

森林の崩壊防止機能における林地表層土壌の評価 (I)

— 人工太陽光照射による林地表層土壌の変質 —

竹 田 泰 雄*・アルンシリ カムラン*

Evaluation of forest surface soil on preventive function of forest against landslides

— Change in quality of forest surface soil by irradiating artificial sunrays —

Yasuo TAKEDA and Arunsiri KUMLUNG

崩壊を引き起こすような豪雨があった際に、林地表層土壌が雨水の浸透、貯留、排水に果たす役割は大きい。そこで表層土壌の変質が水の挙動にどのような影響を与えるかを調査した。

土壌試料は約30年生ヒノキ林と約80年生スギ林で採取し、伐採を想定してウェザーメーターによる人工太陽光を照射して土壌を変質させた。その結果、間隙径別の間隙量は、照射前に比較して照射後では重力水の移動に関係する間隙径の大きな範囲で増加し、保水性に関係のある間隙径の小さい範囲で減少がみられた。また団粒化度も照射後で減少していた。これらの影響はヒノキ林に比較して優良な林地であるスギ林で大きかった。

これらの結果から、森林伐採等により表層土壌が変質を受ければより多くの浸透水がより速く、より多く下方へ浸透し、崩壊の一因となるせん断抵抗の減少などを招き、崩壊発生の危険性が高まるものと推察される。

During the heavy rainfall which may cause many landslides, forest surface soil is playing many important roles such as infiltration, storage and drainage of water to prevent the occurrence of landslide. Therefore, the relationship between the water behavior and the change of physical properties in forest surface soil was investigated.

Soil samples were collected in about 30 years old stand of hinoki, *Chamaecyparis obtusa* S. and in about 80 years old stand of sugi, *Cryptomeria japonica* D. Don. On the assumption that the forest was clearly cut, these soil samples were exposed to the change in quality through the irradiation of artificial sunrays by using the weather meter. Comparing the volume of each pore size of surface soil before and after the irradiation, the quantity of larger pore size, which is related to the movement of gravitational water, increased after the irradiation, and that of smaller pore size, which is related to the soil retention storage, decreased. The degree of aggregation of surface soil also decreased after the irradiation. These influences were more remarkable in stand of sugi than hinoki.

If the physical properties of surface soil change through the clear cutting of forest, it is estimated that more infiltrated water would rapidly move downward and cause the decrease of soil shear resistance related to the occurrence of landslide.

キーワード：土壌間隙、団粒構造、ウェザーメーター

* 名古屋大学農学部 School of Agriculture, Nagoya University, Chikusa-ku, Nagoya 464-01

I. まえがき

森林の公益的機能、とくに水源かん養機能と土砂流出防止機能について、森林に期待される面は大きい。この中で森林のもつ崩壊防止機能において、樹木の根系によるせん断抵抗の増加によりその効果が発揮されるとされているが、根系による土壌の緊縛力のみならず、優良な森林によって形成される林地表層土壌が、崩壊を引き起こすような豪雨があった際に雨水の浸透、貯留、排水に果たす役割も決して小さくないと考えられる。統計的にみても、伐採跡地、幼齢林地では壮齢林地や天然林地帯に比較して多くの崩壊発生がみられる(1)。この原因の1つとして林地表層土壌の量的、質的な変化があると考えられるので、崩壊発生に影響を及ぼすような雨水の貯留における表層土壌の役割、とくに土壌の間隙および団粒構造などに着目して室内実験を行い、崩壊防止機能における表層土壌の役割について検討した。

II. 土壌試料採取地

試料採取地は愛知県北設楽郡稲武町地内の約30年生ヒノキ林と約80年生スギ林である。これらの林地はいずれも黒雲母花崗岩の深層風化地域の北斜面である。林地表層部の状況については、前者では植栽後は除伐、間伐などの手入れがほとんど行われていないため照度不足で地被植物もみられず、深さ1~2 cmの乾燥したA₀層およびその下に2~4 cm程度の細根層がみられる地域であるが、後者はスギの母樹林であり、現存本数はha当たり数百本で手入れが十分行き届き、下層植生も十分繁茂している。また表層には深さ3~5 cmの湿潤で優良なA₀層が形成されている。A層以下の土壌については、前者はA層が20~30cm、B層が数十cmで、それ以下は風化の進んだC層となっているが、後者はA層も40~60cmと厚く、以下B層が1 m以上続いている。

III. 実験方法

実験方法については、上述の両林地よりA₀層を取り除いた不攪乱表層土壌を100cc採土円筒で採取し、三相分布、間隙量、間隙径分布を計測し

た。採土個数はヒノキ林、スギ林で各3地点ずつ、1地点当たり5個、計30個である。間隙量、間隙径分布についてはpF測定器を用いた。また同一林地で別に採取した土壌について団粒分析も併せて行った。

さらにこれらの土壌試料をウェザーメーターにかけ、人工的に土壌を変質させた。

ウェザーメーターは炭素棒を高電圧下でアークさせて太陽光に近い波長をもった人工光源により物質を劣化させる装置であるが、この装置を利用して前述の土壌試料に人工光を合計100時間照射した。この間8時間ごとに土壌試料に水分を補給し、土壌含水比を30~40%に戻した。また装置内の平均気温は約35℃、平均湿度は約60%である。この実験条件は温、湿度および積算光量から判断しておおよそ森林伐採後1年程度の間林地表層土壌が受けるであろう変質に相当するものと思われる。

ウェザーメーターによる照射後の試料について、照射前と同様の測定を行い、ウェザーメーター照射前後の間隙量、間隙径分布、団粒構造などについて比較検討を行った。

IV. 実験結果および考察

1. 採取時の土壌含水比

三相分布測定結果などをもとに土壌試料採取時の含水比の平均値および標準偏差を求めたところ、ヒノキ林では68.5±9.4%、スギ林では88.9±14.3%であり、含水比にかなりの差がみられた。この結果はヒノキ林に比較してスギ林の方が保水性に優れていることを示しており、それぞれの林地における地被状況、表層土壌の違いに基因しているものと判断される。なお、採取時以前の降雨状況については、試料採取日の8日前に日雨量で44.5mm、7日前に29.0mm、6日前に12.5mmの降雨があった。

降雨後数日経過した時点での採取時含水比と室内実験により測定したpF2.0における含水比を林相別に比較したものが図-1および図-2である。

これらの図より両者の関係は密接であり、回帰直線の勾配も45度に近く粗孔隙に相当する間隙の水はすでに流去していると考えられる。

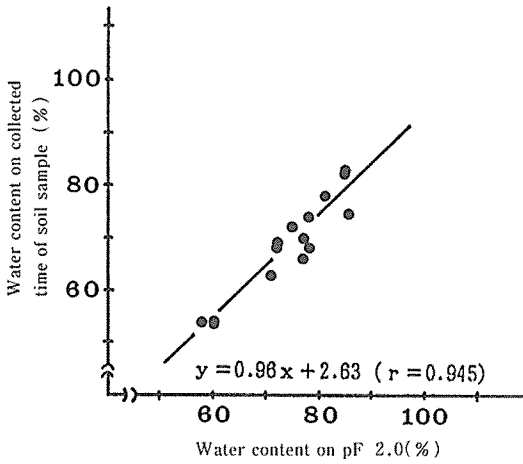


図-1 土壌の採取時と pF 2.0の含水比(ヒノキ林)
 Fig. 1 Relationship between the water contents on the pF value 2.0 and the collected time of soil samples (in stand of hinoki, *Chamaecyparis obtusa* S.)

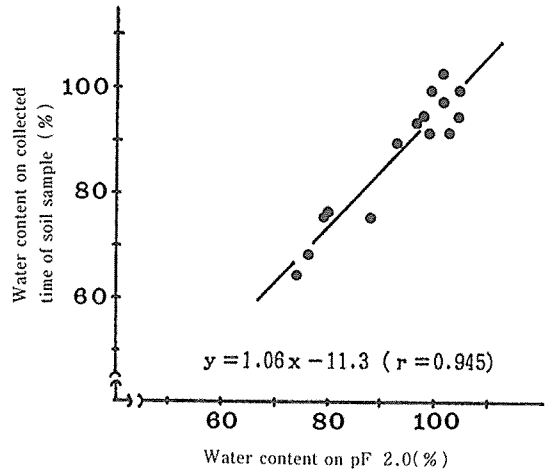


図-2 土壌の採取時と pF 2.0の含水比(スギ林)
 Fig. 2 Relationship between the water contents on the pF value 2.0 and the collected time of soil samples (in stand of sugi, *Cryptomeria japonica* D. Don)

2. 土壌間隙

採土円筒により採取した土壌試料についてウェザーメーター照射前後における飽和重量、pF1.0、2.0、2.5、3.0および乾燥重量を測定した。飽和重量については実験開始時、乾燥重量については実験終了時に測定した。また pF1.0については土柱法を、pF2.0以上については加圧板法を用いてそれぞれの重量を求め、各 pF に相当する間隙径における間隙量を求めた。さらに乾土重量および各 pF 値における湿潤重量より含水比を算出した。照射前後における各 pF 値と含水比の関係を比較したものが図-3である。

ヒノキおよびスギ林において人工太陽光を照射した後では照射前に比較して各 pF 値における含水比が大きく減少している。この結果は照射後において水分貯留能が大きく減少していることを示している。

林相別に照射前後で採土円筒 (100cc) 中の間隙がどのように変化したかを間隙径別の間隙量および全間隙量に対するそれぞれの割合の平均値でまとめたものが表-1である。

崩壊を引き起こすような豪雨の際に、地中に浸透した水は吸引張力の大きい毛管間隙に一部は吸収されるが、残りは非毛管間隙の中を重力水として移動したり、毛管間隙の中をゆっくりと毛管移動する。

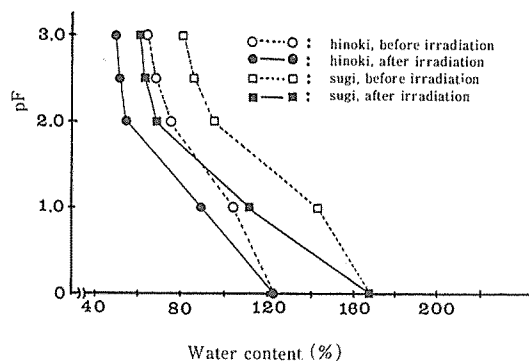


図-3 照射前後における pF 値と含水比
 Fig. 3 Relationship between the pF value and the water content of soil before and after the irradiation

表-1 間隙径別間隙量
Table 1 Porosity in various pore size

間隙径 pore size (mm)	間隙量 Porosity (%)			
	ヒノキ林 in stand of hinoki		スギ林 in stand of sugi	
	照射前 before irradiation	照射後 after irradiation	照射前 before irradiation	照射後 after irradiation
d<0.003	39.4 (53.8)	30.3 (41.3)	38.8 (48.4)	28.4 (35.5)
0.003≤d<0.01	2.6 (3.6)	0.9 (1.2)	2.4 (3.0)	1.2 (1.5)
0.01≤d<0.03	4.5 (6.1)	1.9 (2.6)	4.8 (6.0)	2.0 (2.5)
0.03≤d<0.3	17.1 (23.3)	20.8 (28.4)	23.4 (29.2)	20.2 (25.2)
0.3≤d	9.7 (13.2)	19.4 (26.5)	10.7 (13.4)	28.3 (35.3)

注： 下段 () 内は全間隙量に対するそれぞれの間隙量の割合 (%)

Note: The number in the parenthesis corresponds to the rate of various pore to total pore volume

非毛管間隙とは豪雨などにより十分水が供給された後、24時間経過して重力水が下方へ移動してしまって気相で占められている部分の間隙で、久馬ほか(2)によると、このときの pF 値が1.5~2.0の範囲にあるとされており、間隙径に換算すると0.1~0.03mmに相当する。また非毛管間隙と毛管間隙の境界を pF1.8 (間隙径0.05mm相当)とする場合もある。

間隙径別に照射前後で間隙量がどのように変化したかを表-1に基いて相対間隙量で図示したものが図-4および図-5である。

崩壊を引き起こすような豪雨において、崩壊発生に影響を及ぼす重力水の移動に参与する間隙径を0.03mm (pF2.0相当)以上とすると、ウェザーメーターによる照射後では照射前に比較して全間隙量に対して20%近く増加し、この増加分のうちで0.3mm以上の大きな間隙径の範囲の増加が顕著である。一般によく用いられる圃場容水量 (pF1.8、間隙径0.05mm相当)の値について計

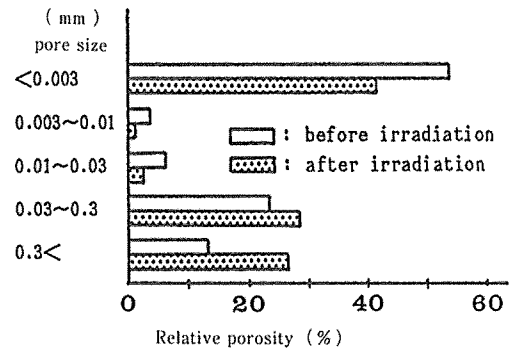


図-4 照射前後における間隙径分布の変化(ヒノキ林)
Fig. 4 Change of pore size distribution before and after the irradiation (in stand of hinoki, *Cha-maecyparis obtusa* S.)

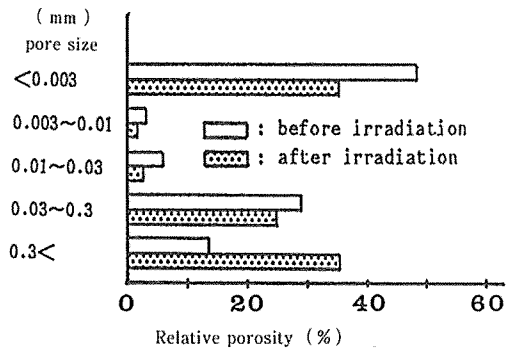


図-5 照射前後における間隙径分布の変化(スギ林)
Fig. 5 Change of pore size distribution before and after the irradiation (in stand of sugi *Cryptomeria japonica* D. Don)

測値より比例配分して求め、照射前後で比較しても全く同様の傾向となる。逆に、保水性に関係する毛管間隙を0.03mmから0.003mm (pF2.0~3.0)とすると、この範囲の間隙に貯留される水分量は絶対量、相対量とも減少傾向となる。

この結果から判断して人工太陽光照射による土性の変化、乾燥、湿潤の繰り返しによる影響などで土壤中の粗大間隙が増加し、微細間隙が減少したと思われる。また林相別に比較すると、粗大間隙についてはヒノキ林よりスギ林での変化が大きくなっている。この原因として、ヒノキ林では植栽後約30年経過しているもの手入れが不十

表-2 団粒化度
Table 2 Degree of aggregation

基準粒径 standard particle size (mm)	団 粒 化 度 Degree of aggregation (%)			
	ヒノキ林 in stand of hinoki		スギ林 in stand of sugi	
	照射前 before irradiation	照射後 after irradiation	照射前 before irradiation	照射後 after irradiation
1.0	3.7	2.3	4.0	3.6
0.5	14.9	7.3	13.6	6.7
0.25	23.3	10.7	18.8	9.7
0.1	39.1	19.0	29.7	14.5

分なため地被植物がほとんど見られず、かなり乾燥しているために、すでになんかなり変質を受けていたものと推察される。一方、スギ林では約80年生のスギ母樹林であり、地被植物も繁茂し、湿潤で優良な林地であるため、人工太陽光照射による変質の影響はスギ林で大きかったものと考えられる。

3. 土壌の団粒構造

団粒構造については、ヒノキ林およびスギ林で各3箇所より土壌試料を採取し、間隙量変化測定の際に同一条件でウェザーメーターによる人工太陽光を照射し、照射前後での団粒化度の変化より団粒構造の破壊状況を推定した。耐水性団粒の形成状況を調べるため、2mmのふるいを通した試料について1、0.5、0.25および0.1mmの4種類のふるいを用いて水中で篩別し、あるふるいの孔径以下の大きさの一次粒子のうち何%が団粒化しているかを求めて団粒化度で表した。各試料については3回ずつ測定し、その平均値でまとめたものが表-2である。

表-2より基準粒径0.5mmおよび0.1mmについて林相別に照射前後での団粒破壊状況を示したものが図-6である。

この図よりいずれの林地においても団粒構造が大きく破壊されていることを示しており、それが水分貯留能の減少に関係していると考えられる。

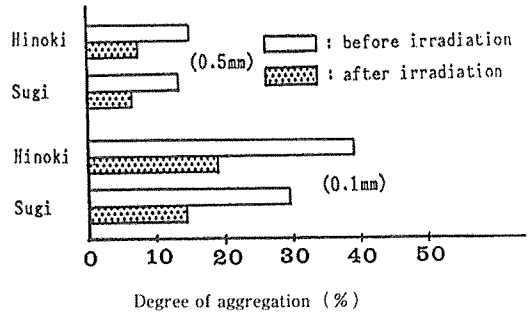


図-6 照射前後における団粒化度の変化
Fig. 6 Change of degree of aggregation before and after the irradiation

V. まとめ

伐採を想定した上でウェザーメーターによる人工太陽光を土壌に照射して人為的に土壌を変質させ、表層土壌の物理的性質がどのように変化するかを測定した。その結果、非毛管間隙の増加や団粒構造の破壊が認められ、それが貯留能の減少につながり、浸透水がより速く、より多く下方へ浸透し、崩壊の一因となる間隙水圧の発生などせん断抵抗の減少をもたらし、崩壊発生の危険性が高まるものと推察された。

VI. あとがき

前述のごとく、伐採跡地や幼齢林地では壮齢林地や天然林地帯に比較して崩壊の発生が多くみられる1つの原因として伐採に伴う地表付近の温湿度などの変化があり、それが表層土壌にどのような影響を及ぼすかについて考察を進めてきたが、有機物の供給中断、温湿度など微気象の影響範囲がどの深さまで及ぶかといった問題、さらに林地の乾燥によるはっ水性の影響など諸問題も残されている。

なお、本研究は昭和63年度文部省科学研究費補助金(重点領域研究(2))の援助によることを付記します。

引用文献

- (1) 藍原義邦・秋谷孝一・岩川幹夫・木立正嗣・
中野秀章・難波宣士：治山調査法. 313、千
代田出版、東京、1970
- (2) 久馬一剛・庄子貞雄・鋏塚昭三・服部 勉・
和田光史・加藤芳朗・和田秀徳・大羽 裕・
岡島秀夫・高井康雄：新土壤学. 113、朝倉
書店、東京、1988