間伐が高齢級ヒノキ過密林の林分構造と成長に及ぼす影響

渡邊 仁志^{*1}・茂木 靖和¹・大洞 智宏^{1,2}

高齢・過密な状態において上層間伐と下層間伐が行われたヒノキ人工林2林分について、間伐後8年間の林分構造と直径成長量を調査し、間伐がこれらに及ぼす影響を調べた。間伐後、両林分の形質優良個体の密度は300本・ha⁻¹であったが、上層間伐林分では形質不良個体の割合が高かった。間伐によって平均形状比は下層間伐林分では低下し、上層間伐林分では上昇した。間伐後の胸高直径の年相対成長率は0.70~1.17%・年⁻¹で、間伐前のそれに対し0.2~0.5%の改善が認められた。これまで積極的な密度管理が行われてこなかった高齢・過密林においても、胸高直径への間伐効果がみられる場合がある。

キーワード：ヒノキ、高齢・過密林、間伐効果、直径成長、形状比

Hitoshi Watanabe,^{*1} Yasukazu Moteki,¹ Tomohiro Obora^{1,2} (2015) Effects of Thinning on Stand Structure and Diameter Growth in Old and Overcrowded Japanese Cypress (*Chamaecyparis obtusa*) Stands. J Jpn For Soc 97: 182-185 We investigated the effects of tree thinning on stand structure dynamics and diameter growth in two old and overcrowded Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*) stands over an 8-year period after thinning. One stand was subjected to canopy thinning and the other to suppressed-tree thinning. The density of high-quality trees was 300 trees ha⁻¹ in both stands after thinning, but in the stand that had been thinned of canopy trees the density of low-quality trees was still high. Height-to-diameter ratio decreased in the stand subjected to thinning of suppressed trees, whereas it increased in the stand subjected to canopy tree thinning. The annual relative diameter growth rate after thinning ranged from 0.70% year⁻¹ to 1.17% year⁻¹ and was 0.2% to 0.5% better than that before thinning. There are therefore cases in which thinning increases diameter growth, even in old and overcrowded stands.

Key words: Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*), old and overcrowded plantation, thinning effect, diameter growth, height-to-diameter ratio

I. は じ め に

伐期が延長される中、人工林の高齢級化が進行する傾向にある。これまで行われてきた以上の林齢における森林管理が必要になっているが、高齢級林分の管理技術には不明な点が多く、短伐期施業のような施業体系が確立されていない。主要な作業である間伐についても、これまでの少数の事例（森・大住 1991；鈴木ら 2009）をもとに、初期保育の段階で強めに間伐が行われた林分は、個体あたりの着葉量が確保されるため、高齢級の林分へと誘導しやすい（正木ら 2011）と考えられている程度である。

しかし実際には、間伐が十分に行われなかった結果、高齢級になっても想定以上に高い林分密度で推移している林分がある（正木ら 2011）。このような林分では、冠雪害を受けやすいこと（藤森 2005；國崎 2005）、形質不良木が多く残存していること（鈴木ら 2009）、下層植生が衰退し地表面保護効果が低下すること（Miura *et al.* 2003；藤森 2005）などが指摘され、木材生産機能や生態系機能が低下しやすいことが危惧されている。このうち木材生産機能に関連して、一般的には過密林分では樹冠長率が低下するため、間伐による直径成長の回復は困難である（藤森 2006）ことがいわれているが、高齢でかつ過密な林分における間伐とその後の成長に関する研究成果は、非常に少ない（正

木ら 2011）。高齢級林分における間伐後の成長に関しては、ヒノキ（*Chamaecyparis obtusa*）の場合、これまでに長野県の74年生林分（安達・川崎 1999）や千葉県の64~77年生林分（福島 2000）の事例が報告されている程度である。したがって、過密林分を高齢級になってから間伐した場合に、林分がどのような反応を示し、その結果、林分の成長が回復するかどうかはよくわかっていない。今後、高齢・過密林分を長伐期林分として適切に取り扱っていくためには、さまざまな施業に対する林分構造や動態の変化についての事例を収集することが重要である。そこで本研究では、長期にわたり無間伐のまま推移してきたと思われる高齢級ヒノキ過密人工林で間伐が行われた2事例について、間伐がそれぞれの林分の構造と成長に及ぼす影響について考察した。

II. 調 査 方 法

1. 調査地

調査は岐阜県美濃地方の高齢級ヒノキ人工林2林分で行った。このうち郡上市美並町白山の林分（以下、林分1）は、標高460m、斜面傾斜35°の西向き斜面・中~上部に位置し、母材はチャート、土壌型は適潤性褐色森林土（偏乾亜型）である。約11km離れた八幡地域気象観測所（標高250m）における年平均気温と年降水量の平年値はそれ

*連絡先著者（Corresponding author）E-mail: watanabe-hitoshi@rd.pref.gifu.jp

¹ 岐阜県森林研究所 〒501-3714 岐阜県美濃市曾代1128-1（Gifu Prefectural Research Institute for Forests, 1128-1 Sodai, Mino, Gifu 501-3714, Japan）

² 現所属：岐阜県林政課 〒500-8570 岐阜県岐阜市藪田南2-1-1（Gifu Prefectural Forestry Policy Division, 2-1-1 Yabuta-minami, Gifu, Gifu 500-8570, Japan）

（2014年10月31日受付、2015年5月7日受理）

ぞれ 12.5℃, 2,628 mm である (気象庁 2014)。対象林分は記録によれば 1912 年に植栽され、調査開始時点で 91 年生であった。植栽密度や初期保育に関する記録は残っていないが、所有者への聞き取りによれば、少なくとも最近 60 年ほどは間伐が行われていない (横井・渡邊 2008)。一方、加茂郡東白川村越原の林分 (以下、林分 2) は、標高 490 m, 斜面傾斜 34° の西南西向き斜面・上部に位置し、母材は濃飛流紋岩 (溶結凝灰岩) で、土壌型は適潤性褐色森林土 (偏乾亜型) である。5 km 南西に位置する黒川気象観測所 (標高 517 m) における年平均気温と年降水量の準平年値は 11.9℃, 2,109 mm である (気象庁 2014)。対象林分の施業履歴は不明であるが、樹幹解析 (後述) の結果によれば、調査開始時点の林齢は 97 年生で、近年 50 年間は間伐が行われていないと考えられた。

2. 調査方法

林分 1 では 2003 年 9 月、林分 2 では 2006 年 12 月に調査区 (それぞれ 515 m², 395 m²) を設置し、胸高直径 14 cm 以上のヒノキ植栽個体を対象に林分構造を調査した。対象個体には番号を付し、胸高直径、樹高、枝下高を測定した。両林分では調査後、作業者により選木され、間伐が実施された。

林齢と間伐前の成長経過を明らかにするため、間伐にあわせて 5 個体から一定高さごとに円板を採取して樹幹解析を行った。供試個体は、毎木調査をもとにあらかじめ算出した平均胸高直径、および平均胸高直径 $\pm 1/2$ 標準偏差、平均胸高直径 $\pm$ 標準偏差に相当する個体とした。本研究では、地際 (地上高 0.2 m) の円板を計数した年輪数と、胸高位置 (地上高 1.2 m) の円板の長径・短径 2 方向で計測した直径成長経過を使用した。このうち、林分 1 の林齢と間伐前の直径成長経過は、横井・渡邊 (2008) に報告されている。

間伐から 8 成長期後、林分 1 では 2011 年 8 月 (99 年生時)、林分 2 では 2014 年 8 月 (105 年生時) に再測を行った (以下、再調査時という)。調査項目は間伐前の内容に加え、枯損個体や気象害による幹折れ個体の計数、樹形級とした。樹形級は 4 m 材を 2 番玉まで採材することを想定して、各個体の樹幹の形状および被害、傷などの形質から 3 段階で評価した。すなわち「上」は根元から 8 m 程度までが通直で欠点 (被害または傷) のないもの、「中」は 8 m 程度までに小さな曲がりがあるが欠点のないもの、「下」は樹幹に大きく曲がりがあるか欠点があるものとした。

現地調査のデータから、個体ごとに [樹高-枝下高] により樹冠長、[(樹冠長/樹高) $\times 100$] により樹冠長率、[(樹高/胸高直径) $\times 100$] により形状比を算出し、それぞれの数値の調査地内での平均値を求めた。樹幹解析の供試個体は間伐前の林分を代表するよう選定したが、間伐の前後で林分の代表値が変化しと考えられることから、前後の直径成長を比較するため、次式より胸高直径の 1 年あたりの相対成長率を算出した。

$$\text{相対成長率} = \ln (\text{期末のサイズ} / \text{期首のサイズ}) / \text{期間} \times 100 \quad (1)$$

III. 結 果

林分 2 における樹幹解析個体の年輪数は 97, 99, 99, 101, 101 であった (表-1)。林分 1 同様、林分 2 も約 100 年生の高齢級林分であり、間伐時の林齢はおよそ 97 年であると推定した。供試個体の胸高位置の直径成長量は加齢とともに徐々に小さくなる傾向にあったが、約 50 年前に 5 個体中 4 個体において成長量の好転が認められた (図-1) ため、この頃、間伐が行われたと推定した。直近の間伐前 10 年間の年平均直径成長量は、0.14 cm $\cdot$ 年⁻¹ (表-1) であった。

両調査区の調査データを表-2 に示す。間伐前の平均樹高と岐阜県地位級別樹高成長曲線 (岐阜県林政部 1992) とを比較すると、林分 1 では 1 と 2 の中間 (地位上)、林分 2 では 3 と 4 の中間 (地位中) に相当した。しかし、立木密度は岐阜県の林分収獲表 (岐阜県林政部 1992) の当該地位の林分より高く、収量比数は林分 1 で 0.95, 林分 2 で 0.93 であった。林分 2 の平均樹高、平均胸高直径、胸高断面積合計は林分 1 のそれらよりも値が小さかった (表-2)。間伐前の樹冠長率は林分 1 で 28.2, 林分 2 で 30.0% と低かった (表-2)。

林分 1 では本数間伐率 65.3%, 林分 2 では 34.6% の間

表-1. 林分 2 における樹幹解析個体の概要

試料No	樹高 (m)	胸高直径 (cm)	年輪数 ¹⁾ (本)	直径成長量 ²⁾ (cm $\cdot$ 年 ⁻¹)
28	22.7	22.0	101	0.22
30	22.3	28.2	99	0.16
37	22.4	19.4	97	0.05
43	23.2	23.8	101	0.16
99	20.4	16.9	99	0.09
平均	22.2	22.1		0.14

¹⁾ 地際の円板の年輪数。²⁾ 伐採前 10 年間の年平均直径成長量。

図-1. 林分 2 における樹幹解析供試個体の直径成長量 (胸高位置) の経年変化

種類の違う線は各供試個体を示す。横軸は伐採時を 0 年として過去に遡った年数を示す。

表-2. 調査区の概要

	林 分 1				林 分 2			
	間伐前	間伐後	再調査時		間伐前	間伐後	再調査時	
立木密度 (本・ha ⁻¹)	952	330	330	(0)	1320	863	[812]	812 (0)
平均胸高直径 (cm)	30.4	34.7	36.7	(2.0)	23.1	22.0	[22.5]	24.7 (2.2)
平均樹高 (m)	24.6	25.3	26.2	(0.9)	20.4	19.9	[20.2]	21.0 (0.8)
平均形状比	83.6	73.3	72.0	(-1.3)	90.3	92.9	[92.2]	87.2 (-5.0)
平均樹冠長率 (%)	28.2	31.0	31.6	(0.6)	30.0	29.4	[30.4]	30.0 (-0.4)
胸高断面積合計 (m ² ・ha ⁻¹)	71.9	31.5	35.2	(3.7)	57.5	34.1	[33.3]	40.3 (7.0)
本数間伐率 (%)		65.3				34.6		
胸高断面積間伐率 (%)		56.2				40.7		

林分2の〔 〕内は、調査期間中に消失した個体を除外した間伐後の残存個体の数値を示す。()内は調査期間中の数値の変化(林分2においては消失個体を除外した間伐後の残存個体からの変化)を示す。

図-2. 間伐時および再調査時の胸高直径分布

上段は間伐時の間伐個体と残存個体の、下段は再調査時の胸高直径分布を示す。*調査期間中に枯死または冠雪害により消失した個体を示す。

伐によって、胸高断面積合計はそれぞれ56.2%、40.7%減少した(表-2)。間伐時の胸高直径分布を比較すると、林分1(図-2(a))では主に胸高直径の小さい個体が、林分2(図-2(b))では胸高直径の大きい個体が多く伐採された。その結果、林分1では、間伐後の平均樹高、平均胸高直径、平均樹冠長率は間伐前のそれらよりも値が大きくなった(表-2)。一方、林分2では、間伐後の平均樹高、平均胸高直径、平均樹冠長率は間伐前のそれらより小さくなった(表-2)。また、間伐によって平均形状比は林分1では低くなり、林分2では高くなった(表-2)。

林分1では間伐後の調査時から再調査時までの間(以下、調査期間内という)に気象害、枯損は発生しなかった。林分2では胸高直径の小さい1個体が枯損し、1個体が冠雪害により折損した(図-2(b))。再調査時の胸高直径分布を図-2(a'), 図-2(b')に示す。林分1では間伐前34~36cmと36~38cmの2階級に位置していた分布の最頻値が36~38cmの階級だけになり、林分2では最頻値が1階級大きい方へ移動した。調査期間内に枯損や折損により消失した個体を除いて計算すると、平均胸高直径は林分1で34.7cmから36.7cmに、林分2で22.5cmから24.7cmになった(表-2)。間伐後および再調査時の胸高直径には、

両調査区ともに有意な差が認められた(Wilcoxonの符号順位検定, $p < 0.01$)。消失個体を除いて計算すると、調査期間内の胸高直径成長量は林分1で2.0cm(0.25cm・年⁻¹)、林分2で2.2cm(0.28cm・年⁻¹)であった(表-2)。

再調査時の平均形状比を表-2に示す。調査期間内の平均形状比の低下(数値の改善)は、林分2の方が大きかった。ただし、林分2の再調査時の平均形状比は、間伐前のそれと大きくは変わらなかった。再調査時の樹形級ごとの本数密度を図-3に示す。両調査区ともに樹形級「上」ないしは「中」の個体の本数密度は約300本・ha⁻¹と変わらなかった。しかし、林分1では樹形級「下」の個体は1本もなかったのに対し、林分2では、「下」の個体が残存個体の約7割を占めていた。

IV. 考 察

本研究の対象は、2事例とも壮齢期から50年以上にわたって無間伐で推移した高齢級林分である。また、収穫表の立木密度との比較、収量比数、樹冠サイズ、間伐前の直径成長量からみて、過密な状態であったといえる。このような林分で行われた間伐は、林分1では劣勢個体を主な伐採対象とした強度な下層間伐、林分2では優勢個体を伐採

図-3. 樹形級ごとの立木密度

上, 中, 下は樹形級を示す。各樹形級の評価基準は本文を参照のこと。

対象とした上層間伐であった (図-2)。

林分1では間伐によって林分の立木密度が低下すると同時に、劣勢個体から伐採されたことによって形状比の高い個体が除去され、林分の平均形状比が低下した (表-2)。一方、林分2では選択的に優勢個体が伐採されたことによって、林分の平均形状比が上昇した (表-2)。後述するように直径成長は改善傾向にあるため、平均形状比は調査期間内に低下したが、再調査時においても87.2と高かった (表-2)。冠雪害は高齢級林分でも形状比70以上の個体で発生する (國崎 2005) ことから、当分の間は気象害のリスクが高い状態が続くと推測される。また、直近の間伐で形質不良個体を除去しなかったことから、樹形級「下」の個体 (図-3) の取り扱いが課題であると考えられる。

間伐前10年間の年平均直径成長量は、林分1で $0.14 \text{ cm} \cdot \text{年}^{-1}$ (横井・渡邊 2008)、林分2で $0.14 \text{ cm} \cdot \text{年}^{-1}$ (表-1) で、胸高直径の年相対成長率は林分1、林分2でそれぞれ $0.53\% \cdot \text{年}^{-1}$ 、 $0.69\% \cdot \text{年}^{-1}$ であった (図-4)。間伐後の平均胸高直径と間伐8年後のそれとを比較すると、平均胸高直径は両調査区ともに大きくなっていた (図-2, 表-2)。また、その間の年平均直径成長量はそれぞれ $0.25 \text{ cm} \cdot \text{年}^{-1}$ 、 $0.28 \text{ cm} \cdot \text{年}^{-1}$ (表-2) で、年相対成長率は $0.70\% \cdot \text{年}^{-1}$ 、 $1.17\% \cdot \text{年}^{-1}$ であった (図-4)。つまり間伐前後で比較すると、胸高直径の年相対成長率は林分1では約0.2% (間伐前の1.3倍)、林分2では0.5% (間伐前の1.7倍) の改善が認められた (図-4)。

本研究で対象にしたヒノキでは、長野県の74年生林分で、間伐後5年間に直径成長に対する間伐効果が認められなかったという報告 (安達・川崎 1999) がある。一方、千葉県の比較的よく密度管理がされてきた64~77年の林分で、間伐後の直径成長量が間伐前のそれに比べ1.7~2.2倍になった例 (福島 2000) もみられる。しかし、これらの事例は、サンプル数が少ない、観測期間が短いという点、あるいは高齢に至るまでに何度も間伐がなされてきた林分を対象としている点で、本研究の結果と単純には比較できない。高齢・過密林における間伐効果の事例としては、樹種は異なるが岩手県の94年生アカマツ (*Pinus densiflora*) 人工林で、間伐後に約4割の個体の直径成長が

図-4. 間伐前後の胸高直径の相対成長率

バーは標準誤差を示す。

$0.1 \text{ cm} \cdot \text{年}^{-1}$ (1.4~1.7倍) 改善した (正木ら 2011) ことが報告されている。本研究の事例は、両林分の立地条件、施業履歴などが大きく異なるため、直径成長に及ぼす間伐の影響を十分に議論できるデータではないが、これまで積極的な密度管理が行われてこなかった高齢級ヒノキ過密林においても直径成長が認められ、さらに間伐による胸高直径の成長促進効果がみられる場合があることを示唆している。

本研究を行うにあたり、国立研究開発法人森林総合研究所の齊藤哲氏ならびに同四国支所の宮本和樹氏に有益な助言をいただいた。調査地の設定にあたっては、岐阜県郡上市林務課の河合智氏にお世話になった。また、現地調査にあたっては、岐阜県森林研究所の横井秀一、井川原弘一、杉山正典の各氏 (当時) ならびに田中伸治氏、岐阜県立森林文化アカデミーの鈴川はるな氏 (当時) のご協力をいただいた。匿名の査読者と編集委員には本報告に対して大変貴重なご指摘、ご提案をいただいた。ここに深く謝意を表する。

引用文献

- 安達亮介・川崎圭造 (1999) 高齢ヒノキ人工林における間伐効果の一例。中森研 47: 7-8
- 藤森隆郎 (2005) 間伐問題を考える。間伐はなぜ必要か。森林科学 44: 4-8
- 藤森隆郎 (2006) 長伐期施業の意義と課題。 (長伐期林を解き明かす。 (社) 全国林業改良普及協会編、 (社) 全国林業改良普及協会)。12-32
- 福島成樹 (2000) 千葉県安房地方のヒノキ長伐期林における間伐効果。日林関東支論 52: 101-102
- 岐阜県林政部 (1992) ヒノキ人工林林分収穫表・林分密度管理図。岐阜県林政部
- 気象庁 (2014) 気象統計情報。過去の気象データ検索 (オンライン) <http://www.jma.go.jp/> (参照: 2014年10月1日)
- 國崎貴嗣 (2005) 岩手山麓のスギ高齢人工林における冠雪害の発生傾向。日林誌 87: 426-429
- 正木 隆・森 茂太・梶本卓也・相澤州平・池田重人・八木橋勉・柴田鏡江・櫃間 岳 (2011) 高齢・高密度のアカマツ林の間伐は個体の成長を改善するか。日林誌 93: 48-57
- Miura S, Yoshinaga S, Yamada T (2003) Protective effect of floor cover against soil erosion on steep slopes forested with *Chamaecyparis obtusa* (hinoki) and other species. J For Res 8: 27-35
- 森麻須夫・大住克博 (1991) 秋田地方における高齢級カラマツ林の成長。森林総研研報 361: 1-15
- 鈴木和次郎・池田 伸・平野辰典・須崎智広・和佐英二・石上智生 (2009) 高齢級ヒノキ人工林の林分構造にみる間伐履歴の影響。日林誌 91: 9-14
- 横井秀一・渡邊仁志 (2008) 91年生の無間伐ヒノキ林の林分構造と成長経過。 (過密人工林の間伐。過密人工林における間伐手法研究会編、関東・中部林業試験研究機関連絡協議会)。3-4