

# 主要林木の根系分布に関する研究

——とくに土壌条件との関係について——

小 島 俊 郎 (1)

## Studies on Root System of Some Important Japanese Conifers with Special Reference to Soil Conditions

Tosiro KOZIMA

### 目 次

I. ま え が き.....31	1. 苗木の根系.....48
II. し ら べ か た.....32	2. 幼令木の根系.....51
III. 樹種による根系分布の特徴.....33	3. 壮令木の根系.....53
1. 苗木の根系.....33	4. 考 察.....56
2. 幼令木の根系.....35	V. 摘 要.....57
3. 考 察.....46	参 考 文 献.....59
IV. 土壌条件と根系分布との関係.....48	

### I. ま え が き

木材の逼迫から林木の短期育成がとなえられ、多くの人々によって絶え間のない努力が続けられ、造林技術も大きな進歩をしめしつつある。しかし、この技術を十分いかすには幾多の問題があるが、ことにその樹のもつ本性をよく知っておかねばならない。

根系は地上部とともに林木の主要な部分をしめ、養分の吸収、植物体の支持など重要な役割を果しているが、われわれの目にふれることが少ないため、不明な点がきわめて多い。

根系の分布や機能などに関する研究はきわめて大切なため、古くからとりあげられてきたが、近年適地適木や林地肥培、あるいは林木育種の研究が進むにつれ、林木の生育と関連して根系の機能と分布に関する基礎的な問題をあきらかにする必要性が高まってきた。

従来から林学部門では、林木の更新をはかるための基礎的な問題として、浅根性とか深根性とか、根系の形態や発達状況、あるいは他植物との競合などの諸問題がとりあげられ、一方、農学部門においては作物栄養と施肥改善の立場から、また植物学の分野においても形態や機能などに関する研究が進められてきた。

いままでおこなわれてきた林木の根系に関する研究をみると、それぞれの立場からいろいろ研究されているが、なかでもBüsgen,<sup>13)</sup> Münch,<sup>35)</sup> Hilf<sup>16)</sup>らの研究はわれわれに根系のもつ重要さを認識させ、また大きな指針を与えている。また、米国のWeaver<sup>54)</sup>は草本と作物の根系をしらべ、根系の競合についての理論づけをおこなうとともに、調査方法に検討を加え、以後の根系調査に貢献している。

(1) 現在、農林省林業試験場土壌調査部研究員

本邦における主な文献を拾ってみると、1925年に明永<sup>1)</sup>と林はアカマツとカラマツの混交林で根系をしらべ、1928年には寺崎<sup>49)</sup>が根系に関するおおくの論文を集め紹介している。

その後玉利<sup>48)</sup>、兼次<sup>22)</sup>らによりマツの根系が、中島<sup>36)</sup>、柴田<sup>41)</sup>、宮崎<sup>32)</sup>らによってスギの研究がおこなわれ、トドマツについては石原<sup>19)</sup>・松井<sup>62)</sup>が研究をすすめているが、なかでも宮崎は土壌学的な立場から大規模な根系調査をおこない、土壌と根系や菌根との関係をあきらかにした。

一方、苗木については1901年に白沢<sup>46)</sup>が、土性と根系の発達との関係を研究し、柳田<sup>53)</sup>は稚樹の根系形態を広くしらべている。また、佐藤<sup>39)</sup>(敬)はアカマツを対象とし苗木の根系処理に関する研究を進めたが、養苗などの面で大きな貢献をしている。

これらの研究成果は研究に対する関心をたかめ、このため根系に関する研究が一段と進んだ。

最近では刈住<sup>23)</sup>、塘<sup>47)</sup>、金子<sup>21)</sup>、佐々木<sup>38)</sup>、須崎<sup>43)</sup>らがそれぞれ意欲的な仕事をしているが、なかでも刈住は組織的な研究をすすめ、壮令木の根系形態を類型化し、林分構造の一部としての研究をおこない、一方では根系の呼吸など機能に関する問題の解明に努め、塘と共同で根系に関する文献の蒐集並びに抄録を作成している。<sup>27)</sup>

筆者は1954年から、民有林の適地適木調査にたずさわり、山の土をみる機会に恵まれたが、仕事を進めるにつれ、根系の重要性を感じた。これにあいまって、林地肥培や養苗などの問題に当面し、一層根系に関する事柄を知る必要にせまられた。

そこで、安藤愛次氏とともに、根系の調査研究を進め、その都度、林学会などで報告してきたが、<sup>3~12), 29, 30)</sup>総括的な検討が必要と思われたので、今まで報告したものに未発表の2、3の資料を加えとりまとめてみた。この論文がすこしでも山梨県林業のために役立つところがあれば幸いである。

この仕事をすすめるにあたり直接御指導いただいた、山梨県林業試験場長の安藤愛次氏に深くお礼申上げる。

東京大学の佐藤大七郎教授にはいろいろ御指導を賜わり、遠藤健治郎氏には文献など各種の御教示を仰いだ。また、農林省林業試験場の塘 隆男博士には調査やとりまとめに際し、種々の御意見をいただいた。これらの方々に深甚の謝意を表する次第である。

調査あるいはとりまとめにあたり議論の相手となり、実行にあたって協力いただいた遠藤 昭氏、調査、測定に協力を惜しまれなかった駒谷智慧子嬢、馬場勝馬、小林福治の2氏をはじめ山梨県林業試験場の諸氏に厚く感謝する。

## Ⅱ. し ら べ か た

根系調査はきわめて多くの労力と経費がかかり、しかもその割に仕事ははかどらないものである。ことに定量的な調査が困難なので、今までは観察などによる形態の調査が主として進められてきた。形態を調べるための方法としては、Hilf<sup>33)</sup>によって代表される露出法があるが、困難な仕事なので、ここでは、刈住<sup>33)</sup>も形態調査で用いた、Weaver<sup>54)</sup>によって改良されたトレンチ法で細い根の分布状況をしらべた後、土をくずして根の形態をしらべ、大径木では20mm以上の太根を全部掘りあげ、場内に持ち帰り、復元して写真撮影をおこなった。

根系の量的把握はきわめてむずかしく、とくに壮令木の全根量をおさえることは一般に困難であるが、苗木や造林してから数年の幼令木では比較的実行し易い。

ここでは、苗木は全根の重さ、根長、一次根の数、根端の数などを調べ、幼令木は追跡法あるいは一定の面積内をいくつかのブロックに分け、深さ別に、距離別に根を掘りだして重さをはかり、あわせて水平根や杭根の長さをはかった。

閉鎖した林分での調査には追跡法を用いることが困難なので、前述のトレンチ法により、土壌断面にコドラートを設け、根の分布状況をしらべ、一部ではこの断面に沿って縦、横とも20cmの土壌柱にはいる根を深さ別に掘りあげ、根の重さを測った。ただし苗木は生重量を、造林木は乾重量を測定した。

測定にあたっては根系を径級別に区分し、2mm以下のものを細根として重視して調査をすすめた。

根幹解析についてはあまり試みられておらず、古くは柴田<sup>41)</sup>がスギの壮令木についておこない、近年は、細井<sup>18)</sup>らが、アカマツについて杭根、平根ともに樹幹解析法に準拠しておこなっているが、ここでは、アカマツ、カラマツ、メタセコイアなど杭根の発達していたものについて、杭根の根幹解析を試みた。幼令木では地際から10cmごとに年輪をしらべ、壮令木では40cmごとにしらべた。

### Ⅲ. 樹種による根系分布の特徴

#### 1. 苗木の根系

##### 1) 県内2, 3の苗畑におけるマキツケ苗の根の発達状況

山梨県にある苗畑のうち、八ヶ岳山麓にある篠尾と日野春、富士山麓の富士吉田とこれに近い道志の4苗畑で、スギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツ、シラベなどのマキツケ床から、6月より10月まで15日おきに、育ちの平均と思われる苗木を10本ずつ掘りとり根の発達経過をしらべた。

4苗畑のうち前3者は県営であり、道志は横浜市の水源林事務所により管理経営されている。篠尾と日野春は八ヶ岳の火山灰が、吉田と道志は富士山の火山灰が母材となっている。土壌は篠尾と道志が黒色土壌に、日野春と吉田が適潤性の褐色土壌にはいるが、日野春は表層から割合明るい黄褐色を呈している。吉田は表層が暗い黒褐色を呈しているが、径5~10mmの礫がきわめておおく40%以上も含まれ、表層から40cm内外の深さは礫層となる。

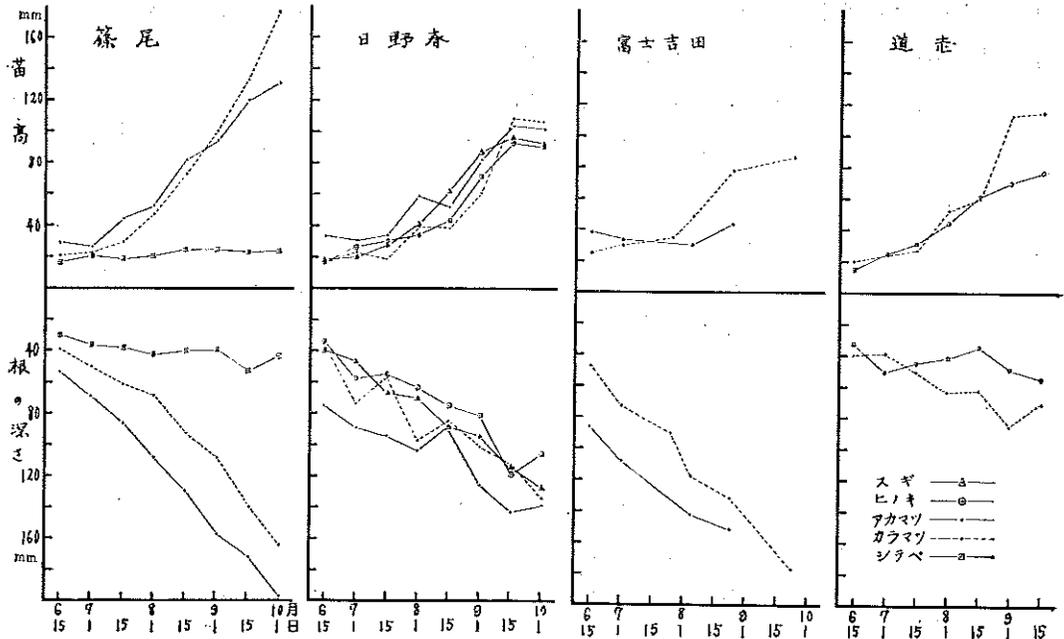
第1図から明らかなように、地上部の育ちは樹種によって異なることはいうまでもないが、各樹種とも苗畑によって違い、篠尾はほかにくらべよく育っており、逆に吉田はやや劣っている。

直根の伸び方をみると道志はカラマツ、ヒノキとも根が浅く、吉田はもっとも深い。篠尾と日野春はほぼ同じようで、やや深くまで伸びている。

これらのことから地上部はいうに及ばず、根系の発達にも苗畑の土壌や環境条件あるいは管理状況が大きく影響していることがわかる。

地上部との関係を見ると育ちが旺盛になる8月の月上旬から、根も急速に伸びる傾向があり、篠尾と日野春では比較的はっきりした関係が認められる。

樹種による根のちがいをみると、各苗畑を通じ、アカマツは直根が深くまで伸び、カラマツはこれ



第1図 マキツケ苗における主根の生長経過

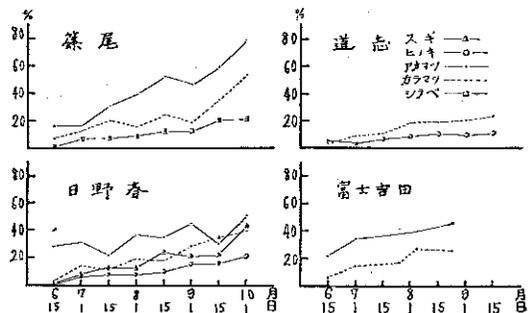
について深い。逆に地上部の伸びないシラベでは地下部もほとんど発達せず、10月でも4cm内外である。スギ、ヒノキはこの中間で、ヒノキの方が根の発育がやや劣るようである。

この調査では方法そのものにも検討を要することがあり、資料もすくないので、この結果からのみで、結論を下しえないが、地上部の育ちと根の発達との間には密接な関係があり、よく育つ時は根もよく伸び、吉田のように礫質な土壌では根が深く、道志のように表層が浅く、下層の堅い土では根が深くはいらず発達が悪いようである。また、樹種による根の発達のちがいは早くもマキツケ苗の時代から現われているように思われる。

今まで直根の発達のみを論じて見てきたが、根系の発達のメヤスとなる一次根の数をみると第2図のように、アカマツは苗畑によらずおおく、カラマツがこれにつぎ、スギ、ヒノキ、シラベなどはややすくない。

また、一次根の分岐の時期をみると、カラマツを除いた他の4種では、6月中旬をすぎると、徐々にふえているが、アカマツでは6月中旬以前でも分岐した一次根がかなり認められる。

根端数をくらべると(第1表)、樹種によるちがいがいちじるしく、アカマツ、カラマツは他の3種にくらべてはるかにおおく、ことにアカマツはいちじるしい。また、苗畑に



第2図 マキツケ苗の一次根の数

第1表 マキツケ苗の根端数

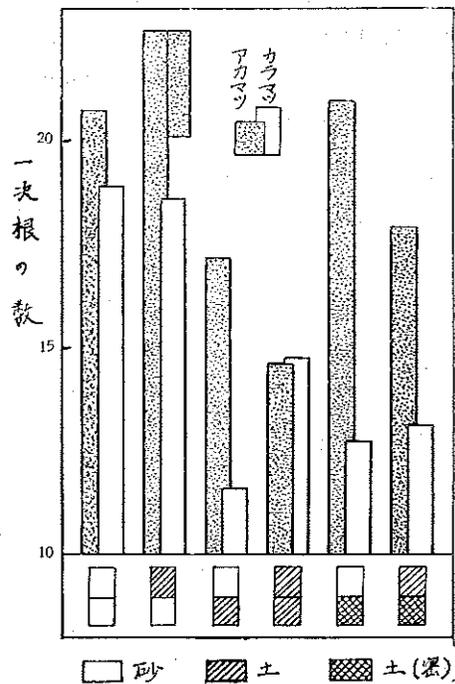
苗畑	樹種	時期別の根端数							
		6月15日	7-1	7-15	8-1	8-15	9-1	9-15	10-1
篠尾	アカマツ	19	46	64	157	219	190	303	619
	カラマツ	9	28	47	28	58	130	331	382
	シラベ	1	10	8	11	14	29	32	54
日野春	スギ	4	10	12	22	14	50	37	94
	ヒノキ	3	6	10	7	12	31	20	49
	アカマツ	36	43	58	138	134	410	274	588
	カラマツ	7	21	11	39	48	103	77	181
吉田	アカマツ	25	36	—	44	151	—	—	—
	カラマツ	11	29	62	86	137	—	—	—
道志	ヒノキ	8	6	9	15	27	15	28	—
	カラマツ	7	14	32	48	29	177	113	—

よらずアカマツ、カラマツは7月下旬ころから数が急にふえているが、スギ、ヒノキ、シラベなどは8月中、下旬からのふえ方が大きくなる傾向にあり、これまた樹種の特徴があらわれているものと思われる。

2) アカマツとカラマツ床替苗の根の発達

富士吉田の試験場苗畑で、苗畑土壌と笛吹川の川砂を用いて、縦、横とも25cm、深さ20cmの木箱に土と砂を組合せ、アカマツとカラマツの1年生床替苗を植え、1年後に樹高、重さ、一次根の数などをはかった。地上部の育ちや重量、根際の太さなどは樹種による差があまりなく、根の重さや最長の根長でも同様であった。

しかし、一次根の数はアカマツが平均71本で、カラマツより3割もおおかった。従って第3図に示すごとく、単位長あたりの根の数はアカマツの方がおおく、カラマツにくらべ根の分岐がおおいものと推察される。



第3図 アカマツ、カラマツ床替苗の単位長あたりの一次根数

2. 幼令木の根系

1) 第三紀層のスギとアカマツ幼令木

調べたところは山梨県の最南端の富沢町石合である。第三紀層の頁岩、砂岩の互層が母材となった標高500m、傾斜20°の北向きの山腹斜面である。土壌はB<sub>D(a)</sub>型の埴壤土、A層は20~25cmであった。両樹種とも4年生林で、互に隣接した所から平均に近いものを2本ずつえらび、根元から半径

60cmの範囲についてしらべた。

地上部の生育はスギよりもアカマツの方がよく、樹高は116cmでスギの1.2倍、重さでは1.8倍以上であった。TR率ではスギが1.5と2.0であるのに対し、アカマツは5.0内外で、スギよりもはるかに大きい値をしめした(第2表)。

第2表 スギ, アカマツ若木の地上部と地下部の比較

樹種	長さ		重さ			広がり			
	樹高 (cm)	根の深さ (cm)	地上部 (g)	地下部 (g)	TR率	枝ぶり (cm)	根ぶり (cm)	根ぶり 枝ぶり	
スギ	1	95	40	183	90	2.0	45	100	2.2
	2	96	40	181	118	1.5	55	125	2.3
アカマツ	1	117	100	347	71	4.9	50	50	1.0
	2	115	100	636	125	5.1	75	105	1.4

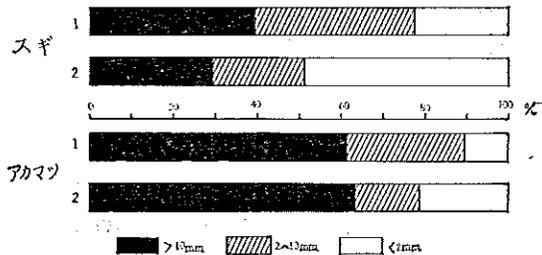
径級別の根の割合をくらべると第4図にしめすごとく、10mm以上がスギは40%以下、アカマツは62%内外をしめていた。逆に2mm以下の根はアカマツが20%以下、スギは25%以上であり、アカマツは根株にくらべ、比較的吸収根がすくなく、スギではアカマツよりおおいことがうかがえる。

これらのことからアカマツの根はスギにくらべ、養分の吸収力が強く、水分に恵まれた適潤なところでは、スギよりもすくない根で十分に生育するものと考えられる。

根系の水平分布は、スギがアカマツにくらべ樹冠が小さいにもかかわらず、地下部はひろく、アカマツが樹冠幅の1.4倍以下であったのに対し、スギでは2倍以上であった。

垂直分布は第2表のようにスギ、アカマツとも90%以上が地表から深さ20cmまでの間にあり、以下急にすくなくなっていた。しかし、スギでは40cm以下には根がみられなかったのに、アカマツは調べた2本ともほそいが、深さ1mまではいっている根がみとめられた。

一般にスギは杭根がみとめられず、心根型であるといわれているが、ここでも直根らしいものはみとめられず、根株は地表下15cm内外で5~6本にわかれていた。これに対しアカマツは苗木時代の直根は植栽の影響で曲っていて、これが将来直根として発達する



第4図 スギ, アカマツ幼令木の径級別にみた根系の配分

第3表 スギ, アカマツ幼令木の根の垂直分布

樹種	番号	深さ別の百分率				
		0-20 cm	20-40	40-60	60-80	80-100
スギ	1	98.4	1.6	—	—	—
	2	94.7	5.3	—	—	—
アカマツ	1	97.9	0.7	0.6	0.4	0.4
	2	91.1	7.5	0.7	0.4	0.3

ことは考えられないが、屈折点付近から垂直にのびていた根が1 mの深さまではいっていて、将来直根として発達するものと推察される。

## 2) 黒色火山灰土壌のアカマツ、カラマツ、ウラジロモミ幼令木

調査がおこなわれたのは富士山の西北麓である。本栖湖に近い山梨県県有林の富士事業区45林班に属する、標高1,000mのさざなみ状になった高原地帯で、太平洋からの風が常風となっていて、霧がきわめておおい。

土壌は火山灰を母材とした黒色土壌で、容積重、最少容気量が小さく、最大容水量、採取時の含水量が大きい。土壌の構造は地表から10cmの深さまでみられるが、それから下は壁状になっている。

ここは造林しても成功しないので各種の試験がおこなわれヒノキ、アカマツ、カラマツ、シラベ、ウラジロモミ、ヤマハンノキなどが帯状に植栽され、生育状況が注目されている。

根系調査はこのうち、アカマツ、カラマツおよびウラジロモミの3樹種について4年生林でおこなった。

第4表 黒色土壌に造林した若木の地上部と地下部の比較

樹種	番号	重さ (g)			長さ (cm)		
		地上部	根	TR率	樹高	根の深さ	樹高 根の深さ
アカマツ	1	355	97	3.6	79	45	1.8
	2	411	107	3.8	87	95	0.9
	3	469	157	2.9	85	75	1.1
カラマツ	1	220	45	4.9	112	25	4.5
	2	172	40	4.3	103	30	3.4
	3	327	83	4.0	107	40	2.7
ウラジロモミ	1	24	9	2.5	26	30	0.9
	2	37	26	1.4	24	45	0.5
	3	22	7	3.3	26	25	1.0

地上部の育ちは第4表のように樹種により異なり、アカマツは平均412g、カラマツは240g、ウラジロモミは27gであり、TR率はカラマツが4.4、アカマツは3.4、ウラジロモミは2.4であった。また、径級別の根の割合をみると、カラマツ、ウラジロモミは2mm以下のいわゆる細根は40%内外であるが、アカマツでは14%で、ほかの2樹種にくらべきわめてすくない。

根系の垂直分布は樹種を問わず、深さ20cmまでの間に90%以上があり、しかも6割近くが10cm以内にある。また根のはいていた深さは、樹種によって異なり、アカマツは60cm以上のび、1mもはいていたものもあるが、カラマツは40cmより深くにはみられなかった。ウラジロモミの根は浅かったが、樹高も低く前2種にくらべ、根系の発達がおそいのではないかと思われる。因みに樹高と根の深さとの比を求めるとアカマツ1.2、カラマツ3.4、ウラジロモミは0.8で、カラマツが地上部の割には根の浅いことがうかがえる。

水平根は樹種によらず地表近くを遠くまでのびていたが、大部分の根が根元から半径20cmの中にあり、アカマツ、ウラジロモミでは90%が、カラマツでは80%が含まれていた。

3) B<sub>B</sub>型土壤にうえたヒノキとカラマツの幼令木

調査地は秩父山塊の金峯山に連なる標高1,300mの山地で、荒川に面する尾根から西にはりだした小尾根の末端に近く、北西に傾むいた山腹上部のゆるやかな斜面である。

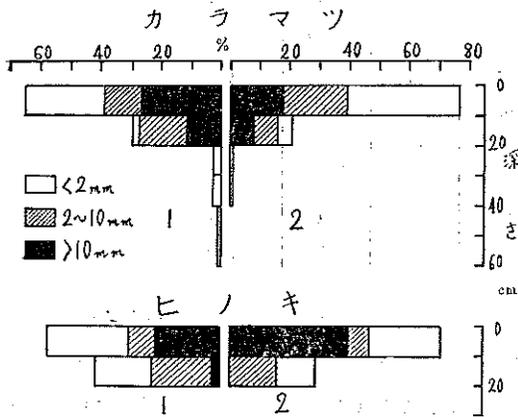
基岩は花崗岩で深層風化している。土壤はB<sub>B</sub>型の残積土にはいるが、A<sub>0</sub>層はF、H層が発達し8cmで厚く、A層は17cm、全土層は70cmあり、比較的埴質な土壤である。

調査木は造林後3年を経過したもので、カラマツとヒノキが部分的に混交されているが、カラマツの方が樹高で3割大きい。地上部の重さ、根元径はカラマツの方が大きい、地下部の量もおおく、TR率はヒノキが4.0と2.5、カラマツは2.8と2.2であまりはっきりした差はない(第5表)。

径級別の根の割合でも樹種によるちがいは明確でない。

第5表 ヒノキ、カラマツ若木の地上部と地下部の比較

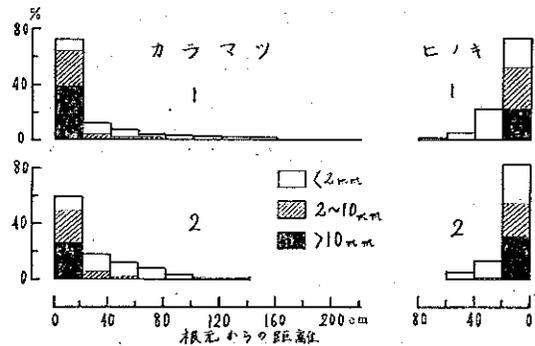
樹種	樹高 (cm)	重 さ			広 が り			
		地上部 (g)	地下部 (g)	TR率	枝ぶり (cm)	根ぶり (cm)	根ぶり / 枝ぶり	
ヒノキ	1	110	203	51	4.0	70	130	1.9
	2	114	132	53	2.5	75	115	1.5
カラマツ	1	141	227	81	2.8	95	285	3.0
	2	147	249	118	2.2	85	220	2.6



第5図 調査したヒノキ、カラマツの根の垂直分布

水平分布の状況は第6図のように樹種によってちがって異なり、ヒノキは根元から60cmの範囲内に分布していたが、カラマツは120cm以上にひろがっており、なかには3m近くまでのびている個体もあった。したがって細根の分布もきわめてちがう、ヒノキは90%までが根元から40cm以内にあったが、カラマツでは40cm以内にあったものは約半分であり、80cm

第5図で明かなごとくヒノキは根系全部が、カラマツでも、ほとんどの根が地表から20cmの間に分布していた。しかも6~8割が10cm以内にあり、カラマツの方がヒノキよりもやや表層にあつまる傾向がみられる。ことに細根ではカラマツが10cm以内に90%ちかくまで含まれていたが、ヒノキは65%弱である。しかし、ヒノキでは20cm以上の深さにはななかったが、カラマツは40cmをこえていた。



第6図 ヒノキ、カラマツ若木の根の水平分布

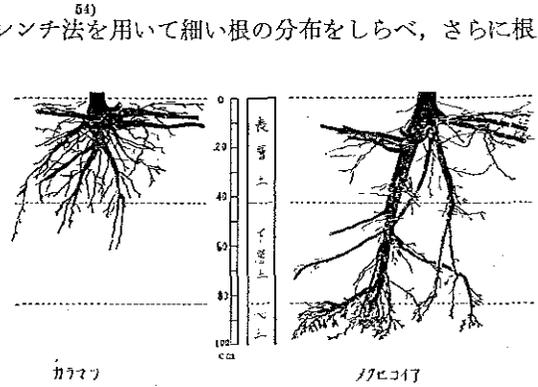
はなれても急激なへり方をせず、遠くまでまばらにのびていた。

樹冠と側根のひろがりとの関係を見ると、ヒノキは根ばりが枝ばりの2倍に達しないが、カラマツでは3倍ちかくもあり、カラマツはヒノキよりも横のひろがりが大きく、その反面ヒノキは根株のまわりに吸収根が集っていることが推察される。

#### 4) カラマツとメタセコイアの幼令木

富士吉田の試験場苗畑に植えてから5年後にトレンチ法を用いて細い根の分布をしらべ、さらに根株を掘り取って根の形態をしらべた。

根の形は第7図にしめすごとく、両樹種とも杭根がみられたが、カラマツは平根や心根の発達がいちじるしく、杭根も心根状で細く短い。これにくらべ、メタセコイアの根は地表近くにも発達するが、杭根の発達が旺盛で、深さ90cm以上では礫層にはいり、根が毛細管状にこまかく分岐している。また、垂下根や杭根からの斜出根もみられ、ことに深層における斜出



第7図 カラマツ、メタセコイア若木の根ばり

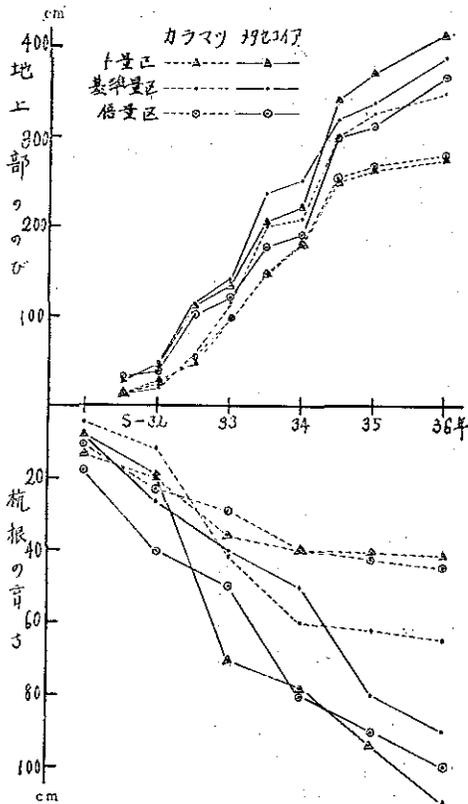
根は特徴的である。

なお、カラマツでは根株のまわりに細い根がおおく、それらが細かく分岐していたが、メタセコイアはカラマツほどではなく、分岐もすくないようである。また、カラマツは吸収根がきわめて細く、やや黒みがかったが、メタセコイアの吸収根は割に太く、黄白色ですこぶる旺盛な生長をしていた。

根元から20cm離れた所に設けた土壌断面にあらわれた根はメタセコイアの方がおおく、カラマツの3倍以上であった。

両樹種について、地上部と根系の生長との関係を知るひとつの試みとして杭根の解析をしたが、その結果は第8図に示すごとくである。

毎年の樹高と杭根の生長状況をくらべると、樹高の高いメタセコイアの方が根も深くまではいっており、カラマツでは当初からメタセコイアにくらべ生長量は少ないが、杭根の発達も同様な傾向を示している。ことにカラマツでは基準施肥区のものと同量施肥区の調査木が、ほとんど同じような生育の経過をたどり、倍量区はほかの2区にくらべ地上部の生育はよいが、



第8図 カラマツ、メタセコイア若木の根の生長経過と地上部

根系の育ちも全く同様なすじみちを辿ってのびている。メタセコイアでも半量区が一番高く；根系も一番深いがカラマツほどあきらかでない。

また、樹種を問わず地上部のそだちがいずれも1,960年の後半から落ちているが、根の伸びも1,960年から低下している。

このわずかな資料のみから結論を求めるのはさけるべきであるが、地上部のそだちと杭根の発達との間には極めて密接な関係のあることはいえると思う。

### 5) 根系の切断によるアカマツ幼令木のそだちと根系

アカマツは深根性で直根の発達がいちじるしいが、造林にあたっては直根の有無が将来の生育に大きな影響をあたえるといわれ、一部では直根切り落しの可否が論じられている。また、アカマツは根の再生力が弱く、これが影響するらしいともいわれている<sup>39)</sup>。

そこで、山中湖畔にある東京大学演習林で、扇田教授の指導のもとに、昭和34年春、天然更新したアカマツの一部を植栽し、その後の生育状況をみている。

植付けてから3年後には、樹高で相当のちがいがみられたので根の分布状態をしらべた。

試験地は標高985m、傾斜3°内外の北向き斜面である。径1~2cmの富士火山焼礫があつく堆積し母材となっているが、表層の40cm内外は宝永火山の砂礫でおおわれている。

土壌は2重の成層をしめしており、25cm内外の腐植層をもった土壌の上に前記の砂礫が堆積し、表層はきわめて砂礫の多い未熟な土壌で、断面はA, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, A', B'層に区分される。A層は2~5mmの黒色礫が70%以上をしめ構造は明確でない。B層は同様の礫層で粒径により2層にわけられる。A'層は10mm内外の礫が40%くらい含まれた腐植土で、褐色のB'層とは明瞭なちがいがある。B'層は径10~15mmの礫がおおいが、細土も40%くらい含まれている。

調査結果を検討するにあたって、便宜上、天然更新のままをN、植えかえたものをPとした。

N, Pともに3本ずつしらべたが、地上部の育ちは第11図からも明かなようにNの方がはるかによく樹高で5割も大きい。しかし根元の直径では、はっきりした差がなかった(第6表)。

第6表 根を切断したアカマツ若木の地上部と地下部の関係

処 理 No.	造 林 木			天 然 生			
	1	2	3	1	2	3	
根元直径 (mm)	46	34	28	42	38	39	
樹 高 (cm)	116	123	119	186	176	182	
地の上重 部さ (g)	幹	451	265	206	513	441	390
	枝	602	245	160	340	257	408
	葉	570	311	173	429	261	346
地の下重 部さ (g)	< 2mm	233	148	120	227	51	91
	2~10mm	79	49	33	44	20	33
	> 10mm	357	127	115	128	110	106
T R 率	2.4	2.5	2.0	3.2	5.3	6.3	

地上部の重さもNの方がPより1割強大きい樹高ほどではない。Nでは成立木の間隔が比較的密

であり、各個体がふれあっているが、Pでは孤立状態にある。このようなちがいが重さで高さほどははっきりしない原因のひとつになっているかも知れない。

地下部の量は地上部とは逆にPの方がおおく、平均420gでNの1.6倍弱である。したがってTR率はいちじるしく異なり、Nの方が個体によるばらつきが大きく、しかも3.2以上であったが、Pは2.5以下で根のおおいことがうかがえる。

天然生のもは造林木にくらべ、一般に根の発達が悪いが、ここでも同様の傾向がみとめられた。植栽木の根がおおいことの一因として、苗木の場合に移植や根切りなどにより根が増加、充実することと同じ意味に解釈できそうである。

根の径級別割合は個体により異なりN、Pのちがいがはっきりしない。ただ両者を通じ2~10mmの根がすくないが、これは径級の区分方法に問題があるものと思われる。

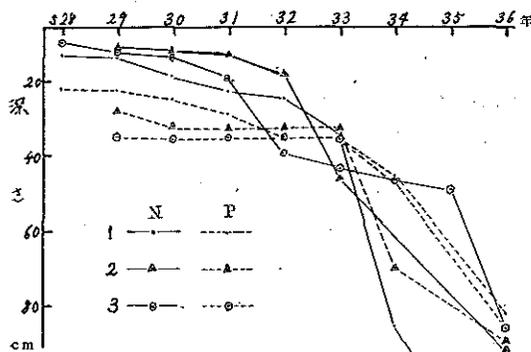
垂直分布をみると、N、Pを問わず根は深くまではいっており80cmをこしていた。

しかし配分状況は異なり、Nは表層に60%以上がふくまれ、30cmより深部ではその量がきわめてすくない。これに対しPは表層に30%内外しかなく、むしろ10~20cmにややおおい。細根でも同様の傾向がみられPでは30cmより深部にも割合おおい。

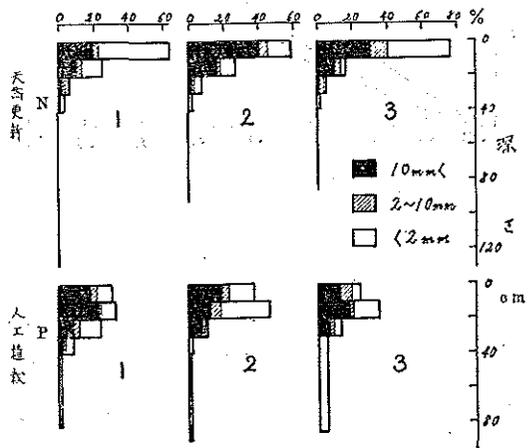
調査時の観察によれば、杭根の切口付近からきわめておおくの細根が下にのび、Nとは全く異なった形態をしていた(写真1、2)。

水平分布はN、Pともに根の大部分が根元から40cm以内にあるものの、処理によらず遠くまでのびており、Nで平均190cm、Pでは185cmまでのびていた。

NとPでは径級によらず分布の状況には明確なるちがいがみられず、Pでは杭根と同様に水平根も切断されているにもかかわらず、Nとの間に差がみられないのは興味のあることと思われた。



第10図 アカマツ若木の杭根の生長経過



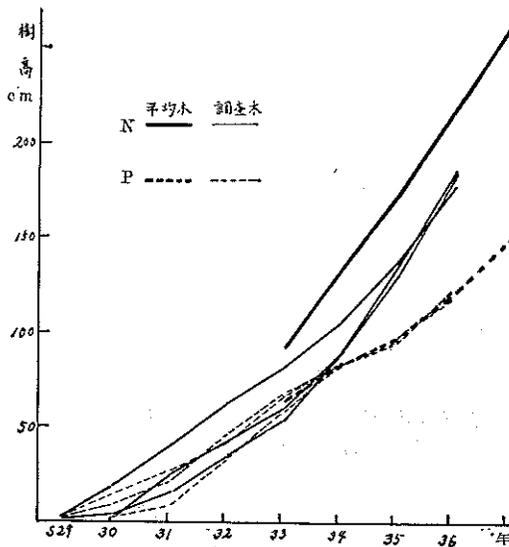
第9図 太さ別にみたアカマツ若木の根の垂直分布

根ばりと枝ばりの関係を見ると、いずれも枝ばりの4.5倍内外で、第三紀のアカマツが根ばりと枝ばりが同じくらいであったことと比較し、アカマツは土壌に対する適応性が大きく、表層が粗鬆な土では平根の発達することが推察される。

根と幹の生長のすじみちについては、根幹解析による杭根の生育経過を第10図にしめす。

根幹解析の結果から、Pではもとの地際より

10~15cm 深植えになっていることがわかった。根は一般に 昭和31~32年までは余りのびておらず、その後急速に伸張しているようである。この傾向は地上部のそだちでもみられ(第11図)、杭根のそ



第11図 アカマツのそだち

だちと地上部のそだちの間には密接な関係のあることが推察される。

しかし、試料のすくないこともあろうが、杭根と地上部の生長のすじみちが全く一致している訳ではなく、地上部の生育には平根の影響が大きいこともうかがえる。

各調査木について34年度以後の生長率をみると(第7表)、Nでは年々小さくなっているが、Pでは35年に急に小さくなり、36、37年はだんだん大くなっている。まだ試験の途中なので結論をくだしえないが、Pは根の分布からみても今後生育がよくなりそうに思われる。

第7表 根を切断したアカマツ若木の生育

処 理	試 験 区	設樹定時の高 (cm)	年度別の伸長量 (cm)				生 長 率 (%)			
			昭和34年	35年	36年	37年	34年	35年	36年	37年
造 林 木	1	60	19.5	15.0	26.0	35.0	13.96	8.62	11.94	12.68
	2	64	21.0	14.5	20.5	25.5	14.07	7.84	9.36	9.51
天 然 生	1	98	41.0	43.0	46.5	43.0	17.26	13.46	11.34	8.61
	2	88	35.0	40.0	44.5	48.0	16.93	13.86	11.95	10.35

### 6) 火山灰土壌のカラマツ、シラベ幼令木

富士山の北側にある県有林のカラマツ、シラベ混交林が調査地である。

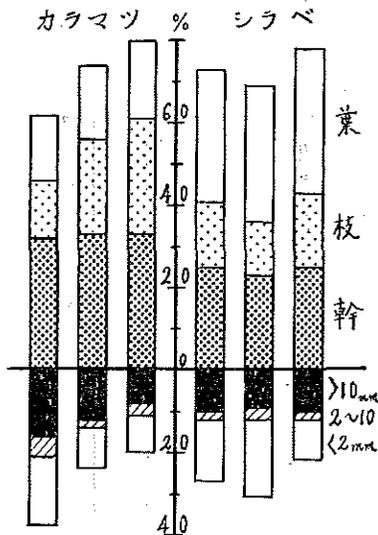
標高1,500m、北北西向き傾斜10°の緩斜面で、精進口登山道の2合目近くにある。この気候は年平均気温が5°C、全年降水量は2,000mm内外と推定され、南西風が卓越している。基岩は富士山の火山礫と砂が互層となっており、地形的には傾斜方向にそった起伏がおおい。土壌はきわめて未熟で、層位の変化もはっきりしないが、大部分は褐色森林土壌のB<sub>0</sub>型かB<sub>0</sub>型にはいり、微凹地には黒色土壌が分布している。黒色土壌のA層はきわめて保水性が高く、下層は壁状になっている。

調査したのは植えてから7カ年を経過したもので、カラマツとシラベが単木状に混植されている。その列間は2.5m株間は1.3mで、両樹種が交互に植えられている。調査はやや凹地形のところでおこなわれたが、その結果を第8表にしめす。

第 8 表 カラマツ, シラベ若木の生育

樹種	No.	カラマツ			シラベ		
		1	2	3	1	2	3
樹高 (cm)		180	196	184	132	126	130
根元の太さ (cm)		4.0	4.2	2.9	3.7	3.4	3.3
樹高/太さ		45	47	63	36	37	39
重さ (g)	地上部	493	928	760	771	636	790
	根	304	328	190	283	280	216
T R 率		1.6	2.8	4.0	2.7	2.2	3.5

樹高ではカラマツの方が45%も大きかったが、根元の太さはあまり差がない。地上部の重さもカラマツは個体によるバラツキが大きい、平均するといずれも730g内外で、これまた差がみとめられない。



第12図 カラマツ, シラベ若木の各部分の割合

しかし、各部位別にくらべると、幹と枝はカラマツの方が

ややおおく、葉はシラベの方がはるかにおおく平均で9割のひらきがある。

地下部も、地上部と同様で、径級別の根量も樹種によるちがいがあまりないが、その割合をみると(第12図参照)、カラマツは2mm以上の根が、細根よりややおおいが、シラベは逆に細根の方がおおい傾向にある。TR率もカラマツが平均2.6、シラベは2.8であり差がない。

根系の垂直分布は樹種によらず、ほとんどの根が地表から20cmまでの間に分布していたが、そのうちの7割以上が10cmまでにふくまれていた(第13図)。

ただし、シラベの3号は下層にも根がおおかったが、根幹解析の結果からみると著しい深植えであり、そのため特異な

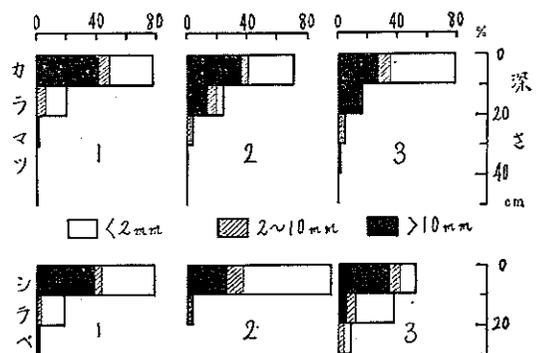
根系分布になったものと思われる。

しかし、シラベでは根系が20cmより深くには殆んどみられなかったのにくらべ、カラマツでは40~50cmまで分布しており、いずれも杭根がみとめられた。

根元からの距離別にみた根系の水平分布を第14図に示す。

両樹種とも分布状況はL字型にちかく、しかも根元から20cmのなかに大部分がふくまれ、20cmを越すと急にすくなる。また、カラ

マツはシラベにくらべ根が遠くまでのびており、シラベではほとんどの根が80cm以内に分布してい

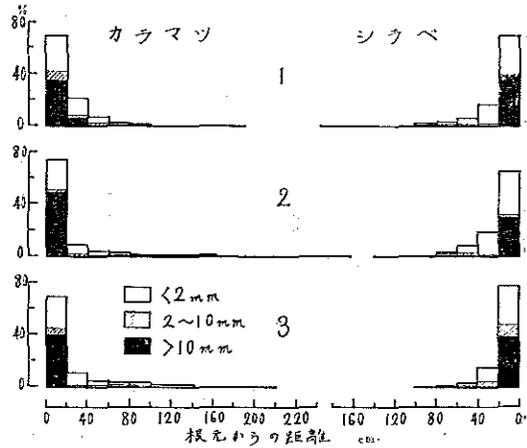


第13図 シラベ, カラマツ根系の垂直分布

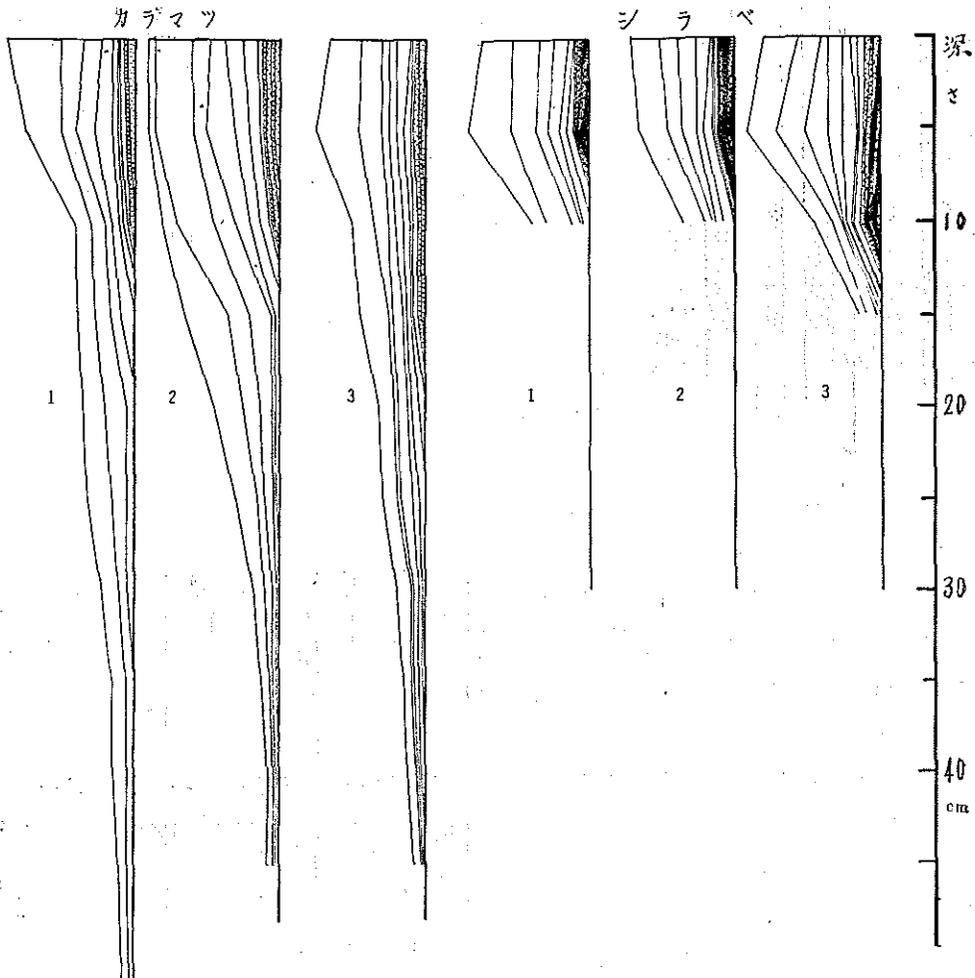
たが、カラマツでは80cm以遠にも8%内外の根がみとめられた。

細根は樹種によらず60%内外が根元から20cmのなかにあり、20~40cmの間には20~30%がふくまれている。しかしシラベは細根の85%以上が40cmまでにふくまれ、それより遠くには平均12%しかなかった。

カラマツでは平均して21%が40cm以遠にあり、シラベより吸収圏の大きいことがうかがえる。また、方位あるいは傾斜による根の分布のちがいははっきりせず、まだ植付けの時の影響が残っているものと推察された。



第14図 カラマツ、シラベ根系の水平分布



第15図 カラマツ、シラベ杭根の根幹解析

根ばりと枝ばりの関係を見ると、枝ばりは樹種によるちがいがあまりないが、根ばりはカラマツの方がやや大きい傾向にある。しかし両樹種とも個体による変動がかなり大きく枝ばりほど均一でない。

両者の比率を取るとカラマツは平均4.2、シラベは2.4で、カラマツの方がシラベにくらべ水平根の発達が盛んで遠くまでのびていることがうかがえる。

根系の伸び方をみるため、両樹種とも根株をふくめた杭根を5cmごとに玉切り根幹解析をした。その結果を第15図に示す。

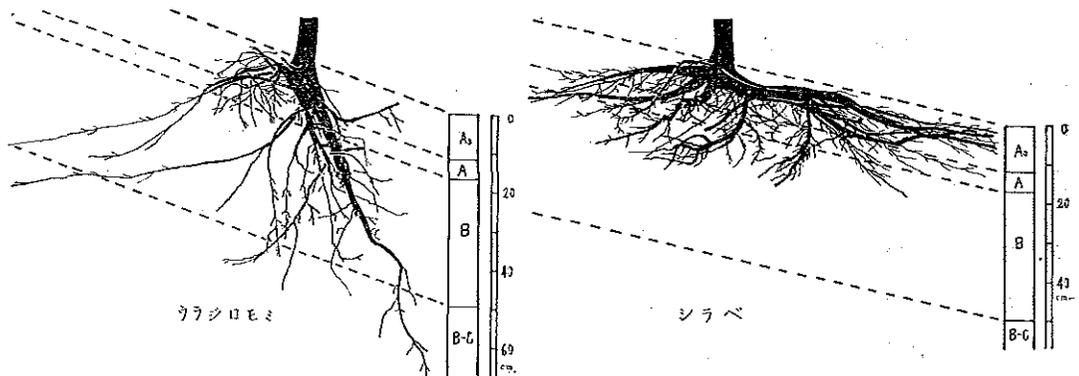
カラマツはシラベより杭根が長く、植栽の翌年から、直根の伸びていることがわかる。

これにくらべシラベは植えてから数年間はほとんど伸びず、その後伸びてもあまり発達せず、杭根らしいものは形成されていない。

シラベの方がカラマツよりも年輪の数がおおいが、これは山引き苗のためと思われる。またこの結果から、シラベは現在の地際よりむしろ深さ10cmくらいの方が年輪がおおく、自然の成立時にはきわめて根が浅く、さらに造林により自然の条件より深植えになっていることが推察される。

#### 7) シラベとウラジロモミ幼令木の比較

秩父山塊の奥仙丈ガ岳の近くにある標高1,700m、石英閃緑岩が母材となったP<sub>DIII</sub>のところに天然更新していたものをしらべた。1~3mの若木を4本ずつ掘りあげ、根の形態を観察し、このうち両樹種とも樹高3m内外で隣接して成立していたものについて、トレンチ法により、根元から50cmの地点の断面にあらわれる細い根をしらべた。根の形態も代表的と思われたので第16図にしめす。



第16図 シラベ、ウラジロモミ天然生木の根ばり

シラベは根が浅く、よこに広がり側根は発達しているが、杭根らしいものはみられない。これに対しウラジロモミは杭根がよく発達している。

高山の天然林ではコメツガと同様シラベに風倒木がおおく、これをみると杭根らしいものはなく、根はきわめて浅い。ところがウラジロモミはアカマツのように杭根が深くはいつているのをよくみかける。このためかウラジロモミの風倒木はあまり見かけない。このようなことも2樹種のもつ特性をうらがきしているように思われる。

細い根の分布状況を見ると、ウラジロモミの方が深くまでまばらにはいつているが、シラベの方が

根の数ははるかにおおく、しかも表層近くにあつまっている。これらのことからウラジロモミの方が根が深くまで入るが、シラベにくらべ根の分岐がすくないように思われる。

造林木は富士山の精進口登山道の2合目付近にある19年生の混交林で、B<sub>C</sub>とB<sub>D</sub>の2カ所でしらべたが、両樹種ともB<sub>D</sub>の方は根がおおい。また根元から50cmはなれた地点の断面にあらわれた根をみると、土壌型によらず細い根はウラジロモミの方が深くまでまんべんなく広がり、シラベは深さ30cmまでに集中して分布する傾向がみられた(第9表)。

第9表 断面にあらわれたシラベ、ウラジロモミ造林木の根の数

深 さ (cm)	シラベ				ウラジロモミ			
	B <sub>C</sub> 型土壌		B <sub>D</sub> 型土壌		B <sub>C</sub> 型土壌		B <sub>D</sub> 型土壌	
	< 2 mm	> 2 mm						
0—10	75	30	155	35	70	27	76	26
10—20	51	13	197	27	82	13	84	32
20—30	33	6	123	14	43	6	62	6
30—40	17	—	47	6	22	2	28	12
40—50	3	—	41	5	12	—	25	3
50—60	—	—	14	—	8	—	7	2
60—70	—	—	6	—	4	—	2	2
70—80	—	—	1	—	1	—	1	1
合 計	179	49	584	87	242	48	285	84

この付近は50cm内外の深さから隙層となり、その上部は固結層となっているが、ウラジロモミでは杭根がこれを貫ぬいて下層までのびていた。同じ富士山北麓の忍野付近でアカマツが固結層を貫ぬいていた例もあり、今後の造林にあたっては、固結層の深さによる樹種の選定を考慮に入れることが大切と思われる。

### 3. 考 察

林木の根系の特性をつかむことは造林上きわめて重要なことなので、今世紀の初めごろから壮令木の根ばりを主に研究がすすめられ、深根性とか浅根性など樹種によって形や分布にちがいのあることがわかってきた。ここで調査した根系も樹種によって特有の発達をしていることがうかがえる。

すなわち、ここでは苗木についてスギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツ、シラベの5種、幼令木についてはさらにウラジロモミ、メタセコイアをしらべたが、マキツケ苗では、苗畑によりそれぞれ発達は異なるものの各苗畑を通じ、アカマツは直根が深くまではいり、カラマツがこれにつぎ、逆にシラベはきわめて浅く、スギ、ヒノキは中間であった。

造林して数年たった幼令木では、アカマツは、はじめの直根が切られあるいは曲っていても、これに代り深くまではいっている根があり、ウラジロモミも造林木と天然生木とを問わず直根が発達していた。またメタセコイアも直根が発達していた。これと逆にシラベとヒノキは根がきわめて浅く、スギもやや浅い方にはいるようである。カラマツは中間であるが、直根がみとめられた。

壮令木については、本邦でも宮崎<sup>32)</sup>が1942年にアカマツ、モミは根が深くはいり、スギ、ヒノキは心根型で、ヒノキの方がやや浅いことを指摘し、最近刈住<sup>23)</sup>は50種の根系をしらべ、根の分布を8型にわけ、直根の発達したものとしてアカマツ、モミをあげ、斜出根の発達して深いものとしてスギ、根の浅いものとしてヒノキ、サワラなどをあげている。

林木の根は樹種によってそれぞれ特徴があるものの、刈住<sup>23)</sup>もいのように根の発達は樹令によっても異なり、各時代に特異の発達形態をしているものと思われる。玉利<sup>48)</sup>はアカマツが若木の時代に直根の発達がいちじるしく、壮令木では水平根がのび、老令木では直根は枯れ、水平根と短い垂下根が発達するとのべている。また、岩田・草下<sup>20)</sup>はヒノキやサワラは早く主根を失い、ツガやエゾマツがこれにつぎ、モミ、トドマツ、アカマツは壮令まで主根があるといっている。

今回の調査結果をみると、アカマツ、ウラジロモミは苗木のころから直根の発達がいちじるしい。スギ、ヒノキははじめ直根があるものの早く失い、ことにヒノキでは幼令木の時代から根の浅いのが特徴といえよう。高橋<sup>60)</sup>によるとカラマツははじめ直根が発達しているが、10年内外から斜出根が直根に変わるといわれている。またカラマツの苗木はアカマツについて直根が発達しているが、造林すると直根にくらべ側根の発達がいちじるしくなることが認められる。しかし、造林してから7年くらいではまだ直根がみられ、壮令木でも写真のように土壌条件によって直根の発達しているものもある。

シラベの幼令木は天然木、造林木とを問わず根がきわめて浅く、直根がほとんどみられない。

以上のことから根系の分布傾向をみると、スギ、ヒノキ、アカマツはともかく、ウラジロモミ、メタセコイアは刈住<sup>23)</sup>のいうアカマツ型に、シラベはシラカシ型にはいり、カラマツは一般にはスギ型にはいるものと推察される。

林地肥培とも関係の深い幼令林の根の分布状況をみると、樹種や林令によらず大部の根が表層近くにあつまり、20cmをこすと急にすくなるようである。表層ではことに0~10cmの間におおい。

水平分布は樹種によってことなり、アカマツ、カラマツは根が遠くまでのび、シラベはこれについて広い。これらにくらべ、スギ、ヒノキは概してせまいように思われる。ただしアカマツは第三紀のB<sub>D</sub>ではスギよりもせまい傾向があった。このことはTR率にもあらわれ、アカマツの方が大きく、湿潤なところではアカマツは根圏がせまく、すくない根系でもかなり育つことが推察される。

TR率は土壌、気候、樹種などによっても異り、一般に雨のおおいところでは、根が水分を容易にとれるので側根の発達はすくなく、TR率が大きくなるといわれている<sup>15) 31) 33) 45) 51)</sup>。

このようなことから、アカマツはかなり乾燥したところにも育つので、根系の養分吸収や水分の吸収力が強いというようなことも考えられる。

また、各調査地を通じ、カラマツ、ヒノキ、シラベは側根がきわめて浅く、地表から5cm内外のところを横走しているものがおおかったが、刈住・寺田<sup>24)</sup>によるとカラマツはスギ、アカマツにくらべより好気性であり、土壌中の酸素をおおく必要とする。このような性質も側根に影響しているものと思われる。

また、これらのことからヒノキ、シラベなども比較的酸素の要求度が高い樹種であるものと推察される。

細根の分布について、小林は深部に吸収根のおおいものは嫌気的な性質を持っているというが、富士山麓に育ったメタセコイアは細根が深くまでまんべんなく分布し、カラマツの方が表層に集まるようであった。

メタセコイアはスギと同様に水分のおおい土地ではよくそだち、カラマツと逆に酸素の要求度は余り高くないように思われる。

また、メタセコイアの細根はカラマツにくらべはるかに太く、カラマツが黒味がかっていたのに対し淡黄褐色であった。吸収根がほそく分岐がおおいと乾燥にたえる<sup>14)</sup>というが、カラマツにくらべ、メタセコイアは乾燥に対する抵抗性が小さいように思われる。このほか観察によればスギはやや太く、ヒノキはほそいようである。

一次根をはじめ根系の分岐状態をみると、マキツケ苗ではアカマツの発達が早い<sup>28)</sup>ためか一次根の数がおおく、カラマツはこれにつきシラベはすくない。しかしアカマツは主根が発達するにつれ分岐はすくなくなるものと思われる。造林した幼令林では概してすくない。壮令木ではスギ、ヒノキにくらべアカマツは水平根の分岐がすくないようである。

ウラジロモミはシラベよりも根の数がすくなかったが、刈住はモミの根の分岐がすくないことを観察しており、この樹種の特徴かも知れない。<sup>23)</sup>

養分の吸収をおこなう細根と地上部の生育とが密接な関係にあることはいうまでもないが、直根もまた生育ときわめて深い関係にあることが知られている<sup>17) 42) 48)</sup>。

根幹解析の結果からメタセコイアとカラマツについて、地上部のそだちと直根の生長との関係をみると相関度が高く、直根がよく発達している個体は地上部の生育もまたよい傾向にあることがうかがえる。

アカマツの幼令木でも同様の傾向がみられ、根の伸びのすくないうちは地上部の伸びもすくなく、根がのびだしてから地上部の伸長量もふえている。

これらのことより造林してから数年の間は、主根の発達が地上部の生長にかなり影響するものと思われる。

また造林したアカマツは直根が切断され、切断部から垂下根がおおくでて<sup>39)</sup>いるが、このためか地上部の育ちも2年間はきわめてすくなく、吸収された養分が根の再生のために消費されたものと思われる。水平根も切断されたのであるが、直根ほど明白ではなく、直根にくらべ再生力が大きいのかも知れない。佐藤によればアカマツ苗のそだちが直根の切断で当初はかなり影響を受けるとい<sup>39)</sup>う。

アカマツがスギ、ヒノキ、カラマツにくらべ、直根の切断による影響が大きいことの一要因として、生育のために直根がもつ役割はきわめて大きいものと考えられる。アカマツと同様に直根が発達するウラジロモミについても、同じようなことがいえるかも知れない。

#### IV. 土壌条件と根系分布との関係

##### 1. 苗木の根系

###### 1) 土壌の理化学性とアカマツ、カラマツ苗の根の発達

縦、横とも25cm、深さ20cmの木箱を上から10cmまでの上層と10cm以下の下層にわけて、土と砂を組み合わせ、1年生苗を植えてから1年後に掘りとり根系をしらべた。用いた土壌は富士山の火山灰砂を母材とする試験場の苗畑の土で、川砂は笛吹川産のものである。

試験区は次の6区で、下層が土のところは密につめ堅めた区を設けた。堅さは山中式の硬度計で設定時に12~14の堅さにかためた。

処理 層位	1	2	3	4	5	6
上層	土	土	砂	土	砂	砂
下層	土	土(密)	砂	砂	土	土(密)

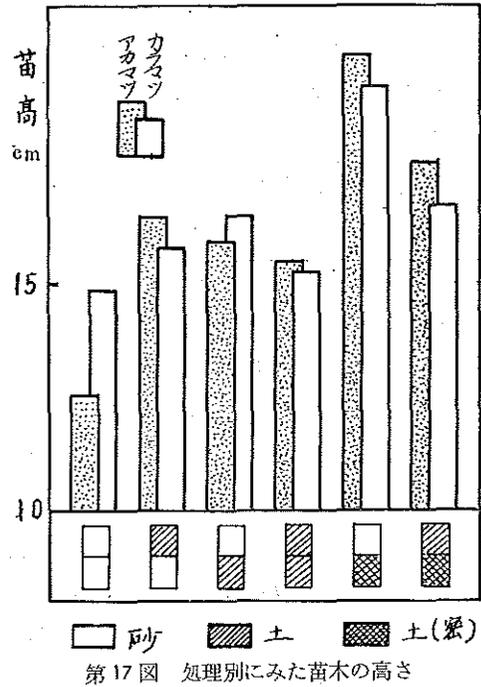
地上部のそだちは第17図にしめすごとく、樹種によらず下層を堅めた区はよくそだっており、上下層とも砂の区が悪かった。

この傾向はアカマツが強く、カラマツの方が区によるフレが小さい。

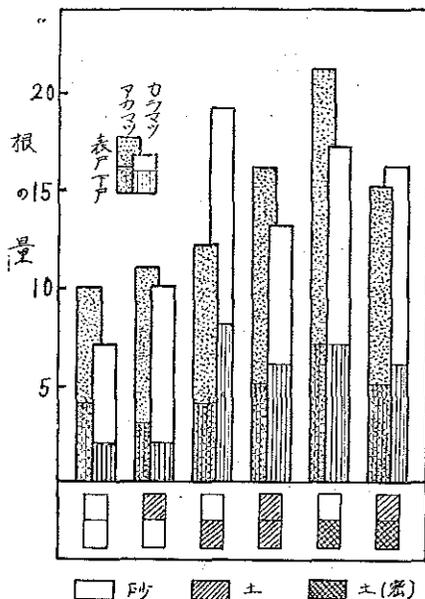
根の長さは樹種や区によるちがいはあまりなかったが、上下層とも砂の区が短く、上層が砂で下層の土が密の区はやや長かった。

根の長さは上層よりむしろ下層の影響を受け、下層が砂の区は概して短い傾向にあった。

根重は第18図にしめすように両樹種とも下層の理学的性の影響を受け、下層が密なところは根の量がおおく、砂の区はすくなく、上層の根の発達にも影響しているようである。



第17図 処理別にみた苗木の高さ



第18図 処理別にみた根の重さ

一次根の数は上下層とも砂の区と、上層が砂で下層が密の区でおおく、ことにアカマツではきわだっていた。単位長あたりの根の数は下層の影響が大きく、土のところはいずれもすくなく砂の区はおおかった。

## 2) 施肥と密度をかえたアカマツとカラマツ苗の根系

富士吉田にある試験場の苗畑に、下記のごとく密度と施肥量をかえて、アカマツとカラマツの1年生苗で苗高10~11cmのものを植えつけ、2年後に中央のものを3本ずつ掘り取って根の分布状況をしらべた。

処理	項目	段階			
密度	記号	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
	株間(cm)	80	40	20	10
施肥	記号	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>
	1m <sup>2</sup> あたり N要素量(g)	0	10	20	30

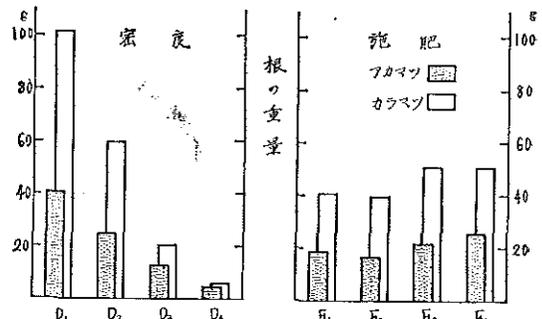
ただし、施肥にあたっては施肥区はいずれも堆肥を1.15kg 施こし、たらない分をちから粒状肥料2号で補った。また追肥として設定の翌年も基肥と同量を施こした。

この土壌は富士山の火山焼礫ならびに火山灰を母材とする黒褐色の砂質土壌で、40%内外の礫を含んでいる。

試験の設定にあたって、地表から20cmまでの土を掘り起し、堆肥を深さ20cmのところまき、粒状肥料をこれから上の土とまぜた。

調査は各区とも計算から求めた1本あたりの占有面積の中を、10cm きざみで掘りとり根を測定した。

処理別にみた根の量は第19図にしめすように密度、施肥量によらず、カラマツの方がはるかにおおくアカマツの約2倍である。しかしアカマツ、カラマツとも密度が大きくなると根量はいちじるしくへり、密度の影響が大きく、ことにカラマツでははなはだしい。



第19図 処理別にみたアカマツ、カラマツ苗の根量

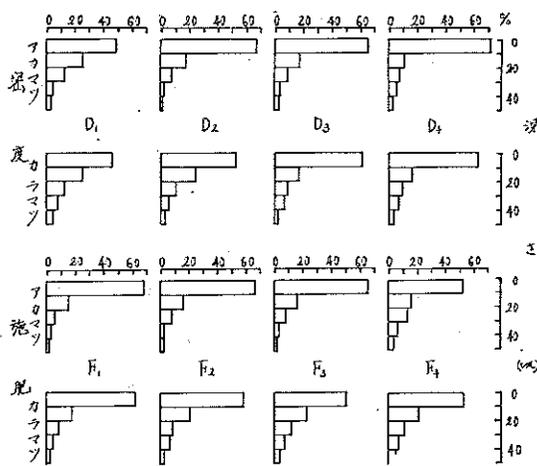
根の量と密度の関係は対数グラフに落とすと直線関係にあり、次のような回帰式であらわせる。

$$\text{アカマツ} \quad \log W = -0.504 \log d + 1.965$$

$$\text{カラマツ} \quad \log W = -0.689 \log d + 2.509$$

ただしWは根の重さ、dは密度

施肥による影響は、樹種によらずF<sub>3</sub>、F<sub>4</sub>になると根量がおおいが密度ほど極端ではない。細根でもこのような傾向がみられたが、F<sub>4</sub>では他にくらべかなりおおい、施肥の影響と思われた。



第20図 アカマツ、カラマツ苗の根系の垂直分布

根系の垂直分布は第20図のように、樹種や処理によらず、地表から10cmの間に根がおおいが、ことにアカマツではこの傾向がはっきりしている。

密度の影響をみると、密度が低いときは樹種によらず、根は深いところにもおおいが、密度が高まると根は地表近くに集まる傾向があきらかにみとめられる。施肥についてみると、施肥量の多いところの方が根が深くまでまんべんなく分布しているようである。

TR率は大体2~4の間であったが、樹種や施肥量によるちがいはあまりみられず、逆

に密度の影響はかなり明確で、2樹種とも密度が高まるにつれ大きくなる傾向が認められた。

## 2. 幼令木の根系

### 1) 異なった施肥量の土地に植えたカラマツとメタセコイアの根の垂直分布

火山礫を40%内外ふくんだ、富士山の火山灰、砂を母材とする試験場の苗畑で、1 m<sup>2</sup>あたり窒素で40 gを基準量とし、半量、倍量、無肥料区の4区にスギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツ、メタセコイアの2年生苗を植えたところ、5年後にはカラマツとメタセコイアを残し他はほとんど枯れた。そこで、根元から20cmはなれたところにざんごうを掘り、トレンチ法により細い根の分布をしらべた。

根の数は施肥量によらずメタセコイアの方がはるかにおおく(第10表)、半量区で2.7倍、基準量区で5.6倍、倍量区で6.9倍となっていた。両樹種とも施肥量が増すにつれて根はおおくなっていたが、

第 10 表 断面にあらわれたカラマツ、メタセコイア若木の細い根の分布

太さ (mm)	半量区		基準量区		倍量区	
	カラマツ	メタセコイア	カラマツ	メタセコイア	カラマツ	メタセコイア
<2	53	121	68	350	93	728
2—5	12	63	11	87	21	88
5—10	7	13	1	9	3	12
10—20	2	6	—	1	1	—
>20	—	—	—	—	2	1
合計	74	203	80	447	120	829

そのふえ方は樹種によって異り、カラマツでは基準量区が半量区の1.1倍、倍量区は1.6倍となっていたが、メタセコイアではそれぞれ2.9倍、6倍でメタセコイアの方がふえ方が大きかった。なお、この傾向は2 mm以下の根ではっきりしていた。

メタセコイアは地上部のそだちもカラマツより施肥に対して敏感であったが、根系でも同じことがいえそうである。

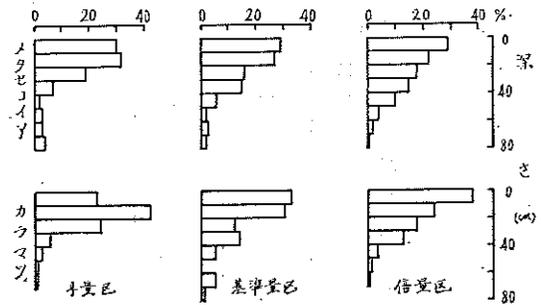
根の垂直分布をみると第21図のように、2樹種とも根は地表近くにおおいが、メタセコイアの方が概して深くまではいっている。

施肥量との関係を見ると両樹種とも施肥量がおおいところの方が、深くまでまんべんなく広がる傾向にあるが、メタセコイアの方がこの傾向はややはっきりしている。

### 2) カラマツの幼令木におよぼした施肥の影響

八ヶ岳山麓の美が森周辺から野辺山高原にかけては広大な黒色土壌の地帯がある。この地帯は大部分がカラマツの造林地であるが水はけも悪く、そだちがあまりよくない。

そこでカラマツを植えてから翌年施肥して生育状況をみてきたが、3年後には無肥区にくらべ、



第21図 土壌断面にあらわれた根の垂直分布

④ 固形肥料を6コ施した基準量区で25%のひらきがあったので、基準量区と無肥料区からそれぞれ3本ずつの標準木をえらび、根系をしらべた。

2 mm以下の細根は基準量区の方が根量で6割おおかった。

垂直分布では区によらず80%内外の根が地表から10cmの間にふくまれ、しかも大部分が20cmまでに分布していた。また、いずれも30cm内外までしかはいておらず施肥の影響がはっきりみとめられなかった。

これに対し水平分布では、無肥区は根元から20cmの範囲に90%が含まれていたが、施肥区では85%であり、細根ではこの傾向がより一層明瞭であり、施肥区の方が遠くまでまんべんなく広がり、吸収圏の大きいことがうかがえた。

また、無肥料区は例外なく根が斜面の上方にかたよったのび方をしていたが、施肥区では各方向にむらなく分布していた。

### 3) 土壌が異なった所に育ったスギの根系

桂川流域の火山灰を母材とした、標高650m、北向きの緩斜面で、小沢をはさみ左岸はB<sub>D</sub>、右岸はB<sub>D(6)</sub>となっていたスギの11年生林で根系をしらべた。ただし左岸では植栽の翌年に1本あたり50gの硫酸が施されている。

根元から傾斜の下方に1mはなれた地点において、土壌断面にみられた細根の数は、トレンチ法により巾1mの中をはかったところ、第11表のごとく左岸の方がおおく約1.6倍で、しかも1mまではいっていたが、右岸では60cmの深さでとまっていた。

第11表 断面にあらわれたスギ幼令林の深さ別根の分布

深 さ (cm)	2 mm 以下の 根				2~20mm の 根			
	左 岸		右 岸		左 岸		右 岸	
	数	百分率	数	百分率	数	百分率	数	百分率
0—10	263	34	275	55	8	14	16	23
10—20	199	26	82	17	16	28	18	25
20—30	122	16	69	14	14	25	16	23
30—40	93	12	47	9	4	7	8	11
40—50	49	6	19	4	5	9	11	15
50—60	18	2	4	1	3	5	2	3
60—70	17	2	—	—	2	4	—	—
70—80	11	2	—	—	1	2	—	—
80—90	2	1	—	—	1	2	—	—
90—100	—	—	—	—	2	4	—	—
合 計	774	100	496	100	56	100	71	100

林内で根系をしらべるときは、根の量や数は成立本数と察接な関係があるが、ここの調査地では右岸がha当り3,600本、左岸は2,000本でいずれも閉鎖状態になっている。

右岸の方が成立本数がおおいにもかかわらず、根の数がすくないのは興味もたれる。

径級別にみると、養分の吸収と関係の深い細根は、いずれも表層におおくみられるものの、右岸では10cmまでに50%があったのに対し、左岸では30%で、右岸の方が根が地表近くにあつまり、左岸の方が深くまでまんべんなく分布しているのが認められた。

しかし2mm以上の根は土壌条件によらず表層よりむしろ10~30cmの間におおかつた。<sup>25)</sup> 刈住らの調査でもスギの壮令木ではこの傾向がみとめられている。

断面の根を測ったあと、それぞれ1本の占める面積の $\frac{1}{4}$ の範囲にふくまれる根を、根元からの距離別、深さ別にしらべた。

根の重量も断面にあらわれた数と同様に、左岸の方がおおく、全量で2倍強、細根では2.8倍であった。1本の占有面積が左岸は右岸の1.8倍なので、単位面積あたりの根量をくらべると全量では左岸の方がややおい程度であるが、細根ではかなりおいことがうかがえる。

根の垂直分布をみると、いずれも表層におおい傾向があるが、20mm以下の根は左岸の方が下層までまんべんなく広がり、右岸の方が表層に集る傾向があった。ことに細根でこの傾向がはっきりみられ、断面での根系分布と同様の結果がみとめられた。

根元からの水平距離による分布状況をみると、単位体積(20cm×20cm×100cm)内の根はいずれも根元から20cmまでの間にきわめておおく、20cmをこすと急にへり、40cm以遠では距離による差

第12表 スギ幼令林における根元からの距離と単位体積内の根の量

調査地	径級 (mm)	根元からの距離別根量 (g)							
		0—20 (cm)	20—40	40—60	60—80	80—100	100—120	120—140	140—160
左岸	<2	20.7	13.8	12.6	11.7	13.1	11.8	10.5	13.6
	>2	369.0	59.2	20.1	9.9	10.8	12.3	11.4	12.0
右岸	<2	7.7	10.8	11.0	10.3	8.9	—	—	—
	>2	204.5	32.6	20.2	15.2	15.4	—	—	—

がみとめられない(第12表)。また、表層の体積0.08m<sup>3</sup>(20×20×20cm)にふくまれる細根の量をみると距離によるちがいがあまりなく、樹冠の外周にあたる付近がややおい傾向にあるようだ。さらに、樹冠の投影内での細根の分布をみると、深部にまで割合おおくはいつているが、外周付近になると深部にはすくなくなり、地表近くにあつまる傾向があり、ことに左岸よりも右岸でこの傾向が強くあらわれていた。

### 3. 壮令木の根系

#### 1) ヒノキ壮令木の根の量

笛吹川の上流にあたる秩父山塊にあるヒノキの壮令林で根系調査をおこなった。

調査地は標高が1,100mから1,400mの間にある、花崗岩の深層風化をしたローム質の土壌のところろにそだったヒノキの30~50年生林で、地上部の生育はあまりよくない。

調査の方法としては、水平方向に3mはなれた2本の立木からそれぞれ斜面の下部に向い、2mの距離にある2等辺三角形の頂点に断面を設け、一辺20cmの正方形のなかを1mまで掘り、このなか

にふくまれる根を深さ別にはかり、一方では根元から水平方向で1 mおよび1.5 m はなれた地点で同様の土壌柱を作り、中にふくまれる根系をしらべた。

調査の詳細については山梨林試報告の第7号に報告したので、調査結果の概要をつぎの第13表にしめす。

第13表 ヒノキ壮令木の調査林分と単位体積内の根の量

調査地番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
土 壌 型	B <sub>B</sub>	B <sub>R</sub>	B <sub>C</sub>	B <sub>D</sub>	B <sub>B</sub>	B <sub>D</sub>	B <sub>D'</sub>	B <sub>B</sub>	B <sub>D'</sub>	B <sub>D'</sub>
林 令	52	52	52	53	45	43	33	49	52	52
成 立 本 数/ha	1590	1590	980	1090	1330	1740	2730	1170	1100	1100
< 2 mm の 根 (g)	35.0	26.6	19.1	27.5	17.6	18.6	15.9	40.0	13.6	19.5
2~20mmの根 (g)	53.1	52.3	64.6	38.1	43.9	19.1	5.6	20.7	25.6	27.8

しらべた後にわかったことであるが、林分内での根系をしらべるにはこの調査方法から明確な結論を求めることは、きわめて困難で方法そのものにもまだ検討を要することなので、ここでは傾向のみのをのべることにする。

細根の量は各断面によるバラツキが大きく、土壌型によるちがいはあまりはっきりしない。これにくらべ2~20mmの根はやや乾燥型の方がおおい傾向にあるようだ。根の発達は土壌条件だけでなく密度にも影響を受けるといだが、ここでも立木本数のおおい方が幾分か根がすくなく、とくに2 mm以上の根は密度が高いと発達が悪いようである。

また、根の量と林令との関係をみると、33年から53年の間では林分の高い方が根もおおくなる傾向がみられる。

根系の垂直分布は各断面とも大差なく、地表から40cmまでに全根量の $\frac{2}{3}$ 以上がふくまれていた。

ヒノキのなかに混交していたスギについても、ヒノキと同様に根元から1 mと1.5 mはなれたところで、土壌柱を作り根をしらべたところ、スギは1 mの方がややおおく、ヒノキでは逆に1.5 mの方がおおかった。しかし1 mのところでも方向によって根量にばらつきがあり、両樹種とも1 mと1.5 mでは距離による明確な差はみとめられないようである。

垂直分布ではヒノキにくらべスギの方が下層におおく、ヒノキの方が地表近くにあつまる傾向がみとめられる。

## 2) 立地条件の違いとカラマツ壮令木の根の形態

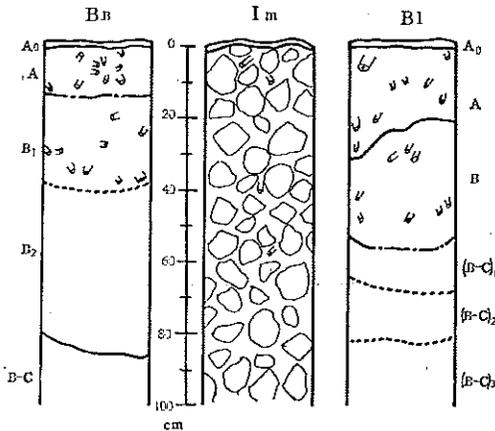
壮令木の根系はスギ、ヒノキ、アカマツなどについての調査例はみられるが、カラマツについてはまだあまり手がけられていない。

今後、亜高山帯の開発にともないカラマツの造林もますます進むと思われるので、カラマツ壮令木の根系が土壌によってどのようにちがうか、根の形態を富士山のカラマツ林でしらべた。

調査地は富士山の北西に面した、精進登山道の2台目近くにある県有林で、標高1,350m内外の緩傾斜地である。

しらべたのは3カ所で第1調査地は未熟なB<sub>B</sub>型土壌に属し、富士山で普通にみられるカラマツ林である。土壌は礫をおおく含んだ砂質土壌である。第3調査地は黒色土壌で片蓋山の鞍部にあり、風衝のため枝が風下に発達している。第2調査地は両者の中間に位置する熔岩流に、客土造林されたカラマツ林である。

土壌断面の模式図を第22図にしめす。



第22図 調査地の土壌断面

調査したカラマツ林は35~37年生林で、成立本数はB<sub>B</sub>がhaあたり1,000本、客土が1,080本、B<sub>I</sub>が970本となっていた。カラマツのそだちは平均木でB<sub>B</sub>が14.4mで一番大きく、客土とB<sub>I</sub>は12.5mであり差がなかった。

各調査地における平均木の根の形を写真3~5にしめす。

第1調査地のB<sub>B</sub>の土壌はA層が15cmで浅く礫をかなりふくみ膨軟で、厚さ25cm内外のB層に移る。B層もまた礫をふくみ軟い。深さ40~80cmは2~5mmの礫がすこぶるおおく、80cmより下層は礫層でやや固結状態になっている。

根系は写真3のように根株の下に垂下根や斜出根がよく発達し、その割には側根はあまり発達していない。この根の形は宮崎のいうスギ、ヒノキ型にはいるようである。

なお、垂下根の先端は礫層の上部でホウキ状にこまかく分岐しているのが特徴であった。

第2調査地は熔岩流で、径10~20cmの多孔質の熔岩片が深さ2mちかくまで厚く堆積している。細根は表層20cmまでの間にみられ、これから下層は太い根がはいりこんでいた。土壌は地表に近い岩石の表面と根のまわりにわずかみられるに過ぎない。根の形態は写真4のように地表近くを長くのびた側根と、まっすぐのびた数本の垂下根が深くまではいり、その深さは1.5m以上にも及び、B<sub>B</sub>のカラマツとはまったく異った形態をしていた。

第3調査地は黒色のA層が厚さ15~30cmで、礫をほとんどふくまず概して埴質である。

この下に20~30cmの堅いB層があり、礫はすくないが、この層の下部に礫があつまり径1cm内外の礫層にうつる。礫層の上部はすこぶる堅く、深さ80cmくらいには固結状態のところもみられる。

断面にあらわれた根系はきわめてすくなく主としてA層に分布していた。根張りは写真5のように太い側根が発達し、しかも長くのび先端が斜め下にはいっているのが特徴である。垂下根は前2者に比べて浅く、細かい根がすくない。

風の影響が根ばりにかなりはっきりあらわれているようである。

垂下根の太いものを各調査木とも2本ずつとりあげ、生育状況をみたところ、第23図のように10年生で根は50~70cmに達し、20年生になると1mくらいの深さに達することがうかがえる。しかしその生長経過は環境条件によって異なり、B<sub>B</sub>では礫層に達するまですなおにのび、礫層にぶつかると

生長が急に衰えている。

熔岩のところでは1.5mくらいまで順調にのび、B1では深さ40~50cmの深さにある礫のつまった層で生育が落ち、1mくらいでとまっていた。これらのことから、垂下根の生長は土壤条件の影響をかなり受けていることが推察される。

#### 4. 考 察

林木の根系は土の性質によっても発達がいちじりしく異なり、そのため地上部のそだちも全く変わってくるので、土壤と根系との関係は古くから注目され、おおくの人々により調査、研究や観察が進められてきた。

その結果のひとつとして、土のこえたところでは根の水平的な広がりが狭く、そのかわり深くまではいり根の量もおおくなるが、乾いたやせ土のところでは水平根のひろがりが大きくなり、根は浅く表層にあつまる傾向があることがわかり、土壤型を分類するときのきめてのひとつとして取りあげられている。<sup>37)</sup>

ここでは最近問題になっているカラマツを中心に、土壤の理化学性と根系との関係、幼令木の根系が施肥によりどのような発達をするか、あるいはカラマツ壮令木の根が土壤の違いによりどんな形をしているかなどしらべた。

苗木については古く白沢が土性と根系との関係を研究し、その後、今日にいたるまでかなりの研究が進められている。一般に根系は水分がおおいと貧弱になり、乾燥するにしたがって分岐がおおくなるといわれ、佐藤はマキツケ苗の根が乾燥した所では深くはいったと報告しているが、ここでも砂にうえた苗は一次根の数がおおく、前章でのべたマキツケ苗の根系も第1図から明らかのように、カラマツは礫をふくんだ富士吉田では深くはいていた。

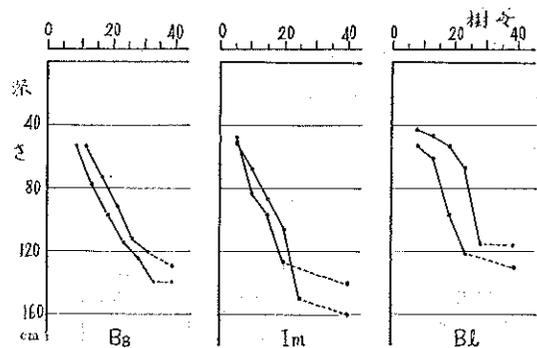
第三紀のB<sub>1</sub>に造林したアカマツは富士山麓や花崗岩のB<sub>B</sub>にくらべ根のひろがり狭く、まさに上記のことを裏書きしていたように思われる。

施肥の影響と根系の発達との関係をみると樹種や苗木、造林木を問わず、根の量や数は施肥区の方がおおかったが、いずれも施肥のためふえたものと推察される。<sup>47)</sup> 塘によれば7年生のスギ林で、施肥区の方が無肥区より根系が広い範囲に発達していたというが、スギだけでなく、アカマツやカラマツ、メタセコイアなどでも同様のことがいえそうだ。

また、メタセコイアはカラマツよりも施肥による根のふえ方がいじりしかつたが、スギと似て肥料に対して敏感な性質をもっているのかも知れない。

施肥の影響は根の垂直分布にもあらわれ、アカマツ、カラマツ、メタセコイアとも施肥量のおおい方が深くまでまんべんなくはいる傾向にあったが、ことにメタセコイアは明瞭であった。

これらのことから幼令木では、水平的にも垂直的にも施肥によって根の養分吸収圏が大きくなるものと思われる。しかし林地ではほかの植物との競合もあり、苗畑ほど明確ではないようである。



第23図 カラマツ壮令木の垂下根の生育状況

土壌の肥沃度と根系との間にも上と同じような傾向がみられ、スギ幼令林の根の数や量は  $B_D$  が  $B_{D(0)}$  よりおおく、しかも深くまではいっていた。<sup>55)</sup> 山田もスギ、ヒノキの壮令林で同様の傾向があったことを報告している。ヒノキの壮令林の細根は土壌型によるちがいがみられなかったが、2 mm 以上の根は湿った土の方がおこった。しかし、地上部と地下部との割合は、乾燥した土壌の方がおおい傾向にあり、<sup>31)</sup> 門田や <sup>44)</sup> S. V. ZONN のいうように、水分の要求のため根の分岐がおおくなり、水を追跡してのび根が発達したものと思われる。

<sup>20)</sup> 苺住は立木密度と根系の間には、密接な関係があり、密度の増加によって根は地上部よりもいちじるしい減少率をしめしたといっているが、ここでもアカマツ、カラマツともに苗木では密度の影響を受けていた。したがって TR 率は密度が大きくなるほど大きくなる傾向があった。また、密度の影響はヒノキの壮令林でもみられ、密度の高い方が細根はすくない傾向がみられた。これらから、立木密度は根系の発達に大きな影響を与えることが推察される。

根系の形態をしらべるには根株をふくむ土壌断面を設けて写真をとるか、写生による方法などがとられており、苗木や幼令木では掘り取りが簡単なので比較的たやすく調査できるが、壮令木になると根ばりが大きいので経費や労力がかかり、おおくの困難をとめない、調査も限定されがちである。

ここでは根ばりが土壌によってどのようにちがうか知ることを目的として、1 cm 以上の太さの根を対象に根株を掘りあげ、掘りながら水平根や斜出根を切りはなし、試験場に持ちかえり、復元して写真にとった。この方法によるとどの方向からも自由に調査でき、労力や時間も比較的すくなくてすむようである。このようにしてとったのが写真 3～5 である。

スギの壮令木の根張りが土壌条件でいちじるしく異なることを苺住が指摘しているが、<sup>20)</sup> カラマツも写真のごとく土壌条件でまったく異なり、一概に浅根性の樹種とも断定しがたいようである。富士山では一般に  $B_B$  でみられるように斜出根の発達で特徴づけられる、<sup>24)</sup> 苺住のいうスギ型のものがおおい。しかし、BI では下層がつまり滞水状態であるためその影響をうけミズキ型になり、熔岩流のところでは杭根がよく発達しアカマツ型にはいるような形態をしめす。このようにそれぞれの条件に適応した根系の分布をしめすものと思われる。

## V. 摘 要

造林の指針をうるためには、その樹種のもつ特性とか、環境に対する適応性などを解明しておく必要がある。ここではそのためのひとつのメヤスとして、山梨県内で造林試験や適地適木調査などをおこなったさい、これにともなって苗木や造林木などの根系をしらべ、根系分布の面から指針を得ることをこころみた。

調査にあたってはなるべく根系を量的には握するようにつとめ、苗木は全根量の重さ、ひろがり、一次根の数、根端数などをしらべ、造林してから数年の若木は追跡法や、一定面積内をいくつかのプロックにわけて、深さ別、距離別に根を掘りあげて、径級別の重さをはかり、あわせて水平根や直根の長さを測定し、あるいはトレンチ法により土壌断面にあらわれた根の数をはかるなどの手法を用いた。

閉鎖した林分ではトレンチ法により根の数をしらべ、一部では縦、横とも 20cm 角の土壌柱にふくまれる根をしらべた。

根の形態については、掘りとして写真にうつしたが、壮令木は掘りとりるとき細かく分解し、試験場に持ち帰り復元して撮影した。なお、根の生育状況をつかむための一手段として杭根の根幹解析をこころみた。

#### 樹種による根系の特徴

1) マキツケ苗の根は、いずれも 8 月上旬から生長が旺盛になる傾向にあったが、苗畑によらずアカマツ、カラマツは根が深く、シラベは浅く、スギ、ヒノキはこれらのものであった。一次根の数はアカマツとカラマツがおおく、シラベは逆にすくなかったが、この傾向は根端数によりはっきりあらわれていた。

2) 幼令木の根は樹種、林令、土壌条件などによらず、大部分の根が表層近くにあつまり、とくに地表から 10cm までの間におおく、20cm をこすと急にすくなかった。しかし、ヒノキ、シラベ、カラマツは側根が一般にきわめて浅く、0~5 cm 内外の深さを横走しているものがおおかった。隣接した 3 年生林ではアカマツはスギにくらべて根の垂直分布で 2 倍に達し、水平分布でははるかに狭く、樹種による根系分布に特徴のあることが推察された。

垂直方向の発達状況では、シラベやヒノキは直根がはっきりせず根はきわめて浅く、スギもやや浅い部類にはいった。これに対してアカマツ、ウラジロモミ、メタセコイアは直根が深くまではいており、カラマツは中間であるが、直根はみとめられた。

ウラジロモミとシラベとは造林木と天然生とを問わず、形態と細根の分布にちがいを認めた。

富士山のウラジロモミ造林木は地表下 40cm 内外にある、固結層をつらぬいてのびていた。

3) 直根の根幹解析の結果から、メタセコイア、カラマツとも若木では直根の伸びのよいものは地上部の生長がよく、直根の発達とそだちとの間にはかなり密接な関係のあることがうかがわれる。

4) 天然生のアカマツ若木の直根を切りつめ植えかえたところ、地上部のそだちが天然生のままのものより、いちじるしく落ちたが、根系の量は逆におおくなっていた。垂直分布では造林した若木の根は、天然生のものより深くまでまんべんなくひろがっていたが、直根の深さは植えかえてから 4 年までは差がみられなかった。

水平根では根系切断の影響が直根ほど明瞭ではなかった。

根幹解析の結果からアカマツでも直根の伸びがよい時はそだちもよく、切断によって直根がのびない時は地上部のそだちも悪く、そだちと直根の発達とは関係の深いことがうかがえた。

#### 土壌条件と根系分布との関係

1) 苗木の根はマキツケ苗でも土壌の影響がみられ、富士山麓の礫がおおい土では主根が深くまではいり、しまった土ではきわめて浅かった。

アカマツ、カラマツの 1 年生床替苗は下層に川砂をいれた区では根の分岐がおおかった。しかし、根の量は 2 樹種とも川砂区より、下層に礫質な富士山麓の土を密につめた区の方がおおい傾向がみられた。

2) 施肥の影響は苗畑ばかりでなく、林地でも認められた。アカマツ、カラマツとも苗畑では密度の多少にかかわらず、施肥量の増加にともなって根量や根の数も増加し、カラマツとメタセコイアを混植したところでも、施肥量がふえるにつれ根の数が増した。なおこの傾向はカラマツよりメタセコイアの方が判然としていた。

黒色土壌のカラマツ3年生の肥培林では、施肥区は細根の重さが対照区より60%おおく、中根もややまさっていた。

3) 根系の分布ならびに形態は土壌型により異なることが認められた。ヒノキ壮令林においては乾燥型土壌の根量は適潤型土壌よりおおく、細根に対する中根の比率が高い傾向にあった。

富士山のカラマツ壮令林では $B_{斜}$ は斜出根と垂下根が、 $I_m$ は明瞭な垂下根が、また $B_H$ は水平根がいちぢるしく発達していた。

4) 根系と立木密度との関係を知るため、アカマツ、カラマツ2年生の密度試験林をしらべ、密度が高いと単木の根量はいちぢるしく減少し、根は地表近くにおおくなる傾向を認めた。

#### 参 考 文 献

- 1) 明永久次郎, 林 唯雄: アカマツとカラマツの混淆植栽について. 林業試験場報告. 26, (1925)
- 2) 安藤愛次: 土壌の性質と林木の生長(6), 富士山のシラベとウラジロモミ林. 日林誌41(8), (1959)
- 3) 安藤愛次, 小島俊郎: 林木の根系(1), ヒノキ林の土壌型による根の量. 山梨林試報7, (1957)
- 4) 安藤愛次, 小島俊郎: ——(2), スギ, アカマツ若木の根の分布. 65回日林講 (1956)
- 5) 安藤愛次, 小島俊郎: ——(3), 2, 3針葉樹の根張りとお細い根の分布. 67回日林講 (1957)
- 6) 安藤愛次, 小島俊郎: ——(4), シラベとウラジロモミ幼令林の比較. 68回日林講 (1958)
- 7) 安藤愛次, 小島俊郎: ——(5), カラマツの若木におよぼした施肥の影響. 山梨林試報8, (1960)
- 8) 安藤愛次, 小島俊郎: ——(6), 黒色土に造林した若木の根. 69回日林講 (1959)
- 9) 安藤愛次, 小島俊郎: ——(7), ヒノキ, カラマツ若木の根の分布. 70回日林講 (1960)
- 10) 安藤愛次, 小島俊郎: ——(8), 施肥量と密度をかえたアカマツ, カラマツ. 71回日林講 (1961)
- 11) 安藤愛次, 小島俊郎: ——(9), 11年生スギ林の根系. 山梨林試報11, (1962)
- 12) 安藤愛次, 小島俊郎: ——(10), メタセコイアとカラマツ若木の根. 72回日林講 (1962)
- 13) BÜSGEN, M.: Bau und Leben der Waldbaüme, Flora. Erg. Bd., (1905)
- 14) CANNON, W. A.: A note on the grouping of lateral roots, Ecology, 35, (1955)
- 15) 原口 亨: 苗木の話. (1953)
- 16) HILF, H. H.: Wurzelstudien an Waldbaümen, (1927)
- 17) 深浦 武: 鳥海山麓における赤松人工造林地の成績に就て. 赤松林施業法研究会講演集 (1942)
- 18) 細井 守, 真部辰夫: 瘠悪林地アカマツの根の生長. 林試京都支場報告2, (1953)
- 19) 石原供三, 松井善喜: 根系よりみたるトドマツの育林的考察. 日林講 (1939)

- 20) 岩田利治, 草下正夫: 邦産松柏類図説. (1954)
- 21) 金子 章, 辻田和夫: 造林作業の適期に関する研究(Ⅳ), ヒノキ幼令林の吸水量と上長生長および根の伸長生長の年変化について. 71回日林講 (1961)
- 22) 兼次忠蔵: 低湿地に成立せる南部アカマツの根系. 日林誌 16 (12), (1934)
- 23) 刈住 昇: 樹木の根の形態と分布. 林試研報94, (1957)
- 24) 刈住 昇, 寺田正男: 苗木の生長におよぼす土壤空气中の酸素濃度の影響. 68回日林講 (1958)
- 25) 刈住 昇, 寺田正男: スギ林の地下部の構造に関する研究(Ⅱ), 特に根密度について. 69回日林講 (1959)
- 26) 刈住 昇: 林木の根の働きと生長. 林業研究解説シリーズ3 (1963)
- 27) 刈住 昇, 塘 隆男: 林木の根系に関する文献. 日林誌 40 (5), (1958)
- 28) 小林 章, 庵原遜, 村井兼三, 林 真二: 果樹根群の耐水性に関する研究. 園芸学研究集録4 (1949)
- 29) 小島俊郎: 土壤の理化学性とアカマツ, カラマツの根系. 73回日林講 (1962)
- 30) 小島俊郎: 立地条件とカラマツ壮令木の根系. 73回日林講 (1962)
- 31) 松岡敏治: 静岡県に於ける山行苗の標準について. 東京営林局技術研究5 (1954)
- 32) 宮崎 禎: 四国森林植生と土壤形態との関係に就て. (1942)
- 33) 宮崎 禎, ほか: 東北地方スギ苗規格に関する調査. 日林会東北支部 (1953)
- 34) 門田正也: 防潮林の生態学的研究7, クロマツの根系. 東大立研報告9 (1951)
- 35) MÜNCH, E.: Bau und Leben unserer Waldbäume, (1927)
- 36) 中島道郎: 千葉県演習林に於けるスギ, ヒノキの根系に就て. 東大演報23, (1939)
- 37) 農林省林試土壤調査部編: 林野土壤とそのしらべ方. (1957)
- 36) 佐々木茂, 高木勇吉, 後藤和秋: 苗木の根系について. 林試青森支場研究だより (1959)
- 39) 佐藤敬二: マツに関する基礎造林学的研究第三報. 東大演報 22, (1936)
- 40) 佐藤大七郎: スギ, ヒノキ, アカマツのマキツケナエの耐乾性, とくに樹種のあいだのチガイについて. 東大演報51, (1956)
- 41) 柴田信男: 杉の根系に就て. 日林誌17(8), (1935)
- 42) 柴田信男: アカマツ林の肥培に関する2, 3の実験的考察. アカマツに関する研究論文集(1954)
- 43) 須崎民雄, 実松敬行: 林木の根に関する基礎的研究. 九大演習林集報17, (1962)
- 44) S. V. ZONN (遠藤健治郎訳): 森林と土壤. (1959)
- 45) 芝本武夫: スギ及びヒノキ苗木の土壤水分に関する研究. 日林会東北支部育苗研究会記録(1951)
- 46) 白沢保美: 土壤粒の大小と苗木根組織との関係. 林試報8 (1910)
- 47) 塘 隆男: わが国主要造林樹種の栄養および施肥に関する基礎的研究. 林試研報137, (1962)
- 48) 玉利長助: 松の根相と更新. 日林誌14(1), (1932)
- 49) 寺崎 渡: 森林樹木の根及根系の研究に関する文献的研究. 日林誌10(1), (1928)
- 50) 高橋松尾: カラマツ林業綜説. (1943)

- 51) 神キヨシ：TR率と耐乾燥性. 61回日林講 (1952)
- 52) 渡辺資仲：エゾマツ，トドマツの根の生長関係. 日林講 (1940)
- 53) 柳田由蔵：森林樹木の稚苗図説. 日林誌17 (2), (1935)
- 54) WEAVER, J. E. : Root distribution of trees in relation to soil profile, Ecology 19, (1938)
- 55) 山田昌一：微細地形解析に関する森林立地学的研究. (1955)

写 真

- Photo. 1. 造林したアカマツ若木の根系  
2. 天然生アカマツ若木の根系  
3. カラマツ壮令木の根ばり  
——褐色森林土 B<sub>n</sub>型——  
4. カラマツ壮令木の根ばり  
——岩石地 I<sub>m</sub>型——  
5. カラマツ壮令木の根ばり  
——黒色土 Ⅱ型——

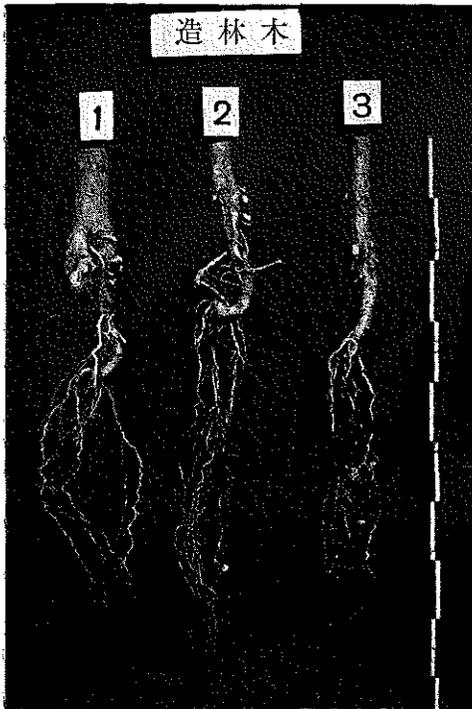


Photo. 1

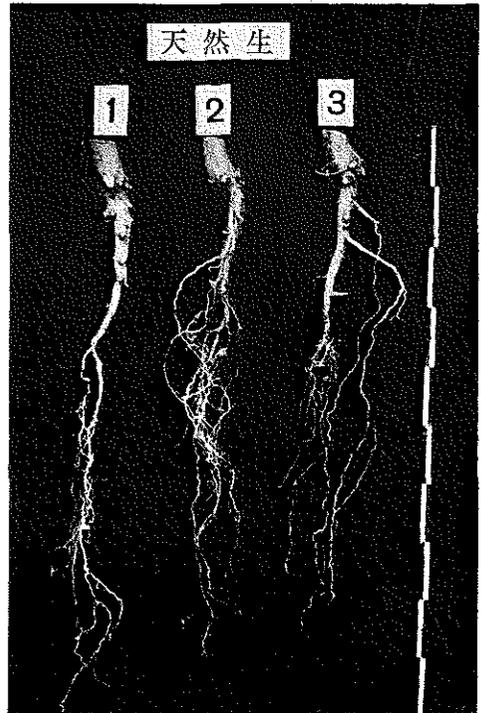


Photo. 2

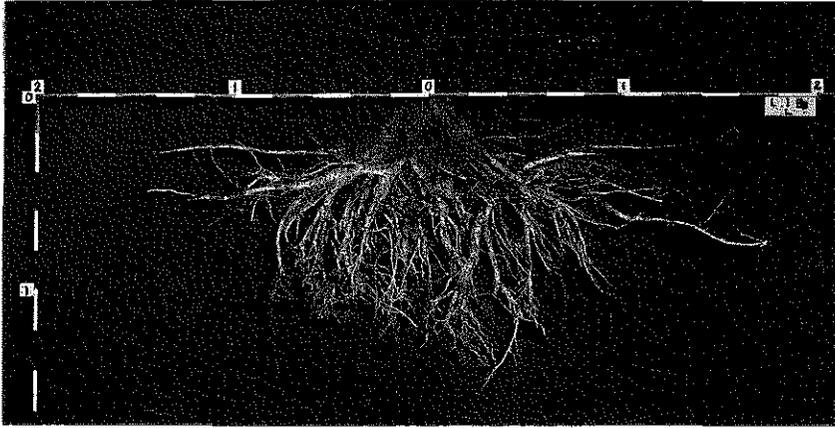


Photo. 3

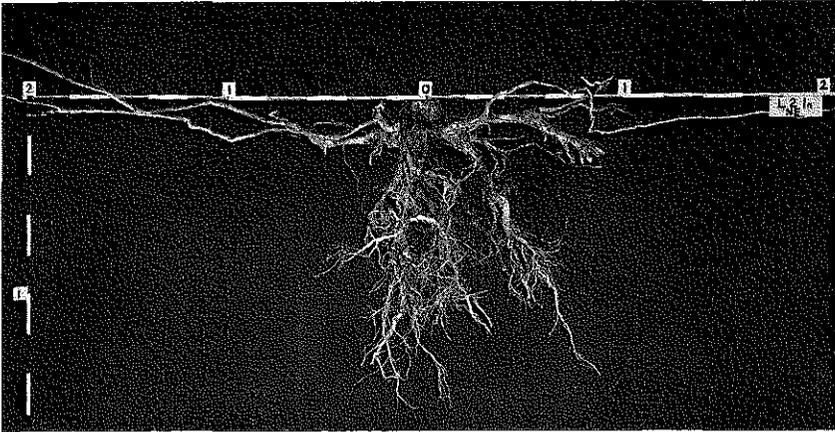


Photo. 4

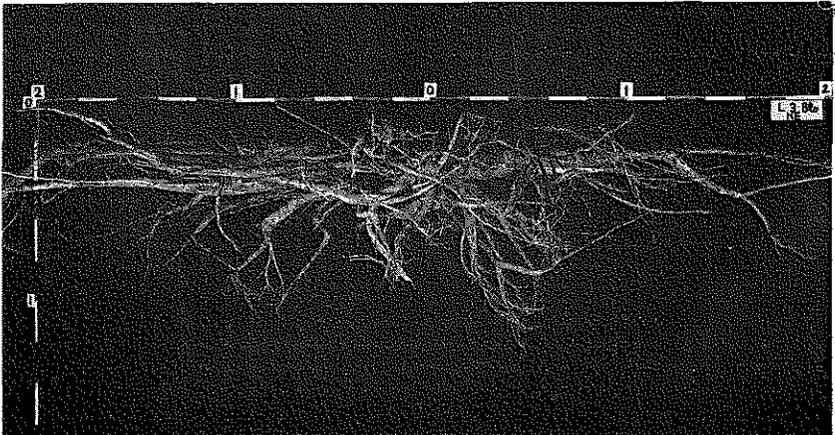


Photo. 5