

速報

比較的強度な間伐による林分構造の変化と間伐後の林内光環境*¹荒木眞岳*² ・ 前田勇平*³

荒木眞岳・前田勇平：比較的強度な間伐による林分構造の変化と間伐後の林内光環境 九州森林研究 61：83-85, 2008 熊本県南部の比較的強度な間伐を行ったとされるスギ、ヒノキ人工林12林分について、伐根の地際直径から間伐木の胸高直径を推定し、間伐前後についての林分構造と間伐強度を明らかにした。また、全天写真から間伐後の林内光環境の指標として開空度とISFを把握した。林分構造の変化から、いずれの林分でも下層間伐が行われており、本数間伐率が30~40%の林分が多いことがわかった。本数間伐率が30~40%の林分における開空度は4~9%であり、本数間伐率で40%以下の下層間伐を行っても開空度が大きく増加しないことが示唆された。

キーワード：強度間伐, 林分構造, 間伐率, 開空度, ISF

I. はじめに

近年、木材価格の低迷や林業労働者の減少などの厳しい林業事情を反映して、適切な保育が行われずに放置された人工林が増加し、木材生産機能の低下および環境保全機能の劣化が懸念されている。間伐適期を過ぎた人工林を効率的に整備するため、林業事業体や地方公共団体の中には従来の多頻度、弱度の間伐に代わり、比較的強度な間伐を実施する例が見られるようになってきた。強度な間伐には、立木密度を大きく下げることによって残存木の成長を長期間期待するという木材生産機能の維持という目的に加え、林内の光環境を改善することで下層植生の発達を促し、環境保全機能の増加を期待する側面もあると考えられる。

間伐によって下層植生の発達を促進するためには、間伐が林内光環境に与える影響と、間伐後の林冠閉鎖にともなう林内光環境の変化を明らかにすることが重要であると考えられる。本研究では、間伐が遅れた人工林に比較的強度な間伐を行うことによる、間伐後の林内光環境の変化と下層植生の発達過程について明らかにすることを目標として、調査地を多点に設定した。本報告の目的は、間伐後に行った最初の調査から、間伐前後の林分構造と間伐強度を明らかにすること、および全天写真により間伐直後の林内光環境を把握することである。また、間伐強度が間伐後の林内光環境に与える影響を検討した。

II. 調査地と方法

熊本県南部（人吉市、多良木町、相良村、山江村）のスギ人工林5ヶ所、ヒノキ人工林7ヶ所を調査地とした。調査地は、間伐が原則過去10年間以上実施されていない民有林で、熊本県が環境税を投入して実施している「針広混交林化促進事業」によって、平成17年度末に本数間伐率で原則40%の間伐が行われた林分であ

る。調査地の標高は228~862mの範囲にあり、林齢は11~40年生であった（表-1）。

平成18年10月から翌年2月にかけて、各調査地に20×30mのプロットを設置して10×10mのサブプロットに区切り、毎木調査と全天写真の撮影を行った。プロット内の残存木について、全個体の胸高直径（DBH）とほぼ全個体の地際直径（ $D_{0.3}$ ）を測定した。各プロットにつき19~43本（平均29本）のサンプル個体について、樹高（H）と枝下高を測定した。今回の間伐による伐根にもナンバーを打ち、 $D_{0.3}$ を測定した。また、伐根の年輪数を数えて林齢とした。全天写真は各プロットにつき12ヶ所（サブプロットの角）で撮影した。機材はデジタルカメラ（Nikon Coolpix 4500）と魚眼レンズ（Nikon FC-E 8）を用い、曇天の日を選んで地上高1.3mで撮影した。

間伐木のDBHとH、および残存木の樹高未測定個体のHを以下のように推定した。プロットごとに残存木の $D_{0.3}$ とDBHの相対成長式を求め、伐根の $D_{0.3}$ をこの式に代入して間伐木のDBHを推定した。Hについては、プロットごとにサンプル個体のHとDBHの拡張相対成長式（13）を求め、DBHをこの式に代入して推定した。なお、間伐後の枝下高もHと同様の手順で推定した。間伐木および残存木の幹材積は、熊本営林局による幹材積式（10）にDBHとHを代入して求めた。収量比数（Ry）は、間伐後の平均樹高を上層木平均樹高として、九州地方の林分密度管理図（8, 9）より求めた。全天写真の解析にはフリーのソフトであるCanopOn 2 (<http://takenaka-akio.cool.ne.jp/etc/canopon2/>)を使用し、開空度（%）とIndirect Site Factor（ISF：%）を求めた。ISFの計算には、Standard Overcast Sky（SOC）モデル（1）を仮定した。ISFは開空度をもとに計算される散乱光についての相対光強度であり（7）、曇天時に測定された従来の相対照度にはほぼ相当すると考えられる（2）。プロットの開空度およびISFの値は、12ヶ所の算術平均値とした。

*¹ Araki, M. and Maeda, Y.: Examples of changes in stand structure and canopy openness after thinning in plantation stands

*² 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. Center. For. Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860-0862

*³ 熊本県林業研究指導所 Kumamoto Pref. Forestry Research Center, Kumamoto 860-0862

表-1. 調査区の林齢, 標高, 間伐前後の林分構造, 間伐強度および林内光環境

プロット	スギ					ヒノキ						
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	H-1	H-2	H-3	H-4	H-5	H-6	H-7
林齢 (年)	18	27	27	28	11	35	19	22	35	29	35	40
標高 (m)	274	370	618	683	712	471	862	228	235	240	544	550
間伐前平均直径 (cm)	16.7	17.5	17.7	12.9	18.7	15.1	12.4	8.9	13.9	11.0	10.9	19.0
平均樹高 (m)	14.4	18.6	19.5	17.1	13.9	18.5	8.6	11.7	17.4	15.6	13.3	18.7
立木密度 (本/ha)	1,850	2,017	1,967	2,983	2,000	2,200	2,850	2,450	2,467	3,217	3,717	2,183
断面積合計 (m ² /ha)	44.4	75.1	81.8	66.7	56.7	70.4	44.1	27.7	50.4	56.5	50.3	73.0
幹材積 (m ³ /ha)	349	697	791	602	399	668	196	179	472	478	364	703
取量比数	0.86	0.95	0.96	1.00	0.86	1.00	0.70	0.85	1.01	1.02	0.99	1.01
間伐後平均直径 (cm)	18.2	23.1	24.2	18.1	20.6	21.6	14.6	13.1	16.8	17.1	14.6	22.5
平均樹高 (m)	15.3	19.0	20.0	17.7	14.3	18.9	8.8	12.4	18.0	16.5	14.1	19.4
平均枝下高 (m)	6.9	14.1	14.6	11.6	6.1	11.3	4.8	7.9	13.6	11.4	11.0	13.5
平均樹冠長 (m)	8.4	5.0	5.5	6.2	8.2	7.6	4.0	4.5	4.5	5.2	3.2	6.0
立木密度 (本/ha)	1,267	1,367	1,300	1,950	1,200	1,533	1,833	1,550	1,517	1,800	1,867	833
断面積合計 (m ² /ha)	35.4	59.0	64.6	52.2	40.6	57.9	31.5	21.8	35.2	42.7	32.2	33.7
幹材積 (m ³ /ha)	283	550	628	475	288	553	143	145	336	370	240	332
取量比数	0.76	0.86	0.87	0.92	0.72	0.94	0.57	0.73	0.92	0.91	0.85	0.81
本数間伐率 (%)	32	32	34	35	40	30	36	37	39	44	50	62
断面積間伐率 (%)	20	21	21	22	28	18	29	21	30	24	36	54
材積間伐率 (%)	19	21	21	21	28	17	27	19	29	23	34	53
開空度 (%)	4.1	6.9	9.1	5.6	6.1	8.0	6.9	6.2	7.1	5.5	9.8	11.1
ISF (%)	8.1	12.5	15.6	11.0	12.1	13.4	12.5	11.7	12.8	8.2	16.8	19.1

Ⅲ. 結果と考察

(1) 間伐による林分構造の変化と間伐強度

残存木の $D_{0.3}$ と DBH の相対成長式はいずれのプロットでも有意な関係 ($p < 0.0001$, $R^2 = 0.66 \sim 0.99$ うち 9 プロットで $R^2 > 0.90$, $n = 36 \sim 90$) が得られ, 伐根の $D_{0.3}$ から間伐木の DBH を推定できた。よって, 各プロットについて, 間伐前と間伐後の林分構造, および間伐強度として本数間伐率, 断面積間伐率, 材積間伐率が明らかとなった (表-1)。

間伐前の林分構造は, 林齢が 11~40 年生, 平均直径が 8.9~19.0 cm, 平均樹高が 8.6~19.5 m, 立木密度が 1,850~3,717 本と (表-1), プロットによってまちまちであった。また, 間伐前の取量比数 (R_y) は H-2 を除けばいずれのプロットでも 0.85 以上であり (表-1), 間伐遅れ林分であったと考えられた。

本数間伐率は 30~62% で, 50% (H-6), 62% (H-7) と強度な間伐も見られたが, ほとんどのプロットで 30~40% であった (表-1)。断面積間伐率は 18~54% で, おおむね 20% 台であった (表-1)。材積間伐率は断面積間伐率とほぼ同等の値を示した (表-1)。間伐後の R_y は 0.57~0.94 となり (表-1), 間伐によって R_y が 0.07~0.20 低下した。間伐前の本数に対する間伐木と残存木の DBH の相対頻度分布 (S-5 の例を図-1 に示した) を見ると, いずれのプロットにおいても DBH の小さな個体が主に間伐されており, 下層間伐が行われたことがわかった。そのため, 平均胸高直径や平均樹高が間伐前に比べて間伐後に増加し (表-1), 断面積間伐率 (= 材積間伐率) は本数間伐率より小さくなった (図-2)。また, 本数間伐率が大きくなるほど, 断面積間伐率 (= 材積間伐率) と本数間伐率との差が小さくなる傾向

も認められた (図-2)。

(2) 間伐後の林内光環境

各プロットにおける間伐後の開空度と ISF はそれぞれ 4.1~11.1% と 8.1~19.1% であった (表-1)。ISF は開空度と強い直線関係 ($ISF = 1.58 \times \text{開空度} + 1.47$, $R^2 = 0.95$) にあったため, 以後, 開空度についてのみ述べる。本数間伐率が 30~40%, 断面積間伐率で 20% 台のプロットでは, 開空度が 4.1~9.1% であった (表-1)。また, 本数間伐率が 50%, 62% のプロットでは, 開空度がそれぞれ 9.8, 11.1% であった (表-1)。間伐率に対するこれらの開空度の値は, 26 年生のスギ林で間伐率と開空度の関係を調べた報告 (11) と比較してほぼ同等な値であった。本研究では間伐前の開空度を測定していないが, 閉鎖したスギ, ヒノキ人工林における開空度が 2~5% 程度 (2, 4, 11) であることから, 本数間伐率で 30~40% の下層間伐を行っても開空度は大きく増加しないことが示唆された。

間伐強度が林内光環境に与える影響について報告したものに, 断面積間伐率と間伐後の林内相対照度との関係を検討している例 (5) や, 間伐による開空度の変化をスギ林 (11) やヒノキ林 (4) で調べた例がある。竹内ら (11) は, 26 年生のスギ林に繰り返し間伐を行い, 間伐後の開空度あるいは間伐による開空度の増大量と, 本数間伐率, 断面積間伐率, 取量比数の低下量との間に強い関係があることを報告している。そこで, 開空度と, 本数間伐率, 断面積間伐率, 材積間伐率および R_y の低下量との関係を検討した (図-3)。なお, 材積間伐率については, 断面積間伐率とほぼ同じ値であったことから (表-1), 図を省略した。また, スギのプロット数が少ないこと, スギとヒノキで差が認められなかったことから (図-3), スギとヒノキを区別せずに

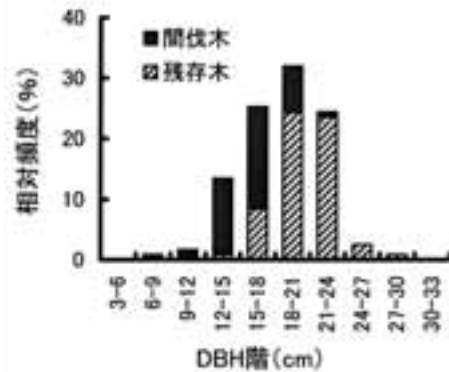


図-1. S-5における間伐前の本数に対する間伐木と残存木のDBHの相対頻度分布

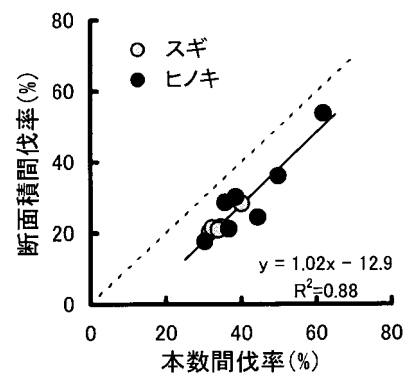


図-2. 本数間伐率と断面積間伐率の関係(図中の点線は $Y = X$ の直線を表す)

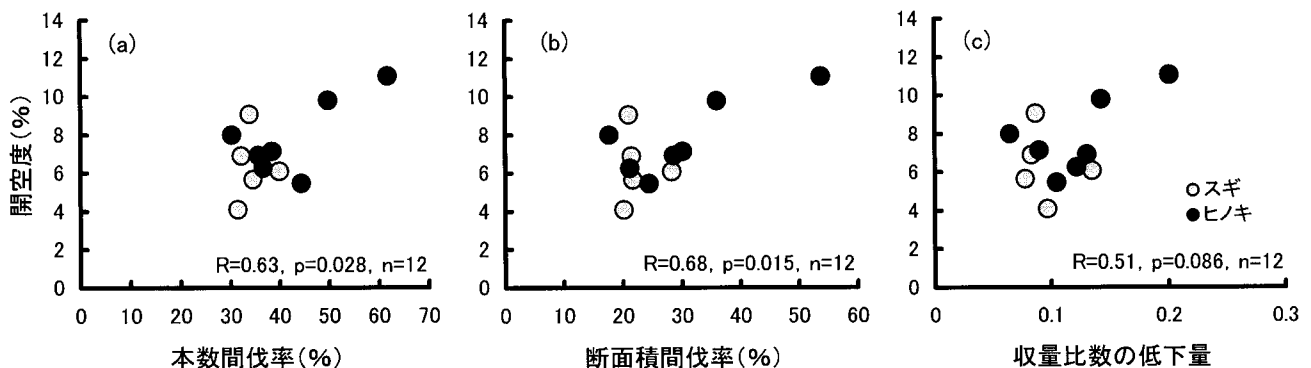


図-3. 間伐後の開空度と、本数間伐率 (a)、断面積間伐率 (b)、収量比数の低下量 (c) との関係(図中の R , p , n は、それぞれ変数間の相関係数、有意確率、標本数を表す)

扱った。Ryの低下量は開空度と有意な相関関係を示さなかった(図-3)。一方、本数、断面積、材積の各間伐率と開空度との間には有意な正の相関関係が認められ(図-3、材積間伐率と開空度の相関係数は0.69, $p < 0.05$, $n = 12$)、間伐率が増加すると開空度が増加する傾向を示した。しかし、本数間伐率が30%台、断面積間伐率が20%台で開空度のバラツキが大きかった。林内の相対照度や開空度を、樹高(6)、胸高断面積合計(3)、収量比数(11)や立木密度(12)など林分構造要素から推定している報告がある。そこで、開空度のバラツキにはプロットによる間伐前あるいは間伐後の林分構造の違いが影響していると考え、表-1に示した間伐前後の林分構造要素と開空度との相関関係を検討した。しかし、いずれの林分構造要素も開空度と有意な相関関係を示さなかった。本研究のように、地形や林分構造など様々な要因が異なる林分について間伐強度が林内光環境に与える影響を明らかにするには、さらなる検討が必要であると考えられた。

謝辞

本研究にあたり、森林所有者の方々には調査の許可をいただいた。各森林組合の方々には調査地の選定に便宜を図っていただいた。熊本県林業研究指導所の金坂光祐氏と田中裕次郎氏には、現

地調査に多大なご協力をいただいた。皆様へ深く感謝申し上げます。

引用文献

- (1) Anderson, M. C. (1969) J. Ecol. 52 : 27-41.
- (2) 荒木眞岳ほか(2000) 日林関東支論 51 : 83-84.
- (3) Hale, S. E. (2001) For. Ecol. Manage. 151 : 61-66.
- (4) 石川実ほか(2001) 日林学術講 112 : 62.
- (5) 河原輝彦(1988) 森林立地 30 : 10-13.
- (6) 小島正・石塚森吉(2004) 森林科学 41 : 21-27.
- (7) Machado, J. L. and Reich, P.B. (1999) Can. J. For. Res. 29 : 1438-1444.
- (8) 日本林業技術協会(1978) 九州地方スギ林分密度管理図.
- (9) 日本林業技術協会(1982) 九州地方ヒノキ林分密度管理図.
- (10) 林野庁(1970) 熊本営林局立木材積表-スギ、ヒノキ、モミ、ツガ、アカマツ。広I・II類-、102pp.
- (11) 竹内郁雄ほか(2002) 森林応用研究 11-1 : 13-16.
- (12) 宇都木玄ほか(2007) 日林誌 89 : 174-182.
- (13) 依田恭二(1971) 森林の生態学, 331pp, 築地書館, 東京.
(2007年11月19日受付; 2008年2月8日受理)