

92年生スギ人工林における成長経過と現存量

渡邊仁志・茂木靖和

岐阜県森林研究所研究報告 第36号 別刷

2007年3月

資料

92年生スギ人工林における成長経過と現存量*

渡邊仁志・茂木靖和

キーワード：スギ，高齡林，長伐期施業，現存量，個体，葉量，成長量

I はじめに

材価低迷や林業従事者の減少などにより，標準伐期齢における皆伐が控えられ，結果的に人工林の高齡化が進んでいる。高齡林において長伐期施業を考えるためには，経営方針のもとに伐期を設定し，適切な管理を行う必要がある。そのためには，まず高齡林の成長を明らかにすることが重要である。

スギ高齡林の成長に関する研究は，様々な手法により進められている（丹下ら，1987；西村ら，1992a；西村ら，1992b；田中，1992；國崎ら，1999；大住ら，2000；竹内，2005；渡邊・茂木，2007）。これらの報告によって，スギ高齡林は，胸高直径成長が持続することによって，林分単位で高い材積成長量を維持している場合が多いことが明らかになりつつある。しかし，高齡林は立木本数が低い場合が多いことから，長伐期施業を考える場合には，林分単位だけでなく個体単位の取り扱いが重要になる（西村ら，1992a）。さらに，高齡林を対象とした検討では，直径成長量には，しばしば個体差がみられることが報告されている（國崎ら，1999；竹内，2005；國崎・藁谷，2006）が，その理由に関する考察は十分であるとはいえない。高齡林は，今後さらに増加することが予想されることから，それらの林分において個体間に成長差が生じる要因が解明できれば，高齡林を管理するにあたり有益な情報になると考えた。

一方，長伐期施業は，大径材を生産できるメリットのほかに，安定した環境と土地生産力が維持でき，水土保持機能や生物多様性機能など，環境保全的機能の効果が高い（桜井，2002）施業方法であるといえる。さらに，地球温暖化防止京都会議以降，高齡林は高い蓄積を有することから，それ自身がもつ炭素蓄積機能への関心が集まっている。各地で様々なタイプの森林

における現存量や炭素蓄積量の把握調査が行われているが，高齡林における調査事例（丹下ら，1987；丹下ら，1990；西村ら，1992a；西村ら，1992b；澤田ら，2005）は少ない。

そこで，本研究では，まず岐阜県郡上市にある92年生のスギ人工林（渡邊・茂木，2007）において，林分の現存量と個体の成長過程を評価した。続いて，個体の成長に影響を及ぼすと考えられる葉現存量と個体間競争に着目し，それらと個体の成長経過との関係を考察した。

II 調査地と調査方法

1. 調査地の概要

岐阜県郡上市大和町古道にある郡上市有林（旧郡上市有林）内の92年生スギ高齡人工林を調査林分とした。林分は，標高約700mの南向き斜面の下部にあり，平均傾斜は約10度である。地質は濃飛流紋岩類（溶結凝灰岩），土壌型は適潤性から湿性の黒色土壌であり，土壌の堆積様式は主に崩積である。南に約10km離れた最寄りの八幡地域気象観測所（標高250m）における平年値は，気温12.3℃，年降水量2682.2mmである（気象庁Webサイト，<http://www.jma.go.jp>）。

郡上市有林の記録によれば，調査林分のスギは1912年に植栽された。植栽密度およびその後，近年までの施業履歴は不明である。調査林分では，1986年10月（74年生時）に，本数間伐率で約17%の下層間伐が，1990年11月（78年生時）に，本数間伐率で約9%の間伐が実施された（表-1）。

なお，2004年6月（92年生時）の観察の結果，全個体の約28%にあたる11本に，凍裂あるいはその痕跡がみられた。凍裂個体と健全個体のサイズには，樹高，胸高直径ともに有意な差はみられなかった（Mann-

* 本報告の一部は，第55回日本森林学会中部支部大会において発表した。

表一 1 調査林分における近年の間伐履歴および概況の変化

調査年	林齢 (年)	平均胸高直径 (cm)	平均樹高 (m)	平均枝下高 (m)	立木密度 (本/ha)	林分材積 (m ³ /ha)
1986	74	40.5	27.4	8.8	425	693.9
1986	74	間伐 (本数間伐率17%)			352	
1990	78	間伐 (本数間伐率9%)			319	
1993	81	46.5	27.1	10.9	319	644.2
2004	92	48.6	29.3	13.1	319	745.5

WhitneyのU検定, $p < 0.05$)。凍裂個体の成長低下を指摘する研究(西村ら, 1992b)もあるが, 本調査林分には, その傾向はみられなかった。

2. 既往の調査結果

1986年10月, 林分のほぼ全体を調査区(面積0.12ha)とした(以下, 調査林分という)。1986年10月(74年生時)の間伐前と1993年8月(81年生時)に毎木調査を実施した。測定項目は, 胸高直径(全個体)と, 樹高と生枝下高(全個体の約4割)であった。樹高を測定していない個体の樹高は, 樹高を測定した個体の樹高と胸高直径の関係をNäslund式で近似して推定した。

3. 調査方法

(1) 毎木調査

2004年6月(92年生時)に, 全個体の胸高直径(DBH: cm), 樹高(H: m), 生枝下高(Hb: m)を測定した。2004年11月には, 2004年6月の毎木調査によって得られた胸高直径階分布をもとに, 劣勢個体, 平均個体, 優勢個体から各2本(計6本)を伐倒した。伐倒した試料木は, 現地で幹, 枝葉に区分した。このうち, 幹は高さ0.2m, 1.2m, 3.2m, 4.2m, 5.2m, それ以上は2mごとに, 厚さ5cm程度の円板1枚を持ち帰った。そのうちの1枚は, 生材容積および乾燥重量(80℃, 168時間)を測定し, 容積密度を計算した。残りの1枚は, 後述する樹幹解析に用いた。Smalian式(梢端の場合は円錐の求積式)により, 試料木の材積を計算した。円板の容積密度と算出した材積から, 試料木の乾燥重量を推定した。枝葉はすべて持ち帰った。続いて, 緑色部分を葉とみなして, 生きた枝(以下, 枝), 生きた葉(以下, 葉), および枯れた枝と葉(以下, 枯れ枝葉)に分別し, 全量を秤量した。枝, 葉, 枯れ枝葉の試料から, それぞれ一部を抽出して, 乾燥重量(80℃, 48時間)を測定した。

試料木の各器官(幹, 枝, 葉)および枯れ枝葉の乾燥重量(W : kg)とDBH(cm)および $DBH^2 \cdot H$

($cm^2 \cdot m$)の関係を, 式(1)~(2)の単純相対成長式で近似した。

$$W = a (DBH)^b \quad (1)$$

$$W = a (DBH^2 \cdot H)^b \quad (2)$$

ただし, a , b は係数である。毎木調査から算出した各個体のDBHを(1)式に, $DBH^2 \cdot H$ を式(2)に代入し, 当てはまりがよかった方の式から, 林分内にある全個体の器官ごとの乾燥重量を算出した。また, 根の乾燥重量は, 既存文献(原田ら, 1969; 澤田ら, 2005)を参考に, 幹の乾燥重量の30%とした。

(2) 樹幹解析

円板試料を用いて樹幹解析を行った。円板の長径とそれに直交する直径方向の4半径について, 髓から樹皮方向に向かって1年ごとに0.5mm単位で長さを計測した。4方向の長さの平均値を2倍して, その年における直径とした。前年と当年の胸高直径の差を胸高直径成長量とした。Stem Density Analyzer Version 1.05 (Nobori *et al.*, 2004)により, 試料木の樹高成長量, 材積成長量を算出した。

(3) 立木配置

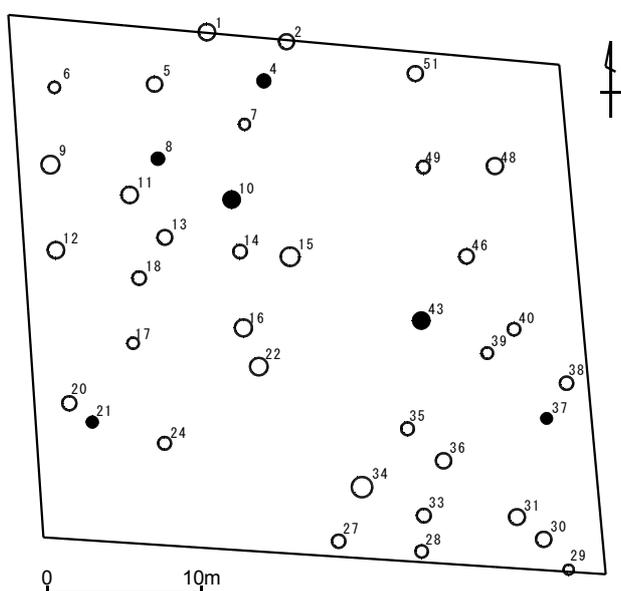
2006年12月に, MDL社製LaserAce300を用いて測量を行い, 調査林分の立木位置図を作成した。2004年11月に試料木として伐採した6個体は, 伐根の位置を測定した。

試料木の空間的な分布と相対的な被圧の程度を数値化するため, 個体間の競争指数を算出した。競争指数としてはさまざまな種類が提案されている(宮本・天野, 2002)。本研究では, 距離重み付け直径比(各樹木間距離に対する対象木と競争木の直径比)の和による競争指数(宮本・天野, 2002)を用いた。競争指数(CI)は, (3)式で定義される。

表－2 試料木の大きさと各器官および枯れ枝葉の重量

試料木	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	DBH ² H	地上部重量					根重量 ¹⁾ (kg)
				幹 (kg)	枝 (kg)	葉 (kg)	枯れ枝葉 (kg)	合計 (kg)	
21	39.9	25.4	40437.1	428.8	59.2	43.7	1.0	532.7	128.6
37	39.7	27.2	42869.6	473.8	94.1	51.5	3.2	622.7	142.1
8	44.6	29.2	58083.5	638.7	76.5	30.4	4.3	749.9	191.6
4	46.6	32.4	70358.5	698.7	67.5	50.1	12.9	829.2	209.6
43	58.1	33.2	112070.3	1064.3	189.7	131.1	22.4	1407.5	319.3
10	58.0	33.6	113030.4	1067.6	173.6	104.0	8.1	1353.2	320.3

1) 現存量は幹の現存量の30% (原田ら, 1969; 澤田ら, 2005) とした



図－1 調査林分の立木位置図および胸高直径

数字は個体番号, ●は試料木を示す
円の大きさは, 個体の胸高直径に対応している

$$CI = \sum (DBH_j / DBH_i) / L_{ij} \quad (3)$$

ここで, CIは距離重み付け直径比による個体間の競争指数, DBH_j は試料木 i における2004年の胸高直径 (cm), DBH_j は試料木 i の競争木 j における, 2004年の胸高直径 (cm), L_{ij} は試料木 i と競争木 j の水平距離 (m) である。

ただし, 競争木とは, ある個体 (ここでは試料木) を中心としてVoronoi多角形を構成する個体 (長谷川・種村, 1986) であると定義した。Voronoi多角形の性質から, この方法は, 林分内において相対的に試料

表－3 調査林分における現存量

部分	器官	現存量 (t/ha)	割合 (%)
地上部	幹	236.9	79.5
	枝	36.2	12.2
	葉	22.3	7.5
	枯れ枝葉	2.6	0.9
	計	298.0	100.0
地下部	根	71.0	
合計		369.0	

木に近接している, 他の個体を選択する方法である。また, (3)式は, CIが高いほど, 周辺個体から試料木への被圧の程度が高いことを示す。

なお, 試料木のうち1本 (No.21) は, 調査地の外周に近接し, 調査地外にある近接木との関係が明らかではなかったため, この解析からは除外した。

III 結果と考察

1. 林分の概要と立木配置

林分の概要を表－1に示す。岐阜県一般地域の地位別樹高成長曲線 (岐阜県林政部, 1992) と比較すると, 対象林分の樹高は5段階中の地位級3に相当した。また, 渡邊・茂木 (2007) によれば, 胸高直径と樹高には正の相関があり, 胸高直径が大きい個体ほど樹高が高くなる関係があった。

図－1に, 調査林分の立木位置を示す。試料木No.8の周辺は, 個体間の距離が近かった。No.4, No.10, No.43の周辺には, 広い空間が空いていた。試料木のCIは0.78~1.34の値を示した。

2. 各器官および枯れ枝葉の現存量

試料木の大きさと各器官および枯れ枝葉の重量を表-2に示す。試料木の地上部重量は、532.7~1407.5kgであった。DBHと地上部乾燥重量(W_T : kg)、幹乾燥重量(W_S : kg)、枝乾燥重量(W_B : kg)、および葉乾燥重量(W_L : kg)の関係、 $DBH^2 \cdot H$ と W_T , W_S , W_B , および枯れ枝葉乾燥重量(W_D : kg)の関係は、有意であった($p < 0.01$ あるいは $p < 0.05$)。

式(1)、あるいは式(2)で表される各器官の単純相対成長式のうち、当てはまりがよかった方を、式(4)~式(8)に示した。

$$W_T = 0.1630 (DBH^2 \cdot H)^{0.8809} \quad (R^2 = 0.9912; p < 0.01) \quad (4)$$

$$W_S = 0.1633 (DBH^2 \cdot H)^{0.8577} \quad (R^2 = 0.9969; p < 0.01) \quad (5)$$

$$W_B = 0.0069 (DBH)^{2.4834} \quad (R^2 = 0.8631; p < 0.05) \quad (6)$$

$$W_L = 0.0019 (DBH)^{2.6924} \quad (R^2 = 0.8349; p < 0.05) \quad (7)$$

$$W_D = 1.0103 \cdot 10^{-8} (DBH^2 \cdot H)^{2.0711} \quad (R^2 = 0.8449; p < 0.05) \quad (8)$$

表-3に、調査林分の各器官と枯れ枝葉の現存量を示す。地上部現存量は298.0t/haで、そのうち枝は36.2t/ha、葉は22.3t/haであった。地上部現存量に推定した根の現存量71.0t/haを加えると、調査林分の林木全体の現存量は、369.0t/haであった。

3. 調査林分における現存量の位置づけ

これまでに調査されたスギ高齢林の地上部現存量は、高知の80年生林分(立木密度526本/ha、平均胸高直径35.5cm)で210.5t/ha(西村ら, 1991a)、岩手の89年生林分(同458本/ha、42.3cm)で221.3t/ha(西村ら, 1991b)、秋田の77年生林分(同544本/ha、40.4cm)で309.8t/ha(澤田ら, 2005)、千葉の湿性褐色森林土壌における83年生林分(同405本/ha、47.6cm)で512t/ha(丹下ら, 1990)、千葉の126年生林分(同336本/ha、50.5cm)で515t/ha(丹下ら, 1987)であった。地域、林齢、個体サイズ、立木密度、算出方法などが異なるため簡単には比較できないが、調査林分の地上部現存量(表-3)は、これらの結果と比べると、高知(西村ら, 1991a)、岩手(西村ら, 1991b)の林分よりは大きく、林分材積が1200m³/haを越える千葉の2林分

(丹下ら, 1987; 丹下ら, 1990)よりは小さかった。

既存調査によれば、スギ高齢人工林の枝現存量は、17.6~45.9t/ha(丹下ら, 1987; 丹下ら, 1990; 西村ら, 1992a; 西村ら, 1992b; 澤田ら, 2005)であった。調査林分における枝現存量(表-3)は、これらとほぼ同じ量であった。一方、佐藤(1973)がまとめた若~壮齢のスギ人工林の枝現存量は、12.4(範囲6~18)t/haであった。高齢林においては、個々の個体の樹冠占有面積が大きくなり、枝のサイズが大きくなることから、現存量の枝への配分が増すことが知られている。このため、調査林分を含むスギの高齢林においては、佐藤(1973)の結果と比べて大幅に大きい枝現存量を示したと考えられる。

只木(1976)がまとめたスギ林の葉現存量は、19.6±4.4t/haであった。調査林分では、この結果とほぼ同じ葉現存量を有していた(図-3)。スギ高齢林における既存の調査によると、スギ高齢林の葉現存量は13~30.3t/ha(丹下ら, 1987; 丹下ら, 1990; 西村ら, 1992a; 西村ら, 1992b; 澤田ら, 2005)であった。調査林分を含むスギ高齢林において、葉現存量は、只木(1976)が示すとおり、およそ20t/ha前後になる場合が多いと考えてよいだろう。

4. 個体の成長経過

各試料木の樹高、胸高直径、材積の成長曲線を図-2に示した。樹高(図-2a)、胸高直径(図-2b)とも、10年生頃まですべての個体が同じように成長していたが、15~25年生頃からはNo.21, No.37, No.4の成長が鈍化した。No.8は、25年生頃まで樹高、胸高直径ともに大きい個体であったが、その後、成長速度が衰えたために、No.10, No.43, No.4に追い越されている。現在、樹高、胸高直径が大きい優勢個体(No.43, No.10)は、40~50年生以降、常に優勢であり、逆にそれらが小さい劣勢個体(No.21, No.37)は、常に成長が悪かった。試料木における壮齢以降の優劣の差は明瞭であるといえる。材積成長(図-2c)は、樹高成長と胸高直径成長の経過を反映している。現在、優勢個体の材積は、劣勢個体のその約2.5倍であった。

81~92年生までの最近11年間の定期平均樹高成長量は、0.11~0.25m/年、定期平均胸高直径成長量は、0.13~0.53cm/年、定期平均材積成長量は、0.026~0.070m³/年であった。

5. 個体の葉量と成長量

調査林分における試料木の葉量(表-2)と、定期平均胸高直径成長量(図-2b)、定期平均材積成長量(図-2c)の関係を検討した。葉量と定期平均胸高直径成

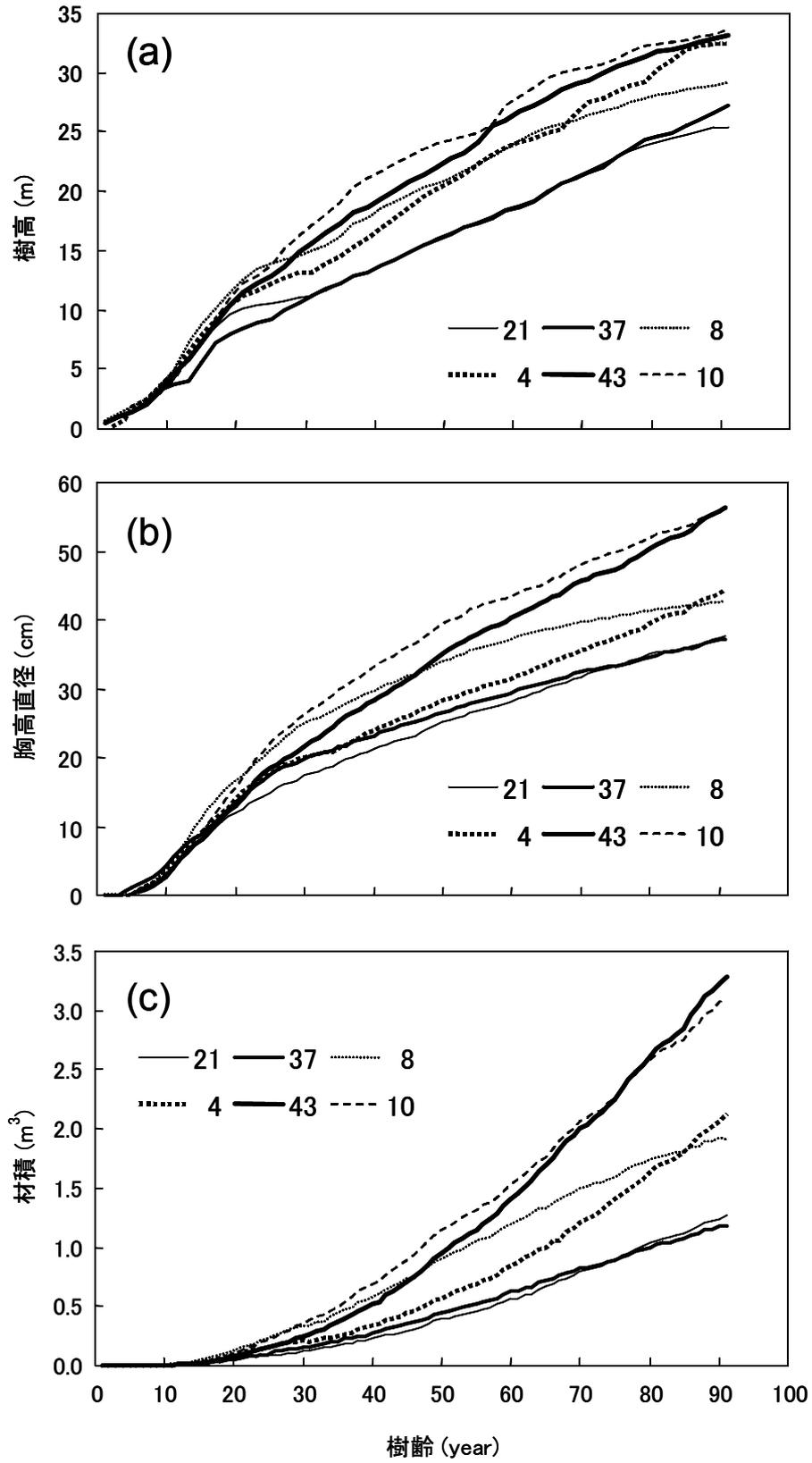


図-2 試料木の樹高, 胸高直径, 材積の成長曲線

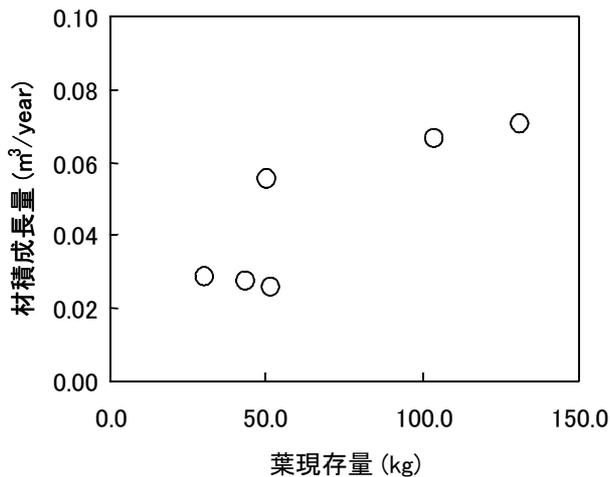


図-3 葉量と定期平均材積成長量の関係

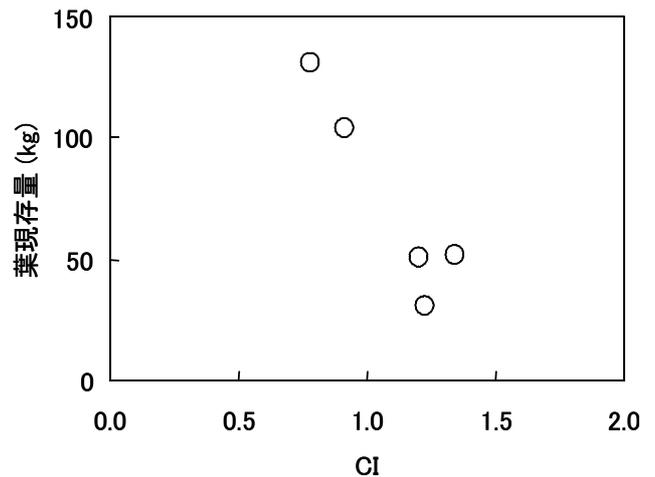


図-4 CIと葉量の関係

長量との関係は有意ではなかった ($p > 0.05$) が、その相関係数は比較的高かった。また、葉量と定期平均材積成長量との間には、有意な相関がみられた (図-3; $r = 0.861$, $p < 0.05$)。葉量と材積成長量の間には正の相関がみられることは、高知 (西村ら, 1991a)、岩手 (西村ら, 1991b) のスギ高齢林分にも認められている。このことから、スギの高齢人工林においては、葉量の多い個体ほど、成長量が大きいといえる。

6. 個体の葉量と競争指数

調査林分における試料木の葉量とCIの関係を検討した (図-4)。両者には有意な負の相関が認められた ($r = -0.938$, $p < 0.05$)。CIが小さい、すなわち、周辺木からの被圧の程度が相対的に低い個体において、葉量が多いといえる。さらに、調査林分においては40～50年生以降の優勢個体と劣勢個体の優劣関係が変化しなかった (図-2) ことから、少なくとも壮齢以降、調査林分内における個体の被圧の程度と葉量の多少も、現状と同様だったと推測される。

つまり、優勢個体であるNo.43やNo.10は、壮齢以降、周辺個体からの被圧が常に低い状態にあったために、葉量が維持されており、成長量も減衰しなかったと考えられる。一方、劣勢個体であるNo.21やNo.37は、常に被圧が高い状態であったため、葉量が少なく成長量も小さかったと推測される。

周辺個体からの被圧の程度が高い個体は、優勢個体に比べると相対的に葉量が少なくなると考えられる。光合成器官である葉量が減少することによって、その個体の成長量はさらに低下すると推測される。個体の樹高成長や胸高直径成長が衰えれば、材積や現存量の増加も少なくなる。したがって、スギ高齢林において

個体の成長を持続させるためには、個体の葉量を確保することが極めて重要であると考えられる。

謝 辞

本研究の試験地の設定は、中川一、鈴木勝、川尻秀樹の各氏 (当時、岐阜県林業センター) による。その後、1993年の調査は、中川一、川尻秀樹の両氏 (当時、岐阜県林業センター) の、2006年の調査は、鈴川はるな氏 (岐阜県立森林文化アカデミー) の協力のもとに実施した。論文の執筆にあたっては、横井秀一、大洞智宏の両氏 (岐阜県森林研究所) に有益なご助言を頂いた。試験地の設定と作業の実施にあたり、岐阜県郡上市 (旧郡上郡広域行政事務組合)、郡上森林組合の関係諸氏の協力を得た。本研究の一部は、農林水産省林業技術現地実用化事業 (平成16年度) の補助を受けて実施したものである。ここに記して、各位に謝意を表す。

参考文献

- 岐阜県林政部 (1992) スギ人工林林分収穫表・林分密度管理図. 21pp, 岐阜県, 岐阜.
- 原田洸・佐藤久男・堀田庸・只木良也 (1969) 28年生スギ林およびヒノキ林の養分含有量. 日林誌51: 125-133.
- 長谷川政美・種村正美 (1986) なわばりの生態学. 206pp, 東海大学出版会, 東京.
- 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.

- 國崎貴嗣・藁谷紀恵（2006）岩手山麓のスギ高齢人工林における幹直径成長量の個体間差. 岩手大農演報37：47-55.
- 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. 森総研報383：163-178.
- 西村武二・吉川賢・池本彰夫・永森通雄（1992a）高齢スギ人工林の現存量と成長経過(1), 高知県本川村奥南川山国有林80年生スギ林の場合. 高知大農演報19：73-81.
- 西村武二・吉川賢・池本彰夫・永森通雄・安藤貴（1992b）高齢スギ人工林の現存量と成長経過(2), 岩手大学滝沢演習林89年生スギ林の場合. 高知大農演報19：83-97.
- Nobori Y., Sato K., Onodera H., Noda m. and Katoh T. (2004) Development of stem density analysis combined X-ray densitometry and stem analysis. J. For. Plann. 10:47-51.
- 大住克博・森麻須夫・桜井尚武・斎藤勝郎・佐藤昭敏・関剛（2000）秋田地方で記録された高齢なスギ人工林の成長経過. 日林誌82：179-187.
- 桜井尚武編著（2002）長伐期林の実際, その効果と取り扱い技術. 173pp, 林業科学技術振興所, 東京.
- 佐藤大七郎（1973）陸上植物群落の物質生産 I a, 森林. 42-69. 共立出版, 東京.
- 澤田智志・三浦義之・福森卓・家原敏郎（2005）高齢級スギ人工林の地上部及び地下部のバイオマス量の測定. 日森学会講116：768.
- 只木良也（1976）森林の現存量, とくにわが国の森林の葉量について. 日林誌：58：416-423.
- 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.
- 丹下健・鈴木誠・鈴木保（1990）立地条件の異なる83年生スギ人工林の枝および葉現存量. 日生態会誌40：179-186.
- 丹下健・山中征夫・鈴木誠（1987）スギ老齡人工林の成長と現存量. 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齡168年から180年までの定期成長. 三重大演報17：211-231.
- 渡邊仁志・茂木靖和（2007）岐阜県中濃地域におけるスギ高齢人工林の林分構造と成長. 中森研55：19-20.