

森林の土壌浸透能について (第3報)

山下 昇

要 旨

3基の0.5mm自記雨量計を用いて、林外降雨量、林内降雨量、地表流出量の測定を行い、測定結果から樹冠阻止量と浸透量を求めた。樹冠阻止率は概ね25%~45%、また、樹体付着水分量は水高で1.2mmと推定された。浸透率は年間を通じて90%以上であるが、12月~6月期は低く、7月~11月期はほぼ全量の浸透が認められた。また12月~6月期においては降雨開始から15~20時間までの浸透率が低く、その後全量が浸透する傾向が明らかになった。その原因として11月~1月にさかんなヒノキ落葉の量と、落葉に含まれる樹脂分の分解が考えられた。

1. はじめに

森林は木材生産の場であると同時に、公益的機能発揮の場でもある。中でも水源かん養機能は近年社会的要請が強まり、その整備向上が期待されている。しかしながら木材生産増大のための森林

の取り扱いについては豊富な実例、資料と理論によってかなり精密に決定できるのに対し、水源かん養機能など公益的機能向上のための森林施業法は、資料の蓄積などの基礎的研究の立ち遅れから定量的な手法の確立まで到っていない。特に民有林においては常に木材生産機能を確保しながら公

表-1 調査地の概要

基 岩	方位	傾斜	土壌型	林令	立木密度	平均胸高直径	平均樹高
結晶片岩	s 68° w	21°	B _D (d)	31年	2,300本/ha	15.0 cm	11.5 m

断 面 形 態

B _D (d)	440 m	尾根に近い凸状斜面	ヒノキ-ヒサカキ	残積						
A ₀ :	L層 1~2cm	ヒノキ落葉	やや密	F層 2cm 密						
A ₁ :	7~11cm	明	7.5 YR 3/2 富	含 埴土 粒状、一部団粒状	しよう 潤	—	—	含		
A ₂ :	9~13cm	漸	7.5 YR 4/4 富	含 埴土 塊状	堅	潤	—	—	含	
B :	21~		7.5 YR 5/8 含	礫土 埴土 壁状	堅	潤	—	—	有	
層 位	深 さ	推移状態	色	腐植 石礫 土性	構 造	堅密度	水湿	溶脱集積	菌糸	根系

益的機能の増大を図ることが重要であり、この両立がひいては林業経営上の利点になるであろう。

当センターで実施した森林理水試験は、このような観点から主として土壌浸透能の測定を実施した。すでにI報⁽³⁾、II報⁽⁵⁾で各種林況における浸透能を総量的にとらえて報告したが、ここでは、浸透能の経時的変化を加えて報告する。

II. 方 法

林外降雨、林内降雨、地表流出量の3点を各々自記雨量計に接続し、経時的変化を測定した。使用した自記雨量計は、3点とも同じ0.5mm単位の転倒ます式のものである。

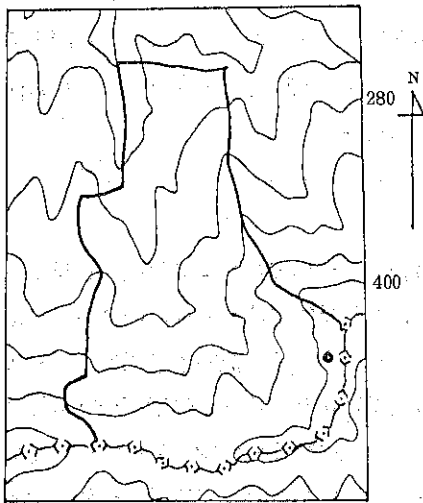


図-1 プロットの位置

○ 調査地

対象とした林分は当センター試験林内の21年生ヒノキ若令林である。位置を図-1、林況、土壤条件等を表-1に示した、この林分は昭和39年に拡大造林され現在に到っている。地形はセンター試験林に広く分布する高位の平坦面上部⁽²⁾である。

林外降雨量は、この測定地点より南方へ約150m離れた伐採跡地内に自記雨量計を設置して測定した。

林内降雨量は、直径19cmの塩化ビニール製ポツ

トを4個、地上高1.2mの所に最大傾斜線に対しななめ45°の方向に約3m間隔で配置し、各々から塩ビ管で集水して雨量計に導いた。

地表流出量は、W50cm×P50cm×h10cmの硬質塩ビ板製測定枠を林床面を荒らさないよう注意しながら約5cm埋め込み、斜面下部の一辺のA層とAo層の間に斜面に沿って集水板を約3cm埋め込んだのち林内降雨と同様自記雨量計に導いた。

樹幹流下量については今回測定しなかったが当センターにおいて過去に実施したヒノキ林での測定結果(未発表)から

$$P_s = 0.10P - 0.73$$

P_s : 樹幹流下量

P : 林外降雨量

によって推定した。

以上3基の自記雨量計の用紙は一週間おきに取り換え、ポットや集水枠の清掃及び機器の点検整備は必要に応じてその都度実施した。

このように回収した記録用紙から1時間を単位として測定値を読み出した。林内降雨と地表流出については、雨量計本来の受水面積から総量を算出した後、各々の装置の受水面積で除して水高(mm)に換算した。以下の解析にはこの1時間単位の水高値を用いた。

その他の算出方法等は前報と同様である。

なお測定は昭和60年5月28日より開始し、昭和60年度で本試験が終了した後も「森林の土壤保水力に関する研究」の一環として経続測定を行っている。

III. 結果

1降雨ごとに測定値をまとめて表-2に掲げた。ここでいう1降雨とは、降雨と降雨の間隔が12時間以上離れているものとし、また降雨日は降雨開始の日付を採った。従って数日間にまたがって降

表一 各降雨の測定結果

年月日	降雨時間	降雨量	林内降雨量	地表流出量	浸透量	浸透率
85.0602	35	35.5	16.9	3.6	13.3	78.7
85.0606	14	50.0	20.0	0.0	20.5	100.0
85.0611	10	3.5	1.0	0.2	0.8	80.0
85.0614	19	47.0	24.0	5.9	18.1	75.4
85.0619	26	96.0	43.7	8.9	34.8	79.6
85.0629	40	123.0	72.1	7.7	64.4	89.3
85.0816	6	10.0	5.1	0.2	4.9	96.1
85.0830	43	105.5	65.4	2.8	62.6	95.7
85.0922	10	28.6	18.5	0.1	18.4	99.5
85.0923	29	32.7	22.3	0.0	22.3	100.0
85.1006	5	2.0	1.2	0.1	1.1	91.7
85.1030	20	59.0	28.2	0.0	28.2	100.0
85.1105	43	44.5	34.8	0.0	34.8	100.0
85.1228	10	13.4	31.9	4.1	27.8	87.1
86.0218	5	4.9	2.9	1.3	1.6	55.2
86.0218	20	6.3	3.8	2.5	1.3	34.2
86.0330	19	10.5	4.1	0.8	3.3	80.5
86.0406	27	32.5	18.5	6.3	12.2	65.9
86.0418	17	14.0	6.3	1.5	4.8	76.2
86.0427	46	28.0	12.5	5.0	7.5	60.0

り続いた場合でも、降雨の停止している時間が12時間以内の場合は1降雨となる。なお機器の動作不良などによって測定できなかった降雨があり、全体の測定数が少なくなったため、林外降雨のみ欠測となった10回の降雨と、昭和61年4月のデータを含めた。林外降雨の欠測値については西方へ約500m離れた別の降雨量測定点の値を代入した。

1 林外降雨量—林内降雨量

林外降雨量に対する林内降雨量の関係を図一2に示す。回帰式は

$$Pt = aP + b$$

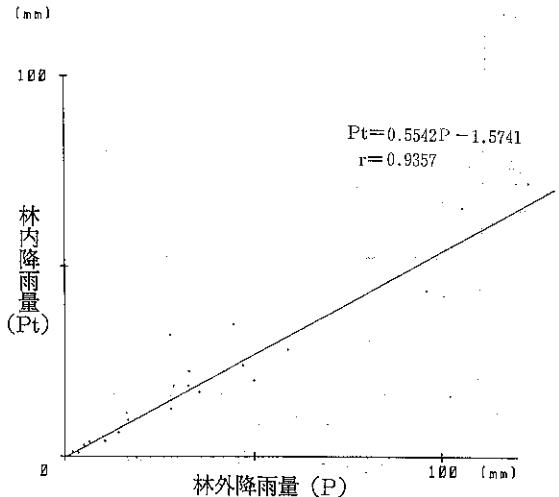
Pt: 林内降雨量

P: 林外降雨量

a, b: 定数

の形で最少二乗法により決定した。この回帰式に

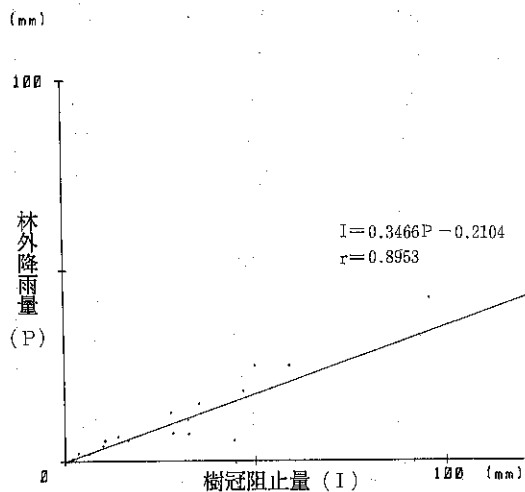
おけるaの値は、0.554とI報におけるヒノキ21年生林分の0.640や、II報のヒノキ29年生林分での0.754に比してかなり低かった。



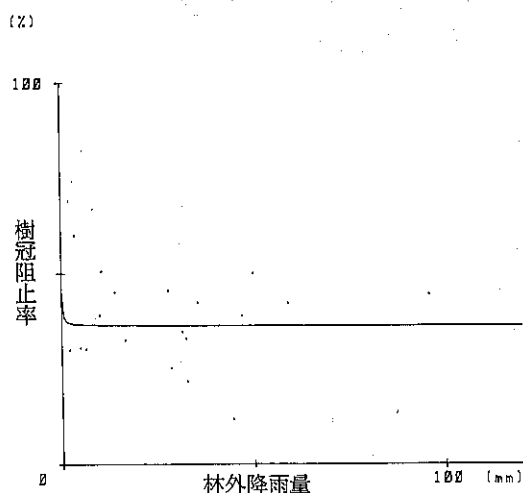
図一 2 林外降雨と林内降雨の関係

2. 林外降雨量—樹冠阻止量

図一3に両者の関係を、図一4に林外降雨量に対する樹冠阻止率の関係を示した。回帰式の決定法は林内降雨のそれに準じた。図一4の回帰線は図一3中に示した回帰直線の両辺をPで除すことにより算出した。平均して全降雨の約34%が樹冠によって阻止されたものと見なせるが、樹冠阻止量は林内降雨量と表裏の関係にあり、これも既報のプロットより高い値である。



図一3 林外降雨と樹冠阻止量の関係

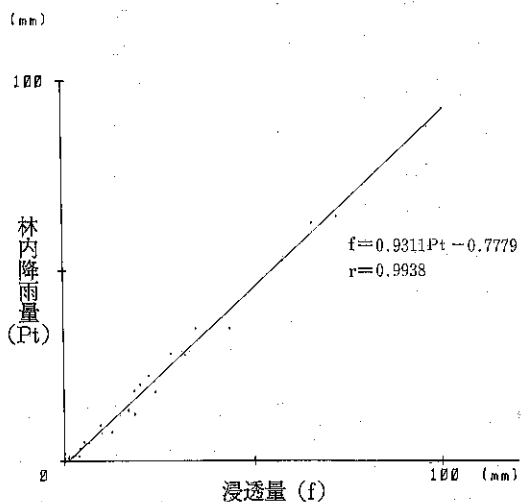


図一4 降雨量と樹冠阻止率の関係

3. 林内降雨量—浸透量

本論文では浸透量を林内降雨量から地表流出量を差し引いたものとして取り扱う。実際林床面に達する水の量としては林内降雨量の他に樹幹流下量があり、総降雨に対する浸透量を考える際にはこの両者を合計して取り扱うべきであるが、今回の試験では地表流出測定用の塩ビ枠は最も近い立木からでも約1.5m離れており樹幹流下水は枠内には流れ込まないと考えられるためである。

結果を図一5に示す。図からもわかるように今回の測定範囲では量的にはほぼ全量に近い90%以上が浸透したといえる。



図一5 林内降雨と浸透量の関係

IV. 考 察

1. 林外降雨量—林内降雨量、樹冠阻止量

図一2に示したとおり、今回の結果はこれまで測定された値より全般に小さい値が得られた。しかしながら林内降雨量に樹幹流下量を合わせた値で計算するとaは0.653になり、これはヒノキ林での他の測定例⁽¹⁾に近い値である。従ってI報のプロット2、II報のプロット4の値が過大である可能性もある。また、この2つのプロットが槇型雨

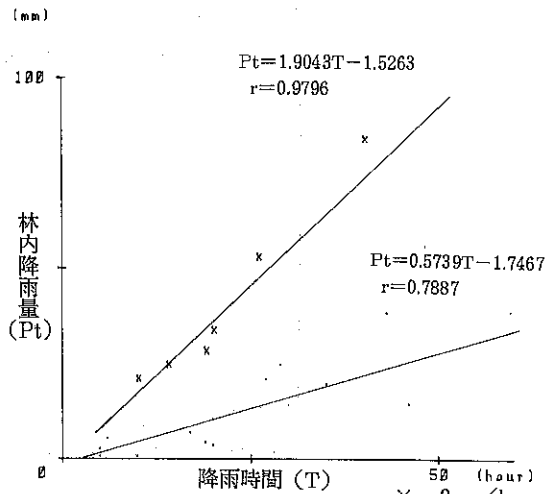
量計を用いているのに対し、本年度はポット型の雨量計を使っていることの影響とも考えられる。村井⁽²⁾によればポット型の雨量計と樋型のそれを比べるとポット型の方が平均して約5%程度少ない、ということである。村井はこの原因を降雨終了後測定をするまでの間の蒸発によるものと考え、ポットの底部に少量のタービン油を入れることによってほとんど是正できた、としている。本論文での測定ではポットに捕足された水はすみやかにパイプを通じて自記雨量計に導かれるので蒸発量と考えるよりパイプ内部の付着量として検討する必要があると思われる。

プロット2とプロット4並びに今回測定したプロットの林分状況の差異としては、プロット2が21年生であり他2者が30年生であること、今回のプロットの傾斜が約21°であるが他2者は各々31°、29°である2点以外はほぼ同様の林分と見てよい。特に樹冠の閉鎖状況はすべて完全に閉鎖しており違いはみられない。以上の条件から見る限り傾斜の差異が樹冠通過雨量に影響をおよぼす可能性も考えられる。

このように林分状況上や測定方法上に未解決の問題もあるが、ヒノキ林における林内降雨量、すなわち樹冠通過雨量は総降雨量の55%~75%程度であると推定し得る。

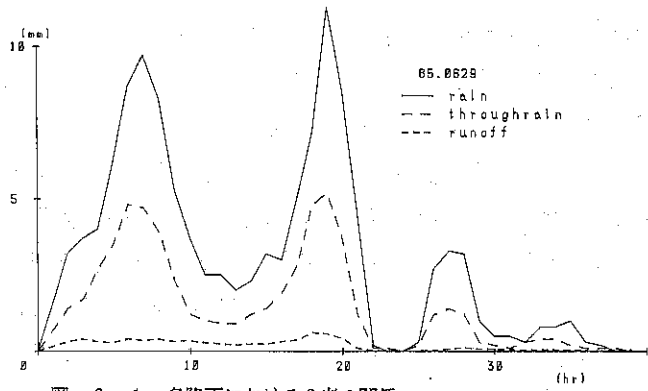
次に降雨によって林内降雨がどのように違いがあるかを主として降雨強度の差異から見てみよう。図一6には総降雨量50.3mmの昭和60年6月6日の降雨と総降雨量123.0mmの昭和60年6月29日の雨量の時間毎の変化を、図一7には総降雨量10.5mmの昭和61年3月30日と同14.0mmの同年4月18日のそれを示した。4つの図とも前後の1時間づつを加えて3で除した移動平均を用いグラフの極端な凹凸をおさえてある。これによると時間降雨量の多い図一6のような降雨においては林内降雨は林外降雨に遅れることなく、同じような増減をする

結果グラフの形が上下よく一致するのに対し、図一7に示したような時間降雨量の少ない降雨については林内降雨は林外降雨に少し遅れて変化することがわかる。この違いを見るため、林外降雨強度、林内降雨量、降雨継続時間を考慮し図示したのが図一8である。林外降雨強度2mm/h未満では当初林内降雨の発生しない時間のあることが予想される。この直線の傾き自体は林外降雨強度2mm/h以上と未満の降雨の平均的な林内降雨強度を示しているだけでそれ程の意味はない。しかしながら全降雨についての回帰式の相関係数は0.6115で、これに比べて両者ともかなり高い相関を示していることは注目されてよい。このような降雨強度による林内降雨の変動は樹冠阻止量の変動による。従って降雨強度によって樹冠阻止量の変動が大きいものと思われる。

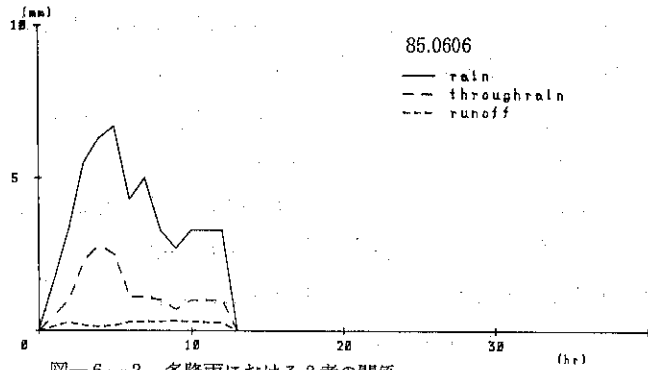


図一8 降雨時間と林内降雨
× 2mm/h
・ ~2mm/h

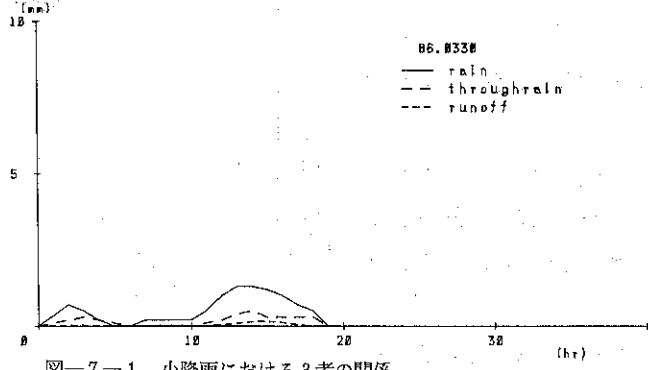
樹冠阻止量は大きく分けて樹体への付着水分量と降雨期間内の蒸発量に分けられる。一般に樹体への付着水分量はその樹体個々の値をとり変動は少ないものと考えられるので、樹冠阻止量の変動の原因は降雨期間中の蒸発量にあると思われる。またこの蒸発量はさらに付着水分が蒸発していく通常の意味での蒸発と、雨滴の衝激によって空中に細かな水滴が飛散することに由来する蒸発の2通



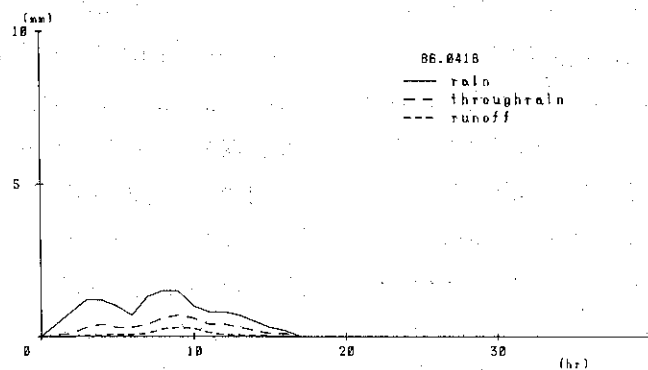
図一6-1 多降雨における3者の関係



図一6-2 多降雨における3者の関係



図一7-1 小降雨における3者の関係



図一7-2 小降雨における3者の関係

りに分け得る。この両者とも降雨時間の関数として表わし得ると考えられるため、樹冠阻止量 P_i を次のように表現してみる。

$$P_i = (e + sc) \times T + S$$

P_i : 樹冠阻止量 (mm)

e : 蒸発強度 (mm/h)

sc : 飛散強度 (mm/h)

T : 降雨時間 (hour)

S : 樹体付着量 (mm)

これらの関係を図-9に示す。この図も図-8と同様2mm/hでわけると2通りのパターンが明確になった。上式からこの原因を考えると飛散強度 sc は降雨の衝激力に由来するものであるからその性質上降雨強度の関数でもあることによると思われる。すなわち降雨強度2mm/h以上では降雨強度に応じて飛散量が増減する傾向が予測できる。そこで、飛散力の影響をあまり受けていないと思われる降雨強度2mm/h未満の降雨の測定値を上式にあてはめ、

$$P_i = 0.2540T + 1.2055$$

を得た。

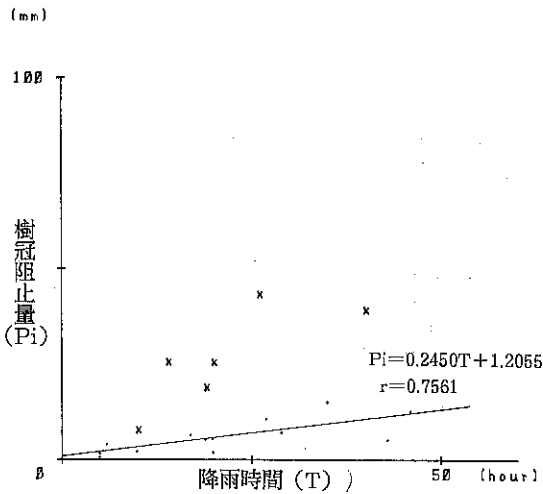


図-9 降雨時間と樹冠阻止量
× 2mm/h
○ ~2mm/h

相関係数は0.7561であり危険率1%で有意である。このようにTのみを変数とした回帰式が比較

的よく適合することから、林外降雨強度2mm/h未満では飛散における降雨強度の影響は少いとの想定は正しいものであろう。またこの回帰式の定数項1.2055は樹体付着水分量を表わしていることになる。服部⁽¹⁾らは樹体付着水分量を、蒸発のない場合

$$P_t = P - S$$

であることから樹冠阻止量—林外降雨量のグラフの中で $Y=X$ の線に近い測定値、すなわち降雨の全量が樹冠阻止された場合を選び出すことによって推定し、1.24mmを得ている。本論文の対象とした測定値の中には服部らの方法を用い得るものがなかったため、上記の回帰式からの推定値1.2mmを得たが、2つの結果はよく似ており、ヒノキ林における樹体付着水分量の目安となり得るであろう。

このような樹体への水分付着は降雨当初に始まり、これが飽和状態になった後滴下がおきる。ところが降雨強度の強い場合にはすぐに飽和状態に達するのに対し、降雨強度の弱い場合は飽和に達するに長い時間を要する。この間合にも付着水は蒸発してゆくので常に付着水を補給しながら滴下する。このことが図-7に示した林外降雨の時間的ズレが生ずる原因であると思われる。

2. 林内降雨—浸透能

浸透能は一般にある降雨強度までは降雨量ともなって一定の割合で増加するが、その後は降雨に関係なく一定化するといわれる。I報で報じた人工降雨による浸透能試験の結果でもこの一定化現象が見られる。しかしながらこの試験による浸透能の一定化は最低でも200mm/hを超える自然状態では起こり得ない非常に強い降雨強度の下でしか現れず、過去5年間の100例を超える自然降雨の測定値の中にも一定化を示しているようなものは見られない。従って現実林分の浸透能の評価には、浸透能の絶対値よりも浸透率の方が重要で

ある。

人工降雨における浸透量は概ね降雨量と1:1の関係にある。また自然降雨でもほぼ同様の関係が見られるが多少浸透率は低くなる（I、II報）。すでに図-3に今回の測定結果を示したが、これにも極めて強い相関関係が見てとれ、年平均で浸透率は90%を超えている。しかし個々の降雨についてみると、自然降雨のような低い降雨強度でもかなりの量の地表流出が発生し浸透率が低下することがある。

このような例を図-10、図-11に示すと、特に降雨初期に林内降雨の半分を超えるような地表流出が続き、その後次第に小さくなっていくことがわかる。図-11では明らかに林内降雨量に関係なく地表流出量が減少する傾向を示し、図-10でも

降雨開始後20時間を経た後の降雨に対しては地表流出はほとんど発生していない。地表流出のこのパターンは年間を通じて起きるのではなく、冬期から梅雨期にかけてその例が多い。図-12は測定された降雨と浸透率を月別に表わしたものだが、昭和60年の6月、同年12月～翌61年4月にかけて浸透率は比較的小さい値を取ることがわかる。特に2月は降雨の絶対量が少いことともあいまって非常に低い値を示した。その後月を追って浸透率は上昇傾向を示すが同時に降雨毎のバラツキも増し、8月、9月からほとんど100%の浸透率を示すようになる。ただし、7月、8月は機器の動作不良により欠測となっており図中に示していないが6月と9月のデータを合わせて考えてみると、浸透能の一定化は7月頃から始まっているように

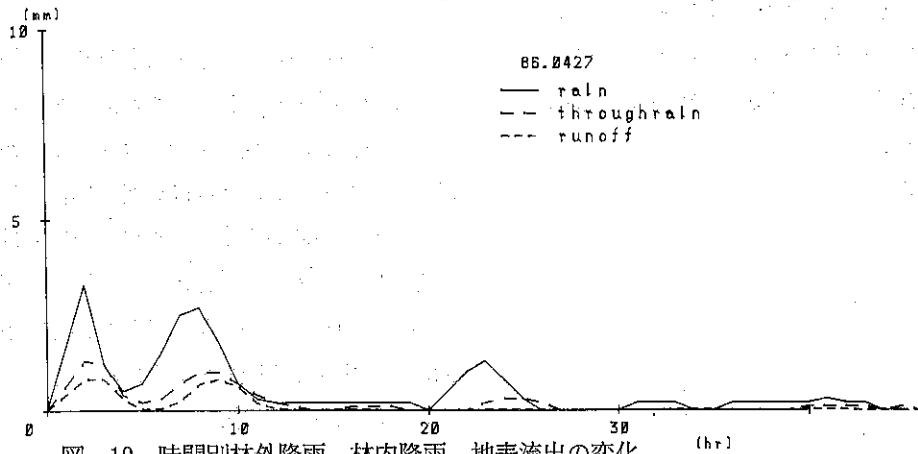


図-10 時間別林外降雨、林内降雨、地表流出の変化

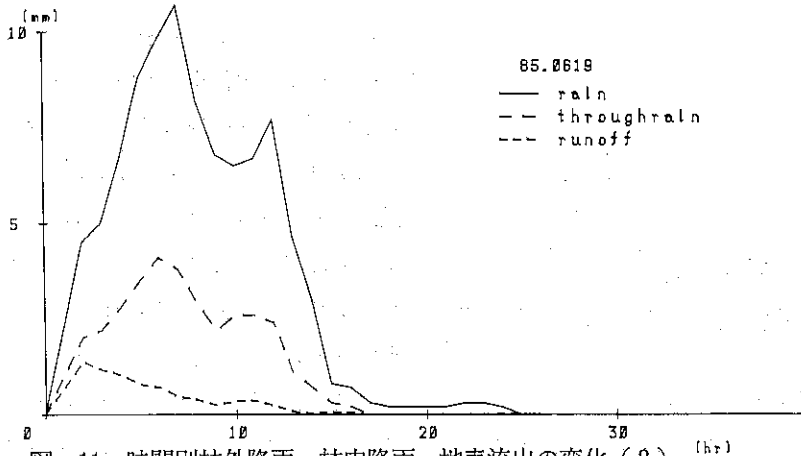
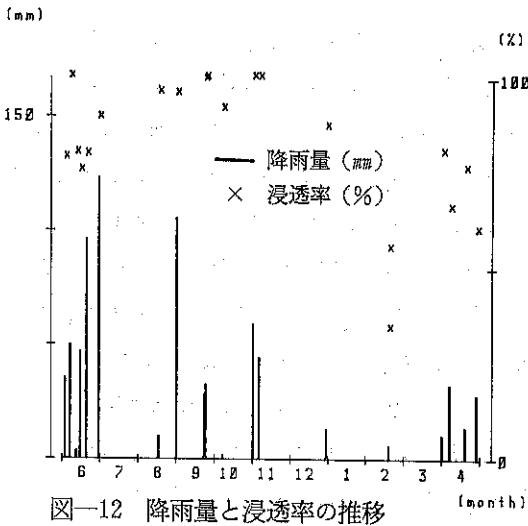


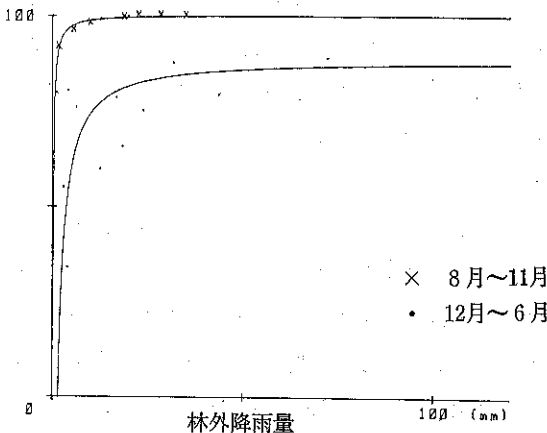
図-11 時間別林外降雨、林内降雨、地表流出の変化(2)

思われる。

この傾向を図一13でみてみよう。この図は浸透率と林内降雨量の関係を、一年を2つの期間、すなわち浸透能が低くバラツキも大きい12月～6月期と、ほぼ全量浸透といえる8月～11月期にわけと示した。この2つの期間で浸透率が明らかに違うことが読みとれる。8月～11月期においては、浸透率は非常に高く、少ない降雨に対しても大きな浸透力を発揮している。対して12月～6月期では浸透率は概して低くバラツキも大きい。特に少ない降雨量に対してバラツキが目立つ。浸透率が



図一12 降雨量と浸透率の推移



図一13 期間別浸透率

変化するという事は、その算出定義上地表流出量が変化していることを表す。従って12月～6月期においては、林内降雨量に対する地表流出量の割合が大きくなっているわけである。

以上のような現象は地表面の撥水性としてとらえることができよう。特に冬期においては地表面は乾燥し、雨滴の多くは表層ではじかれるようにして流出する。4月に地表面に約200cc程度を散水してみた所、ほとんど浸透する様子なく10数m流下したことを観察している。この地表面の流下状態が長く続く間に、徐々に地表面が湿ってゆき撥水性が低下し浸透量が大きくなる。図一10、図一11によれば約15～20時間降雨が続くとほぼ全量が浸透するようになるが、この絶対的な時間はその時の地表面の状態や降雨の形態により違いがあるであろう。12月～6月期の中でも特に冬期に浸透率が低いのは撥水性の問題とともに、降雨が比較的単時間で降雨量自体も少いことの影響があると考えられる。このような地表面の撥水性は先行降雨の量、降雨と降雨の間隔、その間の気温、湿度など特に地表面からの蒸発にかかわる因子によって基定されるであろう。従って典型的な太平洋側気候に属する当地では、冬期の降雨量の少なさや空気の乾燥により地表面の撥水性が高まると考えられる。さらにヒノキの落葉時期も考慮に入れる必要がある。ヒノキの落葉は鱗片状に分離し密に地表を覆うのに加えて、落下直後の落葉は樹脂分が多く撥水性が高い。落葉は11月～1月に集中することから、この時期の地表流出量の増加傾向とも合致する。一旦地上に落ちた葉は、徐々に樹脂分を失うことにより撥水性が低下する。以上の2点が図一12、に示したような浸透率の季節変化を生じる原因であると思われる。

ここで浸透率の季節変化を概述すると、冬期の少雨と乾燥及び、樹脂分の多いヒノキ落葉に覆われることによってもたらされた撥水性の高まりは、

梅雨期までかなりの程度維持され、梅雨期を通過することによってようやく地表撥水性は低下し、最大の浸透力を発揮するようになる。この状態は概ね11月頃まで続き、その後撥水性が再び高くなり浸透力は低下し始める。この時期の撥水性の高まりは、ヒノキの落葉現象によるものが大であろう。さらに2月頃に浸透力は最底の水準に達する、ということになる。これは自然の降雨を対象に観測した結果であり、人工降雨による測定ではこのような結果は出にくい。

人工降雨試験では、浸透能測定の前に予備散水を行うことが普通で、それはこの土壤表面の撥水性をおさえて純粋な浸透能の大きさを計測することを目的としている。しかしながら現実の山地における浸透量は当然地表で撥水されることをも含めた量でなければならない。従来、人工降雨試験は浸透能の絶対量の測定に重きを置いた結果、あえて撥水性を無視し得る前述のような方法を採用してきた。しかし今後は人工降雨試験によって撥水性を測定することも必要であろう。

次に1降雨中の撥水性の低下を考えてみたい。すでに述べたように降雨の継続は浸透率の変化をもたらすことから、撥水性も降雨中に変化すると考えられる、従って浸透率は降雨時間によっても左右され、降雨時間が長くなれば撥水性は低下し浸透量が増加する。このことは特に12月～6月期において降雨の比較的初期に地表流出が集中して生じることを意味し、晴天が続いたあとの単時間の降雨では地表流出量が極めて多くなることを予想させる。逆に降雨が長く続いたあとに多量の降雨があった場合には、あたかも人工降雨実験の際の予備散水を行ったと同様の状態になり、林内降雨のほとんど全量が浸透することになって地中の浸透水の量が増大するであろう。この撥水性を低下させる降雨は、図一10、図一11のような降雨量に大きな差があるものでも似た時間的経移を示

すことから考えて、必ずしも多量の降雨を必要とせず、シトシト雨程度のもので効果があるものと思われる。同時に、図一12から12月～6月期では撥水性を低下させるに十分な降雨量と降雨時間があった場合でも、撥水性は降雨中に一時的に低下するものの比較的早い時期に回復する傾向があり、その解消には降雨以外の気象条件、梅雨期のような長期間の降雨と落葉に含まれる樹脂分の減少が必要であると思われる。

V. おわりに

林地の浸透能は非常に高く、年降雨に対すると林内降雨のほぼ90%以上が地中に入っていく。しかしながら条件によっては多量の地表流出が起きる場合があることはすでに述べた。このような現象は本試験地の土壌的、位置的な条件によるものか、広く他の林地にも認められるものか、またその程度はどのくらいかを今後明らかにせねばならない。地表の撥水性として従来問題にされていたのは、乾燥した土壤における菌糸網層である。菌糸網層による撥水は、玉のように水がはじけ、撥水性が低下することもあまり見られない。このようなことから考えて今回問題にしたような表層撥水とはいささか異なるものと思う。撥水性に関しては不明な点が多く、本論文でも定性的な把握と推定にとどまったが、地表流出量の増減に関与する重要な因子として定量的にとらえる試みが必要である。

次に土壤型によって地表流出の特性がどのように変化するかを追跡せねばならない。これらの特徴の把握は流出量の総量を測定することのみでは不可能な面がある。一昨年までの総量測定の結果では降雨前半と降雨後半の流出量の差異が表われていない。この原因は流出量の絶対値のバラツキが大きいことと、林内降雨量に対して相対的に非

常に小さい値であることによる。従って絶対値では特徴が明らかにならず、浸透量や流出率といった換算をすると特徴も消えてしまうことになる。

I 報、II 報では総量測定の結果のみで各種林分の浸透能の評価を行ったが、加えて今回のような経時的な測定によって新たな特徴がとらえられるものと思う。

加えるに浸透後の水分の動態をとらえる必要を痛感した。実際の林地を見ていると、降雨は様に浸透するのではなく、ある地点では地表を流れ、別の地点では流水が浸透し、また再び地表面に出てくる所もある。このように様々な特徴を持った地点の集合体としての林床を考えなければならない。この意味で流出メカニズムの一環としての地中流の動態は無視できない。

以上のような諸問題を解決することによって実際の林分の浸透量をより確実に予測することが可能になるであろう。

引用文献

- (1) 服部重昭・近嵐弘栄・竹内信治: 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、1982。
- (2) 小林元男・山下 昇: 試験林調査報告、愛林試報21、41~121、1985。
- (3) 松田 清: 森林の土壌浸透能について、愛林試報19、47~56、1983。
- (4) 村井 宏: 森林植生による降水の遮断についての研究 林試験報232、25~64、1970。
- (5) 山下 昇: 森林の土壌浸透能について (第II報) 愛林試報20、85~91、1984。

