

立木密度の異なるスギ人工林における葉, 幹, 繁殖器官への乾物分配率

稲垣 善之^{1,*}・野口享太郎²・金子真司¹・橋本 徹¹・三浦 寛¹

¹森林総合研究所・²森林総合研究所四国支所

茨城県北部のスギ人工林において間伐区と対照区を3か所ずつ設定し, 林分の収量比数と地上部純一次生産と各器官への分配率の関係を明らかにした。地上部純一次生産速度は, 6調査区間で1.9倍の差が認められた。地上部純一次生産速度に対する幹, 葉, 球果, 雄花への分配率は6調査区の平均でそれぞれ64.7%, 27.3%, 3.0%, 3.0%であった。最も小さい収量比数(0.66)を示した間伐区では, 幹への分配率が低かった(54%)。他の間伐区では収量比数は0.74~0.80を示し, 幹への分配率が高かった(71~72%)。対照区では, 収量比数は0.86~0.91を示し, 幹の分配率は平均に近い値を示した(61~67%)。対照区で雄花生産量の大きい1林分を除外すれば, 収量比数が小さいほど雄花生産と雄花生産への分配率が高い傾向が認められた。以上の結果より, 強度な間伐は雄花生産を促進し, 幹成長を抑制すると考えられた。収量比数が0.75程度になるように林分密度を保つことによって幹成長への分配率を高く維持しながら雄花生産の増加を抑制することできると考えられた。

Yoshiyuki Inagaki, Kyotaro Noguchi, Shinji Kaneko, Toru Hashimoto, and Satoru Miura : Biomass allocation to leaves, stems and reproductive organs in Japanese cedar plantations with different stand densities. *Japanese Journal of Forest Environment* 53:23-29, 2011.

Aboveground net primary production and its allocation to different organs were evaluated along the gradient of stand density in three thinned and three control plots at a Japanese cedar plantation in northern Ibaraki Prefecture. The aboveground net primary production rate after thinning differed 1.9-fold among six study plots. The mean biomass allocations to stems, leaves, cones, and male flowers for the six plots were 64.7%, 27.3%, 3.0% and 3.0%, respectively. The plot with the lowest relative yield index had lower allocation to stems (54%). Two other thinned plots had higher allocation to stems (71-72%). Allocation to stems in the unthinned plots had intermediate values (61-67%). By excluding one control plot with high male flower production, allocation to male flowers was higher where the relative yield index was lower. These results suggest that strong thinning promotes allocation to male flowers but not to stems, and that stand density should be maintained at a certain level as the relative yield index is 0.75 to maintain allocation to stems and inhibit increase in male flower production.

1. はじめに

近年, 多くの人々がスギやヒノキの花粉症に悩まされており, スギの花粉症の経済的な損失は2,860億円に達すると推定される(清野, 2002)。スギやヒノキの人工林において間伐などの森林管理によって雄花生産を抑制することが期待されているが, これまでに明確な効果は認められていない(スギ林では福島ら, 1996; 大場, 2000; 清野ら2003, ヒノキ林では内館・斉藤, 1993; 中西ら, 2008)。スギの雄花生産には, 遺伝的な性質, 環境条件, 間伐の強度が影響を及ぼすと考えられ(清野, 2002), 様々なスギ林において間伐後の雄花生産量を正確に予測するためには情報が不足している。一方, 間伐によって立木密度を管理することは, 形質の良い木材を生産するために重要であるだけでなく(安藤, 1968), 下層植生の被覆を促進して表土流亡を抑制する効果も期待される(三浦, 2000; 恩田, 2008)。したがって, 森林の多面的な機能をバランスよく発揮させる立木密度の管理方法を提示することが重要である。

樹木は同化産物を, 葉, 枝, 幹, 根, 繁殖器官などに配分する。幹への分配率は植栽後林齢に伴って増加し, 高齢林分で再び減少する傾向を示す(安藤, 1968; 大島, 1986)。ま

た, 多くの樹種で, 地上部純一次生産速度が高いほど幹への分配率が大きい傾向が認められている(大島, 1986; 大島ら, 1986; Binkley *et al.*, 2004)。これらの知見より, 環境条件や林分の状況によって幹, 枝などへの分配率が変化することが示唆される。スギ, ヒノキの人工林において立木密度と幹や繁殖器官への分配率の関数が明らかになれば, 木材生産機能を発揮しながら, 雄花生産を抑制する森林管理のために有益な基礎的情報となる。スギ, ヒノキの人工林では間伐が雄花生産(福島ら, 1996; 大場, 2000; 清野ら, 2003; 中西ら, 2008), 幹成長(竹内ら, 1975; Nishizono *et al.*, 2008; 深田ら, 2009; 宮本ら, 2009; 野口ら, 2009; 荒木ら, 2010), リター生産へ及ぼす影響(金子ら, 1997; Inagaki *et al.*, 2008; 野口ら, 2009)が評価されているが, それぞれの器官への分配率を同時に評価した事例は認められない。これらの情報を統合し, 間伐が地上部純一次生産速度と分配様式にどのように影響を及ぼすかを明らかにすることが必要である。葉の生産量を推定するためには, リターフォールを長期的に観測することが必要であるが, これまでにスギ林においてリターフォールを用いて葉の生産量を推定した研究事例は極めて少ない(Cannell, 1982)。また, スギ人工林において幹, 枝, 繁殖器官への分配率についてはほとんど情報がない。本研究

* 連絡・別刷請求先(Corresponding Author): 〒305-8687 つくば市松の里1 森林総合研究所立地環境研究領域

1 Forestry and Forest Products Research Institute

2 Shikoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

(2010年5月18日受付, 2010年12月18日受理)

では、茨城県のスギ人工林において、流域内のスギ人工林に对照区と間伐区をそれぞれ3か所設置した。間伐区と对照区における立木密度の差を利用して、立木密度の違いと葉、幹、繁殖器官への分配率の関係を明らかにした。

2. 調査地と方法

2.1 調査地

本研究では茨城森林管理署北山国有林32林班ほ小班(茨城県東茨城郡城里町)を調査地とした(桂試験地:標高210—270 m)。試験地に最も近いアメダス観測地点(小瀬観測所:36° 36.4' N, 140° 19.5' E, 標高95 m)における年平均気温は12.5°C, 年降水量は1,339 mmであった(1979~2000年)。桂試験地は那珂川に流入する皇都川の支流の源頭部に位置する約2.3 haの小流域試験地と試験地に隣接する林分を調査対象とした。小流域試験地は斜面下部から斜面中部に1965年に植栽されたスギ人工林が約1 ha分布し、斜面上部はアカマツを交えた落葉広葉樹二次林が分布する。本研究では流域試験地内のスギ人工林で間伐を実施し、試験地に隣接する同じ林齢のスギ人工林は無間伐の对照区とした。試験地内の土壌は中古生層の堆積岩を母材とする褐色森林土であり(土じょう部, 1976), 土壌表層には火山灰が混入していた。

2003年3月に小流域試験地内の間伐実施予定のスギ林分に3ヶ所(間伐区), 隣接する間伐を行わないスギ林分に3ヶ所(对照区)の15×15 mの調査区を設置した。調査区設置時の林齢は39年生であった。2003年12月に小流域試験地内のスギ人工林(1 ha)において、材積で25%の立木を伐採することを目標として劣勢木を中心に伐採する間伐を実施した(野口ら, 2009)。2003年12月に間伐区1, 2, 3において、それぞれ材積で27.1%, 34.9%, 19.8%の立木を伐採した。伐採した木は搬出せず林内に放置した。对照区を設置した隣接するスギ人工林では間伐を実施しなかった。

2.2 幹成長

調査区内の直径10 cm以上のスギについて2003年3月に胸高直径と樹高を測定した(2002年成長終了時)。2003年11月に樹高と胸高直径を同様に測定し、間伐実施前の成長量を算出した。間伐実施後5年が経過した2009年2月に樹高と胸高直径を計測した(2008年成長終了時)。立木幹材積表(林野庁計画課, 1970)の関東地方の式を用いて樹高と胸高直径から材積を推定した。収量比数を林野庁(1999)の数式を用い樹高と立木密度から算出した。林分材積に容積重(0.318 Mg m⁻³, Fujiwara *et al.*, 2007)を掛け合わせて、幹現存量を算出した。2回の測定期間の期末に生残する個体について、幹成長速度(g m⁻² yr⁻¹)を算出した。2004~2008年の個体の樹高と胸高直径の成長については2008年生残する個体について、5年間の増加量を算出した。間伐区と对照区では、立木密度が大きく異なっているため、上層木についても成長速度を評価した。それぞれの調査区で樹高が上位15番目までの個体を上層木とし(667本ha⁻¹相当), これらの樹高と胸高直径の増加量を算出した。間伐区2では残存木が14個体であったため、すべての個体について算出した。

2.3 リター生産

2003年3月に上記調査区1ヶ所につき3個のリタートラップ(開口部面積0.5 m²)を設置した。リターフォールを2003年6月から2008年6月までの5年間、原則として月に1度の頻度で回収した。スギの落葉は夏場に最も少なくなるため、7月から翌年の6月までを1年間として生産量を測定した。リターフォールを葉、枝、雄花、球果、その他に分別し、60~70°Cで48時間以上乾燥し重量を測定した。常緑樹では、葉の現存量が一定で定常状態であると仮定すると、生産された葉の量と落葉量が等しくなり、落葉量から葉の生産量を推定することができる。なお、間伐区では、残存木の葉の現存量が増加するため、定常状態の仮定が成り立たない。間伐後に生産された葉は数年後に落葉するため、間伐直後の落葉量から推定した葉の生産速度は過小評価となる。本研究では、スギの葉の寿命は4年程度とれていることから(安藤1968), 間伐4年後から2年間の落葉量(2006年7月~2008年6月)を間伐後の葉の生産量を反映したものとして評価した。花粉が飛散した後の雄花の重量は飛散した花粉の重量にほぼ等しいことから(斉藤・竹岡, 1987), 落下雄花量を2倍して雄花生産量とした。また、種子を含む球果の重量は、種子が落下した後の球果の1.28倍であることから(斉藤・竹岡, 1987), 落下球果量を1.28倍して球果生産量とした。スギの葉、枝、雄花、球果を合計したものをスギのリター生産速度とした。葉の分配率については間伐後の葉生産の増加を反映した2006~2007年の値を用いた。下層植生や分別できない細かいリターをその他と区分し、スギのリターからは除外した。間伐後のスギの地上部純一次生産速度は、幹成長速度(2004~2008年)と前述のスギリター生産速度を合計したものとした。地上部純一次生産速度に対する幹、葉、枝、球果、雄花の割合を算出した。

林分特性について对照区の平均値に対する間伐区の平均値の比を算出して、大まかな傾向を示した。これらより間伐による立木密度の管理が、幹、葉、繁殖器官の生産量と分配率に及ぼす影響を収量比数を用いて評価した。要因間の相関関係はピアソン相関係数で解析した。

3. 結果と考察

3.1 林分特性

間伐前の2002年成長終了時には、平均樹高、平均胸高直径、林分材積は、それぞれ6か所の調査区間(最大値と最小値の比)で1.2倍、1.2倍、1.6倍の差が認められた(表-1)。一方、平均樹高、平均胸高直径、林分材積について処理区の平均値を算出すると間伐区は对照区の1.01倍、1.04倍、0.92倍であった。

間伐後5年間の胸高直径と樹高の成長を表-2に示す。すべての個体でみると、間伐区の樹高成長は对照区の0.97倍でありほとんど差が認められないが、直径成長は間伐区で对照区の1.49倍であった。上層木に限ると、樹高成長は間伐区で0.89倍、直径成長は1.14倍であった。したがって、間伐区においては对照区と比較して、樹高成長が小さく、直径成長が

表-1. 調査区のエ分特性

Table 1. Stand characteristics of the study plots

年*	対照区1	対照区2	対照区3	間伐区1	間伐区2	間伐区3	対照区	間伐区	比
Year	Control-	Control-	Control-	Thinned-	Thinned-	Thinned-	Control	Thinned	Thinned
	1	2	3	1	2	3	Mean	Mean	/Control
収量比数 Relative yield index									
2002	0.86	0.87	0.91	0.89	0.82	0.83	0.88	0.85	
2003 Before thinning	0.87	0.87	0.91	0.90	0.82	0.85	0.88	0.86	
2003 After thinning	0.87	0.87	0.91	0.78	0.66	0.74	0.88	0.72	
2008	0.87	0.90	0.92	0.81	0.68	0.78	0.90	0.76	
立木密度 tree density (trees ha ⁻¹)									
2002	1867	1600	1822	1911	1200	1467	1763	1526	0.87
2003 Before thinning	1867	1600	1822	1911	1200	1467	1763	1526	0.87
2003 After thinning	1867	1600	1822	1111	622	889	1763	874	0.50
2008	1733	1556	1600	1067	622	889	1630	859	0.53
平均樹高 Mean tree height (m)									
2002	16.0	18.4	19.1	17.4	19.2	17.7	17.8	18.1	1.01
2003 Before thinning	16.5	18.6	19.4	18.1	19.5	18.3	18.2	18.6	1.02
2003 After thinning	16.5	18.6	19.4	18.9	20.4	19.2	18.2	19.5	1.08
2008	17.6	20.6	21.9	20.5	21.6	21.4	20.0	21.2	1.06
平均胸高直径 Mean DBH (cm)									
2002	17.3	18.7	21.0	18.1	21.0	20.2	19.0	19.8	1.04
2003 Before thinning	17.5	19.0	21.3	18.5	21.6	20.3	19.3	20.1	1.04
2003 After thinning	17.5	19.0	21.3	20.4	24.3	23.6	19.3	22.8	1.18
2008	19.2	20.6	24.1	23.2	26.7	26.1	21.3	25.3	1.19
林分幹材積 Stem volume (m ³ ha ⁻¹)									
2002	413	443	674	513	444	444	510	467	0.92
2003 Before thinning	436	461	703	549	455	480	534	495	0.93
2003 After thinning	436	461	703	400	296	385	534	360	0.68
2008	524	581	861	532	373	517	656	474	0.72

*年は生育期間終了後を示す。DBH 10 cm以上の個体について計測した。

*Trees were measured at the end of growing season of the year. Trees over 10 cm in DBH were measured.

表-2. 2004-2008年における樹高と胸高直径の年成長

Table 2. Annual increment of tree height and diameter at breast height from 2004 to 2008 in the study plots

特性	対照区1	対照区2	対照区3	間伐区1	間伐区2	間伐区3	対照区	間伐区	比
	Control-	Control-	Control-	Thinned-	Thinned-	Thinned-	Control	Thinned	Thinned
	1	2	3	1	2	3	Mean	Mean	/Control
全個体 All trees* ¹									
個体数 trees / 225 m ²	38	34	36	24	14	20	36	19	0.54
DBH (cm)	0.31	0.32	0.35	0.50	0.48	0.49	0.33	0.49	1.49
Height (cm)	25	37	36	29	24	43	33	32	0.97
Height/DBH	81	115	103	58	50	88	100	65	0.66
上位 15 個体 15 tall trees* ²									
DBH (cm)	0.48	0.46	0.51	0.62	0.48	0.55	0.48	0.55	1.14
Height (cm)	33	38	39	30	24	45	37	33	0.89
Height/DBH (cm/cm)	69	82	77	48	50	81	76	60	0.78

*¹DBH 10 cm以上の個体について計測した。*²調査区内の樹高上位15個体について計測した。

*¹Trees over 10 cm in DBH were measured. *²The top 15 tallest trees in each study plot were measured.

大きい傾向を示した。収量比数が小さい間伐区2では他の間伐区よりも樹高成長が小さかった。荒木ら(2010)はスギ林において強度な間伐を実施した林分(本数で62%の間伐率)では通常の間伐(本数で20%)と比較して樹高成長が抑制される傾向を示した。深田ら(2009)は間伐率の異なる高知県の

ヒノキ林を比較し、間伐強度が大きいほど樹高成長が抑制される傾向を示した。本研究の結果もこれらの知見と整合的である。一般的には、間伐によって樹高成長は変化しないと考えられており(安藤, 1968), 間伐後の樹高成長の低下はあまり認識されていない。一部の報告で、間伐後の環境ストレス

表-3. 調査区の幹成長とリター生産

Table 3. Stem growth and litter production in the study plots

期間 Period	対照区1	対照区2	対照区3	間伐区1	間伐区2	間伐区3	対照区	間伐区	比	
	Control-1	Control-2	Control-3	Thinned-1	Thinned-2	Thinned-3	Control Mean	Thinned Mean	Thinned/Control	
幹成長 Stem growth (g m ⁻² yr ⁻¹)										
間伐前	2003	748	590	932	1155	497	1011	757	888	1.17
間伐後	2004-8	626	761	1077	807	489	838	821	711	0.87
間伐後/間伐前 Ratio	(2003)/(2004-8)	0.84	1.29	1.15	0.70	0.99	0.83			
リター Litter production rate (g m ⁻² yr ⁻¹)										
葉 Leaf	2003-2007	295	348	495	202	271	258	379	244	0.64
葉 Leaf	2006-2007	276	308	476	253	336	263	353	284	0.80
枝 Branch	2003-2007	37	21	69	11	7	14.2	42	11	0.26
球果 Cone and seed	2003-2007	34	36	72	19	24	34.4	48	26	0.54
雄花 Male flower	2003-2007	22	16	63	25	50	34.4	34	36	1.08
その他 Others	2003-2007	110	104	87	26	35	61	100	41	0.41
スギリター合計* Cedar total litter		369	381	680	309	416	346	477	357	0.75
リター合計 Litter total		479	486	766	335	451	407	577	398	0.69
スギ地上部純一次生産速度 ANPP		995	1142	1756	1116	906	1184	1298	1069	0.82

*葉については2006-2007年の値で算出した。DBH 10 cm以上の個体について計測した。

*Leaf litter production rate was calculated based on the data during 2006-2007. Trees over 10 cm in DBH were measured.

によって樹高成長が抑制されることが示唆されているが(荒木ら2010), 詳しいメカニズムは明らかでなく, 今後の研究が必要である。

3.2 幹成長

間伐前の2003年における林分あたりの幹生産速度は6つの調査区間で2.32倍の差が認められた(表-3)。間伐前の幹成長速度は, 間伐区で対照区の1.17倍であった。間伐後の5年間の幹成長速度は, 間伐区で対照区の0.87倍であった。間伐前の幹成長量を基準にすれば, 間伐区の幹成長速度が間伐後に約25%低下したと考えられる。この結果は, 材積間伐率(27.1%)とほぼ同じ割合で幹成長速度が低下することを示す。収量比数の小さい間伐区2で幹成長速度が小さく, 収量比数の大きい対照区3で幹成長速度が大きかった(図-1a)。そのほかの林分では幹成長速度はほぼ一定の値を示した。

間伐区2では, 間伐前と間伐後に幹成長速度は間伐区の中では最も小さい値を示した。幹成長速度が小さい要因としては, 立地条件が貧栄養であることが予想される。しかし, この林分では樹高は他の林分よりも低い傾向は認められない。立地条件は樹高成長によって指標されると考えられているため(真下, 1960), この林分における低い幹成長速度は立地条件によっては説明できない。一方, この林分では収量比数が他の林分よりも低い。したがって, 個体あたりの幹成長速度は高くても, 立木密度が低いために, 林分あたりの幹成長速度が低い水準であると考えられた。

3.3 リター生産

リター生産量と収量比数の関係を見ると(図-1b), 対照区3で他の林分よりも高く, 残りの林分では明確な差は認められなかった。葉の生産量を処理区と比較すると, 対照区に対する間伐区の葉の生産量は2003-2007年で0.64倍であった

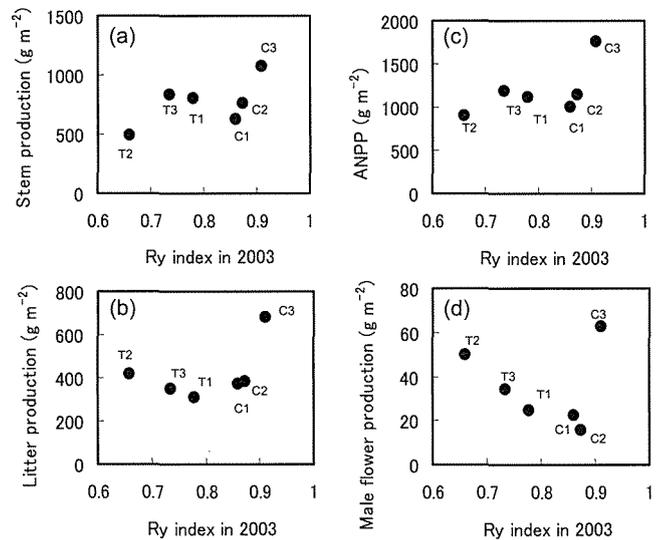


図-1. 収量比数と地上部生産の関係

Figure 1. Relationship between relative yield index and above-ground net primary production

収量比数は間伐直後の2003年の値を示す。

C1, C2, C3は対照区1, 2, 3, T1, T2, T3は間伐区1, 2, 3を示す。

Relative yield index in 2003 is shown.

C1, C2, C3, T1, T2 and T3 indicates control-1, control-2, control-3, thinned-1, thinned-2 and thinned-3 plot, respectively.

のに対して, 2006-2007年では0.80倍となった(表-3)。間伐後に樹冠が拡張して葉量が増加するが, 増加した葉は数年後に落葉するために, 葉の生産量が2006-2007年で大きいと考えられた。間伐後の林冠の閉鎖には長い時間を要する。千葉(2009)は林冠が閉鎖するまでの時間を立木密度と樹高成長から予測するモデルを提案した。一例として, 間伐区2に

表-4. 地上部純一次生産の各器官への分配率

Table 4. Allocation of aboveground net primary production to organs

	対照区1 Control- 1	対照区2 Control- 2	対照区3 Control- 3	間伐区1 Thinned- 1	間伐区2 Thinned- 2	間伐区3 Thinned- 3	対照区 Control Mean	間伐区 Thinned Mean	比 /Control
分配率 Allocation (%)									
幹 Stem	62.9	66.6	61.3	72.3	54.0	70.7	63.6	65.7	1.03
葉 Leaf	27.7	27.0	27.1	22.7	37.1	22.2	27.3	27.3	1.00
枝 Branch	3.7	1.8	3.9	1.0	0.8	1.2	3.1	1.0	0.31
球果 Cone	3.4	3.2	4.1	1.7	2.6	2.9	3.6	2.4	0.68
雄花 Male flower	2.3	1.4	3.6	2.2	5.5	2.9	2.4	3.5	1.48

*葉については2006-2007年の値で算出した。

*Leaf letter production rate was calculated based on the data during 2006-2007.

近い条件の林分(樹高成長が25 cm, 初期立木密度が1,400本 ha⁻¹)において30%の間伐を実施すると、再び林冠が閉鎖するまでに8年を要すると予測される。現存量の増加が落葉に影響するまでにはさらに数年の遅れがあるため、間伐後の落葉増加は長期間に及ぶ。今後、長期間落葉を観測することによって間伐後の回復過程を明らかにすることが求められる。

間伐区における枝の生産量は対照区の0.26倍と少なかった。間伐区では間伐後に生産された枝がリターとして供給されるまでに時間を要するために過小評価になっている。しかし、枝の生産量は地上部生産の中で占める割合が小さいため、他の器官の分配率の林分間の変動に及ぼす影響は小さいと考えられた。

雄花の生産速度は調査区間で3.9倍の変動を示した。対照区3を除外すれば、収量比数が小さいほど雄花生産速度は大きい傾向を示した($r = -0.92, p < 0.03$, 図-1d)。清野ら(2003)は本数で約70%の間伐をした収量比数が小さい調査区で顕著に林分の雄花生産が大きい傾向を報告しており本研究の結果と整合的である。これらの知見より強度な間伐をした立木密度の低い林分では林分あたりの雄花生産速度が増大することが示唆される。対照区3は、雄花生産速度が大きく外れ値として扱った。外れ値となった明確な理由は不明であるが、この調査区では純一次生産速度が高いことから、雄花の生産量も大きいと推察された。

3.4 分配率

地上部純一次生産速度は対照区3で最も大きく、間伐区2で小さかった(表-3, 図-1c)。葉への分配率は22.7~37.1%、幹への分配率は54.0~72.3%を示した(表-4)。本研究では間伐後に生産された葉を反映するために2006~2007年の落葉を用いて葉の分配率を計算した。間伐区において、2003~2007年の落葉で葉の分配率を計算すると2006~2007年で計算した値と比較して、0.3~4.9%小さく推定された。調査区の葉の分配率と幹の分配率には有意な負の相関関係が認められた($r = -0.95, p < 0.01$, 図-2a)。収量比数と葉と幹への分配率の関係を散布図で示すと(図-3a, b), 収量比数の小さい間伐区2では、葉への分配率が高く(37.1%), 幹への分配率が低かった(54.0%)。一方で、収量比数が中程度(0.74~0.

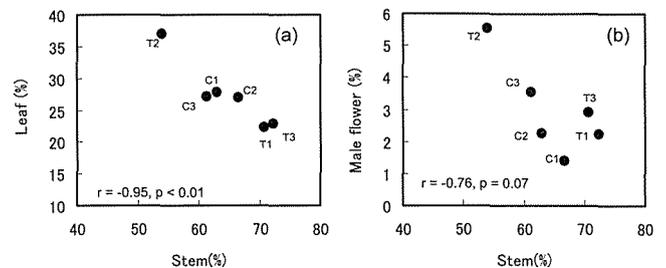


図-2. 幹の分配率と葉および雄花の分配率の関係

Figure 2. Relationship between allocation to leaves or stem and that to male flowers

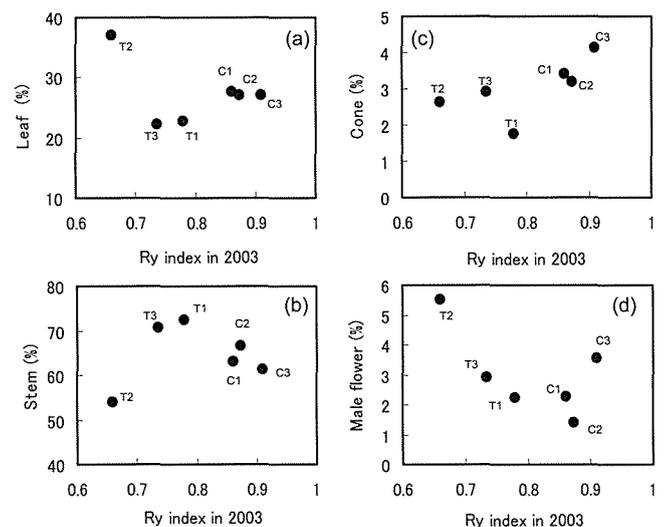


図-3. 収量比数と器官ごと分配率の関係

Figure 3. Relationship between relative yield index and allocation to different organs

80)の間伐区では葉への分配率が低く(22.2~22.7%), 幹への分配率が高かった(70.7~72.3%)。対照区では葉への分配率(27.1~27.7%)と幹への分配率(61.3~66.6%)は平均に近い値を示した。これまで、斎藤ら(1968)は、ヒノキ林において間伐区で幹への分配率が対照区よりも小さい傾向を報告した。

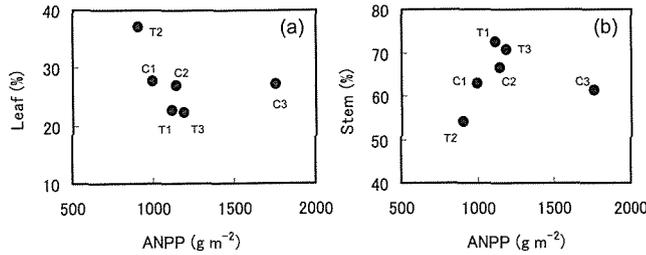


図-4. 地上部純一次生産と葉および幹分配率の関係
 Figure 4. Relationship between aboveground net primary production and allocation to leaves or stem

安藤ら(1968)は、代表的な林業地のスギ人工林を比較し、低密度で管理する地域で、枝への分配率が高く、幹への分配率が低い傾向を報告した。これらの傾向は、本研究の収量比数の小さい間伐区2と対照区3の比較では成り立つが、収量比数が中程度(0.74~0.80)の間伐区1と間伐区3では異なる傾向を示す。樹種や葉の生産量の推定方法が異なることからこれらの研究事例から一般的な傾向を示すことは難しい。しかし、本研究では、収量比数が0.75程度の調査区で幹への分配率が高く、幹への分配率を最大にする収量比数が存在する可能性がある。

葉への分配率は、地上部純一次生産速度が大きいほど減少し、地上部純一次生産速度の大きい林分では一定の値を示す傾向が大畠(1986)によって報告された。この傾向は樹種ごとに特有の値を示し、ヒノキとマツについての回帰式が示された。本研究の結果より、スギにおいても地上部純一次生産速度が大きい対照区3を除けば地上部純一次生産速度が大きいほど葉への分配が低下し($r = -0.89, p = 0.04$, 図-4a), 幹への分配が増加する傾向($r = 0.91, p = 0.03$, 図-4b)が認められた。

雄花、球果への分配率は地上部純一次生産の1.4~5.5%, 1.7~4.1%を占めた(表-4, 図-3c, d)。雄花生産への分配率は調査区間の差が大きかった。対照区3を除外すれば、収量比数が小さいほど雄花への分配率が高い傾向を示した(図-3d)。また、幹への分配率が小さいほど雄花生産への分配率がやや大きい傾向が認められた($r = -0.76, p = 0.07$, 図-2b)。収量比数の小さい間伐区2では、雄花生産への分配率が大きく、幹成長への分配率が小さかった。樹高成長から判断すると、この調査区の立地条件は悪いわけではなく、立木密度が低いために、地上部純一次生産が小さかった。以上の結果、立木密度が極端に低い林分では雄花生産が多く、幹への分配率が低いので、森林管理上好ましくないと考えられた。

4. おわりに

本研究の結果より、地上部純一次生産速度と収量比数を指標として、幹と雄花への分配率の変動を明らかにした。雄花への分配率が高いほど幹への分配率がやや小さい傾向が認められた。対照区の1林分を除外すれば、収量比数の小さい林分では、雄花生産への分配率が高く幹成長への分配率が低

かった。幹成長への分配率は収量比数が0.74~0.80の林分で高い値を示した。以上の結果より、収量比数が0.75程度になるように林分密度をある程度の水準に保つことによって、林分の幹への分配率を高く維持しながら雄花生産の増加を抑制することできると考えられた。

謝 辞

本研究では、関東森林管理局茨城森林管理署のご協力により、国有林を試験地として利用させていただいた。伐倒調査および間伐作業では、関東森林管理局森林技術センターならびに森林総合研究所企画部実験林室の方々にご協力いただいた。また、本研究を行うにあたり、森林総合研究所立地環境研究領域の方々には野外調査や試料調製など、様々な面でご協力いただいた。本研究は農林水産技術会議の環境研究および森林総合研究所交付金プロジェクト「森林・農地・水域を通ずる自然循環機能の高度な利用技術の開発」(課題番号200003)により行われた。

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. 林業試験場研究報告210: 1-153.
 安藤 貴・蜂屋欣二・土井恭次・片岡寛純・加藤善忠・坂口勝美(1968) スギ林の保育形式に関する研究. 林業試験場研究報告209: 1-76.
 荒木眞岳・重永英年・奥田史郎(2010) スギ人工林における強度間伐が残存木の成長に与える影響. 九州森林研究63: 60-63.
 Binkley, D., Stape, J.L. and Ryan, M.G. (2004) Thinking about efficiency of resource use in forests. *Forest Ecology and Management* 193:5-16.
 Cannell, M.G.R. (1982) *World Forest Biomass and Primary Production Data*. 391 pp. Academic Press, London.
 千葉幸弘(2009) 間伐に伴う林冠再閉鎖までの所要年数. 関東森林研究60: 149-150.
 土じょう部(1976) 林野土壌の分類1975. 林業試験場研究報告280: 1-28.
 Fujiwara, T., Yamashita, K. and Kuroda, K. (2007) Basic densities as a parameter for estimating the amount of carbon removal by forests and their variation. *Bulletin of Forestry and Forest Products Research Institute* 6:215-226.
 深田英久・渡辺直史・宮田弘明・山崎敏彦(2009) 強度間伐が残存木の成長および材質等に与える影響. 高知県森林技術センター研究報告34: 56-83.
 福島茂樹・小平哲夫・横山敏孝(1996) 森林施業によるスギ花粉生産抑制効果(1)間伐, 枝打ち後3年間の雄花生産量の変化. 日本林学会論文集107: 475-478.
 Inagaki, Y., Kuramoto, S., Torii, A., Shinomiya, Y. and Fukata, H. (2008) Effects of thinning on leaf-fall and leaf-litter nitrogen concentration in hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa* Endlicher) plantation stands in Japan. *Forest Ecology and Management* 255:1859-1867.
 金子信博・片桐成夫・山下 博・北岡直樹・富永明良(1997) 鳥根大学三瓶演習林におけるスギ人工林のリターフォール量の長期年変動. 高根大学生物資源科学部研究報告2: 7-13.
 清野嘉之(2002) スギ花粉症と森林管理. *山林*1420: 54-61.
 清野嘉之・奥田史郎・竹内郁雄・石田 清・野田 巖・近藤洋史(2003) 強い間伐はスギ人工林の雄花生産を増加させる. *日本林学会誌*85: 237-240.
 真下育久(1960) 森林土壌の理化学的性質とスギ, ヒノキの成長に関する研究. 林野土壌調査報告11: 1-182.
 三浦 覚(2000) 表層土壌における雨滴浸食保護の観点からみた林床被覆の定義とこれに基づく林床被覆率の実態評価. *日本林学会誌*82: 132-140.
 宮本和樹・奥田史郎・稲垣善之・小谷英司・野口麻穂子・伊藤武治(2009) 間伐から5年を経過したヒノキ人工林の成長と葉面積指数の比較. *森林立地*51: 21-26.

- 中西麻美・稲垣善之・深田英久・柴田昌三・大澤直哉 (2008) ヒノキの雄花生産量に土壤条件と強度間伐が及ぼす影響. 森林立地50:167-173.
- Nishizono, T., Tanaka, K., Hosoda, K., Awaya, Y. and Oishi, Y. (2008) Effects of thinning and site productivity on culmination of stand growth: results from long-term monitoring experiments in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) forests in north-eastern Japan. *Journal of Forest Research* 13:264-274.
- 野口享太郎・平井敬三・高橋正道・相澤州平・伊藤優子・重永英年・長倉淳子・稲垣善之・金子真司・釣田達也・吉永秀一郎 (2009) 北関東のスギ人工林における地上部炭素・窒素動態に対する間伐の影響. 森林総合研究所研究報告 8:205-214.
- 恩田裕一 (2008) 人工林荒廃と水・土砂保全の実態. 245pp, 岩波書店, 東京.
- 大場孝裕 (2000) スギ人工林における雄花生産量と林分密度との関係. 中部森林研究48:39-40.
- 大島誠一 (1986) 森林の純生産量と同化部分への生産物配分. 京都大学演習林報告57:46-59.
- 大島誠一・上中幸治・羽谷啓造・那須孝治・上中光子 (1986) ヒノキ林の物質生産と同化部分への生産物配分. 京都大学演習林報告57:26-36.
- 林野庁計画課 (1970) 立木幹材積表. 東日本編. 333pp, 日本林業調査会, 東京.
- 林野庁 (1999) 人工林林分密度管理図. 日本林業技術協会 東京.
- 斉藤秀樹・玉井重信・萩野和彦・四出井綱英 (1968) 小径木間伐に関する研究Ⅲ 第1回間伐2年後の林況の変化について. 京都大学演習林報告40:81-92.
- 斉藤秀樹・竹岡政治 (1987) 裏日本系スギ林の生殖器官生産量および花粉と種子生産の関係. 日本生態学会誌37:183-195.
- 竹内郁雄・只木良也・蜂屋欣二・河原輝彦・佐藤 明 (1975) ヒノキ30年生林分の間伐試験—列状間伐を中心として—林業試験場研究報告 272:141-155.
- 内館光邦・斉藤秀樹 (1993) ヒノキ植栽木の花粉生産に対する立木密度及び地位の影響. 日本林学会関西支部論文集 2:153-156.