

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, 樹幹流下量, 樹冠遮断量

田中延亮*¹・蔵治光一郎*²・白木克繁*³・鈴木祐紀*⁴・
鈴木雅一*⁵・太田猛彦*⁶・鈴木誠*⁴

Throughfall, stemflow and rainfall interception at mature *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* stands in Fukuroyamasawa watershed

Nobuaki TANAKA*¹, Koichiro KURAJI*², Katsushige SHIRAKI*³,
Masanori SUZUKI*⁴, Masakazu SUZUKI*⁵, Takehiko OHTA*⁴
and Makoto SUZUKI*⁴

I. は じ め に

降水は, 森林の樹冠において樹冠通過雨量と樹幹流下量に配分される。降水量から樹冠通過雨量と樹幹流下量を差し引いたものは樹冠遮断量と呼ばれ, 林床に到達する降雨の総量と降雨波形が林外降雨のものと異なるという点から, 少なくとも 100 年程前からの森林科学者の関心事の一つである。最近では, 降水が樹冠を濡らし, 濡れた樹冠から水蒸気として蒸発する過程を再現するモデルが提示され (RUTTER et al., 1971, RUTTER et al., 1975, GASH, 1979), 世界中の森林で観測された樹冠遮断量との対比やモデルパラメータの同定も進んでいる。計算結果と対比させる観測データやパラメータ (例えば, 樹冠への付着水分量や降雨中の平均的な蒸発強度) の同定には, 対象とした森林での一雨毎に発生した樹冠通過雨量, 樹幹流下量を長期に観測し, それらと一雨降水量との関係を調べる方法が主流である (例えば, KLAASSEN et al., 1996)。我が国のいくつかの森林におけるパラメータも既に得られ (例えば, 鈴木ら, 1979, 田瀬・間島, 1983, 服部ら, 1982, 鳥羽・太田, 2002, HASHINO et al., 2002), 整理が進んだ部分はあるが (服部・阿部, 1989, 村井, 1993), 今後の我が国で面積が増加すると予測されるスギ・ヒノキの壮齢林についての解析やこれまで得られた結果の整理や解釈が不十分である。この問題解決を念頭に置き, 本報では, スギ・ヒノキ壮齢林での樹冠通過雨量, 樹幹流下量と一雨降水量の関係を明らかにすることを目的とした。その際, 従来の樹冠遮断量の研究では主たる解析対象とはならなかつ

*¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科農学国際専攻

Department of Global Agricultural Sciences, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo.

*² 東京大学大学院農学生命科学研究科附属科学の森教育研究センター愛知演習林

University Forest in Aichi, University Forests, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo.

*³ 東京農工大学農学部地域生態システム学科

Department of Ecoregion Sciences, Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology.

*⁴ 東京大学大学院農学生命科学研究科附属科学の森教育研究センター千葉演習林

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

*⁵ 東京大学大学院農学生命科学研究科森林科学専攻

Department of Forest Science, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo.

*⁶ 東京農業大学地域環境科学部森林総合科学科

Department of Forest Sciences, Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture.

た林分内の下層木樹冠における降水の再配分過程にも着目した。つまり、上層木からの樹冠通過雨量が下層木の樹冠において、下層木の樹幹流下量や樹冠遮断量に配分される過程である。村井（1970）は、下層木の発達したアカマツ天然林において、下層木から生成される樹幹流下量は上層木であるアカマツの樹幹流下量の約8倍であるとし、下層木による樹冠遮断量は林分全体の樹冠遮断量の大きな部分を占めていたと報告している。また、藤井（1959）はヒノキ林の下層木の樹冠遮断量は降雨の4%を占めていたという観測結果を報告し、鈴木ら（1979）はヒノキを主体とした林分において下層木の樹幹流下量が林分全体の半分を占めていたと報告している。これらの結果は、降雨中の樹冠部における水循環過程において下層木が重要な要素となっている可能性を示すものであり、本報において検証する必要があると考えた。また、本報では、スギ・ヒノキ壮齡林の樹冠通過雨量と樹幹流下量を明らかにした上で、我が国のスギ・ヒノキ林をはじめとする主要な針葉樹の林分で観測された樹冠通過雨量、樹幹流下量に関する結果を取りまとめ、森林の構造上の特徴（例えば、立木密度、樹高、胸高断面積合計）に注目して、これまでの観測結果を整理することを試みたので、その結果について報告する。

Ⅱ. 観 測 概 要

2.1. 観測地

観測をおこなった袋山沢試験流域（北緯35°12′，東経140°07′，流域面積2.03 ha，標高124～227 m.a.s.l.）は、房総半島の南部に位置する東京大学大学院農学生命科学研究科附属科学の森研究センター（研究実施時の名称：東京大学農学部附属千葉演習林）の北部に立地する。当流域が開設された1991年当時は、1929年に植栽されたスギ・ヒノキの人工林で覆われていたが、対照流域法実験の実施に伴い、1999年2月から同年4月にかけて流域の半分が皆伐処理された。ただし、本研究を実施した1995年から1998年の間は、当流域はスギ・ヒノキ壮齡人工林で覆われていた。1991年に行われた流域内毎木調査（表-1）によれば、植栽木の立木密度は873本/ha、植栽木の胸高断面積合計が51.4 m²/ha、スギ、ヒノキの平均胸高直径がそれぞれ29.3 cm、21.5 cm、

表-1 袋山沢試験流域およびヒノキ・スギ各試験区域の上層木（ヒノキとスギ，UT）と下層木（LT）の立木密度、平均胸高直径、平均樹高、胸高断面積合計

Table 1. Tree density, mean DBH, mean height and basal area of planted trees composing upper layer of the forest (UT) and understory trees (LT) in Fukuroyamasawa watershed and interception study plots, respectively.

Area	Stand Density		Mean DBH		Mean Height		Basal Area	
	UT (trees/ha)	LT (trees/ha)	UT (cm)	LT (cm)	UT (m)	LT (m)	UT (m ² /ha)	LT (m ² /ha)
Fukuroyamasawa Watershed ^{*1}								
<i>Cryptomeria japonica</i>	873 ^{*2}	—	29.3	—	25.1	—	51.4 ^{*3}	—
<i>Chamaecyparis obtusa</i>			21.5	—	19.1	—		
Study plots in this study								
<i>Cryptomeria japonica</i> plot	513	667	38.5	5.9	26.5	6.5	63.3	2.3
<i>Chamaecyparis obtusa</i> plot	923	2615	34.2	2.6	19.3	3.7	89.3	1.7

^{*1} The enumeration was conducted in 1991.

^{*2} There were 1,009 *Cryptomeria japonica* trees and 764 *Chamaecyparis obtusa* trees in area of 2.03 ha.

^{*3} Total basal area of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* were 75.28 and 29.14 m², respectively, over 2.03 ha.

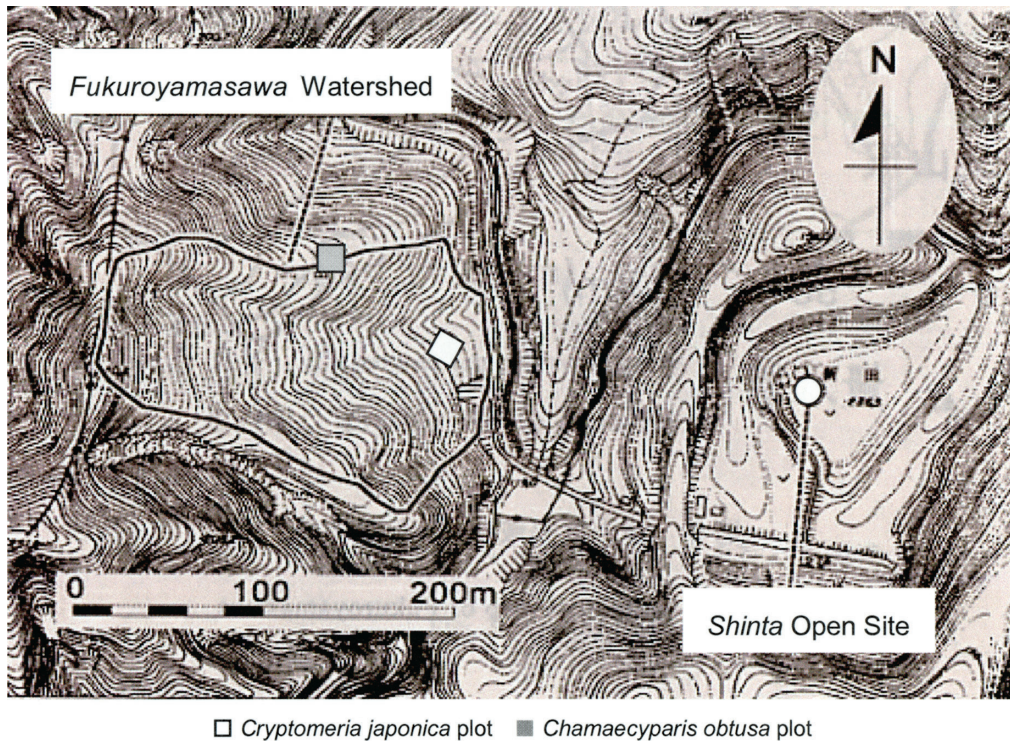


図-1 新田雨量観測点，袋山沢試験流域，ヒノキおよびスギ試験区の位置図

Fig. 1. Locations of Shinta open site, Fukuroyamasawa watershed and study plots for throughfall and stemflow measurements.

スギ・ヒノキの平均樹高が 25.1 m, 19.3 m である。これらの植栽木は当流域の森林の樹冠上層を形成し，その下層には，アオキ，ユズリハ，ヤブムラサキ，ヤブニッケイ，ヤブツバキ，サカキ，ヒサカキ，クロモジ，カシ類などの樹高が約 4 ～ 15 m の常緑・落葉広葉樹（以下では，下層木と称する）が存在する。

当流域の東端より約 150 m 離れた露場（新田観測点，図-1）における気象概況を図-2（a）に示した。新田における，1995 年から 2000 年の 6 年間の平均年降水量は 2,188 mm，また，1998 年から 2003 年の 6 年間の年平均気温は約 14℃ である。降水の季節変動は大きい。8 月を除く 3 月～9 月までの平均月降水量は 200 mm を超えるが，冬季（1 月，2 月，12 月）の平均月降水量は比較的少なく 100 mm を下回っている。また，8 月の平均月降水量も 100 mm 以下の寡雨月となっている。降雨の日周変動は小さく，特に降水が集中する時間帯はない（蔵治，2002）。袋山沢を含む清澄山系の降水量分布については，蔵治ら（1998）に詳しいのでここでは省略する。また，当流域では降雪は非常に稀であるが，1 年に数回程度観測されることがある。

2.2. 試験区

図-1 に示したように，当流域の東端にある谷部分のスギ林分にスギ試験区（*Cryptomeria japonica* plot），北端の尾根のやや平坦な場所のヒノキ林分にヒノキ試験区（*Chamaecyparis*

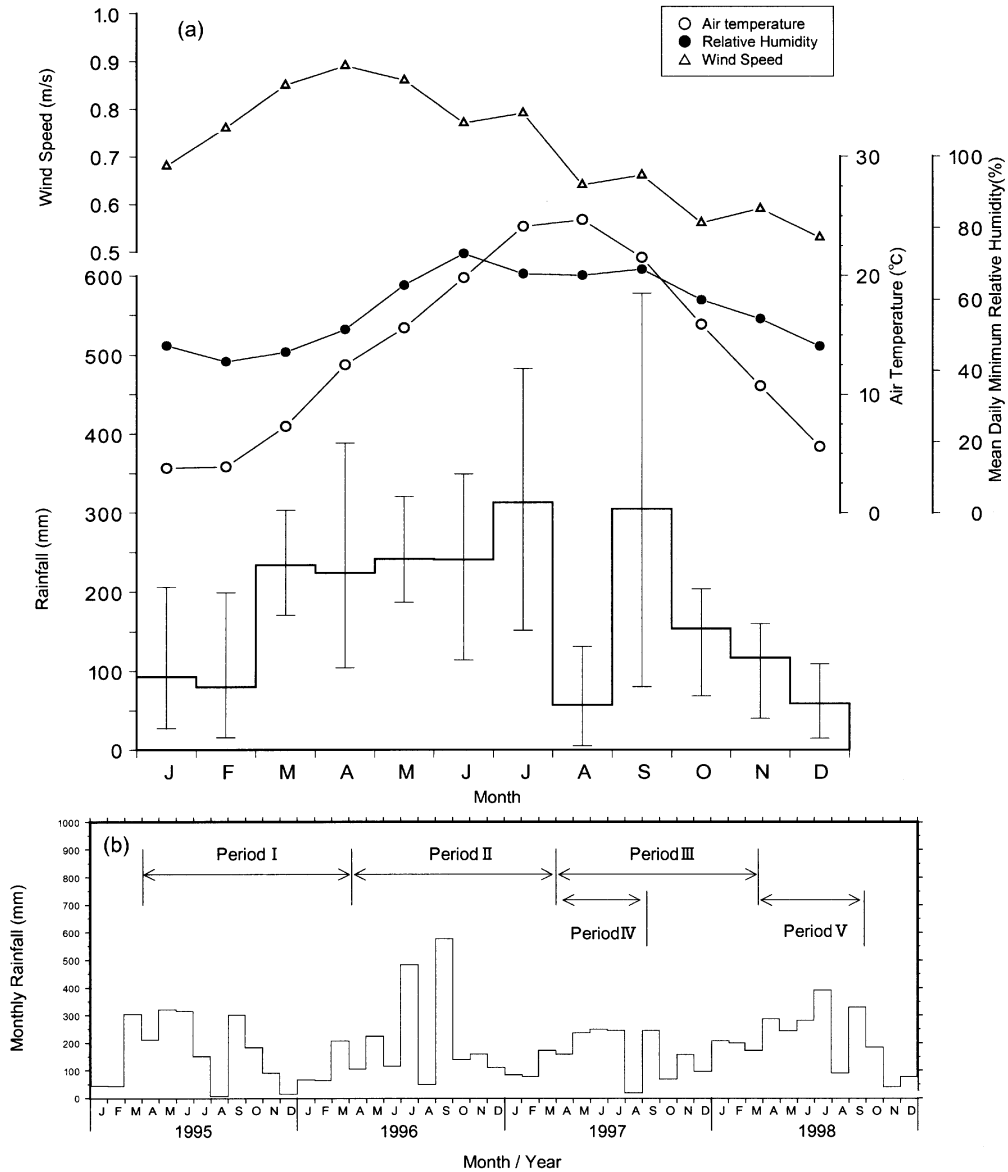


図-2 新田観測点における気象概況

(a) 1995年から2000年における月降水量の5年間平均値，最大月降水量，最小月降水量と1997年1月から2001年12月の間の月平均気温，月平均日最小相対湿度，月平均風速の平均値。(b) 観測期間中の月雨量と本報で報告対象とした期間と期間番号

Fig. 2. Seasonal change in meteorological variables at the Shinta open site.

(a) 6-years average of monthly rainfall (solid line) for the year from 1995 to 2000, and the maximum and minimum monthly rainfall are shown by error bars, respectively. Mean monthly air temperature, relative humidity and wind speed for the period from July 1997 to January 2001.

(b) Monthly rainfall during the period when we conducted the interception study.

表-2 ヒノキ・スギ各試験区域における樹冠の開空度, 下層木の被覆度, 樹冠通過雨コレクターの配置状況
 Table 2. Gap fractions, canopy cover fractions by understory trees in *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* plots. Number of throughfall collectors covered by only upper story trees (U), understory evergreen trees (LE), and understory deciduous trees (LD) are listed.

Plot	Gap Fraction*	Canopy Cover Fraction by Understory Trees*	Number of Collectors (total number, 20 collectors in each plot)		
			U	LE	LD
<i>Cryptomeria japonica</i>	0.03	0.57	6	5	9
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	0.07	0.44	9	11	0

* These fractions were obtained from canopy projection map shown in Fig. 3.

表-3 スギ試験区 ((a) 上層木, (b) 下層木) およびヒノキ試験区 ((c) 上層木, (d) 下層木) の樹木一覧
 Table 3. DBH, Tree height, height at crown base, canopy projection area and stemflow coefficients of a) upper planted trees in *Cryptomeria japonica* plot, b) understory trees in *Cryptomeria japonica* plot, c) upper planted trees in *Chamaecyparis obtusa* plot and d) understory trees in *Chamaecyparis obtusa* plot in Fukuroyamasawa watershed.

a)

Tree NO.	Species	和名	DBH (cm)	Tree Height (m)	Height at Crown Base (m)	Canopy Projection Area (m ²)	Stemflow Coefficient	
							a_{ss}^* (ml/mm)	a_{sw}^* (ml/mm)
1	<i>Cryptomeria japonica</i>	スギ	33.4	25.5	20.9	13.0	—	—
2	<i>Cryptomeria japonica</i>	スギ	37.6	28.7	10.6	14.2	—	—
3	<i>Cryptomeria japonica</i>	スギ	32.1	27.7	10.6	11.1	—	—
4	<i>Cryptomeria japonica</i>	スギ	18.1	23.4	10.6	3.6	—	—
5	<i>Cryptomeria japonica</i>	スギ	41.7	28.1	12.0	28.9	—	—
6	<i>Cryptomeria japonica</i>	スギ	45.8	28.3	11.1	29.2	—	—
7	<i>Cryptomeria japonica</i>	スギ	37.2	23.4	9.3	31.2	—	—
8	<i>Cryptomeria japonica</i>	スギ	41.1	27.4	10.9	24.4	—	—
9	<i>Cryptomeria japonica</i>	スギ	55.4	30.9	13.8	36.3	—	—
10	<i>Cryptomeria japonica</i>	スギ	43.0	21.6	4.7	20.0	—	—

b)

Tree NO.	Species	和名	DBH (cm)	Tree Height (m)	Height at Crown Base (m)	Canopy Projection Area (m ²)	Stemflow Coefficient* ¹	
							a_s^* (ml/mm)	b_s^* (ml/mm)
11	<i>Camellia japonica</i>	ヤブツバキ	3.8	3	2	5.8	28	4.6
12	<i>Cinnamomum japonicum</i>	ヤブニツケイ	3.2	4	2	3.0	54	2.2
13	<i>Daphniphyllum macropodum</i>	ユズリハ	4.5	5	2	8.2	83	1.9
14	<i>Daphniphyllum macropodum</i>	ユズリハ	11.5	12	3	26.7	227	1.9
15	<i>Lindera umbellata</i>	クロモジ	5.4	5	4	6.5	51	3.2
16	<i>Lindera umbellata</i>	クロモジ	10.8	10	6	54.2	450	7.7
17	<i>Lindera umbellata</i>	クロモジ	9.9	10	6	24.2	246	6.1
18	<i>Lindera umbellata</i>	クロモジ	7.0	6	4	16.5	336	9.5
19	<i>Quercus acuta</i>	アカガシ	3.5	8	6	2.8	73	4.8
20	<i>Quercus acuta</i>	アカガシ	6.0	8	7	4.3	35	2.5
21	<i>Quercus acuta</i>	アカガシ	3.5	6	3	4.1	(73)	(4.8)* ⁵
22	<i>Quercus myrsinifolia</i>	シラカシ	6.0	5	3	3.7	43	5.1
23	<i>Quercus salicina</i>	ウラジロガシ	2.2	2	1	2.9	(36)	(3.2)
24	<i>Lindera umbellata</i> * ⁴	クロモジ	12.4	11	4	51.1	489	11.2
25	<i>Lindera umbellata</i> * ⁴	クロモジ	6.0	6	4	12.0	218	8.4
26	<i>Lindera umbellata</i> * ⁴	クロモジ	8.6	8	5	24.5	253	7.2
27	<i>Lindera umbellata</i> * ⁴	クロモジ	8.6	8	6	15.1	267	4.5

c)

Tree NO.	Species	和名	DBH (cm)	Tree Height (m)	Height at Crown Base (m)	Canopy Projection Area (m ²)	Stemflow Coefficient*2	
							a_{ss}^* (ml/mm)	a_{sw}^* (ml/mm)
1	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	29.7	21.4	16.3	9.5	(1321)	(696)
2	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	27.7	20.4	15.3	4.7	(1152)	(606)
3	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	46.0	22.2	16.7	19.4	(3172)	(1671)
4	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	32.3	19.3	15.9	7.9	(1564)	(824)
5	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	43.2	19.5	17.3	11.5	(2797)	(1473)
6	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	33.0	20.2	18.1	16.8	(1633)	(860)
7	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	31.5	18.0	15.5	6.8	(1491)	(785)
8	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	30.4	20.7	15.7	7.6	(1388)	(731)
9	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	31.7	19.7	16.8	8.7	(1503)	(792)
10	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	24.8	17.9	18.3	5.0	(926)	(487)
11	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	33.3	17.5	17.0	11.7	(1661)	(875)
12	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	44.6	18.9	16.1	16.2	(2982)	(1570)
13	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	30.5	19.1	15.7	5.4	(1396)	(735)
14	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	22.9	15.9	16.5	4.3	(789)	(415)
15	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	33.4	19.7	14.9	16.5	(1677)	(883)
16	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	26.2	17.6	15.9	8.6	(1028)	(541)
17	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	51.0	18.3	16.2	25.3	(3895)	(2051)
18	<i>Cryptomeria japonica</i>	スギ	43.9	20.5	14.4	18.9	(3129)	(1816)

d)

Tree NO.	Species	和名	DBH (cm)	Tree Height (m)	Height at Crown Base (m)	Canopy Projection Area (m ²)	Stemflow Coefficient*1	
							a_s^* (ml/mm)	b_s^*/a_s^* (ml/mm)
19	<i>Aucuba japonica</i>	アオキ	2.9	4.0	1.2	3.4	219	9.0
20	<i>Aucuba japonica</i>	アオキ	3.5	5.1	1.9	7.3	103	14.1
21	<i>Callicarpa mollis</i>	ヤブムラサキ	1.6	4.1	0.7	2.4	10	7.2
22	<i>Callicarpa mollis</i>	ヤブムラサキ	1.8	3.3	2.3	1.5	9	4.1
23	<i>Callicarpa mollis</i>	ヤブムラサキ	2.2	4.3	2.0	2.5	48	6.4
24	<i>Callicarpa mollis</i>	ヤブムラサキ	3.6	4.6	2.2	3.2	44	5.1
25	<i>Callicarpa mollis</i>	ヤブムラサキ	2.7	4.3	1.8	8.0	(23)	(5.3)
26	<i>Callicarpa mollis</i> *3	ヤブムラサキ 枯死木	1.8	3.3	3.0	4.3	(8)	(4.0)
27	<i>Camellia japonica</i>	ヤブツバキ	1.6	2.7	1.3	0.2	30	3.6
28	<i>Camellia japonica</i>	ヤブツバキ	1.6	2.1	1.2	0.2	15	6.3
29	<i>Camellia japonica</i>	ヤブツバキ	1.7	3.4	1.6	0.6	29	6.7
30	<i>Camellia japonica</i>	ヤブツバキ	2.5	4.0	1.6	1.5	(20)	(5.2)
31	<i>Camellia japonica</i>	ヤブツバキ	2.2	3.3	1.9	1.2	(15)	(5.0)
32	<i>Castanopsis sieboldii</i>	スダジイ	2.5	2.7	1.6	1.4	(20)	(5.2)
33	<i>Cephalotaxus harringtonia</i>	イヌガヤ	2.5	3.1	2.4	2.0	36	4.2
34	<i>Cephalotaxus harringtonia</i> *3	イヌガヤ 枯死木	2.5	2.9	2.3	0.8	(8)	(4.0)
35	<i>Cinnamomum japonicum</i>	ヤブニッケイ	1.5	2.7	1.9	0.8	16	1.1
36	<i>Cinnamomum japonicum</i>	ヤブニッケイ	3.1	3.5	2.0	2.9	30	8.5
37	<i>Cinnamomum japonicum</i>	ヤブニッケイ	4.9	5.8	2.0	8.9	104	5.3
38	<i>Cinnamomum japonicum</i>	ヤブニッケイ	5.1	5.6	1.9	6.8	92	4.7
39	<i>Cinnamomum japonicum</i>	ヤブニッケイ	1.8	2.5	1.6	1.5	(10)	(4.8)
40	<i>Daphniphyllum macropodum</i>	ユズリハ	2.0	2.8	1.5	1.0	36	6.4
41	<i>Daphniphyllum macropodum</i>	ユズリハ	3.5	4.6	2.4	3.0	44	8.7

d) (続き)

Tree NO.	Species	和名	DBH (cm)	Tree Height (m)	Height at Crown Base (m)	Canopy Projection Area (m ²)	Stemflow Coefficient*1	
							a_s^* (ml/mm)	b_s^*/a_s^* (ml/mm)
42	<i>Daphniphyllum macropodum</i>	ユズリハ	4.3	5.3	2.0	4.1	65	10.3
43	<i>Daphniphyllum macropodum</i>	ユズリハ	5.3	5.8	2.6	4.8	58	9.1
44	<i>Daphniphyllum macropodum</i>	ユズリハ	7.3	7.0	2.4	9.0	122	4.6
45	<i>Daphniphyllum macropodum</i>	ユズリハ	4.5	5.3	3.0	4.9	(61)	(5.9)
46	<i>Cleyera japonica</i>	サカキ	2.1	4.1	1.1	1.3	32	2.1
47	<i>Cleyera japonica</i>	サカキ	5.0	5.3	1.8	12.9	267	(6.0)*5
48	<i>Eurya japonica</i>	ヒサカキ	1.3	1.9	1.2	0.9	6	0.9
49	<i>Eurya japonica</i>	ヒサカキ	1.7	3.0	1.7	0.8	14	(4.7)*5
50	<i>Eurya japonica</i>	ヒサカキ	1.9	24	1.4	0.8	33	6.5
51	<i>Eurya japonica</i>	ヒサカキ	2.2	3.1	1.5	0.9	(51)	(5.0)
52	<i>Eurya japonica</i>	ヒサカキ	2.4	3.7	1.2	1.3	(57)	(5.1)
53	<i>Illicium anisatum</i>	シキミ	2.0	2.7	2.1	1.4	(13)	(4.9)
54	<i>Neolitsea sericea</i>	シロダモ	2.2	2.9	2.3	0.5	15	2.9
55	<i>Neolitsea sericea</i>	シロダモ	2.2	3.3	1.3	1.2	(15)	(5.0)
56	<i>Neolitsea sericea</i> *3	シロダモ枯死木	2.2	3.4	2.0	0.0	(8)	(4.0)
57	<i>Quercus glauca</i>	アラカシ	2.1	3.6	2.4	2.2	12	(4.9)*5
58	<i>Quercus glauca</i>	アラカシ	2.5	4.7	2.4	1.5	(36)	(3.2)
59	<i>Quercus glauca</i>	アラカシ	1.9	3.4	1.9	1.4	(36)	(3.2)
60	<i>Quercus glauca</i>	アラカシ	2.9	4.8	2.2	5.8	(36)	(3.2)
61	<i>Quercus myrsinifolia</i>	シラカシ	1.6	3.1	2.9	0.4	9	2.1
62	<i>Quercus myrsinifolia</i>	シラカシ	1.9	3.2	1.3	1.8	22	5.1
63	<i>Quercus myrsinifolia</i>	シラカシ	1.7	3.7	2.0	1.0	(36)	(3.2)
64	<i>Quercus salicina</i>	ウラジロガシ	1.7	2.4	1.4	1.9	17	4.1
65	<i>Staphylea bumalda</i>	ミツバウツギ	2.6	4.5	2.2	5.7	38	6.9
66	<i>Staphylea bumalda</i>	ミツバウツギ	2.4	3.5	1.9	1.2	(18)	(5.1)
67	not identified*3	樹種不明の枯死木	1.7	2.4	1.3	0.1	8	4.0
68	<i>Chamaecyparis obtusa</i> *3	ヒノキ枯死木	—	—	—	—	27	5.3
69	<i>Chamaecyparis obtusa</i> *3	ヒノキ枯死木	—	—	—	—	130	16.9
70	<i>Neolitsea sericea</i> *4	シロダモ	3.2	4.0	1.6	0.8	33	3.6

*1 Coefficients in parentheses are estimated with some assumption.

2 These stemflow coefficients of upper trees were calculated by k value determined by KURAJI et al. (1997) and measured DBH. a_{SS}^ and a_{SW}^* are the slope of regression line between stemflow and rainfall in strong and weak wind condition, respectively.

*3 Dead tree.

*4 Outside of the plot.

5 (b_s^/a_s^*) values are estimated, because calculated amounts are negative.

obtusa plot) をそれぞれ設けた。二つの試験区の大きさはともに 13 m × 15 m である。各試験区の樹冠投影図は図-3 に示すとおりであり、両試験区ともに樹冠はほぼ閉鎖している。図-3 から上層木や下層木の樹冠に覆われていない部分（樹冠の開空度）が試験区全体に対して占める面積割合を読み取ると、スギとヒノキ各試験区の開空度はそれぞれ 0.03 と 0.07 であった（表-2）。各試験区内の DBH が 1 cm 以上の全樹木および樹幹流計測の対象となった試験区外に位置する周辺の下層木（スギ試験区 4 本、ヒノキ試験区 1 本）について、その樹種名、胸高直径（DBH）、樹高、生枝下高、樹冠投影面積を表-3 に整理した。表-3 に整理した樹木のうち、各試験区内に存在する DBH が 1 cm 以上の樹木の本数は、スギ試験区では 23 本（スギ 10 本と下層木 13 本）、ヒノキ試験区では 69 本（スギ 1 本とヒノキ 17 本と下層木 51 本、ヒノキ枯死木 2 本は下層木に含む）

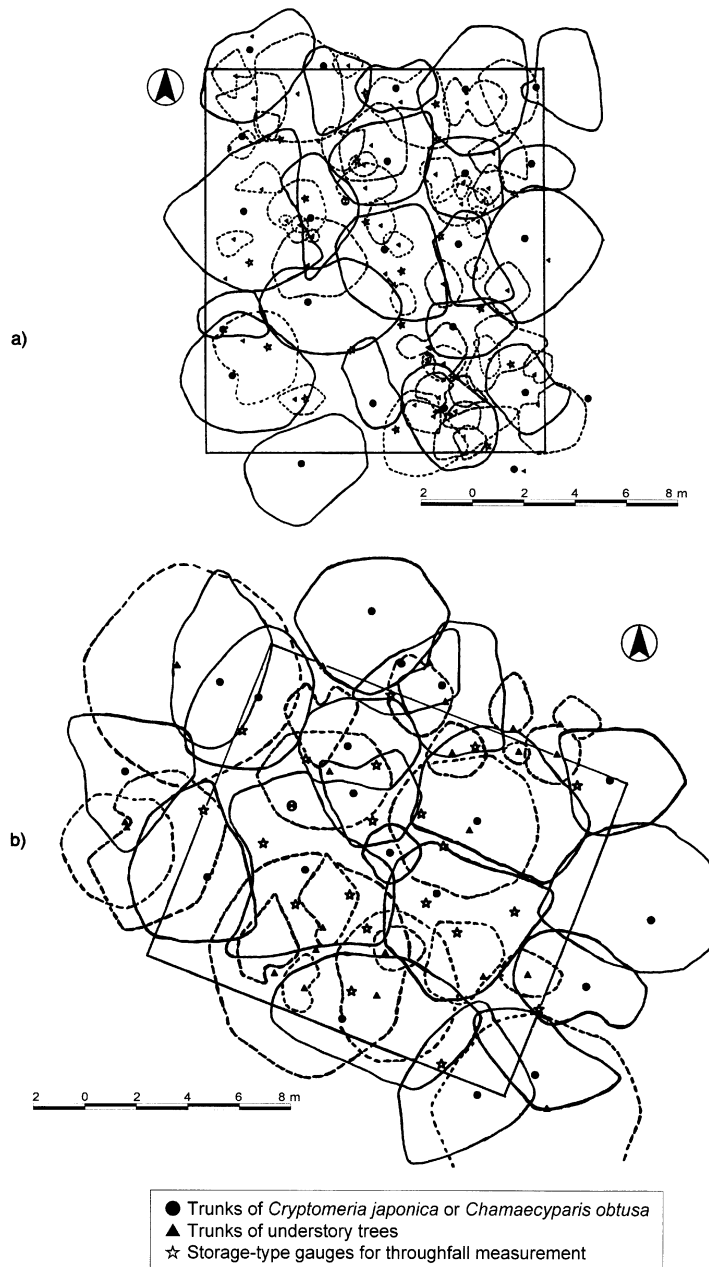


図-3 袋山沢試験流域の樹冠遮断観測プロットの樹冠投影図 a) ヒノキ試験区 b) スギ試験区
 Fig. 3. Canopy projection map of interception study plots in Fukuoyamasawa watershed.
 a) *Chamaecyparis obtusa* plot, b) *Cryptomeria japonica* plot
 Solid and dot circles show canopy projections of upper trees and understory trees, respectively.

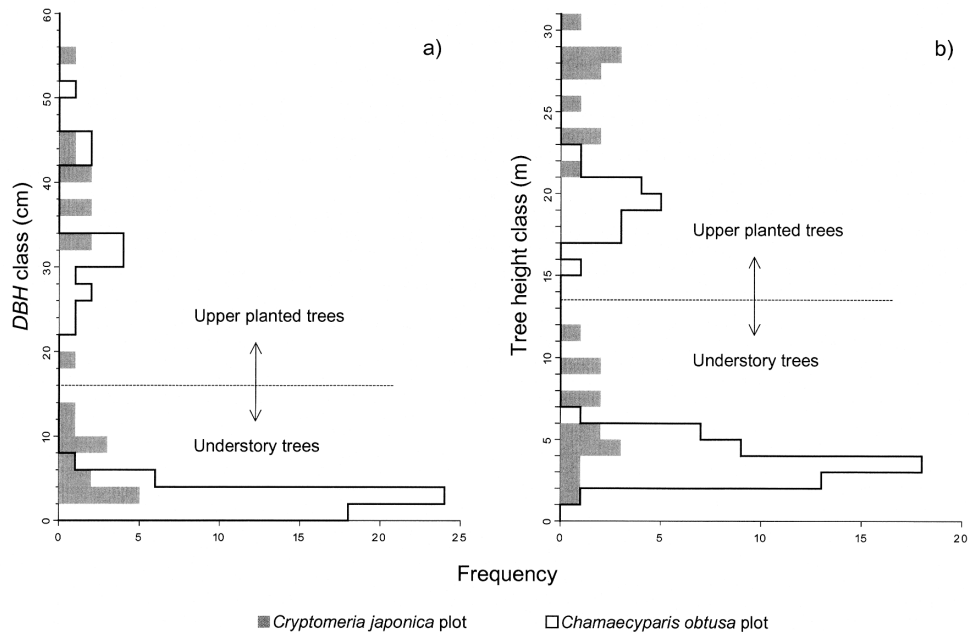


図-4 袋山沢試験流域のヒノキ試験区（67個体）およびスギ試験区内（23個体）の樹木の(a)胸高直径分布と(b)樹高分布の比較

Fig. 4. Frequency distribution of (a) DBH and (b) height of all trees with DBH > 1 cm in *Chamaecyparis obtusa* plot ($n=67$, blank bar) and *Cryptomeria japonica* plot ($n=23$, gray bar) in the Fukuroyamasawa watershed.

であり、これらの樹木のDBHと樹高の頻度分布は図-4に示されている。各試験区の上層木の樹木サイズは、平均DBHが38.5 cm・34.2 cm（スギ試験区・ヒノキ試験区）、平均樹高が26.5 m・19.3 m（スギ試験区・ヒノキ試験区）であり（表-1）、スギ試験区のほうがヒノキ試験区よりも樹木の本数は少ないがサイズが大きいことが特徴である。なお、本研究で選択した試験区域の林分の上層木の胸高断面積合計は63.3 m²/ha・89.3 m²/ha（スギ試験区・ヒノキ試験区）は、袋山沢試験流域全体の胸高断面積合計が51.4 m²/haであることを考慮すると（表-1）、当試験流域のなかでも比較的成長の良い林分であるといえる。

一方、両試験区の下層木の樹木サイズは、平均DBHが5.9 cm・2.6 cm（スギ試験区・ヒノキ試験区）、平均樹高が6.5 m・3.7 m（スギ試験区・ヒノキ試験区）であり（表-1）、上層木の場合と同様に、スギ試験区の下層木はヒノキ試験区の下層木よりも本数は少ないが樹木サイズは大きい。この傾向は、各試験区の上層・下層木の胸高断面積合計（表-1）の値からも読み取ることができる。ヒノキ試験区にはスギ試験区の約3倍の本数の下層木が存在したが、ヒノキ試験区の下層木の胸高断面積合計は1.7 m²/haであり、スギ試験区の胸高断面積合計である2.3 m²/haよりも小さい。また、両試験区の下層木の樹冠は図-3において点線で示されている。これらの樹冠が被覆している部分の面積割合（下層木の被覆率）を図より読み取ると、その値はスギとヒノキ試験区においてそれぞれ0.57と0.44であり（表-2）、スギ試験区のほうが下層木の被覆率が高い。各試験区の下層の樹冠は、主に流域説明において述べたような常緑・落葉性の樹種で構成されている（表-3）。二つの試験区の樹種構成の主要な違いは、スギ試験区には多く存在する落葉広葉樹

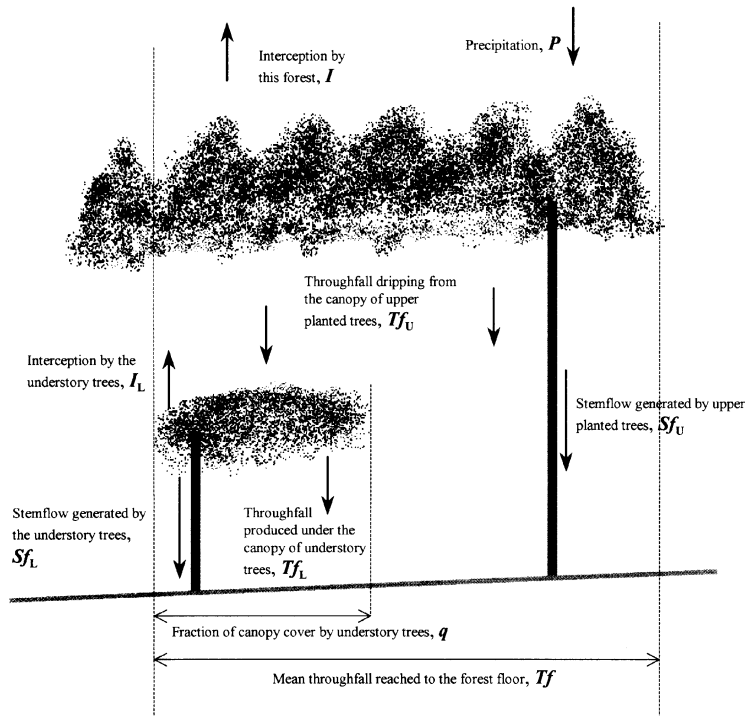


図-5 袋山沢試験流域の樹冠遮断プロットの断面模式図と本報で用いる記号の定義
 Fig. 5. Vertical structure of the *Chamaecyparis obtusa* and *Cryptomeria japonica* forests in the Fukuroyamasawa watershed. Water balance in rain time are drawn schematically with symbols used in this study.

のクロモジがヒノキ試験区には存在しないことである。スギ試験区に多く存在するクロモジは樹木サイズや葉のサイズが大きいため、着葉期と落葉期の試験区内の林内の概観は大きく異なった。一方、ヒノキ試験区内の下層木に関しては、少数のヤブムラサキやミツバウツギといった落葉性の広葉樹が存在していたが、それらのほとんどがヤブツバキ、ヤブニッケイ、ユズリハ、カシ類などの常緑性の樹木であったため、ヒノキ試験区内の着葉期と落葉期の林内の様子はほとんど違いがなかった。

2.3. 測定の概要

袋山沢試験流域のスギ・ヒノキ人工林の断面を模式的に示したものが図-5である。図-5に示したように、当林分の樹冠は植栽されたスギ・ヒノキが形成する上層部と下層木による下層部にはっきりと分けられる。最初に、当林分の樹冠部における雨水移動を本報中で用いる記号とともに整理しておく。図-5のような二層に分かれる林分を考えた場合、試験区の樹冠通過雨量の面積平均値 (in mm, Tf) は (1) 式のように表すことができる。

$$Tf = (1 - q) Tf_U + q Tf_L \quad (1)$$

ここで、 Tf_U は上層樹冠を通過した雨量の平均値 (mm)、 Tf_L は下層木の樹冠を通過した雨量の平均値 (mm)、 q は試験区の総面積に対する下層木の樹冠に覆われている部分の割合を表す。こ

これらの樹冠通過雨量 Tf 、 Tf_U および Tf_L を用いて、試験区全体の遮断量 (I)、下層木による遮断量 (I_L) は、それぞれ (2) 式、(3) 式であらわすことができる。

$$I = P - Tf - Sf_U - Sf_L \quad (2)$$

$$I_L = Tf_U - Tf - Sf_L \quad (3)$$

ここで P は林外降水量、 Sf_U は上層木から生成される樹幹流下量 (mm)、 Sf_L は下層木から生成される樹幹流下量 (mm) を表す。次に、(1)～(3) 式の右辺の各項目を観測の概要について述べる。

降水量 (P) の観測は、上述の新田観測点 (図-1) において、転倒マス雨量計 (太田計器, NO.34-T) 1 台と貯留式雨量計 4 台を用いて行われた。転倒マス雨量計はデータロガー (コーナシステム社, KADEC-PLS) に接続され、その転倒日と時刻が記録された。貯留式雨量計はプラスチック製の円形ロート (直径 21.0 cm) を取り付けけたプラスチックボトル (容量 20 リットル) でできており、そのボトルの貯留水は 1 リットルメスシリンダー (最小目盛 10 ml) を用いて毎週測定された。これら 4 台の貯留式雨量計で観測された水量を水高に換算して得られた降水量を平均したものを 1 週間降水量とした。本報では、一回の降雨イベントを「降雨中に 6 時間以上の無降雨時間を含まない一連の降雨」と定義し、降雨イベント回数、降水時間、および一雨降水量を計算した。この定義を言い換えると、「個々の降雨イベントの間には、少なくとも 6 時間以上の無降雨期間があること」と解釈することができる。これは、当流域の森林が降雨で濡れた場合、降雨終了後 6 時間経過すればその樹冠が十分に乾いているであろうという判断に基づくものである。1 週間の間に複数回の降雨イベントがあった場合、個々の降雨イベント降水量 (一雨降水量) は、個々の降雨イベント中に転倒マス雨量計が転倒した回数に応じて 1 週間降水量をその間に発生した個々の降雨イベントに比例配分した雨量から求めた。

樹冠通過雨量 (Tf) の観測には、プラスチック製の円形ロート (直径 21.0 cm) を取り付けけたプラスチックボトル (容量 20 リットル) をコレクターとして用いた。それぞれの試験区の林床に、コレクター 20 個をランダムに配置して、毎週測定した。これらのコレクターの配置は、全観測期間を通して変更することはなかった。また、各コレクターが下層木の樹冠に覆われているか否かについては、現場で目視にて確認した。それらの結果は、上層木にのみ覆われているコレクター (U)、上層木と常緑性の下層木に覆われているコレクター (LE)、上層木と落葉性の下層木に覆われているコレクター (LD) に分類され、それぞれのコレクター数が表-2 に示されている。

ヒノキ試験区域の上層木から発生する樹幹流下量は、本報と同試験区内のスギ・ヒノキの樹幹流下量を対象にした蔵治ら (1997) の結果を用いて推定することにした。その推定方法の詳細は次章で述べる。蔵治ら (1997) で述べられているスギ樹幹流下量の特性は、スギ試験区内の 2 本の計測結果から導き出されたものであり、その結果がスギ試験区のスギ樹幹流下量の特性を代表しているとは考えにくい。そのため本報では、1998 年 3～9 月の間、スギ試験区内のすべてのスギを対象に樹幹流下量の計測をおこない、その結果を用いて未計測期間のスギ試験区の上層木からの樹幹流下量の推定を行うことにする。

下層木の樹幹流下量の測定は、スギ試験区周辺の 16 本 (スギ試験区内の下層木 13 本のうち 12 本、スギ試験区近傍にある下層木 4 本)、ヒノキ試験区周辺の 32 本 (ヒノキ試験区内の下層木 51 本のうち 31 本、ヒノキ試験区近傍にある下層木 1 本) を対象にしておこなった。これらの樹木には、上層木に設置したものと同様の樹幹流下量集水装置が取り付けられ、その装置によって集められた樹幹流下量は容量 30～50 リットルのプラスチックボトルに貯留された。これらの貯留水は、毎週、2 リットルシリンダー (最小目盛 20 ml) を用いて測定された。

本報で報告対象とした期間は、スギ試験区では1995年4月～1998年9月の約41ヶ月間、ヒノキ試験区においては1995年4月～1997年9月の約30ヶ月間である。これらの期間中、降水量と樹冠通過雨量は連続的に観測された。また、下層木の樹幹流下量は、スギ試験区では1998年4月～1998年9月の6ヶ月間、ヒノキ試験区では1995年9月～1997年9月25ヶ月間、連続的に測定された。

Ⅲ. 結 果

3.1. 降水量

観測期間は1995年4月から1998年9月の間の41ヶ月間に行ったが、本報の構成上、これらを次の5期間（期間Ⅰ～Ⅴ）にわけた（図-2（b））。期間Ⅰは1995年4月から1996年3月の1年間、期間Ⅱは1996年4月から1997年3月の1年間、期間Ⅲは1997年4月から1998年3月の1年間である。また、ヒノキ試験区での観測は1997年9月で終了しているため、1997年4月～1997年9月までの約半年間を期間Ⅳとした。また、スギ試験区での観測は1998年9月で終了しているため、1998年4月～1998年9月までの約半年間を期間Ⅴとした。各期間における降水量、降雨イベントの発生回数、降雨時間は表-4に整理されている。期間の長さが1年間である期間Ⅰ～Ⅲでは、100回前後の降雨イベントが発生し、それらが2,000 mm前後の年降水量をもたらしていることがわかる。また、期間ⅠとⅡの年降水時間は700時間～750時間であったのに対して、期間Ⅲでは約1,000時間であった。また、期間Ⅴは約半年間であるにも関わらず、その降水量、降雨回数および降雨時間が期間ⅠやⅡに匹敵するほどの大きさであった。なお、報告対象期間に発生した一雨降水量が200 mmを超えるような降雨イベントは、1995年9月の台風12号（一雨降雨量271 mm）、1996年7月の台風5号（同396 mm）、1996年9月の台風17号（同402 mm）の3回である。

3.2. 樹冠通過雨量

3.2.1. 一週間樹冠通過雨量と一雨樹冠通過雨量の関係

一週間の観測毎に測定される樹冠通過雨量(mm/observation)は、一雨ないしは複数の降雨イベントで生じたものである。ヒノキ試験区のNO.3 コレクターを例に挙げて、毎回測定された樹冠通過雨量と降水量の関係を、一回の観測期間に一降雨イベントのみが発生したケースと二降雨イベント以上で生じたケースに区別してプロットしたものが図-6である。図-6より明らかなように、一雨のみで生じた樹冠通過雨量は、複数回の降雨イベントで生じた樹冠通過雨量のほぼ包絡線上にプロットされる。これは、複数回の降雨イベントが発生することにより、降水が樹冠に付着し乾くという過程を複数回繰り返し、樹冠部で損失する降水量が多くなることが原因であると考えられる。同様の傾向は、図-6で例に挙げたコレクター以外のものでも確認された。

LLORENS et al. (1997)はスペインピレネー地方のヨーロッパアカマツ林 (*Pinus sylvestris*) における遮断観測結果をもとに、1週間降水量—1週間遮断量、日降水量—日遮断量、1雨降水量—1雨遮断量の関係を調べ、それぞれの関係は統計的に有意な差があったとしている。日本における遮断観測報告例にみられる測定インターバルは、毎週観測したもの（鈴木ら, 1979, TANIGUCHI et al., 1996）、毎日観測したもの（佐藤ら, 2003b）、イベント毎に観測したもの（村井, 1970）、転倒マス雨量計等を用いて自動計測したもの（服部ら, 1982, PARK et al., 2000）、あるいは論文

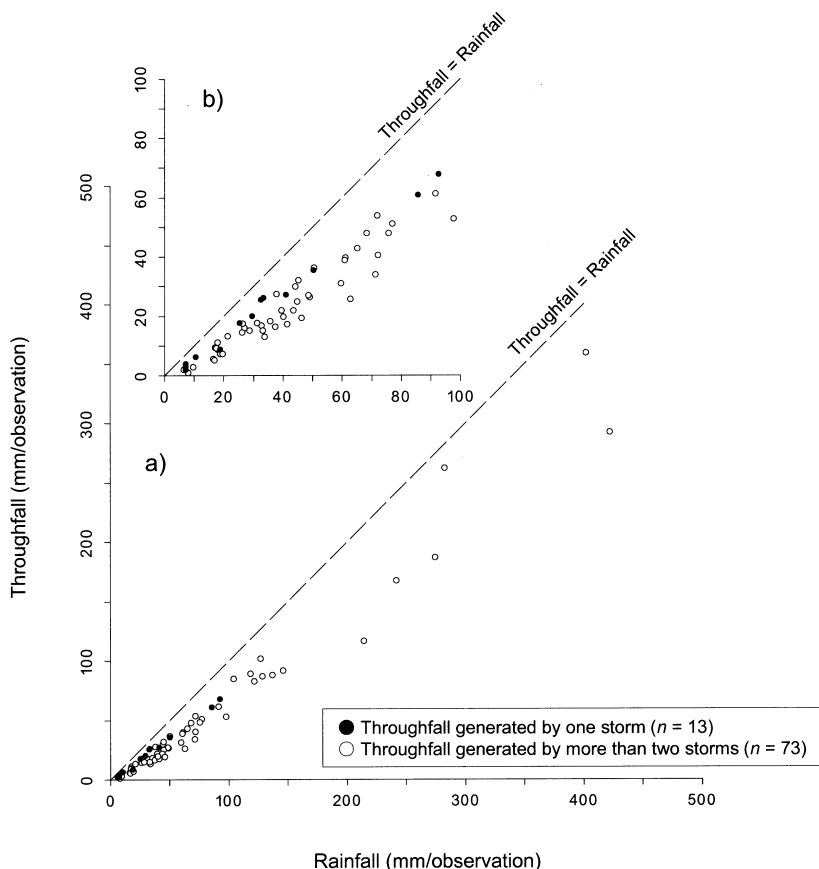


図-6 観測毎に測定された樹冠通過雨量と雨量の関係（ヒノキNO.3観測点の例）

a) 全観測結果を示したもの

b) 降水量100 mm以下の範囲を強調したもの

Fig. 6. Relationship between observed throughfall (mm/observation) measured at the collector NO.3 in *Chamaecyparis obtusa* plot and rainfall (mm/observation).

a) All observed data

b) Observed data with a rainfall range from 0 to 100 mm

中に明記されていない場合とさまざまである。筆者らが整理した限りでは、特に森林における養分循環や物質収支の把握を主目的とした研究では、測定インターバルが比較的長い傾向がある（岩坪・堤 1967, 生原・相場 1982, 真田ら, 1991）。これらで得られた降雨量－樹冠通過雨量の関係式を相互比較する場合には、測定インターバルに留意する必要があることが確認された。

本報では、一雨降水量と樹冠通過雨量の関係を把握することが目的であるため、一回の観測期間中に一降雨イベントのみが発生した事例を抽出して解析する。ただし、このような観測事例の数は、スギ試験区においては全 110 回の観測中 17 回、ヒノキ試験区においては全 73 回の観測中 13 回と非常に少なかったため、以下のような手順で事例数を増やした。本報で取り扱ったスギ・ヒノキ各試験区の上層木の開空度を考慮すると、降水量 2.0 mm 未満の降雨イベントで発生する樹冠通過雨量は微小であると考えられる。一回の観測期間に複数回の降雨イベントが発生した

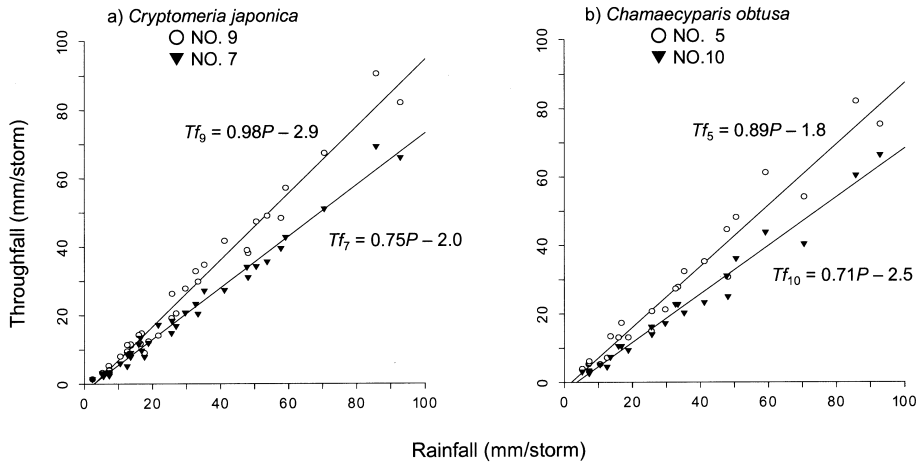


図-7 袋山沢試験流域内のいくつかのコレクターにおける一雨降水量と樹冠通過雨量の関係
各コレクターにおける樹冠通過雨量を降雨量に対して一次回帰した直線とその式を図中に示した。
(a) スギ試験区のNO.9とNO.7
(b) ヒノキ試験区のNO.5とNO.10

Fig. 7. Relationship between rainfall amount per one storm (P) and throughfall observed by individual collectors (Tf) in the Fukuroyamasawa watershed. These relationships were regressed by each line in the figure.

- (a) Throughfall observed by the collector NO.9 and NO.7 in *Cryptomeria japonica* plot
(b) Throughfall measured at the collector NO.5 and NO.10 in *Chamaecyparis obtusa* plot

ケースでも、一観測期間に降水量 2.0 mm 以上の降雨イベント数が一回だけであった場合は、その一降雨イベントの降水により一観測期間の樹冠通過雨量が発生したと考えることができる。念のため、このようにして抽出した事例と一回の観測期間に一降雨イベントのみが発生した事例の降水量－樹冠通過雨量の関係に違いがあるかどうかを確認したが、両者の間にはほとんど差はなかった。このような事例を、スギ試験区では18回、ヒノキ試験区では12回抽出することができたので、これらの観測結果も一雨降水量－樹冠通過雨量の関係の解析に用いることにした。

3.2.2. コレクター毎の一雨降水量と樹冠通過雨量の関係

樹冠通過雨量は空間的にその分布が偏るため、降水量と樹冠通過雨量の関係はコレクターによって異なる。図-7は、スギ・ヒノキ試験区からそれぞれ2コレクターを例として選び出し、それらで観測された一雨毎の樹冠通過雨量と降水量の関係を示したものである。各コレクターにおける樹冠通過雨量 (Tf) は降水量 (P) と良好な直線関係にあることがわかる。そこで、これらの関係を直線回帰すると(4)式のような関係式で表すことができる。

$$Tf = a_T \cdot P - b_T \quad (4)$$

ここで、 a_T は回帰直線の傾き、 b_T は回帰直線の図-7の y 切片であり、ともにコレクター毎に決まる値である。図-7の y 切片である b_T や x 切片である (b_T/a_T) に物理的な意味をもたせることは難しいが、 a_T は、樹冠が十分に飽和した状態において、単位降水量から生じる平均的な樹冠通過雨量を意味する。図-7で例に挙げたように、コレクター毎に得られる a_T の値にはかなり違いがあった。スギ、ヒノキ試験区の各20台のコレクターで得られた a_T 値を、表-2で示したUグループ

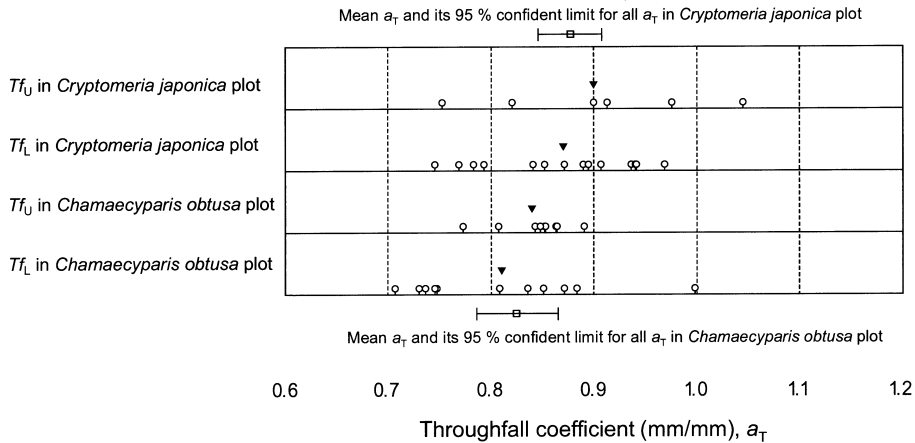


図-8 袋山沢試験流域のスギ・ヒノキ試験区における樹冠通過雨量コレクター毎の a_T 値
上層木のみに覆われているコレクター (Tf_U) と上層と下層木の両方に覆われているコレクター (Tf_L) に分類して整理され、各分類の平均値は逆三角 (▼) で示されている。

Fig. 8. Variations in throughfall coefficient a_T obtained by collectors covered only by upper planted trees (Tf_U), and collectors covered both by upper and understory trees (Tf_L) in the *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* plots, respectively, at the Fukuroyamasawa watershed. Mean of a_T for each are expressed by triangles (▼).

プのコレクターとLグループ（スギ試験区の場合は、LDおよびLEグループをLグループとする）のコレクターに区別して整理したものが図-8である。スギ試験区のUグループのコレクターから得られた a_T 値の範囲は、Lグループの範囲よりもその幅が若干広い。これは、スギ試験区のUグループでは、樹冠通過雨量の多く集まる箇所とそうでない箇所の差が大きいことを示している。逆に、ヒノキ試験区のUグループから得られた a_T 値の変動幅は非常に小さく、スギ試験区のUグループが示していた傾向とは対照的である。各試験区のUグループのコレクター数に違いがあるため直接比較することはできないが、スギの樹冠下で形成される樹冠通過雨量の変動幅は、ヒノキに比べて大きい可能性があることが示している。ヒノキ試験区では、Lグループから得られた a_T 値の変動幅が非常に大きかったが、これは同じ林分において、格子状の樹冠通過雨量コレクター群を用いて樹冠通過雨量の空間分布を調べた研究結果（田中ら、印刷中）と一致する。

各グループの平均 a_T 値を比較すると、両試験区ともに、Uグループの a_T の平均値がLグループの平均値よりも大きい値となった。これは、上層木の樹冠通過雨量の一部が、下層木の樹冠において遮断蒸発あるいは下層木の樹幹流下量に配分されたためと考えられる。各試験区の20個のコレクターで得られた a_T の平均値およびその95%信頼区間は、スギ試験区で $0.877 (\pm 0.038)$ 、ヒノキ試験区で $0.825 (\pm 0.033)$ となり、全体的には、ヒノキ試験区よりもスギ試験区のほうが高い a_T 値を示すことがわかった。

3.2.3. 落葉広葉樹の下層木の樹冠下における樹冠通過雨量の季節変化

スギ試験区の下層木として落葉広葉樹であるクロモジが多く存在し、その樹冠下には、スギ試験区の約半数のコレクターが配置されていた（表-3）。そこで、クロモジが着葉している場合と

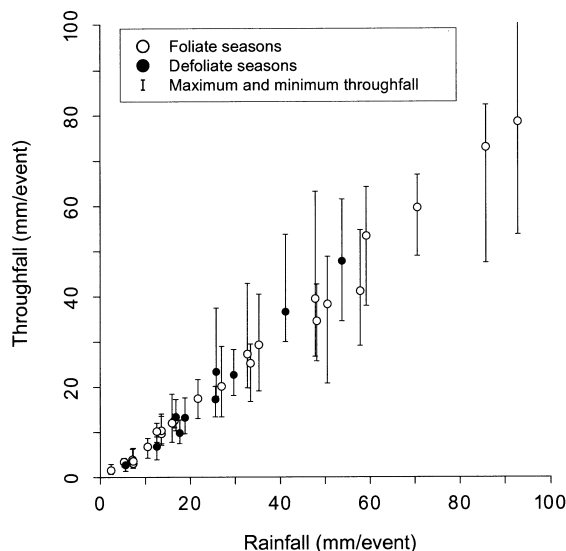


図-9 着葉期（4～12月）および落葉期（1～3月）における、スギ試験区の落葉性の下層木樹冠下の9台コレクターで測定された樹冠通過雨量の平均値、最大値、最小値の比較

Fig. 9. Comparison between mean throughfall in foliate and defoliate seasons, which were observed under the canopies of deciduous understory trees in *Cryptomeria japonica* plot. Maximum and minimum throughfall for 9 collectors under the canopies of understory trees are expressed by error bars.

落葉している場合の樹冠通過雨量の違いについて確認することにした。クロモジの樹冠の影響下に設置された9台のコレクター（LDグループ、表-2）で測定された樹冠通過雨量と一雨降水量の関係を、着葉期（4月～12月の9ヶ月間）のものと落葉期（1月から3月の3ヶ月間）のものに区別して示したものが図-9である。図には9台のコレクターで観測された樹冠通過雨量の平均値とその最大・最小値を示しているが、一雨降水量と樹冠通過雨量の関係において、着葉期と落葉期の間には明瞭な違いはみられず、両方の期間を通じて一定の関係にあるといえる。PARK et al. (2000) のコナラ林、鳥羽・太田（2002）による落葉性のハンノキを含むアカマツ林、岩坪・堤（1967）のソヨゴを中心とした落葉・常緑広葉樹林の研究では、着葉期よりも落葉期の樹冠通過雨量が多くなるという指摘がされている。また、HELVEY and PATRIC (1965) らは、アメリカ合衆国東部の落葉広葉樹林で行われたブナ・コナラ・カエデ林での樹冠通過雨観測の事例（着葉期のものについて14例、落葉期のものについて7例）を取りまとめ、着葉期と落葉期それぞれの時期における、平均的な降水量一樹冠通過雨量の直線回帰式の傾きは着葉期で0.901、落葉期で0.914であったとしている。これらは落葉樹を主体とした林分で測定された結果であるため、本報のスギ・ヒノキを主体とした林分に存在する下層広葉樹についての結果とは異なったと考えられる。本報でのスギ試験区の落葉広葉樹の樹冠下で測定される着葉期と落葉期の樹冠通過雨量の違いは明瞭ではなかったため、両方の時期を区別せずに取り扱うことにした。

3.2.4. 一雨降水量と樹冠通過雨量の関係、各期間の樹冠通過雨量の総量

一観測期間に一降雨イベントのみが発生したと見なせた観測結果から、Uグループのコレク

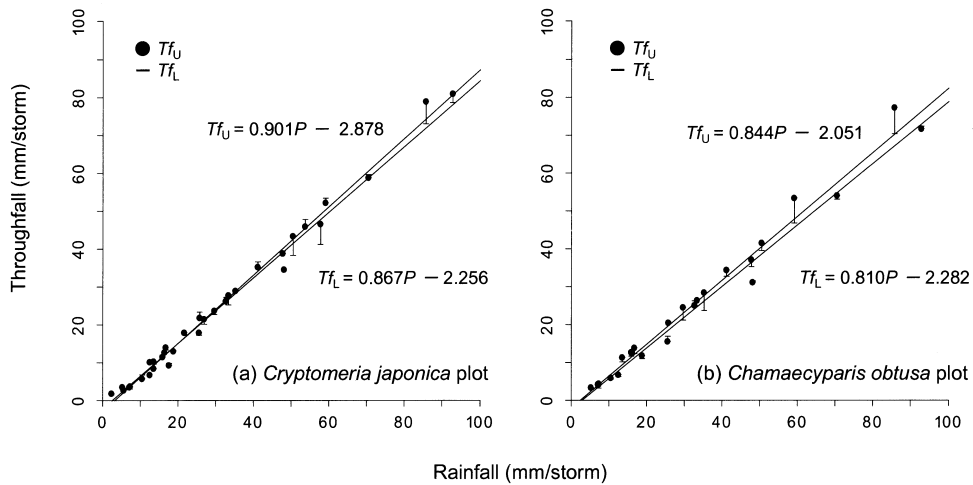


図-10 袋山沢試験流域の (a) スギ試験区, (b) ヒノキ試験区における Tf_U と Tf_L の違い
 Fig. 10. Difference between Tf_U and Tf_L at (a) *Cryptomeria japonica* plot and (b) *Chamaecyparis obtusa* plot in the Fukuroyamasawa watershed.

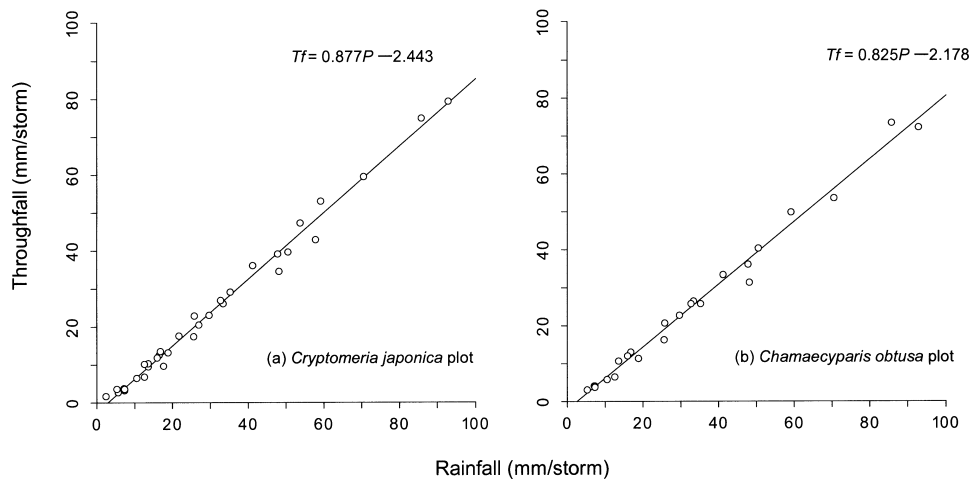


図-11 袋山沢試験流域の (a) スギ試験区, (b) ヒノキ試験区における一雨降水量と樹冠通過雨量の関係
 Fig. 11. Relationships between mean throughfall and rainfall per one storm at (a) *Cryptomeria japonica* and (b) *Chamaecyparis obtusa* plot in the Fukuroyamasawa watershed, respectively.

ターで観測された樹冠通過雨量の平均値 (Tf_U) と L グループで測定された樹冠通過雨量の平均値 (Tf_L) を降雨毎に集計し、それらの違いを試験区毎に比べたものが図-10である。また、図-10には各試験区の Tf_U と Tf_L を降水量 (P) に対して一回帰した直線が実線で示されている。降雨毎の Tf_U と Tf_L の大きさを比較すると、ヒノキ試験区ではおおむね $Tf_U > Tf_L$ という関係がみられた。これは、下層木による樹冠通過雨の再配分の結果であると考えられる。スギ試験区においては、おおむね $Tf_U > Tf_L$ となるものの、 $Tf_U < Tf_L$ となる事例がいくつか確認された。この原因に

表-4 袋山沢試験流域のスギ・ヒノキ試験区における降水量、樹冠通過雨量、樹幹流下量および樹冠遮断量
 Table 4. Rainfall, throughfall, stemflow and rainfall interception at *Cryptomeria japonica* plot and *Chamaecyparis obtusa* plot in the Fukuroyamasawa watershed. Symbols in this tables are shown in Fig. 5.

Period				Rainfall		Number of Rainfall		Rain time		Cryptomeria japonica plot										Chamaecyparis obtusa plot									
NO.	from	to	P	Event	times	hours	Tf (%P)	Tf _U (%P)	Tf _L (%P)	Sf _U *1 (%P)	Sf _L (%P)	I (%P)	I _L (%P)	Tf (%P)	Tf _U (%P)	Tf _L (%P)	Sf _U *1 (%P)	Sf _L (%P)	I (%P)	I _L (%P)									
	(Year/Month/Day)		mm																										
I	1995/4/4	1996/4/3	1932	105		792	1483 (77%)	1505 (78%)	1474 (76%)	94 (5%)	14 (0.7%)	342 (17.7%)	8 (0.39%)	1417 (73%)	1451 (75%)	1390 (72%)	195 (10%)	18 (0.9%)	302 (15.6%)	16 (0.8%)									
II	1996/4/3	1997/4/2	2279	97		712	1872 (82%)	1863 (82%)	1879 (82%)	124 (5%)	17 (0.8%)	267 (11.7%)	-26 (*)	1717 (75%)	1730 (76%)	1707 (75%)	273 (12%)	22 (1.0%)	267 (11.7%)	-10 (*)									
III	1997/4/2	1998/3/25	2024	120		998	1566 (77%)	1548 (76%)	1574 (78%)	89 (4%)	14 (0.7%)	355 (17.5%)	-32 (*)																
IV	1997/4/2	1997/9/9	921	51		423	710 (77%)	704 (76%)	713 (77%)	38 (4%)	6 (0.7%)	166 (18.0%)	-13 (*)	675 (73%)	682 (74%)	670 (73%)	68 (7%)	8 (0.9%)	169 (18.3%)	-2 (*)									
V	1998/3/25	1998/9/29	1637	88		738	1267 (77%)	1280 (78%)	1262 (77%)	81 (5%)	12 (0.7%)	277 (16.9%)	0 (0.01%)																
Totals for Period I, II, III and V*3 (41 months)				407		3240	6189 (79%)	6195 (79%)	6186 (79%)	388 (5%)	57 (0.7%)	1240 (15.8%)	-50 (*)																
Totals for Period I, II and IV*4 (30 months)				250		1927								3810 (74%)	3862 (75%)	3767 (73%)	537 (10%)	48 (0.9%)	738 (14.4%)	5 (0.1%)									

*1 Stemflow generated by upper planted trees are estimated by k value determined by KURAJI et al. (1997) and DBH distribution in each plot.

*2 Interception by understory trees was calculated as negative.

*3 Total amounts for *Cryptomeria japonica* plot.

*4 Total amounts for *Chamaecyparis obtusa* plot.

については不明であるが、図-8で示したように、スギ試験区の Tf_U の空間分布の変動幅が大きいかにも関わらず、上層木の上に覆われていたコレクター数が少ないことにより、降雨毎の Tf_U の平均値の推定誤差が大きくなったことが一因であると考えられる。降雨毎にはこのような事例が観測されたが、一回帰した結果（図-10）は、スギ、ヒノキ両試験区ともに $Tf_U > Tf_L$ となった。

各試験区の樹冠通過雨量の面積平均値 (Tf) の集計には、各試験区における 20 台のコレクターで測定された樹冠通過雨量の算術平均値を用いた。図-5に示したような森林の樹冠通過雨量の集計は、本来 (1) 式を用いるべきである。そこで、各試験区の下層木の被覆率（表-2）を用いて、図-10に載せた樹冠通過雨量について、算術平均した Tf と (1) 式を用いて計算した Tf を比較したが、両者の違いはほとんどなかったため、本報ではより簡便な算術平均値を用いることにした。図-11は、各試験区の Tf と一雨降水量との関係を示したものである。両試験区ともに、 Tf と P の間には良好な直線的な関係があり、これらの関係を一次近似した直線が図-11に実線で示されている。スギ試験区で得られた関係式は、

$$Tf = 0.877 P - 2.443 \quad P > 2.8 \text{ mm} \quad (5)$$

となり、ヒノキ試験区で得られた関係式は、

$$Tf = 0.825 P - 2.178 \quad P > 2.6 \text{ mm} \quad (6)$$

となった。 Tf には樹冠にふれないまま林床に到達する成分 (Free throughfall; 例えば, LEYTON et al., 1967, GASH and MORTON, 1978, KLAASSEN et al. 1997, LINK et al., 2004) があるため、各関係式の x 切片以下の降雨でも少量の樹冠通過雨量が発生していると考えられる。つまり、(5) および (6) 式は、十分に樹冠が降水で飽和した状態における、一雨降水量と樹冠通過雨量の関係を表しているといえる。そのような樹冠の飽和状態において、スギ試験区では降水の約 87.7 % が樹冠通過雨に配分され、ヒノキ試験区では降水の約 82.5 % が樹冠通過雨に配分されているという結果となった。

表-4に示した期間 I ~ V における Tf は、毎週観測される Tf の平均値を用いて集計した。ただし、各試験区にある 20 台のコレクターのうち 2 台以上のコレクターにおける Tf が欠測となった場合には、(5) 式ないしは (6) 式から得られる Tf を用いて、その値を補間した。それらを集計した結果が表-4に示されている。スギ試験区では、総降雨量 7,873 mm の約 79 % にあたる 6,189 mm、ヒノキ試験区では、総降雨量 5,132 mm の約 74 % にあたる 3,810 mm が Tf に配分されているという結果となった。期間毎の Tf の降水量に対する割合（樹冠通過率）を比較すると、スギ試験区では、期間 II のみが約 82 % であり、他の期間では約 77 % で一定していた。また、ヒノキ試験区では、期間 II が約 75 % であり、その他の期間では約 73 % で一定していた。両試験区ともに、期間 II における樹冠通過率が高くなった原因は、7 月と 9 月に発生した台風による総降水量と降水強度の大きい降雨イベントで観測された樹冠通過率が高かったことにある。これらの台風を含む 2 回の観測の降水量の合計は約 825 mm であり、これは期間 II の総降水量の約 36 % を占めていたことになる。この 2 回の観測で発生した Tf は、スギ試験区で 716 mm（降水量の約 87 %）、ヒノキ試験区で 658 mm（降水量の約 80 %）であり、通常の期間の樹冠通過率を大きく上回っていた。つまり、期間 II の総降水量に対して 2 回の台風イベントがもたらした降水量は大きなウエイトを占めていたこと、また、それらの台風イベントでの樹冠通過率が高かったことが、期間 II の樹冠通過率を高くした原因であると考えられる。

全期間を通した Tf_U と Tf_L の合計値を比較すると、スギ試験区では約 10 mm の差で $Tf_U > Tf_L$ であり、ヒノキ試験区では約 100 mm の差で $Tf_U > Tf_L$ であった。この差は、下層木の樹冠において

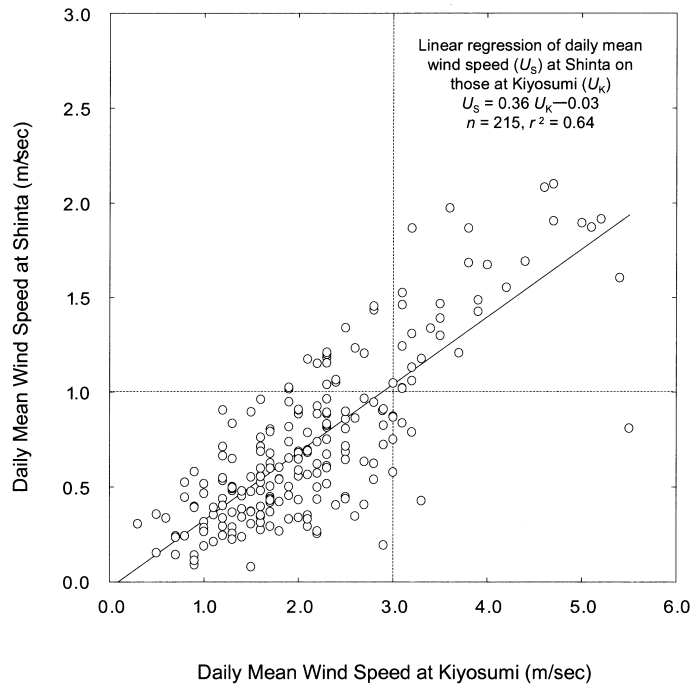


図-12 清澄観測点と新田観測点の日平均風速の関係

図中の直線は新田観測点の日平均風速を清澄観測点の風速に対して一回帰した直線を示している。1997年7月1日から1998年5月31日まで間における2箇所とも欠測でなかった日のデータを元に作成した。

Fig. 12. Dairy mean wind speed at Shinta versus those at Kiyosumi.
 Comparable data from 1 July 1997 to 31 May 1998 are plotted.

Tf_U が下層木の樹幹流下量と下層木による樹冠遮断量に再配分された結果であると考えられる。期間毎の Tf_U と Tf_L の差は、ヒノキ試験区では毎期間 $Tf_U > Tf_L$ であったのに対して、スギ試験区では $Tf_U > Tf_L$ の場合（期間ⅠとⅤ）と $Tf_U < Tf_L$ の場合（期間ⅡとⅢ）があった。

3.3. 樹幹流下量

3.3.1. 上層木の樹幹流下量

蔵治ら（1997）は、本報と同じ試験区内のスギとヒノキの単木から発生する樹幹流下量（liter）の降水量に対する回帰直線の傾き a_S^* と DBH の関係を $a_S^* = k (DBH)^2$ の関係式で表せるとし、スギとヒノキそれぞれの k 値を報告している。さらに、これらの k 値は、降雨時の風速の強弱によって変化することが指摘されているため、本報においても、樹幹流下量に及ぼす風速の影響を考慮して樹幹流下量を計算することにした。蔵治ら（1997）が用いた風速の強弱の指標は、袋山沢試験流域より6 km南南東に離れた清澄観測点での日平均風速である。強弱の指標に一貫性を持たせるため、清澄観測点の日平均風速データ（東京大学農学部附属演習林，1997a，同，1997b，同，1999，同，2000）を用いることにした。ただし、本報での報告対象としている期間（1995

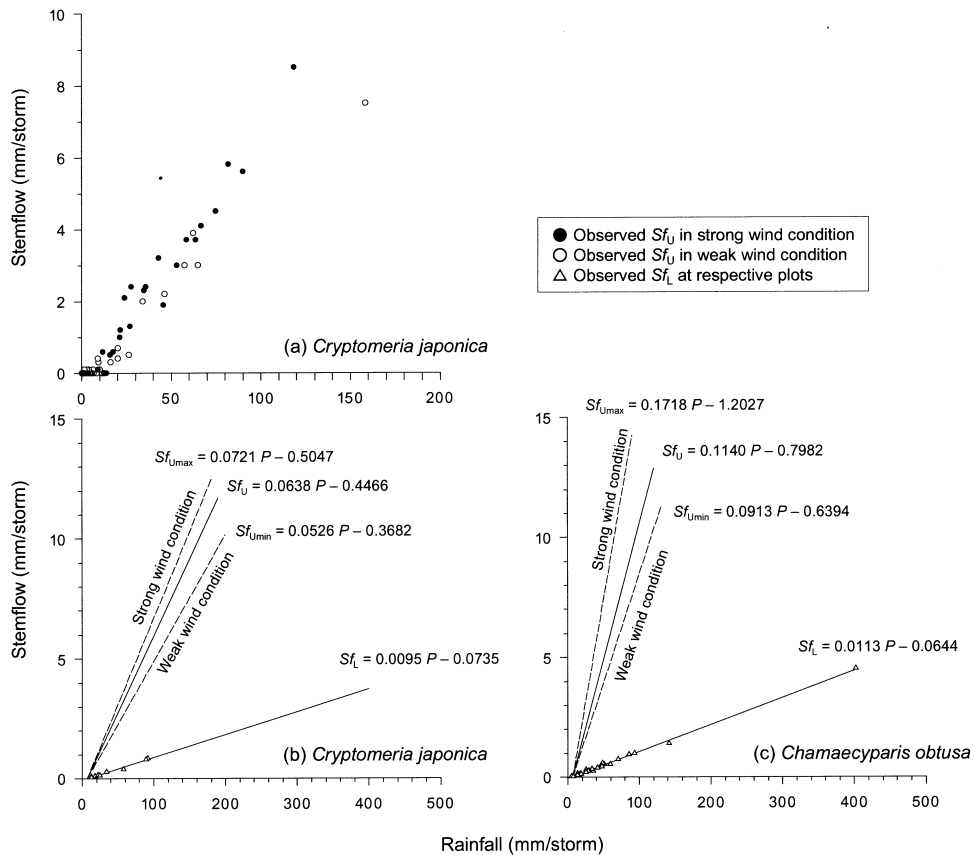


図-13 (a)袋山沢試験流域のスギ試験区内の上層木全木の樹幹流下量を実測した結果, (b) スギ試験区の上層木の樹幹流下量を一次回帰した直線および下層木の樹幹流下量, および (c) ヒノキ試験区の上層木の樹幹流下量の推定結果と下層木の樹幹流下量。

Fig. 13. (a) Observed stemflow generated by upper story trees in *Cryptomeria japonica* plot, (b) Regression lines of stemflow of upper story trees and observed stemflow of understory trees in *Cryptomeria japonica* plot, and (c) Estimated stemflow of upper story trees and observed stemflow of understory trees in *Chamaecyparis obtusa* plot.

年4月から1998年9月)のうち,1998年5月から同年9月までの清澄観測点における風速が長期的な欠測期間となっている。そのため,この欠測部分の風速に関する情報は,袋山沢試験流域から約200 m離れた新田観測点における風速データで補間することにした。図-12は,新田観測点と清澄観測点の日平均風速を比較したものであるが,両者の間にはおおむね正の相関がみられる($n=215, r^2=0.64$)。蔵治ら(1997)は,清澄観測点での日平均風速が3.0 m/sを境にして,それ以上を強風日,それ未満を弱風日として区分している。図-12の関係より,新田観測点の風速データを用いた場合の境は日平均風速1.0 m/sとすることが適当であると判断し,それ以上を強風日でそれ以下を弱風日と読み替えることにした。観測期間に発生した全408回の降雨のうち,28回の降雨については,両方の観測点での風速が欠測日であった日があったが,これらの降雨時に発生した樹幹流下量については以下で示される各試験区の平均的な一雨降雨量-樹幹流下量の関係

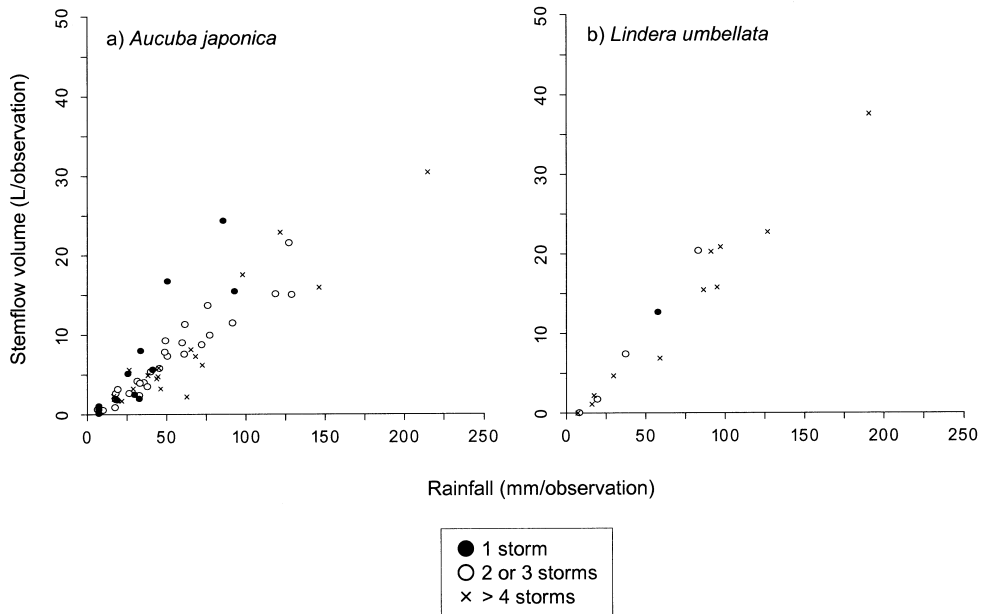


図-14 袋山沢試験流域の下層木 ((a)ヒノキ試験区NO.9 (アオキ), (b)スギ試験区NO.26 (クロモジ))
で測定された観測毎の樹幹流下量と降水量の関係

Fig. 14. Relationship between rainfall and all observed stemflow volume generated by (a) NO.9 tree at *Chamaecyparis obtusa* plot, and (b) NO.26 tree at *Cryptomeria japonica* plot in Fukuroyamsawa watershed. Stemflow generated by one storm, two or three storms and more than four storms are expressed by solid circles (●), blank circles (○) and crosses (×), respectively.

式を用いて推定をする。また、一雨が複数日に渡って続いた場合は、その降雨イベントにおける降水量が最も多い日の日平均風速を用いて、その強弱の判断をした。

樹幹流下量の水高換算値は、試験区内の上層木で発生した樹幹流下量の水量を試験区の面積で除することによって得た。ただし、各試験区には、立木位置は試験区内であるが、樹冠の一部が試験区外に張り出している上層木が存在する(図-3)。厳密には、これらの樹木の樹幹流下量は試験区外の雨水が含まれている可能性があるため、その点を考慮するべきである。しかし、試験区内には、逆に試験区外から張り出している樹冠が存在するため、試験区内への雨水が試験区外に漏れた可能性もある。そのため、鈴木ら(1979)と同様に、これら2つの誤差は互いに相殺すると見なした。

スギ試験区の上層木から生成される樹幹流下量の推定は、蔵治ら(1997)が提示したスギの k 値から求まる各樹木の a_s^* に基づいて計算する方法がある(以下に記述するヒノキ試験区の樹幹流下量の計算方法を参照)。しかし、蔵治ら(1997)が提示したスギの k 値は、スギ試験区の2個体のみの樹幹流下量の調査結果から得られた値であることから、本報の報告対象となった全期間のスギ試験区の上層木から生成する樹幹流下量のより正確な推定のために、同試験区内でおこなった全個体(10個体)を対象とした樹幹流下量の集中観測の結果を用いることにした。図-13(a)は、1998年3-9月にスギ試験区内において集中観測した樹幹流下量と降水量の関係を強風

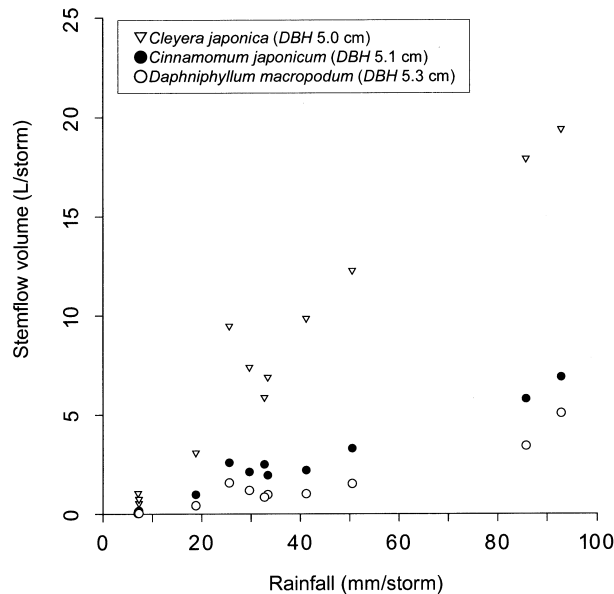


図-15 袋山沢試験流域の同程度のDBHである3本の下層木（サカキ（ヒノキ試験区NO.47）、ヤブニツケイ（ヒノキ試験区NO.38）、ユズリハ（ヒノキ試験区NO.43）から生成される樹幹流下量の違い
Fig. 15. Comparison of stemflow volume generated by difference species with almost same DBH in the *C. obtusa* plot. Stemflow volume produced by NO.47 (*Cleyera japonica*), NO.38 (*Cinnamomum japonicum*) and NO.43 (*Daphniphyllum macropodum*) are expressed by blank reversed triangle (▽), solid circle (●), and blank circle (○), respectively.

イベントと弱風イベントに区別して示したものである。樹幹流下量は降水量とともにおおむね直線的に増加し、十分大きい降水量の範囲（ $> 15 \text{ mm}$ ）において、強風のイベントのほうが弱風のイベントよりも多くの樹幹流下量が発生する傾向があることがわかる。これは、蔵治ら（1997）が指摘した単木の樹幹流下量に及ぼす風速の影響と一致する傾向である。また、蔵治ら（1997）は、袋山沢試験流域のスギ、ヒノキの樹幹流下量が発生し始める降水量は、樹種、樹木サイズ、風速の強弱によらずほぼ 7 mm であったとしている。スギ全木調査の結果から、樹幹流下量の発生が確認された降雨イベントのうち、最小の降水量を示した降雨イベントは 1.6 mm の降雨イベントであった。このような少雨で樹幹流下量が発生した事例は、降雨イベントの開始時間と先行降雨イベントの終了時刻との時間が非常に短いケースであり、降雨イベント発生時点で樹幹が完全に乾いていなかったと考えられる。また、樹幹流下量の流下が確認されなかった降雨イベントのうち、最大の降水量を示した降雨イベントは 6.8 mm の降雨イベントであった。この降雨イベント開始時点での樹幹は十分に乾いていたと考えられ、乾いた樹幹が樹幹流下量を発生させる降水量は少なくとも 6.8 mm 以上であるといえる。この値と蔵治ら（1997）で提示されている値は極めて近い値であるため、スギ試験区の樹幹流下量の発生開始雨量は 7 mm であることにした。図-13 (a) にプロットされた強風イベントと弱風イベントでの樹幹流下量を、 $(P, Sf_U) = (7, 0)$ を通る直線で回帰した結果、スギ試験区の強風時と弱風時の樹幹流下量（それぞれ、 $Sf_{U\max}(\text{mm})$, $Sf_{U\min}(\text{mm})$ ）は (7) および (8) 式のように整理することができる（図-13 (b)）。

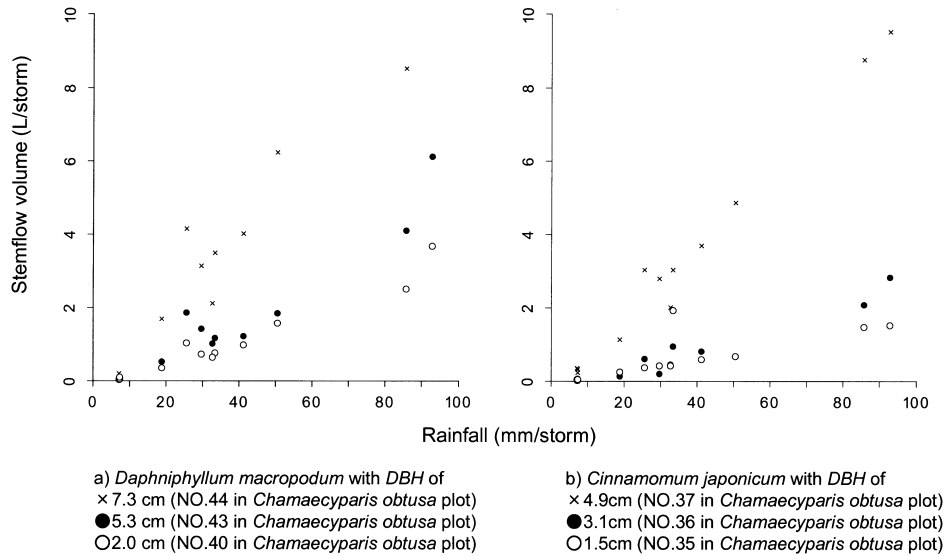


図-16 袋山沢試験流域における下層木の樹幹流下量のDBHによる違い

a) ユズリハ b) ヤブニッケイ

Fig. 16. Comparison of stemflow volume generated by same specie trees with different DBH

a) *Daphniphyllum macropodum* b) *C. japonicum*

$$Sf_{Umax} = 0.0721 P - 0.5047 \quad P > 7 \text{ mm} \quad (n = 22, r^2 = 0.95) \quad (7)$$

$$Sf_{Umin} = 0.0526 P - 0.3682 \quad P > 7 \text{ mm} \quad (n = 14, r^2 = 0.96) \quad (8)$$

これらは、スギ試験区において、降水量が7 mm以上の降雨の約7%（強風時）あるいは約5%（弱風時）が上層木の樹幹流下量に配分されることを示している。

ヒノキ試験区の上層木からの樹幹流下量の集計には、各樹木のDBHおよび蔵治ら（1997）により提示されている k 値から求まる樹木毎の強風時における樹幹流下量係数（ a_{SS}^* ）と弱風時における係数（ a_{SW}^* ）を用いることにした。樹木毎に計算された a_{SS}^* と a_{SW}^* は、表-3にカッコ付きの数字で示されている。ヒノキ試験区内の全上層木の a_{SS}^* と a_{SW}^* をそれぞれに合計し、試験区の面積で除して水高換算した値（樹幹流下量係数： a_{SS} と a_{SW} ）を求めた。また、蔵治ら（1997）に従い、ヒノキ試験区の樹幹流下量の発生開始降水量を7 mmとした。これらの値を用いて、ヒノキ試験区の Sf_{Umax} 、 Sf_{Umin} は、(9)および(10)式のように整理される（図-13 (c)）。

$$Sf_{Umax} = 0.1718 P - 1.2027 \quad P > 7 \text{ mm} \quad (9)$$

$$Sf_{Umin} = 0.0913 P - 0.6394 \quad P > 7 \text{ mm} \quad (10)$$

これらは、ヒノキ試験区では、降水量が7 mm以上の降雨の約17%（強風時）ないしは約9%（弱風時）が上層木の樹幹流下量に配分されることを示している。

本報では、各試験区における一雨降雨量と各林分の樹幹流下量の平均的な関係を求めることが目的の一つである。スギ試験区の樹幹流下量と降水量の平均的な関係は、風速の強弱に関係なく、図-13 (a) にプロットした7 mm以上のすべての降雨イベントにおける樹幹流下量－降水量を直線回帰することにより、

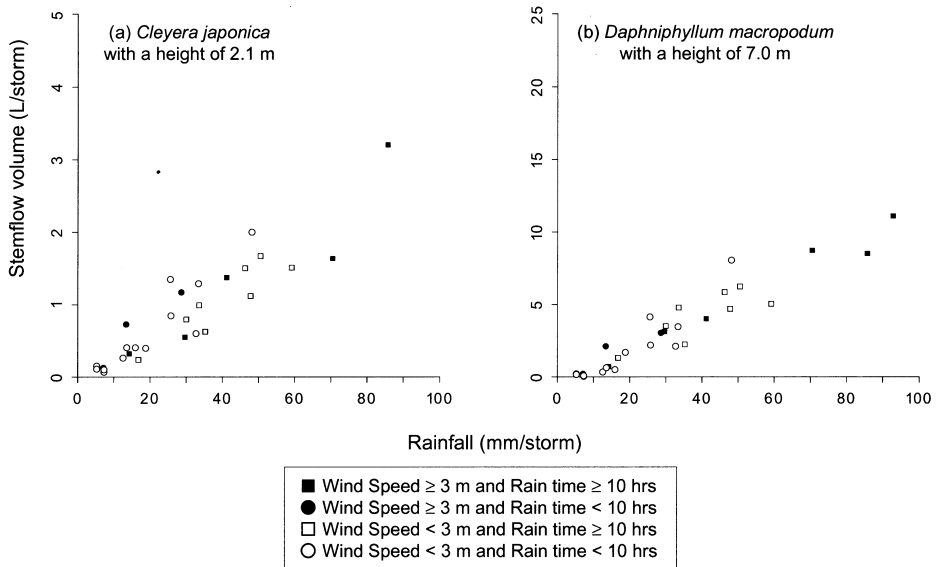


図-17 袋山沢試験流域における(a)樹高の低い下層木(サカキ, ヒノキ試験区NO.46), (b)樹高の高い下層木(ユズリハ, ヒノキ試験区NO.44)の樹幹流下量に与える風速および降雨イベントの継続時間の影響

Fig. 17. Effects of wind speed and duration of rainfall on stemflow volume produced by (a) a understory tree with small height and (b) a understory tree with large height in the Fukuroyamasawa watershed.

$$Sf_U = 0.0638 P - 0.4466 \quad P > 7 \text{ mm} \quad (n = 36, r^2 = 0.91) \quad (11)$$

と表すことができる。次に、ヒノキ試験区の一雨降水量－樹幹流下量の平均的な関係を次のようにして求めた。本報の観測期間に発生した408降雨のうち、上記の風速の強弱の指標が得られた降雨数は379降雨である。その内訳は、272回の弱風時降雨イベントと107回の強風時降雨であった。つまり、全降雨の107/379が強風降雨イベントであり、272/379が弱風降雨イベントであり、全降雨の約7割の降雨が弱風イベントに分類されるという結果である。この弱風イベントと強風イベントの発生割合を考慮すると、各試験区の平均的な樹幹流下量係数 a_S は、 $a_S = a_{SS} \times (107/379) + a_{SW} \times (272/379)$ であると考えることができる。この a_S を用いると、ヒノキ試験区の上層木の樹幹流下量と一雨降水量の平均的な関係は、

$$Sf_U = 0.1140 P - 0.7982 \quad P > 7 \text{ mm} \quad (12)$$

という関係式で表すことができる。スギ、ヒノキ各試験区の a_S 、 a_{SW} 、 a_{SS} の値を比較すると、いずれの係数もヒノキ試験区の値がスギ試験区の値よりも上回る結果となった。

期間Ⅰ～Ⅴの全降雨イベントで発生した上層木の樹幹流下量を、スギ各試験区(7)と(8)式を用い、またヒノキ試験区では(9)と(10)式を用いて計算した。その際、計算対象となった降雨イベントの発生日における日平均風速の強弱指標が強風時には(7)ないし(9)式を、弱風時には(8)ないし(10)式を、また指標が得られなかった場合($n = 28$)には(11)ないし(12)を用いて集計をおこなった。表-4には、各期間における各試験区の Sf_U を整理したものである。

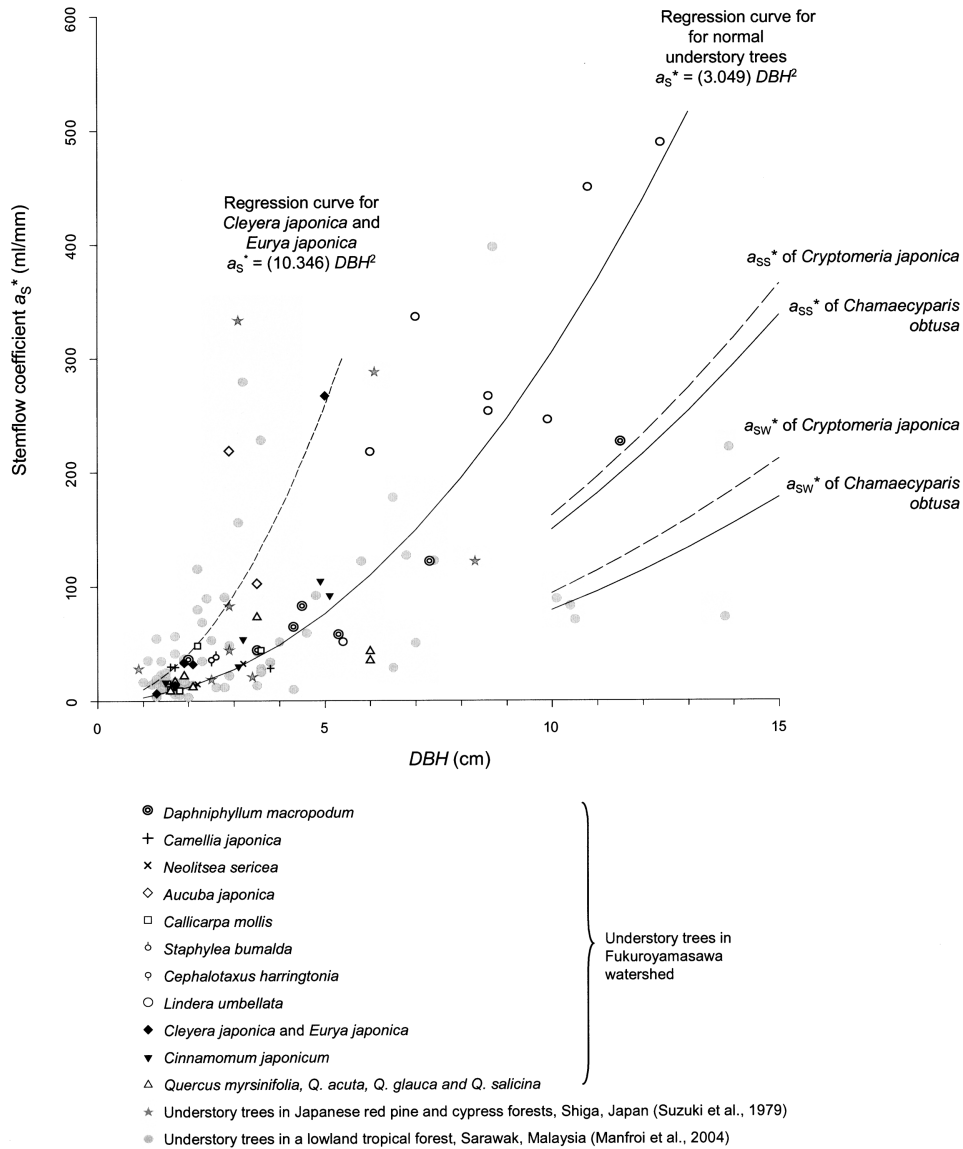


図-18 袋山沢試験流域における下層木の樹幹流量係数 a_s^* と胸高直径 (DBH) の関係
 Fig. 18. Relationship between stemflow coefficients a_s^* and DBH. a_s^* of understory trees in the Fukuroyamasawa watershed were compared with a_s^* of *Chamaecyparis obtusa* and *Cryptomeria japonica* in the same watershed (KURAJI et al., 1997) and a_s^* of understory trees in other type of forests.

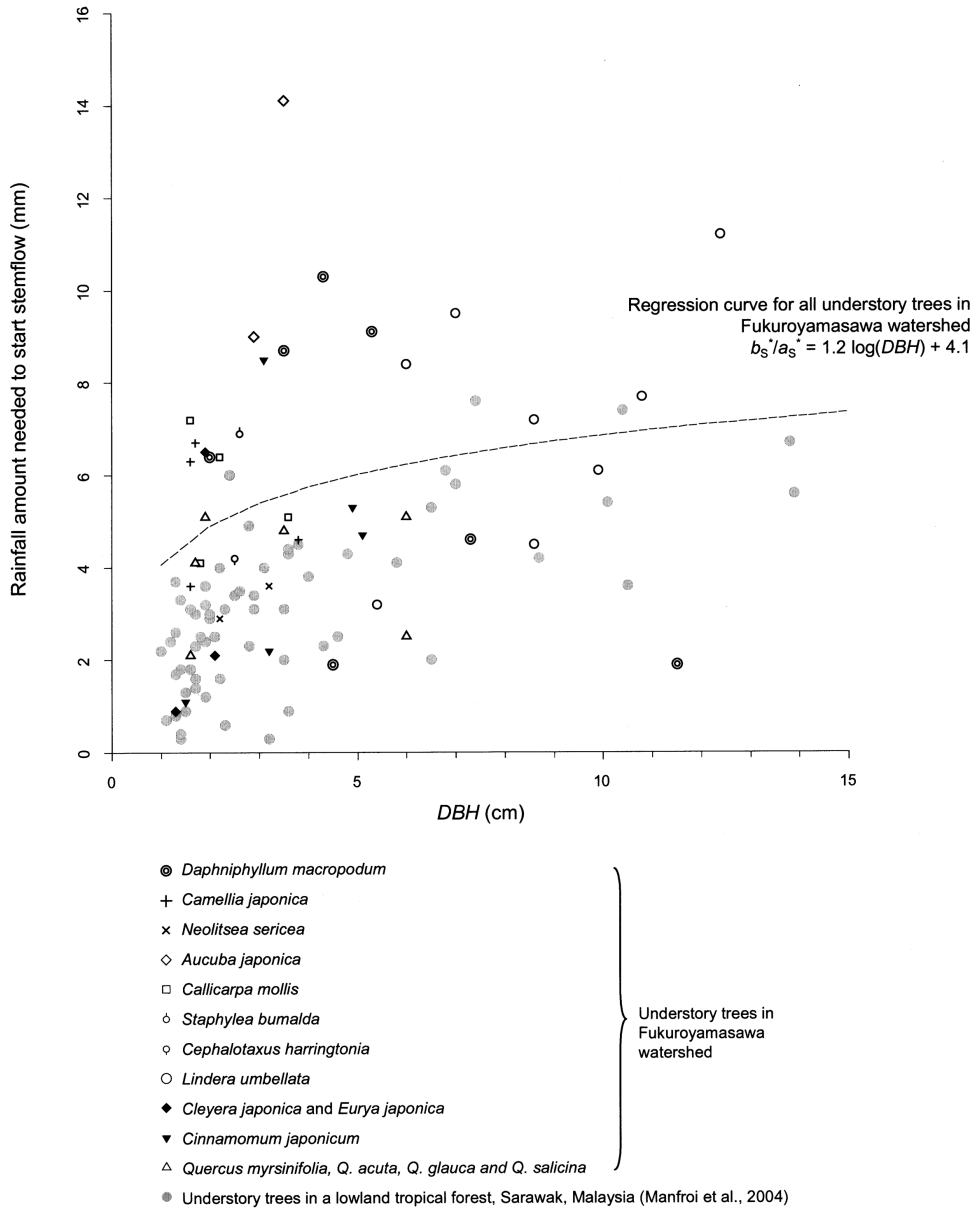


図-19 樹幹流下量が発生する降水量(b_S^*/a_S^*)と下層木の胸高直径(DBH)の関係
 Fig. 19. Relationship between rainfall amount need to start stemflow (b_S^*/a_S^*) and DBH

各期間の Sf_U の降水量に対する割合は、スギ試験区で4～5%，ヒノキ試験区では7～12%であった。期間Ⅰ，ⅡおよびⅤでは、同じ期間におけるスギ試験区とヒノキ試験区の Sf_U を比較できるが、それらを比較すると、ヒノキ試験区の上層木はスギ試験区の上層木に比べて約2倍の樹幹流下量を生成しているという結果となった。

3.3.2. 下層木の樹幹流下量

3.3.2.1. 下層木の樹幹流下量の特性

樹冠通過雨量の測定と同じく下層木の樹幹流下量の測定インターバルは週に一回であった。アオキ（ヒノキ試験区 NO.9）とクロモジ（スギ試験区 NO.26）を例に挙げて、観測された樹幹流下量（liter / observation）と降水量（mm / observation）の関係を示したものが図-14である。図-14では、観測毎の樹幹流下量を、一回の測定期間に1降雨イベント、2～3回の降雨イベント、4回以上の降雨イベントが発生したものを区別して示している。スギ試験区での下層木樹幹流の測定期間が短かったためヒノキ試験区に比べてプロットされた点が少ないが（図-14（b））、ヒノキ試験区では十分な測定データが得られた（図-14（a））。図-14（a）から明らかのように、観測毎に測定される樹幹流下量の大小は、一回の測定期間に発生した降雨イベント回数に依存する傾向を持つことがわかる。つまり、一回の測定期間に発生した降雨イベント数が多いほど、同程度の降水量で発生する樹幹流下量が少なくなる傾向がある。そこで、降水量と下層木樹幹流下量との関係を解析する際には、一回の測定期間に一回の降雨イベントのみ発生したデータのみを対象とすることにした。

袋山沢試験流域のスギ・ヒノキ試験区には多様な樹種の下層木が存在する。そこで、樹幹流下量の樹種による違いを調べるため、DBHが5 cm程度の下層木を3本（サカキ（ヒノキ試験区 NO.47）、ヤブニッケイ（ヒノキ試験区 NO.38）、ユズリハ（ヒノキ試験区 NO.43））を選び、それぞれの一雨降水量と樹幹流下量の関係をプロットし比較したものが図-15である。各樹木の樹幹流下量は降水量に対しておおむね直線的に増加している傾向を示す。ユズリハとヤブニッケイの樹幹流下量が同程度であるのに対して、サカキの樹幹流下量は他の2樹種に比べて大きいことがわかる。図-15には示さなかったが、アオキの樹幹流下量も、同程度のDBHをもつ他の樹種と比較して特に大きい樹幹流下量を生成した。このように、樹木サイズが同程度であっても、降雨量－樹幹流下量の関係は樹種に依存することがわかった。次に、樹木サイズと樹幹流下量の関係を調べるため、同じ樹種でDBHの異なる個体から発生する樹幹流下量と降水量の関係をユズリハ3個体（図-16（a））、ヤブニッケイ3個体（図-16（b））を例に挙げて示した。いずれの樹木もDBHの大きさが大きくなるにしたがって、同程度の降水量に対する樹幹流下量が多くなる傾向があることがわかる。図-15と図-16では幾つかの個体について、その樹幹流下量と一雨降水量の関係における樹種依存性や樹木サイズ依存性を例示した。

本報で行った17樹種48本の下層木樹幹流下量の特性を把握するために、各樹木の樹幹流下量－一雨降水量の関係を直線回帰することにより、調べることにした。ただし、図-15や図-16で示されたような一回の観測期間に一回の降雨イベントのみが生じた事例（ $n = 12$ ）は少ないため、次の要領でサンプル数を増やすことにした。一雨降水量5 mm未満の降雨イベントで発生する樹幹流下量は微量であると考えた場合、ある観測期間中に降水量5 mm以上の降雨イベント回数が一降雨だけであれば、その観測回に測定された樹幹流下量は5 mm以上の降雨において生成されたものであると考えることができる。実際に、図-15や図-16で示された関係から判断すると、一雨降水量が5 mm未満の降雨イベントで発生する樹幹流下量は非常に少ないことがわかる。このようにして得られた降雨イベント数は、ヒノキ試験区で32降雨、スギ試験区で10降雨となり、これらを含めて解析することにした。

各下層木の一雨降雨量と樹幹流下量の関係を回帰分析する前に、上層木で述べたような樹幹流生成と降雨中の風速条件の関係について検討した。一般に、林内は林外より風速が弱くなるため、

林内に存在する下層木は上層木に比べて樹幹流下量の生成に及ぼす林外風速の影響は小さいと考えられる。図-17 (a) は、ヒノキ試験区内のサカキ (NO.46) から生成された樹幹流下量と一雨降水量との関係を示している。図-17では、降雨イベント発生日の風速の強弱指標が強であったものを黒い丸や黒い四角で表示したが、それらの示す樹幹流下量-降水量の関係と、指標が弱であった降雨イベントで発生したものの関係に明瞭な違いは認められない。例に挙げたサカキは樹高が約2.1 mであったため、風速の影響を受けにくかった可能性がある。そのため、このサカキよりも樹高の高いユズリハを対象にして同じ検討をおこなったが (図-17 (b)), 樹高の低い樹種と同様に風速が樹幹流下量に及ぼす影響は不明瞭であった。

一方で、降雨イベント毎の樹幹流下量と降雨イベントの継続時間との関係を調べると、同程度の降水量で発生する樹幹流下量は、降雨イベントの継続時間が10時間以上であったイベントで発生したものより、10時間未満のイベントで発生したもののほうが大きい傾向があることがわかる。この傾向はコナラ林 (*Quercus serata*) の樹幹流下量の特性を調べた PARK et al. (2000) で指摘されていることと一致する。降雨の継続時間が長くなることにより、上層木あるいは下層木の樹冠の濡れ時間が長くなる。その結果、遮断蒸発される雨水が多くなり、下層木の樹幹流下量の生成のために配分される雨水が少なくなることが原因であると考えられる。厳密には、各下層木の樹幹流下量を回帰する際には、これらの傾向を考慮することがべきであるが、本報では、まず風速条件、降雨継続時間などの差を考慮せずに、一個体につき一つの関係式で表すことにした。その上で、本試験流域の樹冠における降水の分配過程において、下層木の樹幹流下量の寄与が大きいことになれば、改めて詳細な解析をおこなうことにした。

図-17の樹幹流下量-降水量の関係を直線で回帰すると、個々の下層木から発生する降雨イベント毎の樹幹流下量 ($Sf^*(ml)$) は、

$$Sf^* = a_S^* \cdot P - b_S^* \quad (13)$$

と表すことができる。ここで、 P は一雨降水量 (mm)、 a_S^* (ml/mm) は回帰直線の傾き、 b_S^* (ml) は回帰直線の y 切片である。 a_S^* は樹幹流下量が発生しはじめた後の単位降水量から生成される樹幹流下量、この回帰直線の x 切片 b_S^*/a_S^* (mm) は樹幹流下量が発生し始める平均的な降水量を意味する。表-3 (b) および (d) にリストされた下層木のうち、本報で測定をおこなった48本の下層木の樹幹流下量を降水量で回帰し得られた a_S^* と b_S^*/a_S^* の値を通常の手体で示し、以下で推定に基づいて決定された a_S^* と b_S^*/a_S^* の値 (イタリックで示されている) とは区別されている。実測された a_S^* と各下層木の DBH の関係を図-18に、 b_S^*/a_S^* と DBH との関係を図-19にそれぞれ示した。なお、これらの図では両試験区の下層木を区別せずに表示した。また、樹種毎に違う記号を用いたが、図が複雑になることを避けるため、サカキ・ヒサカキのグループ (サカキ類) とアラカシ・シラカシ・アカガシ・ウラジロガシのグループ (カシ類) は同じ記号を用いて示した。

a_S^* の値は個体によって大きくばらつくが、各個体の DBH との関係はおおむね DBH の大きいほど a_S^* の値は大きくなる傾向がみられる (図-18)。また、図-16で例示したように、同じ樹種であれば、おおむね DBH が大きいほど a_S^* の値が大きく傾向が読み取れる。ただし、 DBH の大きさが同程度であっても、他の樹種に比べて例外的に大きい a_S^* の値を示す樹種として、図-15で例示したサカキやヒサカキ・アオキがある。逆に、例外的に小さい a_S^* 値を示す樹種として一部のカシ類の下層木が挙げられる。図-18において、 DBH が6.0 cmの比較的大型のカシ類が2個体存在したが、それらの a_S^* の値は共に40 (ml/mm) 前後であった。これらの値は、同じ DBH

をもつクロモジの a_S^* の値が218 (ml/mm)を示していることと比較すると非常に小さい値である。このような DBH の大きさから考えて a_S^* の値が例外的に大きい樹種(サカキ, ヒサカキ, アオキ)と小さい樹種(カシ類)を除くと, 当試験流域の下層木の a_S^* の値は DBH を用いて, おおむね $a_S^* = (3.049) \cdot DBH^2$ ($n = 32, r^2 = 0.80$)という関係式で表すことができるといえる。図-18には, 蔵治ら(1997)が提示したスギ・ヒノキの a_S^* と DBH の関係式を表す曲線を示している。実際には, DBH が15 cm未満のスギ・ヒノキの小径木は試験区には存在しないが, その曲線と下層木の a_S^* を表す平均的な曲線と比較すると, 下層木の樹幹流下量の生成量は, 同じ DBH の上層木の強風時の生成量に匹敵するかあるいはそれ以上であるという結果となった。

回帰分析の結果得られた b_{Si}^* が負の値として計算された個体が4個体存在した。これは実際にはあり得ない現象で, 回帰の際にサンプル数の少なさから生じた誤差であると考えられる。図-19では, これらの4点を除いた b_{Si}^*/a_{Si}^* と DBH との関係を示したものである。図-19より, b_S^*/a_S^* の値は1~14 mmの範囲に, DBH の大きさとはほぼ無関係に分布していることがわかる。樹種毎の傾向を調べてみたが, 有意な情報は得られなかった。MANFROI et al. (2004)は b_S^*/a_S^* の値と DBH との関係を対数関数で表現している。本報で得られた b_S^*/a_S^* に対して, 同様の回帰分析をおこなった結果が図-19に示された回帰曲線である。本報で得られた関係はばらつきが大きく ($n = 44, r^2 = 0.07$), この点についての検討は今後の検討事項となった。

3.3.2.2. 一雨降水量と各試験区の下層木による樹幹流下量の関係, 各期間の下層木の樹幹流下量

本報の目的の一つは, スギ・ヒノキ各試験区全体の下層木の樹幹流下量と一雨降水量との関係を明らかにすることであるが, そのためには樹幹流下量の測定を行わなかった下層木を含めた各試験区全木の樹幹流下量を推定する必要がある。そこで, 以下のような手順で全下層木の樹幹流下量係数 a_S^* と b_S^* の推定をおこなった。①測定期間の長短にかかわらず, 樹幹流下量の測定をおこなった下層木は, その測定結果より得られた a_S^* と b_S^* の値を用いる。②全期間を通じて測定対象とならなかった下層木(スギ試験区で1本, ヒノキ試験区で18本)のうち, カシ類・サカキ類・アオキ以外の下層木(実際には, アオキの未測定木はない)については, 図-18の実線の回帰曲線(Regression curve for normal understory trees)にその樹木の DBH を代入することにより a_S^* 値を求めた。また, 図-19に示した回帰曲線から b_S^*/a_S^* の値を決定する。③全期間を通じて測定しなかった樹木のうち, サカキ類は図-18のサカキ曲線式(Regression curve for *Cleyera japonica* and *Eurya japonica*)に, その樹木の DBH を代入することにより a_S^* 値を求めた。図-19に示した回帰曲線から b_S^*/a_S^* の値を決定する。④未測定のカシ類は, DBH に依らず a_S^* の値を36 (ml/mm), b_S^*/a_S^* の値を3.2 (mm)とした。その理由は, 本報で測定した5本のカシ類の a_S^* や b_S^*/a_S^* の値の DBH 依存性が非常に低かったからである(図-18, 図-19)。⑤枯死した下層木のうち未計測のものが3本存在したが, これらの係数は, ヒノキ試験区NO.67の枯死木の係数を参考にして, DBH に依らず a_S^* の値を8 (ml/mm), b_S^*/a_S^* の値を4.0 (mm)とした。以上の①~⑤の手順には, 幾分荒い仮定も含まれているが, 両試験区ともに半数以上の樹木は実測しているということを考慮して, 計算を進める。その結果, 下層木の樹幹流下量の推定が, 本試験流域での水収支の項目として重要な一成分であれば, 改めてその推定誤差について検討を加えることにした。なお, 未測定木の推定された樹幹流下量係数 a_S^* と b_S^*/a_S^* の値は, 表-3においてカッコ付きの数字で整理されている。

スギ試験区およびヒノキ試験区で下層木の樹幹流下量計測をおこなった期間について, 各プロットの計測木については実測値を, 未計測木や欠測であった樹幹流下量については上記の手順

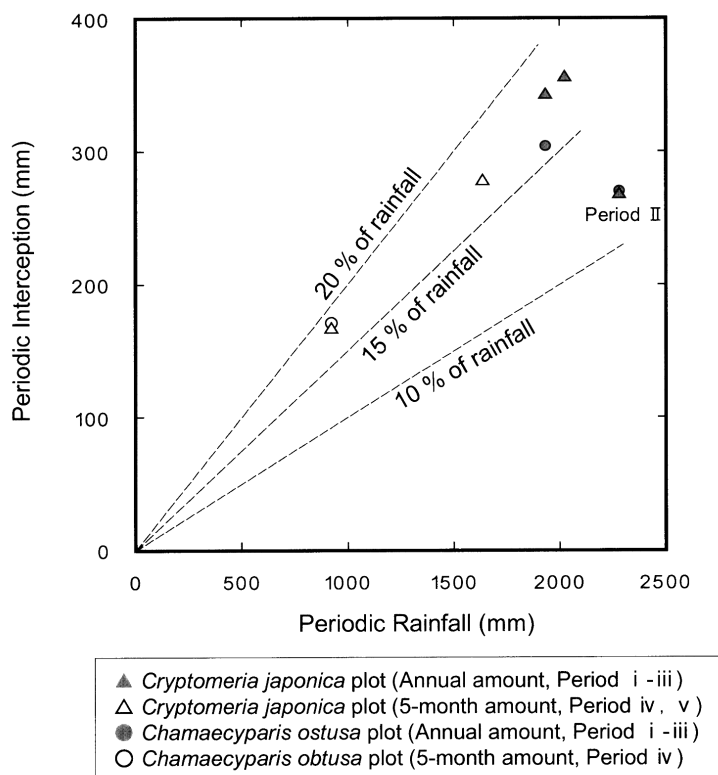


図-20 各期間の降水量と樹冠遮断量 (I) の関係
Fig. 20. Relationship between periodical rainfall and interception.

に従って計算した推定値を用いて補間し、プロット全体の樹幹流下量 (ml) を求めた。それらを試験区の面積で除して水高換算された樹幹流下量 (mm) を求めた。図-13 に示された各試験区の下層木の樹幹流下量は、一観測期間に一降雨イベントだけを含み樹幹流下量を一雨降水量に対してプロットしたものである。図-13の実線は、これらの関係を一回帰した直線である。ここで得られた一雨降水量 (P) と下層木から生成される各試験区の樹幹流下量 (S_L) は、スギ試験区の場合、

$$S_L = 0.0095 \cdot P - 0.0735 \quad P > 7.7 \text{ mm} \quad (14)$$

また、ヒノキ試験区の場合、

$$S_L = 0.0113 \cdot P - 0.0644 \quad P > 5.7 \text{ mm} \quad (15)$$

という関係式で表される。(14) および (15) 式は、スギ試験区において、降水量が約 7.7 mm 以上の降雨の 0.9 % が下層木の樹幹流下量に配分され、ヒノキ試験区においては、連続降雨量が約 5.7 mm 以上の降雨の 1.1 % が下層木の樹幹流下量に配分されるということをそれぞれ示している。ヒノキ試験区の下層木の立木密度はスギ試験区の 4 倍以上であったが (表-1)、算出された配分率には大きな違いはなかった。これは、スギ試験区のほうが 1 本の樹木サイズが大きいため、下層木 1 本あたりの樹幹流下量の生成量がヒノキ試験区に比べて大きくなったことが原因である。

表-5 我が国の針葉樹を対象とした降雨の樹冠遮断量観測結果

Table 5. Summary of observational interception studies in Japanese conifer forests

Species	和名	Age	Stand Density trees/ha	Mean Height m	Mean DBH cm	Plot Area m ²	Basal Area m ² /ha	Dura- tion month	P recip- itation mm	T _f mm	S _f mm	I mm	T _f %P %	S _f %P %	I%P %	a _T mm/mm	a _S mm/mm	Reference
<i>Cryptomeria japonica</i>	スギ	70	513	27	39	195	66	41	7873	6189	445	1240	78.6	5.6	15.8	0.877	0.064	本報
<i>Cryptomeria japonica</i>	スギ	71	750	25	29	55	12	1150								0.786	0.040	生原・相場 (1982)
<i>Cryptomeria japonica</i>	スギ	30	1467	15	23	225	62	12	1584	1009	162	413	63.7	10.2	26.1	0.744	0.124	佐藤ら (2003a), 佐藤 (2003b)
<i>Cryptomeria japonica</i>	スギ															0.886		陶山 (2004)
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	70	923	19	34	195	91	30	5132	3810	585	738	74.2	11.4	14.4	0.825	0.114	本報
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	45	1783	12	16	140	36						72.6	10.3	17.1			藤井 (1959)
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	60-70	3200	8	8	25	15	12	1793	1231	104	458	68.7	5.8	25.5	0.741	0.066	岩坪・堤 (1967)
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	77	1600	16	21	25	55									0.820	0.129	鈴木ら (1979)
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	29	2051	11	16	29	42	12	1543	1044	169	329	67.7	11.0	21.3	0.690	0.147	服部ら (1982)
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	71	960	22	23	43	12	1150								0.798	0.034	生原・相場 (1982)
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	31	1750	14	18	29	46	12	1336	862	162	313	64.5	12.1	23.4	0.683	0.145	服部ら (1988)
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	31	1325	14	18	29	34	12	1087	792	89	206	72.9	8.2	18.9	0.771	0.102	服部ら (1988)
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ		2800	9	10	1750	22	6	556	463	41	52	83.3	7.4	9.3	0.880	0.090	細田ら (1990)
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ															0.729		陶山 (2004)
<i>Pinus densiflora</i>	アカマツ	43	830	15	20	1000	26	12	1024	819	7	199	79.9	0.7	19.4	0.903	0.016	村井 (1970)
<i>Pinus densiflora</i>	アカマツ	43	830	15	20	100	26	12	1027	667	37	323	64.9	3.6	31.4	0.775	0.080	村井 (1970)
<i>Pinus densiflora</i>	アカマツ・ 広葉樹混交林	28	3335	11	10	1000	27	12	874	621	16	237	71.0	1.7	27.1	0.721	0.028	村井 (1970)
<i>Pinus densiflora</i>	アカマツ・ ヒノキ混交林	17	8700	10	7	25	34									0.881	0.102	鈴木ら (1979)
<i>Pinus densiflora</i>	アカマツ		2650	10	16	900	51	9	926	679		247	73.3		26.7	0.729		間島・田瀬 (1982), 田瀬・間島 (1983)
<i>Pinus densiflora</i>	アカマツ	40-70	1575	7	12	152	19	12	1513	1256	45	212	83.0	3.0	14.0	0.877	0.034	Mitsudera et al. (1984)
<i>Pinus densiflora</i>	アカマツ		2300	12	20	100	75	12	1291	1008	7	267	78.1	0.5	20.7	0.806	0.006	Taniguchi et al. (1996)
<i>Pinus densiflora</i>	アカマツ		1700	12	20	100	52	12	1291	890	16	385	68.9	1.2	29.8	0.712	0.014	Taniguchi et al. (1996)
<i>Pinus densiflora</i>	アカマツ		1444	11		900										0.810	0.140	鳥羽・太田 (2002)
<i>Pinus densiflora</i>	アカマツ・ ハンノキ		1678	13		900										0.850	0.033	鳥羽・太田 (2002)
<i>Pinus densiflora</i>	アカマツ・ ハンノキ		1678	13		900										0.910	0.030	鳥羽・太田 (2002)
<i>Pinus densiflora</i>	アカマツ		355	23		900										0.880	0.077	鳥羽・太田 (2002)
<i>Larix leptolepis</i>	カラマツ	28	2373	10	11	1000	27	12	874	640	56	179	73.1	6.3	20.4	0.824	0.070	村井 (1970)
<i>Larix leptolepis</i>	カラマツ	28	793	13	15	1000	15	12	874	733	22	119	83.8	2.5	13.5	0.911	0.024	村井 (1970)
<i>Larix leptolepis</i>	カラマツ	54	500	23	20	100	16									0.964	0.012	後藤 (1995)
<i>Larix leptolepis</i>	カラマツ	54	500	23	20	100	16									0.936	0.024	後藤 (1995)
<i>Larix leptolepis</i>	カラマツ	54	500	23	20	100	16									0.919	0.043	後藤 (1995)
<i>Abies sachalinensis</i>	トドマツ	17	3900	7	10	32	8	1210	835	125	250	69.0	10.3	20.7	0.733	0.101	真田ら (1991)	
<i>Picea jezoensis</i>	エゾマツ	17	3900	5	10	29	8	1210	1175	63	-28	97.1	5.2	-2.3	1.021	0.052	真田ら (1991)	

(空欄は文献からは読み取れなかった箇所, またはイタリック数字は文献より筆者らが推定した値を示す)

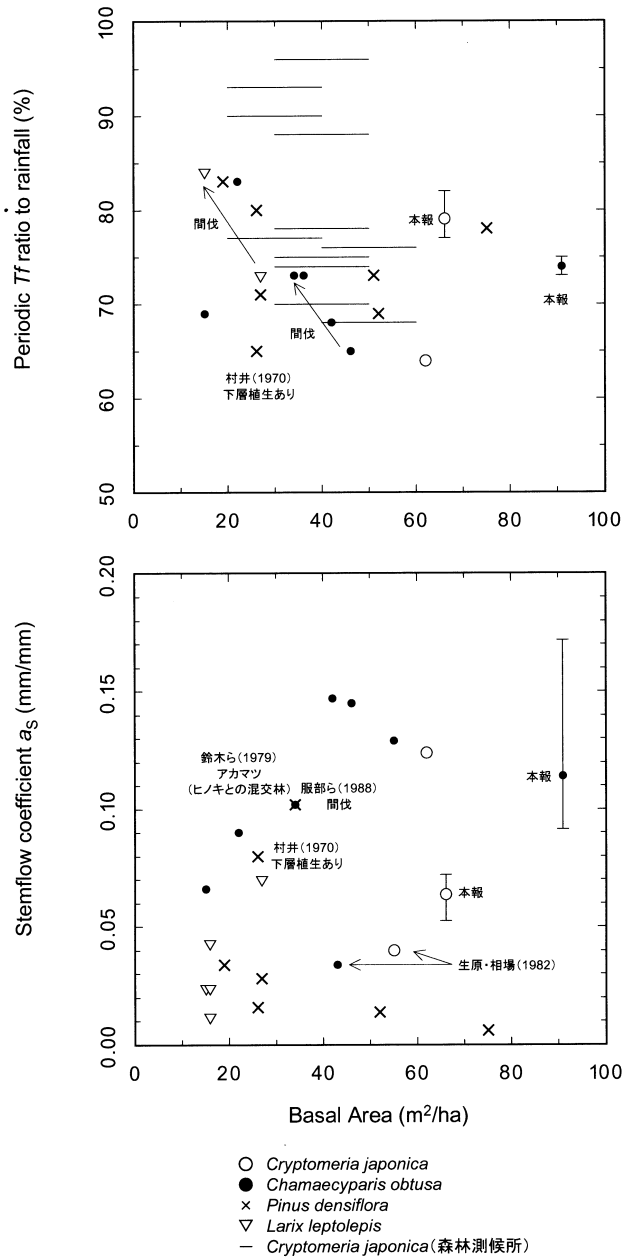


図-21 我が国の針葉樹林分の胸高幹断面積合計と (a) 降雨の樹冠通過率，および (b) 林分の樹幹流下量係数 a_s の関係

Fig. 21. Relationship between basal area of Japanese conifer stands and (a) observed periodical throughfall ratio and (b) stemflow coefficient a_s .

下層木の樹幹流下量の未測定期間（スギ試験区では1995年4月～1998年3月，ヒノキ試験区では1995年4月～1995年9月）については，(14)，(15)式および表-3に整理された a_S^* および b_S^*/a_S^* を用いて，各個体からの樹幹流下量の生成量を計算し，その値を水高換算して推定した。これらの値と実測された樹幹流下量と合算した結果，スギ試験区での1年間あたりの下層木の樹幹流下量は年降水量の0.7～0.8%，ヒノキ試験区では0.9～1.0%が S_{fL} に配分されたことがわかった（表-4）。いずれの試験区においてもその割合は非常に小さかったため，本報が観測対象にしたスギ・ヒノキ林の樹冠における雨水移動を林分単位で定量評価した場合は，下層木の樹幹流下量の寄与は小さいという結果となった。

3.4. 樹冠遮断量

期間Ⅰ～Ⅴの降水量（ P ），各試験区の樹冠通過雨量の平均値（ Tf ），上層木から生成された樹幹流下量（ S_{fU} ），下層木から生成された樹幹流下量（ S_{fL} ）および(2)式より計算された樹冠遮断量（ I ）を表-4に整理した。スギ試験区では総降雨量7,873 mmの15.8%に相当する1,240 mmの雨水が，またヒノキ試験区では総降雨量5,132 mmの14.4%にあたる738 mmの雨水がそれぞれの試験区によって遮断蒸発したという結果となった。表-4より，スギ試験区の Tf がヒノキ試験区の Tf よりも大きかったのに対して，スギ試験区の S_{fU} がヒノキ試験区の S_{fU} よりも小さかったため，両試験区の遮断量の降水量に対する割合（樹冠遮断率， $I\%P$ ）に大きな違いが現れなかったことがわかる。また，期間毎の樹冠遮断率は，スギ試験区で11.7～18.0%，ヒノキ試験区で11.7～18.3%の範囲であった。期間毎の降水量と樹冠遮断量を図-20にプロットしたが，両試験区での樹冠遮断率の期間毎の変動が大きくなった原因は，期間Ⅱの低い樹冠遮断率がその原因となっていることがわかる。この期間Ⅱを除外して考えると，スギ試験区における樹冠遮断率はおおむね17%前後であり，ヒノキ試験区では16～18%前後であった。期間Ⅱの長さはちょうど1年間であるが，他の年間値（期間ⅠやⅢ）と比べると，降雨発生回数や降雨時間は最も少ない期間であったことがわかる（表-4）。さらに，期間Ⅱは樹冠通過率（樹冠通過雨量の降水量に対する比）が極端に高かった台風イベントが2回発生した期間であり，これらが期間Ⅱの樹冠遮断率が低くなった原因であると考えられる。

表-4に整理された樹冠通過雨量の平均値（ Tf ），上層木の樹冠下で観測された樹冠通過雨量（ T_{fU} ），および(3)式を用いて，各試験区における下層木における樹冠遮断量（ I_L ）を求めることができる。各試験区における I_L の総量は，スギ試験区において-50 mm，ヒノキ試験区において5 mmとなり，非常に小さい値あるいは負の値となった。期間毎の I_L についても，期間Ⅰにおいてはスギ試験区で8 mm，ヒノキ試験区で16 mmとなったが，他の期間では軒並み小さい値となった。試みに，全期間の降雨イベントに対して，図-11で示されている関係式から T_{fU} と T_{fL} を計算し，(3)式を用いて下層木の樹冠遮断量（ $I_{Lcalc.}$ ）を計算すると，スギ試験区では総降雨量7,873 mmの0.3%にあたる21 mm，ヒノキ試験区では総降雨量5,132 mmの約1.2%にあたる66 mmであるという試算結果となった。これらの観測結果や試算結果は，いずれにせよ，袋山沢試験流域の下層木の樹冠による樹冠遮断量は，非常に少なく，多く見積もってもスギ林において降雨の約0.3%程度であり，ヒノキ林において降雨の約1.2%程度であることがわかった。これは，スギ・ヒノキ試験区の樹冠遮断量に対して小さい値であり，本報の調査対象とした森林の樹冠における降雨の再配分の過程において重要な項目とならないことを示している。

Ⅳ. 考 察

本報で得られた観測結果について、主に我が国の針葉樹で行われた樹冠通過雨量、樹幹流下量の観測の整理結果（表-5）と対比させながら、考察を加える。

4.1. 樹冠通過雨量

表-5には各針葉樹の林分における、樹冠通過雨量（ Tf ）、樹冠通過率（ $TF\%P$ ）、樹冠通過雨量の降水量に対する回帰直線の傾き a_T が整理されている。同じ樹種の異なる林分の樹冠通過雨量の大小に影響するもののひとつに胸高断面積合計（ BA ）があると考え（PARK et al., 2000）、少なくとも6ヶ月以上観測した樹冠通過率と観測対象となった林分の BA をプロットしたものが図-21(a)である。なお、スギ林での測定事例が極端に少なかったため、大正初期に全国の森林測候所で観測された主に20～40年生前後のスギ林における樹冠通過雨量の測定結果（農商務省山林局編, 1917）を参考にすることにした。この文献には、 BA に関する情報の記載がなかったため、20～29年生の林分は BA が20～40 m²/ha、30～39年生林分は30～50 m²/ha、それ以上の林分は40～60 m²/haであったと仮定してプロットしている。まず、本報で得られた結果を除外して考えると、おおむね BA の増大に伴い樹冠通過率が低くなる傾向が見られる。例外的であった事例として、図-21(a)に示した村井（1970）のアカマツ林の値が挙げられるが、これは下層植生が発達した林分で観測された値であるため、上記の傾向から外れていると考えられる。PARK et al. (2000) は、日本の落葉広葉樹林と海外の幾つかの森林で報告されている樹冠通過率を整理して、 BA が大きいほど樹冠通過率が小さい傾向があったとしている。図-21(a)の BA が60 m²/ha以下の範囲においては、我が国の針葉樹にもその傾向とおおむね一致するといえる。しかし、 BA が60 m²/ha以上の範囲にプロットされる本報で得られた樹冠通過率（期間毎の樹冠通過率のうち、最大のものと最小のものをエラーバーで示している）は、この傾向から外れることがわかる。つまり、本報で観測されたスギ・ヒノキ試験区の樹冠通過率は、 BA が大きいにもかかわらず、例外的に高かったといえる。 BA が60 m²/ha以上の範囲における樹冠通過雨量の観測事例が極端に少ないため、一般的な結論を導き出すことはできないが、図-21(a)で示した結果は、 BA が60 m²/ha以下の範囲において確認された BA と樹冠通過率の関係は、必ずしも普遍的な傾向ではないといえる。スギ林の樹冠通過率についての報告事例が少ないが、森林測候所で観測された結果を含めて比較すると、他の針葉樹よりも比較的多い傾向がある。

樹冠通過雨量を降水量に対して一次回帰して得られる直線の傾き（ a_T ）は、特定の森林タイプにおける降水量－樹冠通過雨量の平均的な応答をシンプルに表現するものである。樹冠通過雨量の a_T 値は、主に、降雨中の濡れた樹冠からの遮断蒸発強度（ E ）や樹幹流下量への配分率（ p_t ）によって決定される。 E は気象条件や林分の構造上の特徴（樹高、立木密度、 BA など）の影響を強く受け（TEKLEHAIMANOT and JARVIS, 1991）、 p_t も林分の構造に強く影響されるものである（CROCKFORD and RECHARDSON, 1990, PARK and HATTORI, 2002）。我が国の降雨中の気象条件が平均的に同じであると考えれば、同樹種の樹冠通過雨量の a_T 値は、林分の構造上の特徴で整理できるはずである。スギ林の a_T 値は、約30年生の比較的若いスギ林で0.744（佐藤ら2003a）、約70年生のスギ壮齡林で0.786（生原・相場1982）という値が提示されている。本報のスギ試験区（70年生、立木密度513本/ha）で得られた a_T 値（0.877）は、これらの既往の報告値よりも比較的大きい値となった。佐藤ら（2003a）が観測をおこなったスギ林分は、本報で観測した

スギ試験区と比べて胸高断面積合計の値は近かったが、樹高が約半分であり、立木密度が3倍であった。この林分構造の差が両方の a_T 値の差が生んだと考えられたが、どの要因がこの差を生じさせたのかについては他の事例数が少なく検討できなかった。生原・相場（1982）が測定をおこなった森林は、本報のスギ試験区のスギ林分とほぼ同じ樹高や立木密度であったが a_T 値に差が生じた。この原因の一つとして考えられることは、樹冠通過雨量の測定インターバルの違いにある。生原・相場（1982）はスギ林における養分循環や養分収支を把握することに主眼を置いていたため、樹冠通過雨量の測定は「（樹冠通過雨量を貯留しておくための）ポリビンがあふれない範囲で適宜」おこなわれていた。つまり、図-6で示した複数の降雨イベントに生成された樹冠通過雨量に対して回帰直線が決定されたため、回帰直線の傾きすなわち a_T 値が小さくなった可能性がある。文献中に、林齢や林分の構造、観測の詳細に関する記述がなかったが、陶山（2004）はスギ林分における a_T を 0.886 としている。これは本報で示した値に非常に近い値であった。今後、この林分と袋山沢のスギ林との違いを調べていく必要がある。一方で、ヒノキ林で樹冠通過雨量を観測し回帰式を提示した報告例は多い（表-4）。それらのうち、本報と同じ壮齢林で得られた a_T 値は、77年生の林分で0.820（鈴木ら1979）、71年生の林分で0.789（生原・相場1982）、60から70年生の林分で0.741（岩坪ら1967）などがある。生原・相場（1982）や岩坪ら（1967）の研究は、前述したように森林における養分循環の把握が主目的であるため、樹冠通過雨量の測定インターバルが比較的長い。そのため、これらの研究で得られた a_T 値は、本報で得られた結果（0.825）より小さくなった可能性がある。また、鈴木ら（1979）の値は本報の値に近い値となった。また、比較的若い林齢のヒノキ林での a_T 値の報告例として、29年生ヒノキ林で0.690（服部ら、1982）、林齢不詳だが文献中のDBHや樹高から判断して若齢林を思われるヒノキ林で0.880（細田ら、1990）となっており、2つの結果は大きくばらついている。スギ、ヒノキでの a_T 値を、それぞれの林分の特徴（BA、樹高、立木密度など）で表現できれば、今後の両林分における降水の配分過程の理解に役立つと思われるが、実際に個々の研究から得られた結果は多様であり、一定の傾向を見出すことは困難であった。

4.2. 上層木樹幹流量

本報でおこなった同時に植栽されたスギ、ヒノキ壮齢林分の樹幹流量の推定値を比較すると、スギ林よりもヒノキ林の樹幹流量のほうが多いという結果となった。この結果は、服部・阿部（1989）の整理や中北ら（1986）の比較観測例と一致する。袋山沢試験流域の場合、単木の樹幹樹下量を比較すると、同じ胸高直径であればスギのほうがヒノキよりも樹幹流量が若干大きいにもかかわらず（蔵治ら、1997）、林分単位で考えるとヒノキ林のほうが多くなった主な原因は、両林分の立木密度の差であると考えられる。具体的には、本報で扱ったスギ、ヒノキ試験区の大きさは同面積（195 m²）であり、スギ試験区には上層木が10本存在したのに対して、ヒノキ試験区の上層木本数は18本であった。我が国の一般的な施業方法として、谷部にスギ、中腹部にヒノキ、尾根部分にマツを植栽する方法がある。これにより、スギは養分に富み土壌水分状態の良好な谷部に植栽されるため、成長が良くなり、結果的に間伐により立木密度が低くなると考えられる。立木密度と試験区面積の関係について重要なことが、さらに一つある。例えば、図-3で示したヒノキ試験区の境界を、面積を変えずに約1 m真西へ移動させると、一番東側の植栽列である4本のヒノキが試験区域外となるような試験区が設定可能である。これらの4本は、表-3(c)における樹木NO.1～NO.4に相当するが、これらを除外してヒノキ試験区の a_S 、 a_{SS} お

よび a_{SW} を試算すると、 $a_S = 0.090$ 、 $a_{SS} = 0.1348$ 、 $a_{SW} = 0.0719$ となり、各係数が約22%減少する結果となる。つまり、試験区の場所選定によっては、林分の樹幹流下量の計算結果は大きく変化することを意味している。この問題については、これまでの研究例ではあまり議論されてこなかった。特に、スギやヒノキのように単木の樹幹流下量の多い森林を対象にする場合は、この点に関する議論は重要である。当然のことだが、試験区の面積が大きければ大きいほど、試験区枠の設定から生ずる誤差は小さくできるはずである。しかし、試験区面積の増加は、試験区内の樹木本数の増加をまねき、全木測定する場合には測定の手間を、各樹木の樹幹流下量を推定する場合にはその誤差を大きくする原因となる。その解決策は、試験区を設定する時点で、試験区の立木密度や樹木サイズの構成が、試験区周辺のものと大きな差があるかどうかを十分に検討することである。袋山沢試験流域のスギ・ヒノキ各試験区の立木密度と、周辺の上層木の平均的な立木密度と比較にすることに関しては、本報で十分な検討をおこなえなかったため、再検討が必要である。

スギ林分での長期間にわたる樹幹流下量の降水量に対する割合（樹幹流下率、 $SF\%P$ ）を報告した事例として、佐藤（2003b）の報告がある（表-5）。佐藤（2003b）は、30年生のスギ林分の $SF\%P$ が約10%であったとしており、これは本報で報告した70年生のスギ林分での $SF\%P$ の約2倍に相当する。この差が生じた一因として、観測対象にした林分の構造の違い、特に佐藤（2003b）が対象にしたスギ林分の立木密度が本報の扱った林分の約3倍であったことが考えられる。つまり、立木密度が大きいほど樹幹流下率が大きいという関係となったが、日本のスギ林分における $SF\%P$ の報告例は極めて少なく、この関係が一般的な傾向であるかどうかについては現段階では不明である。一方、ヒノキ林での樹幹流下率の報告事例は比較的多く、その値は約6%から12%の範囲であり、本報で得られた値は服部ら（1982, 1988）が観測対象にした29-31年生のヒノキ林分に近い値であった。

降水量から樹幹流下量に配分される割合を示す林分の樹幹流下量係数 a_S の大きさを、各林分の BA について整理したものが図-21(b)である。図-21(b)では、本報で扱った二試験区の平均的な樹幹流下量係数（ a_S ）を本報の値としてプロットし、弱風時と強風時の樹幹流下量係数（ a_{SW} 、 a_{SS} ）をエラーバーで示している。生原・相場（1982）のヒノキ壮齢林での結果を除くと、 BA が大きいヒノキ林分ほどその a_S が大きい傾向があることがわかる。ただし、本報で得られた BA が90 (m^2/ha) のヒノキ林の a_S は、 BA が40-60 (m^2/ha) の林分と同程度であり、上述した増加傾向も頭打ちになる可能性がある。また、ヒノキ林の a_S を同程度の BA である他の針葉樹の a_S と比較すると、非常に大きいことがわかる。これは、ヒノキ林が他の樹種と比較して樹幹流下量が多いという整理結果（服部・阿部, 1989）を裏付けるものである。図-21(b)には、他の針葉樹林分の a_S を整理しているが、アカマツ林は BA の大きさに依らず非常に小さい値を示していることがわかる。ただし、この傾向に対して例外的な事例が2例存在する。そのうちの1例である村井（1970）は、 BA の値が27 (m^2/ha) のアカマツ林分で比較的大きい a_S (=0.007) を観測している。これは、アカマツ天然壮齢林の下層に発達した低木層からの寄与が大きかったことが原因である。もう一つの例外である鈴木ら（1979）のアカマツ林の値も比較的高い a_S を示しているが、正確には、この林分はアカマツとヒノキの混交林であるため、この林分の樹幹流下量に対するヒノキの樹幹流下量の寄与が大きかったと考えられる。カラマツ林の樹幹流下量は他の樹種と比較して少ないとされているが（村井, 1993）、図-21(b)から判断される限りでは、 BA が小さい範囲の林分に対して研究がおこなわれてきたことも、その結論が導きだされた原因

の一つであると考えられる。

4.3. 下層木の樹幹流下量, 下層木による遮断量

我が国の森林において樹幹流下量を測定した研究のうち、林分を構成する主要な樹種だけでなく下層木の測定をおこなった事例は非常に少ない。鈴木ら（1979）は、77年生のヒノキ壮齢林分の樹幹流下量を観測した結果、下層木の樹幹流下量が林分の樹幹流下量のうち半分を占めていたと報告している。また、村井（1970）は低木層の発達した43年生のアカマツ天然林において、アカマツおよびその林分の下層木の樹幹流下量が年降水量に対して、それぞれ0.5%と3.5%であることを見出している。図-21で示したように、アカマツの樹幹流下量は他の針葉樹に比べて非常に少ないが、下層木を考慮にいとするとその量が8倍にもなるという結果であり、下層木の樹幹流下量が林分の水収支を考えるうえで重要な因子であることを示唆するものである。また、MANFROI et al. (2004)は、ボルネオ島の樹高約40mの低地熱帯林において、100m²のプロット内の下層木を含む全木の樹幹流下量を測定した結果、林分全体の樹幹流下量（降水量の約3%）の約78%は、DBHが1cm～10cmの小径木の樹幹流下量が寄与していたという結果を示している。図-18では、この研究事例で得られた単木の樹幹流下量係数 a_S^* (ml/mm)の値 ($n=66$)を、本報でおこなった48本の下層木の a_S^* と比較している。ボルネオの低地熱帯林の a_S^*-DBH 関係のほうがスギ・ヒノキ林のものに比べて若干ばらつきが大きい、これは、低地熱帯林の a_S^* のほうが林分の構造が複雑であることや下層木の樹種構成がより多様であるためと考えられる。ただし、両林分の下層木の a_S^*-DBH の平均的な関係は、おおむね同じであるといえる。つまり、単位降水量に対する下層木の樹幹流下量への配分量が平均的には同程度であることを示しており、両林分の樹冠上層部の構造の違いや気象条件の違いを考えると意外な結果である。図-19は、両林分の下層木の樹幹流下開始雨量 (b_S^*/a_S^*)を比較したものである。両林分ともに b_S^*/a_S^*-DBH 関係は非常にばらついた関係を示すが、おおむねスギ・ヒノキ林の下層木の樹幹流下量の開始雨量は、ボルネオ島の低地熱帯林の下層木の開始雨量よりも大きくなる傾向が読み取れる。これは、低地熱帯林の上層木の樹冠付着水分量がスギ・ヒノキなどの針葉樹に比べて小さいため、より少ない雨量で上層木からの樹冠通過雨量の滴下が始まった結果であると考えられる。これら比較結果をまとめると、日本のスギ・ヒノキ人工林の下層木から生成される樹幹流下量は、ボルネオ島の低地熱帯林の下層木の樹幹流下量と比較して、その流下開始雨量が大きく、流下開始後の単位降水量からの生成量 (a_S^*)は同程度であることがわかった。図-18には、鈴木ら（1979）が報告している日本の滋賀県のヒノキ・アカマツ混交林に存在したコバノミツバツツジ、コシアブラ、ネジキ、コナラの a_S^* をプロットしているが、これらもほぼ本報で得られた a_S^*-DBH 関係で説明できる範囲であった。これまでは、下層木単木の a_S とDBHの関係を比較したが、林分の降雨時の水循環を考えた場合、林分の下層木の立木密度も重要である。ボルネオ島の低地熱帯林には、本報で扱ったスギ・ヒノキ林の約3倍の立木密度で下層木が存在するため、林分単位での下層木の樹幹流下量では重要な一要素となっていた。一方で、袋山沢流域試験地ではスギ・ヒノキ壮齢林では下層木の立木密度が小さかったため、樹幹流下率が1%未満であるという結果となった。

袋山沢流域試験流域のスギ・ヒノキ壮齢林の樹冠部における降雨中の水循環過程に対する下層木の影響は小さいという結果となったが、林分をもう少しミクロに捕らえてみると、そのプロセスも重要であることがわかる。例えば、表-2からヒノキ試験区の下層木のBAのヒノキ試験区の

面積に対する割合を求めると、その値は0.02%以下である。仮に、100 mmの降水イベントが発生しヒノキ試験区の下層木の樹幹流下量が1 mmであった場合、BAあたりの水高は約5,000 mmである。つまり、単位面積あたり、下層木の根元には降水量の50倍の雨水が集中しているという結果である。これは、同林分での下層木の樹冠下の樹冠通過雨量の空間分布を詳細に調べた研究(田中ら, 印刷中)によって観測された集中滴下点と共に、降雨の森林の樹冠により再配分されて林床に至るプロセス、あるいは林床に至った雨水が土壌水分の空間分布を形成するプロセスを考える上では重要な現象であることを示している。また、同じことを上層木の樹幹流下量についてスギ試験区の場合について考察してみる。スギ林の胸高断面積合計に対するプロット面積の割合は0.6%を占めているが、この狭い範囲に雨水の約5%が集中するという結果である。仮に、100 mmの降水においてスギ林分で5 mmの Sf_U が生成されたとすると、スギの根元に単位面積あたり約833 mmの雨水が集中するという計算になる。このような局所的な林床への雨水の集中が土壌水分の空間分布や斜面の水文過程に与える影響はFORD and DEANS (1978), DUROCHER (1990), TANIGUCHI et al. (1996)によっても指摘されており、このような観点から上層木や下層木の樹幹流下量を検討する必要性が示された。

V. 結 論

今後の我が国において、面積が増大すると予測されるスギ・ヒノキ壮齢林の樹冠通過雨量, 樹幹流下量, および樹冠遮断量を東京大学大学院附属千葉演習林の袋山沢試験流域で調べた結果、以下のことが整理された。

スギ林の一雨降水量(P)と樹冠通過雨量(Tf)の関係は $Tf = 0.877P - 2.443$ で、またヒノキ林では $Tf = 0.825P - 2.178$ で表すことができた。全観測期間の総降水量に対する Tf の割合($Tf\%P$)はスギ林で79%, ヒノキ林で74%であった。一雨降水量が約400 mmの大降水量の台風イベントが2度発生した年の $Tf\%P$ は通常の年よりも大きくなった。

一雨降水量と上層木の樹幹流下量(Sf)の平均的な関係を推定した結果、スギ林で $Sf = 0.064P - 0.447$, ヒノキ林では $Sf = 0.114P - 0.798$ という関係式が得られた。また、 Sf の全期間の総降水量に対する割合は、スギ林で5%, ヒノキ林で10%であった。

Tf と Sf の集計の結果、6ヶ月間ないしは1年間の降水量に対する樹冠遮断量の割合は、通常、スギ林において17%前後、ヒノキ林において16–18%前後であった。ただし、大雨量の台風が2度発生した年の樹冠遮断量の降水量に対する割合は、スギ林、ヒノキ林ともに11.7%となり、通常の期間の値よりも小さい値となった。

本報で得られた期間毎の $Tf\%P$ を、既往の報告で得られているスギ・ヒノキ林や他の針葉樹の値と比較し、その特徴を抽出した。スギ林での報告事例は少ないために明確な傾向は把握できなかった。一方で、ヒノキ林の $Tf\%P$ に関するこれまでの研究事例を整理すると、林分の胸高断面積合計(BA)の増大に伴い $Tf\%P$ が低下する傾向が見られたが、本報で得られた結果を加味すると、その傾向はかならずしも一般的ではないことが把握された。つまり、本報で観測したヒノキ林のBAが大きい $Tf\%P$ が高いという結果であった。

本報で得られたスギ・ヒノキ壮齢林の上層木の樹幹流下量係数(a_S)を、既往の報告で得られているスギ・ヒノキ林や他の針葉樹の値と比較し、その特徴を抽出した。比較した針葉樹の中では、BAが同程度であればヒノキ林分は大きい a_S を示すことが確認され、その大きさはBAの増

加に伴い大きくなることがわかった。

また、スギ・ヒノキ両林分の下層木の樹幹流下量や調べたが、それらは降水量の1%未満であることがわかった。これらは従来の研究結果と比較され、滋賀県のヒノキ・アカマツ混交林やボルネオの低地熱帯林の下層木の樹幹流下量の特性と比較された。

下層木による樹冠遮断量の算定を試みたが、これらの降水量に対する割合は多く見積もっても、スギ林で0.3%程度、ヒノキ林で1.2%程度の微小な量であり、本報の観測システムで正確に検知できていたかどうかについて再検討する必要性が示された。いずれにせよ、本報の観測対象としたスギ・ヒノキ壮齢林の樹冠における降水の配分過程に対する下層木の影響は、非常に小さいことが確認された。

謝 辞

本報作成のためのデータ収集には、当時の東京大学農学部森林理水および砂防研究室の学部生、大学院生の皆様にはご協力いただいた。また、本学生圏システム学専攻井出雄二教授（データ収集当時千葉演習林長）をはじめ多くの職員の方々には、本報の観測に対してご理解を示していただき、ご支援をいただいた。さらに、ODAIR JOSE MANFROI氏にはボルネオ熱帯林における貴重なデータを提供していただいた。ここに記して謝意を表します。

要 旨

東京大学大学院附属千葉演習林の袋山沢試験流域のスギ・ヒノキ壮齢林において、樹冠通過雨量と樹幹流下量の研究をおこなった。その結果、スギ林の一雨降水量（ P ）と樹冠通過雨量（ Tf ）の関係は $Tf = 0.877 P - 2.443$ で、またヒノキ林では $Tf = 0.825 P - 2.178$ で表すことができた。全観測期間の総降水量に対する Tf の割合はスギ林で79%、ヒノキ林で74%であった。また、同じ試験地で行われた単木の樹幹流下量の研究成果を考慮して、一雨降水量と上層木の樹幹流下量（ Sf ）の平均的な関係を推定した結果、スギ林で $Sf = 0.064 P - 0.447$ 、ヒノキ林では $Sf = 0.114 P - 0.798$ という関係式が得られた。また、 Sf の全期間の総降水量に対する割合は、スギ林で5%、ヒノキ林で10%であった。これらの Tf と Sf の集計の結果、6ヶ月ないしは1年間の降水量に対する樹冠遮断量の割合は、通常、スギ林において17%前後、ヒノキ林において16–18%前後であった。本報で得られた Tf や Sf の値や回帰式の係数は、スギ・ヒノキ林や他の針葉樹で得られている既往の報告値と比較され、スギ・ヒノキ壮齢林における Tf や Sf の特徴を整理することができた。また、スギ・ヒノキ両林分の下層木の樹幹流下量や調べたが、それらは降水量の1%未満であることがわかった。これらは従来の研究結果と比較され、滋賀県のヒノキ・アカマツ混交林やボルネオの低地熱帯林の下層木の樹幹流下量の特性と比較された。さらに、下層木による樹冠遮断量の算定を試みたが、これらの降水量に対する割合は多く見積もっても、スギ林で0.3%程度、ヒノキ林で1.2%程度の微小な量であり、本報の観測システムで正確に検知できていたかどうかについて再検討する必要性が示された。いずれにせよ、本報の観測対象としたスギ・ヒノキ壮齢林の樹冠における降水の配分過程に対する下層木の影響は、非常に小さいことが確認された。

キーワード： スギ・ヒノキ壮齢林、樹冠通過雨量、樹幹流下量、下層木、樹冠遮断量

引用文献

- CROCKFORD, R.H. and RICHARDSON, D.P.(1990) Partitioning of rainfall in a eucalypt forest and pine plantation in southeastern Australia: II Stemflow and factors affecting stemflow in a dry sclerophyll eucalypt forest and a *Pinus radiata* plantation. *Hydrol. Proc.* 4: 145-155.
- DUROCHER, M.G.(1990) Monitoring spatial variability of forest interception. *Hydrol. Proc.* 4: 215-229.
- FORD, E.D. and DEANS, J.D.(1978) The effects of canopy structure on stemflow, throughfall and interception loss in a young sitka spruce plantation. *J. Appl. Ecol.* 15: 905-917.
- 藤井真一 (1959) ヒノキ林の遮断雨量に関する試験, 日林誌, 41: 262-269.
- GASH, J.H.C. and MORTON, A.J.(1978) An application of the Rutter model to the estimation of the interception loss from theford forest. *J. Hydrol.* 38: 49-58.
- GASH, J.H.C(1979) An analytical model of rainfall interception by forests. *Quart. J. R. Met. Soc.* 105: 43-55.
- 後藤寛和 (1995) 降雨特性が樹冠遮断雨量に与える影響, 東京大学農学部卒業論文, 53pp
- 生原喜久雄・相場芳憲 (1982) スギ・ヒノキ壮齢林小流域における養分の循環とその収支, 日林論, 64: 8-14.
- HASHINO, M., YAO, H., and YOSHIDA, H.(2002) Studies and evaluations on interception processes during rainfall based on a tank model. *J. Hydrol.* 255: 1-11.
- 服部重昭・近嵐弘栄・竹内信次 (1982) ヒノキ林における樹冠遮断量測定とその微気象学的解析, 林試研報, 318: 79-102.
- 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, 日林誌, 70: 529-533.
- 服部重昭・阿部俊夫 (1989) 竹林における降雨遮断特性, 水利科学, 33: 34-53.
- HELVEY, J.D. and PATRIC, J.H.(1965) Canopy and litter interception of rainfall by harswoods of eastern United States. *Water. Resour. Res.* 1: 193-206.
- 細田育広・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 -, 日林論, 101: 587-588.
- 岩坪五郎・堤 利夫 (1967) 森林内外の降水中の養分量について (第2報), 京大演報, 39: 110-124.
- KLAASSEN, W., BOSVELD, F., and de WATER, E.(1998) Water storage and evaporation as constituents of rainfall interception. *J. Hydrol.* 212-213: 36-50.
- 蔵治光一郎・田中延亮・白木克繁・唐鎌 勇・太田猛彦 (1997) 風速がスギ, ヒノキ壮齢林の樹幹流下量に及ぼす影響, 日林誌, 79: 215-221.
- 蔵治光一郎・山中千恵子・永島利夫・軽込 勉・則定真利子 (1998) 房総半島清澄山系の降雨特性 (1) 清澄観測点における平均降雨量の算定, 東大演報, 99: 235-243.
- 蔵治光一郎 (2002) 降水量, 東京大学千葉演習林袋山沢における総合対照流域法調査に関する報告書, 260pp, 東京大学大学院農学生命科学研究科森林科学専攻森林理水および砂防工学研究室編, 東京, 27.
- LEYTON, L., REYNOLDS, E.R.C., and THOMPSON, F.B.(1967) Rainfall interception in forest and mooland. *Int. Sym. On For. Hyd.*, Pergamon Press, Oxford, 163-178.
- LINK, T. E., UNSWORTH, M., and MARKS, D.(2004) The dynamics of rainfall interception by a seasonal temperate rainforest. *Agric. For. Meteorol.* 124: 171-191.
- LLORENS, P., POCH, R., LATRON, J., and GALLART, F.(1997) Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area. I. Monitoring design and results down to the event scale. *J. Hydrol.* 199: 331-345.
- 間島政紀・田瀬則雄 (1982) アカマツ林内の降雨量の空間的分布について, 筑波大学水理実験センター報告, 6: 75-82.
- MANFROI, O.J., KURAJI, K., TANAKA, N., SUZUKI, M., NAKAGAWA, M., NAKASHIZUKA, T., and CHONG, L.(2004) The stemflow of trees in a Bornean lowland tropical forest. *Hydrol. Proc.* doi: 10.1002/hyp.1474.
- MITSUDERA, M., KAMATA, Y., and NAKANE, K.(1984) Effect of fire on water and major nutrient budgets in forest ecosystems. III. Rainfall interception by forest canopy. *Jap. J. Eol.* 34: 15-25.
- 村井 宏 (1970) 森林植生による降雨のしゃ断についての研究, 林試研報, 232: 25-64.
- 村井 宏 (1993) 広葉樹林地, 針葉樹林地および草地の水文特性の比較, 水利科学, 211: 1-40.

- 中北 理・葛山秀一・竹下敬司 (1986) スギ・ヒノキ林の樹幹流量と枝葉付着水分量について, 日林論, 97: 529-530.
- 農商務省山林局編 (1917) 森林特報, 4: 1-133.
- PARK, H.-T., HATTORI, S., and KANG, H.-M. (2000) Seasonal and inter-plot variations of stemflow, throughfall and interception loss in two deciduous broad-leaved forests. J. Jpn. Soc. Hydrol. Water Resour. 13: 17-30.
- PARK, H.-T. and HATTORI, S. (2002) Applicability of stand structural characteristics to stemflow modeling. J. For. Res. 7: 91-98.
- RUTTER, A. J., KERSHAW, K. A., ROBINS, P. C., and MORTON, A. J. (1971) A predictive model of rainfall interception in forests: 1. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine. Agric. Meteorol. 9: 367-384.
- RUTTER, A. J., MORTON, A. J., and ROBINS, P. C. (1975) A predictive model of rainfall interception in forests 2. Generation of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands. J. Appl. Ecol. 12: 367-380.
- 真田 勝・太田誠一・大友玲子・真田悦子 (1991) 札幌近郊におけるトドマツ, エゾマツ人工林の樹幹流・林内雨および林外雨について, 森林立地, 33: 8-15.
- 佐藤嘉展 (2003a) 樹冠構造の違いが樹冠通過雨の分布特性に及ぼす影響—スギ林とマテバシイ林における樹冠通過雨特性の比較—, 水文・水資源学会誌, 16: 605-617.
- 佐藤嘉展 (2003b) リター層を考慮した森林地における降雨遮断過程の定量的評価に関する研究, 九州大学農学部博士論文, 85pp
- 鈴木雅一・加藤博之・谷 誠・福嶋義宏 (1979) 桐生試験地における樹冠通過雨量, 樹幹流量, 遮断流の研究 (I) 樹冠通過雨量と樹幹流量について, 日林誌, 61: 202-210.
- 陶山正憲 (2004) 森林による水保全機能の発現機構について, 森林技術, 751: 2-7.
- 田中延亮・蔵治光一郎・鈴木雅一・太田猛彦 (印刷中) ヒノキ壮齢林の下層樹木の樹冠下における樹冠通過雨量の空間分布特性, 東大演報
- TANIGUCHI, M., TSUJIMURA, M., and TANAKA, T. (1996) Significance of stemflow in ground water recharge. 1: Evaluation of the stemflow contribution to recharge using mass balance approach. Hydrol. Proc. 10: 71-80.
- 田瀬則雄・間島政紀 (1983) アカマツ林内の林内雨量シミュレーション, 筑波大学水理実験センター報告, 7: 9-15.
- TEKLEHAIMANOT, Z. and JARVIS, P. G. (1991) Direct measurement of evaporation of intercepted water from forest canopies. J. Appl. Ecol. 28: 603-618.
- 鳥羽 妙・太田岳史 (2002) 森林樹冠構造の相違による遮断蒸発特性の変動とモデル化, 水文・水資源学会誌, 15: 345-361.
- 東京大学農学部附属演習林 (1997a) 東京大学演習林気象報告 (自 1995 年 1 月至 1995 年 12 月), 演習林, 35: 125-252.
- 東京大学農学部附属演習林 (1997b) 東京大学演習林気象報告 (自 1996 年 1 月至 1996 年 12 月), 演習林, 37: 83-210.
- 東京大学農学部附属演習林 (1999) 東京大学演習林気象報告 (自 1997 年 1 月至 1997 年 12 月), 演習林, 38: 147-274.
- 東京大学農学部附属演習林 (2000) 東京大学演習林気象報告 (自 1998 年 1 月至 1998 年 12 月), 演習林, 39: 59-186.

(2004 年 10 月 29 日受付)

(2005 年 1 月 12 日受理)

Summary

An observational study on throughfall, stemflow in mature *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* stands were conducted at Fukuroyamasawa watershed in Tokyo University Forest in Chiba. Relationships between throughfall (T_f) and rainfall (P) in both forests

were expressed by regression lines on an event basis: $Tf = 0.877 P - 2.443$ for the *Cryptomeria japonica* stand, $Tf = 0.825 P - 2.178$ for the *Chamaecyparis obtusa* stand. Ratios of total observed Tf to total P were 79 and 74 % in the *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* stands, respectively. Stemflow by upper story trees (Sf) in the both stands were estimated using relationships between stemflow coefficients and tree sizes, which were shown by a previous study on stemflow volume in the same stands. The results showed that Sf could be expressed by equations on an event basis: $Sf = 0.064 P - 0.447$ for the *Cryptomeria japonica* stand and $Sf = 0.114 P - 0.798$ for the *Chamaecyparis obtusa* stand. Total stemflow fractions to total rainfall were 5 and 10 % for the *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* stand, respectively. Periodic rainfall interception for six months or twelve months usually accounted 17 and 16-18 % of total rainfall for the *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* stand, respectively. The amounts and coefficients of Tf and Sf in the two mature stands were compared with those reported by previous interception studies in Japanese conifer forests. Also, this study showed that stemflow generated by understory trees in the two stands were less than 1 % of total rainfall. The stemflow coefficients of the understory trees were compared with those obtained at a mixed-stand of Japanese pine and Japanese cypress, and with those observed in a Bornean lowland tropical forest. Moreover, an attempt of this study to evaluate interception loss by the canopies of understory trees indicated that the maximum possible periodic interception rate were 0.3 and 1.2 % of total rainfall in the *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* stand, respectively. These small proportions suggested that further analysis were necessary to understand whether the installations of this study for monitoring interception loss by understory trees could detect the small amount or not. In any case, the effects of understory trees on the water balance in rain time were not significant at the two stands.

Key words: Mature *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* stands, Throughfall, Stemflow, Understory trees, Rainfall interception