

## スギ林の根の現存量について\*

山田 勇・四手井 綱英

On the Root Biomass of *Cryptomeria japonica* Stands

Isamu YAMADA and Tsunahide SHIDEI

## 目 次

要 旨	67	3) 抜根器による根量調査の問題点	
まえがき	67	4) トレンチ断面の根の分布	
調査地および調査方法	68	5) 苗畑における水洗法, 抜根法, ブロック法の比較	
調査結果と考察	70		
1) 根量に関する相対生長関係		引用文献	79
2) 現存量		Résumé	80

## 要 旨

林木の根量調査方法としては単位面積あたりの根量を土ごとほりとするブロック法, 消防ポンプなどで根を洗い出す水洗法, 抜根器でひきぬく抜根法などがある。

本稿では芦生24年生スギ林を中心にして行なった抜根器による根量調査の問題点などについて論じた。

地下部の相対生長関係では,  $w_s$ ,  $w_T$ ,  $D^2$ ,  $D^2H$ などと $w_R$ との組合せがよく, とくに $D^2$ だけで根量推定をおこなっても $D^2H$ によるものと大差はみられなかった。

抜根法では抜根の際, 切断されて土中に残る根の回収がもっとも問題になる。本調査結果では切断された根は直径5mm以下のもので, 実際にこの5mm以下の根を林内よりほりると3.46ton/haとなり, これは抜根して得た根量, 29.9ton/haの約11.6%にあたる。両者を加えあわせたものが林分の全根量で33.4ton/haとなり,  $T/R$ 率は3.7であった。

抜根法ではブロック法にくらべて垂直的な根の分布の正確な把握が困難とされる。この欠点をおぎなうため, 林内にトレンチをほり, そのトレンチ断面の根の本数, 直径を測定した。その結果, 直径2mm以下の細根は本数, 断面積ともに地下30cmまでに約80%が分布し, それ以下では急激に減少するが, 直径2mm以上の根では深さごとの本数は変化しないが, 断面積合計は地下40cmのところをもっとも大きい値を示した。

苗畑において, 3年生, 4年生スギ苗について抜根法, 水洗法, ブロック法の比較をおこなった結果, それぞれの根量比は抜根法1:水洗法2:ブロック法3という関係になり,  $T/R$ 率では3方法の間に2.16から9.16の差がみられた。

## ま え が き

森林の生産力を研究するためには樹体各部の正確な量的把握が必要とされる。地上部にくらべて,

\* Contributions from JIBP-PT No. 43

地下部の根量調査は労力と時間を多大に要するため、過去における研究例は少なく、正確な根量については不明な点が多い。

林木の根系に関する研究は、今世紀のはじめころより Büsgen (1905)<sup>1)</sup>, Münch (1927)<sup>2)</sup>, Hilf (1927)<sup>3)</sup> らにより、主として種ごとの根系の形態による類型化を中心としたものからはじまり、根系の形態と土壌条件との関連、根の競合、分布、地上部との関連などの問題を中心にして発達してきた。しかしこれらの研究のほとんどは定性的な一例紹介的観察例が多く、最近の森林生産力研究の目的にみあうような定量的なものは数少ない。

最近の研究では Ovington (1956)<sup>4)</sup> の Scots pine の根量の経年変化、Baskerville (1966)<sup>5)</sup> の Balsam fir の調査、苅住 (1968)<sup>6)</sup> の日本産主要樹種のブロック法による森林の地下部の機構と機能に関する研究などがあげられる。

Baskerville は水圧大と水量大の消防ポンプ2台を用いて、上からウインチで根系をひっぱりあげながら水洗して抜根している。また苅住のブロック法は単位面積あたりの土壌を水平、垂直的に区分してほりとり、その中から根をとり出してそれぞれ直径階別にわけて測定し、これをもとに森林の地下部を解析しようとするものである。これらの方法や、IBP の根量調査方法についてのパンフレットによる方法<sup>7)</sup> は、過去における定性的な根系調査にくらべて、量的に根系を把握、解析する方法とすぐれた方法である。しかしいずれも労力と時間を多大に要することにはかわりはない。

筆者らは比較的少人数で、手軽にできる根量調査方法として小型抜根器を用いて日本各地のスギ林を主体に調査をすすめてきた。

本稿では24年生スギ林でおこなった調査を中心にして、抜根器による根量調査の結果と問題点について論じたい。

本論文を作成するにあたり、林業試験場の苅住氏からは終始、有益な助言と資料の借用をうけた。調査地の芦生演習林長、和田助教授、渡辺助手には調査地と調査器具の借用をうけた。また堤助教授はじめ森林生態学研究室の各位には大へんお世話になった。ここに記して感謝の意を表わす次第である。

### 調査地および調査方法

本調査は京都大学農学部附属芦生演習林(京都府北桑田郡美山町芦生)の長治谷付近、海拔約 600 m の苗畑跡地に防風林として植えられた24年生スギ林において1967年5月より9月にかけておこなわれた。

調査林分は植栽後、放置されていたため、保育状態が悪く、下草にススキ、イタドリなどの侵入がみられた。この林分内に5m×30mのプロットを1個おき、プロット内の全立木の樹高と地上部0cm、30cm、130cm および生枝下高での各部幹直径を測定、樹冠投影図を描いた。(Fig. 1)

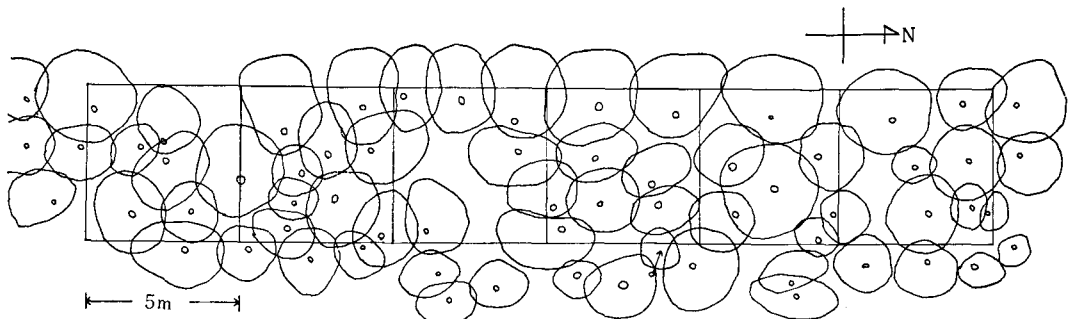


Fig. 1. Crown diagram of the plot at Ashiu.

毎木調査の結果より、調査木16本を選び出し、そのおのおのについて地上部を層別刈り取り法によって1mごとの幹、枝、新葉、旧葉に分けて測定し、各層から樹幹解析用の円板と乾重率測定用試料をとり、もちかえってそれぞれの処理をおこなった。

枝に関しては全枝の着生位置、基部直径、緑軸部直径、枝長、枝重、緑軸長などを測定し、一部年輪解析をおこなった。これらの結果は他の研究資料に供した。

地下部に関してはプロットの側面に幅1m、深さ1m、長さ30mのトレンチを設け、調査木の1本を可搬式消防ポンプ（自重50kg重、12馬力）によって水洗して抜根した。残りの15本については抜根器としてチルホール（万能携帯ウインチ、横引能力5ton、自重27kg重）と滑車2台、付属ワイヤー15本を用いて抜根した。抜根した根については、全重、最長根長、最深根長を測定、写真撮影ののち、根株から各支根を切り離し、根株重量、各支根ごとの重量、長さ、基部直径、切断部直径を測定した。

林内の根の分布を知るために、Fig. 2にみられるように、林内にトレンチをほり、その断面における根の根端数、直径を10cm×10cmの小コドラート80個に区切った100cm×80cmの大きさのコドラート枠をおいて、測定した。

このトレンチ断面における根の分布の測定は、1方向に50cm間隔で5断面、直角方向に25cm間隔に5断面、計10断面についておこない、うち25cm間隔の各断面間の根はすべてほりあげて直径階別に重量を測定した。これら根の乾重率用に試料を一部もちかえり乾燥した。

一方、実験的に根量調査方法の比較をおこなうため、スギ3年生、4年生実生苗をつかって、 $m^2$ あたり25、44、100、178本の各密度区において、水洗法、抜根法、ブロック法の3方法による比較調査をおこなった。

水洗法は各密度区の側面に幅1m、深さ1m、長さ約10mの長いトレンチをほり、その断面から水をかけて抜根する方法、ブロック法は各密度区において単位面積あたりの土壌中から根をより出して測定する方法、抜根法は、道具を使わず直接手でひきぬく方法である。地上部に関しては幹、旧葉、新葉の各重量、樹高、基部直径を測定した。これらの試料は各密度区において10~20本づつとった。なお、これらの乾重試料に疑問な点があったため、結果はすべて生重で比較した。

抜根器としてチルホールを使用した場合、横引き能力5tonのもので根元直径約20cmのスギが抜根可能である。20cm以下のものでも滑車を利用して抜根の方が効率はよい。ワイヤーをかける場合は、長さ2mの6mmワイヤーを数本、根株のまわりの支根にまきつけて抜根の方が力が分散されて支根の切断が少ない。チルホールは手動式ウインチなので、前後運動はできるだけゆるやかにこなうのが望ましい。マツ類のように杭根が深くまで侵入するものは、滑車を付近の幹の高さ1.5mあたりにつけて、上方向へひきぬくようにした方がよい。斜面ではそのななめ下方から抜根することが好ましい。抜根困難のときは、支根を数本切断し、分割して抜根する方法が考えられる。チルホールを支える支柱になる木のワイヤーをかける部分は麻袋などをまきつけ、樹皮の剥皮を防ぐようにしなければならない。

水洗法の問題としては、近くに大量の水を得られる場所があること、流出する土砂を処理できる場所であること(斜面がのぞましい)、あらかじめ、調査プロットの側面にできるだけ大きなトレンチを

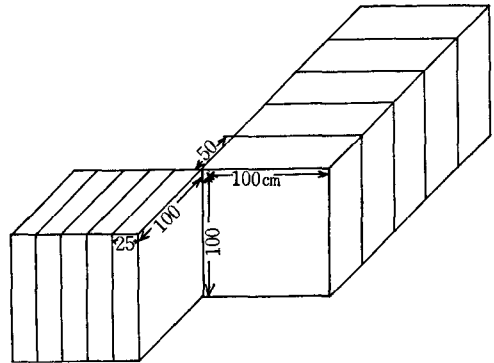


Fig. 2. A diagram of the trench profile for studying the vertical distribution of roots at Ashiu (1967).

掘っておくことなどが必要である。水圧が大きいと根の表皮をはがし、根端の細根部分を切断するから、適当に水圧を調節するか、または水量の多いポンプと併用することが望ましい。水洗法にしても、最後は抜根器で引きぬくことになるので、できるだけ広範囲に深くまで水洗しておく必要がある。

トレンチ断面の根の分布測定法に関しては、本調査ではすべての切断部直径を測定したが直径 2 mm 以下の細根については、苜住の方法<sup>9)</sup>のように分類しても精度はかわらないものと思われる。

### 調査結果と考察

#### 1) 根量を中心とした相対生長関係

林木の地上部各部分相互の間に相対生長関係が広く成り立つことはよく知られており、現存量推定に有効な方法として、しばしば応用されている。

一方、地下部については研究例が少ないため、相対生長関係をあつかったものは少ないが、Balsam fir<sup>5)</sup> では、地上部各部分重と、地下部重はきわめてきれいな直線関係を示している。

Table 1. Comparison of allometric relations between root dry weight ( $w_R$ ) and other parts of trees. ○ good, △ fair, × bad.

Site	Ashiu	Tokuyama	Yoshino	Mie	K-17	K-21	K-23
Signs on graph	●	○	△	■	×	▲	□
$w_s$	○	○	○	○	○	○	○
$w_B$	○	×	×	×	△	×	×
$w_{OL}$	△	—	—	△	—	—	—
$w_{NL}$	×	—	—	×	—	—	—
$w_L$	△	×	△	△	△	△	△
$w_T$	○	○	○	○	○	○	○
$w_{TC}$	○	△	○	△	○	○	△
$w_C$	○	○	○	○	○	○	○
$w$	○	○	○	○	○	○	○
$D_0^2$	○	△	△	○	—	—	—
$D_{0.3}^2$	○	△	△	○	—	—	—
$D^2$	○	○	○	○	○	○	○
$D_{0.1}^2$	×	△	—	△	—	—	—
$D_0^2H$	△	△	△	○	—	—	—
$D_{0.3}^2H$	○	△	△	○	—	—	—
$D^2H$	○	○	○	○	○	○	○
$D_{0.1}^2H$	○	△	—	○	—	—	—
$V_s$	○	○	△	○	○	○	△
H	△	×	×	△	△	△	△

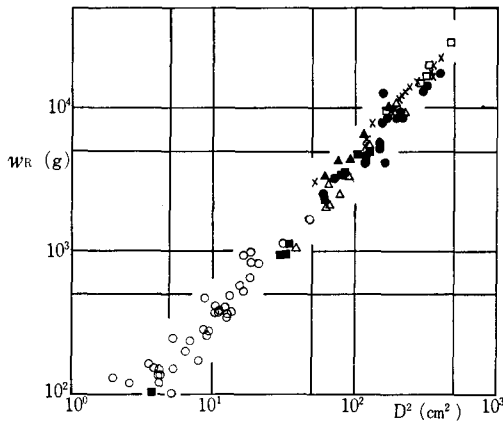
本調査結果と、今まで抜根法によっておこなった徳山<sup>9)</sup>、吉野<sup>10)</sup>、三重<sup>9)</sup>の各林分、ならびに苜住<sup>6)</sup>のブロック法による17年生、21年生、23年生の各スギ林分の値をもとに、おのおのの地上部重に対する地下部重の相対生長関係を検討し、その適合性を Table 1 に示した。便宜的に適合性のよいものを○印、あまりよくないものを△印、悪いものを×印の3段階にわけて示した。なお、本文中の記号は Table 2 のとおりである。

$w_R$  と直線関係のよいものは重さ関係では、 $w_s$ 、 $w_T$ 、 $w_{TC}$  など、高さ、太さ関係では、 $D^2$ 、 $D^2H$  などである。

現存量の推定はできるだけ簡単に測定できる項目との組合せによることが望ましい。地上部の幹重

Table 2. Notation in this study.

$w_S$	Stem dry weight ( $W_S$ : Stem fresh weight)
$w_B$	Branch dry weight
$w_{OL}$	Old leaf dry weight
$w_{NL}$	New leaf dry weight
$w_L$	Leaf dry weight
$w_R$	Root dry weight ( $W_R$ : Root fresh weight)
$w_T$	Above-ground dry weight
$w_{TC}$	Stem + Branch dry weight
$w_C$	Stem + Branch + Root dry weight
$w$	Total tree dry weight
$D_0$	Diameter at ground level
$D$	Diameter at breast height
$D_{0.1}$	Diameter at the height of one-tenth of the tree height
$D_{0.3}$	Diameter at 0.3m in height
$V_S$	Stem volume
$H$	Height of the tree

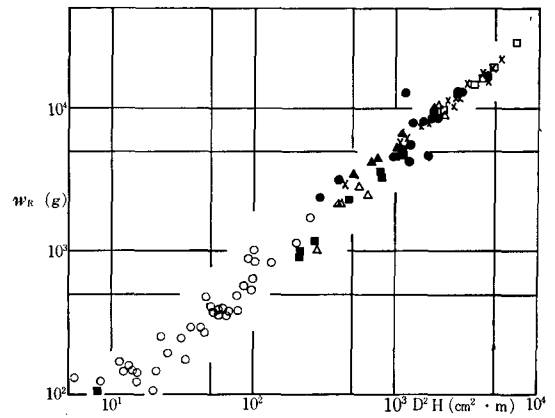
Fig. 3. Allometric relations between root dry weight ( $w_R$ ) and diameter at breast height ( $D$ ).

- Ashiu      ○ Tokuyama
- △ Yoshino    ■ Mie
- × 17-year-old forest of *Cryptomeria japonica*, after Karizumi.
- ▲ 21-year-old forest of *Cryptomeria japonica*, after Karizumi.
- 23-year-old forest of *Cryptomeria japonica*, after Karizumi.

Table 3. Comparison of the biomass estimated by two allometric relations (1) : root biomass estimated by  $D^2$  and (2) :  $D^2H$ , and (3) :  $\frac{(1)-(2)}{(2)} \times 100$ .

	root biomass (ton/ha)		(3)
	(1) $D^2$	(2) $D^2H$	
Ashiu	29.9	31.1	-3.9
Tokuyama	14.1	13.6	+3.7
Yoshino	18.0	17.3	+4.0
Mie	20.7	20.1	+3.0

$w_S$  の推定には  $D^2$  よりも  $D^2H$  の方がすぐれているが、 $w_R$  の場合は、各林分を同じ図にプロットすると、 $D^2 \sim w_R$  関係 (Fig. 3) が勾配ほぼ 1 の直線関係を示し、これに比べて、 $D^2H \sim w_R$  関係 (Fig. 4) は勾配が少しゆるやかになる。しかし各

Fig. 4. Allometric relations between root dry weight ( $w_R$ ) and  $D^2H$ .

- Ashiu      ○ Tokuyama
- △ Yoshino    ■ Mie
- × 17-year-old forest of *Cryptomeria japonica*, after Karizumi.
- ▲ 21-year-old forest of *Cryptomeria japonica*, after Karizumi.
- 23-year-old forest of *Cryptomeria japonica*, after Karizumi.

林分ごとにみてもその傾向は一定せず、 $D^2H \sim w_R$  関係において勾配が 1 に近い場合もある。 $D^2$  と  $D^2H$  による  $w_R$  の推定値の差は、Table 3 に示すとおりで、どの林分をとってみても相対誤差が最大 4% でどちらの方法によっても大差のないことを示している。また、本調査結果では  $D^2H$  による推定値の方が大きい値を示すが、吉野、徳山、三重では、 $D^2$  による値の方が大きく、その傾向は一定しない。このように  $D^2$  と  $D^2H$  のどちらを用いても根の現存量推定にはさしつかえはないが、 $D^2$  の方が樹高を測定する必要がないから、より好ましいといえる。

これらの傾向は他の樹種でもみられ、荻野ら<sup>11)</sup>は芦生ブナ林において  $D^2 \sim w_R$  を用い、また Ogawa et al.<sup>12)</sup>は熱帯林において  $D^2H \sim w_R$  によって、それぞれ根量を推定している。

$D$ 以外の  $D_0$ ,  $D_{0.3}$ ,  $D_{0.1}$  およびそれらと  $H$  の各組合せもかなりよい直線関係を示すが,  $D_0$  には根張りの影響があらわれ,  $D_{0.1}$  は樹高を測定する必要がある, また,  $D_{0.3}$  は測定上の個人差が大きいため, やはり  $D^2$  の方がよいといえる。

重さ関係では  $w_T \sim w_R$  関係 (Fig. 5) は勾配ほぼ 1 の直線関係で近似できるが, これは地上部と地

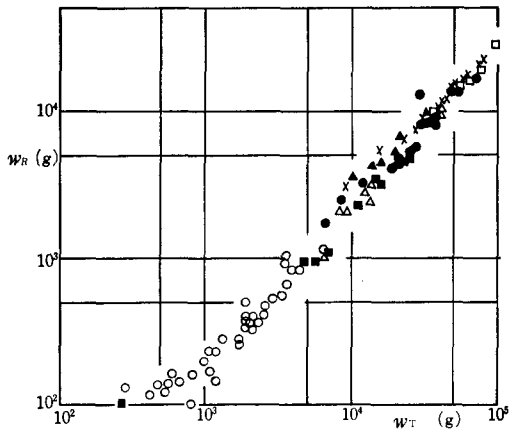


Fig. 5. Allometric relations between root dry weight ( $w_R$ ) and above-ground dry weight ( $w_T$ ).

- Ashiu      ○ Tokuyama
- △ Yoshino    ■ Mie
- × 17-year-old forest of *Cryptomeria japonica*, after Karizumi.
- ▲ 21-year-old forest of *Cryptomeria japonica*, after Karizumi.
- 23-year-old forest of *Cryptomeria japonica*, after Karizumi.

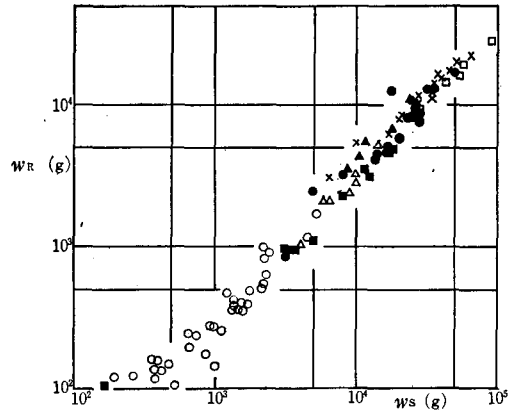


Fig. 6. Allometric relations between dry weight of root ( $w_R$ ) and stem ( $w_s$ ).

- Ashiu      ○ Tokuyama
- △ Yoshino    ■ Mie
- × 17-year-old forest of *Cryptomeria japonica*, after Karizumi.
- ▲ 21-year-old forest of *Cryptomeria japonica*, after Karizumi.
- 23-year-old forest of *Cryptomeria japonica*, after Karizumi.

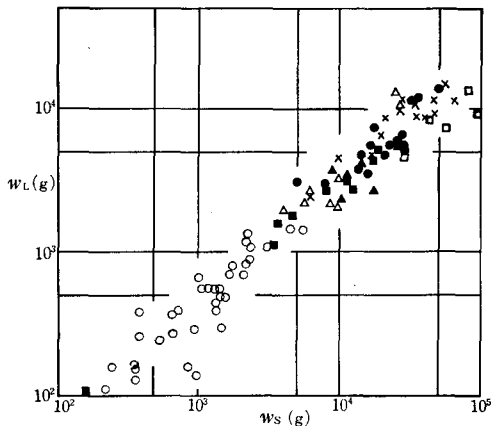


Fig. 7. Allometric relations between leaf dry weight ( $w_L$ ) and stem dry weight ( $w_s$ ).

- Ashiu      ○ Tokuyama
- △ Yoshino    ■ Mie
- × 17-year-old forest of *Cryptomeria japonica*, after Karizumi.
- ▲ 21-year-old forest of *Cryptomeria japonica*, after Karizumi.
- 23-year-old forest of *Cryptomeria japonica*, after Karizumi.

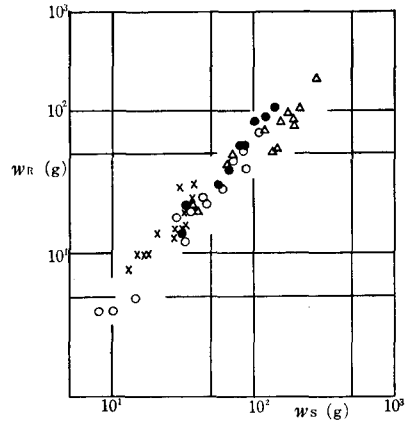


Fig. 8. Allometric relations between fresh weight of root ( $W_R$ ) and fresh weight of stem ( $W_s$ ) of 4-year-old seedlings in nursery.

- △ Samples from the plot with 25 seedlings /m<sup>2</sup>.
- Samples from the plot with 44 seedlings /m<sup>2</sup>.
- Samples from the plot with 100 seedlings /m<sup>2</sup>.
- × Samples from the plot with 178 seedlings /m<sup>2</sup>.

下部の関係が一定、すなわち  $T/R$  率が変化しないことを示している。一般に林分においては、植栽密度が高くなると  $T/R$  率が大きくなる。すなわち相対的に地上部の量がふえるといわれ、また樹齢が高くなると  $T/R$  率も変化し、さらに1林分内においても大径木と小径木とでは  $T/R$  率が異なる傾向をもっと考えられている。本調査結果からはこのような差ははっきりみとめられないようである。

また一般に幹量に対する葉量の相対生長関係は、林齢、密度などにより林分ごとの分離をおこすことが知られている。ここで、本試験結果と徳山、吉野、三重の各林分の  $w_s \sim w_R$  関係 (Fig. 6) をみても同じ各林分の  $w_s \sim w_L$  関係 (Fig. 7) にくらべて林分による差が小さく、はっきりした林分分離は認められない。

一方、苗畑のスギ4年生密度試験では  $w_s \sim w_R$  関係 (Fig. 8) で高密度から低密度へ、各密度間に右上方向への移動がみられる。苅住のクロマツ種苗の密度別試験<sup>18)</sup>でも地上部より地下部の方によりはやく密度効果のあらわれたということを考慮しても、この結果は充分信頼できる。このことから、林分においても、根量の林分による分離がおこる場合があるものと考えられよう。

幹と根の境は組織学的には維管束の配列の違いによって見わけることが可能であるが、実際に林木でこの境をきめるのはむづかしい。

したがって地表面近くの地際をもってその境としたが、深雪地であるため、根曲りがひどく、そのため根と幹の区別の不明瞭な個体が数個あった。図中、特にバラツキの大きいのはこのためである。

2) 現存量

林分の現存量推定方法としては、標準木法、階級法、断面積法、相対生長法などがある。

本稿では、相対生長関係を用いて現存量の推定をおこなった。

〔幹量〕

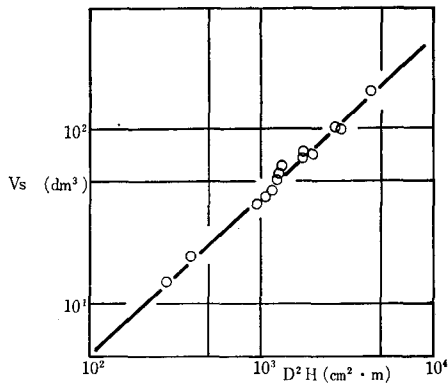


Fig. 9. Allometric relation between stem volume ( $V_s$ ) and  $D^2H$  of 24-year-forest of *Cryptomeria japonica* at Ashiu.

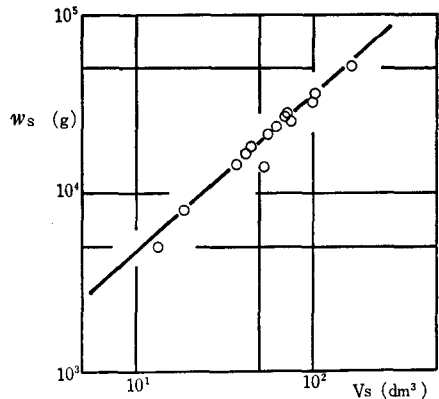


Fig. 10. Allometric relation between stem dry weight ( $w_s$ ) and stem volume ( $V_s$ ) of 24-year-old forest of *Cryptomeria japonica* at Ashiu.

まず、幹材積  $V_s$  と  $D^2H$  の関係 (Fig. 9) より、

$$\log V_s = 0.9018 \log D^2H - 1.0942 \quad \dots\dots\dots(1)$$

を求めた。

次に  $V_s$  と幹量  $w_s$  との関係 (Fig. 10) より、

$$\log w_s = 0.8710 \log V_s + 2.7985 \quad \dots\dots\dots(2)$$

を得、(1)、(2)式より  $V_s$  を消去して、

$$\log w_s = 0.7855 \log D^2H + 1.8455 \quad \dots\dots\dots(3)$$

を得た。この(3)式を Fig. 11 の  $w_s \sim D^2H$  関係にあてはめると、よくグラフ上の点を満足するので、

(3)式を用いて幹量を推定した。

〔葉量, 枝量〕

Fig. 12 の  $w_B \sim w_L$  関係より,

$$\log w_L = 0.9239 \log w_B + 0.6085 \quad \dots\dots\dots(4)$$

をえる。

また  $w_S \sim w_L$  関係 (Fig. 13) は勾配 1 の直線関係を示し,

$$w_L = 0.27 w_S \quad \dots\dots\dots(5)$$

である。

(4), (5)式より  $w_L$  を消去して

$$\log w_B = 1.0802 \log w_S - 1.2741 \quad \dots\dots\dots(6)$$

を得る。(6)式を  $w_S \sim w_B$  関係にはてはめ、図上の点を満足した。

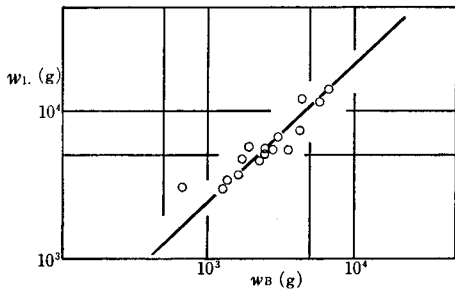


Fig. 12. Allometric relation between dry weight of leaf ( $w_L$ ) and branch ( $w_B$ ) of 24-year-old forest of *Cryptomeria japonica* at Ashiu.

次に(6)式と(3)式より  $w_S$  を消去して,

$$\log w_B = 0.8485 \log D^2 H + 0.7194 \quad \dots\dots\dots(7)$$

を得る。この式も  $D^2 H \sim w_B$  関係の点をよく満足するので、枝量はこの(7)式により、また葉量は(5)式により求めた。

〔根量〕

根量については  $D^2$  との組合せがもっともよい関係を示したので (Fig. 14),

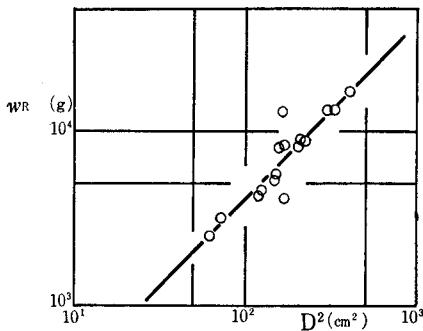


Fig. 14. Allometric relation between root dry weight ( $w_R$ ) and diameter ( $D$ ) of the 24-year-old forest of *Cryptomeria japonica* forest at Ashiu.

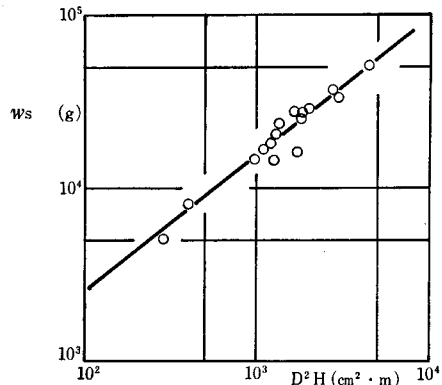


Fig. 11. Allometric relation between stem dry weight ( $w_S$ ) and  $D^2 H$  of 24-year-old forest of *Cryptomeria japonica* at Ashiu.

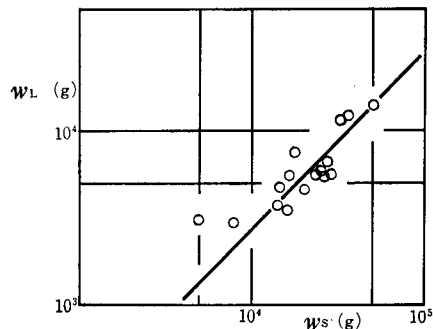


Fig. 13. Allometric relation between dry weight of leaf ( $w_L$ ) and stem ( $w_S$ ) of 24-year-old *Cryptomeria japonica* at Ashiu.

$$w_R = 42 D^2 \quad \dots\dots\dots(8)$$

によって推定した。なおこの式では抜根の際、切断されて土中に残る根量を含んでいないので、後述する方法によってその根量を求め、(8)式でもとめた根量に加えて全根量とした。

以上の方法で推定した芦生の現存量と、比較のために徳山, 吉野, 三重の各スギ林の現存量, および苅住のブロック法によるスギ17年, 21年, 23年生の各現存量を Table 4 に示した。

本調査結果の根量は切断された細根も含んだ値であるが今、(8)式の相対生長関係による値のみをとりあげてみると、29.9ton/haで、その全量に占



Table 4. Comparison of stand biomass in Ashiu, Tokuyama, Yoshino, Mie and Data after Karizumi. ( )%.

	Ashiu	Tokuyama	Yoshino	Mie	K-17	K-21	K-23
Stand ages	23	13	14	14	17	21	23
Number of tree/ha	2,935	40,740	4,400	5,880	2,083	2,770	1,887
Mean height (m)	9.3	4.3	8.2	8.7	11.5	9.6	13.3
Stem dry weight (ton/ha)	88.6 (56.5)	50.4 (59.2)	53.0 (54.3)	76.4 (61.9)	76.4 (58.3)	54.3 (59.6)	101.5 (64.0)
Branch dry weight (ton/ha)	10.9 (7.0)	1.2 (1.4)	5.6 (5.7)	6.5 (5.3)	4.5 (3.4)	3.6 (4.0)	7.1 (4.5)
Leaf dry weight (ton/ha)	23.9 (15.2)	18.9 (22.2)	21.0 (21.5)	20.5 (16.6)	21.1 (16.1)	11.8 (13.0)	16.4 (10.5)
Root dry weight (ton/ha)	33.4 (21.3)	14.7 (17.3)	18.0 (18.4)	20.1 (16.3)	29.1 (22.2)	21.5 (23.6)	33.6 (21.2)
Top dry weight (ton/ha)	123.4 (78.7)	70.5 (82.7)	79.6 (81.6)	103.4 (83.7)	102.0 (77.8)	69.6 (76.4)	125.0 (78.8)
Total dry weight (ton/ha)	156.8	85.2	97.6	123.5	131.1	91.1	158.6
T/R ratio	3.7	4.8	4.4	5.1	3.5	3.2	3.7
Number of sample trees	16	50	6	9	15	5	5
References		(9)	(10)	(9)	(6)	(6)	(6)

める割合は 19.2%,  $T/R$  率では 4.2 となり, これを苜住のブロック法による値とくらべるとかなりの差がみられる。これはおそらく, 抜根法とブロック法の測定精度の違いが大きく関係しているものとみられる。

一方, 切断された部分の重さは 3.46ton/ha であり, この値を(8)式で得た 29.9ton/ha に加えると全根量 33.4ton/ha がえられる。この全根量の全量に占める割合と  $T/R$  率を計算するとそれぞれ, 21.2% と 3.7 がえられた。Table に示した苜住のブロック法による値は, 土壌, 保育, 林齢などの条件が異なっているが, 根量の地上部量に対する比較値としては, よく似た値を示している。切断部分の回収をおこなっていない徳山, 吉野, 三重の各林分ではそれぞれ根量が全量の 17.3%, 18.4%, 16.3% と, すべて 20% 以下の小さい値になっている。この場合も本調査結果のように切断部分の回収をおこなえばおそらく 20% に近い値になるものと期待される。

幹量について  $ys$  の値を  $\bar{H}$  で割った値を用いて各地のスギ林と比較してみよう。只木<sup>14)</sup>らによる九州宮崎 M-24 の 7.6ton/m, 長崎 N-22 の 8.86ton/m, 四大学<sup>15)</sup>による秋田 S-39-ちの 7.24ton/m, 吉野 H-28 の 8.48ton/m, 熊本アヤスギ K-18-ほの 8.44ton/m, などとくらべると, 本調査の 9.5ton/m はかなり大きい値を示し, 蓄積の大きいことを示している。

林分の葉量は林冠が閉鎖した直後最大に達し, 以後減少して一定状態が続くといわれ, 只木<sup>14)</sup>によれば, その最大になる時期はスギで 24年生頃であり, また四大学<sup>15)</sup>によると 16年生であるという。本調査の 23.9ton/ha は只木らの宮崎 M-24 の 25.6ton, 長崎 N-22 の 18.5ton, 四大学の秋田 S-29-ちの 27ton, 吉野 H-28 の 20ton, 熊本 K-18-ほの 15ton, 大分ヤブクグリの 19ton などと比較すると, ほぼ同じような値を示している。

枝の量については, 宮崎の 15.6ton, 長崎の 7.7ton, 秋田の 11ton, 吉野の 8ton, 熊本の 8ton, 大分の 12ton などと, ほぼ近い値を示している。

### 3) 抜根法による根量調査の問題点

抜根法では前述したように先端の細根部分が切断されるため, その回収が必要とされる。

抜根器だけでは切断される部分が多すぎるため, Baskerville<sup>5)</sup> は水洗法を併用し, 直径 1.6mm 以上の根をすべて抜根し, これ以下の根は林内より一定体積の土壌の中から選び出すことにより面積あ

たりの根量に加えている。

抜根法の抜根効率をみるため、水洗法で抜根した根量と抜根法によるものとを切断部直径や $T/R$ 率でくらべてみると Table 5 にみられるとおりである。表中、primary root とあるのは、根株より直接

Table 5.  $T/R$  ratio and mean diameters of cut ends of roots by power washing method and pulling out method.

Tree No.	Mean diameter of cut end of primary root (cm).	Mean diameter of cut end of secondary root (cm).	$T/R$ ratio
1	0.25	0.21	3.26
2	0.47	—	3.68
3	0.30	—	3.97
4	0.46	—	3.29
5	0.59	0.42	4.27
13	0.30	0.21	3.90
24	0.19	0.38	3.28
Pulling out method 27	0.24	0.21	3.53
28	0.37	0.34	3.51
30	0.61	0.43	4.10
34	0.54	0.35	1.95
35	0.37	0.39	3.24
38	0.30	0.31	3.09
39	0.65	0.39	3.48
40	0.61	0.26	4.03
Power washing method	0.32	0.06	3.87
Mean	0.42	0.33	3.53

分岐している1次根をいい、secondary root は1次根より分岐している2次根をいう。水洗法と抜根法の支根の切断部直径の差は1次根ではみられず2次根で、0.6mm と 3.3mm とやや差がある。しかし  $T/R$  率でみると水洗法の3.87は抜根法の値とくらべてみるとどちらが大きいということはいえず、2次根の切断部直径でみられた差が  $T/R$  率という粗いスケールの比較にはひびいてこないことを示している。

抜根法によって切断される支根の切断部直径の平均値は最小1.9mm から最大6.5mm の間を前後している。抜根効率や測定上の誤差などを考慮して、一応5mm 以下の根が全部切断されると考え、林内よりこの直径5mm 以下の根をほりとると3.46ton/ha になった。現存量の項でのべたようにこの値を相対生長式で求めた根量に加えたものが全根量となる。

5mm 以下の根の全根量に対する割

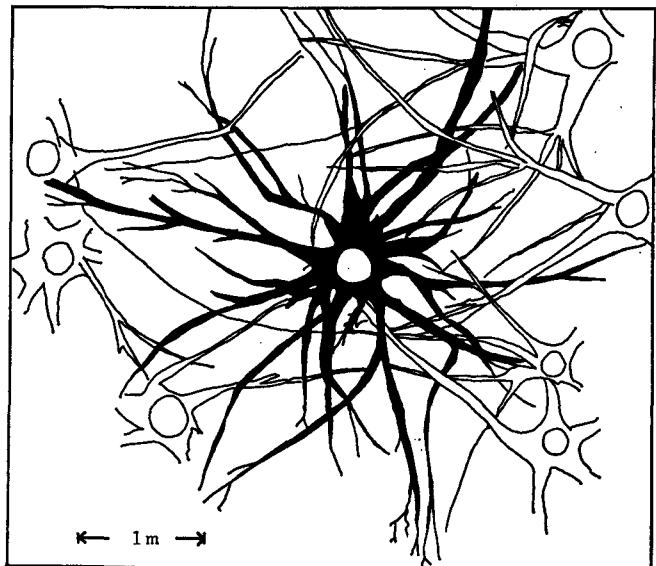


Fig. 15. Sketch of the root system of a 24-year-old *Cryptomeria japonica* at Ashiu obtained by power washing method.

合は約 10.2% で、苜住のブロック法による値と近い値を示している。Fig. 15 に水洗した根の主な支根の分布状態を示す。

#### 4) トレンチ断面の根の分布

抜根法では主として根の水平方向と垂直方向の分布の解析が困難なため、その対策を構じる必要がある。本調査ではトレンチ断面の根の分布をしらべ、またその一部は断面間の根重も測定した。

Table 6 と Table 7 はそれぞれ細根（直径 2mm 以下の根）と太根（直径 2mm 以上の根）の深さ

Table 6. Cumulative frequency distribution of the number of root sections at the trench profile.

Trench number	soil depth(cm)		10	20	30	40	50	60	70	80
	diameter classes									
1	2 mm.>		27.2	50.2	67.4	84.8	92.8	98.5	100.0	
	2 mm.<		24.1	43.1	67.2	89.6	96.5	100.0	—	
2	2 mm.>		38.4	61.7	80.1	87.8	92.2	96.3	100.0	
	2 mm.<		17.4	39.1	78.2	82.6	95.6	100.0	—	
3	2 mm.>		38.3	68.5	86.7	92.8	97.5	99.5	100.0	
	2 mm.>		9.4	34.4	62.5	84.4	93.8	100.0		
4	2 mm.>		28.7	61.5	77.6	89.8	95.2	98.5	100.0	
	2 mm.<		20.5	45.5	70.5	84.1	88.7	93.5	100.0	
5	2 mm.>		50.3	76.3	86.8	91.1	92.7	95.0	99.0	100.0
	2 mm.<		26.5	57.9	73.7	86.9	92.2	94.8	97.4	100.0

Table 7. Cumulative frequency distribution of cut ends surface of roots at the trench profile.

Trench number	soil depth(cm)		10	20	30	40	50	60	70	80
	diameter classes									
1	2 mm.>		33.2	50.5	68.7	84.9	92.5	98.6	100.0	
	2 mm.<		4.3	12.2	26.6	95.2	99.8	100.0		
	total		5.1	13.3	27.8	94.9	99.6	100.0		
2	2 mm.>		16.3	34.1	62.4	72.6	83.1	91.6	100.0	
	2 mm.<		7.4	14.8	47.3	48.2	99.3	100.0		
	total		8.8	17.9	49.7	52.0	96.1	98.7	100.0	
3	2 mm.>		31.0	50.4	75.1	85.9	96.2	98.7	100.0	
	2 mm.<		4.7	14.5	33.1	77.1	80.6	100.0		
	total		10.7	22.6	42.6	79.1	84.1	99.7	100.0	
4	2 mm.>		18.2	45.8	62.7	82.7	92.7	97.9	100.0	
	2 mm.<		62.6	74.5	93.3	96.3	97.8	99.3	100.0	
	total		61.0	73.5	92.2	95.8	97.6	99.2	100.0	
5	2 mm.>		30.6	60.1	77.5	84.8	90.5	94.3	97.2	100.0
	2 mm.<		81.5	91.4	94.4	98.9	99.2	99.3	99.8	100.0
	total		79.0	89.9	93.6	98.2	98.8	99.1	99.7	100.0

ごとの本数分布と断面積分布を示している。この林分では、地下水面が、地下約 80cm のところにあったため、それ以下では根の分布はみられなかった。

これらの表によると細根、太根ともにその80%以上が深さ 40cm までに分布する。細根は太根にくらべ、より地表面に多く、地下 20~30cm までにそのほとんどが分布し、太根にくらべ、土壌の理化学性に影響されやすいことをよく示している。スギの細根は地表面にマット状に分布するといわれるが、水洗の際、そのことが観察された。この林分で深さ 10cm までに細根が比較的少ないのは下層植

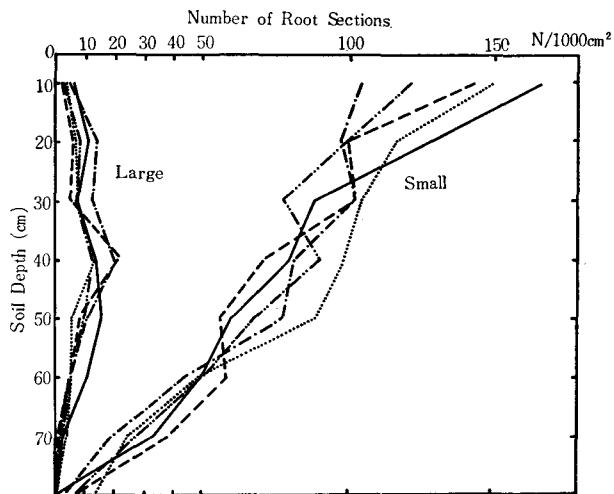


Fig. 16. Vertical distributions of the number of root sections (Large, diameter larger than 2mm; Small, smaller than 2mm) at the trench profiles.

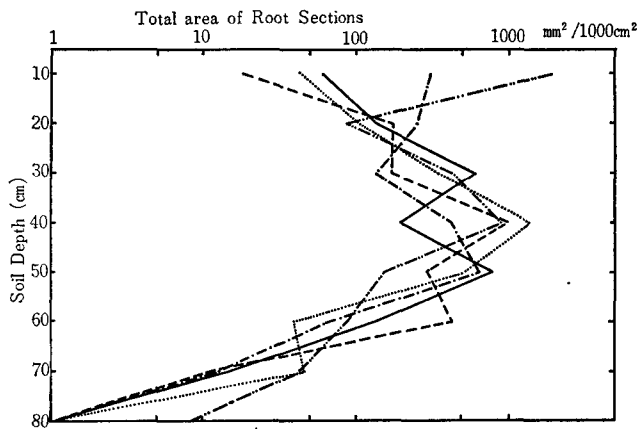


Fig. 17. Vertical distributions of the total surface of root sections of over 2mm in diameter on the trench profile.

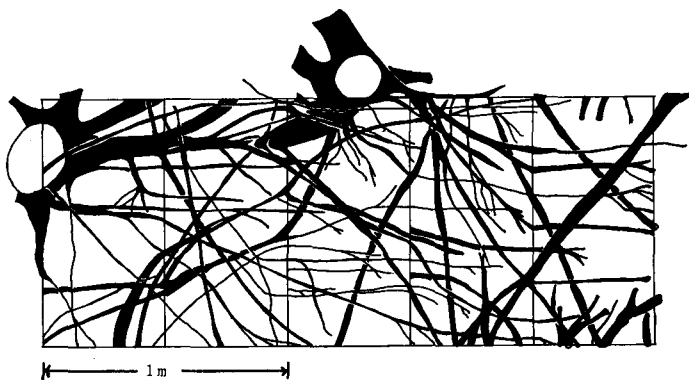


Fig. 18. Sketch of the root distribution in *Cryptomeria japonica* forest at Ashiu obtained by trench method.

生のスギ、イタドリの地下茎が優占していたためである。

スギの根の形態としては深根性が斜出根の多いことが知られている<sup>9)</sup>。Fig. 16は細根および太根の深さ別の本数分布を示すものであり、細根が深さ30cmまでにきわめて多く分布し、以下急速に減るが、太根の分布は深さ40cmくらいまで平均して分布している。これをFig. 17の断面積の分布でみると深さ30~40cmの間に最大値のあることがわかる。深さ10cmのところには太根の断面積の多いのは、この断面が根株の近くにとられた結果であり、スギの形態的な特徴をよくあらわしているものといえる。Fig. 18はトレンチ断面間の主な支根の分布状態を示すものである。

#### 5) 苗畑における水洗法、抜根法、ブロック法の比較

一般に林木の根量調査は多大の労力を必要とするため、主な根量調査方法である水洗法、ブロック法、抜根法などの相互比較をおこなったものは荏住<sup>5)</sup>、Giordano<sup>10)</sup>の研究があるのみである。

筆者らはこのような比較に便利なスギ3年生、4年生実生苗の密度別試験地において、水洗法、ブロック法、抜根法の比較をおこなった。

Table 7には3方法のうち水洗法による根量を1とした時の抜根法、ブロック法の比較とそれぞれのT/R率が示してある。これによると、水洗法による根量は例外もあるが、抜根法による根量の1.5倍から3倍の値を示し、またブロック法の値は水洗法の1.2倍から2倍の間の値を示している。T/R率でみると、ブロック法ではもっとも小さく2.16から3.90の間にあり、水洗法が3.77から

Table 8. Comparison of root biomass and T/R ratios estimated by the three methods (W, power washing method ; P, pulling out method ; B, block method).

		Method	W <sub>R</sub> ratio of the power washing method	T/R ratio
3-year-old seedlings	plot 1	W.	1.00	5.29
		P.	0.58	8.82
		B.	1.28	3.51
	plot 2	W.	1.00	4.19
		P.	0.45	9.16
		B.	1.24	3.90
	plot 3	W.	1.00	4.52
		P.	0.62	6.73
		B.	1.28	2.72
	plot 4	W.	1.00	3.77
		P.	0.60	7.95
		B.	1.81	2.16
4-year-old seedlings	plot 1	W.	1.00	4.42
		P.	0.97	6.01
		B.	1.96	3.60
	plot 2	W.	1.00	4.24
		P.	0.62	7.36
		B.	1.33	3.55
	plot 3	W.	1.00	4.91
		P.	0.47	7.16
		B.	1.27	3.28
	plot 4	W.	1.00	3.82
		P.	0.54	7.99
		B.	1.55	2.90

5.29, 拔根法が6.01から9.16とかなり大きな差がでている。

苺住<sup>6)</sup>の全量法(効率は水洗法とほぼ同じとみてよい)とブロック法の28年生スギ林分での比較では、直径2cm以上の太根では両調査方法の差はきわめて少なく、全量法でえられる平均部分重の5%以下の誤差を生じるのみである。が中径根(直径5mm~2cm)では、誤差が19~20%、小径根(2~5mm)では39~48%、細根(2mm以下)では44~49%と根系が小さくなるにしたがって、両調査方法による誤差は大きくなる。しかしこれを総根量にすると、両調査方法の差は最大3~4%であり問題とならず、またT/R率の計算でも変化しないことから考えて、いずれの方法を用いても林分の根量推定にはさしつかえないと結論している。

林分の場合は、細根の全根量に占める割合が小さいため、全根量での比較では問題にならないが、今回の場合のように、苗木では根系のほとんどが細根でしめられているため、このような大きな差がでたものと考えられる。

## 引用文献

- 1) Büsgen, M. : Bau und Leben der Waldbäume, Flora Erg., Bd, (1905)
- 2) Münch, E. : Bau und Leben unserer Waldbäume, (1927)
- 3) Hilf, H. H. : Wurzelstudien an Waldbäumen, (1927)
- 4) Ovington, J. D. : Dry matter Production by *Pinus sylvestris* L., Ann. Bot. N.S., 21, 287~314, (1957)
- 5) Baskerville, G. L. : Dry matter production in immature balsam fir stands : roots, lesser vegetation and total stand, For. Sci., 12, 49~53, (1966)
- 6) 苺住昇 : 未発表資料

- 7) British National Committee For the International Biological Programme, Subcommittee on Productivity of Terrestrial Communities, Root Production, (1966)
- 8) 苅住昇：樹木の根の形態と分布，林試研報，94, 1~205, (1956)
- 9) 斉藤秀樹，山田勇：未発表資料
- 10) —，—，四手井綱英：小径木間伐に関する研究（Ⅱ）第1回間伐後の林況の変化について，京大演報，39, 64~77, (1967)
- 11) 荻野和彦，四手井綱英：芦生ブナ林の現存量，生長量，森林の一次生産力測定法の研究班，中間報告書，12~20, (1967)
- 12) Ogawa, H. et al. : Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand II, Plant biomass, Nature & Life in Southeast Asia, IV, 49~80, (1965)
- 13) 苅住昇，寺田正男：クロマツ稚苗の根系の生長と本数密度，日林講，74, (1963)
- 14) 只木良也，尾形信夫，長友安男：九州スギ林の物質生産力，林試研報，173, 45~66, (1965)
- 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，(1966)
- 16) Giordano, E. : Observtions on the Root System of *Eucalypturs globulus*, XIV IUFRO-KONGRESS., München, (1967)

## Résumé

The estimation of forest root biomass was carried out by three methods ; namely 1) Pulling out method, 2) Power washing method, and 3) the Block method in two stands of *Cryptomeria japonica* ; i.e., a 24-year-old stand in the Ashiu School Forest and a young seedling stand in the nursery of Kyoto University. The trench method was also used for the investigation of the vertical distribution of roots.

1) Stumps were pulled out by a Tractel Tirfor as a puller and the diameters at the cut ends of the roots were measured in the field in Ashiu. The allometric relations between the roots dry weight thus pulled out and the square of the diameters at breast height of the trees were used for the estimation of the root biomass. Root biomass estimated by this method was 29.9ton/ha. Since the roots less than 5mm in diameter on an average were assumed to be cut when pulled out, these small roots were extracted from four soil cores of 25cm in width, 1m in length and 80cm in depth drawn randomly from the stand. The weight of the small roots thus estimated was 3.46ton/ha. So the total root biomass was 33.4 ton/ha. T/R ratio was calculated to be 3.7.

2) The root system of an individual tree was washed out by a power pump and weight. Though there were few samples, the estimated value of the root biomass by this method was similar to that of the pulling out method.

3) Ten trenches, each 1m in length and 1m in width were excavated to the depth of 80cm where no roots were found. A 100cm×80cm frame consisting of 80 small quardrats each 10cm×10cm in size was set at the profile of the trenches. The diameter at the cut end of the roots in each small quadrat was measured. The vertical distribution patterns of these roots ascertained by this method were that fine roots under 2mm in diameter were distributed from the surface to a depth of 30cm and bigger roots over 2mm in diameter were distributed mainly at the layer 40cm from the surface.

A comparison in root biomass ratio between the three methods in nursery resulted in 1:2:3 for the Pulling out method, Power washing method and the Block method, respectively. T/R ratios of the Block, Power washing and Pulling out methods varied from 2.16 to 3.77 to 9.16.