

千代川流域の流出特性について

長谷川絃一*・野村安治*

昭和59年7月31日受付

On the Runoff Characteristics of the River Sendai Basin

Kōichi HASEGAWA* and Yasuji NOMURA*

This paper deals with the characteristics of the river Sendai basin using an analysis of hydrological data. The results can be summarized as follows.

- 1) As the length of the main stream line is short for the areas of the river basin, the form ratio of the river basin is comparatively larger than other rivers in Japan.
- 2) A certain correlation was found between annual mean discharge and annual precipitation.
- 3) A strong multiple relation was found among monthly mean discharge, monthly precipitation and monthly minimum discharge.
- 4) For practical purposes, it needs at least ten years of daily discharge records to obtain an estimation of the spectral density.

ま え が き

地球上の全陸地における年降水量は720mm,年蒸発量は410mmであり,海洋においては,それぞれ1,120mmと1,250mmである。地球上の陸地と海洋の面積比が3:7であるので,地球全体では年降水量1,000mm,年蒸発量1,000mmで収支のバランスがとれており,陸上における年降水量と年蒸発量の差310mmが河川流出とされている。

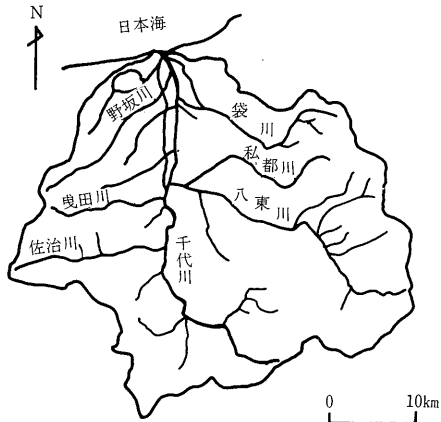
陸地における降水は,それが雨であろうと,雪,氷であろうと,蒸発分を除くと最終的には河川に流出する。河川への流出は,降水の直接流出と,一度地中に浸透してから再び地上に現われる中間流出,あるいは一度地下水となってから,長期間経過後に河川へ流出する地下水流出に区分される。

降水が各種の経路をそれぞれの流れ方に従って,流域下流端に達するまでの水文事象を総括して流出過程といい,その特性を流出特性という。河川流域における流出過程を理解するには,流出現象を規定する流域特性と,降雨特性を正確に把握しなければならない。流域特性としては,地質,地質,流域面積,流域形状,標高,傾斜,河道配列などがあり,降雨特性としては,降雨強度の時間的分布,降雨継続時間,降雨の地域分布などが問題となる。

ここでは,鳥取県の代表的な河川である千代川を対象流域に選び,入力としての降雨特性,降雨から流出への変換系の流域特性,出力としての流出特性についての研究結果を報告する。

* 鳥取大学農学部農業工学科農業水文学研究室

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University



第1図 流域の概略図

千代川の流域特性

1. 流域の概要

千代川は鳥取県八頭郡智頭町の沖ノ山を水源とし、佐治川、曳田川、八東川、袋川、野坂川など大小の支川を合せ北流し、鳥取平野のほぼ中央部を貫流して賀露で日本海に注いでいる。用瀬町から上流は渓谷となっており、小規模の智頭盆地以外は盆地の発達はあまりなく、標高が600m内外の準平原が広く分布している。流域の地質は、火成岩としては花崗岩、石英粗面岩、輝石安山岩、閃緑岩、蛇紋岩、玄武岩が流域東部の袋川上流付近に存在している。また八東川から智頭川流域には秩父古層の点在が見られる。中流部では第三紀古層が広く分布し、下流の沖積平野につながっている。河床勾配は河原町付近を遷移点として、上流側は1/200~1/300、下流は1/500~1/900となり、千代橋付近から河口までは1/1500~1/2000の緩勾配となっている。流域面積1,192.6km²であり、幹川流路長は56.8kmである。第1表に中国地方の1級河川の諸元を示しているが、千代川はその流域面積に対して流路長が短いという特徴があり、流域の平均巾21.0kmのほぼ扇形の流域となっている²⁾。第1図は流域の概略を示している。

2. 流域の地形、地質、植被

千代川は1,192.6km²の流域面積のうち、83%は山地で占められており平地は17%である。分水嶺として流域東部の扇ノ山(1,310m)、須賀ノ山(1,510m)、南部の沖ノ山(1,319m)、那岐山(1,260m)、西部の三国山(1,252m)などの白山火山系の連山に囲まれている。

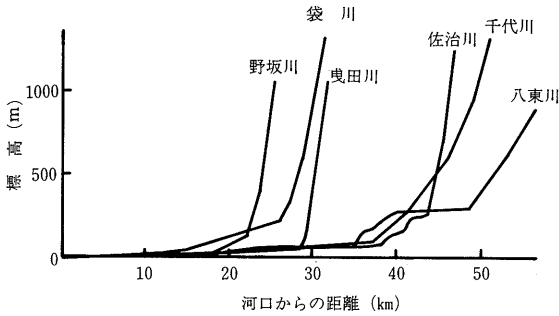
第1表 中国地方の1級河川

水系名	指定年度	幹川流路長 (km)	流域面積 (km ²)	設計高水量 (m ³ /s)
太田川	40	103	1,690	7,500
吉井川	41	133	2,060	7,500
江の川	41	194	3,870	14,200
旭川	41	142	1,800	5,000
斐伊川	41	153	2,070	4,500
千代川	41	57	1,190	4,700
佐波川	41	56	446	2,900
高梁川	42	111	2,670	6,900
芦田川	42	86	870	2,800
日野川	42	77	860	4,000
高津川	42	81	1,080	4,200
天神川	42	32	500	3,500
小瀬川	43	59	342	1,000

流域の分水界となる山地は、北東から南西に向っており、右岸側流域は地質学的にはかなり新しく急峻な山々が続き、扇ノ山から国府町の山地、久松山、摩尼山と海岸近くまで山が迫っている。これに対して、左岸流域は大きな潟湖である湖山池が下流端にあり、背梁山として鷲峰山(921m)や毛無山(571m)があり、毛無山から湖山池にかけて緩やかな傾斜面を描き、湖山池畔、野坂川、有富川流域など平坦な形をした準平原状の山地が展開している。

この流域から流下する各支川の縦断形状は第2図に示すとおりであって、いずれも急勾配河川で平野部に流下するにつれて、指数曲線的に急激に緩勾配へと変化している。山間部河川では河岸段丘地に類し、平野部は八東川、智頭川の合流点である本川16km地点より下流、ならびに袋川下流域に扇状地から沖積デルタ地形へと移行して広く分布している。河岸段丘は八東川の若桜、私都川の郡家、あるいは智頭川、佐治川、袋川の各上流域に見られる。扇状地は袋川の国府町、野坂川、有富川の中・下流域に形成されている。左岸の支川は幹川へ扇状地形のまま合流している場合が多く、右岸側は沖積デルタへ移行した地形の緩勾配で合流する支川が多い。

佐治川、曳田川、八東川左岸の支川流域の地質は、いずれも古成層地域と第三紀火成層群との境界をなす流域で、特色ある浸食形態を示している。八東川と智頭川に挟まれた流域は粘板岩や千枚岩からなる秩父古成層で、亀裂の多い水成岩領域からなり、数多くの断層群が北東に縦走している。扇ノ山から氷ノ山、須賀ノ山、沖ノ山を結ぶ山地は鮮新世に現われた火山岩類で、山腹の浸食



第2図 千代川水系の縦断面図

度や急傾斜面の地形がその地質的年令を表現している。

一方同じ火山岩類でも、吉川川と落折川に挟まれた戸倉峠付近は流紋岩類からなり、火成岩地質のなかでも比較的平坦な地形となっている。袋川の上流域には、火成岩として花崗岩、石英粗面岩、輝石安山岩、閃緑岩、蛇紋岩、玄武岩などが存在している。千代川の中・下流域にかけては、基盤岩として鳥取層群とよばれる、円通寺礫岩砂岩層、河原火砕岩層、郡家礫岩層など一連の第三紀層があり、その深度は郡家付近が最大で150m程度である。その基盤岩の上に沖積層が厚く発達している。

流域の83%は山地であるが、そのうち60%は針葉樹林、37%が広葉樹で、その他が3%となっている。針葉樹林の94%は人工林で、逆に広葉樹林は98%が天然林である。智頭川、八東川の流域は古くからの美林が広く分布している。針葉樹は一般に水源かん養林として重用され、また用材林としての価値も大きい。広葉樹は砂防に役立ち、崩壊地などに植栽する樹種としてよく用いられている。

流域内の耕地面積は9%にすぎず、水田面積が7,335haで、畑が2,671haである。畑のうち64%は樹園地である。

3. 流域の形状と河道

流域の平面形状をその支川の配置状況と流域分水界の形状とから分類すると次の四つの型になる。

- 1) 羽状流域
- 2) 放射状流域
- 3) 平行状流域
- 4) 複合流域

羽状流域は、本川を中心に左右から多くの支川がこれに流入し、全体が細長い羽状をなすもので、形が鳥の羽根に似ているところからこの名称がある。特徴としては各支川の出水に時間的なずれがあり、そのため本川の洪水は比較的小さいが、その継続時間は長くなる。わが国

の河川では、北上川、多摩川、大井川などが代表的である。

放射状流域は、流域が円形、または扇形をなし、各支川が本川に向かってほぼ放射線状に流入するもので、一般に盆地や扇状地に多く見られる。各支川洪水はほぼ同時に集中する可能性が強く、極めて大きな洪水が発生しやすい。大和川、江の川などがこの例である。

平行状流域は、細長い独立した流域の本川と支川が互いに平行に流れ下流で合流するもので、千曲川や白川などがこれに属する。

ほとんどの河川では、上記のような単純な形の流域を持つことは少なく、一般には上記の混合した複合流域であって、なかでも1)と2)の複合型が多い。

千代川流域は、形状からいうと扇形をしており、河道配列は羽状をなしているのので、1)と2)の複合流域ということになる。

流域の形状を示す指標として、流域平均巾と形状係数が使用される。

$$W = \frac{A}{L_0} \quad \text{①}$$

$$F = \frac{W}{L_0} = \frac{A}{L_0^2} \quad \text{②}$$

W : 流域平均巾 (km)

L_0 : 流路方向の最大辺長 (km)

(L_0 のかわりに本川の流路長 L を用いることもある)

A : 流域面積 (km²)

F : 形状係数

山本⁵⁾は河川の流路長と流域面積との間に次式が成立するとしている。

$$L = 1.89A^{0.6} \quad \text{③}$$

③式は日本の代表的な河川である石狩川、利根川、信濃川、筑後川などではかなりよく一致しているが、千代川に適用すると $L = 132.5\text{km}$ となり、実際の流路長の2倍以上の値となる。

そこで③式のかわりに④式を考え、第2表の L 、 A の値を用いて、パラメータ K 、 α を最小二乗法で決定すると⑤式が得られる。

$$L = KA^\alpha \quad \text{④}$$

$$L = 2.287A^{0.456} \quad \text{⑤}$$

さらに流域の特性を表わす指標の一つとして、河川密度があり次式で示される。

$$D = \frac{L_1}{A} \quad \text{⑥}$$

第2表 千代川幹支川の諸元

河川名	流域面積 (km ²)	幹川延長 (km)	総延長 (km)	平均巾 (km)	形状係数	河川密度 (1/km)
千代川	1,192.6	56.8	598.1	21.0	0.37	0.50
八東川	411.6	32.5	185.1	12.7	0.39	0.45
智頭川	375.1	40.8	153.0	9.1	0.22	0.41
砂見川	21.5	12.9	12.9	1.7	0.13	0.60
有富川	17.9	12.8	12.8	1.4	0.11	0.72
野坂川	50.0	22.1	22.1	2.3	0.10	0.44
湖山川	46.5	3.5	19.1	13.3	3.80	0.41
大路川	24.8	9.6	14.6	2.6	0.27	0.59
袋川	95.5	28.4	67.3	3.3	0.12	0.70
旧袋川	33.1	7.6	24.8	4.7	0.58	0.75
その他	116.4	—	86.4	—	—	—

D：河川密度

A：流域面積

L_T ：幹支川の総流路長

第2表に千代川の本川と代表的な支川についての流域特性の諸元を示している。河口から16.0kmの地点で智頭川と八東川とが合流しているが、ここで本川というのは河口から智頭川の水源まで、流路長にして56.8kmをいう。

降雨特性

わが国の降雨特性を季節的な順序によって述べると次のようになる。

春の雨は低気圧性のものが多く、一時長雨の時期があって「菜種梅雨」ともいわれるが、雨量は多くない。

梅雨期というのはよく知られているように、夏型の気圧配置が完成する前の停滞前線性降雨が北海道を除いて全国的に見られる。一般的に見て梅雨前線は、北緯31～32度付近の本州南岸沖に東西に横たわることが多いので、その前線沿いの北側約300kmの九州、四国、中国、近畿、そして中部の太平洋岸は常に雨天域に入ることになる。

夏の終りから秋の初めにかけて、台風がわが国に接近または上陸することが多く、台風進路に近い地域では地形性または温暖前線性の豪雨もたらされる。

10月から11月頃にかけては全国的に降雨の少ない季節となっている。しかしシベリア奥地まで北上した寒冷前線が、逆に日本に向かって南下することがある。これが秋雨前線と呼ばれるもので、秋の長雨を起すことがある。

12月から3月頃にかけて北西の季節風が山脈にあたり、日本海側一帯に地形性降水をもたらす。

昭和20年から58年までの鳥取地方気象台データをもとに、千代川流域における大雨（3日連続降雨100mm以上）

の原因別発生回数を調べてみると、第3表のようになる。原因別には台風性と梅雨性のものが多く、特に台風は間接的なものも含めると51%になる。つぎに鳥取地方気象台での既往の年最大の日降水量と時間降水量をまとめたものが第4表である。第5表は、千代川流域上流部の若桜と下流部の鳥取との日降水量の月別相関を昭和53年から56年まで計算したものである。降水現象には局地性があるので、相関の低い時期もかなりある。

第3表 大雨発生回数

降雨原因	発生回数	年平均発生回数
台風性	41	1.1
梅雨性	40	1.1
台風性 (間接的)	31	0.9
冬型	10	0.3
その他	20	0.6

第4表 既往降水量

順位	日降水量		1時間降水量	
	降水量(mm)	発生前・月・日	降水量(mm)	発生前・月・日
1	187.5	51・9・10	68.0	56・7・3
2	178.7	34・9・26	60.0	50・9・26
3	178.0	56・7・3	58.0	44・9・7
4	160.5	54・10・19	53.5	43・8・10
5	158.6	40・9・10	52.5	40・7・21
6	155.7	39・7・15	51.5	47・6・8
7	150.5	55・5・21	50.0	51・8・28
8	145.5	20・6・12	49.8	28・7・4
9	132.8	24・7・30	45.5	50・8・6
10	127.5	47・7・11	45.0	50・8・23

(資料期間：昭和18年～58年)

第5表 鳥取と若桜の日降水量相関

年 月	53年	54年	55年	56年
1	0.174	0.804	0.513	0.500
2	0.781	0.477	0.147	0.228
3	0.750	0.847	0.877	0.713
4	0.412	0.489	0.655	0.515
5	0.402	0.923	0.351	0.671
6	0.347	0.591	-0.094	0.544
7	0.929	0.890	0.445	0.886
8	0.261	0.452	0.484	0.948
9	0.636	0.837	0.495	0.659
10	0.776	0.443	0.629	0.418
11	0.099	0.493	0.686	0.603
12	0.418	0.333	0.763	0.279

河川における流出問題を考える場合には、まず対象流域の面積雨量、即ち流域平均降水量を求める必要がある。しかし流域内で測定される降水量は、雨量計による点雨量であるので、点雨量から面積雨量に換算しなくてはならない。一般に点雨量から流域平均降水量を求めるには、次の五つの方法がある。

- 1) 算術平均法
- 2) ティーセン法
- 3) 等雨量線法
- 4) 格子点法
- 5) 雨量高度法

このなかで一般にはティーセン法が多く用いられている。ティーセン法というのは、流域内の雨量観測点を地図上に記入し、それらを結んで多数の三角形をつくる。次に各辺の垂直二等分線を描くと流域は多くの多角形に分割され、そのなかには必ず一つの雨量観測点が含まれるようになる。流域平均降水量は次式で算出する。

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i \cdot a_i}{A} \quad (7)$$

\bar{R} : 流域平均降水量

n : 多角形の数

R_i : i 番目観測点降水量

a_i : i 番目多角形の面積

A : 流域面積

千代川の流域平均降水量の計画値は、100年確率の日降水量215mm、2日降水量319mmとされている¹⁾。

千代川流域に降った豪雨の時間的空間的集中特性については、田中⁴⁾らが次の2式を得ている。

$$R_0 = 48.0 t^{-0.3061} \quad (8)$$

$$\frac{R}{R_0} = \exp(-0.268 \times 10^{-4} A^{1.299}) \quad (9)$$

R_0 : 雨量観測点における最大雨量強度

t : 降雨継続時間

R : 流域平均最大雨量強度

A : 流域面積

流出特性と考察

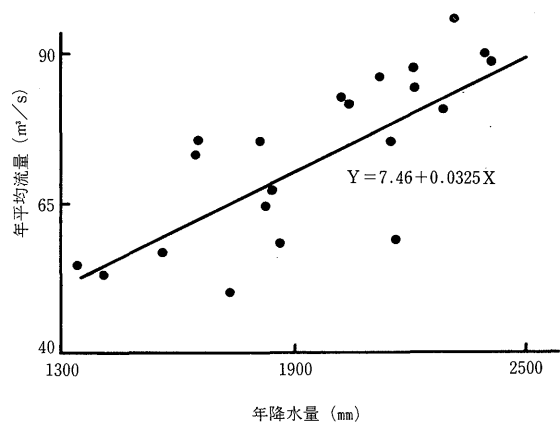
前述したように流域における年降水量と年蒸発量との差が年流出量であり、年蒸発量に経年的な変動が少いと仮定すると、年降水量と年流出量との間には高い相関があるはずである。そこで千代川(行徳地点)における昭和36~57年の流量データ(昭和40年は一部データ欠測なので除外した計21ヵ年)と、それに対応する降水量データ(鳥取地方気象台)とから回帰式を求めると次式が得られた。また第3図はその相関図である。

$$y = 7.460 + 0.0325x \quad (r = 0.778) \quad (10)$$

y : 年平均流量 (m³/s)

x : 年降水量 (mm)

r : 相関係数



第3図 年平均流量と年降水量の相関図

第6表は昭和55~57年の計36ヵ月における、月降水量(5観測点)と月平均流量(行徳)との相関行列を示している。月降水量と月流量との相関は智頭が最大であり、若桜を除いて月降水量の場所的な相関はかなり高い。また流量のうち最大流量は降水量との相関が高く、最小流量、渇水量は流域特性との相関が高いとされている³⁾。そこで月降水量(智頭)と月最小流量(行徳)を説明変数として、月平均流量(行徳)を目的変数とする重回帰分

析を行うと、次のほぼ満足できる結果が得られた。

$$z = -7.078 + 0.204x + 1.346y \quad \text{①}$$

$$(R = 0.884 : R^2 = 0.781)$$

z : 各月の平均流量 (行徳) (m³/s)

x : 各月の降水量 (智頭) (mm)

y : 各月の最小日流量 (行徳) (m³/s)

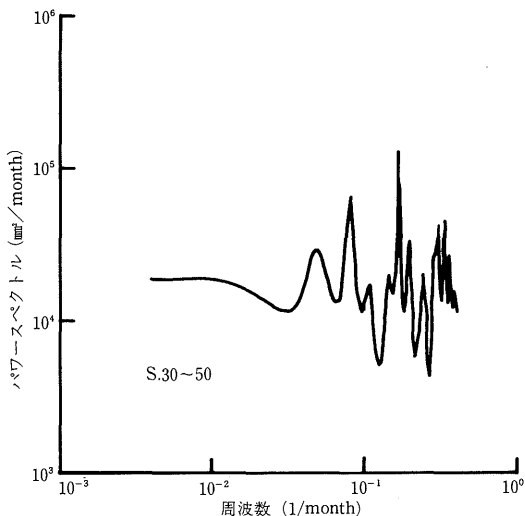
R : 重相関係数

R²: 寄与率

第6表 相 関 行 列

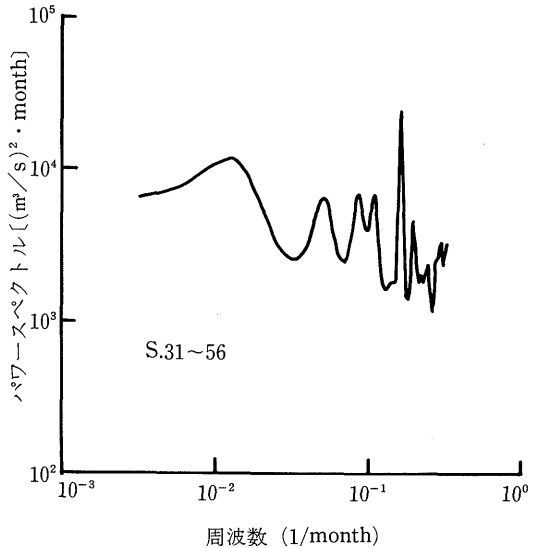
	月 降 水 量					行 徳 流 量
	鳥 取	双六原	智 頭	屋 堂 羅	若 桜	
鳥 取	1.000					
双六原	0.890	1.000				
智 頭	0.746	0.810	1.000			
屋 堂 羅	0.788	0.818	0.874	1.000		
若 桜	0.640	0.671	0.593	0.577	1.000	
流 量	0.411	0.523	0.665	0.537	0.378	1.000

第4図は流域上流部の佐治における月降水量スペクトル、第5図は行徳における月流量のスペクトルである。いずれも半年周期の卓越が見られ、特に流量においてその傾向が大である。第6図は行徳における日流量スペクトルで、ここでは資料年数を15年としている。スペクトルの計算はMEM法により行った。月流量スペクトルと日流量スペクトルとを比較すると、ピークは1年、半年とほぼ等しい位置にあるので、日流量のスペクトル計算

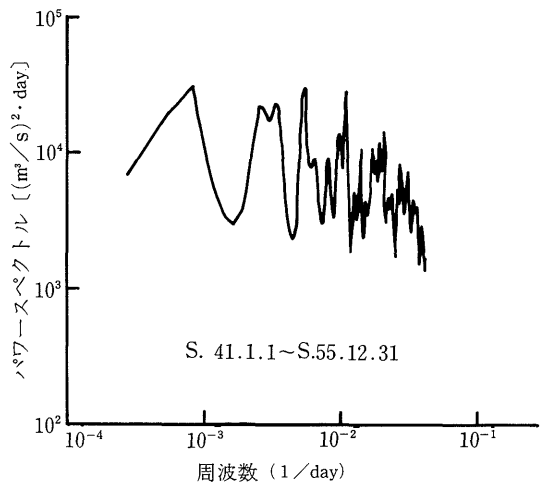


第4図 月降水量 (佐治) スペクトル

を行うには最短でも10年間の資料が必要になる。(資料年数5年ではランダム性が大きくピークはほとんど現れず、また15年では10年とほぼ同様の結果であった。)



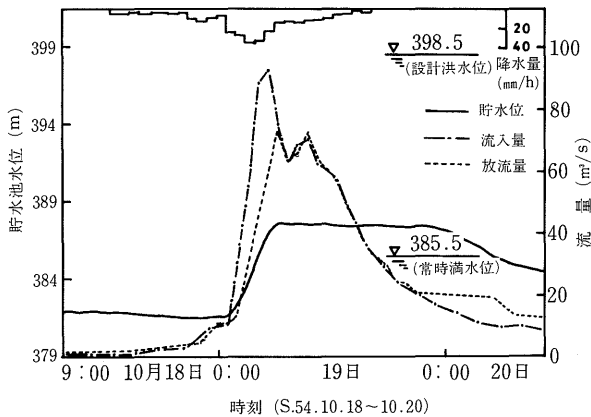
第5図 月流量スペクトル



第6図 日流量スペクトル

千代川 (行徳) における既往最大流量は、昭和54年10月19日の台風20号の降雨に起因する4,270m³/sであり、これは設計高水流量4,700m³/s(50年確率)にほぼ近い値である。第7図はこの時の佐治川ダムにおけるハイドログラフである。佐治川ダムは千代川の左支川、佐治川の

最上流に位置し、流域面積21.4km²、有効貯水容量188×10⁴m³、設計洪水流量365m³/s(50年確率)の防災ダムである。流入量のピークは19日午後6時の92.72m³/sで、設計洪水流量と比較するとかなり小さい。この防災ダムは、流入量が80m³/sまではそのまま放流し、80m³/s以上になると一定率($r=0.537$)で調節するようになっている。19日は台風による降雨で、それに加えて貯水池水位が常時満水位(385.5m)以下であったので、流入量が30m³/sぐらいからピークまで定率の調節を行っている。ピーク後は貯水池水位を常時満水位まで降下させるために調節せずに放流している。



第7図 佐治川ダムハイドログラフ

佐治川ダムでのピーク流量をその流域面積で割って比流量で表わすと4.33m³/s/km²となり、千代川右支川の八東川の支川春米川のの上流にある茗荷谷ダム(A=17.4km²)のそれは3.82m³/s/km²(19日午前7時)、さらに千代川行徳地点(A=1053.7km²)では4.05m³/s/km²(19日午前11時)となる。時間雨量の最大はそれぞれ35, 46, 23mmと場所的な差が大きいのに、比流量はほとんど差がなくなっている。

降雨一流出系において、問題点の1つに点雨量から面積雨量(流域平均降水量)への換算がある。入力要素として与えられる雨量は、あくまでも点雨量であって、面積雨量としては未知である。これに対して出力要素の流量は流域全体からの流出量である。従来は換算誤差を伴った面積雨量から流量の推定がなされたが、最近では流量データから面積雨量を求める方法(逆探問題)も研究され始めた。

この報告では年降水量とか月降水量のように、単位期

間を大きくとったので、換算誤差の入らない点雨量データと流量との関係を調べた。今後流出解析を行うには、時間単位の降水量が必要になるので、点雨量から面積雨量の推定について研究を進めたい。

総 括

ここでは千代川流域の水文データをもとに、千代川における流出特性に関する考察を行った。結果を要約すると次のようになる。

- 1) 日本における多くの河川の形状係数は0.2前後であるので、千代川はその流域面積に対して流路長の短いという特徴のある河川である。
- 2) 年平均流量(y)と年降水量(x)の間にはかなりの相関があり、次式が得られた。

$$y = 7.460 + 0.0325x \quad (r = 0.778)$$
- 3) 月平均流量(z)は、月降水量(x)と月最小流量(y)を説明変数とする重回帰式で表わされる。

$$z = -7.078 + 0.204x + 1.346y$$

$$(R = 0.884 : R^2 = 0.781)$$
- 4) スペクトル解析を行う資料年数は最低10年は必要である。

謝 辞

本研究を行うにあたり、貴重な資料の提供を受けた、建設省中国地方建設局河川部、鳥取工事事務所、気象庁鳥取地方気象台、鳥取県土木部河川課、茗荷谷ダム管理事務所、佐治川ダム管理事務所の関係各位に厚く御礼申し上げる。また文部省科学研究費自然災害(2)(代表者・鳥取大学教授野村安治)の補助を受けたことを記して謝意を表する。

文 献

- 1) 建設省中国地方建設局：昭和55年度河川関係調査成果報告書。建設省中国地方建設局、広島(1981) pp. 403-419
- 2) 建設省鳥取工事事務所：千代川史。建設省鳥取工事事務所、鳥取(1978) pp. 22-84
- 3) 中根和郎：河川の流況推定。国立防災科学技術センター研究報告, 31 35-59 (1983)
- 4) 田中礼次郎・福島晟：山陰地方の中小河川洪水の極値に関する研究, 島根大農研報, 14 86-95 (1980)
- 5) 山本荘毅：陸水, 共立出版, 東京(1970) pp.122-124