

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

服部重昭⁽¹⁾・近嵐弘栄⁽²⁾・竹内信治⁽³⁾Shigeaki HATTORI, Hiroei CHIKARASHI and Nobuji TAKEUCHI :
Measurement of the Rainfall Interception and its
Micrometeorological Analysis in a Hinoki Stand

要 旨：森林の降雨遮断現象を解明するため、ヒノキ人工林において樹冠遮断量および林地の微気象測定を行った。その結果、年降雨量 1,542.5 mm に対し、樹冠通過雨量、樹幹流量および樹冠遮断量はそれぞれ 1,044.2 mm, 169.4 mm, 328.9 mm で、年降雨量に対する割合はそれぞれ 67.7%, 11.0%, 21.3% であった。降雨量と樹冠通過雨量、樹幹流量および樹冠遮断量の関係は、一次式で良く近似された。また、樹冠遮断量は降雨強度と降雨継続時間が大きいほど増大する傾向が見られた。林分の直達雨量は降雨量の約 20% と推定され、樹体を濡らすのに必要な最小限の水量と定義された飽和付着水分量は 1.24 mm であった。樹幹流下が発生する雨量は 4.5 mm と推定された。

樹冠遮断量と微気象因子との関係については、樹冠遮断量と気温、純放射量の相関が低いことがわかった。一方、風速、飽和水蒸気圧差は樹冠遮断量と正の相関が認められた。以上の微気象解析に基づいて、PENMAN-MONTEITH 式を用いて樹冠遮断量の推定を行った。樹冠遮断量の予測精度は十分でなかったが、樹体付着水分の推定、表面抵抗と風速の関係、樹冠の濡れ具合の扱い方などを明らかにすることにより、樹冠遮断現象の微気象学的な解明は前進し、その予測精度も向上すると推察された。

目 次

I ま え が き	80
II 試験地の概況	81
III 測定方法および測器	81
(1) 樹冠通過雨量、樹幹流量、樹冠遮断量の測定	81
(2) 林地の気象観測	82
IV 結果と考察	83
(1) 気象概況	83
(2) 樹冠通過雨量と樹幹流量の推定誤差の検討	84
(3) 樹冠通過雨量、樹幹流量および樹冠遮断量の月変化	85
(4) 一降雨量と樹冠通過雨量、樹幹流量および樹冠遮断量の関係	85
(5) 一降雨量と樹冠通過雨量率、樹幹流下率および樹冠遮断率の関係	88
(6) 降雨強度を考慮した場合の降雨継続時間と樹冠遮断量および樹冠遮断率の関係	90
(7) 直達雨量率について	91
(8) 飽和付着水分量について	92
(9) 樹幹流下の発生雨量について	93
(10) 樹冠遮断量と微気象因子の関係	94
(11) 樹冠遮断量の微気象学的予測	97
V あ と が き	99
引用文献	100
Summary	101

I ま え が き

森林に降った雨水の一部は、樹体に附着貯留され、地表面に達することなく大気中に戻る。この量は樹冠遮断量と呼ばれ、森林流域における水収支、水循環において重要な位置を占めてきた。そのため、種々の林分を対象に樹冠通過雨量、樹幹流下量の測定が実施され、樹冠遮断量の推定がなされてきた。そこでまず、今日までの樹冠通過雨量、樹幹流下量および樹冠遮断量に関する研究の流れを概観する。

わが国における樹冠遮断量の測定は、森林測候所において森林内外における気象条件の比較調査の一環として始められた。1917年の山林局の報告¹⁷⁾に、林木の雨水保持量としてスギ林の樹冠遮断量の測定結果が記載されている。また、1921年には平田⁴⁾が、森林測候所の雨量資料を用いて樹冠保留雨量という形で森林の遮断特性、樹種別の遮断率の比較を行っている。このように樹冠通過雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量は、森林の気象、とくに降雨量に及ぼす影響を解明するための要素と考えられていた。その後いろいろな森林、気象条件下で、樹冠遮断量の測定が実施されてきた。そして、それにともない、樹冠遮断の位置づけも当初とは異なってきた。つまり、樹冠遮断は林分や流域水収支において、樹木からの蒸散、地面からの蒸発とともに蒸発散項を形成する重要な因子と考えられるようになった。この背景には樹冠遮断の蒸発現象としての物理的解明が進行していることを見逃すことはできない。

森林の樹冠遮断に関する実証的研究として村井¹⁸⁾の研究がある。それは、アカマツ林、カラマツ林を対象に行われたもので、樹冠遮断量の経年測定から、下層低木類の遮断量測定、間伐、葉の脱着が遮断量におよぼす影響の解析、さらに落葉地被物の保水量の測定にまでおよんでいる。村井の研究は、樹冠遮断を定量的かつ総合的に解明した点で高く評価される。

樹冠通過雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量に関する理論的研究としては、武田²⁴⁾の報告がある。武田は樹冠に貯留される水分の時間変化に関する方程式を一定の仮定のもとで解くことにより、樹冠付着量の時間変化および樹冠通過雨量、樹幹流下量と降雨量の関係式を導いた。そしてこれらの関係式の定数に経験的な数値を与えることにより、それらが実測値とよく適合することを確認している。

さらに、近年、樹冠遮断を蒸発現象として物理的に解析し、そのうえに立って遮断量を推定する研究が進められている。例えば、鈴木ら²⁸⁾は桐生試験地における樹冠遮断量の解析結果を基礎に遮断量計算モデルを作成し、樹冠遮断量の推定を行っている。そのモデル中に導入された降雨中蒸発強度は、微気象学的な検証が必要であるとはいえ、樹冠遮断を蒸発現象として取扱った点で評価される。

前記のような降雨量、樹冠通過雨量、樹幹流下量から樹冠遮断量を求める方法を間接測定法とするならば、直接測定法として、葉枝に付着する水分量から樹冠遮断量を推定する方法をあげることができる。田崎²⁹⁾は葉枝に散水を行い、その重量変化より葉枝の最大水分付着量を推定した。これは室内実験で、しかも小枝を試料としているため降雨時における林分へと拡張するには、まだ問題が残されていると考えられる。

以上のように樹冠遮断に関する研究の推移を概観するとき、次のような点についての取組みが弱いため、今後、理論的かつ実証的に補強しなければならないと考えられた。

第1に、森林に関する情報、例えば、葉、枝、幹の表面積、蓄積、枝葉の着生形などと樹冠遮断量の関係についての研究が不十分である。従来は主として気象条件、とくに降雨条件と樹冠遮断の関係にウェイトが置かれてきた。しかし、樹冠通過雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量と森林の関係を一般的に表現するには、これらの情報は欠くことができないし、現象的にも蒸発面の大きさ、樹体への付着水分量を規定する

因子として重要である。また、森林の樹冠遮断量を予測する汎用性のあるモデルを作成するには、当然このような森林に関する情報が組み込まなければならない。

第2に、樹冠遮断の蒸発現象としての解明をさらに前進させる必要がある。つまり樹冠に付着した雨水が蒸発する過程を森林およびその環境との関係において解析しなければならない。そして、そこでは森林微気象との密接な関係が予想される。この種の研究は国外ではすでに着手されており、代表的なものとして、RUTTERら¹⁹⁾²⁰⁾、STEWART²¹⁾、MURPHY¹⁶⁾の研究がある。しかし、わが国ではこの方面の研究が遅れているため、今後いろいろな森林において、微気象学的にアプローチすることにより、樹冠遮断の物理的な解明を行わねばならない。

本報告は、ヒノキ人工林における樹冠通過雨量、樹幹流下量および樹冠遮断量を測定し、これらと降雨量、降雨強度、降雨時間の関係を解析することにより、ヒノキ林の樹冠遮断特性を明らかにした。それと同時に、ヒノキ林地の微気象を測定し、それと樹冠遮断量の関係を解析した。これは樹冠遮断の物理的解明の第一歩として、これに微気象学的な面からの考察を加えたものである。

II 試験地の概況

試験地は茨城県下笠間営林署管内の天岳良国有林38林班・に小班で、29年生のヒノキ人工林である。林分面積は約4.5ha、平均樹高11m、平均胸高直径16.1cm、材積140m³/haで、林冠疎密度は密である。林況および林冠の様子をPhoto. 1, 2に示した。林冠は完全に閉鎖しているので、下層植生は林縁およびサンスポットの的に日射が到達する部分にヒサカキ、クロモジ、リュウブ、ヤマツツジ、コミネカエデなどが点在する。

標高は250~350mで、傾斜は林分下部で約11度と緩であるが、その上部では約25度と急になる。斜面方位はN40°Eである。表層地質は花崗岩で、その上に関東ロームが厚く堆積しており、土壌は褐色森林土壌Bdに属する。層位はA₀層が約1cm、A層が20~30cm、B層が約60cmで、その下はC層で非常に厚く堆積している。

III 測定方法および測器

(1) 樹冠通過雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量の測定

ヒノキ林の平均的な立木密度、樹冠密度と考えられる場所を選び、そこに試験区を設定した。試験区の大きさは4.5m×6.5mで、6本のヒノキが存在する。試験区内には下層植生は存在しない。

樹冠通過雨量は、幅20cm、長さ512cmの樋型雨量計3本を試験区内に配置して測定した。Fig. 1, Photo. 3にその配置を示したが、これは主として樹冠の疎密を考慮して決定した。なお、受水面の地上高は60cmである。樋型雨量計に落下した雨水は、下端の排水口よりビニールホースで自動排水装置付きの量水器に導かれ測定される。樋型雨量計は排水口が落葉、落枝、埃などで詰まり、欠測を生ずる危険が

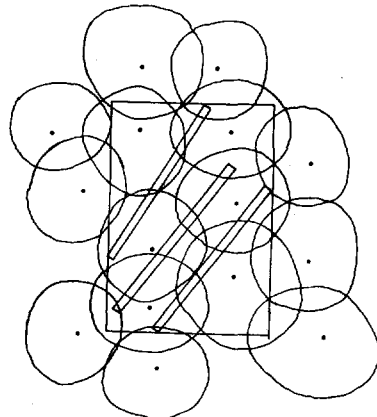


Fig. 1 樹冠遮断量試験区の樹冠投影図と樋型雨量計の配置

Crown cover map of the experimental plot and the arrangement of throughfall troughs.

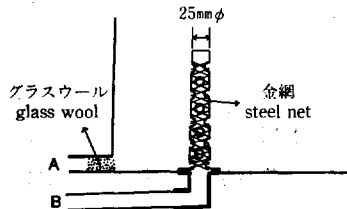


Fig. 2 桶型雨量計の排水装置
Drainage device of throughfall trough.

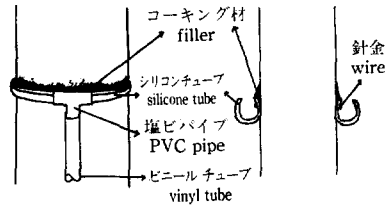


Fig. 3 樹幹流下量の測定装置
Installation of stem flow instrument.

ある。そこで、今回このような詰りを防止するため、理水第 2 研究室で考案した Fig. 2 のような排水装置を使用した。通常は A のパイプから排水されるが、これが何らかの原因で詰った場合には、B の排水穴付きのパイプより排水が行われる。A のパイプには落葉などの流出を防ぐため少量のグラスウールが充填されている。さらに、桶型雨量計に落ちた葉、枝などへの水分付着による推定誤差を軽減するため、週に 1 回、桶型雨量計内の掃除とグラスウールの交換を行った。

なお、桶型雨量計の受水面積は、試験区面積の約 11% に相当する。

樹幹流下量は、試験区内の全木に集水装置を取付けて測定した。集水装置は Fig. 3 に示したように、内径 20 mm のシリコンホースを背割りに、それを地上高 1.2 m で幹にカラー状に巻き付け、ホースと樹体のすき間にコーキング材を詰めたものである。樹幹流下量はまとめて量水器に導き測定した。巻き付けたホースには落葉、樹皮が入り詰まりの原因となるので、週に 1 度掃除を行った。

樹幹流下量の推定誤差を大きくする原因として、受水面積の推定が指摘される。当該林分は単純一斉林なので樹冠の大きさが比較的均一であり、試験区内外への樹冠の張出しは面積的に相殺されると見なした。つまり、樹幹流下に関与する面積は、試験区面積に等しいと見なして計算を行った。

樹冠通過雨量および樹幹流下量の測定に用いた自動量水器は、Photo. 4 に示したもので、近風³⁾により改良された自動排水装置にフロート式の自記水位計 (FW-25) を取付けたものである。自動量水器の量水槽は 120 l で、排水速度は約 100 l/min である。自記水位計は、紙送り速度 5 mm/hr で、林内の高湿条件を考慮して、伸縮しない樹脂製の記録紙を用いた。

このようにして測定された樹冠通過雨量、樹幹流下量は、1 時間毎に読み取り水高換算した。したがって、樹冠遮断量は降雨量より樹冠通過雨量と樹幹流下量を差し引くことにより計算された。

(2) 林地の気象観測

林地の気象観測は、Photo. 5 に示した当該林分に隣接した気象観測露場と林内に建てた鉄塔で行った。露場で測定した気象因子は、降雨量、風向、風速、気温、相対湿度、日照時間である。降雨量は普通雨量計と 1 転倒 0.5 mm の転倒桁型自記雨量計で測定し、時間雨量は前者の降雨量を用いて補正した。風向は矢羽根式、風速は 3 杯型風程式である。気温、日照時間はバイメタル式、相対湿度は毛髪式である。降雨量は 1 時間単位、その他の因子は日単位で整理した。露場で測定された降雨量を樹冠通過雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量の解析では降雨量として使用した。

林地の微気象観測は、林分下部の平坦地で、樹冠遮断量の試験区から約 5 m 離れた所に建てた観測鉄塔で行った。鉄塔は伸縮式で地上高 18 m まで伸びる。鉄塔上で測定した微気象因子は、全短波放射、反射短波放射、純放射 (2 点)、風速 (2 点)、乾球・湿球温度 (4 点) である。その他に、地中 2 cm の深

さに熱流板を埋設して地中熱流量を測定した。全短波、反射短波放射は 14.8 m の高度で、銅・コンスタンタン熱電対を使用した全天日射計で測定した。純放射の測定高度は 13.5, 8 m で、Funk 型の純放射計を用いた。これらの測定精度は ± 5 % である。乾球・湿球温度の測定高度は 14, 11, 10, 8 m で、通風式の白金抵抗温度計を用いた。風速計は 3 杯式で、測定高度は 13, 11 m, 精度は ± 5 % である。地中熱流板は 3 点に設置し、その平均値を用いた。また、その精度は ± 5 % である。

これら測器からの信号は、データ集録処理装置により 2 分毎にサンプリングされ、変換・処理された。出力様式は、30 分毎に平均値あるいは積算値がタイプライターに出力され、さらに、24 時間毎に日合計あるいは日平均値がタイプアウトされる。

以上のような測器、測定方法で、樹冠通過雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量および林地の微気象を測定した。測定開始は、1979 年 11 月であるが、本報告の解析には 1980 年 1~12 月までのデータを使用した。なお、当年、4 回の降雪が観測されたが、解析にはこれらのデータを除いた。

IV 結果と考察

(1) 気象概況

草地の気象観測露場で測定されたデータを月単位に整理したのが Table 1 である。これにより 1980 年の気象条件の特徴を把握する。

最高気温の最大値は 6 月、平均気温の最大値は 6 月と 8 月に現われ、それぞれ 23.5°C, 19.9°C であった。一方、最低気温、平均気温の最小値は 2 月に見られ、それぞれ -2.9°C, 1.2°C であった。年平均気温は 11.5°C であった。最寄りの笠間気象観測所の当年 7, 8, 9 月の気温は、過去 10 年間の平均気温より 2~4°C 低い。当地においても、7, 8, 9 月の平均気温が 20°C 以下であったことから、平年より低温な夏であったことがうかがえた。最低湿度は 7, 8 月に最大で 77%, 最小は 2 月の 40% であった。風速は冬から春にかけて 1.8~2.0 m/s と強く、夏 7, 8 月は 1.2~1.4 m/s と弱くなる。なお、年平均風速は約 1.7 m/s であった。日照時間は 5 月に最大で 8.4 時間、12 月に最小で 5.3 時間、年平均では 6.7 時間であった。とくに、7, 8, 9 月のそれは約 6 時間と短いことから、これらの月では天候が不順であったことがわかる。年降雨量は Table 2 のごとく 1,542.5 mm で、梅雨期の 6, 7 月と 9, 10 月に降雨量が多かった。冬期は降水量が少なく、とくに 2 月は 13.7 mm であった。降雪は 1 月に 1 回、2 月に 2 回、3

Table 1. 林地の気象概況 (1980)
Meteorological conditions in a Hinoki stand

項目 Item	月 Month												平均 Mean
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
最高気温 (°C) Max. temperature	6.2	5.4	8.3	14.2	20.5	23.5	23.1	22.9	21.9	17.6	12.6	7.3	15.3
最低気温 (°C) Min. temperature	-1.5	-2.9	0.1	5.3	11.3	16.3	16.9	17.0	16.2	10.1	4.6	0.1	7.8
平均気温 (°C) Mean temperature	2.3	1.2	4.2	9.7	15.9	19.9	19.4	19.9	19.1	13.9	8.6	3.7	11.5
最低湿度 (%) Min. relative humidity	51	40	48	56	52	65	77	77	67	59	57	51	58
風速 (m/s) Wind speed	1.80	1.80	1.82	2.00	2.00	1.70	1.24	1.43	1.60	1.50	1.44	1.75	1.67
日照時間 (hr) Sunshine hour	6.3	8.3	6.9	7.2	8.4	7.4	6.0	6.0	5.7	6.2	6.2	5.3	6.7

Table 2. 樹冠遮断量, 樹冠遮断率の月変化
Monthly variations of interception and percentage interception

項目 Item	月 Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計 Total
(1) 降雨量 (mm) Rainfall		68.1	13.7	157.6	112.4	173.8	189.0	239.3	118.1	167.3	151.8	110.0	41.4	1,542.5
(2) 樹冠通過雨量 (mm) Throughfall		45.3	5.5	111.9	83.5	118.1	128.1	170.8	78.5	108.5	101.7	68.7	23.6	1,044.2
(3) 樹幹流下量 (mm) Stem flow		5.2	0.0	16.8	11.9	18.1	20.7	25.1	12.4	20.3	20.1	14.4	4.4	169.4
(4) 樹冠遮断量 (mm) Interception		17.6	8.2	28.9	17.0	37.6	40.2	43.4	27.2	38.5	30.0	26.9	13.4	328.9
(5) (2)/(1) (%)		66.5	40.1	71.0	74.3	68.0	67.8	71.4	66.5	64.9	67.0	62.5	57.0	67.7
(6) (3)/(1) (%)		7.6	0.0	10.7	10.6	10.4	11.0	10.5	10.5	12.1	13.2	13.1	10.6	11.0
(7) (4)/(1) (%)		25.9	59.9	18.3	15.1	21.6	21.2	18.1	23.0	23.0	19.8	24.4	32.4	21.3

月に1回の計4回で、降雪量は最大で23.1mmであった。

以上を総括し、1980年の当地の気象は冷夏と呼ばれるような低温で湿潤な夏にその特徴を見出すことができた。

(2) 樹冠通過雨量と樹幹流下量の推定誤差の検討

対象とする林分の樹冠通過雨量、樹幹流下量および樹冠遮断量を推定するためには、林分全体に極めて密に雨量計、樹幹流下量測定装置を配置することが望ましい。しかし、実際問題として、このような測定法を用いることは計器数、労力などの点で困難な場合が多い。そこで一般には、林分の代表地点に試験区を設定し、そこで樹冠通過雨量、樹幹流下量を測定し、林外雨量との差より樹冠遮断量が推定される。したがって、試験区を設定すべき林分の代表地点の選定、そこでの測定方法、測器の配置は、推定精度を決める重要な事項となる。

当該林分は単純一斉林なので、樹冠の分布や密度が比較的均一なうえに、地形も平坦なので林分代表としての試験区を設定し易い条件が揃っている。したがって、林分の平均樹高、平均胸高直径を基準にして、これに等しくなるように試験区の位置、大きさを決めた。

樹冠通過雨量の測定には20cm口径の雨量計や樋型雨量計が用いられる。熊谷¹³⁾は、前者を使用する場合、その個数および配置は標本調査の問題であるとして、これに統計学的な接近を試みている。また、村井¹⁴⁾は、対象林分に単純無作為に雨量計を配置する場合、必要な雨量計最少数 n は $n \geq N/(1 + N/n_0)$ より求められることを述べている。ここで、 N は母集団の大きさ、 n_0 は精度と変化係数で決まる。さらに、全林分を対象に配置した20cm口径の雨量計の測定値と特定位置に設置した樋型雨量計のそれを比較して、両者に一定の器差が認められたが、それは補正が可能であることを報じている。

ここでは、試験区内の林冠が Fig. 1 のように単純なので、試験区内の林冠の疎密度をできる限り網羅し、しかも雨量計受水面積に対する比率を高くすることが精度的に望ましいと考え、樋型雨量計を用いた。

一般に、林分の樹冠通過雨量を測定するに際し、多数の雨量計の設置が種々の制限で無理な場合には、樋型雨量計が有効な測定方法となる。なぜなら、樋型雨量計は長さが5~10mと長いものが使用されるので、受水面積が大きく、しかも種々の林冠疎密度の部分のカバーできるため、平均的な樹冠通過量を

ることができるからである。

樹幹流下量の推定法としては、全木方式と代表木方式が考えられる。前者は対象林分の全木に集水装置を取付ける方式であるが、実際には不可能に近いので、試験区と併用されるのが普通である。後者は対象林分の代表木を選定し、それに集水装置を取付ける方式である。たとえば、林分を直径階級で区分することにより代表木を選出し、それにより測定される流下量に各階級の本数を乗じ、対象林分の樹幹流下量を推定するものである。したがって、一般には試験区・全木方式、試験区・代表木および林分代表木方式のいずれかが用いられる場合が多い。どのような方式が最も精度的に優れているかを判断するのは難しく、林分条件、投入できる測器数、労力および研究目的などを勘案して決定するのがよいと考えられる。ここでは、林分が単純一斉林なので試験区の林分代表性が高いこと、樹幹流下量の経時記録を得ること、試験区内の立木数が6本であることを考慮して、試験区・全木方式を採った。

(3) 樹冠通過雨量、樹幹流下量および樹冠遮断量の月変化

樹冠通過雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量の月総量およびそれらの降雨量に対する割合を Table 2 に示した。年降雨量は 1,542.5 mm で、年樹冠通過雨量、年樹幹流下量はそれぞれ 1,044.2 mm, 169.4 mm であった。したがって、年樹冠遮断量は 328.9 mm と計算された。樹冠遮断量の最大値が出現したのは降雨量が最大であった7月で、それは 43.4 mm に達した。一方、最小値はやはり降雨量が最小であった2月で、樹冠遮断量は 8.2 mm であった。このように樹冠遮断量は、季節的には降雨量の多い夏期に多く、降雨量の少ない冬期に少なくなることがわかる。つぎに、降雨量に対する各量の割合をみると、年量では樹冠通過雨量が 67.7%、樹幹流下量が 11.0%、樹冠遮断量が 21.3% となる。樹冠通過率、樹幹流下率は降雨量の多い樹木の生育期に大きく、降雨量の少ない休止期に小さい傾向がうかがえる。しかし、樹冠遮断率はその逆で、生育期より休止期の方が大きくなる。このように樹冠通過雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量は降雨量と密接な関係があること、樹冠遮断量は降雨量の 21.3% と大きな割合を占めることが判った。このことは、たとえば森林に伐採などの処理が加わると、これら3者の割合が変化するため、林分水収支、流域の水循環に影響が出ることを推察させる。

樹冠通過雨量、樹幹流下量 および 樹冠遮断量 におよぼす森林の影響については興味もたれる所である。当該ヒノキ林においては葉量との関係を検討したが、結論的にはその影響を検出できなかった。つまり、当該ヒノキ林では10月から落葉が始まり、12月頃ピークに達するというように、現存葉量には季節変化が認められるので、これが遮断量にどの程度影響するかを明らかにしようとした。しかし、遮断量には降雨量など気象条件の影響が強いため、葉量変化の影響を見出すまでには至らなかった。今後、林分に間伐を入れ、葉量、材積を人為的に変化させることにより、森林の影響を検出して行きたいと考えている。

(4) 一降雨量と樹冠通過雨量、樹幹流下量および樹冠遮断量の関係

降雨量と樹冠通過雨量、樹幹流下量および樹冠遮断量の関係については、国内外とも多くの測定例が報告されている。国外では、たとえば KITTREDGE¹⁰⁾ や ZINKE²⁶⁾ により多くの資料が詳細に検討され、それらの関係が報告されている。しかし、本報告では主としてわが国の森林における測定例との比較を中心に行い、国外の測定例については言及しなかった。なお、ヒノキ林を対象に行われた研究として、藤井²⁾、河野ら¹⁴⁾の報告がある。

樹冠通過雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量と一降雨量との関係を解析するに当たり、まず一降雨量を定義

しなければならぬ。現象的には、ある降雨で濡れた葉、枝、幹が完全に乾くまでに次の降雨がなければ、その降雨を独立した一降雨とみなすことができる。つまり、降雨により樹体に付着した水分が消失するに要する時間と、降雨中断時間の大小関係から、降雨の分離が行われる。しかし、樹体からの水分消失に要する時間は、それが蒸発現象なので、樹体の付着水分量とその時の蒸発強度から決定しなければならない。現時点では、付着水分量、蒸発強度が推定できず、樹体からの水分消失過程が明らかでないので、ここでは降雨を分離するための降雨中断時間として便宜的に5時間を与えた。したがって、実際には、自記雨量記録紙に最後の降雨が記録され、その後5時間以内に降雨が記録されない場合には、その降雨は終了したとみなし、これを一降雨と定義した。この定義を与えるに当たり、以下のことを考慮した。藤井²⁾の報告に見られるように、ヒノキ樹体の付着水分量は1mm程度であること、STEWART²¹⁾、筆者ら²⁾が報告しているように、付着水分の蒸発強度が非常に大きいこと、さらに樹体の付着水分は葉部に多く存在し、

その水分は幹の付着水分より速く蒸発するという観察結果に基づいている。以上のように、一降雨の決定においても、遮断付着水分の蒸発という観点からのアプローチが必要ながことが理解された。

このように定義された一降雨量を用いて、樹冠通過雨量、樹幹流下量および樹冠遮断量との関係を解析した。なお、一降雨量は林外雨量と等しく、以下単に降雨量と記す。

一般に降雨量と樹冠通過雨量、樹幹流下量および樹冠遮断量の関係は、(1)、(2)、(3)式の直線式で表現される。

$$P_T = a_T P - b_T \dots\dots\dots(1)$$

$$P_S = a_S P - b_S \dots\dots\dots(2)$$

$$P_I = a_I P + b_I \dots\dots\dots(3)$$

ここで、 P :降雨量、 P_T 、 P_S 、 P_I :それぞれ樹冠通過雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量、 a_T 、 a_S 、 a_I 、 b_T 、 b_S 、 b_I :定数。

当該林分におけるこれらの関係を Fig. 4 に示した。このように P と P_T 、 P_S 、 P_I はすべて直線で近似でき、しかも高い相関関係が見出された。 P と P_T 、 P_S の回帰式は最小2乗法で、 P_I のそれは $P_I = P - (P_T + P_S)$ から求めた。

$$P_T = 0.690P - 0.221 \dots\dots\dots(4)$$

$$P_S = 0.147P - 0.700 \dots\dots\dots(5)$$

$$P_I = 0.163P + 0.921 \dots\dots\dots(6)$$

P と P_T 、 P_S の相関係数はそれぞれ 0.997、0.989 であった。したがって、当該林分について

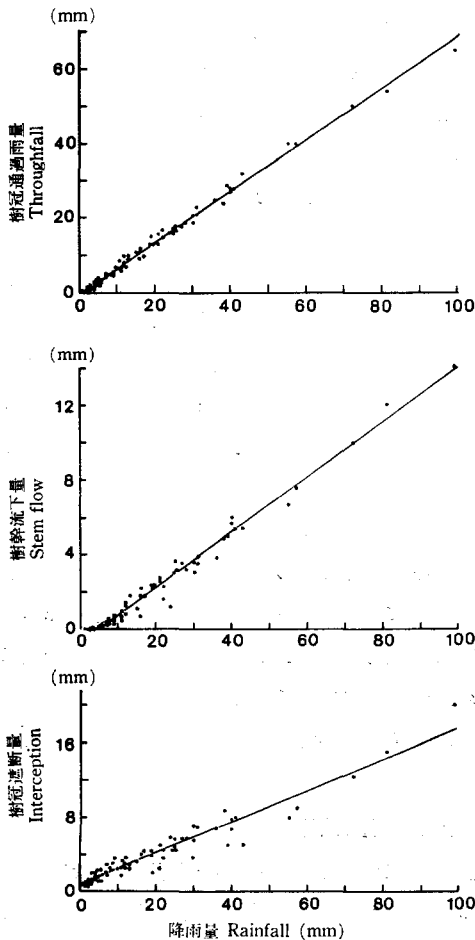


Fig. 4 樹冠通過雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量と降雨量の関係

The relations between rainfall and throughfall, stem flow and interception.

は降雨量が与えられると、(4), (5), (6) 式から P_T , P_S , P_I は比較的高い精度で推定することができる。しかし、これらの推定式にはいくつかの問題点が指摘された。 P_T , P_S , P_I は森林条件および気象条件の影響を受ける現象なので、降雨量のみを用いて統計的に推定された(4), (5), (6) 式には、その予測精度に限界があろう。たとえば Fig. 4 の樹冠遮断量に見られるように、等しい P に対しても P_I にはバラツキが認められ、これは降雨時の気象条件や葉量などの森林条件の差異が影響しているためと考えられる。また、(4), (5), (6) 式には森林に関する要素が加味されていないので、樹種間の比較や森林施業の P_T , P_S , P_I におよぼす影響を予測することは難しい。したがって、今後、 P_T , P_S , P_I の推定精度の向上ということからも、樹冠における水の動態の物理的解明と森林条件の組み込み方が重要になる。のちに、 P_I の物理的な解明として微気象学的な面からのアプローチを行うが、それに先立ちここでは、(4), (5), (6) 式の係数、定数の意味について若干の検討を加える。

Horton⁶⁾ は P_I を(7) 式のように表現した。

$$P_I = K \cdot E \cdot T + S \quad \dots\dots\dots(7)$$

ここで、 S : 樹体付着水分量、 K : 樹冠投影面積に対する蒸発に関与する樹体表面積の比、 E : 降雨期間の蒸発強度、 T : 降雨継続時間。

(7) 式はある降雨による P_I は、その降雨の終了時における付着水分量 S と降雨中の蒸発量 $K \cdot E \cdot T$ の和として与えられることを意味する。この S は降雨終了時に葉、枝、幹に付着している水分で、その後、大気中に蒸発する。したがって、(7) 式の右辺第 1 項および第 2 項は、降雨中および降雨後の蒸発量を表わすので、この式が蒸発という観点から構築されていること、樹冠遮断は蒸発現象であることがよくわかる。

そこで(7) 式を次のように変形する。

$$P_I = \left(\frac{K \cdot E \cdot T}{P} \right) P + S \quad \dots\dots\dots(8)$$

(3), (8) 式を等しいと置くことにより、(9), (10) 式の関係が導かれる。

$$a_I = \frac{K \cdot E \cdot T}{P} \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$b_I = S \quad \dots\dots\dots(10)$$

(9), (10) 式から、 a_I は降雨中の蒸発に関与する係数であり、 b_I は付着水分量を表わす定数であることがわかる。さらに、 a_I , b_I はそれぞれ a_T と a_S , b_T と b_S から計算されるので、同様に、 a_T と a_S は降雨中の蒸発に関与する係数、 b_T と b_S は付着水分量を表わす定数とみなすことができる。このように、(4), (5), (6) 式の係数、定数の内容が定性的に明らかになったが、さらに重要なことは、そこには森林に関する因子が含まれていることである。それは樹体表面積で、蒸発面の大きさ、付着水分の多少などを規定する因子として、樹冠遮断に関与する。

従来の樹冠遮断量測定においては、葉面積、幹表面積などの測定はほとんど行われていないが、この測定を合わせて実施することにより、森林条件と樹冠遮断量の関係、樹冠遮断の物理的解明がより前進することがわかる。

鈴木ら²⁹⁾ は桐生試験地の樹冠遮断量測定に基づいて、(9), (10) 式から $K \cdot E = 0.16 \text{ mm/hr}$, $S = 1.92 \text{ mm}$ を求めている。鈴木らと同様の計算方法で当該林分の値を計算すると、 $K \cdot E = 0.40 \text{ mm/hr}$, $S = 0.92 \text{ mm}$ となり、 $K \cdot E$ は鈴木らの推定値の約 2.5 倍と大きく、逆に S は約 0.5 倍と小さくなった。

このことから、森林および気象条件が異なると、 $K \cdot E, S$ はかなり変化することが推察された。また、(9)、(10) 式から得られる $K \cdot E, S$ は、多数の降雨の平均値として与えられるが、実際には個々の降雨で異なることが予想される。これらの数値の詳細については、樹冠に遮断された水分の蒸発解析や樹冠での水の動態に関する解析を待たねばならない。本報告ではのちに、樹体付着水分量の推定と降雨中の樹冠遮断について微気象学的な解析を行うので、ここでは、 $a_T, a_S, a_I, b_T, b_S, b_I$ の定性的な解析にとどめた。

(5) 一降雨量と樹冠通過雨量率、樹幹流下率および樹冠遮断率の関係

樹冠通過雨量率、樹幹流下率および樹冠遮断率は、森林および気象条件に支配されるが、前述したように、樹体の表面積などの森林条件が得られていないので、ここでは主として降雨量との関係を解析した。

樹冠通過雨量率 R_T 、樹幹流下率 R_S 、および樹冠遮断率 R_I と降雨量の関係を Fig. 5 の A, B, C に示した。図中の実線は、(4)、(5)、(6) 式の両辺を P で除して求めた曲線である。

$$R_T = \frac{P_T}{P} = 0.690 - \frac{0.221}{P} \dots\dots\dots(11)$$

$$R_S = \frac{P_S}{P} = 0.147 - \frac{0.700}{P} \dots\dots\dots(12)$$

$$R_I = \frac{P_I}{P} = 0.163 - \frac{0.921}{P} \dots\dots\dots(13)$$

まず、 R_T は降雨量の増大とともに急増するが、降雨量が 10 mm を超えると一定値に近づく。この一定値は (11) 式からもわかるように 69% である。この曲線傾向は現象的には次のように説明された。降雨量が極めて小さいときには、その大部分が葉面などに付着保持され落下しないので、 P_T は樹冠のすき間を通過した、いわゆる直達雨量が主体となる。しかし、降雨量の増加とともに付着水分も限界に達し、水分保持の均衡が破れ、雨水が滴下し始める。それにより R_T は急増する。その後は降雨量の増大とともに P_T も増大するが、両者の増大割合がほぼ等しいため、 R_T は一定値に漸近する。

また、 R_T は降雨量 0~20 mm 域でかなりのバラツキが認められた。曲線の上下約 10% の幅で変動している。これは降雨量が少ないときには、降雨分布、降雨強度、温度、湿度、放射エネルギー、風速など

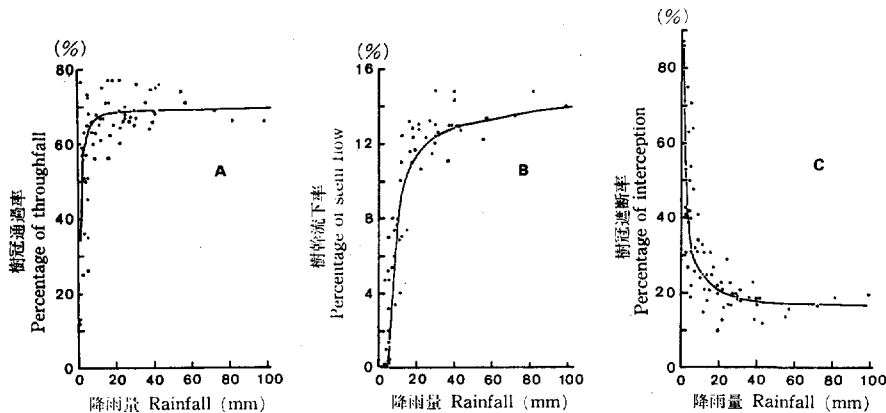


Fig. 5 樹冠通過率、樹幹流下率、樹冠遮断率と降雨量の関係
Percentages of throughfall, stem flow and interception
in relation to rainfall.

の影響が顕著に樹冠通過雨量率に反映するためと考えられた。しかし、降雨量が 40 mm 以上になると、 R_T はほぼ一定値となり安定する傾向がうかがえた。

Fig. 5 B の R_S も R_T と同様に、降雨量とともに増加する。しかし、(12) 式で示される曲線との適合は R_S の場合より良くなった。これは主要には P_S が量的に少ないことに起因すると考えられた。 R_S は降雨量 4~5 mm で立上がり、20 mm 付近まで急増し、それ以上の降雨では微増、一定値に近づく。この一定値は (12) 式から明らかなように、約 15% である。以上の曲線傾向はつぎのように理解された。降雨量が 4~5 mm に達するまでは樹体付着により樹幹流下は発生しないので、 $R_S=0$ となる。その後の R_S の急上昇は、樹体付着水分量の増大と樹幹流下発生域の幹表面全体への拡大によるもので、降雨量 15~20 mm で R_S が 10~11% にまで達する。それ以上の降雨では R_S が微増に移行するが、これは付着水分量および流下域が一定値に近づくためと考えられた。

Fig. 5 C の R_I の変化を見ると、 R_I が降雨量とともに減少し、一定値に漸近することがわかる。減少の特徴として、降雨量 0~5 mm では R_I が 100~30% へと急減し、5~40 mm では 30~18%、40 mm 以上では 18~16% へと、降雨量の増大とともに減少割合は小さくなる。これは降雨量が少ない場合には、その大部分が樹体に付着保持されるため R_I は大きい、滴下、樹幹流下の開始とともに R_I は急減することを示している。そして R_T 、 R_S が一定値に近づくにつれ、 R_I も一定値に接近する。また、降雨量 30 mm 以下で、 R_I のバラツキが目立つ。これは降雨量が少ないときには、降雨分布、放射エネルギー、風速、湿度などの気象条件や森林の濡れ具合などが樹冠遮断に顕著な影響を与えるため、 R_I が変動することによると考えられた。一方、降雨量が大きくなると、気象および森林の濡れ具合などの樹冠遮断に影響をおよぼす条件が降雨量が少ない場合より類似してくるため、 R_I のバラツキが小さくなると推察された。

最後に、Table 3 に降雨量を階級に区分した場合の P_T 、 P_S 、 P_I および R_T 、 R_S 、 R_I の平均値を示した。降雨量 60 mm 以上のデータ数が十分でないが、Fig. 4 と Fig. 5 に示したと同様の傾向が明白に認められた。

Table 3. 降雨階級別の樹冠遮断量と樹冠遮断率
Interception and percentage of interception in different rainfall class

降雨階級 Rainfall class (mm)	降雨数 Rainfall number	平均降雨量 Mean rainfall (mm)	樹冠通過雨量 Through-fall (mm)	樹幹流下量 Stem flow (mm)	樹冠遮断量 Interception (mm)	樹冠通過率 Per-centage of through-fall (%)	樹幹流下率 Per-centage of stem flow (%)	樹冠遮断率 Per-centage of interception (%)
0~5	23	2.9	1.6	0.0	1.3	55.2	0.0	44.8
5~10	12	7.5	4.4	0.3	2.8	58.7	4.0	37.3
10~15	9	11.7	7.9	1.1	2.7	67.5	9.4	23.1
15~20	8	17.2	11.8	1.8	3.6	68.6	10.5	20.9
20~25	10	22.8	15.1	2.4	5.3	66.2	10.5	23.2
25~30	5	27.4	18.4	3.3	5.7	67.2	12.0	20.8
30~40	6	34.2	23.9	4.2	6.1	69.9	12.3	17.8
40~50	4	41.1	28.7	5.6	6.8	69.9	13.6	16.5
50~60	2	56.1	40.4	7.2	8.5	72.0	12.8	15.2
60~100	3	83.8	56.0	11.9	15.8	66.9	14.2	18.9

(6) 降雨強度を考慮した場合の降雨継続時間と樹冠遮断量および樹冠遮断率の関係

降雨強度は前記の定義に従い求めた降雨量を、その降雨継続時間で除した値である。以下では降雨強度を \bar{P} と表現する。

\bar{P} を 0~1 mm/hr, 1~3 mm/hr, 3 mm/hr 以上の 3 階級に区分し、それをパラメーターとして、降雨継続時間と P_I および R_I の関係を示したのが Fig. 6 の A と B である。まず、Fig. 6 A からは、 P_I と降雨継続時間の関係が \bar{P} により異なることがわかる。

これによると、降雨継続時間が長くなるほど P_I は大きくなること、降雨継続時間が等しいならば、 \bar{P} が強いほど P_I は大きくなること、しかも降雨継続時間が長くなるほど P_I は大きくなる。このことを蒸発という観点から解釈すると、 \bar{P} が大きいことは樹体表面が十分に濡れるなど、付着水分の増大と蒸発面の拡大につながる。降雨継続時間が長いことは、蒸発機会を増すことを意味する。もちろん、蒸発は降雨時の気象条件に支配されるので、微気象データとともに解析しなければならないが、 \bar{P} や降雨継続時間が大きいことは、蒸発しうる水分が十分存在すること、蒸発面の拡大、蒸発機会の増大という点で、蒸発を増大させやすい条件を作出していると考えられる。

また、Fig. 6 A からは降雨特性の P_I におよぼす影響についても知ることができる。たとえば、小さな強度の降雨が長時間継続した場合と大きな強度の降雨が短時間に集中した場合は、 P_I が等しくとも P_I には差が出るのが予想される。しかし、Fig. 4 や (3) 式からは、降雨強度分布など降雨特性の違いによる P_I の差異を知ることができない。ところが、Fig. 6 A には降雨強度が考慮されているので、降雨特性の P_I への影響についてもある程度推察することが可能である。さらに、これは P_I のより精度の高い推定につながるので、この種のデータを蓄積し、直線式を決定して行くことも必要であると考えられた。

つぎに、Fig. 6 B からは、 P_I と降雨継続時間の関係が \bar{P} により異なり、降雨継続時間の増大とともに R_I は減少することがわかる。また、降雨継続時間が等しいならば、 \bar{P} が小さいほど R_I は大きくなる傾向が認められる。したがって、 \bar{P} が大きく、しかも降雨継続時間が長いほど、 R_I は小さくなるとい

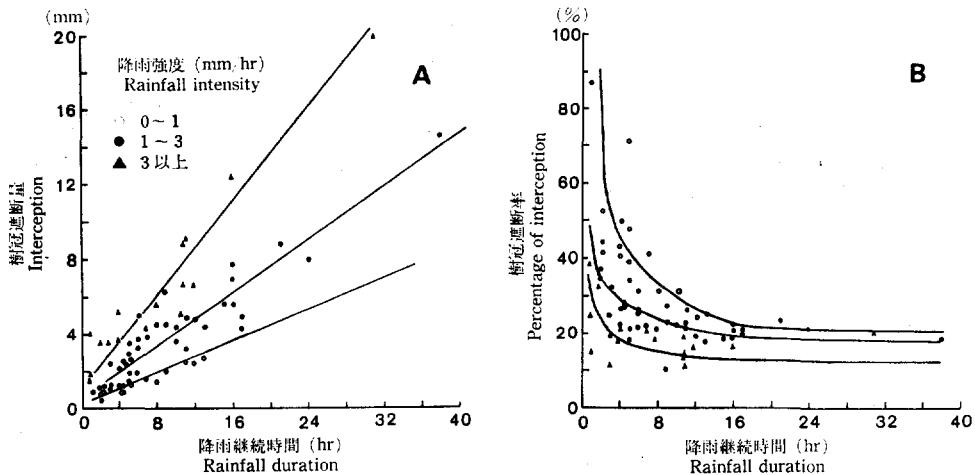


Fig. 6 降雨強度別の樹冠遮断量、樹冠遮断率と降雨継続時間の関係
Interception and percentage of interception—rainfall duration—
rainfall intensity relations.

える。また、 \bar{P} が 0~1 mm/hr の階級では R_I が 20% 付近でほぼ一定となり、 \bar{P} が 3 mm/hr 以上の階級ではそれが約 10% と小さくなるというように降雨強度により最終樹冠遮断率ともいべき数値に差が認められる。 \bar{P} によりこの樹冠遮断率に差が生ずるか否か、生ずるとすればその数値はどれくらいかについては、降雨継続時間の長い降雨のデータの蓄積を待って判断したいと考える。

P_I , R_I を \bar{P} および降雨継続時間から明らかにすることは、樹冠での雨水の動きや樹冠での蒸発現象を理解する上で役に立つと考えられる。さらに、これは樹冠遮断量を精度良く推定することにもつながるので、今後、このような解析もあわせて行う必要があると考えられた。

(7) 直達雨量率について

樹冠通過雨量は直達雨量と滴下雨量から成るが、直達雨量が降雨量に占める割合についての解析例は少ないといえる。この比率が求められると、樹冠に触れる雨量が算定できるので、付着水分量およびその蒸発といった現象を解析するうえに役立つと考えられる。

ここで用いた推定法は、LEYTON ら¹⁴⁾、RUTTER ら¹⁹⁾、JACKSON⁷⁾ と同じである。

降雨量が極めて少ない場合には、一度樹体に触れた雨水はそこに付着貯留され、それがある量に達するまでは落下しないと考えられる。したがって、そのような降雨時の樹冠通過雨量は、直達雨量のみにより形成されるとみなすことができる。そこで、降雨量が少ない場合について、降雨量と樹冠通過雨量の関係を Fig. 7 に示した。この図から、1 mm 付近で直線が折れることがわかる。このことは、1 mm 以下の降雨では樹冠通過雨量は直達雨量に等しく、1 mm 以上の降雨ではそれに滴下雨量が加わっていることを示していると考えられる。したがって、1 mm 以下の降雨量について、樹冠通過雨量との関係を導くことにより、直達雨量率を決定することができる。

以上のごとく、1 mm 以下の降雨量と樹冠通過雨量の関係を求めればよいのであるが、このような少雨では樹冠通過雨量の測定精度が問題になる。とくに楕型雨量計を用いる場合には、そこに付着、蒸発した雨水は測定されないため、それが大きな誤差になると考えられる。そこでこの量を実験的に求めることにより、樹冠通過雨量の補正を行うことにした。

推定方法は、室内に現場と同仕様の楕型雨量計を設置し、噴霧器により十分散水し、噴霧量と楕型雨量計からの流下量の差から付着量を推定するものである。このようにして求められた付着量の平均値は 0.06 mm であった。

すべての降雨について、楕型雨量計の付着水分量を 0.06 mm とすることには疑問があるが、ここでは実測された樹冠通過雨量に一律 0.06 mm を加えたものを樹冠通過雨量とみなした。

このようにして補正した樹冠通過雨量と降雨量の直線式は (14) 式で与えられた。

$$P_T = 0.201P + 0.014 \dots\dots (14)$$

$$P \leq 1.0$$

(14) 式から、降雨量 1 mm 以下では降雨量の約 20% が樹冠通過雨量、つまり直達雨量となり、残り約 80% が樹体に付着する水分になることが

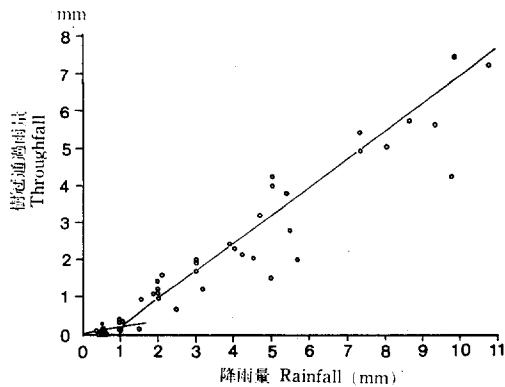


Fig. 7 直達雨量の推定
The estimation of free throughfall.

わかる。1 mm 以上では直達雨量に付着水分の落下、つまり滴下雨量が加わるため樹冠通過雨量は増大する。RUTTER ら¹⁹⁾、JACKSON⁷⁾は、この値が約25%であることを報告している。本林分とは樹種、樹冠の疎密度などの条件が異なるため比較しがたい。

直達雨量の推定に関しての問題点として、前述した降雨時の樋型雨量計の付着水分量推定の他に、雨量計の最小測定単位の問題がある。ここでは1転倒0.5 mmの雨量計を用いたため、たとえば0.5 mmに満たない降雨は測定できない。したがって、このような解析には、雨量計の最小測定単位をさらに小さくする必要がある。

また、直達雨量は樹冠のすき間の量と密接に関係するので、現存葉量の違う夏期と冬期では異なることが推察された。したがって、直達雨量と樹冠の開空率、あるいは葉量との関係についても明らかにして行かねばならない。

(8) 飽和付着水分量について

飽和付着水分量は樹冠遮断量を推定する上で、また遮断現象を物理的に解明する上で重要な因子である。ここでは飽和付着水分量を、樹体全表面を濡らすのに必要な最小限の水量と定義した。これは RUTTER ら¹⁹⁾の定義と同一である。この量に関して、HORTON⁶⁾は storage capacity、RUTTER ら¹⁹⁾は canopy storage capacity、LEYTON ら¹⁴⁾、JACKSON⁷⁾は canopy saturation value というように種々の表現が使用されている。しかし、その内容はここで用いた定義とはほぼ同じと考えてよいであろう。

IV-(3)で若干の検討を試みたように、(3)式の係数 b_I を飽和付着水分量とみなすことも一つの方法ではある。しかし、係数 b_I は多数の降雨データにおける平均値的な付着水分量であり、厳密にいうところでの定義とは若干異なる。また、蒸発現象との関連では、樹体表面の水分が飽和付着水分より多いか少ないかにより、蒸発過程が異なると考えられる。したがって、付着水分の蒸発におよぼす影響を知るうえで、飽和付着水分量の推定は重要である。

飽和付着水分量の推定法は、LEYTON ら¹⁴⁾、RUTTER ら¹⁹⁾、JACKSON⁷⁾が用いたと同様の方法である。いま、降雨中に全く蒸発が起らないと仮定すると、降雨量と林内雨量の間には(15)式が成立する。

$$P_N = P - C \dots\dots\dots(15)$$

ここで、 C ：飽和付着水分量、 P_N ：林内雨量（樹冠通過雨量+樹幹流下量）

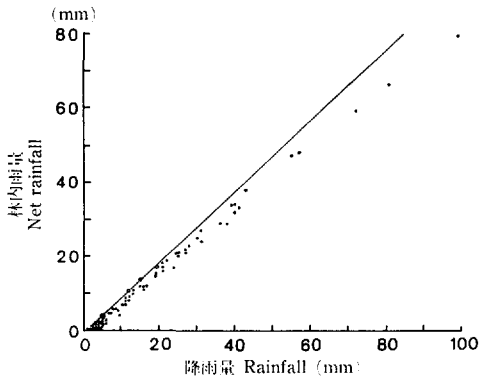


Fig. 8 飽和付着水分量の推定
The determination of canopy storage capacity.

(15)式は蒸発がないため、降雨量より飽和付着水分量を引いた残量がすべて林内雨量になることを意味している。したがって、蒸発が無視できる場合の P と P_N の関係式を求めることにより C が推定される。そこで、Fig. 8 に示した P と P_N のグラフの中から降雨中の蒸発が無視できる P_N を選出すればよいことになる。そのような条件を満足する P_N はグラフの上限に位置すると考えられる。ここでは図中の白丸で示した4点を選び、(16)式を決定した。

$$P_N = 0.98P - 1.24 \dots\dots\dots(16)$$

(15)、(16)式を比較すると、 P の係数が(16)

式では0.98と(15)式より小さいが、これは無視することができよう。したがって、Cつまり飽和付着水分量は1.24mmとなる。この値は(6)式より得られる0.92mmより約0.32mm大きくなった。

藤井²⁾はヒノキ葉を浸水させることによりその付着水量を推算しているが、その結果によると、飽水時の付着水量は1.4mmであった。さらに、それを2度振りすると付着水分量は約0.8mmに減ずる。ここで得られた1.24mmは藤井の飽水時付着水分量に近い値を示した。したがって、当該林分の飽和付着水分量の1.24mmは妥当な数値であると考えられた。

しかし、飽和付着水分量をFig. 8から決定するに際し、降雨中の蒸発が無い降雨をどのように選出するのか、その基準が明確でないという問題が存在する。さらに、RUTTERら¹⁹⁾は、降雨強度、樹冠の特性により、飽和付着水分量を上回る付着水分量が起り得ること、また、石原ら⁶⁾は、葉の付着水分量は降雨強度により異なることを報告している。したがって、降雨強度や樹種の違いと飽和付着水分量の関係などを究明することにより、その物理的意味をより明確にしなければならない。

(9) 樹幹流下の発生雨量について

ここでは、樹幹流下はどのくらいの降雨量に達すると発生するかを明らかにする。

村井¹⁰⁾はアカマツ林とカラマツ林の樹幹流下発生雨量は、それぞれ2~5mm、1~3mmであったと報告している。この差異の原因として、カラマツはアカマツに比較して樹幹が通直であること、集水しやすい枝付きであることを挙げている。これらのことから、樹幹流下の発生には森林条件が顕著に影響することが理解される。つまり、樹体表面積、枝葉の着生形、枝張り形態、葉面の性質、樹皮の状態、幹の形態は、樹幹流下の発生に関して重要な因子となる。

Fig. 9に樹幹流下の発生付近における降雨量と樹幹流下量の関係を示した。ここで樹幹流下の発生雨量とは、必ず樹幹流下が生起する最小降雨量と定義する。この定義にもとづいて発生雨量を求めると、樹幹流下が常に生起している4.5mmを与えることができた。

ここで求めた発生雨量4.5mmを既往の測定結果と比較すると、藤井²⁾の結果ではここでの定義に従うと、発生雨量を3~6mmとみなすことができる。鈴木ら²⁰⁾のヒノキ主体林分およびマツ・ヒノキ混交林における測定結果では、それは4.44mmと考えることができる。したがって、当該林分の発生雨量4.5mmは妥当な数値とみなすことができた。

つぎに、(5)式より発生雨量の試算を行う。(5)式に $P_s=0$ を代入し、 P を求めると4.76mmとなる。これは(5)式とX軸との交点の降雨量で、発生雨量とみなすことができる。この値はFig. 9より得られた4.5mmより0.26mm大きいが、ほぼ一致しているといえる。これにより、(5)式からも発生雨量が計算されることが確認された。

樹幹流下の発生雨量4.5mmは、当該林分の飽和付着水分量1.24mmの約3.6倍に相当する。つまり、樹幹流下は樹冠が飽和付着水分量に達した段階では発生せず、その約3.6倍に達して始めて生起することになる。さらに、発生雨量は比較的精度良く推定できることから、それに1/3.6を乗ずることにより、逆に飽和付着水分量を推定することができる。もちろん、この方法の適否については、森林、気象条件を変えて飽和付着水分量、発生雨量の測定を行い、その結果

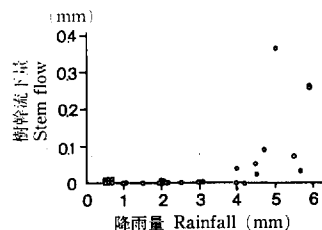


Fig. 9 樹幹流下発生雨量の推定
The estimation of rainfall to start stem flow.

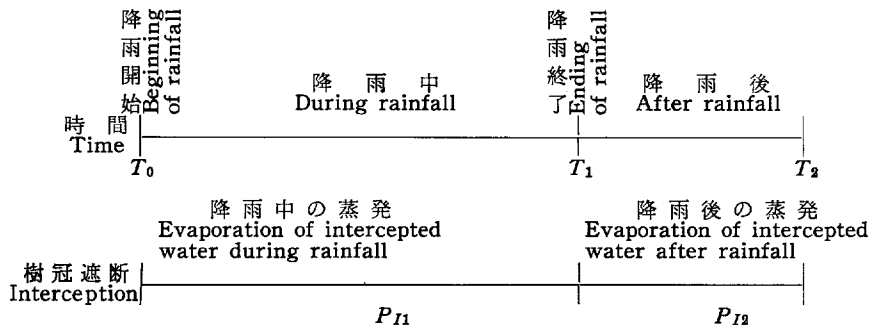


Fig. 10 降雨中の樹冠遮断量の定義
The definition of interception during rainfall.

にもとづいて判断しなければならないが、飽和付着水分量を求める一つの方向ではあると考えられた。

(10) 樹冠遮断量と微気象因子の関係

これまで述べてきたように、樹冠遮断は樹冠に付着、遮断された雨水の蒸発であると考えられることができる。したがって、雨水付着の場としての森林条件と同時に、降雨時の気象条件が影響することは明白である。ここではどのような微気象因子が、どの程度樹冠遮断に影響するかを解析する。ここで取上げた微気象因子は気温、純放射量、風速、飽和水蒸気圧差である。

なお、以下の解析で用いた樹冠遮断量は、これまで用いた量と異なるので、その内容を説明する。Fig. 10 のように、樹冠遮断量は降雨開始から終了までの ($T_0 \sim T_1$) 時間に遮断・蒸発した水分量 P_{I1} と降雨終了時に樹体に付着しており、その後蒸発する水分量 P_{I2} から成る。ここで問題は、後者の付着水分の蒸発過程が解明されていないので、降雨終了時から、樹体付着水分が完全に消失するまでの時間 ($T_1 \sim T_2$) が求められないことである。つまり、時刻 T_2 が決定できないので、樹冠遮断量 $P_{I1} + P_{I2}$ に対応する $T_0 \sim T_2$ における微気象量を算定することができない。したがって、ここでは $T_1 \sim T_2$ 時間における蒸発量 P_{I2} を飽和付着水分量 (1.24 mm) に等しいと仮定し、これを実測された樹冠遮断量から引いた量、つまり P_{I1} を樹冠遮断量とした。よって、ここでは $T_0 \sim T_1$ 時間における平均気温、平均風速、平均飽差および純放射量と樹冠遮断量の関係を解析した。

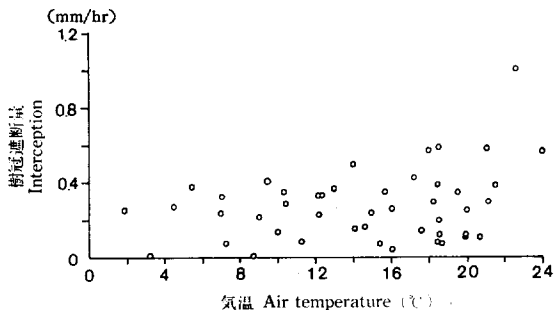


Fig. 11 樹冠遮断量と気温の関係
The relation between interception and air temperature.

もちろん、この仮定が満足されるか否かについては、降雨中をも含めた一連の蒸発解析が必要なことは明らかである。

Fig. 11 に樹冠遮断量と気温の関係を示した。なお、気温は 11 m 高度での測定値である。このように両者には明確な関係が見い出されず、気温との相関は極めて小さいことが知られた。しかし、樹冠遮断量は 0~0.6 mm/hr の範囲に分布し、降雨中にはあるが樹冠遮断量は大きく、遮断水分の蒸発は予想以上に速いことが推察された。

Fig. 12 には樹冠遮断量と純放射強度の関係を示した。降雨中に林分に供給された純放射量は最大でも約 2 mm (約 120 cal/cm²) で平均強度では 0.10 mm/hr (6 cal/cm²) 以下であった。Fig. 12 から、樹冠遮断量は供給された純放射量より圧倒的に大きい場合がほとんどで、中には百倍以上に達するものもある。また、純放射量が負の場合にも遮断量が生起している。したがって、樹冠遮断量は供給される純放射エネルギーを上回ることが多いことがわかる。

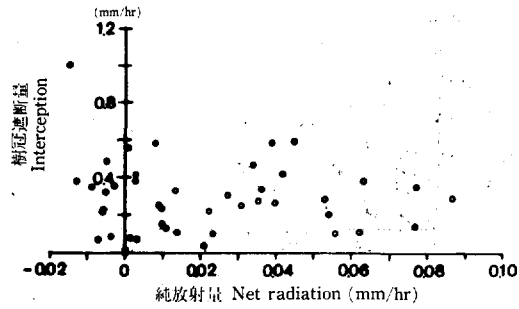


Fig. 12 樹冠遮断量と純放射量の関係
The relation between interception and net radiation.

一般に蒸発散量と純放射量の間には高い相関が存在することが指摘され、純放射量に定数を乗ずることにより蒸発散量が推定されている。たとえば、蒸発散研究グループ⁸⁾ は水田における測定結果から、両者の関係を (17) 式で表わしている。

$$E = 0.82R_N \quad \dots\dots\dots(17)$$

ここで、 E : 蒸発散量, R_N : 純放射量。

神尾ら⁹⁾ は牧草畑における測定結果から、(18) 式で蒸発散量が推定できると報じている。

$$E = 0.9R_N \quad \dots\dots\dots(18)$$

古藤田¹⁰⁾ はウェイングライシメーターを用いて牧草の蒸発散量を測定し、 R_N との関係式 (19) 式を得ている。

$$E = 0.812R_N + 0.0262 \quad \dots\dots\dots(19)$$

以上のように、植被は異なるが、蒸発散量と純放射量の相関が高く、量的にも純放射量の 80~90% が蒸発散量になることがわかる。しかし、Fig. 12 に見られるように、樹冠遮断量と純放射量には相関は認められず、量的にも樹冠遮断量の方が純放射量よりはるかに大きい。したがって降雨中の遮断水分の蒸発には純放射量の寄与率は小さく、その他の気象因子の影響が強いことが推察された。さらに、遮断水分の蒸発に及ぼす個々の気象因子の影響度は晴天日とは異なることが推察された。

つぎに風速との関係を調べる。Fig. 13 には樹冠遮断量と風速の関係を示した。風速は 13 m 高度の測定値である。

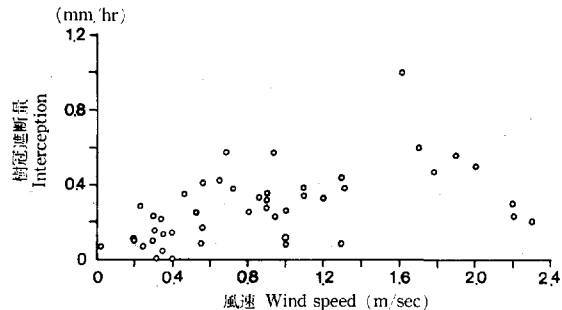


Fig. 13 樹冠遮断量と風速の関係
The relation between interception and wind speed.

全体的にはバラツキが大きいですが、以下のような傾向を読み取ることができた。まず、風速 0~2.0 m/sec の範囲では、風速と樹冠遮断量には正の相関が認められた。2.0 m/sec 以上の風速域では、データ数が不十分であるが、樹冠遮断量はむしろ減少する傾向が認められた。以上の傾向は、2 m/sec 以下の風速域では、風速の増大が

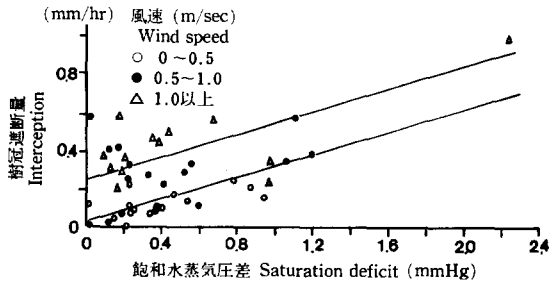


Fig. 14 樹冠遮断量と飽和水蒸気圧差の関係
The relation between interception and saturation deficit.

水蒸気輸送を促し、それにより樹冠遮断量が增大したためと考えられた。また、2 m/sec 以上での減少傾向は、その他の気象条件をも考慮する必要があるが、風速の増大が樹体の動揺を増すため、付着水分が落下し易くなり、それが遮断水分の減少につながることも考慮する必要があるであろう。しかし、この点に関しては、強風時のデータ蓄積などを待って解析しなければならない。とにかく、風速は樹冠遮断量に影響をおよ

ぼす気象因子の一つであると考えられた。

Fig. 14 に樹冠遮断量と飽和水蒸気圧差の関係を示した。飽差を求めるに当たり、蒸発面をどこに設定するかによりその値は変化するが、ここでは蒸発面の高度を平均樹高に等しいと仮定し、11 m 高度の温湿度を用いて計算した。樹冠表面 11 m の温湿度と林冠内 8 m の温湿度の差は、降雨中においてはほとんどの場合 ± 1°C 以下なので、蒸発面の設定高度の違いが飽差の計算におよぼす影響は小さいと考えられた。なお、水蒸気圧は (20) 式の SPRUNG 公式により求めた。

$$e = E' - \frac{A}{755} P(t_D - t_W) \dots\dots\dots(20)$$

ここで、 e : 水蒸気圧、 E' : t_W に対する飽和水蒸気圧、 P : 大気圧、 t_D : 乾球温度、 t_W : 湿球温度、 A : 定数 (0.50)。

前記した結果から、樹冠遮断量には風速が関与することが知られたので、Fig. 14 では風速を便宜的に 0.5 m/sec 以下、0.5~1.0 m/sec、1.0 m/sec 以上に区分し、これを用いて樹冠遮断量と飽差の関係を示した。なお、風速は 13 m 高度の測定値である。

まず、飽差はほとんど 0~1.2 mmHg の範囲に分布し、降雨中といえどもそれは 0 mmHg にならず、蒸発の余地があることがわかる。もちろん、この値は降雨中の平均値であるため、降雨開始時、降雨中、降雨中断時により、飽差は異なるといえる。また、3 区分された同一の風速域では、飽差の増大とともに樹冠遮断量が増大する傾向がうかがえる。そして、飽差が等しいならば、風速が大きいほど遮断量も大きくなる。以上のことから、降雨中では飽差、風速が大きいほど樹冠遮断量は大きくなると考えられた。飽差 1.2 mmHg 以上のデータが少ないので、そこでも確かに前記の関係が成立するかどうかはわからない。しかし、そのように大きな飽差をもつ降雨が出現する確率は極めて小さいといえよう。したがって、風速と同様に、飽差も樹冠遮断量に影響をおよぼす因子とみなすことができた。

以上の結果より、微気象因子を用いて樹冠遮断量を推定する場合には、風速、飽差との相関が良いことから、これらの因子を導入する必要があると考えられた。樹冠遮断量の予測には、これらの因子が含まれている推定式を用いることが望ましいといえる。ここでは降雨中という条件下での微気象因子との関係を解析しており、降雨後の付着水分の蒸発については触れていない。よって、たとえば降雨後の蒸発量を飽和付着水分量とみなすとした仮定の適否や降雨後の蒸発過程の解明は今後の課題として残される。これらの問題を解決することにより、樹冠遮断量と微気象因子の関係はより明確になると考えられた。

(11) 樹冠遮断量の微気象学的予測

ここでは PENMAN-MONTEITH 式を用いて降雨中の蒸発量, つまり樹冠遮断量の推定を行い, これと実測値との比較に立って, 樹冠遮断量の微気象学的予測の問題点を指摘してみたい。ここで PENMAN-MONTEITH 式を用いた理由は, そこに純放射量, 風速, 飽差などの気象因子が組み込まれており, しかも実蒸発散量が推定できるという利点に着目したからである。PENMAN-MONTEITH 式は (21) 式で与えられる。

$$E = \frac{\Delta(R_N - G) + \rho \cdot C_P(e_S - e)/r_a}{\Delta + \gamma(1 + r_s/r_a)} \quad \dots\dots\dots(21)$$

ここで, E : 蒸発量, R_N : 純放射量, G : 地中伝導熱量, ρ : 空気密度, C_P : 空気の定圧比熱, e_S : 飽和水蒸気圧, e : 水蒸気圧, r_a : 空気力学的抵抗, r_s : 表面抵抗, Δ : 飽和水蒸気圧曲線の勾配, γ : 乾湿計定数, l : 水の蒸発潜熱。

しかし, 降雨中のように樹体に付着している水分の蒸発では表面抵抗が無視できるので, $r_s = 0$ を (21) 式に代入すると, 降雨中の蒸発量を求める (22) 式が成立する。

$$E_I = \frac{\Delta(R_N - G) + \rho \cdot C_P(e_S - e)/r_a}{l(\Delta + \gamma)} \quad \dots\dots\dots(22)$$

ここで, E_I : 蒸発量 (遮断量)。

(22) 式において R_N は純放射量, $e_S - e$ は飽差, r_a は水蒸気輸送に対する抵抗で風速に関係するので, 前記した微気象因子がこの式には導入されていることになる。

r_a と風速の関係については, ROBINS¹⁸⁾ が Corsican pine と Douglas fir の林での測定結果に示しているように, 両者

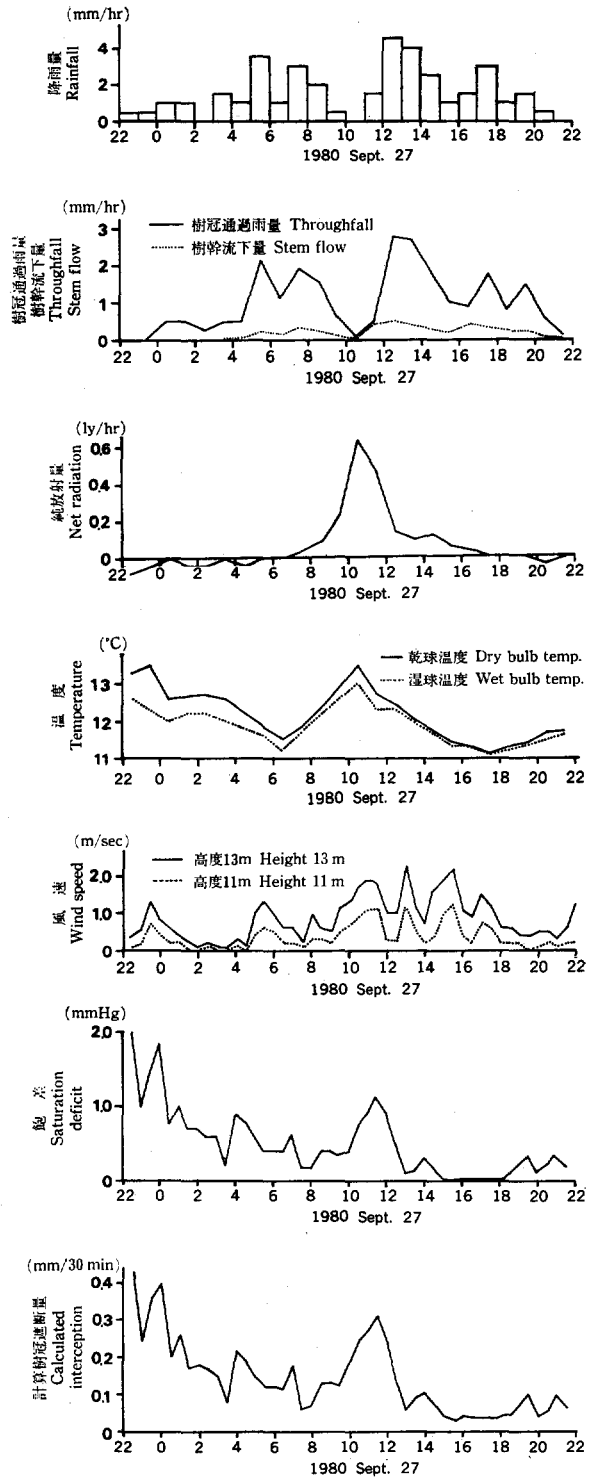


Fig. 15 PENMAN-MONTEITH 式による樹冠遮断量の予測
The prediction of interception by PENMAN-MONTEITH equation.

には逆比例の関係が存在する。

筆者ら²⁾は当該林分において r_a を算出したが、前記のような関係は認められず、風速に関係なく r_a を一定とした。したがって、ここでも $r_a = 0.033 \text{ sec/cm}$ を用いたが、これは樹冠遮断量の推定に直接的に影響するので、今後より詳細な解析が必要である。

つぎに、降雨時における微気象変化と対応させながら、(22) 式から求めた樹冠遮断量の経時変化を明らかにする。1 例として、1980 年 9 月 26 日から 27 日にかけての降雨について、樹冠遮断量および微気象の経時変化を Fig. 15 に示した。降雨量は 38.0 mm で、途中 2 回の降雨中断があった。樹冠通過雨量、樹幹流下量は降雨量に対応して変化することがわかる。樹幹流下はその初期に降雨量が少ないため、降雨開始から 6 時間ほど遅れて発生している。樹冠通過雨量、樹幹流下量はそれぞれ 24.3 mm、4.0 mm なので、樹冠遮断量は 9.7 mm となる。純放射は 2 回目の降雨中断時に最大 0.63 ly/hr となり、日中 7~17 時で正值を示すが、それ以外の時間では零または負値に転ずる。降雨期間における純放射量は 48.6 cal/cm² で、これを水高換算すると約 0.8 mm に相当する。したがって、この値は樹冠遮断量の約 $\frac{1}{12}$ と非常に小さいことがわかる。乾球、湿球温度は 11.0~13.5°C の範囲で変化し、常に乾球温度の方が高い温度を示した。両者の温度差は降雨期間の平均では 0.3°C であったが、降雨初期および降雨中断時には平均を上回る温度差を呈した。風は日中に強く、夜間に弱く吹いた。高度 13 m では風速 2 m/sec 以下、高度 13 m では 1 m/sec 以下であった。飽差は 0~2 mmHg の範囲で変化し、とくに降雨初期には大きな値を示した。また、降雨中断時にも 1 mm/Hg を上回る飽差が出ており、降雨初期と同様、降雨中断時にも大きな樹冠遮断量が計算されることが推察された。さらに、降雨中でも飽差は必ずしも零にはならないことは、樹冠遮断量の計算には重要な事実である。(22) 式より計算した樹冠遮断量は 0~0.5 mm/30 min の範囲で変化し、とくに降雨初期および中断時には 0.3 mm/30 min 以上と大きくなった。なお、降雨期間の平均樹冠遮断量は 0.15 mm/30 min であった。

このように樹冠遮断量が大きな値を示すことから、

降雨中に樹体に遮断付着している水分の蒸発はかなり速いことが知られた。

また、遮断量の変化は飽差のそれと酷似する。これは (22) 式において純放射が量的に小さいこと、 r_a は一定であること、 Δ は温度変化が小さいためほぼ一定と考えられることにより、飽差の影響が樹冠遮断量に顕著に現われたと考えられた。このように樹冠遮断量には飽差の影響が強いことから、樹冠遮断量の推定に関しては、(22) 式の分子第 2 項は第 1 項より重要であるといえる。

実測された降雨中の樹冠遮断量は 9.7 mm から飽和付着水分量 1.24 mm を引いて 8.46 mm となる。一方、(22) 式より計算された樹冠遮断量は 7.1 mm なので、計算値は実測値より 1.31 mm、約 16% 小さくなった。1980 年の全降雨について求めた

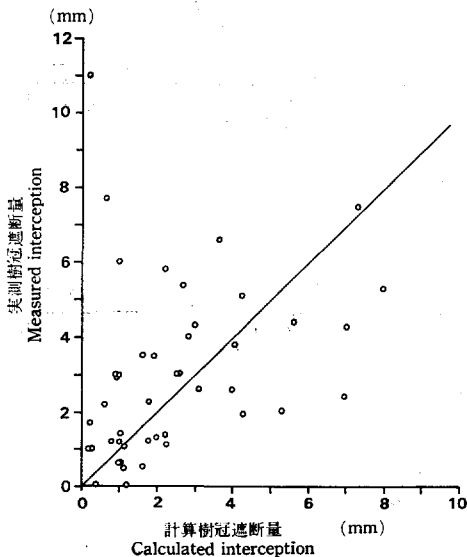


Fig. 16 実測および計算樹冠遮断量の比較
The comparison of calculated interception with measured interception.

降雨中の実測樹冠遮断量と(22)式から求めた計算樹冠遮断量の関係を Fig. 16 に示した。なお、図中の実線は1:1の線である。全体的にバラツキがあることは否定できない。また、実測遮断量より計算遮断量の方が概して小さい傾向が認められた。したがって、微気象データを用いて樹冠遮断量を正確に予測するため、ここで問題点を整理する。表面抵抗 r_a を風速に関係なく一定と仮定したが、前項での解析のように、ある風速域では樹冠遮断量は風速とともに増大するので、 r_a と風速の関係をより詳細に説明する必要がある。飽差の樹冠遮断量におよぼす影響は非常に大きいので、飽和水蒸気圧 e_s 、水蒸気圧 e を求めるための蒸発面の設定法を理論的、実証的に明らかにしなければならない。これらの問題は(21)式により蒸発散量を推定する場合にも共通するものである。つぎに、林冠の濡れ具合の問題が指摘される。つまり、樹体の全表面に水分が付着している場合には(22)式が適用できるが、降雨中断時、降雨終了以降などのように、樹体付着水分の蒸発により林冠に乾いている部分が生じた場合、そこでは(22)式は成立しない。樹体に濡れている部分と乾いている部分が混在するとき、そこでは蒸発過程が異なるため、樹体の濡れ具合をどのように表現し、それを樹冠遮断量推定式にどのように組み込むかを明らかにしなければならない。これは降雨終了時に付着している水分が消失するまでに要する時間を決定する上にも大切である。

以上の問題にアプローチすることにより、樹冠遮断現象の微気象学的な説明はさらに前進すると同時に、その予測精度も向上すると考えられた。

V あとがき

山地流域の水収支や水循環に及ぼす森林の影響を説明するには、樹冠遮断の影響も見逃すことはできない。なぜなら、多くの研究者が指摘しているように、また、当該ヒノキ林の遮断量測定の結果からも明らかかなように、それが量的に大きなウェイトを占めているからである。このような認識のもとに、従来から種々の林分を対象に樹冠遮断量の測定が行われてきた。しかし、それは主として樹冠遮断量と気象条件とくに降雨量との関係に主眼が置かれ、葉量、材積、林分密度といった森林条件との関係についての取り組みは弱かったと考えられる。また、気象条件についても、森林への供給エネルギー、気温、湿度、風速といった気象因子が樹冠遮断量におよぼす影響の解析、つまり遮断を蒸発現象という立場から物理的に説明する研究は少なかったと考えられる。これらのことが樹冠遮断量と森林の関係の一般化、未知の林分遮断量予測を難しくしているということができよう。したがって、本報告では、森林の影響を考慮しながら、樹冠遮断量解析、直達雨量、飽和付着水分量および樹幹流下発生雨量の推定を行ってきた。また、樹冠遮断量を微気象学的に予測するため、樹冠遮断量と各種微気象因子との関係を検討し、その上に立って、PENMAN-MONTEITH 式で樹冠遮断量の予測も試みた。ここでの解析は前記した目的の第一歩であり、今後に残された問題は多い。しかし、従来の実態解析的な研究を前進させ、森林の遮断に及ぼす影響を明確にするための問題点、研究の方向は見出し得たと考えている。

なお、本研究の試験地設定に当たり多大なご協力をいただいた笠間営林署および植生調査について有益な助言をいただいた防災部治山第2研究室 原 敏男技官に深く感謝する。また、本研究は農林水産省の大型別枠研究「農林水産業における自然エネルギーの効率的利用技術に関する総合研究」の一環として実施されたもので、文献番号 GEP 56-3-1-4であることを記して、関係各官に厚くお礼申し上げる。

引用文献

- 1) 近嵐弘栄：流量測定のための自動排水装置の試作，日林誌 **60**(5)，183～185，(1978)
- 2) 藤井真一：ヒノキ林の遮断雨量に関する試験，日林誌 **41**(7)，262～269，(1959)
- 3) 服部重昭・近嵐弘栄・竹内信治：エネルギー収支によるヒノキ林の蒸発散量測定，日林誌 **63**(4)，125～132，(1981)
- 4) 平田徳太郎：樹冠保留雨量に就て，森測特報 **6**，1～23，(1921)
- 5) HORTON, R. H. : Rainfall interception, Mon. Wea. Rev. **47**, 603～623, (1919)
- 6) 石原安雄・小葉竹重機：雨水流出現象における初期貯留量について，樹木による降雨遮断，京大防災年報 **13B**，69～81，(1970)
- 7) JACKSON, I. J. : Relationships between rainfall parameters and interception by tropical forest, J. of Hydrology **24**, 215～238, (1975)
- 8) 蒸発散研究グループ：水田の蒸発散，農業気象 **22**(4)，149～157，(1967)
- 9) 神尾 彪・林 堯：牧草畑の蒸発散，農土論 **44**，8～12，(1973)
- 10) KITTRIDGE, J. : Forest influences, Mcgrow-Hill, 99～114, (1948)
- 11) 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：農林漁業における環境保全的技術に関する総合研究，南部温帯林の水保全機能の解明，試験成績書第3集，207～218，(1979)
- 12) 古藤田一雄：ライシメーター蒸発散量とエネルギー収支法による蒸発散量の比較，筑波大水利実験センター報告 **4**，1～9，(1980)
- 13) 熊谷才蔵：樹冠降雨量の標本調査に就いて，九大農演報 **21**，61～69，(1953)
- 14) LEYTON, L., REYNOLDS, E. R. C. & THOMPSON, F. B. : Rainfall interception in forest and moorland, International Symposium on Forest Hydrology, Pergamon, Oxford, 163～178, (1967)
- 15) 村井 宏：森林植生による降水の遮断についての研究，林試研報 **232**，25～64，(1970)
- 16) MURPHY, C. E. & KNOERR, K. R. : The evaporation of intercepted rainfall from a forest stand : An analysis by simulation, Water Resour. Res. **11**, 273～280, (1975)
- 17) 農商務省山林局：林木の雨水保持量に関する試験，森測特報 **4**，205～220，(1917)
- 18) ROBINS, P. C. : A method of measuring the aerodynamic resistance to the transport of water vapour from forest canopies, J. Appl. Ecol. **11**, 315～325, (1974)
- 19) RUTTER, A. J., KERSHAW, K. A., ROBINS, P. C. & MORTON, A. J. : A predictive model of rainfall interception in forests (I) Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine, Agr. Meteorol. **9**, 367～384, (1971)
- 20) ————, MORTON, A. J. & ROBINS, P. C. : A predicitive model of rainfall interception in forests (II) Generalization of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands, J. Appl. Ecol. **12**, 367～380, (1975)
- 21) STEWART, J. B. : Evaporation from the wet canopy of a pine forest, Water Resour. Res. **13**, 915～921, (1977)
- 22) 鈴木雅一・加藤博之・谷 誠・福富義宏：桐生試験地における樹冠通過雨量，樹幹流下量，遮断量の研究 (I) 樹冠通過雨量と樹幹流下量について，日林誌 **61**(6)，202～210，(1979)
- 23) 鈴木雅一・加藤博之・谷 誠・福富義宏：桐生試験地における樹冠通過雨量，樹幹流下量，遮断量の研究 (II) 遮断量の解析，日林誌 **61**(11)，391～398，(1979)
- 24) 武田京一：林地雨量について，気象集誌 **29**(6)，19～32，(1951)
- 25) 田崎忠良：降雨下に於ける林木の水分付着量について，日林誌 **32**(2)，56～61，(1950)
- 26) ZINKE, P. J. : Forest interception studies in the United States, International Symposium on Forest hydrology, Pergamon, Oxford, 137～161, (1967)

**Measurement of the Rainfall Interception and its Micrometeorological
Analysis in a Hinoki Stand**

Shigeaki HATTORI⁽¹⁾, Hiroei CHIKAARASHI⁽²⁾ and Nobuji TAKEUCHI⁽³⁾

Summary

Rainfall interception was estimated by measuring throughfall and stem flow in a 29-year-old Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* S. et Z.) stand for the year 1980. At the same time, the micrometeorological factors such as wet and dry bulb temperature, net radiation and wind speed within and above the forest canopy were measured at the observation tower in the stand. Using those data, the relationship between interception and rainfall was analyzed quantitatively, and furthermore, the effect of each micrometeorological factor on interception was made clear, taking the physical approach of the interception process into consideration. As a result, it was found that the ratios of throughfall, stemflow and interception to the annual precipitation were 67.7%, 11.0% and 21.3% respectively, and that the proportion of interception showed seasonal variation, small in the growing season and large in the dormant season. The relation between interception and rainfall could be expressed by the linear equation, but the values of interception for a given value of rainfall showed a little scatter. Accordingly, it was pointed out that in order to estimate interception with high accuracy, interception had to be studied from the physical view point in detail. Then, the tendency of interception to increase according to the increment of rainfall intensity and rainfall duration could be seen, that is, the more the rainfall intensity and the rainfall duration, the greater interception became.

The proportion of free throughfall, which reached the forest floor directly without touching leaves, branches and stems, was approximately 20%, and canopy storage capacity, which was defined as the minimum quantity of water required to wet all the canopy surfaces was 1.24 mm. Since these values are very important when interception is predicted by physically following the water movement on the canopy, they have to be calculated under various forests and meteorological conditions hereafter. The minimum rainfall causing stem flow was estimated as 4.5 mm, and it was about 3.6 times as great as the canopy storage capacity.

With respect to the effect of micrometeorological factors on interception, it was found that the correlations between interception and air temperature, and net radiation were low. Especially, as the net radiation which was supplied to the canopy during storms was, in almost all cases, fairly small in comparison with interception, it, as a whole, had little influence on interception.

On the other hand, the correlation between interception and wind speed was recognized; interception increased as wind speed did in the range of 0~2.0 m/s. The relation between interception and saturation deficit could be explained to some extent using the wind speed as the parameter. Consequently, it was known that wind speed and saturation deficit have played very important roles in the evaporation of intercepted water.

Referring to the micrometeorological analysis mentioned above, the prediction of intercep-

Received October 13, 1981

(1) (2) (3) Forest Influences Division

tion was carried out by using the Penman-Monteith equation. The accuracy of the prediction was not satisfactory, but it could be pointed out that the estimation of intercepted water and of its change with time, the relation between wind speed and canopy resistance and the determination of the evaporation surface had to be studied in more detail, in order to develop the micrometeorological research on interception and to predict it accurately.



Photo. 1 ヒノキ人工林の林況
Forest condition in a Hinoki stand.

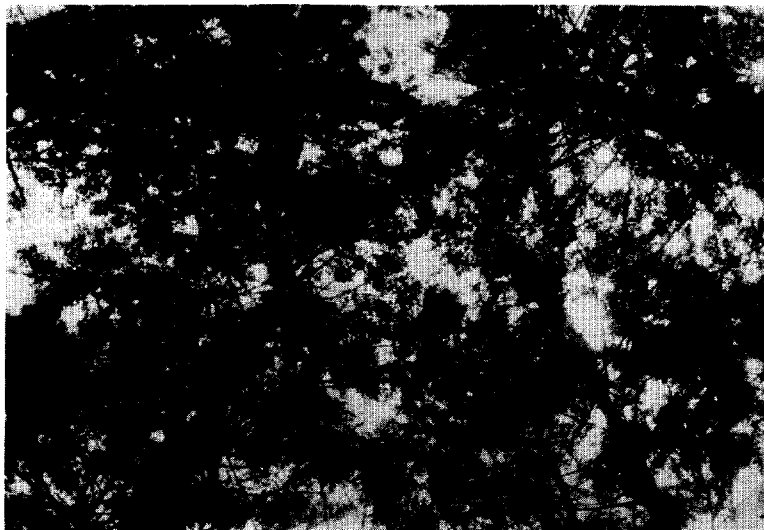


Photo. 2 ヒノキ人工林の林冠
Forest crown in a Hinoki stand.



Photo. 3 樹冠通過雨量，樹幹流下量，
樹冠遮断量の測定試験区
Experimental plot of interception
measurement.

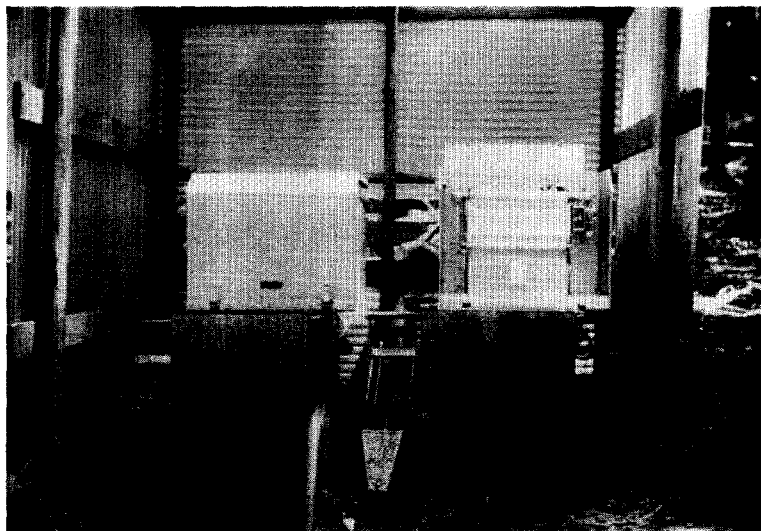


Photo. 4 自動量水器
The automatic drainer with a water level recorder.

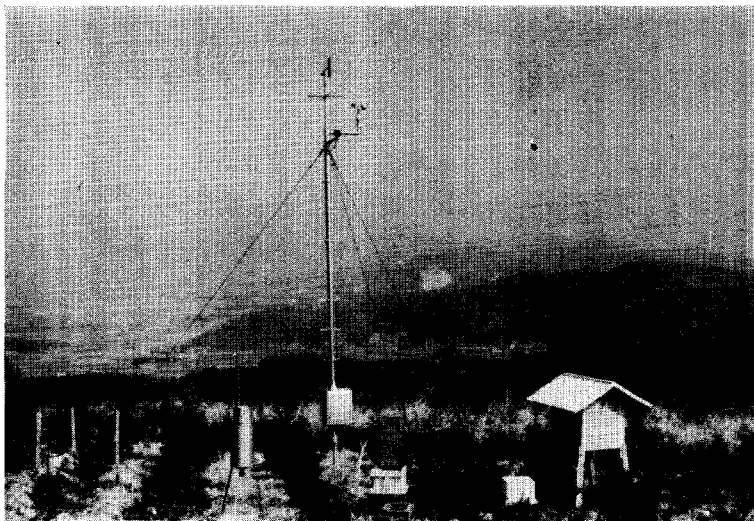


Photo. 5 気象観測露場
Meteorological observation field.