論 文

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

深田 英久^{*1}・渡辺 直史¹・梶原 規弘²・塚本 次郎³

深田英久・渡辺直史・梶原規弘・塚本次郎：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, 2006 林分密度管理をヒノキ人工林における土壌保全目的での下層植生管理に応用するために、高知県下のヒノキ人工林に28の調査プロットを設け、下層植生に対する強度間伐の影響と、通常の管理下での下層植生の動態を調べた。強度間伐試験地では設定後2~3年間の収量比数(R_y)の推移と2~3年後の植被率を調べた。通常施業試験地では設定時を0年次として、0, 5, 10~13年次の R_y と植被率を調べた。その際、調査プロットの高木高(温量指数)に基づいて三つの温度域(ウラジロ・コシダ域, カシ域, 落葉樹域)を区別し、植被率を6段階評価した被度指数を土壌侵食抑制効果と光要求度の異なる六つの生活型(ウラジロ・コシダ, 陽性草本, 林床草本・地表植物, 常緑木本, 落葉木本, ササ)のおおのについて別個に求めた。強度間伐が被度指数に及ぼす影響は生活型によって異なった。また、同じ生活型でも温度域によって異なる反応を示すものがあった。通常施業試験地では調査期間を前期(0→5年次)と後期(5→10~13年次)に分け、期間ごとに求めた各生活型の被度指数の期間変化量(dC)と R_y の期間累積偏差($\Sigma dR_y \times 100$)との関係を調べた。両者の関係には生活型間での差や、温度域間での差が認められた。また、生活型別の被度指数の合計値が40未満の林分(貧植生型林分)と40以上の林分を区別すると、 dC と $\Sigma dR_y \times 100$ との関係が両林分間で異なっていた。以上の結果に基づいて、生活型、温度域、貧植生型林分か否か、を区別して R_y -植被率関係のデータを集積することにより、下層植生管理を目的とした密度管理モデルの実用性が高められることを指摘した。

キーワード：温度域、下層植生管理、土壌保全、ヒノキ人工林、密度管理

Fukata, H., Watanabe, N., Kajihara, N., and Tsukamoto, J.: **Dynamics of Undergrowth and Its Application to Vegetation Control of Planted *Chamaecyparis obtusa* Endl. Forests with Special Reference to Mitigation of Surface Soil Loss.** J. Jpn. For. Soc. 88: 231~239, 2006 Viewed from the erosion control in Hinoki cypress plantations, the dynamics of undergrowth was studied in order to apply the stand density control to vegetation control. Seventeen study plots were set to monitor long-term (10-to-13-year period) changes in coverage under common silvicultural practices. Eleven plots were made to study the effects of heavy thinning on coverage 2 to 3 years after treatments. The coverage index was determined for each of the following 6 life forms with different light demand and performance in erosion control: commonest ferns (*Gleichenia japonica* and *Dicranopteris linearis*), light-demanding herbs and grasses, shade-tolerant herbs (chamaephytes), evergreen trees, deciduous trees, and dwarf bamboos. The following 3 temperature zones were distinguished: zone without the commonest ferns and the evergreen trees, zone without the commonest ferns, and zone with both of the life forms. Another distinction was made regarding the type of vegetation according to the total coverage of the six life forms (C_T) as follows: poor vegetation type ($C_T < 40$) and others ($C_T \geq 40$). In both the long-term study and the study on heavy thinning effect, the relationships between the change in yield index and the change in coverage index differed among life forms, temperature zones, and vegetation types. Based on the results, it was pointed out that accumulation of data on the relationship between yield index and coverage should be made with distinctions regarding the life form, the temperature zone, and the vegetation type in order to increase applicability of the stand density control to vegetation control.

Key words: *Chamaecyparis obtusa* plantation, dynamics of undergrowth, soil erosion control, stand density control, vegetation control

I. は じ め に

ヒノキ人工林はスギ人工林や広葉樹林に比べて表土流亡の危険性が高い(河野・難波, 1964; 東, 1989; 塚本, 1989; 森・逢坂, 1994)。持続可能な森林管理の視点からヒノキ人工林における土壌保全は森林・林業の重要課題の一つと考えられる。これまでに行われた研究を通じて、下

層植生が土壌侵食を抑制するうえに有効であること(赤井ら, 1981; 吉村ら, 1981; 井上ら, 1987; 清野, 1988; 塚本ら, 1998)、その有効性は下層植生のタイプにより異なること(梶原ら, 1999; 入田ら, 2001; 井川原ら, 2004; 渡邊ら, 2004)、その点に着目して区分された複数の下層植生タイプの相対頻度が温量指数の傾度に沿って変化すること(深田ら, 2005)、それに基づいてヒノキ人工林の分

* 連絡・別刷請求先 (Corresponding author) E-mail: hidehisa_fukata@ken4.pref.kochi.jp

¹ 高知県立森林技術センター (782-0078 高知県香美市土佐山田町大平 80 番地)

Kochi Prefectural Forestry Technology Research Center, 80 Oohira, Tosayamada-cho, Kami-shi, Kochi 782-0078, Japan.

² 高知県森林局 (780-8570 高知市丸ノ内 1-7-52)

Forestry Bureau, Kochi Prefectural Government, 1-7-52 Marunouchi, Kochi 780-8570, Japan.

³ 高知大学農学部附属暖地フィールドサイエンス教育研究センター (783-8502 南国市物部乙 200)

Education and Research Center for Subtropical Field Science, Faculty of Agriculture, Kochi University, B200, Monobe, Nankoku 783-8502, Japan. (2005 年 8 月 17 日受付; 2006 年 1 月 13 日受理)

布域を複数の温度域に区分できること（深田ら，2005）などが分かっている。

下層植生量のパラメータとして、個体数、現存量、植生高、植被率などを挙げることができる。このうち植被率は、下層植生のもつ雨滴衝撃からの地表保護機能に最も関わるの深いパラメータである。

林床の光環境を人為的に調節する手段に枝打ちと間伐がある。このうち、より実行が容易なのは間伐であり、実際の保育施業において実施される頻度も枝打ちに比べてはるかに高い。この間伐を定量的に実施するための手段として開発されたのが収量比数（以下 R_y ）であり（安藤，1968），林内相対照度とのあいだに密接な関係のあることも多数の測定結果により実証されている（林野庁，1996）。 R_y と植被率との関係を定式化することができれば，林分密度管理（安藤，1982）を土壤保全目的の下層植生管理に応用することが可能となる。一例ではあるが，その試みはすでに行われており， R_y を説明変数，植被率を目的変数とする下層植生管理モデルが提案されている（林野庁，2001）。しかし，この試みでは著しくばらつきの大きい R_y -植被率関係が2本の曲線で近似され，それによって植被率の推移が予測されているため，予測の精度は必ずしも高いとはいえない。また，管理対象の目的変数（植被率）において，土壤侵食抑制に関する有効性や光要求度の異なる生活型が区別されていないこと，それぞれの生活型の出現頻度の異なる気候帯が区別されていないことなど，実用化に向けて改善すべき点が残されていると考えられる。

本研究では，林分密度管理をヒノキ人工林の土壤保全を目的とする下層植生管理に結びつけるための基礎として， R_y の変化に伴う下層植生の動態を調べた。その際，土壤侵食抑制に関する有効性や光要求度の異なる生活型を区別し，それぞれの植被率を求めた。本論文では深田ら（2005）の三つの温度域（ウラジロ・コシダ域，カシ域，落葉樹域）を区別してデータの解析を行い，結果に基づいて林分密度管理による下層植生管理モデルの精度向上のための提案を行った。

II. 方 法

1. 調査地の概要

下記の二つのタイプからなる合わせて28の調査プロットをヒノキ人工林の動態を長期的に調べるための永久固定試験地として設定し，林況および下層植生の調査を行った。

1) 強度間伐試験地

ヒノキ人工林における強度間伐の影響を調べるために2000～2001年に設けた4カ所11プロットを強度間伐試験地とした。その概要は表-1のNo.18～28に示したとおりである。4カ所とも同一履歴の一続きの林分内に本数率で40～75%の強度間伐を実施した処理区と無間伐の対照区を設けた。おのおのの区画内に，林縁からの光の影響の及ばない場所を選び，かつ処理の異なる区画との間に樹高幅をこえる緩衝帯をとって20 m×20 mの方形区を一つずつ設け，林況調査プロットとした。また，これを4等分した

表-1. ヒノキ人工林長期固定試験地

区分	温度域	No.	調査地	試験処理	標高	方位	傾斜	地位指数	設定時林齢
通常施業試験地	ウラジロ・コシダ域	1	土佐清水	—	60	S89W	38	15.6	32
		2	宿毛	—	80	S52W	23	15.0	32
		3	口屋内	—	97	N25W	36	14.4	35
		4	柏島	—	105	N55W	22	18.6	32
		5	越知	—	130	N26W	32	18.5	30
		6	奈半利	—	150	N47W	41	13.7	53
		7	馬路	—	185	S72E	37	17.2	38
		8	来栖野	—	250	S70E	26	15.9	30
		9	田野々	—	260	S05E	40	17.5	38
		10	本山	—	290	N59W	36	15.3	50
		11	美良布	—	310	N26E	20	16.4	30
		12	窪川	—	315	S15W	32	14.0	37
		13	新田	—	530	S10W	35	17.8	27
		14	奈路	—	535	S11E	39	18.6	25
強度間伐試験地	ウラジロ・コシダ域	15	越知面	—	860	N58W	32	16.0	27
		16	上土居	—	892	N40W	12	18.7	30
		17	日ノ浦	—	1110	N47E	31	16.5	31
	ウラジロ・コシダ域	18	窪川	無間伐	290	N35W	35	14.0	43
		19		50%間伐	290	N35W	35	15.5	
		20		70%間伐	280	N35W	35	16.3	
	カシ域	21	船戸	無間伐	620	S	24	15.4	32
		22		40%間伐	630	S65W	37	12.5	
		23		60%間伐	630	S74W	39	15.8	
		24	旧宮	無間伐	710	N70W	30	17.5	23
		25		50%間伐	710	N50W	30	16.5	
	落葉樹域	26	天狗	無間伐	1150	S25W	30	14.3	42
		27		50%間伐	1150	S60W	30	15.0	
		28		75%間伐	1280	S45E	30	11.4	

10 m×10 m の小方形区のうち、下層植生の植被率が平均的と見なされるものを一つ選び、下層植生調査プロットとした。

2) 通常施業試験地

民有林として通常の管理が行われている高知県下各地のヒノキ人工林において、林況の変化に伴う下層植生の動態を調べるために、1990～1994年に設けた17の調査プロットを通常施業試験地とした。その概要は表-1のNo.1～17に示したとおりである。おのおの同一履歴の一続きの林分内で、林縁からの光の影響の及ばない場所に面積400 m²の円形区を設け、林況調査プロットとした。また、これと同心の200 m²の小円形区を下層植生調査プロットとした。

2. 林況調査

1) 毎木調査

林況調査プロット内のヒノキ全生立木を対象に樹高と胸高直径を測定した。強度間伐試験地では設定時とその後毎年の生育休止期に、通常施業試験地では設定時とその後5年間隔を目標として、やはり生育休止期に調査を行った。ただし、通常施業試験地の一部には3期目の調査が設定後11～13年目となったプロットも含まれる。

2) 下層植生調査

シダ植物以上のすべての高等植物を対象とし、生育期間の中期～後期を目標に、強度間伐試験地のNo.21～23では設定後3生育期経過時、No.18～20とNo.24～28では2生育期経過時に調査を行った。通常施業試験地での調査は林況調査の年に、それに先んじて行った。いずれの試験地においてもプロット面積に占める種ごとの植被率(%)を目視により6段階評価した。また、設定した6階級のうち1%未満の階級には0を、それ以外の階級にはおのおの階級の中央値を割り当てて「被度指数」と呼び、その階級に属するおのおの種の被度をすべてこの値で代表させた。被度判定の対象とした階層(地上高)と設定した階級、および各階級に割り当てた被度指数を表-2にまとめた。

3. データ処理

1) 収量比数(R_y)

R_y は林況調査結果から求めた上層樹高とha当たり本数を用いて南近畿・四国地方ヒノキ林分密度管理図(林野庁, 1981)から読みとった。ha当たり本数には、各時点、各プロット内の全生立木本数をha当たりの値に換算したものをを用いた。強度間伐試験地の無間伐区と間伐区の間伐前の上層樹高はプロット内の樹高上位75%の生立木の平均樹高とした。間伐区の間伐後の上層樹高には全残存木の平均樹高を用いた。通常施業試験地では設定時(0年次)の上層樹高はプロット内の樹高上位75%の生立木の平均樹高とした。5年次、10年次で、調査前の5年間に間伐が実施されなかったか、または、実施されたが3年以上経過している場合にも同じように上位75%の平均樹高を用いた。調査前2年以内に間伐され、その本数率が25%を超える場合は、調査時の全生立木の平均樹高を上層樹高とし

表-2. 下層植生の調査方法に関わる諸元

試験地の タイプ	被度判定の 対象とした 階層	被度判定において設けた植被率(%) の階級(上段)と各階級に割り当て た被度指数(下段)						
強度間伐 試験地	3.0 m 以下	1%未満 0.0	1～ 5.0	10～ 17.0	25～ 37.0	50～ 62.0	75～ 87.5	
通常施業 試験地	1.3 m 以下	1%未満 0.0	1～ 3.0	6～ 15.5	26～ 38.0	51～ 63.0	76～ 88.0	

た。間伐本数率が25%以下の場合は樹高の上位から前回と同数の生立木を抽出し、その平均樹高を上層樹高とした。また、このように調査と調査の間で間伐が行われた場合には、間伐直前、直後の R_y も読みとった。これには期間中の年樹高生長量が一定であると仮定して推定した上層樹高を用いた。

2) 生活型と植生タイプ

まず、出現した種を木本地表植物(ツルコウジ、ヤブコウジ、ツルシキミ、テイカカズラ、フユイチゴの5種)、針葉樹、常緑広葉樹(木本地表植物を除くが、それ以外のツル性のものを含む)、落葉広葉樹(ツル性のものを含む)、ササ類、ウラジロ・コシダ、ススキ、草本A、草本Bの9つのグループに区分した。ただし、草本Aは谷本(1982)が新植地での遷移初期に優勢となる広葉草本グループとして設けた生育型(ベニバナボロギク型)に属する草本で、本研究ではアキノキリンソウ、アザミ spp., イタドリ、ウド、オトコエシ、タケニグサ、ヒヨドリバナ、フキ、ベニバナボロギクなどがみられた。草本Bはウラジロ、コシダ、ススキ、草本A以外の草本である。落葉樹域のプロットではアカソ、フタリシズカ、ミヤマタニソバなど、カシ域とウラジロ・コシダ域ではシシガシラ、キジノオシダなど、谷本(1982)が安定した林内に典型的にみられる耐陰性の強い林床草本として定義したチザミザサ型に属するものが中心となった。

次に、光要求度と、地表保護の性質に関わる形態やフェノロジーとを勘案して、これら九つのグループを、針葉樹と常緑広葉樹(ツル性のものを含む)を併せた「常緑木本」、落葉広葉樹(ツル性のものを含む)に1:1で対応する「落葉木本」、草本Aとススキを併せた「陽性草本」、木本地表植物と草本Bを併せた「林床草本・地表植物」、「ウラジロ・コシダ」、「ササ」の六つの生活型にまとめ、本研究でのデータ解析の単位とした。

植生タイプの区分は梶原ら(1999)の方法に準じて行った。表-2に示した被度指数を用いて、調査プロットごとに全出現種の被度指数の和「被度指数総計」と生活型別の被度指数の和「被度指数小計」を求めた。これらを用いて、以下の条件を満たすプロットの集合として植生タイプを区分した。

- 貧植生型(I型) : $C_T < 40$
- ウラジロ・コシダ型(II型) : $(C_T \geq 40) \cap (C_{U \cdot K} \geq 30)$
- 草本・地表植物型(III型) : $(C_T \geq 40) \cap (C_a + C_b \geq 30)$
- 落葉木本型(IV型) : $(I \text{ 型} \cup II \text{ 型} \cup III \text{ 型})^c \cap$

常緑木本型 (V型) $((C_R/C_T) \cdot 100 \geq 50.0)$
: $((I \text{型} \cup II \text{型} \cup III \text{型})^c \cap ((C_J/C_T) \cdot 100 \geq 50.0))$

ただし、 C_T :被度指数総計、 $C_{U \cdot K}$:ウラジロ・コシダの被度指数小計、 C_a :陽性草本の被度指数小計、 C_b :林床草本・地表植物の被度指数小計、 C_R :落葉木本の被度指数小計、 C_J :常緑木本の被度指数小計、(I型 $\cup$ II型 $\cup$ III型) c :集合(I型 $\cup$ II型 $\cup$ III型)の補集合。

3) 温度域

深田ら(2005)は温量指数(吉良, 1949)の傾度に沿うヒノキ人工林下層植生の組成変化に基づいて、高知県の暖温帯から冷温帯下部の領域をウラジロ・コシダ域(暖かさの指数(105~110)~139)、カシ域(暖かさの指数(105~110)以下で、寒さの指数-10以上)、落葉樹域(寒さの指数-10以下)の3域に区分し、500~600 mと850 mをそれぞれの境界に対応する高知県でのおよその標高として提示した。本研究ではこれに従い、標高535 m以下の17プロットをウラジロ・コシダ域、620~710 mの5プロットをカシ域、860 m以上の6プロットを落葉樹域に区分した(表-1参照)。

4) 被度指数小計の期間変化量(dC)と R_y の期間累積偏差($\Sigma dR_y \times 100$)

従来、林内光環境の指標(たとえば林内相対照度)と下層植生の状態(たとえば植被率)との関係については、調査時点の、いわば瞬時値同士の対応が検討されることが多かった。本研究の通常施業試験地については、一定期間内の植生変化量を目的変数、その期間内の累積的な光環境の指標を説明変数として両者の関係の検討を試みる。通常施業試験地では、調査初年(0年次)、5年後(5年次)、10~13年後(10~13年次)の下層植生各生活型の被度指数小計が得られている。そこで、調査期間を前期(0年次→5年次)と後期(5年次→10~13年次)の2期に分け、各期間について(期末の被度指数小計)-(期首の被度指数小計)を被度指数小計の期間変化量(dC)とした。累積的な光環境の指標の算出には、 R_y を用いた。本研究では各調査地において0, 5, 10~13年次の3期と、これらの間で間伐が行われた場合には、その直前、直後における R_y が得られている。 R_y の期間累積偏差($\Sigma dR_y \times 100$)の算

出に当たっては、これらの計測時点にはさまれる期間中の R_y の時間変化率が一定であることを仮定した。また、一般的な密度管理の基準とされている疎仕立て: R_y 0.6~0.7, 中庸仕立て: R_y 0.7~0.8, 密仕立て: R_y 0.8~0.9(安藤, 1982)との関係をグラフ上で視覚的に捉え易くするために、式 $R_y \times 100 - 70$ を用いて R_y の値を0.7との偏差の100倍に変換し、疎仕立てに対応する $\Sigma dR_y \times 100$ は負の値、中庸仕立てと密仕立てに対応する $\Sigma dR_y \times 100$ は正の値となるようにした。表-5(後出)に R_y の推移を示した調査プロットのうち、No.7について具体的な $\Sigma dR_y \times 100$ の算出法を表-3に示す。

III. 結 果

1. 被度指数総計と R_y との関係

植被率の指標としての被度指数総計と R_y との関係を図-1に示した。同一プロットであっても調査年次の異なるデータは別個に図示してある。強度間伐試験地のデータ(○, □)については R_y が小さいほど被度指数総計の大きくなる傾向が認められた($Y = -2.10X + 237$, $r = 0.707$, $p < 0.02$ ただし Y :被度指数総計, X : R_y)。一方、通常施業試験地のデータ(◆)については同一の R_y に対する被度指数総計のばらつきがきわめて大きく、両者の間に明瞭な関係は認められなかった($r = 0.259$, $p > 0.05$)。

2. 強度間伐が下層植生に及ぼす影響(強度間伐試験地)

強度間伐試験地について、 R_y と被度指数小計との関係を表-4に示した。ウラジロ・コシダとササの被度指数小計は温度域、間伐強度のいかんにかかわらず、すべてのプ

図-1. 収量比数と被度指数総計との関係

○, 強度間伐試験地の強度間伐区; □, 強度間伐試験地の無間伐区; ◆, 通常施業試験地。

表-3. 収量比数の期間累積偏差($\Sigma dR_y \times 100$)の算出法

年 次	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
間伐	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—
$R_y \times 100$	73.00	74.00	75.00	76.00	77.00	78.00	80.00				
							74.00	75.25	76.50	77.75	79.00
期 間		0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10
$R_y \times 100$		73.50	74.50	75.50	76.50	77.50	79.00				
								74.63	75.88	77.13	78.38
$dR_y \times 100^{1)}$		3.50	4.50	5.50	6.50	7.50	9.00				
								4.63	5.88	7.13	8.38
前 or 後期						前期					後期
$\Sigma dR_y \times 100$						27.50					35.00

¹⁾ $R_y \times 100 - 70$ 。

表-4. 強度間伐試験地における収量比数 (R_y) と下層植生

被度指数小計 ¹⁾														被度指数	植生 タイプ ^{1,4)}
温度域	No.	処理	各調査年次の ($R_y \times 100$)				ウラジロ・ コシダ	常緑 木本	落葉 木本	陽性 草本 ²⁾	林床草本・ 地表植物 ³⁾	ササ	総計 ¹⁾		
			0	1	2	3									
ウラジロ・ コシダ域	18	無間伐	75	77	78	—	0	126	5	0	5	0	136	V	
	19	50%間伐	83 → 64	65	66	—	0	40	15	0	25	0	80	V	
	20	70%間伐	82 → 52	53	54	—	0	47	35	25	37	0	144	III	
カシ域	21	無間伐	76	78	81	82	0	32	5	0	0	0	37	I	
	22	40%間伐	73 → 60	61	63	65	0	15	32	0	10	0	57	VI	
	23	60%間伐	82 → 57	58	60	61	0	44	32	0	32	0	108	III	
	24	無間伐	72	75	76	—	0	42	45	0	15	0	102	VI	
	25	50%間伐	71 → 49	52	53	—	0	20	54	5	25	0	104	III	
落葉樹域	26	無間伐	72	73	75	—	0	0	70	0	0	0	70	VI	
	27	50%間伐	71 → 50	52	53	—	0	0	55	20	57	0	132	III	
	28	75%間伐	72 → 31	33	34	—	0	0	66	30	92	0	182	III	

¹⁾ No. 21~23 は3年次の値、それ以外は2年次の値。²⁾ 陽性草本：谷本 (1982) のベニバナボロギク型草本 (アキノキリンソウ, アザミ spp., イタドリ, ウド, オトコエシ, タケニグサ, ヒヨドリバナ, フキ, ベニバナボロギク) とススキ。³⁾ 林床草本：陽性草本, ススキ, ウラジロ, コシダを除く草本 (アカソ, フタリシズカ, ミヤマタニソバ, キジノオシダ, シシガシラなど)。地表植物：ツルコウジ, ツルシキミ, テイカカズラ, フユイチゴ, ヤブコウジ。⁴⁾ I, 貧植生型; III, 草本・地表植物型; IV, 落葉広葉樹型; V, 常緑広葉樹型。

ロットを通じて0であった。表-4に示した結果はウラジロ・コシダとササ類の侵入のない、あるいはその弱い条件下での下層植生の動態であると見なされる。

強度間伐の影響は木本類に比べ、草本類において顕著であった。陽性草本は、 R_y 0.6未滿で推移したプロットにのみ出現した。また、林床草本・地表植物の被度指数小計は、四つの調査地のすべてにおいて間伐強度の増大に伴って増加した。すべての温度域に出現した落葉木本、陽性草本、林床草本・地表植物について、 R_y が0.6をまたいで推移したNo. 23を除く10プロットを、 R_y 0.6未滿で推移したグループと R_y 0.6以上で推移したグループに二分し、被度指数小計に関する分散分析を行った。その結果、陽性草本と林床草本・地表植物ではこのグループ分けが統計的に有意であると判定されたが ($p < 0.01$)、落葉木本についてはグループ間の差は有意でなかった。常緑木本の被度指数小計はむしろ無間伐区に比べ強度間伐区の方が小さくなる傾向を示した。

異なる温度域に属し、 R_y がほぼ等しい水準で推移したNo. 20, 25, 27の間で林床草本・地表植物の被度指数小計を比べると、No. 27でやや大きな値が得られた。おのおののプロットでの林床草本・地表植物の優占種をみると、常緑木本が存在するウラジロ・コシダ域 (No. 20) とカシ域 (No. 25) では、ヤブコウジ, フユイチゴ, キジノオシダ, シシガシラなど、多くが無間伐区にもみられた種であったのに対し、常緑木本が存在しない落葉樹域 (No. 27) では、無間伐区にみられなかったアカソ (被度指数15.5), フタリシズカ, ツルニンジン, ミヤマタニソバ, モミジガサ, ヤエムグラ (以上、被度指数3.0) が定着していた。また、各プロットの2年次における、陽性草本をも含めた草本類の種数はNo. 27で36, No. 20で17, No. 25で24であった。

3. 通常の密度管理下での下層植生の推移 (通常施業試験地)

通常施業試験地に属する17プロットの R_y と下層植生

の推移を表-5に示した。プロットは同一の温度域内では0年次の植生タイプの記号の昇順に、同一の植生タイプ内では0年次の R_y の昇順にそれぞれ並べた。

全プロットが R_y 0.6以上で管理されており、陽性草本の被度指数小計は全プロット、すべての調査年次を通じて0であった。

1) ウラジロ・コシダ域

図-2にウラジロ・コシダ域の14プロットについて、収量比数の期間累積偏差 ($\Sigma dR_y \times 100$: 横軸) と被度指数小計の期間変化量 (dC : 縦軸) との関係を示した。調査期間の前期 (0年次→5年次) と後期 (5年次→10~13年次) は区別せず、それぞれの期間の期首の被度指数小計 (C) の値に応じて設けた3区分について異なるマーカーで示してある。○印 ($C \leq 3$) は期首の植被率判定が5%以下であり、当該生活型の乏しい状態からの変化であることを示す。逆に、●印 ($C \geq 88$) は期首の植被率判定が76%以上であり、当該生活型により調査プロットの大半が覆われている状態からの変化量を示す。■印 ($3 < C < 88$) はその中間である。矢印を付したものは0年次の被度指数総計が唯一200を超え、他のプロットに比べて調査開始時の下層植生が際立って多かったNo. 10のサンプルである。

●のサンプル数はウラジロ・コシダで4, 落葉木本で2と少なかったが、 dC の値が正になったものではなく、落葉木本では、疎仕立ての管理に相当する $\Sigma dR_y \times 100$ の負の領域においても dC が負の値を示すサンプルがみられた。

○サンプルの dC の分布には定義に基づく下限 (-3) が存在するが、上限は存在しない。しかし、○サンプルの dC の最大値は常緑木本で記録された18に止まり、■サンプルの最大値に比べて明らかに小さかった。

■サンプルの分布は $\Sigma dR_y \times 100$ の負の領域と正の領域で異なる傾向を示した。 $\Sigma dR_y \times 100$ の負領域では、生活型のいかに関わらず、矢印を付したサンプルの dC はすべて0以下であったが、その他のサンプルはすべて+10

表-5. 通常施業試験地における下層植生の動態

温度域	No.	0 年次 の植生 タイプ ¹⁾	収量比数の推移 ²⁾		被度指数小計の推移 ³⁾					ササ	被度指数総計 の推移 ³⁾
			年次	$R_y \times 100$	ウラジロ・コシダ	常緑木本	落葉木本	陽性草本 ⁴⁾	林床草本・ 地表植物 ⁵⁾		
ウラジロ・ コシダ域	13	I	0.1,5	68 → 69.64 → 73	0 → 0	3 → 21	3 → 18.5	0 → 0	0 → 3	3 → 15.5	9 → 58
	3	I	0.5,10	69 → 75 → 79	0 → 0 → 0	3 → 15.5 → 21.5	6 → 3 → 0	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	9 → 18.5 → 21.5
	1	I	0.5,12	75.73 → 78 → 82	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0
	7	I	0.5,6,10	82.73 → 78 → 80.74 → 79	0 → 0 → 3	15 → 15 → 15	6 → 3 → 9	0 → 0 → 0	9 → 6 → 15	0 → 0 → 0	30 → 27 → 42
	4	I	0.5,8,10	88.87 → 89 → 91.90 → 91	0 → 0 → 0	6 → 6 → 9	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	6 → 6 → 9
	2	II	0.5,10	71 → 76 → 81	88 → 88 → 63	12 → 49.5 → 46.5	0 → 3 → 3	0 → 0 → 0	0 → 15.5	0 → 0 → 0	100 → 156 → 128
	12	II	0.5,8,10	72.66 → 69 → 71.60 → 62	76 → 78.5 → 103.5	3 → 6 → 21.5	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	79 → 84.5 → 125
	8	II	0.5,6,13	82.79 → 83 → 84.78 → 85	103.5 → 103.5 → 103.5	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	103.5 → 103.5 → 103.5
	6	II	0.5,13	84.83 → 85 → 87	38 → 15.5 → 15.5	18.5 → 18.5 → 33.5	3 → 3 → 6	0 → 0 → 0	0 → 0 → 3	0 → 0 → 0	59.5 → 37 → 58
	14	II	0.1,5,10	86 → 87.85 → 88 → 92	66 → 66 → 66	12 → 12 → 68	3 → 0 → 9	0 → 0 → 0	6 → 0 → 0	0 → 0 → 0	87 → 78 → 143
	5	II	0.5	88.87 → 92	66 → 66	6 → 3	3 → 0	0 → 0 → 0	3 → 0	0 → 0	78 → 69
	10	III	0.5,11	67 → 68 → 70	15.5 → 15.5 → 3	12 → 12 → 12	122 → 110 → 110	0 → 0 → 0	53 → 44 → 40	0 → 0 → 0	202.5 → 181.5 → 165
	9	V	0.3,5,11	79 → 80.63 → 64 → 67	3 → 3 → 3	56.5 → 53.5 → 178.5	21.5 → 21.5 → 47	0 → 0 → 0	0 → 0 → 3	0 → 0 → 0	81 → 78 → 231.5
	11	V	0.5,10	83 → 86 → 88	15.5 → 15.5 → 3	56.5 → 65 → 68	21.5 → 18.5 → 6	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	93.5 → 99 → 77
落葉樹域	15	I	0.5,10	72 → 78.63 → 70	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0
	16	I	0.5,10	82 → 86 → 91	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	0 → 0 → 0	0 → 3 → 0	0 → 3 → 0
	17	IV	0.5	68 → 75	0 → 0	0 → 0	52.5 → 27.5	0 → 0 → 0	3 → 0	0 → 0	55.5 → 27.5

¹⁾ I, 貧植生型; II, ウラジロ・コシダ型; III, 草本・地表植物型; IV, 落葉広葉樹型; V, 常緑広葉樹型。²⁾ 年次は調査開始を0年次とし, 5年後, 10年後をそれぞれ, 5年次, 10年次とした。→は年次の進行を示し, $R_y \times 100$ の○, □の表示は同一年次で○, □は開伐後の値を示す(たとえは, No. 7 の82, 73は0年次における R_y 0.82 → R_y 0.73の間伐, 80, 74は6年次における R_y 0.80 → R_y 0.74の間伐をそれぞれ示す)。³⁾ 0 → 5 → 10 → 13年次の値(たとえは, ウラジロ・コシダの被度指数小計の推移は, No. 8では0年次103.5, 5年次103.5, 13年次103.5, No. 12では0年次76, 5年次78.5, 10年次103.5であったことを示す)。⁴⁾ 陽性草本: 谷本(1982)のベニバナポロギク型草本(アキノキリンソウ, アザミ spp., イタドリ, ウド, オトコエシ, タケノコ, フキ, ベニバナポロギク)とススキ。⁵⁾ 林床草本: 陽性草本, ススキ, ウラジロ, コシダを除く草本(アカソ, フタリシズカ, ミヤマタニソバ, キジノオシダ, シシガシラなど)。地表植物: ツルコウジ, ツルシキミ, テイカカズラ, フユイチゴ, ヤブコウジ。

図-2. 収量比数の期間累積偏差 ($\Sigma dR_y \times 100$: 横軸) と被度指数小計の期間変化量 (dC : 縦軸) との関係(ウラジロ・コシダ域)

○, C (期首の被度指数小計) ≤ 3 ; ■, $3 < C < 88$; ●, $88 \leq C$; 矢印, 0年次の被度指数総計が唯一200を超え, 他のプロットに比べて下層植生が際立って多かったサンプル。 $\Sigma dR_y \times 100$, dC については本文参照。

を超えた。 $\Sigma dR_y \times 100$ の正領域では■サンプルの分布は生活型によって異なった。 $dC < -3$ を被度指数小計の減少, $-3 \leq dC \leq 3$ を現状維持, $3 < dC$ を増加とすると, 常緑木本では減少を示すサンプルはなく, 逆にウラジロ・コシダと落葉木本では増加を示すサンプルはなかった。また, 密仕立ての管理に相当する $\Sigma dR_y \times 100 \geq 50$ の領域の■サンプルの dC の平均値は常緑木本, ウラジロ・コシダ, 落葉木本, 林床草本・地表植物の順に, 9.3 ($n=9$), -5.0 ($n=7$), -7.8 ($n=2$), -6.0 ($n=1$) となり, 常緑木本とウラジロ・コシダの差が偶然ではないとする判断の危険率は $0.05 < p < 0.10$ であった (Welch の検定)。

2) 落葉樹域

落葉樹域に属する3プロットについて $\Sigma dR_y \times 100$ と

図-3. 収量比数の期間累積偏差 ($\Sigma dR_y \times 100$: 横軸) と被度指数小計の期間変化量 (dC : 縦軸) との関係 (落葉樹域)

凡例は図-2 に同じ。

dC の関係を図-3 に示した。マーカーは図-2 と同じである。

落葉木本と林床草本・地表植物の○サンプルの分布は $\Sigma dR_y \times 100$ の広い領域に及び、その点では、ウラジロ・コシダ域の落葉木本、林床草本・地表植物の○サンプルと大きな違いはなかった。一方、落葉木本と林床草本・地表植物の二つの生活型を通じて○サンプルの dC 値が正となる頻度はウラジロ・コシダ域の 9/38 に対して落葉樹域では 0/9 であり、両者の比率の差は統計的に有意であった ($p < 0.01$, 正規分布検定)。また、一事例に過ぎないが、落葉樹域の落葉木本の■サンプルの $\Sigma dR_y \times 100$ は 7.5 と決して大きくなかったにもかかわらず、 dC の値は -25 と、ウラジロ・コシダ域の落葉木本の■サンプルに比べて絶対値の大きな負の値を記録した。この被度指数小計の減少は、ナガバモミジイチゴとコガクウツギの被度指数がともに 15.5 からそれぞれ、0.0 と 3.0 に変化したことによる。谷本 (1982) の生育型分類によれば、ナガバモミジイチゴはクマイチゴ型、コガクウツギはウツギ型にそれぞれ属し、いずれも比較的陽性と見なされる種である。

4. 貧植生型とその他の植生タイプ

通常施業試験地の 17 プロットを 0 年次の植生タイプによって貧植生型とその他の植生タイプに二分し、それぞれ

の 0 年次の被度指数総計 (C_T) の平均値を求めると、貧植生型で 7.71, その他の植生タイプで 93.95 であり、両者の差は統計的に有意であった ($p < 0.01$, Welch の検定) (表-5)。貧植生型の定義は $C_T < 40$ であり、本研究の算出法での理論上の上限値は 39.5, 下限値は 0.0, 中央値は 19.75 である。貧植生型の C_T の平均値はこの中央値より明らかに小さく、著しく植生の乏しいプロットが多かったことを示す。

調査期間を前期と後期に分けて、各生活型の期首の被度指数小計を貧植生型とその他の植生タイプとの間で比べると、被度指数小計 $C \leq 3$ の事例 (図-2, 3 の○サンプルに相当) の頻度は貧植生型で明らかに高かった (表-5 参照)。たとえばウラジロ・コシダ域で、植生タイプのいかににかかわらず出現頻度の低かった陽性草本とササ類を除く四つの生活型について、 $C \leq 3$ の事例の頻度を求めると、貧植生型で 27/36, その他の植生タイプで 29/68 であり、比率の差は統計的に有意と判定された ($p < 0.01$, 正規分布検定)。

ウラジロ・コシダ域の 0 年次における貧植生型とその他の植生タイプについて、0 年次の林況と立地条件各要素の平均値を表-6 に示した。0 年次の林況、立地条件ともに、貧植生型とその他の植生タイプの間に明瞭な差は認められなかった。

IV. 考 察

I. にも述べたように、 R_y と植被率の関係を定式化することができれば、林分密度管理を下層植生管理に結びつけることができる。本研究の強度間伐試験地では、 R_y と被度指数総計との間に統計的に有意な負の相関が得られた。しかし、これは R_y の小さなプロットへの草本類の侵入によって陽性草本と林床草本・地表植物の被度指数小計が著しく高められた結果であり (図-1, 表-4), この回帰式の適用範囲を R_y 0.6 を割り込むことのない通常の密度管理の範囲で (表-5), 他の生活型をも含めた植生を対象とする植生管理にまで広げることはできない。

本研究の通常施業試験地では R_y と被度指数総計との間に大きなばらつきがみられた (図-1)。鎌田・田嶋 (1995) も植被率の指数と R_y との間に大きなばらつきのあることを示した。植被率そのものと R_y との間にも同様に大きなばらつきのあることが示されている (林野庁, 2001)。さらに矢野ら (1987), 矢田・小谷 (1990) の結果をみると、林内相対照度と植被率の間のばらつきも同様に大きい。

このようにばらつきが大きくなる要因として、 R_y や林

表-6. ウラジロ・コシダ域における 0 年次の貧植生型プロットとその他のプロットの林況と地況の比較 (平均値 ± 標準偏差)

	$R_y \times 100$	林齢	標高	方位 ¹⁾	傾斜	地位指数
貧植生型	76 ± 9	33 ± 4	195 ± 193	0.40 ± 0.55	34 ± 7	16.7 ± 1.7
その他	79 ± 7	36 ± 10	258 ± 134	0.33 ± 0.50	32 ± 8	16.1 ± 1.8
平均値の差の有意性 ²⁾	ns ($p > 0.20$)	ns ($p > 0.20$)	ns ($p > 0.20$)	ns ($p > 0.20$)	ns ($p > 0.20$)	ns ($p > 0.20$)

¹⁾ 北～東 (時計回りに N45° W～S45° E), 1; 南～西 (時計回りに S45° E～N45° W), 0 として数量化。 ²⁾ Welch の検定による。

内相対照度の問題もさることながら、①植被率が調査時の明るさだけでなく、過去における明るさの推移、すなわち、林分管理の履歴にも大きく左右されること（林野庁、2001）、②植被率またはその指数において、光条件に対する反応の異なる複数の生活型の被覆面積が区別されていないこと、③分布可能な生活型の構成の異なる気候帯が区別されていないこと、などが考えられる。以下、これらの問題点の改善策について本研究で得られた結果に基づいて検討する。

1. 貧植生型を他の植生タイプから分ける

本研究の通常施業試験地で0年次に貧植生型であったプロットには、下層植生の著しく乏しいものが多く、その他の植生タイプとは被度指数総計が大きく異なった（表-5）。しかし、0年次の林況にも立地条件にも、その差に対応するような違いはみられなかった（表-6）。両者の違いには、過去の林分の取り扱いの違いが影響した可能性が高い。

林野庁（2001）は、ヒノキ人工林の土壤保全を視野に入れた下層植生管理に林分密度管理を応用する方法を検討した。そこでは、林内相対照度-植被率関係における大きなばらつきは保育経過と深い関係があるとされ、その改善のために「間伐、枝打ちを行っていないか、施業後10年以上を経過した林分（間伐手遅れ林）」と「間伐、枝打ち後3～9年経過した林分」が区別され、おのおのについて別個の近似曲線に基づく管理モデルが示されている。しかしこの区分では、区分後のデータにも、なお著しく大きなばらつきが残されている（P45, 図1-8）。このばらつきを減らす方策として、10年という区切りを細分し、間伐、枝打ちの強度についても段階を設けて、小区分ごとに別個のモデルを用意することが考えられる。しかし、保育履歴のデータそのものが整備されていない林分も多い現状では、実行は容易ではない。

本研究の「貧植生型」は調査時の植被率判定に基づいており、すべての対象林分について容易に得られる区分である。保育履歴の影響は大きいと考えられるが、その影響は被度指数総計（ C_T ）の値に集約され、 $C_T < 40$ と数値化されている。また、貧植生型では他の植生タイプに比べて各生活型の被度指数小計が3以下である頻度が高く、この状態から出発した場合、 R_y 0.6～0.9の通常密度管理の範囲では5～8年の期間に目立った植被率の回復を望めない場合の多いことが示された（図-2, 3）。貧植生型は間伐手遅れの履歴のある林分を多く含むと考えられる。したがって、貧植生型とその他の植生タイプとを区別して取り扱うことは、保育履歴に起因する収量比数-植被率間のばらつきを減らすうえに有効であると考えられる。

2. 被度指数小計（生活型を区別した植被率の指数）

陽性草本と林床草本・地表植物は常緑木本や落葉木本に比べて、強度間伐時の R_y の急激な変化への即応性が明らかに高かった（表-4）。常緑木本については、強度間伐区の被度指数小計が無間伐区に比べて小さくなる傾向がみられた。常緑木本のおもな構成要素は主幹のはっきりした亜

高木～高木性の種（ヒサカキ、アラカシ、シロダモ、ツブラジイ、サカキ、シキミ、ヤブツバキなど）であり、強度間伐時の伐倒、搬出による物理的損傷を受け易いと考えられる。これに対し、落葉木本のおもな構成要素は、叢生型の低木種（ナガバモミジイチゴ、ヤブムラサキ、コガクウツギ、クロモジ、シロモジなど）であり、被度指数小計にはそのような傾向はみられなかった（表-4）。

$\Sigma dR_y \times 100 \geq 0$ の領域（中庸仕立てと密仕立ての密度管理に対応）では、被度指数小計の初期値が $3 < C < 88$ の状態からの変化において、常緑木本の被度指数小計が現状維持または増加であったのに対し、落葉木本やウラジロ・コシダの被度指数小計は現状維持または減少であった（図-2）。

このように、 R_y の変化に伴う被度指数小計の変化は生活型によって明らかに異なった。したがって、生活型を区別した植被率またはその指数を目的変数とすることは、植被率と R_y との関係のばらつきを抑えるうえに有効であると考えられる。

また、これらの生活型の被度指数小計に基づいて定義された植生タイプの間には、土壤侵食の抑制効果に違いのあることが示されている。すなわち、梶原ら（1999）は効果の大きい順に、草本・地表植物型>ウラジロ・コシダ型>落葉広葉樹型≒常緑広葉樹型とし、井川原ら（2004）はウラジロ・コシダ型>草本・地表植物型>落葉広葉樹型≒常緑広葉樹型の序列を報告している。したがって、生活型別の植被率またはその指数を目的変数とすることにより、土壤保全に有効な管理法の選択に基準が与えられることになる。

3. 温度域の区別

深田ら（2005）の「温度域」はヒノキ人工林下層植生を対象とした温量指数による気候帯区分である。落葉樹域は常緑広葉樹、ウラジロ、コシダが林床で繁茂できない気候帯、カシ域は常緑広葉樹は繁茂できるが、ウラジロ、コシダは繁茂できない気候帯、ウラジロ・コシダ域は常緑広葉樹もウラジロ、コシダも共に繁茂できる気候帯であり、落葉木本、陽性草本、林床草本・地表植物はどの温度域にも繁茂できる。このように光要求度の異なる生活型の構成が温度域によって異なる結果、温度域は、それが区別されない場合には R_y -植被率関係のばらつきの要因として作用することになる。例を挙げると、ウラジロ・コシダ域では、常緑木本が存在することによって、 $\Sigma dR_y \times 100 \geq 50$ の領域（密仕立ての密度管理に対応）でも被度指数総計の増加が起りうるが（図-2）、落葉樹域ではそれは起り得ない。常緑木本の存在するウラジロ・コシダ域、カシ域と、それが存在しない落葉樹域では、強度間伐時の草本類の動きが異なる（表-4）などである。

また、通常密度管理下で被度指数小計 $C \leq 3$ の状況から出発する落葉木本と林床草本・地表植物の植被率の変化において、被度指数小計の増加する頻度がウラジロ・コシダ域に比べて落葉樹域で低かった（図-2, 3）。いったん植生が著しく乏しくなった場合、落葉樹域では相対的にその

回復が困難であることを意味する。これはブナ帯のヒノキ人工林では下層植生が乏しくなり易いとする清野 (1990) の指摘や、群馬県の標高 400~500 m 以上のヒノキ若齢林に下層植生消失型の林が多いとする曲沢ら (1992) の報告、また、貧植生型の相対頻度が、ウラジロ・コシダ域<カシ域<落葉樹域の順に増加することを示した深田ら (2005) の結果と一致する。このような気候帯間での植生回復速度の違いは、気候帯に起因する R_y -植被率関係のばらつき増大のもう一つの側面である。

以上から、温度域の区別が R_y -植被率関係のばらつきを抑制するうえで有効であることは明らかである。

V. ま と め

下層植生の植被率と林内光環境との関係についてこれまでに集積されたデータには、しばしば上述のような種々の原因からなるばらつきが含まれている。したがって、上に掲げたような区別がなされないままデータの上積みがなされたとしても、 R_y -植被率関係の散布図上の点の数は増えるが、ばらつきは改善されない。下層植生管理を目的とした密度管理モデルの実用性を高めるためには、必要な区別を行い、それぞれの区分ごとに R_y -植被率関係のデータを集積することが課題である。また、土壤保全を目的として下層植生管理を用いる場合には、本研究で例示したように光要求度と土壤侵食抑制効果を同時に反映した生活型区分を行うことが必要である。

本論文では林野庁の委託により高知県が実施した「酸性雨等森林衰退モニタリング事業」と「森林生態系を重視した公共事業の導入手法調査」のデータを使わせていただいた。記して謝意を表する。

引用文献

- 赤井龍男・吉村健次郎・真鍋逸平・有光一登・相場芳憲・杉浦孝蔵 (1981) 人工降雨によるヒノキ林内の落葉、土壤等の流出移動について (II) 一下層植生の成立状態の異なる若齢林分のリター、表層土の移動量一. 92 回日林論: 213-214.
- 安藤 貴 (1968) 密度管理. 246 pp, 農林出版, 東京.
- 安藤 貴 (1982) 林分の密度管理. 126 pp, 農林出版, 東京.
- 深田英久・渡辺直史・梶原規弘・塚本次郎 (2005) ヒノキ人工林の下層植生管理のための温度域区分—土壤保全を目的として—. 森林立地 47(2): 77-84.
- 東 敏生 (1989) 林地貯水能の定量化に関わる因子の測定・分析に関する試験. 広島県林試研報 23: 45-91.
- 井川原弘一・渡邊仁志・横井秀一 (2004) ヒノキ林内の下層植生の違いが土壤侵食に及ぼす影響. 115 回日林学術講: 818.
- 井上輝一郎・岩川雄幸・吉田桂子 (1987) ヒノキ単純林における落葉および土砂の移動. 林試研報 343: 171-186.
- 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壤侵食危険度との関係. 日林誌 81: 42-50.
- 鎌田一生・田嶋幸一 (1995) ヒノキ林における表土流亡危険度の指標について (III) 一林床植生と収量比数の関係について一. 日林九支研論集 48: 159-160.
- 河野良治・難波宣士 (1964) 林地からの土砂流出についての 1 測定. 日林講 75: 457-459.
- 吉良龍夫 (1949) 日本の森林帯, 林業解説シリーズ 17. 42 pp, 日林協, 東京.
- 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.
- 清野嘉之 (1990) ヒノキ人工林における下層植物群落の動態と制御に関する研究. 林試研報 359: 1-122.
- 入田慎太郎・塚本次郎・梶原規弘 (2001) 下層植生と地形に基づくヒノキ人工林の土壤侵食危険度区分. 日林誌 83: 204-210.
- 曲沢 修・小柏一久・川島祐介 (1992) 群馬県におけるヒノキ人工林の林床植生. 103 回日林論: 371-372.
- 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.
- 林野庁 (1981) 南近畿・四国地方ヒノキ林分密度管理図. 林野庁, 東京.
- 林野庁 (1996) 複層林の造成管理技術の開発. 156 pp, 林野庁, 東京.
- 林野庁 (2001) 災害に強い国土づくりのための間伐方法に関する調査報告書. 112 pp, 林野庁, 東京.
- 谷本丈夫 (1982) 造林地における下刈り, 除伐, つる切りに関する基礎的研究 (第 1 報) スギ幼齢造林地におけるスギと雑草木の生長. 林試研報 320: 53-121.
- 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・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—土壤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.
- 渡邊仁志・井川原弘一・横井秀一 (2004) 土壤侵食の危険性に対応したヒノキ人工林の下層植生タイプの分類. 中森研 52: 263-266.
- 矢田 豊・小谷二郎 (1990) 2 段林下層植生の動態—40 年生コナラ・アカマツを上木とした 1 事例—. 38 回日林中支論: 49-50.
- 矢野進治・千木 容・富田ひろし・中尾嘉治・中田清二・藤原信雄・池本 隆・二見鎌次郎・水永博巳・兵藤 博・佐々木浩 (1987) スギ・ヒノキ林内の相対照度 (II) —スギ林内の植生と相対照度—. 38 回日林関西支講: 191-194.
- 吉村健次郎・赤井龍男・真鍋逸平・相場芳憲・杉浦孝蔵・有光一登・本城尚正 (1981) 人工降雨によるヒノキ林内の落葉、土壤等の流出移動について (III) 一保育の異なる壮齢林分のリター、表層土の移動量一. 92 回日林論: 215-216.