

3. 森林と降水の流出について

山 村 烈 也 (信州大学・農学部)

1 はじめに

日本は降水量の多い国で、全国平均の年降水量1800mmは世界の陸地の平均の2.7倍にもなる。そして降水の季節が一年を通じて配分されている。しかし最近の水不足の地域が現われるようになり、その解決が望まれている。そこで利用される水の流れを図-1に示す。降水は地表面に到達した後、蒸発散、直接流出、基底流出の三つに分かれる。図に示されている直接流出は、表面流出と中間流出を合せたもので、基底流出は、地下水による河川の流出水と言う。そこで、降水の多い時期の流量を調節して洪水の害を防ぐとともに無駄に流さないようにして、その水を渇水時にまわして有効に利用するとともに、基底流出を多くすることが水資源の確保のためには望ましい。そこでダムによる流量調節が行なわれている。

しかしダムを作れるダムサイトも限られていることから森林の働きが評価されるようになった。最近、牧尾ダム湖で貯水が底をついた時に同ダム湖の上流域で流水の絶えた溪流はなかった。また平均傾斜が急で荒廃地が点在し、かつ保育の手遅れの不健全なスギ、ヒノキの人工林の多い地区で、ヘクタール当たり一日7立方メートルの流出量、荒廃地がなく保育十分な壮年人工林を主とする地区では16立方メートルの流出量が測定されたと言います。これは森林で覆われた山体がなんらかの形で内部に一時降水を貯え、その後徐々に放流する働きがあることを示しているわけで、この山体の働きを高度に発揮させることが出来れば流量の平準化がすすみ、ダムの負担をへらしてより自然の状態で利用できる水の量を確保するとともに洪水を防止することになる。

2 森林の流出平準化

日本における水の供給のもととは河川の上流に広く分布している山地の森林でありその面積は国土の67%にあたります。さてその森林地に降った降水は樹木の葉や枝で遮断され、一部は葉や枝の表面から蒸発し、残りは林冠を透過して林地の表面に達する。また一部は樹幹流となって地表に到達する。

なお降雨の遮断は数少降雨の場合は80%以上になるが、雨量が数10mmになると20~30%、100mmを越す大雨になると10%以下となることも多い。そして通常、良好な森林

地に到達した降水のほとんどは、多量かつ多様な孔隙によって森林土壤に浸透するのが普通である。我が国の過去最大降雨強度は一時間当たり160mm前後ですが、それ以上の強度で森林に降水は浸透することが多いからです。

浸透は地表の状況によって表-1のように異り、森林が特に優れています。

次に浸透を受けもつ森林土壤について見てみます。

森林土壤は図-2に示すように、A層、B層、C層というように層位をもっているのが特徴であり、なおA層の上にA₀層（堆積有機物層）が地表面を覆っているということも大きな特徴である。この堆積有機物層は分解過程によってL層、F層、H層に分ける。L層は新鮮な落葉落枝層が堆積している。F層は落葉落枝に微生物や土壤動物による分解が進行している層で、H層は落葉落枝であることが判別できないまでに分解が進んでいる層である。その層の厚さは場所や樹種によって随分違う。例えばヒノキやカラマツの落葉は腐りにくく、ブナやミズナラなどの広葉樹の落葉は分解しやすいといわれている。そして林分葉量は針葉樹の方が広葉樹より多いが、実際の一年間

の落葉量はわが国ではha当たり2.5～3.5tといわれている。この落葉落枝が降雨の衝撃を緩和して土壤の侵食を押えている。その他にも下層植生によっても衝撃力は減殺される。しかし林冠が完全にうっ閉すると、しばしばヒノキ林では下層植生が消滅して表土が侵食されて根が曝されることもある。さらに森林土壤には林木や下層植生の根（地上部の重量の25～30%）が枯死腐朽したあとに出来るルートチャンネルがあって比較的粗大な非毛管孔隙として、重力水の浸透・流通の通り道になっている。ルートチャンネルは土層のかなり深くまで粗大な孔隙を形成し、しかも縦横に広く連続して広がっているので重力水の通り道として重要な孔隙である。またモグラやネズミなどの小動物が地表近くの土壤中に網の目のように通路を作っている。またA₀層には沢山の微生物が生活して落葉落枝を分解している。次に土壤に吸い込まれた水は、土壤中の大小の孔隙の分布によって保水量や流出に違いが生ずるが、森林土壤は見た目よりかなり多くの孔隙を含んでおり、表-2にそれを示した。土壤粒子の間の孔隙の大小を非毛管孔隙と毛管孔隙に区分し、さらに毛管孔隙を水が重力に従って移動できるかどうかで大小に区分すると、土壤中の水の動き、保水との関係がはっきりしてくる。非毛管孔隙は、降雨があったのち約一昼夜経過して、重力水が下方へ速やかに浸

透してしまったあとに水で占められていない粗大な孔隙と考えられている。つまり、非毛管孔隙はいわゆる重力水の通り道で、水を保持・貯留する機能はあまりもっていない孔隙だということになる。そして土壌が水を一時的に貯留して徐々に排出する能力は、圃場容水量相当から毛管移動停止点相当までの、つまり直径 $0.08\sim0.006\text{mm}$ の大きさの孔隙が土壌にどれくらいあるかによって左右される。

以上のことから、一般的には森林土壌を良好な状態で確実に保全し、かつまた将来に向けて改善をはかることが肝要であります。そして林床には落葉層や低木・草生が豊かで安定しており、地表侵食防止に効果が高い森林を保持することが望ましいことである。

次に実際に調査した例について報告します。

[例 1] 針広混交林が長期に保存された小流域の流況の長期傾向

長期にわたりまったく人為が加えられることなく、その森林が保存されてきた流域として、国立林業試験場山形試験地の釜淵森林理水試験地の例はその極めて貴重な一例である。すなわち、その森林は1939～1983年の間、自然のままに保存され、成長・自然淘汰・自然災害による変化以外人為的变化をうけることはなかった。そこで、この45年間の流況と森林の変化を調べ両者を対比、検討した。そして両者間にある対応関係を認めたので報告する。

1 試験流域の概要と結果

この流域は山形県下の最上川の支流真室川の水源地にあり、面積 3.06ha の小流域で標高は平均 200m 、地質は風化凝灰岩、土壌は浅い黒色森林土、平均年降水量は $2,450\text{mm}$ ($1,903\sim3,312\text{mm}$)で、年降水量の $35\sim40\%$ は雪として降る。既往1時間雨量の最大は 200mm である。年平均気温は 9.9°C である。1910年ごろはほとんどがナラ・ブナ・クリなど40数種からなる広葉樹天然生林が製炭のため伐採され、1912年伐採跡地にヒノキが植栽された。本試験開始の1939年にはスギ・ヒノキとその他多くの広葉樹が $26\sim28$ 年生であった。1984年現在、全域は $70\sim72$ 年生の林木を主とし全体に良好な針広混交林であり本数は減少したが、蓄積は 5.1 倍に増加した。そして年最大日流出量と年最小日流出量の比を前期と後期に分けて見ると、初期には異常に大きい値のものが見

られるが後年には全体に小さく、かつ、年による差が小さくなり、流出の平準化と安定化が見られる。この変化の状況は図-3に示してある。

2 考察

人為が加えられることなく、生長その他による針広混交林の林況の自然の経年変化、すなわち林令の高齢化に伴う蓄積の増加、樹種構成の変化等と流況に関する比の低減・安定化傾向が長期傾向として対応しているように見られる。しかし、降水の影響を吟味しなければならない。まず年最大日流出量の主誘因となったと考えられる当日日降水量をみると前期には後期にはない160mm以上の5例がみられ、これらが最大日流出量に対応している。そして、年最大日流出量と当日日流出量との関係をかりに前期と後期にわけてみると、ともに直線関係があるものと推定すると後期の方が回帰直線の勾配は小さく、年最大日流出量の長期的な平準化が多少とも認められる。これを図-4に示した。つぎに最小日流出量の生起日以前の無降雨状況についてみると、ほぼ同じ時季ではほぼ同じ先行無降雨日数後に生起した年最小日流出量は初期ほど小さく、後期ほど大きい傾向がみられる。例えば少雨後15日間の連続無降雨後の最小日流出量を比較すると、1939年の0.0025mmが1975年の0.03mmと12倍にもなっている。これは森林の変化に関係があるものと考えられる。すなわち1939年すでに28年生前後の若齢であった森林が72年生の大径木を含む比較的高蓄積・複層の針広混交林に生育し、土層の孔隙性、従って透水構造の変化にかなり貢献したと考えられる。

一方で主林分の高齢化により林分葉量は必ずしも増加せず、横ばい状態で経過したか、あるいは多少減少していることも考えられ、また常緑針葉樹の全林分に占める本数・材積の割合が後年減少し、落葉広葉樹の割合が増加し、これらのことが林地面蒸発の抑制を維持する一方で、降雨遮断・蒸散は増大せず、しかも初秋季の地下水貯留の機会を増大したこと考えられる。以上の結果から小流域の年最大日流出量と年最小日流出量の比が初期の異常に大きい値を交える状態から後年ほとんどが非常に小さい値になる長期傾向を示したがこの傾向を降水状況では説明できないことがほぼ明らかにされた一方で、森林の高齢化に伴う林分構造や樹種構成の変化に対応することが推定された。

〔例 2〕治山工施工と森林の成立に伴う流況変化

治山工施工の水保全効果についてはいくつかの調査研究成果がある。しかし現実流域で長期にわたって調査した例として、ことに荒廃流域に治山工を施工し、樹木を導入して森林を造成し、うっ閉林の成立をみるまで経年的に調査した例としてアメリカ合衆国に一つの例がある。その報告書は治山工施工前の5年を含めて荒廃流域からうっ閉林成立にいたる20年間の水文資料のうち日降水量と日流出量、直接流出量の日合計量、基底流出量の日合計量が表示・公表されている。そこでこれらの資料を用いて流況に関する検討を試みたのでその結果を報告する。

1 試験流域と試験の概要

この試験流域はテネシー州で、面積35.7ha、起伏の少ない丘陵性の流域である。標高137～181 m、地質は未固結砂質岩である。水文観測開始の1941年現在で、地被は森林23%、畑地16%、放牧草地9%で放棄された畑地と荒廃地が50%、その他2%であった。本試験地は元来は全面が森林であったが、試験開始のほぼ100年ほど以前に開拓され、ワタ・トウモロコシ等の栽培が行なわれてきたものが、その後放棄された耕地が森林に変わってきて多様な広葉樹の混交林で、草地も過放牧で荒されていた。そこで森林を復旧したとき水流出と土壌の侵食・流出がいかに変化するかを試験することとして始めたのである。試験は1941年1月から1945年まで流域は地被荒廃の現状のままおかれ、その後に簡易な治山工が施工された上、治山造林が行なわれた。そして試験開始から1960年までの20年間の結果が中間報告として公刊された。

この間森林はしだいに良好なものとなり、1961年春には100%被覆率の森林面積が75.5%、70～99%被覆率の森林が21.4%、40～69%が1.5%、その他1.6%となり流域の大半がうっ閉林で覆われた。なおこの時期には林床のほとんどが2.5cm前後の厚さの林床物で覆われた。

この間の年降水量と年流出量・年直接流出量・年基底流出量の経年傾向は図-5、6に示してあるが、年流出量は年降水量のそれと符合する傾向がかなり認めらるが、後半では経年傾向に変化が見られる。さらにその直接流出量と基底流出量の配分関係を見ると全期間の初期と後期では大きく異っていることが認められる。

2 治山工施工及び成林による流況の変化

まず基準期間、すなわち治山工施工以前の1941～1945年の期間における年降水量と年流出量、年直接流出量および年基底流出量では、いずれも直線関係が認められる。これは図-7に示した。この各関係を用いて、1946年以降1960年までの各年のもし試験処理すなわち治山工施工および植林が行なわれなかったとしたときの各流出量を推定し、その推定値に対する各年の推定値との差を試験処理の影響と考え、その経年変化を求めると図-8, 9, 10のようになる。年流出量は治山工施工、植栽が終了した1948年以降は減少している。また年流出量のうち直接流出量について見るとこれも減少となった。しかし年基底流出量については施工当初は増加し、その後は減少もしくは増加しており変量は概して小さい。

つぎに各流出率の傾向を見ると図-11のようである。これを見ると年流出率、年直接流出率は後年ほど両者は小さくなる傾向が明らかである。さらに荒廃地期、治山工施工後の幼齡林期、うっ閉期の3期間に便宜的に区分して年降水量との関係を見ると図-12のようになる。これによって年流出率、年直接流出率、年基底流出率のいずれも荒廃地期には年降水量とともに増加する傾向にある程度の差のあることが認められる。これに対して幼齡林期ではいずれもこのような傾向はきわめて少ない。しかし年基底流出率についてはほとんど変化が認められない。以上のことに対する理由を考えると、治山工を比較的高密度に施工した時、谷止め工自体による土砂堆積体により流域の一時保水量が増加し、また溝工でも一時保水量は増加し、ついで浸透量が増加すると考えられるから直接流出量は減少する。また植栽に伴う多少の浸透の増加も考えられるが、一方土壌水分の蒸散の増加が考えられ、これも直接流出量の減少につながるものとする。また治山工施工による一時保水量の増加は蒸散を伴うことがないからこれが直接的に基底流出量の増加にまわったものと考えられる。しかし植林は浸透水量の増加にも働くが植栽木の生長とともに蒸発散量が増加するため後年にはその影響が現われ、年基底流出量減少の年が現われるようになったと考える。また幼齡・若齡時に生長の旺盛な植栽木の成林とうっ閉林の成立によって蒸発散量の増加が10年位で基底流出量の増加の限界をうかがわせるようにも見える。

引用文献

- 1) 大政正隆：森に学ぶ 東京大学出版会
- 2) 中野秀章他：森と水のサイエンス 日本林業技術協会
- 3) 有光一登編：森林土壌の保水のしくみ 創文
- 4) 中野秀章：21世紀にむけての水保全と森林機能の活用 信州大学
- 5) 中野秀章，山村烈也他：森林が長期に保存された小流域の流況変化33回日林中支
- 6) 中野秀章，山村烈也：治山工施工と森林の成立に伴う流況変化 信州大学演習林
- 7) 山村烈也：森林土壌の保水性について 36回日林中支部論文集

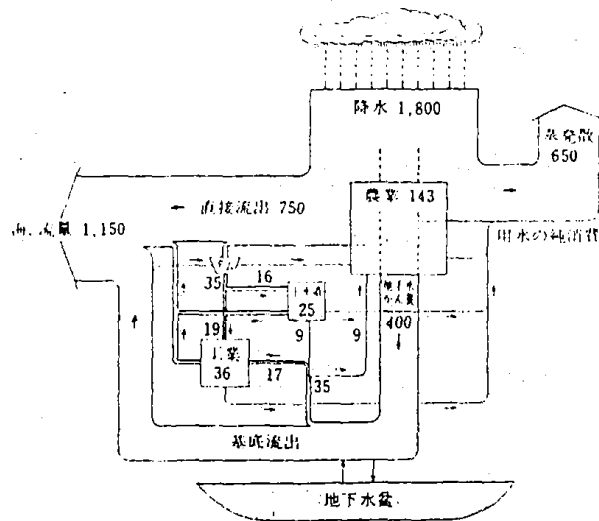


図-1 日本の水収支 (単位: mm/年) (概根 第1, 1977)

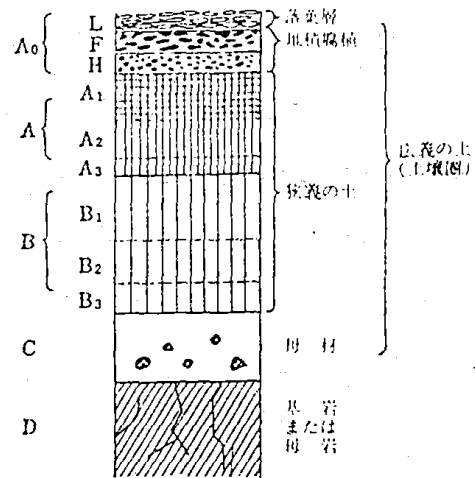


図-2 有機物の層と土の層位 (『土の科学』NHKブックス, 1977より)

(最終浸透レート mm/hr)									
林		地		伐採跡地		草生地		裸地	
針葉樹	広葉樹	針葉樹	広葉樹	軽度	重度	自然	人工	崩壊地	歩道
天然林	人工林	天然林	天然林	攪乱	攪乱	草地	草地		畑地
211.4 (5)	260.2 (14)	271.6 (15)	212.2 (10)	49.6 (5)	143.0 (8)	107.3 (6)	102.3 (6)	12.7 (3)	89.3 (3)
林地平均		258.2 (34)	伐採跡地平均		158.0 (15)	草生地平均		裸地平均	79.2 (12)

() 内の数値は測定した地区数

表-1 地被区分別の浸透能 (村井宏ほか 1975)

表-2 スギ、ヒノキ林の土壌の物理的性質

	スギ林			ヒノキ林			単位
	A ₀ 層を含む	A ₀ 層を除く	深度 20 cm	A ₀ 層を含む	A ₀ 層を除く	深度 20 cm	
実容積	50.7	57.1	61.1	42.4	59.1	69.7	cm ³
上の重量	33.1	42.5	49.3	38.1	60.3	64.9	g
比重	2.32	2.50	2.52	2.17	2.59	2.64	
全孔隙率	85.7	80.5	80.5	82.5	76.7	75.4	%
最大保水量	59.6	62.3	66.1	47.5	64.6	69.3	g
飽和度	70	77	82	58	84	92	%
採取時含水比	110.4	94.7	84.0	66.3	60.2	69.7	%
採取時保水量	36.4	40.1	41.5	24.9	35.7	45.1	g
PF1.7 吸引後保水量	42.8	50.5	47.0	34.2	49.7	54.8	g
PF2.7 吸引後保水量	30.9	35.1	36.2	24.3	33.4	41.7	g

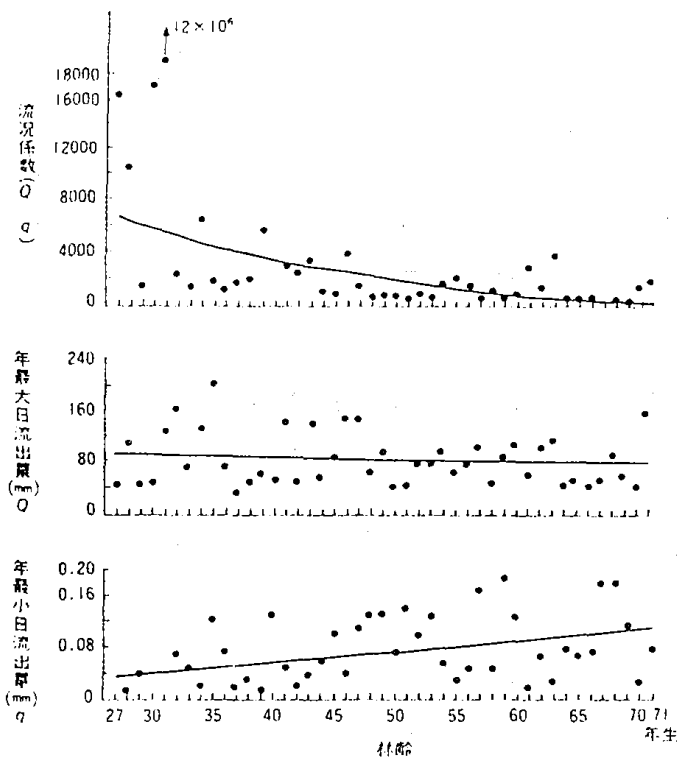


図-3 針広混交林の高林齢化に伴う流出平準化(中野秀孝 1985)

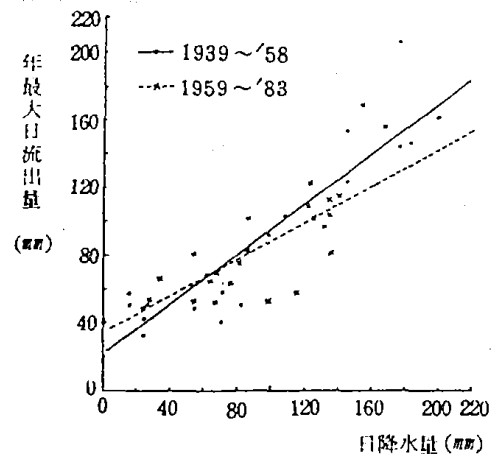


図-4 年最大日流出量と当日日降水量の関係

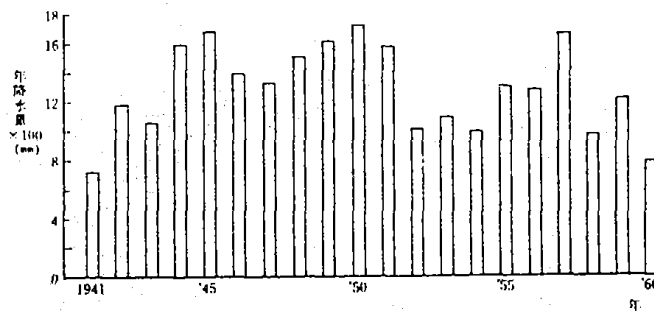


図-5 年降水量の経年傾向

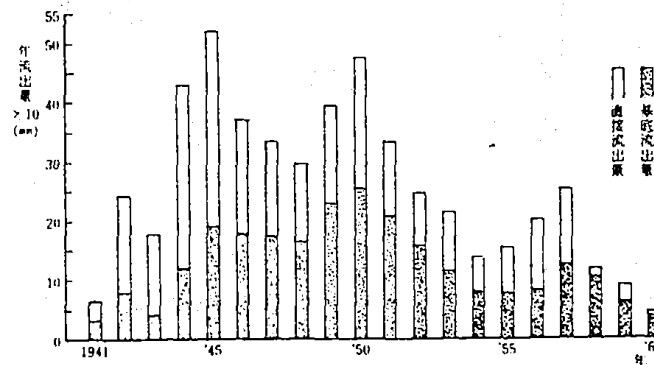


図-6 年流出量・年直接流出量・年基底流出量の経年傾向

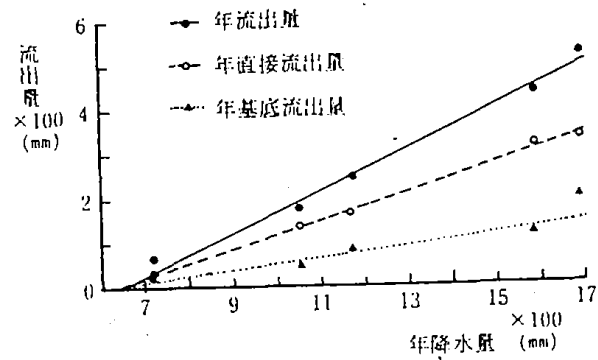


図-7 基準期間(1941~1945)における年降水量と流出量の関係

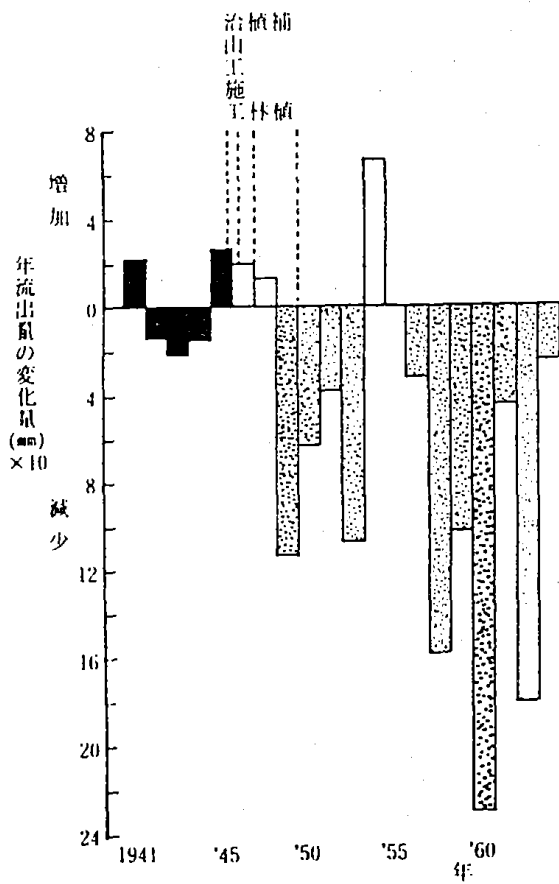


図-8 処理期間(1946~1960)における年流出量の経年変化

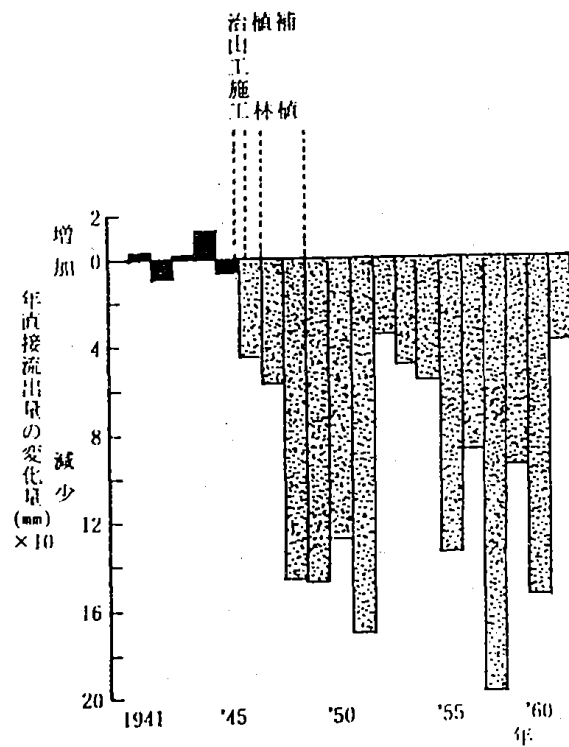


図-9 処理期間(1946~1960)における年直接流出量の経年変化

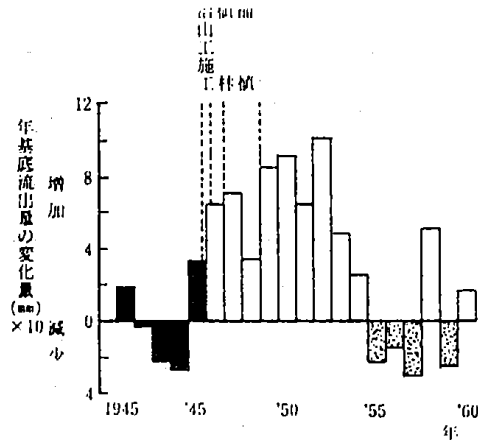


図-10 処理期間（1946～19960）における年基底流出量の経年変化

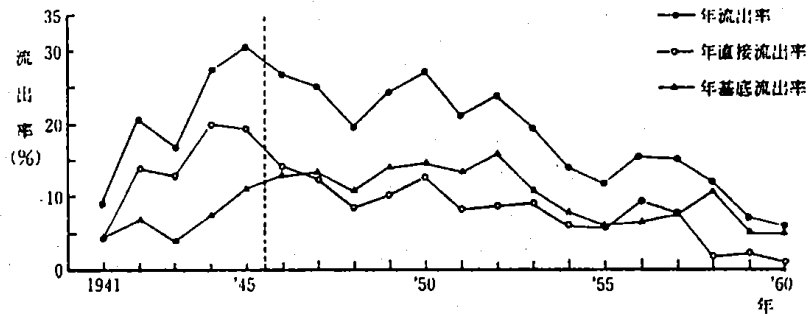


図-11 年流出率・年直接流出率・年基底流出率の経年傾向

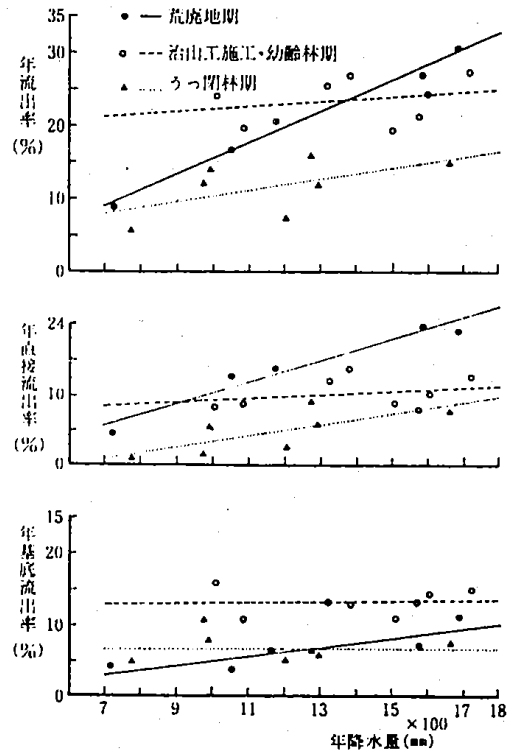


図-12 年降水量と年流出率・年直接流出率・年基底流出率の関係