

## 論文

# 伐倒木の処理方法がヒノキ人工林の表土流亡に及ぼす影響<sup>1</sup>

渡邊 仁志・井川原 弘一<sup>2</sup>・横井 秀一<sup>2,3</sup>

Effects of processing method of thinned timbers on deterrence of surface soil erosion  
in a planted Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*) forest<sup>1</sup>

Hitoshi Watanabe, Koichi Igawahara<sup>2</sup>, Shuichi Yokoi<sup>2,3</sup>

表土流亡の抑止に有効な伐倒木の処理方法を検討するため、下層植生が衰退したヒノキ人工林を間伐後、4種類の方法で処理した伐倒木を林内に設置し、植生や堆積リターによる地表面の被覆率と、表土および散布チップの移動量を調査区間で比較した。細土移動量は伐倒木の処理方法によって異なり、チップ散布≧枝条散布<枝条集積≧枝条放置の順に多くなった。下層植生が衰退した林床における、枝条やチップの散布による堆積リター被覆の不足分や季節変動の補完は、表土流亡の抑止に有効であると考えられる。しかし、調査期間内に下層植生の顕著な回復はみられなかった。また、枝条散布の効果は時間経過とともに低下した。伐倒木による表土流亡の抑止対策は補助的な処置であるため、下層植生の再生や発達を効果的に促す間伐方法と組み合わせる必要がある。

キーワード：地表面被覆、伐倒木処理、ヒノキ人工林、表土流亡、リター

## I はじめに

ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) 一斉人工林の表土流亡 (堆積リターおよび表層土壌の流出) は、林分の過密化にともなう下層植生の衰退と林床の裸地化によって発生する (赤井 1977 ; 三浦 2000 ; 渡邊ら 2016)。表土流亡の抑止には下層植生や堆積リターによる地表面の被覆が有効である (三浦 2000 ; Miura *et al.* 2015 ; 渡邊ら 2016) 一方、表土流亡が問題視される林分は、そもそも地表面被覆が乏しい場合が多い。このような林分では、保安林整備事業の本数調整伐など、下層植生の発達を目的とする事業が実施されているものの、伐採による林地かく乱により表土移動量が増加する事例 (中森ら 2012) や、下層植生が回復しない事例 (深田ら 2006 ; 横井ら 2008) が報告されている。表土流亡の抑止には下層植生などによる地表面被覆が必要だが、植生回復には、まず表土流亡を減らす工夫が求められる。

このような状況下で、整備直後から間伐効果が上がるよう、また、整備後も下層植生が回復しない事態に備え、林内に残置された伐倒木を利用して、地表面被覆の不足分を補う付帯作業は重要であろう。事業の効果的な実行

にあたり、効果が高い工法を明らかにすることも欠かせないが、これまでに伐倒木の処理方法の違いによる表土流亡への影響を評価した事例は、平井ら (1992) などに限られる。

本研究では、ヒノキ人工林の間伐後、4種類の方法で処理した伐倒木を林内に設置し、土砂受け箱により表土移動量を測定した。本報告では、井川原ら (2004) と渡邊・井川原 (2006) が用いたデータセットに、それ以降に取得したデータを追加して経年変化を再検討し、伐倒木の処理方法が地表面被覆と表土流亡に及ぼす影響を考察した。

## II 方法

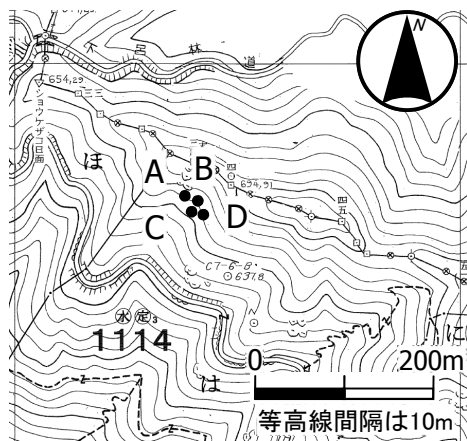
### 1. 調査地

調査は岐阜森林管理署・小川長洞国有林 (岐阜県下呂市小川、北緯 35° 46′ 18″, 東経 137° 14′ 16″) の 36 年生 (調査開始時) ヒノキ一斉人工林で行った。調査地 (図-1) は標高約 660m, 平均傾斜 40 度の南西向き斜面にあり、土壌の母材は濃飛流紋岩類 (溶結凝灰岩)、土壌型は適潤性褐色森林土 (偏乾亜型) である。調査地から約 4.7km 東にある宮地地域気象観測所 (標高 450m)

<sup>1</sup> 本研究の一部は第 52 回および第 54 回日本林学会中部支部大会で口頭発表した。

<sup>2</sup> 元 岐阜県森林研究所

<sup>3</sup> 現所属：造林技術研究所



A:集積区 B:散布区 C:チップ区 D:放置区

図-1. 調査地の概要および調査区の配置

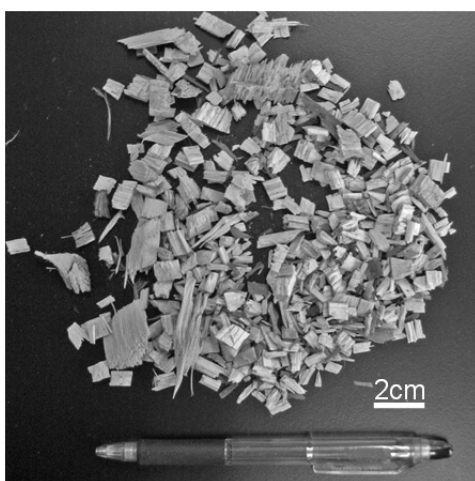


図-2. チップ区に散布した伐倒木チップ  
長さ1~2cmに調整した(図中のペンは長さ14cm)。

における気象の平年値(1991~2020年)は、平均気温12.2℃、年降水量2,440.3mmであった(気象庁2024)。調査地では、2002年3月に本数率で約30%の定性間伐が行われた。間伐後の林況は、立木密度1,310本 $\text{ha}^{-1}$ 、平均胸高直径22.0cm、平均樹高16.9m、平均枝下高11.1mであった。林内には伐倒木がそのまま放置されており、林床に下層植生はほとんどみられなかった。

伐倒木処理の影響を比較するため、2002年6月に2処理区(集積区、散布区)と1対照区(放置区)を、2004年3月に1処理区(チップ区)を設置した(図-1)。集積区(約50 $\text{m}^2$ )では、伐倒木から枝条を払い1m程度に断幹した後、同程度の長さに調整した枝条とともに林地内の数箇所に積上げ集積した。散布区(約50 $\text{m}^2$ )では、枝条を払った樹幹を長尺のまま等高線方向に接地するよう配置し、さらに枝条を林地全体にくまなく散布した。チップ区(約25 $\text{m}^2$ )には、自走式小型チップシュレダ(コマツゼノア製エコダイルSR200)を用いて伐倒木を長さ1~2cm程度に粉碎したチップ(0.75 $\text{m}^3$ 、生重量350kg;図-2)を、約3cmの厚さで調査区一面に敷き詰めた。放置区(約50 $\text{m}^2$ )は枝条が付いた状態の

伐倒木をそのまま調査区内に放置した(伐り捨て間伐の状態)。放置区は、伐倒木の配置が局所的である点と、それらが接地していない点が散布区と異なり、集積区は、枝条と短幹の集積箇所以外に、それがない点で散布区と異なる。また、2004年3月にチップ区を設置する前、チップ区の場所は放置区と同様の状態であった。

## 2. 調査方法

表土(土壤表層を構成する細土、石礫、リター)およびチップの移動量を計測するため、調査区下端の等高線上に、各5個の土砂受け箱(岩川ら1987;塚本1999;Miura *et al.* 2002;渡邊・井川原2015;渡邊ら2016)を設置した。土砂受け箱は高さ15cm×幅25cm×奥行き20cmのステンレス製で、背面に0.4mmメッシュのサラネットの袋を付けた。土砂受け箱を設置して約1ヶ月後から計測をはじめ、2002年8月(チップ区は2004年5月)から2005年7月までの3年間(チップ区は14ヶ月間)、約1ヶ月間隔で土砂受け箱の内容物を回収した(積雪や内容物の凍結等の影響で回収できない月があり、翌月に一括して回収した)。試料は、細土( $\leq 2\text{mm}$ )、礫( $> 2\text{mm}$ )、リター、チップに画分し乾燥(80℃、48時間)重量を測定した。なお、1cm以上の礫とリターのうち10cm以上の枝は、偶発的に捕捉されたものとして解析から除いた。

表土とチップの移動量は、移動量(Miura *et al.* 2002)および移動レート(Miura *et al.* 2002)により評価した。このうち、移動量( $\text{g m}^{-1}$ )は、各期間内に幅1mを通過した表土またはチップの重量である。計量異常値を除外したうえで各回収月の土砂受け箱5個分の算術平均値を算出し、毎年7月の回収分を年界とする1年分の移動量の和を年間移動量( $\text{g m}^{-1} \text{ year}^{-1}$ )とした。また、移動レート( $\text{g m}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ )は降水量1mmあたりの移動量で、移動量を回収期間内の降水量(mm)で除した値とした。期間降水量は、先述の宮地地域気象観測所の日降水量のデータ(気象庁2024)を用いた。各回収月の土砂受け箱5個分の算術平均値を表土およびチップの移動レート( $\text{g m}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ )とし、1年間分の移動レートの算術平均値を各年の平均移動レート( $\text{g m}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ )とした。

下層植生(地上高 $\leq 2\text{m}$ )、および堆積リター(チップ区においては散布したチップを含む)による地表面の被覆状態を、試料回収にあわせて把握した。植被率は土砂受け箱直上部における1m×1mの調査枠において、草本層(地上高 $\leq 0.3\text{m}$ )および低木層( $0.3\text{m} < \text{地上高} \leq 2\text{m}$ )の占有率を、リター被覆率は植生調査枠に内包する0.5m×0.5mの調査枠においてリターの占有率を、それぞれ目視により計測した。細片化したヒノキの鱗片葉は土塊との判別が困難であり、堆積リターには含めなかった。

表-1. 表土およびチップの年間移動量の変化

画分	調査年 <sup>1</sup>	年間移動量 <sup>2</sup> (g m <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )			
		集積区	散布区	チップ区	放置区
細土	1年目	400.9 ± 214.3 <sup>a</sup>	78.2 ± 41.6 <sup>a</sup>	—	696.7 ± 720.6 <sup>a</sup>
	2年目	494.3 ± 455.4 <sup>a</sup>	71.2 ± 53.6 <sup>a</sup>	—	558.5 ± 638.0 <sup>a</sup>
	3年目	415.3 ± 381.9 <sup>a</sup>	151.5 ± 230.8 <sup>a</sup>	11.9 ± 6.5	231.7 ± 228.2 <sup>a</sup>
礫	1年目	123.1 ± 79.1 <sup>a</sup>	46.7 ± 61.6 <sup>a</sup>	—	211.8 ± 208.8 <sup>a</sup>
	2年目	79.6 ± 78.9 <sup>a</sup>	14.8 ± 14.6 <sup>a</sup>	—	107.6 ± 136.7 <sup>a</sup>
	3年目	50.5 ± 41.6 <sup>a</sup>	15.8 ± 20.0 <sup>a</sup>	1.4 ± 2.6	35.4 ± 40.2 <sup>a</sup>
リター	1年目	447.3 ± 135.0 <sup>a</sup>	214.8 ± 43.8 <sup>a</sup>	—	588.9 ± 454.9 <sup>a</sup>
	2年目	416.2 ± 161.4 <sup>a</sup>	198.2 ± 42.9 <sup>a</sup>	—	470.7 ± 243.3 <sup>a</sup>
	3年目	299.2 ± 123.1 <sup>a</sup>	104.2 ± 40.5 <sup>b</sup>	247.1 ± 68.4	302.9 ± 120.4 <sup>a</sup>
チップ	1年目	—	—	—	—
	2年目	—	—	—	—
	3年目	—	—	828.6 ± 358.7	—
(大礫)	1年目	101.9 ± 76.0	7.8 ± 9.3	—	133.5 ± 173.5
	2年目	86.1 ± 79.5	56.2 ± 84.0	—	109.2 ± 84.4
	3年目	61.3 ± 43.2	27.1 ± 40.9	10.7 ± 16.3	64.1 ± 82.7
(大枝)	1年目	14.3 ± 20.2	24.7 ± 35.5	—	8.7 ± 8.4
	2年目	13.3 ± 15.8	6.8 ± 7.7	—	10.2 ± 7.4
	3年目	14.9 ± 13.4	11.8 ± 7.4	0.0 ± 0.0	29.6 ± 10.8

<sup>1</sup> 1年目:2002年7月12日～2003年7月14日, 2年目:2003年7月15日～2004年7月13日, 3年目:2004年7月14日～2005年7月13日。<sup>2</sup> 平均±標準偏差で示す。「—」は測定なし。数値右肩の異なるアルファベットはSteel-Dwass検定による調査年間の有意差( $p < 0.05$ )を示す。大礫と大枝は外数で、統計解析をしていない(参考値)。

### Ⅲ 結 果

調査期間中の年総降水量は、1年目(2002年7月12日～2003年7月14日)は2,378mm, 2年目(2003年7月15日～2004年7月13日)は2,906mm, 3年目(2004年7月14日～2005年7月13日)は2,548mmで、1年目と3年目は平年並み、2年目は平年より多かった。

表土とチップの年間移動量の変化を示す(表-1)。1年目の細土移動量は、放置区や集積区で多く、散布区で少なかった。土砂受け箱ごとにばらつきがあり経年変化は明瞭ではないが、集積区における変化は小さく、散布区では増加傾向にあり、放置区では減少する傾向がみられた。また、チップ区(3年目のみ)の細土移動量は非常に少なかった。礫の移動量は、細土と同様に放置区と集積区で多く、散布区やチップ区は少なかった。礫移動量も時間経過とともに減少する傾向があるものの、数値

のばらつきが大きく、有意差は認められなかった。リター移動量はどの調査区でも多く、1年目から2～3年目にかけて減少する(散布区;Steel-Dwass検定, $p < 0.05$ )か、または減少する傾向がみられた。チップ区のチップ移動量は非常に多く、すべての画分の中で最も値が大きかった。

細土移動レート(図-3a)は、集積区が0.011～0.371g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, 散布区が0.002～0.124g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, チップ区が0.001未満～0.036g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, 放置区が0.004～0.874g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, 礫移動レート(図-3b)は、集積区が0.001未満～0.220g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, 散布区が0.001未満～0.114g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, チップ区が0.001未満～0.003g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, 放置区が0.001未満～0.281g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>であった。散布区の細土と礫の移動レートは、集積区や放置区の値より1オーダー程度低く、チップ区はさらに1～2オーダー程度低かった(図-3a, 3b)。集積区、散布区、放置

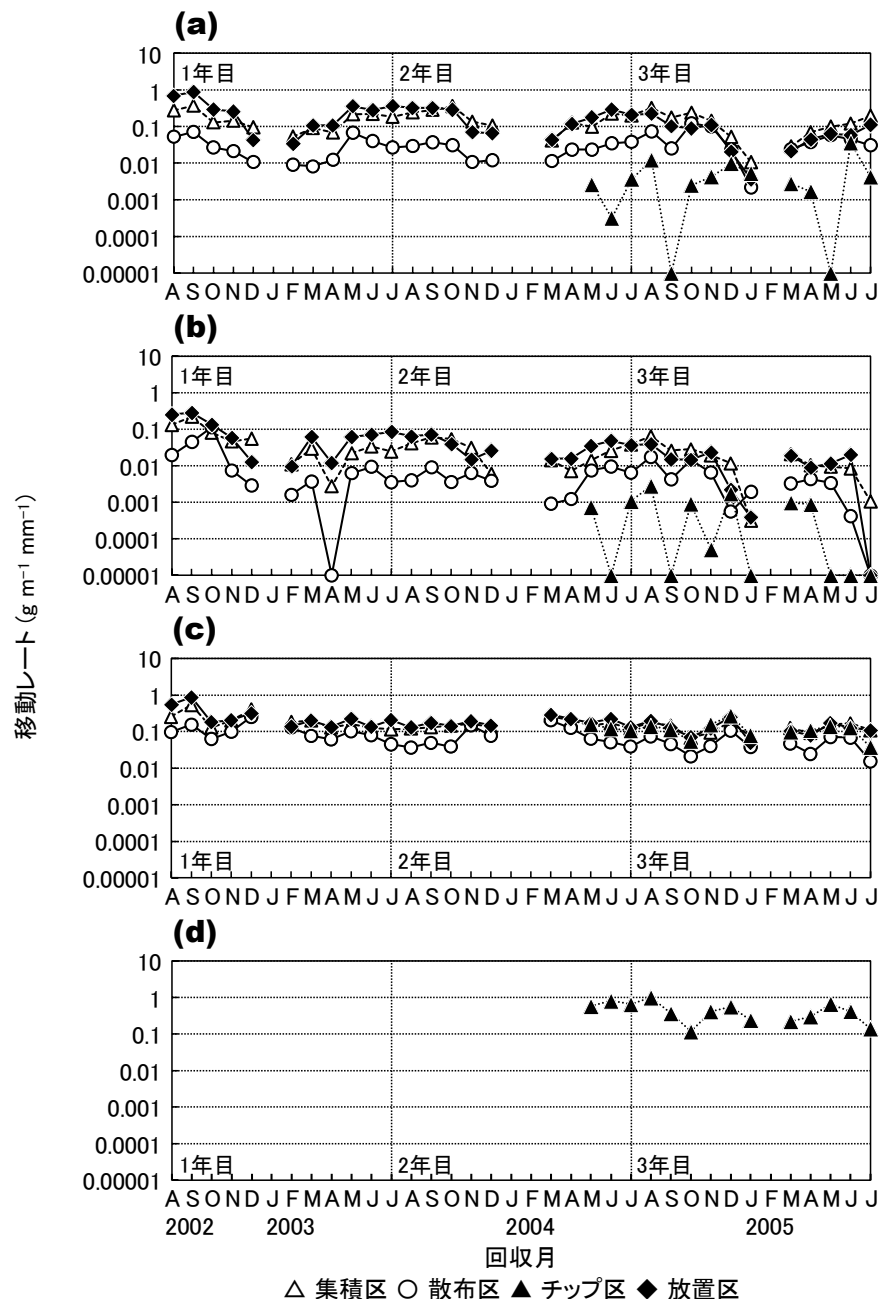


図-3. 各回収月あたりの細土 (a)、礫 (b)、リター (c)、チップ (d) の移動レート  
空欄は欠測で次回回収時にあわせて回収した。(a)、(b) のグラフにおいて、観測値が 0 の場合は、  
値を  $1.0 \times 10^{-5}$  としてプロットした。

区の細土移動レートと礫移動レートには、夏期に高くなり冬期に低くなる季節変化がみられたが、チップ区は値のばらつきが大きく、傾向は認められなかった(図-3a, 3b)。リター移動レート(図-3c)は、集積区が  $0.069 \sim 0.545 \text{ g m}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ 、散布区が  $0.016 \sim 0.252 \text{ g m}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ 、チップ区が  $0.038 \sim 0.271 \text{ g m}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ 、放置区が  $0.050 \sim 0.858 \text{ g m}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  で、細土や礫より調査区間差が小さく、季節変動もみられなかったが、調査期間を通じてやや低減傾向にあった。チップ移動レート(図-3d)は、1 オーダー程度の範囲の変動に収まっていたが、 $0.117 \sim$

$1.002 \text{ g m}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  と非常に多かった。

下層植生の植被率の年次変化を示す(図-4a, 4b)。草本層はすべての区に、低木層はチップ区以外の調査区にみられた。チップ区の植被率は調査期間を通じ常に 1% 以下であった。その他の区も常に 10% 以下と低率であったが、夏期に高くなる傾向がみられた。リター被覆率(図-4c)は、集積区と放置区では 20~60%、散布区では 60~80% 以上で推移し、夏期に低く冬期に高くなる季節変動を示した。また、チップ区は、散布したチップによって常に 100% 近い値を保っていた。

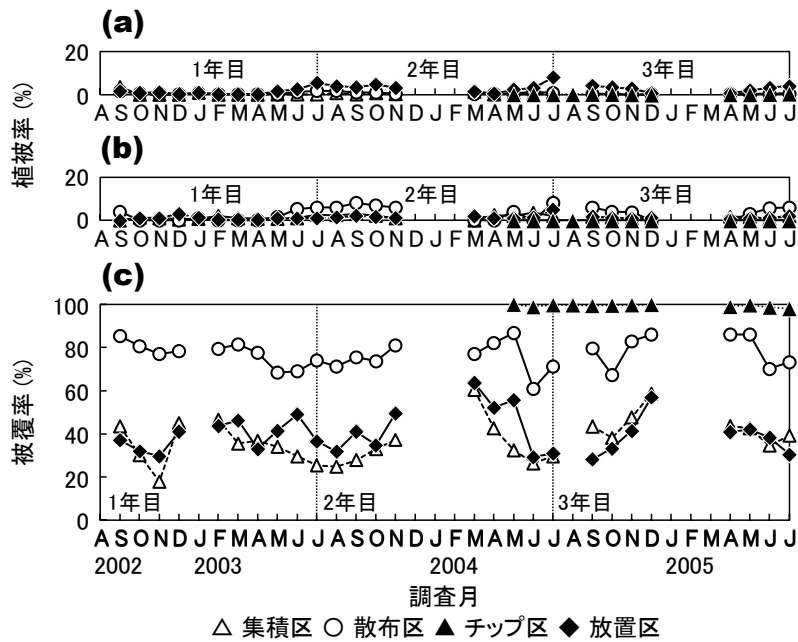


図-4. 下層植生のうち草本層 (a), 低木層 (b) の植被率, およびリター被覆率 (c) の調査月ごとの推移

#### IV 考 察

##### 1. 伐倒木処理と表土流亡量

年間細土移動量は放置区や集積区で多く、散布区やチップ区では少なかった (表-1)。また、細土移動レートの年平均値は、多い順に放置区 ( $0.077 \sim 0.307 \text{ g m}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ )、および集積区 ( $0.132 \sim 0.168 \text{ g m}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ )、散布区 ( $0.025 \sim 0.049 \text{ g m}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ )、チップ区 ( $0.009 \text{ g m}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) であった (図-3a)。下層植生が乏しく、伐倒木を放置した状態 (いわゆる伐り捨て間伐の状態) の放置区を間伐後の標準的な林床とするなら、放置区の値は、貧植生のヒノキ人工林下での測定値  $0.052 \sim 0.4 \text{ g m}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  (塚本 1989; Miura *et al.* 2002; 中森ら 2012; 渡邊ら 2016; 渡邊ら 2024) と同じオーダーにあり、細土移動レートとしては標準的であった。集積区の細土移動レートは放置区と比べて差がほとんどなかった。散布区とチップ区の細土移動レートは、ヒノキ人工林の林床のなかでも表土流亡が発生しにくい下層植生タイプである草本型 ( $0.006 \text{ g m}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) やウラジロ型 ( $0.002 \text{ g m}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ )、ササ型 ( $0.03 \text{ g m}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) の林床 (渡邊・井川原 2015; 渡邊ら 2024) と同等のオーダーに抑えられ、非常に小さかった。

平井ら (1992) は、71 年生ヒノキ人工林で本数率 50%の間伐を行った後、伐倒木の枝条の処理方法の違いによる細土移動量を評価した。その結果、林床に枝条を散布した場合 (散乱区; 本研究の散布区に相当する)、枝条を棚積み (本研究の集積に相当する) した場合の棚の直上 (棚上区)、直下 (棚下区)、枝条をすべて搬出して林床に何も無い場合 (除去区; 本研究では設置してい

ない) の細土移動量には、散乱区  $\approx$  棚下区  $<$  棚上区  $<$  除去区の関係がみられた。表土流亡の抑止効果は、枝条集積 (棚積み) の直上なのか直下なのかによって異なるが、本研究の集積区は、枝条集積の上下を区別して設置していないため、平井ら (1992) の棚下区に比べ高い傾向にあったと考えられる。

表土流亡の抑止効果は伐倒木の処理方法により異なり、本調査地の細土移動量は、チップ区  $<$  散布区  $<$  集積区  $\approx$  放置区の順に多かった。このうち集積区では、放置区との差がほとんどないため (表-1, 図-3a)、表土流亡の抑止という観点からは、伐採の付帯作業として短幹を集積する効果は低いと考えられる。一方、枝条やチップを散布した場合の細土移動量は少なかった (表-1, 図-3a)。表土流亡の抑止効果は、下層植生やリターによる地表面被覆が多いほど高いと考えられている (三浦 2000; Miura *et al.* 2015; 渡邊ら 2016; 渡邊ら 2018)。本調査地には下層植生がほとんどないため、地表面被覆の多寡は、堆積リターの被覆率に規定される。しかし、リター被覆には、リターフォールの季節変動 (井川原・中川 2002) や堆積リター自体の流亡 (図-3c) により、季節変動が発生するため (図-4c)、それが細土移動レートの変動 (図-3a) に影響したと考えられる。これに対して、散布区では、樹幹が林床に接地して配置され、さらに散布由来の枝条によりリター被覆率が高く保たれていた (図-4c)。また、チップ区では、大量のチップが下方へ移動していたものの、被覆率はチップにより常に 100% に近かった (図-3d, 図-4c)。これらのことが、両区における細土移動量や細土移動レートの少なさ (表-1, 図-3a) に貢献したと推測される。つまり、下層植生が

衰退したヒノキ林の林床において、伐倒木の枝条、あるいはチップの散布によって堆積リター被覆の不足分や季節変動を補完することは、表土流亡の抑止に有効であると考えられる。ただし、チップに植生抑制の効果を期待する報告(金澤 2004;山内ら 2006)があるように、チップ散布が下層植生の発達を阻害したり、チップ化が伐倒木の分解を促進し、林内の物質循環を変化させたりする可能性がある(高橋ら 2001)。したがって、チップ化の作業量や必要性を検討したうえで、施工箇所の慎重な選定が必要である。

## 2. 表土流亡の経年変化

集積区や放置区の細土移動量や細土移動レートは、時間経過とともに同オーダー、あるいはやや低下傾向で推移した(表-1, 図-3a)。これは伐倒木処理後の細土移動量を扱った既報(平井ら 1992)の経過と同様であった。この期間中、堆積リターや下層植生による地表面被覆率はほとんど変化していないので、細土移動量や細土移動レートの動態は、伐採作業による表層土壌のかく乱が収まりつつある結果であると推測される。これに対して、散布区の細土移動量は3年目に増えており(表-1)、3年目の細土移動レートは、集積区や放置区のそれらと同じオーダーにまで高くなっていた(図-3a)。このことから、散布区では、散布枝条から脱落し細片化(酒井ら 1987)したヒノキ葉が斜面下方へ移動し、地表面被覆を保持できなくなった可能性がある。調査期間中にリター被覆率の減少は検出できなかったが、2年目後半(2004年4月)～3年目前半(2004年12月)にかけての被覆率の変動が大きかったこと(図-4c)や、リター移動量が年々減少していること(表-1)は、時間経過にともなう散布枝条の被覆効果の低下を裏付けている。

伐倒木による表土流亡の抑止対策は、林内作業による林床のかく乱を一時的に抑える補助的な処置であり、ヒノキ一斉林の特性上、ヒノキ落葉だけに依存した林床被覆率の保持には限界がある(三浦 2000)。ヒノキ林下の表土流亡の根本的な低減方法は、下層植生の回復を図ることであるが、伐倒木による表土流亡の抑止対策が有効であった期間内に下層植生の顕著な回復はみられなかった。土壌表層に存在する埋土種子は、表土流亡によって表土と一緒に流出する(山瀬ら 2009)。種子の流亡を防ぎ、発芽した実生の定着を促すためにも、土壌表層の安定化が重要である。そのためには、林内で伐倒木を適切に処理するとともに、群状間伐や列状間伐(たとえば、渡邊ら 2020; 渡邊ら 2025)と組み合わせ、下層植生の再生や発達を効果的に促すことが必要である。

## 謝 辞

本研究の調査地は「国有林のフィールドを活用した試験研究機関等による研究技術開発」事業(当時)に基づいて、中部森林管理局名古屋分局(当時)から貸与を受けた。また、調査地の設定にあたり、中部森林管理局森林技術第二センター(当時)の関係諸氏のご協力をいただいた。岐阜県森林研究所の茂木靖和、久田善純、宇敷京介の各氏には、草稿に対して丁寧なご助言をいただいた。ここに深く感謝する。

## 引 用 文 献

- 赤井龍男(1977)ヒノキ林の地力減退問題とその考え方. 林業技術 419: 7-11
- 深田英久・渡辺直史・梶原幹弘・塚本次郎(2006)土壌保全からみたヒノキ人工林の下層植生の動態と植生管理への応用. 日林誌 88: 231-239
- 平井敬三・岩川雄幸・吉田桂子・加藤正樹・酒井正治・井上輝一郎(1992)複層林施業初期段階における表層土壌の移動. 日林関西支論 1: 91-94
- 井川原弘一・中川 一(2002)針葉樹人工林のリターフォール量と含有炭素量・窒素量. 岐阜県森林研研報 31: 7-12
- 井川原弘一・渡邊仁志・横井秀一(2004)ヒノキ人工林における間伐木の処理方法と土壌侵食量の関係. 中森研 52: 267-270
- 岩川雄幸・井上輝一郎・酒井正治(1987)山腹斜面のヒノキ林におけるリターおよび土砂の移動について(I), 移動量と斜面位置ならびに降水条件との関係. 日林関西支講 38: 49-52
- 金澤好一(2004)木材チップの敷設による雑草抑制効果. 日林関東支論 55: 141-142
- 気象庁(2024)各種データ・資料, 過去の気象データ検索(オンライン); [2024. 1. 14 参照]. <https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php>
- 三浦 寛(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. 日林誌 82: 132-140
- Miura S, Hirai K, Yamada T (2002) Transport rates of surface materials on steep forested slopes induced by raindrop splash erosion. J. For. Res. 7:201-211
- Miura S, Ugawa S, Yoshinaga S, Yamada T, Hirai K (2015) Floor cover percentage determines splash erosion in *Chamaecyparis obtusa* forests. Soil Sci Soc Am J 79: 1782-1791
- 中森由美子・瀧井忠人・三浦 寛(2012)急傾斜ヒノキ人工林における伐採方法の違いによる細土, 土砂, リター移動量の変化. 日林誌 94: 120-126

酒井正治・井上輝一郎・岩川雄幸（1987）粗大有機物の  
土壌への混入量（Ⅲ）斜面位置の違いによるヒノ  
キ葉混入量. 日林論 98：193-196

高橋輝昌・伊藤梓美・三星暢公・桑原 茜・浅野義人・  
小林達明（2001）植物性発生材の敷きならしが苗木  
の生育に及ぼす影響. 日緑工誌 27：320-323

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（1999）移動土砂量の簡易測定法.（森林立地  
調査法. 森林立地調査法編集委員会編, 博友社）.  
195-196

渡邊仁志・千村知博・堤隆博・三村晴彦（2020）列状間  
伐がヒノキ人工林の植生回復と表土流亡の抑止に  
及ぼす長期的影響. 日林誌 102：341-345

渡邊仁志・井川原弘一（2006）ヒノキ林床のチップ被覆  
による表土流亡の抑止効果. 中森研 54：181-182

渡邊仁志・井川原弘一（2015）ササに覆われたヒノキ林  
床における表土移動量. 日緑工誌 41：315-318

渡邊仁志・井川原弘一・茂木靖和・横井秀一・平井敬三  
（2016）植栽樹種の違いが同一斜面のヒノキ, スギ,  
アカマツ人工林の表土移動に及ぼす影響. 日林誌

98：193-198

渡邊仁志・井川原弘一・横井秀一（2018）表土流亡の  
抑止効果に着目したヒノキ人工林の下層植生分類  
へのササ型の追加とその序列化. 森林立地 60：  
55-61

渡邊仁志・井川原弘一・横井秀一（2024）同一斜面のヒ  
ノキ人工林における下層植生の違いが表土流亡に  
及ぼす影響. 日林誌 106：285-289

渡邊仁志・横井秀一・井川原弘一（2025）群状および強  
度間伐後のヒノキ人工林における下層植生の中期  
的な応答. 岐阜県森林研研報 54：9-16

山内仁人・古川仁・竹内玉来・片倉正行・小山泰弘（2006）  
木材チップの分解速度と植生制御効果, 林内散布等  
の木材チップが森林環境に与える影響調査. 長野県  
林総セ研報 21：11-17

山瀬敬太郎・関岡裕明・栃本大介・藤堂千景（2009）森  
林の侵食土砂中に含まれる埋土種子量. 日緑工誌  
35：130-133

横井秀一・井川原弘一・渡邊仁志（2008）間伐後 3～5  
年が経過したヒノキ人工林の下層植生. 岐阜県森林  
研研報 38：17-22