

# 低水流量の解析についての一方法

小 寺 隆 夫\*

## 1. はじめに

「流出流量は、流域内貯溜量に比例する」という仮定は、低水流出の問題を解明するために、一般に広く用いられている。

この場合、問題となるのは、比例係数、すなわち低減係数である。このことについては、先に「低減係数は、適当な流出量の範囲ごとに定数である」と仮定することについて述べた<sup>1)</sup>。

本論は、その定数、すなわち、流域の固有低減係数を、流量記録と流域の蒸発散量から求めることについて述べたものである。

## 2. 流出関数

「河川のある地点における流出流量  $q$  は、流域内貯溜量  $S$  に比例する」という仮定は、式(1)によって表わせる。

$$q = \lambda S \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 $\lambda$  は比例係数である。

いま、この流域に  $F$  なる流入がある場合の連続方程式は、式(2)のとおりである。

$$F - \frac{dS}{dt} = q \dots\dots\dots(2)$$

式(1)および式(2)を組み合わせ、初期条件を入れて解けば、流出関数として式(3)が得られる。

$$q = q_0 + (1 - e^{-\lambda t})(F - q_0) \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 $e$  は自然対数の底であり、 $q_0$  および  $q$  は、それぞれ時間=0、および時間= $t$  のときの流出流量である。また、 $\lambda$  は流域に固有のものであると考え、「固有低減係数」と呼び、 $F$  は、降雨、蒸発散等のすべての外的因子の影響を表わすものと考え、「強制流出」と呼

ぶことにする。

## 3. $F$ の変動

現実の流域は、常に外的因子の影響を受けており、また、その影響力の大きさ、正負が絶えず変動しているものと考えられる。

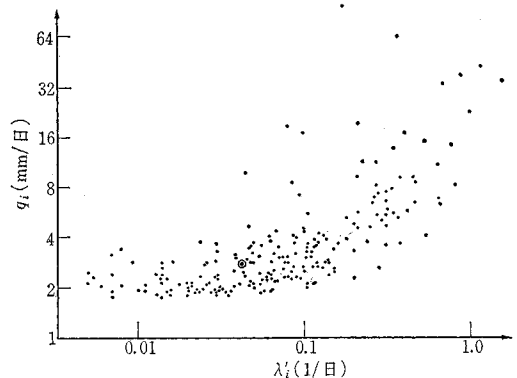
いま、式(3)において、 $F=0$  とおき、求めた  $\lambda$  を  $\lambda'$  とする。すなわち、 $\lambda'$  は、式(4)によって求められる。

$$\lambda_i' = \log_e q_i / q_{i+1} \dots\dots\dots(4)$$

ここに、 $q_i$  および  $q_{i+1}$  は、それぞれ  $i$  日およびその翌日の流出流量で、 $q_i > q_{i+1}$  とする。

図-1 は、長良川墨俣地点の昭和 26 年 1 年間の流量記録から、式(4)によって求めた  $\lambda_i'$  を  $q_i$  に対応して、両対数紙にプロットしたものである。

図-1 長良川墨俣地点の  $\lambda_i' \sim q_i$  相関 (昭和 26 年)



墨俣地点は、河口から 39 km の地点にあり、流域面積は、1914 km<sup>2</sup> である。なお、資料は建設省河川局発行の流量年表によるものである。以下の解析に用いた資料も、すべて同じである。

図-1 において、 $\lambda_i'$  と  $q_i$  との間に相関関係は認め

\* 正会員 経済企画庁水資源局主査

られるのであるが、そのばらつきははなはだ大きい。

流出関数が正しいものと考えれば、このばらつきは、 $M'$  が式 (3) において、 $F=0$  において求められたことによるものであり、換言すれば、降雨、蒸発散等の外的因子の影響の変動、すなわち  $F$  の変動を示していると考えられる。

#### 4. 低流出時の低減状態における $F$

式 (3) において、 $1-e^{-Kt}$  は常に正の数である。したがって、流出流量が低減している状態では、 $F$  は常に  $q_0$  より小でなければならない。このため、 $q_0$  が小さい場合、すなわち、低流出時において、流出流量が低減しているときには  $F$  が負の数、すなわち流域に蒸発散が働いている可能性は大きいと考えられる。

表-1 は、前出の墨俣地点の昭和 26 年における流量記録から、流出流量が 4 mm/日 から 2 mm/日の間にあって低減している日数  $N_1$  と、その日に流域内の雨量観測所の半数以上が無降雨であった日数  $N_2$  の月別対比である。なお、資料は建設省河川局発行の雨量年表記載の長良川流域内の葛原、西洞、八幡、岩本の 4 観測所の記録によるものである。

表-1  $N_1$  と  $N_2$  の月別対比

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年合計
$N_1$	20	3	10	12	14	13	6	11	11	9	12	15	136日
$N_2$	18	3	10	11	14	13	6	9	8	9	11	14	126日

(長良川流域 昭和 26 年)

表-1 の示すところによれば、低流出時 (4~2 mm/日) にあって、しかも流出流量が低減している場合には、流域内は無降雨の地域が多く、蒸発散の影響が強く作用しているものと考えられる。すなわち、 $F$  が負である可能性がきわめて大きいと考えられる。

#### 5. $\bar{E}$

流域からの蒸発散は、気温、風速、気圧、空気および土の湿度、あるいはまた、地被、森林、耕作の状態等々の影響を受けるものと考えられる。しかし、流域全体からの蒸発散総量を厳密に推定することは、きわめて困難な問題であると考えられる。

いま、式 (3) において、 $t=1$  日とすれば、 $i$  日における  $F$ 、すなわち  $F_i$  は、式 (5) によって求められる。

$$F_i = q_i - K(q_i - q_{i+1}) \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 $K$  は、式 (6) のとおりとする。

$$K = 1/(1 - e^{-\lambda}) \dots\dots\dots (6)$$

式 (5) において、 $K$  は常に正の数であり、流出流量が減少している状態においては、 $q_i - q_{i+1}$  も正の数で

あるから、 $K$  が増大すれば、 $F_i$  は直線的に減少し、ついに負の数となる。

いま、 $K$  がある大きさのときにおいて、 $q_i$  がある大きさの範囲内にあり、 $F_i$  が負の数である場合の  $-F_i$  を  $E_i$  とし、その  $E_i$  のある期間内における和を、その発生日数  $N_E$  で除したものを  $\bar{E}$  で表わすことにする。すなわち、 $\bar{E}$  は、式 (7) によって計算される。

$$\bar{E} = \sum E_i / N_E = \sum \{(q_i - q_{i+1}) K - q_i\} / N_E \dots\dots (7)$$

ここに、 $E_i$  および  $\{(q_i - q_{i+1}) K - q_i\}$  は常に正のみである。

表-2 は、前出の墨俣地点における昭和 31 年 8 月の流出流量が、4 mm/日 と 2 mm/日 との間の  $K=10$ 、 $K=30$ 、 $K=50$  に対する  $\bar{E}$  を計算した例である。

このようにして求められた  $\bar{E}$  が、その流域の、その期間 (その月) における平均的日蒸発量に対応するものであると考えるわけである。

表-2 長良川墨俣地点  $\bar{E}$  計算例 ( $K=10, 30, 50$ )

(昭和 31 年 8 月・流出流量の範囲 2 mm/日 (44 m<sup>3</sup>/s) <  $q_i$  ≤ 4 mm/日 (89 m<sup>3</sup>/s))

月日	$q_i$ ①	$q_i - q_{i+1}$ 44 < $q_i$ ≤ 89 ② > 0	$K=10$ ③ × 10 ③	$E_{10}$ ④ - ① ④ > 0	$K=30$ ⑤ × 30 ⑤	$E_{30}$ ⑥ - ① ⑥ > 0	$K=50$ ⑦ × 50 ⑦	$E_{50}$ ⑧ - ① ⑧ > 0
8.1	60.8	3.3	33		99	38.2	165	104.2
2	57.5							
3	57.5							
4	57.5	4.3	43		129	71.5	215	157.5
5	53.2							
6	72.5	11.2	112	39.5	336	263.5	560	487.5
7	61.3	3.8	38		114	52.7	190	128.7
8	57.5	0.6	6		18		30	
9	56.9	3.7	37		111	54.1	185	128.1
10	53.2	10.9	109	55.8	327	273.8	545	491.8
11	42.3							
12	38.6							
13	39.1							
14	118.2							
15	79.4	6.3	63		189	109.6	315	235.6
16	73.1	11.8	118	44.9	354	280.9	590	516.9
17	61.3							
18	248.1							
19	73.1	9.0	90		270	196.9	450	376.9
20	64.1							
21	116.2							
22	93.0							
23	114.6							
24	263.1							
25	272.9							
26	144.1							
27	96.2							
28	386.9							
29	524.7							
30	485.4							
31	309.7							
9. 1	484.4							
	$\sum E$			157.1		1341.2		2627.2
	$N_E$			4		9		9
	$\bar{E}_1 = \sum E / N_E$ (m <sup>3</sup> /s)			39.3		149.0		291.9
	$\bar{E}_2$ (mm/日)			1.8		6.7		13.1

表-3 長良川流域における8月の $\bar{E}$ ,  $N_E$

(基準流量観測所; 墨俣, 流出流量: 4~2mm/日の範囲,  $K=23.5$ )

年	15	16	19	21	22	23	24	25	26	27	29	30	31	33	34	35	36	平均
$\bar{E}$ (mm/日)	6	5	4	4	4	9	4	5	2	3	10	5	5	3	3	5	6	5 mm/日
$N_E$ (日)	8	7	5	6	9	11	6	6	8	6	7	11	9	4	2	3	9	7日
$N_1$ (日)	8	8	5	9	10	11	10	8	11	8	9	15	10	5	3	4	15	9日

### 6. $K \sim \bar{E}$ 相関

式(7)からわかるように、 $\bar{E}$  は、 $K$  と1次の関係にあり、 $K$  が1のときには、必ず0となる。また、 $N_E$  は、 $K$  が大きくなると大きくなるものであるが、 $K$  がある大きさ以上になれば、一定となる。

図-2は、前出の墨俣地点の昭和15年から昭和36年の間の流量記録の各年の8月において、5. において行なった計算と同様な計算によって求めた $\bar{E}$ 、およびその平均値を各 $K$ に対応してプロットしたものである。

図-2 長良川流域(墨俣地点)8月の $K \sim \bar{E}$ 相関

(流出流量 4~2mm/日の範囲 昭和15~36年の資料による)

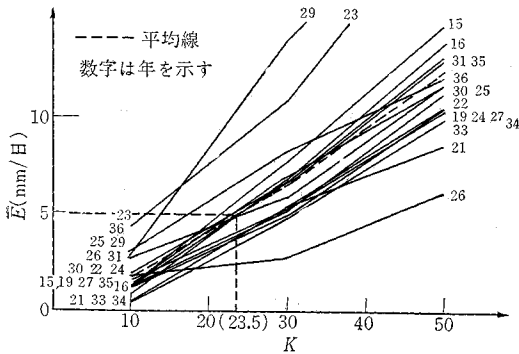


図-2における $\bar{E}$ と $K$ は、ほとんど直線の関係にあることを示している。

### 7. 流域の固有低減係数 $\lambda$

$K$ がわかれば、 $\lambda$ は、式(6)を変形した式(8)によって、求められる。

$$\lambda = \log_e \frac{K}{K-1} \dots\dots\dots (8)$$

いま、長良川流域において、普通蒸発計によって観測された8月の日蒸発量の平均値が5mm/日であるとすれば、この5mm/日が、図-2において示される $\bar{E}$ に相当するものであると考え、図-2の平均線から $K=23.5$ を得る。

いま、 $\bar{E}=5\text{mm/日}$ と仮定したことの妥当性について検討してみる。

すなわち、前出の昭和15年から昭和36年の間の流

量記録において、図-2において $\bar{E}=5\text{mm/日}$ として求めた $K=23.5$ に対する各年8月の $\bar{E}$ および $N_E$ を計算を行なってみる。その結果は、表-3のとおりである。

$N_1$ は前出と同じく、流出流量が4mm/日と2mm/日の間において、低減している日数を示す。

欠年は、流量記録の無いもの、および流出流量が4~2mm/日の範囲になかったものである。

表-3からわかるように、計算によって求められた $\bar{E}$ は最大でも10mm/日であり、この流域の8月の日蒸発量としては、妥当な数値を示しているものと考えられる。

また、 $N_1$ と $N_E$ の対比を見るに、表-1に示した $N_1$ と $N_2$ の対比に近い値を示している。

この2点から考えて、 $\bar{E}=5\text{mm/日}$ として、 $K=23.5$ を求めたことは妥当なものであると判断される。

この $K=23.5$ を式(8)に代入して、 $\lambda=0.042$ (1/日)を得ることができる。すなわち、長良川流域(墨俣地点)における8月の、流出流量が4mm/日から2mm/日の範囲内の固有低減係数 $\lambda$ は、0.042(1/日)であるとするわけである。図-1の◎印は、この $\lambda$ の位置を示したものである。

### 8. おわりに

以上、低水流出の解析に必要な流域の固有低減係数を、流量記録と流域の蒸発散量から求める方法について述べたのであるが、この蒸発散量の実態については、まだまだ不明のところが多し。今後、数多くの流域について、各月のまた各流出流量の大きさの範囲における $K \sim \bar{E}$ 相関を調査検討することによって、逆に、流域の蒸発損失の実態の解明が行なわれ得るものと考えられる。

この場合、日流量資料が、電子計算機のカードにパンチされているとすれば、検討は、迅速に行なわれるのであろう。

#### 参考文献

- 1) 小寺隆夫:「一提案としての<多重層流出モデル>」土木学会誌, 第51巻4号

(1966. 6. 6・受付)