

過密人工林管理技術の開発

大矢信次郎・近藤道治

間伐が行われず過密状態となっている針葉樹人工林において、その林分構造を明らかにするとともに、間伐施業が残存木の成長量及び気象害発生に与える影響を調査した。県内5か所に設定した過密人工林間伐試験地の間伐前の林分状況を調査したところ、いずれの試験地においても立木の胸高直径には優劣が付いており、直径階分布は正規分布型を示していた。また、過密林分内の立木配置をI δ 指数により評価したところ、林分内の優勢木は一様分布していた。これらのことから、間伐の際には直径階上位から残存候補木を選木することによって、残存木の配置を均一にすることが可能と考えられた。次に、過密人工林間伐試験地における間伐後の残存木の直径成長量を解析した結果、中庸木は間伐を行うことによって直径成長が促進されることが確認でき、特に強度間伐区においてその傾向が顕著であった。一方、劣勢木は間伐を行っても成長の停滞が継続し、優勢木は間伐の有無にかかわらず成長量に大きな変化がなかった。次いで、間伐後に発生した気象害の状況を解析したところ、列状間伐では劣勢木が残存してしまうため、特に形状比が高い個体が気象害を受けやすい傾向が認められた。また、優勢木を優先的に伐倒・搬出する上層間伐を強度に行った場合には、形状比が高い劣勢木が残存し気象害が誘発されていた。これらのことから、過密人工林を間伐する際には、残存木の成長促進を図ると同時に気象害の発生を抑制するために、原則として優勢木を残存候補木とすることが必要と考えられた。

キーワード：過密人工林、強度間伐、列状間伐、下層間伐、上層間伐、成長量、気象害

目次

- 1 緒言
- 2 試験地の設定
- 3 過密人工林の林分状況
- 4 過密人工林における間伐後の残存木の成長
- 5 過密人工林における間伐が気象害発生に及ぼす影響
- 6 結言
- 7 謝辞

1 緒言

昭和 30～40 年代の拡大造林期に造林された人工林の多くは、現在、10～12 齢級に達している。長野県の民有林の針葉樹人工林においては、これらの齢級の林分が面積割合で 54%を占めており（長野県 2012）、森林を育てる時代から利用する時代へと転換が図られつつある。

ところが、これらの針葉樹人工林では、間伐が適切に行われてこなかったために過密化し、利用できる径級に達していない林分が多くみられる。こうした間伐が遅れた林分においては、林木の枝が枯れ上がり、樹冠長率が低下することにより個

体あたりの葉量が減少し、直径成長が抑制される（藤森 2010）。過密化が進むと、被圧木の自然枯死が発生するだけでなく、病虫害の発生や雪害・風害等の気象害が発生しやすくなるとされている（川名ら 1992）。また、林内の光量が不足し下層植生が失われ、雨滴による表土流失が起こることも報告されており（赤井 1977, 平岡ら 2010）、人工林の過密化は、林業を営む上の経済的損失のみならず、土砂流出防備等の公益的機能の低下を招くことが懸念され、間伐の必要性が叫ばれている。その一方で、過密人工林の間伐を行うにあたっては、既に樹冠が縮小している個体は直径成長の回復は見込めないという懸念（藤森 2010）や、林木同士の支えがなくなることにより気象害が発生しやすくなるという指摘（石川ら 1987）がある。

これら既往の研究を踏まえて、当センターでは「天然性過密アカマツ林管理技術の開発」（県単課題、平成 10～14 年度）の中で、過密アカマツ林において間伐を行い、その後の直径成長及び気象害の発生状況について調査を行った。その結果、①強度間伐区では残存木の直径成長が促進されたが、無間伐区及び弱度間伐区では促進されなかったこ

と、②無間伐区及び弱度間伐区では枯損、倒伏、幹折れなどが発生したが、強度間伐区では気象害は発生しなかったこと、などを成果として報告してきた(近藤ら 2004)。

これらの結果を受け、本研究ではアカマツ以外の長野県の主要な針葉樹、すなわちカラマツ・ヒノキ・スギの3樹種の過密人工林を対象を拡大し、その林分構造を明らかにするとともに、間伐実施後に直径成長はどのような影響を受けるのか、また気象害は発生するのかを調査し、過密人工林の林分動態に関する知見をさらに深めながら効果のあがる間伐手法を開発することを目的として、各種間伐の実施とその影響評価を行った。

なお、本研究は県単課題(平成 19~23 年度)として実施し、成果の一部は、第 122 回日本森林学会大会、第 123 回日本森林学会大会、第 59 回日本森林学会中部支部大会、長野県林業総合センター技術情報において報告した(大矢・近藤 2010, 大矢・近藤 2011, 大矢・近藤 2012, 大矢 2012)。

2 試験地の設定

2.1 試験地の設定方法

県内 5 か所の過密人工林において、試験地を設定した。過密人工林試験地の選定に際しては、林

冠が閉鎖し Ry (収量比数) がおおむね 0.9 以上であることを条件として、斜面方位及び立木密度がほぼ一様で、0.5ha 程度のまとまった面積のある林分であることを基準とした。選定の結果、試験地は、カラマツ林は松本市の入山辺県有林(以下、入山辺試験地)と小海町の小海県有林(以下、小海試験地)の 2 か所に、スギ林は大鹿村の村有林(以下、大鹿試験地)と長野市の民有林(以下、長野試験地)の 2 か所に、ヒノキ林は高森町の町有林(以下、高森試験地)の 1 か所に設置した(表 2-1)。

それぞれの試験地には強度間伐区と普通間伐区及び列状間伐区を設置するとともに、比較のために対照区(無間伐区)を併設した。強度間伐区は材積間伐率 40% 程度の間伐を、普通間伐区は材積間伐率 15~20% 程度の間伐を実施した。また、列状間伐区では、カラマツの試験地では 2 残 1 伐、スギ・ヒノキの試験地では 3 残 1 伐により列状間伐を実施した。試験地内の各試験区の大きさはおおむね 0.1ha を基準としたが、状況に応じて大きさにはばらつきがある。なお、すべての試験地の立木は実生苗から育成したものである。それぞれの試験地の特徴は以下のとおりである。

表 2-1 設定した試験地の概要

樹種	試験地名 (林小班)	設定年月	林齢 (年)	試験区	成立本数(本/ha)		収量比数 Ry		間伐率(%)		胸高直径(cm)		上層樹高(m)	区域面積 (ha)
					間伐前	間伐後	間伐前	間伐後	本数	材積	間伐前	間伐後		
カラマツ	入山辺 (3-は-6)	2007.8	32	強度間伐	950	420	0.89	0.64	55.8	43.6	23.7	26.6	20.9	0.10
				普通間伐	810	570	0.84	0.73	29.6	18.1	24.1	26.0	20.6	0.10
				列状間伐	910	600	0.88	0.76	34.1	34.3	22.3	22.1	21.2	0.10
				無間伐	1,064	—	0.94	—	—	—	22.2	22.2	22.1	0.11
カラマツ	小海 (14-ろ-5)	2008.1	34	強度間伐	1,606	576	1.00	0.74	64.1	40.9	17.0	21.6	20.8	0.17
				普通間伐	1,282	782	0.98	0.85	39.0	16.5	19.6	22.9	21.6	0.11
				列状間伐	1,806	1,348	1.00	0.95	25.3	20.6	16.7	17.1	19.7	0.16
				無間伐	1,393	—	0.99	—	—	—	18.8	18.8	21.4	0.15
スギ	大鹿 (7-ろ-12)	2008.12	46	強度間伐	2,145	855	1.00	0.79	60.2	40.1	21.4	26.3	25.6	0.11
				普通間伐	2,100	1,250	1.00	0.93	40.5	17.7	20.1	23.8	27.4	0.12
				列状間伐	2,091	1,627	1.00	1.00	22.2	21.4	22.4	22.5	27.4	0.11
				無間伐	1,863	—	0.94	—	—	—	21.8	21.8	25.5	0.08
スギ	長野 (29-い-13イ)	2010.3	43	強度間伐	1,611	733	0.87	0.63	54.5	36.8	20.1	24.0	20.2	0.09
				普通間伐	1,520	1,020	0.86	0.73	32.9	15.4	19.2	22.0	20.2	0.10
				列状間伐	1,870	1,460	0.95	0.89	21.9	19.9	20.1	20.3	22.3	0.10
				無間伐	2,250	—	0.96	—	—	—	19.2	19.2	20.2	0.04
ヒノキ	高森 (34-へ-8)	2008.11	41	強度間伐	2,130	950	0.99	0.78	55.4	43.6	18.8	21.7	19.6	0.10
				普通間伐	1,960	1,300	0.95	0.85	33.7	19.9	19.1	21.6	18.9	0.10
				列状間伐	2,127	1,564	0.96	0.89	26.5	25.5	17.9	18.2	18.4	0.11
				無間伐	1,870	—	0.95	—	—	—	19.4	19.7	19.0	0.10

備考 1) 林齢、上層樹高は試験地設定直後の数値である。

備考 2) 高森町の間伐前平均胸高直径は 2008.3 に測定し、間伐後平均直径は 2009.4 に測定した。このため、無間伐区でも胸高直径の値に差があ

2.1.1 カラマツ試験地

入山辺試験地は、美ヶ原山麓の南東斜面に位置する標高 1,350m、32 年生の林分で、間伐などの管理が充分に行われずに過密状態になっていたが、他の 4 試験地に比べて過密状態は軽度であった。

一方、小海試験地は茂来山麓の南東斜面に位置した標高 1,300m、34 年生の林分である（写真 2-1）。最近は、間伐などの管理が行われずに放置状態になっていて、立木間の競争による枯死木や気象害による倒木が発生していた。

2.1.2 スギ試験地

大鹿試験地は、小渋川支流の中ノ沢左岸に位置する標高 720m、46 年生の林分で、間伐などの管理がほとんどに行われずに過密状態になっていて、立木間の競争による枯死木や気象害による倒木が発生していた（写真 2-2）。また、過去の気象害により二股となった立木もみられた。



写真 2-1 過密人工林(小海カラマツ林)



写真 2-2 過密人工林(大鹿スギ林)

一方、長野試験地は菅平高原の根子岳山麓の北東斜面に位置する標高 700m、43 年生のスギ林分で、間伐などの管理がほとんどに行われずに過密状態になっていた。

2.2.3 ヒノキ試験地

高森試験地は木曾山脈山麓の東斜面に位置した標高 950m、41 年生の林分である（写真 2-3）。間伐などの管理が行われずに放置状態になっていて、立木間の競争による枯死木が発生していた。

3 過密人工林の林分状況

3.1 研究の目的

長野県内にはカラマツを中心に過密化した人工林が多くみられるが、こうした過密化した林分では風害や冠雪害の共倒れ的な被害を受けやすいといわれている（藤森 2005）。著しい場合には立木はモヤシのような形状となり、地表には草や灌木が生えず枝や石ばかりが残るケースもまれではない（高橋ら 2007）。しかし、その一方で、成林後林冠が閉鎖すると、林分内各個体間優劣の差が強くなる「自然間引型」と優劣の差がほとんど生じない「共倒れ型」とがある（四手井ら 1987）との考え方があるが、過密人工林の実態はよくわかっていないのが実情である。まずはその実態を明らかにし評価する必要がある。

そこで、過密人工林に生育する立木の胸高直径と形状比及び樹冠の実態について明らかにするとともに、立木の配置についても測量を行い優勢木の位置等を明らかにした。それらの結果から、間

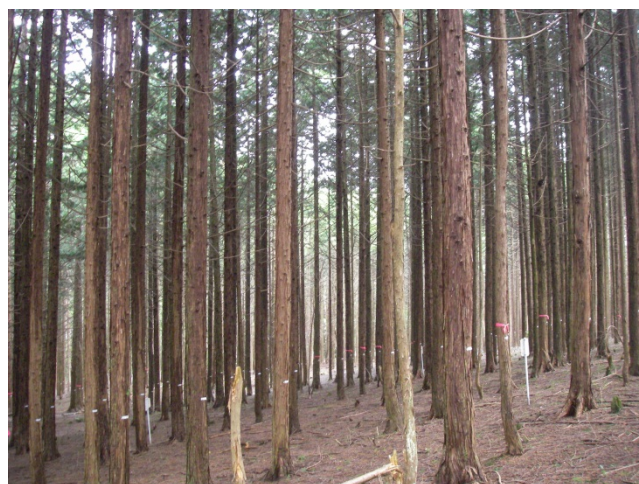


写真 2-3 過密人工林(高森ヒノキ林)

伐を実施する際の残存木選定方法について検討を加えた。

3.2 調査方法

3.2.1 毎木調査

各試験地で間伐を実施する前に、生育する植栽木の毎木調査を実施し、胸高周囲長、樹高を測定することで林分状況を把握した。調査は、胸高直径 6 cm 以上の植栽木を対象とし、全個体を識別するためにナンバーテープを胸高位置（山側地際から 1.2m の高さ）にガンタッカーで貼付した。その胸高位置における周囲長をスチールテープにより mm 単位で計測し、その値を π で除して胸高直径とした。樹高は、Haglof 社製 VERTEXⅢにより計測した。測定した胸高直径と樹高を用いて形状比を算出した。なお、一部の試験地では枝下高も測定した。

間伐実施後、胸高周囲長は 1 成長期経過ごとに休眠期に毎木調査を行い、各成長期の成長量を把握した。また、樹高は最終年度に再度毎木調査を行い、各成長期の累積値を得た。

初回の毎木調査結果をもとに、間伐前の各過密林試験地に生育する立木の胸高直径階分布を求めるとともに、各試験地の胸高直径を上位 1/3 を優勢木、下位 1/3 を劣勢木、それらの中間 1/3 を中庸木として 3 分割し、それぞれの区分で胸高直径の有意差検定を行った。さらに、形状比についても胸高直径を基準に 3 分割し、それぞれの区分で形状比の有意差検定を行った。

なお、大鹿試験地では列状間伐区とそれ以外の試験区で胸高直径の大きさが異なるため、胸高直径については列状間伐区を除外して分析した。一方、形状比に関する調査では、カラマツ（入山辺試験地、小海試験地）とヒノキ（高森試験地）の試験地はすべての立木を対象としたが、スギ（大鹿試験地、長野試験地）の試験地では対照区の立木のみを対象として分析した。

3.2.2 標本木調査

胸高周囲長は毎年毎木調査を行ったが、樹冠長及び樹冠幅の変動を明らかにするために、樹高・枝下高・枝張り長について、各試験区内の代表的な立木を 10~15 本選定し、標本木として毎年毎木

調査を実施した。

標本木は、間伐直後に残存木の胸高直径がまんべんなく分布するように選定した。枝張り長は立木の樹下から見上げて最も長い枝を対象に、枝先から幹までの水平距離をポール横断法により測定した。測定方向はナンバーテープ位置を基準とした 4 方向とし、山側と谷側、それと直交する 2 方向とした。間伐直後の標本木調査結果を利用して、胸高周囲長と平均枝張り長（4 方向の枝の長さの平均）との関係について検討し、枝の張り方が直径成長に与える影響について明らかにするとともに、樹冠長率（(枝の付いている幹の長さ/樹高) × 100）と直径成長との関係についても検討した。

3.2.3 I δ 指数を用いた過密林の分析

間伐前の各試験地の立木位置測量を実施した。測量結果をもとに、各試験地の立木の分布状況を森下の I δ 指数 (Morisita1959) を用いて分析した。

I δ 指数は、

$$I\delta = q \sum_{i=1}^q n_i (n_i - 1) / (N(N - 1))$$

で示される。ただし、 q は方形区数、 n_i は i 番目の方形区中の個体数、 N は総個体数である。

検討にあたり、各試験区の立木の胸高直径を基準に優勢木、中庸木、劣勢木に 3 区分し、「優勢木のみ」、「優勢木と中庸木」、「全立木」を対象とした場合に 3 区分し、それぞれのクラスの立木が集中的に分布しているのか、あるいは一様（均等）に分布しているのか、またはランダムに分布しているのかを検討した。

なお、I δ 指数は、分布がランダムの場合は 1、集中分布の場合は > 1 、一様（均等）分布の場合は < 1 となる。

3.2.4 残存木の的中率

各試験地のうち強度間伐区を調査対象とした。強度間伐区の残存木選定にあたり、まず机上で胸高直径の上位から順番に残存候補木とした。具体的にはカラマツ入山辺試験地では本数間伐率 55.8%の間伐を実施するにあたって、胸高直径の上位 44.2%を残存候補木とした。同様の方法で、

カラマツ小海試験地では 35.9%，スギ大鹿試験地では 39.8%，スギ長野試験地では 45.5%，ヒノキ高森試験地では 44.6%の胸高直径上位木を残存候補木とした。

次に、現地で残存木を最終決定する際に、残存候補木の幹が大きく曲がっていないか、二股ではないかなどの形状を確認するとともに残存候補木同士の間隔も検討した。その結果、形状の悪いものや間隔が近すぎるものなど残存木として不適当なものは除外し、新たな残存木を探した。この際、

机上の残存候補木をそのまま現地で残存木として採用したか、あるいは変更したかを「的中率」として算出した。的中率は、「机上の残存候補木をそのまま残存木として採用した本数」を「残存本数」で除し、その値に 100 を乗じた値とした。

3.3 結果と考察

3.3.1 過密林の立木の胸高直径

各過密人工林試験地の全立木を対象とした間伐実施前の胸高直径階分布をヒストグラムとして

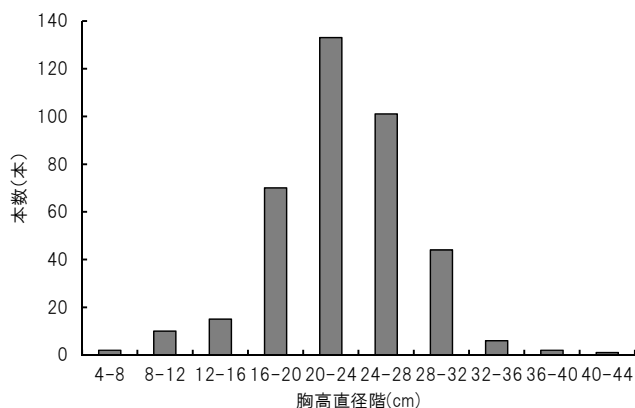


図 3-1 入山辺試験地の直径階分布

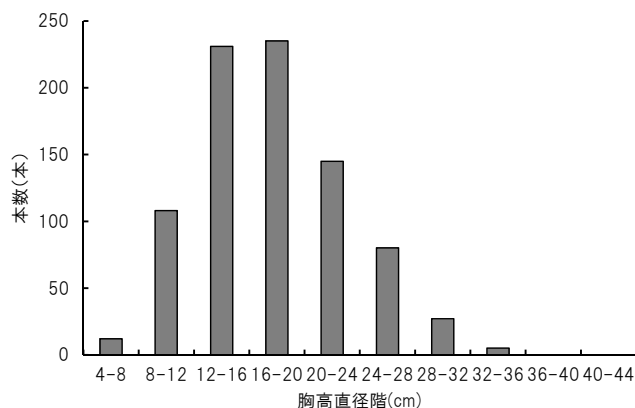


図 3-2 小海試験地の直径階分布

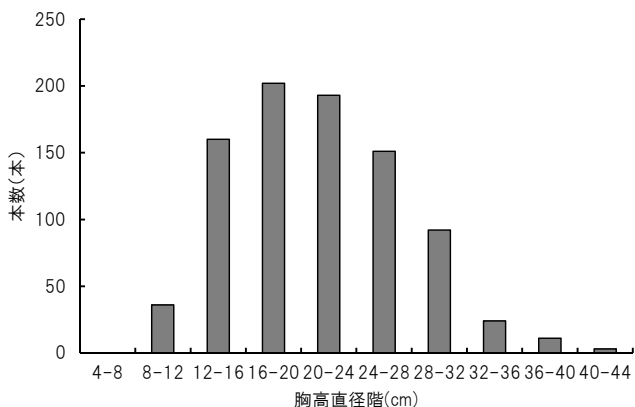


図 3-3 大鹿試験地の直径階分布

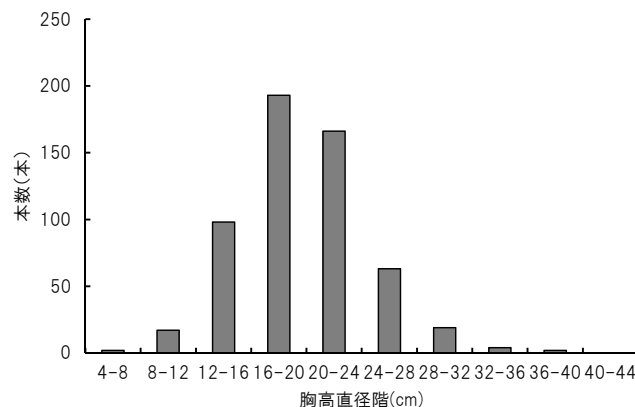


図 3-4 長野試験地の直径階分布

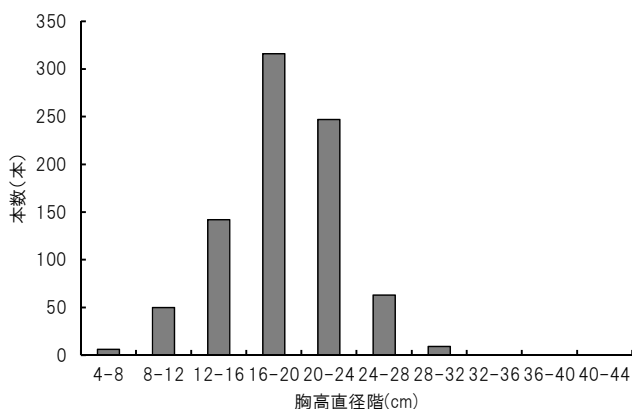


図 3-5 高森試験地の直径階分布

図 3-1~3-5 に示した。その結果をみると、すべての試験地の直径階は正規分布型を示し、8 cm 程度の小径木から 30cm を超える比較的大きな立木まで広く分散して、立木間に優劣がついている傾向がみられた。

そこで、各試験地の胸高直径を基準に、上位 1/3 を優勢木、下位 1/3 を劣勢木、その中間 1/3 を中庸木として 3 分割し、各区の胸高直径を一元配置の分散分析で確認した後、Tukey-Kramer の多重比較検定で評価した。その結果、全ての試験地で優勢木の胸高直径は劣勢木ばかりでなく中庸木に比べても有意に大きいことが確認できた (表 3-1, $P<0.01$)。

過密なまま育った人工林はモヤシのようにひよろひよろした形状となり (高橋ら 2007)、大野 (2005) はこれを「線香林」と名付けている。このように過密人工林は、一般的にはそこに生育している立木がすべてモヤシのように生育するように考えられている。しかし、本調査地のようにほとんど保育作業を行わなかった実生のカラマツ、スギ、ヒノキ林ではすべての立木がモヤシのように生育しているのではなく、立木間競争により優劣がついていた。

島崎 (1986) は 22 年生のカラマツ林の林分構造を調査したところ、ha あたりの成立本数は 2,600 本で、胸高直径の分布範囲は 6~20cm にわたるが、頻度の高い 10~14cm 階 (幅 4cm の範囲) に属する

立木が全体の 75%、8~16cm 階 (幅 8 cm の範囲) では 90% を超えることを示した。その上で、ほかの造林樹種に比べて直径分布範囲が狭い「共存型」の生育経過をたどる性向が示されているとした。しかし、本調査地のカラマツ林は、小海調査地では胸高直径分布範囲は 4~36cm にわたり、頻度が高い 16~20cm 階 (幅 4 cm の範囲) で立木全体の 27.9%、12~20cm 階 (幅 8 cm の範囲) でも 55.3% にすぎない。また、入山辺調査地では、胸高分布範囲は 4~44cm にわたり、頻度が高い 20~24cm 階 (幅 4 cm の範囲) で立木全体の 34.6%、20~28cm 階 (幅 8 cm の範囲) でも 60.9% である。このようなことから、林冠閉鎖を始めた直後の 20 年生前後のカラマツ林は「共存型」を示したが、林齢とともに立木間競争が激しくなり、本試験地のような 35 年生前後のカラマツ林では、競争に勝って優勢木になるものと競争に負けて劣勢木になるものに分かれるものと推定できた。

中込 (2005) は林齢 40 年生のカラマツ無間伐林の林分調査を行い、胸高直径階別本数分布を調べたところ分布域は広く、長期間の競合の結果優劣の差が大きくなったとしている。さらに、中島 (2007) も 30 年間放置された 44 年生のカラマツ無間伐林を調査したところ胸高直径や樹高にバラツキが大きかったことを述べた上で、壮齢期以降になると優劣の差が顕著に現れるとしている。

以上のことから、カラマツを始めとする人工一

表 3-1 胸高直径の検定

試験地名	樹種	区分	優勢木	中庸木	劣勢木
入山辺	カラマツ	優勢木	—	—	—
		中庸木	**	—	—
		劣勢木	**	**	—
小海	"	優勢木	—	—	—
		中庸木	**	—	—
		劣勢木	**	**	—
大鹿	スギ	優勢木	—	—	—
		中庸木	**	—	—
		劣勢木	**	**	—
長野	"	優勢木	—	—	—
		中庸木	**	—	—
		劣勢木	**	**	—
高森	ヒノキ	優勢木	—	—	—
		中庸木	**	—	—
		劣勢木	**	**	—

(注) **: $P<0.01$

* : $P<0.05$

斉林は、若齢のうち「共存型」であったとしても、壮齢期以降は優劣がついてくると考えられた。このことは、同一同齢の皆伐一斉造林であっても、立木間競争により優劣をつけ、森林自体が崩壊しないように、安定した森林状態に向け推移していると考えることができた。

3.3.2 立木の形状比

過密人工林の形状比の実態をとりまとめたのが表 3-2 である。立木の形状比は間伐の必要性や風・雪害に対する危険度の指標として有効であり（日本林業技術協会 2001）、形状比の高い立木は風による被害を受けやすく（藤森 2003）、また、冠雪害を受けやすくなる（佐々木恵彦ら 1994）といわれていて、立木の健全度をみる指標となっている。

まず、優劣別（優勢木、中庸木、劣勢木）に形状比をみると、優勢木の形状比の値が一番低く、次に中庸木が続く、最も高いのが劣勢木であり、立木の優劣により異なっていた。そこで、優劣別の形状比に有意差があるかどうかを確認した。優劣別の形状比を一元配置分散分析で確認したところ有意であった（ $P<0.01$ ）ため、Tukey-Kramer の多重比較検定で評価した。その結果、優勢木の形状比は中庸木や劣勢木に比べて有意に低いことが確認できた（表 3-3）。このことから、過密林では立木間の競争により形状比にも差が出ていて、形状比の高いものや低いものが混在しているといえた。

立木の優劣別に形状比をみると劣勢木は 92～114 と極めて高い値を示している、気象害を受ける危険性が高い立木であることがわかる。次に、

表 3-2 試験地の平均形状比

試験地名	樹種	平均形状比			
		優勢木	中庸木	劣勢木	平均
入山辺	カラマツ	73	82	92	82
小海	カラマツ	84	100	114	99
大鹿	スギ	75	84	101	86
長野	スギ	81	96	109	95
高森	ヒノキ	80	92	111	95

表 3-3 形状比の検定

試験地名	樹種	区分	優勢木	中庸木	劣勢木
入山辺	カラマツ	優勢木	—	—	—
		中庸木	**	—	—
		劣勢木	**	**	—
小海	"	優勢木	—	—	—
		中庸木	**	—	—
		劣勢木	**	**	—
大鹿	スギ	優勢木	—	—	—
		中庸木	*	—	—
		劣勢木	**	**	—
長野	"	優勢木	—	—	—
		中庸木	**	—	—
		劣勢木	**	**	—
高森	ヒノキ	優勢木	—	—	—
		中庸木	**	—	—
		劣勢木	**	**	—

(注) **: $P<0.01$

* : $P<0.05$

優勢木の形状比に注目し、長野県民有林林分収穫予想表(長野県 1983, 長野県 1984)の形状比と比較した。収穫予想表ではカラマツ, スギ, ヒノキのそれぞれを中庸仕立てで管理した場合の形状比を示している。間伐直後の形状比はカラマツ 76, スギ 72~77, ヒノキ 68~72 となっている。この値と各試験地の優勢木の形状比と比較してみると、カラマツの入山辺試験地では収穫予想表よりも低い値を示しているが、小海試験地では逆に高い値を示している。一方、スギの大鹿試験地は収穫予想表とほぼ同じ値を示しているが、長野試験地では高い値を示している。さらに、ヒノキの過密人工林では、収穫予想表よりも高い値を示している。カラマツの入山辺試験地が軽度の過密林であること、スギの大鹿試験地が過去の気象外の影響で二股の立木が多いことから樹高が低く抑えられていて形状比にも影響を与えている可能性がある。この2試験地を除外すると、過密人工林では優勢木であっても、収穫予想表の形状比よりも高い値を示していた。

四手井(1987)は自然間引型では間伐をせずに放置しておいても、劣勢木からつぎつぎと枯死脱落していった、相対的な密度調整が自然と生じて、林分としての危害に対する抵抗はそれほど弱くならないし、風雪害を生じて一般には形状比の大きい劣勢木が加害されるにすぎないことが多いとしている。また、本調査地の調査結果からも胸高直径や形状比に優劣がついた。これらのことから、間伐をしなくても森林づくりが可能との議論がでてくる可能性がある。しかし、本調査地の林分の形状比をみると、優勢木でさえも、収穫予想表で示される適切に間伐を実施した林分と比較すると劣ると判断されることから、立木を健全に生育するためには適期に間伐を行うことが重要といえた。

3.3.3 立木の樹冠

枝張り長に注目し胸高直径と枝張り長の関係を検討した結果、全ての試験地で、立木の胸高直径と枝張り長の間には統計的な有意な強い相関($r=0.76\sim 0.84, P<0.01$)が認められた(表 3-4,

表 3-4 胸高直径と平均枝張り長及び樹冠長率との関係

試験地名	入山辺	小海	大鹿	長野	高森
胸高直径と平均枝張り長	$r=0.84$ **	$r=0.81$ **	$r=0.79$ **	$r=0.81$ **	$r=0.76$ **
胸高直径と平均樹冠長率	$r=0.41$ **	$r=0.68$ **	$r=0.30$ *	$r=0.72$ **	$r=0.63$ **

(注) **: $P<0.01$

* : $P<0.05$

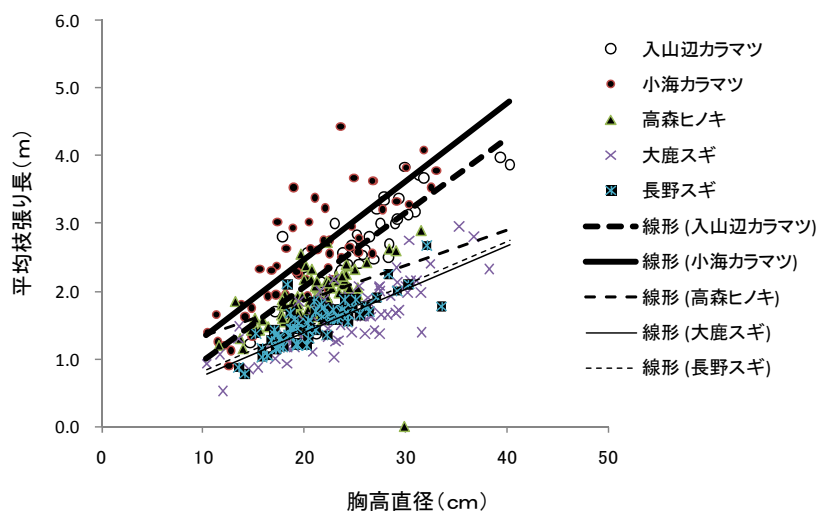


図 3-6 胸高直径と平均枝張り長との関係

図 3-6)。

次に、樹冠長率に注目し胸高直径と樹冠長率の関係を検討した(表 3-4)。樹冠長率の場合は、長野試験地では統計的に有意な強い相関が認められた($r=0.72$, $P<0.01$)。一方、入山辺、小海、高森の各試験地では統計的に有意な相関($r=0.41\sim 0.68$, $P<0.01$)が、大鹿では統計的に有意な弱い相関($r=0.30$, $P<0.05$)が認められた。このように樹冠長率についても試験地により強弱があるものの、枝張り長と同様に相関関係が認められた。

過密人工林の樹冠は狭小になり、枝下高も上昇するため成長量が低下する(辻 2007)といわれているものの、過密人工林の全ての立木の樹冠が狭小になるのではなく、胸高直径の優劣により樹冠の大きさも変わっていて、過密人工林には様々な大きさの樹冠が存在していた。

3.3.4 Iδ 指数を用いた過密林の立木配置

調査結果は図 3-7~図 3-11 のとおりである。カラマツの場合、入山辺試験地では全ての区分で

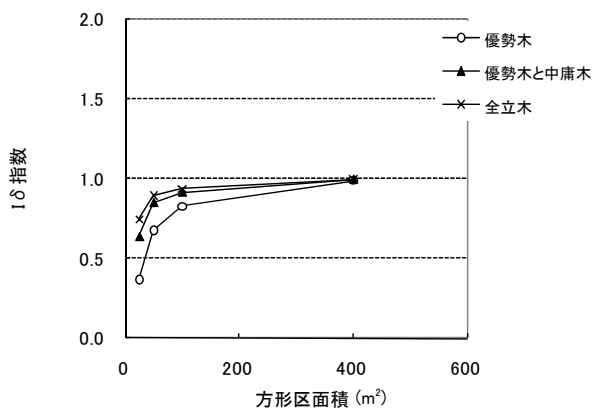


図 3-7 入山辺試験地における立木配置の Iδ 指数

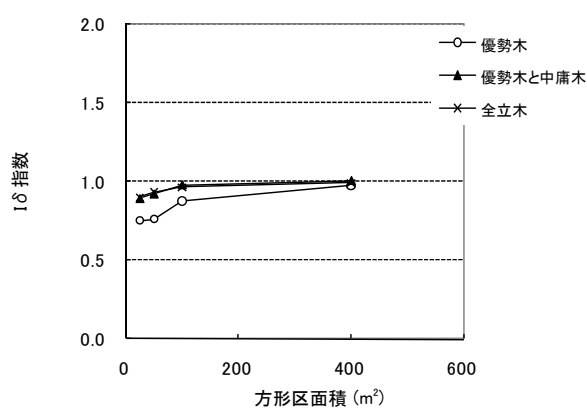


図 3-8 小海試験地における立木配置の Iδ 指数

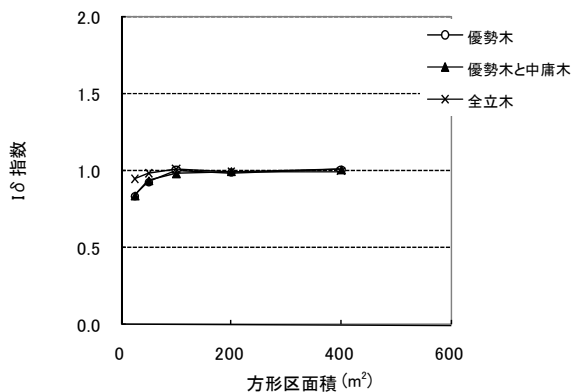


図 3-9 大鹿試験地における立木配置の Iδ 指数

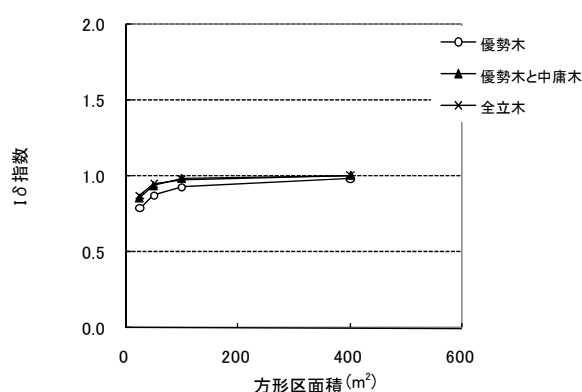


図 3-10 長野試験地における立木配置の Iδ 指数

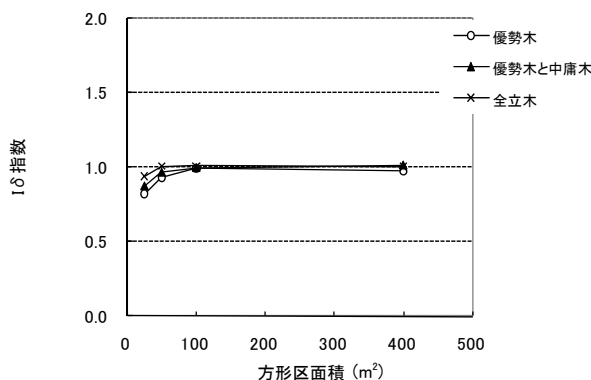


図 3-11 高森試験地における立木配置の Iδ 指数

一様分布し、小海試験地では「優勢木」は一様分布、「優勢木と中庸木」及び「全立木」でランダムに近い一様分布をしていた。一方、スギの場合、大鹿試験地では「優勢木」及び「優勢木と中庸木」で一様分布、「全立木」ではランダムに近い一様分布していた。長野試験地では全ての立木が一様分布していた。さらに、ヒノキの高森試験地では、「優勢木」及び「優勢木と中庸木」で一様分布、「全立木」ではランダムに近い一様分布であった。

以上のことから、優勢木は全ての樹種で一様配置を示すとともに、優勢木以外でも全ての樹種で一様分布またはランダムに近い一様分布をしていた。

本城(1993)は23年生のスギ実生林分において、植栽密度1,500本、2,500本、3,500本、4,500本の4試験区を対象に、それぞれの区で胸高直径の大きい個体から1,000本/haの割合で選木し、その立木の分布様式をI δ 指数を用いて分析した。その結果、いずれの区も一様分布を示していた。また、相場(1987)は24年生のスギ実生林分において、植栽密度3,000本、4,500本、6,000本、9,000本の4試験区を対象に、それぞれの区で1,000本/ha及び1,500本/haを機械的に胸高直径の大きい順に選木し、その立木の分布様式をI δ 指数を用いて分析した。その結果、いずれの区も一様分布またはランダム分布を示し、集中分布は示さなかった。

このように、実生の植栽林分であれば、林冠閉鎖後の早い時期から密度効果が現れ、種内競争により自然間引きされ、樹種にかかわらず優勢木は一様分布又はランダム分布すると言えそうである。このことから、過密人工林で間伐作業時に残存木を決定する場合、胸高直径の大きな立木から優先的に残存木を選定することにより、残存木が均等

に配置されることになる。

3.3.5 残存候補木の的中率

残存候補木が現地での検討の結果、残存木となった割合(的中率)は表3-5とおりにある。カラマツ及びヒノキの試験地は82~83%、スギ試験地は90%前後の的中率で、全試験地の平均でも86%と的中率は高かった。

相場(1987)は24年生のスギ実生林分において、機械的に胸高直径の大きい順に選木した場合と分布や樹型を配慮して選木した場合とで残存木の一致した割合を検討している。これは、植栽密度3,000本、4,500本、6,000本、9,000本の4試験区を対象に、それぞれの区で1,000本/ha及び1,500本/haを胸高直径の大きい順に選木した場合と分布や樹型を配慮して選木した場合で比較している。その結果、1,000本/haの場合は70~80%、1,500本/haの場合は80%程度の一致率であったとし、気象害などが発生しない林分であれば、胸高直径の大きい順に選木することで、残存木の配置を均一にすることが可能と考えている。

本調査の場合は、相場の調査結果よりもさらに高い的中率を示しており、過密人工林で間伐を実施する基準として、胸高直径が大きい順に残存木を残す方法が最も現実的と考えられた。

3.4 まとめ

過密人工林は、一般的には生育する立木が全てモヤシのようにひよろ長い立木で構成されると考えられていた。しかし、実生苗から育成したカラマツ、ヒノキ、スギの過密人工林では立木間競争により優劣がつき、優勢木は大きな樹冠を持っていた。カラマツ、スギの優勢木は均等に分布しているため、過密人工林で間伐を実施する場合、胸

高

表 3-5 残存候補木の的中率

試験地名	樹種	本数間伐率 (%)	残存木本数 (本)	図上候補木を採択 (本)	現地で変更 (本)	的中率 (%)
入山辺	カラマツ	55.8	42	35	7	83.3
小海	カラマツ	64.1	98	81	17	82.7
大鹿	スギ	60.2	94	83	11	88.3
長野	スギ	54.5	66	62	4	93.9
高森	ヒノキ	55.4	95	79	16	83.2
平均						87.0

直径の大きい立木を残存木とする方法が現実的と考えられた。

4 過密人工林における間伐後の残存木の成長

4.1 研究の目的

過密人工林において間伐を行うに当たっては、樹冠長率が低下した個体では、その後の肥大成長効果が期待できないとする見解がある（藤森2010）。このような個体では、過密状態で維持されてきたために枝が枯れ上がり、樹冠が極端に小さくなっているため、肥大成長に必要なだけの葉量が不足しており、葉量を回復するためには、樹高成長及び枝の伸長による葉量の増加を待たなければならず、直径成長が回復するには幾年かの時間がかかることも考えられる。

そこで本章では、カラマツ・スギ・ヒノキの3樹種の過密人工林において、強度間伐・普通間伐・列状間伐の3種類の間伐を行った場合に、残存木の胸高直径がどのような成長経過をたどるのか、また葉量の増加に関わる樹高成長や枝の伸長量等の諸因子はいかなる反応を示すのかを明らかにすることを目的とした。

4.2 調査方法

第2章で述べたように、5か所の試験地（入山辺、小海、大鹿、長野、高森）において、毎年胸高直径の毎木調査を行った。また、各試験地の各試験区において、樹冠の拡大又は縮小の経過を把

握するために、標本木を対象として、樹高、枝下高、枝張り長を毎年測定した。

これらの測定値を用いて、各試験区における間伐後の直径成長量、樹高成長量、枝下高、樹冠長、枝張り長を評価し、無間伐とした各試験地の対照区の値と比較し、統計解析により有意差を検証した。

4.3 結果と考察

4.3.1 各試験区における直径成長量

各試験地における、間伐後の3～4成長期経過後の累積直径成長量を図4-1に示した。強度間伐区では、長野試験地のスギを除き他の4試験地で対照区より有意に成長量が多いことが認められた（一元配置の分散分析の後、Tukey-Kramerの多重比較検定、 $P < 0.01$ ）。一方、普通間伐区では入山辺及び小海試験地のカラマツにのみ有意差が認められ（ $P < 0.01$ ）、列状間伐区では入山辺試験地のみに有意差が認められた（ $P < 0.05$ ）。これらの結果から、過密人工林において間伐を行う場合には、本数間伐率にして50%以上の強度間伐を行うことにより、残存木の肥大成長を促進することが可能と考えられた。逆に、30%程度の本数間伐率である普通間伐では、直径成長を促進させるほどの効果は期待できない場合も起こりうる。列状間伐は、比較的過密度が軽度であった入山辺試験地のカラマツでのみ有意差が認められたことから、過密度が深刻な場合には間伐の効果が現れにくいことが示

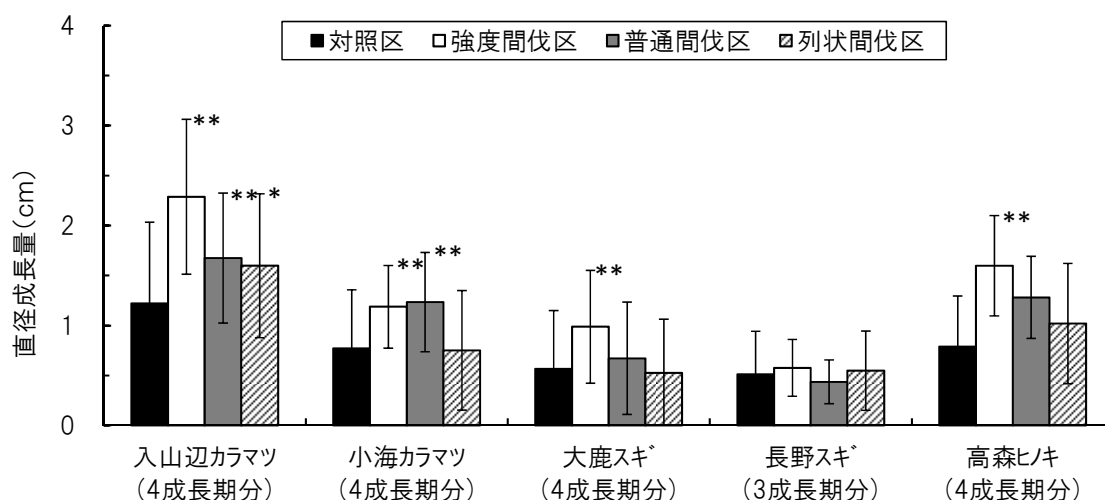


図 4-1 間伐後の累積直径成長量

** : 同試験地の対照区の値に対して有意差あり ($P < 0.01$)

* : 同試験地の対照区の値に対して有意差あり ($P < 0.05$)

唆された。

4.3.2 胸高直径階により3区分した場合の直径成長量

前項では、各試験地における試験区全体の残存木を対象に解析を行ったが、強度間伐区及び普通間伐区では胸高直径の小さい個体から順に選木して伐倒する下層間伐を行っているため、特に強度間伐区では劣勢木の多くが伐倒されている。そのため、強度間伐区及び普通間伐区では、成長量が大きい優勢木の割合が間伐前に比べて高まっていることから、相対的に林分成長量が高くなっていると考えられる。すなわち、強度間伐区等において間伐による成長促進が真に成されたか否かを評価するには、同じ胸高直径階のグループ間で成長量を比較しなければならない。そこで、間伐実施前の試験地全体の立木を対象として、胸高直径の上位 1/3 を優勢木、下位 1/3 を劣勢木、その中間 1/3 を中庸木と定義し、3区分ごとの最終年度までの累積直径成長量を比較した。ただし、間伐後はこれら3区分による個体数構成比は不均等化し、強度間伐区では高森試験地を除き劣勢木が残存していないため、強度間伐区における劣勢木の評価は完全ではない。

直径階3区分による直径成長量を解析した結果、中庸木にグループ化された個体は、高森試験地のヒノキ及び小海試験地のカラマツの全間伐区で、対照区に対して有意に直径成長が大きく(図4-2, 一元配置の分散分析の後, Tukey-Kramerの多重比較検定, $P < 0.01$), 入山辺試験地でも強度間伐区において有意差が認められた($P < 0.05$)。ところが劣勢木では、対照区との直径成長の有意差が認められたのは入山辺と高森の列状間伐区のみで、間伐による直径成長効果は低調であった。一方、優勢木は、高森試験地のヒノキの全間伐区においては、対照区に対して有意に成長量大きいことが認められた($P < 0.01$)が、長野試験地のスギの強度間伐区と普通間伐区では、対照区より有意に成長が劣っており($P < 0.01$), 間伐の効果は明確ではなかった。

これらの結果から、過密人工林において間伐を行った場合に、最も直径成長が促進されるのは中庸木であると考えられる。中庸木は、ある程度個体間競争に勝ち残ってきた個体であることから、

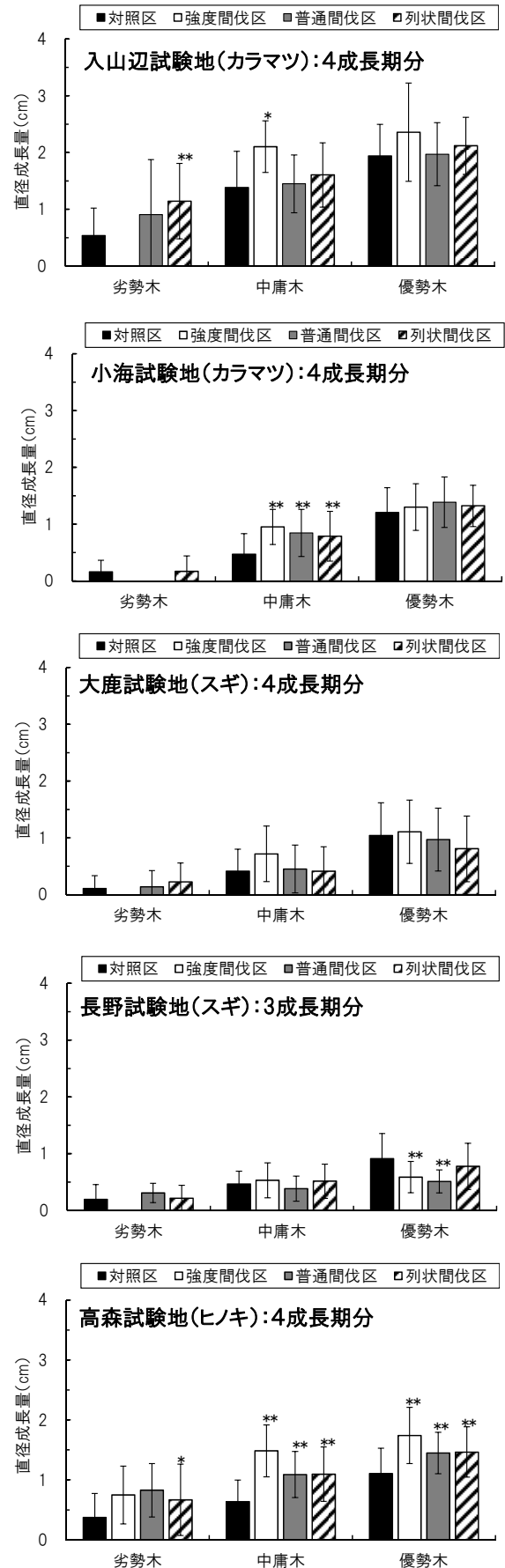


図4-2 胸高直径階による3区分ごとの累積直径成長量

** : 同試験地の対照区の値に対して有意差あり ($P < 0.01$)

間伐によって周囲にギャップが生じ、光環境が改善されると、いち早く成長を回復する可能性がある。一方、優勢木は、間伐を行う以前から個体間競争において高い順位にあり、樹冠が突出し枝張り長も十分に確保されているため、間伐によって周囲にギャップが生じてても、中庸木に比べると相対的に受光量に大きな変化は生じていないと考えられた。また、劣勢木は長年被圧された状態が間伐によって解消されても、すぐには葉量が回復しないことが推察された。

樹種別にみると、間伐後の成長の回復が最も速やかに現れたのはヒノキであり、次いでカラマツであった。一方、スギについては間伐の効果がほとんど認められず、劣勢木だけでなく中庸木も対照区に比べ有意な成長促進効果は認められなかった。加えて、長野試験地の強度間伐区及び普通間伐区では、優勢木の成長が対照区より劣るという逆転現象が生じていた。スギは、間伐時に枝が折れやすいため、過密林ではその影響を特に受けやすいことも考えられるが、今後の成長量がどのように推移していくか継続的に調査を行う必要がある。

4.3.3 1 成長期ごとの直径成長量の推移

各試験地の各試験区における、間伐後の1成長期ごとの平均直径成長量を図4-3に示した。年直径成長量は、強度間伐区が他の試験区に比べて高く推移する傾向があり、無間伐である対照区では最も低く推移していた。普通間伐区及び列状間伐区は、おおむねそれらの中間の成長量を示していた。期間を通じての年成長量の変動をみると、対照区ではほぼ横ばいの傾向がみられ、間伐を行わなければ直径成長量は低迷したままの状態が維持されることが確認された。間伐を行った各試験区では、高森試験地のヒノキは間伐から年数が経過するにつれて徐々に成長量が増加している一方で、入山辺試験地では間伐から年数が経過するにつれて年成長量が漸減している。また、小海試験地のカラマツ、大鹿試験地のスギではほぼ横ばい傾向を示しており、明確な傾向は認められなかった。

4.3.4 樹高成長量

各試験地における間伐後の樹高成長量は、入山

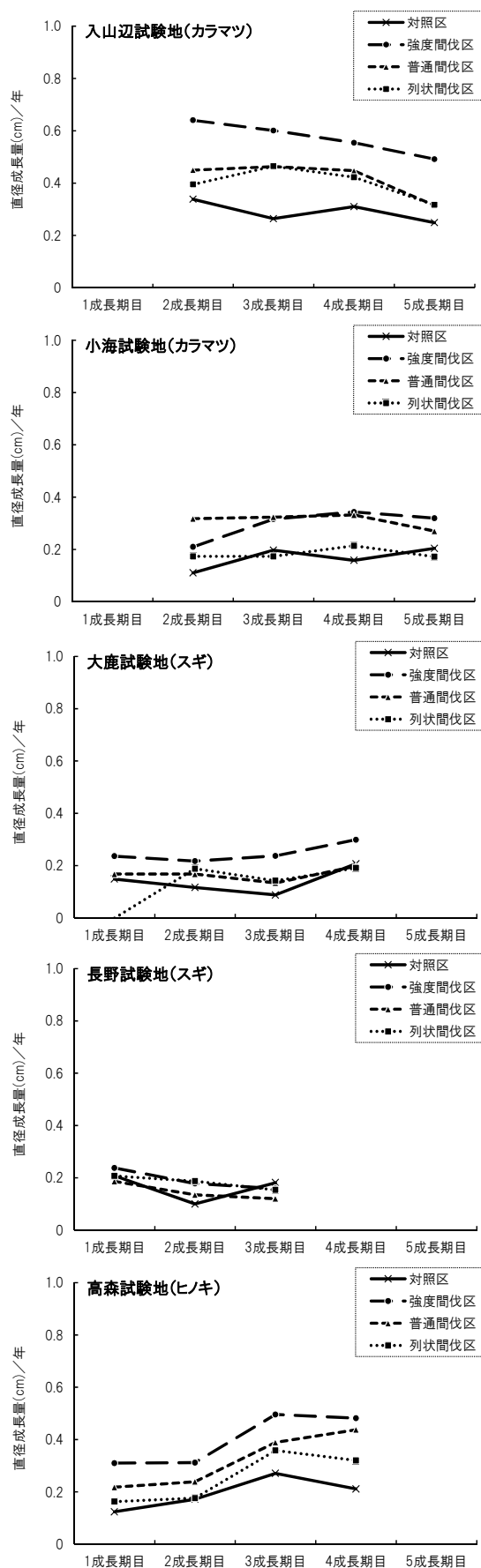


図 4-3 間伐後の直径成長量の推移

辺試験地のカラマツでは、強度間伐区が対照区に比べて有意に高かったが、小海試験地のカラマツ、長野試験地のスギ、高森試験地のヒノキにおいては、強度間伐区の樹高成長が対照区に比べて有意に低かった (図 4-4, 一元配置の分散分析, Tukey-Kramer の多重比較検定, $P < 0.01$)。一方、普通間伐区では、入山辺試験地及び小海試験地のカラマツでは対照区に比べて有意に高く ($P < 0.01$)、長野試験地のスギ及び高森試験地のヒノキでは有意に低い結果となっている ($P < 0.01$)。列状間伐区では、長野試験地のスギでは対照区に比べて有意に高く ($P < 0.01$)、高森試験地のヒノキでは有意に低かった ($P < 0.01$)。

これらの結果を直径成長量の結果と比較すると、直径成長において対照区より有意に高かった試験区では、樹高成長が逆転し低くなっている

ケースが多い。この現象は高知県のヒノキ強度間伐林分でも報告されており (奥田 2010)、間伐によって生じたギャップにより、個体間競争が緩和され、光合成産物が樹高成長ではなく肥大成長に使われたことが示唆された。

4.3.5 枝下高、枝張り長及び樹冠長の変化

過密林では、過密状態が維持されたままであれば、時間の経過とともに下から枝の枯死が進み、枝下高が徐々に上がっていく。間伐を行うことによって、枝の枯れ上がりが止まるのか、さらに進むのかを明らかにするために、各試験区の標本木における間伐後の枝下高の上昇量を比較した。

枝下高は、いずれの試験地でも対照区において間伐前の状態と比較して約 0.5m-2.6m 高くなった (図 4-5)。それに対して、強度間伐区では枝下

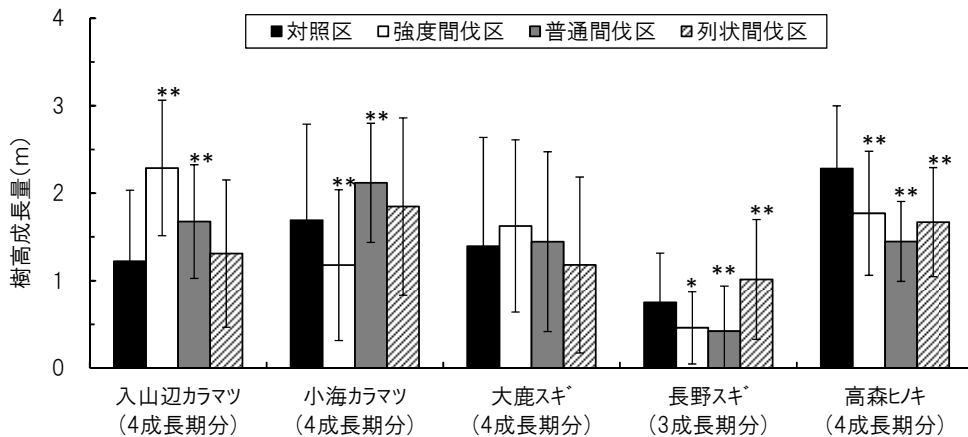


図 4-4 間伐後の累積樹高成長量

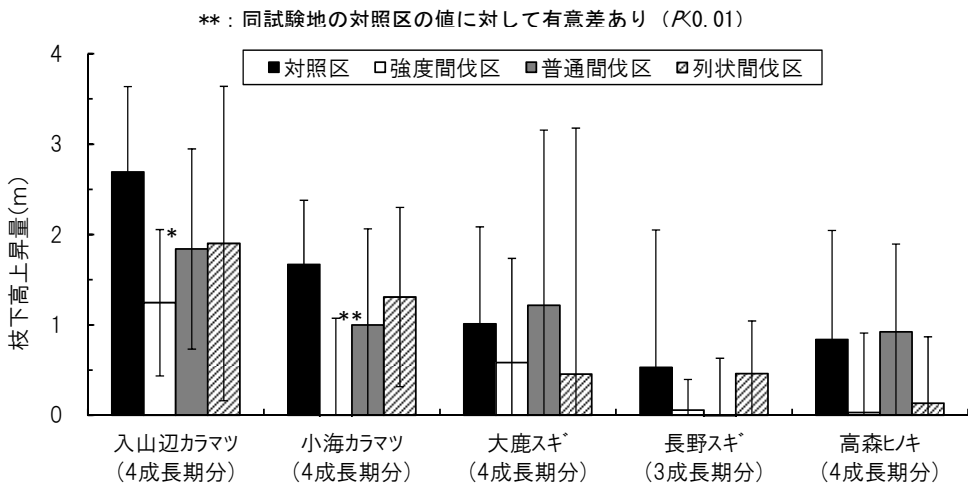


図 4-5 間伐後の枝下高上昇量

** : 同試験地の対照区の値に対して有意差あり ($P < 0.01$)

高上昇量が少ない傾向がみられ、入山辺試験地及び小海試験地のカラマツにおいては有意に枝下高上昇量が小さかった。これらのことは、陽樹であるカラマツの方が、樹冠下部における光環境の改善に敏感に反応しやすいことを示唆している。一方、普通間伐区では、枝の枝下高上昇量は対照区と同じレベルに近いケースが多く、対照区に対して有意差のある試験地はなかった。

これらのことから、30%程度の本数間伐率では、樹冠長を維持するためには間伐量が不足していると考えられた。また、列状間伐区においても、枝の枝下高上昇量は対照区と比較して有意差は認められなかった。少なくとも伐採列に面した枝については、光環境が大きく改善されたことが推察されるが、枝の枯れ上りを抑制する効果は強度間伐には及ばないと考えられた。

次いで、各試験区の標本木における枝張りの伸長量の平均値は、入山辺及び小海試験地のカラマツ、高森試験地のヒノキにおいては、対照区でマイナスとなった一方で、強度間伐区では増加する傾向がみられた(図4-6)。高森試験地のヒノキでは、各間伐区の枝張り伸長量は対照区に対して有意差が認められ、列状間伐>強度間伐>普通間伐の順で枝張り増加量が大きかった。しかし、他の試験地では枝張り伸長量に差は認められず、普通間伐区及び列状間伐区では平均枝張り伸長量がマイナスとなった試験地もあった。今回の試験地の中で、間伐後の直径成長量に最も差が生じた林分

は高森試験地であり、その枝張り伸長量が優位に大きかったことは、間伐後の直径成長に枝張り伸長量が関与していることを示唆している。今後は、各試験区の枝を採取してその年輪解析を行うなど、間伐後の枝の伸長量を詳細に解析する必要がある。

また、各試験地における各試験区の樹冠長の変化量をみると、各間伐区ではごく一部を除いて間伐後に樹冠長が増大しているのに対して、対照区では樹冠長が減少している試験地があった(図4-7)。このことは、対照区では樹高の伸長より枝の枯れ上がりの方が急速に進んでいることを意味しており、過密林では間伐を行わなければ樹冠がさらに縮小すると考えられる。

4.3.6 まとめ

過密人工林において各種の間伐を行った結果、強度間伐を行うことにより、残存木の直径成長が促進されることが確認できた。中でも注目すべきは中庸木の成長が促進される傾向が認められたことである。一方で、優勢木は無間伐の対照区においても各間伐区に劣らない直径成長を示したことから、優勢木に対する間伐効果はさほど大きくないと考えられた。また、劣勢木については間伐を行っても直径成長の促進はほとんど認められず、やはり間伐の効果が及びにくいことが示唆された。

これらの結果は、葉量の増加あるいは減少に起因するものと考え、枝下高、枝張り、樹冠長の変化について標本木の測定値から因果関係を導き出

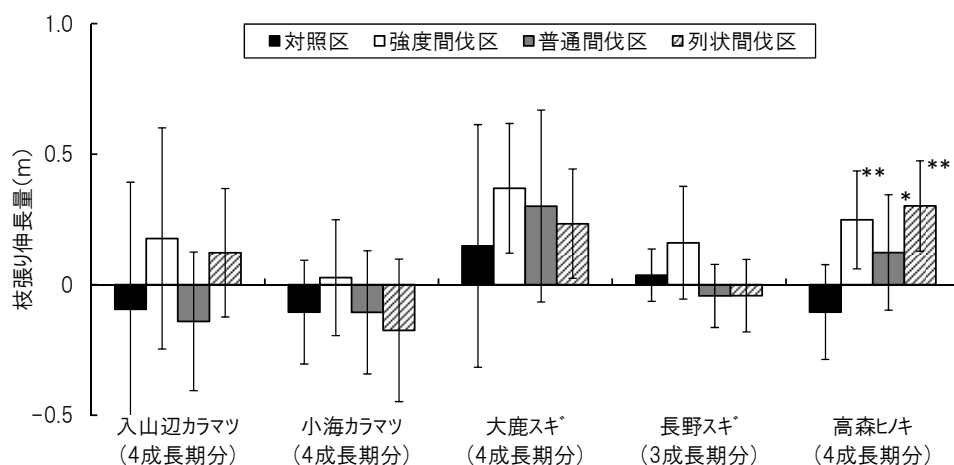


図 4-6 間伐後の枝張り伸長量

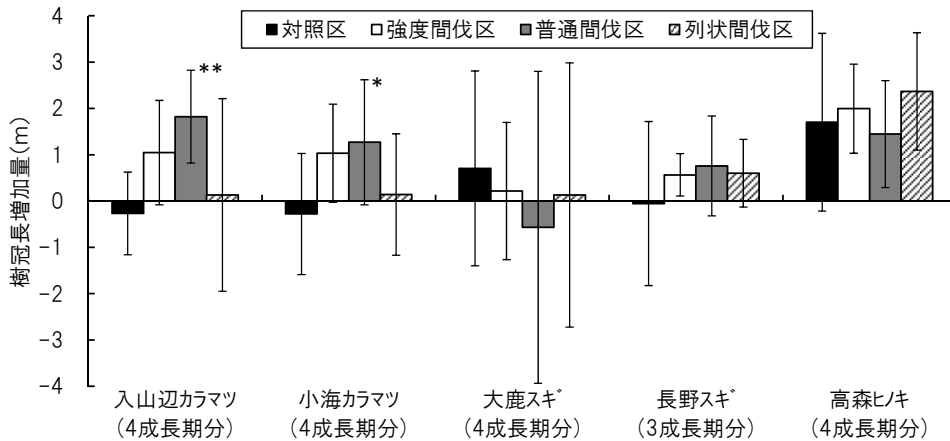


図 4-7 間伐後の樹冠長増加量

** : 同試験地の対照区の値に対して有意差あり (P<0.01)

すことを試みたが、結果として直接的な要因は明確ではなかった。しかし、無間伐であった対照区では、枝下高の上昇、枝張りの縮小、樹冠の縮小が多く、試験地において認められている。それに対して、強度間伐区をはじめとする各間伐区では、有意差は出にくかったものの対照区と比較して良好な成長を示しており、葉量の差は数年後にはさらに拡大することが予想される。

間伐から4成長期分の成長量の範囲では、直径成長差は確認できても、その要因を明らかにすることは困難であったことから、今後もこれらの試験地における直径成長量及び樹冠の増減に関わる要素の調査を継続し、過密人工林における間伐が林分構造に及ぼす影響を及ぼすのか、明らかにしていく必要がある。

5 過密人工林における間伐が気象害発生に及ぼす影響

5.1 研究の目的

過密状態にある人工林では、風害や冠雪害による倒伏、幹折れ、幹曲り等の被害が多く報告されている(嘉戸ら 1992, 嘉戸 2000, 千葉 1993, 諫本ら 1992, など)。過密人工林における冠雪害の特徴は、形状比が高い個体ほど被害を受けやすいとされ(藤森 1983)、間伐を行うと個体間の支えが失われるとともに、風あたりが強くなり、冠雪害を受けやすくなることが指摘されている(石川ら 1987)。これらのことから、過密人工林を間伐するに当たっては、強度間伐を行うと間伐後に気象

害を招きやすくなるとし、弱度の間伐を数年ごとに繰り返し行うことが望ましいともいわれている(秋田県 2003)。

しかし、林業の採算性の悪化に伴い保育作業にコストをかけることが難しい情勢であること、間伐に対する補助金の適用要件が本数間伐率で30%以上と定められていることなどから、弱度の間伐を繰り返し行うことは、森林所有者の自己負担及び間伐補助金の財源を考慮すれば現実的には困難である。

そこで、過密人工林において間伐を行った後に、気象害がどの程度発生するかを明らかにするために、間伐率、間伐方法、選木方法等が気象害発生に及ぼす影響を調査した。

5.2 調査方法

5.2.1 過密人工林間伐試験地における気象害発生状況調査

第2章で述べた5か所の試験地(入山辺, 小海, 大鹿, 長野, 高森)において、本数間伐率50%以上の強度間伐、30%程度の普通間伐、3残1伐または2残1伐による列状間伐を行い、間伐後の気象害発生状況を調査した。気象害は、倒伏、幹折れ、幹曲り、幹傾斜を対象とし、各試験地における被害木数を間伐直後の残存木数で除し被害発生率とした。

5.2.2 上層間伐が行われた過密人工林での気象害発生状況調査

上記5か所の試験地では、普通間伐・強度間伐とも直径階下位の劣勢木から順に選木する下層間伐を行ったが、逆に優勢木から選木した場合の気象害発生リスクを明らかにするために、上層間伐が行われた過密人工林において、被害状況調査を行った。上層間伐は、間伐収支を改善すると同時に、いわゆる“芯づまり”の優良材生産が期待できるが、上層間伐を強度に行う場合には、下層間伐に比べて形状比の高い林木の割合が増え、冠雪害のリスクが高まると考えられる(川崎 1995)。

調査対象林分は、下伊那郡根羽村に所在するスギ・ヒノキ混交過密林分である。この林分では2006年の8～9月頃に村外業者によって搬出間伐が行われたが、伐採率が高いこと、選木方法が大径木に偏っていたことが地域で問題視されていた。間伐後、残存木が冠雪害等の気象害を受け、幹折れ・幹曲り等の被害木が目立つ状況となっていたことから、間伐から4年が経過した2010年に調査を実施した。調査は0.54haの間伐区域全域を対象とし、残存木の胸高直径・樹高及び気象害の被害状況を毎木調査した。また、間伐実施前の林分状況を推定し間伐の規模を把握するために、伐採木の伐根直径を山側地際から0.1mの高さで等高線方向に測定するとともに、調査地内及び隣接する同林齢のスギ・ヒノキ立木の根元直径を伐根と同様の位置で測定し、立木の樹高及び胸高直径の測定結果から回帰式を求め、伐採木の伐採当時

の樹高と胸高直径を伐根直径から算出し、伐採された幹材積を推計した。また、幹折れ等の被害木についても、同様の手法により樹高及び幹材積を推計した。

5.3 結果及び考察

5.3.1 間伐後の気象害発生状況

過密人工林間伐試験地において、間伐実施から4～5年が経過した2012年12月現在、甚大な気象害は発生していないものの、大鹿試験地及び長野試験地のスギ林において幹折れ・根返り・幹曲り被害が一部に発生している(図5-1)。特に列状間伐区における被害が目立ち、被害発生率は、大鹿試験地では7.8%、長野試験地では5.5%であった。また、大鹿試験地では普通間伐区においても6.0%の残存木が被害を受けていた。

また、強度の上層間伐が行われたと考えられた根羽のスギ・ヒノキ林においては、幹折れ・幹曲り・根返り等の被害が多く認められた。気象害発生率は、スギが13.6%、ヒノキが13.7%で、下層間伐及び列状間伐を行った試験地に比べて非常に高かった(図5-1、写真5-1)。

5.3.2 気象害発生と残存木の形状比の関係

既往の報告では、冠雪害、風害等の気象害を受けた林分の被害木は、形状比が高い個体である場合が多い(石川 1987、嘉戸 2000)。各試験地にお

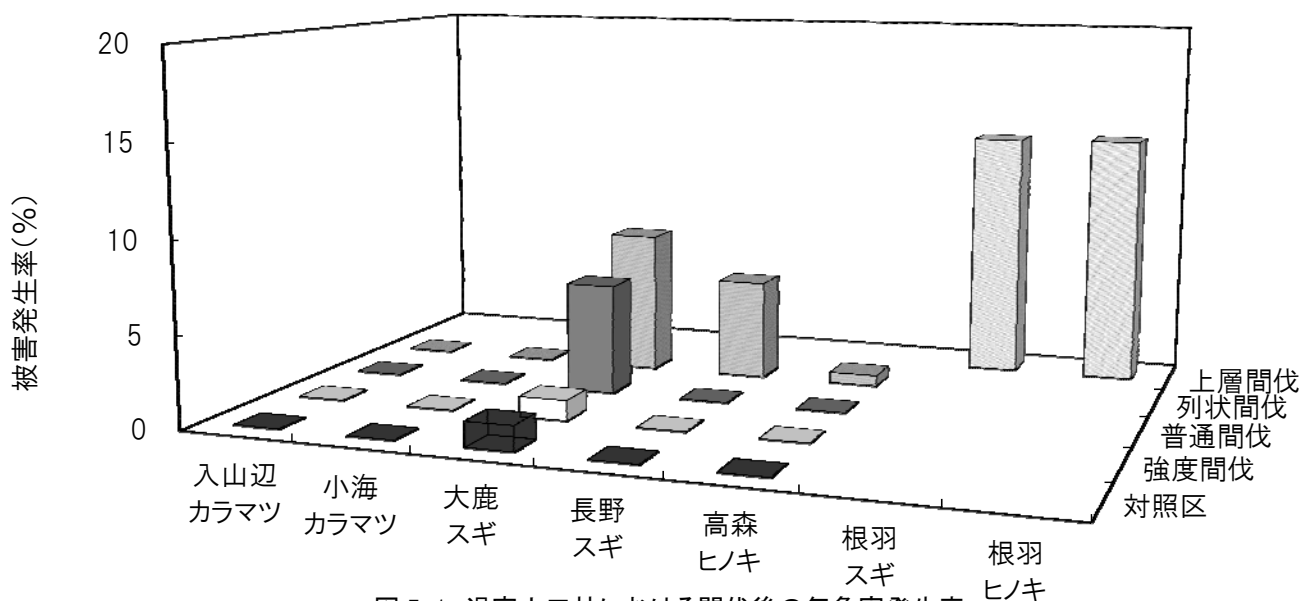


図5-1 過密人工林における間伐後の気象害発生率

ける試験区ごとの間伐直後の残存木平均形状比を比較してみると、対照区及び列状間伐区の形状比が、強度間伐区及び普通間伐区に比べて有意に高いことが多くの試験地で認められた (図 5-2)。被害が比較的多く発生した、大鹿試験地の列状間伐区と普通間伐区では形状比が 102 と 96、長野試験地の列状間伐区では 101 と非常に高く、これらの試験区では気象害を受けやすい状況にあったといえる。さらに、これらの試験区内における被害木と、被害を受けていない健全木の形状比を比較してみると (図 5-3)、いずれも被害木の形状比が健全木より有意に高く (student の t 検定, $P < 0.05$), 気象害をより受けやすい個体であったことが確認された。

列状間伐を行う場合、伐採列を機械的に選定することによって選木を行うため、優勢木も劣勢木も同じ割合で伐採することとなる。間伐前後の平均胸高直径及び平均樹高に変化が生じないことか



写真 5-1 強度の上層間伐林分における気象害

表 5-1 上層間伐林分における間伐前後の林況 (根羽村)

	樹種	林齢	本数	立木密度	胸高直径	樹高	単木材積	林分材積	本数間伐率	材積間伐率
				本/ha	cm	m	m ³	m ³	%	%
間伐前 (2006年)	スギ	45-59	502	930	27.1	23.4	0.78	392	—	—
	ヒノキ	59	163	302	21.3	16.2	0.44	71	—	—
	計		665	1,231	25.7	21.6	0.70	463	—	—
伐採木 (2006年)	スギ	45-59	266	493	32.5	25.6	1.08	288	53.0	73.5
	ヒノキ	59	46	85	32.0	20.2	0.87	40	28.2	56.2
	計		312	578	32.4	24.8	1.05	328	46.9	70.9
間伐後 (2010年)	スギ	49-63	236	437	22.5	21.5	0.45	106	—	—
	ヒノキ	63	117	217	18.2	15.1	0.27	32	—	—
	計		353	654	21.1	19.4	0.39	138	—	—

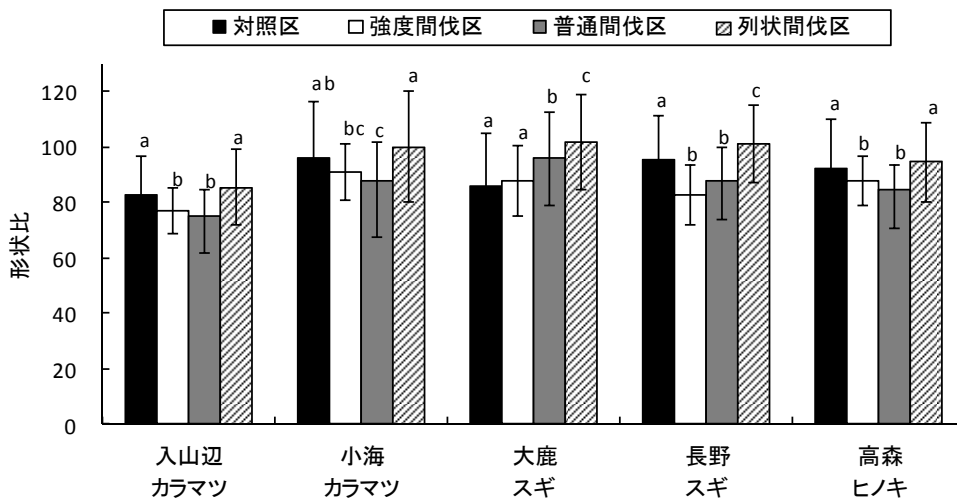


図 5-2 各試験地における残存木の平均形状比

・一元配置の分散分析, Tukey-Kramer の多重比較検定により, 各試験地における試験区間差を検定

ら、形状比の平均値も間伐前と変わらない。すなわち、気象害を受けやすい形質を有する劣勢木が残存し、それが伐採列という連続的なギャップにさらされることによって、気象害発生リスクが高まるものと推察される。逆に、全ての試験地において気象害がほとんど発生しなかった強度間伐区では、胸高直径が小さい立木から伐採しているため、結果として形状比の高い劣勢木を淘汰したことにより気象害発生リスクを低減することができたと考えられる。

なお、各試験地における間伐前の形状比に対し

て、間伐から4成長期後の増減量をみると、いずれの試験地でも強度間伐区では対照区に比べて形状比が有意に減少、つまり改善されていた(図5-4、一元配置の分散分析、Tukey-Kramerの多重比較検定、 $P < 0.01$)。普通間伐区及び列状間伐区でも、対照区に比べて形状比の上昇が抑制された試験地が認められたことから、間伐を行うことによって立木の個体としての健全化が促進され、結果として気象害が抑制される場合があると考えられる。

次に、上層間伐が行われたと推測された根羽のスギ・ヒノキ林において、被害が多く発生した要

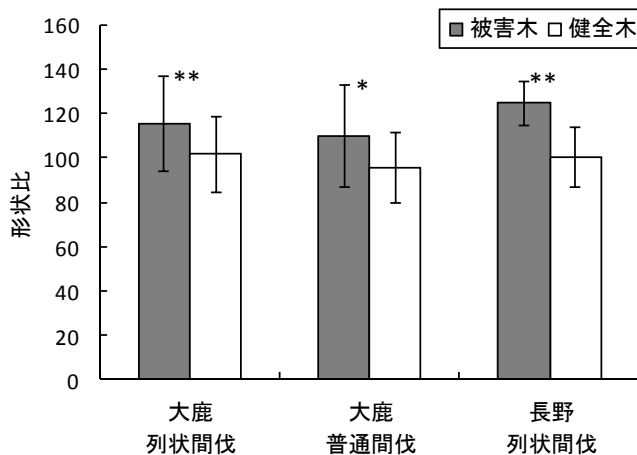


図 5-3 被害木と健全木の形状比

**：同試験区内の被害木と健全木の間には有意差あり ($P < 0.01$)

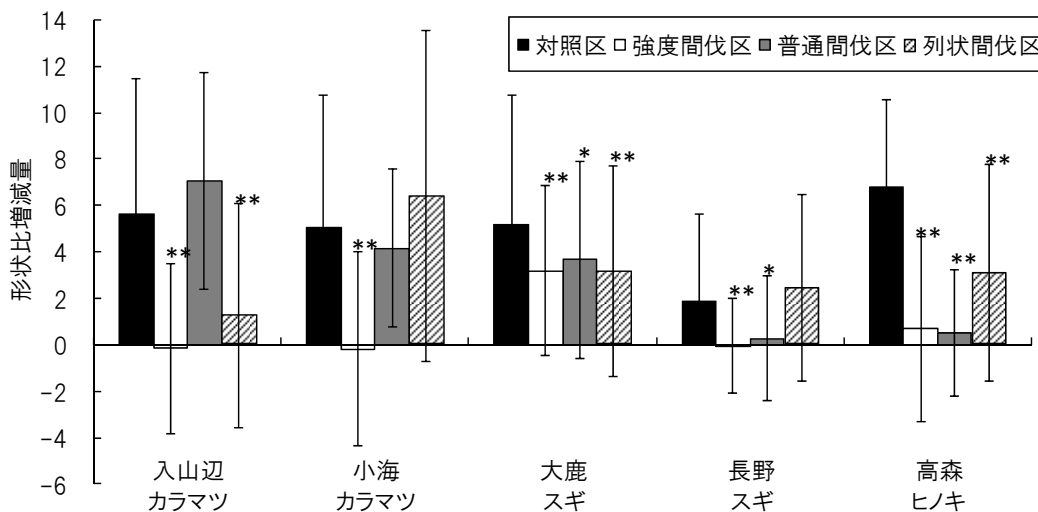


図 5-4 各試験地における間伐から4成長期後の平均形状比の増減

**：同試験地の対照区の値に対して有意差あり ($P < 0.01$)

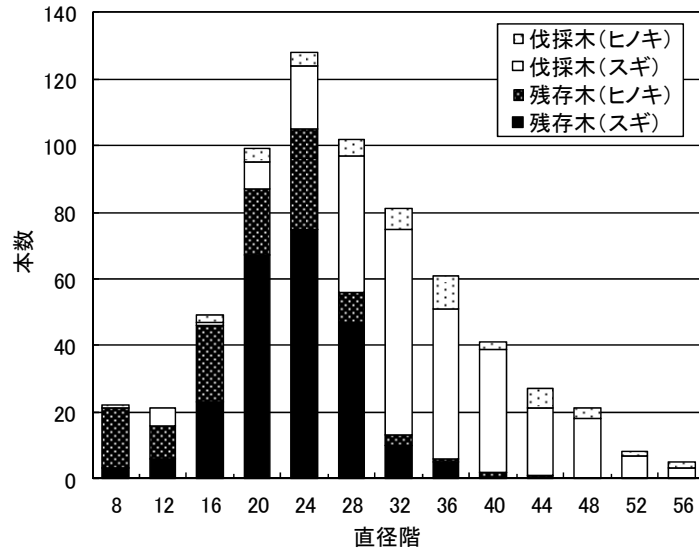


図 5-5 上層間伐林分における残存木と伐採木の直径階構成

因を明らかにするため、残存木と伐根を調査し伐採前の林況を推定した結果、本数間伐率で 47%、材積間伐率で 71% という強度の上層間伐が行われていたことが確認された (表 5-1)。伐採木の胸高直径は上位に偏っており (図 5-5)、これにより残存木の多くを劣勢木が占める林況となった。形状比に着目すると、伐採直後の値は 94 と推定され、伐採前の推定値 84 を上回り、間伐後に形状比が大きく上昇したことが推察された。このことから、上層の樹冠を形成していた優勢木が伐採され、元来形状比が高く気象害を受けやすい劣勢木が多く残されたことが、被害発生の大きな要因であると考えられた。

以上の結果から、過密人工林において間伐を行う場合、形状比の高い個体が多く残存したときに

は、気象害の発生リスクが高まると考えられた。特に、上層間伐を行うことは林分の平均形状比を大きく引き上げる危険性があるため、注意を要する。また、列状間伐については、機械的な選木であるために形状比の高い劣勢木が残りやすいことから、共倒れ被害を未然に防ぐためには、伐採列に面した形状比の高い個体を間伐時に伐倒しておくことが必要と考えられる。

5.3.3 気象害発生と間伐率の関係

本数間伐率及び材積間伐率と、気象害発生率の関係を見ると、これらは正比例の関係にはない (図 5-6, 5-7)。間伐率が高くても、間伐後に形状比が高く気象害を受けやすい劣勢木が存在するか否かの方が、気象害発生率を高める主たる要因と考え

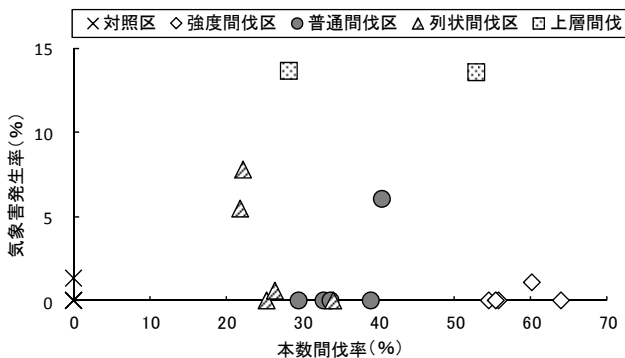


図 5-6 本数間伐率と気象害発生率の関係

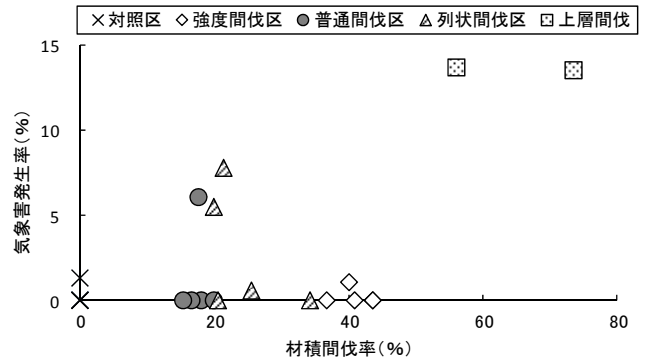


図 5-7 材積間伐率と気象害発生率の関係

られる。したがって、過密人工林において強度間伐を行う場合でも、下層間伐である限り気象害が発生する危険性は低いが、上層間伐であれば気象害発生リスクは高まると考えられる。なお、上層間伐であっても材積間伐率で25~30%程度の場合、下層間伐と比較して気象害の発生において劣ることはなかったとの報告もあり(鈴木1993)、上層間伐の強度と気象害発生との関係については今後さらに詳細に検討する必要がある。

5.3.4 間伐後の自然枯死の状況

気象害を受ける以前に、林分内で自然枯死が発生するか否かは林分の健全性を評価するうえで重

要な指標である。各試験地における自然枯死の発生状況を調査したところ、全ての試験地において、対照区では4~17%の本数割合で自然枯死が発生していた(図5-8)。また、間伐を行った試験区では、小海試験地のカラマツ林の列状間伐区で10%の自然枯死が認められたが、それ以外の各間伐区では目立った自然枯死は発生していなかった。

対照区において自然枯死した立木の形質的特徴をみると、大鹿試験地を除く各試験地の対照区における枯死木は、同試験区において枯死しなかった健全木と比較して胸高直径・樹高とも優位に小さかった(図5-9, 図5-10, studentのt検定, $P < 0.01$)。大鹿試験地の対照区のスギの枯死木につ

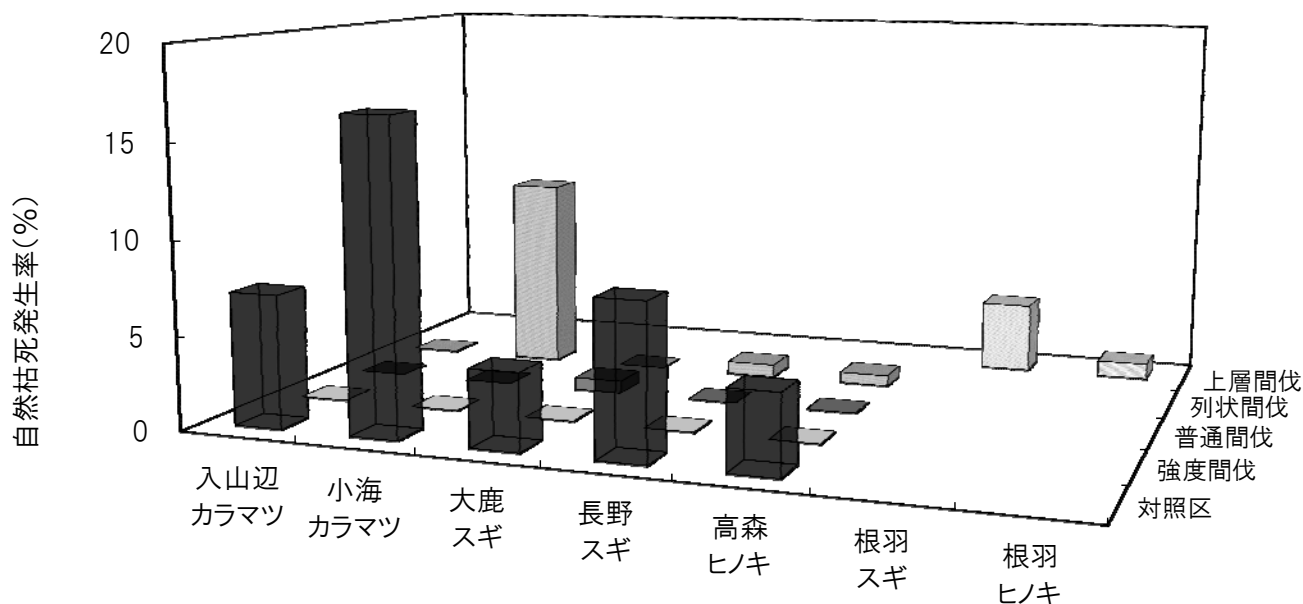


図5-8 過密人工林における間伐後の自然枯死発生率

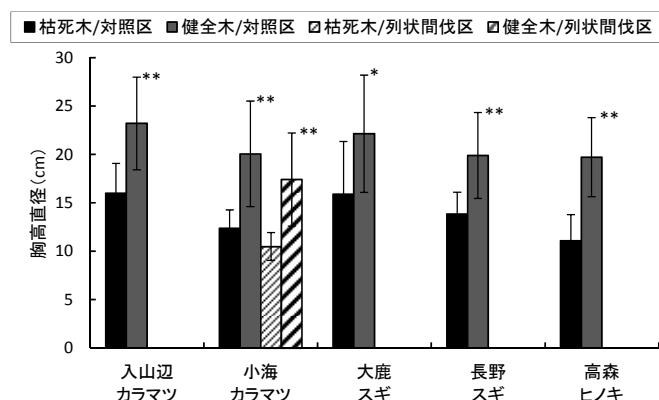


図5-9 自然枯死木及び健全木の平均胸高直径

**・同試験区の枯死木の値に対して有意差あり ($P < 0.01$)

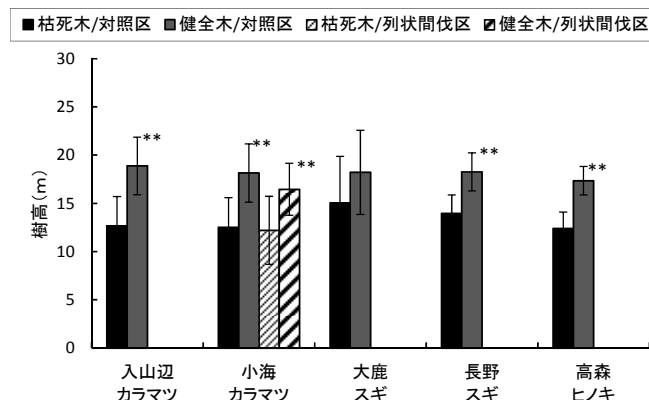


図5-10 自然枯死木及び健全木の平均樹高

**・同試験区の枯死木の値に対して有意差あり ($P < 0.01$)

いても、樹高は健全木と差が認められなかったものの、胸高直径は有意に小さかった ($P < 0.05$)。枯死した個体は、大鹿試験地以外では前述した直径階 3 区分において全て劣勢木に該当していた。各試験地の対照区は、いずれも R_y (収量比数) が 0.95 以上で過密状態が継続しており、間伐が行われずに被圧状態が維持されたために、被圧されていた劣勢木が枯死に至ったものと推察された。

列状間伐区で自然枯死が発生した小海試験地では、間伐後も R_y が 0.95, S_r (相対幹距比) が 13.6 で、間伐を行ってもなお過密状態であったことから、自然枯死が起こりうる林分状況であった。同様に R_y が 0.92 と高かった大鹿試験地の列状間伐区では、自然枯死は発生しなかったが、気象害を受けたために幾分本数密度が低下したことにより、自然枯死を免れることができたと考えられる。

以上のように、過密人工林では過密状態が解消されなければ、林分内の個体間競争によって自然枯死が発生する。このことは、各樹種が自己間引きによって林分の健全化を図っていることを意味している。立木密度が密度管理図の自然枯死線上をほぼたどっているような状態は、林分材積とすれば最大値といえるが、適切に間伐を行っている林分に比べて相対的に大径木が少なくなる。また、過密化により林床植生が欠如することは、表層土が流失する危険を招きかねないことから、間伐を行うことによって林分を健全な状態に誘導することが必要である。

5.3.5 まとめ

以上の結果から、過密人工林において間伐を行った場合には、間伐施策が必ずしも気象害発生誘因になることはない判断された。下層間伐を行っている限りは、本数間伐率で 60% を伐採する強度間伐を行ったとしても気象害の発生を招くことはなかった。気象害が発生するか否かは、形状比の高い個体、つまり劣勢木が林分内に残存するか否かに影響されると考えられた。したがって、上層間伐では間伐前に比べて間伐後に劣勢木の割合が増加するため気象害発生リスクが高まり、列状間伐でも劣勢木が間伐前と同じ比率で残存するため気象害発生リスクが高まると考えられる。気象害を受けやすい個体である劣勢木は、将来的に

は間伐で淘汰される個体であり、気象害を受けたとしても何ら経済的な損失はないかもしれないが、他の立木を巻き込んで共倒れ被害を引き起こす可能性もあることから、できれば間伐によって未然に気象害発生リスクを低減するに越したことはない。

ただし、本研究における過密林の間伐後には、森林に甚大な被害をもたらすレベルの降雪及び台風等の強風は発生していない。これは、内陸性の気候である長野県の特徴かもしれないが、よりハイレベルの気象イベントが起こった場合には、劣勢木だけでなく中庸木、優勢木も被害を受けることが予想される。そうした時に、過密人工林が気象害に耐えうるためには、早期に間伐を実施し、残存木の形状比を改善すること、あるいは形状比が回復する可能性の低い劣勢木を伐採しておくことが必要であろう。

6 結言

針葉樹人工林のうち、適切な施策が行われず過密状態で放置された林分は、樹冠の縮小などを理由に「間伐手遅れ林」と称され、森林所有者の中には「既に施策する価値がない」とする場合もある。しかし、本研究において過密人工林の実態を調査した結果、過密林分内では立木に優劣が付いていて、決して「もやし状」の立木ばかりではないことが明らかであった。また、林分内の優勢木は偏って分布するのではなく一様あるいはランダムに分布していることが確認された。さらに、過密人工林で間伐を行った場合、残存木の直径成長を促進する効果は、劣勢木や優勢木には大きな影響が及ばないが、中庸木はより肥大する傾向が認められた。また、間伐後の気象害発生についても、被害を受けた立木は劣勢木であり、形状比の高い個体を間伐時に選木して伐倒すれば、気象害に対して決して脆弱な林分になるわけではないことが確認できた。

したがって、過密人工林であっても、少なくとも 8~9 齢級であれば、間伐施策を放棄することなく行うことによって、優勢木のみならず、中庸木も大きく成長させることが可能と判断された。間伐方法は、下層間伐を強度に行う (本数間伐率で 50% 以上) ことが特に効果的であり、高形状比

の劣勢木を淘汰することで気象害を未然に防止する効果も期待できる。

本研究では、過密人工林を間伐した後のおおむね4成長期分の成長を解析したに過ぎないが、今後も成長量をはじめとして気象害の発生状況、自然枯死の進行についてモニタリングを継続し、過密人工林に関する知見を積み重ねることとしたい。

なお本稿は、第1章及び第4～6章を大矢が、第2～3章を近藤が分担して執筆した。

7 謝辞

本研究の実施に当たっては、過密人工林間伐試験地を設定する際に、候補地の情報提供をはじめ県有林・市町村有林の試験地としてのご提供、林分の事前調査、測量、森林所有者との調整など多くの面で大鹿村・高森町・根羽村の各役場の林務担当係の皆様、長野県の現地機関である松本・佐久・下伊那・長野の各地方事務所林務課の普及係・林産係・普及林産係の皆様から御支援をいただきました。また、試験地設定時の毎木調査と伐採作業等については、南佐久中部森林組合、飯伊森林組合の皆様にご支援をいただきました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

引用文献

赤井龍男 (1977) ヒノキ林の地力減退問題とその考え方. 林業技術 419 : 7-11.
 秋田県農林水産部 (2003) 間伐技術指針. 48pp.
 相場芳憲 (1987) スギ実生若齢林での主伐木選定間伐に関する研究. 東農工演林報 25 : 19-28.
 千葉幸弘 (1993) 1991年台風19号によるスギ林木の折損被害発生機構の解析. 日林誌 75 : 372-374.
 藤森隆郎 (2003) 新たな森林管理. 428pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
 藤森隆郎 (2005) 間伐はなぜ必要か. 森林科学 44 : 4-8.
 藤森隆郎 (2010) 間伐と目標林系を考える. 林業改良普及双書 No. 163, 191pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
 平岡真合乃・恩田裕一・加藤弘亮・水垣滋・五味高志・南光一樹 (2010) ヒノキ人工林における

浸透能に対する下層植生の影響. 日林誌 92:145-150.
 本城尚正 (1993) 集約な間伐法の見直しと一般用材を生産目標とした粗放施業のあり方. 森林科学 7 : 41-47.
 諫本信義・高宮立身 (1992) 1991年9月台風19号に発生した大分県における森林被害の要因解析. 大分県林試研 18 : 11-43.
 石川政幸・新田隆三・藤森隆郎・勝田征 (1987) 冠雪害—発生のしくみと回避法—. 101pp, 林業科学技術振興所, 東京.
 嘉戸昭夫・平英彰・中谷浩 (1992) ボカスギ林の冠雪害と林木及び地形要因との関係. 日林誌 74 : 301-307.
 嘉戸昭夫 (2000) スギ人工林における冠雪害抵抗性の推定とその応用に関する研究. 富山県林業技術センター研究報告 14 : 1-78
 川名明・片岡寛純・角張嘉孝・岩坪五郎・相場芳憲・大庭喜八郎・橋詰隼人・右田一雄・佐々木恵彦・野上寛五郎・安藤貴・伊藤忠夫・須藤昭二・吉川賢・渡辺弘之 (1992) 造林学—三訂版—. 200pp, 朝倉書店, 東京.
 川崎達郎 (1995) 上層間伐の得失—間伐後の成長を中心にして—, 平成6年度高知営林局業務研究発表集, 177-180.
 近藤道治・小山泰弘 (2004) 天然性過密アカマツ林管理技術の開発. 長野県林業総合センター研究報告 18 : 1-10
 Morisita, M. (1959) Measuring of the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ., ser. E, 2 : 215-235.
 中込ゆう・植木達人・中島耕平・井上裕・林博道 (2005) 過密なカラマツ壮齢人工林の間伐効果に関する研究—間伐方法の違いから見た成長効果の検討—. 中森研 53 : 189-192.
 中島耕平 (2007) 長伐期大径化施業へ向けた壮齢カラマツ人工林の強度間伐に関する研究. 森林計画学会誌 41(1) : 41~60.
 長野県林務部 (1983) 長野県県有林カラマツ・スギ表系・スギ裏系人工林林分材積表・人工林収穫予想表. 78pp.
 長野県林務部 (1984) 長野県県有林ヒノキ・アカ

- マツ人工林林分材積表・人工林収穫予想表.
66pp.
- 長野県林務部(2012)長野県民有林の現況. 195pp.
- 日本林業技術協会 (2001) 森林・林業百科事典.
1236pp, 丸善株式会社, 東京.
- 大野晃(2005)山村環境社会学序説. 農文協, 298pp.
- 大矢信次郎・近藤道治 (2010) 強度の上層間伐実
施林分における気象害発生状況. 中森研 59 :
37-38
- 大矢信次郎・近藤道治 (2011) 過密人工林におけ
る間伐が気象害発生に及ぼす影響. 第 121 回日
森学講集 (CD-ROM)
- 大矢信次郎・近藤道治 (2012) 過密人工林におけ
る間伐後の直径成長量. 第 122 回日森学講集
(CD-ROM)
- 大矢信次郎 (2012) 手入れ不足の人工林をどのよ
うに間伐するか(I)－間伐による直径成長促進
効果の検証－. 長野県林業総合センター技術情
報 143 : 2-3
- 四手井綱英編(1987)森林保護学－改訂板－. 230pp,
朝倉書店, 東京.
- 奥田史郎 (2010) 強度間伐で木は太く成長(1)四国
のヒノキ林. (間伐遅れの過密林分のための強
度間伐施業のポイント, 20pp, 森林総合研究所
四国支所, 高知), 1-2.
- 佐々木恵彦・八木久義・大庭喜八郎・浅川澄彦・
原田洸・藤森隆郎・安藤貴・前田禎三 (1994)
造林学. 238pp, 川島書店, 東京.
- 島崎洋路 (1986) 信州大学農学部演習林報告 23 :
1-116.
- 鈴木基修 (1993) 収益性を重視した間伐後のスギ
林の生長 (II)－間伐方式と間伐強度の違いに
よる材積生長と林分構造の変化－, 山形県立林
業試験場研究報告 23 : 1-7.
- 高橋正征・久保田賢・飯國芳明 (2007) 黒潮圏科
学の魅力. 高知大学大学院黒潮圏海洋科学研究
科, 168pp.
- 辻貴文 (2007) 京都府北部の無間伐ヒノキ高齢林
における斜面位置と林分構造の関係. 日林誌
89(3) : 160-166.