

## 論文

# 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

橋本晋太<sup>\*1</sup>・尾張敏章<sup>\*2</sup>・軽込 勉<sup>\*2</sup>・千嶋 武<sup>\*3</sup>・三次充和<sup>\*2</sup>・  
鶴見康幸<sup>\*2</sup>・鈴木祐紀<sup>\*2</sup>・米道 学<sup>\*2</sup>・塚越剛史<sup>\*2</sup>・阿達康真<sup>\*2</sup>・  
村川功雄<sup>\*2</sup>・大石 諭<sup>\*2</sup>・當山啓介<sup>\*2</sup>

## Current situation of *Cryptomeria japonica* (Sugi) plantations aged over 100 years at the University of Tokyo Chiba Forest, Japan

Shinta HASHIMOTO<sup>\*1</sup>, Toshiaki OWARI<sup>\*2</sup>, Tsutomu KARUKOME<sup>\*2</sup>, Takeshi CHISHIMA<sup>\*3</sup>,  
Mitsukazu MITSUGI<sup>\*2</sup>, Yasuyuki TSURUMI<sup>\*2</sup>, Masanori SUZUKI<sup>\*2</sup>, Takashi YONEMICHI<sup>\*2</sup>,  
Takeshi TSUKAGOSHI<sup>\*2</sup>, Yasumasa ADACHI<sup>\*2</sup>, Isao MURAKAWA<sup>\*2</sup>, Satoru OISHI<sup>\*2</sup>,  
Keisuke TOYAMA<sup>\*2</sup>

### 1. はじめに

スギは日本の人工林を構成する主要な樹種である。2017 年 3 月末における人工林の総面積 1,018 万 ha, 総蓄積 3,305 百万 m<sup>3</sup> のうち, スギ人工林は 444 万 ha, 1,904 百万 m<sup>3</sup> であり, それぞれ全体の 44%, 58% を占める (林野庁, 2017)。2017 年までの 10 年間に人工林全体で 662 百万 m<sup>3</sup> の蓄積増があり, うちスギ人工林は 60% の 394 百万 m<sup>3</sup> であった (林野庁, 2007; 2017)。スギは形質に優れ加工しやすく, 成長が早いことなどから, 国内で古くから広く利用されてきた (林野庁, 2012)。スギは国産材の主要な樹種でもあり, 2018 年における国産材の素材供給量 21,640 千 m<sup>3</sup> のうち, 58% にあたる 12,532 千 m<sup>3</sup> をスギが占める (農林水産省大臣官房統計部, 2019)。

2017 年 3 月末現在, 日本におけるスギ人工林の齢級構成は 11 齢級を中心とした一山型の分布となっている。20 齢級以上のスギ人工林は面積が 8.2 万 ha, 蓄積が 46 百万 m<sup>3</sup> あり, いずれも全体の 2% 程度にとどまる。一方, 皆伐・再造林が困難なために, やむを得ず主伐を先延ばしするケースも多くみられ (宮本, 2015), スギ高齢人工林は今後確実に増えていく。2010 年には 8 ~ 11 齢級に集中していた人工林が, 2060 年には 18 ~ 21 齢級に移動し, 19 齢級が面積最多となるとの試算もある (林野庁, 2015)。

スギ人工林の高齢級化に伴い, 林分材積の増加や大径材化といった資源の量的, サイズ的な充実は進むと期待されるが, その実態は必ずしも明らかではない。100 年生超のスギ人工林に関する既往の研究には, 樹高や胸高直径 (DBH), 幹材積の成長 (丹下ら, 1987; 鈴木ら, 2003; 竹内・伊東, 2003; 竹内, 2005), 間伐が成長に及ぼす影響 (國崎ら, 1999; 正木ら, 2015; 杉田ら, 2017), 密度管理指標間の関係 (吉田ら, 2018) などがある。これらの報告を含め, スギ高齢人

\*1 元東京大学農学部森林環境資源科学専修

Formerly Major in Forest Environmental and Resource Science, Faculty of Agriculture, The University of Tokyo

\*2 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林千葉演習林

The University of Tokyo Chiba Forest, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

\*3 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林秩父演習林

The University of Tokyo Chichibu Forest, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

工林を扱った多くの研究は、1つまたは少数の林分内に設置された試験地を対象として行われてきた。一方、森林管理の単位となる  $10^2 \sim 10^3$  ha 規模の区域内で、比較的多数のスギ高齢人工林を対象とした調査事例は、秋田県における 83 ～ 95 年生林分の成長経過（大住ら，2000）、福島県における 80 ～ 100 年生林分の樹高成長（石井・斎藤，2005；石井ら，2005）、岡山県における 75 ～ 92 年生林分の下層植生（西山・阿部，2002）などに限られ、100 年生超のスギ人工林に関する報告はみられない。将来想定されるスギ人工林の高齢級化にあたって、資源の量や利用径級の見通しを得るためにも、現存する多数のスギ高齢人工林について、その実状を詳細に把握することは有意義である。

そこで本研究では、20 世紀以前から人工林の造成が進み、100 年生超のスギ人工林を多く保有する東京大学千葉演習林（東大千葉演）において現地調査を行い、資源状況と林分構造に関する現状と特徴の把握を行った。

## 2. 方法

### 2.1 調査地の概要

東大千葉演は、房総半島の東南部、房総丘陵の東端（北緯  $35^\circ 8' \sim 12'$ ，東経  $140^\circ 5' \sim 10'$ ，標高 50 ～ 370m）に位置する（東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林千葉演習林，2012）。同演習林内の清澄気象観測点（標高 300m）における 2000 ～ 2009 年の年平均気温は  $14.1^\circ\text{C}$ ，平均年降水量は 2,253mm である。地質は新第三紀海成層を主な基盤とし、基岩は砂岩、礫岩、泥岩、凝灰岩からなる。土壌は主として褐色森林土に覆われ、地形は急峻かつ複雑である。

森林面積全体の 37%（825ha）が人工林であり、残りはモミ・ツガが優占する針葉樹天然林と、スダジイ・カシ類が優占する広葉樹天然林となっている（東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林千葉演習林，2012）。人工林の植栽樹種はスギが主体で、ヒノキが次に多い。演習林創設（1894 年）の当初から約 30 年間、人工林への林種転換が積極的に行われ、その後は長伐期を指向してきたため、高齢級の人工林が多く存在する。また、演習林創設以前の 1835 ～ 1859 年に植栽されたスギ人工林も残存する。

### 2.2 調査方法

調査は 2018 年 9 月から 12 月にかけて行った。東大千葉演の森林現況簿から、100 年生超（植栽年が 1919 年以前）のスギ人工林を含む全ての小班（面積計 199.9ha）を抽出した（図-1）。これをもとに、調査対象とするスギ人工林（林齢 101 ～ 125 年生）を計 30 か所選び、各林分の林相を代表する平均的な地点に標準地（半径 17.84m の円形プロット，面積 0.1ha）を設定した（図-1，表-1）。各標準地において、ハンディ GNSS 受信機（Garmin GPSMap 64s）により中心点の位置座標と標高値を記録した（図-1，表-1）。GNSS 測位では、中心点上で静止して 15 秒間以上待機した後、1 秒間隔で 60 秒間位置データを取得し、平均化処理を行った。また、斜面方位（8 方向）、傾斜度、斜面形（凸，平坦，凹の 3 区分）、斜面上の位置（尾根，中腹，谷の 3 区分）を標準地ごとに記録した（表-1）。

各標準地において、DBH が 5.0cm 以上の全立木の樹種と DBH、樹高（針葉樹のみ、イヌガヤを除く）、枝下高（スギ・ヒノキのみ）を測定した。DBH の測定には輪尺を使用し、胸高を 1.2m として山側一方向から 0.1cm 単位で測定した。輪尺で測定不能な大径木の測定には直径割巻尺を用いた。樹高と枝下高の測定には Vertex IV（Haglöf, Sweden）または TruPulse 360（Laser

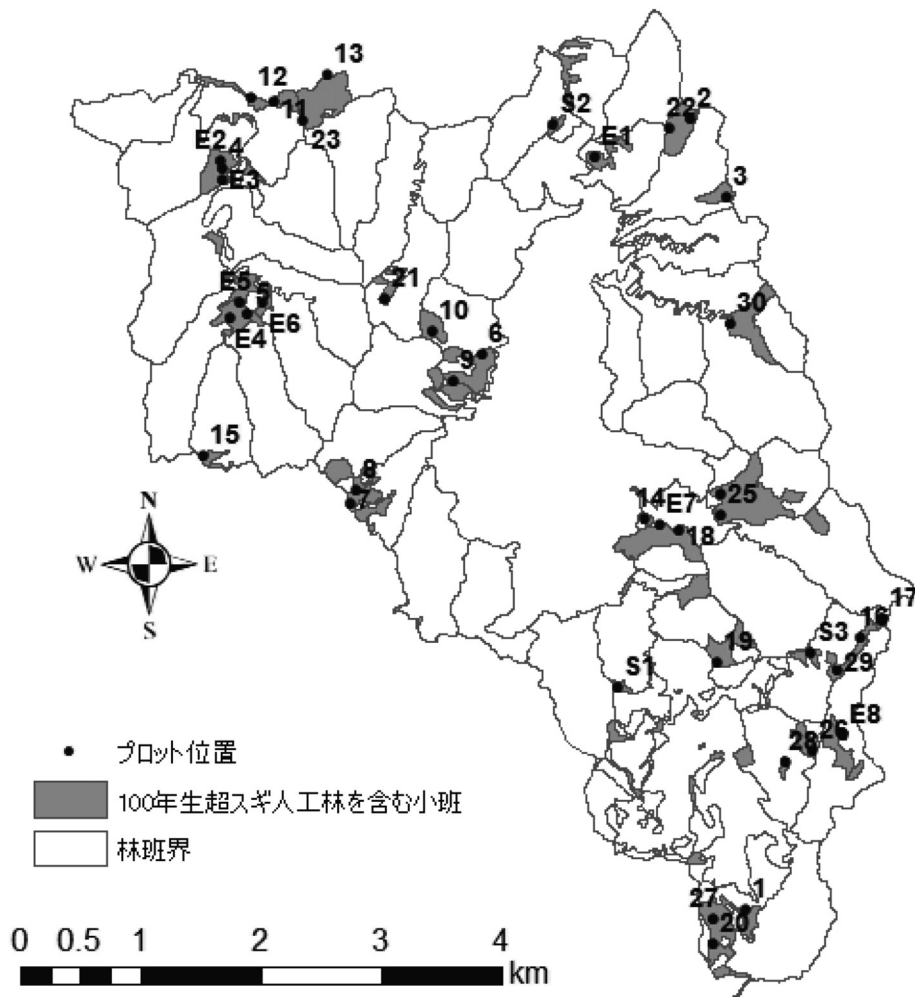


図-1 調査地の位置

注) 1～30：標準地，E1～E8：試験地，S1～S3：超高齢林。

Fig. 1 Stand and plot location

Note. 1-30: Measurement plot, E1-E8: Experimental plot, S1-S3: Plot in a very old plantation

Technology, Inc., USA) を使用し、0.1m 単位で 3 回測定 of 平均値を記録した。なお、2 つの標準地 (Plot No. 1, 3) では一部の立木のみ樹高を測定し、各標準地で樹高曲線 (Näslund 式) を作成して残りの立木の樹高を推定した。また、標準地ごとに下層植生の被度 (目視により 10% 単位で) と上位 3 種の種名を記録した。

また、東大千葉演にある 112～121 年生のスギ人工林試験地 8 か所 (試験地) と、演習林創設以前に植栽された 156～184 年生のスギ人工林 3 か所 (超高齢林) に関して、直近の調査結果を分析に用いた。試験地のうち、郷田倉では 2014 年に、その他 7 か所は 2016 年に、直近の定期調査が行われている。また、超高齢林のうち、今澄と神田上では 2014 年に調査が行われている。

表-1 調査地の位置, 林齢と地況

Table 1 Plot location, stand age and geographic conditions

Plot No.	林班	小班	字名	植栽年	林齢*	Plot面積 (ha)	標高 (m)	斜面方位	傾斜角 (°)	斜面位置	斜面形
1	45	C10	切通南沢	1896	123	0.1	167	南東	42.0	中腹	平坦
2	28	C1	前沢	1906	113	0.1	274	西	36.0	中腹	平坦
3	28	C2	前沢	1910	109	0.1	264	北西	37.5	中腹	凸
4	2	C5-a	安野	1902	117	0.1	198	南	3.7	中腹	平坦
5	11	C1	牛蒡沢	1906	113	0.1	231	南西	30.5	尾根	凹
6	18	C8	平物沢	1913	106	0.1	223	東	35.9	中腹	凹
7	21	C	亀ノ沢	1915	104	0.1	294	南	24.3	中腹	凸
8	21	C	亀ノ沢	1915	104	0.1	312	南	29.0	尾根	平坦
9	18	C8	平物沢	1913	106	0.1	253	北東	33.0	尾根	凹
10	18	C6	滝ノ沢	1912	107	0.1	273	北東	33.3	中腹	凹
11	6	C1	向山	1909	110	0.1	277	南西	43.1	尾根	凹
12	6	C1	向山	1909	110	0.1	250	南	46.8	尾根	凹
13	12	C1	細野	1909	110	0.1	265	東	38.0	中腹	凹
14	38	C2	女滝	1917	102	0.1	258	北	30.7	中腹	凸
15	5	C3	中ノ沢	1915	104	0.1	289	南東	33.3	尾根	凹
16	46	C2	一杯水	1894	125	0.1	230	西	37.0	中腹	平坦
17	46	C1	一杯水	1894	125	0.1	299	南西	17.7	谷	平坦
18	38	C7	女滝	1903	116	0.1	285	南東	39.7	中腹	凸
19	39	C3	仁ノ沢	1908	111	0.1	329	東	42.4	中腹	凸
20	45	C10	切通南沢	1896	123	0.1	123	南東	38.0	中腹	凹
21	15	C5	四郎治沢	1904	115	0.1	285	西	27.0	尾根	凹
22	28	C1	前沢	1906	113	0.1	273	南東	39.1	尾根	凸
23	12	C1	細野	1909	110	0.1	263	東	23.0	中腹	凹
24	35	C2	大仙場	1901	118	0.1	242	南西	15.4	谷	凸
25	35	C2	大仙場	1901	118	0.1	246	南	6.3	中腹	凹
26	44	C18	東漢沢	1897	122	0.1	163	東	42.5	谷	凸
27	45	C10	切通南沢	1896	123	0.1	160	北東	37.6	谷	凹
28	44	C8	願人坊	1914	105	0.1	229	南	28.5	中腹	凹
29	43	C5	桜ヶ尾	1918	101	0.1	217	南東	37.9	中腹	平坦
30	30	C5	カヤモク沢	1915	104	0.1	212	南西	11.1	尾根	平坦
E1	27	C4	郷田倉	1894	121	1.1					
E2	2	C5-a	安野1号	1903	114	0.109					
E3	2	C5-b	安野2号	1902	115	0.073					
E4	11	C1	牛蒡沢	1905	112	0.54					
E5	11	C1	郷台1号	1905	112	0.141					
E6	10	C1	郷台2号	1902	115	0.034					
E7	38	C7	女滝3号	1903	114	0.037					
E8	46	C6	二ノ台	1900	117	0.057					
S1	40	C5	今澄	1859	156	0.81					
S2	16	C2	神田上	1853	162	1.22					
S3	43	D2	桜ヶ尾	1835	184	0.1	301	南東	34.0	尾根	凸

1~30:標準地, E1~E8:試験地, S1~S3:超高齢林 \*林齢は調査年の数字

いずれの調査も、スギの DBH と樹高のみの毎木測定である。桜ヶ尾については近年調査が行われていなかったため、2018 年に標準地と同一の方法により現地調査を行った。

### 2.3 分析方法

はじめに、調査地としたスギ人工林の林分構成値（井上，1974；國崎，2016；西園ら，2006；2019）と林分構造指標を算出した。林分構成値として、スギの平均 DBH と平均樹高，上層木平均樹高， $1\text{ha}$  あたり立木本数密度，林分胸高断面積（BA），林分幹材積（林分材積）の 6 つを用いた（國崎，2016）。ここで， $1\text{ha}$  あたり上位 100 本の立木を上層木と定義した（吉田ら，2018）。また，標準地の面積を  $0.1\text{ha}$  と比較的大きくしたため，調査プロットを設定する際に隣接するヒノキ人工林を一部含めざるを得ない標準地もあった（10 か所）。そこで，平均 DBH と平均樹高，上層木平均樹高はスギのみで算出し，立木本数密度と BA，林分材積はスギとヒノキを合わせて算出した。また，上層木平均樹高と立木本数密度をもとに，収穫表作成システム LYCS 3.3 (<http://www2.affrc.go.jp/labs/LYCS/>) を用いて各プロットの地位指数を求めた。林分材積の計算には，東大千葉演習調製の「各樹材積表」（針葉樹の樹種別 2 変数立木幹材積表）を用いた。

林分構造の把握は，混み合い度，サイズ分布，植生多様度の 3 つの観点から行い，それぞれ複数の指標を用いた。混み合い度の指標には，収量比数，相対幹距，形状比，樹冠長率の 4 つを用いた。収量比数とは，平均樹高が同じ林分で最多密度曲線上にある林分材積に対する当該林分の林分材積比を表す（安藤，1968）。スギの立木本数密度と上層木平均樹高から算出し，森林総合研究所による「収量比数  $R_y$  計算プログラム」（森林総合研究所，2012）を計算に使用した。相対幹距とは，上層木平均樹高に対する平均個体距離の割合であり（林野庁，2018），上層木平均樹高を基準としたときの立木間の平均的な隔たりを示す（丹下・小池編，2016）。形状比は，立木の樹高（m）を DBH（m）で除した値である（関岡監修，2015）。本研究では平均樹高（m）を平均 DBH（m）で除した値（林分形状比）を示した。樹冠長率とは，樹高に対する樹冠長（樹高から枝下高を引いた値）の割合である（林野庁，2018）。本研究では平均樹高に対する平均樹冠長の割合（林分樹冠長率）を示した。

サイズ分布の指標には，DBH の歪度と変動係数の 2 つを用いた。歪度は DBH 分布の非対称性を，変動係数は DBH の不均質性をそれぞれ表す（國崎ら，1999）。植生多様度の指標には，天然更新木（スギ・ヒノキを除く DBH 5cm 以上の木本植物）の本数密度と BA，林分材積，種数，多様度指数，および下層植生の被度の 6 つを用いた。多様度指数は Shannon の  $H'$  (1) とした。

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \quad (1)$$

ここで， $S$  は種数， $p_i$  は  $i$  番目の種の個体数が全体に占める割合である（Begon *et al.*, 2003）。 $H'$  の計算には，水産研究・教育機構日本海区水産研究所の高田宜武氏による「多様度指数の計算」プログラム (<http://cse.fra.affrc.go.jp/yotak/tayodo.html>) を使用した。

林分構成値（平均 DBH・平均樹高・上層木平均樹高・立木本数密度・BA・林分材積）と地位指数，混み合い度（収量比数・相対幹距・形状比・樹冠長率），サイズ分布（DBH 歪度・変動係数），植生多様度（天然更新木の本数密度・BA・林分材積・種数および多様度指数・下層植生被度）の各指標について，標準地，試験地，超高齢林のそれぞれにおける平均値と標準偏差を求めた。また，スギ人工林の林齢と各指標値との関係を散布図で示した。標準地に対しては，林齢と各指標値との相関分析を行った。



次に、標準地における4つの林分構成値（平均 DBH、平均樹高、立木本数密度、林分材積）について、各ペアの散布図行列を示すとともに相関分析を行い、林分構成値間の関連性を分析した。さらに、これら4つの林分構成値を用いてクラスター分析（ユークリッド距離、ウォード法）を行い、100年生スギ人工林（標準地）の類型化を行った。林分構成値と地位指数、林分構造の各指標をグループごとに集計し、グループ間で比較した。先に記したスギ人工林の林分構造指標である、林分構成値（平均 DBH・平均樹高・上層木平均樹高・立木本数密度・BA・林分材積）、地位指数、混み合い度指標（収量比数・相対幹距・形状比・樹冠長率）、サイズ分布指標（DBHの歪度・変動係数）、植生多様度指標（天然更新木の本数密度・BA・林分材積・種数・多様度指数・下層植生被度）について、各指標値の分布を箱ひげ図で表し、各グループの資源状況と林分構造の特徴を定量的に示した。

### 3. 結果

#### 3.1 資源状況と林分構造

##### 3.1.1 林分構成値と地位指数

調査地における6つの林分構成値および地位指数について、各々の平均値と標準偏差を表-2に示す。スギの平均 DBH と平均樹高、上層木平均樹高に関する全標準地の平均値は、それぞれ46.4cm と 26.1m、30.7m であった。一方、試験地はそれぞれ47.2cm と 31.5m、35.6m であり、平均樹高（ $p < 0.01$ , t 検定）と上層木平均樹高（ $p < 0.01$ ）において標準地との間に有意な差が認められた。また、超高齢林は73.8cm と 31.3m、34.5m であり、平均 DBH において標準地との間に有意な差が認められた（ $p < 0.01$ ）。スギの平均 DBH と平均樹高、上層木平均樹高との関係を図-2に示す（a～c）。立木密度や林分材積と同様、いずれも大きなばらつきがみられ、林齢との間に有意な相関は認められなかった。

スギ（一部ヒノキを含む）の立木本数密度と BA、林分材積に関する全標準地の平均値は、それぞれ479.3 本/ha と 75.9m<sup>2</sup>/ha、960.2m<sup>3</sup>/ha であった。一方、試験地の平均値はそれぞれ604.8 本/ha と 102.2m<sup>2</sup>/ha、1,508.5m<sup>3</sup>/ha であり、BA（ $p < 0.01$ ）と林分材積（ $p < 0.01$ ）において標準地との間に有意な差が認められた。また、超高齢林の平均値は198.6 本/ha、78.6m<sup>2</sup>/ha、1,190.1m<sup>3</sup>/

表-2 標準地、試験地、超高齢林の林分構成値と地位指数（平均値±標準偏差）

Table 2 Stand composition and site index for measurement plots, experimental plots, and plots in very old plantations (mean ± standard deviation)

	標準地	試験地	超高齢林
平均DBH(cm)	46.4 ± 10.6	47.2 ± 8.6	73.8 ± 5.9
平均樹高(m)	26.1 ± 4.7	31.5 ± 4.2	31.3 ± 1.4
上層木平均樹高(m)	30.7 ± 4.4	35.6 ± 4.0	34.5 ± 3.9
立木本数密度(本/ha)	479.3 ± 198.5	604.8 ± 223.4	198.6 ± 123.3
BA(m <sup>2</sup> /ha)	75.9 ± 17.1	102.2 ± 10.4	78.6 ± 46.5
林分材積(m <sup>3</sup> /ha)	960.2 ± 271.1	1508.5 ± 224.1	1190.1 ± 736.6
地位指数	19.1 ± 2.7	22.0 ± 2.6	20.0 ± 2.1

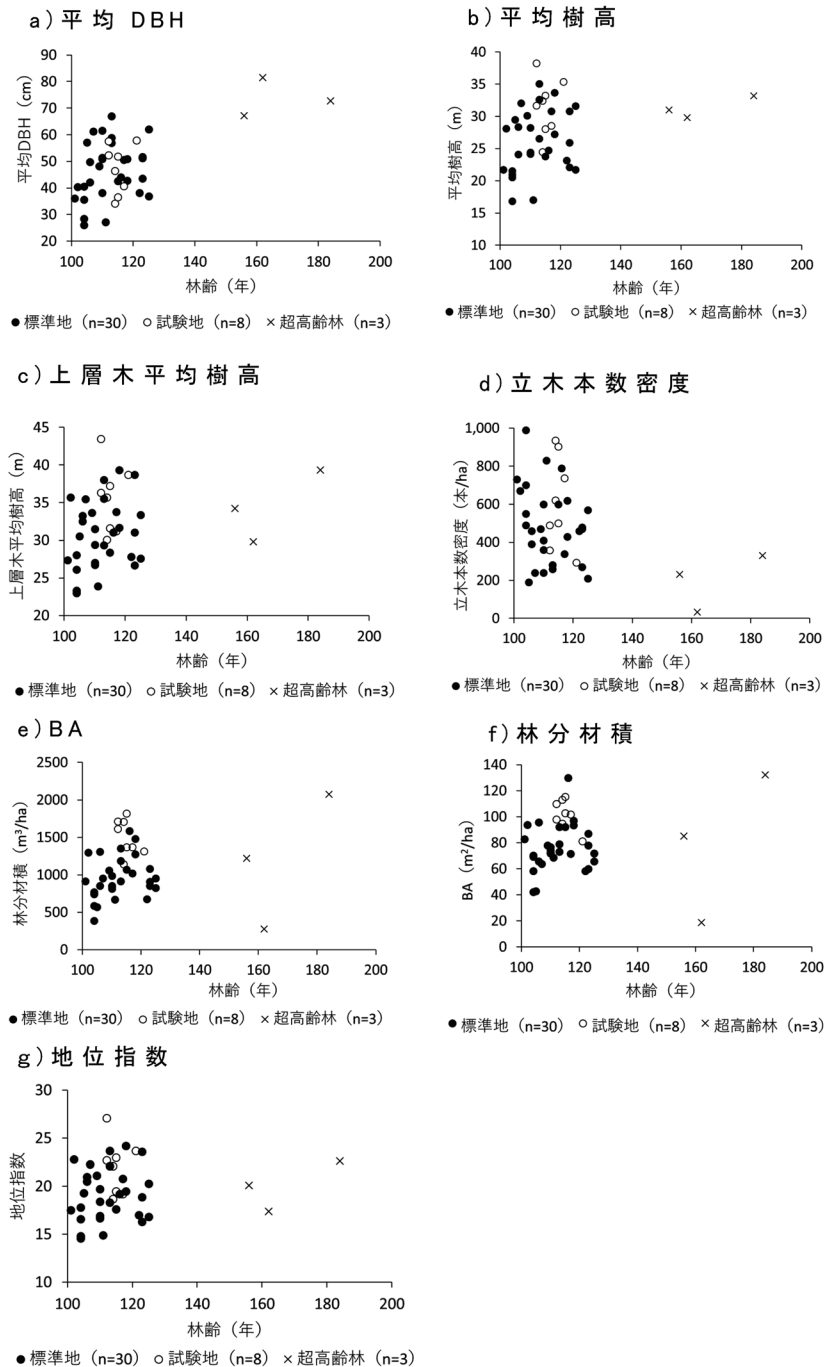


図-2 スギ人工林の林齢と林分構成値, 地位指数との関係

Fig. 2 Relationships between stand age, stand composition and site index for sugi plantations

ha であり、立木本数密度において標準地との間に有意な差が認められた ( $p < 0.05$ )。林齢とスギの立木密度、BA、林分材積との関係を図-2に示す (d ~ f)。いずれも大きなばらつきがみられ、林齢との間に有意な相関は認められなかった。

地位指数に関する全標準地の平均値は 19.1 であった。試験地の平均値は 22.0 であり、標準地との間に有意な差が認められた ( $p < 0.05$ )。超高齢林の平均値は 20.0 であり、標準地との間に有意な差は認められなかった。林齢と地位指数との関係を図-2g に示す。大きなばらつきがみられ、林齢との間に有意な相関は認められなかった。

### 3.1.2 混み合い度とサイズ分布

調査地における 4 つの混み合い度指標と 2 つのサイズ分布指標について、各々の平均値と標準偏差を表-3 に示す。混み合い度指標のうち、収量比数と相対幹距に関する全標準地の平均値は 0.71 と 16.0% であった。吉田ら (2018) は、スギ高齢人工林を対象とした過密林分の基準値として、収量比数 0.8、相対幹距 15% が適切であると指摘している。この基準値を採用した場合、収量比数では標準地全体の 2 割強、相対幹距では全体の 4 割が、それぞれ過密林分であると評価された。一方、試験地における収量比数と相対幹距の平均値は、それぞれ 0.85 と 12.0% であり、いずれも標準地との間に有意な差が認められた ( $p < 0.01$ )。また、超高齢林の平均値は 0.48 と 30.3% と混み合い度は小さく、収量比数 ( $p < 0.05$ )、相対幹距 ( $p < 0.01$ ) とともに標準地との間に有意な差が認められた。林齢と収量比数、相対幹距との関係を図-3 に示す (a, b)。いずれも大きなばらつきがみられ、林齢との間に有意な相関は認められなかった。

混み合い度指標である形状比と樹冠長率に関する全標準地の平均値は、それぞれ 57.3 と 38% であった (表-3)。形状比が 80 に近い値 (76 ~ 79) 以上であれば過密な状態と判断される (國崎, 2016) が、形状比が 75 を超える標準地はなかった。一方、樹冠長率は 40% 前後以下になると過密な状態と判断され (國崎, 2016)、標準地全体の 6 割以上で樹冠長率が 40% 以下となった。試験地と超高齢林における形状比の平均値はそれぞれ 67.6 と 43.0 であり、いずれも標準地との間に有意な差が認められた ( $p < 0.01$ )。林齢と形状比、樹冠長率との関係を図-3 に示す (c, d)。いずれも大きなばらつきがみられ、林齢との間に有意な相関は認められなかった。

サイズ分布指標であるスギ DBH の歪度と変動係数に関する全標準地の平均地は、それぞれ 0.41

表-3 標準地、試験地、超高齢林の混み合い度とサイズ分布指標 (平均値±標準偏差)  
Table 3 The degree of crowding and size distribution indices for measurement plots, experimental plots, and plots in very old plantations (mean ± standard deviation)

	標準地	試験地	超高齢林
収量比数	0.71 ± 0.11	0.85 ± 0.06	0.48 ± 0.26
相対幹距(%)	16.0 ± 3.0	12.0 ± 1.3	30.3 ± 19.6
形状比	57.3 ± 6.6	67.6 ± 5.2	43.0 ± 4.5
樹冠長率 (%)	38.2 ± 8.1	—	—
歪度 (DBH)	0.41 ± 0.52	0.39 ± 0.37	0.48 ± 0.51
変動係数 (DBH)	0.23 ± 0.04	0.37 ± 0.05	0.31 ± 0.01



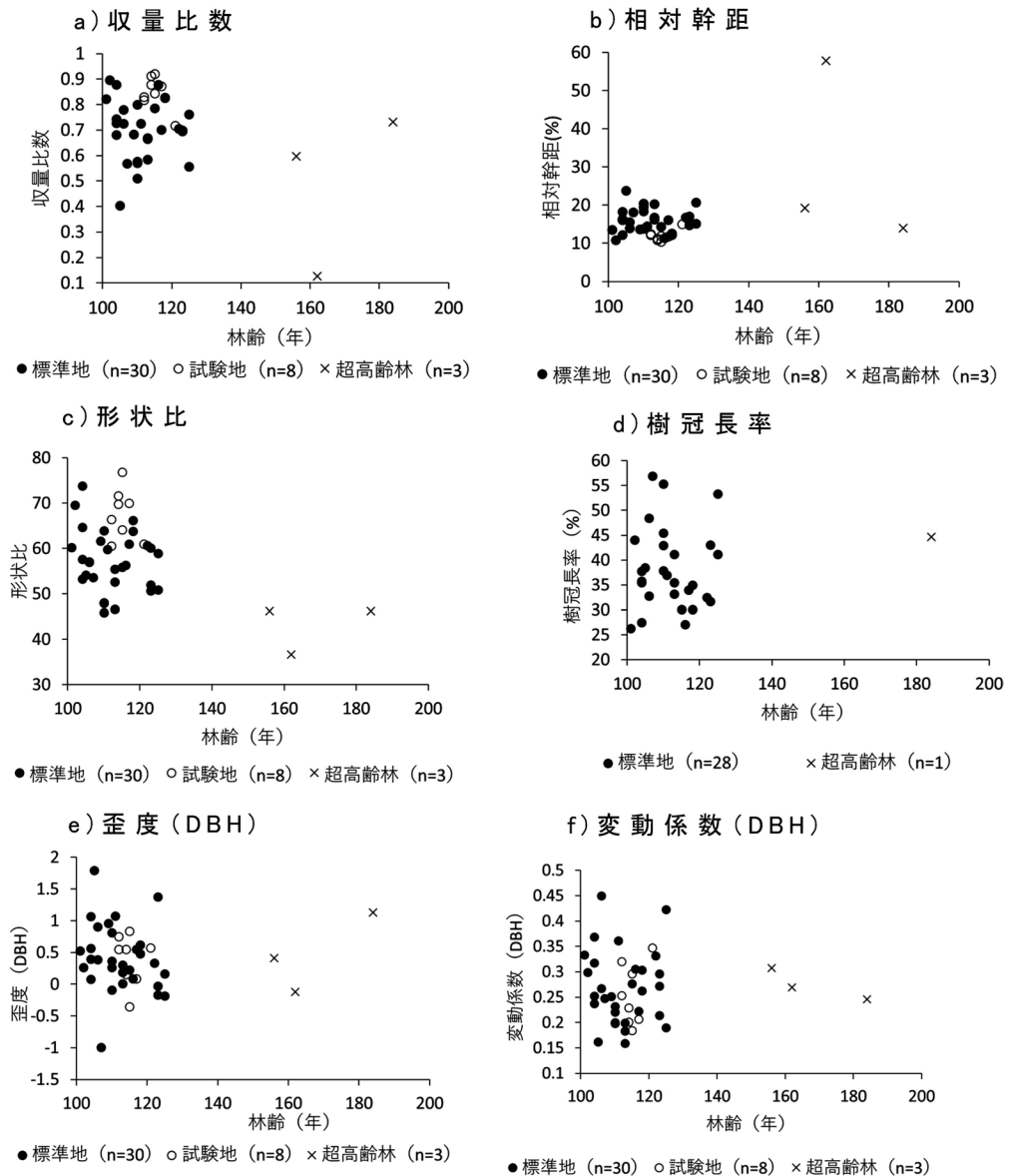


図-3 スギ人工林の林齢と混み合い度・サイズ分布指標との関係

Fig. 3 Relationships between stand age, the degree of crowding and size distribution indices for sugi plantations

注) 「d) 樹冠長率」については、枝下高を測定した標準地 28 か所と超高齢林 1 か所の結果のみを示した。

Note. “d) Crown length/ tree height ratio” shows only the data of 28 measurement plots and one very old plantation in which the height under branches were measured.

表-4 標準地の植生多様度指標 (平均値±標準偏差)

Table 4 Vegetation diversity indices for measurement plots (mean ± standard deviation)

天然更新木本数密度(本/ha)	615.7 ± 330.6
天然更新木BA(m <sup>2</sup> /ha)	8.9 ± 6.3
天然更新木材積(m <sup>3</sup> /ha)	60.0 ± 56.0
天然更新木種数	12.6 ± 4.1
天然更新木多様度指数	1.99 ± 0.37
下層植生被度(%)	43.9 ± 31.9

と 0.23 であった (表-3)。一方, 試験地の平均値は 0.39, 0.37 であり, いずれも標準地との間に有意な差は認められなかった。超高齢林の平均値は 0.48, 0.31 であり, 試験地と同様, いずれも標準地との間に有意な差は認められなかった。林齢とスギ DBH の歪度, 変動係数との関係を図-3 に示す (e, f)。いずれも大きなばらつきがみられ, 林齢との間に有意な相関は認められなかった。

### 3.1.3 植生多様度

6つの植生多様度指標 (標準地のみ測定) について, 各々の平均値と標準偏差を表-4 に示す。天然更新木の立木本数密度と BA, 林分材積の平均値は, それぞれ 615.7 本/ha, 8.9m<sup>2</sup>/ha, 60.0m<sup>3</sup>/ha であった。また, 天然更新木の種数と多様度指数, 下層植生被度に関する全標準地の平均値は, それぞれ 12.6 と 1.99, 43.9% であった。林齢と植生多様度の各指標との関係を図-4 に示す。いずれも大きなばらつきがみられ, 林齢との間に有意な相関は認められなかった。

## 3.2 林分構成値間の関連性

標準地における林分構成値のうち, 平均 DBH, 平均樹高, 立木本数密度, 林分材積の 4 つについて, 各ペアの散布図行列と相関行列を図-5 に示す。平均 DBH に対しては, 立木本数密度との間に高い負の相関 ( $r = -0.87$ ) が, 平均樹高との間に高い正の相関 ( $r = 0.85$ ) が認められた。林分材積に対しては, 平均 DBH および平均樹高との間にそれぞれ有意な正の相関が認められた。一方, 立木本数密度との間には有意な相関が認められなかった。また, 平均樹高と立木本数密度との間にも有意な負の相関が認められた。

## 3.3 スギ人工林の類型化

前項にある 4 つの林分構成値を用いたクラスター分析により, 100 年生超スギ人工林を類型化した結果 (デンドログラム) を図-6 に示す。30 か所ある標準地は, 結合距離 1,024.8 で 3 つのグループ (A, B, C) に分けることができた。各グループはスギ平均 DBH と林分材積の大小によって, 次のように特徴づけられた。

- A. DBH 大 / 材積中 (n = 17) : 平均 DBH が大きく, 林分材積は中程度の大きさの林分
- B. DBH 大 / 材積大 (n = 7) : 平均 DBH, 林分材積とも相対的に大きい林分
- C. DBH 小 / 材積小 (n = 6) : 平均 DBH, 林分材積とも相対的に小さい林分

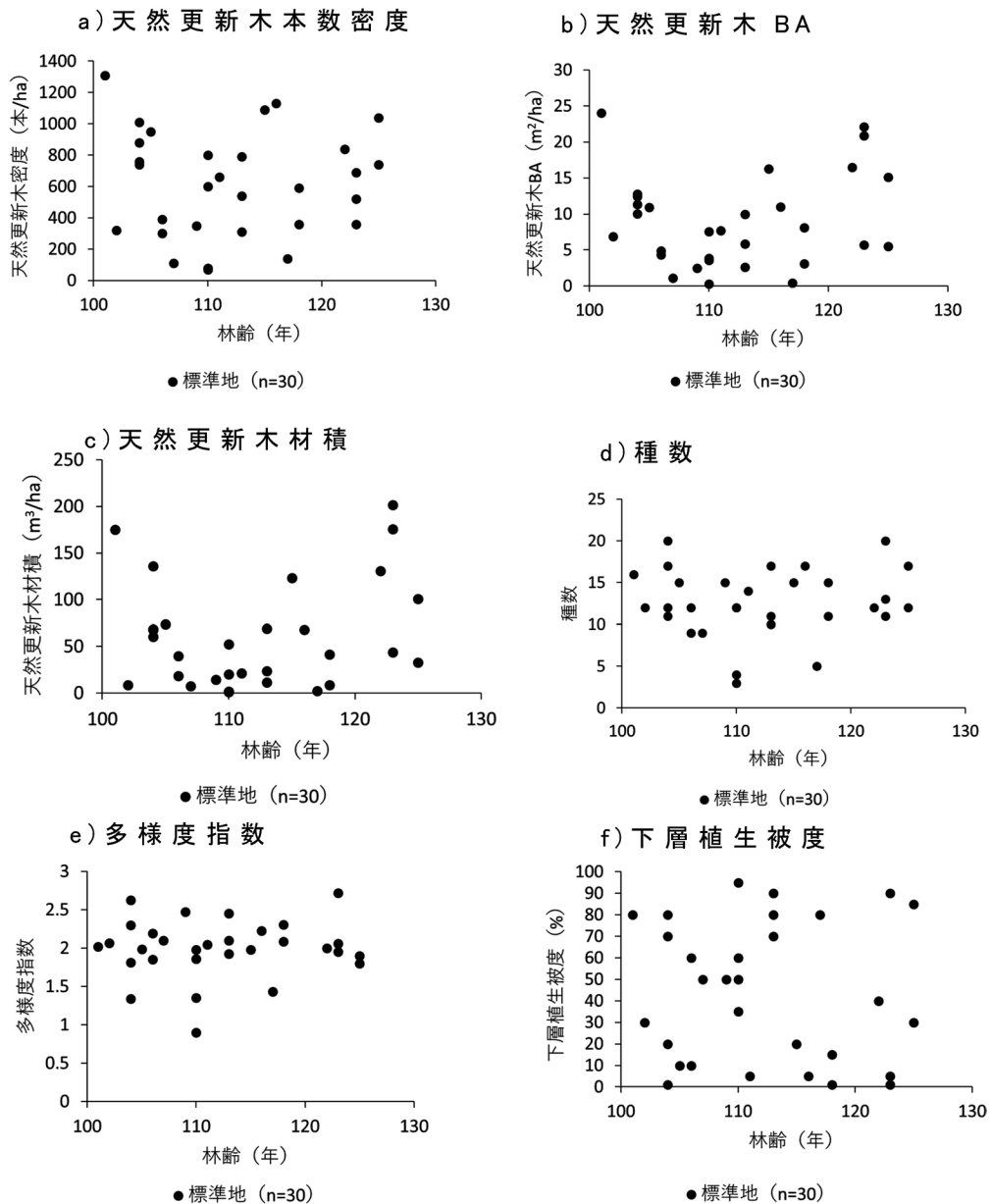


図-4 スギ人工林の林齢と植生多様度指標との関係

Fig. 4 Relationships between stand age and vegetation diversity indices for sugi plantations

100 年生超スギ人工林の林分構成値と混み合い度・サイズ分布指標、植生多様度について、それぞれグループ別の箱ひげ図を図-7～9 に示す。

「DBH 大 / 材積中」のグループにおけるスギ平均 DBH と林分材積の平均値は、それぞれ 48.6cm と  $922.6m^3/ha$  であった (図-7)。スギ立木本数密度 (420.6 本/ha) は有意ではないもの

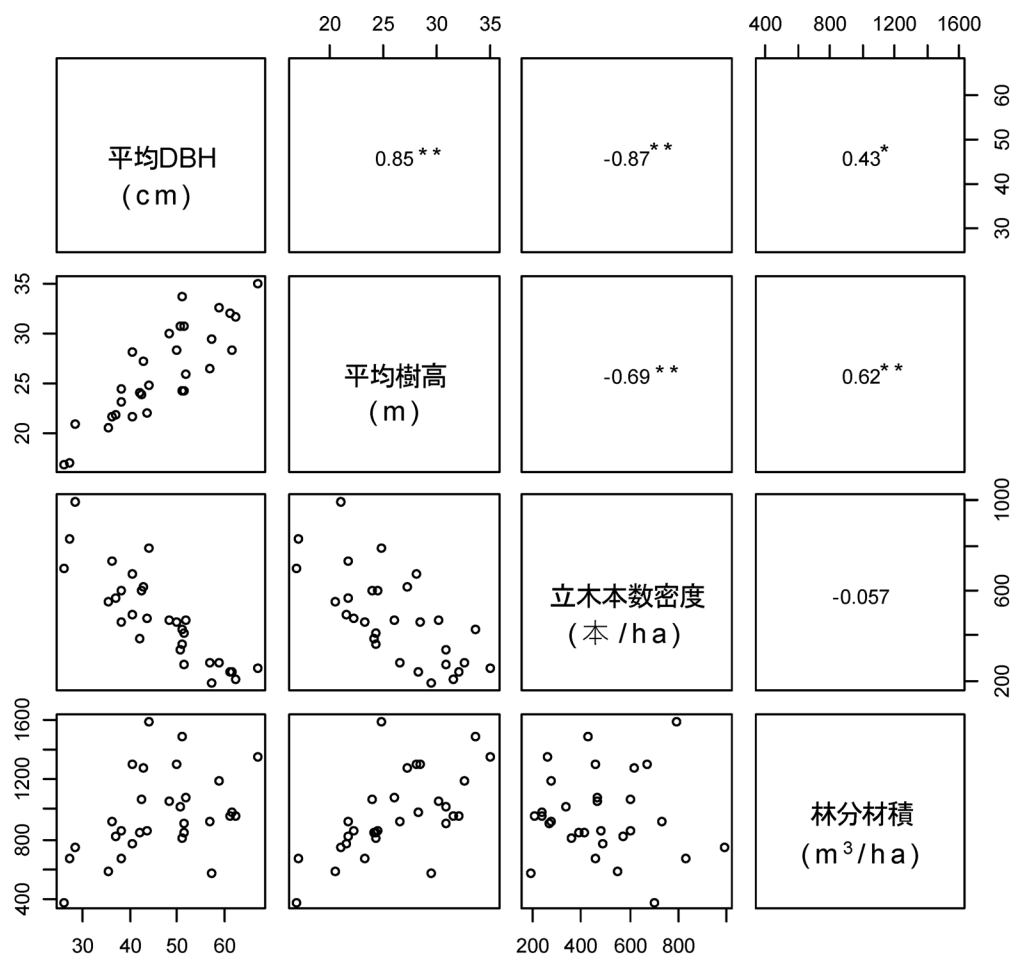


図-5 標準地における林分構成値の散布図行列 (下) と相関行列 (上)

注) \*\* $p < 0.01$ , \* $p < 0.05$

Fig. 5 Scatter plot matrix (lower) and correlation matrix (upper) of selected stand composition

Note: \*\* $p < 0.01$ , \* $p < 0.05$

他のグループに比べて低く、平均樹高 (26.1m) と上層木平均樹高 (30.6m) は高かった。BA は  $73.8\text{m}^2/\text{ha}$  であった。また、形状比 (54.6) が比較的小さかった (図-8)。

「DBH 大 / 材積大」のグループにおけるスギ平均 DBH と林分材積の平均値は、それぞれ  $50.5\text{cm}$  と  $1,355.6\text{m}^3/\text{ha}$  であった (図-7)。他のグループに比べて地位指数 (21.8) が大きく、平均樹高 (30.0m) は高かった。相対幹距 (13.5) は他のグループに比べて小さかった (図-8)。

「DBH 小 / 材積小」のグループにおけるスギ平均 DBH と林分材積の平均値は、それぞれ  $35.4\text{cm}$  と  $605.8\text{m}^3/\text{ha}$  であった (図-7)。立木本数密度 ( $620.0$  本/ha) は有意でないものの比較的高かった一方、平均樹高 (21.3m) や上層木平均樹高 (25.8m) は相対的に低かった。

スギ人工林内に天然更新した木本 (DBH  $\geq 5\text{cm}$ ) の密度・材積・種数・多様度指数と下層植生の被度については、3つのグループ間に有意な違いが認められなかった (図-9)。

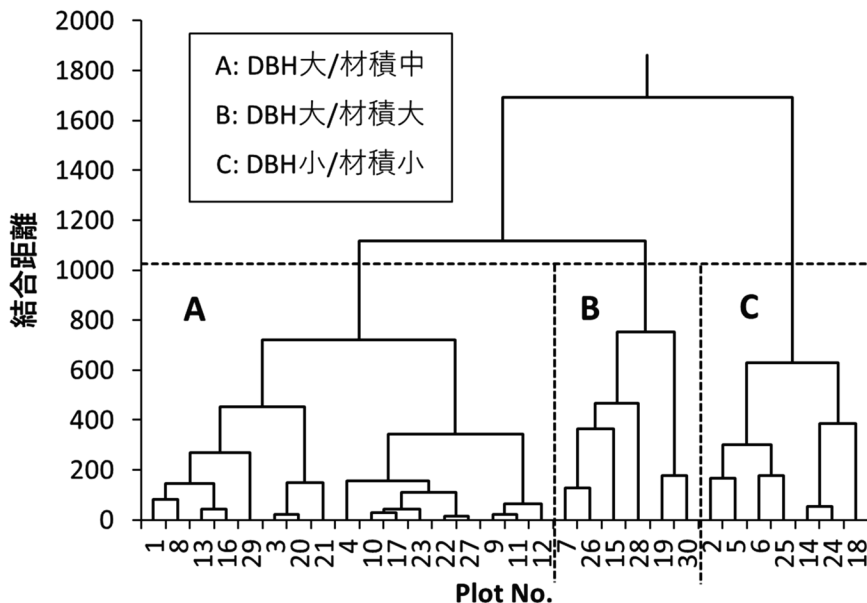


図-6 クラスタ分析によるスギ人工林の類型化

注) 距離行列の計算にはユークリッド距離, 結合法はウォード法を用いた。

Fig. 6 Classification of sugi plantations using cluster analysis

Note: The analysis was performed using Euclidian distance and Ward's method.

#### 4. 考察

東大千葉演にある多数の 100 年生超スギ人工林を対象とした調査から, 資源状況や林分構造には大きなばらつきのある現状が示された。スギ林収穫表 (南雲ら, 1981) が想定する標準的な平均 DBH や林分材積に対して, 実際の資源状況は様々であり, 林齢が上がるほど大きくなるといった傾向は認められなかった (図-2)。

林分構成値間の関連性に関する相関分析の結果から, 100 年生超スギ人工林の平均 DBH は, 平均樹高が高いほど大きく, 立木本数密度が高いほど小さくなる傾向がみられた。平均樹高と立木本数密度との間にも有意な負の相関が認められたことから, 地位の高い立地において間伐による本数密度の調整がより早く進み, 平均 DBH が大きくなった可能性がある。100 年生スギ人工林の林分材積は, 平均樹高と平均 DBH が高いほど大きくなる傾向がみられた。地位や密度管理の違いにともなう個体サイズの大きさが, 林分材積の大きさに影響していることが示唆される。

林分構成値に基づくクラスタ分析の関係から, 東大千葉演の 100 年生超スギ人工林は 3 つのグループに類型化できた。このうち, 「DBH 大 / 材積中」のグループでは, 平均 DBH の平均値が東大千葉演スギ林収穫表 (南雲ら, 1981) における地位 1 (地位上) の 100 年生時平均 DBH (42.6cm) を上回った一方, 林分材積の平均値は同収穫表の値 (946.6m<sup>3</sup>/ha) を下回った。このグループは平均樹高や BA の平均値が 3 つのグループのなかで中程度にあり, 平均 DBH が比較的大きくとも, 林分材積は中程度の大きさになったと考えられる。先行研究では, スギ高齢人工林を対象とした間伐試験の強度間伐区 (吉田ら, 2018; 大住ら, 2000) において, 平均 DBH や林分材



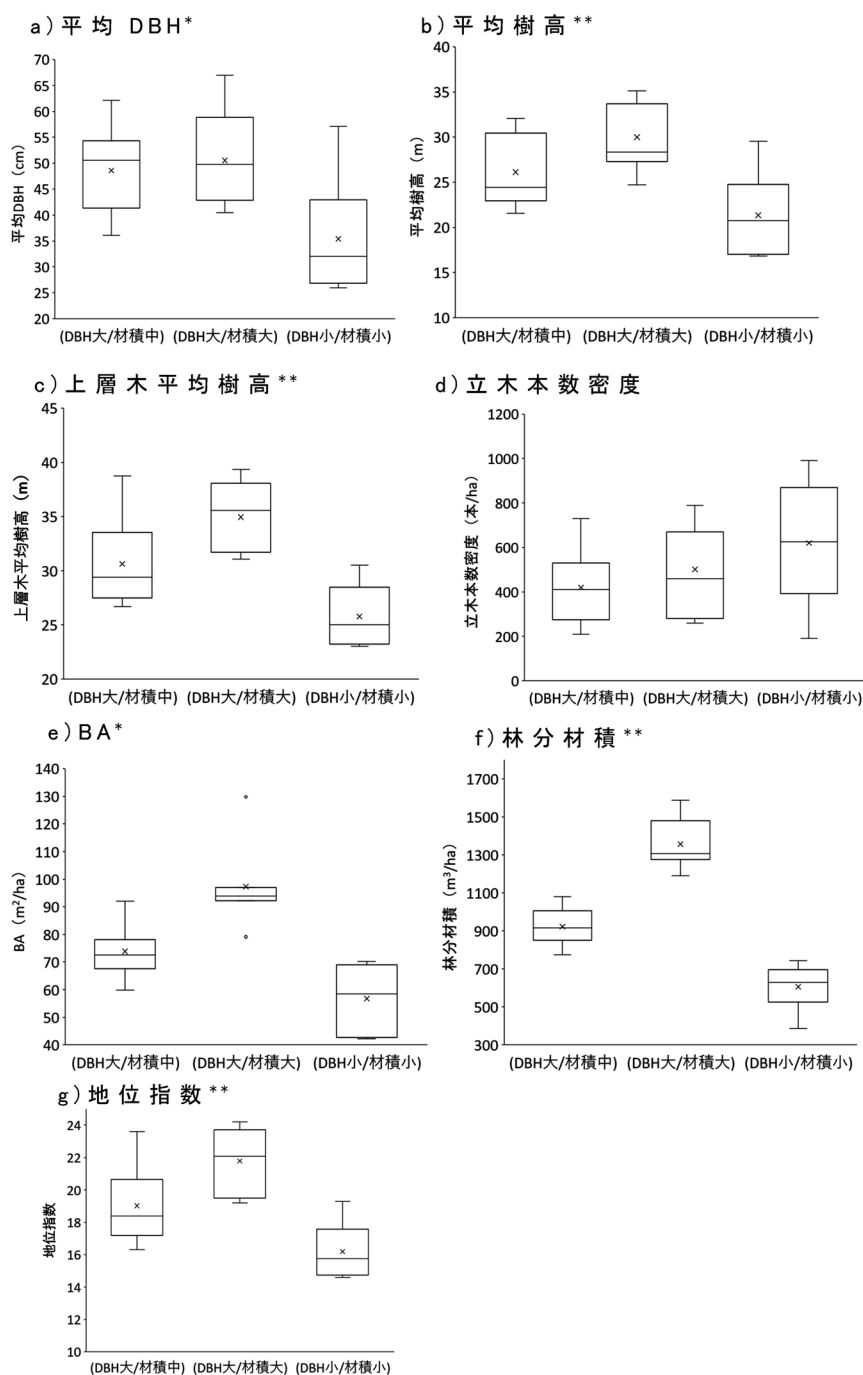


図-7 スギ人工林グループごとの林分構成値と地位指数

注) \*\* $p < 0.01$ , \* $p < 0.05$  分散分析

Fig. 7 Stand composition and site index by stand group

Note: \*\* $p < 0.01$ , \* $p < 0.05$ , ANOVA

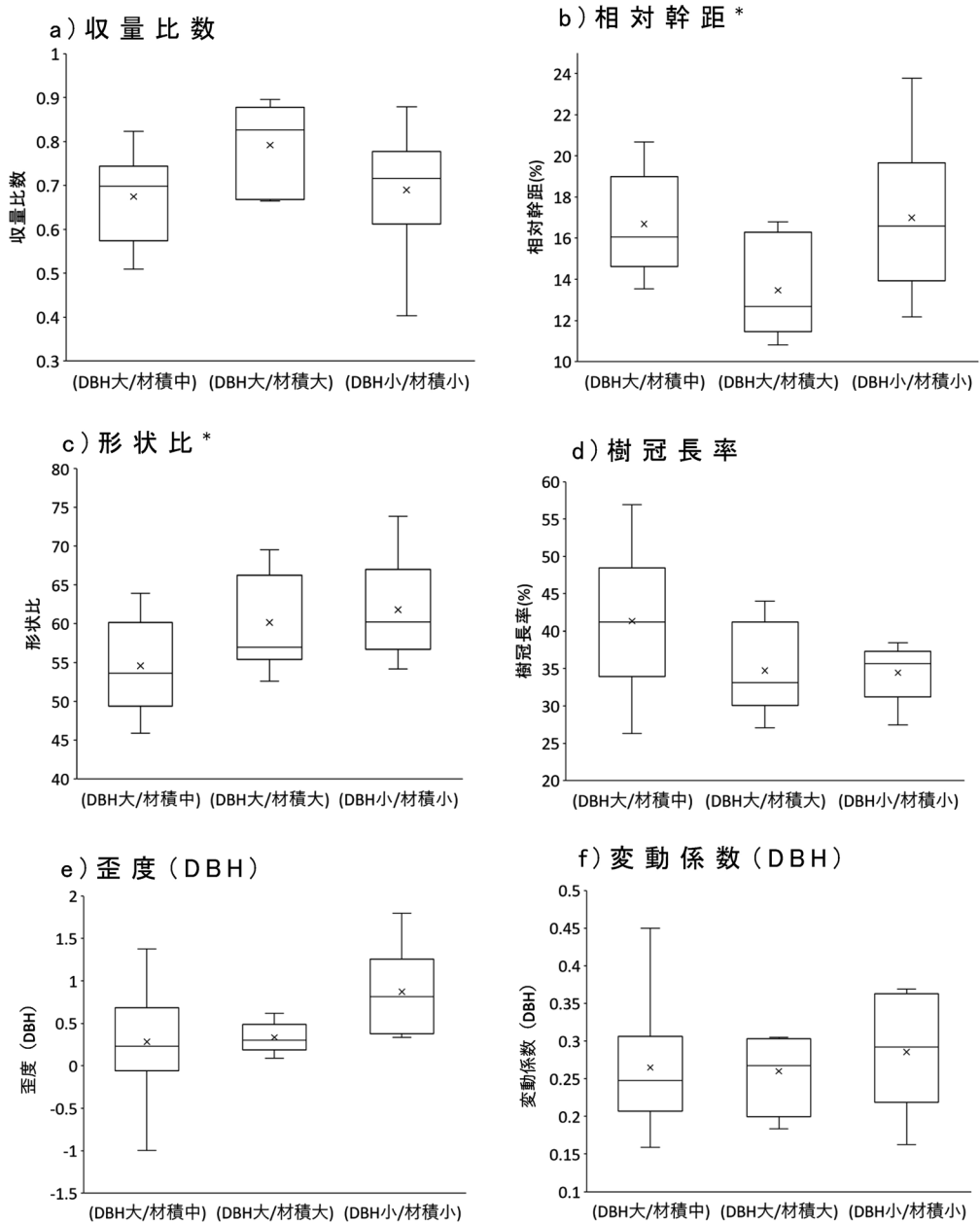


図-8 スギ人工林グループの混み合い度とサイズ分布指標

注) \* $p<0.05$  分散分析

Fig. 8 The degree of crowding and size distribution indices by stand group

Note: \* $p<0.05$ , ANOVA

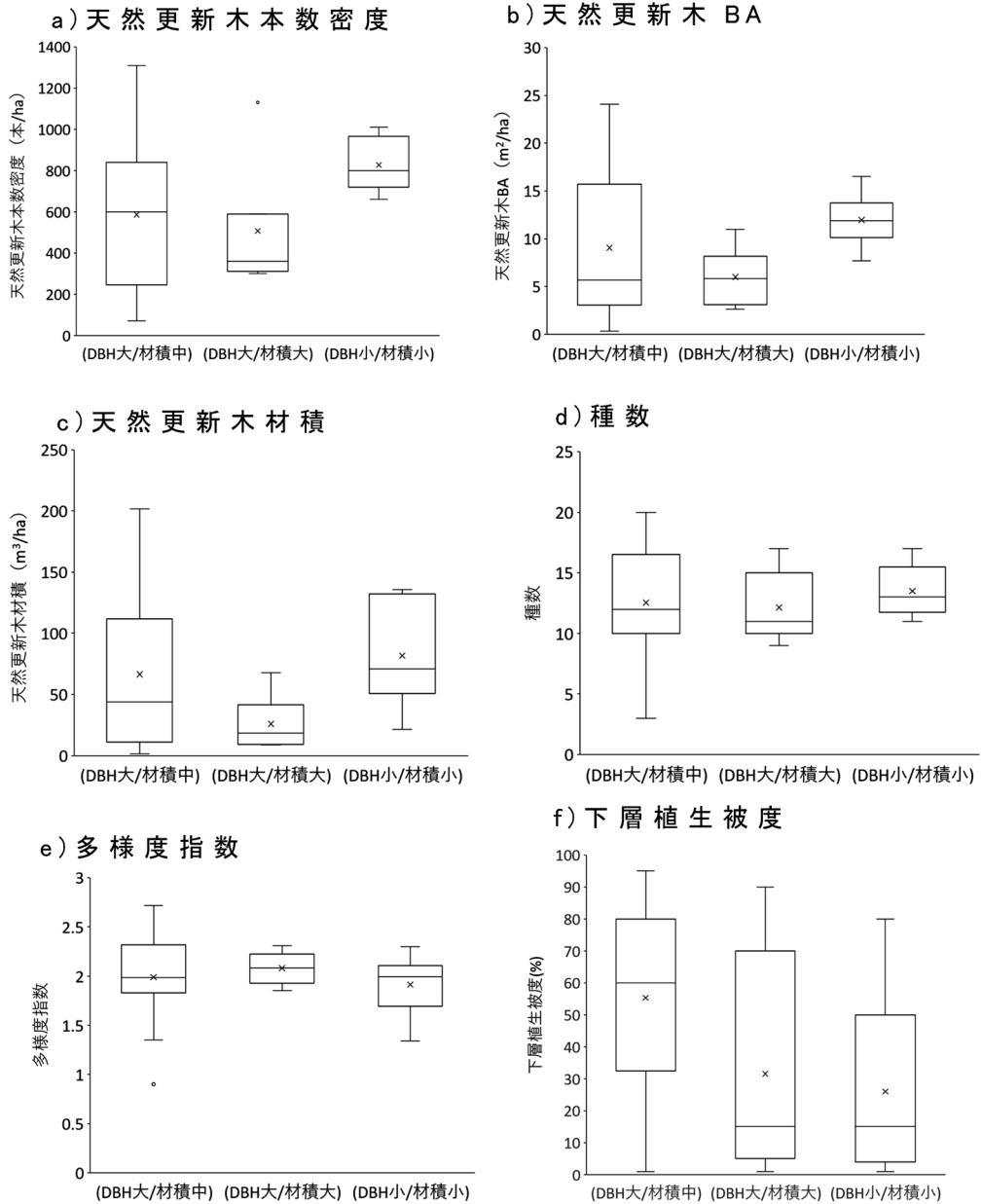


図-9 スギ人工林グループごとの植生多様度指標

注) いずれも  $p>0.05$ , 分散分析

Fig. 9 Vegetation diversity indices by stand group

Note:  $p>0.05$  for all indices, ANOVA

積が「DBH 大 / 材積中」のグループと類似していた。

「DBH 大 / 材積大」のグループでは、平均 DBH と林分材積の両方で平均値が収穫表（南雲ら、1981）の想定値（地位 1）を上回った。このグループは平均樹高や BA の平均値が 3 つのグループのなかで最大であり、林分材積が大きくなっていると推察される。先行研究における多くのスギ高齢人工林調査事例が、このグループに類似していた（國崎ら、1999；竹内、2005；吉田ら、2018）。

「DBH 小 / 材積小」のグループでは、平均 DBH と林分材積の両方で平均値が収穫表（南雲ら、1981）の想定値（地位 1）を下回り、地位 2（36.7cm, 727.0m<sup>3</sup>/ha）と地位 3（31.3cm, 526.5m<sup>3</sup>/ha）の中間にあった。このグループは樹高が他のグループよりも低く、LYCS で算出した地位指数の値にも示されているように、低い地位がその特徴である。「DBH 小 / 材積小」のグループとほぼ同等の平均 DBH と林分材積を持つ他の調査事例は、吉田ら（2018）の弱度間伐区を除き、ほとんど見つけることができなかった。また、東大千葉演の試験地にもこのグループに区分されるところはなかった。少数のスギ高齢人工林を対象とした先行研究では、概して地位の良い林分に調査地が設定されてきた可能性があり、実際の資源状況を把握するうえで注意を要すると考えられる。

植生多様度指標に関しては、グループ間での有意な差はみられなかった。立木本数密度の低さや林分材積の小ささにより、天然更新木や下層植生の多様度が高いわけでは必ずしもなかった。西山・阿部（2002）は、スギ高齢人工林における立木本数密度や BA の減少により、下層植生が増加する傾向を示したが、本研究の調査地では同様の傾向はみられなかった。立木本数密度や BA の減少に伴う林内の光環境改善効果だけでなく、種子供給源となる周辺林分の状況（菅原・國崎、2011）や、出現種の生態的特性（長池、2000）、土壌や水分条件、シカによる食害などが影響した可能性がある。

## 5. おわりに

東大千葉演における 100 年生超スギ人工林の現状に関して、本研究を通じて明らかにしたのは主に次の 3 つである。

- (1) 高齢級化したスギ人工林におけるスギの平均 DBH や林分材積には大きなばらつきがあり、その資源状況や林分構造は多様であった。
- (2) 林分構成値を用いたクラスター分析の結果から、100 年生超スギ人工林は「DBH 大 / 材積中」、「DBH 大 / 材積大」、「DBH 小 / 材積小」の 3 つのグループに区分できた。
- (3) 資源状況をグループ間で比較したところ、スギの平均 DBH や平均樹高、林分材積に有意な違いがみられた。これまでの密度管理や地位の違いがスギ人工林の現状に影響したものと考えられる。一方、BA や林分材積が比較的小さな人工林内であっても、天然更新した本木の多様度や下層植生の被度は必ずしも高くはならない可能性も示唆された。

「DBH 小 / 材積小」のタイプについては、スギ高齢人工林の現状把握がこれまで十分でなかった可能性もあり、さらなる調査の実施による実状の把握が必要と考えられる。なお、本研究で対象としたのは東大千葉演という一事例である。「千葉縣演習林第七次経営案説明書森林現況簿」によれば、1954 年当時のスギ人工林面積計 843.5ha のうち、532.2ha が 1919 年以前の植栽（林齢 36 年生以上）であった。100 年前までに造成されたスギ人工林の 6 割以上が既に主伐によって失われており、また主伐された人工林の多くが地位や地利の良好な林分であったとも想定され、本

研究の結果を解釈する際には注意が必要である。100 年生を超えるスギ高齢人工林の増加が想定されるなか、資源の量的、サイズの状態について見通しを得るためにも、国内の各地域において本研究と同様の調査を行っていくことが望まれる。

## 謝辞

本研究を行うにあたって、東大千葉演の加瀬清己、粕谷善廣、岡田康則、富川 勲、吉田龍三の各氏、および東京大学大学院農学生命科学研究科森林科学専攻博士課程大学院生の Kyaw Thu Moe 氏には現地調査にご協力をいただいた。東大千葉演前林長の石橋整司博士には調査設計やデータ分析の際に多くのご助言をいただいた。匿名の査読者には数々の的確かつ有意義なご指摘をいただいた。各位に厚く感謝申し上げる。なお、本報告の一部は日本学術振興会科学研究費補助金（課題番号 18K05742）により行った。

## 引用文献

- 安藤貴（1968）同齡単純林の密度管理に関する生態学的研究。林試研報 210:1-153.
- Begon M, Harper JL, Townsend CR（堀道雄監訳）（2003）生態学（原著第 3 版）：個体・個体群・群集の科学。京都大学学術出版会、京都。
- 井上由扶（1974）森林経理学。地球社、東京。
- 石井洋二・斎藤寛（2005）福島県中・浜通りにおけるスギ人工高齢林の樹高成長。東北森林誌 10(1):41-44.
- 石井洋二・斎藤寛・五十嵐正徳（2005）福島県会津地方のスギ高齢林の樹高成長。日林誌 87(5):419-421.
- 國崎貴嗣（2016）人工同齡単純林の林分構造に関する古典的解析法。岩大演報 47:59-71.
- 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(4):346-350.
- 正木隆・大住克博・関剛・森茂太・梶本卓也・樫間岳・八木橋勉・柴田銃江・野口麻穂子（2015）添畑沢スギ間伐試験地における 45 年生から 104 年生までの長期成長データ。森林総研研報 14(1):65-72.
- 宮本和樹（2015）人工林の高齡級化と向き合う前に。日林誌 97(4):169-170.
- 長池卓男（2002）人工林生態系における植物種多様性。日林誌 82(4):407-416.
- 南雲秀次郎・白石則彦・田中万里子（1981）スギ林分収穫表調製法のシステム化に関する研究－東京大学千葉演習林スギ林を対象として－。東大演報 71:269-330.
- 西山嘉寛・阿部剛俊（2002）スギ高齢林の林地保全に関する研究－林内における下層植生の現存量および植被率の推定－。森林応用研究 11(2):1-6.
- 西園朋広・澤田智志・栗屋善雄（2006）秋田地方における高齢天然スギ林の林分構造と成長の推移。日林誌 88(1):8-14.
- 西園朋広・細田和男・家原敏郎・鷹尾元・斎藤英樹・石橋聡・高橋正義・古家直行・小谷英司・斎藤和彦・田中邦宏・田中真哉・光田靖・北原文章・近藤洋史・高橋與明・佐野真琴（2019）平成 23～27 年度に調査した収穫試験地等固定試験地の経年成長データ（収穫試験報告第 26 号）。森総研報 18(2):231-273.
- 農林水産省大臣官房統計部（2019）平成 30 年木材統計。http://www.maff.go.jp/tokei/kouhyou/mokuzai/attach/pdf/index-103.pdf（アクセス日：2019 年 8 月 20 日）
- 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(2):179-187.
- 林野庁（2007）森林資源の現況（平成 19 年 3 月 31 日現在）。http://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h19/index.html（アクセス日：2019 年 2 月 7 日）
- 林野庁（2012）スギ・ヒノキ林に関するデータ（平成 24 年 3 月 31 日現在）http://www.rinya.maff.go.jp/j/sin-riyou/kafun/data.html（アクセス日：2019 年 2 月 7 日）
- 林野庁（2015）将来（50 年後、100 年後）における齡級構成（イメージ）。平成 26 年度森林・林業白書。http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/26hakusyo\_h/summary/other/ii02.xls（アクセス日：2019 年 2 月 3 日）
- 林野庁（2017）森林資源の現況（平成 29 年 3 月 31 日現在）。http://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/



- h29/index.html (アクセス日: 2019 年 1 月 29 日)
- 林野庁 (2018) 森林総合監理士 (フォレスター) 基本テキスト. [http://www.rinya.maff.go.jp/j/ken\\_sidou/forester/](http://www.rinya.maff.go.jp/j/ken_sidou/forester/) (アクセス日: 2019 年 2 月 10 日)
- 関岡東生監修 (2015) 新版森林総合科学用語辞典. 東京農業大学出版会, 東京.
- 森林総合研究所 (2012) 収量比数 Ry 計算プログラム. <http://www.ffpri.affrc.go.jp/database/yieldindex/index.html> (アクセス日: 2019 年 1 月 29 日)
- 菅原真明・國崎貴嗣 (2011) 滝沢演習林のスギ人工林における下層木本の種多様性に影響する要因の序列化. 岩大演報 42:1-14.
- 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. 森総研報 16(4):225-238.
- 鈴木誠・白石則彦・鈴木祐紀・龍原哲・山本博一 (2003) スギ高齢林の育成に関する研究 (I) - 清澄地域におけるスギ高齢人工林の成立過程 -. 東大演報 109:27-45.
- 竹内郁雄・伊東宏樹 (2003) スギ高齢人工林の樹高成長. 日林誌 85(2):121-126.
- 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(5):394-401.
- 丹下健・小池孝良編 (2016) 造林学 (第 4 版). 朝倉書店, 東京
- 丹下健・山中征夫・鈴木誠 (1987) スギ老齡人工林の生長と現存量. 演習林 (東大) 25:243-259.
- 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林千葉演習林 (2012) 千葉演習林第 13 期教育研究計画 (2011 (平成 23) 年度~2020 (平成 32) 年度). 演習林 (東大) 51:27-66.
- 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(3):77-80.

(2019 年 2 月 28 日受付)

(2019 年 11 月 20 日受理)

## 要旨

本研究では、東京大学千葉演習林の 100 年生超スギ人工林を対象として、資源状況と林分構造に関する現状と特徴の把握を行った。スギの林分材積と平均胸高直径 (DBH) の平均値 ± 標準偏差は、それぞれ  $960.2 \pm 271.1 \text{ m}^3/\text{ha}$  と  $46.4 \pm 10.6 \text{ cm}$  であった。スギ林分材積と平均 DBH とともに大きなばらつきがみられ、林齢との間に有意な相関は認められなかった。平均 DBH, 平均樹高, 立木本数密度, 林分材積を用いたクラスター分析の結果から、100 年生超スギ人工林を次の 3 つのグループに区分した。A) 平均 DBH が大きく、林分材積は中程度の大きさの林分, B) 平均 DBH, 林分材積とも大きい林分, C) 平均 DBH, 材積とも小さい林分。林分構造指標を比較したところ、スギの平均 DBH と平均樹高, 林分材積にグループ間で有意な違いがみられた。これまでの密度管理や地位の違いがスギ人工林の現状に影響したものと考えられる。一方、林分胸高断面積や林分材積が比較的小さな高齢人工林であっても、林内に天然更新した木本の多様度や下層植生の被度は必ずしも高くはない可能性も示唆された。

キーワード: スギ, 森林資源, 高齢人工林, 林分構造, 植生多様度

## Summary

We studied the current status and characteristics of stand resource and structure of *Cryptomeria japonica* ('Sugi' in Japanese) plantations aged over 100 years at the University of Tokyo Chiba Forest (UTCBF), central Japan. The mean and standard deviation of sugi stand volume and average diameter at breast height (DBH) were  $960.2 \pm 271.1 \text{ m}^3/\text{ha}$  and  $46.4 \pm 10.6 \text{ cm}$ , respectively. The sugi stand volume and average DBH showed large variations and there were no significant correlations with stand age. Using cluster

analysis with mean DBH, mean tree height, stem density and stand volume, our study sites can be classified into three stand groups: A) Stands with relatively large average DBH but moderate stand volume, B) Stands with both relatively large average DBH and stand volume, and C) Stands with both relatively small average DBH and stand volume. There was a significant difference between the stand groups for average DBH, mean tree height and stand volume. The current status of old sugi plantations may have been largely influenced by stand density control as well as site quality. The diversity of naturally-grown woody plants and floor vegetation coverage were not so high, even in the old sugi plantations with relatively low basal area and stand volume.

**Keywords:** *Cryptomeria japonica*, forest resource, old plantation, stand structure, vegetation diversity