

## 間伐と水収支 — 関東地方のスギ・ヒノキ人工林における調査事例から —

久保田多余子・坪山良夫(森林総研)

要旨: スギ・ヒノキ人工林を対象として行われた樹冠遮断観測結果について関東地方を中心に整理し、林分密度と樹冠通過雨、樹幹流および樹冠遮断量との関係を調べた。その結果、林分密度が大きくなると樹冠通過雨量が小さく、樹幹流量が大きくなるという関係が得られた。また、樹冠遮断量は林分密度がある程度の大きさまでは増加し、それ以上では一定値に近づいた。このことから、林分密度がある程度より大きい範囲にある林分でこの林分密度を下回らない強度の間伐を入れた場合、間伐を実施しても樹冠遮断量はほとんど変化しないと考えられた。

キーワード: 間伐, 林分密度, 樹冠遮断量

### I はじめに

近年、間伐などの森林整備を行うことで、森林の水源涵養機能をより高度に発揮することができると期待されるようになった。一方、間伐によって変化すると考えられる樹冠遮断量は、遮断プロットを用いた観測を行うことによって調査されている。しかしながら、個々の樹冠遮断量の研究はあるが、間伐にともなって水収支がどのように変化するのかについて未だに明確になっていない。そこで、本研究では、関東地方を中心にスギ・ヒノキ人工林を対象とした過去の樹冠遮断観測事例を整理し、林分構造と遮断蒸発量との関係を解析した。これをもとに間伐による樹冠遮断量と水収支の変化について予測した。

### II 方法

1降雨ごとの降雨量と樹冠通過雨量および樹幹流量との関係は以下のような関係式で表されることが知られている。

$$T = a_t P + b_t \quad (1)$$

$$S = a_s P + b_s \quad (2)$$

ここで、 $T$ は樹冠通過雨量(mm)、 $P$ は降雨量(mm)、 $S$ は樹幹流量(mm)を示している。 $a_t$ 、 $b_t$ は回帰直線の係数と切片で、 $t$ と $s$ はそれぞれ樹冠通過雨と樹幹流を示す。

水収支式から、樹冠遮断量は次式で表される。

$$I = P - (T + S) \quad (3)$$

ただし、 $I$ は樹冠遮断量(mm)である。(1)~(3)式により、樹冠遮断量は降雨と次のような関係がある。

$$I = a_i P + b_i \quad (4)$$

ただし、 $a$ 、 $b$ は回帰直線の係数と切片で、 $i$ は樹冠遮断量を示す。

関東地方のスギおよびヒノキ林において実施された樹冠遮断量の観測結果(1, 2, 3, 4, 5, 6, 8)から、上述の(1)、(2)および(4)式で示した関係式を収集整理した。 $a_t$ と $a_s$ は文献に記載されている数字をそのまま使用した。 $a_i$ はこれに関する記載がない場合は、次式で示される

$$a_i = 1 - (a_t + a_s) \quad (5)$$

によって計算した。なお、筑波共同試験地の1990年の回帰直線は降雨と樹冠通過雨や樹幹流のデータを入手し、筆者が計算した。そして、このようにして得た各回帰直線の傾きと林分構造との関係を調べた。

### III 結果と考察

関東地方のスギとヒノキの人工林において行われた樹冠遮断量の測定結果から、(1)、(2)および(4)式に示した回帰直線の傾きを整理し、表-1にまとめた。(1)式および(2)式から $T$ および $S$ を0としたときに得られる $-b_t/a_t$ および $-b_s/a_s$ はそれぞれ樹冠通過雨および樹幹流を発生させる最小の降雨量である。傾き $a_t$ および $a_s$ はこの最小値を超過した降雨量が樹冠通過雨および樹幹流として地表に達する割合を示す。そのため、1降雨当たりの降雨量が十分

に大きい場合、これらの値は降雨量に対する樹冠通過雨および樹幹流の割合と近似的に等しくなる。したがって、 $a_i$ も近似的に降雨量に対する樹冠遮断量の割合と見ることができる。

林分の構造上の特徴として、林分密度、樹齢、樹高、胸高直径、胸高断面積および LAI が考えられる。この中で間伐によって主として変化するものは、林分密度、LAI と胸高断面積である。さらに、LAI と胸高断面積は間伐による林分密度の変化によって付随的に変化するものである。そこで、本研究では林分密度を間伐によって変化するものとも基本的な要素と考え、林分密度と各回帰直線の傾きを調べた。その結果を図-1a~図-1c に示した。なお、関東地方の測定結果のみでは林分密度が高い林分での観

測例が少ないため、田中ら(2005)のまとめた樹冠遮断量測定結果におけるスギとヒノキのデータも解析に使用した。

図-1a に示したように、林分密度が 2000 本  $ha^{-1}$  以上では傾向が異なるものの、2000 本  $ha^{-1}$  までは、林分密度が大きくなると  $a_i$  は減少する傾向があった。また、図-1b に示したように樹冠通過雨と同様に林分密度が 2000 本  $ha^{-1}$  以上では傾向が異なっていたが、2000 本  $ha^{-1}$  までは、林分密度が大きくなると  $a_s$  は増加する傾向があった。一般に、間伐により樹冠が疎開されると樹冠通過雨量が増加し、樹幹流量は減少すると考えられ、このような関係があるのは妥当である。

表-1. 関東地方における樹冠遮断観測結果。 $a_t$ ,  $a_s$ ,  $a_i$  はそれぞれ降雨と樹冠通過雨、樹幹流および樹冠遮断量と降雨との関係の回帰直線の傾きを示す。斜体は文献からの推定値。

試験地	樹種	測定年	樹齢	林分 密度	平均 樹高	平均 DBH	回帰直線の傾き			文献
							$a_t$	$a_s$	$a_i$	
天岳良	ヒノキ	1980	29	1750	—	—	0.690	0.147	0.163	
		1981	30	1750	13.5	18.2	0.683	0.145	0.172	服部ら(1988)
		1983	32	1330	—	—	0.771	0.102	0.127	
		1984	33	1330	—	—	0.761	0.138	0.101	
		1985	34	1050	13.5	18.2	0.823	0.105	0.072	坪山ら(1989)
		1986	35	1050	—	—	0.837	0.058	0.105	
筑波	スギ	1990	37	1346	18.6	—	0.739	0.063	0.198	
		1990	16	3489	—	—	0.730	0.059	0.211	
		2003	50	1115	22.5	—	0.877	0.057	0.066	延廣ら(2004)
森林総研	ヒノキ	1989	—	2800	8.5	—	0.883	0.089	0.028	細田ら(1990)
常陸太田	スギ・ ヒノキ	1991-1993	80	783	18	32	0.891	0.081	0.028	Murakami <i>et al.</i> (2000)
矢坂	スギ	1974-1976	45	1700	-	17.9	0.666	0.188	0.147	河野ら(1979)
袋山沢	スギ	1995-1998	70	513	27	39	0.877	0.064	0.059	田中ら(2005)
	ヒノキ	1995-1997	70	923	19	34	0.825	0.114	0.061	

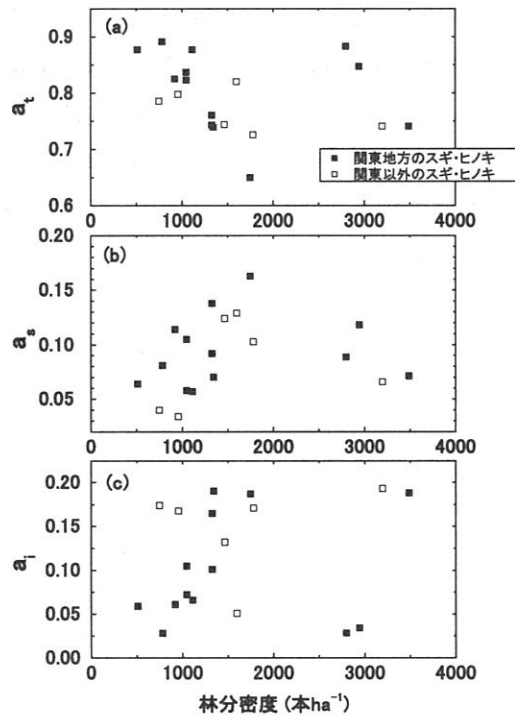


図-1. 林分密度と(a) 樹冠通過雨量, (b) 樹幹流量および(c) 樹冠遮断量との関係。 $a_t$ ,  $a_s$  と  $a_i$  はそれぞれ 1 降雨ごとの樹冠通過雨, 樹幹流および樹冠遮断量と降雨との間の関係式における回帰直線の傾きを示す。

林分密度と樹冠遮断量との関係を調べるにあたり, 次の文献を参照した。Teklehaimanot *et al.* (1991) は 2 m 間隔に植栽されていた Sitka spruce の人工林を間伐し, 2, 4, 6 および 8 m の林分を作った(7)。そして, 各試験地内で樹冠通過雨を測定し比較した。図-2 に示したように, 樹冠遮断量と本数密度の関係調べたところ, 約 1500 本 ha<sup>-1</sup> までは本数密度が増加すると樹冠遮断量が増加した。そして, 本数密度が 1500 本 ha<sup>-1</sup> 以上になると樹冠遮断量の増加がゆるやかになるという結果が得られた。関東地方におけるスギ・ヒノキの林分密度と樹冠遮断量との関係を図-1c に示した。1500 本 ha<sup>-1</sup> 以上では樹冠遮断量が非常に小さい林分が見られた。しかし, 林分密度が高くなるにもかかわらず, 樹冠遮断量が小さくなるとは考えにくい。このため, これは林分密度が高くなると樹冠の重なりが多くなり, 降雨が集中しやすい場所ができ, 観測地点による樹冠遮断量の測定結果にばらつきが多くなるためと考えられる。

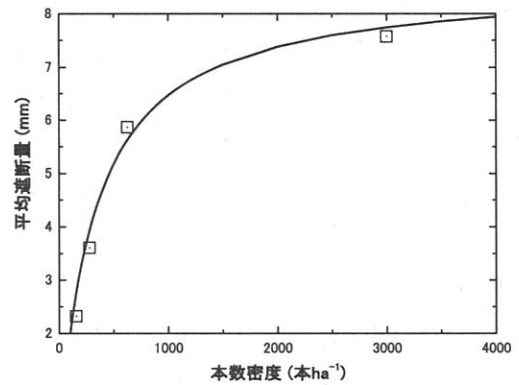


図-2. 本数密度と平均遮断量の関係  
Teklehaimanot *et al.* (1991) より

Teklehaimanot *et al.* (1991) の結果を参照し、関東地方のスギ・ヒノキ林においても、 $a_1$  は林分密度が 1500 本  $ha^{-1}$  までは林分密度が増加すると増加し、1500 本  $ha^{-1}$  以上では増加がゆるやかになり、概ね一定値に近づくと仮定した。このように仮定すると、林分密度が 1500 本  $ha^{-1}$  以下の林分においては間伐を実施すると樹冠遮断量の変化が大きいが、林分密度が 1500 本  $ha^{-1}$  以上の林分では間伐による樹冠遮断量の変化は小さいと考えられる。例えば 3000 本  $ha^{-1}$  の林分に立木本数を 35 % 減少させる間伐を入れた場合、林分密度は 1950 本  $ha^{-1}$  となるが、 $a_1$  は約 1 % 減少するだけである。

#### IV まとめ

関東地方の樹冠遮断観測結果をもとに、降雨量と樹冠通過雨量、樹幹流量および樹冠遮断量との関係から回帰直線の傾きを整理し、林分密度との関係を調べた。その結果、林分密度が増えると樹冠通過雨量は減少し、樹幹流量は増える。樹冠遮断量は林分密度がある程度までは林分密度の増加とともに増加するが、ある程度以上の林分密度では増加がゆるやかになった。したがって、林分密度の変化にともなう、樹冠遮断量の変化が小さいような林分密度の範囲内で間伐を実施しても、樹冠遮断量に大きな変化がなく、その結果、流量もほとんど変化しないのではないかと考えられた。しかしながら、このような樹冠遮断量の変化が流量の変化にどのような影響を与えるのか未だに明らかでない。そのため、今後、間伐により林分水収支がどのように変化するのか明らかにしていく必要がある。

#### 引用文献

- (1) 河野良治・菊谷昭雄・志水俊夫・近嵐弘栄・竹内信治・平和敬・服部重昭 (1979) 南部温帯林の水保全機能の解明. 農林水産技術会議事務局「農林漁業における環境保全的技術に関する総合研究」試験成績書 207~218.
- (2) 服部重昭・近嵐弘栄 (1988) ヒノキ林における間伐が樹冠遮断に及ぼす影響. 日本林学会誌 70(12): 529~533.
- (3) MURAKAMI, S., TSUBOYAMA, Y., SHIMIZU, T., FUJIEDA, M., and NOGUCHI, S. (2000) Variation of evapotranspiration with stand age and climate in a small Japanese forested catchment. *J. Hydrol.* 277: 114-127.
- (4) 細田育弘・坪山良夫・志水俊夫・平和敬 (1990) 林地土層における熱・水分環境 (I) - 樹冠遮断 -. 101 回日林論 587-590.
- (5) 延廣竜彦・清水晃・壁谷直記・張建軍・細田育弘 (2004) 筑波森林水文試験地における遮断量の変化について-1990 年と 2003 年の比較-. 55 回日林関東支論 261~262.
- (6) 田中延亮・蔵治光一郎・白木克繁・鈴木祐紀・鈴木雅一・太田猛彦・鈴木誠 (2005) 袋山沢試験流域のスギ・ヒノキ壮齢林における樹冠通過雨量、樹幹流量、樹冠遮断量. 東京大学農学部演習林報告 113:197~240.
- (7) TECLEHAIMANOT, Z., JARVIS, P. G. and LEDGER, D. C. (1991) Rainfall interception and boundary layer conductance in relation to tree spacing. *J. Hydrol.* 123: 261-278.
- (8) 坪山良夫・志水俊夫・近嵐弘栄・竹内信治・服部重昭・平和敬 (1989) 間伐にともなう林地の熱・水分収支の変動. 農林水産技術事務局グリーンエネルギー計画成果シリーズⅢ系(生産環境)5: 29~49.