

テーダマツ壮令林の物質生産機構

赤井龍男・上田晋之助・古野東洲・斎藤秀樹

Mechanisms Related to Matter Production in a Thrifty Loblolly Pine Forest

Tatsuo AKAI, Shinnosuke UEDA, Tooshu FURUNO
and Hideki SAITO

目 次

要 旨	85	6. 土壌環境	94
まえがき	86	1) 調査方法	
1. 調査林分の概況	87	2) A_0 層の堆積量	
2. テーダマツの相対生長と林分現存量	88	3) 土壌の一般的特徴	
1) 調査方法		4) 土壌の理学的性質	
2) 相対生長関係		5) 土壌の化学的性質	
3) 地上部現存量		7. 生態系内における養分要素の循環	98
3. 林分生産量	91	1) 調査の方法	
1) 個体の生長		2) 地上部各部の養分要素の含有率	
2) 林分の幹生産量		3) 生態系内における養分現存量とその配分	
4. 林分の生産構造	92	4) 養分の落葉落枝としての還元——平均分解率	
1) 断面積の本数分布		5) 土壌中の養分の消費の速さ	
2) 立木密度		あとがき	103
3) 幹枝葉の垂直的配分——生産構造		文 献	103
5. 林内環境	94	Résumé	104
1) 林内の明るさ			
2) 地床植生			

要 旨

外国産マツ林に関する物質生産機構の一連の研究として、熊本営林署管内西木原国有林の標高 200 m、傾斜約 18° のほぼ西向の丘陵地に造林されている 34 年生テーダマツ (*Pinus taeda*) 林の総合的な物質生産のしくみを明らかにしようとした。1970 年 10 月初旬の調査時において、2 林分の平均で立木本数は ha あたり約 700 本、平均樹高約 21 m、平均胸高直径約 26 cm、断面積合計約 41 m²/ha でほぼ閉鎖し最多密度に近い状態にあったが、自然間引による枯死木は少なかった。

本調査林分の資料木 13 本とこれまで調べられた幼令林の資料を合せた胸高直径 (D , cm) と樹高 (H , m) の D^2H に対する幹材積 (V , cm³) と幹乾重 (w_s , kg) の相対生長関係は比較的適合度がよ

く、その近似式はつぎのようであった。

$$\log V = 0.9439 \log (D^2 H) + 1.7692$$

$$\log w_s = 0.9952 \log (D^2 H) - 1.7715$$

この両式の勾配値は、胸高に比して樹高の低い幼令林からもとめた値より大きく、上式は今後わが国で育成されるテーダマツの D, H 2変数の立木材積表として暫定的に適用できるであろう。

調査した2林分の林分構成が類似していたので、地上部各部分の現存量は D^2 に対する相対生長関係を用いて推定した。調査時におけるテーダマツ林の幹材積現存量は2林分の平均で約 320 m^3/ha 、乾重現存量では幹約 160 ton/ha 、生枝約 21 ton/ha 、枯枝約 7 ton/ha 、葉約 9 ton/ha 、球果約 0.4 ton/ha と推定された。幹量は同林令の原産地の収穫表や付近のアカマツ、クロマツ林に比較して上位にあたる。林分葉量は密なテーダマツ幼令林より 30%ほど少ないが、夏の台風害による影響があったものと思われる。しかしマツ属中他樹種に比較してかなり多い。

最近1年間の幹生産量は約 14 m^3 (7.4 ton/ha) で、幼令林ほどではないが、同様の立地環境にあるアカマツ、クロマツに比較してきわめて高い生産力を示した。

林分の生産構造はアカマツに類似し、林冠下の平均相対照度は 24.1%、相対照度 20%以上の“日もれ”は全体の 1/3 以上を占め、比較的明るかった。したがって地床植生も多く乾重で約 3.9 ton/ha あった。

A_0 層の堆積量は 17~19 ton/ha でかなり多かったが、その平均分解率は 25% 程度でマツ類の中で非常に高かった。

調査地の土壌は両林分とも砂岩、頁岩、礫岩を母材としており、土壌層の厚さはほぼ 100 cm であった。土壌型はA層が薄く、B層の厚い B_B 型であった。

土壌の通気透水性などの理学的性質はかなり良好であったが、化学的性質は強酸性を呈し、特に可給態のPの含有率は低かった。

テーダマツの葉の養分要素含有率は白浜試験地で測定した幼令木とあまり差はなかった。しかし幹の含有率は幼令木に比べ、Nが減少し、Caが多い傾向がみられた。

全生態系内の養分要素の現存量は ha あたり N約 6,200 kg 、 P_2O_5 約 630 kg 、 K_2O 約 890 kg 、CaO 約 1,410 kg 、MgO 約 790 kg で、これまで調査してきた幼令林分に比較して明らかに多く、高い生産力を示したことが理解できる。しかし生態系内の配分比率をみると、P, K, Ca の3要素の土壌中の余裕は比較的少ないように思われた。

各養分要素の平均分解率はアカマツに比べると非常に高く、このことがテーダマツの生長量の大きいことの原因の1つになっていると思われた。また毎年幹に吸収される各養分の吸収速度から、土壌中の養分要素の消費の速さを推定した結果、NとMgはかなり余裕があると思われたが、可給態のP, K, Caは将来不足をきたすのではないかと思われた。

ま え が き

現在わが国で育成されている外国産マツ属のうち、これまでテーダマツ (*Pinus taeda*)¹⁾、スラッシュマツ (*Pinus elliottii*)²⁾、およびストロブマツ (*Pinus strobus*)³⁾ 幼令林の物質生産機構について解析をすすめてきたが、その結果、本州中部以西の低山帯においては他のマツ属に比較して、テーダマツとスラッシュマツの林分生産力はかなり高く、有望な造林樹種として可能性のあることが明らかになった。しかし、これまでの調査資料はほとんど造林後10年前後の幼令林分からのもので、伐期に達したような高林令の林分になるまでの生長過程については全く不明であった。これは外国産マツがわが国に導入されてからの歴史が比較的浅く、特にテーダマツやスラッシュ

マツが林業的に育成されるようになったのはここ10数年以前⁴⁾からのことであつたので、これまで適当な調査林分を見出すことが困難であつたためである。

幸い1970年10月、熊本営林署管内宇土市西木原国有林に成立している34年生のテーダマツ林を調査することができたので、すでに報告した幼令林¹⁾との一連の研究として物質生産力に関する解析結果をとりまとめた。なおこの林分は面積が小さく、また貴重なテーダマツ見本林として今後保存される計画であるので、伐倒資料木は最少必要数の13本にとどめた。したがって林分現存量や生長量ならびに主要養分要素の現存量などの正確な推定値については、今後の資料の積み重ねに期待したい。

本研究は阪本奨学会研究助成費によって行なわれたもので、赤井、古野、齊藤が地上部生産機構を測定解析し、赤井がとりまとめ、また上田が土壤環境と物質循環について分析しとりまとめたものである。

本報告をとりまとめるにあたり、マツ林の造成に関する研究の一環として企画し指導された京都大学農学部佐野教授、四手井教授、および調査にあたってご協力をいただいた演習林教官、職員ならびに熊本営林署署長はじめ関係各位に深く感謝する。

1. 調査林分の概況

調査地は標高約200m、平均傾斜約18°のほぼ西向の丘陵地にあり、土壤は後述のようにかなり深く、マツ林の生育に適しているようである。

調査林分は3カ所に分散しいずれも34年生であるが、林分IとIIIはそれぞれ約0.2haで近接し、IIは約0.65haでIIIの西約600m離れた位置にある。林冠はほぼ閉鎖していたと思われるが、1970年の夏に台風の被害を多少うけたようで、10月初旬の調査時において梢端付近の葉は特に少なくなっていた。

林分のほぼ中央の約0.1haを毎木調査した結果、林分I、IIの構成状態はTable 1に示したように、両林分ともあまり違いはなかった。Table 1からわかるように、34年間の年平均直径生長量は約0.8cm、年平均樹高生長量は約60cmで、調査地付近のアカマツやクロマツに比較してその生長量は著しく大きい。

一方、胸高断面積合計は、これまでの外国産マツ林の

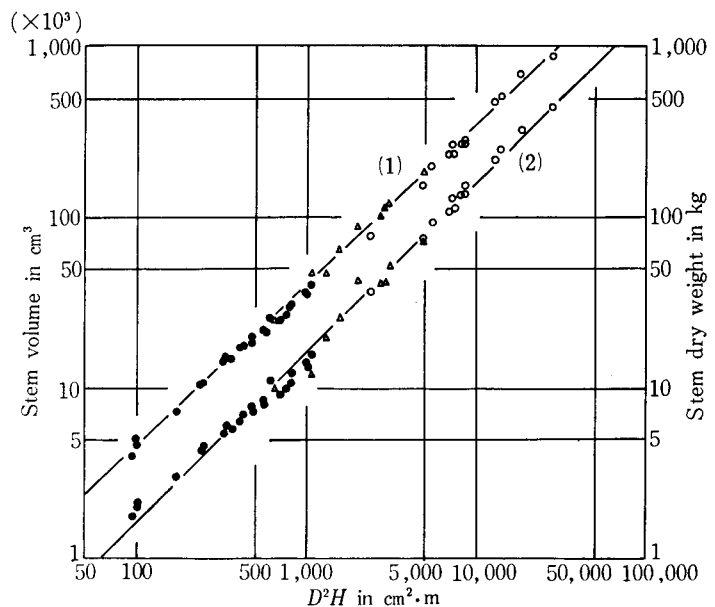


Fig. 1. Allometric relation between stem and D^2H in $\text{cm}^2 \cdot \text{m}$.
Stem volume (V) in cm^3 .

$$\log V = 0.9439 \log (D^2H) + 1.7692 \dots \dots \dots (1)$$

Stem dry weight (w_s) in kg.

$$\log w_s = 0.9952 \log (D^2H) - 1.7715 \dots \dots \dots (2)$$

○: Kumamoto

△: Ooji

●: Shirahama

Table 1. Descriptions of Loblolly pine stands in Nishikihara National Forest.

Stand	Number of tree per hectare	Mean height (m)	Mean diameter at breast height (cm)	Basal area per hectare (m ²)
I	696	21.1	27.6	42.8
II	700	20.3	25.7	38.7

調査では最多密度の状態に達すると 40 m²/ha 前後になるようであるので、本調査地のテーダマツもほぼその状態に達しているものと思われる。

2. テーダマツの相対生長と林分現存量

1) 調査方法

林分の地上部現存量は伐倒した資料木の層別刈取りによる相対生長法から推定した。林分の構成状態が前述のようにほぼ類似していたので、3 林分のほぼ全直径階にわたるよう林分 I から 7 本、II から 3 本、III から 3 本の計 13 本の資料木を地際より伐倒し、地上 0.3 m とそれ以上は胸高 (1.3 m), 2.3 m... と各 1 m の層ごとに切り離し、各層に含まれる幹、枝、針葉の生重量をただちに計測した。そしてサンプリングによる絶乾重の測定から、それぞれの乾重量をもとめた。

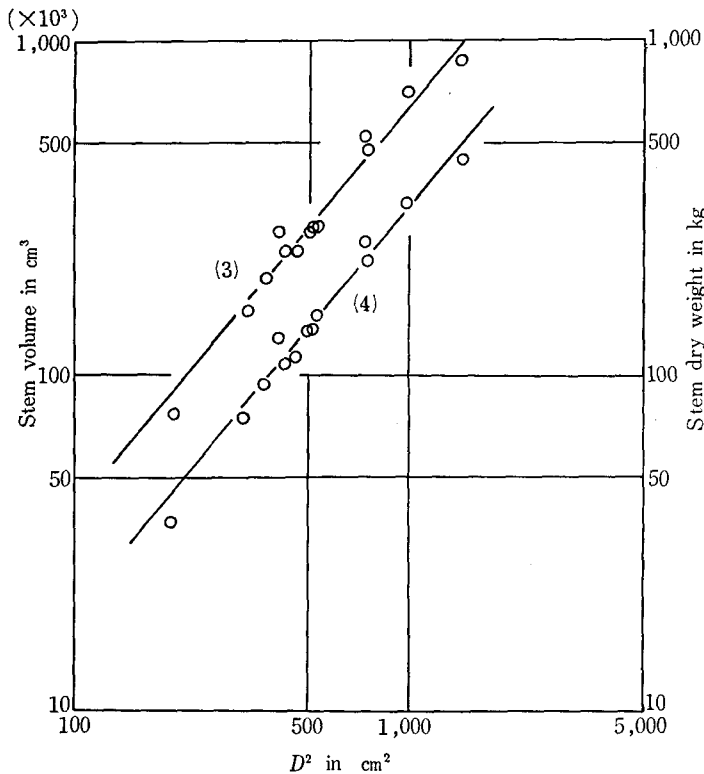


Fig. 2. Allometric relation between stem and D^2 in cm^2 .

Stem volume (V) in cm^3 .

$$\log V = 1.1928 \log D^2 - 0.7731 \dots\dots\dots(3)$$

Stem dry weight (w_s) in kg.

$$\log w_s = 1.2144 \log D^2 - 1.1370 \dots\dots\dots(4)$$

2) 相対生長関係

伐倒した資料木各個体の胸高直径 (D) と樹高 (H) の D^2H に対する幹材積 (V) ならびに幹乾重 (w_s) の相対生長関係は Fig. 1 のようであった。そして Fig. 1 にはすでに報告¹⁾した京大演習林白浜試験地と予備調査を行なっている奈良県王寺町のテーダマツ幼令林の資料も入れて示した。

一般に D^2H に対する幹量の相対生長関係はこれまでいわれてきたように、同じ樹種であれば林分の構成状態が多少異なってもほとんど分離せず、幼令木から壮令木に至るまでかなり適合度がよい。 D^2H ($\text{cm}^2 \text{m}$) に対する V (cm^3) ならびに w_s (kg) の相対生長関係式は Fig. 1 からつぎのように近似された。

$$\log V = 0.9439 \log (D^2 H) + 1.7692 \dots \dots \dots (1)$$

$$\log w_s = 0.9952 \log (D^2 H) - 1.7715 \dots \dots \dots (2)$$

この近似式の勾配値は、湯浅⁵⁾らが静岡県下で調査した10年生テーダマツ林分での解析結果と類似しているが、京大演習林上賀茂試験地の平均樹高約3mのごく若いテーダマツ林分の資料も含めた幼令林に対する前回の報告¹⁾の値 (V ; 0.8638, w_s ; 0.8404) より明らかに大きい。これは樹高が低い場合、それに対する胸高の比が問題になるので、ある一定の大きさ以上では今回の(1), (2)式の方がより正確に近似するはずである。そして(1)式から一応暫定的にわが国のテーダマツ林に適用できる D, H 2変数の立木材積表を作ることができよう。

今回調査したテーダマツ林のように、立木密度などの林分構成がほぼ均一な林分においては、 D と H の相対生長関係が比較的帰しやすいため、はん雑な $D^2 H$ を用いなくても、 D あるいは D^2 に対する各部分量の相対生長関係を用いて林分現存量を推定すればよい。Fig. 2, 3, 4 に D^2 に対する幹材積 (V, cm^3), 幹乾重 (w_s, kg), 枝乾重 (w_B, kg) および葉乾重 (w_L, kg) の相対生長関係を示した。3林分の資料木はほとんど分離せず、1, 2の例外を除き比較的適合度がよいようである。しかしより厳密には、年々更新される葉や枝の相対生長関係は種々論議されているように対数関係で直線帰帰とするのに疑問があるが、林分の直径階の巾が比較的小さく、また資料木もその範囲内にわたるよう配慮したので今回は図のような関係で近似させることにした。 $D^2 (\text{cm}^2)$ に対するこれらの関係式はつぎのように近似された。

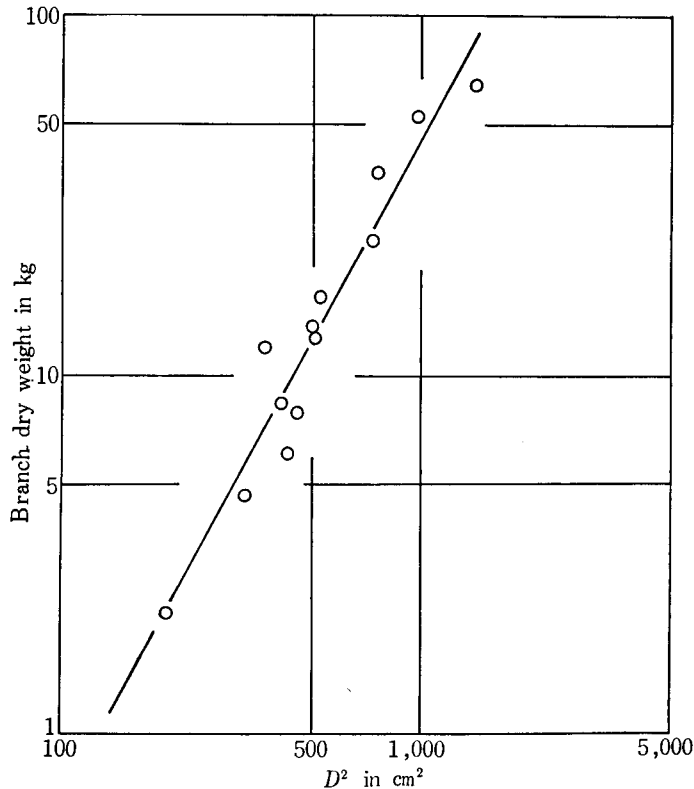


Fig. 3. Allometric relation between branch dry weight (w_B) in kg and D^2 in cm^2 .

$$\log w_B = 1.8463 \log D^2 - 3.8824 \dots \dots \dots (5)$$

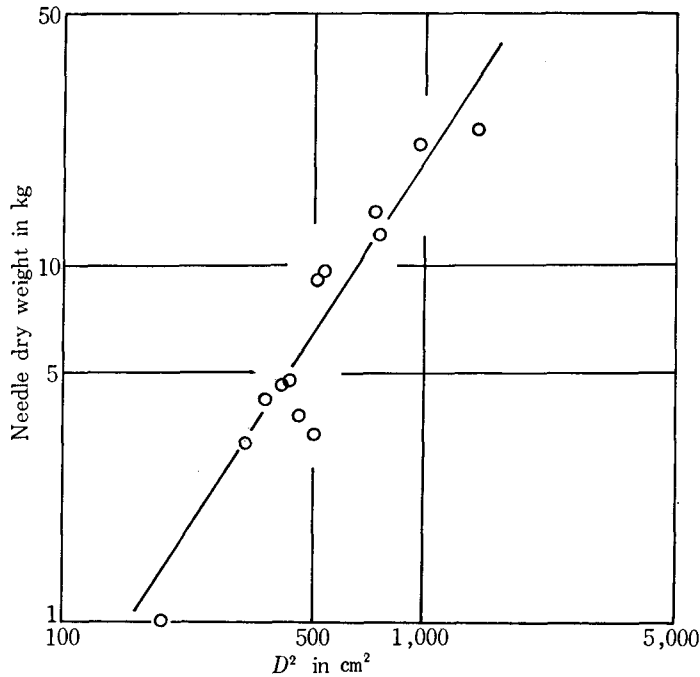


Fig. 4. Allometric relation between needle dry weight (w_L) in kg and D^2 in cm^2 .
 $\log w_L = 1.5680 \log D^2 - 3.4261$ (6)

- $\log V = 1.1928 \log D^2 - 0.7731$ (3)
- $\log w_s = 1.2144 \log D^2 - 1.1370$ (4)
- $\log w_B = 1.8463 \log D^2 - 3.8824$ (5)
- $\log w_L = 1.5680 \log D^2 - 3.4261$ (6)

3) 地上部現存量

D^2 に対する各部分量の相対生長関係式 (3)~(6) 式を、毎木調査結果からもとめた直径階別本数分配表にあてはめ、それぞれの ha あたり地上部現存量を推定し、その結果を Table 2 に示し

Table 2 Biomass of Loblolly pine stands par hectare.

Stand	Stem volume (m^3)	Stem dry weight (ton)	Branch dry weight (ton)		Needle dry weight (ton)	Cone dry weight (ton)	
			living	dead		living	dead
I	337	168	22.0	6.9	9.5	0.34	0.13
II	302	151	19.7	6.3	8.5	0.44	0.89

た。また資料木に着生していた球果量から比推定によってもとめた生球果と枯球果の ha あたり乾重現存量を合わせて示した。

Table 2 から明らかなように、幹材積は 30 年余で $300 m^3/ha$ 以上に達しているが、この値はアメリカ南東部原産地の収穫量⁶⁾でも上位に入り、またわが国のアカマツ林分収穫表と比較すると、地位上の中でもっとも幹材積の多いクラスに入るようである。さらにまた調査地付近のクロマツやアカマツの幹生長量より著しく大きく、この地域においても有望な造林樹種としてその生産量

の大きさは注目されよう。

調査林分の生枝の乾重は約 20 ton/ha で、白浜試験地の密な幼令林の値¹⁾より50%ほど多いが、反対に枯枝は20%ほど少ない。これは林冠の深さの違いや生長差にもとづく枝の更新量の違いなどが原因であるのかも知れない。

林分の葉量は9 ton/ha 前後で、白浜試験地の密な幼令林の同じ時期に調査した値約 13 ton/ha や同じ林分の年間落葉量の実測値から推定した着葉量⁷⁾と比較して30%ほど少ない。これは前述のような夏の台風による被害の影響も原因していると思われる。しかしながら本調査地のテーダマツ林の葉量は、只木⁸⁾らがまとめたマツ属9種の林分葉量と比較すると、四手井⁹⁾がハイマツで測定した値を除いてもっとも多い方に入る。また同じ3針葉の *Pinus longifolia* の葉量¹⁰⁾よりも著しく多い。

テーダマツ林の葉量を測定した報告は少なく、湯浅ら⁵⁾は幼令林について12月中旬に測定した結果から4.1 ton/ha と推定している。もともと着葉量は季節によって変化し、すでに報告したように白浜試験地のテーダマツ幼令林の落葉の季節変化⁷⁾をみると、各年度とも11月～12月に落葉量がもっとも多く(自然落葉期)、その直前の10月は著しく少ない(離層形成期)。このような落葉現象のパターンから考えて、湯浅らの測定値は着葉量のもっとも少ない時期のものといえる。したがって林分葉量の比較検討は測定時期をよく考慮する必要がある。

テーダマツの針葉の寿命は一般に2年であるが、伸長生長はアカマツやクロマツのような経過をたどらず、年に数段の枝階を作るために新旧葉を正確に区別するのは困難で、旧葉をどれだけ着けていたかは不明である。しかし、落葉の季節変化からみて林分の着葉量のもっとも多いのは7月～10月であろうと思われる。テーダマツ林の年間落葉量について只木ら¹¹⁾、Metz¹²⁾がまとめた値を年間の新生葉量とし、その季節変化からこの時期の旧葉も含めた着葉量に換算してみると、幼令林で8～10 ton/ha となり、今回調査したテーダマツ壮令林の葉量とほぼ一致した。したがってこのテーダマツ林の針葉の新生量は5 ton/ha 前後と推定される。

林分の球果着生量は種子結実の豊凶によって著しい年間変動があると思われる。また個体あたりの球果量も個体の大きさとの相関が低く、相対生長関係からの推定は困難で、資料木の断面積比推定によって林分着果量をもとめたので、Table 2 に示した値は参考資料としてとどめたい。また、林分の球果量について調査した報告はきわめて少なく、詳しくは比較できないが、長野県諏訪営林署管内金沢山国有林で、東大、京大、信大3大学合同調査班が調べた約40年生のアカマツ林の球果量は、地位下で0.2～0.6 ton/ha、地位上で0.8～1.2 ton/ha であった。したがって今回調査したテーダマツ林の球果量はアカマツ林よりいくらか少ないと思われる。

一方、林分の1m高さあたりの地上部乾重は、Table 2 から計算されるように、本調査林分では約9 ton/ha・m になり、白浜試験地の幼令林の12 ton/ha・m より明らかに小さかった。

3. 林分生産量

1) 個体の生長

単木幹材積の皮なし連年生長量の経過を樹幹解析結果から一部示すと Fig. 5 のようになる。一般に林分が閉鎖してくると単木の生長は低下するが、なかでも初期生長の悪い個体はより早く生長量が落ち、そのまま放置すれば競争に負けてますます他の個体に被圧されるようになる。一般のマツ属の幹連年生長量の最多時期は、ほぼ15～20年位であるようであるが、Fig. 5 から認められるように、大きい個体の幹連年生長量はまだ著しくおとろえるような傾向を示していない。

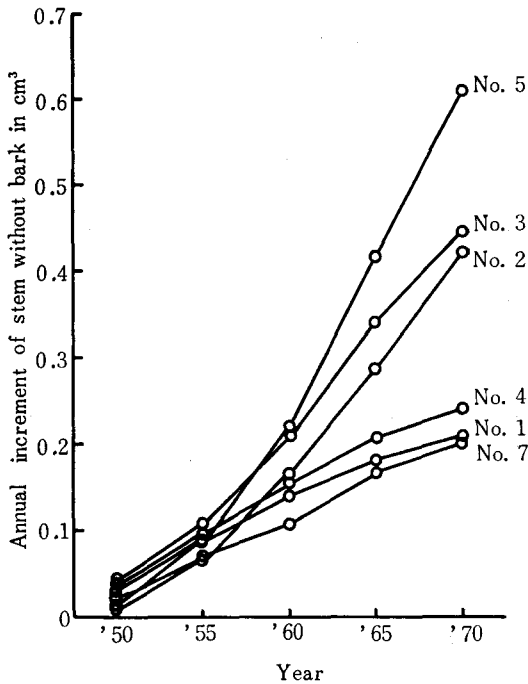


Fig. 5. Annual increment of stem without bark yearly.

35 m³/ha にも達したことは、施肥効果をともなったテーダマツ林分の多少例外的な過大値であるとしても、外国産マツの中、特にテーダマツのわが国における生産力は、まつくい虫に対する抵抗性の強さとともに大いに注目されよう。

4. 林分の生産構造

1) 胸高断面積の本数分布

同令単純林の立木構成、特に競争状態を理解するためには直径階別本数分布（林相曲線）より

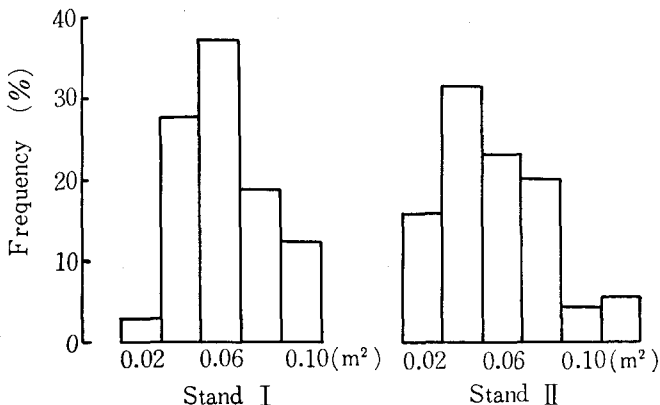


Fig. 6. Frequency distribution of basal area in m².

2) 林分の幹生産量

最近1年間の幹生産量は、林分現存量の推定と同様、樹幹解析結果からもとめた個体の1年前の皮付幹材積と D^2H の相対生長関係を直径階別本数分配表にあてはめ1年前の林分幹材積量を推定し、この値と現在の林分量との差としてもとめた。また幹乾重生産量は幹の容積重から計算した。

調査林分の最近1年間の幹材積生産量は、林分Iで14.9 m³/ha・year, 林分IIで13.4 m³/ha・yearで、また幹乾重生産量ではそれぞれ7.8 ton/ha・year, 7.0 ton/ha・yearと推定された。

このように、造林後すでに30年余りを経過している現在でも、1年間の幹材積生長量が14 m³/haもあることは、同じような立地環境にあるアカマツやクロマツの生長と比較して、きわめて高い生産力を示していると思われる。さらに、立木密度の大きい白浜試験地のテーダマツ幼令林の年間幹材積生産量が、すでに報告¹⁾したように

のひずみが少ない。したがって自然間引によると思われる枯死木もあまり見あたらなかった。

2) 立木密度

林分のこみぐあいを明らかにする方法として、上述の胸高断面積分布を調べる方法のほか、単位面積あたりの立木本数と、林分の幹量あるいは平均量の関係を調べる方法がある。

Fig. 7 は立木密度 (ρ 本/ha) と林分の平均単木材積 (v m³) の関係を、白浜試験地のいろいろな立木密度のテーダマツ幼令林¹⁾と、樹種の特徴が類似しているスラッシュマツ幼令林²⁾の資料も入れて示したものである。

Fig. 7 に示した最多密度曲線は、すでに報告^{1,2)}した両樹種に共通な暫定線で

$$\log v = -1.5 \log \rho + 4.3075$$

ともとめられた。この式の常数値は只木ら¹³⁾、安藤¹⁴⁾の報告したアカマツ林の値とそれほど違わない。高林令のテーダマツ林がほとんどない現状ではやはり暫定的な近似式であるが、本調査地のテーダマツ林は、最多密度の状態に達していないことは理解されよう。

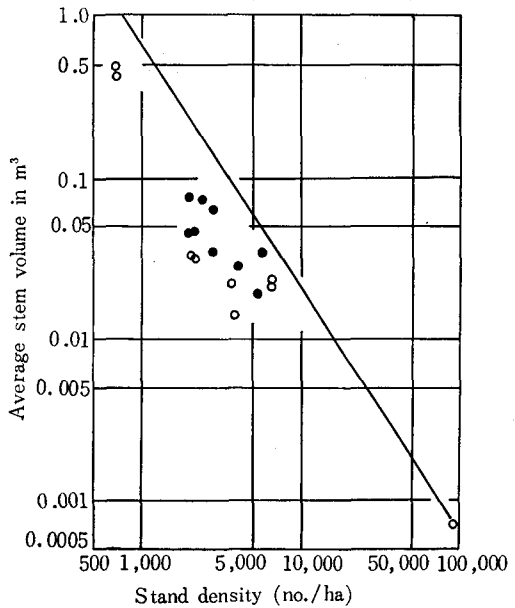


Fig. 7. Full density curve of average stem volume.

○: Loblolly pine
●: Slash pine

3) 幹枝葉の垂直的配分——生産構造

非同化器官である幹、枝と、同化器官である葉の林分内の垂直的構成、すなわち層別刈取りによる生産構造図を Fig 8 に示した。幼令林に比較して林令がかなり高いので、1~2年間に更新される葉量に比較して蓄積量としてあらわれる幹量は著しく多い。

本調査地のテーダマツ林の葉や枝の垂直的配分は、それらのモードが上層にかたよったソバ型(広葉型)に近い特徴を示すが、これは陽性樹種であるアカマツ林の状態⁸⁾¹⁵⁾とよく似ている。

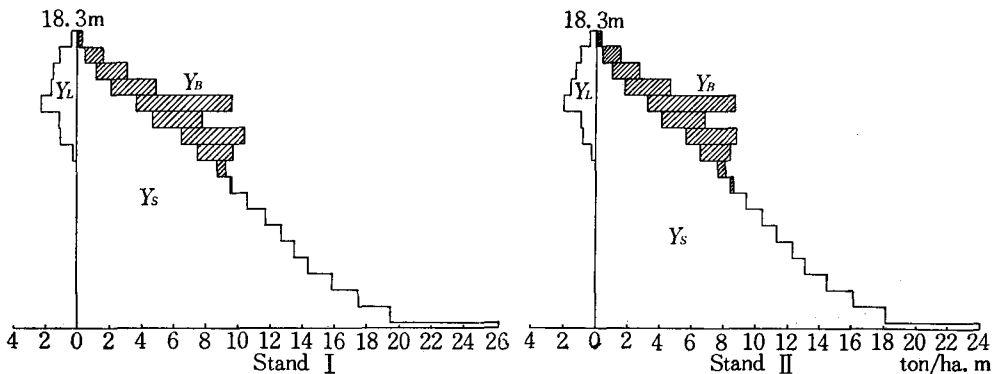


Fig. 8. Production structure diagrams showing the vertical distributions of dry weight of stem (Y_s), branch (Y_b) and foliage (Y_L) in ton per ha. m.

5. 林内環境

1) 林内の明るさ

林外上向照度が 80,000~100,000 Lx の時 (正午前後) の林分Ⅱの林冠下, 地床植生上の明るさを, 照度計 (東芝 SPI 型) で約 1 m 間隔に 100 点測定し, 同一時刻の近接した裸地の上向照度に対する相対照度 (%) をもとめた。

林内における相対照度の分布は “日もれ” があるので, Fig. 9 に示したように, 一般に相対照度の小さい方に片寄った L 型になる。

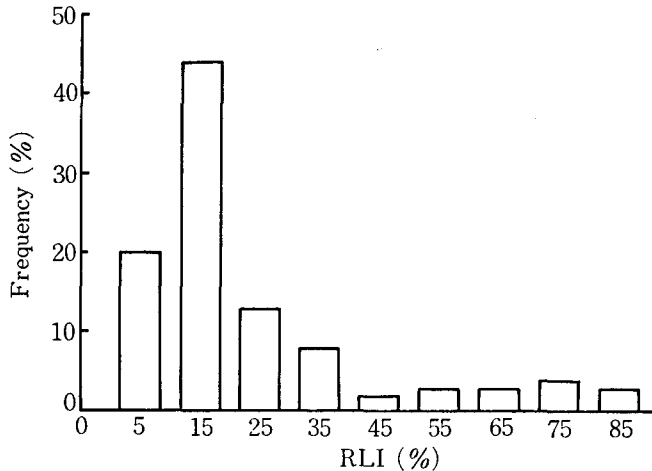


Fig. 9. Frequency distribution of relative light intensity (RLI) under canopy in Loblolly pine stand.

“日もれ”の量は葉の光エネルギーの利用効率に関係し, また平均相対照度のようなならされた明るさで理解しにくい林分構成をある程度明らかにすることができよう。本調査林分における相対照度 20% 以上の “日もれ” は全体の 1/3 以上を占め, 白浜試験地の密な幼令林よりも林冠にかなりすき間のあることを示した。

算術平均でもとめた平均相対照度は 24.1% で, 胸高断面積合計や林分葉量が比較的多いの

に, 白浜試験地の密なテーダマツ幼令林 (1.8~2.0%) やスラッシュマツ林 (4.9%) より著しく明るいようであった。

2) 地床植生

上述のように, 林内が明るく, “日もれ” もかなりあるので, 地床植生は比較的多く, 2×2 m の広さの 2 カ所を全刈した結果, 乾重総量は林分Ⅰで 3.6 ton/ha, 林分Ⅱで 4.1 ton/ha を示した。

一方, 植生の種類は豊富で, 主なものはヤマハゼ, ヌルデ, サンショウ, ネズミモチ, ヒサカキ, コナラ, クリ, アラカシ, ネジキ, ヤマトツジ, カクレミノ, ビロウドイチゴ, ミツバアケビ, マルバハギ, コシダ, ワラビ, ササ類, ススキ, ササクサなどであったが, 陽性の種も比較的多く進入している。

6. 土 壌 環 境

1) 調査方法

A₀ 層と土壌層の調査は前記の林分Ⅰ, Ⅱともそれぞれ斜面の下部と上部の 2 カ所ずつで行なった。A₀ 層の堆積量の調査は水平面で 1×1 m の方形枠を設け, 枠内の全量をていねいに採取, 秤量し, 別にサンプリングにより求めた含水率より ha あたり乾物重を算出した。同時にその一部を養分要素の分析用試料とした。土壌層の調査は 100 cm までの試坑を設け, その土壌断面の外

観上の特徴を林野土壤調査基準¹⁶⁾にしたがって観察、記録の上、その層位を0~5 cm, 5~20 cm, 20~35 cm, 35~50 cm, 50~100 cmの深さ別に分け、おのこの中央部付近より400cc容採土円筒を用いて試料を採取し、理化学性の分析を行なった。

2) A₀層の堆積量

同一林分内2カ所の平均値をTable 3に示した。この堆積量は僅かに林分Iの方が多かったが、その差は大きくはない。このA₀層量をこれまでに測定した若い外国産マツの諸林分と比較すると、本調査林分の方が多く、アカマツでの測定値に近かった。通常、アカマツの落葉は分解困難な性質をもっているため堆積量は多くなるといわれる¹⁵⁾。

しかし両林分の平均分解率(テダマツの落葉の季節的変化から推定して、着葉量の半量を年間の落葉量とみなし、これを堆積量で除して算出した。)はTable 3に示したように25%程度であって、アカマツ林に比べれば著しく高い。このように分

解が速いことは養分要素の循環上きわめて有利であって、スラッシュマツ林と同様注目すべき特性と思われる。なお、この平均分解率を白浜試験地の幼令林と比較すると、本林分の方がやや低くなっていることも認められたが、これが森林の成熟ともなっておこる変化かどうかはまだわからない。

3) 土壤の一般的特徴

両林分とも地質は中世代白亜紀に属し、砂岩、頁岩、礫岩を母材としていた。土壤層の厚さはいずれも100 cm程度であってかなり厚い。その一般的特徴はTable 4に記載したようにA層

Table 3. Dry weight of raw humus and litter (A₀ layer) and its average decomposition rate.

Stand	Dry weight of A ₀ layer ton/ha	years required for total decomposition	Average decomposition rate %
I	19.25	4.05	24.7
II	17.14	4.03	24.8

Table 4. Description of soil profile in experimental stands.

Stand	Horizon	Depth from surface cm	Soil color *	Texture	Structure	Hardness	Definition of boundary
I	A ₀	5~0	2.5 YR 4/4	—	—	—	Distinct
	A	0~13	5 YR 4/8	Clay loam	Crumb structure	Loose	Distinct
	B	13~82	7.5 YR 4/6	Clay loam	Granular structure	Soft	Indistinct
	C	82~(100)~	10 YR 4/6	loam	Granular structure	Soft	—
II	A ₀	4~0	2.5 YR 4/6	—	—	—	Distinct
	A	0~6	2.5 YR 4/6	Clay loam	Crumb structure	Loose	Distinct
	B	6~70	2.5 YR 4/8	Clay loam	Granular structure	Soft	Indistinct
	C	70~(100)~	2.5 YR 4/4	Clay loam	Clod structure	Slightly hard	—

* By standard Soil Color chart of Japanese Agriculture, Forestry & Fisheries Research Council (1965)

Table 5. Physical properties of soil

Stand	Parts in the stand	Depth	Expression in total volume					Oven dry weight of fine soil, gravel and root per 100 cc.			Oven dry weight of fine soil per hectare
			Volume weight ($V'w$)	Porosity (P')	Maximum water holding capacity ($W'_{max 2}$)	Minimum air capacity ($A'_{min 2}$)	Water content	Fine soil (<2 mm)	Gravel (>2 mm)	Root	
I	Lower part	0~5cm	50.55	79.64%	56.21%	23.43%	20.46%	38.37g	11.80g	0.37g	191(ton/ha)
		5~20	72.08	72.53	58.17	14.36	26.17	46.54	25.33	0.21	699
		20~35	69.50	73.92	51.50	22.42	24.50	61.79	7.65	0.06	927
		35~50	82.74	69.44	59.01	10.43	29.01	76.59	6.13	0.03	1,149
		50~100	96.78	64.55	53.47	11.08	29.22	89.31	7.48	0.01	4,469
	Upper part	0~ 5	71.15	71.74	56.35	15.39	23.60	58.50	12.40	0.26	293
		5~20	74.77	71.56	51.98	19.58	21.98	65.05	9.65	0.07	976
		20~35	93.72	64.95	52.28	12.67	25.78	75.19	18.48	0.05	1,128
		35~50	96.82	64.33	54.43	9.90	32.93	73.84	22.98	0.01	1,108
		50~100	86.37	68.32	52.13	16.19	24.13	76.07	10.28	0.02	3,804
II	Lower part	0~ 5	68.49	72.59	49.52	23.07	17.27	56.13	12.00	0.36	281
		5~20	89.02	66.24	50.23	16.01	21.48	73.43	15.53	0.07	1,101
		20~35	117.07	56.29	46.43	9.86	24.93	92.71	24.33	0.04	1,391
		35~50	128.31	52.73	43.19	9.54	26.19	99.55	28.75	0.01	1,493
		50~100	126.62	53.60	42.13	11.47	25.38	98.21	28.40	0.01	4,911
	Upper part	0~ 5	103.60	59.49	47.90	11.59	23.65	83.94	19.60	0.07	420
		5~20	89.01	66.10	50.49	15.61	25.24	78.50	10.40	0.11	1,178
		20~35	100.27	62.58	47.73	14.85	21.23	64.27	35.93	0.08	964
		35~50	102.83	62.09	45.43	16.66	23.18	86.20	16.63	0.01	1,293
		50~100	116.04	57.44	43.96	13.48	23.46	104.09	11.93	0.03	5,205

が比較的薄いのに対し、B層がかなり厚く、また層位の分化はあまり進んでいなかった。土壤型はB_B型と判定された。土性はほぼ植壤土であったが、林分ⅠのC層のみは壤土になっていた。両林分ともA層は団粒状を呈し、粗鬆であったが、B層は粒状となっていた。またC層は林分Ⅰは粒状であるのに対し、林分Ⅱでは塊状となり、ち密で硬くなっていた。しかし両林分とも根系は100 cm程度の深さまで分布していた。

4) 土壤の理学的性質

それぞれの試坑穴における土壤の理学的性質の検定結果をTable 5に示した。

容積重は表層で50~70, 下層で90~120程度であって、孔隙量もかなり多く、通気、透水性は良好であると思われた。

また最大容水量よりみて保水力もかなり高いと思われる。一方、両林分を比べると、林分Ⅱは特に下層土において容積重も大きく、ち密であって通気、透水性は林分Ⅰに比べて悪く根の伸長に対する条件としてはやや不良と思われた。

5) 土壤の化学的性質

前述の方法によって採取した試料は、風乾後篩別(直径2 mm)し、化学的性質を調べた。なお、同一林分内の2カ所から採取した試料は、同じ深さ毎に混合して分析した。分析方法は、つぎのようである。

P.H : ガラス電極 P.H メーター

置換酸度 : カッペン法

全 N : ケルダール改良法

全 C : チューリン簡易滴定法

P : モリブデンブルー還元法にて比色定量(光電比色計, 波長 700 m μ にて測定)

K : 炎光度計(波長 766.49 m μ にて測定)

Ca : 原子吸光分析法(SrCl₂の添加によって共存元素の干渉を除去し, 波長 422.67 m μ にて測定)

Mg : 原子吸光分析法(同様に SrCl₂を添加し, 波長 285.21 m μ にて測定)

分析結果を P.H および置換酸度は風乾細土あたり, 他の養分要素の含有率は全て絶乾細土あたりに換算して Table 6 に示した。なお, これらの要素のうち, P は P₂O₅, K は K₂O, Ca は CaO, Mg は MgO として示した。

本調査地の土壤は白浜試験地幼合林に比較して多少強酸性で, かつ置換酸度も高い。また全 C, 全 N の含有率も比較的高く, 表層で分解された有機物が通気, 透水性が良いためにかなり下層にまで浸透していることがわかる。しかし可給態の P, K, Ca, Mg は一般的にみて含有率は比較的小さい。特に P の含有率はかなり少ないように思われた。

またこれら要素の含有率を林分間で比べるとほとどの要素も林分Ⅱの方がやや少なかった。しかし林地の生産力の高低はこれら養分要素の含有率の多少だけできまるものではなく, 土壤層の厚さや容積重の異なる土壤ではその一定深さ中の養分の現存量の多少を考慮する必要がある。さらにこれら養分要素の森林生態系内における循環のしくみを解析してこそ, その林地の生産力が理解できるであろう。

Table 6. Chemical properties of soil. (% on oven dry basis except P.H and exchange acidity)

Stand	Depth	P.H		Exchange acidity (Y ₁)	Total C	Total N	C/N
		H ₂ O (1:2)	IN-KCl (1:2)				
I	0~5	4.40	3.80	21.0	4.929	0.290	17.0
	5~20	4.60	3.85	20.5	2.788	0.188	14.8
	20~35	4.55	3.85	23.5	1.155	0.085	13.6
	35~50	4.50	3.80	26.0	0.623	0.050	12.5
	50~100	4.65	3.80	26.0	0.502	0.045	11.2
II	0~5	4.50	3.60	25.0	1.907	0.165	11.6
	5~20	4.50	3.65	25.0	1.731	0.135	12.8
	20~35	4.40	3.60	29.0	0.908	0.089	10.2
	35~50	4.25	3.60	34.0	0.466	0.045	10.4
	50~100	4.40	3.65	34.5	0.492	0.035	14.1

1/5 N-HCl Soluble		Exchangeable		Hot-HCl soluble			
P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
%	%	%	%	%	%	%	%
0.005	0.015	0.033	0.008	0.016	0.111	0.076	1.188
0.003	0.011	0.016	0.007	0.013	0.111	0.059	1.232
0.003	0.007	0.015	0.005	0.013	0.111	0.035	1.232
0.003	0.005	0.006	0.003	0.008	0.105	0.024	1.320
0.003	0.004	0.003	0.013	0.016	0.110	0.012	1.220
0.004	0.011	0.032	0.009	0.015	0.134	0.073	1.166
0.003	0.012	0.027	0.007	0.011	0.142	0.063	1.208
0.003	0.010	0.010	0.003	0.010	0.100	0.038	1.208
0.004	0.006	0.006	0.002	0.014	0.132	0.029	1.155
0.003	0.005	0.001	0.007	0.014	0.128	0.029	1.197

7. 生態系内における養分要素の循環

1) 調査の方法

森林生態系内における物質循環のしくみを明らかにするため、まず地上部、A₀層、土壌層の3つに分け、それぞれの部分に含まれる養分要素の現存量を推定した。地上部分のうち、テーダマツについては林分I、IIのそれぞれについて伐倒した資料木の幹、生枝、枯枝、葉、生球果、枯球果より分析用試料を採取し、同一林分内の資料木を適宜混合して分析した。地床植生は同一林分内で2カ所ずつ2×2m内の全量を刈り取り、乾量の計測を行なう一方、その一部を分析用試料とした。A₀層は落葉、落枝、粗腐植、腐植が均等に混合するよう留意して試料を採取した。これらの試料は乾燥後、粉碎して分析に供した。分析の方法はつぎの方法によった。

N : ケルダール改良法

P : 試料を湿式灰化し、SiO₂その他の妨害成分を除去して、ただちにモリブデンブルー還元法にて比色定量。(光電比色計にて波長700mμで測定)

K : 湿式灰化した試料について炎光度計法にて定量。(測定波長766.49mμ)

Ca : 湿式灰化した試料について原子吸光分析法にて定量。(SrCl₂の添加により共存元素の妨害を除去し、波長422.67mμにて測定)

Mg : 湿式灰化した試料について原子吸光分析法にて定量。(同様にSrCl₂を添加し、波長

285.21 m μ にて測定)

なお、地下部のうち、根系に含まれる養分要素については測定できなかった。

2) 地上部各部の養分要素の含有率

分析結果はすべて絶乾物あたりに換算して Table 7 に示した。なお、土壌の場合と同様に分析

Table 7. Concentration of nutritive elements in Loblolly pine, ground flora, and A₀ layer. (% on oven dry basis)

Stand	Sample	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	
I	Loblolly pine	Stem	%	%	%	%	%
		Living branch	0.152	0.159	0.111	0.361	0.060
		Dead branch	0.229	0.155	0.198	0.216	0.077
		Needle	0.218	0.173	0.036	0.191	0.033
		Living cone	1.492	0.284	0.770	0.337	0.213
		Dead cone	0.988	0.222	0.791	0.043	0.111
		Ground flora	0.431	0.162	0.052	0.136	0.081
	A ₀ layer	1.324	0.209	0.881	1.107	0.398	
	A ₀ layer	1.094	0.192	0.198	0.678	0.171	
II	Loblolly pine	Stem	0.134	0.159	0.107	0.282	0.047
		Living branch	0.242	0.158	0.235	0.290	0.082
		Dead branch	0.228	0.185	0.040	0.424	0.061
		Needle	1.286	0.215	0.605	0.404	0.174
		Living cone	0.608	0.234	0.531	0.043	0.125
		Dead cone	0.293	0.185	0.040	0.123	0.061
		Ground flora	1.126	0.209	1.089	1.035	0.364
	A ₀ layer	0.976	0.214	0.255	0.729	0.211	

結果の表示はPはP₂O₅, KはK₂O, CaはCaO, MgはMgOとしてあらわした。

以上の分析結果を林分間で比較すると、幹中の各要素の含有率はほとんど差が認められないが、葉ではN, P, K, Mgの4要素が林分Iに対して林分IIの方がやや低い含有率を示したのに対し、Caはやや高いことが認められた。

マツ類に限らず一般にどの樹種でも葉中のN, P, Kの含有率は、土壌の理化学性が良好な程増加するといわれる。また同じ土壌条件ならば、施肥によってこれら3要素の含有率が増加することは数多く認められている¹⁾²⁾¹⁷⁾¹⁸⁾。

本調査林分でも林分Iに対して林分IIの下層土の理化学性がやや不良であったことは前述したが、このことが影響して葉中の含有率に差ができたのかも知れない。

つぎに本調査林分と白浜試験地で測定した幼令林とを比較すると、葉の養分要素の含有率は各要素とも大差はないが、本調査林分の方がやや高いことが認められる。これに対して幹では明らかに幼令林よりもNの含有率は低く、Caは高い傾向が認められた。これらのことより生長段階が進み、成熟してきて34年生程度であれば葉の養分要素の含有率にはあまり変化を示さず、むしろ土壌条件に左右される度合の方が大きいように思われるが、幹ではNが減少し、Caが増

Table 8. Amount of nutritive elements in each ecosystem in kg per hectare.
(Soil layer was calculated by available forms except nitrogen)

Nutritive element			N		P ₂ O ₅		K ₂ O		CaO		MgO	
			Stand		I	II	I	II	I	II	I	II
Parts in ecosystem			I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Upper ground parts	Loblolly pine	Stem	255	202	267	240	186	162	606	426	101	71
		Living branch	50	48	34	31	44	46	48	57	17	16
		Dead branch	15	14	12	12	2	3	13	27	2	4
		Needle	142	109	27	18	73	51	32	34	20	15
		Living cone	3	3	1	1	3	2	0.1	0.2	0.3	0.5
		Dead cone	1	3	0.2	2	0.07	0.4	0.2	1	0.1	0.5
	Ground flora		48	46	8	9	32	45	40	42	14	15
Total		514	425	349	313	340	309	739	587	154	122	
Under ground parts	A ₀ layer		211	167	37	37	38	44	131	125	33	36
	Soil layer	0~5 cm	702	578	12	14	36	39	80	112	19	32
		5~20	1,574	1,538	25	34	92	137	134	308	59	80
		20~35	873	1,048	31	35	72	118	154	118	51	35
		35~50	564	627	34	56	56	84	68	84	34	28
		50~100	1,861	1,770	124	152	165	253	124	51	537	354
Total		5,574	5,561	226	291	421	631	560	673	700	529	
Sum total			6,299	6,153	612	641	799	984	1,430	1,385	887	687

加していくように思われた。

3) 生態系内における養分現存量とその配分

地上部の各部分、および A₀ 層の養分現存量はそれぞれの ha あたり乾物量 (Table 2, 3) に前述の養分要素の含有率を乗じて算出した。

土壌層中の養分現存量は Table 5 に示した深さ別細土量の林分内 2 カ所の平均値にそれぞれの含有率を乗じて算出した。これらの計算結果をとりまとめて Table 8 に示した。

なお、この土壌層中の養分現存量のうち、N は全要素としてもとめたものであるが、P, K は 0.2 規定塩酸可溶成分、Ca, Mg は置換態であって、一応可給態としてとりあつかった。

土壌層中の養分現存量を林分間で比較すると、要素によって多少の相違はあるが 5 要素ともほぼ等しかったが、地上部の現存量は各要素とも僅かに林分 I の方が多い。しかし総括的にみればこれら両林分の生長量、養分の現存量などにみられた相違は僅かで、同じような機構の物質循環をしてきたものと思われる。

つぎに本調査林分の土壌層中の養分現存量を、白浜試験地での幼令林の無施肥区と比べると N は約 2.7 倍、P は約 1.7 倍、K は約 3 倍も存在しており、Ca, Mg はほぼ同量が存在していた。白浜試験地では土壌が浅いこともあって N, P, K の現存量が少なく、このために植栽当初に施肥を行わなければ成林はおぼつかない状態であったが、反面、当初にこれら 3 要素を施肥することによって立派に成林し、その後は順調に養分要素の循環が行なわれて旺盛な生長をつづけていることはすでに報告した¹⁾。本調査林分の土壌はこの点、白浜試験地の幼令林よりは肥沃であって、N, P, K の現存量がこの程度存在していたならば、無施肥でも立派に成林し、その後の順調な物質循環によって比較的大きい生長量が維持していけるように思われた。

また葉中の現存量を白浜試験地の幼令林の林冠が閉鎖した施肥区と比較すると、各要素ともほとんど差がない。このことよりうっ閉した林分では、葉中の養分要素の現存量は林分に関係なく樹種ごとにほぼ一定になるように思われた。

これに対して幹中の現存量は当然ながら幹材積の増加に比例して現存量も増加し、このために地下部に対して地上部の配分がきわめて高くなる傾向が認められた。この傾向は特に P において著しく、地下部より地上部の配分の方が多く特異な型となった。また K, Ca でもこれに近い傾向を示した。このことはこれら要素の土壌中の余裕が少ないことを示唆している。

なお、以上にみられた傾向は土壌中の養分現存量を可給態として算出したものであるが、全要素量 (熱塩酸可溶成分) として分析した結果を Table 9 に示した。長い年月の間にはこれが可給

Table 9. Amount of total nutrients (Hot-HCl soluble) in soil layer to 100 cm depth in kg per hectare.

Nutritive element Stand	P ₂ O ₅		K ₂ O		CaO		MgO	
	I	II	I	II	I	II	I	II
Soil depth								
0~5 cm	39	53	269	469	184	256	2,877	4,083
5~20	109	125	929	1,618	493	718	10,314	13,765
20~35	134	141	1,140	1,177	360	447	12,657	14,222
35~50	90	195	1,185	1,839	271	404	14,893	16,091
50~100	662	708	4,548	6,474	496	1,467	50,441	60,538
Total	1,034	1,222	8,071	11,577	1,805	3,292	91,182	108,699

態化されて物質循環に加わっていくものと思われるが、しかし可給態化の速さなどについては全く不明である。

4) 養分の落葉落枝としての還元—平均分解率

土壌の理学的性の良否や、養分の絶対量の多少が林木の生長に影響をあたえることは勿論であるが、森林生態系においては養分要素の循環の速度がさらに大きく影響している場合が少なくない。この速度にもっとも影響をあたえる因子としては落葉落枝の風化解解、還元、無機化の速さあげられる。この速さは毎年林地に供給される落葉落枝中の養分量を現存する A₀ 層中の養分量で除した値を平均分解率とし、その逆数を分解年数としてあらわすことができる。

Table 10. Average decomposition rate of nutritive elements in the stand.
(Amount of nutrient in new needle/Amount of nutrient in A₀ layer × 100)

Stand	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
	%	%	%	%	%
I	33.6	36.5	96.1	12.2	30.3
II	32.6	24.3	58.0	13.6	20.8

毎年の新葉量に相当する量が毎年林地に落葉として供給されるものとしてその分解率を計算し、Table 10 に示した。これより明らかなように各要素とも平均分解率はかなり高く N はほぼ 3 年、P は 3~4 年、K は 1~2 年、Ca は 7 年前後、Mg は 3~

5 年程度で分解されるようであった。この分解速度はアカマツ¹⁵⁾に比べるとかなり速い。

このように養分の循環の効率の良いことが、付近のアカマツ林に比べて本林分の生長量が大きかったことの大きな要因と思われる。しかし本林分では白浜試験地の幼令林と比べるとこの速度がやや落ちてきている傾向も認められる。

5) 土壌中の養分の消費の速さ

葉および枝に含まれる養分はいずれ落葉落枝となって林地へかえされ、循環に加わっていくが幹に吸収され蓄積された養分はみかけ上の量としてはそのまま林分中にとどまるように見え、林地へかえされることはない。したがってこの分に相当するだけの量は毎年土壌および A₀ 層より減少していくはずである。

半開放系の性質をもつ N については大気中に起源をもつ N 成分がある程度土壌層中の現存量に加わるため、かならずしも幹に蓄積された量だけ減少するとは限らないが、他の 4 要素はいずれも閉鎖型に属するため、ほぼ正確にこの量だけ A₀ 層と土壌層より減少していくはずである。この量をみるために最近 1 年間の幹乾重の増加分にそれぞれの養分要素の含有率を乗じて、この 1 年

Table 11. Amount of nutrients of current annual uptake in stem.
(kg/ha)

Stand	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
I	11.86	12.40	8.66	28.16	4.68
II	9.38	11.13	7.49	19.74	3.29

間に幹に吸収され保持された量を算出し、Table 11 に示した。本調査林分ではこの量に相当する養分量が最近 1 年間に土壌層より減少したと考えられる。

Table 12. Amount of available nutrients in A₀ layer and soil compared with amount of current annual uptake in stem.
(Amount in A₀ layer and soil to 100 cm depth/Amount of current annual uptake in stem)

Stand	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
I	488	21	53	25	157
II	611	30	90	40	172

このような土壌中の養分の消費の速さをみるために、土壌層中養分現存量を幹に吸収され、保持された量で除した値を算出し、Table 12 に示した。この値は今後この年間吸収量で各養分が幹に蓄積されていった場合、

現在の可給態養分が今後何年で吸収、消費されるかを示している。Table 12 より明らかなように N や Mg はかなり余裕があるよ

うに思われるが、Pでは僅か20~30年、Kは50~90年、Caは25~40年程度しかなく、今後これらの要素が不足をきたす可能性が大きいように思われる。勿論、長い年月にはTable 9に示した可給態養分の5倍から数十倍の現存量を有する熱塩酸可溶成分が徐々に可給態化するため、からなずしもこの年月でこれら要素がなくなるとは思われませんが、すでに述べたような高い林分生産力を今後も持続できるかどうかかなり疑問であると思われる。

あ と が き

物質生産機構の解析という方法によって、若い外国産マツ林に引続き数少ないテーダマツ壮令林の特性を検討してきたが、テーダマツやスラッシュマツの生産力の高さと物質循環の速さは研究計画の段階での予想をはるかに上回るものであった。はじめにものべたように、これらは今後わが国における有望造林樹種の一つとなる可能性は大きいですが、まだ導入されてから歴史が浅く、まつくい虫などには抵抗性があるとしても、これが大面積に育成された場合は予期できない生物害をうける危険が全くないとはいえず、また利用面における問題も未解決である。

さらに造林樹種としての良否を論ずるのは本研究の主目的ではない。ここではわが国のアカマツやクロマツを含めたマツ属を材料として、物質生産のからくりを解き明し、生産技術に確かな理論的基礎を与えようとしたものである。これまでの一連の研究の結果、マツ属各種の幹形特性、生長要因、養分要素の循環機構などに明らかな特徴が認められたが、林分構成に関する変量数が少なく、なお多くの問題を残している。これらの点については今後の試験調査に期待したい。

文 献

- 1) 赤井龍男・古野東洲・上田晋之助・佐野宗一：テーダマツ幼令林の物質生産機構，京大演報，**40**，26~49，(1968)
- 2) 赤井龍男・上田晋之助・古野東洲：スラッシュマツ幼令林の物質生産機構，京大演報，**41**，56~79，(1970)
- 3) 赤井龍男・上田晋之助・古野東洲：ストローブマツ幼令林の物質生産機構，京大演報，**42**，143~162，(1971)
- 4) 林野庁：外国樹種造林地の所在調査(1965)
- 5) 湯浅保雄・伊藤悦夫：若いテーダマツ林の生産力，78 回日林講，115~117，(1967)
- 6) 石川健康：外国樹種の造林環境(1964)
- 7) 赤井龍男・古野東洲：テーダマツ幼令林の落葉量と被食量について，京大演報，**42**，83~95，(1971)
- 8) Tadaki, Y.: Some Discussions on the Leaf Biomass of Forest stands and Trees, Bull. Gov. For. Exp. Stat. Jap., **184**, 135~161, (1966)
- 9) 四手井綱英：立山付近に分布するハイマツの物質生産について，日林誌，**45**，169~173，(1963)
- 10) 川那辺三郎・四手井綱英・岩坪五郎：パキスタンマツ林とアカマツ林の物質生産について，72 回日林講，242~244，(1962)
- 11) 只木良也・香川照雄：森林の生産構造に関する研究 (XIII) コジイほか2,3の常緑樹林における落葉枝量の季節変化，日林誌，**50**，7~13，(1968)
- 12) Metz, L. J.: Weight and Nitrogen and Calcium content of the Annual Litter Fall of Forests in the South Carolina Piedmont, Proc. Soil Sci. Soc. Amer., **16**, 38~41, (1952)
- 13) 只木良也・四手井綱英：数量間伐に関する生態学的研究，京大演報，**34**，1~31，(1963)
- 14) 安藤 貴：同令単純林の管理密度に関する生態学的研究，林試研報，**210**，1~153，(1968)
- 15) 四手井綱英編：アカマツ林の造成，地球出版，(1963)
- 16) 林野庁編：民有林野土壌調査方法，(1952)
- 17) White, D. P.: Variation in the nitrogen, phosphorous and potassium content of pine needles with season, crown position and sample treatment. Proc. soil Sci. Soc. Amer., **18**, 326~330, (1954)

- 18) Hoyle, M. C., D. L. Mader: Relationships of foliar nutrients to growth of Red pine in Western Massachusetts. *Forest Sci.* **10**, 337~347. (1964)

Résumé

In a series of studies on the productivity of man made exotic pine stands in Japan, some important mechanisms in matter production were investigated in a 34-year-old Loblolly pine (*Pinus taeda*) stand planted in the Nishikihara national forest (Kumamoto Pref.). Emphasis on the biomass of the upper ground parts, productivity of stem, production structure, soil conditions and the circulation of nutrients within the ecosystem are discussed in this paper.

This stand is situated about 200 meter above the sea-level and a gentle slope facing the west. Measurements taken in October, 1970, of stand density, mean diameter breast height, mean height and basal area of sample plots are shown in Table 1.

The biomass of the upper ground parts per stand was estimated by the method of allometric relation between each parts and D^2H or D^2 (D ; diameter breast height, H ; tree height). Sample trees of various sizes were cut down at the base, and the stem, branches and needles of each tree were separately weighed using the stratified clip technique. The fresh weight data were converted into oven-dry weights, and the volume of stem was measured by stem analysis. The allometric relations of the volume (V , cm^3) and the dry weight (w_s , kg) of stem to D^2H (D , cm , H , m) closely fitted in a linear relation shown in the logarithm (Fig. 1). These regression formulas were found as follows:

$$\log V = 0.9439 \log (D^2H) + 1.7692$$

$$\log w_s = 0.9952 \log (D^2H) - 1.7715$$

The above formula can provisionally apply to the standing stem volume-table of Loblolly pine in Japan.

The stem volume per hectare was estimated at about 320 m^3 on the average of sample stands, and the dry weight of stems at about 160 tons, living branches at about 21 tons, dead branches at about 7 tons, foliage at about 9 tons and cones at about 0.4 tons respectively (Table 2). The biomass of stems and foliage tended to be markedly larger in value than those of Japanese Red pine or Black pine forest having similar stand composition. However this foliage biomass was smaller by about 30% than the value of young Loblolly pine stand in Shirahama Experimental Station of Kyoto University Forest (Wakayama Pref.). As a result of seasonal changes of needle-fall amounts in young Loblolly pine stand as reported, the amount of foliage measured before the defoliation of needles of the previous year was presumed to be the largest of all seasons.

The current annual increment of stem volume was estimated at about 14 m^3 (7.4 tons in dry weight)/ha. And its production seemed to be remarkably larger than pine forest of other species in Japan, but its increment was smaller by about 50% than a young Loblolly pine stand in Shirahama.

As regards the vertical distribution of foliage, it seemed that the Loblolly pine stand was the herb-type whose foliage appeared mainly in the upper strata of the crown as shown by a production structure diagram (Fig. 8). The average light intensity under the crown of sample plot showed 24.1% of full daylight, and the rate over 20% of relative light intensity accounted for about 30% of the whole. The ground flora in the stands was rich and was estimated at about 4 tons/ha.

The oven dry weight of the A_0 layer (consisting of litter, raw humus and humus) in the sample plots was estimated at about 18 ton/ha, the average decomposition rate of the A_0 layer was accounted at about 25%, so it seemed that the decomposition rate of A_0 layer in the Loblolly pine stand was higher than that of the Japanese Red pine stand (Table 3).

The characters of soil profile in the sample plots are shown in Table 4. The parent rock of the soil was composed of sand stone, shale and conglomerata, and the depth of soil layer was about 100 cm. It was presumed that the permeability of water and air in soil was suitable for growth of trees.

The concentration of carbon and nitrogen in the soil were higher than those of other exotic pine stand in Japan, but the available phosphorous concentration was remarkably small (Table 5, 6).

The concentration of nitrogen in the stem of the thrifty Loblolly pine stands was lower than the young stands in Shirahama, on the contrary the calcium concentration was higher (Table 7).

The amounts of total nitrogen in the forest ecosystem consisting of the upper ground parts (ground flora included) and the soil to 100 cm depth (A_0 layer included) was estimated at about 6,200 kg/ha, and as the amounts in soil was calculated by available forms, P_2O_5 at about 630 kg/ha, K_2O at about 890 kg/ha, CaO at about 1,410 kg/ha and MgO at about 790 kg/ha respectively (Table 8, 9). The amounts of each nutrient were found in abundance generally. The average decomposition rates of each nutritive element were higher in Loblolly pine stand than those of other species pine stand in Japan (Table 10). Although a part of those nutrients accumulate annually in the stem, the amounts of nitrogen and magnesium in the soil remain at over about 200 times the annual up take, and potassium at about 70 times, but phosphorous and calcium at only about 30 times (Table 12). Judging from the circulation of nutrients, it seems that phosphorous and calcium quantities in the ecosystem were not sufficient for the continuation of present growth.