

山陰地方における流出特性について

長谷川紘一*・野村安治*

昭和58年7月30日受付

On the Runoff Characteristics of Rivers in the San-in Region

Kōichi HASEGAWA* and Yasuji NOMURA*

This paper deals with the runoff characteristics of rivers in the San-in region using an analysis of hydrological data. The results can be summarized as follows.

- 1). Spectral analysis was applied to time series of hydrological data. In the eastern and middle part of the San-in region, the runoff of a river did not change according to a recognizable cycle, but at random. On the other hand, in the western part, it changed in accordance with a one year cycle.
- 2). The coefficients of the river regimes in the San-in district are larger than in other areas.
- 3). Many cases of record floods were caused by typhoons in the eastern part of the San-in district, whereas they were caused by seasonal rain fronts in the western part.
- 4). It was evident that the runoff characteristics of rivers are of a local type.
- 5). It is necessary to re-examine the calculation of the design flood discharge.

ま え が き

地球上の水循環の一過程として、地表や地下に存在する水は人類生存上不可欠のもので、人類の福祉上大きな恩恵を与えてくれるが、その反面大洪水による災害はあまりにも悲惨であり、かつその被害額も巨額に達するので、洪水防御は河川事業の主目的となっている。防災工学上から河川を考えると、流域からの雨水の流出量が河道の疏通能力を越えない限りほとんど問題は生じないが、能力以上の流出量があれば大問題となってくる。流域に降った雨水と、それによってもたらされる河川洪水流量との関係を的確に把握することは、水文学における重要な課題であると同時に治水計画に必須の課題である。

河川の水文現象は、降水、蒸発散などを左右する気候あるいは気象条件とそれを受ける土地条件により構成されている。鳥取、島根両県は関口⁹⁾による気候区分では、裏日本気候区の山陰地方に分類されている。その降水量に関する特色は、梅雨季、台風季のほか冬季にも降水量が多いということである。特に冬季は東部ほど、梅雨季は西部ほど降水量が大である。ここでは山陰地方の代表的な河川（千代川、天神川、日野川、斐伊川、江の川、高津川）についての流出特性に関する研究結果を報告する。

流域の概要について

千代川は鳥取県八頭郡智頭町の沖の山を水源とし、佐

* 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

治川、曳田川、八東川、袋川、野坂川など大小の支川を合せて北流し、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。用瀬町から上流は溪谷となって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上流側は1/200~1/300で、下流は1/500~1/900となり、千代橋付近から下流は急に1/1500~1/2000の緩勾配となっている。流域面積は1,192.6km²であり、流路長は56.8kmである。

天神川は上流部を小鴨川といい烏ヶ山に水源を発生し、倉吉市和田橋下流で国府川を合流し、田内地先で竹田川と合流している。小鴨川と竹田川との合流部に三角形の沖積平野を形成して、それより下流が天神川となり北流して日本海に注いでいる。流域の地質は、上流部は主として花崗岩類よりなり、中流部は流紋岩、安山岩、玄武岩などの火成岩、下流部は沖積層である。流域面積は501.0km²、流路延長37.0kmである。

日野川は日野郡日南町の三国山を水源として東北に流れ、江府町で流路を西北にとり大山の西麓を流れる。岸本町で下流部扇状地帯に流出し、米子市車尾で法勝寺川を合流して北流し美保湾に流入する。流域の地質は、上流部は花崗岩が広く分布し、中流部は流紋岩、凝灰角礫石、石英安山岩、花崗岩、玄武岩などが点在し、下流の沖積層につながっている。河床勾配は上流山間部で1/150、移行部で1/160、下流平野部においても1/360の急流河川である。

斐伊川は鳥取、島根、広島県の境の中国山地を水源とする。船通山(1,143m)、猿政山(1,268m)などの1,000mを越える山地に水源を発生し、部分的に南北の方向をとりながら、全体として東南から西北に流れる。蛇行をくり返して島根県大原郡木次町にいたり、三刀屋川、赤川を合流して西流し、岩樋で流路を真北に変え出西で簸川平野に流れ出る。武志付近から徐々に北東に流路をとり平田市で宍道湖に流入する。流域の地質は花崗岩、花崗斑岩を主とする。赤川と三刀屋川流域には第三紀層及び安山岩が発達し、第三紀層の山地には地すべりが起っている。流域面積は911.4km²、流路延長104.8kmである。

江の川は上流を可愛川と呼んで広島県内を東流する。広島県の大朝町で島根県との県境の山地を水源として、

標高400~600mの準平原と200~400mの丘陵地帯を縫い、大小の蛇行をくり返ししながら東に流れる。吉田町で流路を東北にとって三次盆地に入り西に流路を変える。島根県に入って江の川になり、西北に流れを変えて小規模の蛇行をしながら邑智町にいたり、ここから西南に向きを変え、河口に近づくにつれ流路を西に向け江津市で日本海に流入している。主要な支川として、広島県内に馬洗川、西城川、神野瀬川があり、島根県内に出羽川、矢上川、八戸川、都治川等がある。流域の地質は比較的単純で流紋岩と花崗岩類を主とし、西城川、馬洗川の流域には古生層及び安山岩が発達しており、三次盆地の周辺には小規模ながら第三紀層が点在している。江の川は三次盆地の下流110kmの間はほとんど溪谷で、兩岸は急峻な山地よりなり、平野の発達は皆無である。上流部の勾配は1/300~1/700で、下流部は1/1000~1/1600である。流域面積は3,526.0km²、流路延長206.2kmの山陰地方第一位の河川である。

高津川は広島県の五里山地を水源としており、有力な支川に匹見川がある。この河川は山陰地方では大きい方に属するけれども、流域面積1,090.0km²に対して水田面積はわずか3,515haと非常に少ない。これは高津川が南から北へ流れて、この地方の支配的な地質構造の方向である東北-西南を斜めに切るため、平地が発達しにくいのではないかとと思われる²⁾。

水文学の時系列解析

時系列の各変量が独立に生起するとき、この時系列を独立性過程あるいは純偶発性過程といい、これに対して前後の変量何らかの関係を保ちつつ生起する時系列を従属性過程あるいは非純偶発性過程という。変量間の線形的従属性の強さを示すパラメーターとして自己相関係数がある。

気象現象や流出過程には持続性が内在するので、厳密に純偶発性の水文学時系列はほとんどない。従属性の強さは、同一現象でも時系列の時間単位に関係する。例えば時間雨量や日流量等のように時間単位の短い時系列ほど強い従属性を持つ。しかし、豊水年は連続し、また渇水年は連続するという水文気象学的特性(Cluster effect)や、さらに長期性の気候変動特性の存在によって、年単位の水文学時系列にも従属性が認められることがある。短期的従属性や長期的従属性は、それぞれ治水計画、水資源計画の入力資料として、水文学時系列を解析する場合に重要な意味を持つ性質である。

時間的従属性と対照的な性質が水文現象の生起の間に

つ性である。時間単位が比較的短い（1日程度）降水量時系列では、ある継続期間を持つ降水事象が間けつ的に生起し、その間は無降水期間である。降水期間と無降水期間の変動特性は明確に異なるので、間けつ性時系列の頻度分布は降水量ゼロにおいて不連続となる。自己相関係数は次式で与えられている。

$$C(\tau) = \frac{\overline{u(t) \cdot u(t+\tau)}}{u^2(t)} \dots\dots\dots(1)$$

C(τ)：自己相関係数
 u(t)：時間tにおける水量
 u(t+τ)：時間t+τにおける水量
 —：アンサンプル平均

また(1)式の分子は自己相関関数と定義されている。水文現象を定常確率過程とみなせば、アンサンプル平均を時間平均でおきかえることができるので、自己相関関数として次式が成立する。

$$R(\tau) = \overline{u(t) \cdot u(t+\tau)} \\ = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} u(t) \cdot u(t+\tau) dt \dots\dots\dots(2)$$

関数 u(t) が有限な長さの継続時間を持ったもので、 $t < -\frac{T}{2}$ 及び $t > \frac{T}{2}$ の範囲では $u(t) = 0$ とすれば、(2)式の積分範囲を ±∞ まで広げられ、u(t) のかわりに、f(t) を用いると

$$R(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) f(t+\tau) dt \dots\dots\dots(3)$$

(3)式のフーリエ変換を求めると

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau &= \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) f(t+\tau) dt \right] e^{-i\omega\tau} d\tau \\ &= \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \left[\int_{-\infty}^{\infty} f(t+\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau \right] dt \\ &= \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \left[\int_{-\infty}^{\infty} f(t+\tau) e^{-i\omega(t+\tau)} d\tau \right] e^{i\omega t} dt \\ &= \frac{1}{T} F(\omega) \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{i\omega t} dt \\ &= \frac{1}{T} F(\omega) \cdot F(-\omega) \\ &= \frac{1}{T} F(\omega) \cdot F^*(\omega) \\ &= \frac{1}{T} |F(\omega)|^2 \end{aligned}$$

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau \dots\dots\dots(4)$$

$$R(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{i\omega\tau} d\omega \dots\dots\dots(5)$$

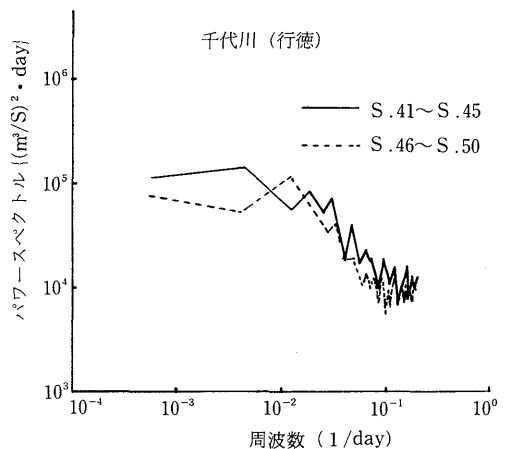
(4),(5)式はいわゆるWiener-Khintchineの関係式であり、不規則な水文現象の取扱い上最も重要な統計的概念として、パワースペクトルと自己相関関数を定義している。従来のスペクトル計算は、(4)式を用いて自己相関関数のフーリエ変換として求められた。例えばBlackman-Tukey法とかFFT法がそうである。

これに対してMEM法と呼ばれる新しいスペクトルの計算方法が、1967年に地震波解析に関してBurgにより提案され、その後日野²⁾により日本にも紹介されて種々の分野へ急速にMEM法が浸透した。このMEM法は、情報理論におけるエントロピーの概念に基づいた資料解析法で、従来のスペクトル推定法に比較して次のような優秀性を持っている。

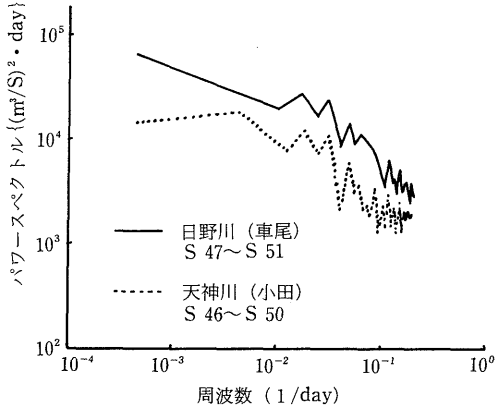
- 1) 短いデータからもスペクトルの推定が可能である。
- 2) スペクトルの分解能が極めて高い。

ここでは、スペクトル推定法にMEM法を用いた(計算法の詳細については日野の文献³⁾を参照のこと)。

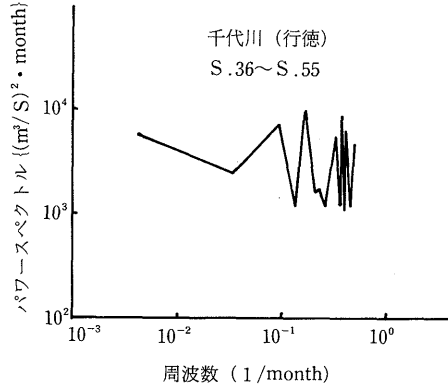
第1図は千代川(行徳)の日流量データを用いたスペクトル計算結果である。昭和41年~45年と46年~50年の2つの期間のデータを用いて計算したが、高周波領域ではほぼ同じような周波数特性を示しているのに、低周波領域では異なる変動を示している。また全体的にはランダム変動の傾向が大である。期間による差がいくらかみ



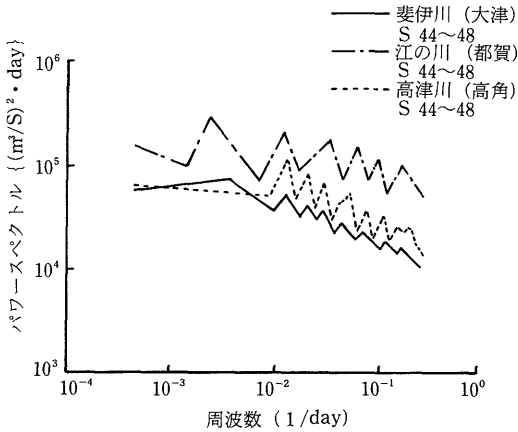
第1図 千代川の日流量スペクトル



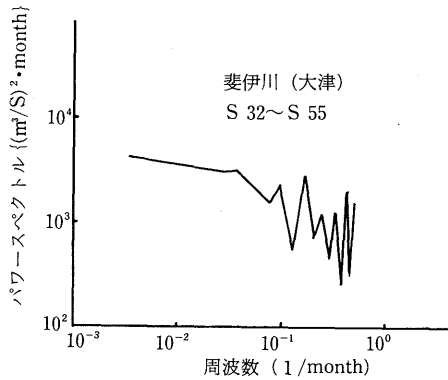
第2図 日流量スペクトル



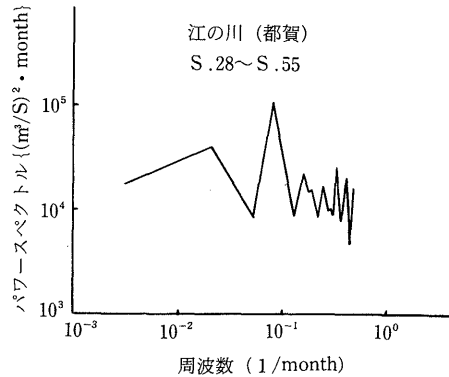
第4図 千代川の月流量スペクトル



第3図 日流量スペクトル



第5図 斐伊川の月流量スペクトル



第6図 江の川の月流量スペクトル

られるのは、資料年数が短くて定常に達していないからと思われる。ここでは各河川について連続して得られるデータということで、資料年数を5年間にした。

第2図は天神川(小田)と日野川(車尾)の日流量データを用いたスペクトル計算結果である。1年周期の卓越は見られず、かなりランダム変動の傾向を示している。

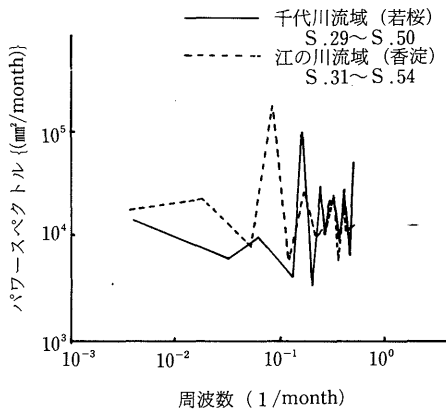
第3図は斐伊川(大津)、江の川(都賀)、高津川(高角)の日流量を用いたスペクトルである。斐伊川は鳥取県の河川とほぼ同じ周波数特性を示しているが、江の川には1年周期が見られる。

第4~6図は、山陰地方東部、中部、西部を代表する河川として、千代川、斐伊川、江の川の月流量スペクトルを示している。第4図の千代川と第5図の斐伊川の月

流量スペクトルをそれぞれの日流量スペクトルと比較すると、1年周期の存在は見られるが、まだまだランダム変動の傾向が強い。これに対して江の川においては、1年周期の卓越が見られる。

第7図は、山陰東部の千代川流域の若桜雨量観測所(建設省)と、山陰西部の江の川流域の香淀雨量観測所(建設省)の月降水量のスペクトルを示している。千代川流域においては、月流量スペクトルと同様に約200日周期にピークが発生している。江の川流域においては、1年周期の卓越が明らかであり、月流量スペクトルの結果とよく合致している。

山陰地方に豪雨をもたらす降雨原因として、前に述べたように、梅雨、台風、降雪の3つが考えられる。東部においては、流出波形に大きく寄与するのが台風と降雪による雪解けであり、梅雨による寄与は少ない。これに対して西部では、梅雨の寄与が最大であるために、スペク



第7図 月降水量のスペクトル

トルにおいて1年周期の卓越が見られるものと思われる。

流域の流出特性

第1表は各河川の昭和54年の流況表である(千代川の既往最大洪水流量は昭和54年10月19日に発生している)。まず用語の定義を以下に示す。

最大流量：1年の最大流量値である。

豊水流量：1年を通じて95日はこの値より下らない流量値

平水流量：1年を通じて185日はこの値より下らない流量値

低水流量：1年を通じて275日はこの値より下らない流量値

渴水流量：1年を通じて355日はこの値より下らない流量値

最小流量：1年間の最小流量値である。

年平均流量：日流量の年間総合計を年間日数で除した値

河況係数：最大流量を最小流量で除した値

第1表からみると、山陰地方の各河川は河況係数が非常に大であることから、不安定な荒れ川であることがわかる。日野川の値がケタはずれなのは、日野川が扇状地を流下しており、伏流水となって地下に潜る量が大いなので、最小流量が小さいからだと考えられる。

昭和54年における河況係数の他地方の例として、関東地方を流れる利根川(布川)が100であり、近畿地方を流れる淀川(枚方)が13である。淀川の河況係数が非常に小さいのは、水源地として上流に琵琶湖を有しているのので、その洪水調節作用により流況が安定しているからと考えられる。

第1表 流況表 (昭和54年)

河川名	基準地点	流域面積 (Km ²)	流 量 (m ³ /s)							河況係数
			最大	豊水	平水	低水	渴水	最小	年平均	
千代川	行徳	1054	4265.8	72.6	54.9	38.3	16.3	9.48	63.4	450
天神川	小田	464	1592.7	26.9	18.2	12.3	2.8	1.83	24.8	870
日野川	車尾	842	1693.0	33.3	22.9	9.7	3.0	0.24	33.7	7054
斐伊川	大津	911	1613.1	38.8	25.8	16.6	7.1	4.70	34.1	343
江の川	川平	3807	3496.0	98.6	66.6	50.4	31.1	15.99	108.7	219
高津川	高角	1076	1129.0	51.2	30.8	17.4	10.8	8.88	49.6	127

第2表 既往洪水記録

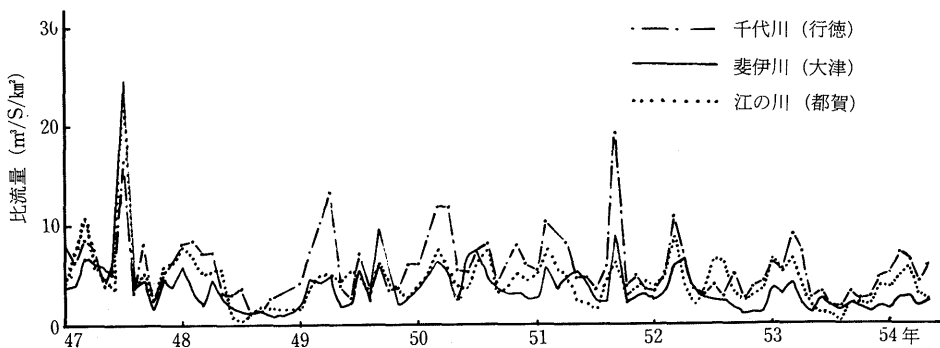
(単位: m^3/s)

順位	千代川	天神川	日野川	斐伊川	江の川	高津川
1	4,270 T S.54.10.19	2,100 T S.34.9.26	2,100 T S.34.9.26	2,790 T S.20.9.18	6,900 R S.47.7.12	5,800 R S.47.7.12
2	3,603 T T.12.9.15	1,686 T S.36.9.16	1,801 R S.47.7.11	2,700 T S.18.9.20	4,790 R S.40.7.20	4,600 T S.18.9.12
3	3,400 T T.7.9.14	1,593 T S.54.10.19	1,775 R S.40.7.23	2,330 R S.47.7.11	4,620 R S.55.8.31	4,200 T S.26.10.15
4	3,283 T S.9.9.20	1,246 T S.40.9.10	1,693 T S.40.10.19	1,760 R S.39.7.19	4,510 R S.35.7.7	3,700 R S.40.7.23
5	3,260 T S.51.9.10	1,162 T S.50.8.23	1,529 T S.54.9.4	1,666 T S.54.10.19	4,250 R S.40.6.18	3,200 R S.38.7.11
6	3,000 T S.36.9.16	1,025 T S.46.8.31	1,469 R S.39.7.19	1,480 R S.46.7.1	4,160 R S.32.7.2	2,800 T S.20.9.18
7	2,700 T S.34.9.26	875 T S.54.9.4	1,415 T S.36.9.16	1,440 R S.40.7.23	3,850 R S.38.7.10	2,700 R S.55.8.31
8	2,683 T S.40.9.10	840 T S.41.9.25	1,368 R S.46.7.1	1,420 R S.29.7.23	3,800 R S.33.6.29	2,700 T S.9.9.20
9	2,667 T S.20.9.17	806 R S.47.7.11	1,335 R S.42.7.9	1,310 T S.19.9.17	3,710 R S.46.7.1	2,650 T S.25.9.14
10	2,570 T S.19.9.21	740 T S.51.9.10	1,225 T S.39.9.25	1,240 T S.17.9.21	3,610 T S.45.8.29	2,600 R S.32.7.13

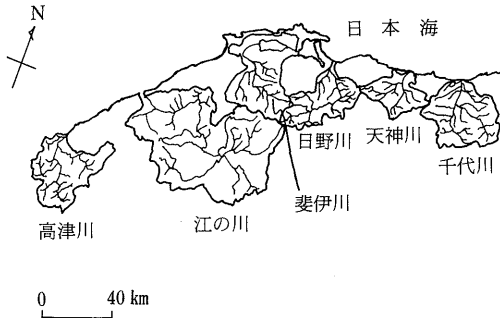
(流量の後のT:台風性, R:梅雨性を示す)

第2表は各河川の既往洪水の上位10位までの一覧表である。その降雨原因をみると、千代川、天神川はほとんど台風起因しており、江の川は梅雨性である。日野川、斐伊川、高津川は台風によるものと梅雨によるものが半々である。

第8図は千代川(行徳)、斐伊川(大津)、江の川(都賀)の月平均比流量(比流量は流量を流域面積で除した値)の経年変化を示しているが、マクロ的には同じような変動をしているといえる。何らかの地域特性があるものと思われるが、詳細については次報で検討したい。



第8図 比流量の経年変化



第9図 流域図

第9図はここで考察した6河川の流域図であるが、山陰東部に台風型洪水河川の千代川、天神川があり、西部に梅雨型洪水河川の江の川がある。両者の中間型河川として日野川、斐伊川、高津川が位置している。

考 察

「洪水防御計画は、河川の洪水による災害防止又は軽減するため、計画基準点において計画の基本となる洪水のハイドログラフ（以下基本高水という）を設定し、この基本高水に対してこの計画の目的とする洪水防御効果が確保されるよう策定するものとする。」と建設省河川砂防技術基準（案）計画編に定めてある。さらに次のように定めている。「基本高水は設定する方法としては種々の手法があるが、一般には計画降雨を定め、これにより求めることを標準とする。計画降雨は、計画基準点ごとに定める。」「計画降雨は、降雨量、降雨量の時間分布及び降雨量の地域分布の3個の要素で表すものとする。」

「計画の規模は一般には計画降雨の降雨量の年超過確率で評価するものとし、その決定に当っては河川の重要度を重視するとともに、既往洪水による被害の実態、経済効果等を総合的に考慮して定めるものとする。」

この河川砂防技術基準（案）でわかるように、河川の計画には流量が必要であるが、超過確率を決めて降雨量を求めて流量を推定するという手法が用いられている。

これは降雨量の記録期間が流量のそれよりもはるかに長いことと、流域・河道の変化一例えば森林の伐採・水田化・都市化、耕地整理、河道改修の影響が流量には微妙に働くので、条件が一定と考えられる期間を考えると有効な流量記録期間はさらに短くなるからである。

河川の計画降雨量を求める場合の継続期間は、概念的には、大河川なら長時間、小河川なら短時間で良い。山

第3表 基本高水流量表

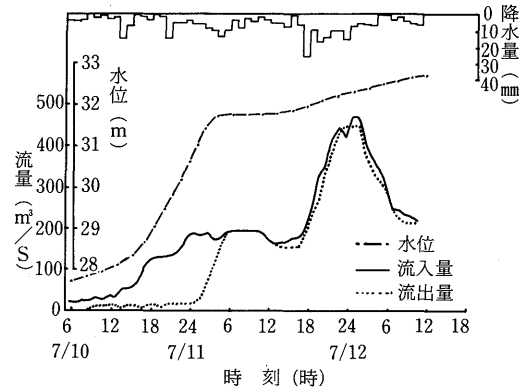
河川名	基準地点	設計流量		確率年	既往最大
		m ³ /s	年		
千代川	行徳	4,700	50	4,270	
天神川	小田	3,500	60	3,515	
日野川	車尾	4,000	60	3,120	
斐伊川	大津	4,500	150	2,790	
江の川	江津	14,200	100	10,200	
高津川	高角	4,200	20	5,800	

陰地方の河川計画では2日降雨量が用いられている。

第3表は山陰地方の各河川の基本高水と既往最大洪水流量の一覧表である。超過確率年の大きいのは斐伊川の150年であり、小さいのは高津川の20年である。高津川においては、既往最大が基本高水を1,600m³/sも超過している。

山陰地方西部に位置する島根県石見地方は、昭和38年7月、47年7月、58年7月と梅雨前線性の集中豪雨により大災害が発生している。近年は治水計画の進展により、河川堤防の決壊を伴う洪水はあまり発生せず、堤内地に湛水する内水災害が増大している。換言すれば、降雨という入力とは自然現象であるが、それがそのまま流出という出力につながるのではなく、流量の人為的制御を経て河川流出となっている。

第10図は昭和47年7月豪雨時における江の川水系の貯水ダムである高暮ダムにおける洪水調節の例であるが、



第10図 高暮ダム洪水調節(昭和47年7月10日~12日)

初期の降水に対しては洪水調節の役目を果しているが、流入量ピーク時付近においては、貯水位が予備放流水位(31.98m)に達したので、流入量 \approx 流出量となっている。

災害の多発地帯においては、設計洪水流量の再検討を行い、河川における洪水排除能力を高め、集中豪雨時における流域内の自然貯留量の減少を図る必要がある。

総 括

ここでは山陰地方の水文データをもとに、主要河川の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) 時系列解析の結果、山陰東部及び中部の河川流出は周期性が小さく、ランダム性が大きい。これに対して、山陰西部の河川には1年周期の卓越が見られた。
- 2) 山陰地方の河川は河況係数が非常に大きくて、不安定な荒れ川である。
- 3) 既往洪水記録からその降水原因をみると、山陰東部では圧倒的に台風性であり、山陰西部では梅雨性である。
- 4) 月平均比流量の経年変化をみると、山陰地方の河川はほぼ同じような変化をしており、山陰地方の地域特性の存在を示している。
- 5) 設計洪水流量の再検討が必要である。

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及び鳥取、倉吉、出雲各工事事務所、鳥取、島根両県の土木部河川課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・島根大学教授田中礼次郎)、同じく自然災害(2)(代表者・鳥取大学教授河野洋)の補助を受けたことを記して謝意を表する。

文 献

- 1) Andersen, M.: On the calculation of filter coefficients for maximum entropy analysis. *Geophysics*, 39 69—72 (1974)
- 2) 日野幹雄：最大エントロピー法による新しいスペクトルの計算法。土木学会誌, 61 50—54(1976)
- 3) 日野幹雄：スペクトル解析。朝倉書店、東京(1977) pp. 210—227
- 4) 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. 247—419
- 5) 小出博：日本の河川研究。東京大学出版会、東京(1972) pp. 245—263
- 6) 関口武：日本の気候区分。東京教育大学地理学研究報告, 3 65—78 (1959)