Ⅱ～9

時差相関からみた流出特性

京都大学工学部　正員　工博　石原藤次郎
京都大学工学部　正員　工修　高棹琢馬
京都大学大学院　学生員　○池渕周一

1．はしがき

降水から流量への日単位以上の時間スケールにおける変換は、利水計画上の基本的問題である。本研究では降水，流量を時系列的にとらえ、自己相関，時差相関，平均自乗誤差を算出し、流出の時間遅れ，ひずみなどを時間的，面積的スケールで考察した。

2．相関係数

2種の波形がどのくらい一致しているか、つまりどの程度に相関性があるかを表わすのに相関係数がある。いま降水波形を $e_1(t)$，流量波形を $e_2(t)$ とし，両者の間の平均自乗誤差

$$\begin{aligned}\overline{\Delta e^2} &= 1/T\int_{-T/2}^{T/2}\{e_1(t)-e_2(t)\}^2 dt \\ &= 1/T\int_{-T/2}^{T/2}\{e_1(t)\}^2 dt + 1/T\int_{-T/2}^{T/2}\{e_2(t)\}^2 dt - 2\cdot 1/T\int_{-T/2}^{T/2} e_1(t)\cdot e_2(t)\,dt \end{aligned} \quad (1)$$

を考える。波形の相関のみを考えるときは、各波形のパワーがすべて1に等しくなるように、波形の振幅を正規化しておくから結局(1)式は

$$1/T\int_{-T/2}^{T/2} e_1(t)\cdot e_2(t)\,dt = 1-(\overline{\Delta e^2}/2) \quad (2)$$

となる。これを両波形の相関係数とよぶ。$e_1(t)$ と $e_1(t+t_0)$ の相関係数

$$\varphi(t_0) = 1/T\int_{-T/2}^{T/2} e_1(t)\cdot e_1(t+t_0)\,dt \quad (3)$$

は自己相関係数とよばれ，波形のランダムネス、周期性の尺度である。つぎに異なる波形 $e_1(t)$ と $e_2(t)$ の場合

$$\varphi_{12}(t_0) = 1/T\int_{-T/2}^{T/2} e_1(t)\cdot e_2(t+t_0)\,dt \quad (4)$$

を考え、これを $e_1(t)$ の $e_2(t)$ に対する時差相互相関係数とよぶ。一般に降水はある時間だけ遅れて流量となるが、このとき $\varphi_{12}(t_0)$ の値は、ある t_0 の付近で特に大きくなる。この $|\varphi_{12}(t_0)|$ を最大にする $t_0 = t_{0m}$ の値は，この流域の等価遅延時間を示し、また(2)式からそのときの最大相関値 $\varphi_m = \varphi_{12}(t_{0m})$ を用いて

$$\sqrt{\overline{\Delta e^2}} = \sqrt{2(1-|\varphi_m|)} \quad (5)$$

となる。この関係によって降水から流量への波形ひずみが評価できる。

3．由良川流域への適用と結果に対する考察

面積的スケールとして荒倉(150Km²)，角(556)，福知山(1157)の3流域を考え、時間的スケールとしては年単位，季節単位(春；3～5，夏；6～8，秋；9～11，冬；12～2月）を考える。なお計算にあたってはKDC－Ⅱによった。

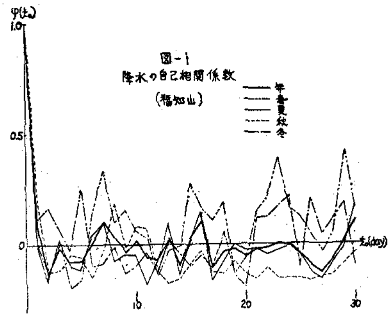
降水の自己相関係数を示したのが図－1である。各流域ともほぼ同じで年単位，季節単位とも周期的成分を含まずランダムな変動と考えてよい。これは降水系列の定常性を意味している。

時差相互相関係数を示したのが図－2(a)，(b)，(c)である。各流域ともほぼ同じで、この

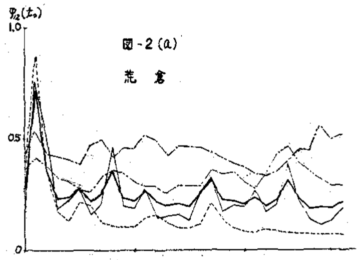
程度の流域面積間では流出形態の違いは認められない。ただ冬の場合、流域面積が大きくなるにつれて t_{0m} の値が小さくなっている。これは下流域へいくほど降雪流出だけでなく、降雨流出も含まれてくるからであろう。季節でみると、夏，秋と冬，春で非常に異なっている。すなわち前者では $t_0 = 1$ 日以内で降水の大部分は流出するのに後者は流出が長期的である。これは冬の降水は雪であり、流域に雪層の状態で存在し、また地下に浸透して貯留される。春になると気温の上昇とともに降雨もあるが、まだ雪層に吸収される割合が大きく融雪流出となり、流出が長びくと考えられる。春の場合 $t_0 = 24$ 日で φ_m となっているが、これは季節型の地下水流出とも考えられるが、それよりも梅雨時の流量が関係してくるのでその影響と考えるほうがよい。一方夏は流域が春以来湿潤であるうえに梅雨のような雨期があり、また秋は夏の乾燥で幾分降雨も吸収されるが、台風による豪雨は大部分表面流出として1日以内に流出してしまう。年単位と夏、秋が類似しているが年間を通じては降雨による流出が卓越しており1日以内に流出してしまう。

図－3は流域面積とひずみ $\sqrt{\Delta e^2}$ の関係を示したものである。一般に流域面積が大きくなるにつれて，降水から流量への変換過程はあいまいとなり，0交さエントロピーはわずかに大きくなる。[1] このあいまいさはひずみ $\sqrt{\Delta e^2}$ を大きくすると考えられるが、図でみるかぎり、この程度の流域面積間ではその傾向はみられない。$\sqrt{\Delta e^2}$ の値を比較すると各流域とも春＞冬＞年＞夏＞秋となっている。これも前述した降水形態，流域の乾湿の違いによるものであろう。なお全般でいえることであるが角流域は係数の変化が少なく，流域の地形的特質―観測所付近の貯留効果―があるものと思われる。

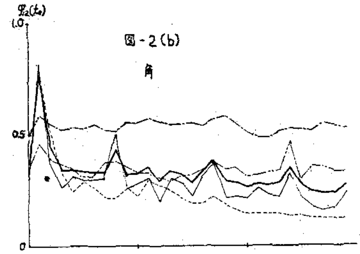
以上，時差相関法を用いて降水から流量への変換を，おくれ，波形のひずみに重点をおいて検討した。こうした方法は、情報理論的接近の一つの基本的手段であるが，詳細は講演時に述べる。



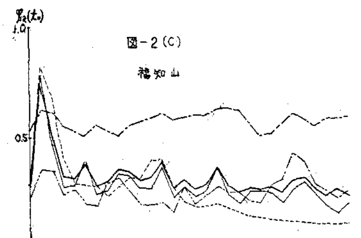
図－1 降水の自己相関係数 (福知山)



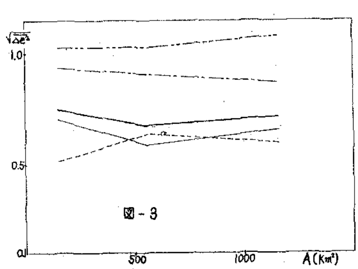
図－2(a) 荒倉



図－2(b) 角



図－2(c) 福知山



図－3

参考文献　1) 石原，高棹　表流水源の資源としての安定性
（土木学会第21回年次学術講演会講演概要II-22）