

## 論 文

## 下層植生と地形に基づくヒノキ人工林の土壤浸食危険度区分\*

入田慎太郎<sup>1</sup>・塚本 次郎<sup>\*\*2</sup>・梶原 規弘<sup>3</sup>

入田慎太郎・塚本次郎・梶原規弘：下層植生と地形に基づくヒノキ人工林の土壤浸食危険度区分 日林誌 83：204~210, 2001 表土の流亡が起りやすいヒノキ人工林において適切な森林管理を行うための基礎とする目的で、下層植生と地形の組合せに基づく土壤浸食危険度区分を提示した。まず、土壤浸食危険度指数を外的基準とし、下層植生と地形を説明変数として数量化分析Ⅱ類を行った。説明変数のアイテム{カテゴリー}を下層植生{草本・地表植物型, ウラジロ・コシダ型, 木本型, 貧植生型}, 傾斜{20°未満, 20~30°, 30~40°, 40°以上}, 斜面位置×凹凸{山頂斜面, 山腹平滑斜面, 山腹凸または凹型斜面}とした場合に, 分析全体の精度とカテゴリーウェイトの妥当性の高い結果が得られた。次に, 得られた48通りのカテゴリーの組合せに対応するサンプルスコアを, 大きさに従って3等分する危険度区分を設け, 危険度の大中小と下層植生×地形との関係を検討した。土壤浸食危険度は, 傾斜20°未満では他の要因に関わらず小さかった。20~40°では下層植生に応じて変化した。40°以上では全般的に大きかったが, 草本植生下ではやや小さくなった。また, この全体的傾向は, 細部で斜面位置×凹凸の要因により小幅の修正を受けた。

キーワード：下層植生, 数量化分析Ⅱ類, 地形, 土壤浸食危険度区分, ヒノキ人工林

Nyuta, S., Tsukamoto, J., and Kajihara, N.: Classification of Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) Plantations according to Susceptibility to Soil Erosion Based on Undergrowth Vegetation and Topography. J. Jpn. For. Soc. 83: 204~210, 2001 In order to make a contribution to sustainable forestry management of Japanese cypress plantations, site and stand classification was made in terms of susceptibility to soil erosion by using the quantification theory type II. The soil erosion susceptibility index was the outside criterion. The type of undergrowth, slope inclination, and slope position-relief were the items of predictor variables. The following categorization of each item yielded the highest discriminant efficiency: type of undergrowth {herb-chamaeephyte, fern, shrub, poor vegetation}, slope inclination {<20°, 20° ≤ <30°, 30° ≤ <40°, 40° ≤}, slope position-relief {ridge slope, plain hillside slope, convex or concave hillside slope}. The resulting 48 sample scores were arranged in increasing order of susceptibility to soil erosion and divided into three groups of about the same size termed as least-, moderately-, and highly susceptible classes, respectively. The relationship between this grouping and the combination factor of undergrowth and topography was examined, giving rise to the following results: ① The sites of <20° were least susceptible almost regardless of other factors. ② The susceptibility of the sites of 20° ≤ ≤40° changed according to type of undergrowth. ③ The sites of 40° ≤ as a whole shifted to the higher classes of susceptibility, but showed signs of a cover effect of herb and fern undergrowth. ④ All of these general tendencies were modified to some extent by the slope position-relief factor.

**Key words:** *Chamaecyparis obtusa* stand, classification of soil erosion susceptibility, Quantification Theory Type II, topography, undergrowth vegetation

## I. はじめに

地球規模での環境の悪化や資源の枯渇に対する懸念が深まるに伴って、林業においては生産の持続可能性や環境負荷の軽減への配慮が重要度を増し、適切な森林管理の基礎として林地のゾーニングの必要性が広く認識されるようになった。

森林からの表層土壌の流出は、林地生産力の低下や、溪流底の浮き石の埋没などを招くおそれがある。したがって、スギ人工林に比べて土壤浸食の危険性の高いヒノキ人工林(吉村ら, 1982; 中村, 1983; 吉村ら, 1983; 塚本, 1989; 森・逢坂, 1994)では、土壤浸食危険度をも考慮に入れたゾーニングを行い、危険度の高いゾーンには、林内を明るく保つ施業を施すなどの配慮が望まれる。しかし、これまで清野(1988)が草本層被度×斜面傾斜角の組合せ

とA<sub>0</sub>層被度との関係を検討した以外は、ヒノキ人工林における土壤浸食危険度を複数の要因の組合せから評価し、階級区分する試みはなされていない。

著者らはヒノキ人工林における土壤浸食危険度の予測を目的とした一連の研究により、これまでに次のことを明らかにした。①ヒノキ人工林内の地表の特徴を定量的に記述する測定項目のうち、「土柱個数」、「段差面積」、「根系面積率」は土壤浸食強度の間接的指標として有効であること(塚本ら, 1998)。②被度と優占する生活型の組合せに基づいて「貧植生型」、「木本型」、「ウラジロ・コシダ型」、「草本・地表植物型」に4区分した下層植生のタイプは、上記3指標を合成して得られた「土壤浸食危険度指数」の変動の統計的に有意な説明要因となること(梶原ら, 1999)。

これらの成果を踏まえて、本論文では、まず土壤浸食危険度指数を外的基準(目的変数)とし、下層植生と地形因

\* 本研究は林野庁地域重要新技術開発促進事業(急傾斜地における表土流亡危険度判定技術の検討)の事業費によった。

\*\* 連絡・別刷請求先(Corresponding author) E-mail: tukamoto@fs.kochi-u.ac.jp

<sup>1</sup> 愛媛大学大学院連合農学研究科 The United Grad. Sch. of Agr. Sci., Ehime Univ., Matsuyama 790-8502

<sup>2</sup> 高知大学農学部附属演習林(783-8502 南国市物部乙200)

Faculty of Agriculture, Kochi University Forest, 200, Mononobe B, Nankoku 783-8502, Japan.

<sup>3</sup> 高知県中村林業事務所 Nakamura Branch of For. Dept. of Kochi Pref. Government, Nakamura 787-0028

子を説明変数として行った数量化分析Ⅱ類の結果を示す。次に、得られたサンプルスコアを用いてヒノキ人工林の土壤浸食危険度区分の一例を提示する。最後に、説明変数各アイテムの各カテゴリーに割り当てられたカテゴリーウェイトに基づいて、「下層植生×地形」要因と、例示した危険度区分との関係を論ずる。

## Ⅱ. 方 法

高知県下17カ所のヒノキ人工林に設けた10m×10mの方形プロット合計64個について、1992～1994年の5～10月の期間に、林況、地表面の状態、下層植生、地形を調べた。調査プロットの概要、地表面状態の調査法と、得られた結果に基づく土壤浸食危険度指数の算出法、下層植生の調査法と、そのタイプ分けの方法についてはすでに報告した(梶原ら, 1999)。

### 1. 地形因子の調査法とデータの加工

#### 1) 個別因子の調査法

地形因子として、傾斜、上部斜面長、地形の凹凸の3項目を調べた。

プロット中心を通る最大傾斜線上で、プロット中心から水平距離で5m上方地点を臨む仰角(°)と、5m下方地点を臨む俯角(°)をポケットコンパスを用いて測量し、両者の平均値をプロットの傾斜とした。また、同じ最大傾斜線上をプロット中心から稜線に向かって測量し、傾斜が5°を切る地点までの水平距離(m)を上部斜面長とした。地形の凹凸の数量表現には、コンパス測量の結果から次式によって求められる小林(1982)の微地形指数を用いた：

$$I_R = \sum_{i=1}^8 (P_i - O)$$

ただし、 $I_R$ は微地形指数、 $P_i$ はプロットの中心を中心として想定した一辺が水平距離で20mの正方形の四隅と各辺の中点の標高(m)、 $O$ はプロット中心の標高(m)である。微地形指数の負、0、正の値はそれぞれ、地形が凸、平滑、凹であることを示す。

#### 2) 上部斜面長と地形の凹凸の合成

上部斜面長の値が小さい場合、すなわち、プロットが稜線付近に位置する多くの場合に、地形は凸型、したがって微地形指数は負の値をとる。本研究でも、たとえば上部斜面長10m以下の6プロットの微地形指数の値はすべて負となり、2因子間の相関が明らかであった。そこで、本研究ではこれら2因子をそのまま説明変数の二つのアイテムとして解析に取り込むことを避け、新たな地形因子「斜面位置×凹凸」として両者を合成したものをアイテムに用いることにした。

### 2. 数量化分析Ⅱ類を行うためのデータ処理

#### 1) 外的基準のカテゴリー化

前報(梶原ら, 1999)で、ヒノキ人工林の土壤浸食危険度の指標として有効であることを示した土壤浸食危険度指数を外的基準とした。サンプル数が限られていたので、カテゴリー区分は機械的に行った。すなわち、各カテゴリー

に含まれるサンプル数がほぼ等しくなるように、土壤浸食危険度指数の値を15未満、15以上50未満、50以上に3区分し、それぞれのカテゴリー名を「危険度小」、「危険度中」、「危険度大」とした(表-1)。

#### 2) 説明変数各アイテムのカテゴリー化

下層植生、傾斜、斜面位置×凹凸を説明変数の三つのアイテムとした。

下層植生のカテゴリー区分には、前報(梶原ら, 1999)で土壤浸食危険度指数の変動の統計的に有意な説明要因であることを示した下層植生のタイプ区分を、そのまま用いた(表-2)。傾斜は階級幅を10°として、機械的に4カテゴリーに区分した(表-3)。

斜面位置×凹凸のカテゴリーは次のようにして決めた。上部斜面長と土壤浸食危険度指数との関係を調べると(表-4)、上部斜面長10m以下で土壤浸食危険度指数がやや小さくなる傾向は認められたものの、上部斜面長の増加

表-1. 外的基準としての土壤浸食危険度指数のカテゴリー化

カテゴリー名	危険度小	危険度中	危険度大	
サンプル数	21	22	21	
土壤浸食危険度指数	階級	<15	15≤<50	50≤
	範囲	0.0～14.7	16.5～49.2	53.5～231.3
	平均値	5.3	32.8	114.1

表-2. 下層植生のカテゴリー化と土壤浸食危険度指数

カテゴリー名	草本・ 地表植物型	ウラジロ・ コシダ型	木本型	貧植生型	
サンプル数	6	17	19	22	
土壤浸食危険度指数	範囲	0.0～4.4	4.7～66.0	0.0～171.0	0.0～231.3
	平均値	1.2	22.8	45.5	89.6

表-3. 傾斜のカテゴリー化と土壤浸食危険度指数

カテゴリー名	20°未満	20～30°	30～40°	40°以上	
階級	<20	20≤<30	30≤<40	40≤	
サンプル数	4	14	38	8	
傾斜(°)	範囲	9.5～17.5	20.5～29.0	30.0～38.5	40.0～45.0
	平均値	15.3	25.2	34.3	41.0
土壤浸食危険度指数	範囲	0.0～10.2	0.0～138.4	0.0～231.3	4.7～191.2
	平均値	3.6	34.3	49.3	107.5

表-4. 上部斜面長と土壤浸食危険度指数

上部斜面長 (m)	標本数	土壤浸食危険度指数		
		平均値	最小値	最大値
0～10	6	14.9	0.0	43.1
11～20	5	61.0	1.2	171.0
21～30	7	85.2	2.9	159.4
31～40	9	38.7	0.0	77.6
41～60	9	55.5	0.0	191.2
61～80	10	26.2	0.0	73.9
81～110	9	38.8	5.9	84.7
111～150	9	87.7	4.4	231.3

表-5. 斜面位置×凹凸のカテゴリー化と土壌浸食危険度指数

カテゴリー名		山頂斜面	山腹平滑斜面	山腹凸または凹型斜面
階級	上部斜面長 (m)	≤ 10		10 <
	微地形指数 (m)	—	-10 ≤ ≤ 10	< -10 または 10 <
サンプル数		6	44	14
上部斜面長	範囲	0~10	14~150	28~144
	平均値	3	61	81
微地形指数	範囲	-23.7~-7.2	-10.0~9.6	-26.9~-11.0, 14.8~23.4
	絶対値の平均値	16.9	3.6	17.4
土壌浸食危険度指数	範囲	0.0~43.1	0.0~191.2	0.0~231.3
	平均値	14.9	46.4	78.5

に伴って土壌浸食危険度指数が増加するというはっきりした関係は認められなかった。これは、土壌浸食危険度指数を構成する3要素（土柱個数、段差面積、根系面積率）が、いずれも、主として雨滴衝撃による土砂の飛散や発生初期の地表流去水による浸食の強さを反映するものであり、したがって土壌浸食危険度指数がリルやガリなどの水路浸食発生の前段階の浸食危険度を示すものであるためと考えられる。一方、上部斜面長10mを境に地形の凹凸の現れ方が変化した。すなわち、上部斜面長10m以下では地形はすべて凸型であり、この階級に属する6プロット中5プロットで微地形指数は-10m未満、微地形指数が最大のプロットでも-7.2mであった。これに対し、上部斜面長が10mを超えると、地形が凸型に限定されることはなくなった。たとえば、上部斜面長10~20mの階級では、これに属する5プロット中3プロットが、微地形指数-0.9m, -0.1m, 1.2mに示されるように、平滑地形であった。そこで、斜面位置については、2区分を設け、上部斜面長10m以下を「山頂」、10mを超える場合を「山腹」と呼ぶことにした。凹凸については、微地形指数-10mと10mを境に機械的に3区分し、-10m未満を「凸型斜面」、-10m以上から10m以下までを「平滑斜面」、10mを超えるものを「凹型斜面」とした。この区分を用いると、アイテム「斜面位置×凹凸」には「山頂斜面」、「山腹凸型斜面」、「山腹平滑斜面」、「山腹凹型斜面」の4カテゴリーが設定されることになる。しかし、本研究のデータに関する限り、「山腹凸型斜面」と「山腹凹型斜面」の間には、土壌浸食危険度指数との関係に顕著な違いが認められなかった。また、斜面位置×凹凸に上記4カテゴリーを設けた場合と、「山腹凸型斜面」と「山腹凹型斜面」を「山腹凸または凹型斜面」として一つにまとめ、3カテゴリーにした場合との、2通りのデータセットを数量化分析Ⅱ類にかけた結果、分析全体の精度、説明変数各アイテムの相対的重要度、カテゴリーウェイトのいずれにもほとんど違いが認められなかった。しかも、4カテゴリーを用いた方の分析では、結果的に「山腹凸型斜面」と「山腹凹型斜面」に割り当てられたカテゴリーウェイトはほぼ等しくなった。そこで、本研究では、説明変数のアイテム・カテゴリークロス集計において反応サンプルが0とな

表-6. 説明変数のアイテム相互間の分割表における $\chi^2$ 値

アイテムの組合せ	下層植生— 傾斜	下層植生— 斜面位置×凹凸	傾斜— 斜面位置×凹凸
$\chi^2$	9.87	11.08	11.37
自由度	9	6	6
$\chi^2$ ( $\alpha=0.05$ )	14.68	12.59	12.59

る組合せが生じるのを避けるために、「山腹凸型斜面」と「山腹凹型斜面」を合わせて「山腹凸または凹型斜面」とし、斜面位置×凹凸のカテゴリー区分としては、これに「山頂斜面」、「山腹平滑斜面」を加えた、3区分を採用することにした（表-5）。

### 3) 説明変数各アイテム間の独立性

数量化Ⅱ類の分析に取り込む説明変数の各アイテムは、互いに独立性の高いことが望ましい。そこで、上のようにカテゴリー化したアイテム相互間の独立性を分割表を用いて吟味した。分割表より算出された $\chi^2$ 値を表-6に示す。取り上げた三つのアイテム相互間の無相関の仮定は、いずれの組合せにおいても棄却されなかった ( $p>0.05$ )。

## Ⅲ. 結果と考察

### 1. 分析の精度

表-7に外的基準各カテゴリーに属するサンプルのスコアの平均値と相関比を示した。数量化分析Ⅱ類による土壌浸食危険度の予測については他に報告事例がないので、今回得られた相関比の大きさを他の事例と比較することはできない。しかし、山腹崩壊危険度予測に関する10の報告事例について塚本(1991)が集めた相関比(0.078~0.44, 平均0.159)に比べると、本分析の精度ははるかに高いものであったといえる。

図-1にサンプルスコアの頻度分布を外的基準のカテゴリー別に示した。図中に矢印で示したように、「危険度小」と「危険度中」の判別境界値に-0.6、「危険度中」と「危険度大」の判別境界値に0.6をとると、判別の中率は、それぞれ「危険度小」と「危険度中」の間で $\{(17+20)/43\} \times 100 \approx 86\%$ 、「危険度中」と「危険度大」の間で $\{(17+18)/43\} \times 100 \approx 81\%$ 、「危険度小」と「危険度大」の間で $\{(21+19)/42\} \times 100 \approx 95\%$ となる。本研究の17調査地は

表-7. 外的基準各カテゴリーのサンプルスコアと相関比

カテゴリー名	サンプル数	サンプルスコア		相関比
		平均値	分散	
危険度小	21	-1.072	0.470	0.632**
危険度中	22	0.207	0.268	
危険度大	21	0.855	0.372	
全体	64	0.000	1.000	

\*\* 危険率1%で有意 ( $F=52.31 > F(2, 61; 0.01)=4.97$ )。

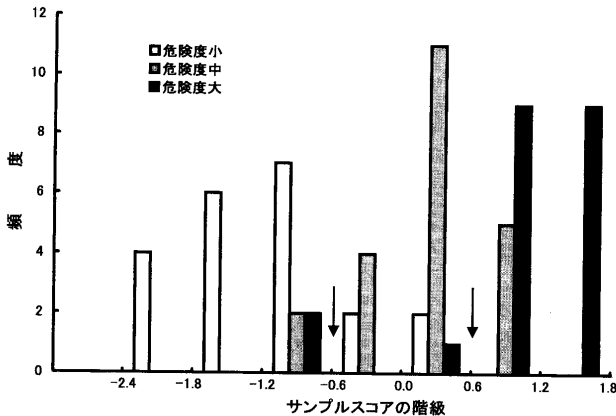


図-1. 外的基準のカテゴリー別サンプルスコアの階級頻度分布

年降水量でかなり広い範囲にまたがっていた (2,151~4,220 mm)。また、古生代の砂岩~泥岩が5カ所、中生代の砂岩~泥岩が8カ所、古第三紀の砂岩~泥岩が4カ所と、表層地質にも違いがあった。それにもかかわらず、これらの因子を説明変数として取り込まない数量化分析においても、実用可能な精度での土壌浸食危険度予測が得られたといえる。

2. カテゴリーウェイトの妥当性

表-8に説明変数各アイテムのカテゴリーウェイトを示した。「下層植生」のカテゴリーウェイトは、前報(梶原ら, 1999)に述べた地表保護の特性に関するカテゴリー間の違いを矛盾なく反映し、浸食危険度の大きくなる順に「草本・地表植物型」<「ウラジロ・コシダ型」<「木本型」<「貧植生型」となった。

「傾斜」のカテゴリーウェイトには、「20~30°」と「30~40°」の間に逆転がみられたものの、その序列を全体としてみると、土壌粒子の安定性についてカテゴリー間に期待される序列と、概ね一致したと見なすことができる。

「斜面位置×凹凸」では山頂に比べて、山腹のカテゴリーウェイトが大きくなった。上部斜面長10m以下の散水地形においては、地表流去水が発生する確率は相対的に小さいと考えられる。また、「山頂斜面」6プロットの枝下高が6.45±0.38m(平均値±標準偏差)であったのに対し、「山腹平滑斜面」と「山腹凸または凹型斜面」の58プロットでは9.23±1.63mであった。これは、山頂部で相対的にヒノキの樹高成長が悪いことや、受光空域が大き

表-8. 説明変数各アイテムのカテゴリーウェイト

アイテム	カテゴリー名	カテゴリーウェイト
下層植生	草本・地表植物型	-1.737
	ウラジロ・コシダ型	-0.712
	木本型	0.177
	貧植生型	0.871
傾斜	20°未満	-2.009
	20~30°	0.261
	30~40°	0.003
	40°以上	0.531
斜面位置	山頂斜面	-0.357
	山腹平滑斜面	-0.067
	山腹凸または凹型斜面	0.363

いため、枝の枯れ上がりが遅れることなどによると考えられる。塚本(1966)はヒノキ人工林の林内雨滴の直径が、大きいものでは5mmを超えることを確かめている。このように大きな雨滴の場合、落下高が10m以内では終速度に達しないため(Laws, 1941; 塚本, 1966)、枝下高の違いは林地表面が受ける雨滴衝撃の大きさに違いをもたらすことになる(荒木・塚本, 1994)。これらの条件は、カテゴリーウェイトに、山頂<山腹の関係を生み出す方向で作用する。

「山腹凸または凹型斜面」には、「山腹平滑斜面」に比べてより大きなカテゴリーウェイトが割り当てられた。土壌浸食の観点からすると、山腹凸型斜面と山腹凹型斜面には共通して山腹平滑斜面との間に重要な相違点がある。完全な山腹平滑斜面では、プロット内のすべての点において最大傾斜方向がプロットの縦方向(上下方向)と一致し、この方向での傾斜角がすべて点での最大傾斜角となる。一方、山腹凸型斜面と山腹凹型斜面では横方向(左右方向)の凹凸により、平面図に描かれる等高線はプロット内で湾曲する。そこでは、プロットの縦方向の中心線から左右にずれた点での最大傾斜方向は点によって異なり、各点の最大傾斜角は縦方向の傾斜角と横方向の傾斜角を合成したものとなる。表-9に、プロット中心から左右に水平距離で10m離れた地点を臨む傾斜角の絶対値を、斜面の形状別に平均値で示した。「地形の凹凸」の定義から半ば当然の結果であるが、プロット中心からの横方向の傾斜は明らかに「山腹平滑斜面」に比べて「山腹凸型斜面」と「山腹凹型斜面」で大きかった。縦方向の傾斜が同じであれば、合成によって生じる最大傾斜は「山腹平滑斜面」に比べて「山腹凸型斜面」と「山腹凹型斜面」で大きくなることになる。したがって、本研究で同一の「傾斜」カテゴリーに分類されたプロット間であっても、プロット内に現れる最大傾斜には「山腹平滑斜面」<「山腹凸または凹型斜面」の関係が存在したものと考えられる。この関係は、カテゴリーウェイトに関する「山腹平滑斜面」<「山腹凸または凹型斜面」の関係と一致する。

以上のように、本分析で得られた説明変数各アイテムの

表-9. プロット中心における横方向の傾斜<sup>1)</sup>

	山腹凸型 斜面		山腹平滑 斜面		山腹凹型 斜面	
	左	右	左	右	左	右
標本数	9	9	43	43	6	6
平均値 (°) <sup>2)</sup>	11.1	15.7	4.9	5.2	13.3	17.8
標準偏差 (°) <sup>2)</sup>	9.5	4.2	4.3	4.4	5.4	4.8

<sup>1)</sup>プロット中心から水平距離で左右10m地点を臨む傾斜角。<sup>2)</sup>傾斜角の絶対値について算出。

表-10. 説明変数各アイテムのレンジと偏相関係数

アイテム	下層植生	傾斜	斜面位置×凹凸
レンジ	2.609	2.541	0.719
偏相関係数	0.730	0.567	0.255

カテゴリーウェイトには、適用の妨げとなるような大きな不合理は認められなかった。

### 3. アイテムの重み

表-10に説明変数各アイテムのレンジと偏相関係数を示した。レンジと偏相関係数に関するアイテム間の序列は一致した。これは本分析における変数選択とカテゴリー区分に大きな問題がなかったことを示す。

レンジと偏相関係数の値は「下層植生」, 「傾斜」, 「斜面位置×凹凸」の順に小さくなった。とくにレンジにおいて「下層植生」, 「傾斜」と「斜面位置×凹凸」との差が大きかった。サンプルスコアは、主に「下層植生」と「傾斜」に左右され、「斜面位置×凹凸」の影響は副次的であったことを示す。

### 4. 土壌浸食危険度区分の一例

上に述べた数量化分析Ⅱ類の結果を用いると、土壌浸食危険度はサンプルスコアとして数値化される。サンプルスコアは表-8に示したカテゴリーウェイトの組合せにより、最も安全と評価される-4.103と、最も危険と評価される1.765を両端とする数直線上の $4 \times 4 \times 3 = 48$ 個の不連続点として与えられる。

この数直線上に、利用目的に応じて適宜区切りを設けることにより、土壌浸食危険度区分が得られる。図-2には一例として、サンプルスコアの-1.4と0.2を区切りとし、可能な48通りの組合せを「危険度小」, 「危険度中」, 「危険度大」に3区分したものを示した。各区分に属する組合せ数は、それぞれ、15, 18, 15となった。本研究の64の調査プロットにこの区分を適用すると、表-11のようになる。調査プロットの分布はサンプルスコアの高得点側に偏っていた。土砂流出防止の観点からは、ヒノキ単純林の造成に適さない立地に造成された林分や、草本の優先する下層植生の導入が望ましい林分が含まれていた可能性を示す。

### 5. 下層植生×地形の組合せと土壌浸食危険度区分との関係

表-8に示したカテゴリーウェイトを用いると、下層植生と地形の組合せに基づいて、個々の林地の土壌浸食危険

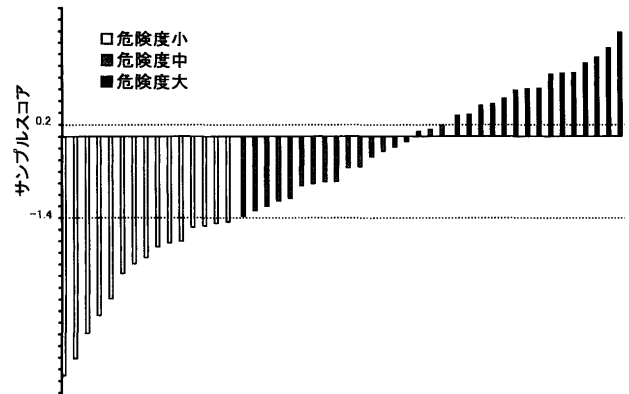


図-2. サンプルスコアに基づく土壌浸食危険度区分

表-11. 土壌浸食危険度区分と本研究の調査プロット

土壌浸食危険度区分名 サンプルスコアの階級	危険度小 ~-1.4	危険度中 -1.4~0.2	危険度大 0.2~
調査プロット数	9	24	31
土壌浸食危険度指数*	2.4±3.5	23.4±19.2	85.4±59.8

\* 平均値±標準偏差。

度を評価することが可能となる。ここでは、そのような評価の一例として、表-11の危険度区分を基準とした評価を試みた。表-12は「下層植生×地形」のすべての組合せについてのサンプルスコアを、「傾斜」のカテゴリー別に整理して示したものである。網掛けのない組合せは「危険度小」, 淡い網の掛かった組合せは「危険度中」, 濃い網掛けの組合せは「危険度大」と評価される。

清野(1988)は、ヒノキ人工林の地表における9月のA<sub>0</sub>層被覆率を、降雨によるリター移動の起こりやすさの指標と見なし、これと斜面傾斜角×草本層被度との関係を検討した。その結果、次のような関係が認められたという。すなわちA<sub>0</sub>層被覆率は、①傾斜角がおよそ15°以下では、草本層被度が0%に近い場合を除くと、草本層被度にほぼ無関係に高い、②傾斜角が40°以上では、草本層被度にほぼ無関係に低い、③傾斜角が15~30°では、草本層被度が大きいほど高い、④草本層被度が0%に近いと、傾斜がごく緩くても低くなる傾向がある。なお、この研究では、たまたま傾斜30~40°のサンプルが少なかったため、傾斜のこの範囲に対応するA<sub>0</sub>層被覆率の記述はなされていない。これが、多数のサンプルデータに基づいて、複数の要因の組合せと、土壌浸食危険度の指標との関係を解析した唯一の既存の報告事例である。以下、これらの結果(①~④)とつきあわせながら、表-12の土壌浸食危険度評価を検討してみる。

「傾斜」の「20~30°」(表-12の2枠目)と「30~40°」(同じく3枠目)に属するそれぞれ12の組合せについては、唯一、「山腹平滑斜面」-「木本型」との組合せにおける危険度評価が異なるのみで、他の11の組合せに関する評価は同じであった。そこで、これらを「20~40°」として

表-12. 「下層植生×地形」に基づく土壌浸食危険度の評価

傾斜	斜面位置 × 凹凸	下層植生	サンプルスコア
1	1	1	-4.10
1	2	1	-3.81
1	3	1	-3.38
1	1	2	-3.08
1	2	2	-2.79
1	3	2	-2.36
1	1	3	-2.19
1	2	3	-1.90
1	1	4	-1.49
1	3	3	-1.47
1	2	4	-1.20
1	3	4	-0.78
2	1	1	-1.83
2	2	1	-1.54
2	3	1	-1.11
2	1	2	-0.81
2	2	2	-0.52
2	3	2	-0.09
2	1	3	0.08
2	2	3	0.37
2	1	4	0.78
2	3	3	0.80
2	2	4	1.07
2	3	4	1.50
3	1	1	-2.09
3	2	1	-1.80
3	3	1	-1.37
3	1	2	-1.07
3	2	2	-0.78
3	3	2	-0.35
3	1	3	-0.18
3	2	3	0.11
3	1	4	0.52
3	3	3	0.54
3	2	4	0.81
3	3	4	1.24
4	1	1	-1.56
4	2	1	-1.27
4	3	1	-0.84
4	1	2	-0.54
4	2	2	-0.25
4	3	2	0.18
4	1	3	0.35
4	2	3	0.64
4	1	4	1.05
4	3	3	1.07
4	2	4	1.34
4	3	4	1.77

傾斜：1, 20°未満；2, 20~30°；3, 30~40°；4, 40°以上。微地形：1, 山頂斜面；2, 山腹平滑斜面；3, 山腹凸または凹型斜面。下層植生：1, 草本・地表植物型；2, ウラジロ・コシダ型；3, 木本型；4, 貧植生型。網掛けなし, 危険度小；淡い網掛け, 危険度中；濃い網掛け, 危険度大。

まとめ、その危険度評価を、やや危険側にシフトしている「20~30°」の評価の方で代表させたものを検討対象とした。

傾斜が「20°未満」では、「貧植生型」の場合を除いて、「斜面位置×凹凸」や「下層植生」とは無関係に「危険度小」であった。これは上記①と類似の評価である。また、

「20°未満」であっても、「貧植生型」の場合、「山腹平滑斜面」と「山腹凸または凹型斜面」においては「危険度中」と評価された。これは上記④に対応する評価である。しかし、「20°未満」の「貧植生型」であっても、「山頂斜面」では「危険度小」であった。これは、「斜面位置×凹凸」をアイテムとして取り込んだことによる新しい評価である。

傾斜が「20~40°」では、概ね下層植生に応じて「草本・地表植物型」は「危険度小」、「ウラジロ・コシダ型」は「危険度中」、「木本型」と「貧植生型」は「危険度大」と評価される傾向が認められた。これは上記③に近い結果である。しかし、ここでも「斜面位置×凹凸」が評価を分ける要因として働き、「山頂斜面」は評価を安全側に、「山腹凸または凹型斜面」は評価を危険側にそれぞれシフトさせた。すなわち、「草本・地表植物型」の「山腹凸または凹型斜面」と「木本型」の「山頂斜面」は、いずれも「危険度中」となった。

傾斜「40°以上」では、「草本・地表植物型」と「ウラジロ・コシダ型」で「危険度中」、「木本型」と「貧植生型」で「危険度大」となる傾向がみられた。傾斜が40°を超えても、草本植生による浸食抑制効果が多少とも期待できることを示す。土壌浸食の第一義的な要因は雨滴衝撃であるから（三原, 1951）、この評価は合理的であると考えられる。清野（1988）の結果②は、傾斜40°以上では、草本植生でさえ地表保護の効果が期待できなくなることを示唆する点で、本研究での評価とは異なる。本研究の傾斜40°以上の8サンプルは、すべて45°以下で、平均は41°であった（表-3）。一方、清野（1988）の40°以上の6サンプルのうち、三つは50°に達する。このような急傾斜では、単離したヒノキの鱗片葉は著しく不安定であり、これが②の結果をもたらす原因となったものと考えられる。また、清野（1988）の40°以上のサンプルのうち一つは、他の5サンプルと異なって草本層被度とA<sub>0</sub>層被覆率がともに高く、例外的なサンプルとなっている。本研究の評価では、「40°以上」-「山頂斜面」-「草本・地表植物型」の組合せで「危険度小」となった。山頂部では地表流水が生じる確率が相対的に低く、清野（1988）における例外は、このような組合せにおいて起こりやすいと考えられる。

このように、表-12による下層植生と地形の組合せに対応したヒノキ人工林の土壌浸食危険度評価は、既存の報告に照らして、概ね妥当と考えられるばかりではなく、「斜面位置×凹凸」を要因として取り込んだことにより、より細かい評価が可能になったといえる。

今後、さらに精度の高い危険度評価が求められるとすれば、まず、降雨要因の取り込みが検討されねばならない。しかし、精度の本質的な向上のためにはUSLEにおける降雨因子（R）（Wischmeier and Smith, 1978）のように、雨滴衝撃エネルギーの期間積算値が必要と考えられ、多点でのデータ集積は容易ではない。また、傾斜「20~40°」の細分や、「山腹凸または凹型斜面」の「山腹

凸型斜面」と「山腹凹型斜面」への分離なども、検討課題の候補としてあげられるが、「下層植生」の影響が強いため、このようなカテゴリー区分の変更で大きな精度向上が望めるかどうかには疑問がある。むしろ、本研究で得られたカテゴリーウェイトの実用性の吟味や、現実の浸食（または移動）土砂量とサンプルスコアとの関係に基づく実態に即した危険度区分の提示が今後の重要課題であると考えられる。

本研究の試験計画の策定にあたり、森林総合研究所土壌物理研究室の加藤正樹室長と森林総合研究所研究管理室の荒木 誠室長には懇切なご指導をいただきました。厚くお礼申し上げます。

### 引用文献

- 荒木 誠・塚本次郎 (1994) 雨滴衝撃の推定値による表土流亡の危険度判定の試み. 日林関西支論 3: 61-64.
- 梶原規弘・塚本次郎・入田慎太郎 (1999) ヒノキ人工林における下層植生のタイプと土壌侵食危険度との関係. 日林誌 81: 42-50.
- 清野嘉之 (1988) ヒノキ人工林の  $A_0$  被覆率に影響を及ぼす要因の解析. 日林誌 70: 71-74.
- 小林繁男 (1982) 森林の皆伐に伴う土壌の変化. ペドロジスト 26: 150-163.
- Laws, J. O. (1941) Measurements of the fall-velocity of water-drops and raindrops. Trans. Am. Geophys. Union 22: 709-721.
- 三原義秋 (1951) 雨滴と土壌侵蝕. 農業技術研究所報告 A 第 1 号: 1-59.
- 森 充・逢坂興宏 (1994) 愛鷹山麓ヒノキ林内における表面侵食の実態. 日林中部支論 42: 223-225.
- 中村恭二 (1983) ヒノキ林地における土砂等の流亡量について. 日林関西支論 34: 61-64.
- 塚本次郎 (1989) 林地斜面における表層物質の移動 (I) 細土の移動. 日林誌 71: 469-480.
- 塚本次郎 (1991) 仁淀川下流域の台風災害における山腹小崩壊地点と非崩壊地点の判別. 日林誌 73: 161-171.
- 塚本次郎・梶原規弘・入田慎太郎 (1998) ヒノキ人工林における表土流亡危険度の予測—土壌侵食強度の簡易評価における地表面観察の有効性の検討—. 日林誌 80: 205-213.
- 塚本良則 (1966) 林内の雨滴と飛沫侵蝕. 東農工大演報 5: 65-77.
- Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. (1978) Predicting rainfall erosion losses—A guide to conservation planning. Agriculture Handbook Number 537. 58 pp, U.S. Dept. Agric., Washington, D.C.
- 吉村健次郎・赤井龍男・真鍋逸平・相場芳憲・杉浦孝蔵・石井弘・本城尚正 (1982) 人工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 (IV)—スギ林とヒノキ林におけるリター・表層土の移動量の差—. 日林論 93: 347-348.
- 吉村健次郎・赤井龍男・真鍋逸平・杉浦孝蔵・石井 弘・本城尚正・相場芳憲 (1983) 人工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 (VI)—構成状態の異なる若い林分におけるリター, 表層土の移動量—. 日林論 94: 409-410.

(2000年11月17日受付, 2001年5月17日受理)