

## ミズナラとブナを主とする二次林に対する間伐が幹の肥大成長や後生枝の発達に与える影響

小谷 二郎<sup>\*1</sup>・山本 福壽<sup>2</sup>・谷口 真吾<sup>3,4</sup>・橋 詰 隼人<sup>5</sup>

鳥取大学附属フィールドサイエンスセンター「三朝の森」の45年生のミズナラやブナを主とする二次林で、間伐後21年目(一部、20年目)の生育状況を調査し、間伐効果を検討した。間伐は、上層間伐方式を採用した。胸高断面積合計の年平均成長量および成長率は、対照区に比べて間伐区や間伐+施肥区で多く(高く)なる傾向があった。しかしながら、施肥の効果はみられなかった。単木ごとの間伐直後の胸高直径と胸高断面積の年平均成長量や成長率の関係から、小中径木ほど間伐効果が高い傾向が明らかで、対照区に比べて間伐区(間伐+施肥区)で胸高直径25cm以上の大径木が増加した。間伐時に大きな直径階での間伐割合が高い林分で、大径木の本数が増加した。樹種別では、ミズナラ、ブナ、ミズメなどで間伐効果がみられたが、コシアブラやミズキでは間伐効果はみられずかえって間伐区で枯死木が多かった。ミズナラの後生枝の平均本数と間伐後21年目の林分材積の関係は、有意な負の相関を示した。林冠を構成する大きな胸高直径階での均等で高い間伐率は、単木ごとの肥大成長を促進すると同時に、林分材積が増加することで後生枝の少ない林分へ誘導するものと考えられる。

キーワード：上層間伐、後生枝、幹の肥大成長、ミズナラとブナの二次林、立て木

**Jiro Kodani,<sup>\*1</sup> Fukuju Yamamoto,<sup>2</sup> Shingo Taniguchi,<sup>3,4</sup> and Hayato Hashizume<sup>5</sup> (2010) Effect of Thinning on the Thickening Growth of Stems and Development of Epicormic Shoots in a Secondary Forest of *Quercus crispula* and *Fagus crenata*. J. Jpn. For. Soc. 92: 200-207.** Effects of thinning for 21 years (or 20 years) in a 45 year-old secondary forest dominated with *Quercus crispula* and *Fagus crenata* were examined in Misasa forests of Field Science Center, Faculty of Agriculture, Tottori University. In this experiment, we adopted a method of crown thinning. The mean growth increment (GI) or rate (GR) per year of total basal area was higher in thinning or thinning + fertilization plots than in the control (non-thinned) plots. However, the fertilization alone was not effective. From the relationship between the diameter at breast height (DBH) just after thinning and mean GI or GR of the basal area of individual stems, the effect of thinning was clear in small or middle sized stems in which the big stems with a DBH of more than 25 cm increased after thinning (thinning + fertilization) compared with the control plots. The high-rate thinning of the stems in the large DBH class contributed to the increase of big stems. The effect of thinning on the growth of *Quercus crispula*, *Fagus crenata* and *Betula grossa* was clear, but not in the case of *Acanthopanax sciadophyloides* or *Cornus controversa*. Several stems of the latter 2 species died in the thinning and thinning + fertilization plots, but not in the control plots. In the *Quercus crispula*, the mean number of epicormic shoots per stem and the stand volume after 21 years of thinning showed a significant negative correlation. It is concluded that high- and even-rate thinning of stems in the large DBH species comprising the crown canopy promoted the thickening growth of individual stems and total volume in the stand contributing to control of the development of epicormic shoots.

**Key words:** crown thinning, epicormic shoot, predominant tree, secondary forest of *Quercus crispula* and *Fagus crenata*, thickening growth of stem

### I. はじめに

近年、国土保全・景観維持・野生動物の生息環境への配慮などから、針葉樹人工林の長伐期化、針広混交林化、広葉樹林化など多様で健全な森林づくりに向けた森林の整備が求められている(林野庁, 2008)。今後日本全体として、これまでの針葉樹人工林を主とした森林造成から広葉樹を主とした森林造成へ徐々に移行していくものと考えられる。このことは、かつてのエネルギー資源として利用されていた時代ほどではないにしろ、広葉樹資源を利用する頻度も高まる可能性を示唆している。広葉樹を資源として利

用する場合、薪炭林やシイタケ原木林施業については古くからの伝承技術もあり確立された部分もある。しかしながら、二次林を用材林へ誘導するための施業方法に関しては、必要性を含めていまだ十分な結論と施業の方向性が出揃っていないとはいえない。

ミズナラやブナなど冷温帯の広葉樹二次林を間伐によって大径木化し、高付加価値材を生産する施業については、1950年代から提唱された(近藤, 1951)が、その後、1970年代から再び北海道(菊沢, 1978)や岐阜(戸田ら, 1982)などを先進地として検討されてきた。広葉樹二次林の間伐は、肥大成長を促進し(菊沢, 1981; 戸田ら,

\* 連絡先著者 (Corresponding author) E-mail: kodani@pref.ishikawa.lg.jp

<sup>1</sup> 石川県林業試験場 〒920-2114 白山市三ノ宮町ホ1 (Ishikawa Forest Experiment Station, Sannomiya Ho 1, Hakusan 920-2114, Japan)

<sup>2</sup> 鳥取大学農学部 〒680-8553 鳥取市湖山町南4-101 (Faculty of Agriculture, Tottori University, 4-101 Koyama-Minami, Tottori 680-8553, Japan)

<sup>3</sup> 兵庫県森林林業技術センター 〒671-2515 宍粟市山崎町五十波430 (Hyogo Prefectural Forestry Technology Institute, 430 Isonami, Yamazaki, Shiso 671-2515, Japan)

<sup>4</sup> 現所属：琉球大学農学部 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地 (Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus, 1 Senbaru, Nishihara, Okinawa 903-0213, Japan)

<sup>5</sup> 元鳥取大学農学部 (Ex-Faculty of Agriculture, Tottori University)

(2010年2月5日受付; 2010年5月10日受理)

1982; 橋詰ら, 1990; 高橋ら, 1990; 箕口, 1996; 和田ら, 2003), 年輪幅の増大によって材の強度を向上させること(戸田ら, 1996)が報告されている。一方で, 広葉樹では間伐後に幹に後生枝が発生する(Kramer and Kozlowski, 1979; Wignall *et al.*, 1987; Wignall and Browning, 1988; 橋詰ら, 1990; 横井, 1990; 藤森, 1994; 横井・山口, 1996)ことによる材質劣化が大きな問題となっている。しかしながら, 間伐効果の持続性や後生枝の動態について20年以上の長期に渡る結果はほんの一部で報告されているにすぎない(横井, 2000)。しかも, 天然生広葉樹林は複数の樹種が混交しており, 主要構成樹種のみならず混交樹種に対する間伐効果も不明な点が多い。広葉樹での間伐効果について, 間伐方法とともに, 間伐強度と成長の関係, ならびに立木の位置関係と後生枝の発生・消長の関係について, 林分レベルだけでなく単木(幹)レベルにおいても検討する必要がある。

広葉樹林の間伐方法は, 「立て木仕立て法」(牛山, 1991)に代表されるように, 定性的な上層間伐方法を基本とし, 将来の収穫対象としての「立て木」の選定条件は通直で一定の枝下高を確保した形質優良木である(近藤, 1951; 藤森, 1994)。したがって, 上層間伐であっても直径サイズよりも形質が優先され, 林分によって間伐前後での直径階分布の変化割合が異なると考えられる。一方, 後生枝は樹冠の発達した優勢木では間伐後でも発生しにくい(近藤, 1951; 柳沢, 1981)とされているが, 「立て木」として残された直径サイズによって後生枝の発生状況は異なることが予想される。間伐後のサイズの違いが林分レベルまたは単木(幹)レベルの成長にどのように影響するか, また後生枝の発生にどのような影響を与えるかを検証する必要がある。

広葉樹の肥大成長や後生枝の発生には, 間伐強度が関係していることが考えられる。間伐強度が高いほど幹の肥大成長は旺盛になる反面, 後生枝の発生も著しくなることが予想される。また, 間伐の強度は, 林分全体の胸高断面積合計や林分材積に影響するため, 林分閉鎖過程の違いによる光環境の変化にも影響を与え, 結果として後生枝の発達にも大きく関係することが考えられる。とくに, 材積にして40%以上の強度な間伐は, 林分自体の粗成長量を下げ(菊沢, 1979)ことから, 林分閉鎖が遅くなる場合があると考えられる。間伐強度と個々の幹や林分全体の成長および後生枝の発生の関係を効果の持続性も含め検討するとともに, 間伐前後やその後の林分変化と後生枝の発生・消長の関係を検討する必要があると考えられる。

冷温帯の落葉広葉樹二次林は, 各階層で多くの樹種で構成されている。上層林冠層においてもミズナラやブナなど主体となる樹種群に加え, いくつかの樹種が混交しているのが普通である。混交する広葉樹の中には, ミズメのように小群生するタイプやホオノキやクリなどのように点生するタイプなどがある(柳沢, 1981)。間伐とこれらの樹種の成長や後生枝の発生パターンの関係から, 間伐が広葉樹

の生育に与える影響について検討する必要がある。

そこで, この研究ではミズナラやブナを主とする45年生の二次林で間伐試験を行い, 21年を経過した時点での成長や後生枝の発生状況から, 林分および単木(幹)レベルに加え樹種ごとの効果も検討し, 肥大成長を促進し後生枝を抑制するために効果的な間伐方法について考察した。なお, この試験地では一部のプロットで施肥も行っているため, 施肥効果についても併せて検討した。

## II. 研究方法

### 1. 試験地

試験地は, 鳥取大学附属フィールドサイエンスセンター教育研究林「三朝の森」(旧三朝演習林; 鳥取県東伯郡三朝町大谷)4林班ハ小班で, 多くの樹種が混交した林齢45年生の落葉広葉樹二次林である。立地条件は, 標高800~900 m, 方位N~NW, 傾斜20~30°, 地質花崗岩, 土壌型B<sub>D</sub>~B<sub>D</sub>(d)型である。

この林分の林況はすでに報告(橋詰・小谷, 1985a)したとおり, ミズナラが最も優占度が高く, 次いでミズメが多く, ミズキは土壌水分の多い谷筋に, クリ, ホオノキ, ヤマザクラ, クマシデなどは斜面に散在していた。また, 場所によってはブナが純林状に出現していた。林冠を構成する優勢木の試験地設定時の平均胸高直径は14.9 cm, 平均樹高は11.7 m, 平均枝下高は6.0 mであった(橋詰ら, 1990)。

### 2. 試験方法

1984年6月と9月に樹種構成の異なる林分を選んで, 20 m×20 mのプロットを11カ所設置した。各プロット内の胸高直径5 cm以上について樹高, 胸高直径, 枝下高を測定したのち, ミズナラ, ブナ, ミズメ, クリ, コシアブラ, ミズキなど高木性19種で概ね胸高直径10 cm以上を対象として, プロット内で形質優良な幹(通直で枝張りがしつかりしたもの)を「立て木」としてha当たり550~850本選別し, それ以外の胸高直径10 cm以上の不良形質の幹を間伐の対象とした。間伐に当たっては, 20 m 梓よりも5 m 外側の範囲まで選木し間伐を行った。また, 株立ち木の場合は1株当たり2本以内に仕立てた。一方, 胸高直径10 cm未満は, 「立て木」の保護木の役割を果たす「副木」としてなるべく伐らずに残す方式を採用した(近藤, 1951; 牛山, 1991)。11カ所のプロットの内4カ所を無間伐の対照区とし, 残り7カ所を間伐したが, その内3カ所を施肥区とし, ha当たり1,000 kgの粒状化成肥料(N-P-K=20:10:10, %)を3年間施肥した。

再測が可能のように胸高直径部位にペンキで鉢巻状にマーキングを行うと同時に, ナンバリングを行った。継続調査は2005年(21年目)まで行った。1989年(5年目)まで毎年胸高直径を測定し, 1989年と2005年には胸高直径のほか樹高・枝下高の測定および幹に発生する後生枝の有無と地上4 mまでの後生枝数のカウントを行った。プロットT1~T3およびF1~F3は1984年の6月に間伐を

行ったので、成長期間を21年としたのに対し、プロットT4は間伐時期が同年の9月であったため実質の成長期間を20年とした。また、対照区のC1～C3は前者と同時期に、C4は後者と同時期に設定したので、それぞれの成長期間に合わせた。胸高直径の測定には直径巻尺を用い、樹高および枝下高の測定は測桿(1984年)と測高器(2005年)(パーテックスⅢ, ハグロフ社, スウェーデン)を用いた。

### 3. 解析方法

測定した胸高直径と樹高のデータから、単木(幹)ごとの胸高断面積および材積を算出した。材積の算出は、立木幹材積表(林野庁, 1970)の胸高直径と樹高の2変数による推定式を用いた。各処理区間での樹種ごとの胸高直径、胸高断面積、材積の年平均成長量および成長率、枝下高の変化量の比較は、一元配置の分散分析を行った後、Scheffeの多重比較によって検定した。成長率の算出は、プレスラー式を用いた。成長率は、1984年(プロットT4とC4は1985年)を期首とし2005年を期末とする21年(20年)間で算出した。幹に発生した後生枝は、樹種ごとの発生率と幹1本当たりの発生数を比較した。発生率は、処理区間で供試幹数を期待度数、発生幹数を観察度数とする $\chi^2$ 検定を行い、幹1本当たりの発生数は対照区と間伐(間

伐+施肥区)でt検定によって比較した。これら一連の統計解析には、JMP version 5.0 (SAS Institute, 2002)を用いた。

## III. 結 果

### 1. 間伐前後の林況

間伐前後での林分状況を表-1に示す。立木本数2,125～5,200本/ha、胸高断面積合計28.66～54.00 m<sup>2</sup>/ha、林分材積167.86～306.75 m<sup>3</sup>/haの林分に対し、本数で33.9～64.7%、胸高断面積合計で41.1～55.6%、材積で37.1～54.4%の間伐を実施した。「副木」とした亜高木は、なるべく伐採しないように心掛けた。しかし、林分によって上層木伐採の支障になりやむを得ず伐採した場合があった。間伐後の「立て木」の概況は、表-2のとおりである。対照区では、胸高直径10 cm以上のすべての幹を対象としたため、間伐区または間伐+施肥区よりも本数が多かった。間伐後の「立て木」の平均胸高直径は、20 cm前後となった。

間伐前後での胸高直径階別の本数分布および本数間伐率を表-3に示した。プロットT3, T4, F2は、他のプロットに比べ20 cm以上の上位の直径階での間伐率が高い傾向にあった。

表-1. 試験地の間伐前後の概況

プロット	胸高直径		間伐前			間伐後					
	平均	樹高	立木本数	胸高断面積	林分材積	立木本数		胸高断面積		林分材積	
	(cm)	(m)	合計 (本/ha)	合計 (m <sup>2</sup> /ha)	合計 (m <sup>3</sup> /ha)	合計 (本/ha)	間伐率 (%)	合計 (m <sup>2</sup> /ha)	間伐率 (%)	合計 (m <sup>3</sup> /ha)	間伐率 (%)
T1	12.2	9.6	3425	52.78	283.25	1850	46.0	29.07	44.0	161.89	42.8
T2	12.5	9.6	2700	38.38	198.25	1150	57.4	21.53	43.9	116.95	41.0
T3	12.9	10.0	3125	54.00	306.75	1300	59.6	23.99	55.6	139.95	54.4
T4	13.6	9.5	2875	50.80	261.75	1900	33.9	29.71	41.5	152.89	41.6
F1	12.7	11.1	2750	42.93	270.00	1350	50.9	25.29	41.1	169.94	37.1
F2	9.7	8.8	5200	46.78	237.00	2750	47.1	24.30	48.1	124.56	47.4
F3	13.3	12.0	2125	38.40	252.00	750	64.7	21.22	44.8	149.01	40.9
C1	12.2	9.7	2275	33.88	189.37	2275	0.0	33.88	0.0	189.37	0.0
C2	9.9	8.2	4025	37.81	180.57	4025	0.0	37.81	0.0	180.57	0.0
C3	10.0	9.9	2900	28.66	167.86	2900	0.0	28.66	0.0	167.86	0.0
C4	9.9	7.9	4275	40.90	184.39	4275	0.0	40.90	0.0	184.39	0.0

T1～T4, 間伐区; F1～F3, 間伐+施肥区; C1～C2, 対照区。

表-2. 間伐直後の「立て木」の概況

プロット	おもな 構成樹種	胸高	樹高	枝下高	立木本数	胸高	林分材積
		直径平均 (cm)	平均 (m)	平均 (m)	合計 (本/ha)	断面積合計 (m <sup>2</sup> /ha)	合計 (m <sup>3</sup> /ha)
T1	Qc・Cc・Bg	19.7	13.1	5.5	775	25.40	148.88
T2	Qc	17.0	12.1	5.9	850	20.26	111.94
T3	Bg・Qc・Cc	19.1	13.7	5.8	650	20.05	122.31
T4	Fc・Qc	19.7	12.3	4.5	650	20.55	116.63
F1	Qc・Ah	19.7	15.7	6.9	675	22.15	156.56
F2	Qc	16.9	12.4	6.0	775	17.79	99.13
F3	Qc・Sc・Bg	20.7	16.2	8.0	550	19.31	138.38
C1	Cc・Bg・Qc	18.7	13.7	7.0	775	23.46	145.69
C2	Qc・Bg	15.3	11.1	5.0	1300	25.33	129.25
C3	Qc・Bg	16.9	13.9	7.1	800	19.25	123.28
C4	Fc・Qc	16.9	10.7	3.8	1000	23.63	114.51

プロットの記号は、表-1を参照。Qc, ミズナラ; Cc, クリ; Bg, ミズメ; Fc, ブナ; Ah, ヤマハンノキ; Sc, ミズキ。

表-3. 間伐前後での胸高直径階別の本数変化と間伐率

プロット		胸高直径階			
		～10 cm	～20 cm	～30 cm	30 cm<
T1	間伐前	1875	1275	250	25
	間伐直後	1100 (41.3)	550 (56.9)	175 (30.0)	25 (0)
T2	間伐前	1250	1350	100	0
	間伐直後	350 (72.0)	725 (46.9)	75 (25.0)	— (—)
T3	間伐前	1750	900	425	50
	間伐直後	675 (61.4)	425 (52.8)	200 (52.9)	0 (100)
T4	間伐前	1350	1250	250	25
	間伐直後	1075 (20.4)	675 (46.0)	150 (40.0)	0 (100)
F1	間伐前	1375	1075	300	0
	間伐直後	700 (49.1)	400 (62.8)	250 (16.7)	— (—)
F2	間伐前	3800	1300	100	0
	間伐直後	2000 (47.4)	750 (42.3)	0 (100)	— (—)
F3	間伐前	950	950	225	25
	間伐直後	125 (86.8)	425 (55.3)	175 (22.2)	25 (0)

プロットの記号は、表-1を参照。( )内は間伐率を示す。間伐率は、直径階ごとに計算。

2. 間伐後 21 年間の林分変化

間伐後 21 年目における「立て木」の生育状況を表-4 に示す。枯死数(率)は、林分全体では対照区で多く(高く)なる傾向があったのに対し、「立て木」では処理区間に大きな差はみられなかった。プロット F1 の「立て木」の枯死率(14.8%)は、全プロットの中で最も高かった。林分全体の胸高断面積合計の年平均成長量は、間伐区で 0.90~0.98 m<sup>2</sup>/ha (対照区比:平均 2.1 倍)、間伐+施肥区で 0.47~0.92 m<sup>2</sup>/ha (同:平均 1.5 倍)であったのに対し、「立て木」では間伐区が 0.87~0.95 m<sup>2</sup>/ha (同:平均 1.6 倍)、間伐+施肥区が 0.47~0.90 m<sup>2</sup>/ha (同:平均 1.1 倍)であった。年平均成長率で比較すると、林分全体では、間伐区で 2.4~2.9% (対照区比:平均 2.4 倍)、間伐+施肥区で 1.6~2.7% (同:平均 2.0 倍)であったのに対し、「立て木」では間伐区で 2.6~3.1% (対照区比:平均 1.5 倍)、間伐+施肥区で 1.7~3.3% (同:平均 1.2 倍)であった。成長量、

成長率ともに「立て木」では林分全体より処理区間の差が小さかった。林分材積の年平均成長量(率)においても同様な傾向がみられた。

「立て木」の 21 年間の胸高直径階別本数分布の変化をプロットごとに比較した(表-5)。胸高直径 25 cm<の本数を 1984 年(1985 年)と 2005 年で比較すると、対照区で 25~75 本/ha が 125~300 本/ha(平均 200.0 本/ha 増加)に、間伐区で 25~150 本/ha が 325~425 本/ha (平均 312.5 本/ha 増加)に、間伐+施肥区で 0~125 本/ha が 275~450 本/ha (平均 283.3 本/ha 増加)となり、対照区に比べて間伐区および間伐+施肥区で大きな直径階の本数が増加した。間伐率(本数、胸高断面積合計、林分材積)と間伐後 21 年目での胸高直径 25 cm<の本数の間には正の相関関係がみられた(たとえば、 $y = 3.1666x + 225.78$ ,  $r = 0.732$ ,  $n = 11$ ,  $p < 0.01$ ; ただし、 $y$ , 胸高直径 25 cm<の本数; $x$ , 林分材積間伐率)。さらに、間伐後 21 年目での胸高直径 25

表-4. 「立て木」の間伐後 21 年目の生育状況

プロット	胸高直径 平均 (cm)	樹高 平均 (m)	枝下高 平均 (m)	立木本数 合計 (本/ha)	枯死本数 合計 (本/ha)	枯死率 割合 (%)	胸高断面積			林分材積		
							合計 (m <sup>2</sup> /ha)	成長量 (m <sup>2</sup> /ha・年)	成長率 (%/年)	合計 (m <sup>3</sup> /ha)	成長量 (m <sup>3</sup> /ha・年)	成長率 (%/年)
T1	27.2	15.6	6.8	675	100	12.9	43.46	0.87	2.6	277.05	6.53	3.1
T2	24.4	17.2	7.9	800	50	5.9	39.22	0.90	3.0	304.50	9.17	4.4
T3	28.0	16.7	7.8	600	50	7.7	39.91	0.95	3.2	270.30	7.05	3.6
T4	25.7	16.7	6.7	650	0	0.0	39.40	0.94	3.1	277.50	8.04	4.1
F1	26.4	21.5	10.5	575	100	14.8	31.96	0.47	1.7	311.75	7.39	3.2
F2	24.6	16.5	6.9	750	25	3.2	36.66	0.90	3.3	252.58	7.31	4.2
F3	27.4	18.9	10.0	500	50	9.1	30.84	0.55	2.2	243.73	5.02	2.6
C1	23.9	16.8	8.9	725	50	6.5	36.07	0.60	2.0	272.88	6.06	2.9
C2	18.9	12.8	6.0	1200	100	7.7	36.74	0.54	1.8	210.75	3.76	2.2
C3	21.6	15.3	8.1	700	100	12.5	27.70	0.41	1.8	195.18	3.47	2.2
C4	21.8	16.5	5.8	950	50	5.0	39.12	0.77	2.5	291.30	8.84	4.4

プロットの番号は、表-1を参照。T4とC4は、20年間の結果を示す。

表-5. 「立て木」の間伐直後と 21 年目での胸高直径階別本数分布

プロット		胸高直径階							合計	
		~15 cm	~20 cm	~25 cm	~30 cm	~35 cm	~40 cm	40 cm<	全体	25 cm<
T1	間伐直後	150 (50)	325	150 (50)	100	50			775 (100)	150
	21 年目	25	100	225	75	100	50	100	675	325
T2	間伐直後	275 (25)	400	150 (25)	25				850 (50)	25
	21 年目	25	150	250	275	75	25		800	375
T3	間伐直後	175 (50)	175	200	100				650 (50)	100
	21 年目	25	75	75	200	100	100	25	600	425
T4	間伐直後	75	325	225	25				650	25
	20 年目		50	175	250	75	75	25	650	425
F1	間伐直後	150 (25)	225	175 (50)	125 (25)				675 (100)	125 (25)
	21 年目	50	50	200	100	125	50		575	275
F2	間伐直後	225	475 (25)	75					775 (25)	0
	21 年目	25	125	150	425	25			750	450
F3	間伐直後	50	275 (50)	125	75	25			550 (50)	100
	21 年目		50	100	225	75	25	25	500	350
C1	間伐直後	225 (50)	375	100	50				775 (50)	75
	21 年目	100	125	200	175	100		25	725	300
C2	間伐直後	725 (100)	450	100	25				1300 (100)	25
	21 年目	300	400	300	100	100			1200	200
C3	間伐直後	325 (100)	275	150	50				800 (100)	50
	21 年目	75	275	175	150		25		700	175
C4	間伐直後	375 (50)	450	150	25				1000 (50)	25
	20 年目	175	350	125	150	125	25		950	300

表中の数値は、ha 当たりである。プロットの記号は、表-1に示す。T4とC1は、20年間の結果を示す。( )内は枯死数で、間伐直後の胸高直径階で示している。

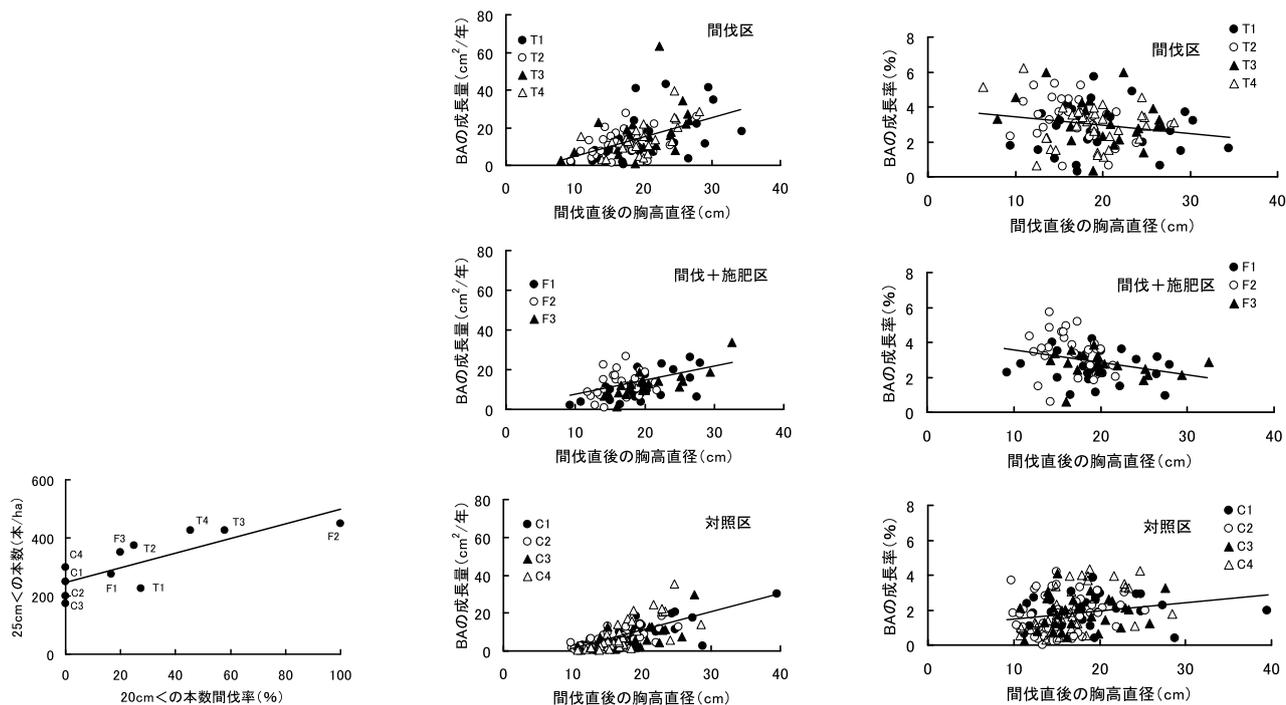


図-1. 「立て木」の胸高直径 20 cm < (間伐直後)の本数間伐率と胸高直径 25 cm < (間伐後 21 年目)の本数の関係

$y = 2.5103x + 246.91, r = 0.805, n = 11, p < 0.01$ .  
図中の記号は、プロット番号を示す(表-1 参照)。

図-2. 「立て木」の間伐直後の胸高直径と胸高断面積 (BA) の年平均成長量の関係

間伐区,  $y = 1.064x - 5.9829, r = 0.512, n = 109, p < 0.001$ . 間伐 + 施肥区,  $y = 0.7598x - 2.0653, r = 0.521, n = 73, p < 0.001$ . 対照区,  $y = 1.0275x - 10.551, r = 0.699, n = 143, p < 0.001$ .

図-3. 「立て木」の間伐直後の胸高直径と胸高断面積 (BA) の年平均成長率の関係

間伐区,  $y = -0.0486x + 3.9609, r = 0.191, n = 109, p < 0.05$ . 間伐 + 施肥区,  $y = -0.0684x + 4.1866, r = 0.287, n = 73, p < 0.05$ . 対照区,  $y = 0.0554x + 0.9809, r = 0.237, n = 143, p < 0.05$ .

cm < の本数は、間伐直後の 20 cm < の胸高直径階での本数間伐率との間に相関関係がみられた(図-1)。プロット T1, T2, F1, F2, F3 では、対照区に比べて大きな直径階で枯死がみられた(表-5)。

### 3. 単木(幹)ごとの成長促進効果

「立て木」の単木当たりの胸高断面積の年平均の成長量および成長率は、間伐直後の胸高直径との間で有意な相関関係を示した(図-2, 3)。処理区に関係なく、成長量は胸高直径が大きいほど多くなる傾向がみられた。ただし、間伐区では他の区に比べてばらつきが大きく、胸高直径 20~30 cm でも高い値を示す幹がみられた。成長率では、対照区に比べて間伐区および間伐 + 施肥区の胸高直径 20 cm 以下で 4% 以上の高い成長率を示す幹が多かった。全体、平均胸高直径以上、胸高直径 15 cm 以上、同 18 cm 以上、同 20 cm 以上について、胸高断面積の年平均の成長量および成長率を処理区間で比較したところ、20 cm 以上でのみ処理区間で差はみられなかった(一元配置分散分析,  $p > 0.05$ )。また、どの胸高直径範囲においても間伐区と間伐 + 施肥区の間には差はみられなかった(Scheffe の多重比較,  $p > 0.05$ )。

### 4. 樹種別の「立て木」の枯死率および成長の比較

クリ、ヤマザクラ、ウリハダカエデ、クマシデなどは対照区で枯死率が高く、逆に、コシアブラ、ミズキは間伐区または間伐 + 施肥区で枯死率が高い傾向にあった(表-6)。

これらの樹種に比べ、ミズナラ、ブナ、ミズメの枯死率は低かった(表-6)。

ミズナラ、ブナ、ミズメ、クマシデ、ホオノキの 5 種の胸高直径の年平均成長量および胸高断面積の年平均成長率は、間伐区または間伐 + 施肥区が対照区を上回った(表-6、一元配置分散分析,  $p < 0.05$ ; Scheffe の多重比較,  $p < 0.05$ )。ミズメとクマシデのみ、成長量および成長率とも間伐 + 施肥区が間伐区を上回った(一元配置分散分析,  $p < 0.05$ ; Scheffe の多重比較,  $p < 0.05$ )。

間伐直後の胸高直径階別に、21 年間の胸高断面積の年平均成長率を処理区間で比較したところ、ミズナラは胸高直径 18 cm 以上で、ブナおよびミズメは胸高直径 15 cm 以上で差がみられなかった(一元配置分散分析,  $p > 0.05$ )。この傾向は、年平均成長量でも同様であった。他の樹種では供試数が少ないため、比較することができなかった。

### 5. 幹からの後生枝の発生状況

主な 10 種について、「立て木」の幹からの後生枝の発生状況を対照区と間伐区(間伐 + 施肥区)で比較した(表-7)。間伐の有無に関係なく、ミズナラ、クリ、ミズキ、クマシデ、ホオノキなどは後生枝の発生率が高かった。処理区間で有意差がみられたのはミズメのみであった( $\chi^2$  検定,  $p < 0.05$ )。幹 1 本当たりの発生数は、ミズナラが極端に多く、クリ、クマシデなどがやや多い傾向にあった。しかし、どの樹種も処理区間で差はみられなかった( $t$  検定,  $p > 0.05$ )。

表-6. 主な樹種（立て木）の枯死率，胸高直径成長量および胸高断面積成長率

樹種	間伐区				間伐区+施肥区				対照区				分散分析	
	供試本数	枯死率割合 (%)	胸高直径成長量 (mm/年)	胸高断面積成長率 (%/年)	供試本数	枯死率割合 (%)	胸高直径成長量 (mm/年)	胸高断面積成長率 (%/年)	供試本数	枯死率割合 (%)	胸高直径成長量 (mm/年)	胸高断面積成長率 (%/年)	胸高直径成長量	胸高断面積成長率
Qc	39	7.7	3.3 <sup>A</sup>	2.9 <sup>a</sup>	37	0.0	3.5 <sup>A</sup>	3.0 <sup>a</sup>	37	2.6	2.2 <sup>B</sup>	2.0 <sup>b</sup>	***	***
Fc	29	0.0	5.0 <sup>A</sup>	3.7 <sup>a</sup>	—	—	—	—	18	0.0	3.1 <sup>B</sup>	2.7 <sup>b</sup>	*	**
Bg	9	0.0	3.0 <sup>B</sup>	2.7 <sup>b</sup>	11	0.0	4.0 <sup>A</sup>	3.3 <sup>a</sup>	31	6.5	2.1 <sup>B</sup>	2.1 <sup>b</sup>	***	**
Cc	10	10.0	3.1	2.5	2	0.0	3.6	2.6	10	30.0	2.8	2.2	ns	ns
As	5	40.0	2.1	1.1	6	50.0	2.2	2.0	16	0.0	1.3	1.5	ns	ns
Sc	1	0.0	4.2	3.9	6	33.3	2.3	1.9	4	0.0	1.7	1.6	ns	ns
Pj	2	0.0	5.0	3.4	2	0.0	4.2	2.6	2	50.0	2.1	2.2	ns	ns
Ar	7	14.3	5.1	3.8	1	0.0	5.4	4.2	7	28.6	3.0	2.4	ns	ns
Cj	6	0.0	1.4 <sup>B</sup>	1.5 <sup>b</sup>	1	0.0	3.0 <sup>A</sup>	3.5 <sup>a</sup>	5	20.0	0.6 <sup>B</sup>	0.9 <sup>b</sup>	***	*
Mo	3	0.0	4.0 <sup>A</sup>	3.4 <sup>a</sup>	4	0.0	4.0 <sup>A</sup>	3.5 <sup>a</sup>	7	0.0	1.5 <sup>B</sup>	1.6 <sup>b</sup>	***	**

分散分析の\*\*\*, \*\*, \*は、それぞれ0.1, 1, 5%水準での有意差を示す。nsは、有意差がないことを示す。表中のアルファベットは、処理区間でScheffeの多重比較を行った結果を示し、同じ記号の場合は有意差がないことを示す。Qc, ミズナラ; Fc, ブナ; Bg, ミズメ; Cc, クリ; As, コシアブラ; Sc, ミズキ; Pj, ヤマザクラ; Ar, ウリハダカエデ; Cj, クマシデ; Mo, ホオノキ。

表-7. 樹種別の幹からの後生枝の発生状況

樹種	間伐区および間伐+施肥区			対照区			検定	
	供試本数	発生率1本あたり割合 (%)	発生本数 (本)	供試本数	発生率1本あたり割合 (%)	発生本数 (本)	発生率 (χ <sup>2</sup> )	発生本数 (t検定)
Qc	72	91.7	11.3	38	81.6	11.5	ns	ns
Fc	30	40.0	0.8	18	16.7	0.3	ns	ns
Bg	20	45.0	0.2	28	10.7	1.3	*	ns
Cc	11	90.9	6.0	7	85.7	2.0	ns	ns
As	6	16.7	0.0	16	25.0	0.1	ns	ns
Sc	5	20.0	1.0	4	100.0	1.8	ns	ns
Pj	4	40.0	2.8	1	0.0	0.0	ns	ns
Ar	7	0.0	0.0	5	0.0	0.0	ns	ns
Cj	7	42.9	4.7	4	100.0	2.3	ns	ns
Mo	7	28.6	0.1	7	42.9	0.1	ns	ns

検定の\*は、5%水準での有意差を示す。nsは、処理区間で有意差がないことを示す。樹種の記号は、表-6に示す。

表-8. ミズナラ「立て木」の幹1本当たりの後生枝数および胸高直径 (DBH) 階別の幹数割合の比較

後生枝数本/幹	処理区	幹数割合 (%)	
		DBH 20 cm 以下	DBH 20 cm <
10 本未満	間伐区	56.6	55.6
	対照区	71.0	25.0
10 本以上	間伐区	43.4	44.4
	対照区	29.0	75.0
20 本以上	間伐区	18.9	16.7
	対照区	9.7	50.0

供試数は対照区 39, 間伐区 72。間伐区には、間伐+施肥区を含む。DBHは、間伐直後を示す。

ミズナラの間伐直後の胸高直径と幹1本当たりの後生枝数の関係は、対照区でのみ正の相関関係がみられた (図-4)。胸高直径 20 cm 以下では、統計的に有意差はみられなかったものの幹1本当たりの後生枝数は間伐区で多い傾向があった。一方、胸高直径 20 cm <では幹1本当たりの後生枝数は、間伐区で有意に少なかった (t検定,  $p < 0.05$ )。胸高直径 20 cm 以下では、後生枝数 10 本未満の割合が対照区で高かったのに対し、10 本以上または 20 本以上の割合は間伐区 (間伐+施肥区) で高くなった (表-8)。逆に、胸高直径 20 cm <では、間伐区 (間伐+施肥区) で 10 本未満の割合が高く、10 本以上または 20 本以上は対照

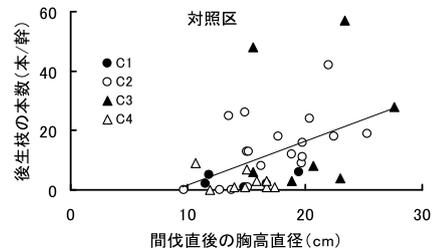
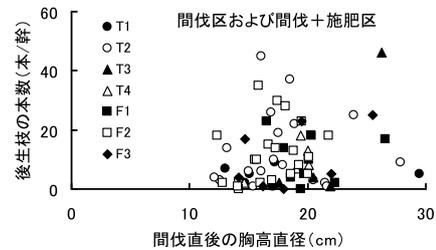


図-4. ミズナラ「立て木」の間伐直後の胸高直径と幹1本当たりの後生枝数の関係

対照区,  $y = 1.5821x - 15.392, r = 0.473, n = 39, p < 0.01$ 。間伐区および間伐+施肥区,  $n = 72$ 。

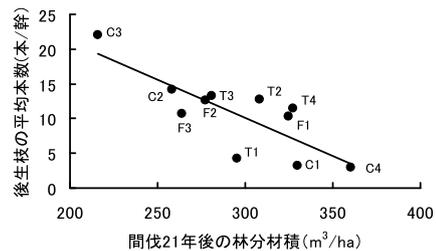


図-5. 間伐後 21 年目の林分材積とミズナラ「立て木」の幹1本当たりの後生枝数の関係

$y = -0.1095x + 42.986, r = 0.799, n = 11, p < 0.01$ 。図中の記号は、プロット番号を示す (表-1 参照)。

区で割合が高くなった。各プロットでのミズナラの幹1本当たりの後生枝の平均本数は、間伐後 21 年目の林分材積 ( $p < 0.05$ , 図-5) や胸高断面積合計 ( $y = -0.5291x + 33.387, n = 11, r = 0.608, p < 0.05$ ) と負の相関関係がみられ、林分

材積の年平均成長量との間にも若干の負の相関関係がみられた ( $y = -1.4876x + 20.51, n = 11, p = 0.071$ )。後生枝数の多いプロット C2 や C3 (無間伐区) は、成長量または成長率が小さい (低い) 傾向にあった (図-5, 表-4)。

#### 6. 生枝下高の変化

間伐 21 年目の平均枝下高は、どのプロットも間伐直後に比べて高くなった (表-2, 4)。しかし、21 年間の平均枝下高の変化量は処理区間で有意差はみられなかった (一元配置分散分析,  $p > 0.05$ )。

### IV. 考 察

45 年生のミズナラやブナを主とする落葉広葉樹二次林に対し、本数で 33.9~64.7%, 胸高断面積合計で 41.1~55.6%, 材積で 37.1~54.4% の割合で上層林冠の競争木を中心とした間伐を実施し 21 年間の成長変化を比較した。その結果、林分レベルでの「立て木」の胸高断面積合計の成長率は間伐区または間伐+施肥区が無間伐の対照区を約 1.4 倍 (間伐区, 1.5 倍; 間伐+施肥区, 1.2 倍) 上回っていた (表-4)。間伐 5 年目の結果 (橋詰ら, 1990) では、間伐区または間伐+施肥区が対照区の約 1.6 倍の成長率であったことから、やや減少していたものの 21 年間効果が持続されていたことが示された (表-4)。しかしながら、成長に対する施肥の効果については、今回も 5 年目 (橋詰ら, 1990) と同様に明らかではなかった (図-2, 3; 表-4)。間伐区または間伐+施肥区の一部で比較的大きな直径階で枯死が発生した (表-5) ため、「立て木」の枯死率が高く、林分当たりの成長量および成長率とも少ない (低い) 林分もみられた (表-4)。しかし、単木的には対照区に比べて成長量や成長率が多い (高い) 幹が多く (図-2, 3), 胸高直径 25 cm 未満の本数も増加している (図-1, 表-5) ことから、間伐が大径木の本数増加に寄与したことを示している。

「立て木」の胸高断面積合計の成長量や成長率は、林分全体に比べて処理区間の差が小さく (表-4), 間伐直後の胸高直径 20 cm 以上の優勢木に対しては処理区間に差がみられなかった (図-2, 3)。このことは、間伐による成長促進効果が主に小中径木に現れたことを示している。間伐によって小径木ほど成長率が高くなるという結果は、これまでにブナで報告 (橋詰・小谷, 1985b; 高橋ら, 1990; 和田ら, 2003) され、上限の直径階よりも小から中径の直径階にその効果がみられる原因として、主要な間伐対象が小から中径木に集中することに関係がある (高橋ら, 1990) とされる。また、ケヤキ人工林においては上層間伐では大きな直径階ほど、下層間伐においては小さな直径階ほど成長促進効果がみられる (小谷ら, 2003) とされている。55 年生のブナ二次林においても、上層木の成長促進には強度な上層間伐が必要 (箕口, 1996) とされている。今回の試験においても、間伐率が高いほど成長量および成長率が多く (高く) なる傾向があり、胸高直径 20 cm 以上での間伐率が高い林分ほど 25 cm 以上の大径木が増加する傾向がみられた (図-1)。とくに、大径木の本数増加に貢献度が

高かったのはプロット T3, T4, F2 のように上限の直径階での間伐率が高い林分であった (表-5)。胸高直径 20 cm は、この試験では間伐区の「立て木」の平均値に相当する。つまり、大径木を多く生産するには、上限を含め大きな直径階での間伐率を高める必要があると考えられる。

間伐による成長促進効果はミズナラ、ブナ、ホオノキでみられ、また間伐に加え施肥による効果がミズメ・クマシデでみられた (表-6)。ミズナラやブナは他の試験でも間伐の効果が報告 (近藤, 1951; 今田, 1972; 菊沢, 1983; 高橋ら, 1990; 箕口, 1996; 和田ら, 2003) されていることから、これらの樹種は効果が現れやすいタイプと考えられる。しかしながら、ミズナラ、ブナ、ミズメいずれも小径木ほど成長量および成長率とも高い値を示す傾向があった。これらの樹種は、他の樹種に比べて密度が高い (橋詰・小谷, 1985a; 橋詰ら, 1990) 割に枯死数が少ない (表-6) ことから、比較的耐陰性が高いタイプと考えられる。こうした耐陰性の高さによって、間伐による被圧からの開放度の大きな小径木では成長促進効果が現れやすかったのかもしれない。逆に、もともと受光量の多い大径木ではその効果が現れにくかった可能性が考えられる。一方、他の樹種は林分に点在的に混交しているためサンプル数が少なく効果を十分に検証しにくい面もあったが、いくつか特徴がみられる。間伐 5 年目の結果ではクリ、コシアブラ、ミズキ以外の 7 樹種に間伐効果がみられ (橋詰ら, 1990), 21 年目ではそのうち 2 種 (ヤマザクラ, ウリハダカエデ) で効果がみられなくなっていた (表-6)。クリ、ヤマザクラ, ウリハダカエデ, クマシデは対照区で枯死率が高かったのに対し、コシアブラ, ミズキは間伐区 (間伐+施肥区) で枯死率が高かった (表-6)。これらのことは、樹種によって間伐後の競合関係や環境変化の影響度が異なることを示唆している。少なくとも、間伐区で枯死が多かった樹種に関しては間伐による成長促進効果は低いと考えられる。ミズメとクマシデの間伐後 21 年目で間伐に加え施肥の効果が認められた (表-6) 点については、今後検討の必要がある。

後生枝の発生状況は樹種によって著しく異なり、ミズナラ、クリなどは発生率が高く、幹 1 本当たりの後生枝数も多い傾向がみられた (表-7)。しかしながら、後生枝数は間伐の有無による差はほとんどみられず、傾向は間伐後 5 年目 (橋詰ら, 1990) と概ね変わらなかった。このことは、後生枝は間伐前および間伐後 3 年以内に発生するものが多い (横井・山口, 1996) という結果を反映し、発生数に対する間伐の影響度が低い (Wignall *et al.*, 1987) ことを示唆している。また、ミズナラの間伐区 (間伐+施肥区) での後生枝数は、対照区のように間伐直後の胸高直径との間に正の相関関係がみられず (図-4), 胸高直径 20 cm 未満では対照区よりも後生枝数が少なかった (表-8)。このことは、優勢木では間伐によって光環境が改善されても後生枝は増加せず、むしろ減少する可能性を示唆している。一方、胸高直径 20 cm 以下で対照区に比べて後生枝数が多い傾向を示した (表-8) ことは、間伐による光環境の改善が小中

径木での後生枝数を増加する可能性を示唆している。無間伐林分での後生枝は、発生と枯死を繰り返している（横井・山口, 1996）とされることから、間伐は後生枝の生存率を高め、枝として発達させることがあると考えられる。これらのことは、後生枝の発生は基本的に樹種の特性によるところが大きく、発生後は間伐などの光環境の変化に影響され、被圧状態にあった小中径木ほど光環境の改善によって後生枝が発達しやすい（Kramer and Kozlowski, 1979）ことを示している。林分レベルで比較すると、間伐直後の林分材積や間伐率よりも現在の林分材積（間伐後21年目）が関係し、林分材積が少ないほど後生枝数は多い傾向がみられた（図-5）。また、胸高断面積合計や林分材積の成長量や成長率の低い無間伐林分で発生数が多い傾向（図-6, 表-4）がみられたことから、間伐によって林分レベルでの成長を促進することは後生枝の発達を抑えるのに貢献すると思われる。このことから、後生枝の発達を抑えるためには上層木間での間伐率を十分に確保することにより「立て木」の成長を促進させ林分材積を高める必要があると考えられる。ただし、この調査では後生枝の長さや直径など発達度合いの指標となる因子を測定していないので、対照区と間伐区での後生枝の質の違いを評価することができなかった。これは、今後の検討課題と考えられる。

枝下高は、間伐の有無に関係なく高くなっていた（表-2, 4）。このことは、今回の間伐率の範囲では20年以上経過すれば枝下高が高くなることを示唆している。胸高直径15 cm以下の約40年生のブナ二次林で、材積伐採率57%の整理伐から10年後の枝下高は対照区に比べ約半分の高さであった（橋詰・小谷, 1985b）。また、26年生のクリやミズナラを主とする二次林においても「立て木」の仕立て本数が300~500本/ha（材積間伐率60~74%）の林分では24年経過した時点で無間伐林分に比べて、枝の枯れ上がり高の頻度分布が低い範囲に偏っている（横井, 2000）。今回の試験においては、「立て木」が550~850本/haと比較的本数が多いために対照区との差がみられなかったと考えられる。

以上のことから、ミズナラやブナを主とする落葉広葉樹二次林に対する間伐による成長促進効果は、間伐初期に比べれば減少し、かつ樹種により効果の有無は異なったものの、21年間持続していることが明らかとなった。ミズナラ、ブナ、ミズメでは直径成長に対する促進効果が明らかであったのに対し、コシアブラやミズキなどでは効果が低かった。ミズナラにおける後生枝の発生数は、間伐林分と無間伐林分で大きな差はなく、間伐林分ではむしろ小中径木で多い傾向があった。大径木の本数増加と後生枝の発達抑制のためには、二次林の直径階分布を基にして、上層木間での高い間伐率と均等な配置によって「立て木」の成長を促進させて林分材積を高めることが重要であると考えられる。施肥は必要ないが、上層木を中心とした材積割合で40~50%程度の間伐を1回行うだけでも二次林の林相改良

による大径材生産に効果的と考えられた。

本論文の草稿を進めるに当たり、多大なるご助言を賜った岐阜県立森林文化アカデミーの横井秀一氏に深く感謝申し上げます。また、本研究を行うに当たり、現地での調査をお手伝いいただいた鳥取大学農学部造林学研究室の学生諸氏に厚くお礼申し上げます。

## 引用文献

- 藤森隆郎 (1994) 広葉樹林の特性とその取扱いの基本. (広葉樹林施業. 藤森隆郎・河原輝彦編, 全国林業改良普及協会). 10-37.
- 橋詰隼人・小谷二郎 (1985a) 落葉広葉樹二次林の林相改良施業に関する研究 (I) 鳥取大学三朝演習林における二次林の林分構造と主要樹種の生育状況について. 36回日林関西支講: 169-172.
- 橋詰隼人・小谷二郎 (1985b) 落葉広葉樹二次林の改良施業に関する研究 (I) ブナ二次林の生長に対する整理伐の効果. 鳥大農研報 38: 51-59.
- 橋詰隼人・黒井 大・小谷二郎 (1990) 落葉広葉樹二次林の間伐試験. 101回日林論: 413-414.
- 今田盛生 (1972) ミズナラの構造材林作業に関する研究. 九大演習林報 45: 81-225.
- 菊沢喜八郎 (1978) 北海道における天然生広葉樹林の収量—密度図. 日林誌 60: 56-63.
- 菊沢喜八郎 (1979) 収量—密度図を利用した収穫予想の試み. 日林誌 61: 429-436.
- 菊沢喜八郎 (1981) 間伐効果に関する定量的研究 (I) 収量—密度図を用いた分析. 日林誌 63: 51-59.
- 菊沢喜八郎 (1983) 北海道の広葉樹林. 152 pp, 北海道造林振興協会.
- 小谷二郎・片岡久雄・森 吉昭 (2003) ケヤキ人工林の初回間伐の効果. 石川県林試研報 34: 1-6.
- 近藤 助 (1951) 潤葉樹用材林作業. 158 pp, 朝倉書店.
- Kramer, P.J. and Kozlowski, T.T. (1979) Physiology of woody plants. Academic Press, Inc.
- 箕口秀夫 (1996) ブナ二次林の間伐効果 (予報). 新潟県林試研報 38: 17-21.
- 林野庁 (1970) 立木幹材積表—西日本編—. 319 pp, 日本林業調査会.
- 林野庁 (2008) 平成20年度版森林・林業白書. 日本林業協会.
- SAS Institute (2002) JMP (statistical discovery software) version 5 (日本語版). SAS Institute.
- 高橋和規・小坂淳一・金豊太郎・小西 明 (1990) ブナ林の間伐効果分析 (10) —田沢湖営林署試験地10年目の成績—. 日林東北支誌 42: 78-80.
- 戸田清佐・山口 清・中谷和司・肥垣津登 (1982) 有用広葉樹林の育成技術に関する研究 (I). 岐阜県寒冷地林試研報 5: 1-31.
- 戸田清佐・富田守泰・高田秀樹 (1996) 落葉広葉樹混生林を構成する数樹種の間伐による肥大成長と材質への影響. 森林立地 38: 28-34.
- 牛山六郎 (1991) 広葉樹用材林の間伐法—立て木仕立て法—. 山林 1280: 13-17.
- 和田 覚・澤田智志・石田秀雄・小坂淳一 (2003) ブナ二次林の間伐効果—秋田県田沢湖試験地の事例—. 東北森林科学 8: 10-13.
- Wignall T. A. and Browning G. (1988) The effects of stand thinning and artificial shading on epicormic bud emergence in pedunculate oak (*Quercus robur* L.). Forestry 61: 45-59.
- Wignall, T.A., Browning, G., and Mackenzie, K.A.D. (1987) The physiology of epicormic bud emergence in pedunculate oak (*Quercus robur* L.) response to partial notch girdling in thinned and unthinned stand. Forestry 60: 45-56.
- 柳沢聡雄 (1981) 落葉広葉樹林の施業. (広葉樹林とその施業. 林野庁研究普及課監修, 地球社). 117-172.
- 横井秀一 (1990) 間伐したクリの単木における間伐効果と不定枝の発生. 38回日林中支論: 97-100.
- 横井秀一 (2000) 用材生産に向けた広葉樹二次林の間伐. 山林 1392: 37-44.
- 横井秀一・山口 清 (1996) ミズナラの後生枝の発起源と間伐がその発達に及ぼす影響. 日林誌 78: 169-174.