Ⅳ 堂平地区における林床植生衰退地での土壌侵食と浸透の実態

石川芳治¹⁾·白木克繁¹⁾·戸田浩人¹⁾·若原妙子²⁾·

宮 貴大²・片岡史子²・中田 亘²・鈴木雅一³・内山佳美⁴⁾

Actual Conditions of Soil Erosion on and Infiltration into the Forest Floor with an Impoverished

Understory at Doudaira, Tanzawa Mountains

Yoshiharu Ishikawa, Katsushige Shiraki, Hiroto Toda, Taeko Wakahara, Takahiro Miya, Fumiko Kataoka,

Wataru Nakata, Masakazu Suzuki & Yoshimi Uchiyama

要 約

中津川上流の堂平地区ではシカによる採食の影響によりブナ林の林床植生が衰退し、広い範囲にわたり土壌侵食が進行 している. 林床植生が衰退した斜面において計 10 個の試験区画を設置して 2004 年 7 月から 2006 年 12 月まで土壌侵食量 等を現地において測定した. その結果,林床植生が衰退して林床植生の被度が低下すると土壌侵食量は急速に増加し,林 床植生被覆面積率が1% 程度(被度小)の試験区画では土壌侵食深は1 年間に数 mm に達していることが判明した. 一方, 林床植生被覆面積率が約 80%(被度大)の試験区画では土壌侵食深は1 年間で 0.002 ~ 0.04mm と極めて少ないことが わかった. さらに,被度小の試験区画では土壌侵食量はリターの堆積量の季節変化によっても影響を受けており, リター堆 積量の少ない夏期(7 月~9 月)には春期(4 月~6 月)および秋期(10 月~11 月)に比較して降雨量に対する土壌 侵食量が増大する傾向が認められた. 林床植生の衰退は雨水の表土層への浸透や土壌水分の変化にも影響を与えており, 林床植生が衰退すると浸透率が低下するとともに地表流になる割合も増加する. さらに,林床植生が衰退するとリター堆積量 が減少するため表土層が乾燥しやすくなる傾向が見られた.

1. はじめに

東丹沢の堂平地区(神奈川県清川村)ではシカの採食 により林床植生であるスズタケが衰退し,これに伴ってリター (落葉・落枝)の堆積量も減少し,広い範囲において土壌 侵食が進行し深刻な問題となっている.表層土壌の侵食は 樹木の根を露出させ,倒木の一因となっているだけでなく, 林床に生息する生物相に影響を与え,さらに土壌が流下 する渓流の生態系にも悪影響を与えている.流出した土壌 は濁水となって水源を汚濁し,また貯水ダムに流入して堆 砂を進行させダムの耐用年数の低下をひきおこす可能性が ある.

土壌侵食に対する林床植生およびリターの機能としては 一般に次のようなものがあるとされている(三原,1951).1) 土壌層表面を保護し,雨滴侵食を弱める(リターの効果に ついては,村井ほか,1973).2)森林土壌の発達に寄与 し,透水性を良好に保つ.3)雨滴エネルギーを抑止し, クラスト(難透水性の土壌)の形成を妨げる(恩田・湯川, 1995).4)地表流の流速を弱めて層状侵食を緩和する. 一般の健全な森林では林床植生やリターが多量に存在し ているため土壌侵食は抑制されている.

堂平地区では、通常の裸地における土壌侵食とは異なり、 上層木としてブナ林が存在しているため毎年秋にはリター フォールによってリターが多量に供給されている.しかし、 供給されたリターは地表流や風などによって運搬され、さら に微生物による分解を受け、一部はシカの採食などによっ て時間の経過とともに減少し、時期によっては地表面の露 出が発生している.三浦(2000)がヒノキ林、スギ林など について報告しているように林床植生およびリターの林床被 覆率は季節により変化しており、これに伴って土壌侵食量 も変化していると考えられる。

本調査では、東丹沢の堂平地区の林床植生が衰退したブ ナ林において、樹冠通過雨量と土壌侵食量の関係、林床 植生被度およびリター堆積量と土壌侵食量の関係を明らか にするとともに、林床植生量とリター堆積量の季節変化が 土壌侵食量の季節変化に与える影響、林床植生被度が表 土層への浸透および土壌水分量の変化に与える影響を明 らかにすることを目的とする.

2. 調査地および調査方法

(1) 調査地概要

調査地は神奈川県愛甲郡清川村,東丹沢の堂平地区で ある.相模川流域の宮ヶ瀬ダム上流の支流域である塩水川 流域に位置する.調査位置図を図1に示す.地質は海成



図1.調査位置図(神奈川県愛甲郡清川村,丹沢堂平地区)

 ¹⁾東京農工大学大学院共生科学技術研究院 2)東京農工大学農学府・農学部 3)東京大学大学院農学生命科学研究科
4)神奈川県自然環境保全センター研究部



図2. 堂平の植生保護柵(左側)と林床植生



図 3. 試験区画(No.1, No.2, No.3)の模式図

火砕岩類を主体とする新第三紀層丹沢層群である.表層 は厚さ2~3mのローム(火山灰)で覆われ,透水性は 比較的良好である.標高は約1,190mで,斜面勾配は5 度~33度程度である.調査箇所の植生はヤマボウシーブ ナ群集で,高さ十数mのブナが卓越している.林床植生 は約20年前まではスズタケが卓越していたが,現在では シカの採食により衰退してほとんどみられず,アザミ類等の シカの不嗜好性植物が一部でみられる.本調査地の斜面 は南向き斜面で比較的日射は良好である.林内の林床植 生はシカの採食圧により衰退しているが,一部ではシカに よる採食を防ぐために試験的に植生保護柵が設置された柵 であり,柵内では林床植生(モミジイチゴ,バライチゴ,オ オバノヤエムグラなど)がかなり回復している.

(2) 調査方法

A. 土壌侵食量測定用の試験区画の設置と樹冠通過雨量, 地表流量,侵食土砂量,リター流出量の調査

堂平地区ブナ林の林床植生の被度とリター堆積量の違い による土壌侵食量、リター流出量および地表流の流出量の 違いを検討するために、図3に示す試験区画(2m×5m = 10m²) を図4に示す3箇所(No.1, No.2, No.3) に設置 した. No.1, No.2, No.3 の試験区画の斜面勾配は 33 度 と同一であるが、林床植生の被度は異なり、No.1 は被度 中(植被率約40%,以降,被度中と呼ぶ)で, No.2 は被 度大(植被率約80%,以降,被度大と呼ぶ)でありそれぞ れ植生保護柵内に設置し、No.3の被度小(植被率約1%、 以降,被度小と呼ぶ)の試験区画は植生保護柵外に設置 した. それぞれの試験区画を図 5, 図 6, 図 7 に示す. 各 試験区画には図3に示すように、樹冠通過雨量を測定す るための雨量計(転倒舛式,1転倒 0.5mm)を1 個ずつ, また、試験区画の下部に土砂、リター、地表流を捕捉する ためのステンレス製の捕捉箱(幅 40cm, 深さ 40cm, 長さ 2m)を1個ずつ設置した.捕捉箱の内部には不織布を設 置して、これにより捕捉箱へ流下してきた土砂やリターの混 ざった地表流を濾過し、土砂やリターと水に分ける. 濾過



図 4. 堂平地区土壤侵食調査用施設配置図



5m, 10m, 20m 流出域 (侵食面) 10m² 0.4m 試験区画 ^{メー}リター・土砂捕捉用マット 0.4m 図 8. 試験区画(12°, 19°, 33°, N5m, 5m, 10m, 20m)の模式図

2m

∲ 0.3m

図 5. 試験区画, 被度大 (No.2)



図 6. 試験区画, 被度中(No.1)



図 7. 試験区画, 被度小 (No.3)

された水の流量は転倒舛式の量水計(1転倒 500ml)に より測定した. 樹冠通過雨量と地表流の流出量は1~2分 間毎に計測し、樹冠通過雨量については3箇所(No.1、 No.2, No.3) を平均したものを本調査地林内の樹冠通過雨 量とした.

これらとは別に、植生保護柵の外の林床植生の衰退が著 しい地区に図8に示すような試験区画を図4に示す7箇 所 (12°, 19°, 33°, N5m, 5m, 10m, 20m) に設置した. 図4に示す試験区画のうち12°,19°(写真9),33° の3箇所は幅2m×長さ5mと同一であるが、斜面勾配が それぞれ 12°, 19°, 33°と異なり主として斜面勾配の違 いによる土壌侵食量およびリター流出量の違いを検討する



図 9. 試験区画斜面勾配 19 (2004年8月20日)



図 10. 試験区画長さ10m, 左隣が長さ20m (2004 年 8 月 20 日)

ために設置した. また, N5m, 5m, 10m, 20m の 4 箇所 の試験区画の幅は 2m と同じであるが長さが 5m, 10m (図 10), 20m と異なり, 主として斜面の長さの違いによる土壌 侵食量およびリター流出量の違いを検討するために設置し た. なお, N5m と 5m の違いは N5m の方が 5m よりも林 床植生の被度がやや大きく、被度は10m、20mに近い. 各試験区画の下部には杭および金網により支持された不織 布を設置してあり、これにより斜面下部に流下してきた土砂 やリターの混ざった地表流を濾過し、土砂およびリターを捕 捉する構造となっている. 以上計 10 箇所の試験区画は図 4 に示すように同一の斜面上にあり最も離れている被度中 (No.1) と N5m の試験区画でも約 70m 以内であり互いに

近接している.

2004 年 7 月 5 日~11 月 21 日の期間に 1 週間から 2 週 間毎に計 15 回,2005 年 3 月 20 日~12 月 4 日の期間 に 1 週間から 2 週間毎に計 27 回,2006 年 3 月 31 日~ 12 月 3 日の期間に 1 週間から 2 週間毎に計 31 回,捕捉 箱に堆積している土砂,リターを採取して東京農工大学の 実験室に持ち帰り,土砂とリターを洗浄により分離した後に, 乾燥機を用いて 105℃で乾燥して,それぞれの絶乾質量を 計測した.また,これとは別に調査地の表層土のサンプル を採取して絶乾質量および乾燥単位体積重量を測定した.



図 11. コドラート内の植生被覆およびリター 被覆面積率の調査 (No.2, 1m×1m, 2005.5.1)



図 12. コドラート内の植生, リター採取前の状況 (No.2 付近, 50cm × 50cm, 2005.5.1)



図 13. コドラート内の植生・リターの採取後の状況 (No.2 付近, 50cm × 50cm, 2005.5.1)

B. リター堆積量と林床植生量調査

2005年4月から、春から秋における林床植生被覆率の 変化および堆積しているリターによる被覆率 (リター被覆率) の変化を調査するため、1m × 1m のコドラート(方形枠) を各試験区画内に設置して写真撮影を行った(図11).ま た、試験区画内の地表面を攪乱することを避けながら、各 試験区画の被度とほぼ同じ状態でのリター堆積量と林床植 生量を測定するために、各試験区画の付近で各試験区画 内と同程度のリター堆積量と林床植生量が存在すると判断 される箇所に 0.25m² (0.5m × 0.5m = 0.25m²) のコドラート を設置し、そのコドラート内のリターと林床植生をすべて採 取した (図 12, 13). なお, 0.25m² のコドラートの位置は 調査回毎に少しずつ移動させた. 0.25m² のコドラート内か ら採取したリターおよび林床植生を105℃で乾燥して絶乾 質量を測定した. なお 0.25m² のコドラート内のリター堆積 量および林床植生量は 2005 年 4 月 2 日~ 11 月 20 日に 1週間から3週間毎に計17回,2006年4月2日~11月 19日に約1ヶ月毎に計8回採取を行い測定した.

リターは落葉,落枝,樹皮,ブナ球果等から構成されている. リターの中でも落葉部分が雨滴侵食の抑制に特に効果 が高いと考えられる.また,落葉部に比べ落枝,樹皮等の 割合は比較的多く,季節的な変化もあったため,リターを, 落葉部と落枝,樹皮,ブナ球果に分離してそれぞれの質 量を測定した.さらに落葉部の中でも未分解の大きな落葉 (12mm ふるいにとどまるもの)と分解を受けた小さな落葉 (12mm のふるいを通過し 2mm のふるいにとどまるもの)に 分類してそれぞれの絶乾質量を測定した.

C. 樹冠からのリター供給量, リター移動量およびリター腐 朽速度調査

林床におけるリター堆積量の季節変化・年間収支を明ら かにするためおよびリターの移動機構を解明するために, 樹冠からのリター供給量,リターの移動量およびリターの腐 朽速度を調査するとともに風向風速の観測を行った.

樹冠からのリター供給量・移動方向・移動量・移動の要 因等を明らかにするため図 14, 15 に示すようなリター移動 量測定柵を図4に示すように調査斜面内の植生保護柵の 外の上・中・下部に計3箇所設置した.斜面上部(勾配 は約33°)と斜面下部(勾配約5°)のリター移動量測 定柵は2004年12月7日に設置し、斜面中部(勾配約 20°)のリター移動量測定柵は 2005 年 5 月 22 日に設置 した. このリター移動量測定柵は高さが約 0.9m で斜面の 最大傾斜方向(ほぼ南北方向)とこれに直角な方向(ほ ぼ東西方向)の計4方向に幅1.0mの開口部を持っており, 奥行は1.0mである.これらの4方向(東,西,南,北)の 開口部により風や地表流により運搬されてきたリターを網目 の大きさ約 1mm の網で捕捉できるようになっている. さらに, 柵の中央部には、樹冠より落下してくるリターを捕捉するた め 1.0m × 1.0m の開口部を持った網(リタートラップ,網目 の大きさは約 1mm)を設置した.設置後,土壌侵食量の 調査と同時にリター移動量測定柵内に堆積しているリター を採取して実験室に持ち帰り105℃で乾燥し絶乾質量を測 定した. 斜面上部, 下部は 2005 年 3 月 20 日~12 月 4 日の期間に1週間から2週間毎に計27回ならびに2006 年3月31日~12月3日の期間に1週間から2週間毎に 計 31回,斜面中部は 2005 年 5月 29日~12月 4日の



図 14. リター移動量測定柵(斜面下部;高さ0.9m,開口幅1.0m, 奥行1.0m)



図 15. リター移動量測定柵の模式図

期間に1週間から2週間毎に計20回ならびに2006年3 月31日~12月3日の期間に1週間から2週間毎に計31 回採取を行った.風向風速計(HOBO, S-WCA-M003) はシカ柵内に設置し,2005年3月20日~10月16日な らびに2006年3月31日~12月3日の期間に5分間毎 に前5分間の風向風速の平均値の測定・記録を行った. 斜面上方がほぼ北方向であるため,リター移動量測定柵の 斜面上方向を風向の北,斜面下方向を風向の南に対応さ せた.

地表面に供給されて堆積したリターが時間の経過とともに 分解されてその重量が減少する速度を調査するために、大 きさ 25 × 30cm、メッシュ幅約 2mm の合成樹脂製の袋に、 所定の重量のリターを詰めてリターバッグを製作して調査斜 面に設置した. 2004 年 12 月 5 日に絶乾質量 16.5g リター を詰めたリターバッグを、斜面勾配 12°、19°、33°の試験 区画の脇に各 8 個、計 24 個設置した. これらは設置後 2005 年 4 月、8 月、12 月に各 2 個ずつ回収してリターバッ グ内のリターの絶乾質量を測定した. 2006 年 3 月 30 日に 絶乾質量 17.5g のリターを詰めたリターバッグを、斜面勾配 12°の試験区画の斜面脇に各 40 個設置した. これらは設 置後 2006 年 4 月から 12 月まで毎月 1 回各 3 個ずつ回収 してリターバッグ内のリターの絶乾質量を測定した.

D. リター堆積量変化の推定とリターの年間収支のモデル化

各試験区画におけるリター堆積量の変化の模式図を図 16 に示す. 林床に堆積しているリターは,風や地表流による



図 16. リター堆積量変化の推定式の模式図

移動により流出して減少し,流出せずに残っているリター は腐朽によって徐々に減少する.一方,上層木(ブナ等) が存在するためリターフォールによってリターが供給されてリ ター堆積量は増加する.これらを基に概略のリター堆積量 変化の推定式を式(1)のようにたてた.

 $L_{n+1} = L_n - L_l - \{(L_n - L_l) \times D_d \times d\} + L_f \times \cos \theta \cdots (1)$ ここで、 L_n : ある時点でのリター堆積量の推定量、 L_{n+1} : 次 の時点でのリター堆積量、 L_l : ある時点から次の時点まで のリター流出量、 D_d : 日腐朽率、d: ある時点から次の時点 までの日数、 L_l : ある時点から次の時点までの樹冠からのリ ター供給量、 θ : 斜面勾配である.

E. 浸透能の測定

a. 冠水型浸透計による浸透能の測定

冠水型浸透計は斜面の多数の地点で迅速かつ簡便に浸 透能を測定することができる簡易な装置である.上部のタン クから下部の円筒の水位が一定になるように水を補給して, 円筒内が湛水状態の時の地表面から地盤内への浸透能を 測定するものである.今回の試験では図 17 に示すような円 筒の内径が 10.5cm の単管式のものを用いた.浸透量の変 化は測定開始(湛水開始)から3分毎に30分間継続し て測定した.開始0~3分間を初期浸透能,24~30分 間で浸透能がほぼ一定になった状態を最終浸透能とした. 測定は試験区画の被度大,中,小(No.2, No.1, No.3) の他に勾配12°,19°,33°,長さN5m,5m,10m, 20mの計10箇所の付近(図4)で行った.被度大,中,



図 17. 冠水型単管式浸透計

小 (No.2, No.1, No.3) の付近ではそれぞれ7回ずつ, 勾 配 12°, 19°, 33°, 長さN5m, 5m, 10m, 20mの付 近ではそれぞれ2回ずつ測定した.

b. 定水位飽和透水試験による飽和透水係数の測定

土中における自由水の移動のし易さを表す土の性質を透水性と呼ぶ.土の透水性は、透水係数として定量的に表されるが、土の種類、密度や飽和度などによって大きく異なる. そこで浸透に大きな影響を与える表層土の飽和状態における透水係数を求めることを目的として定水位飽和透水試験 を行った.供試体として被度大・中・小(No.2・No.1・No.3)と勾配12°・19°・33°の計6箇所の試験区画付近の表層土(厚さ4cm,直径11.3cm)を不攪乱で採取し て透水試験を行った.

F. 土壌吸引圧(pF 値)変化の測定

表土層内への雨水の浸透および表土層内における土壌 の保水性を検討するために被度大,中,小の3個の試 験区画内にテンシオメータ(UIZ-SMT,ウイジン社製)を, 2005年には2深度(10cm, 20cm),2006年には3深度 (10cm, 20cm, 50cm)に設置し,5分毎に計測した.測定 によって得られた出力値(v)を圧力水頭(吸引圧)に変 換し,さらに水頭の常用対数値であるpF値に変換した. 一般的に pF値が1.6~1.8未満の土壌水は非毛管水(重 力水)であり容易に移動する水である.一方,pF値1.6~1.8 以上2.7未満の土壌水は毛管水とされている.

3. 結果と考察

(1) 樹冠通過雨量と林床植生被度別の土壌侵食量,リター流出量

2004 年 7 月 5 日~11 月 21 日の観測期間は 139 日で, 期間内の積算樹冠通過雨量は 2340.2 nm, 2005 年 3 月 20 日~12 月 4 日の観測期間は 259 日で,期間内の積算樹 冠通過雨量は 2346.5 nm, 2006 年 3 月 31 日~12 月 3 日 の観測期間は 248 日で,期間内の積算樹冠通過雨量は 2502.1 nmであった.また,2004 年,2005 年,2006 年の 夏期 (7 月 5 日~9 月 30 日)の積算樹冠通過雨量はそ れぞれ,1,157.0 nm,1,249.0 nm,942.7 nm であり,2004 年,2005 年,2006 年の秋期 (10 月 1 日~11 月 30 日) の積算樹冠通過雨量はそれぞれ,1,180.0 nm,315.5 nm, 713.5 nm である.2004 年は相次ぐ日本への台風の襲来に より2005 年,2006 年と比較して夏期から秋期にかけて降 雨量が多かった.なお,2004 年 11 月 22 日~2005 年 3





月 19 日,2005 年 12 月 5 日~2006 年 3 月 30 日の期間 は冬季のため樹冠通過雨量は観測しなかったが,侵食土 砂量,リター流出量は捕捉箱に堆積した土砂量によりまと めて測定した.しかしながら冬季の侵食土砂量は凍結と積 雪のため極めてわずか(被度小(No.3)でも2004 年 12 月~2005 年 3 月で 185g,2005 年 12 月~2006 年 3 月 で 284.2g)であった.

2004年,2005年,2006年の積算樹冠通過雨量と,被度大, 被度中,被度小それぞれの試験区画での土壤侵食深(表 層土壤の絶乾質量が0.56g/cm³であるので,10m²の試験 区画からの侵食土壤絶乾質量5600g(560g/1m²)=侵食 深1mmとして平均侵食深に換算)とリター堆積量の関係を 図18に示す.リター(落葉,落枝等)堆積量は2005年 8月の2回の測定値の平均値である.図より,林床植生の 被度が小さいほど土壌侵食深は増加し,一方,林床植生 被度が小さいほど土壌侵食深は増加し,一方,林床植生 被度が小さいほど1%とほとんどない被度小では2005 年の土壌侵食深が約1cmにも達し,被度中や被度大と比 較して非常に多いことがわかる.

被度大,被度中,被度小における 2004 年,2005 年,2006 年の測定期間毎の積算樹冠通過雨量と土壌侵食量の推移を図 19,20,21 に示す.樹冠通過雨量が多い期



図 19. 測定期間毎の積算樹冠通過雨量と土壌侵食量(2004)



図 20. 測定期間毎の積算樹冠通過雨量と土壌侵食量(2005)





間には土壌侵食量も多いが、4月~12月を通して見ると、 同一の樹冠通過雨量でも土壌侵食量は大きく異なり、7月 ~9月には他の月に比べて同一の樹冠通過雨量に対する 土壌侵食量が多いことがわかる.

土壌侵食量が最も多かった試験区画被度小(No.3)における2004年,2005年,2006年の季節別(4~6月,7~9月,10~11月)の測定期間内樹冠通過雨量(積算樹冠通過雨量,最大24時間樹冠通過雨量,最大10分間樹冠通過雨量)と土壌侵食量の関係を図22,23,24に示す.土壌侵食量は最大10分間樹冠通過雨量と相関が高い.しかしながら全体として樹冠通過雨量と土壌侵食量の間の相関は低く,図19~21と合わせて考えると、土壌



図 22. 2004 ~ 2006 年の被度小における測定期間内積算樹冠通 過雨量と季節別土壤侵食量



図 23. 2004 ~ 2006 年の被度小における測定期間内最大 24 時間 樹冠通過雨量と季節別土壌侵食量



図 24. 2004 ~ 2006 年の被度小における測定期間内最大 10 分間 樹冠雨量と季節別土壌侵食量

侵食量は樹冠通過雨量のみにより決まるものではなく、季節により大きな影響を受けていることがわかる.

被度大,被度中,被度小における 2004 年,2005 年,2006 年の測定期間毎の樹冠通過雨量とリター流出量の関係を図 25,26,27 に示す.4月~11 月を通して見ると,同一の樹冠通過雨量でもリター流出量は大きく異なり,4月および11 月は他の月に比べて同一樹冠通過雨量に対するリター流出量が特に多いことがわかる.これは秋期(11月)に多量のリターが樹冠から供給されるため,秋期から春期にかけてリター堆積量が多いためである.

(2) リター堆積量, 林床植生量と土壌侵食量

2005年における測定期間毎の被度大,被度中,被度小 における林床植生量と土壌侵食量の変化を図 28,29,30 に、リター堆積量(落葉部のみ)と土壌浸食量の変化を 図 31,32,33に示す.図 28~33を合わせて考えると, 被度大では、林床植生量およびリター堆積量の変化ともに 土壌侵食量には大きな影響を与えていない.一方,被度中, 小では降雨量を考慮しても土壌侵食量が多いのは 7~9 月である.この時期、林床植生量は 4~11 月の内でも最 も多い時期にあたり、一方リター堆積量は最も少ない時期 にあたる.林床植生量およびリター堆積量はともに土壌侵



図 25. 測定期間毎の積算樹冠通過雨量とリター流出量 (2004)



図 26. 測定期間毎の積算樹冠通過雨量とリター流出量(2005)



図 27. 測定期間毎の積算樹冠通過雨量とリター流出量(2006)



図 28. 被度大における林床植生量と土壌侵食量(2005年)







図 30. 被度小における林床植生量と土壌侵食量(2005年)

食を抑制する働きがあるので、被度中、被度小において7 ~9月に土壌侵食量が多いのはリター堆積量の減少による 影響と考えることができる。特に、被度小(植被率約1%) の箇所では、林床植生量が極めてわずかであるので林床 植生による土壌侵食の抑制効果はほとんどないと考えられ、 リター堆積量の増減が土壌侵食量に大きく影響していると 考えられる。

(3) 斜面勾配,斜面長と土壌侵食量

2004 年 7 月~2006 年 12 月における測定期間毎の積算 樹冠通過雨量と斜面勾配別 (12°, 19°, 33°, No.3)の土 壌侵食量の推移を図 34 に,また,斜面長別 (N5m, 5m, 10m, 20m)の土壌侵食量の推移を図 35 に示す.さらに, 2005 年 4~11 月と2006 年 4~11 月における斜面勾配 別 (12°, 19°, 33°, No.3)および斜面長別 (N5m, 5m, 10m, 20m)の土壌侵食量の比較を図 36 に示す.なお, 図 36 において,試験区画 33°では 2006 年にはリターを全 て除去して測定したため, 2005 年に比べて土壌侵食量は 約 3 倍に増加している.また,試験区画 N5m の 2005 年 の測定期間は 5 月 1 日~12 月 4 日と他の試験区画に比



図 31. 被度大におけるリター堆積量と土壌侵食量(2005年)







べて若干短い. 図 34, 35 より同じような樹冠通過雨量に 対する土壌侵食量は 2004 年, 2005 年, 2006 年と減少し ている. 特に測定期間がほぼ同じ 2005 年と 2006 年を比 較すると図 36 に示すとおり 2006 年は 2005 年に対して約 1/5~1/20 に減少している. これは 2005 年には侵食量 の大きい夏期(7~9月)に樹冠通過雨量が大きかった のに対して、2006年には夏期には樹冠通過雨量は少な く、リター堆積量が増加した秋期(10~11月)に樹冠通 過雨量が多かったことが原因の一つと考えられる. 図 36 よ り斜面勾配の増大とともに土壌侵食量が増加しており、この 傾向はこれまでの研究結果(例えば大倉ら,1996)ともあ る程度は一致している. なお, 土壌侵食量は斜面勾配の みならずリター堆積量の影響も受けていると考えられる. -方,一般的には斜面長が増加するにつれて土壌侵食量が 増加する(例えば石川ら, 1962)のであるが,図 36 では 斜面長が増加するにつれて土壌侵食量が減少している. こ れは一つには各試験区画内のリター堆積量が異なることに よるものと考えられる. 斜面長 20m の試験区画で特に土壌 侵食量が少ないのは、斜面長 20m の試験区画内の下方 に1本の立木があるため、この立木の根部の傾斜の緩い



図 34. 試験区画斜面勾配別の土壌侵食量の推移(2004 年 7 月 ~ 2006 年 12 月,ただし冬季を除く)

箇所に上方から流下してきた土砂やリターが堆積し、それ よりも下方への土壌の流出量が抑制されているためと考えら れる.このように斜面の局部的な傾斜の変化や障害物によ り土壌侵食量(土壌流出量)は大きく影響される.

(4) リターの下方移動量と風・雨の関係および斜面でのリ ター移動量

斜面上部,中部,下部に設置したリター移動量測定柵 において,2005年の測定期間を4~5月,6~9月,10 ~11月の3時期に分類し,斜面上方から下方へ移動した リター量(以下,リター下方移動量と呼ぶ)と斜面を上から 下へ吹き降ろす風の測定期間毎の積算風速の相関を解析 した.また,3時期のリター下方移動量と測定期間毎の積 算樹冠通過雨量の相関を解析した.それぞれの決定係数 により4段階(\odot ; R² \geq 0.8, \bigcirc ; 0.8 > R² \geq 0.6, \triangle ; 0.6 > R² \geq 0.4,-; データ数が少ない,×; 0.4 > R²) に評価した 結果を表1に示す.表1よりリター下方移動量は,4~5 月では斜面上部,下部で期間積算風速と高い相関を示し た.また,期間積算樹冠通過雨量も比較的高い相関を示

表 1.2005 年におけるリター下方移動量と期間積算風速および期 間積算樹冠通過雨量の相関 {R²(決定係数)により判定}

		4~5月	6~9月	10月(11月)	
	上	0	×	\bigtriangleup	
風	中	_	×	×	
	下	O	×	\bigtriangleup	
	上	\bigtriangleup	×	×	
雨	中	_	×	×	
	下	0	\bigtriangleup	×	
関連度		風>雨		風>雨	



図 35. 試験区画斜面長さ別の土壌侵食量の推移(2004 年 7 月~ 2006 年 12 月,ただし冬季を除く)



図 36. 試験区画斜面勾配,斜面長さ別の 2005 年,2006 土壌侵 食量の比較;注) * 33°では 2006 年にはリターを全て除去 して測定. ** N5mの 2005 年の測定期間は 5~11 月.

した. 6~9月においては,斜面下部で期間積算樹冠通 過雨量と若干ながら相関を示したが全体的には降雨量や風 速と相関が認められない. 10~11月では期間積算風速と やや相関を示したが,期間積算樹冠通過雨量とは相関を 示さなかった.

斜面上部,中部,下部のリター移動量測定柵における, 東西方向(斜面横方向),斜面下方向,上方向の2005 年における総リター移動量およびリタートラップによるリター 供給量の測定結果を表2に示す.斜面上部,中部,下部 において多量のリターが斜面下方向へ移動していることが わかる.勾配が急な斜面上部,中部では斜面横方向のリ ター移動量は斜面下方移動量に比べて少ないが,勾配の 緩い斜面下部では斜面横方向のリター移動量は斜面下方 移動量に匹敵するほど多いことがわかる.このことから樹冠 から供給されたリターは降雨に伴う地表流や風により斜面上 方から下方あるいは横方向へと多量に移動しており,特に 急勾配の斜面ではリターの消失が激しいことがわかる.

表 2.2005年の斜面上部、中部、下部のリター移動量測定柵における総リター移動量

		斜面上部	斜面中部	斜面下部
	西→東方向(g)	338	523.1	1248.4
	東→西方向(g)	252.3	302.8	507.2
	斜面下方向(g)	2349.6	1823.8	1592.6
	斜面上方向(g)	-268.8	-125.2	232.9
	リター供給量(g/m²)	374.8	305.7	423.5
	測定期間(2005年)	4月2日~12月4日	5月22日~12月4日	4月2日~12月4日

(5) リタートラップへのリター供給量とリターバッグによる腐 朽速度測定

斜面上部, 中部, 下部に設置した3個のリター移動量 測定柵(1m×1m=1m²のリタートラップ)により測定した 2005年4月2日~12月4日の測定期間毎のリター供給 量(1m²当たり)の平均値の変化を図37に示す.また, 2005年に測定したリターバッグによるリター質量の変化を図 38に示す.リターの質量は4~12月でほぼ直線的に減少し ており,この期間内では一日当たり平均約0.22%の質量が 減少した.

(6) リター堆積量変化の推定

式(1)を用いて被度小の試験区画 No.3 におけるリター 堆積量変化の推定を行い、リターの年間収支を求めた.リ ター堆積量の推定には、1)基準として2005年4月2日 のリター堆積量(119g/m²)を用い、2)L_rとして斜面上、中、 下のリタートラップにより測定した樹冠からのリター供給量の 平均値を用い、3)L_rとして各測定期間でのリター流出量 の測定結果を用い、4)リターバッグより得られたリターの腐 朽速度(一日当たりの質量減少率:日腐朽率 D_d=0.0022)



図 37. 樹冠からのリター供給量(2005年)





図 39. 被度小の試験斜面におけるリター堆積量の推定(2005年)

を用いた. 被度小の試験区画におけるリター堆積量の推定 結果を図 39 に示す. 図 33 に示した被度小の付近の林床 における実測のリター堆積量変化と比較すると図 39 はほぼ 妥当な値を示している.

(7) 林床植生被度と浸透能の特徴

A. 試験区画における地表流出量測定による浸透量

植生被度大・中・小(No.2・No.1・No.3)の試験区画 において、2004年7月~2005年12月(冬季に当たる 2004年12月~2005年3月を除く)に発生した1雨毎の 樹冠通過雨量(中断時間が3時間以上ある場合は別の降 雨とする)について式(2)により1雨の積算樹冠通過雨 量当たりの浸透量(I)を求めた.さらに最大1時間樹冠 通過雨量当たりの浸透量(I_H)を式(3)により求めた. 浸透量 I = 1雨の積算樹冠通過雨量 - その時間内の地表 流出量・・・・・・・・・・・・・(2) 浸透量 I_H=最大1時間樹冠通過雨量 - その時間内の地表 流出量・・・・・・・・・・・・・・・・(3) それぞれの樹冠通過雨量と浸透量との関係を図40,41 に示す.

植生被度大・中・小の試験区画による浸透量調査では、 一雨の積算樹冠通過雨量、最大1時間樹冠通過雨量が 等しいとき、図40,41より被度大が最も浸透量が大きく、 次に被度中、被度小の順となった.しかしながら樹冠通過 雨量が小さい場合は被度による浸透量の差はほとんど認め られない.



図 41. 最大1時間樹冠通過雨量と浸透量(IH)

B. 冠水型浸透計による浸透能

冠水型単管式浸透計を用いて植生被度大,中,小(No.2, No.1, No.3)と勾配 12°, 19°, 33°, 長さ N5m, 5m, 10m, 20m の各試験区画付近で測定した浸透能の平均値 を比較した結果を図 42 に示す.図より測定結果に大きな バラツキが認められるが平均値では被度中,被度大,被度 小の順に浸透能が小さくなっている.また,斜面勾配が緩 い箇所では浸透能が小さい傾向が見られた.これは勾配が 緩い箇所では細粒の土粒子等が地表面に多く堆積してい ることにより孔隙が小さくなっているためと考えられる.また, 被度小,勾配 33°, 長さ 5m, 10m, 20m の箇所は場所 も近接しており勾配や植生の量もほぼ同じであるが,浸透 能が大きく変化する傾向を示し,冠水型単管式浸透計によ る浸透能の測定値には大きなバラツキがみられた.

C. 定水位飽和透水試験による飽和透水係数

定水位飽和透水試験によって求めた植生被度大,中, 小(No.2, No.1, No.3)と勾配 12°,19°,33°の各試 験区画付近の表層土の飽和透水係数の平均値を比較した ものを図 43 に示す.定水位飽和透水試験による飽和透水 係数は被度大,被度中,被度小の順に小さくなった.また, 斜面勾配が緩くなるほど飽和透水係数が小さくなる傾向が 認められる.

D. 各試験方法の比較

植生被度大,中,小(No.2, No.1, No.3)の試験区画に よる浸透量と冠水型単管式浸透計による浸透能および定水 位飽和透水試験による飽和透水係数を比較した結果を図 44 に示す.ここで,2005 年の調査期間内の10 分間樹冠 通過雨量に対して最も大きい浸透量が計測された 2005 年 の8月8日の最大10分間の浸透量を6倍して(60分間) =)1時間あたりに換算した値を観測時最大浸透量とした. 図 45 に勾配 12°, 19°, 33°での浸透能と飽和透水係 数を比較した結果を示す. 勾配 12°, 19°, 33°の比較 では飽和透水係数と浸透能とは同様の傾向を示しており, 勾配が緩い箇所では細粒の土粒子等が地表面に多く堆積 しているため飽和透水係数が小さくなっていると考えられる. 被度小と勾配 33°の箇所は近接しており、勾配や林床植 生の量もほぼ同じであるが、飽和透水係数は異なる傾向が 認められた. 飽和透水係数にも場所による若干のバラツキ があることが認められる. 図 44 より被度大, 中, 小の試験 区画による観測時最大浸透量と飽和透水係数は同様の傾 向が見られた. また, 被度大と被度小では浸透能と浸透量 はほぼ同一であるが被度中では冠水型浸透計による浸透 能の方が大きい値を示した. 佐藤ほか(1956,1957)によ れば冠水型浸透計により測定された浸透能は実際の降雨 に近い状態で試験できる散水型浸透計による浸透能の 1.4 ~ 1.8 倍になることが報告されている. 試験区画における 実際の降雨による浸透量の測定時には、被度大では遮断 蒸発や雨滴衝撃の緩和、被度小では表層クラストの形成な どが影響し、冠水型浸透計で測定するような土壌の浸透能 だけが影響しているわけではないことを考慮すると、必ずし も浸透能と浸透量が一致するとは言い切れない、冠水型浸 透計による浸透能の測定結果と実際の浸透量の関係につ いては今後さらに検討することが必要である. この他にも, 堆積しているリターの影響等が考えられるので、冠水型浸 透計による計測方法を見直すことも必要である.



図 42. 冠水型浸透計による浸透能(試験区画別平均)









E. リター堆積量と浸透量

被度大,中,小(No.2, No.1, No.3)の各試験区画について、定期的に 0.25m² (0.5 × 0.5 = 0.25 m²)のコドラートを各試験区画内と同程度の植生被度、リター堆積量が存在する場所に設置し、そのコドラート内のリターを採取して絶乾質量を計測した。このようにして計測したリター堆積量(2005 年 8 月)と観測された最大浸透量との関係を図46 に示す.図からリター堆積量が多いほど浸透量は大きくなる傾向が認められる。このことからリター堆積量が浸透量に影響していることが考えられる。これはリター堆積量が大きいと雨滴衝撃が緩和されて、表層クラストの形成が阻害されるために浸透量が多くなると考えられる。

(8) 林床植生被度と土壌水分変化の特徴

A. 樹冠通過雨量とpF 値の関係

2005 年 7 月 1 日から 8 月 16 日までのテンシオメータによ る pF 値(土壌水の圧力水頭の常用対数値)観測期間中 における,最大時間樹冠通過雨量は 49mm / hour (8 月 8 日),最大 10 分間樹冠通過雨量は 20mm / 10min (8 月 8 日)であった.また,この観測期間内の積算樹冠通過雨 量は 1424mm (47 日間)であった.

7 月および 8 月の樹冠通過雨量と pF 値の変化を図 47,49 に示す. 樹冠通過雨量があるとほぼ同時に pF 値は低下す るが, 樹冠通過雨量発生前の土壌の乾燥状態, 樹冠通過 雨量および被度により pF 値の変化の様相は異なる. 比較 のため, 樹冠通過雨量と pF 値の関係について前後に樹 冠通過雨量の無い 7 月 19 日の場合を図 48 に, 8 月 2 日 の場合を図 50 に示す.

7月19日(図48)には、70分間に計5mmの降雨が観 測された.被度小の深度10cmでは降雨とほぼ同時にpF 値は急速に下がり、その後すばやく上昇した.被度小は、 被度大に比べてpF値の上昇が早く、また降雨前には被度 小のほうが被度大よりも高いpF値すなわち乾燥した状態を 示した.

8月2日(図50)には、120分間に計4mmの樹冠通過 雨量が観測された。樹冠通過雨量が比較的小さく、樹冠 通過雨量発生前の土壌が乾燥しているとき、いずれの植生 被度でも10cmのpF値の減少の大きさに比べて20cmで の変化は少ない。比較的小さな樹冠通過雨量時では、被 度小では被度大よりpF値が小さい(図48,図50).これ は植生やリターがごくわずかな被度小では樹冠通過雨量を 遮る障害物が無いため、樹冠通過雨量発生前の乾燥した



図 46. リター堆積量と観測時最大浸透量

土壌に、雨水が容易に浸透できるためと考えられる.また、 比較的大きな樹冠通過雨量発生時では、被度小は被度大 より pF 値が大きい値を示している(図 47,7月9日,7月 25日,図 49,8月8日).このことから被度小では大きな樹 冠通過雨量では地表流が発生し、土壌への浸透量そのも のも減少するためと考えられる.

B. 樹冠通過雨量終了後の pF 値の変化時間

樹冠通過雨量終了後のpF値の回復(乾燥)の早さについて検討した.樹冠通過雨量によってpF値が1以下に下がり,また樹冠通過雨量終了後に一定時間樹冠通過雨量 が無いサンプルを用いて,被度大,中,小におけるpF1.4 から1.6までの変化に要した時間の平均値を比較した結果 を図51に示す.被度大は被度中,小より,10cm,20cm 共にpF値の上昇が遅く,乾燥しにくいことがわかった.ま た被度大では,表層に近い深度10cmより深度20cmのほうが乾燥に時間がかかった.一方,被度中と被度小では, pF1.4から1.6までの変化時間はほぼ等しく,また10cmと 20cmのpF値の変化時間にも大きな差は見られなかった. 以上の結果をまとめると,林床植生の少ない被度小は,被 度大に比べ,樹冠通過雨量発生直後の低いpF値から短 時間で急激にpF値が上昇し,土壤の素早い湿潤化とそ



図 48.2005 年 7 月 19 日の樹冠通過雨量および pF 値

れに続く急な乾燥が見られた(図 51 及び図 47;7月9~ 11日,図49;8月8~10日など). 被度小,被度大共に, 降雨初期には深度10cmより20cmのpF値が高い(図 48 ;7月15日18:00,図 50;8月2日18:00). しかし樹冠通 過雨量が無い期間が続く時,pF1.4から1.6までの変化に 要する時間は被度小のほうが短く,被度大ではより緩やか な乾燥が観測された(図 51). pF値の変化の幅も,被度 大のほうが小さかった.









図 51.2005 年 7 ~ 8 月における樹冠通過雨量終了後に pF 値 1.4 から 1.6 に上昇する(乾燥する)のに要する時間の比較

4. 結論

丹沢山地堂平地区の林床植生衰退地に設置した10個の 試験区画において2004年7月~2006年12月の間,樹 冠通過雨量,土壤侵食量,リター流出量,地表流量,土 壌水分量等を観測した.その結果,林床植生の被度が小 さいほど土壤侵食量は大きく,被度小(林床植生被覆率 約1%)では1年間で深さ約2~9mmの土壌が侵食され ていることが分かった.さらに年間を通して見ると林床植生 量が少ない箇所ほどリター堆積量が少なく,これらが土壌 侵食量の増大に大きな影響を与えていることがわかった. 季節的な変化で見ると7~9月に林床植生量が最も多くな るのに対してリター堆積量は最も少なくなった.被度中,小 では樹冠通過雨量を考慮しても土壌侵食量が最も多いの は7~9月であることから,リター堆積量の季節変化が土 壌侵食量の季節変化に大きな影響を与えていることがある 程度明らかとなった.

斜面の上、中、下部にリター移動量測定柵を設置して、 斜面下方向、上方向、横方向のリター移動量を測定する とともに、上層木からのリター供給量を測定した。勾配が急 な箇所では斜面横方向のリター移動量は斜面下方向の移 動量よりもかなり少なかった。一方、勾配が緩い箇所では 斜面横方向のリター移動量は斜面下方向に匹敵するほど 多く生じた。斜面下方向および横方向のリター移動量は 4 ~5月と10~11月に多く、これは主として風による運搬 により生じることが分かった。

リターバッグを用いて腐朽によるリター質量の変化を測定 した.リターの腐朽速度は4~12月でほぼ直線的に一定 の割合で減少しており、この期間内では一日あたり平均約 0.22%の質量が減少した.

林床に堆積しているリターは 4 ~ 12 月の期間には腐朽に よって減少し,さらに風や地表流による運搬によっても減少 する.しかしながら 10 ~ 11 月には、樹冠からの多量のリター が林床に供給され、リター堆積量は増加する.結果として、 リター堆積量は 7 ~ 9 月において 1 年間を通して最も少な くなっている事が明らかとなった.リター堆積量変化のモデ ルを作成してリター堆積量の推定を行ったが、ほぼ実測値 に近い値を得た.

堂平ではブナ林という上層木が存在するため、毎年多量 のリターが10~11月に林床に供給されている.このリター を林床上に捕捉・定着させることができれば土壌侵食の軽 減に大きく寄与すると考えられる.

試験区画における地表流量測定と樹冠通過雨量の測定に よる浸透量の計算,冠水型浸透計による浸透能測定,定 水位飽和透水試験による飽和透水係数測定を実施した. これらの測定結果から,林床植生およびリター堆積量が減 少すると浸透量,透水係数は減少し,特に大きな降雨時 には地表流になる割合(流出率)が増加することがわかっ た.林床植生の衰退は流域における水の流出にも大きな 影響を与えている.

テンシオメータによる pF 値(土壌水の圧力水頭の常用対 数値)の観測結果から林床植生が衰退した土壌では、樹 冠通過雨量終了後から急速な乾燥が始まり、樹冠通過雨 量発生時と樹冠通過雨量が無い時の乾湿の差が激しいこと がわかった.一方、豊富な林床植生およびリターの堆積が ある土壌では、林床植生やリターがバッファとして機能し、 土壌の急激な湿潤や乾燥を緩和していると考えられる.林 床植生の衰退は水分ストレスに弱いブナ林に何らかの影響 を与えていると考えられる.

5. おわりに

丹沢堂平の林床植生衰退地における土壌侵食量につい て現地観測を行い、林床植生被度が土壌侵食量、雨水の 流出、土壌水分に与える影響等について検討した.調査 結果から、林床植生の衰退がリターの堆積量の減少を招き、 これが土壌侵食量の増大、地表流量の増大、地中への雨 水の浸透の減少、表層土壌内の水分の変動の増大を引き 起こしていることがある程度明らかとなった.特に、堂平の 林床植生衰退地ではリター堆積量の季節変化が土壌侵食 量の季節変化に大きな影響を与えていることがある程度明 らかになった.このことから、毎年、上層木から供給される リターを林床上に捕捉・定着させることにより土壌侵食を抑 制することができると考えられるので、堂平の林床植生の衰 退した箇所ではリター捕捉による土壌侵食対策手法が有効 と考えられる.

最後に,関係者各位から賜った多大なご支援,ご協力に 対し深甚なる謝意を表する次第である.

文 献

石川政幸・遠藤泰造・鈴木孝雄, 1962. 土壌浸食. 社台

国有林の経営に関する調査報告, pp.135-196. 札幌営 林局, 札幌.

- 三原義秋,1951. 雨滴と土壌侵食. 農業技術研究所報告 A, (1): 1-59.
- 三浦 覚,2000. 表層土壌における雨滴侵食保護の視点か らみた林床被覆の定義とこれに基づく林床被覆率の実 態評価.日本林学会誌,(82):132-140.
- 村井宏・岩崎勇作・石井正典, 1973. 落葉地被物の 侵食防止効果についての実験. 第84回日林講, pp.377-379.
- 大倉陽一・三森利昭・北原曜, 1996. 森林施業が表面侵 食に及ぼす影響, 日林論, (107): 361-362.
- 佐藤 正・村上与助・村井 宏・関川慶一郎, 1956. 新しい 型の山地浸透計による測定成績(第1報), 林業試験 場研究報告, (83): 39-64.
- 佐藤 正・村上与助・村井 宏・関川慶一郎, 1957. 新しい 型の山地浸透計による測定成績(第2報),林業試験 場研究報告, (99): 25-57.
- 湯川典子・恩田裕一,1995. ヒノキ林において下層植生が 土壌の浸透能に及ぼす影響(I)散水型浸透計による 野外実験.日本林学会誌,(77):224-231.