

広葉樹林における水源かん養機能に 関する研究 (I)

田中一夫・奥村武信・井上 昌・下野 清*

Research on the Functional Property of the Broad-leaved Forest for Water Resource Conservation (I)

Kazuo TANAKA, Takenobu OKUMURA,

Akira INOUE and Kiyoshi SHIMONO*

Summary

In order to clarify the functional property of deciduous broad-leaved forest for water resource conservation, we started in 1979 some observations and investigations at a model watershed covered with White Oak (*Quercus serrata*) within the Hiruzen University Forest. In this paper, some results obtained in 1980 are discussed.

Rainfall in the forest and stem flow were measured approximately weekly at 15 points and at 62 stems, respectively, in 4 plots having variant type of crown closure.

The ratios of the totalized rainfall in the forest, at the point or in the plot, to the gross rainfall are in the ranges 0.71 to 0.87 and 0.77 to 0.83, respectively. Although, no significant difference is found to be related to the type of crown closure or to area shaded by crowns.

Stem flow per crown shaded area on the erect higher trees is calculated to be 0.7 to 8.8 per cent of the gross rainfall totalized, individually, from 19.1 to 106.2 mm. These values are intermediate between Red Pine (*Pinus densiflora* S. et Z.) and Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa* S. et Z.). However, we might measure various stem flows on trees with a similar crown shading area because of the inclination of the stems. For a better understanding of the phenomena, we must remember that broad-leaved trees on a slope seldom stand upright.

Run-off from the watershed (3.51 ha area) was recorded using a 9-inches wide Parshall Flume. Total runoff during the period was 478 mm, while total rainfall was 1,094.6 mm. Thus, the averaged run-off ratio was 0.44. The maximum daily rainfall of 80.1 mm caused a flood with a peak discharge of 8.0 l/sec. Analyzing this hydrograph after Barnes' method, the prompt and delayed subsurface flow are evaluated to be 4.9 mm and 12.1 mm, respectively. The depletion constants in 6 floods, discharging 6.5 to 17.0 l/sec at the peak, are computed to be 0.015 to 0.026.

* 鳥取大学農学部砂防工学研究室; Laboratory of Erosion Control Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University

I 緒 言

近年水資源問題が社会的に重要な課題となり、森林のもつ水源かん養機能が重要視されてきている。林野庁においても新しい施策として1979年度より、重要水源山地整備治山事業を推進することになった。

今日多くの水源山地には広葉樹を中心とした天然林が多く分布しており、また一部にはこれまでにスギなどの人工造林が失敗している地域も見られる。このような広葉樹天然林における水源かん養機能についての資料は乏しいのが現状であり、中国山地におけるものは皆無である。それ故筆者らは本学蒜山演習林内のコナラ、クヌギを主要な樹種とする落葉広葉樹天然林における水収支を調査することにより、従来水源かん養林として推奨されてきたスギ林等と広葉樹林との水源かん養機能の差を明らかにする糸口を見出したいと考え、1979年から2、3の観測を開始した。

ここでは落葉広葉樹林における林内雨量、樹幹流下量および暖候季における流出量について観測し、2、3の知見を得たので報告する。

なお、本研究に対し1980年度より3ヶ年連続で文部省科学研究費の補助を受けている。付記して謝意を表する次第である。また、本報告の一部は第32回日本林学会関西支部大会に発表した。

II 試験地および観測方法

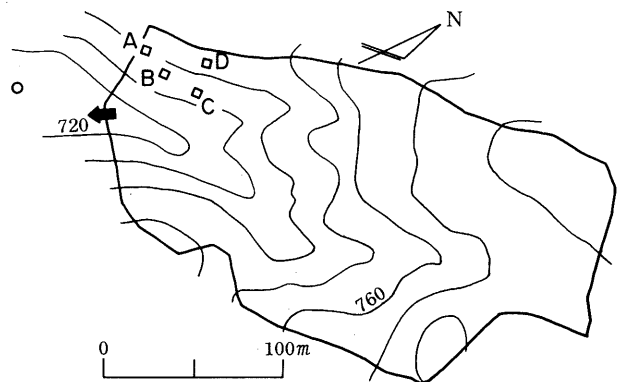
1. 試験流域の概況

試験地は岡山県真庭郡川上村地内にある鳥取大学蒜山演習林の22林班内に1979年に設定した。

試験流域の林況は、コナラを主林木としクヌギ、カシワをわずかに混え、中下層にクリ、アオハダ、クロモジ、タニウツギ、リョウブなどが多くみられる天然生落葉広葉樹二次林である。下層植生として、流域全体にヤネフキサササが多く侵入している。

第1図は、実測分水界を1/5,000地形図に重ねたものであるが、流域面積は3.51haであり、標高は710～790mの範囲内である。南西方に開ける谷の下流域両側斜面は35～40°の急斜面であるが、中流域から上流域に至り、その傾斜はきわめて緩慢となる。

地質は大山火山から供給された安山岩質の角礫や亜角礫からなる大山凝灰



第1図 調査流域平面図

角礫岩層で、土壌は黒色火山灰土である。

標高560mの演習林事務所では1972年から78年に観測された年平均雨量は、2,215mmであり、冬季の積雪は1m以上に達する。3月中は残雪のある多雪地である。

2. 観測プロット

林内雨量および樹幹流下量の測定を行うために、水平距離で5×5mの面積をもつプロットを次のようにして選定した。すなわち、まずすべての観測作業に便利な林分において最大傾斜方向に幅2mのトランセクトベルトを10m間隔でつくり、その樹冠投影図を作成した。この樹冠投影図を基礎として、上層木および中・下層木の樹冠密度の違いにより、第1図に■で示した4ヶ所を選定した。

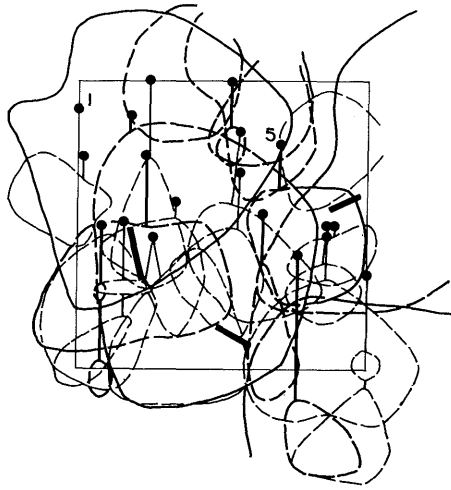
プロットAは上層木および下層木とも密にうっ閉。プロットBは上層木樹冠が中庸の密度で、下層木は疎。プロットCは上層木および下層木とも疎な樹冠密度。プロットDは上層木の樹冠密度は疎であるが下層木は密な部分に設定した。

各プロットの林況および植生の概要はつぎのとおりである。

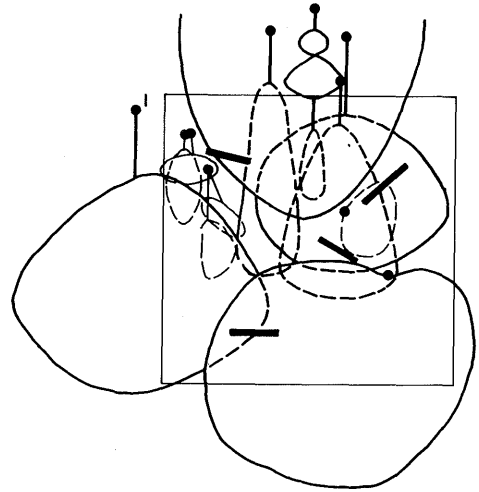
プロットAは、胸高直径15～17cm、樹高13～14mのコナラ上層木の枝葉が密であるが、プロット中に幹を立てるものはわずか2本で、中下層木として、コナラ、ウラジロノキ、リョウブ、タカノツメ19本がある。プロットBは胸高直径19～30cm、樹高14～17mのコナラ上層木が5本で、下層木としてコナラ、クロモジなどが9本ある。プロットCは胸高直径7～14cm、樹高10～11mのコナラ上層木が4本で下層木はタニウツギ、コナラなど7本である。プロットDは胸高直径21cm、樹高14mのコナラ上層木が1本で、下層木はリョウブ、クロモジ、タニウツギなど15本である。

各プロットの樹冠投影図および断面透視模式図を第2図、および第3図に示す。第2図では、太い線がコナラの、細い線が他の樹種の樹冠を示しており、●印が樹幹流下量測定木の根の位置である。また■印は、林内雨量集水トイの位置を示している。なお、数字はあとで問題とされる樹冠、トイの位置を明確にするために記した。

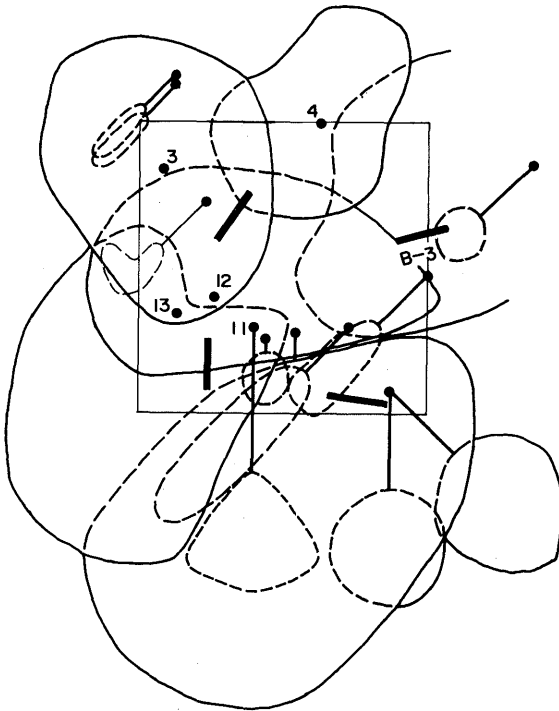
第3図においてSjはウラジロノキ、Cbはリョウブ、Luはクロモジ、Eiはタカノツメ、Whはタニウツギの樹幹であり、他はすべてコナラである。林地が32～35°と傾斜しているため樹幹の多くは傾斜して根曲り木が多いことがわかる。



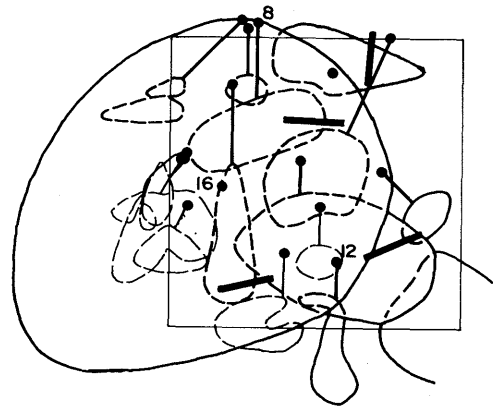
PLOT A



PLOT C

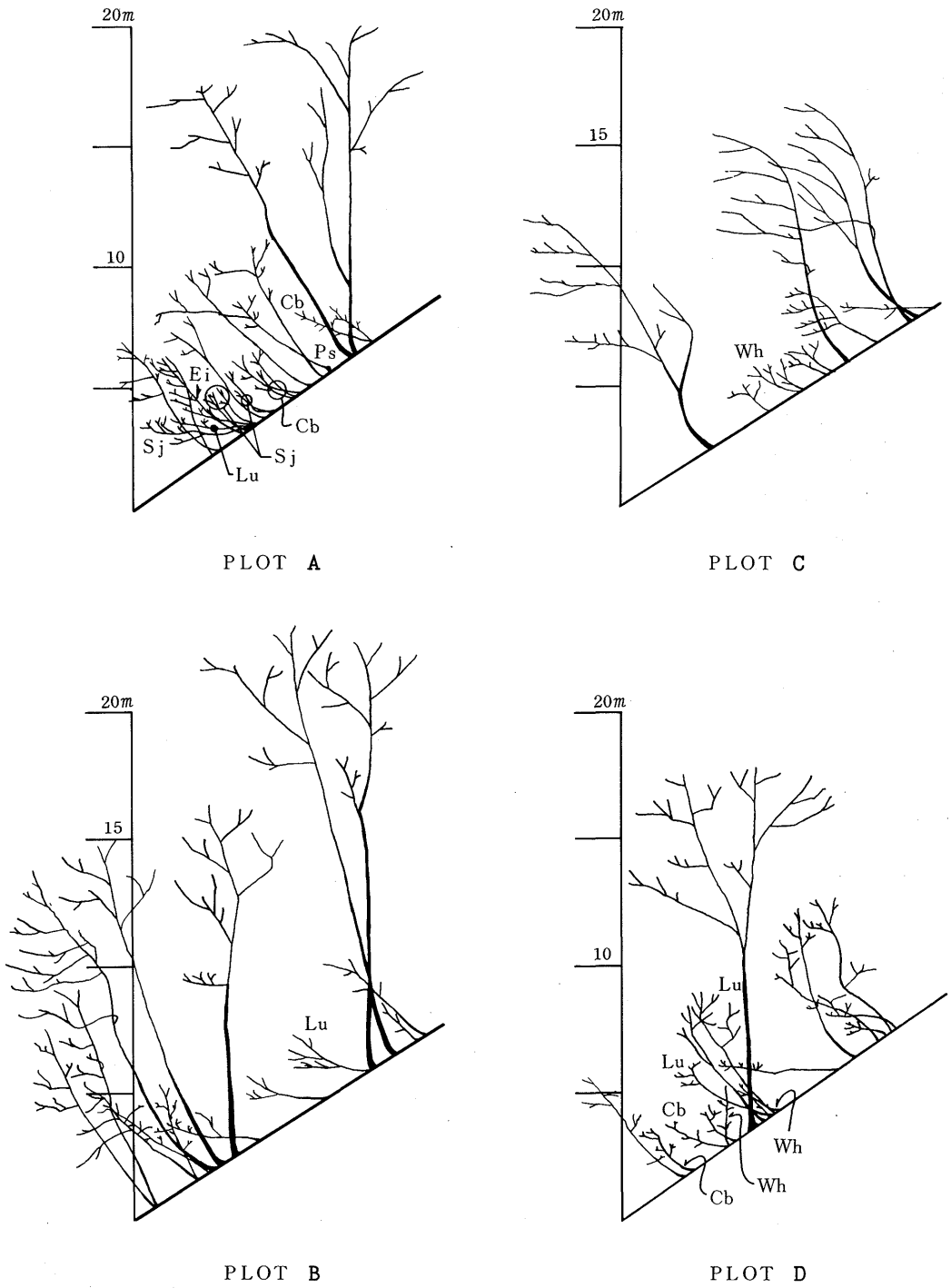


PLOT B



PLOT D

第2図 各プロットの樹冠投影図



第3図 各プロットの枝幹透視図

3. 観測方法

林外雨量の測定には、亜鉛鉄板製の幅10cm、長さ100cm、深さ10cmのトイを作製し、地上約1mの高さに設置した。

樹冠流下量の測定のために、一定以上の直径をもつ樹幹については、粗皮をけずった樹幹に背割した内径13mmのビニールホースを地上0.6m以上の位置に螺旋状に巻付け、また細い立木の場合は内径25mmのビニールホースの一端を樹幹にかぶせて集水した。

トイで捕捉した林内雨量およびホースで集水した樹幹流下量は、転倒マス型雨量計に一部接続して記録するほかは、すべてポリバケツ、ポリびんなどに貯水して、1週間を基準期間として計測した。各プロット別の測定数は、第1表のとおりである。

林外雨量は、第1図に○で示す位置に、0.5mm計および0.1mm計の転倒マス型雨量計を設置し記録した。なお、この位置は、ヒノキの植栽地で、その樹高は未だ1mに達していない。

また、第1図の矢印の地点に9インチ型のパーシャル・フリュームを設置して量水観測を行った。

第1表 測定数

Plot	林内雨量	樹幹流下量	
		コナラ	その他
A	3	8	13
B	4	13	1
C	4	6	5
D	4	10	6

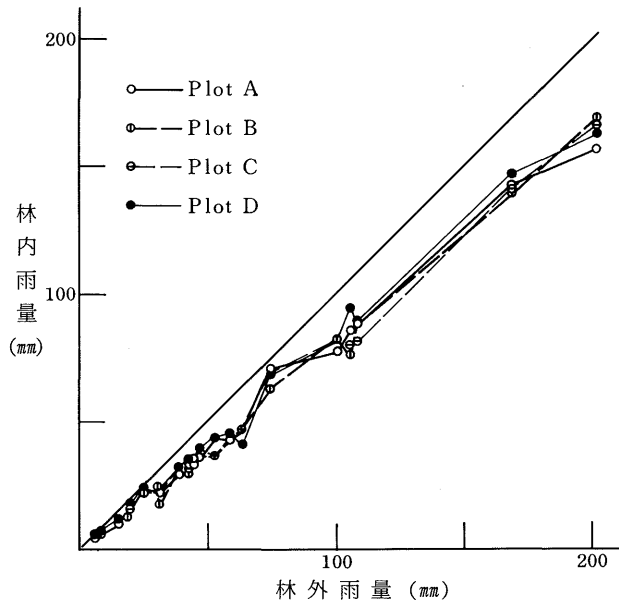
III 観測結果および考察

本報告の観測結果は1979年10、11月と1980年5月～11月の期間のものである。

1. 林内雨量

各プロットの林冠うっ閉の程度の違いが林内雨量に及ぼす影響およびトイの設置場所の違いが林内雨量にどの程度の差違をもたらすかを検討した。

全測定期間中の林内雨量と総林外雨量から林内雨量率を算出すると、プロットA～Dにおいて、それぞれ71.7～85.0%、73.7～79.0%、71.1～85.0%、76.5～86.9%であり、プロット中での設置場所による林内雨量率の相違は5～14%である。一方、各プロットごとに林内雨量率を単純平均すると、それぞれ、78.5、77.1、78.6、82.8%となりプロット間の差違は約6%以下である。



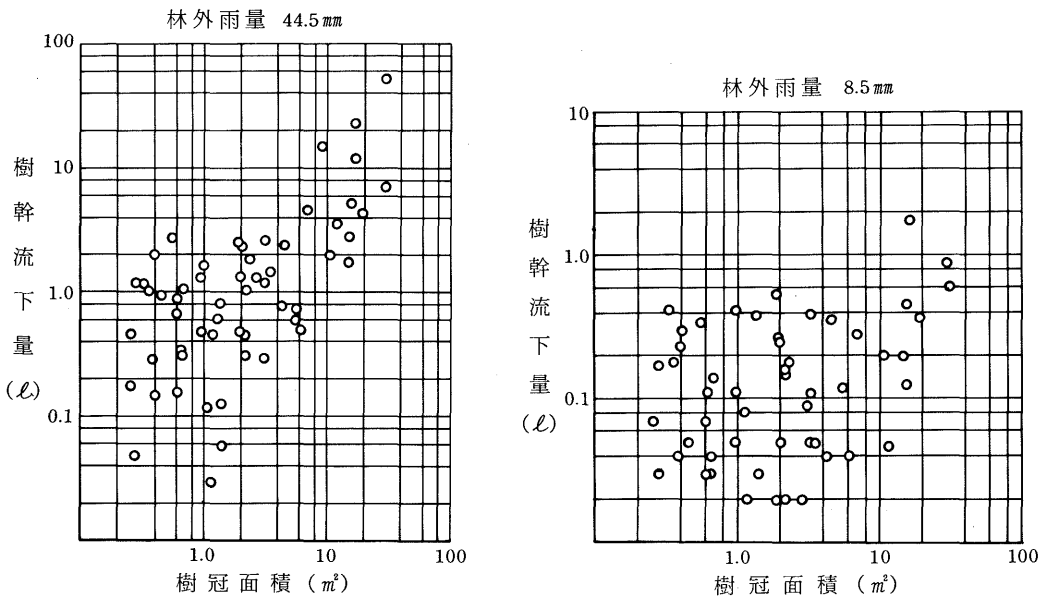
第4図 各プロット平均林内雨量と林外雨量の関係

このように、プロット内の観測林内雨量のバラツキの方がプロット間の差違より大きいために、肉眼でみた樹冠の疎密はもちろんのこと、樹冠投影面積の大小による差違を明らかにすることはできなかった。なお、プロット間においても、同一プロット内においても、より多量の雨を観測したプロット、より多量の雨を捕捉したトイは一定せず、その順序は絶えず変わっている。

第4図は、各計測期間内の林外雨量とプロット内平均林内雨量を示したものであるが、小雨期間での両者の関係がほとんど45°の線で示されることは、ひと雨で計測したばあいの一般的傾向と大きくずれている。このことについては、改めて検討する必要がある。

2. 樹幹流下量

樹幹流下量には葉量が直接影響するものと考えられる。葉量の調査は行わなかったが、ここでは、樹冠投影面積が葉量の多少を示す指標になると仮定し、樹冠投影図から求めた樹冠面積と樹幹流下量との関係を、期間雨量が44.5mm(7月14日~21日)のばあいと、期間雨量が8.5mm(9月22日~29日)のばあいについてプロットしたのが第5図である。



第5図 樹幹流下量と樹冠面積の関係

一般的な考え方としては樹冠投影面積が広いほど樹幹流下量が多いということになるが、図にはその関係は明確に現われてこない。相関係数が、それぞれ0.56、0.67とわずかに相関のあることを示すにすぎない。

このように樹冠面積と樹幹流下量との間に高い相関関係がみられなかった理由として、樹冠投影面積が葉量の指標となるとする仮定の良否はともかくとして、測定木がかなり傾斜しているためではないかと考える。そこで、第2表に示す胸高直径5cmのコナラ4本を選んで、樹幹の傾斜度による樹幹

第2表 DBH 5 cm のコナラにおける樹幹流下量

測定木	傾斜度 (°)	樹冠面積 (m ²)	総雨量に対する流下率 (%)
D - 8	34	2.2	2.2
A - 5	35	3.5	0.9
D - 12	45	1.0	5.1
B - 11	51	3.1	0.5

流下量の相違を検討してみた。なお、ここでは、傾斜度は天頂角をとる。

第6図は各期間の林外雨量と樹幹流下量をプロットしたものであるが、必ずしも傾斜度が大きくなると樹幹流下量が減少するという

関係は明確でないけれども、傾斜度の小さい方（幹が垂直に近い程）が樹幹流下量が多い傾向がうかがえる。とくに、同じ程度の樹冠投影面積を持つ試験木A-5とB-11（それぞれ3.54 m²、3.14 m²）を比較すれば、第2表に示すように総量において傾斜度の小さい前者（35°）の流下率は後者（51°）の倍近い値となる。

針葉樹のばあいと比較して、斜面に立つ広葉樹は大なり小なり傾斜していることを、水文現象を理解する上では充分留意しなければならない。

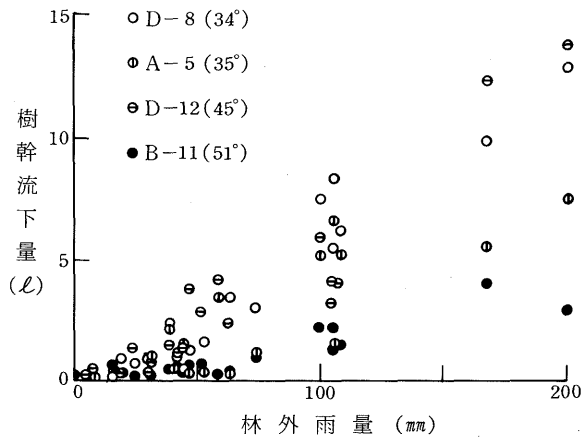
さて、第3表に示す傾斜度20°以下のほぼ直立しているコナラ上層木6本を選び、期間雨量19.1～106.2 mmの7回の計測値について樹幹流下量を樹冠投影面積で除した樹幹流下率を求めると第7図のとおりで、0.7%から8.8%の範囲にある。

針葉樹の樹幹流下率はアカマツが0.8～2.5%、ヒノキが7～15%と報告されており¹⁾、今回の観測結果はこの中間に位置する。

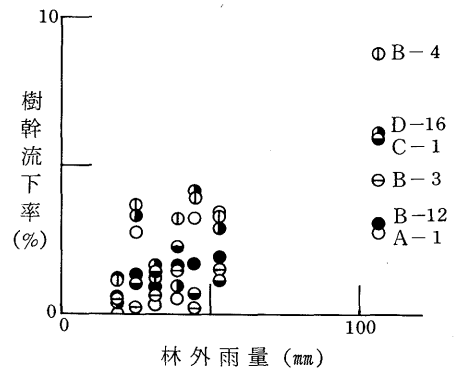
樹幹流下の林外雨量および林内雨量に対する遅れを検討するために、コナラ上層木B-13（胸高直径19 cm，樹高14 m，樹冠投影面積約20 m²）での樹幹流下量およびトイB-3で測定された林内雨量ならびに林外雨量の9月17日から10月18日の間のい

第3表 第7図にとりあげた測定木

測定木	傾斜度 (°)	DBH (cm)	樹冠面積 (m ²)
A - 1	0	17	16.8
B - 3	0	19	15.5
B - 4	13	20	9.1
B - 12	0	19	16.4
C - 1	20	8	11.8
D - 16	0	21	30.0



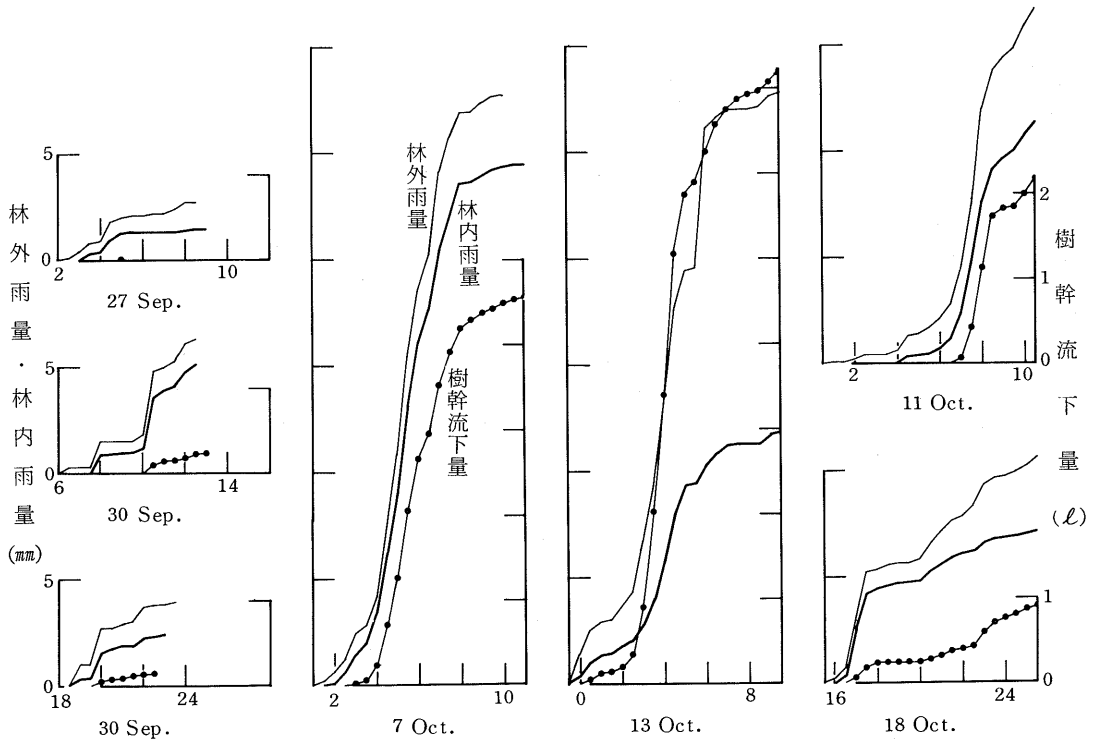
第6図 樹幹の傾度による樹冠流下量の相違



第7図 樹幹流下率

くつかの降雨初めから10時間までの各30分間量の累計を示したものが、第8図である。

樹幹流下の林外雨量に対する時間的遅れは、雨量強度に大きく支配されている。たとえば、10月11日の降雨において30分雨量が0~0.7mmという小雨が約5時間続いたのち30分で1mm以上の降雨があったときにはじめて樹幹流下があらわれた。13日の降雨では降りはじめの30分雨量が1.3mmであったからほとんど同時に樹幹流下があらわれている。よって、コナラ上層木の場合樹幹流下があらわれるには、30分雨量が1mm以上必要であると思われる。

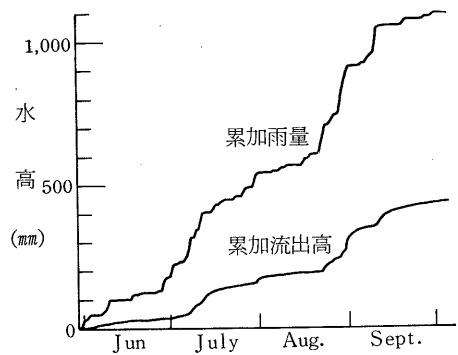


第8図 樹幹流下量の林外雨量、林内雨量に対するおくれ

3. 流出量

6月頭初から10月5日迄の累加雨量および累加流出高を図示すると第9図のとおりで、総降雨量が1,094.6mmに対し、総流出高は478.0mmであり、流出率は約44%となる。

類似する流域面積をもつ広葉樹林地の観測例として、林業試験場による茨城県笠間の天然広葉樹林でのものがある²⁾。平均年降水量1,646mmに対し、古生層粘板岩地質の面積5.9haの流域からの流出高が504mm、流出率約31%と報告されている。



第9図 累加雨量および累加流出高

また、多積雪の観測例として、同じく林業試験場が観測した山形県の釜淵1号沢でのものがある²⁾。ここの基岩地質は泥岩で、土壌は黒色土壌であるが、総面積で40%にあたるスギ、ヒノキの人工造林地が団地状に介在するナラ、ブナ等の広葉樹天然生林を林相とする流域面積3.06haの試験流域である。降雪が35~40%を占める年平均降水量約2,600mmに対して、流出率76%に相当する平均年流出高約2,000mmが観測されている。筆者等は通年観測していないので直接比較対照することは無理であるが、筆者等の得た暖候期だけの流出率は笠間試験地のそれより高く、多雪地の釜淵でのそれはこれらよりかなり高い。

筆者等が観測を行っている蒜山演習林は前述のように積雪の多い地域であるので、積雪期を含む通年の観測データを得ることが出来れば、より正確な対比ができるものと考え。将来他地域との比較検討をするためにも、年間を通じて観測するよう努力したい。

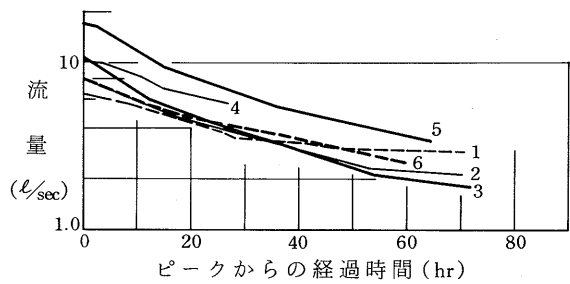
さて、流出ハイドログラフは、上昇部、頂点部、下降部の三部分に分けられる。上昇部、頂点部の形は、降雨の様相を直接反映するから出水ごとにより大きく違ってくるけれども、下降部は流域によっておおそ決まった形があるといわれる²⁾。第10

図は、第4表に示したいくつかの出水時のピーク後の減水状況を片対数紙にプロットしたものである。減水曲紙は2~3本の折線で近似することができる。ピーク流量が等しい②と⑥は、ピーク後約15時間は同じように減少する。それ以降は②の方がいく分早く減少する。⑥は第3の折線があらわれないうちに次の降雨があった。③と⑤は、継続期間は異なるがそれぞれ傾きの類似する3本の折線で近似できる。①と④では、第1の折線の傾きは、第2の折線の傾きより小さくなっているが、これは出水ピーク後の後続降雨の影響であろう。

ピークから9~16時間後にあらわれる、それぞれの第1の折点からつぎの折点までの傾き、すなわち、遅い中間流出と地下水流出が寄与しているといわれる期間の減水係数を計算してみた。結果は第4表のとおりである。減水係数は次式によって計算した。

$$Q = Q_0 e^{-\alpha t}$$

ここに、 Q_0 :初期流量 l/sec , e :自然対数の底, α :流域によって決まる減水係数 (hr^{-1}), t : Q_0 からの経過時間 (hr), Q : Q_0 から t 時間後の流量 l/sec である。



第10図 出水時の減水状況

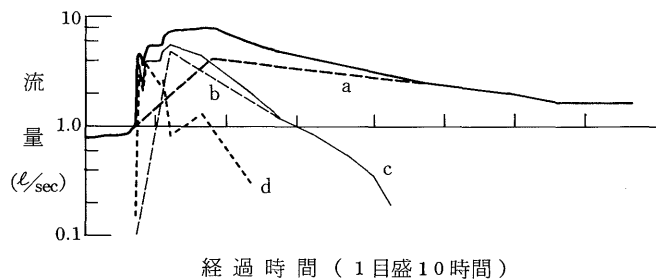
第4表 出水時の減水係数

No	ピーク出現月	ピーク流量	減水係数
1	7月8日	6.5 l/s	0.023
2	7月12日	8.0	0.021
3	8月23日	10.6	0.026
4	8月29日	10.2	0.019
5	8月31日	17.0	0.026
6	9月11日	8.0	0.015

7月および8月中の出水では、0.021～0.026の減水係数となった。ただ、8月29日の出水では、減水水中も降雨が後続していたため、わずかに小さい減水係数を示したのであろう。これに対し、9月11日の出水では、とりわけ小さい減水係数が計算された。小森林流域では、蒸発散強度の季節的变化により異なる減水曲線を示すと従来指摘されており²⁾、9月11日ごろには、盛夏に比しすでに蒸発散強度が低下しているために、小さい減水係数が計算されたのかも知れない。しかし、1980年は多雨年であり、とくに6月25日から9月12日の80日間には、合計17日の無降雨日が、しかもせいぜい3日の連続期間で存在している状況であり、減水係数への蒸発散強度の差による影響を論ずるには至らなかった。

ところで、森林のもつ理水機能とりわけ水源かん養機能を論ずるにあたっては、供給された雨水のどれほどが、基底流出に転換されているかを知る必要がある。いくつかの出水ハイドログラフをバーンズ法により分離することにより、その量を推定することを試みた。

前にのべたように、流量の減水状況が傾きの異なる2～3の折線で表現できるのは、溪流流量のなかに含まれるいろいろな流出成分の減水係数が異なるからであるといわれている。逆にこの減水曲線が、いくつかに折れることを利用して、流出成分を分離する方法がバーンズ法(Barnes)である。これは、比較的機械的に分離できる特長をもっているが、理論上ピーク流量出現時以前の流出成分の分離は不可能である。ここでは、ハイドログラフの立上りからピークの間は、基底流出および遅い中間流出の成分が時間経過とともに比例的に増加してくるものと仮定した。第11図に、9月10日にピークをもつ出水ハイドログラフの分離の過程を示した。ここに、a曲線は基底流出成分、b曲線は中間流出成分、c曲線はこれと直接流出成分とを加えたもの、そしてd曲線は直接流出成分の経時変化を示している。なお、本流域の状況から考えて、直接流出成分の構成主体はきわめて早い時期に流出する中間流出である。



第11図 バーンズ法によるハイドログラフの分離 (9月10日出水)

このハイドログラフのばあい、総雨量89mmに対し、直接流出分もしくは早い中間流出成分が4.9mm、(遅い)中間流出成分が12.1mmである。

また、総雨量100mmであった8月22日の出水ハイドログラフのばあいは、直接流出が3.3mmで、中間流出成分が10.5mmであった。

IV 結 語

広葉樹林における水源かん養機能に関する蒜山演習林での観測研究の第1報として、今回は林内雨量、樹幹流下量および5～10月の暖候季における流出量の観測、解析について報告した。

広葉樹林における水源かん養機能を論ずるには今後さらに、基底流量の観測を中心とした長期にわたる観測を行い、多くの資料を得てこれを解析する必要がある。また、現在林地の浸透能の調査、地下水位の変動の観測等を合せ行っており、追って報告したいと考えている。

文 献

- 1) 川口武雄：森林物理学，気象編，地球出版，東京（1970）
- 2) 中野秀章：森林水文学，共立出版，東京（1976）



写真1 PLOT Aでの観測状況

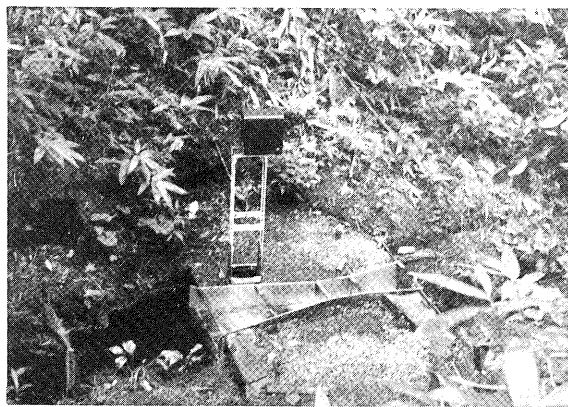


写真2 パーシャル・フリュウムによる流量観測