
論文

**治山事業の出水に及ぼす影響の
タンクモデルによる解析例**

奥村 武信*・石塚 忠範**・田中 一夫*

**An Influence of Water Conservation Working
Analysis with Storage Type Model**

Takenobu OKUMURA*, Tadanori ISHIZUKA** and Kazuo TANAKA

Summary

In 1979, Forest Agency started a new project for watershed management aiming at water resources conservation in some major headwaters. The content of the management includes improving forests and preparing some kinds of structures in order to retard runoff and sedimentation in reservoirs for public services.

In this paper, changes in flow regime with the progress of management in a small basin of 68ha area are analyzed by means of the storage type model after Sugawara.

The basin was characterized in respect to watershed management as follows :

PERIOD I (November 1980 to October '81) : No treatment

PERIOD II (December '81 to June '82) : Scanty forests of loblolly pine, over 3.6ha area, near the main stream were reforested with Japanese cedar, cypress or larch and simple steps of 320m long in total were cut on the hillslope to promote influent seepage.

PERIOD III (December '82 to November '83) : Six small check dams were constructed and further 3.9ha area were reforested with 200m long simple step works.

Models of three storages in series were identified as representative for the floods in each period by storms of 20mm rainfall in total or of over 10mm hourly, while serial four storages models remained for flow regime during no snow pack season.

Hydrographs and flow duration curves simulated with these models indicated that the influence of treatment above mentioned so far are not agreeable to the project's aim. It is

* 鳥取大学農学部林学科砂防工学研究室 : Laboratory of Frosion Control Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University.

** 青年海外協力隊 : Japan International Cooperation Volunteers.

considered, however, that the effect of clear cutting for site preparation appeared sensitively, and that this tendency must not become a serious problem.

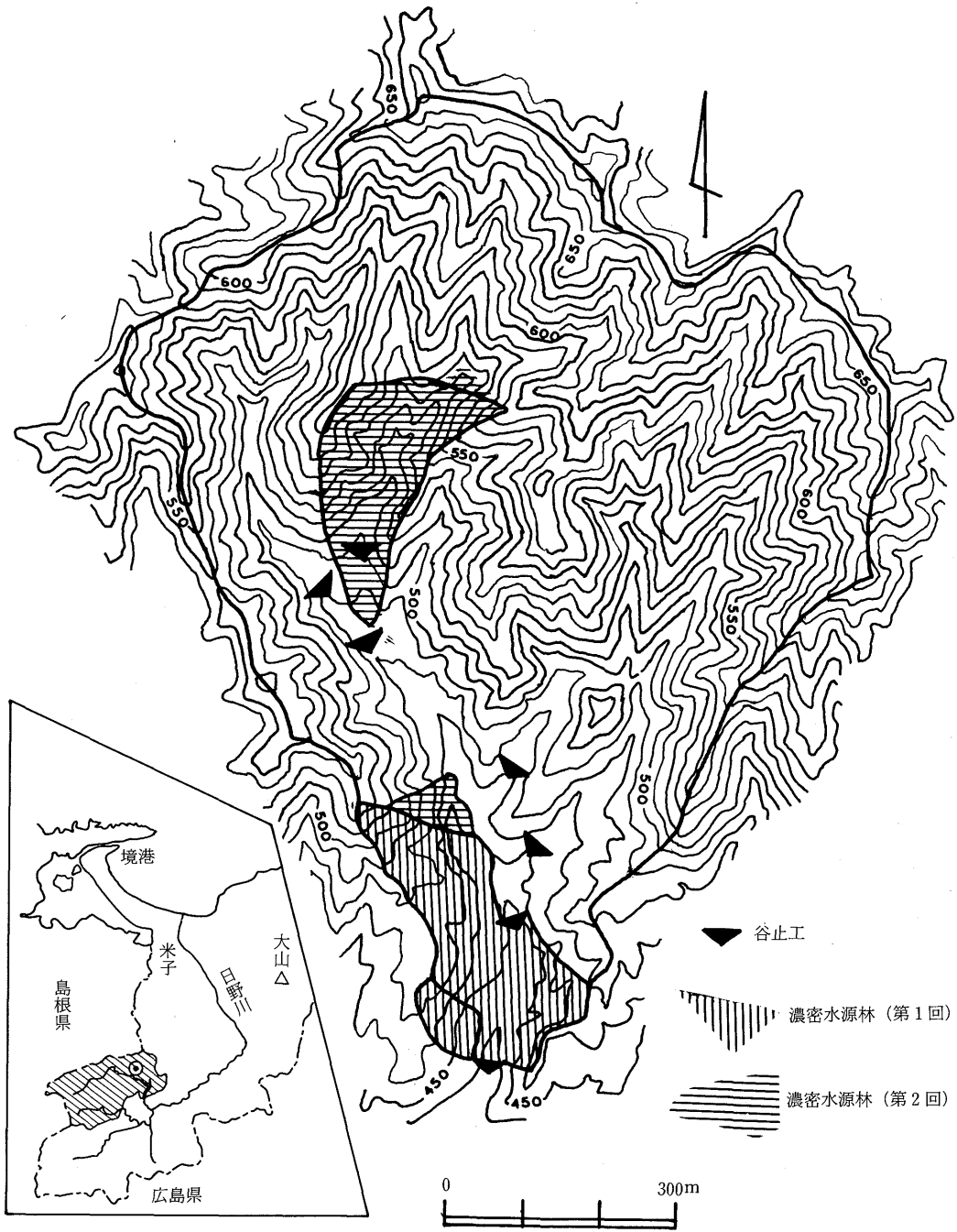


图1 流域平面图

I はじめに

全国各地の水需給上重要とみられる山地で、1979年以降「重要水源山地整備治山事業」が展開されている。この事業は、基底流量の増強と貯水池への流入土砂の抑止をはかることを目的とし、水資源かん養上望ましい森林の造成あるいは森林の改良を積極的に行なうことと、溪流に治山ダム群を構築し理水効果を発揮させることにより、その目的を達しようとするものである。

鳥取県でも、1980年から、将来水不足が予想される県西部米子・境港市域の水源地帯の1つである日野川上流に位置する建設省所管の多目的ダム菅沢ダムの集水域(12,100ha, 図1位置図のうち破線部分)を対象に事業が実施され、21.2haの水源地林造成および28基の治山ダムの築設が1983年までに完了している。

本文は、この事業対象流域内の一支溪における事業の進展にともなう流出状況の変化を、菅原のタンクモデル²⁾を使って解析したものである。

II 流域の概況

解析した流量資料を得た流域は、図1に示す地形をもった、面積68.1haの流域である。

5,000分の1地形図を使って計測した流域地況は表1のとおりであり³⁾、形状比はSchummの細長率を、流域集中度は流域面積と同面積になる円の周長の流域周辺長に対する比を示す。また到達距離集中度は、谷口を原点とする東西・南北100m方眼の格子点(68個)からの集水経路の距離を200m階で頻度計数したときの最頻度割合であり、600~800mおよび800~1,000m階の経路がそれぞれ15本ずつ存在する。さらに、流域平均傾斜は、地形図上にかけた1cm方眼の内接円内での等高線本数の分布から計算したものである。

表1 流域の地況

平面形状	面積	0.681km ²
	主流長	1.44 km
	流域平均巾	0.473km
	流域周囲長	3.68 km
形状	流域集中度	0.796
	形状比	0.647
標高	最高標高	673m
	最低標高	436m
	高度差	237m
水流	主流平均勾配	0.165
	到達距離集中度	0.22
	本支流総延長	6.16 km
	谷密度	9.05
流域平均傾斜		0.65 (37°)

の分布から計算したものである。

流域の地質は、鳥取花こう岩と呼ばれる花こう岩類であり、粗粒および細粒黒雲母花こう岩とアプライト質花こう岩ならびに花こう斑岩が混在する⁴⁾。細粒の黒雲母花こう岩は壁岩地形をつくり、主流東側の各支溪で多くの滝状の露岸溪床をつくっている。一方、粗粒黒雲母花こう岩の分布する区域はマサ化が強く進んでいる。この粗粒花こう岩の風化部は山砂鉄採取の対象となったもので、本流域でも下流域東側の山腹には鉄穴(カンナ)流しの跡と考えられる人工的な凹地形がみとめられる。

流域の土壌は、いちおう適潤~乾性の褐色森林

土であるけれども、マサ化の激しい急勾配な尾根筋や山腹では匍行がいちじるしく、未熟あるいは受食土が分布する。

さてこの地域では、中世以降タタラ製鉄用燃料林として、またタタラ衰退後は家庭用薪炭林として森林を利用してきたので、流域の林相はかつては落葉広葉樹二次林であったと思われる。しかし、約25年前にパルプ会社の社有林に編入されて、パルプ資源としてのテーダマツが植栽された。ところがその生育はきわめて悪く、成林をみないまま今日に至っている。テーダマツ造林のとくに不成績であったところ（面積で約60%）では約5年後にアカマツが植栽され、現在はわずかの面積だけが混交林となっている外はアカマツ人工林の相を呈している。これら人工林は流域面積の約56%を占め、残りのほとんどはアカマツを主林木とした天然生林で、下層木としてコナラ・クリ・イヌブナ・リョウブを主とした落葉広葉樹類が混入している。その林令はせいぜい20年である。このように林種的にみればアカマツを主林木とした針葉樹林であるが、谷筋の土壤条件の良いところを除くとアカマツの生育も極めて悪く疎林となり、ソヨゴ・リョウブなどの雑木が多くみられ、林床はヤネフキササが優占している³⁾。

III 施された治山事業

この流域は1958年に水源かん養保安林に指定されていたが、林況がこのようでは水源かん養林としての機能は十分発揮していなかったと考えられる。1980年から開始された重要水源山地整備治山事業において、本流域ではつぎのような施業がなされた^{3,4,5)}。

すなわち、1980年10月までに谷口に谷止工一基が施工された。これは量水施設、堆砂量調査の設備としての役目も持っており、量水セキはこの谷止工下流にそれぞれ長さ約10mの沈砂池、静水池をへだてて設置され、量水観測はこの施設が竣工した1980年11月中旬以降開始された。

1981年10月から11月にわたって、図1に縦縞で示した区域3.6haのテーダマツ人工林が改植された。生育の良いわずかのテーダマツを残す以外は全刈りされ、スギ・ヒノキ・カラマツ等を植栽する「濃密水源林造成」がなされた。スギ・カラマツ混植（4：6）、スギ・ヒノキ混植（4：6）、ヒノキ・アカマツ・ヤシャブシ混植（5：3：2）が、それぞれ2.1ha、0.8ha、0.7haの面積で行なわれた。また、山腹での拡水を期待した水平階段工が5個所に作設された。階段工の幅は0.5～0.7mで、総延長は約300mである。

1982年には、7月から12月に図1に示す6基の谷止工の工事が順次施され、10・11月に図1に横縞で示した2区域延3.9haのテーダマツ人工林が前年と同様に改植された。スギ・カラマツ（1：1）混植が1.1ha、ヒノキ単植が2.1ha、アカマツ・ヤシャブシ（10：3）混植が0.7ha行なわれた。また、4個所で総延長200mの水平階段工が作設された。

IV 解析と考察

このように、観測開始後流域の状況はかなり早いテンポで変化した。ここでは、つぎのように観

測開始から1983年11月までを3つの期間にわけ、それぞれの期間の出水・流況を表現できるタンクモデルを同定し、流域の森林状態の変化・堰堤群の設置が流出に及ぼす影響を考察することにした。

- I期：1980年11月～81年10月，流域に何の処理も施されていない基準期間
- II期：1981年12月～82年6月，第1回の水源林造成のための施業の影響を受けている期間
- III期：1982年12月～83年11月，谷止工の設置，第2回の水源林造成のための取り扱いの影響を受けている期間

なお，流量観測は年間を通じて行なわれているが，降雪期の降水量の観測値は信頼性が低く，融雪にかかわる気象資料が得られていないので，4月～10月の資料についてのみ解析することにした。

1. 短期流出

総雨量20mm以上の降雨および10mm以上の一時間雨量を含む降雨によってもたらされた出水を取りあげて，短期流出を表現できるタンクモデルを同定した。なお，6時間以内の無降雨期間をはさむ降雨は1つの降雨とした。取り上げた出水の数は，I期20出水，II期6出水，III期19出水⁶⁾であり，その総降雨量，最大時間雨量およびピーク流量等を表2に総括して示す。ここで，4月10日までの出水には融雪の影響が若干残る可能性がある。

入出力の計算は，0.5mm計の雨量計の最初のパルスが入った時刻の10分前から開始し，この時刻では最下段のタンクのみその時刻の流量を出力するのに必要なだけの貯留量を与えた。小規模な

表2 対象出水総括表

出水番号	降雨開始日	総降雨量 mm	最大時雨量 mm/hr	最大流量 l/sec	
1	4/01	34.5	3.5	77.6	
2	4/19	28	5	72.2	
3	5/11	27.5	11	69.3	
4	5/16	57	14	87.1	
5	6/11	27	4.5	85.2	
6	6/15	21.5	20	101.5	
7	6/20	35	11	61.6	
I	8	6/22	22.5	7.5	43.3
9	6/25	81	15	320.2	
10	6/28	16.5	9	230.0	
11	6/29	23.5	9.5	205.7	
12	7/01	39	16	235.6	
13	7/03	49.5	20	351.5	
14	7/11	40.5	40	247.2	
15	7/13	66.5	29.5	429.8	
16	8/27	60	9.5	85.8	
17	9/24	24	4.5	31.2	
18	9/26	59.5	11	154.2	
19	10/07	41.5	6	37.6	
20	10/13	23.5	9.5	47.3	
II	1	4/09	28.5	5.5	66.5
2	4/13	16	9.5	42.1	
3	5/20	33.5	21	75.8	
4	6/02	27	3.5	40.8	
5	6/20	39	36.5	213.6	
6	7/07	18	11	44.2	
III	1	4/01	55	7.5	122.8
2	4/10	32.5	5	77.6	
3	5/06	21	10.5	51.0	
4	5/16	104.5	14.5	216.2	
5	6/16	30	6	38.0	
6	6/20	109	17.5	610.5	
7	6/30	16.5	13	50.1	
8	7/16	104	14.5	519.0	
9	7/20	113	17	296.9	
10	7/22	65	23	441.5	
11	8/06	37	36	250.2	
12	8/07	35.5	23	358.6	
13	8/08	13.5	10.5	77.6	
14	8/20	20	2.5	59.5	
15	8/25	72	12.5	287.2	
16	9/11	32	9.5	80.1	
17	9/24	23	3.5	31.9	
18	9/26	211	20.5	1101.7	
19	10/23	20.5	4	38.4	

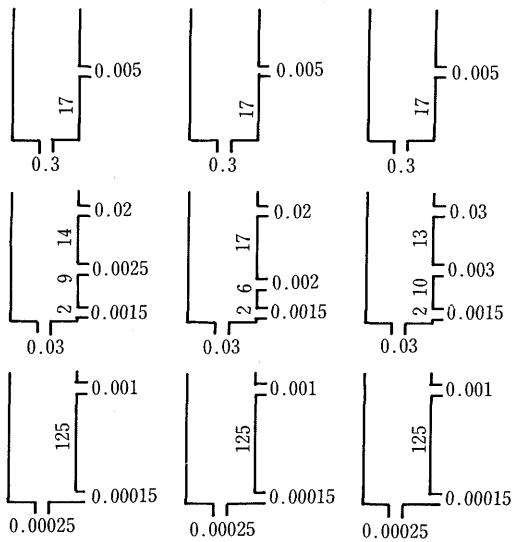


図2 各期の短期流出用タンクモデル

谷止工の貯留効果を明らかにすることを期待したので計算単位時間は10分とし、実測ハイドログラフが一定の減衰率での減水を始めてから6時間経過するまで計算を続行した。モデルの適合性は、各期に取りあげた全ハイドログラフにおける各時刻の計算値の実測値に対する標準偏差で評価した。

各期の短期流出計算に適合するものとして、図2に示す直列3段のモデルが同定された。ただし、計算上は各出水（1山とは限らない）終了時には上二段のタンクの貯留はなくなるのだけれども、梅雨期で出水が連続するばあいには、初期条件の与え方に起因するであろうと考えられる出水の大巾な不足が現われた。

さて、各期の出水を表現できるこの3つのモデルを使って、①弱雨が長時間連続する、②短時間の強雨で終る、および③中程度の強度の雨を含む長時間の降雨の3つの降雨のパターンのときに、流域条件の変化の影響が出水状況にそれぞれどのように現われてくるかを検討する。いくつかの降

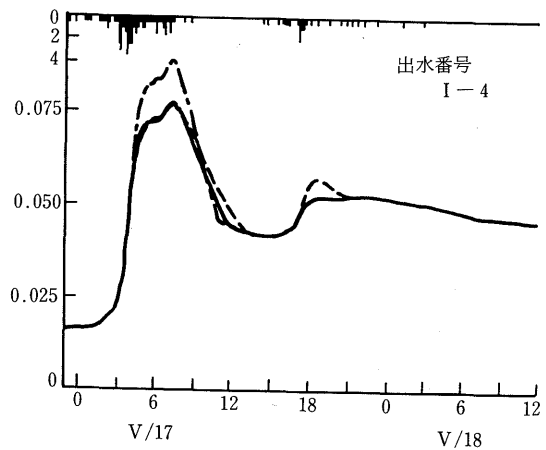
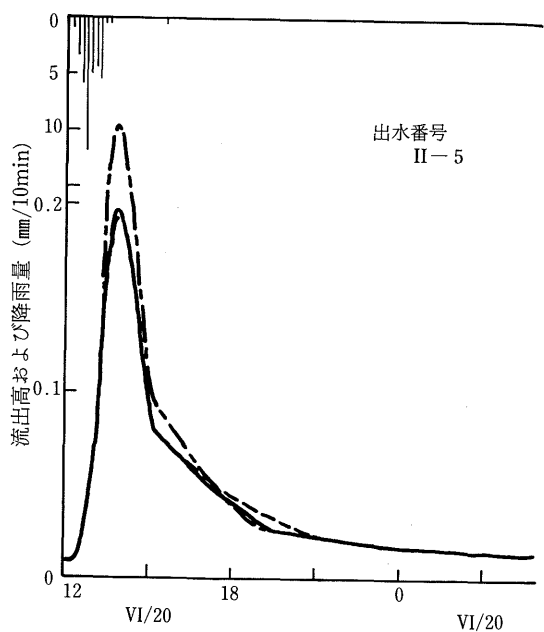
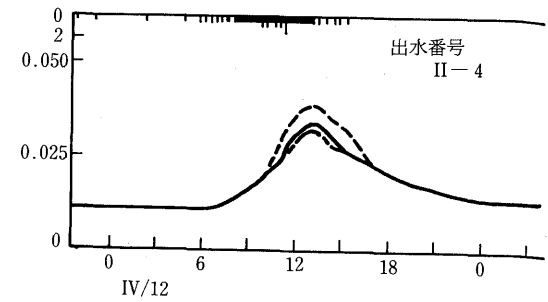


図3 各期のタンクモデルによるハイドログラフの差異

表3 各期のモデルによる流出高の変化

(単位: mm)

降雨パターン	出水番号	I 期			II 期			III 期		
		I 期	II 期	III 期	I 期	II 期	III 期	I 期	II 期	III 期
弱雨長時間	I-5	3.13	3.30	3.08	II-4	3.08	3.21	3.07		
短時間強雨	II-5	4.36	4.44	4.84	III-11	6.59	6.67	6.82		
中強度長時間	I-4	10.69	10.88	10.94	III-6	20.10	20.35	21.74		

雨による出水をシミュレートした結果が図3である。実線・破線および鎖線が、それぞれI～III期の出水ハイドログラフである。これによると、弱雨のばあいII期の状態が若干大きなピークを示し、強度の大きい雨が含まれてくるにしたがってIII期の状況が出水のピークを高めることがわかる。表3は、各降雨パターンごとに2回の出水をとりあげ、前述した計算時間内の流出高を比較したものである。流出高はハイドログラフのピークの変化に対応する変動を示しており、弱雨長時間型ではII期はI期より4～5%大きく、III期はI期よりもわずかであるが小さくなっている。その他の降雨パターンでは、II期はI期より1～2%大きくなり、III期ではさらに10%も大きくなるばあいがある。もっともII期からIII期への変化はばらつきが多く、I-4の降雨パターンのばあいのII期からIII期への増加量は1%弱にすぎない。

このような変動は、図2からもわかるように、2段目のタンクの構造の変化によるものであって、今回実施された治山事業が(早い)中間流出成分を増加させる方向に影響していると言えそうである。なお、谷止工の施工が出水を遅延させ、ハイドログラフのピークを鈍化する効果をもつことが期待されるが、今回の解析では明らかにできなかった。ピークの遅延も認められなかった。しかし、実測ハイドログラフを詳細に見るばあいその効果がないとは言えず^{4,6)}森林状態の変化の影響の方が大きかったと判断したい。あるいは、タンクモデルにより谷止工の効果を評価することに無理があるのかも知れない¹⁾。

2. 長期流出

日降雨量、日流出高の資料を用いて長期流出用のタンクモデルを同定した。計算期間は前述したように4月～10月に限り、計算開始時点の各タンクの貯留高はパラメーターとして試行錯誤により決定した。

短期流出のばあいと同様に適合性を検討しながら同定されたモデルは、図4に示す直列4段の構造をもつものとなった。II期の長期流出については、計算期間が短いこともあってか、I期のモデルからとくに変更すべきところは認められなかった。計算開始時点の各タンクの貯留高は、いずれのモデルのばあいも、上から順にそれぞれ0, 100, 300, 700mmが適当であった。

ところで長期流出を計算する際には、蒸発散が重要な意味をもち、I期～III期では森林の状態に差があるから当然この値も変わってくると思われる。しかし、モデルの同定作業をすすめていくうちに、I, III期の流出状況の変化はおもに出水部分にあることがわかったので、いずれの場合も無降雨日0.6mm/day、降雨日0.3mm/day¹⁾の蒸発散強度で計算した。

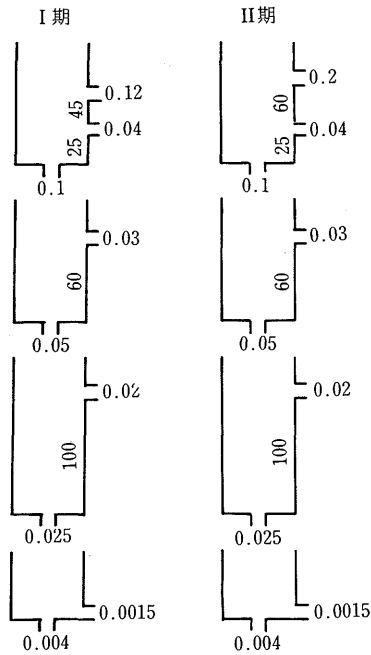


図4 長期流出用タンクモデル

さて、この2つの異なるタンクに同一の入力を与えることにより、流域の状態の変化が流況に及ぼしている影響を検討する。

そのために、この3年間では多雨（期間内雨量1,478.5mm）であった1983年の雨量と、寡雨（期間内雨量680.0mm）であった1984年の雨量を用いて、流況曲線を計算することにした。そして、通例365日の流況曲線から求められる豊水・平水・低水・渇水各流量や各流出高を日数（区分）をそれぞれ214/365に縮めて表わしたものが、表4である。

表4から、3年間に施された治山事業の流況に及ぼしている影響について、つぎのことが言える。
①短期流出解析の結果からもわかることであるが、最大日平均流量が大きくなった。

②しかし、降雨時のピーク流量の増大の影響は、20日流量を押し上げるほどではなく、豊水流出高

表4 2つのモデルによる流況の変化

	I 期			III 期		
	日平均流量 l/sec	流出高 mm	流出率 %	日平均流量 l/sec	流出高 mm	流出率 %
83 年 降 雨	最大	257.9		336.2		
	20日	79.1		77.7		
	豊水	41.4	675.8	36.9	673.8	67.5
	平水	22.9	168.3	23.2	166.6	16.7
	低水	17.2	108.5	17.5	110.0	11.0
	渇水	10.5	46.6	10.7	47.2	4.7
最小	9.9		10.1			
84 年 降 雨	最大	109.5		129.8		
	20日	34.3		31.3		
	豊水	16.1	272.2	16.2	265.0	64.5
	平水	9.4	70.2	9.5	71.7	17.4
	低水	7.5	47.8	7.5	48.1	11.7
	渇水	6.7	25.9	6.7	26.0	6.3
最小	6.6		6.6			

は多少小さくなる。

③低水以下の流量・流出高を若干ひきあげている。

④平水流量も若干ひきあげるが、平水流出高の増減には一定の傾向がなく、豊水日の流量配分に影響される。すなわち、豊水流出高がより最大流量側に配分されるときは平水流出高は大きくなるが、そうでないばあい平水流出高は小さくなる。

⑤豊水日（このばあい最大流量から55日目まで）以外の流量変動は小さくなった。すなわち、流況曲線の右3/4の傾きがゆるくなった。

V む す び

68haの流域で展開された治山事業の進展に伴う出水・流況の変化をタンクモデル法を使って解析したが、その影響は事業の本来の目的から遠ざかる一面をもつものであることがわかった。すなわち、低水以下の流量を若干引きあげるけれども、出水のピークを高め流況係数を大きくする方向に働いてしまっている。水源林造成は行なわれたものの未だ経過日時が浅く、出水・長期流出ともに、面積で流域の約10%にすぎない貧弱な森林ではあったが、それを除去したことの影響が強く現われていると言える。

森林にある種の機能を期待する事業の成果は、すべて短日時に現われてくるものでなく、期待される森林が形成されるまで日時を待たなければならないことが多いことは言をまたず、水源林造成等の治山事業の効果については、その成林後における観測・解析によって明らかになってくると考える。

ところで、今回の長期流出解析においては、若干の問題を含んでいる。伐倒木は搬出されておらず搬出の際の地表攪乱に起因する土壌の浸透能の減退の問題がないうに、貧弱な林相であったから林冠による降雨遮断がとりたてて小さくなったとは考えられないのであるから、森林を除去したことが長期流出に影響しているとするれば、それは蒸発散量の差によると考えざるを得ない。にもかかわらず、モデルはその強度は不変としたことである。また、その強度を0.6mm/dayとしたことである。

一般に、森林の除去によって蒸発散損失は減少すると考えられる。年間の損失量から、それを検討してみよう。前年12月1日から当年11月末日を水年とする年間蒸発散損失は、1981年で年降水量2,041mmに対し432mm、1982年のばあい年降水量1,845mmのうち622mm、そして1983年においては年降水量2,300mmに対し637mmと、森林伐採の後ほど蒸発散損失は大きくなっている。年降水量の30%前後が積雪期に賦与される本流域では、雪面からの蒸発、それに対する林冠の影響について十分解明してからでない、無雪期の蒸発散強度について議論をすすめることは困難のようだ。なお、年降水量1,353mmの45%に相当する606mmが12月～3月に記録された1984年の年蒸発散損失は343mmであった。

谷止工の出水に及ぼす効果については、その施工が単独に行なわれていないために、明らかにす

することはできなかった。あるいは、本解析法でそれを明らかにしようとすることに無理があるのかも知れない。

最後になったが、観測の機会と資料の利用の便を与えて下さった鳥取県造林課，水利科学研究所に謝意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 日本河川協会：建設省河川砂防技術基準（案）調査編。山海堂，東京 pp. 158～169（1976）
- 2) 菅原正巳：流出解析法。共立出版（1972）
- 3) 水利科学研究所：昭和55年度重要水源山地整備治山事業調査報告書（鳥取県日野郡日南町印賀地内），（1981）
- 4) 同上：昭和56年度同上，（1982）
- 5) 同上：昭和57年度同上，（1983）
- 6) 同上：昭和58年度同上，（1984）
- 7) 鳥取県：鳥取県地質図説明書。（1966）