

林木の成長と土壌の物理性

真 下 育 久

(農林省林業試験場)

I 研究の背景

本邦森林土壌の研究、とくに林木の成長との関係について研究動向を調べてみると、時代によつてもむきを異にしていて、それぞれの時代の林業事情を考えあわせるといわずけることが多い。大正の中頃までは主に地質、地形との関係が注目され、土壌にはあまり関心が払われていなかった。たしかに本邦の著名林業地、とくにスギ人工林地帯は古生層の地域に多く、花こう岩地域にはほとんどない。このことはすでに田中(1887年)の報文があるように、古からの常識となつている。しかしこれだけで問題が解決されるわけではなく、土壌その他を考慮に入れなければならないという考え方が大正の末頃から芽ばえてくる。昭和に入つてから、土壌の理化学性が主に追求され、優良造林地と不良造林地について、これらを比較する試みがさかに行なわれた。

そのころ林業は1つの反省期に入つていた。明治の末から大正の中頃にかけて、スギ・ヒノキの大規模な一斉造林が急速に遂行された結果、各地に不成績地が出現した。いまでも国有林にはこのとき植栽された立派な造林地が残つており、戦後の木材不足の緩和に重大な役割を果している反面、50年を経つてついに成林することもできず、後からとびこんだ雑木に被圧されているあわれな造林地もみられる。

このような誤りをくり返さないように、不成績地の原因解明あるいは林木の成長と土地条件との関係について研究がはじまつたのは自然のなりゆきといえる。そして土壌の理化学性が各地で分析されたが、決定的な解答を出すには道はあまりにも遠かつた。しかしこの時期に土壌の物理性の重要性が強調され、またその研究の基礎が固められたのは1つの収穫であつた。昭和13年頃から土壌の形態学的研究がはじまつたが、まもなく戦争となり惜しくも中断した。しかしこの研究は戦後の森林土壌調査の基礎となつて実を結ぶのである。

現行の国有林野土壌調査は戦後いち早く、昭和22年に発足した。戦時中の国土荒廃、森林資源の枯渇は当時の大きな問題であつた。このため急速な造林が国有林に計画されていた。このとき、明治末期に行われた大造林の経験から土壌、環境条件の解明が強調されたのは当然のこととはいえ、疲弊しきつた情勢のなかでこのような基礎調査事業を開始したのは当時としては英断といえる。この調査はその後着実に進展し、更新保育法、植栽樹種の決定など森林経営計画の基礎資料として活用されてきた。そして現在調査対象地の約8割が完了し、完成の日も近い。これと並行して昭和29年から民有林の拡大造林地を対象とする適地適木調査が各都道府県で行われている。両調査事業の進展にともなつて、各地で林木の成長と土壌との関係が明らかにされており、とくに土壌の物理性が成長を支配する重要な因子であることが強調され、そして物理性による土壌の再区分あるいは細分に関する研究が進められている。またこれらの調査において土壌分類の単位となつている土壌型についてもその性格および生成要因を解明するため、物理性、化学性の研究が現在まで続けられている。

II 戦前の研究

A) 自然状態の土壌の容積組成 物理性の研究が本格的にはじまつたのは1930年頃からである。そのころBurgerの研究が広く紹介されていた。彼は断面積 100 cm^2 、深さ 10 cm の採土円筒を使つて森林土壌の空気量などを測定している。これに刺戟されてわが国でも森林土壌の自然状態における相組成の測定がはじまつたとみてよいだろう。明永・芝本(1933)は三重県尾鷲地方のヒノキ林土壌について、また同時に石原(1933)は北海道野幌のトドマツ天然林土壌について報告を行なつている。芝本らは採土円筒を薄く($100\text{ cm}^2 \times 4\text{ cm}$)して土壌の容積重、孔隙量、含水量、容気量などを測定した。林地では根、礫などがかなり多いので深い円筒あるいはあまり小さい円筒では自然状態のままの土壌をとりにくい。この点芝本らの円筒は使いよい。これは現在も使われており将来も続けられるだろう。

明永らは上記の報告でとくに土壌の圧結度——(自然状態の容積重/密状態の容積重) $\times 100$ ——を提唱した。尾鷲地方ではこの値の小さい土壌すなわち粗鬆な土壌にヒノキの成長がよいことを明らかにした。その後柴田(1937)、杉本(1941)、中村(1943)などがそれぞれ愛知、高知、千葉県下などで調査を行ない、スギ、ヒノキの成長と土壌の物理性との関係を報告しているが、これらによれば、圧結度、容積重の小さい土壌の方が、また孔隙量、空気量の大きい方がよいという傾向がうかがわれる。

石原ははじめBurgerと同じ円筒を使つてトドマツ林下の土壌を調べたが、やはり不便なのであとからは 5 cm の厚さに改良している。土壌をとるとき、円筒の上にあて木を置き木槌でたたき込んだと書かれているが、これは少し乱暴なとり方と思われる。この研究では L/W (最大含水量/最小容気量)が強調された。すなわち、土壌の L/W が大きい林地ではトドマツの天然更新がよく、またその後の生育もよい(枯死率が小さい)という結果が明らかに示された。この天然林は上部洪積統の平坦面にあり、土壌は湿性にかたむいている。筆者もこの付近の土壌をみているが、地下水がはなはだ高く、地表下 $40\sim 50\text{ cm}$ にグライ斑が明瞭にみられる。従つて土壌中の空気量が林木生育の制限因子となる可能性は十分にうかがわれる。また一般的な傾向として、針葉樹は乾性土壌によく更新し、湿潤、肥沃な土地では大型草本との競合に勝つことができない。しかし更新のよい土地が必ずしも針葉樹の成長のよい所とはいえない。こういう傾向はその後の調査で次第に明らかにされてくる。 L/W についてはその後、柴田(1937)、杉本(1942)らがスギ林地で調べているが、優良林地の土壌は必ずしもこの値が大きいとはいえない。このような容気量と含水量の比よりもむしろ土壌中に実存する固体・水・空気との比あるいは水と空気量のバランスが重要な問題である。このことは神・柴田(1949)も述べているし筆者(1960)の測定値からも十分に考えられる。

B) 浸透能(透水性) 石原(1933)の報告のなかに林地の透通性(浸透能)の実験がある。これは林地に $100\text{ cm}^2 \times 10\text{ cm}$ の円筒をうち込み、同じ大きさの円筒をつなぎ、 100 cc の水を満たしてこれが土中に浸透する時間を測つている。この結果はトドマツの天然更新と直接的な関係を示さなかつたが、その後、柴田(1937)、竹原(1938)がほぼ同様の実験をスギ林地で行ない、両者とも優良林地では浸透がよいことを報告している。優良林地では容積重、圧結度が小さい。従つて浸透速度の速いことは十分に考えられる。なお柴田はこれに関連して興味のある現象を報告している。すなわち、

浸透性の不良なスギ不良林地土壤にエーテル可溶性物質がかなり多い。

表 1 スギの成長の優劣と土壤の透水速度(柴田・1949より)

調査地 実験回数	愛知県東加茂郡		奈良県吉野郡		備 考 (測定法)
	優良地	不良地	優良地	不良地	
1	54"	3' 32"	39"	1' 26"	柴田：断面積79 cm ² の円筒を 10cm土中に打込み、500 ccの水を浸透させる。 竹原：断面積100 cm ² の円筒 を10cm土中に打込み100 ccの水を浸透させる。
2	1' 52"	5' 53"	1' 22"	2' 33"	
3	2' 46"	6' 15"	1' 46"	3' 07"	
報告者	柴田：1937		竹原：1938		

c) 土壤水分 スギは湿潤な土地を好み、ヒノキは中庸、アカマツは乾性土壤にもよく耐えることが知られている。このことに関する実験や林地での観察記録はかなり多い。天然植生の場合にもはつきりした“すみわけ”があり、その土地の原因として土壤の乾湿が第一に考えられている。宮崎(1942)は四国の森林植生について、クロマツ・アカマツ・タブ・スギ等各群集下の土壤水分を比較してこのことを実証している。大内ら(1942)は秋田地方のスギ林において土壤と成長について次のような明らかな関係を認めた。スギ天然林の樹高成長は腐植土層(A層)の厚いほどよい(相関係数：0.56±0.095)、またA層の含水量の大きいほどよい(相関係数：0.86±0.0035)、さらにA層の厚さと含水量を組み合わせた「厚さ×含水量」指数の大きいほどよい(相関係数：0.90±0.0026)。

d) 機械的組成 土壤の物理性を問題にする人はみな機械分析を行なっているが、土性だけで直接林木の成長と関係をもつ場合は少ない。湿潤な土壤に植栽されるスギについては埴土より砂壤土の方がよいという傾向はうかがわれるが、これも地域によつて必ずしもあてはまらない。しかし同一断面のなかに土性の極端にちがう土層が介在すると林木の生育に不利な条件となることが中村(1943)の報告に見られる。彼は千葉県下のスギ林地を調査して、中庸の土性の下層に粘土分係数(粘土/細砂)0.67以下あるいは1.50以上の土層がある場合、スギの成長は20~30年後急激に衰えることを認めた。火山山麓の緩斜面には火山灰土の下に粒径のあらい浮石層がよくみられる。この層はあたかも不透水層のように、上部に鉄などの物質の沈殿、被膜が認められることもある。スギの根はこの層を貫通することができず、20~30年後に急激に成長の衰える例を筆者(1960)も報告している。最近八幡(1960)のエア・バインディングによる土の透水性低下を拝見し、土層中の水の動きが浮石層の介在によつて妨げられる可能性がよくわかつた。ちなみに、スギの成長と土壤の透水性とは密接な関係があり、深くまで透水性の良好な条件がスギの旺盛な成長には必要なのである。このことは後で述べよう。

林地では土性と同様あるいはそれ以上の意義が礫量にある。中・古生層の壮年期の山では長大な斜面の中腹から下部に砂岩・頁岩が累積して、スギの旺盛な成長が普遍的にみられる。この典型的な例は天龍林業地にあり、古来「土のある山は買うな。」という格言も生れている。この現象は小出(1937)山田(1941)によつてよく説明されているが、これを土壤学的に解釈すれば、斜長上部から常に水の供給を受け、しかも土中深くまで透水・通気性がよい。また水に伴つて養分、土砂など物質が豊富

に与えられる。このような崩積土には林木とくにスギの成長は旺盛となる。

III 戦後の研究

芝本(1952)は土壤の理化学性とスギ・ヒノキ・人工林の成長に関して膨大な資料をとりまとめた。これによつて戦前各地で行なわれたこの種の研究はほぼその目的を達成したといえる。芝本は戦前林業試験場にあつてスギ・ヒノキの適地調査を継続し、主に国有林から33か所の林地の調査資料を集め、これを1, 2, 3等地および不良地の4階級に分けて土壤の諸性質を比較した。その結果、圧結度、粘土含量、置換酸度の小さい方がまた石灰量の大きい方が高い地位級を示す傾向が示された。しかし各項目の測定値は同一地位級内でも変動範囲がかなり広い。したがつて柴田(1937)がすでに指摘しているように、これら土壤の諸性質からにわかに土壤の優劣を判定しにくい。そこで単に諸性質を列挙するよりも、これらを組合わせるか、あるいは別な総合的な土壤標示法を検討する必要が痛感される。

ほぼ同時期に大政(1951)は土壤の形態学的研究に基づいて新しい森林土壤の類別を報告した。この研究は昭和13年頃から東北地方のブナ林を中心にして進められ、土壤と地形・気候要因との関係を解析し、とくに水分環境を基本概念とした13種の土壤基準型が作られた。そしてこの土壤型と天然植生の分布ならびに人工林の成長とが極めて密接な関係をもつことが報告された。その後の土壤調査の結果からもこのことは広く実証されている。微地形、植生分布を手がかりとして土壤分布の実態を容易に把握できるようになつたことは従来の調査にくらべて大きな進歩といえる。この土壤分類に基づいて国有林野土壤調査が1947年に発足したのである。土壤調査事業のうらづけとして各土壤型の性格および成因、林木生育との関連について研究が進められた。このうち土壤の物理性に關係する問題を取りあげてみる。

a) 土壤水分 大政(1951)は東北地方のブナ林下に現われる乾性褐色森林土(BA型、BB型)および乾性ポドゾル化土壤の生成について1つの仮説を設け、これをpF曲線の履歴効果(hysteresis)によつて説明している。筆者はその測定を命ぜられ、Schofield(1935)を参考にしてこの実験を行なつた。Puri(1949)も指摘しているように土壤にはこの現象が必ずみられるが、八甲田山の上記乾性土壤は履歴効果が極端に大きい。したがつて一度乾燥するとなかなかもの湿润状態にもどらない。東北地方の山地では春期の融雪時につづいて乾燥した偏西風が卓越する。この影響を強く受ける尾根、台地の辺縁部では一時土壤がかなり乾燥する。履歴効果の大きな土壤であれば乾燥の影響が長時日持続し、落葉など有機物の分解を妨げ、粗腐植が厚く堆積する結果となる。このような粗腐植はまた大きな履歴効果を示すため土壤の乾燥はますます促進される。さらに不完全分解の粗腐植からは酸性腐植ができやすく、亜高山帯など低温高湿の地域ではポドゾル化の1因となることも考えられる。

水分履歴効果は土壤の水分吸収(大政・真下:1957)の実験で端的にあらわすことができた。普通の土壤は乾いているほどよく水を吸収する(吸水速度が速い)。しかし乾性土壤はpF 3~4以上に乾燥していると極端にぬれにくくなる。このような土壤が傾斜地に分布していれば雨が降つても土壤はぬれることがなく雨水は流れ去る。筆者はこの例をしばしば観察している。1例をあげると阿武隈高原のアカマツ天然生林下のBA型土壤を6月中旬に採取した。そのとき強くはないが毎日雨が降つていた

が土壤は乾燥していて採取時の pF 値は 3 以上を示した。同じ場所から 8 月中旬に採取したときは pF 3.5 であった。いずれも pF 3 以上に乾いていた。さらに BA 型土壤の水分を 2, 3 の地域で時期をかえて測定してみると降水量のかなり多い日本の山地土壤に乾性土壤が分布することについて、このような特異な性質を考えないと説明しにくい。この疎水性（仮称）を助長する原因の 1 つに外生菌根菌糸の影響がある。乾性土壤にはアカマツ、シイ、ツガなど外生菌根をともなつた乾性の植物が必ず出現する。土壤が極度に乾燥していれば、この菌糸は異常に発達し、しばしば菌糸網層を形成する。そして極端な疎水性を示すのである。このことは宮崎（1942）の報告でよく知られている。湿润土壤の場合にはたとえ上記の乾性植物を植えてもこのような現象はみられない。筆者ら（1957）は疎水性の原因について 1 つの実験を試み、菌糸土壤の疎水性はエーテル抽出処理によつて消失する例を認めた。なお BB 型、PDⅡ 型土壤に発達する腐植の場合にはこの処理によつて疎水性は変化しない。

各土壤型の性格を解明する研究のうち、筆者は物理性として水分に関する研究を担当し、各地の土壤の水分状態（pF 値）を種々の時期に測定した結果を報告（1957）した。その後の資料とあわせて、約 150 断面の測定値を表 2 に示す。土壤水分は時期的にかなり大きく変動しているがその範囲および

表 2 各土壤型の現地水分状態

土 壤 型	断面数	層位	水分状態 (pF)	
			範 囲	平 均
乾性褐色森林土 (斜傾地型) BA	14	A	2.7~3.8	3.3
		B	2.5~3.0	2.7
同 上 (緩斜地型) BB	8	A	1.9~3.0	2.7
		B	2.2~2.9	2.6
弱乾性 " BC	16	A	2.3~2.8	2.5
		B	2.0~2.7	2.3
適潤性 " BD	62	A ₁	1.6~2.6	2.2
		A ₂	1.7~2.6	2.1
		B	1.7~2.5	2.0
		A ₁	1.6~2.5	1.9
弱湿性 " BE	34	A ₂	1.6~2.5	1.9
		B	1.7~2.3	1.9
湿 性 " BF (G)	5	A	1.4~2.4	1.9
		B	1.3~2.0	1.7

平均値を比較すると BA → BB → BC → BD → BE → BF の順に乾燥から湿润へ向かう傾向が明らかになり、形態調査で判定した土壤型の分類基本概念とよく一致している。

b) 土壤構造 大政（1951）は Zakharov, Shaw, Russell などの構造と対比しながら森林土壤の構造を分類し、これを土壤分類の最も重要な基準の 1 つとしてとりあげた。構造の生成は土壤の水分環境に強く支配される。この 1 例として大政は BA 型土壤など乾性土壤に特有な細粒状構造

(loose granular structure) の生成を実験的に証明した。すなわち、2年生のアカマツをポットに植えて7ヶ月放置した結果、土壤を乾燥状態(水分約30%)に調節したポットには外生菌根が異常に発達し、細粒状構造の生成が明らかに認められた。また岩石の鏡検用薄片と同様の土壤薄片を作り、各構造の微細形態を比較した。このことについては黒鳥ら(1958)が詳しい報告を行ない、スギ・ヒノキなどの優良林地土壤に普通にみられる団粒状構造(crumb structure)は土粒の集合が数次にわたつてくりかえされていることを認めた。筆者はpF曲線による孔隙解析、団粒分析、透水性などにより各構造の性格、とくにその物理性の解明に努めた。

自然状態の土壤(採土円筒試料)を十分に飽水させ、吸引法でpF曲線を描くと土壤の孔隙状態を知ることができる。各構造について代表的な土壤のpF曲線を図-1に示す。細粒状、粒状、団粒状構造の土壤は粗孔隙に富む、とくにpF 1~2の水分を含む孔隙が多い。これら3構造を比較すると団粒状構造はpF曲線が直線に近い。これはこの構造がいろいろな大きさの孔隙を連続的に含んでいて、他の2構造のように一定の大きさの孔隙だけに偏していないことを示している。顕微鏡観察で認められたように団粒状構造が土粒の数次にわたる集合体であるとすれば、土粒、団粒の間隙は小さなものから大きなものへ連続的に存在することは十分考えられる。堅果状(nutty structure)構造には粗孔隙が少ない。カベ状(massive)の土壤はこれが極端に少ない。

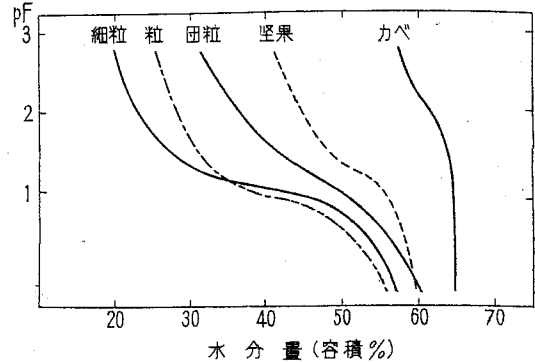


図-1 各構造の孔隙状態
— pF曲線による孔隙解析 —
(真下・1960)

湿式団粒分析の結果からは次のことがいえる。森林土壤の表土には農耕地にくらべて大型の土塊・団粒が多い。1, 2mmの団粒に注目すると、粒状、団粒状構造にはこれが多く、堅果状構造には少ない。カベ状の土壤にはこの団粒が極端に少ない。団粒状構造は他の構造にくらべて、各粒径の団粒が比較的そろっている。このことは孔隙の大きさが連続的であることとよく対応し、また土粒の数次にわたる集合体であることとも関連していると考えられる。

c) 透水性 筆者(1956, 1958)は採土円筒を使つて簡単な透水試験を試み、スギ・ヒノキの成長が土壤の透水性と密接に関係することを報告した。その後(1960)透水性の意義を解析するため、全試料(266個)をとりまとめた結果、透水性は土壤の構造、孔隙の状態をよくあらわしていることがわかった。一般的な通念とちがつて粘土量、粘土+微砂量、礫量は透水性を支配する要因ではない。また全孔隙量との関係も明瞭ではない。しかし非毛管孔隙量とはかなりよい関係が得られた。Bayer(1938)、Bendixon(1948)の報告を参考にして筆者は非毛管孔隙量を次のように算出した。

$$\text{非毛管孔隙量} = \text{全孔隙量} - \text{pF 1.7~7の水分量}$$

とくにpF 1.7を使つた理由は、筆者の測定した多数の現地水分状態のうち、過湿土壤あるいは降雨直後の場合を除いて、pF 1.7以下の値はほとんどなかつた。このことからpF 1.7以下の水分を非毛管水とみなしたのである。

図-1に示したとおり各構造は粗孔隙量で特徴づけられる。カベ状の土壤には粗孔隙が極めて少ない。このため透水は極端に不良である。また、堅果状構造も粗孔隙は比較的少ない。したがって透水性も良好とはいえない。これらにくらべて団粒状構造は粗孔隙に富み、透水性はよい。ここで乾性土壤の透水性に注目したい。細粒状構造は一見してわかるようにはなほだ粗鬆であり、粗孔隙もすこぶる多い。しかしながらこの土壤は前にも述べたように疎水性が強く、土粒間隙へ水の浸透がほとんどおこらない。従つて透水性は極端に不良である。粒状構造はこれほど極端ではないが、pF 3ちかくに乾燥していると疎水性を示し、透水性はよくない。結局、透水不良の土壤とは乾性土壤かあるいはカベ状緻密な土壤を意味する。土壤中に水分・空気のとちらか不足しても林木の良好な成長は望めない。このような観点から筆者は森林土壤の物理性——水分・空気の移動・保持に関する性質——を端的にあらわすものとして透水性を重視した。ちなみに、透水性のよい湿潤土壤には、表るに示すとおり、水分と空気の量に適当なバランスが保たれている。

表3 土壤の3相組成

土 壤	断面数	層 位	3 相 組 成 %		
			固 体	水	空 気
乾性土壤 (B _A , B _B)	20	A	27	22	51
		B	33	30	37
湿潤土壤 (透水性良好)	52	A	24	43	33
		B	30	47	22
同 上 (透水性不良)	20	A	24	58	18
		B	30	60	10

VI スギ、ヒノキの成長と土壤の物理性 — むすびを兼ねて —

筆者(1956, 1958, 1960)は愛知県、静岡県、東京都下の4国有林造林地を調査し、56プロットの調査区を設けて、スギ・ヒノキの成長と土壤条件との関係を求めた結果、深くまで団粒状構造のよく発達した湿潤土壤には両樹種とも良好な成長を示すことが4地域に共通して観察された。このことをあらわすため筆者は土層の厚さと透水速度とを組み合わせた「透水指数」(仮称)を算出したところ図-2のとおり造林木の成長とは密接な関係が認められた。森木の成長にとつて土壤の物理性がいかに重要であるかを図-2は明らかに示している。

森林土壤の物理性は林木の根へ水分・空気を供給するという直接的な効果のほか、土壤の化学性の誘因となつている点も見逃がせない。優良林地の土壤は水分に富みしかも好氣的である。このような物理性の良好な条件下では落葉など有機物は速やかに分解し、表土のC/Nは小さい(10に近い)値を示す。また透水性のよいため腐植などの物質が下層へ十分に浸透し、いわゆる深い土壤が作られ、根系の活動範囲をひろげる結果となる。林木の養分は天然供給に依存していて、落葉はその重要な給源である。しかしこれが速やかに分解し、窒素その他の養分を有効化する条件がなければならぬ。事実、林地の炭素、窒素の全量はスギ・ヒノキの成長とほとんど関係がないが、A層のC/Nとは比較的高い相関を

示すことがこの調査の結果からも得られた。不良林地の土壤は透水指数が小さい、これは疎水性の強い土壤（乾性土壤）かまたはカベ状緻密な土壤を意味する。どちらも下層へ腐植その他の物質の浸透は非常に悪い。また有機物の分解も遅く、粗腐植がいたずらに表土に蓄積し、林木から土壤へ、土壤から林木への養分循環を遅滞させている。さらに不完全分解の有機物からは酸性腐植が生成されやすく、土壤は酸性にかたむき、置換性塩基の流亡にも関連してくる。ヒノキは酸性土壤に対する抵抗の強い樹種ではあるが、それでもなお物理性の不良な条件とあいまつて、不良林地には酸性、塩基不飽和の土壤が多い。要するに土壤の物理性が原因となつて化学性の不良化を誘発し、両者あいまつて林木の成長を悪くしていることが筆者（1960）の調査から明らかにうかがわれる。

さらに推論を進めると、物理性もまた化学性、林木の成長などに負うところが少なくない。団粒の形成に例をとつてみればこのことは十分に考えられる。良好な物理性を示す団粒状構造の生成には新鮮な有機物が豊富に与えられ、これが速かに分解すること、生物、微生物の活潑な活動など多数の必要条件が挙げられ、成長旺盛な林地では団粒の発達、土壤の理化学性の良好化をさらに促進するという循環も考えられる。

今後、土壤の物理性は生態系の1要因として研究を進めてゆきたい。また最近の林業は短伐期の方向に向つているが、伐採による裸地化は表土の流亡、構造の破壊と結びつき、地力低下のおそれがある。事実、豪雨、急傾斜の尾鷲ではヒノキ林地にこのことが著しい。地力の維持、向上に関しても、単に施肥の面だけでなく、生態的な観点から土壤の物理性の研究を進めたいと筆者は考えている。

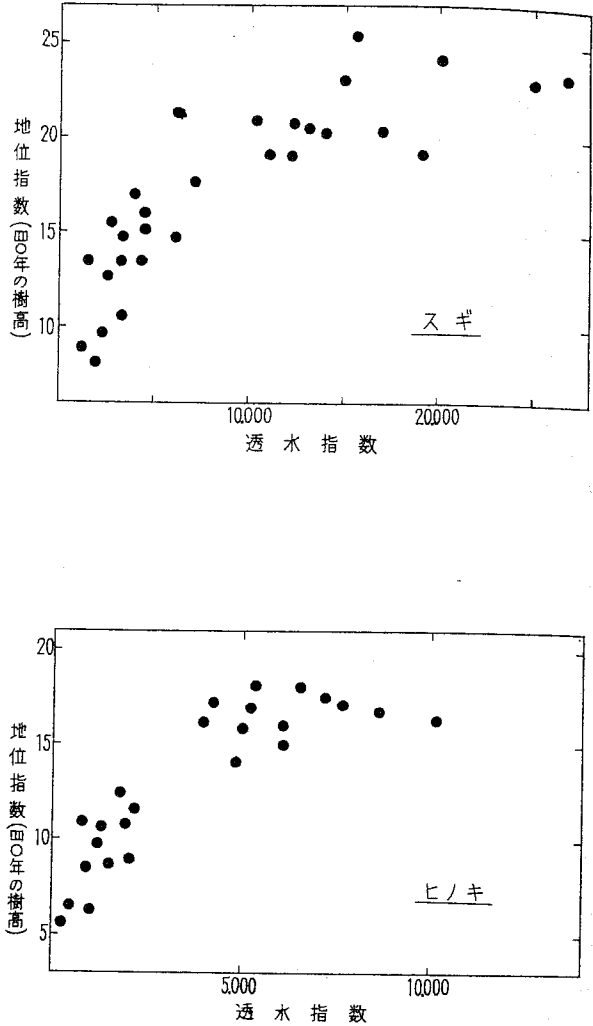


図-2 土壤の透水性とスギ、ヒノキの成長
(真下、1960)

文 献

- 1) 明永久二郎・芝本武夫：日林誌 15 (1933)
- 2) Bayer, L.D.: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 3 (1938)
- 3) Bendixon, T.W., Hershberger, M.F., Stater, C.S.: J. Agr. Res. 77 (1948)
- 4) 石原洪三：北海道林試報告 12 (1933)
- 5) 小出博：東大演報 24 (1937)
- 6) 黒鳥忠・松本久二：林土調報 9 (1958)
- 7) 真下育久：日林誌 38 (1956)
- 8) 同 上：林土調報 8 (1957)
- 9) 同 上：同上 9 (1958)
- 10) 同 上：同上 11 (1960)
- 11) 宮崎 榊：四国森林植生と土壤形態との関係について、興林会 (1942)
- 12) 中村得太郎：東大演報 (1943)
- 13) 大政正隆：林土調報 1 (1951)
- 14) 同上・真下育久：同上 8 (1957)
- 15) 大内晃・八木下弘：林曹会報 3 13 (1943)
- 16) Puri, A.N.: Soils their physics and chemistry, New York, (1949)
- 17) Schofield, R.K.: Trans 3rd Intern. Congr. Soil Sci. (1935)
- 18) 芝本武夫：スギ、ヒノキ、アカマツの栄養並びに森林土壤の肥沃度に関する研究、林野庁 (1952)
- 19) 柴田信男：日林誌 19 (1937)
- 20) 同 上：スギの研究、東京 (1949)
- 21) 杉本一：日林講 (1942)
- 22) 竹原秀雄：日林誌 (1938)
- 23) 八幡敏雄：研究の資料と記録 (東大農土地改良研究室) (1960)
- 24) 山田昌一：微細地形に関する森林立地学的研究 東京 (1955)