林齢との関係について検討したところ、幹比重の平均値は 20 年生以下の林分において 0.34 ~ 0.44 の範囲で変動したが、20 年生以降になると 0.37 前後でほぼ一定になった (図-3)。

なお、全供試木を込みにした幹比重の平均値は 0.39 で、四大学共同調査班 (1966) が全国のスギ林を対象に調査して得た値 (0.35) よりも大きかった。

### 3.1.2 林分の現存量

16 箇所の調査地における毎木調査資料と相対成長関係 (表-3) から、単木の材積、幹重、枝重および葉重を算出し、これらを全林木について積算して林分当たりの材積 ( $m^3/ha$ ) と幹重、枝重、葉重の現存量 ( $ton/ha$ ) を推定し、表-4 に示した。

この表から、林分の材積および各部分重は林齢や平均樹高の増大に伴って大きくなる傾向があり、また平均樹高が同じ場合には立木密度が高くなるほど材積、幹重、葉重が増加し、枝重は減少する傾向が認められた。したがって、地位が高いほど平均樹高も高くなるので、それに伴って現存量も増大するといえる。これらのことから、林分現存量は平均樹高や立木密度と密接な関係があり、現存量を精度良く推定するためには平均樹高や立木密度との関係を明らかにする必要があるといえる。

地上部重に対する幹の分配率は、14 年生では 50 ~ 75% の範囲にあって、立木密度が高い林分ほど大きくなる傾向がみられ、25 年生以降になると 80% を越える林分が多くなった。一方、枝や葉の分配率は幼齢林や立木密度の低い林分で高く、加齢に伴って減少する傾向が認められた。

### 3.1.3 現存量と立木密度および平均樹高の関係

林分の現存量は立木密度や樹高によって変化することから、各部位の現存量 ( $Y: m^3/ha$  または  $ton/ha$ ) と調査地の立木密度 ( $\rho: 本/ha$ ) および平均樹高 ( $H_m: m$ ) の関係について検討した。これらの関係を次式で表される収量密度効果の逆数式で近似した (安

藤、1966)。

$$1/Y = (A\rho + B)h / \rho \dots\dots\dots (3)$$

表-2 より、幹と葉の現存量は  $h$  が 1 に近い値であったことから、 $h = 1$  として収量密度効果の逆数式に当てはめた。一方、枝の現存量は  $h$  が 1 よりも大きく平均樹高の増大に伴って幾分大きくなる傾向が認められたが、逆数式への当てはめを容易にするために  $h$  の平均値 1.36 を用いて収量密度効果の逆数式の係数を求めた。なお、この逆数式の  $A$  と  $B$  は樹高階毎に求まる係数である。これらの係数  $A$ 、 $B$  と林分の平均樹高  $H_m$  の間にべき乗関係が認められている

表-4 各調査地における現存量

調査地	林齢 年生	平均樹高 m	立木密度 本/ha	材積 $m^3/ha$	幹重 ton/ha	枝重 ton/ha	葉重 ton/ha	地上部重 ton/ha
1	14	5.2	3,200	65	21.8	4.4	14.2	40.4
2	14	5.9	2,500	59	26.5	5.3	17.8	49.6
3	14	6.9	2,150	124	47.6	7.8	19.0	74.4
4	14	9.1	4,708	245	89.4	5.4	24.4	119.3
5	14	9.3	2,798	170	64.4	5.5	23.1	93.0
6	14	10.1	1,500	146	52.2	7.4	25.1	84.7
7	16	11.9	1,500	241	87.2	12.3	25.6	125.0
8	16	9.1	1,425	132	47.5	8.4	16.9	72.8
9	17	6.6	3,200	138	58.0	5.6	14.6	78.2
10	18	7.2	5,500	181	69.8	5.7	24.5	99.9
11	25	12.6	2,484	435	152.5	11.0	27.7	191.3
12	38	18.4	975	518	182.0	12.6	23.1	217.8
13	42	19.4	1,511	725	266.6	11.3	20.0	297.9
14	48	18.1	1,725	822	293.3	19.3	24.9	337.5
15	86	22.2	587	936	318.3	42.5	32.5	393.2
16	86	28.2	766	1,190	420.0	28.2	23.0	489.2

表-5 収量密度効果の逆数式の係数

部位	$b1$	$b2$	$b3$	$b4$	$h$
材積	0.0673	-1.4537	4551	-3.0491	1.00
幹重	0.1029	-1.1436	88363	-4.1168	1.00
枝重	0.1503	-0.7119	3728	-12.6585	1.36
葉重	0.0364	0.0057	16344	-3.1242	1.00

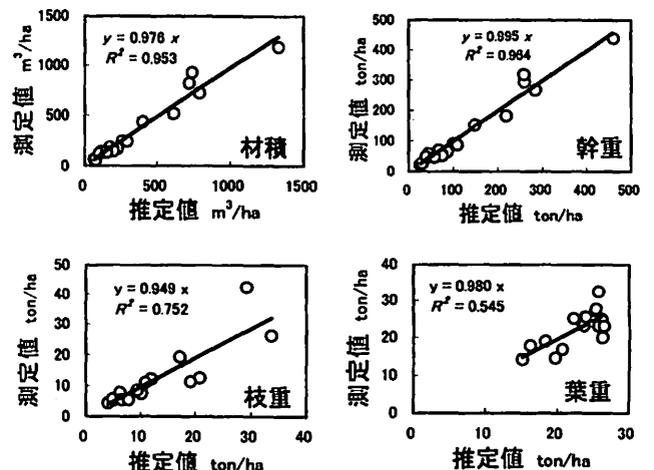


図-4 林分材積と各部位の現存量の推定値と測定値の関係

(安藤、1966)。そこで係数  $A$ 、 $B$  と平均樹高の関係を次の回帰式で近似した。各式の係数  $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$ 、 $b_4$  の係数を Microsoft Excel の最適化分析を用いて求めた。

$$A = b_1 \cdot H_m^{b_2} \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$B = b_3 \cdot H_m^{b_4} \quad \dots \dots \dots (5)$$

このようにして求めた林分材積と各部位の係数を表-5 に示した。

調査地毎の立木密度と平均樹高および(3)~(5)式から、林分材積と各部位の現存量を推定し、これと測定値の関係について検討した(図-4)。この結果、林分材積および各部位の現存量とも、推定値と測定値は比例関係にあり、比例定数も1に近い傾向が認められた。しかし、推定値と測定値の間の決定係数 ( $R^2$ ) は、材積が0.953、幹重が0.964 と高かったのに対し、枝重が0.752、葉重が0.545 と低く、部位によって違いが見られた。

図-5 は(3)~(5)式および表-5 の係数を用いて、各部位の現存量と立木密度の関係を平均樹高5~25 mまで5 m毎に示したものである。この図から、幹材積は平均樹高が同じであれば立木密度に伴って増大し、立木密度が同じならば平均樹高に伴って増大する傾向が見られた。幹の現存量と平均樹高および立木密度との関係は材積と平均樹高および立木密度の関係とほぼ同様の傾向を示した。

枝の現存量は立木密度が一定ならば樹高に伴って増大する傾向があり、樹高が一定ならば立木密度が高くなるほど減少する傾向が認められた。ただし、枝の現存量には最適密度が予測されることから、立木密度が低い場合には、樹冠が閉鎖するまでは立木密度の増加に伴って増大すると考えられた。

葉の現存量は樹高が低い場合に立木密度に伴って増加し、その後は立木密度に伴う増加率が低下して一定の値に漸近する傾向が見られた。このように葉量が一定化する傾向は樹高が高くなるほど低密度で生じる傾向がある。このことから、地位が良いほど葉量が一定化する時期が早くなるといえる。安藤ら(1968)は全国のスギの現存量を調べた結果から、閉鎖林分の葉量は巨視的には密度や林齢や地位に無関係にほぼ一定になることを指摘した。図-5 から、タテヤマスギの葉量の上限值は約 27 ton/ha と推定される。

ところで、林分密度管理図は一地域当たり数百地

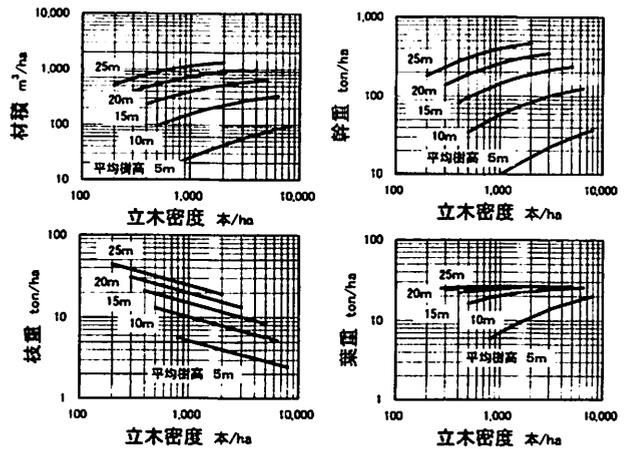


図-5 部位別の現存量と立木密度および平均樹高の関係

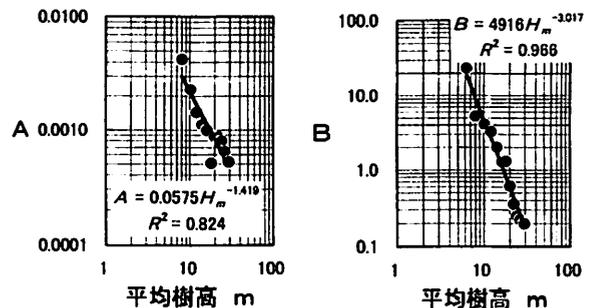


図-6 毎木調査資料から求めた収量密度効果の逆数式の係数  $A$ 、 $B$  と平均樹高  $H_m$  の関係

点の林分資料を用いて林分材積、立木密度および平均樹高の関係を収量密度効果の逆数式で近似して作成されている。しかし、本研究で使用した調査林分数は16箇所にとどまり、タテヤマスギの林分材積や幹の現存量の推定精度に不安があった。

そこで、374箇所のタテヤマスギ林の毎木調査資料を用いて、材積と平均樹高および立木密度との関係を再度検討した。まず、樹高2 m毎に資料を分け、(3)式の  $h = 1$  として、収量密度効果の逆数式の係数  $A$ 、 $B$  を算出した。さらに、これらの係数と平均樹高との関係に(4)、(5)式を当てはめた(図-6)。このような手続きを経て、収量密度効果の逆数式の係数として、 $b_1 = 0.0575$ 、 $b_2 = -1.419$ 、 $b_3 = 4916$ 、 $b_4 = -3.017$  を得た。

つぎに、これらの相対成長係数を用いて推定した林分材積 ( $X: m^3$ ) と表-5 の相対成長係数を用いて推定した材積 ( $Y: m^3$ ) とを比較検討し、次の関

係式を得た。

$$Y = 1.03 X \quad (R^2 = 0.999) \quad \dots \dots (6)$$

この結果から、表-5を用いた方が3%程度大きくなるだけで推定値に大きな差異は生じないと考えられた。林分の幹重をさらに精度よく推定する必要がある場合には、毎木調査資料から求めた相対成長係数を用いて林分材積を推定し、これに幹比重を乗じることにより算出することも可能である。

また、枝と葉の現存量も表-5の係数を用いて算出すると、材積と同様に少々過大になることが予想されるが、地上部現存量の推定を目的とする場合には枝と葉の分配率が幹のそれに比べて小さいことから、現時点では表-5の係数を用いて推定しても著しい差異はないと考えられた。

### 3.2 純生産量

#### 3.2.1 相対成長関係

各調査地において供試木を樹幹解析して最近1年間の幹材積成長量 ( $\Delta v$ : m<sup>3</sup>/yr)を求め、これと  $D^2H$  との間に次の相対成長式をあてはめた。

$$\log \Delta v = h \cdot \log D^2H + k \quad \dots \dots (7)$$

単木の幹重純生産量 ( $\Delta w_s$ : kg/yr) は幹材積成長量を求め、次式から算出した。

$$\Delta w_s = w_s \cdot \Delta v / v'$$

ただし、 $v'$  (m<sup>3</sup>/yr)は皮なしの材積である。この  $\Delta w_s$  と  $w_s$  の間に相対成長関係を適用して、次式から幹重の純生産量を推定した。

$$\log \Delta w_s = h \cdot \log w_s + k \quad \dots \dots (8)$$

枝については、供試木の成長量を実測しなかったため、最近1年間の枝と幹の比率は変わらないものと仮定して相対成長係数を用いて単木の枝重純生産量を算出した。まず、単木の枝重 ( $w_B$ ) と幹重 ( $w_s$ ) との相対成長関係をベキ乗式で表すと、次のとおりである。

$$w_B = a \cdot w_s^b \quad \dots \dots (9)$$

この式の両辺をさらに時間  $t$  で微分すると、

$$\Delta w_B = a \cdot b \cdot w_s^{(b-1)} \cdot \Delta w_s \quad \dots \dots (10)$$

となる。

以上の方法で(7)~(10)式の係数を求め、表-6に示した。

葉の純生産量を新葉量と等しいとみなして推定した。調査地毎に供試木の全葉重 ( $w_L$ ) に対する新葉重 ( $w_{NL}$ :kg) の比例定数  $c$  を算出し、新葉量を測定した9箇所の調査地における  $c$  の平均値を表-6に

表-6 成長量推定に用いた相対成長式の係数

調査地	$D^2H$ と $\Delta V$ (7)式		$w_s$ と $\Delta w_s$ (8)式		$w_s$ と $w_B$ (9)式		$w_s$ 、 $\Delta w_s$ と $\Delta w_B$ (10)式		$w_{NL}$ と $w_L$ (11)式	
	$h$	$k$	$h$	$k$	$h$	$a=10^k$	$h-1$	$a/h$	$c$	
1	0.802	-1.174	0.877	-0.493	1.006	0.1782	0.008	0.1793		
2	0.936	-1.128	1.122	-0.830	1.094	0.1503	0.094	0.1643	0.20	
3	1.046	-1.051	1.170	-0.964	1.320	0.0570	0.320	0.0752	0.25	
4	0.939	-0.460	0.934	-0.918	1.487	0.0174	0.487	0.0259		
5	0.919	-0.441	0.937	-0.840	1.244	0.0390	0.244	0.0485		
6	1.072	-0.321	1.074	-1.019	1.589	0.0151	0.589	0.0240		
7	1.039	-0.891	1.187	-1.317	1.154	0.0738	0.154	0.0852	0.19	
8	0.944	-0.418	1.091	-0.991	1.445	0.0358	0.445	0.0517	0.23	
9	0.826	-1.498	0.955	-0.925	1.288	0.0388	0.288	0.0473		
10	1.198	-1.174	1.582	-1.529	1.142	0.0528	0.142	0.0803		
11	1.461	-1.490	1.881	-2.495	1.618	0.0050	0.618	0.0081	0.25	
12	1.640	-1.875	1.647	-2.829	1.427	0.0073	0.427	0.0104	0.18	
13	1.612	-2.023	1.791	-3.355	1.328	0.0075	0.328	0.0100	0.20	
14	1.260	-1.877	0.570	-2.732	1.388	0.0089	0.388	0.0123		
15	1.147	-2.393	1.247	-2.503	1.742	0.0011	0.742	0.0020	0.24	
16	1.801	-2.934	1.929	-4.535	1.508	0.0023	0.508	0.0034	0.31	
平均値	1.165	-1.321	1.237	-1.767	1.361	0.0430	0.361	0.0505	0.23	

表-7 各調査地における材積成長量と純生産量

調査地	林齢 年生	立木 密度 本/ha	平均 樹高 m	材積 成長量 m <sup>3</sup> /ha/yr	純生産量			葉の幹重 地上部 量生産性 ton/ha·yr	
					幹重 ton/ha·yr	枝重 ton/ha·yr	葉重 ton/ha·yr		
1	14	3200	5.2	16.5	6.2	1.1	3.3	10.6	0.44
2	14	2500	5.9	13.5	6.0	1.3	3.5	10.9	0.34
3	14	2150	6.9	26.0	10.0	2.2	4.7	16.9	0.53
4	14	4708	9.1	25.2	9.2	1.1	5.6	15.9	0.38
5	14	2798	9.3	22.3	8.4	0.9	5.3	14.7	0.37
6	14	1500	10.1	18.3	6.6	1.2	5.5	13.2	0.26
7	16	1500	11.9	26.4	10.6	1.7	4.9	17.2	0.42
8	16	1425	9.1	18.6	7.9	2.1	4.0	13.9	0.47
9	17	3200	6.6	14.6	6.7	0.7	3.4	10.7	0.46
10	18	5500	7.2	23.3	10.1	0.9	5.6	16.7	0.41
11	25	2484	12.6	26.1	9.0	1.1	6.9	17.0	0.33
12	38	975	18.4	23.8	8.3	0.8	4.1	13.2	0.36
13	42	1511	19.4	19.9	7.8	0.5	3.9	12.2	0.39
14	48	1725	18.1	22.0	7.8	0.5	5.7	14.1	0.31
15	86	587	22.2	14.0	4.8	1.2	7.8	13.8	0.15
16	96	766	28.2	17.2	6.4	0.5	7.1	14.0	0.28

\*は葉の現存量の23%として算出した。

示した。

$$w_{NL} = c \cdot w_L \quad \dots \dots (11)$$

$c$ は平均で0.23となり、林齢や樹高などの間には一定の関係が認められなかった。ここで得られた平均値は四大学調査班(1966)が用いた値(15/64≒23%)や只木(1965)が九州地方のスギ林における葉の生産量推定に用いた値(25%)とほぼ一致した。そこで、新葉調査をしなかった林分では、葉の純生産量を現存量の23%として算出することにした。

#### 3.2.2 林分純生産量

調査地毎の胸高直径と樹高の値および(7)~(11)式から、単木毎の幹材積成長量と幹重、枝重および葉重の純生産量を推定し、さらにこれらを積算して林分生産量を算出し、表-7に示した。

20年生以下の調査地の幹重の純生産量は6.0~10.6ton/ha·yrで林分による変動が大きかった(表-7)。これは林齢が同じであっても平均樹高に大きな差異があったことから地位の変動が大きかったことや立木密度の差異が影響したことなどによると考えられた。20年生以降についてみると幹重の純生産量

は加齢に伴って低下はするものの、80～100年生と高齢になってもある程度の成長を持続していることがわかった。

材積成長量と林齢および平均樹高との関係は幹重の純生産量と林齢および平均樹高との関係とはほぼ同様の傾向であった(表-7)。

タテヤマスギの枝の純生産量は若い林分で大きく、平均樹高の増大に伴って減少する傾向が認められた。

タテヤマスギの葉の純生産量は50年生まではほぼ一定であったが、80年以降では増大する傾向が見られた。ただし、高齢林における標本数が少ないのでさらに検討を要する。

地上部純生産量に対する幹と枝を加えた非同化部分の分配率は50年生までは60～70%であったが、80年以降では40～50%に低下した。

幹の成長量を葉の現存量で除した葉の幹重量生産効率は林分によるバラツキはあるものの林齢または平均樹高の増大にともなって低下する傾向が認められた(表-7)。この一因として、成長に伴って葉重の割に幹や枝などの非同化器官の重量が大きくなり、同化量に比べて呼吸量が増加するためではないかと考えられた。

#### 4. 考察

##### 4.1 現存量および純生産量の比較

タテヤマスギの現存量や純生産量と県内の他品種や他県のスギのそれとの関係について比較検討した。一般に林木の現存量や純生産量は樹高や立木密度によって変化し、樹高は地位や林齢の影響を受ける。本調査でも、同様の傾向が確認されたことから、異なる林分間において現存量や純生産量を比較する場合には、地位、林齢および立木密度などについて考慮する必要がある。しかし、本研究では調査林分が少なく、複数の要因を一度に考慮して比較検討することができない。そこで、本調査地と比較的植栽密度が類似する既存の報告書と比較検討した(図-7、8)。ここでは、富山県の主要サシキ品種であるボカスギ(相浦, 1988; 松浦, 2002)とカワイダニスギ(相浦, 2002)、北関東・阿武隈の国有林(以下北関東と呼ぶ; 安藤ら, 1968)と秋田(四大学他; 1966)をとりあげた。

幹重の現存量は林齢に伴って増加する傾向が見られるので、異なる林分同士を比べる場合には林齢を

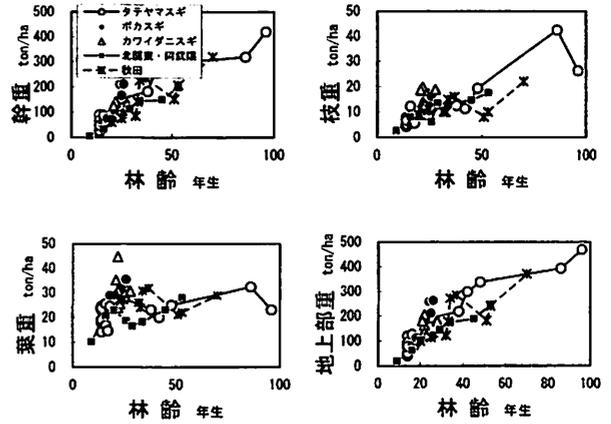


図-7 スギ人工林における現存量の比較

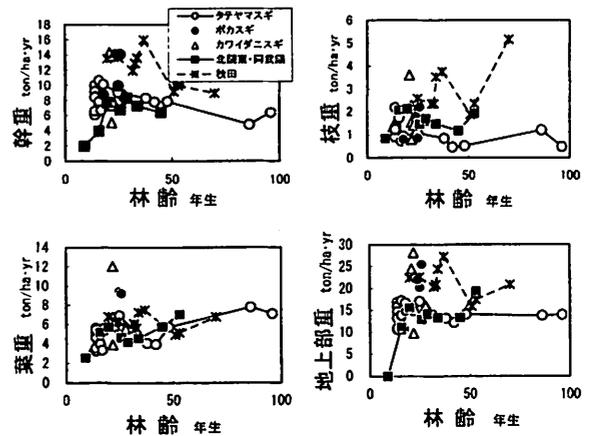


図-8 スギ人工林における純生産量の比較

同じにする必要がある。そこで、同じ林齢における幹の現存量について比較すると、タテヤマスギはボカスギよりも小さく、カワイダニスギとは同程度で、北関東よりも大きい傾向が認められた。秋田の幹の現存量は林分による変動が大きいため、タテヤマスギのそれよりも大きい場合と小さい場合が認められたが、全体的にはタテヤマスギの方が大きいようであった。林分材積や材積成長量についても同様の傾向が認められた。

枝の現存量も林齢の増加に伴って増大するので、同齢の林分で比べると、タテヤマスギはボカスギやカワイダニスギよりも小さく、北関東と同程度、秋田とは40年生以下で同程度、それ以上では上回る傾向が見られた。

葉の現存量について同齢の林分で比べると、タテヤマスギはボカスギやカワイダニスギよりも小さく、秋田とは同程度、北関東とは同程度もしくはそれを上回る傾向が見られた。これまでのところ、ボカスギやカワイダニスギは全国的に見ても葉量の多い品

種であり、30 ton/haを上回ることが報告されている（相浦、1988、2002；松浦、2002）。また、全国のスギ林の葉重は $19.6 \pm 4.4$  ton/haとされている（只木、1965）。タテヤマスギは葉重の上限が計算上27 ton/haと考えられることから、富山県の主要挿し木品種よりも小さく、全国の平均よりも大きい品種といえる。

地上部現存量は林齢に伴って増加する傾向が見られる。そこで、林齢が同じ場合の地上部現存量を比較すると、タテヤマスギはボカスギよりも小さく、カワイダニスギよりも小さいかもしくは同じで、北関東や秋田よりも大きい傾向が見られた。

幹の純生産量は生育初期に林齢と共に増加し、20年生以降で減少傾向を示した。そこで、同齢の林分で幹の純生産量を比較すると、タテヤマスギは秋田やボカスギに比べて小さく、カワイダニスギや北関東よりも大きい傾向がみられた。

枝の純生産量は林齢20年生前後で大きかったが、幹の純生産量ほど林齢との間に明瞭な関係が見られなかった。枝の純生産量を比べると、タテヤマスギはボカスギ、カワイダニスギ、北関東および秋田に比べて小さく、とくに秋田との差が大きかった。

ところで、タテヤマスギ、ボカスギおよびカワイダニスギの枝の純生産量調査には同じ相対成長法が用いられている。これに対し、北関東では枝解析法が、秋田では全枝の15/64を一年間の値とする方法が用いられていた。木村（1977）や安藤（1966）らによると、相対成長法を用いた場合には枝解析法を用いた場合に比べて、1/2以下に過小推定されることがあると指摘している。したがって、枝の純生産量のタテヤマスギ、ボカスギおよびカワイダニスギの間の差異は品種特性による違いなのに対し、タテヤマスギと北関東や秋田との差異は推定法の差異の影響が大きいと考えられた。

葉の純生産量について比べると、タテヤマスギはボカスギと地位が良い一部のカワイダニスギ林よりも小さく、北関東および秋田とほぼ同値であった。

地上部の純生産量について比較すると、タテヤマスギはボカスギ、地位が良い一部のカワイダニスギおよび秋田よりも小さく、北関東とほぼ同値であった。

以上のことから、タテヤマスギの生産力はボカスギ、地位の良い場所のカワイダニスギ、秋田などよ

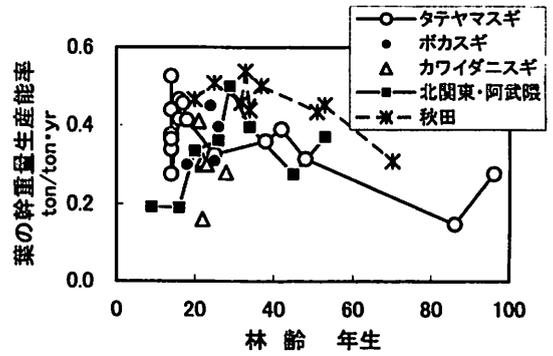


図-9 葉の幹重量生産能率の比較

りも小さいが、北関東と同じ程度であるといえる。

林齢が同じ場合における葉の幹重量生産能率を比較すると（図-9）、タテヤマスギは秋田よりも多少小さいものの、ボカスギやカワイダニスギ、北関東に比べて著しい差異が認められなかった。したがって、タテヤマスギがボカスギに比べて、ha当たりの幹の純生産量が小さいのは葉の幹重量生産能率の差異の影響ではなく、葉の現存量の違いによると考えられた（相浦、1988）。

#### 4.2 単木の現存量の推定

同一調査地内では単木の $D^2H$ と各部分重の間には高い正の相関があり、この関係を利用して現存量の推定が行われている。このような関係を同一調査地内だけではなく全調査地を込みにした場合について検討した。その結果、単木の $D^2H$ と材積( $v$ )、幹重( $w_s$ )、地上部重( $w_T$ )、枝重( $w_B$ )および葉重( $w_L$ )の相対成長式は次の通りであった。

$$\log v = 0.932 \log D^2H - 0.422 \quad (R^2 = 0.995) \quad \dots (12)$$

$$\log w_s = 0.896 \log D^2H + 2.137 \quad (R^2 = 0.986) \quad \dots (13)$$

$$\log w_T = 0.826 \log D^2H + 2.239 \quad (R^2 = 0.982) \quad \dots (14)$$

$$\log w_B = 1.323 \log D^2H + 0.551 \quad (R^2 = 0.781) \quad \dots (15)$$

$$\log w_L = 1.049 \log D^2H + 0.799 \quad (R^2 = 0.827) \quad \dots (16)$$

これらの結果から、 $D^2H$ と材積、幹重および地上部重の相関が高く、全供試木を込みにした場合であっても単木の材積を $D^2H$ から高い精度で推定できることがわかった。これらに比べると、 $D^2H$ と枝重および葉重の間の相関は低く、 $D^2H$ から枝重や葉重を推定する精度は材積や幹重に比べて劣る。これは、表-3から明らかなように、相対成長式の係数が調査林分によって大きく変動し、枝重および葉重の相対成長関係が調査林分毎に分離しているためと考えられる。

なお、枝下直径と葉重の間にも相対成長関係が成り立ち、異なる林分間においても両対数直線関係が分離しないと言われている(吉良, 1965)。そこで、全供試木を込みにした場合における枝下直径 ( $D_B$ ) と葉重 ( $W_L$ ) の相対成長関係を検討し、次の回帰式を得た(図-10)。

$$\log W_L = 1.820 \log D_B - 1.016 \quad (R^2 = 0.882) \quad \cdot \cdot (17)$$

(16) 式と (17) 式とを比べると、後者の決定係数の方が大きかった。したがって、単木の葉量を精度良く推定するには  $D^2H$  よりも枝下直径を用いた方よいといえる。しかし、枝下直径は胸高直径よりも測定が難しい欠点がある。

### 4.3 林分の現存量および純生産量の推定

林木を伐倒して層別刈取り法によってha当たりの現存量や純生産量を求めるには多大な時間と労力を要する。しかし、立木密度や平均樹高が既知であれば、現存量が(3)~(5)式から推定できる。さらに、地位指数曲線や平均樹高と立木密度の関係が明らかになれば、さまざまな地位や林齢の林分における平均的な現存量や純生産量が推定でき得る。

そこで、タテヤマスギの地位指数 18 (地位中) の場合を例に現存量や純生産量を 10 ~ 100 年生まで 10 年毎に算出した。地位指数曲線はタテヤマスギのシステム収穫表に使用したものを用いた(嘉戸・田中, 1995)。これは次式で示される。

$$H_m = M (1 - 1.06 \exp(-0.024 t)) \quad \cdot \cdot \cdot (18)$$

ここで、 $t$  は林齢である。 $M$  は地位によって決まる定数で、地位指数 18 の場合には 30.3 となる。

一般に、林木の成長に伴って立木密度が減少する傾向が見られる。そこで、タテヤマスギ林の 374 箇所の毎木調査資料における林分の平均樹高  $H_m$  と立木密度  $\rho$  の関係に次式をあてはめ、これをタテヤマスギ林における平均的な立木密度の減少曲線とした(図-11)。

$$\rho = 33529 \exp(-0.0607 H_m) \quad (R^2 = 0.632) \quad \cdot \cdot (19)$$

現存量の推定手順を示す。まず、林齢を(18)式に代入して平均樹高を求め、得られた平均樹高を(19)式に代入して立木密度を算出する。こうして求められた平均樹高と立木密度を(3)式に代入して、10 年生から 100 年生まで 10 年毎の現存量を算出した。その結果を表-8 に示した。

つぎに、純生産量を以下の手順で推定した。純生産量は次式で定義されている。

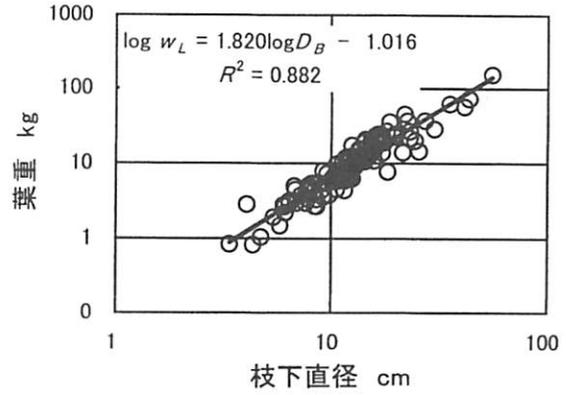


図-10 枝下直径  $D_B$  と単木の葉重  $W_L$  の相対成長関係

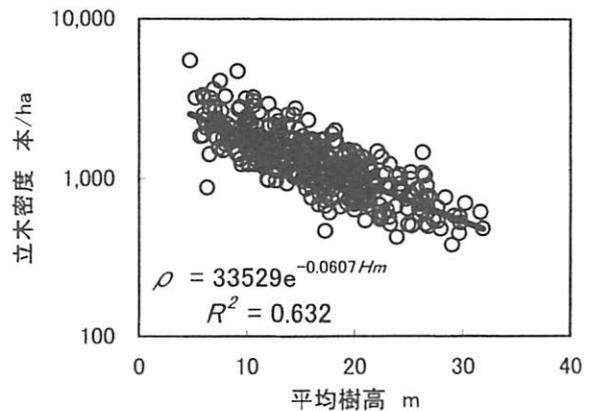


図-11 平均樹高  $H_m$  と立木密度  $\rho$  との関係

$$\text{純生産量} = \text{定期増加量} + \text{枯死量} + \text{被食量}$$

したがって、枯死量と被食量が無視できる場合には、純生産量と定期増加量が等しくなる。そこで、過去 1 年間に枯損木、収穫木はなく、立木密度が 1 年前と同じでかつ樹高のみが変化するものと仮定して、 $t$  年生時と  $t-1$  年生時における材積と幹重の現存量を(3)、(18)、(19)式を用いて求め、両者間の増加量を材積および幹重の純生産量とした。

一方、枝や葉については、絶えず一部が枯死し、新たに更新しているため、材積や幹重と同様の推定法が適用できない。また、先に示したような相対成長関係を用いて単木毎の枝重純生産量を求め、これを積算してha当たりの純生産量とする方法も毎木調査資料が既知でない場合には使えない。そこで、過去一年間におけるha当たりの幹重と枝重の比が変化しないものとして、枝の純生産量を推定することにした。この方法によって求めた値は、単木毎の枝

重純生産量を積算して林分の純生産量とする方法の 1/1.39 になったので、この値の逆数を乗じて補正した。

$$\Delta W_R = 1.39 \cdot \Delta W_S \cdot W_B / W_S \cdot \dots \cdot (20)$$

なお、枝重純生産量は相対成長法によって求めた資料を用いているので、枝解析による推定値に比べて過小推定になっていると推測される。

葉重の純生産量は、(3)、(18)、(19)式から葉の現存量を求め、これに新葉の割合の平均値 0.23 を乗じて算出した。

このようにして推定した純生産量を表-9 に示す。この結果によると、純生産量は 30 年生時前後に最大となった。なお、この推定結果によると、80~100 年生時における純生産量の推定値は測定値(表-7) に比べて小さくなっている。その一因として、80~100 年生における地位指数曲線の当てはまりが悪くなかったことがあげられる。

### 5. おわりに

タテヤマスギの現存量および純生産量と林齢、平均樹高および立木密度の関係について、既報も含めて合計 16 箇所の資料を用いて検討した。その結果、平均樹高や立木密度が既知の場合には、幹重の現存量や純生産力を高い精度で推定できることがわかった。地上部重に対する幹重の割合は、若齢期を除けば、80~90%に達するので、炭素固定能の評価など

#### 引用文献

- 1) 相浦英春：ボカスギ人工林の生産力、富山林技セ研報 10、11-19 (1988)
- 2) 相浦英春：カワイダニスギ若齢林の成長と生産力、富山林技セ研報 15、1-12 (2002)
- 3) 安藤 貴・蜂屋欣二・土井恭二・片岡寛純・加藤善忠・坂口勝美：スギの保育形式に関する研究、林試研報 210、1-76 (1968)
- 4) 安藤 貴：密度管理、農林出版、246pp (1968)
- 5) 木村 允：陸上植物群落の生産量測定法、共立出版、112pp (1976)
- 6) 吉良竜夫：樹形のパイプモデル、北方林業 192、69-74 (1965)
- 7) 松浦崇遠：同一林地内に植栽されたボカスギとマサヤマスギの生産力と葉層の垂直分布、富山

表-8 タテヤマスギ林地位指数18における現存量の推定値

林齢 年生	平均樹高 m	立木密度 本/ha	材積 m <sup>3</sup> /ha	幹重 ton/ha	枝重 ton/ha	葉重 ton/ha	地上部 ton/ha
10	5.0	2,469	51	20	3.8	12.6	36
20	10.4	1,780	236	88	8.6	23.3	120
30	14.7	1,376	439	159	13.1	25.2	198
40	18.0	1,124	621	222	17.2	25.8	265
50	20.6	958	773	273	20.8	26.0	320
60	22.7	846	897	314	23.9	26.2	364
70	24.3	766	996	347	26.5	26.2	399
80	25.6	709	1,074	372	28.6	26.3	427
90	26.6	667	1,136	392	30.3	26.3	449
100	27.4	636	1,185	408	31.8	26.3	466

表-9 タテヤマスギ林地位指数18における純生産量の推定値

林齢 年生	平均樹高 m	立木密度 本/ha	材積 m <sup>3</sup> /ha-yr	幹重 ton/ha-yr	枝重 ton/ha-yr	葉重 ton/ha-yr	地上部 ton/ha-yr
10	5.0	2,469	14.4	5.5	1.5	2.9	9.9
20	10.4	1,780	23.6	8.6	1.2	5.3	15.1
30	14.7	1,376	23.6	8.3	1.0	5.8	15.1
40	18.0	1,124	21.0	7.3	0.8	5.9	14.0
50	20.6	958	17.8	6.1	0.6	6.0	12.7
60	22.7	846	14.7	5.0	0.5	6.0	11.5
70	24.3	766	12.0	4.0	0.4	6.0	10.5
80	25.6	709	9.7	3.2	0.3	6.0	9.6
90	26.6	667	7.7	2.6	0.3	6.1	8.9
100	27.4	636	6.2	2.1	0.2	6.1	8.3

に用いる場合には十分と考えられる。しかし、枝葉の現存量および純生産量については十分な推定精度が得られなかった。今後はさらに資料が蓄積された段階で、改めて検討を行う必要があると考えられる。

本調査の実施に協力をいただいた富山県林業技術センターおよび農地林務事務所の職員各位に対し、厚く感謝の意を表す。

林技セ研報 15、13-24 (2002)

- 8) 阪上俊郎：タテヤマスギ幼齢林の生産力、富山林試研報 8、17-27 (1982a)
- 9) 阪上俊郎：タテヤマスギ実生林分とサシキ林分の生産力、富山林試研報 8、17-27 (1982 b)
- 10) 阪上俊郎：高海拔地に植栽されたタテヤマスギ生長と生産力、富山林試研報 10、15-23 (1984)
- 11) 阪上俊郎：タテヤマスギ壮齢林の生産力、富山林試研報 11、18-24 (1986)
- 12) 只木良也、尾方信夫、長友安男：九州スギ林の物質生産力、林試研報 173、45-66 (1965)
- 13) Tadaki, Y.: Leaf biomass, In Primary Productivity of Japanese Forest (Ed. By T. Shidei and T. Kira) ,JIBP Synthesis 16,39-44, University of Tokyo Press ,

- Tokyo, (1977)
- 14) 安田 洋・阪上俊郎：タテヤマスギ幼齡林の養分現存量、富山林試研報 10、1-15 (1984)
- 15) 四大学および信大合同調査班：森林の生産力に関する研究 第三報 スギ人工林の物質生産について、日林協、66pp (1966)

### Summary

Biomass and net production at 14 to 96-year-old Tateyamasugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) stands in Toyama prefecture were investigated and the relationships among the biomass and stand age, tree height, and tree density were examined. A total of 16 investigation plots were chosen in those stands. The DBH and tree height of all trees were measured in each plot. Several sample trees were cut off in each stand, and stem, branches and leaves were weighted independently with the standing clipped method. Volume increments for each sample tree were estimated by stem analysis.

Although the differences among the plots in the allometric relation between the above-ground part weight and stem weight for individual trees within a plot were small, the allometric relation between the above-ground part weight and branches weight or leaves for individual trees showed a difference between the plots.

It showed a tendency that the volume per ha or biomasses of stem increased with an increase in the tree density when the average tree height was the same, and increased with tree height when the tree density was the same. The biomass of branches per ha decreased with increased tree density when the tree height was the same, and increased with tree height when the tree density was the same. The biomass of leaves increased with increased tree density or tree height, and the maximum values for the weight of the leaves were estimated to be about 26 ton per ha.

The net production of leaves was equivalent to 23% of the amount of biomass of the leaves, and was 5 ton/ha · yr on the average plots. The net production of the above ground part was 14 ton/ha · yr on average. It became clear that the biomass of stems, branches, and leaves per ha could be estimated by using the reciprocal equations of the density effect, if average tree height and tree density per ha are known.