

列状間伐後の下層植生に関する研究 — ヒノキ人工林における下層植生量の定量化 —

西山 嘉寛

Study on understory vegetation after line thinning—Quantification
of understory vegetation in Hinoki artificial plantations—

Yoshihiro NISHIYAMA

要 旨

西山 嘉寛：列状間伐後の下層植生に関する研究—ヒノキ人工林の下層植生量の定量化—岡山県農林水産総合センター森林研究所研報32：1-18（2016）列状間伐後5～7年経過したヒノキ人工林32林分について、林床の下層植生量（木本類植生量，全植生量），植被率（木本類植被率，全植被率），植生高をそれぞれ目的変数，斜面勾配，伐開幅，残存幅，残存木の平均樹高，ササ類の有無を説明変数とし，数量化I類分析を行った結果，いずれも1%水準で有意な予測モデルを求めることができた。このモデルを用いて，列状間伐について，異なる伐採方法での全植被率，木本類植被率の推移をそれぞれ予測すると，ともに4残3伐が最も高い数値が得られたが，現状の伐採率を考慮すると，4残2伐（伐開幅約5.2m）が現実的であると想定された。一方で，2残1伐の場合は，全植被率及び木本類植被率は伐採幅が2伐以上の場合に比べ，明らかに低下していた。また斜面勾配が35度以上に達すると，全植被率及び木本類植被率とともに，急落傾向が認められたことから，このような斜面では，土留め工等の対策を講じる必要があると考えられる。岡山県北部一帯では，ササ類の定着が顕著なエリアとそうでないエリアに区分され，前者では，ササ類，後者では木本類の侵入・定着を基本とした下層植生の管理が第一と考えられる。下層に定着した木本類のうち，樹高が1.2m以上で，かつ高木層を形成する樹種は5種しか認められなかった。木本類の植被率を70%以上期待するためには，30本/m²，樹高1.2m以上の個体に限っては5本/m²程度それぞれ定着する必要があることが示唆された。

キーワード：ヒノキ 人工林 下層植生 列状間伐 数量化I類 定量化

I はじめに

近年，森林に対する国民のニーズは多様化しており，従来からの木材生産だけでなく，森林の多面的機能の発揮を目的とし，天然更新による広葉樹林化（田内 2011）や針葉樹人工林に広葉樹を導入し，針広混交林とする動きが顕著となってきている（「広葉樹林化」研究プロジェクトチーム 2010，「広葉樹林化」研究プロジェクトチーム 2012，兵庫県 2010，宮崎ら 2011，宮

崎ら 2013，近藤ら 2012）。

その一方で，山村地域における林業の担い手不足，木材価格の低迷等により，森林を取り巻く環境が大きく変化し，間伐などの手入れが十分にされていないスギ・ヒノキの過密林分の増加し，森林が持つ木材生産機能や水土保全機能が損なわれることが危惧されている（岡山県農林水産部林政課 2015，大原 2007）。広島県では，2014年8月，上流域の森林からの大規模な土砂災害が甚

大な被害を引き起こした事例も報告されている（城土 2015）。

岡山県では、民有林のうち、人工林面積に限れば、7～12齢級に偏っており、主伐時期を迎えつつある。樹種構成も、ヒノキ人工林が全体の70%を占め、スギに比べ、ヒノキが占めるウエートが極めて高くなっている（岡山県農林水産部林政課 2015）。このことから、間伐も含めた森林の整備が急務となっている。この点を見越し、岡山県では、京都議定書の第1約束期間である2008～2012年度の5カ年間に、地球温暖化防止等間伐推進5カ年計画として未整備森林の間伐と再度の間伐を合わせ、30,000haの間伐を計画したが、実行面積は34,471haにのぼり、この数値を達成している（岡山県農林水産部林政課ホームページ）。

こうした中、森林経営において、高性能林業機械の導入（岡山県農林部林政課・治山課・組合指導課 2013）による列状間伐施業の推進は、作業コスト削減のみならず、樹木の成長促進、水土保持機能の向上、生物多様性の拡大などの効果が期待されている（独立行政法人森林総合研究所四国支所編 2010）。

これに関連し、列状の間伐強度が林分状況や材質面に与える影響について全国的に調査研究が行われてきており（渡邊ら 2000, 金子ら 2001, 佐々木ら 2007, 独立行政法人森林総合研究所四国支所編 2010, 澤田 2012, 西山 2012, 西山 2013, 西山 2014）、その成果の一部として材質面への影響はほとんどないことが明らかになっている。

列状間伐施行地において、伐開部分に、下層植生をいかに誘導・定着させるかは、林床の表面侵食や表層崩壊を防ぐだけでなく（土砂流出防止機能）、今後の長伐期施業を踏まえ、自然力を利用した人工林の誘導（針広混交林への誘導）の観点（おかやまの森整備公社 2014）からも非常に重要であると考えられる。同施行地において、立地環境、伐採方法、林分状況等と、伐採列における下層植生の関係を定量化した研究は非常に少ないのが現状であり（宮崎ら 2011, 宮崎 2013）、林床の下層植生量については、その定量方法も含め、明らかになっていない。

このことを受け、2013～2015年の3カ年、単県課題「列状間伐後の下層植生に関する研究」の中で、ヒノキ人工林について、林分の立地環境（斜面傾斜）、残存木の形状（平均樹高）、列状間伐の状況（伐開幅、残存幅）、林床の下層植生（木本類植生量、ササ類植生量、草本類植生量、種組成等）について調査及び検討を行ったので報告する。

なお、その研究成果の一部については、2015年10月11日、岡山大学において開催された応用森林学会大会（西山 2015a）、及び同年11月27日、近畿中国森林管理局

（大阪市）で開催された平成27年度森林・林業交流研究発表会において特別発表した（西山 2015b）。また、当該成果の一部については、2016年3月、普及資料として、「ヒノキ人工林の管理指針—列状間伐後の下層植生を考慮した森林管理—」（岡山県農林水産総合センター森林研究所 2016）を作成し、県HPを通じて公表しているところである。

II 調査方法

1 調査地の設定

列状間伐作業が林床の下層植生に及ぼす影響を把握するため、同間伐実施後5～7年が経過したヒノキ人工林32カ所を選び、2013～2015年の3カ年間に、岡山県真庭市内（蒜山下見、蒜山下徳山）、苫田郡鏡野町内（奥津、富西谷）、津山市内（西田辺、上横野、奥津川、加茂町榎井、加茂町原口、吉見、阿波、宮部上）、勝田郡奈義町内（馬桑）、美作市内（古町、大原、奥）、久米郡美咲町内（吉ヶ原、大戸上）にそれぞれ調査地を設定した。

2 毎木調査及び下層植生調査

(1) 毎木調査

上記ヒノキ林分（図-1）内に、2013～2015年の3カ年間、等高線に沿って、横方向に伐開幅及び残存幅を含む一辺、縦方向に水平距離を20m以上とする、300m²以上の方形調査プロットを設定した。この調査プロット内において、林分の立地環境（斜面傾斜）に関し、上端、中心部、及び下端の斜面傾斜について、クリノメーター（マイゾックス製）により1度単位で測定した。次に調査プロット内の残存木については、全個体について、胸高直径、樹高をそれぞれ測定するとともに、残存木の個体数をカウントした。伐開幅、残存幅は、斜面下部と斜

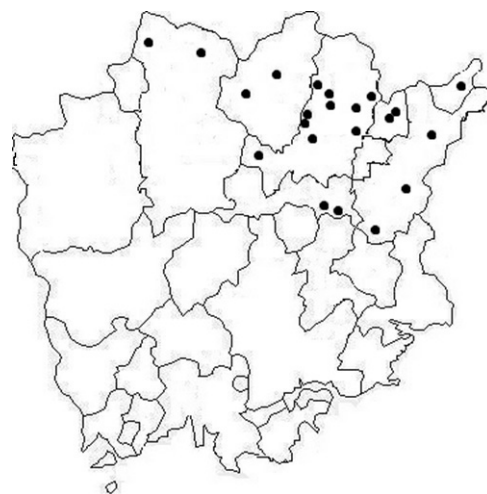


図-1 ヒノキ人工林の調査位置

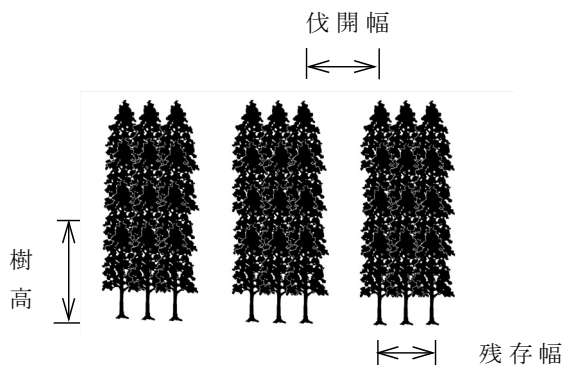


図-2 調査地の測定方法

注. 列状間伐の伐採方法：3残2伐

面上部について、測量メジャー（50m巻き）を使用してそれぞれ0.1m単位で測定し（図-2）、それぞれ平均値を算出した。

(2) 下層植生調査

伐開部分に縦5m、横1mの方形プロットを設け、さらに一辺1mの正方形プロット5個に区切り、植生高については、一辺1mの正方形プロットの4隅に2mのポールを立て、その植生の高さを目視により0.1m単位で読み取った。次に、縦横1mの正方形プロットごとに、植被率（木本類、ササ類、草類）を目視にて5%単位で判定し、その平均値を算出した。なお、木本類、ササ類及び草本類を含む全体の植被率（以下 全植被率）は、3種の植被率をそれぞれ集計した数値ではなく、3種類のいずれかが地表面を覆っている割合とし、あくまでも重複部分は、一回のみのカウントとした。

一辺1mの正方形プロットごとに求めた木本類植被率、ササ類植被率、草本類植被率、全植被率について、最終的に、縦5m、横1mの方形プロットごとに集計した。

最後に、一辺1mの正方形プロットごとに、地上部の全植物体をすべて刈り取り、実験室で木本類、ササ類については、同化部、非同化部に区分し、紙袋（縦35cm、横18cm、底幅10cm）に入れ、105℃で24時間、絶乾状態にした後、重量を測定した（図-3）。一辺1mの正方形プロットごとに重量を測定した木本類、ササ類、草本類、さらに木本類、ササ類及び草本類を含む全植物体（以下 全植生量）について、最終的に、縦5m、横1mの方形プロットごとに集計した。

(3) 種組成及び個体数の調査

北村ら（1972, 1974）の分類方法に従い、上記方形プロット内（縦5m、横1m）の植物について、まず種を特定し、その後、木本類、ササ類については個体数をそれぞれカウントした。さらに、樹高・草高が1.2m以上とそうでない個体数についても調査した。その上で、種

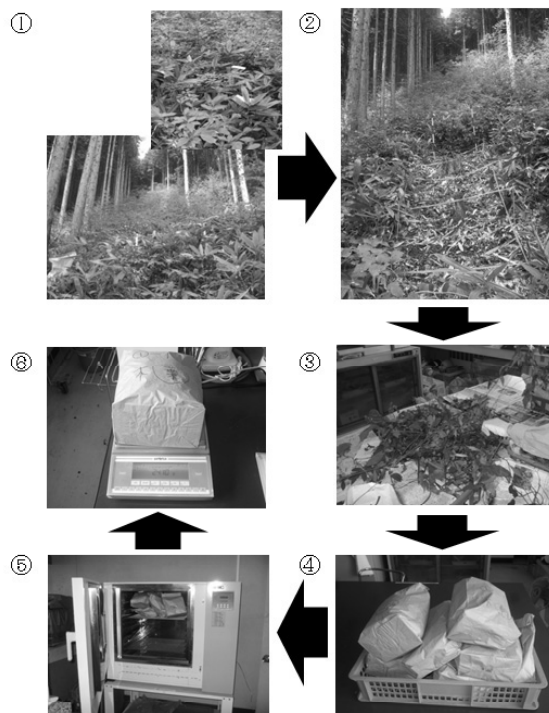


図-3 植物体の処理方法

注. ①：調査プロットの設置 ②：地上部の刈り取り ③：仕分け
④：紙袋に充填 ⑤：乾燥（絶乾） ⑥：重量測定

ごとに、高木種、亜高木種に区分した（付表-1）。

(4) 解析

上記の調査により得られた測定データ（表-1、表-2）を基にして、全植被率及び木本類のみの植被率（以下 木本類植被率）をそれぞれ目的変数、斜面勾配、伐開幅、残存幅、残存木の平均樹高（以下 平均樹高）、ササ類の有無をそれぞれ説明変数とし（表-3）、最適な予測モデルを導いた。その際、赤池の情報量基準（以下 AIC）が最低となるモデルを最適モデルに採用した。

その上で、本数間伐率を50%未満とする施行条件（2残1伐、3残2伐、4残3伐、5残4伐）によるシミュレーションをそれぞれ行った。

方位による植生の影響については、上記の5説明変数（目的変数、斜面勾配、伐開幅、残存幅、平均樹高）に方位を加え、上記と同様の解析を行った。

III 結果と考察

1 下層植生の推定

(1) 全植被率

最大5説明変数によりAIC値が最低となる予測モデルを最適モデルとした場合、最終的に説明変数は、斜面勾配、伐開幅、残存幅、平均樹高の4種類となった（表-4、表-5）。その際、全植被率を推定する最適モデル

表-1 列状間伐実施後5-7年のヒノキ人工林調査地の概要

調査地 No	所在地		標高 (m)	斜面方位	斜面勾配 (°)	樹種	間伐前林齢 (年)	間伐 実施年	間伐実施後 経過年数	伐採方法 残存列・伐採列	立木密度 (本/ha)		本数間伐率 (%)
	市町村	大字									間伐前	間伐後	
1	真庭市	蒜山下見	490	SE	30	ヒノキ	35	2006	7	4残3伐	1,290	727	43.6
2	津山市	西田辺	580	SW	30	ヒノキ	34	2008	5	2残1伐	1,004	646	35.7
3	奈義町	馬桑	580	E	30	ヒノキ	33	2008	5	4残3伐	864	483	46.4
4	奈義町	馬桑	520	S	30	ヒノキ	33	2009	4	2残1伐	875	583	33.4
5	真庭市	蒜山上徳山	810	S	25	ヒノキ	43	2008	5	2残1伐	822	529	35.6
6	鏡野町	奥津	590	SE	28	ヒノキ	35	2007	7	3残2伐	1,509	823	45.5
7	鏡野町	富西谷	730	W	35	ヒノキ	36	2007	7	3残3伐	863	441	48.9
8	津山市	上横野1	580	NW	20	ヒノキ	38	2008	6	4残2伐	1,146	705	38.4
9	津山市	上横野1	800	NW	35	ヒノキ	38	2008	6	3残2伐	1,478	798	46.0
10	津山市	上横野2	590	N	45	ヒノキ	35	2009	5	4残2伐	1,428	853	40.3
11	西粟倉村	大茅	710	SE	37	ヒノキ	59	2008	6	3残2伐	1,590	818	48.6
12	津山市	奥津川	380	NW	25	ヒノキ	35	2009	5	2残2伐	1,801	817	49.0
13	津山市	奥津川	430	W	25	ヒノキ	35	2009	5	1残1伐	1,580	780	50.0
14	奈義町	馬桑	560	SE	28	ヒノキ	35	2008	6	2残3伐	1,031	425	58.8
15	奈義町	馬桑	580	E	28	ヒノキ	35	2008	6	4残3伐	939	601	39.3
16	美咲町	吉ヶ原	170	NE	30	ヒノキ	43	2008	6	3残3伐	745	372	50.0
17	津山市	上横野3	540	S	38	ヒノキ	43	2008	6	6残5伐	1,158	690	40.4
18	津山市	上横野3	550	E	30	ヒノキ	52	2008	6	5残5伐	1,430	867	39.4
19	津山市	加茂町橋井	830	S	28	ヒノキ	52	2008	6	3残3伐	1,339	772	42.3
20	津山市	加茂町原口	850	S	30	ヒノキ	38	2008	6	3残3伐	1,921	1,133	41.0
21	津山市	吉見	470	S	15	ヒノキ	35	2008	7	4残2伐	1,643	1,041	36.6
22	津山市	吉見	500	S	14	ヒノキ	35	2008	7	4残2伐	2,119	1,412	33.4
23	津山市	阿波	880	NE	18	ヒノキ	43	2008	7	2残1伐	1,050	875	35.7
24	津山市	阿波	700	NE	25	ヒノキ	43	2008	7	4残2伐	2,003	1,302	35.0
25	美作市	古町	330	SW	42	ヒノキ	42	2008	7	3残2伐	892	574	35.7
26	美作市	古町	340	E	39	ヒノキ	42	2008	7	2残2伐	849	549	35.3
27	美作市	大原	290	E	45	ヒノキ	35	2008	7	4残3伐	1,833	1,073	41.5
28	美作市	大原	280	SW	38	ヒノキ	35	2008	7	3残4伐	923	587	38.4
29	美作市	奥	140	N	21	ヒノキ	33	2009	6	2残3伐	1,484	990	33.3
30	美咲町	大戸上	190	E	30	ヒノキ	35	2008	7	2残3伐	2,159	960	55.5
31	美咲町	大戸上	230	E	25	ヒノキ	35	2008	7	2残3伐	1,085	529	51.2
32	津山市	宮部上	280	SE	30	ヒノキ	35	2009	6	2残3伐	1443	641	55.6

表-2 列状間伐実施後5-7年のヒノキ人工林調査結果

調査地 No	所在地		伐間幅 (m)	残存幅 (m)	植生率 (%)				植生量 (g/m ²)				植生高 (m)
	市町村	大字			木本類	ササ類	草本類	全体	木本類	ササ類	草本類	計	
1	真庭市	蒜山下見	8.1	13.3	13.0	56.0	4.6	85.0	42.7	346.8	4.6	394.1	0.78
2	津山市	西田辺	5.4	5.3	84.0	0.0	21.0	79.0	1,327.9	0.0	40.6	1,368.5	1.18
3	奈義町	馬桑	6.1	10.1	13.2	38.0	42.8	82.0	118.4	221.7	124.6	462.7	1.14
4	奈義町	馬桑	4.1	5.0	0.8	26.0	30.0	49.0	0.2	133.6	43.2	177.0	0.19
5	真庭市	蒜山上徳山	3.5	7.3	31.0	0.0	24.0	51.0	248.5	0.0	7.3	255.8	0.41
6	鏡野町	奥津	7.5	7.5	22.0	71.0	0.0	83.0	85.5	444.5	0.2	530.2	0.72
7	鏡野町	富西谷	7.3	6.9	38.0	34.0	9.0	74.0	446.8	437.7	21.7	906.2	0.34
8	津山市	上横野1	5.0	7.0	77.0	0.0	12.0	80.0	441.9	0.0	16.0	457.9	0.91
9	津山市	上横野1	5.7	5.6	59.0	0.0	24.0	78.0	576.1	0.0	35.6	611.7	0.86
10	津山市	上横野2	4.6	7.0	27.0	0.0	5.4	31.4	46.8	0.0	4.8	51.6	0.12
11	西粟倉村	大茅	4.5	6.3	36.0	0.0	3.0	38.0	175.0	0.0	2.3	177.3	0.12
12	津山市	奥津川	5.2	2.5	37.0	34.0	9.0	71.0	198.3	98.3	20.1	316.7	0.54
13	津山市	奥津川	2.7	1.8	22.2	54.0	4.8	76.0	117.9	223.6	19.7	361.2	0.55
14	奈義町	馬桑	8.0	4.5	49.0	9.0	23.0	73.0	912.2	59.9	104.7	1,076.8	0.87
15	奈義町	馬桑	6.4	7.8	55.0	0.0	27.0	77.0	638.0	0.0	47.8	685.8	0.91
16	美咲町	吉ヶ原	6.1	5.2	55.0	0.0	29.0	77.0	341.5	0.0	55.2	396.7	0.94
17	津山市	上横野3	9.1	11.4	33.0	19.0	12.0	57.0	526.9	50.1	12.5	589.5	0.95
18	津山市	上横野3	8.7	8.7	69.0	0.0	3.0	72.0	385.3	0.0	21.8	407.1	1.16
19	津山市	加茂町橋井	5.6	4.4	47.0	0.0	21.0	60.0	385.4	0.0	29.3	414.7	1.23
20	津山市	加茂町原口	3.9	3.4	26.0	47.0	14.0	77.0	113.8	177.8	40.6	332.2	0.56
21	津山市	吉見	4.5	5.0	59.0	0.0	24.0	78.0	211.5	0.0	72.8	284.3	0.45
22	津山市	吉見	4.3	5.7	47.0	0.0	23.0	64.0	79.2	0.0	49.6	128.8	0.42
23	津山市	阿波	4.3	4.0	30.0	9.0	3.0	40.0	40.4	29.5	2.5	72.4	0.32
24	津山市	阿波	3.7	2.5	8.0	1.0	5.0	14.0	13.2	0.0	4.2	17.4	0.06
25	美作市	古町	8.6	7.5	5.0	0.6	8.4	12.4	10.0	0.9	5.8	16.7	0.12
26	美作市	古町	6.2	5.3	2.0	3.8	4.0	9.0	3.4	10.2	4.8	18.4	0.05
27	美作市	大原	7.2	5.5	28.0	0.0	31.0	49.0	211.3	0.0	171.3	382.6	0.80
28	美作市	大原	7.5	5.2	16.0	0.0	9.0	24.0	337.2	0.0	10.8	348.0	0.78
29	美作市	奥	3.9	2.5	24.0	2.2	3.6	27.6	195.5	21.8	2.0	219.3	0.61
30	美咲町	大戸上	5.1	3.7	84.0	0.0	5.0	89.0	767.5	0.0	6.6	774.1	1.18
31	美咲町	大戸上	5.7	3.2	70.0	0.0	14.0	76.0	578.2	0.0	10.5	588.7	1.47
32	津山市	宮部上	5.0	3.0	54.0	0.0	10.0	63.0	844.7	1.5	26.2	872.4	1.16

表-3 説明変数ごとのカテゴリ-区分

説明変数の種類	カテゴリ-1	カテゴリ-2	カテゴリ-3	カテゴリ-4
説明変数1 斜面勾配 (°)	-25	28-35	36-	
説明変数2 伐間幅 (m)	2.6-4.5	4.6-6.5	6.6-8.5	8.6-
説明変数3 残存幅 (m)	2.6-4.5	4.6-6.5	6.6-8.5	8.6-
説明変数4 平均樹高 (m)	11-15	16-20	21-25	
説明変数5 ササ類の有無	有 (植生率20%以上)	無 (植生率20%未満)		

の決定係数 (R²) は0.772 (1%水準で有意), AIC値は254.0で最も低く, 単に斜面勾配のみを用いる場合に比べ, 4説明変数を用いた当該モデルの方が, その決定係数の数値及びAIC値の上から判断して, 全植被率を予測する上で優れていると考えられる。

$$V = X1 + X2 + X3 + X4 + 58.6$$

- ただし, V: 全植被率 (%)
 X1: 斜面勾配に係るカテゴリ-数量
 X2: 伐開幅に係るカテゴリ-数量
 X3: 残存幅に係るカテゴリ-数量
 X4: 平均樹高に係るカテゴリ-数量

表-5 最適モデル式のカテゴリ-数量

説明変数	カテゴリ-区分	カテゴリ-数量			
		全植被率 (%)	木本類植被率 (%)	全植生量 (g/m ²)	木本類植生量 (g/m ²)
斜面勾配 (X1)	1	10.2	12.0	-85.0	-78.7
	2	10.3	7.1	252.1	238.9
	3	-36.6	-32.3	-418.6	-398.1
伐開幅 (X2)	1	-20.6	-20.7	-351.6	-337.7
	2	5.6	6.3	18.3	43.4
	3	12.7	12.0	37.1	277.1
	4	8.9	7.4	218.4	246.2
残存幅 (X3)	1	-7.2	-4.4	50.4	84.6
	2	6.7	4.9	84.3	90.4
	3	0.1	2.6	-100.8	-107.7
	4	-5.5	-13.3	-219.8	-268.2
平均樹高 (X4)	1	20.4	20.4	294.8	305.1
	2	-5.5	-4.6	-74.2	-74.2
	3	18.5	11.0	224.8	211.3
ササ類有無 (X5)	1		-27.6	-293.1	-455.0
	2		9.2	97.7	151.7
定数	(C)	58.6	36.9	490.5	388.1

また, 最適モデルによる各説明変数の偏相関係数は, 斜面勾配, 伐開幅, 平均樹高の順となっており, 同最適モデルにおいては, 斜面勾配が最も大きな影響を及ぼすことが明らかになった。また斜面勾配と全植被率の単相関は0.645で1%水準で有意だったが(表-6), 最適モデルの決定係数に比べ, 明らかに低い数値であった。伐開幅との単相関は0.262とさらに低く, ヒノキ主林木の立木間距離と植被率の間には相関が認められなかったとする報告(西山 2011a)を裏付ける結果となっていた。

草本も含めた全植被率が以前より高くなれば, 土壤保全機能は高くなると考えられることから(「広葉樹林化」研究プロジェクトチーム 2012), この数値の精度向上は非常に重要なポイントといえる。

(2) 木本類植被率

同植被率を推定する最適モデルの決定係数 (R²) は

表-4 予測モデル式

項目	予測モデル式	決定係数 (R ²)	AIC	備考
全植被率 (C)	C = X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + 58.6	0.773 **	255.7	最適
	C = X1 + X2 + X3 + X4 + 58.6	0.772 **	254.0	
	C = X1 + X2 + X4 + 58.6	0.728 **	257.5	
木本類植被率 (Ct)	Ct = X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + 36.9	0.747 **	256.4	最適
	Ct = X1 + X2 + X4 + X5 + 36.9	0.698 **	260.0	
	Ct = X1 + X2 + X5 + 36.9	0.628 **	264.7	
全植生量 (V)	V = X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + 490.5	0.773 **	431.8	最適
	V = X1 + X2 + X4 + X5 + 490.5	0.772 **	436.2	
	V = X1 + X2 + X5 + 490.5	0.648 **	441.8	
木本類植生量 (Vt)	Vt = X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + 388.1	0.772 **	433.9	最適
	Vt = X1 + X2 + X4 + X5 + 388.1	0.711 **	439.5	
	Vt = X1 + X2 + X5 + 388.1	0.645 **	444.1	

注1. X1: 斜面勾配 X2: 伐開幅 X3: 残存幅 X4: 平均樹高 X5: ササ類有無
 2. **は1%水準で有意であることを示す

表-6 各説明変数と全植被率との単相関及び偏相関

説明変数	レンジ	単相関	偏相関
斜面勾配	46.9	0.645	0.359
伐開幅	33.3	0.262	0.745
残存幅	13.9	-0.043	0.459
平均樹高	25.9	0.142	0.660

表-7 各説明変数と木本類植被率との単相関及び偏相関

説明変数	レンジ	単相関	偏相関
斜面勾配	44.4	0.390	0.814
伐開幅	32.8	0.205	0.719
残存幅	18.1	0.162	0.434
平均樹高	25.0	-0.130	0.556
ササ類有無	36.8	0.418	0.789

0.747 (1%水準で有意), AIC値は256.4であった(前掲表-4)。説明変数は5種類で, 各説明変数の偏相関係数は, 斜面勾配, ササ類有無, 伐開幅, 平均樹高, 残存幅の順となっており, 木本類の侵入・定着には, 特に斜面勾配とササ類の影響が最も大きいことが示唆された。また, 単相関が最も高いササ有無との相関は0.418で5%水準で相関関係は認められず(表-7), 最適モデルの有効性が再確認された。

以上の結果より, 下層植生の全植被率, もしくは木本類

の植被率については、列状間伐施行予定地、または既施行地において、①斜面勾配、②伐開幅、③残存幅、④平均樹高 ⑤ササ類の有無についてのデータ（カテゴリー数量）を収集し、今回得られた最適モデル（前掲 表-4）に入力することにより、列状間伐施行後5～7年の全植被率、もしくは木本類の植被率を事前に予測することが可能になった。

$$Vt = X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + 36.9$$

ただし、Vt：伐開幅間における木本類植被率（%）

- X1：斜面勾配に係るカテゴリー数量
- X2：伐開幅に係るカテゴリー数量
- X3：残存幅に係るカテゴリー数量
- X4：平均樹高に係るカテゴリー数量
- X5：ササ類の有無に係るカテゴリー数量

(3) 全植生量

ヒノキ人工林における下層植生について、その全植生量を推定する最適モデルの決定係数（R²）は0.773（1%水準で有意）、AIC値は431.8であった（前掲 表-4）。説明変数は5種類で、各説明変数の偏相関係数は、斜面勾配、伐開幅、ササ類有無、平均樹高、残存幅の順となっていた。下層植生の侵入・定着において、特に全植生量を左右するのは、偏相関係数が特に高い斜面勾配（0.808）、伐開幅（0.782）の影響が大きいことが示唆された。また、全植生量との単相関が最も高い斜面勾配の場合、その単相関係数は0.558で5%水準で有意となったが（表-8）、最適モデルに比べ、その相関は明らかに低く、本モデルの有効性が再確認された。

表-8 各説明変数と全植生量との単相関及び偏相関

説明変数	レンジ	単相関	偏相関
斜面勾配	870.7	0.558 *	0.808
伐開幅	708.6	0.517 *	0.782
残存幅	304.1	0.029	0.464
平均樹高	369.0	-0.217	0.555
ササ類有無	390.9	0.092	0.645

注：*は5%水準で有意

(4) 木本類植生量

ヒノキ人工林における下層植生について、草本類、ササ類を除いた、木本類植生量を推定する最適モデルの決定係数（R²）は0.772（1%水準で有意）、AIC値は433.9であった（前掲 表-4）。説明変数は5アイテムで、各説明変数の偏相関係数は、斜面勾配、ササ類有無、伐開幅、平均樹高、残存幅の順となっていた。下層植生の侵入・定着において、木本類植被率を左右するのは、特に斜面勾配、ササ類有無、伐開幅の偏相関係数が0.700以上で、その影響が大きいことが示唆された。また、木本類植生量との単相関は、最も高いササ類有無の場合でも、0.399に止まっており、5%水準で相関は認められず（表-9）、本モデルの有効性が再確認された。

表-9 各説明変数と木本類植生量との単相関及び偏相関

説明変数	レンジ	単相関	偏相関
斜面勾配	635.1	0.391	0.782
伐開幅	614.9	0.390	0.738
残存幅	358.6	0.168	0.500
平均樹高	379.3	-0.251	0.546
ササ類有無	606.7	0.399	0.785

(5) 方位を加えたモデルの検証

皆伐後の植生量について、斜面方位によって異なることが一部で指摘されている（齋藤ら 2006）。そこで、上記の要因に斜面方位を加えた、最大6要因を用いて、全植被率、木本類植被率、全植生量、木本植生量、植生高について、それぞれ数量化I類分析を試み（表-10）、予測モデルを求めた（表-11、表-12）。

全植被率及び木本類植被率のカテゴリー数量は、W（N～W）、SE（E～S）の方位が他の方位に比べ、大きかったのに対し、全植生量及び木本類植生量は、SW～Wが他の方位に比べ相対的に大きかった（図-4）。この点に関連し、齋藤ら（2006）は針葉樹人工林及び皆伐後再造林未済地について調査し、人工林では、斜面方位は陽性高木種の密度予測モデルにおいて有効な説明変数として残らなかったのに対し、皆伐地では、斜面方位の影響が大きく、人工林下では少ない草本類との競争の影響が一因にあり、陽性広葉樹高木種の定着が北向き斜面に多いのは日当たりの悪さで蔭・ササを含む草本類の繁茂が抑えられたことが一因と考えられると推察している。この

表-10 説明変数ごとのカテゴリー区分

説明変数の種類	カテゴリー-1	カテゴリー-2	カテゴリー-3	カテゴリー-4	カテゴリー-5	カテゴリー-6	カテゴリー-7	カテゴリー-8
説明変数1 斜面方位	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
説明変数2 斜面勾配（°）	-25	26-35	36-					
説明変数3 伐開幅（m）	2.6-4.5	4.6-6.5	6.6-8.5	8.6-				
説明変数4 残存幅（m）	2.6-4.5	4.6-6.5	6.6-8.5	8.6-				
説明変数5 平均樹高（m）	11-15	16-20	21-25					
説明変数6 ササ類の有無	有（植被率20%以上） 無（植被率20%未満）							

表-11 斜面方位を加えた予測モデル

目的変数	予測モデル	決定係数 (R ²)	AIC値	備考
全植被率 (C) (%)	$C = X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + X6 + 58.6$	0.825 **	249.5	
	$C = X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + 58.6$	0.820 **	248.4	最適
	$C = X1 + X2 + X3 + X4 + 58.6$	0.754 **	256.3	
木本類植被率 (Ct) (%)	$Ct = X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + X6 + 36.9$	0.807 **	249.9	最適
	$Ct = X1 + X2 + X3 + X4 + X6 + 36.9$	0.770 **	253.4	
全植生量 (V) (g/m ²)	$V = X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + X6 + 490.5$	0.909 **	404.6	最適
	$V = X1 + X2 + X3 + X5 + X6 + 490.5$	0.883 **	410.6	
木本類植生量 (Vt) (g/m ²)	$Vt = X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + X6 + 388.1$	0.900 **	409.6	最適
	$Vt = X1 + X2 + X3 + X5 + X6 + 388.1$	0.866 **	417.0	
植生高 (H) (m)	$H = X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + X6 + 0.68$	0.818 **	-7.8	最適
	$H = X1 + X2 + X3 + X4 + X6 + 0.68$	0.787 **	-4.6	

注1. X1:斜面方位 X2:斜面勾配 X3:伐開幅 X4:残存幅 X5:平均樹高 X6:ササ類の有無
 2. **は1%水準で有意であることを示す

指摘について、今回の列状間伐施行地では、北向き斜面に、木本類の植生量や同植被率が上がる傾向は認められておらず、今後、さらに検討を加えていくとともに、調査地の動向についても注視していく必要があると考えられる。

2 ササ類の分布把握

今回の調査地におけるササ類の分布状況について、同植被率20%以上をササ類の分布域と想定し、境界ラインを明らかにした(図-5)。

ササ類が分布するエリアについては、木本類の植被率が低値であったことから、ササ類が一般に分布するエリアでも、急斜面については、土留工等の対策を講じる必要がある。

表-12 最適モデルにおける説明変数別カテゴリー数量

説明変数	カテゴリー	カテゴリー数量				
		全植被率 (%)	木本類植被率 (%)	全植生量 (g/m ²)	木本類植生量 (g/m ²)	植生高 (m)
斜面方位 (X1)	1	3.7	1.7	-12.8	-55.1	0.04
	2	-7.1	-11.3	-82.9	-88.2	-0.26
	3	4.5	0.4	-149.4	-168.7	0.09
	4	10.1	6.0	-81.3	-147.5	-0.04
	5	-6.7	-1.9	85.7	129.7	0.08
	6	-12.3	-10.8	281.0	348.0	0.09
	7	12.6	17.2	388.1	282.8	0.03
	8	-3.8	3.1	-127.7	-68.0	-0.22
斜面勾配 (X2)	1	16.3	14.3	-96.5	-138.4	0.21
	2	8.5	6.4	250.6	248.6	0.14
	3	-41.4	-34.0	-399.2	-335.0	0.60
伐開幅 (X3)	1	-22.5	-20.3	-367.0	-319.6	-0.48
	2	6.1	6.2	79.8	93.0	0.13
	3	9.4	9.3	343.0	279.5	0.31
	4	25.8	15.5	-108.0	-191.3	0.22
残存幅 (X4)	1	-12.3	-6.9	74.4	135.0	0.02
	2	13.0	7.7	16.4	-23.3	0.04
	3	-2.5	0.2	-105.9	-97.6	-0.18
	4	-8.5	-10.7	-6.3	-31.6	0.26
平均樹高 (X5)	1	15.6	15.6	290.4	318.0	0.31
	2	-4.7	-3.3	-89.9	-70.0	-0.05
	3	18.1	6.6	195.5	155.5	-0.03
ササ類の有無 (X6)	1	-	-31.6	-404.5	-566.7	-0.41
	2	-	10.5	134.8	183.8	0.14
定数項 (C)		58.6	36.9	490.5	388.1	0.68

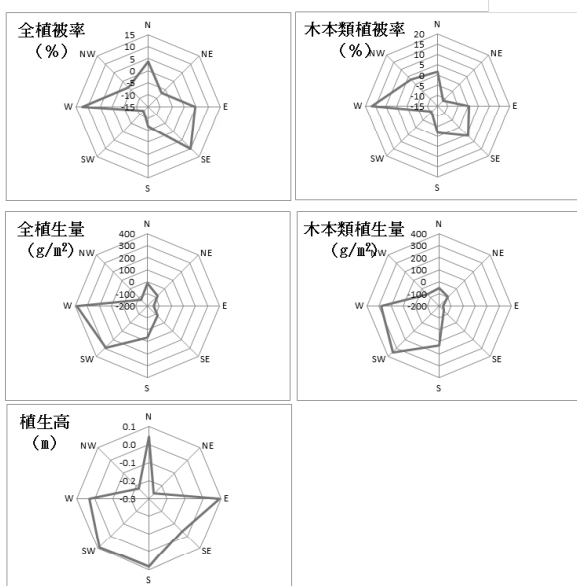


図-4 斜面方位別カテゴリー数量

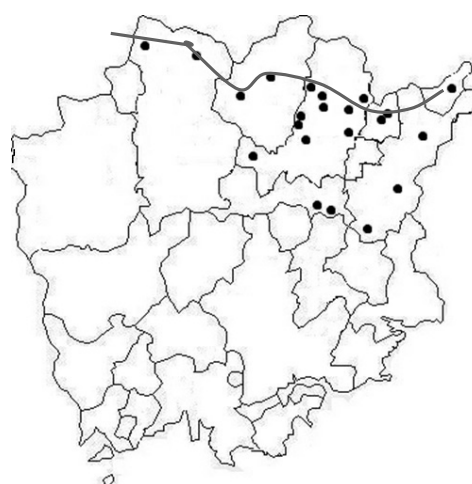


図-5 岡山県北部におけるササ類の分布エリア

注. 細線上部分: ササ類分布 (植被率20%以上)
 細線下部分: ササ類分布 (植被率20%未満)

表-13 予測のための基礎データ

項目	内容
樹種	ヒノキ
林齢	50 年
上層樹高	17.6 m
立木密度	915 本/ha
平均胸高	22.4 cm
材積	319.2 m ³
収量比数	0.70
ササ類の有無	無

3 シミュレーションによる予測

列状間伐前のヒノキ人工林の状況について、岡山県ヒノキ人工林分収穫予想表（地位級3 密度階級3）（西山 2011b）を参考に、予測のための基礎データを用いて（表-13）、全植被率を予測すると、斜面勾配が35度までであれば、2残1伐では約35%、3残2伐では約61%、5残4伐では約67%、4残2伐では約74%であったのに対し、4残3伐では約82%と最も高かった（図-6）。

ここで現状の間伐率上限値35%を考慮すると、伐採方法として、2残1伐のほか、4残2伐が有力であると考えられる。ただし、2残1伐では他の伐採方法に比べ極端に全植被率が低いのに対し、4残2伐では3残2伐の場合とほぼ同レベルの数値で推移していた（前掲 図-6）。

ところで、伐採方法として列状間伐を採用する場合、伐開部分の下層植生を増加させる上でも、伐開幅をできるだけ確保することがまず第一と考えられる。一方、斜面勾配が35度を超えると、全植被率は急激に低下していることが明らかになった。このため、同勾配においては、土留工等により、土砂流出の抑止を行い、その上で、植生の定着を図る必要があると考えられる。

同様に、木本類植被率を予測すると、斜面勾配が35度

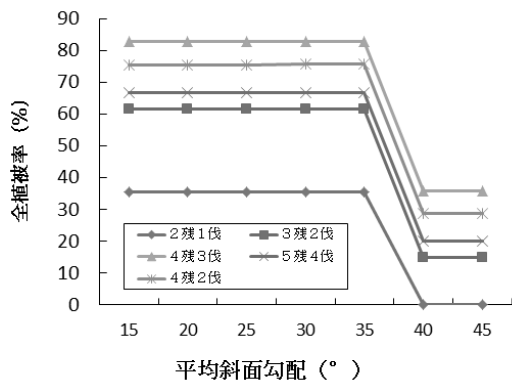


図-6 平均斜面勾配・伐採方法別全植被率の推移

までであれば、2残1伐では約25-28%、3残2伐では約52-55%、4残2伐・5残4伐では約63-65%、4残3伐では約68-72%であり、3残2伐以上では、木本類植被率の数値はほぼ同レベルであると推察された（図-7）。全植被率、木本類植被率ともに、伐開幅が4伐（約8.7m）に比べ、3伐（約7.0m）の方が数値が高かったことについて、「広葉樹林化」研究プロジェクトチーム 2010）は伐採幅を20mとするような帯状伐採の場合、光環境は改善されるが、伐採幅が広いと低木や高茎草本が繁茂し、稚樹の生育（更新）が阻害されるとした上で、伐採幅や方法に配慮する必要があることを指摘している。この点については、今後、さらに調査・検証を進めていく必要がある。

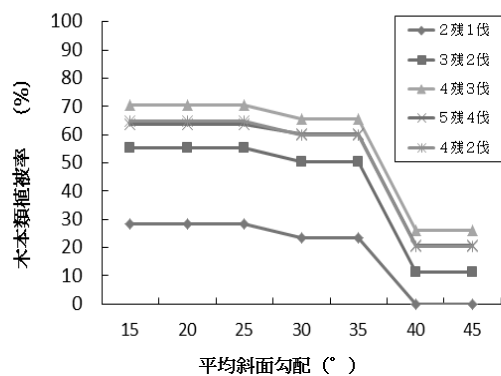


図-7 平均斜面勾配・伐採方法別木本類植被率の推移

今回の分析から、列状間伐実施後5-7年以内に、斜面勾配が35度未満のヒノキ人工林において、林床の木本類植被率を60%以上期待するためには、ha当たり3,300本植栽の場合であれば、最低、伐開幅2列分に相当する約5.2mの幅を確保する必要があると推測された（前掲 図-7）。

このことについて、岡山県内の林齢70~109年生ヒノキ高齢林の立木密度と樹冠直径の関係について調査した結果により、ヒノキの樹冠直径は立木密度の低下とともに、最大6m程度まで拡大するとともに、スギ高齢林の最大4mに比べても、樹冠直径は相対的に大きいことを既に明らかにしている（西山ら 2002, 西山 2002b, 西山 2003b）。伐開幅が5.2mであれば、将来、高齢級林分になった場合、樹冠が開鎖してしまい、光が林内に差し込みにくくなることも予想されるため、理想としては、4残3伐（伐開幅3列分）により、6m以上の伐開幅を確保することが望ましいと考えられる。

ただし、間伐（択伐）の実施に当たっては、現状の間伐率（上限値 35%）を一つの目安と考えれば、最も現実的な列状間伐の伐採方法は、2残1伐、もしくは4残2伐が適切であると想定される。このことについて、2

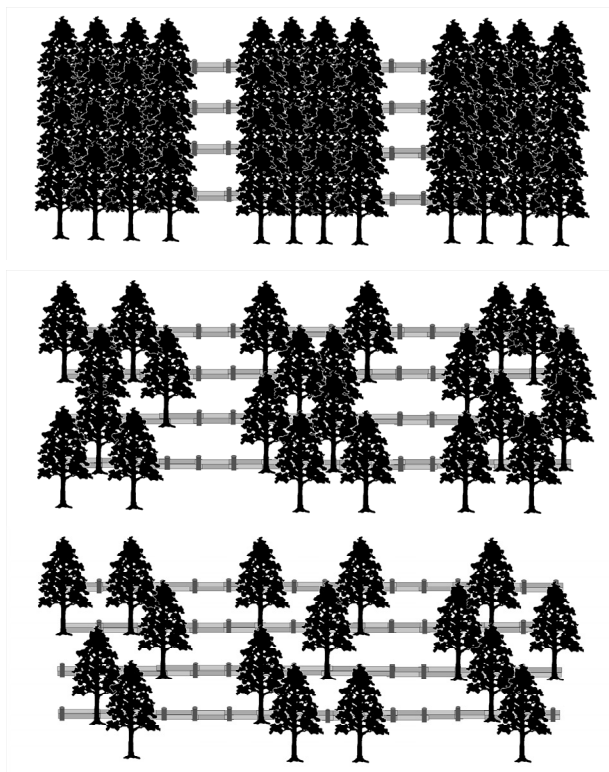


図-8 間伐によるヒノキ人工林の密度管理の一例

注. 上段：列状間伐（4残2伐 本数間伐率 33%）
 中段：列状間伐後の定性間伐（本数間伐率 33%）
 下段：列状間伐後の定性間伐（本数間伐率 33%）

残1伐を採用すれば、それぞれに空間の空いている1列があるため、その側の枝葉は光をあびて太ることができるとし、この伐採方法を普及している例もある（社団法人全国林業改良普及協会 2001）。ただし、2残1伐の場合、列状間伐施行後5～7年の時点において、①木本類の植被率は4残2伐に比べ約10%低いこと、②伐採時に掛かり木が増え、労働災害が発生しやすいこと、③残存木を傷めやすいこと等を考慮すれば、4残2伐を採用するのが適切と思われる（図-8）。

このことについて、宮崎ら（2013）は斜面方向に2～4列の異なる伐採列数の列状間伐（2残2伐、3残3伐、4残4伐）を実施し、間伐区内の伐採列内を伐採区、残存列内を残存区とそれぞれした場合、2残2伐の残存区及び伐採区は、これ以外の伐採方法に比べて林床被覆率が高く、移動土砂量も少なかったと報告している。この指摘を念頭に、現状の伐採率上限（35%）を踏まえれば、今回の分析結果から4残2伐が有効な伐採方法であると考えられる。実際、おかやまの森整備公社では、列状間伐（4残2伐等）を行い、以後、林齢65年生まで7年置きに択伐を3回程度行うといった施業体系を採用してい

る（おかやまの森整備公社 2014）。4残2伐の場合、伐開幅は5.2m程度となるが、その後の間伐・択伐等によって、徐々に残存木間距離を拡げていくことにより、少しでも予想される最大の樹冠直径値6mに近づけられるよう、伐開幅を確保することが大切であると考えられる。そのためにも、以後の間伐(択伐)についても、林齢が50年までに本数密度を500～1,000本/ha以下に低下させれば、その後に間伐を省略しても高蓄積の高齢級人工林の造成が可能であることが報告されていることから（鈴木ら 2009）、長伐期多間伐による、若齢期での丁寧な間伐が必要であるとする指摘（国立研究開発法人森林総合研究所 2016）にも留意し、図-8に示すような、定性間伐(択伐)を推進していくことが重要である。

一方、斜面勾配が35°を超える急傾斜地においては、全植被率及び木本類の植被率は急落する傾向が示唆された。この点について、筆者は、既に、岡山県内の不手入れ林分を含むヒノキ人工林21箇所において、傾斜ライシメータによる表面侵食土砂量を年間を通じて測定し、そのデータを基に、重回帰分析により、年侵食土砂量の予測モデルを明らかにしている（西山 2002a, 2003a）。このモデルでは、特に、斜面勾配、立木密度、植被率の3要因、または斜面勾配、立木密度の2要因を用いた場合、その相関が高いこと、さらに年侵食土砂量が2t/haを超えると、表面侵食が発生し、斜面勾配が35°を超えると急激に年侵食土砂量が増加することも合わせて報告している（西山 2002a, 2003a）。ヒノキ人工林においては、放置区では、年侵食土砂量が保育区の約3倍の6.37t/haにも達するとともに、斜面の勾配が35°以上に達すると、ha当たりの立木密度を500本に低下させても、年侵食土砂量は斜面の傾斜角が大きくなるにしたがって漸増することを明らかにしている（西山 2002a, 2003a）。このように、ヒノキ人工林については、伐開幅も含めた立木密度管理による適正管理を要するとともに、斜面勾配にも配慮した対応が求められる。

今回のシミュレーション予測の結果より、斜面勾配が35°を超えた場合、木本類以上に、全植被率で特に下落傾向が顕著であり、地表面の侵食土砂量の増加とともに、木本類を含む下層植生の侵入・定着が難しくなっていることを裏付けていると考えられる。

斜面勾配が35°を超えるような急傾斜地においては、たとえ立木密度を500本/haに下げても、地表面侵食が発生するとした指摘（西山 2002a）や、京都府南部豪雨による宇治市炭山地区の山腹崩壊が発生した斜面を分析した結果、主に地形要因が関係していたとした上で、山腹崩壊地点は、最大累積流量が少ない箇所では急傾斜地で生じていたとする報告（長島ら 2015）、さらに災害に強い森づくりの方針として、崩壊しやすい谷部とともに、急傾斜地から重点的に管理する必要があるとする指

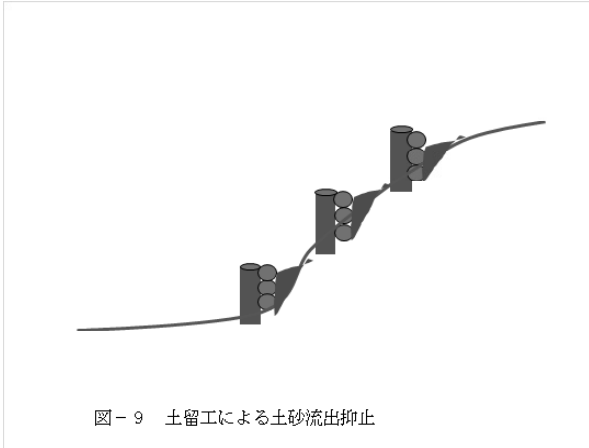


図-9 土留工による土砂流出抑止

摘がある(三好 2016)。これに関連し、針広混交林への誘導過程で発生する間伐などの森林施業では、森林土壌への負荷を最小限とするとともに、間伐材による土留め柵による森林土壌の保全を図る必要があることも指摘されている(藤枝 2015)。このように、急傾斜のある林分においては土留工等(図-9)により、斜面勾配を下げるとともに、表面の移動を抑えて表面侵食を防止することにより、外部からの新たな植生の侵入・定着も図られると考えられる。

合わせて、岡山県内において、母材の分布をみると、マサ土を主とする花崗岩質の分布エリア(岡山県林業試験場編 1980)は、今回の調査対象としたヒノキ人工林が多く含まれている。広島県の事例(城戸 2015)では、マサ土が風化した花崗岩質の土壌により、下流域に甚大な被害をもたらしたが、森林作業道における災害発生箇所の地質上の特徴の面からも、花崗岩の危険性についても指摘されている(矢部ら 2015)。このことから、母材の県内分布について十分に把握しておくとともに(図-10)、場合によっては、間伐材を利用した土留柵等の対策(藤枝 2015)についても検討する必要がある。

針広混交林においては、広葉樹林同様、林地の土砂(細土や石礫)の移動量がスギ林と比較して少なく、大部分がリター(落葉)の移動であったと報告されていることから(「広葉樹林化」研究プロジェクトチーム 2012)、混交林化によってさらに土壌保全機能が向上することが期待できる。

(3) 種組成及び個体数の調査

1) 種組成

全32調査林分に出現した木本類の種数は94種であったが(付表-2)、出現頻度が高かった樹種は、ナガバモミジイチゴの81.3%を筆頭に、以下、サルトリイバラの71.9%、ヒノキの68.8%、ヒサカキの65.6%、クロモジの62.5%の順となっていた(表-14)。このことについて、岡山県北部のヒノキ高齢林の下層植生について、木

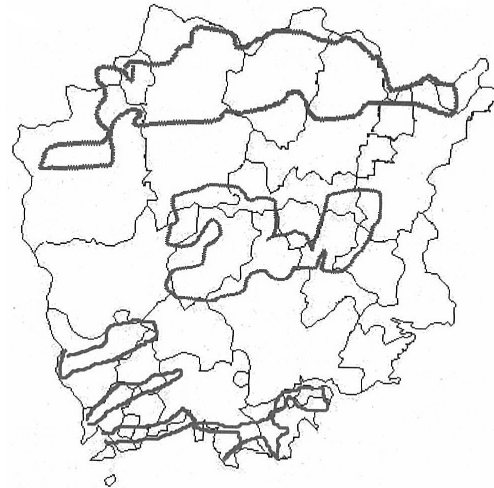


図-10 岡山県内の花崗岩質の分布状況

- 注1. 花崗岩質の分布域は枠内
- 2. 岡山県林業試験場編(1980)より引用

本類の出現率を調査した結果、アオキ、ヒサカキ(以上 57.1%)、イヌツゲ、ヤブコウジ(以上 50.0%)、ミヤマフユイチゴ、コシアブラ(以上 42.9%)であったとする報告(西山ら 2002)からすれば、年齢が相対的に低い今回の調査林分では、ヒサカキ、クロモジ等を除き、種組成は異なっていた。

確認された94種のうち、さらに樹高が1.2m以上の個体に限定すれば、その種数は40種であったが(付表-3)、高木層を形成する樹種のみについてみると、クリ、アカメガシワ、アラカシ、ヤマザクラの4樹種しか確認されなかった(前掲 表-14)。アラカシは半陽樹として位置づけられるが、耐陰性もあるとされている一方、残り3樹種はいずれも陽樹であることが報告されており(財団法人林業科学技術振興所 1985)、斜面勾配とともに、一定の伐開幅による光条件の確保が当該樹種の定着の可否を決定する大きな要因になると考えられる。

ヒノキの場合、列状間伐後5-7年の範囲において、出現頻度は68.8%と高かったが、樹高1.2m以上に限定すると、定着した個体は全く認められず、天然下種更新はほぼ期待できないことが明らかになった。

全調査林分を平均すると、木本類の種数は平均14.9であったが、樹高1.2m以上の種数は、平均2.8に止まり、生存可能な種自体がかなり限定されていることが判明した。

今回の調査で、草本類(ワラビ、ゼンマイ等のシダ類を除く)は、全部で61種が確認されたが(付表-4)、岡山県北部のヒノキ高齢林の下層植生について調査した結果では35種であったとする報告(西山ら 2002)と比べ明らかに多い傾向にあり、年齢が相対的に低かったこと

表-14 ヒノキ調査林分で出現頻度の高かった樹種

順位	樹種	出現頻度 (%)		備考
		A (H>0)	B (H≥1.2m)	
1(2)	ナガバモミジイチゴ	81.3	21.9	S
2	サルトリイバラ	71.9		S
3	ヒノキ	68.8		I
4(4)	ヒサカキ	65.6	15.6	1
5(1)	クロモジ	62.5	46.9	S
6(4)	リョウブ	53.1	15.6	1
7	エビヅル	43.8		S
7	ミヤマフユイチゴ	43.8		S
9	コガクウツギ	37.5		S
10	エビガライチゴ	34.4		S
10(6)	クリ	34.4	12.5	I
10(7)	タニウツギ	34.4	9.4	S
10	ヤマハギ	34.4		S
14	ミツバアケビ	31.3		S
15	イヌツゲ	28.1		1
15(8)	エゴノキ	28.1	6.3	1
15(2)	ムラサキシキブ	28.1	21.9	S
15	ヤマウルシ	28.1	6.3	1
15	ヤマブジ	28.1		S
20(8)	アケメカシ	25.0	6.3	I
20	ソヨゴ	25.0		1
20(8)	ヒメユウゾ	25.0	6.3	S
(6)	アラカシ	(15.6)	12.5	I
(8)	ガンピ	(6.3)	6.3	S
(8)	クサギ	(21.9)	6.3	1
(8)	コシアブラ	(12.5)	6.3	1
(8)	シロダモ	(15.6)	6.3	1
(8)	ヤマザクラ	(21.9)	6.3	I

注1. I:高木層 1:亜高木層 S:低木層
 2. Aは出現頻度が上位20位、Bは上位10位とした
 3. 順位の括弧外数値はAに該当、括弧内数値はBに該当
 4. 表中のHは個体の樹高を示す

に起因するの否も含め、今後、どのように種数が変化していくか注視する必要がある。

出現頻度が高かった草本類は、カンスゲの68.8%を筆頭に、チヂミザサ46.9%、タチツボスミレ43.8%、シハイスマレ、ヘクソカズラの40.6%の順であり(表-15)、これは岡山県北部のヒノキ高齢林に出現した草本類(シダ類除く)のうち、最も高かったジャノヒゲ(57.1%)、ツルアリドオシ(50.0%)、ヤブラン(35.7%)、ツルリンドウ(28.8%)であったとする報告(西山ら2002)と比較すると、主林木であるヒノキの齢級が相対的に低い今回の調査林分では、木本類同様、種組成は異なっていた。

2) 成立本数

今回調査したヒノキ人工林の下層植生について、木本類の成立本数は、1m²当たり平均18.0本、最大値でも46.0本であったが、樹高1.2m以上に限っては、平均1.4本、最大値でも6.4本レベルに止まっていた(付表-5、付表-6、表-16)。

木本類の成立本数と植被率の関係より、木本類植被率を70%以上期待するためには、個体サイズを考慮しなければ、30本/m²程度、樹高1.2m以上の個体サイズに限定すれば5本/m²程度であるのに対し、木本類植被率を50%まで下げた場合では、前者では25本/m²程度、後者

表-15 ヒノキ調査林分で出現頻度の高かった草本類

順位	草本類	出現頻度 (%)
1	カンスゲ	68.8
2	チヂミザサ	46.9
3	タチツボスミレ	43.8
4	シハイスマレ	40.6
4	ヘクソカズラ	40.6
6	ヤマジノホトトギス	31.3
6	ヤマノイモ	31.3
8	ノササゲ	21.9
9	ケタガネソウ	18.8
9	サワヒヨドリ	18.8
9	ツルリンドウ	18.8
9	ヘビイチゴ	18.8

注1. ササ類、シダ類を除く
 2. 出現頻度が上位10位までを表記した

表-16 ヒノキ人工林の下層植生における木本類成立本数

個体サイズ	木本類成立本数
	(本/m ²)
すべての個体	18.0±9.9 (0.4~46.0)
樹高120cm以上	1.4±1.8 (0~6.4)

注1. カッコ外の数値は平均値±標準偏差を示す
 2. カッコ内の数値は最小値~最大値を示す

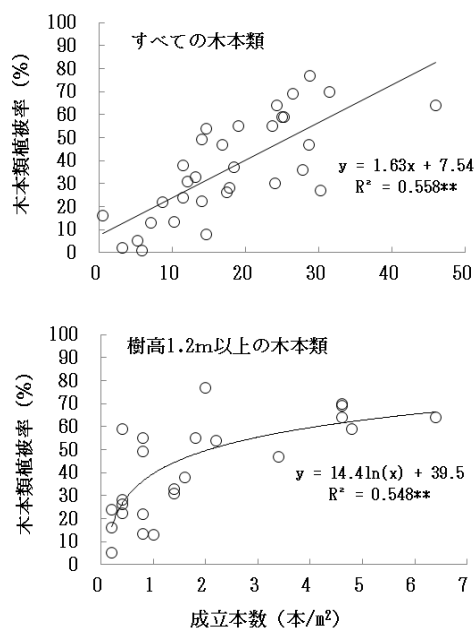


図-11 下層植生の木本類成立本数と植被率の関係
 注1. 上段: すべての木本類 下段: 樹高1.2m以上の木本類
 2. **は1%水準で有意であることを示す

では3本/m²程度、それぞれ成立する必要があることが(図-11)、今回の調査により明らかになった。

IV おわりに

岡山県内においても、樹齢50年を超えるスギ・ヒノキ人工林の構成比率が高まる中、林床の下層植生も含め、

いかに適正に管理していくか大きな岐路に差し掛かっていると考えられる。そうした中で、皆伐を除けば、間伐（択伐）により、ha当たりの立木成立本数にある一定数まで下げながら、高齢級林分へ誘導していく必要がある。その際、斜面勾配が35度以下のヒノキ人工林に限定されるが、針広混交林へスムーズに移行できれば、森林の持つ公益的機能を維持発揮させることにも繋がり、森林災害の防止とともに、最終的には下流域住民への安全・安心にも寄与すると考えられる。

本研究では、伐採方法として定性間伐より労働生産性が高い列状間伐について、下層植生に主眼を置いて取り組んだ研究成果の一部であり、今後の岡山県内におけるスギ・ヒノキ人工林の適正管理に、少しでも寄与できれば光栄である。

最後に、本研究を推進するに当たり、調査地情報を提供して戴いた、おかやまの森整備公社、津山市森林組合、美作東備森林組合、奈義町森林組合、住友林業株式会社、山陽商事株式会社の関係者の方々には、この場を借りて厚くお礼を申し上げる。

参考文献

- 東季実子・小林達明（2003）アズマネザサ（*Pleio-blastus chino Makino*）の生育に及ぼす植生・土壌・地形の影響，日緑誌29(1)：131-134.
- 藤枝基久（2015）水源林を考える，山林No1575：2-11.
- 兵庫県（2010）災害に強い森づくり事業検証報告書2010：87pp.
- 金子泰子・渡邊定元（2001）列状間伐ヒノキ林分の個体群動態，日林関東支論33：113-114.
- 北村四郎・村田源（1972）原色植物図鑑木本編〔I〕，453pp，保育社，東京.
- 北村四郎・村田源（1974）原色植物図鑑木本編〔II〕，545pp，保育社，東京.
- 国立研究開発法人森林総合研究所（2016）森林総合研究所百十年のあゆみ，国立研究開発法人森林総合研究所：449pp.
- 城土裕（2015）『災害に強い森林づくりを目指して』，森林技術No. 874：18-19.
- 近藤晃・加藤徹（2012）スギ・ヒノキ人工林の針広混交林化を目的とした抜き伐り後4年間の下層植生の動態，静岡農林技研研報5：65-71.
- 「広葉樹林化」研究プロジェクトチーム（2010）「広葉樹林化ハンドブック2010，森林総合研究所第2期計画成果22：36pp.
- 「広葉樹林化」研究プロジェクトチーム（2012）広葉樹林化ハンドブック2012，森林総合研究所第3期中期計画成果1：48pp.
- 宮崎潤二・山上健次・馬場彰（2011）異なる伐採幅の列状間伐が下層植生に及ぼす影響，九州森林研究64：63-66.
- 宮崎潤二（2013）異なる伐採幅の列状間伐が下層植生に及ぼす影響（II）—下層植生の繁茂と移動土砂量—，九州森林研究66：42-45.
- 三好岩生（2016）住民主導の災害に強い森づくり・まちづくり，森林科学76：38-41.
- 長島啓子・三好岩生・田中和博（2014）京都府南部豪雨による宇治市炭山地区の山腹崩壊の分布と特性，第125回日本森林学会大会学術講演集：264p.
- 西山嘉寛・阿部剛俊（2002）長伐期施業に対応する森林管理技術の研究—高齢林内における下層植生の現存量の推定と林分収穫予想表の作成—，岡林試研報18：33-66.
- 西山嘉寛（2002a）岡山県におけるヒノキ人工林の表面侵食と表面流出の研究（II）年侵食土砂量の予測，森林応用研究12：53-58.
- 西山嘉寛（2002b）スギ高齢林の林地保全に関する研究—林内における下層植生の現存量および植被率—，森林応用研究11-2：1-6.
- 西山嘉寛（2003a）岡山県北部のヒノキ人工林における水土流出実態の解明，岡林試研報19：1-16.
- 西山嘉寛（2003b）岡山県北部のヒノキ高齢林における下層植生の現存量および植被率の推定，森林応用研究12-2：151-157.
- 西山嘉寛（2011a）列状間伐及び定性間伐が下層植生に及ぼす影響，岡森研報27：91-97.
- 西山嘉寛（2011b）岡山県における木質バイオマス資源の有効利用に向けた低コスト作業システムの研究，岡森研報27：99-118.
- 西山嘉寛（2012）強度間伐林分の成長特性—列状間伐の場合—，岡森研報28：1-10.
- 西山嘉寛（2013）強度な列状間伐実施後の林木の成長，公立林業試験研究機関研究成果集No. 10：67-68.
- 西山嘉寛（2014）強度な列状間伐実施後のスギ・ヒノキの成長，現代林業7月号：34-37.
- 西山嘉寛（2015a）列状間伐後における下層植生の定量化に関する研究—ヒノキ人工林の木本類について—，第66回応用森林学会大会研究発表要旨集：43p.
- 西山嘉寛（2015b）ヒノキ人工林における列状間伐後の下層植生に関する研究—定量化手法の確立並びに管理手法の提案—，平成27年度森林・林業交流研究発表集録：163-170.
- 岡山県農林水産部林政課ホームページ
<http://www.pref.okayama.jp/soshiki/57/index-2.html>
- 岡山県農林水産部林政課（2015）21世紀おかやま森林・林業ビジョン（改訂版）：40pp.

- 岡山県農林水産部林政課・治山課・組合指導課（2013）
岡山県の森林・林業統計：112pp.
- 岡山県農林水産総合センター森林研究所（2016）ヒノキ
人工林の管理指針―列状間伐後の下層植生を考慮した
森林管理―：76pp.
- 岡山県林業試験場編（1980）岡山県の林野土壌，岡山県
林業試験場：141pp.
- おかやまの森整備公社（2014）おかやまの森整備公社長
期経営計画（平成26年度改訂）概要，おかやまの森整
備公社：1-12.
- 大原偉樹（2007）スギ人工林の間伐にともなう林床植生
の変化と水土保全機能に関する研究の必要性，森林総
研研報Vol16No2(No403)：127-134.
- 齋藤哲・猪上信義・野田亮・山田康裕・佐保公隆・高宮
立身・横尾謙一郎・小南陽亮・永松大・佐藤保・梶本
卓也（2006）九州における針葉樹人工林および皆伐後
再造林未済地に定着した樹木の本数密度の予測. 日林
誌88(6)：482-488.
- 佐々木啓・大久保達弘・逢沢峰昭・渡邊定元・金子泰子
（2007）ヒノキ人工林列状間伐林分の林分構造の時系
列変化. 日林学術講118：P2f26.
- 澤田智志（2012）スギ人工林における低コスト間伐技術
の導入による非皆伐施業体系の確立―列状間伐林分の
成長特性と列状間伐後の間伐方法の検討. 秋田県森技
研報21：1-16.
- 社団法人全国林業改良普及協会（2001）森をゆたかにす
る間伐：55pp.
- 鈴木和次郎・池田伸・平野辰典・須崎智応・和佐英二・
石神智生（2009）高齢級ヒノキ人工林の林分構造にみ
る間伐履歴の影響，日林誌91：9-14.
- 田内裕之（2011）広葉樹林化技術開発への取り組み. 日
林北支論59：1-2.
- 独立行政法人森林総合研究所四国支所編（2010）間伐遅
れの過密林分のための強度間伐施業のポイント. 独立行
政法人森林総合研究所四国支所：20pp.
- 渡邊定元・松浦広康・森山輝久・吉田充志・白石貴子
（2000）列状間伐林の林分構成. 日林関東支論52：
99-100.
- 矢部浩・阿部竜三・小山敢（2015）鳥取県における森林
作業道災害の特徴，第68回応用森林研究大会発表要旨
集：54p.
- 財団法人林業科学技術振興所（1985）有用広葉樹の知識
―育てかたと使いかた―，太平社：514pp.

付表-1 調査で出現した樹種とその生活型および性質

種名	高木種	陽性高木種	林冠優占種	亜高木種	種名	高木種	陽性高木種	林冠優占種	亜高木種
アオキ					タカノツメ				○
アオツツラフジ					タニウツギ				
アオハダ				○	タムシバ	○			
アカマツ	○	○			タラノキ				
アカメガシラ	○	○			ダンコウバイ				○
アキグミ					タンナサワフタギ				○
アクシバ					チャノキ				
アズキナシ	○				ツタウルシ				
アセビ					ツルアジサイ				
アベマキ	○	○	○		テイカカズラ				
アラカシ	○		○		ナガバモミジイチゴ				
イソノキ					ナツハゼ				
イヌエンジュ	○				ナナカマド	○			
イヌシデ	○	○	○		ナワシログミ				
イヌツゲ				○	ナンテン				
イワガラミ					ヌルデ				○
ウグイスカグラ					ネズミモチ				○
ウラジロノキ	○	○			ネムノキ	○	○		
ウリカエデ				○	ハナイカダ				
ウリハダカエデ				○	ヒサカキ				○
ウリミズザクラ	○	○			ヒノキ	○		○	
エゴノキ				○	ヒメコウゾ				
エノキ	○				ビロードムラサキ				
エビガライチゴ					マタタビ				
エビヅル					マツブサ				
カナクギノキ	○				ミツバアケビ				
カマツカ					ミヤマガマズミ				
カラスザンショウ	○	○			ミヤマフユイチゴ				
ガンピ					ムラサキシキブ				
キヅタ					モチツツジ				
キハダ	○	○			ヤブコウジ				
キブシ					ヤブツバキ				○
クサギ				○	ヤマウルシ				○
クマイチゴ					ヤマコウバシ				
クマノミズキ	○	○			ヤマザクラ	○	○		
クリ	○	○	○		ヤマツツジ				
クロモジ					ヤマハギ				
ケグワ	○	○			ヤマフジ				
ケケンボナシ	○	○	○		リョウブ				○
コウゾ					レンゲツツジ				
コウヤボウキ									
コガクウツギ									
コシアブラ	○	○							
コナラ	○	○	○						
コバノガマズミ									
コバノミツバツツジ									
コムラサキ									
サルトリイバラ									
サンショウ									
シキミ				○					
シラカシ	○								
シロダモ				○					
スノキ									
ソヨゴ				○					

付表-6 各ヒノキ調査林分に出現した樹高120cm以上の個体本数

No	樹種	ヒノキ調査林分																																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32		
1	アカメガシワ							0.2												0.2															
2	アズキナシ																			0.2															
3	アセビ																			0.4															
4	アベマキ		0.2																																
5	アラカシ		0.2																													0.4	0.2	0.6	
6	イソノキ	0.2																																	
7	イヌツグ																			0.2															
8	エゴノキ																	0.2														0.2			
9	カナクギノキ								0.4																										
10	カンビ																										0.2		0.2						
11	キブシ		0.2																																
12	クサギ																				0.4														
13	クマノミズキ		0.4																																
14	クリ		0.2											0.2																			0.4	0.2	
15	クロモジ	0.2	0.2	0.8			0.8	0.2	0.8	1.8				0.2	0.8	1.4		0.4		0.4	1.0	0.2	0.4								0.2				
16	クケンボナシ																0.4																		
17	コシアブラ		0.2																			0.4													
18	コナラ																					0.8													
19	コバノガマズミ																					0.8													
20	コバノミツバツツジ	0.2																																	
21	シロダモ																0.4										0.4								
22	ソヨゴ		0.2																																
23	タニウツギ							0.4							0.2						0.4														
24	タムシバ																																0.2		
25	タラノキ		0.2																																
26	ダンコウバイ																					0.2													
27	タンナサワフタギ	0.2				0.2																													
28	ナガバモミジイチゴ				1.0		1.0	0.4	2.4												0.4											1.2	2.0		
29	ヌルデ		0.4																																
30	ネズミセチ																																		0.2
31	ヒサカキ		2.4																										0.2		0.2		0.2	1.2	
32	ヒメコウソ		0.4																																
33	ビロードムラリキ		0.4																																
34	ミヤマフユイチゴ		0.4																																
35	ムラサキツツジ	0.2					0.2								0.2	0.8				0.8												2.2	1.4		
36	ヤマウルシ																				0.2	0.0													
37	ヤマザクラ		0.4						0.2																										
38	リョウブ				0.4			0.6													0.8													0.2	0.2
計	(ササ類除く)	1.0	8.4	0.8		1.4	0.8	1.8	2.0	4.8				0.4	0.8	1.8	0.8	1.4	4.8	2.4	0.4	0.4					0.2	0.0	0.4	0.2	0.2	4.8	4.8	2.2	

注1. 植生調査は縦5m、横1mの方形プロット内で実施
 2. 表中の数値は1m²当たり出現した個体本数を示す