

Ⅱ 土壌の物理的性質

杉 浦 勲

はじめに

土壌の物理的性質とよばれるものなかには、林木の生長にとってもっとも大切な、土壌中の水分や空気の保持および供給に関する因子をはじめとして多数のものがある。

土壌中の水分と空気に影響を与える因子として、粘土と砂の混合率（土性）が非常に重要視された時代があったが、その考え方は改められて土壌中の孔隙がどのような状態にあるかを知ることが大切であるとみなされるようになった。しかし、まだ孔隙の測定法は完成された段階に至っていない。土壌の孔隙に関する測定項目としては、土と水と空気の割合を示す三相構造、水と空気の移動性をしめす透水性、および土壌構造などがあるが、これらの測定法も未完成の状況にある。そしてこれらは土壌の性質を特徴づけ、さらに生産力に大きな影響を与えるものもある。

ふつう森林土壌の物理的性質は、「国有林林野土壌調査方法書」（農林省林業試験場・林野庁、1955）によって、容積に対する重さ（容積重）、固体部分を除いた容積（孔隙量）、採取時水分含有量、水を最大に吸わせたときの水の量（最大含水量）、水を最大に吸わせた後になお残る隙間の量（最小容気量）などが測定され、容積に対する量でしめされる。これらは一応の土壌の特性をあらわすものとして一般に用いられている。しかし、これらは土壌試料を採取したときの全量としての値であるから、さらに水や空気の移動、保持についてくわしく知るためにはいろいろな測定項目を加えなければならない。

以下に北海道各地の森林土壌の物理的性質をしめしながら、土壌の特徴、林木の生長との関連などについて解説するがここで説明に使った土壌はつぎの5種類である。

普通土（湿潤土）——道有林雄武経営区の前生層硬質頁岩を母材とする、石礫に富む湿潤な土壌。

普通土（乾性土）——道有林雄武経営区の前生層硬質頁岩を母材とする、石礫に富む乾性な土壌。

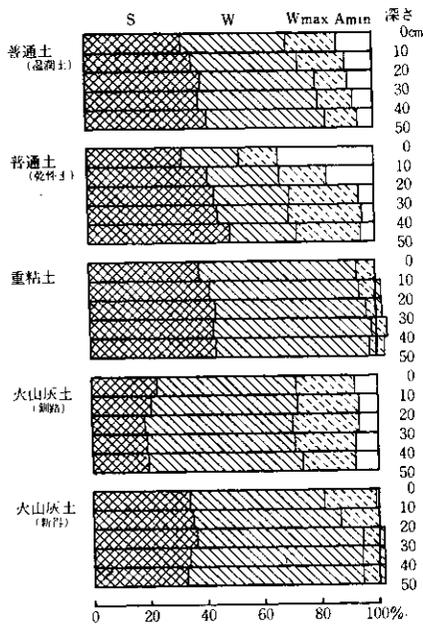
重粘土——歌登・幌延などの新第三紀層泥岩などを母材とする、粘性が強く、堅密で通気・通水性に乏しく、乾燥期には早害をうけ、逆に湿潤期には過湿となるような土壌。

火山灰土（釧路）——釧路支庁管内の火山灰を母材とする、腐植に富んだ膨軟な土壌。

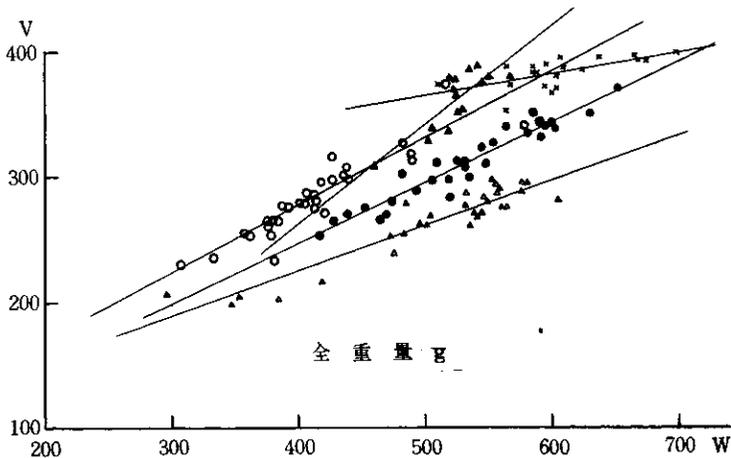
火山灰土（新得）——林業試験場道東試験地の圃場の火山灰を母材とする、腐植に富んだやや密な土壌。

容積組成

図一1にしめすように5種類の土壤の相異が明らかにみられる。土の中の水分と空気を除外した部分の量(固相S)は、火山灰土(鋤路)がきわめて小さく、重粘土は全層を通じて多い傾向がみられる。採取時水分含有量(W)は普通土(乾性土)がいちぢるしく少ないほかは一般に多い。とくに重粘土、火山灰土(新得)は採取時空気量に乏しく、水分量が多い。最大容水量(Wmax)は普通土(乾性土)の表層部を除いて全体に非常に多い。最小容気量(Amin)は重粘土、火山灰土(新得)はマイナスの値をしめし、普通土(乾性土)の表層は非常に大きく、疎水性すらみられる。また、重粘土、火山灰土(鋤路)は固相、最大容水量などすべての性質に深さによる相異はみられない、などの特徴がはっきりとみられ



図一1 土壤の理学的容積表示



図一2 全重量と実容積の関係

- 凡例 ● 普通土 (湿润土) ○ 火山灰土 (鋤路)
 △ 普通土 (乾性土) ▲ 火山灰土 (新得)
 × 重粘土

全重量と実容積

全重量は固相と液相の重量の和である。実容積とは、固相と液相のしめる容積のことである。土壌別、土層別に土壌の三相構造の特徴を明らかにすることはきわめて重要であり、全重量、実容積は三相構造の特徴を反映している。そして、これらの量は、それぞれの土壌ごとに特徴的な分布をしている。

圃場状態における土壌の全重量Wと実容積Vとの関係は、通常直線の関係がある。実例として、5種類の土壌について図-2に示す。

土壌の三相構造

土壌は物理的には固相、液相、気相の三相で簡単にあらわすことができる。この三相構造は、自然状態における土壌の構造上の物理的性質の特徴をあらわすものである。

土壌の三相構造は、植物の生活にきわめて密接な関係をもっている。これまでの農耕上の経験によれば、理想的な土壌の三相分布は固相、液相、気相の割合が50, 30, 20または50, 25, 25とされている(野口・福田訳1955)。しかし、森林土壌やわが国の土壌にそのまま適用することはできないであろう。

森林土壌はおよそ表-1に示す通りであると真下(1963)はのべている。北海道の森林土壌を図-3に示す。さらに固相と液相についてのみ図-4に示す。これで明らかのように

表-1 土壌の3相組成

(単位 %)

土 壌	層 位	固相	液相	気相
乾 性 土 壌	表層土	30	25	45
	下層土	35	30	35
適潤性土壌	表層土	25	45	30
	下層土	30	50	20
湿 性 土 壌	表層土	25	60	15
	下層土	30	60	10

土壌によって、はっきりと違いがみられる。

三相のうち固体部分の体積は、土壌の乾、湿によってあまり大きな変化はない。固体部分が急激に増減することなく、体積が一定しているとすれば、残りの空間、すなわち水分と空気の存在する体積は一定している。その中で、水分と空気はたがいに一方が増加すれば他方は減少する関係にある。この水分と空気は、ともに林木の生育に重要なものであるから、どちらが不足しても林木の良好な生長は期待できない。したがって、両者のバランスは重要である。

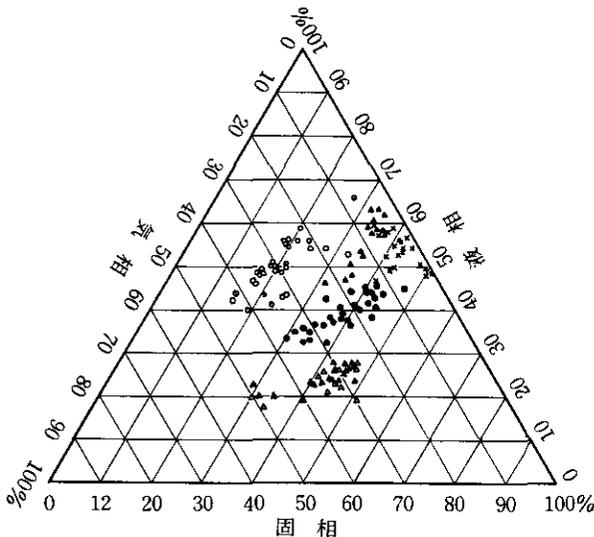


図-3 三相組成の分布

- 凡例 ● 普通土 (湿潤土) ○ 火山灰土 (釧路)
 △ 普通土 (乾性土) ▲ 火山灰土 (新得)
 × 重粘土

土壌の水分

土壌中の水分は、林木の生育に欠くことのできないもので、つねに乾燥している瘠尾根などに造林しても生長は悪い。逆に水分が多すぎても害があり、ともに良好な生育は期待できない。このように、単に土壌水分量が多いから生育によいとか、少ないから悪いというのではない。林木の生長に有効な水分、すなわち有効水分の量が問題となる。

植物が土壌から水を吸う時の最大の力は、15気圧であり、それ以上の力で土に結合している水分は利用できないといわれる。いま、土壌が水分を保つ能力を力の単位であ

らわせば、土壌水分と植物の吸水力との関連が生まれるから、植物学的な意味も加わってくる。このような考えから、土壌が水を保持する力を水柱の高さであらわして、その対数をとった値

表一 森林土壌の乾湿と水分状態

pF値	0~1.7	1.7~2	2~2.5	2.5~3	3~4	4~7
土壌の乾湿	過湿	湿	潤	やや乾	乾	乾
土 壤 型	B _F	B _E	B _D	B _C ・B _B	B _A	
最適水分	2 ←————→ 2.5ヒノキ					
最適水分	1.7 ←————→ 2.2スギ					

—— pF値——が広く用いられるようになった。たとえば、pF1.6のように、pF値の小さい状態、すなわち土と水の結びつきの弱いときは、水は植物に容易に利用される。なお、pF値と土壌含水率との関係は別にもとめておく。

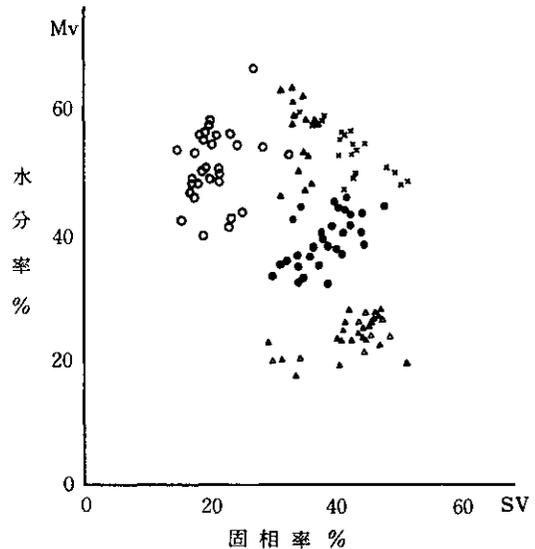
ここで、土壌の乾湿と水分状態について表一に示しておく。

つぎに土壌水分に関する恒数を説明しよう。

最大含水量——土壌の保水能を知るためによく測定されている。これは土壌の下端を水につけて1日程度おき、土壌が十分に水を吸いあげて飽水状態になった時の含水量で、pF0である。

野外含水量——恒数ではないが、水分量としては重要なもので、多量の降雨があつて、土壌が十分に湿ってから2、3日して、重力水が流れさり、土壌水分の動きがとまったときの含水量をいう。

毛管連絡切断含水量——土壌が表面まで野外含水量の状態であるとき、この表面から蒸発が



図一 固相率と水分率の関係

凡例 ● 普通土 (湿润土) ○ 火山灰土 (釧路)
 △ 普通土 (乾性土) ▲ 火山灰土 (新得)
 × 重粘土

おこると水は全体として上に向って移動をはじめめる。しかし、その移動は土壤含水量がある限界値まで低下すると停止する。この含水量をいい、およその pF 2.7 であるといわれる。

シオレ含水量——水蒸気で飽和した空气中に植物を入れてももともにもどらないような、シオレを生じはじめた時の土壤中の含水量で、pF 4.2である。

土壤中に存在する水は、まったく同じ利用性をもっているわけではなく、シオレ含水量から毛管連絡切断含水量、野外容水量としいに含水量が増加すると、その利用性は少しずつ高まる。さらに含水量が増加すると、水の利用性はひきつづき高まりはするが、通気性の減少と根に対する酸素の供給不足のために植物の生活条件は悪化しはじめめる。

このように、土壤水分の量のみで土壤の良し悪しを判定するのは適当ではなく、林木が利用できる水の量、すなわち、有効水分の量の多少が判定の基準となるべきである。野外容水量——重力によって流失する水を除いた時の含水量——とシオレ含水量との差であらわされる。この量は、土壤の種類によって大きく変化する。土壤水分とその利用性については表-3 にしめす。

表-3 土壤水分とその利用性

水分	含水量の範囲
利用できない	0 からシオレ含水量まで
利用しにくい	シオレ含水量から毛管連絡切断含水量まで
適当に利用できる	毛管連絡切断含水量から野外容水量まで
利用容易～過剰	野外容水量から飽和含水量まで

土壤の空気

土壤の空気は、水分とともに植物の生育にきわめて重要なものである。土壤空気の組成は、

大気のそれとほとんど同じであるが、ただ、炭酸ガスと水分含量がいちぢるしく異なる。

土壤孔隙は、水分と空気によって占められ、それぞれ量的関係は相対的である。そして、土壤空気は、孔隙によって外気と置換が行なわれる。

土壤の孔隙

土壤孔隙は、土壤中の固体（砂、石礫、根など）以外の水分と空気によって占める空間をいう。これは水分や空気の流通、保持の役割をなすもので、非常に大きなものから極微小なものまである（たとえば、pF 1.7の水を保持する孔隙を計算すると直径0.05mmとなる）。

孔隙の大きさの分布は、通気、通水、保水な

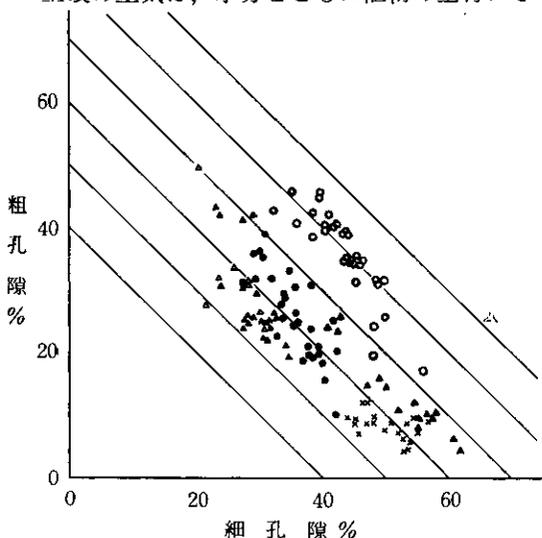


図-5 細孔隙量と粗孔隙量の関係

- 凡例 ● 普通土 (湿潤土) ○ 火山灰土 (銅路)
 △ 普通土 (乾性土) ▲ 火山灰土 (新得)
 × 重粘土

どに重要な役割をなすので、単に孔隙量のみで通気、通水、保水機能をつかまえることはできない。そして、孔隙が粗大なものばかりであったり、微小なものばかりでは十分な保水機能や通気、通水性をもつことはできないので、そのような土壌は林木にとってよい土壌だとはいえない。

土壌の水分保持の機能は、易有効水分 (pF 1.7~2.7) を保持する孔隙 (直径 0.05~0.005mm) の多いほど高いといえる。この易有効水分を保持する孔隙のほかに、通気、通水に欠くことのできない、さらに粗大な孔隙の量もほどよくあることが必要である。

北海道の土壌について粗孔隙量と細孔隙量の関係を図-5 にしめす。細孔隙量は、セッコウ素焼板 (15×15×2 cm) で最大含水量から吸水した後の残存水分量であらわす。粗孔隙量は、全孔隙量から細孔隙量を引いたものである。

土壌孔隙は、土壌構造によってその質と量が左右され、特徴づけられている。土壌水分量と pF 値との関係を土壌構造ごとに図-6 にしめす (真下, 1963)。

土壌の透水性

土壌の透水性は、土壌の構造、孔隙の状態をよくあらわしている。一般に、透水性の悪いことは、乾性土壌か、空

表-4 土壌の構造と透水性

構造	透水性
細粒状構造	きわめて不良
粒状構造 (乾燥時)	不良
粒状構造 (湿潤時)	良好
堅果状構造	不良
塊状構造	やや良好
団粒状構造	良好
カベ状構造	きわめて不良

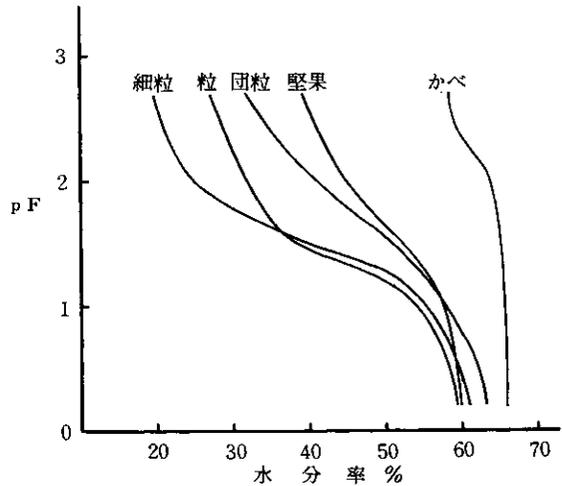


図-6 土壌構造のちがいによる含水量と pF 値の関係

凡例
 細粒：細粒状構造
 粒：粒状構造
 団粒：団粒状構造
 堅果：堅果状構造
 カベ：カベ状構造

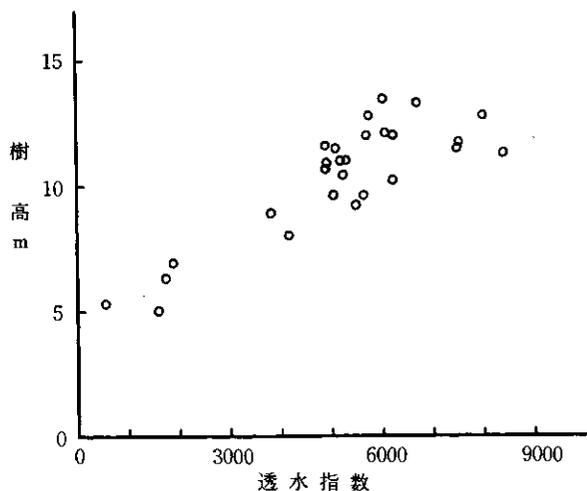


図-7 透水指数と樹高との関係

気の少ない土壤を意味しており、林木の生育に不適である。

透水性は、土壤中を単位時間当りに水が通過した量であらわす。これは土壤孔隙の大きさに関係し、透水に対する有効な孔隙の量を知ることができる。その孔隙は、 pF 1.7以下の粗大な孔隙が主体をなすと考えられる。というのは pF 1.7以下の水はすみやかに土壤を透過して排出するからである。そして、その量は通水性、通気性はもちろんのこと、空気を保持する量にもなり、物理的性質の重要な因子である。土壤構造は、土壤化作用の結果として造られるものであるから、土壤構造と密接な関係のある透水性は、土壤の発達の一つの指標になると考えられる。ここで、土壤の構造と透水性について表-4 にしめす (真下, 1963)。

透水性を深さ50cmまであらわれる各層について、層の厚さ (cm) とその透水速度 (cc/min) との積を合計した値を透水指数という。透水指数の大きな土壤は、深くまで透水性の良好な土壤ということの意味し、林木の生育にとって良好な土壤といえる。林木の生長と透水指数との関係を図-7 にしめす (山本, 1962)。

しかし、50cmの深さまでに透水性のきわめて不良な土壤があらわれると、一時的に水が停滞したり、根の活動を妨げたりして、はじめ生長がよくてもしだいにおとろえたりすることもある。とくに、火山灰性土壤などによくみうけられる。

土壤の有効深度

根が十分に伸長し、樹体を支え、また土壤中の水分・養分を吸収することのできる深さが、林木の生長に密接な関係をもつといわれる。このような林木の生長に有効な土層の深さを有効深度という。

たとえば、土層中に根の伸長をさまたげるような非常に堅い層、水分や養分の非常に乏しい

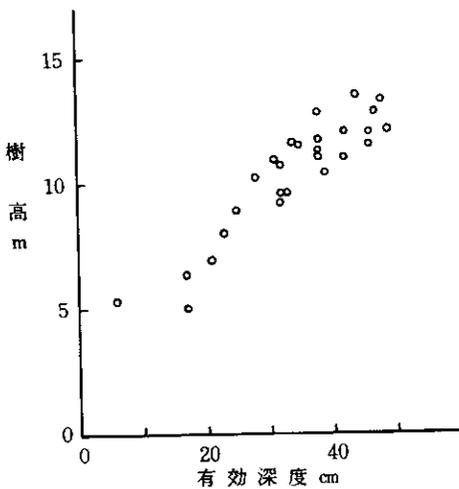


図-8 有効深度と樹高との関係

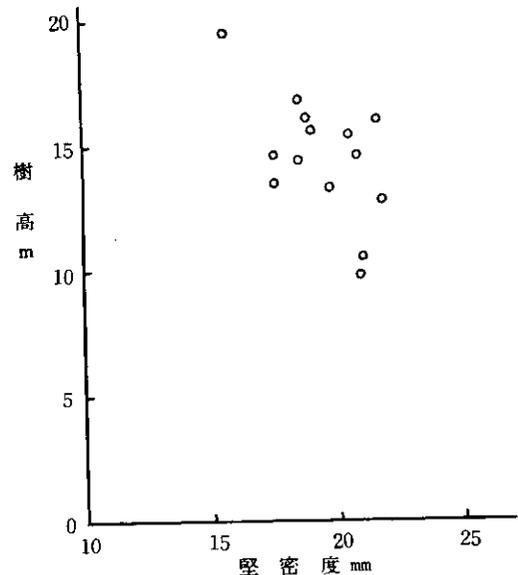


図-9 平均硬度と樹高との関係

砂土層、またグライ層のように過湿で空気の乏しい層などまでの深さを有効深度という。または、有効深度は粒状構造、塊状構造、堅果状構造、団粒状構造、特別に構造の発達しないもの（このうち、堅密度で軟としてあらわされるもの、また、根が侵入できるとおもわれる軟かさのもの）の5種類の構造のうち、いずれかの構造があらわれている層位の厚さの合計深度をいう場合がある。この有効深度と林木の生長との関係を図-8にしめす（山本、1962）。

土壌の堅密度

有効深度の中でふれたように、土壌の堅さは根の生育にとって機械的な障害となる。また、空気や水分の移動にとっても重要な因子である。土壌の堅さは、単なる硬度のほかに、たとえば容積重、孔隙量などのようにその土壌のもつ物理的な性質もあらわしているであろう。

つぎに、山中式硬度計により深さ50cmまでの平均硬度と林木の生長との関係を図-9にしめす。これから土壌の硬さが、林木の生長にとって重要な因子であることがうかがえる。

以上のように、土壌の物理的性質の測定項目は非常に多く、それらは複雑な関連がある。有効深度や透水指数などは、物理的性質を総合的にあらわすものと考えられるが、これらだけでは、土壌の発達や林木生育の状態を十分に説明できない。これらを十分に説明する物理的性質についてさらに検討する必要があるだろう。

文献

- 重粘地グループ 1967 北海道北部の土壌 195 p. 北海道開発局
- 真下育久 1960 森林土壌の理学的性質とスギ、ヒノキの成長に関する研究 林野土壌調査報告11: 1-182
- 真下育久 1963 森林土壌とスギ、ヒノキの成長 わかりやすい林業解説シリーズ2 52 p. 林業科学技術振興所
- 美園繁・川尻美智子 1967 土壌の3相構造に関する研究Ⅰ 農技研報B18: 49-128
- 美園繁・川尻美智子 1968 土壌の3相構造に関する研究Ⅱ 農技研報B19: 1-68
- 野口弥吉・福田仁志訳 1955 土壌物理学 406 p. 朝倉書店
- 農林省林業試験場・林野庁編 1955 国有林林野土壌調査方法書 47 p. 林野共済会
- 内田丈夫 1965 林野土壌のみかた 北方林業叢書31 50 p. 北方林業会
- 山本肇 1962 土壌の性質とトドマツの成長 林野土壌調査告12: 157-223
- 山崎不二夫監訳 1963 土壌と水 134 p. 東京大学出版会
- 山崎不二夫監修 1969 土壌物理 387 p. 養賢堂

(経営科)