

## 馬尾松林根系発達過程の量的解析

陳 学群\*<sup>1</sup>・千葉幸弘\*<sup>2</sup>・益守眞也\*<sup>1</sup>  
桜井尚武\*<sup>2</sup>・八木久義\*<sup>1</sup>

### A Quantitative Analysis on the Root System Structure of *Pinus massoniana* Plantation

Xuequn CHEN\*<sup>1</sup>, Yukihiro CHIBA\*<sup>2</sup>, Masaya MASUMORI\*<sup>1</sup>,  
Shobu SAKURAI\*<sup>2</sup> and Hisayoshi YAGI\*<sup>1</sup>

#### I. はじめに

馬尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.: タイワンアカマツ) は中国の北緯 23°~32°の地域に広く分布している (中国樹木誌編集委員会, 1981)。荒廃地の緑化を主目的とした「荒山」造林が 1960 年代から始められ, 馬尾松が広く植栽された。その後, 材積成長の旺盛なことが確認されて, 建築用材, 燃料材などの用途も開発され, さらにパルプ材, 合板材といった工業原料としての価値も高まった。また, 馬尾松は根系の発達がよいと言われており, 水土保持などの環境保全の面からも注目されている。

馬尾松林の地上部を対象とした研究例はあるが (馮, 1982; 陳, 1992; 劉, 1999), 根系は, 土壌中に生育するために直接観察することが容易ではなく, また, 根を掘り取る作業に多大な労力を要し, 根を傷めずに採取することが困難であることなどの理由から, 研究例がない。しかし, 樹木の根は, 水や養分の吸収, 樹体支持などの重要な役割を持つ器官であり, 樹木の根に関する研究は, 森林を育成・管理する上で, また環境保全の視点からも重要である。

本研究では, 生育段階の異なる馬尾松林について根系の掘り取り調査を行い, 根量密度の径級分布, 垂直分布の様式を解析した。

#### II. 調査林分および調査方法

##### 1. 調査林分の概況

中国東南部の福建省南平地域 (北緯 26°15'~28°21', 東経 117°~119°17') に造成された 10, 20, 30, 38 年生の馬尾松人工植栽地 4 林分を調査地とした。いずれも平均斜度 21~25 度の斜面上にあり, 標高は 170~320 m である。土壌は花崗岩, 玄武岩を母材としており, 中国の土壌分類によると 38 年生の林分が紅壤亜類の中性紅壤土属, 10, 20, 30 年生の林分が紅壤亜類の酸性紅壤土属 (いずれも日本林野土壌の分類体系の  $R_D$  型に近い) に属する。下層植生はササ, ブナ科の常緑広葉樹が優占している。

\*<sup>1</sup> 東京大学大学院農学生命科学研究科

\*<sup>1</sup> Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, Tokyo 113-8657, Japan

\*<sup>2</sup> 森林総合研究所

\*<sup>2</sup> Forestry and Forest Products Research Institute, Tsukuba 305-8687, Japan

表-1 調査林分の概況  
Table 1. Studied stand conditions.

プロット	林齢 (年)	調査本数 (本/400 m <sup>2</sup> )	平均胸高直径 (cm)	平均樹高 (m)	平均上層木樹高 (m)	平均生枝下高 (m)	収量比数
1	10	124	8.3	7.1	8.3	1.9	0.63
2	20	92	12.3	14.9	16.2	7.4	0.89
3	30	63	16.0	19.3	20.7	11.8	0.90
4	38	48	18.8	21.5	22.9	15.2	0.87

表-2 標本木の諸元  
Table 2. Sizes of the sample tree.

林齢 (年)	個体番号	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	生枝下高 (m)	生枝下高直径 (cm)	地際直径 (cm)
10	1	5.4	5.6	2.0	3.0	6.5
	2	6.8	6.4	1.9	4.5	8.2
	3	7.6	6.5	1.8	4.2	9.2
	4	8.3	7.0	1.9	6.2	10.0
	5	10.4	7.9	1.8	5.5	12.5
	6	12.2	8.3	1.9	8.3	14.2
	7	13.7	8.3	1.8	10.0	16.5
20	8	8.5	13.2	7.7	4.0	11.2
	9	10.2	13.6	7.7	3.9	12.6
	10	11.3	13.7	7.7	5.0	14.2
	11	12.2	14.8	7.6	8.5	14.3
	12	14.7	15.9	7.1	8.5	18.9
	13	17.2	16.5	7.1	9.8	19.0
	14	18.7	16.3	6.8	12.2	20.6
30	15	11.2	16.2	12.4	5.2	14.3
	16	12.5	17.9	12.3	4.2	15.2
	17	13.7	18.4	12.5	4.1	16.2
	18	16.2	19.1	11.9	9.0	19.4
	19	18.7	20.9	11.3	10.6	22.3
	20	21.3	20.8	11.3	10.7	24.9
	21	24.2	21.5	11.0	16.4	26.5
38	22	13.2	18.3	15.7	5.2	16.8
	23	14.9	20.8	15.7	5.1	17.2
	24	16.4	20.6	15.6	5.9	19.3
	25	18.9	21.7	15.7	10.4	22.7
	26	22.3	22.0	14.5	13.6	25.0
	27	26.3	23.5	14.6	11.7	29.5
	28	28.1	23.6	14.4	19.9	31.5

約 15~20 km 離れた南平市測候所での気象観測によれば、年平均気温 19.4℃、平均年降雨量 1800 mm、平均相対湿度 80% であり、当地域は亜熱帯の気候帯に属する。

調査林分はそれぞれ 1991, 1981, 1971, 1963 年に造成され、植栽密度がいずれも 3333本/ha (1.5 m×2.0 m) であった。現在まで間伐は行われていない。2000 年 11 月にそれぞれの林分で 20 m×20 m のプロットを設け、プロット内すべての植栽木の胸高直径 ( $D_{1.3}$ ) と樹高 ( $H$ ) を記録

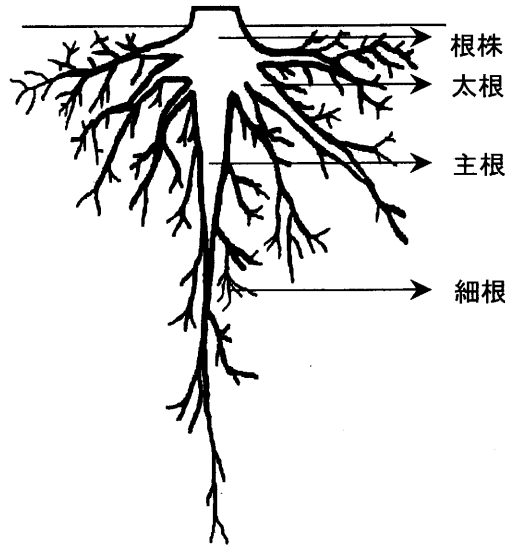


図-1 馬尾松根系の模式図

Fig. 1. Diagram of *Pinus massoniana* root system.

した。2000年11月時点での、10、20、30、38年生の林分平均胸高直径はそれぞれ8.3、12.3、16.0、18.8 cm、平均樹高はそれぞれ7.1、14.9、19.3、21.5 mであった(表-1)。10、20、30、38年生の立木密度は、それぞれ3100、2300、1575、1200本/haで、福建省の馬尾松人工林の密度管理図(陳, 2000)によれば、収量比数はそれぞれ0.63、0.89、0.90、0.87であった。10年生の林分は中庸仕立の林であるが、20、30、38年生の林分はいずれも密仕立の林といえる。

真辺(1974)の方法に従って算出した林分上層木樹高は10、20、30、38年生で、それぞれ8.3、16.2、20.7、22.9 mであった。福建省の馬尾松人工林の地位指数(陳, 2000)によれば、本調査地の地位指数はいずれも16である。

## 2. 調査方法

2000年11月に胸高直径、樹高の毎木調査を行なったのち、胸高直径の分布に応じて各プロットで7本の標準木を伐倒した(表-2)。伐倒した標準木の樹高、枝張り、生枝下高( $H_B$ )、生枝下高直径( $D_B$ )、地際直径( $D_0$ )などを記録したのち、層別刈取法(MONSIら, 1953)により、厚さ1.0 mの階層ごとの幹、枝、葉の現存量を測定した。枝については、当年枝、1年生枝、2年生枝以上に区分して測定した。生育休止期の馬尾松の葉は当年葉と一年生葉から構成されており、それぞれに分別して現存量を測定した。また、幹については樹幹解析法によって材積を求めた。

伐倒した標準木の樹冠投影面の根系を掘り上げ根の現存量を測定した。樹冠投影面より外に出ている標準木の根もあったが、標準木の樹冠が隣接する個体の樹冠と接している鬱閉した林分であることから、周囲にでている根量と入っている根量と同じであると仮定し、樹冠下にある根がすべて標準木の根として現存量を算出した。掘り上げに際しては、できる限り根を切らないように注意し、切れた根は別に掘り取って全体の構造を再現するように努めた。

地表から深さ10 cmごとの階層に区分し、それぞれの階層に含まれる根を荏住(1979)の直径

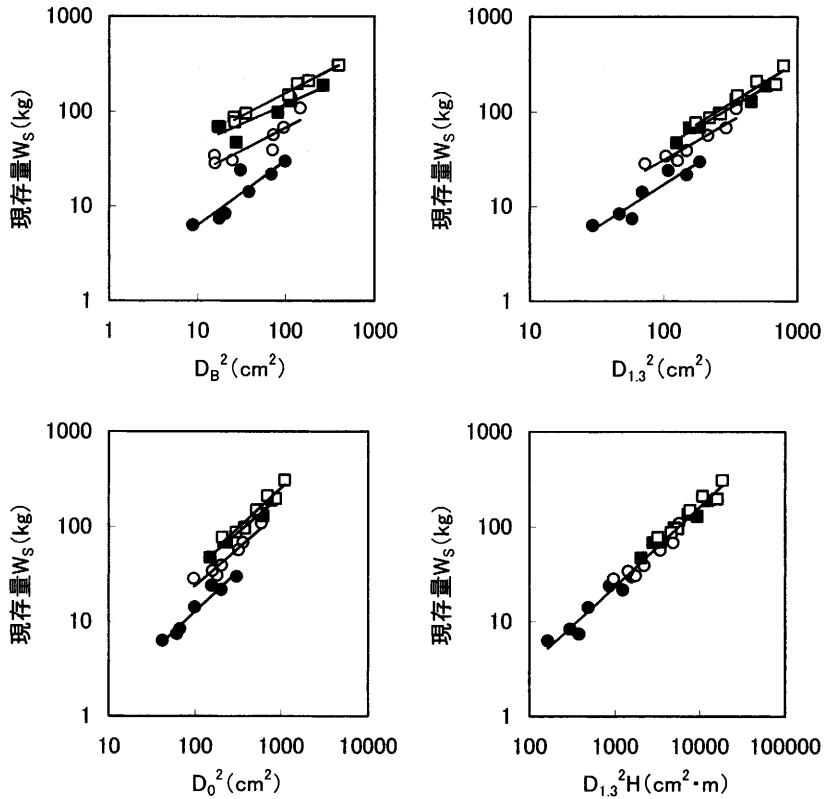


図-2 幹現存量の相対成長

Fig. 2. Allometry of stem biomass.

●: 10年生, ○: 20年生, ■: 30年生, □: 38年生

 $D_B$ : 生枝下高直径,  $D_{1.3}$ : 胸高直径,  $D_0$ : 地際直径,  $H$ : 樹高

分類法に従い、根株（分岐した根系に区分できない塊状部分）、大径根（直径  $d \geq 20$  mm）、中径根（ $20 \text{ mm} > d \geq 2$  mm）、細根（ $d < 2$  mm）に分け、それぞれの現存量を測定した。なお、本稿では直径  $d \geq 2$  mm の根をまとめて太根と記す。

馬尾松の根系は垂下根が明瞭である（図-1）。根系の中で分布が一番深く、直径が一番太い根を選び、その最下端と根系の基部（地際）を結ぶ一本の根を「主根」と呼ぶことにする。主根を 10 cm ごとに切断し、それぞれの乾重を測定した。

各プロット 3 本の標準木については、すべての根を長さ 10 cm の短材に切断し、各短材の中央直径 ( $D_m$ ) を測定した。短材を直径 10 mm ごとの階層に区分し、各階層の短材本数（頻度  $F_m$ ）を求めた（表-6）。

測定した幹、枝、葉、根の各部分から得た試料を一昼夜 85°C で乾燥し、生重と絶乾重の比を求め、現地で得た採取時重を絶乾重に換算した。なお、本論文では、重量データをすべて絶乾重で示す。

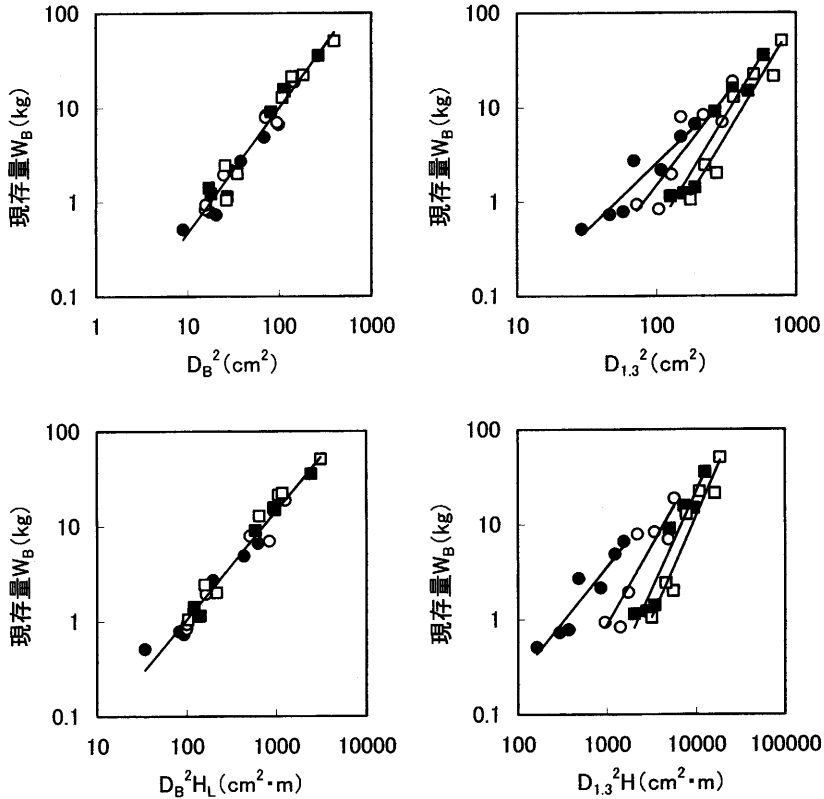


図-3 枝現存量の相対成長

Fig. 3. Allometry of branch biomass.

●: 10年生, ○: 20年生, ■: 30年生, □: 38年生  
 $D_B$ : 生枝下高直径,  $D_{1.3}$ : 胸高直径,  $H_L$ : 樹冠長,  $H$ : 樹高

### III. 結果と考察

#### 1. 器官別現存量の相対成長関係

生育段階の異なる馬尾松林の器官別現存量の相対成長関係を図-2～図-5と表-3に示す。

幹量 ( $w_s$ ) と胸高直径の二乗 ( $D_{1.3}^2$ ) との関係は林分ごとに成立するが、林齢の違う林分では林分分離の現象が見られた。 $D_{1.3}^2$ のかわりに胸高直径の二乗に樹高を乗じたもの ( $D_{1.3}^2 H$ ) を用いると、林分分離が解消された。この結果は四大学および信大合同調査班 (1966), KIRA *et al.* (1967) が報告したスギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) の傾向と一致している。馬尾松林の幹量 ( $w_s$ ) の推定には、胸高直径の二乗 ( $D_{1.3}^2$ ) よりも胸高直径の二乗に樹高を乗じたもの ( $D_{1.3}^2 H$ ) の方が優れているといえる。

枝量 ( $w_B$ ) も  $D_{1.3}^2$  との関係は林分ごとに成立するが、林分分離は大きく、 $D_{1.3}^2$  のかわりに  $D_{1.3}^2 H$  を用いても解消されない。 $D_{1.3}^2$  のかわりに生枝下高直径の二乗 ( $D_B^2$ ) に樹冠長 ( $H_L = H - H_B$ ) 乗じたもの ( $D_B^2 H_L$ ) を用いると、 $w_B$  と  $D_B^2 H_L$  との関係は完全に一本の直線で表すことができ、林分分離はしない。 $D_B^2$  を用いてもほぼ同じ結果が得られた。SHINOZAKI *et al.* (1964a, b) の樹形パイプモデ

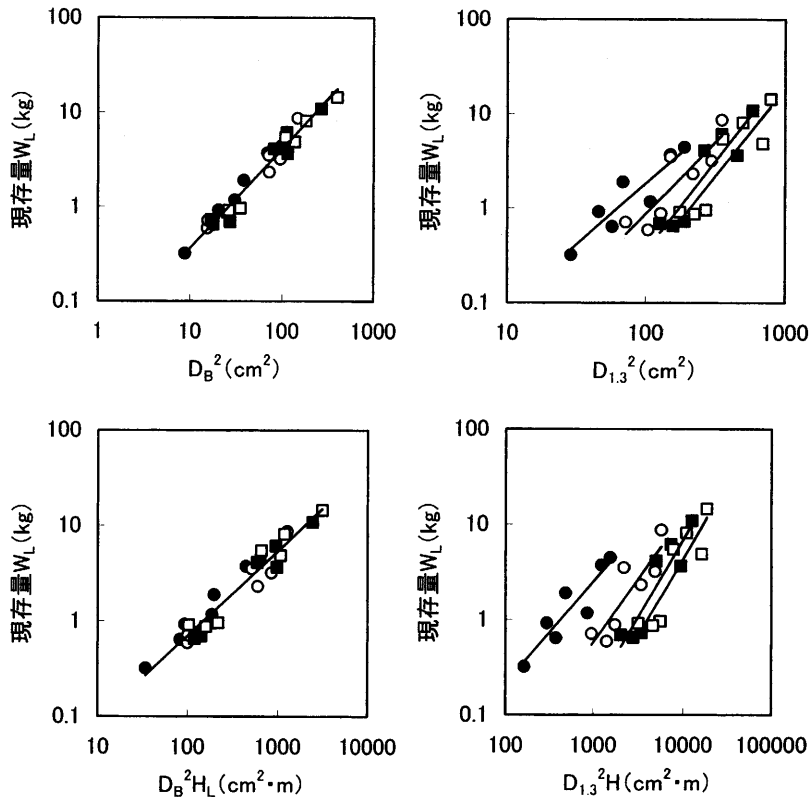


図-4 葉現存量の相対成長

Fig. 4. Allometry of leaf biomass.

●: 10年生, ○: 20年生, ■: 30年生, □: 38年生

 $D_B$ : 生枝下高直径,  $D_{1.3}$ : 胸高直径,  $H_L$ : 樹冠長,  $H$ : 樹高

ルによれば,  $w_B$  は  $D_B^2$  の値と密接な関係を持っている。

葉量 ( $w_L$ ) は,  $D_{1.3}^2$  との相対成長関係が林分分離したが,  $D_B^2$  を用いると林分の差が全くなくなり, 一本の直線で表すことができる。この結果は吉良 (1965) が報告したウダイカンバ (*Betula maximowicziana* Regel) の傾向と一致している。SHINOZAKI *et al.* (1964a, b) の樹形パイプモデルによれば, ある量の葉を支えるために, それに比例した太さの幹が必要である。これらの結果はいずれの林齢においても馬尾松の地上部はパイプモデルに当てはまる構造を持っていることを示唆している。

根量 ( $w_R$ ) は,  $D_{1.3}^2$  との間に決定係数の大きい相対成長関係が成り立ち, しかもその相対成長係数  $h$  が 1 に極めて近い。この結果は山田ら (1968) が報告したスギの傾向と一致している。また, この関係は斎藤ら (1967) や KIRA *et al.* (1968) も認めている。 $D_{1.3}^2$  の他, 地際直径の二乗 ( $D_0^2$ ) も  $D_{1.3}^2 H$  より決定係数の大きい相対成長関係が見出された。山田ら (1968) は照葉樹林の根量について詳細な研究を行い, 根量と  $D_{1.3}^2 H$  の間に, かなり良い単純相対成長関係が成り立つと述べている。高木の樹高, 生枝下高, 生枝下高直径を立木のままで正確に測定するのは困難であるが, 馬尾松の場合, 毎木調査によって測定できる胸高直径あるいは地際直径から根系の現存量や成長を

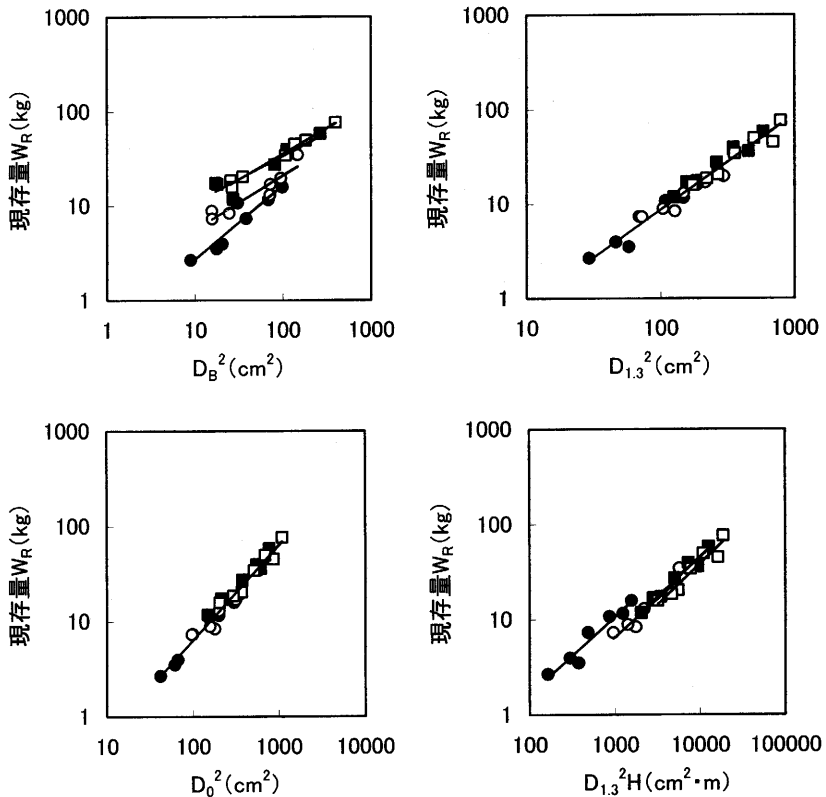


図-5 根現存量の相対成長

Fig. 5. Allometry of root biomass.

●: 10年生, ○: 20年生, ■: 30年生, □: 38年生  
 $D_B$ : 生枝下高直径,  $D_{1.3}$ : 胸高直径,  $D_0$ : 地際直径,  $H$ : 樹高

精度よく推定できることが示された。また、 $D_{1.3}^2$ や $D_0^2$ との相対成長係数  $h$  が1に近いことは、幹の断面積と根量とが、ほぼ単純な比例関係にあることを意味している。

この結果は地上部の幹枝構造について提唱された単純パイプモデル (SHINOZAKI *et al.*, 1964a) が馬尾松の根系についても当てはまることを示している。

## 2. 根現存量

林齢の異なる馬尾松林の現存量を表-4に示す。10, 20, 30, 38年生の地上部と地下部の現存量はそれぞれ、47, 114, 160, 179 t/ha と 12, 29, 39, 42 t/ha で、地上部、地下部とも現存量は林齢に伴って増加していた。地上部と地下部の現存量比 ( $T/R$  比) は 3.85~4.25 で、林齢が高いほど大きくなる傾向がみられた。この値は KARIZUMI (1974) が報告したアカマツ (*P. densiflora* Sieb. et Zucc.) の  $T/R$  比 3.9~4.4 の値とほぼ一致している。

直径サイズ別の根現存量は、10年生の林分で根株>中径根>大径根>細根の順であるが、20, 30, 38年生の林分で根株>大径根>中径根>細根の順であった。林齢が高いほど、太根現存量が大きく、細根現存量は小さかった。10年生の林分細根現存量は 1.30 t/ha で、それぞれ20年生

表-3 馬尾松林各器官現存量の相対成長関係  
Table 3. Allometry of biomass of *Pinus massoniana*.

器官	相対成長式	係 数		決定係数
		A	h	
幹	$W_s = A(D_B^2)^h$	2.6676	0.7650	0.5268
	$W_s = A(D_{1.3}^2)^h$	0.0978	1.2063	0.9111
	$W_s = A(D_0^2)^h$	0.0787	1.1763	0.8978
	$W_s = A(D_B^2 H_L)^h$	1.0755	0.6754	0.5656
	$W_s = A(D_{1.3}^2 H)^h$	0.0737	0.8350	0.9738
枝	$W_B = A(D_B^2)^h$	0.0221	1.3288	0.9582
	$W_B = A(D_{1.3}^2)^h$	0.0024	1.4244	0.7659
	$W_B = A(D_0^2)^h$	0.0015	1.4300	0.7999
	$W_B = A(D_B^2 H_L)^h$	0.0118	0.8882	0.9408
	$W_B = A(D_{1.3}^2 H)^h$	0.0042	0.8702	0.6377
葉	$W_L = A(D_B^2)^h$	0.0321	1.0548	0.9632
	$W_L = A(D_{1.3}^2)^h$	0.0095	1.0254	0.6331
	$W_L = A(D_0^2)^h$	0.0063	1.0392	0.6738
	$W_L = A(D_B^2 H_L)^h$	0.0055	1.1390	0.9700
	$W_L = A(D_{1.3}^2 H)^h$	0.0172	0.6037	0.4895
根	$W_R = A(D_B^2)^h$	0.9401	0.7277	0.7204
	$W_R = A(D_{1.3}^2)^h$	0.0840	1.0081	0.9617
	$W_R = A(D_0^2)^h$	0.0662	0.9932	0.9673
	$W_R = A(D_B^2 H_L)^h$	0.4148	0.6346	0.7546
	$W_R = A(D_{1.3}^2 H)^h$	0.0846	0.6670	0.9390

注:  $D_B$ : 生枝下高直径,  $D_{1.3}$ : 胸高直径,  $D_0$ : 地際直径,  $H_L$ : 樹冠長,  $H$ : 樹高

表-4 林齢別の馬尾松林の現存量  
Table 4. Biomass of *Pinus massoniana* stands with various stand ages.

林齢 (年)	地上部 (t/ha)				地下部 (t/ha)					全体 (t/ha)	T/R 比
	幹	枝	葉	全体	太根			細根	全体		
					根株	大径根	中径根				
10	36.74 (61.89)	6.06 (10.21)	4.33 (7.29)	47.13 (79.39)	3.97 (6.69)	3.37 (5.68)	3.59 (6.04)	1.30 (2.19)	12.23 (20.60)	59.36 (100)	3.85
20	96.40 (67.60)	12.02 ( 8.43)	5.25 (3.68)	113.67 (79.71)	11.79 (8.27)	10.05 (7.05)	6.22 (4.36)	0.88 (0.62)	28.94 (20.30)	142.61 (100)	3.93
30	139.92 (70.23)	14.98 ( 7.52)	5.10 (2.56)	160.00 (80.31)	16.78 (8.42)	15.44 (7.75)	6.33 (3.18)	0.69 (0.35)	39.24 (19.70)	199.24 (100)	4.07
38	158.48 (71.52)	15.88 ( 7.17)	5.03 (2.27)	179.39 (80.96)	18.91 (8.53)	17.79 (8.03)	4.88 (2.20)	0.61 (0.28)	42.19 (19.04)	221.58 (100)	4.25

注: 括弧内の数値は全体に対する百分率

0.88 t/ha の 1.5 倍, 30 年生 0.69 t/ha の 1.9 倍, 38 年生 0.61 t/ha の 2.1 倍であった。これらの値は菊住 (1974) が報告したアカマツの細根量 ( $d < 2$  mm) 0.4~0.9 t/ha, カラマツ (*Larix leptolepis* Gordon) の 0.2~0.6 t/ha の値よりやや大きく, スギの 0.8~1.7 t/ha, ヒノキ (*Chamae-*



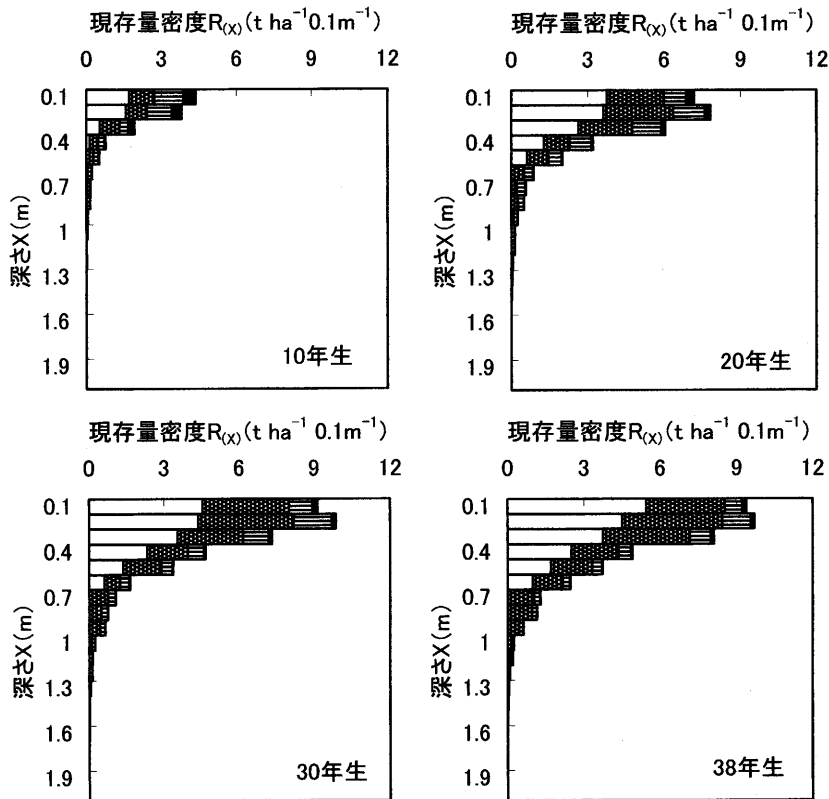


図-6 根の垂直分布

Fig. 6. Vertical distribution of root system.

□: 根株, ▨: 大径根, ▤: 中径根, ■: 細根

*cyparis obtusa* Endl.) の  $0.6\sim 1.5\ t/ha$  の値よりやや小さい。

根系総量に対する直径サイズ別の根現存量配分も、10年生の林分で根株>中径根>大径根>細根の順であるが、20、30、38年生の林分でそれぞれ根株>大径根>中径根>細根の順であった。林齢が高いほど、中径根、細根に比し根株、大径根の割合が増加していた。特に細根の割合は10年生の林分が10.63%で、20年生3.04%の3.5倍、30年生1.76%の6.0倍、38年生1.45%の7.3倍であった。

### 3. 根系の垂直分布

林齢の異なる馬尾松林の根現存量密度の垂直的变化を図-6に示す。根の直径サイズ別にみると、10、20、30、38年生の林分で根株がそれぞれ40、50、50、50 cmまで、大径根がそれぞれ80、90、100、100 cmまで、中径根と細根がそれぞれ130、160、170、170 cmまで分布していた。苜住(1975)の根系形態の分類によれば、馬尾松林は深根性樹種といえるが、いずれの林齢においても根現存量の割合の75%以上は深さ0~40 cmの土壤層に存在しており、根現存量の大部分が土壌の浅いところに存在することが明らかになった。この結果は苜住(1974)が報告した多くの日本樹種と一致している。直径サイズ別にみると、深さ0~40 cmの土壤層に存在する根株、大

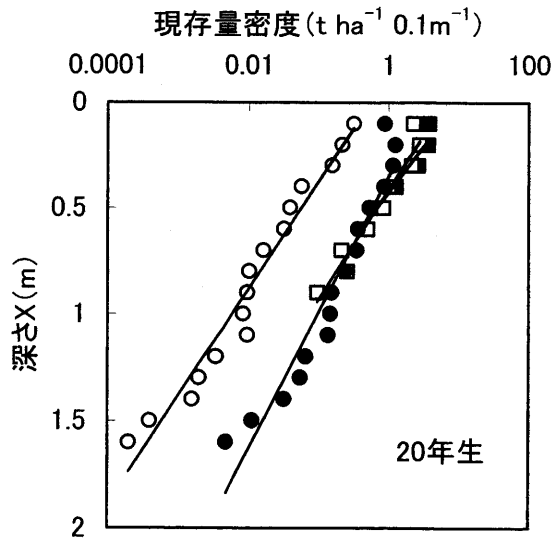


図-7 根量密度の垂直分布

Fig. 7. Vertical distribution of root density.

■: 根株, □: 大径根, ●: 中径根, ○: 細根

表-5 根系直径サイズ別垂直分布の定数  $R_0$  および  $q$ Table 5. Constant  $R_0$  and  $q$  for vertical distribution of root of each diameter class.

林齢 (年)	定数	根株	大径根	中径根	細根
10	$R_0$	5.92	3.03	1.58	1.18
	$q$	-8.76	-6.01	-3.71	-6.45
20	$R_0$	7.92	5.48	2.81	0.46
	$q$	-4.68	-4.19	-3.34	-4.38
30	$R_0$	9.18	7.00	2.57	0.32
	$q$	-3.99	-3.57	-3.11	-3.99
38	$R_0$	8.87	7.81	1.71	0.28
	$q$	-3.40	-3.41	-2.82	-3.96

径根, 中径根, 細根の割合は, 10年生の林分がそれぞれ 100%, 88%, 78%, 93%, 20年生の林分がそれぞれ 96%, 81%, 67%, 85%, 30年生の林分がそれぞれ 88%, 75%, 66%, 84%, 38年生の林分がそれぞれ 84%, 69%, 64%, 84% であった。いずれの林齢においても特に細根が, より浅い土壌層に存在することが示された。

いずれの林齢でも根株と細根の現存量密度が最大値を示す層は 10~20 cm にあるが, 大径根と中径根の現存量密度が最大値を示す層は 10年生の林分で 0~10 cm, 20, 30, 38年生の林分で 10~20 cm にあった。深さと根現存量密度との間には片対数グラフ上で (1) 式で表される直線関係が得られた (図-7)。

$$R_{(x)} = R_0 e^{qx}$$

(1)

ここで  $x$  は地表面からの深さ,  $R_{(x)}$  は根現存量密度,  $R_0$  と  $q$  は定数である。

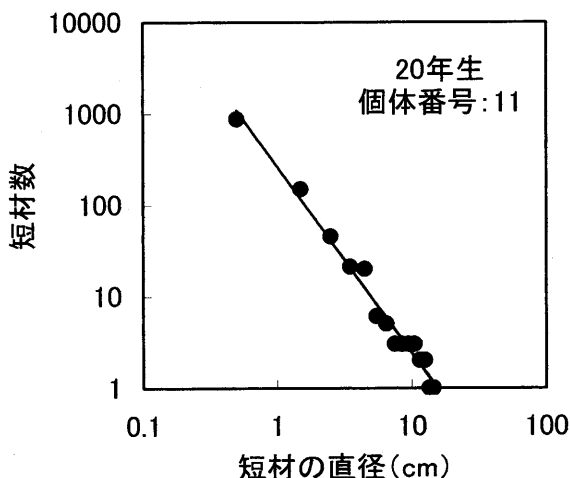


図-8 根の直径の頻度分布  
Fig. 8. Histogram of root diameter.

表-6 単木ごとの根系直径頻度分布の定数  $F_0$  および  $b$   
Table 6. Constant  $F_0$  and  $b$  for frequency distribution of root diameter of the sample tree.

林齢 (年)	個体番号	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	定数 $F_0$	定数 $b$
10	2	6.8	6.4	95.55	-2.09
	4	8.3	7.0	164.29	-2.21
	6	12.2	8.3	237.07	-2.08
20	9	10.2	13.6	170.62	-2.11
	11	12.2	14.8	264.86	-2.04
	13	17.2	16.5	382.89	-2.02
30	16	12.5	17.9	190.82	-1.97
	18	16.2	19.1	566.66	-2.09
	20	21.3	20.8	696.36	-1.86
38	23	14.9	20.6	276.02	-2.07
	25	18.9	21.7	617.45	-2.09
	27	26.3	23.5	929.68	-1.99

最小二乗法によって定数  $R_0$  と  $q$  を求めた (表-5)。いずれの直径サイズにおいても定数  $q$  は林齢が高いほど小さかった。このことは若い林分の根系は地表近くに偏って分布しているが、林齢が高いほどその偏りが減少し深くまで根系を発達させていることを示している。

#### 4. 根系直径の頻度分布

10 cm 長に切断した根の短材の直径階ごとの頻度分布を図-8 に例示する。直径  $D_{(n)}$  とその頻度  $F_{(n)}$  との間には (3) 式で表される巾乗関係が成り立った。

$$F_{(n)} = F_0 D_{(n)}^b \quad (3)$$

または,

$$\ln F_{(n)} = b \ln D_{(n)} + \ln F_0 \quad (4)$$

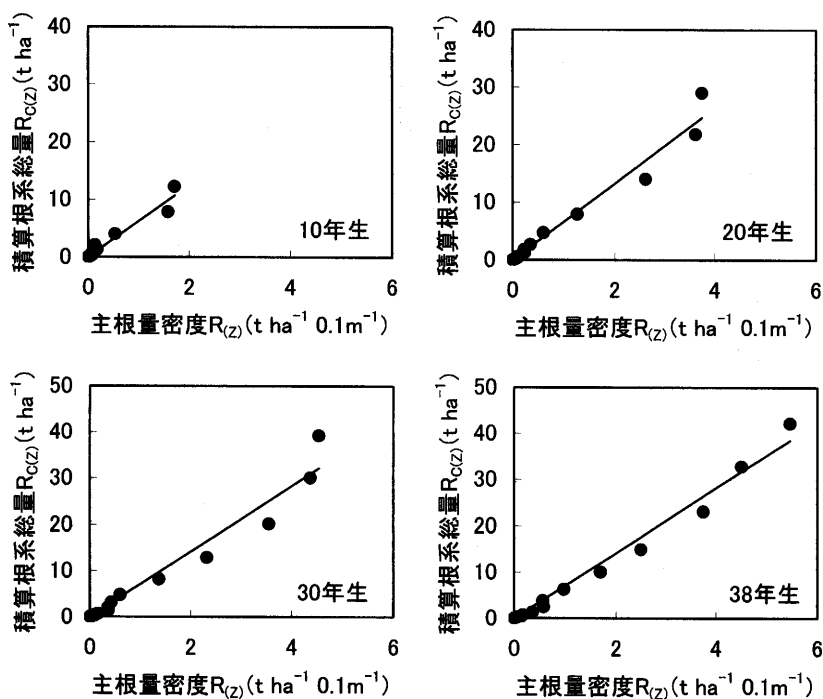


図-9 積算根系総量と主根量密度との関係

Fig. 9. Relation between cumulative total root biomass and tap root biomass.

ここで、 $F_0$  および  $b$  は定数である。

最小二乗法によって定数  $F_0$  と  $b$  を求めた (表-6)。定数  $b$  は、いずれの標本木においてもほぼ  $-2$  となった。この結果は SHINOZAKI *et al.* (1964b) や依田ら (1977) がいくつかの樹種で行なった根系調査結果と一致する。(3) 式に  $b = -2$  を代入すると、

$$F_{(n)} = F_0 D_{(n)}^{-2} \quad (5)$$

$$F_{(n)} D_{(n)}^2 = F_0 = \text{一定} \quad (6)$$

$$S_{(n)} = F_{(n)} \frac{D_{(n)}^2}{4} \pi = \frac{\pi}{4} F_0 \quad (7)$$

ここで  $S_{(n)}$  は基本断面積である。式 (7) は、基本断面積  $S_{(n)}$  が直径  $D_{(n)}$  の大小に関わらず一定になることを意味している。すなわち、いずれの直径階においても 10 cm 短材の総断面積が基本断面積  $S_{(n)}$  と一致することを示している。

この結果も SHINOZAKI *et al.* (1964b) によれば、幹枝構造についてのパイプモデル (SHINOZAKI *et al.*, 1964a) が根系構造にも適応できることを支持している。

## 5. 根量の垂直構造

根の最下端からの積算根量と深さ 10 cm ごとの土壌の階層における主根量との関係は図-9 に示されるように、(9) 式で表される原点を通る直線で近似できた。

$$Rc(z) = \int_0^z [Rs(z) + Rm(z) + Rl(z) + Rst(z)] dz \quad (8)$$

$$Rc(z) = kR(z) \quad (9)$$

ここで、 $z$  は根系最下端からの垂直距離（深さ）、 $Rs(z)$  は細根量密度、 $Rm(z)$  は中径根量密度、 $Rl(z)$  は大径根量密度、 $Rst(z)$  は根株量密度、 $Rc(z)$  は積算根総量、 $R(z)$  は主根量密度、 $k$  は比例定数である。最小二乗法によって比例定数  $k$  を求めた。10, 20, 30, 38 年生の比例定数  $k$  はそれぞれ、6.23, 6.58, 7.07, 7.05 cm で、決定係数はそれぞれ 0.95, 0.97, 0.96, 0.98 であった。いずれの林齢においても高い正の相関関係が認められた。通水器官である根系は、深さ  $z$  の主根量は  $z$  層における根量だけでなくそれより下に存在する根量に比例していることを示している。また、地際根量は地下に存在する根系総量に比例していることを示しており、根の比重を一定と仮定すれば、地際の断面積  $D_0^2$  も地下に存在する根系総量に比例していることを意味している。この結果は器官別現存量の相対関係の結果と一致している。

## 謝 辞

本研究で行った標準地調査は、中国福建省自然科学基金プロジェクトの一環として実施された。朱 配演元院長をはじめ福建省林業科学研究院研究グループの方々には多大なご協力をいただいた。心よりお礼を申し上げる。

## 要 旨

馬尾松林の根系構造を明らかにするために、林齢が異なる 4 林分の地下部の調査を行った。10, 20, 30, 38 年生の根総量はそれぞれ 12, 29, 39, 42 t/ha で、林齢が高いほど大きかった。地下部の現存量は地上部現存量の増加に対応して増加した。T/R 比は 3.85~4.25 で、林齢が高いほど大きくなる傾向がみられた。10, 20, 30, 38 年生の細根量はそれぞれ 1.30, 0.88, 0.69, 0.61 t/ha で、林齢が高いほど小さかった。細根への現存量配分も林齢が高いほど小さかった。いずれの林齢においても根量の割合の 75% 上が深さ 0~40 cm の土壤層に存在し、細根は大径根、中径根に比べてより浅い土壤層に存在することが明らかになった。いずれの直径サイズでも根現存量密度は深さにとまって指数関数的に減少していた。また、いずれの林齢においても根系はパイプモデルに当てはまる構造を持っていることが示唆され、根乾重量は  $D_{1.3}^2$  または  $D_0^2$  に比例していることがわかった。

キーワード：現存量、パイプモデル、馬尾松、根系

## 引 用 文 献

- 陳 学群・朱 配演・瀬川幸三(1994) 不同密度馬尾松林分生産構造与現存量的研究. 福建林業科技 21(2): 19-23.
- 陳 学群(2000) バビショウ人工林の密度管理に関する生産生態学的研究. 東京大学修士学位論文.
- 中国樹木誌編集委員会(1981) 中国主要樹種造林技術. 496 pp, 中国林業出版社, 北京.
- 馮 宗偉・陳 楚茵・張 家武・王 開平・越 吉禄・高 虹(1982) 湖南会同地区馬尾松林生物量的測定. 林業科学 18(2): 127-134.
- KARIZUMI, N. (1974) The mechanism and function of tree root in the process production I. Method of investigation and estimation of the root biomass. Bull. Gov. For. Exp. Stn. (Tokyo) 259: 1-99.

- 苧住 昇(1975) 樹木の根の形態と分布. 林試研報 **94**: 1-205.
- 苧住 昇(1979) 樹木根系図説. 1121 pp, 誠文堂新光社, 東京.
- 吉良竜夫(1965) 樹形パイプモデル. 北方林業 **17**(3): 5-10.
- KIRA, T. and SHIDEI, T. (1967) Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the Western Pacific. Jpn. J. Ecol. **17**: 70-87.
- KIRA, T. and OGAWA, H. (1968) Indirect estimation of root biomass increment in trees. Methods of productivity studies in root system and rhizosphere organisms. Nauka, Leningrad, 96-101.
- 劉 發茂・譚 芳林・肖 祥希・生原喜久雄(1999) 斜面位置の異なる馬尾松人工林の養分現存量. 日林誌 **81**: 120-129.
- 真辺 昭(1974) トドマツ密度管理図. 北方林業叢書 **53**: 1-69.
- MONSI, M. and SAEKI, T. (1953) Über den Lichtfaktor in den pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. Jpn. J. Bot. **14**: 22-52.
- 斎藤秀英・山田 勇・四手井網英(1967) 小径木間伐に関する研究 II. 第一回間伐1年後の林況変化について. 京大農演報 **39**: 64-78.
- SHINOZAKI, K., YODA, K., HOZUMI, K. and KIRA, T. (1964) A quantitative analysis of plant form—Pipe model theory I. Basic analysis. Jpn. J. Ecol. **14**(3): 97-105.
- SHINOZAKI, K., YODA, K., HOZUMI, K. and KIRA, T. (1964) A quantitative analysis of plant form—Pipe model theory II. Further evidences of the theory and its application in forest ecology. Jpn. J. Ecol. **14**(4): 133-139.
- 山田 勇・四手井網英(1968) スギ林の根の現存量について. 京大演報 **40**: 67-80.
- 山田 勇・苧住 昇(1968) 照葉樹林の地下部の構造に関する研究. JIBP-PT-水俣 **42**: 44-47.
- 依田恭二(1977) 森林の生態学. 331 pp, 築地書館, 東京.
- 四大学(北大, 東大, 京大, 大阪市大) および信大合同調査班(1966) 森林の生産力に関する研究. 第3報, スギ人工林の物質生産について, 林業技術協会.

(2002年2月20日受付)

(2002年9月10日受理)

### Summary

In four planted *Pinus massoniana* stands with various stand ages in Fujian Province, China, aboveground biomass, root biomass and root system structure were investigated. The root biomass of 10, 20, 30 and 38 year-old stands was estimated at 12, 29, 39 and 42 t/ha, respectively. The ratio of aboveground biomass to root biomass ranged from 3.85 in the 10 year-old stand to 4.25 in the 38 year-old stand. The biomass of fine root (diameter < 2 mm) was 1.33, 0.88, 0.69 and 0.61 t/ha in the 10, 20, 30 and 38 year-old stands, respectively, and the proportion of fine root was less in the older stand. More than three quarters of total root biomass were distributed in the soil 0-40 cm deep and the finer roots developed in surface soil. The root in every diameter class exponentially decreased in spatial density with soil depth. The total root biomass, regardless of stand age, was proportional to the square of the stem diameter at breast height or at ground, meaning that the pipe model theory of tree form is applicable to the root structure of *P. massoniana* tree.

**Key words:** biomass, pipe model, *Pinus Massoniana* root system

# A Quantitative Analysis on the Root System Structure of *Pinus massoniana* Plantation

Xuequn CHEN, Yukihiro CHIBA, Masaya MASUMORI,  
Shobu SAKURAI and Hisayoshi YAGI

In four planted *Pinus massoniana* stands with various stand ages in Fujian Province, China, aboveground biomass, root biomass and root system structure were investigated. The results of allometric analysis implied that the pipe model theory of tree form is applicable to the root structure of *P. massoniana* trees.

# A Method for Aseptic Germination of *Fraxinus mandshurica* L.

Zhaobin XING, Hailong SHEN and Yuji IDE

An effective method for *in vitro* germination of *Fraxinus mandshurica* was developed. After surface sterilization, one-third of cotyledonal side of the seed was cut and discarded. Cut seeds were laid on a solid MS medium or 1/2MS medium, containing sucrose and BAP in combination. BAP of any concentrations markedly promoted the germination for cut seeds. Sucrose concentrations and basal media did not significantly affect germination. However, the growth of germinated seedling was promoted by sucrose. Cotyledonal nodes of germinated seedlings were cultured on the same medium for germination test. Some nodes rooted and regenerated into plantlets.