

筑波研究学園流出試験地の流出特性（第1報）

武田 宏**・岸井徳雄*・中根和郎**・大倉 博***・佐藤照子****

国立防災科学技術センター

Runoff Characteristics of Tsukuba Experimental Basin (Part I)

By

H. Takeda, T. Kishii, K. Nakane,

H. Ohkura and T. Sato

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

Two experimental basins were established in June 1980 in "Tsukuba Science City", Ibaraki Prefecture in order to research into runoff characteristics and their change due to urbanization in the plain land called "Inashiki Terrace", covered with Kanto Loam. They are the Hanamuro River basin and the Hasunuma River basin. Hydrological observations have been carried out from June, 1980 at four stream gauge stations and two rain gauge stations in these basins.

Flood runoff and daily runoff were analyzed by using Sugawara's tank model and Kimura's storage function method. The analysis was made for Yachiyo-bashi on Hasunuma River and for Uenomuro-bashi on Hanamuro River, above which drainage areas are 14.86km² and 12.46km², respectively.

As a result, the coefficients of the top tank of the Uenomuro-bashi basin are larger than those of the Yachiyo-bashi basin. The constants of the storage function of Uenomuro-bashi are smaller than those of Yachiyo-bashi basin.

This fact seems to show that the difference in the rate of impervious area, due to the different in urban development in the basins, have affected on its runoff characteristics.

* 第1研究部, ** 第1研究部風水害防災研究室, *** 第4研究部計測研究室, **** 第3研究部降雨実験室

1. はじめに

平地に降った雨は一度地中に浸透した後流出する成分と、浸透せずに表面流出する成分とに分かれる。表面流出には直ちに河川へ流出する成分と、平地の特性である自然窪地・水田・沼沢・都市施設に一時貯留された後河川へ流出する成分とがある。都市施設は貯留のみならず流出を早める作用ももっていて、本報告はこの流出特性のうち特に都市施設が長期・短期の流出に及ぼす影響を、筑波研究学園都市内の花室川と蓮沼川で昭和55年6月から観測した雨量・水位・流量を基に解析した研究結果の第1報である。

花室川と蓮沼川を研究対象としたのは、筑波研究学園都市が建設される以前は両河川とも河岸沿いの低地は水田として利用され、台地は一部畑として利用されている以外は松林湿地等の未利用地であった。現在両流域には学園都市の研究・住居両施設が多く設けられ、しかも相対的に花室川流域に多くの施設が集中し、平地特性に相違を生じたと考えられたので、この両川の流出特性を比較することにより平地特性が長期・短期の流出に及ぼす影響を評価できると考えたからである。

具体的な評価は、河川の長期流出（低水流出）についてはタンクモデル法で、短期流出（洪水流出）についてはタンクモデル法と貯留関数法によって行った。また長期流出のタンクモデル法については使用降雨、観測所、蒸発量の算定方法等を変えた2ケースについて行った。

評価の結果は、花室川・蓮沼川の平地特性の違いが長期流出、短期流出ともにモデルの定数等の差となって現れた。

また、長期流出の入力条件の違いはモデルの定数等の差となったが、短期流出のモデルの相違による差は明確に認められなかった。

2. 流出試験地の概要

平地特性が河川の流出に及ぼす影響を評価するため筑波研究学園都市内の花室川と蓮沼川を流出試験地として昭和55年6月1日から調査・観測を開始した。その概要はつぎのとおりである。

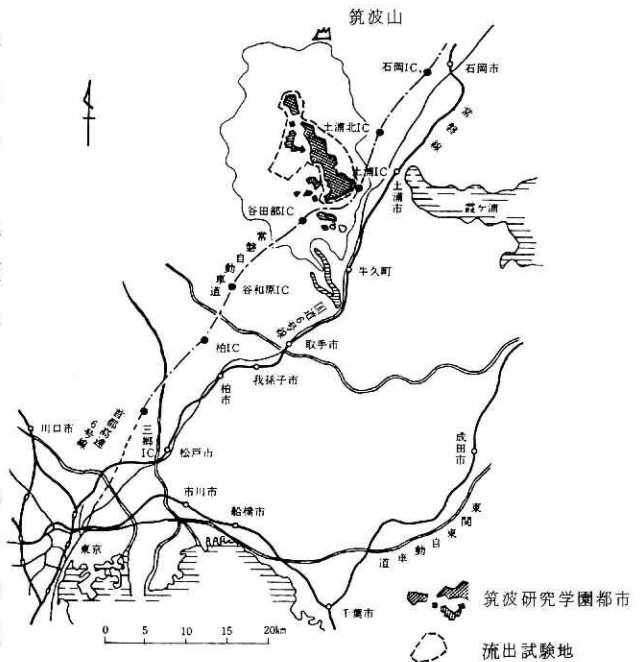


図 1 流出試験地位置図

表 1 流出試験地諸元

河川・地点等		諸元	流域面積	流路延長	流路平均勾配	合流点からの距離	河床高
			km ²	km		km	
花室川	流出	上の室橋	12.46	5.60		8.80	
	試験地	下広岡橋	22.51	8.48		5.92	
			38.80	14.40	1/700	0	Y.P. 2.6~12.0 m
蓮沼川	流出	八千代橋	14.86	4.62		3.18	
	試験地	講和橋	20.31	7.51		0.29	
			23.375	7.80	1/500	0	Y.P. 7.28~19.78 m

2.1 位置及び試験地の諸元

流出試験地は図1のごとく東京の東北方約60 kmにある筑波研究学園都市内に位置する。流出試験地の花室川は一級河川利根川の支川霞ヶ浦に流入する流域面積38.80 km²、流路延長14.4 km、流路平均勾配1/700の平地河川である。

蓮沼川は同じく利根川の支川谷田川に合流する流域面積23.375 km²、流路延長7.8 km、流路平均勾配1/500の平地河川である。

このうち流出試験地は表1のとおりとなっている。観測施設は雨量観測所、水位観測所で各々の位置は図2のとおりである。

2.2 地形・地質

花室川、蓮沼川流域から成る本流出試験地は関東平野の北東部に位置し、北方に筑波山(876 m)を中心とする筑波台地を、東に水郷霞ヶ浦を望む台地の一部に当たっている。本流出試験地ののる台地は茨城県南部の西へ緩く傾いている常総台地の内の稲敷台地と呼ばれ、関東構造盆地の東翼に位置する。稲敷台地は北～北東部で約30 mの高さであり、南南西に向って緩やかに傾斜し、南部の谷田部町～茎崎村にかけては2.2～2.3 mとなる(建設省, 1981)。

台地内には花室川、小野川、谷田川等の中小河川がほぼ北西～南東又は北

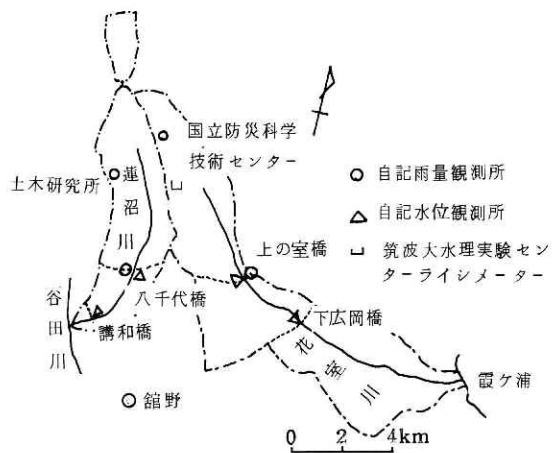


図 2 観測施設位置

～南に向かって流下し、これらに沿って狭少な沖積地が発達している。台地部はかつては松林、湿地と一部畑地であり、現在でも研究学園都市の各施設周辺にその面影を残している（茨城県，1976）。

流出試験流域の地質は、台地上では第四紀洪積世の関東ロームで地表が被われており、その厚さは3m未満である所が多い。このローム層の下には竜ヶ崎層と呼ばれる洪積世の砂、礫層が厚さ5～10m程度堆積している。台地の低地部、即ち河川の両岸は浸食低地であり、シルト及び粘土質の沖積層から成る。

土壌は生成的土壌型の分類によれば、黒ボクグライ土壌と呼ばれ、台地内の谷津田に広く分布し、火山放出物の影響の強い土壌で表層または全層にわたって腐植含量が高い。台地上は黒ボクと呼ばれる土壌で被われ、その厚さは25cm～50cm未満で層状をなしており、下層は明褐色のローム層となっている（経済企画庁，1973）。

2.3 気 象

この地域の気候は冬に晴天が多く乾燥した日が続く表日本型である。

筑波研究学園都市内の館野（気象庁高層气象台）の資料（水戸地方气象台，1959）から統計期間は古いが出出試験地における気象状況をみるとつぎのとおりである。

年間の降水量は1921年から1955年まで平均が1335mmであるが、全国平均の1820mmに比べると485mm少ない。

月別降水量は1921年から1955年までの平均を図3に示した。これによると月別降水量の多いのは台風季の9月が184mm，秋りん季の10月が179mm，梅雨季の6月が160mmの順となっている。また，少ないのは冬の1月が36mm，2月が45mmとなっている。

1923年から1967年間における降雨の各極値は，48時間最大雨量が415.3mm

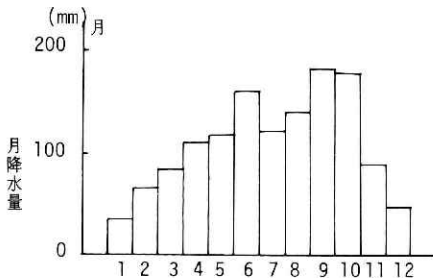


図 3 館野における平均月別降水量 (1921年～1955年)

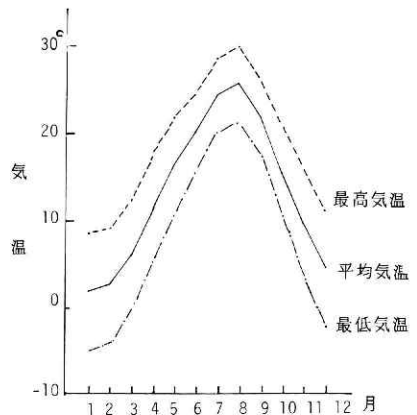


図 4 館野における月別平均・最高・最低気温 (1921年～1955年)

(1938・6・29), 24時間最大雨量が273.8mm(1929・9・10), 1時間最大雨量が74.8mm(1929・9・1), 10分間最大雨量が29.9mm(1939・7・31)となっている。

雪は少なく平年値で12月27日頃初雪があり3月20日頃終雪となる。積雪日数も少なく2月の最も多い時期で13.2日となっている。また、過去の最大積雪深は27cmである。

気温は冬期の大陸からの寒波襲来時を除いて比較的温暖である。日の最高・平均・最低気温を月別に1921年から1955年の期間を平均したものを図4に示した。これによると、8月が最高気温30.1度、平均気温25.7度、最低気温21.2度で最も高く、次で7月が最高気温28.7度、平均気温24.4度、最低気温20.1度となっている。また最も低い1月は最高気温8.7度、平均気温1.9度、最低気温-4.9度となっている。

2.4 土地利用

筑波研究学園都市が建設される以前のこの地域は、畑作への依存度が高く専業農家率の高い地域であった。例えば、1968年における筑波町、大穂町、豊里町、谷田部町、桜村、荃崎村の6町村の合計の土地利用率は農地49.2%、山林25.6%、宅地5.2%、その他(道路敷・河川敷・溜池など)20.0%(山本等, 1976)であることから明らかである。

筑波研究学園都市は研究教育機関を機能別、方向別に配置し、その周辺には、研究教育機関関係職員の住宅、区画整理事業による住宅地を配置して研究学園地区を形成している。この筑波研究学園都市の建設は12年の歳月と約1兆300億円を費やし、昭和54年度にはすべての研究教育機関が移転を終了し、業務を開始した。

これによりこの地域の自然・経済・社会環境は一変した。例えば大穂町、豊里町、谷田部町、桜村における人口の推移を表2に示した。これをみると開発面積率の大きかった桜村の人口増加が顕著である。また本流出試験地の土地利用状況は、筑波研究学園都市建設以前について1/5万地形図(国土地理院発行)から判読すると、河川沿いの低地は水田として利用されていたが、台地は松林、雑草、湿地等でわずかに畑作が行われていた。

筑波研究学園都市が建設された以後はその土地利用状況は大きく変化した。

本流出試験地における現在(S・56・11月)の土地利用状況は、表3、図5のとおりである。表3における各項目の定義はつぎのとおりである。

浸透域：森林、畑・草地、水、宅地、公園・その他

表 2 四町村の人口

	面積	日本住宅 公団による 買入面積	人 口			人口密度 (昭和56年10月30日)	人口の増加率 (昭和56/昭和45年)
			昭和45年10月1日	昭和50年10月1日	昭和56年10月30日		
大穂町	3402 ^{ha}	2624 ha	10856人	11484人	12889人	378.9人/km ²	1.2倍
豊里町	3212	898	10409	11175	11686	363.8	1.1
谷田部町	7939	6271	20134	22174	30430	383.3	1.5
桜村	3496	6490	8942	14529	34916	998.7	3.9

表 3 流出試験地土地利用区分表

単位 ha, () 内は合計値に対する百分率

河川名	地点名	地区名	透 不 透 域										合 計								
			森	林	畑・草地	水	山	宅	地	公	其	他		小	計	河川等	道路等	建築物	小	計	
花室川	上の室橋	研究機関 宅地造成地 集 落 一 般	3 2.5	-	1 9 7.9	-	2 3 0.4	-	7 5.1	7 5.1	7 5.1	7 5.1	7 5.1	7 5.1	7 5.1	7 5.1	7 5.1	7 5.1	7 5.1	(24.5)	
			(10.7)	(192)	(331)	(9.1)	(752)	(3.1)	(243)	(0.5)	(248)	(24.8)	(24.8)	(24.8)	(24.8)	(24.8)	(24.8)	(24.8)	(24.8)	(24.8)	(24.8)
			1 3 3.9	2 3 9.1	4 1 2.3	1 1 3.1	3 8 3	3 8 3	9 3 6.7	6.1	3 0 3.2	3 0 3.2	3 0 3.2	3 0 3.2	3 0 3.2	3 0 3.2	3 0 3.2	3 0 3.2	3 0 3.2	3 0 3.2	3 0 3.2
			計																		1,246.0
蓮沼川	下広岡橋 (上の室橋 分も含む)	研究機関 宅地造成地 集 落 一 般	8 1.5	-	3 5 0.8	-	4 3 2.3	-	1 2 2.2	1 2 2.2	1 2 2.2	1 2 2.2	1 2 2.2	1 2 2.2	1 2 2.2	1 2 2.2	1 2 2.2	1 2 2.2	1 2 2.2	(24.6)	
			(110)	(156)	(349)	(7.2)	(732)	(4.5)	(262)	(0.6)	(268)	(26.8)	(26.8)	(26.8)	(26.8)	(26.8)	(26.8)	(26.8)	(26.8)	(26.8)	(26.8)
			2 4 6.5	3 5 2.5	7 8 5.5	1 6 2.7	1 6 4 8.2	1 0 1.0	1 6 4 8.2	1 4.3	5 8 8.5	5 8 8.5	5 8 8.5	5 8 8.5	5 8 8.5	5 8 8.5	5 8 8.5	5 8 8.5	5 8 8.5	5 8 8.5	5 8 8.5
			計																		2,251.0
蓮沼川	八千代橋	研究機関 宅地造成地 集 落 一 般	7 1.4	-	2 0 2.9	-	2 7 4.3	-	1 1 2.2	1 1 2.2	1 1 2.2	1 1 2.2	1 1 2.2	1 1 2.2	1 1 2.2	1 1 2.2	1 1 2.2	1 1 2.2	1 1 2.2	(7.0)	
			(186)	(323)	(221)	(8.2)	(819)	(0.7)	(178)	(0.3)	(181)	(18.1)	(18.1)	(18.1)	(18.1)	(18.1)	(18.1)	(18.1)	(18.1)	(18.1)	(18.1)
			2 7 6.7	4 8 0.8	3 2 7.7	1 2 1.5	1 2 1.5	1 0 5	1 2 1.5	4.8	2 6 4.0	2 6 4.0	2 6 4.0	2 6 4.0	2 6 4.0	2 6 4.0	2 6 4.0	2 6 4.0	2 6 4.0	2 6 4.0	2 6 4.0
			計																		1,486.0
蓮沼川	講和橋 (八千代橋 分も含む)	研究機関 宅地造成地 集 落 一 般	7 1.4	-	2 2 7.4	-	2 9 8.8	-	1 1 7.2	1 1 7.2	1 1 7.2	1 1 7.2	1 1 7.2	1 1 7.2	1 1 7.2	1 1 7.2	1 1 7.2	1 1 7.2	1 1 7.2	(6.6)	
			(200)	(391)	(184)	(6.6)	(847)	(0.6)	(148)	(0.5)	(153)	(15.3)	(15.3)	(15.3)	(15.3)	(15.3)	(15.3)	(15.3)	(15.3)	(15.3)	(15.3)
			4 0 5.8	7 9 4.2	3 7 4.0	1 3 3.4	1 7 2 0.9	1 3.5	1 7 2 0.9	9.9	3 0 0.2	3 0 0.2	3 0 0.2	3 0 0.2	3 0 0.2	3 0 0.2	3 0 0.2	3 0 0.2	3 0 0.2	3 0 0.2	3 0 0.2
			計																		2,031.0

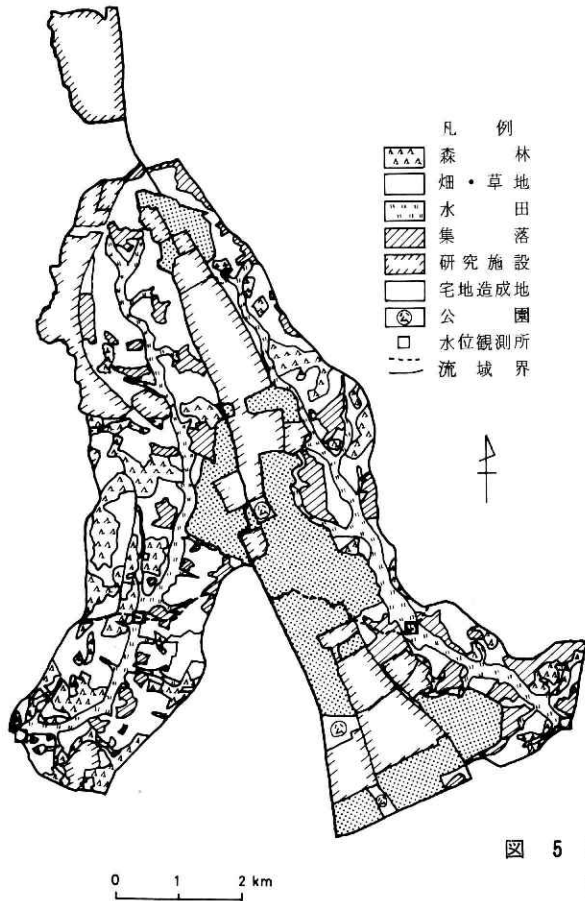


図 5 流出試験地土地利用状況

不浸透域：河川等，道路等，建築物（住宅，研究施設の建物等）

地区名

研究機関：国その他の研究機関等

宅地造成地：区画整理，新住宅市街地開発によって造成された宅地

集落：1 / 2.5 万地形図に居住地となっている区域

一般：上記以外の部分

土地利用区分

森林：一般地区は1 / 2.5 万地形図の区分によったが，研究機関は住宅公園で昭和55年1月撮影の空中写真から判読した。

畑・草地：1 / 2.5 万地形図の区分によった。

水田：1 / 2.5 万地形図の区分によった。

宅地：研究機関，宅地造成地，集落で建築物等を除いた部分でいわゆる浸透する部分である。

公園・その他：宅地造成地の公園は造成面積の10%とした。（計画的に造成する場合の

平均値)

河川等：河川敷地で河川の横断面，延長から計算。

道路等：宅地造成地，一般は道路密度を考慮し5%から20%の率で算出。

建築物：研究機関は住宅公団において昭和55年1月撮影の空中写真から道路と込みで判読したが，宅地造成地，集落は建ぺい率を考慮して算出。

表3，図5をみると筑波研究学園都市の建設によって地形の改変が行われた研究機関・宅

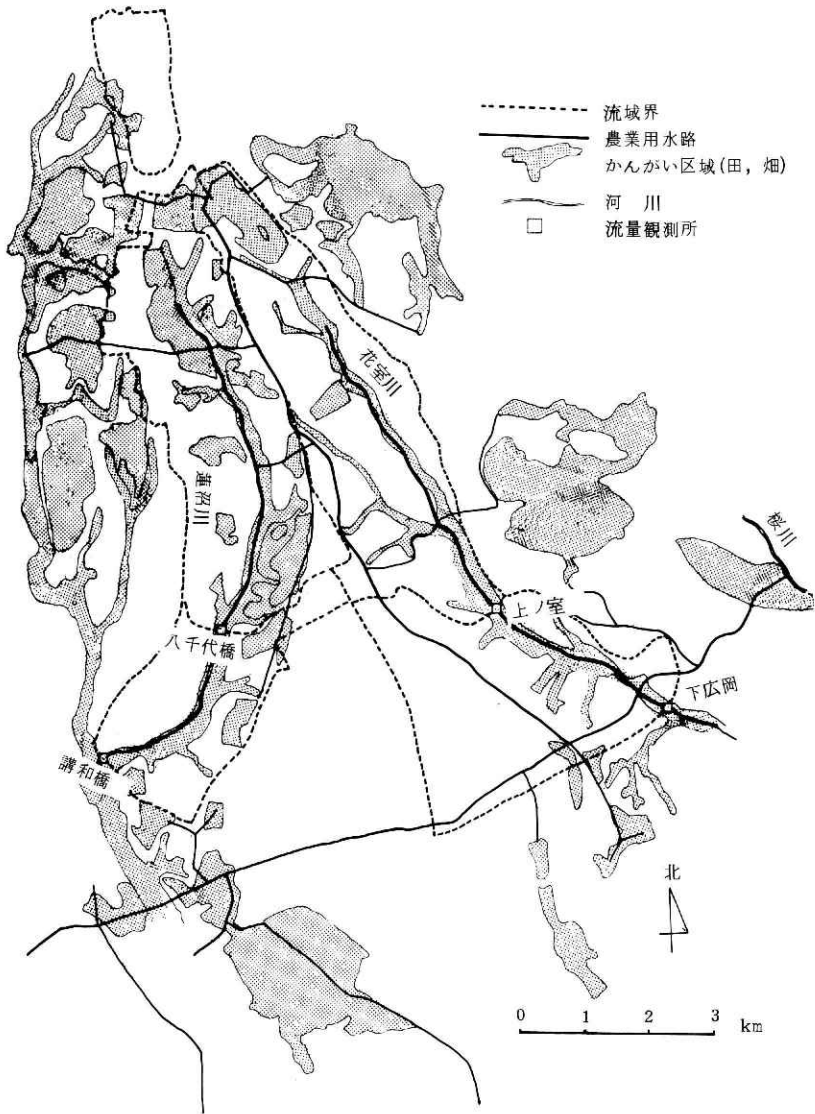


図 6 農業用水系統図

地造成地は、花室川の上の室橋の流域で51.4%、下広岡橋で54.2%、蓮沼川の八千代橋で33%、講和橋で27.1%となっている。

また不浸透域は、花室川の上の室橋で24.8%、下広岡橋で26.8%、蓮沼川の八千代橋で18.1%、講和橋で15.3%となっている。

2.6 用排水系統

流出試験地における用水は農業用水、上水道用水があり、排水は雨水排水と汚水排水とがある。

この内で河川流出に影響があるのは農業用水と雨水排水である。上水道用水は水量が少ないことと、使用後は汚水排水管によって流域外の汚水処理場へ排水されることにより河川流出に影響がない。

2.6.1 農業用水

流出試験地に関係する農業用水は、土浦市外15ヶ町村土地改良区が桜川から揚水圧送して水田・畑にかんがいしている。その用水系統は図6のとおりである。

なお図6は土浦市外15ヶ町村土地改良区で作製されたものであるが、筑波研究学園都市建設以前のものである。したがって研究学園地区については現状と相違している。

計画の用水量は水田で20mm/日、畑地で10mm/日となっている。また、計画の取水期間は4月中旬から9月上旬までとなっている。

2.6.2 雨水排水

筑波研究学園都市の市街化区域の雨水は雨水管によって集めて河川に放流するか、都市下水路に集めて流末河川に放流する。雨水排水系統は図7のとおりである。

なお研究機関・住居地域には小規模な調節池が各所に設置されているが、これが河川流出に及ぼす影響を定量的に把握することは今回は困難であるので他の平地特性に包含して処理する。

3. 長期流出（低水流出）

花室川・蓮沼川の平地特性の相違が河川流出に及ぼす影響を長期流出から解析する。

3.1 長期流出特性（日流出量）

花室川・蓮沼川の昭和55年7月から昭和56年6月までの1年間における長期流出量（日流出量）の特性はつぎのとおりである。

なお長期流出特性を検討する場合、日本においては水文年として暦年によっている。しかし今回は観測開始してわずか1年半余りのため水文年の資料が揃っていないのでやむなく上記の期間を採用したものである。

したがって各種の統計値の比較等に厳密性を欠く場合もあり得るが、今後の観測によって補正する予定である。

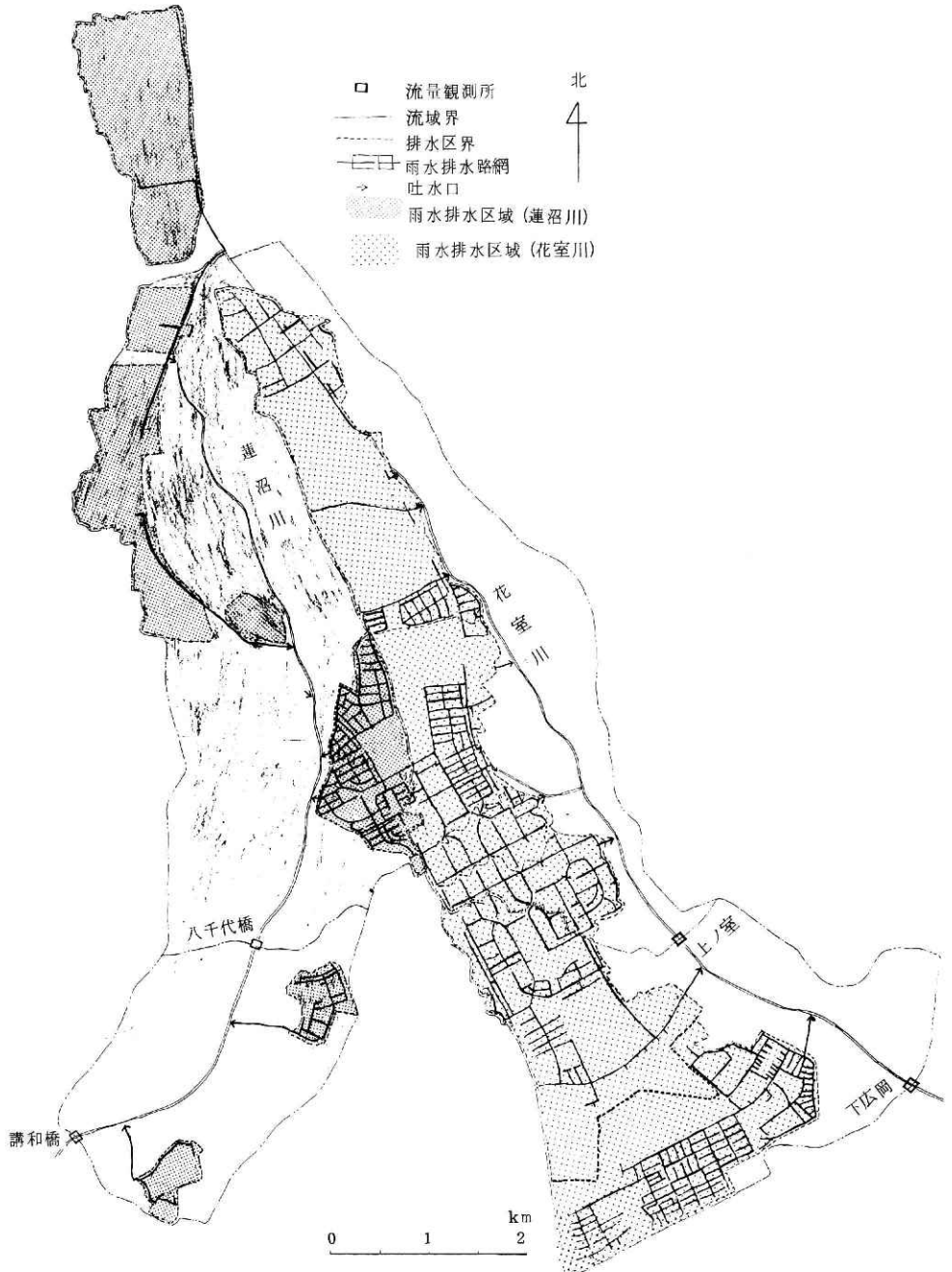


図 7 雨水排水系統図

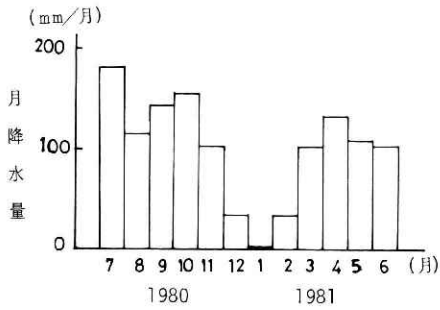


図 8 花室川流域 (国立防災科学技術センター) 月降水量

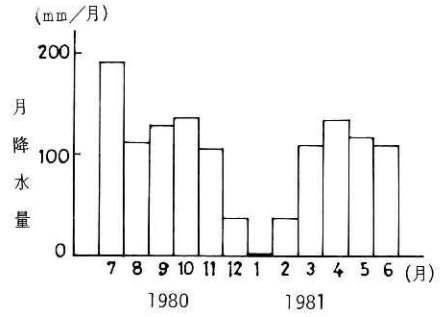


図 9 蓮沼川流域 (建設省土木研究所) 月降水量

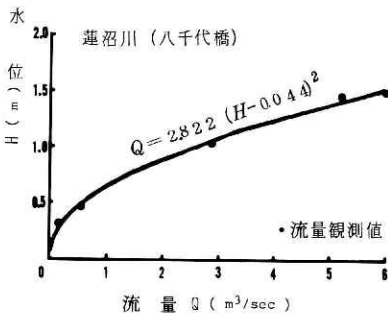
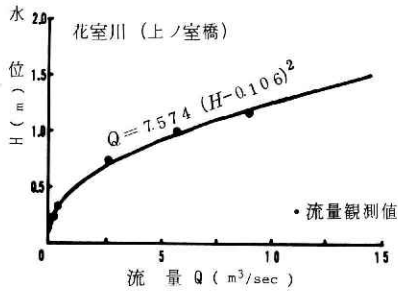


図 10 上の室橋, 八千代橋
水位・流量曲線

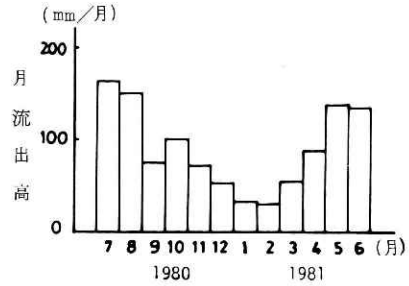


図 11 花室川上の室橋月流出高

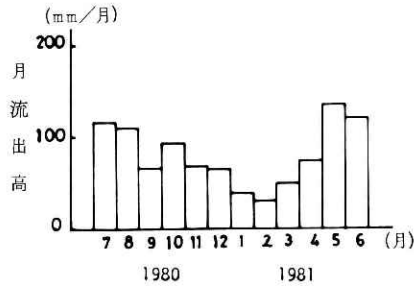


図 12 蓮沼川八千代橋月流出高

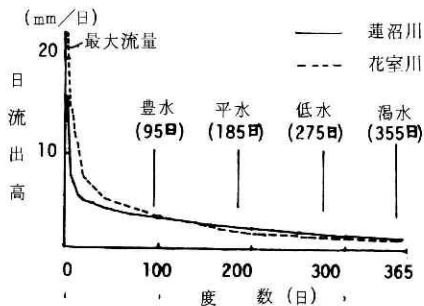


図 13 花室川・蓮沼川流況曲線
(1980年7月1日～1981年6月30日)

表 4 各地点流況表

河川名	流域面積 km ²	最大流量 mm/日	豊水量 mm/日	平水量 mm/日	低水量 mm/日	渇水量 mm/日	最小流量 mm/日	年平均流 量 mm/日	年総流出 量mm/年
利根川, 古戸 (昭和29年~54年)	5,986		3.13 (3.08)	2.15 (2.14)	1.55 (1.54)	1.15 (1.14)		2.76 (2.74)	1,006.3 (1,000)
小貝川, 三谷 (昭和33年~54年)	205		2.67 (2.85)	1.47 (1.57)	0.84 (0.90)	0.27 (0.29)		2.57 (2.74)	936.0 (1,000)
花室川, 上の室橋 (昭和55年7月~56年6月)	12.5	22.61 (20.92)	3.61 (3.34)	1.87 (1.73)	1.25 (1.16)	0.83 (0.77)	0.76 (0.70)	2.96 (2.74)	1,081 (1,000)
蓮沼川, 八千代橋 (昭和55年7月~56年6月)	14.9	16.05 (16.65)	3.43 (3.56)	2.21 (2.29)	1.57 (1.63)	0.99 (1.03)	0.87 (0.90)	2.64 (2.74)	964 (1,000)

()内は統計年間及び年総流出量を
1,000mmに規準化した値

花室川・蓮沼川における降水特性として国立防災科学技術センター、土木研究所における月別降水量を図8、図9に示す。

この1年間の降水量は、花室川流域では1177mm、蓮沼川流域では1218mmとなっている。これらの値は、この地域の館野の平均値1335mmに比べて小さな値である。

3.2 観測地点における流出特性

花室川は上の室橋、蓮沼川は八千代橋で流出量の自記水位観測を行っている。また同地点で流量観測も行い図10に示す水位流量曲線を作成し、先の自記水位から流量を求めた。花室川上の室橋、蓮沼川八千代橋における月別流出高は図11、図12のとおりであり、流況曲線は図13のとおりである。

花室川、蓮沼川の流出特性および両河川と他の河川の流出特性を比較するために、花室川、蓮沼川、利根川本川、小貝川の流況を表-4に示した(流量年表, 1978)。

なお、利根川本川、小貝川を比較の対象にしたのは関東地域で大・中河川との比較を行うためである。

まず花室川と蓮沼川の流出特性を比較すると花室川の年総流出高は1081mmで蓮沼川の964mmよりやや多いが、平水以下の流況は蓮沼川の方が多くなっている。各河川の年総流出高を1000mmに規準化した各流況値で比較すると、最大流量で花室川は20.92mm/日、蓮沼川は16.65mm/日となっており、低水流量では花室川1.16mm/日、蓮沼川1.63mm/日となっている。また、図13の流況曲線にも見られるように、蓮沼川は花室川に比べ洪水期に流量が少なく、豊水~平水~低水期にかけて多くなっており、流量の豊富な河川と言える。この違いが宅地開発率の違いによるものかどうかは、現段階では結論付け出来ないが、流域がさらに開発されて行く段階で明らかになるものと考えられる。

花室川・蓮沼川の流況を他河川と比較するとつぎのとおりである。

利根川本川の古戸・小貝川の三谷と花室川・蓮沼川の規準化した流況の平水量で見ると、

利根川古戸で1.86mm/日, 小貝川三谷で1.57mm/日, 花室川上の室橋で1.37mm/日, 蓮沼川八千代橋で2.29mm/日となっており, 花室川, 蓮沼川は年間を通じて比較的安定した水量を持っている川と言える. 一般的に言って大河川ほど流量が安定し, 流量も多いと考えられる. しかし, 花室川, 蓮沼川では流域面積の小さい割に安定した流況になっている. これは4月~8月にかけて農業用水が入っているための影響と考えられる.

3.3 タンクモデル解析

解析方法はタンクモデル法によるが, 基礎資料となる雨量, 蒸発散量, 農業用水量等を整理・推定する場合種々の考え方がある. 例えば, 雨量については流出試験地内には4カ所あり, どの観測所の雨量を用いるかが問題となる. 蒸発散量は全国14カ所しか公表されていないので何らかの方法での推定が必要となるし, 農業用水量は計画値(許可水利権量)がわかる程度であり, 実際の使用水量はやはり何らかの方法で推定することとなる. またこれらの諸量が解析では相互に関連して来ることも多い.

そこでこの基礎資料の整理・推定には2つのケースについて解析を行った.

解析は簡単で有効な4段のタンクモデルで, 1980年7月1日から1981年6月30日までの1年間の日流量で行った.

3.3.1 ケース1

タンクモデル解析は, 1に述べた主旨を考慮し花室川上の室橋と蓮沼川八千代橋で行った.

(1) 花室川上の室橋

日流量解析に使用する雨量, 河川流量, 蒸発散量, 農業用水量はつぎのようにして求めた.

雨量は流域の上流端にある国立防災科学技術センターの日雨量を用い, 第1段のタンクに入力した.

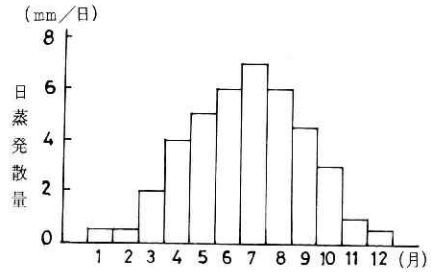


図14 月別日蒸発散量

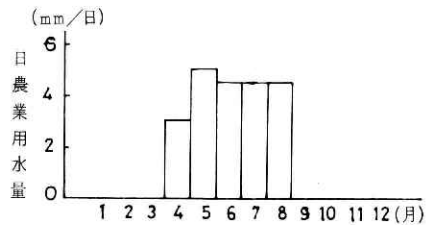


図15 花室川流域月別日農業用水量

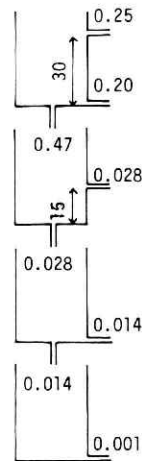


図16 花室川日流量解析タンクモデル(ケース1)

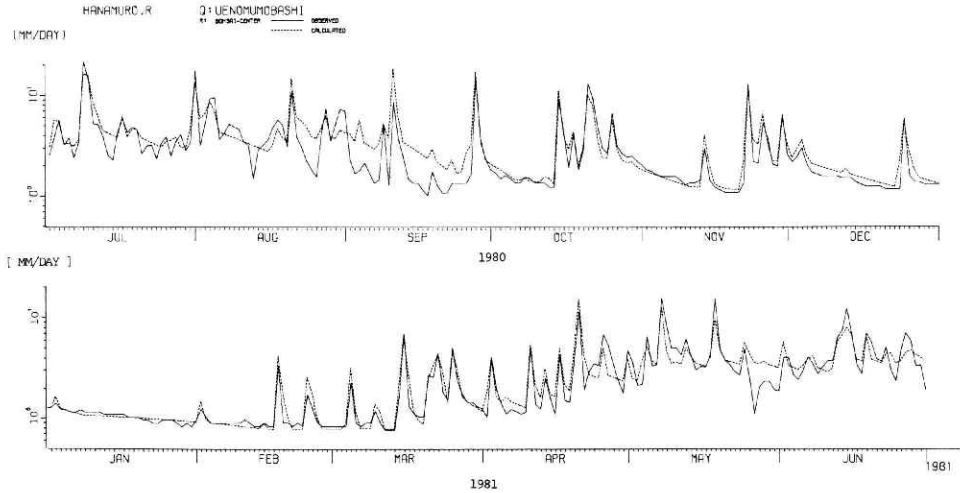


図17 花室川上の室橋日流量解析結果(ケース1)

河川流量は上の室橋の日流量を用いた。蒸発散量は、筑波大学水理実験センターで観測している直径2m、深さ2mの円筒型ライシメーターの日蒸発散量(筑波大学, 1980)をもとに流域の水収支に合うように月別の日蒸発散量を図14のように設定した。

この蒸発散量は第1段タンクから差し引く。もし、第1段タンクに貯留水が無い場合は第2段タンクから、第2段タンクにも貯留水がない場合は第3段タンクから差し引く。もし、第3段タンクに貯留水がない場合は第4段タンクから差し引く。ただし雨があるときは蒸発散は無いものとする。

農業用水量は、大雨時や渇水時には人為的な操作により用水量が変動するので、用水量を固定化するのは無理な面もあるが、ここでは計画農業用水量、流域内水収支、流域の土地利用等から判断し、月別農業用水量を図15のように設定した。

農業用水は流域が小さく平坦地であるため第2段タンクに入力する。なお、この流域の農業用水は2.6.1に述べたように流域外から入っている。

以上の条件で試行錯誤により解析を行った結果を図16(タンクモデル)、図17(日流量の実測値と計算値の比較)に示した。これによるとおおむね良好な結果と言える。

なお1年間の計算結果の水収支はつぎのとおりである。

流入量		流出量	
雨量	1,177 mm	実測流出高	1,083 mm
農業用水	659	計算 "	1,163
初期貯留高	803	蒸発散量	674
		残留高	804

(2) 蓮沼川八千代橋

日流量解析に使用する雨量，河川流量，蒸発散量，農業用水量はつぎのようにして求めた。

雨量は流域の上流端に位置する土木研究所の日雨量を用い，第1段のタンクに入力する。河川流量は八千代橋の日流量を用いた。蒸発散量は，花室川と同じ量で入力方法も同じである。農業用水量は花室川と同じ方法で図18のような月別農業用水量を設定した。入力方法は花室川と同じである。

以上の条件で試行錯誤に解析を行った結果を図19（タンクモデル），図20（日流量の実測値と計算値の比較）に示した。これをみると，幾つかの期間で差がみられるが全体には良好な結果が得られている。

なお1年間の計算結果の水収支はつぎのとおりである。

流入量		流出量	
雨量	1,218 mm	実測流出高	964 mm
農業用水	459 "	計算 "	1,030 "
初期貯留高	856 "	蒸発散量	645 "
		残留高	858 "

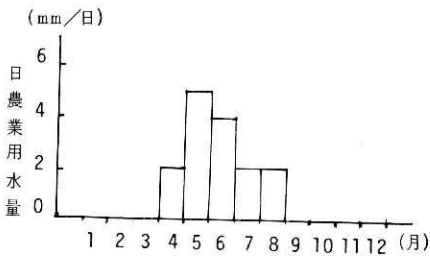


図18 蓮沼川流域月別日農業用水量

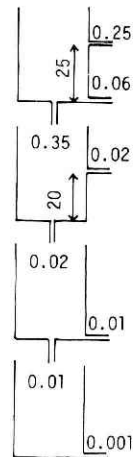


図19 蓮沼川日流量解析タンクモデル(ケース1)

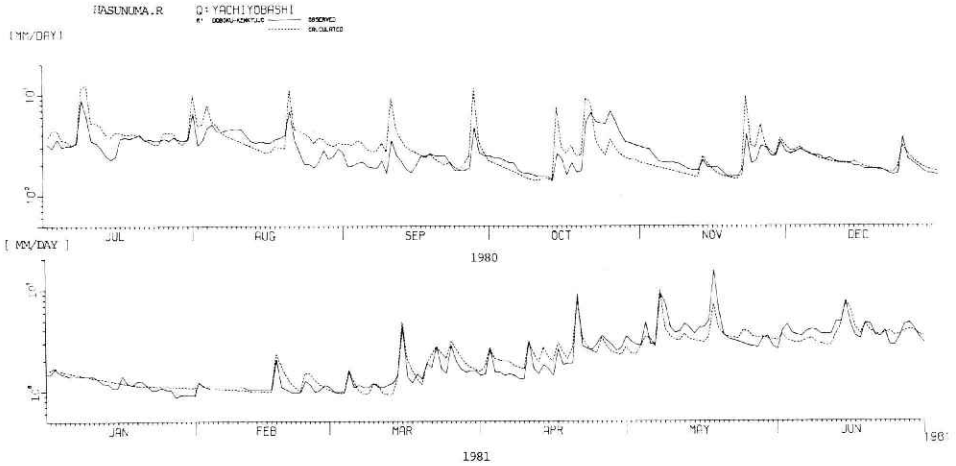


図20 連沼川八千代橋日流量解析結果(ケース1)

3.3.2 ケース2

(1) 花室川上の室橋

日流量解析に使用する雨量, 河川流量, 蒸発散量, 農業用水量はつぎのようにして求めた。

雨量は, 筑波研究学園都市附近ではバラつきがある(上田・八木, 1981)ことが知られているので, 上の室橋, 国立防災科学技術センターを単純平均したものを使用し, 第1段タンクに入力した。

河川流量は花室川上の室橋の日流量を用いた。蒸発散量は気象庁で観測した水戸での蒸発量のデータを用いた。昭和28年から40年までの13年間の平均月蒸発量を日数で割ったものをもとのデータとし, 金子良(1973)による“蒸発計蒸発量に対する蒸発散量の比率”を灌溉田畑とそ

図21 花室川日流量解析タンクモデル(ケース2)

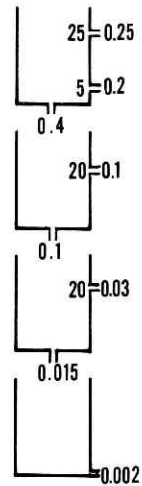


表5 “蒸発計蒸発量に対する蒸発散量の比率”を使って求めた蒸発量(mm/日)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
花室川	1.0	1.1	1.6	2.1	2.9	2.7	4.0	5.0	3.2	2.1	1.3	1.0
連沼川	1.0	1.1	1.6	2.1	2.9	2.7	3.6	4.5	2.9	2.1	1.3	1.0

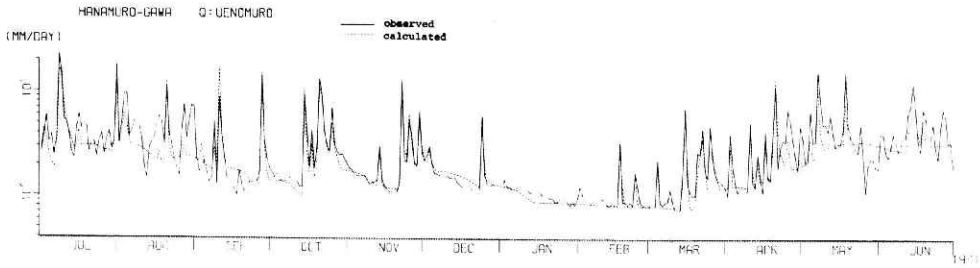


図22 花室川上の室橋日流量解析結果（ケース2）

れ以外の面積比にそれぞれかけて流域全体としての比率を求め月別の日蒸発散量の値を表5のとおり求めた。解析時には、求めた日蒸発散量の8割を毎日一段目のタンクの貯留量から差し引いた（菅原，1972）。一段タンクに残りのない時は二段目からと順に下のタンクから差し引いている。

農業用水量は4月から8月までの間、他の流域から取水された水が農業用水量として、流域に入ってくる。計画取水量は流域全体にならずと花室川流域では4mm/日（かんがい田1.88km²・畑1.18km²）、蓮沼川流域でも4mm/日（かんがい田1.60km²・畑2.75km²）となる。稲作ではしろかき期（5月）に多量の水が使われ、その後中干し期・落水期と水の使用量が減る。そこで計画かんがい量に次の比率をかけて、農業用水量として流入した量とした。

4月0.2，5月1.0，6・7月0.8，8月0.7

流域内での、直接河川から取水する量については今回考慮に入れなかった。

農業用水量は動きの遅い成分と考え、タンクの三段の入力とし、4月からかんがいが始まるので4月10日から入力を開始した。

以上の条件で解析を行った結果は、タンクモデルが図21のように、日流量の実測値と計算値の比較が図22のとおりとなった。この結果はおおむね良好であるが、稲作の始まる5月からは稲の生長と天候に合わせた人為的な用水の操作により適合性が悪くなる。この人為的な操作は水位記録紙上に不規則な水位の上昇または下降という形で残っている。

なお1年間の計算結果の水収支はつぎのとおりである。

流入量		流出量	
雨量	1,177 mm	実測流出高	1,083 mm
農業用水	410	計算 "	938
初期貯留高	560	蒸発散量	684
		残留高	524

(2) 蓮沼川八千代橋

日流量解析に使用する雨量，河川流量，蒸発散量，農業用水量はつぎのようにして求めた。

雨量は、八千代橋・土木研究所・国立防災科学技術センターの単純平均を使用し、第1段タンクに入力した。河川流量は蓮沼川八千代橋の日流量を用いた。蒸発散量・農業用水量は花室川（ケース2）と同様とした。

以上の条件で解析を行った結果はタンクモデルが図23のように、日流量の実測値と計算値の比較が図24のとおりとなった。この結果をみるとおおむね良好であるが、観測開始から12月初めまでは若干適合性が悪い。これは観測当初機器や観測井にトラブルが生じた影響であろう。また5月からのかんがい期の問題は花室川と同様の理由である。

なお1年間の計算結果の水収支はつぎのとおりである。

流入量		流出量	
雨量	1,199 mm	実測流出高	964 mm
農業用水	410	計算 "	1,002
初期貯留高	660	蒸発散量	655
		残留高	612

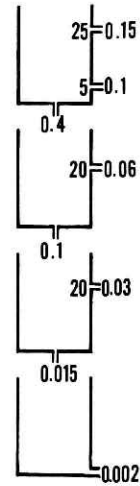


図23 蓮沼川日流量解析
タンクモデル
(ケース2)

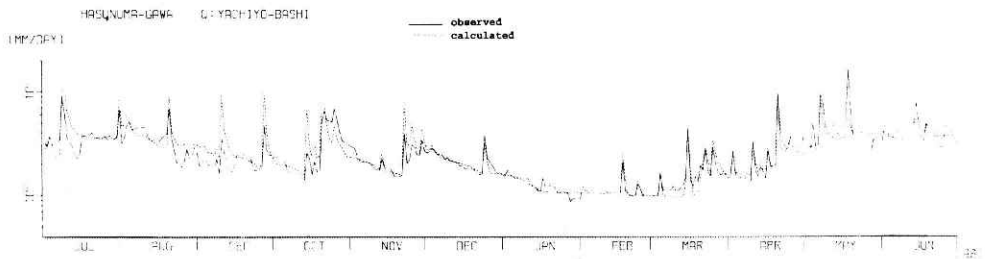


図24 蓮沼川八千代橋日流量解析結果（ケース2）

3.3.3 比較検討

(1) 基礎資料の整理・推定方法の相違について

タンクモデルの基礎資料である雨量、蒸発散量、農業用水量の整理・推定を2方法で2ケースのタンクモデル解析を行った。

その結果のタンクモデルは既述のごとく図16、図19、図21、図23のとおりである。部分的には入力条件の差に伴う係数に差が出ているが、計算値と実測値を比較しているハイドログラフは図17、図20、図22、図24をみるとおおむね良好な適合を示している。

このことは、入力条件の差はタンクモデルの係数の調整によって吸収しうることを示している。

(2) 花室川と蓮沼川との比較

解析結果から両河川の比較をケース2について行うとつぎのとおりである。

比較はタンクの構造で行うこととする。1段目の流出孔の係数が花室川0.2と0.25、蓮沼川0.1と0.15と花室川の方が大きい。つまり花室川の方が早く流出する成分が多い。総流出量に対する一段目からの流出量の割合をみると、花室川で25%、蓮沼川で14%である。この違いは花室川流域の方が蓮沼川流域に比べて不浸透面積率が大きいことによるものと推定される。

また第1段目のタンクの浸透孔係数が0.4と大きいのは両河川流域とも浸透しやすいことを示している。

2段目タンクの流出孔係数には若干の差があるものの3、4段目は全く同じである。これは第1段目のタンクの流出成分（表面流出）以外はほぼ似たような特性であることを示している。したがって2段目以降のタンクの特徴はつぎのとおりである。二段目のタンクの半減期は約3日であり、浸透した降雨はすみやかに流出する。約1カ月の半減期を持つ三段目は準基底流出に相当し、入力に対してかなり良く反応する。農業用水の取水が続く期間は、この成分の流出が増え、基底流出量を3mm/日位まで引きあげる。また灌漑期以外でも降雨が続くとこの成分の流出が大きくなる。二段目の浸透孔係数の大きいこともこの三段目の流出の入力に対する反応の早さを助長している。このようにこのモデルの構造は、この流域が浸透しやすい流域でその浸透した水は河川の水をかん養する自由地下水として、河川の流量にすぐ影響を与える、浸透しやすく流出しやすい流域であることを示している。

この地域の不圧地下水の変化は、降雨との関係がきわめて敏感で降雨後2日～5日のうち

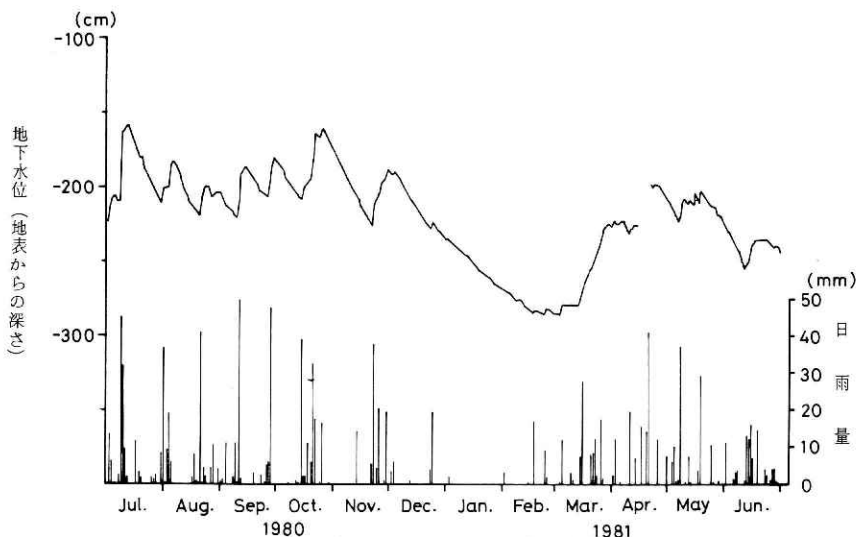


図25 不圧地下水変動図—国立防災科学技術センター—

に上昇することが図25の国立防災科学技術センターの観測記録でも明らかである。

なお雨が少なくかんがいの影響もない冬期には安定した四段目からの流出となり、その流出量は約1mm/日である。

(3) 花室川・蓮沼川と他河川の比較

花室川・蓮沼川の例えばケース1の解析結果と他河川のそれと比較するとつぎのとおりである。

イ. 蒸発散量

河川便覧(日本河川協会, 1980)より全国の主な河川の年降水量と年流出量の差から年間の蒸発散量を求めると400~500mmとなっているが、この蒸発散量はほとんどが山地におけるものと考えられ、平野部ではそれより多く600~800mmと考えられる(金子, 1973)。霞ヶ浦出口の八代(流域面積1.585km²)で得られた流域全体の蒸発散量を1959年664mm, 1960年735mmと求めている(金子, 1973)。

また、山地部の裏筑波試験地では570mmとして求められている(福崎ら1980)。これらの事から、平坦な水田の多い花室川、蓮沼川流域の年間蒸発散量は700mm程度と考えられ、日流量解析からも700mm程度が妥当な値として求められた。

ロ. タンクモデル

流域面積10~15km²の平坦地で日流量解析した例は少なく、他の平坦地でのモデルと比較する事はできないが、長野県美和試験地(流域面積1.36km²) (木下, 1974)、茨城県

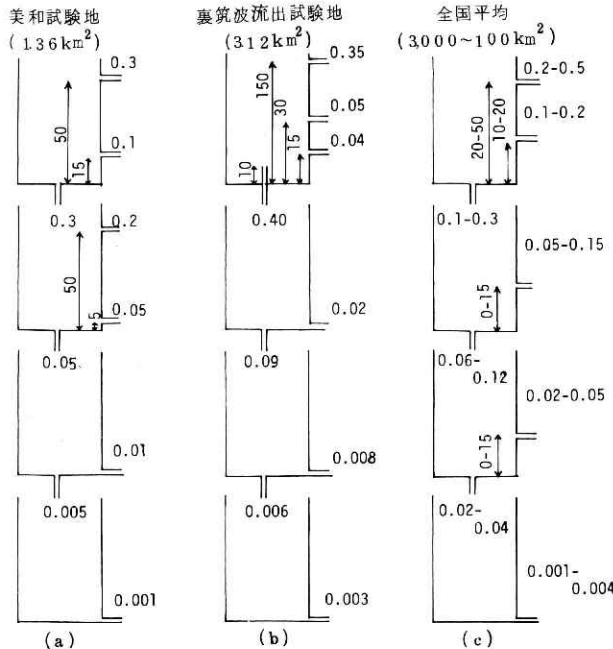


図26 他流域の日流量解析タンクモデル

(a) : 木下 (1974) (b) 福崎ら (1980)
 (c) : 木下 (1974) (菅原の流出モデル(資源調査会, 1969)に基づく)

裏筑波試験地（流域面積 3.12km^2 ）の山地河川での日流量解析タンクモデルおよび菅原正巳（資源調査会，1969）による全国30河川における解析から得られた平均的なタンクモデル（図26）との比較を行う。第1段タンクでは花室川，蓮沼川とも流出量の半減期は1～2日と短く，全国平均の最も短い半減期に相当している。

また，浸透穴／流出穴の比率で見ると全国平均1～1.5倍より大きく3～6倍となっている。しかし，流域面積の比較の小さい美和試験地のモデルとは良く似ている。第2段，第3段タンクでは，全国平均と比較して半減期が花室川2～3週間，蓮沼川4～5週間と少し長くなっているけれども，浸透穴／流出穴の比率は，ほぼ同様な値となっている。第4段タンクでは全国平均とほぼ同様なタンクとなっている。

4. 短期流出（洪水流出）

4.1 洪水の選定

流出試験地における観測は既述のように昭和55年6月2日から開始したが，最初の半月程は機器の故障その他が続き，資料が取得できたのは6月下旬からである。

そこで今回の解析に当たりつぎの基準で洪水を抽出した。昭和55年6月末から昭和56年6月末の1年間の内から連続雨量が20mm以上のものと，昭和56年8月下旬の大きな洪水とした。

なお，流出試験地は花室川と蓮沼川の2河川に分かれているので，いずれかの河川流域で20mm以上の降雨があれば洪水として抽出した。それは本研究の目的である花室川，蓮沼川の流出特性を比較するため，両河川について同時期の資料がある方が望ましいからである。

以上の基準によって洪水を抽出すると花室川上の室橋で23洪水，蓮沼川八千代橋で23洪水となるが，八千代橋では雨量が1個，水位が1個欠測だったので解析し得るのは八千代橋は21洪水である。各洪水の主要な数値は表6のとおりである。

4.2 洪水特性

表6から流出試験地における洪水特性はつぎのとおりである。

今回の観測期間中の雨量は，日雨量の最大が55.5mm，10分間雨量の最大が14.5mmであった。

この値は2.3で述べた館野の観測値と比較するといわゆる大雨等ではなく，従って洪水も中小洪水である。

また，上の室橋と八千代橋の各洪水の総雨量をみると，最大で19mmの差があり約20km程度離れても降雨分布が異なると推定される。

つぎに全洪水の総雨量（一雨雨量）・洪水直接流出高関係，総雨量（一雨雨量）・流出率関係を図示すると図27，図28のとおりである。

流出率は，全洪水の平均が上の室橋で0.304，八千代橋が0.116となり上の室橋は八千代橋

筑波研究学園流出試験地の流出特性（第1報）—武田・岸井・中根・大倉・佐藤

表6-1 洪水一覧表

観測所 雨量・流出高	上の室橋										八千代橋							
	雨量			流出高			流出率 B/A	到達時間 (分) 2: g	雨量			流出高			流出率 B/A	到達時間 (分) 2: g		
	総雨量 A mm	10分間 最大雨量 mm	継続時間 (分)	総流出高 mm	直接流出高 B mm	最大流出量 (m ³ /s)			総雨量 A mm	10分間 最大雨量 mm	継続時間 (分)	総流出高 mm	直接流出高 B mm	最大流出量 (m ³ /s)				
洪水No	洪水期間																	
80001	62819~63012	5.85	4.0	246	27271	24858	9740	0.425	140	730	4.0	246	9894	5717	2.068	0.078		
80002	724~7312	1.95	2.0	192	7834	4920	2583	0.252	140	210	1.0	192	4664	1085	1.002	0.052		
80003	782~7924	4.45	8.0	276	23031	20664	0.859 17823	0.464	60	445	6.0	276	9403	6024	0.234 5.819	0.135	100	
80004	73018~73124	4.50	5.5	180	19391	15156	18291	0.337	120	440	6.5	180	7604	3156	3.207	0.072	120	
80005	8217~8412	3.45	2.0	258	19764	14182	5395	0.410	120	360	2.0	258	8709	2048	0.904	0.057		
80006	82014~82112	3.80	6.0	132	11799	8933	0.593 12293	0.235	80	450	7.0	132	6314	2673	0.134 3.328	0.059	80	
80007	9103~91112	5.00	1.45	198	11408	9466	10086	0.189	200	400	9.5	198	4572	2319	1.925	0.058	180	
80008	9270~9286	4.75	1.5	180	16073	14516	3861	0.306	160	欠	測		5397	3217	1.036			
80009	101416~101512	4.10	2.5	120	11624	10587	6893	0.258	260	415	2.5	120	3034	1916	1.407	0.046		
8010	101920~102124	5.20	2.5	312	23798	19515	5524	0.375	140	565	3.0	312	12081	8531	1.743	0.151	240	
8011	112120~112224	4.35	2.0	168	13876	12423	8900	0.286	160	475	2.5	168	4192	2400	1.879	0.051	120	
8012	11290~112918	1.95	2.0	108	5640	4157	3240	0.213	60	200	1.5	108	2689	0855	0.969	0.043	160	
8013	122321~122424	2.30	1.0	162	6062	4661	2001	0.203	80	195	1.5	162	欠	測				
								昭和55年平均	0.304	172						昭和55年平均	0.073	

表6-2 洪水一覧表

観測所 雨量・流出高	上の室橋										八千代橋									
	雨量			流出高			流出率 B/A	到達時間 (分) 2: g	雨量			流出高			流出率 B/A	到達時間 (分) 2: g				
	総雨量 A mm	10分間 最大雨量 mm	継続時間 (分)	総流出高 mm	直接流出高 B mm	最大流出量 (m ³ /s)			総雨量 A mm	10分間 最大雨量 mm	継続時間 (分)	総流出高 mm	直接流出高 B mm	最大流出量 (m ³ /s)						
洪水No	洪水期間																			
8101	2171~21724	1.45	0.5	138	3240	2402	0.949	0.166					230	0.5	138	2030	1039	0.549	0.045	
8102	3144~31524	3.05	3.5	264	8650	7286	5332	0.239	60	360	2.5	264	5615	3487	3.058	0.097	220			
8103	3214~32224	1.90	1.0	204	6459	5022	1.962	0.264					230	1.0	204	3858	2151	0.953	0.094	
8104	4102~41024	1.65	3.5	132	5130	4131	4136	0.250	160	215	2.5	132	3109	1879	1.925	0.087	180			
8105	41917~42024	2.95	4.0	186	12674	10874	0.375 7788	0.369	220	420	2.5	186	10192	8208	0.265 6.572	0.195	180			
8106	571~5824	3.50	3.5	282	23682	14096	0.465 9.654	0.420	140	425	6.0	282	16721	10472	0.238 5.901	0.246	60			
8107	51718~51824	2.90	7.0	180	17991	13756	0.659 13681	0.474	80	335	10.5	180	17504	11164	0.272 6.745	0.333	240			
8108	61312~6166	4.95	3.5	396	24411	12950	5019	0.262					485	2.5	396	15871	5524	2.394	0.114	
8109	82121~82424	6.80	8.0	450	34893	19155	10979	0.282	100	510	3.5	450	31940	15141	5.227	0.297	80			
8110	8286~82912	4.15	4.0	180	17302	15198	0.565 11721	0.366	260	485	6.5	180	8451	6593	0.168 4.173	0.136	160			
								昭和56年平均	0.309							昭和56年平均	0.164			
								全体平均	0.306							全体平均	0.116			

の約2.6倍となっている。上の室橋は経年的に特別な変化はみられないが、八千代橋は昭和55年の平均と昭和56年の平均では約1.6倍も昭和56年の方が大きくなっている。この差の直接的な原因は不明であるが、昭和55年12月に上の室橋、八千代橋とも水位計を1週間巻のリシャル型から1ヶ月巻のSR-1型に交換したところ、八千代橋の観測井の底に土砂が堆積していることが発見されたので、昭和56年2月頃までかかってこれを排除した事実がある。ただこれが直接的な原因と決めかねるのは、リシャル型水位計の時期の週1回自記紙交換時において、河川水位と記録紙の水位に差がなかったからである。

上の室橋と八千代橋の流出率を比較した時、既述の表3の土地利用からみて不浸透面積率の大きい上の室橋の方の流出率が大きいのは妥当な結果である。

また、上の室橋、八千代橋の流出率を他の流出試験地の流出率と比較してみる。建設省が全国の25流出試験地において昭和44年から昭和53年までに観測した資料を整理した結果（建設省河川局・土木研究所、1980年）によると筑波学園流出試験地と土地利用が類似している市街化流域（たとえば、庄内川、多摩ニュータウン）の流出率は、最大値が0.86、最小値が0.13、平均が0.415となっているから、上の室橋の流出率は他流出試験地と差はないが八千代橋の流出率はやや小さいと考えられる。

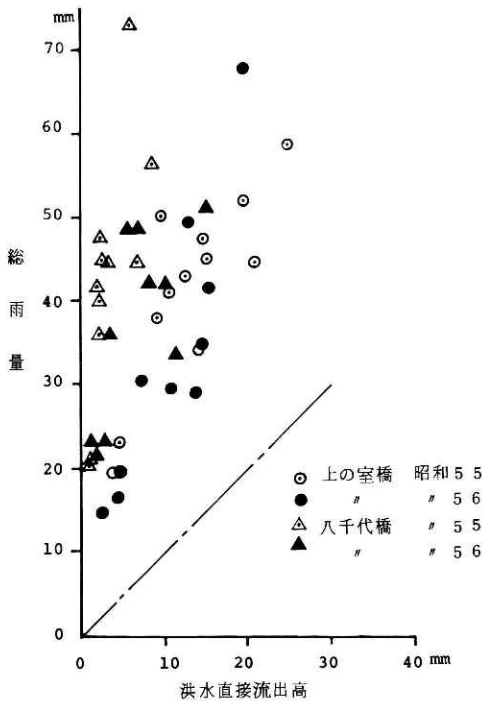


図27 総雨量・洪水直接流出高関係

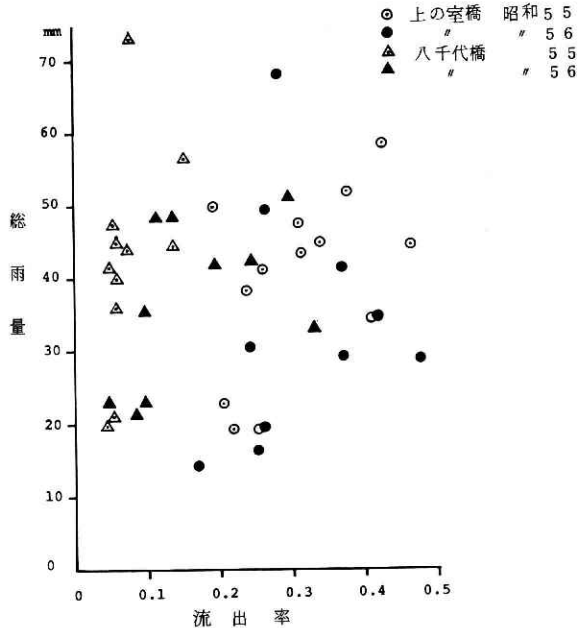


図28 総雨量・流出率関係

4.3 流出解析

流出解析手法は多数あり、建設省河川砂防技術基準(案)調査編(日本河川協会,1976)には一般的な方法として、合理式法、単位図法、貯留関数法、タンクモデル法、等価粗度法、流出関数法の6方法が選定されている。

そこで今回の流出解析には、当国立防災科学技術センターが高い解析技術を保有しているタンクモデル法と建設省等で数多く使用されている貯留関数法の2方法で解析を行った。

流出解析は、一般には観測資料、対象流域の特性等から判断し最も適当な解析手法で行われているが、本研究は5人の共同研究であること、同一の洪水を複数の手法で解析した例が少ないこと等を考慮し、タンクモデル法および貯留関数法によって解析を行った。

4.3.1 解析対象洪水の選定

解析対象洪水の選定は、花室川、蓮沼川両川とも洪水が発生しており、かつピーク流量の大きなものを基準に表6の中よりつぎの6洪水を選定した。なお、花室川上の室橋、蓮沼川八千代橋を解析対象地点とし、両地点における洪水の解析対象時間は同一とした。

①No.8003,昭和55年7月8日2時~9日24時

②No.8006 昭和55年8月20日14時~21日12時

③No.8105,昭和56年4月19日17時~20日24時

④No.8106,昭和56年5月7日1時~8日24時

⑤No.8107,昭和56年5月17日18時~18日24時

⑥No.8110,昭和56年8月28日6時~29日12時

以上の6洪水における総雨量は上の室橋が29.0mm~44.5mm、八千代橋で33.5mm~48.5mmとなっている。

なお上述の6洪水の解析に使用する雨量地点はつぎのとおりである。

花室川上の室橋の場合、No.8003, No.8006は国立防災科学技術センター、それ以外の洪水は上の室橋を使用した。

蓮沼川八千代橋の場合、No.8003, No.8006は土木研究所、それ以外の洪水は八千代橋を使用した。

4.3.2 タンクモデルによる解析

解析は2段のタンクモデルを用い、流域が小さいので単位時間を10分間とした。

計算は1段タンク、2段タンクの浸透孔、流出孔及びその高さを計算により修正し、最終的にパラメーターを求めた。遅れ時間は、花室川上の室橋で30分、蓮沼川八千代橋で60分とした。初期貯留高は両流域ともゼロとした。

基底流量としては、初期流量の値をとり、それをタンクからの流出量に加えて河川の流量とした。基底流量は洪水毎に異なり0.01mm/10分から0.04mm/10分の間にある。この値は5月から8月にかけて大きくなるが、これは前期雨量の影響ではなく、同期間は農業用水

の供給期間と一致しており、農業用水による基底流量の増加と考られる。

洪水の主要部分の流量はほとんど1段タンクからの流出量で決まり、2段タンクからの流出量はたかだか0.01mm/10分と少なく、ハイドログラフの形にほとんど影響を与えない。また、洪水のハイドログラフの立上りは、両流域共、非常に早く、降雨に対して敏感な流域である。

花室川上の室橋、蓮沼川八千代橋における解析結果はつぎのとおりである。

(1) 花室川上の室橋

花室川上の室橋における6洪水の解析結果のうちタンクモデルは図29に、実測値及び計算値のハイドログラフは図30～35に示した。

図30～35をみると、No. 8003 洪水は減水部が合っているがピーク附近は合わない。No. 8006 は立上り部分が合わないものの、減水部分は合っている。No. 8105 は上昇部、ピーク附近は合っているが減水部が合わない。No. 8106, No. 8107, No. 8110はおおむね良好な適合を示している。

(2) 蓮沼川八千代橋

蓮沼川八千代橋における6洪水の解析結果のうちタンクモデルは図36に、実測値及び38～42に示した。

各洪水の流出量の実測値と計算値を比較するとNo. 8105, No. 8106, No. 8107の各洪水は2～5mm程度大きく出ているが、他の洪水では2～5mm程度小さくなっており、洪水全体とし

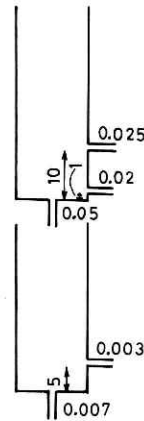


図29 花室川上の室橋洪水流出解析タンクモデル

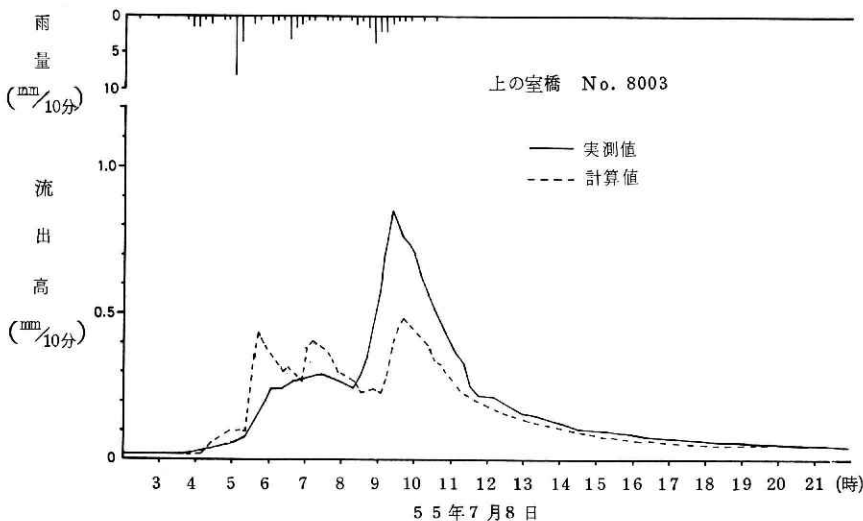


図30 花室川洪水流出タンクモデル解析結果

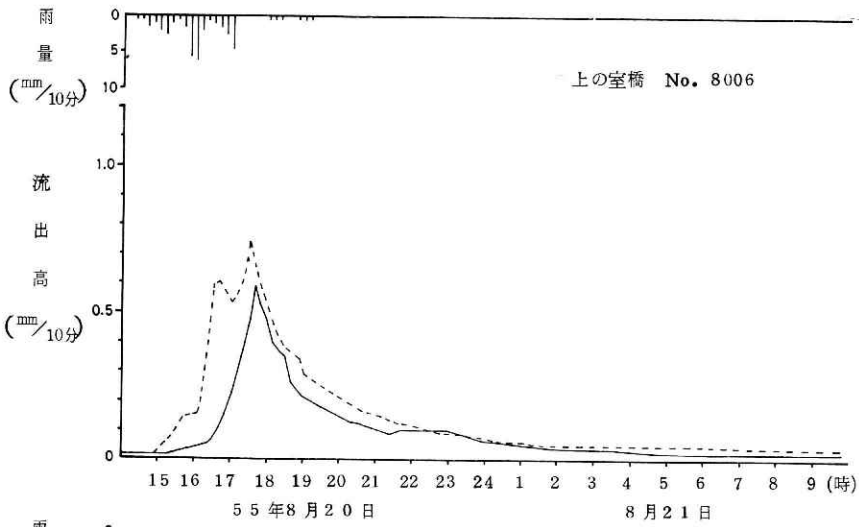


図3.1 花室川
洪水流
出タン
クモデ
ル解析
結果

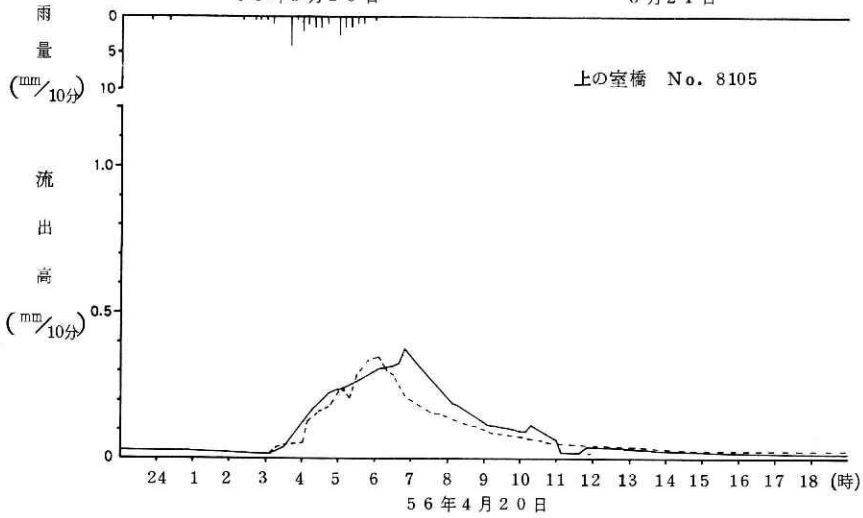


図3.2 花室川
洪水流
出タン
クモデ
ル解析
結果

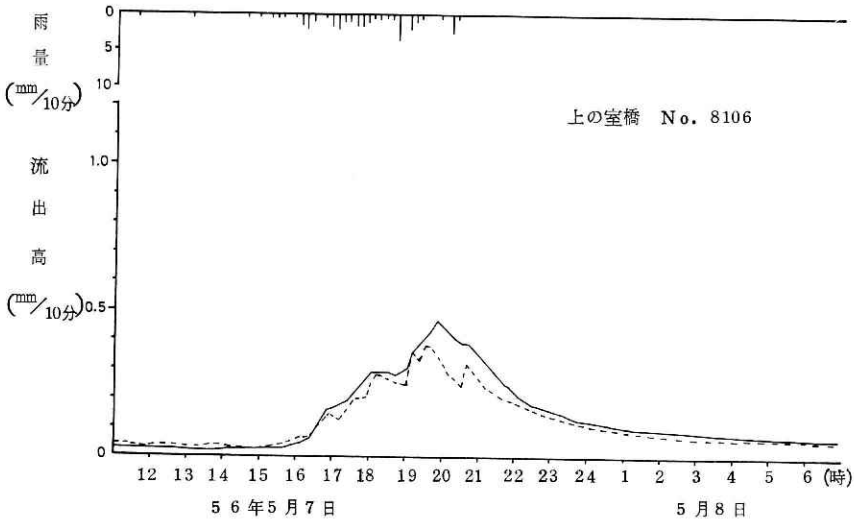


図3.3 花室川
洪水流
出タン
クモデ
ル解析
結果

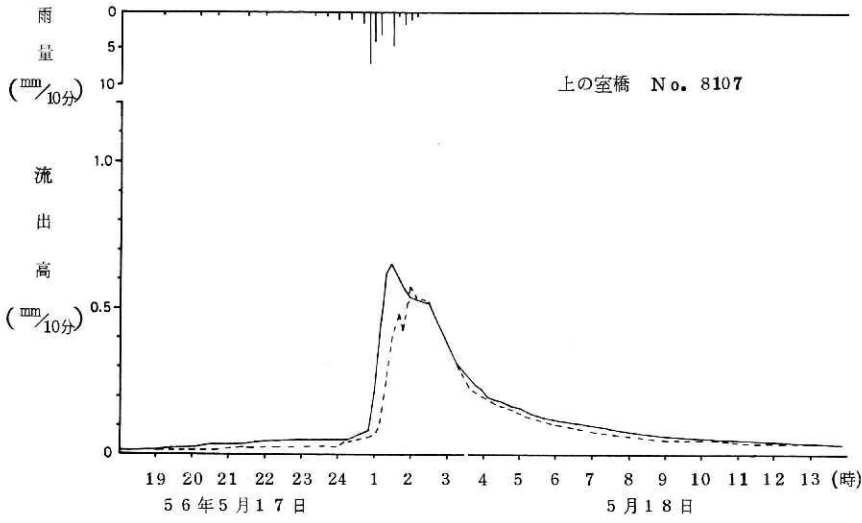


図34 花室川
洪水流出タンクモデル解析結果

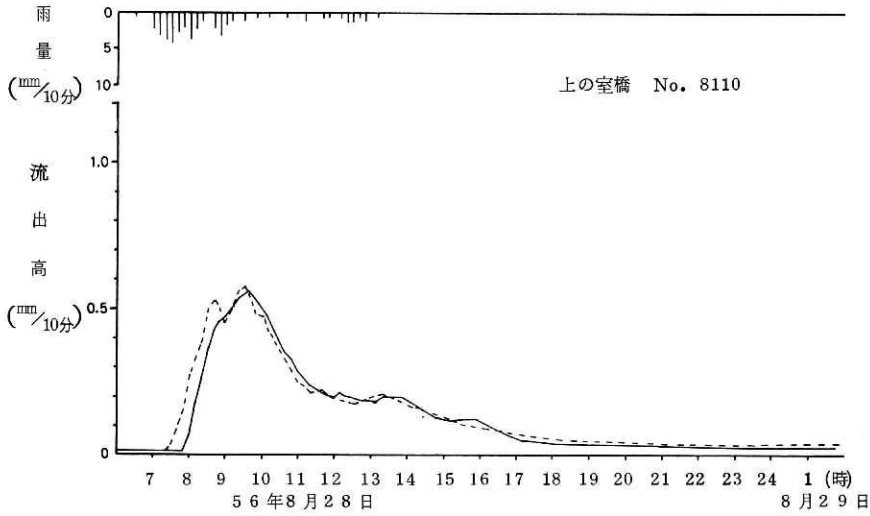


図35 花室川
洪水流出タンクモデル解析結果

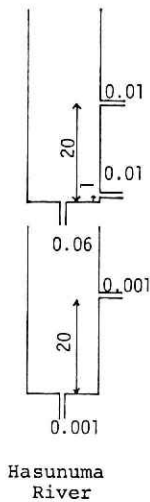


図36 蓮沼川八千代橋洪水流出解析タンクモデル

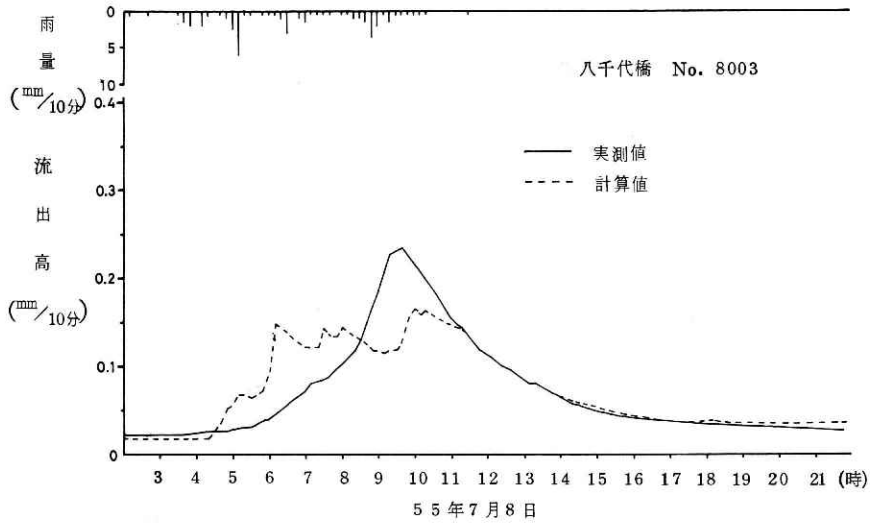


図37 蓮沼川
洪水流出タンクモデル解析結果

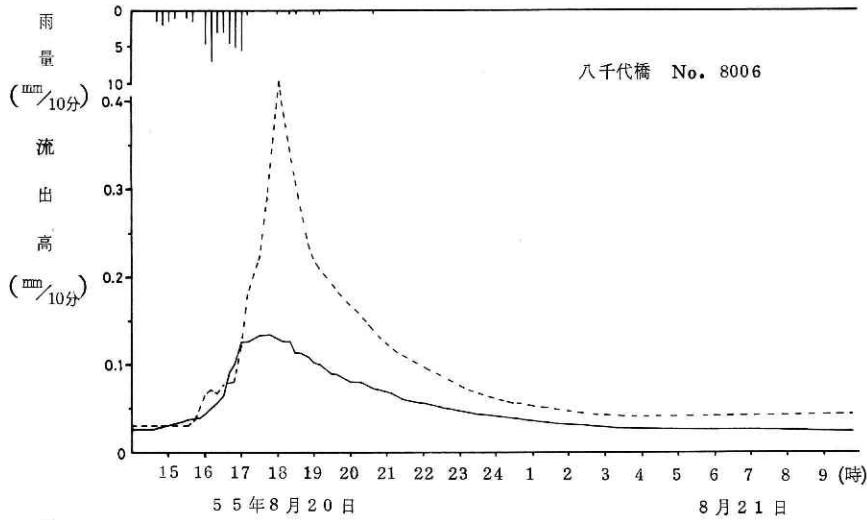


図38 蓮沼川
洪水流出タンクモデル解析結果

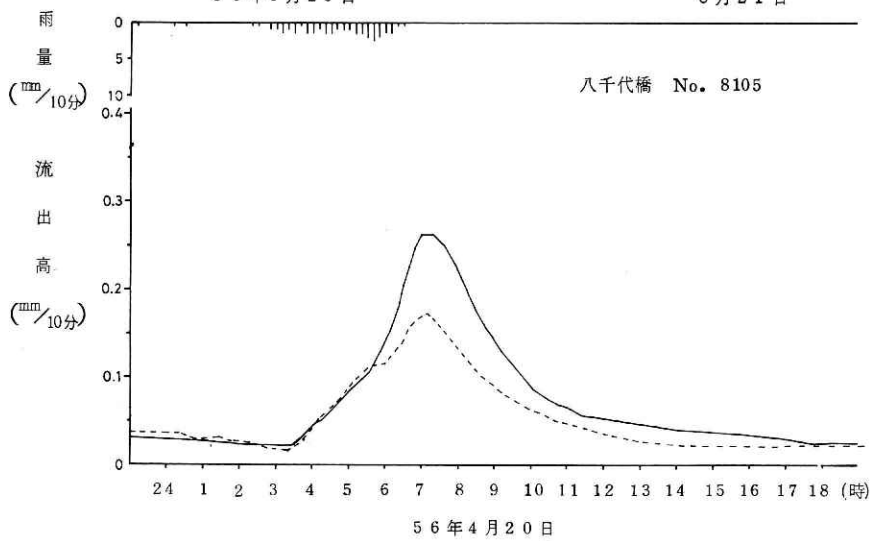


図39 蓮沼川
洪水流出タンクモデル解析結果

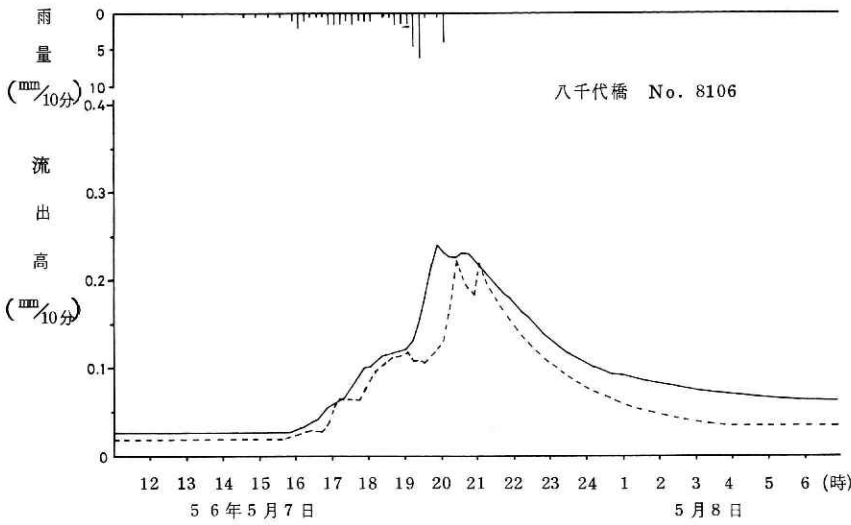


図40 蓮沼川
洪水流出タンクモデル解析結果

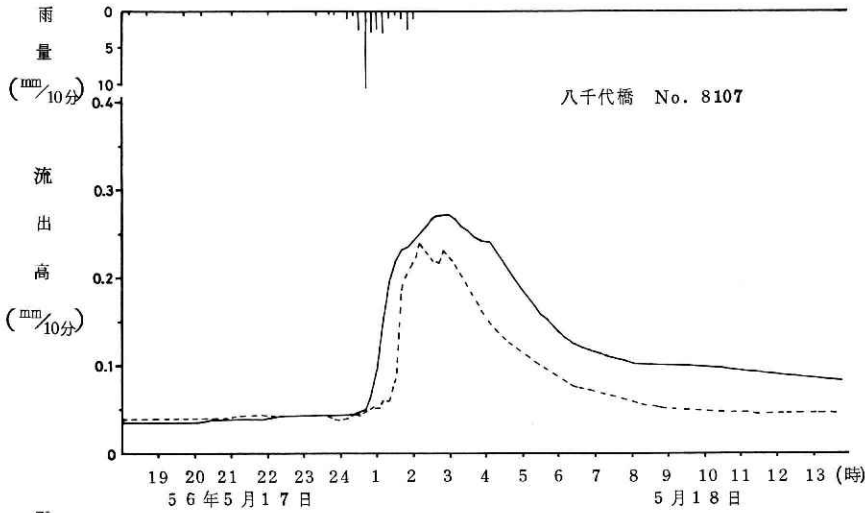


図41 蓮沼川
洪水流出タンクモデル解析結果

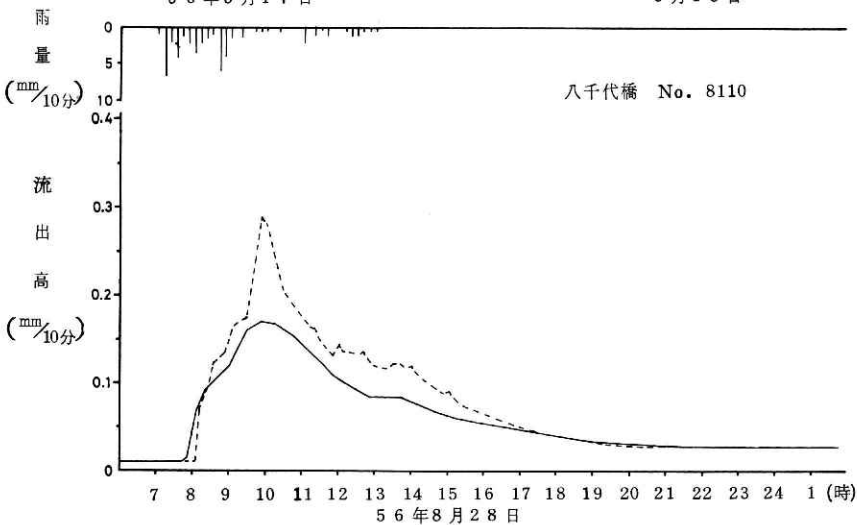


図42 蓮沼川
洪水流出タンクモデル解析結果

ては総流出量に関してはバランスがとれている。ハイドログラフの形としてはNo. 8105, No. 8106洪水は実測値と計算値が上昇部, 減少部ともよく合っている。

一方, No. 8003 洪水では, ハイドログラフの立上り部において計算値の方が実測値より大きくなる。この期間の国立防災科学技術センターで得られた雨量記録を用いて流出量を計算してみたが, 大きな違いはみられなかった。減水部においては実測値と計算値はよい適合を見せている。No. 8006 洪水では計算値の方が観測値より大きくなる。特にピーク流量は実測値 $0.13\text{mm}/10\text{分}$ に対して, 計算値で $0.42\text{mm}/10\text{分}$ と大きくなる。No. 8107 洪水では減水後の流量が $0.05\text{mm}/10\text{分}$ と大きい値を維持している。

(3) 花室川と蓮沼川の比較

花室川のタンクモデル(図29)と蓮沼川のタンクモデル(図36)を比較すると花室川の方が蓮沼川より表面流出, 中間流出とも多くなっている。これは地形・地質的には同じような所であるが表3の土地利用区分から不浸透面積率が花室川が25%, 蓮沼川が18%となっているのでこの影響が大きいと考えられる。

つぎに花室川のタンクモデルの1段目タンクの第1流出孔の係数は0.02と蓮沼川のその2倍になっているが, 位置は同じ1mmである。さらに両モデルの1段目タンクの浸透孔の係数と第1流出孔の係数の和が0.07と等しくなっている。これは1段目タンクの水位が第2流出孔の高さに満たないとき, 表面流出の低減係数が等しく流出高が2倍になることを意味している。

1段目タンクの第2流出孔の係数と浸透孔の係数の和が, 花室川のタンクモデルでは0.075, 蓮沼川のタンクモデルでは0.07とほぼ等しくなっている。これは両モデルにおける第2流出孔からの洪水流出の低減状況が第1流出孔からの流出のそれと同様な関係にあることを示している。しかし花室川のタンクモデルはその第2流出孔の位置が10mmと蓮沼川のその半分の高さになるため表面流出はさらに増加する。

両モデルについて2段目タンクの浸透孔の係数と流出孔の係数の和を求めて比較すると, 花室川のタンクモデルの2段目からの中間流出の低減が早いことがわかる。

(4) 花室川・蓮沼川と他河川の比較

例えば蓮沼川のタンクモデルを蓮沼川流域の土地利用状況と類似している山崎川, 植田川のタンクモデルと比較するとつぎのとおりである。

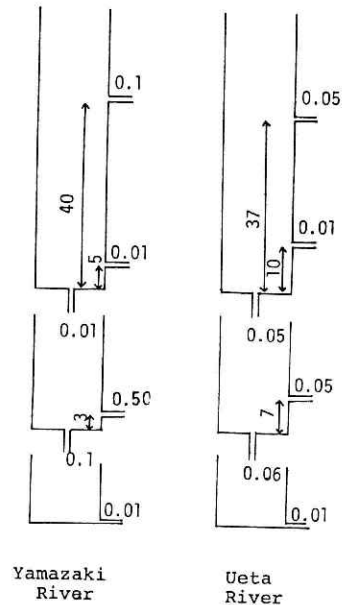


図4.3 山崎川・植田川洪水流出解析タンクモデル

山崎川、植田川両川とも建設省中部地方建設局によって観測がなされている試験地で名古屋市にあり、山崎川は流域面積 13.48km^2 で、宅地面積率が91%という都市化流域である。一方相隣る植田川は流域面積 18.90km^2 、宅地面積率は23%で山崎川よりは都市化が進んでいない流域である。（建設省河川局・土木研究所、1975）

図43に示すように山崎川のタンクモデルの1段目の流出孔の係数は0.01と蓮沼川と同値であるが、2段目の流出孔の係数は0.1と蓮沼川の0.01に比較して大きい。さらに1段目の浸透孔の係数は0.01と、蓮沼川の0.06に比較して非常に小さい。一方、植田川のタンクモデルは1段目の下の流出孔の係数は0.01、上の係数は0.05、浸透孔の係数は0.05となっており、蓮沼川の係数と同じ程度である。

4.3.3 貯留関数法による解析

貯留関数法による解析方法は一般化されているので省略するが、例えば建設省河川砂防技術基準（案）調査編（日本河川協会、1976）による。

計算の単位時間は流域が小さいので10分間とした。花室川上の室橋、蓮沼川八千代橋における解析結果はつぎのとおりである。

(1) 花室川上の室橋

花室川上の室橋における6洪水の解析結果は表7、解析結果による計算値と実測値の比較は図44～49のとおりである。

表7の上の室橋地点の定数をみると、遅滞時間 T_1 にややバラツキがあること、飽和雨量 R_{sa} を用いたのはNo. 8003洪水のみであとは飽和雨量を考える必要はなかったことが解る。

この R_{sa} が飽和しないということはこの流域が地形地質的に浸透性の高い流域であることを示している。

各洪水の解析結果の特徴はつぎのとおりである。

No. 8003 洪水： 立上り部の計算値が大きくなっているがこれを合せるとピークから減水部が合わないので今回はピーク附近を合わせている。

No. 8006 洪水： 良く合っている。

No. 8105 洪水： 立上り部が若干合わないのはピーク附近と減水部を合せたからである。

No. 8106 洪水、No. 8107 洪水、No. 8110 洪水は良く合っている。

以上の結果各洪水の定数は一応妥当な数値であると考えられる。

(2) 蓮沼川八千代橋

蓮沼川八千代橋における6洪水の解析結果は表7、解析結果による計算値と実測値の比較は図50～55のとおりである。

表7の八千代橋の定数をみると f_1 にバラツキがみられるほか上の室橋と同様 R_{sa} を考えなくてよい洪水が多い。飽和点に達したNo. 8003 洪水、No. 8105 洪水も飽和雨量が総雨量

の約90%になっていた。従ってこの流域も花室川と同様に浸透性の高い流域である。

各洪水の特徴はつぎのとおりである。

No. 8003 洪水： 立上り部の計算値が大きいのはピーク附近から減水部を合せたためである。

No. 8006 洪水： 立上り部の計算値が小さいのはピーク附近から減水部を合せたためである。

No. 8105 洪水： ピーク附近と総量を合せた。

No. 8106 洪水： 減水部が合っていないのは立上りとピーク附近を合せたためである。

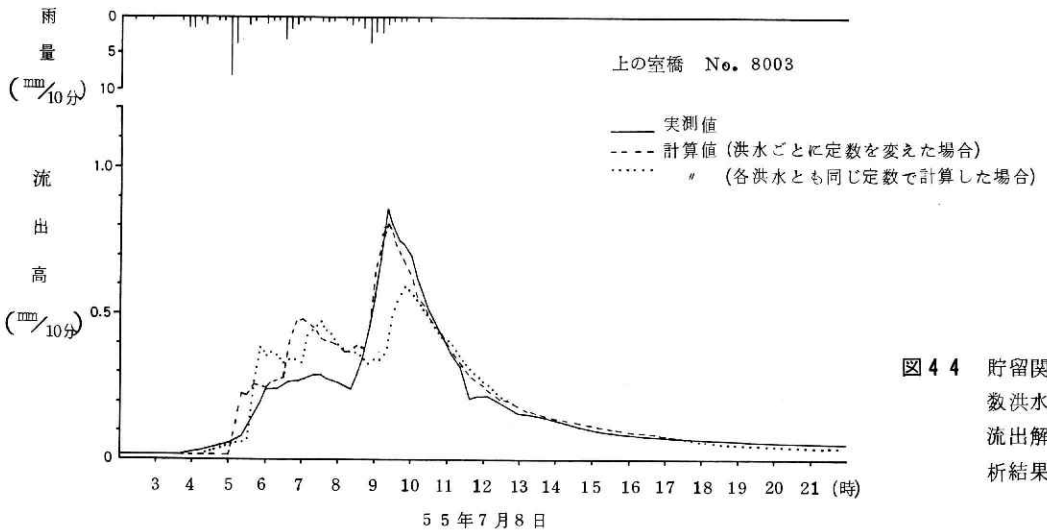


図44 貯留関数洪水流出解析結果

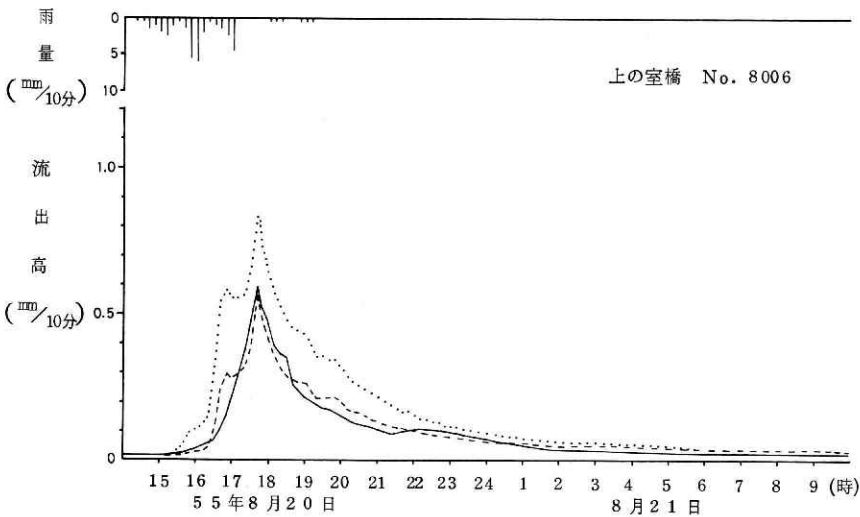


図45 貯留関数洪水流出解析結果

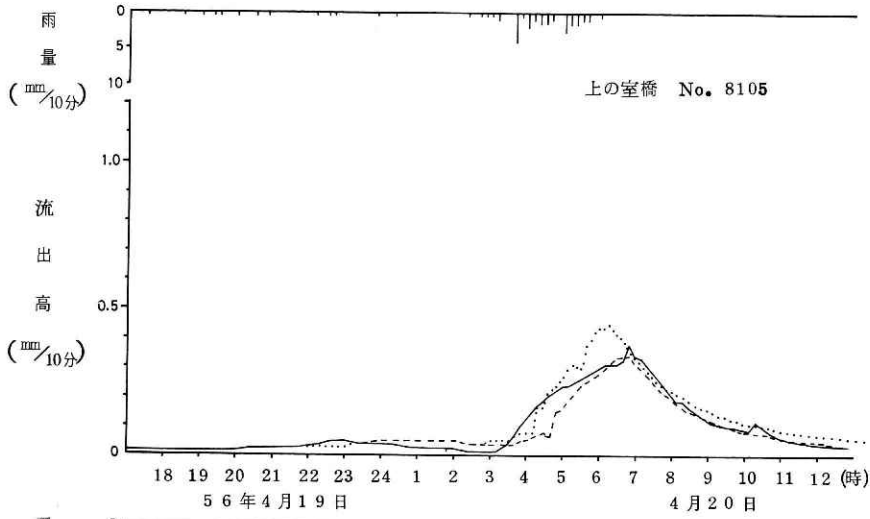


図 4 6 貯留関
数洪水
流出解
析結果

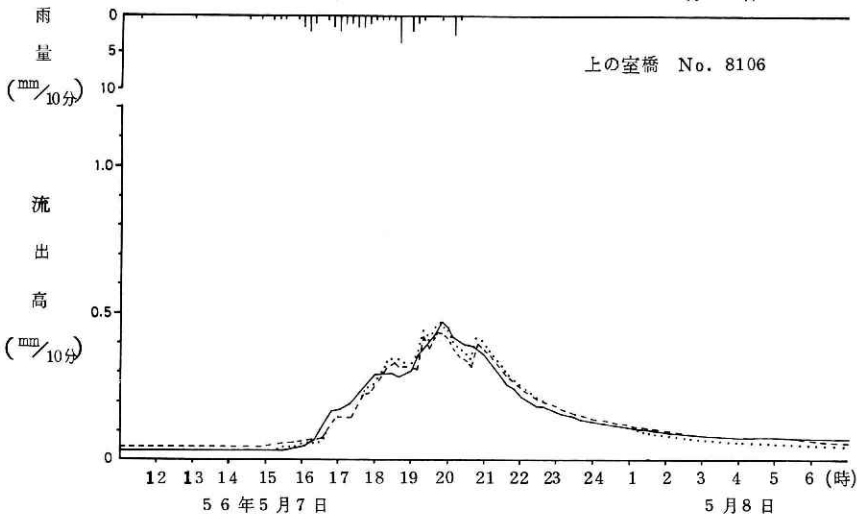


図 4 7 貯留関
数洪水
流出解
析結果

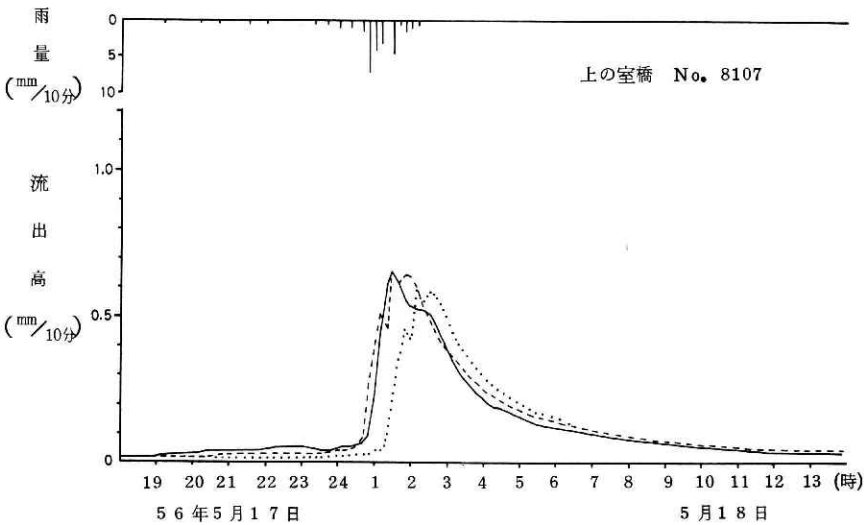


図 4 8 貯留関
数洪水
流出解
析結果

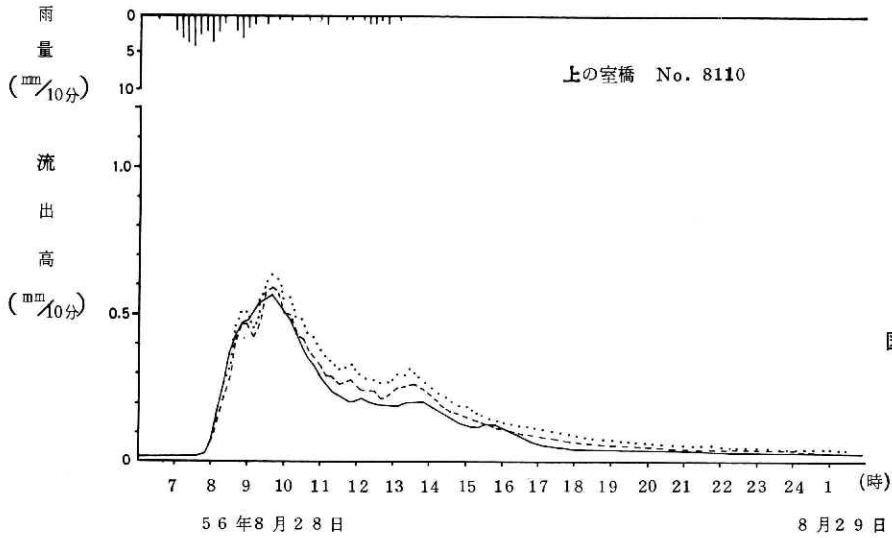


図49 貯留関数洪水流出解析結果

表7 貯留関数法解析定数一覧表

花室川・上の室橋地点								
洪水番号	K	P	T1	f ₁	A	ANV	q _B	Rsa
8003	25.0	0.3	1.0	0.65	12.46	12.46	0.0149	50
8006	25.0	0.3	4.0	0.35	"	"	0.0217	∞
8105	15.0	0.7	7.0	0.35	"	"	0.0096	∞
8106	20.0	0.5	4.0	0.45	"	"	0.0327	∞
8107	20.0	0.5	0.0	0.55	"	"	0.0236	∞
8110	20.0	0.4	4.0	0.45	"	"	0.0117	∞
平均	20.8	0.45	3.3	0.47			0.0190	
蓮沼川・八千代橋地点								
洪水番号	K	P	T1	f ₁	A	ANV	q _B	Rsa
8003	30.0	0.3	3.0	0.22	14.86	14.86	0.0216	70
8006	30.0	0.5	3.0	0.08	"	"	0.0292	∞
8105	20.0	0.7	3.0	0.08	"	"	0.0106	35
8106	20.0	0.7	3.0	0.16	"	"	0.0222	∞
8107	20.0	0.7	5.0	0.20	"	"	0.0352	∞
8110	20.0	0.5	7.0	0.09	"	"	0.0103	∞
平均	23.3	0.56	4.0	0.14			0.0215	

註1 T1は10分単位である。例ば T1=3.0は30分となる。

2 q_Bの単位はmm/10分

3 Rsaで∞印は飽和しなかったケース。

4 ANVは非火山岩地帯面積

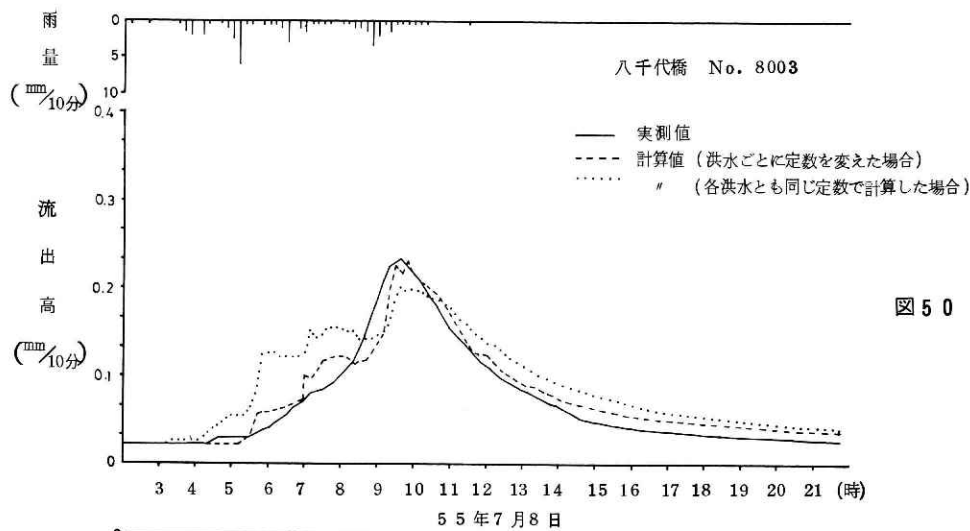


図50 貯留関数洪水流出解析結果

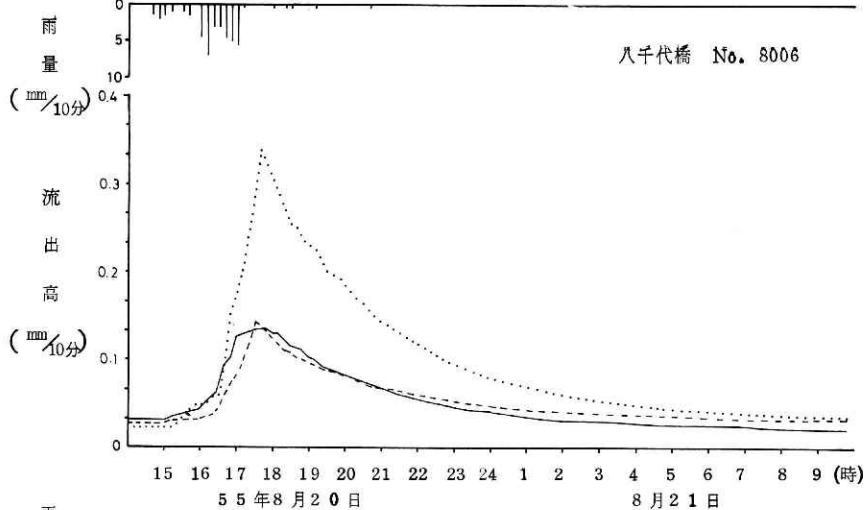


図51 貯留関数洪水流出解析結果

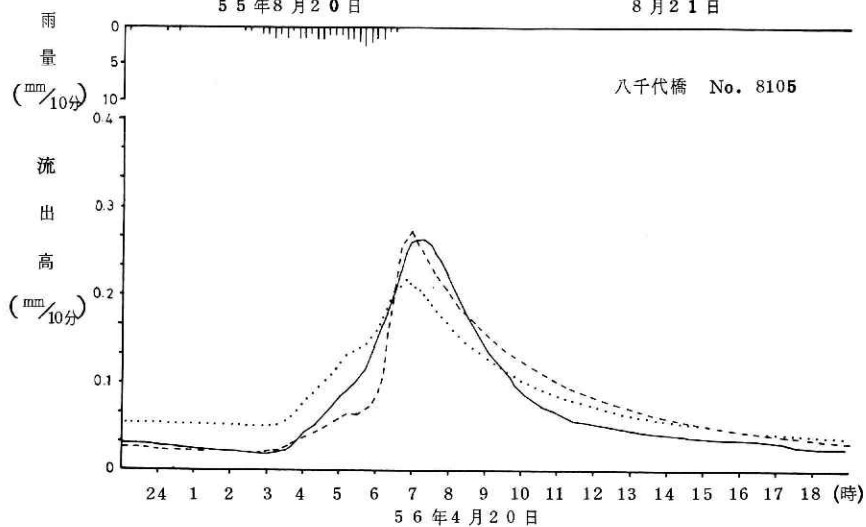


図52 貯留関数洪水流出解析結果

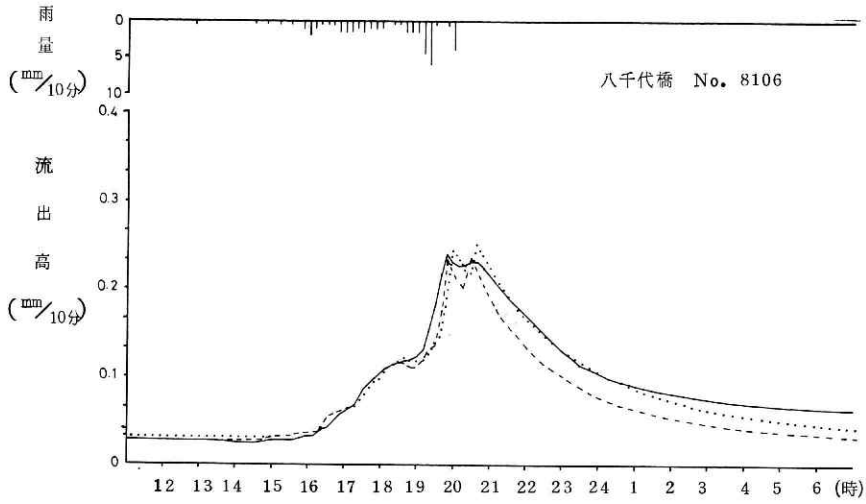


図 5 3 貯留関
数洪水
流出解
析結果

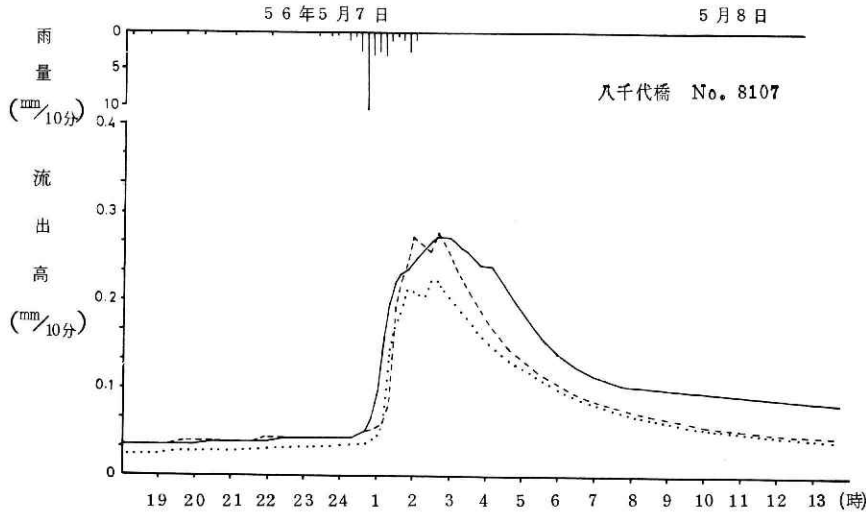


図 5 4 貯留関
数洪水
流出解
析結果

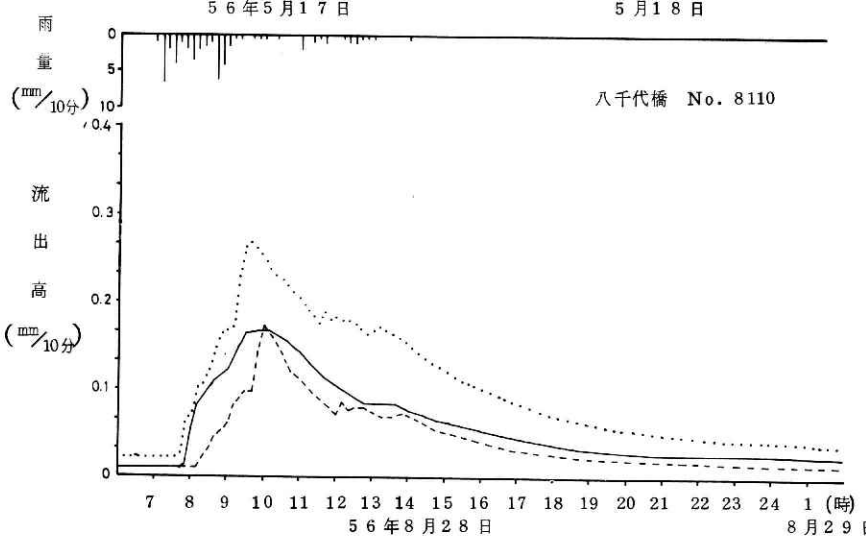


図 5 5 貯留関
数洪水
流出解
析結果

No. 8107 洪水： 減水部が合っていないのはNo. 8106 洪水と同じ理由による。

No. 8110 洪水： ピーク附近を合せたので立上り部，減水部，総量が合わなかった。立上り部，減水部を合せようとするとうピーク流量が2倍以上になった。

この結果はそれ程良好とはいえないが多くの試算を行った後これ以上の結果は得られないことがわかったので表7の定数を最終成果とした。

(3) 花室川と蓮沼川の比較

貯留関数解析によって得られた各種の定数 K ， P ， $T1$ ， Rsa ， f_1 等から花室川と蓮沼川を比較検討すればつぎのとおりである。

K は，花室川の方が蓮沼川より15%ほど小さくなっている。都市化が進行すると貯留高が減少するので K が小さくなる。 P も花室川の方が20%小さくなっている。 P が小さくなると洪水の低減部が急勾配になる（今回は雨量が Rsa に達しないからこの傾向がある）。

$T1$ も若干花室川の方が小さい。 f_1 は花室川の方が蓮沼川の3.4倍にもなっている。 Rsa が飽和しない場合の f_1 は図56のとおり図28で示した流出率とかなり高い相関が認められる。ここで一次流出率 f_1 は，ほとんど損失雨量のない地域の面積と流域面積との比である。

以上の傾向から花室川の方が蓮沼川よりも都市化されていると云える。

ただ両河川とも Rsa がほとんど飽和せず，飽和した洪水でも Rsa が総雨量の80~90%であることから浸透性の高い地域であるということが出来る。

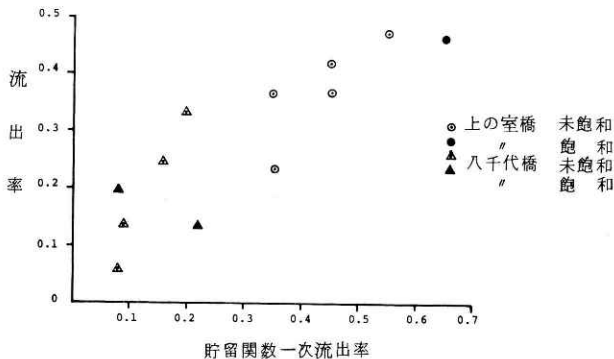


図56 流出率・貯留関数一次流出率関係

(4) 花室川・蓮沼川と他河川の比較

花室川上の室橋，蓮沼川八千代橋で求めた貯留関数法の定数 K ， P について他の河川と比較検討すればつぎのとおりである。

他の河川としては前出の全国25流出試験地の成果（建設省河川局・土木研究所，1980）から花室川・蓮沼川と土地利用が類似している市街流域とする。その定数は， K は0.8~27の範囲， P が平均で0.64となっている。それに比較して花室川・蓮沼川の定数は， K がやや大

きく、 P がやや小さい傾向にあるが一応妥当な値であるといえる。

4.3.4 タンクモデル法と貯留関数法の比較

タンクモデル法と貯留関数法の理論的な相違を単的に云えば、タンクの流出形状が孔の場合がタンクモデル法で、 V ノッチ ($P=1/3$) の場合が貯留関数法である(木下, 1967)。

そこで実際の流出解析の結果による比較を今回の成果で検討してみる。

タンクモデル法による解析結果は前出の図29~35, 図37~42, 貯留関数法による解析結果は前出の図44~55のとおりである。

タンクモデル法の解析結果は、一流域に対して一つのタンクモデルを用いて6洪水の計算を行ったものであった。貯留関数法では洪水毎に最も良く適合する定数を求めて計算している。そこで貯留関数法もタンクモデルと比較検討するために、一流域に対して一つの定数を用いて6洪水の計算を行った。その結果を図44~55に示す。

この両方法の結果を比較すると八千代橋のNo. 8110 洪水が反対の傾向を示している以外は、その適合度合は合う場合も合わない場合ともかなり類似している。

従って今回の成果でみるかぎり短期流出の解析においてはタンクモデル法も貯留関数法も差がないと云える。

また、両方法とも一つの定数で適合する洪水、適合しない洪水があるという事は、洪水波形は単に地形・地質的な条件にのみ左右されるのではなく、従来いわれている降雨量、降雨強度、土中湿潤状況等多くの要素が影響しているものと推測された。

5. おわりに

平地特性である自然窪地・水田・沼沢・都市施設等が河川流出に及ぼす影響を調査することは、それらが経年的に変化しているならば容易であるが、筑波研究学園都市は既に概成しているので困難な状況にある。

そこで今回はそれらの平地特性が異なる花室川、蓮沼川で調査を行ったところ、既述のように種々貴重な成果を得ることができた。しかし観測を開始してまだ1年半である。しかも最初の半年は河川規模からみると精度の悪いリシャール型水位計で測定していたり、観測機器のトラブル、観測井底の堆砂等により資料の精度がかならずしも揃っているとは云えなかった。

そこで今後はより精度の高い水文資料を得る努力をするとともに、流出試験地内の詳細な平地特性を調査することが必要である。

本調査研究にあたり、水位観測所等の貸与、調査、研究に御指導、御助言を頂いた茨城県農地計画課、霞ヶ浦用水調査事務所、土浦市外15ヶ町村土地改良区、東京大学農学部農業水利研究室教授志村博康博士、中村良太博士に感謝の意を表します。

また、解析にあたり雨量資料等の提供を頂いた土木研究所水文研究室を始め、関係各位の方々に深くお礼申し上げます。

なお、本報告文は、著者5人の共同観測によるものであり、解析執筆は各人が分担したもので、文中の用語等に若干統一を欠く部分があるかも知れないことをお断りしておく。

参 考 文 献

- 1) 福崎博彰・佐合純造・長谷川正（1980）：裏筑波流出試験地の流出特性について。土木学会講演概要集，P 232-238。
- 2) 茨城県，三井共同建設コンサルタント（1976）：研究学園都市関連河川治水計画の概要。P 3-6。
- 3) 科学技術庁資料調査会（1969）：水資源の循環機構に関する調査報告。科学技術庁資源調査会報告，第47号，P 15-P 17。
- 4) 金子良（1973）：農業水文学。共立出版。
- 5) 経済企画庁総合開発局（1973）：土地分類図（茨城県）縮尺1：20万の内土地分類図附属資料。P 13。
- 6) 建設省河川局（1978）：流量年表第32回。
- 7) 建設省河川局・土木研究所（1975）：流出試験地成果報告書，P 126-127。
- 8) 建設省河川局・土木研究所（1980）：流出試験地調査成果報告（その4）。P 1，P 29。
- 9) 建設省筑波研究学園都市営繕建設部監修・財団法人建築保全センター発行（1981）：研究学園都市地盤図，P 5-7。
- 10) 木下武雄（1967）：種々な流出モデルの比較。土木技術資料VOL 19，No.7，P 8。
- 11) 木下武雄（1974）：中小河川流域の低・濁水に関する研究，防災科学技術総合研究報告第34号，P 5-14。
- 12) 水戸地方气象台（1959）：茨城県の気候。
- 13) 日本河川協会（1972）：建設省河川砂防技術基準（案）調査編。山海堂，P 118。
- 14) 日本河川協会（1980）：河川便覧，国土開発調査会。
- 15) 菅原正巳（1972）：流出解析法。共立出版。
- 16) 筑波大学水理実験センター（1980）：熱収支・水収支観測資料（1），1977.8-1979.3。
- 17) 上田・八木（1981）：となり町は雨—筑波研究学園都市での雨量観測—。防災科学技術No. 43，P 1-4。
- 18) 山本正三ら（1976）：筑波研究学園都市とその周辺地域の変貌。筑波の環境研究1，P 86-102。

（1981年11月30日 原稿受理）