

モミ・ツガ天然生林の斜面における土壌の 理化学性の推移 (1)

土壌の物理性の推移

辻 田 昭 夫*・荻 野 和 彦*

Transition of physical and chemical properties of soils
on the slope in natural Fir-Hemlock forest (1)

Physical properties

Akio TSUJITA* and Kazuhiko OGINO*

Summary : To analyze the relationship between slope topography and soil formation, physical properties of the soil on a slope in the natural secondary Fir-Hemlock forest, which developed on the parent material of granite, were investigated. The results obtained are summarized as follows;

1. The maximum water holding capacity and porosity were larger in the surface soils and smaller in the skirts of the slopes. On the contrary, the solid phase ratio and volume weight were larger in the subsoils and smaller in altitudes of the slopes.
2. Water permeability showed a positive correlation with gravel content and a negative correlation with maximum water holding capacity.
3. Sand and gravel on the slope were moved downslope by surface runoff and accumulated on the lower part of the slopes, but clay were ran off and silt showed a similar tendency. It is considered that the physical properties of soils in the forest were regulated by water movement.
4. Reflecting the pedogenetic factors exerted, there appeared diverse soil types even in the area of one hectare. Furthermore, physical properties and soil texture were different in the same soil type.

要旨 花崗岩を母材とした急斜面地に成立したモミ・ツガ天然生2次林の1斜面で、土壌の物理的性質をしらべ、斜面位置と土壌生成との関係について検討を試み、次の結果を得た。

1. 容水量及び孔隙量は、表層で大きく、また斜面下部ほど小さくあらわれた。固相率や容積重は、これらとは対照的に下層土で大きく、斜面上部ほど低下した。
2. 透水性は礫との間に正、容水量との間に負の相関を示した。

* 造林学研究室 Laboratory of Silviculture

3. 斜面上の砂、礫は地表流去水の侵食作用により、斜面下部に移動、集積するが、粘土は流亡し、シルトもほぼこれと同様の傾向を示すことを認めた。これらより本調査地土壌の物理性は、主として水の動きにより規制されるものと推察された。
4. 以上の結果として、約1 haの対象林地においても、種々の土壌型が出現し、また同じ土壌型であっても、斜面上の土壌の物理性や土性は相異してあらわれた。

1. はじめに

地形が土壌生成に関与するのは、主として水や地下浸透水など水の作用を通じたものであり、これには斜面の傾斜度や広がり、集合状態などの外、微気象因子などが関連する。このうち水の作用は、土壌物質の移動、集積あるいは流亡、洗脱に係わるものである。一般に山地は、傾斜度や斜面方向が連続的に変化する複合斜面である。したがって土壌の生成に係わる斜面形の作用要因も多様に変化し土壌生成の要因分析も複雑になる。これらのことから筆者らは、前報(9. 10. 11)までに、花崗岩を母材とした一定環境条件下の1斜面に成立したモミ・ツガ天然生2次林を対象として、土壌の理化学性を調べ、作用因子が局所的に相異することを斜面地形、特に微地形との関係から指摘した。

今回は、これまでの調査結果を総括し、主として土壌断面に現れる物理性の変化から、急傾斜地における土壌物質の移動、集積などの推移状況を調べ、これと土壌の生成の関係について検討した。

調査に当り、ご援助頂いた演習林教職員ならびに調査の取りまとめに協力と助言をたまわった二宮生夫助教授、調査と分析に協力を得た専攻学生の猪股重雄、下萩清海、小椋昇明の各位に厚くお礼を申しあげる。

2. 調査地および調査法

調査地は、愛媛大学農学部附属演習林内のモミ・ツガ天然生2次林である(図-1)。その概況(10. 11)を示せば、気候は年平均気温12.3℃、年平均降水量1,940mm、地質は領家型の角閃石黒雲母花崗岩である。植生は、モミ、シデ類(高木層)、ヤブツバキ、シキミ、カエデ類(中木層)、クロモジ、ヤブムラサキ、ガマズミ(低木層)、斜面上部にリュウブ、ネジキ、イヌツゲ、沢筋にミズキ、ケンポナシなどが分布する。これら植生は斜面上部ほど種数、個体数ともに多い(5)。下層植生は斜面上部から中腹にかけてスズタケが優占している。土壌調査は、斜面上の土壌の安定性と土層内の移動、集積に重点をおいたことから、降水の流線に近いと思われる地点を選んでA. B. C. Dの4測線を引き(図-2)、1測線につき4~8個のプロットを設けて行った。調査と土壌分類は、林野土壌調査方法書(6)ならびに林野土壌の分類(7)によって、1984年10月、1985年5~7月および1986年6~9月の3回に分けて行った。

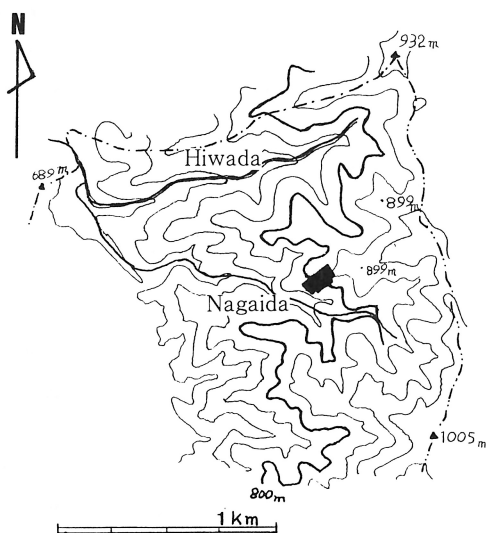


Fig. 1. Map of the study site

3. 調査結果

今回の分析には、これまでの土壌断面調査25箇所のうち、上記測線上の19断面、試料数94点の測定結果を用いた。

3-1 調査地の斜面形態と土壌断面形態

表-1に各測線の立地条件の概況を示した。調査地は、標高768~843 mに位置し、測線間の標高差は約50m、斜面長は60~70mである。傾斜は局所的なものを含め25°~42°の範囲であるが、全体を通してみると35°以上と見なされた。これら4測線の斜面形態は図-3の通りで、いずれも斜面上部で

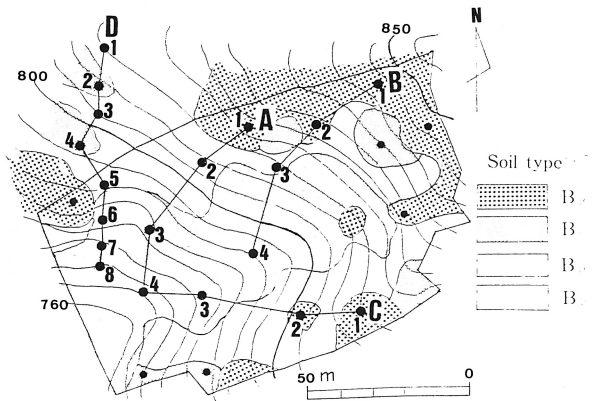


Fig. 2. Topography and sampling sites of surveyed area

Table 1. Physiography and soil type of slope lines surveyed

Experiment line	Altitude (m)	Direction	Inclination	Length of Slope (m)	Soil type ^{6,7)} () : Plot No.
A	768~821	SW	34°~37°	63	(1) : B _B , (2) : B _{D (d)} , (3)(4) : B _D
B	792~843	SW	28°~42°	68	(1)(2) : B _B , (3) : B _{D (d)} , (4) : B _D
C	768~815	NN	25°~35°	68	(1)(2) : B _B , (3)(4) : B _D
D	770~815	S	30°~39°	70	(2)(4) : B _C , (1)(3)(5) : B _{D (d)} , (6)(7)(8) : B _D

およそ尾根型斜面、中腹で平衡斜面、下部では谷型斜面への移行部とみなされたが、これら各斜面形になお局所的に微小な凹凸が見られた。

調査地の土壌は、乾性から適潤性までの褐色森林土であった(図-2, 表-1)。これら土壌断面形態の特徴はおよそ下記の通りである。

B_B型土壌 A₀層: 5~8cm, H層やや発達。A層: 8~10cm, 粒状~塊状構造。A~B層に菌糸を含む。斜面上部では残積型の特徴を残す。

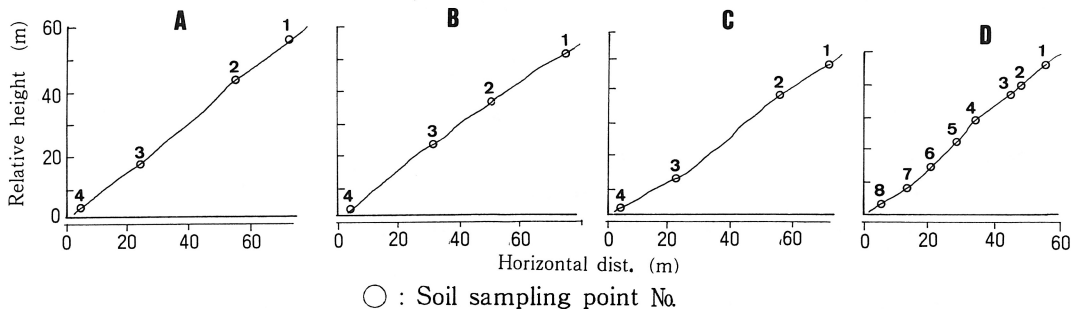


Fig. 3. Longitudinal section of the experimental slopes

B_c型土壤 A_o層：2～5cm，F層やや発達。A層：20～30cm，粒状～弱い堅果状構造。B層：弱い堅果状構造。A～B層に多少菌糸を含む。B_B型に接して現れたが，南向き斜面にあたるD測線ではB_{D(a)}型の中に介在した。

B_{D(a)}型土壤 A_o層：L層薄く，H層5mm程度。A層：20～40cm，暗褐色。A₁層：弱い堅果状構造。A₂層：塊状構造，未発達。大略斜面中部に出現。D測線の斜面上部では，やや微凹型地形をなし，水分や有機物の取り込みが比較的円滑なため尾根筋近くまで出現。

B_D型土壤 A_o層：F，H層は数mm程度。L層数cm。A層：30cm以上，塊状構造，ごくわずかに団粒構造を認む。腐植はムル型で土壤中への浸透良好。B層：ほとんど無構造。匍行型，谷筋で崩積型。堅密度は崩積型で大。

なお，各層位にあらわれた土壤構造は，一般的な褐色森林土に比べ，いずれも発達程度の弱いものであった。とくに移動，堆積の大きい斜面下部でその傾向は強かった。

3-2 土壤の物理性

- 1) A層土壤の厚さ斜面上の表層土の移動，集積に係わるA層の厚さの推移を図-4に示す。まず，D測線のA層の比高は，斜面上部から中部にかけて増大したのち激減し，下部で再び漸増した。A₁層厚さも同様な傾向を示し，斜面上部から中部にかけて漸増し，プロット4で最も厚く，谷部で再び増減して5～10cmの厚さをとった。このように1斜面上で一定の推移傾向を示

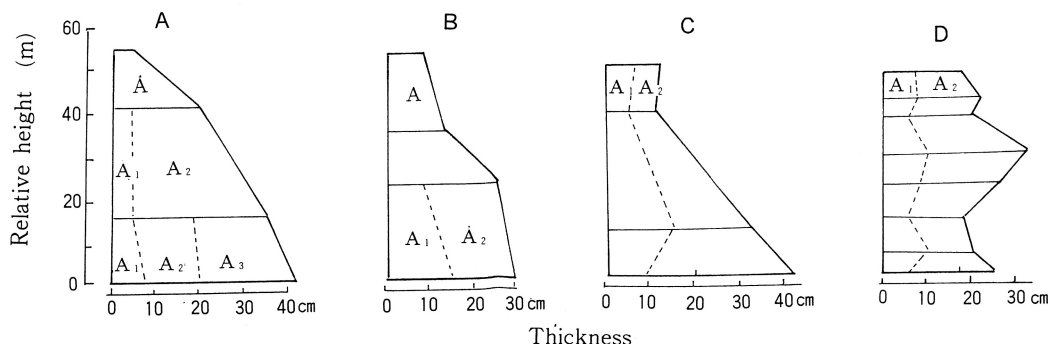


Fig. 4. Thickness of A horizons to as a function of relative height

さなかったのは，測線の中腹（プロット4）に小さい凸型急傾斜地があり，下部でやや凹型の地形を示すためと考えられる。このD測線における表層土の推移状況は市河ら(2)の測定結果にも認められる。A，BおよびC測線のA層は土壤型の変化と一致し，乾性を示した斜面上部から，適潤性土壤の現れた斜面下部に向って明らかに増大し，亜層位はA₂A₃に分化した。このうちB，C測線の各プロット2で変化が小さいのは微凸型地形によるものであり，またC測線のプロット3のA₁層厚さの増大は微凹型地形に起因していると判断された。このように表層土の推移は，微地形の変化とよく対応し，地形が土壤物質の移動に係わる1つの因子であることが分る。なおC，D測線の最下部でのA層とA₁層との逆方向の推移は，後述するように，この斜面下部で礫と砂の堆積が進み，表層土が極めて砂質となり，粘土や土壤腐植の集積が進行せず，A₁層が発達しにくいことによるものと推察された。

- 2) 礫量と細土量 各測線におけるA層ならびにB層の礫量と比高との関係を図-5に示す。これより同一断面での垂直分布をみると，礫はおおよそ表層土で少なく，下層土で多い。特にB，CおよびD測線の斜面上部の表層では9%で，緩凸型地形における残積型の堆積様式を裏付けている。なおB測線のプロット2は赤オンジを示し，下層土の値は低い。このように礫量は表層土では各測線とも斜面上部から下部に向って明らかに増大し，表層土と下層土の較差も小さくなっている。特にD測線の下部では，B層の値よりA層の方が大きくなる結果を示した。な

お下層土も斜面下部に増加の傾向がうかがわれたが、その推移はA層ほど明確でない。

細土量の推移は図-6の通りで、層位別にみると全般的には礫と同様に表層で少なく、下層で多い傾向を示した。比高との関係については、全体として礫量の推移とはおよそ相反する傾向がみられ、礫量の増加割合の大きい地点でその傾向は判然とした。以上は、斜面上における粗大粒子の動態を表したものである。この斜面上でのこれら物質の移動に関しては、これまでみてきた微地形のほか、植生、特に下層植生の影響が大きく(1.12)、また図-7, 8に見られるように斜面上におけるA層の厚さもまた大きく関与する。図-7によればA層は、斜面上部から下部に向かって薄くなる傾向を示す。F層は相対的に表層土の浅い個所で厚く現れたが、これは土壤の水湿状態が落葉枝の分解速度に影響したものと思われる。図-8はA層中の有機物と礫含量を示したものである。A層中の有機物量の斜面上の推移は、その厚さの推移にほぼ一致し、また前記A層の厚さの変化とも近似した。ここで注目すべき点はA層の落葉、落枝や粗腐植に夾雑した砂、礫の量的変化である。混入砂と礫は斜面上部で少なく、斜面下部で著しく増大した。このような量的変化は、斜面における地表物質の動態を明確に示したものである。

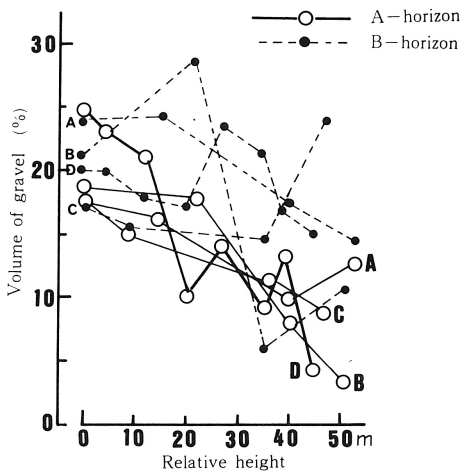


Fig. 5. Relation between the volume of gravels (> 2 mm) and relative height

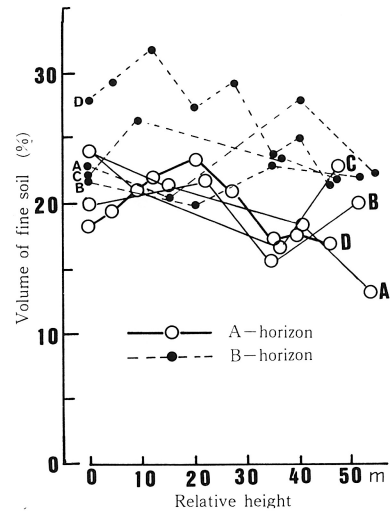


Fig. 6. Relation between the volume of fine earth (< 2 mm) and relative height

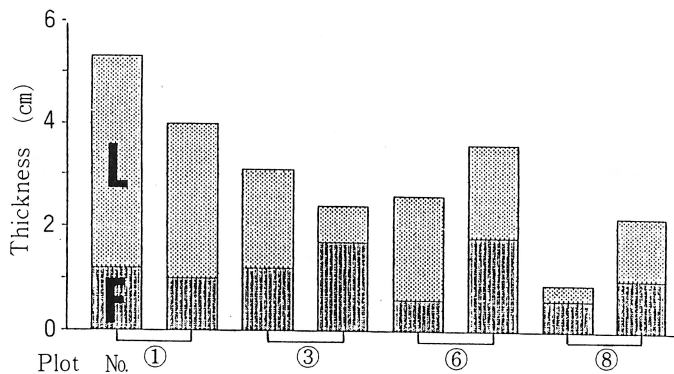


Fig. 7. Change in the thickness of A₀ horizons on the experimental slope D

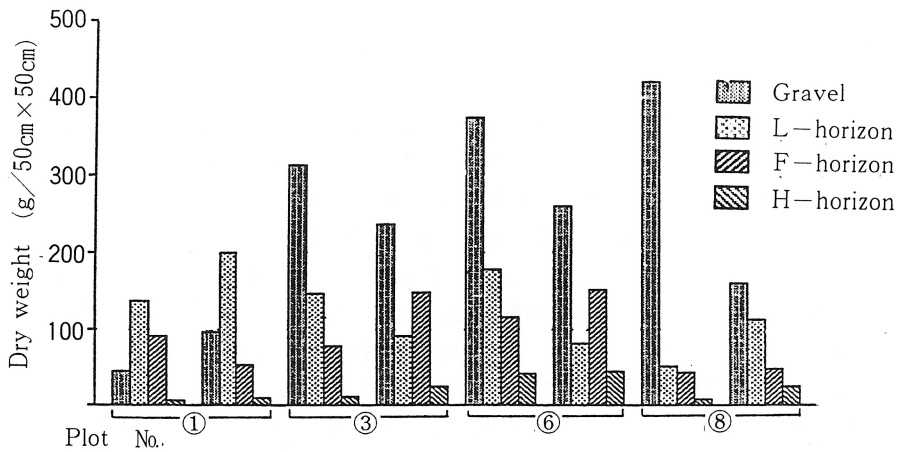


Fig. 8. Organic matter and gravel contents in the A₀ layers on the experimental slope D

3) 三相分布 各測線上の土壤の三相分布を図-9に示した。調査した土壤は大略、容水量が小さく、孔隙量とくに容気量が大きい土壤と言えそうである。図によると前述した固体物質の各測線における垂直変化ならびに斜面下方への移動傾向がより明確である。この三相分布について

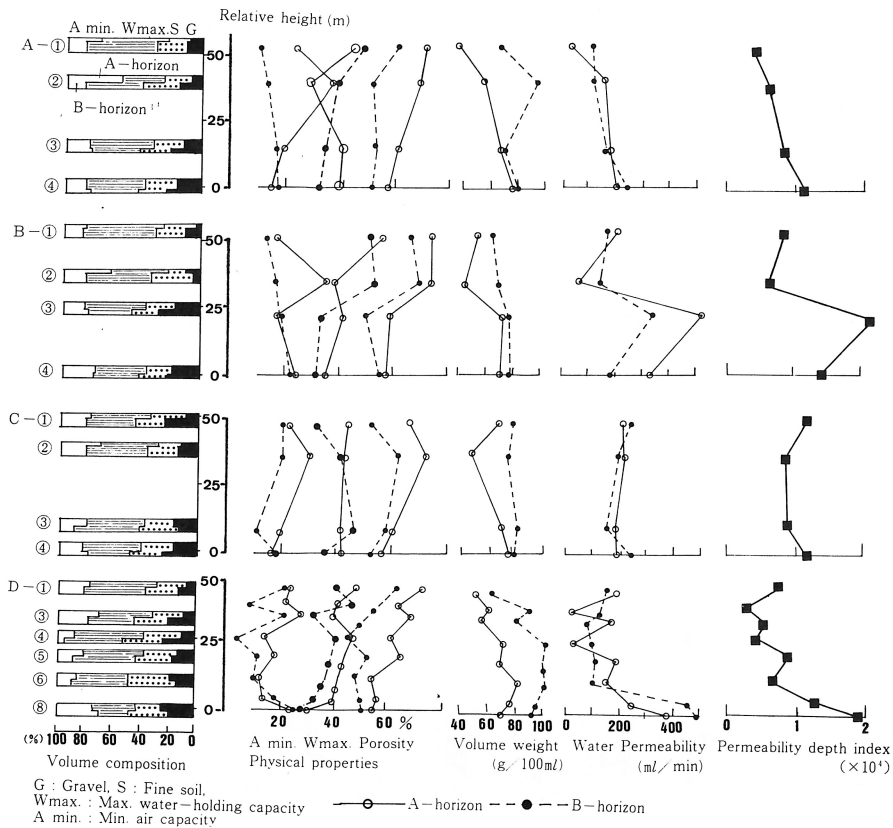


Fig. 9. Relationship between soil physical values to relative height on each experimental slopes

- て真下(4)は、固体量と土壤構成材料との関係を調べ、礫量が多く、炭素量の少ない土壤ほど固相率は大きくなるとしている。本実験結果もこれと同様な傾向が認められる。下層土や斜面下部での礫量の増加と炭素量の減少(10. 11)は、固相の体積を大きくし、容水量を小さくしている。この容水量は採取時水分にも反映された。採取時の水分は、各測線で調査時期や採取時の天候が異なるため図に示さなかったが、表層は12~28% (平均18%)、下層は8~20% (平均14%)であった。飽水度は容水量に左右されるが、25~66%の範囲にあり、平均値は表層、下層とも約40%であった。この値は、真下(4)のB_g型土壤(A層の平均値:51.8%, B層の平均値:68.5%)より低い。このような水分状態は、調査地土壤が砂質、粗孔隙性という性質をよく表しており、このことから地表水の垂直方向への浸透速度の早いことも推察できる。
- 4) 容水量 容水量は、2, 3の土壤のA, B層が菌糸のため疎水的になっていることを除けば、腐植(10. 11)と粘土量の多い表層土で多く、また斜面上部で大きい傾向を示した。換言すると、礫量の影響を強く受け、たとえ固相率の高い下層土や斜面下部の土壤でも、礫の相対含量が高い土壤では小さく、保水性に劣ることが明らかにされた。
- 5) 孔隙量 孔隙量の全試料の平均値は、A層で67% (55~78%)、B層で58% (45~72%)であった。斜面上ではいずれの測線でも上部では大きく、下部へ行くにしたがって減少する傾向を示した。これは礫および砂とは逆の傾向である。孔隙量に関しては一般に排水性は粗孔隙量に、保水性は細孔隙量に関係するとされている。ここでは孔隙解析を行っていないが、土壤構造と土性からは、細孔隙の占める割合は小さいものと推察された。別に全孔隙量と透水量との関係を調べたが相関は認められなかった。
- 6) 容積重 容積重は、孔隙量を反映して表層土で明らかに小さく、下層土で大きかった。斜面上では表層、下層土とも谷方向へ漸増したが、この傾向は表層土で特に顕著であった。すなわち容積重にも砂と礫の崩積が反映していると言える。
- 7) 透水性 透水速度は、斜面上部に分布した乾性~弱乾性型で、菌糸の影響を受けたもののほかは50~800ml/minの範囲にあり、大部分は50~300ml/minの範囲にあった(図-10, 11)。透水性の良否判定の目安(8)(50ml以下:不良, 50~100ml:中庸, 100~300ml:良好, 300ml以上:極めて良好)によれば、本調査地土壤は全般的に良好~極めて良好と言える。この透水性の垂直的变化は図-9の通りである。いずれの測線でもA, B両層位は同程度の透水速度を示している。斜面上における透水性の相違は明らかでないが、斜面下部に向かってやや増加する傾向がみられた。この透水速度と土壤の物理的諸因子との関係を調べた結果、図-10, 11の通り、礫量と容水量との間に最も高い相関を示し、相関係数はそれぞれ0.641(P<0.001)と-0.568(P<0.001)であった。なお、これらの一次回帰式は、礫量に対して $Y=11.032x+33.363$ 、容水量に対して $Y=-8.379x+549.077$ を得た。これによれば礫含量と容水量の斜面上の変動(図-5, 9)からみて、斜面上部よりも下部の方に易透水性土壤が出現しやすいと言える。なお本調査地のように砂質で、容水量が小さい土壤では、両者が相乗的に働いて全般的に高い透水性を示したものと考えられる。土壤深さ50cmまでの各層の透水速度(ml/min)と厚さ(cm)から透水指数(4)を求め、これと比高との関係を図-9に合わせて示した。図に見られるように、透水指数の斜面との関係は透水速度とのそれと一致しており、匍行土、特に斜面下部の崩積土で大きく、10,000以上であった。これを各土壤型に対応させてみると大略、B_g型:7,900、B_c型:4,500、B_{D(a)}型:10,200、B_D型:11,400で、乾性型の土壤にあっても極端な難透水性を示さない。透水性は、土壤構造の影響を受けよいとされているが、本調査地のマサ土質の花崗岩風化土壤では、構造の発達程度が弱いので、透水性との関係は認められない。
- 8) 粒径組成 斜面上の粒径組成の変化の1例として、D測線の分析結果を表-2に示し、各測

線での推移状況を図-12に示した。砂含量（粗砂+細砂）は、斜面上部の残積型土壌でやや小さいが、全体を通して60~93%の範囲にあり、シルトは、B測線プロット2のB層の特異値（36.5%）を除けば3~20%、粘土含量も3~22%の範囲にあるが、いずれも大部分は10%以下で著しく少ない。粘土とシルトの垂直分布をみると（図-12）、いずれの測線でも下層土（B層）に比べ表層土（A層）でやや多く、砂は表層土より下層で多くなっている。このような上、下層の差は斜面下部では小さくなった。また斜面上では、砂含量は礫と同様に斜面上部で少なく、下部で増加したのに対し、粘土とシルトは上部で多く、谷に向かって低下した。この推移傾向は表層土で一層明らかであった。このように微粒の粘土とシルトの斜面上の量的変化は、砂とは反対に斜面下部で減少し、砂と礫のような集積は認められない。

図-13は、各測線上の土性を示したものである。A、C測線では上、下層とも斜面上部から深さ40~50cmまでを砂質壤土（SL）が占め、最下部の崩積土で壤質砂土（LS）となる。B測線の表層土は斜面上部から下部へ砂質埴壤土（SCL）→砂質壤土（SL）と変化し、下層土はこれに対応して砂質壤土（SL）→壤土（L）→壤質砂土（LS）と変化した。この壤土の出現は、この層がB_c型の赤オンジで、礫（4%）と砂（60%）が少ないことによっている。D測線では微地形と、これら固体物質の移動、集積の様相が土性によく現れている。すなわち尾根付近の植被率が高く、やや残積型を呈するプロット1ではA₁層で相対的にシルトが多く、粘土との含量は38%で、壤質であり、その直下A₂層に比べて粘土は増し（+17%）、シルトは減少して（-27%）、砂質埴壤土となっている。B₁層では粘土がA₁層の60%にまで激減して砂質壤土となり、B₂（層深さ35~60cm）では粘土含量はさらに低下して壤質砂土になっている。この測線Dの斜面最上部（プロット1）の土層内土性分布を基準として、順次斜面下部への土性の推移についてみると、次のことが言える。

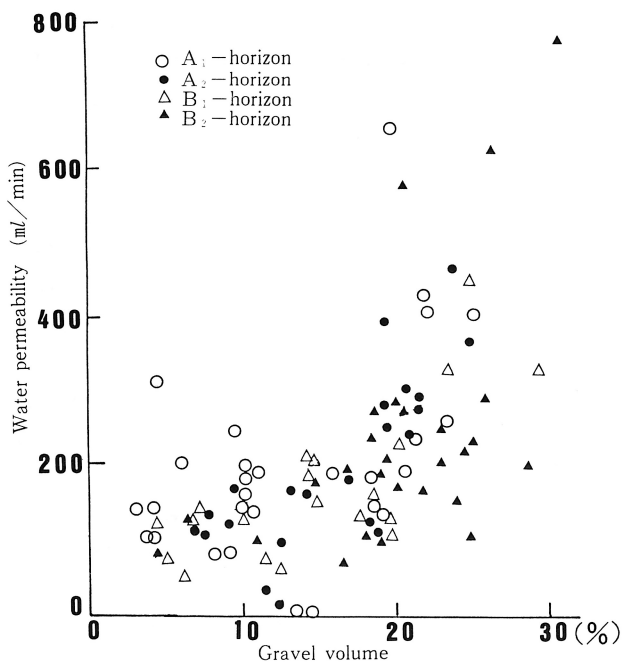


Fig. 10. Relation between water permeability and gravel content

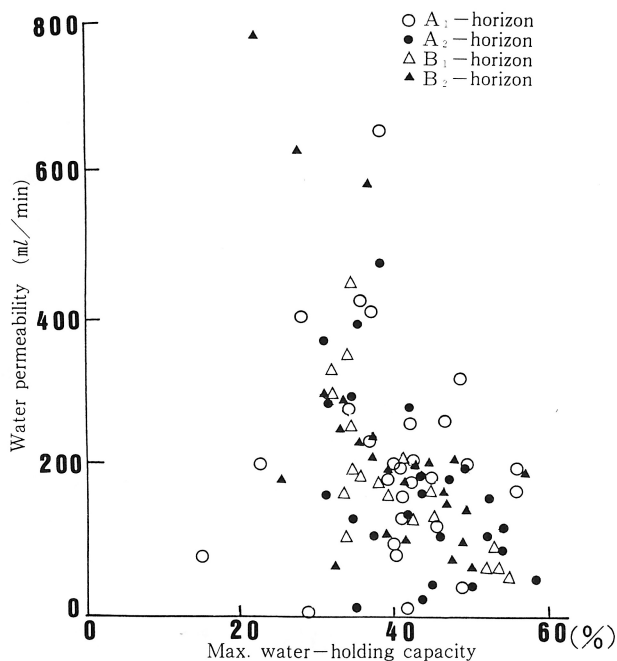


Fig. 11. Relation between water permeability and max. water-holding capacity

Table 2. Particle-size distribution of soil samples on the slope line D

Plot No.	Horizon	Depth (cm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture
1	A ₁	0~7	61.8	24.6	13.6	L
	A ₂	7~17	66.1	18.0	15.9	SCL
	B ₁	17~35	68.2	26.4	5.4	SL
	B ₂	35~60	88.0	17.5	2.5	LS
	C ₁	60<	87.4	6.6	6.0	LS
2	A ₁	0~8	69.2	13.0	17.8	SCL
	A ₂	8~22	72.9	12.1	15.1	SCL
	B	22~35	70.2	13.9	15.9	SCL
	B	35~55	81.6	13.9	4.5	SL
	C ₁	55<	89.3	6.5	4.2	LS
3	A ₁	0~5	68.7	15.9	15.4	SCL
	A ₂	5~20	70.0	14.1	15.9	SL
	B ₁	20~38	81.4	8.7	9.9	SL
	B ₂	38~47	85.8	7.1	7.1	LS
4	A ₁	0~10	70.1	10.4	19.5	SCL
	A ₂	10~20	73.9	15.6	10.5	SL
	A ₂	20~32	76.8	11.2	12.0	SL
	B	32~50	85.1	11.8	3.1	LS
	C ₁	50<	89.7	6.2	4.1	LS
5	A ₁	0~8	74.3	13.0	12.7	SL
	A ₂	8~17	79.8	10.6	9.6	SL
	A ₃	17~27	79.5	10.7	9.8	SL
	B	27<	90.0	4.0	6.0	LS
6	A ₁	0~5	86.9	7.8	5.3	LS
	A ₂	5~18	81.2	10.2	8.6	SL
	B	18~35	81.0	8.7	10.3	SL
	C ₁	35<	87.7	8.3	4.0	LS
7	A ₁	0~10	85.9	6.6	7.5	LS
	A ₂	10~20	84.0	7.4	8.6	SL
	B	20~30	86.2	6.3	7.5	LS
	B	30~40	86.4	7.8	5.8	LS
	C ₁	40<	94.7	2.6	2.7	LS
8	A ₁	0~5	88.9	7.0	4.1	LS
	A ₂	5~15	81.1	9.5	9.4	SL
	A ₃	15~25	86.2	8.0	5.8	LS
	B	25~40	91.8	6.0	2.2	LS
	C ₁	40<	91.5	4.7	3.8	LS

表層土においては、斜面中部に至るまではLが欠落し、基準断面の第2層(A₂層)のSCLになる。次いで微凸型地形を呈するプロット4の斜面直下は、基準断面の第3層のSLになっている。これは短い急斜面地であるため侵食と分散作用が強く働き、微粒子の拡散、移行の結果と考えられる。この地点から下方の凹型斜面では、砂と礫の堆積と同時に粘土とシルトの流亡が起り、表層土は基準断面の最下層のLSとなり、B層はSLとなっている。一方、垂直的な変化は斜面下部を除けば、表層から下層へ微粒子画分が減少してゆき、SCL→SL→LSと変化している。このように、土性は斜面上の土壤物質の移動を明確に反映していると言える。

以上のように本調査地土壤の土性はL~LSであり、花崗岩由来の褐色森林土の中でも極めて砂質である。一般に、花崗岩の物理的風化では、大、中形の礫や粘土のような微細な風化産物は生成しにくいとされている(3)。本調査地の場合、生成した粘土とシルトは、一次的には下層あるいは斜面下部へ移動するとしても、傾斜が急であり、土壤の透水性が大きく、土壤腐植も少ない(10, 11)ことなどのため、いずれは他所や河川へ流亡するものと判断される。

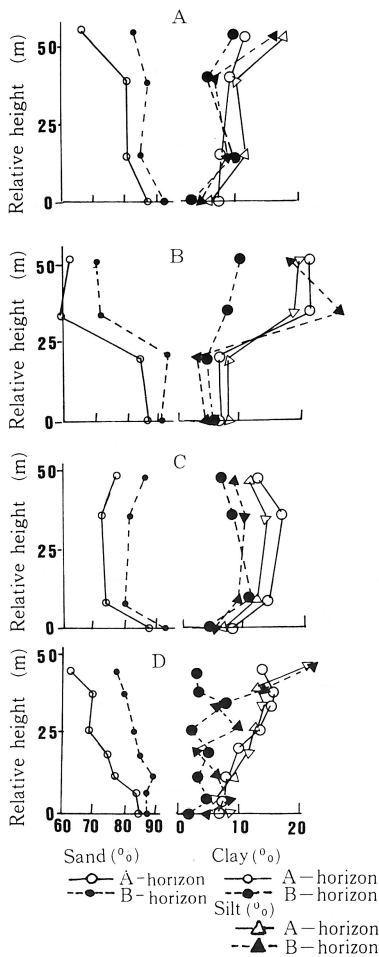


Fig. 12. Relation between particle size distribution and relative height

本報では、このような動的斜面上における土壌の物理的諸性質を調べ、斜面位置による土壌物質の移動と土壌生成との関係を検討したものである。調査対象とした土壌は、花崗岩を母材としたマサ土で、粗孔隙に富み、透水性は良好で、透水指数は 4,500~11,000 の範囲にあった。そのうえ急傾斜であるため、表層土における粘土やシルトの微粒子画分は流亡し、細土も斜面下部で減少した。これに対し礫は斜面下部へ崩積している。したがって、表層土壌の厚さは谷に向かって増大するものの、その増加は大部分を礫が占めている。これらを反映して土壌物理性の変化は、孔隙量や容積重にも現れたが、含水量と透水性に一層明らかに反映しており、透水速度は礫の増加する斜面下部で大きく、含水量は小さくなる傾向を示した。また固体物質の分布状況や物理性は、地表面の局所的な凹凸型微地形の変化にも左右されていた。土壌物質の移動を土性からみると、表層から下層へ、また斜面上部から下部へ壤土→壤質砂土へ変わっていた。このように粘土とシルトの流亡により、土壌構造は発達せず、地表面の砂も礫も流去水と重力によって容易に斜面下部へ移動すると考えられる。本調査地の全面積は、わずかに約 1 ha である。この狭い範囲において、種々の土壌型が出現し、また物理性ひいては土性にも多様な変化が認められた。そして、これら斜面上の推移状況からして本調査地の土壌は、斜面上部ならびに下層植生が貧弱となる中

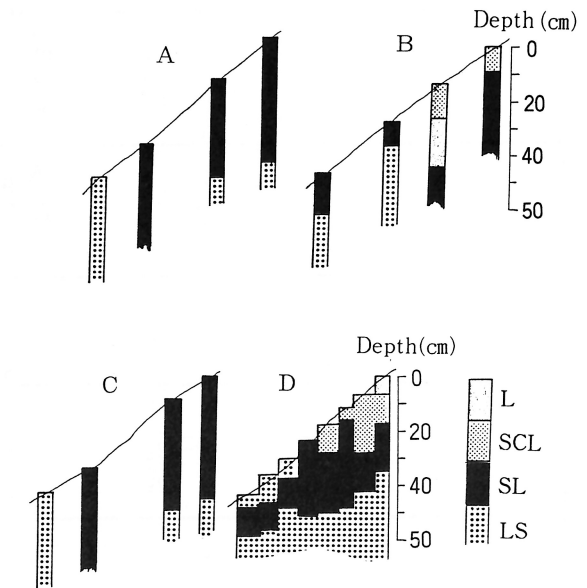


Fig. 13. Change of soil textural class with depth on slope lines

4. む す び

本調査地は、過去に薪炭材料として伐採されてより、約40年を経たモミ・ツガ天然生2次林である。したがって、過去の土壌の攪乱程度も比較的小さいものと見なされるが、現状ではかなり激しい土壌侵食が進行しており、高木の根倒れすら観察される。

部における侵食と下部への崩積のため、土壌は常に未熟あるいは発達程度の低い段階にある斜面が比較的多いと判断される。地力維持、増進という面からして、表層土の安定化のため林床植生の被度を高めなければならない。

引用文献

- 1) 赤井龍男・吉村健次郎・真鍋逸平・有光一登・相場芳憲・松浦孝蔵：人口降雨によるヒノキ林内の落葉，土壌等の流出移動について（Ⅱ），92回日林論，213～214，1981
- 2) 市河三英・荻野和彦：モミ・ツガ天然生林における稚樹個体群の消長，98回日林論，337～338，1987
- 3) 小出 博：応用地質，177pp，古今書院，東京，1954
- 4) 真下育久：森林土壌の理化学的性質とスギ，ヒノキの生長に関する研究，林土調報11：1～182，1960
- 5) 二宮生夫・富田英司・辻田昭夫・荻野和彦：モミ・ツガ天然生2次林の種組成の多様性と林分構造，愛媛大演報23：59～76，1985
- 6) 林野庁：国有林土壌調査方法書，農林省林業試験場，1955
- 7) ——：林野土壌の分類，農林水産省林試験場，1976
- 8) 森林土壌研究会編：森林土壌の調べ方とその性質，328pp，林野弘済会，東京，1982
- 9) 辻田昭夫・猪股重雄・荻野和彦：モミ・ツガ天然生林における森林土壌の物理性と微地形との関係，愛媛大学演報23：77～90，1985
- 10) ——・二宮生夫・荻野和彦：米野々演習林のモミ・ツガ天然生林における森林土壌の理化学性と斜面地形との関係，同上24：97～110，1986
- 11) ——・小椋昇明・荻野和彦：モミ・ツガ天然生林の急斜面における土壌物質の移動について，98回日林論，181～182，1987
- 12) 吉村健次郎・赤井龍男・真鍋逸平・相場芳憲ほか3名：人口降雨によるヒノキ林内の落葉，土壌等の流出移動について（Ⅲ），92回日林論，215～216，1981