

過密なスギ老齡人工林における 41 年間の林分成長経過

國崎 貴嗣^{*,1}・山崎 遥¹

過密なスギ老齡人工林 1 林分における林齢 134~175 年の林分成長経過を、斜面区と平坦区別に調べた。斜面区では、本数率 10% 前後の極めて弱い伐採が数回実施されたため、過密状態を解消できず、枯死木が発生し続けた。しかし、継続的に伐採されたことで、込み合い度は緩やかに改善し、胸高直径成長量が増加することで、平均形状比は 70 未満まで低下し、林分材積純成長量は $10 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{年}$ 以上に達した。平坦区では、林齢 146 年に本数率 22% の下層間伐が実施されたことで、過密状態が解消され、枯死木発生が止まった。そして、胸高直径成長量が増加することで、平均形状比は 70 未満まで低下し、林分材積純成長量は $20 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{年}$ 前後まで増加した。地位級 1 等で樹高成長が継続しているため、相対幹距 15% を超える下層間伐を施せば、林分材積純成長量が 20 年近く、 $20 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{年}$ 前後になることが確認された。

キーワード：過密老齡林、間伐効果、地位、林分材積純成長量

Takashi Kunisaki^{*,1} Haruka Yamazaki¹ (2021) Stand Growth Process for 41 Years in an Overcrowded Old-growth Plantation of Japanese Cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don). J Jpn For Soc 103: 285-290 The stand growth process of an overcrowded old-growth plantation of Japanese Cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) was investigated for 41 years, beginning when the stand was 134 years old, in the slope and flat site. In the slope site, since very weak cutting of about 10% in number ratio was carried out several times, overcrowding condition could not be eliminated and mortality continued. However, as the trees were continuously cut down, the degree of crowding gradually improved and DBH growth increased, average height: DBH ratio decreased to less than 70, and net increment in stand volume reached more than $10 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{year}$. In the flat site, the low thinning of 22% in number ratio was carried out, when the stand was 146 years old, and overcrowding condition was eliminated and mortality stopped. As DBH growth increased, average height: DBH ratio decreased to less than 70 and net increment in stand volume increased to around $20 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{year}$. It was confirmed that since the tree height growth continues at first site class, the net stand volume increment would be around $20 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{year}$ for about 20 years, if lower thinning is conducted to exceed 15% of the relative spacing index.

Key words: net increment in stand volume, overcrowded old-growth stand, site quality, thinning effect


I. は じ め に

公益的機能の持続的発揮を指向する森林誘導のキーワードの一つに、長伐期化がある(林野庁 2020)。政策としての長伐期化は 1980 年代から言及されるようになり(森林基本計画研究会 1997)、1990 年代に長伐期施業という概念が普及した(藤森 1993; 家原 1993; 大住 2002)。そして、針葉樹人工林における長伐期施業の体系を確立すべく、1990 年代から 2000 年代にかけて長伐期林(高齢人工林)に関する研究が多数実施され、一定の成果が取りまとめられた(桜井 2002; 全林協 2006)。しかし、大径材価格の下落(遠藤 2006; 宮本 2015)や再造林経費の低減可能性の高まり(中村ら 2019)により、かつて指摘された長伐期施業の経営的利点は、近年、失われつつある(梶本 2021)。その一方で、地球温暖化防止に対して森林生態系の果たす役割への期待は高く(林野庁 2020)、成熟段階後半または老齡段階に誘導された林齢 100 年生を超える人工林(以下、老齡人工林とする)が持つ炭素吸収・貯蔵機能の定量的評価、換言すれば、老齡人工林の材積成長量や蓄積の測定・推定は引き続き重要である(藤森 2003; 梶本 2021)。また、手入れ不足の過密人工林が少なくない現状を起点とした、新たな長伐期施業体系の確立も求められている(宮本 2015)。

これまで、スギ老齡人工林を対象に、林分材積やその成

長量が各地で測定・推定されてきた(丹下ら 1987; 田中 1992; 竹内 2005; 杉田ら 2017)。ただし、既往の研究では密(丹下ら 1987; 竹内 2005)、中密(田中 1992)、低密状態(杉田ら 2017)の林分を対象としており、過密老齡人工林の材積成長量を推定した事例は、筆者らの既報(國崎ら 1999)以外、見当たらない。國崎ら(1999)は、岩手県内のスギ過密老齡人工林 1 林分における林齢 134~153 年の 19 年間の林分材積成長量を推定し、後半の 10 年間では $10.3 \sim 11.9 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{年}$ に達することを報告した。これは、スギ老齡人工林の材積成長量は $10 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{年}$ 前後かそれ以上である場合が多いという竹内(2005)の指摘に合致するものの、過密老齡人工林の材積成長量がこの水準で持続するのかわ不明なままである。

測定開始時点で過密だった岩手県内のスギ老齡人工林 1 林分を対象に、41 年間の林分成長経過を明らかにするのが本研究の目的である。育林・気象害履歴と林分成長経過との対応関係を調べ、間伐や気象害木処理がスギ老齡人工林の材積成長量の変化に及ぼす影響について考察した。なお、調査林分の斜面と平坦地では、過去の林分構成値や冠雪害の発生状況が顕著に異なるため(國崎 2005; 山崎・國崎 2014)、これらを分けて林分成長経過を調べた。また、本研究では、過密という用語を、スギ人工林で自己間引きが発生しやすい相対幹距 15% 以下(國崎 2013; 吉田ら

*連絡先著者 (Corresponding author) E-mail: kunisaki@iwate-u.ac.jp  <https://orcid.org/0000-0002-5605-5356>

¹ 岩手大学農学部 〒020-8550 岩手県盛岡市上田 3-18-8 (Faculty of Agriculture, Iwate University, 3-18-8 Ueda, Morioka, Iwate 020-8550, Japan)

(2021 年 4 月 18 日受付; 2021 年 5 月 25 日受理)

©2021 一般社団法人日本森林学会: この著作はクリエイティブ・コモンズのライセンス CC BY-NC-ND (引用を表示し、改変せず、非営利目的に限定) の条件の下で再配布・二次利用が可能なオープンアクセスです。 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.ja>

2018) という意味で用いる。

II. 調査地と方法

1. 調査地と調査方法

調査林分は、岩手大学農学部附属寒冷フィールドサイエンス教育研究センター滝沢演習林（以下、演習林とする）内のスギ老齢人工林（39° 47' N, 141° 10' E）である。南部藩藩有林時代に植栽され、2020年時点で175年生である。林分面積は1.141 ha、標高189～247 m、傾斜度22～29度の北東～南東向き斜面（0.752 ha）と傾斜度5度前後の平坦地（0.389 ha）からなる（表-1）。土壌型はI B₀であり、土壌堆積様式は主に匍行土と崩積土である。岩手県林業水産部（1983）および木戸口・栗野（2007）に基づき地位級（1979年、林齢134年）を推定したところ、斜面、平坦地ともに1等であった。なお、調査林分から約1.5 km離れた位置（標高210 m）における気象観測資料（2002～2015年）によれば、年平均気温9.7度、暖かさの指数80.1、年平均降水量1,278 mmである。最深積雪深は40 cm程度であり、調査地は少雪地域に相当する。

調査林分では林齢134年の収量比数が斜面0.74、平坦地0.67であり、134～143年に枯死木が多く発生したことから、145年で本数間伐率14%（材積間伐率9%）の下層間伐が実施された。ただし、学術参考林に指定されているため、この下層間伐以外では、後述する気象害に伴う被害木処理以外、伐採は控えられている。調査が開始された134年以降に発生した気象害は、風害と冠雪害である。風害は146年に発生したものの、被害木は計2本（2本/ha）のみであった。一方、冠雪害については135、153、163、165年に発生した。このうち、16～29本/haと被害本数の多かった135、153、165年の冠雪害については國崎（2005）、山崎・國崎（2014）で詳述されている。残る163年の冠雪害の被害木は計3本（3本/ha）であった。

林齢134年時（1979年12月）に、調査林分のスギ全生立木に個体番号および胸高帯が付され、胸高直径と樹高が毎木調査された。その後、150年（1995年11月）、164年（2009年10～12月）、175年（2020年11～12月）にも胸高直径と樹高が毎木調査された。なお、測定では、134年と150年には2 cm括約の輪尺とブルーメライス（Karl Leiss 社）、164年と175年には0.1 cm単位の輪尺とVertex III（Haglöf 社）が用いられた。

林齢143年（1988年10月）、153年（1998年10月）、158年（2003年10月）に、スギ全生立木の胸高直径が、2 cm括約の輪尺を用いて毎木調査された。そして、153年

と158年には胸高直径の最小値、最大値を含むように標準木がそれぞれ40、108本ずつ選ばれ、樹高が測定された。測定では153年にはブルーメライス、158年にはVertex IIIが用いられた。

2. データ解析

調査林分の林分構成特性を明らかにするため、胸高直径と樹高が毎木調査された林齢134、150、164、175年の本数密度、平均胸高直径、平均樹高、平均形状比、林分材積を斜面区（0.752 ha）と平坦区（0.369 ha）別に調べた。なお、平坦地0.389 haの中に林床植生モニタリング用の防鹿柵0.02 haが設置されているため、平坦区では柵内の面積、立木を対象外とした。また、各期間（134～150年を期間1、150～164年を期間2、164～175年を期間3とする）における間伐、気象害、枯死の各本数密度を斜面区と平坦区別に集計した。

調査林分の込み合い度の変化を把握するため、各調査年および間伐・気象害発生年における相対幹距を斜面区と平坦区別に算出した。上層木樹高については、Inoue（1999）に基づき、樹高上位67%の平均樹高として算出した。樹高を毎木調査していない林齢153、158年については、胸高直径を標準木の樹高曲線（Näslund 式）に代入して推定した樹高の上位67%分を用いた。樹高を測定していない143年については、134年と150年の毎木調査データから求めた樹高曲線（Näslund 式）の係数を算術平均し、その平均値を係数値とする樹高曲線から樹高の上位67%分を推定した。また、間伐年（145年）や気象害発生年（135、146、153、163、165年）における上層木樹高については、その直近の調査年（134、143、153、164年）の値に、地位級1等の上層木樹高成長曲線（岩手県林業水産部 1983）で推定した樹高成長量を加減して求めた。

調査林分の林分材積成長量の変化を把握するために、期間1～3における林分材積純成長量（m³/ha/年）（以下、期間平均成長量とする）を斜面区と平坦区別に算出した。そして、國崎ら（1999）の手法で推定した秋田地方スギ林林分収穫表の地位級1等の林分材積純成長量（以下、収穫表1等とする）と比較した。

期首胸高直径と胸高直径成長量との関係に及ぼす期間の影響を明らかにするため、期間平均胸高直径成長量を応答変数、各期間の期首胸高直径、区域（斜面区、平坦区）、期間（期間1～3）を説明変数とする線形モデルで解析した。期首胸高直径と区域の交互作用、期首胸高直径と期間の交互作用を含めて、説明変数の組み合わせを変えた12通りのモデル（J-STAGE 電子付録付表-1）についてAICを算出し、AIC最小のモデルを最良モデルとした。そして、最良モデルの係数が取りうる値の範囲の確率を計算できる事後分布を推定するため、ベイズ推定を行った。マルコフ連鎖モンテカルロ法（以下、MCMCとする）サンプルに関して、松浦（2016）の1,000～5,000ステップを3チェーン以上、バーンイン100～500、間引きによる収束改善という記述を参考に、21,000ステップを10チェーン分抽出し、バーンインを1,000、間引きを2とした。事後分布の収束指標である \hat{R} が1.1未満（松浦 2016）であるかを確認

表-1. 調査林分における斜面区と平坦区の環境条件

	斜面区	平坦区
面積 (ha)	0.752	0.369
標高 (m)	190～247	189～215
斜面方位*	北東～南東	—
傾斜度 (度)	22～29	0～7
地位級	1等	1等
地位指数 (m)	26.2	26.8

*北を基準に時計回りに8方位で示す。

した。

林齢175年の生立木を対象に、胸高直径、樹高における41年間の平均変化率（林齢の係数）をそれぞれ推定するため、胸高直径、樹高を応答変数、林齢、区域（斜面区、平坦区）を説明変数（固定効果）、立木を変量効果とした線形混合モデルで解析した。nullモデル、区域を説明変数とする線形モデル、説明変数の組み合わせを変えたランダム切片モデル、ランダム係数モデルを含めて、それぞれの応答変数ごとに9通りのモデルについてAICを算出し、最良モデルを選んだ。そして、最良モデルの係数の事後分布を推定するため、ベイズ推定を行った。MCMCサンプル抽出に関する諸条件については期間平均胸高直径成長量のモデルと同じにした。

すべての統計解析をR version 4.0.3（R Core Team 2020）およびRStudio version 1.4.1103を用いて実施した。また、ベイズ推定にはRStan version 2.21.1およびglmmstanパッケージを用いた。

III. 結 果

斜面区と平坦区における林分構成値の変化を表-2に示す。斜面区では、本数密度が林齢134～150年（期間1）に109本/haと大きく減少し、その後の期間も40本/ha前後ずつ減少した。平均胸高直径は各期間で5cm前後ずつ増加したのに対し、平均樹高は134～175年の41年間（期間1～3）では2.0mとわずかに増加したのみだった。平均形状比は期間2で大きく減少し、175年には68.9となった。林分材積は期間1に減少した後、期間2～3で159 m³/ha増加した。一方、平坦区では、本数密度は期間1に108本/haと大きく減少した後、ほぼ一定であった。平均胸高直径は期間1～2で6.5cm前後ずつ増加したものの、期間3では4.4cmの増加であった。平均樹高は各期間で2.0～2.6mずつ増加した。平均形状比は期間1で大きく減少し、175年には67.9となった。林分材積は期間1に減少した後、期間2～3で482 m³/haと大きく増加した。

斜面区と平坦区における間伐、気象害、枯死の本数密度および期首本数密度に対する割合を表-3に示す。斜面区

では、間伐木の割合は10%、気象被害木の割合は各期間で5～12%であり、各期間の伐採率が7～15%と10%前後であった。また、枯死木の割合は期間1で6%と、やや高く、その後の期間にも枯死木が発生し続けた。一方、平坦区では、間伐木の割合は22%、気象被害木の割合は各期間で0～4%であり、各期間の伐採率は0～23%と期間1で高く、その後の期間で低かった。また、枯死木の割合は期間1で5%とやや高かったものの、その後の期間に枯死木は発生しなかった。

斜面区と平坦区における相対幹距の経年変化を図-1に示す。斜面区では、間伐や気象害により相対幹距が緩やかに増加した後、期間3で緩やかに減少した。平坦区では、期間1の間伐後に相対幹距が大きく増加し、少なくとも林齢146～158年では15%を超えた。その後、165年の冠雪害で一時的に微増したものの、17年間（158～175年）を通しては緩やかに減少した。

斜面区と平坦区における林分材積成長量の経年変化を図-2に示す。期間平均成長量は、期間1で5.6～5.8 m³/ha/年と収穫表1等より低いものの、その後の期間に増加し、収穫表1等を上回った。斜面区では、期間2の期間平均成長量が11.6 m³/ha/年、期間3のそれが16.1 m³/ha/年と、期間ごとに5.0 m³/ha/年前後ずつ増加した。また、平坦区では、期間2の期間平均成長量が19.8 m³/ha/年と、期間1から14.0 m³/ha/年も増加した。期間2から3への増加分は2.2 m³/ha/年と少なかったものの、期間3の期間平均成長量は22.0 m³/ha/年であり、高水準を維持した。

期間平均胸高直径成長量を応答変数とする線形モデルのAICは、nullモデルの-673に対し、説明変数に期首胸高直径を含むモデルで-977～-1,105と低かった。また、期間のみを説明変数とする線形モデルのAICは-898であり、説明変数に期首胸高直径を含むモデルのそれより高いものの、nullモデルのそれより顕著に低かった。最良モデルは期首胸高直径、区域、期首胸高直径と区域の交互作用、期間を説明変数とするモデルであった。最良モデルの係数についてベイズ推定した結果を表-4に示す。いずれの係数でも事後分布の収束指標 \hat{R} は1.1未満だった。期間2、3

表-2. 斜面区と平坦区における林分構成値の変化

林齢(年)	斜面区				平坦区			
	134	150	164	175	134	150	164	175
本数密度(本/ha)	519	410	372	327	390	282	282	271
平均胸高直径(cm)	40.7	44.9	50.8	55.0	46.6	53.8	60.1	64.5
平均樹高(m)	34.9	36.4	35.4	36.9	36.0	38.1	40.1	42.7
平均形状比	87.7	83.0	71.2	68.9	79.4	72.2	68.3	67.9
林分材積(m ³ /ha)	1151	1115	1207	1274	1123	1061	1338	1543

表-3. 斜面区と平坦区における間伐、気象害、枯死の本数密度(本/ha)

	斜面区				平坦区			
	間伐	気象害	伐採計	枯死	間伐	気象害	伐採計	枯死
期間1	52(10)	24(5)	76(15)	33(6)	84(22)	5(1)	89(23)	19(5)
期間2	-	28(7)	28(7)	5(1)	-	0(0)	0(0)	0(0)
期間3	-	43(12)	43(12)	7(2)	-	11(4)	11(4)	0(0)

()内は期首本数密度に対する割合(%)である。

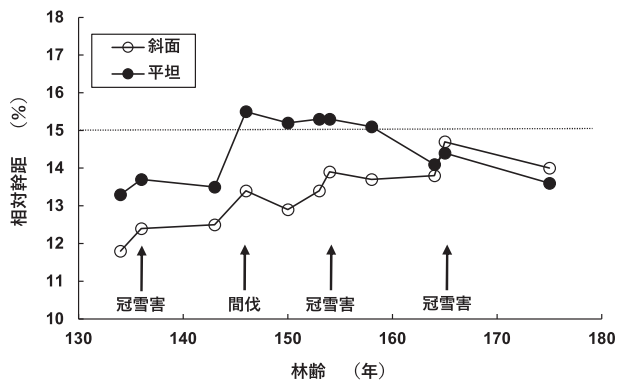


図-1. 斜面区と平坦区における相対幹距の経年変化

図中の点線は過密の基準値を示す。

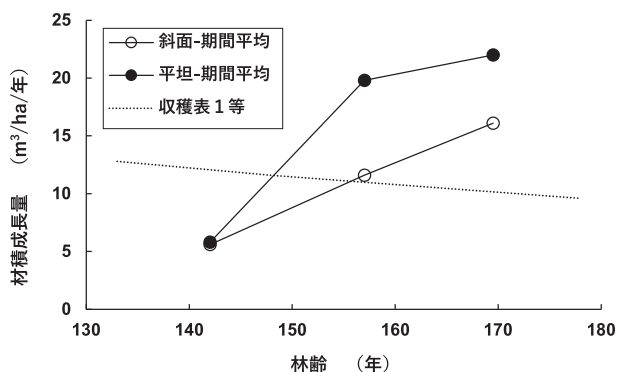


図-2. 斜面区と平坦区における林分材積成長量の経年変化

表-4. 期間平均胸高直径成長量を応答変数とする最良モデルの係数

	平均	95%信用区間	\hat{R}
切片(斜面区, 期間1)	-0.18	[-0.23, -0.13]	1.00
期首胸高直径	0.01	[0.01, 0.01]	1.00
区域(平坦区)	0.11	[0.00, 0.21]	1.00
直径と区域の交互作用	-0.00	[-0.01, -0.00]	1.00
期間2	0.10	[0.08, 0.12]	1.00
期間3	0.10	[0.08, 0.13]	1.00

表-5. 胸高直径, 樹高, 形状比を応答変数とする最良モデルと係数

応答変数	林齢の係数			交互作用の係数		
	平均	95%信用区間	\hat{R}	平均	95%信用区間	\hat{R}
胸高直径	0.30	[0.29, 0.31]	1.00	0.05	[0.03, 0.07]	1.00
樹高	0.01	[0.00, 0.02]	1.00	0.11	[0.10, 0.13]	1.00

林齢の係数は斜面区の平均変化率を, 交互作用のそれは平坦区の平均変化率-斜面区の平均変化率を示す。

の係数が正である確率は100%であり, 0.08 cm/年以上の確率は98%, 0.10 cm/年以上の確率は56~57%だった。

立木の胸高直径, 樹高を応答変数とする最良モデルは, いずれの応答変数とも, 林齢, 林齢と区域の交互作用, 区域を説明変数とするランダム係数モデルであった。最良モデルの係数をベイズ推定した結果を表-5に示す。胸高直径については, 林齢(斜面区)の係数が0.27 cm/年以上, 林齢と区域(平坦区)の交互作用のそれが0.01 cm/年以上の確率は100%であり, 係数の平均値(事後平均)は林齢0.30 cm/年, 交互作用0.05 cm/年と, 林齢の係数の事後平均が高かった。一方, 樹高については, 林齢(斜面区)の

係数が正である確率は99.6%, 林齢と区域(平坦区)の交互作用のそれが0.08 m/年以上の確率は100%であり, 係数の事後平均は林齢0.01 m/年, 交互作用で0.11 m/年と, 交互作用の係数の事後平均が高かった。

IV. 考察

1. 林分材積純成長量に対する伐採効果

斜面区における各期間の本数伐採率は7~15%であった(表-3)。冠雪被害木は無被害木より樹高の低い個体もしくは形状比の高い個体であったことから(國崎2005;山崎・國崎2014), 斜面区では極めて弱度の下層間伐が各期間で実施されたに等しい。これに対し, 平坦区における各期間の本数伐採率はそれぞれ23, 0, 4%であり(表-3), 期間1で高く, それ以外で無間伐, もしくは非常に低かった。つまり, 平坦区では弱度の下層間伐が期間1のみ実施されたことに等しい。こうした伐採履歴の違いにより, 相対幹距の経年変化傾向は区域で異なり, 極めて弱度ながら継続的に伐採された斜面区では, 期間1から2にかけて相対幹距が緩やかに増加した。しかし, 過密の基準値である15%を超えることはなく, 41年間, 過密のままであった(図-1)。これに対し, 期間1に弱度で伐採された平坦区では, 期間1から期間2にかけて, 少なくとも12年以上にわたって相対幹距が15%を超え, 込み合い度が過密から密の状態に緩和された(図-1)。

鹿児島県内のスギ高齢人工林では, 相対幹距15%以上になる下層間伐を施した中度, 強度間伐区における林分材積純成長量が, 無間伐区や相対幹距15%未満の弱度間伐区のそれらに比べて明らかに高く, 逆に枯死木材量は中度, 強度間伐区で明らかに低かった(吉田ら2002)。これと同様の伐採効果は本研究の調査林分でも認められ, 弱度伐採が施された平坦区における林分材積純成長量は, 極めて弱度の伐採が継続的に施された斜面区のそれより, 顕著に増加した(図-2)。また, 弱度伐採が施された平坦区では期間2~3に枯死木が発生しなかったのに対し, 極めて弱度の伐採が継続的に施された斜面区では, 期間1より減少したものの, 期間2~3でも枯死木が発生した。これは斜面区で過密状態が継続した影響と考えられる。枯死木が発生しない場合, 粗成長量と純成長量は同じであるものの, 枯死木が発生すると, 純成長量は粗成長量より低くなる(大隅1987)。このため, 伐採により枯死木発生を止めることも林分材積純成長量を増加させる効果を持つ。このように, 本研究の調査林分の結果は吉田ら(2002)による高齢人工林での知見と同様であり, 相対幹距15%以上になる伐採(下層間伐)は, 過密高齢人工林の林分材積純成長量の改善においても有効と考えられる。

2. 区域により林分材積純成長量が異なる原因

前節で述べたように, 斜面区と平坦区で林分材積純成長量の増加傾向が異なった原因として, 一つには伐採方式(強度や頻度)の違いが挙げられる。ただし, 伐採方式の違いは胸高直径成長量の増加傾向にそれほど大きく影響していなかった。すなわち, 期間平均胸高直径成長量は, 期間1に比べて, 期間2~3で明らかに高かった(表-4)。斜面区

では極めて弱度の伐採が継続的に施されたこと、平坦区では過密状態を緩和する弱度伐採が期間1の終盤に施されたことが、期間2～3における胸高直径成長量の増加に寄与したと考えられる。しかし、林齢175年の生立木を対象とした41年間の平均変化率の解析から、事後平均に基づく胸高直径の平均変化率 (cm/年) は、斜面区 0.30 cm/年に対し、平坦区 0.35 cm/年であり、0.1 cm/年未満 (0.05 cm/年) の違いであった (表-5)。

一方で、区域で大きく異なったのは樹高の平均変化率であり、事後平均に基づく樹高の平均変化率 (m/年) は、斜面区 0.01 m/年に対し、平坦区 0.12 m/年と、0.1 m/年以上 (0.11 m/年) の違いが生じた (表-5)。150年までとそれ以降で樹高測定者が異なっているため、例えば、斜面区における150年の平均樹高より164年のそれが1.0 m低くなっているなど (表-2)、測定者・測高器の違いによる誤差が生じていることは否めない。ただ、153年以降の調査では筆頭著者がすべて樹高を測定しており、153～175年の22年間における上層木樹高の変化量を計算すると、斜面区 2.4 m (0.11 m/年) に対し、平坦区 5.8 m (0.26 m/年) と、平坦区の変化量が顕著に高かった。このことは、スギ高齢または老齢林の樹高成長は斜面位置によって異なるという知見 (丹下ら 1989; 宮本・天野 2002) と一致している。加えて、当時の演習林職員が測定した134年の上層木樹高を用いて、地位級別上層木樹高成長曲線 (岩手県林業水産部 1983) から判定した地位級は、斜面区、平坦区ともに1等だったものの、岩手県スギ民有林データ (岩手県林業水産部 1979) を用いて吉川 (2014) が調製した地位指数曲線から、基準林齢40年における地位指数を判定すると、斜面区 26.2 m に対して平坦区 26.8 m と、わずかながら平坦区で高かった (表-1)。スギは相対的に水分要求性が高いことが知られている (宮島 1971)。谷部から尾根部にむかって斜面位置が上がっていくにつれ、土壌含水率が低下し、乾湿の変動幅が大きくなる (山本ら 2010) ことから、老齢段階においても、斜面区と平坦区という立地の違いはスギの成長に影響を与えたと考えられる。これらを総括すると、斜面区に比べて平坦区の林地生産力はより高く、樹高成長が旺盛に継続したことも、平坦区の林分材積純成長量の高さに寄与していると考えられる。

3. 育林管理への示唆

斜面区では、各時点の本数伐採率が10%前後と伐採強度が極めて弱度だったため、過密状態を解消できず、枯死木が発生し続けた (表-3)。しかし、そのように極めて弱度であっても、継続的に伐採されたことで込み合い度は緩やかに改善し (図-1)、胸高直径成長量が増加することで (表-4)、平均形状比は70未満まで低下するとともに (表-2)、林分材積純成長量は $10 \text{ m}^3/\text{ha}$ /年前後かそれ以上という水準 (竹内 2005) に達した (図-2)。また、平坦区では、林齢146年に本数率22%の下層間伐が実施されたことで、過密状態が解消され (図-1)、枯死木発生が止まった (表-3)。そして、胸高直径成長量が増加することで (表-4)、平均形状比は70未満まで低下するとともに (表-2)、林分材積純成長量は $20 \text{ m}^3/\text{ha}$ /年前後という高水準まで増加し

た (図-2)。このように、地位級1等の過密老齢人工林では、他地域の密な老齢人工林 (竹内・伊東 2003) と同様に樹高成長が継続しているため、相対幹距15%を超える下層間伐を施すことで、20年近くにわたって、林分材積純成長量が $20 \text{ m}^3/\text{ha}$ /年前後に達することを確認できた。その一方で、斜面区、平坦区とも、期間3 (林齢164～175年) に相対幹距が減少し、過密化が再び進行していた (図-1)。枯死木発生を抑制し、林分材積純成長量を引き続き $10 \text{ m}^3/\text{ha}$ /年以上の水準に保つには、間伐が必要だと考えられる。経費や労力の関係から、間伐の間隔を20年より長くする必要があるなら、平均形状比が70未満の老齢人工林では、大きな林孔の形成を回避しつつ (山崎・國崎 2014)、相対幹距15%を大きく超える、より強度の間伐を実施するという選択肢 (杉田ら 2017) も検討可能であろう。

なお、本研究は岩手県内の少雪地帯における一事例に過ぎず、地位級または地位指数が判定された、東北地方の多雪地帯 (例えば、西園ら 2008) や関東以西 (例えば、橋本ら 2020) の過密老齢人工林においても、長期の調査継続が望まれる。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、杉田久志博士、柴田信明先生、1979～1995年の演習林職員、森林経営学研究室、森林動態制御研究室の学生諸氏には林分調査にご尽力頂いた。編集委員と査読者から有益なご助言を頂いた。ここに記して深甚の謝意を表する。

引用文献

- 遠藤日雄 (2006) 経営面からみた長伐期施業の可能性. (長伐期林を解き明かす. 全林協編, 全国林業改良普及協会). 33-56
- 藤森隆郎 (1993) 長伐期施業の意義と課題. 山林 1304: 6-13
- 藤森隆郎 (2003) 新たな森林管理—持続可能な社会に向けて—. 全国林業改良普及協会
- 橋本晋太・尾張敏章・軽込 勉・千嶋 武・三次充和・鶴見康幸・鈴木祐紀・米道 学・塚越剛史・阿達康真・村川功雄・大石 諭・當山啓介 (2020) 東京大学千葉演習林における100年生超スギ人工林の現状. 東大演報 142: 17-36
- 家原敏郎 (1993) ヒノキ長伐期施業の収益性と経営的評価. 日林誌 75: 34-40
- Inoue A (1999) Statistical analysis of the relationship between upper- and mean-tree heights using discriminant analysis method. J For Plann 5: 73-76
- 岩手県林業水産部 (1979) 岩手県スギ人工林林分密度に関する基礎調査書
- 岩手県林業水産部 (1983) 岩手県民有林スギ収穫予想表等作成に関する基礎調査書
- 梶本卓也 (2021) 長伐期施業. (森林学の百科事典. 日本森林学会編, 丸善出版). 246-247
- 木戸口佐織・栗野義之 (2007) 岩手県民有林におけるスギ高齢林の現状と収穫予想表の作成. 岩手林技セ研報 15: 1-8
- 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
- 國崎貴嗣 (2013) 粗放的に管理されたスギ若齢人工林の簡便な密度管理指標の探索. 岩大演報 44: 1-18
- 國崎貴嗣・藁谷紀恵・柴田信明 (1999) 岩手山麓におけるスギ高齢林の林分構造と成長. 日林誌 81: 346-350
- 松浦健太郎 (2016) Stan と R でベイズ統計モデリング. 共立出版
- 宮島 寛 (1971) 造林樹種 スギ. (新造林学—造林の理論と実践. 佐藤敬二編). 37-38
- 宮本麻子・天野正博 (2002) 立木の空間分布および生育条件が個体成長に及ぼす影響. 森林総研研報 1: 163-178
- 宮本和樹 (2015) 人工林の高齢級化と向き合う前に. 日林誌 97: 169-170
- 中村松三・伊藤 哲・山川博美・平田令子編 (2019) 低コスト再造林

- への挑戦. 日本林業調査会.
- 西園朋広・田中邦宏・粟屋善雄・大石康彦・林 雅秀・横田康裕・天野智将・久保山裕史・八巻一成・古井戸宏通 (2008) 秋田地方のスギ人工林における林分材積成長量の経年推移. 日林誌 90: 232-240
- 大住克博 (2002) 長伐期施業—技術体系としてどうとらえるか—. 山林 1304: 17-23
- 大隅眞一編 (1987) 森林計測学講義. 養賢堂
- R Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/> (2020 年 12 月 10 日参照)
- 林野庁編 (2020) 令和 2 年版 森林・林業白書. 全国林業改良普及協会
- 桜井尚武編 (2002) 長伐期林の実態—その効果と取り扱い技術—. 林業科学技術振興所
- 森林基本計画研究会編 (1997) 21 世紀を展望した森林・林業の長期ビジョン—持続可能な森林経営の推進—. 地球社
- 杉田久志・梶本卓也・福島成樹・高橋利彦・吉田茂二郎 (2017) 強度間伐が行われたスギ高齢人工林における林分および個体の成長. 森林総研研報 16: 225-238
- 竹内郁雄 (2005) スギ高齢人工林における胸高直径成長と林分材積成長. 日林誌 87: 394-401
- 竹内郁雄・伊東宏樹 (2003) スギ高齢林の樹高成長. 日林誌 85: 121-125
- 丹下 健・松本陽介・真下育久・佐倉詔夫 (1989) 斜面に生育するスギ造林木の樹高生長経過—東京大学千葉演習林における斜面上部, 中部, 下部間での比較—. 東大演報 81: 39-51
- 丹下 健・山中征夫・鈴木 誠 (1987) スギ高齢人工林の生長と現存量. 演習林 (東大) 25: 243-259
- 田中和博 (1992) 平倉演習林藤堂スギ林分の林齢 168 年から 180 年までの定期成長. 三重大演報 17: 211-231
- 山本哲裕・浅野友子・堀田紀文・鈴木雅一 (2010) 斜面に植栽したスギ幼齢木の成長と水分, 養分の違いの関係. 東大演報 122: 1-15
- 山崎 遥・國崎貴嗣 (2014) スギ高齢人工林における冠雪害発生と林孔との関係. 日林誌 96: 117-120
- 吉田茂二郎・田中 文・太田徹志・溝上展也・福本桂子 (2018) 密度管理されたスギ高齢人工林における 4 密度管理指標間の関係と過密林分での基準値の評価. 日林誌 100: 77-80
- 吉田茂二郎・安元岳玄・溝上展也・今田盛生・寺岡行雄 (2002) 白鹿岳間伐試験地におけるスギ高齢林の間伐効果について—相対幹距比を基礎にした分析—. 九大演報 83: 53-61
- 吉川秀平 (2014) スギ人工林における周辺林分や林地生産力の違いが下層木本の組成やサイズに及ぼす影響. 岩手大学農学部卒業論文
- 全林協編 (2006) 長伐期林を解き明かす. 全国林業改良普及協会