資　料

間伐後3～5年が経過したヒノキ人工林の下層植生*

横井秀一・井川原弘一**・渡邊仁志

キーワード：ヒノキ，表土流亡，人工林，間伐，下層植生

Ⅰ　はじめに

林地の表土保全にとって，下層植生や堆積リターによる林床の被覆は重要である。ヒノキ林の場合，堆積リターの林床被覆効果が小さく，林床の被覆を支配する要因は下層植生である（三浦，2000）。ヒノキ林における下層植生と表土流亡の関係を調べた研究（梶原ら，1999；渡邊ら，2004）では，下層植生に乏しい貧植生型の林床で表土流亡の危険性が大きいことが指摘されている。また，ヒノキ林では下層植生が貧弱になりやすい（清野，1986；家原，2004）ことも明らかにされている。森林の環境保全機能を高い状態に維持するためには，ヒノキ林では，貧弱になりがちな下層植生を,そうならないように管理することが重要である。

下層植生の植被率に対し，林内の光条件は支配的な要因である（清野，1988）。人工林の管理のために行われる間伐は，造林木の肥大成長を促進させるなどの効果を発揮すると同時に，林内の光条件を明るくすることで，下層植生の発達にも貢献すると期待される。人工林の下層植生の実態や動態を，間伐との関連で調査した研究は多い（例えば，田内・上中，1988；田内，1991；村本ら，2005；深田ら，2006；伊東，2006など）。これらの研究では，間伐によって下層植生の種数が多くなったり，その植被率が大きくなることが明らかにされている。

しかし，岐阜県内には，間伐を行ったにもかかわらず,下層植生が発達していないヒノキ林が存在する(筆者らの観察による)。ヒノキ林では，間伐が下層植生の発達に対しての十分条件になっていない可能性がある。公共事業などでは，林地保全に効果的な下層植生の発達を期待して間伐が行われる場合があることから,間伐が下層植生の発達に寄与しないときの条件や,その場合に下層植生を発達させる方法があるかどうかを明らかにする必要がある。

そのための最初の段階として，間伐後のヒノキ林において，下層植生の実態を明らかにするための調査を行った。本報告では，下層植生の植被率を示し，それと林分構造や間伐のしかたとの関係を検討する。

Ⅱ　方法

１．調査地と調査方法

調査は，岐阜県美濃市，関市，中津川市，東白川村において，間伐後3～5年が経過したヒノキ人工林22林分で行った（表－1）。調査時におけるこれらの林齢は，20～37年（4林分は林齢が不明）である。間伐後の経過年数が3～5年の林分を調査対象にしたのは，間伐によって下層植生の発達が促進されたとしても，それを顕著にとらえられるようになるまでには数年を要し，一方，あまり年数が経過しすぎると，林冠の再閉鎖によって，発達した下層植生が衰退する可能性があると考えたことによる。

各調査地において，林分状況と下層植生，地表面の状態を調査した。林分状況の調査は，84～209m^{2}の林分調査区を設置し，ヒノキ生立木の胸高直径，樹高，枝下高，および直近の間伐で伐採されたヒノキ伐根の根元直径を測定した。下層植生の調査は，林分調査区内に設けた1m×1mの植生調査区5区，あるいは2m×5mの植生調査区1区，もしくは林分調査区全体で行った。下層植生は，地上高0～0.3m（草本層）と0.3～2m（低木層）に階層を区分し，それぞれの層について，シダ植物以上の高等植物を対象に，全植物の植被率および種ごとの被度(ブラウン・ブランケの被度階級による)を調査した。地表面の状態は，表土流亡の痕跡を調査した。1m×1mの植生調査区で植生調査を行った場合には，各植生調査区の中央に0.5m×0.5mの地表調査区を設置し，細根の露出面積率，土柱の個数，段差の延長と高さ（梶原ら，1999；渡邊ら，2004）を測定した。

＊　本研究の一部は，第116回日本森林学会大会で発表した。
＊＊　元:岐阜県森林研究所，現:岐阜県林政課。

表－１．調査地の林分状況

略号	所在地	林齢（年）	間伐後の経過年数（年）	間伐後						間伐木		間伐率	
				本数密度（/ha）	胸高断面積合計（m^2/ha）	材積（m^3/ha）	平均胸高直径（cm）	平均樹高（m）	平均枝下高（m）	本数（/ha）	断面積合計（m^2/ha）	本数率（%）	断面積率（%）
MN1	美濃市	32	3	989	31.1	249	19.8	15.9	9.3	330	9.5	25.0	23.4
MN2	美濃市		3	1472	47.6	337	20.0	14.3	7.8	353	7.4	19.4	13.5
SE1	関市迫間	21	3	1472	25.9	143	14.8	11.2	5.3	999	15.7	40.4	37.6
SE2	関市迫間	31	3	972	26.3	174	18.4	13.4	6.2	618	14.0	38.9	34.8
KH1	関市上之保		4	1370	22.9	105	14.3	9.3	2.4	476	4.9	25.8	17.6
KH2	関市上之保		4	718	30.5	313	23.1	19.8	11.4	335	19.7	31.8	39.3
MG1	関市武芸川町	24	3	1359	41.1	304	19.3	14.8	7.7	494	13.9	26.7	25.2
NK1	中津川市阿木	30	5	1423	43.1	321	19.4	14.8	6.6	824	15.9	36.7	27.0
NK2	中津川市阿木	30	5	1523	42.1	261	18.6	12.6	5.5	338	3.3	18.2	7.4
NK3	中津川市阿木	27	5	2047	50.1	355	17.5	14.3	7.2	365	7.5	15.2	12.9
NK4	中津川市阿木	27	5	1485	44.9	315	19.5	14.3	6.5	283	6.9	16.0	13.4
KM2	中津川市加子母	35	3	1100	24.9	185	16.7	14.8	7.2	900	49.2	45.0	66.4
KM3	中津川市加子母	35	3	1300	33.0	267	17.7	15.5	7.2	300	10.2	18.8	23.6
KM4	中津川市加子母	35	3	970	27.0	202	18.6	14.9	6.1	303	22.9	23.8	45.9
FK1	中津川市福岡町	21	3	2950	41.6	223	13.2	10.6	4.8	1424	13.3	32.6	24.3
FK2	中津川市福岡町	23	4	2503	47.7	327	15.5	13.8	6.8	1430	24.1	36.4	33.6
HS1	東白川村	35	4	1600	34.7	229	16.5	13.4	8.8	400	9.1	20.0	20.8
HS2	東白川村	35	4	2200	39.5	312	14.7	15.6	11.8	1900	37.8	46.3	48.9
HS3	東白川村	35	4	1600	46.0	411	19.0	17.7	12.7	400	31.5	20.0	40.7
HS4	東白川村	35	4	1900	42.1	352	16.2	15.2	9.9	600	25.0	24.0	37.2
HS5	東白川村	35	4	1100	34.3	303	19.6	17.0	10.7	300	29.5	21.4	46.3
HS6	東白川村		3	1900	44.8	363	16.9	15.8	10.3	1000	35.5	34.5	44.2

それ以外の場合には，細根の露出の程度と土柱・段差の量を4段階の指数（0：なし，1：目立たない，2：ふつうに目につく，3：目立つ）で調査した。

これらの調査は，2002年8～10月，2003年9～10月，2004年7～8月に実施した。

２．データ処理

（１）林分状況

ヒノキ生立木の調査で得られた値（平均胸高直径，平均樹高，平均枝下高，平均樹冠長：平均樹高と平均枝下高の差，本数密度，胸高断面積合計，林分材積など）を，間伐後の値とした。伐根の調査結果からは，間伐木の本数と間伐木の断面積合計を求めた。間伐木の断面積合計は，調査時の胸高直径が間伐直後に比べて大きくなっていることを考慮し，便宜的に，そのまま「間伐木の胸高断面積合計」と読み替えた。こちらの数値から，本数間伐率と断面積間伐率を求めた。

（２）下層植生

草本層の植被率と低木層の植被率を合計した値を，「植被率合計」とした。また，出現種ごとの被度（同じ種が草本層と低木層の両方に出現した場合は，大きいほうの被度）を植被率に換算し，それを種群ごとに積算した値を「積算植被率」，それらを合計した値を「全積算植被率」とした。被度から植被率への換算は，被度+：0.1%，被度1：5%，被度2：17.5%，被度3：37.5%，被度4：62.5%，被度5：87.5%とした（奥富・伊藤，1967）。種群は，ササ・ウラジロ群（ミヤコザサ，スズタケ，ウラジロ），草本種群（草本植物，最大高が0.5mに満たないヤブコウジ，フユイチゴ，ツルアリドオシなどの木本植物，ツタウルシなどの付着型のつる性木本植物），木本種群（草本種としなかった木本植物）に区分した。1m×1mの植生調査区で調査した場合は，5区の平均値を調査地の代表値とした。種群をこのように分類したのは，植物の生育のしかた（例えば，広く林床を覆う，地表近くに葉群を持つ，地上高の高い部分に葉群を持つなど）によって地表面の保護効果に差がある（梶原ら，1999；渡邉ら，2004）ことを考慮したことによる。

（３）地表面の状態

0.5m×0.5mの地表調査区で調査した細根の露出面積率と土柱の個数は，5区の平均値を調査地の代表値とした。同じく段差については，各区において，それぞれの段差の延長と高さの積を合計した値（段差面積）を算出し，これの平均値を調査地の代表値とした。細根の露出面積率と土柱の個数，段差面積から，次式によって，土壌侵食危険度指数（梶原ら，1999）を算出した。

$$Iei = 100\,(\,Ri / R_{max} + Pi / P_{max} + Ci / C_{max}\,)$$

ここで，Iei ：調査地iの土壌侵食危険度指数，Ri ：調査地iの細根露出面積率，R_{max}：同様の調査を実施した調査地における（以下も同じ）細根露出面積率の最大値，Pi：調査地iの土柱個数，P_{max}：土柱個数の最大値，Ci：調査地iの段差面積，C_{max}：段差面積の最大値である。なお，土壌侵食危険度指数は，同様の調査を行った調査地の中における相対的な表土流亡の程度（0～300の値をとる可能性があり，表土流亡の痕跡が顕著なほど数値が大きい）を示す。

4段階区分の指標で地表面調査を行った調査地では，細根の露出の程度の指数と土柱・段差の量の指数をたし合わせた値を土壌侵食度とした。土壌侵食度は，0～6の値を取り，表土流亡の痕跡が顕著なほど，数値が大きくなる。

Ⅲ　結果

1. 林分構造と間伐

調査地の林分状況を表－1に示す。

間伐後の本数密度（すべてヒノキ植栽木）は，最小が調査地KH2の718本/ha，最大が調査地FK1の2950本/haであった。調査地KH2の林齢は不明であるが，間伐後の平均胸高直径（23.1cm）が調査地の中で最も大きいことから，この調査地は林齢が高いと考えられる。一方の調査地FK1は，林齢がわかっている調査地の中で，最も若い林分であった。林齢と間伐後の本数密度との相関係数は-0.48（$p<0.05$）で，林齢が高いほど本数密度が低くなる傾向が認められた。ただし，調査地HS2のように，林齢が35年と高いにもかかわらず，本数密度（2200本/ha）が高い林分もみられた。

間伐木の本数は，283～1900本/haで，大きな幅があった。間伐本数が最も大きかったのは前出の調査地HS2で，この林分の間伐前の本数密度は4100本/haであった。間伐前の本数密度は，1053～4374本/haであった。

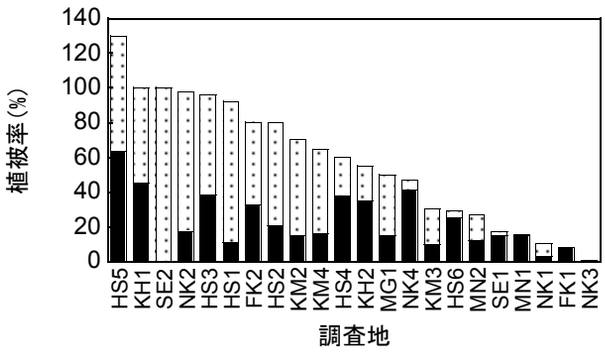
間伐率は，本数率が15.2～46.3%，断面積率が7.4～66.4%で，どちらも幅があり，とくに断面積率の幅が大きかった。断面積間伐率が最小であった調査地NK2は，断面積率が本数率よりずっと小さく，典型的な下層間伐が行われたと推察できる。断面積間伐率が最大であった調査地KM2は，本数率より断面積率が大きく，強度な上層間伐が行われたと推察される。

以上のように，本数密度や間伐率などの幅は大きく，間伐前の林分構造，間伐後の林分構造，間伐のされ方は，調査地により様々であった。

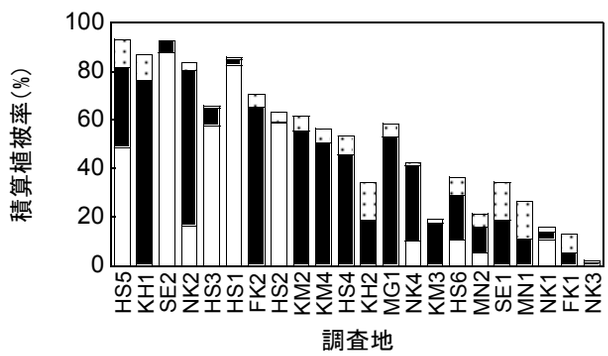
2. 下層植生の植被率

下層植生の植被率は，草本層の植被率が0～63.6%，低木層の植被率が0.5～100%，植被率合計が0.5～130%であった（図－1）。植被率合計が最も大きかった調査地HS5は，草本層の植被率と低木層の植被率の両方が60%以上であった。植被率合計が最も小さかった調査地NK3では，ほとんど植生がみられなかった。また，低木層の植被率が高く，草本層がない調査地（SE2）や少ない調査地（NK2，HS1など）がある一方で，草本層が主体の調査地（NK4，HS6，SE1，MN1，FK1）もあった。全般に，植被率合計の大きな調査地は，低木層の植被率が大きかった。

種群別の積算植被率を，図－2に示す。ササ・ウラジロ群の積算植被率は0～87.5%，木本種群の積算植被率は0.4～76.1%，草本種群の積算植被率は0～15.7%，これらを合算した全積算植被率は2.1～93.0%であった。各種群の積算植被率が大きい調査地について，優占種や被度の高い種を示す。ササ・ウラジロ群では，調査地HS5，HS3，HS1，HS2の優占種がミヤコザサ，調査地SE2の優占種がウラジロであった。木本種群では，調査地HS5がリョウブ，ヤマツツジ，コバノミツバツツジ，バイカツツジ，調査地KH1がアラカシとコバノミツバツツジ，調査地NK2がコアジサイ，コバノガマズミ，バイカツツジ，ムラサキシキブ，調査地FK2がヤブムラサキ，シロモジ，コアジサイ，調査地KM2が



図－1．下層植生の植被率
黒塗りは草本層，斜線は低木層を示す。調査地は，植被率合計（草本層の植被率＋低木層の植被率）の大きい順に並べた。



図－2．下層植生の積算植被率
白抜きはササ・ウラジロ群，黒塗りは木本種群，斜線は草本種群を示す。調査地の並び順は，図－1と同じ。

表－2．植被率と林分測度の相関

	植被率との相関係数			積算植被率との相関係数			
	植被率合計	草本層植被率	低木層植被率	全積算植被率	ササ・ウラジロ群	木本種群	草本種群
間伐後の経過年数	0.15	0.23	0.11	0.06	0.09	0.04	−0.34
間伐後の本数密度	−0.23	−0.10	−0.02	−0.22	−0.07	−0.11	−0.24
間伐後の胸高断面積合計	−0.27	−0.02	−0.22	−0.34	−0.07	−0.22	−0.44 *
間伐後の材積	−0.14	0.19	−0.27	−0.28	0.01	−0.29	−0.28
間伐木の本数	−0.10	−0.14	0.02	−0.04	0.05	−0.11	0.03
間伐木の断面積合計	0.25	0.25	0.09	0.19	0.13	0.04	0.09
間伐前の本数密度	−0.19	−0.13	0.00	−0.15	−0.02	−0.12	−0.13
間伐前の胸高断面積合計	0.05	0.21	−0.05	−0.04	0.07	−0.09	−0.19
本数間伐率	−0.02	−0.19	0.03	0.07	0.07	−0.05	0.23
断面積間伐率	0.27	0.21	0.11	0.23	0.14	0.05	0.25
間伐後の平均胸高直径	0.01	0.10	−0.19	−0.09	0.00	−0.12	0.05
間伐後の平均樹高	0.08	0.26	−0.18	−0.10	0.12	−0.27	0.07
間伐後の平均枝下高	0.17	0.31	−0.06	0.02	0.36	−0.41	0.06

*: p ＜0.05で有意。

シロモジ，調査地KM4がシロモジとウワミズザクラ，調査地HS4がコアジサイ，シロモジ，リョウブ，調査地MG1がヒサカキであった。これら木本種群の積算植被率が高い調査地は，いずれも，木本種の種数が多かった。草本種群では，調査地KH2がチヂミザサとリョウメンシダ，調査地SE1がチヂミザサ，コバノイシカグマ，ツタ，調査地MN1がショウジョウバカマとツルアリドオシであった。

以上のように，下層植生の植被率，層構造，種群構造は，調査地によって様々であった。植被率合計や全積算植被率が大きい調査地では，木本種群かササ・ウラジロ群，あるいはその両方の積算植被率が大きかった（図－2）。下層植生が発達した調査地は，ササ類やウラジロ，木本植物が優占しているといえる。

3. 林分構造，間伐率と下層植生の関係

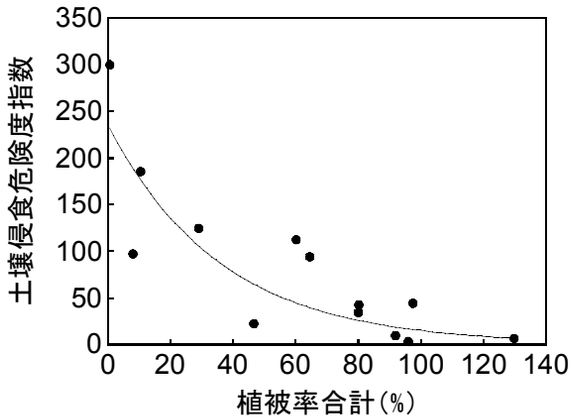
下層植生の植被率と各種の林分測度との相関係数を，表－2に示す。相関係数は，総じて低かった。相関係数が有意（$p<0.05$）であったのは，草本種群の積算植被率と間伐後の胸高断面積合計の間にみられた負の相関だけであった。植被率合計や全積算植被率と，間伐後のヒノキの総量を示す数値（本数密度，胸高断面積合計，材積）との間の相関係数は，すべて負の値であった。植被率合計や全積算植被率と，間伐の強さを示す数値（間伐木の断面積合計，断面積間伐率）との間の相関係数は，すべて正の値であった。

4. 下層植生と表土流亡の関係

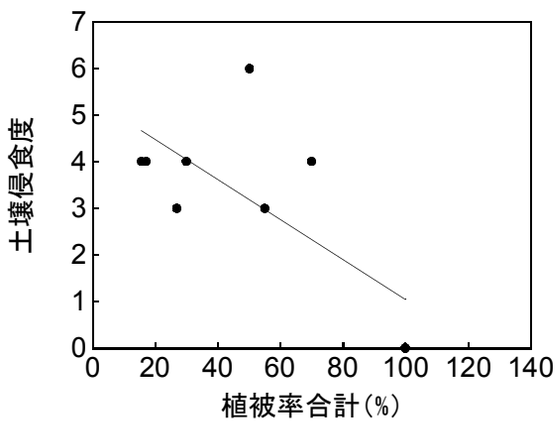
土壌侵食危険度指数は，植被率合計が小さいほど大きかった（図－3）。また，土壌侵食度は，植被率合計が100％の調査地では0であったが，それ以外の調査地では3～6であった（図－4）。土壌侵食度が3以上の調査地は，細根の露出か土柱・段差が，「ふつうに目につく」もしくは「目立つ」調査地である。これらのことから，間伐後のヒノキ林において，表土流亡が発生している林分があり，表土流亡の程度は植被率合計が小さいほど大きいことがわかる。

Ⅳ　考察

間伐後のヒノキ林において，下層植生の植被率は，調査地によって様々であり，植被率合計の小さい調査地が存在した。また，下層植生の植被率が小さい調査地では，表土流亡の痕跡が観察された。間伐から3～5年が経過した事例をみる限り，ヒノキ林において，間伐を行えば必ず下層植生が発達し，かつ，表土流亡を抑制できるわけではないことがわかった。中村(1992)は，間伐が行われたにもかかわらず下層植生が貧弱な



図－3. 植被率合計と土壌侵食危険度指数の関係
図中の曲線は，植被率合計の土壌侵食危険度指数への指数回帰曲線（$y = 235e^{-0.0276x}$, $R^2 = 0.735$）を示す。



図－4. 植被率合計と土壌侵食度の関係
図中の直線は，植被率合計の土壌侵食度への回帰直線（$y = 5.32 - 0.0429x$, $R^2 = 0.512$）を示す。

ヒノキ林が存在することを示し，その理由として，間伐率の低さ，間伐以前の無植生状態の長期化，間伐間隔のあきすぎが考えられるとしている。

間伐後の下層植生の植被率と，間伐後の林分状況や間伐のしかたを示す各種の数値との相関関係は，強くなかった。間伐後の下層植生の植被率は，間伐後の林分構造や間伐率などによって単純に説明することができないといえる。ただ，下層植生の植被率と間伐後のヒノキの総量を示す数値との相関係数は負の値であり，下層植生の植被率と間伐の強さを示す数値との相関係数は正の値であった。このことは，下層植生の発達に対して，間伐が何かしらのプラスの作用はしていることと，強めの間伐ほどその作用が強そうであることを暗示している。

本研究の調査地の中で，下層植生の植被率が大きかった調査地は，ミヤコザサやウラジロ，木本植物が優占していた。調査時に観察したこれらの生育状況からみて，これらの植物がすべて間伐後に侵入したとは考

えにくい。すなわち，下層植生の植被率が大きかった調査地は，間伐時に下層植生が存在しており，それが間伐による林内光環境の変化によって，より発達したものと考えることができる。こう考えると，間伐後に下層植生の植被率が低い調査地は，間伐時に無植被かそれに近い状態であった可能性が高い。下層植生に乏しいヒノキ林では，収量比数（*Ry*）0.6～0.9の通常の密度管理の範囲では目立った植被率の増加は望めないという指摘（深田ら，2006）や，前述の中村（1992）の指摘は，この可能性を支持する。

以上のことから，表土流亡が発生しないようにヒノキ林を管理するには，下層植生が一度も衰退しないようにすることが重要であると考えられる。そのようにするには，下層植生が衰退する前に間伐を行うということを，くり返すことが必要であろう。

下層植生が衰退したヒノキ林に下層植生を発達させるには，シダ植物以外は，埋土種子あるいは散布種子に頼らざるを得ない。下層植生に乏しいヒノキ林の埋土種子を調査した結果からは，その埋土種子数は他のタイプの森林よりは少なかったものの，埋土種子の存在は確認された（横井ら，2005）。深田ら（2006）や中村（1992）の指摘からは，間伐時に下層植生が貧弱なヒノキ林でも，通常より強めの間伐を行えば，下層植生が発達する可能性がうかがえる。渡邊ら（1998）は，無植被のヒノキ林で列状間伐を行い，集材時の地表撹乱が埋土種子の発芽を促したことを示した。強めの間伐や，それと地表撹乱の併用が，下層植生が衰退したヒノキ林における下層植生の発達に有効かどうか，検証を進める必要がある。

謝辞

現地調査で協力いただいた岐阜県森林研究所の古川邦明氏と茂木靖和氏に，謝意を表する。

引用文献

深田英久・渡辺直史・梶原規弘・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利用．日林誌88：231-239.

家原敏郎（2004）森林資源モニタリング調査データにおける下層植生量と林分密度－関東地方での検討－．日林関東支論55：61-62.

伊東宏樹（2006）京都近郊のスギ人工林における間伐後の下層植生．森林応用研究15：83-86.

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（1986）若いヒノキ林における下層植生の動態．日林論97：249-250.

清野嘉之（1988）ヒノキ人工林の下層植物群落の被度・種数の動態に影響を及ぼす要因の解析．日林誌70：455-460.

三浦覚（2000）表層土状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.

村本康治・野上寛五郎・高木正博（2005）ヒノキ壮齢林の下層植生におよぼす列状間伐の影響－間伐5年度の種組成－．九州森林研究58：59-62.

中村松三（1992）雲仙山塊におけるヒノキ林の林分閉鎖と林床植生．日林東北支誌44：93-94.

奥富清・伊藤秀三（1967）植生の調査法a分析的測定（生態学実習書．生態学実習懇談会編，朝倉書店，東京）．50-68.

田内裕之（1991）間伐による林床植生変化（Ⅱ）－構成種の優占度変化－.日林九支研論集44：99-100.

田内裕之・上中作次郎（1988）間伐による林床植生変化（Ⅰ）－伐採後の経過時間が異なる林分間の比較－．日林九支研論集41：105-106.

横井秀一・井川原弘一・渡邉仁志（2005）下層植生に乏しいヒノキ人工林の表土に含まれる埋土種子数．中森研53：5-6.

渡邉仁志・井川原弘一・横井秀一（2004）土壌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.

渡邊定元・奥野史恵・佐藤陽子（1998）無植被ヒノキ人工林の列状間伐跡地に発生した植物種．中森研46：133-136.